

# 嘉義市第 37 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：化 學

組 別：國中組

作品名稱：由黑水蛇脂肪酸提煉  
生質柴油之研究

關 鍵 詞：黑水蛇、生質柴油

編 號：

# 由黑水虻脂肪酸提煉生質柴油之研究

## 摘 要

本實驗主要是由黑水虻老熟幼蟲的脂肪酸，利用轉酯化反應提煉生質柴油。實驗內容分為三部份：第一部份是由黑水虻的蟲卵孵化為小幼蟲，養至含有多量脂肪酸的老熟幼蟲，殺青後烘乾磨成蟲粉。第二部份是蟲粉以索氏法萃取脂肪酸，再將此脂肪酸以減壓濃縮機除去部份殘留的乙醚溶劑，得粗脂肪酸。第三部份是將粗脂肪酸經鹼製程提煉成生質柴油。

研究結果：(一)黑水虻粗脂肪酸佔蟲體的重量百分率約為27%。(二)粗脂肪酸以鹼製程提煉成生質柴油之最佳反應條件為：甲醇添加量為油脂重量的40%、氫氧化鉀催化劑添加量為油脂重量的0.35%、反應溫度為65°C，反應時間為90分鐘，可獲得最高生質柴油產率約為77%。(三)經濟效益評估：以目前油價衡量，雖不符合經濟效益，但養殖黑水虻主要是以廚餘為主，養殖成本低，蟲體脂肪酸料源不虞匱乏，對環境污染少之諸多優點，未來做為提煉生質柴油之料源，有極為優勢條件，極具發展潛力。

## 壹、研究動機

整個世界大量使用石化能源並造成嚴重的環境汙染，當今又隨著石油日益短缺尋找替代能源及地球減碳，是迫切需要的；目前提煉生質柴油，大多以林木種子，如油桐籽、蓖麻籽或植物種子等，雖含有大量的油脂，但這些原料需大面積長期栽植或因與民爭食，成本日益高漲，因此想試著以養殖黑水虻成熟幼蟲所含的脂肪酸，研究是否可將它製成生質柴油，立即展開了這次的實驗活動。

## 貳、研究目的

- 一、黑水虻的養殖研究。
- 二、黑水虻含粗脂肪酸之萃取。
- 三、探討以鹼製程由黑水虻粗脂肪酸提煉生質柴油。
- 四、期望能提升黑水虻提煉生質柴油之技術。

## 參、研究設備及器材

一、藥品：黑水虻蟲卵、黑水虻蟲粉、廚餘、豆渣、氫氧化鉀、甲醇(CH<sub>3</sub>OH)、乙醚、橄欖油、酚酞指示劑。

二、儀器：黑水虻養殖架、黑水虻養殖容器、生質柴油提煉裝置、索氏萃取裝置、減壓濃縮機、烘乾機、磨粉機、電子天秤、錐形瓶、蒸餾瓶、迴流管、分液漏斗、滴定管、燒杯、溫度計、抽濾裝置。

		
a.黑水虻蟲卵	b.收集學校午餐廚餘	c. 黑水虻養殖飼料(廚餘)
		
d.減壓濃縮機	e.黑水虻養殖羽化室	f.黑水虻養殖架
		
g.磨粉機	h.索氏萃取裝置	i.烘乾機
		
j.生質柴油提煉裝置	k.電子天平	L.pH計

圖1.研究設備及器材

## 肆、研究過程或方法

### 一、實驗流程〔由蟲卵→生質柴油〕：(圖2)

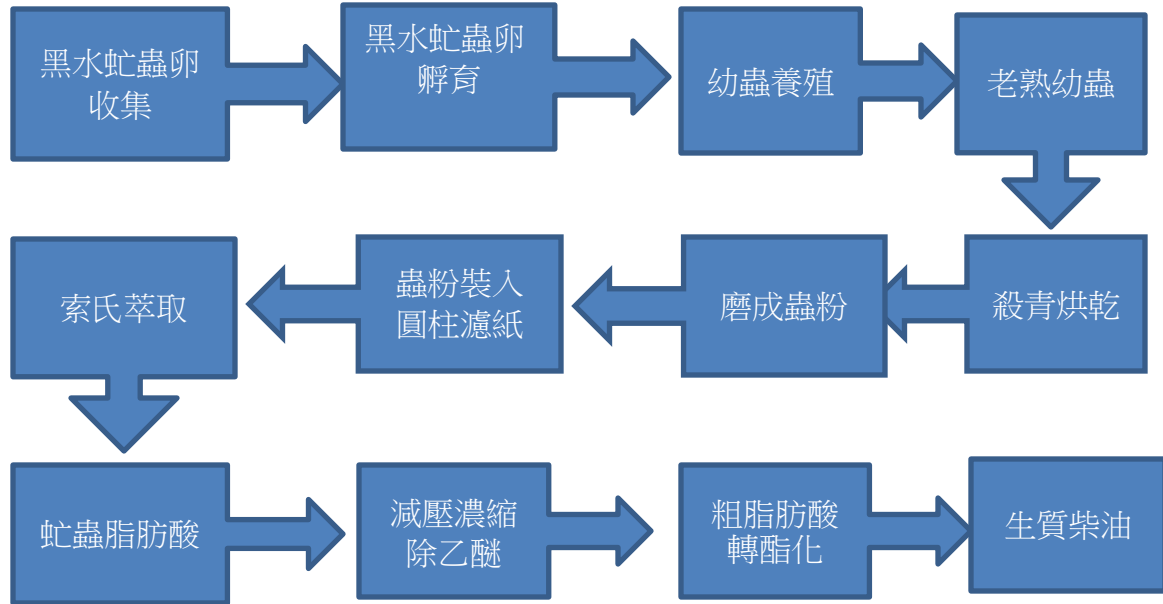


圖2.由黑水蛇蟲卵製備生質柴油過程

### 第一部份：黑水蛇的養殖

一、說明：是由黑水蛇的蟲卵孵化為小幼蟲，養至含有多量脂肪酸的老熟幼蟲，殺青後烘乾磨成蟲粉。

二、實驗步驟：(圖3)

#### (一) 黑水蛇蟲卵之收集與孵育(圖3a~c)

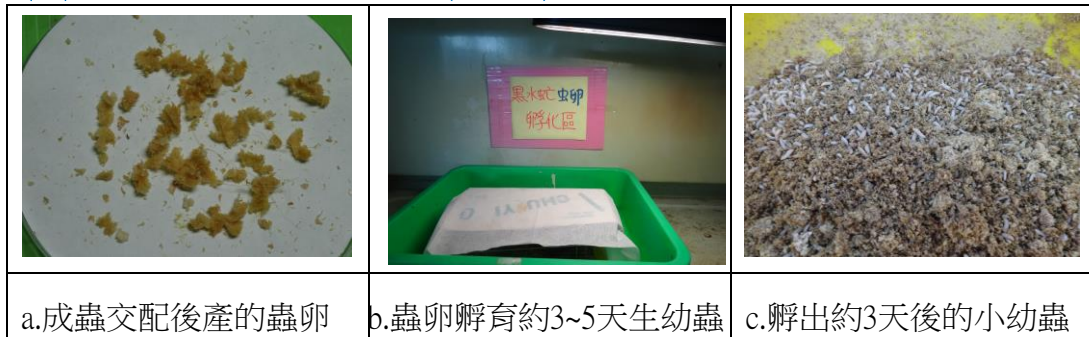


圖3.黑水蛇蟲卵之收集與孵育

(二) 黑水虻幼蟲養殖變成老熟幼蟲 (圖4a~h)

	
<p>a.成蟲產卵在木板上的情形</p>	<p>b.以綜合廚餘飼養出生3天的幼蟲</p>
	
<p>c.飼養第五天的幼蟲</p>	<p>d.學校廚餘為幼蟲的主要飼料</p>
	
<p>e.收集豆漿店的豆渣飼養</p>	<p>f.設計立體養殖架飼養節省空間</p>
	
<p>g.飼養12天的幼蟲</p>	<p>h.飼養20天已熟成的幼蟲 (蟲油脂做為提煉生質柴油的原料)</p>

圖4.黑水虻幼蟲養殖情形

(三) 黑水虻蟲粉之製備 (圖5a~d)


	
<p>a. 成長肥大的老熟幼蟲</p>	<p>b. 以自來水清洗黑水虻除去雜質</p>
	
<p>c. 以溫水殺青</p>	<p>d. 烘乾的黑水虻蟲乾</p>
	
<p>e. 蟲乾磨粉</p>	<p>f. 烘乾的黑水虻蟲粉(再以索式萃取機萃 取蟲體脂肪酸)</p>

圖5.黑水虻蟲粉之製備

## 第二部份：蟲粉以索氏法萃取脂肪酸

一、說明：取黑水虻的蟲粉以索氏法萃取脂肪酸，再將此脂肪酸以減壓濃縮機除去部份殘留的乙醚溶劑，得粗脂肪做為本次提煉生質柴油之原料。

二、原理：利用脂肪易溶於有機溶劑(如乙醚或正己烷等)的特性，萃取樣品中的脂肪酸，然後將乙醚揮發掉，殘留的就是粗脂肪酸。

三、方法：利用索氏萃取法，以乙醚為溶劑，儀器裝置如圖(圖6a-b)。

四、實驗步驟：虻蟲粉以索氏法萃取脂肪(圖6a~f)

- 1.將黑水虻蛹烘乾，磨成細粉。
- 2.乾蛹細粉裝入圓柱形濾紙中，約九分滿，並以脫指綿塞住管口。
- 3.準備索氏萃取機，將圓柱形濾紙，置入有冰水循環的回流管中。
- 4.蒸餾瓶內注入乙醚溶劑至八分滿，恆溫槽中溫度持溫65°C。
- 5.約16小時後萃取完成倒出萃取液，以真空減壓濃縮機濃縮除去乙醚溶劑。
- 6.得純淡黃色的粗脂肪酸，準備做為提煉生質柴油之料源。



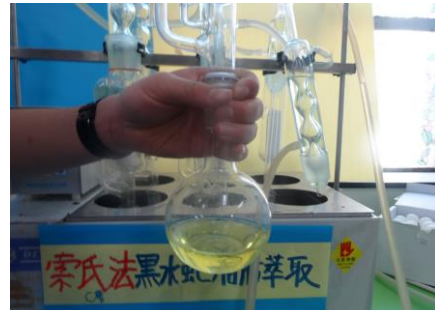
a.索氏法萃取裝置



b.乾蟲粉裝入圓柱形濾紙中



c.萃取設定65°C/乙醚溶劑/反應16hr.



d.萃取16hr.得到的粗脂肪酸

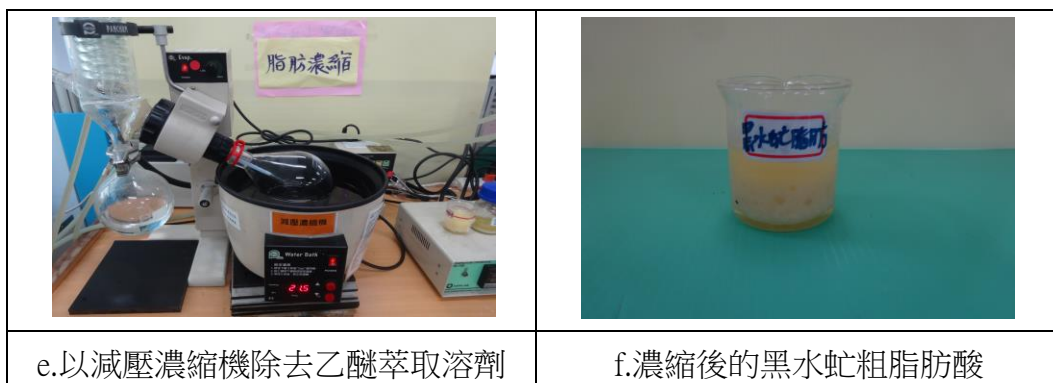
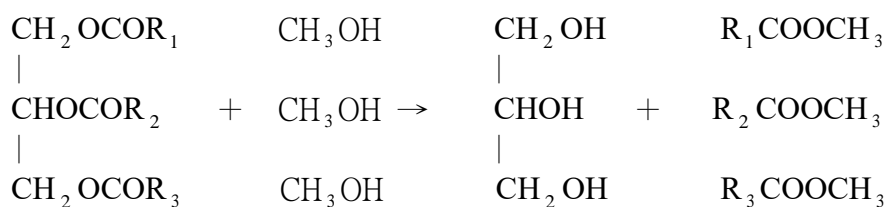


圖6.黑水蛇蟲粉以索氏法萃取粗脂肪酸過程

**第三部份：粗脂肪酸經鹼製程提煉成生質柴油。**

一、說明：由鹼製程提煉生質柴油原理係將油脂和甲醇混合，加入催化劑(氫氧化鉀)經轉酯化反應生成生質柴油。

二、轉酯化反應式：



油脂(三酸甘油酯)      甲醇                  甘油(副產品)      生質柴油(脂肪酸甲酯)

三、實驗流程：圖 7.

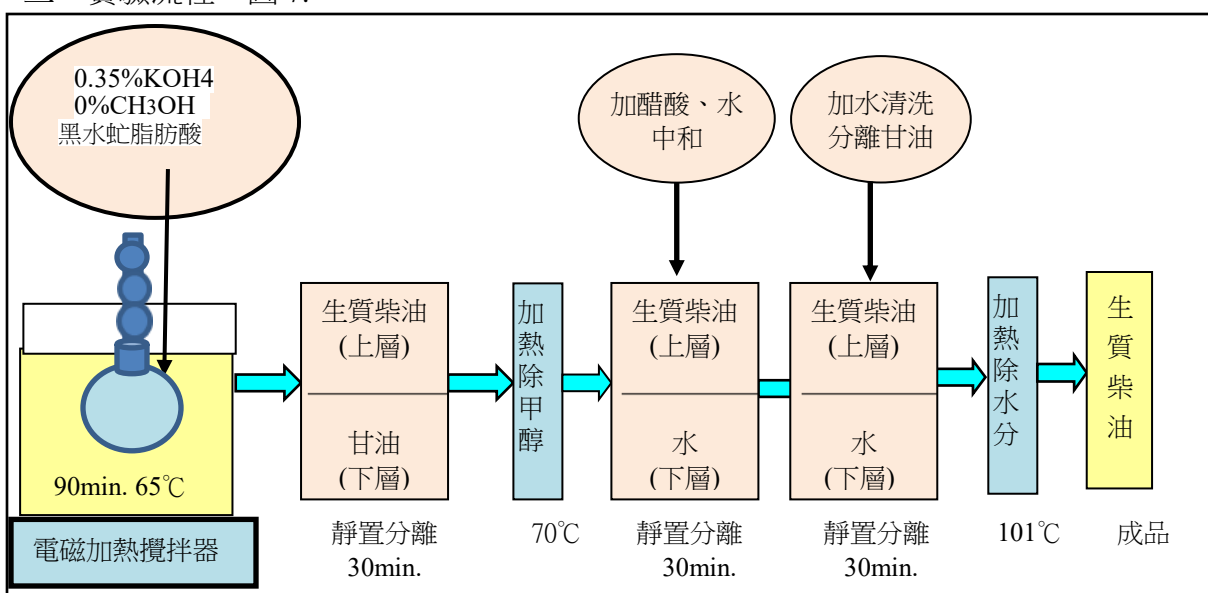


圖7.黑水蛇脂肪酸提煉生質柴油過程



#### 四、實驗步驟：

##### (一) 黑水虻蟲乾的粗脂肪酸含量測定

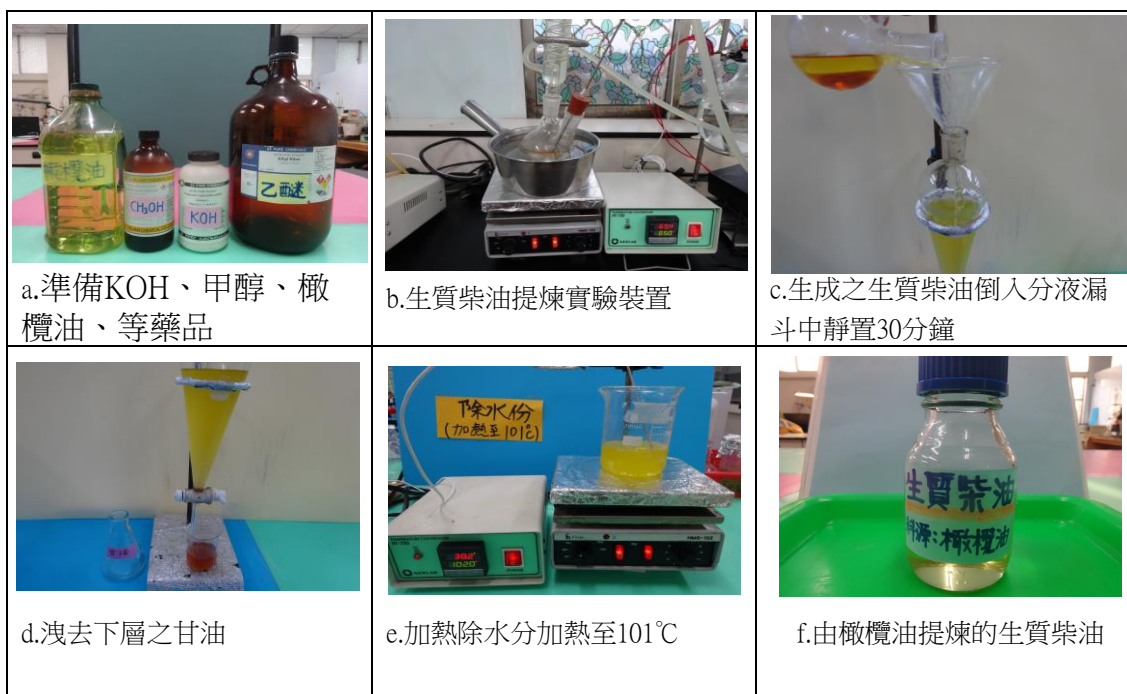
- 步驟：1.取烘乾的黑水虻蟲蛹磨粉後秤重為 $W_1$ 。
- 2.置入索氏萃取裝置中，設定溫度為 $75^{\circ}\text{C}$ ，加熱16小時後取出。
- 3.取出的粗脂肪酸油脂再放入真空減壓濃縮機中，抽出乙醚溶劑。
- 4.將粗脂肪酸秤重( $W_2$ )，重量百分率( $\%$ )= $(W_2 \div W_1) \times 100$
- 5.重複實驗三次。

##### (二) 生質柴油製程反應條件之設定

- 反應時間設定：(1)70min. (2)90min. (3)110min.
- 反應溫度設定：(1) $60^{\circ}\text{C}$  (2) $65^{\circ}\text{C}$  (3) $70^{\circ}\text{C}$
- KOH催化劑用量(重量)設定：(分子量KOH=56)
  - 油脂的0.30% + 酸價計量(油脂重 $\times$ 酸價 $\times 10^{-3}$ )
  - 油脂的0.35% + 酸價計量(油脂重 $\times$ 酸價 $\times 10^{-3}$ )
  - 油脂的0.40% + 酸價計量(油脂重 $\times$ 酸價 $\times 10^{-3}$ )
- 甲醇用量(重量)設定：
  - 油脂重量的20%
  - 油脂重量的30%
  - 油脂重量的40%
- 生質柴油製程之原料及藥品之準備
  - 黑水虻粗脂肪酸：100g
  - 黑水虻粗脂肪酸酸價經測定為：1.0mgKOH/g-fat；橄欖油0.3mgKOH/g-fat
  - KOH用量：(A)0.30%(B)0.35%及(C)0.40%
    - (A)0.30%用量：油脂的0.3% + 酸價計量： $100 \times 0.30\% + 100 \times 1.0 \times 10^{-3} = 0.400 \text{ g}$
    - (B)0.35%用量：油脂的0.35% + 酸價計量： $100 \times 0.35\% + 100 \times 1.0 \times 10^{-3} = 0.450 \text{ g}$
    - (C)0.40%用量：油脂的0.40% + 酸價計量： $100 \times 0.40\% + 100 \times 1.0 \times 10^{-3} = 0.500 \text{ g}$
  - 甲醇用量(20%、30%及40%)：
    - (A)油脂重量的20% =  $100 \times 20\% = 20.000 \text{ g}$
    - (B)油脂重量的30% =  $100 \times 30\% = 30.000 \text{ g}$
    - (C)油脂重量的40% =  $100 \times 40\% = 40.000 \text{ g}$

### (三)實驗步驟：(圖8.a~L)

- 1.將黑水虻粗脂肪酸100g(已測酸價為1.0mgKOH/g-fat)置入雙口蒸餾瓶中。
- 2.加入20g甲醇和0.30g氫氧化鉀攪拌均勻使完全溶解。
- 3.持溫65°C加熱攪拌器加熱70分鐘。
- 4.倒入分液漏斗靜置30分鐘除去下層之甘油，保留上層生質柴油。
- 5.將生質柴油放在水浴中，溫度設定60°C，將甲醇趕出為止。
- 6.加入適量醋酸及水混合，攪拌後倒入分液漏斗中，靜置30分鐘，將轉酯化中過量的氫氧化鉀中和後，洩下層水層。
- 7.加入水(油脂重的50%)混合，攪拌後靜置30分鐘去水層並重複實驗3次。
- 8.加熱至102°C約30分鐘，生質柴油中水分完全被去除後，即為生質柴油產品。
- 9.改變溫度(65°C及70°C)、反應時間(90及110分鐘)、催化劑用量(0.35%及0.40%)及甲醇用量(30%及40%)，依上列1~8步驟操作，可得不同轉化率的產品，即可知道最佳產率之組合配方。
- 10.另以橄欖油(已測酸價為0.3mgKOH/g-fat)原料，以最佳條件提煉生質柴油為對照組(同上1~9步驟)。



實驗8.以橄欖油為原料提煉生質柴油操作情形(對照組)

		
<p>a. 準備 KOH、甲醇、黑水蛇脂肪等藥品。</p>	<p>b. 實驗儀器裝置完成。</p>	<p>c. 加入黑水蛇粗脂肪酸、甲醇及 KOH 等原料。</p>
		
<p>d. 以水浴加熱溫度保持 65°C 反應 90min.。</p>	<p>e. 靜置 30min. 分為兩層。</p>	<p>f. 洩去下層之甘油。</p>
		
<p>g. 加入醋酸中和過量的 KOH</p>	<p>h. 副產品甘油。</p>	<p>i. 連續水洗 4 次。</p>
		
<p>j. 加熱至 101°C 完全除去水</p>	<p>k. 成品稱重。</p>	<p>l. 製造完成之生質柴油</p>

圖9.以黑水蛇為原料提煉生質柴油操作情形(實驗組)

## 伍、結果

### 第一部份：黑水蛇的養殖成果(圖10：成果一~四)





	
成果一、卵(3—4天孵化為小苗蟲)	成果二、老熟幼蟲(3---4週)
	
成果三、蟲乾	成果四、成蟲(卵---成蟲約3週)

圖10. 黑水蛇的養殖成果

### 第二部份：黑水蛇乾蟲粉以索氏法萃取粗脂肪

成果(五)：粗脂肪(圖11)

說明：黑水蛇乾蟲粉以索氏法  
萃取所得之粗脂肪酸。



圖11.黑水蛇粗脂肪酸

### 第三部份：粗脂肪酸經鹼製程提煉成生質柴油。

成果(六)：黑水虻蟲乾之粗脂肪酸含量測定

結果：重量百分率(%)=(W<sub>2</sub>÷W<sub>1</sub>)×100=27%

表1.黑水虻蟲乾之粗脂肪酸含量測定

項目 次數	黑水虻乾重粉重(g) W <sub>1</sub>	萃取粗脂肪酸秤重(g) W <sub>2</sub>	含量百分率(%)
1	60	16.5	27.5
2	60	17.0	28.3
3	60	15.0	25.0
平均	---	---	27.0

成果(七)：生質柴油最佳產率之反應條件

(一)反應時間：90分鐘。

(二)反應溫度：65°C。

(三)催化劑用量：油脂重量的0.35%+ 酸價劑量。

(四)甲醇用量：油脂重量的40%。

#### 實驗記錄：

(一)以反應時間為操縱變因之分析

表2.以反應時間為操縱變因之分析結果：以90min .產量最多。

實驗次數 / 實驗項目	1	2	3
反應時間(min.)	70min.	90min	110min
油脂重量(g)	100.00	100.00	100.00
KOH用量(g)	(100×0.3% + 酸價計量)	(100×0.3% + 酸價計量)	(100×0.3% + 酸價計量)
甲醇用量(g)	100×40%	100×40%	100×40%
反應溫度(°C)	60	60	60
產品重量(g)	72.2	75.0	73.4
產率(%)	72.2	75.0	73.4

(二)以反應溫度為操縱變因之分析

表3：以反應溫度為操縱變因之分析結果：以65°C產量最多。

實驗次數 / 實驗項目	1	2	3
反應溫度(°C)	60	<b>65</b>	70
油脂重量(g)	100.00	100.00	100.00
KOH用量(g)	(100×0.3% +酸價計量)	(100×0.3% +酸價計量)	(100×0.3% +酸價計量)
甲醇用量(g)	100×40%	100×40%	100×40%
反應時間(min.)	90min.	90min	90min
產品重量(g)	73.5	<b>75.7</b>	74.0
產率(%)	73.5	<b>75.7</b>	74.0

(三)以催化劑用量為操縱變因之分析結果

表4.以催化劑為操縱變因之分析結果：以油脂重量的**0.35%**最佳

實驗次數 / 實驗項目	1	2	3
KOH用量(g)	(100×0.30% +酸價計量)	(100× <b>0.35%</b> +酸價計量)	(100×0.40% +酸價計量)
油脂重量(g)	100.00	100.00	100.00
反應溫度(°C)	65	65	65
甲醇用量(g)	100×40%	100×40%	100×40%
反應時間(min.)	90min.	90min	90min
產品重量(g)	74.0	<b>76.2</b>	74.7
產率(%)	74.0	<b>76.2</b>	74.7

(四)以**甲醇用量**為操縱變因之分析。

表5.甲醇用量為操縱變因分析結果：以**油脂重量的40%**最佳

實驗次數 / 實驗項目	1	2	3
甲醇用量(g)	100×20%	100×30%	100×40%
油脂重量(g)	100.00	100.00	100.00
反應溫度(°C)	65	65	65
KOH用量(g)	(100×0.35% + 酸價計量)	(100×0.35% + 酸價計量)	(100×0.35% + 酸價計量)
反應時間(min.)	90min.	90in	90min
產品重量(g)	74.3	76.3	<b>76.6</b>
產率(%)	74.3	76.3	<b>76.6</b>

(五)綜合分析結果：依最佳的反應條件提煉所得之成品

表 6：綜合分析結果(最佳生質柴油產率)

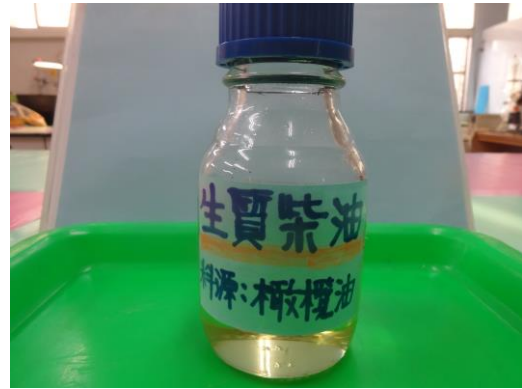
實驗次數 / 實驗項目	1	2	3	平均
油脂重量(g)	100.00	100.00	100.00	—
反應溫度(°C)	65	65	65	—
反應時間(min.)	90	90	90	—
KOH用量(g)	(100×0.35% + 酸價計量)	(100×0.35% + 酸價計量)	(100×0.35% + 酸價計量)	—
甲醇用量(g)	100×40%	100×40%	100×40%	—
產品重(g)	77.0	76.9	76.6	
產率(%)	77.0	76.9	76.6	<b>76.8</b>

1.說明：最佳生質柴油產率條件為**甲醇添加量為油脂重量的 40%**、**KOH 催化劑添加量為油脂重量的 0.35%**、**反應溫度為 65°C**，**反應時間為 90 分鐘**，可獲得最高生質柴油產率約為**77%**。

2.以最佳條件提煉的生質柴油產品：(圖 12a-b)



a. 以黑水蛇油脂為料源(實驗組)



b. 以橄欖油脂為料源(對照組)

圖 12. 以最佳條件提煉的生質柴油產品

### 3. 經濟效益初步評估：

說明：1. 甲醇成本  $1000\text{g} \times 40\% \times 0.02 \text{元/g} = 8 \text{元}$ 。

2. 電力成本  $0.3\text{KW} \times 1.5\text{H} = 0.45\text{度}$  ( $4\text{元/度} \times 0.45\text{度} = \text{約}2\text{元}$ )。

3. 黑水蛇原料成本僅需廚餘處理費用。

4. 以植物油脂(橄欖油)成本約黑水蛇油脂的兩倍。

5. 黑水蛇養殖若改以大量及自動化方式，成本可再降低。

6. 經濟效益比較：使用黑水蛇蟲粉為料源優於橄欖油料源。

表 7：生質柴油成本評估(以生產 1 公斤生質柴油為計算單位)

料源種類 各項成本	黑水蛇蟲粉	橄欖油
原料成本	15元	35元
KOH成本	2元	2元
甲醇成本	8元	8元
電力成本	2元	2元
人力設備成本	5元	5元
合計	32元	52元



## 陸、討論

### 第一部份：黑水虻的養殖

一、孵卵溫度宜 28-32°C，若維持在這溫度 3-4 天即可孵出小幼蟲。在孵化期若遇到低溫20°C以下，可用加溫燈泡照射使溫度至少維持27°C度左右，以免影響孵化速度。羽化期不用餵食飼料，只需噴水即可，可在水中加入微量糖可加速成長度，支持後期交配的體力。羽化室要放置一兩個盆栽或裝飾假樹葉且有陽光照射到為宜，每天太陽升起約9~12時是一天當中最熱絡的交配時間。

二、從蟲卵孵育出幼苗蟲至成蟲一天餵可餵食多次，飼料以本校營養午餐廚餘飯菜與水果皮為主加入豆渣、麥麩皮或米糠粉更佳。本次實驗完成一次生長循環，歷時 21天。飼養期間在秋天室溫約 27°C左右，故小蟲生長速度快，冬天氣溫低養殖時間需較長。

三、飼養期間幼蟲會脫皮4~6次，若遇天氣變冷，幼蟲會發現群聚於角落，飼料水太多，會爬至養殖區外圍乾燥處；飼料含有蛋白質、脂肪及果菜等綜合營養脂除於更佳，如此可縮短飼養時間。

### 第二部份：黑水虻蟲粉以索氏法萃取粗脂肪

一、黑水虻粗脂肪是用索氏萃取機，內含六組迴流萃取裝置，設定恆溫65°C下之水浴加熱，用乙醚為萃取溶劑，經過16小時使脂肪酸浸出，提煉方便。所得之粗脂肪再經減壓濃縮機濃縮後可得純度頗高的油脂，且可回收部分乙醚在使用，萃取油脂也可使用正己烷溶劑，唯安全正己烷蒸氣有毒，乙醚易揮發且回收率較高。

二、以減壓濃縮機濃縮回收乙醚，在常溫效果不佳，我們搭配-10°C低溫冷卻循環水槽，乙醚幾乎可完全回收，使萃取的黑水虻脂肪酸純度高，經三次實驗得知脂肪萃取率約27%。

### 第三部份：粗脂肪經鹼製程提煉成生質柴油。

一、黑水虻油脂屬於動物油，酸價高於植物油(黑水虻粗脂肪酸已測酸價為 1.0mgKOH/g-fat；橄欖油酸價為0.3mgKOH/g-fat)，一般轉酯化前須先降低油脂酸價，也因此KOH催化劑用量要酸價劑量處理，本次是另加油脂重量的0.35%；實驗

過程適逢冬天，所萃取的黑水虻油脂有部分凝固，實驗前須先預熱至完全融化。

**二、**油脂轉酯化設備係採用雙口燒瓶，控溫式電磁加熱攪拌器，加上迴流冷凝管，及水浴加熱裝置設備。並加裝低溫(-10°C)冷卻迴流裝置，加熱超過65°C，避免甲醇流失。

**三、**生質柴油的催化劑用量對轉酯化反應深具影響，催化劑以油脂重量的百分率計算，由實驗結果得知催化劑用量，以油脂重的0.350%最適宜，若催化劑較多，雖可促進反應效率，但是同時KOH催化劑易造成部分油脂被皂化，導致生成較多的副產物即皂，相對降低了產量；但催化劑用量太少，又無法完全反應，因此在合成生質柴油時，催化劑的使用量需特別的注意去斟酌量。

添加醇類之選擇

**四、**油脂轉酯化所用的醇，低級醇甲醇、乙醇、丙醇、丁醇等皆可使用。而最常用的為甲醇，由於甲醇的價格較低，同時能夠很快的與脂肪酸甘油酯反應，且鹼性KOH催化劑易溶於甲醇，可充分進行反應，使反應較容易趨於完全。

**五、**因轉酯化反應是可逆反應，過量的醇可使平衡向生成物的方向移動，所以甲醇的用量遠多於理論計量，使反應能有利於產物生成。

## 柒、結論

從養殖黑水虻萃取黑水虻蟲體脂肪酸製造生質柴油，成本低，原料來源可以掌控且經整體分析，符合經濟效益；目前整個世界大部分仰賴石油來做為今日的主要的能源燃料，然地球原油存量估計再開採五、六十年即枯竭殆盡，因此原油成本勢必日益高漲，在能源日益枯竭的今天，可預測未來黑水虻可成為明日環保能源之星其蟲體脂肪是一種很看好製造生質柴油的環保能源。若能有計畫大量繁殖並再研發改進生產技術，黑水虻油脂可預期將成為替代汽油能源的主流，不但可以掌控料源的生產，解決能源問題；並能兼具達到節能減碳的環保目標，值得積極推廣。

## 捌、參考資料

- 一、高中基礎化學，2018，南一書局出版，台北市。
- 二、梁世祥，2014，黑水蛇研發成果報告，台灣畜產所，新竹分所。
- 三、生質柴油綠色能源，2004，化學工業出版社。
- 四、李唐、張志毓，2006，台灣潛在的生質柴油料源對其產出生質柴油物性的探討，生物技術與綠色農業研討會專刊，p67~73。
- 五、劉素玲等，2009，二種林木種子油使用不同催化劑製備生質柴油，中華林學季刊，P435~445。
- 六、黃金城等，2009，四種林木種子油製造生質柴油之評估，中華林學季刊，p309~318。