

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040803

創新式食用油快速檢驗法之研究

學校名稱：臺北市私立開南高級商工職業學校

作者： 高二 王信元 高二 李唯聖 高二 賴育良	指導老師： 江明岳 張丕白
---	-----------------------------

關鍵詞：食用油、酸價、介電係數

摘 要

新聞時常報導速食店食用油採傳統檢驗法酸價過高，而此檢驗法常有爭議，總極性測試是國際公認的方法，但測試時間很長。因此我們運用食用油長時間加熱後，產生的極性物質，經學理探討分析，得知會提升油的介電係數。我們分別用兩種植物油進行實驗，以三種不同溫度（150°C、175°C與200°C）加熱，加熱一百小時，分時間取樣。將取樣油做兩項測試：一為酸價檢測、另外自製以油的介質電容感測器，計算出油的介電係數，證實食用油長期加熱劣化產生之極性物質與介電係數的關連性，我們參考總極性測試定義油品劣化公式，定義介電係數增加率做為更換油參考數值，依據介電係數增加率公式，設計一簡易判斷檢測裝置，而此法僅需幾分鐘即可得知結果，並且可以重複使用。

壹、研究動機

最近經常報導速食店食用油酸價過高，使用傳統檢驗法既費時又有爭議，從食用油飽和脂肪酸與不飽和脂肪酸化學式中，得知油主要是由脂肪酸組成，長時間加熱後離子即解離，因此油的介電係數會有所改變，知道電容量與**介質材料的介電係數**與有關。因此我們想找出食用油的酸價與介電係數之關連性，研究運用食用油的介電係數能分析其劣化程度，設計簡單又可快速正確檢驗裝置，能快速地檢驗食用油的優劣，進而保障大眾健康。

本研究不僅是可作為飲食安全之用，更具有發展環保電子被動元件之潛力。「表1」為本研究與《高級中學》教材相關性。

表 1 高級中學課程學習相關內容

科目名稱	年級	內 容	作品應用部分
基礎化學	高一	原子結構	食用油劣化之探討
		化學鍵結	食用油加熱解離分析
基礎物理	高一	能量與生活	分析原理
計算機概論	高一	資 料 庫	油料採樣分析數位化資料庫
		多 媒 體	量測影像之儲存
物質科學 (物理篇)	高二	能 量	分析油料受熱解離
		電 學	實驗設計
生命科學	高二	動物的代謝和恆定性	食用油對人體之影響

貳、研究目的

為探討食用油因長期加熱而劣化，所產生的酸價與介電係數之關連性，進而運用介電係數檢測食用油劣化程度，我們分別作了以下實驗：

一、植物油加熱：分別選用得意的一天葵花油、統一沙拉油兩種食用油。

（一）加熱溫度：150°C、175°C及200°C。

（二）加熱時間：100小時（分時取樣）。

二、油品檢驗測試：

（一）運用化學酸鹼滴定方式測試酸價（標準依據）。

（二）依電容基本原理，自製偵測介電係數感測測試（自製檢測裝置）。

三、定義電係數增加率，找出食用油劣化與介電係數增加率關係，設計一個介電係數增加率判斷油質劣化的簡單檢測裝置。

希望藉由研究食用油的介電係數，能分析其劣化程度，能快速地檢驗食用油的優劣，保障大眾吃的健康。

參、研究設備及器材

一、設備

加熱器照片（圖 1）



圖 1 加熱器照片

二、器材

溫度計、電容計、取樣容器、自製檢驗容器（圖 2）

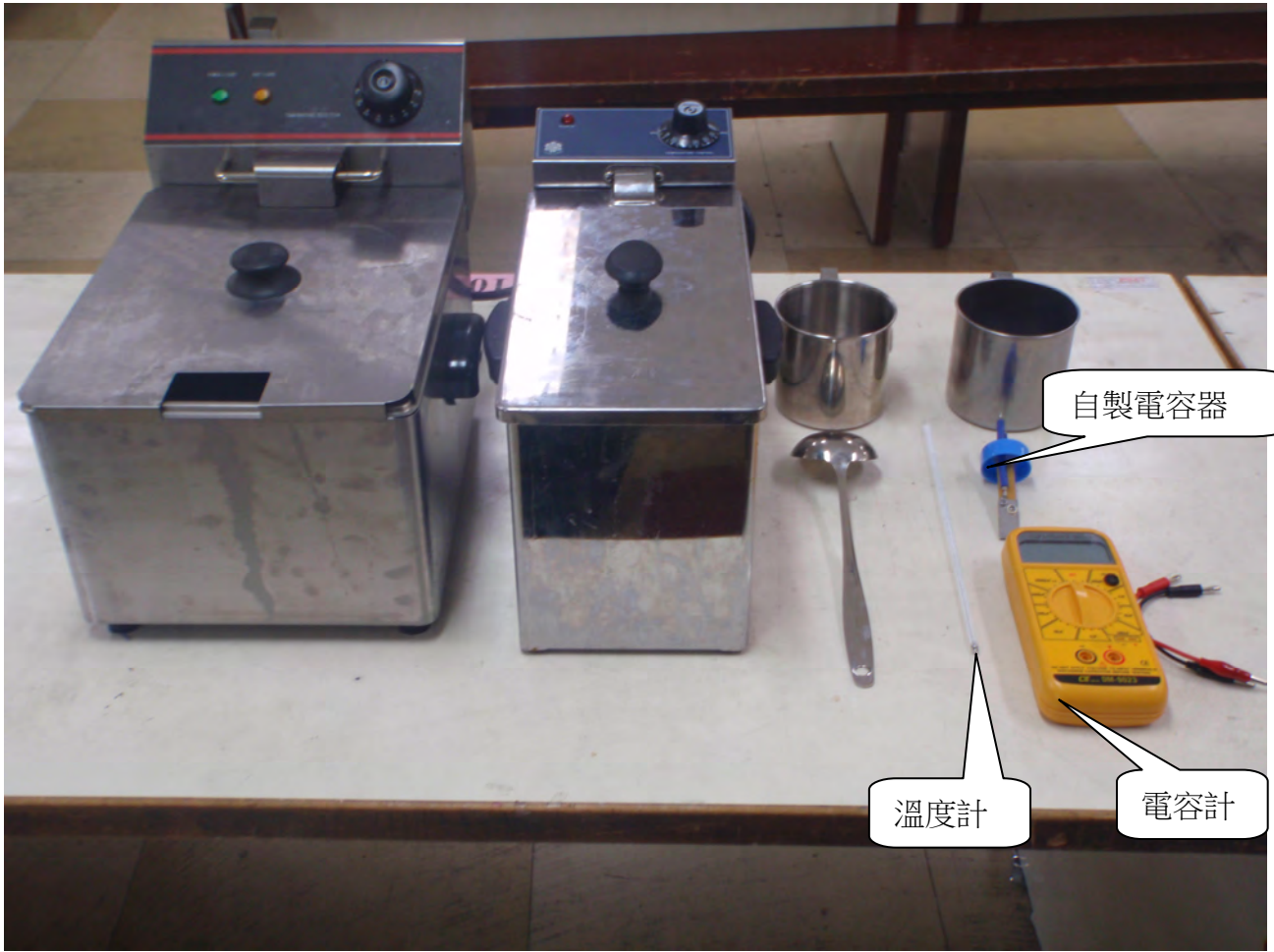


圖 2 實驗器材

肆、研究過程或方法

一、研究過程流程圖

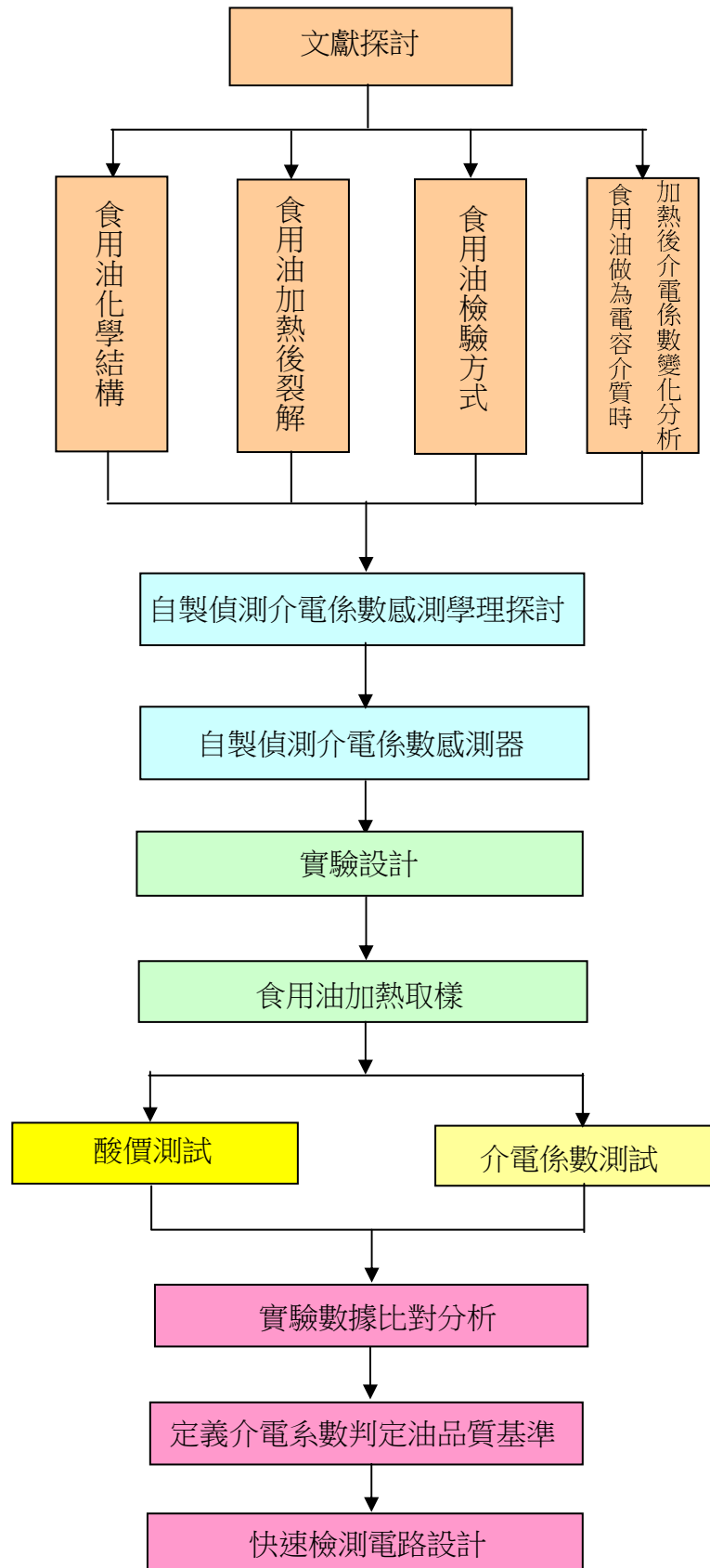


圖 3 研究過程流程圖

二、文獻探討

(一) 市面食用油劣化報導

【2009/06/22 聯合晚報】食用油連續高溫油炸，可能產生致癌物，知名連鎖速食業者尚且這樣不顧消費者健康，那麼其他商家、小販又是如何呢？這個抽查事件讓我們再一次了解到，生活周遭充滿著危害健康的因子。經濟部制訂了種種規定，讓消保官師出有名，但執行面卻難以面面顧到，民眾健康並無百分百的保障。

(二) 油脂加熱的變化



圖 4. 油脂加熱的變化圖

(三) 食用油化學結構

飽和脂肪酸與不飽和脂肪酸（圖 5）。

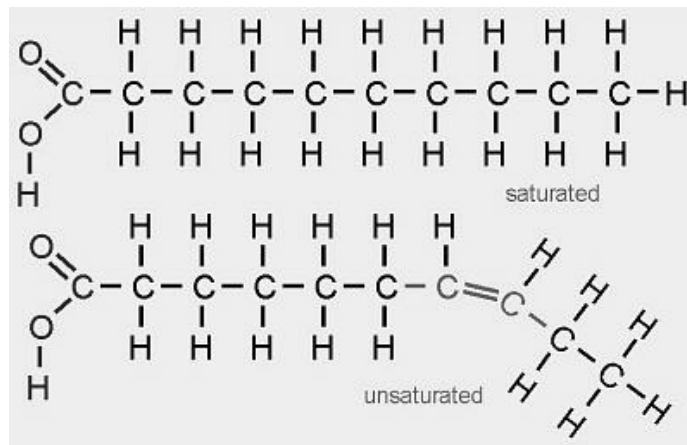


圖 5. 飽和脂肪酸與不飽和脂肪酸化學結構

(四) 油加熱後劣化成有極性物質

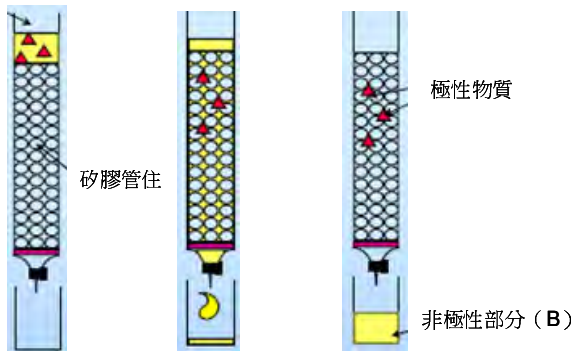
油的主要成份雖然都是三酸甘油酯，但是當中的脂肪酸還分飽和脂肪酸與不飽和脂肪酸，不飽和脂肪酸含量越多，油越不安定。飽和脂肪酸是碳鏈上沒有雙鍵；不飽和脂肪酸是碳鏈上某些碳與碳之間有雙鍵，遇到自由基這類活性分子，雙鍵中的 π 鍵（兩個電子軌道重疊而形成的共價鍵）具有提供電子傾向而產生反應。此外，**兩個雙鍵中間的碳氫鍵的氫原子於加熱過程中較易脫落而生成自由基**，自由基再與空氣中的氧反應生成過氧化物，會進一步再與其他分子反應，裂解而生成分子量小的揮發性物質。

(五) 市面檢測方式

1. 標準總極性測試（須4至6小時）

2. 3M 的PCT1200總極性測試器（須35分鐘）

測試油 (A)



$$\% \text{ PC} = \frac{A-B}{A} \times 100\%$$
$$\% \text{ PC} > 27\%$$

需4至6小時



圖 6. 總極性測試

總極性計算公式， $\% \text{ PC} = \frac{A-B}{A} \times 100\%$

(1)

$\% \text{ PC} > 27\%$ 表示油需更換

3. 酸價檢測

酸價的定義是一公克油脂中的酸性物質，所需氫氧化鉀 (KOH) 才能酸鹼中和的毫克數採用滴定方式檢測。酸價 > 2 (mg KOH/gram) 表示油需更換

(六) 食用油檢驗方式專家學者觀點

臺灣大學化學系教授何國榮表示，酸價可以作為檢驗油的品質的「間接指標」，因為油炸得愈久，經過水解作用生成的游離脂肪酸愈多，酸價也會愈高。稱為「間接指標」，

是因為酸價只能代表「油炸經過的時間」，並不直接代表油本身的品質。

劉珍芳也認為，沒有人能明確指出，炸油中的游離脂肪酸要多到什麼程度，對人體才真正有害；但是油加熱得愈久，變質的可能性愈大，所以用酸價這種比較容易測量的方式代表油的品質。她指出，也有其他測量油品的方式：許多國家是用總極性物質的多寡當作測量油品的標準。當油加熱發生裂解或聚合作用，會產生醛、酮、酸等極性物質，這些極性物質的總量會隨油炸時間增長而增加。劉珍芳說，這種方式雖然很精確，但是比較難檢測。

(七) 食用油加熱後有極性物質與介電系數

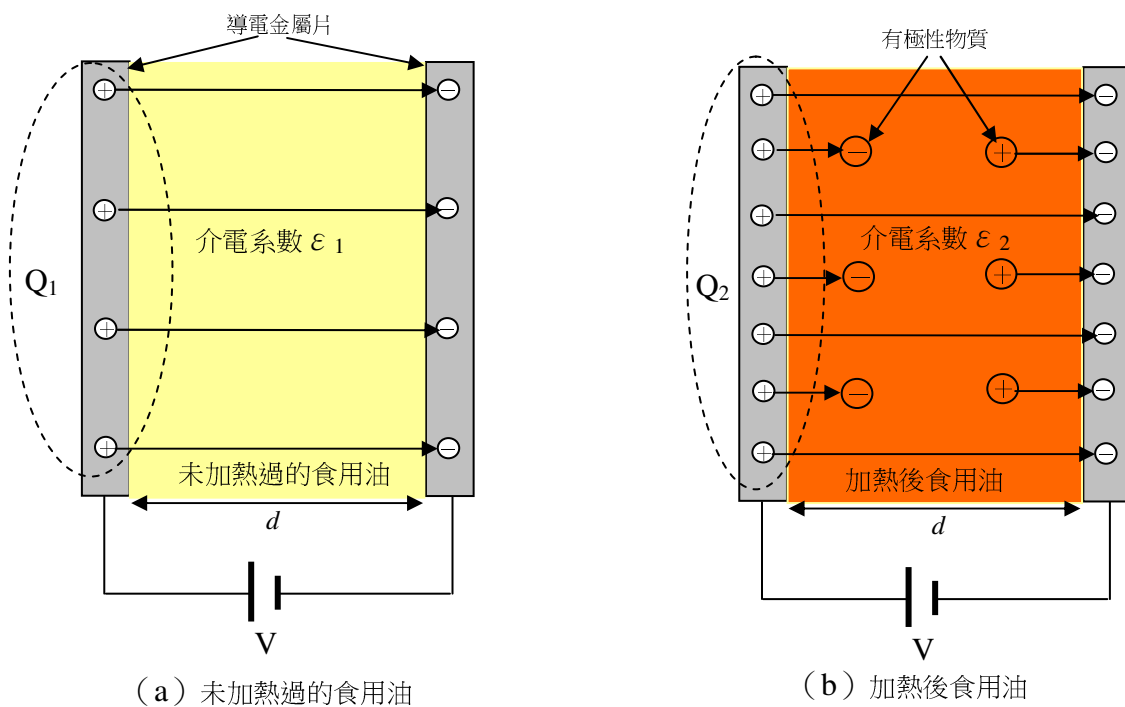


圖 7. 食用油加熱前與加熱後電容導體金屬片上之電荷變化

介電系數分析

依據電容基本公式圖7 (a) 導體金屬片上儲存電荷 $Q_1 = C_1V$ (2)

圖7 (b) 導體金屬片上儲存電荷 $Q_2 = C_2V$ (3)

設定圖7 (a) 與 (b) 導體金屬片大小 (金屬板面積 A) 及距離 (d) 都一樣，則

$C_1 = \epsilon_1 \frac{A}{d}$; $C_2 = \epsilon_2 \frac{A}{d}$ 代入 (2)、(3) 式，可得

$Q_1 = \epsilon_1 \frac{AV}{d}$ (4)

$$Q_2 = \epsilon_2 \frac{AV}{d} \quad (5)$$

由圖7 (a) 與 (b) 可知 $Q_2 > Q_1$; 因此由 (3) 、 (4) 可得

$$\epsilon_2 > \epsilon_1 \quad (6)$$

由 (6) 式可知加熱過後的油其介電係數會增加。

三、自製偵測介電係數感測器學理探討

(一) 基本電容器原理

1、平行電容器結構

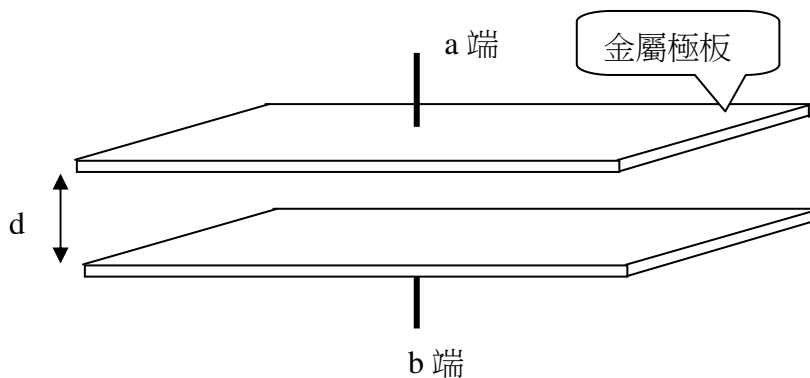


圖 8. 平行電容器結構圖

2. 平行電容器電容量

A : 表示電容極板的面積 d : 表示兩極板間的距離 ϵ : 表示兩極板間介電係數

$\epsilon = k\epsilon_0$; $\epsilon_0 = 8.84 \times 10^{-12}$ (F/m) 。 ; 真空 $K=1$ 空氣的介電係數接近 ϵ_0

C : 表示電容量 (單位法拉) $C = \epsilon \frac{A}{d}$ (7)

(二) 設計偵測介電係數感測器與理論探討

1、結構設計 (側視圖)

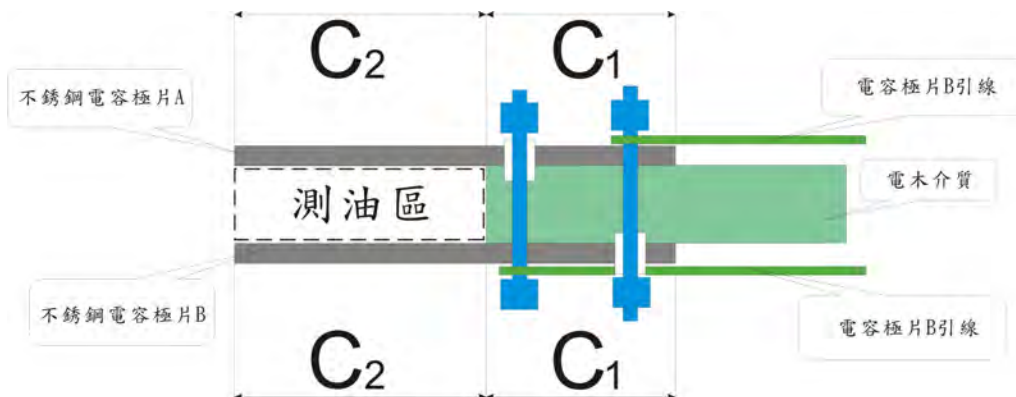


圖 9. 偵測介電係數感測器側視圖

2、食用油介電係數推導

(1) 參數定義

C_1 ：圖 9 中以電木為介質區域的電容。

C_2 ：圖 9 中以測油區為介質區域的電容。

C_A ：圖 9 中測油區沒有食用油而只有空氣時的總電容量。

C_O ：圖 9 中測油區充滿食用油時的總電容量。

C_{A2} ：圖 9 中以測油區沒有食用油而只有空氣為介質區域的電容。

C_{O2} ：圖 9 中以測油區充滿食用油為介質區域的電容。

ϵ_1 ：電木介電係數

ϵ_A ：空氣介電係數

ϵ_0 ：食用油介電係數

A_1 ：圖 9 中 C_1 區域的不鏽鋼極片面積。

A_2 ：圖 9 中 C_2 區域的不鏽鋼極片面積。

d ：為圖 9 中偵測介電係數感測器兩不鏽鋼極片之間的距離。

(2) 食用油介電係數 ϵ_0 推導

a. 偵測介電係數感測器未放入取樣油罐時總電容量（可測量）

$$C_A = C_1 + C_{A2} = \epsilon_1 \frac{A_1}{d} + \epsilon_A \frac{A_2}{d} \quad (8)$$

b. 偵測介電係數感測器放入取樣油罐且圖 a 中測油區充滿食用油時的總電容量（可測量）

$$C_O = C_1 + C_{O2} = \epsilon_1 \frac{A_1}{d} + \epsilon_0 \frac{A_2}{d} \quad (9)$$

將 (6) 式 - (7) 式 可得

$$C_O - C_A = \epsilon_0 \frac{A_2}{d} - \epsilon_A \frac{A_2}{d} = (\epsilon_0 - \epsilon_A) \frac{A_2}{d}$$
$$\therefore (\epsilon_0 - \epsilon_A) = \frac{d(C_O - C_A)}{A_2}$$

$$\text{故得 } \epsilon_0 = \frac{d}{A_2} (C_O - C_A) + \epsilon_A \quad (10)$$

其中， d 、 A_2 及 ϵ_A 已知； C_A 、 C_O 實驗測得，因此食用油介電係數可算出來。

四、實驗設計與實驗照片

(一) 油取樣罐與偵測介電係數感測器結合設計 (圖8) (圖9)。



圖8. 偵測介電係數感測器實體照片



圖9. 偵測介電係數感測器結合取樣罐瓶蓋

3、取樣罐瓶食用油的偵測位置刻度實際設計



圖10. 取樣罐瓶食用油的偵測位置設計照片

為能準確測得食用油介電係數，食用油取樣罐瓶裝油刻度，必須符合圖9中偵測介電係數感測器 C_2 區域刻度。

(二) 加熱器操作

1、溫度設定 (圖11)

2、原始加熱 (圖12)

3、取樣 (圖13)

4、倒油 (圖14)

5、電容測試 (圖15) (圖16)

6、加熱過的油及取樣油罐 (圖17) (圖18) (圖19) (圖20)



圖11. 溫度設定照片

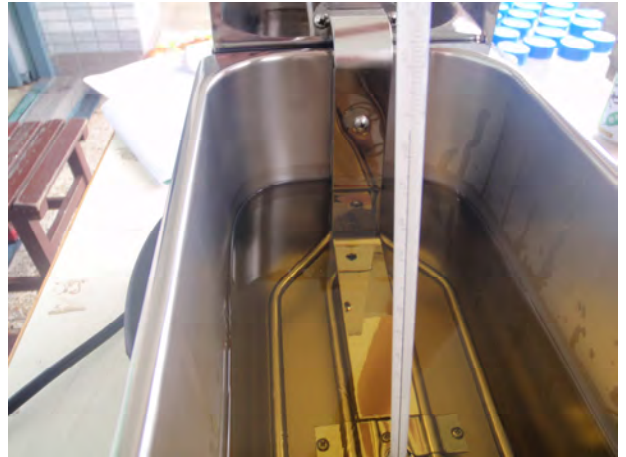


圖12. 原始加熱照片

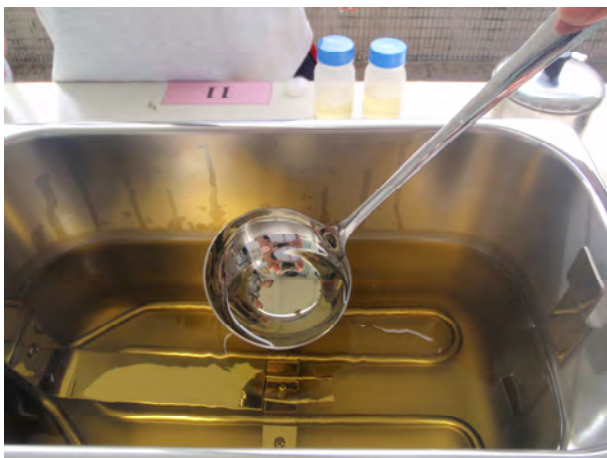


圖13. 取樣照片



圖14. 倒油的過



圖 15.測 C_A 電容



圖 16.測 C_o 電容

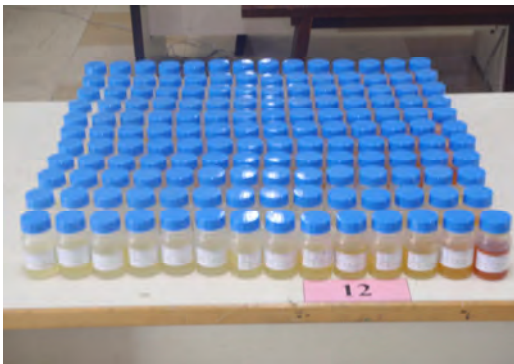


圖 17.取樣油罐



圖 18.煮過 100 小時維力清香油回收油



圖 19.煮過 100 小時統一大豆沙拉油回收油

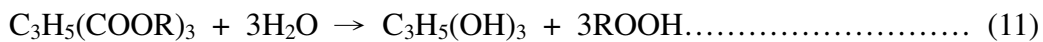


圖 20.煮過 100 小時得意的一天葵花油回收油

(三) 滴定原理

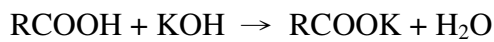
1、 食用油檢驗方式

油脂受空氣，光線的作用逐漸水解，生成游離脂肪酸與甘油（式 11），因此酸價逐漸變大，所以酸價的大小可表示油脂的新鮮程度。酸價(Acid value)檢測是現在所有檢測方法中算是快速又有效的方法，酸價為中和 1 克油脂或蠟中所含的游離脂肪酸所需的 KOH 毫克數表示之。目前以快速試紙檢測酸價結果，但傳統快速試紙檢驗法常有爭議，因此我們想尋找是否有更快更準確的檢測方式。



2、 油脂滴定

由於油脂是非極性的物質所以必須溶於非極性的溶液中，但是非極性的溶液卻無法使用於高中職的酸鹼滴定觀念，所以我們經由多次探索出滴定油脂的方法，把油脂溶於低極性的乙醚中，再加入可以互溶的酒精混合後滴定（圖 21）。首先取油脂 10g 於錐形瓶中，加 150 ml 的 95%酒精與乙醚等量混合，加酚酞指示劑以 0.1M KOH 標準溶液滴定(圖 22)，其方程式如下。



$$0.1\text{M KOH } 1\text{ml} \doteq 5.61 \text{ mg KOH}$$

$$\text{酸價} = (\text{所需 } 0.1\text{M KOH ml}) \times 5.61(\text{mg}) / \text{油脂重}$$

酚酞指示劑當溶液的 PH 值大於 9 時，即由無色變為粉紅色（圖 23），根據滴定量在算出酸價，作為計算游離脂肪酸在油脂中所占之百分率，如下式：

$$\text{油酸(Oleic acid)} = \text{酸價} \times 0.503 \quad (0.503 \text{ 為計算官能基中脂肪的含量，以含量百分比則為 } 50.3\%) \dots\dots\dots (12)$$



圖 21. 油水互溶



圖 22. 0.1M KOH 標準溶液滴定



圖 23. PH 值大於 9 酚酞指示劑變為粉紅色

伍、研究結果

一、植物油

(一) 得意的一天葵花油

1、介電係數 (10^{-13}F/cm) (表2)

表2 得意的一天葵花油加熱100小時介電係數

加熱溫度	0.5 小時	1 小時	1.5 小時	2 小時	3 小時	5 小時	7 小時
150°C	2.677	2.813	2.909	2.949	2.973	2.981	3.021
175°C	2.741	2.893	2.981	3.053	3.141	3.229	3.269
200°C	2.861	3.069	3.325	3.477	3.501	3.517	3.573

加熱溫度	10 小時	15 小時	20 小時	25 小時	30 小時	50 小時	100 小時
150°C	3.077	3.085	3.093	3.157	3.261	3.277	3.341
175°C	3.309	3.389	3.477	3.517	3.621	3.653	3.693
200°C	3.669	3.781	3.869	3.901	3.917	3.989	4.069

介電係數： 10^{-13}F/cm

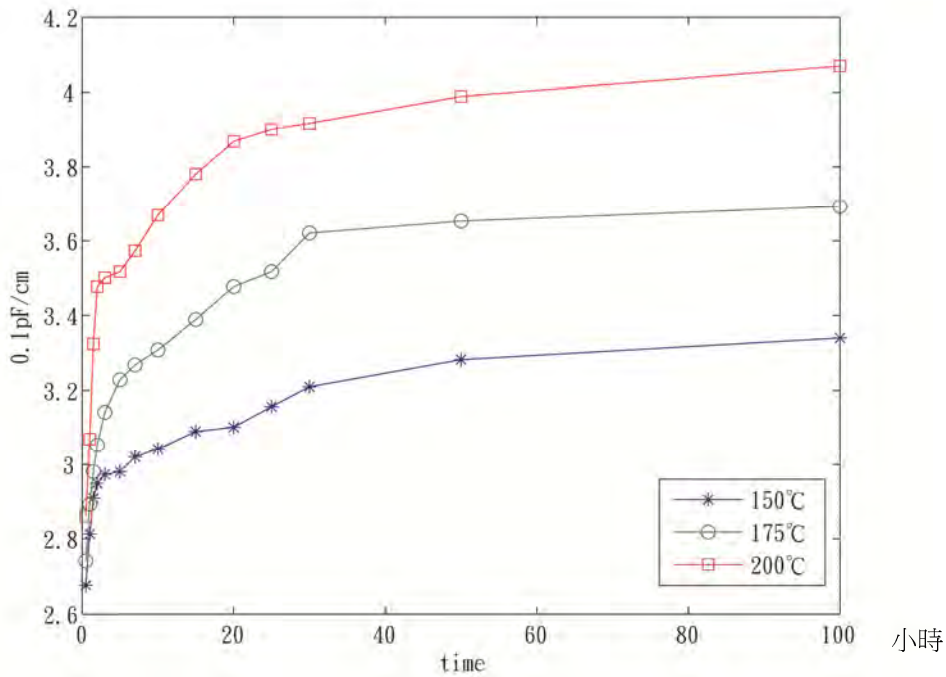


圖 24：得意的一天葵花油三種溫度介電係數曲線

2. 檢測酸價 (mg KOH/gram) 之結果 (表3)。

表3 得意的一天葵花油酸價資料

加熱溫度	0.5 小時	1 小時	1.5 小時	2 小時	3 小時	5 小時	7 小時
150°C	0.66	0.68	0.73	0.81	0.85	0.95	0.98
175°C	0.68	0.71	0.75	0.85	0.85	0.93	0.91
200°C	0.72	0.78	0.80	0.88	0.97	0.99	1.09

加熱溫度	10 小時	15 小時	20 小時	25 小時	30 小時	50 小時	100 小時
150°C	0.99	1.13	1.30	1.57	1.62	1.86	2.03
175°C	0.98	1.19	1.33	1.59	1.72	1.97	2.39
200°C	1.17	1.21	1.40	1.65	1.82	2.19	2.63

介電係數： 10^{-13}F/cm

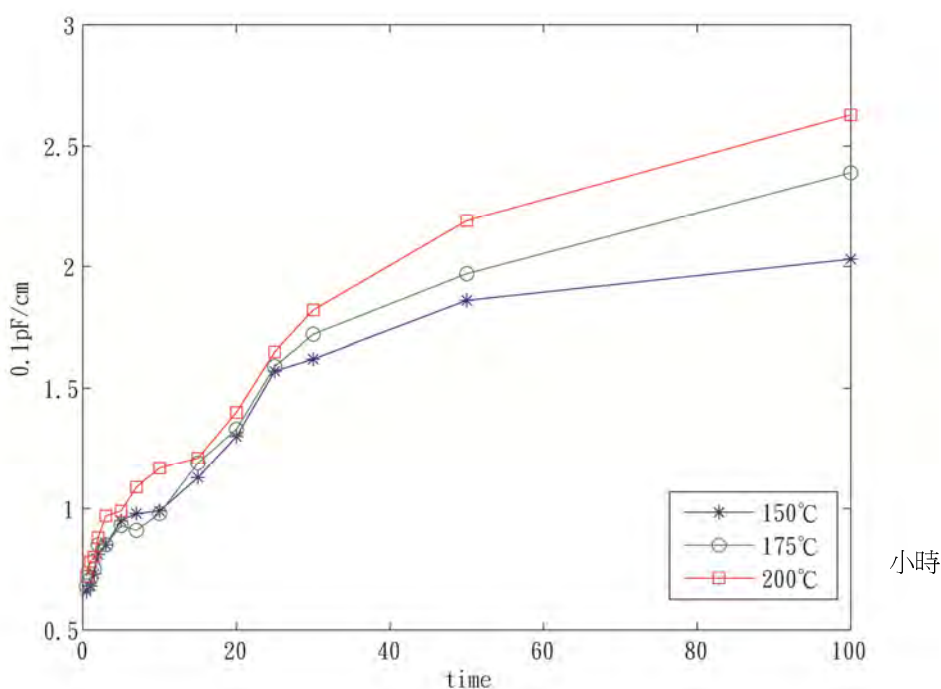


圖 25：得意的一天葵花油檢測酸價曲線

(圖24) 顯示得意的一天葵花油，以三種溫度加熱實驗，得知加熱溫度越高介電係數也會越高，加熱到200°C可以達到 $4 \times 10^{-13}\text{F/cm}$ 而150°C卻只有達到 $3.2 \times 10^{-13}\text{F/cm}$ ，(圖25) 則顯示酸價檢驗的結果，酸價數據也是加熱溫度越高酸價會越高，200°C達到2.5 mg KOH/gram而150°C達到約1.8 KOH/gram。實驗得知可以利用介電係數判斷酸價的高低，也可以做食用油加熱溫度的判斷。

此外兩圖的上昇幅度也接近，加熱時間0小時至20小時的曲線斜率都較大，加熱40小時後曲線斜率變小，介電係數以及酸價的趨勢都相當的符合。

(二) 統一沙拉油

1、介電係數 (10^{-13}F/cm) (表4)

表4 統一沙拉油加熱100小時介電係數

加熱溫度	0.5小時	1小時	1.5小時	2小時	3小時	5小時	7小時
150°C	2.741	2.909	2.941	2.989	3.029	3.069	3.101
175°C	2.997	3.037	3.093	3.194	3.197	3.213	3.269
200°C	3.021	3.141	3.149	3.165	3.197	3.253	3.317

加熱溫度	10小時	15小時	20小時	25小時	30小時	50小時	100小時
150°C	3.149	3.221	3.269	3.309	3.405	3.445	3.501
175°C	3.309	3.341	3.381	3.389	3.421	3.465	3.553
200°C	3.341	3.365	3.413	3.445	3.509	3.573	3.581

介電係數： 10^{-13}F/cm

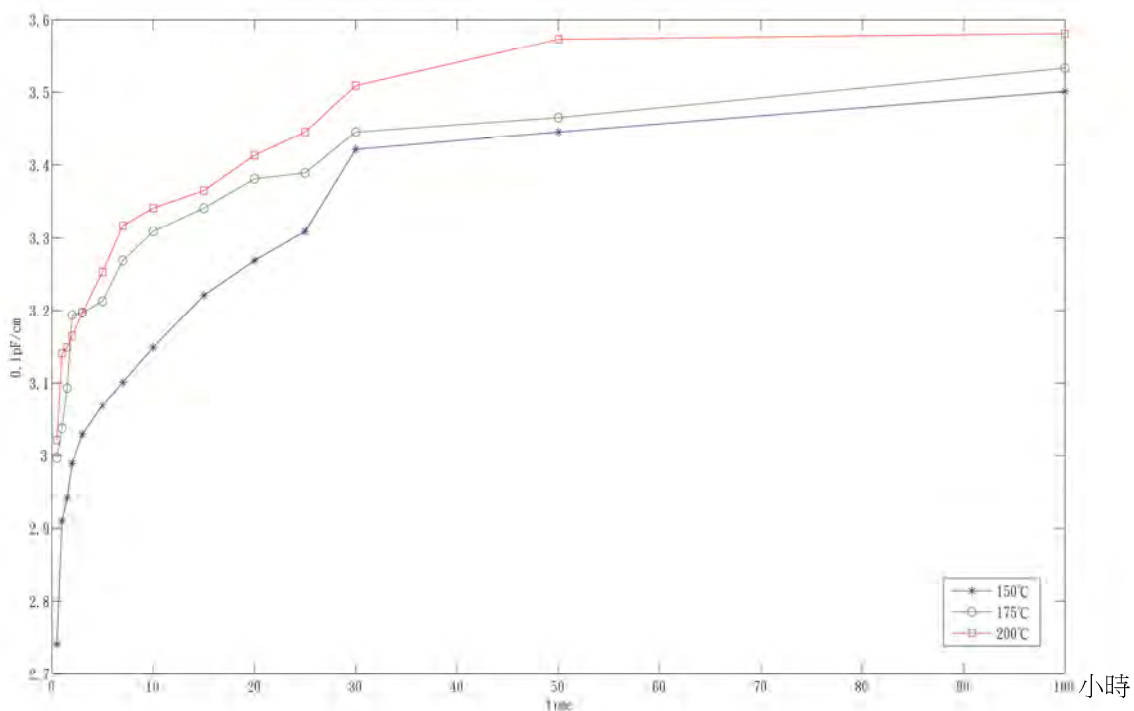


圖26 統一大豆沙拉油三種加熱溫度之介電係數曲線

2. 檢測酸價 (mg KOH/gram) 之結果 (表4)。

表4 統一大豆沙拉油酸價資料

加熱溫度	0.5 小時	1 小時	1.5 小時	2 小時	3 小時	5 小時	7 小時
150°C	0.49	0.60	1.12	1.33	1.43	1.67	1.76
175°C	0.89	1.25	1.83	2.47	3.82	4.16	4.87
200°C	1.00	2.64	2.89	4.45	4.76	5.11	6.76

加熱溫度	10 小時	15 小時	20 小時	25 小時	30 小時	50 小時	100 小時
150°C	1.83	10.5	11.7	13.4	15.8	22.3	23.0
175°C	4.94	5.73	7.28	9.23	10.85	15.33	20.38
200°C	8.20	21.9	22.8	23.1	23.6	24.8	26.1

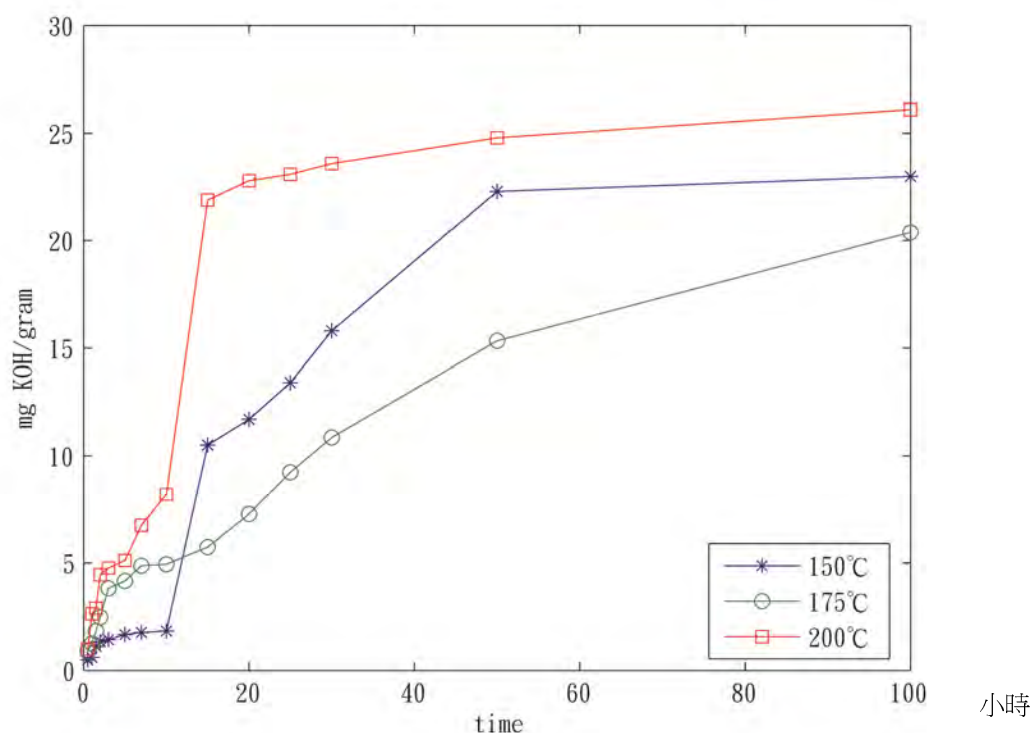


圖 27：統一大豆沙拉油三種溫度檢測酸價曲線

(圖 26) 得知統一大豆沙拉油加熱溫度越高，介電係數也會越高，加熱到 200°C 可以達到 $3.6 \times 10^{-13} \text{F/cm}$ 而 150°C 卻只有達到 $3.4 \times 10^{-13} \text{F/cm}$ ，(圖 27) 酸價數據也是加熱溫度越高酸價會越高，達到 25 mg KOH/gram，而 150°C 達到約 21 mg KOH/gram。此時 150°C 以及 175°C 的酸價雖然 150°C 的酸價大於 175°C 的酸價但是差異不大，實

驗電容係數也可以看到相關性，兩者溫度下電容差異並不大，只差 $0.1 \times 10^{-13} \text{F/cm}$ 。此外酸價加熱時間 0 小時至 20 小時的曲線斜率較大，加熱 20 小時後曲線斜率變小，電容係數也有相同的曲線。

陸、討論

一、食用油加熱時間與介電係數增加率 ($\frac{\epsilon_{x\text{小時}} - \epsilon_{0\text{小時}}}{\epsilon_{0\text{小時}}}$) 分析討論

(一) 得意的一天葵花油介電係數增加率 ($\epsilon_{x\text{小時}}$ 如表 2 ; $\epsilon_{0\text{小時}} = 2.541 \times 10^{-13} \text{F/cm}$)

表5 得意的一天葵花油加熱100小時介電係數增加率

加熱溫度	0.5 小時	1 小時	1.5 小時	2 小時	3 小時	5 小時	7 小時
150°C	0.0535	0.107	0.1448	0.161	0.170	0.173	0.189
175°C	0.079	0.139	0.173	0.201	0.236	0.271	0.287
200°C	0.126	0.208	0.309	0.368	0.378	0.384	0.406

加熱溫度	10 小時	15 小時	20 小時	25 小時	30 小時	50 小時	100 小時
150°C	0.211	0.214	0.217	0.242	0.283	0.290	0.315
175°C	0.302	0.333	0.368	0.384	0.425	0.438	0.453
200°C	0.444	0.488	0.522	0.535	0.542	0.570	0.601

(二) 統一沙拉油介電係數增加率 ($\epsilon_{x\text{小時}}$ 如表 4 ; $\epsilon_{0\text{小時}} = 2.573 \times 10^{-13} \text{F/cm}$)

加熱溫度	0.5 小時	1 小時	1.5 小時	2 小時	3 小時	5 小時	7 小時
150°C	0.0653	0.131	0.143	0.162	0.177	0.193	0.205
175°C	0.165	0.180	0.202	0.241	0.243	0.249	0.270
200°C	0.174	0.221	0.224	0.230	0.243	0.264	0.289

加熱溫度	10 小時	15 小時	20 小時	25 小時	30 小時	50 小時	100 小時
150°C	0.223	0.252	0.271	0.286	0.323	0.339	0.361
175°C	0.286	0.298	0.314	0.317	0.330	0.347	0.381
200°C	0.298	0.308	0.326	0.339	0.363	0.389	0.392

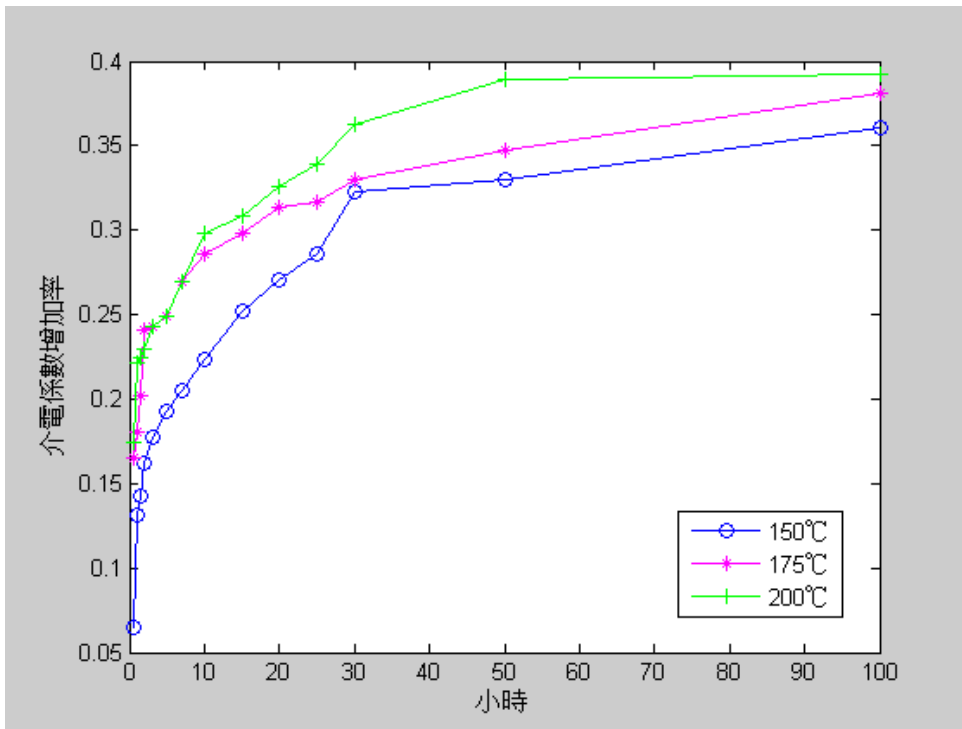


圖 28. 葵花油加熱時間與介電係數增加率

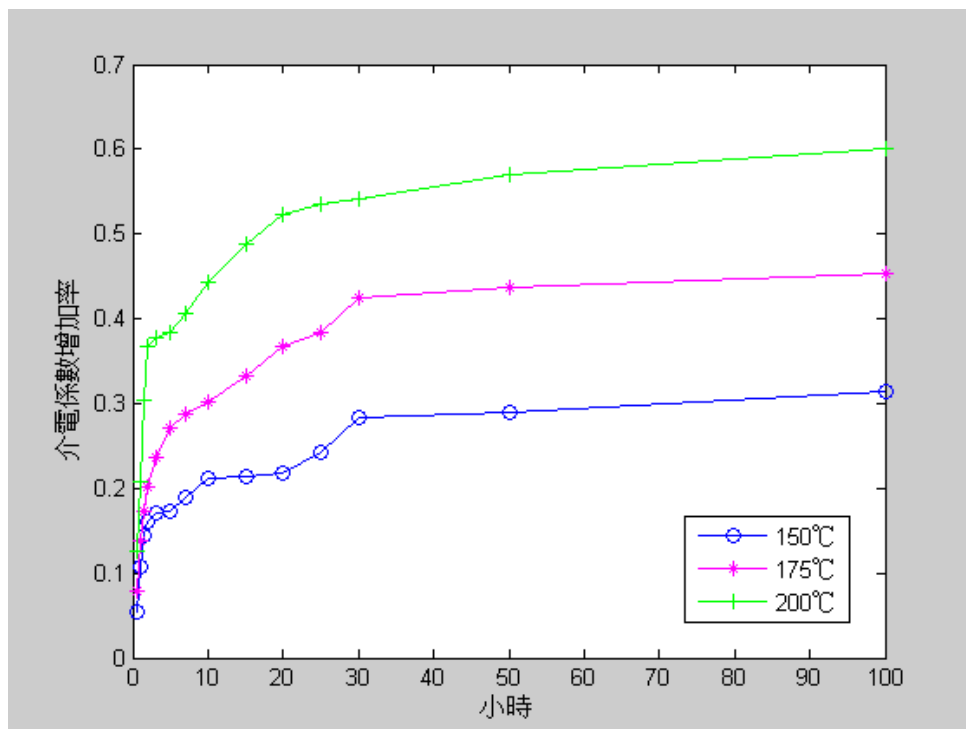


圖29. 統一沙拉油加熱時間與介電係數增加率

(三) 加熱時間 > 5 小時介電系數增加率趨緩原因探討

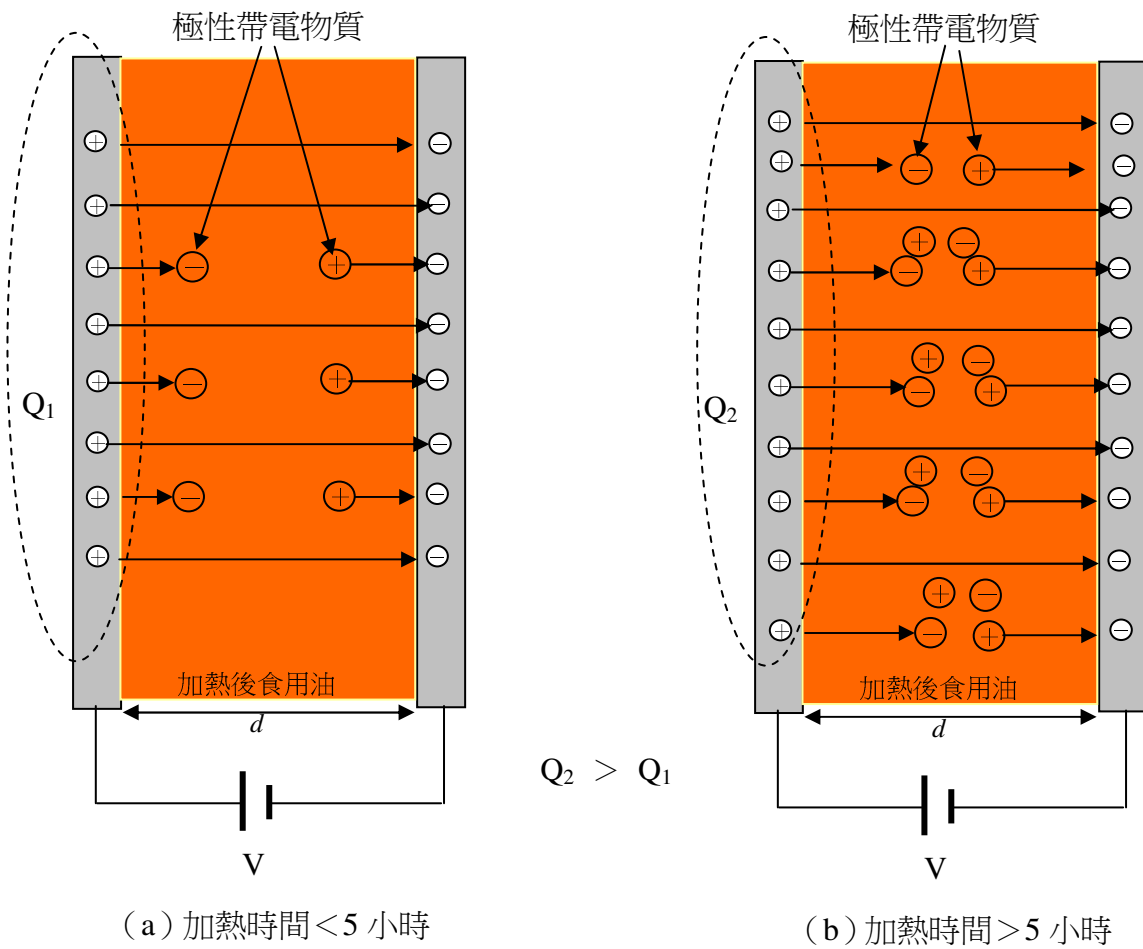


圖 30. 加熱時間長短所產生之有極性物質與電容極板電荷增加關係

如(圖30)所示，當加熱時間低於5小時，油仍然比較清澈且黏性較小，極性物質間距較大比較容易在電容器兩邊感應電荷，當加熱時間高於5小時時，雖然極性物質增加，由於凡德瓦力效應，極性物質容易聚集使黏度增加，如(b)圖所示，在電容器兩邊極板感應電荷增加率會減緩，介電系數增加率也會減緩。

二、酸價2與介電系數增加比率0.25加熱時間分析比較

油品	150°C		175°C		200°C	
	酸價 2	ε加比率0.25	酸價 2	ε加比率0.25	酸價 2	ε加比率0.25
葵花油	100小時	25小時	75小時	4小時	40小時	1.25小時
沙拉油	12小時	15小時	1.75小時	5小時	0.75小時	4小時

分析1：酸價測試值為2時：葵花油與沙拉油時數相差懸殊。

分析2：介電系數增加比率0.25時：葵花油與沙拉油時數比較接近。

專家觀點：

臺灣大學化學系教授何國榮表示，酸價可以作為檢驗油的品質的「間接指標」，因為油炸得愈久，經過水解作用生成的游離脂肪酸愈多，酸價也會愈高。稱為「間接指標」，是因為酸價只能代表「油炸經過的時間」，並不直接代表油本身的品質。

劉珍芳教授指出，有其他測量油品的方式：許多國家是用總極性物質的多寡當作測量油品的標準。當油加熱發生裂解或聚合作用，會產生醛、酮、酸等極性物質，這些極性物質的總量會隨油炸時間增長而增加。劉珍芳說，這種方式雖然很精確，但是比較難檢測。

因此我們認為介電系數增加比率作為油品質檢測較接近判定總極性物質多寡也較準確。

三、介電系數檢測判斷裝置設計

(一)我們以介電系數定義油品質， $\% \varepsilon = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_a}{\varepsilon_a} \times 100 \%$ (參考P9總極性測試公式) (11)

ε_a ：未加熱油前介電系數； ε_b ：加熱後油介電系數

假設 當 $\% \varepsilon > A\%$ 表示油需更換

(二) 檢測判斷裝置設計依據

不考慮用百分比時， $\% \varepsilon > A\%$ 判斷式可變成 $\frac{\varepsilon_b - \varepsilon_a}{\varepsilon_a} > A$ (12)

若採用定電流源對裝有油的自製電容器定時充電時，依據電容基本充電公式，電容器兩端電壓變化量 $\Delta V = \frac{I \times T}{C}$ ；其中 I 為充電電流； T 為充電時間； C 為裝有油的自製電容器電容量。因此

未加熱油電容器兩端電壓變化量 $V_a = \frac{I \times T}{C_a}$ (13)

加熱後油電容器兩端電壓變化量 $V_b = \frac{I \times T}{C_b}$ (14)

將(12)及(13)式代入(11)式可得 $\frac{V_a - V_b}{V_b} > A$ ；將其整理為

$\frac{V_a}{(1+A)} \geq V_b$ 時表示油需更換條件，同時也做為判斷裝置設計依據

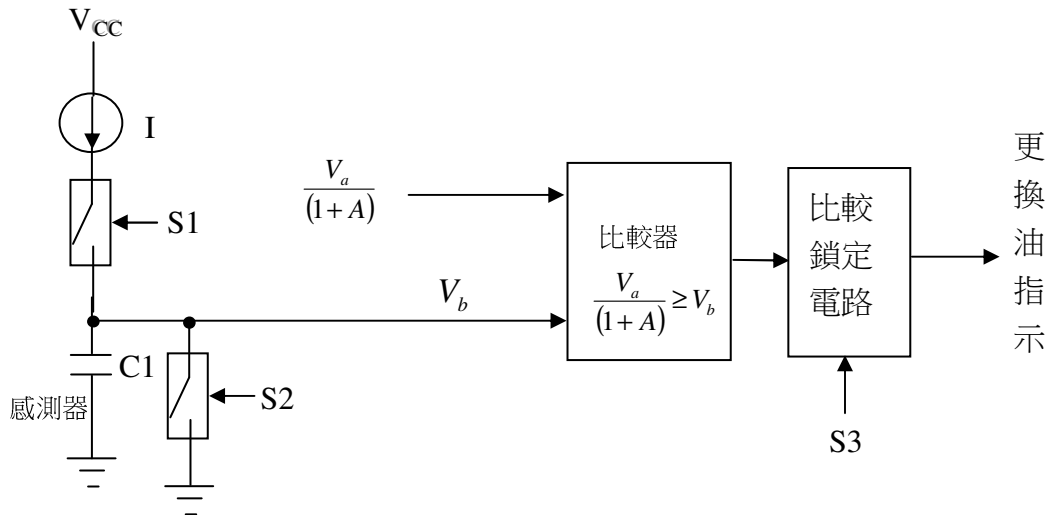


圖 25. 以介電系數判斷食用油之裝置設計示意圖

操作說明：

1. 先用感測器測試未加熱的油在定時 T 秒的充電電壓 V_a ，本電壓是使用 NI 公司的 DAQ 卡在電腦上測出的來的，如圖 26 所示。

2. 調整比較器輸入+端電壓為 $\frac{V_a}{(1+A)}$ 伏特。

3. 將感測器放入加熱後帶測的油後，啟動 S1 開關讓其定時 T 秒充電，其充電電壓 V_b (如圖 27) 與 $\frac{V_a}{(1+A)}$ 比較。

4. 比較鎖定電路由 S3 控制在 S1 啟動 T 秒後將比較結果鎖定顯示，若 $\frac{V_a}{(1+A)} \geq V_b$ 則亮紅燈表

示油需更換，若 $\frac{V_a}{(1+A)} < V_b$ 則亮綠燈由油不需更換。

5. 當要重新測量時起動 S3 感測器將所測電電壓放電將所測電電壓放電掉

(三) 舉例分析如圖 26 所示是未加熱的油在定時 T 秒的充電電壓 $V_a = 6\text{ V}$ ，如圖 27 所示是以 150°C 加熱 20 小時的油在定時 T 秒的充電電壓 $V_b = 3.95\text{ V}$ ，若定義介電係數增加率 A 為 0.25，則 $\frac{V_a}{(1+A)} = 4.8\text{ V} > V_b = 3.95\text{ V}$ ，此時表示油需更換

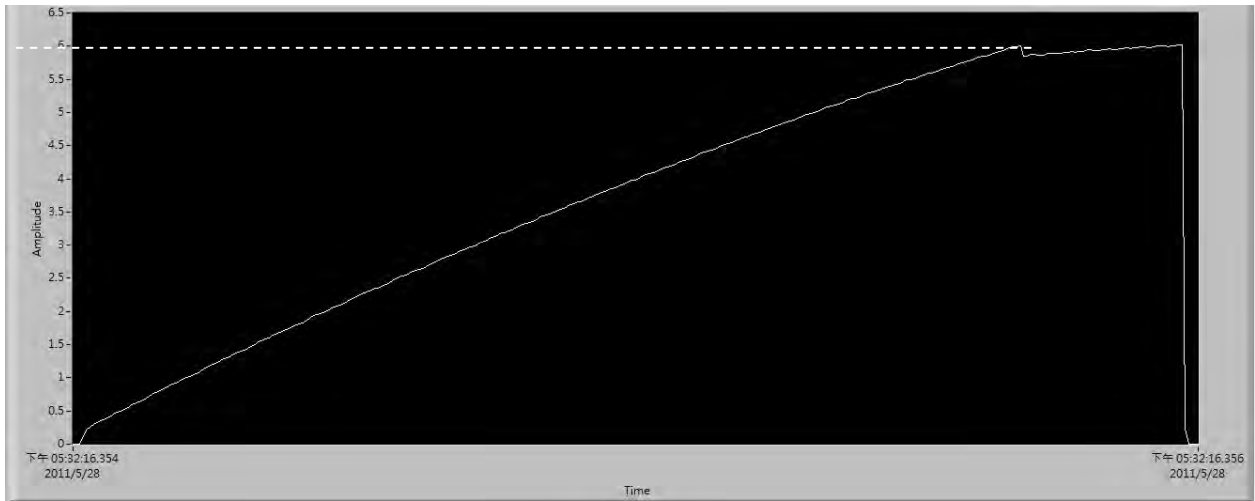


圖 26. 感測器測試未加熱的油在定時 T 秒的充電電壓 V_a

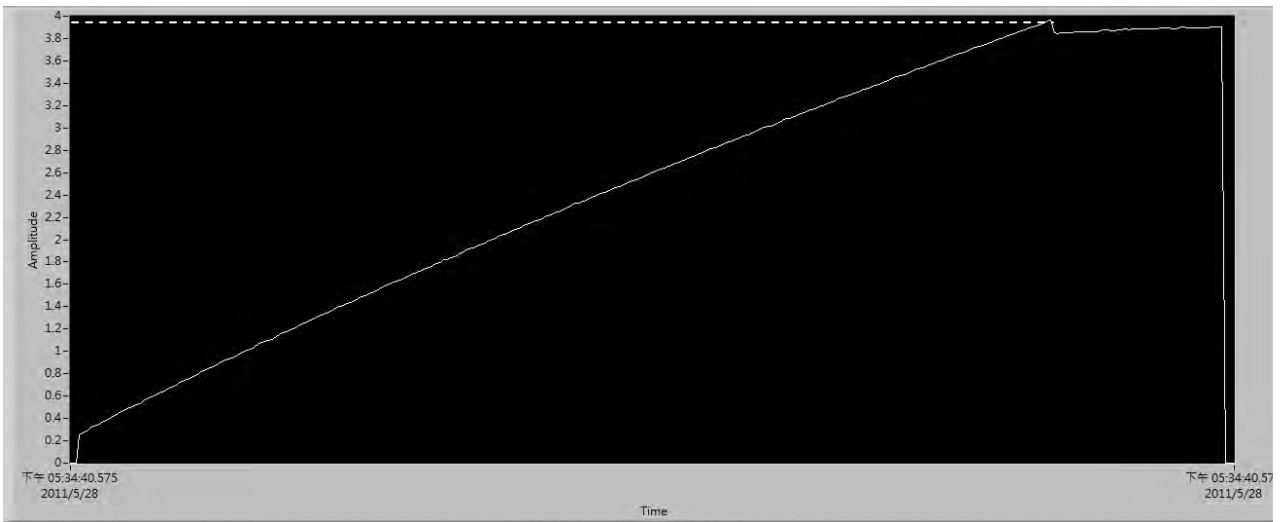


圖 27. 感測器測試以 150°C 加熱 20 小時的油在定時 T 秒的充電電壓 V_b

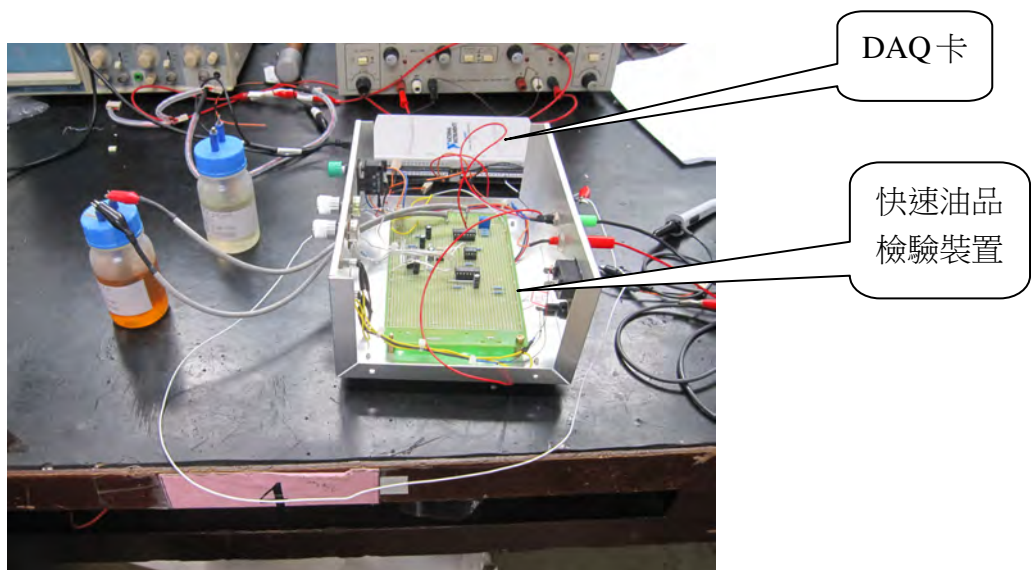


圖 28. 測試照片

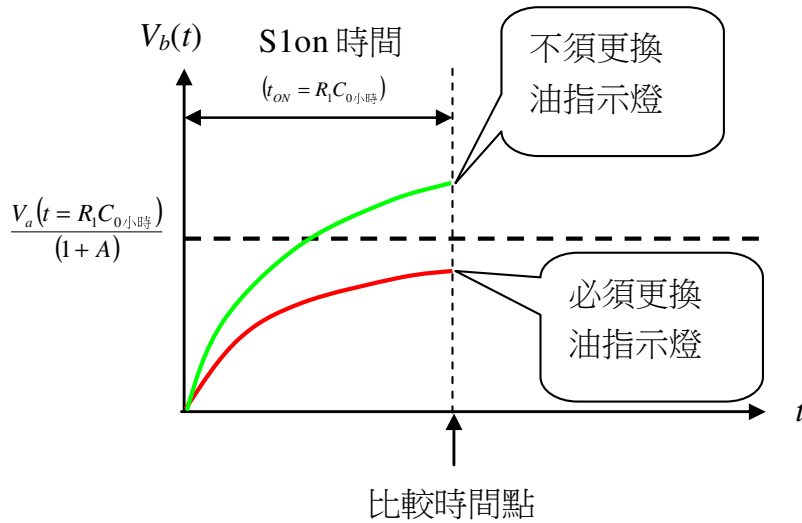
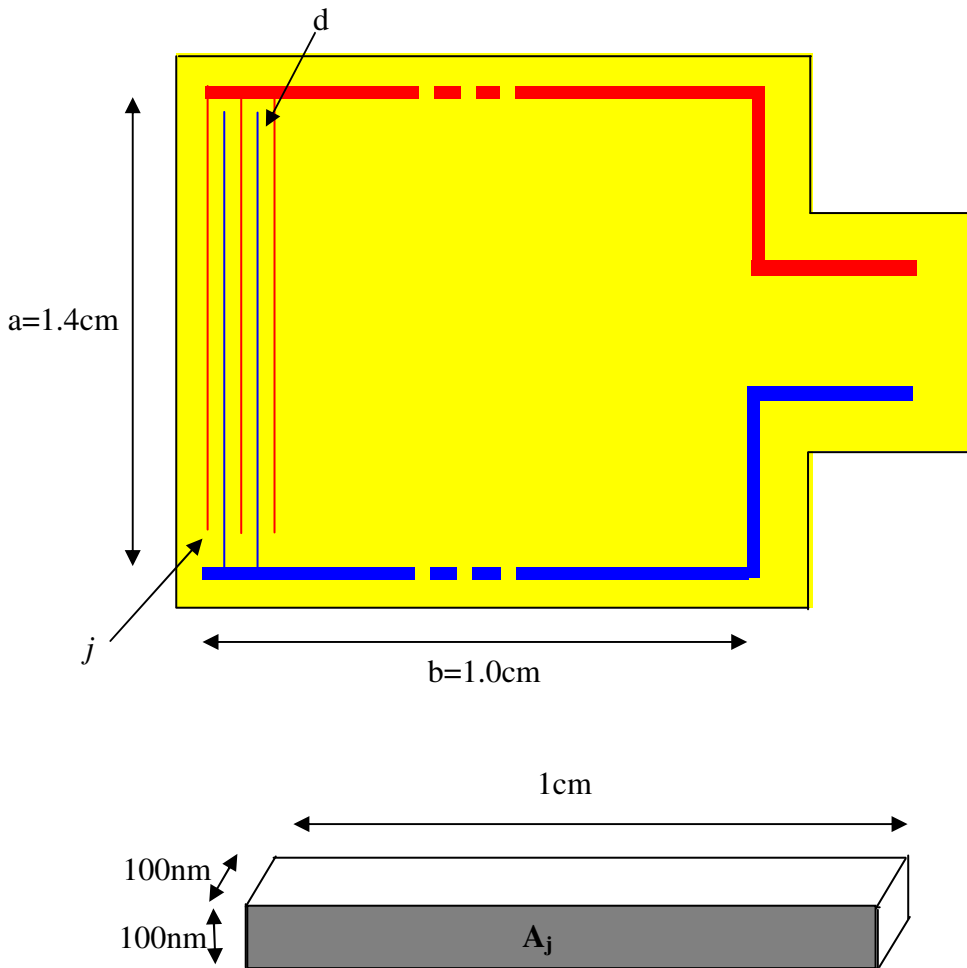


圖 29. $V_b(t)$ 充電電壓大小與比較基準電壓的關係

四、奈米化提高感測器電容量減少雜散電容影響

碳的直徑約 0.22 nm，氫的直徑約 0.1 nm，脂肪酸的化學結構是確定的碳鏈一般都是量化的 4 至 28 碳，取最長 28 碳鏈，期總長度是 6.16nm，奈米線間距寬度 d 取 100nm，奈米線長 1cm 寬 100nm 高 100nm， $i = 1, 2, 3, \dots, n$



$$A_j = 1\text{cm} \times 100\text{nm} = 1\text{n}(\text{m}^2)$$

$$\text{令 } j = \frac{0.01\text{m}}{100\text{nm}} = 10^5$$

$$\text{奈米電容總面積 } A_T = \sum_{j=1}^{10^5} A_j = 10^{-4}(\text{m}^2)$$

$$\text{因此本奈米電容在空氣中電容量為 } C1 = \varepsilon_0 \frac{A_T}{d} = \frac{10^{-4} \text{m}^2}{100\text{nm}} = 10^3 \varepsilon_0(\text{m})$$

假設一般金屬板電容 C2 它的面積 $A = 1\text{cm} \times 1\text{cm} = 10^{-4}(\text{m}^2)$ ， $d = 0.1\text{cm} = 10^{-3} \text{m}$
 $C2 = 10^{-1} \varepsilon_0(\text{m})$

$$\frac{C1}{C2} = 10000 \text{ 倍}$$

柒、結論

一、長期的研究與實驗，獲得結論如下：

(一) 介電係數與加熱溫度的關係：

實驗中的油介電係數越高，在相同的加熱時間下，加熱的溫度就越高。相同的油加熱的時間較久，介電係數也會越高。此係數可以適用於已知加熱溫度下，介電係數越高加熱的時間就越久，而大部分的速食業者均使用固定的溫度加溫，所以我們只要判斷介電係數的大小就可以初步判定油品加熱的時間。

(二) 介電係數與酸價的關係

由於酸價跟油品的加熱時間有相關，油品加熱時間越長，酸價也會越大。將我們的實驗結果，比較檢驗的酸價數據，可以得到類似的曲線。因此，油品的酸價變化大時，介電係數變化也很大。

(三) 本實驗所設計之檢測器可以應用於油品的快速檢測。

(四) 本實驗對油炸過的油品檢測優於酸價

二、未來展望

未來可將感測器微奈米化可提高測試準確度，也期盼建立介電係數對油品劣化標準。

捌、參考資料及其他

一、參考資料

- (一) 【聯合報／記者李承宇】炸油劣化解析／油脂久炸氧化水解百害無利 2009/08/24
http://mag.udn.com/mag/campus/storypage.jsp?f_ART_ID=209297
- (二) 洪偉倫，高二化學下，酸與鹼，康寧泰順書坊，2008年9月。
- (三) 洪偉倫，高三化學下，有機化合物，康寧泰順書坊，2008年9月。
- (四) 曾國輝，酸鹼化學，建宏出版社，2003年3月。
- (五) 曾國輝，有機化學，建宏出版社，2003年3月。
- (六) I. P. Kaminow W. Engl T. Sugano, “Gate Dielectrics and MOS ULSIs Principles, Technologies, and Applications ”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg , pp.40, Fig. 2. 13. , 1997.
- (七) 林清涼，啟發性物理學：電磁學，五南圖書出版股份有限公司，2001年3月。
- (八) 黃錦華，基本電學：電容器暫態特性，華興文化，2008年3月。

【評語】 040803

本研究提出一創新式的食用油快速檢驗方法，運用介電係數與食用油劣化產生極性物質之間關連性並以實驗證實，惟若能再加入國際公認之總極性測試方法對相同樣品做對照實驗，將更有參考價值。