

# 中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 化學科

### 最佳團隊合作獎

030212

「油」然而生的橋樑科技

-探討生質柴油之製造條件與對柴油引擎廢氣排放之影響

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者：	指導老師：
國二 鄭筱玳	蔡名峯
國二 王沛涵	李昆宗
國三 許起墉	
國三 林昱智	

關鍵詞：生質柴油、柴油引擎、廢氣排放

# 「油」然而生的橋樑科技

## 探討生質柴油之製造條件與對柴油引擎廢氣排放之影響

### 摘要

本研究探討重點有二：一、以市售沙拉油及營養午餐業者之廢食用油為原料，個別添加不同比例之甲醇鈉溶液，探討其轉脂化之最佳條件。經實驗顯示，沙拉油製造生質柴油以沙拉油 1000ml、甲醇 150ml 及氫氧化鈉 5g 進行轉脂化反應最佳；而廢食用油製造生質柴油則以廢食用油 1000 ml、甲醇 180ml 及氫氧化鈉 3.5g 之條件最佳。二、在市售柴油中加入一定比例之自製生質柴油，進行引擎廢氣排放檢測。結果顯示，其廢氣中碳微粒、碳氫化合物及氮氧化物等有毒廢氣之排放量，均較市售柴油為低，而一氧化碳之排放量於引擎高轉速時亦較市售柴油為低。本研究之實驗過程與成果，可做為教學之重要參考範本，並提供交通與環保主管機關做為制訂與修改法令之參考依據。

### 壹、研究動機

生質柴油有緩和人類對化石能源的絕對依賴度，許多能源專家將其視為「橋樑科技」，亦即生質柴油是由目前化石能源前進到未來乾淨再生能源科技的橋樑。全球石油蘊藏量究竟還有多少？因為各國政府與石油公司基於政治目的與經濟動機是不曾實話實說，導致全球石油之蘊藏量至今仍是眾說紛紜。但無論全球石油能源之蘊藏量有多少，石油的總蘊藏量正在遞減當中則是不爭的事實。科技的高度發達產生了許多公害與污染，目前全球正面臨能源枯竭與溫室效應之雙重威脅，尋求潔淨的替代能源及相關技術的開發，已成為各國能源政策的主要導向。生質柴油的高替代性與具有較低的污染性，將成為當前最有助於解決這兩大難題的利器。在乾淨的再生能源尚未開發出來之際，扮演「橋樑科技」的生質柴油將是目前最受矚目之能源明星。有感於目前全世界對化石能源仍處於絕對依賴的階段，及憂心持續耗用化石能源所產生的高度污染，激起我們研究探討生質柴油的動機，期望應用所學之化學知識於實驗當中，以開發生質柴油之新知與技能，並結合生活科技中內燃機單元之知識，進而探討生質柴油對廢氣排放之影響。

### 貳、研究目的

- 一、探討沙拉油製造生質柴油之轉脂化條件，以製造出優質之生質柴油。提供廢食用油製造生質柴油轉脂化之最佳條件，期望將數量龐大之廢食用油轉變為可供利用之生質能源。
- 二、將市售柴油、沙拉油及廢食用油製作之生質柴油，利用柴油引擎及廢氣分析儀器進行廢氣排放量之檢測，以探討三者對空氣污染之影響。
- 三、將沙拉油及廢食用油製造生質柴油的過程與細節，完整且詳盡的提供給學校相關課程，做為教學實驗之重要參考範本。
- 四、將廢氣排放之檢測結果，提供給車輛使用者、研究人員及相關業者，做為駕駛、研究及開發之參考；更可提供給交通及環境保護主管機關，做為制訂與修改法令之參考依據。

### 叁、研究設備與器材

- 一、Four-gas 廢氣分析儀 1 台
- 二、NO<sub>x</sub> 廢氣分析儀 1 台
- 三、碳微粒污染度分析儀 1 台
- 四、福特載卡多 R-2 柴油引擎 1 台
- 五、柴油引擎正時轉速表 1 台
- 六、電子天平 1 台、加熱攪拌器 3 台
- 七、燒杯 1000ml、200ml 各 6 個、分液漏斗 1000ml 及分液漏斗架 2 組
- 八、錐形瓶 500ml 2 個、刮勺 2 支、溫度計 2 支、磁石 3 個、封口膜 2 捲、過濾網 6 個、滴管 2 支、保特瓶 12 個
- 九、氫氧化鈉(NaOH) 1 包、甲醇(CH<sub>3</sub>OH) 500ml 24 瓶、食鹽 1kg 1 包、冰醋酸(CH<sub>3</sub>COOH) 500g 1 瓶、萬用試紙 1 盒
- 十、沙拉油 2.6L 8 瓶、廢食用油 10L 2 桶



圖一 福特載卡多柴油引擎及 BOSCH Four-gas 廢氣分析儀

(Four-gas 廢氣分析儀可分析引擎廢氣中 HC、CO、O<sub>2</sub> 及 CO<sub>2</sub> 之排放量或排放濃度)



圖二 柴油引擎正時轉速錶及 NO<sub>x</sub> 廢氣分析儀

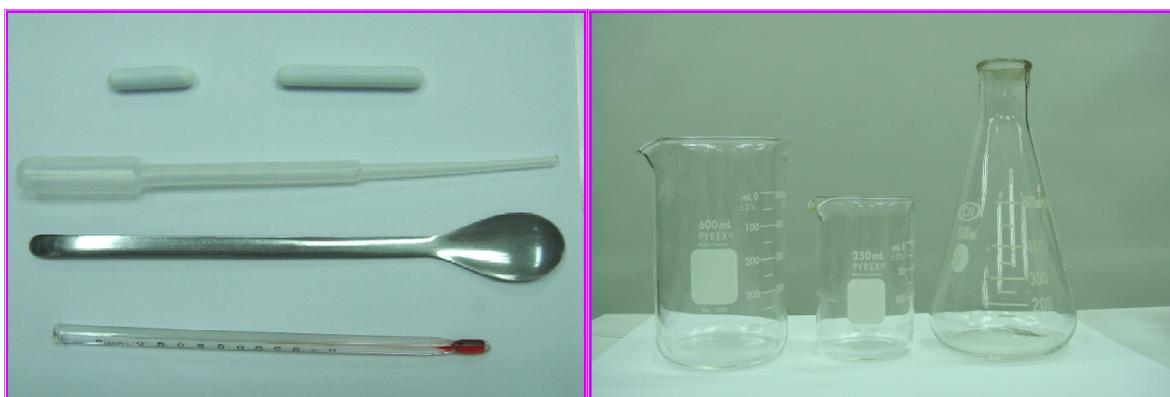
(分別可偵測引擎轉速及檢測引擎廢氣中 NO<sub>x</sub> 之排放量)



圖三 碳微粒污染度分析儀及廢氣取樣管（上：NO<sub>x</sub> 取樣管；中：Four-gas（HC、CO、O<sub>2</sub> 及 CO<sub>2</sub>）取樣管；下：碳微粒污染度取樣管）



圖四 加熱攪拌器、分液漏斗及分液漏斗架



圖五 刮勺、滴管、溫度計、磁石、燒杯及錐形瓶



圖六 封口膜及萬用試紙



圖七 實驗材料—氫氧化鈉、冰醋酸、甲醇及沙拉油



圖八 製造生質柴油之原料—廢食用油及沙拉油

## 肆、研究過程及方法

### 一、實驗設計：

#### (一) 生質柴油之製作條件

##### 1. 沙拉油製作生質柴油之條件

- (1) 沙拉油 1000ml、甲醇 100ml 及氫氧化鈉 3.5g。
- (2) 沙拉油 1000ml、甲醇 120ml 及氫氧化鈉 3.5g。
- (3) 沙拉油 1000ml、甲醇 150ml 及氫氧化鈉 3.5g。
- (4) 沙拉油 1000ml、甲醇 150ml 及氫氧化鈉 5g。

##### 2. 廢食用油製作生質柴油之條件

- (1) 廢食用油 1000ml、甲醇 150ml 及氫氧化鈉 5g。
- (2) 廢食用油 1000ml、甲醇 180ml 及氫氧化鈉 3.5g。
- (3) 廢食用油 1000ml、甲醇 180ml 及氫氧化鈉 7g。
- (4) 廢食用油 1000ml、甲醇 220ml 及氫氧化鈉 10g。

#### (二) 柴油引擎廢氣排放量之檢測

1. 碳微粒污染度之檢測：檢測時柴油引擎轉速定為 2000RPM~5500RPM，每隔 500RPM 測試一次，重複測試五次。
2. Four-gas 及 NOx 之檢測：檢測時之柴油引擎轉速設定為 700RPM~2700RPM，每隔 500RPM 測試一次，重複測試五次。

### 二、實驗方法

- (一) 將甲醇及氫氧化鈉之需要量置入錐形瓶中，再放入磁石，置於加熱攪拌機上進行攪拌不加熱，直至成為甲醇鈉溶液為止。
- (二) 將甲醇鈉溶液倒入裝有沙拉油或廢食用油的燒杯中，並放入磁石，置於加熱攪拌機上維持 60°C 攪拌 1 小時，以進行轉脂化反應。
- (三) 轉脂化後之生質柴油溶液，倒入分液漏斗中，靜置 1 小時後將分液漏斗下層之甘油分液出，並將分液後之生質柴油置入燒杯中。
- (四) 將裝有生質柴油的燒杯置於加熱攪拌器上攪拌不加熱，並滴入冰醋酸進行中和攪拌，藉由萬用試紙之檢測，持續修正 pH 值至達中性反應為止。
- (五) 將調製好之飽和食鹽水 50ml 倒入生質柴油中，維持 60°C 攪拌 1 小時後，置入分液漏斗中靜置 1 小時，再將下層之食鹽水分液出。
- (六) 將分液漏斗中的生質柴油置入燒杯中，加熱至 60°C 攪拌 1 小時，以進行蒸餾除水。
- (七) 將市售柴油與生質柴油，利用柴油引擎及廢氣分析儀器進行廢氣排放量之檢測。

### 三、實驗步驟

(一) 準備沙拉油及廢食用油：將廢食用油及沙拉油，各盛裝 1000ml 於燒杯中。



圖九 實驗材料-沙拉油及已過濾完成之廢食用油各 1000ml

(二) 準備甲醇鈉溶液：將實驗所需氫氧化鈉、甲醇及磁石，放入錐形瓶中封上封口膜，放到加熱攪拌器上進行攪拌不加熱，直到氫氧化鈉完全溶解於甲醇中成為甲醇鈉溶液。

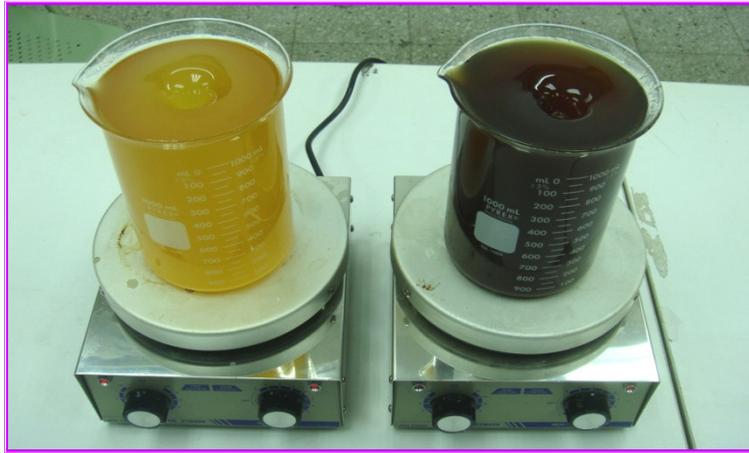


圖十 氫氧化鈉及甲醇利用加熱攪拌器進行攪拌使成為甲醇鈉溶液  
(攪拌器在不加熱之狀態下進行攪拌)

(三) 加熱攪拌：將甲醇鈉溶液及磁石倒入裝有 1000ml 廢食用油或沙拉油的燒杯中，封上封口膜，放到加熱攪拌器上溫度維持 60°C，加熱攪拌 1 小時。



圖十一 將攪拌完成的甲醇鈉溶液到入沙拉油及廢食用油中  
(燒杯中上層之溶液為甲醇鈉溶液)



圖十二 將甲醇鈉溶液倒入沙拉油及廢食用油中利用加熱攪拌器進行加熱攪拌



圖十三 將沙拉油及廢食用油分別與甲醇鈉溶液加熱攪拌進行轉脂化反應  
(燒杯內放置溫度計，以瞭解加熱攪拌時之溫度是否維持在  $60^{\circ}\text{C}$ )

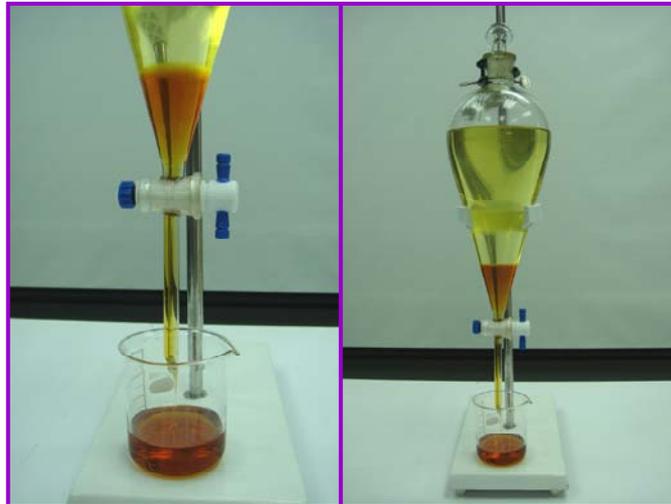


圖十四 經加熱攪拌完成轉脂化的沙拉油及廢食用油溶液  
(停止加熱攪拌後甘油開始沈澱於燒杯底部)

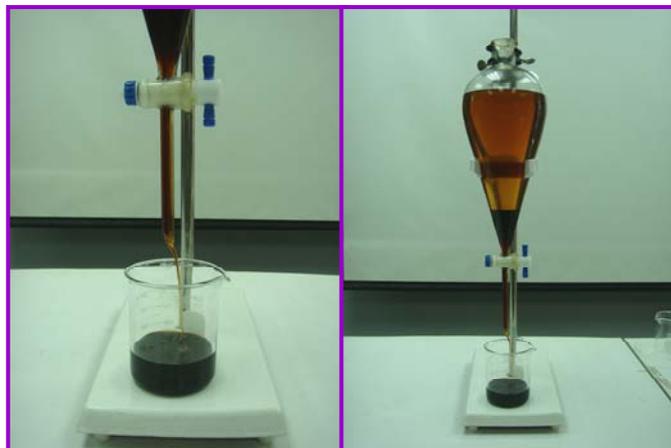
(四) 分液甘油：將經加熱攪拌後之溶液倒入分液漏斗中靜置 1 小時，之後將底部的甘油分液出來。



圖十五 將進行轉酯化反應後之沙拉油及廢食用油溶液倒入分液漏斗內  
(分液漏斗底部之溶液為甘油)



圖十六 將沙拉油製造的生質柴油中之甘油利用分液漏斗分液至燒杯中

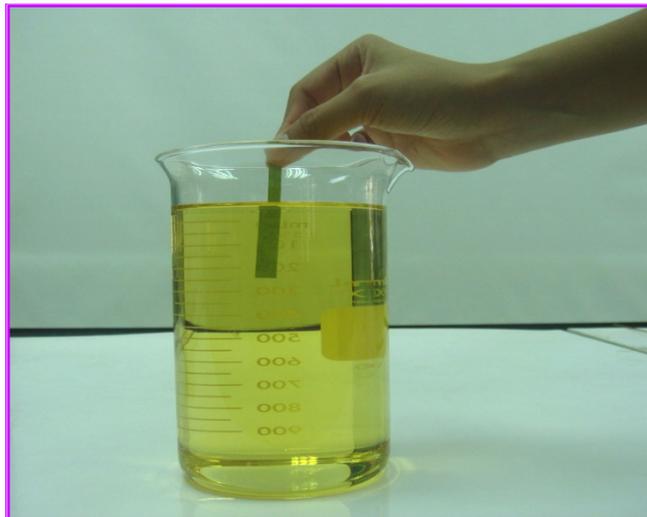


圖十七 將廢食用油製造的生質柴油中之甘油利用分液漏斗分液至燒杯中



圖十八 由生質柴油中分液出之甘油

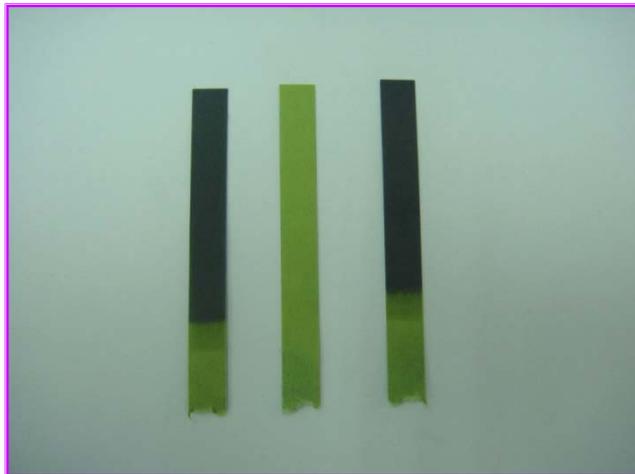
(五) 進行中和：將分液後之生質柴油，使用萬用試紙測量其 pH 值，並利用冰醋酸進行中和處理。



圖十九 將萬用試紙放入沙拉油製造的生質柴油中以檢測其 pH 值



圖二十 將萬用試紙放入廢食用油製造的生質柴油中以檢測其 pH 值



圖二十一 未加入冰醋酸中和前的生質柴油使用 pH 試紙檢測均呈現鹼性反應  
(左側為沙拉油製成的生質柴油之檢測反應；中間為萬用試紙之原色；  
右側為廢食用油製成的生質柴油之檢測反應)



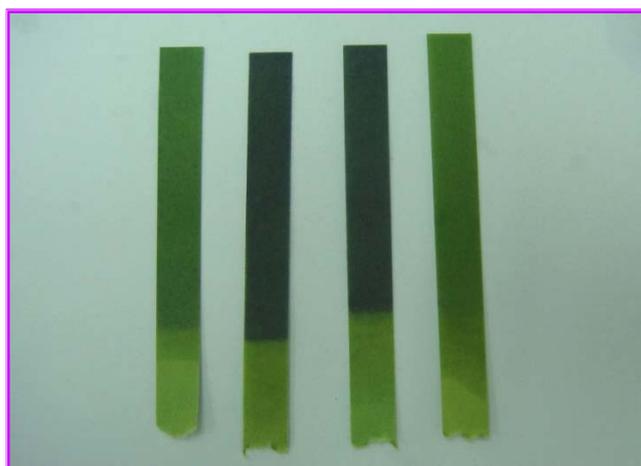
圖二十二 將冰醋酸滴入沙拉油製成的生質柴油中準備進行中和處理



圖二十三 將冰醋酸滴入廢食用油製成的生質柴油中準備進行中和處理



圖二十四 將滴入冰醋酸的生質柴油溶液放到加熱攪拌機上予以攪拌進行中和反應  
(攪拌中和過程未進行加熱)



圖二十五 經冰醋酸中和後之的生質柴油均已呈現中性現象 (左一為沙拉油製成的生質柴油中和後試紙呈中性反應；左二為沙拉油製成的生質柴油中和前試紙呈鹼性反應；右一為廢食用油製成的生質柴油中和後試紙呈中性反應；右二為廢食用油製成的生質柴油中和前試紙呈鹼性反應)

(六) 水洗及加熱除水：將完成中和之生質柴油加入 50ml 的飽和食鹽水溶液，置於加熱攪拌器維持 60°C 攪拌 1 小時進行水洗。分液完成後再以 60°C 加熱攪拌 1 小時，即完成生質柴油之製造。



圖二十六 將 50ml 的飽和食鹽水溶液分別倒入廢食用油及沙拉油製造的生質柴油半成品中進行加熱攪拌水洗



圖二十七 將水洗完成的生質柴油倒入分液漏斗中  
(靜置 1 小時後即可進行油水分液)

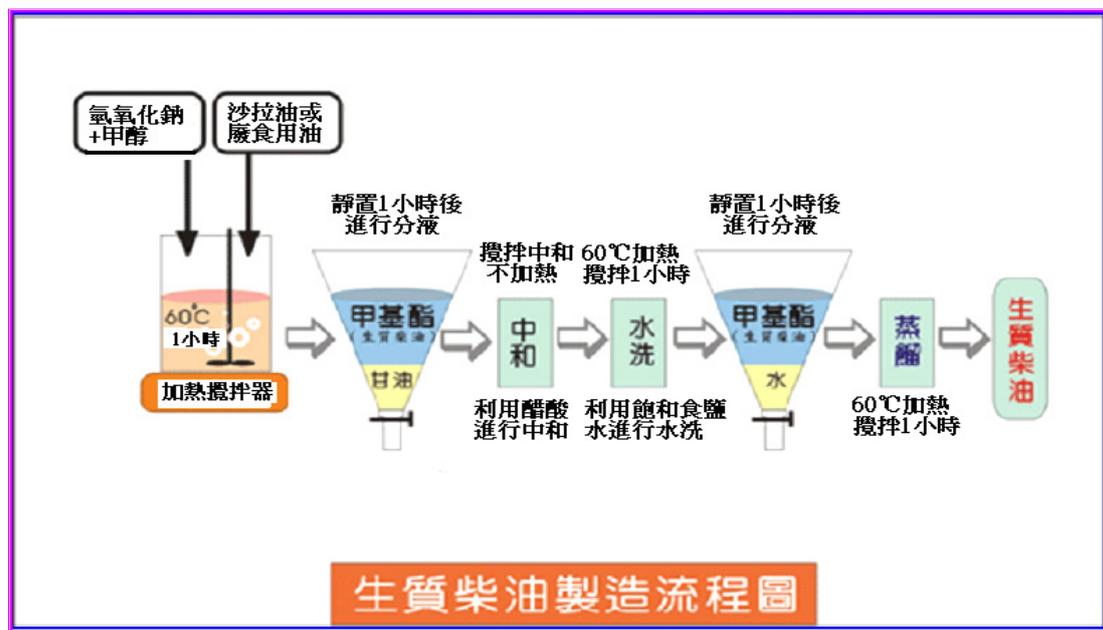


圖二十八 油水分液後尚未進行蒸餾以去除水分之生質柴油



圖二十九 以沙拉油及廢食用油製造完成之「優質生質柴油」

(七) 完成生質柴油製造流程圖：圖三十所示為製造生質柴油之詳細步驟與流程。



圖三十 生質柴油之製造條件與詳細步驟流程圖

(八) 柴油引擎廢氣排放測試：將市售柴油與生質柴油，利用柴油引擎配合廢氣分析儀器，進行廢氣排放之檢測。

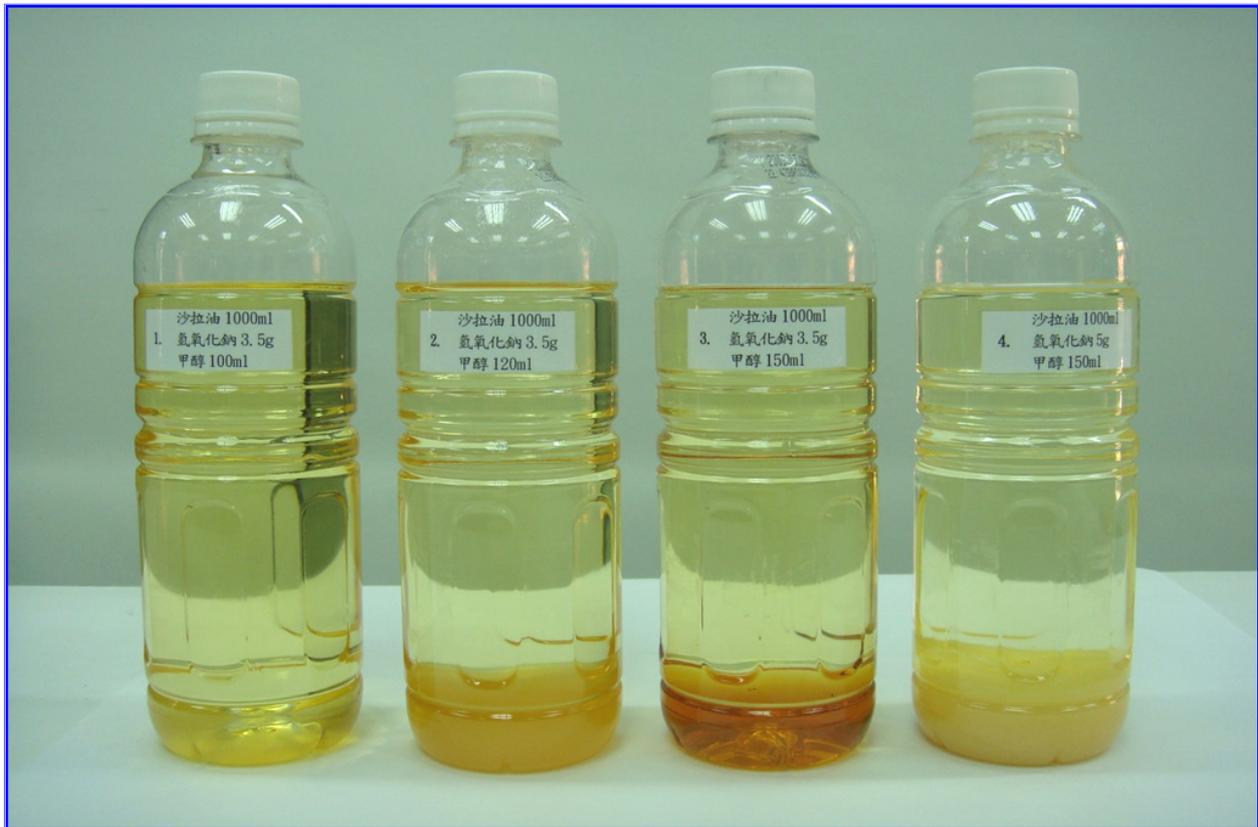


圖三十一 進行柴油引擎廢氣排放檢測（由左至右分別為 Four-gas 廢氣分析儀、柴油引擎及 碳微粒污染度分析儀）

## 伍、研究結果

### 一、以沙拉油製造生質柴油

圖三十二為沙拉油、甲醇及氫氧化鈉於不同配方比例下所製造出之生質柴油，圖所示為只經由轉酯化反應，未經過分液、中和、水洗及加熱蒸餾過程所呈現之現象。觀察 1 號瓶，由於所添加之甲醇量太少，其轉酯化反應並不理想，並無甘油產生，因此不是最佳的製造條件。觀察 2 號瓶，雖然添加的甲醇量增加了 20ml，但其轉酯化反應仍然不完全。觀察 3 號瓶，可看出其轉酯化反應非常良好，瓶子底部有甘油產生。因此，就台糖沙拉油而言，以沙拉油 1000ml、甲醇 150ml 及氫氧化鈉 3.5g 之配方製造生質柴油是為最佳之製造條件。觀察 4 號瓶，可看出其轉酯化反應過度，瓶子底部呈現皂化現象，可知此不是製造生質柴油的理想條件。



圖三十二 沙拉油、甲醇及氫氧化鈉於不同配方比例下所製造出之生質柴油

- 1.沙拉油 1000ml、甲醇 100ml 及氫氧化鈉 3.5g 轉酯化反應後之狀態
- 2.沙拉油 1000ml、甲醇 120ml 及氫氧化鈉 3.5g 轉酯化反應後之狀態
- 3.沙拉油 1000ml、甲醇 150ml 及氫氧化鈉 3.5g 轉酯化反應後之狀態
- 4.沙拉油 1000ml、甲醇 150ml 及氫氧化鈉 5g 轉酯化反應後之狀態

## 二、以廢食用油製造生質柴油

圖三十三為廢食用油、甲醇及氫氧化鈉於不同配方比例下所製造出之生質柴油，圖所示為只經由轉酯化過程，未經過分液、中和、水洗與蒸餾加熱過程所呈現之現象。觀察 5 號瓶，其轉酯化反應並不理想，瓶子底部呈現皂化現象。觀察 6 號瓶，其轉酯化反應良好，瓶子底部有甘油產生。對於這種廢食用油而言，以廢食用油 1000ml、甲醇 180ml 及氫氧化鈉 3.5g 製造生質柴油為較佳之製造配方。觀察 7 號瓶，瓶內的生質柴油呈現濃稠狀，底部也有皂化現象，因此不是理想的製造配方。而 8 號瓶其轉酯化反應相當不理想，瓶子底部呈現嚴重皂化現象。

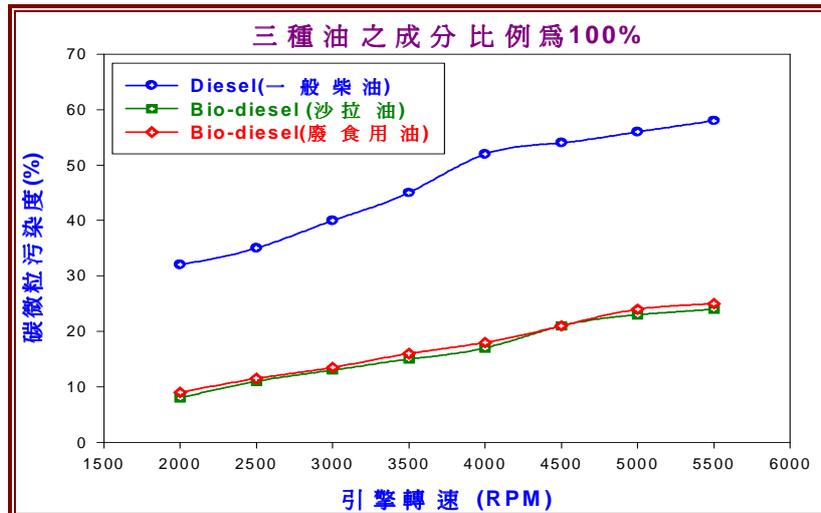


圖三十三 廢食用油、甲醇及氫氧化鈉於不同配方比例下所製造出之生質柴油

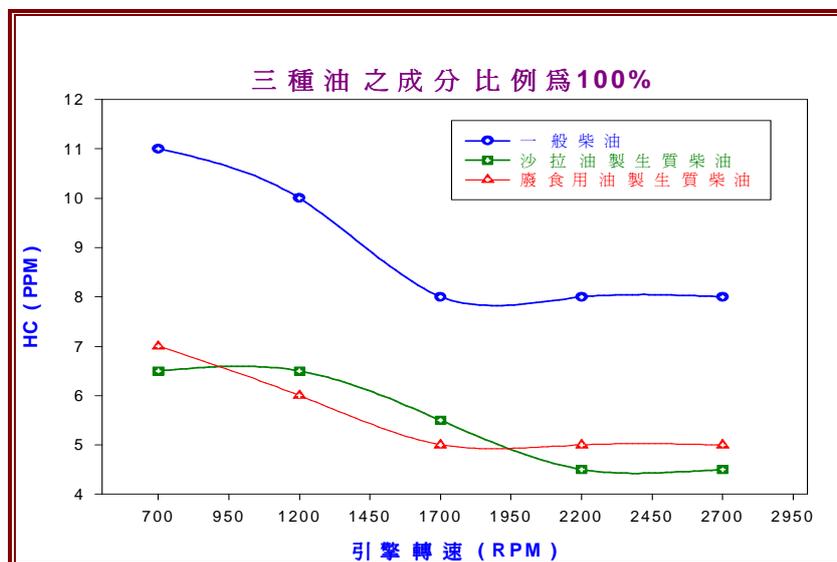
- 5.廢食用油 1000ml、甲醇 150ml 及氫氧化鈉 5g 轉酯化反應後之狀態
- 6.廢食用油 1000ml、甲醇 180ml 及氫氧化鈉 3.5g 轉酯化反應後之狀態
- 7.廢食用油 1000ml、甲醇 180ml 及氫氧化鈉 7g 轉酯化反應後之狀態
- 8.廢食用油 1000ml、甲醇 220ml 及氫氧化鈉 10g 轉酯化反應後之狀態

## 三、一般柴油、沙拉油及廢食用油製造之生質柴油三者對柴油引擎廢氣排放之比較

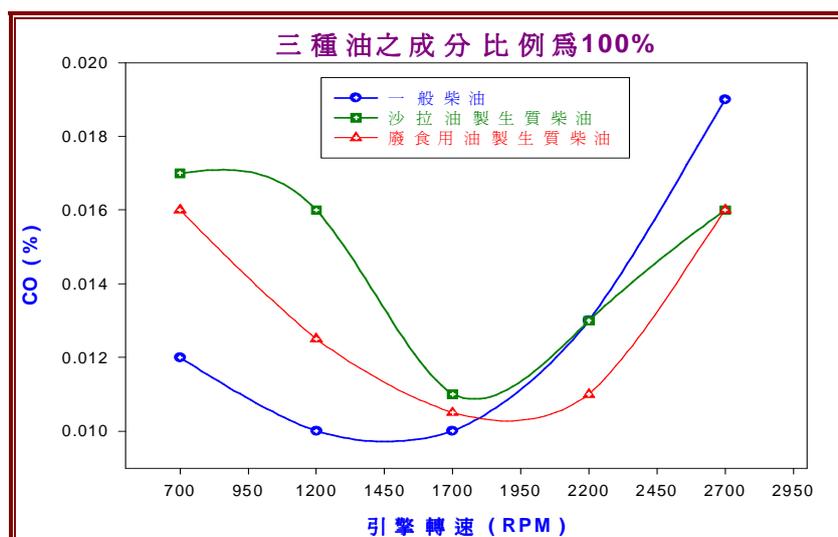
圖三十四得知，一般柴油之碳微粒污染度較生質柴油高出甚多，顯示一般柴油之碳微粒污染情形相當嚴重。圖三十五也顯示，一般柴油 HC 之排放量在各引擎轉速下，均較生質柴油為高。圖三十六顯示，一般柴油 CO 之排放量在引擎高轉速之情形下，高於生質柴油。圖三十七所示，一般柴油廢氣中 O<sub>2</sub> 之排放量，在各引擎轉速下，均較生質柴油為高，顯示一般柴油在燃燒過程中產生稀混合燃燒現象，才會有多餘的氧存在。圖三十八所示，一般柴油廢氣中 CO<sub>2</sub> 之排放量，呈現偏低之現象。圖三十九得知，一般柴油 NO<sub>x</sub> 之排放量較生質柴油高，於引擎低轉速時更為明顯，顯示一般柴油 NO<sub>x</sub> 之污染情形於引擎低速時較為嚴重。



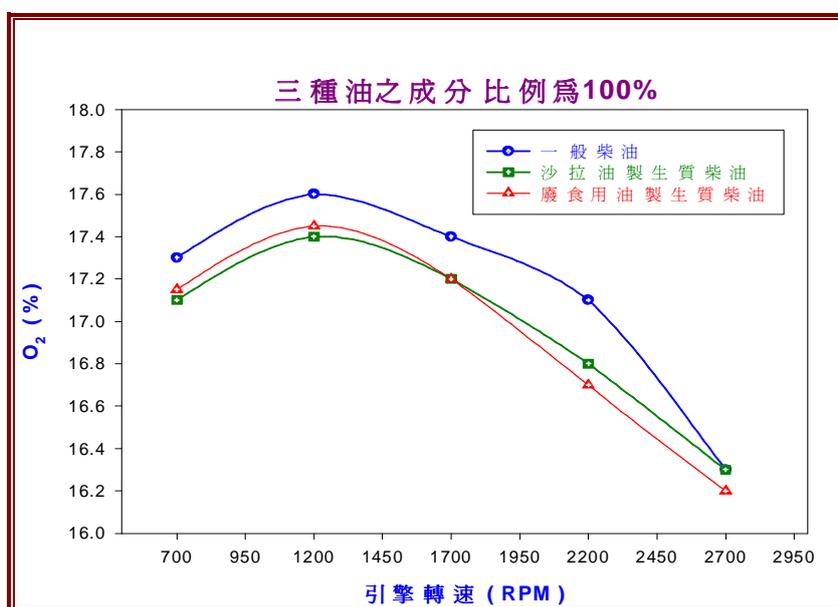
圖三十四 一般柴油、沙拉油製造之生質柴油及廢食用油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下碳微粒污染度之比較圖（由曲線圖得知，一般柴油之碳微粒污染度較生質柴油高出甚多，顯示一般柴油碳微粒之污染情形相當嚴重）



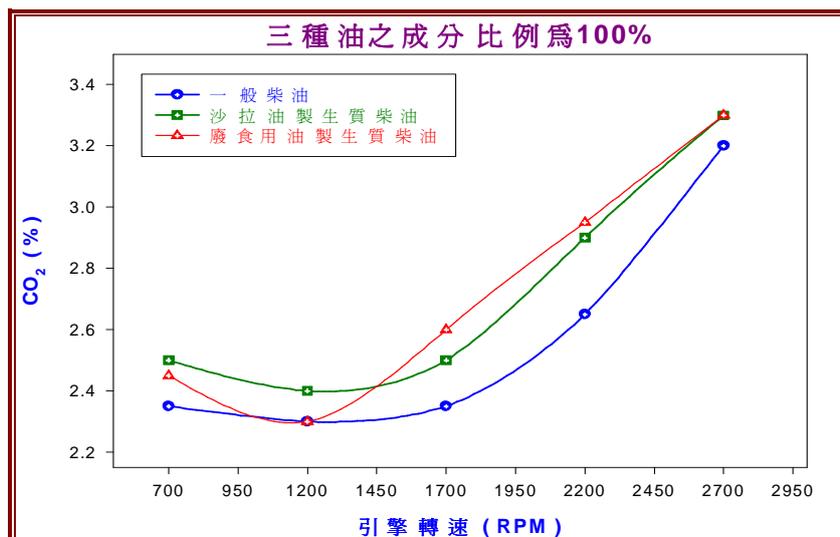
圖三十五 一般柴油、沙拉油製造之生質柴油及廢食用油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下HC（碳氫化合物）排放量之比較圖（由圖得知一般柴油廢氣中HC之排放量在各引擎轉速下，均較生質柴油為高，可見一般柴油之HC排放量是不容忽視）



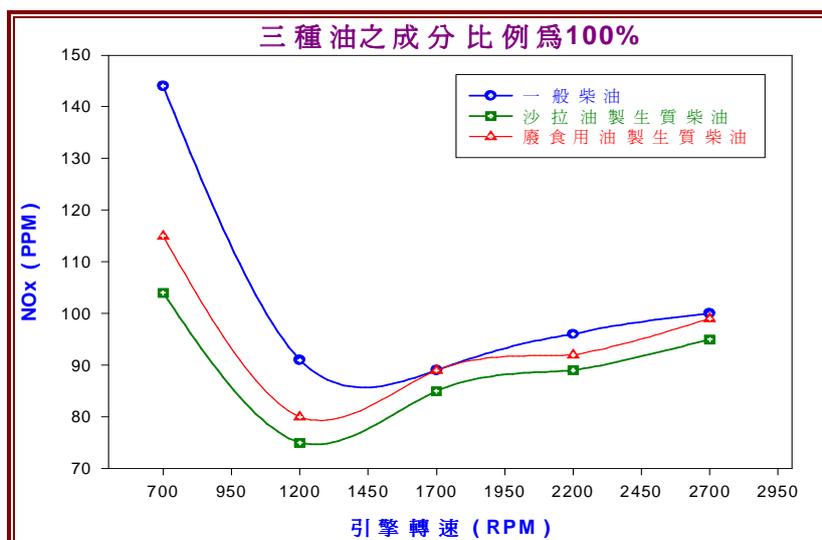
圖三十六 一般柴油、沙拉油製造之生質柴油及廢食用油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 CO (一氧化碳) 排放量之比較圖 (由圖得知一般柴油 CO 之排放量在引擎高轉速之情形下, 高於生質柴油, 唯引擎於低轉速時生質柴油 CO 之排放量反而出現較高之現象)



圖三十七 一般柴油、沙拉油製造之生質柴油及廢食用油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 O<sub>2</sub> (氧) 排放量之比較圖 (由圖得知, 一般柴油的廢氣中 O<sub>2</sub> 之排放量較高, 顯示一般柴油在燃燒過程中產生稀混合燃燒現象, 所排放之廢氣中才会有較多的氧存在)



圖三十八 一般柴油、沙拉油製造之生質柴油及廢食用油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 CO<sub>2</sub> (二氧化碳) 排放量之比較圖 (一般柴油廢氣中 CO<sub>2</sub> 之排放量，呈現偏低之現象，此為一般柴油在於引擎測試過程中未充分燃燒，因此，廢氣中 CO<sub>2</sub> 之排放量偏低)

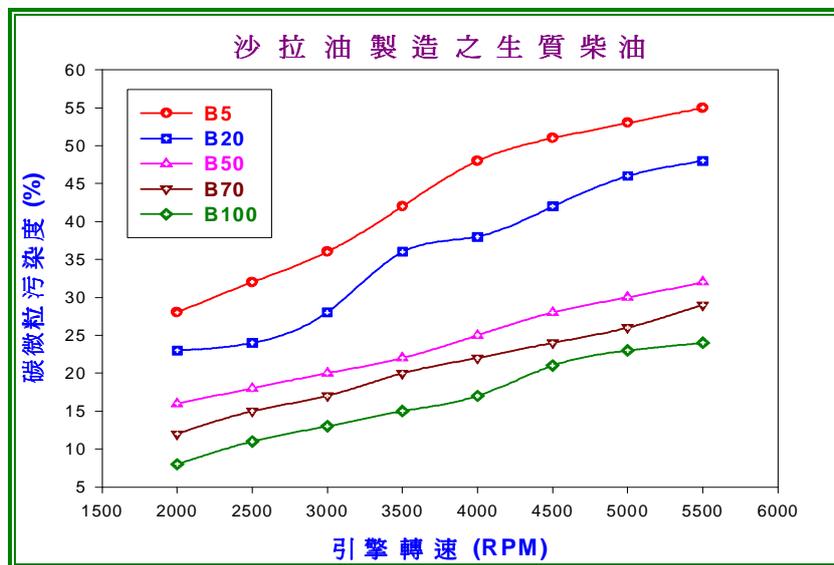


圖三十九 一般柴油、沙拉油製造之生質柴油及廢食用油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 NO<sub>x</sub> (氮氧化物) 排放量之比較圖 (由圖得知一般柴油之 NO<sub>x</sub> 排放量，於引擎低轉速時較高，但於引擎高轉速時其排放量則與生質柴油相接近)

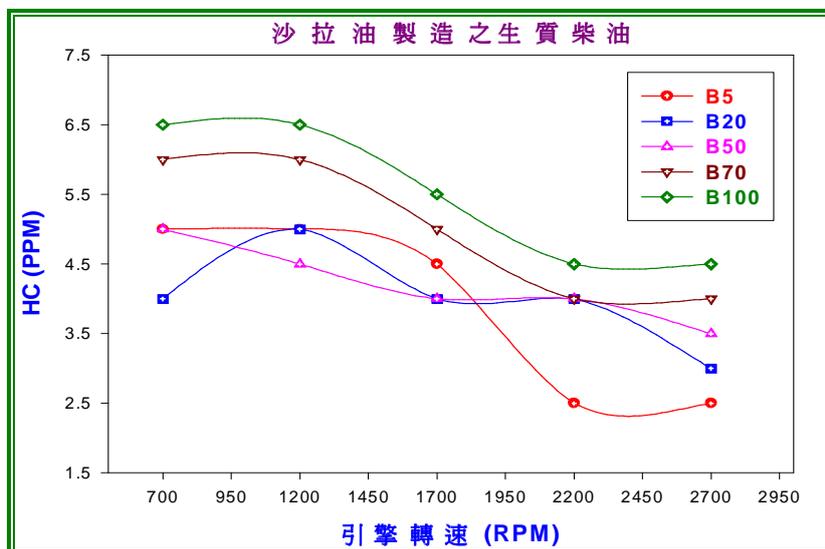
#### 四、沙拉油製造之生質柴油之廢氣排放分析 (在一般柴油中加入不同比例沙拉油製造之生質柴油—引擎廢氣排放之比較)

圖四十得知，其碳微粒之污染度，當生質柴油所添加之比例愈高其碳微粒之污染情形愈低。圖四十一顯示，B5、B20 及 B50 之 HC 的排放量在各引擎轉速下，均較 B70 及 B100 為低。圖四十二為 CO 之排放情形，引擎於低、中轉速時以 B100 之排放量最高，高

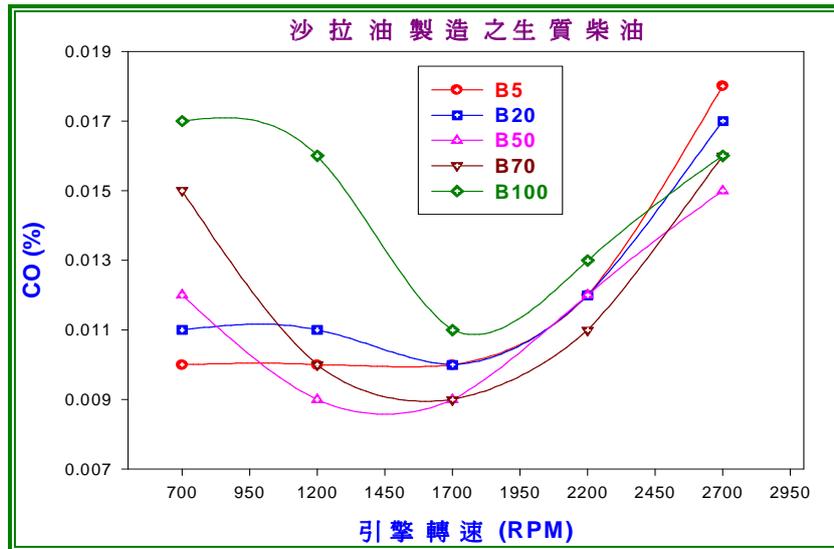
轉速時則以 B5 及 B20 之排放量較高。圖四十三為廢氣中 O<sub>2</sub> 之排放量，在各引擎轉速下，以 B5 及 B50 之曲線較不穩定，而 B100 之排放量最低。圖四十四為廢氣中 CO<sub>2</sub> 之排放量，在各引擎轉速下，以 B100 之排放量最高。圖四十五得知，NO<sub>x</sub> 之排放量，在引擎低轉速時，以 B100 之排放量較低，但中高轉速以後 NO<sub>x</sub> 之排放量，則與燃料中生質柴油所佔之比例大致呈現正相關之情形。



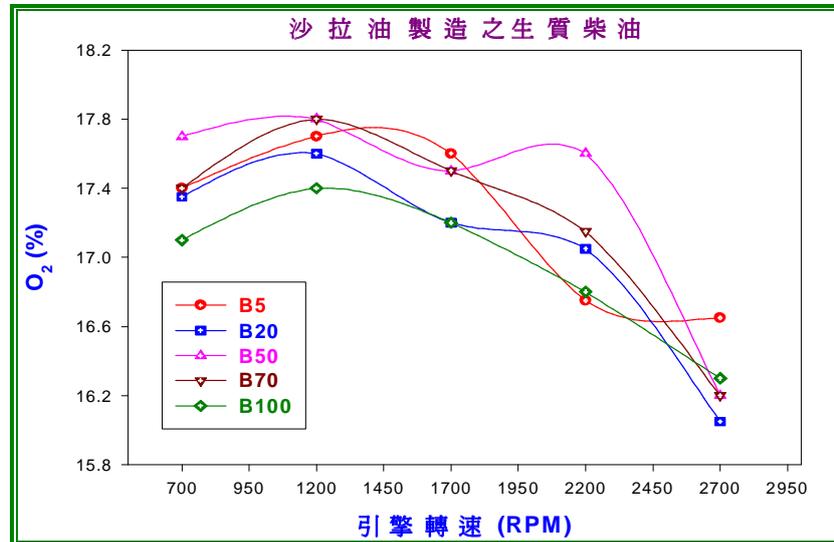
圖四十四 一般柴油中加入不同比例沙拉油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下排氣污染度之比較圖（由圖得知碳微粒污染度，與市售柴油中生質柴油所添加之比例呈現負相關的情形，亦即一般柴油中生質柴油所添加之比例愈高時，其碳微粒之污染情況愈低）



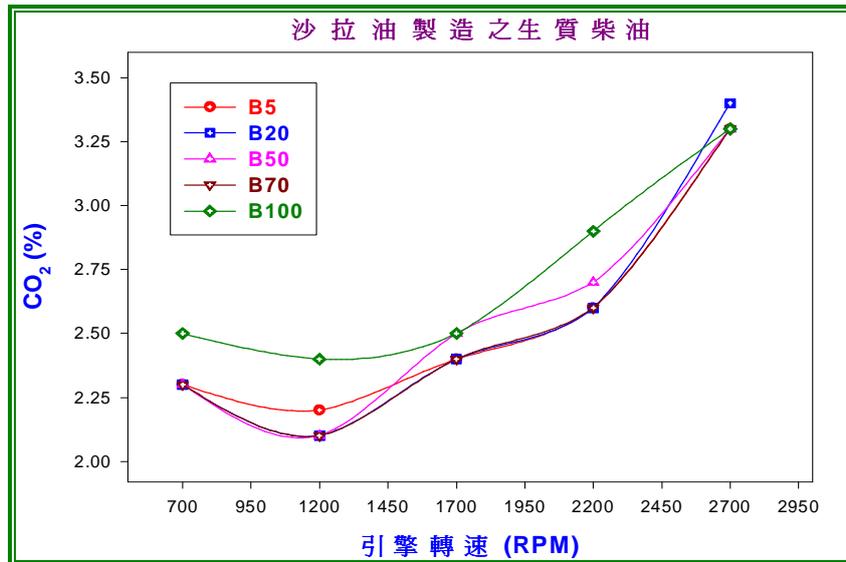
圖四十一 一般柴油中加入不同比例沙拉油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 HC (碳氫化合物) 排放量之比較圖（由圖可知 B70 及 B100 之 HC 的排放量在各引擎轉速下均較高，可知其在引擎汽缸中燃燒之情形較 B5、B20 及 B50 為差，才會產生較多之 HC。）



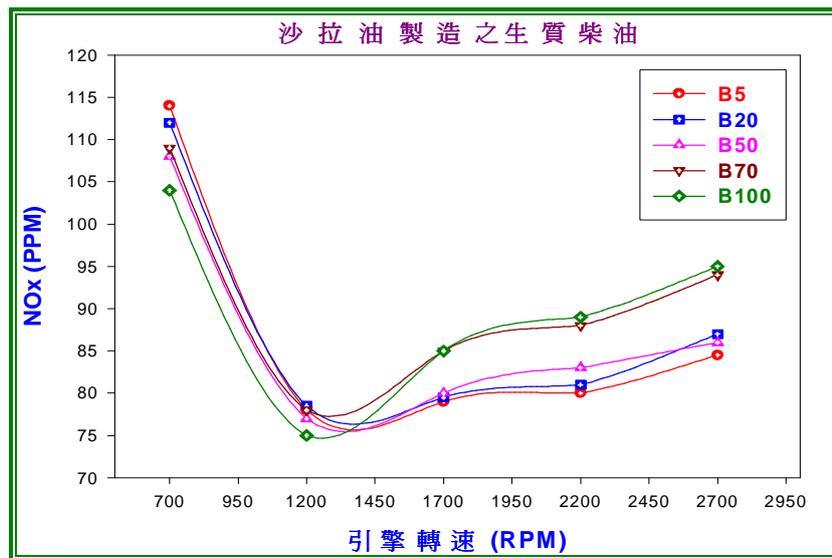
圖四十二 一般柴油中加入不同比例沙拉油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 CO(一氧化碳)排放量之比較圖(由 CO 之排放曲線, 可知引擎於低、中轉速時以 B100 之排放量最高, 高轉速時則以 B5 及 B20 之排放量較高, 顯示柴油引擎於高轉速之狀態下, 生質柴油含量愈高之燃油, 其 CO 之排放量有降低之趨勢。)



圖四十三 一般柴油中加入不同比例沙拉油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 O<sub>2</sub>(氧)排放量之比較圖(圖示為廢氣中 O<sub>2</sub> 排放量之曲線, 在各引擎轉速下, 雖然 B5 及 B50 之曲線較不穩定, 但可看出 B100 之空氣利用率較佳。整體而言, 無論燃料之比例如何, 引擎於高轉速時, 其空氣之利用率均較佳。)



圖四十四 一般柴油中加入不同比例沙拉油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 CO<sub>2</sub>（二氧化碳）排放量之比較圖（圖所示為廢氣中 CO<sub>2</sub> 之排放量，在各引擎轉速下，以 B100 之排放量較高，唯各曲線隨引擎轉速之升高而上升，此由於引擎轉速升高時，汽缸中空氣渦動速度增大，使燃料燃燒較為完全，導致 CO<sub>2</sub> 之排放量升高。）

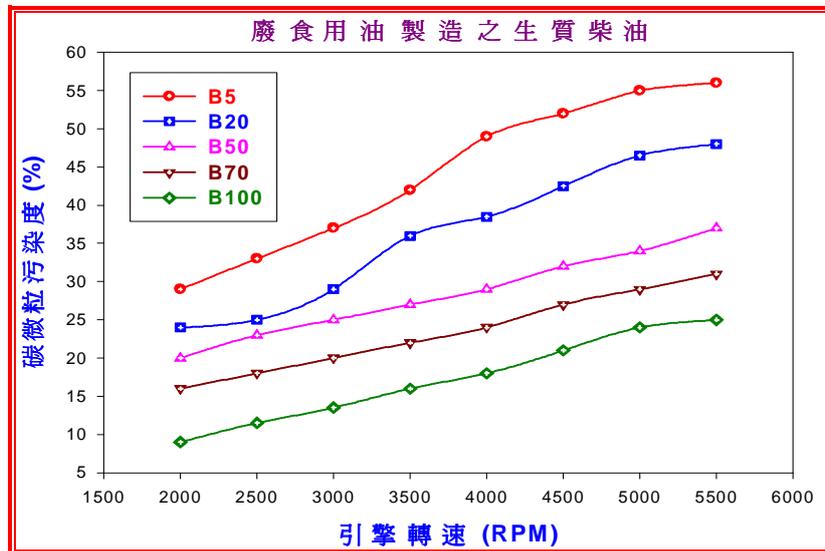


圖四十五 一般柴油中加入不同比例沙拉油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 NO<sub>x</sub>（氮氧化物）排放量之比較圖（由曲線圖得知，在引擎低轉速時，B100 之 NO<sub>x</sub> 排放量較低，但中高轉速以後 NO<sub>x</sub> 之排放量，則隨著燃料中生質柴油添加量之增加而升高。）

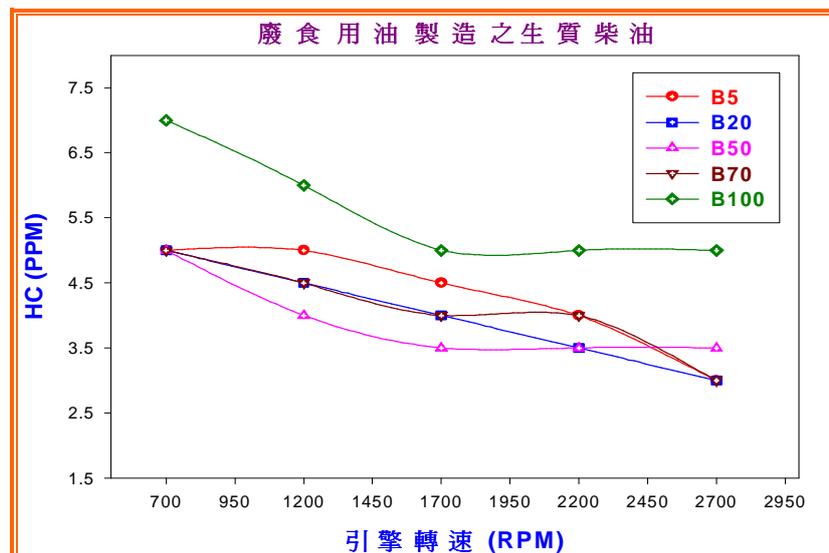
### 五、廢食用油製造之生質柴油之廢氣排放分析（在一般柴油中加入不同比例的廢食用油製造之生質柴油—引擎廢氣排放之比較）

圖四十六可看出市售柴油中生質柴油所添加之比例愈高其碳微粒之污染度愈低。圖四十七顯示，B5 及 B100 之 HC 的排放量在各引擎轉速下較高。圖四十八顯示，為 CO 之排放情形，引擎於低、中轉速時，以 B100 之排放量最高，高轉速時則以 B5 及 B20 之排

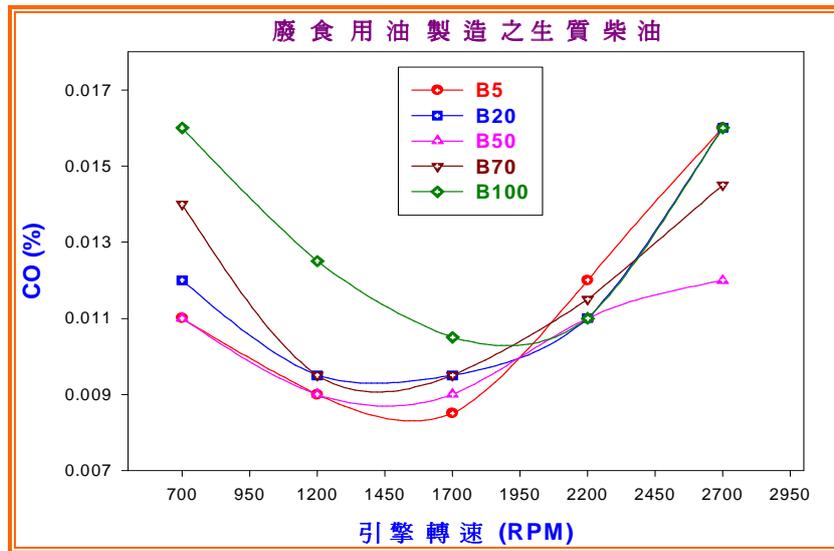
放量較高。圖四十九所示，為廢氣中  $O_2$  之排放量，在各引擎轉速下，以 B5 及 B100 之排放量較低。圖五十所示為廢氣中  $CO_2$  之排放量，在各引擎轉速下，B50 及 B70 之排放量較不穩定，而以 B100 之排放量最高。圖五十一得知， $NO_x$  之排放量，在各引擎轉速下，以 B100 之排放量最高。



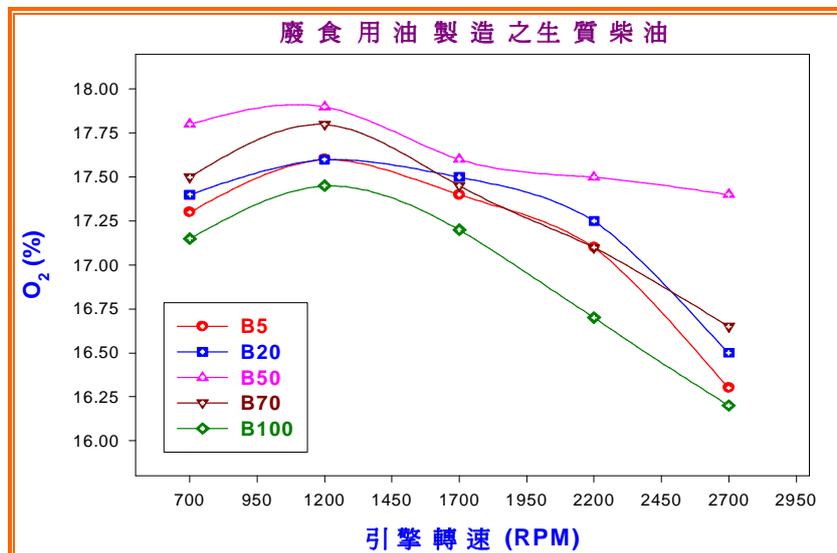
圖四十六 一般柴油中加入不同比例廢食用油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下排氣污染度之比較圖（由曲線圖可看出，市售柴油中生質柴油所添加之比例愈高其碳微粒之污染度愈低。亦即碳微粒污染度，與市售柴油中生質柴油所添加之比例呈現負相關的現象，因此，一般柴油中生質柴油所添加之比例愈高時，其碳微粒之污染情形將愈低）



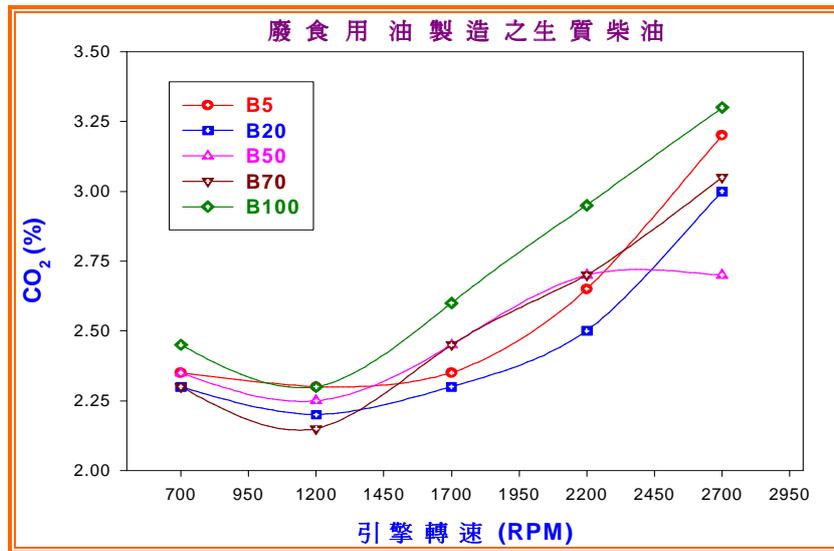
圖四十七 一般柴油中加入不同比例廢食用油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 HC(碳氫化合物) 排放量之比較圖（B5 及 B100 之 HC 排放量，雖然在中低引擎轉速時之排放量較高，但隨著引擎轉速之升高，B5 與 B20 之排放量有較規律之下降，而 B100 之 HC 排放量在各引擎轉速下，則皆位於最高位置。）



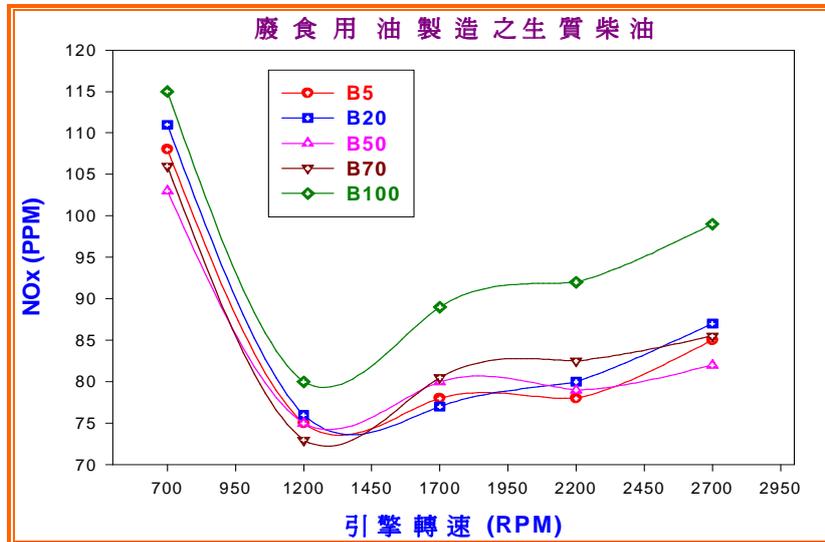
圖四十八 一般柴油中加入不同比例廢食用油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 CO(一氧化碳) 排放量之比較圖 (圖所顯示為 CO 之排放情形, 引擎於低、中轉速時, 以 B100 之排放量最高, 隨引擎轉速之提升, 則以 B5 之排放量有較高之提升量。整體而言, 引擎於中轉速之狀態下, 各不同燃油之 CO 排放量皆呈現較低之狀態。)



圖四十九 一般柴油中加入不同比例廢食用油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 O<sub>2</sub> (氧) 排放量之比較圖 (圖示為廢氣中 O<sub>2</sub> 之排放量, 在各引擎轉速下, 以 B5 及 B100 之排放量較低, 而以 B50 廢氣中 O<sub>2</sub> 之排放量較高。)



圖五十一 一般柴油中加入不同比例廢食用油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 CO<sub>2</sub> (二氧化碳) 排放量之比較圖 (圖所示為廢氣中 CO<sub>2</sub> 之排放量, 在各引擎轉速下, B50 及 B70 之排放量較不穩定, 而以 B100 之排放量最高。)



圖五十一 一般柴油中加入不同比例廢食用油製造之生質柴油於不同的引擎轉速下 NO<sub>x</sub> (氮氧化物) 排放量之比較圖 (NO<sub>x</sub> 之排放量, 在各引擎轉速下, 以 B100 之排放量最高, 而 B70、B50、B20 及 B5 之排放量較低。整體而言, 各不同燃料在怠速時, 其 NO<sub>x</sub> 之排放量皆是最高的, 表示引擎於怠速時, 汽缸內之燃燒溫度較高)。

## 陸、討論

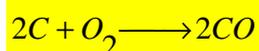
- 一、生質柴油目前尚未單獨做為柴油引擎之燃料，於市售柴油中加入 1% 的生質柴油則此混合燃料稱為 B1，全生質柴油則稱為 B100。我國為配合世界發展趨勢，自民國九十七年七月起，實施在市售柴油內添加 1% 的生質柴油。
- 二、生質柴油之燃燒特性與化石柴油相似，可與化石柴油以任意比例混合使用做為柴油引擎之燃料。由表一生質柴油與市售柴油之相關性質比較可得知，這兩種油品各有其優缺點，其中生質柴油的閃火點為 185°C 較市售柴油的 96°C 高，所以在運輸上與儲存時安全性較高。生質柴油之十六烷值約為 51 號，市售柴油約為 57 號，十六烷值代表柴油的著火性，十六烷值高代表燃料的著火性好。

項目	生質柴油	市售柴油
密度, g/cm <sup>3</sup>	0.889	0.835
閃火點, °C	185	96
黏度, mm <sup>2</sup> /s	6.03	3.8
流動點, °C	- 2	- 15
十六烷值 (Cetane number)	51	57
發熱量 kcal/kg	9,800	10,930
硫含量	10ppm 以下	0.2%(重量)以下

表一 生質柴油與市售柴油之相關性質比較

- 三、生質柴油與市售柴油之油質，依其特性而言，各有其優缺點，世界各國在不改變現有引擎之結構上，通常以 B1~B20 做為柴油引擎之燃料。生質柴油 B100 做為柴油引擎之燃料，並非不可行，唯必須對柴油引擎之燃料系統及壓縮比做適度之調整，但目前市面上尚未有生質柴油之專用引擎。
- 四、本實驗之廢氣檢測皆在引擎無負荷之狀態下進行。因此，本實驗之成果與結論，特別可做為引擎怠速運轉時及車輛自怠速起步加速前進之參考。因根據研究指出，各岔路口及十字路口車輛所排放廢氣之污染度，為一般道路的五到十倍。引擎廢氣污染物之產生情形如下：

(一) CO 係燃料燃燒時空氣量之供給不足，發生不完全燃燒時所產生：



(二) 若空氣量足夠提供完全燃燒時，燃料中的 C 則容易與空氣中的 O<sub>2</sub> 結合生成無害之 CO<sub>2</sub>：

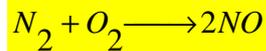


(三) HC 為燃料之成分之一，燃料中所含的 C 在完全燃燒時，容易變成 CO<sub>2</sub>，而 H<sub>2</sub> 與 O<sub>2</sub> 則結合成水蒸氣排出：

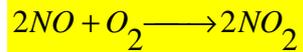


因燃料於引擎中通常較不容易完全燃燒，致使排氣中常會有 HC 之存在。

(四) NO<sub>x</sub> 為 N<sub>2</sub> 與 O<sub>2</sub> 化合物之總稱，為燃料於高溫下燃燒所產生之有害氣體：



經化學反應產生的 NO，在空氣中容易與 O<sub>2</sub> 結合成 NO<sub>2</sub>。



引擎廢氣中的 NO<sub>x</sub> 大部分為 NO 與 NO<sub>2</sub>。

五、本實驗也以市售之泰山沙拉油進行試驗，其最佳之製造條件為沙拉油 1000ml、甲醇 180ml 及氫氧化鈉 3.5g。因此，不同品牌之沙拉油製造生質柴油之最佳條件或有些微之差異。一般而言，沙拉油的牌雖然不同，其最佳條件之配方通常會在沙拉油 1000ml、甲醇 150~180ml 及氫氧化鈉 3.5g~5g 的範圍之間。

六、生質柴油轉脂化及製造肥皂之化學反應式：

(一) 油脂(三酸甘油酯)之轉酯化反應





## 柒、結論

- 一、由實驗當中發現以沙拉油為材料製造生質柴油時，因沙拉油本身含雜質少且品質穩定，要找出其最佳配方較為容易。本研究以台糖沙拉油製造生質柴油之最佳配方，為沙拉油 1000ml、甲醇 150ml 及氫氧化鈉 3.5g。
- 二、以廢食用油為材料製造生質柴油，由於廢食用油之來源不同，回鍋次數無法得知，其油質所參雜的雜質亦難掌握，因此，要找出其理想的製造條件並不容易，即使經由實驗找出理想之製造條件，也可能不適用於同場所不同時間點所產出之廢食用油。因此，對於不同場所提供之廢食用油，要製造生質柴油時，需另外經過實驗設計以找出最佳之製造條件。
- 三、以沙拉油為材料製造出的生質柴油為淡黃透明色，而以廢食用油為材料製造出的生質柴油為淡褐透明色，雖然色澤有些差異，但經由引擎廢氣排放之檢測結果顯示，兩者廢氣之排放情形相近，廢氣污染度亦皆比一般市售柴油為低。而實驗所產生之甘油，皆需經過純化處理才能顯現其價值。
- 四、以沙拉油及廢食用油製造之生質柴油，進行引擎廢氣排放測試時，其廢氣中碳微粒、HC 及 NO<sub>x</sub> 等有毒廢氣之排放量均較市售柴油為低，而 CO 之排放量於引擎高轉速時亦較市售柴油為低。
- 五、無論是沙拉油或廢食用油製造之生質柴油，在 B100 之狀態下，使用於柴油引擎做為燃料，其碳微粒之污染度雖低，但其 HC、CO 及 NO<sub>x</sub> 之排放量，於各引擎轉速下均高於 B5、B20、B50 及 B70 等燃料之排放量。因此，生質柴油仍需以適當比例，添加於市售柴油中做為柴油引擎之燃料較為可行。
- 六、製造生質柴油時，實驗材料的配方、中和處理、加熱溫度、攪拌時間、等待分液之靜置時間及蒸餾除水等條件，皆為影響生質柴油品質的重要因素。若配方不對，則轉脂化反應將無法完成；若中和處理不良，則燃料將會腐蝕引擎之燃油供應系統；若加熱攪拌的溫度與時間不足時，將影響生質柴油轉脂化之反應速度；若置於分液漏斗中之生質柴油溶液，等待分液時之靜置時間不足時，將會嚴重影響生質柴油之品質。

## 捌、參考資料

- 一、沈胤亨(2008)。生質柴油製程簡介。台灣大學化學工程研究所。
- 二、李唐(2008)。能源報導。生質柴油向前走從示範廠到加油站。
- 三、洪文雅(2006)。綠基會通訊。綠色潮流席捲下企業因應之道。
- 四、盧文章、林昀輝、李宏台(2007)。能源報導。台灣發展生質柴油的技術創新。
- 五、李唐(2006)。新世紀再生能源-生質柴油。台灣新日化股份有限公司。
- 六、徐麗玲。生質能源從良方變禍首。聯合新聞網。2008年4月18日。
- 七、Biodiesel—Growing a New Energy Economy, Greg Pahl, Chelsea Green Publishing Company, 2005。蕭如珀節錄翻譯。生質柴油-拓展一個新能源經濟。
- 八、生質柴油的潤滑性 (Biodiesel Lubricity), 內容翻譯自 Leon Schumacher The Biodiesel Handbook Gerhard Knothe and et. al., AOCS Press, 2005。
- 九、綠色城鄉-生質柴油在車輛的應用/為什麼車輛要使用生質柴油/國際組織對生質柴油的看法/目前國際使用現況與展望。 <http://www.biodiesel-tw.org/Green>
- 十、生質柴油試行計畫-豐原市公所, 輔導單位: 行政院環境保護署。 <http://www.fengyuan.gov.tw/>

## **【評語】 030212**

海報版面製作精美，學生的表達能力佳，能針對環境污染議題加以研究，值得嘉許，實驗日誌書寫完整，以試紙檢測生質柴油酸價實驗的操作流程宜改進，實驗步驟及原理觀念清楚。在降低製作成本部份宜吸收先進技術，宜再參閱其他文獻。