

2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

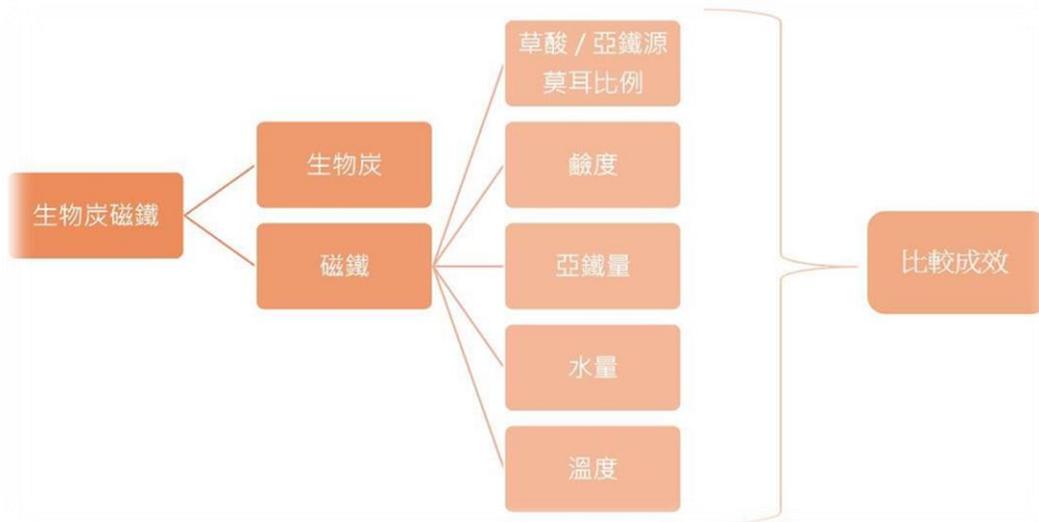
題目名稱： 可回收生物炭磁鐵
一、摘要
將廢棄物轉質為吸附材是當今趨勢，本研究以單鐵源搭配合適的條件在生物炭表面擔載四氧化三鐵 (ferroferric oxide)，成功製作出生物炭磁鐵，可在完成吸附工作後輕易回收。研究探討二種炭源(橘皮、柚皮)的優劣及製作草酸亞鐵(iron(II) oxalate)的合適反應物比例，並輔以自製磁性測量裝置比較，找出磁性最佳的生物炭磁鐵，將其應用於日常生活中。研究發現以柚皮炭、3 克草酸亞鐵及 600 克水所製作的生物炭磁鐵磁性最佳且最符合經濟效益。
二、探究題目與動機
水是我們生活中不可或缺的資源，從日常生活到產業發展都深受其影響。然而，有效地再利用水資源卻是一項迫切的課題。近期的報導指出，生物炭被證實可以作為一種有效的水資源過濾劑，但我們對於如何回收和再利用生物炭仍有疑問。為了解決這個問題，我們提出了一個創新的方法：利用磁鐵和生物炭結合，並設計一種簡單的磁力裝置來有效回收生物炭。由於生物炭成本低廉，這項研究有望在尋找處理橘皮和柚皮等廢棄物的方法方面取得突破。透過將這些廢棄物轉化為更有用的物質，我們可以同時解決廢棄物處理問題和製造更多可持續利用的資源。
三、探究目的與假設
目的 (一) 探討炭源對合成生物炭(橘子、柚子)的影響(吸附能力) (二) 探討草酸/亞鐵源莫耳比例對合成草酸亞鐵的影響並找到最佳合成條件 (三) 探討鹼度、亞鐵量、水量、加熱速率對草酸亞鐵合成 Fe_3O_4 的影響 (四) 探討所合成不同生物炭磁鐵的磁吸曲線以及虎克磁性 (五) 找出最佳生物炭磁鐵原料比例
假設 (一) 不同種類之生物炭會影響吸附能力 (二) 生物炭磁鐵能有效吸附水中汙染物，淨化水質
名詞定義:生物炭磁鐵(biochar magnet) 生物炭磁鐵是指將生物炭與磁性材料合在一起的混合物或複合物，旨在利用生物炭的吸附能力來過濾水資源中的雜質，同時利用磁性材料的特性使得生物炭可以輕易地被回收和再利用，提高水資源的再利用率並減少廢棄物的產生。

四、探究方法與驗證步驟

研究設備與器材

草酸、氫氧化鈉、硫酸亞鐵銨、亞甲藍、橘皮、柚皮、雞骨、水、烘箱、燒杯、抽濾漏斗、抽濾機、滴管、濾紙、磁石加熱攪拌器、電子秤、錐形瓶、紅外線溫度計、烘箱、洗滌瓶、攪拌子、分光光度計、刮勺、氬氛雷射、赤血鹽

研究架構

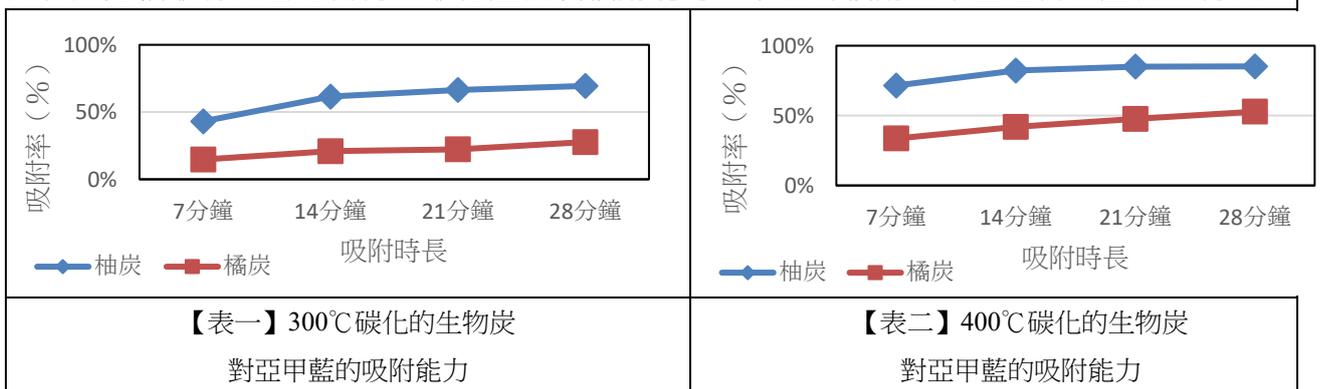


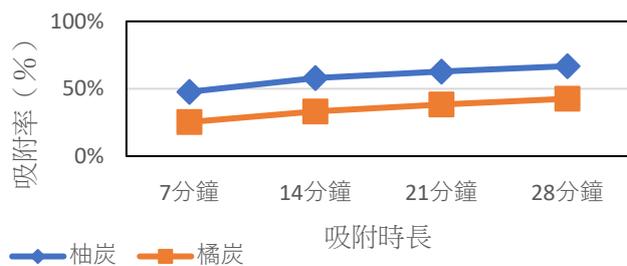
圖(一)研究架構圖

實驗一、不同炭源對合成生物炭之吸附能力的影響

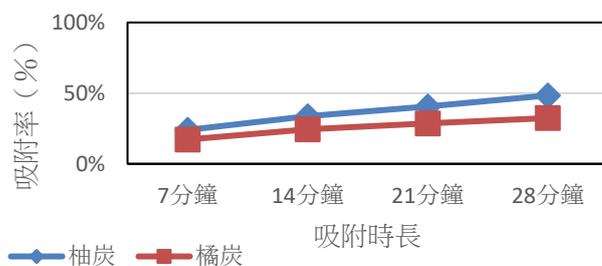
步驟 1-1 清洗原料	步驟 1-2 將原料切成小塊
步驟 1-3 以研磨機將材料磨成粉末	步驟 1-4 將粉末置入小坩鍋，並用紙黏土密封
步驟 1-5 將小坩鍋放入大坩鍋	步驟 1-6 將大坩鍋以稻穀粉填滿
步驟 1-7 將大坩鍋放入高溫爐燒製	步驟 1-8 比較不同溫度及炭源對吸附的影響

實驗要比較碳材到底適合何種碳化溫度及吸附能力，下表為吸附亞甲藍之各種溫度生物炭：





【表三】500°C 碳化的生物炭對亞甲藍的吸附能力



【表四】600°C 碳化的生物炭對亞甲藍的吸附能力

實驗發現：柚皮炭的吸附效果在各種碳化溫度下皆比橘皮炭好。除 600°C 以外，柚皮炭與橘皮炭之吸附差距皆有 10% 以上，可能是柚皮炭的孔洞較多，讓亞甲藍比較容易被附著在生物炭的表面上，以相同的說法也能說明為何 600°C 的生物炭吸附效果差不多。

實驗二、選擇亞鐵源來合成草酸亞鐵

硫酸亞鐵	1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1	5 : 1	6 : 1

【圖二】不同草酸/原料比例合成草酸亞鐵的濾液加入強鹼檢驗 Fe^{2+} 殘留情況

用硫酸亞鐵製作產生的濾液 1:1 到 4:1 的部分都有變色，而在 4:1 的比例仍會偵測到亞鐵離子，代表實驗需要使用較多草酸才可將硫酸亞鐵最大化利用。

硫酸亞鐵胺	1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1	5 : 1	6 : 1

【圖三】不同草酸/原料比例合成草酸亞鐵的濾液加入赤血鹽檢驗 Fe^{2+} 殘留情況

在加入赤血鹽後，從 2:1 和 3:1 之間的顏色差異可以發現其實草酸至少要是硫酸亞鐵 3 倍（此指莫耳數）的量才能有效利用亞鐵離子。

綜合比較兩種亞鐵源，最好的比例都大約在 4:1 到 5:1，但硫酸亞鐵胺只需要 4 倍的草酸與之反應即可最大程度的利用，反應較完全且較符合經濟效益。

實驗三、探討鹼度對合成 Fe₃O₄ 的影響

步驟 3-1 固定水和草酸亞鐵的用量	步驟 3-2 加入不同劑量的氫氧化鈉水溶液
步驟 3-3 將混合水溶液放置超音波震盪器震盪	步驟 3-4 用磁石攪拌器攪拌並加熱至 80°C
步驟 3-5 過濾後將濾餅放入烘箱去除水分	步驟 3-6 以自製裝置量測磁性

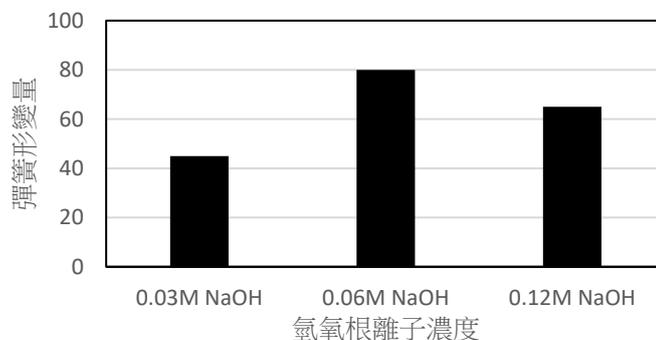
自製磁性裝置如下：

為了比較出產物的磁性好壞，實驗使用自製磁吸裝置檢測。經過討論，實驗需設計「即使存在雜質也不會過於影響結果」的裝置，在挑選後決定用較常見的彈簧秤作為裝置的主體，並製作一個小提籃作為放置四氧化三鐵的載物台，之後記錄彈簧最大的形變量，即可用來比較產物間磁性的好壞。



【圖四】自製磁性比較裝置

由於四氧化三鐵需在鹼性環境下合成，為了決定最佳鹼度，實驗在四氧化三鐵製程上改變氫氧化鈉的使用量，並以自製裝置測試並繪圖進行比較：



【表五】加入不同鹼度的四氧化三鐵磁力

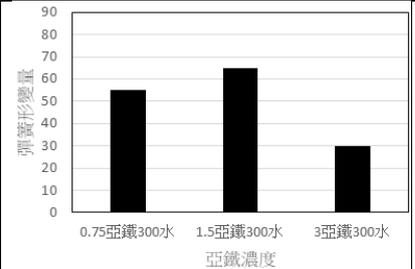
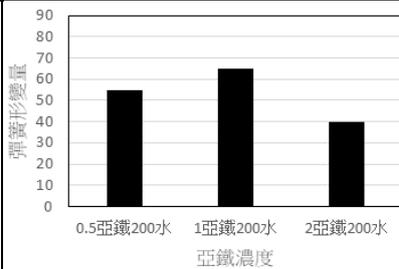
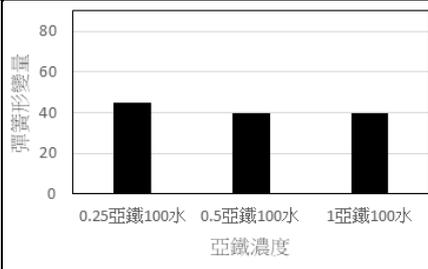
實驗發現：四氧化三鐵在氫氧根離子濃度 0.06M 下磁性最好，代表在製程上四氧化三鐵需要鹼性環境，但不宜過鹼，反而會降低磁性。反應式如下：



實驗四、探討亞鐵濃度對合成 Fe₃O₄ 的影響

步驟 4-1 固定水和氫氧化鈉水溶液用量	步驟 4-2 加入不同克數的草酸亞鐵
步驟 4-3 將混合水溶液放置超音波震盪器震盪	步驟 4-4 用磁石攪拌器攪拌並加熱至 80°C
步驟 4-5 過濾後將濾餅放入烘箱去除水分	步驟 4-6 以自製裝置量測磁性

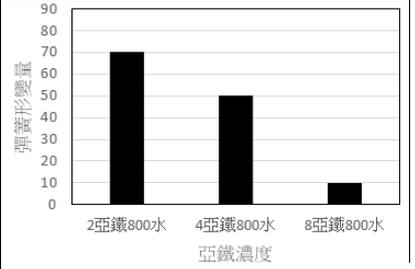
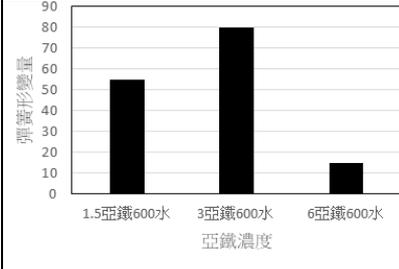
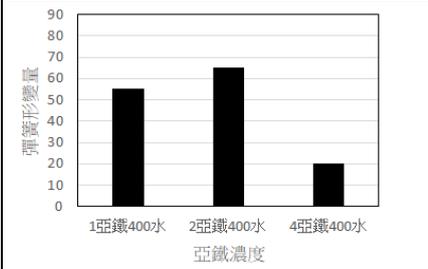
實驗探討不同亞鐵濃度的影響。在控制其他數值後，改變草酸亞鐵的使用量，做了 3 種濃度的參數：0.5:1 (基準值):2，亞鐵濃度分別約為 0.028M、0.056M、0.1M，並測試磁性：



【表六】100 克水不同濃度下的四氧化三鐵對磁力裝置的磁力

【表七】200 克水不同濃度下的四氧化三鐵對磁力裝置的磁力

【表八】300 克水不同濃度下的四氧化三鐵對磁力裝置的磁力



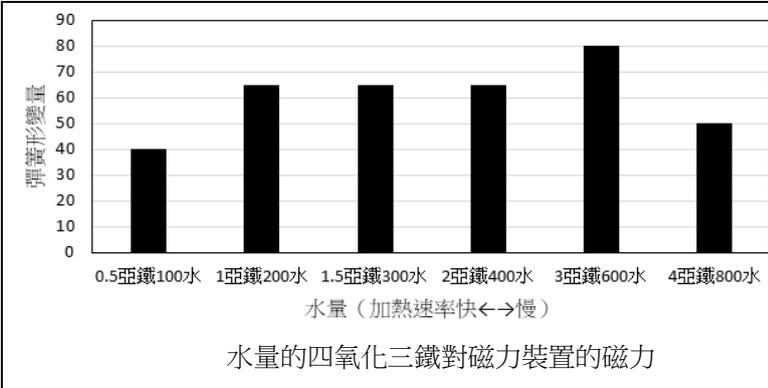
【表九】400 克水不同濃度下的四氧化三鐵對磁力裝置的磁力

【表十】600 克水不同濃度下的四氧化三鐵對磁力裝置的磁力

【表十一】800 克水不同濃度下的四氧化三鐵對磁力裝置的磁力

實驗發現：大部分結果共通點是亞鐵濃度適中 (0.056M) 的磁鐵磁性較佳，代表亞鐵濃度不宜過多也不宜過少，其中 600 克水亞鐵磁性最佳，因此將其選為與生物炭結合的參數。

實驗五、探討水量對合成 Fe₃O₄ 的影響

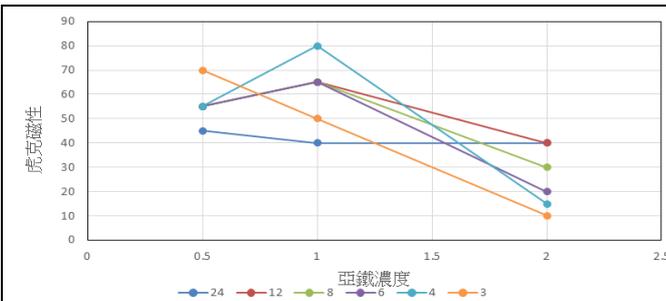


【表十二】同濃度下不同

實驗改變水量，但亞鐵量、鹼量與水量的比值不變。實驗發現 3 克草酸亞鐵 600 克水的磁性最好，推測在溫度上升越慢，草酸亞鐵轉換四氧化三鐵的過程越穩定。

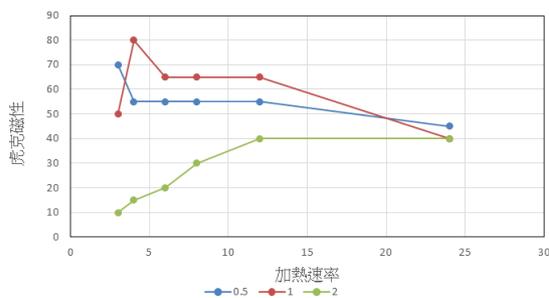
實驗六、探討加熱速率對合成 Fe₃O₄ 的影響

在比較兩種變因後，我們想兩者共同找出最好磁鐵製作模式，因此實驗將兩者疊圖比較：



【表十三】各加熱速率在不同亞鐵濃度的磁力關係表

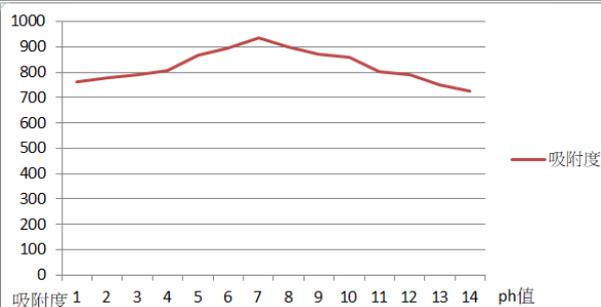
從圖表來看，在大部分的加熱速率適合用適中的亞鐵濃度，才能製成磁性較好的磁鐵，但 800 克水亞鐵濃度不能太高。



【表十四】各亞鐵濃度在不同加熱速率的磁力關係表

從圖來看，可以發現亞鐵濃度較低者適合加熱速度慢的製程，而亞鐵濃度過多由於熱容大，為完全轉換成四氧化三鐵，須使用加熱速率快的製程。

實驗七、探討炭材在不同環境的影響



【表十五】各亞鐵濃度在不同加熱速率的磁力關係圖

由圖可知，不同酸鹼環境對炭材的影響不大，可推知本實驗生產的生物炭磁鐵受環境影響較小。

五、結論與生活應用

一、結論

實驗結果皆符合假設。自製磁力裝置能簡易比較磁性，初步篩出磁鐵的好壞，但生物炭磁鐵的組成較複雜，需進一步用針對各性質的測試方法比較之，比較吸附能力後選用柚皮炭 400°C 作為實驗主要的吸附材。實驗發現磁鐵適合在氫氧根離子 0.06M 的鹼性環境下合成，過高或過低都會使磁鐵磁性不佳，同時在亞鐵濃度適中(0.056M)的情況下通常能有較好的磁性。實驗發現 3 克草酸亞鐵 600 克水磁性最好，結合率至少達 80%，因此此磁鐵較適合與柚皮炭 400°C 結合，且環境酸鹼性對生物炭磁鐵的影響較小。

二、未來展望與應用

生物炭磁鐵可應用於環境保護、醫療應用、能源儲存等等領域，具有廣泛的潛力，如在外來善加開發應用，則有利於持續發展和減少對地球資源的依賴，擁有廣大的應用價值。

參考資料

- 1.自然黑鑽-生物性炭材神奇妙用之探索。第 45 屆中小學科展。
- 2.陳燕華，神奇的奈米磁鐵礦。科學發展，2013 年，2 月，482 期，頁 18-23。
- 3.廢材變烏金菱炭點亮官田新奇蹟。生命力新聞，2018 年，2 月
4. 磁鐵礦納米粒子的製備方法及其形貌。化學進展。2017 年，卷。19