

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 化學科

050205

當牛糞銅在一起

學校名稱：國立嘉義高級中學

作者： 高二 鍾志和 高二 羅上景 高二 蔡岳修	指導老師： 黃冠夫
---	------------------

關鍵詞：牛糞、重金屬吸附、銅離子

摘要

本實驗以畜牧業廢物牛糞做為吸附重金屬之材料，並以常見之重金屬銅作為吸附對象。在研究中顯示以氫氧化鈉為處理液純化牛糞纖維效果佳，且能有效提升牛糞吸附重金屬效果，在研究中發現每克經過鹼處理之牛糞對銅離子之吸附量高達 1805.3 毫克，並能夠將 1000ppm 50mL 之銅離子溶液中的銅離子幾近完全吸附，吸附率高達 99%。此研究結果除大幅減少過去處理牛糞的耗時，並有效提升其吸附效果，使其更具移除重金屬之價值，且能有效減少重金屬污染及畜牧業廢物污染的情形。

壹、研究動機

現今環境污染問題嚴重，其中重金屬污染更是限制工業發展的問題之一，若能解決此問題必能減少經濟發展造成的外部成本。許多人以活性炭來移除重金屬，但活性炭的活化製程會造成熱污染，因此亦有人使用植物纖維或發酵後的牛糞來處理，但發酵對牛糞之處理效果仍待加強，且過程極度耗時。就在我們思考如何解決此問題時，我們突發奇想使用酸或鹼處理牛糞，希望能改變其官能基及電荷分布來提升吸附重金屬的能力，並解決畜牧業廢物造成的環境污染問題。

貳、研究目的

牛糞是常見的畜牧業廢物，具有纖維素、半纖維素及木質素等纖維可作為重金屬吸附材料。本研究是為了處理能有效吸附重金屬之成分，並深入探討處理變因對牛糞的影響及其吸附重金屬之能力。為達到上述目的，我們將本研究分為下列幾項因子探討。

- 一、製作銅離子檢量線
- 二、以酸及鹼處理牛糞以處理纖維
- 三、分析牛糞纖維組成及官能基變化
- 四、分析牛糞吸附銅離子行為
- 五、找出牛糞對銅離子之最大吸附量
- 六、探討牛糞吸附銅離子能力並模擬牛糞處理銅離子廢液情形
- 七、找出較佳之處理方法並深入探討處理過程對其吸附銅離子能力之影響

參、研究設備及器材

- 一、藥品:新鮮牛糞、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 HCl 、 NaOH 、銅離子標準品、超純水
- 二、設備:燒杯、錐形瓶、定量瓶、樣本瓶、試管、試管架、分度吸量管、塑膠滴管、漏斗、濾紙、紗窗布、水管、絲襪、酒精燈、三腳架、研鉢、測量紙、電子秤、磁石加熱攪拌器、烘箱、紫外可見光分光光譜儀、光學顯微鏡、傅立葉紅外線光譜儀

肆、研究過程或方法

一、研究原理

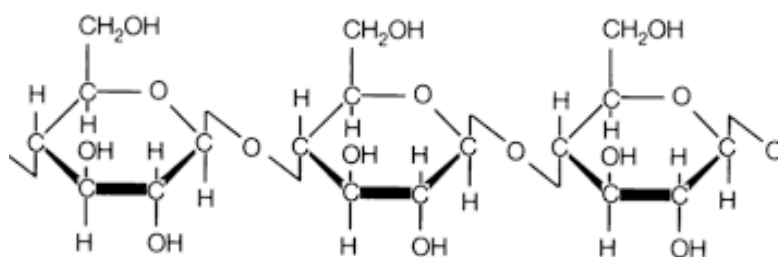
(一) 重金屬穩定方法

穩定化及固化的主要目的是對重金屬進行限定化作用，以減少重金屬長時間的被溶出率。穩定化主要藉由化學反應將有害重金屬進行鍵結與吸附，使用穩定化處理是減少廢棄物中重金屬的溶出的一種方式。

(二) 木質纖維材料

而我們在吸附金屬的材料上選用了牛糞中的木質纖維材料，由於木質纖維材料具有低成本、資源豐富、材料來源容易獲得、無須太多處理、生物可降解及符合綠色材料之概念等等，且成分含有很多可與金屬結合之官能基，為天然的重金屬吸附劑，極適合應用在大規模移除重金屬，而選用牛糞來吸附又可達到廢棄物的二次利用。

1. 纖維素(cellulose)

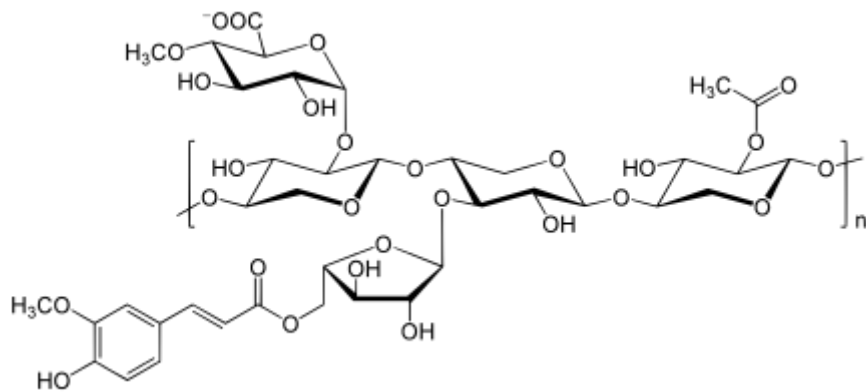


(圖一)

(截自 MyOrganicChemistry)

它是植物細胞壁的主要結構成分，它的形式為直鏈聚合物，沒有卷曲或分支，纖維素有結晶區與非結晶區， α -纖維素組成的結晶區，在濃度 17.5% 以下的稀酸環境中不會水解。用 17%NaOH 溶液在 20°C 下處理，其中非纖維素的碳水化合物會溶出，留下的纖維素及抗鹼的非纖維素碳水化合物，為 α -纖維素。上述處理中得到的溶解部分用醋酸中和沉澱出來為 β -纖維素，不沉澱部分為 γ -纖維素。 α -纖維素包括纖維素及抗鹼的半纖維素； β -纖維素為高度降解的纖維素及半纖維素； γ -纖維素全為半纖維素。由於在酸或鹼的環境中 β -纖維素與 γ -纖維素皆會分解而留下 α -纖維素，但 α -纖維素為直鏈結構且為結晶型態，因此 α -纖維素與銅離子之吸附較無關係。

2. 半纖維素(hemicellulose)

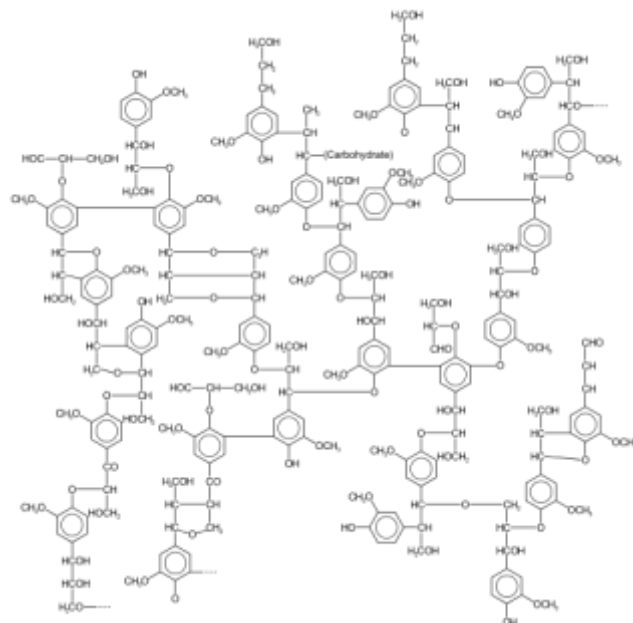


(圖二)

(截自w i k i w a n d)

半纖維素與纖維素皆為多醣，但其與纖維素最大之不同是纖維素為直鏈結構，且僅由葡萄糖聚合而成的多醣，而半纖維素具有支鏈結構，由不同種類之單糖構成的異質多聚體，其組成包括木聚糖、聚半乳糖、葡萄糖、甘露糖、聚阿拉伯糖、半乳糖、聚葡萄糖等。纖維素是結晶的、強壯的且抗水解，聚合度為 7000-15000。半纖維素是非結晶結構，強度較低在稀酸或稀鹼作用下易水解，聚合度為 500-3000。

3. 木質素(lignin)



(圖三)

(截自 wikipedia)

木質素是一種複雜酚類聚合物，構成植物細胞壁的成分之一，具有使細胞相連的作用。在植物組織中具有增強細胞壁及黏合纖維的作用，其組成與性質比較複雜，不能被動物所消化。由於木質素

的分子結構中存在著芳香基、酚羥基、醇羥基、羰基共軛雙鍵等活性基團，因此可以進行氧化、還原、水解、醇解、酸解甲氧基、羧基、光解、烷基化、鹵化、硝化、縮聚或接枝共聚等許多化學反應。提取木質素的方法有兩種，以濃硫酸溶解植物纖維和用鹼提取木質素。前者以 72% 硫酸溶解，經有機溶劑提取後，使木質素沉澱。後者以氫氧化鈉溶液在 170~180°C 高溫下處理，提取木質素，在提取液中加入酸酸化而沉澱分離。

木質素因單體不同，可將木質素分為 3 種類型：下圖由左至右分別為--愈創木基丙烷結構單體聚合而成的愈創木基木質素 (guajacyl lignin, G-木質素)，紫丁香基丙烷結構單體聚合而成的紫丁香基木質素 (syringyl lignin, S-木質素) 和由對-羥基苯基丙烷結構單體聚合而成的對-羥基苯基木質素 (hydroxy-phenyl lignin, 木質素)--的組成成分。

其中羥基、羰基...等，當加入氫氧化鈉時，羥基會去質子化，產生帶有電荷之分子(R-O⁻)，之後 Na⁺ 再與 R-O⁻ 反應生成醇鈉 (R-ONa)，此時氫離子會與溶液中大量之氫氧根離子形成水，因此水中 H⁺ 濃度極低且水在鹼性環境中不容易解離，所以 R-ONa 不易還原成 R-OH，且 R-O⁻ 的數量會大於原本之 R-OH，而我們以氫氧化鈉處理之牛糞吸附銅離子時，銅離子為 Cu²⁺ 帶二個正電，鈉離子為 Na⁺ 帶一個正電，由此可知 Cu²⁺ 比 Na⁺ 容易與 O⁻ 相吸，使銅離子與 R-O⁻ 產生吸附。雖然 R-OH 在水中會解離出 H⁺，但根據勒沙特列原理鹽酸溶液中高濃度的 H⁺ 會使 R-O⁻ + H⁺ ⇌ R-OH 傾向於正反應且醇基遇酸會質子化由 R-OH 形成不穩定的 R-OH₂⁺ 其反應式為 R-OH + H⁺ ⇌ R-OH₂⁺。

二、研究流程簡述

- (一) 收集牛糞，來自國立嘉義大學 農業畜牧系 畜牧試驗場。
- (二) 去除水分及雜質。
- (三) 以酸與鹼個別處理牛糞。
- (四) 以不同溫度烘乾牛糞後加入硫酸銅溶液觀察其濃度變化。
- (五) 探討不同濃度處理液對牛糞吸附銅離子效果影響並重複(四)。
- (六) 畫圖並探討其變因。

三、研究方法

- (一) 以分光光度計製作銅離子檢量線：

以 CuSO₄ · 5H₂O 配製 10000ppm、20000ppm、30000ppm、40000ppm 及 50000ppm 銅離子溶液，並以銅離子標準品配製 100ppm、200ppm、300ppm、400ppm 及 500ppm 之銅離子溶液，再以紫外可見光分光光譜

儀(UV-VIS)測量其吸光度，建立銅離子濃度的檢量線，其 R^2 值為 0.999。

(二) 以 3M HCl、3M NaOH 及單純水洗處理牛糞，並觀察牛糞的變化

1. 以 3M HCl 處理牛糞

把新鮮的牛糞至於大鐵盤上，使其自然風乾以除去大量水分。再取 20g 牛糞加入 500g 的水中，攪拌 5 分鐘後用烘箱將其烘乾以方便秤量。將取出之 20g 乾燥牛糞加入 3M 500 毫升 HCl 溶液之燒杯中浸泡 3 天再取出。

將取出之牛糞置於紗窗網或絲襪中以清水沖洗直至其糞液顏色消失，在置於烘箱中設定 220°C 4 小時以去除水分。

2. 以 3M NaOH 處理牛糞

把新鮮的牛糞至於大鐵盤上，使其自然風乾。取 20g 牛糞加入 500g 的水中，攪拌 5 分鐘後用烘箱將其烘乾以方便秤量。取 20g 乾燥牛糞加入 3M 500 毫升 NaOH 溶液之燒杯中浸泡 3 天再取出。將取出之牛糞置於紗窗網或絲襪中以清水沖洗，再置於烘箱中設定 220°C 4 小時以去除水分。

3. 單純水洗牛糞

把新鮮的牛糞至於大鐵盤上，使其自然風乾以除去大量水分。再取 20g 牛糞加入 500g 的水中，攪拌 5 分鐘後用烘箱將其烘乾。

(三) 以處理後之牛糞吸附銅離子並找出最佳之牛糞處理方法

將處理後之牛糞分別取 0.1g、0.2g、0.3g、0.4g、0.5g 加入配製好之 1000ppm CuSO₄ 溶液 50mL 中浸泡並每隔 40 分鐘取出 1mL 測量其吸光度，再將實驗結果輸出以找出效果較佳的牛糞。

(四) 模擬牛糞吸附重金屬廢液情形並探討濃度變化對吸附速率之影響

將處理後的牛糞分別取 0.5g，浸泡於不同濃度的硫酸銅溶液 (1000ppm、100ppm、10ppm)，浸泡時間為 40 分鐘、80 分鐘與 120 分鐘，將浸泡牛糞的硫酸銅溶液以濾紙過濾其雜質，再使用 UV-VIS 測量吸光度。

(五) 深入探討處理過程對牛糞的影響

因前述以 NaOH 3M 處理之效果較佳，故在此以 NaOH 為處理液，再以 1M、3M 及 5M 不同濃度之溶液處理牛糞，並以 95°C 及 220°C 之不同溫度烘乾，以分析處理液濃度及乾燥溫度對牛糞之影響。

(六) 找出各種處理後之牛糞對銅離子的最大吸附量

將牛糞置於 50000ppm 100mL 之銅離子溶液中吸附 8 小時，並每小時取出微量溶液以測量其殘餘濃度。

(七) 以高時間解析度分析牛糞吸附行為

將牛糞置於 1000ppm 100mL 之銅離子溶液中吸附 30 分鐘，每 2 分鐘取出微量溶液以測量其吸光度，再將分析其吸附行為。

(八) 牛糞纖維分析

1. 以光學顯微鏡觀察牛糞纖維

將處理後之牛糞樣本以倍率 2000X 之光學顯微鏡觀察。

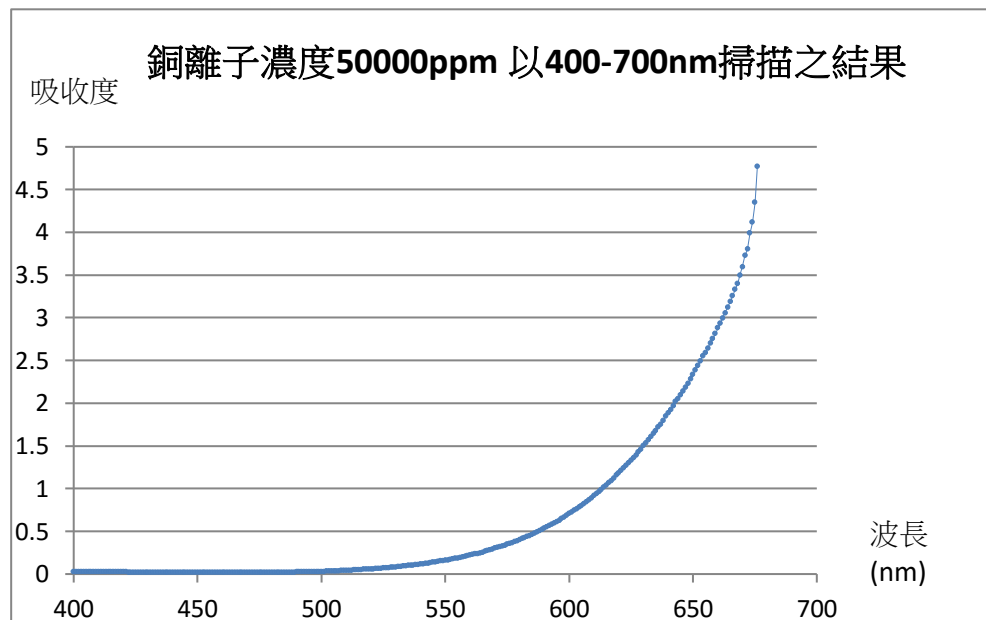
2. 以 FTIR 分析

取微量牛糞乾燥後磨成粉末，再以 FTIR 分析。

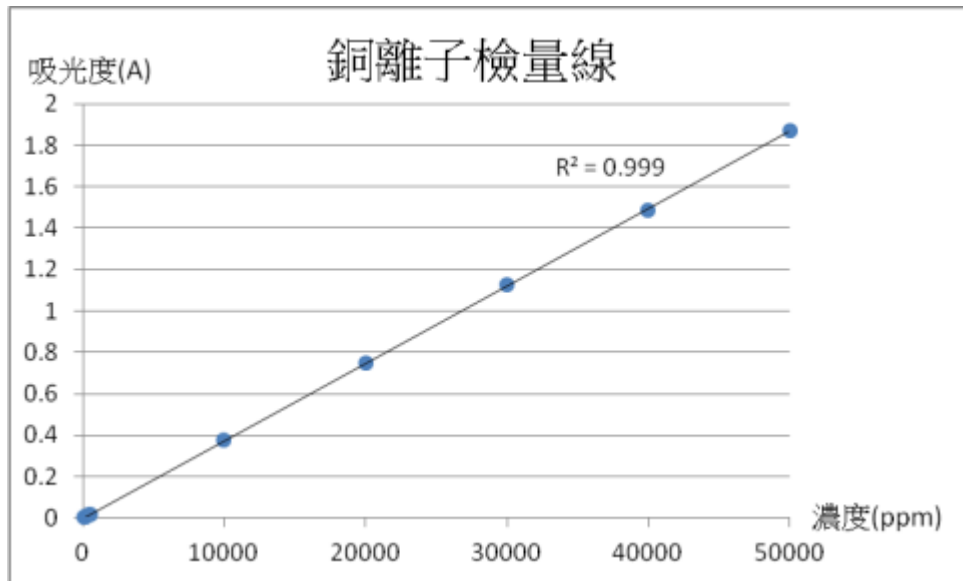
伍、研究結果

一、由分光光度計製作銅離子檢量線

(一)銅離子水溶液之顏色為藍色，以分光光度計掃描後如下圖，選擇以 640nm 作為基準比較。(圖四)



(二)我們將數據輸入 Microsoft Excel 軟體計算出銅離子濃度與吸光度之關係式，此關係式可用在日後換算銅離子濃度上。(圖五)



二、觀察乾燥牛糞及加入水中後的糞液顏色變化

(一)HCl 處理牛糞

經過處理之牛糞其外觀與處理前有些許之變化，以鹽酸處理之牛糞其形狀、顏色與原牛糞較相似多為深咖啡色，纖維的變化並不明顯。



(圖六)

(二)NaOH 處理牛糞

以氫氧化鈉處理之牛糞顏色極深，在處理過程中其受氫氧化鈉影響軟化呈黏稠狀，且相較於酸處理牛糞及鹼處理牛糞，顆粒小、排列緊密。



(圖七)

(三)水洗牛糞

用水清洗之牛其外觀與原本乾燥後之牛糞相同無明顯變化，皆呈現咖啡色。



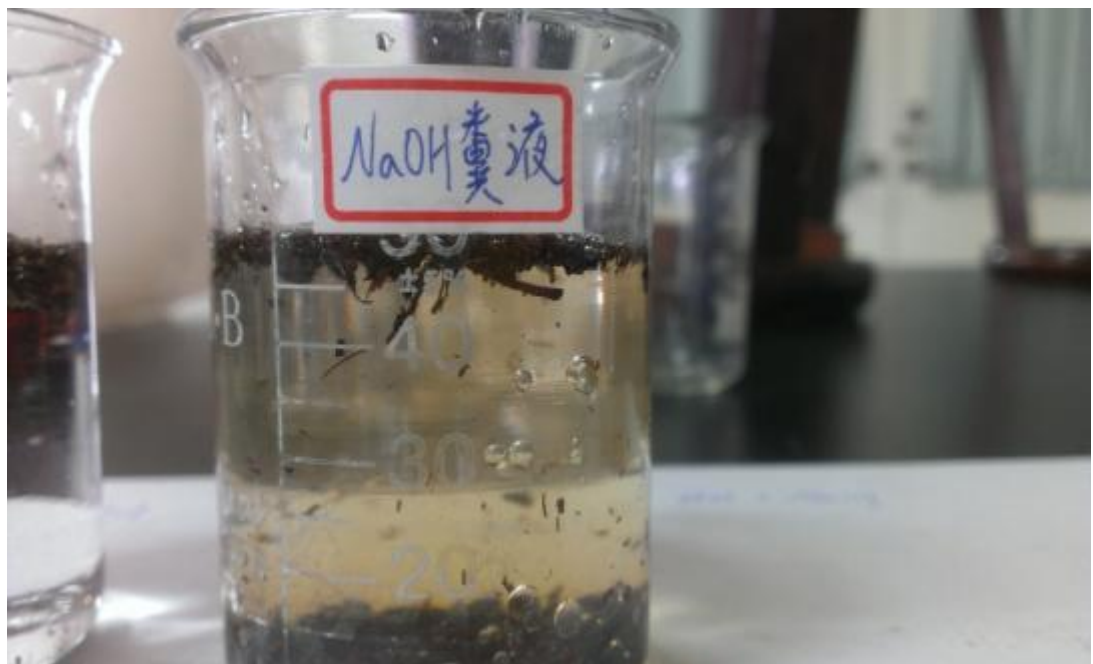
(圖八)

酸處理牛糞液



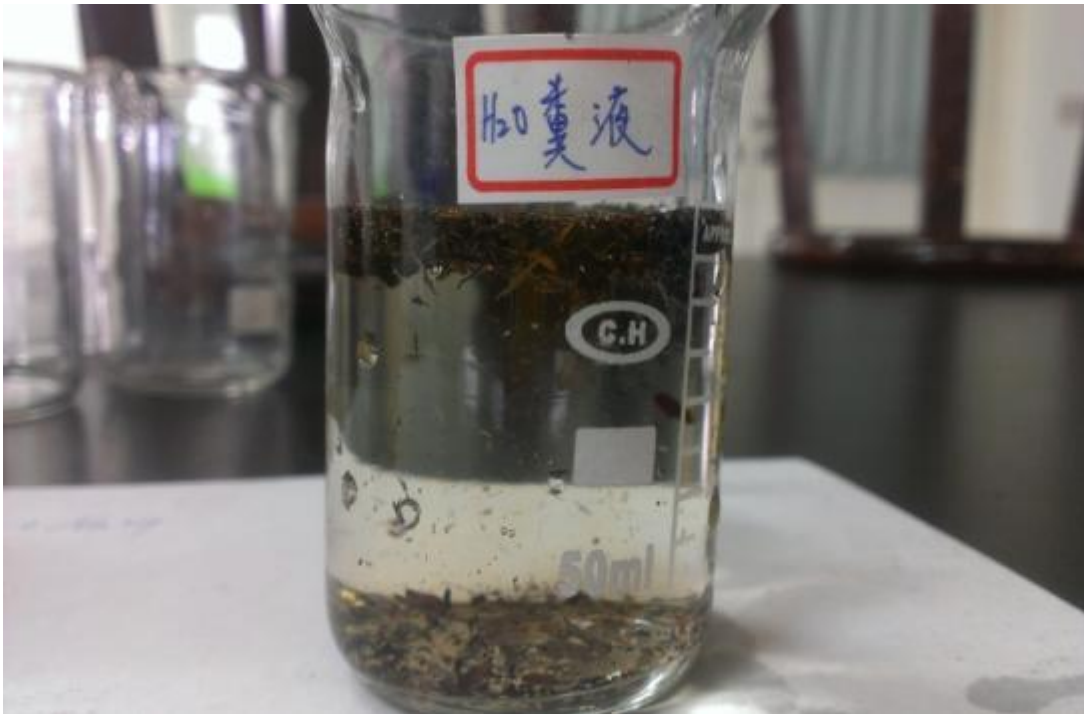
(圖九)

鹼處理牛糞液



(圖十)

水洗牛糞糞液



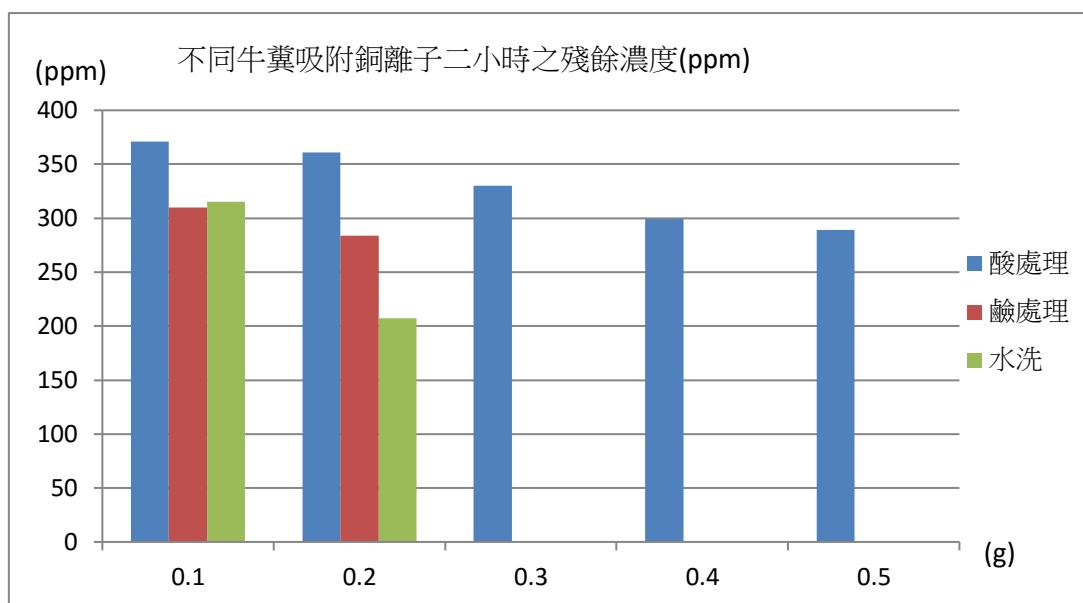
(圖十一)

經觀察可以發現，將前處理之三種牛糞加入水中發現三種糞液顏色深度皆不同，其中以鹽酸處理之牛糞顏色呈透明狀，吸光度亦非常低與水相近，以氫氧化鈉及水洗之糞液顏色呈明顯的淡咖啡色，但水洗牛糞仍較鹼處理牛糞清澈，三種牛糞之糞液顏色深度依序為氫氧化鈉處理牛糞>水洗牛糞>鹽酸處理牛糞。

三、以處理後之牛糞對銅離子的吸附

(一)不同重量牛糞吸附銅離子(表一)

不同牛糞吸附銅離子二小時之殘餘濃度 (ppm)			
	酸處理	鹼處理	水洗
0.1g	371	310	315
0.2g	361	284	207
0.3g	330	0	0
0.4g	299	0	0
0.5g	289	0	0

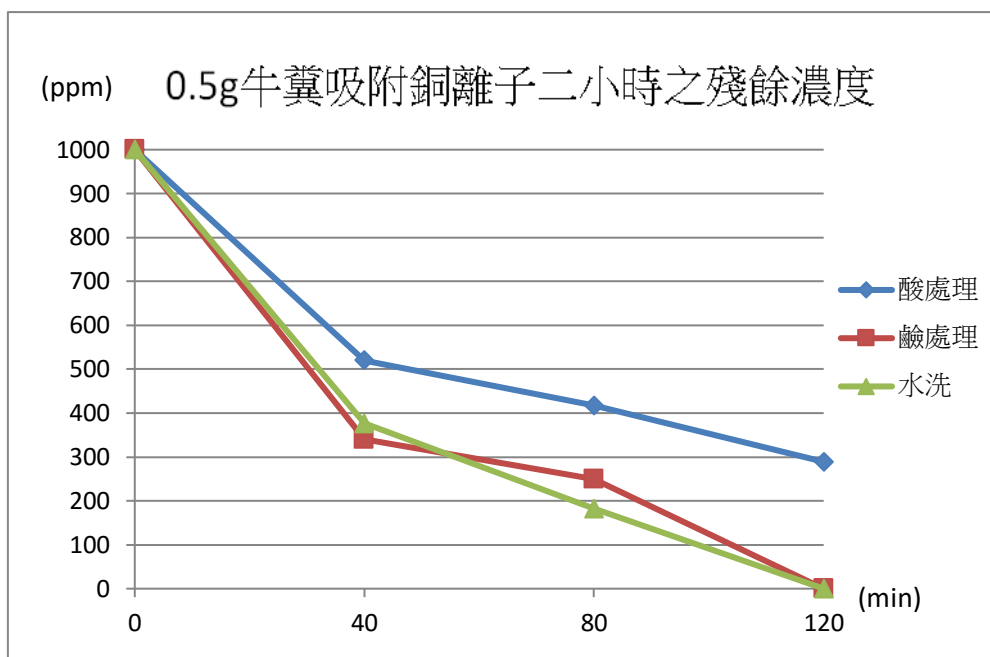


(圖十二)

由這兩張圖我們可以看出 HCl 處理之牛糞、NaOH 處理之牛糞、水洗牛糞在不同克數的吸附量變化，0.5 克的吸附量較多，而 0.1 克與 0.2 克的吸附量較少。其中以 HCl 處理之牛糞吸附的銅離子濃度皆比 NaOH 處理之牛糞和水洗牛糞少，以 0.5g 之酸處理牛糞吸附銅離子，其吸附率僅 82% 可見經過 HCl 處理後的牛糞吸附能力較弱。而 NaOH 處理之牛糞跟水洗牛糞吸附量較多，以 0.3g 的牛糞吸附 120 分鐘內即可將 1000ppm 的銅離子溶液完全吸附，吸附率達 100%。在此實驗中由於 0.5 克的酸洗牛糞仍未將銅離子完全吸附。由此圖可看出牛糞重量與吸附量明顯的正相關，但 0.3 克的鹼洗牛糞與水洗牛糞已將銅離子完全吸附，且未達最大吸附量，因此在 0.3 克後的牛糞其重量與吸附量無法看出關係。

(二)同重量之牛糞對銅離子的吸附(表 2)

0.5g 牛糞吸附銅離子二小時之殘餘濃度 (ppm)			
	酸處理	鹼處理	水洗
40min	520	340	376
80min	417	249	182
120min	289	0	0



(圖十三)

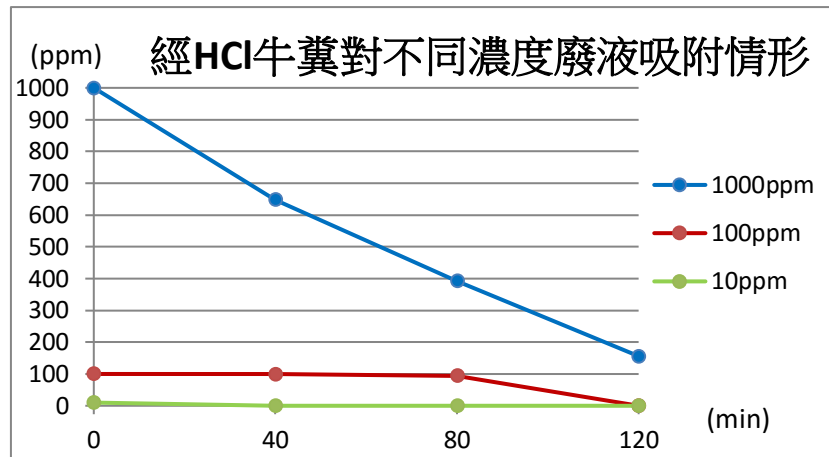
由這張圖可以發現 NaOH 處理牛糞和 HCl 處理牛糞在一開始時的吸附速率十分相近，但是到了第二個時段時 NaOH 處理牛糞吸附速率減緩，但 NaOH 處理牛糞在第三時段吸附速率仍有變快，HCl 處理牛糞吸附速率在第二時段也開始出現明顯的減慢的現象，且最終吸附量與 NaOH 處理牛糞及水洗牛糞出現明顯的落差。其中鹼處理牛糞與水洗牛糞皆可將銅離子完全吸附。

四、模擬牛糞吸附重金屬廢液情形並探討濃度變化對吸附速率之影響

由於廢水普遍之銅離子濃度約在 10 - 1000ppm 之間因此我們以 1000ppm、100ppm 及 10ppm 的銅離子人工廢液來模擬吸附廢水的情形，並探討銅離子濃度對吸附速率的影響。

(一)以酸洗牛糞模擬廢水吸附情形(表 3)

	HCl 對不同濃度廢液吸附情形(ppm)		
	40min	80min	120min
1000ppm	648	392	156
100ppm	99	94	0
10ppm	0	0	0



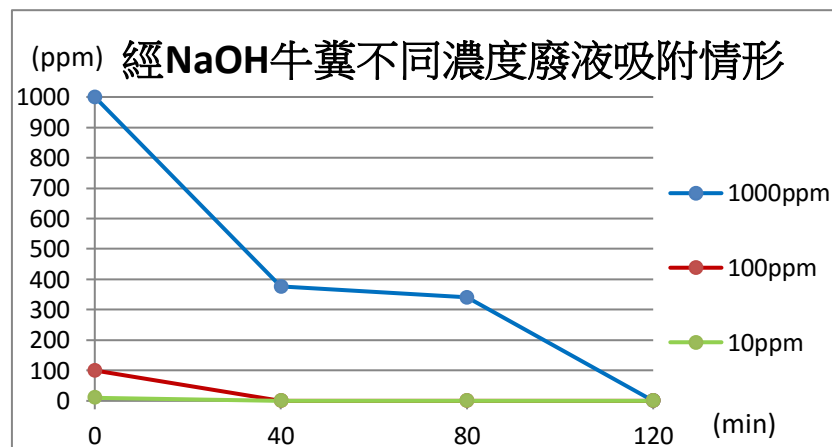
(圖十四)

由此圖可見，經 HCl 處理過後的牛糞在 1000ppm 的線可見其吸附的速率約為等速進行，可是 120 分鐘時還有約 150ppm 的殘留濃度，依照吸附的趨勢，時間久了應該還是可以吸收完所有的銅離子。反觀在 100ppm 的線一開始濃度沒有太大的變化，但在 80 分鐘後開始有了較明顯的減少。而 10ppm 的線則在 40 分鐘以前就被吸完畢。

(二)以鹼洗牛糞模擬廢水吸附情形(表 4)

NaOH 不同濃度廢液吸附情形(ppm)

	40min	80min	120min
1000ppm	376	340	0
100ppm	0	0	0
10ppm	0	0	0



(圖十五)

從圖中得知，經 NaOH 處理後的牛糞在吸收上有較大的變化，尤其是 1000ppm 的那條線，0~40 分鐘這段時距 1000ppm 的濃度有極大的改變，而在 40 分鐘到 80 分鐘這段時距曲線趨於平緩，反應速度較慢，但是過了 80 分鐘那個點，速率又快了起來，甚至在 120 分鐘時吸收率高達百

分之百，但曲線未達水平所以應該還可以吸收更多的銅離子。而 100ppm 和 10ppm 那兩條曲線，也都在 40 分鐘前即將銅離子完全吸附，由此可見經 NaOH 處理過的牛糞，其吸附銅離子的效果顯著。

五、實驗變因深入探討

在前述的實驗中我們得知用氫氧化鈉來處理牛糞效果較佳，所以我們採用不同濃度之氫氧化鈉來處理牛糞，並加入處理液濃度及不同溫度烘乾之牛糞來深入探討其對牛糞的影響。

(一)在 95°C 環境下乾燥



(圖十六)

在 95°C 環境下乾燥之鹼處理牛糞，其外觀呈現淺黃色，且纖維形狀明顯。各種不同濃度氫氧化鈉處理之牛糞外觀較無變化，且其糞液顏色幾近透明，吸光度極低與自來水相似。

(二) 在 220°C 環境下乾燥



(圖十七)

在 220°C 環境下乾燥之鹼處理牛糞，其外觀呈現深咖啡色，但纖維形狀仍明顯。各種不同濃度氫氧化鈉處理之牛糞外觀較無變化，且其糞液顏色較深，呈現淺黃色，吸光度較高。

六、找出各種處理後之牛糞對銅離子的最大吸附量

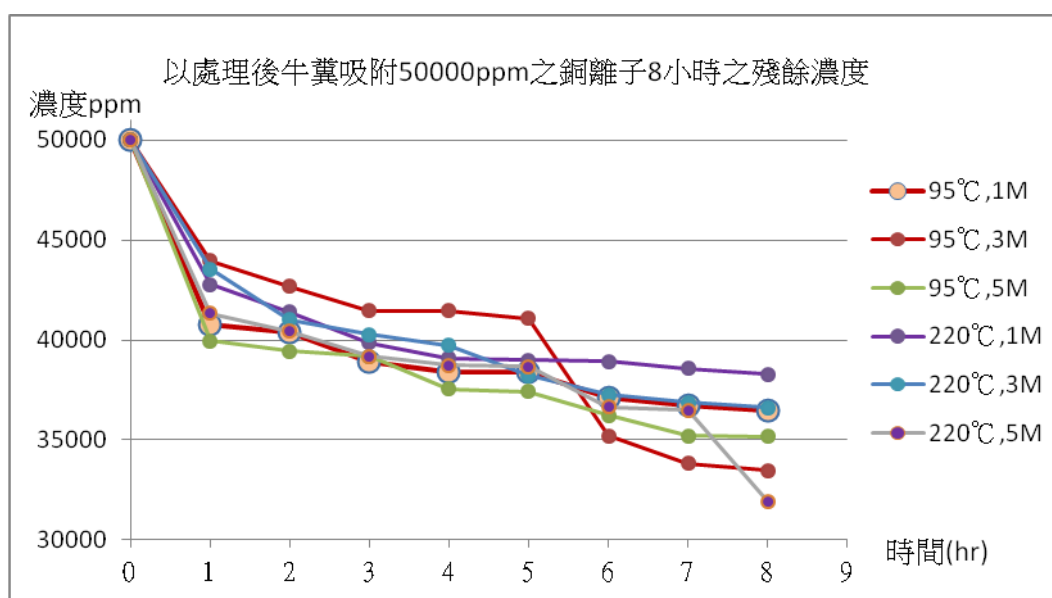


(圖十八)

由圖中可看出 220°C 乾燥之牛糞加入銅離子溶液之後顏色偏向綠色，95°C 乾燥之牛糞則呈現藍色。

(一) 各種鹼處理牛糞吸附銅離子情形(表五)

時間 (小時)	95°C,1M	95°C,3M	95°C,5M	220°C,1M	220°C,3M	220°C,5M
0	50000	50000	50000	50000	50000	50000
1	40798.0	43980.3	39942.3	42776.9	43552.4	41332.9
2	40370.1	42696.7	39434.2	41386.3	41011.9	40423.6
3	38899.3	41466.6	39193.5	39862.0	40263.2	39193.5
4	38418.0	41466.6	37562.2	39086.5	39728.3	38738.9
5	38391.2	41092.2	37428.5	39006.3	38230.8	38658.7
6	37107.6	35208.9	36225.1	38926.1	37268.1	36653.0
7	36706.5	33818.4	35208.9	38578.4	36866.9	36492.6
8	36492.6	33470.7	35182.2	38284.3	36626.3	31946.4

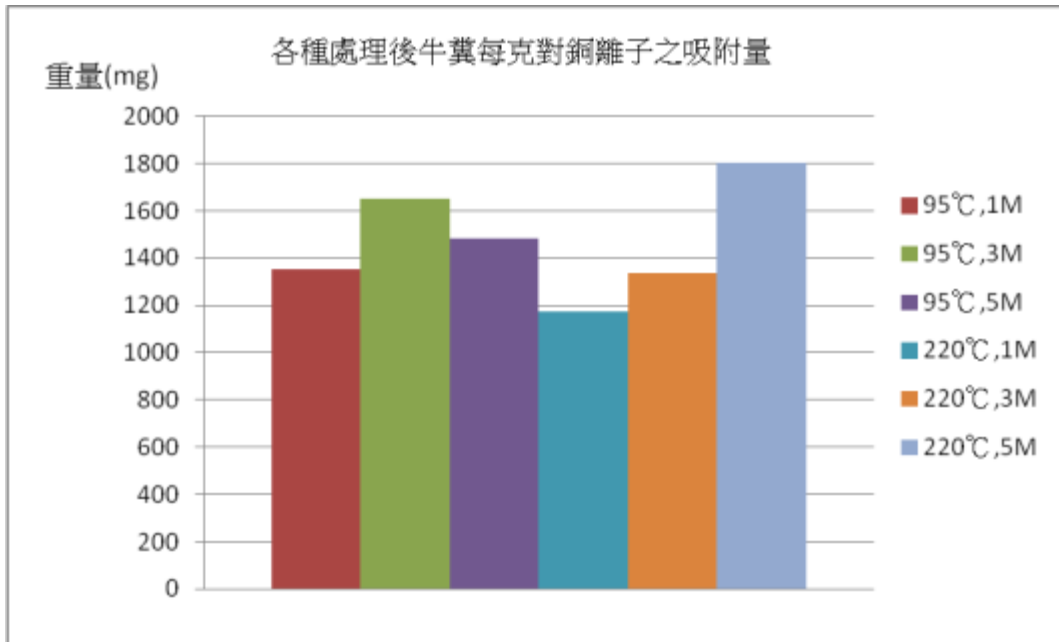


(圖十九)

從此結果大致可看出大部份牛糞在一小時內吸附銅離子之速率極快，吸附速率最高達 9202ppm/hr,之後吸附速率減緩且接近平衡，唯 95°C,3M 牛糞及 220°C,5M 牛糞在後段時間吸附速率有突然加速之情形，其中已達平衡之部分，以 95°C,5M 牛糞吸附銅離子之殘餘濃度最低。

(二)各種鹼處理牛糞每克在八小時內對銅離子之最大吸附量(表六)

	95°C,1M	95°C,3M	95°C,5M	220°C,1M	220°C,3M	220°C,5M
吸附量 mg	1350.7	1652.9	1481.8	1171.5	1337.3	1805.3

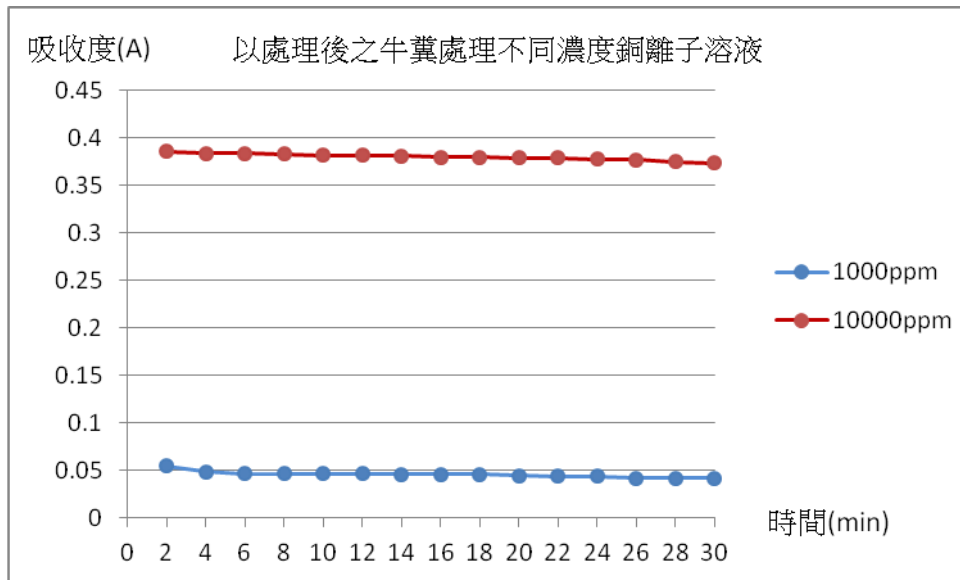


(圖二十)

此實驗顯示 220°C, 5M 牛糞之吸附量最高，其吸附量高達 1805.3mg 次之的分別是 95°C, 3M 牛糞之 1652.9mg 與 95°C, 5M 牛糞之 1481.8mg；最低則為 220°C, 1M 牛糞之 1171.5mg。

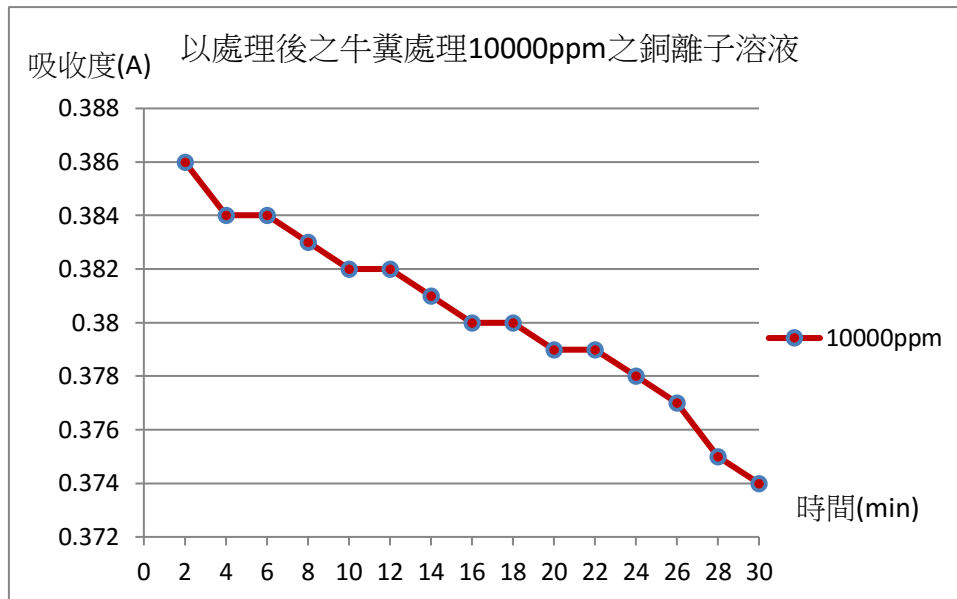
七、以高時間解析度分析牛糞吸附行為

此實驗以 0.5g 之 220°C, 5M 牛糞分別加入 10000ppm 及 1000ppm 之銅離子溶液中吸附 30 分鐘，並每 2 分鐘取微量液體檢測。



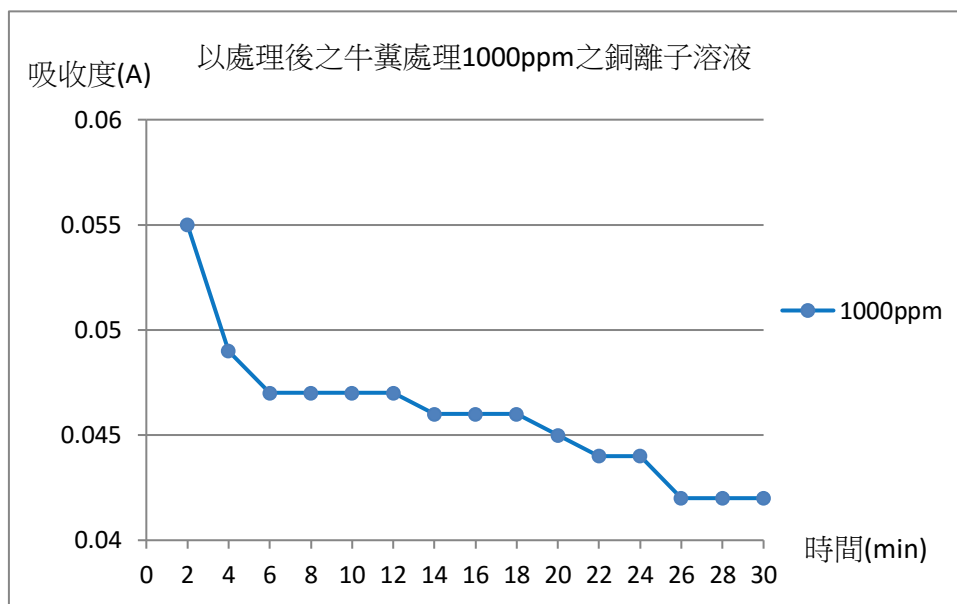
(圖二十一)

由此圖看出牛糞在 1000ppm 及 10000ppm 濃度下吸附銅離子行為相似。



(圖二十二)

在 10000ppm 的銅離子溶液中，牛糞吸附銅離子之速率大致一致，其吸附行為接近一次函數。



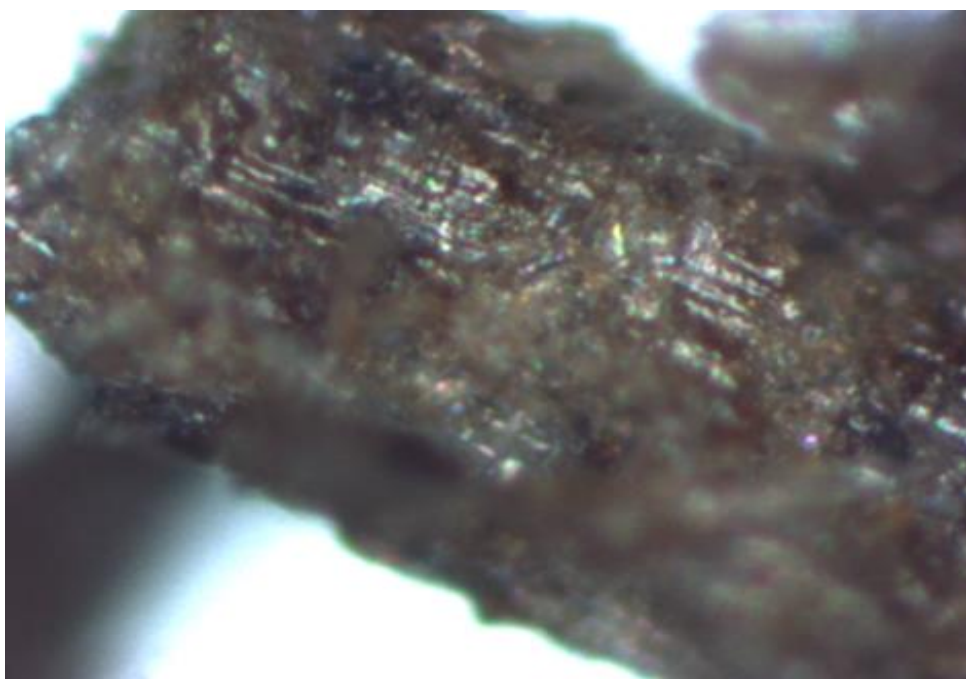
(圖二十三)

我們將 1000ppm 濃度下之牛糞吸附銅離子行為濃度變化放大來看，發現在一開始時吸收度下降的幅度及為快速，但約在六分鐘之後吸收度的變化就沒有起初那麼明顯了，尤其在二十六分鐘過後，吸收度的曲線更是接近平行 x 軸，其吸附幾乎達到平衡。

八、牛糞纖維分析

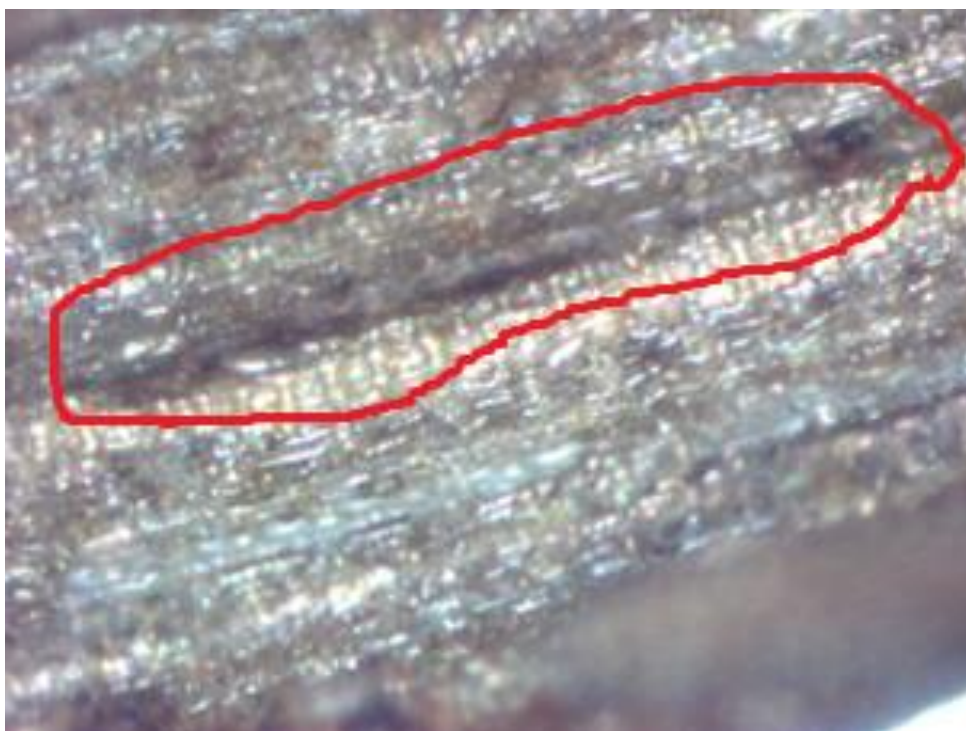
(一) 以光學顯微鏡觀察牛糞纖維

1. 未處理的乾燥牛糞(圖二十四)



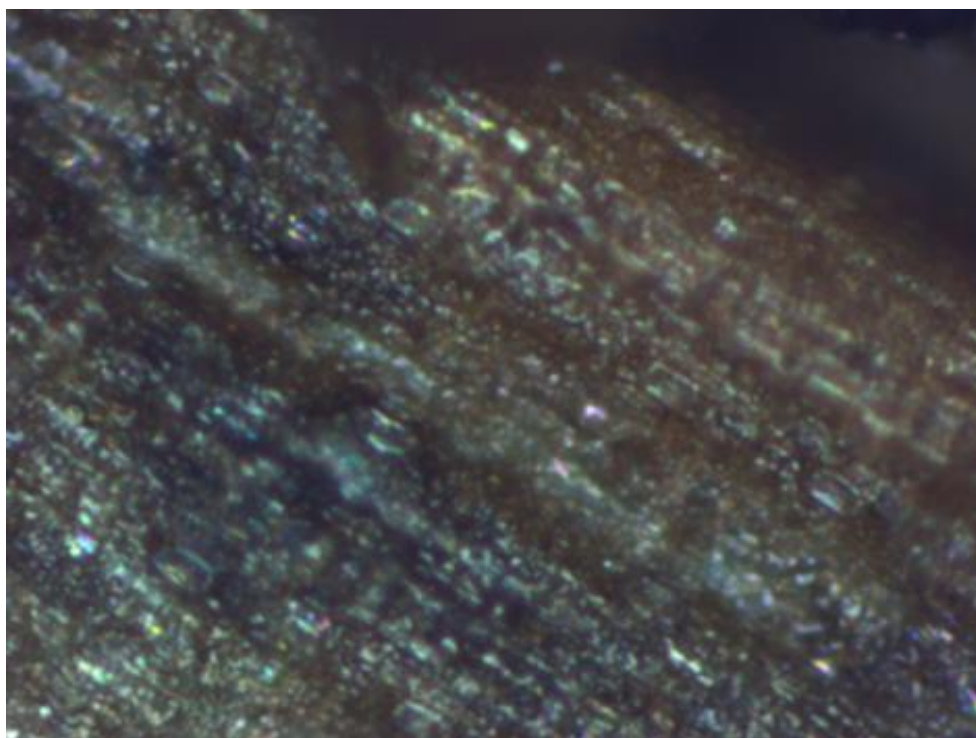
未處理的牛糞由於未經清洗，雜質較多，通常帶有砂粒或死去的昆蟲殘骸，因此表面凹凸不平。

2. 水洗牛糞(圖二十五)



水洗牛糞纖維表面保持完整,與未處理的牛糞相比雜質較少，多長條狀孔隙。

3. 酸處理牛糞(圖二十六)



經 HCl 處理的牛糞與水洗牛糞之型態相若,唯表面較平直且長條狀孔隙較不明顯。

4. 鹼處理牛糞(圖二十八)

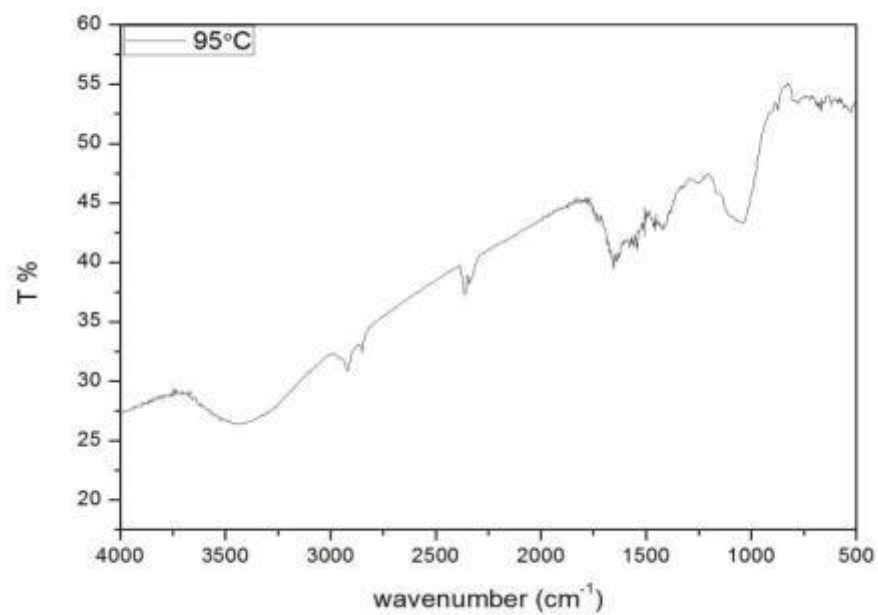


NaOH 處理牛糞其纖維明顯呈長條狀，中間有一處深黑色構造，經放大觀察後，發現其為一處凹陷的孔隙，其表面成凹凸不平的顆粒狀，使表面積增大。

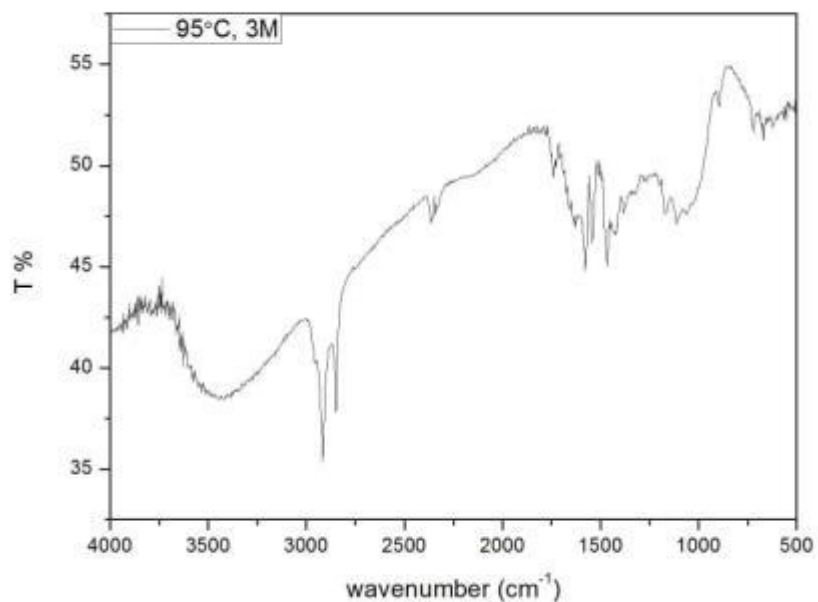
(二) 以 FTIR 分析

此實驗選用 95°C 牛糞、95°C,3M 牛糞、220°C 牛糞及 220°C,3M 牛糞磨成粉末後以 FTIR 分析。

1. 95°C 牛糞(圖二十九)



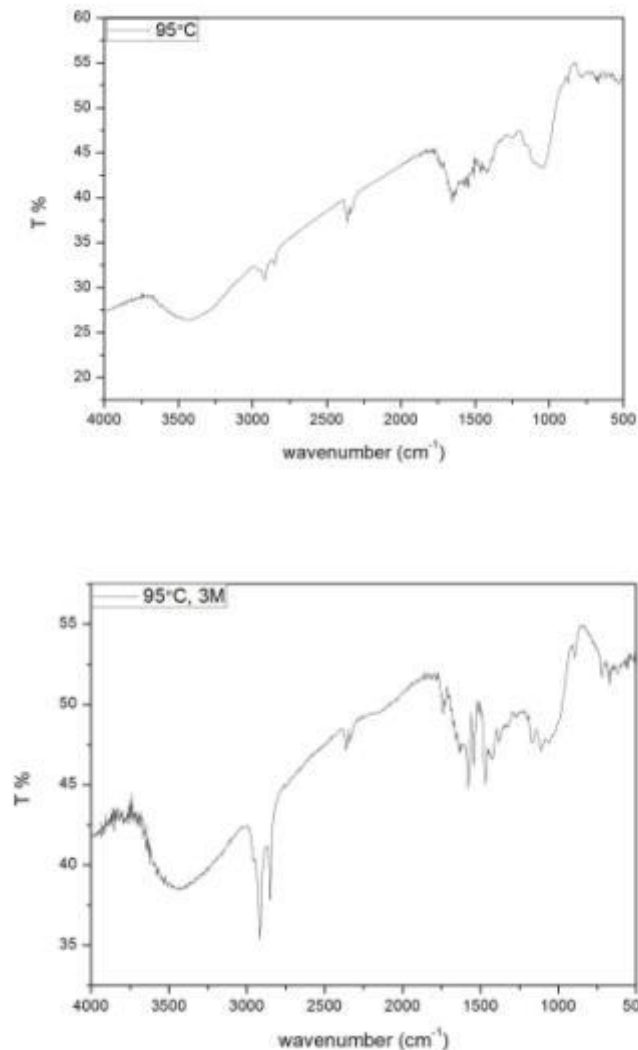
2. 95°C,3M 牛糞(圖三十)



陸、討論

- 一、牛糞中含有許多揮發性之有機質，其可為酸或鹼分解溶出，觀察處理後之牛糞，我們了解到酸或鹼的作用確實能改變牛糞結構，以降低易溶性有機物帶來的實驗誤差與實際應用上的汙染。其中三種牛糞之糞液顏色深度依序為鹼處理牛糞>水洗牛糞>酸處理牛糞，且鹼處理牛糞之糞液顏色最深，推測應該是半纖維素或揮發性有機酸的分解。
- 二、以牛糞吸附銅離子實驗的部分，造成牛糞吸附銅離子效果差異的原因推測是酸和鹼改變了牛糞纖維成份。牛糞中具有多醣聚合物，纖維素、半纖維素、木質素等等，其中半纖維在弱酸弱鹼的環境下就會水解，留下不易分解的纖維素及木質素。而殘留之木質素具有醇基、酮基、醛基、酚基……等等，經過鹼處理後醇基與酚基可能去質子化形成醇鈉，再進一步與銅離子吸附；酮基與醛基則可能形成烯醇互變異構。由於上述帶有極性的位置出現，故銅離子更容易與牛糞纖維吸附。
- 三、模擬牛糞吸附重金屬廢液的實驗中，由於廢水普遍之銅離子濃度約在 10 - 1000ppm 之間，故我們選用 10ppm、100ppm 及 1000ppm 作為濃度變因，且因本研究主要探討牛糞與銅離子的作用，因此選用人工廢液以免其他因素干擾。而在此實驗中也成功以鹼處理之牛糞在二小時以內將銅離子幾乎完全移除，吸附率高達 99% 以上。
- 四、以牛糞處理液濃度與乾燥溫度為變因的實驗中，造成外觀及糞液顏色差異之原因，可能是牛糞纖維在 220°C 的溫度下分解或氧化所致。
- 五、在計算牛糞之最大吸附量之實驗中，牛糞吸附銅離子能力與處理過程的變因有關，其中以濃度 5M 的 NaOH 處理之效果皆優於濃度 3M 及 1M 的 NaOH 處理；而乾燥處理溫度為變因的部分，大部分以 95°C 低溫乾燥的牛糞效果優於以 220°C 高溫乾燥之牛糞，其原因可能是部分牛糞纖維分解或官能基改變所致。
- 六、在高時間解析度的實驗中，我們觀察到牛糞的吸附行為在 1000ppm 的銅離子溶液中，其吸附速率隨濃度降低而減緩，故其吸附速率可能與環境銅離子濃度成正相關。
- 七、以倍率 2000 倍的光學顯微鏡觀察牛糞纖維後，發現以氫氧化鈉處理的牛糞纖維較細長，且相較於酸處理牛糞其具有較明顯的孔洞凹陷與粗糙的表面，可能可使牛糞纖維吸附銅離子的表面積增加，以提升其吸附效果。

八、用 FTIR 分析牛糞纖維



由圖中得知在波數 3250 到 3500 之間有 Hydrogen bond 的 peak，波數 2900 則是 C-H stretch 的 peak，將兩圖比較後發現經過鹼處理的牛糞其氫鍵訊號較 C-H 漸弱，推測是氫氧根的數量減少，與前述推測氫氧根去離子化形成醇鈉的想法相呼應；在波數 1500 到 1750 間主要為 C=O 鍵的訊號，1000 到 1250 則主要為 C-O 鍵的訊號，將兩圖比較後發現鹼處理牛糞的訊號較明顯，推測可能是受到氫氧化鈉影響使官能基改變。而上述的結果正好可以增加極性，使銅離子更容易與牛糞纖維吸附。

柒、結論

- 一、使用酸與鹼處理牛糞確實能去除纖維中的有機雜質，並改變纖維結構使其吸附銅離子能力改變。
- 二、牛糞纖維吸附銅離子效果應與纖維之官能基變化、纖維組成改變或纖維孔隙及表面積有關。
- 三、以 NaOH 處理牛糞效果最佳，其最大吸附量高達 1805.3mg，且能夠在 2 小時內將 1000ppm 50mL 的銅離子廢液中的銅離子幾近完全吸附，吸附率高達 99% 以上，在應用上極具處理重金屬污染之價值。
- 四、牛糞吸附銅離子的效果受處理液濃度與處理溫度影響，其中處理液濃度愈高效果愈佳，溫度方面則是避免牛糞纖維發生氧化或裂解為佳。
- 五、以 FTIR 分析牛糞發現經過鹼處理之纖維其氫鍵訊號減弱，且 C-O 鍵與 C=O 鍵訊號增強，應與纖維官能基變化有關，且結果與討論中的推測相同。

捌、參考資料及其他

- 一、[TangientLLC,partof TESGlobalLimited,Cellulose](https://myorganicchemistry.wikispaces.com/Cellulose) from: <https://myorganicchemistry.wikispaces.com/Cellulose>
- 二、Wikiwand,Hemicellulose from: <http://www.wikiwand.com/de/Hemicellulose>
- 三、Wikipedia,Lignin from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lignin>
- 四、台灣 WORD Retrieved 2013.9.24, 半纖維 from : www.twword.com/wiki/
- 五、台灣 WORD Retrieved 2013.8.14, 植物纖維化學 from : www.twword.com/wiki/
植物纖維化學
- 六、謝仁壽 木材化學 Retrieved 2004.11.4 from :
http://www.hla.hlc.edu.tw/hlawww/dept04/woodscience/wood_chemical_properties.htm
- 七、Lin De-Tsai & Lan Haw-Farn 木質纖維原料製炭時之熱解特性與炭性質
(Pyrolysis Characterstics and Charcoal Properties of Wooden Fibrous Raw Materials during Manufacturing Charcoal)

致謝

- 一、 國立嘉義大學應用化學系 李茂田教授 在資訊與器材方面協助。
- 二、 國立嘉義大學應用化學系 沈子堯研究員 在資訊與器材方面協助。
- 三、 義守大學中醫學系 黃耿祥教授 在資訊方面的協助。

【評語】 050205

1. 牛糞的組成成分較為複雜，在探討其吸附銅離子的原理時不易有較肯定的證據。建議對其所假設之可能吸附銅離子成份做一組對照實驗，以確認其成因。這樣較具科學性。
2. 能將生活中的題材有巧思的應用在銅離子的吸附去除上，值得鼓勵。