

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：化學

作品名稱：油脂皂化反應的實驗設計與探討

學 校：國立台南海事水產職業學校

作 者：吳誌偉、吳俞霖

自我簡介

我是吳俞霖，是住台南市，現在就讀於台南海市職校，個性隨合，平時休閒有：運動、聽音樂、玩電腦遊戲，我的學業成績並不理想，但我很會做事並不偷懶，很高興這次與同學一起參加科展之研究讓我受益良多。

吳誌偉，台南市是我的故鄉，出生於 1987 年 3 月 9 日，平時的休閒非常廣泛，如運動，聽音樂，玩樂器，玩電腦遊戲…等，而平時處事態度為「盡力就好」，因為我認為只要盡力就不會留下遺憾了。個性樂觀，對於未知事物總有特別的好奇心，所以喜好自然科學，對這次能有機會參加科展我很高興，也很感謝校長和主任給我們的指導。

目 錄

中文摘要	1
英文摘要	2
壹、 研究動機	3
貳、 研究方法與材料	3
參、 實驗原理	4
肆、 研究過程	
第一部實驗	7
第二部實驗	17
第三部實驗	23
第四部實驗	25
第五部實驗	26
第六部實驗	28
伍、 總結	30
陸、 研究新德與展望	32
柒、 參考資料	32

油脂皂化反應的實驗設計與探討

中文摘要

本研究主要利用油脂「皂化反應」的原理，設計六個部份實驗，試著從定性方面探討油脂的皂化反應及其產物的分離，包括(1)肥皂的鹽析(2)脂肪酸的鹽析(3)脂肪酸平均分子量的求法(4)肥皂的沉澱試驗(5)甘油的丙烯醛反應(6)甘油的銅複合物之形成。

從定量方面：利用化學動力學研究油脂皂化反應的級數，及油脂的碘值、酸值、皂化值等問題，期望能在環保上對處理油污工作有所幫助。

Discussion and Design of Lipid Saponification

Abstract

This research mainly applies the theory of lipid Saponification to design six experiments and try to study lipid Saponification and the division of the product, including (1) salting out of soap (2) salting out of fatty acid (3) study on the molecular weight in fatty acid (4) soap precipitation (5) acrolein reaction of glycerin (6). Glycerin's Cu-complex formation of soap.

From the aspect of assay use chemical kinetics to research the order of lipid Saponification and the problems of Iodol value, Acid value, Saponification number and so on, expecting to help dispose oil pollution in the environment.

油脂皂化反應的實驗設計與探討

壹、研究動機

日常生活中任何烹飪，大部分會用到食用油脂例如：沙拉油、花生油、玉米油等，關於油脂之食用安全，自由基之傷害已多年受許多專家學者的探討。回鍋油一直再烹調對身體有害，丟棄或清潔之還會造成水源泡沫污染，以及海洋中浮油的污染等問題，皆是環保的重要課題，如何解決呢？是否可利用油脂『皂化反應』的原理來處理？因此我們設計一些實驗，從探討油脂水解、並分離、檢驗有那些產物；到測定油脂的碘值（IV）、酸值（AV）、皂化值（SV）及化學動力之反應級數等問題，期望能在環保上對處理油污工作有所幫助。

貳、研究方法與材料

一、研究方法：

1. 研究玉米油的水解及其水解產物的分離(hydrolysis of corn oil and separation of products).....第一部份實驗

（本實驗所用的新鮮油脂取材自玉米油—源順玉米油，主惠實業股份有限公司，註冊商標 80830 號）

包括：

- （1）肥皂的鹽析
 - （2）脂肪酸的分離
 - （3）脂肪酸平均分子量的求法
 - （4）肥皂的沉澱試驗
 - （5）甘油的丙烯醛反應
 - （6）甘油的銅複合物之形成
2. 利用化學動力學研究油脂皂化反應的級數..... 第二部份實驗
 3. 油脂碘值的測定..... 第三部份實驗
 4. 油脂酸值的測定..... 第四部份實驗
 5. 油脂皂化值的測定..... 第五部份實驗
 6. 回鍋油再利用..... 第六部份實驗

（回鍋油取自於實習課油炸後的油脂，只炸 1-3 次）

二、研究藥品及器材

1. 藥品類：

玉米油	酒精	氫氧化鈉 NaOH	鹽酸 HCl	氯化鈉 NaCl
酚酞指示劑	硫酸銅 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})}$	氯化鈣 $\text{CaCl}_{2(\text{s})}$	硝酸鉛 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	氯化亞鐵 $\text{FeCl}_{3(\text{s})}$
硫酸鎂 $\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	硫代硫酸鈉 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	碘化鉀 KI	氯化碘 ICl	硫酸氫鉀 KHSO_4
蒸餾水	澱粉溶液	本第試液	石蕊試紙	飽和鹽水

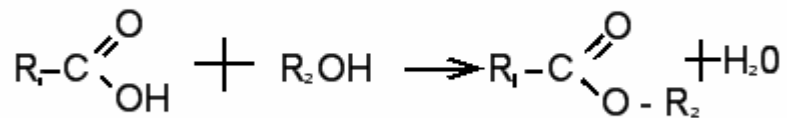
2.器材類：

酒精燈	3 個	三角架	3 個
石綿心網	3 個	鐵架（含鐵夾）	3 個
玻棒	3 支	蒸發皿	3 個
小燒杯(150ml)	1 2 個	漏斗	2 支
濾紙	1 盒	乳頭滴管	6 支
恆溫槽	1 個	酒精溫度計	3 支
電子天平	2 架	量筒（大、小）	4 支
滴定管(50ml)	2 支	碼錶	2 個
pH測定儀	1 組	試管	1 4 支
試管架	1 架	試管塞	2 個
標籤紙	1 盒		

參、實驗原理

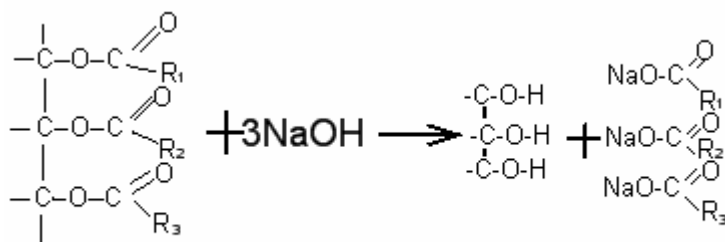
一、酯化反應：

酸 + 醇 → 酯 + 水



二、皂化反應：

甘油酯 + 鹼 → 甘油 + 脂肪鹽



三、反應級數：

1.若反應為 $a A + b B \rightarrow c C$

則 $R = k [A]^m [B]^n$ ，級數 = $m+n$

2.若 $a A \rightarrow c C$ 為二級反應

則速率定律式可書寫如下：

$$-\frac{d[A]}{[A]^2} = k dt$$

若 $t = 0$ 之濃度為 $[A]_0$ ， $[A]$ 為時間 t 之濃度，經積分後得

$$k t = \frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A_0]}$$

故二級反應 $\frac{1}{[A]}$ 對 t 作圖為一直線，其斜率即二級反應速率常數

3. 若 $a A + b B \rightarrow c C$ 為二級反應

則 $R = k [A][B]$ 其速率方程式之積分為

$$k t = \frac{a}{[b[A_0] - a[B_0]]} \ln \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]}$$

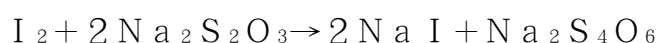
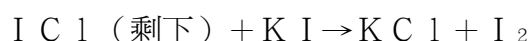
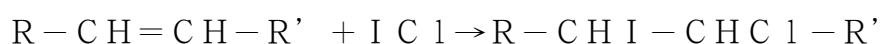
若 A 與 B 之化學計量係數為 1，上式可寫成

$$\log \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]} = \frac{([A_0] - [B_0]) k t}{2.3}$$

四、碘值 (Wijs 法)：

100 克油脂所能吸收之碘的克數稱為油脂的碘值。它可以作為油脂不飽和的指標，碘值越高表示脂肪之不飽和度越大。各種油脂或脂肪酸各有其一定的碘值，所以由碘值的測定亦可判別油脂是否純淨。就脂肪酸而言，飽和脂肪酸的碘值為零，不飽和脂肪酸的碘值通常在 350 以下；就油脂而言，非乾性油的 IV 小於 100；半乾性油的 IV 在 100~130 之間；乾性油的 IV 則大於 130。

對油脂求其碘值所利用的化學反應：



五、皂化值

油脂的皂化值定義為使一克油脂完全皂化所需之 NaOH (或 KOH) 毫克數 (mg)。一定量油脂皂化值越大，則其所含分子越多，而分子量越小，故由皂化值的測定，可以判定脂肪酸鏈的長度及其平均分子量，三酸甘油酯經水解後可以放出三分子脂肪酸故需用三分子 NaOH 中和之，NaOH 之用量與脂肪酸大小無關，油脂的皂化值與其組成脂肪酸的分子量成反比。

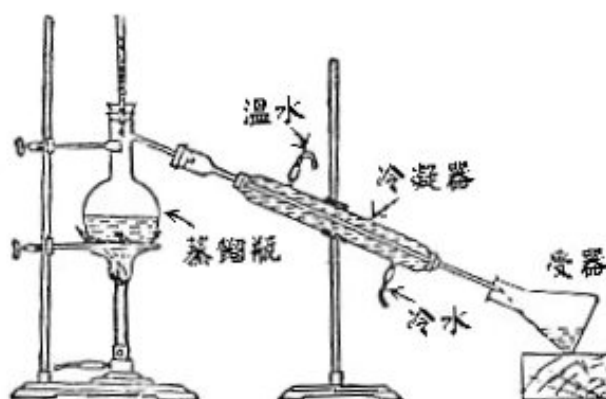
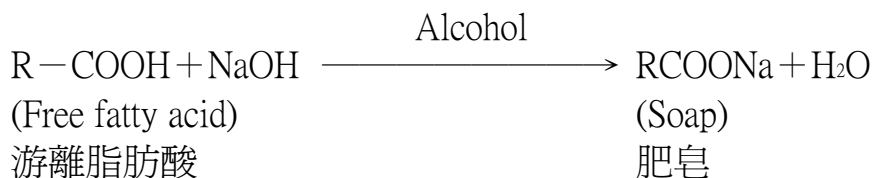


圖 a 蒸餾裝置

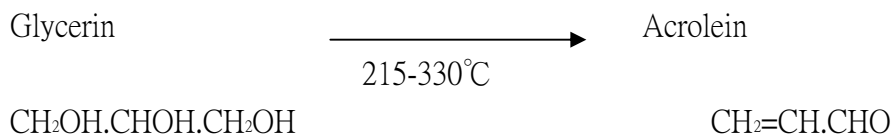
六、酸值：

油脂的酸值是中和 1 克油脂中游離脂肪酸所需的 NaOH 毫克數 (mg) 稱為酸值。由酸值的測定可知油脂酸敗的程度，酸值越高則品質越差，食用酸敗的油有礙健康，所以歐美若干國家的食品管制局對於食用油脂允許的酸值都是有一定的標準，高於標準者禁止出售。對油脂求其酸值所利用的化學反應：



七、丙烯醛 (Acrolein) 反應：

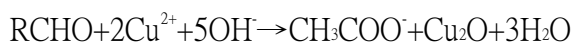
甘油與硫酸氫鉀等脫水劑混合並加熱，則會分解產生強刺激性臭味丙烯醛，因此可知道含有甘油。



丙烯醛特性：

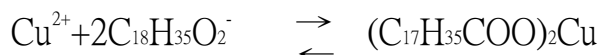
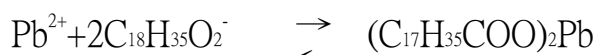
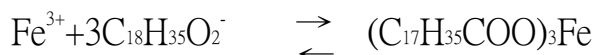
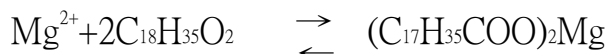
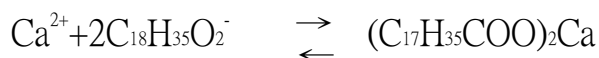
(a) 含有醛基的 -CHO，故具有還原性，可用 Benedict 試驗證實之，正反應為紅、黃、綠色。

(b) 有刺激性的臭味



八、肥皂於硬水中喪失洗滌力之原理

鈣皂、鎂皂、鐵皂、鉛皂或銅皂生成的反應方程式如下：



九、甘油複合物

甘油具有與金屬結合成複合物的性質，所以甘油酒精液體加入 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ，銅複合物就會形成，產生顏色變化，甘油濃度越高顏色變化由藍色至綠色。

肆、研究過程：

一、第一部分實驗-----在不同濃度的鹼中油脂水解情形與其反應生成物的探討

1. 實驗步驟：

- (1) 取已洗淨的圓底燒瓶一個
- (2) 加入玉米油 20ml
- (3) 加入 95%酒精 20ml
- (4) 調配 20ml 的 NaOH，濃度分別為 0.5M、1.0M、1.5M、2.0M、2.5M、3.0M、3.5M、4.0M。
- (5) 將 NaOH 溶液加入燒瓶中
- (6) 將燒瓶用鐵架夾住，置於酒精燈之上
- (7) 於燒瓶瓶口接上迴流冷凝管，並通以冷水冷卻之，裝置如圖 a
- (8) 當皂化作用已完全，將燒瓶取出
- (9) 將燒瓶水解物倒入乾淨的蒸發皿中
- (10) 並稱取之
- (11) 加熱水 20ml，以溶解濃縮物
- (12) 再加熱濃縮至原體積
- (13) 加熱水稀釋至 100ml

在此分為 A、B 兩個部分實驗

A 部分實驗：肥皂的鹽析

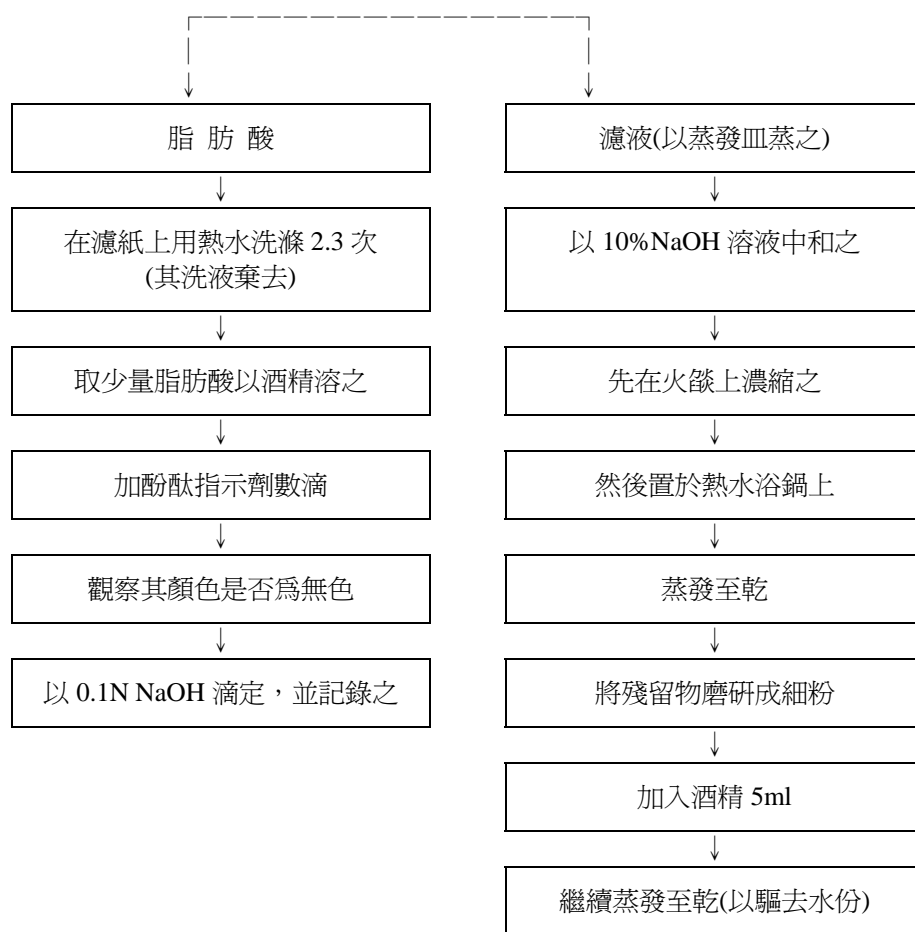
- (1) 取 20ml 置於蒸發皿中
- (2) 加熱水 20ml
- (3) 趁熱加飽和食鹽水 20ml，於是有軟皂產生，形成膠狀溶液
- (4) 過濾



- (5) 分別劇烈振盪或攪拌之
- (6) 分別觀察有無泡沫產生
- (7) 分別將上述兩種溶液觀察並記錄之
- (8) 取已洗淨的試管 10 支
- (9) 分別編號以 1、2、3、4、5 及 1'、2'、3'、4'、5' 號
- (10) 於 1、2、3、4、5 號試管分別加入軟皂稀溶液 5 ml
- (11) 於 1'、2'、3'、4'、5' 號試管分別加入濾去軟皂後的濾液之稀釋液 5 ml
- (12) 於 1 及 1' 號試管分別加入 5 ml FeCl_3 溶液
於 2 及 2' 號試管分別加入 5 ml CaCl_2 溶液
於 3 及 3' 號試管分別加入 5 ml MgSO_4 溶液
於 4 及 4' 號試管分別加入 5 ml $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液
於 5 及 5' 號試管分別加入 5 ml CuSO_4 溶液
- (13) 觀察溶液變化並記錄之

B 部分實驗：脂肪酸的分離 (Separation of Fatty acids)

- (1) 其餘 80 ml 溶液以燒瓶盛之
- (2) 徐徐加入濃 HCl 20 ml，使之成強酸
- (3) 加熱，使反應加快
- (4) 放冷
- (5) 以濕濾紙過濾之，進行以下流程試驗



- (6) 加入無水酒精 30 ml
 - (7) 加熱至沸騰
 - (8) 過濾
 - (9) 分別用酒精 30 ml 洗滌沉澱數次
 - (10) 合併濾液及洗液 (沉澱棄去)
 - (11) 蒸發濃縮至呈糖漿
 - (12) 取一滴嘗其味看看有無甜味
- 在此又分為 b、b' 兩個實驗

b 部分實驗

- (1) 取試管 2 支
- (2) 第一支試管加入由上法製得的甘油 2 滴，第二支試管加入由前法製得的脂肪酸 2 滴
- (3) 各加入少量 KHSO_4 固體
- (4) 在酒精燈上徐徐加熱
- (5) 用嗅覺判別其蒸氣所散發的特殊氣味，記錄之
- (6) 分別加入本第試液 5 ml
- (7) 混合均勻
- (8) 將各管直接煮沸 2 分鐘
- (9) 放冷 (勿浸入冷水及速冷卻)
- (10) 觀察溶液的顏色並記錄之

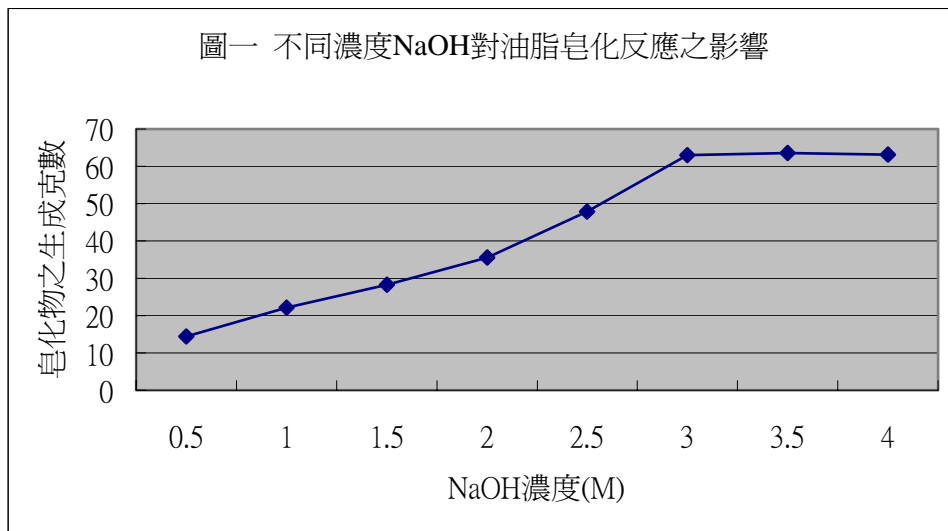
b'部分實驗

- (1) 稱取由上法製得乾燥的甘油 0.46 g
- (2) 以 50%酒精 10ml溶之
- (3) 由上一步得 0.5M甘油酒精溶液
- (4) 取已洗淨的試管 2 支
- (5) 第一支試管加入甘油酒精溶液 1 ml
第二支試管加入水 1 ml
- (6) 各加入 95%酒精 3.5ml
- (7) 各加入 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 溶液 0.5ml (1 M)
- (8) 各加入 0.1M NaOH 10 滴
- (9) 觀察各館的變化並記錄其所生沉澱之顏色
其他試管依照上述做法再做實驗並記錄之

2.結果討論

表一 20ml 玉米油經不同濃度的 NaOH 進行油脂皂化反應，其皂化物之產量 (g)

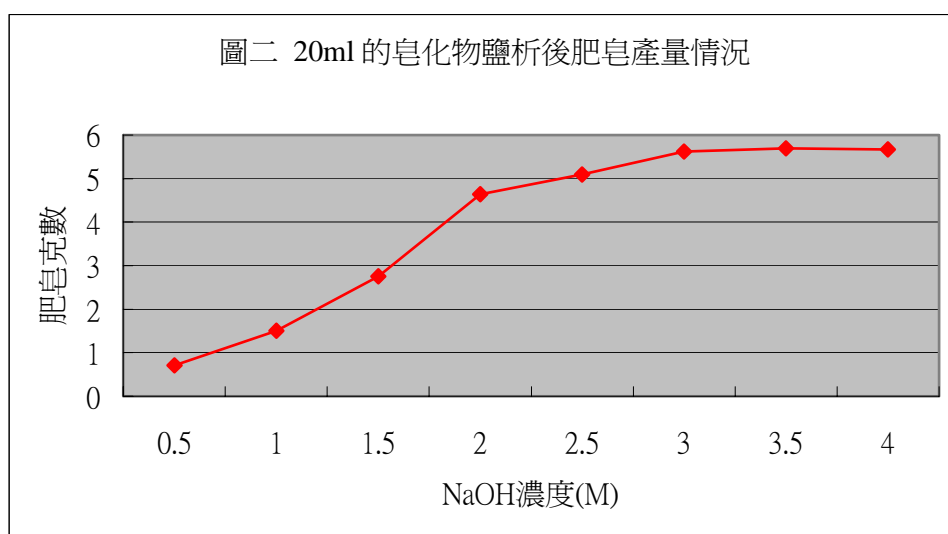
次 \ M	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
一	14.21	21.01	28.88	36.75	46.31	63.41	62.72	62.87
二	15.73	22.02	28.54	35.35	48.62	63.26	63.74	63.72
三	13.49	23.29	27.49	35.59	48.71	35.17	64.09	63.02
平均	14.48	22.11	28.30	35.56	47.85	62.95	63.52	63.20



表二 20ml 皂化物鹽析後所得肥皂產量 (g)

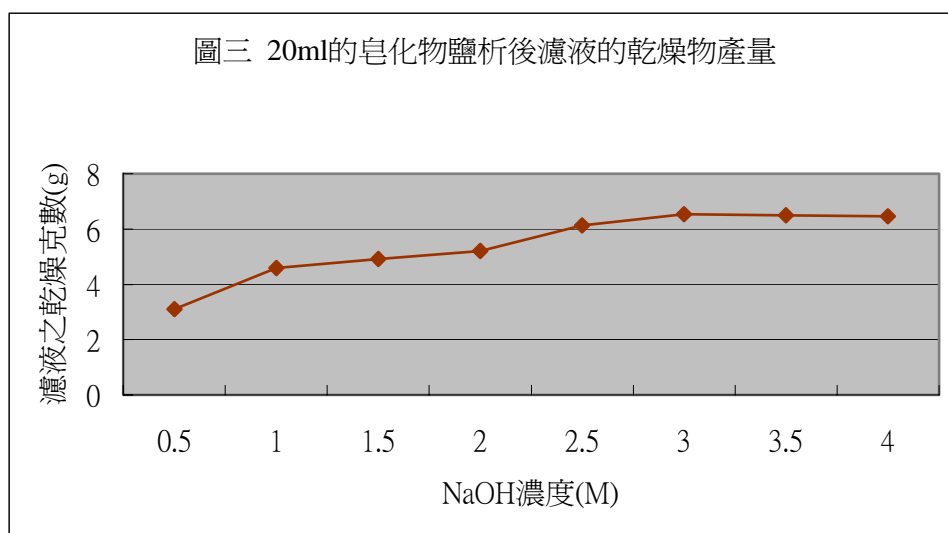
次 數 \ M	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
一	0.73	1.49	2.84	4.72	4.95	5.62	5.64	5.64
二	0.71	1.51	2.73	4.57	5.12	5.74	5.69	5.72
三	0.69	1.54	2.70	4.62	5.24	5.49	5.73	5.67
平均	0.71	1.51	2.76	4.64	5.10	5.62	5.69	5.67

圖二 20ml 的皂化物鹽析後肥皂產量情況



表三 取 20ml 的皂化物經鹽析後所得濾液的乾燥克數 (產物克數 g)

次 數 \ M	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
一	3.13	4.59	4.98	5.42	6.03	6.52	6.42	6.37
二	3.22	4.53	4.92	5.04	6.12	6.53	6.53	6.59
三	2.98	4.62	4.87	5.17	6.24	6.49	6.55	6.41
平均	3.11	4.58	4.92	5.21	6.13	6.54	6.50	6.46



表四－1 利用不同 NaOH 濃度進行皂化反應所得肥皂之起泡情形

A (M)	0.5	1.0	1.5	2.0
現象	起泡	起泡	起泡	起泡
A (M)	2.5	3.0	3.5	4.0
現象	起泡	起泡	起泡	起泡

(A：該 NaOH 濃度皂化後所得之肥皂，取 0.5 g 配成 30 ml 之溶液)

表四－2 利用不同 NaOH 濃度進行皂化反應所得甘油之起泡情形

A (M)	0.5	1.0	1.5	2.0
現象	起泡不持久	起泡不持久	起泡不持久	起泡不持久
A (M)	2.5	3.0	3.5	4.0
現象	起泡不持久	起泡不持久	起泡不持久	起泡不持久

(A：該 NaOH 濃度皂化後所得之甘油 (s) 取 0.5 g 配成 30 ml 之溶液)

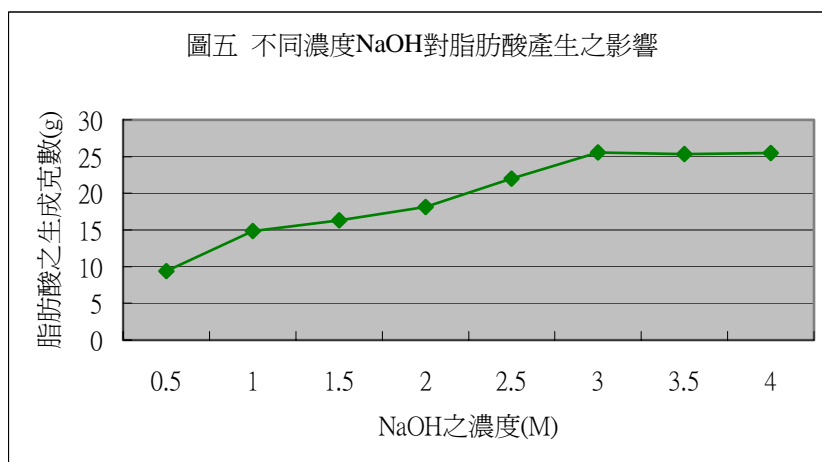
表四-3 利用不同 NaOH 濃度進行皂化反應後產物（甘油、肥皂）與金屬鹽類之反應
（數據為沉澱物的克數）

編號 A	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'
0.5	1.04	0.54	0.69	0.48	0.39	0.63	0.65	1.26	0.41	0.65
1.0	1.02	0.51	0.67	0.43	0.37	0.61	0.59	1.29	0.37	0.63
1.5	1.13	0.53	0.62	0.42	0.32	0.64	0.56	1.27	0.38	0.64
2.0	1.06	0.49	0.65	0.43	0.36	0.62	0.54	1.26	0.32	0.60
2.5	1.09	0.48	0.61	0.44	0.41	0.62	0.58	1.25	0.39	0.62
3.0	1.08	0.47	0.67	0.41	0.38	0.59	0.61	1.27	0.38	0.67
3.5	1.10	0.52	0.62	0.39	0.32	0.65	0.57	1.28	0.42	0.64
4.0	0.95	0.49	0.69	0.46	0.39	0.67	0.60	1.25	0.43	0.63
平均	1.063	0.504	0.653	0.433	0.368	0.629	0.588	1.267	0.388	0.640
現象	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●

（A：該濃度的 NaOH_(aq) 經皂化後，取 0.5 g 的肥皂、甘油配成 30ml 的肥皂液與甘油液；○表稠狀，●表粉狀）

表五不同濃度的 NaOH_(aq) 對脂肪酸生成克數的影響（產物單位 g）

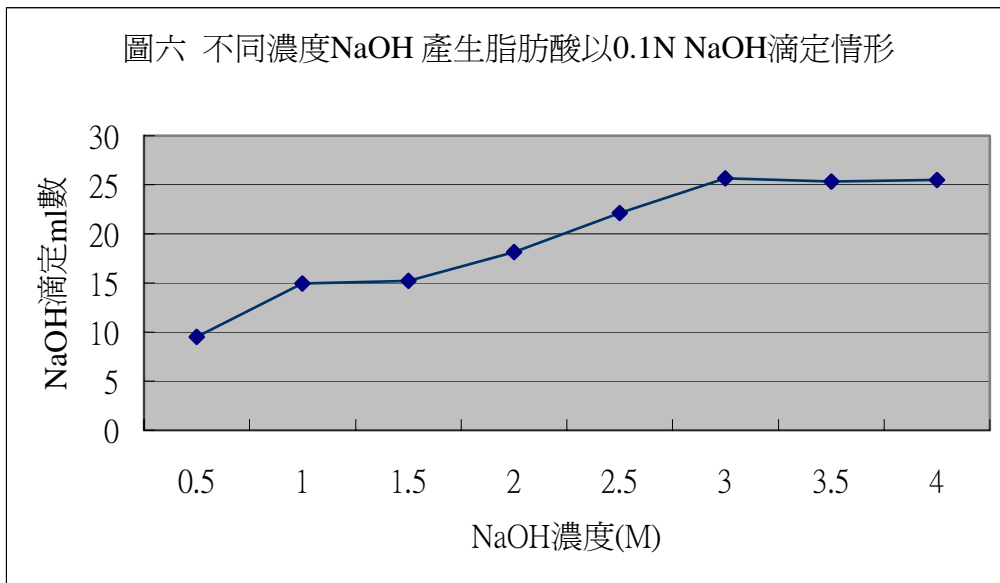
g M 次數	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
一	9.37	14.72	16.54	18.21	21.79	25.73	25.11	25.46
二	9.59	14.87	16.29	18.01	21.98	25.58	25.53	25.31
三	9.21	15.03	16.01	18.16	22.13	25.39	25.29	25.57
平均	9.39	14.87	16.28	18.13	21.97	25.57	25.31	25.47



表六 0.1 M的NaOH滴定各脂肪酸，所消耗之NaOH體積 (ml)

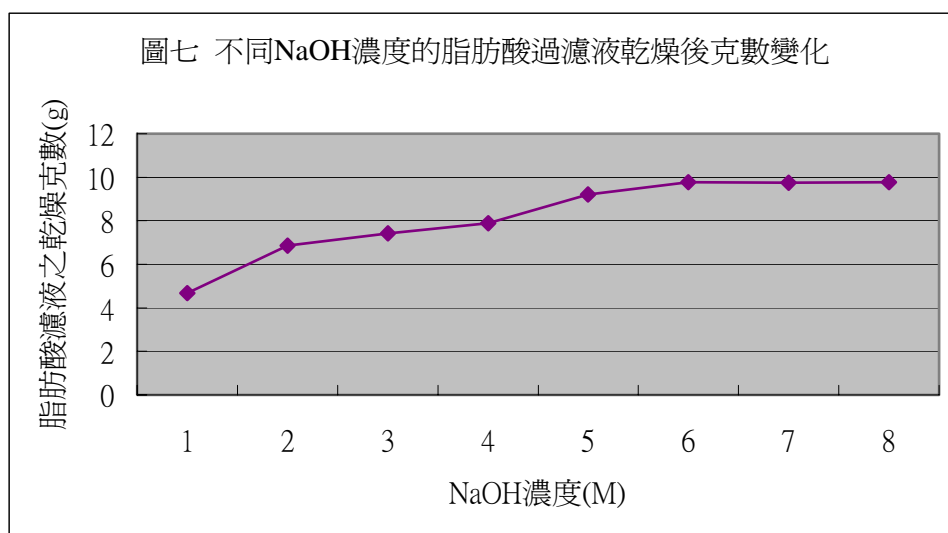
次數 \ a	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
一	9.5	14.8	16.6	18.1	21.9	25.9	25.2	25.6
二	9.6	14.9	16.1	18.1	22.3	25.7	25.3	25.1
三	9.4	15.1	15.9	18.2	22.1	25.4	25.4	25.7
平均	9.5	14.93	15.2	18.13	22.1	25.67	25.3	25.47

(a : 取該濃度的脂肪酸克數(g) ; b : 0.1M 的 NaOH 滴定之體積(ml))



表七 不同 NaOH濃度的脂肪酸濾液乾燥後之克數

次數 \ g	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
一	4.69	6.86	7.44	7.87	9.20	9.77	9.76	9.79
二	4.73	6.81	7.38	7.89	9.22	9.81	9.77	9.83
三	4.62	6.90	7.41	7.93	9.23	9.76	9.76	9.80
平均	4.68	6.86	7.41	7.89	9.22	9.78	9.75	9.77



表八 甘油丙烯醛反應情況 (b 部實驗結果)

A (M)	0.5	1.0	1.5	2.0
現象 氣味	藍色 無	藍色 無	淺藍色 無	淺藍色 無
A (M)	2.5	3.0	3.5	4.0
現象 氣味	藍紅色 稍刺鼻	藍紅色 稍刺鼻	藍紅色 刺鼻	藍紅色 刺鼻

(A：該濃度的NaOH_(aq)皂化後的甘油，配成溶液取2滴)

表九 甘油的銅複合物之形成情況 (b'部實驗結果)

編號 \ 次數	一	二	三	四
	加入CuSO ₄ ·5H ₂ O _(aq) 後			
1	青綠	青綠	青綠	青綠
2	青綠	青綠	青綠	青綠

由表一和圖一的實驗數據及圖形，得知當油脂克數固定，加入不同濃度的NaOH，則反應後的皂化物之克數與NaOH濃度成正比，當NaOH濃度在3.0~4.0之間時，皂化物之克數不再上升，由此可知18.09克的油脂皂化反應完全。鹽析後肥皂的產量克數情況(表二、圖二、表三、圖三)，相當於表一與圖一之情況，由數據得

知經鹽析處理肥皂生成克數與 NaOH 的濃度成正比，我們可用肥皂不容於鹽水，甘油可溶於鹽水的特性，來分離肥皂。

由表四— 1、表四— 2、表四— 3 中，可以得知：

- (1) 肥皂液的起泡可維持 2—3 分鐘，甚至更久。
- (2) 雖然甘油溶液在劇烈搖動後，可產生泡沫，卻在 20—30 秒內，泡沫大量消去
- (3) 肥皂液與甘油液在加入陽離子後，其沉澱物各為稠狀與粉狀。
- (4) 肥皂液與甘油液的顏色分別為乳白色和透明無色，但加入 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Pb^{2+} 後，都成為透明液，且有沉澱物的產生
- (5) 兩者之沉澱物少量加水做起泡試驗，皆難產生泡沫，推測硬水中含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 等離子，將可溶性的鈉皂，反應生成不溶性的鈣皂、鎂皂、鐵皂、鉛皂或銅皂，使肥皂喪失洗滌效用，故較難起泡。

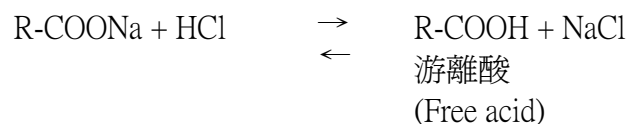
由表五與圖五的實驗數據及圖形顯示：

隨 NaOH 之濃度越高，分離出脂肪酸產量越高，但 3.0M~4.0M NaOH 皂化反應的皂化物分離出之脂肪酸於圖五圖形幾乎成水平線，表示本皂化反應 3.0M 即讓油脂充分皂化，由表五與表六的數據來看，不難發現兩表極為相似，脂肪酸過濾後，其濾液之乾燥物產量情況（表七及圖七）亦類似表五與圖五，在此就不加以討論了。

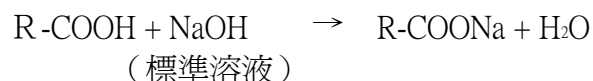
由表八中的數據推知，當參與皂化反應之 NaOH 濃度越高，其甘油產量也較多，甘油由 KHSO_4 脫水後生成之丙烯醛量較多，刺鼻味較明顯，再與本氏液（檸檬酸鈉錯合銅離子的鹼性溶液）反應，0.5M 至 2.0M NaOH 皂化反應產生之甘油量少呈藍色，2.5M 以上 NaOH 濃度所產生之甘油才會出現藍紅色證實甘油存在。

由表九我們可以看出來濃度越來越大時，銅複合物顏色變化由藍色→淺藍→淺藍綠→綠色 表示在 b 部分實驗中，因為甘油具有和金屬結合形成複合物的性質，所以當甘油酒精溶液加入 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 溶液時，甘油與銅就形成了複合物，也就是銅複合物的形成，此時 Cu^{2+} 與甘油的比例約為 1：2。

由於酯類經鹼水解後的皂化物，加入強酸（濃 HCl）後，其脂肪酸便可游離出來



由於游離的脂肪酸不溶於水，故可用熱水洗滌之，以除去混雜其中的甘油、鹽類即使脂肪酸游離後剩下的 HCl。而將脂肪酸用標準 NaOH 溶液滴定可求其平均分子量：



脂肪酸之平均分子量：

$$\frac{\text{所取脂肪酸的重 (g)} \times 1000}{\text{標準 NaOH 溶液消耗量 (ml)} \times \text{標準 NaOH 溶液之規定濃度(N)}}$$

將三個數據代入，算式分別為：

$$\frac{1.32 \times 1000}{25.67 \times 0.1} = 514.22$$

$$\frac{1.31 \times 1000}{25.30 \times 0.1} = 517.34$$

$$\frac{1.31 \times 1000}{25.47 \times 0.1} = 516.01$$

三式平均：515.86（脂肪酸的分子量）

二、第二部分實驗-----化學反應級數

實驗 A：

1. 實驗步驟 A

- (1) 取已洗淨的燒杯一個
- (2) 加入 5 mole 的甘油酯及 NaOH
- (3) 加入 100ml 的酒精，共 500ml，加熱（70°C）攪拌。
- (4) 每隔五分鐘取出 25ml 的溶液
- (5) 加入酚酞觀察
- (6) 用 0.5M 的鹽酸滴定取出的溶液(如圖 b)，並記錄之

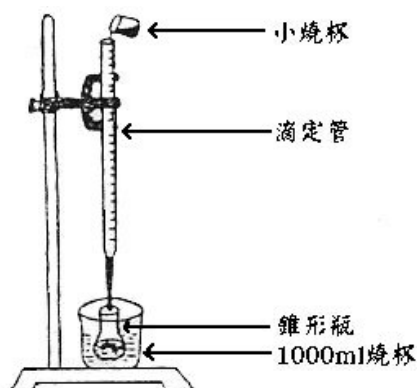


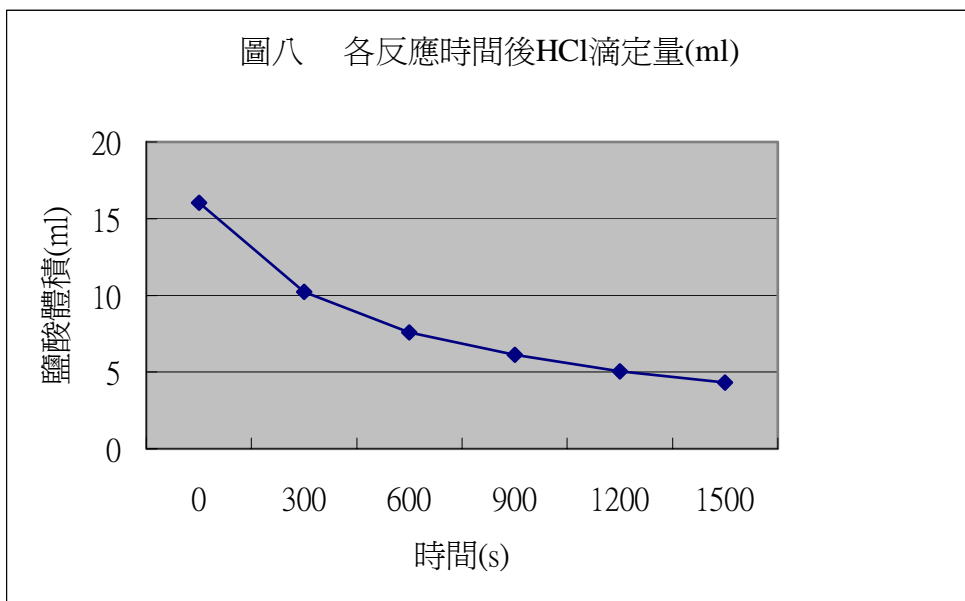
圖 b：滴定裝置圖

2.實驗結果討論 A :

表十 皂化時間與NaOH消耗之關係 (HCl 滴定量)

HCl 次 數	T ml	0	300	600	900	1200	1500	1800
一		15.73	9.72	8.04	5.72	4.93	4.87	0
二		16.29	9.98	7.48	6.43	5.02	3.92	0
三		16.04	11.03	7.24	6.25	5.13	4.11	0
平均		16.02	10.24	7.59	6.13	5.03	4.32	鹼性

(溫度：70°C)



由上面表十、圖八可知

$$\frac{-\Delta [\text{NaOH}]}{\Delta t} = k \left[\frac{16.02+10.24}{2} \right]^{m+n} = - \frac{10.21-16.02}{5-0}$$

得 (13.13)^{m+n}k = 1.156 ————— ①

$$\frac{-\Delta [\text{NaOH}]}{\Delta t} = k \left[\frac{10.24+6.13}{2} \right]^{m+n} = - \frac{6.13-10.24}{15-5}$$

得 (8.18)^{m+n}k = 0.411 ————— ②

$$\frac{-\Delta [\text{NaOH}]}{\Delta t} = k \left[\frac{6.13+7.59}{2} \right]^{m+n} = - \frac{6.13-7.59}{15-10}$$

得 (6.86)^{m+n}k = 0.292 ————— ③

$$\frac{\text{①}}{\text{②}} \Rightarrow \left(\frac{13.13}{8.18} \right)^{m+n} = \frac{1.156}{0.411} \Rightarrow (1.61)^{m+n} = 2.81$$

$$m+n = \log_{1.61} 2.81 = \frac{\text{Log} 2.81}{\text{Log} 1.61} = \frac{0.44871}{0.20683} = 2.169 \quad (1)$$

$$\frac{\textcircled{2}}{\textcircled{3}} \Rightarrow \left(\frac{8.18}{6.86} \right)^{m+n} = \frac{0.411}{0.292} \Rightarrow (1.192)^{m+n} = 1.407$$

$$m+n = \log_{1.192} 1.407 = \frac{\text{Log} 1.407}{\text{Log} 1.192} = \frac{0.14829}{0.07628} = 1.944 \quad (2)$$

$$\frac{(1)+(2)}{2} = \frac{2.169+1.944}{2} = 2.056 \approx 2$$

由上面三式可得知此為二級反應

$$(6.86)^2 k = 0.292 \Rightarrow k = 6.2049 \times 10^{-3}$$

$$(8.18)^2 k = 0.441 \Rightarrow k = 6.5907 \times 10^{-3}$$

$$(13.13)^2 k = 1.156 \Rightarrow k = 6.7055 \times 10^{-3}$$

因 HCl 濃度固定，可以以體積代表 HCl 之用量，由於油脂是由多種油酸所構成，屬於混合物，所以其皂化之級數不為一整數。

實驗 (B)

1. 實驗步驟 (B)

- (1) 取 20 ml, 3 M 的油脂乙醇溶液
- (2) 滴入 5 滴酚酞
- (3) 取 6 ml 0.1 M NaOH (aq) 迅速倒入油脂混合液中
- (4) 搖動，並紀錄指示劑變色時間
- (5) 取步驟 4 的溶液，加入 6 ml 0.1 M NaOH (aq)
- (6) 搖動並紀錄指示劑變色時間
- (7) 取步驟 6 的溶液，加入 6 ml 0.1 M NaOH (aq)
- (8) 搖動，並紀錄指示劑變色時間
- (9) 反覆前步驟

2.實驗結果討論 (B)

	油脂濃度(M)	[NaOH] (mole)	油脂 (mole)	NaOH (mole)	時間 (s)	$\log \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]}$	k t
1	3.00	0.1	0.0600	0.0006	554.9	5.9974577	4.7566044
2	2.99	0.1	0.0598	0.0006	591.7	5.9974623	4.7730669
3	2.98	0.1	0.0596	0.0006	647.6	5.9974678	4.7896444
4	2.97	0.1	0.0594	0.0006	723.7	5.9974731	4.8063373
5	2.96	0.1	0.0592	0.0006	892.34	5.9974784	4.823147
6	2.95	0.1	0.0590	0.0006	1191.8	5.9974841	4.8400749
7	2.94	0.1	0.0588	0.0006	1666.7	5.9974897	4.8571219
8	2.93	0.1	0.0586	0.0006	2124.7	5.9974939	4.8742883
9	2.92	0.1	0.0584	0.0006	2738.4	5.9974991	4.8915723
10	2.91	0.1	0.0582	0.0006	3597.6		

酚酞之變色範圍 (酸) 無色 \longleftrightarrow (鹼) 紅色，經pH儀與滴定測量後，得知本實驗酚酞pH值為 9.6 顏色由紅色變為無色，如此便可得知 [NaOH] 之殘餘量 $[H^+] = 10^{-9.6}$ ，中性 $[H^+] = 10^{-7}$ 剩下 $[H^+] = 10^{-7} - 10^{-9.6} = 10^{-7} - 2.5118864 \times 10^{-10} = 9.9748811 \times 10^{-8}$

$$\therefore [OH^-] = \frac{1 \times 10^{-14}}{9.9748811 \times 10^{-8}} = 0.1002518 \times 10^{-6} = 1.0025182 \times 10^{-7}$$

故[NaOH]之殘餘濃度 = 1.0025182×10^{-7}

速率定律式可書於下：

$$\log \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]} = \frac{([A_0] - [B_0])kt}{2.3}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1. \\ 2. \end{array} \right. \log \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]} = \log \frac{2.99 \times 0.1}{3 \times 1.0025182 \times 10^{-7}} = 5.9974577$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2. \\ 3. \end{array} \right. \log \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]} = \log \frac{2.98 \times 0.1}{2.99 \times 1.0025182 \times 10^{-7}} = 5.9974623$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 3. \\ 4. \end{array} \right. \log \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]} = \log \frac{2.97 \times 0.1}{2.98 \times 1.0025182 \times 10^{-7}} = 5.9974678$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 4. \\ 5. \end{array} \right. \log \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]} = \log \frac{2.96 \times 0.1}{2.97 \times 1.0025182 \times 10^{-7}} = 5.9974731$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 5. \\ 6. \end{array} \right. \log \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]} = \log \frac{2.95 \times 0.1}{2.96 \times 1.0025182 \times 10^{-7}} = 5.9974784$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 6. \\ 7. \end{array} \right. \log \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]} = \log \frac{2.94 \times 0.1}{2.95 \times 1.0025182 \times 10^{-7}} = 5.9974841$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 7. \\ 8. \end{array} \right. \log \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]} = \log \frac{2.93 \times 0.1}{2.94 \times 1.0025182 \times 10^{-7}} = 5.9974897$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 8. \\ 9. \end{array} \right. \log \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]} = \log \frac{2.92 \times 0.1}{2.93 \times 1.0025182 \times 10^{-7}} = 5.9974939$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 9. \\ 10. \end{array} \right. \log \frac{[A][B_0]}{[A_0][B]} = \log \frac{2.91 \times 0.1}{2.92 \times 1.0025182 \times 10^{-7}} = 5.9974991$$

kt=

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{l} 1. \\ 2. \end{array} \right. \quad (5.997457) \times \frac{2.3}{2.9} = 4.7566044 \\ & \left\{ \begin{array}{l} 2. \\ 3. \end{array} \right. \quad (5.9944623) \times \frac{2.3}{2.89} = 4.7730669 \\ & \left\{ \begin{array}{l} 3. \\ 4. \end{array} \right. \quad (5.9974678) \times \frac{2.3}{2.88} = 4.7896444 \\ & \left\{ \begin{array}{l} 4. \\ 5. \end{array} \right. \quad (5.9974731) \times \frac{2.3}{2.87} = 4.806373 \\ & \left\{ \begin{array}{l} 5. \\ 6. \end{array} \right. \quad (5.9974784) \times \frac{2.3}{2.86} = 4.823147 \\ & \left\{ \begin{array}{l} 6. \\ 7. \end{array} \right. \quad (5.9974841) \times \frac{2.3}{2.85} = 4.8400749 \\ & \left\{ \begin{array}{l} 7. \\ 8. \end{array} \right. \quad (5.9974897) \times \frac{2.3}{2.84} = 4.8571219 \\ & \left\{ \begin{array}{l} 8. \\ 9. \end{array} \right. \quad (5.9974939) \times \frac{2.3}{2.83} = 4.8742883 \\ & \left\{ \begin{array}{l} 9. \\ 10. \end{array} \right. \quad (5.9974991) \times \frac{2.3}{2.82} = 4.8915773 \end{aligned}$$

由上之 **kt**，可知其下：

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{l} 1. \\ 2. \end{array} \right. \quad k = 9.4193917 \times 10^{-3} \\ & \left\{ \begin{array}{l} 2. \\ 3. \end{array} \right. \quad k = 8.0664282 \times 10^{-3} \\ & \left\{ \begin{array}{l} 3. \\ 4. \end{array} \right. \quad k = 7.395992 \times 10^{-3} \\ & \left\{ \begin{array}{l} 4. \\ 5. \end{array} \right. \quad k = 6.6182733 \times 10^{-3} \\ & \left\{ \begin{array}{l} 5. \\ 6. \end{array} \right. \quad k = 5.4052975 \times 10^{-3} \\ & \left\{ \begin{array}{l} 6. \\ 7. \end{array} \right. \quad k = 4.0469433 \times 10^{-3} \\ & \left\{ \begin{array}{l} 7. \\ 8. \end{array} \right. \quad k = 2.2780039 \times 10^{-3} \\ & \left\{ \begin{array}{l} 8. \\ 9. \end{array} \right. \quad k = 1.7799767 \times 10^{-3} \\ & \left\{ \begin{array}{l} 9. \\ 10. \end{array} \right. \quad k = 1.3596765 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

經上面 (A) (B) 之討論，可得知：皂化反應為 2 級反應，反應速率與反應物的本性，濃度有關。實驗級數的方法在現象環境中有很多種，實驗級數的誤差主要在於：

- ① 計算的精密不夠 ② 測量時間不夠準確 ③ 量刻度不夠精確

雖圖 I 中，原先的圖形呈曲線，但是在後半部則呈現近似直線的圖形，如此便可得知：後半部實驗誤差較小。由於皂化實驗屬於 2 級反應，故實驗必須：

- ① 油脂、NaOH 之濃度相等，依時間長短取 NaOH 之濃度變化
② 固定加入 NaOH 之量，使 NaOH 減少求時間，而油脂之濃度依時間減少
③ 固定加入油脂之量，使油脂減少求時間，而 NaOH 之濃度依時間減少。

三、第三部分實驗----探討碘值 (Wij's 測定法)

1. 實驗步驟：

(1) 配製偉氏溶液 (Wij's 碘溶液)

i. 稱取 ICl_3 7.9 g 與 I_2 8.7g 分別用冰醋酸融解之，然後將二者混合定容至 1000ml

ii. 通入經洗滌且乾燥處理過的濾器過濾

iii. 待置一週後，便可使用

(2) 取玉米油 0.18g，花生油 0.4 g，大豆油及回鍋油 0.18g (文獻數據指示固體油驗取量 1.8~1g，不乾性油 0.3~0.4g，乾性油 0.15~0.18g) 於 500ml 的三角錐形瓶，加入 20ml CHCl_3 溶解。

(3) 加入 wij's 氏碘溶液 25ml (使用吸管吸取，且注入燒瓶時，勿觸及瓶口，避免誤差) 均勻混合。

(4) 將燒瓶置於暗處兩小時，並偶搖動之

(5) 取 15% KI 溶液 20ml

(6) 充分混合之

(7) 加水 100ml

(8) 以 0.1M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 滴定之

(9) 當滴至液體呈極淡黃色時，加入澱粉指示劑數滴

(10) 繼續滴定至藍色消失

(11) 記錄其滴定數 (a ml)

(12) 另作空白試驗 (bml)

(13) 計算公式：

$$IV = \frac{(b-a) \times 0.1 \times 10^{-3} \times 126.9 \times 100}{W_s}$$

W_s 為試驗樣品的重量(g)

126.9 為碘的原子量

2.實驗結果討論：

空白試驗=44ml

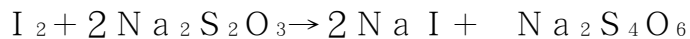
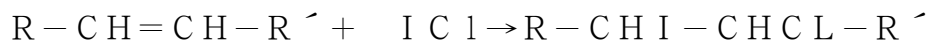
表十二 玉米油、花生油、大豆油及回鍋油滴定 0.1M Na₂S₂O₃ 滴定之ml數

樣品 ml 次數	玉米油	花生油	大豆油	回鍋油
一	24.8	5.5	23.9	26.7
二	25.5	3.3	25.3	24.1
平均	25.2	4.4	24.6	25.4

表十三 玉米油、花生油、大豆油及回鍋油之碘值

樣品 碘 值 次數	玉米油	花生油	大豆油	回鍋油
一	134.84	116.88	140.77	118
二	118.09	123.56	123.98	129.44
平均	126.47	120.22	132.38	123.74

經查閱生物化學試驗（丁一倪等三人編著），可得反應方程式：



試驗結果中二重複數據差距較大，可能誤差是I₂易流失，實驗環境影響，雖如此我們的實驗顯示新鮮玉米油、花生油、大豆油之碘值介於 120-140 間，大豆油偏高。查閱相關資料發現玉米油、花生油與大豆油之脂肪酸組成情形如下表：

油脂種類	玉米油	花生油	大豆油
飽和脂肪酸含量%	8.8	17.7	14.0
C18:1 油酸含量%	35.5	56.5	22.9
C18:3 亞麻油酸含量%	55.7	25.8	55.2

由表可推測碘值玉米油 > 大豆油 > 花生油 而我們的數據顯示大豆油碘值最高，所以大豆油應該另含有較多油酸、亞麻油酸以外的不飽和脂肪酸所以碘價較高，而回鍋油（烹煮過的大豆油）碘值較大豆油低，推測原因是食用油烹煮過油脂劣變，脂肪酸雙鍵的部分參與油脂自氧化反應稍許減少，以致碘值低。

四、第四部份實驗---酸值的測定(如圖【a】、【b】、【c】、【d】)

1.實驗步驟：

- (1) 取玉米油、花生油、大豆油、及回鍋油各 10g (Ws)。
- (2) 各加入沸騰中性酒精 50 ml。
- (3) 各加入酚酞數滴。
- (4) 各用 0.1M 標準 NaOH (或 KOH) 溶液滴定之，滴至溶液微呈紅色，並記錄其標準溶液之用量 (a)。
- (5) 另作空白試驗 (b)
- (6) 計算公式：

$$AV = \frac{(a-b) \times 0.1 \times 40}{W_s}$$



圖【a】10克測試油



圖【b】酒精加熱的過程



圖【c】加入酒精的過程



圖【d】油脂滴定的過程

2.實驗結果討論

空白試驗：0.15ml

表十四 測定酸值時玉米油、花生油、大豆油及回鍋油 0.1M NaOH 滴定 ml 數

次 數 \ ml 樣 品	玉米油	花生油	大豆油	回鍋油
一	0.3	0.65	0.3	0.8
二	0.3	0.6	0.3	0.7
平均	0.3	0.63	0.3	0.75

表十五 玉米油、花生油、大豆油及回鍋油之酸值 (0.1M NaOH 滴定)

酸 次 數 \ 樣 品 值	玉米油	花生油	大豆油	回鍋油
一	0.06	0.20	0.06	0.26
二	0.06	0.18	0.06	0.22
平均	0.06	0.19	0.06	0.24

由上表十五可得此三種油脂的平均酸值各為：

玉米油→0.06

花生油→0.19

大豆油→0.06

回鍋油→0.24

各種油脂皆有不同的酸值，就我們的比較試驗發現花生油的酸值為 0.19 較玉米油、大豆油高，且烹調過之回鍋油（烹煮過之大豆油）酸值會增加（0.06 變為 0.24），酸值越高，油脂的品質越差（新鮮油之規定酸值須 0.1 以下），游離出之脂肪酸會進而參與油脂自氧化反應，食用酸敗的油脂有礙健康。油脂久置於空氣中，也會發生酸敗，而甘油脂水解並不代表油脂酸敗，必須有刺激性的脂肪酸生成，且發出臭味才叫酸敗。

五、第五部份實驗-----皂化值的測定

1.實驗步驟：

- (1) .取已洗淨的伊氏燒瓶
- (2) 分別加入油脂 1~5g (Ws)，再取新的燒瓶加水 5ml
- (3) 各加入 0.5M NaOH 酒精溶液 50ml
- (4) 各於燒瓶瓶口接上水冷式迴流冷凝器

- (5) .將燒瓶及冷凝器用鐵架架好，浸入恆溫槽中
- (6) 迴流蒸餾 30 分鐘
- (7) 冷卻後加入 2 滴酚酞（紅色）
- (8) 用 0.5N HCl 溶液滴定到紅色消失維持 30 秒，紀錄體積（a ml）
- (9) 另作空白試驗（ b ml）
- (10) 計算皂化值（sv）：
$$S.V = \frac{(b-a) \times 0.5 \times 40}{W_s}$$

2.結果討論

表十六 測定皂化值時玉米油、花生油、大豆油及回鍋油 0.5N HCl 滴定 ml 數
(二重複平均)

樣品	油脂克數				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
玉米油	40.37	30.80	21.33	11.77	2.13
花生油	40.27	30.33	20.33	10.87	1.37
大豆油	45.93	41.33	37.53	33.50	29.13
回鍋油	39.45	33.50	32.10	20.35	16.75

(b=46.5ml)

表十七 玉米油、花生油、大豆油及回鍋油之皂化值
(皂化 1g 油脂所需 NaOH 之 mg 數)

樣品	油脂克數					平均
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	
玉米油	191.49	191.54	191.45	191.47	191.29	191.45
花生油	194.6	196.65	197.77	195.25	194.6	195.77
大豆油	81.30	86.65	83.10	82.50	83.46	83.40
回鍋油	120.82	129.20	128.46	128.98	117.74	125.04

由表十七 可知玉米油、花生油、大豆油、回鍋油的平均皂化值為：

玉米油 = 191.45

花生油 = 195.77

大豆油 = 83.40

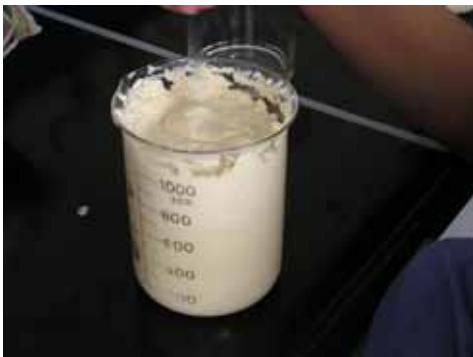
回鍋油 = 125.04

皂化值原本是做為判斷油脂種類的指標，皂化值越大，其所含的分子越多，而其分子量越小（短鏈脂肪酸）；相反的，皂化值越小，其所含的分子越少，而其分子量越大（長鏈脂肪酸），故由皂化值判定油脂種類。由上數據可知玉米油與花生油分子量小，大豆油的組成脂肪酸屬長鏈脂肪酸，分子量大，本實驗之回鍋油（烹煮過之大豆油）的皂化值大於大豆油，增加 42 左右，我們認為油脂烹調過脂肪酸游離出來，以致於試驗中較多 NaOH 參與反應使皂化值增加。

六、第六部份實驗-----回鍋油再利用(如圖【a'】、【b'】、【c'】、【d'】、【e'】、【f'】)

1. 實驗步驟：肥皂製作:

- (1) 先配置飽和食鹽水 1L。
- (2) 取 100ml 油脂與 150ml 酒精攪拌均勻。
- (3) 將 100ml 5M 的氫氧化鈉加入混合。
- (4) 將溶液混合加熱至微微沸騰,保持此狀態 30 分鐘後使溶液將酒精蒸出。
- (5) 加入 30ml 清水,繼續加熱至沸騰。
- (6) 以滴管取出少許混和液滴入飽和食鹽水中,觀察是否有懸浮物(肥皂)產生。
- (7) 停止加入並將混合液用抹布包住,緩慢倒入急速攪拌的飽和食鹽水中(鹽析)。
- (8) 將上浮的固體濾出,收集在燒杯中。
- (9) 將裝有固體肥皂之燒杯放再有陶瓷纖維網之三腳架上以酒精加熱至溶化。
- (10) 加入適量之色素與香料,攪拌三分鐘。
- (11) 熄滅酒精燈,將溶化的肥皂倒入預先準備的塑膠容器內,待冷卻定型即可取出肥皂。



圖【a'】 油脂皂化



圖【b'】 鹽析過濾



圖【c'】鹽析過濾



圖【d'】產物皂基



圖【e'】產物皂基



圖【f'】產物皂基

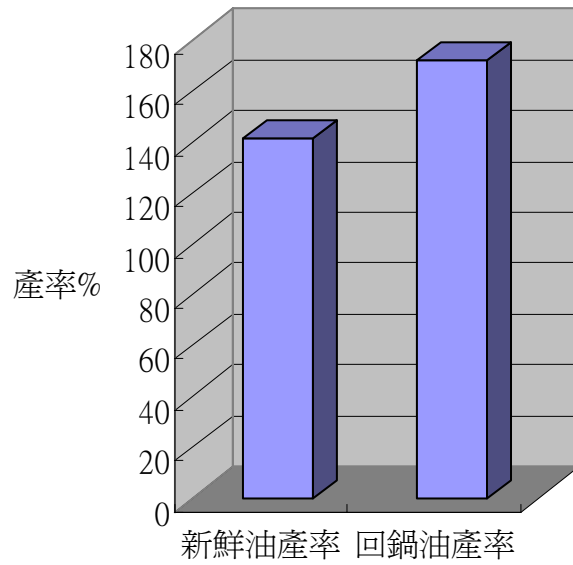
2.結果討論

表十九 新鮮、回鍋油製成肥皂之產率

數據紀錄	新鮮油	回鍋油
樣品使用量	88.4	85.3
肥皂產量	125	147
肥皂產率	141.4%	172.33%

產率公式： $(\text{皂產量} / \text{樣品使用量}) \times 100\%$

將新鮮食用油與回鍋油拿去製作肥皂，發現回鍋油製成肥皂之產率較一般新鮮食用油高出 30.93%的產率(表十九)，可能原因是油脂劣變後脂肪酸增加，所以產率增高。由上面的結果可得知如果將回鍋油用來製成肥皂，不只可增加產率(圖九)還可減少環境污染，真是一舉兩得。

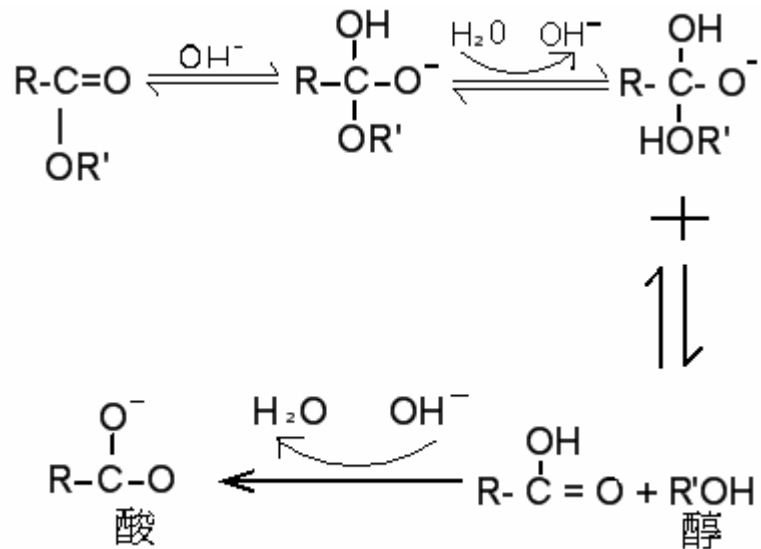


圖九、新鮮油與回鍋油製成肥皂的產率

伍、總結

一、關於油脂之酸水解與鹼水解，綜合各家的學說，可提出如下的通說：

□ 鹼水解



- 四、當反應之級數為 2 級反應時，我們得知由初濃度反應至初濃度之一半時，其時間與初濃度成反比，所以當我們在週遭的環境中，發現廢棄之油脂時，先將其收集起來，等到至相當噸數時，再一起進行皂化，如此便可節省相當多的時間。
- 五、碘值主要是在測油脂不飽和脂肪酸的含量，又經查書，不飽和脂肪酸含量越多，則表示油脂越不安定；飽和脂肪酸含量越多，則表示越安定，可耐高熱、油炸，所以我們藉碘值的測量來精確表示不飽和脂肪酸的含量，進而減少高血壓發生的機會。
- 六、回鍋油脂酸值（增加）、皂化值（增加）、碘值（下降）顯示，他很適於製作成肥皂再利用。

陸、研究心得與展望：

肥皂是我們日常生活中的必需品，很多人使用肥皂，但卻都想不到肥皂竟是由油膩的油脂所製造而成的；肥皂除了可以用來清潔之外，也可以用來刻些小模型，放在家裡當作裝飾品；但其最大的缺點就是在硬水之中無法發揮其清潔作用。在日常生活中，常有些富含能量的油脂，被人類棄置於大自然中，因而造成反面的污染，如果利用這些油脂廢棄物來合成新的物質，賦予新的生命，不但可減少污染，更可在資源有限的明日世界，提供一條可行的路。

柒、參考資料：

- 一、物理化學—王應瓊編著，中央圖書出版社
- 二、第 25 屆及第 26 屆全國科學展覽專輯，國立科學館印行
- 三、高中化學原理第四冊—賴文雄，黃明隆編著，東華書局
- 四、生物化學實驗—丁一倪等三人編著，環球書社
- 五、大學普通化學實驗，國立台灣大學化學系出版，高立書局印行
- 六、大學普通化學試驗下冊—楊寶旺主編，高立書局印行
- 七、中山自然科學大辭典第五冊化學
- 八、高中化學課本第四章，國立編譯館
- 九、高中化學實驗手冊第一冊，國立編譯館
- 十、儀器分析原理—邱成美編著，科文出版社
- 十一、化學基本原理—朱樹恭譯，台灣商務印書館
- 十二、理論化學—潘貫編著，國立編譯館
- 十三、有機化學實驗（上冊）（下冊），歐陽承編著，大中國圖書公司印行
- 十四、化學實驗（上冊）（下冊）—雷敏宏等三人編著，高立書局
- 十五、牛頓化學辭典—洪源亮等人編著，牛頓出版社
- 十六、化學實驗—潘子明編著，中國文化大學出版部
- 十七、有機化學精要—朱文聰編著，徐氏基金會出版
- 十八、有機化學第三冊—楊寶旺等三人著，東華書局印行
- 十九、實用化學大辭典—文化圖書公司編輯部著，文化圖書公司刊行
- 二十、The condensed chemical dictionary 7th Editions
- 二十一、B.Ho Mahem “University Chemistry”-3rd.ed
- 二十二、W.Jo Moore “physical chemistry”-4th.ed

二十三、Syntheses and Reactions in Organic Chemistry Parham 著，正文書局出版