

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 環境學科

(鄉土)教材獎

052605

澎湖銀合歡活性碳製備與性質之探討

學校名稱：國立馬公高級中學

作者： 高一 鄭瑋峻 高一 王黏棉 高一 郭珉岑	指導老師： 林建宏
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：銀合歡、活性碳、生物碳

摘要

銀合歡是澎湖島及台灣山地普遍存在的強勢外來植物，本篇利用自製燒碳爐將銀合歡燒製成生物碳及活性碳，與市售符合 NSF-42 規範的椰殼活性碳比較。自製銀合歡活性碳於甲基藍色素吸附脫色實驗中，在攪拌 2~5 分鐘即吸附甲基藍色素，此外吸附甲基藍色素後無法再釋出，導電性與乾電池的石墨棒相當，12 小時吸附 93% 以上醋酸分子，其表現能力與市售椰殼活性碳毫不遜色，未活化的銀合歡生物碳也呈現相當的吸附能力，實驗室高溫爐製的銀合歡活性碳性質更是超越市售椰殼活性碳。本篇結果提供外來物種銀合歡砍除的經濟誘因，提高廢棄物經濟效益並符合碳保存的環保趨勢，達到兩全其美的解決方式。

壹、研究動機

銀合歡（學名：*Leucaena leucocephala*），在台灣大都稱它為臭菁仔¹，原產地在中美洲，擴散性及生長力強，現今世界各地熱帶和亞熱帶地區都可以發現其蹤影，其根部分泌具有毒性的含羞草素可排斥並抑制其他種植物生長，因此當銀合歡入侵後容易形成單一性的林相，減低了生物多樣性，被列入世界百大外來入侵種植物。



圖一、澎湖道路旁空地長滿銀合歡

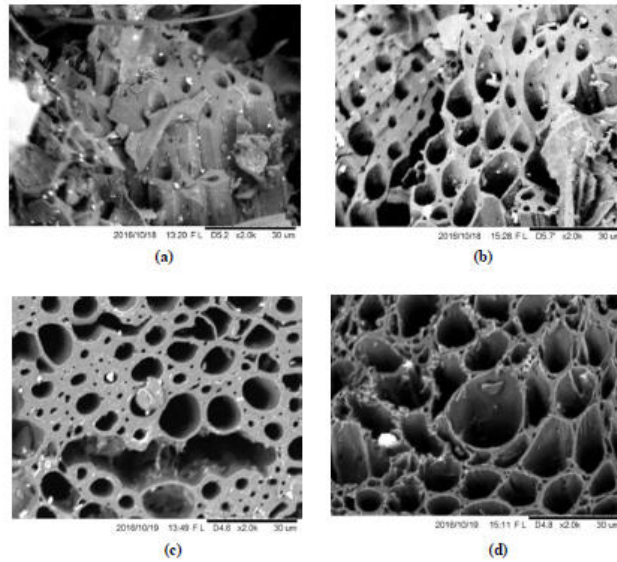
台灣與澎湖過去都因經濟因素引進了銀合歡的種植，澎湖是位於台灣海峽中的一個海島，空氣中鹽分多，東北季風強烈，植物難以生長，在日治時期為了解決先民的家庭能源需要，大量引進銀合歡做為薪柴來源，時至今日，家庭能源已經被電力或化石燃料取代，澎湖

滿山遍野的銀合歡，卻成為一個難以解決的環保生態難題。

不管是用農藥抑制、樹幹環切、遮蔽等方式，都有相關報導^{8,9,10}。而砍下的銀合歡也有做成家具的應用研究¹⁵，近期澎湖更有學校做成文創商品¹²，墾丁地區把銀合歡木屑做成香菇太空包而引發是否有毒的疑慮¹³，殊不知種香菇廢棄的太空包也是污染。植物性廢棄物，可以燃燒直接轉成熱能利用，但是能量密度低又會導致霧霾造成空氣汙染，堆置自然腐化回歸大地，卻又必須浪費大量空間與時間。我們發現活性碳有許多好處與應用，也提高了植物性廢棄物的價值，引起我們將銀合歡製作成活性碳的想法，希望解決澎湖的生態困境並提高經濟價值，供給砍除銀合歡的經費來源提高積極處理銀合歡的誘因，也給同樣被銀合歡困擾的台灣土地提供一個可行的道路。

貳、研究目的

活性碳的比表面積大微小孔隙多^{2,3}，所以有很多應用面向，例如除色脫臭、淨化水質、改良土壤…等，不論是個人家庭與工業使用都很重要。現今市場上最多的是印尼的椰殼碳，這也是廢棄椰殼的活化再利用，國內台南官田農會也將廢棄菱角殼做成菱殼碳回歸菱角池⁴，達到廢棄物減少並活化再使用。木材、竹子可以製成備長碳，台灣也有將稻殼製成稻殼碳回歸大地，這些國內外的例子都是植物性廢棄物轉化成活性碳使其價值倍增，達到解決廢棄物與增加經濟效益，兩全其美的解決方式。所以本篇利用困擾澎湖的銀合歡製成木碳與活性碳兩種，跟市售椰殼碳做比較，來了解其實用的可行性。



圖二、電子顯微鏡下的活性碳表面孔隙²

參、研究設備及器材

1、實驗材料與藥品

- (一) 銀合歡，來源：砍伐自澎湖空地。
- (二) 甲基藍溶液，HERNG JANG，恆彰儀器材料行。
- (三) 醋酸，Kojima Chemicals Co Ltd，小島化学藥品株式会社。
- (四) 鹽酸，Kojima Chemicals Co Ltd，小島化学藥品株式会社。
- (五) 氫氧化鈉，Kojima Chemicals Co Ltd，小島化学藥品株式会社。
- (六) 氫氧化鉀，Kojima Chemicals Co Ltd，小島化学藥品株式会社。
- (七) HAYCARB 椰殼活性炭，高鉅國際，符合 NSF-42 認證。
- (八) RO 水，本篇所使用的水皆為 RO 逆滲透機製造的 RO 水。

2、儀器

- (一) 一般化學玻璃器材，包括滴管、量筒、分度吸量管、安全吸球、體積瓶、燒杯、樣品瓶。

- (二) 管狀高溫爐⁵，國立高雄科技大學化工與材料工程系仿生實驗室儀器，廠牌：昭地，型號：CNBD-012-50IC。
- (三) 電子天平，廠牌：台菱電通，型號：CPD-NS52。
- (四) 酸鹼度計(pH meter)，廠牌：ATC，型號：KL-009(1)。
- (五) 超音波震盪器，廠牌：BAKU，型號：BK-3550。
- (六) 500 倍數位 LED 顯微鏡，廠牌：台灣霓虹。
- (七) 三用電錶，廠牌：YUANSHIN，型號：BK-3550。YS-830。

肆、研究過程及方法

本篇先依據高溫無氧燒製木炭原理，先製作一個燒碳爐，再將銀合歡燒製成木炭，參考不同的文獻報導方法將木炭燒製成活性炭，與購得的椰殼碳跟實驗室製得的活性炭作性質比較實驗，實驗包括甲基藍色素吸附脫色、甲基藍色素釋出、導電性與改善酸性汙染水質，探討各碳的性質優劣及燒製方法對性質的差異。

1、活性炭製備^{3,6}

活性炭製造過程分成碳化與活化兩個步驟，碳化過程通常在 300°C 至 600°C 下絕氧加熱完成，此過程中銀合歡原料會釋出水蒸氣，接著熱裂解出焦油、木醋液，碳氫化合物、一氧化碳、氫氣等，最後生成黑色木炭(生物碳)。活化過程分成物理活化與化學活化方式，化學活化是將木炭浸泡在化學藥劑中(ZnCl₂、NaOH、KOH...等)，進行加熱，改變熱裂解機構，增加形成更多為小孔隙，導致吸附能力增加。雖然 ZnCl₂活化效果佳，本篇選用 NaOH 水溶液浸泡與 KOH 固體混合兩種方式製作銀合歡活性炭，避免重金屬廢棄物再次汙染，以符合綠色化學原則。

(一)、自製燒炭爐⁴

取一容積約 2200 毫升的鐵罐，鐵罐為一般奶粉罐，上蓋中央用鐵釘打一小孔，以備加熱裂解時釋出氣體，鐵罐置於卡式爐上以罐裝丁烷為熱源。



圖三、自製燒炭爐

(二)、銀合歡木炭製備(C-1)

取砍下後在戶外乾燥一個月的銀合歡樹枝，直徑約為 2cm，裁成長度 5cm 大小共 325 公克，置入自製燒炭爐中加蓋緊閉。開始加熱後隨即由上方小孔噴出氣體，以火焰測試無可燃性判斷為水氣，15 分鐘後小孔噴出棕色濃郁酸焦味的液體，判斷為焦油與木醋液釋出，加熱至 2 小時以火焰測試，開始釋出可燃性氣體，判斷為甲烷與氫氣混合氣釋出如圖五，加熱至 4.5 小時以火焰測試，不再有可燃氣體釋出，停止加熱靜置冷卻 1 小時，取出木炭秤重得到銀合歡木炭 108 克，產率 33.23%。



圖四、圖左為銀合歡切塊，圖右為銀合歡木炭 AC-1



圖五、燒製過程中釋出可燃性氣體

(三)、氫氧化鈉浸漬活化製備銀合歡活性碳(AC-1)^{2,7}

編號 AC-1 銀合歡活性碳是以 5M 氫氧化鈉水溶液浸漬方式活化製成。秤取 30 公克銀合歡木炭 C-1，以 5M 氫氧化鈉水溶液浸泡 3 小時，期間適時攪拌，取出後瀝乾直接置入燒碳爐加熱，發現仍有少量可燃性氣體釋出，加熱約 1 小時後直到無可燃性氣體釋出，停止加熱靜置冷卻 1 小時，用 5M 鹽酸水溶液中中和後，再以大量 RO 水清洗後再烘乾，取出 AC-1 銀合歡活性碳秤重得到 25 克，產率 83.3%。

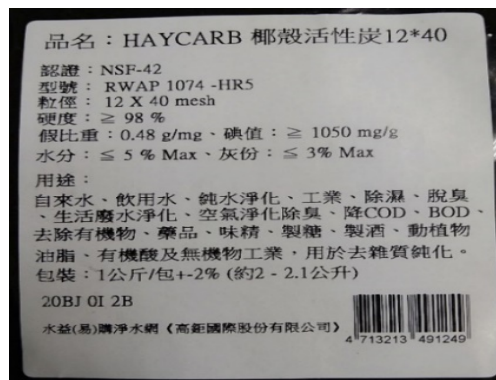
(四)、氫氧化鉀固體活化製備銀合歡活性碳(AC-2)⁶

編號 AC-2 銀合歡活性碳是以氫氧化鉀固體混合加熱方式活化製成。秤取 30 公克銀合歡木炭 C-1，與 60 公克氫氧化鉀固體混合後置入燒碳爐直接加熱，期間發現有大量可燃性氣體釋出，加熱約 2 小時後直到無可燃性氣體釋出，停止加熱靜置冷卻 1 小時，取出後先用大量 RO 水清洗至無滑膩感，再用 1M 鹽酸水溶液中中和後，再以大量 RO 水清洗後再烘乾，取出 AC-2 銀合歡活性碳秤重得到 22 克，產率 73.3%。

(五)、市售 HAYCARB 椰殼活性碳(AC-3)

編號 AC-3 是市場上販售的 HAYCARB 椰殼活性碳，產品資訊如商品標籤所示如圖六，

符合 NSF-42 認證，購入做為比較的標準物。



圖六、市售符合 NSF-42 標準之椰殼活性炭包裝上相關數據

(六)、二氧化碳氣體活化製備銀合歡活性碳(AC-4)^{3,5}

編號 AC-4 銀合歡活性碳是委託國立高雄科技大學化工材料系仿生實驗室製造，管狀高溫爐如圖七。採取高溫下二氧化碳活化法製造。將碳化之銀合歡至於 110°C 烘箱烘乾 24 小時，秤取 19.45 公克碳化銀合歡至於石英舟內，再置入管型爐內後通入流率 500c.c./min 氫氣 20 分鐘，然後以 10°C/min 的加溫速率升至活化溫度 900°C，升溫過程持續通氫氣直到活化溫度後停止。升至活化溫度後，改以通入流率 200c.c./min 的活化氣體二氧化碳 1 小時，當活化完成後，再通入 500c.c./min 氫氣，冷卻至室溫後水洗烘乾，即為製備之銀合歡活性碳，秤得銀合歡活性碳 4.20 公克，產率約 21.6%



圖七、管狀高溫爐，國立高雄科技大學化工與材料工程系仿生實驗室儀器

2、甲基藍水溶液吸附脫色實驗

取購入濃甲基藍水溶液 20 毫升加入 800 毫升水，配置成稀釋甲基藍水溶液備用。取 C-1 銀合歡木碳，AC-1、AC-2、AC-4 銀合歡活性碳與 AC-3 椰殼活性碳各 1 公克，與稀釋甲基藍水溶液 50 毫升混合，使用電磁攪拌器攪拌如圖八，進行不同時間攪拌，攪拌結束後用濾紙過濾，濾液置於 25 毫升樣品瓶中備用，進行吸附脫色的比較。



圖八、電磁攪拌器進行甲基藍水溶液吸附脫色實驗

3、甲基藍色素釋出實驗

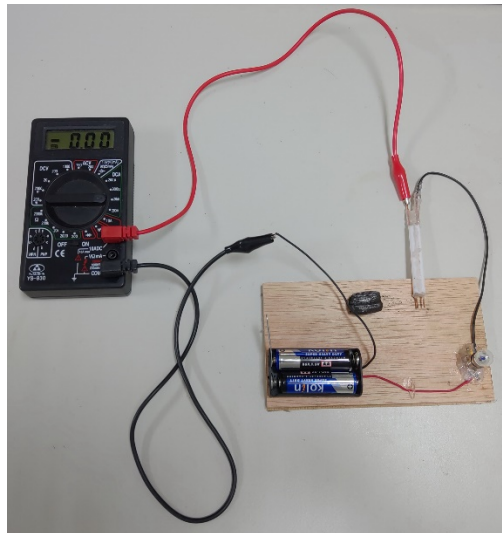
取 C-1 銀合歡木碳，AC-1、AC-2、AC-4 銀合歡活性碳與 AC-3 椰殼活性碳各 1 公克，與稀釋甲基藍水溶液 50 毫升在電磁攪拌器下，攪拌 25 分鐘，讓甲基藍色素完全被吸附後，將前述各碳樣品用濾紙過濾出來，再加入 50 毫升清水，置於超音波震盪器中如圖九，以 35W 功率震盪 300 秒(5 分鐘)後用濾紙過濾，濾液置於 25 毫升樣品瓶中備用，進行甲基藍色素釋出的比較。



圖九、超音波震盪器進行甲基藍色素釋出實驗

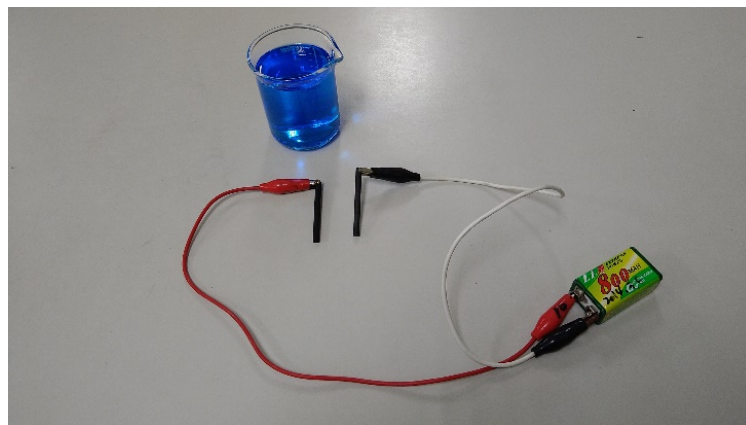
4、導電性實驗

第一部分測試，自製固體碳導電性測試裝置如圖十，將三用電錶串聯至一個簡單的電路上測量電流，此電路包含 3 伏特直流電源，用導線串聯燈泡，將兩根 6 公分銅線絕緣間隔 0.5 公分寬，連接在線路上做為測試棒，接觸碳樣品觀察燈泡亮度及讀取電流值。



圖十、自製固體碳導電性測試裝置

第二部分，挑選合適形狀的 C-1 銀合歡木炭，AC-1、AC-2、AC-4 銀合歡活性炭及石墨棒，在 100 毫升燒杯中置入飽和硫酸銅水溶液如圖十一，以 3 號乾電池取下之石墨棒當陽極，選取各碳樣品當陰極，陰陽兩極保持 1 公分距離，方形 9 伏特乾電池為直流電源，進行電解一分鐘，以觀察各碳導電性與石墨棒做比較。



圖十一、導電性測試的電解裝置

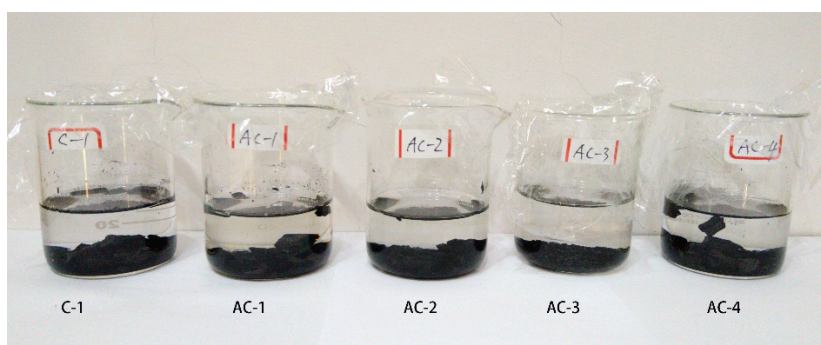
5、醋酸吸附實驗

用分度吸量管吸取 99%醋酸 2 毫升加入 300 毫升水中，稀釋成本實驗的醋酸稀釋液，用 pH 計測量其酸鹼值為 pH=2.8。

第一部分實驗，取 C-1 銀合歡木炭，AC-1、AC-2、AC-4 銀合歡活性碳與 AC-3 椰殼活性碳各 1 公克，與稀釋的醋酸水溶液 50 毫升混合置於 100 毫升燒杯，使用電磁攪拌器攪拌，進行短時間醋酸吸附實驗。

第二部分實驗，裝置如第一部分實驗採取靜置擴散吸附，每隔一小時測量 pH 值，連續紀錄 12 小時觀察 pH 值變化。

第三部分實驗，直接混合 12 小時採靜置擴散吸，然後以濾紙過濾，將濾液以 pH 計測量 pH 值並記錄比較，長時間測量實驗，皆以 PE 膜封住燒杯防止水分蒸發影響酸鹼值。測量前，pH 計先以 pH 值 4.0 的緩衝溶液先行校正。每次更換測量，皆用 RO 水沖洗電極數次，浸泡在 RO 水中，進行下次測量前，再取出用乾淨濾紙吸乾附著的水分。



圖十二、醋酸吸附實驗

6、顯微鏡觀察

將各種碳樣品置於數位 LED 顯微鏡下如圖十三，於電腦螢幕下直接觀察各碳樣品表面，了解各碳樣品表面碳化及活化後的差異，及對各種性質的關聯性。



圖十三、數位 LED 顯微鏡

伍、研究結果

1、活性碳製備結果

燒製完畢各碳樣品如圖十四所示，以手觸摸可以發現 AC-4 的密度最小，AC-1 與 AC-2 密度較大。



圖十四、各碳成品

2、各種碳樣品吸附脫色結果

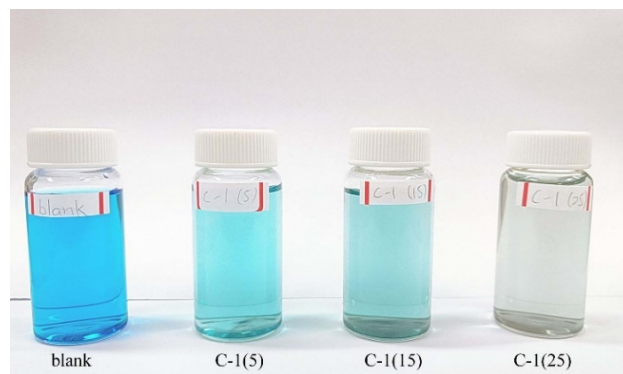
取 C-1 銀合歡木碳，AC-1、AC-2、AC-4 銀合歡活性碳與 AC-3 椰殼活性碳各 1 公克，與稀釋甲基藍水溶液 50 毫升混合，使用電磁攪拌器攪拌，在不同攪拌時間下所得個樣品編號如下表一：

時間 樣品	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	25 分鐘
C-1	-	C-1(5)	-	C-1(15)	C-1(25)
AC-1	AC-1(2)	AC-1(5)	AC-1(10)	-	-
AC-2	AC-2(2)	AC-2(5)	-	-	-
AC-3	AC-3(2)	AC-3(5)	-	-	-
AC-4	AC-4(2)	-	-	-	-

表一、甲基藍水溶液吸附脫色實驗樣品編號

(一)、銀合歡木炭 C-1 吸附脫色結果

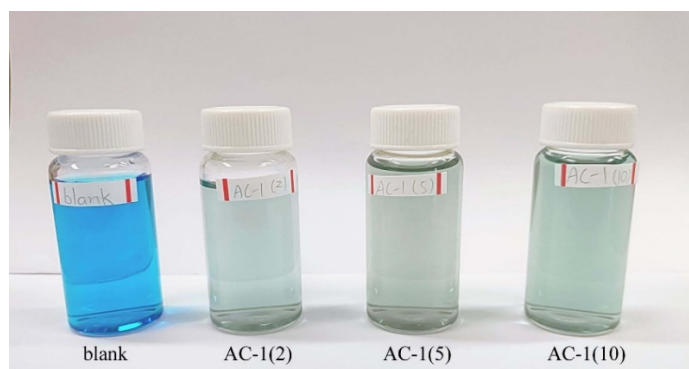
由銀合歡木炭 C-1 脫色實驗中，與甲基藍溶液不同時間混合攪拌結果如圖十五所示，發現未活化的銀合歡木炭也有吸附甲基藍的效果，在攪拌 25 分鐘後達到完全脫色結果。



圖十五、銀合歡木炭 C-1 脫色結果

(二)、銀合歡活性炭 AC-1 吸附脫色結果

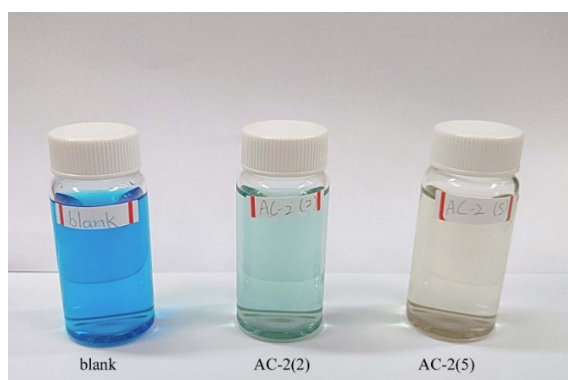
由銀合歡活性炭 AC-1 脫色實驗中，與甲基藍溶液不同時間混合攪拌結果如圖十六所示，發現浸泡 5M NaOH 水溶液活化後的銀合歡活性炭 AC-1 具有吸附甲基藍的效果，在攪拌 2 分鐘後達到吸附極限，溶液顏色不再改變。



圖十六、銀合歡活性碳 AC-1 脫色結果

(三)、銀合歡活性碳 AC-2 吸附脫色結果

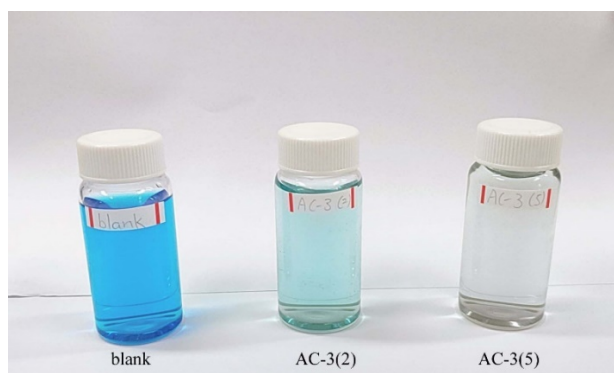
由銀合歡活性碳 AC-2 脫色實驗中，與甲基藍溶液不同時間混合攪拌結果如圖十七所示，發現混合質量兩倍 KOH 固體活化後的銀合歡活性碳 AC-2，在攪拌 5 分鐘時甲基藍便已經完全吸附。



圖十七、銀合歡活性碳 AC-2 脫色結果

(四)、銀合歡活性碳 AC-3 吸附脫色結果

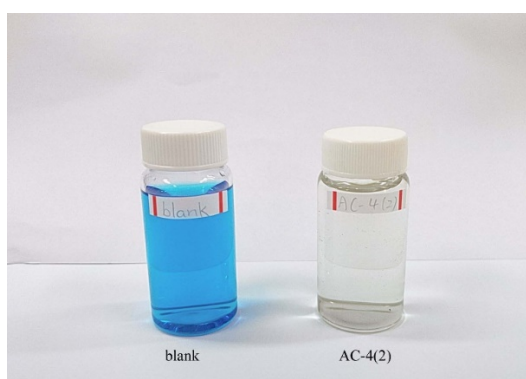
由椰殼活性碳 AC-3 脫色實驗中，與甲基藍溶液不同時間混合攪拌結果如圖十八所示，發現於市面上購買的椰殼活性碳 AC-3，在攪拌 5 分鐘時甲基藍便已經完全吸附。



圖十八、椰殼活性碳 AC-3 脫色結果

(五)、銀合歡活性碳 AC-4 吸附脫色結果

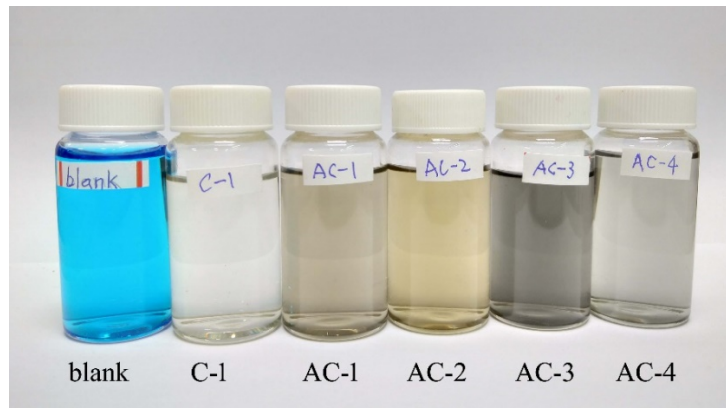
由銀合歡活性碳 AC-4 脫色實驗中，與甲基藍溶液混合攪拌結果如圖十九所示，發現由二氧化碳氣體高溫活化的銀合歡活性炭 AC-4，在攪拌 2 分鐘時甲基藍便已經完全吸附。



圖十九、銀合歡活性碳 AC-4 脫色結果

3、甲基藍色素釋出實驗結果

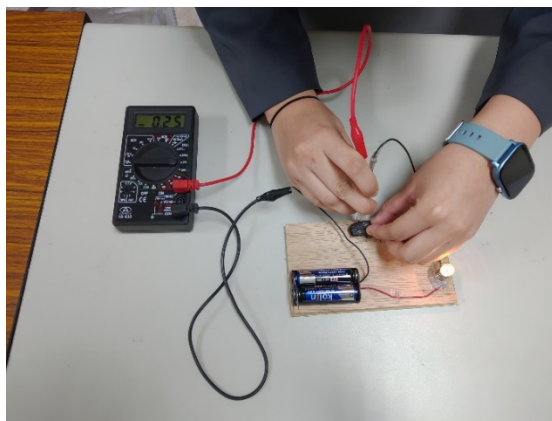
如前述實驗過程，取各碳樣品 1 公克完全吸附甲基藍色素後，再加入 50 毫升清水，以 35W 功率震盪 300 秒(5 分鐘)後用濾紙過濾，濾液置於 25 毫升樣品瓶中，結果如圖二十所示。發現甲基藍色素一旦被碳所吸附後，不論是木碳或活性炭皆無法在 35 瓦超音波震盪 5 分鐘下釋出甲基藍色素，顯然吸附性極強。。



圖二十、各碳樣品甲基藍色素釋出實驗結果

4、導電性實驗結果

第一部分測試，將各碳樣品在自製固體碳導電性測試裝置進行導電性實驗如圖二十一，發現 C-1、AC-1、AC-2 與 AC-3 經測試，三用電錶皆顯示無電流通過，燈泡呈現熄滅狀態，二氧化碳高溫活化的 AC-4 銀合歡活性碳與乾電池取下的石墨棒導電性相當，數值紀錄如下表二。

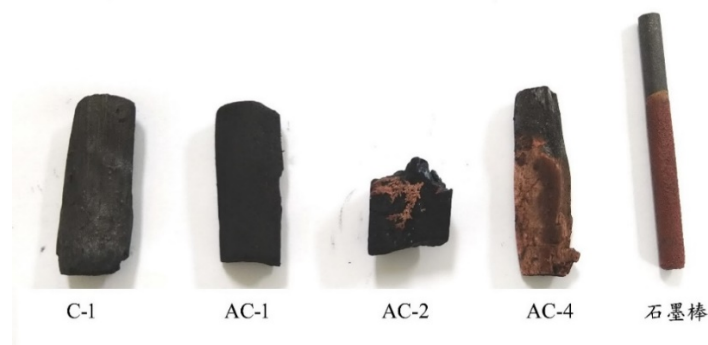


圖二十一、各碳樣品在自製固體碳導電性測試裝置進行導電性實驗

樣品 項目	空白	石墨棒	C-1	AC-1	AC-2	AC-3	AC-4
電流(A)	0.26	0.26	-	-	-	-	0.25

表二、各碳樣品固體導電性測試電流值

第二部導電性實驗，由於將各碳樣品置入飽和硫酸銅溶液中電解，C-1 銀合歡木碳，AC-1、AC-2、AC-4 銀合歡活性碳及石墨棒，在裝滿飽和硫酸銅水溶液的 100 毫升燒杯中，石墨棒當陽極，選取各碳樣品當陰極，進行電解一分鐘，結果如圖二十二所示。當電解開始後，C-1 銀合歡木碳與 AC-1 銀合歡活性碳沒有金屬銅還原附著，陽極石墨棒也沒有氧氣產生。AC-4 銀合歡活性碳電解後，表面皆附著還原的金屬銅，陽極石墨棒產生大量氧氣。AC-2 銀合歡活性碳電解後，表面出現類似樹枝狀的金屬銅附著，陽極石墨棒產生氧氣，但是產生速率不若 AC-4。石墨棒情形類似 AC-4，做為比較參考。由於商購的 AC-3 椰殼活性碳為細小顆粒狀，無法夾上電極，所以無法進行電解比較。



圖二十二、各碳樣品導電性實驗結果

5、醋酸吸附實驗結果

第一部分實驗，使用電磁攪拌器攪拌，進行短時間醋酸吸附實驗。結果如下表三。

時間(分) 樣品(pH)	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40
C-1	2.8	2.9	3.1	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2
AC-1	2.8	2.9	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3
AC-2	2.8	4.1	4.4	4.2	4.4	4.5	4.5	4.3	4.3	4.3
AC-3	2.8	3.0	3.1	3.2	3.2	3.5	3.3	3.3	3.3	3.3
AC-4	2.8	3.3	3.6	3.5	3.5	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5

表三、短時間醋酸吸附實驗結果

第二部分實驗，靜置擴散吸附，每隔一小時測量 pH 值，連續紀錄 12 小時觀察 pH 值變化如表四。

時間(小時) 樣品(pH)	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12
C-1	2.8	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.2
AC-1	2.8	3.1	3.3	3.5	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
AC-2	2.8	4.1	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.4	4.4	4.4
AC-3	2.8	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.5	3.5
AC-4	2.8	3.4	3.5	3.4	3.5	3.5	3.6	3.5	3.5	3.5

表四、長時間醋酸吸附實驗結果

第三部分實驗，直接混合靜置 12 小時擴散吸附，然後以濾紙過濾，將濾液以 pH 計測量 pH 值並記錄比較如表五。

樣品 項目	醋酸溶液	C-1	AC-1	AC-2	AC-3	AC-4
pH 值	2.8	3.4	3.9	4.8	3.7	3.7

表五、各碳樣品醋酸吸附實驗 12 小時後之 pH 值

陸、討論

1、各種碳樣品吸附脫色實驗討論

C-1 銀合歡木碳，在 25 分鐘時完全達到脫色效果，時間比其他碳樣品長，推論在碳化過程中也有形成部分小孔隙，只是沒有活化後得程度高，這也就是一般木碳製品原來所具有的除色脫臭效果。

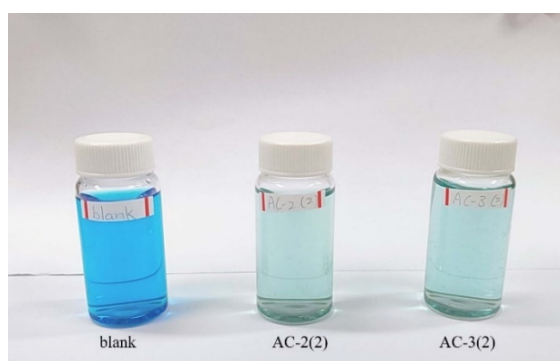
AC-1 具有吸附甲基藍的效果，在攪拌 2 分鐘後似乎達到吸附極限，不再吸色。雖然吸附速率比銀合歡木炭 C-1 好，但是到達 10 分鐘仍呈現淡藍色，表示未能將甲基藍完全吸附，吸附速率快但吸附量無顯著增加。

AC-2 銀合歡活性碳，具有更好吸附甲基藍的效果，在攪拌 5 分鐘時甲基藍便已經完全吸附，結果比 C-1 與 AC-1 更佳，最後濾液成淡棕色，推論為製作過程中的少量焦油殘留，因為實測甲基藍對酸鹼並無明顯變色反應。

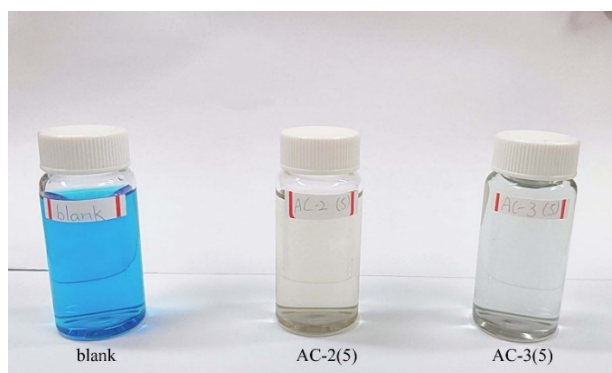
AC-3 椰殼活性碳，其吸附甲基藍的效果與本篇自製的銀合歡活性碳 AC-2 相當，都比 C-1 與 AC-1 更佳，且濾液呈無色狀態。

二氧化碳氣體高溫活化的銀合歡活性炭 AC-4 在脫色實驗中，與甲基藍溶液在攪拌 2 分鐘時甲基藍便已經完全吸附，其吸附甲基藍的效果極其優異，效果勝過前述各碳，且濾液呈無色狀態，表示其製作過程的焦油與其他雜質均能完全去除。

由組合圖二十三、二十四可以知道，自製銀合歡活性碳 AC-2 與市售椰殼活性碳 AC-3，吸附甲基藍效果相同。在 2 分鐘的圖二十三可發現 AC-2 比 AC-3 顏色更淺一些，到達 5 分鐘時皆呈現無色如圖二十四，所以自製銀合歡活性碳 AC-2 的吸附效果可與市售椰殼活性碳 AC-3 相比毫不遜色，顯見本篇自製銀合歡活性碳 AC-2 也具有商業價值。



圖二十三、活性炭 AC-2 與 AC-3 吸附甲基藍 2 分鐘結果



圖二十四、活性炭 AC-2 與 AC-3 吸附甲基藍 5 分鐘結果

從各碳樣品吸附甲基藍達到完全吸附脫色時間來看，如表六，可以比較出各碳間的吸附速率比(以吸附至無色的時間倒數表示)，結果顯示高科大製備的銀合歡活性炭 AC-4 約為其他活性炭的 2.5 倍，木炭的 12.5 倍。自製銀合歡活性炭 AC-1 與 AC-2 與椰殼活性炭 AC-3 相等是銀合歡木炭 AC-4 的 5 倍。由於 AC-1 因未能完全達到脫色，所以取其 2 分鐘時與 AC-2 及 AC-3 顏色相同來做比較，顯然其中表示 AC-1 的吸附速率佳，但是吸附容量是不足的。

樣品 項目	C-1	AC-1	AC-2	AC-3	AC-4
完全吸附時間(分鐘)	25	5	5	5	2
吸附速率比	1	5	5	5	12.5

表六、各碳樣品吸附甲基藍速率比

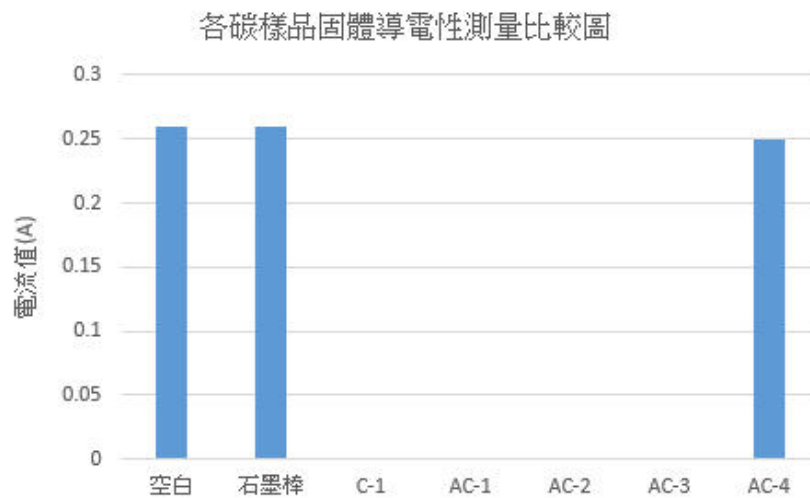
2、各種碳樣品甲基藍色素釋出實驗討論

如前述實驗過程，發現甲基藍色素一旦被碳所吸附後，不論是木炭或活性炭皆無法在 35 瓦超音波震盪 5 分鐘下釋出，顯然吸附性極強如圖二十。對於相關報導生物炭於田間具有保留肥料減少流失的效果⁴，至於被吸附的肥料分子如何被植物再吸收，這過程必須觀察再研究，但是碳對吸附甲基藍色素，在本實驗中呈現是不可逆的。另外發現，由於經過超音波震盪，各碳表面被局部破壞產生許多細微粉塵，甚至穿過濾紙，使得濾液殘留呈灰黑色，此現象活性炭比木炭來的明顯，也可證明活性炭表面被活化後，表面細微孔隙組織密佈

易被超音波震盪破壞，但是甲基藍色素還是被吸附沒有釋出。

3、各種炭樣品導電性實驗討論

第一部分測試，將各碳樣品在自製固體碳導電性測試裝置進行導電性實驗，發現 C-1、AC-1、AC-2 與 AC-3 經測試，三用電錶皆顯示無電流通過，燈泡呈現熄滅狀態，利用二氧化碳高溫活化的 AC-4 銀合歡活性碳與乾電池取下的石墨棒導電性相當，比較如圖二十五。

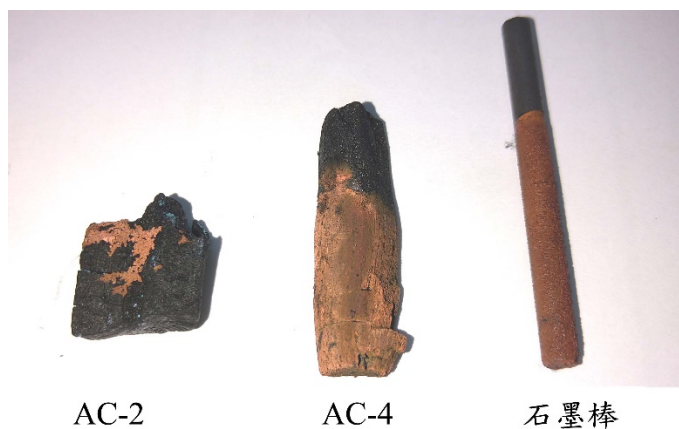


圖二十五、各碳樣品固體導電性比較

由於此結果呈現兩極化現象，所以我們再利用加大電壓到 9 伏特，將各碳當陰極在飽和硫酸銅溶液中進行電鍍，進行第二部分導電性實驗來探討。

第二部分電解電鍍實驗結果顯示 C-1 木炭與 AC-1 活性炭不具有導電性，AC-2 與 AC-4 具有導電性，但是 AC-2 呈現出局部導電性，第一部分測試時可能測試到無共軛雙鍵生成部分，結果無法導電。反之 AC-4 的導電性極佳，與乾電池取下的石墨棒呈現相同結果。活性炭在熱裂解時，由於碳-碳鍵與碳-氫鍵斷鍵重組，產生共軛雙鍵的情形，增加了導電性，也產生甲烷與氫氣的釋出，顯然活性炭導電性強弱與其製作過程方法有相當關連性。

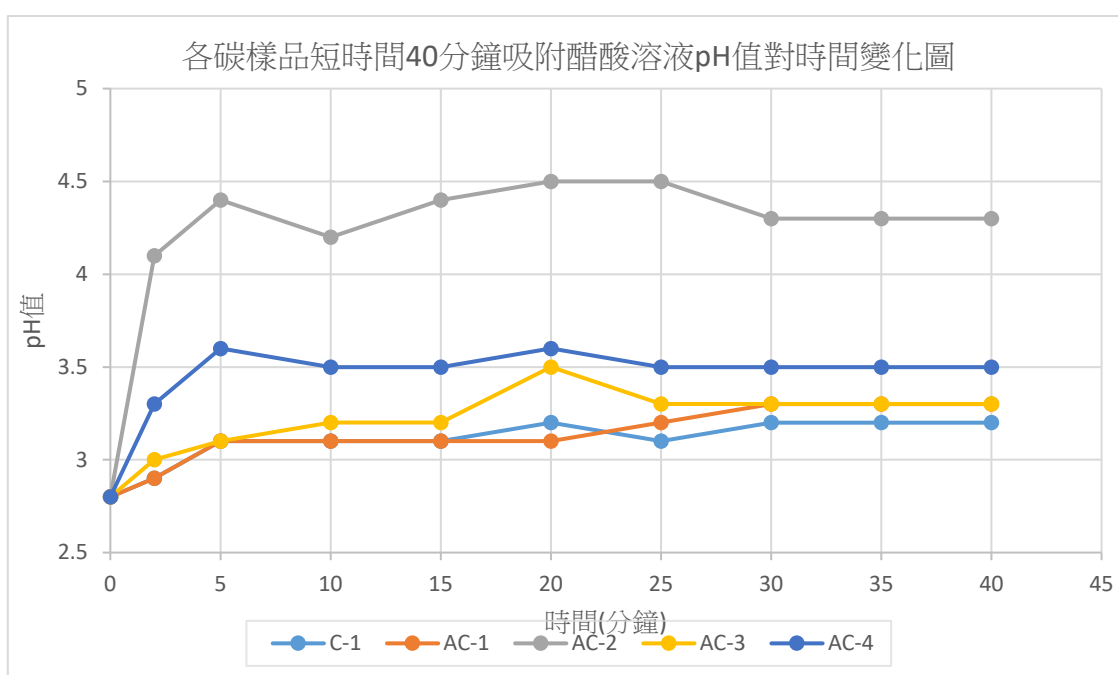
由於 AC-2 表面出現類似樹枝狀的金屬銅附著如圖二十六，可以定性觀察出其共軛雙鍵的分佈情形，而 AC-4 則是全面性的分佈。石墨粉的導電性在工業上有許多應用，顯然銀合歡活性碳在導電墨水材料上也頗具發展潛力。



圖二十六、銀合歡 AC-2、AC-4 與石墨棒導電結果

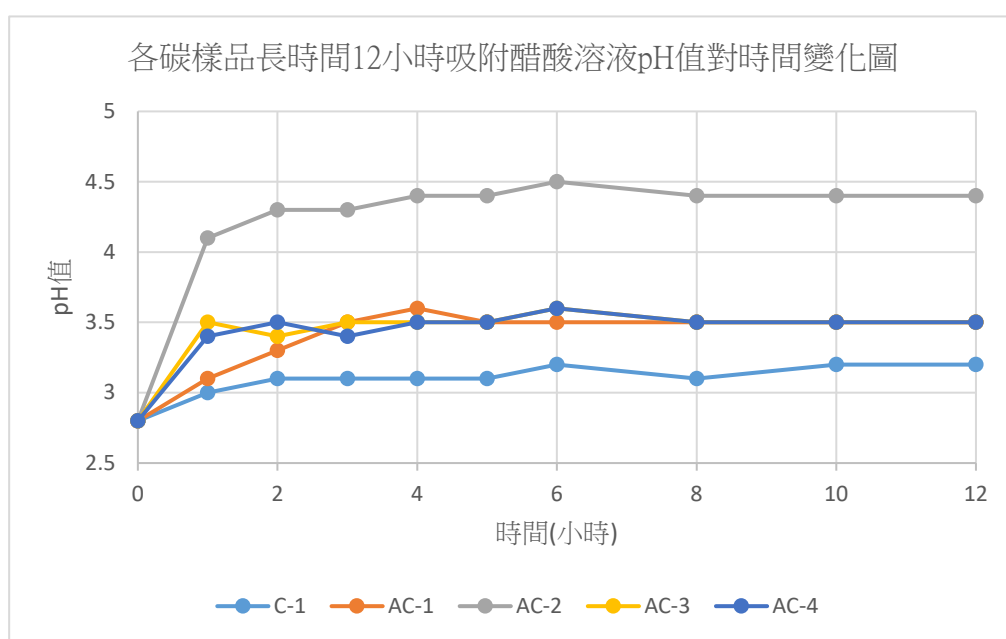
4、各種碳樣品醋酸吸附討論

第一部分實驗，使用電磁攪拌器攪拌，進行短時間醋酸吸附實驗。由數據分析作圖，各碳樣品的 pH 值對時間變化趨勢如圖二十七。各碳樣品在初始階段，經由攪動皆快速吸收醋酸分子導致 pH 值急速上升，經過 30 分鐘時皆呈現平衡狀態，最後結果，各碳樣品 40 分鐘短時間內吸附醋酸效能，與第三部分 12 小時長時間靜置擴散吸附結果相似。



圖二十七、各碳樣品短時間 40 分鐘吸附醋酸溶液 pH 值對時間變化圖

第二部分實驗，靜置擴散吸附，每隔一小時測量 pH 值，連續紀錄 12 小時觀察 pH 值變化如表四。由數據分析作圖，各碳樣品的 pH 值對時間變化趨勢如圖二十八。各碳樣品在靜置前 2 小時為主要吸收階段，經過 6 小時後呈現平衡狀態，最後各碳樣品吸附醋酸與 12 小時長時間靜置擴散吸附結果相似。



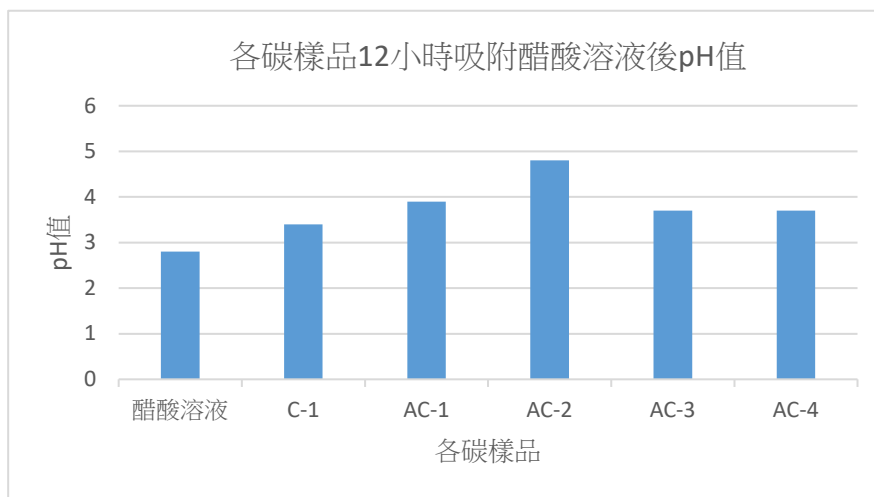
圖二十八、各碳樣品長時間 12 小時吸附醋酸溶液 pH 值對時間變化圖

本實驗採取靜置自然擴散吸附方式實驗，是模擬將生物碳撒入受污染酸化水池水塘改善其酸鹼值，酸來源大部分為生物代謝的有機酸，醋酸是弱酸，在水中分子態與解離狀態會保持平衡，所以本實驗用醋酸做為酸源，用各種碳樣品來吸附醋酸分子提高 pH 值，降低水溶液酸度改善酸化的水質。

第三部分實驗，直接混合 12 小時採靜置擴散吸，然後以濾紙過濾，將濾液以 pH 計測量 pH 值並記錄比較，與第二部分實驗都是長時間測量，實驗過程中，皆以 PE 膜封住燒杯防止水分蒸發影響酸鹼值。

由數據分析如圖二十九，測量的 pH 值算出氫離子濃度與醋酸濃度如表七¹⁴，醋酸水溶液經過一夜 12 小時被碳吸收後，因醋酸分子被碳吸收導致濃度下降，因平衡所致氫離子濃度

也下降而 pH 值上升，經計算後吸收率都在九成以上，自製的銀合歡活性炭 AC-1 與 AC-2 吸收率達 99%，此數據特別高，懷疑是因為使用大量強鹼活化，是否有殘留強鹼導致有酸鹼中和現象產生。但不論如何，其他如銀合歡木炭 C-1(93.2%)及 AC-3 椰殼炭及 AC-4 銀合歡活性炭(98.2%)，也都有極其優異的酸分子吸附能力，這對環境污染而酸化的土壤與湖泊具有天然的中和能力，而讓碳回歸於大自然更是碳保存的最佳方式。

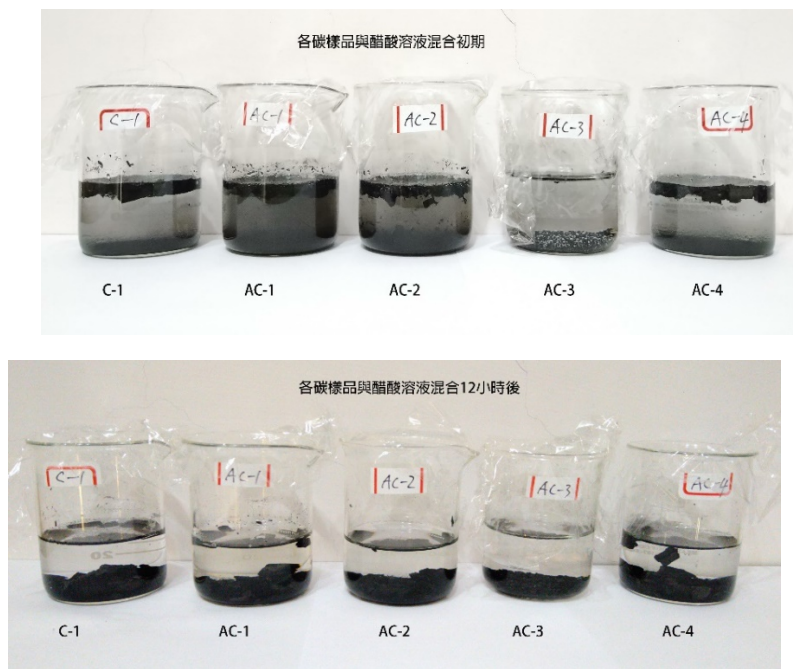


圖二十九、各碳樣品 12 小時吸附醋酸溶液後 pH 值

項目 \ 樣品	各碳樣品					
	醋酸溶液	C-1	AC-1	AC-2	AC-3	AC-4
pH 值	2.8	3.4	3.9	4.8	3.7	3.7
氫離子 濃度(M)	1.58×10^{-3}	3.98×10^{-4}	1.26×10^{-4}	1.58×10^{-5}	2.00×10^{-4}	2.00×10^{-4}
醋酸 濃度(M)	0.14	9.50×10^{-3}	1.04×10^{-3}	3.01×10^{-5}	2.50×10^{-3}	2.50×10^{-3}
醋酸分子 吸收率%		93.2	99.3	99.9	98.2	98.2

表七、各碳樣品醋酸吸收率數據

此外，從碳開始與醋酸溶液混合經過 12 小時後發現，原本浮在液面上的碳幾乎都沉到燒杯底部如圖三十，表示各碳皆具有相當的吸水性，吸水後密度變大沉入水中。一旦銀合歡碳回歸大地，不只將對於淨化土壤水源有卓越的貢獻，對於農田土壤也增加其保水性，避免良田沙漠化，作為抵抗氣候變遷的一個緩衝。



圖三十、上圖為各碳樣品與醋酸溶液混合初期，
下圖為各碳樣品與醋酸溶液混合 12 小時後情形

5、自製銀合歡活性碳製作方法討論

本篇的實驗發現，自製三種銀合歡活性碳在甲基藍色素吸附脫色、甲基藍色素釋出、導電性與改善酸性汙染水質，其表現能力與市售椰殼活性碳相當，實驗室製的銀合歡活性碳性質更是超越市售椰殼活性碳，綜合比較發現這些碳樣品性質排行，AC-4 > AC-2 = AC-3 > AC-1 > C-1。

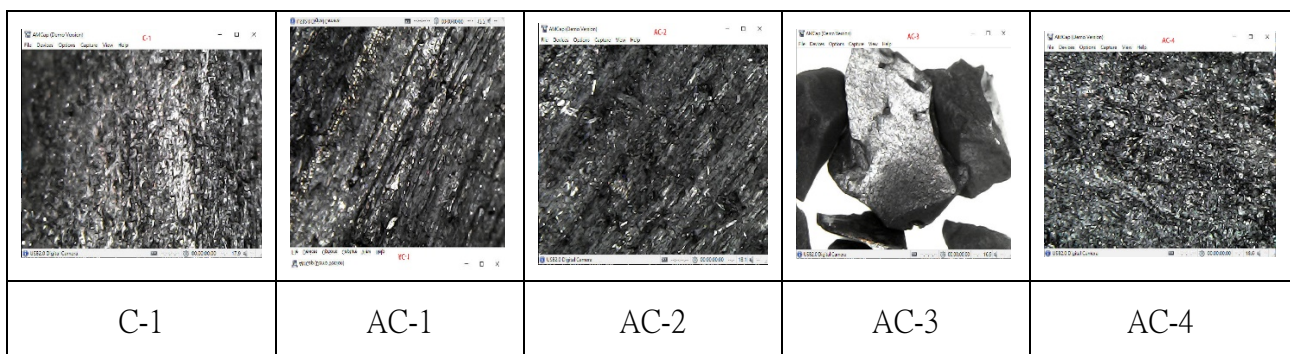
由於燒製方法不同，發現由高科大利用二氧化碳氣體高溫活化的 AC-4 性質最優，且全

程在流動的氫氣下製得，完整地將焦油及木醋液帶離活性碳本體，所以實驗後其過濾液透明乾淨。由 AC-1 與 AC-2 中發現，這兩者自製的銀合歡活性碳實驗後其過濾液呈現淡棕色，AC-2 又比 AC-1 微濃一些，應該是由 NaOH 水溶液浸漬活化比固體 KOH 接觸活化更容易將焦油溶解帶離，但是性質上 AC-2 優於 AC-1 的結果，證明直接固體 KOH 接觸活化比 NaOH 水溶液浸漬活化，直接強鹼侵蝕製作的活性碳性質更好。這些結果也反應在銀合歡碳活化成銀合歡活性碳的製成產率上，如表八，產率愈低反應出的是愈高品質的產品，產率與品質變成是魚與熊掌的關係，將來如果大量製作就必需在成本與品質求得一個平衡點。

項目 \ 銀合歡活性碳	AC-1	AC-2	AC-4
碳製成活性碳產率%	83.3	73.3	21.6
活性碳綜合性質	一般	佳	極佳

表八、AC-1、AC-2 與 AC-4 由碳活化成活性碳產率與性質關係

顯微鏡觀察結果如圖三十一，雖然要觀察到表面孔隙必需使用電子顯微鏡，但是使用數位 LED 顯微鏡於電腦螢幕下直接觀察各碳樣品表面，仍然可以定性觀察到一些細節，發現 C-1、AC-1、AC-2 仍能夠觀察到木質的紋理，而 AC-3 的表面光滑，AC-4 表面質地均勻，已經觀察不到木質的紋理，表示其表面活化程度高，高於 AC-1 與 AC-2，至於每個碳樣品表面都呈現部分光澤，表示各碳皆有部分石墨化。



圖三十一、各碳樣品於數位 LED 顯微鏡下觀察結果

柒、結 論

銀合歡最早可以追述到西元 1654 年由荷蘭人引進台灣¹¹，過去曾經把他當造林樹種，但是成效不彰而放棄，然而它卻散佈到台灣各地，據地為王，現在成為澎湖與恆春半島墾丁地區最大的外來樹種，林務主管單位欲去之而後快。

參酌國內外論文研究，得知學術機構只有少數研究，有將銀合歡木屑當成柳杉活性碳的活化劑，也有利用微波活化銀合歡製成活性碳的做法，然而本篇卻是提供了最簡單方式將銀合歡製成木碳(生物碳)，再進一步製成活性碳的方法，而且製成的活性碳與市售椰殼活性碳，在色素吸附、導電性、減緩水質酸化等性質比較毫不遜色，至於單純地將銀合歡製成生物碳，在上述實驗測試也有優良的表現，然而高雄科技大學化工材料系仿生實驗室的專利燒製活性碳方法，更將澎湖銀合歡製成極致性能的活性碳，讓大家了解到澎湖的銀合歡可能不是想像中的一無是處，而是值得開發的項目，銀合歡雖然不像同樣是外來植物的天人菊與仙人掌具有討喜的外表與美麗的花朵，但是銀合歡卻像是一塊等待琢磨的璞玉，期待它能發揮他的環保潛力。

展望未來，澎湖自古以來就有窯業，所以如果能利用閒置窯場或新製土窯，利用砍下的銀合歡當引火燃料悶燒製作大量銀合歡生物碳，測試改良燒法就可以製作出備長碳、活性碳等生活實用商品，在環保層面銀合歡碳商品實現了碳保存的綠色環保效益，可以將它回歸大地改良農地水塘，也可以經由文創包裝成特色伴手禮，擴大應用層面，也能為澎湖的觀光經濟發展貢獻心力，兩全其美何樂而不為!

捌、參考資料及其他

1. 王志強 (2018)・銀合歡的哀與愁、功與過—銀合歡留存帶在澎湖地區造林的嘗試・林業研究專訊 Vol.25 No.5。
2. E M Mistar, S Ahmad, A Muslim, T Alfatah and M D Supardan.(2018).Preparation and

characterization of a high surface area of activated carbon from *Bambusa vulgaris*—Effect of NaOH activation and pyrolysis temperature, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 334, 012051.

3. 李翎 (2017) • 二氧化碳活化法製備山毛櫸活性碳製成之研究(未出版的碩士論文) • 高雄：國立高雄應用科技大學化學工程與材料工程系。
4. 【生物炭】碳鎖 | 農業廢棄物再利用，我們的島 第856集(2016年5月9日) • 公共電視 • 取自<https://www.youtube.com/watch?v=hJjBNqT745E>。
5. 蔡平賜、吳正毅 (2018.08.15.) • 活性碳製備方法 • 中華民國專利公報，案號 107128503。
6. Zoha Heidarinejad., Mohammad Hadi Dehghani., Mohsen Heidari., Gholamali Javedan., Imran Ali6., Mika Sillanpaa.,(2020).Methods for preparation and activation of activated carbon: a review, *Environmental Chemistry Letters*, 18 : 393 – 415.
7. Andre L. Cazettaa, Alexandro M.M. Vargasa, Eurica M. Nogamia, Marcos H. Kunitaa, Marcos R. Guilhermea, Alessandro C. Martinsa, Tais L. Silva b, Juliana C.G. Moraesa, Vitor C. Almeidaa,* (2011). NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell:Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption, *Chemical Engineering Journal*, 174, 117-125.
8. 黃國雄(2012) • 墾丁地區銀合歡伐除材燒製木炭與產品開發 • 林業研究專訊 Vol.19 No.3。
9. 陳榮芳，王相華，王慶裕 • 台灣不同季節下嘉磷塞注入銀合歡(*Leucaena leucocephala*)後之消褪變化 • 台灣林業科學 23(4) : 287-99。
10. 彭世賢，王相華，郭耀綸 • 恆春半島海岸林銀合歡入侵之防治方法 • 台灣林業科學 34(2) : 99-112。
11. 黃國雄(2009) • 評估銀合歡廢棄材燒製木炭之碳保留效益 • 林業研究專訊 Vol.16 No.5。
12. 趙政霖 (2020-02-12) • 白沙國中師生將「銀合歡」便成銀金 • 澎湖日報，4版。
13. 呂國禎 (2021) • 台灣人一年吃掉百億元菇類，背後竟有永續、食安疑慮 • 天下 Web

only • 取自<https://www.cw.com.tw/article/5107274>。

14. Skoog, West, Holler. (1988). *Fundamentals of Analytical Chemistry, 5ed.* Cengage Learning。
15. 翟思湧，黃清吟，熊如珍，李銘鐘(1982) • 銀合歡層壓材之製造及其供作家具用料之可行性 • 台灣省林業試驗所試驗報告 第372號。

【評語】 052605

1. 本研究探討澎湖銀合歡活性碳製備將外來種銀合歡，製成活性碳達到資源效益的應用性研究，研究主題明確為可用科學方法的檢驗，且具有鄉土關聯性。
2. 以甲基藍之脫色實驗、導電性測試及醋酸吸附實驗，探討產品與市售活性碳之功能差異。相關研究已有，但文獻收集尚不完整。
3. 以稀釋的甲基藍溶液及醋酸溶液實驗，建議應計算溶液濃度，作為量化分析其吸附能力之基礎，過去吸附研究已發展具體理論模式，所以應能計算吸附容量進而結果比較分析，更能明確呈現研究結果。
4. 在數據分析上目前根據原始數據的動力學分析，直接說明結果，在實證結論上稍嫌薄弱，建議以吸附模式比較說明，C-1， AC-1~AC-5 在去除率於不同濃度之間的顯著性判別。
5. 報告結論應能呈現數據量化分析的比較，方能具體呈現科學研究的方法與成果分析。

作品簡報

作品名稱：澎湖銀合歡活性碳製備與性質之探討

組 別：高級中等學校組

科 別：環境學科

壹、前言

澎湖島位於台灣海峽中央，東北季風強烈鹽分多，植物難生長，為了解決先民的薪柴需要，大量引進擴散性與生長力強具有排他性的銀合歡。時至今日，澎湖滿山遍野的銀合歡，卻成為難以解決的環境生態難題。

林務局的文獻上，為了解決銀合歡氾濫，方法有砍除、農藥抑制、樹幹環切、遮蔽等方式都有相關研究。

而砍下的銀合歡也有做成木炭、家具、文創商品、香菇太空包及貓砂等應用。

本篇的研究發想，是將銀合歡砍除製成經濟價值高及應用性更廣的活性碳，活性碳有除色脫臭、淨化水質、改良土壤…等應用。市場上最多的是印尼椰殼碳，國內有菱殼碳、備長碳、稻殼碳，這些例子都是植物性廢棄物轉化成有價值的生物碳或活性碳，達到解決廢棄物與增加經濟效益，兩全其美的解決方式。所以本篇利用困擾澎湖的銀合歡製成生物探碳與活性碳兩種，跟市售椰殼碳做比較，來了解其性質優劣與實用的可行性。



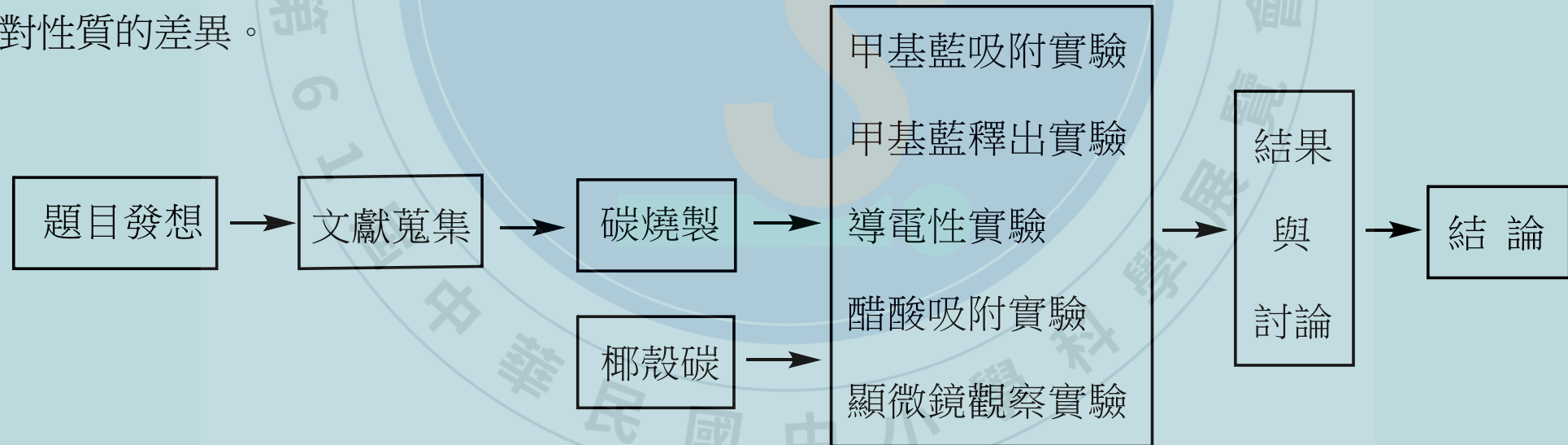
早期澎湖造林錯誤，引進銀合歡，現進行剷除作業。(記者劉禹慶攝)

圖一、早期澎湖造林錯誤，引進銀合歡，現進行剷除作業 (自由時報，2015/12/08)

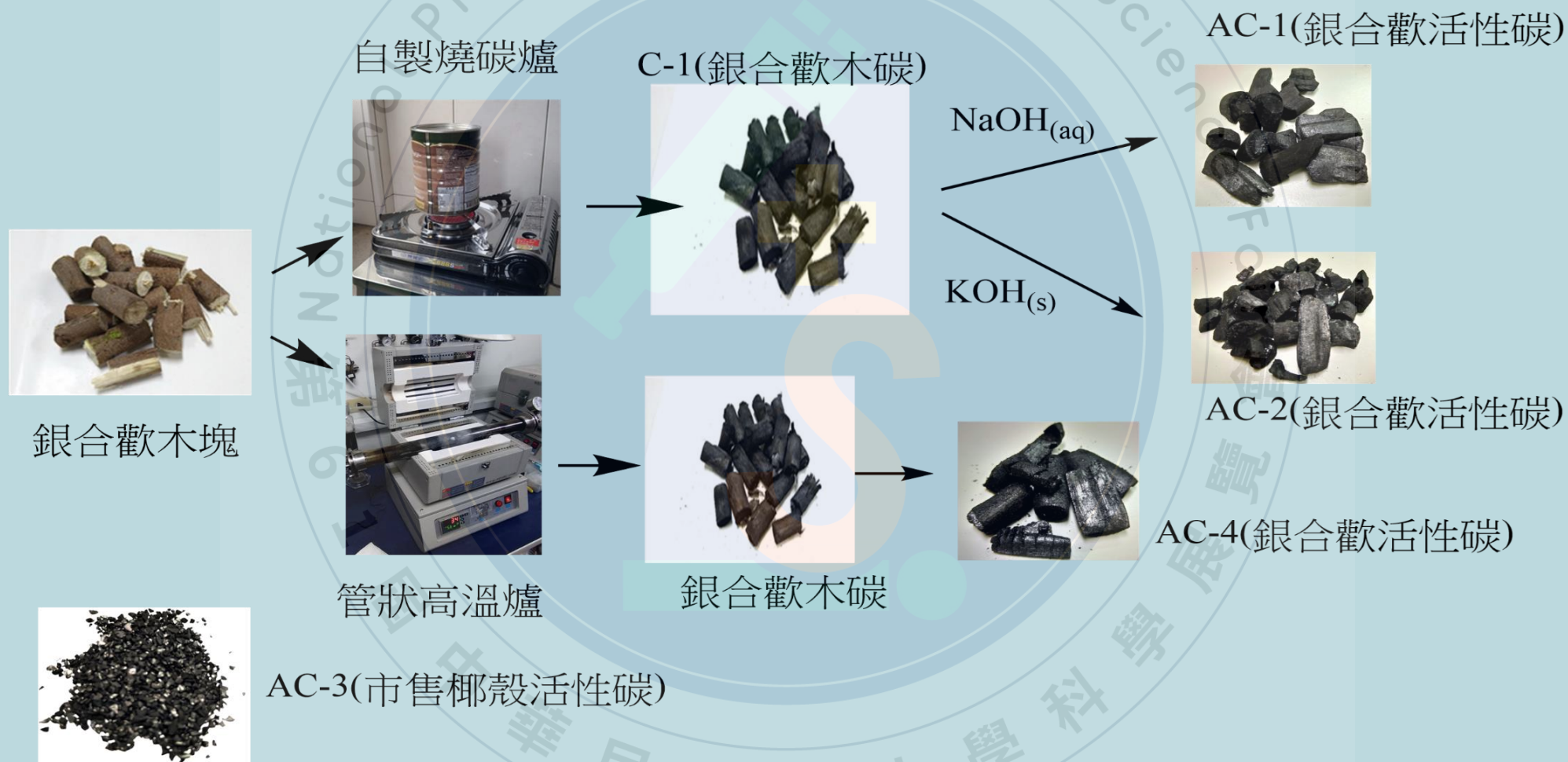
貳、研究過程及方法

確定研究的框架後，開始蒐集有關銀合歡與活性碳兩大主題的相關訊息，來源包含新聞報導及林務局的出版品。在學術網路的網域下搜尋活性碳的各種不同製造方法及性質實驗之文獻與資料，再由論文出版社下載相關的論文，數據資料則來自於分析化學書籍與論文。

本篇先自製一個燒碳爐，將銀合歡燒製成木炭(生物碳)，再將木炭燒製成活性碳，以上自製各種碳樣品作為實驗組，商購的椰殼活性碳作為對照組，進行各項性質的實驗比較，實驗包括甲基藍色素吸附脫色、甲基藍色素釋出、導電性與改善酸性汙染水質等，及燒製方法對性質的差異。



1、銀合歡活性碳燒製



2、甲基藍吸附實驗

取各碳樣品 1 公克，與甲基藍水溶液 50 毫升混合，使用電磁攪拌器攪拌，測量不同時間下攪拌，進行吸附脫色的比較。



圖二、利用電磁攪拌器攪拌進行吸附脫色

3、甲基藍釋出實驗

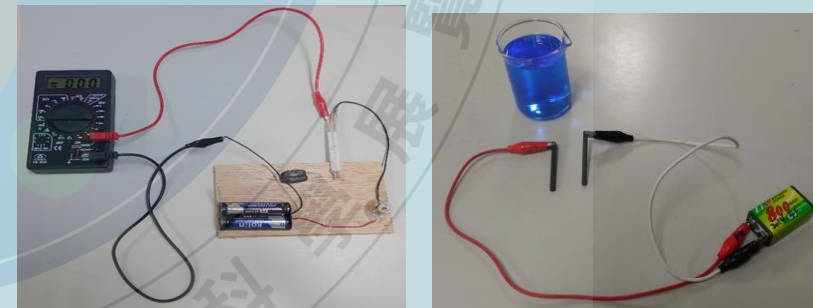
取各碳樣品 1 公克完全吸附甲基藍後，取出後再加入 50 毫升清水，置於超音波震盪器中震盪 300 秒(5 分鐘)後用濾紙過濾，進行甲基藍釋出的比較。



圖三、超音波震盪器進行甲基藍色素釋出實驗

4、導電性實驗

第一部分，利用自製固體碳導電性測試裝置，測試棒接觸碳樣品觀察燈泡亮度及讀取電流值。第二部分，置入飽和硫酸銅水溶液中電解，以石墨棒當陽極，各碳樣品為陰極，電解一分鐘，觀察各碳導電性與石墨棒做比較。



圖四、圖左為固體碳導電性測試裝置，圖右為碳在硫酸銅水溶液中電解測試裝置

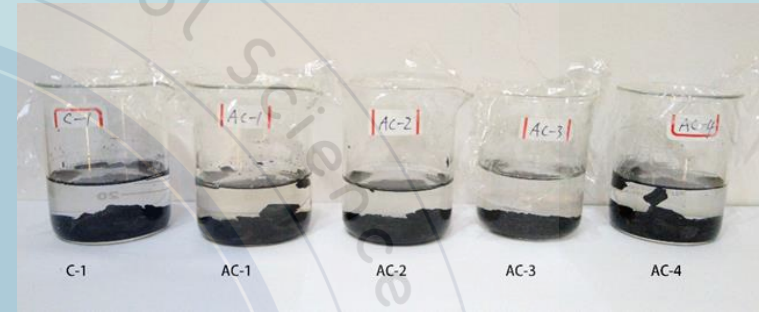
5、醋酸吸附實驗

第一部分，取各碳樣品 1 公克，與稀釋的醋酸水溶液 50 毫升混合置於 100 毫升燒杯，使用電磁攪拌器攪拌，進行短時間醋酸吸附實驗。第二部分，裝置如第一部分實驗採取靜置擴散吸附，每隔一小時測量 pH 值，連續紀錄 12 小時觀察 pH 值變化。第三部

分，直接採靜置混合 12 小時擴散吸收，然後以濾紙過濾，將濾液測量 pH 值並記錄比較。

6、顯微鏡觀察

將各種碳樣品置於數位 LED 顯微鏡下，於電腦螢幕下直接觀察各碳樣品表面，了解各碳樣品表面碳化及活化後的差異，及對各種性質的關聯性。



圖五、各碳樣品醋酸吸附實驗



圖六、利用數位 LED 顯微鏡觀察各碳樣品表面

參、研究結果與討論

1、甲基藍吸附結果與討論(比色法)

(一) C-1 銀合歡木碳，在 25 分鐘時完全達到脫色效

果，時間比其他碳樣品都要長，證明在碳化過程中已部分活化，這也就是一般木碳原來所具有的除色脫臭效果。

(二) AC-1 銀合歡活性碳具有吸附甲基藍的效果，在攪拌 2 分鐘後有吸附效果，但似乎達到吸附極限，不再吸色。

(三) AC-2 銀合歡活性碳，在攪拌 5 分鐘時甲基藍便已經完全吸附，結果比 C-1 與 AC-1 更佳，但最後濾液成淡棕色，推論為製作過程中的少量焦油殘留。



圖七、C-1 銀合歡木碳甲基藍水溶液吸附脫色實驗



圖八、AC-1 銀合歡活性碳甲基藍水溶液吸附脫色實驗



圖九、AC-2 銀合歡活性碳甲基藍水溶液吸附脫色實驗

(四) AC-3 椰殼活性碳，其吸附甲基藍的效果與本篇自製的銀合歡活性碳 AC-2 相當，都比 C-1 與 AC-1 更佳，且濾液呈無色狀態



圖十、AC-3 椰殼歡活性碳甲基藍水溶液吸附脫色實驗

(五) AC-4 銀合歡活性碳，脫色實驗中攪拌 2 分鐘時甲基藍便已經完全吸附，其吸附甲基藍的效果極其優異，效果勝過前述各碳樣品，且濾液呈無色狀態，表示其製作過程的焦油與其他雜質均能完全去除。



圖十一、AC-4 銀合歡活性碳甲基藍水溶液吸附脫色實驗

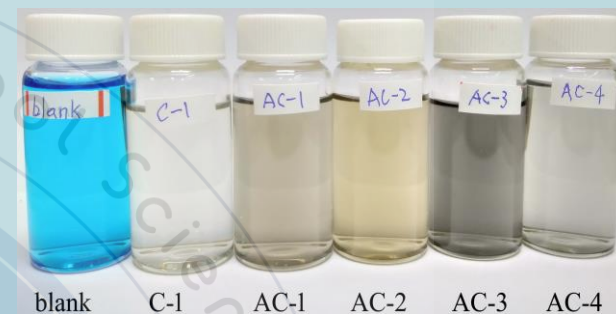
(六) 吸附脫色實驗結論，表一為各碳間的吸附速率比，結果顯示活性碳 AC-4 約為其他活性碳的 2.5 倍，木碳的 12.5 倍。活性碳 AC-1、AC-2 與椰殼活性碳 AC-3 相等，是銀合歡木碳 C-1 的 5 倍。AC-1 未能完全達到脫色，顯示 AC-1 的吸附速率佳，但是吸附容量是不足的。

樣品	C-1	AC-1	AC-2	AC-3	AC-4
項目					
完全吸附時間(分鐘)	25	5	5	5	2
吸附速率比	1	5	5	5	12.5

表一、各碳間的吸附速率比

2、甲基藍釋出結果與討論

不論各碳樣品皆無法在 35 瓦超音波震盪 5 分鐘下釋出已被吸收的甲基藍，證明甲基藍吸附是不可逆的。活性碳樣品的濾液經過濾紙仍呈灰黑色，證明活性碳表面被活化後生成極細微孔隙組織，組織脆弱不耐超音波震盪碎成極細微之碳粉末，AC-1 與 AC-2 的淡黃色推論為焦油殘留。



圖十二、各碳樣品甲基藍色素釋出實驗結果

3、導電性結果與討論

固體導電性測量，由通過之電流值，AC-4 的導電性極佳(0.25A)，與石墨棒幾乎呈現相同結果(0.26A)。其餘碳樣品無電流通過。但電解實驗中 AC-2 表面出現類似樹枝狀的金屬銅附著，可以定性推論出其共軛雙鍵的分佈情形，AC-4 則是金屬銅全面性分佈，反應出其極佳導電性。活性碳在熱裂解時，由於碳-碳鍵與碳-氫鍵斷鍵重組，產生共軛雙鍵的情形，增加了導電性，顯然活性碳導電性強弱與其製作過程方法有相當關連性。



圖十三、各碳樣品導電性實驗電解電鍍銅結果

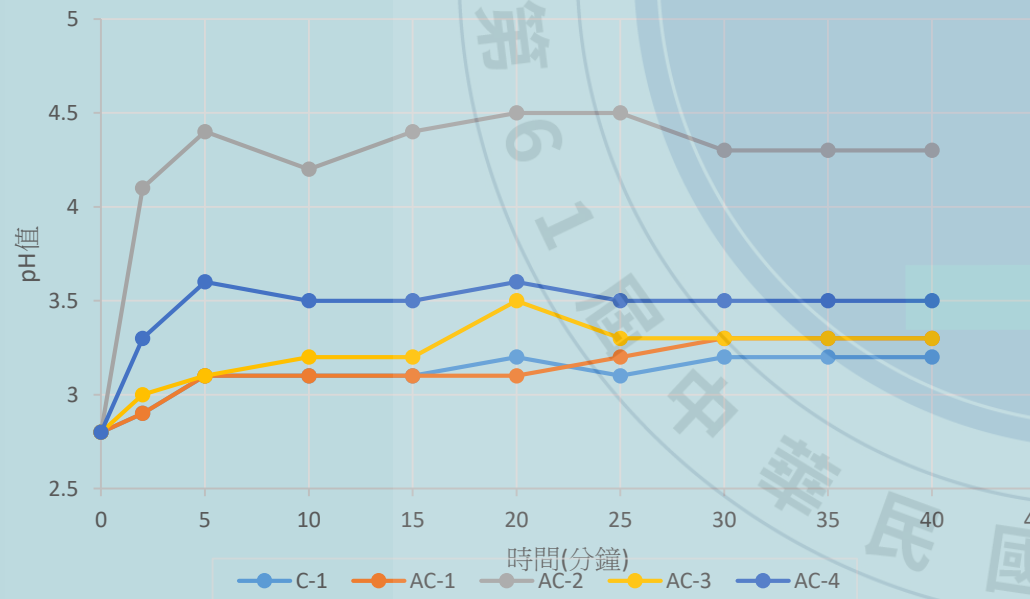
4、醋酸吸附結果與討論

不論是短時間攪拌吸收，或是長時間12小時靜置吸收實驗，醋酸分子經碳吸附後導致濃度下降，因平衡導致氫離子濃度也下降pH值上升，計算後吸收率都在九成以上，吸附效果十分優異。

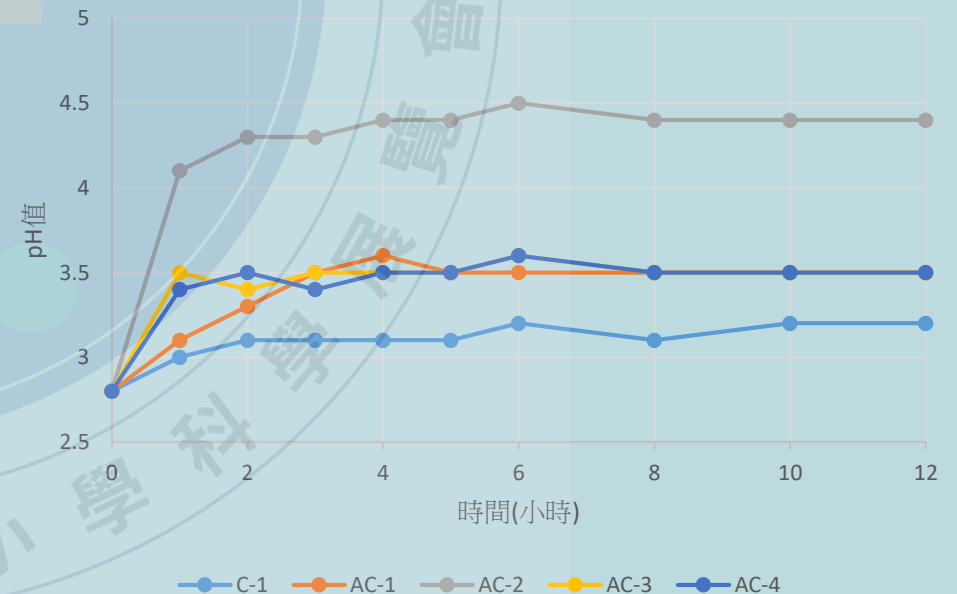
項目 \ 樣品	醋酸溶液	C-1	AC-1	AC-2	AC-3	AC-4
實測 pH 值	2.8	3.4	3.9	4.8	3.7	3.7
醋酸分子吸收率%		93.2%	99.3%	99.9%	98.2%	98.2%

表二、各碳樣品 12 小時吸附醋酸之吸收率數據

圖十四、各碳40分鐘攪拌吸附醋酸，pH值對時間變化圖



圖十五、各碳12小時靜置吸附醋酸，pH值對時間變化圖



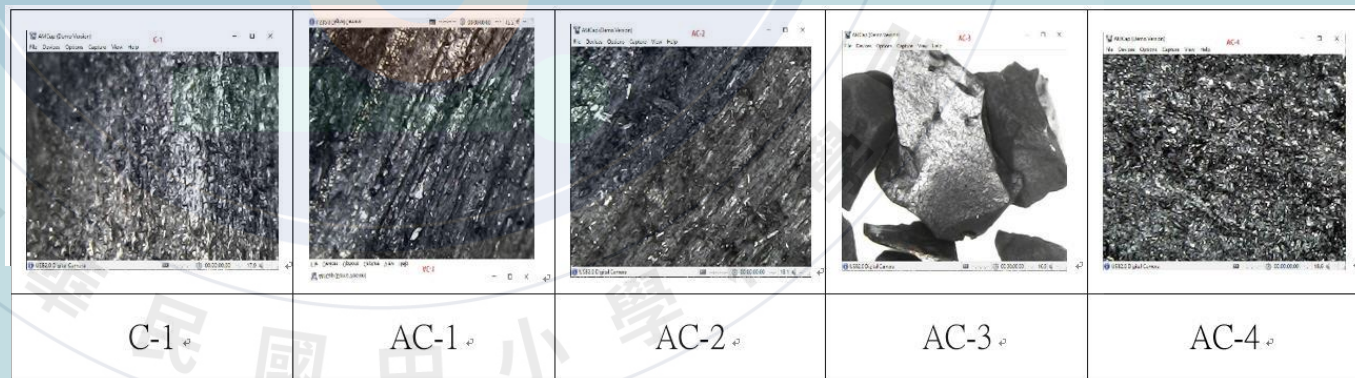
5、銀合歡活性碳製作方法討論

管狀爐高溫活化的 AC-4 性質最優，完整地將焦油及木醋液帶離，所以實驗後其過濾液透明乾淨。AC-1、AC-2 實驗後濾液呈現淡棕色，AC-2 又比 AC-1 微濃，應該是由 NaOH 水溶液浸漬活化比固體 KOH 接觸活化更容易將焦油溶解帶離，直接 KOH 固體接觸活化比 NaOH 水溶液浸漬活化性質更佳。這些結果也反應在銀合歡碳活化成銀合歡活性碳的製成產率上，性質與產率呈負關係。顯微鏡觀察各碳樣品表面，發現 C-1、AC-1、AC-2 仍有木質紋理，AC-3 的表面光滑，AC-4 表面質地均勻，無木質的紋理，顯示其活化程度高。各碳樣品表面都呈現部分光澤，表示各碳皆有部分石墨化跡象。

項目 \ 銀合歡活性碳	AC-1	AC-2	AC-4
碳製成活性碳產率%	83.3%	73.3%	21.6%
活性碳綜合性質	一般	佳	極佳

表三、AC-1、AC-2 與 AC-4 由碳活化成活性碳產率與性質關係

圖十六、各碳樣品於數位 LED 顯微鏡下觀察結果



肆、結論

本篇研究提供了簡單可行的方法將銀合歡製成生物碳及活性碳，且製成的活性碳與市售椰殼活性碳，在甲基藍色素吸附、導電性、減緩水質酸化等性質比較毫不遜色，達到我們預期的效果。高溫管狀爐燒製的活性碳，其導電性可做為開發導電油墨研究材料，所以澎湖的銀合歡不是想像中的一無是處，而是值得投資開發的項目。在環保層面，本篇銀合歡碳成品實現了碳保存的綠色環保效益，可以將它回歸大地改良農地水塘，也可以經由文創包裝成特色生活商品販售，提供外來種銀合歡砍除的經濟來源，提高廢棄物經濟效益並符合碳保存的環保趨勢，呈現循環經濟模式，達到兩全其美的解決方法。

伍、參考資料

1. 【生物炭】碳鎖 | 農業廢棄物再利用，我們的島第 856 集(2016 年 5 月 9 日) · 公共電視 ·
2. 蔡平賜、吳正毅 (2018.08.15.) · 活性碳製備方法 · 中華民國專利公報，案號 107128503。
3. 李翎 (2017) · 二氧化碳活化法製備山毛櫸活性碳製成之研究(未出版的碩士論文) · 高雄：國立高雄應用科技大學化學工程與材料工程系。