

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030205

搶救地球大作戰－生質能源的比較

學校名稱：雲林縣私立永年高級中學(附設國中)

作者： 國一 洪章凱 國一 施巧玲 國一 吳津佑	指導老師： 陳尚民 吳文龍
---	-----------------------------

關鍵詞：生質能源(biomassenergy)、乙醇(Ethanol)
、轉酯化(transesterification)

乙醇 (Ethanol)、蓖麻籽油、廢油、沙拉油製成的生質能源的 效益比較

摘 要

本研究主要探討乙醇 (Ethanol)、蓖麻籽油、廢油、沙拉油製成的生質能源 (biomass energy)，在實驗室利用剩餘米飯製酒並蒸餾產生乙醇，再用鹼製程的轉酯化反應提煉蓖麻籽油、廢油、沙拉油，實驗內容分為四部分部份：第一部分利用製酒機與蒸餾方式製造高純度乙醇並計算其失重率；第二部分以蓖麻籽油、廢油、沙拉油，經鹼製程提煉生質能源，並測試產品的酸價值，再計算轉酯化效率，找出甲醇與催化劑 (NaOH) 最佳的添加量及最佳的反應溫度與時間；第三部分計算成品的燃燒比、耗油量與PAHs含量；第四部分計算其皂化價，並研究其最佳皂化成分，並探討成品的經濟效益。

壹、研究動機

根據巴黎世界能源處估計，世界的石油將於40年內開採殆盡，天然氣於50年內、煤礦於120年內也被使用完；全球400多座核能電廠所需的鈾礦也將於60年內耗盡，同時化石燃料排放的氣體亦造成溫室效應加劇與全球暖化議題，本研究試圖比較四種生質能源的效能，探討其替代化石燃料的可能性。

貳、研究目的

本研究目的有下列四點：

- 一、比較汽油與生質能源的經濟效益，並提高剩餘米飯與廢油再利用的價值。
- 二、研究蓖麻籽油、廢油、沙拉油脂提煉生質能源之最高產率的組合配方。
- 三、比較乙醇 (Ethanol)、蓖麻籽油、廢油、沙拉油燃燒產生的熱能。
- 四、探討乙醇 (Ethanol)、蓖麻籽油、廢油、沙拉油燃燒所產生的物質。

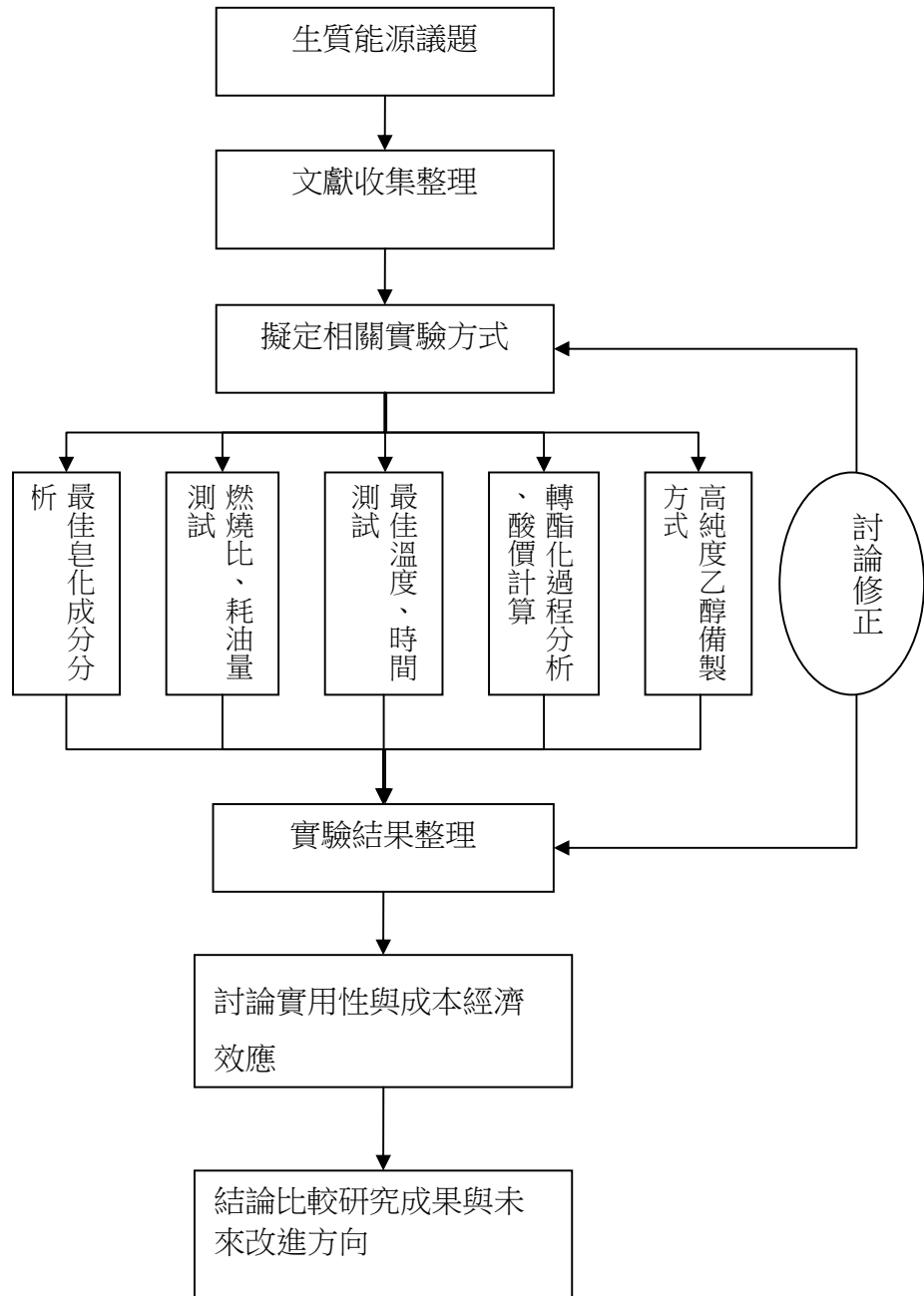
參、研究設備及器材

表一、研究設備及其用途

編號	物品	數量	用途
一	筆記本、筆	1 本 2 支	實驗日記，紀錄觀察結果
二	數位相機	2 台	拍攝實驗過程
三	甲醇 (CH ₃ OH)	15 組	實驗用藥品
四	氫氧化鉀 (KOH)	1 瓶	實驗用藥品
五	乙醇 (ethanol)	2 瓶(75%)	消毒實驗藥品
六	蓖麻籽油	12 公升	實驗用
七	廢油	12 公升	實驗用
八	沙拉油	2 瓶	實驗用
九	醋酸 (CH ₃ COOH)	1 瓶	實驗用藥品
十	酚酞	1 台	實驗用藥品
十一	榨油機	1 台	實驗用機械
十二	製酒機	1 台	觀察用機械
十三	溫控式電磁加熱攪拌器	1 組	實驗器材
十四	電子天秤	一台	實驗器材
十五	燒杯、三角瓶、量筒、廣口瓶	5 組	實驗器材
十六	滴定管	5 支	實驗器材
十七	移液管	一台	實驗器材
十八	二次蒸餾水	50 公升	調配與稀釋實驗藥品
十九	烘箱	1 瓶	實驗器材
二十	分液漏斗	1 台	實驗器材
二十一	溫度計	1 個	實驗器材
二十二	蒸發皿、紗布、濾網、濾紙	5 組	實驗器材

肆、 研究過程與方法

本研究過程方法的流程圖如下所示：



圖一、研究流程

伍、研究過程或方法

一、前置實驗

(一)乙醇製備

收集12公斤的剩飯，去除雜質再放入製酒機內，加入糖與酒麴，經過1星期製程，完成初步的米酒，再加入小型蒸餾機將乙醇蒸餾出來。詳盡過程如下所示：

1.發酵(釀造)：酒麴分解穀物之澱粉成糖水，再將糖水分解成含酒之液體，稱為酒醪。

(1)糖化：澱粉 $(C_6H_{10}O_5)_n + O_2$ 氧氣+黴菌= $CO_2 + n(C_6H_{12}O_6)$ 糖+能量ATP

(2)醇化：糖 $C_6H_{12}O_6 +$ 酵母菌+ O_2 氧氣=酒 $2C_2H_5OH + 2CO_2 + n$ ATP

糖 $C_6H_{12}O_6 +$ 酵母菌+ $6O_2$ 氧氣= $6CO_2 + H_2O +$ 約 $12n$ ATP

(3)醋化：酒 C_2H_5OH 液體 + 醋酸菌 + O_2 氧氣=醋 $CH_3COOH + CO_2 + ATP$

2.蒸餾：加熱酒醪，讓酒氣蒸發，同時再將該蒸氣冷卻並收集裝桶即得乙醇。



圖二、製酒與蒸餾乙醇機器

(二) 蓖麻籽油製備

1. 本研究透過源順製油廠，委託購買蓖麻籽12Kg，並榨油。
2. 蓖麻籽去除外殼及雜質後，如下圖所示。



圖三、蓖麻籽外觀

(三) 廢油製備

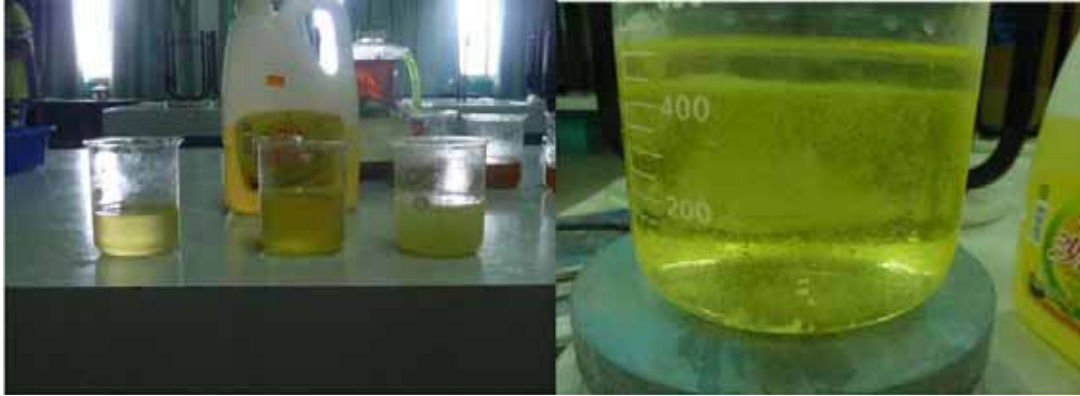
本研究透過開早餐店的學生家長，回收12公升已無法再炸煮食物的廢油，先沉澱兩天過濾雜質後，再進行實驗。



圖四、早餐店回鍋廢油

(四) 沙拉油製備

本研究以大賣場廉價促銷之沙拉油做為實驗用油，盡量節省開支。



圖五. 沙拉油備製情形

(五)原料油理化性質分析

1.酸價測定

(1)儀器：天平、250ml三角錐形瓶、滴定管、25ml 移液管、50 ml量杯。

(2)藥品：95% 中性乙醇、0.1N KOH、酚酞指示劑。

(3)步驟：

(a) 精秤油脂20g置入於250ml三角錐形瓶中。

(b) 加入40ml的95% 中性乙醇，混合溶解。

(c) 加入2~3滴酚酞指示劑。

(d) 以0.1N KOH溶液滴定之，顏色由無色變為紅色即為滴定終點。

(4) 酸價(A.V) 計算： $AV = A \times 56.11 \times N \div S$

N：KOH濃度(N)。

A：滴定用去0.1N KOH之毫升數(ml)。

S：樣品重(g)。



圖六. 酸價測定儀器及藥品與酸價測定操作情形

2. 碘價測定

(1) 儀器：錐形瓶、電子天平、滴定管、移液管、量杯。

(2) 藥品：150 ml 水、環己烷 (C₆H₆)、冰醋酸、20 ml 碘化鉀、硫代硫酸鈉 0.1N、威治氏試劑。

(3) 步驟：

(A) 用 20 ml 之溶劑溶解，使用精確之移液管加入 25 ml 之威治氏 (Wijs) 試劑。

(B) 蓋好瓶塞小心搖勻後置於暗處 1 小時至反應結束，而後加入 20 ml 之碘化鉀 (Potassium iodide, KI) 溶液和 150 ml 之水。

(C) 用已標定之硫代硫酸鈉 (Sodium thiosulfate, Na₂S₂O₃ · 5H₂O) 標準溶液滴定至淺黃色。

(D) 加幾滴澱粉溶液繼續滴定，直到劇烈搖動後藍色剛好消失。

(4) 計算碘價：

$$\frac{12.69 \times c \times (V_1 - V_2)}{m}$$

c：硫代硫酸鈉標準溶液標定濃度 (mol/l)

V₁：空白溶液滴定所用硫代硫酸鈉標準溶液體積

V₂：待測樣品滴定所用硫代硫酸鈉標準溶液體積

m：待測樣品質量

計算結果應以最接近 1 g I₂/100 g 表示。



圖七. 碘價測定儀器及藥品與碘價測定操作情形

3.含水量測定

- (1)儀器：卡式水份滴定儀
- (2)藥品：滴定儀測試藥劑
- (3)步驟：
 - (a) 開啟水份滴定儀電源。
 - (b) 注入樣品約0.5 g
 - (c) 輸入注入的樣品重量。
 - (d) 記錄顯示於螢幕之數值。



圖八. 含水量測定儀器

4.多環芳香烴(PAHs)測試

本研究委託高雄醫學大學研究資源整合開發中心分析PAHs，其使用儀器為氣相層析質譜儀(Gas Chromatography-Mass Spectrometry)，採用GC/MS之自動注射系統(Auto-sampler)為HP-7683，以電腦工作站之程式控制。設定樣本溶液每次之注入體積為 $1\ \mu\text{L}$ 。氣相層析儀質譜儀內配置之管柱型號為HP Ultra 2，內徑 0.32mm ，厚度 $0.17\ \mu\text{m}$ ，長度為 $50\ \text{m}$ 。本實驗設定樣本溶液注入前，針頭於注前先以樣品溶液清洗3次，並於注射完畢後以正己烷及二氯甲烷溶液各抽洗4次。GC/MS 所使用之攜帶氣體為氦氣(Helium, He)，流量為 $1.1\ \text{mL/min}$ ，線性流速為 $29.8\ \text{cm/sec}$ 。樣本注射口之溫度設定為 $300\ ^\circ\text{C}$ ，而離子源(Ion Source)之溫度設定為 310°C 。



圖九. 多環芳香烴(PAHs)測試測定儀器(高雄醫學大學研究資源整合開發中心)

一般認為，PAHs 是在燃燒過程中藉由碳氫化合物之熱分解與合成所生成，主要的形式有熱裂解(Pyrolysis)、不完全燃燒(Incomplete Combustion)、碳化(Carbonization)等過程。

表二、美國環保署16項優先列管的PAHs化合物

化合物名稱	簡稱	化合物名稱	簡稱
Naphthalene	Nap	Benzo(a)anthracene	CHR
Acenaphthylene	AcPy	Chrysene	BaA
Acenaphthene	Acp	Benzo(b)fluoranthene	BbF
Flourene	Flu	Benzo(k)fluoranthene	BkF
Phenanthrene	PA	Benzo(a)pyrene	BaP
Anthracene	Ant	Dibenz(a,h)anthracene	DBA
Fluoranthene	FL	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	IND
Pyrene	Pyr	Benzo(ghi)perylene	BghiP

4.皂化價測定

- (1)儀器：錐形瓶、電子天平、滴定管、移液管、量杯。
- (2)藥品：95% 中性乙醇、KOH、NAOH、酚酞指示劑。
- (3)步驟：
 - (a)精秤約5 g市售食用植物油(紀錄重量 W_s)，於250 mL 血清瓶，控制組則加入5 mL水取代油。
 - (b)以吸量管吸取50 mL 0.5N (氫氧化鉀/乙醇溶液)，分別加入血清瓶A、B內。
 - (c)於100°C 沸騰加熱30~45分鐘，至油與氫氧化鉀/乙醇溶液完全互溶溶液，呈深褐色完全澄清，即皂化完成。
 - (d)皂化後之溶液冷卻後，加入1 mL酚酞指示劑(1%phenolphthalein/酒精)，分別用0.5 N的HCl鹽酸標準溶液滴定A與B瓶至指示劑變色，分別紀錄滴定之鹽酸mL數(a, b)。
 - (e)計算皂化價 $SV=[28.05 \times (a-b) \times F] \div W_s$
 a：對照組所滴定之0.5N HCl 之毫升數；b：樣品所滴定之0.5N HCl毫升數
 F：0.5N HCl之力價-0.99；28.05=KOH之毫克當量(56.1)×0.5 (N)



圖十. 皂化價測試情況

二、實驗步驟

(一) 製程之原料及藥品量準備

1. 乙醇

(1) 12kg 剩飯 (2) 用酒麴36g 置入製酒機發酵 (3) 發酵完成，加熱蒸餾取乙醇。

2. 蓖麻籽油 (酸價計算參照：林籐旺(2009))

(1) 蓖麻籽油脂：100.00g

(2) 蓖麻油脂酸價經測定為：0.8mgKOH/g

(3) NaOH 用量(0.30%、0.40%及0.50%)

A. 油脂的0.30% + 酸價計量： $100 \times 0.30\% + 100 \times 0.8 \times 10^{-3} \times 40/56 = 0.357\text{g}$

B. 油脂的0.40% + 酸價計量： $100 \times 0.40\% + 100 \times 0.8 \times 10^{-3} \times 40/56 = 0.457\text{g}$

C. 油脂的0.50% + 酸價計量： $100 \times 0.50\% + 100 \times 0.8 \times 10^{-3} \times 40/56 = 0.557\text{g}$

(4) 甲醇用量(15%、20%及25%)：油脂重量的15% = $100 \times 15\% = 15.0\text{g}$

油脂重量的20% = $100 \times 20\% = 20.0\text{g}$ ，油脂重量的25% = $100 \times 25\% = 25.0\text{g}$

3. 廢油

(1) 廢油入料：100.0g

(2) 廢油之酸價經測定為：20.5mgKOH/g

(3) NaOH 用量(0.30%、0.40%及0.50%)

A. 油脂的0.30% + 酸價計量： $100 \times 0.30\% + 100 \times 20.5 \times 10^{-3} \times 40/56 = 1.764\text{g}$

B. 油脂的0.40% + 酸價計量： $100 \times 0.40\% + 100 \times 20.5 \times 10^{-3} \times 40/56 = 1.864\text{g}$

C. 油脂的0.50% + 酸價計量： $100 \times 0.50\% + 100 \times 20.5 \times 10^{-3} \times 40/56 = 1.964\text{g}$

(4) 甲醇用量(15%、20%及25%)：油脂重量的15% = $100 \times 15\% = 15.0\text{g}$
油脂重量的20% = $100 \times 20\% = 20.0\text{g}$ ，油脂重量的25% = $100 \times 25\% = 25.0\text{g}$

4. 沙拉油

(1) 沙拉油脂：100.0g (2) 沙拉油脂酸價經測定為：2.4mgKOH/g

(3) NaOH用量(0.30%、0.4%及0.50%)

A. 油脂的0.30% + 酸價計量： $100 \times 0.30\% + 100 \times 2.4 \times 10^{-3} \times 40/56 = 0.471\text{g}$

B. 油脂的0.40% + 酸價計量： $100 \times 0.40\% + 100 \times 2.1 \times 10^{-3} \times 40/56 = 0.571\text{g}$

C. 油脂的0.50% + 酸價計量： $100 \times 0.50\% + 100 \times 2.1 \times 10^{-3} \times 40/56 = 0.671\text{g}$

(4) 甲醇用量(15%、20%及25%)：油脂重量的15% = $100 \times 15\% = 15\text{g}$

油脂重量的20% = $100 \times 20\% = 20\text{g}$ ，油脂重量的25% = $100 \times 25\% = 25\text{g}$

(二) 製程之反應條件

本研究乙醇製成與性質不同於蓖麻籽油、廢油與沙拉油，在此實驗步驟只比較蓖麻籽油、廢油與沙拉油。

1. 反應溫度設定：(1) 60°C (2) 70°C (3) 80°C

2. 反應時間設定：(1) 1小時 (2) 1.5小時 (3) 2小時

3. 催化劑用量(重量)設定：(分子量NaOH=40，KOH=56)

(1) 油脂的0.30% + 酸價計量(油脂 \times 0.30% + 油脂重 \times 酸價 $\times 10^{-3} \times 40/56$)

(2) 油脂的0.40% + 酸價計量(油脂 \times 0.40% + 油脂重 \times 酸價 $\times 10^{-3} \times 40/56$)

(3) 油脂的0.50% + 酸價計量(油脂 \times 0.50% + 油脂重 \times 酸價 $\times 10^{-3} \times 40/56$)

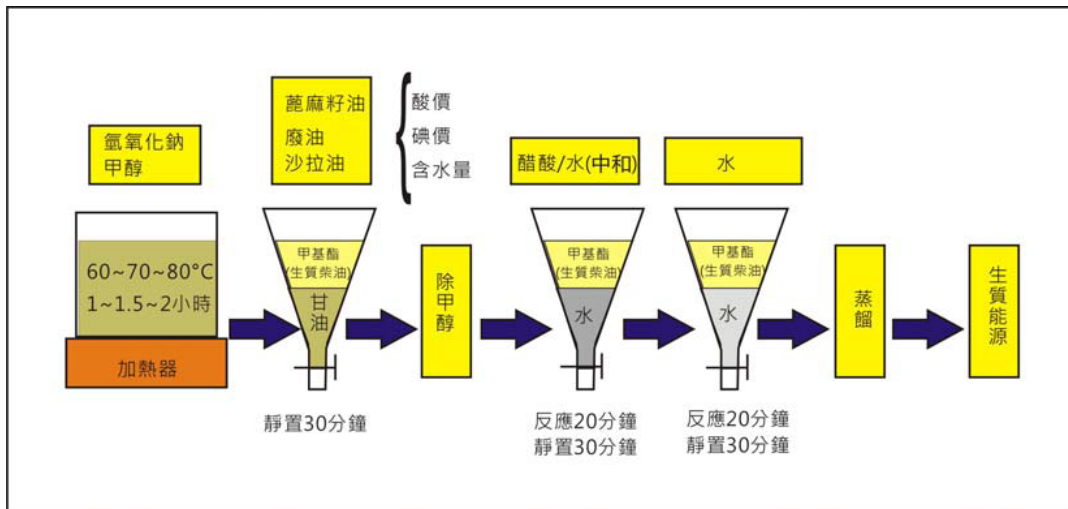
4. 甲醇用量(重量)設定：

(1) 油脂重量的15%

(2) 油脂重量的20%

(3) 油脂重量的25%

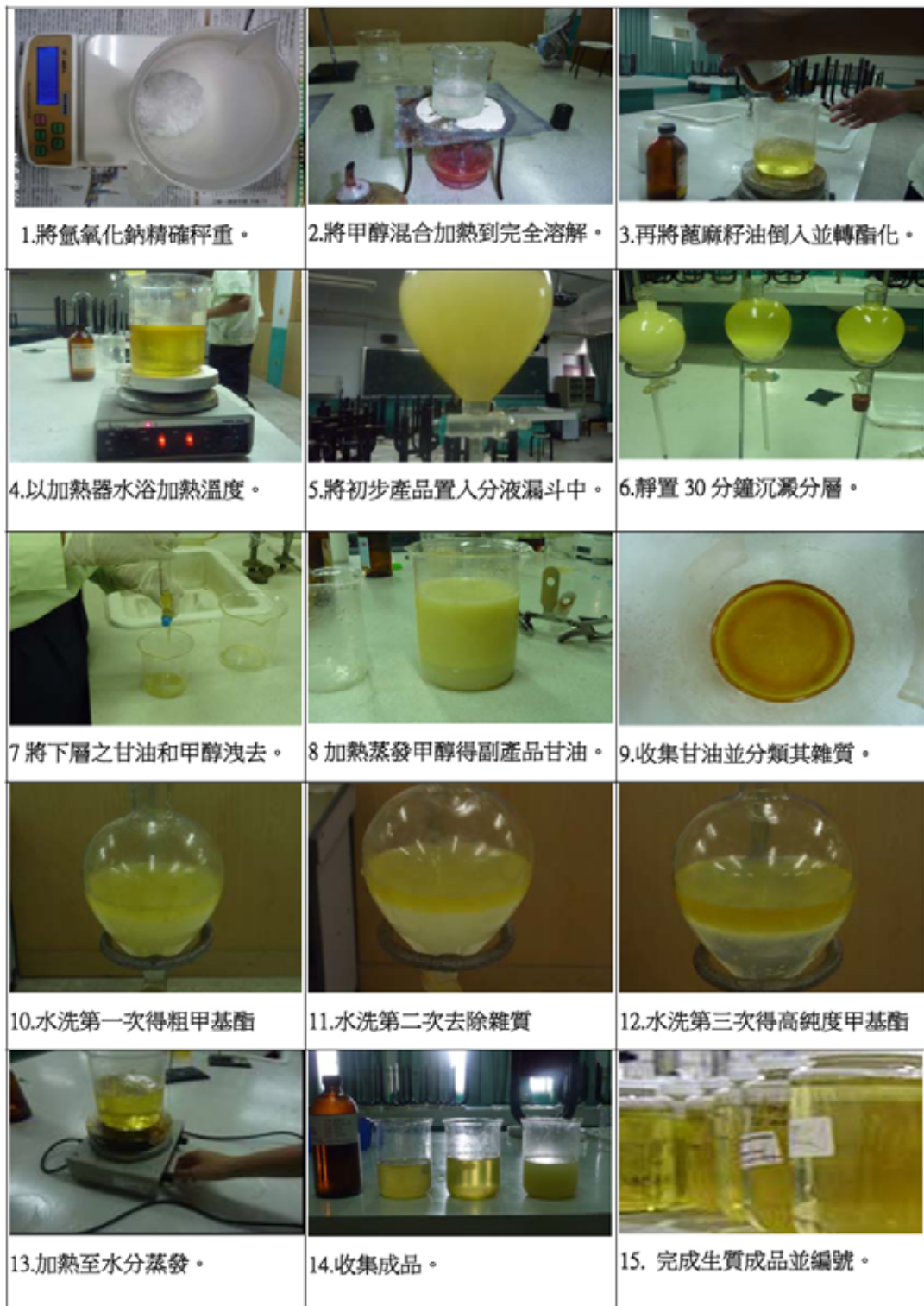
(三) 製造流程



圖十一. 生質能源鹼製程轉酯化製造流程 (重繪生質能源資訊網圖)

(四) 蓖麻籽油、廢油與沙拉油操作程序 (以蓖麻籽油為例)

- 1.將適量的甲醇、氫氧化鈉用電子天平秤重。(程序參照：林籐旺(2009))
- 2.將甲醇、氫氧化鈉混合加熱攪拌均勻使氫氧化鈉完全溶解。
- 3.將蓖麻籽油(廢油或沙拉油)過濾除去雜物後，置於燒杯。
- 4.靜置混合液至冷卻，再將混合溶液(甲醇、氫氧化鈉)慢慢加入蓖麻籽油中，以電磁加熱攪拌器加熱1、1.5、2小時(溫度維持60、70、80°C)。
- 5.加熱到固定時間後，倒入分液漏斗並靜置30分鐘後使其沉澱，洩去下層之甘油和甲醇，保留上層的粗生質能源(甲基酯)。
- 6.將甲基酯放在水浴中，溫度維持在60、70、80°C，以玻璃棒連續攪拌，將甲醇去除，反應至不再有甲醇出現為止。
- 7.將醋酸與水混合均勻，再倒入粗生質能源(甲基酯)中，攪拌混合20分鐘，去除轉酯化中多餘的NaOH，再倒回分液漏斗中，靜置30分鐘，分層去除水分。
- 8.加入蒸餾水(溫水約55°C)混合攪拌20分鐘，靜置30分鐘，再去層水；重複步驟操作3次去除所有的雜質。
- 9.將加熱器加熱至100°C使水沸騰，再將水分完全蒸發去除(約半小時)，可得成品。
- 10.選擇最佳反應溫度(60、70、80°C)，最佳時間(1、1.5、2小時)，最佳催化劑(NaOH)用量(0.30、0.40及0.50%)及甲醇用量(15、20及25%)。



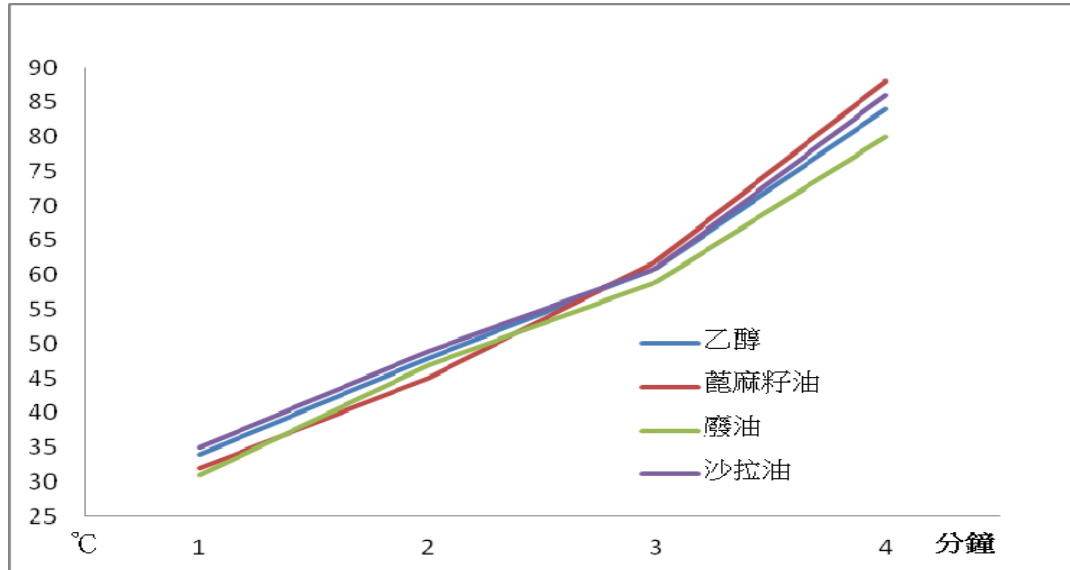
圖十三. (圖1-15) 生質能源提煉操作流程(以蓖麻籽油為例)。

(五)生質能源燃燒比

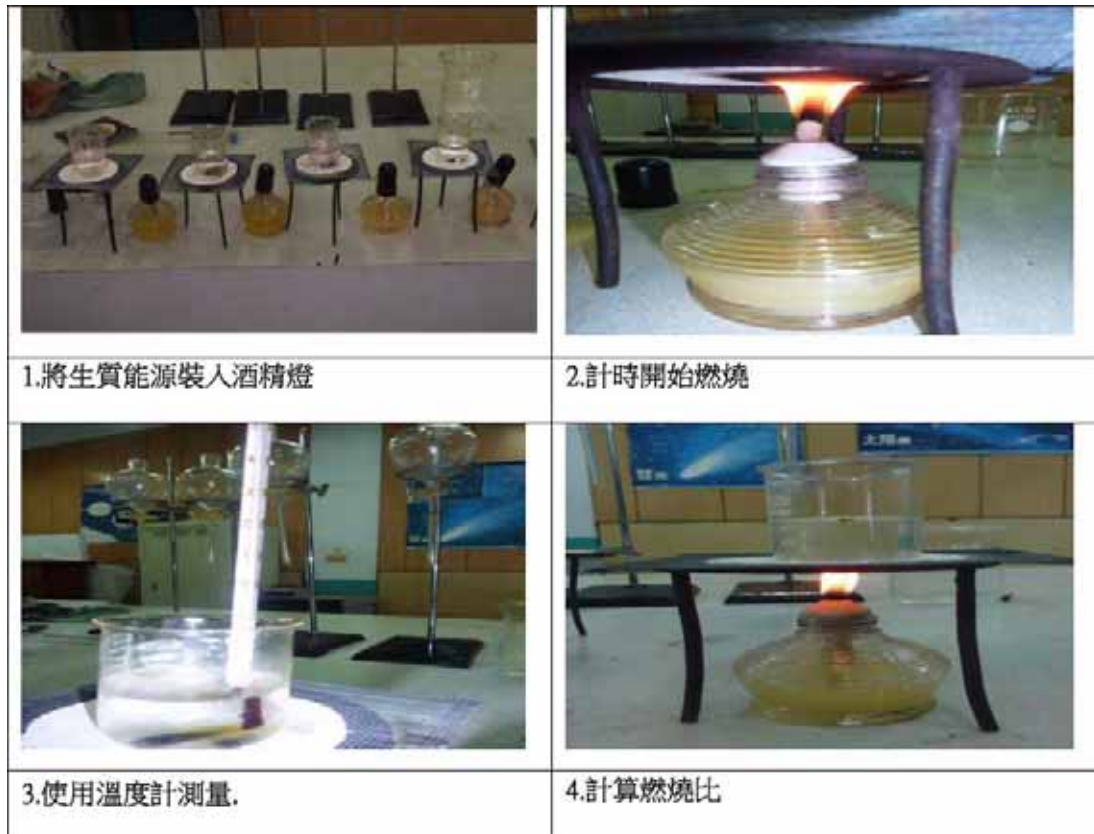
將各種生質能源取 100CC 分別倒入 5 個酒精燈中，燃燒分別燃燒 1 杯原來溫度是 26 度的水，比較燃燒四分鐘後，各種生質能源使水升高的溫度。並計算各種生質能源的燃燒比。

表三、生質能源的燃燒時間與溫度上升情形

溫度(°C) 加熱 時間(Min)	乙醇	蓖麻籽油	廢油	沙拉油
1	34	32	31	35
2	48	45	47	49
3	61	62	59	61
4	84	88	80	86



圖十四. 生質能源的燃燒折線圖



圖十五.(圖1-4) 生質能源的燃燒實驗過程

(六)生質能源耗油量測試

本研究以除草機引擎做測試，各取250毫升的生質能源加入引擎燃料箱，發動引擎在最低速運轉階段比較其耗油量。



圖十六. 耗油量測試實驗機具

(七)皂化過程

(1)氫氧化鈉的計算

依油脂不同所需要的氫氧化鈉毫克數也不同，需視油脂的「皂化價」來決定氫氧化鈉的添加量，「皂化價」亦即皂化 1 公克油脂所需要之鹼質的毫克數。

表四、皂化質與酸價表

數值 種類	(氫氧化鈉) NaOH	(氫氧化鉀) KOH	(硬度) INS	(碘價) 低	(碘價) 高
	皂化值			碘價	
蓖麻油	0.129	0.18	95	82	90
廢油	0.138	0.19	50	136	145
沙拉油	0.135	0.19	61	124	132

每100g所需之氫氧化鈉

(A) 蓖麻油： $0.129 \times 100\text{g} = 12.9\text{ g}$ (B) 廢油： $0.138 \times 100\text{g} = 13.8\text{ g}$ (C) 沙拉油： $0.135 \times 100\text{g} = 13.5\text{ g}$

(2)硬度的計算 → INS值

各種油脂的「INS值」是以（皂化值-碘價）所計算出來的，碘價越低的油脂INS值愈高。各油脂INS值影響成品的軟硬度，一般INS值在160較適合，不過120~170都算是理想的硬度，只要過約一個月的成熟期，成品皆可使用。

INS值的計算是：(油脂重量÷油脂總重量)×油脂的INS值

$(100/300) \times 95 + (100/300) \times 50 + (100/300) \times 61 = 31.67 + 16.5 + 20.13 = 68.3$ （太軟）



圖十七.利用蓖麻油、廢油、沙拉油混合製作肥皂過程

(3)水量的計算

水量的計算方法有下列三種：

(1) 配方中氫氧化鈉的重量×2.6或2.8

以蓖麻油、廢油、沙拉油每100g所需之氫氧化鈉總合：

$$0.129 \times 100 + 0.138 \times 100 + 0.135 \times 100 = 40.2 \text{g}$$

$$40.2 \times 2.8 = 112.56 \text{ g}$$

(2) (氫氧化鈉重量÷0.3)-氫氧化鈉重量

$$(40.2 \div 0.3 - 40.2) = 93.8 \text{ g}$$

(3) 油的總重量×0.389

$$300 \times 0.389 = 116.7 \text{ g}$$

陸、研究結果

一、製作高純度乙醇分析

(一) 提煉結果以天然沸石當脫帶劑最適宜。

本研究以12公斤的剩飯、30公升水與36克的酵母菌加入製酒機中，10天後產出40%的乙醇16公升，二次蒸餾後乙醇濃度到84%，第三次蒸餾後，依然無法提升乙醇濃度，詢問結果發現，酒精與水有共沸現象，需加入脫帶劑去除水分。

坊間以共沸脫水法是大規模生產無水酒精，將苯、乙二醇、醋酸鉀作脫帶劑，構成水、酒精、苯三元共沸物，蒸餾後，水會被三元共沸物帶走，剩餘部份即為99.5%的乙醇。

苯為致癌物質，燃燒時會造成汙染，本研究經多方詢問與實驗，利用天然可吸附乙醇中水份的沸石，當成分子篩，循環脫水，製取高純度乙醇（約99.3%），較無環境汙染等問題，經蒸餾結果得11.5公升含量99.3%乙醇。

(二) 提煉高純度乙醇失重率計算結果**72.6%**

$$\text{失重率} = (\text{原料重量} - \text{產品重量}) \div \text{原料重量} \times 100\%$$

$$((12+30) - 11.5) \div 42 \times 100\% = 72.6\% \quad (\text{產品不到原料的} 1/3)$$

二、生質能源成品製作最佳條件分析

(一)反應溫度為操縱變因之分析結果：80°C最適宜。

表五：反應溫度作操縱變因分析結果

原料種類	蓖麻籽油			廢油			沙拉油		
實驗次數	1	2	3	1	2	3	1	2	3
項目									
反應溫度(°C)	60°C	70°C	80°C	60°C	70°C	80°C	60°C	70°C	80°C
原料重量(g)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
NaOH用量(g)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
CH ₃ OH用量(g)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
反應時間(hr.)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
產品重(g)	97.89	98.21	98.86	86.74	89.82	91.02	90.08	90.84	91.05
產率(%)	97.89	98.21	98.86	86.74	89.82	91.02	90.08	90.84	91.05

(二)反應時間為操縱變因之分析結果：1.5小時最適宜。

表六：反應時間為操縱變因分析結果

原料種類	蓖麻籽油			廢油			沙拉油		
實驗次數	1	2	3	1	2	3	1	2	3
項目									
反應溫度(°C)	80°C	80°C	80°C	80°C	80°C	80°C	80°C	80°C	80°C
原料重量(g)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
NaOH用量(g)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
CH ₃ OH用量(g)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
反應時間(hr.)	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0
產品重(g)	97.63	98.84	98.12	90.88	91.71	91.54	91.37	92.43	92.31
產率(%)	97.63	98.84	98.12	90.88	91.71	91.54	91.37	92.43	92.31

(三)催化劑用量為操縱變因之分析結果：油脂重量的**0.4%**最適宜。

表七：催化劑為操縱變因之分析結果

原料種類	蓖麻籽油			廢油			沙拉油		
實驗次數	1	2	3	1	2	3	1	2	3
反應溫度(°C)	80	80	80	80	80	80	80	80	80
原料重量(g)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
NaOH用量(g)	100× 0.3%	100× 0.4%	100× 0.5%	100× 0.3%	100× 0.4%	100× 0.5%	100× 0.3%	100× 0.4%	100× 0.5%
CH ₃ OH用量(g)	100× 15%	100× 15%	100× 15%	100× 15%	100× 15%	100× 15%	100× 15%	100× 15%	100× 15%
反應時間(hr.)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
成品重(g)	98.01	98.82	98.23	90.62	91.78	91.33	91.56	92.83	92.67
產率(%)	98.01	98.82	98.23	90.62	91.78	91.33	91.56	92.83	92.67

(四)甲醇用量為操縱變因分析結果：油脂重量的**15%**最適宜。

表八：甲醇用量作操縱變因分析結果

原料種類	蓖麻籽油			廢油			沙拉油		
實驗次數	1	2	3	1	2	3	1	2	3
反應溫度(°C)	80	80	80	80	80	80	80	80	80
原料重量(g)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
NaOH用量(g)	100× 0.4%	100× 0.4%	100× 0.4%	100× 0.4%	100× 0.4%	100× 0.4%	100× 0.4%	100× 0.4%	100× 0.4%
CH ₃ OH用量(g)	100×	100×	100×	100×	100×	100×	100×	100×	100×

	15%	20%	25%	15%	20%	25%	15%	20%	25%
反應時間(hr.)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
產品重(g)	98.94	98.25	98.08	91.79	91.66	90.43	92.59	92.31	92.37
產率(%)	98.94	98.25	98.08	91.79	91.66	90.43	92.59	92.31	92.37

(五)成本分析(以生產 1 公升的生質能源為計算單位)，**廢油成本最低 26.11 元**

表九：成本分析結果

原料種類	乙醇	蓖麻籽油	廢油	沙拉油
原料成本	30.00元	1.012*60=60.72元	1.028*10=10.28元	1.08*61=65.88元
NaOH成本	-----	0.0408*30=1.21元	0.0411*30=1.23元	0.0432*30=1.30元
甲醇成本	-----	1.518*10=15.18元	1.46*10=14.6元	1.39*10=13.9元
電力成本	9.00元	-----	-----	-----
合 計	39元	77.11元	26.11元	81.08元

註：1. 蓖麻油產率為 98.94%，生產 1 公升的生質能源，需 $1 \div 0.9894 = 1.012L$

2. 廢油產率為 91.79%，生產 1 公升的生質能源，需 $1 \div 0.9179 = 1.028L$

3. 沙拉油產率為 92.59%，生產 1 公升的生質能源，需 $1 \div 0.9259 = 1.08L$

三、計算成品的燃燒比、耗油量與 PAHs 含量

(一)燃燒比分析**蓖麻籽油**最佳

本研究將四種生質能源燃燒，測試單位時間內，加熱水溫的情形，結果顯示蓖麻籽油在四分鐘內水溫上升最快，其次是沙拉油、乙醇，而廢油效能最差。

(二)耗油量分析**乙醇耗油量最低 5.48(l/hr)**

本研究將生質能源各 250ml 加入除草機引擎中，啟動引擎以最低速度運轉，至引擎停止，計時觀察並重複測試四次得到下列結果：

表十、四種生質能源耗油料測試

原料種類 \ 測試項目	乙醇	蓖麻籽油	廢油	沙拉油
第一次測試	41.2 分鐘	38.5 分鐘	30.2 分鐘	35.5 分鐘
第二次測試	46.3 分鐘	42.4 分鐘	35.3 分鐘	39.8 分鐘
第三次測試	39.1 分鐘	37.1 分鐘	34.4 分鐘	38.6 分鐘
第四次測試	48.5 分鐘	40.2 分鐘	38.7 分鐘	39.1 分鐘
平均時間(分鐘)	43.8 分鐘	39.28 分鐘	34.9 分鐘	37.80 分鐘
每小時耗油量(l/hr)	$(0.25 \div 1) \times 60$ $\div 43.8 =$ 0.342(L/hr)	$(0.25 \div 1) \times 60$ $\div 39.28 =$ 0.377(L/hr)	$(0.25 \div 1) \times 60$ $\div 34.9 =$ 0.430(L/hr)	$(0.25 \div 1) \times 60$ $\div 37.80 =$ 0.397(L/hr)

(三) PAHs 含量結果乙醇最低，其次是蓖麻籽油、沙拉油，廢油最高

本研究委託高雄醫學大學研究資源整合開發中心分析 PAHs 結果如下：

表十一、四種生質能源的 PAHs 結果

生質能源種類	乙醇	蓖麻籽油	廢油	沙拉油
化合物種類				
Nap	12.62	16.33	43.96	23.58
Acpy	0.71	2.44	5.14	2.91
Acp	0.71	0.56	1.36	0.60
Flu	0.38	0.81	2.11	0.82
PA	0.62	1.02	3.57	1.32
Ant	0.01	0.03	0.11	0.04
FL	0.09	0.05	0.09	0.07
Pyr	0.07	0.07	0.07	0.05
BaA	0.01	0.01	0.01	0.01

CHR	0.02	0.01	0.02	0.01
BbF	0.01	0.01	0.02	0.01
BkF	0.01	0.01	0.01	0.02
BaP	0.03	0.02	0.01	0.02
IND	0.02	0.01	0.01	0.01
DBA	0.02	0.01	0.01	0.01
BghiP	0.02	0.00	0.01	0.01
Σ PAHs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15.0	21.4	56.5	29.5

研究結果顯示乙醇 PAHs 最低，空氣汙染程度最輕，廢油則較易造成汙染。

四、皂化分析將蓖麻籽油、廢油、沙拉油混合巴巴蘇油製作肥皂較佳

本研究計算結果顯示，蓖麻籽油皂化價最低而廢油皂化價最高，無論是蓖麻籽油、廢油、沙拉油，INs 值(硬度)均低，若要製成肥皂需混合高硬度的油類，製作肥皂的原則如下：

- (1)水 1 = (NaOH 重量 / 0.3) - NaOH 重量 (2)水 2 = NaOH 重量 * 2.6
- (3)水 3 = 總油量 * 0.389 (4)INS 標準 = 120-170
- (5)水+油重 = 總油量 + 水 1 (在 NaOH -5% 情況下)
- (6)椰子油低於 20%，最好能低於 18% (太高則有損皮膚)
- (7)棕櫚油低於 30% (太高則不易發泡)
- (8)椰子油加棕櫚油比例低於 40%
- (9)可可脂低於 15% (太高肥皂容易碎裂、洗後皮膚黏膩)
- (10)蜜蠟低於 3% (太高肥皂容易碎裂、洗後皮膚黏膩)
- (11)白油低於 40% (太高則不易發泡)

去除硬度低與上述不利製皂的油，本研究挑選巴巴蘇油 (Babassu Oil) 混合三種生質柴油製作肥皂。

表十二、較適合加入三種生質柴油的油脂皂化質與硬度

Oil	中文名稱	(NaOH)	(KOH)	INS
Babassu Oil	巴巴蘇油	0.175	0.245	230
Oiltea Camellia Oil	茶籽油(苦茶油)	0.137	0.192	128
Chicken Fat	雞油	0.139	0.195	130
Emu Oil	鸕鶿油	0.135	0.19	128
Goose Fat	鵝油	0.137	0.192	130
Kpangnan (Golden Shea)	金黃乳油木果脂	0.136	0.191	149
Lard	豬油	0.141	0.198	139
Mango Butter	芒果脂	0.137	0.192	146
Mango Oil	芒果油	0.128	0.173	120
Mink Oil	貂油	0.140	0.196	141
Mowrah Butter	羅勒籽脂	0.138	0.194	132
Neem Oil	印度棟油	0.139	0.195	124
Ortrich Oil	駝鳥油	0.139	0.195	128
Rosin	松香	0.13	0.185	182
Sal Butter	婆羅雙樹油	0.132	0.192	146
Stearic Acid	硬脂酸	0.141	0.198	196

- (a)肥皂成分：蓖麻籽油 300g、廢油 300g、沙拉油 300g 外加巴巴蘇油 600g
- (b)氫氧化鈉用量： $300 \times 0.129 + 300 \times 0.138 + 300 \times 0.135 + 600 \times 0.175 = 225.6\text{g}$ (NaOH)
- (c)皂化成品硬度： $(300/1500) \times 95 + (300/1500) \times 50 + (300/1500) \times 61 + (600/1500) \times 230 = 133.2$ (符合標準)
- (d)含水量：以第一種方式氫氧化鈉總量 $225.6 \times 2.6 = 586.56\text{g}$
- 將混合液到入容器內，靜置 1 個月即可完成肥皂成品。

柒、討論

- 一、製作高純度乙醇失重率高，且蒸餾時間長，若能降低失重率，節省時間與成本，則更能達到較佳的經濟效益，且利用天然沸石當脫帶劑最符合環保。
- 二、廢油成本低，唯酸價高不易穩定儲存，容易氧化酸敗與變質，若能增加其穩定性，將可提高其價值。
- 三、蓖麻籽油的酸價低，好儲存且不易腐敗變質；唯粘度過高使用上需降低黏度。

- 四、油脂水分較高較容易皂化，本研究三種油脂硬度皆低，若製成副產品肥皂，需混合較高硬度油脂較適合。
- 五、轉酯化 (transesterification) 製程中，溫度超過 65°C 時，甲醇容易流失，影響實驗數據，本研究室後期製作皆有加裝迴流冷凝管減少實驗誤差。
- 六、實驗反應溫度以 80°C 對產率最佳，唯成本較高未必符合經濟效益。
- 七、本研究以 NaOH 當催化劑，實驗過程發現，NaOH 是否能完全反應，影響產率的多寡，本研究實驗結果以 0.40% 之轉酯化效率較高，此結果與林籐旺 (2009) 相符，推測 NaOH 過多，皂化明顯，產率降低，過少反應未完全而殘留 NaOH，進而降低產率，因此以適量的比例產率最佳。
- 八、本研究發現酸價會影響轉酯化效率，油脂若酸價高，易容易產生皂，於 $\text{RCOOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{RCOONa} + \text{H}_2\text{O}$ 中，過多 RCOOH 與 NaOH 反應，即生成皂 (RCOONa)，進而降低轉酯化效率。
- 九、皂化實驗發現碘價與硬度 (INS) 略呈反比，碘價高者，硬度相對較低。
- 十、燃燒比實驗中，蓖麻籽油在單位時間內使水溫上升最多，將熱能轉換成馬力，可得蓖麻籽油當燃料，較其他生質能源產生的馬力多，效率較佳。
- 十一、PAHs (多環芳香烴) 檢驗顯示，乙醇在引擎作動時，產生的 PAHs 總量最少，最符合環保，坊間的柴油燃料產生的廢棄，已被世界衛生組織將從「可能致癌物」，提升為「致癌物質」，引發全球關注，相較之下生質能源產生的 PAHs 量遠低於柴油。
- 十二、耗油量實驗中，乙醇最省燃料，唯成本較廢油高，熱能較蓖麻子油低，但廢氣最符合環保。

捌、結論

一、綜合所有實驗可得下表：

表十三、四種生質能源實驗項目總種整理

	乙醇	蓖麻籽油	廢油	沙拉油
轉酯化	-----	最佳 98.84%	最差 91.71%	次之 92.43%
酸價	-----	最低 0.8mgKOH/g	最高 20.5mgKOH/g	次之 2.4mgKOH/g
碘價	-----	最低 90	最高 145	次之 132
硬度	-----	最高 95	最低 50	次之 61
燃燒比	第三 84°C	最佳 88°C	最差 80°C	第二 86°C
耗油量	最低(佳) 0.342(L/hr)	第二 0.377(L/hr)	最高(差) 0.430(L/hr)	第三 0.397(L/hr)
PAHs 含量	最低(佳) 15.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	第二 21.4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	最高(差) 56.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	第三 29.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
成本	第二 39元	第三 77.11元	最低 26.11元	最高 81.08元
優點	成本低 PAHs 含量低 耗油量低	轉酯化佳 硬度較高 燃燒比佳	成本低	轉酯化高 酸價低 燃燒比高
缺點	燃燒比不佳	成本較高	轉酯化低 酸價高 硬度低 燃燒比低 耗油量高 PAHs 含量高	耗油量高 PAHs 含量高 成本高

- 二、轉酯化效率：蓖麻油脂約為 98.84%與沙拉油脂約為 92.43%相近，高於廢油油脂 91.71%。
- 三、最佳的反應條件為：反應溫度為 80°C 最佳，NaOH 最適量為油脂重量的 0.4%，反應時間為 1.5 小時最佳，甲醇添加量為油脂重量的 15%最佳。
- 四、皂化會影響產率，本研究發現油脂含水量、酸價與催化劑是否完全反應為關鍵因素，若利用蓖麻籽油、廢油與沙拉油製作肥皂，則可發現催化劑、水、碘價等因素控制肥皂產量，這符合研究發現的關鍵含水量與催化劑。
- 五、成本評估：乙醇 39 元/L，蓖麻油 77.11 元/L，廢油約 26.11 元/L，沙拉油約 81.08 元/L，以生產**廢油生質能源成本最低**，但廢油的酸價過高、PAHs 含量高、耗油量與燃燒比皆差，需經過特殊處理改善其缺點，直接使用會造成引擎馬力輸出較小，且空氣汙染指數偏高（還是比坊間柴油汙染指數低）等問題。
- 六、綜合分析，這四種生質能源，缺點最少的有兩種，乙醇和蓖麻籽油，而優點則乙醇、蓖麻籽油、沙拉油各有特色，廢油優點最少，若忽略優、缺點，只考慮成本，則廢油最合適，若評估所有優缺點，本研究選擇**乙醇**最符合環保，且其他效能皆不錯，為獨引擎產生的熱能較低（馬力較小），以現今原油價格節節攀升，替代性能源則是必為未來的趨勢，本研究將朝向利用回收或非糧食作物製作升值能源，並降低成本、增加效率、符合環保四個指標去改進開發新能源。

玖、參考資料

- 一、林籐旺，（2009），三種林木種子提煉生質柴油之研究，嘉義第49屆國中科學競賽。
- 二、高中基礎化學教科書，（2011），南一書局出版，台南市。
- 三、黃晟硯，（2007），廢食用油製造生質柴油(Biodiesel)-新式預酯化反應流程之參數探討。
- 四、中華民國國家標準，（2007），生質柴油-脂肪酸甲酯，CNS 150 72, K 5155。
- 五、李宗育，（2006），利用廢棄沙拉油製造生質柴油之研究大豆,碩士論文私立高苑科技大學高分子環保材料研究所。
- 六、吳謀成,生物柴油，（2008），第94-108頁。北京：化學工業出版社。

- 七、生質能源資訊網：<http://www.biodiesel.org/fuelfactsheet.htm>
- 八、沈胤亨，(2004)，生質柴油製程簡介，國立台灣大學化學工程研究所。
- 九、陳炳輝，(2008)，麻瘋樹、蓖麻產製生質柴油評估，.我國生質能源產業發展與應用研討會，pp.25-37。
- 十、黃金城等，2009，四種林木種子油製造生質能源之評估，中華林學季刊，p309~318。
- 十一、李興旺，2004，石化柴油及添加生質柴油引擎排放多環芳香烴之特徵，碩士論文，國立成功大學環境工程研究所。

附錄

		
1.廢油製作過程顏色深，可使用脫色劑改善。	2.增加含水量與催化劑產生皂化。	3.三種油產生的甘油顏色差距甚大。
		
4.將四種生質能源燃燒加熱水溫實驗	5.沙拉油製程中，收集甘油與雜質。	6.廢油製程中，收集甘油與雜質。
		
7.廢油水洗三次後所得到的半成品。	8.蓖麻籽油、廢油與沙拉油的成品。	9.高純度乙醇(99.3%)燃燒時的情形。

【評語】 030205

本研究針對數種生質能源作比較，取材具有環保概念，實驗數據完整，值得鼓勵。

有以下數點建議可加強：

1. 此項研究是近年來的熱門題目，本研究選取的原料—剩飯、蓖麻籽油、廢油、沙拉油均為常見的研究對象，轉換為生質能源的設備也是市售商品，缺乏創新之處。
2. 產生的生質能源做為酒精燈的燃料，以加熱定量水所需時間來比較它們的效能，此方法與燃料揮發性的好壞，燃料燃燒完全與否有關，因此無法正確顯現生質能源的效能。