

題目名稱：阿「甘」正傳

一、摘要：

本研究以農業廢棄資材-甘蔗渣為素材製作生物炭，文中詳述製炭器具演進過程及與市售生物炭比較過濾重金屬溶液、吸附碘值效果。我們發現乾餾 40 分鐘的甘蔗炭收炭率較穩定，可達三成以上，供熱則為一般木炭可供熱量的八成左右。吸附銅離子實驗部分，無論自製甘蔗炭或市售炭材皆成效不彰；於吸附錳離子實驗中，自製甘蔗炭與市售菱殼炭則有達五成以上的移除效果，但重金屬溶液濃度愈高，移除率愈低。於吸附碘值部分表現不佳，最高只有 30 分鐘自製甘蔗炭的 940.08 毫克碘/克碳，遠低於前人研究中工業用活性碳的碘值 2438.4 毫克碘 /克碳。

二、探究題目與動機

台灣每年產生的農業廢棄資材難以計數，除了作為堆肥利用外，經常直接就地掩埋或焚燒處理，造成環境負擔。為配合全球減碳及儲存碳匯之趨勢，農業行政、研究單位針對廢棄資材再利用議題進行許多研究與開發，「生物炭」的製作便為其中之一。製糖業過去是屏東的經濟命脈，筆者幼時常去南州糖廠遊玩，長輩以緬懷的口吻描述滿載著甘蔗的小火車，象徵著龐大收益與榮光。但環境污染卻是不可承受之重，彼時因環保意識尚低，人們除曬乾後當作燃料便是用火焚法就地處理。此法方便快捷又能製造草木灰改善土質，但存放占空間且日積月累的溫室氣體不容小覷。

農業廢棄資材成分以有機物為主，其所製成的生物炭可以長時間將碳元素固定於地層，延長碳循環所需的時間，進而達到改善全球暖化的目的，若再經一道活化程序，更是可以進一步製成活性碳，用於過濾水質和空氣汙染物。本文以教科書中的理論概念為底，選用日常生活易取得的甘蔗渣為原料，以及園中的枯枝落葉為燃料設計實驗製作生物炭；更進一步利用自製生物炭與市售炭材進行重金屬溶液吸附測試，期盼能應用抽象的課本內容，並將減少廢棄物、資源再利用的概念融入校園生活中。

三、探究目的與假設

- 3.1 比較自製甘蔗渣生物炭與市售炭材對不同濃度實驗室廢液的離子吸附程度
(以硫酸銅溶液、過錳酸鉀溶液為實驗對象)
- 3.2 比較自製甘蔗渣生物炭與市售炭材對非極性分子之吸附能力(以碘溶液為實驗對象)
- 3.3 分析自製甘蔗渣生物炭與市售炭材之優劣

四、探究方法與驗證步驟

4.1 如何自製生物炭？

課本載明了「竹筴乾餾實驗」步驟及反應相關產物，甘蔗渣主要成分和竹子相同，想來類推應該可行。竹筴實驗上手後，便開始漫長的製炭(灰頭土臉)之路。

4.2 器具演進

竹筴實驗用酒精燈當熱源，我們試著用卡式爐和黑晶爐取代，無奈包覆用的鋁盒承受不了高溫，且消耗的能源過多，有違初衷，因此另尋它「爐」。之後組員家提供閒置的桶仔雞爐，燃料採用校園中的枯枝落葉，成功製出了第一批甘蔗炭！但前人研究顯示，乾餾溫度提升，有助於增加收炭率及炭化程度（桶仔雞爐最高約 400°C，煙囪式金紙爐可達 500°C），因此我們參考文獻後擇定了「煙囪式金紙爐」，搭配桶仔雞爐的內桶作為最終裝置。



圖 4.1 製炭器具演進歷程

4.3 甘蔗渣生物炭製作過程

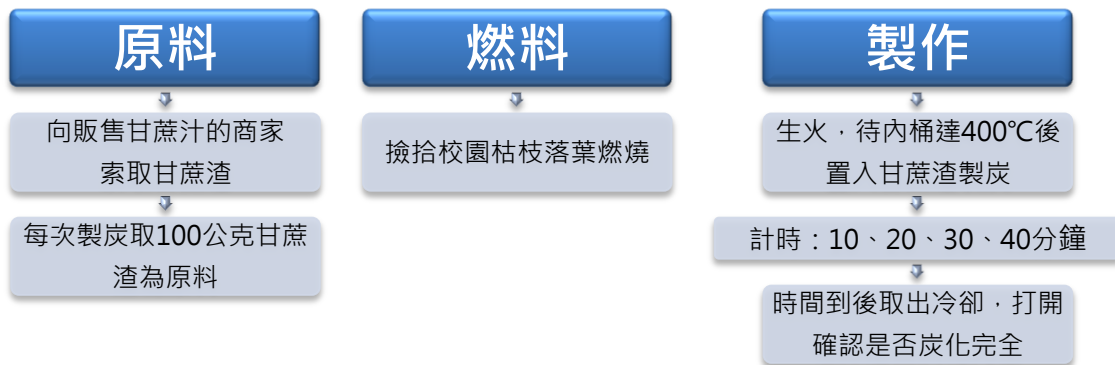


圖 4.2 甘蔗炭製作流程圖

4.4 比較自製甘蔗渣生物炭與市售炭材對不同濃度實驗室廢液的離子吸附程度

我們製作了四種不同乾餾時間（10、20、30及40分鐘）的甘蔗炭，市售生物炭則準備了竹炭、菱殼炭、備長炭及稻殼炭，以上共8種炭材進行硫酸銅溶液、過錳酸鉀溶液離子吸附實驗。流程如下圖：

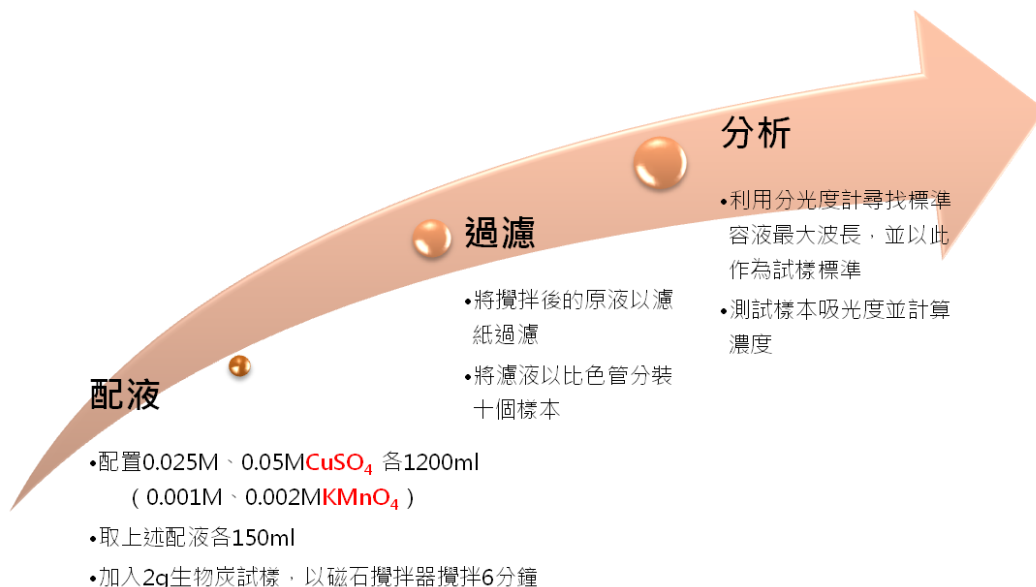


圖 4.3 以生物炭吸附實驗室常見廢液離子實驗流程圖

本研究使用「Go Direct 分光光度計」(型號：GDX-SVISPL)，由廣天國際有限公司贊助借用，並提供教育訓練以熟悉儀器操作。

研究方法採用簡化工作曲線法 - 直接比較法，具體敘述如下：
配已知濃度 c_s 的樣本並測其吸光度為 A_s ，在同樣條件下再測未知樣品的吸光度為 A_x ，通過計算可求出未知樣品的濃度 c_x 。

$$A_s = \epsilon c_s L ; A_x = \epsilon c_x L$$

由於溶液性質相同，比色皿厚度一樣，所以 $A_s/A_x = c_s/c_x$ 式中：
 c_s -已知被測組分的濃度，mol/L； c_x -未知樣品的濃度，mol/L；
 A_s -已知被測組分的吸光度； A_x -未知樣品的吸光度。

直接比較法簡化了繪製工作曲線的步驟，適用於個別樣品的測定。

(資料來源：<https://zhuanlan.zhihu.com/p/346209360>)

4.5 比較自製甘蔗渣生物炭與市售炭材對非極性分子之吸附能力 (以碘溶液為實驗對象)

活性碳為一非極性之吸附劑，故親水性低 (水分子具極性)，而許多極性低的有機分子 (例如高分子量、生物難以分解的有機物) 則是適合活性碳吸附的吸附質。(引用自國家教育研究院 <http://terms.naer.edu.tw/detail/1317352/>) 碘值吸附量可做為活性碳吸附非極性小分子能力之指標，因此我們參考文獻後設計了下列實驗步驟：

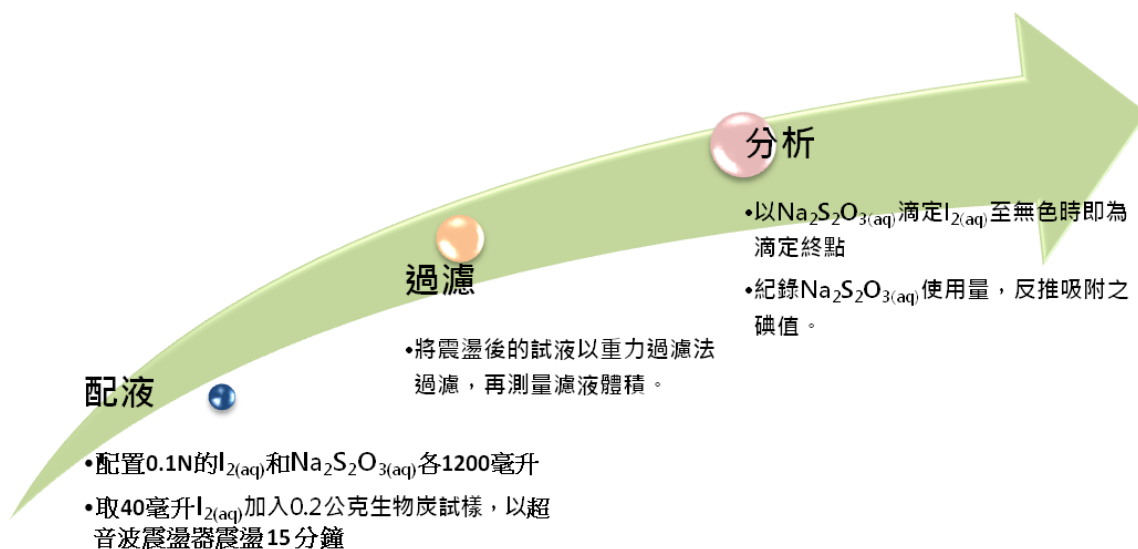


圖 4.4 生物炭吸附碘值能力實驗流程圖

將硫代硫酸鈉滴定量代入下列公式，數值換算以每公克生物炭吸收之碘毫克數表示。

$$\text{碘價} = [A_r (V_B - V_S) N] / (10W)$$

A_r ：碘之原子量，126.90。

V_B ：空白試驗消耗 0.1N 硫代硫酸鈉之體積 (ml)。 V_S ：實際試驗消耗 0.1N 硫代硫酸鈉之體積 (ml)。

N ：硫代硫酸鈉精確之當量濃度。 W ：取樣重量 (g)。

4.6 分析自製甘蔗渣生物炭與市售炭材之優劣

根據 4.4~4.5 實驗結果，分析自製甘蔗炭、市售生物炭對重金屬溶液吸附效果優劣與碘值吸附能力，並參考價格原料來源等做綜合評比。

五、結論與生活應用

5.1 自製甘蔗炭與市售生物炭吸附銅離子效果

圖 5.1 為兩種濃度硫酸銅溶液加入生物炭粉末攪拌 6 分鐘後，再以重力過濾法處理之濾液樣本的銅離子殘留率。表 5.1、5.2 為經分光光度計測試之吸光度記錄；殘留率高於 100% 之樣本，我們推測可能是過濾後之濾液殘留炭粉之影響，但實驗當下思慮欠周，未將濾後之炭粉晾乾後秤重比較質量差異，此為待改進部分。

表 5.1 經生物炭過濾後之硫酸銅溶液 (0.05M) 吸光度

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
未吸附	0.627	0.641	0.63	0.637	0.645	0.63	0.635	0.643	0.629	0.639	0.6356
A-10min	0.666	0.668	0.676	0.67	0.671	0.669	0.679	0.672	0.665	0.665	0.6701
B-20min	0.711	0.717	0.688	0.684	0.678	0.687	0.723	0.719	0.694	0.691	0.6992
C-30min	0.615	0.617	0.63	0.625	0.614	0.615	0.616	0.614	0.613	0.611	0.617
D-40min	0.655	0.664	0.652	0.646	0.659	0.636	0.639	0.649	0.663	0.655	0.6518
E-竹炭	0.628	0.64	0.61	0.625	0.628	0.617	0.616	0.623	0.638	0.631	0.6256
F-菱殼炭	0.664	0.653	0.628	0.626	0.652	0.654	0.622	0.631	0.651	0.637	0.6418
G-備長炭	0.594	0.598	0.615	0.602	0.618	0.616	0.59	0.599	0.596	0.588	0.6016
H-稻殼炭	0.58	0.586	0.575	0.577	0.582	0.574	0.577	0.576	0.582	0.579	0.5792

表 5.2 經生物炭過濾後之硫酸銅溶液 (0.025M) 吸光度

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
未吸附	0.303	0.31	0.306	0.294	0.315	0.316	0.303	0.301	0.307	0.301	0.3056
A-10min	0.303	0.31	0.306	0.294	0.315	0.316	0.303	0.301	0.307	0.301	0.3056
B-20min	0.307	0.317	0.315	0.31	0.28	0.278	0.293	0.293	0.294	0.282	0.2969
C-30min	0.349	0.338	0.352	0.336	0.336	0.332	0.228	0.352	0.344	0.336	0.3303
D-40min	0.274	0.28	0.304	0.275	0.279	0.292	0.283	0.28	0.272	0.287	0.2826
E-竹炭	0.253	0.257	0.249	0.252	0.288	0.263	0.277	0.282	0.267	0.271	0.2659
F-菱殼炭	0.291	0.301	0.295	0.293	0.288	0.29	0.292	0.286	0.291	0.292	0.2919
G-備長炭	0.278	0.284	0.273	0.287	0.289	0.296	0.281	0.298	0.283	0.292	0.2861
H-稻殼炭	0.268	0.255	0.261	0.274	0.278	0.264	0.266	0.267	0.265	0.268	0.2666

我們的實驗結果與前人研究無左，生物炭對銅離子的吸附效果不佳，且濃度愈高，移除效果愈差。綜合比較，惟自製 40 分鐘甘蔗炭和市售稻殼炭對 0.025M 硫酸銅溶液的移除率稍佳（前者 12.99%，後者 12.76%。）。

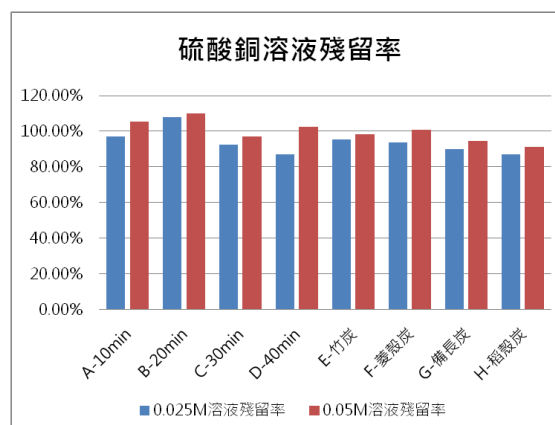


圖 5.1 硫酸銅溶液樣本生物炭吸附後殘留率

5.2 自製甘蔗炭與市售生物炭吸附錳離子效果

圖 5.2 為兩種濃度過錳酸鉀溶液加入生物炭粉末攪拌 6 分鐘後，再以重力過濾法處理之濾液樣本的錳離子殘留率。表 5.3、5.4 為經分光光度計測試之吸光度記錄；本測試依然出現殘留率高於 100% 之樣本，但品項有減少，顯示改善過濾方法有效。

和硫酸銅溶液實驗相較，生物炭對錳離子的吸附效果比較明顯，但大多數種類依然出現濃度愈高，移除效果愈差情況。綜合比較，對 0.001M 過錳酸鉀溶液的移除效果，自製 10 分鐘甘蔗炭、自製 30 分鐘甘蔗炭和市售菱殼炭均有超過 50%；對 0.002M 過錳酸鉀溶液的移除率則以菱殼炭稍佳，有 37.17% 之多。

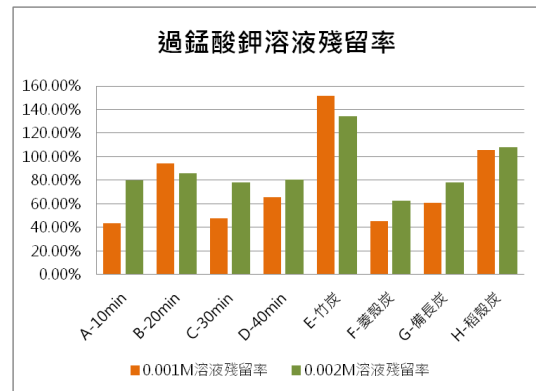


圖 5.2 過錳酸鉀樣本生物炭吸附後殘留率

對 0.001M 過錳酸鉀溶液的移除效果，自製 10 分鐘甘蔗炭、自製 30 分鐘甘蔗炭和市售菱殼炭均有超過 50%；對 0.002M 過錳酸鉀溶液的移除率則以菱殼炭稍佳，有 37.17% 之多。

表 5.3 經生物炭過濾後之過錳酸鉀溶液 (0.002M) 吸光度

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
未吸附	0.311	0.307	0.312	0.31	0.314	0.311	0.307	0.312	0.31	0.314	0.311
A-10min	0.267	0.264	0.268	0.267	0.278	0.219	0.236	0.226	0.23	0.231	0.2486
B-20min	0.275	0.278	0.28	0.278	0.276	0.268	0.255	0.262	0.252	0.254	0.2678
C-30min	0.231	0.224	0.242	0.228	0.232	0.258	0.257	0.255	0.251	0.249	0.2427
D-40min	0.326	0.322	0.325	0.328	0.321	0.175	0.178	0.181	0.16	0.181	0.2497
E-竹炭	0.365	0.394	0.371	0.388	0.377	0.453	0.464	0.457	0.46	0.455	0.4184
F-菱殼炭	0.269	0.273	0.291	0.263	0.287	0.118	0.12	0.114	0.104	0.115	0.1954
G-備長炭	0.23	0.236	0.238	0.244	0.241	0.246	0.25	0.252	0.245	0.248	0.243
H-稻殼炭	0.342	0.349	0.354	0.348	0.342	0.332	0.325	0.318	0.322	0.326	0.3358

表 5.4 經生物炭過濾後之過錳酸鉀溶液 (0.001M) 吸光度

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
未吸附	0.14	0.162	0.136	0.162	0.142	0.14	0.138	0.136	0.143	0.142	0.1441
A-10min	0.027	0.026	0.03	0.028	0.027	0.091	0.093	0.104	0.106	0.098	0.063
B-20min	0.161	0.159	0.172	0.161	0.175	0.105	0.099	0.108	0.102	0.117	0.1359
C-30min	0.025	0.019	0.034	0.032	0.028	0.108	0.117	0.106	0.102	0.119	0.069
D-40min	0.128	0.153	0.13	0.127	0.122	0.053	0.059	0.061	0.056	0.056	0.0945
E-竹炭	0.245	0.246	0.251	0.24	0.252	0.18	0.194	0.197	0.185	0.191	0.2181
F-菱殼炭	0.119	0.114	0.114	0.113	0.118	0.011	0.024	0.012	0.007	0.018	0.065
G-備長炭	0.114	0.112	0.108	0.107	0.095	0.07	0.061	0.069	0.065	0.078	0.0879
H-稻殼炭	0.231	0.214	0.219	0.225	0.247	0.076	0.069	0.079	0.083	0.079	0.1522

5.3 自製甘蔗渣生物炭與市售炭材吸附碘值測試

本項測試中，所有生物炭均宣告敗北！即使炭品外觀看似細碎、多孔隙，活化為活性碳的步驟仍然不可或缺。表 5.5 為自製甘蔗炭與市售生物炭吸附之碘值，我們採計前人實驗結果最為對比，讓人訝異的是標榜具活性碳功能的市售竹炭及備長炭居然效益最差。

表 5.5 自製/市售生物炭吸附碘值

試驗樣本	吸附碘值 (毫克 /克碳)
工業用活性碳 (前人實驗)	2438.4
A-10min	926.37
B-20min	913.05
C-30min	940.08
D-40min	393.01
E-竹 炭	291.77
F-菱殼炭	419.66
G-備長炭	272.23
H-稻殼炭	481.46

5.4 分析自製甘蔗炭與市售炭材之優劣

下表 5.6 為本研究依據實驗結果製作的炭材優劣分析表，碘值吸附測試因效果不彰，故未列入參考。

表 5.6 自製甘蔗炭與市售生物炭材分析表

炭材	成本	吸附效果			
		硫酸銅		過錳酸鉀	
		0.025M	0.05M	0.001M	0.002M
自製甘蔗炭 (10 分鐘)	◆ 煙囪式金紙爐：約 2000 元 ◆ 原料及燃料皆為廢棄資材， 除卻收集時間，原則上零成本。	○		★	★
自製甘蔗炭 (20 分鐘)				○	○
自製甘蔗炭 (30 分鐘)		○	○	★	★
自製甘蔗炭 (40 分鐘)		★		○	○
竹炭	960 元 / 公斤	○	○		
菱殼炭	5500 元 / 公斤	○		★	★
備長炭	400 元 / 公斤	★	★	○	★
稻殼炭	30 元 / 公斤	★	★		

★ 吸附效果優良；○ 有吸附能力；空白表示無吸附能力

5.5 生活應用

過去我們對農業廢棄資材的處理除了掩埋便是直接焚燒，如今有了更多元的處理方式—生物炭。在環保團體及政府部會推廣與大力支持下，先人們的生活智慧躍上人們的視野。於本研究中發現，甘蔗渣的結構鬆散且含有豐富的微孔隙，製成的甘蔗炭對重金屬溶液可有超過 50% 的吸附效果，若能有系統性的研究，想必能發揮更好的作用。生物的存在皆有其特殊的意義，號稱萬物之靈的我們，要更珍惜所有的生命。地狹人稠的台灣必須用更有效益的方式處理垃圾問題，才能免於跟廢棄物搶奪居住空間；必須減少空汙，才能免於跟溫室氣體爭奪領空。

參考資料

- 蘇博信 (2011)·碳化稻穀之介紹及田間運用·高雄區農業專訊·78·16-17。
- 勞動部勞動力發展署·官田社區聯手產官學 - 把菱角殼變烏金·社會經濟入口網
- 永隆木炭網
- 大埔竹炭坪林窯
- 潘子祈 (2016 年 06 月 21 日)·稻草這樣燒就對了·生物炭減大氣碳·取自
- 全國科學展覽第 51 屆作品：「通天神『碳』—探討碳類對色素的吸附能力」
- 全國科學展覽第 57 屆作品：「黃金變黑金—碳化稻殼對農作的效益」
- 全國科學展覽第 50 屆作品：「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」
- 江俊亮·(2018)·中央社·小花蔓澤蘭生物炭與醋液 栽植草莓大又肥·
- 楊三澤、張翊筠、林汶洳·(2017)·科展·黑色奇蹟 - 探討茭白筍殼碳化之功用
- 河北納琦環保·(2017)·每日頭條·椰殼活性炭和竹炭有什麼區別