

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 化學科

第三名

040213

黃金超級電容

學校名稱：國立嘉義高級中學

作者：  高二 羅翊誠  高二 李宗儒  高二 周修平	指導老師：  洪瑞鼎
---	------------------

關鍵詞：重金屬處理、活性碳、超級電容

## 摘要

我們的研究，是以牛糞中豐富的  $\text{HPO}_4^{2-}$  吸附水中的重金屬離子。先透過自行設計之綠色分析技術，以簡易電池原理，分析水中  $\text{Cu}^{2+}$  濃度，接著做出水中  $\text{Cu}^{2+}$  與電壓、電流之檢量線。若將處理過後的牛糞置於水溶液中，便能有效地吸附  $\text{Cu}^{2+}$ ，為相當好的吸附劑，而且吸附率可達到 99% 以上。而牛糞吸附重金屬離子後，可以取出並製作成重金屬活性碳。分析重金屬牛糞之成分後，發現其已碳化成活性碳。活性碳又可做為超級電容的電極，且含重金屬離子的電極可以大幅的增加電容之電容量。在簡易電容測試中，以及鈕扣型電容實驗結果顯示：我們測出，牛糞吸附重金屬離子活性碳，在適當電解液下，具有相當高的電容量。

## 壹、研究動機

日月光事件、強冠事件，工業廢水隨意排放，重金屬離子污染環境的事件的層出不窮，危害我們的健康。於是我們上網蒐集現在相關解決的資訊，一些國內外文獻中有提及普遍使用化學沉澱法或活性碳吸附法來移除重金屬離子，但移除後的污泥如果不善加處理反而會造成環境二次公害。我們在化學課中學到磷酸根和許多重金屬的沉澱物，其溶解度積(Ksp)都很低，又有資料顯示天然牛糞中含有大量的磷酸鹽，引發我們使用牛糞作為吸附劑。我們更突發奇想把吸附金屬後的牛糞，由廢棄物轉變成有用的資源，吸附金屬後的牛糞作成超級電容重複循環使用。

## 貳、研究目的

牛糞是常見的肥料(含有氮、磷、鉀元素)，其所含的磷酸氫鹽，可作為重金屬離子的吸附劑。本研究是想探討牛糞吸附 $\text{Cu}^{2+}$ 之效果，並將已吸附 $\text{Cu}^{2+}$ 的牛糞運用為超級電容材料。為達成上述的目的，本研究分成下列幾部份進行實驗探討:

- 一、建立鋅銅電池電位差、電流分析銅離子濃度的檢量線
- 二、牛糞的處理及成份分析
- 三、探討牛糞在水溶液中對 $\text{Cu}^{2+}$ 的吸附作用
- 四、探討  $\text{HPO}_4^{2-}$ 與  $\text{Cu}^{2+}$ 的沉澱作用
- 五、吸附 $\text{Cu}^{2+}$ 之牛糞活性碳的分析
- 六、取吸附和未吸附重金屬牛糞做簡易電容測試比較，並找出最適合之電解液
- 七、製成鈕扣型超級電容

## 參、研究設備器材及原理

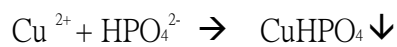
設備：電腦、電子秤、烘箱、濾紙、燒杯、量瓶、試管、滴管、針筒、數位照相機、高溫爐、分光光度計、微量滴管、pH計、廣用試紙、研鉢、刮杓、三用電表、9伏特電池、手套箱、裁片機、封裝機、充放電儀、恆溫箱

藥品：Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>、CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O、氨水(錯合劑)、過硫酸鉀、鉬酸銨、維他命C、KCl、NaCl、KOH、碳酸丙烯酯、離子液體、PVDF(聚偏氟乙烯)、N-甲基-2-吡咯烷酮、導電碳(碳黑)

## 研究原理

### 一、牛糞吸附重金屬原理

本研究是利用牛糞中的溶解態的磷酸鹽與CuSO<sub>4</sub>反應，形成不溶解的沉澱物，其化學沉澱反應為：

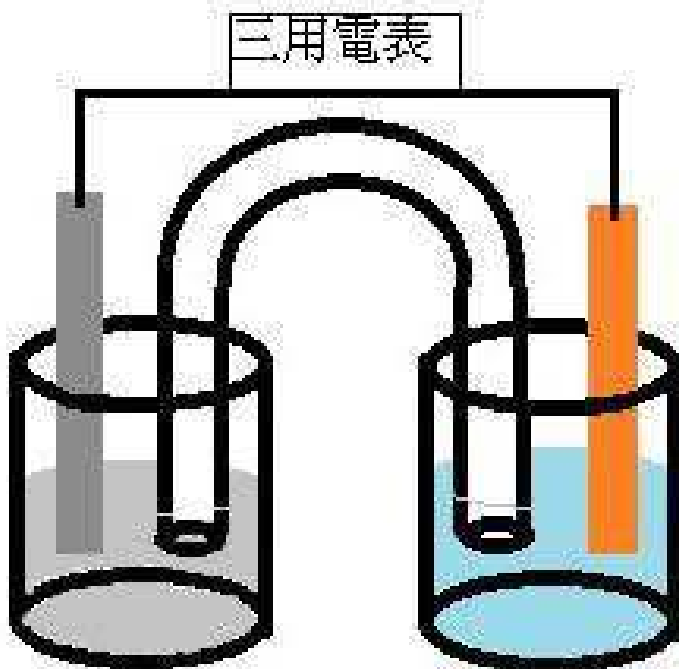


磷酸氫銅的溶解度積K<sub>sp</sub>(25°C)如下表：

化合物	溶解度積 K <sub>sp</sub> (25°C)
磷酸氫銅	3.7x10 <sup>-9</sup>

### 二、檢測分析原理

本測試方法是綠色分析技術，以設計簡易的電池組合，鋅銅金屬為電極並改變硫酸銅電解液濃度，用三用電錶測定電流及電壓並製作檢量線，藉此量測水中重金屬離子的含量。



電解液濃度與電壓的關係：

$$\text{能斯特方程式: } E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{ox}}{a_{red}}$$

於常溫(25°C)下， $\frac{RT}{F} \ln 10 \approx 0.05916$

$$E = E^\circ + \frac{0.05916}{n} \log \frac{[a_{ox}]}{[a_{red}]}$$

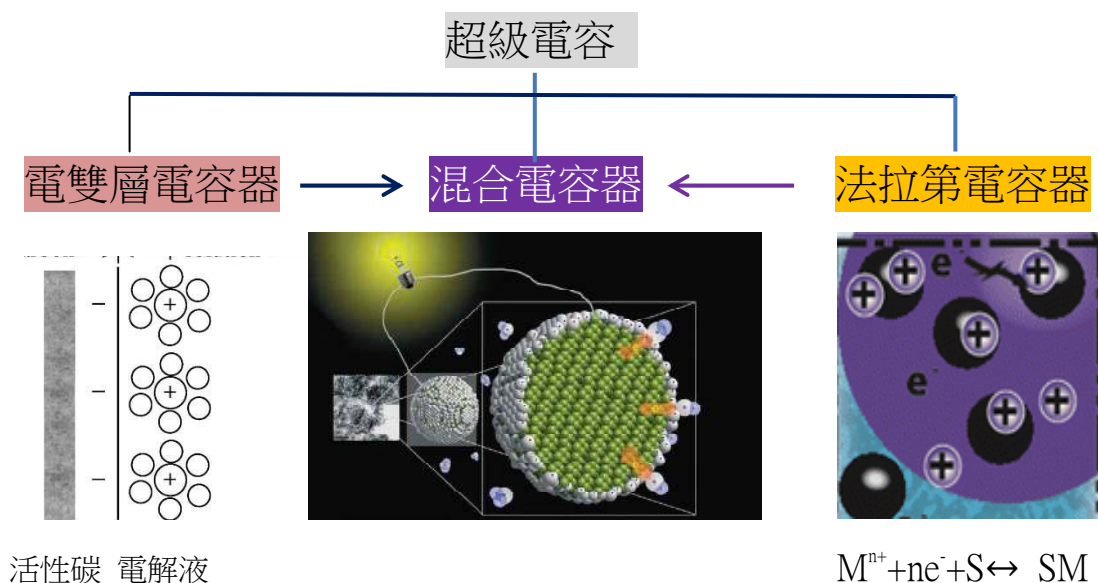
由上述公式可知，在定溫的狀況下，電解液濃度越大時，電壓的數值愈大。且根據資料顯示，在特定濃度範圍下，電解液的濃度愈高，測得的電流愈大。故我們可以藉由電壓、電流和電解液濃度的關係，量測電壓或電流來測定電解液的濃度大小。

### 三、超級電容原理:

超級電容常使用高表面積、多孔隙度的碳材作為電極，單純利用活性碳電極與電解液界面的庫侖靜電力所造成的電荷分離的現象來儲電，稱為電雙層電容器。其中活性碳表面積及孔洞大小分佈是主要影響電容性能的關鍵因素。但並非碳材表面積愈大所得到的電容量就愈大，表面的孔洞太小，電解液無法順利進出孔洞時電容量會降低，因此選擇孔洞大小適當及分布均勻是影響電容量的重要因素。

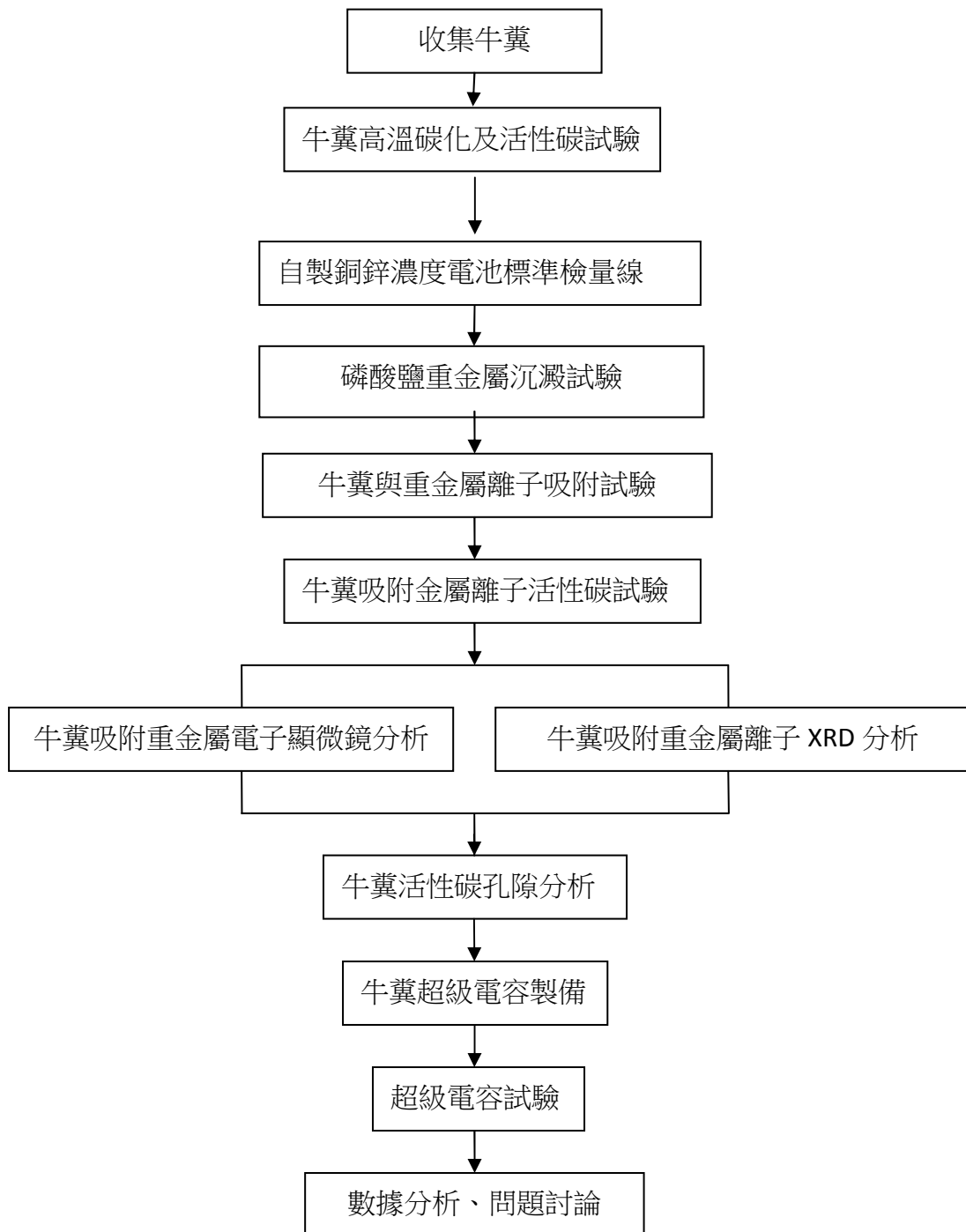
過渡金屬氧化物，這些金屬氧化物發生可逆性的氧化還原電化學反應，因為牽涉到法拉第電荷轉移反應以儲電，因此稱為擬電容器或法拉第電容器。

當活性碳電雙層電容器摻入過渡金屬氧化物法拉第電容器時稱為混合電容器如圖，其電極電容值高於單獨使用碳材電雙層電容值。



## 肆、研究過程及方法

### 一、研究流程簡述



## 二、研究方法

### (一)牛糞炭化及製作成活性碳

本研究的牛糞是取自國立嘉義大學動物科學系畜牧場，委託將牛糞風乾以粉碎機打碎後，以高溫爐製備成研究材料：

#### 1. 牛糞炭化

取牛糞試料置於坩堝中秤重後，放入超高溫真空炭化活化爐，並設定升溫速率為 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，分別以 $300^{\circ}\text{C}$ 、 $400^{\circ}\text{C}$ 、 $500^{\circ}\text{C}$ 進行炭化120分鐘後秤重。

#### 2. 製作成牛糞活性碳

取牛糞材料放入高溫爐升溫速率為 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，以 $800^{\circ}\text{C}$ 溫度進行活化，通入之水蒸氣流量速率為 $200\text{ mL}/\text{min}$ ，持溫90 min，完成後關閉炭化活化爐，待降至常溫後取出秤重。

#### 3. 磷含量測定

取0.5克牛糞加50 ml水攪拌後，加過硫酸鉀及硫酸 $100^{\circ}\text{C}$ 加熱30分鐘將可溶性的磷酸鹽溶出，加入鉬酸銨溶液與溶出的磷酸鹽作用形成黃色錯合物，再以維他命C還原後溶液呈藍色，以分光光度計測出其磷酸鹽含量。

### (二)自製銅鋅濃度電池標準檢量線

1. 配備 1M KCl 溶液及 1M  $\text{ZnSO}_4$ 。

2. 配備 1M、 $10^{-1}\text{M}$ 、 $10^{-2}\text{M}$ 、 $10^{-3}\text{M}$ 、 $10^{-4}\text{M}$ 、 $10^{-5}\text{M}$ 、 $10^{-6}\text{M}$   $\text{CuSO}_4$  溶液。

3. 在鋅銅電池改變不同  $\text{CuSO}_4$  導電液濃度，並以三用電錶量測不同  $\text{Cu}^{2+}$  濃度下的電流及電壓並作出標準曲線。

4. 以氨水當  $\text{Cu}^{2+}$  的錯合劑分光光度計測定  $\text{Cu}^{2+}$  溶液標準曲線。

磨 Cu、Zn 電極  $\longrightarrow$  配 1M KCl 鹽橋  $\longrightarrow$  配 1M  $\text{ZnSO}_4$   $\longrightarrow$  三用電錶



配  $\text{CuSO}_4$  溶液



組合銅鋅濃度電池



### (三)牛糞與重金屬離子吸附反應

1. 取 0.5 克牛糞加入 20 毫升  $10^{-2}\text{M}$  的  $\text{CuSO}_4$  溶液。
2. 步驟 1 牛糞吸附  $\text{CuSO}_4$  溶液後，放入鋅銅電池組銅電極的導電液，以三用電錶量測電流及電壓並從標準曲線得出  $\text{Cu}^{2+}$  的殘留濃度。
3. 以分光光度計測定牛糞吸附後  $\text{Cu}^{2+}$  的殘留濃度。

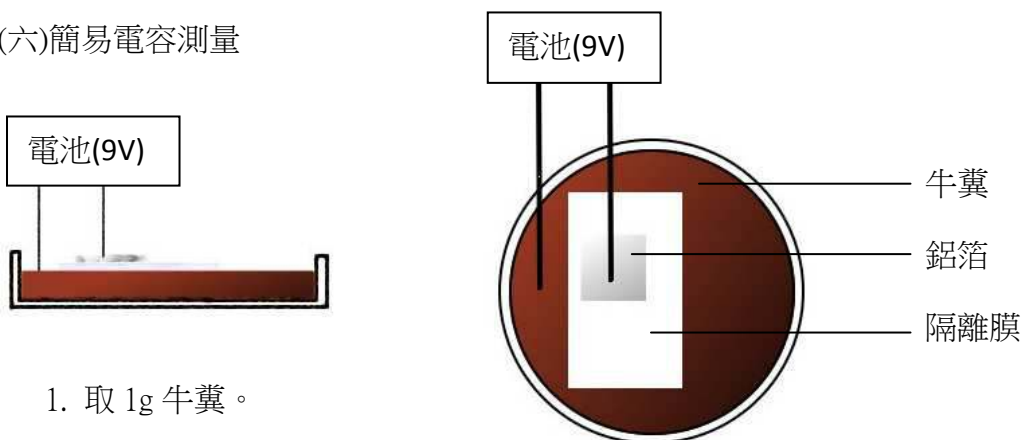
### (四)磷酸鹽重金屬沉澱試驗

取 0.0284 克(0.2 毫莫耳)、0.0568 克(0.4 毫莫耳)、0.0852 克(0.6 毫莫耳)磷酸氫二鈉  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  與 20 毫升  $10^{-2}\text{M}$   $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  在水溶液進行沉澱試驗並測定沉澱完成  $\text{Cu}^{2+}$  的濃度。

### (五)吸附重金屬離子牛糞的分析

1. 電子顯微鏡分析。
2. X 光繞射分析。
3. 牛糞活性碳孔隙分析。

### (六)簡易電容測量



1. 取 1g 牛糞。
2. 取 3ml 之電解液，與牛糞均勻混合。
3. 將牛糞均勻鋪入容器中，使面積呈  $10\text{cm}^2$ 。



4. 剪  $2.5\text{ cm}^2 \times 2.5\text{ cm}^2$  之隔離膜，滴入 1M 之 KCl 1ml，並均勻鋪於牛糞上。
5. 剪  $2\text{ cm}^2 \times 2\text{ cm}^2$  之鋁箔，以酒精擦拭過後，鋪於隔離膜上。
6. 測其初始電壓。
7. 以一電壓 9V 電池，正極接鋁箔，負極接牛糞，充電 5 分鐘，並測其充電電壓。
8. 取下電池後，5 分鐘後測量其電壓。
9. 取不同導電液置換 KCl，並重複步驟 1~7。
10. 取下電池後，每 1 分鐘測量其電壓，直至初始電壓。

#### (七)鈕扣型牛糞超級電容製備

1. 取 0.8g 之樣品(牛糞活性碳、金屬牛糞活性碳)混與 0.1g 之導電碳與 0.1g PVDF 溶在 NMP 溶劑形成漿料。
2. 以酒精擦拭蝕過之鋁片。
3. 在鋁片上塗抹厚度 0.2mm 的漿料。
4. 放置於烘箱中，於  $120^\circ\text{C}$  之恆溫下烘烤 3 小時。
5. 裁切半徑  $1\text{ cm}^2$  之極片 2 片。
6. 為避免  $\text{O}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  之干擾，故將封裝成品之步驟於手套箱中製作。將器材放入手套箱後，抽出空氣並灌入 He。
7. 按順序放入 1 片極片、一片隔離膜，滴入 0.5ml 之碳酸丙烯酯、再放 1 片極片。

漿料混和      ➡      刮刀塗佈      ➡      烘烤極片



裁切極片      ➡      手套箱操作      ➡      封裝      ➡      成品

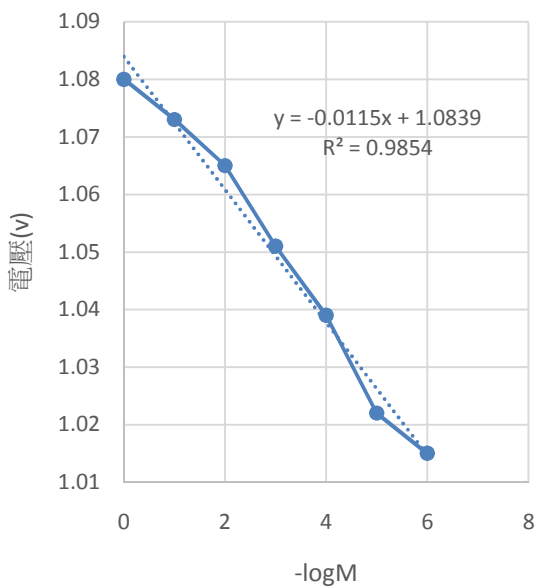


## 伍、研究結果與討論

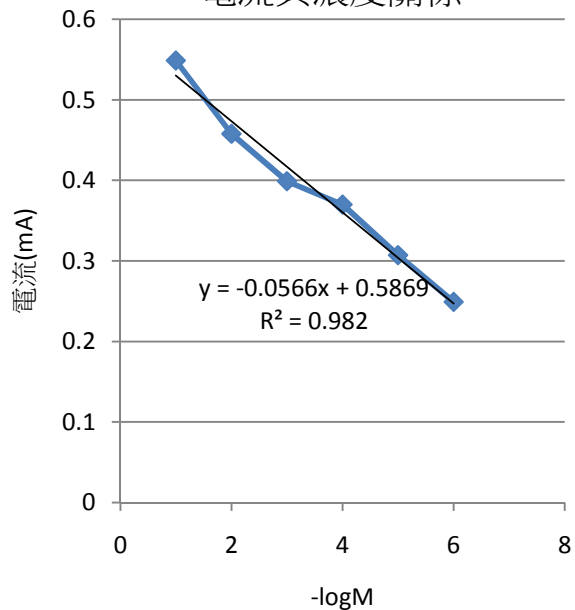
一、利用電位差、電流的方式來建立銅離子濃度的檢量線

CuSO <sub>4</sub> 濃度(M)	電壓(V)	電流(mA)
1 M	1.082	—
10 <sup>-1</sup> M	1.073	0.549
10 <sup>-2</sup> M	1.065	0.458
10 <sup>-3</sup> M	1.051	0.399
10 <sup>-4</sup> M	1.039	0.37
10 <sup>-5</sup> M	1.022	0.307
10 <sup>-6</sup> M	1.015	0.249

電壓與濃度關係



電流與濃度關係



討論：

1. 由  $V=0.0115\log[\text{Cu}^{2+}]+1.0839$  為檢量線，可藉由量測電壓來推得溶液中  $\text{Cu}^{+2}$  之濃度，且可精確至  $10^{-6}\text{M}$ 。
2. 由  $I=0.0566\log[\text{Cu}^{2+}]+0.5869$  為檢量線，以電流方法來推得溶液之濃度，可精確測得  $10^{-6}\text{M}$  以上的濃度。

3. 我們一開始使用探針式的三用電表，以手將探針與電極固定測量，但測量時電壓和電流均不穩定。後來改使用鱷魚夾式夾住電極，就不需手參與測量，結果電壓和電流之數值比較穩定，推測以手操作容易產生誤差而影響測量。

## 二、牛糞的處理及成份分析

牛糞	碳化處理溫度			
	100°C	300°C	400°C	500°C
磷含量(%)	0.65%	2.13%	3.25%	4.88%
pH	7.52	7.82	8.12	8.55
回收率(%)	70%	42%	32.5%	25.5%

### 討論：

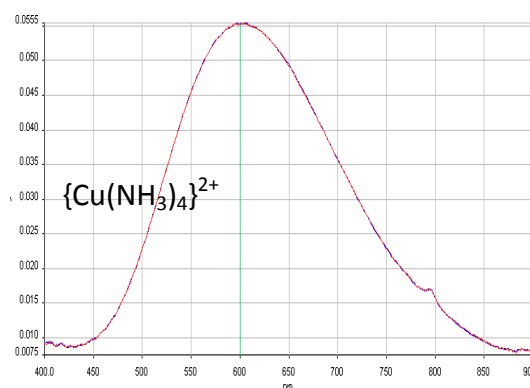
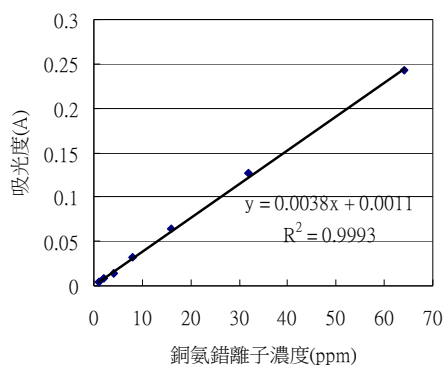
1. 我們想把牛糞的磷酸鹽含量提高，以增加對重金屬吸附的效果，因此將新鮮的牛糞放入高溫爐經碳化處理。實驗結果顯示牛糞隨著溫度的增加，其磷酸鹽含量隨之升高。我們認為牛糞內含有易揮發的有機物質，在高溫過程會揮發一部份的有機物質，不揮發灰分的部份包含磷酸鹽將被保留，因此碳化溫度愈高的牛糞所得的磷酸鹽含量愈高。
2. 牛糞在越高溫的碳化處理下，pH 越高。推測可能是牛糞的灰份含量(氮、磷、鉀)提高，增加了牛糞酸鹼值所產生的現象。
3. 我們將收集到的新鮮牛糞放置烘箱烘乾處理取出秤重，計算出其含水量大約30%，以分光光度計測出其磷酸鹽含量為0.65%。300°C 碳化處理的牛糞其磷酸鹽含量為2.13%。而經更高溫500°C 碳化處理的牛糞提高其磷酸鹽含量為4.88%，為增加化學吸附效果，並基於經濟考量下，我們選擇500°C 經高溫碳化處理的牛糞作為以後的實驗研究材料。

### 三、牛糞與 Cu<sup>2+</sup> 吸附反應

Cu<sup>2+</sup> 當鋅銅電池的導電液，以三用電錶量測電流及電壓並從標準曲線得出 Cu<sup>2+</sup> 的殘留濃度

銅鋅濃度電池	吸附前	吸附後	吸附率
電壓(V)	1.065V(63.5ppm)	1.013V (0.43ppm)	99.3%
電流(mA)	0.458mA (63.5ppm)	0.325mA (1.5ppm)	97.6%

以分光光度計測定牛糞吸附後 Cu<sup>2+</sup> 的濃度



牛糞	吸附前 Cu <sup>2+</sup> 濃度	吸附後 Cu <sup>2+</sup> 濃度	吸附率(%)
第一次實驗	63.5ppm	0.35ppm	99.4%
第二次實驗	63.5ppm	0.295ppm	99.5%

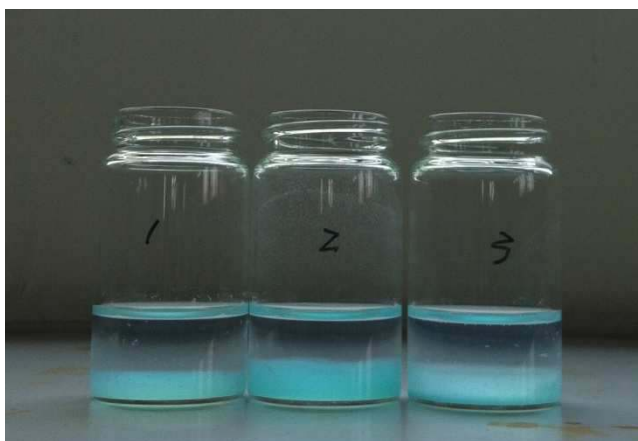
討論:

1. 我們取 1g 處理過後之牛糞，與 10<sup>-2</sup>M(635ppm)的 20 mlCuSO<sub>4</sub> 溶液，經超音波震盪器處理 20 分鐘後，再過濾牛糞。
2. 將浸泡牛糞後的硫酸銅溶液以電流法測量，發現牛糞能有效的吸附 Cu<sup>2+</sup>，而且吸附率可高達 97.6%；但是以電壓法量得 99.3%。
3. CuSO<sub>4</sub> 溶液經吸附前後，我們再用分光光度計測量 Cu<sup>2+</sup> 濃度，發現其與利用電壓方式所測定的 Cu<sup>2+</sup> 濃度較相近。推測牛糞中含其他離子會影響導電度，導致電流方式進行的 Cu<sup>2+</sup> 濃

度測定結果誤差較大。

#### 四、磷酸鹽重金屬離子沉澱試驗

Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	沉澱前 Cu <sup>2+</sup> 濃度	沉澱後 Cu <sup>2+</sup> 濃度	沉積率(%)
0.2 毫莫耳	635 ppm	2.86 ppm	99.5%
0.4 毫莫耳	635 ppm	1.42 ppm	99.8%
0.6 毫莫耳	635 ppm	0.65 ppm	99.9%

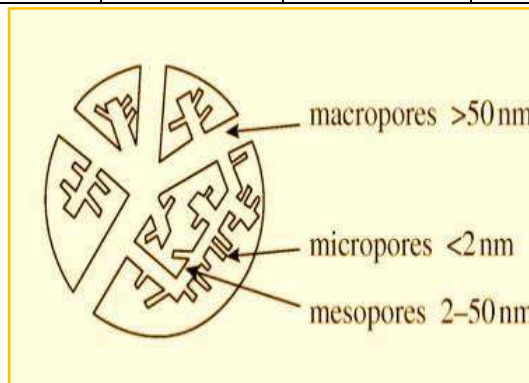


討論:

1. Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>與相同莫耳數10<sup>-2</sup>M 20ml CuSO<sub>4</sub>溶液反應後，可以看見藍色的沉澱物 CuHPO<sub>4</sub>沉積過程急速的析出。
2. 以相對過量莫耳數2倍、3倍的 Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>與10<sup>-2</sup>M 20ml CuSO<sub>4</sub>溶液反應後，同樣看見藍色的沉澱物 CuHPO<sub>4</sub>沉積析出。
3. CuHPO<sub>4</sub>沉澱溶液經2~3小時靜置後取上層液已經澄清透明，取澄清液以分光光度計分析沉澱前後 Cu<sup>2+</sup>濃度變化發現沉積率可達99.5%。

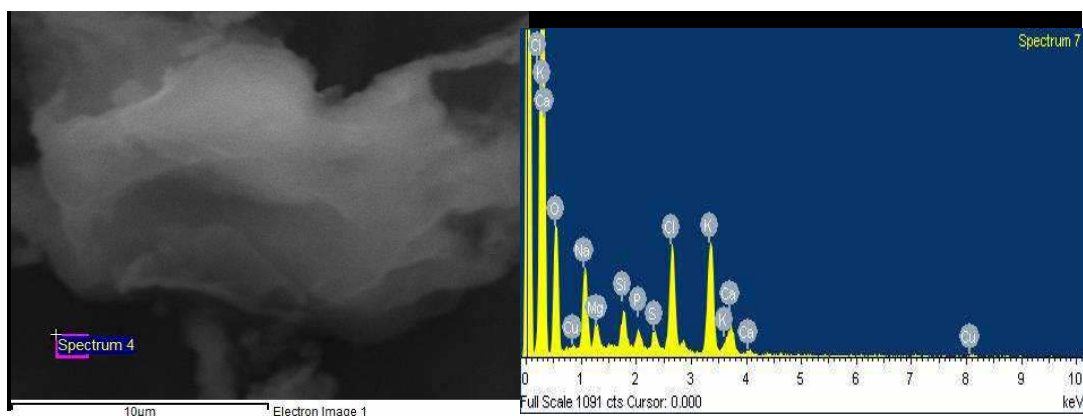
## 五. 吸附重金屬離子的牛糞分析 (孔隙分析儀分析)

牛糞樣品	活性溫度 (°C)	比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	總孔隙體積 (cm <sup>3</sup> /g)	微孔體積 (cm <sup>3</sup> /g)	平均孔徑 (nm)
牛糞	800°C	466	0.19	0.142	2.0
吸附 Cu <sup>2+</sup> 牛糞	800°C	520	0.25	0.158	2.4

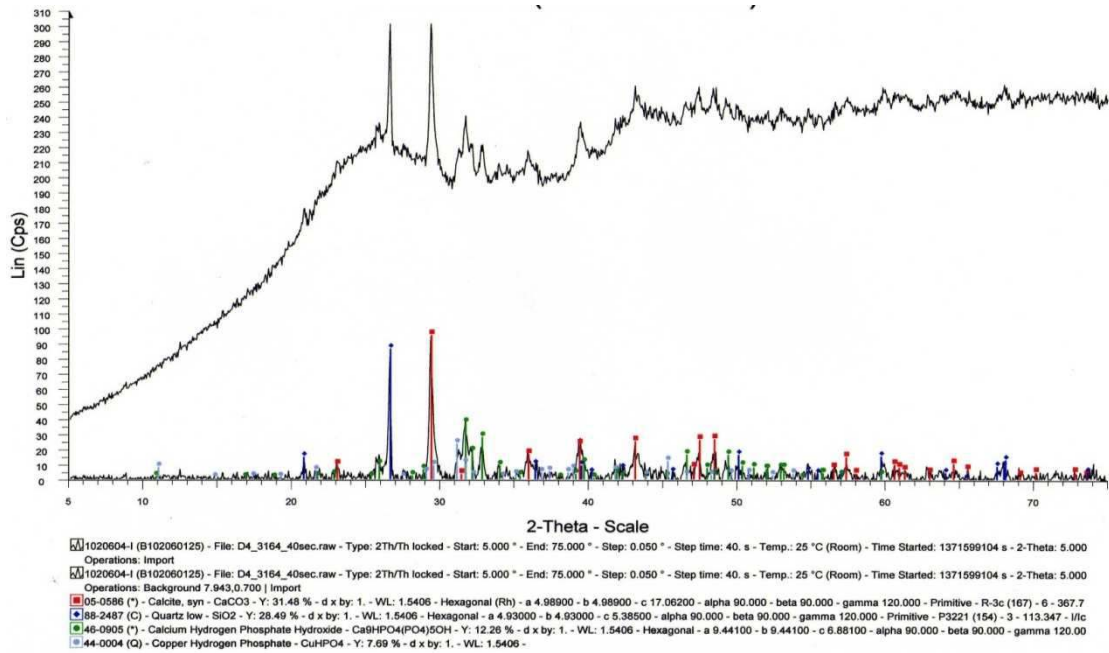


討論:

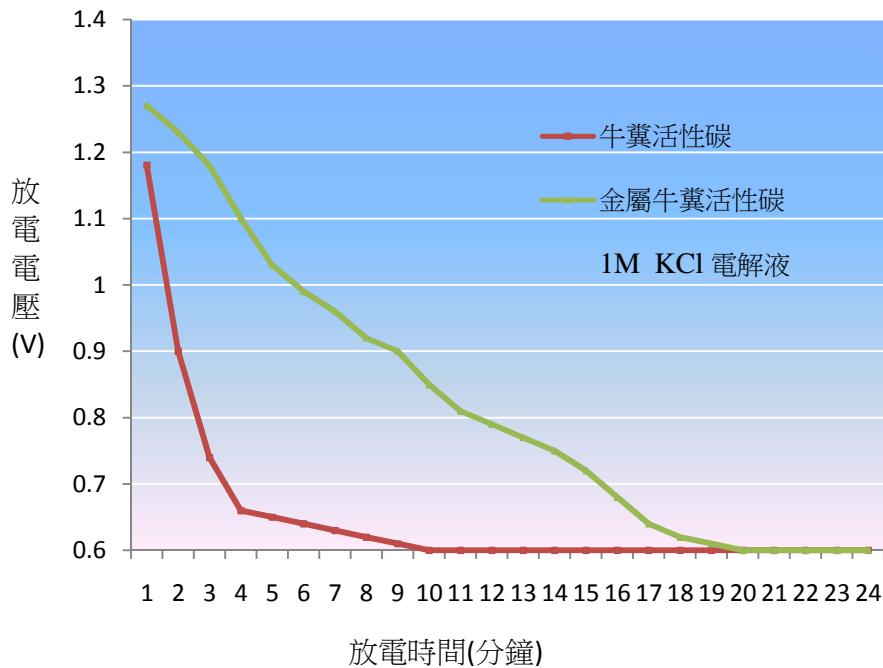
1. 吸附重金屬離子的牛糞及一般牛糞以800°C溫度處理製作牛糞活性碳，以孔隙分析儀分析結果發現活化溫度與比表面積、孔徑大小。以製作超級電容器材料而言，其中活性碳的比表面積及孔洞大小及分佈是影響電容性能的主要關鍵因素之一。
2. 牛糞活性碳的總孔隙體積以微孔佔了63%~92%。根據國際純粹與應用化學協會(IUPAC)分類定義，孔徑小於2nm 稱為微孔(micropores)，大於50 nm 以上的稱為巨孔(macropores)，界於2~50 nm 的孔洞稱為中孔(mesopores)，藉由此研究孔洞大小可對電容性能的影響。
3. 以電子顯微鏡觀察吸附 Cu<sup>2+</sup>牛糞活性碳的表面，並發現牛糞的磷酸鹽及 Cu<sup>2+</sup>反應沉積在牛糞活性碳的表面分佈情形。

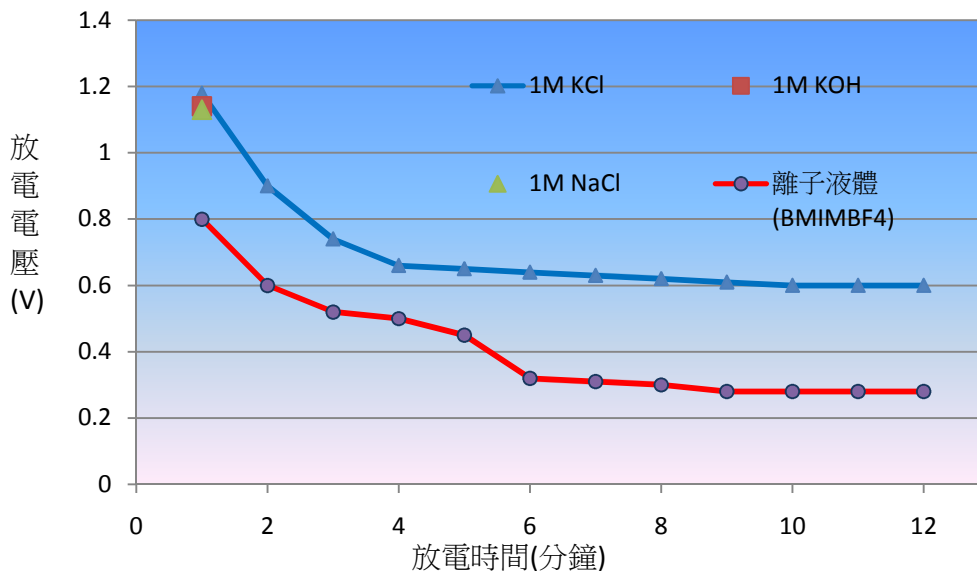
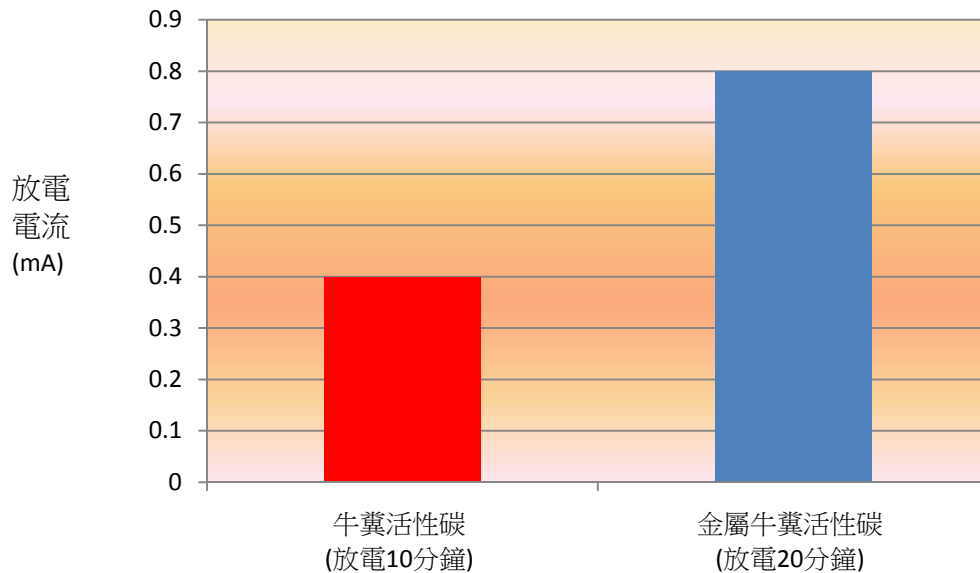


4. 以X光繞射分析儀分析吸附Cu<sup>2+</sup>的牛糞活性碳，發現CuHPO<sub>4</sub>確實存在於牛糞中，這提供我們牛糞中磷酸鹽與Cu<sup>2+</sup>反應形成CuHPO<sub>4</sub>的最有利證據。



六、取吸附和未吸附CuSO<sub>4</sub>溶液的牛糞做簡易電容測試，並找出最適合之電解液





討論：

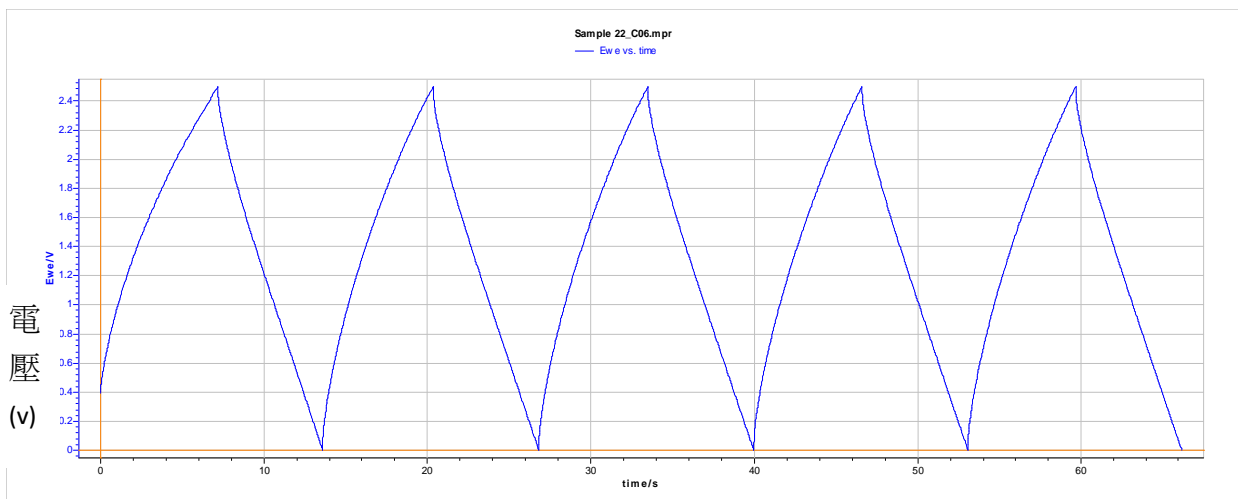
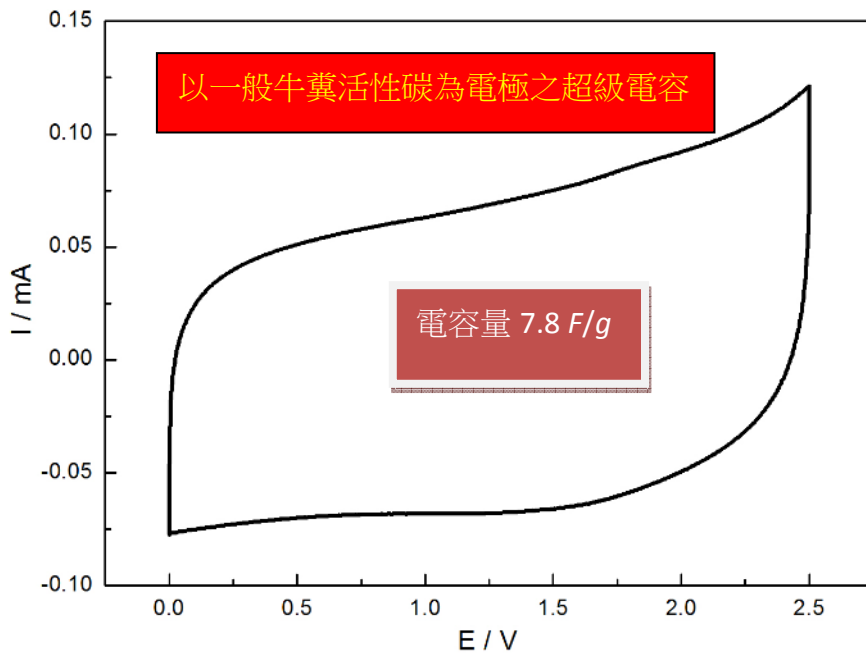
- 1g之牛糞活性炭樣品以1M KCl為電解液進行實驗，發現金屬牛糞活性炭，放電時可得較高之電壓(約為1.3V)，且持續放電時間較長，我們推測金屬離子吸附於活性炭表面會產生較高的電容，而一般牛糞活性炭放電電流(約為1.2V)，且放電時間較短。
- 在前述實驗過程中，金屬牛糞活性炭放電電流較高，約為0.8mA；而一般牛糞活性炭放電電流約為0.4mA，且放電時間較短。吸附銅離子之後的牛糞活性炭，較同體積的一般牛糞活性炭重很多。
- 取1g金屬牛糞活性炭，發現若加少於2ml的電解液則測不出電壓，推測牛糞顆粒與顆粒間無法連結，使電解液中之正負離子無法各自分離至兩極；若加多於 4ml之電解液，則電解液



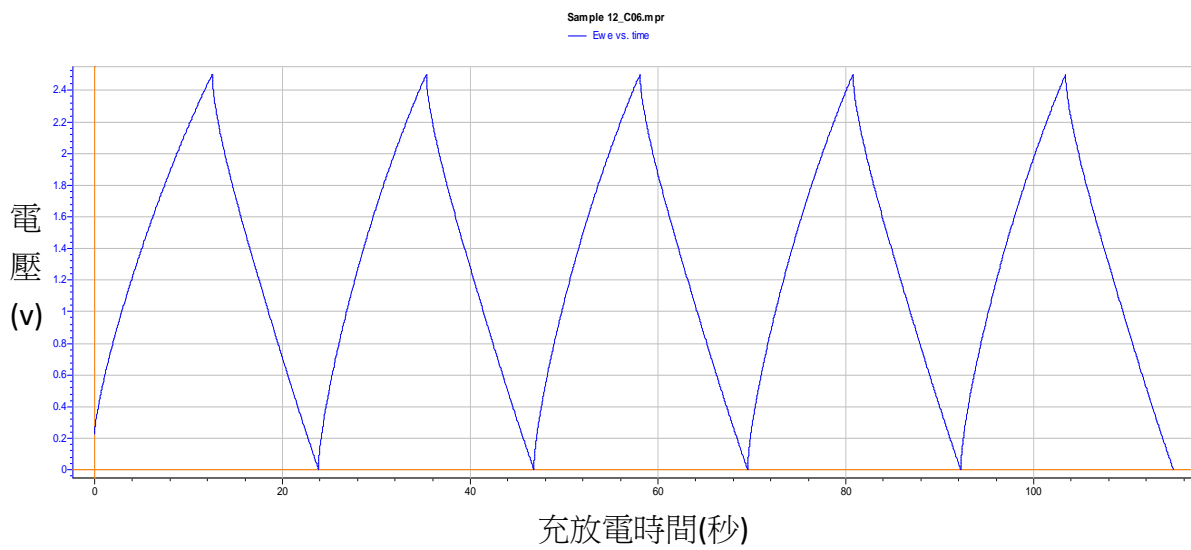
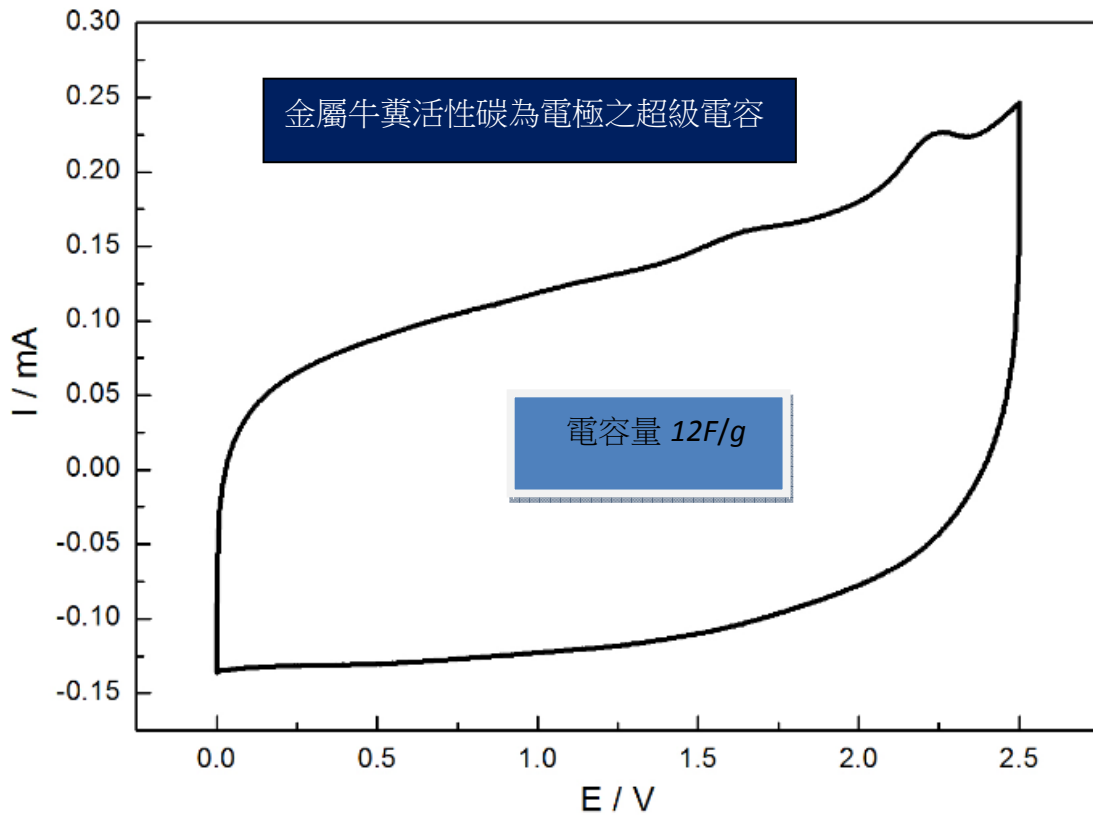
發生電解。

- 取1g之牛糞活性炭，分別加入1M之NaCl、KOH當電解液，發現剛開始加電池能測出簡易電容的電壓，但移開電池後則測不出簡易電容的電壓，推測電解液中之正負離子無法分離進各自電極。
- 以離子液體BMIMBF<sub>4</sub>為電解液的簡易電容，其放電時間較以KCl為電解液的簡易電容時間較短，且電壓較低。由上述實驗推測，不同電解液的種類對電容值有很大的影響。

七、製成鈕扣型電容(以循環伏安法與計時電位法測量電容值)：為避免電壓過大導致水的電解發生，所以我們選擇非水性的電解液-碳酸丙烯酯進行實驗。



充放電時間(秒)



討論：

1. 藉由一定的電流掃描，得到電壓對時間的圖形，通常為等腰三角形，代表充電放電時，電荷轉移量相同。因為電流固定且電位窗也固定，故可由公式  $C = \frac{I \times t}{V}$ ， $I$  及  $V$  固定，將充放電的時間帶入，得到所需電容值。
2. 以碳酸丙烯脂為電解液，一般牛糞活性碳做為電極，電容值約為 7.8F/g；金屬牛糞活性碳之電容值約為 12.0F/g。
3. 由上述結果可得知，若以碳酸丙烯脂為電解液，金屬牛糞活性碳之電容量較一般牛糞活性碳之電容量高。
4. 從文獻查詢，電容量超過 1F/g 即稱為超級電容。
5. 以碳酸丙烯酯為電解液，從循環伏安法之結果，可知一般牛糞做電容之電量釋放率約可到達 100%，而金屬牛糞之電量釋放率約為 70%，推測  $\text{CuHPO}_4$  發生改變，且為不可逆的反應。未來我們將進一步做實驗進行探討。

## 陸、結論

1. 以自行設計綠色分析技術之簡易電池組合，分析重金屬離子濃度，分別電流、電壓的量測方式量測  $\text{Cu}^{2+}$  濃度，由實驗結果可知此方式的測量誤差極小，且偵測極限可達  $10^{-6}$  M，對於微量分析相當具有實用的價值。
2. 將燒製後牛糞進行成分分析，發現隨著製造牛糞活性碳的溫度越高，牛糞中所含的磷酸鹽濃度愈高，且其鹼性愈大。
3. 牛糞置於  $\text{Cu}^{2+}$  水溶液，能有效吸附  $\text{Cu}^{2+}$ ，其吸附率可達 99% 以上，吸附效果相當良好。
4. 由實驗證明  $[\text{HPO}_4^{2-}]$  與  $[\text{Cu}^{2+}]$  可產生  $\text{CuHPO}_4$  沉澱反應，沉澱率可達 99% 以上。
5. 牛糞中磷酸鹽之含量愈高對  $\text{Cu}^{2+}$  吸附量愈大。
6. 在  $800^\circ\text{C}$  下燒製的牛糞，含有相當多的微孔，且其大小適當，非常適合用製作超級電容
7. KCl 為電解液對金屬牛糞的簡易電容之效果最佳。
8. 以碳酸丙烯脂為電解液製作的鈕扣型電容，一般牛糞活性碳做為電極，電容值約為 7.8F/g；金屬牛糞活性碳電容值約為 12.0F/g。

## 柒、參考資料及其他

1. 歷屆科展優秀作品。
2. 環保署土壤及地下水整治網 <http://sgw.epa.gov.tw/public/?ctype=B&cid=public&oid=www>。
3. 陳韻婷 阮巽雯,(民 102 年),牛糞活性碳之製造與其孔隙性質,臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告。
4. 國家標準 CNS14573：澱粉及衍生產品之總磷含量之測定—分光光度法。
5. 丁筵祠, 蘇彥誠, 張言丞, 楊育陞, 蘇玄文,(民 99 年),化學電池電流的探討,南臺科技大學化學工程與材料工程系。
6. 吳成有,(民 99 年),超級電容器與空氣電極材料製備分析及其電化學性質研究,國立交通大學材料科學與工程學系博士論文。
7. 張仍奎教授,(民 102 年),超高電容器的製作組裝及量測特色能源教材。
8. Jing-He Yang” Nickel phosphate molecular sieve as electrochemical capacitors material Journal of Power Sources” 2014, 60,169-173.
9. SING KSW” Reporting Physisorption Data for Gas/solid Systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity” Pure & Appl Chem 1985,7(4), 603-619.
10. D. Choi, G. E. Blomgren and P. N. Kumta Adv. Mater 2006, 18,1178.
11. Jianbo Jianga “Electrochemical performance of carbon-coated  $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$  as a cathode material for asymmetric hybrid capacitors” 2013, 107, 59-65.

## **【評語】 040213**

研究利用吸附銅重金屬之牛糞製作超級電容，研究亦有相當的創意，研究有適度的成果，且兼具環保之價值。