

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

第一名

030211

碳為觀止-回收式生物炭吸附光解膠囊

學校名稱：臺南市私立瀛海高級中學(附設國中)

作者： 國三 高苡瑄 國二 楊俐玟 國二 莊杰叡	指導老師： 黃勤展 薛 龍
---	-----------------------------

關鍵詞：植物炭、動物炭、吸附遞減

得獎感言

科展，對於我們來說最大的意義是，能夠和相關領域教授以及其他參賽同學交流的管道，藉此了解自己在全國的程度，也能交流彼此對科學領域的看法。

在這次的研究過程中有笑有淚也曾體力超支，都是難以忘懷的經驗，而我們也習慣這種忙得不可開交的生活，促進我們的邏輯思考與時間分配能力，我們大部分的性格特質都是在一次次的失敗與重拾信心中養成的，能夠靜下心來思考問題或釐清方向，每一次的思考過程都是學習是成長，也練就了我們能夠熬夜趕報告和統整資料的能力，讓我們更加喜歡科學人的生活模式，很謝謝為了共同目標努力的神隊友們互相扶持。其中，最辛苦的事是要解決問題的時候，像是自製累進沖提吸附裝置和造炭球裝置時，我們用了好幾個月的時間改良，不斷的討論與嘗試，希望他能具有良好信度；而最有趣的事是我們一邊做實驗一邊討論數據的時候，試著將大筆的數據，整理出造成吸附能力好壞的關聯性，經常在討論過程中，激盪出歸納的方法，讓我們很好奇的去嘗試，開啟我們實驗的下一個步驟。

在線上評審過程中，我們是盡情的表達想法，把實驗過程中遇到的問題和整理出的收穫跟評審教授們分享，這就是科學領域的討論會如此令我們著迷的原因，無須擔心對錯或不及他人，以自在的心情討論與分享彼此的見解。能夠這樣毫不膽怯的表達，要特別感謝我的隊友們，做實驗時互相交流心得、平時的線上小組討論、一起查詢資料和詢問指導老師等等，早已將這樣的討論模式化作過程中的一部份，因此無論是實驗架構或是問答時的應對，都有著縝密的邏輯性。我們認為之所以能得到評審青睞的原因除了實驗架構完整、響應綠色科學、自製測試裝置之外，也跟我們的口語表達能力有著很重要的關係。

能夠取得這次的成績，要特別感謝瀛海中學的科展團隊，老師們會以引導式的帶領，讓我們嘗試自己去探討原因與改良；學長姐則是將比賽經驗和實驗技巧傳承給學弟妹，可以教學相長；其他同樣參加科展競賽的組別們也會在課餘時間互相分享實驗進度並給予建議，一起交流看法一起努力；當然還要感謝國一國二時，和我一起合作的前隊友們，讓我逐漸學會如何領導團隊、怎麼營造小組凝聚的氛圍；更要謝謝一路陪著我們奮戰到最後的展哥，他真的是為了實驗室賣命，提供實體、知識方面和心靈上的資源，就像我們的第四位隊友一樣，陪我們研究與討論。因此，我們會將光環化為研究動力，繼續保持對實驗的熱忱與好奇，探討科學尋找真理，並且把所學教給對科學有興趣的學弟妹，延續瀛海中學的實驗精神。



碳為觀止戰隊暨瀛科科幹部特攻隊



精選實驗紀錄——海產店開張囉！



添唐醛-帶你得第一

摘要

將廢棄物轉質為吸附材是當今趨勢。本研究建立具再現性之碳化程序，將花生菱殼、雞骨龍蝦等製成生物炭，並建立吸附 SOP 來探討最佳處理參數，最後將其製成回收式生物炭球。

實驗發現動物炭因為含有高比例無機物(97%)，可經由酸洗提升生物炭的等重吸附率，雞骨炭因無機物分布位置特殊而具有發展潛力(超越市售活性炭)。整體而言，酸洗能有效提升生物炭吸附亞甲藍(99%)、動物炭吸附甲基橙(39%)能力(活性炭吸附亞甲藍 70%、甲基橙 2%)，生物炭還能夠吸附鈷離子。

實驗以雞骨炭/海藻酸鈉=5 來製作炭球，符合材料經濟最大，且吸附效果良好。最後也將自製光觸媒分散至炭球表面，使觸媒炭球吸附染料後能照射陽光再生，重複使用

壹、研究動機

有一次在新聞中發現，台灣每年菱角產量達 6800 公噸，但廢棄的菱角殼就多達 3700 公噸。其中有一段便使用甲基橙滴入菱殼炭濾材中，以測試其淨水能力，發現濾出後的液體為澄清無色。這個小實驗使我們對其吸附能力感到興趣，於是我們開始著手研究菱殼炭，希望能找出其最大的利用價值，減輕對環境的負擔。

而早在生物炭被重視之前，活性碳是主要被用來淨化水質與氣體的物質，而活性碳也富有商用價值，但必須經由人工方式活化，可是生物炭只需將其隔氧炭化，便可使用。我們想以實驗比較兩者吸附程度差別，希望使生物炭能更加被重用，使其發揮更高的經濟價值。

貳、研究目的

1. 建立標準碳化(石墨化)流程
2. 建立標準吸附流程(靜態吸附、累進沖提吸附)
3. 探討以不同動植物取得各種炭源
4. 探討各種材料之組成成分
5. 探討生物炭最佳碳化溫度
6. 探討不同碳化溫度處理之生物炭含有的水溶性鈣離子比例
7. 證明酸處理可以提升生物炭的吸附能力以及原因
8. 探討不同生物炭對於結構染料的吸附能力
9. 以最佳參數自製生物炭炭球並測試其吸附率及效果
10. 結合光觸媒製作具有回收能力的吸附生物炭球

參、研究器材與藥品

一、藥品

名稱	學名	化學式	來源
鹽酸	Hydrochloric acid	HCl	立統
氫氧化鈉	Sodium hydroxide	NaOH	立統
活性碳粉	Carbon powder	C	立統
甲基橙	Methyl orange	C ₁₄ H ₁₄ N ₃ NaO ₃ S	立統
亞甲藍	Methylene blue	C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S	立統
去離子水	Deion water	H ₂ O	立統

二、設備或器材

名稱	學名	名稱	學名
鍛燒爐	Calciner	分光光度計	Spectrophotometer
燒杯	Beaker	烘箱	Oven
漏斗	Funnel	洗滌瓶	Wash bottle
滴管	Drop	定量瓶	Graduated flask
濾紙	Filter paper	試管架	Tube holder
試管	Tube	酸鹼計	pH meter
磁石加熱攪拌器	Magnetic stirrer	超音波震盪器	Ultrasound oscillator
防風電子秤	Balance	鑷子	Tweezers
量筒	Graduated cylinder	微量吸量管	Pipette
錐形瓶	Conical flask	研鉢、研杵(杵臼)	Mortar and pestle
離心機	Centrifugal	坩堝	Crucible
攪拌子	Stir bar	刮勺	Spatula
濾網	Filter screen	滴定管	Burette

圖示					
說明	陶藝社高溫爐	分光光度計	四位數防風天平	酸鹼計	紫外光燈
圖示					
說明	烘箱	超音波震盪器	均質機	離心機	攪拌器

肆、原理與實驗架構

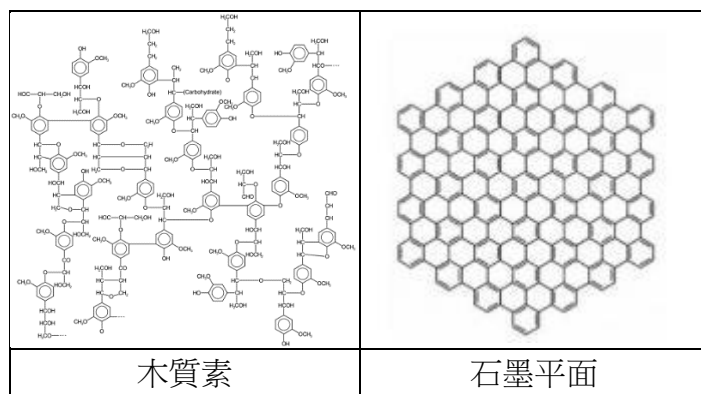
本研究目的是探討食物廢棄物製成生物炭的炭轉換率、改良其吸附效果、以及製成炭球後的功能。生物炭主要可分成：植物來源的生物炭、與動物來源的生物炭。

不同的植物，天生有不同的結構，例如菱角或是花生，天生帶有硬殼，通常是木質素含量較高的，木質素是帶有苯環的巨大有機結構其他植物更容易轉成碳材。

硬殼植物軀幹所得到的碳材，還可能含有二氧化矽骨架，這使得其比重變大，易於沉降。

碳材主要由碳原子組成，不同植物所得到的碳材，其大結構還可能與原植物種類有關，

例如微管束的排列，碳化後，可能留下空腔結構，變成孔洞碳材(Porous carbon)。除了碳原子以外，木質素 OH 基大部分都會在隔絕氧氣加熱的過程中變成水蒸氣而逸散，少部分留下來或是形成 COO 的官能基，此外不同的植物可能還會含有 N、S 等成分，這些異原子有機會改變生物碳材的吸附能力。



本研究最一開始想比較菱殼炭與花生殼炭在吸附上的優劣，實驗中以活性碳作為對照組。

先利用過去實驗室經驗建立一標準炭化流程後，對相同重量的菱殼與花生殼做相同隔絕氧加熱的處理，計算其轉換百分比。

為了使吸附的數據具有信度、以及效度，研究多次改良吸附染料的方式，去除棉花等干擾物質、篩選碳材粒徑等，後來發現市售有種把牛奶變成巧克力牛奶的神奇吸管具有特殊的內建結構，有利於我們製作吸附管，於是實驗利用市售的便宜「神奇吸管」，建立一具有鑑別度的標準吸附流程，能比較不同碳材經過亞甲藍染料沖提的吸附效果，計算吸附率、吸附遞減情況，進而探討吸附容量(capacity)。

實驗主要研究植物軀幹經炭化不同時間對炭材吸附性質的影響、此外也探討酸處理是否增進吸附效果。比較菱殼炭與花生殼炭吸附性質的差異，包含針對不同結構的染料、不同濃度的吸附效果差異也比較了不同重金屬的吸附效果。

為了更了解植物炭的性質，本研究進一步選用動物炭來進行研究比較，動物炭選擇龍蝦殼、雞骨頭、貝類的生物炭，都是菜餚中常見的堅硬的結構，蝦殼中能夠被炭化的部分主要是甲殼素，甲殼素的結構跟纖維素類似，是鏈狀聚合物；而骨頭中能夠被炭化的部分主要是膠原蛋白質，也是鏈狀聚合物；貝類主要由無機物組成，是此部分的對照組。

動物來源的生物炭，動物炭出爐後呈現粉狀(不像植物炭一開始就呈現塊狀)，所以本研究因此也研究了將炭製成錠的方法，並且在眾多參數中發現規則性得以自由控制碳球大小，希望能將生物炭的吸附功用發揮出來。

伍、研究過程與方法

一、實驗一、建立標準處理材料流程(以雞骨頭為例)

(一) 步驟

步驟 1-1 準備植物組：花生殼、菱角殼，及動物組：龍蝦殼、九孔貝、雞骨頭

步驟 1-2 將所有材料清洗乾淨，並去除油脂

步驟 1-3 放入烘箱 70 度烘乾

步驟 1-4 將材料敲碎及放入攪拌均質機攪成粉末

(二) 圖例說明



步驟 1-1
準備材料



步驟 1-2
清洗與去油脂



步驟 1-3
放入烘箱烘乾



步驟 1-4
將材料磨成粉末

二、實驗二、建立標準燃燒與窯燒程序

(一) 步驟

步驟 2-1 將已磨碎的各材料放入烘箱中 70 度烘乾

步驟 2-2 秤取烘乾後的材料 0.5 克後裝入坩堝(窯燒使用稻殼粉填充，紙黏土密封)

步驟 2-3 將坩堝放入高溫爐中進行燃燒 2 小時，操縱溫度 200 度至 600 度

步驟 2-4 取出並計算質量轉換率，並換算碳轉換率

(二) 圖例說明



步驟 2-1
放入烘箱烘乾



步驟 2-2
秤取粉末並裝入坩堝



步驟 2-3
燃燒或窯燒 2 小時



步驟 2-4
秤重計算轉換比例

三、實驗三、使用羊毛銻黑測定材料鈣含量

(一) 步驟

步驟 3-1 將羊毛銻黑放入 pH 值 10 的氨水中形成指示劑，呈藍色

步驟 3-2 使用滴管吸取些許指示劑放入以蒸餾水潤洗後的 sample 瓶中

步驟 3-3 秤取 0.01 克各窯燃燒後產物倒入 sample 瓶

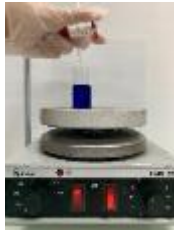
步驟 3-4 使用滴定法將此液用 EDTA 滴回呈藍色

步驟 3-5 觀察並記錄所使用 EDTA 的毫升數，計算產物的鈣含量

(二) 圖例說明



步驟 3-1
配製指示劑



步驟 3-2
裝入指示劑



步驟 3-3
將產物倒入



步驟 3-4
開始滴定

四、實驗四、探討酸洗對燃燒與窯燒產物的影響

(一) 步驟

步驟 4-1 將已磨碎的材料裝入含蒸餾水的燒杯中

步驟 4-2 使用 1M 鹽酸將 pH 值調至 1

步驟 4-3 裝入水熱瓶，並放入烘箱進行水熱 100 度 2 小時

步驟 4-4 取出後使用濾紙過濾，留下濾餅

(二) 圖例說明



步驟 4-2
調 pH 值至 1



步驟 4-3
放入烘箱水熱



步驟 4-4
過濾後留下濾餅



步驟 4-4
烘乾濾餅

五、實驗五、探討酸處理與碳化的先後順序對轉換率與鈣含量的影響

(一) 步驟

步驟 5-1(窯燒後泡酸)將直接窯燒後產物裝入小燒杯中，滴入 1.2M 的鹽酸

步驟 5-2(窯燒後泡酸)放入烘箱等待其乾燥，乾燥後拿出秤取 0.01 克產物裝入 sample 瓶

步驟 5-3(窯燒後泡酸)滴入使用羊毛鉻黑調配的指示劑，若產物含鈣將呈紫紅色

步驟 5-4(窯燒後泡酸)使用滴定法將此液使用 EDTA 滴至呈藍色，且不再變色為止

步驟 5-5(窯燒後泡酸)觀察並記錄 EDTA 的毫升數，計算產物鈣含量

步驟 5-6(窯燒後酸洗)將直接窯燒後產物裝入小燒杯中，接著滴入 1.2M 的鹽酸並使用濾紙過濾

步驟 5-7(窯燒後酸洗)放入烘箱，待其乾燥，乾後取出濾餅，秤取 0.01 克產物裝入 sample 瓶

步驟 5-8(窯燒後酸洗)滴入使用羊毛鉻黑調配的指示劑，若產物含鈣將呈紫紅色

步驟 5-9(窯燒後酸洗)使用滴定法將此液使用 EDTA 滴至呈藍色，且不再變色為止

步驟 5-10(窯燒後酸洗)察並記錄 EDTA 的毫升數，計算產物鈣含量

(二) 圖例說明



步驟 5-1.5-6



步驟 5-2.5-7



步驟 5-3.5-8



步驟 5-4.5-9

滴鹽酸到產物上

烘乾後取出

滴入羊毛銻黑指示劑

滴定 EDTA

六、實驗六、模擬廢水

(一) 步驟

步驟 6-1 (亞甲藍、甲基橙) 以分光光度計尋找亞甲藍、甲基橙的最大吸收波長 (以蒸餾水歸零)

步驟 6-2 (亞甲藍、甲基橙) 以波長 664 配製 1A 亞甲藍水溶液，以波長 460 配置 1A 甲基橙水溶液 (蒸餾水)

步驟 6-3 (重金屬) 以分光光度計尋找硫酸亞鐵、氯化亞鈷、硫酸鎳、硫酸銅的最大吸收波長 (以蒸餾水歸零)

步驟 6-4 (重金屬) 分別以各金屬最大吸收波長配製 1A 水溶液 (蒸餾水)

步驟 6-5 (酸鹼廢水) 將配置好的 1A 亞甲藍水溶液以 1M HCl 或 NaOH 調整不同 pH 值

(二) 圖例說明



步驟 6-1 6-2

配製 1A 亞甲藍、甲基橙



步驟 6-3 6-4

配製 1A 重金屬離子溶液



步驟 6-5

配製不同酸鹼值 1A 亞甲藍



步驟 6-5

配製不同酸鹼值 1A 亞甲藍

七、實驗七、建立粉末吸附廢水標準程序

(一) 步驟

步驟 7-1 以最大吸收波長配製 1A 溶液

步驟 7-2 秤取 0.002 克的各窯燒後及燃燒後產物，放入離心管中

步驟 7-3 使用滴管吸取 2mL 的 1A 溶液滴入裝有 0.002 克粉末的離心管中

步驟 7-4 放入超音波震盪器震盪 7 分鐘

步驟 7-5 取出後放入離心機中離心

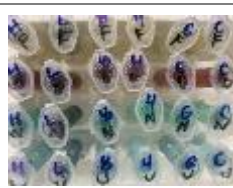
步驟 7-6 使用滴管吸取上層液滴入分光槽，以分光光度計測量吸收度

(二) 圖例說明



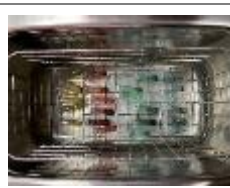
步驟 7-1

配製 1A 溶液



步驟 7-2 7-3

裝入粉末與染料



步驟 7-4

超音波震盪



步驟 7-5

離心



步驟 7-6

測量吸收度

八、實驗八、自製碳球

(一) 步驟

步驟 8-1 秤取適量碳粉及海藻酸鈉倒入燒杯中 (蒸餾水潤洗)

步驟 8-2 加入蒸餾水調配成炭漿，並使用攪拌均質機攪拌混合

步驟 8-3 調配濃度為 5% 的氯化鈣水溶液

步驟 8-4 將炭漿倒入分液漏斗，於下方放置氯化鈣水溶液

步驟 8-5 滴入氯化鈣水溶液形成碳球待其沉澱，過濾後放入烘箱烘乾

(二) 圖例說明



步驟 8-1

加入碳粉與海藻酸鈉



步驟 8-2

加入蒸餾水



步驟 8-3

配置氯化鈣水溶液



步驟 8-4

倒入裝置中取得碳球



步驟 8-5

放入烘箱中烘乾

九、實驗九、自製黏度計檢測碳漿黏度

(一) 步驟

步驟 9-1 秤取適量碳粉及海藻酸鈉倒入燒杯中

步驟 9-2 加入蒸餾水調配成炭漿，並使用磁石攪拌器攪拌混合

步驟 9-3 固定使用同樣寬度和長度的管子製作炭漿流過的裝置

步驟 9-4 倒入等量的炭漿到裝置中

步驟 9-5 測量開始流過裝置至結束所需時間並記錄各參數對黏度的影響

(二) 圖例說明



步驟 9-1

秤取炭粉和海藻酸鈉



步驟 9-2

加入蒸餾水



步驟 9-3

配製炭漿



步驟 9-4

固定裝置



步驟 9-5

倒入等量炭漿併計時

十、實驗十、碳球和炭粉吸附亞甲藍效率測試

(一) 步驟

步驟 10-1 以亞甲藍之最大吸收波長調配成 1A 亞甲藍水溶液

步驟 10-2 將 0.002 克炭粉或碳球與 2 毫升 1A 亞甲藍倒入離心管

步驟 10-3 放入超音波振盪機振盪，每五分鐘測一次吸收度，取出後放入離心機中離心

步驟 10-4 使用滴管吸取上層液滴入分光槽，使用分光光度計測量吸收度

(二) 圖例說明



步驟 10-1

配製 1A 亞甲藍



步驟 10-2

裝碳或碳球與亞甲藍



步驟 10-3

震盪與吸附



步驟 10-4

取出上層液



步驟 10-4

測量吸收度

十一、實驗十一、將碳球結合光觸媒重複利用

(一) 步驟

步驟 11-1 秤取 0.8 克的碳球及檸檬酸鈦，加入燒杯中

步驟 11-2 吸取些許蒸餾水放入和碳球及檸檬酸鈦的燒杯中，並放於磁石攪拌器上攪拌

步驟 11-3 使用 1M 的氫氧化鈉將 pH 值調至 7

步驟 11-4 使用濾紙過濾後留下濾餅，將濾餅放入烘箱烘乾並窯燒

步驟 11-5 取出乾燥光觸媒碳球，秤取 0.002 克的光觸媒碳球放入離心管中

步驟 11-6 加入 2 毫升的 1A 亞甲藍放入裝有光觸媒碳球的離心管中，置離心管於紫外線光線下

步驟 11-7 每 30 分鐘吸取上層液滴入分光槽，使用分光光度計測量吸收度並繪製時間軸折線圖

(二) 圖例說明



步驟 11-1
秤取檸檬酸鈦和
蒸餾水



步驟 11-2
倒入碳球



步驟 11-3
調酸鹼值



步驟 11-4
取得濾餅



11-5
窯燒

十二、實驗十二、建立標準沖提裝置與吸附遞減程序

(一) 步驟

步驟 12-1 以波長 664 配置 1A 亞甲藍水溶液，並倒入滴定管中

步驟 12-2 秤取 0.5 g 碳球並裝入神奇吸管中，並將空氣排出

步驟 12-3 以試管夾與燒杯架在滴定管下方

步驟 12-4 開啟滴定管使亞甲藍滴入恰與上層碳球等高處填滿孔隙，並倒掉流下來的濾液

步驟 12-5 滴定亞甲藍 5mL 並重複步驟 4 次

步驟 12-6 以分光光度計測量吸收度並計算吸附遞減程度

(二) 圖例說明



步驟 12-1
將 1A 亞甲藍倒入滴定
管



步驟 12-2
將 0.5 克碳球裝入神奇
吸管



步驟 12-3.12-4
調整裝置



步驟 12-5.12-6
滴定後測量吸收度

陸、結果與討論

討論一、以菱角與花生合成生物炭

每年留在官田的菱角殼約有一千三百噸，大部分都會棄置田間、路邊焚燒，或是載到焚化廠銷毀，處理過程中排放許多二氧化碳。「台南市官田烏金社區合作社」理事主席謝金章表示，菱殼炭在高溫無氧的環境中自體燃燒，排出的二氧化碳非常少，不會對環境造成二度污染，且埋在土壤中的固碳效果極佳，一年減碳量可達 1.1 座大安森林公園。

參考資料：生命力新聞 Feb 3, 2018 廢材變烏金 菱炭點亮官田新奇蹟



【圖】菱角殼、花生殼

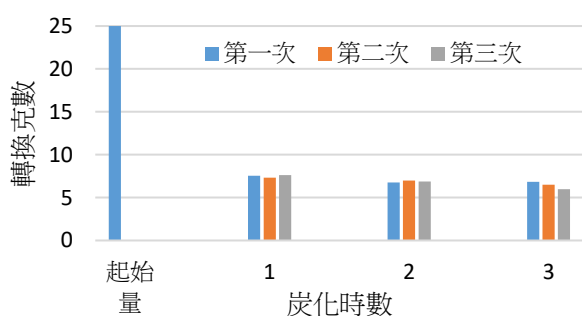
【表】本研究自製隔絕氧氣加熱的方法



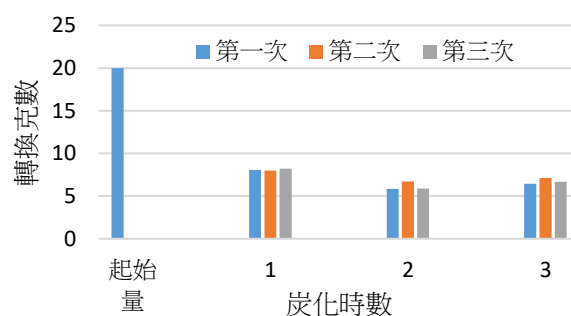
將樣品置入小坩堝中	使用紙黏土將外部封住	將小坩堝置入大坩堝中	在大小坩堝之間填入稻殼粉	外部也使用紙黏土封住	拆開黏土得到生物炭
-----------	------------	------------	--------------	------------	-----------

實驗作了許多測試，發現可以使用黏土將剛沉澱後的產物封在陶器中，一層是可以的，但是為了實驗精密性，必須封兩層，而兩層之間可以加入廢棄的稻殼粉消耗內部氧氣，確保每次做出來的生物炭相近。

實驗嘗試將菱角殼及花生殼進行炭化，不同炭化時間 1 hr、2 hr、3 hr，且各執行三次，結果如下，實驗計算了轉換率，菱殼炭與花生殼炭的轉換率接近 30%，而且每次轉換率都一樣，表示絕氧效果很好。



【圖】25 克菱角殼經 600°C 不同炭化時間處理之菱角殼炭殘存克數



【圖】20 克花生殼經 600°C 不同炭化時間處理之花生殼炭殘存克數

實驗發現：

炭化時間並不太會影響菱殼炭及花生殼炭的轉換率，損失的質量可能大部分是水。如果要將這些生物炭運用在吸附方面，那麼炭化時間是否會影響其吸附性質呢？

由於菱角殼炭與花生殼炭的吸附能力很接近，為了辨別它們的優劣，實驗設計了沖提吸附方法。

討論二、建立標準吸附程序

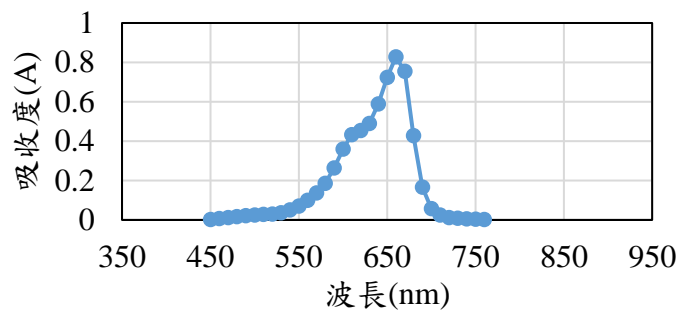
接下來的實驗，將建立一具有鑑別度的吸附流程，比較不同微處理方式對合成生物炭的細微影響，而吸附材料最重視的主要有兩點，首先探討的是：

1. 第一次吸附的吸附效能(在吸附容量內進行實驗)，通常第一次吸附效果會特別好。
2. 逐次吸附的遞減程度(接近吸附最大容量)，而實驗在第一次吸附後會再做三次，當吸附材料在經過第一次吸附後，若在未達到最大容量以前，吸附率沒有太大變化，則它屬於好的吸附材料。

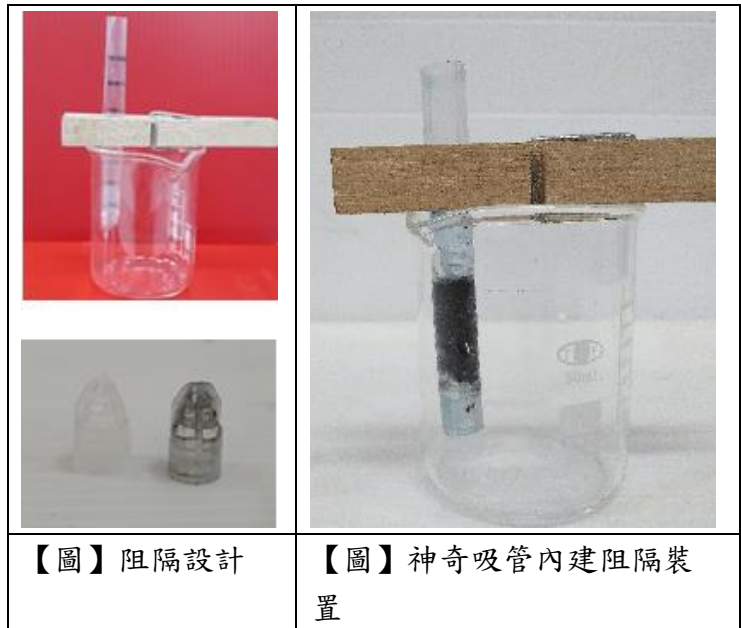
實驗選用亞甲藍作為被生物炭吸附的染料，主要有兩個原因：

1. 易取得，毒性低，易於操作
2. 容易被吸附，吸附數據變化大

實驗沒辦法使用人眼來看亞甲藍染料被吸附後褪色多少，褪色的程度要使用分光光度計來「量化」，為了提升靈敏度，實驗尋找亞甲藍的最大吸收波長，為 664 nm，表示當亞甲藍的濃度有微小變化時，則吸收度會有較大的數值變化。



【圖】亞甲藍的最大吸收波長在 664 nm



要對「累進吸附率」進行定量，實驗不能用簡單的重力過濾，但是將生物炭的粉加入染料中直接吸附，則不易再回收粉體進行第二次之後的吸附遞減實驗。

於是實驗決定利用「沖提」的方式，也就是利用填充管柱的方式，使生物炭粉體能流在管柱中，而只有水溶液通過管柱，那麼第一次吸附後，測量濾液的殘存吸收度，然後再進行第二次沖提，再一次測量新濾液的殘存吸收度，依此類推。

討論三、建立標準吸附裝置

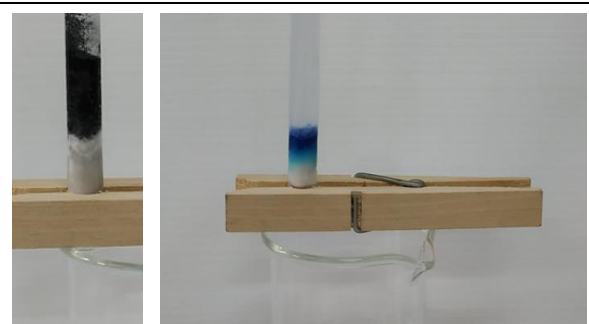
本研究採用「沖提」的方式
使可計算吸附率、比較吸附遞減程度、比較吸附容量等優點

因此設計沖提式標準吸附裝置在本研究中是最重要的步驟。而我們為了搭建此裝置，耗費了 2 個月的時間不斷測試、改良，以達到吸附數據具有「再現性」。

為了要讓炭粉填充管柱，起初，我們在吸管底部塞住棉花防止炭粉漏出吸管，但是實驗卻發現：

1. 實驗再現性非常差
2. 各參數之間沒有鑑別度

之後才發現棉花亦能吸附亞甲藍，且吸附效果甚至比炭粉還好(棉花的價格比炭粉高)，我們確定棉花會影響實驗數據後，便放棄使用棉花。



【圖】棉花也對亞甲藍有很好吸附能力



【圖】神奇吸管外觀(原本是用來把牛奶變成巧克力牛奶的)

後來，無意中想起了神奇吸管，如右圖，此裝置能有效擋住裡面的巧克力顆粒漏出，但是牛奶等液體可以自由進入，液體流出時顆粒仍留在管柱內，只有溶液能夠滴出，非常適合作為沖提的內建裝置。為了減少實驗誤差，我們便決定主要以細顆粒的炭粉吸附，但底部需用粗顆粒的炭粉抵擋，可避免過多炭粉隨液體流出，影響實驗數據。

在滴定過程中，我們發現起初流出的液體為黑色，後來才變得澄清，因此在測定吸附前，需先水洗炭粉，以避免影響實驗數據。



【圖】澳洲 Sipahh 商標

在建立此吸附裝置後，接下來要討論如何製造出恰好的炭粉量，以免過多炭粉導致每項實驗數據之吸附率皆高；或者炭粉過少導致吸附率過低，以至於無法判斷其材質是否適合用為吸附劑。

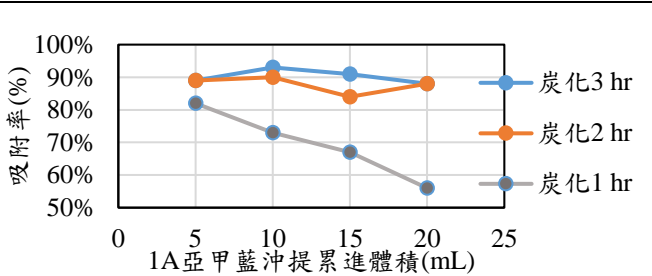
因此在本實驗中，採用 0.16 g 的生物炭粉吸附染料，以達成上述效果。

而炭粉顆粒大小也是本實驗需控制的變因之一，取顆粒太細的炭粉會消耗太多時間成本，而取顆粒大的炭粉其實驗數據誤差太大。

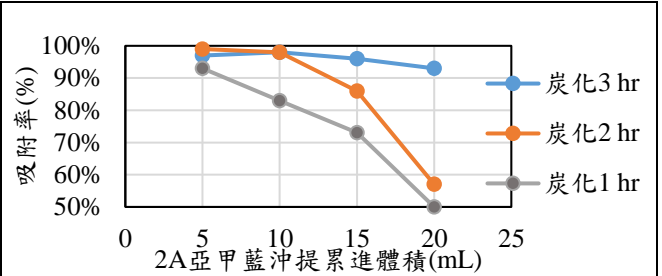
本實驗採取粗顆粒 0.04 g，細顆粒 0.12 g，在填充炭粉時不會使細顆粒炭粉漏出，且吸顆粒炭粉大小亦不會使水流過慢，在衡量兩面因素皆得的情況下，便決定以此方法作為標準吸附裝置。

討論四、炭化時間對製作生物炭吸附性質的影響

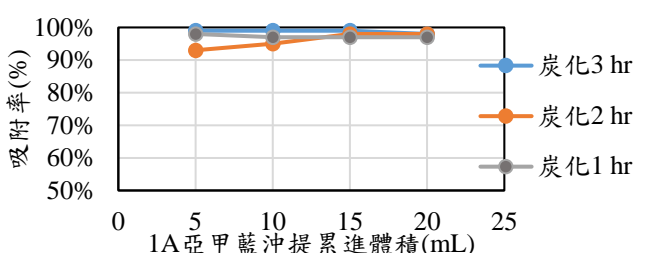
管柱填充 0.16 g 生物炭並累進 4 次滴加 20 mL 亞甲藍(每次 5 mL)，紀錄每次濾液的殘存吸收度



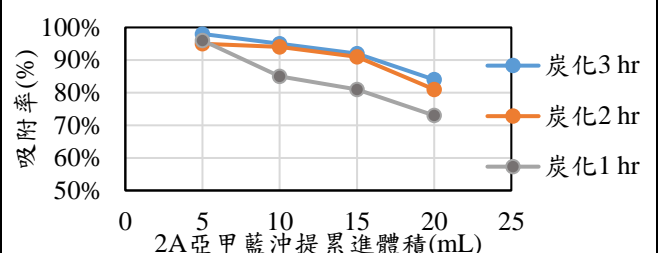
【圖】經不同炭化時間處理之菱角殼炭吸附 1A 亞甲藍染料的吸附遞減情況



【圖】經不同炭化時間處理之菱角殼炭吸附 2A 亞甲藍染料的吸附遞減情況



【圖】經不同炭化時間處理之花生殼炭吸附 1A 亞甲藍染料的吸附遞減情況



【圖】經不同炭化時間處理之花生殼炭吸附 2A 亞甲藍染料的吸附遞減情況

- 1、首次吸附率，由吸附材料的特性決定。通常首次吸附率是沖提過程中吸附率的最大值，而每一種類型的吸附劑的首次吸附率因為材質的緣故而有所不同。
- 2、一個理想的的吸附劑，在未達到吸附上限時，吸附效果應該維持定值。但是隨著吸附劑表面被吸附物占據，那麼在管柱沖提的時間內，吸附遞減是必然發生。
- 3、當吸附遞減發生時，那麼就可以知道吸附劑在進行吸附後，可能已經接近吸附容量上限。

討論五、酸洗合成生物炭

<p>【圖】經酸處理之菱角殼炭吸附 1A 亞甲藍染料的吸附遞減情況</p>	<p>【圖】經酸處理之花生殼炭吸附 1A 亞甲藍染料的吸附遞減情況</p>
<p>【圖】經不同處理之菱角殼炭吸附 2A 亞甲藍染料的吸附遞減情況</p>	<p>【圖】經不同處理之花生殼炭吸附 2A 亞甲藍染料的吸附遞減情況</p>

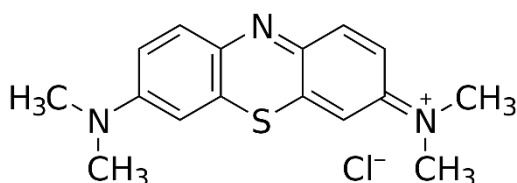
討論六、探討負電型染料-甲基橙的吸附結果(加入活性碳為對照組)

實驗以炭化 3 小時的生物炭參數進行吸附甲基橙的實驗。

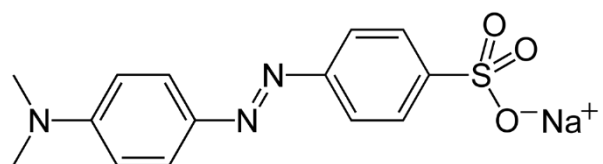
亞甲藍是非常容易被棉花吸附的染料，也非常容易被炭吸附，詢問老師，這是因為碳的石墨結構與亞甲藍中的芳香結構之間具有 $\pi-\pi$ stacking 的分子間作用力，使得其在任何情況下都有很好的吸附率。

而棉花是纖維素，表面帶有許多含氧官能基(表面易帶負電)，也許因此對帶正電的染料，如圖為亞甲藍的吸附效果極佳。但棉花與炭對甲基橙沒轍，推測是因為甲基橙為負電型的染料；而且甲基橙的主體沒有像亞甲藍一樣具有類似併苯的芳香結構，因此就連活性碳對甲基橙沖提的吸附效果都很差(1A 吸附率 20%/0.16 g 活性碳)。而實驗發現：

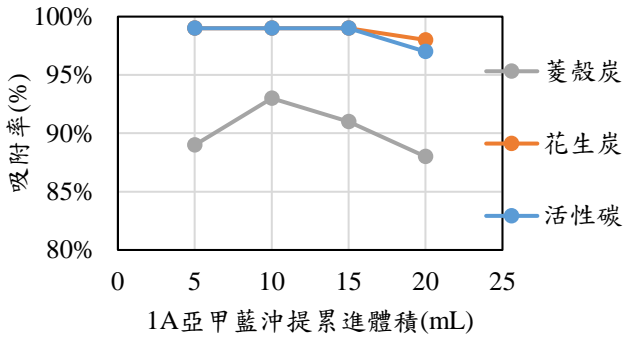
在相同狀況下，「菱殼炭」對甲基橙的吸附率，優於活性碳。



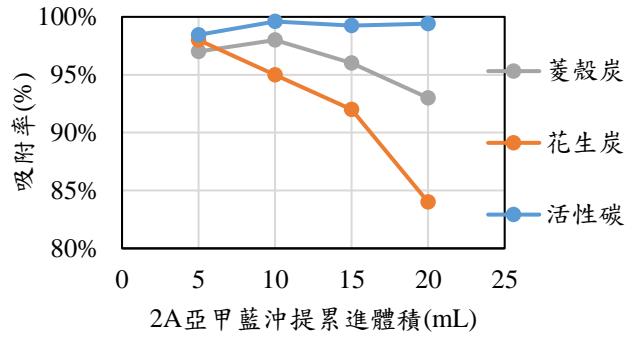
【圖】亞甲藍屬於正電型染料



【圖】甲基橙屬於負電型染料



【圖】炭化 3 小時合成生物炭吸附 1A 亞甲藍染料的吸附率比較



【圖】炭化 3 小時合成生物炭吸附 2A 亞甲藍染料的吸附率比較

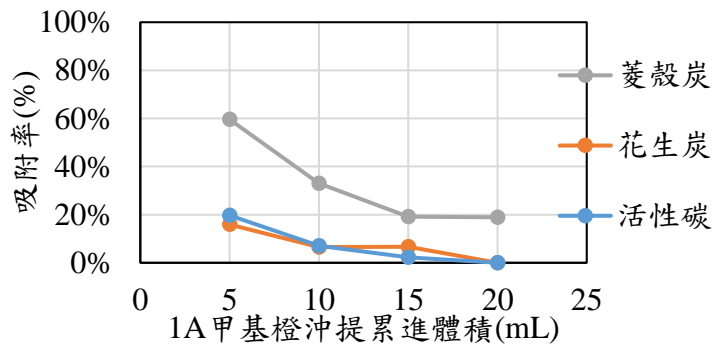
實驗挑選炭化 3 小時的生物炭進行吸附性質比較：

由圖表可知：

1. 菱殼炭在較高濃度的亞甲藍染料吸附率較高
2. 在較低濃度亞甲藍時，吸附率是花生炭較高(未達吸附上限)
3. 在較高濃度亞甲藍時，花生炭的吸附率隨累進體積快速衰退，這說明花生殼炭對亞甲藍的吸附容量較小。
4. 活性碳展現商用價值，對亞甲藍具有良好的吸附率、吸附容量。

當使用甲基橙染料時，有驚人發現：

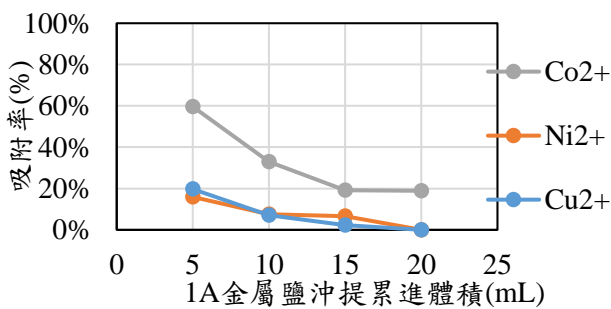
1. 活性碳竟然不怎麼吸附甲基橙
2. 活性碳對甲基橙的吸附率<20%
3. 菱殼炭的吸附效果超越活性碳
4. 菱殼炭對甲基橙的吸附率在累進沖提 20 mL 時，仍有 20% 吸附率/0.16 g 菱殼炭。



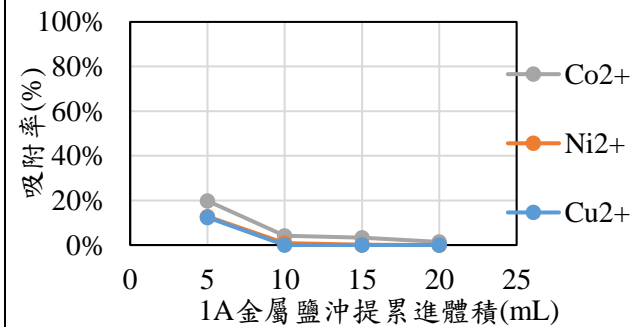
【圖】合成生物炭吸附 1A 甲基橙染料的殘存吸收度比較

討論七、重金屬的吸附結果比較

實驗發現植物炭中，菱角殼對鈷離子的吸附效果較佳。



【圖】合成菱角殼炭吸附 1A 金屬鹽的吸附率比較



【圖】合成花生殼炭吸附 1A 金屬鹽的吸附率比較

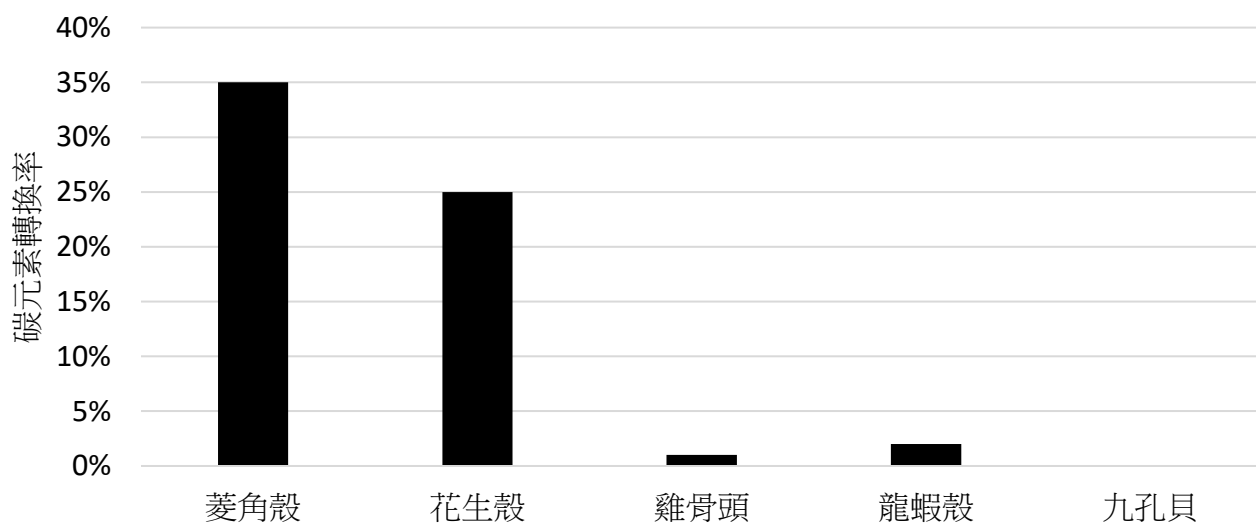
討論八、深入研究其他生物炭的碳元素轉換率

為了更了解其他生物炭的性質，因此本實驗部分先探討合成條件，並固定炭化時間 2 小時(節省能源，預留更多實驗操作時間)、選擇溫度 600°C (確保燃燒時能移除所有的有機物)。

以眾多數據，綜合探討原料碳化轉換率、碳化溫度對炭轉換程度影響

【表】不同炭粉經窯燒、直接燃燒後的轉換率

	600°C 包陶土窯燒 轉換率①	600°C 對空氣燃燒 轉換率②	600°C 碳轉換率 ②-①	解釋
菱角殼	37%	2%	35%	植物炭中大部分都是有機物，而花生殼中的灰份(無機物)含量較菱角殼高。菱角與花生殼燃燒後的灰分溶於水成鹼性。
花生殼	38%	13%	25%	
雞骨頭	59%	58%	1%	動物炭中大部分都是無機物，雞骨與龍蝦的有機物占比少，但是做出來的動物炭蓬鬆。
龍蝦殼	60%	58%	2%	
九孔貝 (對照組)	96%	96%	0%	九孔成分由無機物組成。
活性炭 (對照組)	X	X	X	-
解釋	此步驟包含去除內部水分，此外由於窯燒並沒有完全隔絕氧氣，仍有部分有機物汽化或是被燃燒	此步驟是指坩堝沒有加蓋，直接對空氣加熱，原則上，所有裸露有機物都會在高溫 600°C 燃燒光	窯燒保存了碳以及灰分部分；而燃燒則是只留下灰分	-



【圖】不同原料在 600°C 的碳轉換率(每克的原料可以產生的碳元素克數，以菱角為例，表示 1 克的菱角殼經過包陶土窯燒之後可以產生 0.35 克的碳元素)

討論九、探討不同溫度處理的生物炭轉換情形

【表】不同原料經不同溫度炭化的轉換率及碳轉換率

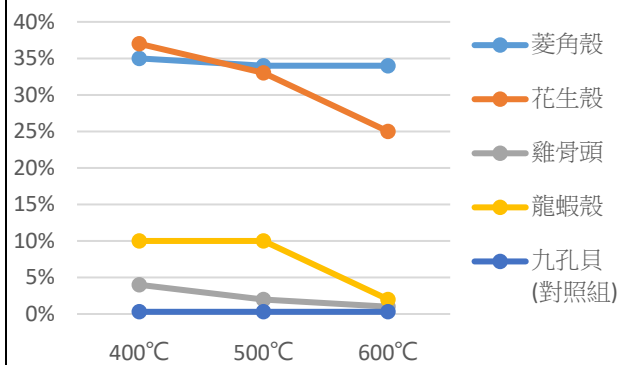
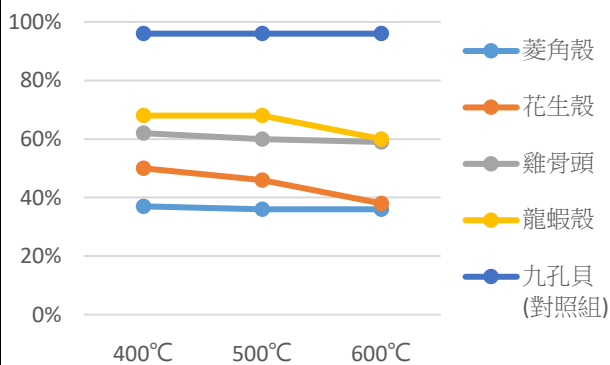
		大部分未碳化		大部分已碳化			解釋
總轉換率 (單位原料重)	原料	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	1. 總轉換率指的是 1 g 的生物原料經窯燒後產出的固體重。 2. 由總轉換率扣掉燃燒 (600 °C) 後的灰分 % (討論一數據), 可以得到不同溫度的碳元素轉換率。 3. 碳化的溫度越高則窯燒過程中被燒掉的碳元素越多, 殘存的碳元素越少。 4. 由轉換率與碳元素轉換率的差/總轉換率, 可以推得無機物的百分比。 5. 實驗發現植物炭成分中的碳元素比例較動物炭高, 且菱殼炭又比花生高。 6. 動物炭中無機物的比例很高, 雞骨炭與龍蝦炭的無機物含量很高。 7. 因此若要以移除無機物來提升生物炭的吸附能力, 動物炭有很大的研究空間。
	菱角殼	轉灰	轉黑	37%	36%	36%	
	花生殼	-	-	50%	46%	38%	
	雞骨頭	-	-	62%	60%	59%	
	龍蝦殼	-	-	68%	68%	60%	
	九孔貝 (對照組)	-	-	96%	96%	96%	
碳元素轉 換率 (單位原料重)	原料	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	
	菱角殼	轉灰	轉黑	35%	34%	34%	
	花生殼	-	-	37%	33%	25%	
	雞骨頭	-	-	4%	2%	1%	
	龍蝦殼	-	-	10%	10%	2%	
	九孔貝 (對照組)	-	-	0%	0%	0%	
生物炭中的 無機物 含量百分 比	原料	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	
	菱角殼	轉灰	轉黑	6%	6%	5%	
	花生殼	-	-	26%	28%	34%	
	雞骨頭	-	-	94%	97%	98%	
	龍蝦殼	-	-	85%	85%	97%	
	九孔貝 (對照組)	-	-	100%	100%	100%	
生物炭中的 碳含量 百分比	原料	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	
	菱角殼	轉灰	轉黑	94%	94%	95%	
	花生殼	-	-	74%	72%	66%	
	雞骨頭	-	-	6%	3%	2%	
	龍蝦殼	-	-	15%	15%	3%	
	九孔貝 (對照組)	-	-	0%	0%	0%	
備註	1. 總轉換率考慮水分的蒸發 2. 碳元素轉換率考慮碳元素可能被燃燒 3. 九孔貝作為無機物的對照組						

從顏色可以得知生物炭進行碳化的趨勢, 一般來說, 不同的生物有機物來源, 會有不同的最低碳化溫度, 初步從顏色來觀察可以發現菱角殼的碳化溫度門檻最低(最容易被碳化), 本研究中大部分的生物原料大約在 300°C 開始碳化, 但是呈現灰色, 400°C 以上才開始變黑(照片沒辦法拍得很清楚)

而九孔貝則是在 600°C 才稍微變灰, 作為本研究無法碳化的對照組。

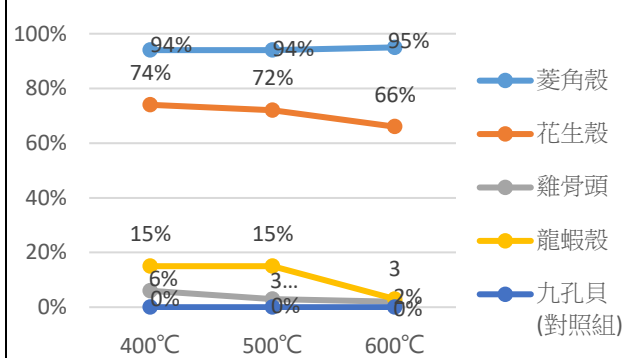
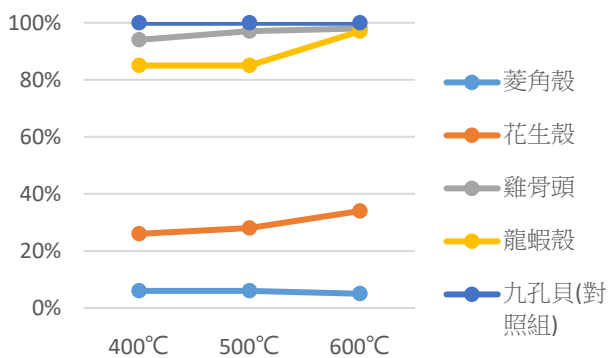
	原始	200	300	400	500	600
菱角殼						
花生殼						
雞骨頭						
龍蝦殼						
九孔貝						

【圖】不同原料炭化後在不同溫度的外觀顏色



【圖】不同溫度處理得到的生物炭總轉換率

【圖】不同溫度處理得到的生物炭碳轉換率



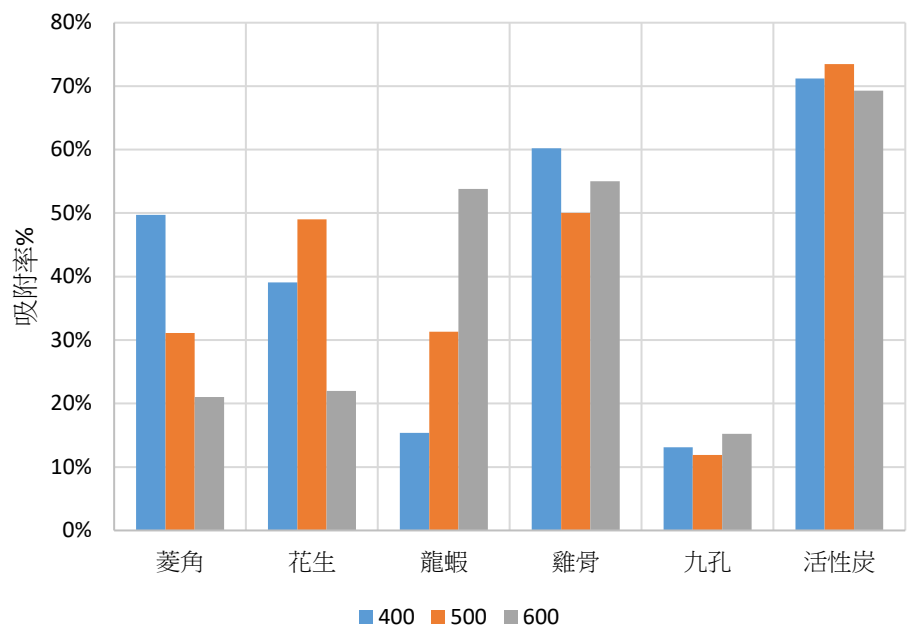
【圖】不同溫度的處理得到的生物炭的無機物含量百分比

【圖】不同溫度處理得到的生物炭碳含量百分比

討論十、探討不同碳化溫度處理之生物炭的吸附率

【表】0.002 g 吸附 2 mL、1A 亞甲藍的結果(7 分鐘)

	400°C	500°C	600°C
菱角	50%	31%	25%
花生	39%	49%	22%
龍蝦	15%	31%	54%
雞骨	60%	50%	55%
九孔	13%	12%	15%
活性炭	71%	74%	69%



【圖】經不同碳化溫度得到之生物炭對亞甲藍的吸附(0.002 g 生物炭/2 mL 亞甲藍) 震盪吸附 7 分鐘)

實驗發現：

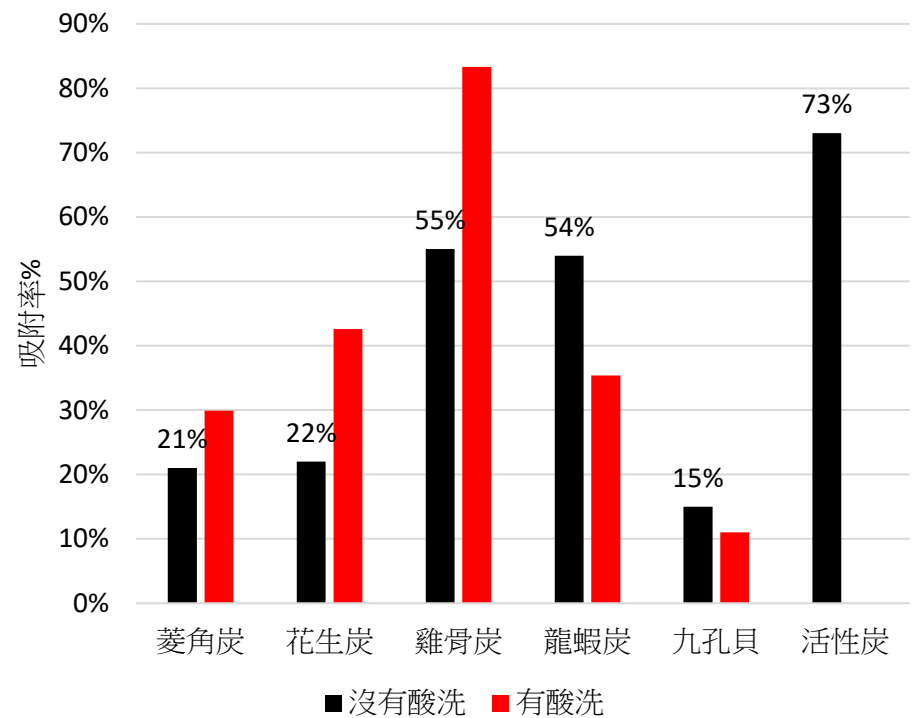
炭化溫度並不是越高溫越好，菱角較適合低溫炭化，龍蝦則是需要比較高溫的炭化溫度。

討論十一、探討酸處理之生物炭的吸附率

實驗發現經過酸處理之後，大部分的生物炭吸附亞甲藍的效果都有提升的趨勢，九孔則差異不大，龍蝦有變差的趨勢。

酸洗可以移除金屬鹽無機物，其中，對雞骨及花生的提升效果較明顯。移除無機物可以使碳的比例提高，也可能在結構中造成空腔，增加吸附的位置。

※事先酸洗再窯燒炭化的龍蝦炭，吸附能力有時候很差，有時候跟沒酸洗的一樣，因此在此特別說明，龍蝦炭的吸附數據誤差很大，僅供參考。



【圖】是否先酸洗再進行窯燒碳化得到的生物炭吸附亞甲藍的結果 (0.002 g 生物炭/2 mL 亞甲藍) 震盪吸附 7 分鐘)

討論十二、探討炭材改良方法 I-探討酸洗的效果

要進一步提升生物炭材的效果必須先了解生物原料的組成與分布：

實驗一開始在生物炭中加入鹽酸發現植物炭冒泡不明顯，其中動物炭冒泡最嚴重。之後使用廣用指示劑來檢測生物炭的酸鹼性，發現它們都呈現鹼性(變藍色)。由左而右是菱花龍雞九



	廣用原本顏色	加入生物炭顏色
菱角殼	綠	藍
花生殼	綠	藍
雞骨頭	綠	藍
龍蝦殼	綠	藍
九孔貝 (對照組)	綠	藍

【表】不同酸洗處理對生物炭吸附亞甲藍的效果

吸附率	直接窯燒	經過酸洗再窯燒	經過窯燒後再酸洗
菱角殼	21%	30.2%	27.8%
花生殼	22.9%	43.2%	39.2%
雞骨頭	55.4%	76.2%	94.5%
龍蝦殼	53.8%	54.1%	72.2%
九孔貝 (對照組)	15.2%	16.8%	7.2%
活性炭 (對照組)	69.3%	70.2%	72.1%

實驗發現：酸洗之後再窯燒，對於某些生物炭來說，確實有提升的效果。

Q:那如果先窯燒再酸洗是不是比較好？

A:因為窯燒後再酸洗很麻煩，可能會導致碳材的流失，要過濾可能導致生物炭粉末卡在濾紙上。

【表】網路查到的生物原料組成

來源	原料	有機物	無機物
植物來源	菱角炭	木質素等	金屬鹽
	花生炭	纖維素等	金屬鹽
動物來源	雞骨炭	蛋白質	碳酸鈣、磷酸鈣
	龍蝦炭	甲殼素	碳酸鈣
	九孔貝 (對照組)	亮質素	碳酸鈣



不同碳材	加入鹽酸後冒泡
實驗一開始在生物原料中加入鹽酸，發現動物原料都會冒泡，而植物炭則不明顯，證明應該都含有碳酸鹽類	

實驗筆記：

生物炭之所以會變成鹼性，實驗判斷，應該是生物炭中含有金屬氧化物，那就表示，窯燒碳化以前，應該含有碳酸鹽，從網路資料中，生物炭應該含有的是鈣鹽。

因此實驗推測：

若能有效在生物炭中移除鈣鹽，是否能

提升生物炭的吸附能力？

實驗筆記

實驗嘗試在生物殘骸進行窯燒以前事先酸洗，希望可以移除這些金屬鹽類，使生物炭中的碳元素比例能夠提高，藉此提升等重吸附率。

討論十三、探討炭材改良方法 II-探討窯燒溫度

為了證明先窯燒再酸洗可以產生吸附能力更好的生物炭，實驗推導可能的機制：

















高溫碳化的過程中，除了有機物會轉成碳元素以外，無機物的碳酸鈣受熱會釋放二氧化碳，並產生氧化鈣的過程：



實驗利用羊毛銻黑遇到鈣離子會變色的特性，證明窯燒前菱角、花生、雞骨、龍蝦都是含有不會解離的鈣離子，窯燒後產生可以解離的鈣離子，表示上述假設成立。



【表】不同原料及其生物炭加入羊毛銻黑(pH10)後的顏色變化

	菱角殼	花生殼	雞骨頭	龍蝦殼	九孔貝
窯燒前 加入指示劑					
					
窯燒後 加入指示劑					
					

那麼要加熱到幾度才可以使成分中的碳酸鈣分解呢？

【表】不同原料經不同溫度窯燒後的生物炭中鈣% (Ca=40)

原料	200℃	300℃	400℃	500℃	600℃
菱角炭	0%	0%	0%	0%	0.34%
花生炭	0.24%	0.2%	0.48%	0.64%	0.8%
雞骨炭	0%	0%	0.68%	0.36%	2.1%
龍蝦炭	0.24%	1.72%	2.44%	8.32%	10%
九孔貝	0%	0%	2.36%	4.08%	12%

備註：植物炭含有較高比例的碳元素，鈣比例本來就比較低，值得一提的是，花生比菱角含有更高的鈣含量。可以解釋討論十一數據

實驗筆記

我們曾經學過大理石遇到熱會分解，但是大理石是變質岩，會需要比較高的溫度，而生物體內的碳酸鈣應該是比較脆弱的，應該很容易被分解？

實驗筆記

實驗使用網路上的羊毛銻黑螯合鈣離子來確認原料是否含有游離的鈣離子，結果是沒有(呈藍色)，表示生物殘骸打碎後的結構中是沉澱的鈣鹽。

實驗筆記

螯合主要是針對「鈣離子」進行捕捉，但是碳酸鈣並無法解離出鈣離子，必須要碳酸鈣被分解之後，證明 600℃ 窯燒同時對有機物碳化，也同時分解成分中的碳酸鈣。

實驗筆記

參考網路，使用「羊毛銻黑」作為指示劑，以 EDTA 來滴定溶液，定出生物炭粉中的含鈣比例。方法是，先將生物炭事先分散在水中的水溶液，進行螯合滴定，得到鈣離子莫耳數之後再反推鈣離子佔原生物炭粉總重的比例，稱為 Ca%。

實驗發現：菱角要到 600°C、花生、龍蝦在 200°C、雞骨炭、九孔則是 400°C。最奇怪的是雞骨炭，雞骨炭的鈣含量並不符合所查詢到的文獻數據，可能因為雞骨中鈣鹽有一部份是磷酸鈣，也有可能：雞骨頭的無機物被包在有機物中！

實驗進一步測定有無酸洗所製成的生物炭鈣含量，發現事先酸洗確實可以使生物炭的鈣含量下降(也就是移除無機物)，但是對動物炭中鈣鹽的移除效果並不好。

【表】不同炭粉經窯燒、酸洗窯燒後的鈣含量

含鈣%	直接窯燒	酸洗窯燒
菱角炭	0.3%	0.1%
花生炭	0.8%	0.1%
雞骨炭	1.2%	0.4%
龍蝦炭	10.0%	7.0%

雖然雞骨炭的鈣含量從 1.2%降到 0.4%，但是這些很可能只是裸露在外部的氧化鈣，從 EBT 系統測定水溶性氧化鈣的數據，目前還不知道生物炭內部的鈣鹽有多少。

計算方式：

因為 Ca : EDTA = 1 : 1

設 EDTA 使用 x mL

$$\frac{(x \times 10^{-3} L) \times (10^{-3} M) \times 40 g/mol}{0.002 g}$$

=Ca%

實驗筆記

只有可以溶於水的氧化鈣，或是裸露在外部的氧化鈣才有辦法與外界接觸而釋放鈣離子，被 EBT 系統偵測到，否則就測不到(不能說沒有)。本研究含鈣量特別是指高溫加熱後產生的水溶性鈣含量(不包含磷酸鈣)。

討論十四、探討炭材改良方法 III-探討動物炭的結構

為了瞭解動物炭中的鈣鹽在結構的何處，以及有機物是否真的如實驗假設真的會包住無機物。

實驗將酸洗後窯燒得到的動物炭泡入酸中，我們發現將直接窯燒後的碳粉泡入鹽酸中後烘乾(因為 HCl 是氣體溶質，所以加熱可以將水分蒸發，也使 HCl 氣體離開生物炭)，最後就會發現上面有白色粉末，推測應該是氧化鈣。

檢測方法是定性分析：將粉末測試水溶性，發現無論使用純水或是酸性水溶液都可以全溶掉，然而利用照射雷射光來觀察，發現純水溶解白色粉末後看似全溶解掉，但是卻有廷得耳效應，而用酸溶解白色粉末的溶液沒有廷得耳效應，證明這些白色粉末並非完全是氧化鈣，可能摻有難溶於水的磷酸鈣。(磷酸鈣溶於酸)

此實驗部分證實了，雞骨內部中含有大量的鈣鹽會在碳化後被包住，而龍蝦的鈣鹽應該大部分裸露在外部。



【圖】雞骨頭酸洗後窯燒後再泡酸烘乾，白色粉末可能為氧化鈣，或是磷酸鈣。



【圖】龍殼酸洗後窯燒後再泡酸烘乾，沒有出現白色粉末。表示事先酸洗能有效移除鈣鹽。

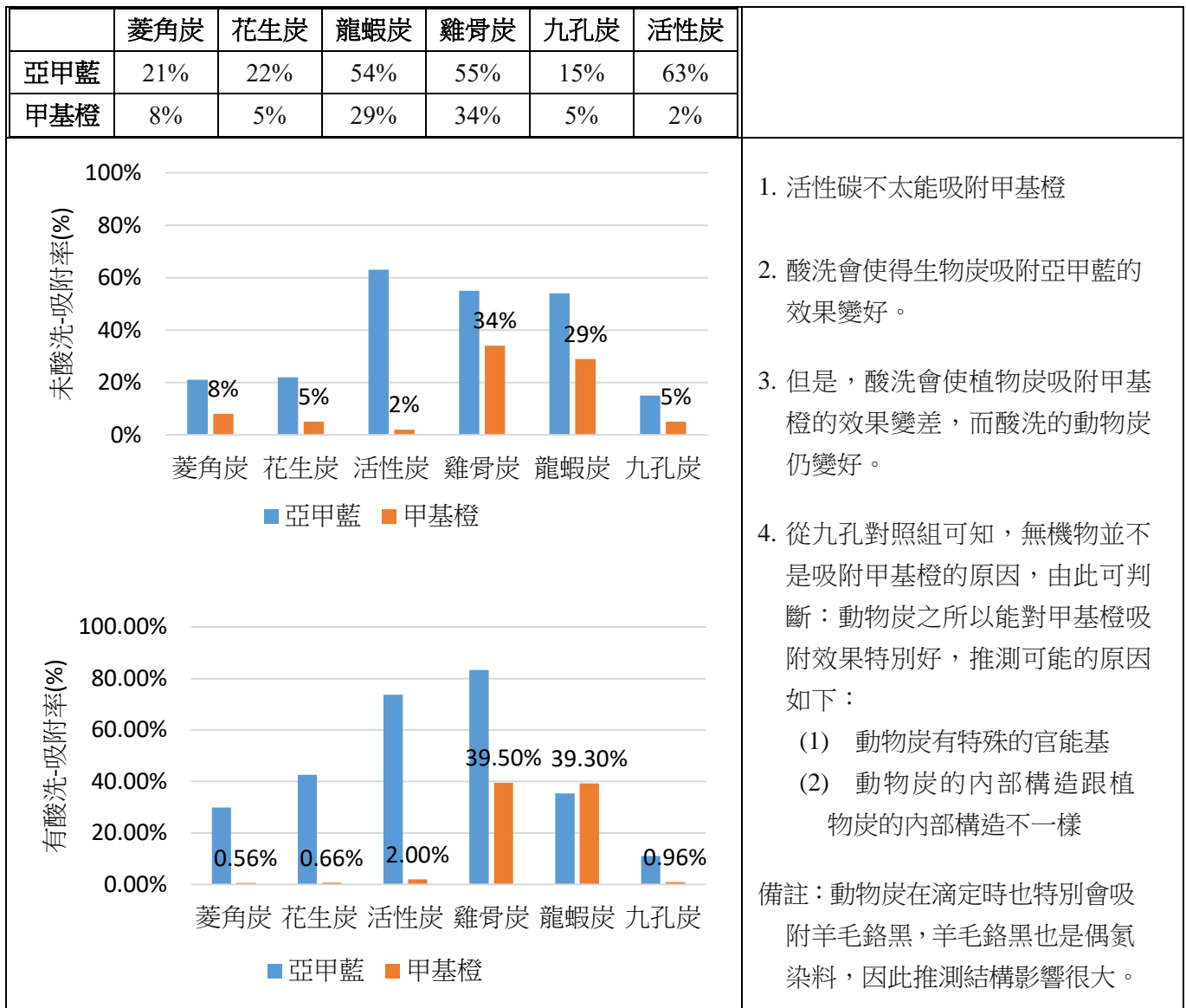


【圖】泡酸烘乾出現的白色粉末使用「水」溶解具有廷得耳效應

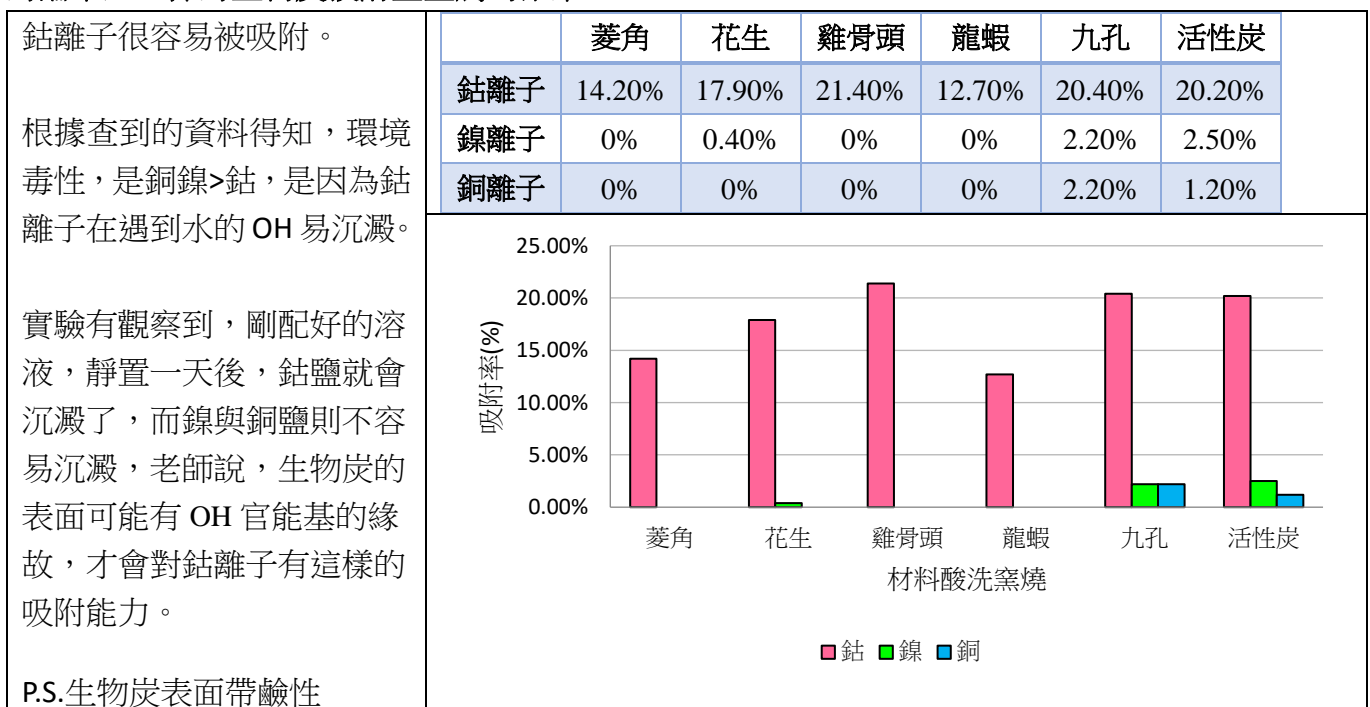


【圖】白色粉末使用「酸」溶掉沒有廷得耳效應，證明可溶於酸。

討論十五、探討生物炭吸附不同結構染料的結果



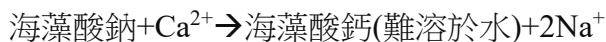
討論十六、探討生物炭吸附重金屬的結果



討論十七、控制炭球形成

生物炭用於吸附，常有回收不易問題，因此本研究欲將生物炭做成炭球微膠囊，採取使用化學方法的海藻酸鈣系統來製作不同尺寸炭球。

海藻酸鈣的成球機制是利用分液漏斗控制炭漿在管口先形成水球，水球的主要成分是水，水會帶著被海藻酸鈉分散的稠狀炭粉，在管口聚集成炭漿水球，直到表面張力支撐不住水球重量而滴落，滴落的滯空期間呈水滴狀，落至水面可能是水滴狀(炭漿黏度太高)、球狀，然後表面的海藻酸鈉會瞬間與水面的鈣離子產生交聯，原本具有水溶性的海藻酸鈉鏈狀聚合物，會變成不溶於水的網狀聚合物，化學反應為鈣離子與兩個鈉離子進行交換：



由於表面的海藻酸鈣薄膜具有良好的通透性，因此外部的鈣離子又會滲透進來，而鈉離子則會再滲透出去，最終水球中的海藻酸鹽質量會減輕，但是由於交聯後薄膜張力緣故，球體萎縮，大量的水被趕出水球，所以水球的總質量下降，體積變小，最終沉入氯化鈣水溶液底部。

本研究使用海藻酸鈣系統來製作不同尺寸的炭球，可能影響的變數如下：(1)海藻酸鈉濃度(2)氯化鈣濃度(3)炭粉濃度(4)滴管口徑

由於氯化鈣的濃度主要影響的是水球的浮沉以及球殼定型的時間，與烘乾後球的尺寸無關，因此本研究固定其濃度在 5%(剛滴入的時候水球會先浮著，水球定型後海藻酸鈉與鈣離子形成網狀聚合物後體積萎縮、密度變大就會沉下去，方便掌握收集水球的時機)。由於炭粉與海藻酸鈉粉要一開始就先攪一起(這樣才可以在溶液增稠的過程中均勻分散，否則炭粉會分散不均勻)，於是，炭粉必須受到海藻酸鈉稠度的乘載而漂浮(而不至於沉降)，若海藻酸鈉濃度太低，除了無法成球外，也會造成炭粉分散不均勻導致做出來的水球，內部含有的炭粉比例不同，而在同一杯炭漿中做出大小不一的球，經過測試，實驗先挑選 1%海藻酸鈉(黏



【圖】由分液漏斗、滴管、吸管頭組裝而成的控制裝置



海藻酸鈉濃度太低 0.1%無法成球，0.5%球型不規則，且炭粉會沉降



海藻酸鈉濃度 1%，黏度適中，可使炭粉漂球型，2%以上流速爆降且易阻塞

【圖】配置炭漿的懸浮液外觀



浮



交聯後沉

【圖】海藻酸鈣水球在 5%



【圖】表面張力作用與重力平衡

注意：

滴入時，流速要適中，若水球聚集滴落瞬間，又有額外的炭漿加入(牽絲)，則會使炭球重量產生正偏差，影響炭球大小誤差

度約 400CPS)進行實驗，探討炭漿中炭粉比例對水球烘乾後的炭球球徑影響。

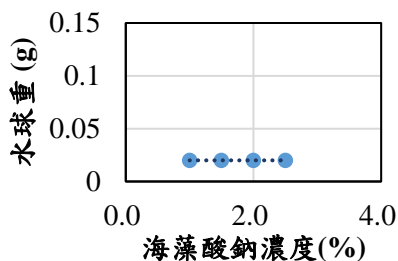
從物理的觀點，我們得知，水球脫離滴管，並滴落至氯化鈣水溶液接觸的瞬間，水球就會被定型，水球內部的炭粉就會被海藻酸鈣鎖住，因此水球內部炭粉的量越多，待水分蒸乾後剩下的炭集結成的球就會越大，因此，炭粉的分散濃度越低，就能夠做出越小的炭球，經過實驗測試，本實驗部分做出最小的球徑是 1 mm (使用 1%炭粉)。

實驗發現，提高炭粉分散濃度可以使球變大，但是會有一個上限。隨著炭粉濃度增加，炭漿的流速也會變慢，這些炭漿會在滴管管口先聚集成水球，決定這個水球的大小的因素是表面張力作用，表面張力×管口圓周長=水球最大重量的時候，水球就會脫離管口落下，因此如果實驗只改變炭粉濃度，由於水球中大部分的重量的重量仍來自於水，管口聚集的水球重量有限的情況下，這樣做出的炭球會有一個球徑限制是 2.0 mm (15%極限炭粉濃度)，於是實驗也探討了不同滴管口徑所能夠製作出炭球的上下限，實驗發現，雖然口徑的影響大於炭粉濃度，雖然如此，口徑必須與炭粉的分散濃度相配合，這是因為口徑大到一定程度，炭漿不會注滿整個口徑，而是從側壁滴下的話，炭球的球徑無法獲得提升。實驗發現炭粉濃度與口徑能互相配合的極限下，使用一般重力法所能夠做出的炭球為 4.5 mm。

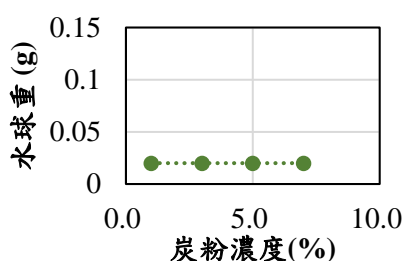
由於本實驗部分要做出的炭球是用於吸附，因此炭球中的海藻酸鈣儘可能越低越好，而海藻酸鈣的量又是一開始海藻酸鈉的濃度決定，海藻酸鈉濃度必須在 1~2%之間，如果要使海藻酸鈣比例下降，只能提高炭粉濃度，但是又會同時始炭球變大，實驗發現，炭球在 1%海藻酸鈉、5%炭粉時有最佳等重吸附率。

口徑	1.00	1.00	1.00	1.00	口徑	1.00	1.00	1.00	1.00	口徑	1.00	3.00	5.00	7.00
	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm
海藻酸鈉	1%	1.5%	2%	2.5%	海藻酸鈉	1%	1%	1%	1%	海藻酸鈉	1%	1%	1%	1%
炭粉	0%	0%	0%	0%	炭粉	1%	3%	5%	7%	炭粉	1%	1%	1%	1%
水球重(g)	0.020	0.020	0.020	0.020	水球重(g)	0.020	0.020	0.020	0.020	水球重(g)	0.020	0.062	0.094	0.141

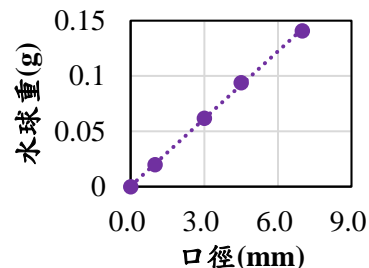
【圖】不同海藻酸鈉濃度炭漿滴落的水球重量



【圖】不同炭粉濃度炭漿滴落的水球重量



【圖】不同口徑滴落的水球重量

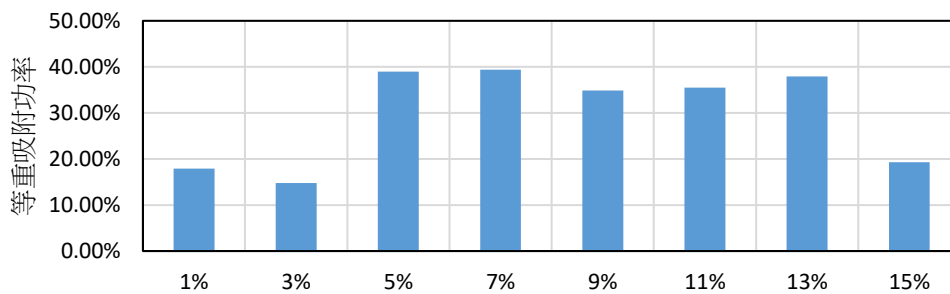
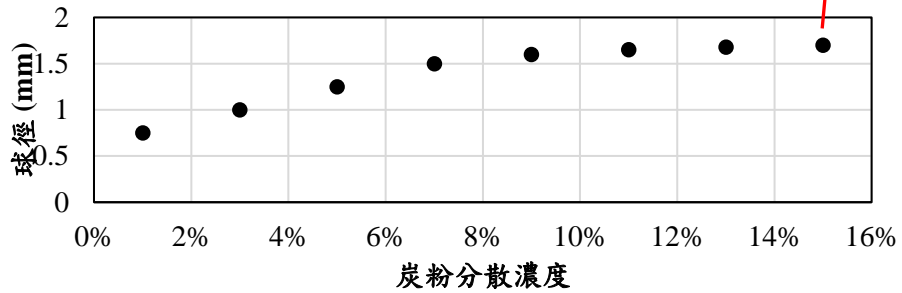


表面張力×管口圓周長(2πr)=水球最大重量

口徑決定了水球重，水球重也決定了水球中的炭粉量上限，是主要控制炭球大小的因素。並且口徑與水球重大致成正比(符合物理定律)。

- 1、不管如何改變實驗參數，只要炭球是以注滿管口的方式滴落，則炭球的大小可以利用表面張力關係式及本實驗部分結果進行預測。
- 2、口徑太大的缺點是，滴落時有較明顯的牽絲斷裂，落下產生其他小尺寸水球。

口徑(mm)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
海藻酸鈉濃度	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
炭粉分散濃度	1%	3%	5%	7%	9%	11%	13%	15%
炭球大小	0.75 mm	1.00 mm	1.25 mm	1.5 mm	1.6 mm	1.65 mm	1.68 mm	1.70 mm
炭球重量	0.0006	0.0011 g	0.0015 g	0.0018 g	0.0020 g	0.0023 g	0.0025 g	0.0026 g
等重吸附率	17.9%	14.8%	39.0%	39.4%	34.9%	35.5%	37.9%	19.3%



【圖】固定管徑、海藻酸鈉濃度 1%，改變不同炭粉分散濃度 1%、3%、5%、7%、9%、11%、13%、15% 的炭球大小及等重吸附率(0.026 g 炭球/2 mL 亞甲藍吸附 7 分鐘)

炭粉的分散濃度越高，則炭粉相對於海藻酸鈉的重量比提升，也就是在等重水球中分配到的炭粉量較多(海藻酸鈉越少)，當水分烘乾後會形成較大的炭球。炭粉分散濃度是控制炭球大小的次要因子。而且在海藻酸鈉濃度固定的情況下，炭粉分散濃度也控制了炭球的含碳比例，因此，以吸附功能來說，海藻酸鈣比例越低越好，炭粉比例就要提高，但炭粉比例提高，球就會變大，而大球的等重吸附率就會變差，實驗藉此找到了黃金交叉(等重吸附率最佳之碳球合成比)。

口徑	1.00 mm			3.00 mm			5.00 mm			7.00 mm			11.0 mm		
海藻酸鈉濃度	1.0%	1.5%	2.0%	1.0%	1.5%	2.0%	1.0%	1.5%	2.0%	1.0%	1.5%	2.0%	1.0%	1.5%	2.0%
炭粉分散濃度	1.0%	1.5%	2.0%	1.0%	1.5%	2.0%	1.0%	1.5%	2.0%	1.0%	1.5%	2.0%	1.0%	1.5%	2.0%
是否成球	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	X	O	O
炭球大小	0.75 mm	0.75 mm	0.75 mm	1.00 mm	1.40 mm	1.60 mm	1.25 mm	1.60 mm	1.80 mm	X	1.50 mm	2.40 mm	X	2.00 mm	3.0 mm

【圖】固定炭粉/海藻酸鈉=1 使炭球組成不變但提升黏度，配合不同管徑影響炭球球徑的上限
雖然口徑是影響炭球大小的主要因子，但是口徑仍必須與溶質濃度作搭配

【表】不同海藻酸鈣濃度影響炭球吸附率之影響(選擇球徑小誤差小)

海藻酸鈉濃度	口徑	炭粉分散濃度	黏度 (s ⁻¹)	情況	球徑	亞甲藍吸附率
0.1%	1 mm	1%	1/4	無法成球	-	無
0.5%	1 mm	1%	1/18	球形破碎	-	無
1.0%	1 mm	1%	1/100	恰能成球	0.75 mm	17.9%
1.5%	1 mm	1%	1/225	流動較慢	0.90 mm	10.2%
2.0%	1 mm	1%	1/699	無法流動	1.00 mm	5.1%

討論十七、炭球、粉體吸附功率、吸附動力學

實驗利用討論十八的結果，炭粉：海藻酸鈉=5：1 的重量比來製作生物炭球。

吸附功率比值越高，表示該碳材製作成碳球之後，越是保有其粉體吸附能力。例如活性炭為 6.5% 較其他生物炭球低，表示該粉體的吸附能力很高，而製作成碳球之後的吸附能力大幅下降。

實驗發現：

理論上，炭球與粉體在吸附無限長的時間後，吸附效果相同，但是受限於結構表面問題以及海藻酸鈣的干擾等影響，實驗發現炭球的吸附效果雖然較差，但是若考慮回收便利問題，則炭球仍有發展潛力。

備註：龍蝦看起來好像很厲害，但其實只是分母很小。生物炭球以雞骨炭的吸附效果最好

吸附是物理現象，因此若我們將粉體製成炭錠，必然改變其吸附效果，若以原粉體吸附效果為 100%，實驗探討了製成的不同大小炭球在相同時間內的吸附功率比值：

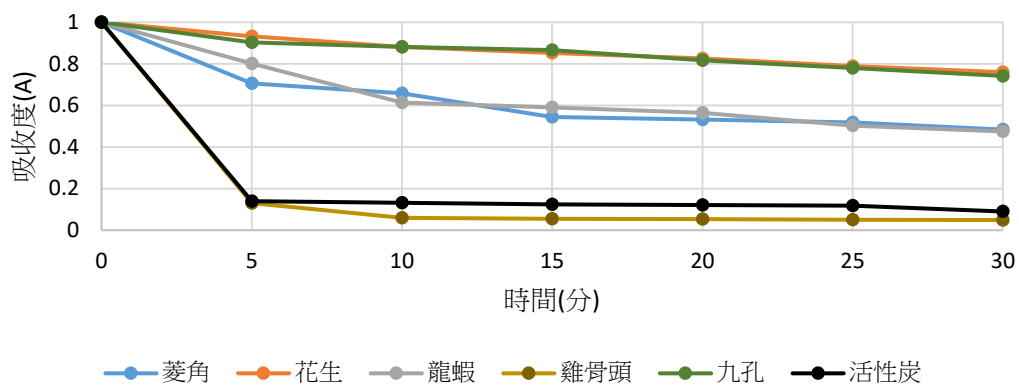
$$\text{吸附功率比值} = \frac{\text{炭球吸附率}}{\text{粉體吸附率}} \times 100\%$$

【表】不同生物炭球(有經過酸洗)對亞甲藍的吸附功率(0.002 g/2 mL 吸附 7 分鐘)

	粉體吸附率	炭球吸附率	炭球吸附功率比值
菱角殼	30.2%	0.8	2.2%
花生殼	43.2%	1.5%	3.4%
雞骨頭	76.2%	3%	3.9%
龍蝦殼	54.1%	2.5%	4.6%
九孔貝 (對照組)	16.8%	0%	0%
活性炭 (對照組)	72.1%	4.7%	6.5%

	菱角	花生	龍蝦	雞骨頭	九孔	活性炭
0	1	1	1	1	1	1
5	0.706	0.932	0.801	0.13	0.903	0.14
10	0.658	0.881	0.614	0.059	0.882	0.132
15	0.544	0.853	0.59	0.055	0.867	0.124
20	0.532	0.826	0.564	0.054	0.817	0.121
25	0.519	0.79	0.503	0.051	0.78	0.118
30	0.484	0.76	0.475	0.049	0.742	0.09

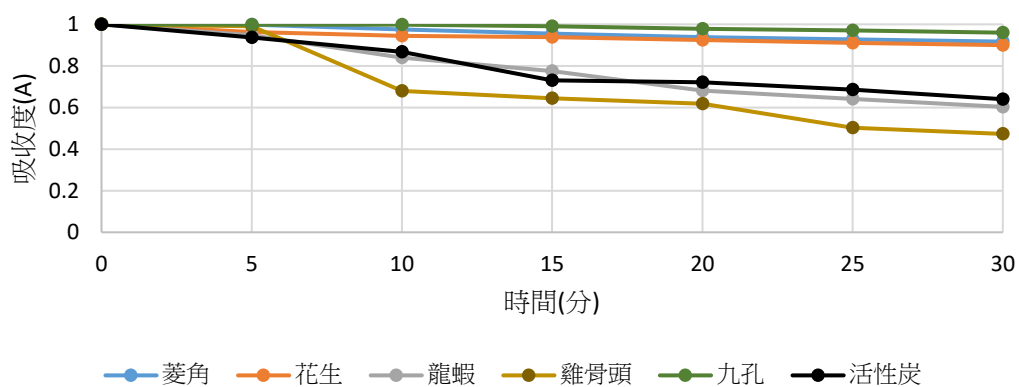
「生物炭粉」吸附亞甲藍時間軸



【表】不同生物「炭粉」的吸附時間軸

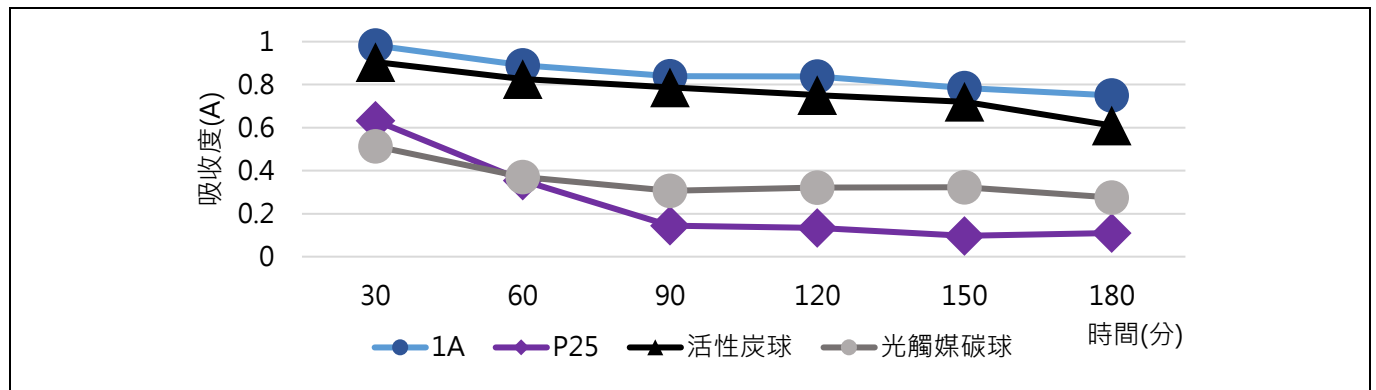
	菱角	花生	龍蝦	雞骨頭	九孔	活性炭
0	1	1	1	1	1	1
5	0.999	0.963	0.947	0.991	0.999	0.937
10	0.975	0.945	0.84	0.68	0.998	0.867
15	0.955	0.939	0.776	0.645	0.991	0.73
20	0.938	0.925	0.682	0.618	0.979	0.722
25	0.928	0.911	0.641	0.502	0.97	0.686
30	0.917	0.9	0.603	0.473	0.96	0.64

「生物炭球」吸附亞甲藍時間軸



【表】不同生物「炭球」的吸附時間軸

討論十九、光解與吸附的搭配



【圖】結合光觸媒的碳球與市售光觸媒光催比較吸附與降解能力(吸附分解亞甲藍)

由於吸附染料後的炭球沒辦法重複使用，因此實驗嘗試，如果可以在炭球上結合光觸媒，可以在吸附染料後並在有陽光的時候將其分解，這樣炭球就可以永續使用。

參考第 18 屆旺宏科學獎的作品

https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/18th/doc/SA18-286_final.pdf

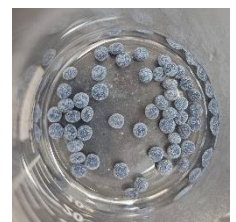
將水溶性農藥檸檬酸鈦與炭球一起調整 pH，使氫氧化鈦沉澱到炭球表面，再利用包陶土的方式加熱，使 $Ti(OH)_4 \rightarrow TiO_2 + H_2O$ 並且封在甕之中可以防止炭球被燒掉，最後可以得到同時具有光催能力的炭球。兼具回收、及再利用的功用。

討論二十、市賽後延伸

由於氫氧化鈦包附炭球效果不好，因此實驗嘗試直接使用鈦離子取代鈣離子來進行交聯。

本研究發明，製作以海藻酸鈦為薄膜的生物炭球

1. 使用最佳參數的生物碳粉及海藻酸鈦比 5:1，製成碳漿
2. 調配 5% 的檸檬酸鈦水溶液
3. 將碳漿倒入分液漏斗中，並在下方放置檸檬酸鈦水溶液
4. 將製成的海藻酸鈦碳球使用濾網濾出，放入烘箱烘乾後，窯燒 500 度 2 小時



【圖】雞骨炭為炭源的烘乾後光觸媒碳球

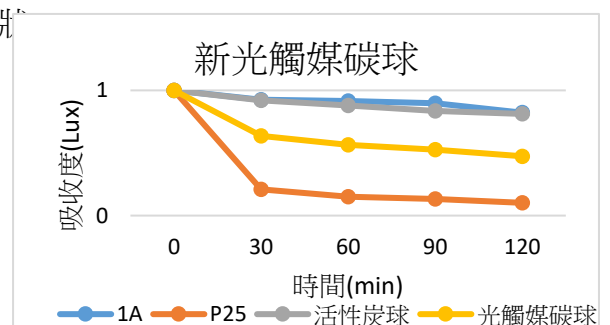
※實驗發現利用此法做出的動物炭球容易變成紅血球狀

※光觸媒碳球的優點: 內部生物炭成本低，

吸附後可與外部光觸媒配合降解，使碳球再生。

※本研究以雞骨炭製作之「回收式吸附光解膠囊」

經由照射陽光，可以恢復吸附效果至 90%，能夠重複使用。



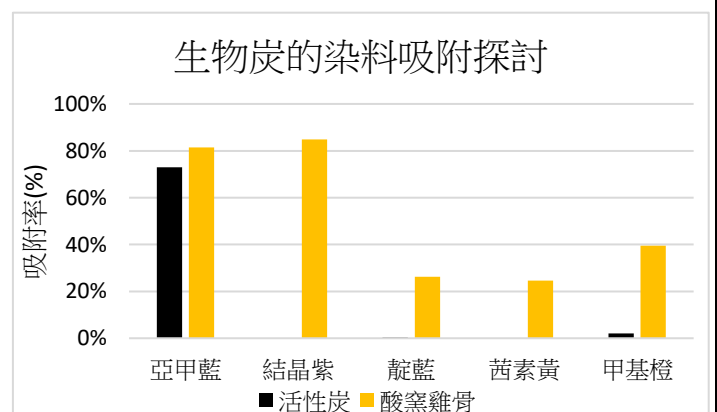
※生物炭吸附不同結構的染料總整理

染料	芳香併苯結構	非芳香併苯結構
正電	亞甲藍、玫瑰紅	甲基紫
負電	無	靛藍

偶氮染料(都是非芳香併苯結構):

羊毛鉻黑、甲基橙、茜素黃、剛果紅、甲基紅

→因此推論生物炭吸附染料跟分子結構較有關與染料電性較無關，猜測是因為官能基。



柒、結論

1. 植物炭的碳元素比例較高(菱殼炭高達 90%以上)，而動物炭幾乎由無機物組成，即使如此，動物炭無論吸附甲基橙或是亞甲藍，都比植物炭更好。
2. 本研究利用市售的 Sipahh 巧克力牛奶吸管，設計出具有信度的自製沖提吸附管柱，採用「沖提」的方式使可計算吸附率、比較吸附遞減程度、比較吸附容量等優點
3. 本實驗中，採用 0.16 g 的生物炭粉吸附染料，採取粗顆粒 0.04 g，細顆粒 0.12 g，在填充碳粉時不會使細顆粒炭粉漏出，且細顆粒炭粉大小亦不會使水流過慢，在衡量兩面因素皆得的情況下，便決定以此方法作為標準吸附裝置。利用吸附遞減，可以對吸附效能很接近的植物炭進行比較，發現菱殼炭在很多方面都勝過花生殼炭。(吸附高濃度染料，吸附重金屬等)
4. 實驗進一步探討了不同材料最適當的炭化溫度，發現菱殼炭的炭化溫度最低，低溫炭化得到的炭吸附能力較佳；而龍蝦炭的炭化溫度較高。雞骨炭的炭化溫度不影響其吸附效果。
5. 透過 EBT 作為指示劑，來定量生物炭中水溶性鈣離子含量，可以知道炭化處理的溫度越高，能夠分解的碳酸鈣越多，結構內部產生的 CO₂ 有機會撐破結構使酸更容易入侵，此外碳酸鈣分解產生的氧化鈣也更容易因為酸鹼中和被酸溶解，因此先炭化再酸洗會是製作生物炭最好的步驟。
6. 透過改變酸洗的順序，再經過浸泡氣體溶質的鹽酸並烘乾來提取生物炭內部剩餘的無機物，可以證明得知動物炭的無機物在生物殘骸中的相對位置，別於龍蝦殼，雞骨的無機物主要包在有機物之中，炭化後酸洗可以對雞骨炭製造更多的空腔結構，這就是為什麼雞骨炭效果能超越市售活性炭的原因。
7. 吸附鈷、鎳、銅鹽中，雞骨頭對於鈷鹽的吸附能力最佳，事實上鹼性生物炭，連九孔炭灰都對鈷離子有很好的吸附能力。
8. 實驗發現生物炭：海藻酸鈉=5%：1%做出的炭球，材料經濟高、吸附效果良好。實驗透過分液漏斗改造裝置來進行造粒，可利用表面張力公式的變因進而自由控制炭球大小(0.75 mm~3 mm)。
9. 實驗進一步將碳球製成光觸媒炭球，方便吸附後回收，並且照射陽光後再生可重複使用。
10. 本研究之動物炭對非芳香併苯結構的染料具有很好的吸附效果，具有取代活性炭的優勢。

捌、參考文獻

1. 黃千凌、郭伶玲等。活性碳與各類物質反應之探討—研究其對顏色、氣體、酸鹼吸收之效率。第 34 屆科展作品。
2. 簡碩廷、傅崧軒、溫晨妤、洪宇倫，綠牡蠣事件—重金屬離子的減廢與回收，第 42 屆科展作品。
3. 林怡妙、林怡、李珮榕、于珮瑩，鏽鏽不入—妙用豆渣吸附重金屬鏽，第 43 屆科展作品。
4. 王威傑、許禎玲等。口罩中的精靈-活性炭 DIY。第 44 屆科展作品。
5. 施函汝、陳宛伶、陳怡琇、蔡幸穎。告訴你有多「色」--探討植物染色的效果。第 44 屆科展作品
6. 王傑禾、陳政憲等。廢渣不是渣—去除水中銅離子。第 45 屆科展作品。
7. 阮子芸、陳玟瑄、黃雅幸、邵啟曜。絲絲入色。第 48 屆科展作品
8. 林詩潔、李姿瑩等。落葉變黑金-由校園落葉製成活性炭應用於高中實驗室廢液處理之研究。第 50 屆科展作品。
9. 羅翊展、謝承餘，『糞』勇作戰—牛糞對抗重金屬，第 51 屆科展作品。
10. 「水」中送「碳」—活性炭對各類水溶液的吸附研究。第 51 屆科展作品。
11. 咖啡王子一號店~研製咖啡渣活性炭。第 52 屆科展作品。

12. 范哲綸、曾新凱。『蔗』麼『C』力—利用甘蔗渣-碳粉吸附重金屬離子。第 53 屆科展作品
13. 連冠柏、謝宜庭、張建誠。蝦米吸金ㄟ—幾丁聚醣顆粒對重金屬離子吸附之探討。第 53 屆科展作品
14. 奇妙的黑色精靈—活性碳對酸鹼水溶液的吸附研究。第 56 屆科展作品。
15. 澎湖縣政府環境保護局(2012)。101 年度台灣外島海域環境品質及污染來源調查監測 計畫。澎湖縣：澎湖縣政府環境保護局。
16. 章明奎、方利平(2006)，利用非活體生物質去除廢水中重金屬的研究，生態環境，15 卷，第 5 期，P. 897-900。
17. 張慶芳，辛佳，孔秀琴，賈小寧(2004)，化學修飾花生殼處理廢水中 Cr^{6+} 的實驗研究，花生學 報，第 37 卷，第 3 期，P. 16~19。
18. 陸濤、黃慶華、麥應昌，甲殼素—清除廢水中的重金屬離子。
19. 自然與生活科技(民 102)。新北市：康軒。吳沛學、吳東承等(民 100)。
20. 活性炭的製作方法(民 95)。民 103 年 3 月 26 日，取自：雅虎知識加。
<https://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1506122710564>
21. 活性碳製程(無日期)。民 103 年 3 月 26 日，取自：
<http://www.actcarb.com/tree/a02-1.htm>
22. 請問如何製作活性炭(民 93)。民 103 年 3 月 26 日，取自：雅虎知識加。<https://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1004120301054>
23. 重金屬廢水處理
<http://www.twwiki.com/wiki/>
24. 活性炭的化學吸附
<http://www.twword.com/wiki/%E6%B4%BB%E6%80%A7%E7%82%AD>
25. 維基百科活性炭
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B4%BB%E6%80%A7%E7%82%AD>
26. 活性炭的吸附原理
http://tac-carbon.com/index_down.php?sele=hstyle&hstyle=2
27. 每日頭條碳酸鈣的定義、分類和性質(2018)<https://kknews.cc/news/2x8n2lz.html>
28. 酸鹼調色盤(2015)<https://app.emaze.com/@AQOIQTQZ#17>
29. 每日頭條活性炭的吸附原理及種類(2016)<https://kknews.cc/zh-tw/home/j6n2ly.html>
30. 有殼動物的殼成分分(2011)析，取自：yahoo 知識加
<https://tw.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080622000015KK09697>
31. 貝類殼成分分析，取自：百度知道(2009)
<https://zhidao.baidu.com/question/119994184.html?fr=iks&word=%D8%90%EE%90%9A%A4%B3%C9%B7%D6&ie=gbk>
32. 骨骼系統(2016)http://www.tswongsir-runners.guide/articles/skeletal_system.htm
33. 信度(Reliability)與效度(Validity)
(2018)<http://blog.ilc.edu.tw/blog/index.php?op=printView&articleId=740817&blogId=33949>
34. 配管技術(給排水衛生工程) 台灣區水管工程工業同業工會(民 100)
https://sites.google.com/view/chingying201810/learn/learn_02_06
35. 中國炭素工業股份有限公司活性炭的關鍵性
(2019)https://carbon.com.tw/newsc_1.php?TVcode=&TK511=5&K200=1
36. 孔道君：多孔材料的簡介(一)(2017)
<https://kknews.cc/zh-tw/science/3jv3qgg.html>

附錄

機坪	處理環境	第一次	第二次	第三次	破轉機
花生	燃燒	600度2小時	13%	8%	10%-
菱角	燃燒	600度2小時	1.60%	3%	2%-
龍蝦	燃燒	600度2小時	58%	55%	50%-
九孔	燃燒	600度2小時	96%	94%	94%-
雞骨頭	燃燒	600度2小時	58%	51%	48%-
花生	酸洗	600度2小時	1%	1%	1%-
菱角	酸洗	600度2小時	1%	6%	32%-
龍蝦	酸洗	600度2小時	66%	64%	59%-
九孔	酸洗	600度2小時	96%	98%	96%-
雞骨頭	酸洗	600度2小時	60%	61%	63%-
花生	窯燒	600度2小時	38%	39%	44% 25%
菱角	窯燒	600度2小時	37%	32%	74% 35%
龍蝦	窯燒	600度2小時	60%	64%	48% 2%
九孔	窯燒	600度2小時	96%	94%	99% 1%
雞骨頭	窯燒	600度2小時	59%	67%	67% 0%
花生	酸洗	600度2小時	31%	36%	34% 18%
菱角	酸洗	600度2小時	34%	32%	28% 32.40%
龍蝦	酸洗	600度2小時	69%	69%	70% 11%
九孔	酸洗	600度2小時	98%	95%	98% 2%
雞骨頭	酸洗	600度2小時	66%	69%	62% 8%
花生	窯燒	400度2小時	50.00	%	37%
菱角	窯燒	400度2小時	36%	%	34%
龍蝦	窯燒	400度2小時	68.00	%	10%
九孔	窯燒	400度2小時	96%	%	0%
雞骨頭	窯燒	400度2小時	62.00	%	4%
花生	窯燒	500度2小時	46%	%	33%
菱角	窯燒	500度2小時	32%	%	30%
龍蝦	窯燒	500度2小時	68%	%	10%
九孔	窯燒	500度2小時	92%	%	X
雞骨頭	窯燒	500度2小時	52%	%	X
活性炭	燃燒	500度2小時	45%	%	
1C1%破轉機	燃燒	500度2小時	65%	%	

機坪	處理環境	吸收值 1	2	吸附率 2	2	
花生	燃燒	600度2小時	0.853	0.897	14.70%	10.30%
菱角	燃燒	600度2小時	-	0.917-	-	8.30%
龍蝦	燃燒	600度2小時	0.914	0.825	8.60%	17.50%
九孔	燃燒	600度2小時	0.871	0.769	12.90%	23.10%
雞骨頭	燃燒	600度2小時	0.919	0.429	8.10%	57.10%
花生	酸洗	600度2小時	0.845	0.564	15.50%	43.60%
菱角	酸洗	600度2小時	0.852	0.72	14.80%	28%
龍蝦	酸洗	600度2小時	0.933	0.074	6.70%	2.60%
九孔	酸洗	600度2小時	0.927	0.892	7.30%	10.80%
雞骨頭	酸洗	600度2小時	0.93	0.757	7.00%	24.30%
花生	窯燒	600度2小時	0.771	0.061	22.90%	93.90%
菱角	窯燒	600度2小時	0.79	0.473	21.00%	52.70%
龍蝦	窯燒	600度2小時	0.462	0.026	53.80%	97.40%
九孔	窯燒	600度2小時	0.848	0.605	15.20%	39.50%
雞骨頭	窯燒	600度2小時	0.446	0.283	55.40%	71.70%
花生	酸洗	600度2小時	0.845	0.493	15.50%	50.70%
菱角	酸洗	600度2小時	0.638	0.195	36.20%	80.50%
龍蝦	酸洗	600度2小時	0.459	0.023	54.10%	97.70%
九孔	酸洗	600度2小時	0.832	0.369	16.80%	63.10%
雞骨頭	酸洗	600度2小時	0.238	0.185	76.20%	81.50%
活性炭	燃燒	500度2小時	0.01	0.055	99.00%	94.50%
龍蝦	窯燒	400度2小時	0.152	%	84.80%	
九孔	窯燒	400度2小時	0.508	%	49.20%	
雞骨頭	窯燒	400度2小時	0.01	%	99%	
花生	窯燒	400度2小時	0.165	%	83.50%	
菱角	窯燒	400度2小時	0.126	%	87.40%	
龍蝦	窯燒	400度2小時	0.075	%	92.50%	
九孔	窯燒	400度2小時	0.59	%	41%	
雞骨頭	窯燒	400度2小時	0.224	%	77.60%	
花生	窯燒	500度2小時	0.241	%	90.90%	
菱角	窯燒	500度2小時	0.19	%	31%	
龍蝦	窯燒	500度2小時	0.888	%	51.20%	
九孔	窯燒	500度2小時	0.404	%	19.60%	
雞骨頭	窯燒	500度2小時	0.308	%	69.20%	
花生	窯燒	600度2小時	0.597	%	40.30%	
菱角	窯燒	600度2小時	0.614	%	38.60%	

機坪	處理環境	吸收值 1	2	3	4		
花生	燃燒	600度2小時	1.046	1.065	0.912	0.979	
菱角	燃燒	600度2小時	1.076	0.998	0.946	1	
龍蝦	燃燒	600度2小時	1.058	1.037	0.887	1	
九孔	燃燒	600度2小時	1.084	1.036	0.912	1	
雞骨頭	燃燒	600度2小時	1.105	1.046	0.925	1	
花生	酸洗	600度2小時	1.091	1.147	0.926	1	
菱角	酸洗	600度2小時	1.13	1.123	0.91	1	
龍蝦	酸洗	600度2小時	1.079	1.078	1	1	
九孔	酸洗	600度2小時	1.115	1.096	1	1	
雞骨頭	酸洗	600度2小時	0.957	0.962	0.989	1	
花生	窯燒	600度2小時	1.102	1.027	0.952	1	
菱角	窯燒	600度2小時	1.121	1.031	1	1	
龍蝦	窯燒	600度2小時	0.917	0.985	0.709	0.96	
九孔	窯燒	600度2小時	1.041	0.987	0.956	1	
雞骨頭	窯燒	600度2小時	0.8	0.874	0.661	0.819	
花生	酸洗	600度2小時	1.105-	%	0.934	1	
菱角	酸洗	600度2小時	1.114	%	1.042	0.944	1
龍蝦	酸洗	600度2小時	0.905	%	0.949	0.607	0.851
九孔	酸洗	600度2小時	1.07	%	0.945	0.904	1
雞骨頭	酸洗	600度2小時	0.711	%	0.771	0.605	0.816
雞骨頭	酸洗	600度2小時	0.947	%			
活性炭	燃燒	500度2小時	1.19	%	1.089	1	1
中孔炭	燃燒	500度2小時	0.843	%			
花生	窯燒	400度2小時	0.987	%			
菱角	窯燒	400度2小時	0.955	%			
龍蝦	窯燒	400度2小時	0.661	%			
九孔	窯燒	400度2小時	1	%			
雞骨頭	窯燒	400度2小時	1	%			
花生	窯燒	500度2小時	1	%			
菱角	窯燒	500度2小時	1	%			
龍蝦	窯燒	500度2小時	0.767	%			
九孔	窯燒	500度2小時	1	%			
雞骨頭	窯燒	500度2小時	1	%			

機坪	處理環境	吸附率 1	2	3	4		
花生	燃燒	600度2小時	0.00%	0.00%	8.80%	2.10%	
菱角	燃燒	600度2小時	0.00%	2%	5.40%	0%	
龍蝦	燃燒	600度2小時	0.00%	0%	11.30%	0%	
九孔	燃燒	600度2小時	0.00%	0%	8.80%	0%	
雞骨頭	燃燒	600度2小時	0.00%	0%	7.50%	0%	
花生	酸洗	600度2小時	0.00%	0%	7.40%	0%	
菱角	酸洗	600度2小時	0%	0%	9%	0%	
龍蝦	酸洗	600度2小時	0.00%	0%	0%	0%	
九孔	酸洗	600度2小時	0.00%	0%	0%	0%	
雞骨頭	酸洗	600度2小時	4.30%	3.80%	1.10%	0%	
花生	窯燒	600度2小時	0.00%	0%	4.80%	0%	
菱角	窯燒	600度2小時	0.00%	0%	0%	0%	
龍蝦	窯燒	600度2小時	8.30%	1.50%	29.10%	4%	
九孔	窯燒	600度2小時	0.00%	2.30%	4.40%	0%	
雞骨頭	窯燒	600度2小時	20.00	%	12.60%	33.90%	18.10%
花生	酸洗	600度2小時	0.00%	%	6.60%	0%	
菱角	酸洗	600度2小時	0.00%	%	5.60%	0%	
龍蝦	酸洗	600度2小時	9.50%	%	5.10%	39.30%	14.90%
九孔	酸洗	600度2小時	0.00%	%	5.50%	9.60%	0%
雞骨頭	酸洗	600度2小時	28.30	%	22.90%	39.50%	18.40%
雞骨頭	窯燒	400度2小時	5.30%	%			
活性炭	燃燒	500度2小時	0%	%	0%	0%	0%
中孔炭	燃燒	500度2小時	15.70	%			
花生	窯燒	400度2小時	1.30%	%			
菱角	窯燒	400度2小時	4.50%	%			
龍蝦	窯燒	400度2小時	33.90	%			
九孔	窯燒	400度2小時	0%	%			
雞骨頭	窯燒	400度2小時	0%	%			
花生	窯燒	500度2小時	0%	%			
菱角	窯燒	500度2小時	0%	%			
龍蝦	窯燒	500度2小時	23.30	%			
九孔	窯燒	500度2小時	0%	%			

機坪	處理環境	吸收值 1	2	3	4	
花生	燃燒	600度2小時	0.844	0.821	0.788	
菱角	燃燒	600度2小時	0.838	0.858	0.817	
龍蝦	燃燒	600度2小時	0.874	0.873	0.792	
九孔	燃燒	600度2小時	0.776	0.796	0.816	
雞骨頭	燃燒	600度2小時	0.75	0.786	0.785	
活性炭	燃燒	500度2小時	0.077	0.798	0.759	
花生	酸洗	600度2小時	0.083	0.996	0.996	
菱角	酸洗	600度2小時	0.004	1	0.996	
龍蝦	酸洗	600度2小時	0.041	1	0.992	
九孔	酸洗	600度2小時	0.04	0.978	0.997	
雞骨頭	酸洗	600度2小時	0.007	1	0.995	
活性炭	燃燒	500度2小時	0.036	0.975	0.996	
花生	窯燒	600度2小時	1	1	0.998	
菱角	窯燒	600度2小時	1	1	0.997	
龍蝦	窯燒	600度2小時	0.077	1	1	
九孔	窯燒	600度2小時	1	0.978	1	
雞骨頭	窯燒	600度2小時	0.076	1	1	
活性炭	燃燒	500度2小時	0.006	0.988	1	

機坪	處理環境	吸附率 1	2	3	4	
花生	燃燒	600度2小時	0%	0%	0%	
菱角	燃燒	600度2小時	16.20%	14.20%	18.30%	
龍蝦	燃燒	600度2小時	12.60%	12.70%	20.80%	
九孔	燃燒	600度2小時	22.40%	20.40%	18.40%	
雞骨頭	燃燒	600度2小時	25%	21.40%	21.50%	
活性炭	燃燒	500度2小時	23%	20.20%	24.10%	
花生	酸洗	600度2小時	1.70%	0.40%	0.40%	
菱角	酸洗	600度2小時	0.60%	0%	0.40%	
龍蝦	酸洗	600度2小時	5.90%	0%	0.80%	
九孔	酸洗	600度2小時	6%	2.20%	0.30%	
雞骨頭	酸洗	600度2小時	0.30%	0%	0.50%	
活性炭	燃燒	500度2小時	6.40%	2.50%	0.40%	
花生	窯燒	600度2小時	0%	0%	0.20%	
菱角	窯燒	600度2小時	0%	0%	0.30%	
龍蝦	窯燒	600度2小時	0%	2.90%	0%	
九孔	窯燒	600度2小時	0%	2.20%	0%	
雞骨頭	窯燒	600度2小時	2.40%	0%	0%	
活性炭	燃燒	500度2小時	0.40%	1.20%	0%	

機坪	處理環境	EBT	廣用	
花生	燃燒	200度2小時	0.24%	0%
菱角	燃燒	200度2小時	0%	0%
龍蝦	燃燒	200度2小時	0.24%	0%
九孔	燃燒	200度2小時	0%	0%
雞骨頭	燃燒	200度2小時	0%	0%
花生	酸洗	300度2小時	0.20%	0%
菱角	酸洗	300度2小時	0%	0%
龍蝦	酸洗	300度2小時	1.72%	9.84%
九孔	酸洗	300度2小時	0%	0.56%
雞骨頭	酸洗	300度2小時	0%	0.40%
花生	窯燒	400度2小時	0.64%	0%
菱角	窯燒	400度2小時	0%	1.12%
龍蝦	窯燒	400度2小時	2.44%	7.56%
九孔	窯燒	400度2小時	2.36%	2.28%
雞骨頭	窯燒	400度2小時	0.68%	0.76%
花生	酸洗	500度2小時	0.48%	1.76%
菱角	酸洗	500度2小時	0%	1.44%
龍蝦	酸洗	500度2小時	8.32%	4%
九孔	酸洗	500度2小時	4.08%	3.88%
雞骨頭	酸洗	500度2小時	0.36%	0.32%
花生	窯燒	600度2小時	0.80%	0.88%
菱角	窯燒	600度2小時	0.34%	
龍蝦	窯燒	600度2小時	10%	2.88%
九孔	窯燒	600度2小時	12%	
雞骨頭	窯燒	600度2小時	1.20%	
花生	酸洗	600度2小時	2%	2.84%
菱角	酸洗	600度2小時	2%	5.44%
龍蝦	酸洗	600度2小時	7%	12.96%
九孔	酸洗	600度2小時	7%	9.44%
雞骨頭	酸洗	600度2小時	0.36%	0%
雞骨頭	酸洗	600度2小時	0.36%	0%
活性炭	燃燒	500度2小時	1.20%	

【評語】 030211

本研究為一個完整研究，探討生物廢棄物轉化為有用環保吸附材。在內容中，以動物性廢材(如雞骨)為主軸，具其新穎性。特別是，在不同處理方式下，作者找出最適化的條件，所產生的生物炭材具備比傳統活性碳有更優越的吸附力。同時更兼具對鈷離子吸附能力，這是此新型吸附材之進步性。有關吸附重金屬離子部份，若能進一步探討不同金屬離子之選擇性，可更能增強此材料之應用性。在本研究中，作者針對轉化處理方式進行改良及分析，並對吸附能力提昇的可能因素進行探討。這部份令人讚賞。

作品簡報

碳為觀止 -

回收式生物炭吸附光解膠囊

化學科
030211



摘要與架構

將廢棄物轉質為吸附材是當今趨勢。本研究建立具再現性之碳化程序，將花生菱殼、雞骨龍蝦等製成生物炭，並建立吸附SOP來探討最佳處理參數，最後將其製成回收式生物炭球。

實驗發現動物炭因為含有高比例無機物(97%)，可經由酸洗提升生物炭的等重吸附率，雞骨炭因無機物分布位置特殊而具有發展潛力(超越市售活性炭)。整體而言，酸洗能有效提升生物炭吸附亞甲藍(99%)、動物炭吸附甲基橙(39%)能力(活性炭吸附亞甲藍70%、甲基橙2%)，生物炭還能夠吸附鈷離子。

實驗以雞骨炭/海藻酸鈉=5來製作炭球，符合材料經濟最大，且吸附效果良好。最後也將自製光觸媒分散至炭球表面，使觸媒炭球吸附染料後能照射陽光再生，重複使用



建立標準
炭化流程

菱角 花生

植物炭

龍蝦 雞骨

動物炭

建立標準
吸附流程

累進沖提

靜態吸附

模擬廢水

亞甲藍

甲基橙

鈷鎳銅鹽

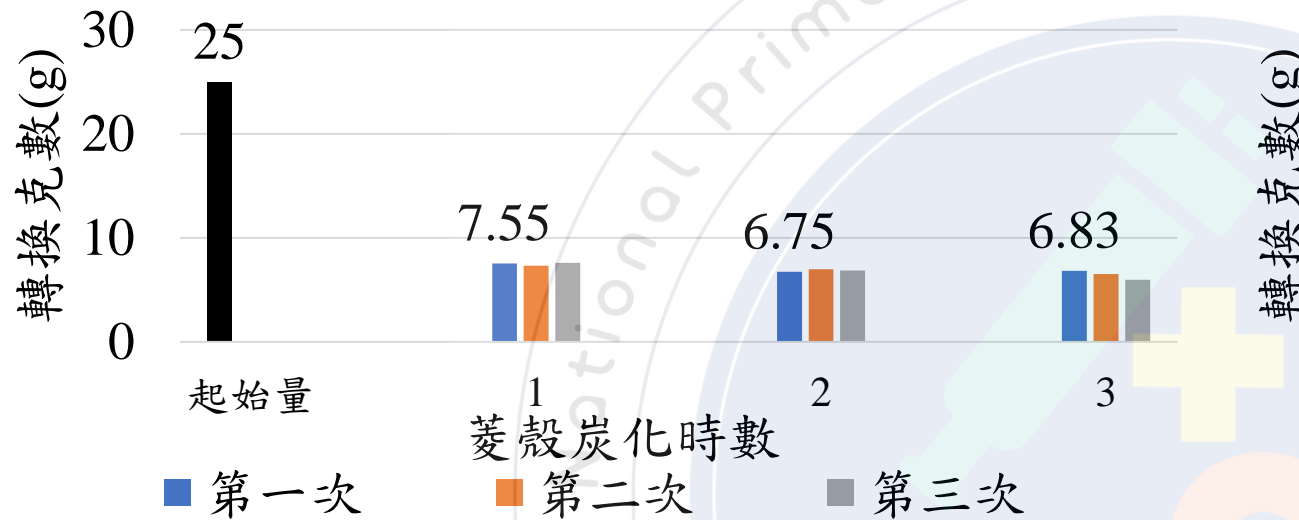
酸洗改良

檢驗Ca²⁺
(aq)

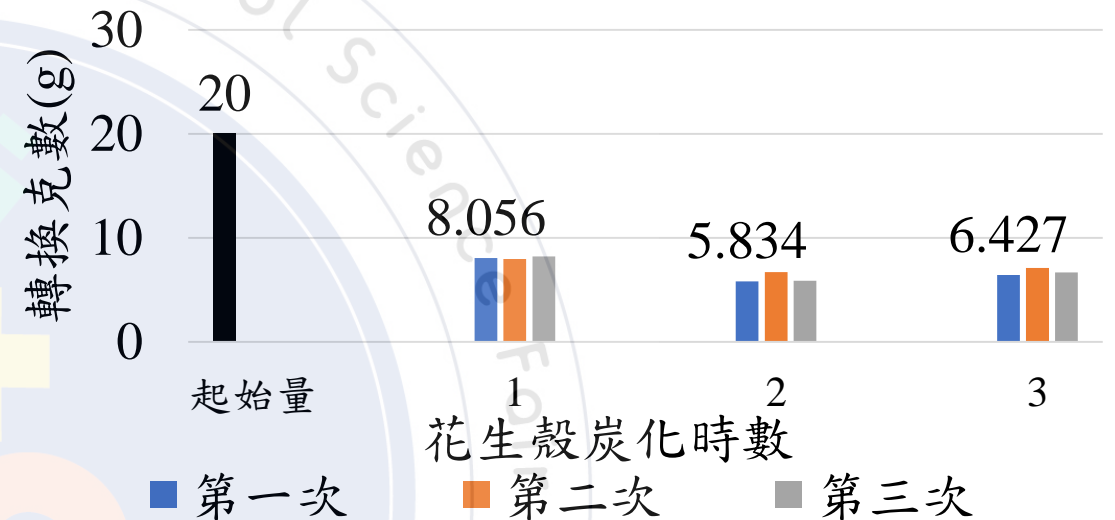
製作生物炭球

製作吸附光解膠囊

結果與討論-石墨化SOP之建立



【圖】菱角殼變菱殼炭轉換率



【圖】花生殼變花生炭轉換率

炭化時間1~3 hr不影響菱殼炭轉換率(約28%)；也不影響花生殼炭的轉換率(約35%)

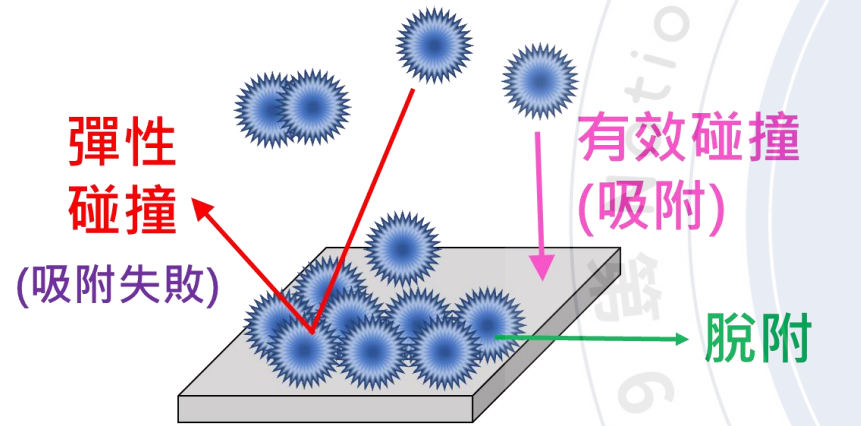


證明：雙層俄羅斯娃娃-稻穀夾層炭化方法具良好再現性

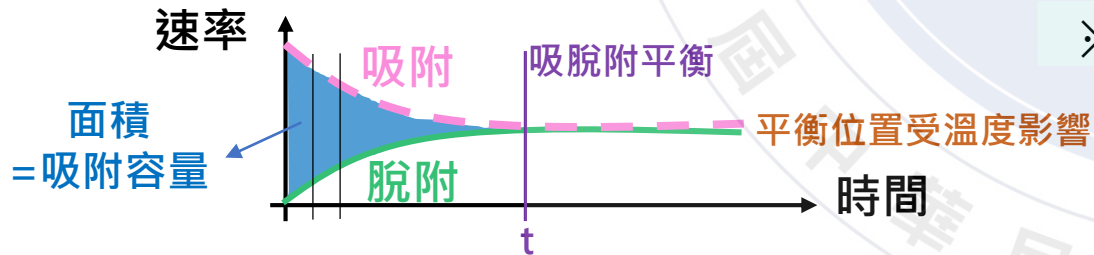
結果與討論-吸附量化SOP之建立

靜態吸附

吸附與碰撞理論



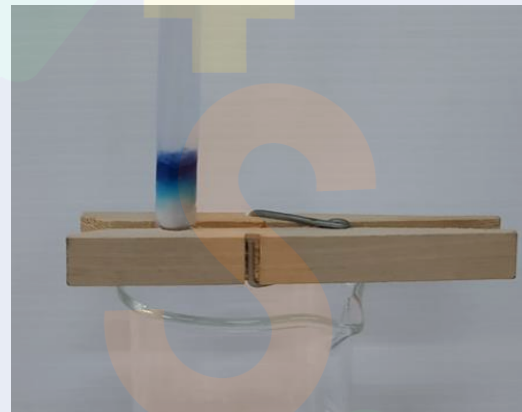
碰撞機率 \propto 表面積 \propto 吸附容量



運用吸附動力學特性，使植物炭吸附效果出現鑑別度

累進沖提

一般吸管+棉花



※但是棉花會干擾實驗

(內建阻隔器)
神奇吸管

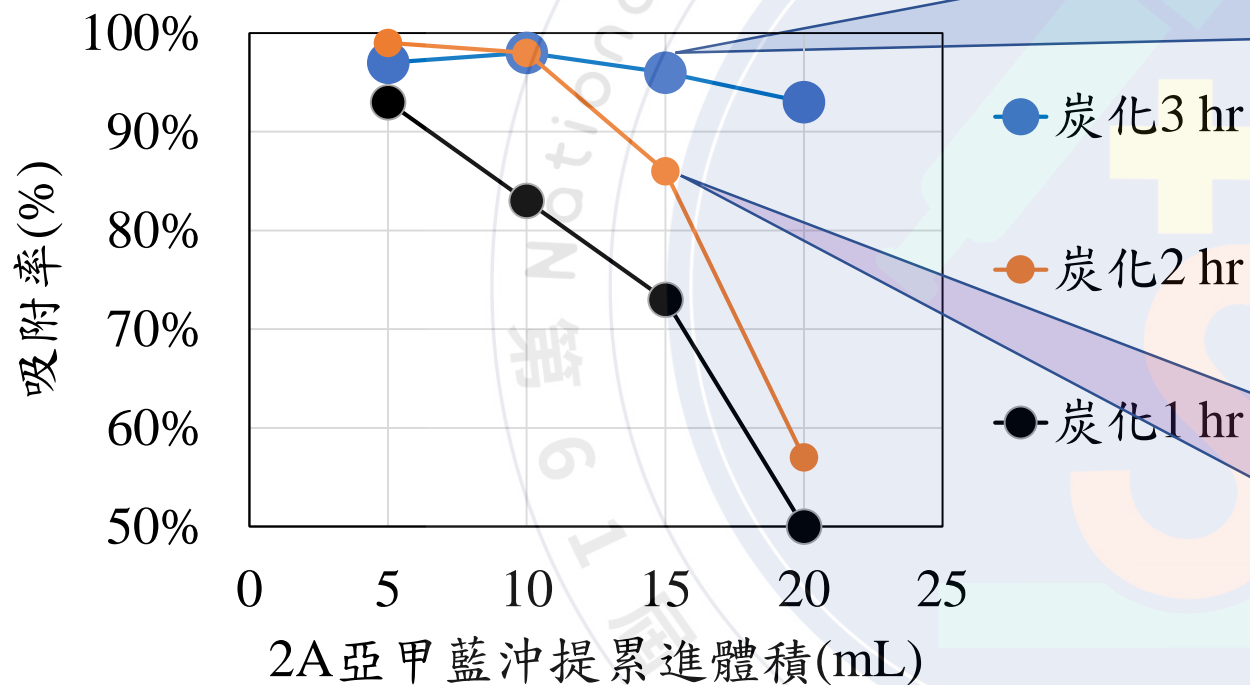


※管柱填充
粗顆粒0.04 g
細顆粒0.12 g



吸附效率遞減現象

以菱殼炭吸附2A亞甲藍為例

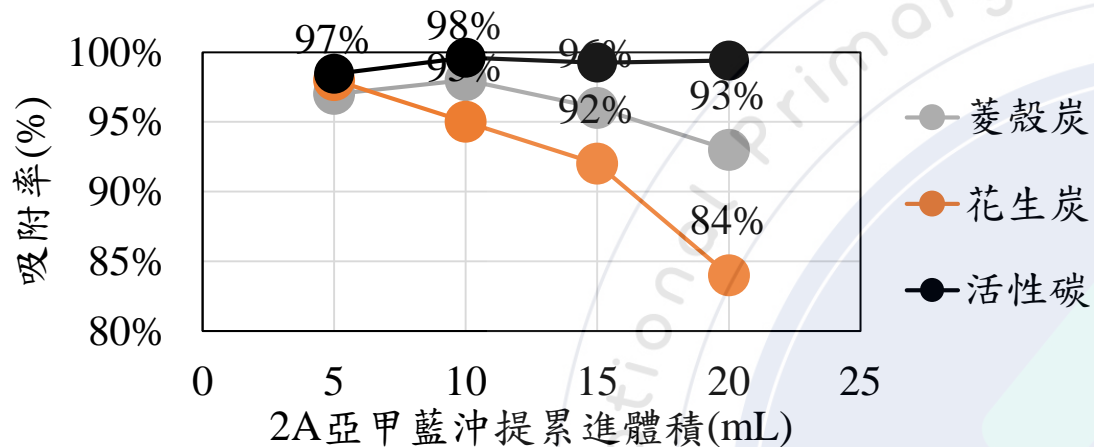


炭化時間越長，原料中的碳原子重新排列組合，將可以形成吸附容量更大的生物炭。(吸附率持平)

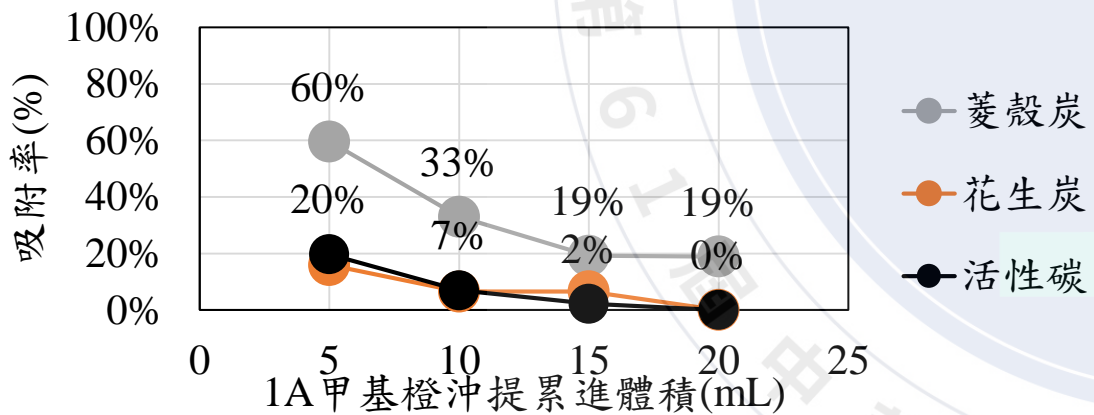
吸附容量較小的生物炭，會在生物炭表面接近吸附上限時，出現吸附率劇烈下降的現象。

足夠的炭化時間，
可以提升生物炭吸附能力

不同植物炭的吸附能力

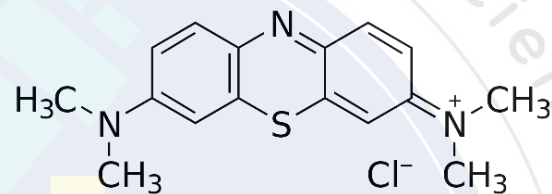


【圖】合成生物炭吸附2A亞甲藍染料的吸附率比較

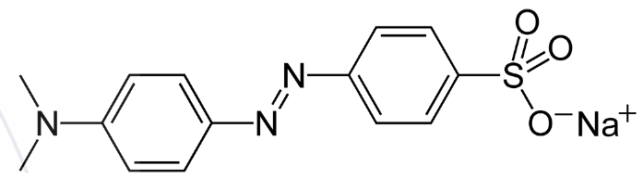


【圖】合成生物炭吸附1A甲基橙染料的吸附率比較

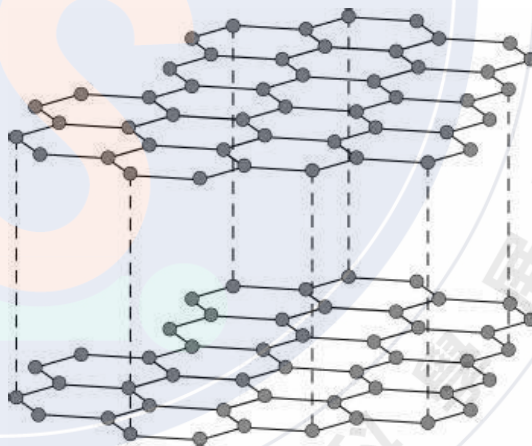
推測：菱殼炭可能表面具有特殊的官能基



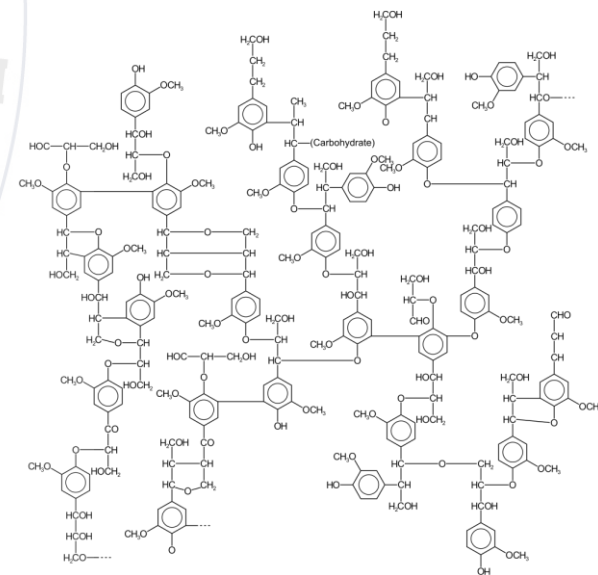
【圖】亞甲藍屬於芳香併苯染料



【圖】甲基橙屬於偶氮染料 (無芳香併苯結構)



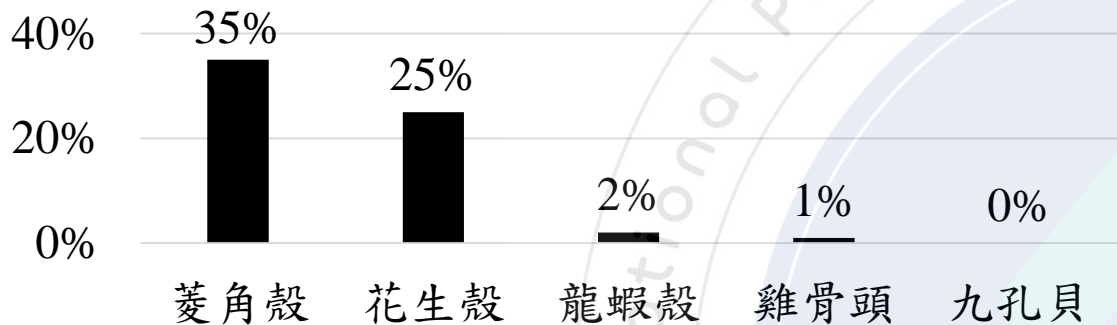
【圖】石墨結構



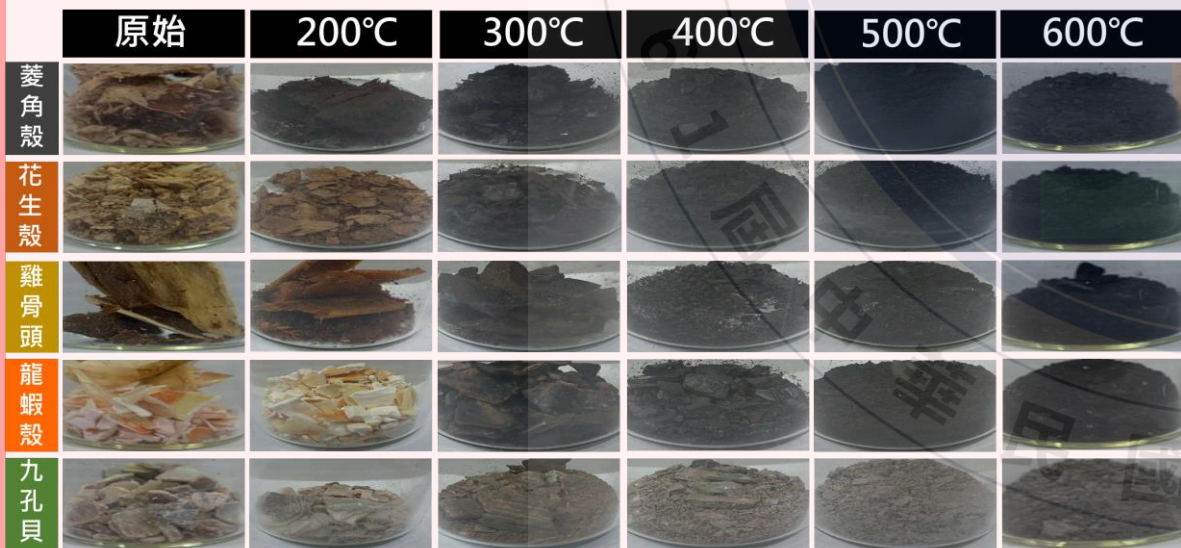
【圖】木質素結構

不同炭化溫度之動物炭

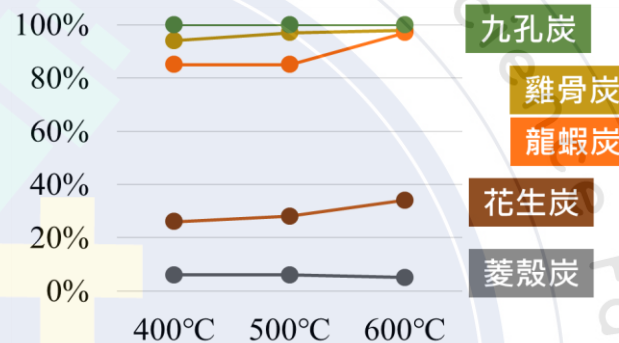
石墨轉換率



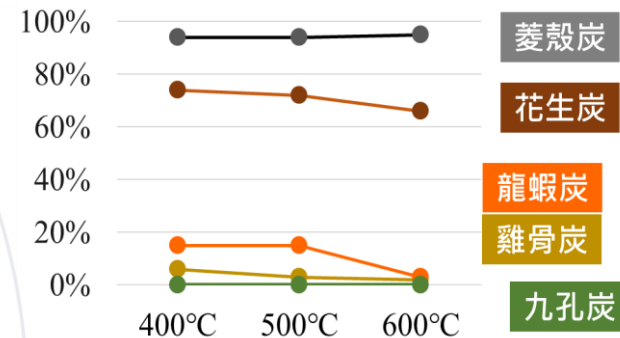
【圖】不同原料在600°C、碳化2 hr的碳轉換率(每克的原料可以產生的石墨克數，以菱角為例，表示1克的菱角殼經過包陶土窯燒之後可以產生0.35克的碳元素，是選擇的生物原料中含碳量最高的)



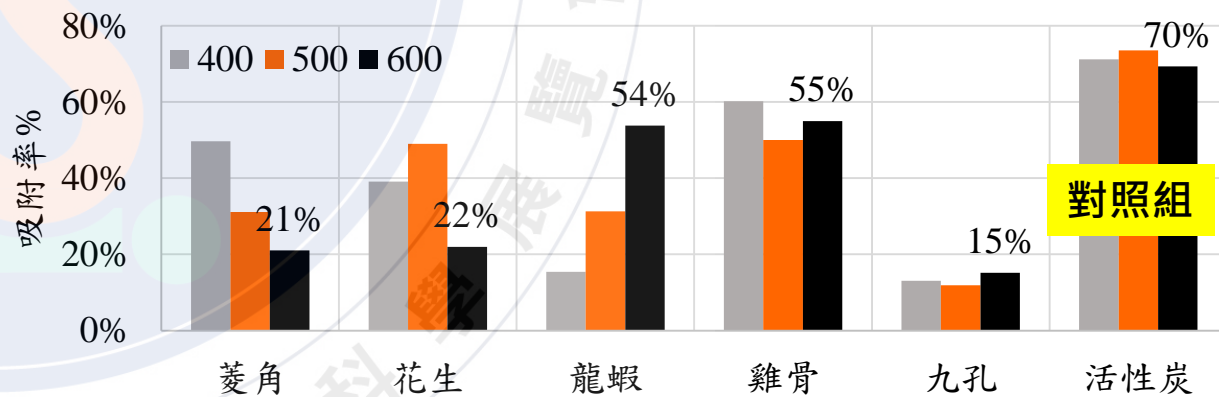
「無機物(灰分)百分比」



「碳元素百分比」



植物炭含碳量高、且越高溫會使得含碳量下降

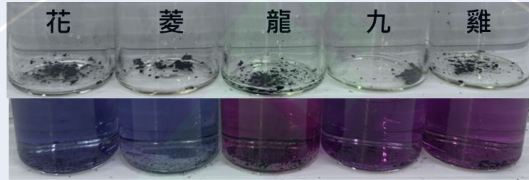
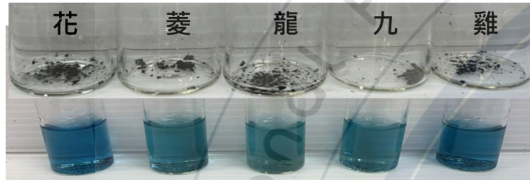
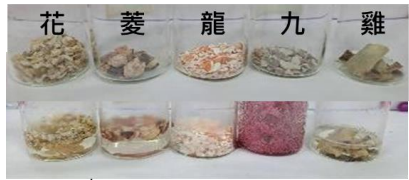
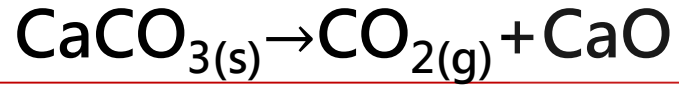


【圖】經不同碳化溫度得到之生物炭對亞甲藍的吸附 (0.002 g生物炭/2 mL亞甲藍) 震盪吸附7分鐘

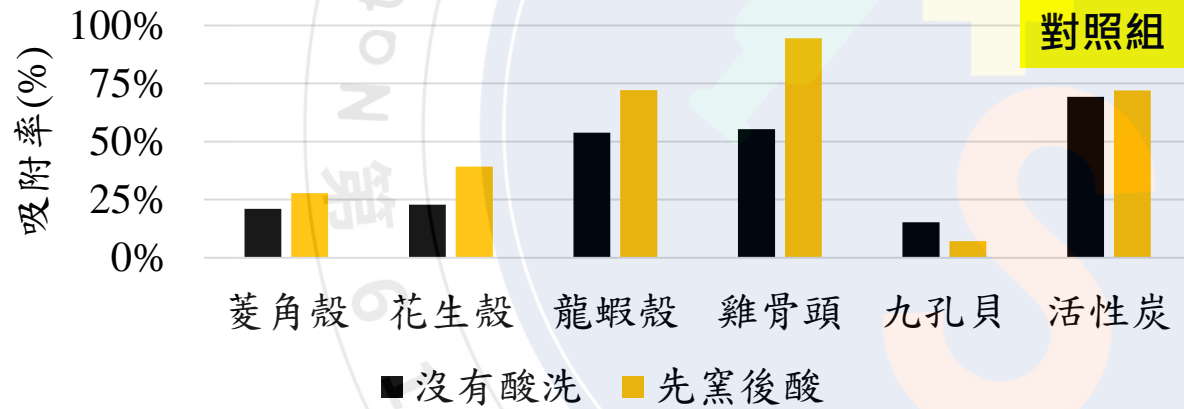
不同生物炭作為吸附，有其適合的炭化溫度

酸洗改良生物炭[分析]

機構模擬



**先炭化
再酸洗**
(處理氧化鈣)



**先酸洗
再炭化**
(處理碳酸鈣)

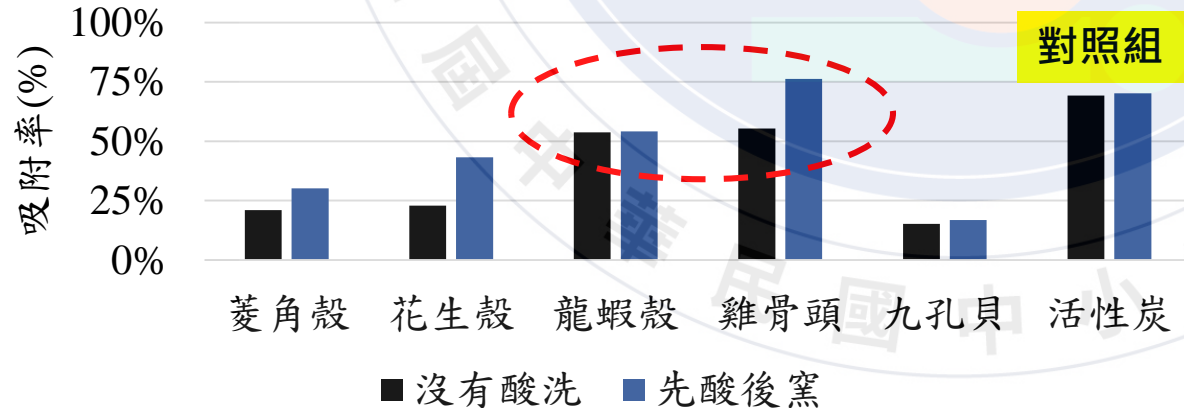
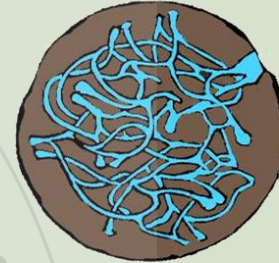


圖1



【圖1】無機物分散在有機物內部

圖2



【圖2】絕氧加熱時，CaCO₃逐漸轉換為CaO

圖3



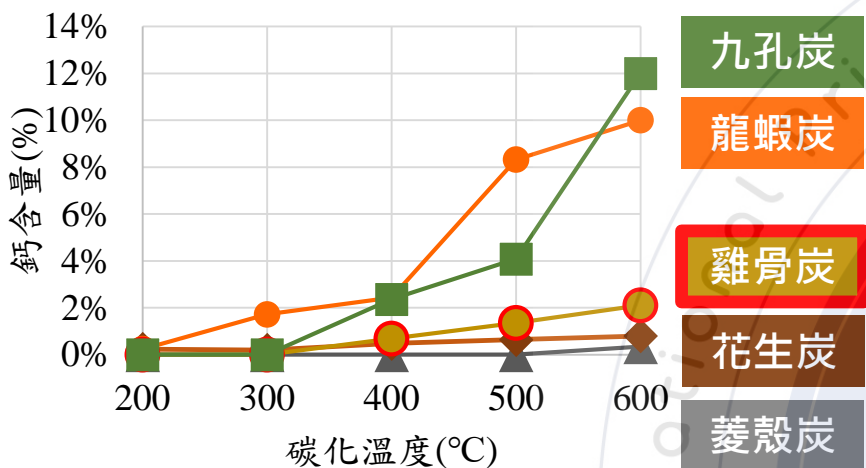
【圖3】產生CO₂撐破石墨結構

圖4



【圖4】產生更多間隙，使酸更容易入侵腐蝕石灰

酸洗改良生物炭[分析]



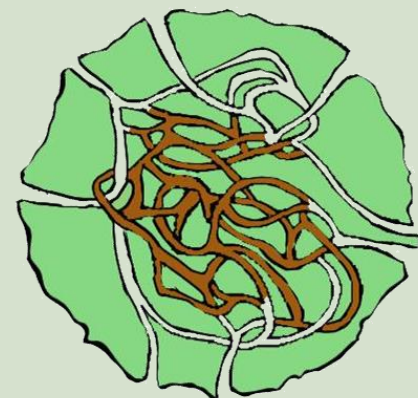
【圖】不同溫度窯燒後的生物炭中鈣%

【表】網路資料-原料組成

來源	原料	主要有機物	無機物
植物來源	菱角殼	木質素等	鹼金屬鹽
	花生殼	木質素等	鹼金屬鹽
動物來源	雞骨頭	蛋白質	磷酸鈣 碳酸鈣
	龍蝦殼	甲殼素	碳酸鈣
	九孔貝 (對照組)	亮質素	碳酸鈣



雞骨炭



龍蝦炭

炭化過程溫度越高，能轉換的水溶性鈣(石灰)越多

酸洗後炭化-龍蝦炭



泡酸烘乾仍為黑色

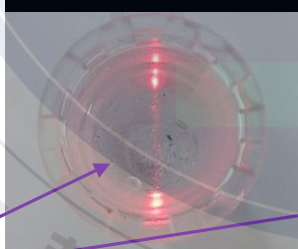
酸洗後炭化-雞骨炭



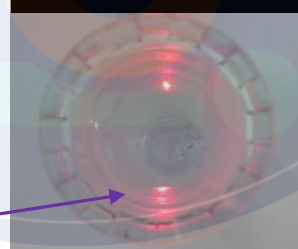
泡HCl 烘乾出現白色粉末

取出白色粉末

粉末丟入水

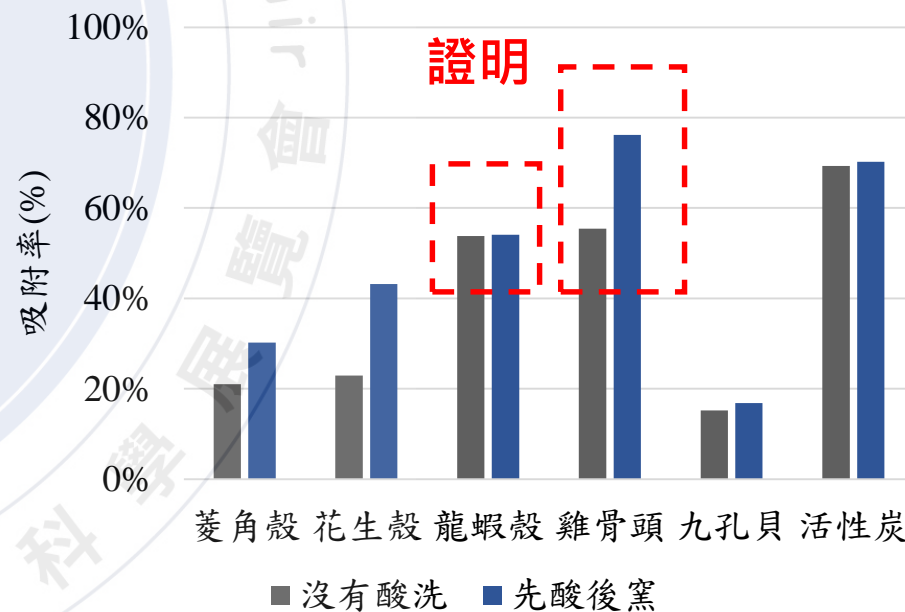


粉末丟入酸



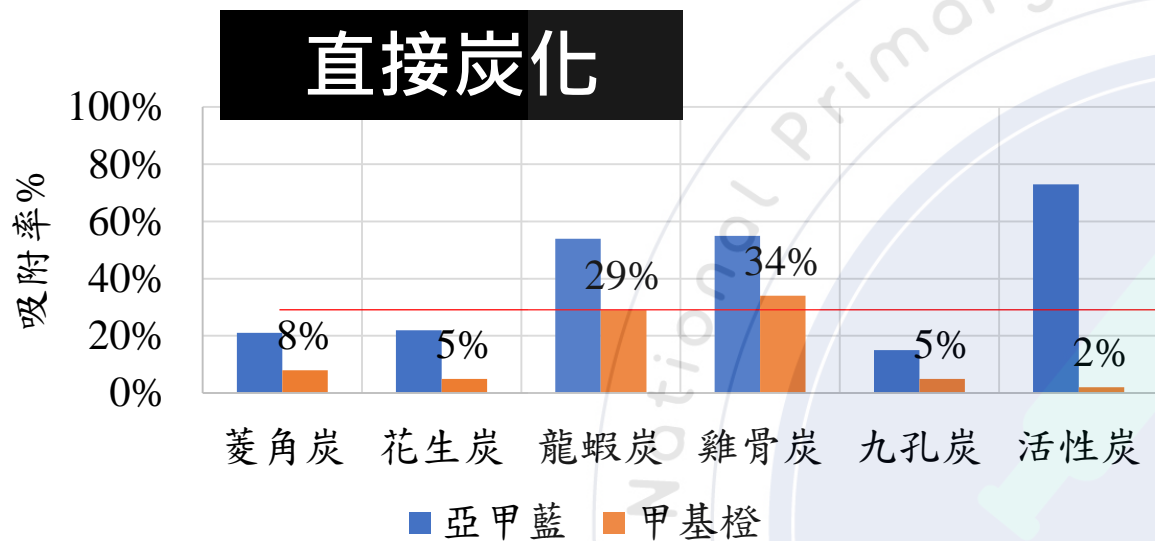
▲證明炭化後再酸洗可以有效移除雞骨炭中的所有無機物(包含磷酸鈣及石灰)

雞骨炭的無機物位置被包在炭內部，利於酸洗

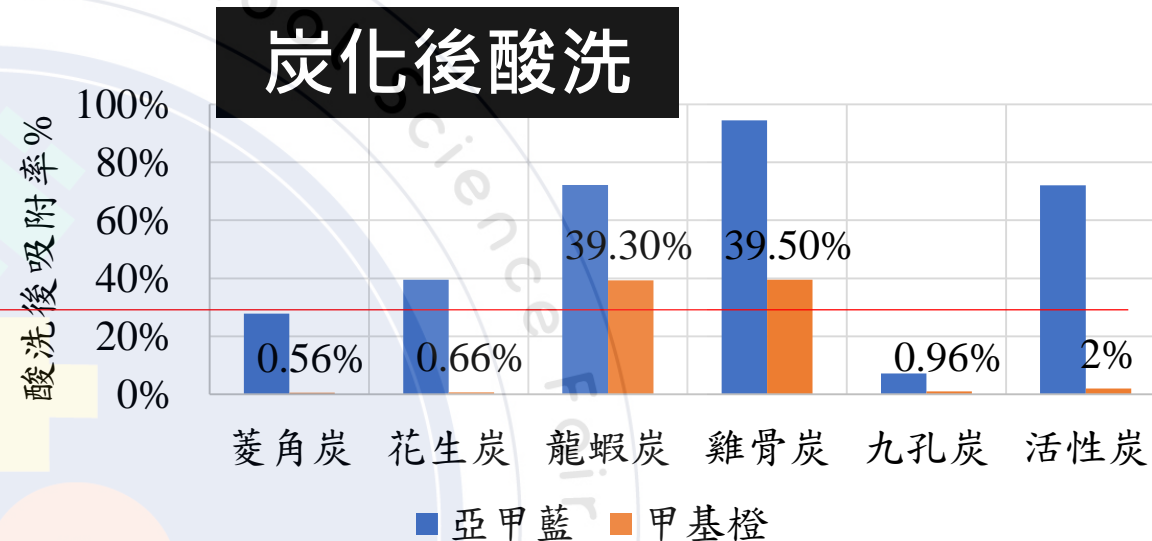


【圖】是否先酸洗再進行600°C窯燒炭化得到的生物炭 吸附亞甲藍的結果 (0.002 g生物炭/2 mL亞甲藍) 震盪吸附7分鐘

酸洗改良生物炭[應用]

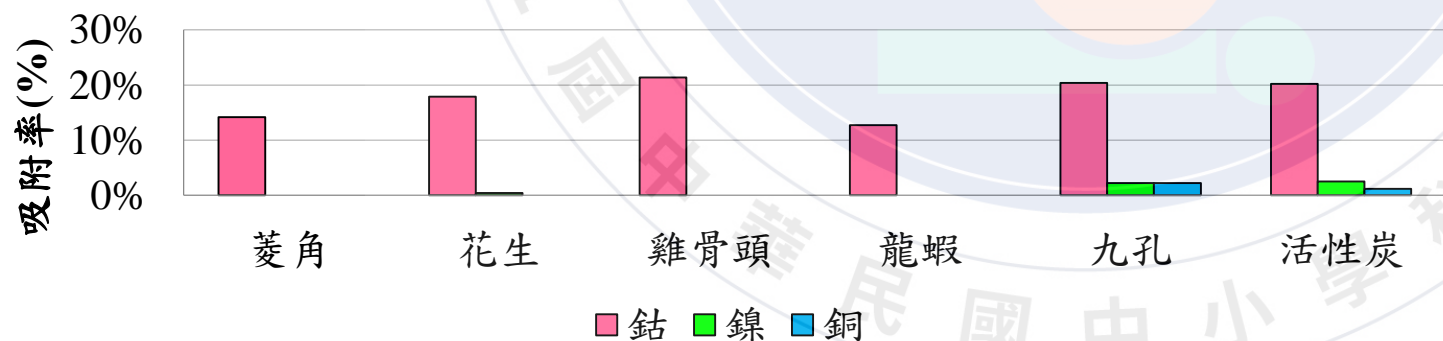


【圖】不同原料在600°C、碳化2 hr後吸附不同染料的結果



【圖】原料在600°C、碳化2 hr後再酸洗，吸附不同染料的結果

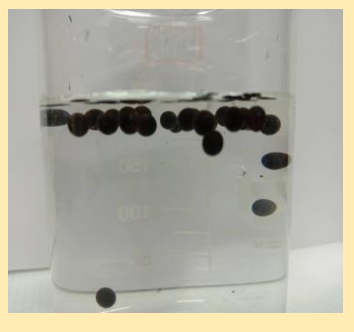
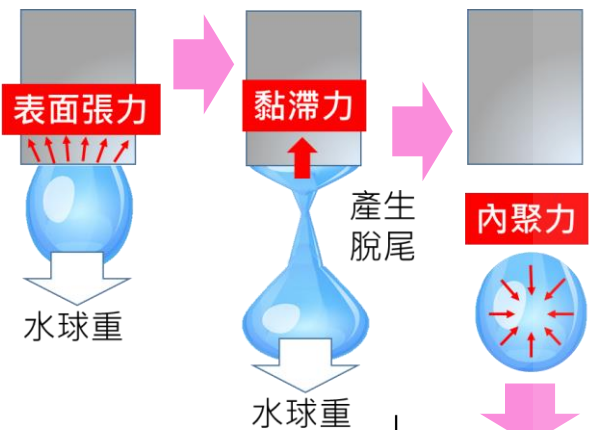
酸洗改質生物炭，動物炭更能吸附甲基橙染料



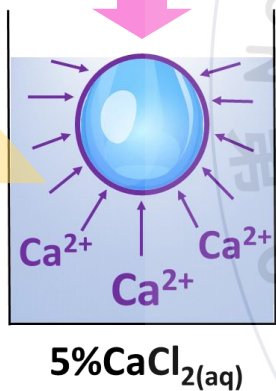
【圖】酸洗後的生物炭吸附鈷、鎳、銅離子的效果比較

大部分生物炭都能吸附鈷離子

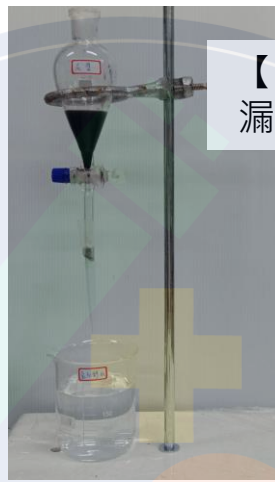
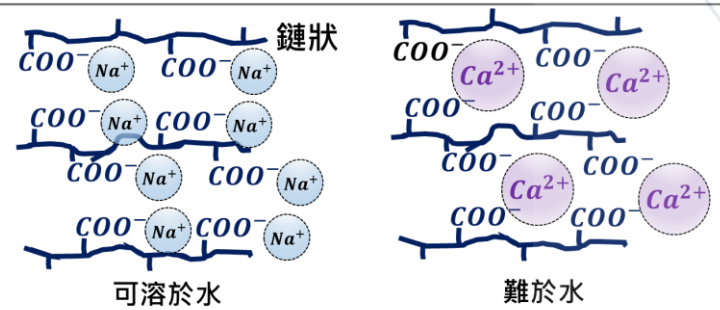
生物炭球原理與製作



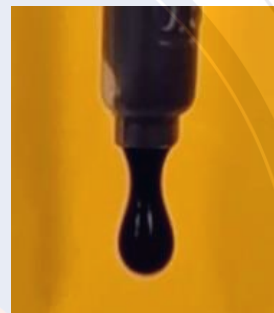
水球重



5%CaCl₂(aq)



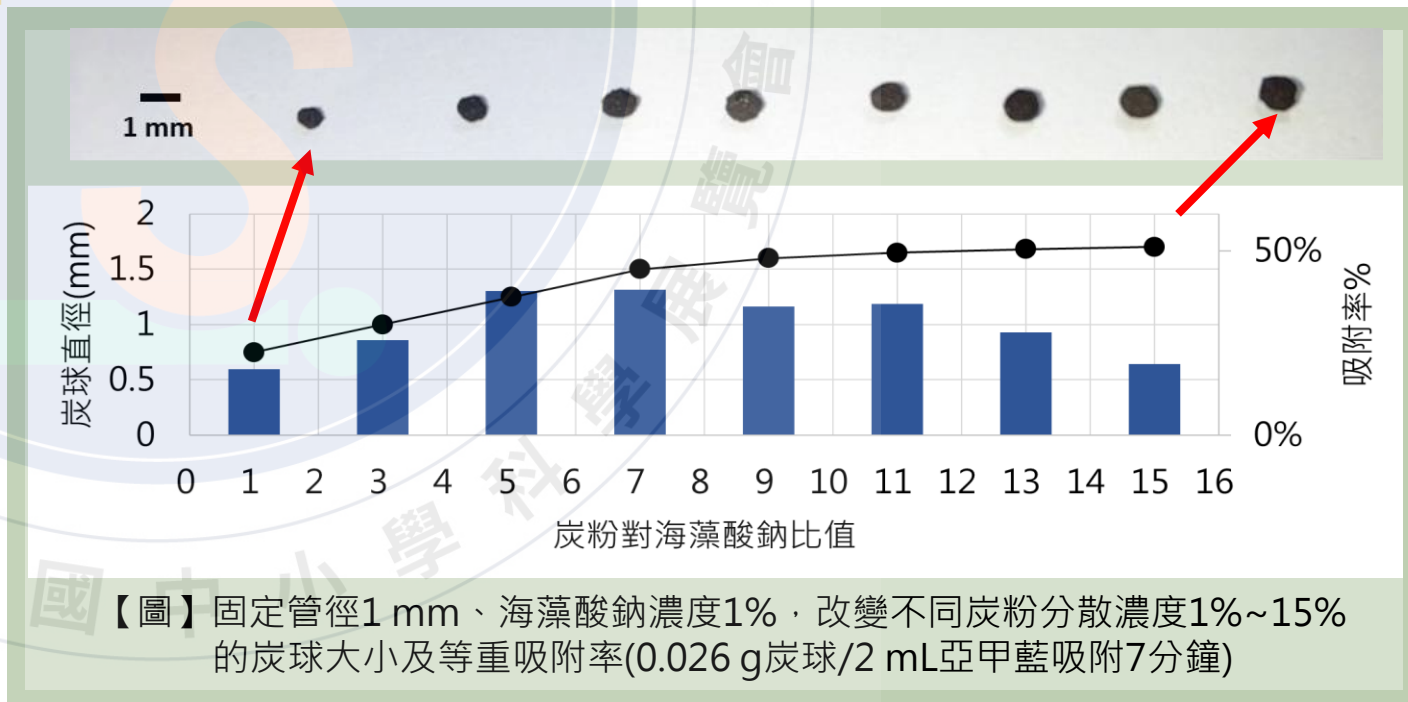
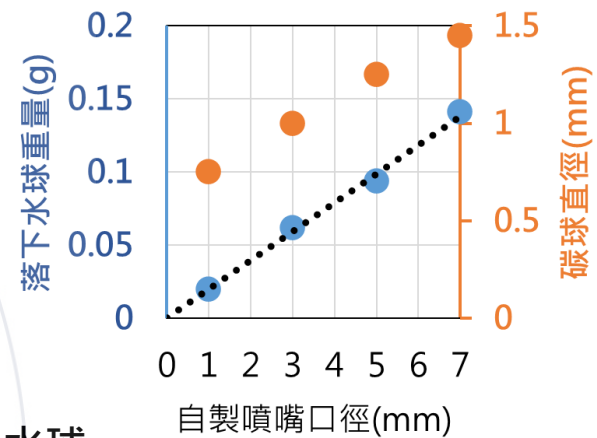
【圖】改裝的分液漏斗用於「造粒」



裁切滴管



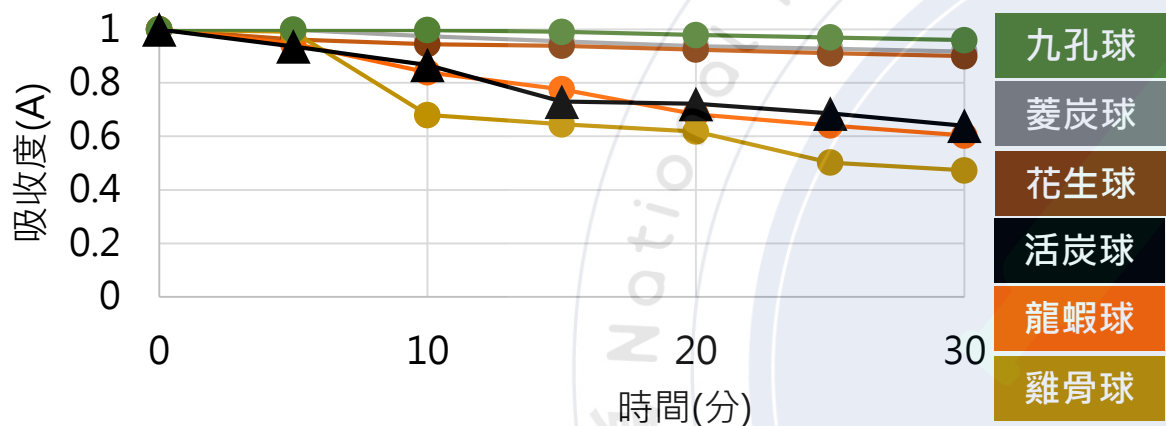
控制水球



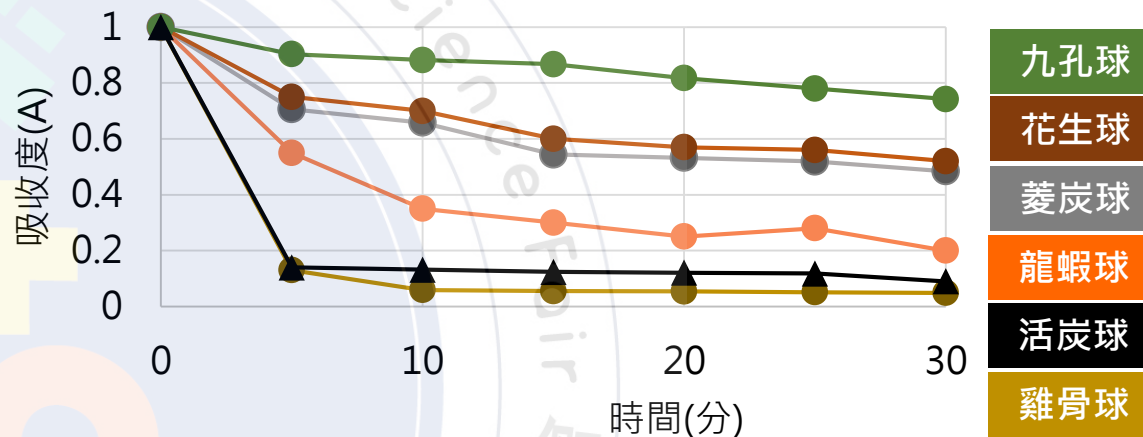
【圖】固定管徑1 mm、海藻酸鈉濃度1%，改變不同炭粉分散濃度1%~15%的炭球大小及等重吸附率(0.026 g炭球/2 mL亞甲藍吸附7分鐘)

光觸媒炭球&結論

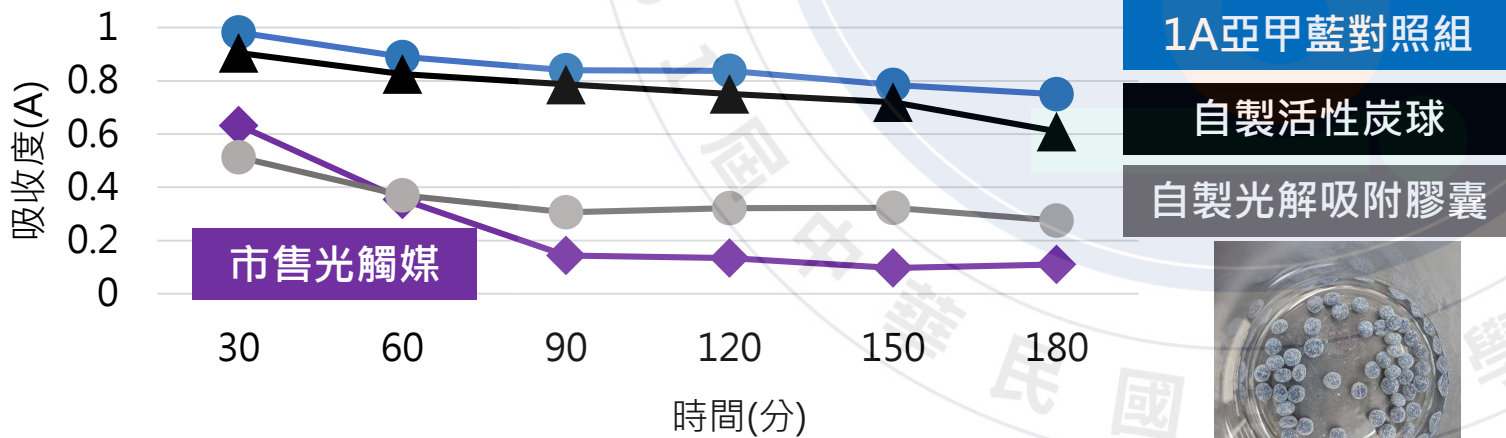
「生物炭球」 吸附亞甲藍時間軸



「生物炭粉」 吸附亞甲藍時間軸



吸附光解膠囊(光觸媒炭球)



結論:

1. 建立石墨化及吸附量化標準流程
2. 自製沖提裝置成功鑑別吸附效能很接近的植物炭
3. 成功找到較佳的生物炭製作參數
4. 改變酸洗順序發現雞骨的無機物可能包在有機物中
5. 發現動物炭與植物炭的性質差異
6. 生物炭/海藻酸鈉=5%/1%做出的炭球材料經濟最高
7. 光觸媒炭球方便吸附後回收，並且照射陽光後再生可重複使用

參考資料:

1. 歷屆科展作品
2. 生物炭&活性炭等網路文獻(詳列在報告書中)

【圖】回收式吸附光解膠囊吸附並分解亞甲藍染料效果