

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 化學科

(鄉土)教材獎

050207

化污成油-合成鈷酸鋰觸媒催化大豆油及油炸廢
油產出生質柴油之研究

學校名稱：臺中市立文華高級中等學校

作者： 高二 丘佳薰	指導老師： 梁玉龍
---------------	--------------

關鍵詞：非勻相鹼性催化劑、轉酯化反應、生質柴油

摘要

本研究所得之最佳條件將碳酸鋰與氧化鈷以 6:1 的莫耳比合成非均相催化劑鈷酸鋰，鍛燒溫度為 900°C，鍛燒時間 4 小時，醇(甲醇)油(大豆油)莫耳比值 24，使用 6wt%的催化劑，以攝氏 65 度的溫度反應 2 小時，可得出高達 98.4%的轉酯率。

壹、研究動機

生質柴油是將動、植物油脂或廢棄食用油之長鏈脂肪酸，藉由觸媒及烷基醇類轉酯化生成的直鏈烷基酯類(林忠亮、方炳勳、黃冬梨、李政誠，2009 石油季刊 42 卷 1 期)。參考資料(一)生質柴油使用的催化劑可分為酸性與鹼性，依其形態又可分为均相催化劑與非均相催化劑，目前應用上常用均相鹼性催化劑，因鹼性反應速率快且轉酯效率較高，雖會產生皂化，但利遠大於弊，參考資料(二)、(三)均相催化劑反應時間較短且效果較好。且非均相催化劑需要高溫才能達到良好的轉酯率，而均相催化劑雖反應快卻不易從產物中分離，所以均相催化劑在純化生質柴油的水洗過程洗去多餘的鹼將產生大量廢水，對環境造成不小的負荷，高濃度時甚至會腐蝕與損壞設備，相對來說非均相催化劑易於分離且可以重複使用，均相催化劑卻較難回收降低重複使用性，目前研究多集中於非均相催化劑，多為鹼金屬或鹼土金屬合成的鹽類和金屬氧化物反應做為轉酯化反應的鹼性固體催化劑，這樣看來非均相催化劑較均相催化劑更具研究價值。

貳、文獻探討

表一 參考資料(四)生質柴油與石化柴油之優點比較表

項目(中文/英文)	石化柴油	生質柴油
組成成分/Composition	HC (C10~C21)	FAME (C12~C22)
氫/Hydrogen (wt %)	13	12
碳/Carbon (wt %)	87	77
氧/Oxygen (wt %)	0	11
硫/Sulfur (wt %)	0.05	0.05
水/Water (vol %)	0.05	0.05
十六烷值/Cetane number	40-55	48-60
比重/Specific gravity (g/mL)	0.85	0.88
運動黏度/Kinematic viscosity (mm ² /s), 40°C	1.9~4.1	1.9~6.0
流動點/Pour point (°C)	-35 to -15	-15 to 16
濁點/Cloud point (°C)	-15 to 5	-3 to 12
閃點/Flash point (°C)	60-80	100-170
檢驗標準/Standard	ASTM F975	ASTM D6751

參考資料(五)生質柴油含氧量高，較易點火燃燒，亦較抗爆震，排放黑煙少，無毒、生物可分解，碳氫化物、碳氧化物、二氧化硫排放量少，閃火點高不易著火利於儲存，潤滑可在降低柴油硫、磷含量時當潤滑劑。石化柴油含氧量低、閃火點低、潤滑性差，並排放氫、乙烯、丙烯、甲烷、丁烷、一氧化碳、氮氧化合物。

一、生質柴油

主要以三酸甘油酯(天然油脂，可使用植物油或動物油)為原料與醇類進行轉酯化反應，解決植物油黏性所導致引擎運作不良之問題，參考資料(二)一般而言，其反應出的甲基酯類燃燒性質與化石柴油相似，可以當一般柴油內燃機的燃料，但無毒可被生物分解。

此研究中的生質柴油根據[經濟部標準檢驗局 CNS15051 總脂肪酸甲酯及次亞麻酸甲酯含量測定法]專指氣相層析儀配備火焰離子偵測器(FID)偵測出碳鏈長度 C14 到 C24，11 之間的脂肪酸甲酯，超出範圍一律不計。

(一)生質柴油的特性

不同油酯、醇類、催化劑製成的生質柴油因生產流程條件不盡相同，製成的生質柴油也會略有不同。

表二 生質柴油中常見的脂肪酸表

項目 中文俗名	縮寫	分子式	重量
月桂酸	12:0	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200.32
肉豆蔻油酸	14:1	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	226.26
肉豆蔻酸	14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228.38
棕櫚油酸	16:1	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	254.42
棕櫚酸	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256.43
次亞麻油酸	18:3	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	278.44
亞麻油酸	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280.46
油酸	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282.47
硬脂酸	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.48

注:「縮寫」 [14:0]中 14 指碳數, 0 指雙鍵數

表三 參考資料(六)常見油酯的脂肪酸含量表

脂肪酸	脂肪酸含量(wt%)							飽和(%)
	C14:0	C16:1	C16:0	C18:3	C18:2	C18:1	C18:0	
初榨橄欖油	0	0.8	9.2	0.6	4.5	80.4	3.4	12.6
棕櫚油	1.2	0	47.9	0.3	9.1	37	4.2	53.3
大豆油	0.1	0	10.6	8.2	52.3	22.5	4.8	15.5
紅花油	0	0	5.2	16.2	76.3	2.2	0	7.4
葵花籽油	0	0	6.0	69.3	18.7	4.2	0	10.2
菜籽油	3.5	0	0	8.2	22.3	64.4	0.9	4.2
食用動物脂	4.8	0	28.4	0	2.7	44.6	14.8	52.0
豬油	1.7	1.9	17.3	0.4	9.2	42.5	15.6	34.6
家禽脂肪	0	8.4	22.2	1.0	19.3	42.3	5.1	35.7

(二)臺灣的生質柴油檢驗標準

表四 參考資料(七)臺灣的生質柴油檢驗標準(CNS 15072)表

品質項目	單位	最小值	最大值	檢驗法
密度 (15°C)	kg/m ³	860	900	CNS-12017 CNS-14474
閃點	°C	120	-	CNS-3574
黏度	mm ² /s	3,5	5,0	CNS-3390
酯含量	% (m/m)	96.5	-	CNS-15051
硫含量	mg/kg	-	10	CNS-14505
硫酸鹽含量	% (m/m)	-	0.02	CNS-3576
水分	mg/kg	-	500	CNS-4446
磷含量	mg/kg	-	10	CNS-15019 CNS-15058
十六烷值	-	51.0	-	CNS-5165
殘碳量 (10% 蒸餾殘餘物)	% (m/m)	-	0.3	CNS-14477
第 I 族金屬 (鈉+鉀)	mg/kg	-	5	CNS-15052 (Na) CNS-15053 (K)
第 II 族金屬 (鈣+鎂)	mg/kg	-	5	CNS-15054
酸價	mg KOH/g	-	0.5	CNS-14669 CNS-14906
碘價	-	-	120	CNS-15060
次亞麻油酸甲 酯	% (m/m)	-	12	CNS-15051
脂肪酸甲酯 (雙鍵≥4)	% (m/m)	-	1	
甲醇含量	% (m/m)	-	0.2	CNS-8523
單甘油酯含量	% (m/m)	-	0.8	CNS-15018
雙甘油酯含量	% (m/m)	-	0.2	CNS-15018
三甘油酯含量	% (m/m)	-	0.2	CNS-15018
游離甘油含量	% (m/m)	-	0.02	CNS-15018
總甘油含量	% (m/m)	-	0.25	CNS-15018
銅片腐蝕性(3 小時 50 °C)	rating	Class 1	Class 1	CNS-1219
氧化穩定性 (110°C)	hours	6	-	CNS-15056
總污染量	mg/kg	-	24	CNS-15055
冷濾點	°C	-	-5 (C 級)	CNS-15061

因生質柴油性質與石化柴油相似，生質柴油目前的主要用途就是替代相較之下對環境危害高、且存量驟減的石化柴油，也因此，生質柴油有些性質必須與石

化柴油相似，生質柴油標準中也會檢驗，其中密度、黏度、酸價、碘價、閃點、十六烷值等都為上文所述之。

參、研究目的

- 一、開發全新的轉酯化反應非均相鹼性催化劑(二重複實驗確保再現性)
- 二、完整分析其特性
- 三、改變催化劑的合成比例、催化劑鍛燒溫度、催化劑鍛燒時間、催化劑使用量、反應油醇莫耳比、反應時間找出最佳化鈷酸鋰的合成條件
- 四、探討鈷酸鋰曝氣天數的影響性、回收觸媒重複利用的可能性以及使用其他油品時對轉酯率的影響
- 五、讓使用非均相鹼性催化劑的生質柴油研究更進一步，以期未來能廣泛運用於工業

肆、實驗藥品、實驗器材與分析儀器

一、實驗藥品

1. 甲醇(CH_3OH)：純度>99%，ECHO Chemical Co.
2. 大豆油(Soybean Oil)：美食家食材通路有限公司
3. 菜籽油(Rapeseed Oil)：建佳化工企業有限公司
4. 椰子油(Coconut Oil)：建佳化工企業有限公司
5. 橄欖油(Olive Oil)：建佳化工企業有限公司
6. 廢棄食用油(Used cooking Oil)：國立臺中教育大學學校餐廳
7. 碳酸鋰(Li_2CO_3)：純度>98%，Katayama Chemical Co.
8. 氧化鈷(Co_2O_3)：純度>98%，和光純藥工業株式會社
9. 去離子水：由 Milli-Q water ion-exchang system(Millipore Co.)純化
10. 十七酸甲酯(標準品) ($\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$)：純度>99%，Sigma-Aldrich Co.
11. 異丙醇($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$)：純度>99%，Merck KgaA

二、實驗器材

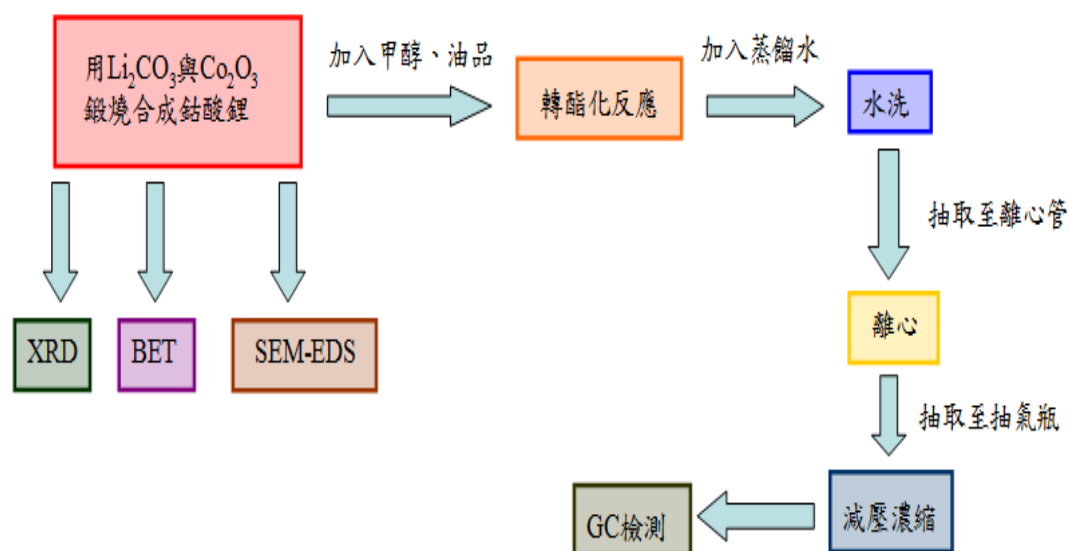
1. 蒸發皿：華興化學原料有限公司
2. 陶製研鉢：華興化學原料有限公司
3. 精密電子量秤：Mettler Toledo，AG204
4. 磨砂口錐形瓶 250 mL：華興化學原料有限公司
5. 磨砂口迴流冷凝管：華興化學原料有限公司
6. 恆溫循環水槽：DENG YNG，D-606
7. 電磁攪加熱攪拌機：CORNING，PC420D
8. 離心管：華興化學原料有限公司
9. 離心機：祥太精機股份有限公司，CN-2060
10. 分液漏斗 250mL：華興化學原料有限公司
11. 烘箱：馳鵬企業，D0-60
12. 高溫爐：Dengyng instruments CO. LTD，DF-40

三、分析儀器

- 1.X 射線繞射儀(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-SEM-EDS)：JOEL，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 30m、內徑 0.25mm 和 0.25 μ m)

伍、實驗方法

一、實驗條件研究流程



圖一 實驗流程圖

將 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 以 6:1 的莫耳比於研鉢均勻研磨混合後置入蒸發皿並放入高溫爐鍛燒合成鈷酸鋰觸媒，加入大豆油與甲醇至錐形瓶中並連接迴流冷凝管與恆溫循環水槽進行轉酯化反應，之後加入蒸餾水水洗，抽取上層離心，再抽取上層減壓濃縮。並改變各種反應條件，例如：催化劑的合成比例、催化劑鍛燒溫度、催化劑鍛燒時間、催化劑使用量、反應油醇莫耳比、反應時間，找出能達到最佳轉酯率的反應條件。並於可達到最佳轉酯率的條件下尋找較節省成本的條件，且探討鈷酸鋰曝氣天數的影響性、回收觸媒重複利用的可能性以及使用其他油品時轉酯率會有何影響。



圖二 氧化鈷



圖三 研鉢



圖四 蒸發皿



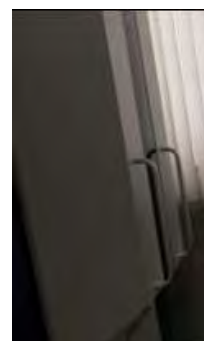
圖五 轉酯化裝置



圖六 離心



圖七 SEM-EDS



圖八 XRD

表五 研究不同反應條件流程表

研究流程	改變項目	改變的條件		
		1	催化劑合成	合成比例
2	轉酯化反應	催化劑使用量	油醇莫耳比	反應時間
3	催化劑特性	曝氣天數	回收重複利用次數	不同油品的轉酯率

改變莫耳比可使鍛燒時不產生過多的起始物，在環保的同時降低成本。而改變鍛燒溫度找出可以合成出所需觸媒的最低溫度，以及改變鍛燒時間找出能使化合物均勻鍛燒的最短時間，都能減少能源的浪費。在應用於工業時，這些節省下的起始物與能源將會相當可觀。

二、實驗步驟

(一)合成觸媒

- 1.以 6:1 的莫耳比均勻混合研磨碳酸鋰與氧化鈷後置於蒸發皿
- 2.放入高溫爐用攝氏 900 度鍛燒 4 小時合成出鈷酸鋰
- 3.將鈷酸鋰由蒸發皿刮入研鉢中，研磨成粉(提升單位公克觸媒的催化效率)。

(二)本研究的催化劑命名方式

如 L6C1-900-4，L6C1 指兩反應物 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 的莫耳比為 6:1，900 指鍛燒溫度為攝氏 900 度，4 指鍛燒時間 4 小時，上述三項數據皆以連字號區隔。

(三)分析催化劑性質的儀器與此研究使用的對應功能

合成催化劑後使用多種儀器分析催化劑的性質:

- 1.XRD:找出催化劑為何種晶相
- 2.SEM-EDS:催化劑的表面
- 3.BET:催化劑的比表面積
- 4.Hammett 指示劑:測量催化劑鹼度

(四)轉酯化反應

- 1.將質量 12.5 公克的大豆油以及指定量甲醇、催化劑置入磨砂口錐形瓶中。
- 2.放入磁石(用以拌勻反應物與催化劑)，瓶口連接回流式冷凝管，並將回流式冷凝管的另一端連接恆溫水槽。
- 3.使沸點低的甲醇因高溫蒸發後再凝結滴回混合物中。
- 4.把錐形瓶放於加熱攪拌機上，再使加熱攪拌機以攝氏 180 度、900rpm 轉速為條件下進行固定時間的反應。

(五)水洗

- 1.轉酯化反應完成後，得到生質柴油、甘油、催化劑、過量甲醇與其他雜質的混合物。
- 2.靜置待其冷卻，以免仍處於高溫的錐形瓶突然接觸室溫的蒸餾水而因熱脹冷縮造成錐形瓶毀損。
- 3.加入蒸餾水水洗，因產物的密度較其他物質小，會浮於錐形瓶上層。

- 4.用微量吸量管吸取產物。
- 5.放入離心管中離心，及可去除皂化物質、大部分雜質、大部分觸媒。

(六)離心

- 1.因各物質的密度差異，進行離心可快速分離，醇類同時溶於生質柴油、甘油，與生質柴油相容的部分可用減壓濃縮去除。
- 2.用微量吸量管吸取產物。
- 3.再放入抽氣瓶中，即可去除蒸餾水、觸媒、甘油(和與甘油相容的甲醇)。

(七)減壓濃縮

隔水加熱生質柴油與甲醇的混合物，並進行抽氣將氣態甲醇抽出，同時也有濃縮生質柴油的效果。

(八)分析轉酯率使用的方式

- 1.使用微量吸量管吸取並精密秤量 1 毫克的十七(烷)酸甲酯，再加入異丙醇(因其能溶解脂肪酸甲酯與十七酸甲酯)使溶液總體積為 100 毫升。
- 2.均勻混合後即可做為內標物。
- 3.精秤 100 毫克的生質柴油，加入兩毫升內標物，均勻混合後做為待測物。
- 4.注入 0.1 微升待測物入氣相層析儀中，用其配備的火焰離子偵測器分析，再利用積分面積計算轉酯率，公式如下：

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

C:轉酯率

$\sum A$:C14 到 C24:1 的脂肪酸甲酯(生質柴油)所有波峰積分總面積

A_{EI}:內標物波峰面積

C_{EI}: 內標物濃度

V_{EI}: 內標物體積

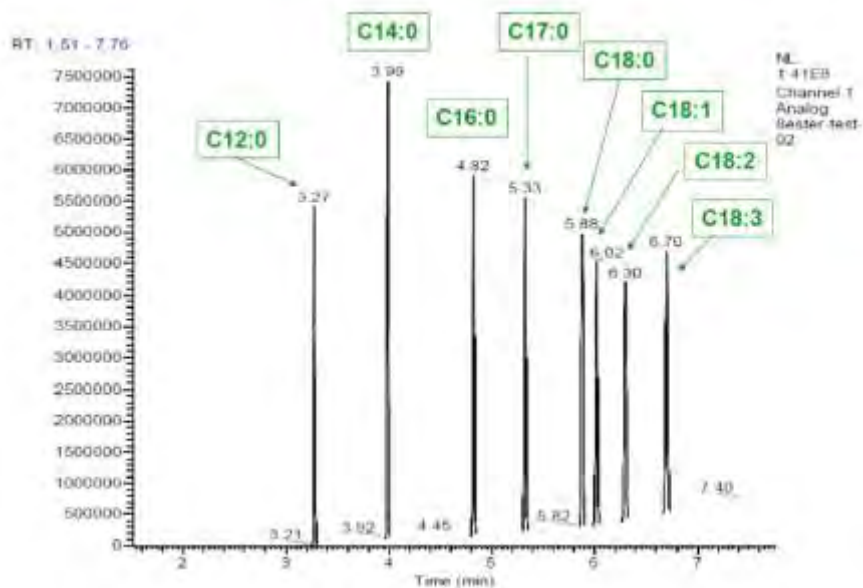
m:樣品質量

(九)分析儀器、條件

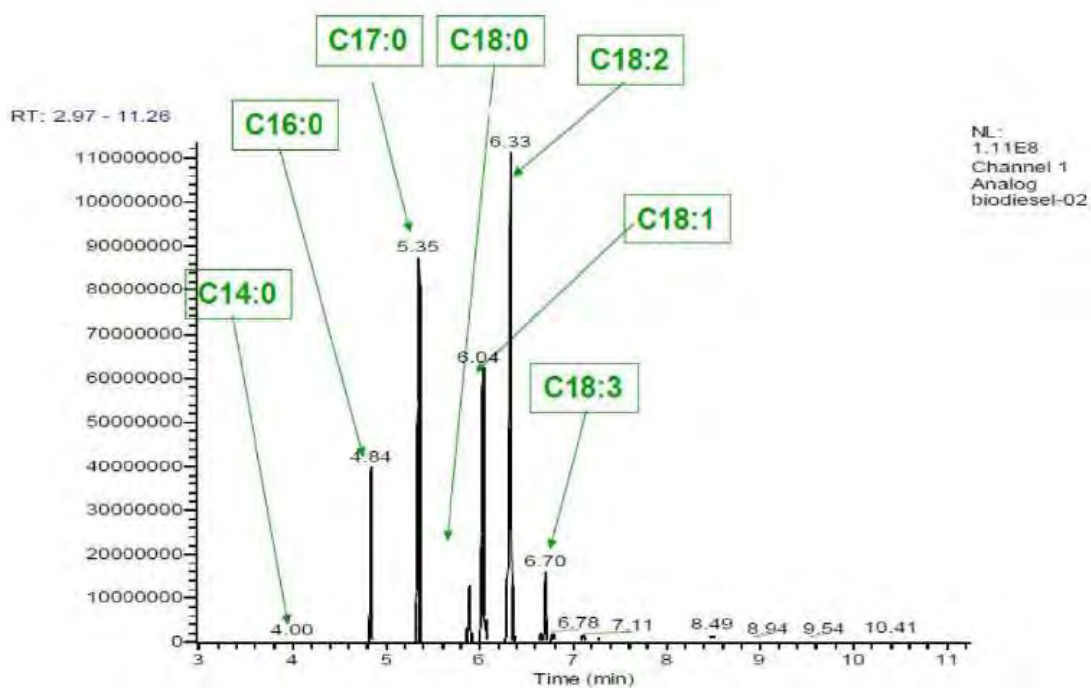
- 1.分析儀器: Thermo TRACE GC ULTRA
- 2.偵測器:FID(flame ion detector)
- 3.分析管柱: Thermo Scientific TRACE™;TR-BIODIESEL(F),(30m,0.25mm ID,0.25um f.t)
- 4.使用軟體:Thermo Scientific Chrom-Card data system
- 5.毛細管柱長:30 毫米
- 6.極性固定相:內徑 0.25 毫米、厚度 0.25 微米
- 7.載流氣體:N2(2 毫升/分)
- 8.點火氣體:H2(35 毫升/分) 、air(350 毫升/分)
- 9.注射器溫度:PTV injector 攝氏 90 度至 260 度@攝氏 10 度/秒
- 10.偵測器溫度攝氏 280 度
- 11.Oven 溫度:攝氏 120 度(0.5 分鐘)至攝氏 220 度(1 分鐘)-攝氏 30 度/分,then to 攝氏 250 度-攝氏 10 度/分
- 12.注射量 1 微升
- 13.分析 15 分鐘
- 14.分流/不分流:分流比 100
- 15.軟體波峰測定值:寬度 100sec，門檻 100，掠過比例 5

表六 氣相層析條件整理表

項 目	條 件 設 定
樣品注入量	1 微升
起始溫度/維持時間	攝氏 120 度/0.5 分
第一階段升溫條件	攝氏 30 度/分
溫度梯度-維持溫度/維持時間	攝氏 220 度/1 分
第二階段升溫條件	攝氏 10 度/分
終點溫度/維持時間	攝氏 250 度/5 分
注射口溫度	攝氏 90 度到 260 度
承載氣體(N2)/流速	0.5 毫升/分



圖九 不同鏈長的脂肪酸甲酯氣相層析圖



圖十 用大豆油進行轉酯化的氣相層析圖

陸、實驗結果與討論

每當找出最佳的單項條件，之後找其他條件時就使用已找出的最佳條件來實驗。

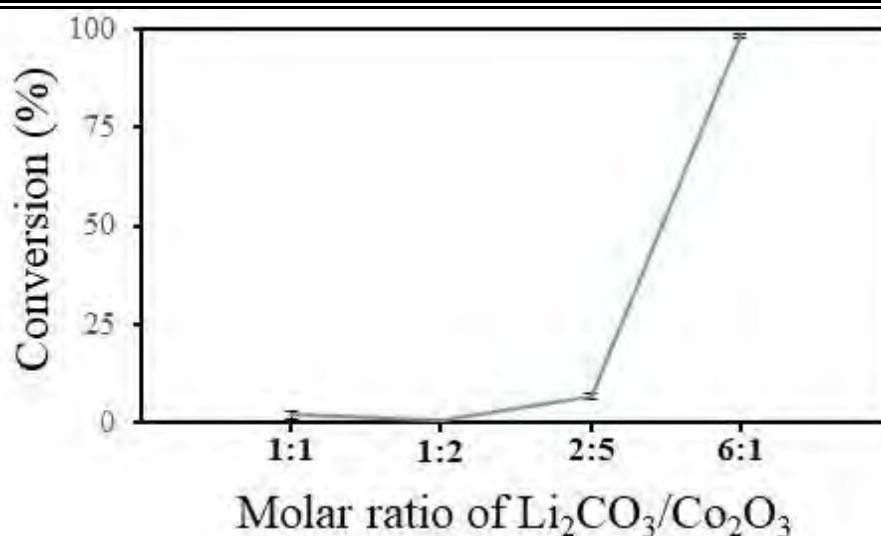
一、改變 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 的合成莫耳比

將 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 以 4 種不同的比例合成催化劑，並固定鍛燒溫度為攝氏

900 度、鍛燒時間為 4 小時，觀察改變 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 的合成莫耳比對轉酯率的影響並找出最佳合成莫耳比。由 JCPDS 資料庫中，發現鈷酸鋰的晶相中，有鋰比鈷為 1:1、1:2、2:5、6:1 之晶相，因而用此述比例嘗試。

表七 改變 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 合成莫耳比的轉酯率

Catalysts (催化劑)	Mole ratio of methanol/oil (醇油莫耳比 比值)	Reaction time(h) (反應時間)	catalyst amount(wt%) (催化劑用量)	Conversion(%) (轉酯率)
L1C1-900-4	24	2	6	1.9±1.2
L1C2-900-4	24	2	6	0.4±0.5
L2C5-900-4	24	2	6	6.8±0.7
L6C1-900-4	24	2	6	98.4±0.5



圖十一 改變 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 合成莫耳比的轉酯率關係圖

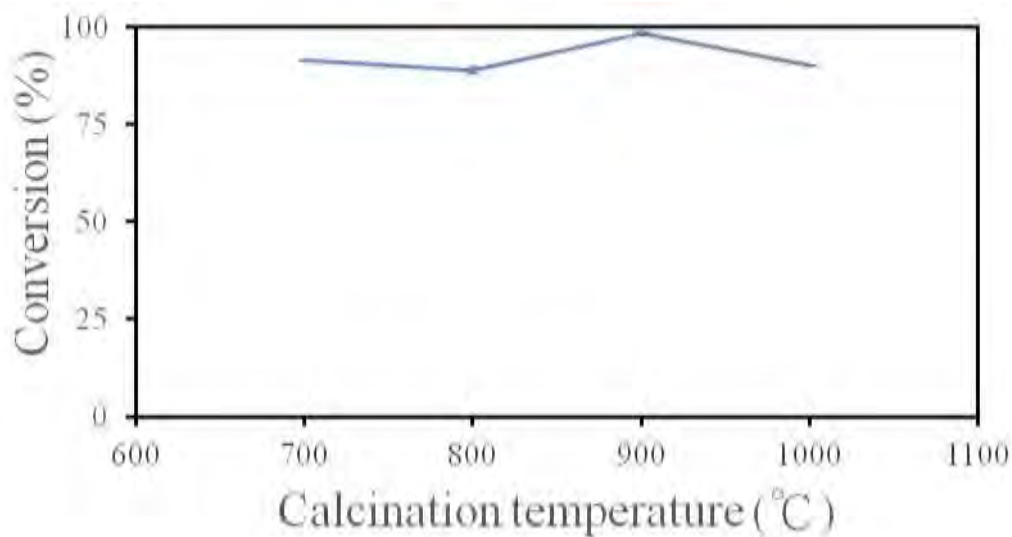
由表七、圖十一可得知:當 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 合成莫耳比為 6:1 時轉酯率遠高於其他比例。

二、改變催化劑鍛燒溫度

以催化劑鍛燒溫度為操縱變因，其餘條件為控制變因進行實驗找出最好的轉酯率。

表八 改變催化劑鍛燒溫度的轉酯率

Catalysts (催化劑)	Calcination temperature(°C) (鍛燒溫度)	Reaction time(h) (反應時間)	catalyst amount(wt%) (催化劑用量)	Conversion(%) (轉酯率)
L6C1-700-4	700	2	6	91.6±0.3
L6C1-800-4	800	2	6	90.0±0.9
L6C1-900-4	900	2	6	98.4±0.5
L6C1-1000-4	1000	2	6	90.2±0.2



圖十二 改變催化劑鍛燒溫度轉酯率關係圖

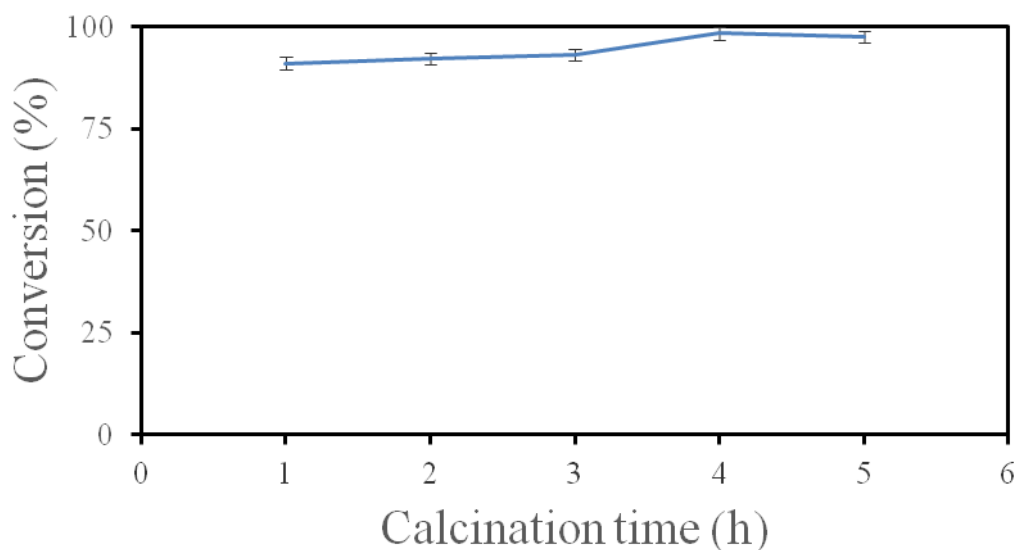
由表八、圖十二可得知:當催化劑鍛燒溫度為 900°C時有最好的轉酯率。

三、催化劑鍛燒時間

以催化劑鍛燒時間為操縱變因,其餘條件為控制變因進行實驗找出最好的轉酯率。

表九 催化劑鍛燒時間轉酯率

Catalysts (催化劑)	Mole ratio of methanol/oil (醇油莫耳比 比值)	Reaction time(h) (反應時間)	catalyst amount(wt%) (催化劑用量)	Conversion(%) (轉酯率)
L6C1-900-1	24	2	6	91.1±0.5
L6C1-900-2	24	2	6	92.3±1.0
L6C1-900-3	24	2	6	93.1±1.5
L6C1-900-4	24	2	6	98.4±0.4
L6C1-900-5	24	2	6	97.5±0.6



圖十三 催化劑鍛燒時間轉酯率關係圖

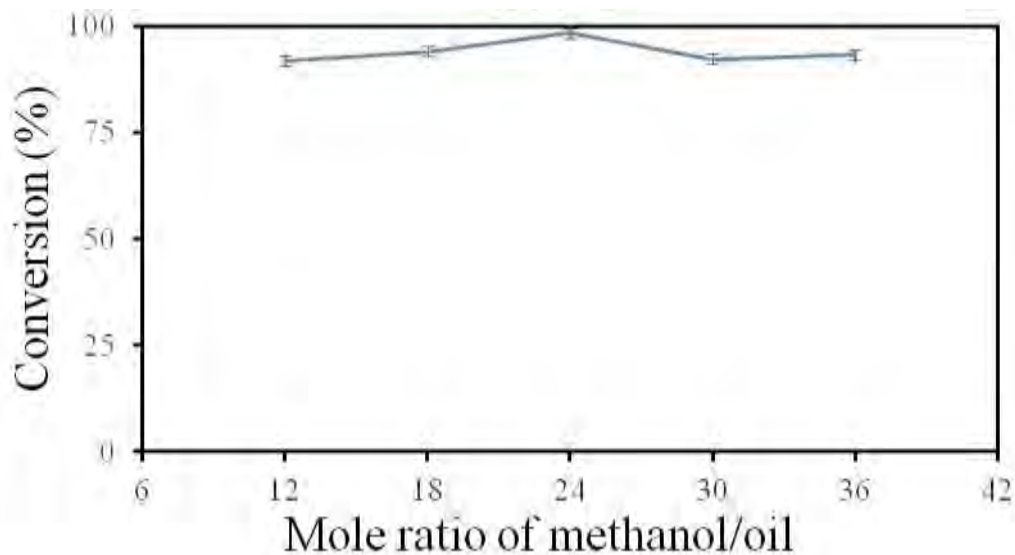
由表九、圖十三可得知:當催化劑鍛燒時間為 4 小時的時候有最好的轉酯率。

四、改變反應油醇莫耳比

以反應油醇莫耳比為操縱變因，其餘條件為控制變因進行實驗找出最好的轉酯率。

表十 改變反應油醇莫耳比轉酯率

Catalysts (催化劑)	Mole ratio of methanol/oil (醇油莫耳比 比值)	Reaction time(h) (反應時間)	catalyst amount(wt%) (催化劑用量)	Conversion(%) (轉酯率)
L6C1-900-4	12	2	6	91.9±0.3
L6C1-900-4	18	2	6	94.1±0.9
L6C1-900-4	24	2	6	98.4±0.5
L6C1-900-4	30	2	6	92.3±0.4
L6C1-900-4	36	2	6	93.3±0.1



圖十四 改變反應醇油莫耳比轉酯率關係圖

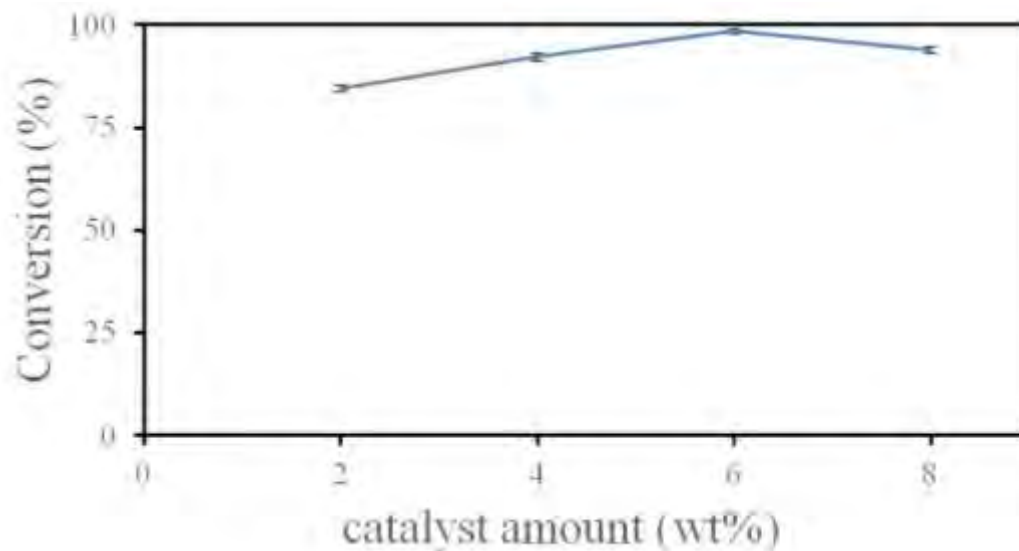
由表十、圖十四可得知:當反應醇油莫耳比比值為 24 的時候有最好的轉酯率。

五、改變轉酯反應之催化劑用量

以轉酯反應之催化劑用量為操縱變因，其餘條件為控制變因進行實驗找出最好的轉酯率。

表十一 改變轉酯反應之催化劑用量轉酯率

Catalysts (催化劑)	catalyst amount(wt%) (催化劑用量)	Mole ratio of methanol/oil (醇油莫耳比 比值)	Reaction time(h) (反應時間)	Conversion(%) (轉酯率)
L6C1-900-4	2	24	2	84.5±0.9
L6C1-900-4	4	24	2	92.3±0.9
L6C1-900-4	6	24	2	98.4±0.5
L6C1-900-4	8	24	2	93.9±0.8



圖十五 改變轉酯反應之催化劑用量轉酯率關係圖

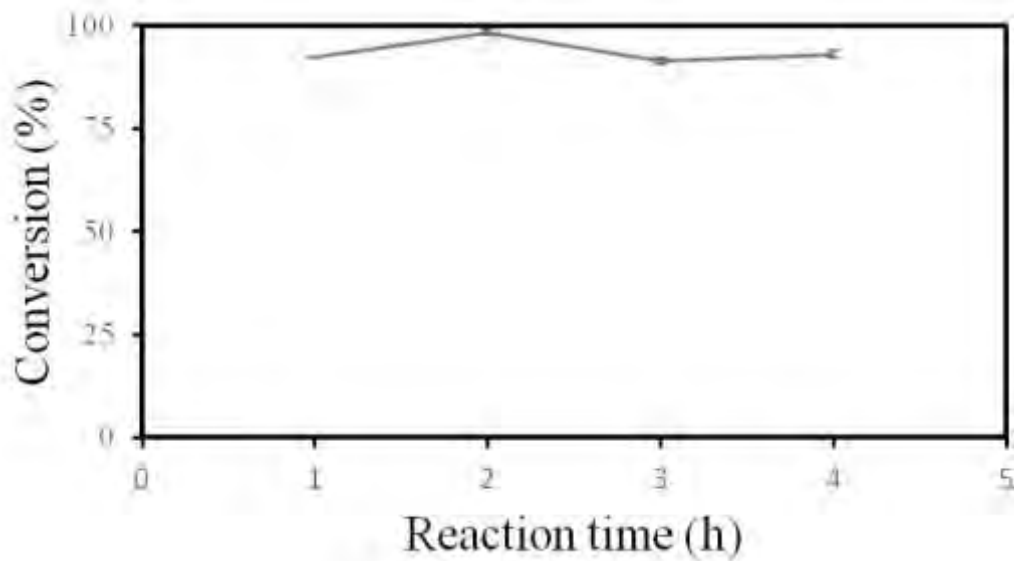
由表十一、圖十五可得知:當轉酯反應之催化劑用量為 6 wt%時有最好的轉酯率。而催化劑用量為 2wt%轉酯率不高,推測是催化劑不足致使反應較慢所致,當催化劑用量為 8wt%時轉酯率下降,可能是因為催化劑過於濃稠。

六、改變轉酯反應之反應時間

以轉酯反應之反應時間為操縱變因,其餘條件為控制變因進行實驗找出最好的轉酯率。

表十二 改變轉酯反應之反應時間轉酯率

Catalysts (催化劑)	Reaction time(h) (反應時間)	Mole ratio of methanol/oil (醇油莫耳比 比值)	catalyst amount(wt%) (催化劑用量)	Conversion(%) (轉酯率)
L6C1-900-4	1	24	6	92.3±0.2
L6C1-900-4	2	24	6	98.4±0.5
L6C1-900-4	3	24	6	91.4±0.7
L6C1-900-4	4	24	6	93.1±1.0



圖十六 改變轉酯反應之反應時間轉酯率關係圖

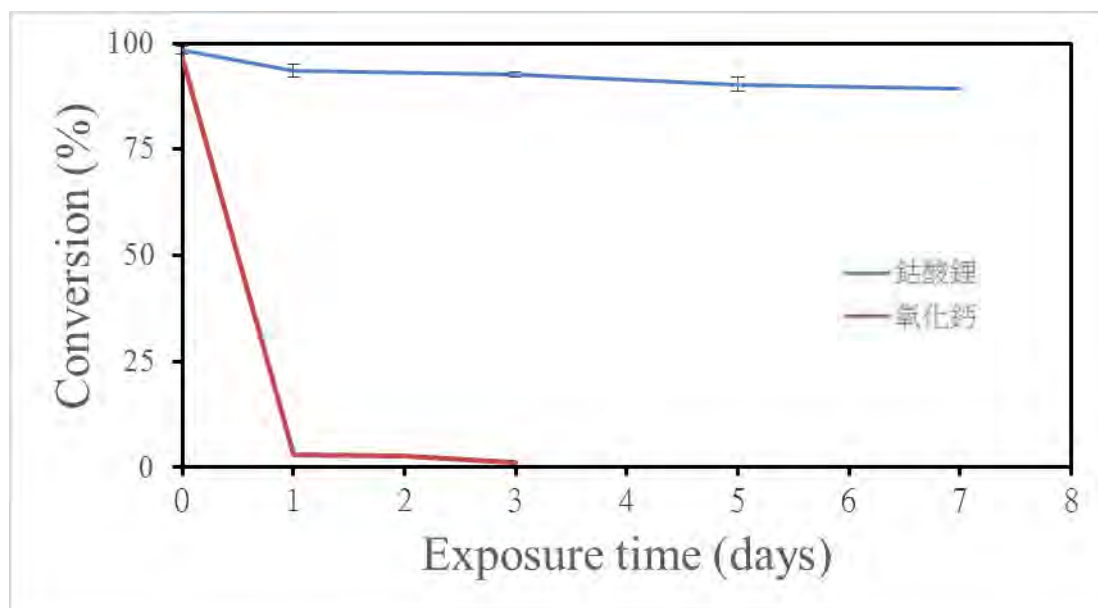
由表十二、圖十六可得知:當轉酯反應之反應時間為 2 小時的時候有最好的轉酯率。據圖推測轉酯反應之反應時間為 1 小時轉酯率較差是因反應仍未達平衡，而轉酯反應之反應時間超過 2 小時轉酯率較差是逆反應造成的。

七、改變催化劑曝氣天數的影響性

以催化劑曝氣天數為操縱變因，其餘條件為控制變因進行實驗探討改變催化劑曝氣天數對轉酯率的影響性。

表十三 參考資料(八) ，改變催化劑曝氣天數的影響性轉酯率

Catalysts (催化劑)	Exposure time (days) (曝氣天數)	Conversion(%) (轉酯率)	Catalysts (催化劑)	Conversion(%) (轉酯率)
L6C1-900-4	0	98.4±0.5	氧化鈣	96.66±1.0
L6C1-900-4	1	93.6±0.9	氧化鈣	3.00±0.8
L6C1-900-4	3	92.6±1.6	氧化鈣	1.07±0.5
L6C1-900-4	5	90.3±0.7	氧化鈣	-
L6C1-900-4	7	89.3±1.6	氧化鈣	-



圖十七 改變催化劑曝氣天數的影響性轉酯率關係圖

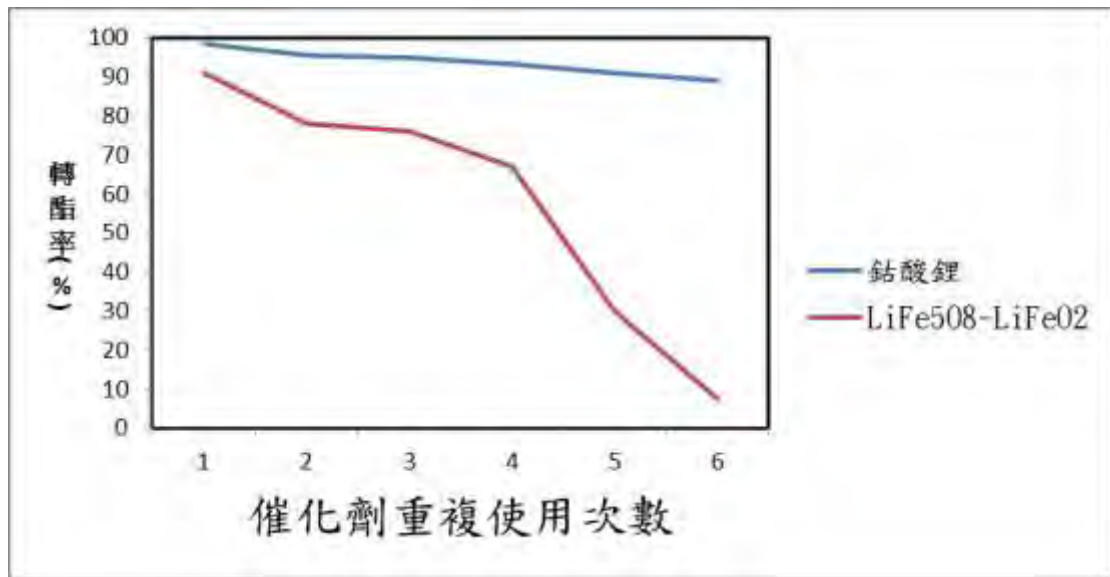
由表十三、圖十七可得知:鈷酸鋰不易吸收空氣中的水分與二氧化碳，故轉酯率降低的情況並不算嚴重，易保存性良好。

八、催化劑重複利用次數的影響性

以催化劑重複利用次數為操縱變因，其餘條件為控制變因進行實驗探討改變催化劑曝氣天數對轉酯率的影響性。

表十四 參考資料(九)，催化劑重複利用次數的影響性轉酯率

Catalysts (催化劑)	reaction cycles (催化劑重 複使用次 數)	catalyst amount(wt%) (催化劑用量)	Conversion(%) (轉酯率)	Catalysts (催化劑)	Conversion(%) (轉酯率)
L6C1-900-4	1	8	96.3±0.1	LiFe5O8-LiFeO2	91
L6C1-900-4	2	8	95.4±1.1	LiFe5O8-LiFeO2	78
L6C1-900-4	3	8	94.7±0.7	LiFe5O8-LiFeO2	76
L6C1-900-4	4	8	93.4±1.6	LiFe5O8-LiFeO2	67
L6C1-900-4	5	8	90.9±0.9	LiFe5O8-LiFeO2	30
L6C1-900-4	6	8	89.0±1.0	LiFe5O8-LiFeO2	7.5



圖十八 催化劑重複利用次數的影響性轉酯率關係圖

由表十四、圖十八可得知:重複使用催化劑的次數愈多,轉酯率愈低,但直至重複使用第六次,轉酯率都有不重複使用的 90%,是重複使用性高的環保催化劑。參考資料(十)轉酯率下降的原因推測是因為觸媒使過會活性會降低,而且分離生質柴油時會有少量催化劑流出,導致催化劑不足,使轉酯率下降,是以不使用最佳化條件的 6wt%而用 8 wt%探討,若使用 10 wt%,則會使催化劑過於濃稠而無法有效催化,故使用 8 wt%。

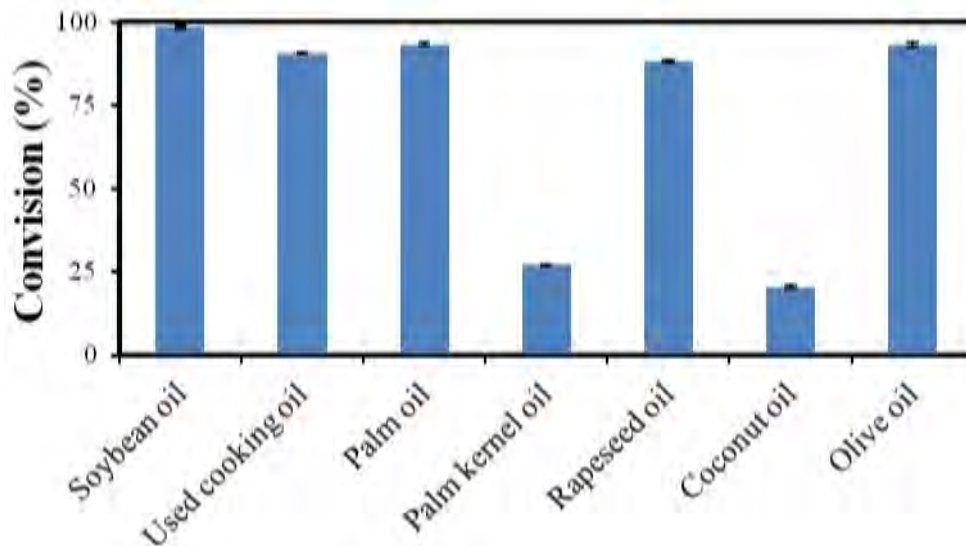
九、使用不同油品為原料的影響性

(一)使用不同油品為原料對轉酯率的影響性

以使用不同油品為原料為操縱變因,其餘條件為控制變因進行實驗探討使用不同油品為原料對轉酯率的影響性。

表十五 使用不同油品為原料對轉酯率的影響性

Different oils (不同油品)	Mole ratio of methanol/oil (醇油莫耳比 比值)	catalyst amount(wt%) (催化劑用量)	Conversion(%) (轉酯率)
Soybean oil(大豆油)	24	6	98.4±0.5
Used cooking oil(廢油)	24	6	90.6±0.1
Palm oil(棕櫚油)	24	6	93.3±0.4
Palm kernel oil(棕櫚核仁油)	24	6	27.1±0.3
Rapeseed oil(菜籽油)	24	6	88.7±0.4
coconut oil(椰子油)	24	6	20.4±0.6
olive oil(橄欖油)	24	6	93.1±0.6



圖十九 使用不同油品為原料對轉酯率的影響性關係圖

將食用油用高溫油炸會產生大量的游離脂肪酸，加入鹼性催化劑進行轉酯化反應時，所含的游離脂肪酸容易產生皂化反應，讓轉酯率因此降低。故使用多種油品進行實驗，觀察不同油品的轉酯效果。選擇油品原因中，大豆油是因多項生質柴油實驗中，其轉酯效果最好，但為常見食用油，若用於工業會有不足的遺憾。而臺灣人喜石油炸食物，使用油炸廢油可大幅降低成本。其餘油品則因東南亞盛行熱帶栽培業，對東南亞而言是絕佳的選擇。由表十五、圖十九可明顯看出大豆油轉酯率最高，其餘油品雖不及大豆油優良，但遠勝於棕櫚核仁油、椰子油，故還算可以，其中廢油轉酯率有 90.6% 相當優良，而棕櫚核仁油、椰子油的轉酯率過低，不適合做為本實驗實際運用於工業時的油品。

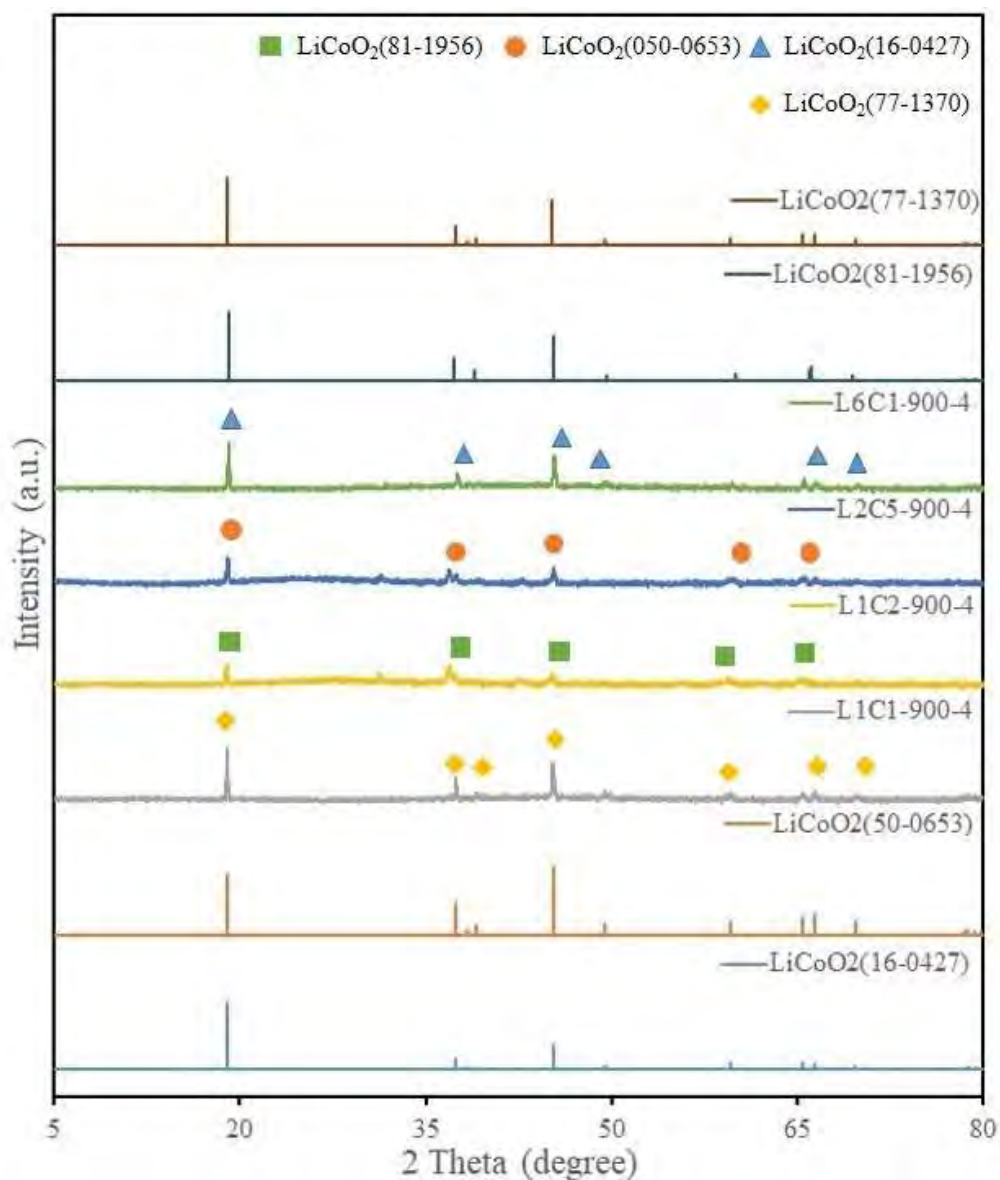
十、催化劑的性質探討

(一)使用儀器

- 1.X 射線繞射儀(XRD)
- 2.場發式掃描電子顯微鏡附能量分散光譜儀(FE-SEM-EDS)
- 3.比表面積分析儀(BET)
- 4.Hammett 指示劑

(二)X 射線繞射儀(XRD)

X 射線繞射儀是用以測量晶相的儀器。

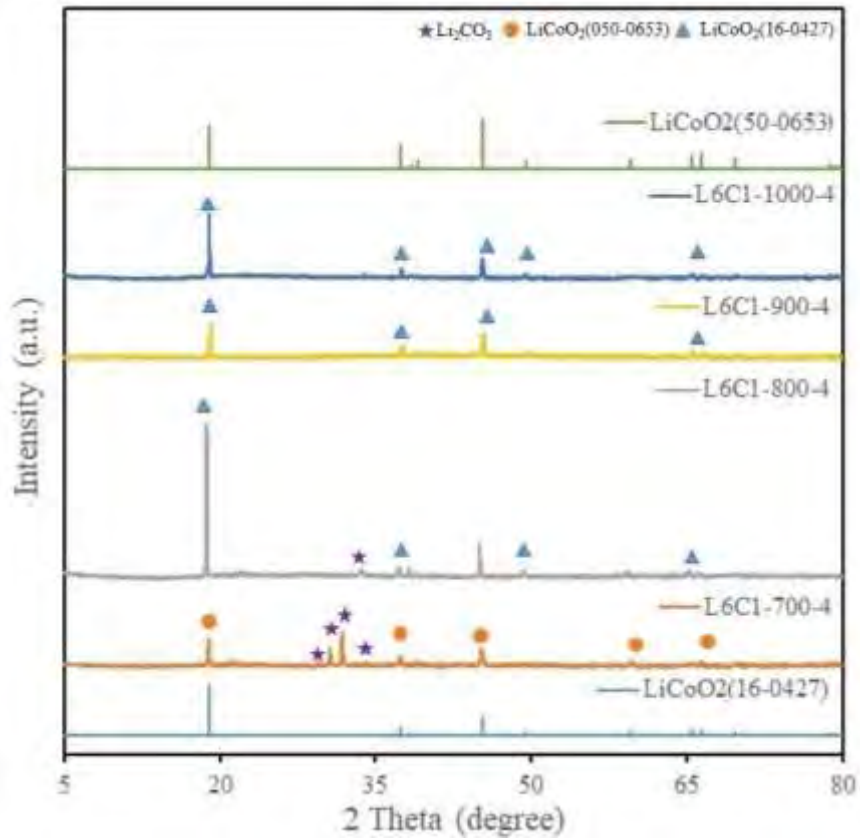


圖二十 改變 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 的合成莫耳比 XRD 圖譜

由圖二十可得，各 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 的合成莫耳比分別對應到的化合物結構如下表：

表十六 各 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 的合成莫耳比對應化合物結構

催化劑	化合物結構
L1C1-900-4	$\text{LiCoO}_2(77-1370)$
L1C2-900-4	$\text{LiCoO}_2(81-1956)$
L2C5-900-4	$\text{LiCoO}_2(050-0653)$
L6C1-900-4	$\text{LiCoO}_2(16-0427)$

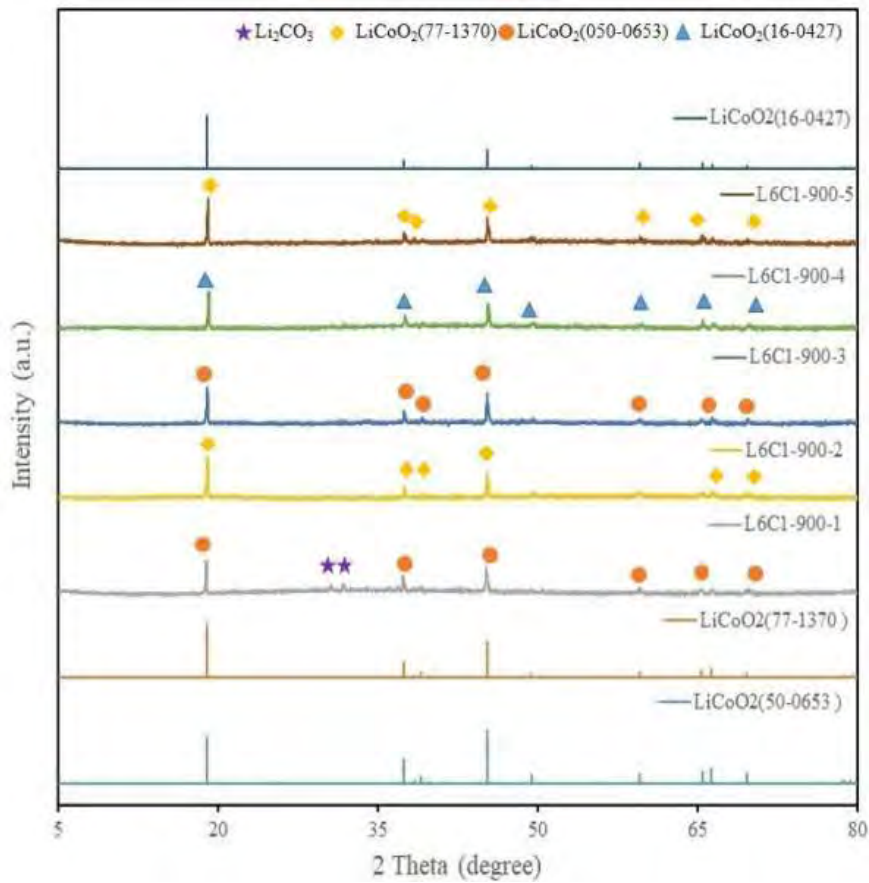


圖二十一 改變催化劑鍛燒溫度 XRD 圖譜

由圖二十一可見:鍛燒溫度攝氏 800 度、攝氏 700 度皆有碳酸鋰殘留，而攝氏 800 度殘留較少，攝氏 700 度殘留較多。

表十七 各 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 的合成莫耳比對應化合物結構

催化劑	化合物結構
L6C1-1000-4	$\text{LiCoO}_2(16-0427)$
L6C1-900-4	$\text{LiCoO}_2(16-0427)$
L6C1-800-4	$\text{LiCoO}_2(16-0427)$ 與 Li_2CO_3 的混合物
L6C1-700-4	$\text{LiCoO}_2(050-0653)$ 與 Li_2CO_3 的混合物



圖二十二改變催化劑鍛燒時間 XRD 圖譜

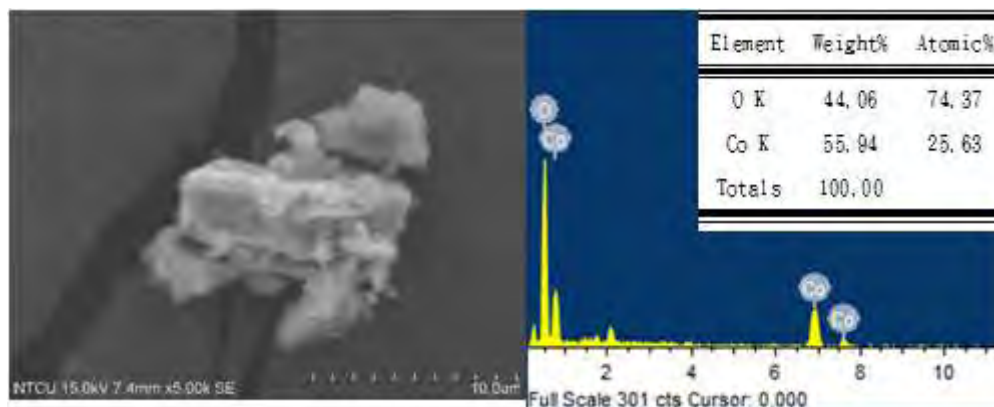
只有鍛燒 1 小時殘留碳酸鋰，判定是鍛燒尚未完全完成所致。

表十八 各 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 的合成莫耳比對應化合物結構

催化劑	化合物結構
L6C1-900-5	$\text{LiCoO}_2(77-1370)$
L6C1-900-4	$\text{LiCoO}_2(16-0427)$
L6C1-900-3	$\text{LiCoO}_2(050-0653)$
L6C1-900-2	$\text{LiCoO}_2(77-1370)$
L6C1-900-1	$\text{LiCoO}_2(050-0653)$ 與 Li_2CO_3 的混合物

(三)場發式掃描電子顯微鏡附能量分散光譜儀(FE-SEM-EDS)

場發式掃描電子顯微鏡可以看出催化劑的表面形狀，能量分散光譜儀可以測出化合物為哪些元素構成，但測不到原子序 3 以下(含)的元素。



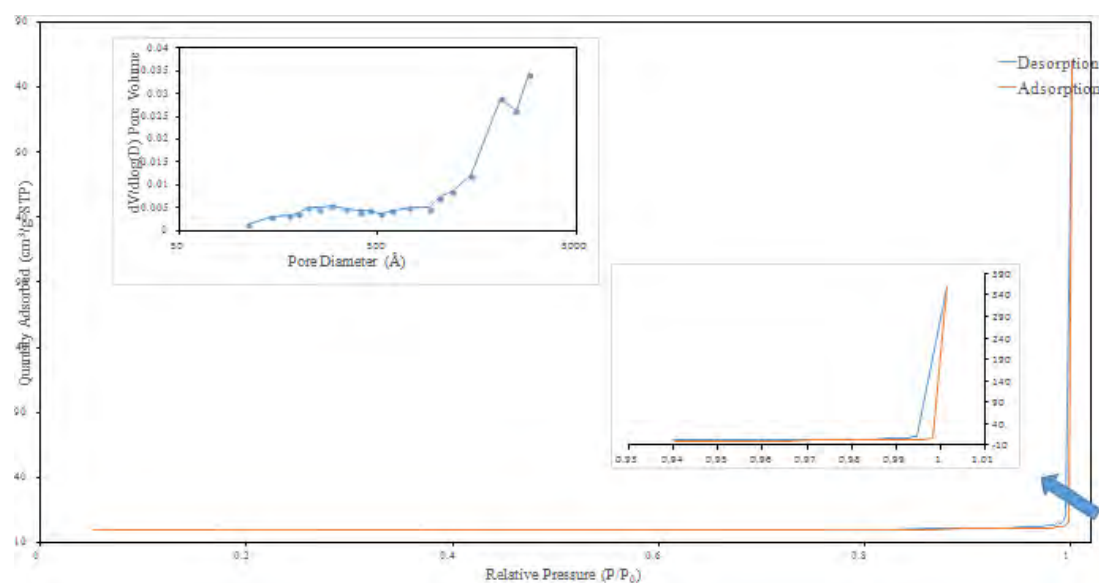
圖二十三 最佳化鈷酸鋰的 SEM-EDS 圖譜

由圖二十三可見場發式掃描電子顯微鏡最佳化鈷酸鋰的表面呈不規則狀，而能量分散光譜儀測出最佳化鈷酸鋰含有鈷元素與氧元素，鋰元素則因太小而測不到。

(四)比表面積分析儀(BET)

表十九 最佳化鈷酸鋰的比表面積、平均孔洞直徑、平均孔洞體積

Catalysts (催化劑)	BET Surface Area(m ² /g) (比表面積)	Pore diameter(Å) (平均孔洞直徑)	Pore Volume(cm ³ /g) (平均孔洞體積)
L6C1-900-4	0.3896	740.58	0.005085



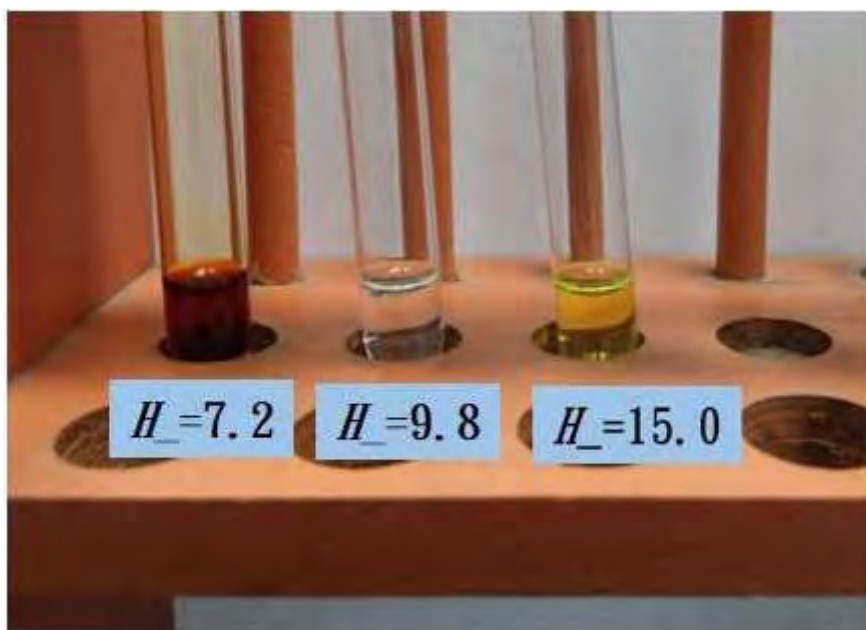
圖二十四 最佳化鈷酸鋰的等溫氮氣吸/脫附圖

圖二十四中，左上角小圖為催化劑孔徑分布圖，由表十九可得知催化劑屬於巨孔結構，由於高溫鍛燒，鈷酸鋰的表面積很小，由吸/脫附圖得知其曲線屬於 IUPAC 定義中的第 III 型，遲滯環型態為 H3 型。

(五)Hammett 指示劑

用 Hammett 指示劑可快速測量最佳化鈷酸鋰的鹼強度範圍，使用三種指示劑： $H_{-}=7.2$ 的溴百里酚藍、 $H_{-}=9.8$ 的酚酞、 $H_{-}=15.0$ 的 2,4-二硝基苯胺。

測定方式：取 0.1 克的觸媒並加入 1 毫升的指示劑，均勻混合並靜置於試管架兩小時，再依照溶液顏色是否改變求得鹼度範圍，如圖十八、圖十九：



圖二十五 指示劑顏色



圖二十六 指示劑添加催化劑顏色

綜圖二十五、圖二十六可知:溴百里酚藍、酚酞顏色均改變而 2,4-二硝基苯胺顏色不變，故鹼度範圍(H_+)大於 7.2，小於 9.8。

柒、結論

- 一、目前人類使用的能源還是以非再生能源為主，但化石燃料已逐漸枯竭，其復原的速度遠跟不上人類消耗的速度，且產生大量環境問題，故有開發再生能源的必要性，但目前生產生質柴油的成本依舊很高，這也是本研究的目的所在。
- 二、本研究所得之最佳條件將碳酸鋰與氧化鈷以 6:1 的莫耳比合成非勻相催化劑鈷酸鋰，鍛燒溫度為 900°C，鍛燒時間 4 小時，醇(甲醇) 油(大豆油) 莫耳比值 24，使用 6wt%的催化劑，以攝氏 65 度的溫度反應 2 小時，可得出高達 98.4%的轉酯率。
- 三、鈷酸鋰不易吸收空氣中的水分與二氧化碳。大豆油轉酯率最高，其餘油品雖不及大豆油優良，但遠勝於棕櫚核仁油、椰子油，廢油轉酯率有 90.6 %。
- 四、本研究面臨到最大的困難是在純化生質柴油過程中的水洗步驟會產生大量脂肪酸鈉與脂肪酸鈣，難以分離，需要大量蒸餾水清洗。是以若要用在工業上，可以改變純化步驟，在轉酯化反應完成後先將甲醇抽掉，再利用分餾塔替代水洗的步驟。或在原油分餾時混合生質柴油，即可得到生質柴油與石化柴油的混合物，其中，生質柴油所佔比例越高，對環境的傷害就越小，達到綠能的效果。

捌、未來展望

- 一、未來研究可嘗試與用其他起始物合成觸媒，例如:將碳酸鋰換成碳酸鈉或碳酸鉀，再加入氧化鈷進行鍛燒，以本研究所得之最佳化鈷酸鋰互相比較轉酯率，並分析它的催化劑特性。
- 二、也可以針對鈷酸鋰所生產之生質柴油的油品做檢測，例如:密度、黏度、含水率、閃點、碘價、酸價、單甘油酯含量、雙甘油酯含量、三甘油酯含量、游離甘油含量、總甘油含量、銅片腐蝕性、氧化穩定性、總污染、冷濾點、酯含量、硫含量、硫酸鹽含量、磷含量、十六烷值、殘碳量、

第 I 族金屬 (鈉+鉀)、第 II 族金屬 (鈣+鎂)、次亞麻油酸甲酯、脂肪酸甲酯 (雙鍵 ≥ 4)、甲醇含量.....等。

玖、參考資料

- 一、Sundus,F,M.A. Fazal, and H.H.Masjuki. "Tribology with biodiesel: A study on enhancing biodiesel stability and its fuel properties." *Renewable & Sustainable Energy Reviews*70(2017)399-412
- 二、蕭明謙,利用均質處理快速製備生質柴油的方法,擷取自
<http://ir.lib.ksu.edu.tw/bitstream/987654321/27080/3/%E9%A4%90%E9%A3%B2%E7%AE%A1%E7%90%86%E5%8F%8A%E5%BB%9A%E8%97%9D%E7%B3%BB-%E8%95%AD%E6%98%8E%E8%AC%99-%E5%88%A9%E7%94%A8%E5%9D%87%E8%B3%AA%E8%99%95%E7%90%86%E5%BF%AB%E9%80%9F%E8%A3%BD%E5%82%99%E7%94%9F%E8%B3%AA%E6%9F%B4%E6%B2%B9%E7%9A%84%E6%96%B9%E6%B3%95-%E8%AA%AA%E6%98%8E%E6%9B%B8.pdf> 第一、二頁
- 三、S.L. Lee, Y.C. Wong, Y.P. Tan, S.Y. Yew *Transesterification of palm oil to biodiesel by using waste obtuse horn shell-derived CaO catalyst* 第一、二頁
- 四、林永禎,徐建銘,陳柏君,楊智翔,台灣地區 CO₂ 增加與氣溫、海溫、海平面上升關係之研究 第七頁
- 五、Demirbaş, Ayhan. "Biodiesel from vegetable oils via transesterification in 55supercritical methanol." *Energy conversion and management* 43.17(2002):2349-2356 第二頁
- 六、Marchetti, J. M., V. U. Miguel, and A. F. Errazu. "Possible methods for biodiesel production." *Renewable and sustainable energy reviews*11.6(2007):1300-1311 第五頁
- 七、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).
- 八、吳仲軒,以鋁酸鋰及矽酸鋰為催化劑進行大豆油生產生質柴油之反應條件研究 第 174 頁
- 九、Yong-Ming Dai, Ya-Fen Wang, Chiing-Chang Chen, *Synthesis and characterization of magnetic LiFe₅O₈-LiFeO₂ as a solid basic catalyst for biodiesel production* 第二十三頁
- 十 Islam, A.; Taufiq-Yap, Y. H.; Chan, E. S.; Moniruzzaman, M.; Islam, S.; Nabi, M. N. *Advances in solid-catalytic and non-catalytic technologies for biodiesel production. Energy Conversion and Management.* 2014,88,1200 第一頁

【評語】 050207

1. 研究主題催化應用清楚且聚焦，研究設計依循以往成果而做出調整。
研究主題具有潛在實用性，對廢棄物之回收有社會貢獻未來性。
2. 生質柴油是將動、植物油脂或廢棄食用油之長鏈脂肪酸，藉由觸媒及烷基醇類轉酯化生成的直鏈烷基酯類。目前研究多集中於非均相催化劑，多為鹼金屬或鹼土金屬合成的鹽類和金屬氧化物反應做為轉酯化反應的鹼性固體催化劑。本研究所得之最佳條件是將碳酸鋰與氧化鈷以 6:1 的莫耳比合成非均相催化劑鈷酸鋰，鍛燒溫度為 900°C，鍛燒時間 4 小時。
醇(甲醇)油(大豆油)莫耳比值 24，使用 6wt% 的催化劑，以攝氏 65 度的溫度反應 2 小時，可得出高達 98.4% 的轉酯率，但催化劑重複利用四次以上就不行了。本研究有使用多種儀器來探討催化劑的性質，具有基礎及應用性。

摘要

本研究所得之最佳條件為:將碳酸鋰與氧化鈷以6:1的莫耳比合成非均相催化劑鈷酸鋰，鍛燒溫度為900°C，鍛燒時間4小時，醇油莫耳比值24，使用6wt%的催化劑，以攝氏65度的溫度反應2小時。可得出高達98.4%的轉酯率。

壹、研究動機

生質柴油是將動、植物油脂或廢棄食用油之長鏈脂肪酸，藉由觸媒及烷基醇類轉酯化生成的直鏈烷基酯類。參考資料(一)生質柴油使用的催化劑可分為酸性與鹼性，以及均相與非均相，目前應用上常用均相鹼性催化劑，因鹼性反應速率快且轉酯效率高，參考資料(二)、(三)均相催化劑反應時間較短且效果較好。非均相催化劑需要高溫才能達到良好的轉酯率也會皂化，而均相催化劑雖反應快卻不易從產物中分離，在純的水洗過程將產生大量廢水，損害環境，高濃度時甚至腐蝕設備。而非均相催化劑易於分離且可重複使用，更具研究價值。

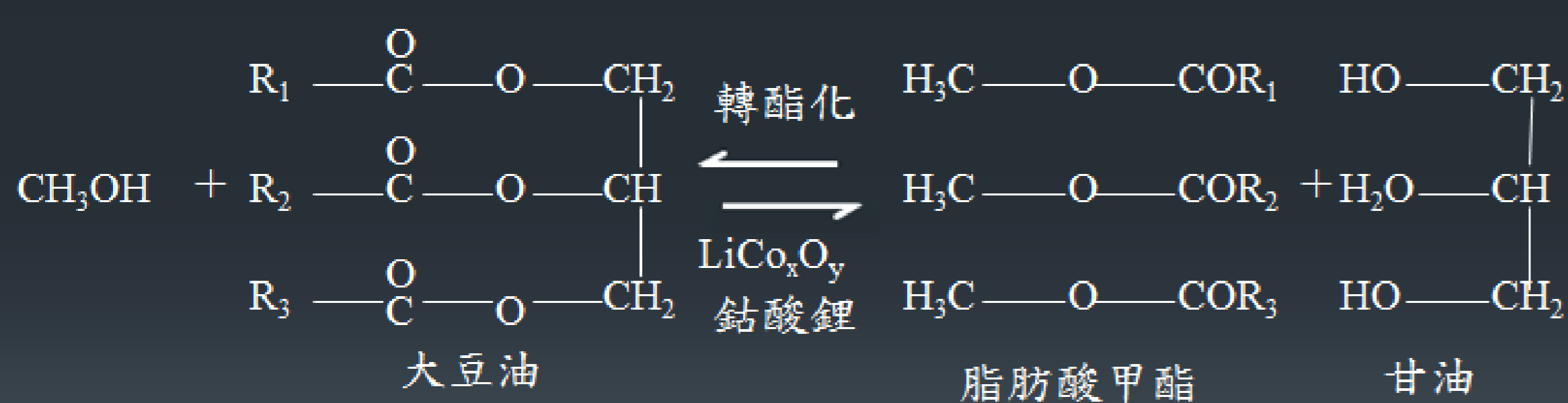
貳、研究目的

- 一、開發全新的轉酯化反應非均相鹼性催化劑(二重複實驗確保再現性)
- 二、完整分析其特性
- 三、改變催化劑的合成比例、催化劑鍛燒溫度、催化劑鍛燒時間、催化劑使用量、反應油醇莫耳比、反應時間找出最佳化鈷酸鋰的合成條件
- 四、探討鈷酸鋰曝氣天數的影響性、回收觸媒重複利用的可能性以及使用其他油品時對轉酯率的影響
- 五、讓使用非均相鹼性催化劑的生質柴油研究更進一步，以期廣泛運用於工業

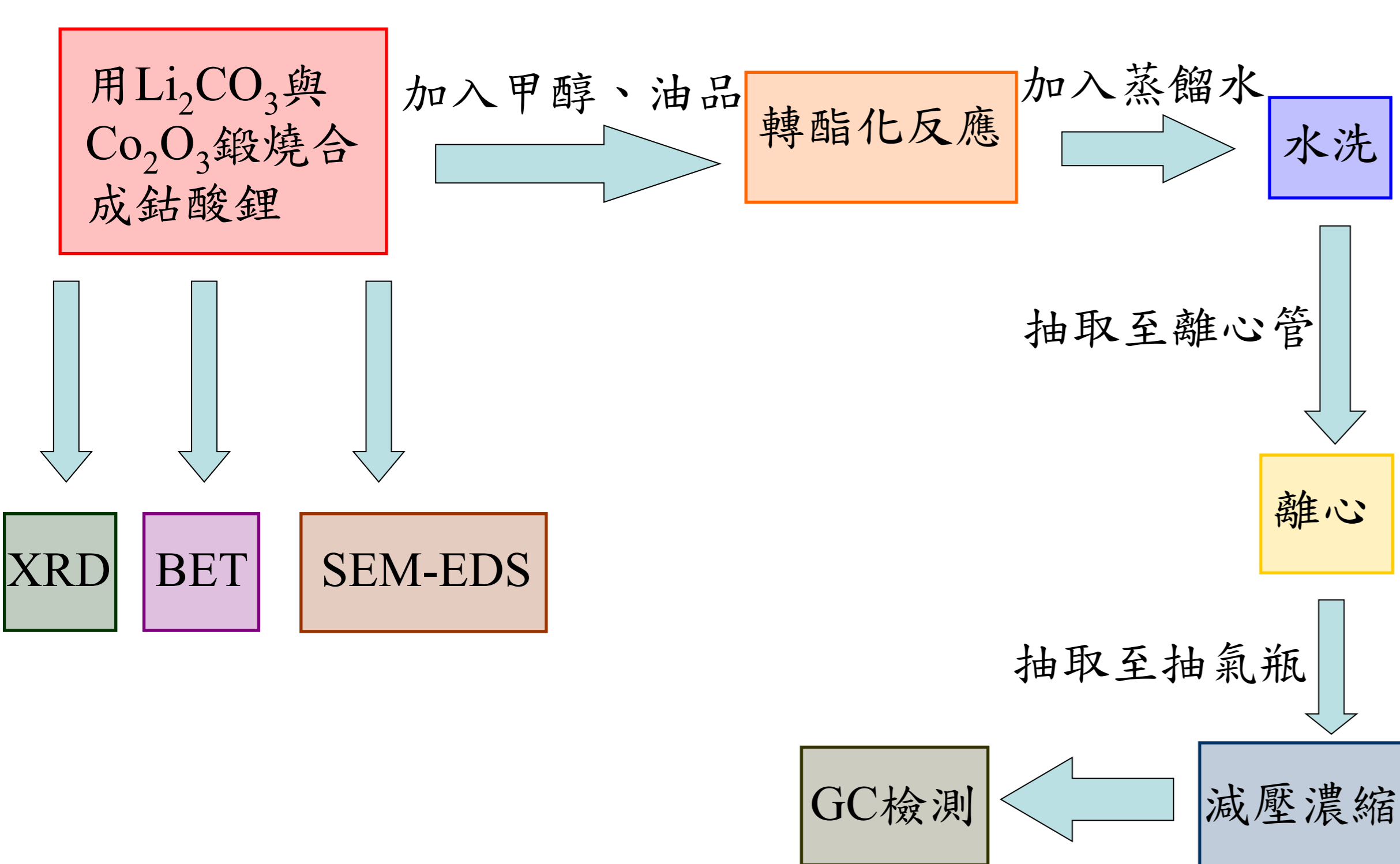
參、實驗方法

一、生質柴油之製備

將三酸甘油酯和醇類、催化劑混合反應。



二、實驗流程



圖一 實驗流程圖



圖二 氧化鈷 圖三 研鉢 圖四 蒸發皿 圖五 離心



圖六 轉酯化裝置

圖七 SEM-EDS 圖八 XRD

一、實驗步驟

(一)合成觸媒

1. 均勻混合研磨碳酸鋰與氧化鈷後置於蒸發皿

2. 放入高溫爐鍛燒合成鈷酸鋰

(二)催化劑編號，例:L6C1-900-4，L6C1指兩反應物Li₂CO₃與Co₂O₃的莫耳比為6:1，900指鍛燒溫度攝氏900度，4指鍛燒4小時。

(三)分析催化劑性質的儀器與對應功能

1.XRD:找出催化劑為何種晶相

2.SEM-EDS:催化劑的表面

3.BET:催化劑的比表面積

4.Hammett指示劑:測量催化劑鹼度

(四)轉酯化反應

1. 將大豆油、甲醇、觸媒、磁石置入錐形瓶中。

2. 把它放於加熱攪拌機上，以攝氏65度、900rpm轉速進行固定時間反應。

(五)水洗

1. 加入蒸餾水。用微量吸量管，放入離心管中。

(六)離心

1. 離心分離雜質。微量吸量管取產物至抽氣瓶。

(七)減壓濃縮

1. 隔水加熱，並進行抽氣抽出甲醇。

(八)分析轉酯率使用的方式

1. 精秤1毫克十七酸甲酯，加異丙醇使總體積100毫升。作為內標物。

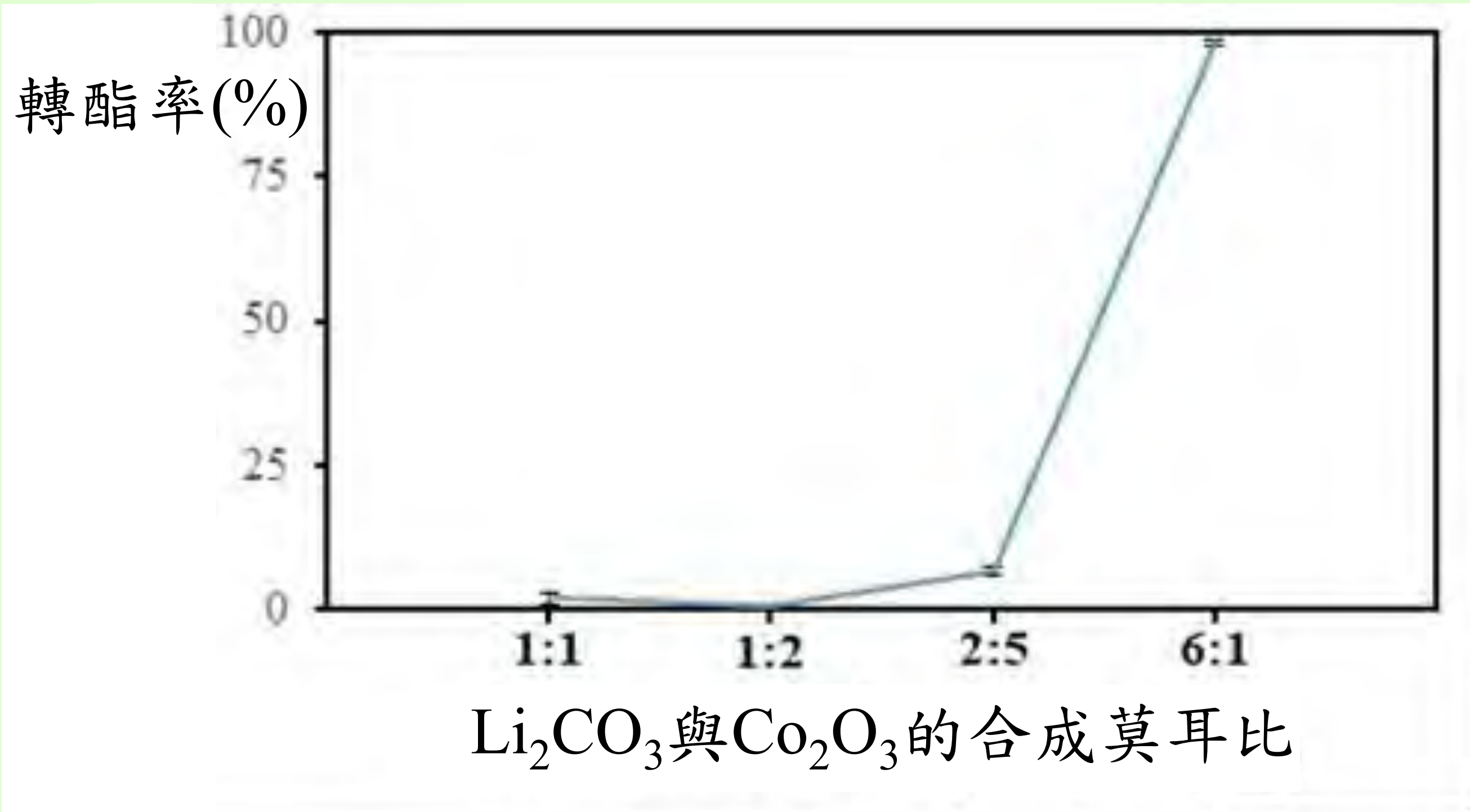
3. 100毫克生質柴油，加兩毫升內標物為待測物

4. 注入0.1微升待測物入GC中，並計算轉酯率。

5. 計算轉酯率的方法:C14到C24:1的脂肪酸甲酯(生質柴油)所有波峰積分總面積扣除內標物波峰面積後，乘上內標物濃度與內標物體積，再除以內標物波峰面積與樣品質量，最後乘以100%即為所求。

四、結果與討論

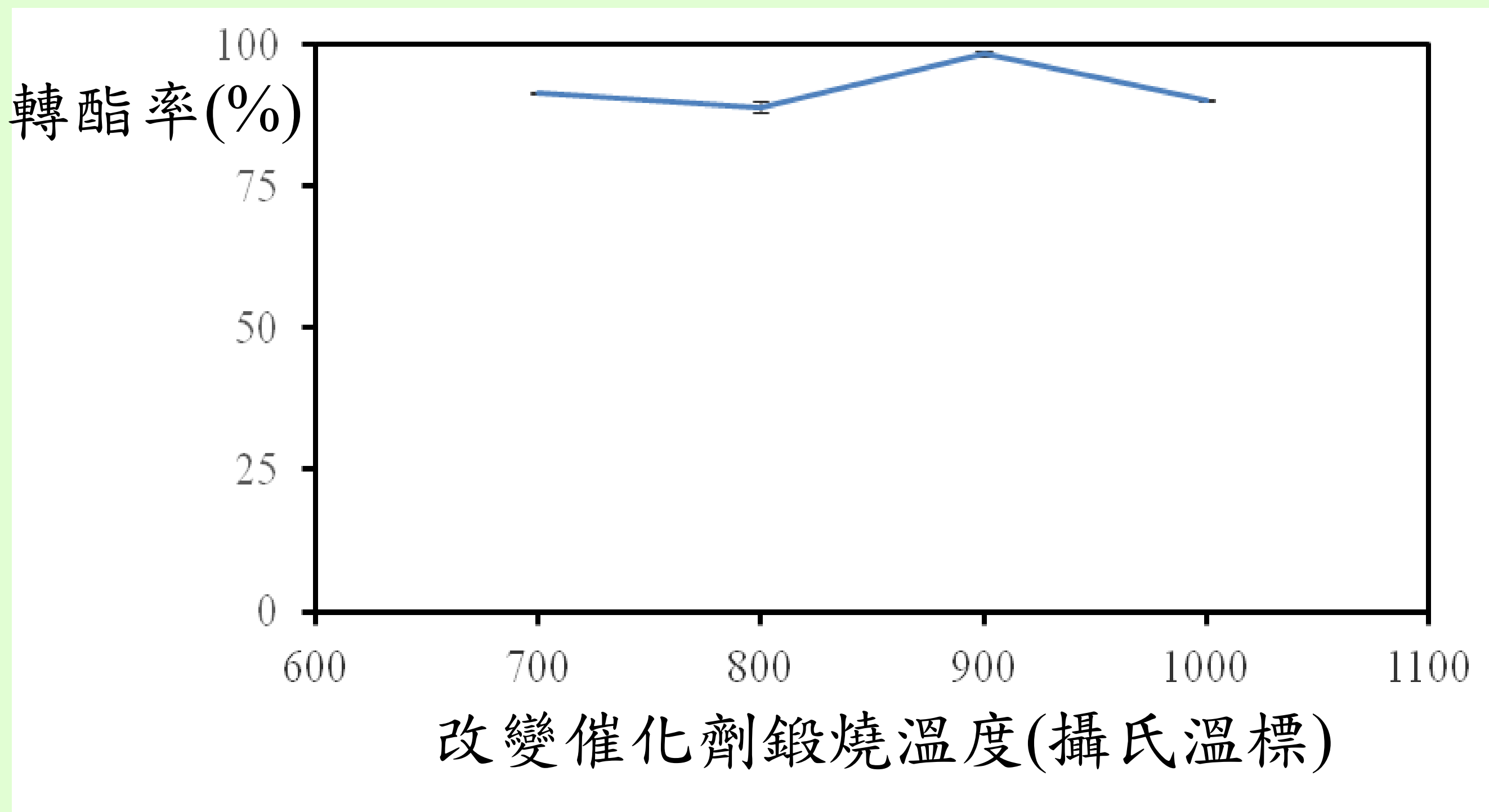
一、改變 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 的合成莫耳比



圖九 改變 Li_2CO_3 與 Co_2O_3 合成莫耳比的轉酯率關係圖

Li_2CO_3 與 Co_2O_3 合成莫耳比為6:1時轉酯率遠高於其他比例。

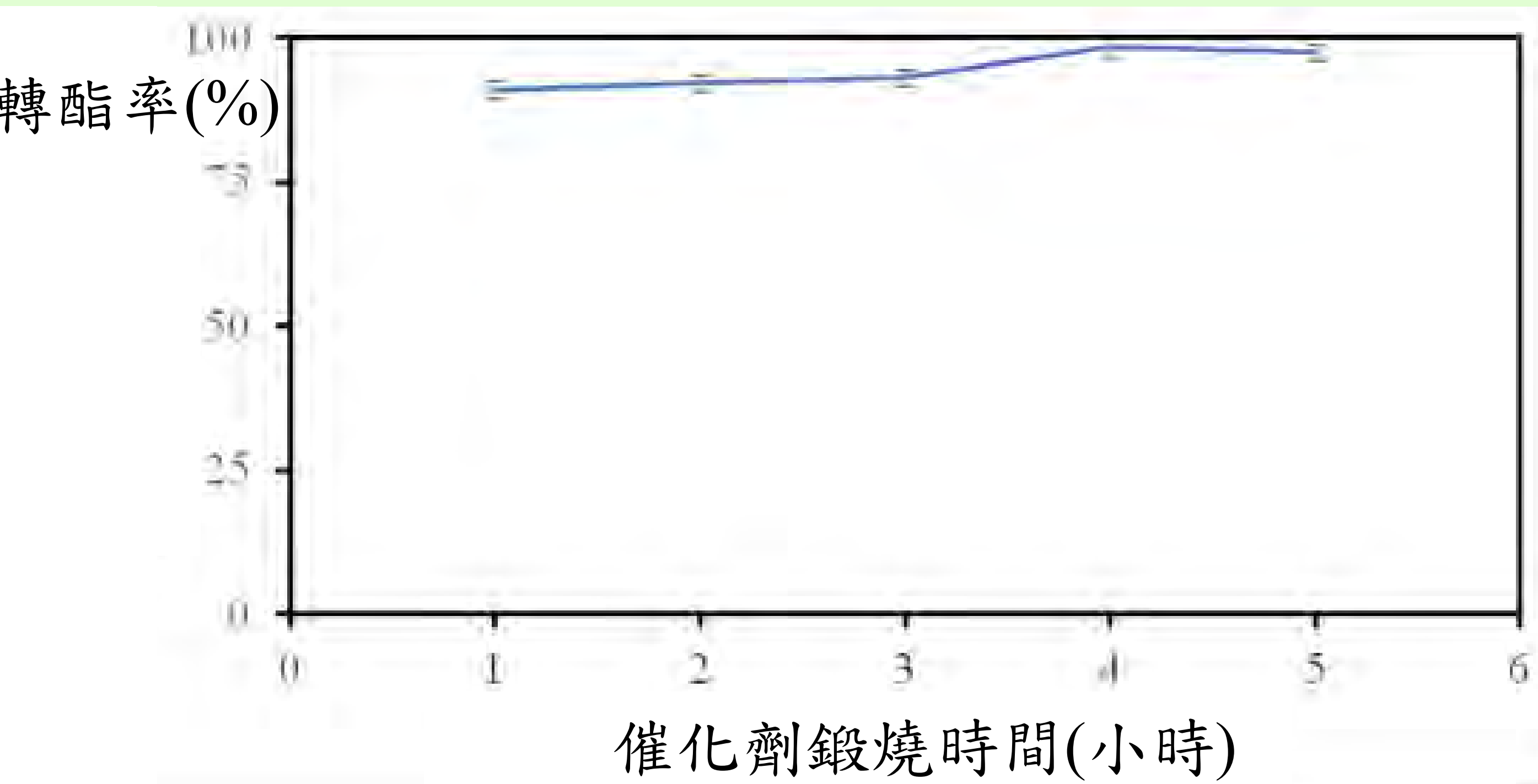
二、改變催化劑鍛燒溫度



圖十 改變催化劑鍛燒溫度的轉酯率關係圖

催化劑鍛燒溫度為 900°C 時有最好的轉酯率。

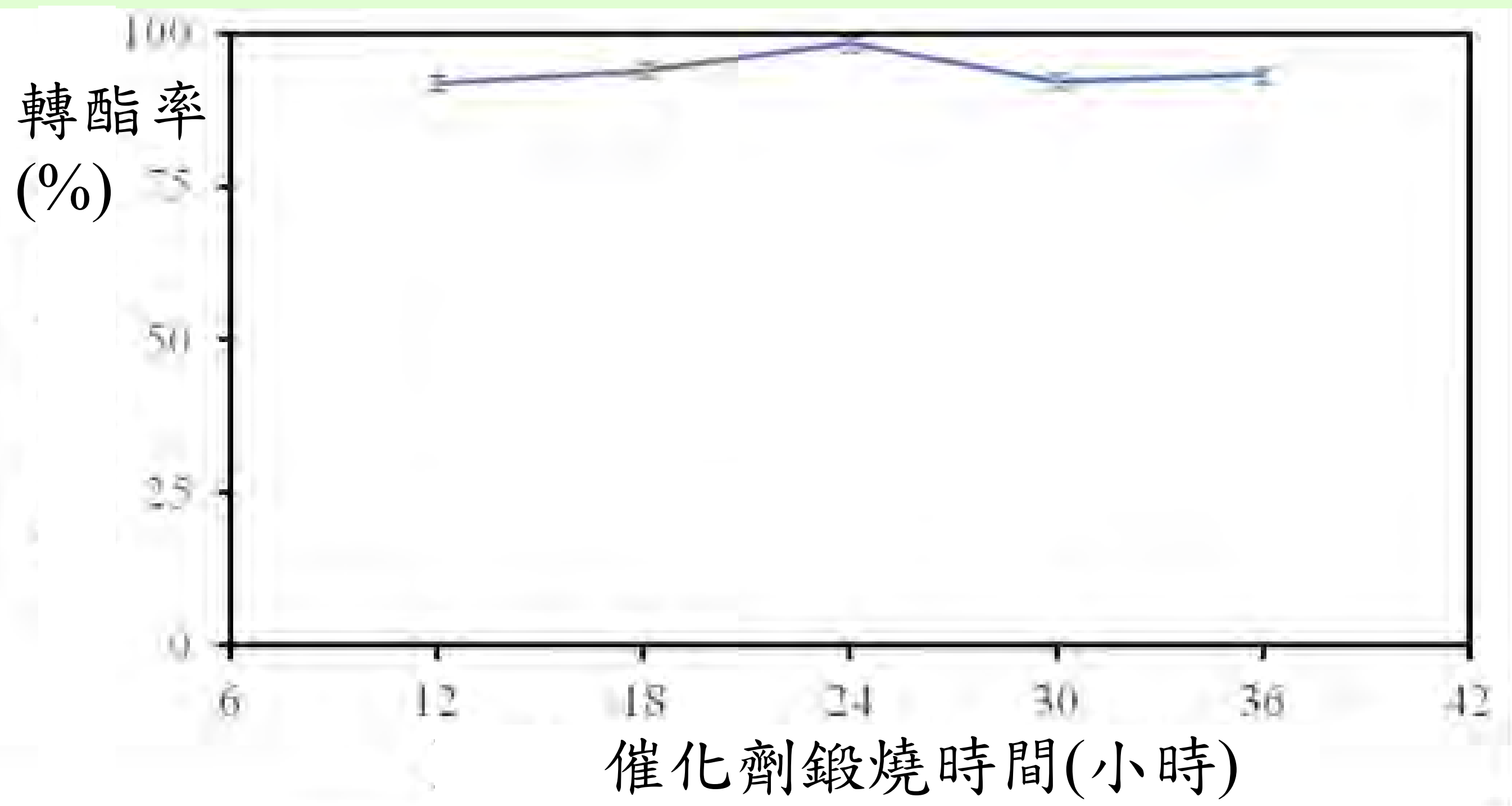
三、催化劑鍛燒時間



圖十一 改變催化劑鍛燒時間的轉酯率關係圖

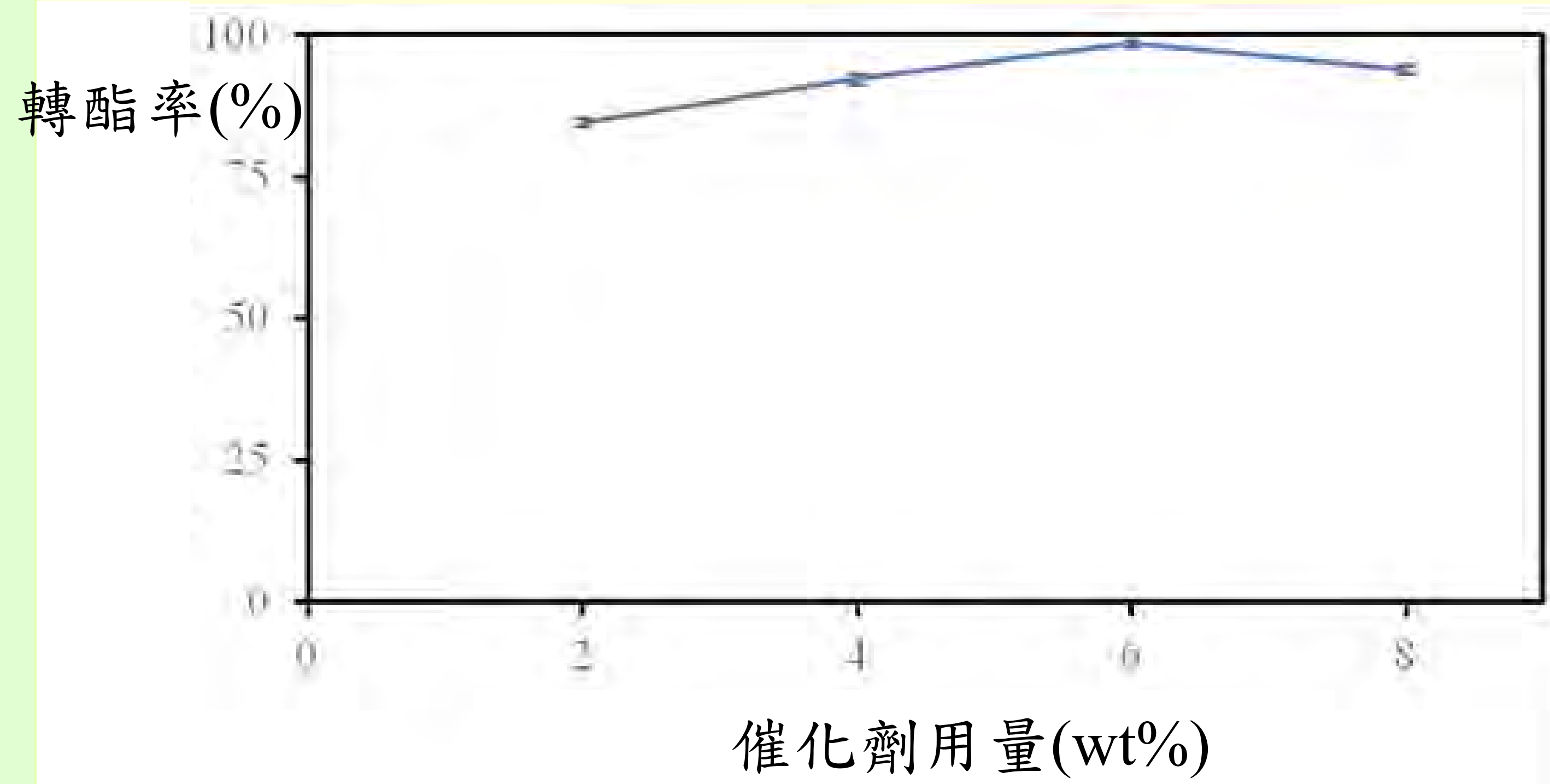
催化劑鍛燒時間為4小時的時候有最好的轉酯率。

四、改變反應油醇莫耳比



圖十二 改變反應油醇莫耳比的轉酯率關係圖
反應油醇莫耳比比值為24的時候有最好的轉酯率。

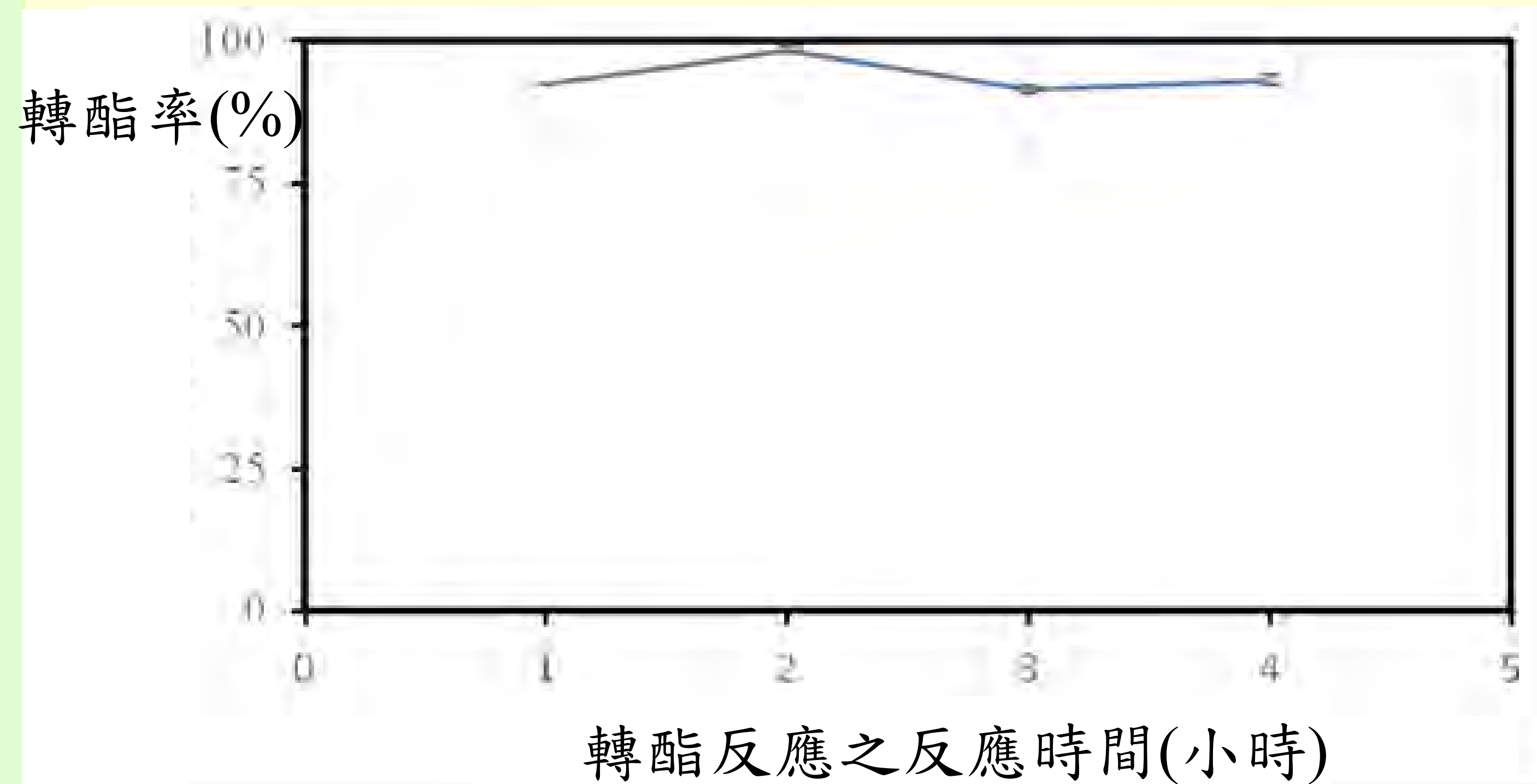
五、改變轉酯反應之催化劑用量



圖十三 改變轉酯反應之催化劑用量的轉酯率關係圖

轉酯反應之催化劑用量為6 wt%時有最好的轉酯率。而催化劑用量為2wt%轉酯率不高，推測是催化劑不足致使反應較慢所致。

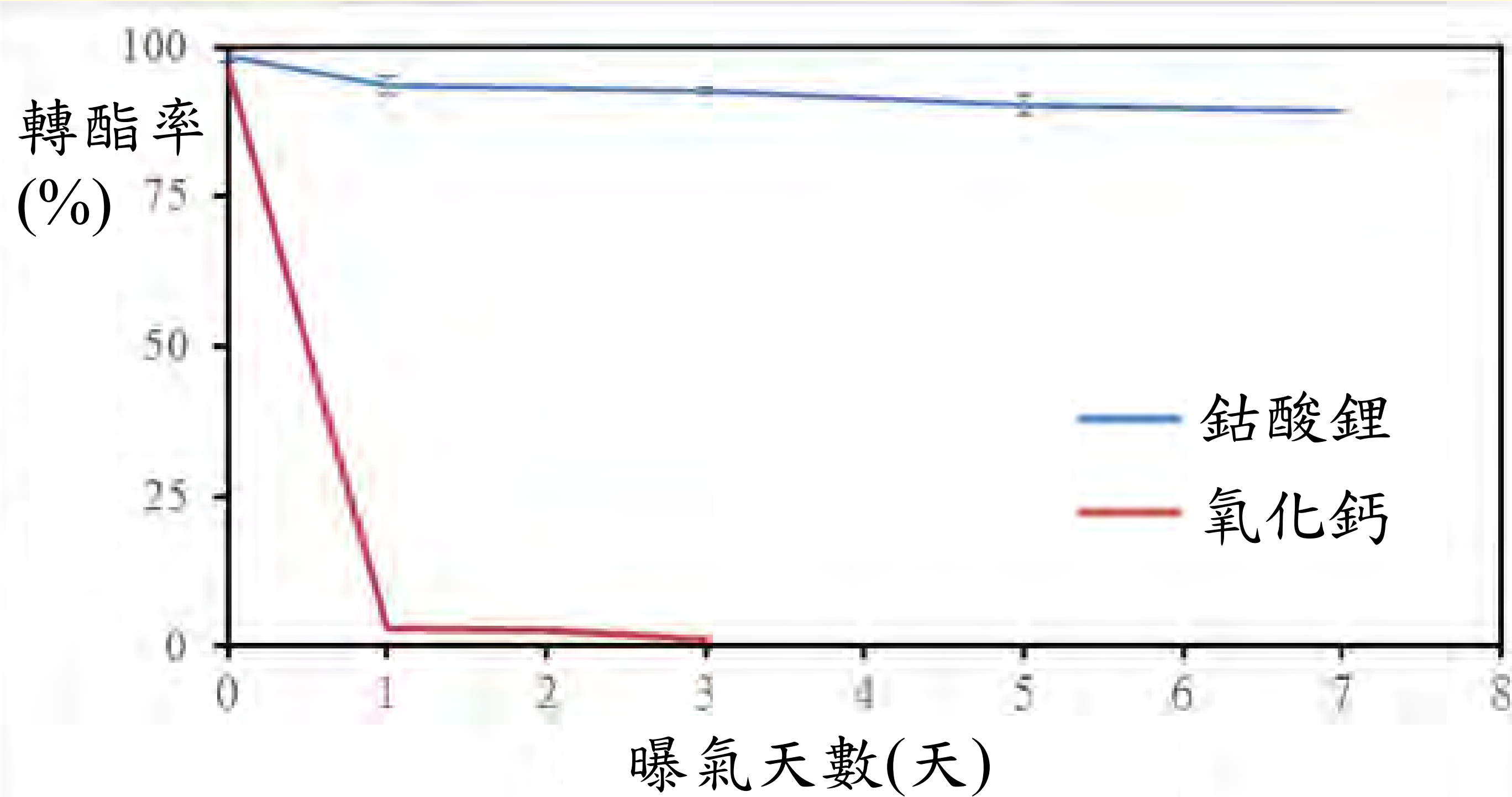
六、改變轉酯反應之反應時間



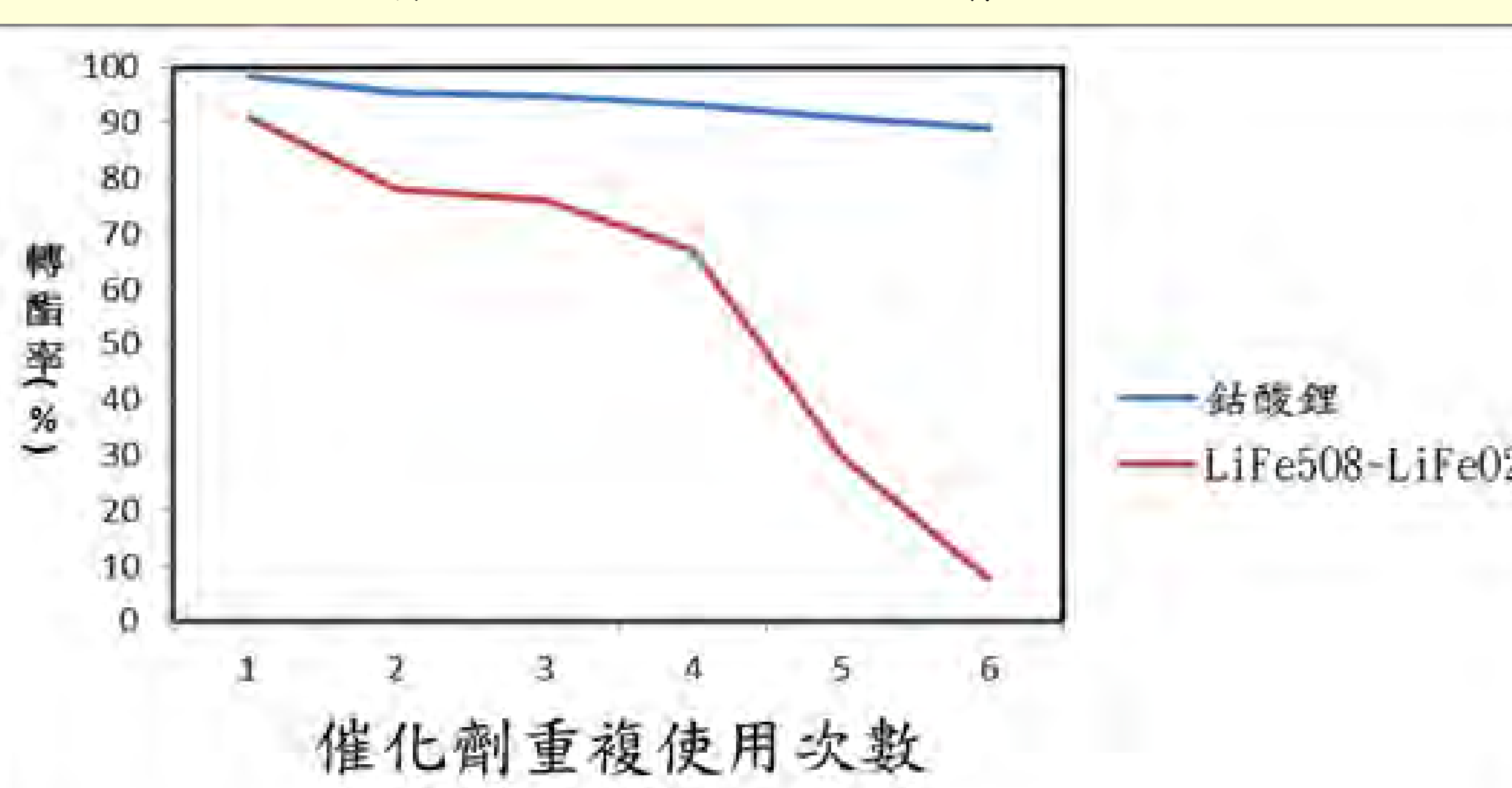
圖十四 改變轉酯反應之反應時間的轉酯率關係圖

2小時處有最好的轉酯率。據圖推測反應時間1小時處轉酯率較差是因反應仍未達平衡，而超過2小時處轉酯率較差是因逆反應。

七、改變催化劑曝氣天數的影響性



八、催化劑重複利用次數的影響性



圖十五 催化劑重複利用次數轉酯率關係圖

直至重複使用第六次，轉酯率都有不重複使用時的90%，是重複使用性高的環保催化劑。參考資料(八)轉酯率下降的原因推測是因觸媒使用過後活性降低，且純化時有少量催化劑流出，若使用10wt%，又使催化劑過於濃稠難有效催化，故使用8wt%。

九、使用不同油品為原料的影響性

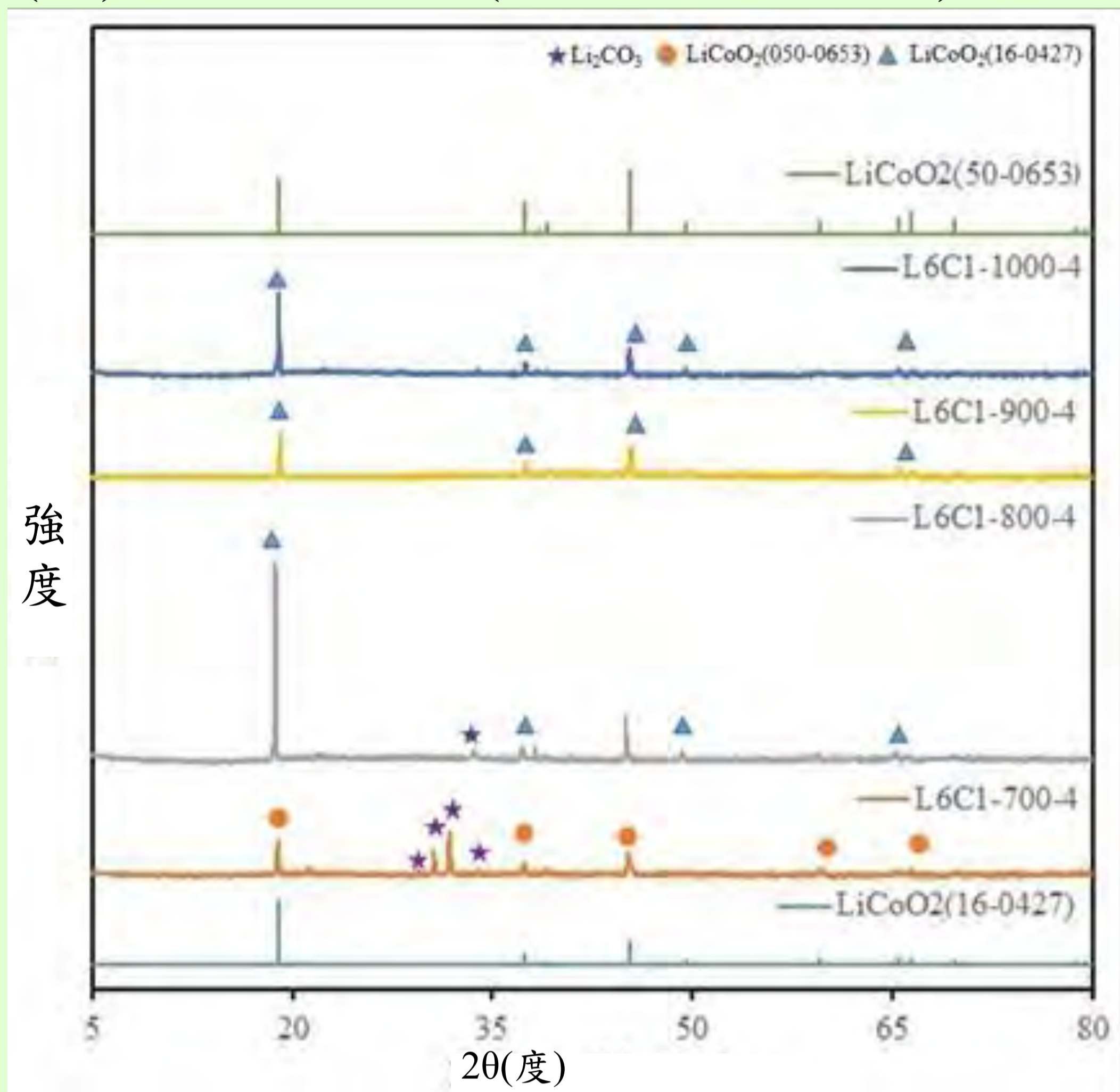
表一 使用不同油品為原料對轉酯率的影響

油品種類	轉酯率(%)
大豆油	98.4±0.5
廢油	90.6±0.1
棕櫚油	93.3±0.4
棕櫚核仁油	27.1±0.3
菜籽油	88.7±0.4
椰子油	20.4±0.6
橄欖油	93.1±0.6

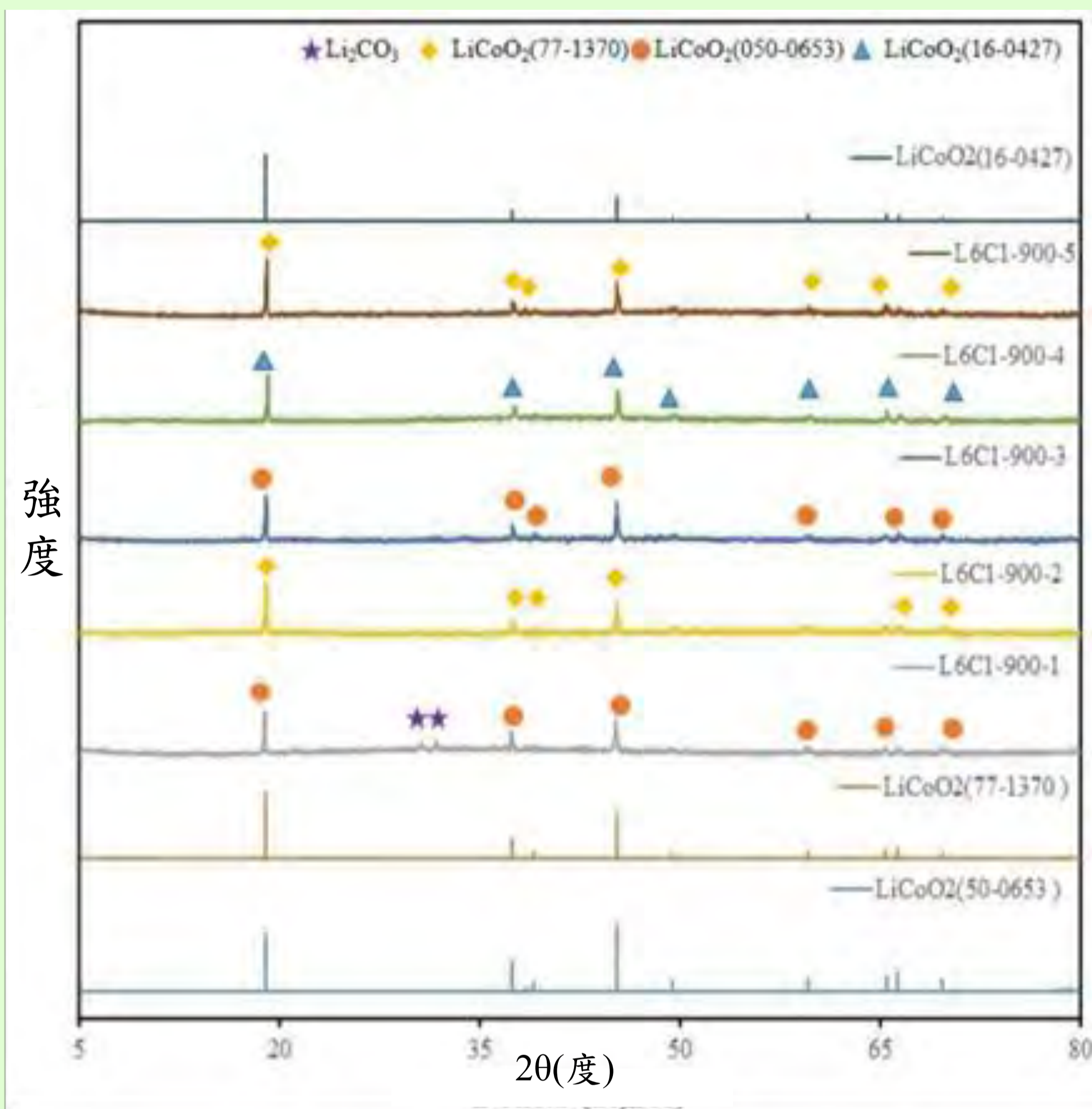
高溫油炸食用油
產生大量游離脂肪酸
游離脂肪酸加鹼性催
化劑進行轉酯化反應
容易產生皂化反應，
讓轉酯率降低。故觀
察轉酯效果多種油品

十、催化劑的性質探討

(一)X射線繞射儀(測量晶相的儀器)



圖十六 改變催化劑鍛燒溫度XRD圖譜

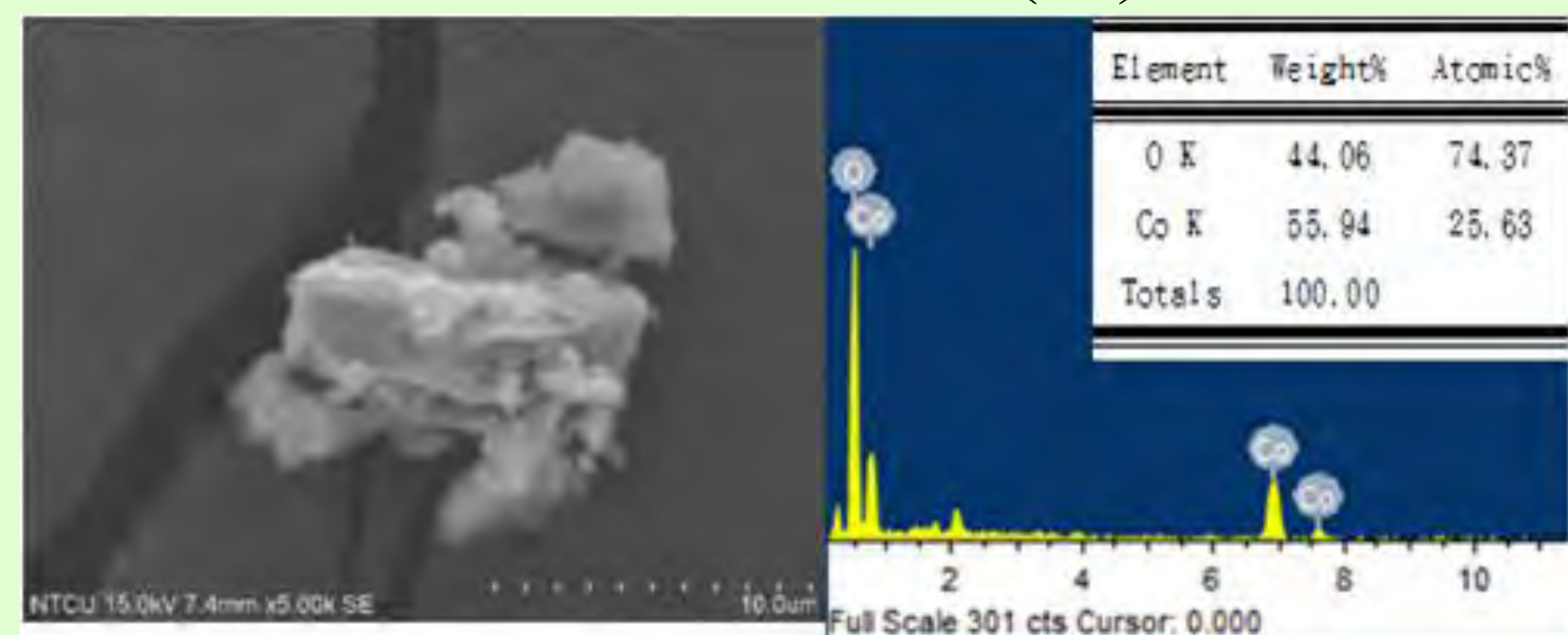


圖十七 改變催化劑鍛燒時間XRD圖譜

(二)場發式掃描電子顯微鏡附能量分散光譜儀

場發式掃描電子顯微鏡看催化劑的表面

形狀，能量分散光譜儀測化合物為哪些元素
構成，但測不到原子序3以下(含)的元素。



圖十八 最佳化鈷酸鋰的SEM-EDS圖譜

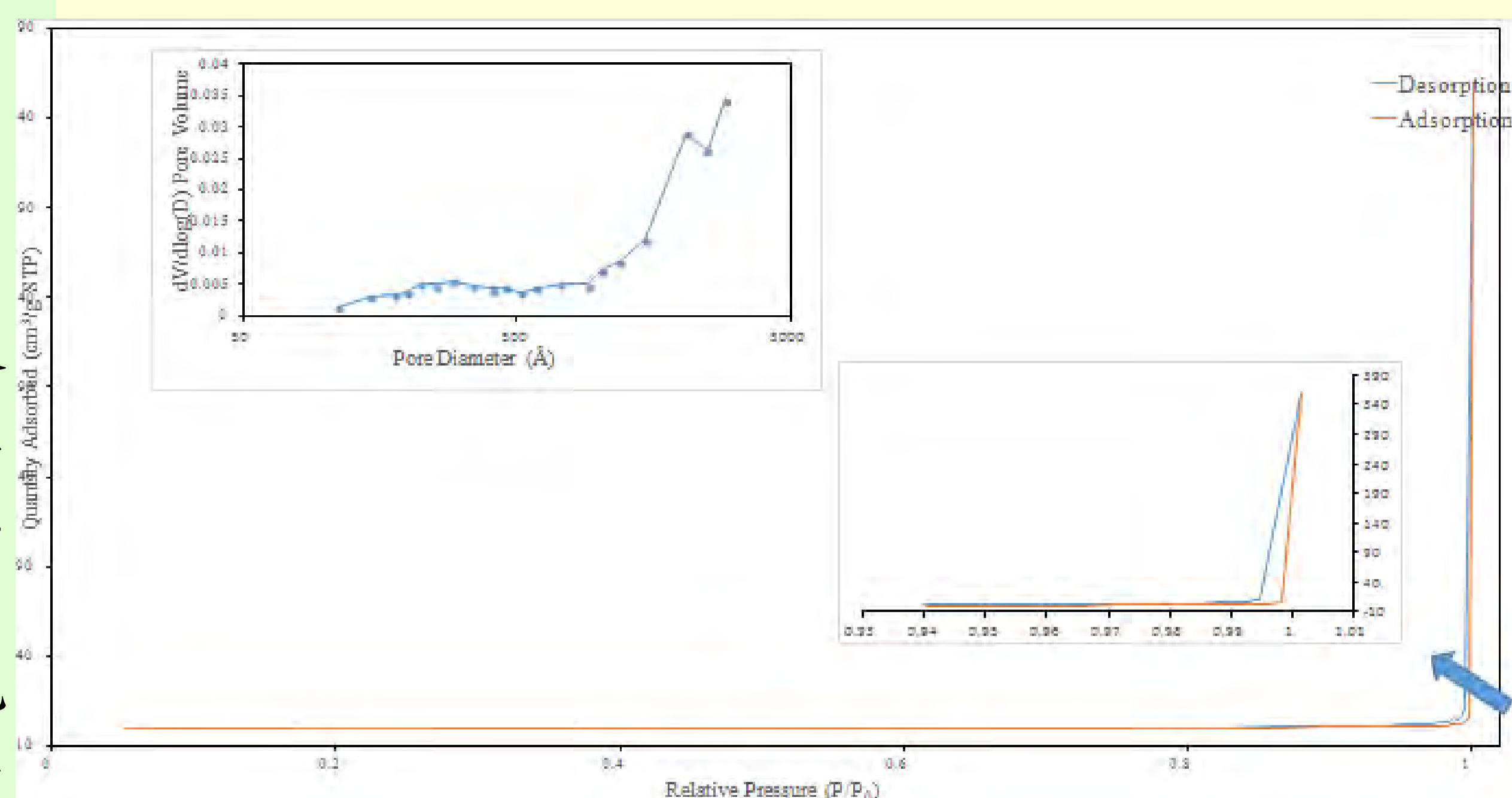
鈷酸鋰的表面呈不規則狀。測出最佳化鈷

酸鋰含有鈷與氧元素，鋰元素則因太小測不到。

(三)比表面積分析儀(BET)

表二 最佳化鈷酸鋰比表面積、平均孔洞直徑、體積

比表面積(m ² /g)	平均孔洞直徑 (Å)	平均孔洞體積 (cm ³ /g)
0.3896	740.58	0.005085



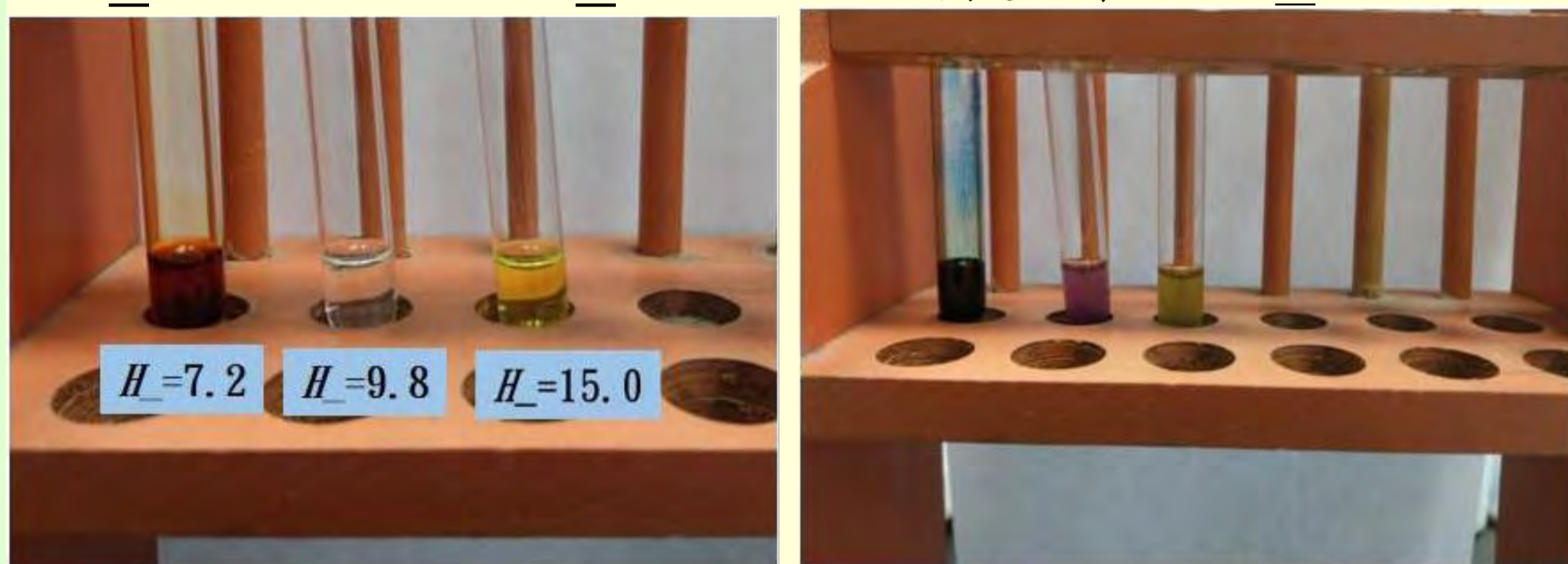
圖十九 最佳化鈷酸鋰的等溫氮氣吸/脫附圖

圖十九中，左上角小圖為催化劑孔徑分布圖，
由表二可得知催化劑屬於巨孔結構，由於高
溫鍛燒，鈷酸鋰的表面積很小，由吸/脫附
圖得知其曲線屬於IUPAC定義中的第III型，
遲滯環型態為H3型。

(四)Hammett指示劑

測鹼強度範圍，三種指示劑:溴百里酚藍

$H_7=7.2$ 、酚酞 $H_9=9.8$ 、二硝基苯胺 $H_{15}=15.0$ 。



圖二十 指示劑顏色 圖二十一 添加催化劑後顏色
鹼度範圍(H_p)大於7.2，小於9.8。

伍、結論

(一)本研究所得最佳條件將碳酸鋰與氧化鈷6:1
莫耳比合成催化劑鈷酸鋰，鍛燒溫度為900°C，
鍛燒時間4小時，醇油)莫耳比值24，使用6wt%
的催化劑，以攝氏65度的溫度反應2小時，轉酯
率達98.4%，高於臺灣及世界標準的96.5%。

(二)本研究最大困難是水洗過程產生脂肪酸鈉
與脂肪酸鈣，需大量蒸餾水清洗。工業上可改
變純化步驟，在轉酯化反應完成後先抽掉甲醇，
再用分餾塔替代水洗。或原油分餾時混合生質
柴油，可得生質柴油與石化柴油混合物，生質
柴油佔比越高，越達綠能效果。

陸、未來展望

(一)嘗試用其他起始物合成觸媒，如:將碳
酸鋰換成碳酸鈉或碳酸鉀。

(二)針對鈷酸鋰所產出生質柴油的油品檢測。

柒、參考資料

- Sundus, F.M.A. Fazal, and H.H.Masjuki. "Tribology with biodiesel: A study on enhancing biodiesel stability and its fuel properties." Renewable & Sustainable Energy Reviews 70(2017)399-412
- 蕭明謙, 利用均質處理快速製備生質柴油的方法第一、二頁
- S.L. Lee, Y.C. Wong, Y.P. Tan, S.Y. Yew. Transesterification of palm oil to biodiesel by using waste obtuse horn shell-derived CaO catalyst 第一、二頁
- 林永禎, 徐建銘, 陳柏君, 楊智翔, 台灣地區CO₂ 增加與氣溫、海溫、海平面上升關係之研究 第七頁
- Demirbaş, Ayhan. "Biodiesel from vegetable oils via transesterification in 55supercritical methanol." Energy conversion and management 43.17(2002):2349-2356 第二頁
- Marchetti, J. M., V. U. Miguel, and A. F. Errazu. "Possible methods for biodiesel production." Renewable and sustainable energy reviews 11.6(2007):1300-1311 第五頁
- 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。
- Islam, A.; Taufiq-Yap, Y. H.; Chan, E. S.; Moniruzzaman, M.; Islam, S.; Nabi, M. N. Advances in solid-catalytic and non-catalytic technologies for biodiesel production. Energy Conversion and Management. 2014, 88, 1200 第一頁
- 吳仲軒, 以鋁酸鋰及矽酸鋰為催化劑進行大豆油生產生質柴油之反應條件研究 第174頁
- Yong-Ming Dai, Ya-Fen Wang, Chiing-Chang Chen, Synthesis and characterization of magnetic LiFe₅O₈-LiFeO₂ as a solid basic catalyst for biodiesel production 第二十三頁