

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高級中等學校組 工程學(二)科

(鄉土)教材獎

052408

鯉魚躍油門—以鋰化合物催化製生質柴油

學校名稱：國立中興高級中學

作者： 高二 張簡苑昌 高二 張晏蓁	指導老師： 李欣珮
--------------------------	--------------

關鍵詞：轉酯化反應、生質柴油

## 摘要

因化石燃料枯竭及燃燒帶來之汙染，尋找替代能源為當今致力研究之目標。本研究將大豆油或廢食用油反應製生質柴油，試以鈹酸鋰或鉻酸鋰為目標，改變合成條件得最佳催化劑，找尋最佳反應條件。

此研究之催化劑，分別最佳反應條件：大豆油製生質柴油之轉酯率皆 98%以上。催化劑最佳反應條件分別為：L2B3-800-3，醇油比 1：18，觸媒用量 6 wt %，反應 2 hr。L1C1-800-3，醇油比 1：24，觸媒用量 6 wt %，反應 2 hr。廢食用油製生質柴油以鈹酸鋰為催化劑尤佳。但此兩組催化劑，重複利用的測試結果不理想。

本研究產製之最佳生質柴油，經 CNS 標準方法檢測，各條件大致符合國家規範，故本研究使用之鈹酸鋰及鉻酸鋰均是具潛力開發之催化劑。

## 壹、研究動機

自人類工業革命以來，由於石油價格低廉，且方便運輸及容易儲存等特色，使其被大量開採，作為人類最普遍之能量來源。但由於化石燃料非再生能源，大量開採石油導致其蘊藏量銳減，面臨枯竭的問題。燃燒化石燃料所排放之廢氣伴隨著懸浮微粒，不僅對人類和其他生物的健康造成巨大傷害，其排放之廢氣中也蘊含了大量的溫室氣體，主要成分二氧化碳也持續的推動著地球暖化的加劇。

生質柴油屬於再生能源的一種，由植物油脂或動物脂肪轉換而來，是一種無毒且可供生物分解之能量來源。生質柴油與一般化石柴油的化學性質相近，且在製作與使用上較不會產生危害，是一項可以取代目前化石燃料的選擇。

## 貳、研究目的

本研究主要使用氧化鉍、氧化鉻配合碳酸鋰合成鉍酸鋰或鉻酸鋰二種非均相的固態觸媒，並先以相對乾淨好取得的大豆油為原料作為實驗的反應物，進行轉酯化反應催化轉酯油品。

藉由改變觸媒合成條件及轉酯化反應的條件，利用氣相層析儀/火焰離子偵測器(GC-FID)分析油品轉酯率，找出最佳化觸媒及最佳反應條件，並探討各變因對轉酯率的影響，以期找出最能夠符合目前工業化所需之觸媒。

本研究在找出最佳化條件後也將討論觸媒經過曝氣及重複利用會對轉酯率造成之影響，若催化劑可在常溫常壓下暴露許久且在重複利用多次後仍保有一定之活性，則可以推論其在工業實用上可有效減少生產成本。

最後再將反應物從大豆油改為廢食用油進行實驗，廢油為國家所列出的廢棄物之一，若是本實驗所合成之觸媒可有效將其轉化為生質柴油，將會是我們所期望的兼具環保與經濟價值的目標。

## 參、研究設備及器材

### 一、實驗藥品

品項	學名	來源	備註
氧化鉍	$\text{Bi}_2\text{O}_3$	Thermo Fisher Scientific Inc.	純度>99%
氧化鉻	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	Yarkuri Pure Chemical Co.	純度>99%
碳酸鋰	$\text{Li}_2\text{CO}_3$	Hayashi Pure Chemical Ind., Co.	純度>98%
甲醇	$\text{CH}_3\text{OH}$	ECHO Chemical Co.	純度>99%
去離子水		由Millipore Co.純化	
十七酸甲酯 (標準品)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	Sigma-Aldrich Co.	純度>99%
異丙醇	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	Merck KgaA	純度>99%
大豆油	Soybean Oil	美食家食材通路有限公司	
菜籽油	Rapeseed Oil	建佳化工企業有限公司	
橄欖油	Olive Oil	建佳化工企業有限公司	
棕櫚油	Palm oil	建佳化工企業有限公司	
廢棄食用油	Used cooking Oil	學生餐廳	

## 二、實驗器材

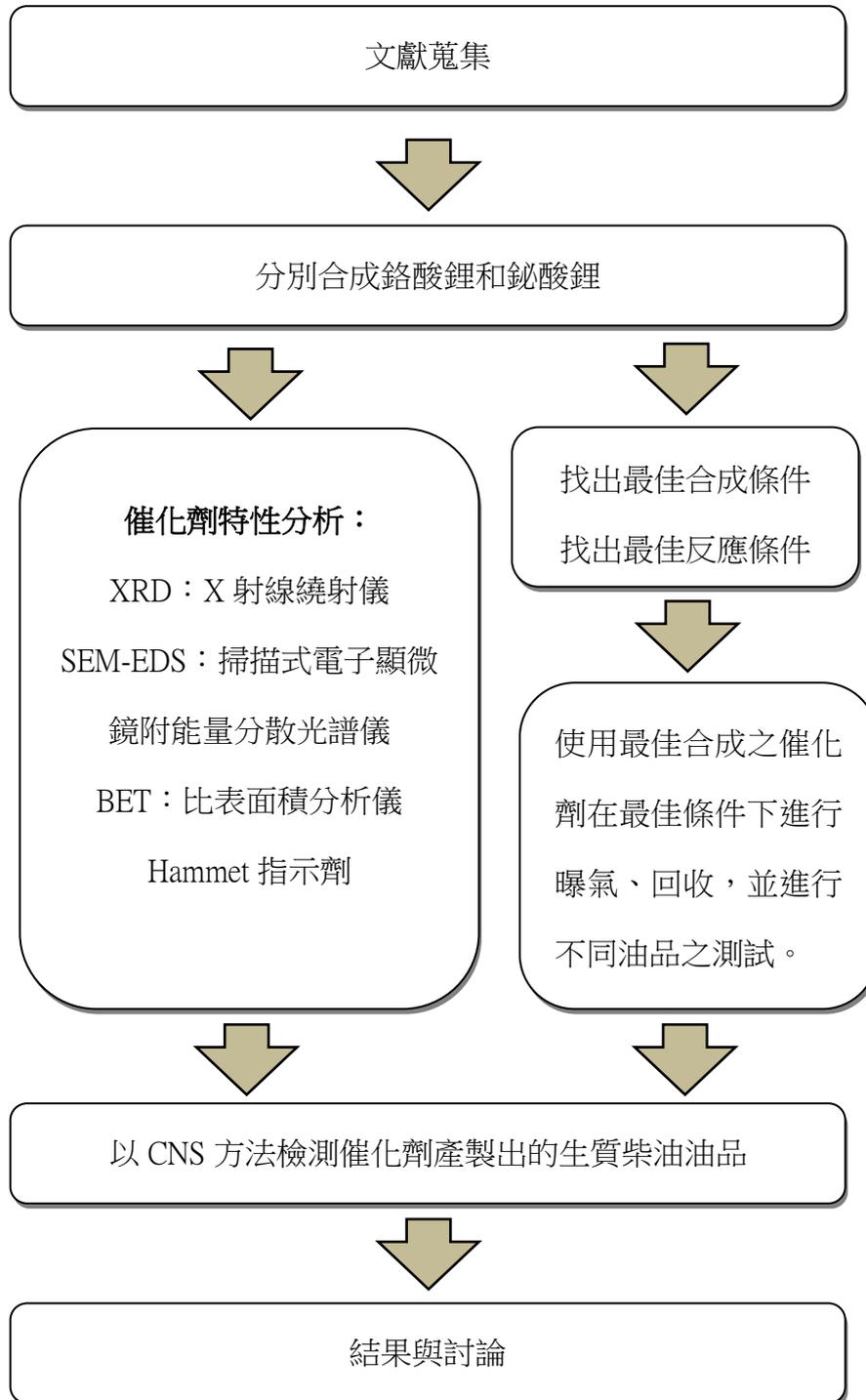
品項	型號	來源
蒸發皿		華興化學原料有限公司
陶製研鉢		華興化學原料有限公司
精密電子量秤	AG204	Mettler Toledo
磨砂口錐形瓶250 mL		華興化學原料有限公司
磨砂口迴流冷凝管		華興化學原料有限公司
恆溫循環水槽	D-606	DENG YNG
電磁暨加熱攪拌機	PC420D	CORNING
離心管		華興化學原料有限公司
離心機	CN-2060	祥太精機股份有限公司
高溫爐	DF-40	Dengyng instruments CO. LTD

## 三、分析儀器

1. X射線粉末繞射儀(X-Ray Diffractometer, XRD)：MAC Science，MXP18
2. 場發式掃描電子顯微鏡附能量分散光譜儀(Field Emission-Scanning ElectronMicroscopy-Energy Dispersive Spectroscopy, FE-SEEDS)：JOE，JSM-7401F
3. 比表面積分析儀(Surface Area and Porosity Analyzer,BET)：Micromeritics，Gemini 2370C
4. 氣相層析儀(Gas Chromatography, GC)：Thermo TRACE GC ULTRA，配備火焰離子偵測器，毛細管柱(長 30 m、內徑 0.25 mm 和 0.25  $\mu$ m)
5. X-射線螢光分析(X-ray FluorescenceSpectrometer)：AMETEK，SPECTRO XEPOS
6. 自動電位滴定儀(水分)：KEM，AT-710
7. 自動電位滴定儀(酸價、碘價)：KEM，AT-710
8. 密度計：KYOTO ELECTRPIMICS，DA-130N
9. 奧士瓦黏度計(全雅科技有限公司)
10. Hammet指示劑

## 肆、研究流程或方法

### 一、研究流程



▲ 研究流程圖

## 二、實驗步驟解說

### (一) 合成催化劑

改變在實驗中會影響催化劑合成的各項條件，以找出最佳化合成觸媒的方法。合成條件分為下列三項變因：(1)主要反應物的莫爾比、(2)鍛燒溫度、(3)鍛燒時間。

#### 1. 合成『鉍酸鋰』之最佳條件及其命名

使用碳酸鋰( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ )及氧化鉍( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ )為主要反應物，將二者以莫耳比 1 : 1 混合於蒸發皿中，並放入高溫爐內以  $800^\circ\text{C}$  鍛燒 4 小時，接著以陶瓷研鉢將鍛燒出來之黃色觸媒磨碎，研磨後的粉末即可作為催化劑使用。

合成之樣品命名方式如下(以 L2B3-800-3 為例)：L2、B3 代表碳酸鋰與氧化鉍是以莫耳比 2 : 3 混合；800 代表鍛燒溫度；4 代表的是鍛燒時間為 4 小時。

#### 2. 合成『鉻酸鋰』之最佳條件及其命名

採用碳酸鋰( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ )及氧化鉻( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )為主要反應物，將二者以莫耳比 1 : 1 混合於蒸發皿中，放入高溫爐內以  $800^\circ\text{C}$  鍛燒 4 小時，接著以陶瓷研鉢將鍛燒出來之綠色觸媒磨碎，研磨後的粉末即可作為催化劑使用。

合成之樣品命名方式如下(以 L1C1-800-3 為例)：L1、C1 代表碳酸鋰與氧化鉻是以莫耳比 1 : 1 混合；800 代表鍛燒溫度；3 代表的是鍛燒時間為 3 小時。

### (二) 催化劑性質分析

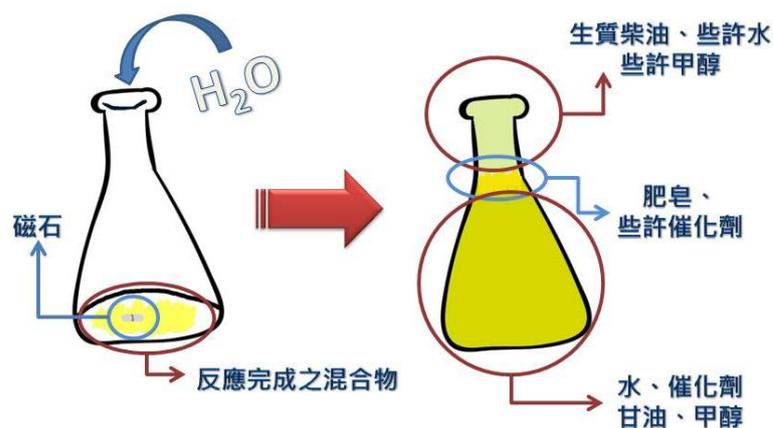
在本實驗中，以 X 射線粉末繞射儀( XRD )、掃描式電子顯微鏡附能量分散光譜儀( SEM-EDS )、比表面積分析儀( BET )等儀器進行催化劑性質的分析，所檢測之儀器與功能如下：

1. XRD：測量催化劑晶相
2. SEM-EDS：觀測催化劑表面結構及元素種類
3. BET：分析催化劑比表面積
4. Hammett 指示劑：測量催化劑之鹼性強度

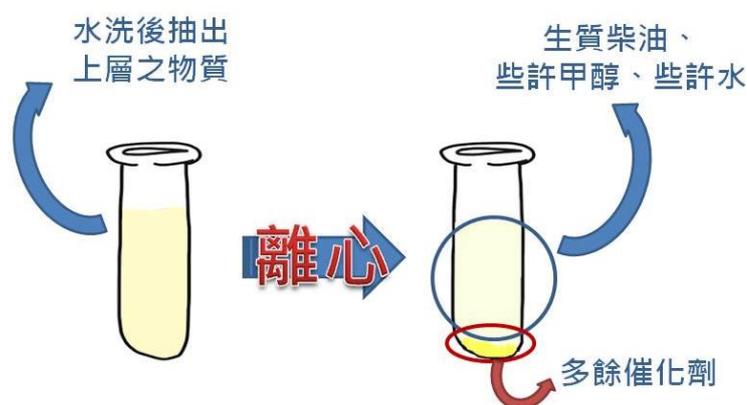
### (三) 轉酯化反應實驗

取 12.5 公克重的大豆油，並添加不同比例之觸媒和甲醇。將三種反應物連同磁石一起放入反應瓶(本研究以磨砂口錐形瓶當作反應瓶)，放置於電磁暨加熱攪拌機，並連接磨砂口迴流冷凝管。同時，磨砂口迴流冷凝管需接上恆溫循環水槽，使磨砂口迴流冷凝管保持在適當溫度，使反應期間因熱而蒸發之甲醇蒸氣能夠再次凝結為甲醇液體，流回反應瓶中繼續進行反應。最後固定於溫度 65°C、轉速 900 rpm 【5】，使反應物混合、進行反應 2 小時。

反應結束後，先將反應瓶靜置，待其降溫再開始進行水洗。藉由雜質和產物之密度不同，使產物能夠浮在溶液最上層。取出上層溶液進行離心，由於生質柴油與甘油的密度分別為 0.86g/ml 及 1.26g/ml，進行水洗與離心能有效使生質柴油與甘油及催化劑分離。



▲水洗示意圖



▲離心示意圖

最後將生質柴油進行減壓濃縮，因為甲醇與生質柴油的沸點不同，能除去殘存的甲醇與水氣，完成後所得之生質柴油則以氣相層析儀(GC)分析轉酯率。

#### (四) 轉酯率分析方法

本研究製作出的生質柴油之轉酯率以「經濟部標準檢驗局，CNS 15051，油脂衍生物(脂肪酸甲酯)－總脂肪酸甲酯及次亞麻油酸甲酯含量測定法」【1】為參考，此標準方法如下：使用正庚烷為溶劑，十七酸甲酯作為標準品，配置成濃度為 10 mg/mL 之溶液，精秤純化後之生質柴油樣本 250 mg 加入 5 mL 配置好的內標物溶液均勻混合，所得之待測樣品再以氣相層析儀(GC)進行轉酯率的測定。

分析時使用注射器吸取 0.1 至 1.0  $\mu\text{L}$  的樣品，注射至氣相層析儀注入口，以火焰離子偵測器進行分析，最後由所得之層析圖對其積分面積計算總脂肪酸甲酯的含量。

轉酯率 C (%)之計算方式如下：

$$C = \frac{\sum A - A_{EI}}{A_{EI}} \times \frac{C_{EI} \times V_{EI}}{m} \times 100\%$$

$\sum A$ ：C<sub>14</sub> 至 C<sub>24:1</sub> 脂肪酸甲酯波峰之間所有波峰之積分總面積

A<sub>EI</sub>：內標物十七酸甲酯之波峰面積

C<sub>EI</sub>：內標物十七酸甲酯之濃度 (mg/mL)

V<sub>EI</sub>：內標物十七酸甲酯之體積 (mL)

m：製備待測樣品時所精秤之樣品質量 (mg)

本研究中同樣使用十七酸甲酯為內標物，但溶劑改為異丙醇，取決於溶劑是否能溶解十七酸甲酯與生質柴油。

氣相層析儀進行分析不同鏈長的脂肪酸甲酯結果如下圖 2，以大豆油為原料進行轉酯化反應後之結果如附圖 3，利用波峰積分面積計算其轉酯率。

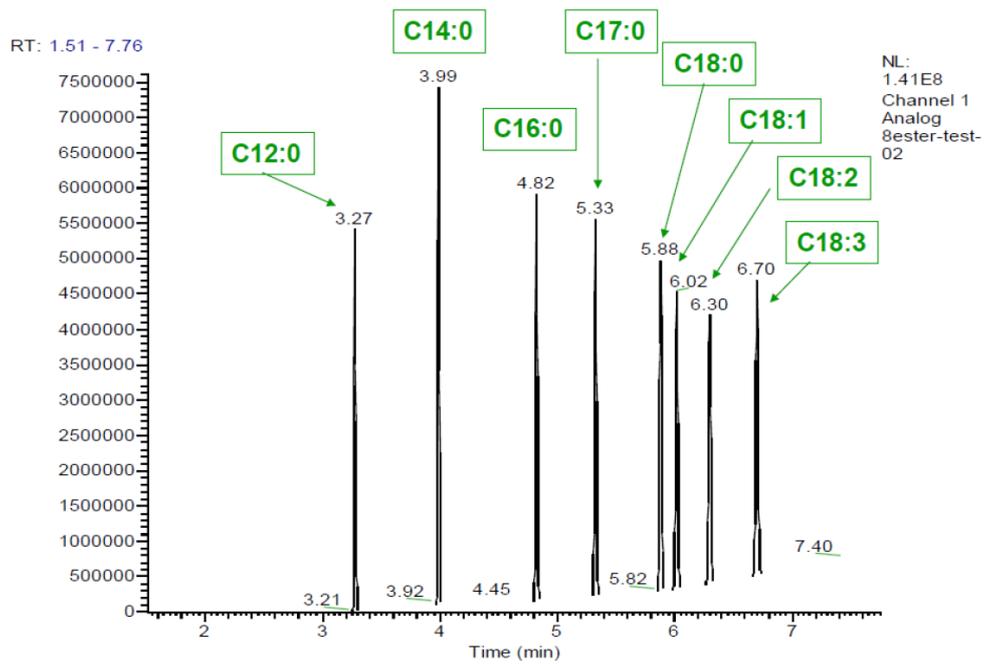


圖2 同鏈長之脂肪酸甲酯的氣相層析圖

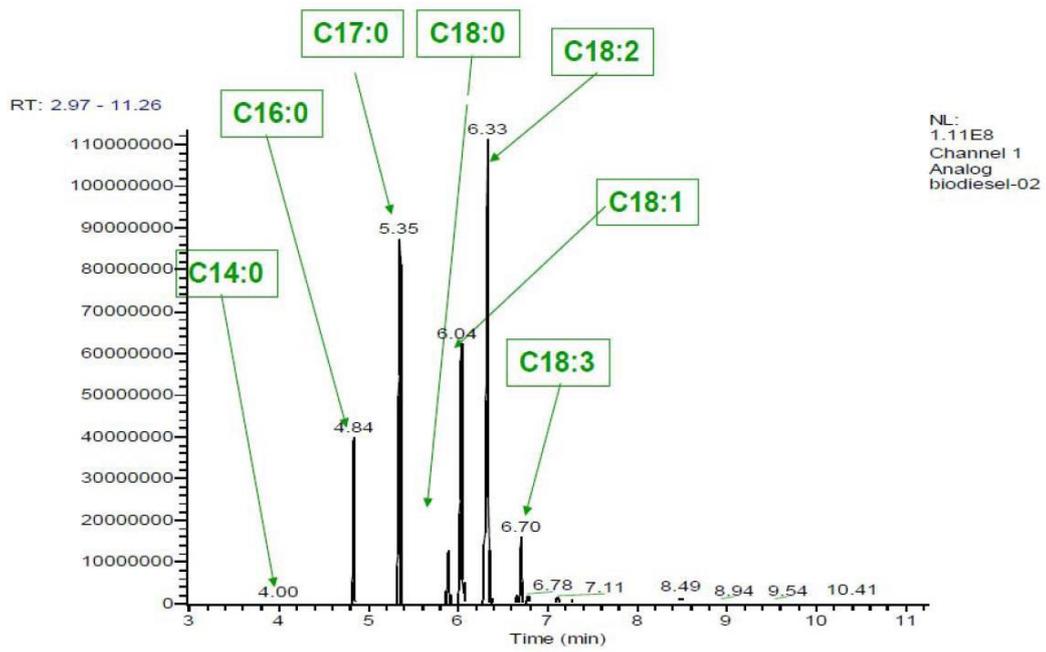


圖3 大豆油為原料進行轉酯化之生質柴油氣相層析圖

## 伍、研究結果與討論

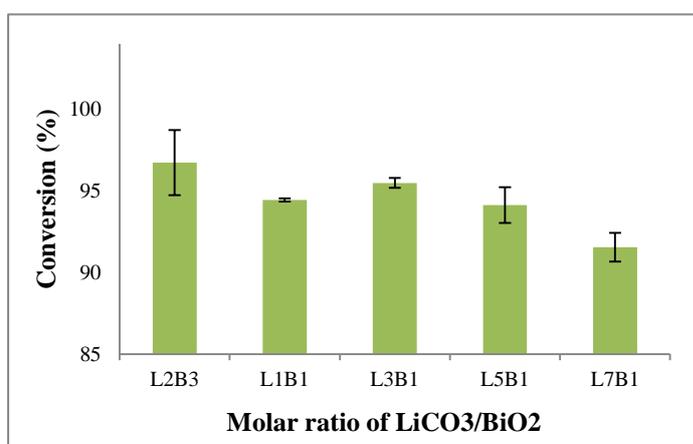
### 一、合成鈹酸鋰為催化劑進行轉酯化反應

本章節將依照合成鈹酸鋰時改變其反應物莫耳比、鍛燒溫度、鍛燒時間來探討對轉酯率之影響。先合成出 L1B1-800-4 之催化劑，並對其改變三個主要變因，以求最佳合成條件。再依最佳合成條件合成催化劑，改變其反應條件以期找出最佳之反應條件。

#### (一) 改變鈹酸鋰之合成莫耳比

將氧化鈹和碳酸鋰以2:3、1:1、3:1、5:1、:7:1 之不同比例合成催化劑，並固定鍛燒溫度為800度，鍛燒時間為4小時，觀察改變莫耳比對轉酯率的影響並找出最佳合成莫耳比。

Catalyst	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L2B3-800-4	24	6	2	96.72±2.00
L1B1-800-4	24	6	2	94.43±0.10
L3B1-800-4	24	6	2	95.48±0.31
L5B1-800-4	24	6	2	94.12±1.10
L7B1-800-4	24	6	2	91.55±0.88

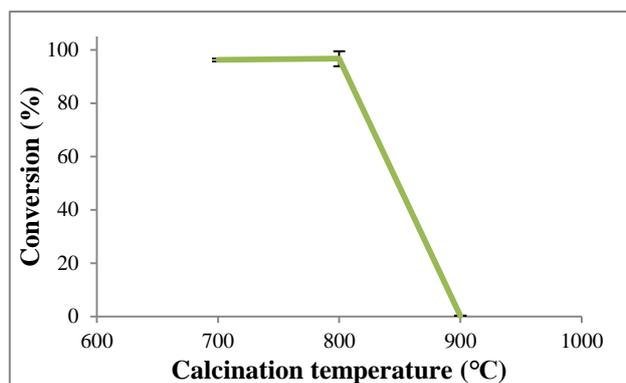


由數據可知當催化劑之合成莫耳比為 2:3 時，可達最高轉酯率為 96.72%，因此在接下來的實驗中，催化劑之合成比例將固定在 2:3 的條件下進行。

## (二) 改變鈇酸鋰之鍛燒溫度

確定氧化鈇和碳酸鋰最佳合成莫耳比為 2:3 後，進行改變觸媒鍛燒溫度對催化劑之轉酯率影響。分別以 700 °C、800 °C 及 900 °C 進行鍛燒，鍛燒時間固定為 4 小時，合成出之催化劑再分別用 XRD 進行鑑定，並測試其對於轉酯化反應的影響。

Catalyst	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L2B3-700-4	24	6	2	96.24±0.54
L2B3-800-4	24	6	2	96.72±2.82
L2B3-900-4	24	6	2	0.34±0.10

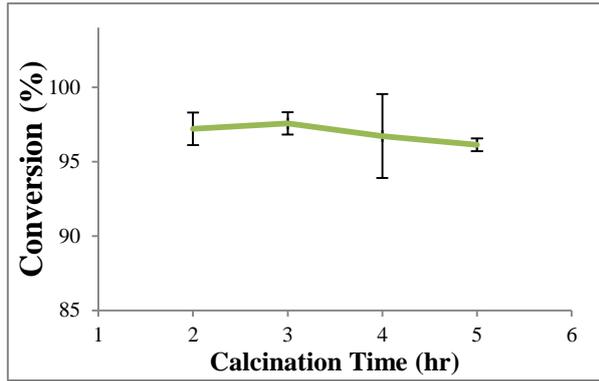


由數據可知當催化劑之鍛燒溫度為 800 °C 時，達到最高轉酯率為 96.72%，因此在接下來的實驗中，催化劑之鍛燒溫度將固定在 800 °C 的條件下進行。

## (三) 改變鈇酸鋰之鍛燒時間

確認催化劑以 800 °C 鍛燒可得最佳轉酯率後，再測試改變鍛燒時間對合成鈇酸鋰的影響，以 800 °C 分別進行鍛燒 2~5 小時，合成出之催化劑用儀器進行鑑定，並測試其對轉酯化反應的影響。

Catalyst	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L2B3-800-2	24	6	2	97.21±1.10
L2B3-800-3	24	6	2	97.56±0.75
L2B3-800-4	24	6	2	96.72±2.82
L2B3-800-5	24	6	2	96.13±0.42

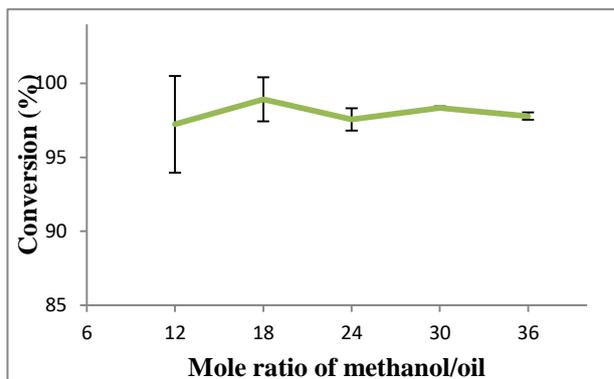


由數據可知當催化劑之鍛燒時間為 3 小時達到最高轉酯率為 97.56%，因此在接下來的實驗中，催化劑之鍛燒時間將固定在 3 小時的條件下進行反應。

#### (四) 改變轉酯化反應之醇油比

由以上實驗可知，催化劑之最佳合成條件為氧化鋇和碳酸鋰之莫耳比 2:3，鍛燒溫度為 800°C，鍛燒 3 小時，產出之催化劑命名為 L2B3-800-3。將此催化劑依不同油醇莫耳比進行轉酯化反應。

Catalyst	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L2B3-800-3	12	6	2	97.23±3.27
L2B3-800-3	18	6	2	98.92±1.50
L2B3-800-3	24	6	2	97.56±0.75
L2B3-800-3	30	6	2	98.34±0.10
L2B3-800-3	36	6	2	97.79±0.25

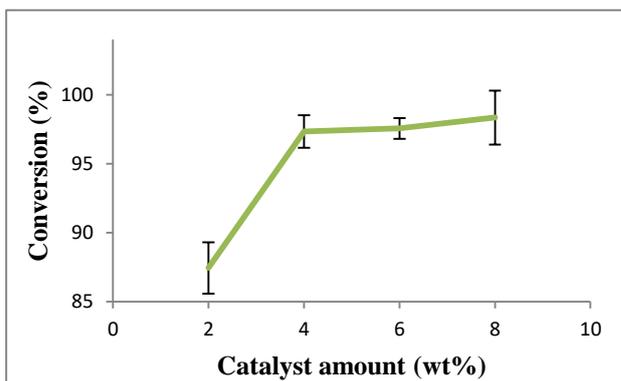


由數據可知轉酯化反應之油醇莫耳比為 18: 1 時，達到最高轉酯率為 98.92%，因此選用為 18: 1 最佳油醇莫耳比。

#### (五) 改變轉酯化反應之催化劑用量

使用最佳條件催化劑 L2B3-800-3，改變添加催化劑用量探討轉酯率。

Catalyst	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L2B3-800-3	18	2	2	87.44±1.87
L2B3-800-3	18	4	2	97.33±1.19
L2B3-800-3	18	6	2	97.56±0.75
L2B3-800-3	18	8	2	98.35±2.00

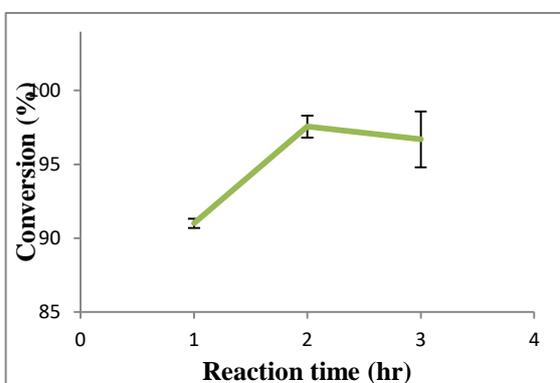


由數據可知當轉酯化反應之催化劑用量為 8wt%時，達到最高轉酯率為 98.35%，所以選用 8wt%為最佳觸媒用量。

#### (六) 改變轉酯化反應之反應時間

使用最佳條件合成之催化劑 L2B3-800-3，改變轉酯化反應時間探討轉酯率。

Catalyst	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L2B3-800-3	18	6	1	91.00±0.31
L2B3-800-3	18	6	2	97.56±0.75
L2B3-800-3	18	6	3	96.69±1.90

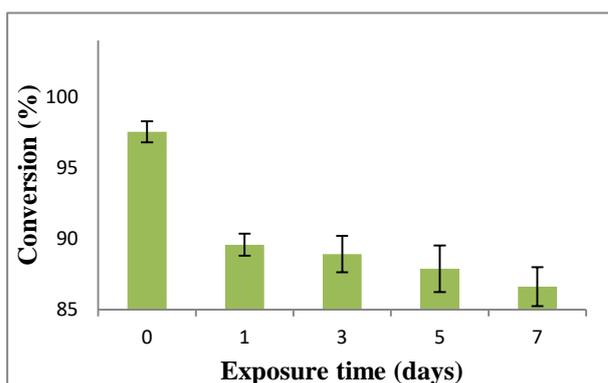


數據可知當轉酯化反應時間為 1 小時，轉酯率僅 91.00%，可知 1 小時之轉酯化反應時間不夠完成反應。當時間提升至 2 小時，轉酯率上升至 97.56%；再將時間拉長至 3 小時，轉酯率下降至 96.69%，故選用 2 小時為最佳反應時間。

### (七) 改變催化劑之曝氣天數

由以上實驗結果，整理出 L2B3-800-3 的最佳反應條件為醇油莫耳比 18：1、催化劑用量 8 wt%、反應時間 2 小時。接下來將使用最佳化條件，探討催化劑在曝氣不同天數時，和空氣中的水氣潮解後對轉酯效果的影響。

Catalyst	Exposure time (days)	Mole ratio of methanol/oil	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L2B3-800-3	0	18	2	97.56±0.75
L2B3-800-3	1	18	2	89.58±0.78
L2B3-800-3	3	18	2	88.92±1.29
L2B3-800-3	5	18	2	87.88±1.65
L2B3-800-3	7	18	2	86.62±1.39

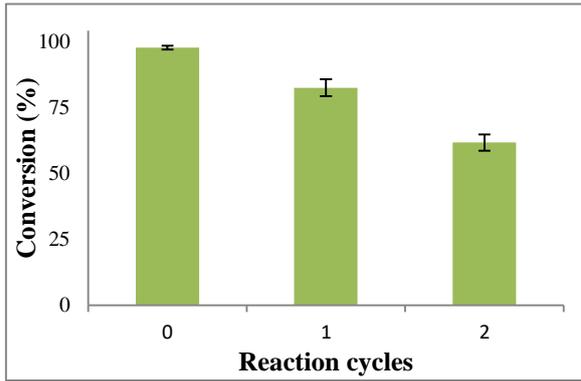


由圖表可知曝氣於室溫下 1 天、3 天、5 天、7 天後，鈹酸鋰的轉酯率仍可維持在 85% 以上，因此可以判定曝氣對於鈹酸鋰的轉酯率並沒有非常嚴重的影響。

### (八) 催化劑之重複利用次數

使用最佳轉酯化反應條件將催化劑回收重複利用，若催化劑在重複利用後能維持其轉酯率，那未來商業化時便能將生產成本大幅降低。此實驗將反應完後之反應瓶靜置，使觸媒沉澱於底部，再使用傾倒的方式將產物與催化劑分離，並再次加入同比例之大豆油與甲醇，繼續進行轉酯化反應，反應數據如下。

Catalyst	Reaction cycles	Mole ratio of methanol/oil	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L2B3-800-3	0	18	2	97.60±0.75
L2B3-800-3	1	18	2	82.40±3.21
L2B3-800-3	2	18	2	61.61±3.09

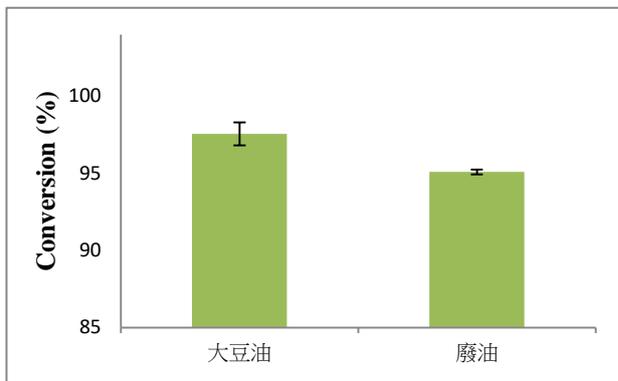


由圖表得知，鈹酸鋰重複利用 2 次以後，轉酯率便下降至 61.61%，因此可推測此種催化劑在經過重複使用時效果並不是非常理想。

### (九) 催化劑於廢油進行轉酯化反應之轉酯化效果

最後我們將同樣使用最佳化條件之催化劑改為投入廢食用油中，觀察其是否能有效將廢食用油轉化成生質柴油，數據如下。

油品	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
大豆油	18	8	2	97.56±0.75
廢油	18	8	2	95.09±0.61



由圖表得知，最佳化催化劑除了對大豆油有 97.56% 的轉酯率之外，對廢油的轉酯率也高達 95.09%，推測其在回收油的處理上是一個很好的選擇。

## 二、合成鉻酸鋰為催化劑進行轉酯化反應

本章節將依照合成鉻酸鋰時改變其反應物莫耳比、鍛燒溫度、鍛燒時間來探討對轉酯率之影響。先合成出 L1C1-800-4 之催化劑，並對其改變三個主要變因，以求最佳合成條件。再依最佳合成條件合成催化劑，改變其反應條件以期找出最佳之反應條件。

### (一) 改變鉻酸鋰之合成莫耳比

將氧化鉻和碳酸鋰以 1:1、3:1、1:3、2:1 之不同比例合成催化劑，並固定鍛燒

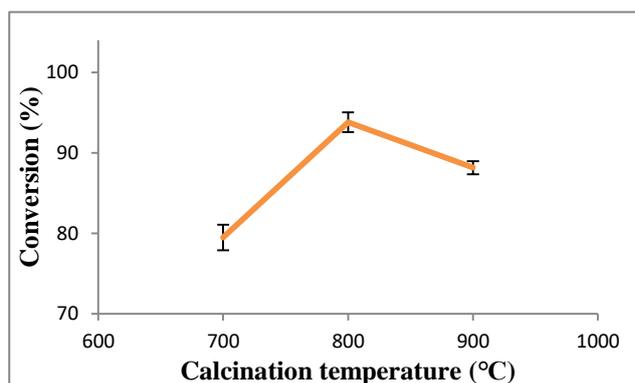
溫度為800 °C，鍛燒時間為4小時，觀察改變莫耳比對轉酯率的影響並找出最佳合成莫耳比。

由於經過多次的鍛燒合成測試，發現 3:1、1:3、2:1 之莫耳比極容易在鍛燒後接觸空氣而受潮，進而無法使用 XRD 進行目標產物的分析，所以之後皆採用較不容易受潮之 1:1 莫耳比進行後續實驗。

## (二) 改變鉻酸鋰之鍛燒溫度

確定氧化鉻和碳酸鋰最佳合成莫耳比為 1:1 後，進行改變觸媒鍛燒溫度對催化劑之轉酯率影響。分別以 700 °C、800 °C 及 900 °C 進行鍛燒，鍛燒時間固定為 4 小時，合成出之催化劑再分別用儀器進行鑑定，並測試其對於轉酯化反應的影響。

Catalyst	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L1C1-700-4	24	6	2	79.49±1.58
L1C1-800-4	24	6	2	93.80±1.24
L1C1-900-4	24	6	2	88.15±0.81

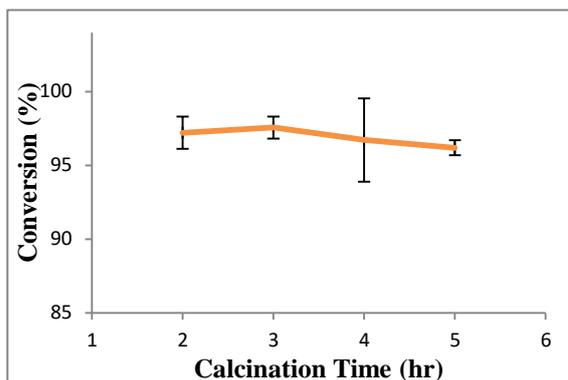


由實驗數據可知當觸媒之鍛燒溫度為 800 °C 時，可達最高轉酯率為 93.80%，因此在接下來的實驗中，催化劑之鍛燒溫度將固定於 800 °C。

## (三) 改變鉻酸鋰之鍛燒時間

確認催化劑是以 800 °C 鍛燒後，接下來將測試改變鍛燒時間對合成鉻酸鋰的影響，以 800 °C 分別進行鍛燒 2~5 小時，合成出之催化劑用儀器進行鑑定，並測試其對於轉酯化反應的影響。

Catalyst	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L1C1-800-2	24	6	2	97.21±1.01
L1C1-800-3	24	6	2	97.56±0.75
L1C1-800-4	24	6	2	96.72±2.82
L1C1-800-5	24	6	2	96.12±0.52

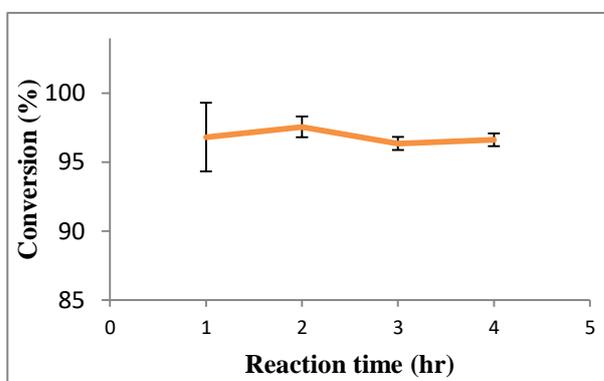


由實驗數據可知當觸媒之鍛燒時間為 3 小時時，轉酯率可達到最高 97.56%，因此在接下來的實驗中，觸媒之鍛燒時間將固定於 3 小時。

#### (四) 改變轉酯化反應之反應時間

使用最佳條件合成之催化劑 L1C1-800-3，改變反應時間探討轉酯率的變化。

Catalyst	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L1C1-800-3	24	6	1	96.82±2.50
L1C1-800-3	24	6	2	97.56±0.75
L1C1-800-3	24	6	3	96.36±0.47
L1C1-800-3	24	6	4	96.63±0.46

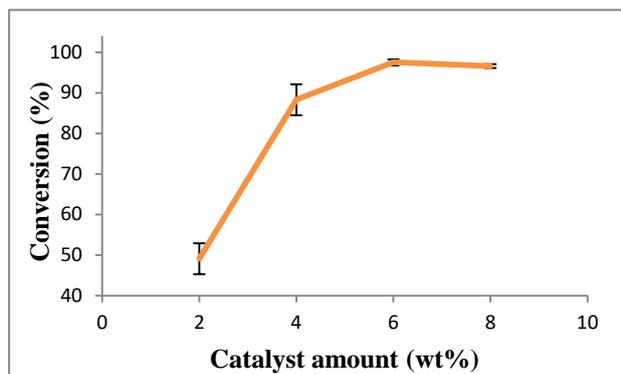


由實驗可知，改變反應時間對轉酯率反應不大，皆具有高達 96% 以上之高轉酯率。

### (五) 改變轉酯化反應之催化劑用量

由以上實驗可知，催化劑之最佳合成條件為氧化鉻和碳酸鋰之莫耳比 1:1，鍛燒溫度為 800 °C，鍛燒 3 小時，產出之催化劑命名為 L1C1-800-3，改變添加在溶液中的催化劑用量來探討轉酯率的變化。

Catalyst	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L1C1-800-3	24	2	2	49.13±3.83
L1C1-800-3	24	4	2	88.34±3.82
L1C1-800-3	24	6	2	97.56±0.75
L1C1-800-3	24	8	2	96.63±0.46

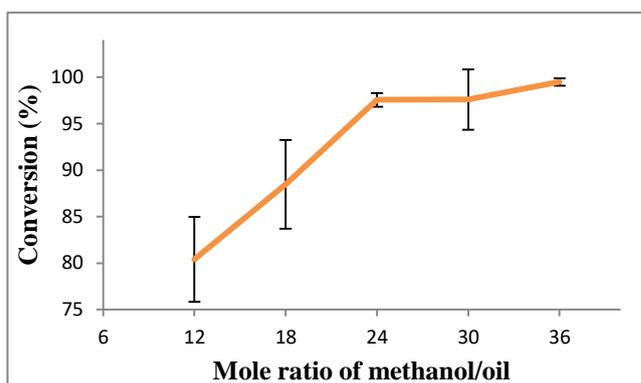


由實驗數據可知當催化劑用量為 2-4wt%時，轉酯率皆低於 90%，在用量為 6wt%時，有最高轉酯率 97.56%，將用量升高至 8wt%，轉酯率下降為 96.63%，因此選用 6wt%為最佳觸媒用

### (六) 改變轉酯化反應之醇油比

以最佳條件合成之催化劑 L1C1-800-3，依不同油醇莫耳比進行轉酯化反應。

Catalyst	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L1C1-800-3	12	6	2	80.40±4.58
L1C1-800-3	18	6	2	88.46±4.78
L1C1-800-3	24	6	2	97.56±0.75
L1C1-800-3	30	6	2	97.60±3.20
L1C1-800-3	36	6	2	99.49±0.39

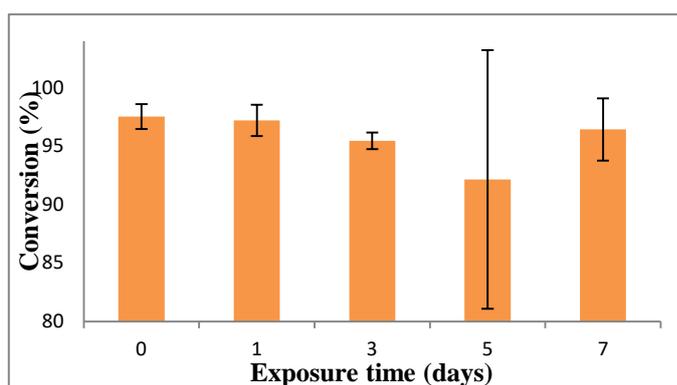


由實驗數據可知當油醇莫耳比為 1:36 時，轉酯率可達到最高 99.49%，此即為最佳之油醇莫耳比。

### (七) 改變催化劑之曝氣天數

由以上實驗結果，可以整理出L1C1-800-3的最佳反應條件為醇由莫耳比1:36、催化劑用量6 wt%、反應時間1小時。接下來將使用最佳化條件，探討催化劑是否會因為與空氣接觸而產生潮解，進而影響轉酯效果。

Catalyst	Exposure time (days)	Mole ratio of methanol/oil	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L1C1-800-3	0	24	2	97.56±0.75
L1C1-800-3	1	24	2	97.235±1.336
L1C1-800-3	3	24	2	95.485±0.714
L1C1-800-3	5	24	2	92.17±11.07
L1C1-800-3	7	24	2	96.45±2.67



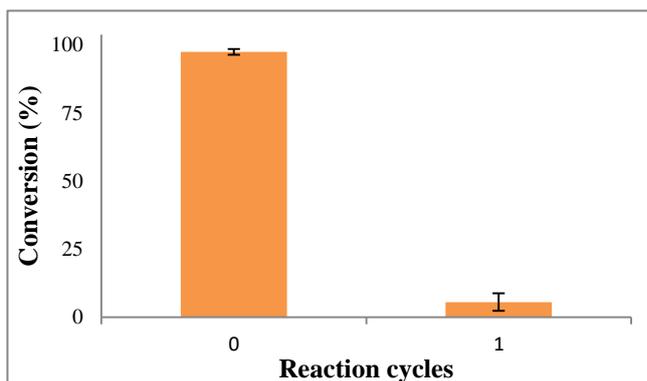
由數據可知，鉻酸鋰在經過 7 天的曝氣後，仍可保有 90%以上之轉酯率，由此推測鉻酸鋰較不易吸收空氣中的水分。

### (八) 催化劑之重複利用次數

使用最佳轉酯化反應條件將催化劑回收重複利用，若催化劑在重複利用後能維持其轉酯率，那未來商業化時便能將生產成本大幅降低。此實驗將反應完後之

的反應瓶靜置，使觸媒沉澱於底部，再使用傾倒的方式將產物與催化劑分離，並再次加入同比例之大豆油與甲醇，繼續進行轉酯化反應，反應數據如下。

Catalyst	Reaction cycles	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
L1C1-800-3	0	6	2	97.56±0.75
L1C1-800-3	1	6	2	5.63±3.18

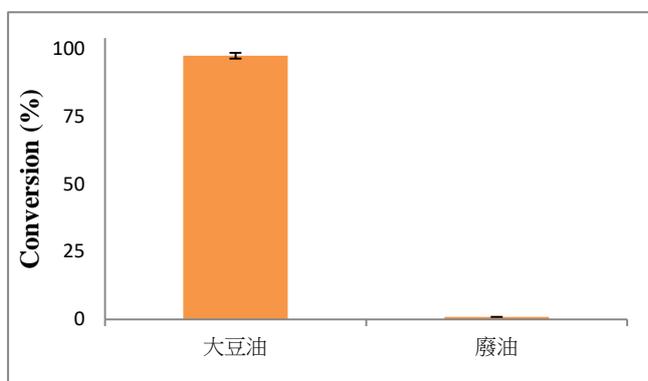


由圖表可知，催化劑重複利用 1 次以後，轉酯率便下降至 5.63%，因此可推測鉻酸鋰應不具重複利用的效果。

#### (九) 催化劑於廢油進行轉酯化反應之轉酯化效果

最後將催化劑改投入廢食用油中，以最佳化條件進行轉酯化反應，觀察鉻酸鋰是否具有將廢食用油轉化為生質柴油的能力。

油品	Mole ratio of methanol/oil	Catalyst amount (wt%)	Reaction time (hr)	Conversion(%)
大豆油	36	8	2	97.56±0.75
廢油	36	8	2	0.85±0.01



由圖表可知，鉻酸鋰在最佳化條件下對大豆油有 97.56% 的轉酯率，但對廢油的轉酯率僅剩 0.85%，故推測其無法利用於將廢食用油轉化成生質柴油。

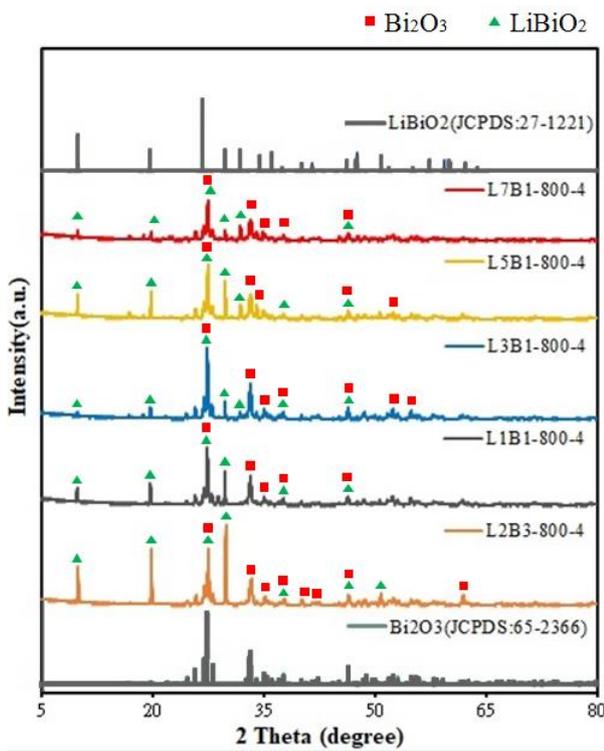
### 三、催化劑性質探討

#### (一) 鉍酸鋰性質探討

針對不同合成莫爾比、溫度、鍛燒時間進而探討鉍酸鋰之性質。

#### 1. XRD

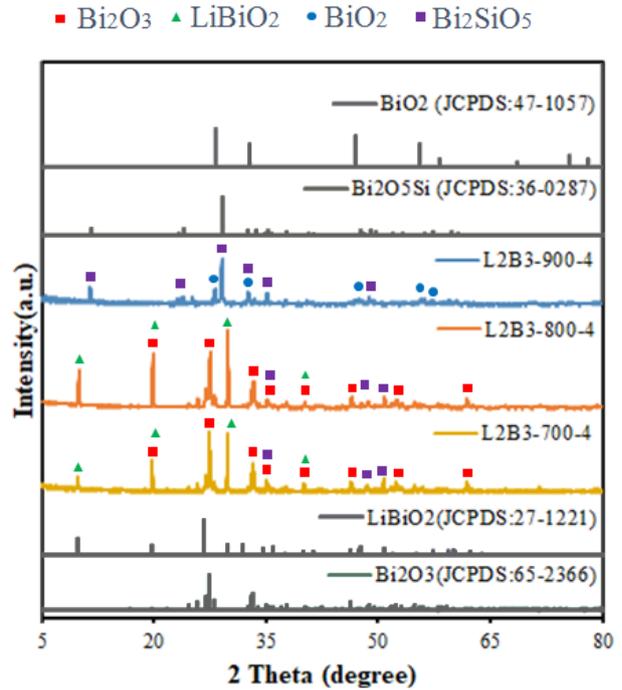
##### (1) 鉍酸鋰之合成莫爾比 XRD



▲圖 1 鉍酸鋰莫爾比 XRD 圖

從圖 1 中可發現，不管在何種合成莫爾比中可發現大量鉍酸鋰及三氧化二鉍繞射峰，但只有在 2:3 的合成條件下，相較於三氧化二鉍的繞射峰，鉍酸鋰的繞射峰較強且明顯。

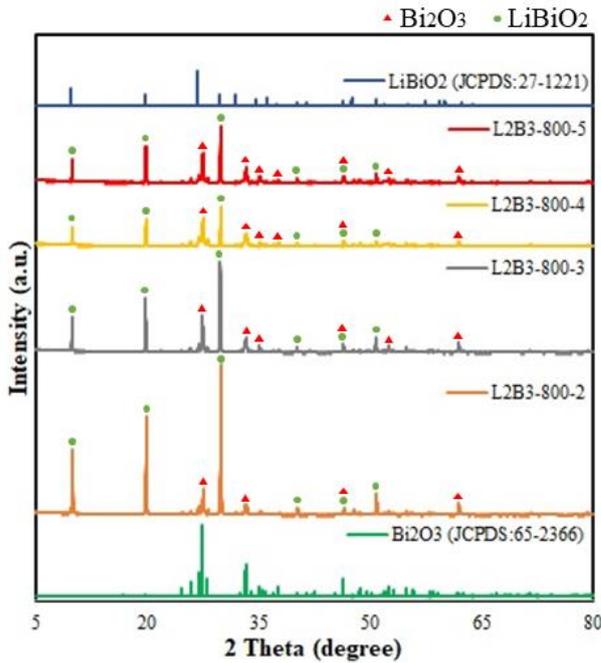
##### (2) 鉍酸鋰之合成鍛燒溫度 XRD



▲圖 2 鉍酸鋰鍛燒溫度 XRD 圖

從圖 2 中可看到不論鍛燒溫度為何，皆出現了和蒸發皿反應後出現的矽酸鉍，尤其 900°C 最為嚴重。而在 700、800°C 時矽酸鋰較少，且由繞射峰來看，生成物類似，最後選擇繞射峰較高之 L2B3-800-4 作為後續實驗所使用之觸媒。

(3) 鉍酸鋰之鍛燒時間



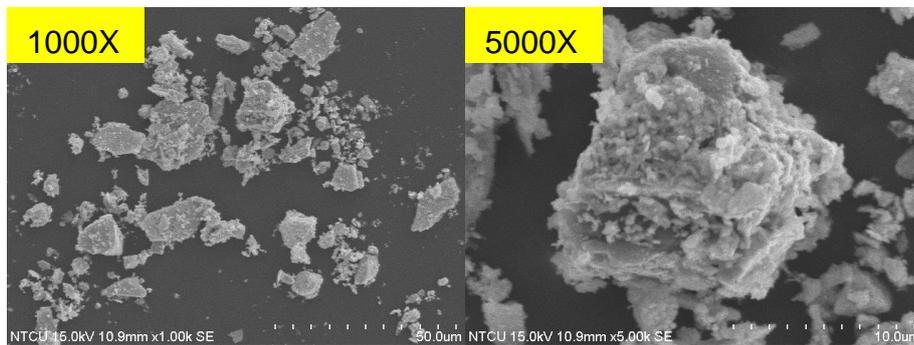
從圖 3 中可看到在 2 小時的鍛燒時間下，雖然也由合成出鉍酸鋰，但是相對於三氧化二鉍之繞射峰較不明顯，而在 3 小時，雖說三氧化二鉍之繞射峰已相對減弱，但還是很明顯。直到 4 小時鉍酸鋰之繞射峰強度才提升，但到了 5 小時，

▲圖 3 鉍酸鋰鍛燒時間 XRD 圖

2. SEM-EDS

將最佳化合成條件之鉍酸鋰以 SEM 觀察其表面形貌。由此圖可以發現最佳化合成條件之鉍酸鋰形貌主要呈現不規則之片狀。

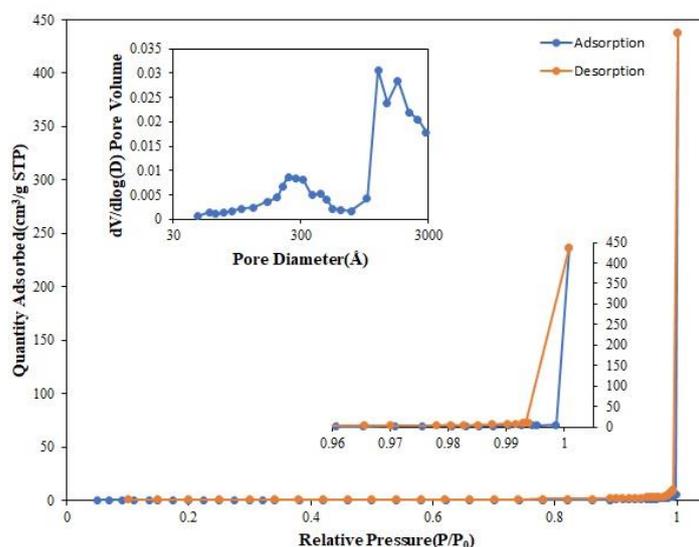
另使用 EDS 對催化劑進行定性及半定量分析。由於 EDS 只能夠檢測原子序 4 以上之元素，因此無法取得數據鉍酸鋰當中鋰之數據，只測得氧以及鉍二種元素。



Sample code	EDS of atomic ratio (%)		EDS of weight ratio (%)	
	O	Bi	O	Bi
L2B3-800-3	86.34	13.66	32.61	67.39

### 3. BET

為了確認表面積和顆粒大小，將最佳化合成條件之鈇酸鋰以 BET 進行比表面積、孔洞結構的測定，下圖為催化劑的吸/脫附圖。而由圖 4 可推測，此種類催化劑為巨孔結構。



▲圖 4 鈇酸鋰吸/脫附圖

### 4. 鹼度測定

將最佳條件之鈇酸鋰加入 Hammet 指示劑，由右到左分別為甲基橙、溴瑞香草酚藍、酚酞、2,4-二硝基苯胺溶。可發現最佳條件之鈇酸鋰在變色條件分別為 pH7.2、9.8 的溴瑞香草酚藍、酚酞溶液中觀察到溶液變色，而在變色條件為 pH15 的 2,4-二硝基苯胺溶中卻沒有變色，判斷其鹼強度介於 9.8 至 15.0 之間。

指示劑顏色	L2B3-800-3

最佳條件之  
鈇酸鋰鹼度表

Catalyst	Basic strength
L2B3-800-3	9.8 < pH < 15.0

## (二) 鉻酸鋰性質探討

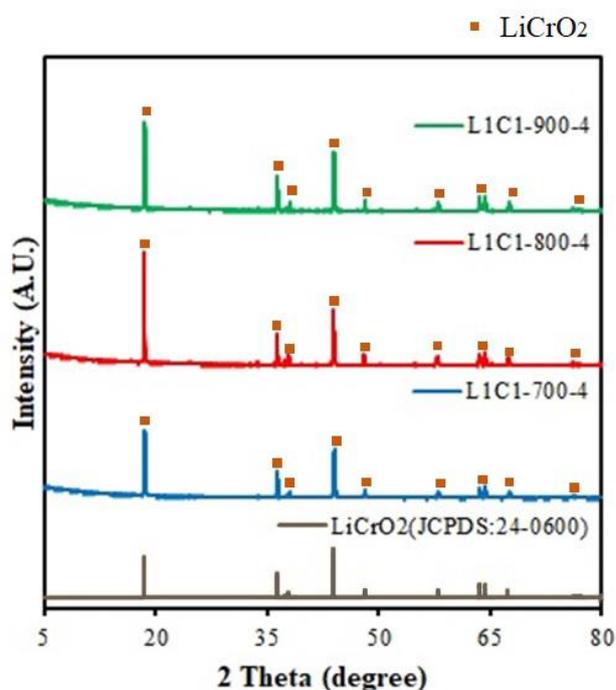
針對不同之合成莫爾比、溫度、反應時間進行鉻酸鋰之性質進行探討。

### 1. XRD

#### (1) 鉻酸鋰之合成莫爾比 XRD

經過多次的鍛燒合成測試，發現 3:1、1:3、2:1 之莫爾比在鍛燒後極容易因接觸空氣而受潮，進而無法使用 XRD 進行目標產物的分析，所以之後皆採用較不容易受潮之 1:1 之莫爾比進行後續實驗。

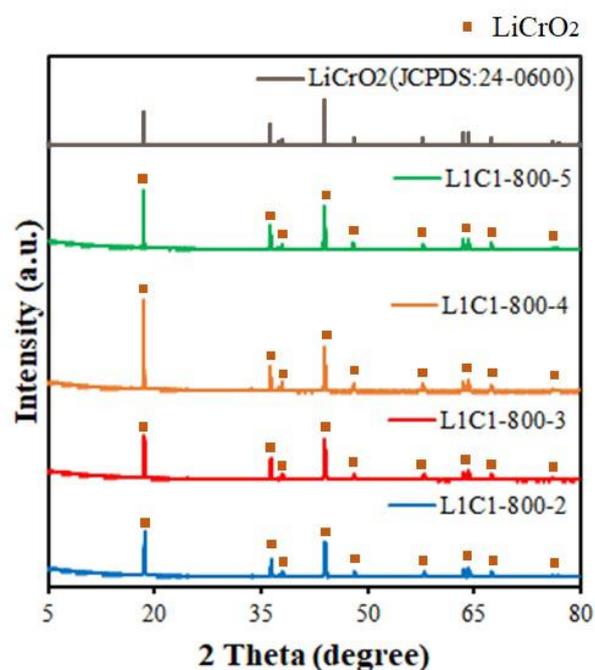
#### (2) 鉻酸鋰之合成鍛燒溫度 XRD



▲圖 5 鉻酸鋰鍛燒溫度 XRD 圖

由圖 5 中可知在 700、800、900 °C 的條件下之，生成物幾乎相同，而其中以 800 °C 之繞射峰最為明顯，所以最終採用 L1C1-800-4 為實驗所需之觸媒。

#### (3) 鉻酸鋰之鍛燒時間 XRD



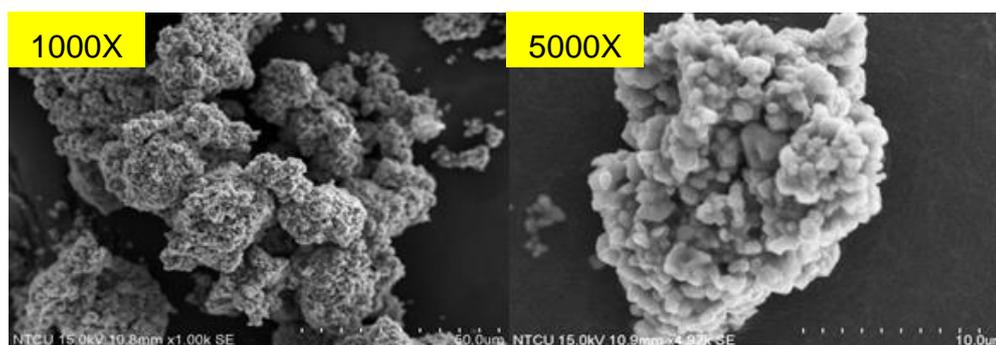
▲圖 6 鉻酸鋰鍛燒時間 XRD 圖

由圖 6 中可知在 2、3、4、5 小時的條件下之生成物幾乎相同。

## 2. SEM-EDS

將最佳化合成條件之鉻酸鋰以 SEM 觀察其表面形貌，由觀測結果可發現最佳化合成條件之鉻酸鋰形貌主要呈現不規則葡萄球狀。

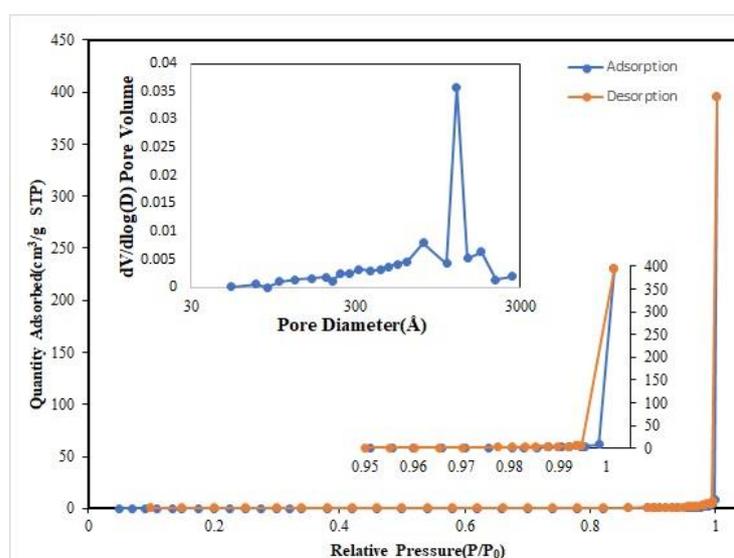
另使用 EDS 對催化劑進行定性及半定量分析。由 EDS 只能檢測原子序 4 以上之元素，因此無法取得數據鉻酸鋰當中鋰之數據，只測得氧以及鉻二種元素。



Sample code	EDS of atomic ratio (%)		EDS of weight ratio (%)	
	O	Cr	O	Cr
L1C1-800-3	69.92	30.08	41.70	58.30

## 3. BET

下圖為催化劑的吸/脫附圖。而由圖可推測，此種類催化劑為巨孔結構。



▲圖 7 鉻酸鋰吸/脫附圖

#### 4. 鹼度測定

將最佳合成條件之鉻酸鋰加入 Hammet 指示劑，由右到左分別為甲基橙、溴瑞香草酚藍、酚酞、2,4-二硝基苯胺溶。發現最佳化合成條件之鉻酸鋰唯獨未使變色條件為 pH15 的 2,4-二硝基苯胺溶變色，判斷其鹼強度大於 15.0。



最佳條件之  
鉻酸鋰鹼度表

Catalyst	Basic strength
L1C1-800-3	15.0<pH

#### 四、油品檢測

由於此實驗所製作出之生質柴油是否能應用在汽車引擎或未來用於航空用油上也是我們所關注的事情之一，因此進一步以 CNS 標準方法檢驗生質柴油的性質，驗證其是否符合台灣生質柴油標準。

使用最佳條件所生產之生質柴油為測試對象，檢測其水分、黏度、密度、酸價、碘價、冷濾點、銅片腐蝕性、硫含量、IA 金屬(鈉+鉀)、IIA 金屬(鎂+鈣)、磷含量，以及其甘油含量，包括單甘油、雙甘油、三甘油、游離甘油，與總甘油等。

##### (一) 鉻酸鋰製備之生質柴油檢測

將 L2B3-800-3 在最佳條件下所生產的生質柴油，以 CNS 標準方法進行性質的檢測結果如下表，由於檢測用電腦故障，且有些項日本實驗室未有相對應之檢測方法，所以表中未有 Na、K、Mg、Ca、硫、雙甘油酯以及甲醇含量、灰分、殘碳量、總汙染量等。

### 以鈹酸鋰製備之生質柴油檢測結果

Property	Range		Unit	Test-Method
	Measured value	Standardized value		
Water content	255.58	<500	mg/kg	CNS-4446 ISO-12937
Viscosity at 40°C	4.54	3.50~5.00	mm <sup>2</sup> /s	CNS-3390
Density at 15°C	886	860~900	kg/m <sup>3</sup>	CNS-12017 CNS-14474 ISO-12185
Acid value	0.28	<0.50	mg KOH/g	CNS-14669 CNS-14906
Iodine value	127	≤120	g I <sub>2</sub> /100g	CNS-15060
Cold filter plugging point	0	≤0	°C	CNS-15061
Copper band corrosion (3 hours at 50 °C)	Class 1	Class 1	rating	CNS-1219
Monoglyceride content	0.20	<0.80	% (m/m)	ISO-15018
Diglyceride content	0.001	<0.20	% (m/m)	ISO-15018
Triglyceride content	0.02	<0.20	% (m/m)	ISO-15018
Free Glyceride content	0.003	<0.02	% (m/m)	ISO-15018
Total Glyceride content	0.06	<0.25	% (m/m)	ISO-15018

由上表可知以鈹酸鋰所生產之生質柴油在大部分之檢測均合格，僅有碘價不符合 CNS 標準。因碘價是用來測試油品的不飽和鍵數，碘價超標可能是因為大豆油本身不飽和鍵較多的原因，而在進行轉酯化反應時，並不會對不飽和鍵的數量造成影響。

#### (二) 鉻酸鋰製備之生質柴油檢測

將 L1C1-800-3 在最佳條件下所生產的生質柴油，以 CNS 表準方法進行性質的檢測結果如下表，由於有些項目本實驗室未有相對應之檢測方法，所以表中未有甲醇含量、灰分、殘碳量、總汙染量等。

以鉻酸鋰製備之生質柴油檢測結果

Property	Range		Unit	Test-Method
	Measured value	Standardized value		
Water content	337.17	<500	mg/kg	CNS-4446 ISO-12937
Viscosity at 40°C	4.39	3.50~5.00	mm <sup>2</sup> /s	CNS-3390
Density at 15°C	886	860~900	kg/m <sup>3</sup>	CNS-12017 CNS-14474 ISO-12185
Acid value	0.14	<0.50	mg KOH/g	CNS-14669 CNS-14906
Iodine value	127	≤120	g I <sub>2</sub> /100g	CNS-15060
Flash point	126	>120	°C	CNS-3574 CNS-14473 ISO-3679
Cold filter plugging point	-1	≤0	°C	CNS-15061
Copper band corrosion (3 hours at 50 °C)	Class 1	Class 1	rating	CNS-1219
Sulfur content	2.1	<10.0	mg/kg	CNS-13877 CNS-14505 CNS-15461 ISO-20846 ISO-20884
Alkal Metals (Na+K)	0.7	<5.0	mg/kg	CNS-15052 CNS-15053
Alkal Metals (Mg+Ca)	<8.2	<5.0	mg/kg	CNS-15054
Phosphorus content	0.3	<4.0	mg/kg	CNS-15019 CNS-15058
Monoglyceride content	0.30	<0.80	% (m/m)	ISO-15018
Diglyceride content	0.09	<0.20	% (m/m)	ISO-15018
Triglyceride content	0.02	<0.20	% (m/m)	ISO-15018
Free Glyceride content	0.006	<0.02	% (m/m)	ISO-15018
Total Glyceride content	0.10	<0.25	% (m/m)	ISO-15018

由上表可知以鉻酸鋰所生產之生質柴油在大部分之檢測均合格，僅有碘價及 Mg、Ca 含量不符合 CNS 標準。

## 陸、結論

### 一、鈹酸鋰

最佳鈹酸鋰合成條件為 L2B3-800-3；目前最佳反應條件為醇油莫爾比 18:1、催化劑用量 8wt%、反應時間 2 小時。

最佳條件催化劑，在前 2 次具有容易回收、多次重複利用的優點，從數據中可發現其與大豆油反應後，重複 2 次便發現轉酯率下降約 40%，可推測其經多次使用後將有劇烈的活性變化。

但是，最佳條件催化劑可能具有穩定的特性，將催化劑曝露於常溫常壓下 7 日後，再將其做轉酯化反應，轉酯率仍可達到 86.62%，顯示其不容易因為與空氣接觸而降低活性。

而將最佳條件之觸媒與反應環境將油炸廢油進行轉酯化反應，其轉酯率來到了 95.09%，顯示其在游離脂肪酸較高之油品中也有良好的表現。

### 二、鉻酸鋰

最佳鉻酸鋰合成條件為 L1C1-800-3；目前最佳反應條件為醇油莫爾比 36:1、催化劑用量 6wt%、反應時間 2 小時。

最佳條件催化劑，不具有容易回收、多次重複利用的優點，從數據中可發現其與大豆油反應後，只重複一次便發現轉酯率下降極大，顯示其經多次使用後將有劇烈的活性變化。

但是，最佳條件催化劑可能具有穩定、不易吸收水氣的特性，將催化劑曝露於常溫常壓下 7 日後，再將其做轉酯化反應，轉酯率仍可達到 96.45%，顯示其不容易因為與空氣接觸而降低活性。

而將最佳化條件之觸媒與反應環境將由炸廢油進行轉酯化反應，其轉酯率為 0.85%，顯示其在游離脂肪酸較高之油品中表現十分不好。

## 柒、參考文獻

1. 經濟部標準檢驗局 (2007) CNS 15051 油脂衍生物(脂肪酸甲酯)－總脂肪酸甲酯及次亞麻油酸甲酯含量測定法
2. E. Lotero, Y. Liu, D. E. Lopez, K. Suwannakarn, D. A. Bruce; J. J. G. Goodwin, (2005)Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. Industrial and Engineering Chemistry Research 44, P5353-5363.
3. S. Kent Hoekmana, Amber Brocha, Curtis Robbins , Eric Cenicerros , Mani Natarajan. (2012) Review of biodiesel composition, properties, and specifications, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, P.143 – P.169
4. Digambar Singh, Dilip Sharma, S.L. Soni, Sumit Sharma ,Deepika Kumari, (2019 )Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels: A review. Fuel, Volume 253, P60-P71
5. PEY-SHEY WU, CHI-FENG YANG and ING-LUNG SHIH(2011) Producing Biodiesel from Waste Cooking Oil:Influent Parameters P8

## 【評語】 052408

本作品以鈹酸鋰或鉻酸鋰為催化劑將大豆油或廢食用油反應製成生質柴油，改變催化劑合成條件得最佳，找尋最佳反應條件。大豆油製成生質柴油之轉酯率可達 98%，但重複利用的測試結果並不理想。實驗包括催化劑合成、特性分析及轉酯反應，研究目標明確，實驗規劃與分析尚稱完整詳細。本作品相當成熟，成果亦佳，惟作者的創意並不明顯。建議蒐集相關文獻並與本實驗結果比較。兩種催化劑重複利用時，轉化率明顯下降，宜分析原因，嘗試再生活化，以提高催化劑價值。圖表的呈現宜參考正式學術論文之格式，並提供標題。



因化石燃料枯竭及燃燒帶來之汙染，尋找替代能源為當今致力研究之目標。本研究將大豆油或廢食用油反應製生質柴油，試以鈹酸鋰或鉻酸鋰為目標，改變合成條件得最佳催化劑，找尋最佳反應條件。

此研究發現之最佳反應條件中：大豆油製生質柴油之轉酯率皆98%以上。催化劑最佳反應條件分別為：L2B3-800-3，醇油比18：1，觸媒用量6 wt%，反應2 hr。L1C1-800-3，醇油比36：1，觸媒用量6 wt%，反應2 hr。廢食用油製生質柴油以鈹酸鋰為催化劑尤佳。但此兩組催化劑，重複利用的測試結果不理想。本研究產製之最佳生質柴油，經CNS標準方法檢測，各條件大致符合國家規範，故本研究使用之鈹酸鋰及鉻酸鋰均是具潛力開發之催化劑。

## 壹、研究動機

近年來化石燃料枯竭，科學家致力於尋找替代能源，而生質柴油不但在燃燒時可有效減少溫室氣體排放，也大幅降低空氣中懸浮微粒，是一項環保且可行的替代能源。

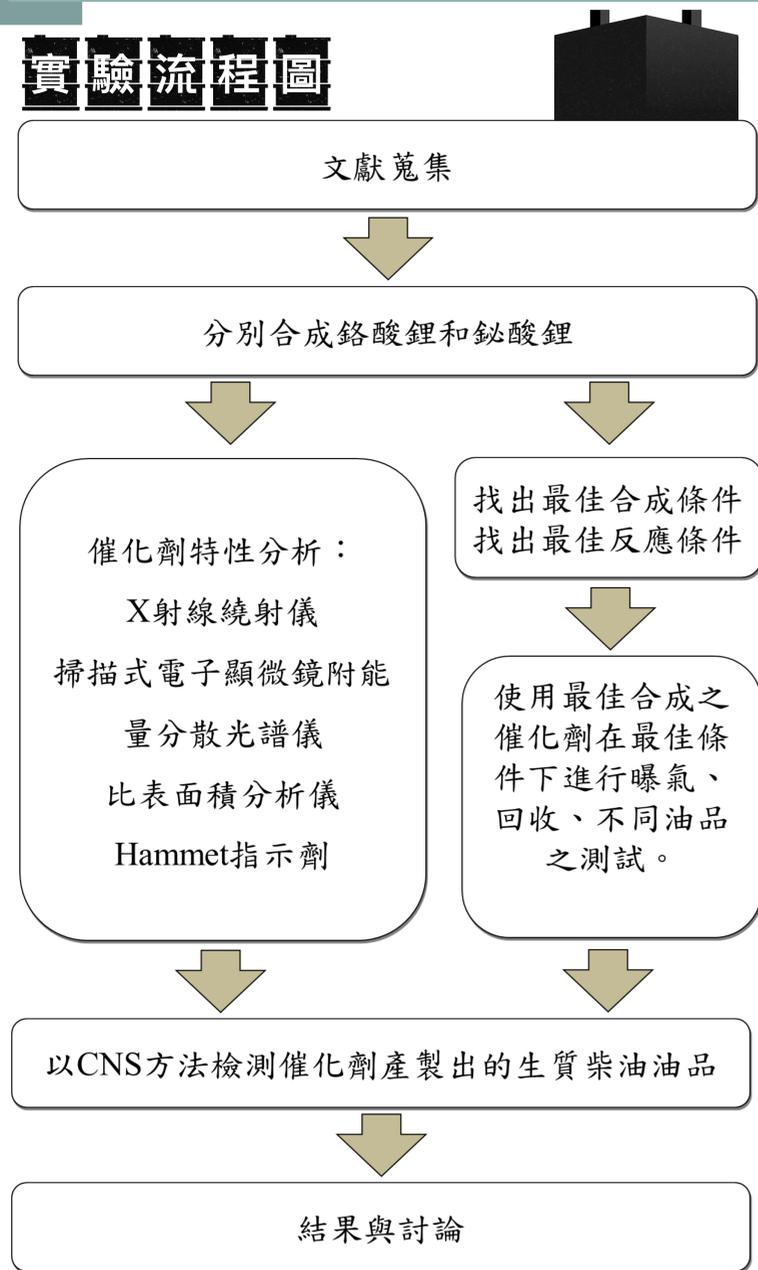
目前主要製備生質柴油的方式為轉酯化反應，只需簡單以植物油或動物脂肪與醇類反應即可得到生質柴油與副產物甘油，且研究發現於反應中加入催化劑能有效提高產率。

## 貳、研究目的

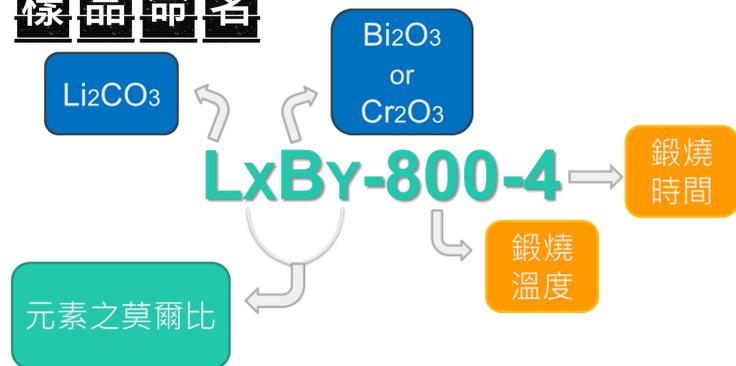
- 一、使用氧化鈹、氧化鉻配合碳酸鋰合成非均相的固態觸媒。
- 二、改變觸媒合成條件及轉酯化反應的條件利用氣相層析儀/火焰離子偵測器(GC-FID)分析油品轉酯率，以期找出最能夠符合目前工業化所需觸媒。
- 三、使用廢食用油為反應物，觀察觸媒能否用於食用油回收。

## 肆、研究過程及方法

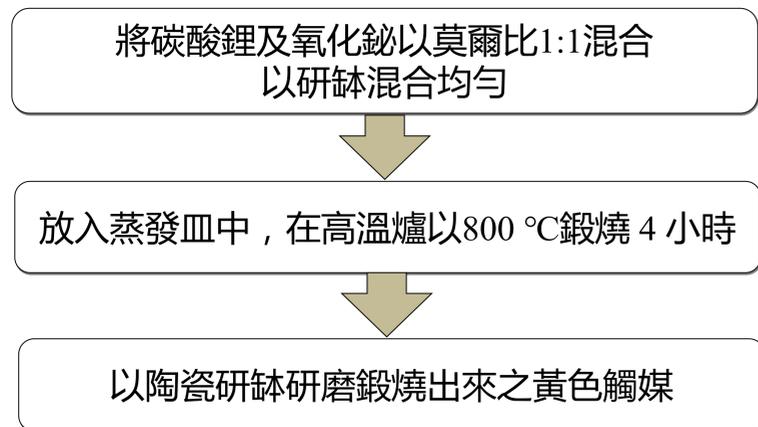
### 實驗流程圖



### 樣品命名



### 催化劑製作 (以L1B1-800-4為例)



### 催化劑性質分析

將催化劑以下列儀器進行性質分析：

- 1.XRD：測量催化劑晶相
- 2.SEM-EDS：觀測催化劑表面結構及元素種類
- 3.BET：分析催化劑比表面積
- 4.Hammett 指示劑：測量催化劑之鹼性強度

### 酸鹼觸媒比較

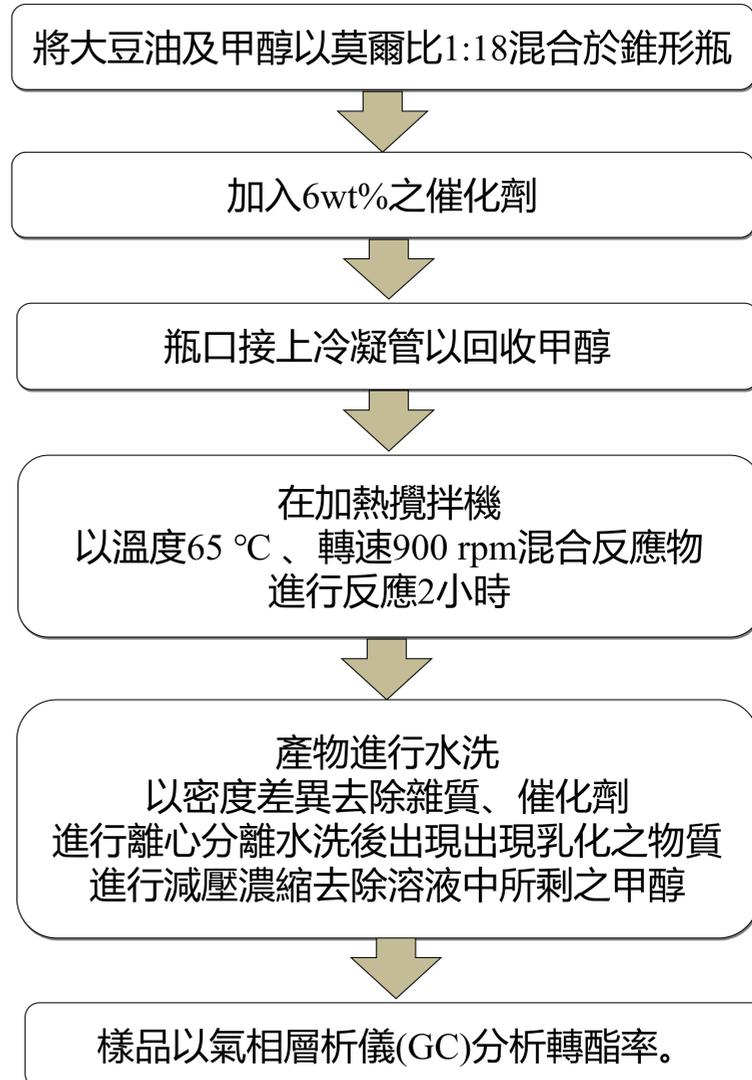
	鹼製成	酸製成
優點	價格便宜 比酸製成反應速率大約快4000倍	對原料油沒有強硬限制
缺點	易受原料油游離脂肪酸影響 【皂化反應】導致鹼觸媒消耗 酯類和甘油分離困難	反應速率慢 需要較高反應溫度 強酸對金屬腐蝕性大

### 生質柴油

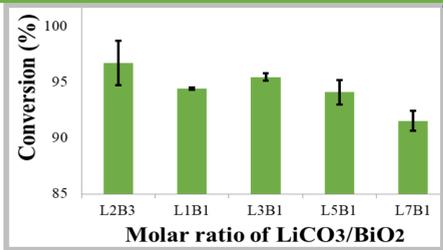
### 生產方式

比較	直接混合利用	微細乳化	熱裂解	轉酯化反應
優點	可攜帶性 可再利用性 柴油80%熱值	助燃燒 改善黏度問題 物化性	產物是低碳數烷類 烯烴類碳氫化合物	簡單 費用較低 產品穩定
缺點	黏度高 揮發性低 不飽和氫碳鍵影響反應	積碳 結膠 潤滑油稀釋 降低熱值 十六烷值	反應途徑生成物難以掌控 設備和操作成本高	產製過程中經過中和·蒸餾·水洗產生大量廢水

### 轉酯化反應實驗

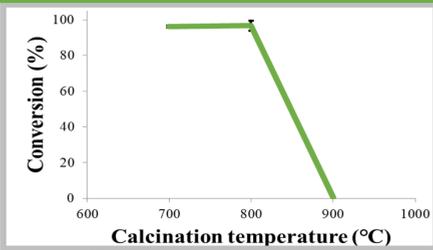


### (一) 改變鈹酸鋰之合成莫耳比



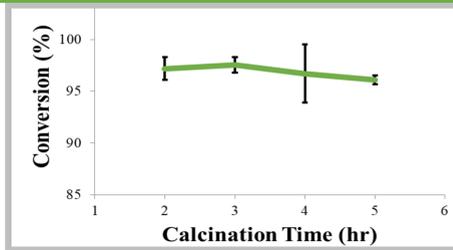
合成莫耳比 2 : 3  
轉酯率達最高 96.72%

### (二) 改變鈹酸鋰之鍛燒溫度



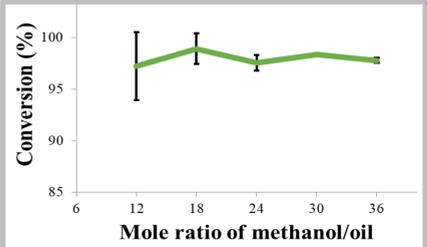
鍛燒溫度 800 °C  
轉酯率達最高 96.72%

### (三) 改變鈹酸鋰之鍛燒時間



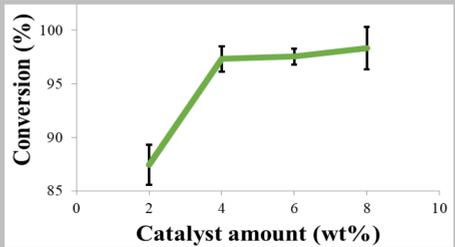
催化劑之鍛燒溫度 3小時  
轉酯率達到最高 97.56%

### (四) 改變之醇油比



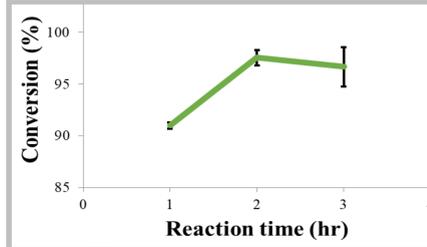
油醇莫耳比為 18 : 1  
轉酯率達到最高 98.92%

### (五) 改變催化劑用量



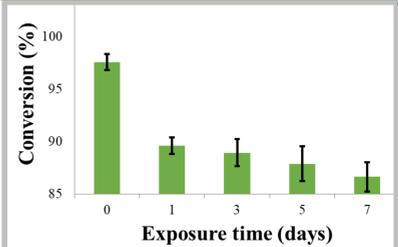
催化劑用量為 8wt%  
轉酯率達到最高 98.92%

### (六) 改變反應時間



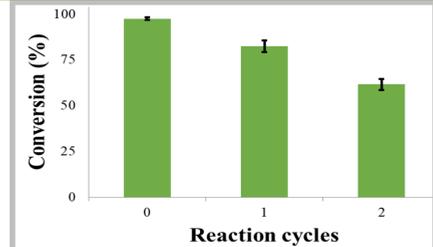
反應時間 2小時  
轉酯率達到最高 97.56%

### (七) 改變催化劑之曝氣天數



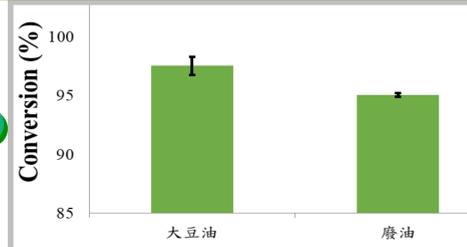
判定曝氣對於鈹酸鋰  
轉酯率無較大影響

### (八) 催化劑之重複利用次數



此種催化劑重複使用效果  
並不是非常理想

### (九) 以廢油進行轉酯化反應

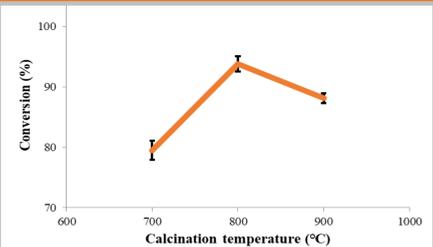


推測鈹酸鋰在回收油處理  
是一個很好的選擇

### (一) 改變鉻酸鋰之合成莫耳比

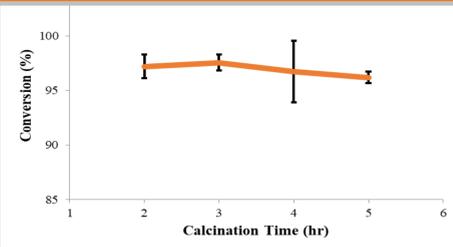
由於經過多次的鍛燒合成測試  
發現3:1、1:3、2:1莫爾比  
極容易在鍛燒後接觸空氣而受潮  
無法使用XRD進行產物的分析  
再來實驗皆採用較不容易受潮之  
1:1之莫耳比進行

### (二) 改變鉻酸鋰之鍛燒溫度



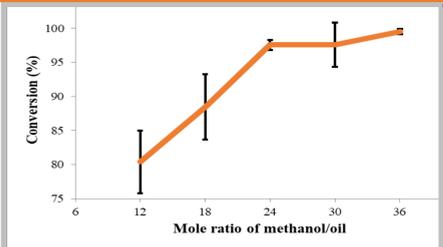
鍛燒溫度為 800 °C  
轉酯率達到最高 93.80%

### (三) 改變鉻酸鋰之鍛燒時間



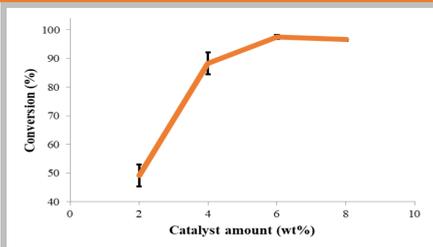
催化劑之鍛燒溫度 3小時  
轉酯率達到最高 97.56%

### (四) 改變之醇油比



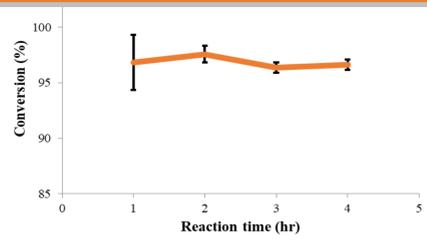
油醇莫耳比為 36 : 1  
轉酯率達到 99.49%

### (五) 改變催化劑用量



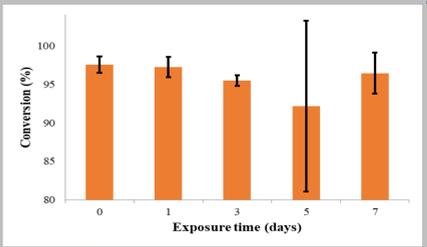
催化劑用量為 6wt%  
轉酯率達到最高 97.56%

### (六) 改變反應時間



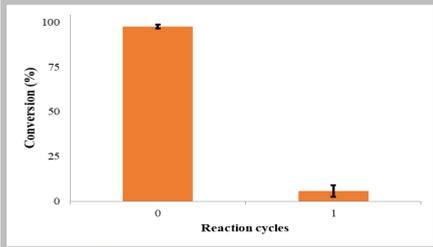
反應時間 2小時  
轉酯率達到最高 97.56%

### (七) 改變催化劑之曝氣天數



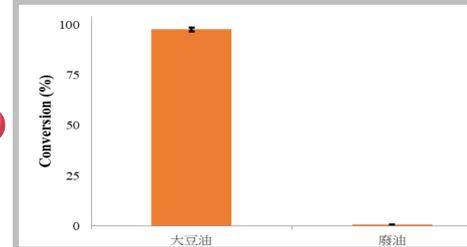
判定曝氣對於鉻酸鋰  
轉酯率無較大影響

### (八) 催化劑之重複利用次數



此種催化劑重複使用效果  
並不是非常理想

### (九) 以廢油進行轉酯化反應

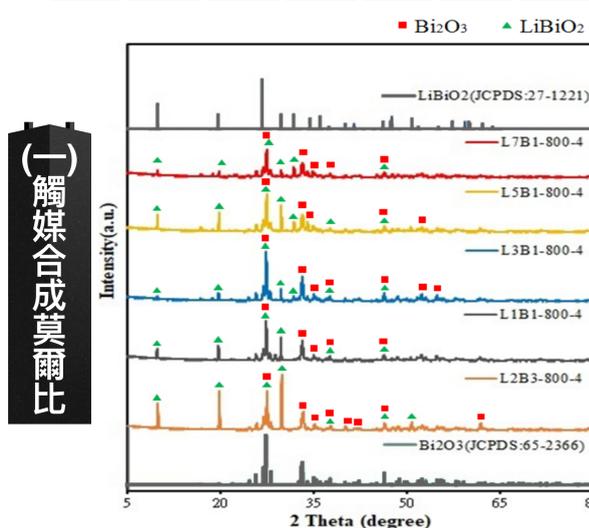


推測鉻酸鋰在回收油處理  
不是一個很好的選擇

## 催化劑性質探討

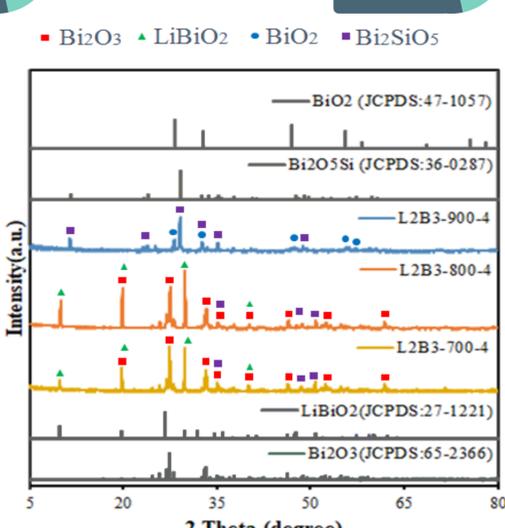
## X射線繞射儀

## 鈹酸鋰之XRD圖

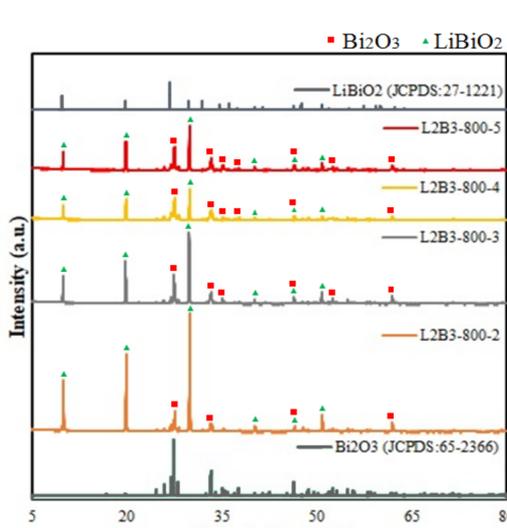


(一) 觸媒合成莫爾比

(二) 觸媒鍛燒溫度



(三) 觸媒鍛燒時間

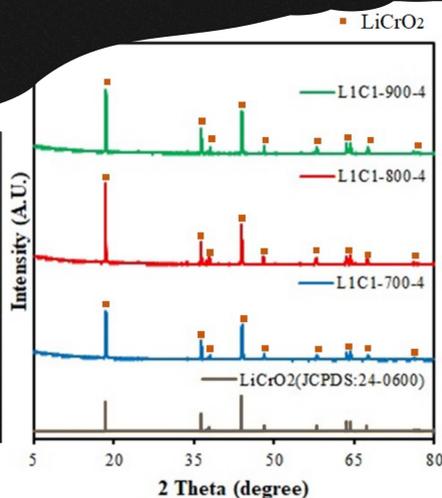


## 鉻酸鋰之XRD圖

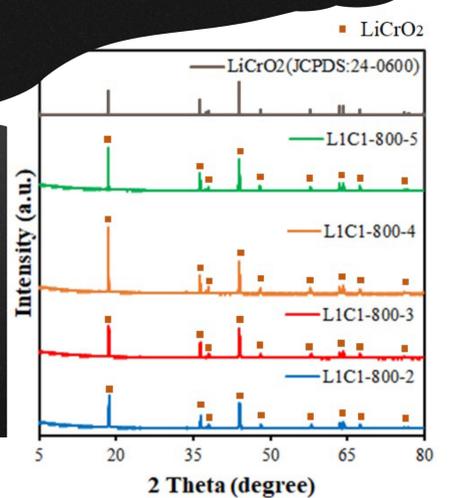
(一) 觸媒合成莫爾比

由於經過多次鍛燒合成測試，發現3:1、1:3、2:1之莫爾比極容易在鍛燒後接觸空氣而受潮，進而無法適用XRD進行目標產物分析，所以之後皆採用較不容易受潮之1:1之莫爾比進行後續實驗。

(二) 觸媒鍛燒溫度

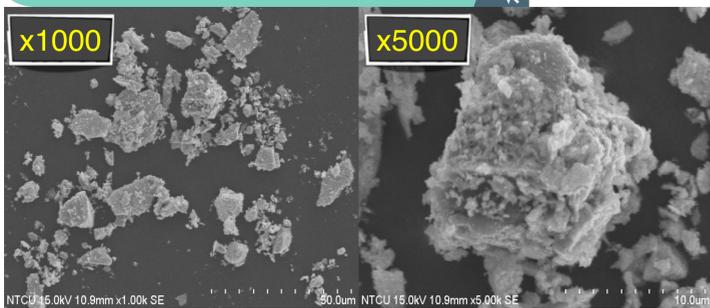


(三) 觸媒鍛燒時間

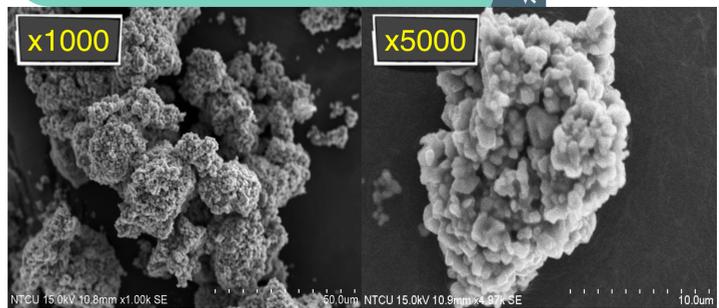


## 揚發式掃描電子顯微鏡附能量分散光譜儀

### L2B3-800-3之SEM圖



### L1C1-800-3之SEM圖



### L2B3-800-3之EDS數據

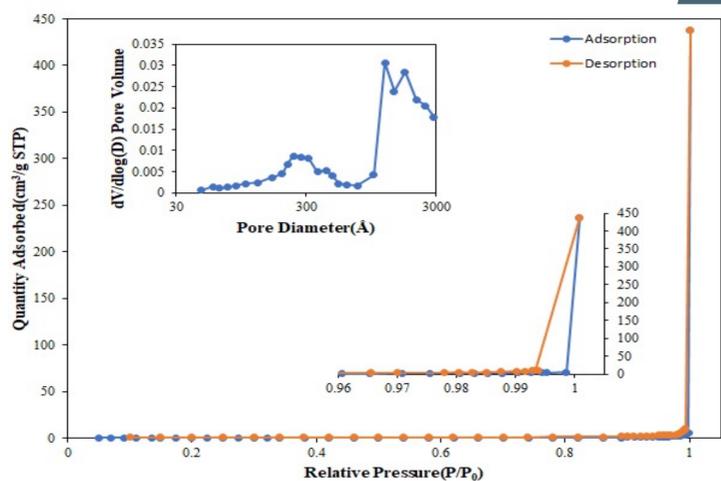
Sample code	EDS of atomic ratio (%)		EDS of weight ratio (%)	
	O	Bi	O	Bi
L2B3-800-3	86.34	13.66	32.61	67.39

### L1C1-800-3之EDS數據

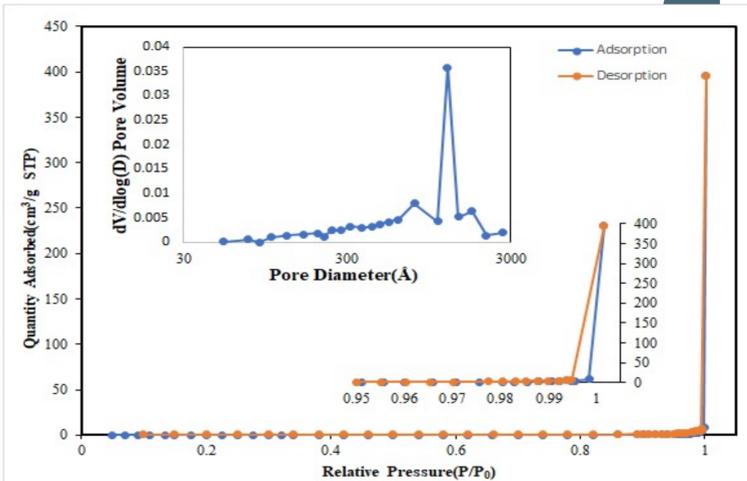
Sample code	EDS of atomic ratio (%)		EDS of weight ratio (%)	
	O	Cr	O	Cr
L1C1-800-3	69.92	30.08	41.70	58.30

## 比表面積分析儀

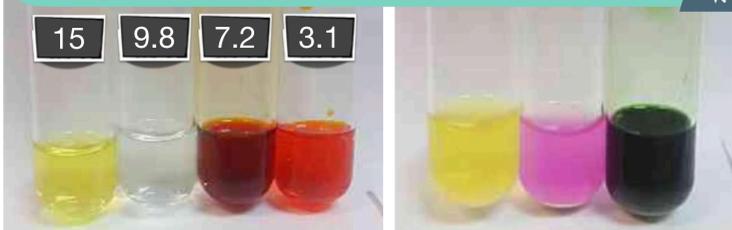
### 最佳化鈹酸鋰之等溫氮氣吸/脫附圖



### 最佳化鉻酸鋰之等溫氮氣吸/脫附圖



### 最佳化鈹酸鋰酸鹼度檢定



指示劑顏色

L2B3-800-3

### 最佳化鉻酸鋰酸鹼度檢定



指示劑顏色

L1C1-800-3

### 最佳化鈹酸鋰酸鹼度表

Catalyst	Basic strength
L2B3-800-3	9.8 < pH < 15.0

### 最佳化鉻酸鋰酸鹼度表

Catalyst	Basic strength
L1C1-800-3	15.0 < pH

## 陸、結論

- 最佳條件之鈹酸鋰，使用碳酸鋰與氧化鈹以莫爾比2:3，在800°C下鍛燒3小時之觸媒，醇油比18:1，觸媒用量8 wt%，反應時間兩小時得到之生質柴油，轉酯率達98.92%，重複使用兩次掉至61.61%，對廢油之轉酯率為95.09%
- 最佳條件之鉻酸鋰，使用碳酸鋰與氧化鉻以莫爾比1:1，在800°C下鍛燒3小時之觸媒，醇油比36:1，觸媒用量6 wt%，反應時間兩小時得到之生質柴油轉酯率為99.49%，重複使用一次掉至5.63%，對廢油之轉酯率為0.85%
- 兩者以最佳化觸媒與其最佳化反應條件所得之生質柴油，僅碘價不符合CNS標準。
- 希望未來有機會可以運用在航空業上

## 柒、參考文獻

- 經濟部能源局-生質柴油推動
- 經濟部標準檢驗局CNS 15051油脂衍生物(脂肪酸甲酯)-總脂肪酸甲酯及次亞麻油酸甲酯含量測定法, 2007).
- E. Lotero, Y. Liu, D. E. Lopez, K. Suwannakarn, D. A. Bruce; J. J. G. Goodwin, Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. Industrial and Engineering Chemistry Research 44 (2005) 5353-5363.
- S. Kent Hoekmana, Amber Brocha, Curtis Robbins, Eric Cenicerros, Mani Natarajan. Review of biodiesel composition, properties, and specifications, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 143-169
- Digambar Singh, Dilip Sharma, S.L. Soni, Sumit Sharma, Deepika Kumari, Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels: A review. Fuel, Volume 253, 2019, 60-71