

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

(鄉土)教材獎

050201

碳為柑止-生物碳吸附力及螢光應用

學校名稱：國立臺東女子高級中學

作者： 高二 莊滄旂 高二 郭佩妤 高二 黃意淨	指導老師： 梁利吉 黃千毓
---	-----------------------------

關鍵詞：臍橙生物碳、水楊酸吸附、染料吸附與脫附

摘要

以泰源肚臍柑皮作為材料，將其烘乾製成粉狀後高溫鍛燒製成生物碳。檢測 Zeta 電位可知生物碳表面帶負電，分別對吸附亞甲藍、結晶紫、甲基橙等有機染料的效果探討，發現生物碳對表面具有不同電性之染料有明顯差異，且在混合染料實驗中可知生物碳對表面帶正電的亞甲藍及結晶紫有很好的吸附效果，反之對表面具負電的甲基橙則無，推測靜電力為主要吸附原因。

從上述生物碳表面電極以及染料吸附實驗結果，設計使用生物碳吸附水楊酸實驗，且結果證實生物碳可吸附水楊酸，再進一步探討生物碳在不同濃度水楊酸溶液環境下對吸附比率的關係。

同時為了探討生物碳重複使用的效果也使用酒精作為脫附劑進行了脫附實驗，結果證實重複吸、脫附三次的生物碳，吸附率皆達 70%以上。

壹、前言

一、研究動機

近年來的疫情使得人心惶惶，在確診時，常都會食用消炎止痛的產品，也讓我們思考這些藥品難道不會在人體中殘留一些化學物質嗎？在查找文獻資料後發現市面上常使用阿斯匹靈作為消炎止痛藥，而阿斯匹靈在人體中水解後，會產生水楊酸，而難溶的水楊酸則會存於人體中許久無法被代謝。

聯想高一的化學課程中，我們學過淨水的過程主要為：沉降、過濾、除臭、消毒，其中除臭的步驟是利用活性碳來吸附有機物質，老師也告訴我們現今有許多利用果皮或者殘渣等廢棄物，來製作的生物碳也具有吸附的功能。而在查找資料時，發現有許多利用活性碳吸附乙酸的實驗，也讓我們想嘗試使用自己製作的生物碳來吸附同為酸性物質的水楊酸。

在尋找生物碳的相關文獻後，發現生物碳不僅有吸附的功能，同時也是奈米尺寸的碳點，這也讓我們思考生物碳是否具有奈米材料的螢光性質。這些都加深了我們想運用生物碳的想法。

而我們也希望能夠結合台東在地的水果，將這些農產品的廢棄物再度利用，同時也達吸附水楊酸的作用，甚至在未來可將其製作成藥品，將難溶的水楊酸利用吸附作用排出人體。最後我們選擇台東臍橙的果皮，利用高溫碳化製備成生物碳，進一步探討生物碳對染劑和水楊酸的吸附功能及螢光效果。

二、研究目的

- (一) 自製生物碳是否能吸附水楊酸溶液及有機染劑。
- (二) 探討熱裂解溫度及不同酸鹼環境對生物碳吸附能力的影響。
- (三) 探討生物碳吸附染劑的原理與基本性質。

(四) 探討生物碳對不同濃度水楊酸吸附能力的影響。

(五) 觀察生物奈米碳點是否具螢光效果。

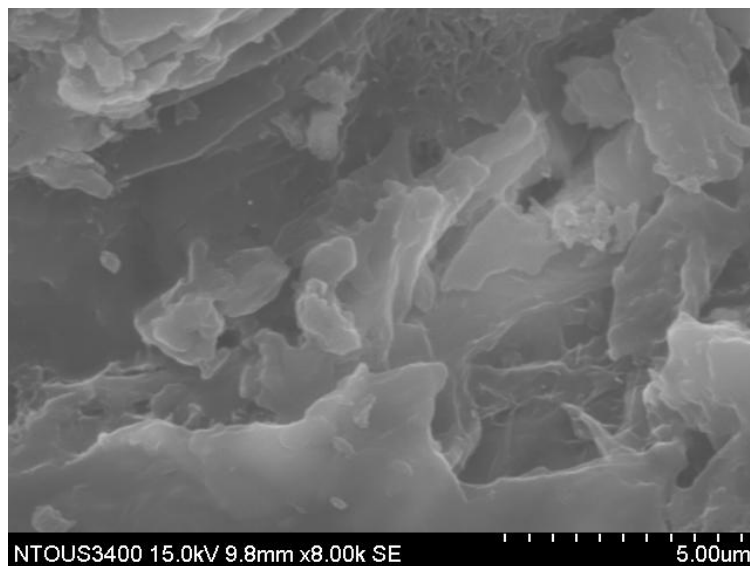
三、文獻探討

(一) 臍橙 (*Citrus sinensis*) :

俗稱肚臍柑，果實於果頂內部著生一小果，常開裂呈肚臍狀故稱臍橙。由於風土適應性差，生長條件高，適合在地中海型氣候的環境下栽培。台灣在日治時期引進栽培，現為台東盛產的農作物之一，分布於成功、東河及泰源等地，而本實驗使用的是泰源臍橙。

(二) 生物碳 (*biochar*) :

1. 生物碳是藉由森林和農業廢棄物、城市垃圾或禽畜糞便等天然有機燃料熱裂解 (*pyrolysis*) 而來。而在裂解後所得到的多孔性結構，使得內部孔隙的表面積較其他材料大，因此具備良好的吸附效果，能夠吸附土壤中的有機污染物。



(圖 1) 生物碳表面粗糙且具有些許孔洞 (160°C 鍛燒之生物碳)

(圖片來源：筆者自行拍攝)

2. 由於生物碳具有高比表面積、高表面陰電荷 (*negative surface charge*) 以及高電荷密度，所以使得生物碳在每單位碳中所吸收的陽離子量較其他的土壤有機物高，且添加了生物碳的土壤，在磷酸鹽的吸收能力上也較好。

3. 生物碳的性質會因原物料、製程反應條件的不同 (如溫度範圍、升溫速度、反應時間等) 而有所差異，並會影響到生物碳的產量、物理及化學性質與組成。

(三) 螢光碳奈米點：

1. 螢光碳奈米點是一種螢光奈米材料，對其施加能量可促使碳點發光，吸收不同波長的光，放出的螢光顏色也會不同。具有容易製備、低成本、低細胞毒性、光穩定性和量子尺寸效應等優點。

2. 螢光是一種光致發光現象。當某螢光物質，例如碳奈米點經較高能量的人射光照射後，碳點受激發光照射能使電子躍遷至激發態，但因電子激發態上的不穩定，會立即回到穩定的基態位置，並以放出光子的方式釋放能量。通常放射光的波長比激發光的波長還要長，在可見光波段；而且一旦停止激發光，發光現象也隨之立即消失。

(四) 乙醯柳酸 (*acetylsalicylic*、*acetosal*)：

俗稱阿斯匹靈 (*aspirin*)，常被使用作為消炎止痛藥，而在潮濕的情況之下，阿斯匹靈會進行水解，進而產生水楊酸和乙酸。

貳、研究設備與器材








一、實驗試劑

- (一) 亞甲藍 (*Methylene blue*)，簡稱 MB
- (二) 甲基橙 (*Methyl orange*)，簡稱 MO
- (三) 結晶紫 (*Crystal violet*)，簡稱 CV
- (四) 緩衝溶液 (磷酸鹽)
- (五) 水楊酸水溶液 ($C_6H_4(OH)(COOH)$)
- (六) 氫氧化鈉水溶液 (NaOH)

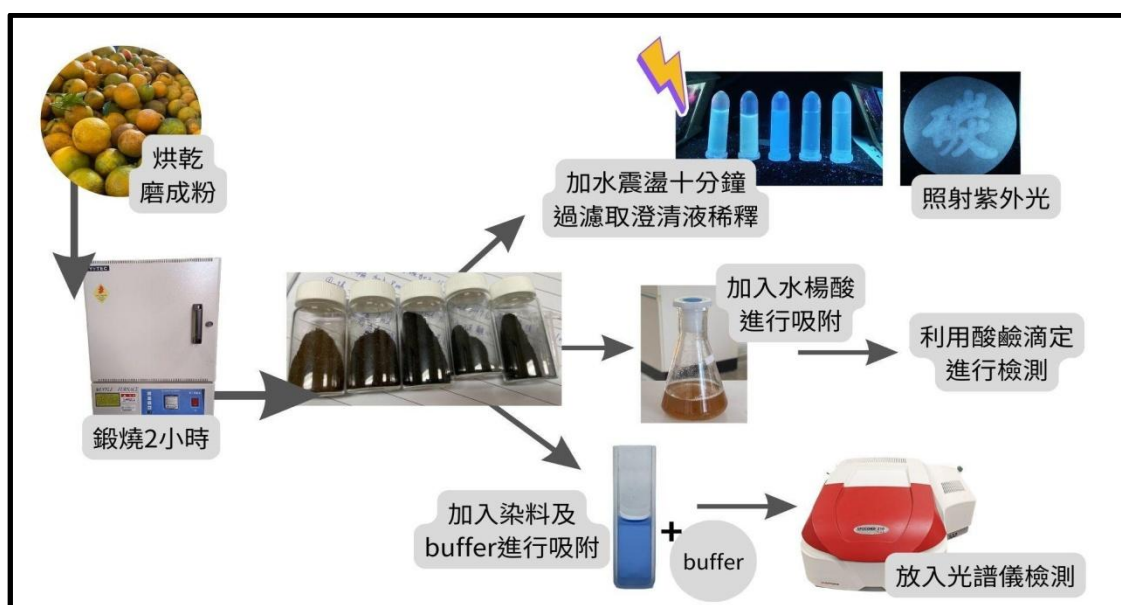
二、實驗材料與設備

(表 1) 實驗材料與設備

			
超音波震盪儀	紫外光儀	泰源臍橙	RF6000 螢光分光光度計

			
高溫鍛燒爐	生物碳	打碎機	烘箱
			
離心機	離心機	迴轉式震盪機	UV-Vis 光譜儀
電子秤、微量吸量管、離心管、0.22μ m 濾膜、酸鹼度計、10 ⁻³ M 金屬離子、NaCl、錐形瓶、酚酞指示劑、滴定管、滴定管架、電磁攪拌器			

參、研究過程與方法



(圖 2) 實驗流程圖

一、生物碳的製備

(一) 目的：利用高溫鍛燒，將臍橙果皮製成生物碳，改變其化學及物理性質。

(二) 作法：

1. 將臍橙果皮清洗乾淨，放入 60°C 烘箱，烘乾 12 小時。
2. 利用打碎機使其變成顆粒狀。
3. 以研鉢磨成更細緻的粉末。
4. 將粉末放入陶瓷坩堝，並置於不鏽鋼高壓釜內，放入高溫爐內，分別以 120°C、160°C、200°C、300°C、400°C 來進行 2 小時的熱裂解和碳化，取得生物碳。

二、生物碳吸附力檢測

(一) 不同時間生物碳吸附力檢測

1. 目的：探討不同時間下生物碳對染料之吸附量

2. 作法：

- (1) 精秤 0.01g 由 160°C 鍛燒而成的生物碳，並放入 15 mL 離心管中。
- (2) 加入 8 mL 蒸餾水、1 mL 0.1M 磷酸鹽 buffer (pH 7) 及 1 mL 0.1mM 的結晶紫。
- (3) 放至搖晃台搖晃，搖晃時間分別為 0、10、20、30、40 分鐘。
- (4) 取出 4 mL 溶液分別加入兩管 2 mL 離心管並離心一分鐘。
- (5) 各取上層 1 mL 溶液放入 UV-Vis 光譜儀測量光譜值。

(二) 不同質量生物碳吸附力檢測

1. 目的：探討不同質量之生物碳對其吸附力的影響。

2. 作法：

- (1) 精秤 0.005 g、0.01 g、0.03 g、0.05 g 由 160°C 鍛燒而成的生物碳，並分別放入 15 mL 離心管中。
- (2) 加入 8 mL 蒸餾水、1 mL 0.1M 磷酸鹽 buffer (pH 7.0)、1 mL 0.1 mM 的染料。
- (3) 放至搖晃台搖晃 30 分鐘。
- (4) 取出 4 mL 溶液分別加入兩管 2 mL 離心管並離心一分鐘。
- (5) 各取上層 1 mL 溶液放入 UV-Vis 光譜儀測量光譜值。

(三) 不同鍛燒溫度之生物碳吸附力檢測

1. 目的：探討由不同溫度鍛燒之生物碳的吸附力差異，並找出具有最佳吸附力的生物碳鍛燒溫度。

2.作法：

- (1) 精秤由各溫度鍛燒之（含未鍛燒、120°C、160°C、200°C、300°C、400°C）0.01g 的生物碳分別放入 15 mL 離心管中。
- (2) 加入 8 mL 蒸餾水、1 mL 0.1M 磷酸鹽 buffer (pH 7.0) 及 1 mL 0.1 mM 的染料。
- (3) 放至搖晃台搖晃 30 分鐘。
- (4) 取出 4 mL 溶液分別加入兩管 2 mL 離心管並離心一分鐘。
- (5) 各取上層 1 mL 溶液放入 UV-Vis 光譜儀測量光譜值。

(四) 不同 pH 值環境對生物碳吸附力影響之檢測

1.目的：探討不同 pH 值環境對生物碳吸附染料能力的影響。

2.作法：

- (1) 精秤 0.01g 由 160°C 鍛燒而成的生物碳，並放入 15 mL 離心管中。
- (2) 加入 8 mL 蒸餾水、1 mL 0.1M 不同 pH 值的磷酸鹽 buffer (pH 2~12) 及 1 mL 0.1mM 的染料。
- (3) 放至搖晃台搖晃 30 分鐘。
- (4) 取出 4 mL 溶液分別加入兩管 2 mL 離心管並離心一分鐘。
- (5) 各取上層 1 mL 溶液放入 UV-Vis 光譜儀測量光譜值。

(五) 生物碳對混和染料吸附力檢測

1.目的：探討生物碳對混和染料吸附能力，以及證明生物碳對染料的選擇性。

2.作法：

- (1) 精秤 0.01g 由 160°C 鍛燒而成的生物碳，並放入 15 mL 離心管中。
- (2) 加入 7 mL 蒸餾水、1 mL 0.1M 磷酸鹽 buffer (pH 7.0)。
- (3) 加入兩種不同的染料各 1 mL 0.1mM。
- (4) 放至搖晃台搖晃 30 分鐘。
- (5) 取出 4 mL 溶液分別加入兩管 2 mL 離心管並離心兩分鐘。
- (6) 各取上層 1 mL 溶液放入 UV-Vis 光譜儀測量光譜值。

(六) 生物碳重複回收吸附染料

1.目的：探討吸附過染料之生物碳脫附後重複利用之吸附效果。

2.作法：

- (1) 依照實驗(二)之步驟，使用 160°C 鍛燒而成的生物碳進行吸附，放入 UV-Vis 光譜儀測量光譜值。
- (2) 將 15 mL 離心管剩餘之上清液取出丟棄。
- (3) 加入乙醇至 10 mL，用力搖晃五分鐘將染劑脫出。
- (4) 離心五分鐘後，取出大部分上清液。
- (5) 放入烘箱烘乾。

(6) 使用烘乾後之生物碳再次進行吸附。

三、生物碳吸附之應用—吸附水楊酸

(一) 目的:檢測生物碳吸附水楊酸的能力

(二) 作法:

(1) 調配氫氧化鈉水溶液及水楊酸水溶液，並使用 0.3 mM 鄰苯二甲酸氫鉀 (KHP) 進行標定，確認兩水溶液分別的濃度。

(2) 精秤 0.1g 由 160°C 鍛燒而成的生物碳，並放入錐形瓶中。

(3) 依照不同比例將水楊酸進行稀釋 (總體積為 50 mL，分別取用 2、4、7、10、15、20、25、30、35、40、45、50 mL 之 1.05×10^{-3} M 水楊酸水溶液)，再加入錐形瓶中。

(4) 放置電磁攪拌器攪拌 1 小時。

(5) 取 5 mL 過濾後之澄清液，利用氫氧化鈉水溶液進行滴定。

(6) 紀錄滴定之數據，並檢測滴定後溶液之 pH 值。

四、奈米碳點螢光檢測

(一) 不同溫度生物奈米碳點螢光效果檢測

1.目的：探討由不同溫度鍛燒之生物奈米碳點的螢光效果。

2.作法：

(1) 精秤 0.1 g 分別由 120、160、200、300、400°C 鍛燒成之生物碳，加入 15 mL 離心管中。

(2) 加入 2 mL 蒸餾水。

(3) 放入超音波震盪機，震盪 10 分鐘。

(4) 取上層溶液加入針筒以 0.22 μ m 濾膜過濾，得到碳點。

(5) 將碳點原液稀釋 20 倍後放入 2 mL 離心管，並置於紫外燈 (波長 365 nm) 下觀察其螢光效果。

(二) 不同 pH 環境對生物奈米碳點螢光效果影響之檢測

1.目的：探討不同 pH 值環境對生物奈米碳點螢光效果的影響。

2.作法：

(1) 精秤 0.1 g 由 160°C 鍛燒成之生物碳，加入 15 mL 離心管中。

(2) 加入 2 mL 蒸餾水。

(3) 放入超音波震盪機，震盪 10 分鐘。

(4) 取上層溶液加入針筒以 0.22 μ m 濾膜過濾，得到碳點。

(5) 取 1.6 mL 的蒸餾水加入 0.2 mL 稀釋十倍的碳點、0.2 mL 緩衝溶液 (pH 2 ~ pH 12 共 11 管)。

(三) 不同濃度生物奈米碳點螢光效果檢測

1.目的：探討不同稀釋倍率之生物奈米碳點的螢光效果。

2.作法：

- (1) 精秤 0.1 g 由 160°C 鍛燒成之生物碳，加入 15 mL 離心管中。
- (2) 加入 2 mL 蒸餾水。
- (3) 放入超音波震盪機，震盪 10 分鐘。
- (4) 取上層溶液加入針筒以 0.22 μ m 濾膜過濾，得到碳點。
- (5) 將碳點原液稀釋 2、4、8、16、32、64、100、128、256、512、1024 倍共 11 管。

(四) 不同鹽度環境對生物奈米碳點螢光效果影響之檢測

1.目的：探討不同鹽度環境對生物奈米碳點螢光效果的影響。

2.作法：

- (1) 精秤 0.1 g 由 160°C 鍛燒成之生物碳，加入 15 mL 離心管中。
- (2) 加入 2 mL 蒸餾水。
- (3) 放入超音波震盪機，震盪 10 分鐘。
- (4) 取上層溶液加入針筒以 0.22 μ m 濾膜過濾，得到碳點。
- (5) 將碳點原液稀釋十倍，加入蒸餾水及 NaCl，調製成 NaCl 濃度為 0.001 M、0.005 M、0.01 M、0.05 M、0.1 M、0.5 M、1 M 之溶液共 10 管。

(五) 金屬離子對生物奈米碳點螢光效果影響之檢測

1.目的：證明生物奈米碳點對金屬離子的抗干擾性。

2.作法：

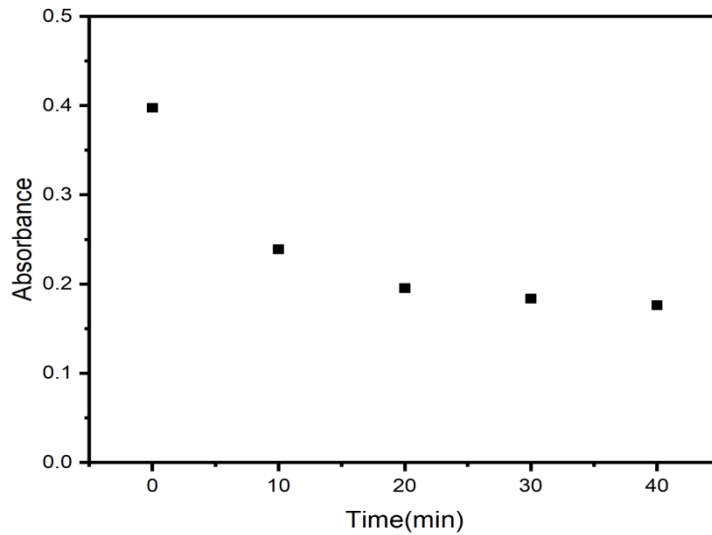
- (1) 精秤 0.1 g 由 160°C 鍛燒成之生物碳，加入 15 mL 離心管中。
- (2) 加入 2 mL 蒸餾水。
- (3) 放入超音波震盪機，震盪 10 分鐘。
- (4) 取上層溶液加入針筒以 0.22 μ m 濾膜過濾。
- (5) 取 1.4 mL 蒸餾水加入 0.2 mL 0.1 M 磷酸鹽 buffer (pH 7.0)，0.2 mL 稀釋十倍的濾液，以及 0.2 mL、 10^{-4} M 金屬離子(Li⁺、Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Ba²⁺、Al³⁺、Pb²⁺、Mn²⁺、Co²⁺、Ni²⁺、Cu²⁺、Zn²⁺、Hg²⁺)

肆、研究結果與討論

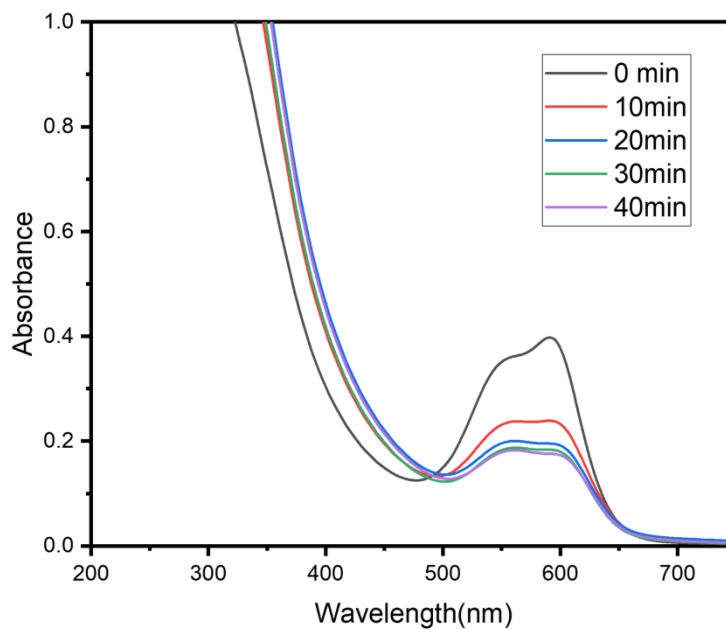
一、生物碳吸附力檢測

(一) 吸收比率計算方式：
$$\frac{BK_{\text{最大吸收峰}} - \text{待測物最大吸收峰}}{BK_{\text{最大吸收峰}}} \times 100\%$$

(二) 反應動力學實驗：不同吸附時間對吸收量的影響之檢測



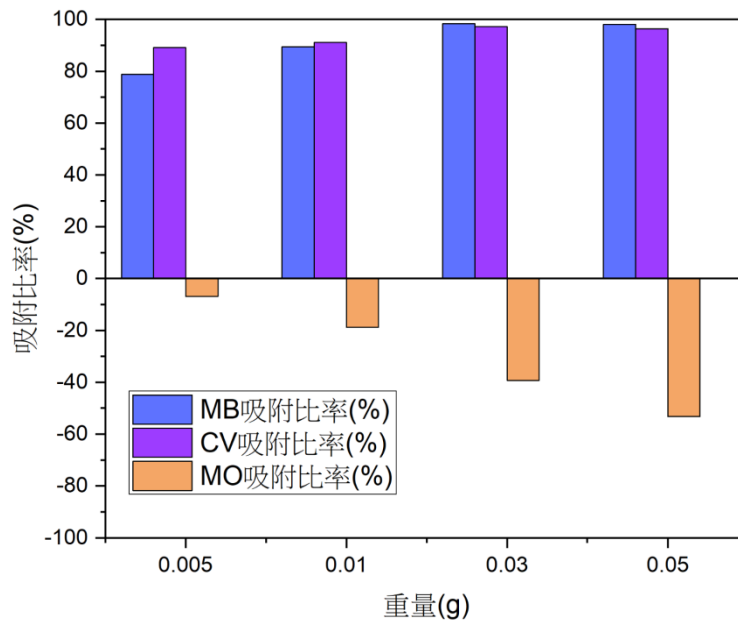
(圖 3-1) 不同吸附時長吸附結晶紫的散布圖



(圖 3-2) 不同吸附時長吸附結晶紫的紫外可見光光譜圖

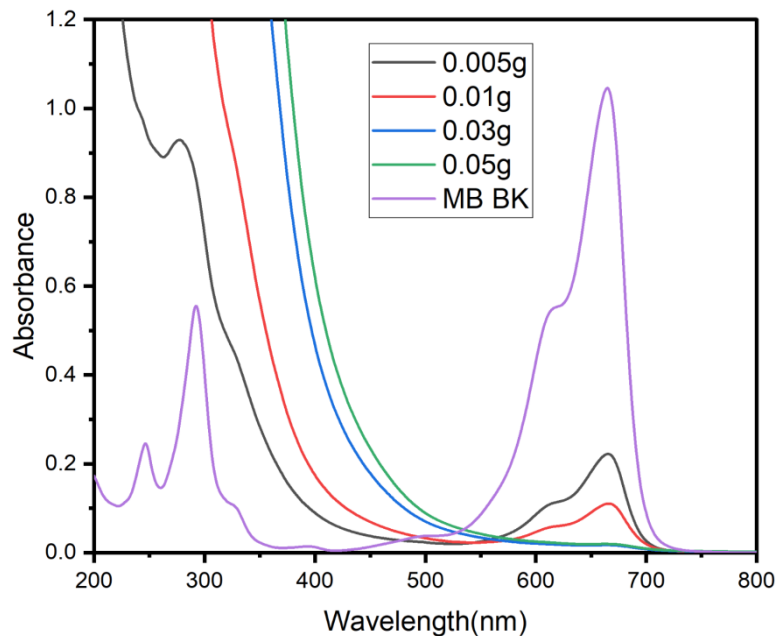
1. 觀察 (圖 3-1) 得知，隨著吸附時長增加染料殘留量隨之減少，而在 20 分鐘至 40 分鐘時吸附速率趨緩，故選擇 30 分鐘作為往後實驗反應時間。

(三) 不同質量生物碳吸附力檢測



(圖 4-1) 不同質量生物碳對亞甲藍、結晶紫、甲基橙吸附比率柱狀圖

1. 不同質量生物碳對亞甲藍的吸附能力之差異。



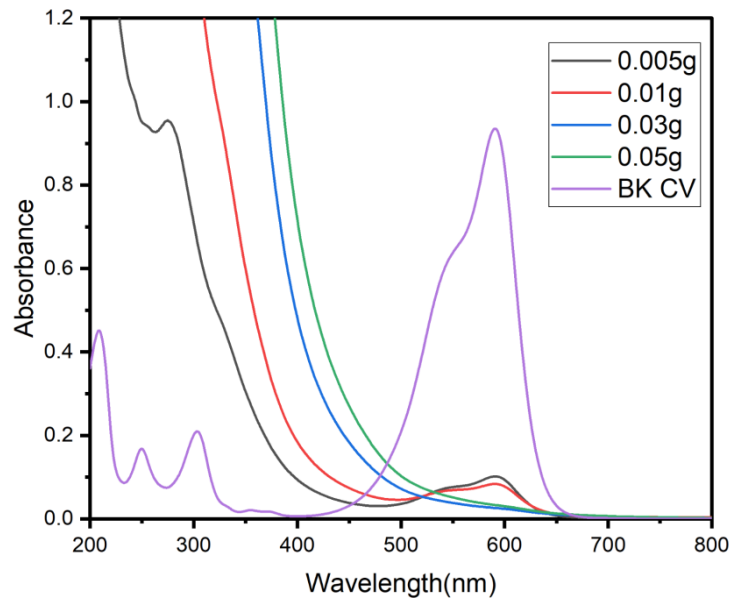
(圖 4-2) 不同質量生物碳吸附亞甲藍的紫外可見光光譜圖

(1) 觀察 (圖 4-2) 得知, $10 \mu\text{M}$ 亞甲藍溶液 (BK) 在波長 664 nm 處吸收值達到最大值。

(2) 而加入的生物碳質量在 0.03 g 以上時, 對 $10 \mu\text{M}$ 亞甲藍溶液的吸附比率皆在 98% 以上。

(3) 同時由 (圖 4-1) 可知, 0.03 g 生物碳達最高吸收率, 此時溶液吸附比率達 98.37%。

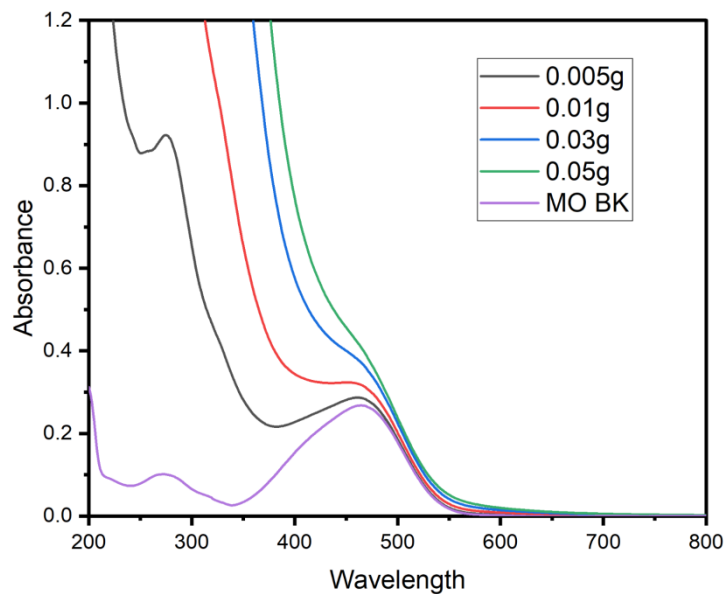
2.不同質量生物碳對結晶紫的吸附能力之差異。



(圖 4-3) 不同質量生物碳吸附結晶紫的紫外可見光光譜圖

- (1) 觀察 (圖 4-3) 得知，10 μM 結晶紫溶液 (BK) 在波長 590 nm 處吸收值達到最大值。
- (2) 而加入的生物碳質量在 0.03 g 以上時，對 10 μM 結晶紫溶液的吸附比率皆在 95% 以上。
- (3) 同時由 (圖 4-1) 可知，0.03 g 生物碳達最高吸收率，此時溶液吸附比率達 97.02%。

3.不同質量生物碳對甲基橙的吸附能力之差異。



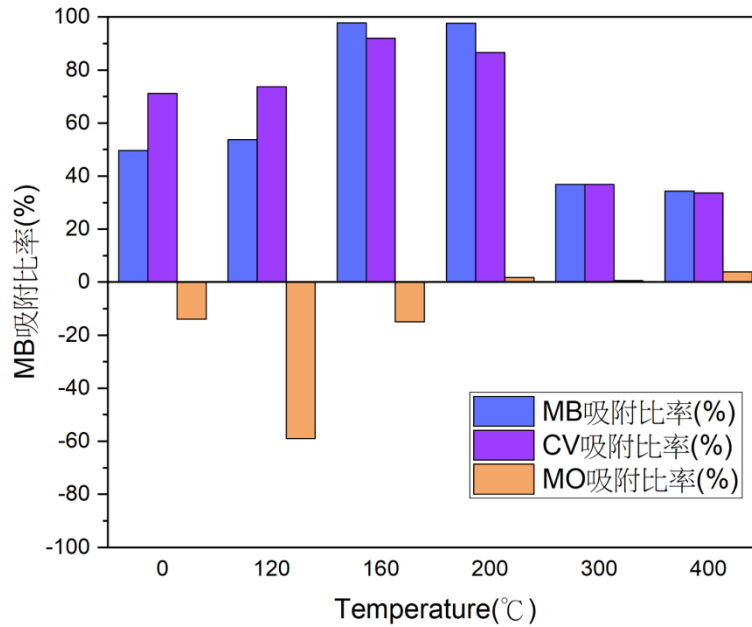
(圖 4-4) 不同質量生物碳吸附甲基橙的紫外可見光光譜圖

(1) 由(圖 4-4)可知, 10 μM 甲基橙溶液(BK)在波長 464 nm 處吸收值達到最大值。

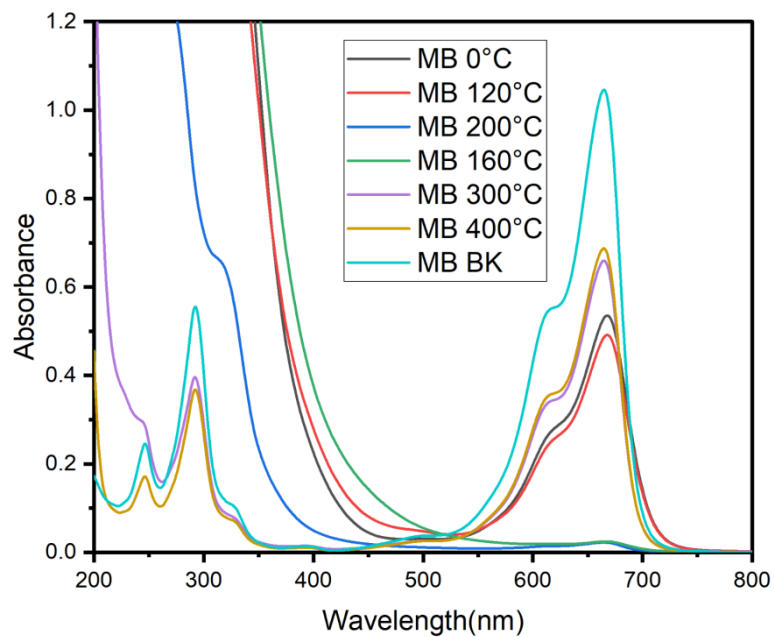
(2) 在加入生物碳後之甲基橙溶液的吸收光譜不論質量, 皆較未加入生物碳時之甲基橙溶液(BK)高。

(3) 同時由(圖 4-1)可知, 加入的生物碳質量越多峰值越高, 對 10 μM 甲基橙溶液的吸附比率也皆為負值。

(四) 不同溫度鍛燒之生物碳吸附力檢測



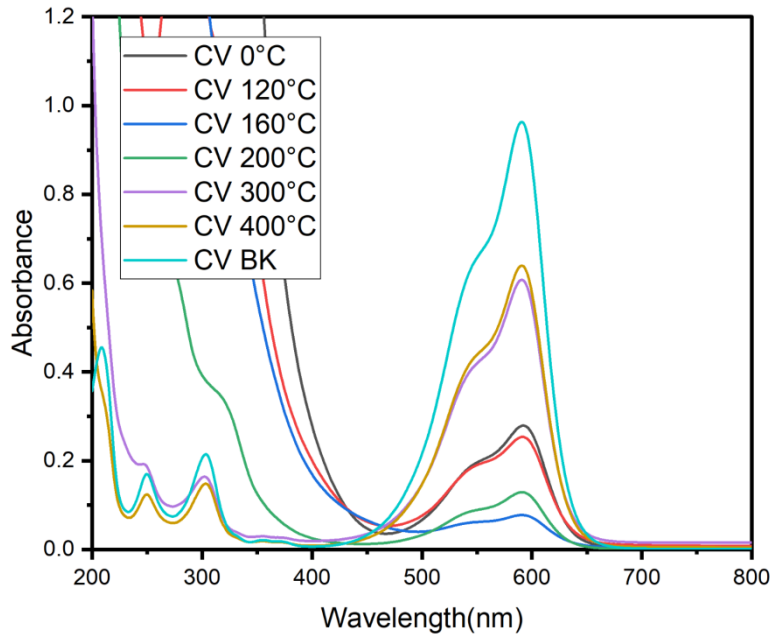
(圖 5-1) 不同溫度鍛燒之生物碳對亞甲藍、結晶紫、甲基橙吸附比率柱狀圖



(圖 5-2) 不同溫度鍛燒之生物碳吸附亞甲藍的紫外可見光光譜圖

1.觀察（圖 5-2）得知，在加入生物碳後亞甲藍在 664 nm 的峰值皆降低，其中以 160°C 鍛燒之生物碳峰值最低。

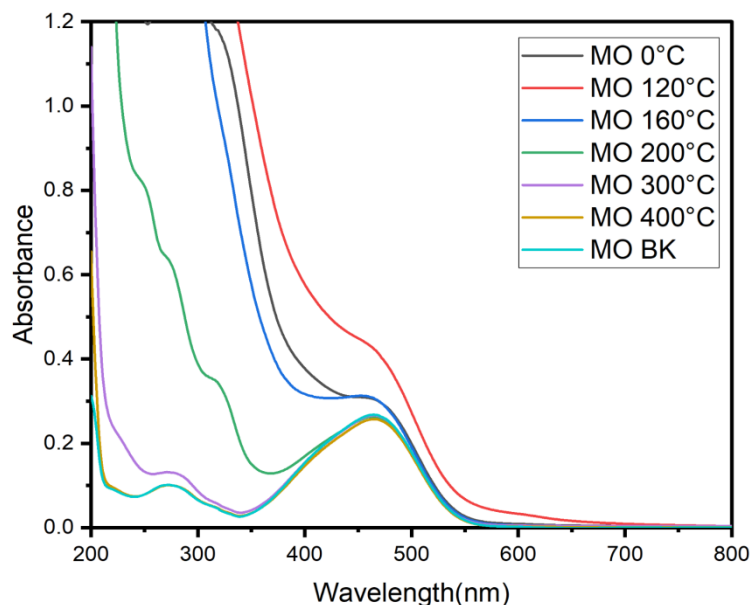
2.由（圖 5-1）可知，160°C 鍛燒之生物碳吸附比率達 97.87%，與其他溫度鍛燒相比吸附效果最佳。



（圖 5-3）不同溫度鍛燒之生物碳吸附結晶紫的紫外可見光光譜圖

1.觀察（圖 5-3）得知，在加入生物碳後結晶紫在 590 nm 的峰值皆降低，其中以 160°C 鍛燒之生物碳峰值最低。

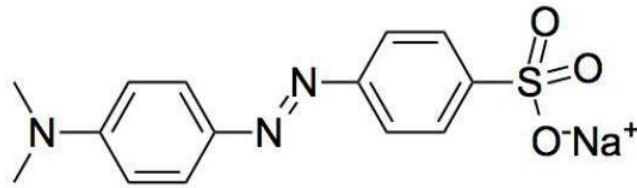
2.由（圖 5-1）可知，160°C 鍛燒之生物碳吸附比率達 91.95%，與其他溫度鍛燒相比吸附效果最佳。



（圖 5-4）不同溫度鍛燒之生物碳吸附甲基橙的紫外可見光光譜圖

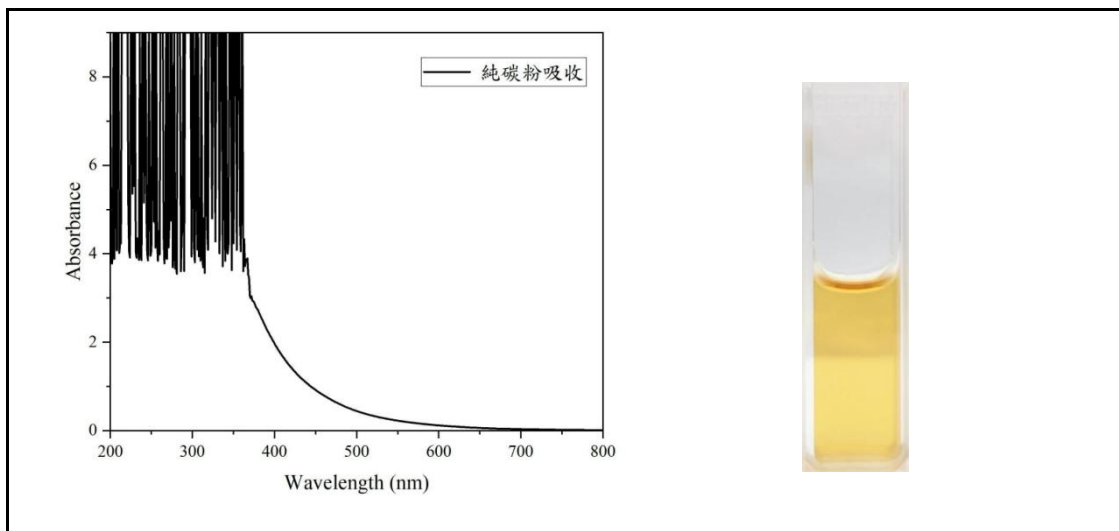
(五) 甲基橙無法被吸附且吸收比率成負值的原因

分子式： $C_{14}H_{14}N_3O_3S \cdot Na$
分子量：327.36



(圖 8) 甲基橙的化學結構式

1.統整(圖 4-4)及(圖 5-4)可知,在加入生物碳之後染料峰值未下降,經查找資料及資料對比後,發現(圖 8)中甲基橙染料溶於水後分子所帶的Na⁺被解離。推測原因可能為碳表面帶負電,故造成SO₃⁻和碳點表面的負電荷相斥,為確定推論,接下來將進行Zeta 電位測定及FTIR 鑑定。



(圖 9) 將 0.05 g, 160°C 鍛燒的生物碳、9 mL 蒸餾水及 1 mL pH 7 buffer 放入離心管中, 並放置搖晃台 30 分鐘後所呈現的顏色及吸收光譜圖。

2.在(圖 4-1)與(圖 5-1)中,能觀察到甲基橙吸附比率為負值,且觀察試驗過程發現當碳粉遇水浸泡後,溶液顏色會由透明變成橘色,如(圖 9 右)。於是分析單純將生物碳水溶液的紫外可見光光譜圖(圖 9 左),發現在光譜 464nm 處值不等於零,且推測是因生物碳水溶液本身的色素與甲基橙染料疊加,至最後吸附比率為負值。

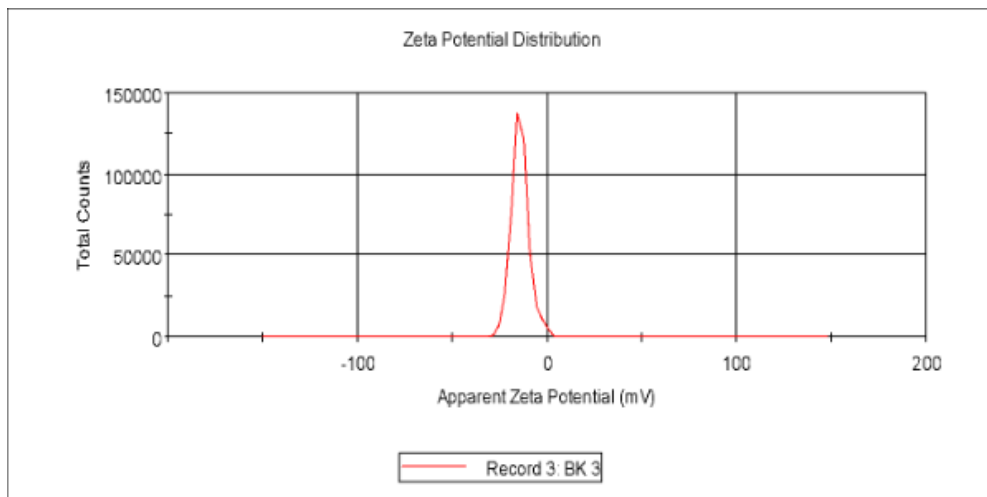
3.歸納以上甲基橙未能被吸附之結論,決定在接下來的「不同 pH 值環境對生物碳吸附力影響之檢測」中省略對甲基橙吸附之實驗。

(六) Zeta 電位測定及 FTIR 鑑定

1. 生物碳吸附染劑前後之 Zeta 電位：

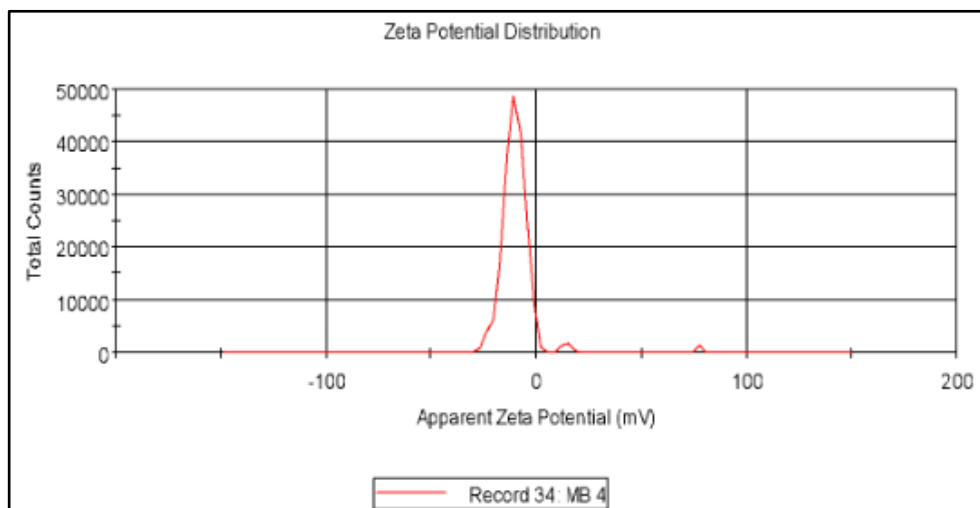
透過測定 Zeta 電位可得知吸附前後電位之變化，由以下四點可看出碳點在吸附帶正電之亞甲藍及結晶紫後，電位由-14.00 mV 分別變為-9.50 mV 及-8.53 mV，吸附帶負電的甲基橙則變為-16.80 mV。由此可知生物碳吸附染劑之原理與靜電吸引力有關。

(1) 生物碳本身電位：



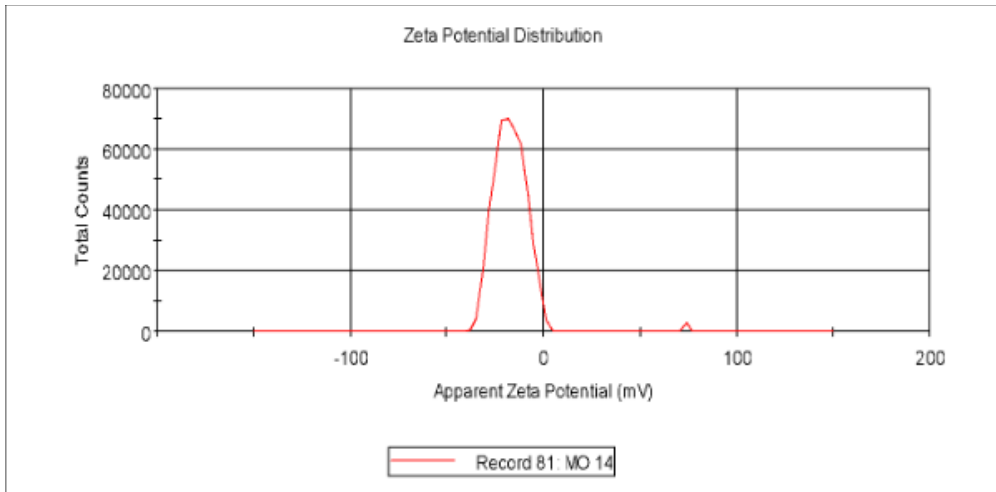
(圖 6-1) 生物碳 Zeta 電位圖

(2) 生物碳吸附亞甲藍 (Methylene blue) 後之電位：



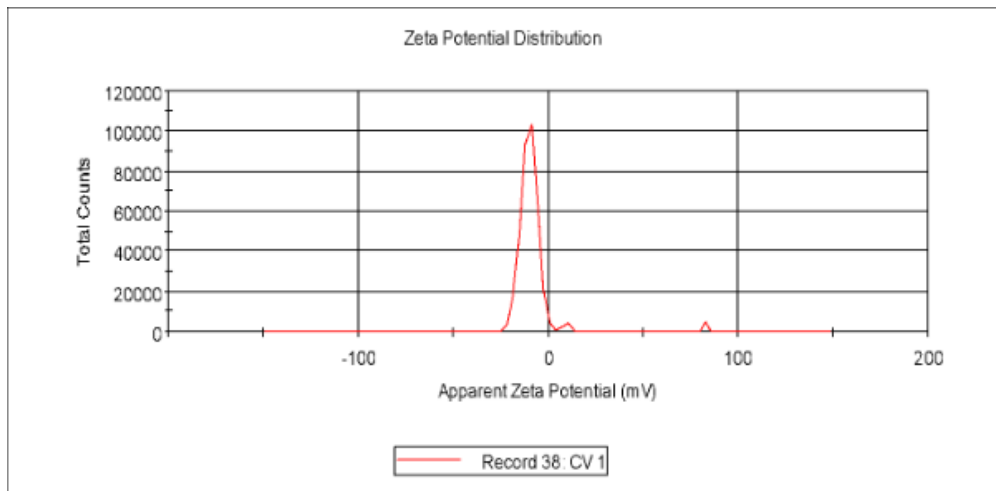
(圖 6-2) 生物碳吸附亞甲藍後 Zeta 電位圖

(3) 生物碳吸附甲基橙 (*Methyl orange*) 後之電位：



(圖 6-3) 生物碳吸附甲基橙後 Zeta 電位圖

(4) 生物碳吸附結晶紫 (*Crystal violet*) 後之電位：



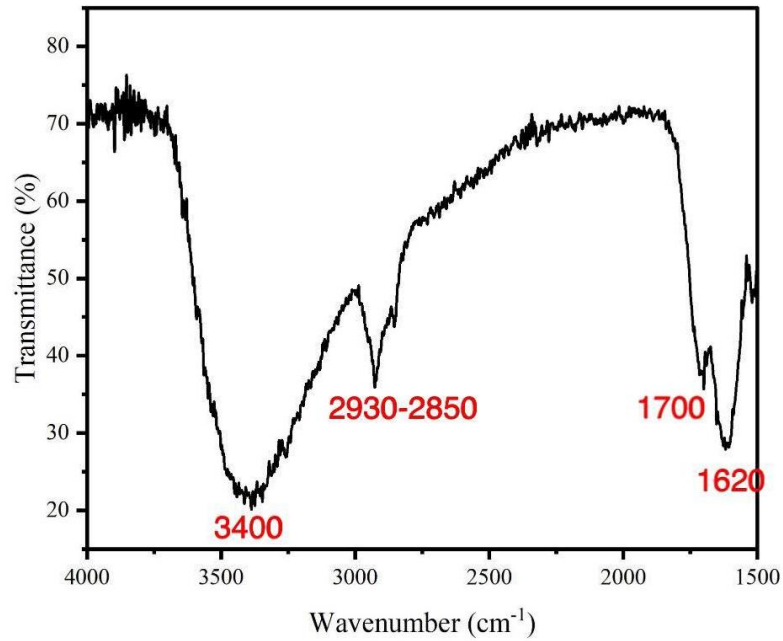
(圖 6-4) 生物碳吸附結晶紫後 Zeta 電位圖

2.FTIR 鑑定：

由(表 2)可知生物碳具有豐富的 COOH 和 OH 官能基，推測其表面帶有羧酸根，溶在水中後會帶負電荷，可以吸引帶正電荷的染料分子靠近，但會對同樣帶負電荷的甲基橙分子產生排斥。

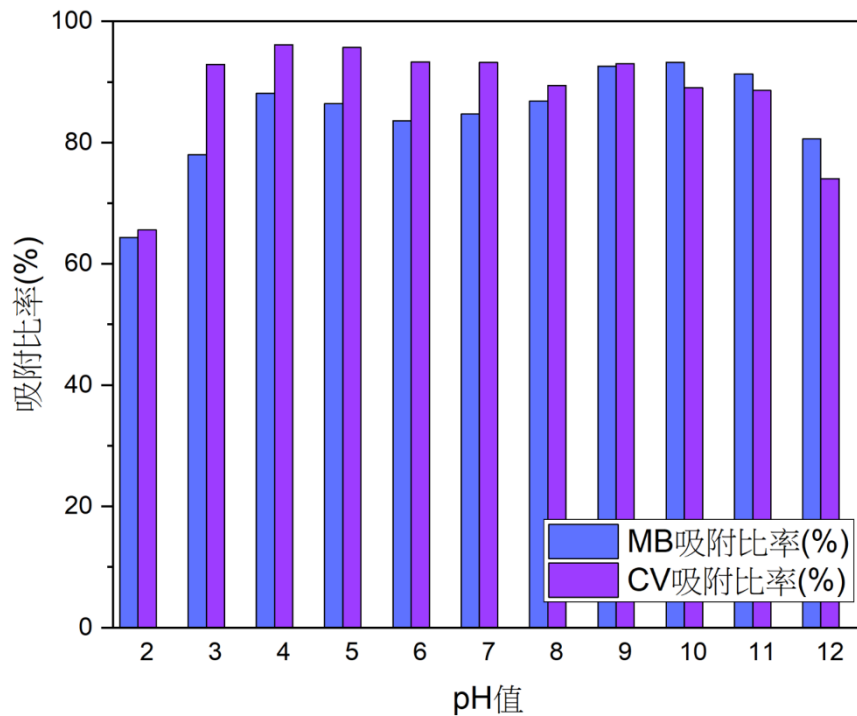
(表 2) FTIR 鑑定圖 波數對應之官能基

波數 (cm ⁻¹)	1620	1700	2930-2850	3400
代表官能基	C=C	C=O	C-H	OH

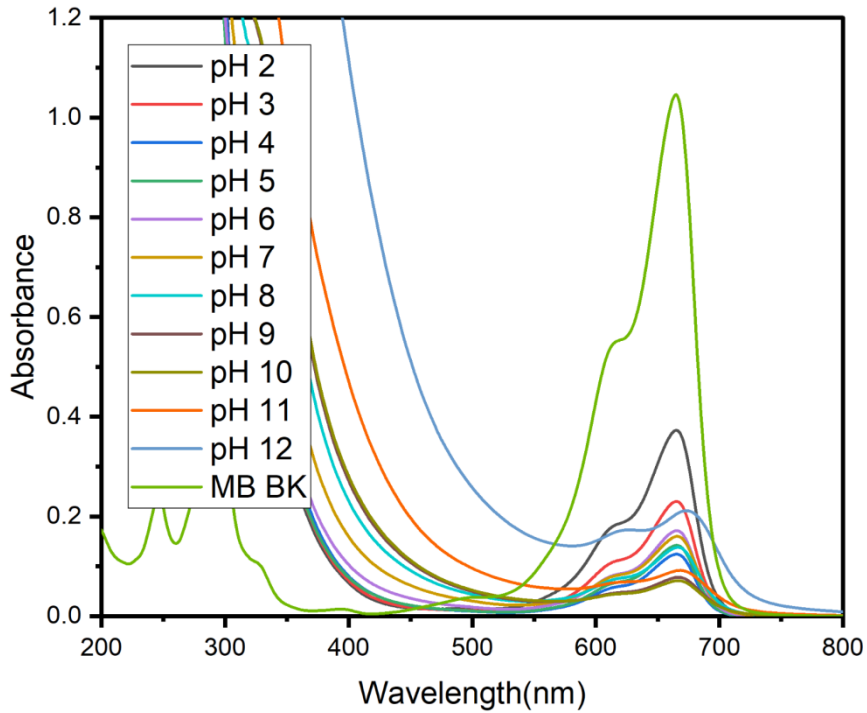


(圖 7-1) FTIR 鑑定圖

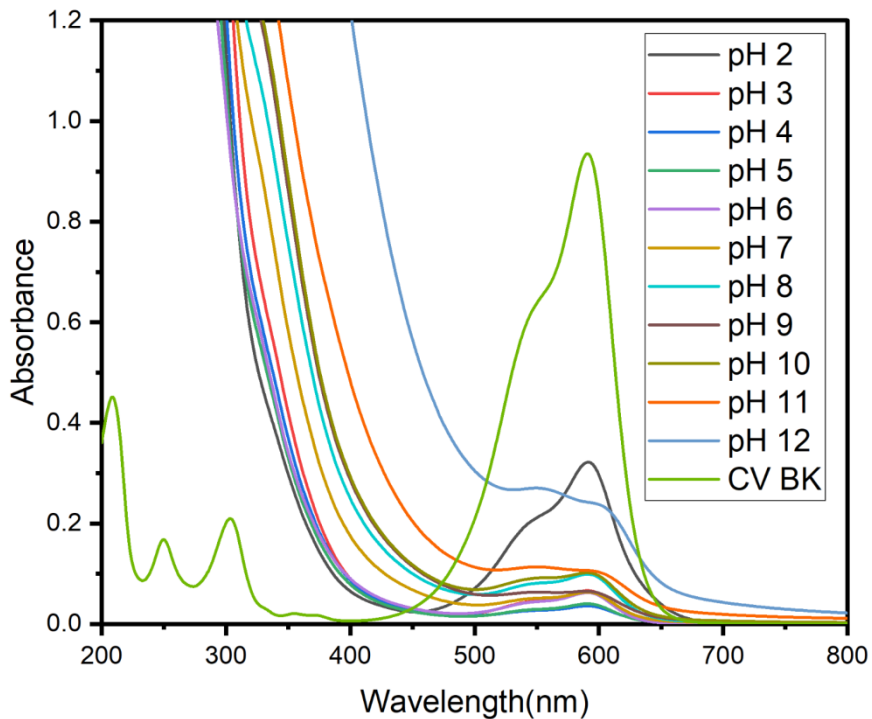
(七) 不同 pH 值環境對生物碳吸附力影響之檢測



(圖 10-1) 不同 pH 值環境下生物碳對亞甲藍、結晶紫吸附比率之柱狀圖



(圖 10-2) 不同 pH 值環境下生物碳吸附亞甲藍的紫外可見光光譜圖



(圖 10-3) 不同 pH 值環境下生物碳吸附結晶紫的紫外可見光光譜圖

1.由(圖 10-2)與(圖 10-3)可知,不論是亞甲藍或是結晶紫染料,在 pH 值為 2、3、12 的環境下,峰值都明顯高於其他環境。

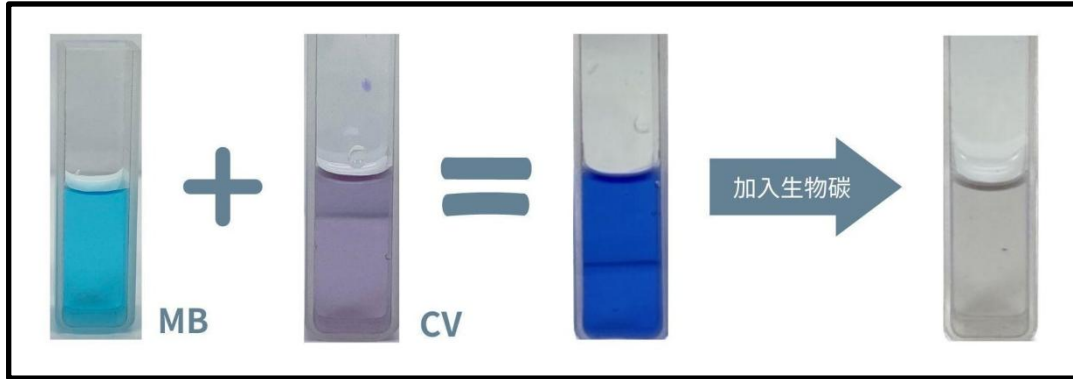
2.觀察(圖 10-1)可知,在環境 pH 2~12 的吸附比率皆大於零,表示在不同 pH 值環境下,臍橙生物碳皆有吸附功能;除了在 pH 2.0、3.0、12.0 環境下吸附能

力較差，其餘吸附比率皆接近 90%，相互差異不大。

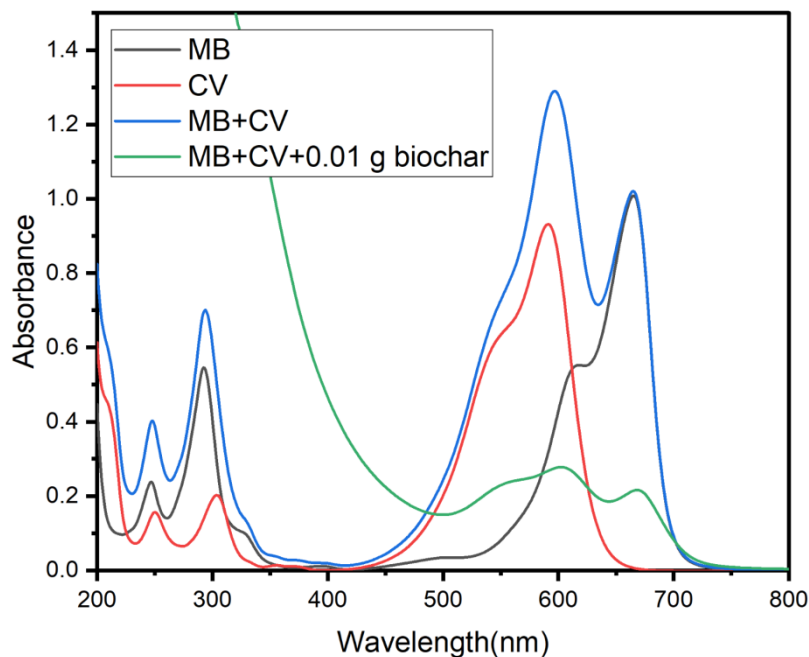
3.總結上述討論，後續研究中選擇使用環境中常見 pH 7 來進行實驗。

(八) 生物碳對混和染料吸附力檢測

1.MB+CV 混和染料



(圖 11-1) 生物碳吸附亞甲藍及結晶紫混和染料實際變化圖



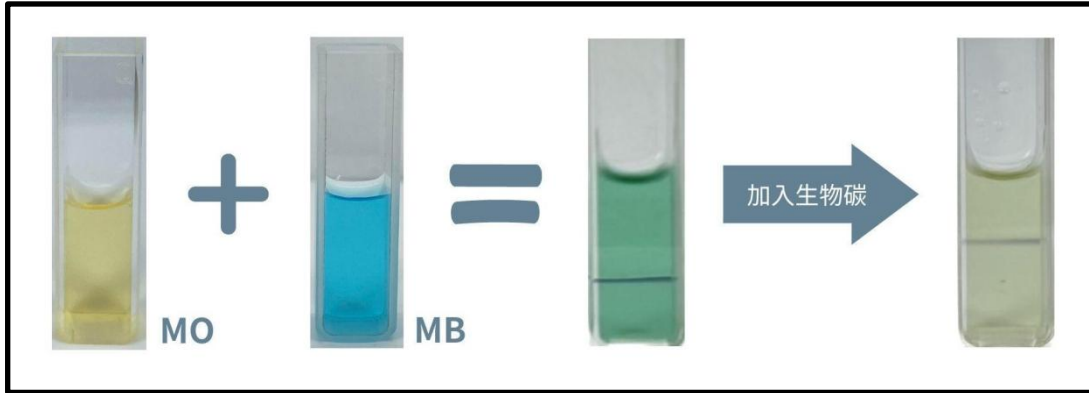
(圖 11-2) 亞甲藍與結晶紫混和染料之生物碳吸附的紫外可見光光譜圖

(1) 以肉眼觀察 (圖 11-1) 可以發現亞甲藍與結晶紫染料混和後顏色呈藍紫色，且在加入生物碳後可發現顏色接近透明無色，可知其中亞甲藍及結晶紫染料大部分被吸附，無殘餘。

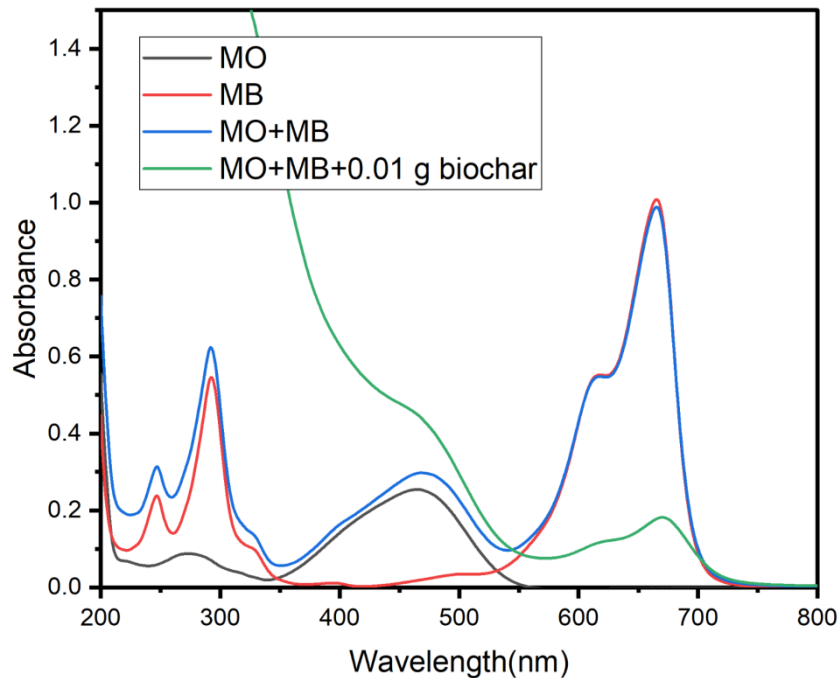
(2) 由 (圖 11-2) 紫外可見光光譜圖得知，亞甲藍與結晶紫混和溶液之吸收光譜 (藍線) 由未經混和的亞甲藍吸收光譜 (黑線) 及結晶紫吸收光譜 (紅線) 疊加形成，表示兩種染料混和後，彼此之間不會產生交互作用。

(3) 由(圖 11-2)可知混和後的光譜圖明顯出現兩個波峰，分別位於 590 nm 及 664 nm，同時也是結晶紫與亞甲藍之波峰所在，且顯示在加入生物碳後兩波峰皆下降；符合再(圖 11-1)時所觀察到的，染料顏色接近透明無色，可確定 0.01 g 的生物碳足夠吸附兩種混和溶液，且不受混和因素影響。

2.MO+MB 混和染料



(圖 12-1) 生物碳吸附甲基橙及亞甲藍混和染料實際變化圖



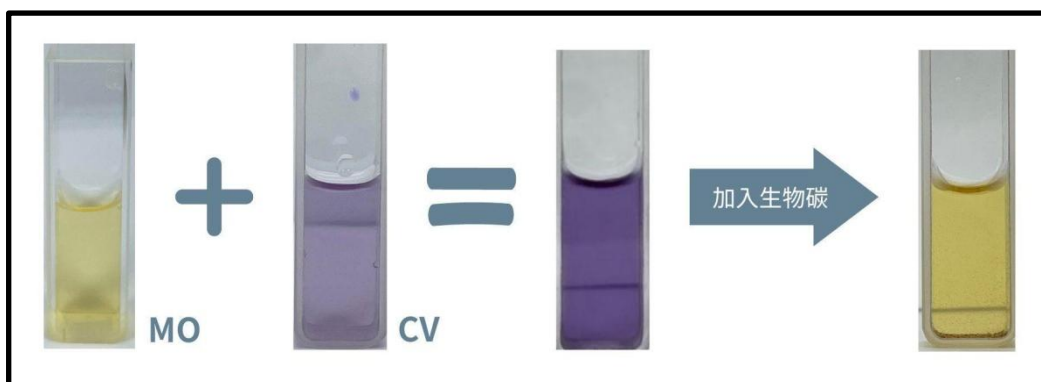
(圖 12-2) 甲基橙與亞甲藍混和染料之生物碳吸附的紫外可見光光譜圖

(1) 以肉眼觀察(圖 12-1)可以發現甲基橙與亞甲藍染料混和後顏色呈藍綠色，且在加入生物碳後呈淡橘色，可觀察到溶液中大部分亞甲藍已被吸附，剩下殘餘溶液多為甲基橙。

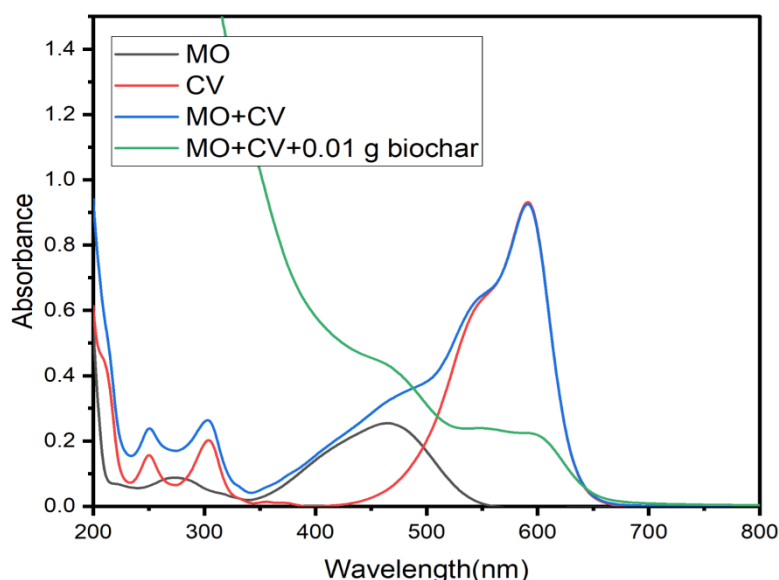
(2) 由(圖 12-2)紫外可見光光譜圖得知，在甲基橙與亞甲藍混和後的兩峰峰值(藍線)皆接近原未經混和的甲基橙吸收峰(黑線)及亞甲藍吸收峰(紅線)，表示兩種染料混和後，彼此之間不會產生交互作用。

(3) 由(圖 12-2)得知，在加入生物碳後在左側 464 nm 處甲基橙吸收峰之吸收不甚明顯；右側 664 nm 處亞甲藍吸收峰有明顯吸收，峰值再加入生物碳後趨近於 0，故由此可證生物碳對甲基橙的吸收力小於亞甲藍。

3.MO+CV 混和染料



(圖 13-1) 生物碳吸附甲基橙及結晶紫混和染料實際變化圖



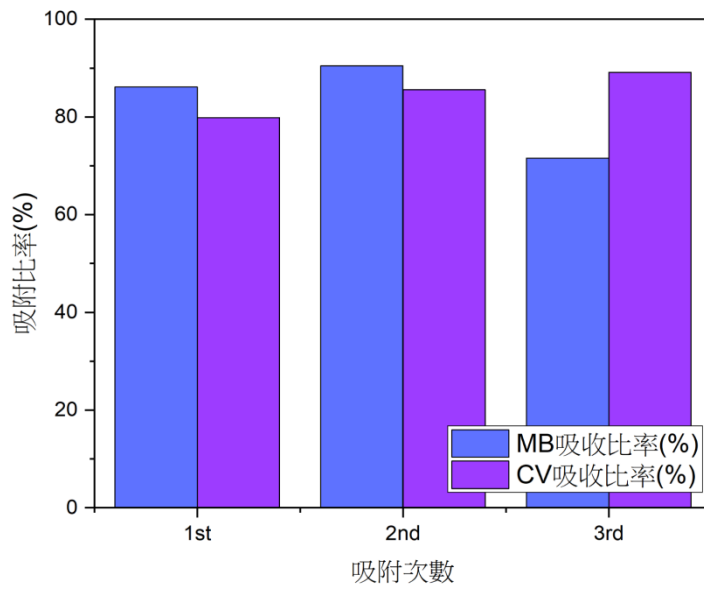
(圖 13-2) 甲基橙與結晶紫混和染料之生物碳吸附的紫外可見光光譜圖

(1) 以肉眼觀察(圖 13-1)可以發現甲基橙與結晶紫染料混和後顏色呈紫色，且在加入生物碳後呈橘色，可觀察到溶液中大部分結晶紫已被吸附，剩下殘餘溶液多為甲基橙。

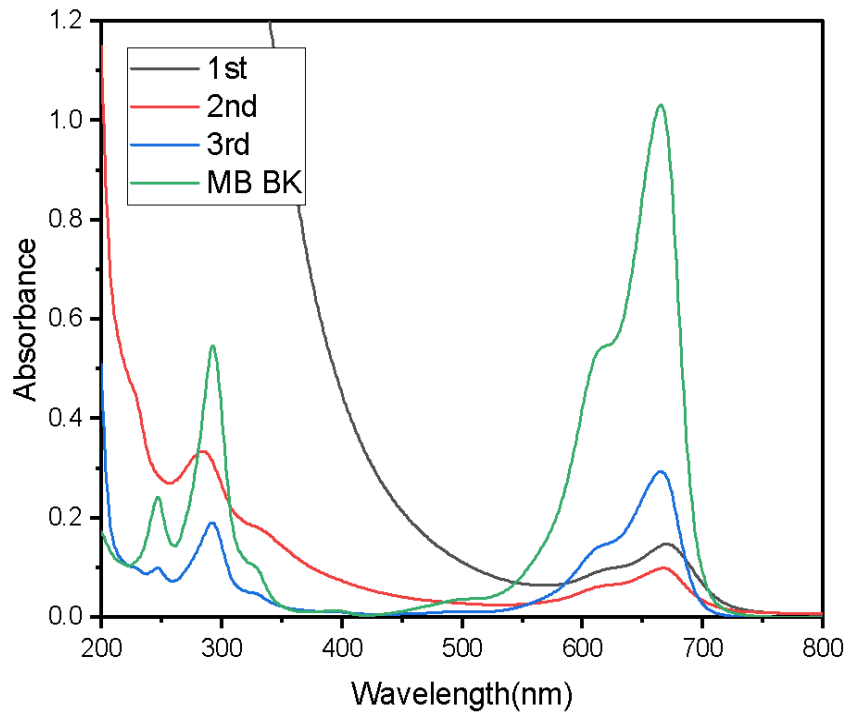
(2) 由(圖 13-2)紫外可見光光譜圖觀察到，甲基橙與結晶紫混和後的吸收光譜(藍線)由未經混和的甲基橙吸收光譜(黑線)及結晶紫吸收光譜(紅線)疊加形成，表示兩種染料混和後，彼此之間不會產生交互作用。

(3) 由(圖 13-2)得知，在加入生物碳後在左側 464 nm 處甲基橙吸收峰之吸收不甚明顯；右側 590 nm 處結晶紫吸收峰有明顯吸收，峰值在加入生物碳後趨近於 0，故由此可證生物碳對甲基橙的吸收力小於結晶紫。

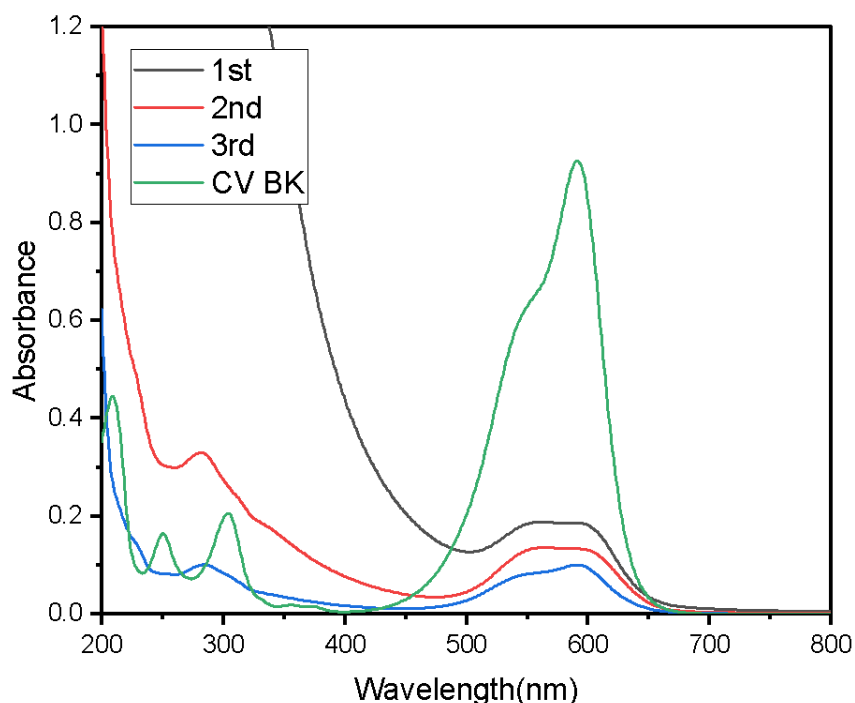
(九) 生物碳重複回收吸附染料



(圖 14-1) 生物碳脫附後重複吸收亞甲藍、結晶紫之吸附比率之柱狀圖



(圖 14-2) 生物碳脫附後重複吸收亞甲藍之紫外可見光光譜圖



(圖 14-3) 生物碳脫附後重複吸收結晶紫之紫外可見光光譜圖

1.由(圖 14-1)可見，三次的吸附比率皆高於 70%，第二次吸附亞甲藍及結晶紫，以及第三次吸附結晶紫，皆高於 80%。代表我們的生物碳是可以重複使用的，且在三次之內的效果穩定。

二、生物碳吸附水楊酸能力檢測

氫氧化鈉濃度： 1.5×10^{-3} M

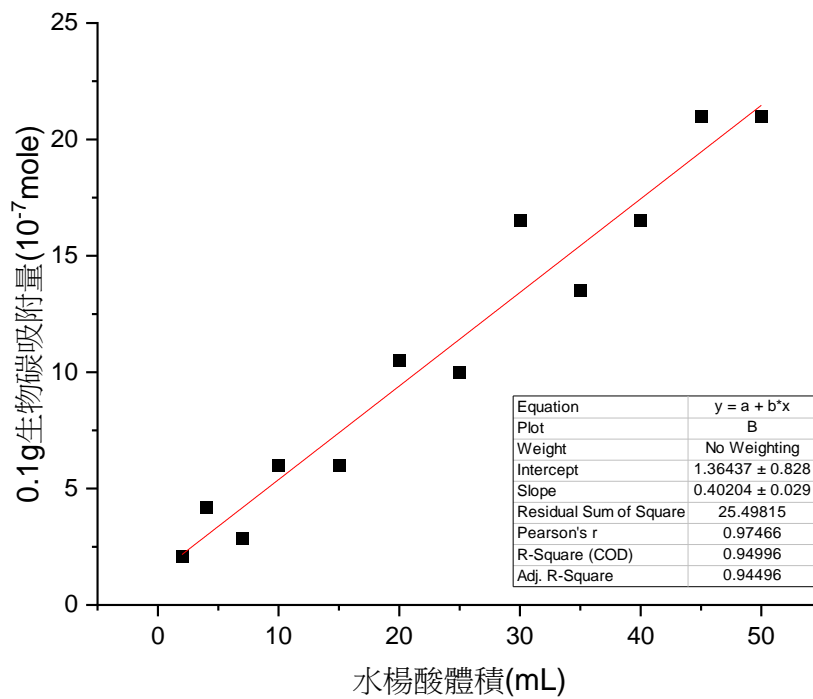
水楊酸濃度： 1.05×10^{-3} M

總水溶液體積：50 mL

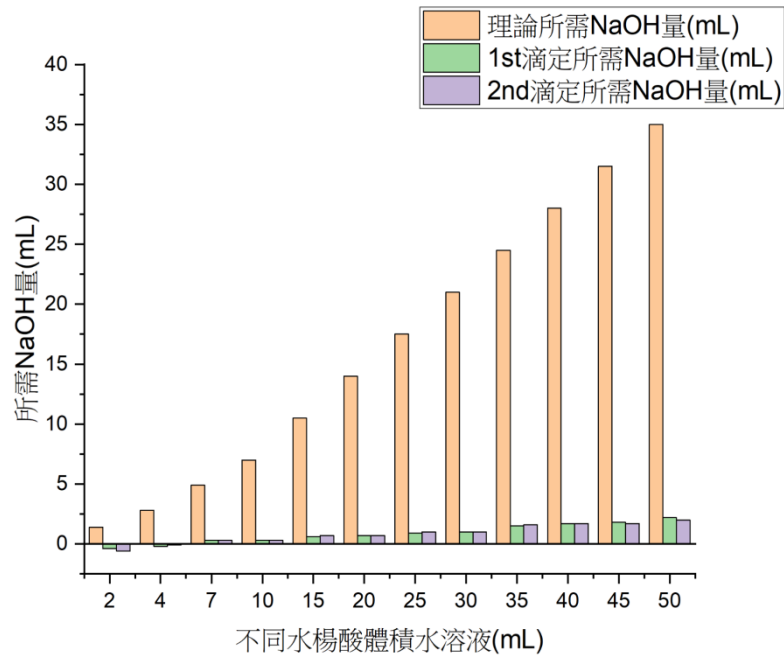
(表 3) 水楊酸吸附後滴定數據

水楊酸體積 (mL)	加入吸附劑前的酸濃度 (M)C1	吸附劑重 (g)	濾液供滴定體積 (ml)V1	滴定消耗 NaOH 體積 (ml)V2	加入吸附劑後殘留酸之濃度 C2(M)	吸附劑吸附酸的量 x(mole)	1g 吸附劑吸附酸的莫耳數(mole/g)
2	4.2×10^{-5}	0.102	5.00	-0.5	-1.5×10^{-4}	9.6×10^{-6}	9.6×10^{-5}
4	8.4×10^{-5}	0.101	5.00	-0.15	-4.5×10^{-5}	6.45×10^{-6}	6.45×10^{-5}
7	1.47×10^{-4}	0.103	5.00	0.3	9×10^{-5}	2.85×10^{-6}	2.85×10^{-5}

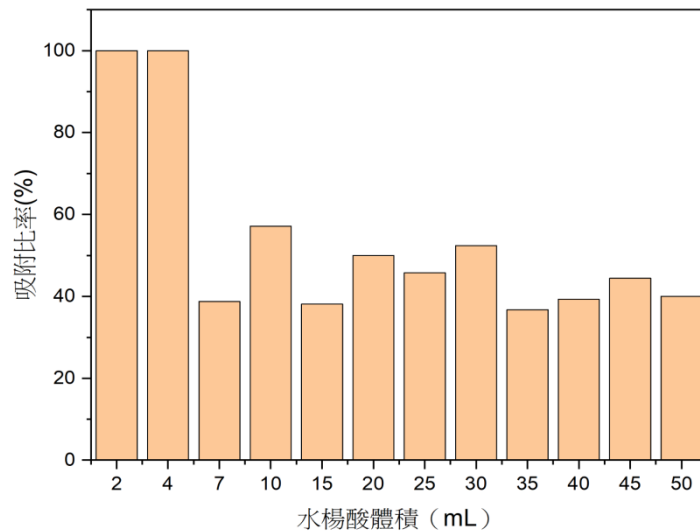
10	2.1×10^{-4}	0.105	5.00	0.3	9×10^{-5}	6×10^{-6}	6×10^{-5}
15	3.15×10^{-4}	0.102	5.00	0.65	1.95×10^{-4}	6×10^{-6}	6×10^{-5}
20	4.2×10^{-4}	0.103	5.00	0.7	2.1×10^{-4}	1.05×10^{-5}	1.05×10^{-4}
25	5.25×10^{-4}	0.102	5.00	0.95	2.85×10^{-4}	1.2×10^{-5}	1.2×10^{-4}
30	6.3×10^{-4}	0.100	5.00	1	3×10^{-4}	1.65×10^{-5}	1.65×10^{-4}
35	7.35×10^{-4}	0.103	5.00	1.55	4.65×10^{-4}	1.35×10^{-5}	1.35×10^{-4}
40	8.4×10^{-4}	0.102	5.00	1.7	5.1×10^{-4}	1.65×10^{-5}	1.65×10^{-4}
45	9.45×10^{-4}	0.105	5.00	1.75	5.25×10^{-4}	2.1×10^{-5}	2.1×10^{-4}
50	1.05×10^{-3}	0.104	5.00	2.1	6.3×10^{-4}	2.1×10^{-8}	2.1×10^{-4}



(圖 15-1) 水楊酸體積與生物碳吸收量散布圖



(圖 15-2) 不同水楊酸體積實際滴定所需 NaOH 的量及理論值比較之柱狀圖



(圖 15-3) 水楊酸體積與生物碳吸收比率支柱狀圖

(一) 使用 NaOH 水溶液滴定空白樣品 (0.1g 生物碳+50mL 水)，發現生物碳為酸性，且需消耗 2mL NaOH 水溶液進行滴定，所以在 (表 3) 中滴定消耗 NaOH 水溶液會再減去 2mL。

(二) 水楊酸體積為 2、4 時，滴定消耗 NaOH 水溶液為負值，表示滴定總共使用之 NaOH 水溶液少於滴定生物碳基本的 2mL，推測水楊酸及生物碳的官能基相互牽制，使氫離子無法解離，使酸性下降。而 (表 2) 中將負值改為 0。

(三) 由 (圖 15-1) 可見，生物碳對水楊酸的吸收量隨著水楊酸濃度上升，兩者之 R 平方值達 0.94，呈高度正相關。

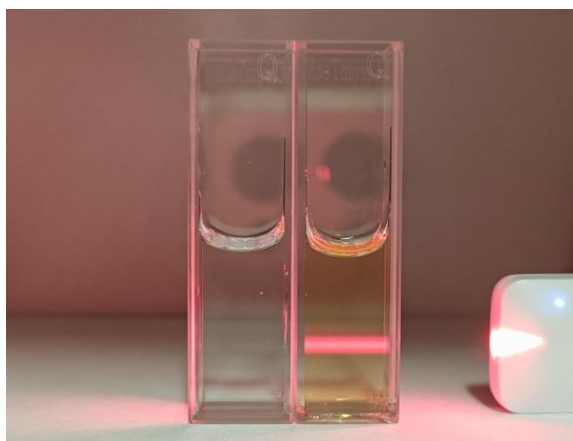
(四) 比較 (圖 15-2) 發現實際滴定所需 NaOH 水溶液的量遠少於理論值，因此可證實水楊酸確實有被生物碳吸附。

(五) 由 (圖 15-3) 搭配 (表 3) 觀察到，在濃度不超過 1.05×10^{-3} M 時，不論濃度如何增加，皆能吸附 35%~50% 的水楊酸。

三、生物碳奈米碳點螢光檢測

(一) 廷得耳效應觀察

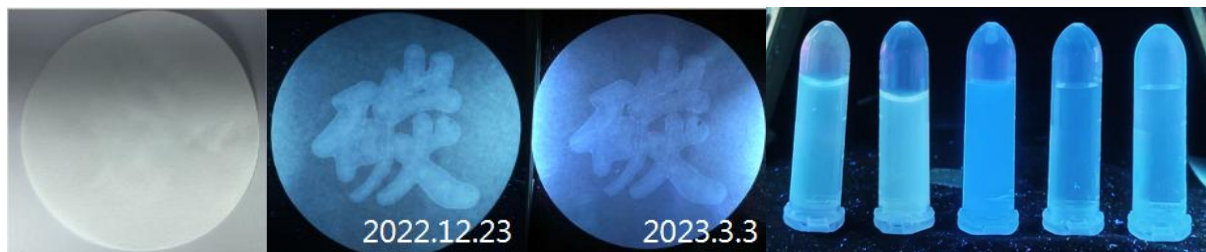
為了確認臍橙生物碳水溶液中是否含有奈米碳點，我們進行了廷得耳效應的實驗。藉由奈米粒子會散射光的現象判斷水溶液中是否含有奈米層級的物質。觀察 (圖 17)，左邊溶液為蒸餾水，右邊溶液則為臍橙生物碳水溶液，而藉由畫面觀察可得知，此臍橙生物碳水溶液會發生散射現象，因此證實此生物碳本身具有奈米碳點。



(圖 17) 透過廷得耳效應可證實溶液中含有奈米碳點
(圖片來源：筆者自行拍攝)

(二) 螢光比率計算方式：
$$\frac{\text{待測物螢光強度}}{BK \text{螢光強度}}$$

(三) 觀察紫外燈下之螢光效果及螢光墨水應用：

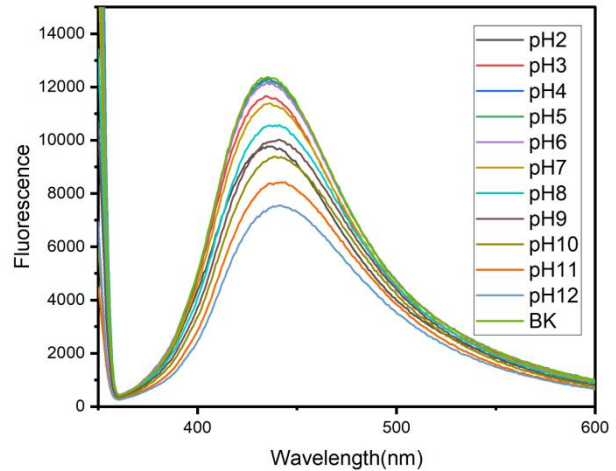
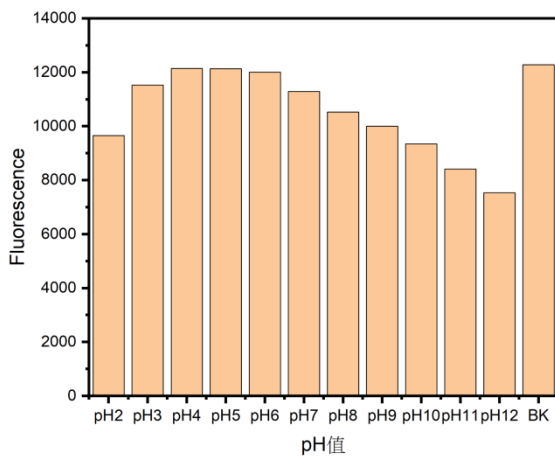


(左圖 18-1) 將 160°C 鍛燒之碳點溶液書寫在濾紙上，比較在日光和紫外光下的差別，並將放置一段時間後的一起比較

(右圖 18-2) 不同鍛燒溫度之螢光效果 (由左至右分別為 120°C、160°C、200°C、300°C、400°C)

- 1.觀察（右圖 18-2）可知由 160°C 鍛燒溫度之碳點螢光效果最佳。
- 2.由（左圖 18-1）發現使用螢光墨水所書寫的字，在放置一段時間後螢光效果不會減弱，說明墨水的螢光效果不受時間影響。

（四）pH 值穩定性

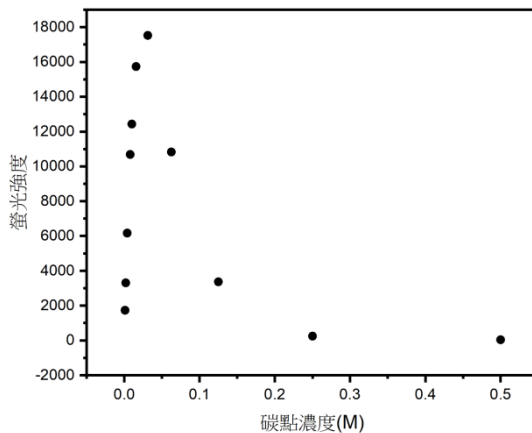


（左圖 19-1）不同 pH 值環境下碳點螢光強度之柱狀圖

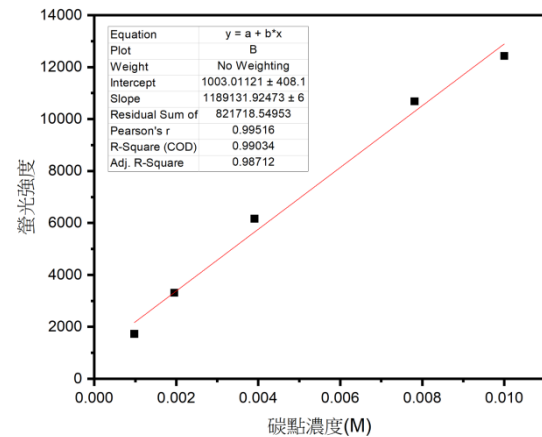
（右圖 19-2）不同 pH 值環境下碳點螢光之螢光光譜圖

- 1.由（圖 19-1）可見在 pH 3~pH 7 的螢光強度下降較少，可知在此範圍的酸鹼環境下螢光性質較穩定。
- 2.相較於酸性環境，鹼性環境之螢光強度呈下降趨勢，相對不穩定。

（五）濃度對螢光強度之影響



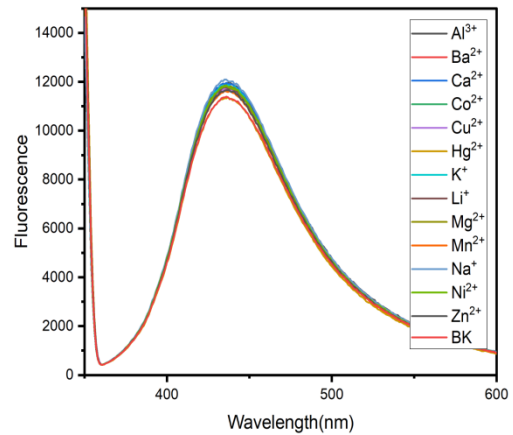
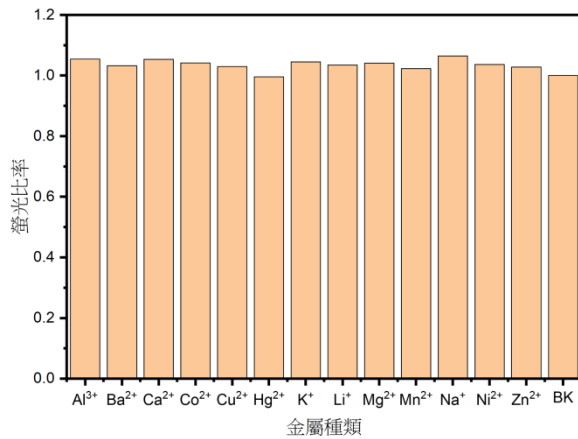
（左圖 20-1）不同稀釋倍率下碳點螢光強度之散布圖



（右圖 20-2）稀釋倍率 100 倍以上碳點之螢光強度散布圖及趨勢線

- 1.由（圖 20-1）可見，螢光強度隨著濃度升高而增加，在稀釋 100 倍時螢光達到最強，隨後濃度增加螢光強度反而逐漸降低。推測樣品濃度過高的時候，激發光會被樣品溶液衰減，只有樣品外圍會受到激發光源的照射，故螢光較弱。
- 2.由（圖 20-2）可知，低濃度可降低激發光衰減及自吸收現象的影響，碳點濃度與螢光強度具高度線性關係，且 R 平方值高達 0.99。

(六) 金屬離子螢光抗干擾

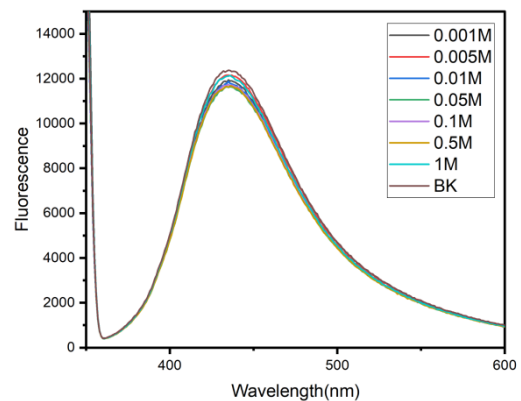
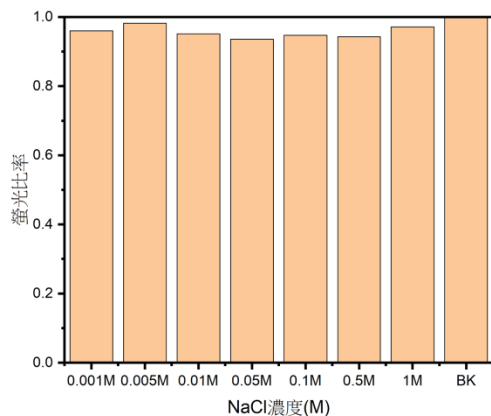


(圖 21-1) 不同金屬離子影響碳點螢光比率之柱狀圖

(圖 21-2) 不同金屬離子影響碳點螢光強度之螢光光譜圖

1.由(圖 21-1)(圖 21-2)可知螢光強度無顯著改變,金屬離子對螢光強度的干擾影響不大。由此可知,此螢光碳點具有對金屬離子具抗干擾性。

(七) 耐鹽性



(圖 22-1) 不同鹽濃度影響碳點螢光比率之柱狀圖

(圖 22-2) 不同鹽濃度影響碳點螢光強度之螢光光譜圖

1.由(圖 22-1)(圖 22-2)可見螢光強度無顯著改變,離子強度對螢光強度影響不大。由此可知,此螢光碳點在濃離子環境可有效抗干擾。

伍、結論

經過以上各種分析及使驗，我們得知使用 120°C、160°C、200°C、300°C、400°C 皆可成功鍛燒出臍橙生物碳，其中成果分成三大部分：

一、在各種環境中吸附染料效果

(一) 各種溫度鍛燒製造出的生物碳皆能吸附亞甲藍及結晶紫染料，以 160°C 鍛燒的生物碳效果最好，且環境 pH 值除在 3 以下及 12 以上，都能使吸附比率維持 90%。

(二) 有機物解離態帶負電時會與碳點表面負電相斥，導致無法吸附。不同染料混和時不會因染劑混合受影響，能針對目標染劑作吸收。

(三) 使用酒精作為脫附劑，重複吸、脫附三次的生物碳在每次吸附中皆有超過 70% 的吸附能力。

二、吸附不同濃度水楊酸的效果

(一) 以 160°C 鍛燒的生物碳吸附不同濃度之水楊酸，在進行滴定後所使用的氫氧化鈉，皆比計算出的理論值低，可證明皆有吸附效果。

(二) 生物碳對不同濃度水楊酸吸附能力呈高度線性關係，因此濃度在水楊酸濃度為 1.05E-03 M 以內時，濃度越高吸收量就越多。

(三) 水楊酸濃度在 1.05×10^{-3} M 內時，皆具吸附效果且吸附比率皆達到 35% 以上。

三、不同條件對螢光奈米碳點之影響

(一) 120~400°C 製成之生物奈米碳點，皆具有螢光效果，其中 160°C 效果最佳。不同金屬離子的存在下，對碳點的螢光較沒有干擾，且在環境 pH 值 3~6 時螢光效果能穩定發出。

(二) 當奈米碳點溶液濃度過高時，激發光會被碳點溶液衰減，只有碳點外圍會受到激發光源的照射，故螢光較弱，將奈米碳點溶液原液稀釋成 100 倍以上時螢光較不受自吸收影響。

(三) 氯化鈉的濃度對螢光效果影響不明顯，表示在高濃度離子強度的環境中螢光墨水不受干擾。

四、綜上結論，本實驗期待實現 SDGs3 健康與福祉及 SDGs6 淨水與衛生發展為目標。

陸、未來展望

- 一、尋找更多能被生物碳吸附之染料進行吸附測試。
- 二、將生物碳加入實際被汙染水源樣本中，檢測其效果。
- 三、目前醫療上以活性碳來作為過量阿斯匹靈的解毒劑。本實驗證實臍橙生物碳能有效吸附水楊酸，期望未來能有機會進行藥理實驗。
- 四、實際利用奈米碳點螢光效果檢測汙染物濃度。
- 五、觀察奈米碳點螢光效果是否可長久存在，並將螢光墨水應用於仿偽技術。
- 六、探討生物碳吸附能力及螢光效果對生活中不同有機物的影響。

柒、參考文獻資料

- 一、蔡佳儒、吳耿東（民 105）。臺灣農業廢棄物製備生物碳之未來與展望。農業生技產業季刊，46，24-28。取自：<https://reurl.cc/3OXKGM>
- 二、蔡呈奇（民 106）。什麼是生物碳（Biochar）？。國立宜蘭大學農業推廣委員會農業推廣季刊，79。取自：<https://reurl.cc/vkaQyk>
- 三、徐晨皓、袁子鈞、劉佳霖、邱泰嘉、胡焯淳（民 103）。利用植物廢棄物合成含奈米碳點的螢光物質。科學教育月刊，374，41-48。取自：<https://reurl.cc/ykLAyO>
- 四、臍橙（民 98）。農業知識入口網。取自：<https://reurl.cc/4QrN4V>
- 五、葉名倉（民 98）。阿斯匹靈（Aspirin）。科學 Online。取自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4663>
- 六、徐宇慧、許名智（民 102）。甲基橙（Methyl orange）。科學 Online。取自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=45599>

【評語】 050201

利用生物資源或廢棄物作為碳資源形成碳點是一個科展很流行的題目。本研究以泰源肚臍柑皮作為材料，將其烘乾製成粉狀後高溫鍛燒製成生物碳。利用的材料具有在地性，得到的結果也還可以。研究精神值得鼓勵，但創意略顯不足。

作品海報

碳為柑止



生物碳吸附力及螢光應用

摘要

以泰源肚臍柑皮作為研究材料，將其烘乾製成粉狀後，高溫鍛燒成生物碳。再以檢測 Zeta 電位可知生物碳表面帶負電，分別對吸附亞甲藍、結晶紫、甲基橙等有機染料的效果進行探討，發現生物碳對表面具有不同電性之染料有明顯差異，且在混合染料實驗中可知生物碳對表面帶正電的亞甲藍及結晶紫有很好的吸附效果，反之對表面具負電的甲基橙則無，推測靜電力為主要吸附原因。

從上述生物碳表面電荷及染料吸附實驗結果，設計使用生物碳吸附水楊酸實驗，結果證實生物碳可吸附水楊酸，再進一步探討生物碳在不同濃度水楊酸溶液環境下對吸附比率的關係。探討生物碳重複使用的效果，使用酒精作為脫附劑進行了脫附實驗，結果證實重複吸、脫附三次的生物碳，吸附率皆達 70% 以上。而生物碳中奈米尺寸的碳點則具有螢光效果。

壹、實驗動機

- 一、新冠疫情肆虐，民眾確診後常服用阿斯匹靈藥物，此類藥物易在人體中水解出不易代謝的水楊酸。
- 二、淨水廠使用活性炭除臭，思考碳的吸附功能。
- 三、由活性炭吸附乙酸之實驗，思考利用自製生物碳吸附水楊酸。
- 四、查找文獻發現生物碳具有奈米尺寸的碳點，思考是否具有螢光效果。
- 五、結合臺東在地水果，將農產品的廢棄物再度利用。

貳、實驗材料與設備

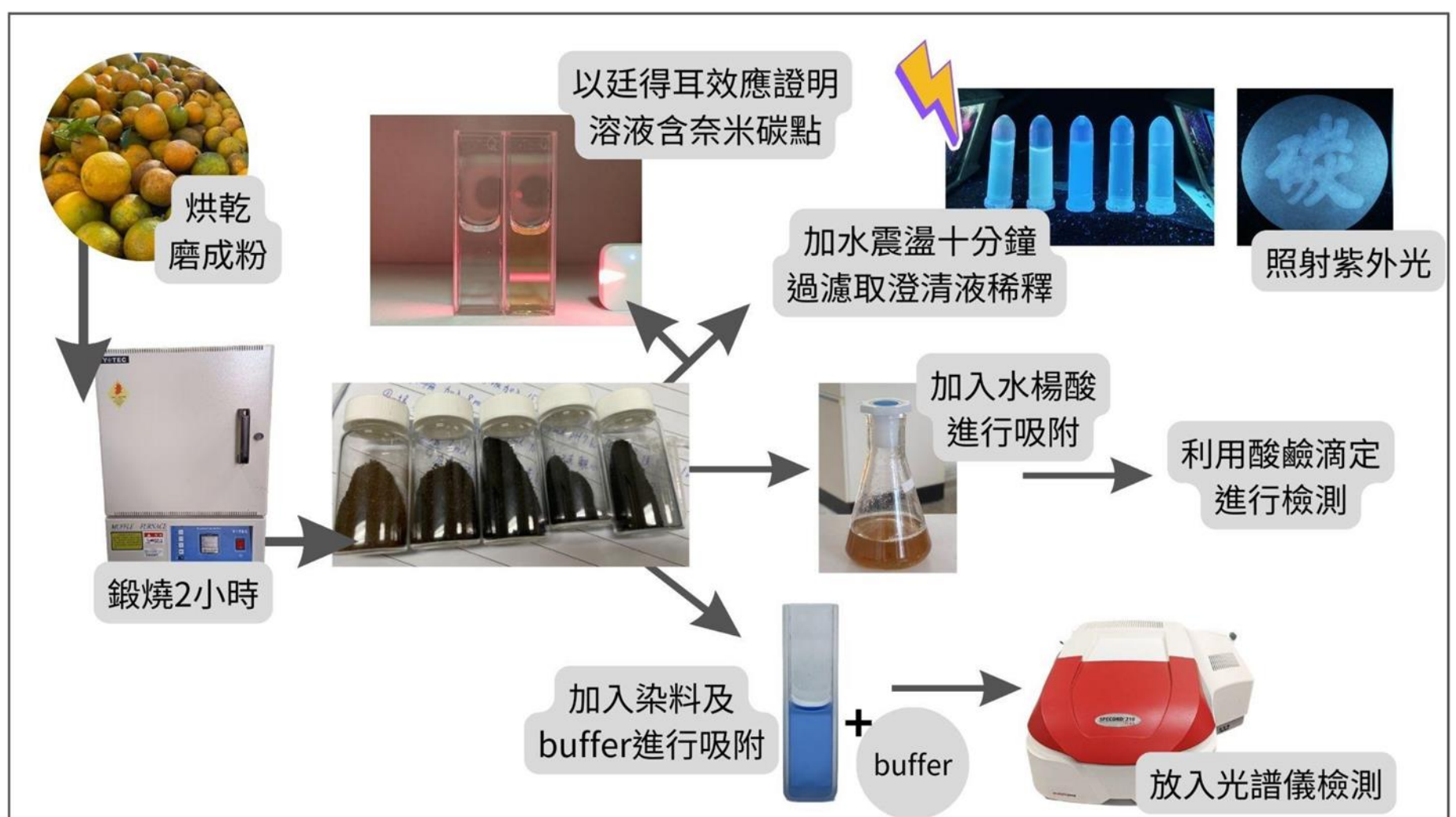
材料：亞甲藍、甲基橙、結晶紫、緩衝溶液(磷酸鹽)、泰源臍橙、水楊酸水溶液、氫氧化鈉水溶液、金屬離子、氯化鈉、酚酞指示劑。

設備：超音波震盪儀、紫外光儀、RF6000 螢光分光光度計、高溫鍛燒爐、生物碳、打碎機、烘箱、離心機、迴轉式震盪機、UV-Vis 光譜儀、微量吸量管、離心管、0.22 μ m 濾膜、酸鹼度計、錐形瓶、滴定管、電磁攪拌器。

參、研究目的

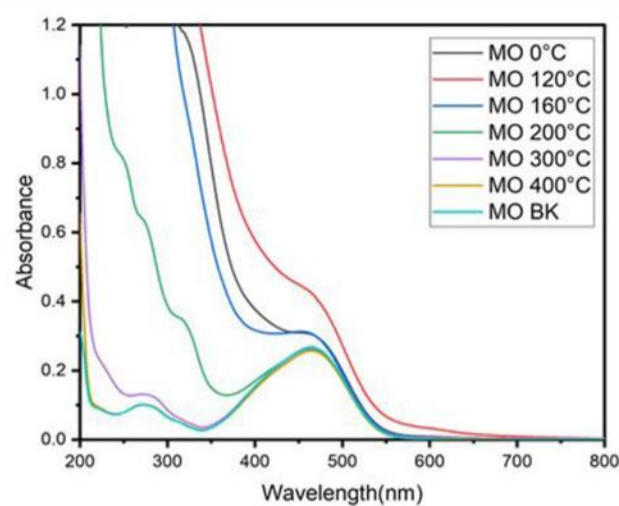
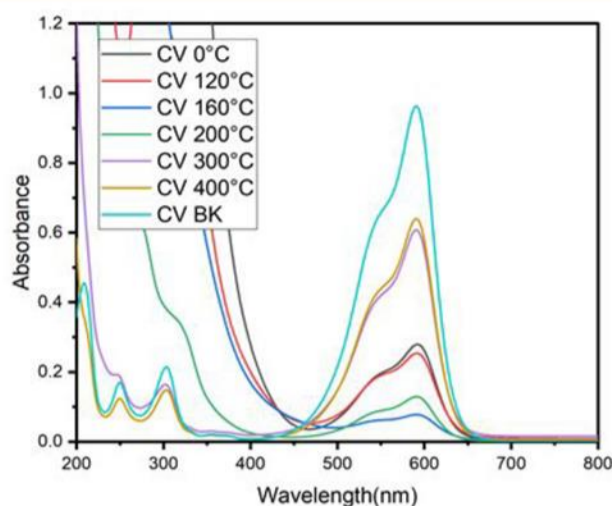
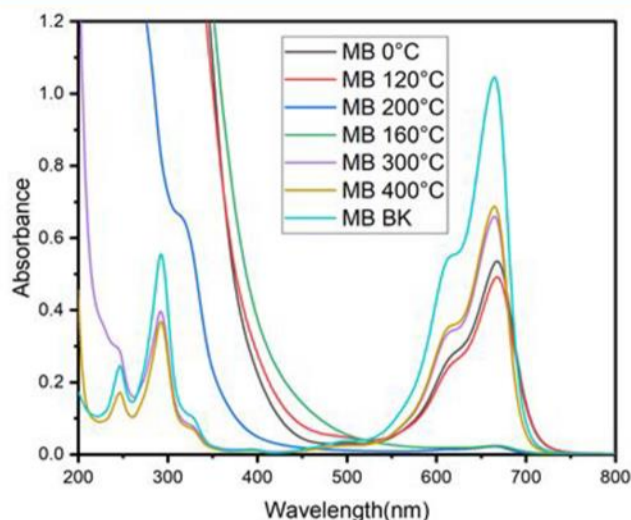
- 一、自製生物碳是否能吸附水楊酸溶液及有機染劑。
- 二、探討熱裂解溫度及不同酸鹼環境對生物碳吸附能力的影響。
- 三、探討生物碳吸附染劑的原理與基本性質。
- 四、探討生物碳對不同濃度的水楊酸吸附能力之影響。
- 五、觀察生物碳奈米碳點是否具螢光效果。

肆、實驗方法



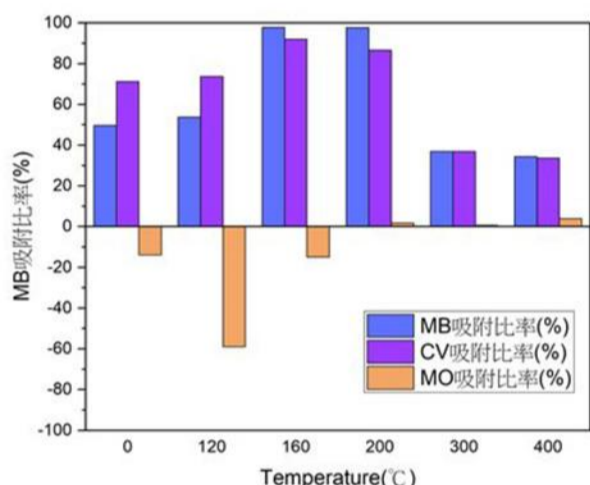
伍、實驗結果與討論

生物碳吸附及脫附有機染劑

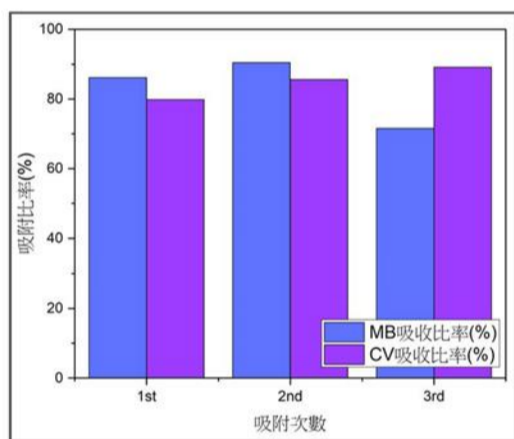


左中右分別為 MB、CV、MO 對不同溫度鍛燒之生物碳吸收光譜圖

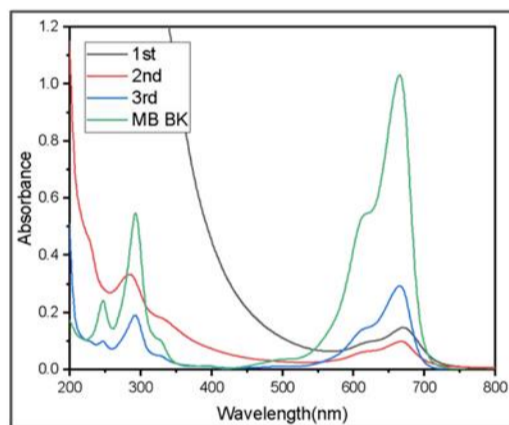
1. 亞甲藍吸收峰為 664 nm、結晶紫吸收峰為 590 nm、甲基橙吸收峰為 464 nm。
2. 各個溫度鍛燒之生物碳皆可吸附亞甲藍及結晶紫，且以 160°C 最佳。
3. 由圖可知甲基橙無法被吸附。



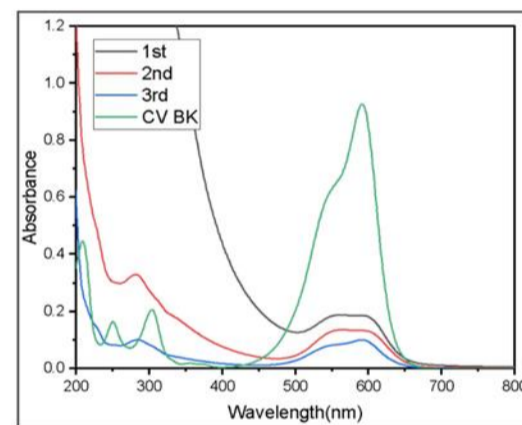
不同溫度鍛燒之生物碳對 MB、CV、MO 吸附比率柱狀圖



160度段燒生物碳重複吸、脫附亞甲藍、結晶紫吸附比率柱狀圖

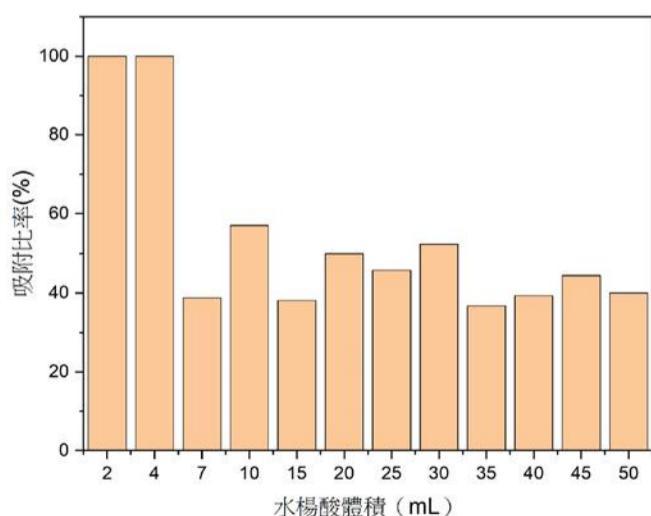


160度鍛燒生物碳重複吸、脫附吸收亞甲藍、結晶紫之紫外可見光光譜圖

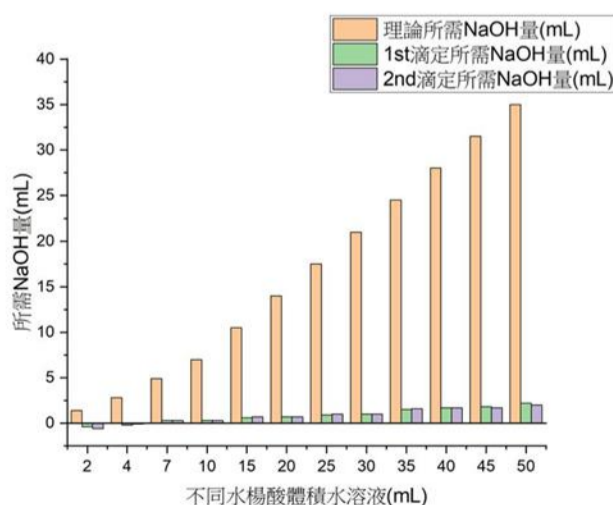


1. 重複三次吸附及脫附的步驟，吸附比率皆高於 70%。
2. 第二次吸附亞甲藍及結晶紫，以及第三次吸附結晶紫，吸附比率皆高於 80%。代表臍橙生物碳可以重複使用，且在三次之內的效果穩定。

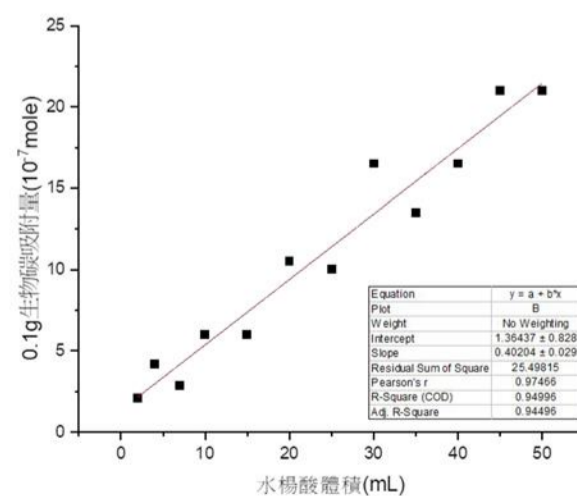
生物碳吸附水楊酸



水楊酸體積與生物碳吸收比率之柱狀圖



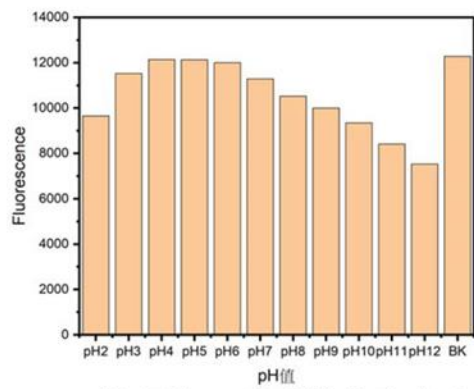
不同水楊酸體積實際滴定所需 NaOH 的量及理論值比較之柱狀圖



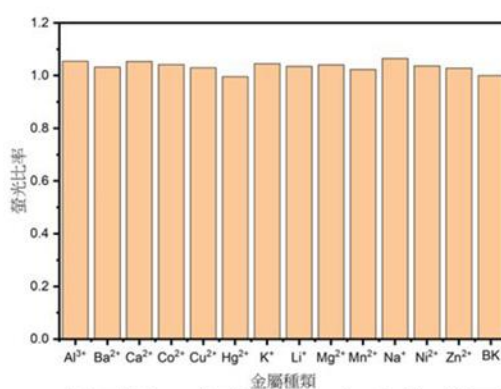
水楊酸體積與生物碳吸收量之散布圖

1. 生物碳對水楊酸的吸收量隨著水楊酸濃度的增加而上升，兩者之 R 平方值 0.94，呈高度正相關。
2. 實際滴定所需 NaOH 水溶液的量遠少於理論值，因此可證實水楊酸確實有被生物碳吸附。
3. 在水楊酸濃度不超過 1.05×10^{-3} M 時，皆吸附約 30% ~ 50% 的水楊酸。

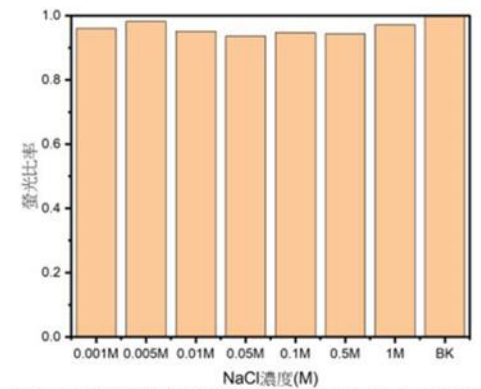
生物碳奈米碳點螢光效果



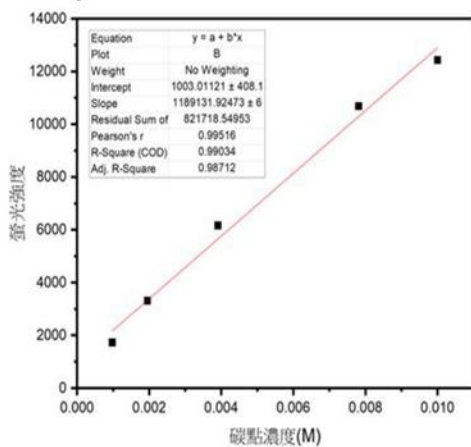
不同 pH 值環境下碳點螢光強度之柱狀圖



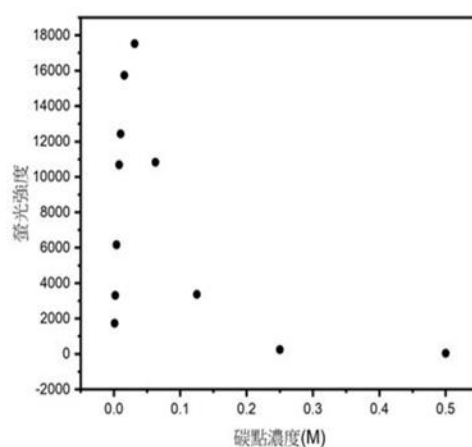
金屬離子對螢光比率之柱狀圖



不同鹽類濃度對螢光比率之柱狀圖



稀釋100倍以上螢光強度之散布圖



不同稀釋倍率螢光強度之散布圖

1. 各個溫度皆具螢光效果，且以160°C最佳。
2. 螢光效果不受金屬離子及高濃度鹽類影響。
3. 濃度過高時，螢光強度隨著濃度升高而降低，推測是發生自吸收現象。

陸、結論

使用120°C、160°C、200°C、300°C、400°C皆可成功鍛燒出臍橙生物碳。

一、在各種環境中吸附染料效果

1. 各溫度鍛燒出的生物碳皆能吸附亞甲藍及結晶紫，以160°C鍛燒之生物碳效果最好，且在pH值4~11的環境下，都使吸附比率維持約90%。
2. 有機染料解離態帶負電時，會與碳點表面負電相斥，導致無法吸附。不同染料混和時，可針對目標染料作吸附，不會因混合而受影響。
3. 使用酒精作為脫附劑，重複吸、脫附三次的生物碳，在每次吸附中皆超過70%的吸附能力。

二、吸附不同濃度水楊酸的效果

1. 以160°C鍛燒的生物碳吸附不同濃度之水楊酸後，再使用氫氧化鈉進行滴定，發現水楊酸濃度皆減少，證明部分水楊酸被生物碳吸附。
2. 生物碳對不同濃度水楊酸吸附能力呈高度線性關係，因此在水楊酸濃度為 $1.05 \times 10^{-3} \text{M}$ 以內時，濃度越高吸收量就越多。
3. 水楊酸濃度在 $1.05 \times 10^{-3} \text{M}$ 以內時，吸附比率皆在35%以上。

三、不同條件對螢光奈米碳點之影響

1. 120~400°C製成之生物碳奈米碳點，皆具螢光效果，其中160°C效果最佳。不同金屬離子的存在下，對碳點的螢光沒有干擾，且在環境pH值3~6時螢光效果能穩定發出。
2. 鹽類濃度對螢光效果影響不明顯，證明在濃離子環境螢光墨水不受干擾。
3. 當奈米碳點溶液濃度過高，激發光被碳點溶液衰減，只有樣品外圍受到光源照射，故螢光較弱。將奈米碳點原液稀釋100倍以上時螢光較不受自吸收影響。

柒、未來展望

- 一、尋找更多能被生物碳吸附之染料進行吸附測試。
- 二、將生物碳加入實際被汙染水源樣本中，檢測其效果。
- 三、目前醫療上以活性碳來作為過量阿斯匹靈的解毒劑。本實驗證實臍橙生物碳能有效吸附水楊酸，期望未來能有機會進行藥理實驗。
- 四、實際利用奈米碳點螢光效果檢測汙染物濃度。
- 五、觀察奈米碳點螢光效果是否可長久存在，並將螢光墨水應用於仿偽技術。
- 六、探討生物碳吸附能力及螢光效果對生活中不同有機物的影響。
- 七、期望能實現SDGs3健康與福祉以及淨水與衛生的目標。

捌、參考文獻

- 一、蔡佳儒、吳耿東(民105)。臺灣農業廢棄物製備生物碳之未來與展望。農業生技產業季刊, 46, 24-28。
- 二、蔡呈奇(民106)。什麼是生物碳(Biochar)?。國立宜蘭大學農業推廣委員會 農業推廣季刊, 79。
- 三、徐晨皓、袁子鈞、劉佳霖、邱泰嘉、胡焯淳(民103)。利用植物廢棄物合成含奈米碳點的螢光物質。科學教育月刊, 374, 41-48。
- 四、臍橙(民98)。農業知識入口網。
- 五、葉名倉(民98)。阿斯匹靈(Aspirin)。科學 Online。
- 六、徐宇慧、許名智(民102)。甲基橙(Methyl orange)。科學 Online。