

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 化學科

040216

油燃而生—回鍋油變生質柴油

學校名稱：國立大里高級中學

作者： 高一 薛富駿 高一 莊翊葦 高一 林書帆 高一 廖御棠	指導老師： 顏肇佑
---	------------------

關鍵詞：生質柴油、轉酯化、催化鹼

摘要

原油能源短缺，因此尋求替代能源又能兼具環保的議題便成爲熱門的話題，而生質柴油便是主角之一。我們便想利用廢棄的回鍋油來製備生質柴油。

整個實驗的過程我們發現未使用過的油及回鍋油在製備上的溫度、催化鹼的用量及油：醇的體積比有些許的不同。未使用的油溫度盡量控制在 65°C ，催化鹼濃度以 $0.5\sim 1\%$ 最佳，油：醇的體積比則爲 $1:3$ ；回鍋油的溫度也是在 65°C ，催化鹼濃度爲 $1\sim 1.5\%$ ，油：醇體積比爲 $1:4$ ，而此兩種類型的油加熱時間都是控制在 1 小時會得到最佳的產率及良率。最後我們嘗試利用日常生活裡的酒精、乾燥劑(成份爲 CaO)當催化劑將回鍋油製備成生質柴油，最後實際讓柴油引擎運轉也收到不錯的效果，且排氣污染程度也小於高級柴油。

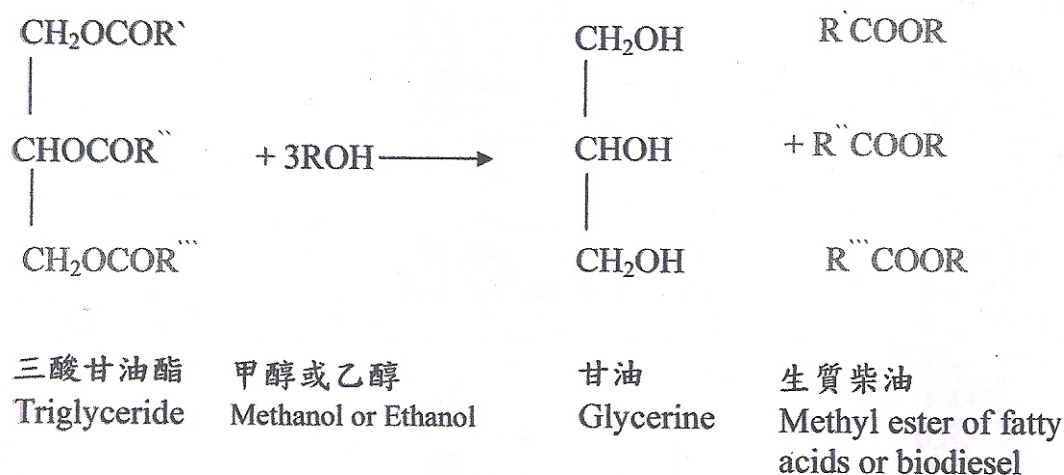
壹、研究動機：

近年來從日益嚴重的「石油危機」凸顯了我們對它強烈的依賴性，然而原油所剩的存量，卻也近於匱乏。再加上「開發中國家」大量的使用化石燃料，已促進工業發展（見下表）。這也意味著：我們不能再靠石油了！此時，隨之崛起的即是——生質能源，我們又在課本及課堂上老師的講解發現，被視為廢物的回鍋油，竟然有變為生質柴油的機會。在參考各式不同的網路、期刊後，我們發現其實只要使用各種不同的回鍋油，再經轉酯化反應、中和、水洗以及蒸餾等過程後即可得到——生質柴油，而且具有生物可分解和無毒等特性，特別是因生質柴油幾乎沒有含硫化物，排放的廢氣自然也沒有硫化物，同時也會使微粒、碳氫化合物及CO 排放量大幅降低，是非常符合環保訴求的綠色能源，於是我們便打算改變不同的變因及用各式不同的油來探討何種變因所得的生質柴油產率較高。

項目	蘊藏量（有開採價值）	每年使用量	可開採至
煤	9.8×10^5 百萬噸	4×10^3 百萬噸	2245 年
石油	1×10^5 桶	2.5×10^{10} 桶	2040 年
天然氣	1.56×10^5 立方公尺	2.4×10^{12} 立方公尺	2065 年

貳、研究目的：

一、研究原理：



三酸甘油酯轉酯化的過程與皂化反應很類似，皂化反應是三酸甘油酯在鹼性溶液下水解成甘油與脂肪酸鹽(肥皂)，而生質柴油使用的是轉酯化(transesterification) 反應，把它分解開來講，也就是皂化反應後再酯化反應，然後形成烷基酯(生質柴油)與甘油，整個生質柴油製作過程即把油導到甲醇與催化劑（通常使用強鹼，氫氧化鈉或氫氧化鉀）去進行轉酯化反應。反應完畢，加入酸中和，然後把生質柴油與甘油分開。

二、研究目的：

- (一)研究各種不同的油最適合的反應溫度
- (二)研究最適合的轉酯化反應時間
- (三)探討催化鹼在何種濃度下對於轉酯化的催化效果較佳，同時也比較沙拉油、回鍋油所需的催化鹼量是否相同
- (四)研究甲醇、乙醇何者較適合與油脂反應
- (五)探討各種不同的油在不同的油：醇體積比下反應的完整度
- (六)利用 TLC 片與標準物(高級柴油)進行成份比對分析，觀察上述四種操作生產出的生質柴油之成份何者較符合標準物
- (七)以乾燥劑為催化鹼量生產生質柴油，並與高級柴油以不同比例混合，比較各種不同比例之排氣污染的程度

參、研究設備及器材：

一、實驗藥品

項目(規格)	數量	藥品	數量
CH ₃ OH(500ml)	5 瓶	C ₂ H ₅ OH(500ml)	1 瓶
KOH	1 瓶	CH ₃ COOH _(aq) (99%)	1 瓶
乙酸乙酯(500ml)	1 瓶	正己烷(500ml)	1 瓶
各種油脂(1~4 號分別為炒菜油、沙拉油、油炸油、熱炒油)	各約 1L	中油高級柴油	3L
乾燥劑(CaO)	2 包		

二、實驗器材及設備

項目(規格)	數量	藥品	數量
溫度計	4 支	加熱板	4 台
磁石	4 個	雙頸瓶	4 個
毛細管	1 罐	TLC 片	1 盒
分液漏斗	4 支	柴油引擎	1 台
排氣檢測機	1 台		

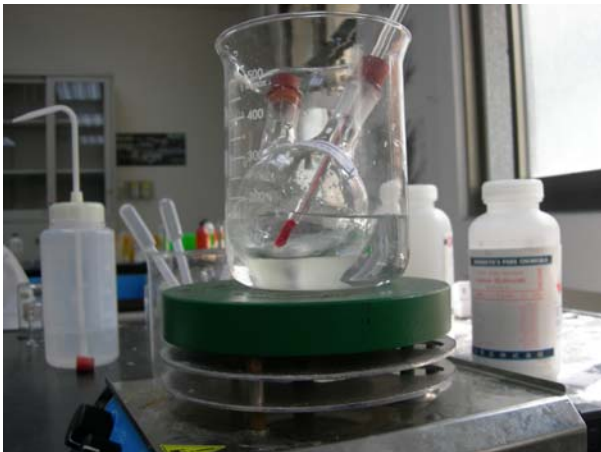
肆、研究過程及方法：

一、前置作業：

TLC 片展開液的選擇：配置不同比例的乙酸乙酯/正己烷，觀察高級柴油、沙拉油展開的效果，計算高級柴油、沙拉油展開至中間線所需時間，選擇效果最明顯的比例

二、研究各種不同的油最適合的反應溫度：

- 1.分別取 5ml 1~4 號油置入雙頸瓶中
- 2.放入磁石後，在雙頸瓶一孔用橡皮塞插入溫度計，另一孔用橡皮塞塞住，置於大燒杯中隔水加熱(圖一)
- 3.待加熱至 60°C，加入甲醇溶液(內含 1%的 KOH)15ml(即油：醇體積比固定 1：3)，並持續加熱且維持溫度在 60°C，加熱 60 分鐘
- 4.加熱完在溶液中加入與 KOH 等莫耳數的 CH₃COOH 酸洗之
- 5.重覆 1~4 步驟，但加熱溫度分別為 65°C、70°C
- 6.靜置一天，待其分層後，利用分液漏斗分別取上、下層(上層液主要即為生質柴油層)液，並計算上、下層之體積
- 7.進行 TLC 片成份分析：用毛細管沾取上、下層液體並與標準液(高級柴油)做比較



圖一

三、研究最適合的轉酯化反應時間：

- 1.取 5ml 沙拉油置入雙頸瓶中
- 2.放入磁石後，在雙頸瓶一孔用橡皮塞插入溫度計，另一孔用橡皮塞塞住，置於大燒杯中隔水加熱
- 3.待加熱至 65°C，加入甲醇溶液(內含 1%的 KOH)15ml(即油：醇體積比固定 1：3)，並持續加熱且維持溫度在 65°C，加熱 20 分鐘

- 4.加熱完在溶液中加入與 KOH 等莫耳數的 CH_3COOH 酸洗之
- 5.重覆 1~4 步驟，但加熱時間分別為 40、60、80 分鐘
- 6.靜置一天，待其分層後，利用分液漏斗分別上、下層(上層液主要即為生質柴油層)液，並計算上、下層之體積
- 7.進行 TLC 片成份分析：用毛細管沾取上、下層液體並與標準液(高級柴油)做比較

四、探討催化鹼在何種濃度下對於轉酯化的催化效果較佳：

- 1.取 5ml 沙拉油置入雙頸瓶中
- 2.放入磁石後，在雙頸瓶一孔用橡皮塞插入溫度計，另一孔用橡皮塞塞住，置於大燒杯中隔水加熱
- 3.待加熱至 65°C ，加入甲醇溶液(內含 1%的 KOH)15ml(即油：醇體積比固定 1：3)，並持續加熱且維持溫度在 65°C ，加熱 60 分鐘
- 4.加熱完在溶液中加入與 KOH 等莫耳數的 CH_3COOH 酸洗之
- 5.重覆 1~4 步驟，但甲醇溶液中的 KOH 改成 0.5%、1.5%、2%
- 6.重覆 1~5 步驟，但將油改成 3 號油
- 7.靜置一天，待其分層後，利用分液漏斗分別上、下層(上層液主要即為生質柴油層)液，並計算上、下層之體積
- 8.進行 TLC 片成份分析：用毛細管沾取上、下層液體並與標準液(高級柴油)做比較

五、研究甲醇、乙醇何者較適合與油酯反應

- 1.取 5ml 沙拉油置入雙頸瓶中
- 2.放入磁石後，在雙頸瓶一孔用橡皮塞插入溫度計，另一孔用橡皮塞塞住，置於大燒杯中隔水加熱
- 3.待加熱至 65°C ，加入甲醇溶液(內含 1%的 KOH)15ml(即油：醇體積比固定 1：3)，並持續加熱且維持溫度在 65°C ，加熱 60 分鐘
- 4.加熱完在溶液中加入與 KOH 等莫耳數的 CH_3COOH 以酸洗之
- 5.重覆 1~4 步驟，但步驟 3 的甲醇溶液改成乙醇溶液
- 6.靜置一天，待其分層後，利用分液漏斗分別上、下層(上層液主要即為生質柴油層)液，並計算上、下層之體積
- 7.進行 TLC 片成份分析：用毛細管沾取上、下層液體並與標準液(高級柴油)做比較

六、探討各種不同的油在不同的油：醇體積比下反應的完整度

- 1.分別取 5ml 1~4 號油加入 4 個雙頸瓶中

- 2.放入磁石後，在雙頸瓶一孔用橡皮塞插入溫度計，另一孔用橡皮塞塞住，置於大燒杯中隔水加熱
- 3.待加熱至 65°C，加入甲醇溶液(內含 1%的 KOH)15ml，並持續加熱且維持溫度在 65°C，加熱 60 分鐘
- 4.加熱完在溶液中加入與 KOH 等莫耳數的 CH₃COOH 以酸洗之
- 5.重覆 1~4 步驟，但將油：醇之體積比改成 1：1，1：4，1：6(即 10ml：10ml，5ml：20ml，5ml：30ml)
- 6.靜置一天，待其分層後，利用分液漏斗分別上、下層(上層液主要即為生質柴油層)液，並計算上、下層之體積
- 7.進行 TLC 片成份分析：用毛細管沾取上、下層液體並與標準液(高級柴油)做比較

七、利用乾燥劑為催化鹼量產生質柴油，並與高級柴油混合進行柴油引擎實際測試，檢測其排氣的污染程度

- 1.取約 500ml 3、4 號油置入錐形瓶中
- 2.放入磁石後，用橡皮塞插入溫度計塞住錐形瓶，並置於大燒杯中隔水加熱
- 3.選擇上述實驗對於回鍋油產率、良率最高的條件量產生質柴油(催化鹼改用乾燥劑)
- 4.將生產出來的生質柴油與高級柴油以體積比 2：1，1：1，1：2 與純高級柴油進行進行柴油引擎實際測試，檢測其排氣的污染程度(圖二：柴油引擎，圖三：排氣檢測裝置)



圖二



圖三

伍、研究結果：

一、前置作業：

下表一為高級柴油、沙拉油展開至 TLC 片中間點(5cm)所需時間之差值，由此表可見乙酸乙酯/正己烷體積比為 1：6 時分離效果最佳。

表一：

1 : 1(3ml : 3ml)	47 秒 51
1 : 2(2ml : 4ml)	52 秒 60
1 : 3(1.5ml : 4.5ml)	1 分 02 秒 97
1 : 6(0.9ml : 5.1ml)	1 分 12 秒 98
1 : 9(0.6ml : 5.4ml)	1 分 8 秒 80

二、各種不同的油最適合的反應溫度：

各種不同溫度，上、下層體積如下表：(以下產率 = $\frac{\text{上層液體積}}{\text{反應前油} + \text{醇總體積}} \times 100\%$ ，比值 =

$\frac{\text{上層液體積}}{\text{下層液體積}}$)

60°C(油：醇體積比 = 1 : 3)

油的種類	上層液的量(ml)	下層液的量(ml)	產率	比值
1 號油	14.4	3.3	72.0%	4.4
2 號油	13.9	3.2	69.5%	4.3
3 號油	14.0	3.8	70.0%	3.7
4 號油	13.0	2.3	65.0%	5.7

65°C(油：醇體積比 = 1 : 3)

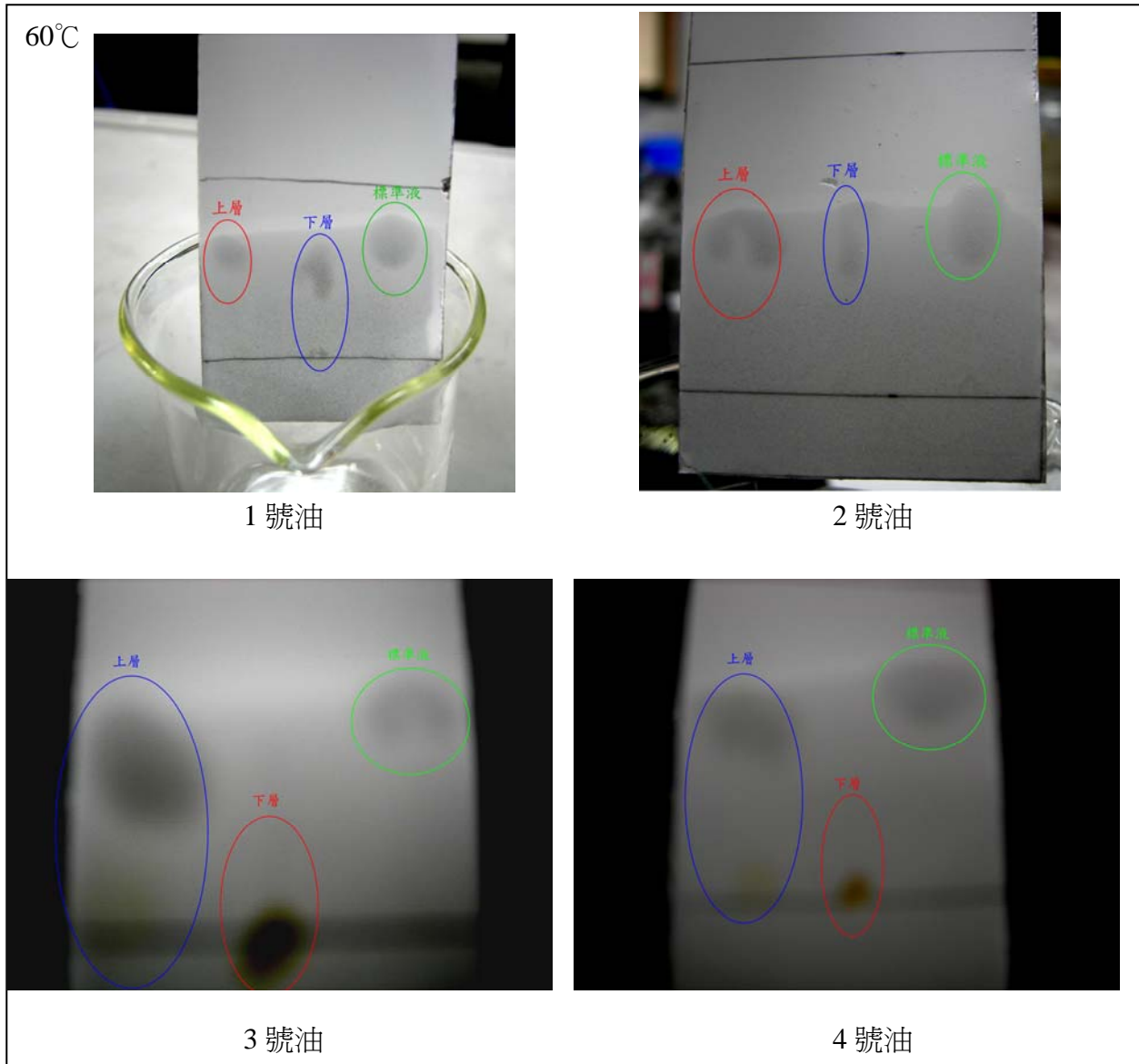
油的種類	上層液的量(ml)	下層液的量(ml)	產率	比值
1 號油	17.2	1.8	86.0%	9.6
2 號油	15.2	1.7	76.0%	8.9
3 號油	10.5	4.2	52.5%	2.5
4 號油	12.5	3.0	62.5%	4.2

70°C(油：醇體積比 = 1 : 3)

油的種類	上層液的量(ml)	下層液的量(ml)	產率	比值
1 號油	5.3	0.6	26.5%	8.8
2 號油	5.5	0.6	27.5%	9.2
3 號油	4.2	0.7	21.0%	6.0
4 號油	5.0	1.0	25.0%	5.0

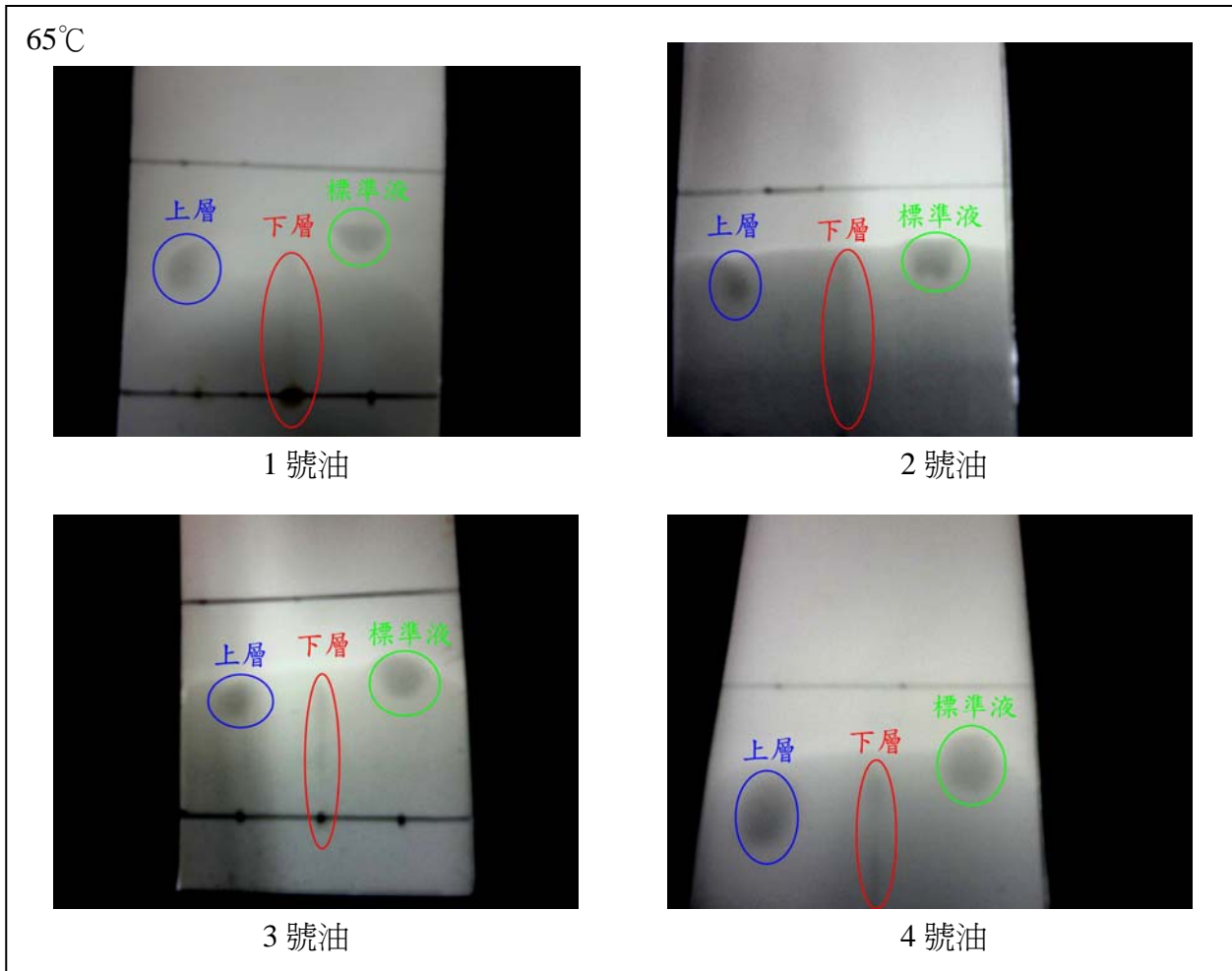
由上表得知 1、2 號油在 65°C 所得產率較高且上、下層液體積比值也較大；3、4 號油則在 60°C 產率較高，不過上、下層液體積比值卻偏低，因此 3、4 號油的最佳加熱條件則需進一步 TLC 片的分析。TLC 片測試結果如下圖：

圖四



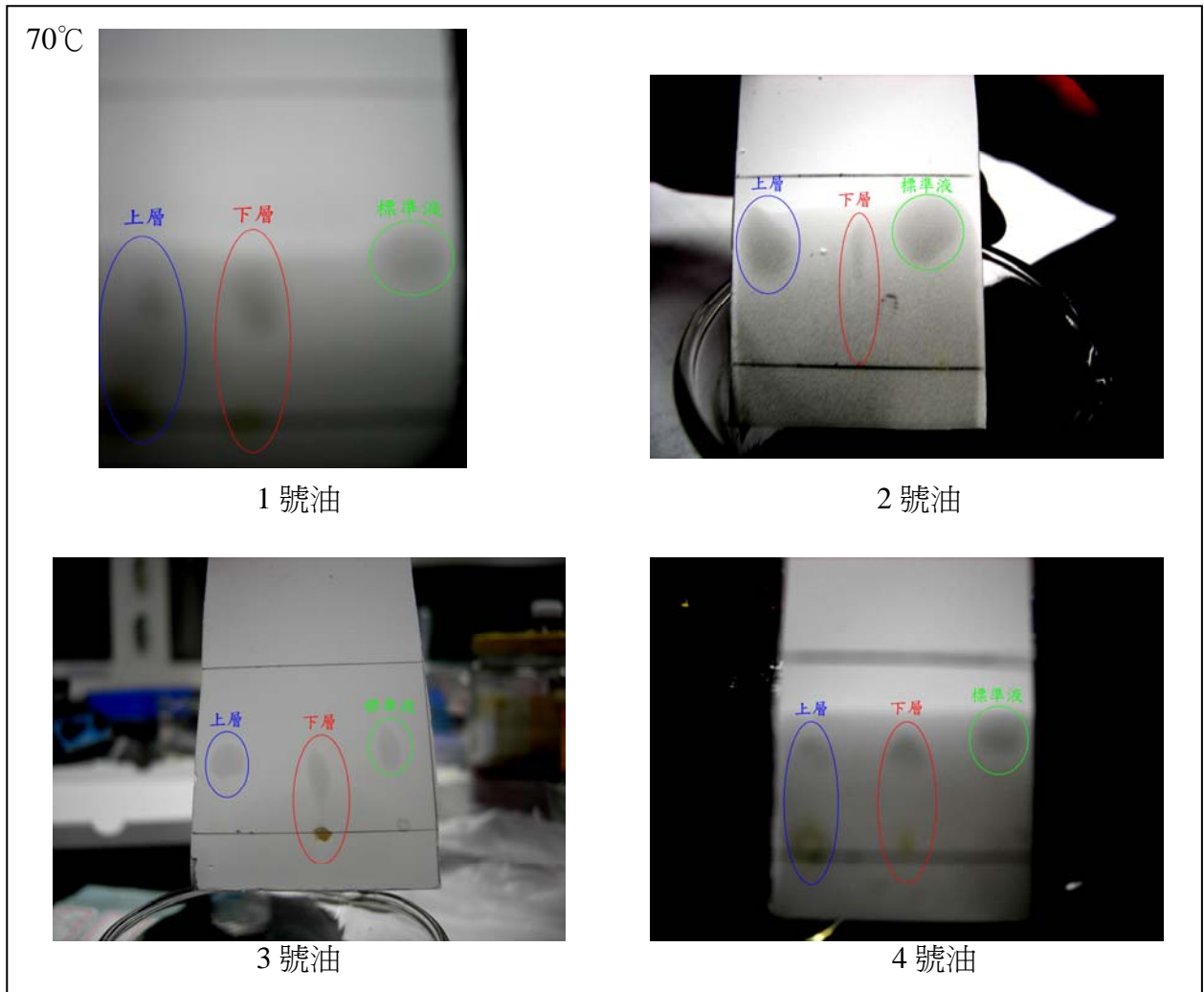
由上面的圖可發現 1~4 號油的上層產物(生質柴油層)展開的高度均與標準液(高級柴油)差不多，且展開至最高點的形狀均為圓形至橢圓形為主，顯現其成份與標準液類似，但 3、4 號油的上層產物底端均有一圈黃色，代表此產物雖有與標準液類似的成份，但其雜質含量卻較 1、2 號油為高。另外我們也發現 1、2 號油的下層產物(甘油層)展開的高度也與標準液差不多，但形狀上則與標準液有些許差別，代表此下層產物或許有一些與標準液類似的成份，但應該是含量不多，因此與上層主產物有所分別。

圖五



由上面的圖五可發現 1~4 號油的上層產物(生質柴油層)展開的高度均與標準液(高級柴油)差不多(4 號較低一些)，且展開至最高點的形狀均為圓形至橢圓形為主，顯現其成份與標準液類似。同時，上層液的底端不像 60°C 的 3、4 號油有另一圈的成份出現，顯現 65°C 的上層產物較 60°C 的上層產物與標準液成份更相近，生質柴油及高級柴油的互溶性也較佳(即良率以 65°C 較佳)。另外我們也發現下層產物(甘油層)展開的高度均較標準物為低且形狀上以直線為主，與標準液成份差別甚大，也代表 65°C 上、下層產物成份差別也甚大，所以 65°C 對於成份的分離效果也較 60°C 佳。

圖六



由上面的圖六可發現只有 2 號油的上層產物(生質柴油層)展開的高度及形狀與標準液(高級柴油)差不多，所以其成份相差不遠，其餘可見其上層生質柴油之成份與高級柴油相去甚遠，甚至 1、4 號油在下端有另一圈比較深色的成份，所以可見其內有雜質，由生質柴油、高級柴油的互溶性結果也顯示 1、4 號油互溶性極差，所以 70°C 雖然上、下層體積比值有提高的趨勢，但 TLC 片成份分析顯示與標準液有差別，因此 70°C 在良率上不及 65°C。

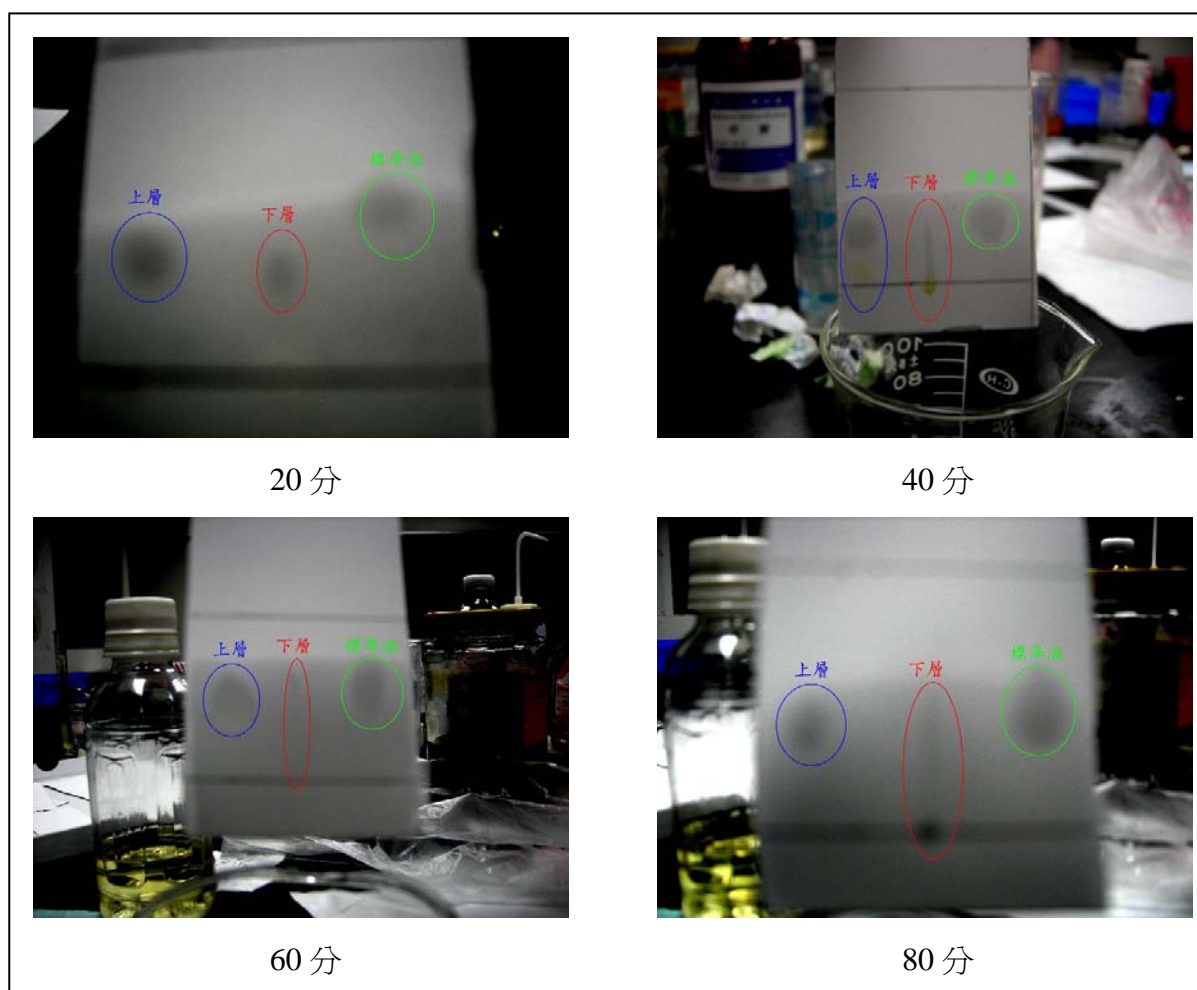
綜合上述三種溫度的測試，我們發現在產率及良率上均以 65°C 為佳，所以接下來的實驗，我們也都固定加熱溫度在 65°C。同時我們也發現 1、2 號油的產率較高，但 2 號油的良率則更勝於 1 號油，因此接下來的探討變因均以 2 號油為主。

三、最適合的轉酯化反應時間：

65°C(油：醇體積比=1：3)(表二)

反應時間	上層液的量(ml)	下層液的量(ml)	產率	比值
20 分	7.5	1.8	37.5%	4.2
40 分	9.4	1.7	47.0%	5.5
60 分	15.2	4.2	76.0%	3.6
80 分	8.1	3.0	40.5%	2.7

由上表可觀察到以 60 分的反應時間產率最高，但比值卻是 40 分較高，因此我們再藉由下列 TLC 片分析其成份來決定最佳的轉酯化反應時間。



圖七

由上圖可發現上層液(生質柴油)的形狀均與標準液(高級柴油)的圓形偏橢圓形類似，不過 20 分、40 分上升的高度與標準液有些許落差，顯現其成份也跟標準液有些許不同，因此 60 分、80 分的成份與標準液較類似，從互溶性的實驗也可觀察出 60 分、80 分的較佳。所以綜合產率、良率(成份比較)可得知以 60 分鐘最好。

四、催化鹼在何種濃度下對於轉酯化的催化效果較佳：

65°C (2 號油：醇體積比=1：3)(表三-1)

KOH 濃度	上層液的量(ml)	下層液的量(ml)	產率	比值
0.5%	15.3	2.8	76.5%	5.5
1.0%	15.2	1.7	76.0%	8.9
1.5%	不分層(呈凝膠狀)			
2.0%	不分層(呈凝膠狀)			

65°C (3 號油：醇體積比=1：3)(表三-2)

KOH 濃度	上層液的量(ml)	下層液的量(ml)	產率	比值
0.5%	9.3	3.2	46.5%	2.9
1.0%	10.5	4.2	52.5%	2.5
1.5%	2.4	9.0	12.0%	0.3
2.0%	2.1	9.4	10.5%	0.2

由上表可發現：

(一)3 號油的產率或上、下層液的體積比值明顯低於 2 號油

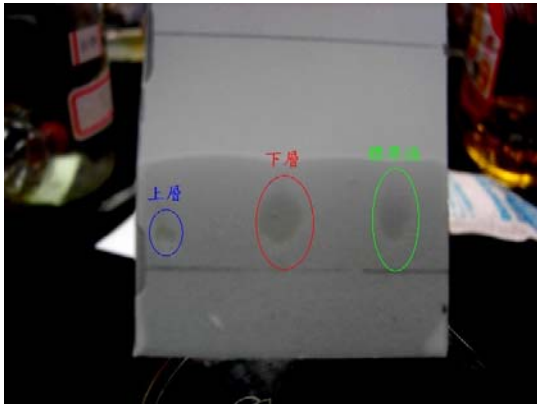
(二)2 號油裡 KOH 的濃度為 1% 的上、下層體積比值較高於 0.5% 者。另一個特殊的現象是不論 1.5%、2% 均呈現凝膠狀(如下圖八)，類似皂化反應未鹽析前的現象

(三)3 號油裡產率以 1% KOH 為最大，但比值卻以 0.5% 最大，因此需以 TLC 片觀察其成份來判斷其最佳條件。

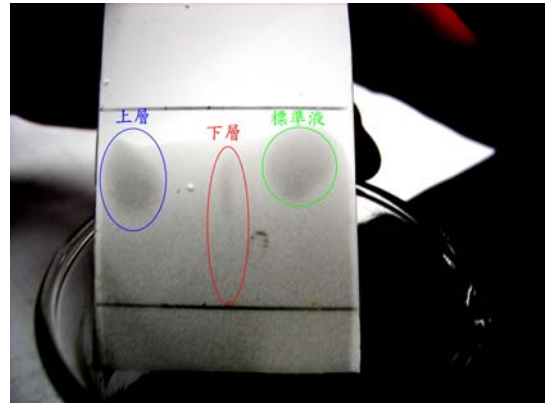


圖八

圖九



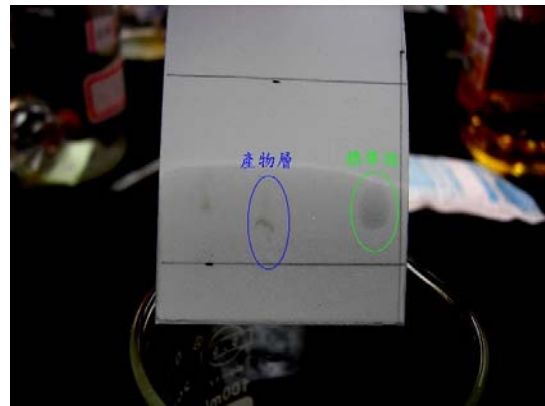
0.5%(2號油)



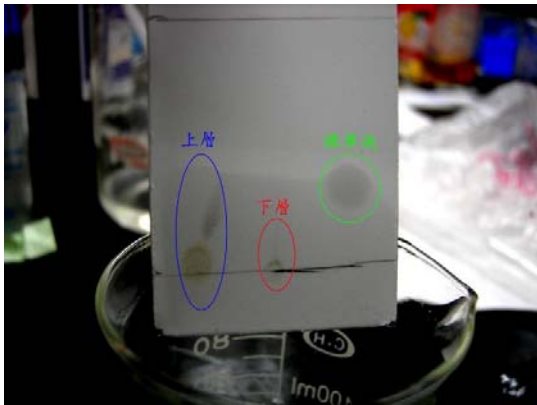
1%(2號油)



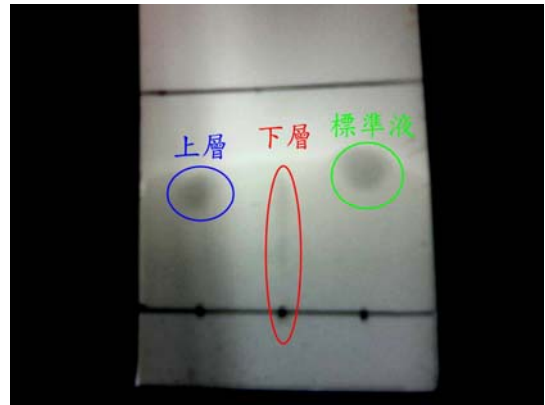
1.5%(2號油)



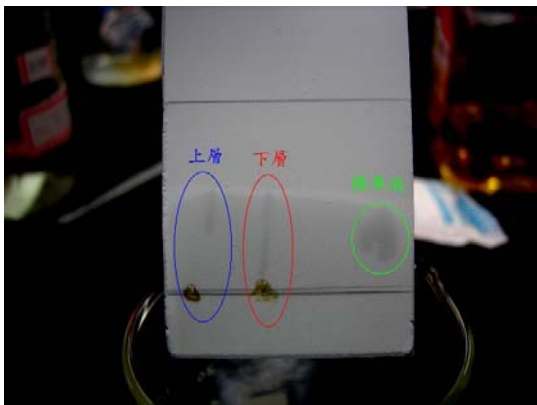
2%(2號油)



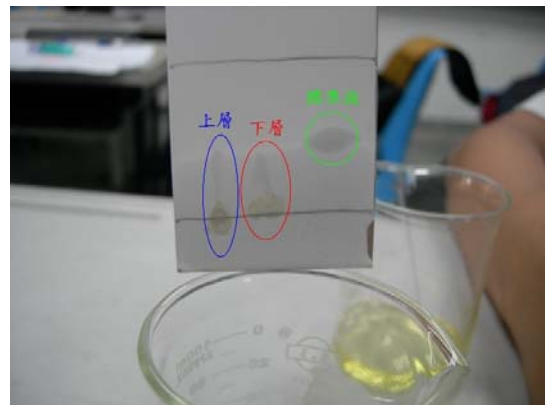
0.5%(3號油)



1%(3號油)



1.5%(3號油)



2%(3號油)

由上面的圖可知：

(一)2、3 號油都在 1%KOH 的濃度下其上層(生質柴油)與標準液(高級柴油)的成份較接近

(二)2 號油在 1.5%、2%KOH 濃度下，產物(凝膠狀)的展開狀況均為一直線，但此一直線與之前 TLC 片下層液的展開狀況略有不同，在此的一直線並不是從最底端往上延申，所以可判斷出產生不同於之前的產物

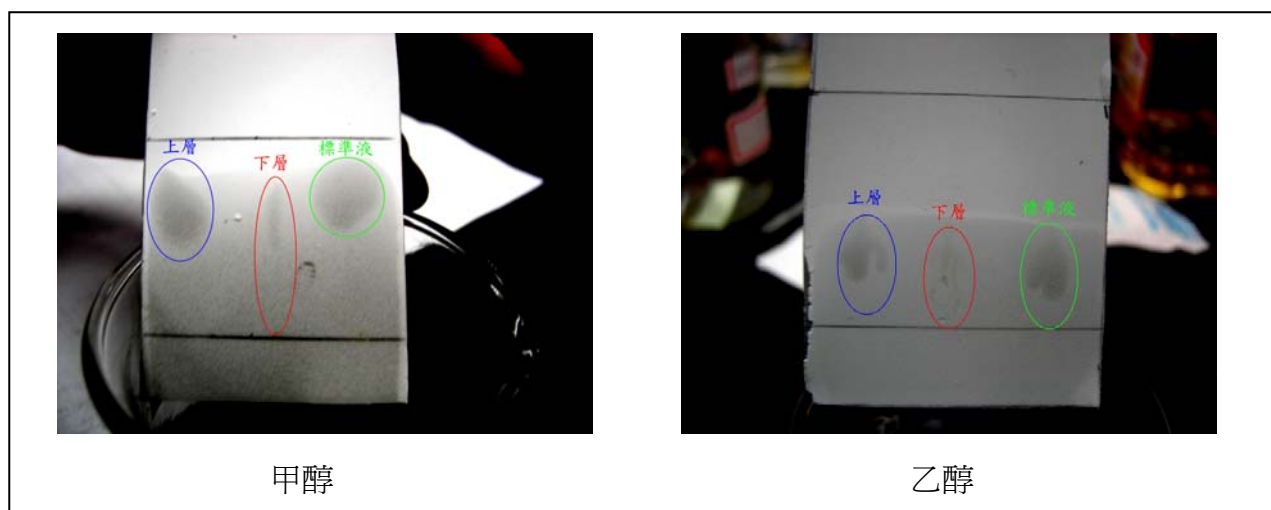
(三)3 號油在 1.5%、2%KOH 濃度下，上層展開狀況與標準液完全不同，且上、下層的展開形狀卻類似，由此可見 3 號油在此兩種 KOH 濃度下雖有分層，但上、下層產物成份或許部份類似，因此其良率遠不及 1%KOH。

(四)由此可見，不論是 2 號、3 號油，均以 1%KOH 的濃度可得較佳的產率及良率。

五、甲醇、乙醇何者較適合與油酯反應

65°C(油：醇體積比=1：3)(表四)

醇的種類	上層液的量(ml)	下層液的量(ml)	產率	比值
甲醇	15.2	1.7	76.0%	8.9
乙醇	15.0	2.0	75.0%	5.5



圖十

由上可知，從 TLC 分析不論甲醇、乙醇其上層產物(生質柴油)與標準液(高級柴油)的成份均類似，甲醇、乙醇在產率上也相差無幾，所以用甲醇當反應物只略優於乙醇。

六、各種不同的油在不同的油：醇體積比下反應的完整度

65°C(油：醇體積比=1：1)(表五-1)

油的種類	上層液的量(ml)	下層液的量(ml)	產率	比值
1 號油	10.0	6.9	50.0%	1.5
2 號油	12.4	6.2	62.0%	2.0
3 號油	11.8	6.0	59.0%	2.0
4 號油	9.8	4.0	49.0%	2.5

65°C(油：醇體積比=1：3)(表五-2)

油的種類	上層液的量(ml)	下層液的量(ml)	產率	比值
1 號油	17.2	1.8	86.0%	9.6
2 號油	15.2	1.7	76.0%	8.9
3 號油	10.5	4.2	52.5%	2.5
4 號油	12.5	3.0	62.5%	4.2

65°C(油：醇體積比=1：4)(表五-3)

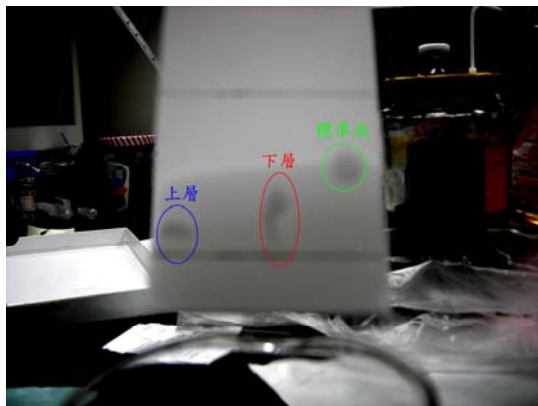
油的種類	上層液的量(ml)	下層液的量(ml)	產率	比值
1 號油	14.6	4.2	73.0%	2.7
2 號油	14.0	5.0	70.0%	9.3
3 號油	16.9	2.4	84.5%	7.0
4 號油	14.1	2.3	70.5%	6.3

65°C(油：醇體積比=1：6)(表五-4)

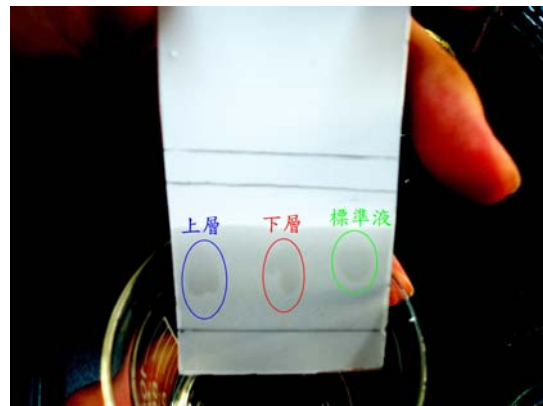
油的種類	上層液的量(ml)	下層液的量(ml)	產率	比值
1 號油	18.5	0	68.0%	∞
2 號油	19.8	0	80.0%	∞
3 號油	19.2	0	96.0%	∞
4 號油	19.3	0	96.5%	∞

各種油均呈現甲醇體積越大，產率、比值越大的特點，但對於 1、2 號油在油：醇體積比=1：3 時有另一個高峰；3、4 號油則在 1：4 時有另一個高峰，因此我們也藉由 TLC 分析來判斷在何種油：醇體積比反應會有最佳的完整度

油：醇體積比=1：1



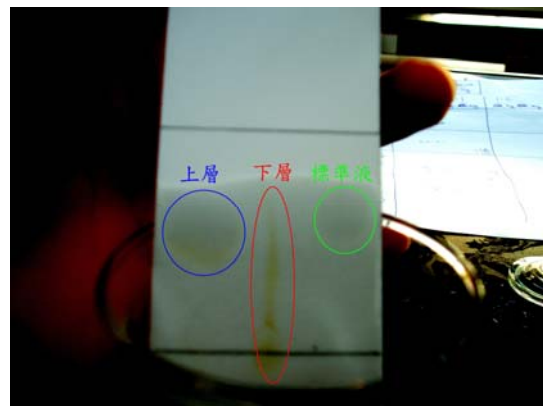
1 號油



2 號油



3 號油

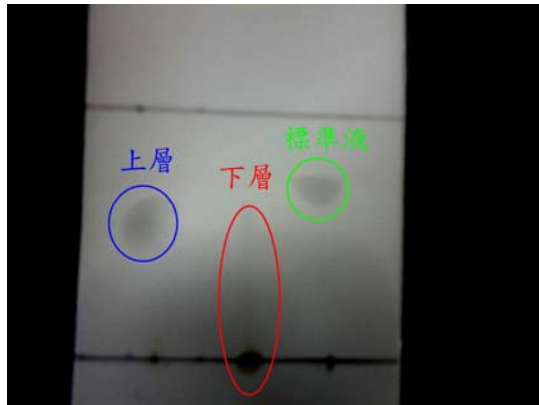


4 號油

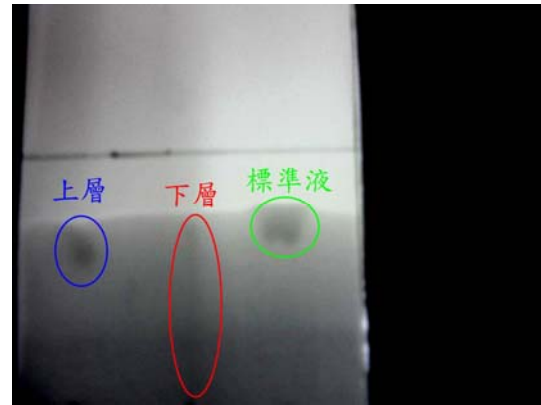
圖十一

- (一)1 號油上層(生質柴油層)展開的高度及形狀與標準液明顯有落差，因此其成份與標準液也相差甚遠
- (二)2 號油上層的高度及展開形狀雖與標準液相似，但與下層液也有類似之處，因此可推測 2 號油在轉酯化的反應並不是很完整，才會造成上、下層液成份有類似的地方
- (三)3、4 號油上層不僅展開的高度、形狀與標準液類似，同時其與下層液展開的形狀也相去甚遠，充分顯示 3、4 號油在此條件下轉酯化的完整性優於 1、2 號油。

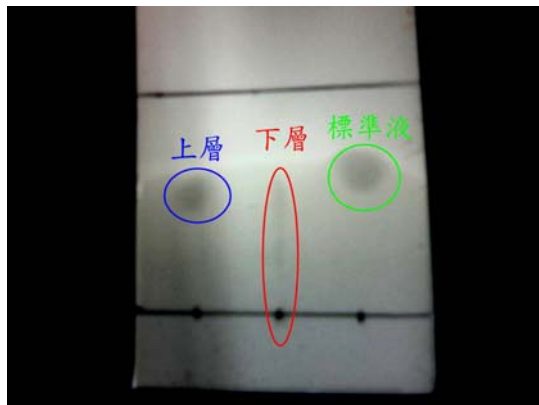
油：醇體積比=1：3



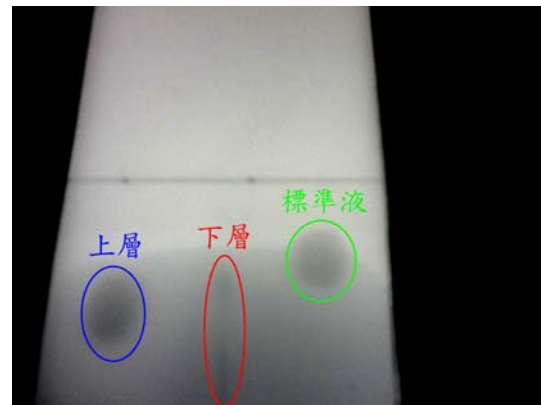
1 號油



2 號油



3 號油

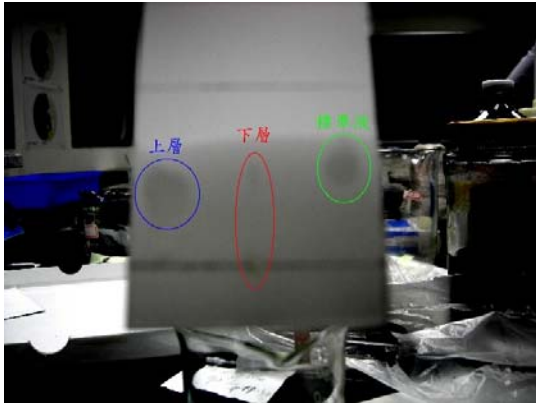


4 號油

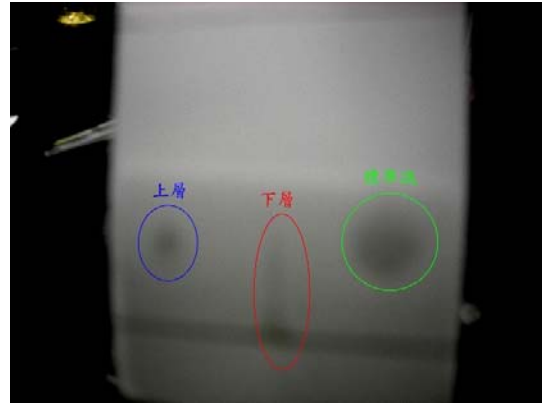
圖十二

- (一)1~4 號油的上層產物(生質柴油層)展開的高度、形狀均與標準液(高級柴油)相近(4 號較低一些)，顯現其成份均與標準液類似。
- (二)下層產物(甘油層)展開的高度均較標準物為低且形狀上以直線為主，與標準液成份差別甚大，也代表此時上、下層產物成份差別甚大，所以 1~4 號油在油：醇=1：3 的條件下反完整度均優於在 1：1 的條件下。

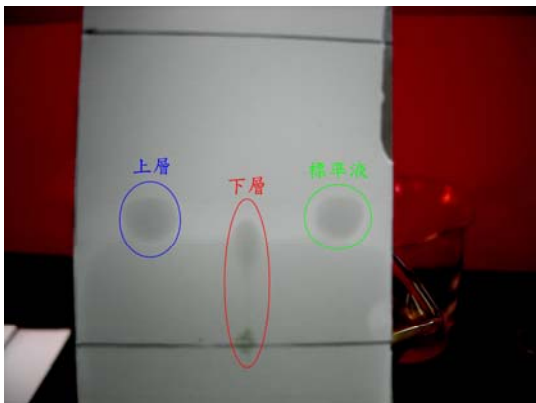
油：醇體積比=1：4



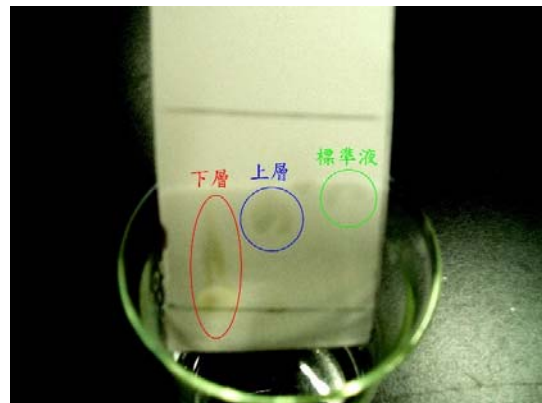
1 號油



2 號油



3 號油

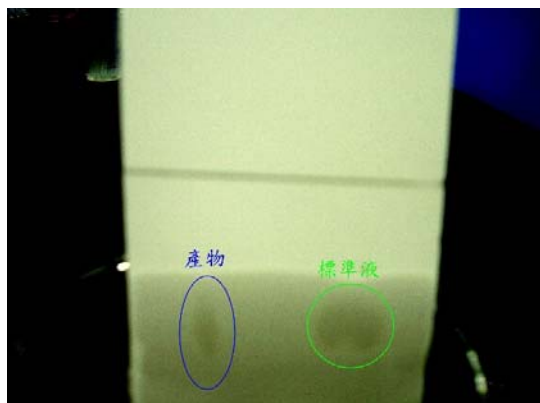


4 號油

圖十三

- (一)1、2 號油上層液展開之高度、形狀均與標準液相近，而由兩者的互溶性實驗也顯示其成份是相仿的。同時上、下層的形狀相差甚遠，也表示出 1、2 號油在油：醇體積比=1：4 條件下轉酯化完整度頗高
- (二)3 號油的產物展開的高度、形狀也與標準液相近，同時我們進行的互溶性實驗則顯示出 3 號產物與標準液互溶的效果更優於 1、2 號油，因此可見 3 號油在此條件下轉酯化完整度更高，意即良率甚高。
- (三)4 號油的上層展開之高度與標準液相近(此圖的上、下層順序與其他相反)，雖然形狀有些許不同，但從互溶性實驗說明其成份與高級柴油是相近的。同時從上、下層的形狀相差甚遠，也表示出 4 號油在此條件下轉酯化完整度高

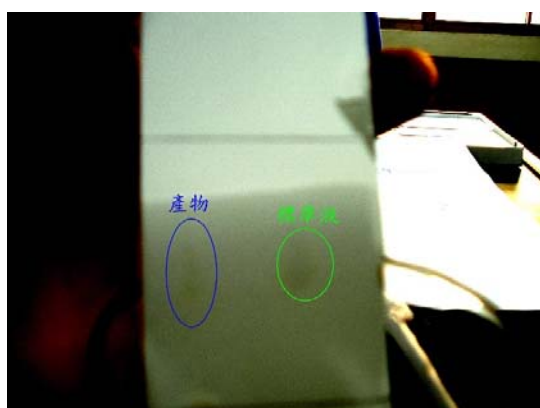
油：醇體積比=1：6



1 號油



2 號油



3 號油



4 號油

圖十四

- (一)由上圖可見 1~4 號油的產物雖然展開的高度與標準液類似，但其形狀均為直線型為主，與標準液的圓形相去甚遠，顯現其成份有所差別，雖然產率在此條件下最高，但成份不對，因此其良率甚差。
- (二)我們還發現產物的直線與前面下層液產物的展開形狀不太一樣，這裡的直線都是從中間點展開出來，所以可推測在此條件下已進行其他的反應而得的產物。

綜合以上產率、TLC 片成份及良率分析可看得出來，1、2 號油在油：醇=1：3 條件下有較佳的轉酯化完整度；3、4 號油則在 1：4 條件下較好。

七、利用乾燥劑為催化劑產生質柴油，並與高級柴油混合進行柴油引擎實際測試，檢測其排氣的污染程度

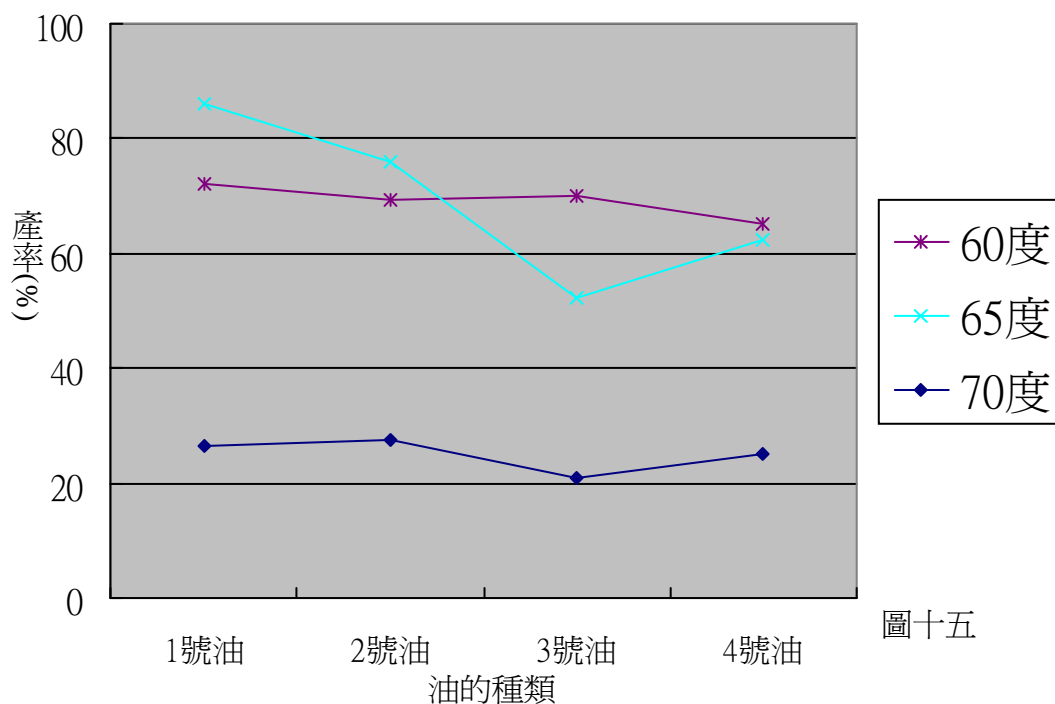
表六：

生質:高級柴油 油體積比	CO(%)	CO ₂ (%)	HC(ppm)	O ₂ (%)	NO _x (ppm)
純高級柴油	0.1	2.66	30	10.58	18
1:2	0.1	2.63	28	10.5	15
1:1	0.1	2.62	29	11.09	18
2:1	0.08	2.09	28	11.76	9

我們利用 3、4 號油及油：醇體積比 = 1：4 再加上 1% 濃度的乾燥劑製備生質柴油進行柴油引擎測試。由上表顯示，CO、CO₂、HC、NO_x 等氣體排放量在生質柴油比例越高的情形下有逐漸下降的趨勢，特別是 CO₂、NO_x，同時廢氣裡 O₂ 含量也會提高，因此證明利用生質柴油取代高級柴油對空氣污染幫助很大。

陸、討論：

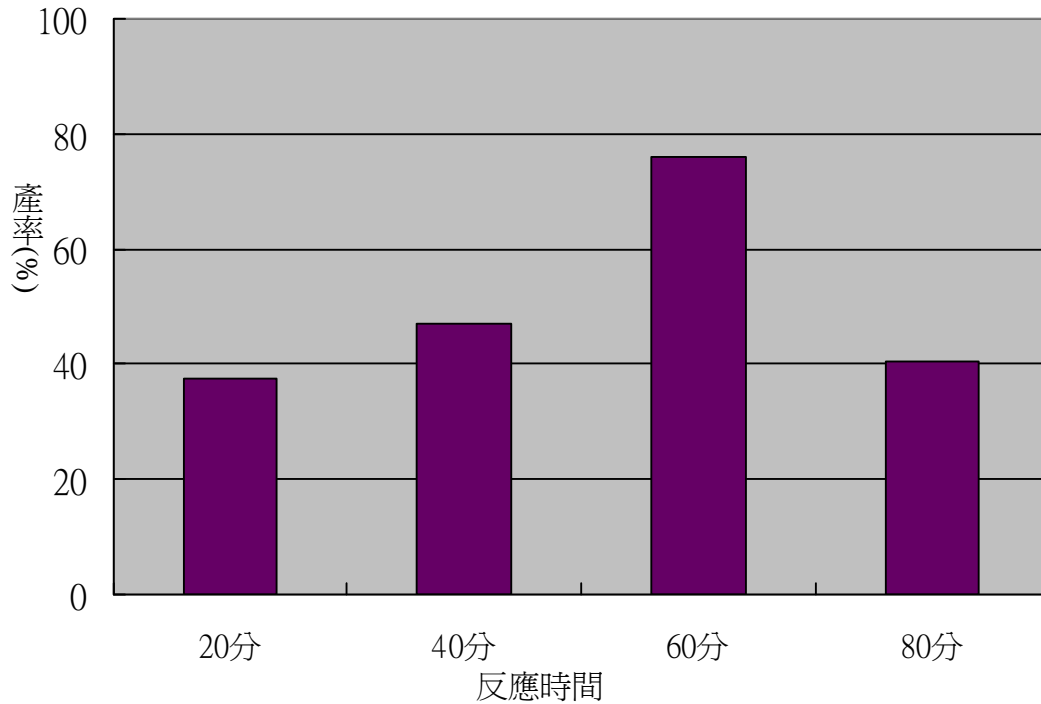
一、轉酯化溫度：



圖十五

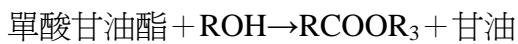
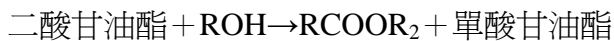
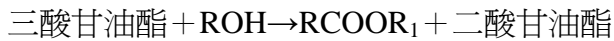
由上圖可知 1、2 號油均在 65°C 產率最高，3、4 號油則在 60°C，但從 TLC 片成份分析發現 3、4 號油在 65°C 所得產物與高級柴油比較類似，這個差異性主要來自於 3、4 號油為高溫烹煮過的回鍋油，內含雜質量較多，所以可能在較低溫便有可能部份油酯分子揮發掉導致在較低溫時產率較高，不過因實驗均是採用甲醇，所以產生出來的生質柴油沸點不會因何種油而影響，所以還是要加熱至 65°C 其成份才會較接近高級柴油。

二、轉酯化反應時間：



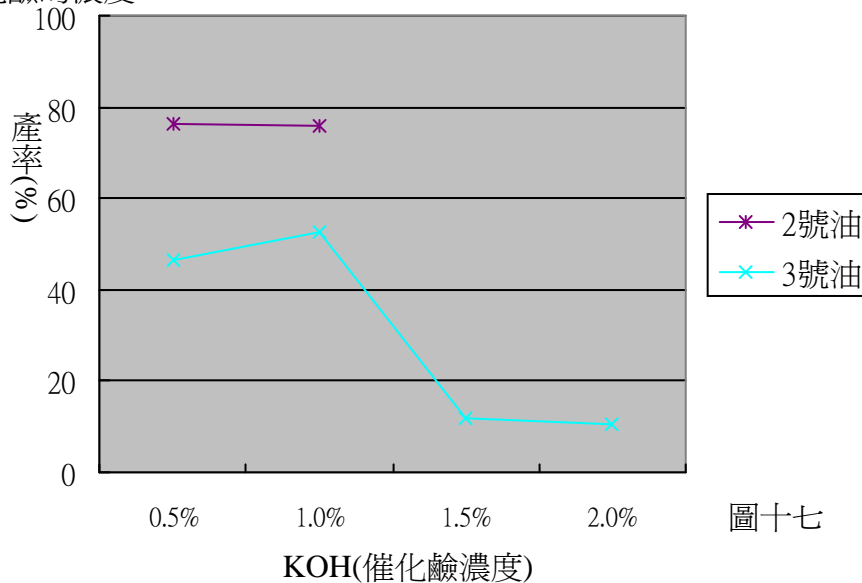
圖十六

由於生質柴油的詳細反應途徑分為三個部份：首先由三酸甘油酯和醇類的氫氧根離子反應，轉化成脂肪酸甲酯和二酸甘油酯，之後再由二酸甘油酯與另一氫氧根離子反應，轉化成單酸甘油酯，最後再由單酸甘油酯和另一氫氧根離子反應，生成烷基酯(生質柴油)及甘油，反應方程式如下：



所以當此三步驟反應完，自然需要一點時間，但若時間太長反應過度產生其他物質或因加熱太久，導致少量生質柴油揮發掉，所以在 60°C 時產率最高，但 80°C 時又開始下降。

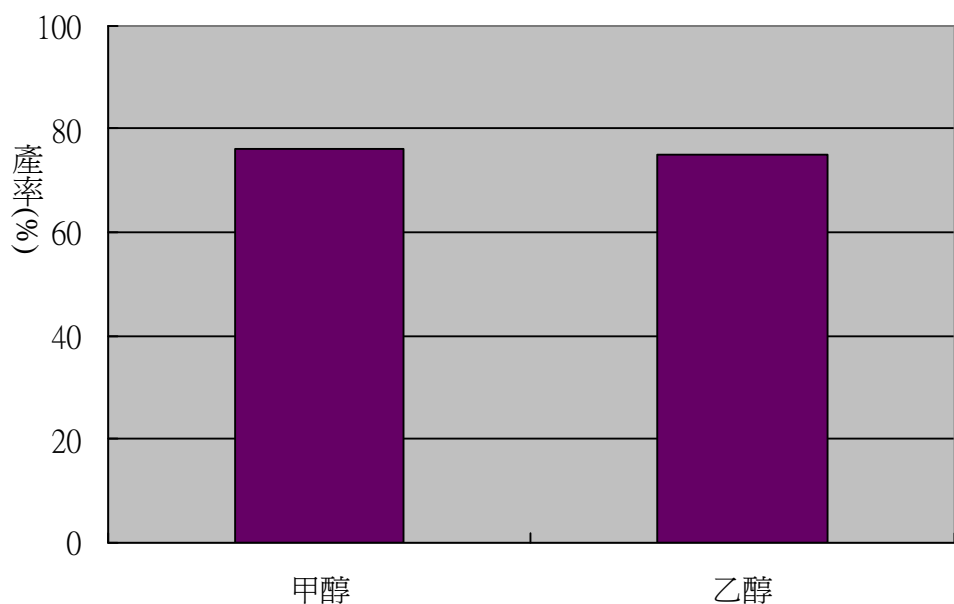
三、催化鹼的濃度：



圖十七

由上圖可看出 2 號油在 0.5%、1% 產率均差不多，但 1.5% 以上則有類似的皂化反應，3 號油則在 1% 時的產率最佳，但 1.5% 以上尚未見到有類似的皂化反應，因此對於 2 號油來講最佳的濃度介於 0.5%~1% 之間，3 號油來講介於 1%~1.5% 之間，這是因 3 號油經高溫烹煮會使 C 鏈個數加長(甚至會高達 30 個以上)，所以需要更多的鹼來幫助水解形成約 11~13 個 C 的生質柴油，而鹼太多的話則容易進行皂化反應。

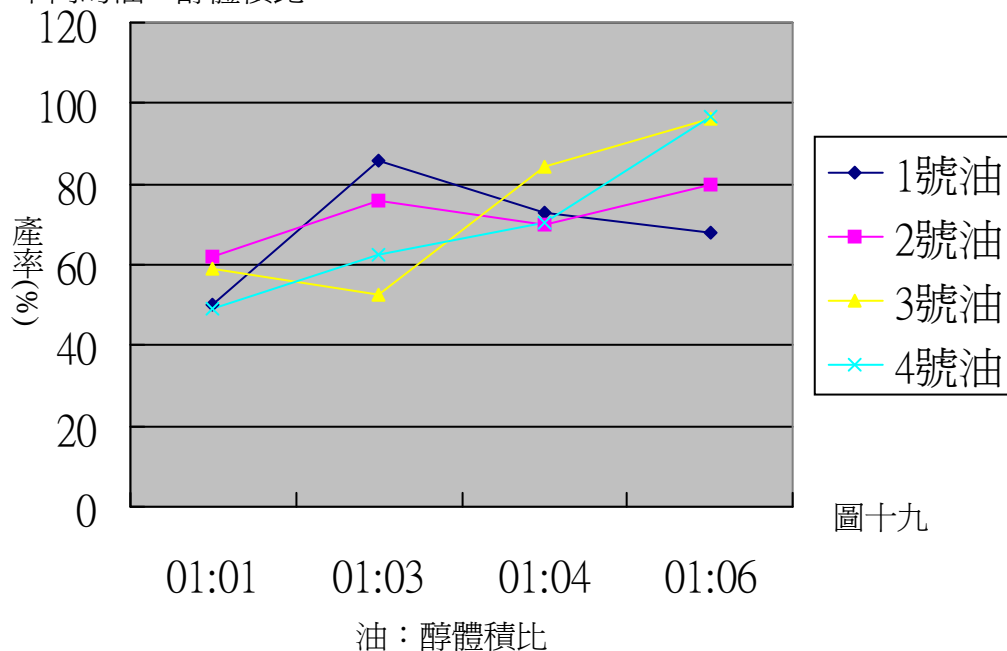
四、甲醇、乙醇何者較適合酯化反應：



圖十八

由此圖產率分析及 TLC 成份(良率)分析均顯示甲醇、乙醇都是蠻良好的轉酯化醇類，只是產生出的生質柴油，乙醇產生出的因會多一個 C，所以沸點較高，因此反應溫度也得提高。

五、不同的油、醇體積比：



圖十九

大致上是醇的體積越大產率越高，但從 TLC 片成份分析及卻顯示所得成份不對。1、2 號油在 1：3 的條件下產率、良率較好；3、4 號油在 1：4 的條件下較好，這也是因反應需經第二點討論提到的三個反應途徑進行，每個途徑均需要醇，因此醇需要的量是一定的，但若太多也會使整個系統均是醇類而沒有分層(因醇、生質柴油層互溶性也很好)，因此雖然 1：6 條件下產率很高，但其成份卻含有大量的醇而使得成份不是完全是我們要的生質柴油。

六、生質柴油與高級柴油混合進行柴油引擎測試：

生質柴油因完全是我們利用食用油製造出來自然內含雜質量較少，但高級柴油則是由石油經分餾作用製成，基本上不可能完全將雜質除去，所以若能在高級柴油裡混雜生質柴油確實可降低環境污染(但不能完全加生質柴油，因為其黏性太大)

柒、結論：

- 一、生質柴油的製作以加熱至 65°C 為最適合的轉酯化反應溫度，但若醇採用較多碳數的，則反應溫度則需高一些。
- 二、以我們利用的加熱板裝置則最好使其反應時間為 60 分鐘，太短則可能有些三酸甘油酯未完全轉變成烷基酯(生質柴油)及甘油，太長則可能生質柴油會揮發掉或是產生其他的反應，因此我們可在家庭利用電磁爐加熱並攪拌的方式獲取生質柴油。
- 三、由於經高溫烹煮過的油含 C 數較高，需較大量的催化鹼幫助分解，因此 2 號油(乾淨沙拉油)所以催化鹼濃度在 0.5%~1% 最佳；3 號油(回鍋油)在 1~1.5% 最佳。
- 四、甲醇、乙醇都是很好的參與反應的醇類，因此家庭裡常有的酒精便可用來製作生質柴油，只是乙醇產生出的生質柴油沸點會較甲醇產出者高一些。
- 五、對於 1、2 號較乾淨的油酯其油：醇體積比 = 1：3 會得到較佳的轉酯化效果；3、4 號回鍋油則需在 1：4 才會得到較佳的效果。
- 六、生質柴油混雜在高級柴油來驅動柴油引擎確實有減低空氣污染物排放量的效果，但因生質柴油黏性太大，而無法利用純生質柴油來驅動引擎。

捌、參考資料及其他：

一、論文、書籍：

1. 陳竹亭教授主編，基礎化學，第四章
2. 李興旺，國立成功大學環境工程學系碩士論文，「石化柴油及添加生質柴油引擎排放多環芳香烴特徵」，p.19~23
3. 張筌又，國立成功大學環境工程學系碩士論文，「生質柴油燃料比例對引擎排放有機氣態污染物特徵影響研究」，p.2-11~2-15、p.3-6~3-10
4. 吳耿東、李洪台，工研院資源研究所，「生質能源—化腐朽為能源」

二、網路資源：

1. <http://tw.myblog.yahoo.com/jw!OpqpOOeICBpGO5eC19k-/article?mid=7100>
2. <http://tw.myblog.yahoo.com/clarinase-1/article?mid=4443&prev=-1&next=4426>
3. <http://www.tpg.gov.tw/taiwan/9504/9504-06.htm>

【評語】 040216

本作品是熱門綠能議題，將食用油料或廢油轉酯化成生質柴油，近年此類作品不少，本作品的工作內容不少，唯對所作的化學基本概念，如沙拉油及柴油的基本成份，轉酯化的了解等可多閱讀加強，實驗中油與醇的比例不合理。