

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高職組 化工、衛工及環工科

第二名

最佳團隊合作獎

091105

生「柴」有道--米酒、廢油變柴油

學校名稱： 國立陸軍專科學校

|        |       |
|--------|-------|
| 作者：    | 指導老師： |
| 職二 李思源 | 劉正偉   |
| 職二 顏志宇 | 鍾錦軍   |
| 職二 張任賢 |       |
| 職二 余柏毅 |       |

關 鍵 詞：生質材油、生質能、再生能源

# 「生柴」有道—米酒、廢油變柴油

## 摘要

自工業革命至今，人類對環境的迫害早已超過人類有文明以來的程度，石化燃料的使用甚至到達氾濫的地步，而石化能源的蘊存量日漸減少，科學家估計再 40 年人類會將所蘊存的石油耗盡，沒有了能源，難道所有的動力都將停擺？答案是否定的！生質柴油，顧名思義為來自生物性的柴油，它源自於自然的油脂，如：家庭廚餘所剩的油以及一些植物脂肪、動物脂肪、及其它脂肪酸...等。因此，生質柴油沒有能源危機，更是取之不盡，用之不竭，來自於天然。

生質柴油（甲基酯）的反應原理是根據有機化學課本 12-1 酯類，當酸與醇在強酸或強鹼當催化劑下加熱，即生成酯類。本實驗是以油脂與甲醇、乙醇，利用氫氧化鈉作為催化劑反應製成「生質柴油」，當油脂/醇之莫耳比為 1/6，而氫氧化鈉的量控制在 0.5~1% 為最佳結果。另外我們發現：高純度的米酒不但可以作為製作生質柴油的原料，還可以直接添加至生質柴油中製成「米酒生質柴油」，這便是一個可自然再生的新能源。

## 壹、研究動機

近兩年來，原油的價格從每桶 20 美元飆到 60~70 美元，依賴進口能源的台灣飽受這波油價上漲之苦，有一次在報紙上看到「生質柴油」可以在不用修改引擎的情形下代替「石化柴油」，不禁使我們感到極大的興趣！如果可以大量製造生質柴油，將能有效解決能源危機。

生質柴油是油脂與醇類在適當的條件下反應而成，若是以烹飪後的「廢油」作為原料，不但可以減少環境污染還可以降低生質柴油的製造成本。另外製作生質柴油時需要使用醇類（甲醇或乙醇），如能利用米酒中所含之醇類作為反應時的原料，將不用依賴由石油中製得的乙醇或甲醇，這表示太陽能的利用將更為充分，植物油與生質酒精的來源是太陽能與二氧化碳，生質燃料使用後產生的二氧化碳又回到環境中，不但可以減少二氧化碳的排放量降低溫室效應，更可以把能源「種」出來，達到生生不息的綠色生產。

## 貳、研究目的

- 一、研究油脂與醇類於不同的比例（莫耳比）製作生質柴油
- 二、探討反應時催化劑的比例之影響與生質柴油之水洗過程
- 三、嘗試使用不同濃度的之「米酒」與「廢油」製作生質柴油
- 四、研究生質柴油與化學溶劑間的溶解度並嘗試配製各種生質燃料

## 參、研究設備及器材

### 一、器材與設備

|   |      |    |                 |
|---|------|----|-----------------|
| 1 | 錐形瓶  | 9  | 樣本瓶             |
| 2 | 量筒   | 10 | 迴旋濃縮儀           |
| 3 | 燒杯   | 11 | 恆溫水槽            |
| 4 | 塑膠吸管 | 12 | 磁石攪拌器           |
| 5 | 分液漏斗 | 13 | 電子分析天平 (0.0001) |
| 6 | 溫度計  | 14 | 黏度計             |
| 7 | 量瓶   | 15 | 烘箱              |
| 8 | 玻棒   | 16 | 超音波洗淨機          |

### 二、藥品

|   |               |    |                         |
|---|---------------|----|-------------------------|
| 1 | 沙拉油（過期）（市售）   | 6  | 工業乙醇（工業級）               |
| 2 | 廢油（回鍋油）（學校伙房） | 7  | 米酒（40%、80%、95%）（自釀）     |
| 3 | 棕櫚油（市售）       | 8  | 氫氧化鈉(NaOH)（實驗室級）        |
| 4 | 甲醇（工業級）       | 9  | 醋酸（0.1%、0.5%、1.0%、2.0%） |
| 5 | 無水乙醇（實驗室級）    | 10 | 石化柴油（加油站）               |

## 肆、研究過程或方法

### 一、生質柴油小檔案

#### (一)關於生質柴油

生質柴油乃石化柴油的替代物，是先進開發國家投入研發的替代能源之一，其生產方式是以可再生的生質能作為來源，如以植物油或動物油脂為原料，經物理或化學方法生產而得。生質柴油具可再生性、生物分解性、無毒性、且燃燒後所排放的廢氣污染物的濃度，與市售石化柴油比較可大幅降低，為兼顧環保要求的再生能源之一。

#### (二)生質柴油之優點

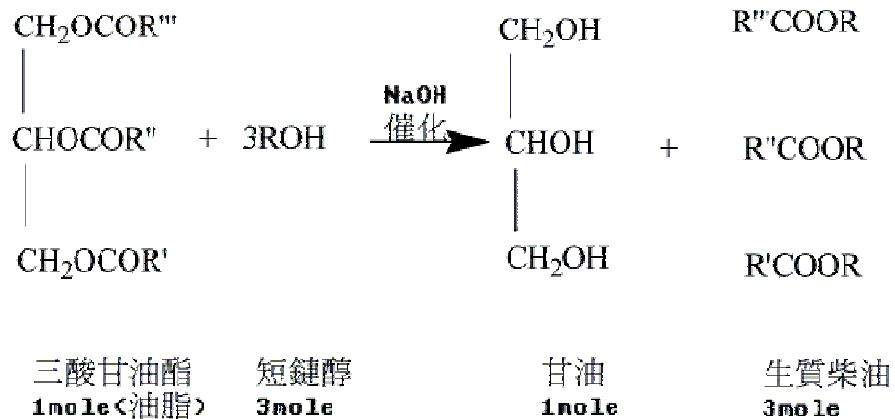
- 1、生質柴油可直接使用於傳統柴油引擎。
- 2、生質柴油可以 100%使用，也可以混合石化柴油使用。一般混合 20%生質柴油及 80%石化柴油，簡稱「B20 柴油」。
- 3、生質柴油燃燒後可降低 80%二氧化碳和 100%二氧化硫的產生。
- 4、生質柴油包含 11%的含氧量，可促進燃燒。生質柴油本身具有潤滑性，因此可以延長引擎使用壽命。
- 5、生質柴油在管理及運輸上較石化柴油安全，因為它具有生物可分解性、較低毒性及較

高閃火點。

- 6、生質柴油可從廢棄食用油或再生性天然植物油中製造而成。
- 7、生質柴油在美國已經成功進行 3 千萬英里的道路測驗，在歐洲也已使用 20 年以上。
- 8、生質柴油燃燒後，所排出廢氣之氣味較石化柴油好聞[2~3]。

### (三)生質柴油製作原理

製作方式主要有四種，分別為：直接混合使用、微細乳化、熱分解、和轉酯化反應。而本實驗是以「轉酯化反應法」製作生質柴油。轉酯化亦稱醇化，為醇類與三酸甘油酯之間的化學反應，原理是利用醇類與植物油中的三酸甘油酯反應，故其反應與酯類的生成反應相似，化學反應式如下所示。

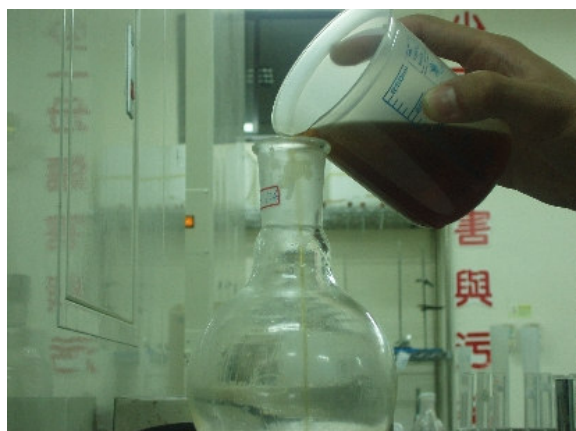




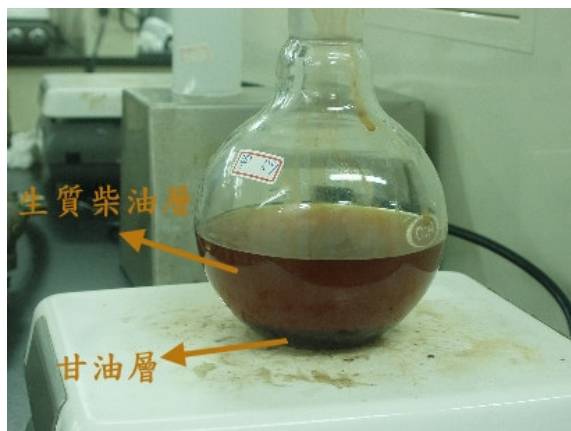
(1)回鍋油以糖果襪過濾雜質



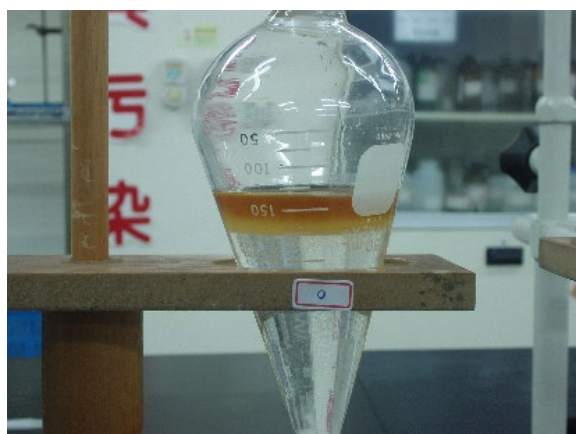
(2)氫氧化鈉溶於甲醇中



(3)廢油倒入氫氧化鈉甲醇溶液反應



(4)設定 60℃ 轉酯化反應一小時

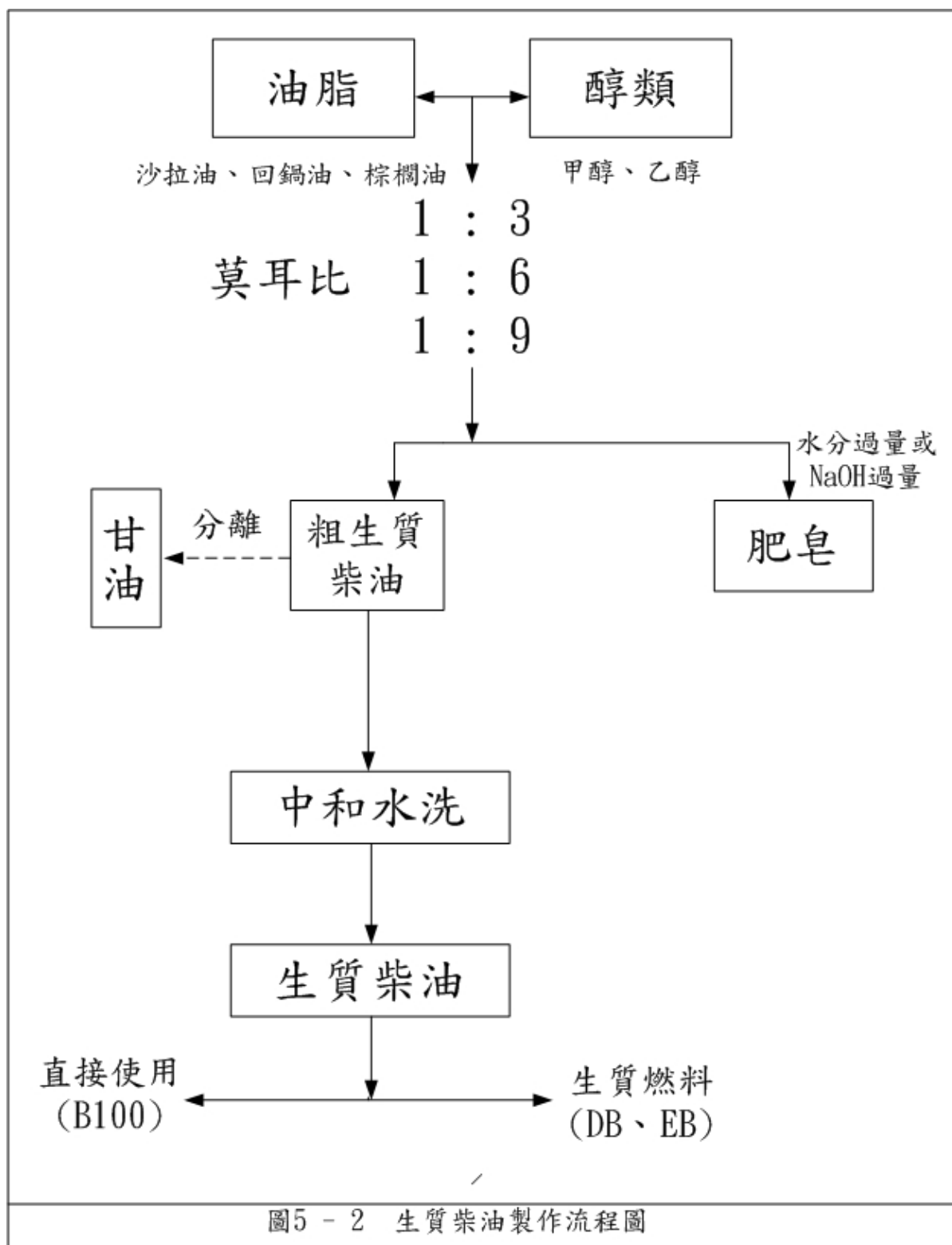


(5)將柴油層取出中和水洗



(6)成品

圖 5-1 生質柴油製作過程圖



#### (四) 實驗步驟

##### 【實驗 1】以不同的油脂與各種醇類於各種比例下，轉酯化合成生質柴油

- 1、反應器中置入 0.1% 的氫氧化鈉與甲醇並攪拌互溶。
- 2、取適量之沙拉油（油/醇莫耳比為 1/3）加入反應器中。
- 3、磁石攪拌加熱器加熱至 60°C 並攪拌 1 小時。
- 4、靜置一天，待分層後將生質柴油層取出並以水清洗數次。
- 5、測試生質柴油之性質、黏度、密度與產率。
- 6、改變油/醇莫耳比為 1/6、1/9 重複步驟 1~5。
- 7、將甲醇改為無水乙醇與工業乙醇重複步驟 1~6。
- 8、將沙拉油改為廢油、棕櫚油重複步驟 1~7。

##### 【實驗 2】催化劑含量對轉酯化反應之影響與生質柴油水洗過程探討

###### 2-1、鹼催化劑比例之影響

- 1、反應器中置入 0.1% 的氫氧化鈉與甲醇並攪拌互溶。
- 2、取適量之沙拉油（油/醇莫耳比為 1/6）加入反應器中。
- 3、磁石攪拌加熱器加熱至 60°C 並攪拌 1 小時。
- 4、改變催化劑 NaOH 之比例為 0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、3.0% 及 5.0% 重複步驟 1~3。

###### 2-2、生質柴油水洗過程探討

- 1、配製不同濃度的醋酸（0%、0.1%、0.5%、1.0%、2.0%）。
- 2、將生質柴油/醋酸以 1/4 之體積比加入分液漏斗中。
- 3、觀察結果。

##### 【實驗 3】以不同濃度之米酒與廢油製作生質柴油

- 1、利用蒸餾裝置提高米酒濃度為（40%、80%、95%）。
- 2、反應器中置入 0.1% 的氫氧化鈉與米酒（40%）並攪拌互溶。
- 3、取適量之廢油（油/米酒之莫耳比為 1/6）加入反應器中。
- 4、磁石攪拌加熱器加熱至 60°C 並攪拌 1 小時。
- 5、靜置一天，將生質柴油層以水清洗數次。
- 6、測試生質柴油之物性。
- 7、改變油/米酒之莫耳比為 1/3、1/9 重複步驟 2~6。
- 8、改變米酒濃度為 80%、95% 重複步驟 2~7。
- 9、將步驟 4 的磁石攪拌器換成超音波洗淨機，重複步驟 2~8。

**【實驗 4】以不同比例之混合醇（甲醇+米酒 95%）製作生質柴油**

- 1、混合醇（甲醇/米酒 95%之莫耳比為 3/3）。
- 2、反應器中置入 0.1%的氫氧化鈉與混合醇並攪拌互溶。
- 3、將廢油/混合醇以莫耳比 1/6 加入反應器中。
- 4、磁石攪拌加熱器加熱至 60°C 並攪拌 1 小時。
- 5、靜置一天，將生質柴油層以水清洗數次。
- 6、測試生質柴油之物性。
- 7、改變甲醇/米酒 95%之莫耳比為 1/5、2/4、4/2、5/1 重複步驟 1~6。

**【實驗 5】將生質柴油製成各式生質燃料並以「柴油引擎」試驗**

**5-1、比較生質柴油、石化柴油、廢油（回鍋油）、沙拉油之溶解度性質**

- 1、取 8 支試管分別倒入 10 ml 之生質柴油。
- 2、依序倒入 1 ml 的石化柴油、生質柴油、甘油、無水乙醇、甲醇、工業乙醇、米酒 95%，均勻混合後紀錄結果。
- 3、換成石化柴油、廢油（回鍋油）、沙拉油，重複步驟 1~2。

**5-2、生質柴油製成各式「生質燃料」**

- 1、取 5%的石化柴油與 95%的生質柴油於試管中均勻混合，觀察溶解情形。
- 2、5%的石化柴油與 95%的生質柴油混合後稱為 D5B95 柴油。
- 3、由步驟 1~2 可繼續配製 D10B90、D20B80、D50B50 柴油。
- 4、將石化柴油換成無水乙醇、工業乙醇、米酒 95%、米酒 80%配製成 E10B90、E20B80、E50B50 柴油。

**5-3、柴油引擎測試生質柴油**

- 1、準備生質柴油 D80B20、D50B50、D20B80、D5B95、B100 各 1 公升。
- 2、將各式生質柴油依序加入柴油引擎中進行測試。
- 3、啟動柴油引擎，觀察運轉過程。



## 伍、研究結果

【實驗 1】各種的油脂與醇類於不同之比例下，合成生質柴油

| 表 1 沙拉油與各種醇類於不同比例下進行轉酯化反應 |        |       |        |          |        |        |              |        |        |
|---------------------------|--------|-------|--------|----------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| 實驗項目                      | 沙拉油/甲醇 |       |        | 沙拉油/無水乙醇 |        |        | 沙拉油/工業乙醇 95% |        |        |
| 莫耳比                       | 1/3    | 1/6   | 1/9    | 1/3      | 1/6    | 1/9    | 1/3          | 1/6    | 1/9    |
| 外觀                        | 黃色半透明  | 黃色半透明 | 黃色半透明  | 黃色透明澄清   | 黃色透明澄清 | 黃色透明澄清 | 黃色半透明略混濁     | 黃色半透明  | 黃色半透明  |
| 加水攪拌                      | 不互溶    | 不互溶   | 不互溶    | 乳白色混濁    | 乳白色混濁  | 乳白色混濁  | 不互溶          | 不互溶    | 不互溶    |
| 加 Na 反應                   | 不反應    | 不反應   | 產生些微氣泡 | 產生氣泡     | 產生氣泡   | 產生氣泡   | 不反應          | 產生些微氣泡 | 產生些微氣泡 |
| 密度 (g/cm <sup>3</sup> )   | 0.87   | 0.89  | 0.87   | 0.88     | 0.87   | 0.87   | 0.89         | 0.85   | 0.82   |
| 黏度 (cp)                   | 14.3   | 10.5  | 8.7    | 20.9     | 13.9   | 10.6   | 66.6         | 24.6   | 26.6   |
| 產率(%)                     | 93.2   | 98.5  | 98.0   |          |        |        | 96.8         | 93.6   | 89.6   |

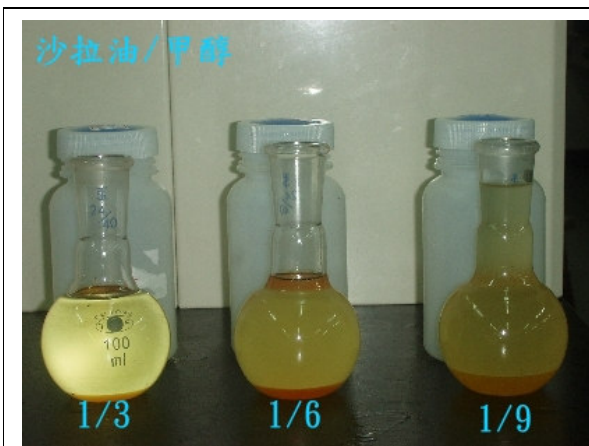


圖 6-1  
沙拉油/甲醇在不同莫耳比製得之生質柴油

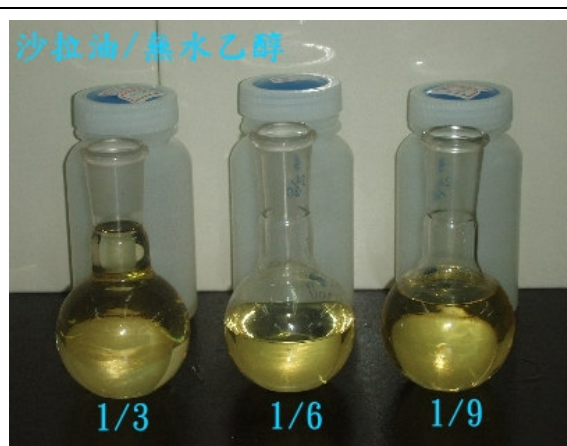


圖 6-2  
沙拉油/無水乙醇在不同莫耳比製得之生質柴油

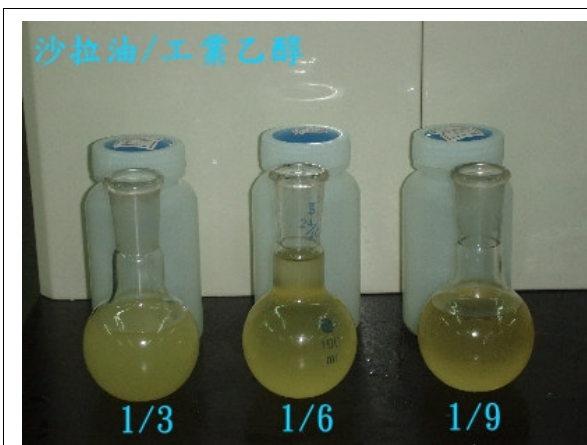


圖 6-3  
沙拉油/工業乙醇在不同莫耳比製得之生質柴油



圖 6-4  
「甲醇生質柴油」與「工業乙醇生質柴油」比較

| 表 2 廢油（回鍋油）與各種醇類在不同比例下進行轉酯化反應 |               |               |                |                |                |                |                |                |                |
|-------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 實驗項目                          | 廢油/甲醇         |               |                | 廢油/無水乙醇        |                |                | 廢油/工業乙醇 95%    |                |                |
| 莫耳比                           | 1/3           | 1/6           | 1/9            | 1/3            | 1/6            | 1/9            | 1/3            | 1/6            | 1/9            |
| 外觀                            | 褐色<br>半透<br>明 | 褐色<br>半透<br>明 | 褐色<br>半透<br>明  | 褐色<br>透明<br>澄清 | 褐色<br>透明<br>澄清 | 褐色<br>透明<br>澄清 | 褐色<br>膠狀<br>結塊 | 褐色<br>半透<br>明  | 褐色<br>半透<br>明  |
| 加水攪拌                          | 不互<br>溶       | 不互<br>溶       | 不互<br>溶        | 褐色<br>混濁       | 褐色<br>混濁       | 褐色<br>混濁       | 褐色<br>混濁       | 不互<br>溶        | 不互<br>溶        |
| 加 Na 反應                       | 不反<br>應       | 不反<br>應       | 產生<br>些微<br>氣泡 | 產生<br>氣泡       | 產生<br>氣泡       | 產生<br>氣泡       | 生成<br>些微<br>氣泡 | 產生<br>些微<br>氣泡 | 產生<br>些微<br>氣泡 |
| 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> )    | 0.88          | 0.89          | 0.88           | 0.89           | 0.87           | 0.88           |                | 0.86           | 0.80           |
| 黏度 (cp)                       | 15.9          | 13.6          | 11.7           | 16.9           | 11.6           | 9.2            |                | 30.7           | 30.7           |
| 產率(%)                         | 92.0          | 94.3          | 94.0           |                |                |                |                | 96.5           | 96.6           |

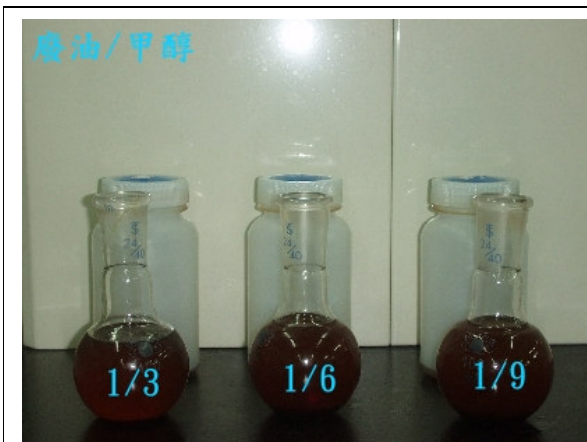


圖 6-5  
廢油/甲醇在不同莫耳比製得之生質柴油

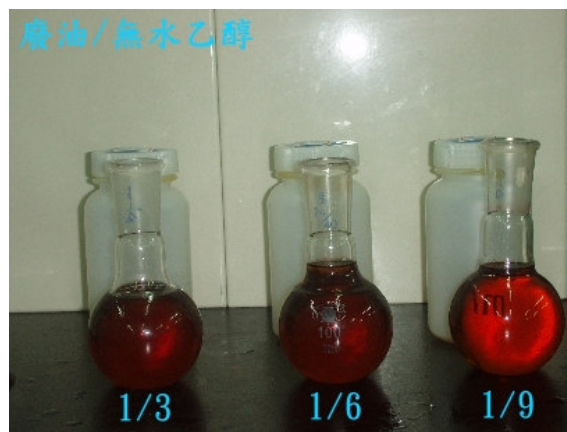


圖 6-6  
廢油/無水乙醇在不同莫耳比製得之生質柴油

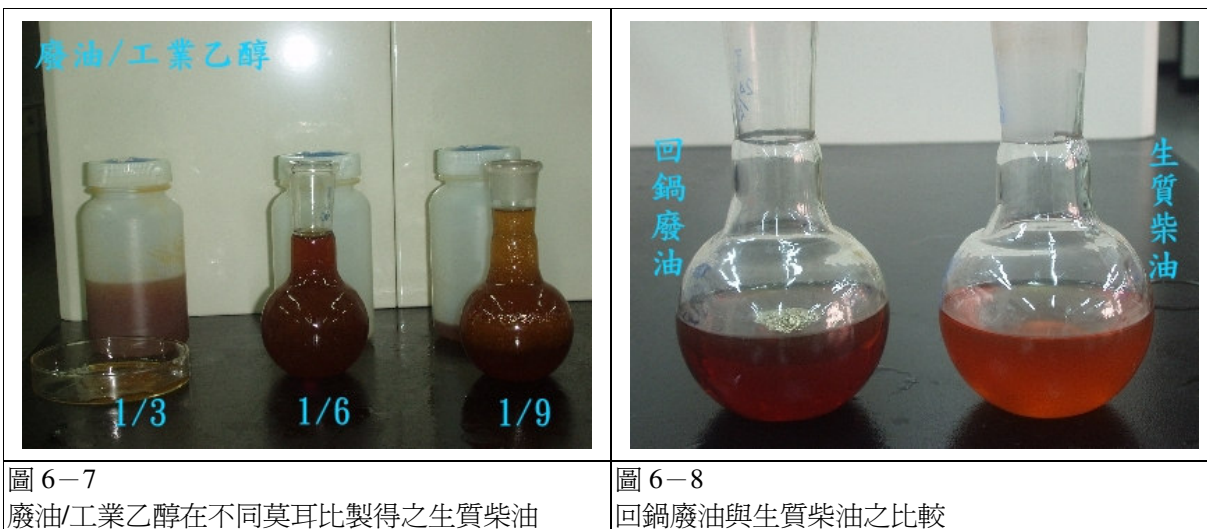
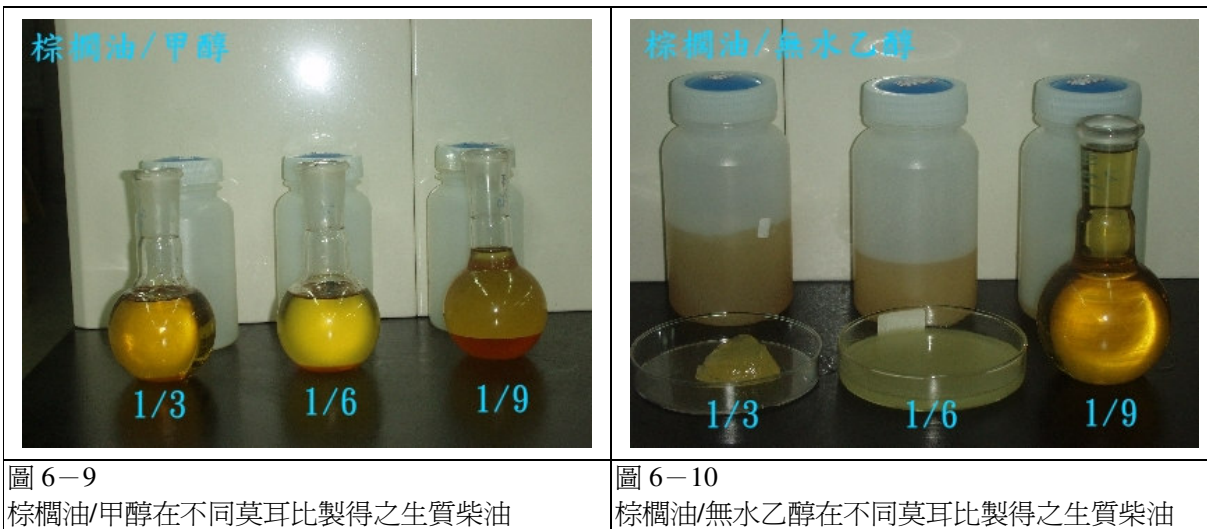


表 3 棕櫚油與各種醇類在不同比例下進行轉酯化反應

| 實驗項目                    | 棕櫚油/甲醇 |       |        | 棕櫚油/無水乙醇 |       |       | 棕櫚油/工業乙醇 95% |        |        |
|-------------------------|--------|-------|--------|----------|-------|-------|--------------|--------|--------|
|                         | 1/3    | 1/6   | 1/9    | 1/3      | 1/6   | 1/9   | 1/3          | 1/6    | 1/9    |
| 外觀                      | 黃色半透明  | 黃色半透明 | 黃色半透明  | 結塊       | 無分層   | 無分層   | 結塊           | 結塊     | 黃色混濁結塊 |
| 加水攪拌                    | 不互溶    | 不互溶   | 不互溶    | 乳白色混濁    | 乳白色混濁 | 乳白色混濁 | 不互溶          | 不互溶    | 不互溶    |
| 加 Na 反應                 | 不反應    | 不反應   | 產生些微氣泡 | 產生氣泡     | 產生氣泡  | 產生氣泡  | 不反應          | 產生些微氣泡 | 產生些微氣泡 |
| 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 0.88   | 0.86  | 0.87   |          | 0.84  | 0.85  |              |        |        |
| 黏度 (cp)                 | 9.2    | 10.6  | 6.3    |          | 12.5  | 10.6  |              |        |        |
| 產率(%)                   | 99.4   | 97.4  | 98.9   |          |       |       |              |        |        |





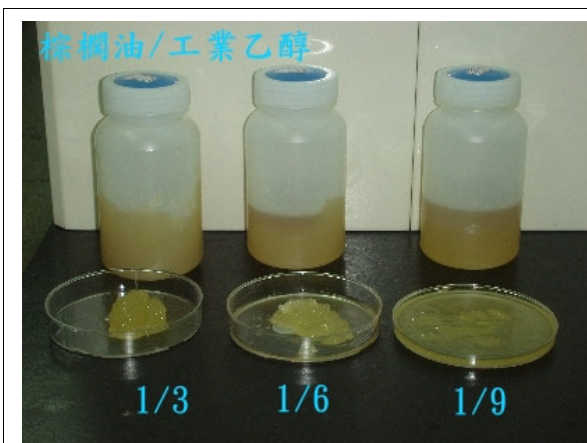


圖 6-11  
棕櫚油/工業乙醇在不同莫耳比製得之生質柴油



圖 6-12  
棕櫚油/工業乙醇之生質柴油呈半透明果凍狀

## 【實驗 2】催化劑含量對轉酯化反應之影響與生質柴油水洗過程探討

### 2-1、鹼催化劑比例之影響



圖 6-13 添加 0.1%NaOH 反應之生成物



圖 6-14 添加 0.5%NaOH 反應之生成物

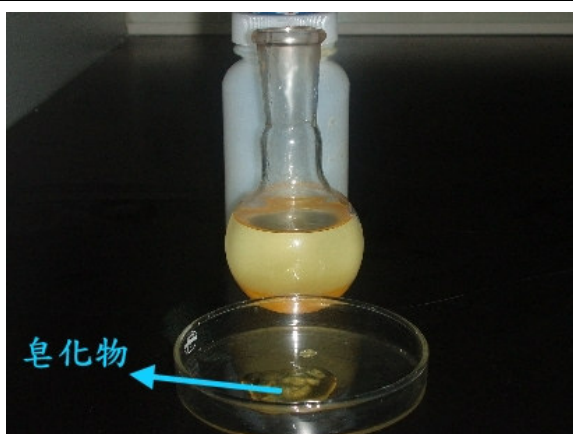


圖 6-15 添加 1.0%NaOH 反應之生成物

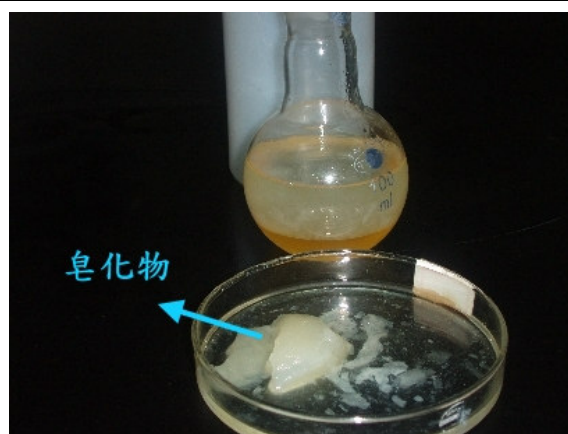


圖 6-16 添加 1.5%NaOH 反應之生成物

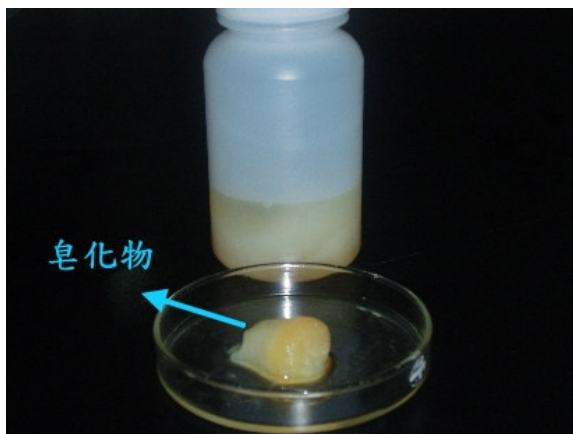


圖 6-17 添加 2.0%NaOH 反應之生成物

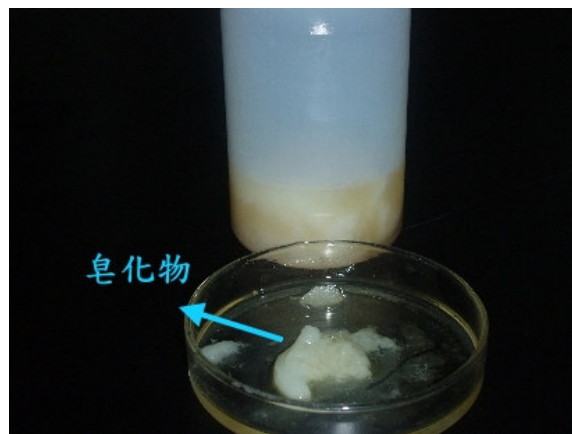


圖 6-18 添加 3.0%NaOH 反應之生成物

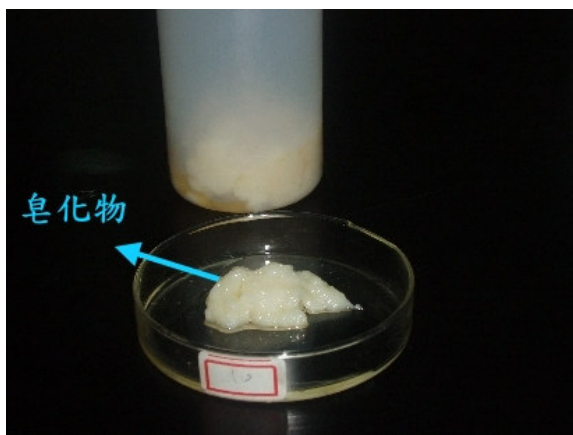


圖 6-19 添加 5.0%NaOH 反應之生成物



圖 6-20 不同比例鹼催化劑 NaOH 之生成物

表 4 NaOH 含量與產物之關係

| NaOH 含量 | 外觀        | 加水攪拌  | 加 Na 反應 | 黏度(cp) |
|---------|-----------|-------|---------|--------|
| 0.1%    | 黃色半透明     | 不互溶   | 不反應     | 14.8   |
| 0.5%    | 黃色半透明     | 不互溶   | 不反應     | 13.4   |
| 1.0%    | 黃色半透明     | 不互溶   | 不反應     | 12.4   |
| 1.5%    | 黃色混濁      | 有些許泡沫 | 不反應     | 25.3   |
| 2.0%以上  | 黃色混濁與白色結塊 | 產生泡沫  | 些微氣泡    | 結塊     |

## 2-2、生質柴油水洗過程探討

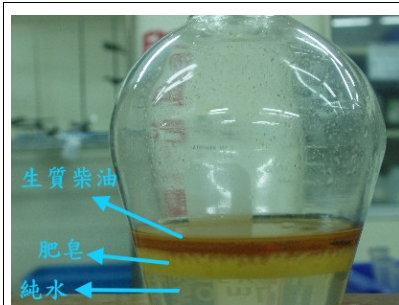


圖 6-21 加入純水水洗中和



圖 6-22 加入 0.1%醋酸水洗中和



圖 6-23 加入 0.5%醋酸水洗中和



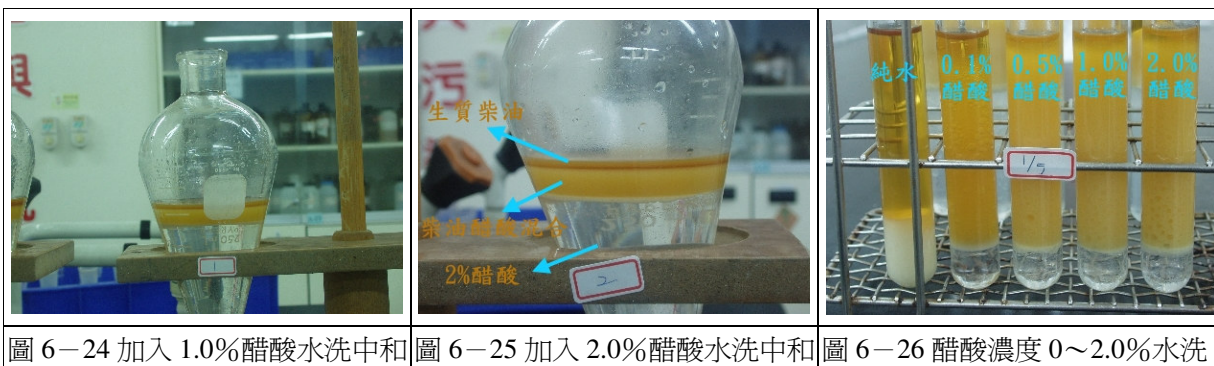


圖 6-24 加入 1.0%醋酸水洗中和 圖 6-25 加入 2.0%醋酸水洗中和 圖 6-26 醋酸濃度 0~2.0%水洗

### 【實驗 3】以不同濃度之米酒與廢油製作生質柴油

| 表 5 磁石攪拌方式反應            |            |            |            |             |       |       |            |       |       |
|-------------------------|------------|------------|------------|-------------|-------|-------|------------|-------|-------|
| 實驗項目                    | 廢油/米酒（40%） |            |            | 廢油/米酒（80%）  |       |       | 廢油/米酒（95%） |       |       |
| 莫耳比                     | 1/3        | 1/6        | 1/9        | 1/3         | 1/6   | 1/9   | 1/3        | 1/6   | 1/9   |
| 外觀                      | 乳褐色混濁      | 乳褐色混濁      | 乳褐色混濁      | 乳褐色混濁       | 黃褐色透明 | 黃褐色透明 | 褐色半透明結塊    | 褐色半透明 | 褐色半透明 |
| 加水攪拌                    | 不互溶且有透明大油滴 | 不互溶且有透明大油滴 | 不互溶且有透明大油滴 | 不互溶且有油滴浮於水面 | 不互溶   | 不互溶   | 不互溶        | 不互溶   | 不互溶   |
| 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 0.89       | 0.89       | 0.89       | 0.85        | 0.85  | 0.86  |            | 0.83  | 0.84  |
| 黏度 (cp)                 | 49.3       | 49.0       | 51.4       | 38.0        | 35.4  | 34.6  |            | 19.4  | 19.4  |

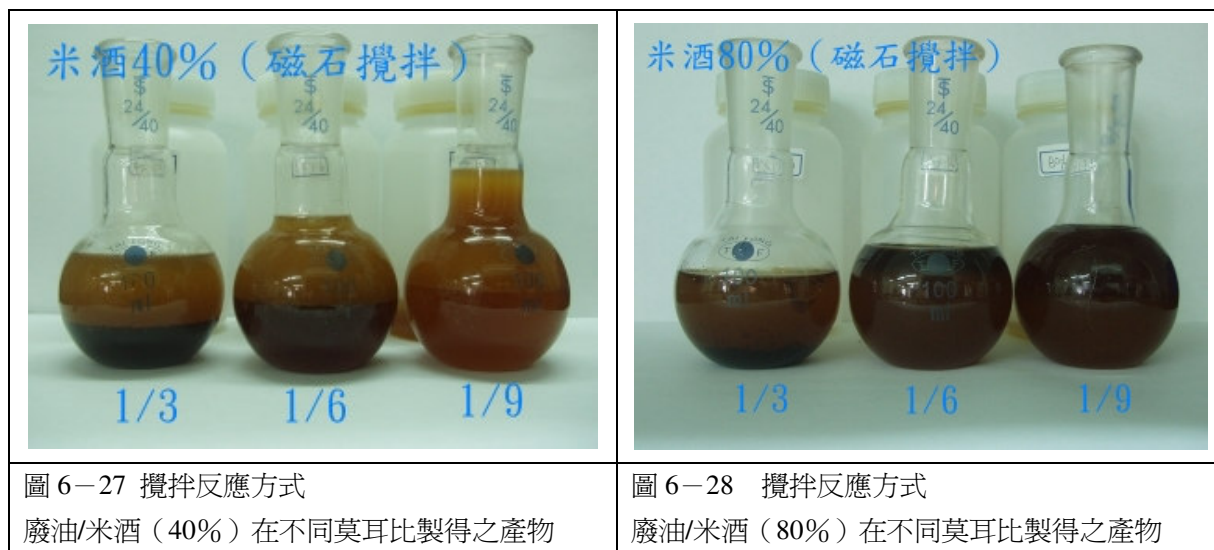


圖 6-27 攪拌反應方式 廢油/米酒（40%）在不同莫耳比製得之產物 圖 6-28 攪拌反應方式 廢油/米酒（80%）在不同莫耳比製得之產物

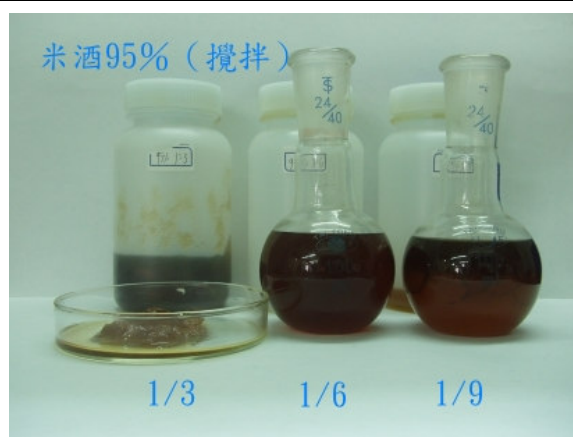


圖 6-29 攪拌反應方式  
廢油/米酒 (95%) 在不同莫耳比製得之產物



圖 6-30 攪拌反應方式  
廢油/米酒 40% (1/9) 反應前與反應後之比較

表 6 超音波震盪方式反應

| 實驗項目                       | 廢油/米酒 (40%)            |                        |                        | 廢油/米酒 (80%)             |                         |                         | 廢油/米酒 (95%)     |                 |                 |
|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 莫耳比                        | 1/3                    | 1/6                    | 1/9                    | 1/3                     | 1/6                     | 1/9                     | 1/3             | 1/6             | 1/9             |
| 外觀                         | 乳褐色<br>黏稠              | 乳褐色<br>黏稠              | 乳褐色<br>黏稠              | 乳褐色<br>黏稠               | 乳褐色<br>黏稠               | 乳褐色<br>黏稠               | 褐色半<br>透明結<br>塊 | 褐色半<br>透明結<br>塊 | 褐色半<br>透明結<br>塊 |
| 加水攪拌                       | 不互溶<br>且有透<br>明大油<br>滴 | 不互溶<br>且有透<br>明大油<br>滴 | 不互溶<br>且有透<br>明大油<br>滴 | 不互溶<br>且有油<br>滴浮於<br>水面 | 不互溶<br>且有油<br>滴浮於<br>水面 | 不互溶<br>且有油<br>滴浮於<br>水面 | 不互溶             | 不互溶             | 不互溶             |
| 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.92                   | 0.92                   | 0.90                   | 0.89                    | 0.90                    | 0.88                    |                 |                 |                 |
| 黏度 (cp)                    | 57.4                   | 55.2                   | 53.3                   | 44.5                    | 44.6                    | 40.9                    |                 |                 |                 |

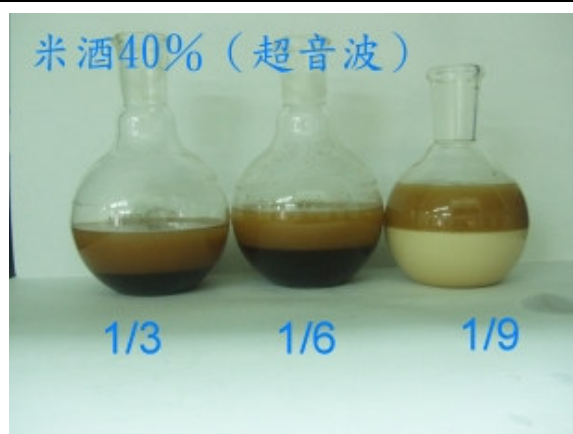


圖 6-31 超音波反應方式  
廢油/米酒 (40%) 在不同莫耳比製得之產物

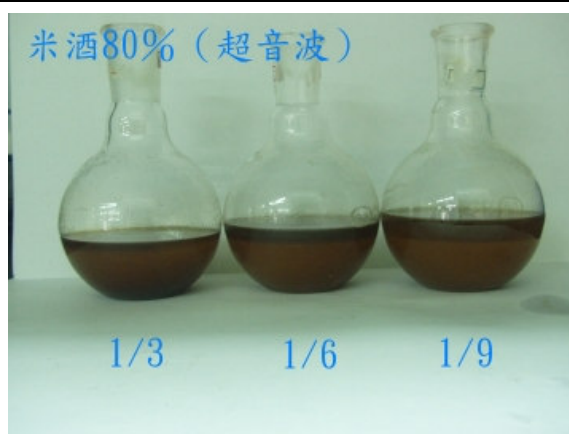


圖 6-32 超音波反應方式  
廢油/米酒 (80%) 在不同莫耳比製得之產物

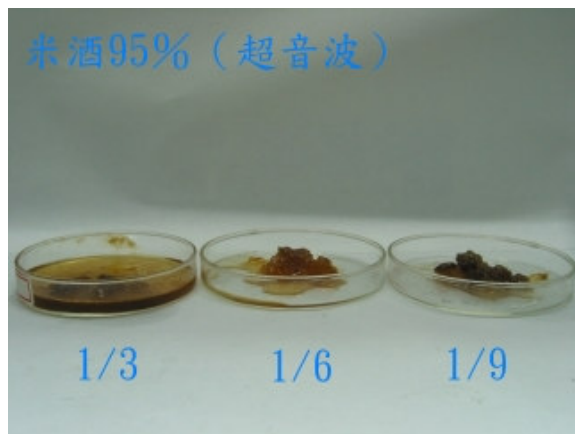


圖 6-33 超音波反應方式  
廢油/米酒（95%）在不同莫耳比製得之產物



圖 6-34  
磁石攪拌與超音波反應產物之比較

【實驗 4】以廢油和混合醇（甲醇+米酒 95%）製作生質柴油

表 7 混合醇製得生質柴油之密度與黏度

| 實驗項目                   | 甲醇/乙醇 | 甲醇/乙醇  | 甲醇/乙醇  | 甲醇/乙醇 | 甲醇/乙醇 | 甲醇/乙醇 | 甲醇/乙醇 |
|------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 莫耳比                    | 0/6   | 1/5    | 2/4    | 3/3   | 4/2   | 5/1   | 6/0   |
| 外觀                     | 褐色半透明 | 深褐色半透明 | 深褐色半透明 | 褐色半透明 | 褐色半透明 | 褐色半透明 | 褐色半透明 |
| 加水攪拌                   | 乳狀    | 乳狀     | 乳狀     | 不互溶   | 不互溶   | 不互溶   | 不互溶   |
| 密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.83  | 0.86   | 0.88   | 0.85  | 0.88  | 0.89  | 0.89  |
| 黏度 (cp)                | 19.1  | 16.2   | 15.0   | 13.6  | 10.7  | 11.5  | 10.2  |

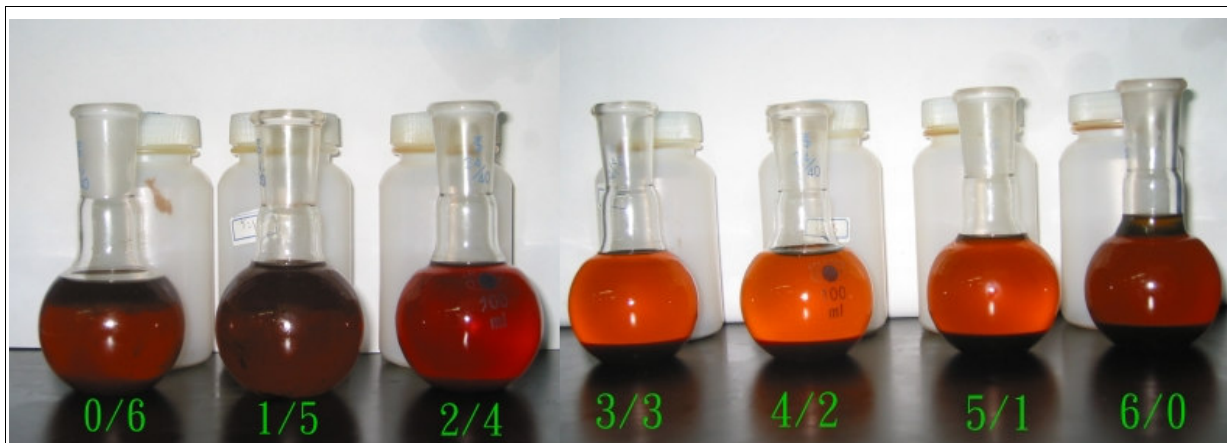


圖 6-35  
固定廢油為 1 莫耳時，甲醇/乙醇莫耳比為 0/6、1/5、2/4、3/3、4/2、5/1、6/0 所製得的生質柴油



【實驗 5】將生質柴油製成各式生質燃料並以「柴油引擎」試驗

5-1、比較生質柴油、石化柴油、廢油（回鍋油）、沙拉油之溶解度性質



圖 6-36 生質柴油溶解度測試

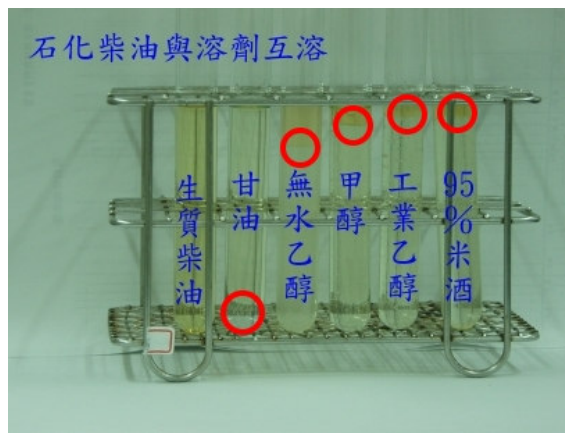


圖 6-37 石化柴油溶解度測試



圖 6-38 廢油溶解度測試

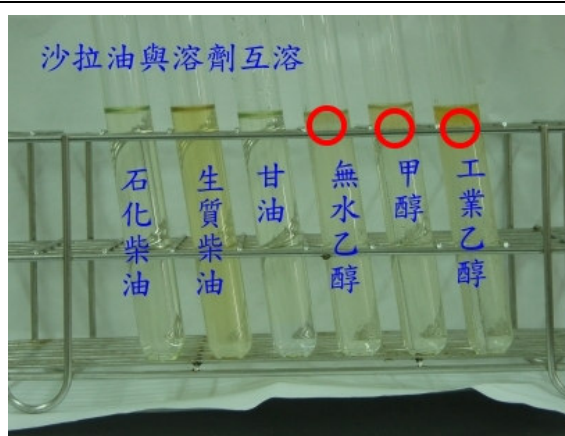


圖 6-39 沙拉油溶解度測試

表 8 溶解度性質表

| 1<br>10  | 石化柴油 | 生質柴油 | 甘油 | 無水<br>乙醇     | 甲醇           | 工業<br>乙醇     | 米酒<br>95%   |
|----------|------|------|----|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 生質<br>柴油 | 互溶   |      | 不溶 | 互溶           | 互溶           | 互溶           | 互溶          |
| 石化<br>柴油 |      | 互溶   | 不溶 | 不溶(有<br>小液滴) | 不溶(有<br>小液滴) | 不溶(有<br>液滴)  | 不溶(有<br>液滴) |
| 廢油       | 互溶   | 互溶   | 不溶 | 不溶(有<br>小液滴) | 不溶(有<br>液滴)  | 不溶(有<br>小液滴) | 不溶(有<br>液滴) |
| 沙拉油      | 互溶   | 互溶   | 互溶 | 微溶(有<br>小液滴) | 不溶(有<br>液滴)  | 不溶(有<br>液滴)  | 不溶(有<br>液滴) |

## 5-2、生質柴油製成各式「生質燃料」

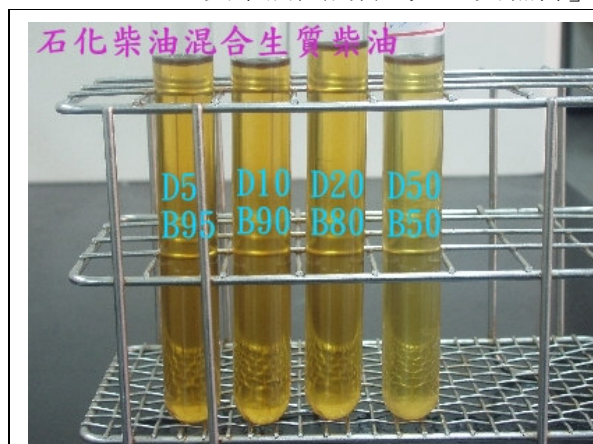


圖 6-40 石化生質柴油  
(D5B95、D10B90、D20B80、D50B50)



圖 6-41 無水乙醇生質柴油  
(E5B95、E10B90、E20B80、E50B50)

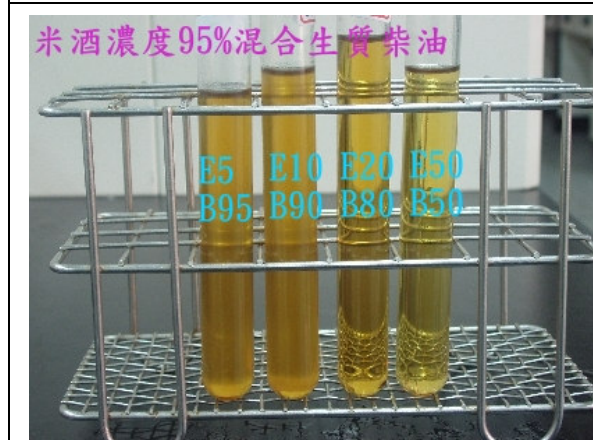


圖 6-42 米酒 95%生質柴油  
(E5B95、E10B90、E20B80、E50B50)

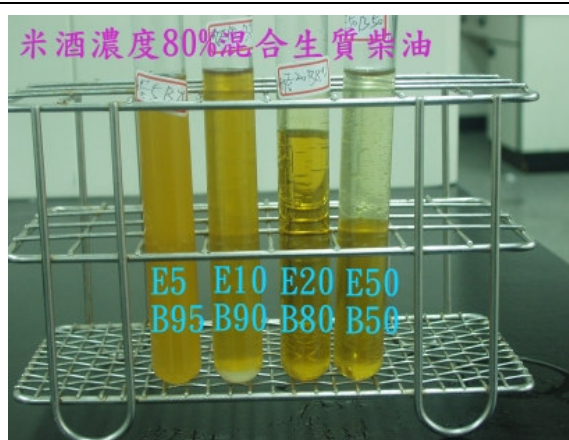
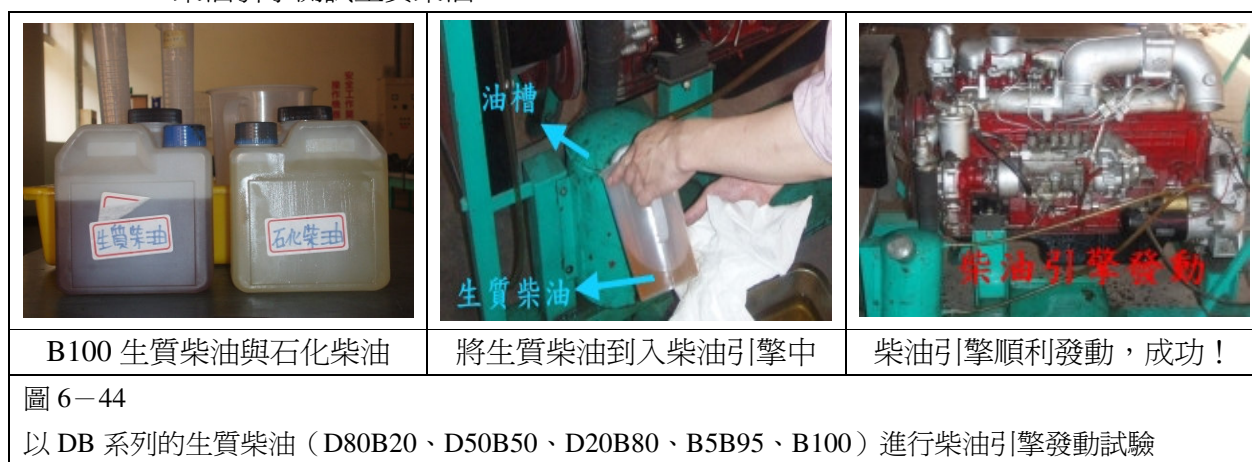


圖 6-43 米酒 80%生質柴油（完全不互溶）  
(E5B95、E10B90、E20B80、E50B50)

| 表 9 各式生質柴油（DB 系列、EB 系列） |        |      |          |          |
|-------------------------|--------|------|----------|----------|
| 種類                      | 型號     | 黏度   | 外觀（分散情形） | 燃燒情形     |
| 石化柴油                    | D5B95  | 15.7 | 完全互溶     | 不易燃燒     |
|                         | D10B90 | 14   |          | 不易燃燒     |
|                         | D20B80 | 12.6 |          | 可燃       |
|                         | D50B50 | 10.7 |          | 可燃（刺鼻臭味） |
|                         | D80B20 | 8.8  |          | 可燃（刺鼻臭味） |
| 無水乙醇                    | E5B95  | 16.7 | 完全互溶     | 不易燃燒     |
|                         | E10B90 | 10.9 |          | 可燃       |
|                         | E20B80 | 9.4  |          | 易燃       |
|                         | E50B50 | 5.5  |          | 易燃       |

|                                                                                                                                                |        |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|------|------|
| 工業乙醇                                                                                                                                           | E5B95  | 14.7 | 完全互溶 | 不易燃燒 |
|                                                                                                                                                | E10B90 | 12.6 |      | 可燃   |
|                                                                                                                                                | E20B80 | 9.7  |      | 易燃   |
|                                                                                                                                                | E50B50 | 7.9  |      | 易燃   |
| 米酒 95%                                                                                                                                         | E5B95  | 13.9 | 完全互溶 | 不易燃燒 |
|                                                                                                                                                | E10B90 | 12.3 |      | 可燃   |
|                                                                                                                                                | E20B80 | 9.1  |      | 易燃   |
|                                                                                                                                                | E50B50 | 6.4  |      | 易燃   |
| 米酒 80%                                                                                                                                         | E5B95  |      | 不互溶  |      |
| 1.工業乙醇生質柴油 E50B50：2 克中最多可以再溶解 0.45 克的石化柴油而成透明。<br>2.工業乙醇生質柴油 E50B50：2 克中最多可以再溶解 1.45 克的甲醇而成透明。<br>3.石化生質柴油 D50B50：2 克中最多可以再溶解 0.03 克的工業乙醇而成透明。 |        |      |      |      |

### 5-3、柴油引擎測試生質柴油



## 陸、研究討論

### 【實驗 1】以各種油脂與醇類在不同之比例下轉酯化合成生質柴油

#### 一、沙拉油與醇類在不同比例下進行轉酯化反應

- 1、以甲醇轉酯化反應後之生成物分為上下兩層(圖 6-1)，上層液為黃色半透明，下層液為暗褐色，將上下層液分別加水測試，發現上層液與水不互溶應為生質柴油，下層液與水互溶應為甘油與甲醇混合物(圖 7-15)。
- 2、以無水乙醇轉酯化反應後之溶液皆為黃色透明不分層(圖 6-2)。
- 3、以工業乙醇轉酯化反應後之溶液分為上下兩層，上下層液皆為黃色半透明，分別加水後發現上層液與水互溶應為過量乙醇加甘油混合物，下層液與水不互溶應為生質柴油層(圖 7-15)。莫耳比在 1/3 時所製得的生成物呈黃色混濁，並有細微顆粒，應該是醇類加入的比例不夠，反應不完全所致。



- 4、反應時加入的醇類越多，所得的生質柴油黏度也越低(圖 7-2)，應該是部分醇類溶於生質柴油中所致。以 Na 加入測試發現：油/醇莫耳比為 1/9 時會產生微小氣泡，這是因為過量的醇類溶入生質柴油中，Na 加入後與醇類反應產生氫氣小氣泡。
- 5、乙醇所製得的生質柴油(乙基酯)之黏度比甲醇製得的生質柴油(甲基酯)還高。

## 二、廢油(回鍋油)與不同的醇類在不同比例下進行轉酯化反應

- 1、廢油與甲醇所製得的生質柴油與沙拉油製得的生質柴油相同，但是廢油/工業乙醇之莫耳比為 1/3 時，所製得的生成物有更多的結塊產生，黏度極大(圖 6-7)。
- 2、廢油所製得的生質柴油水洗後呈現半透明紅褐色(圖 6-8)。

## 三、棕櫚油與不同的醇類在不同比例下進行轉酯化反應

- 1、棕櫚油與甲醇所製得的生質柴油與沙拉油製得的生質柴油相同，但是棕櫚油與無水乙醇所製得的生質柴油全部呈黃色果凍狀結塊(圖 6-12)。
- 2、工業乙醇反應後之溶液分為上下兩層，上層液為紅褐色之工業乙醇，下層液為黃色半透明的生質柴油層，但有些微塊狀物產生(圖 6-11)。因為棕櫚油含有大量飽和脂肪酸，所以與乙醇反應後製得的生質柴油(乙基酯)極易結塊。

## 四、結論

- 1、我們所製得的甲醇生質柴油，其密度與黏度皆與文獻值相近(圖 7-1~7-6)。
- 2、適合作為生質柴油的油脂，由不凝固的特性比較：沙拉油最佳，棕櫚油最差；由價格比較：廢油最便宜(免費)，沙拉油最貴。
- 3、適合作為生質柴油的醇類，由黏度比較(圖 7-2、7-4、7-6)：甲醇生質柴油黏度最低，工業乙醇生質柴油最大；由醇類價格比較：甲醇最便宜(25 元/公升)，無水乙醇最貴。
- 4、經轉酯化反應後所製得的生質柴油黏度較低，可以直接使用於柴油引擎中。

表 10 反應物與產物之黏度表

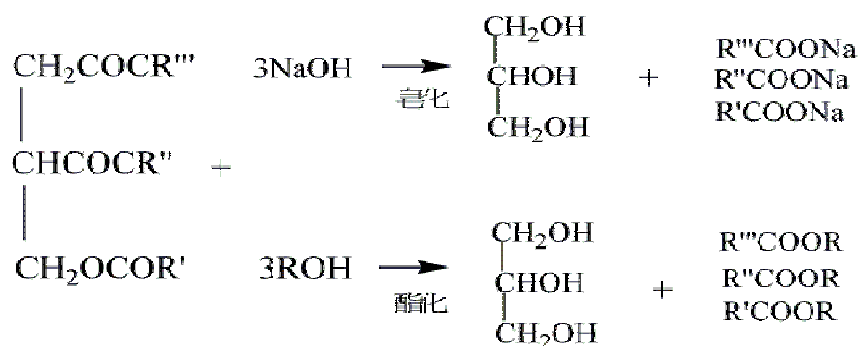
| 種類     | 乙醇 | 石化柴油 | 生質柴油 | 沙拉油 | 廢油 | 棕櫚油 |
|--------|----|------|------|-----|----|-----|
| 黏度(cp) | 2  | 7.5  | 15   | 68  | 76 | 78  |

## 【實驗 2】催化劑含量對轉酯化反應之影響與生質柴油水洗過程探討

### 2-1、鹼催化劑比例之影響

- 1、催化劑 NaOH 的含量超過 1.5% (g NaOH / g oil) 時，會產生白色塊狀凝結物(圖 6-18)，且黏度大幅增加(圖 7-13)。
- 2、催化劑 NaOH 的含量宜控制在 0.5% 左右較佳。

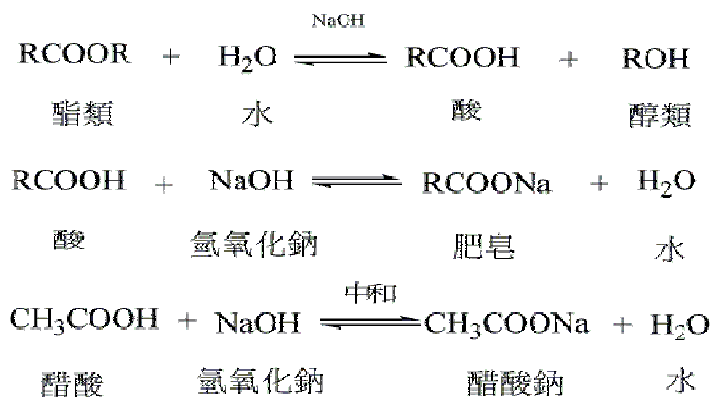
根據實驗結果，氫氧化鈉到了一定的量後反應就會結塊。因為氫氧化鈉在鹼催化法中是扮演催化劑的角色，但氫氧化鈉過量會直接與油脂反應生成肥皂，將白色固體加水後攪拌產生大量泡沫(圖 7-14)，反應方程式如下所示。



## 2-2、生質柴油水洗過程探討

- 1、以純水洗淨生質柴油時，不管是水層或是柴油層都會有少量白色塊狀物產生(圖 6-23、圖 7-16)。
- 2、實驗結果顯示，醋酸的濃度在 0.5% 以上，水洗後靜置分離的所需的時間增加，且柴油層呈現乳黃色(圖 6-25~6-26)。

實驗發現：將水加入生質柴油洗淨攪拌並靜置分層後，原本澄清的生質柴油會產生大量的白色懸浮物，而且不管加水幾次都會有這種情形產生，取出白色懸浮物加水測試後產生泡沫，推測可能是生質柴油於水洗過程中水解並產生肥皂，因此剛製成的生質柴油必須先以醋酸中和催化劑 NaOH 後，再以純水清洗數次才不會產生皂化反應。研究結果顯示：醋酸的濃度最好控制在 0.1%~0.5% 之間，不但靜置分離的時間較短，且所得的柴油層呈紅褐色透明(圖 6-22)，反應方程式如下所示。



## 【實驗 3】以不同濃度之米酒與廢油製作生質柴油

### 一、磁石攪拌方式反應

- 1、米酒（40%）以莫耳比 1/3、1/6、1/9 反應後所得的生成物為乳褐(如圖 6-27)，分為上下兩層，上下層液加水測試後得知(圖 7-17)：上層液滴入水中後產生大油滴為油層，黏度、密度均接近回鍋油(圖 7-9~7-10)；下層液滴入水中後與水互溶，應為密度較大的米酒。
- 2、米酒（80%）與米酒（95%）反應後生成物與工業乙醇製得的生成物結果一樣，上層液為乙醇層，下層液為生質柴油層(圖 6-28~6-29)。
- 3、沙拉油/米酒（80%）在莫耳比 1/6、1/9 與沙拉油/米酒（95%）在莫耳比 1/6、1/9



皆可製得半透明之生質柴油，但是米酒（80%）所得的產品黏度較高(圖 7-10)，推測應是水分過多以致於肥皂產生，並溶於生質柴油中所造成。

## 二、超音波振盪方式反應

- 1、濃度 40% 的米酒，以超音波震盪方式反應後所得生成物與攪拌方式所得之結果相同(圖 6-31)。
- 2、米酒（80%）反應後所得的溶液仍為乳褐色黏稠狀(圖 6-32)，滴入水中後仍產生大油滴。
- 3、米酒（95%）反應後所得的溶液皆產生褐色半透明結塊(圖 6-33)。
- 4、米酒（95%）的產物比較：超音波振動之產物會結塊，而磁石攪拌不會，所以超音波振動不適合作為生質柴油的反應方式。

### 【實驗 4】以廢油和混合醇（甲醇+米酒 95%）製作生質柴油

- 1、當混合醇中所含的甲醇比例逐漸增加時，所得的生質柴油黏度逐漸降低。
- 2、當混合醇中甲醇/米酒之莫耳比為 4/2 時，所得的生質柴油黏度最低(圖 7-8)。
- 3、結論：使用米酒 95% 製作生質柴油時會有黏度過大的問題，所以我們試著將甲醇與米酒以不同比例混合後再進行轉酯化反應，期待可以改善乙醇生質柴油(乙基酯)黏度較大的困擾。研究結果顯示：甲醇於反應中會產生黏度較低的甲醇生質柴油(甲基酯)，可有效降低乙醇生質柴油（乙基酯）的黏度。

### 【實驗 5】將生質柴油製成各式生質燃料並以「柴油引擎」試驗

- 1、實驗發現：生質柴油可以和石化柴油、無水乙醇、工業乙醇等溶劑互溶，溶入的溶劑越多則黏度越低（圖 7-20）。
- 2、從溶解度的表中得知（表 8），溶解性：生質柴油>沙拉油>廢油>石化柴油。所以生質柴油是很好的溶劑，可以配製成各式的生質燃料。
- 3、許多先進國家為了降低對石油的依賴，在石化柴油中添加 20% 的生質柴油稱為 B20 柴油。我們利用生質柴油的溶解度性質，在生質柴油中添加任意比例的石化柴油或無水乙醇，製成各式的「生質燃料」。另外也以高純度的米酒（95%）與生質柴油進行混合，實驗顯示：純度高的生質酒精可以與以任意比例與生質柴油互溶，加入乙醇後的生質柴油其黏度更低（表 9）更適合使用於引擎中。
- 4、將 D80B20、D50B50、D20B80、B5B95、B100 之柴油倒入柴油引擎中並點火測試，發現引擎發動時不會有爆震現象，廢氣也沒有刺鼻的臭味，可實際使用於柴油引擎上，辛苦半年後終於有了代價，我們成功了！

【成本分析】本實驗所製得各式生質柴油的原料成本。

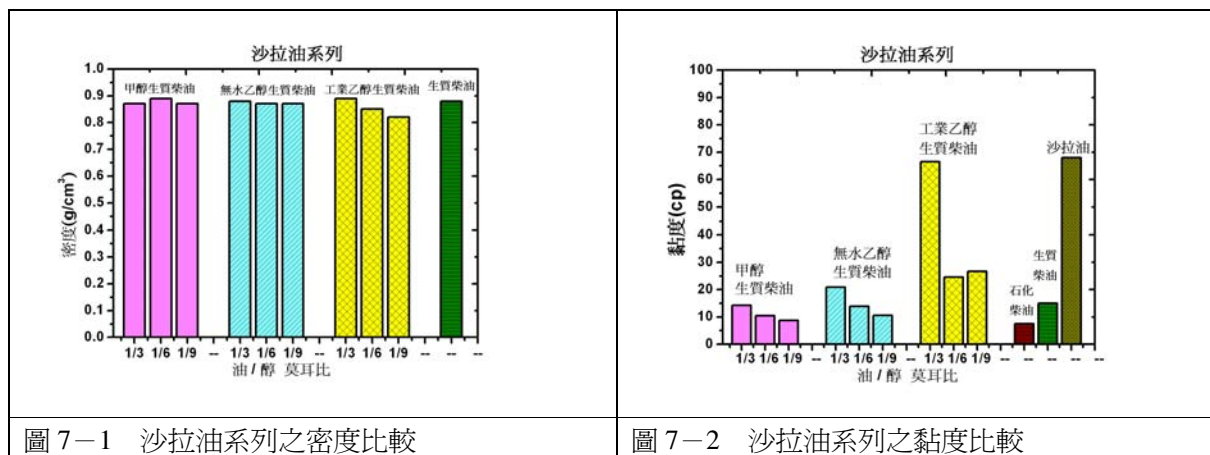
- 1、以甲醇所製得的生質柴油，其原料成本最便宜，每公升生質柴油 6 元，米酒所製得的生質柴油每公升 37 元最貴。
- 2、因混合醇（甲醇/米酒＝4/2）所製得的柴油黏度較低，故以混合醇（甲醇/米酒＝4/2）的價格估算生質柴油的成本，製得每公升的生質柴油為 16.3 元，不但成本降低，且黏度也降低，有利於引擎使用。

表 11 原料價格

| 原料單價 | 醇類之種類         | 價格（公升）       | 價格（公斤）       | 每公斤     |
|------|---------------|--------------|--------------|---------|
|      | 工業甲醇          | 500 元/20 公升  | 500 元/16 kg  | 31.25 元 |
|      | 工業乙醇          | 1000 元/20 公升 | 1000 元/16 kg | 62.5 元  |
|      | 95%米酒(自釀後再濃縮) | 25 元/0.25 公升 | 25 元/0.2 kg  | 125 元   |
|      | 廢油            | 免費(學校伙房)     |              |         |

表 12 各式生質柴油之原料成本

| 項目 | 油：醇<br>1：6<br>(mole 比) | 每公升<br>生質柴油<br>的成本 | 計算方式：以甲醇生質柴油為例                                                                                                                                                                                |
|----|------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                        |                    | 【油醇莫耳比換算成質量比】<br>油:醇＝1:6(莫耳比)÷9:2(公斤比)÷製成 9 kg 生質柴油<br><br>【醇所需的成本】<br>2kg 醇×(31.5 元/1kg 醇)=63 元<br><br>【每公斤生質柴油的成本除以密度換算成每公升生質柴油成本】<br>63 元/9kg 生質柴油＝7 元/1kg 生質柴油＝6 元/1L 生質柴油（生質柴油之比重為 0.88） |
| 1  | 廢油：工業甲醇                | 6 元/公升             |                                                                                                                                                                                               |
| 2  | 廢油：工業乙醇                | 18.3 元/公升          |                                                                                                                                                                                               |
| 3  | 廢油：米酒（95%）             | 37 元/公升            |                                                                                                                                                                                               |
| 4  | 廢油：混合醇<br>(甲醇/米酒＝4/2)  | 16.3 元/公升          |                                                                                                                                                                                               |
| 5  | 市售的石化柴油：23.5 元/公升（中油）  |                    |                                                                                                                                                                                               |



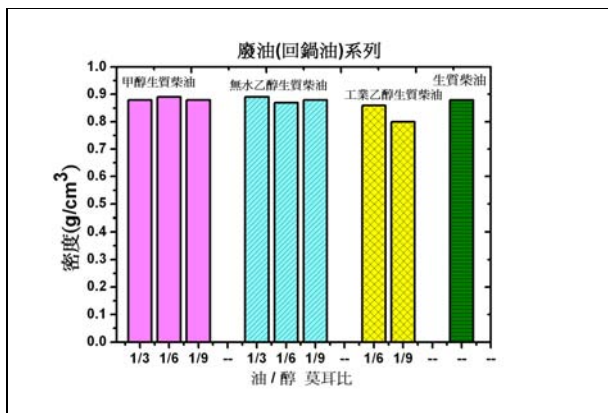


圖 7-3 廢油(回鍋油)系列之密度比較

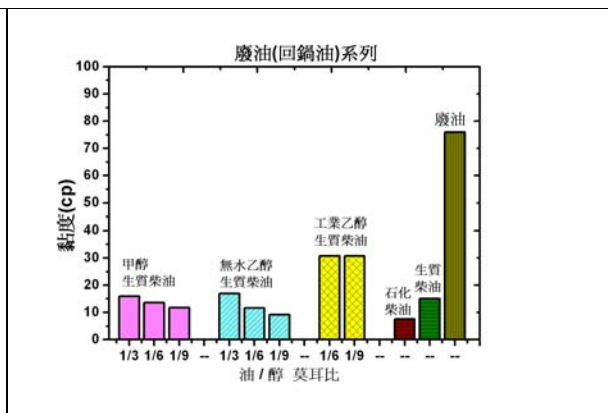


圖 7-4 廢油(回鍋油)系列之黏度比較

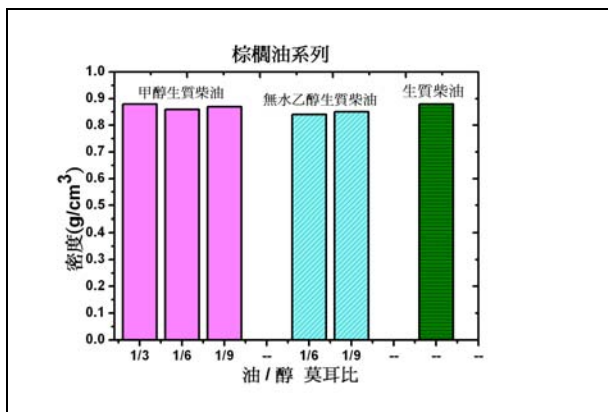


圖 7-5 棕櫚油系列之密度比較

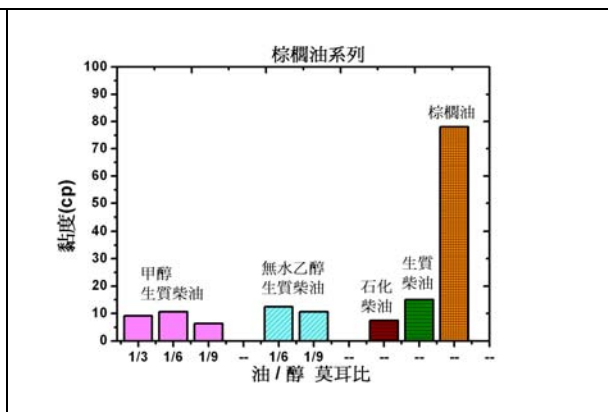


圖 7-6 棕櫚油系列之黏度比較

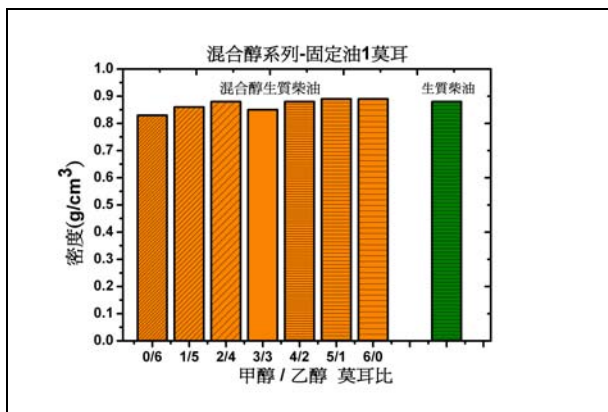


圖 7-7 混合醇系列之密度比較

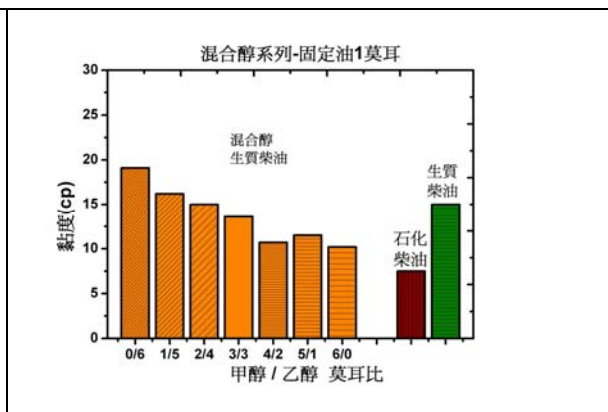


圖 7-8 混合醇系列之黏度比較

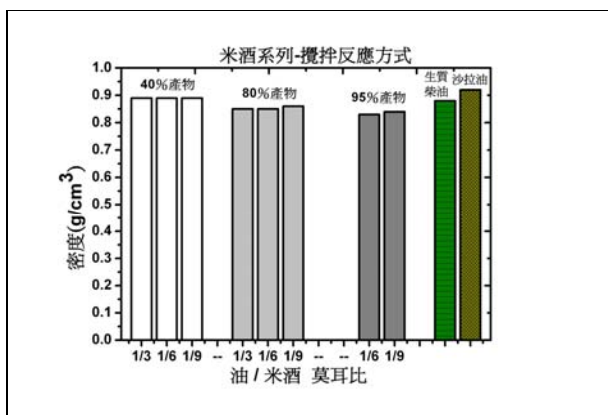


圖 7-9 米酒(攪拌)系列之密度比較

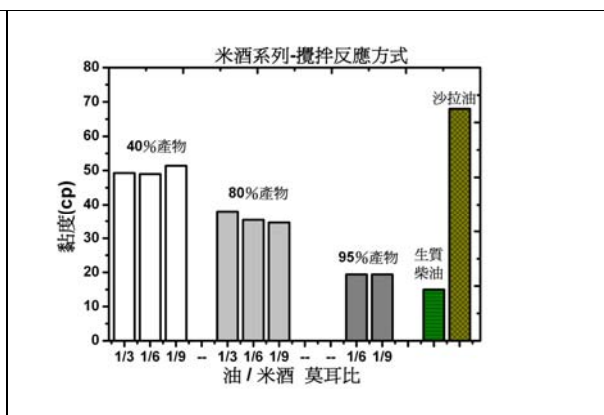


圖 7-10 米酒(攪拌)系列之黏度比較

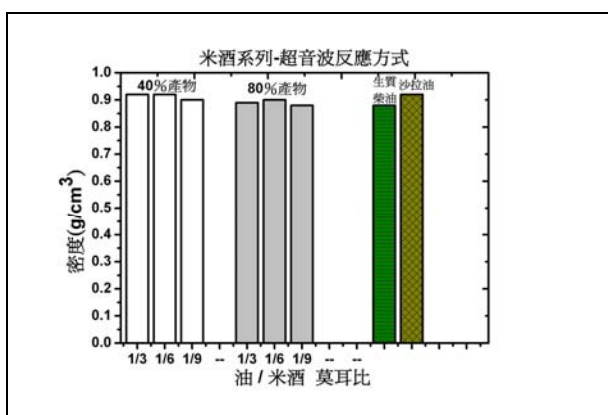


圖 7-11 米酒(超音波)系列之密度比較

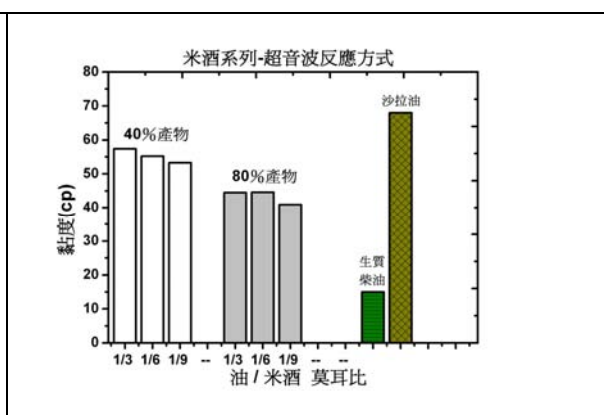


圖 7-12 米酒(超音波)系列之黏度比較

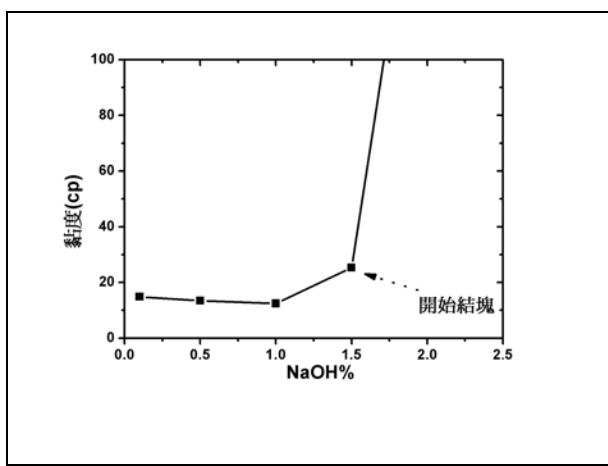


圖 7-13 NaOH%含量對生成物黏度之影響

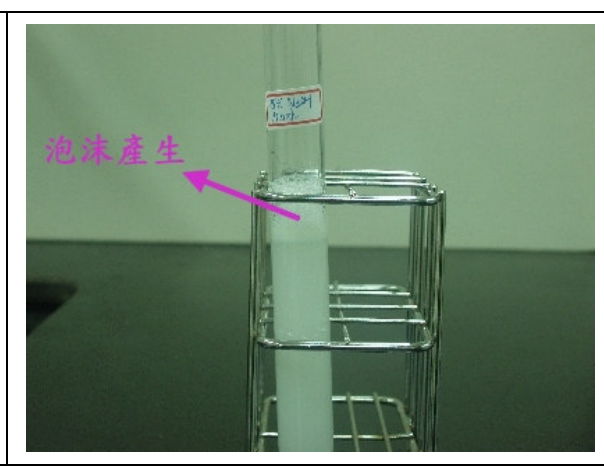


圖 7-14 鹼催化劑塊狀物加水後產生泡沫



圖 7-15 甲醇生質柴油與工業乙醇生質柴油上下層液加水測試結果



圖 7-16 工業乙醇生質柴油水洗後

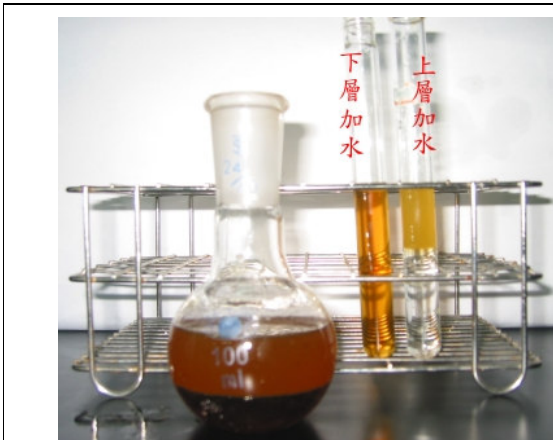


圖 7-17  
米酒（40%）生成物上下層加水測試結果

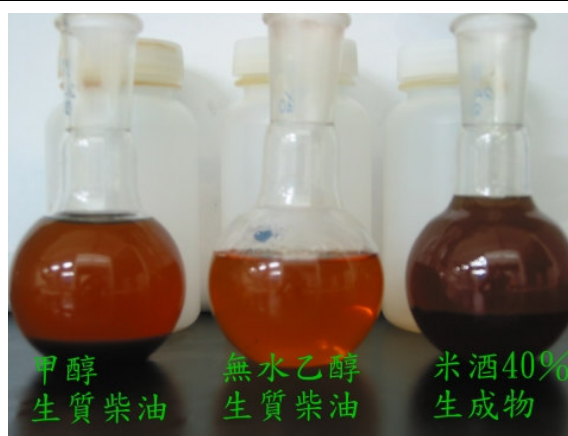


圖 7-18 甲醇生質柴油、無水乙醇生質柴油、米酒 40%生質柴油之比較



圖 7-19 以黏度計測量生質柴油黏度

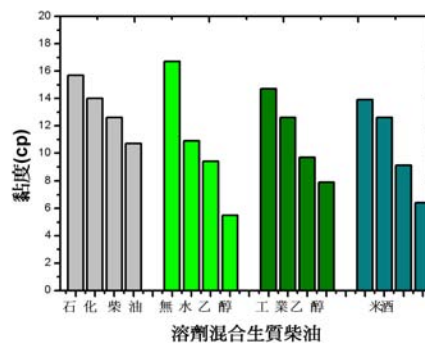


圖 7-20 各式生質柴油之黏度



## 柒、研究結論

- 一、利用油脂和甲醇合成生質柴油時，其油/醇之莫耳比以 1/6 較佳。
- 二、棕櫚油和乙醇所製得的生質柴油極容易產生凝固結塊的現象。
- 三、鹼催化劑 NaOH 的量超過 1.5% 以上，反應後會有大量肥皂產生，應控制在 0.5% 左右。
- 四、反應完所得的生質柴油可以 0.1% 醋酸溶液水洗，除去氫氧化鈉。
- 五、濃度 95% 的米酒所製得的生質柴油，其外觀、黏度、密度均與工業乙醇製得的相同。
- 六、利用乙醇製得的生質柴油黏度較大，可以混合醇（甲醇與乙醇）進行反應，即可解決黏度較大的問題。
- 七、生質柴油可和石化柴油、乙醇以任意比例互溶，製成各種低黏度的生質燃料。
- 八、將本實驗製得的生質柴油加入柴油引擎中，發動時不會爆震，廢氣也沒刺鼻臭味。
- 九、米酒在本實驗中有兩個功用：
  - 1、可作為生質柴油的製造原料之一。
  - 2、可添加至生質柴油中，降低生質柴油的黏度與用量。
- 十、以廢回鍋油免費的條件下，生質柴油的原料成本由高到低為：米酒 95% > 乙醇 > 甲醇，為降低米酒製作生質柴油的成本，可以混合醇（甲醇/米酒為 4/2）反應大幅降低生質柴油的成本（表 12）。
- 十一、未來人類的能源將可以用「種」的方式產出。例如植物以光合作用將太陽能與二氧化碳變成油脂或醣類儲存於體內，我們將油再榨出，將醣類發酵成酒精，以植物油與「生質酒精」製成「生質柴油」。生質柴油使用後又變回二氧化碳回到環境中，可以減少 CO<sub>2</sub> 排放量，也就能降低「溫室效應」對環境、氣候造成的傷害。

## 捌、參考資料

- 1、詹明興、吳春雄、陳文勳、周碩樑編著。有機化學 II。全華圖書。第 54～57 頁。
- 2、陳志平編著。生質柴油技術。化工技術第 12 卷第 10 期。第 135～145 頁。
- 3、李宏台編著。生質能源利用展望。化工技術第 12 卷第 10 期。第 99～107 頁。
- 4、林百福、張立夫編著。甲醇乳化燃料對直式柴油引擎性能及排放影響之研究。台北科技大學學報三十七之一期。國立臺北科技大學車輛工程系。第 267～276 頁。
- 5、生化柴油發展與趨勢：<http://www.soybean.org.tw/tech6-3.htm>

## 評語

091105 生「柴」有道-米酒、廢油變柴油

1. 本研究針對生質能源之研發，找出油脂與醇之最佳比例，提供頗有價值之研究結果。
2. 目前生質能源之相關研究頗多，建議在文獻回顧或討論中，以表列整理出本研究與其他已發表之生質柴油不同之處相信更能突顯本研究成果之重要性。
3. 解說清晰，有自信，團隊精神佳。
4. 實驗變項多，若能針對其中要項深入探討，將有更嚴謹的結果。