

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 工程學(二)科

052413

搖出超級電容

學校名稱：國立新竹高級工業職業學校

作者： 職二 蔡堉憲 職二 俞家祐 職二 彭靖翔	指導老師： 陳華芳
---	------------------

關鍵詞：超級電容

摘要

本實驗利用椰子殼、甘蔗渣和茶葉渣等廢棄物，高溫鍛燒製成不同碳源。與傳統活性碳相比，這些碳源具有更多的表面官能基和中型孔洞，是超級電容的理想材料。我們在製造超級電容時，以氮摻雜的活性碳和特殊膠黏合，並添加不同種類和濃度的電解質（如 H_2SO_4 、 KI 、 KNO_3 、 KOH ）進行實驗，測試其有充電和無充電狀態下的電容值變化。我們成功找出最佳超級電容製造條件，即椰子殼鍛燒於 600°C 、以 H_2SO_4 作為電解質，其充電後的最高電容值達 $200\text{mF}/\text{cm}^2$ ，且在 7 天內保持穩定，未出現衰退現象。透過 CV 圖可證實，此碳材的反應是完全可逆的，非常符合超級電容的性質。這些廢棄物的轉化為高功能性、高附加價值的優秀電子產品，不僅輕巧且便於攜帶，更具有高穩定性，完全符合綠色化學的精神。

壹、研究動機

在日常生活中，我們經常喝椰子汁、甘蔗汁和手搖飲品，然而，這些飲品所產生的椰子殼、甘蔗渣和茶渣等廢棄物不僅佔用空間，還需要進行焚化處理，導致環境髒亂和空氣污染等問題。雖然有人會將這些廢棄物製成堆肥，但我們想創造更大的價值。隨著科技的進步，現代電子產品需要具備高性能、攜帶方便等特點，同時還需要具備高電容量、高工作電壓和穩定性能力。研究表明，超級電容的電極材料主要使用活性碳，其中比表面積、孔徑分布、表面官能基和導電率等因素是最關鍵的。特別是表面官能基可以提高碳材料的比表面積利用率，還可以提高電解質對碳材料的潤濕性，同時在充放電過程中可發生氧化還原反應，從而大幅提高碳材料的比容。為了提高導電性，我們還想利用含氮化合物進行氮摻雜。因此，我們計劃利用椰子殼、甘蔗渣和茶渣等廢棄物，通過高溫隔氧鍛燒的過程，製備出具有表面官能基和多孔結構的碳材料。隨後，加上不同種類、濃度的電解質，製成雙電層電容器，測量其電容值變化，以瞭解其作為超級電容器的可行性。這樣的做法可以將廢棄物轉化為高附加價值的產品，同時也符合綠色化學的理念。

課本名稱	章節名稱	與作品關聯性
普通化學(下)	Ch14 氧化還原與電化學	電雙層電容原理
普通化學(下)	Ch18-2 分子與結構	官能基
分析化學(上)	Ch2 基本原理	藥品濃度計算
基礎化工(下)	Ch12 基礎電工	電路連接方法及電容值計算
基礎化工(下)	Ch12 三用電錶	三用電錶的使用

貳、研究目的

- 一、椰子殼、甘蔗渣及茶渣，以不同溫度鍛燒，做出不同碳源
- 二、設計自製電路來檢測電容並製作，檢測電容
- 三、設計及組裝自制超級電容
- 四、活性碳、不同碳源，用最好的膠，在不同種類、濃度電解質 (H_2SO_4 、 KI 、 KNO_3 、 KOH) 下，做出超級電容，測電容值變化

參、研究設備與器材

器材

夾鏈袋	鍛燒爐	坩鍋	電源供應器
三用電錶	磁力攪拌器	RLC 電錶	恆電位儀
布克納漏斗	濾紙	長尾夾	不鏽鋼板

藥品

尿素	異丙醇	聚乙烯醇	碳紙
硫酸	硫酸鈉	氫氧化鉀	實驗室活性炭
椰子殼	甘蔗渣	茶葉渣	油土

肆、研究過程與方法

一、相關原理

(一) 超級電容

超級電容具有快速充放電的能力和 high 儲能特性，當超級電容與電池結合時，電池可提供常規電能，而超級電容則在需要高瞬間功率時快速釋放能量，從而實現穩壓和緩衝效果，同時縮小了供電模組體積，延長了電池的壽命和使用時間。電雙層電容器是一種超級電容，其儲能原理是通過庫倫靜電力儲存電荷和能量。當外加電場時，正負離子會移動到兩側電極表面，形成一層緻密的電荷層。當外加電場消失時，離子再次脫附開。

超級電容的特點：

1. 傳統靜電電容器是以正負電荷分離的方式儲存靜電能，而電化學電容器則利用高比表面積的電極界面，以電雙層形式分離並儲存正負電荷。目前已有商用化的電化學電容器，其電容量高達 10,000 F 以上。
2. 超級電容器具有 high 比功率特性，能在短時間內釋放儲存的能量，並快速輸出電能以充電，比功率密度高達 1,000-2,000 W/Kg，比起傳統電池高出 20 倍。
3. 電化學電容器充放電效率高達 90-95% 的庫倫效率，轉換能量過程中幾乎沒有能量損耗，能夠有效地利用儲存的能量。
4. 超級電容器的循環壽命長，正負離子吸附與脫附的循環次數可達 100,000 次以上

表 1、儲能裝置之性能比較

	超級電容 器	靜電電容 器	鋰離子電 池	燃料電池
充電時間(h)	1 秒~分鐘	1-30 s	3~4	
充放電效率 (%)	90-95	~100	75-80	50
工作電流(A)	極高	中	中	低
能量密度 Wh/kg	4~10	1-10	100~200	> 200
功率密度 W/kg	> 1000	1000-2000	> 1000	35-1000
安全性	優	優	差	差
環境	零污染	零汙染	低汙染	零污染

(二) 電極比較

1. 不同結構的碳介紹

(1) 活性碳

活性碳的比表面積很大，但其表面積的利用效率低。這是因為活性碳的表面積主要由微孔組成，而能夠形成雙電層電容的孔洞大小至少要大於 2 納米，而活性碳很少符合這一條件。相關文獻指出，當孔壁寬度約為 1 納米左右時，兩個相鄰空間的電荷區開始重疊，進而造成雙電層重疊，導致離子排斥作用而影響離子在孔洞中的排列和儲存。因此，活性碳的大部分表面無法有效地貢獻於電容儲存。

(2) 奈米碳管

奈米碳管擁有中空結構、良好的導電性和高比表面積。因其結構呈現中空狀，非常適合電解液中的離子在其內部移動。

(3) 石墨烯

儘管高導電率和具有相當大的比表面積，但由於其二維結構，容易形成堆疊，阻礙了電解液的流通，進而降低了比表面積。

(三) 天然碳源前驅物

傳統活性碳大部分是由煤等天然碳質物活化而成，但近年來發現農產廢棄物也能作為活性碳的原料，因為它們有著高纖維及低灰分。

1. 椰子殼

椰子殼含灰分 0.33%，木質素 36.51%，纖維素 53.06%，戊聚糖 29.27%，幾乎沒有含硫，且灰分低，非常適合作為活性碳的前驅原料。

2. 甘蔗渣

甘蔗渣一般含蛋白質 2%，纖維素 44-46%，脂肪 0.7%，粗灰分 2-3%

3. 茶葉渣

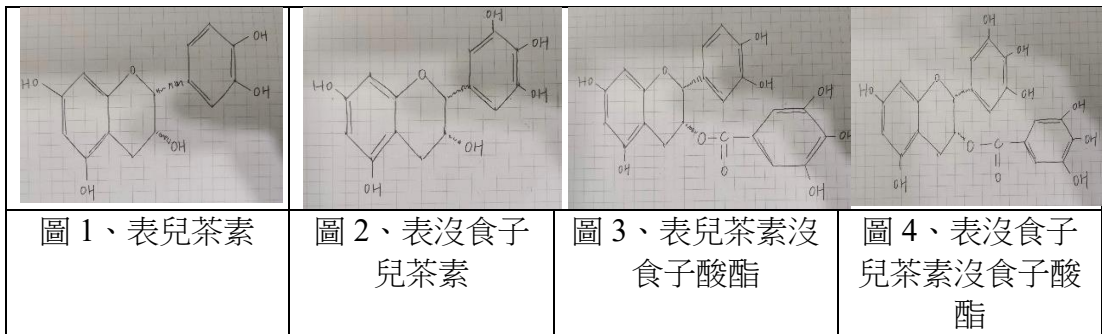
茶葉渣含蛋白質 25.79%、粗纖維 14.55%、總多酚含量為 6.57%、咖啡因為 1.9%、胺基酸為 0.54%、粗灰分 3.68%、0.54%鈣、0.26 磷

(1) 茶多酚

茶葉中約含有 20-25% 的茶多酚，這是一種多酚類物質及其衍生物的總稱，具有不同的 R 基可以區分為黃烷醇類、花色苷類、黃酮類、黃酮醇類和酚酸類等多個類別。在其中的兒茶素，是最為重要的黃烷醇類物質。

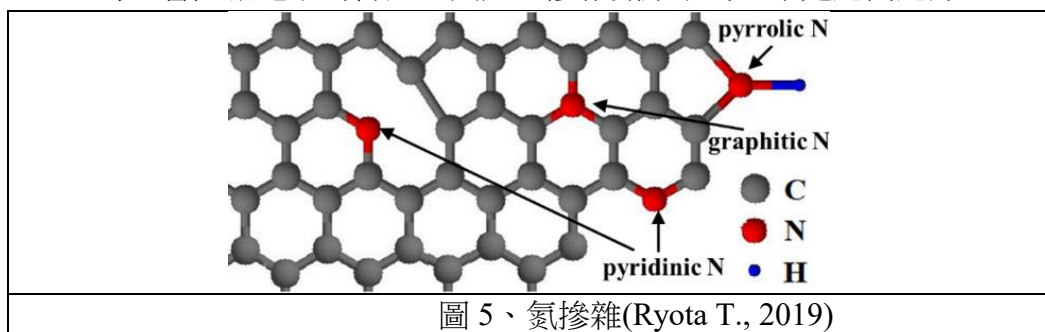
(2) 兒茶素

兒茶素被認為是茶多酚的主要成分，其含量約佔茶多酚含量的 75% 到 80%。兒茶素是一種多元酚，包括表兒茶素 (EC)、表沒食子兒茶素 (EGC)、表兒茶素沒食子酸酯 (ECG) 和表沒食子兒茶素沒食子酸酯 (EGCG) 等 4 種對映異構體。



(四) 氮摻雜

1. 氮原子與碳原子的半徑相近，容易取代碳材料晶格中的碳原子，形成氮摻雜。
2. 氮原子的電子數比碳原子多 1 個，具有高電子親和力，因此氮摻雜後的碳材料中的氮雜原子會擁有高正電荷密度。
3. 摻雜氮原子的碳材料中，氮原子的孤對電子與碳原子晶格 π 鍵共軛，賦予其良好的電化學和催化性能。
4. 將氮摻雜到碳材料中，可以提高非極性碳的親水性，使電解質更易濕潤活性碳；同時，還可以增加電極表面的陽離子密度，進而提高電極的有效比表面積。
5. 摻雜氮原子能夠改變碳材料的物理化學性質，對於活性碳的氮摻雜，可以使用不同的氮源，如氨水、乙二胺、尿素等。其中，以尿素摻雜氮效果最佳。
6. 摻雜氮原子的量愈高，碳材料中的石墨結構缺陷會增加，但當缺陷過多時，會阻礙電子的傳遞。因此，摻雜氮原子的量不是越高越好。



(五) 材料物性分析測試

1. 循環伏安法(Cyclic Voltammetry)

- (1) 循環伏安法是一種電化學分析技術，通常會在一定的電位範圍內進行多個循環，偵測生成的電流，形成一個電位-電流圖(CV 圖)。
- (2) 透過 CV 圖，可以判斷何時會發生氧化反應及反應的可逆性
- (3) 如果反應可逆，CV 圖會呈現上下對稱的曲線；如果反應不可逆，CV 圖則會呈現上下不對稱的曲線。

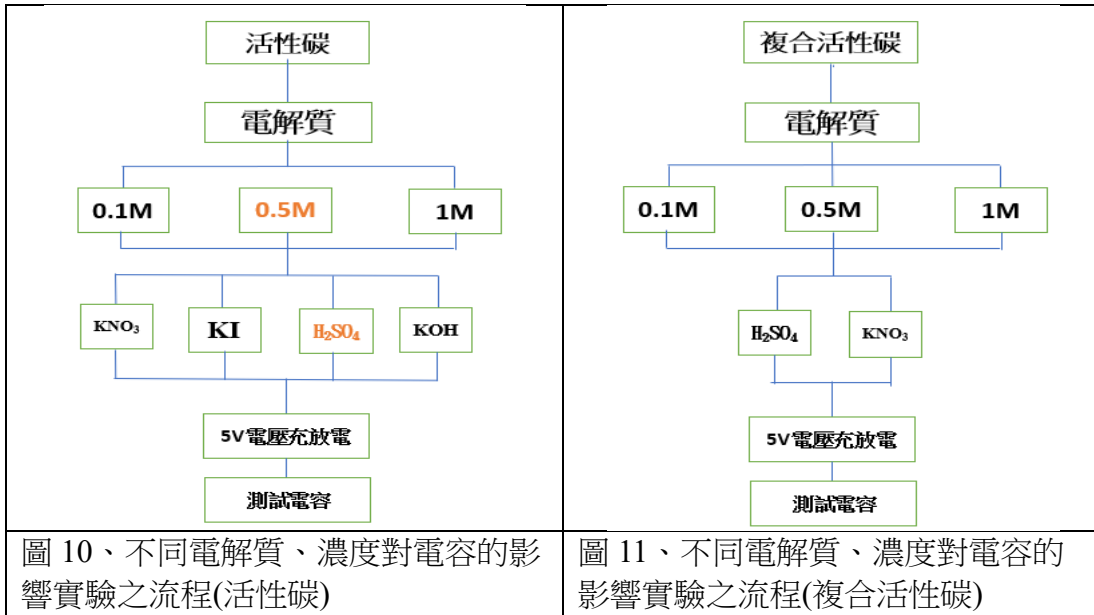
2. 循環壽命測試

循環壽命測試是一種評估電化學能力和穩定性的方法，通常使用二電極系統，在穩定電流狀態下進行一定次數的恆電流充放電循環，並記錄每次循環的電容值變化，以評估其壽命和性能表現。

二、 研究方法

一、 實驗流程





二、 超級電容之電容值測定裝置介紹

1. LCR 電錶: 此設備，只能測非常微量的電容值(μF)。電感 Inductance (L), 電容 capacitance (C) 和電阻 resistance (R)。



圖 12、LCR 電錶 實圖

2. 以三用電表與自製電路，做電容器充放電實驗及測高電容 (根據參考資料 7，所做出的電容測試裝置)

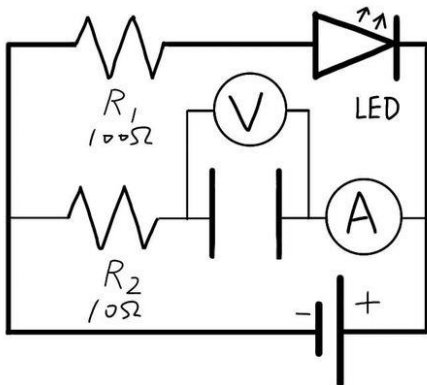


圖 13、電容器充放電實驗 設計圖

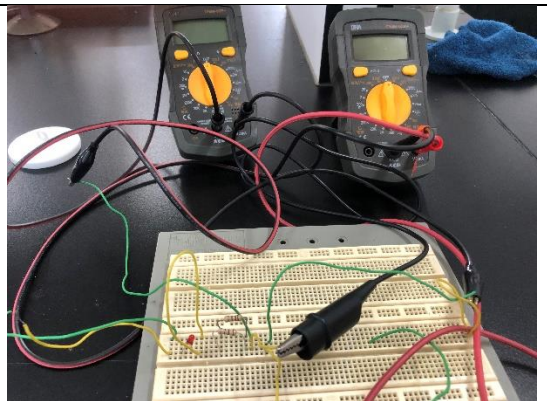


圖 14、電容器充放電實驗 實圖

三、實驗步驟

(一) 建立標準隔氧鍛燒程序

1. 將椰子殼、甘蔗渣、茶葉渣處理成小塊，水洗去除雜質，再用蒸餾水沖洗後，放烘箱 105°C 烘乾，烘 4 小時，為碳源。
2. 碳源，放小坩鍋，並將小坩鍋蓋子反蓋，放大坩鍋中；大坩鍋與小坩鍋縫隙及小坩鍋蓋子，放上活性碳，最後蓋上大坩鍋蓋子。
3. 分別放入鍛燒爐以 400、600、800°C，鍛燒 3 小時。

(二) 製備氮摻雜活性碳與氮摻雜碳源

1. 配尿素與活性碳重量比為 1:1、1:2、1:4 的氮摻雜活性碳
 - (1) 3 個燒杯各裝 10 克、5 克、2.5 克尿素，都倒入 10 克活性碳，加水至燒杯一半，加熱至 200°C，5 小時。
 - (2) 產物過濾，蒸餾水沖洗，確保尿素沒有殘留，105°C 烘 2 小時。
2. 配尿素與不同碳源重量比為 1:1、1:2、1:4 的氮摻雜碳源
 - (1) 不同碳源為 400、600、800°C 鍛燒的椰子殼、甘蔗渣、茶渣。

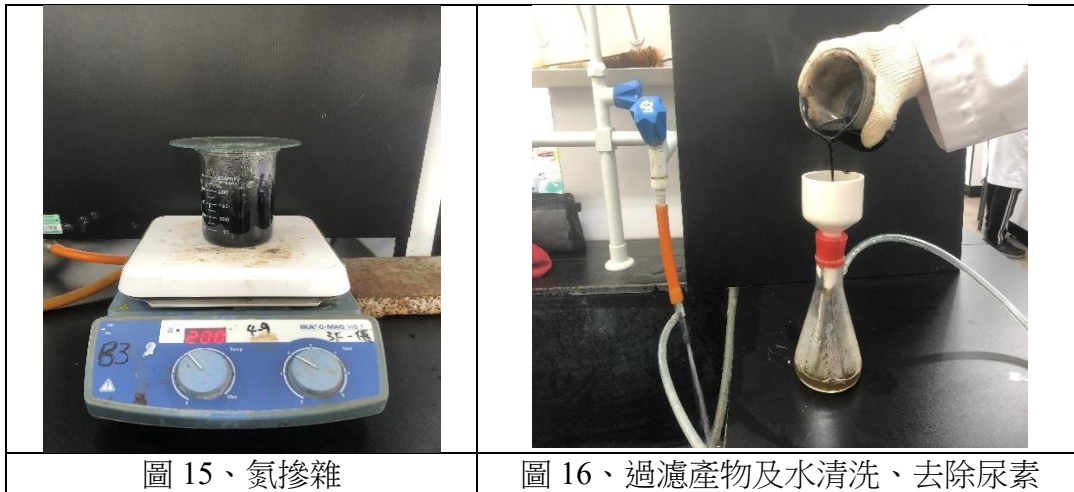


圖 15、氮摻雜

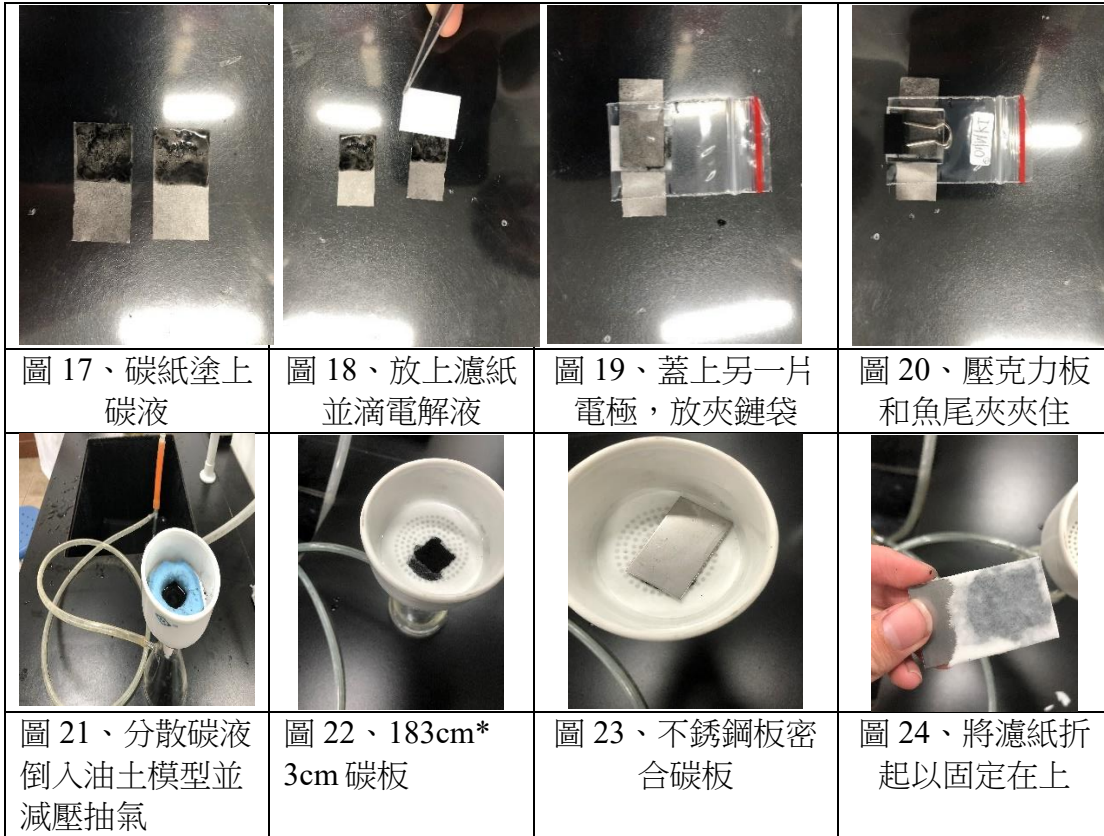
圖 16、過濾產物及水清洗、去除尿素

(三) 配 0.1M、0.5M、1M 電解質(H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH)水溶液

(四) 超級電容：第一代、第二代及第三代

1. 裁切兩片 1.5cm*3cm 的碳紙及 1.5cm*2cm 濾紙。
2. 兩片碳紙(1.5cm*1.5cm)塗碳液黏著劑，滴加 0.05ml 的電解液於濾紙，放兩片碳紙間，此為第一代超級電容。
3. 夾鏈袋包住電容，放兩片壓克力間，長尾夾夾住，保麗龍膠密封夾鏈袋，此為第二代超級電容。
4. 秤取 0.05 克的碳材分散於 10 毫升的酒精中，並倒入放好濾紙的吸濾裝置之油土模型中，抽氣一分鐘便將 3 cm*5cm 的不銹鋼板密合在濾紙上的碳板，將多餘的濾紙往不銹鋼板上折以固定在上面
5. 同上步驟再做一個相同的電極，並各在電極上滴 0.25ml 的電解液，將兩片含碳板的那一面接觸並放入夾鏈袋中封裝，放兩片壓克力間，長尾夾夾住，此為第三代超級電容。

6. 以 5V 充電 1 分鐘並放電，測試電容值。



(五) 不同比例的碳液黏著劑對超級電容之電容的影響

1. 調整碳液黏著劑比例

- (1) 配聚乙烯醇膠:10 克聚乙烯醇及 90 克水混合，加熱 80°C，2 小時。
- (2) 配製六種黏著劑:異丙醇、聚乙烯醇膠、活性炭、水，以下表混合加熱攪拌，即可。

表 4、碳液黏著劑比例(異丙醇:聚乙烯醇膠:活性炭:水)

	1 號	2 號	3 號	4 號	5 號	6 號
異丙醇	2g	2g	2g	2g	2g	2g
聚乙烯醇膠	5g	5g	5g	2.5g	10g	5g
活性炭	2g	4g	1g	2g	2g	8g
水	10g	10g	10g	10g	10g	10g

(六) 不同充電電壓對 0.5M H₂SO₄ 電解質超級電容(活性炭)之電容影響

1. 兩片 1.5cm*3cm 碳紙，塗 3 號活性炭液黏著劑。
2. 濾紙 1.5cm*2cm，滴上電解液(0.5M H₂SO₄)，組成超級電容。
3. 以 1V、3V、5V 充電，用 RLC 電錶測電容值

(七) 5V 充放電，對 0.5M H₂SO₄ 超級電容(活性炭)3 小時電容變化

1. 以 5V 充放電，對 0.5M H₂SO₄ 超級電容(活性炭)3 小時內電容變化。




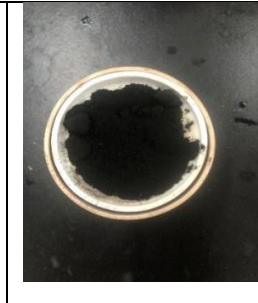
(八) 有、無充電，對 0.1、0.5、1M H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH 超級電容(活性炭)之電容

影響

1. 兩片 1.5cm*3cm 碳紙，塗 3 號活性碳液黏著劑。
 2. 濾紙 1.5cm*2cm，滴上電解液(0.1M、0.5M、1M 的 H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH)組成超級電容，測未充放電容值。
 3. 以 5V 充電後，5 分鐘後測電容值。
- (九) 0.1、0.5、1M H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH 超級電容(活性碳)，5V 充電，七天內之電容值變化
1. 續步驟(八)，測試後續 1、2、3、5、6 天的電容值。
- (十) 0.5M (H₂SO₄、KOH) 超級電容(不同鍛燒溫度、不同碳源)充電後，電容變化
1. 不同碳源為 400、600、800°C 鍛燒的椰子殼、甘蔗渣、茶葉渣。
 2. 3 號黏著劑、不同碳源和 H₂SO₄、KOH 兩種電解質做超級電容。
 3. 用 LCR 電錶，測電容值。
- (十一) 不同濃度、種類電解質超級電容(氮摻雜活性碳)之電容
1. 步驟二的氮摻雜活性碳做成 3 號活性碳液黏著劑。
 2. 同步驟(八)1、2、3。
- (十二) 使用自製電路測試第三代電容(0.5M H₂SO₄、不同鍛燒溫度、不同碳源)
1. 接上第三代超級電容，以 3V 充電 400 秒，並關掉電源放電 400 秒
 2. 每 3 秒紀錄伏特計及安培計的讀值
 3. 繪製成圖並計算電容值

伍、 研究結果

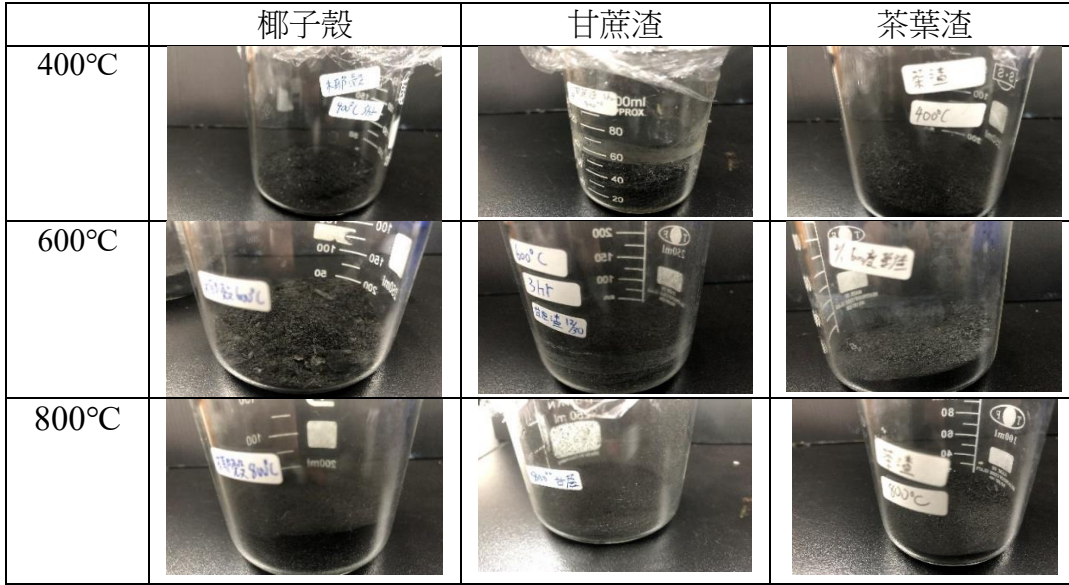
一、 建立標準隔氧鍛燒程序

			
<p>圖 25、水洗椰子殼並烘乾</p>	<p>圖 26、碳源放小坩鍋、縫隙填入活性炭</p>	<p>圖 27、反蓋上小坩鍋的蓋子</p>	<p>圖 28、在蓋子上放活性炭並蓋上大坩鍋蓋子</p>

二、 鍛燒碳源與製備氮摻雜活性碳與氮摻雜碳源

- (一) 不同碳源：椰子殼、甘蔗渣、茶葉渣鍛燒 400、600、800°C。
- (二) 將氮摻雜後的活性碳與鍛燒後碳源減壓過濾並用蒸餾水沖洗

表 7、椰子殼、甘蔗渣、茶葉渣鍛燒後的照片



三、 不同比例的碳液黏著劑對超級電容之電容的影響
比例見表 4 碳液黏著劑比例

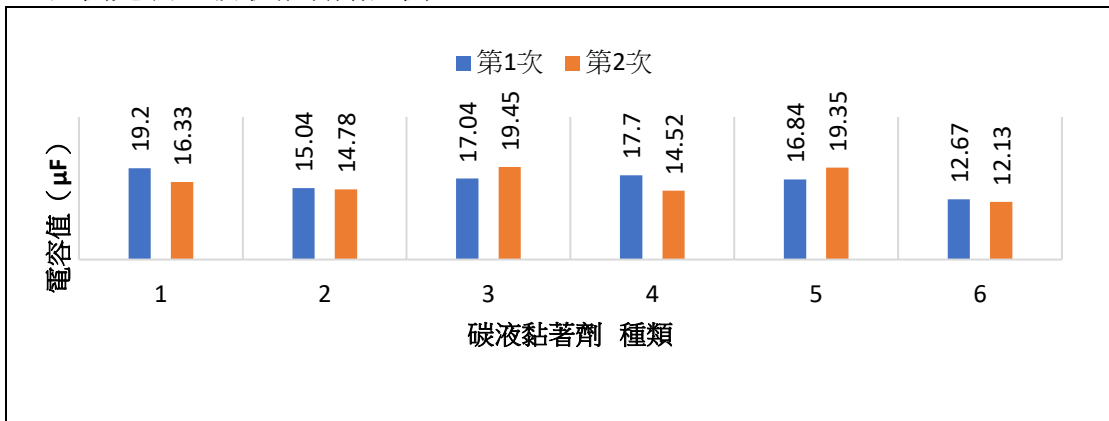


圖 29、不同比例的碳液黏著劑對超級電容之電容影響

四、 不同充電電壓，對 0.5M H₂SO₄ 電解質超級電容之電容影響

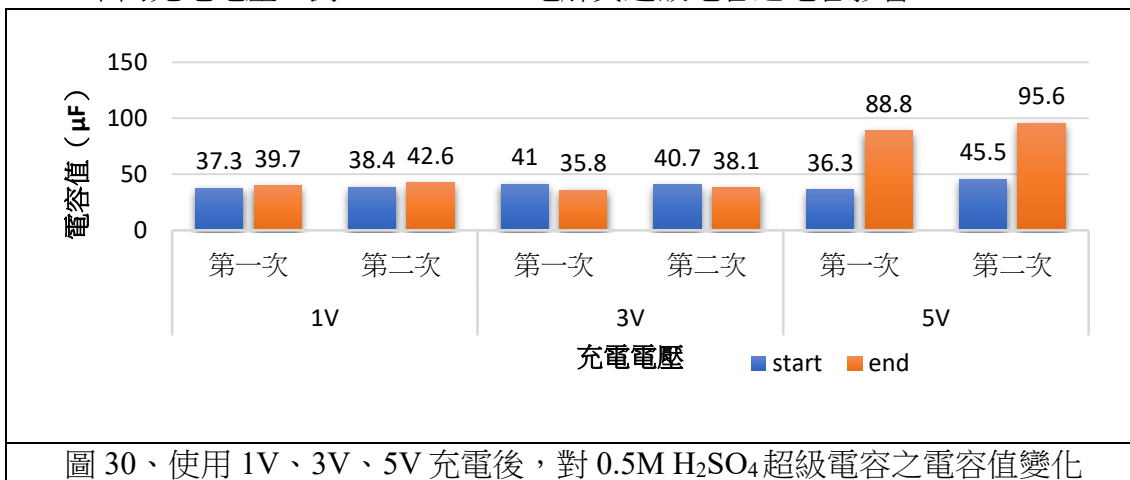


圖 30、使用 1V、3V、5V 充電後，對 0.5M H₂SO₄ 超級電容之電容值變化

五、以 5V 充電，對 0.5M H₂SO₄ 超級電容(活性碳)之三小時電容變化

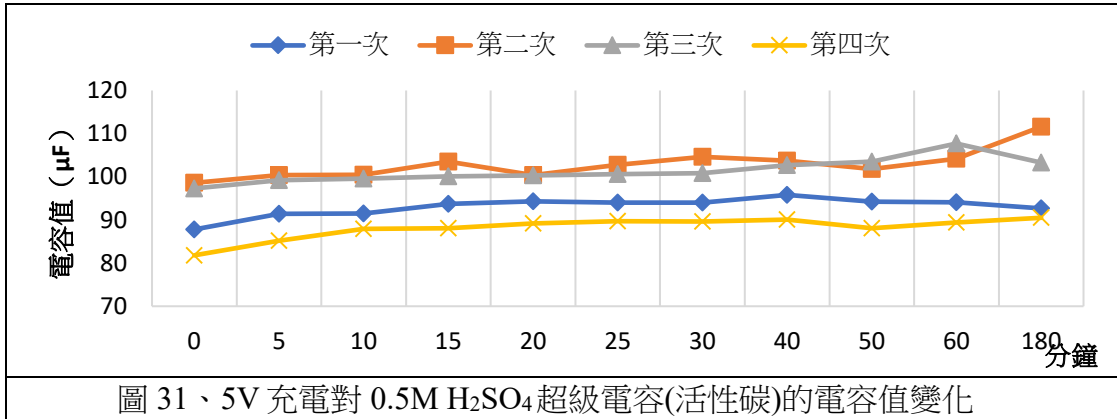


圖 31、5V 充電對 0.5M H₂SO₄ 超級電容(活性碳)的電容值變化

六、有、無充電，對 0.1、0.5、1M H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH 超級電容(活性碳)之電容影響

(一) 有、無充電，對電解質 H₂SO₄ 超級電容(活性碳)之電容影響
(有、無 5V 充電五分鐘電容 H₂SO₄ 活性碳超級電容 3 號黏著劑)

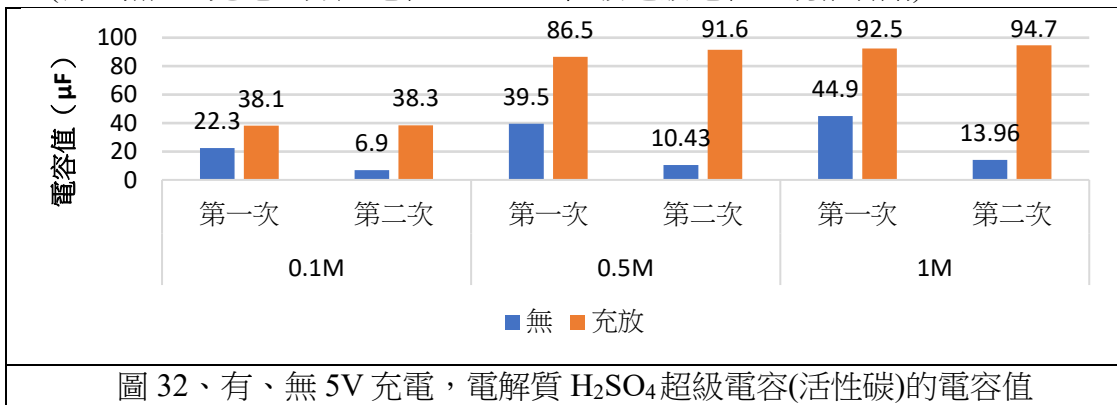


圖 32、有、無 5V 充電，電解質 H₂SO₄ 超級電容(活性碳)的電容值

(二) 有、無充電，對電解質 KI 超級電容(活性碳)之電容影響
(有、無 5V 充電五分鐘電容 KI 超級電容(活性碳) 3 號黏著劑)

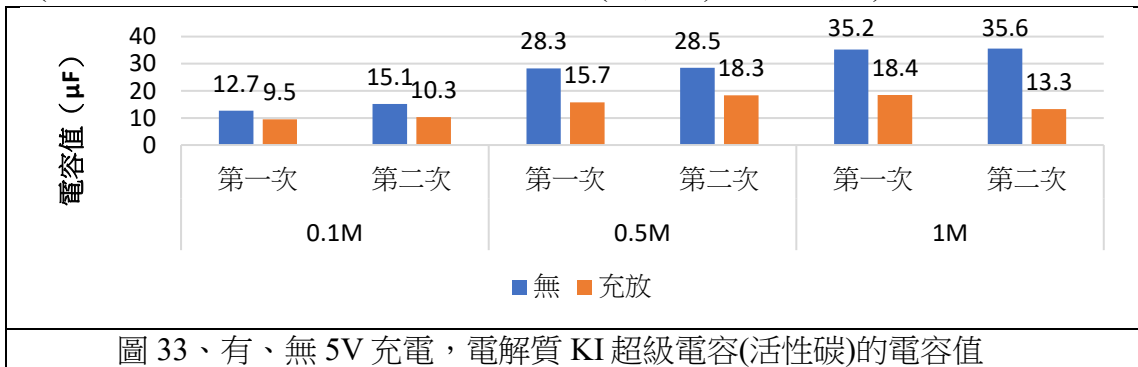


圖 33、有、無 5V 充電，電解質 KI 超級電容(活性碳)的電容值

(三) 有、無充電，對電解質 KNO₃ 超級電容(活性碳)之電容影響
(有、無 5V 充電五分鐘電容 KNO₃ 超級電容(活性碳) 3 號黏著劑)

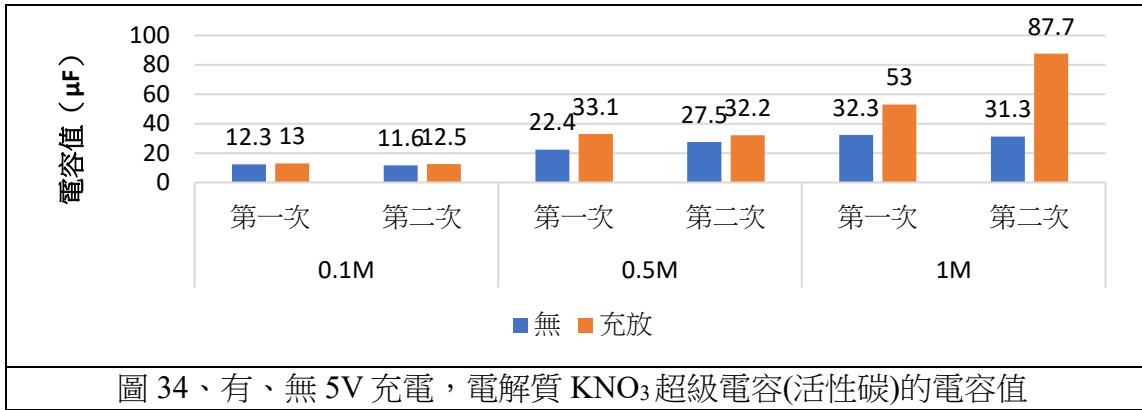


圖 34、有、無 5V 充電，電解質 KNO₃ 超級電容(活性碳)的電容值

(四) 有、無充電，對電解質 KOH 超級電容(活性碳)之電容影響
(有、無 5V 充電，五分鐘電容 超級電容(活性碳) 3 號黏著劑)

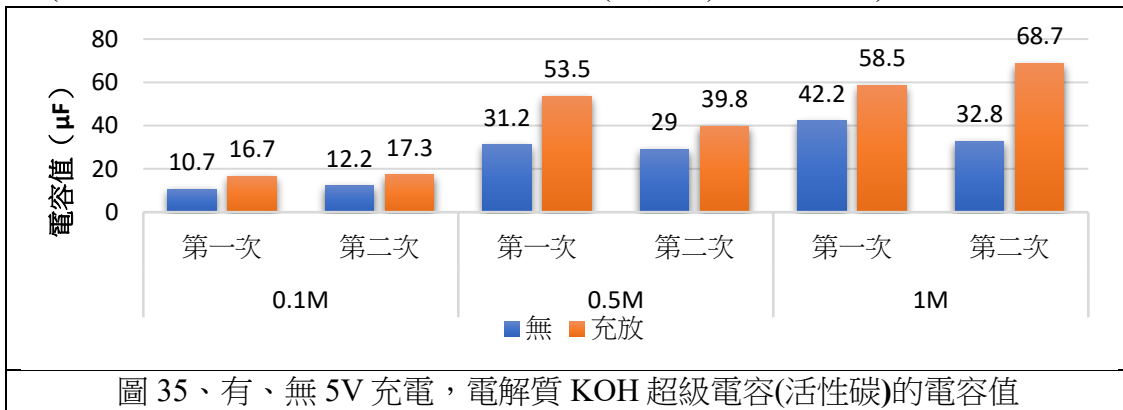


圖 35、有、無 5V 充電，電解質 KOH 超級電容(活性碳)的電容值

七、 不同種類、濃度電解質活性碳超級電容充電後，電容變化

(5V 充電不同濃度 H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH 超級電容 3 號黏著劑)

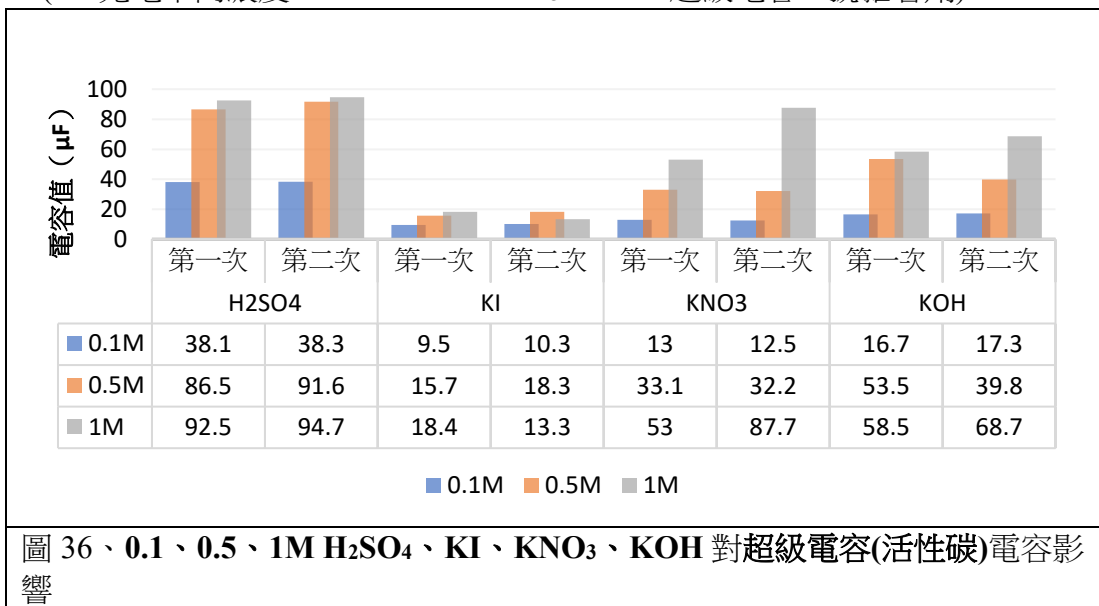


圖 36、0.1、0.5、1M H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH 對超級電容(活性碳)電容影響

八、0.1、0.5、1M H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH 超級電容(活性碳)，5V 充電，七天內之電容值變化

(一) 電解質 H₂SO₄ 超級電容，5V 充電，七天內之電容值變化

(5V 充電，七天內之電容 H₂SO₄ 超級電容(活性碳) 3 號黏著劑)

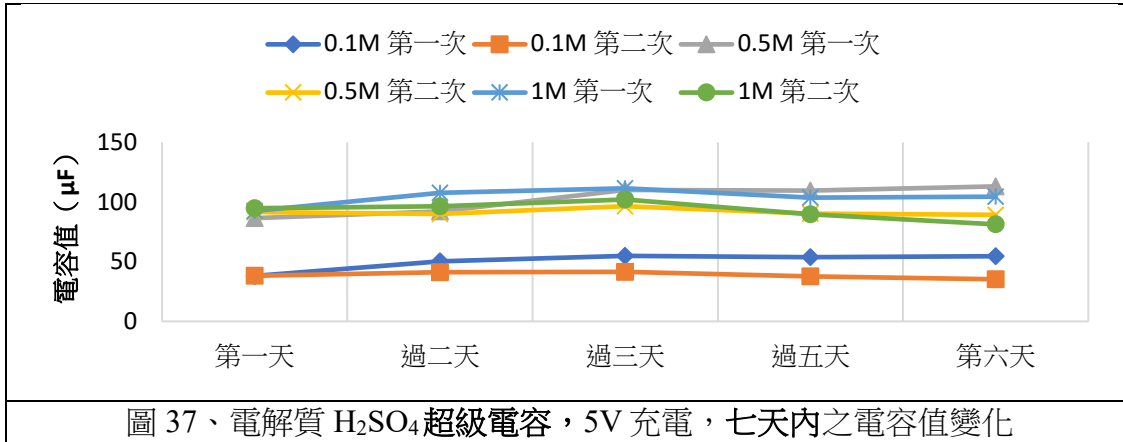


圖 37、電解質 H₂SO₄ 超級電容，5V 充電，七天內之電容值變化

(二) 電解質 KI 超級電容，5V 充電，七天內之電容值變化

(5V 充電，七天內之電容 超級電容(活性碳) 3 號黏著劑)

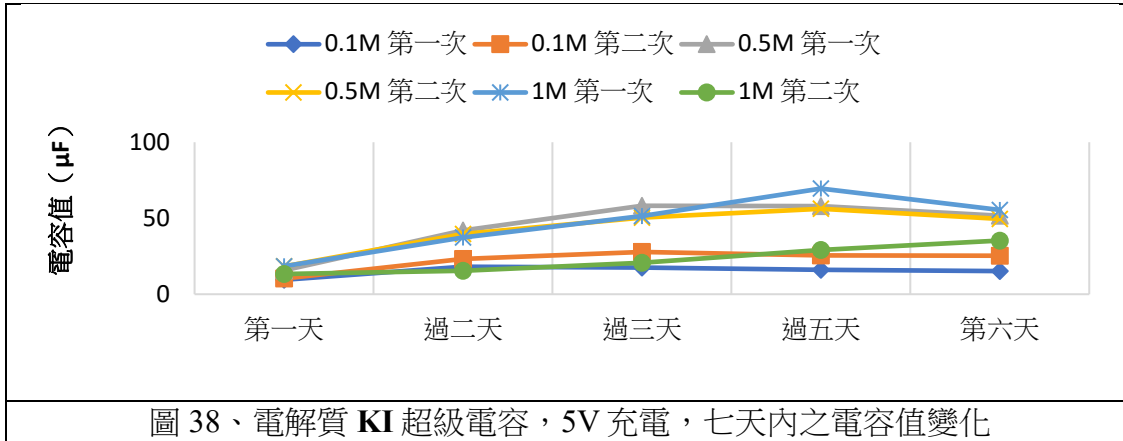


圖 38、電解質 KI 超級電容，5V 充電，七天內之電容值變化

(三) 電解質 KNO₃ 超級電容，5V 充電，七天內之電容值變化

(5V 充電，七天內之電容 超級電容(活性碳) 3 號黏著劑)

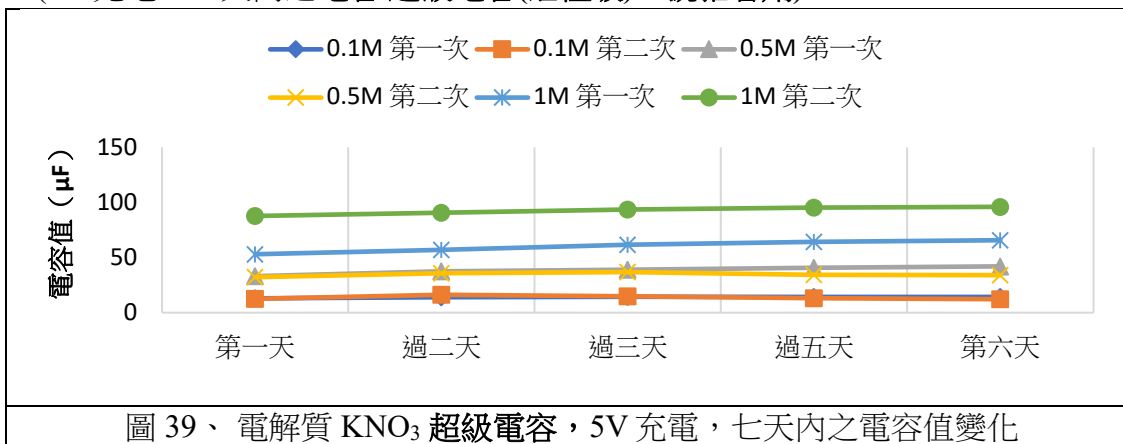


圖 39、電解質 KNO₃ 超級電容，5V 充電，七天內之電容值變化

(四) 電解質 KOH 超級電容，5V 充電，七天內之電容值變化
(5V 充電，七天內之電容 超級電容(活性碳) 3 號黏著劑)

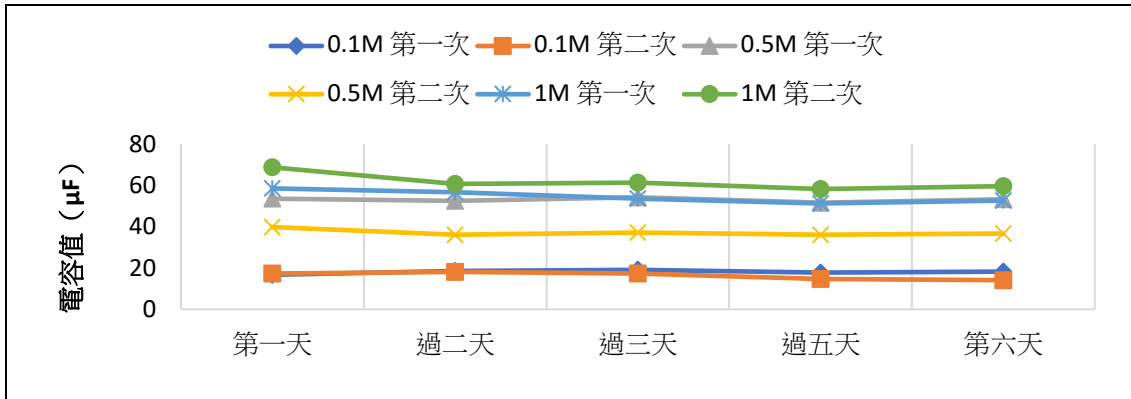


圖 40、電解質 KOH 超級電容，5V 充電，七天內之電容值變化

九、 0.5M (H₂SO₄、KOH) 超級電容(不同鍛燒溫度、不同碳源)
有、無充電後，電容變化

(一) 0.5MH₂SO₄ 不同碳源 400°C 超級電容，有、無充電，電容變化

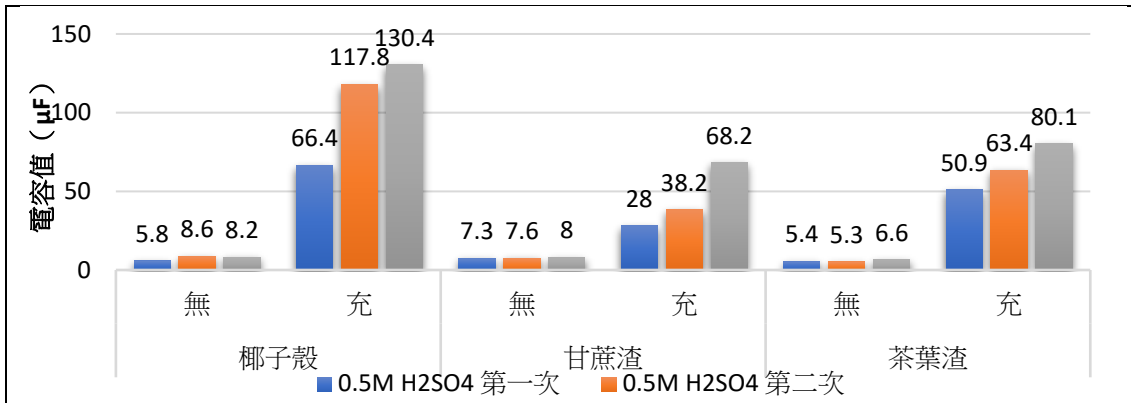


圖 41、鍛燒 400°C 不同碳源、0.5M H₂SO₄ 超級電容充電後，電容變化

(二) 0.5MKOH 不同碳源 400°C 超級電容，有、無充電，電容變化

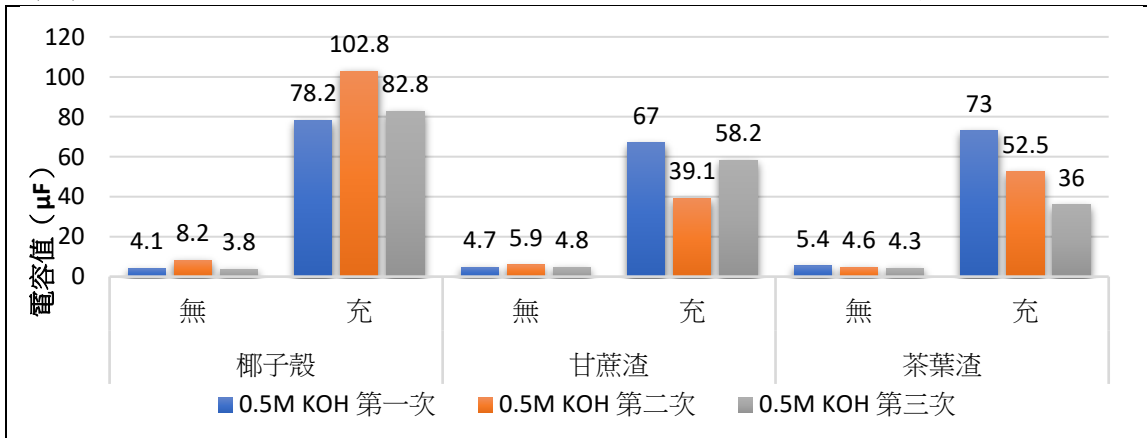


圖 42、鍛燒 400°C 不同碳源、0.5MKOH 超級電容充電後，電容變化

(三) 0.5MH₂SO₄不同碳源 600°C超級電容，有、無充電，電容變化

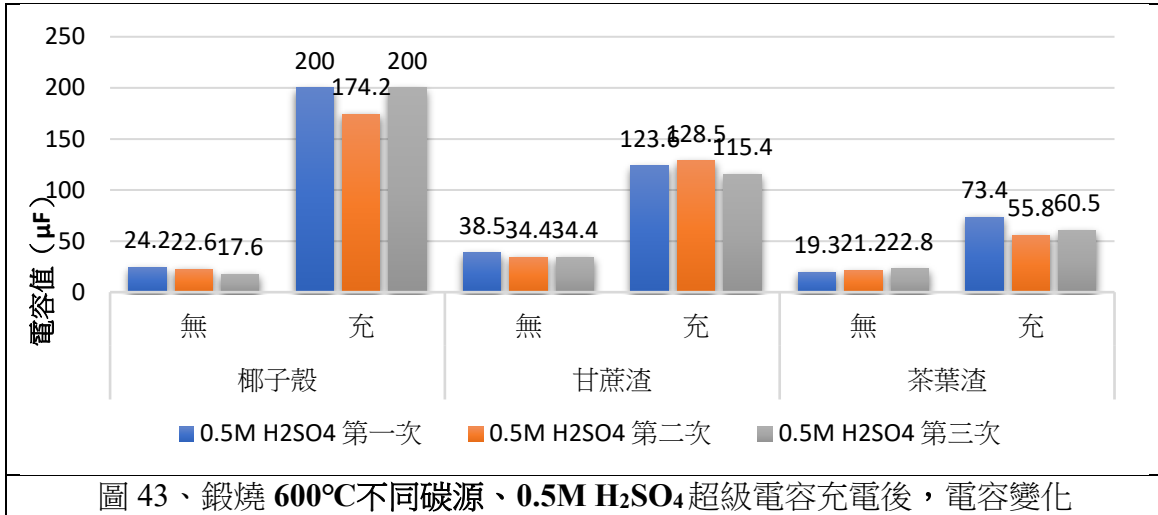


圖 43、鍛燒 600°C不同碳源、0.5M H₂SO₄超級電容充電後，電容變化

(四) 0.5MKOH不同碳源 600°C超級電容，有、無充電，電容變化

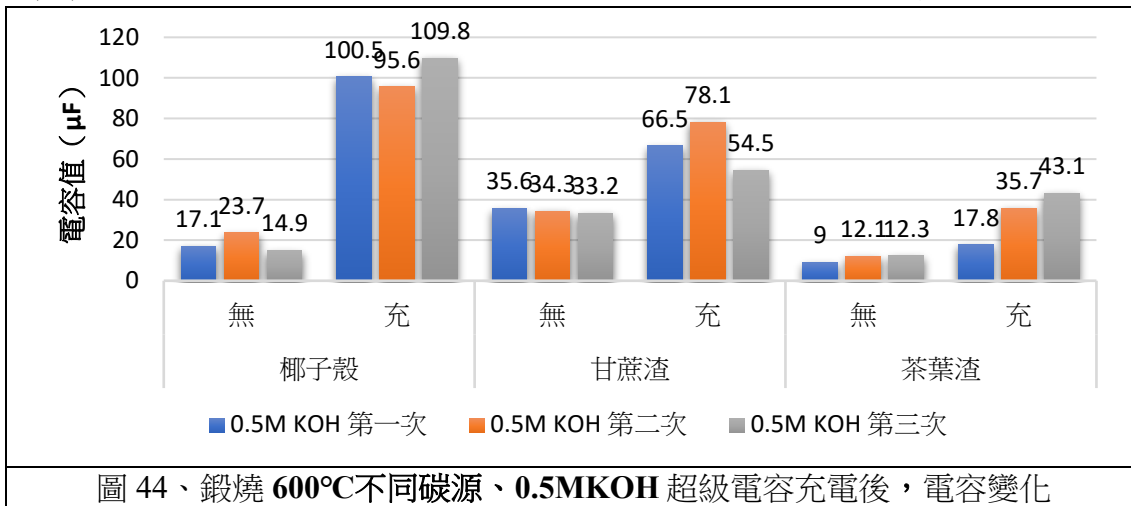


圖 44、鍛燒 600°C不同碳源、0.5MKOH 超級電容充電後，電容變化

(五) 0.5MH₂SO₄不同碳源 800°C超級電容，有、無充電，電容變化

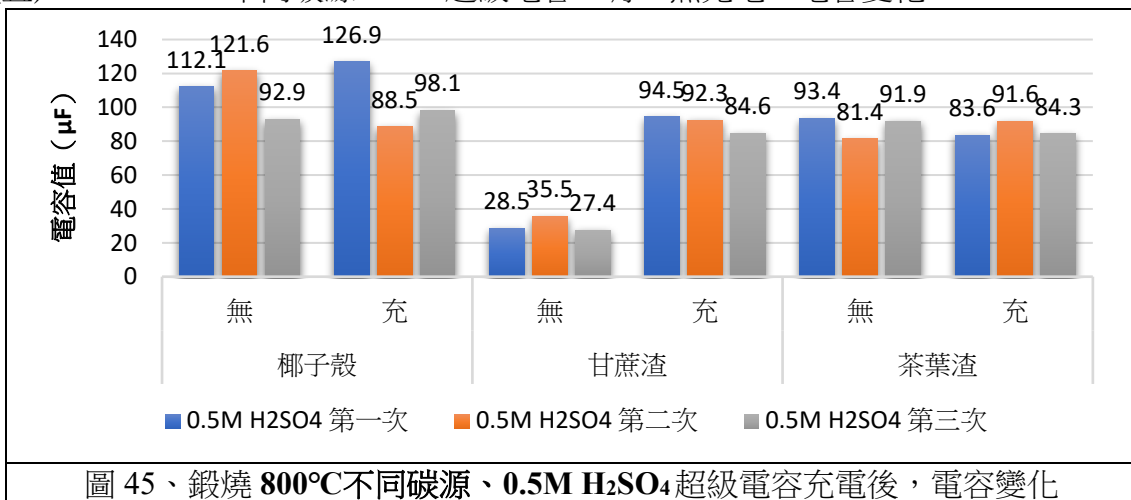


圖 45、鍛燒 800°C不同碳源、0.5M H₂SO₄超級電容充電後，電容變化

(六) 0.5MKOH 不同碳源 800°C超級電容，有、無充電，電容變化

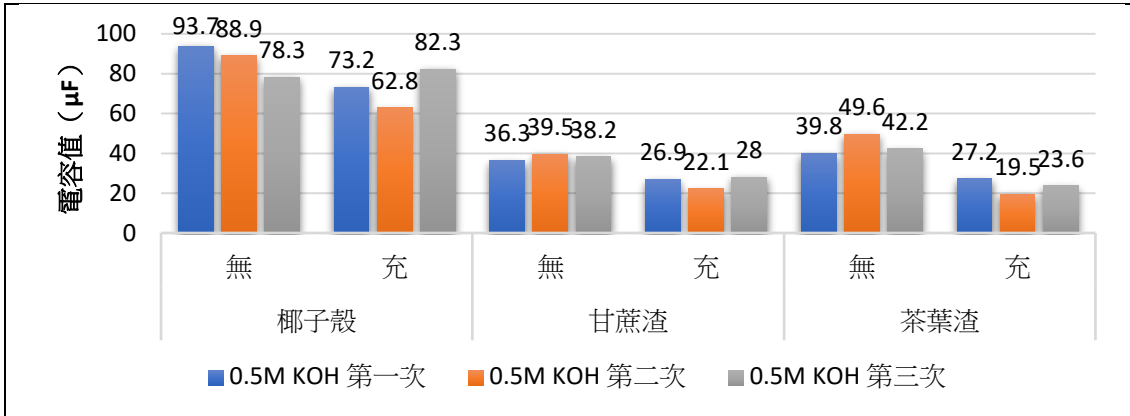


圖 46、鍛燒 800°C不同碳源、0.5MKOH 超級電容充電後，電容變化

十、 0.5MH₂SO₄、KOH 超級電容(不同溫度、不同碳源)充電之電容

(一) 0.5MH₂SO₄、KOH 不同碳源 400°C超級電容，5V 充電電容

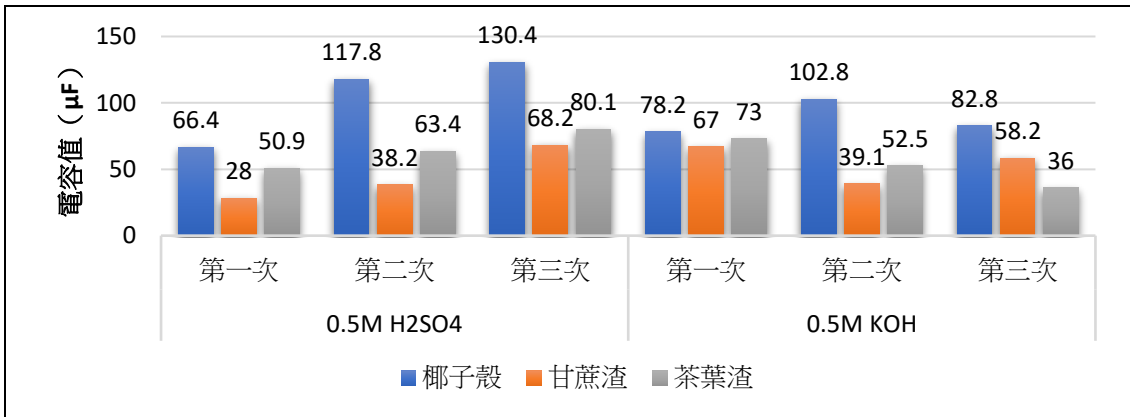


圖 47、0.5MH₂SO₄、KOH 電解質、不同碳源 400°C超級電容 5V 充電之電容值

(二) 0.5MH₂SO₄、KOH 不同碳源 600°C超級電容，5V 充電之電容

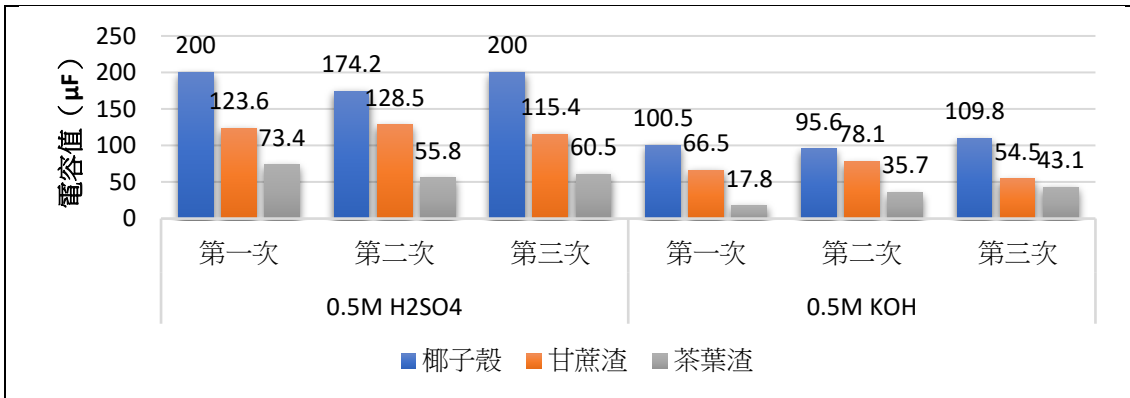


圖 28、0.5MH₂SO₄、KOH 電解質、不同碳源 600°C超級電容，5V 充電之電容值

(三) 0.5M H₂SO₄、KOH 電解質、不同碳源 800°C 超級電容，5V 充電之電容

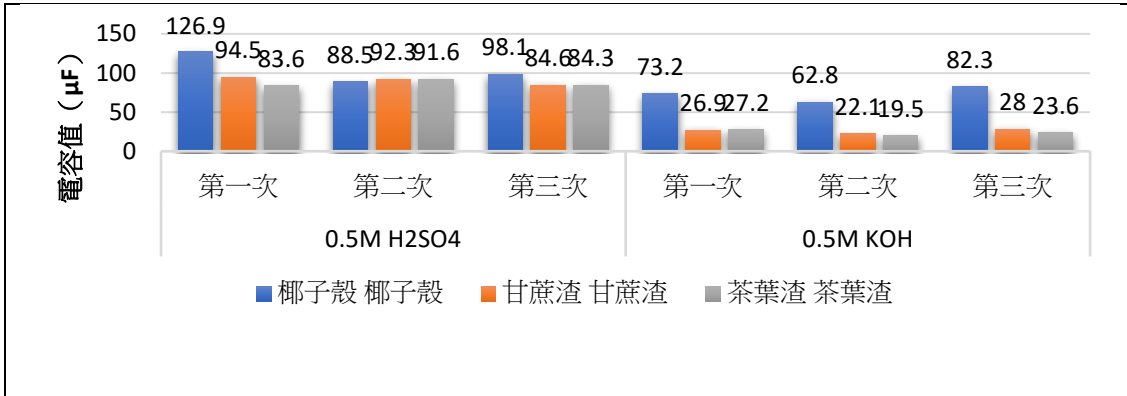


圖 49、0.5M H₂SO₄、KOH 電解質、不同碳源 800°C 超級電容，5V 充電之電容值

十一、不同濃度、種類電解質超級電容(氮摻雜活性碳)之電容

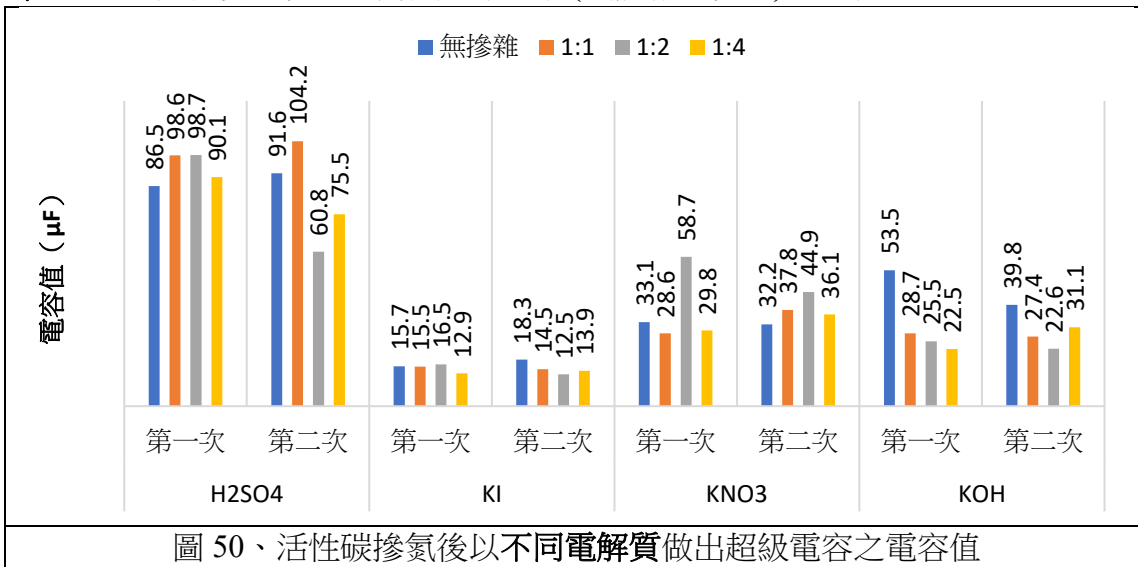


圖 50、活性碳摻氮後以不同電解質做出超級電容之電容值

十二、0.5M H₂SO₄ 800°C 椰子殼第三代電容第三代超級電容的 CV 圖

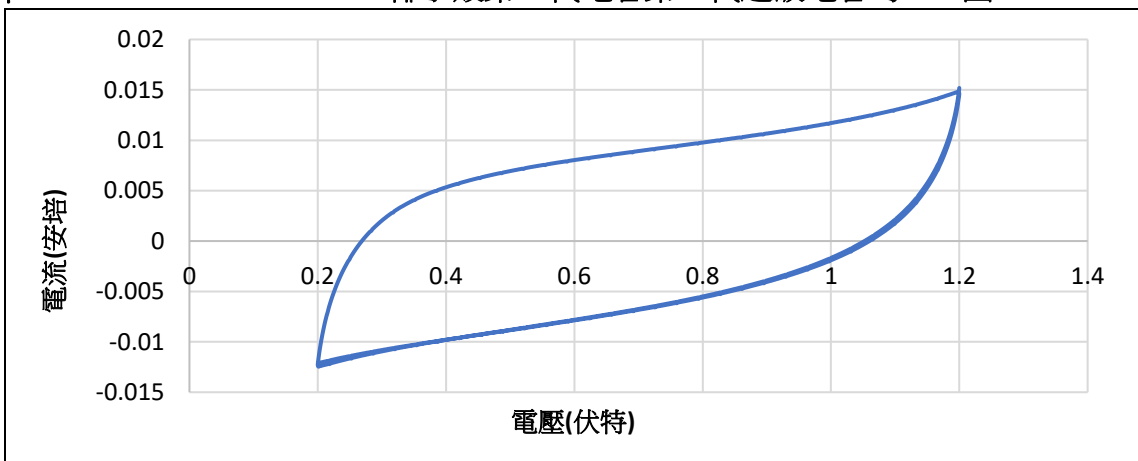


圖 51、0.5M H₂SO₄ 800°C 椰子殼第三代超級電容的 CV 圖

陸、討論

一、建立標準隔氧鍛燒程序

(一) 由圖 27、28、29、30，得知

1. 不同碳源，在大坩鍋與小坩鍋縫隙及小坩鍋蓋子上，放活性炭，鍛燒 3 小時，是為了完全隔絕氧氣。由於小坩鍋外的活性炭先進一步的與氧氣作用成為二氧化碳，使坩鍋內達到無氧狀態。
2. 沒有完全隔絕氧氣時，
 - (1) 椰子殼，成品量很少，且有灰分。
 - (2) 甘蔗渣、茶葉渣都會變成灰分。

二、製備氮摻雜活性炭與氮摻雜碳源

氮摻雜時保持溶液在 250ml 的一半，在經過減壓抽吸時要確實使用蒸餾水沖洗碳，等到吸濾瓶無黃色即可。

三、超級電容：第一代、第二代及第三代

(一) 第一代電容:碳紙/複合活性炭/膠/電解質

1. 如圖 52 所示，第一代的電容，電容值差及難以保存(電解質中水分會蒸發)。
2. 改進，做出第二代。

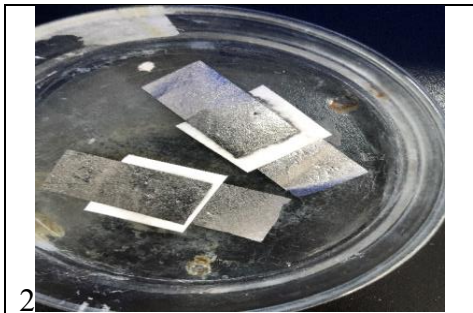


圖 52、第一代超級電容實際圖

(二) 第二代電容：第一代電容+壓克力板來夾緊+夾鏈袋封裝

1. 用透明且硬壓克力板夾緊電容，測電容值比第一代電容高
2. 用夾鏈袋封裝，電解液水分，較不易蒸發。

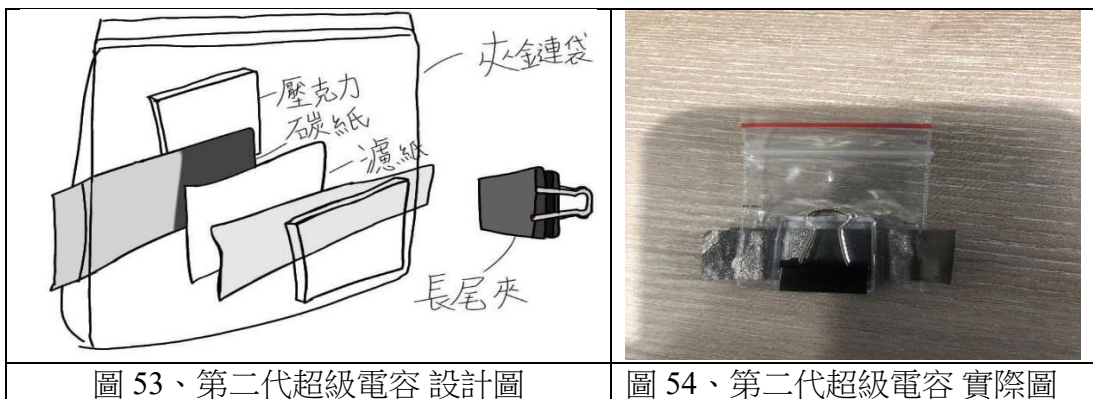


圖 53、第二代超級電容 設計圖

圖 54、第二代超級電容 實際圖

(三) 第三代：極板用鐵板/複合活性炭/膠/電解質

1. 極板用鐵板，增加複合活性炭的量，來增加電容值。
(第二代電容值，還是不大。因碳紙能放的碳量，有限)

四、不同比例的碳液黏著劑對超級電容之電容的影響

- (一) 由圖 29，得知:超級電容使用不同比例的碳液黏著劑，其
1. 電容值: 3 號黏著劑 > 5 號黏著劑 > 1 號黏著劑。
 2. 3 號黏著劑，黏度達要求；且消耗碳量是 1 號黏著劑的一半。
 3. 後續實驗，選擇 3 號黏著劑

五、不同充電電壓，對 0.5M H₂SO₄ 電解質超級電容之電容影響

- (一) 由圖 30，得知: 超級電容充電後，
1. 電容值: 充電 5V > 充電 3V > 充電 1V。
 2. 充電 5V，電容值明顯上升；但些微電解，沒做更高電壓。
 3. 後續實驗，都是以 5V 充電後的電容值來記錄。

六、5V 充放電，對 0.5MH₂SO₄ 超級電容(活性碳)之三小時電容變化

- (一) 由圖 31，得知:
1. 電容值:三小時中，電容隨時間上升，前五分鐘上升，最明顯。
 2. 後續實驗，都是以 5V 充電後，五分鐘的電容值來記錄。

七、有、無充電，對 0.1、0.5、1M H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH 超級電容(活性碳)之電容影響

- (一) 由圖 32、33、34、35，得知: 相同濃度電解質超級電容，5V 充電後
1. H₂SO₄、KNO₃、KOH，電容值都增加，以 H₂SO₄ 最明顯；KI 減少。
(1)KI 的超級電容，充電後，溶液變藍色。
(2)推測 5V 充電，KI(aq)已電解，故電容值減少
 2. 後續實驗，都是以 5V 充電後，五分鐘的電容值來記錄。

- (二) 由圖 36，得知:
1. 電解質濃度增加，電容值也上升；以 0.5M 上升幅度最大。
 2. 相同濃度電解質，電容值：H₂SO₄ > KNO₃ > KOH > KI。
 3. 推論:(1)H₂SO₄ 的介電係數和離子遷移速率，都很高。
(2)KNO₃ 含氮原子，含氮量愈高，吸引愈多陰、陽離子。

八、0.1、0.5、1M H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH 超級電容(活性碳)，5V 充電，七天內之電容值變化

- (一) 由圖 37、38、39、40，得知:
1. 超級電容，使用 (0.1、0.5、1M H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH)，
(1) 七天內，電容值變化不大；表示電容很穩定。

九、有、無充電對 0.5M (H₂SO₄、KOH) 超級電容(不同鍛燒溫度、不同碳源)之電容影響

- (一) 由圖 41、42、43、44、45、46 得知，超級電容，
1. 有充電，電容最大者: 椰子殼鍛燒 600°C、電解質 H₂SO₄。
 2. 無充電，電容最大者: 椰子殼鍛燒 800°C、電解質 H₂SO₄。
- (二) 5V 充電，電容變大者:
1. 不同碳源...椰子殼、甘蔗渣、茶渣，
 2. 鍛燒溫度 400°C、600°C，
 3. 電解質 H₂SO₄、KOH。

(三) 充電，電容略微變小: 鍛燒 800°C、電解質 H₂SO₄、KOH 不同碳源。

(四) 對電解質(H₂SO₄、KOH)、椰子殼，

1. 無充電，電容值: 鍛燒 800°C > 鍛燒 600°C > 鍛燒 400°C，
2. 有充電，電容值: 鍛燒 600°C > 鍛燒 400°C > 鍛燒 800°C，

(五) 推論: 超級電容 效果要好: 單位體積中等，要有很多的

1. 中等孔洞...陰、陽離子可以自由進出，
2. 含氮、氧原子(或官能基)...吸引陰、陽離子靠近，
3. 愈高溫，碳化效果佳，可製造如石墨般(六邊形)很多的孔洞；所以無充電，鍛燒 800°C 超級電容之電容值最大。
4. 太高溫，含氮、氧原子(官能基)變少，難吸引陽離子靠近。
故鍛燒 600°C 超級電容之電容最大。
因孔洞和含氮、氧官能基共存。

十、0.5M (H₂SO₄、KOH) 超級電容(不同鍛燒溫度、不同碳源)充電後電容值

(一) 由圖 47、48、49 得知，超級電容，

1. 電容最大者: 椰子殼鍛燒 600°C、電解質 H₂SO₄。
2. 電容最差者: 茶葉渣鍛燒 800°C、電解質 KOH。
3. 對電解質(H₂SO₄、KOH)、椰子殼，
(1) 有充電，電容值: 鍛燒 600°C > 鍛燒 800°C > 鍛燒 400°C，
4. 電解質為 H₂SO₄ 或 KOH，或鍛燒溫度，電容最大者，都是椰子殼。
5. 推論:
(1) 椰子殼纖維素為 β-葡萄糖的聚合物，適合的中等孔洞。
(2) 椰子殼纖維素含氧原子或醇基...吸引陰、陽離子。
(3) 鍛燒 600°C 電容最大，因孔洞數目和含氧原子共存，達平衡。

十一、不同濃度、種類電解質超級電容(氮摻雜活性碳)之電容

(一) 由圖 50 得知，氮摻雜活性碳超級電容，

1. 電容最大: 電解質 H₂SO₄、氮摻雜活性碳(氮與碳重量比=1:1)。
2. 相同氮摻雜活性碳比，電容值: 電解質 H₂SO₄ > KNO₃ > KOH > KI。
3. 推論:
(1) 氮摻雜活性碳比愈高，含氮量愈高，吸引愈多陰、陽離子。
(2) 電解質，用 H₂SO₄ 電容值最高，因介電係數和遷移速高；
而 KNO₃ 的電容值第二，因為含氮量愈高。

十二、0.5M H₂SO₄ 800°C 椰子殼第三代電容第三代超級電容的 CV 圖

(一) 由圖 51 得知，

1. 循環伏安法，電位 0~-1.5 伏特，尋找適合電位窗範圍。
2. 選擇 0.2~1.2 伏特下操作，繪製出 CV 圖:
(1) 這張圖，沒有氧化還原峰，非常符合超級電容的性質。
(2) 若反應是可逆的，則曲線上下對稱；若反應不可逆，則曲線上下不對稱。由 CV 圖可知，我們的圖上下對稱，是可逆的。

柒、結論

一、實驗結論

- (一) 做隔氧鍛燒程序能使碳源不易被氧化，使產率上升
- (二) 超級電容被施壓時電容值會上升
- (三) 第二代超級電容製作及測試都很簡便，適合做大量變因的研究
- (四) 電容值(黏著劑):3號黏著劑>5號黏著劑>1號黏著劑
- (五) 電容值(充放電): 充電 5V > 充電 3V > 充電 1V
- (六) 充放電後放置前五分鐘電容值上升最明顯
- (七) 充放電後 H₂SO₄、KNO₃、KOH，電容值都增加，以 H₂SO₄ 最明顯；KI 減少
- (八) 電解質濃度增加，電容值也上升；以 0.5M 上升幅度最大
- (九) 相同濃度電解質，電容值：H₂SO₄ > KNO₃ > KOH > KI
- (十) 超級電容在七天內電容值變化不大，表示電容很穩定
- (十一) 電容值: 鍛燒 600°C > 鍛燒 800°C > 鍛燒 400°C
- (十二) 電解質為 H₂SO₄ 或 KOH，或鍛燒溫度，電容最大者，都是椰子殼
- (十三) 電容最大(摻氮):電解質 H₂SO₄、氮摻雜活性碳(氮與碳重量比 1:1)，但無摻氮較摻氮者優秀

二、未來展望

- (一) 未來希望能更加了解氮摻雜的相關製程，這能對超級電容的電容值有很大的提升
- (二) 未來可將超級電容做成卷軸狀，以提升總電容值
- (三) 除了聚乙烯醇膠以外還有許多不同性質的膠，未來可以來研究其對超級電容的影響

捌、參考資料

1. 何治圻(2022)。雙離子再碳電極的超級電容表現。國立成功大學化學工程學系碩士論文。
2. 顏成鋒(2022)。以循環伏安法沉積鎳硫化物/鎳鈷硒化物改質氮摻雜奈米碳管/石墨烯複合材料作為超級電容器之電極材料。國立雲林科技大學。
3. 李子慶, 赫文秀, 張永強, 於慧穎, 李興盛, 劉斌(2018)。不同氮源對摻氮石墨烯的結構和性能的影響。
4. 張德懿、雷龍艷、尚永花。(2016)氮摻雜對碳材料性能的影響研究進展。甘肅蘭州。蘭州理工大學石油化工學院。
5. 陳登豪(2019)。孔洞材料的空間藝術:。科學發展月刊
6. 王敏齊、江翊瑄(2015)。電雙層電容器電極碳材性質之探討。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。
7. 林黃媛、黃品淳(2019)。一步合成碳奈米複合材料與奈米碳管應用於超級電容電極修飾。臺灣國際科學展覽會。
8. 陳庠宇、鄭宇廷、林沅宥(2019)。以 top-down 方法合成孔洞碳材應用於 EDLC。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會。

9. Ryota T., Toru H., Tsuyoshi T., Hirofumi T., Toshiya S., Junji N., Yoshiyuki S. (2019) Nitrogen doping of carbon nanoballoons by radiofrequency magnetron plasma and evaluation of their oxygen reduction reaction activity. *IEEJ Transactions on Industry Applications. (Denki Gakkai Ronbunshi A)* , 13(3), 140-146. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ecj.12172>

【評語】 052413

本作品利用椰子殼、茶葉渣與甘蔗渣三種廢棄物，高溫煅燒製成不同碳源，自製以碳紙、壓克力板及不鏽鋼片為電極之三種電容器，填充酸、鹼或鹽水溶液為電解質，試驗量測其電容之差異。嘗試利用廢棄物作為碳源，但未說明相關實驗內容，惟以椰子殼當作碳極，已有商業產品，同時，缺乏三種電容器彼此間比較及原因探討。另外，三種廢棄物高溫煅燒溫度 400°C 、 600°C 及 800°C 且煅燒時程 3 小時皆相同，可能影響最佳煅燒溫度之試驗結果，缺乏說明六種不同碳液黏著劑之配比設計原則。

作品海報

● 摘要

椰子殼、甘蔗渣及茶葉渣等廢棄物以不同鍛燒溫度製成不同碳源，與活性碳比較，發現不同碳源具有較多的表面官能基和中型孔洞。加上特製膠和不同種類、濃度電解質製成超級電容。研究結果顯示，椰子殼鍛燒 600°C、電解質 0.5M H₂SO₄ 的超級電容為最佳條件，充電後的最高電容值為 200mF/cm²，持續 7 天都未衰退。CV 圖為可逆反應。

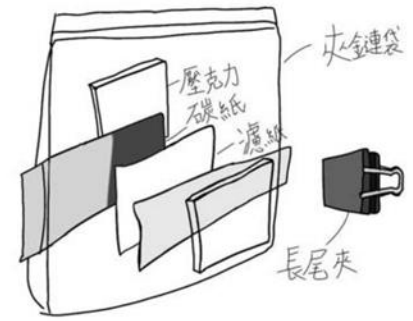
● 研究目的及作品特色

研究目的

1. 椰子殼、甘蔗渣及茶渣，不同溫度鍛燒，做出不同碳源
2. 設計自製電路來檢測電容
3. 設計及組裝自製超級電容
4. 活性碳、不同碳源，用最好比例的膠，在不同種類、濃度電解質 (H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH) 下，做出超級電容，測電容值變化

作品特色

1. 組裝容易
2. 作品體積小，容易測試
3. 回收廢棄物，創造更大經濟價值
4. 製作成本低，使用無機電解液污染小

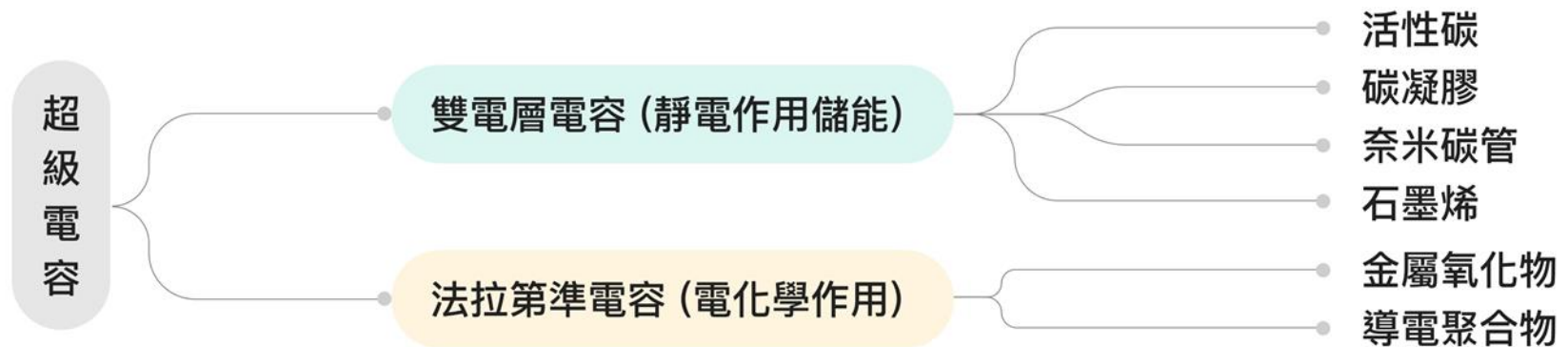


● 作品相關原理

超級電容



	雙電層電容	法拉第準電容
優點	功率密度高 壽命高 溫度變化小	能量密度大
缺點	電壓低 能量密度低 自放電大	功率密度低 電壓低 成本高



氮摻雜

一、適當氮摻雜可以改變碳材性質

1. 提高電化學和催化性能
2. 增加親水性
3. 提高有效比表面積

二、過多氮摻雜導致

1. 增加石墨結構缺陷
2. 阻礙電子遷移

孔洞大小

1. 微孔：為碳材表面積的來源
2. 中孔：由於孔道距離短，孔徑尺度大，在高速充放電時可大幅縮短離子進出動孔所需要的擴散距離和時間
3. 大孔洞：如同蓄水池般，能在離子高速放電時提供電解質進入微孔和中孔。中孔比例高，大孔有效利用的狀況下，能擁有高的電容保留率

● 製作流程



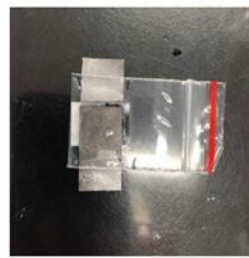
1. 將碳液黏著劑塗上碳紙



2. 滴一滴電解液在濾紙上



3. 將另一片碳紙蓋上



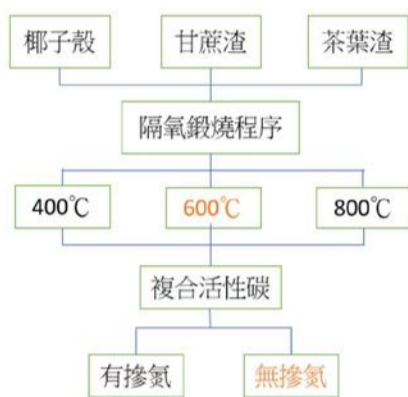
4. 放入夾鏈袋裁切處



5. 電容上下放兩片壓克力板，再用長尾夾夾住

● 研究流程

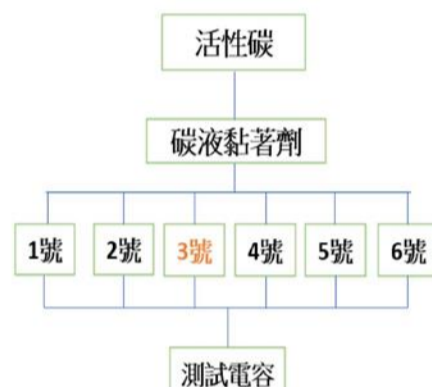
1. 使用不同溫度鍛燒不同碳源



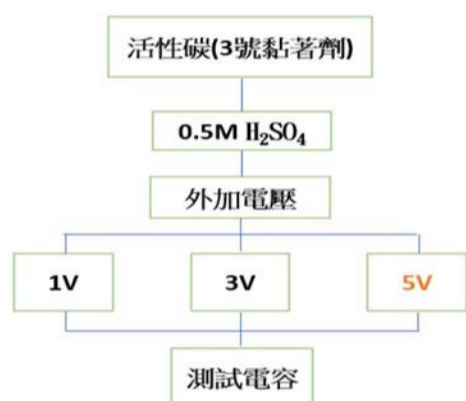
2. 自製超級電容步驟



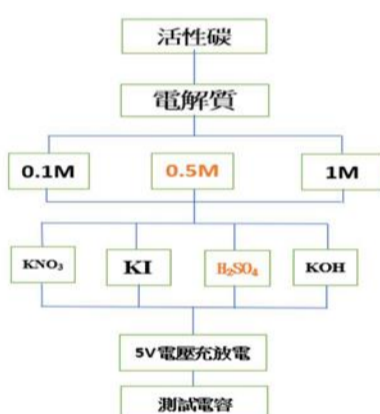
3. 不同比例黏著劑的實驗程序



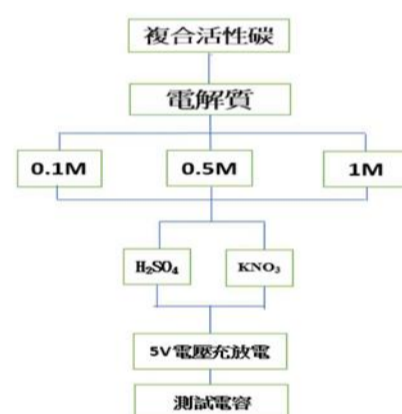
4. 不同外加電壓對電容的影響



5. 不同電解質、濃度對電容的影響實驗之流程 (活性碳)

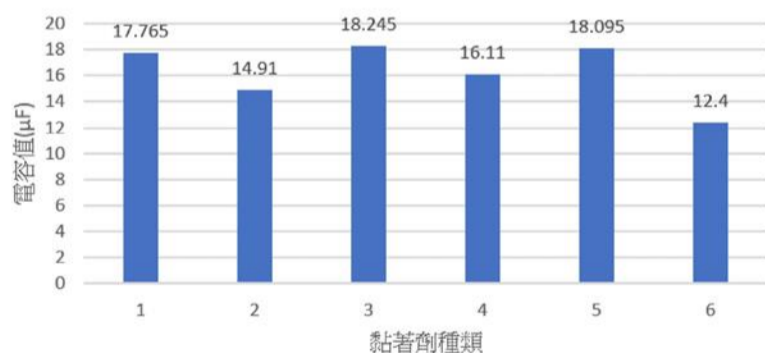


6. 不同電解質、濃度對電容的影響實驗之流程 (複合活性碳)

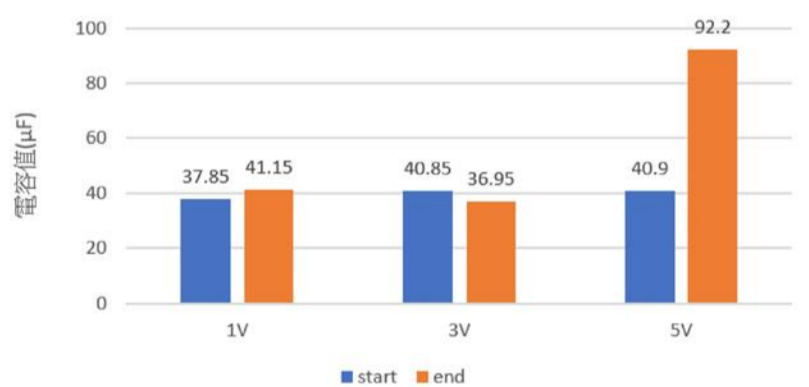


● 實驗數據

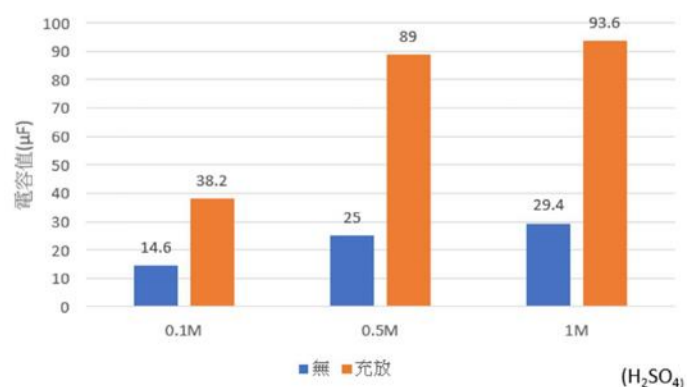
1. 不同比例的碳液黏著劑對超級電容之電容影響 (平均值)



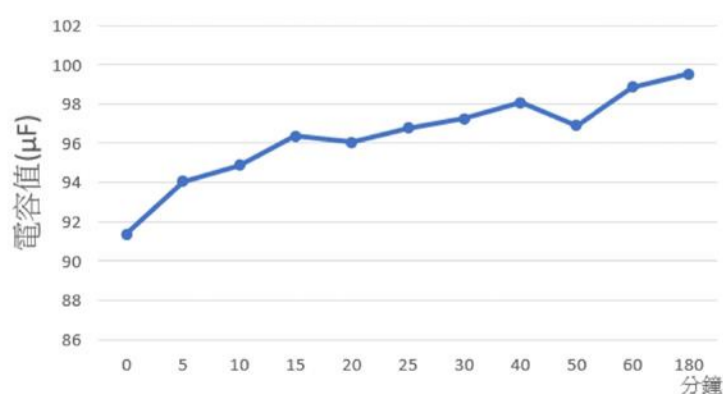
2. 使用 1V、3V、5V 充電後，對 0.5M H₂SO₄ 超級電容之電容值變化 (平均值)



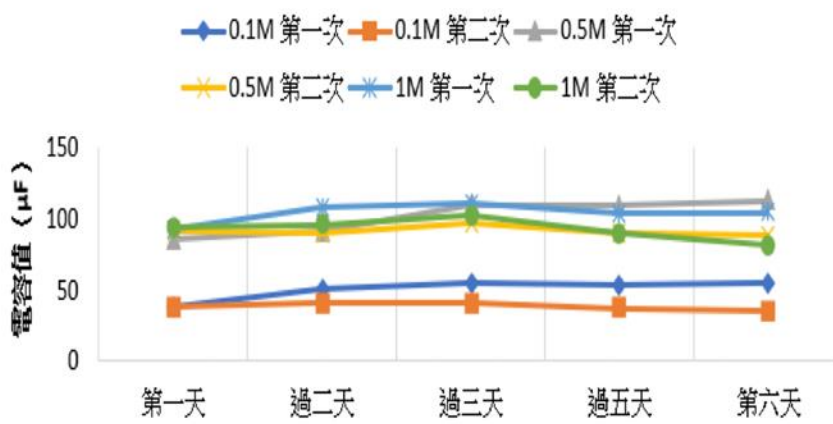
3. 有、無 5V 充電，電解質 H₂SO₄ 超級電容 (活性碳) 的電容值 (平均值)



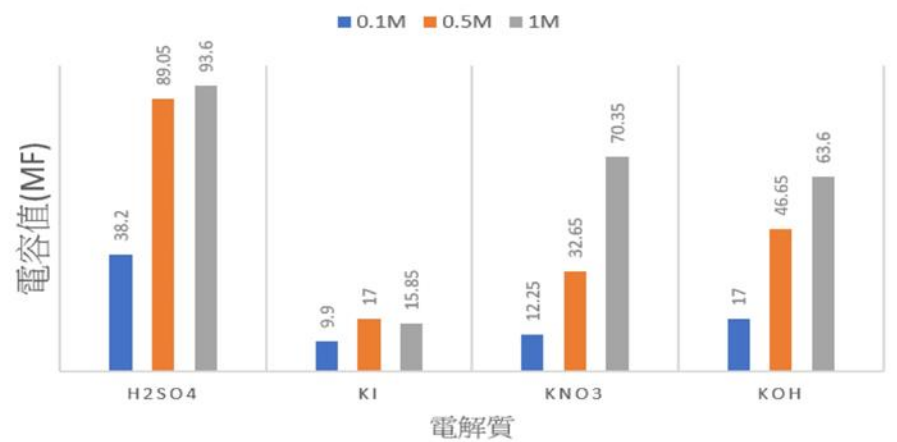
4. 以 5V 充電，對 0.5M H₂SO₄ 超級電容 (活性碳) 之三小時電容變化 (平均值)



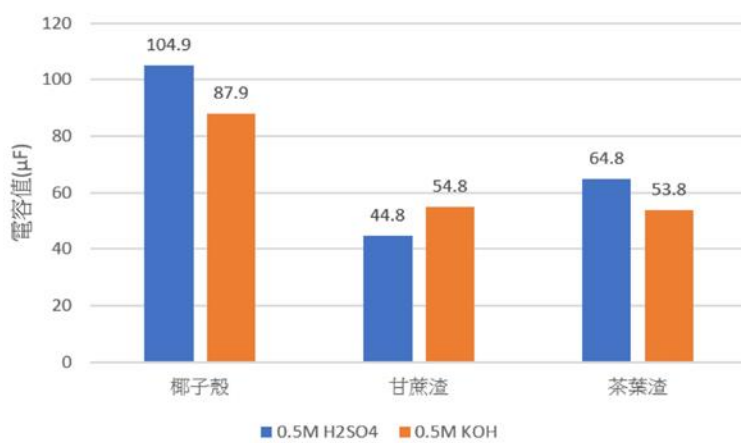
5. 電解質 H₂SO₄ 超級電容，5V 充電，七天內之電容值變化



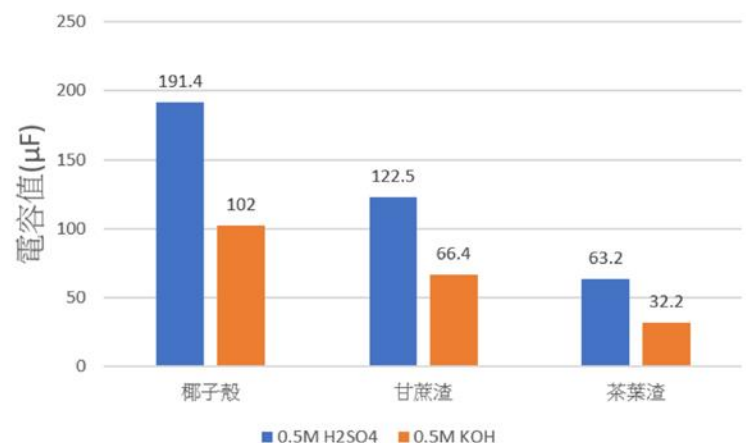
6. 使用0.1、0.5、1M H₂SO₄、KI、KNO₃、KOH 對超級電容 (活性碳) 電容影響 (平均值)



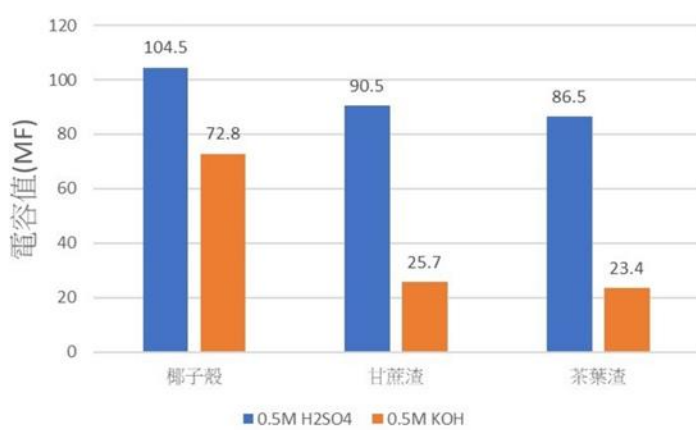
7. 0.5M H₂SO₄、KOH電解質、不同碳源 400°C 超級電容 5V 充電之電容值 (平均值)



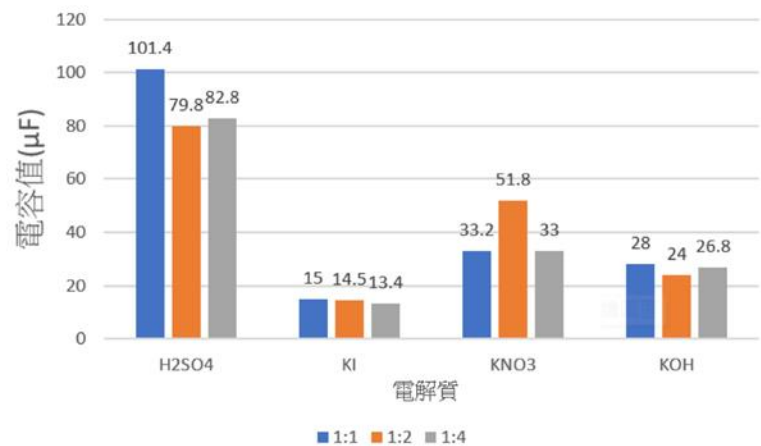
8. 0.5M H₂SO₄、KOH 電解質、不同碳源 600°C 超級電容，5V 充電之電容值 (平均值)



9. 0.5M H₂SO₄、KOH 電解質、不同碳源 800°C 超級電容，5V 充電之電容值 (平均值)



10. 活性碳摻氮後以不同電解質做出超級電容之電容值(平均值)



● 討論與結論

一、有、無充電對，0.5M (H₂SO₄、KOH) 超級電容 (不同鍛燒溫度、不同碳源) 之電容影響，數據 7、8、9，得知：

1. 有充電，電容值：鍛燒 600°C > 鍛燒 400°C > 鍛燒 800°C
2. 中等孔洞... 陰、陽離子可以自由進出
3. 含氮、氧原子 (或官能基)... 吸引陰、陽離子靠近
4. 愈高溫，碳化效果佳，可製造如石墨般 (六邊形) 很多的孔洞；所以無充電，鍛燒 800°C 超級電容之電容值最大
5. 太高溫，含氮、氧原子 (官能基) 變少，難吸引陽離子靠近
6. 故鍛燒 600°C 超級電容之電容最大。因孔洞和含氮、氧官能基共存

二、不同濃度、種類電解質超級電容 (氮摻雜活性碳) 之電容，由數據 10，得知

1. 電容最大：電解質 H₂SO₄、氮摻雜活性碳 (氮與碳重量比 = 1:1)
2. 相同氮摻雜活性碳比，電容值：電解質 H₂SO₄ > KNO₃ > KOH > KI。
3. 氮摻雜活性碳比愈高，含氮量愈高，吸引愈多陰、陽離子

● 未來展望

1. 未來希望能更加了解氮摻雜的相關製程，這能對超級電容的電容值有很大的提升
2. 未來可將超級電容做成卷軸狀，以提升總電容值
3. 除了聚乙烯醇膠以外還有許多不同性質的膠，未來可以來研究其對超級電容的影響