

# 2022 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	200002
參展科別	環境工程
作品名稱	廢油回收新解方-探討廢油再製燃料
得獎獎項	三等獎

就讀學校 臺北市立第一女子高級中學

指導教師 詹莉芬、姚月雲

作者姓名 丁苡薰、張庭甄、湯明明

關鍵詞 廢油回收、酒精凝膠、再生燃料

## 作者簡介

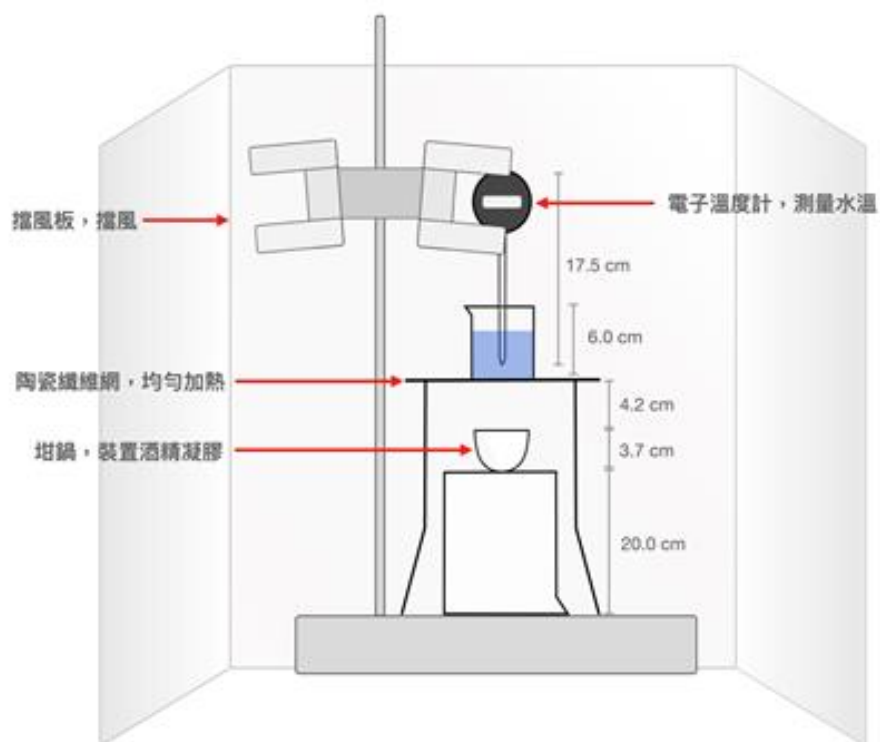


我們是北一女中湯明明、張庭甄和丁苡薰。在高二探究與實作課程中，驚喜發現沙拉油能融入酒精凝膠，經一串實驗發展出再生燃料，讓身為普通班的我們有機會參加臺灣國際科展，帶來從未想過的成長與喜悅。非常感謝詹莉芬和姚月雲老師的話：「放膽去試，怕什麼？錯了再改！」，希望我們的研究成果，能對現今的能源使用有貢獻。

## 摘要

本研究討論以酒精、沙拉油、飽和醋酸鈣溶液，尋找最佳酒精凝膠的穩定度，增加凝膠穩定度方法：(1)密閉系統，(2)飽和醋酸鈣溶液：酒精以 1：5 的比例，(3)添加沙拉油時，穩定度會下降，但添加使用過的廢油時，穩定度會增加。

沙拉油或回收廢油皆無法直接點燃做為燃料，但若溶入酒精凝膠中，則可製成再生固體燃料，本研究結論：回收廢油 10 克、酒精 10 mL、飽和醋酸鈣溶液 2 mL，於室溫經簡單混合，就可製得燃燒效能與市售酒精塊相仿、大於 200 cal/ g 的自製固體燃料；若是成分較簡單的回收廢油，除酒精及飽和醋酸溶液，若再添加適量硬脂酸亦可製得固體燃料。本研究讓「回收廢油」產生新的再利用的機會，對環境、綠能有所貢獻。



## **Abstract**

This study discusses the use of alcohol, salad oil, and saturated calcium acetate solution to find the best stability of alcohol gel. The methods to increase the stability of alcohol gel are: (1) closed system, (2) saturated calcium acetate solution: alcohol in the ratio of 1:5, and (3) when salad oil is added, the stability will decrease, but when used recycled oil is added, the stability will increase.

Neither salad oil nor recycled oil can be directly ignited as fuel, but if dissolved in alcohol gel, it can be made into renewable solid fuel. In this study, it was concluded that 10 g of recycled oil, 10 mL of alcohol, and 2 mL of saturated calcium acetate solution could be mixed at room temperature to produce a homemade solid fuel that combustion efficiency is similar to that of commercially available alcohol blocks and greater than 200 cal/g. In addition to alcohol, saturated alcohol 10 mL, saturated calcium acetate solution, if the composition is relatively simple recycling oil, then you can also make solid fuel when adding appropriate amount of stearic acid. This study allows “recycled oil” to generate new opportunities for reuse and contribute to the environment and green energy.

# 壹、前言

## 一、研究動機

在高二自然科探究與實作課程中，我們可以觀察到酒精與醋酸鈣飽和溶液在適當的比例時混合後形成凍狀物質--酒精凝膠的現象，好奇心驅使我們想瞭解，除了知道適當比例的定量關係、巨觀上看到酒精凝膠現象外，微觀的粒子間與酒精凝膠過程相關的機制？

在課堂中我們添加許多不同的物質於酒精凝膠中，當我們提出想試試沙拉油與酒精凝膠反應時，老師給我們很訝異說你們試試吧！但令我們與老師驚訝的，添加沙拉油居然不僅不影響酒精凝膠的成形，更於固體中出現均勻混合及小油滴狀分布的兩種混合狀態，在沙拉油難溶於酒精的前提下，我們推測此反應可能涉及乳化作用與物質的互溶或其他作用力，因而展開了進一步的實驗設計與發想，以期釐清內部的作用機制。

除此之外，我們想將酒精凝膠除了課堂的實驗，嘗試將酒精凝膠延伸至不同酸敗程度油脂的混合實驗，透過觀察其穩定度、維持時長以及燃燒效能，找尋具最佳比例的酸敗油脂回收酒精凝膠，找出台灣的廢油回收新發展。

## 二、研究目的及研究問題

- (一) 比較開放系統及密閉系統所製作出來的酒精凝膠穩定度
- (二) 探究不同體積的沙拉油融入酒精凝膠後的分佈情形
- (三) 探討酒精凝膠中各物質，沙拉油、蒸餾水、酒精、飽和醋酸鈣溶液之相互作用機制及物質極值
- (四) 探討添入不同體積沙拉油對於酒精凝膠穩定度的影響
- (五) 探討添入不同濃度硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油）對於酒精凝膠穩定度的影響
- (六) 探討沙拉油、含硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油）的燃燒效果
- (七) 探討沙拉油融入酒精凝膠後的燃燒效益
- (八) 探討含硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油）融入酒精凝膠後的燃燒效能
- (九) 以生活中使用後之回收廢油融入酒精凝膠再製固體燃料
- (十) 探討自製回收廢油再製固體燃料的燃燒效果

## 貳、研究設計與過程

### 一、藥品與器材

95%酒精、飽和醋酸鈣溶液、硬脂酸、水、滴管、試管、燒杯、量筒、計時器、玻棒、溫度計、玉米杯、擋風板、坩鍋、刮勺、電子秤、紅色染劑

### 二、研究方法與名詞定義

#### (一)燃燒效能

1. 燃燒定體積蒸餾水並測定水溫上升度數，計算得燃燒所釋放能量（卡路里）。將能量除以溫度上升所花時間，即可計算功率，求得燃燒效能。
2. 以燃燒實驗測定含有不同比例硬脂酸油脂之酒精凝膠的燃燒效能，以推估廢油添入酒精凝膠製程以進行燃燒之可能性。

#### (二) 穩定度

探討酒精凝膠回收廢油的可能性：將含有不同體積油脂之酒精凝膠固定環境條件靜置，其能維持均勻混合且不發生物質分離的現象。

### 三、研究設計



【圖 1】研究架構

#### 四、實驗流程

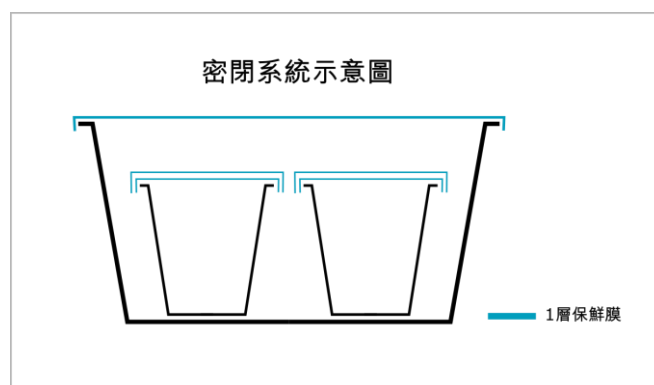
##### (一)、比較開放系統及密閉系統所製作出來的酒精凝膠穩定度

###### 1. 開放系統中的酒精凝膠

- (1) 以 2 mL 飽和醋酸鈣水溶液及 8 mL 乙醇，配置 1 : 4 的酒精凝膠。
- (2) 觀察並記錄形成的酒精凝膠的穩定度。
- (3) 重複 1-2 步驟，3 次。
- (4) 重複 1-3 步驟，但改以 2 mL 飽和醋酸鈣水溶液及 10 mL 乙醇，配置 1 : 5 的酒精凝膠。

###### 2. 密閉系統中的酒精凝膠

與開放系統相同相同步驟，但以 1-2 層保鮮膜形成密閉系統。



【圖 2】密閉系統示意圖

##### (二)、探究不同體積的沙拉油融入酒精凝膠後的分佈情形

1. 混合親油性紅色染劑與沙拉油。
2. 分別於玉米杯中加入 0.20 mL、0.40 mL、0.60 mL、0.80 mL、1.00 mL 紅色沙拉油，並分別倒入 15.0 mL 酒精及 3.0 mL 飽和醋酸鈣溶液後攪拌成凍。
3. 觀察酒精凝膠中之小油滴分布及顏色變化，紀錄觀察結果。

##### (三)、探討酒精凝膠中各物質，沙拉油、蒸餾水、酒精、飽和醋酸鈣溶液之相互作用機制及物質極值

###### 1. 探討酒精凍中各物質兩兩互溶情形

- (1) 取 2 隻試管，分別裝入各 5.0 mL 的沙拉油和蒸餾水。
- (2) 將沙拉油倒入蒸餾水的試管中。
- (3) 觀察並紀錄混合過程。
- (4) 重複 1-3 步驟，但改為將蒸餾水倒入沙拉油的試管中。
- (5) 重複 1-4 步驟，但改為沙拉油與酒精、沙拉油與飽和醋酸鈣溶液。

2. 不同體積沙拉油於酒精中之溶入情形及其極值
  - (1) 試管中倒入 15.0 mL 的酒精、0.20 mL 紅色沙拉油。
  - (2) 以玻棒攪拌後觀察混合情形並記錄實驗結果。
  - (3) 重複 1-2 步驟，但改 0.40、0.60、1.20 ... 至 2.0 mL 紅色沙拉油。
3. 探討不同體積沙拉油於酒精凝膠中之溶入情形及其極值
  - (1)於玉米杯中加入倒入 15.0 mL 的酒精、0.20 mL 紅色沙拉油，以玻棒攪拌混合均勻。
  - (2)加入 3.0 mL 飽和醋酸鈣溶液混合均勻。
  - (3)觀察實驗結果。
  - (4)重複 1-4 步驟，但改 0.40、0.60、0.80、1.00、1.20 mL 紅色沙拉油。

#### (四)、探討添入不同體積沙拉油之體積對於酒精凝膠穩定度的影響

1. 於玉米杯中加入倒入 15.0 mL 的酒精、1.5 mL 沙拉油，以玻棒攪拌混合均勻。
2. 加入 3.0 mL 飽和醋酸鈣溶液混合均勻。
3. 觀察實驗結果。
4. 重複 1-3 步驟，但改 0.40、0.60、0.80、1.00、1.20 mL 沙拉油。

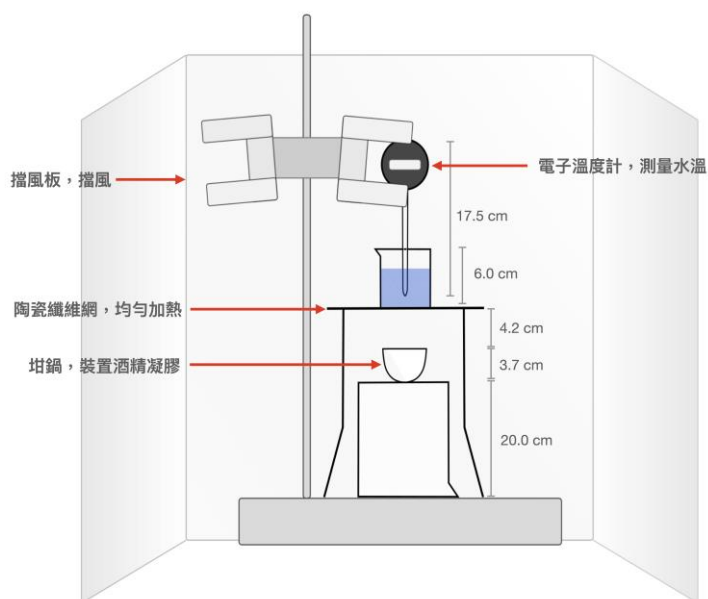
#### (五)、探討添入不同濃度硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油）對於酒精凝膠穩定度的影響

1. 於玉米杯中加入倒入 15.0 mL 的酒精，含 1% 硬脂酸沙拉油，以玻棒攪拌混合均勻。
2. 加入 3.0 mL 飽和醋酸鈣溶液混合均勻。
3. 觀察實驗結果。
4. 重複 1-3 步驟，但改 2、3、...8% 硬脂酸沙拉油。

#### (六)、探討沙拉油、含硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油）的燃燒效果

1. 設計測量燃料燃燒效應裝置，說明如圖 3。
2. 於坩鍋內裝 10 mL 沙拉油，點火使之燃燒，觀察實驗結果。
3. 重複 1-2 步驟，改含有含硬脂酸沙拉油。





【圖 3】燃燒裝置示意圖

#### (七)、探討沙拉油融入酒精凝膠後的燃燒效能

1. 於玉米杯中加入倒入 15.0 mL 的酒精、0.2 mL 沙拉油，以玻棒攪拌混合均勻。
2. 加入 3.0 mL 飽和醋酸鈣溶液混合均勻。
3. 將製得的沙拉油酒精凝膠放入【圖 3】燃燒裝置之坩鍋內，點火燃燒。
4. 紀錄燃燒時間，並計算其燃燒效能
5. 重複 1-4 步驟 3 次。
6. 重複 1-5 步驟，但改 0、0.40、0.60、0.80 mL 沙拉油。

#### (八)、探討含硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油）融入酒精凝膠後的燃燒效能

1. 於玉米杯中加入倒入 15.0 mL 的酒精、含 1%硬脂酸沙拉油 1.5 mL，以玻棒攪拌混合均勻。
2. 加入 3.0 mL 飽和醋酸鈣溶液混合均勻。
3. 將製得的含硬脂酸沙拉油沙拉油酒精凝膠放入【圖 3】燃燒裝置之坩鍋內，點火燃燒。
4. 紀錄燃燒時間，並計算其燃燒效能
5. 重複 1-4 步驟 3 次。
6. 重複 1-5 步驟，但 2、3...8% 硬脂酸沙拉油。
7. 重複 1-6 步驟，但改為 1、2、3...8%硬脂酸沙拉油 7.5 mL。

## (九)、以生活中使用後之回收廢油融入酒精凝膠再製固體燃料

1. 收集生活中的回收廢油，紀錄其基本性質、測量酸價。
  - (1) 以酒精溶解氫氧化鉀，配成約 0.01M 氫氧化鉀酒精溶液。
  - (2) 以 KHP 進行氫氧化鉀酒精溶液濃度標定。
  - (3) 以電子天平取 2 g 待測油品，置入錐形瓶中，並加入乙醚 15 mL、酒精 15mL，使之溶解均勻，再滴入3 滴酚酞指示劑。
  - (4) 以氫氧化鉀酒精溶液滴定之，搖晃錐形瓶直到溶液成淡粉紅色維持 20 秒不變，記錄消耗氫氧化鉀酒精液體積，實驗重複三次取平均值。
  - (5) 計算待測油品的酸價。
  - (6) 重複(3)至(6)步驟，但以新開封沙拉油（以下簡稱沙拉油）代替回收廢油。
2. 回收廢油與酒精反應：
  - (1) 於玉米杯中加入倒入 15.0 mL 的酒精，回收廢油 2.0 g，混合均勻，三重複實驗，觀察紀錄實驗結果。
  - (2) 重複(1)步驟，但改 4.0、6.0、8.0、10.0 g 回收廢油。
  - (3) 重複(1)、(2)步驟，但以沙拉油代替回收廢油，做為對照組。
3. 回收廢油與硬脂酸反應：
  - (1) 於玉米杯中加入倒入 10.0 g 廢油、0.2 g 硬脂酸，以玻棒攪拌混合均勻，觀察紀錄實驗結果。
  - (2) 重複(1)步驟，但加熱。
  - (3) 重複(1)、(2)步驟，但以沙拉油代替回收廢油，做為對照組。
4. 回收廢油與酒精、飽和醋酸鈣溶液反應：
  - (1) 於玉米杯中加入倒入 10 mL 酒精、2.0 g 回收廢油、2 mL 飽和醋酸鈣溶液，混合均勻，三重複實驗，觀察紀錄實驗結果。
  - (2) 重複(1)，4.0、6.0、8.0、10.0 g 回收廢油。
  - (3) 重複(1)、(2)步驟，但以沙拉油代替回收廢油，做為對照組。

5. 回收廢油與硬脂酸、酒精、飽和醋酸鈣溶液反應：

- (1) 配置含有 2 %、4 %、6 %、8 %、10 % 硬脂酸的回收廢油。
- (2) 於玉米杯中加入倒入 10 mL 酒精、含有 2.0 g、2 % 回收廢油、2 mL 飽和醋酸鈣溶液，混合均勻，三重複實驗，觀察紀錄實驗結果。
- (3) 重複(1)，但改為 4.0、6.0、8.0、10.0 g 回收廢油。
- (4) 重複(1)至(3)步驟，但以含有 4 %、6 %、8 %、10 % 硬脂酸的回收廢油。
- (5) 重複(1)至(4)步驟，但以沙拉油代替回收廢油，做為對照組。

(十)、探討自製回收廢油再製固體燃料的燃燒效果

1. 取步驟(九)中第 4、5 步驟得到的自製回收廢油再製固體燃料做燃燒測試。
2. 取再製固體燃料 2.00 克，以【圖 3】燃燒裝置之坩鍋內，點火燃燒。
3. 每隔 1 分鐘紀錄上方燒杯內水溫、火焰溫度，完全燒盡後的水溫最高溫、殘餘燃料質量，三重複實驗。
4. 計算再製固體燃料的燃燒效能，以「cal / g」為單位。
5. 重複 1 至 4 步驟，但以沙拉油代替回收廢油，做為對照組。
6. 重複 1 至 4 步驟，但以市售酒精膏、酒精塊，自製酒精凍代替回收廢油，比較燃燒效能。

## 參、研究結果與討論

### 一、比較開放系統及密閉系統所製作出來的酒精凝膠穩定度

#### (一)開放系統中的酒精凝膠

1. 以飽和醋酸鈣溶液：酒精為 1：4 製備的酒精凝膠穩定度（3 次平均）
  - (1) 兩反應物一混合，立即形成固態，表面可見少許乙醇殘留。
  - (2) 剛開始固體捏時會微微凹陷，之後逐漸硬化，到約 5 分鐘時，則捏下不會產生形狀變化。
  - (3) 擺放 20 分鐘後，表面殘餘乙醇蒸發完畢，酒精凝膠體仍然為固態，但此時捏下凝膠會產生些許凹陷。
2. 以飽和醋酸鈣溶液：酒精為 1：5 製備的酒精凝膠穩定度（3 次平均）
  - (1) 與 1：5 製備的酒精凝膠，凝膠狀態皆與前者相同，但維持固態之時間較長久。
  - (2) 擺放 30 分鐘時又觀察到表面乙醇量增加，推測為由凝膠體滲出。

#### (二)密閉系統中的酒精凝膠





1. 以飽和醋酸鈣溶液：酒精為 1：4 及 1：5 製備的酒精凝膠穩定度，實驗結果如【表 1】。（3 次平均）

【表 1】不同醋酸鈣溶液：酒精比例製備的酒精凝膠穩定度比較

飽和醋酸鈣溶液：酒精	成凍情形	表面殘留液體量	混合情形
1：4	立即成凍	較少	較不均勻
1：5	立即成凍	較多	均勻

2. 比較飽和醋酸鈣溶液：酒精為 1：4 及 1：5 製備的酒精凝膠的老化狀態，實驗結果【表 2】。

【表 2】不同醋酸鈣溶液：酒精比例製備的酒精凝膠穩定度比較

飽和醋酸鈣溶液：酒精	1：4	1：5
剛成凍		
狀態描述	混合較不均勻	混合較均勻
靜置 180 小時		
狀態描述	變成膏狀	變成膏狀

(三)開放系統中與密閉系統中的製備的酒精凝膠比較如【表 3】。

【表 3】開放系統中與密閉系統中的製備的酒精凝膠比較


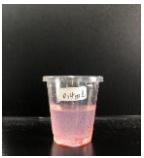


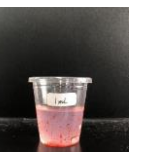





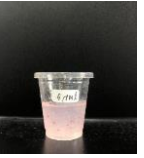
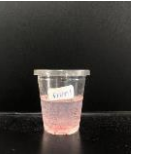



實驗環境	開放系統	密閉系統
凝膠狀態	靜置 14 小時後呈現極濃稠膏狀	靜置 180 小時後呈現濃稠膏狀
凝膠體積	體積減少約 2 mL	體積不變
有無結晶	表面出現針狀結晶	無結晶現象

經本實驗發現，酒精凝膠置於密閉系統中可以長時間維持穩定，並漸漸由堅硬固態變為膏狀，若置於開放系統中則會加速老化，並於 14 小時內乾燥形成結晶。因此後續實驗研究者將在能維持凝膠穩定的密閉系統、混合狀態較均勻的 1：5 比例進行後續添加沙拉油的實驗。

## 二、探究不同體積的沙拉油融入酒精凝膠後的分佈情形

(一)不同體積紅色沙拉油融入 15 mL 酒精凝膠實驗結果，如【表 4】、【表 5】。

【表 4】不同體積紅色沙拉油融入 15 mL 酒精凝膠實驗結果

沙拉油添加量	0.2 mL	0.4 mL	0.6 mL	0.8 mL	1.0 mL
第一次					
第二次					
第三次					

說明：不同添加量之沙拉油之醋酸鈣酒精凝膠：同樣體積的酒精下，添加越多沙拉油，形成醋酸鈣酒精凝膠的粉紅暈越深，且形成的油滴也越來越大，且油滴是屬於均勻分布的狀態。

【表 5】不同體積紅色沙拉油融入 15 mL 酒精凝膠之產物描述

實驗編號	沙拉油 (mL)	產物外觀	油滴分佈情形	油滴大小
1	0.2	呈極淺的粉色	均勻分散 部分醋酸鈣酒精凝膠無油滴	大多數細小油滴
2	0.4	呈淺粉色	均勻分散 小塊醋酸鈣酒精凝膠無油滴	大多數細小油滴
3	0.6	呈淺粉色	均勻分散且密集	大多數細小油滴
4	0.8	呈粉色	均勻分散且密集	含部分較大油滴
5	1.0	呈紅粉色	均勻分散且最密集	含部分較大油滴




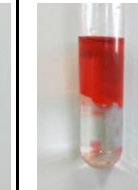

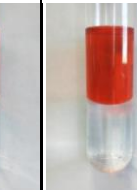
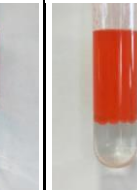
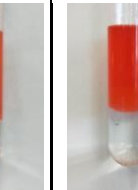
說明：(1)透過圖表我們可以發現於添加沙拉油 0.40 毫升時杯底出現極微量的沙拉油；加入 0.6 毫升時杯底及杯壁出現極微量的沙拉油；加入 0.8 毫升沙拉油時上層開始出現極微量的酒精滲出且杯底有明顯沙拉油殘留；加入越多沙拉油醋酸鈣酒精凝膠越來越軟，而從 0.6 毫升開始油滴分布均勻，0.8 毫升至 1.2 毫升則出現大油滴。

(2)透過添加不同體積的沙拉油在酒精凍中的溶解情形以及分布趨勢可推測：沙拉油以直接溶入與以小油滴方式固定在酒精凍中，推測為因攪拌後以分子間作用力形成較穩定持久的結合體狀態。

### 三、探討酒精凝膠中各物質，沙拉油、蒸餾水、酒精、飽和醋酸鈣溶液之相互作用機制及物質極值




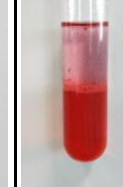

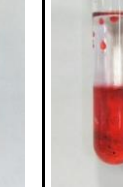

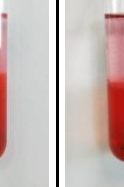
(一)探討酒精凍中各物質兩兩互溶情形，將兩液體各 5 mL，改變反應物種類、倒入順序，實驗結果【表 5】、【表 6】、【表 7】。

【表 5】紅色沙拉油與蒸餾水互溶情形

沙拉油加入蒸餾水				蒸餾水加入沙拉油			
混合情形	靜置 10 分鐘	攪拌後混合情形	攪拌後靜置 10 分鐘	混合情形	靜置 10 分鐘	攪拌後混合情形	攪拌後靜置 10 分鐘
							
20 秒後明顯分層	明顯分層	瞬間明顯分層	明顯分層	瞬間明顯分層	明顯分層	瞬間明顯分層	明顯分層

說明：由沙拉油與蒸餾水互溶情形可知二者互不相溶，但攪拌後會沒有明顯乳化現象。二物質之添加順序並不影響其混合情形。




【表 6】紅色沙拉油與酒精互溶情形

沙拉油加入酒精				酒精加入沙拉油			
混合情形	靜置 10 分鐘	攪拌後混合情形	攪拌後靜置 10 分鐘	混合情形	靜置 10 分鐘	攪拌後混合情形	攪拌後靜置 10 分鐘
							
明顯分層	明顯分層	明顯分層	後漸恢復明顯分層	明顯分層	明顯分層	後漸恢復明顯分層	明顯分層
	交界處有一層小油球，油球經一段時間後溶入，交界面平坦	小油球消失，交界面有粉紅暈狀	交界面上部有半懸浮油滴	滴入後沙拉油成圓球狀小油滴，約 10 秒後小油滴在底部漸漸融合成大油滴	小油球消失，交界面有粉紅暈狀	交界面上部有細小油滴組成的半透明層	交界面上部有三到四個細小油滴

- 說明：(1)由初混入時沙拉油在與酒精的交界面呈現小油球狀，以及酒精上部液面中央有懸浮油滴，可知酒精與油脂間有某種程度的混合相容。
- (2)與蒸餾水相比，沙拉油經攪拌後在酒精中較容易散為小油滴，且停止攪拌後沙拉油與酒精恢復二液體明顯分層的速率較在蒸餾水中慢。
- (3)攪拌後的酒精呈粉紅色。
- (4)由以上幾點觀察推論酒精與沙拉油之間有某種相互吸引的作用力可使二者混合，且攪拌會幫助互溶。



【表 7】紅色沙拉油與飽和醋酸鈣溶液互溶情形

沙拉油加入飽和醋酸鈣溶液				飽和醋酸鈣溶液加入沙拉油			
混合情形	靜置 10 分鐘	攪拌後混合情形	攪拌後靜置 10 分鐘	混合情形	靜置 10 分鐘	攪拌後混合情形	攪拌後靜置 10 分鐘
							
明顯分層	明顯分層	微粒狀漸層混合	有三層明顯分層上層又呈極細密微粒狀漸層混合	明顯分層	明顯分層	微粒狀漸層混合	有三層明顯分層上層又呈極細密微粒狀漸層混合
交接處飽和醋酸鈣水溶液形成圓球狀，越接近上層圓球體積越小	交接處飽和醋酸鈣水溶液形成圓球狀，越接近上層圓球體積越小	沙拉油呈細小油球密集分佈於飽和醋酸鈣溶液中	各層皆異於對照組，且有混合情形	交界面平坦	交界面平坦	沙拉油呈細小油球密集分佈於飽和醋酸鈣溶液中	層皆異於對照組，且有混合情形











說明：(1)沙拉油與醋酸鈣攪拌後試管中間呈現均勻混合的情形，推測為乳化現象。

(2)在水與醋酸鈣水溶液與管壁附著力大於水分子間的內聚力的前提下，油水交界面成弧狀，而油的重量使凹面曲率變得更大。而油與醋酸鈣交界面平坦，可推知醋酸鈣與油間有相互吸引的作用力。

(3)攪拌後醋酸鈣會捕捉小油滴，且滴入時醋酸鈣在沙拉油中會呈現球狀；另外，同樣的攪拌力道下，沙拉油在醋酸鈣水溶液中較在蒸餾水中易攪開成小油滴。上述可作為為醋酸鈣與油之間有作用力的進一步證據。

(二)不同體積沙拉油於 15 mL 酒精中之溶入情形，實驗結果如【表 8】。






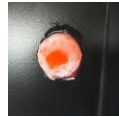












【表 8】不同體積沙拉油溶入 15 mL 酒精實驗結果

沙拉油添加量 (mL)									
0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
									

說明：每一管在攪拌時沙拉油會散成小油滴分佈於酒精之中，停止攪拌後小油滴即緩緩沉至底部。沙拉油添加量越多，攪拌後小油滴量越多，酒精溶液呈色越深。可知沙拉油在酒精中呈現小油滴分佈為暫時性現象，而小油滴量及溶入酒精的沙拉油量與添加量成正比。

(三)探討不同體積沙拉油於酒精凝膠中之溶入情形，實驗結果如【表 9】、【表 10】。

【表 9】不同體積紅色沙拉油溶入 15 mL 酒精凝膠實驗結果

沙拉油添加量	0.2 mL	0.4 mL	0.6 mL	0.8 mL	1.0 mL	1.2 mL
俯視圖						
測視圖						
杯中殘留物質						

【表 10】不同體積紅色沙拉油溶入 15 mL 酒精凝膠實驗結果

編號	沙拉油體積(mL)	酒精殘留	沙拉油殘留	產物狀態	油滴分佈
1	0.2	無	無	硬，上層有油滑觸感	均勻分散，部分醋酸鈣酒精凝膠無油滴
2	0.4	無	杯底微量	硬，上層有油滑觸感	均勻分散，小塊醋酸鈣酒精凝膠無油滴
3	0.6	無	杯底及杯壁微量	較軟，上層有油滑觸感	均勻分散且密集
4	0.8	上部極微量	杯壁微量 杯底明顯殘留	較軟，上層有油滑觸感	均勻分散且密集，有較大油滴
5	1.0	上部極微量 產物不斷滲出	杯底、杯壁及醋酸鈣酒精凝膠上部明顯殘留	非常軟，結構脆弱，輕輕擠壓即變形	均勻分散且密集，有較大油滴
6	1.2	上部微量，產物不斷滲出	杯底、杯壁及醋酸鈣酒精凝膠上部明顯殘留	非常軟，結構脆弱易碎裂散開	均勻分散且密集，有較大油滴







說明：(1)沙拉油添入量在 0.2 mL 至 0.8 mL 時，產物呈色漸深、油滴含量與密度漸增；至 0.8 mL 至 1.2 mL 時，產物狀況相同，皆呈深粉紅色、油滴均勻分散、密集且有較大油滴出現，唯產物外部出現沙拉油殘留，且其量漸增，可知沙拉油溶入量應在 0.8 mL 前達極值。產物於沙拉油添入量在 1.0 mL 與 1.2 mL 時結構極度脆弱易碎，再次印證沙拉油添入量極值在 0.6 mL 至 0.8 mL 之間。

(2)沙拉油溶入酒精凍有極值，得知因酒精分子之間的凡得瓦力受沙拉油分子阻擋，擠壓後有大量酒精滲出，可作為沙拉油溶入酒精凍之證據。

#### 四、探討添入不同體積沙拉油對於酒精凝膠穩定度

不同體積沙拉油對於 15.0 mL 酒精凝膠穩定度的實驗結果，如【表 11】、【表 12】。

【表 11】不同體積沙拉油對於 15.0 mL 酒精凝膠實驗結果

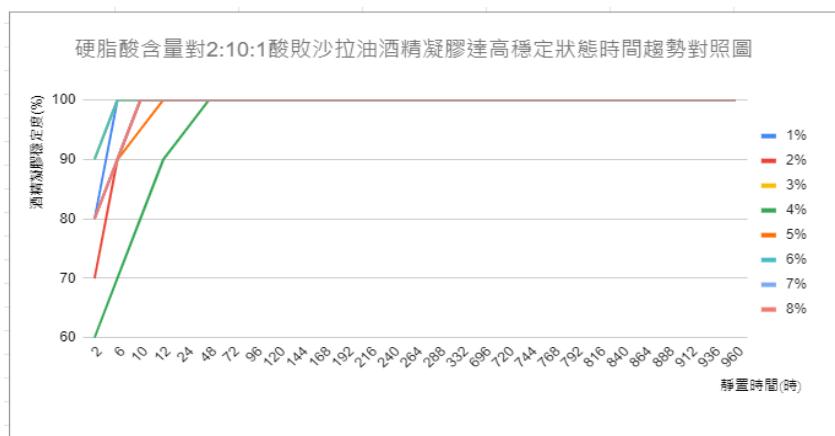
拉油體積 (mL)	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0
成凍情形						
狀態描述	油脂均勻混合於凍體下半部	油脂均勻混合於整塊凍體	油滴分佈於較外層，中央凍體呈現白色	油滴分佈於較外層，中央凍體呈現白色	有較大油滴	油滴成小球狀均勻分佈於整塊凍體之中

【表 12】不同體積沙拉油對於 15.0 mL 酒精凝膠之穩定度

沙拉油體積(mL)	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0
成凍情形	立即成凍					
靜置 10 分鐘	出現小氣泡 (直徑 < 1mm)					
靜置 2 小時	表層部分變為膏狀		表層全部變為膏狀		表層維持固態	
靜置 3 小時	表層全部變為膏狀		出現分層			出現分層
靜置 4 小時					出現分層	
靜置 6 小時			完全分層			
靜置 11 小時		出現分層				
靜置 36 小時		完全分層				
靜置 60 小時	完全分層					

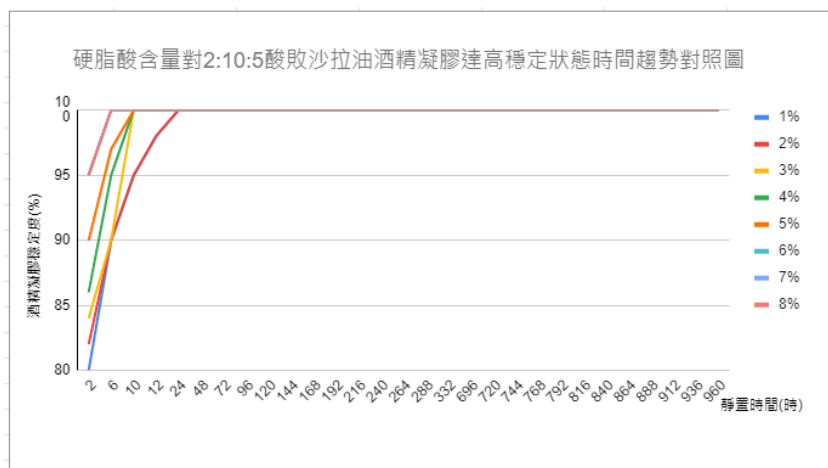
## 五、探討添入不同濃度硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油）對於酒精凝膠穩定度的影響

(一) 不同濃度（1 - 8 %）硬脂酸沙拉油 1.5 mL 融入酒精凝膠的老化實驗，以酒精凝膠之穩定度（訂完全凝結為 100%）為縱坐標，時間（小時）為橫坐標，作圖如【圖 4】。



【圖 4】不同濃度（1 - 8 %）硬脂酸沙拉油 1.5 mL 融入酒精凝膠的老化實驗之穩定趨勢





(二) 不同濃度（1 - 8 %）硬脂酸沙拉油 7.5 mL 融入酒精凝膠的老化實驗，以酒精凝膠之穩定度（訂完全凝結為 100%）為縱坐標，時間（小時）為橫坐標，作圖如【圖 5】。



【圖 5】不同濃度（1 - 8 %）硬脂酸沙拉油 7.5 mL 融入酒精凝膠的老化實驗之穩定趨勢

(三)由【圖 4】、【圖 5】所示，各衰敗程度沙拉油製成的酒精凝膠在形成初期雖具有明顯的個別差異，但都於 24 小時後都達到穩定狀態，且在三重覆的密閉系統中都成功將液體收乾，形成穩定且緊密的結構。爾後密封 960 小時的過程中，各實驗組皆仍保持穩定的固體狀態，無任何崩解、出水等老化情形，由上可知加入硬脂酸的酒精凝膠仍能有長時間的穩定性。綜合以上實驗結果，可對「未酸敗沙拉油酒精凝膠與酸敗油酒精凝膠」進行性質比較，如【表 13】。

【表 13】未酸敗沙拉油酒精凝膠與酸敗油脂酒精凝膠性質比較

	未酸敗油脂	酸敗油脂
穩定度	較低，各組在製成 24 小時內皆有物質分裂且持續改變外觀狀態的現象。	較高，各組在 24 小時內皆可達到均勻混合狀態且不發生物質分離，並維持穩定狀態數百小時。
		
密封靜置 180 小時狀態	呈現物質分離且分層之現象	維持勻相且穩定的凝膠狀態
		

## 六、探討沙拉油、含硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油）的燃燒效果

(一)如【圖 3】裝置，坩鍋內放 15 mL 沙拉油，室溫下無法直接點燃。

(二)如【圖 3】裝置，不同濃度（1 - 8 %）硬脂酸沙拉油 15 mL，室溫下無法直接點燃。

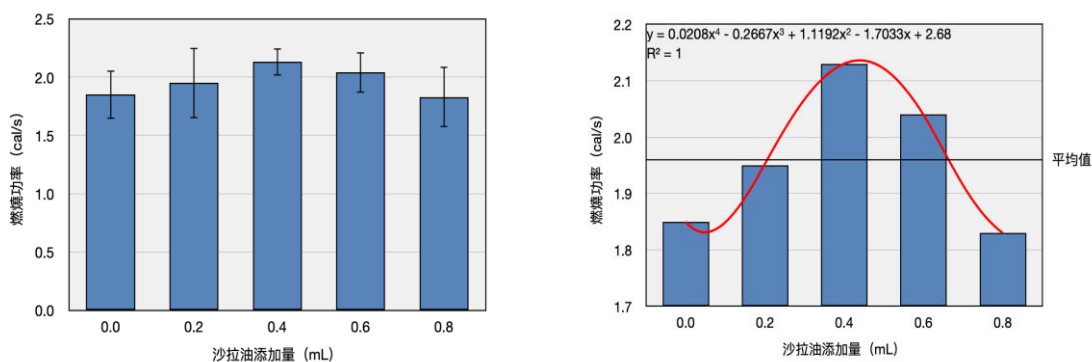
## 七、探討沙拉油融入酒精凝膠後的燃燒效益

(一)不同體積沙拉油融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒實驗，計算其燃燒放熱之平均功率，如表【表 14】。

【表 14】不同體積沙拉油融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒效能

實驗編號	沙拉油體積 (mL)	重複三次	時間 (s)	平均時間 (s)	平均功率 (cal/s)	功率標準差 ( $\sigma$ )
1	0.0	1-1	123.97	136.74	1.85	0.21
		1-2	125.58			
		1-3	160.67			
2	0.2	2-1	119.71	111.91	1.95	0.30
		2-2	112.16			
		2-3	103.87			
3	0.4	3-1	113.62	353.56	2.13	0.12
		3-2	127.38			
		3-3	112.56			
4	0.6	4-1	113.02	370.77	2.04	0.17
		4-2	138.97			
		4-3	118.78			
5	0.8	5-1	106.86	357.94	1.83	0.26
		5-2	133.71			
		5-3	117.37			

(二)分析不同體積沙拉油融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒效能，如【圖 6】



【圖 6】（左）分析不同體積沙拉油融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒效能圖

（右）分析不同體積沙拉油融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒效能趨勢圖

說明：(1)分析不同體積沙拉油融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒效能關係，由【圖 6】

（左），沙拉油添入量 0.2 mL 至 0.8 mL 的產物平均燃燒功率與  $f(x) = 0.208x^4 - 0.2667x^3 + 1.1192x^2 - 1.7033x + 2.68$  之多項是函式趨勢線完全吻合，其趨勢呈現鐘形，其功率在隨沙拉油添入量增加而攀升，並在稍微大於 0.4 mL 處達到頂峰，隨後燃燒功率則隨沙拉油添加量增加而下降。可知沙拉油與酒精應有燃燒效能的最佳比例。



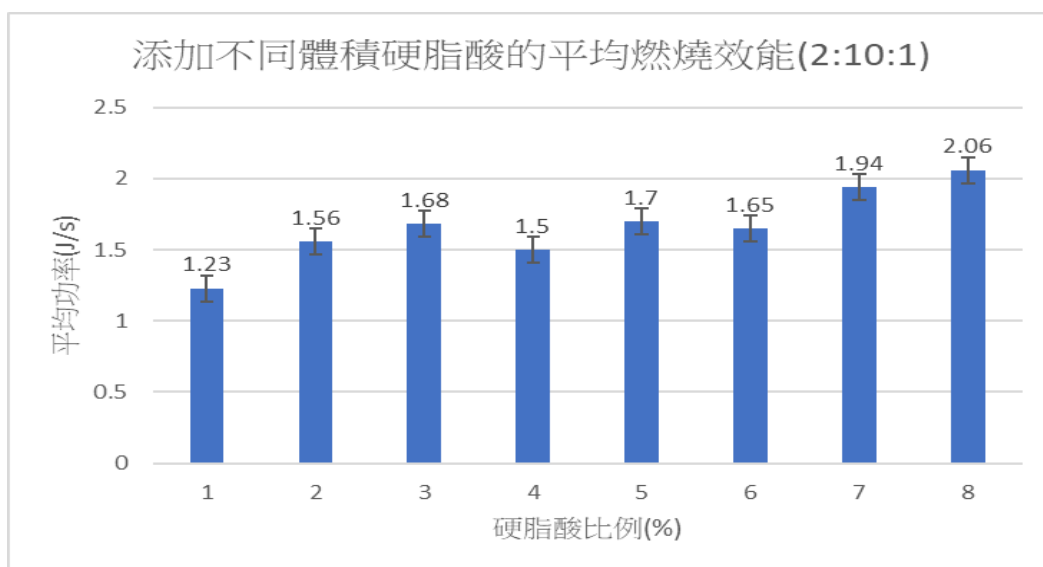
## 八、探討含硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油）融入酒精凝膠後的燃燒效能

(一)不同體積濃度(1 - 8%)硬脂酸沙拉油 1.5 mL 融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒實驗，計算其燃燒放熱之平均功率，如表【表 15】。

【表 15】不同體積濃度(1 - 8%)硬脂酸沙拉油 1.5 mL 融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒效能  
對照組：醇酒精凝膠燃燒放熱之平均功率：1.85

實驗編號	硬脂酸 (%)	重複三次	時間 (min)	平均時間 (min)	平均功率 (cal/s)	功率標準差 ( $\sigma$ )
1	1 %	1-1	12	11.0	1.23	0.14
		1-2	12			
		1-3	9			
2	2 %	2-1	10	7.33	1.56	0.11
		2-2	12			
3	3 %	3-1	8	8.73	1.68	0.2
		3-2	9			
		3-3	8			
4	4 %	4-1	9	8.33	1.5	0.17
		4-2	7			
		4-3	9			
5	5 %	5-1	12	13.0	1.7	0.16
		5-2	13			
		5-3	14			
6	6 %	6-1	12	12.0	1.65	0.16
		6-2	13			
		6-3	11			
7	7 %	7-1	11	11.0	1.94	0.37
		7-2	12			
		7-3	10			
8	8 %	8-1	11	11.0	2.06	0.21
		8-2	12			
		8-3	10			

(二)不同體積濃度(1 - 8%)硬脂酸沙拉油 1.5 mL 融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒實驗，其燃燒放熱之平均功率比較，如表【圖 7】



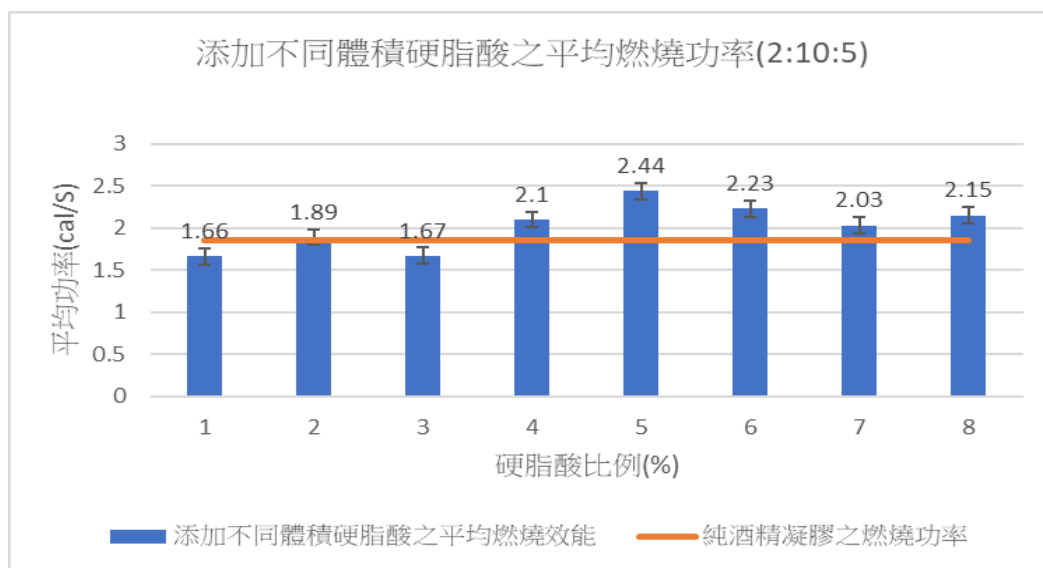
【圖 7】不同體積濃度(1 - 8%)硬脂酸沙拉油 1.5 mL 融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒實驗放熱之平均功率比較圖，以添加 5% 硬脂酸製得的酒精凝膠燃燒效能最大。

(三)不同體積濃度(1–8%)硬脂酸沙拉油 7.5 mL 融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒實驗，計算其燃燒放熱之平均功率，如表【表 16】。

【表 16】不同體積濃度(1–8%)硬脂酸沙拉油 9.0 融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒效能

實驗編號	硬脂濃度 (%)	重複三次	時間 (min)	平均時間 (min)	平均功率 (cal/s)	功率標準差 ( $\sigma$ )
1	1%	1-1	10	9.0	1.66	0.08
		1-2	9			
		1-3	8			
2	2%	2-1	9	8.67	1.89	0.17
		2-2	9			
		2-3	8			
3	3%	3-1	10	10.0	1.67	0.38
		3-2	10			
		3-3	10			
4	4%	4-1	8	8.33	2.1	0.11
		4-2	9			
		4-3	8			
5	5%	5-1	7	5.33	2.44	0.4
		5-2	6			
		5-3	3			
6	6%	6-1	5	4.67	2.23	0.25
		6-2	5			
		6-3	4			
7	7%	7-1	10	9	2.03	0.16
		7-2	8			
		7-3	9			
8	8%	8-1	10	10.33	2.15	0.16
		8-2	10			
		8-3	11			

(四)不同體積濃度(1-8%)硬脂酸沙拉油 7.5 mL 融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒實驗，其燃燒放熱之平均功率比較，如【圖 8】



【圖 8】不同體積濃度(1-8%)硬脂酸沙拉油 9.0 mL 融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒實驗放熱之平均功率比較圖，以添加 5% 硬脂酸製得的酒精凝膠燃燒效能最大。

(五)綜合整理以上結果，綜合比較不同體積濃度(1-8%)硬脂酸沙拉油融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒實驗放熱之平均功率比較，討論燃燒效能大於純酒精凝膠的組合，整理如【表 17】。

【表 17】不同體積濃度(1-8%)硬脂酸沙拉油融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒實驗放熱之平均功率比較

沙拉油體積(mL)	1.5		7.5					
	7	8	2	4	5	6	7	8
燃燒功率提升程度(%)	4	11	2	14	32	20	10	16

說明：(1)由【圖 6】、【圖 7】、【表 17】可知，所有添加酸敗油脂的酒精凝膠都能夠穩定的燃燒，而 16 組中有 8 組能夠提升燃燒效能，其中以 5% 硬脂酸沙拉油融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒實驗放熱之平均功率比較燃燒功率最佳，相較純酒精凝膠提升 132%。

(2) 由【圖 6】、【圖 7】兩張燃燒功率圖可見酒精凝膠的燃燒效能大致隨著油脂酸敗程度與油脂含量增加而增加，且又酸敗油脂原本在常溫常壓下無法

以打火機點燃，可知燃點低的乙醇能有效成為媒界，使酸敗油脂中蘊藏的能量得到釋放與利用。

(六)測量燃燒效能的實驗過程中，亦發現燃燒後的副產物有諸多特點，並針對副產物進行描述，整理如【表 18】。

【表 18】含硬脂酸沙拉油融入酒精凝膠，燃燒後副產物性質

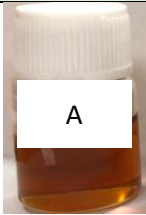

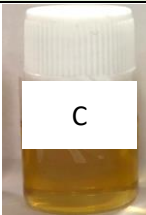


組別	燃燒前	燃燒後	
5 %硬脂酸沙拉油融入 1.5 mL 的酒精凝膠			
	白色固體	燃燒後呈現表層呈現堅硬且半透明殼狀，底部則為白色不可燃固體	燃燒後副產物可輕易敲出
8 %硬脂酸沙拉油融入 15.0 mL 的酒精凝膠			
	白色固體	燃燒後呈現透明如融化蠟狀的液體，不可燃	靜置後結為觸感滑膩的不可燃蠟狀物質，可以整塊取出

說明：燃燒後的酸敗油脂酒精凝膠會呈現兩種情形，油脂含量較少的會呈現結晶狀，而油脂含量較多的會產生與蠟很相似的物質。因其副產物皆不可燃，推測酒精凝膠皆可完全燃燒。另外燃燒後副產物無起火疑慮又易於取出、丟棄，十分安全方便，有很高的使用價值。此外，結晶狀副產物與似蠟狀副產物的不可燃特性與其他性質有望經後續研究後進行更進一步的實際利用，貫徹環保精神將廢棄物降到最低、資源進行最大的利用。

## 九、以生活中使用後之回收廢油融入酒精凝膠再製固體燃料

(一)收集生活中的回收廢油、新開封沙拉油，紀錄其基本性質、測量酸價，實驗結果整理如【表 19】。

【表 19】回收廢油、新開封沙拉油之來源、基本性質及酸價 (mg KOH / g 油)

	A 油	B 油	C 油	D 油	沙拉油
外觀					
來源	炸過豬排、雞排餐廳廢油	炸過堅果之工廠廢油	炸過豬排、雞排餐廳廢油	高中實驗室重複加熱廢油	新開封沙拉油
顏色	顏色較深 澄清	顏色深 澄清	顏色較深 澄清	顏色正常 澄清	(對照組) 澄清
酸價	3.76	2.57	0.58	0.49	0.21

說明：1.五種回收廢油及新開封沙拉油的酸價測量實驗結果如【表 20】。

【表 20】以氫氧化鉀酒精溶液測量五種回收廢油 2.0 g 及沙拉油酸價實驗結果：

標定後氫氧化鉀酒精溶液 = 0.00875 N

	滴定耗去氫氧化鉀酒精溶液 (mL)				平均酸價 (mg KOH/g 油)
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均體積	
A 油	14.9	15.8	15.4	15.36	3.76
B 油	10.0	10.9	10.6	10.50	2.57
C 油	2.1	2.4	2.6	2.37	0.58
D 油	2.0	2.0	2.0	2.00	0.49
沙拉油	0.9	0.9	0.8	0.87	0.21

2. 酸價 (Acid value) 是指用來測量油脂中的游離酸含量。一般國際標準來說，品質良好之精製油的酸價為 0.2 mg KOH / g 以下，依據臺灣衛生福利部食品藥物管理署規定，要求酸價不得高於 2.0 mg KOH/gram，超過此數值或炸油已發出油耗味，表示油脂劣化，就必須立即換油。

(二)回收廢油與酒精反應，三重複實驗結果：

1. 四種回收廢油，各 3.0 至 15.0 g，與 15.0 酒精均無法直接形成固態酒精。
2. 新開封沙拉油，各 3.0 至 15.0 g，與 15.0 酒精均無法直接形成固態酒精。

(三)回收廢油與硬脂酸反應，實驗結果：

1. 四種回收廢油各 10.0 g，分別與 0.2 g 硬脂酸反應，室溫下均難溶解。
2. 沙拉油 10.0 g，與 0.2 g 硬脂酸，室溫下均難溶解。
3. 承 1、2 步驟，若要在室溫下溶解，約需攪拌 1 小時或更久。
4. 承 1、2 步驟，若加熱回收廢油或沙拉油，硬脂酸則可迅速溶解。

(四)回收廢油與酒精、不同濃度硬脂酸、飽和醋酸鈣溶液反應：

1. 10 mL 酒精、不同質量、不同含量硬脂酸回收廢油 (A、B、C、D)、沙拉油、2 mL 飽和醋酸鈣溶液，混合均勻，三重複實驗結果，「密封」30 天，實驗結果如【表 21】(1)至(5)。

【表 21】(1)10 mL 酒精、不同質量、不同含量硬脂酸回收廢油 A、2 mL 飽和醋酸鈣溶液混合反應結果

硬脂酸含量 \ A 油質量	4 g	6 g	8 g	10 g
0	固體	固體	固體	固體
2 %	固體	固體	固體	固體
4 %	固體	固體	固體	固體
6 %	固體	固體	固體	固體

【表 21】(2)10 mL 酒精、不同質量、不同含量硬脂酸回收廢油 B、2 mL 飽和醋酸鈣溶液混合反應結果

硬脂酸含量 \ B 油質量	4 g	6 g	8 g	10 g
0	固體	固體	固體	固體
2 %	固體	固體	固體	軟固體
4 %	固體	固體	軟固體	軟固體
6 %	固體	軟固體	軟固體	軟固體

【表 21】(3)10 mL 酒精、不同質量、不同含量硬脂酸回收廢油 C、2 mL 飽和醋酸鈣溶液混合反應結果

硬脂酸含量 \ C 油質量	4 g	6 g	8 g	10 g
0	固體	固體	固體	固體
2 %	固體	固體	軟固體	軟固體
4 %	固體	固體	固體	軟固體
6 %	固體	軟固體	軟固體	軟固體

【表 21】(4)10 mL 酒精、不同質量、不同含量硬脂酸回收廢油 D、2 mL 飽和醋酸鈣溶液混合反應結果

硬脂酸含量 \ D 油質量	4 g	6 g	8 g	10 g
0	軟固體	軟固體	軟固體	軟固體
2 %	固體	軟固體	軟固體	軟固體
4 %	固體	固體	軟固體	軟固體
6 %	軟固體	軟固體	軟固體	軟固體

【表 21】(5)10 mL 酒精、不同質量、不同含量硬脂酸沙拉油、2 mL 飽和醋酸鈣溶液混合反應結果

硬脂酸濃度 \ 沙拉油質量	4 g	6 g	8 g	10 g
0	軟固體	軟固體	軟固體	軟固體
2 %	固體	固體	固體	軟固體
4 %	固體	固體	固體	軟固體
6 %	固體	軟固體	軟固體	軟固體

- 固體定義：反應物凝聚成「一塊」固體，可能有少許液體殘存。  
軟固體定義：反應物凝聚成「很多塊」固體，殘存液體較多。
- 表格中的實驗結果我們持續觀察 30 天的實驗結果，與各反應物混合當下的結果相同，證實若形成「固態」相當穩定。



4. 各反應物混合當下雖然形成固態，但於「開放」系統靜置，則約 3 至 5 天，就會變成軟固體。

(五)根據以上實驗結果，可整理出：

1. 以回收廢油、沙拉油、硬脂肪酸、飽和醋酸鈣溶液等，混合後是否產生「固體物質」的綜合整理其趨勢，如【表 22】。

【表 22】可形成固體燃料趨勢整理

	沙拉油	回收廢油	硬脂酸	酒精	飽和醋酸鈣	形成固體
1				V	V	V
2	V				V	
3	V			V		
4	V		V			
5	V			V	V	
6	V		V	V		
7	V		V	V	V	V
8		V			V	
9		V		V		
10		V	V			
11		V	V	V		
12		V		V	V	V
13		V	V	V	V	V

2. 解釋【表 22】的實驗結果，推測原因是：

- (1) 液態酒精與液態飽和醋酸鈣溶液混合，乃因溶液中添加離子化合物，增加粒子間作用力，因此形成穩定的固體物質。
- (2) 液態新開封沙拉油，酸價 0.21 mg KOH/g，若僅與酒精及飽和醋酸鈣溶液混合，顯然溶液中離子性物質不夠多，無法增加粒子間作用力形成穩定的固體物質。
- (3) 承上，但若添加硬脂酸，則可增加粒子間作用力，因此形成穩定的固體物質。
- (4) 回收廢油的酸價較高，已含離子化合物，因此是否添加硬脂酸，都可與酒精及飽和醋酸鈣溶液混合，產生足夠力子間作用力，形成穩定的固體物質。

2. 直接取不同質量回收廢油（A、B、C、D）、沙拉油，未添加硬脂酸，與 10 mL 酒精、2 mL 飽和醋酸鈣溶液混合，形成固體或軟固體的綜合整理其趨勢，如【表 23】

【表 23】不同質量回收廢油（A、B、C、D）、沙拉油，未添加硬脂酸，與 10 mL 酒精、2 mL 飽和醋酸鈣溶液混合，形成固體或軟固體趨勢整理

廢油酸價 廢油質量	A 油	B 油	C 油	D 油	沙拉油
	3.76	2.57	0.58	0.49	0.22
4 g	固體	固體	固體	軟固體	軟固體
6 g	固體	固體	固體	軟固體	軟固體
8 g	固體	固體	固體	軟固體	軟固體
10 g	固體	固體	固體	軟固體	軟固體

說明：由廢油之來源比較，A、B、C 來自餐廳及食品工廠炸過食物之廢油，酸價較高，顯然較易與酒精、飽和醋酸鈣溶液混合製得固體燃料。

3. 由上述實驗結果可知，固定 10 mL 酒精與 2 mL 飽和醋酸鈣溶液與含量不同硬脂酸回收廢油混合，可歸納出以下趨勢：
- (1) 由【表 22】(1)，回收廢油 A 的酸價 3.76 mg KOH / g，無論是否添加硬脂酸（至多 6%），回收廢油 A（4 至 10 g）都可製得固體燃料。
  - (2) 由【表 22】(2)、(3)，回收廢油 B、C 的酸價分別是 2.57、0.58 mg KOH / g，當相同含量硬脂酸時，增加回收廢油 B 或 C 質量，則越傾向形成軟固體；當回收廢油質量固定，增加硬脂酸含量，也則越傾向形成軟固體。
  - (3) 由【表 22】(4)、(5) 回收廢油 D、沙拉油的酸價分別 0.49、0.22 mg KOH / g，無論是否添加硬脂酸（至多 6%），回收廢油 A（4 至 10 g），都不易形成固體。

## 十、探討自製回收廢油再製固體燃料的燃燒效果

1. 10 mL 酒精、不同質量、不同含量硬脂酸回收廢油 (A、B、C、D)、沙拉油、2 mL 飽和醋酸鈣溶液，製得再製固體燃料，「密封」7 天後實驗結果，取三次實驗之平均值，如【表 23】(1)至(5)。

燒杯水量：10 mL 再製固體燃料：2.0 g

【表 23】(1)10 mL 酒精、不同質量、不同含量硬脂酸回收廢油 A、2 mL 飽和醋酸鈣溶液，再製固體燃料的燃燒效果

硬脂酸含量 \ A 油質量		4 g	6 g	8 g	10 g
		0	水溫變化量 (°C)	47.5	46.5
0	燃料殘留量 (%)	20.1	19.8	25.2	32.3
	燃燒效能 (cal/g)	237.5	232.5	213.0	182.0
	2%	水溫變化 (°C)	41.0	36.4	31.0
2%	殘留量 (%)	27.7	31.3	46.0	51.3
	燃燒效能 (cal/g)	205	182.0	155.0	142.0
	4%	水溫變化 (°C)	43.1	29.4	22.6
4%	殘留量 (%)	30.3	51.0	58.5	---
	燃燒效能 (cal/g)	215.5	147.0	113	---
	6%	水溫變化 (°C)	41.6	33.0	---
6%	殘留量 (%)	30.0	45.8	---	---
	燃燒效能 (cal/g)	208.0	165	---	---

$$\text{燃燒效能 (cal/g)} = \frac{10 \times 1 \times \text{水溫變化量 (cal)}}{2(\text{g})} \times 100\%$$

【表 23】(2)10 mL 酒精、不同質量、不同含量硬脂酸回收廢油 B、2 mL 飽和醋酸鈣溶液再製固體燃料的燃燒效果

硬脂酸含量 \ B 油質量		4 g	6 g	8 g	10 g
		0	水溫變化量 (°C)	46.5	43.2
0	燃料殘留量 (%)	19.0	25.3	29.8	30.7
	燃燒效能 (cal/g)	232.5	216.0	199.5	201.5
	2%	水溫變化 (°C)	40.3	36.3	31.4
2%	殘留量 (%)	29.8	36.8	41.0	---
	燃燒效能 (cal/g)	201.5	181.5	157	---
	4%	水溫變化 (°C)	42.1	31.5	25.4
4%	殘留量 (%)	29.2	47.5	54.3	---
	燃燒效能 (cal/g)	210.5	157.5	127.0	---
	6%	水溫變化 (°C)	41.0	31.2	---
6%	殘留量 (%)	29.5	41.2	---	---
	燃燒效能 (cal/g)	205	156	---	---

【表 23】(3)10 mL 酒精、不同質量、不同含量硬脂酸回收廢油 C、2 mL 飽和醋酸鈣溶液再製固體燃料的燃燒效果

硬脂酸含量 \ C 油質量		4 g	6 g	8 g	10 g
		0	水溫變化量 (°C)	45.9	41.4
0	燃料殘留量 (%)	21.2	31.2	34.0	40.7
	燃燒效能 (cal/g)	229.5	207.0	201.0	175.0
	2%	水溫變化 (°C)	41.2	37.1	35.7
2%	殘留量 (%)	30.3	35.8	40.5	45.0
	燃燒效能 (cal/g)	206.0	185.5	178.5	151.5
	4%	水溫變化 (°C)	40.4	38.7	30.5
4%	殘留量 (%)	34.2	39.0	52.2	61.8
	燃燒效能 (cal/g)	202.0	193.5	152.5	98.5
	6%	水溫變化 (°C)	36.9	27.6	22.5
6%	殘留量 (%)	41.3	53.5	58.5	---
	燃燒效能 (cal/g)	184.5	138	112.5	---

【表 23】(4)10 mL 酒精、不同質量、不同含量硬脂酸回收廢油 D、2 mL 飽和醋酸鈣溶液再製固體燃料的燃燒效果

硬脂酸含量 \ D 油質量		4 g	6 g	8 g	10 g
		0	---	---	---
0	水溫變化量 (°C)	---	---	---	---
	燃料殘留量 (%)	---	---	---	---
	燃燒效能 (cal /g)	---	---	---	---
2 %	水溫變化 (°C)	43.2	30.0	27.9	---
	殘留量 (%)	28.5	47.5	49.2	---
	燃燒效能 (cal /g)	216.0	150.0	139.5	---
4 %	水溫變化 (°C)	44.0	36.3	35.0	29.0
	殘留量 (%)	25.8	38.3	38.5	49.7
	燃燒效能 (cal /g)	220.0	181.5	175.0	145
6 %	水溫變化 (°C)	40.7	31.8	19.0	10.9
	殘留量 (%)	34.2	48.5	66.7	79.5
	燃燒效能 (cal /g)	203.5	159.0	95.0	54.5

【表 23】(5)10 mL 酒精、不同質量、不同含量硬脂酸沙拉油、2 mL 飽和醋酸鈣溶液再製固體燃料的燃燒效果

硬脂酸含量 \ 沙拉油質量		4 g	6 g	8 g	10 g
		0	---	---	---
0	水溫變化量 (°C)	---	---	---	---
	燃料殘留量 (%)	---	---	---	---
	燃燒效能 (cal /g)	---	---	---	---
2 %	水溫變化 (°C)	45.5	41.0	32.3	28.0
	殘留量 (%)	28.7	34.8	47.8	70.8
	燃燒效能 (cal /g)	227.5	205	161.5	140
4 %	水溫變化 (°C)	44.7	31.8	26.5	19.3
	殘留量 (%)	24.7	45.7	53.5	64.3
	燃燒效能 (cal /g)	223.5	159.0	132.5	96.5
6 %	水溫變化 (°C)	43.7	32.5	29.6	27.9
	殘留量 (%)	27.7	47.5	50.2	61.5
	燃燒效能 (cal /g)	218.5	162.5	148.0	139.5

2. 取自製酒精凍、市售酒精塊、市售酒精膏各 2.0 g，測量其燃燒效果，取三次實驗之平均值，如【表 24】。

燒杯水量：10 mL

【表 24】自製酒精凍、市售酒精塊、市售酒精膏的燃燒效果

硬脂酸含量		沙拉油質量
自製酒精凍	水溫變化量 (°C)	47.3
	燃料殘留量 (%)	5.3
	燃燒效能 (cal /g)	223.9
市售酒精塊	水溫變化 (°C)	40.8
	殘留量 (%)	8.5
	燃燒效能 (cal /g)	199.3
市售酒精膏	水溫變化 (°C)	42.8
	殘留量 (%)	0.2
	燃燒效能 (cal /g)	210.6


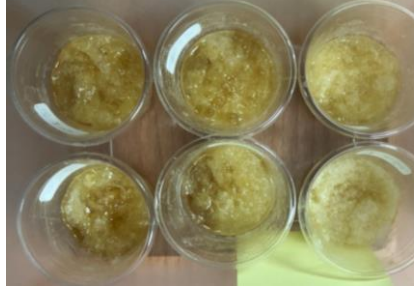

說明：自製酒精凍：酒精 15 mL 與飽和醋酸鈣溶液 2 mL 混合製得。

3. 實驗過程中，其他紀錄：

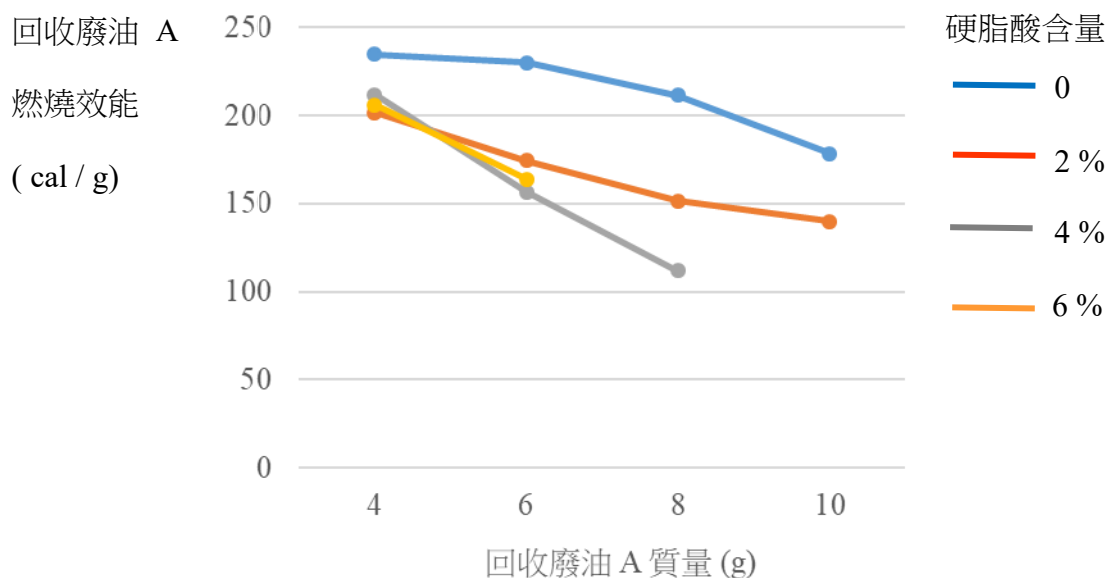
- (1) 無論是利用回收廢油自製固態燃料、自製酒精凍、市售酒精塊及酒精膏，燃料的火焰溫度都約 220 至 310 °C。
- (2) 自製酒精凍、市售酒精塊及酒精膏，因成分較單純，燃燒時無爆鳴聲，以回收廢油自製固體燃料，燃燒時偶有些許爆鳴聲。
- (3) 實驗中，若水溫溫差低於 10 °C 者，明顯該燃料燃燒效能很差，故以「---」紀錄之，不列入討論。

4. 以回收廢油自製固態燃料，部分成品照片，如【表 25】

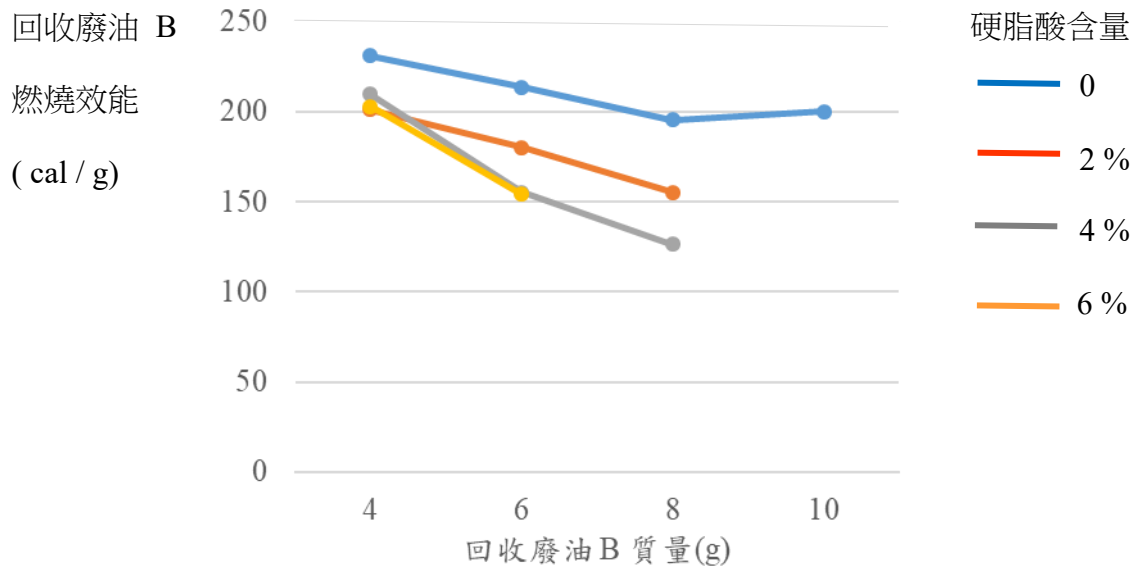
【表 25】回收廢油自製固態燃料成品照片

		
由回收廢油 A 製得固體燃料	由回收廢油 B 製得固體燃料	由回收廢油 C 製得固體燃料

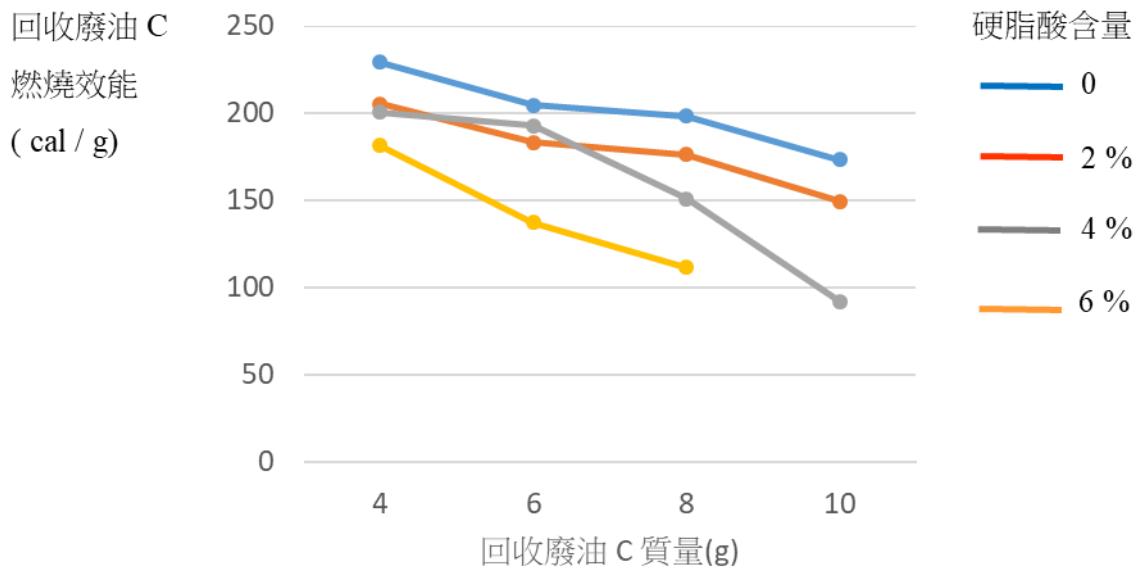
5. 將【表 23】(1)至(5)，將不同含量硬脂酸回收廢油（A、B、C、D）及沙拉油的燃燒效果作圖，以回收廢油的質量為橫坐標，以燃燒效能為縱坐標，得【圖 9】(1)至(5)



【圖 9】(1)不同含量硬脂酸回收廢油 A 的燃燒效果

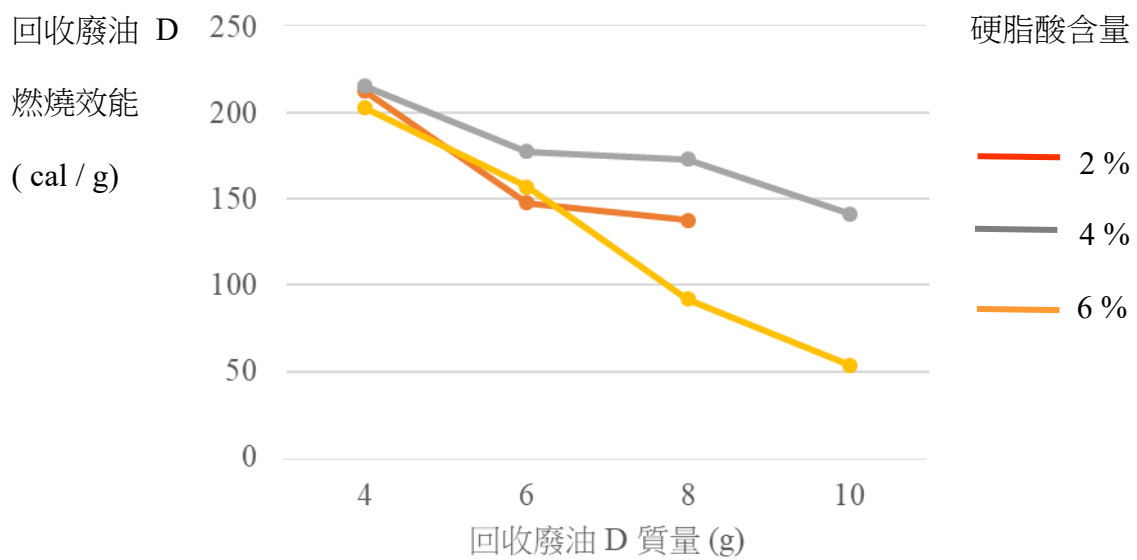


【圖 9】(2)不同含量硬脂酸回收廢油 B 的燃燒效果

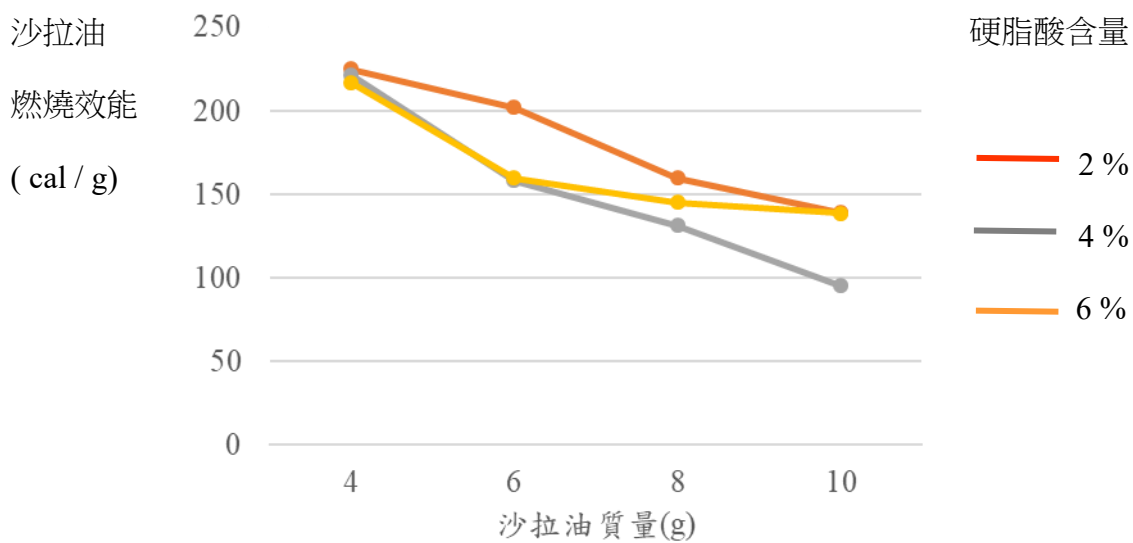


【圖 9】(3)不同含量硬脂酸回收廢油 C 的燃燒效果





【圖 9】(4)不同含量硬脂酸回收廢油 D 的燃燒效果



【圖 9】(5)不同含量硬脂酸沙拉油的燃燒效果

6. 由【表 24】，自製酒精凍、市售酒精塊或市售酒精膏，其燃燒效能都大於 200 cal /g，由【表 23】(1)至(5)及【圖 9】(1)至(5)比較，我們定義燃燒效能達 180 cal /g 的自製固體燃料為優良燃料，以此做標準，與各回收廢油的酸價比較，可歸納出：
- (1) 由實驗過程發現，當自製固體燃料「質感越軟」或是「軟固體」，其燃燒後剩下燃燒殘留固體較多，燃燒效能也明顯較差。
  - (2) 回收廢油 A 及 B 都屬於酸價較高、游離物質較多的油品，無須添加硬脂酸，直接取回收廢油 4 至 10 克，與 10 mL 酒精、2 mL 飽和醋酸鈣溶液經簡單混合，就可至得優良的固態燃料。
  - (3) 原本以為添加硬脂酸，可增加回收廢油的「硬度」，提升自製固態燃料品質，但意外發現，以 A 油及 B 油為原料 4 至 6 克，添加的硬脂酸含量只適合 2 -4 %，與 10 mL 酒精、2 mL 飽和醋酸鈣溶液經簡單混合，可至得優良的固態燃料，但若再增加硬脂酸含量或回收廢油質量，反而使自製固態燃料的「質感變軟」。
  - (4) 回收廢油 C 的酸價小於 A 油及 B 油，但也屬於餐廳油炸豬排後的回收廢油，推測也含有不少非酸性之離子性物質，因此以 C 油作原料自製固體燃料的設計，與上述(2)及(3)相仿。
  - (5) 回收廢油 D 與新開封的沙拉油，若直接與與 10 mL 酒精、2 mL 飽和醋酸鈣溶液都難製成固態燃料，推測是因為 D 油屬於高中實驗室廢油，使用過程單純，就是重複加熱使用，與沙拉油性質接近，因此酸價低，且成分較單純，離子性物質少。
  - (6) 以回收廢油 D 為原料 4 克，添加的硬脂酸含量只適合 2 至 6 %，與 10 mL 酒精、2 mL 飽和醋酸鈣溶液經簡單混合，可至得優良的固態燃料，但若再增加回收廢油 D 質量，反而使自製固態燃料的「質感變軟」。
  - (7) 固定 10 mL 酒精、2 mL 飽和醋酸鈣溶液，無論哪種回收廢油、硬脂酸含量多少，當反應的回收廢油增加時，所形成的固體燃料會「質感越軟」，甚至是「軟固體」，可推測因回收廢油為低極性物質，與酒精及飽和醋酸鈣溶液混合會有極限。

## 肆、結論與應用

### 一、比較開放系統及密閉系統所製作出來的酒精凝膠穩定度

(一)開放系統以飽和醋酸鈣溶液：酒精與 1：5 製備的酒精凝膠，維持固態之時間 1：4 比例製備之酒精凝膠維持固態時間較長久，但擺放 30 分鐘時觀察到表面乙醇量增加，推測為由凝膠體滲出。

(二)密閉系統中製備的酒精凝膠比開放系統密閉系統中製備的酒精凝膠可以長時間維持穩定，並漸漸由堅硬固態變為膏狀，並於 14 小時內乾燥形成結晶。

### 二、探究不同體積的沙拉油融入酒精凝膠後的分佈情形

透過添加不同體積的沙拉油在酒精凍中的溶解情形以及分布趨勢可推測：沙拉油以直接溶入或以小油滴方式固定在酒精凍中，推測為因攪拌後以分子間作用力形成較穩定持久的結合體狀態。

### 二、探討酒精凝膠中各物質，沙拉油、蒸餾水、酒精、飽和醋酸鈣溶液之相互作用機制及物質極值

(一)沙拉油與蒸餾水完全無乳化作用，不互溶，混合時界面清楚。

(二)沙拉油和酒精之間因分子間的作用力產生些微互溶的情況。

(三)沙拉油和飽和醋酸鈣溶液攪拌後，醋酸鈣會捕捉小油滴，且滴入時醋酸鈣在沙拉油中會呈現球狀，類似的乳化作用。

(四)沙拉油溶入酒精凝膠有極值，當沙拉油增加時，酒精凝膠中的酒精反而被擠壓而大量酒精滲出。若在製備含沙拉油之酒精凝膠，經攪拌後，酒精有助於使沙拉油溶入或分布於酒精凝膠內。

### 四、探討添入不同體積沙拉油對於酒精凝膠穩定度的影響

(一)添加 1.5 – 6.0 mL 沙拉油於 15.0 mL 酒精製備之酒精凝膠，靜置 2-3 小時會軟化形成膏狀。但添加 7.5 – 9.0mL 沙拉油者，則無此現象。

(二)添加 1.5 – 3.0 mL 沙拉油於 15.0 mL 酒精製備之酒精凝膠，靜置 36 小時會有分層現象發生。但添加 4.5 – 9.0mL 沙拉油者，則在靜置 6 小時就會有分層現象發生。

(三)於 15.0 mL 酒精中添加沙拉油越多（至多討論 9 mL 沙拉油）製備之酒精凝膠，其穩定度越差。

## 五、探討添入不同濃度硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油）對於酒精凝膠穩定度的影響

- (一)不同濃度（1 - 8 %）硬脂酸沙拉油 1.5 mL 或 9.0 mL，融入酒精凝膠，在密閉系統中都成功將液體收乾，並於 24 小時後形成緊密的結構達到穩定狀態。爾後密封 960 小時的過程中，各實驗組皆仍保持穩定的固體狀態，無任何崩解、出水等老化情形，具有長時間的穩定性。
- (二)「酸敗油脂製成的酒精凝膠」穩定度明顯高於「未酸敗油脂製成的酒精凝膠」。
- (三)經多次使用的廢沙拉油，常因酸敗而變質，本實驗以添加的脂肪酸模擬廢沙拉油，可順利製備出高穩定度的「凝膠」。

## 六、探討沙拉油、含硬脂酸沙拉油的燃燒效果

- (一)沙拉油、含有不同濃度硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油），在室溫下皆無法直接點燃。
- (二)沙拉油、含有不同濃度硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油），難直接做燃料。

## 七、探討沙拉油融入酒精凝膠後的燃燒效益

- (一)沙拉油融入酒精凝膠，在室溫下可直接點燃，可做為燃料。
- (二)沙拉油融入酒精凝膠的「沙拉油體積」有限，因此燃燒效能與純酒精凝膠差不多。

## 八、探討含硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油）融入酒精凝膠後的燃燒效能

- (一)硬脂酸沙拉油（模擬廢沙拉油），在室溫下可直接點燃，可做為燃料。
- (二)不同濃度（1 - 8 %）硬脂酸沙拉油 1.5 mL 或 9.0 mL，融入酒精凝膠，明顯含硬脂酸沙拉油 9.0 mL 之酒精凝膠，其燃燒效能大於含硬脂酸沙拉油 1.5 mL 之酒精凝膠。
- (三)共有 16 種組合的產物，其中有 8 組的燃燒效能皆大於純酒精凝膠。其中以 5%硬脂酸沙拉油融入 15.0 mL 的酒精凝膠的燃燒實驗放熱之平均功率比較燃燒功率最佳，達到 2.44 cal/s 相較純酒精凝膠提升 32%。
- (四)本研究提供將原本無法當燃料「酸敗之廢沙拉油」，藉由簡單酒精凝膠的製備，提供回收再利用的方法，將資源循環再生，製造出高穩定性再生燃料，並符合綠色化學之概念。

## 九、以生活中使用後之回收廢油融入酒精凝膠再製固體燃料

- (一)液態酒精與液態飽和醋酸鈣溶液混合，乃因溶液中添加離子化合物，增加粒子間作用力，因此可形成穩定的固體物質。
- (二)新開封沙拉油添加酒精與飽和醋酸鈣溶液，會破壞「酒精與飽和醋酸鈣溶液作用力」，無法形成穩定固體。
- (三)新開封沙拉油酸價低，含有可游離物質少，除酒精、飽和醋酸鈣溶液外，需再添加「硬脂酸」，就有機會增加分子間作用力，形成穩定的固體物質。
- (四)酸價高的回收廢油，已含較多游離物質，因此是否添加硬脂酸，都可與酒精及飽和醋酸鈣溶液混合，產生足夠力子間作用力，形成穩定的固體物質。
- (五)固定 10 mL 酒精、2 mL 飽和醋酸鈣溶液，能夠容許添加回收廢油的質量也是有極限，添加回收廢油越多，形成的固體質感越軟。
- (六)從新開封沙拉油的實驗得知，添加硬脂酸可增加形成固體物質的機會，但在回收廢油實驗卻發現，添加過多硬脂酸反而使固體產物質感變軟，這提供更環保、更簡便自製固體燃料的新方法。

## 十、探討自製回收廢油再製固體燃料的燃燒效果

- (一)自製酒精凍、市售酒精塊及酒精膏，以本實驗之裝置測量燃燒效應，均達 200 cal/ g，我們順利發展出多種組合，燃燒效能可達 180 cal/ g 以上的自製固體燃料。
- (二)另我們興奮的重要發現：經過炸豬排、雞排及堅果類的回收廢油，本實驗使用的回收廢油酸價介於 0.58 至 3.76 mg KOH /g，也具有較多游離物質，只要加入酒精、飽和醋酸鈣溶液，經簡單、室溫混合，就可製得**燃燒效應與市售酒精塊及酒精膏相仿的自製固態燃料**，建議配方：  
回收廢油：4 至 10 克  
酒精：10 mL  
飽和醋酸鈣溶液：2 mL
- (三)由回收廢油製作固體燃料過程中就可預知燃燒效能：當自製固體燃料「質感越軟」或是「軟固體」，其燃燒後剩下殘留固體較多，燃燒效能也明顯較差。
- (四)我們發現有趣結果：**要自製固態燃料，還真要以「回收廢油」為原料**，以新開封沙拉油或是高中實驗室只被重複加熱沙拉油，除酒精、飽和醋酸鈣溶液，尚需添加適當比例的硬脂酸增加粒子間作用力，才可「幫助」成分較單純的沙拉形成固體燃料。

(五)另一件有趣的事，添加硬脂酸可增加形成固體燃料的硬度，但若添加太多反而適得其反，又形成質地偏軟、燃燒效應不高的燃料，這在微觀的粒子間的作用力裡，有著神奇的關係。

(六)液態的回收廢油並無法直接點火燃燒當作燃料，但若經過酒精、飽和醋酸鈣溶液的處理，形成固體後，反而可以點燃做為燃料，這讓生活中廚房、餐廳、工廠一定會產生的「廢沙拉油」，產生新的回收再利用機會，也對環境科學、綠能有所貢獻。

## 伍、參考文獻

1. Brinker, C. J., & Scherer, G. W. (2013). Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing. Academic press, 359.
2. Fernandes, J. C. B., & Draghi, P. F. (2016). Thermal Stability of Soybean Oil: When must we discard it. *MOJ Food process Technol*, 2(5), 00051.
3. Homrich, P. O. B., & Ceriani, R. (2018). Phase Equilibria for Systems Containing Refined Soybean Oil plus Cosolvents at Different Temperatures. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 63(6), 1937-1945. ACS Publications. 10.1021/acs.jced.7b01051
4. Indiarto, R., & Qonit, M. A. H. (2020). A Review of Soybean Oil Lipid Oxidation and Its Prevention Techniques. *Int. J. Adv. Sci. Technol*, 29(06), 5030-5037.
5. Kaparathi, R., & Chari, K. S. (1959). Solubilities of vegetable oils in aqueous ethanol and ethanol-hexane mixtures. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 36(2), 77-80.
6. Pignitter, M., & Somoza, V. (2012). Critical evaluation of methods for the measurement of oxidative rancidity in vegetable oils. *Journal of Food and Drug Analysis*, 20(4).
7. 伍亭蓉、蔡佳錚、黃子恒、李孟娟、葉小嘉、陳苡亘（2018）。鈣多晶球。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會。台灣國立科學教育館。
8. 劉康弘（2008）。PAM 對不同粒徑膠體溶液穩定度影響的探討。東海大學化學工程學系碩士論文，台中市。取自：<https://hdl.handle.net/11296/m58g5r>
9. 李思源、顏志宇、張任賢、余柏毅、劉正偉、鍾錦軍（2006）。生「柴」有道--米 酒、廢油變柴油。中華民國第 46 屆中小學科學展覽會。台灣國立科學教育館。
10. 林育任、鄭懷傑（2005）。醇類凝膠的安定與老化及其結晶情形。臺灣國際科展。台灣國立科學教育館。
11. 蔡孟儒、黃天恆、鄭羽恬、朱怡慈、周芳妃（2003）。芳香酒精帶著走--探討促凝劑對酒精凝膠之影響。中華民國第 43 屆中小學科學展覽會。台灣國立科學教育館。

12. 蔡明榕、張金珠（1999）。酒精固體燃料的製作與研究。中華民國第 39 屆中小學科學展覽會。台灣國立科學教育館。
13. 蘇南維（2019 年 6 月 27 日）。酸價是絕對指標嗎？。科學人雜誌。2021 年 4 月 18 日，  
取自：<https://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?id=4407>
14. 陳偉民、葉名倉（2009）。酒精（Ethanol）。高瞻自然科學教學平台，台北市。取自：  
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4596>

## 【評語】 200002

本作品以酒精凝膠滴入模擬廢油及實際廢油，探討各種組合之燃燒效果，研究架構完整。以添加硬脂酸之沙拉油來模擬廢沙拉油，兩者在性質與雜質成分上，仍有相當大的差距。燃燒效益之比較，應有對照實驗，以扣除酒精凝膠之部分。報告之寫作，宜再加強通順性與可閱讀性，並減少錯字與圖解析度不佳等問題。此外，應確認燃燒效能之定義與計算過程是否清楚合理。建議可進一步調查廢油燃燒後空氣污染物之組成，以討論其健康風險。