

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 化學科

最佳團隊合作獎

030209

「油」裡乾坤---實用油酸價與油色關係的新發現

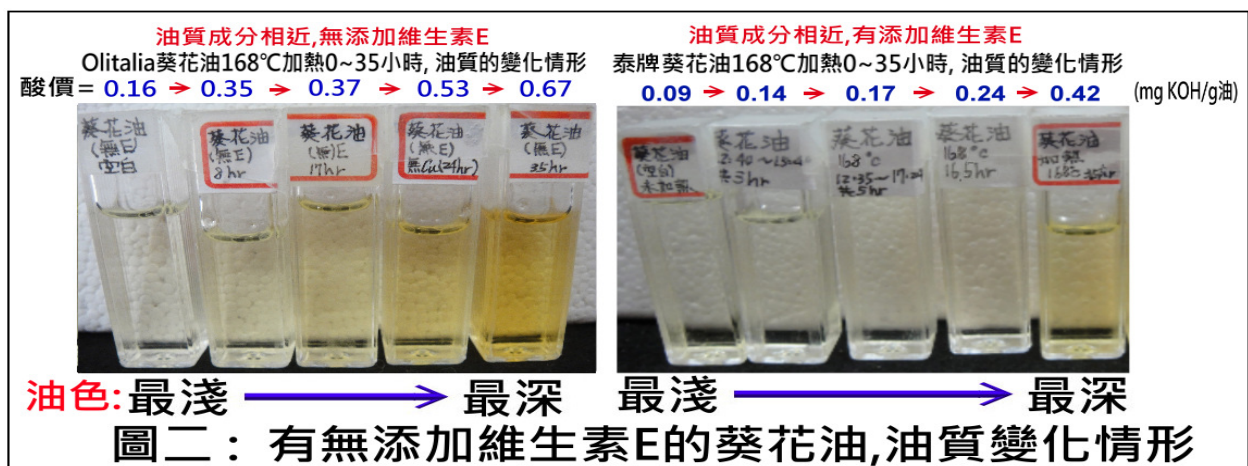
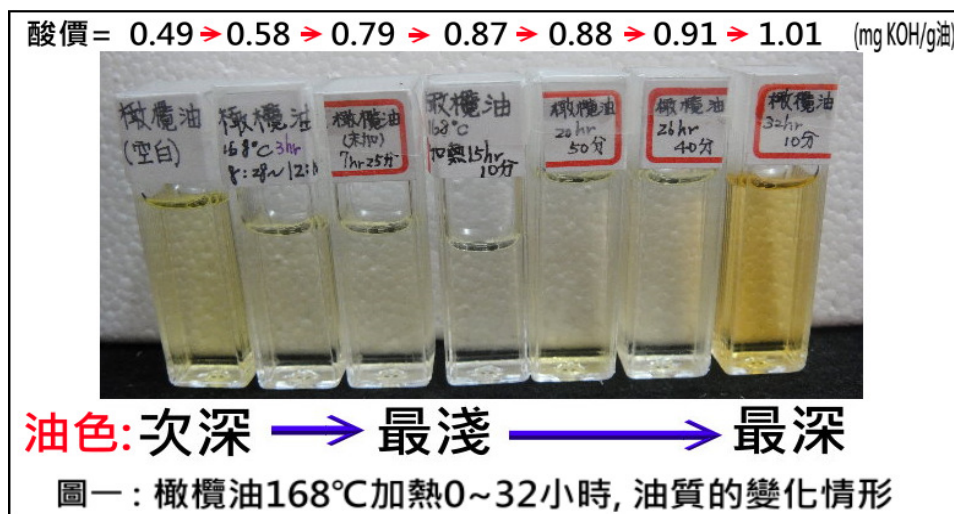
學校名稱：高雄市立五福國民中學

作者：  國二 吳宗駿  國二 徐子璇  國二 龔睦婷  國二 陳昱臻	指導老師：  許峰銘  林佳蓉
---	-----------------------------

關鍵詞：氧化酸敗、油脂、酸價

## 摘要：

在『油』的事件紛擾了一陣子後，我們將焦點轉回家裡常用的植物性油脂，研究最貼近生活的這個部分。內容主要是從**油質老化試紙**、**酸鹼滴定測酸價**、**分光光度計測量光吸收度**與自行設計的光敏電阻油色偵測裝置，去瞭解加熱時間與油質變化的關係。結果顯示：**長時間加熱前後，橄欖油酸價都維持最高，但油色加深速率最慢**（圖一）。**不飽和脂肪最多的葵花油，酸價增加、油色加深速率最快**。但只要**添加維生素E**，就可以**蛻變成安定的油質**（圖二）。高溫下，蔗糖在油中不到三個小時，變成焦油、黑碳，也使酸價、油色急遽升高、變深。油色是油質變化最明顯的證據，我們自創的**光敏電阻油色偵測裝置**，效果與高價位的分光光度計相近，能有效的偵測出油質的變化。



## 壹、研究動機：

油是令人又愛又恨的食物，油炸的食物特別好吃。油脂的功能在於固定內臟與熱量的提供，是人體主要營養素之一。但近日以來食用油的品質一直受到質疑，經政府抽驗酸價不合格的業者，不乏知名大型連鎖餐飲店。可想而知的，一般的小吃攤使用品質較差的油品或回鍋油，那不更是無法可查嗎？一般的民眾僅能從油品的顏色、外觀來判別油品的優劣，眼睛觀察的結果與政府抽驗酸價的結果關聯性為何？油又要加熱多久，在什麼條件下，才會變色？才會酸價高？才會不安全？因此我們希望能藉由不同種類的油品研究及實驗來幫助了解油品的品質及安全性。更希望能幫助大家為自己的飲食把關，知道要如何吃得好又吃得健康！



菜市場裡炸黑輪的兩鍋油

## 貳、研究目的

- 一.觀察浸油後的**油質老化試紙**，以試紙上四個格子的顏色變化，測量不同種類油品(葵花油、芥花油、大豆油、橄欖油)，加熱後的變質程度。
  - (一) 探討不同加熱時間，油脂中游離脂肪酸的濃度變化。
  - (二) 添加不同物質（糖、鹽、銅線），加熱不同時間後，油脂中游離脂肪酸的濃度變化。
- 二.利用**酸鹼滴定**的原理，實際測油品的酸價，與油質老化試紙結果相對照。
  - (一) 未加熱前，油的種類(葵花油、芥花油、大豆油、橄欖油)與酸價間的關係。
  - (二) 各種油品，在不同加熱時間後，酸價的變化情形。
  - (三) 添加不同物質（糖、鹽、銅線），在不同加熱時間後，酸價的變化情形。
- 三.利用 **SP 20 分光光度計**測量油品的可見光吸收度曲線，判斷油品顏色與吸收色光種類之間的關係，並以**秤重面積法**，求出吸收度曲線面積大小比例，來判斷油品變質的情形。
  - (一) 各種油品，加熱前與在不同加熱時間後，吸收度曲線的差異與變化為何？
  - (二) 添加不同物質（如糖、鹽、銅線），在不同加熱時間後，吸收度曲線的變化為何？
- 四.設計**光敏電阻油品顏色偵測裝置**，取代 SP 20 分光光度計，測量油品吸光多少產生的光敏電阻電阻值差異，與其他方法比較其實用性。

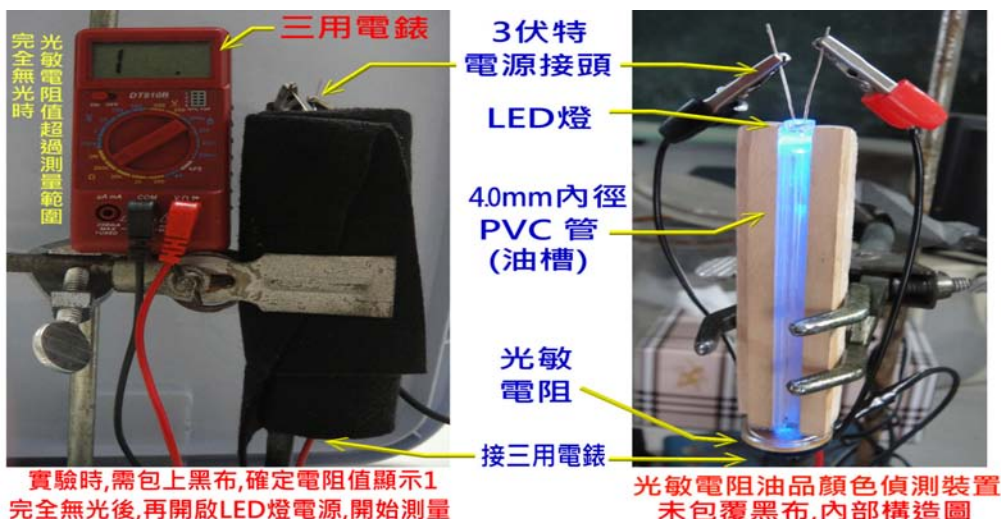


圖 1：自行設計的光敏電阻油品顏色偵測裝置



### 參、研究設備與器材：

#### (一)器材：

			
分光光度計(SP20)	油質老化測試紙	炸油機	三用電表
			
LED 燈	攪拌器、攪拌子	天秤	方形試樣(cell)
			
電磁爐	烤箱	溫度計	高溫油取樣器
			
光敏電阻	微量吸管(滴定管)	加熱用油罐	注射針筒
滴管	錶	鐵架	錐形瓶
		PVC管	木塊
		燒杯	吸量管

#### (二)油的種類：

			
三牌純橄欖油(熱壓型)	C牌純橄欖油(熱壓型)	藍牌純橄欖油(冷壓型)	得牌純橄欖油(冷壓型)

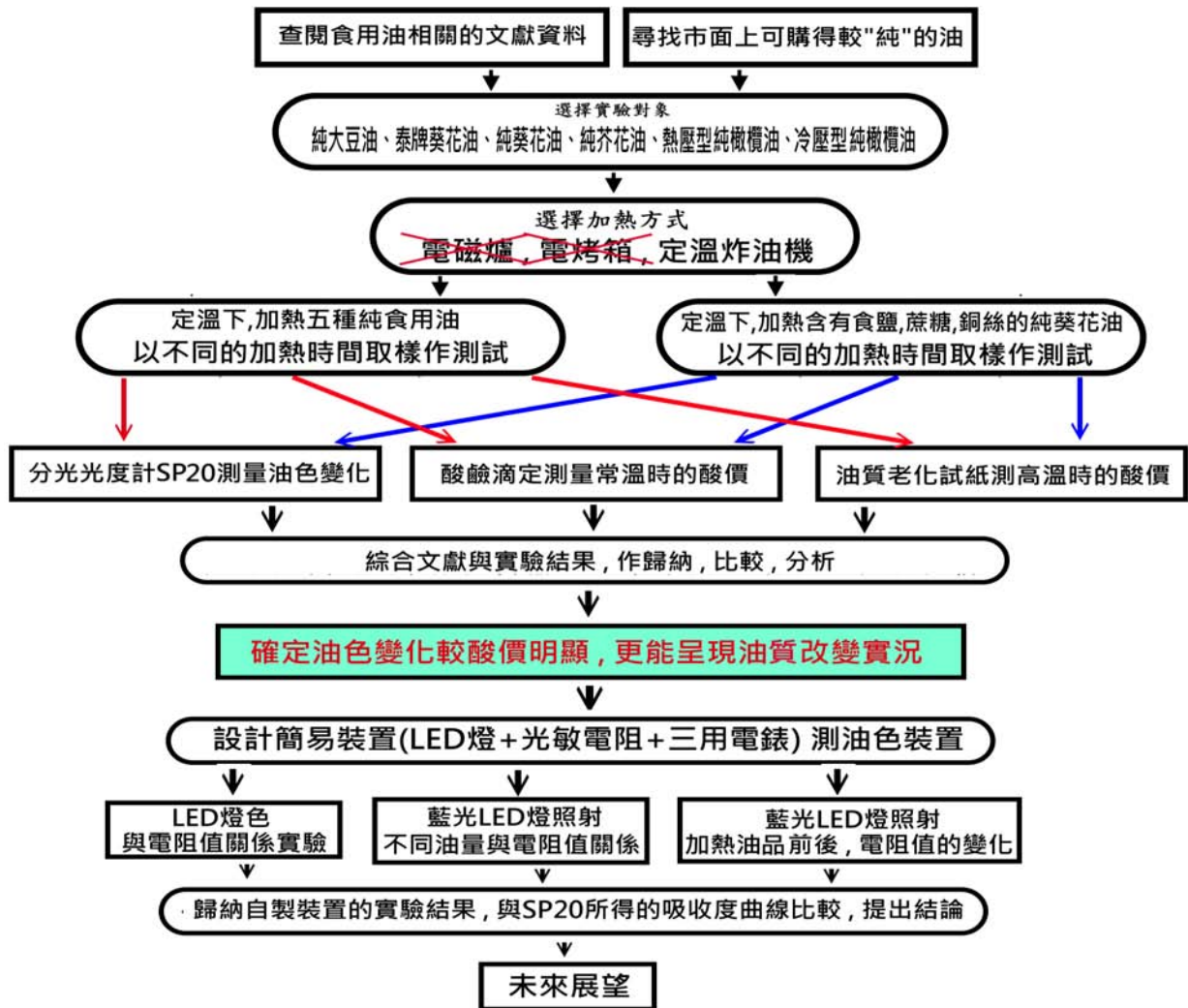
			
國產泰牌純葵花油	Olitavia 義大利進口純葵花油	純大豆沙拉油	純芥花油

#### (三)藥品：酒精、氫氧化鉀、酚酞、乙醚



# 肆、研究過程與方法

## 一、研究架構:



二、研究對象:在大量的查閱書籍與網路關鍵字搜尋後,我們整理出了以下的文獻,供研究參考。

(一) 油脂的基本性質:非聚合物,是一種含碳、氫、氧元素的有機化合物,屬於酯類的一種,依來源可以分為動物性脂肪與植物性脂肪。動物性脂肪含飽和脂肪多,植物性脂肪含不飽和脂肪多。比較如下表<sup>1,2,3,29</sup>:

動物性 油脂 (脂肪)	存在於動物動物皮下 或肌肉中(如:牛脂)  常溫下以固態存在 (熔點高)	<p>3x 飽和脂肪酸 + 甘油</p> <p>飽和脂肪</p> <p>感應偶極力的吸引作用</p> <p>每個非末端碳原子 帶有兩個氫原子</p>
植物性 油脂 (油)	主要存在於植物中 (如:植物油)  常溫下以液態存在 (熔點低)	<p>3x 不飽和脂肪酸 + 甘油</p> <p>不飽和脂肪</p> <p>每個雙鍵的碳上 只帶有一個氫原子</p>

(二) 油脂中含的脂肪酸:

可分為飽和脂肪酸與不飽和脂肪酸，不飽和脂肪酸類又可分為單烯酸，二烯酸，三烯酸

例如：飽和脂肪酸	不飽和脂肪酸類		
	單元不飽和脂肪酸	多元不飽和脂肪酸	
	單烯酸	二烯酸	三烯酸

(三) 食用油中脂肪酸組成之比較：

Fatty acid (>1%, 才列入)	Olive oil	Soybean oil	Sunflower oil	Canola oil
	橄欖油	大豆油	葵花油	芥花油
C16:0 Palmitic acid	11.60%	11.81%	7.00%	4.00%
C18:0 Stearic acid	3.16%	3.96%	3.38%	2.00%
C18:1 Oleic acid	73.43% (最多)	21.95%	24.13%	61.32% (最多)
C18:2 Linoleic acid	9.11%	53.86% (最多)	63.82% (最多)	21.51%
C18:3 Linolenic acid	0.62%	6.97%	0.24%	11.32%
Total saturated fatty acid	15.37%	16.35%	10.90%	8.04%
Total monounsaturated fatty acid	74.62%	22.33%	24.43%	58.99%
Total polyunsaturated fatty acid	10.02%	61.33%	64.66%	32.97%

資料來自於中央畜產會<sup>4</sup>，原表列入 28 種脂肪酸所占比例，取部分含量較多的脂肪酸整理如上表。

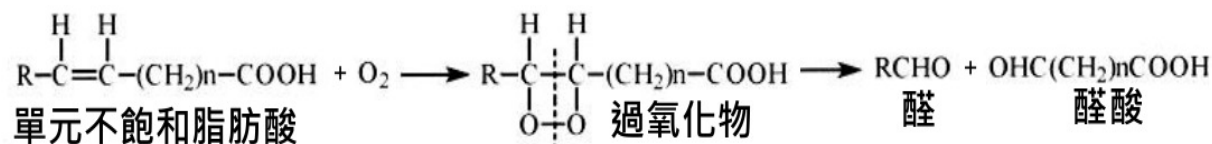
(四) 本研究中食用油中脂肪酸組成之比較(以瓶身標示計算)

市面上可買到的油種		三牌 橄欖油	C牌 橄欖油	囍牌 橄欖油	得牌 橄欖油	大豆油	泰牌 葵花油	0牌 葵花油	芥花油
飽和脂肪酸		15.17%	14.25%	14.29%	10.99%	15.97%	11.70%	11.76%	8.04%
不飽和脂肪酸	單元不飽和脂肪酸	84.83%	85.75%	78.57%	79.12%	84.03%	88.30%	27.80%	91.96%
	多元不飽和脂肪酸			7.24%	9.89%			60.44%	
維生素 E (每 100ml 油)		0mg	0mg	20 mg	0mg	0mg	68 mg	0mg	0mg

各種食用油中脂肪酸組成百分比與中央畜產會資料十分相近

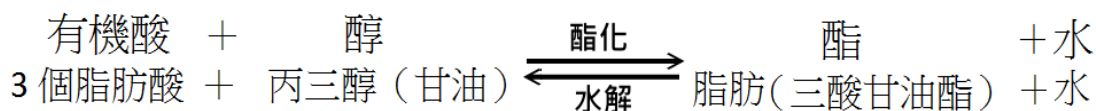
(五) 脂肪酸雙鍵越多表示飽和度越低。通常不飽和油脂雙鍵越多，安定性越差，由於雙鍵位置上的碳氫原子間鍵結能量較低，容易被氧化。在高溫時反應更快，會引發一連串的分解或聚合反應，產物有不良的顏色和氣味，造成油脂酸敗，損害油脂的品質。一般來說，油脂酸敗可分為，氧化酸敗與水解酸敗，描述如下：

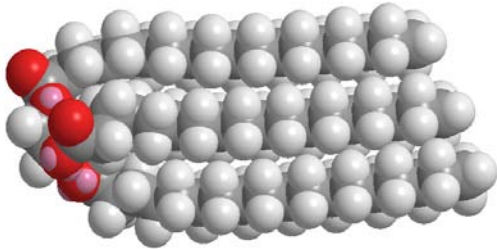
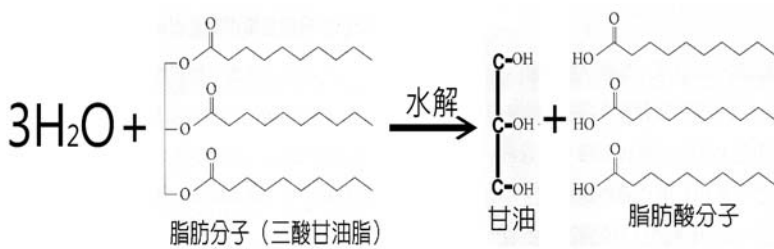
1. 氧化酸敗: 油脂中不飽和脂肪酸的雙鍵，參鍵容易被氧化而發生變質，氧藉由自由基鏈鎖反應與油脂生成產生不穩定的過氧化物，並進而降解產生醛、酮、酸的複雜混合物。這些物質可再裂解產生小分子之化合物，進而形成高黏性的聚合物<sup>5</sup>。其起始反應如下:





2. 水解酸敗發生於將熱油暴露於水中，油脂中之外來水份會將油脂水解成游離脂肪酸和甘油，是酯化的逆反應。其反應如下。水解酸敗程度可經游離脂肪酸檢驗得知。



三硬脂酸甘油酯的分子模型	油脂水解反應 <sup>29</sup>
	$3\text{H}_2\text{O} + \text{脂肪分子 (三酸甘油酯)} \xrightarrow{\text{水解}} \text{甘油} + \text{脂肪酸分子}$ 

三、歷屆科展文獻搜尋：利用台灣網路科教館，尋找已發表過的相關研究，以為參考<sup>26,27,28</sup>。

年	第 39 屆全國科展	二〇〇二年國際科學展覽會	第 44 屆全國科展
主題	向氧說不，談油脂自氧化及抗氧化劑	Vitamin E 對回鍋油品質的影響	炸不炸，有關係；酸不酸，大問題
結論	1. 照光會促進大豆油與清香油的氧化。 2. 油脂自氧化反應速率與容器關係： PC 瓶 > 玻璃瓶 > 鐵罐 3. 大豆油+卵磷脂；清香油+BHC，抗氧化效果最好。	1. 第 3、4 次回鍋過程，油品中的各種指標值出現明顯變化。 2. 維生素 E 可以降低回鍋過程對於油品品質的傷害。 3. 酯化維生素 E 無抗氧化作用。	1. 水為影響酸價主要原因。 2. 豬油耐熱性佳，酸價變化穩定。 3. 以豬油油炸食物時，酸價上升快。 4. 植物油二次加熱時，酸價呈現不規律變化

四、研究方法與相關文獻探討整理:

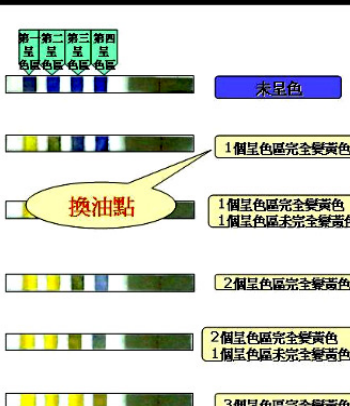
(一) 利用油質老化試紙測量油品種類與變質程度---測酸價 (Acid Value)

酸價是指用來測量**油脂中之游離酸含量**。通常以**消耗一克油中所含的酸，所需的氫氧化鉀的質量來表示**。其相關標準如下<sup>13,14,15</sup>：

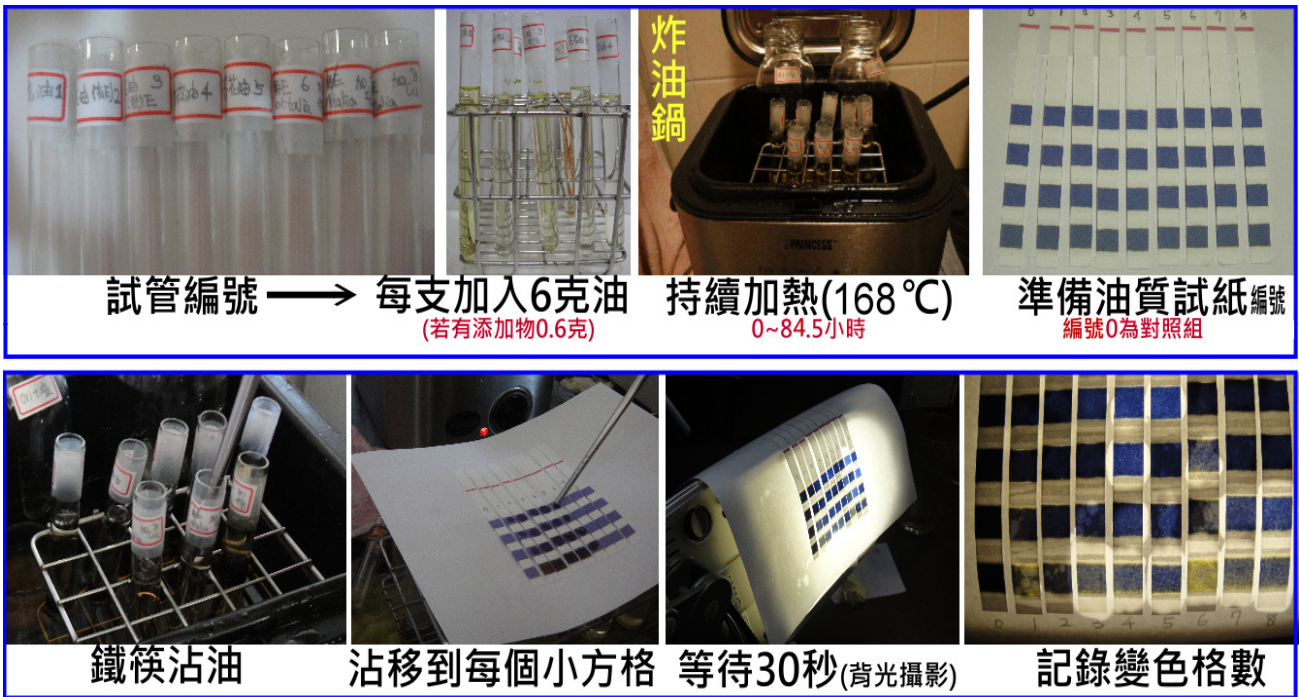
中華民國衛生署食品藥物管理局	中華人民共和國衛生部	國際標準
(1) 98 年 9 月 9 日規定： <b>酸價超過 2.0</b> 者，另抽驗進行總極性化合物之檢驗。 (2) 98 年 9 月 11 日規定：油炸油之 <b>總極性化合物含量達 25%</b> 以上者，將不符「食品良好衛生規範」相關規定，依違反食品衛生管理法第 20 條規定處辦。	(1) 食用植物油衛生標準 (GB 2716) 規定--酸價：大豆油、葵花油 ≤ 4 (2) 沙拉油衛生標準 (GB 13103) 規定--酸價 ≤ 0.3 (3) 精煉食用植物油衛生標準 (GB 15197) 規定--酸價 ≤ 0.5	(1) AOAC (1984) 和 IUPAC (1984) 認定標準：油中 <b>總極性物質含量達到 24%</b> ，油品將被認定需要丟棄，此法缺點為耗費時間。 (2) 為適用業務用途，雖不是準確評估，但仍必需由快速方法中尋找能與總極性物質限值相對應之測定值。如：介電常數、酸價測試等。

- 酸價為油品劣敗常用指標，表示油品酸敗程度。
- 酸價高之原因：**油脂精煉程度較低、存放溫度較高、含水量過多、含有某些金屬離子，或長期存放與空氣接觸氧化**，導致油脂劣變。
- 酸價越高的新鮮油脂，越不好保存，使用中的油脂，其酸價越高，表示此油脂的品質也隨之下降。酸價高的油脂不宜儲存、食用。

**3M油質老化試紙使用說明**

試紙使用方法	實際呈色判讀
<b>保存</b> 冷藏庫內保存 <b>1. 浸</b> 將四個藍色區域在油鍋內2-3秒 <b>2. 等</b> 自油中取出，等30秒使其呈色 <b>3. 算</b> 計算有多少區間由藍變黃 <b>4. 丟</b> 超過一層變色時，更換炸油	 <p style="text-align: center;"><b>換油點</b></p> <p>注意：游離脂肪酸濃度 * 2 = 酸價值</p>

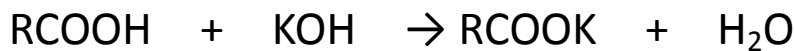
4.本研究--**油質老化試紙**測量油品**游離脂肪酸濃度(酸價)**的實驗步驟：



(二) **利用酸鹼滴定的原理，測油品的酸價，與油試紙相對照**<sup>6,7</sup>

原理：利用 KOH 中和油脂酸敗時所產生的游離脂肪酸。

**酸價=中和 1 克油脂中所含游離脂肪酸所需要的 KOH 毫克數**



其酸鹼滴定實驗步驟如下：

1. 將滴管、所要測定的油，以及杯子放到電子天秤旁，並校正好電子天秤。
2. 把微量吸量管架在架子上，於正下方擺設電磁攪拌器。
3. 先用吸量管吸取 20ml 酒精，移到錐形瓶上方壓 E，使酒精滴出 16.7ml；再用另枝吸量管吸取 33.3ml 的乙醚，全放入錐形瓶中，壓住瓶口，避免要當作油溶劑的混合液揮發。
4. 電子天秤歸零後，把溶劑輕放電子天秤上，再將電子天秤歸零一次，用滴管加入 5~6g 的油到錐形瓶中，記錄油重。
5. 用滴管加入 0.1ml 酚酞到錐形瓶內，當做指示劑。
6. 拿出 0.05M 氫氧化鉀水溶液，並輕壓微量吸量管使吸入，然後讀出未滴定前刻度。
7. 錐形瓶內放入攪拌子，放在電磁攪拌器上，開啟電磁攪拌器。
8. 用微量吸量管慢慢滴出氫氧化鉀水溶液，直到錐形瓶內油溶液變成粉紅色，等待 10 秒鐘不褪色為止，然後讀出滴定後刻度，得出氫氧化鉀水溶液用量，記錄之。
9. 做三次滴定，確認再現性，計算酸價 A.V。
10. 以未加油的空白溶劑(酒精+乙醚)滴定，求空白滴定所消耗的氫氧化鉀之 mL 數。

公式：
$$\text{酸價}(\text{mgKOH/g油}) = \frac{[(V-B) \times 56.11 \times N]}{W}$$

每公克的油需要幾毫克的氫氧化鉀中和





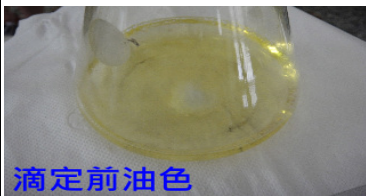
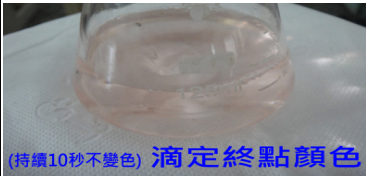
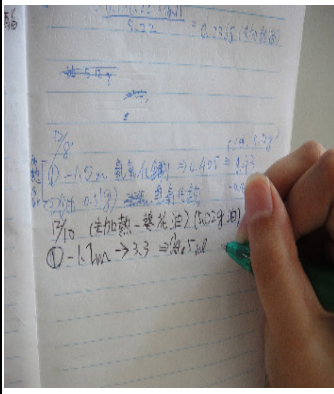

V=滴定所消耗之 0.05N 氫氧化鉀之 mL 數

W=油樣品之重量

B=空白滴定所消耗之 0.05N 氫氧化鉀之 mL 數

N=氫氧化鉀之濃度



酸鹼滴定過程照片			
配置油溶劑	秤取待測酸價油重	加酚酞指示劑	微量吸量管吸取
			
滴定攪拌中 (攪拌檔位=3.5)		記錄油重與 KOH 用量	廢液回收
	 		

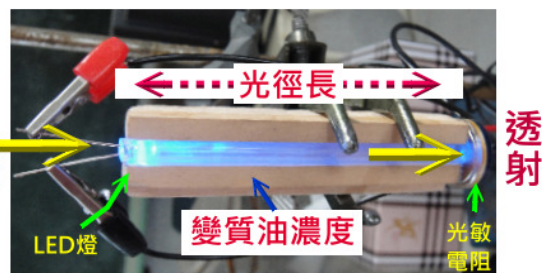
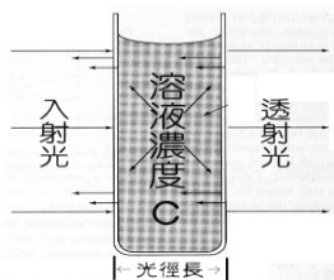
### (三) 利用分光光度計測量油品的吸收度曲線

1. 分光光度計可以用來測量有色溶液的明暗與顏色，進而分析出溶液試樣的種類與濃度。溶液的色度與試樣吸收輻射量有關，溶液外觀為紅色，是溶液允許紅光通過，而其他的補色（黃與藍色）被吸收了，而濃度愈大，吸收度愈大，這就是比爾定律<sup>8,11</sup> (Beer's Law)。

比爾定律:

$$A = \epsilon bc$$

A = 吸收度  
 $\epsilon$  = 莫耳吸光係數  
 b = 光徑長  
 c = 莫耳濃度



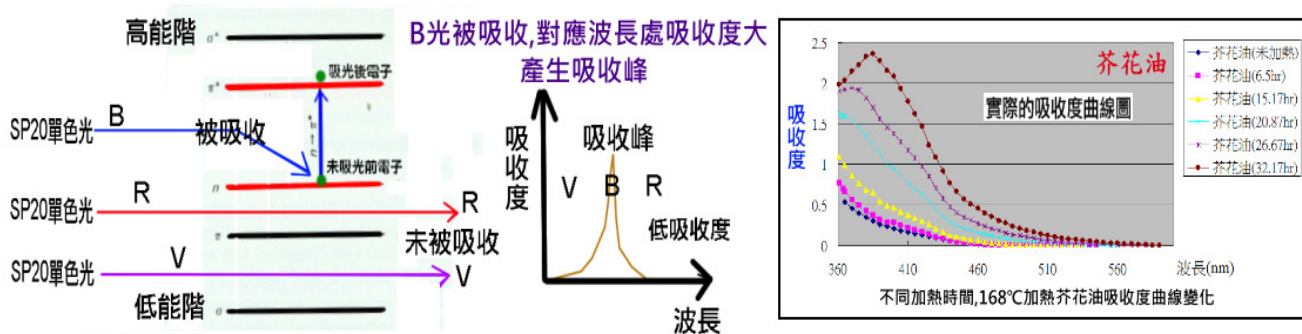
### 比爾定律說明圖 與 自製光敏電阻偵測器的關係

2. 分光光度計的原理：Spectronic 20 (簡稱 SP20) 可見光分光光度計，可用來做可見光區的定量分析與物質的吸收光譜。我們的研究，更進一步的模仿 SP20 的原理，設計出光敏電阻油品顏色偵測裝置，儀器原理<sup>9,10</sup> 如下：

SP20原理(上排) 與 光敏電阻油品顏色偵測裝置原理(下排)



### 3. 吸收度曲線原理圖<sup>9</sup>:



### 4. 分光光度計測量的步驟:



### (四) 秤重面積法: 求吸收度曲線圖面積的方法

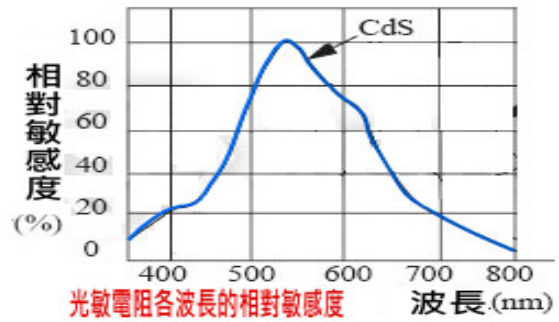
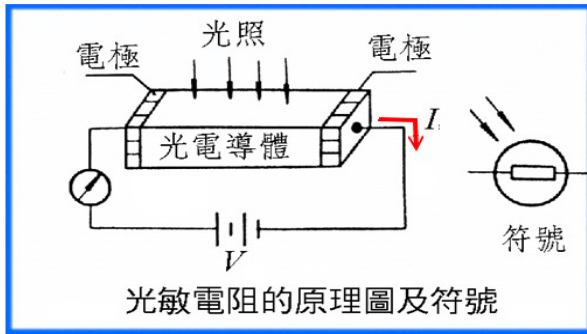
1. 原理: 相同材質的厚紙板上圖形的面積比, 等於該面積被剪下秤重後的重量比。
2. 實驗方法:



### (五) 設計油品顏色偵測裝置, 取代 SP 20 分光光度計, 測油品吸光多少產生的光敏電阻電阻值差異, 與其他方法比較其實用性。

1. CdS 光敏電阻原理<sup>16</sup>: 一種薄膜的電子元件, 由均質的光電導體兩端加上電極後構成, 電阻值隨著光源強度而變小, 靈敏度高。當有光線照射時, 電阻內原本處於穩定狀態的電子受到激發, 成為自由電子。此時若兩電極加上一定電壓, 自由電子在外加電場作用下沿一定方向運動, 在電路中產生電流, 達到了光電轉換的目的。光線越強, 產生的自由電子也就越多, 電流大, 電阻就會越小。





2. **光敏電阻油品顏色偵測裝置**的設計，是在 91 到 98 年間學長姐的厚實實驗基礎下，發展出來的裝置。從肉眼比色法、有色物質 SP20 吸收度曲線的測量、相機色彩 RGBHSB 分析法，發展到光敏電阻；從日光燈、雷射發展到 LED 燈(見參考資料<sup>18-22</sup>)。這次我們使用有一定波長範圍的 LED 燈，查出光敏電阻對各波長光的相對敏感度<sup>17</sup>，拉長光通過的距離，就是要找出適宜的裝置，能更簡便地對油色的變化，有定量的測量效果。

3. 實驗步驟如下：

- (1) 將自製光敏電阻測油質裝置上的藍色 LED 燈接上電源並開啟。
- (2) 讓藍光穿透不同種類的油，在油量相同的情況下照射到光敏電阻上，記錄電阻讀數。
- (3) 每隔 5 秒鐘記錄 1 次數據並計算平均，繪成表格，觀察電阻與油色深淺的關係。

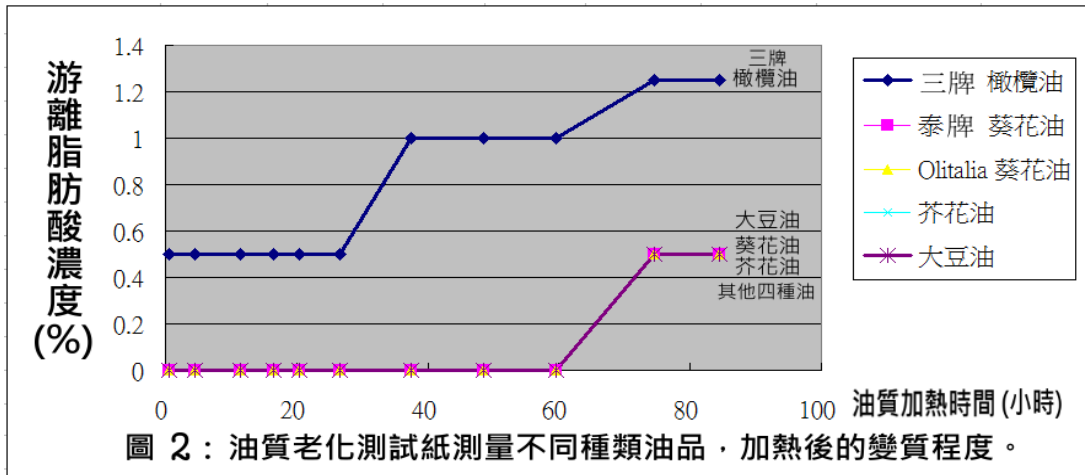
油品顏色偵測裝置實驗過程照片			
吸油樣本	注入光徑槽	接三用電錶電極	包覆黑布，隔絕外面光
以鐵架固定	接上 LED 燈電源	實驗開始	記錄數據

五、相對於市面上，到處都在注意販賣油炸物的油鍋，我們選擇了回來看看自己家裡使用的油，媽媽不可能用變酸、變臭、油色變深的油，來幫我們準備食物。但卻會在不知情的狀況裡，讓我們吃下有問題的油。什麼樣的油是好油？植物油容易氧化，但可避免心血管疾病，多元不飽和脂肪酸愈多愈好嗎？不是容易氧化嗎？要如何去把最容易觀測到的油色變化定量？進而能像試紙一樣，方便大家的測量與注意？我們對油的研究才剛開始，以下是這段時間來的研究結果。

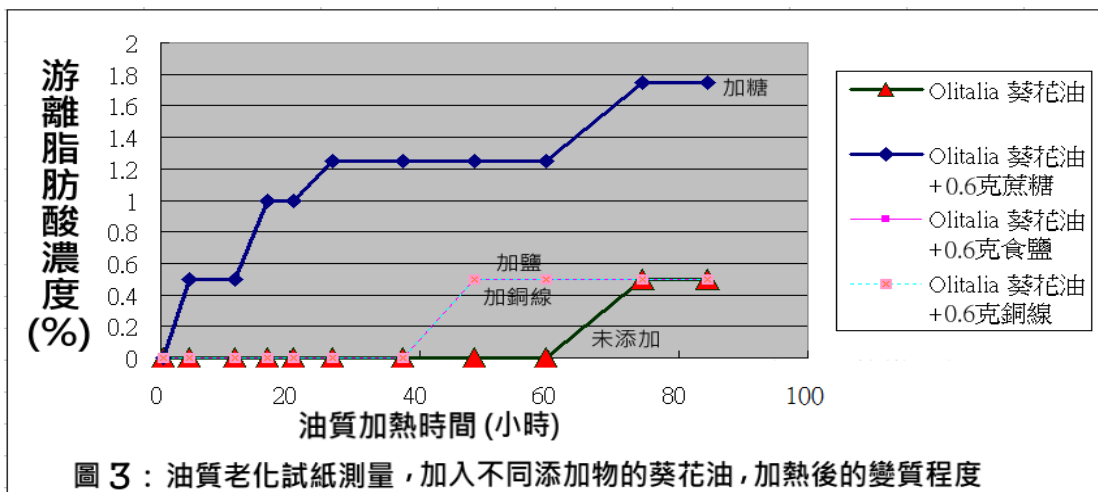
## 伍、研究結果:

一. 利用**油質老化試紙**測量不同種類油品，加熱後的變質程度。由於各大速食店都以這種測試紙測油，我們決定用此試紙先試試市面上各種純油及不同加熱時間的游離脂肪酸濃度。並在 olitalia 葵花油中，加入蔗糖、鹽、銅線，來測試這些物質對油品的影響。

控制變因		油重=6克	加熱溫度=168℃	炸油機加熱	油質老化試紙測量酸價					
2010/2/19 19:30 開始加熱		油種類	三牌 橄欖油	泰牌 葵花油	Olitalia 葵花油	芥花油	大豆油	Olitalia 葵花油 + 0.6克蔗糖	Olitalia 葵花油 + 0.6克食鹽	Olitalia 葵花油 + 0.6克銅線
測量日期	測量時間	編號 加熱時間(小時) 游離脂肪酸濃度%	1	2	3	4	5	6	7	8
2月19日	20:00	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0
2月19日	0:00	4.5	0.5	0	0	0	0	0.5	0	0
2月20日	7:00	11.5	0.5	0	0	0	0	0.5	0	0
2月20日	12:00	16.5	0.5	0	0	0	0	1	0	0
2月20日	16:00	20.5	0.5	0	0	0	0	1	0	0
2月20日	22:00	26.5	0.5	0	0	0	0	1.25	0	0
2月21日	9:00	37.5	1	0	0	0	0	1.25	0	0
2月21日	20:00	48.5	1	0	0	0	0	1.25	0.5	0.5
2月22日	7:00	59.5	1	0	0	0	0	1.25	0.5	0.5
2月22日	22:00	74.5	1.25	0.5	0.5	0.5	0.5	1.75	0.5	0.5
2月23日	8:00	84.5	1.25	0.5	0.5	0.5	0.5	1.75	0.5	0.5



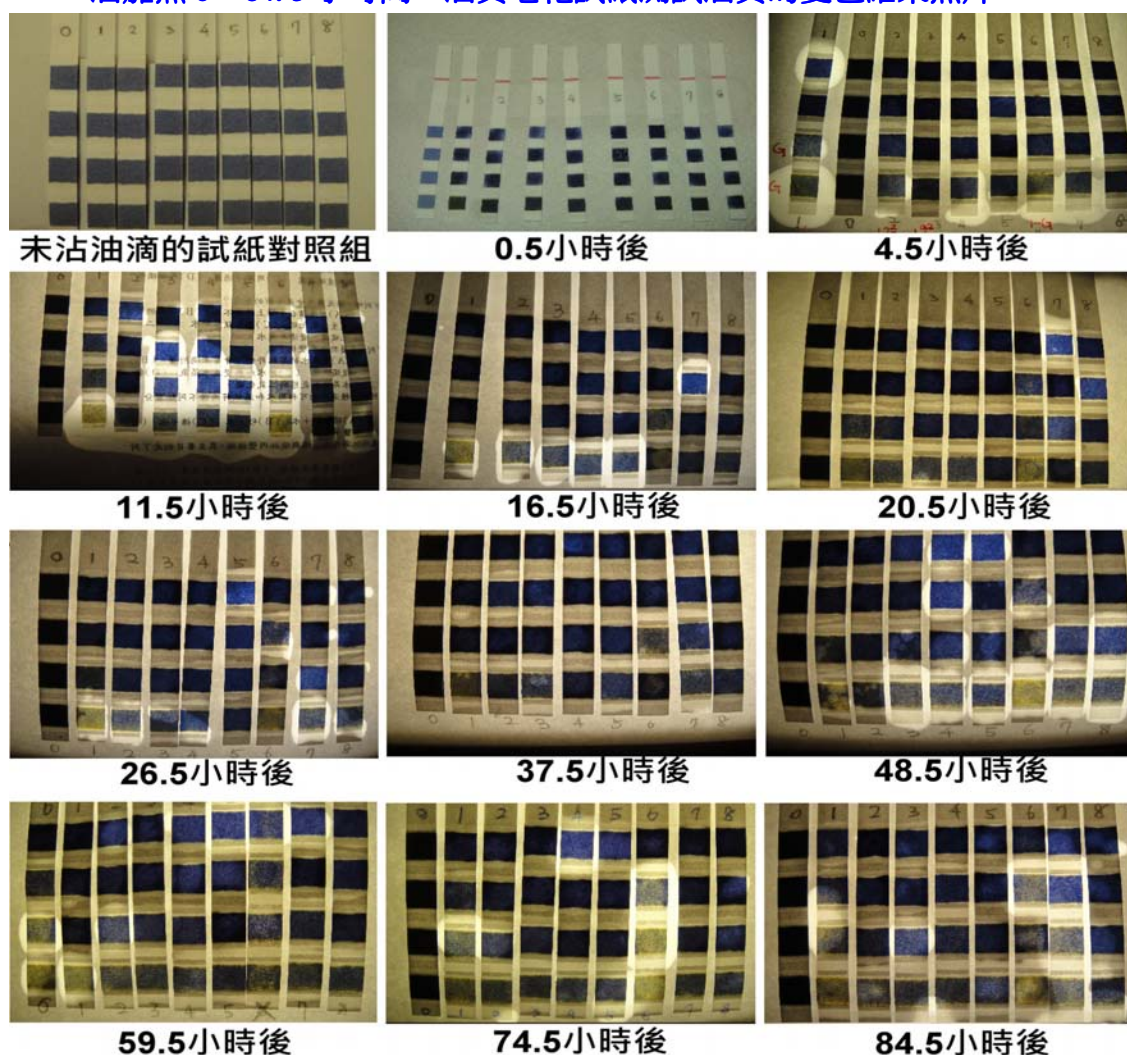
分析 1：在未加熱前，三牌橄欖油的游離脂肪酸濃度已明顯高於其它油類。加熱 80 小時後，所有油類的游離脂肪酸濃度都在 0.6% 以下，但橄欖油已達到 1.2% 以上。



分析 2：加入蔗糖的 olitalia 葵花油，加熱後游離脂肪酸濃度上升最多，其次為加鹽與加銅線，比未添加的 olitalia 葵花油略高。



## 油加熱 0 ~ 84.5 小時，油質老化試紙測試油質的變色結果照片



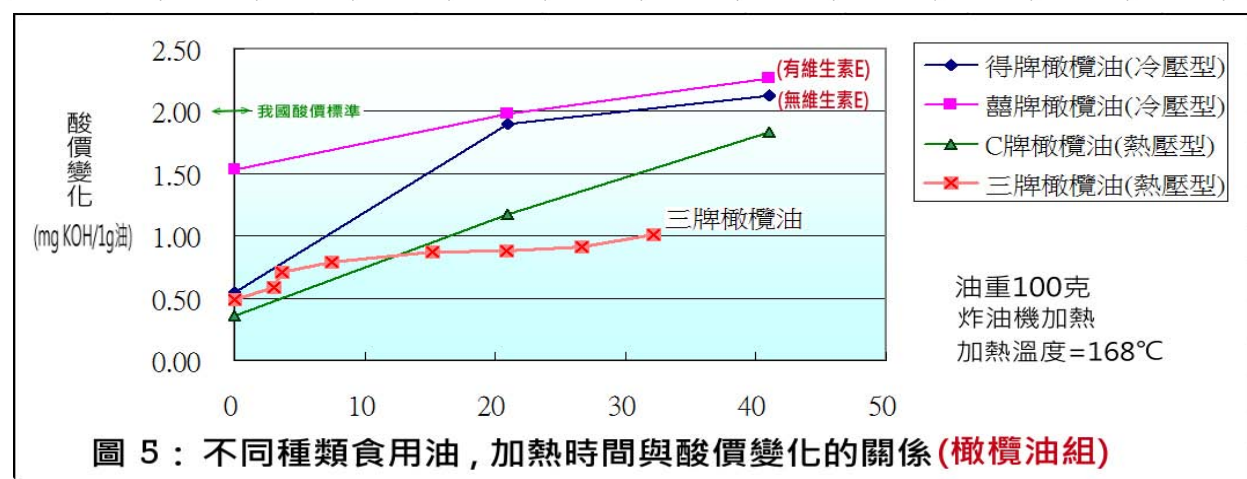
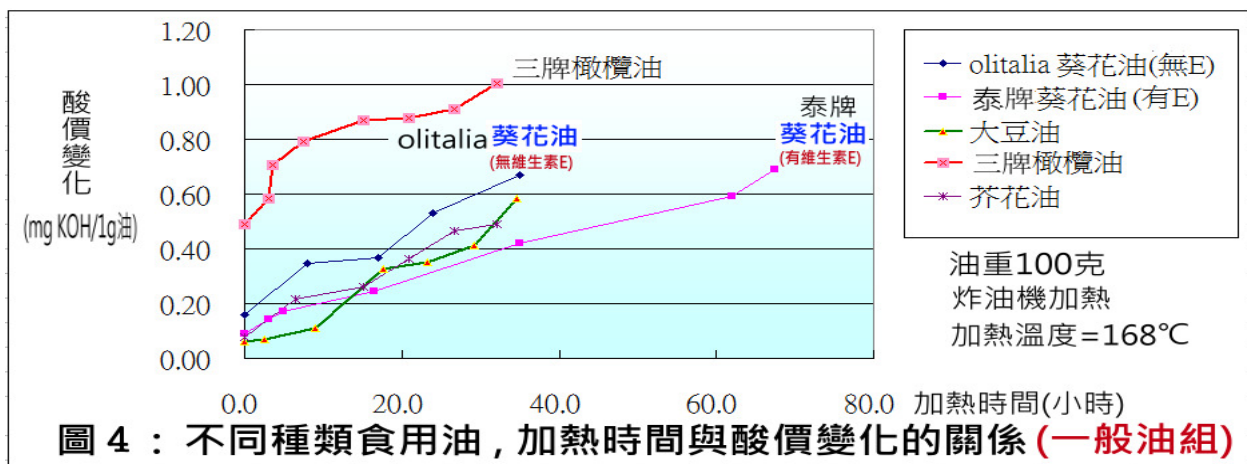
二.利用酸鹼滴定，測油品的酸價，與油質老化試紙相對照。因為油脂老化試紙的結果太簡略，60 多個小時後，才能看出酸價的變化。所以我們決定改用酸鹼滴定，更精密測出酸價變化。（研究 2-1）我們假設未加熱的油，酸價都很低，隨著加熱時間的增加，酸價也會上升。

**油質加熱控制變因** 無添加 炸油機油溫維持 168°C 起始油重 100 克 每次取樣 16ml 玻璃瓶裝加熱

**滴定時控制變因** [KOH]=0.5M, KOH體積(ml) 酚酞體積=0.1 ml 酚酞濃度=1克酚酞粉末溶於95%,100ml酒精中 油溶劑=33.3ml乙醚+16.7ml酒精(95%)

油的種類	實驗日期	加熱時間 (小時)	第一次滴定			第二次滴定			第三次滴定			平均酸價 (mgKOH/g油)
			油重(g)	KOH體積(ml)	酸價	油重(g)	KOH體積(ml)	酸價	油重(g)	KOH體積(ml)	酸價	
得牌橄欖油 (冷壓型)	6月1日	0.0	5.07	1.33	0.55	5.05	1.31	0.54	5.08	1.32	0.54	0.54
	6月3日	21.0	2.93	2.35	2.08	3.05	2.15	1.81	2.64	1.87	1.80	1.90
	6月1日	41.0	5.06	4.16	2.21	5.21	4.09	2.11	5.10	4.07	2.05	2.12
鶴牌橄欖油 (冷壓型)	5月31日	0.0	5.04	2.90	1.51	5.13	3.00	1.54	5.55	3.20	1.53	1.53
	6月3日	21.0	5.05	3.88	1.97	1.60	1.50	2.03	1.25	1.20	1.93	1.98
	6月1日	41.0	5.10	4.30	2.27	5.20	4.30	2.22	5.40	4.76	2.30	2.26
C牌橄欖油 (熱壓型)	5月31日	0.0	5.07	0.81	0.35	5.13	0.85	0.37	5.33	0.85	0.35	0.36
	6月3日	21.0	2.96	1.58	1.18	3.05	1.47	1.19	2.15	1.06	1.15	1.17
	6月1日	41.0	5.15	3.58	1.85	5.20	3.55	1.82	5.32	3.66	1.84	1.84
三牌橄欖油 (熱壓型)	12月8日	0.0	5.51	1.34	0.51	5.21	1.19	0.46	5.06	1.24	0.50	0.49
	12月31日	3.0	5.90	1.41	0.51	5.25	1.37	0.64	5.06	1.43	0.60	0.58
	2月2日	3.6	3.98	1.17	0.70	3.18	1.01	0.73	3.42	1.02	0.69	0.71
	2月2日	7.5	3.49	1.14	0.77	3.15	1.09	0.81	3.45	1.15	0.79	0.79
	1月31日	15.2	4.30	1.52	0.87	4.05	1.46	0.89	4.54	1.55	0.85	0.87
	1月31日	20.8	4.18	1.49	0.88	3.62	1.33	0.89	4.15	1.45	0.86	0.88
	1月31日	26.7	4.18	1.55	0.92	4.13	1.56	0.94	4.35	1.54	0.88	0.91
	2月4日	32.2	3.37	1.38	1.00	3.03	1.35	1.08	3.24	1.26	0.94	1.01

油的種類	實驗日期	油脂加熱時間 (小時)	第一次滴定			第二次滴定			第三次滴定			平均酸價 (mgKOH/1g油)
			油重(g)	KOH總積(ml)	酸價	油重(g)	KOH總積(ml)	酸價	油重(g)	KOH總積(ml)	酸價	
olitalia (無E) 葵花油	1月26日	0.0	5.50	0.63	0.15	6.10	0.70	0.17	5.63	0.68	0.17	0.16
	1月31日	8.0	4.02	0.65	0.33	4.44	0.73	0.35	4.36	0.74	0.36	0.35
	2月1日	17.0	3.18	0.62	0.39	3.63	0.65	0.36	3.10	0.73	0.35	0.37
	1月31日	24.0	5.05	1.12	0.52	4.30	1.21	0.57	4.44	1.13	0.50	0.53
2月1日	35.0	3.10	0.91	0.66	3.18	0.97	0.70	3.21	0.92	0.65	0.67	
泰牌 葵花油 (有E)	12月8日	0.0	5.02	0.45	0.06	5.09	0.53	0.10	5.11	0.53	0.10	0.09
	2月4日	3.0	3.53	0.38	0.16	3.17	0.33	0.13	3.21	0.34	0.14	0.14
	2月4日	5.0	4.11	0.44	0.18	4.11	0.43	0.17	4.17	0.43	0.17	0.17
	12月8日	16.5	5.25	0.83	0.26	5.12	0.79	0.25	5.10	0.75	0.23	0.24
	1月29日	35.0	4.12	0.85	0.46	4.51	0.85	0.42	4.11	0.75	0.39	0.42
	1月29日	62.0	5.23	1.52	0.63	5.10	1.38	0.57	5.32	1.42	0.57	0.59
1月29日	67.5	4.13	1.25	0.73	4.45	1.25	0.67	4.21	1.34	0.67	0.69	
大豆油	2月4日	0.0	5.20	0.28	0.05	5.13	0.30	0.07	5.23	0.29	0.06	0.06
	2月4日	2.5	3.24	0.22	0.06	3.18	0.23	0.07	3.56	0.28	0.08	0.07
	2月1日	9.0	3.20	0.24	0.12	3.13	0.23	0.12	3.09	0.20	0.09	0.11
	1月28日	17.7	5.15	0.75	0.31	5.08	0.80	0.34	5.42	0.81	0.33	0.33
	1月26日	23.3	5.18	0.76	0.31	5.11	0.81	0.35	5.11	0.94	0.33	0.35
	1月29日	29.2	5.09	0.95	0.42	5.08	0.91	0.40	2.78	0.59	0.41	0.41
	2月1日	34.7	3.30	0.88	0.60	3.24	0.82	0.55	3.10	0.84	0.60	0.58
三牌 橄欖油	12月8日	0.0	5.51	1.34	0.51	5.21	1.19	0.46	5.06	1.24	0.50	0.49
	12月31日	3.0	5.90	1.41	0.51	5.25	1.37	0.64	5.06	1.43	0.60	0.58
	2月2日	3.6	3.98	1.17	0.70	3.18	1.01	0.73	3.42	1.02	0.69	0.71
	2月2日	7.5	3.49	1.14	0.77	3.15	1.09	0.81	3.45	1.15	0.79	0.79
	1月31日	15.2	4.30	1.52	0.87	4.05	1.46	0.89	4.54	1.55	0.85	0.87
	1月31日	20.8	4.18	1.49	0.88	3.62	1.33	0.89	4.15	1.45	0.86	0.88
	1月31日	26.7	4.18	1.55	0.92	4.13	1.56	0.94	4.35	1.54	0.88	0.91
	2月4日	32.2	3.37	1.38	1.00	3.03	1.35	1.08	3.24	1.26	0.94	1.01
	2月2日	0.0	3.82	0.28	0.07	3.20	0.25	0.06	3.21	0.29	0.10	0.08
	1月28日	6.5	5.00	0.75	0.23	5.00	0.74	0.22	5.21	0.70	0.19	0.22
2月1日	15.2	3.11	0.47	0.26	3.05	0.46	0.26	3.03	0.47	0.27	0.26	
1月28日	20.9	5.30	1.11	0.35	5.62	1.22	0.39	3.12	0.82	0.34	0.36	
1月28日	26.7	5.06	1.01	0.46	5.13	1.03	0.46	5.36	1.23	0.47	0.46	
2月1日	32.2	3.19	0.76	0.51	3.38	0.76	0.48	3.25	0.74	0.48	0.49	

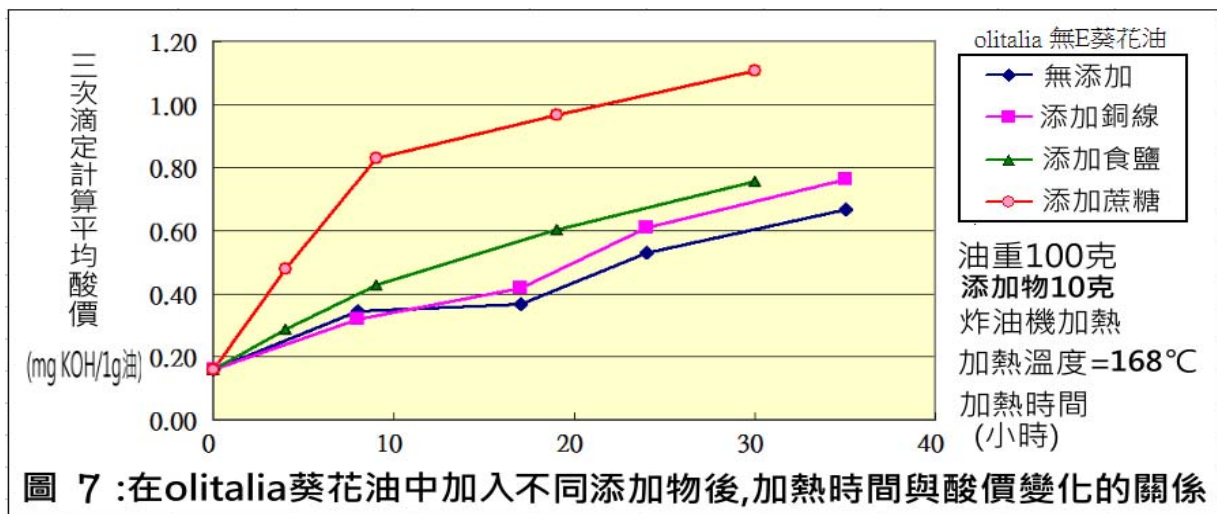
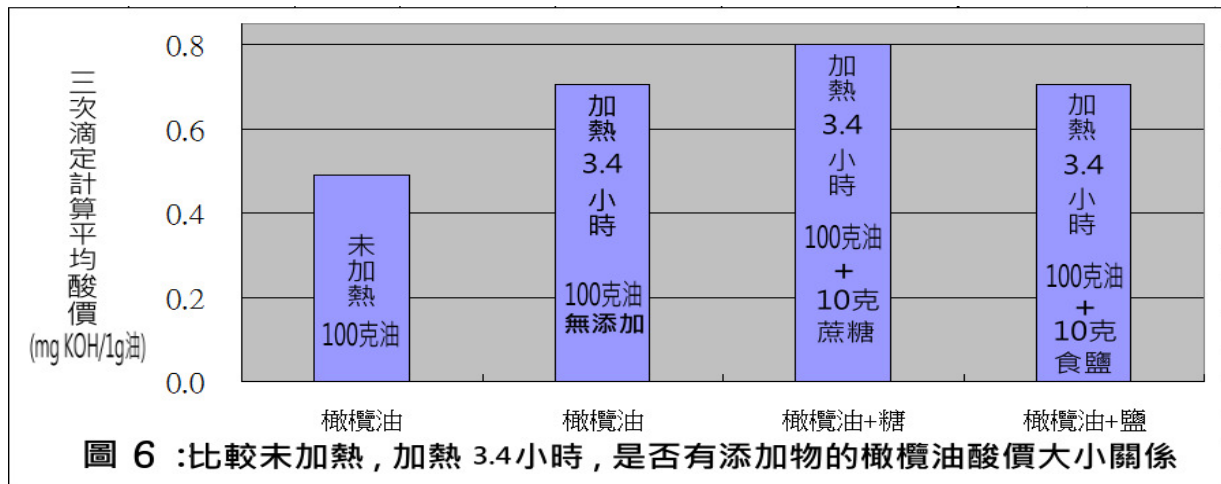


- 分析：1. 加熱時間愈長，每種油的酸價都隨時間增加。廿四小時加熱後，所有油酸價都超過 0.2mgKOH/g 油，相當於 0.1% 的游離脂肪酸，比試紙更能精密看出酸價變化。
2. 四種橄欖油的酸價都比其他的油大。冷壓型橄欖油的酸價增加比熱壓型橄欖油快。
3. 加熱後，無添加維生素 E 的葵花油、橄欖油酸價增加比有添加維生素 E 的快。



(研究 2-2)從查到的資料中，我們知道添加物和油一起加熱會使酸價有變化，因此我們假設加入蔗糖和食鹽的油，酸價會上升較多。為避免傾倒，在炸油鍋裡的玻璃瓶，用銅線綁在一起。但在第一次橄欖油實驗後，竟發現和銅線接觸的油，油色比未添加的還深。所以在第二次實驗中加入銅線組，看看酸價的變化。(控制變因同研究 2-1)

油的種類	實驗日期	油脂加熱時間 (小時)	第一次滴定			第二次滴定			第三次滴定			平均酸價 (mgKOH/1g油)
			油重 (g)	KOH體積(ml)	酸價	油重 (g)	KOH體積(ml)	酸價	油重 (g)	KOH體積(ml)	酸價	
橄欖油	12月8日	0.0	5.51	1.34	0.51	5.21	1.19	0.46	5.06	1.24	0.50	0.49
橄欖油	2月2日	3.4	3.98	1.17	0.70	3.18	1.01	0.73	3.42	1.02	0.69	0.71
橄欖油+糖	2月4日	3.4	5.02	1.55	0.77	5.04	1.45	0.71	5.02	1.84	0.93	0.80
橄欖油+鹽	2月4日	3.4	5.02	1.43	0.70	5.08	1.53	0.75	5.36	1.47	0.68	0.71
olitalia 無E葵花油 + 糖	1月26日	0.0	5.50	0.63	0.15	6.10	0.70	0.17	5.63	0.68	0.17	0.16
	2月25日	4.0	3.06	0.68	0.46	3.06	0.69	0.47	3.08	0.74	0.51	0.48
	2月25日	9.0	3.12	1.10	0.83	3.03	1.12	0.87	3.24	1.09	0.79	0.83
	2月24日	19.0	3.01	1.24	0.99	3.03	1.20	0.94	3.28	1.31	0.97	0.97
	2月22日	30.0	3.00	1.35	1.09	3.12	1.44	1.13	3.32	1.48	1.10	1.11
olitalia 無E葵花油 + 鹽	1月26日	0.0	5.50	0.63	0.15	6.10	0.70	0.17	5.63	0.68	0.17	0.16
	2月24日	4.0	3.01	0.50	0.30	3.08	0.54	0.33	3.54	0.48	0.24	0.29
	2月25日	9.0	3.06	0.63	0.41	3.05	0.65	0.43	3.41	0.71	0.44	0.43
	2月24日	19.0	3.03	0.86	0.63	3.00	0.85	0.63	3.21	0.81	0.55	0.60
	2月22日	30.0	3.03	0.98	0.74	3.05	1.02	0.77	3.41	1.10	0.76	0.76
olitalia 無E葵花油 + 銅	1月26日	0.0	5.50	0.63	0.15	6.10	0.70	0.17	5.63	0.68	0.17	0.16
	2月1日	8.0	3.06	0.54	0.33	3.01	0.50	0.30	3.24	0.56	0.33	0.32
	1月31日	17.0	4.12	0.76	0.39	4.13	0.79	0.41	3.56	0.75	0.45	0.42
	1月29日	24.0	4.09	1.06	0.60	4.15	1.01	0.56	3.65	1.05	0.67	0.61
	2月2日	35.0	3.28	1.08	0.77	3.38	1.10	0.76	3.14	1.02	0.75	0.76
olitalia 無E葵花油 無添加	1月26日	0.0	5.50	0.63	0.15	6.10	0.70	0.17	5.63	0.68	0.17	0.16
	1月31日	8.0	4.02	0.65	0.33	4.44	0.73	0.35	4.36	0.74	0.36	0.35
	2月1日	17.0	3.18	0.62	0.39	3.63	0.65	0.36	3.10	0.73	0.35	0.37
	1月31日	24.0	5.05	1.12	0.52	4.30	1.21	0.57	4.44	1.13	0.50	0.53
	2月1日	35.0	3.10	0.91	0.66	3.18	0.97	0.70	3.21	0.92	0.65	0.67



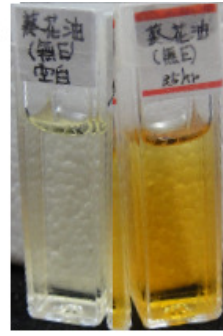
分析：兩種油的測試：添加蔗糖，加熱後酸價變化最大，加銅線、加鹽，酸價變化與無添加相近。

三.以 SP 20 分光光度計測量油品的吸收度曲線，判斷顏色與物質吸收色光種類之間的關係

**我們的想法:**

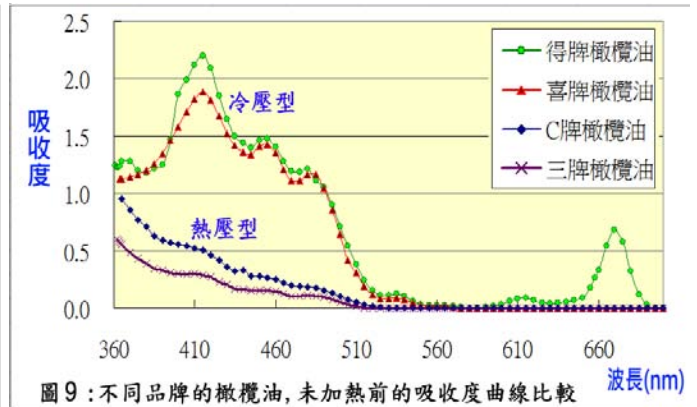
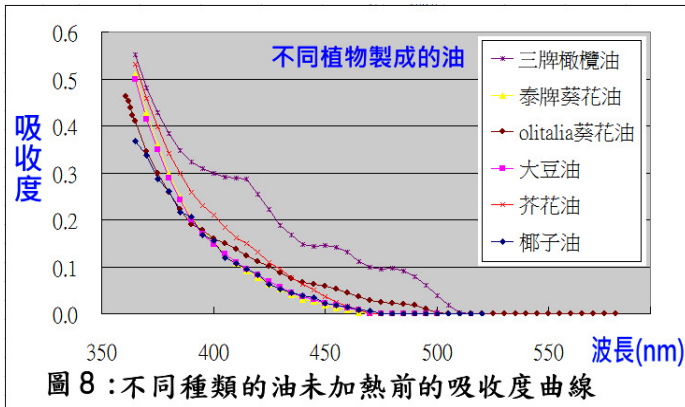
加熱時間越長，油色變化越明顯。但在油質老化試紙，游離脂肪酸濃度的測量中，數值變化不大(如右圖)。因此我們想到：除了酸鹼滴定外，還可以SP20的吸收度曲線來判斷油質的氧化程度，來作為簡易測油色裝置的依據。我們假設：顏色的變化可以代表油的氧化程度。加熱會使油色有比較大的改變。

加熱0小時  
酸價 0.16  
試紙變色 < 1格  
游離脂肪酸濃度 < 0.5%



加熱35小時  
酸價 0.67  
試紙變色 < 1格  
游離脂肪酸濃度 < 0.5%

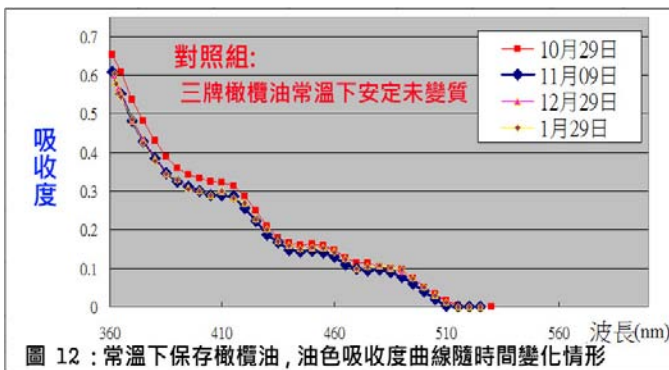
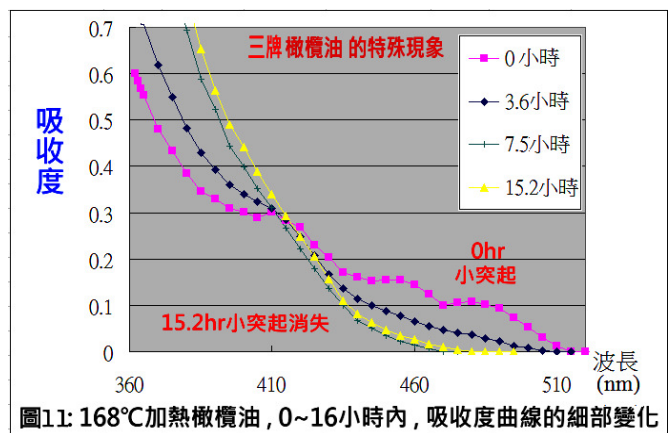
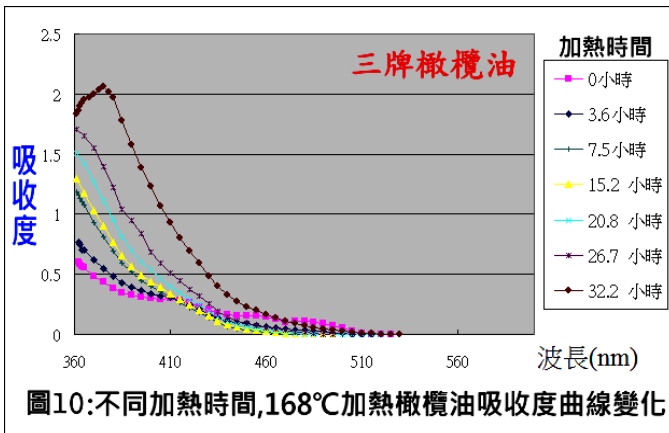
**(研究 3-1)**各種油加熱前的油色測量、比較



分析：除了橄欖油以外，不同植物來源的油，吸收度曲線無明顯差異；但油色深的橄欖油，在可見光區域的吸收度，高於其他油種；冷壓型橄欖油更是特別高。

**(研究 3-2)**加熱 0~68 小時，不同的油種類，加熱時間與吸收度曲線的關係。

1.橄欖油--加熱時間與吸收度曲線：

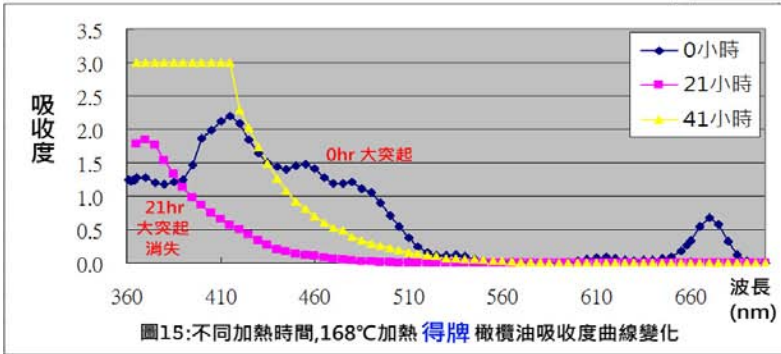
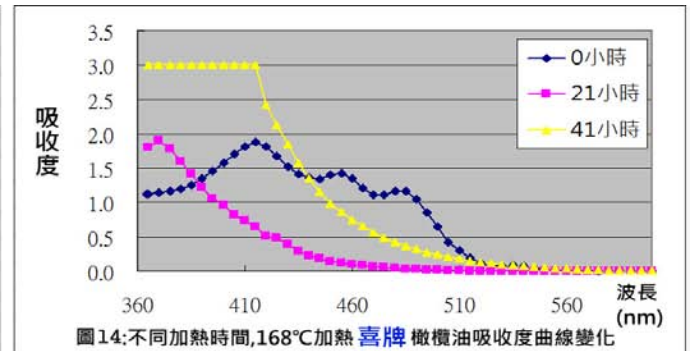
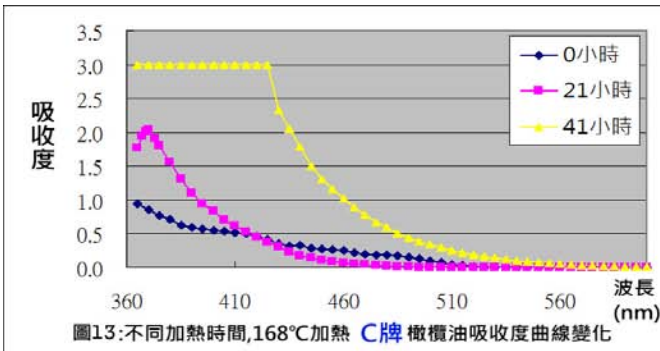
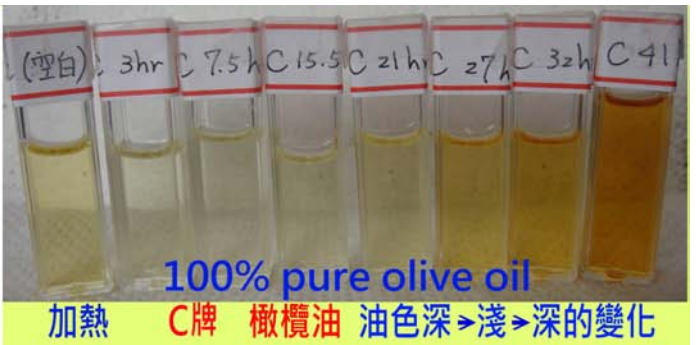
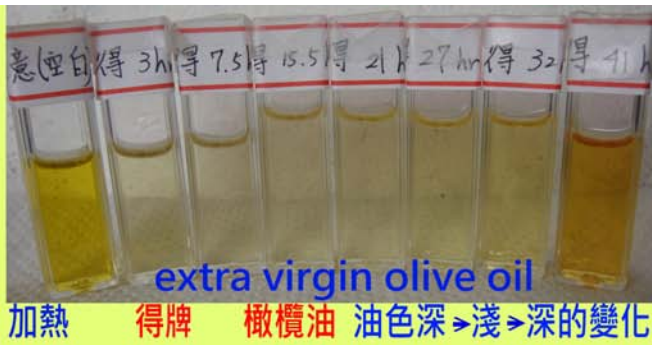
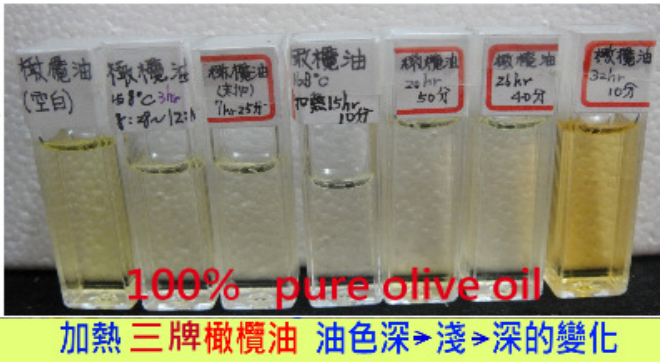


分析：  
三牌橄欖油加熱到32小時，大部分波長的吸收度都往上升。油色也到了最深的程度。但在加熱0~16小時內：油色由深變淺，再變深。  
波長 < 410nm：加熱時間越長，吸收度曲線越往上升。  
波長 > 410nm：0~16小時，加熱時間越長，吸收度下降。

**各種橄欖油成分比較:**

橄欖油種類	三牌	C牌	喜牌	得牌
不飽和脂肪含量	84.8%	85.7%	85.7%	89.0%
維生素E含量	0mg	0mg	20mg/100ml油	0mg

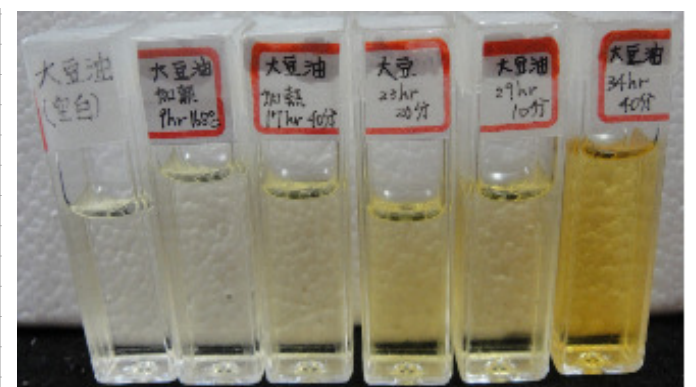
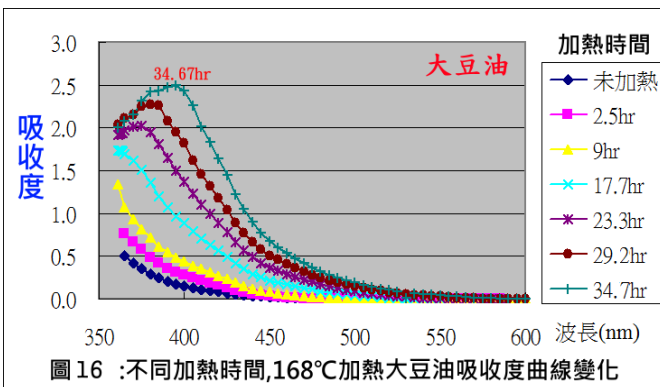




**分析:**

- 1.所有橄欖油油色都有由深變淺再變深的現象，懷疑橄欖油內有雜質(如：油溶性色素)存在，有色物質在高溫(168°C)下，加熱初期就被分解成無色，使顏色變淺，400~700nm的吸收峰消失。
- 2.三牌與C牌橄欖油，小凸起吸收峰不明顯；喜牌與得牌橄欖油，凸起明顯，有色物質含量不同。
- 3.在400nm以下的吸收度，都隨加熱時間的增加，一直上升，使油色變的更深。

2.其它植物提煉出的食用油加熱時間與吸收度曲線關係：





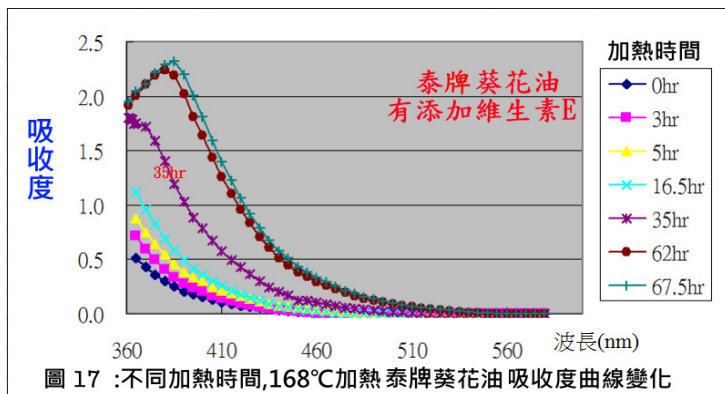


圖 17 :不同加熱時間,168°C加熱 泰牌葵花油 吸收度曲線變化

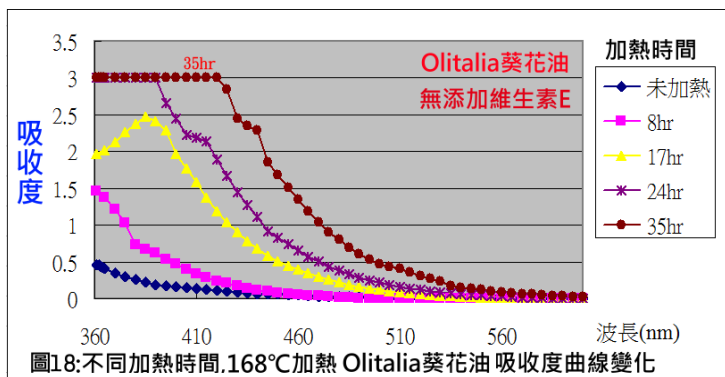
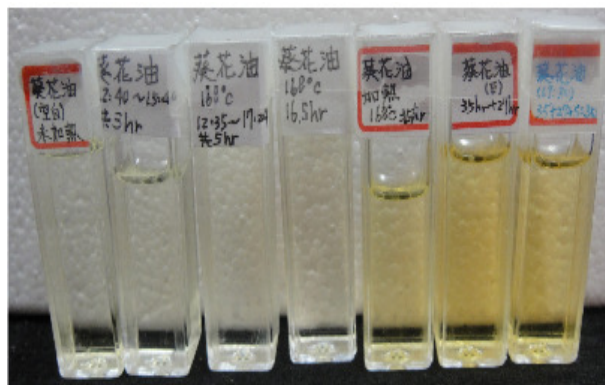


圖18:不同加熱時間,168°C加熱 Olitalia葵花油 吸收度曲線變化

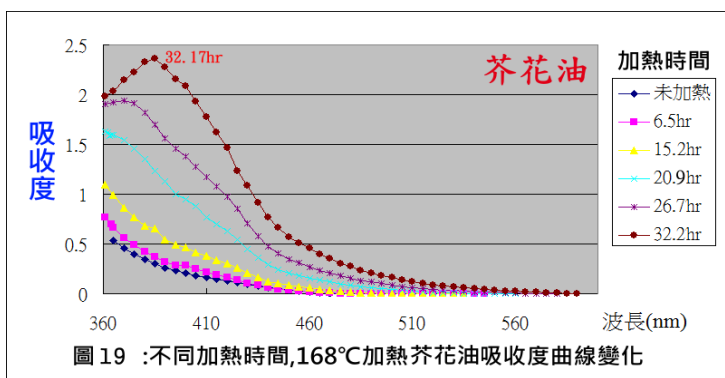
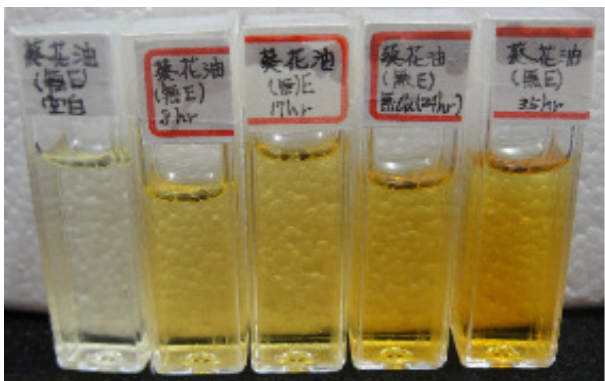
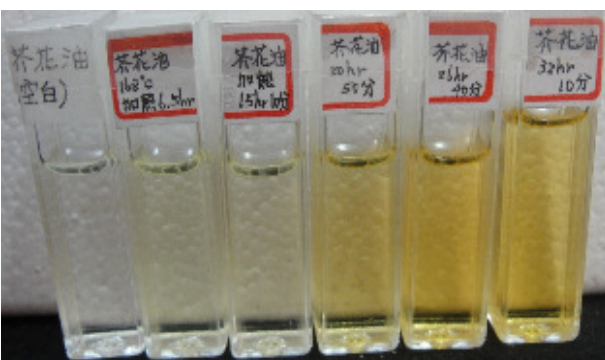


圖 19 :不同加熱時間,168°C加熱 芥花油吸收度曲線變化



分析:(1)四種非橄欖油的植物油，加熱時間越長，吸收度曲線越往上升。同時吸收峰也往長波長移動，進入可見光區，使顏色變深。

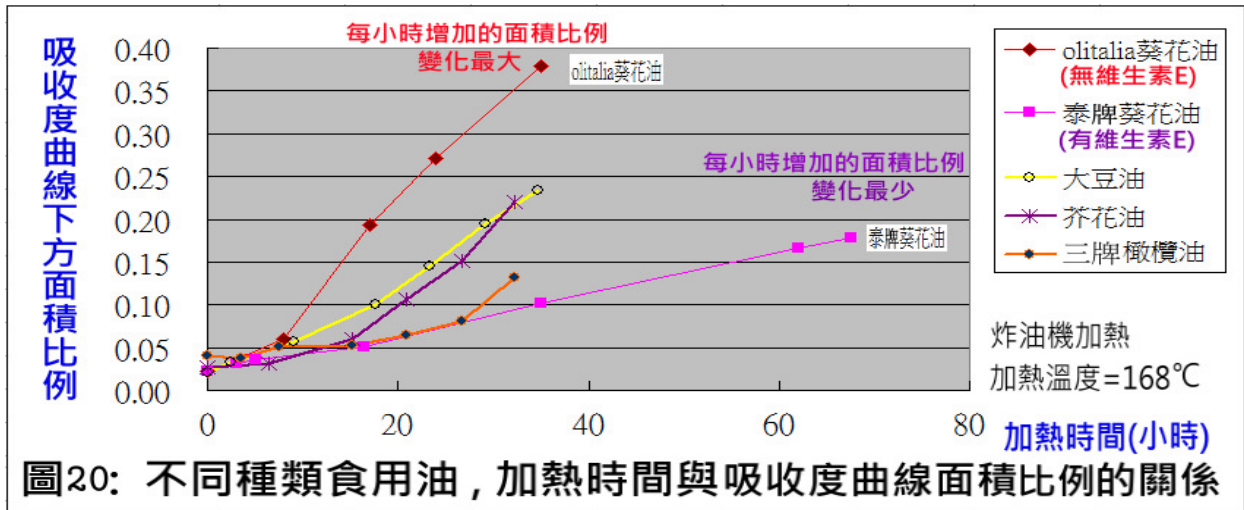
(2)以加熱 35 小時來看，泰牌葵花油吸收峰變高變寬最少，但有類似脂肪酸成分的 Olitalia 葵花油吸收峰變高變寬最多，更是在加熱 24 小時後，部分吸收度已超過 SP20 可測量的範圍，吸收度停留在 3 。

3.利用秤重面積法，計算各油種吸收度曲線下面積(360nm~600nm，吸收度範圍取 0~3.5)，可得各油種，在不同加熱時間內，油色變化定量的比例關係。

表:將吸收度曲線轉換為面積比例,判斷油色變化情形

控制變因	同材料紙片秤重,求面積比		全部面積=(吸收度 0~3.5) × (波長 360~600nm)紙片 的重量(克)						每小時增加的面積比例(趨勢線斜率)	
	加熱時間(小時)	0.0	8.0	17.0	24.0	35.0	全部面積			
olitalia 葵花油 (無維生素E)	加熱時間(小時)	0.0	8.0	17.0	24.0	35.0	全部面積	0.0108 R <sup>2</sup> =0.985		
	曲線下紙片重(克)	0.21	0.57	1.84	2.58	3.62	9.54			
	吸收面積比例	0.022	0.060	0.193	0.270	0.379	1			
泰牌葵花油 (有維生素E)	加熱時間(小時)	0.0	3.0	5.0	16.5	35.0	62.0	67.5	全部面積	0.0023 R <sup>2</sup> =0.996
	曲線下紙片重(克)	0.22	0.3	0.35	0.49	0.97	1.75	1.88	10.57	
	吸收面積比例	0.023	0.031	0.037	0.051	0.102	0.166	0.178	1	
大豆油	加熱時間(小時)	0.0	2.5	9.0	17.7	23.3	29.2	34.7	全部面積	0.0061 R <sup>2</sup> =0.980
	曲線下紙片重(克)	0.21	0.33	0.56	0.98	1.43	1.91	2.29	9.83	
	吸收面積比例	0.021	0.034	0.057	0.100	0.145	0.194	0.233	1	
三牌 橄欖油	加熱時間(小時)	0.0	3.6	7.5	15.2	20.8	26.7	32.2	全部面積	0.0024 R <sup>2</sup> =0.790
	曲線下紙片重(克)	0.35	0.33	0.45	0.46	0.56	0.7	1.15	8.73	
	吸收面積比例	0.040	0.038	0.052	0.053	0.064	0.080	0.132	1	
芥花油	加熱時間(小時)	0.0	6.5	15.2	20.9	26.7	32.2	全部面積	0.0059 R <sup>2</sup> =0.899	
	曲線下紙片重(克)	0.23	0.28	0.52	0.92	1.32	1.92	8.71		
	吸收面積比例	0.026	0.032	0.060	0.106	0.152	0.220	1		





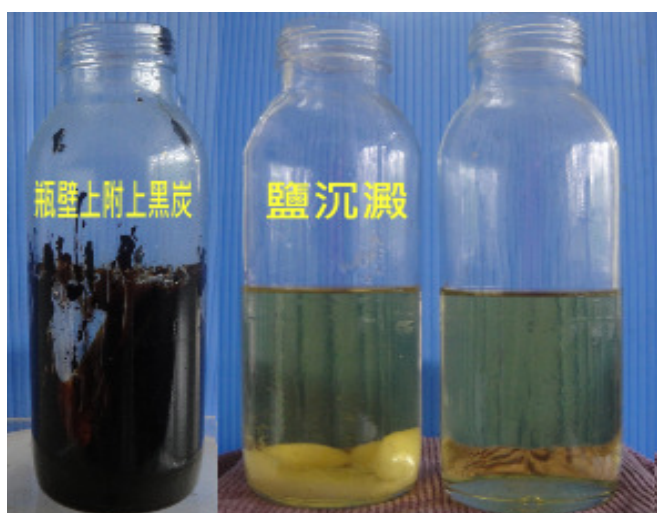
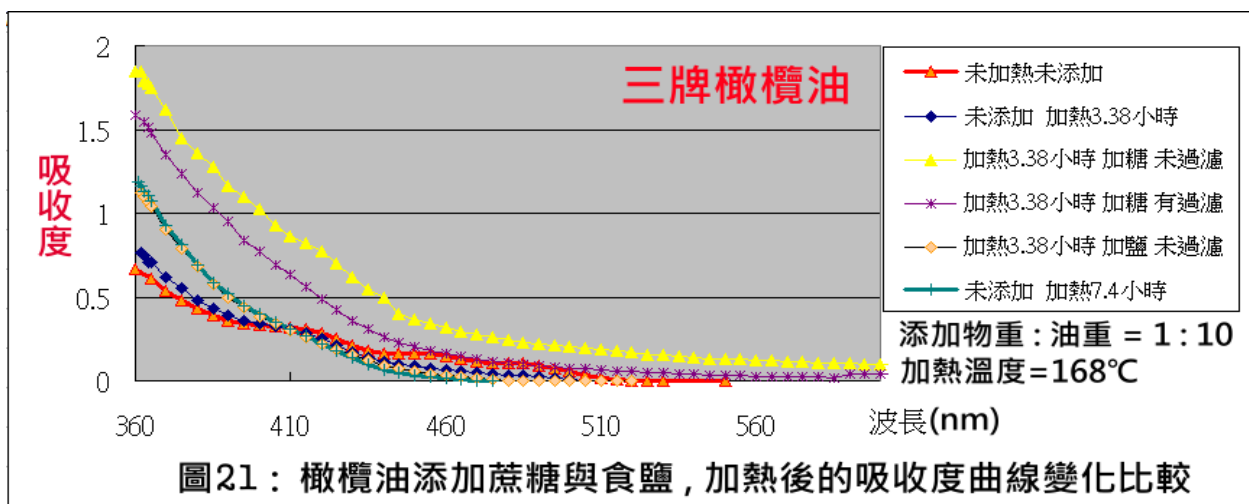
分析:(1)五種植物油每小時增加的吸收度曲線面積比例(趨勢線斜率)大小依序為:

olitalia 葵花油 > 大豆油 ≥ 芥花油 > 三牌橄欖油 ≥ 泰牌葵花油

與 olitalia 葵花油油色變深最快, 泰牌葵花油油色變深最慢, 互相符合。

(2)同樣是葵花油, 有無添加維生素 E, 油色變深速率有極大差距。反而是有添加維生素 E 的葵花油與三牌橄欖油油色變深速率, 十分接近。

(研究 3-3) 在三牌橄欖油(加熱油色變化最少)添加蔗糖與食鹽, 研究加熱時間與吸收度曲線關係



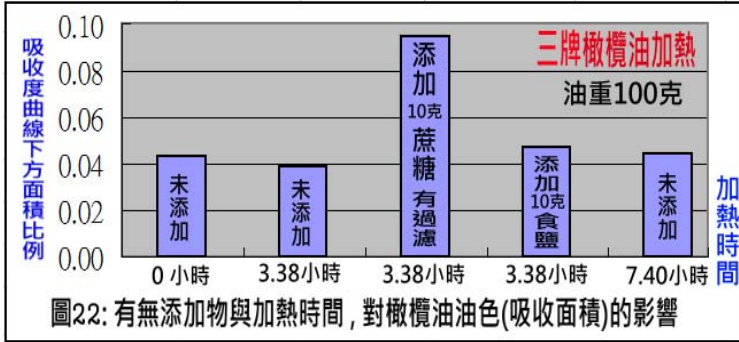
橄欖油加糖 橄欖油加鹽 橄欖油不添加  
3.38小時後的油色情形



加熱0~3 小時間, 蔗糖快速變黑  
吸收度曲線也出現較快速的上升

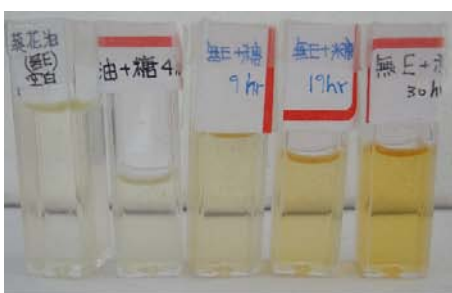
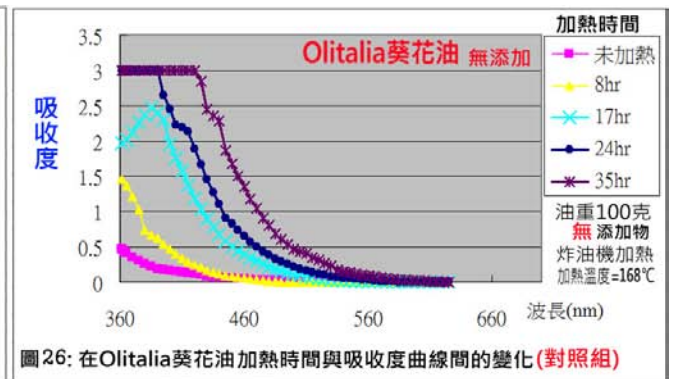
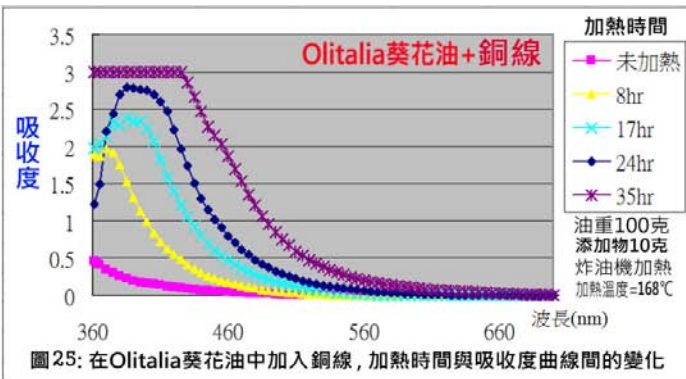
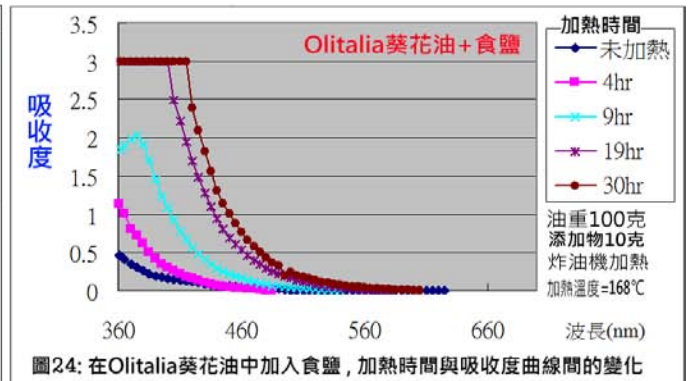
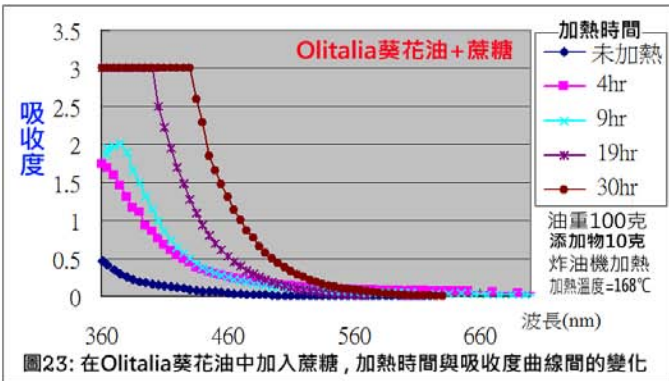
表:將吸收度曲線轉換為面積比例,判斷油色變化情形(橄欖油添加部分)

橄欖油重量(克)	100	100	100	100	100	100	吸收度 0~3.5 波長範圍 360~600nm 總面積重量
其他添加物重量(克)	無	無	10 克蔗糖	10 克蔗糖	10 克食鹽	無	
測吸收度前有沒有過濾	無	無	無	有	無	無	
加熱時間(小時)	0.00	3.38	3.38	3.38	3.38	7.40	
曲線下紙片重(克)	0.41	0.37	1.32	0.90	0.45	0.42	
吸收面積比例	0.043	0.039	0.139	0.095	0.047	0.044	
							1.000

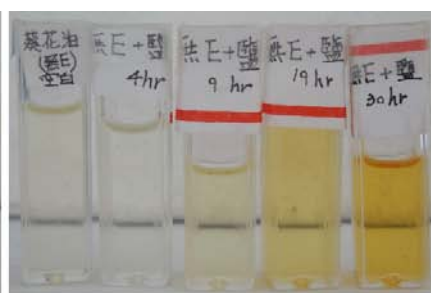


分析：加糖比加鹽更容易讓油色改變。

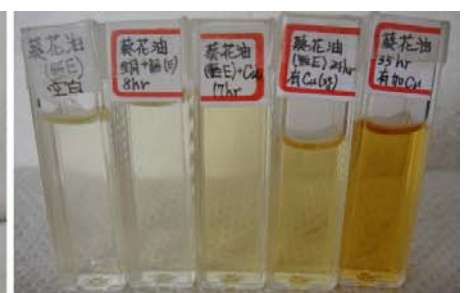
(研究 3-4) 在 Olitalia 葵花油(加熱油色變化最多)中分別添加蔗糖、食鹽、銅線，與未添加對照組相比較，研究加熱時間與吸收度曲線的關係。



Olitalia葵花油+蔗糖



Olitalia葵花油+食鹽

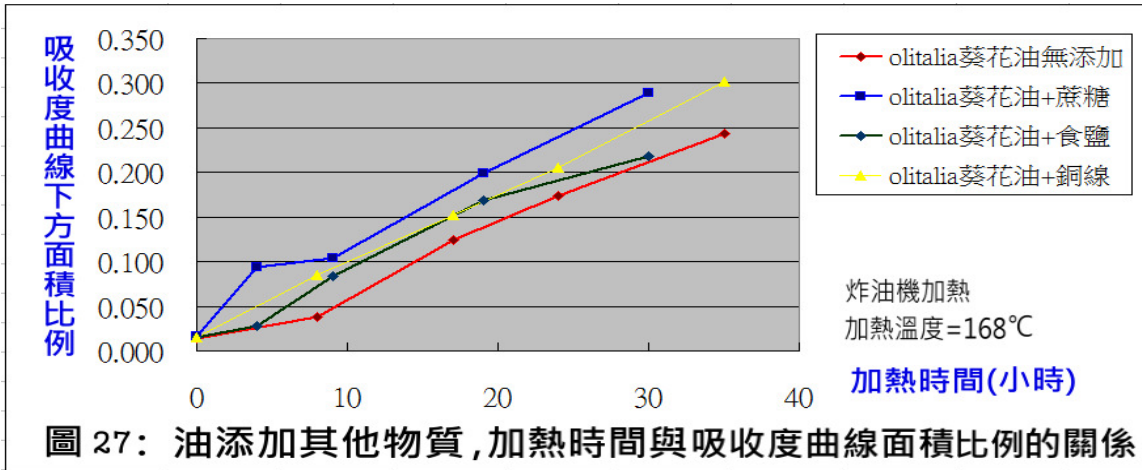


Olitalia葵花油+銅線



表:將吸收度曲線轉換為面積比例,判斷油色變化情形(olitalia 葵花油添加部分)

控制變因	同材料紙片秤重,求面積比	全部面積=(吸收度 0~3.5)×(波長 360~700nm) 紙片重量(克)						每小時增加的面積比例(趨勢線斜率)
olitalia 葵花油無添加	加熱時間	0	8	17	24	35	全部面積	0.0069 R <sup>2</sup> = 0.985
	紙片重	0.21	0.57	1.84	2.58	3.62	14.84	
	吸收面積比例	0.014	0.038	0.124	0.174	0.244	1.000	
olitalia 葵花油+食鹽	加熱時間	0	4	9	19	30	全部面積	0.0071 R <sup>2</sup> = 0.988
	紙片重	0.17	0.3	0.91	1.84	2.38	10.914	
	吸收面積比例	0.016	0.027	0.083	0.169	0.218	1.000	
olitalia 葵花油+蔗糖	加熱時間	0	4	9	19	30	全部面積	0.0086 R <sup>2</sup> = 0.977
	紙片重	0.15	0.88	0.98	1.88	2.73	9.43	
	吸收面積比例	0.016	0.093	0.104	0.199	0.290	1.000	
olitalia 葵花油+銅線	加熱時間	0	8	17	24	35	全部面積	0.0081 R <sup>2</sup> = 0.999
	紙片重	0.22	1.24	2.22	2.98	4.38	14.53	
	吸收面積比例	0.015	0.085	0.153	0.205	0.301	1.000	



分析:(1)三種添加物, 每小時增加的吸收度曲線面積比例(趨勢線斜率)大小依序為:

**添加蔗糖 > 添加銅線 > 添加食鹽 > 無添加**

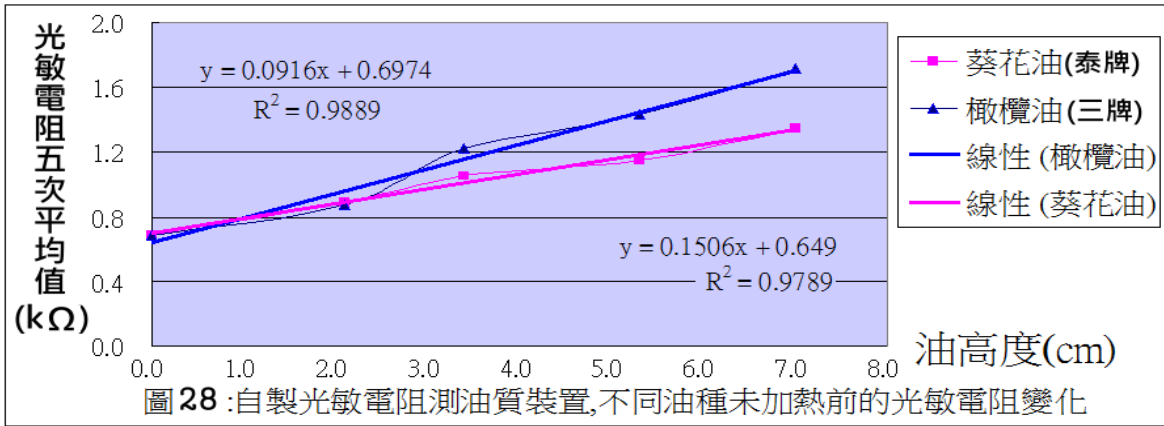
(2)加蔗糖最容易讓油色改變。加銅線與食鹽, 也有讓油加速變質的效果。

**本段研究總結: 完成了油質加熱變化的吸收度曲線後, 在油色變化上, 就有了厚實的數據基礎  
以這段的研究結果, 來作為接下來發展簡易測油色裝置的依據**

四.設計油品顏色偵測裝置, 取代 SP 20 分光光度計, 測油品吸光多少產生的光敏電阻電阻值差異, 與其他方法比較其實用性。



(研究 4-1) 以未加熱前的油, 測試油品顏色偵測裝置, 試驗油高度與光敏電阻值, 有無高度線性關係, 是否可以用來測油色。實驗結果如下圖:

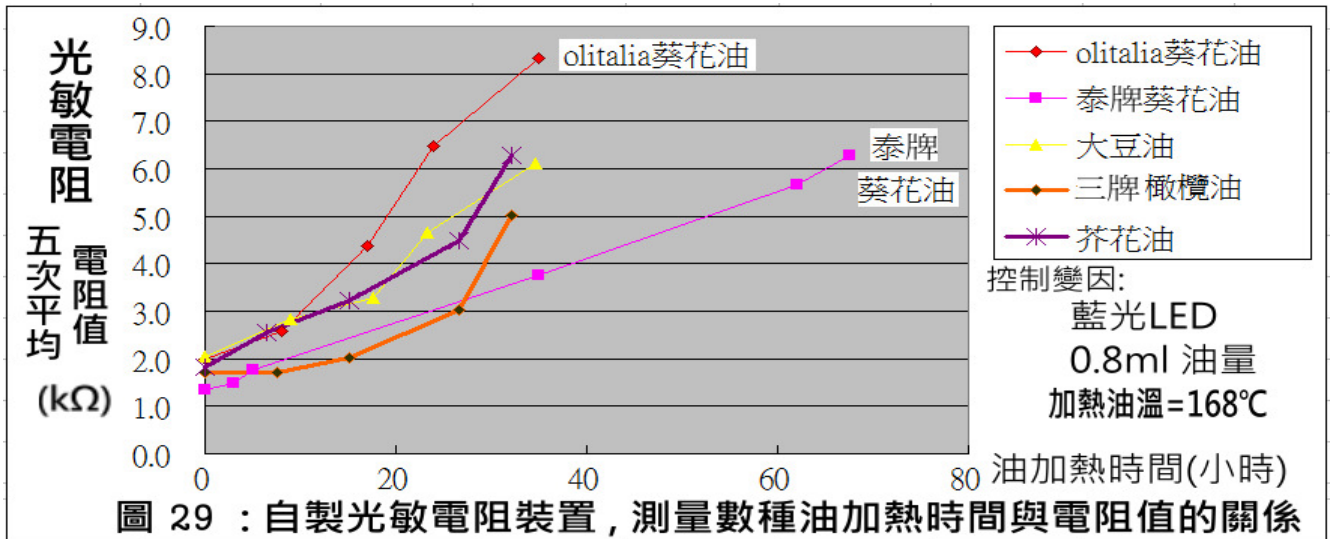


分析：油高度與光敏電阻值間，有高度線性關係( $R^2$ -相關係數平方)高達0.97以上，可繼續進行多種變因實驗，測試裝置有效性。

(研究 4-2) 以光敏電阻油品顏色偵測裝置測量，加熱 0~68 小時，不同的油種類，加熱時間與電阻值的關係。(測量樣本與分光光度計樣本相同)

表:以光敏電阻油品顏色偵測裝置測量，不同的油，加熱時間與電阻值的關係

控制變因	測油色光敏電阻裝置A	油色測量時,使用油量=0.8ml					油管內徑=4.0mm
加熱時,油重=100克	加熱溫度=168°C	光敏電阻顯示的電阻值(kΩ)					電阻值
油的種類	加熱時間(小時)	1	2	3	4	5	平均(kΩ)
olitalia 葵花油 (無維生素E)	0.0	2.040	2.010	2.000	1.990	1.980	2.004
	8.0	2.740	2.630	2.560	2.500	2.460	2.578
	17.0	4.350	4.360	4.370	4.380	4.390	4.370
	24.0	6.540	6.380	6.430	6.470	6.540	6.472
	35.0	8.360	8.350	8.340	8.330	8.320	8.340
泰牌葵花油 (有維生素E)	0.0	1.290	1.320	1.350	1.380	1.370	1.342
	3.0	1.520	1.450	1.450	1.450	1.540	1.482
	5.0	1.770	1.770	1.770	1.780	1.780	1.774
	35.0	3.780	3.760	3.750	3.770	3.780	3.768
	62.0	5.810	5.700	5.630	5.580	5.550	5.654
67.5	6.250	6.330	6.260	6.310	6.260	6.282	
大豆油	0.0	2.030	2.040	2.030	2.040	2.030	2.034
	9.0	2.870	2.840	2.810	2.790	2.780	2.818
	17.7	3.400	3.290	3.270	3.240	3.230	3.286
	23.3	4.760	4.670	4.640	4.560	4.560	4.644
	34.7	6.300	6.190	6.090	6.020	5.950	6.110
三牌 橄欖油	0.0	1.718	1.724	1.713	1.709	1.706	1.714
	7.5	1.750	1.720	1.700	1.680	1.670	1.704
	15.2	2.050	2.040	2.020	2.010	2.010	2.026
	26.7	2.840	3.120	3.210	2.980	3.060	3.042
	32.2	5.140	5.060	5.000	4.940	4.890	5.006
芥花油	0.0	1.870	1.850	1.710	1.840	1.850	1.824
	6.5	2.210	2.040	2.910	2.810	2.720	2.538
	15.2	3.160	3.150	3.060	3.180	3.580	3.226
	26.7	4.490	4.180	4.020	4.900	4.850	4.488
	32.2	6.330	6.110	6.620	6.300	6.110	6.294

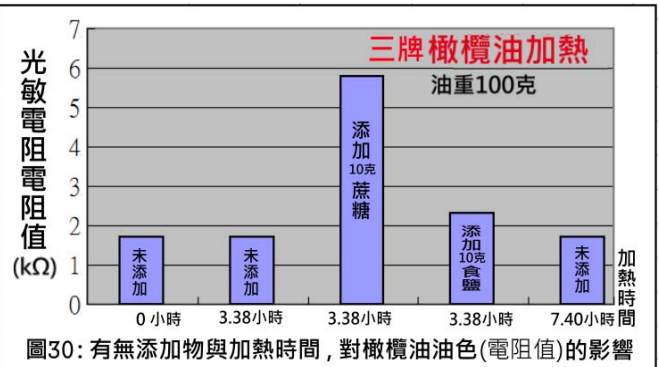




- 分析：1.油色深，吸光量多，光敏電阻值高。油色淺，吸光量少，光敏電阻值低。  
 2.同樣是葵花油，有無添加維生素 E 的光敏電阻值，有很明顯的差異。  
 3.泰牌 葵花油和橄欖油的光敏電阻值(30小時前)所有油中最低。

(研究 4-3) 以光敏電阻油品顏色偵測裝置測量：在**橄欖油(加熱油色變化最少)**中添加蔗糖與食鹽，加熱時間與電阻值的關係。(測量樣本與分光光度計樣本相同)

橄欖油重量(克)	100	100	100	100	100	
其他添加物重量(克)	無	無	10 克蔗糖	10 克食鹽	無	
加熱時間(小時)	0.00	3.38	3.38	3.38	7.40	
光敏電阻值 (kΩ)	第 1 次	1.718	1.700	5.620	2.240	1.750
	第 2 次	1.724	1.710	5.670	2.235	1.720
	第 3 次	1.713	1.710	5.850	2.250	1.700
	第 4 次	1.709	1.700	5.780	2.350	1.680
	第 5 次	1.706	1.720	5.980	2.450	1.670
電阻值平均	1.714	1.708	5.780	2.305	1.704	

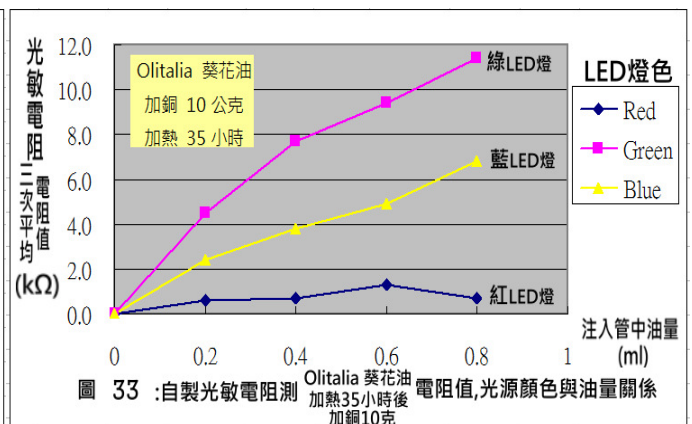
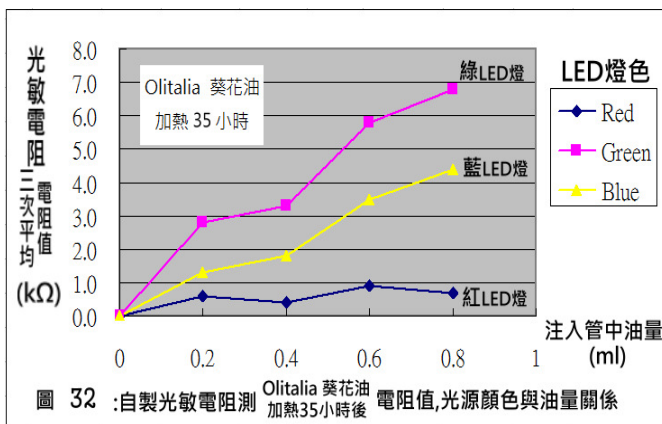
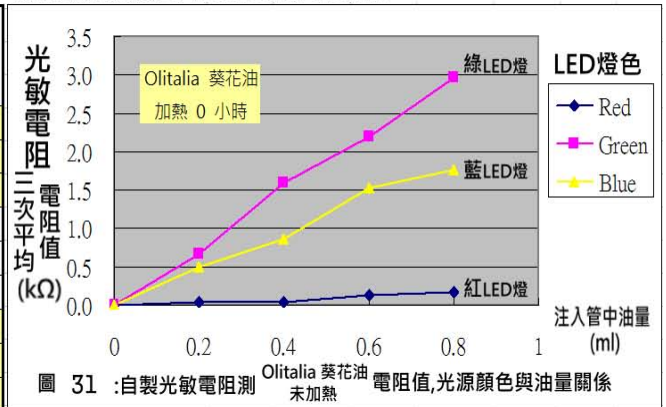


分析：加糖最容易讓油色改變。光敏電阻油品顏色偵測裝置測量，能很明顯看到這個變化。

(研究 4-4) 以光敏電阻油品顏色偵測裝置測量電阻值：(測量樣本與分光光度計樣本相同)  
 樣本：Olitalia 油(加熱油色變化最多)--無加熱、加 35 小時、添加銅加熱 35 小時三種  
 主要操縱變因:R,G,B三種LED燈 目標:找出效果最好的燈色

控制變因: Olitalia 葵花油 加熱用量=100克, 加熱溫度168°C, 同一測光敏電阻裝置A, 相同實驗方法操作

油的種類	LED 燈色	注入管中油量 (ml)	光敏電阻測電阻值 (kΩ) 三次平均				
			0.00	0.20	0.40	0.60	0.80
Olitalia 葵花油 加熱 0 小時	Red		2.27	2.30	2.30	2.40	2.43
	Green		7.73	8.40	9.33	9.93	10.70
	Blue		1.40	1.90	2.27	2.93	3.17
Olitalia 葵花油 加熱 35 小時	Red		2.30	2.90	2.70	3.20	3.00
	Green		7.70	10.50	11.00	13.50	14.50
	Blue		1.40	2.70	3.20	4.90	5.80
Olitalia 葵花油 加銅 10 公克 加熱 35 小時	Red		2.30	2.90	3.00	3.60	3.00
	Green		7.70	12.20	15.40	17.10	19.10
	Blue		1.40	3.80	5.20	6.30	8.20



重要分析:

RGB三色LED燈，對油色偵測區分能力為 G(綠) > B(藍) > R(紅) 色LED燈，紅色LED燈, 對深淺不同的油色幾乎無法偵測其差別。

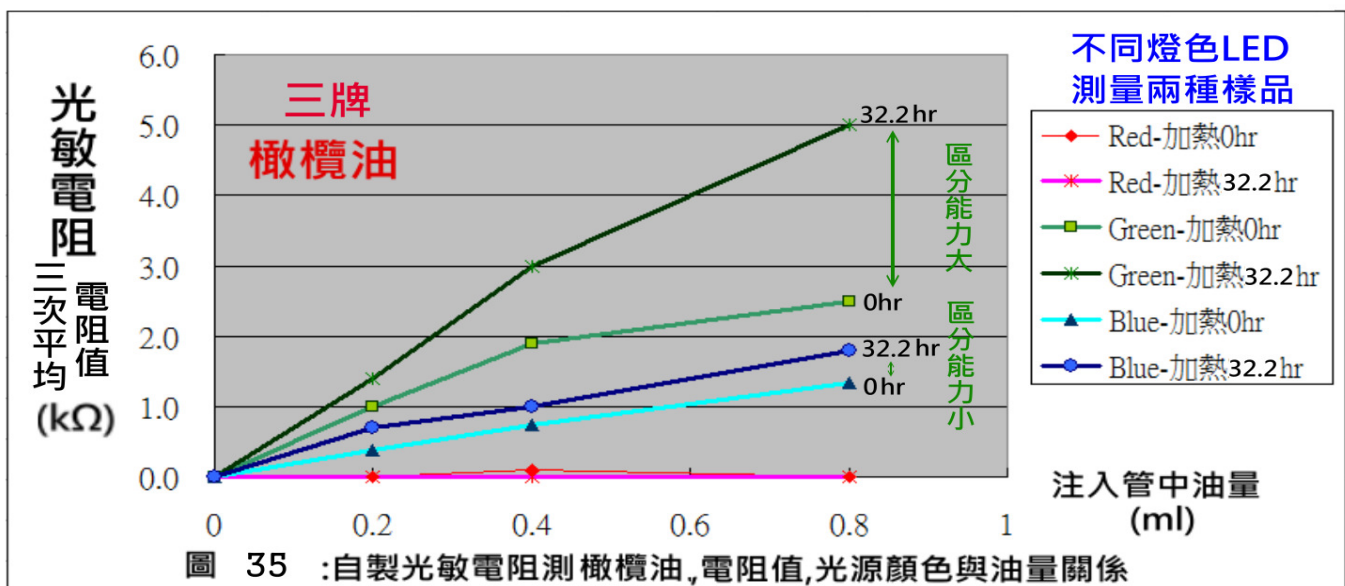
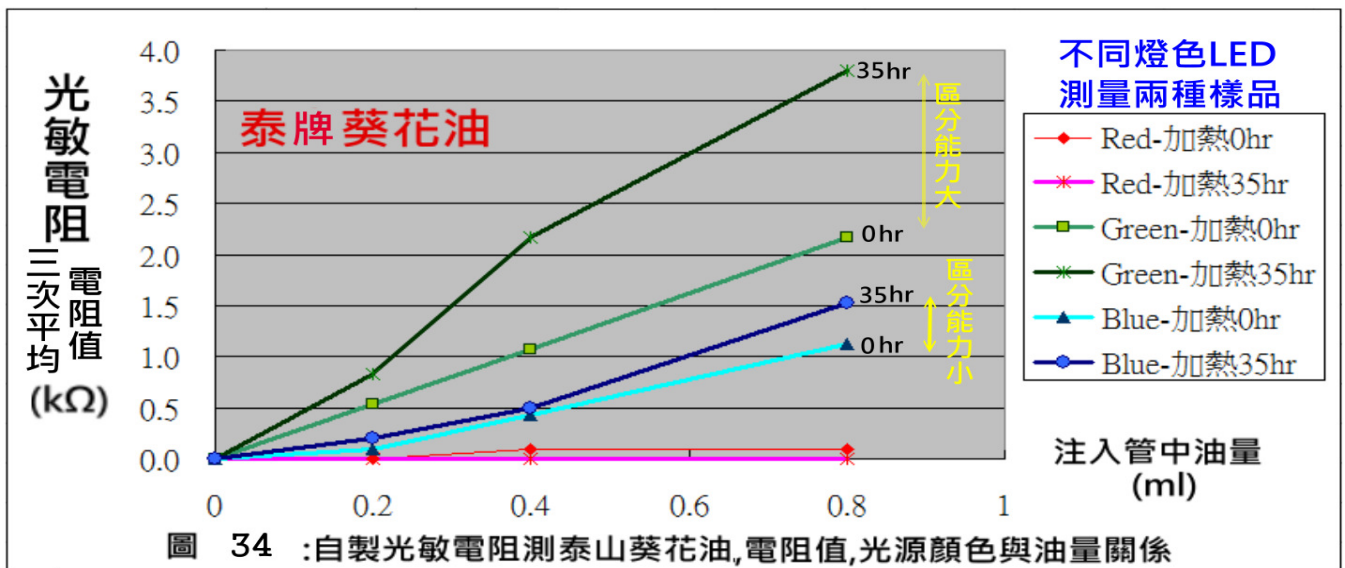
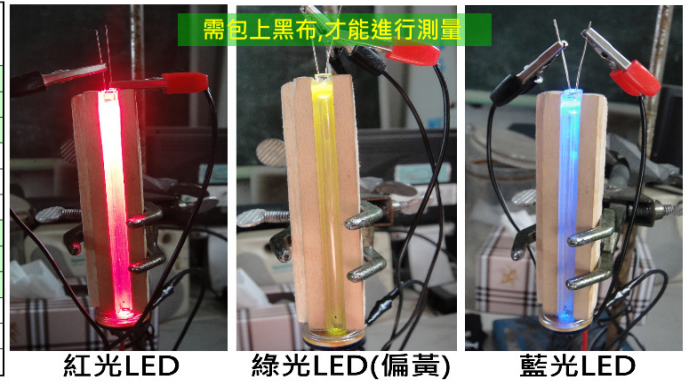
(研究 4-5) 原本假設藍色光對黃色的油，會有最大偵測區分能力，但研究 4-4 顯示，最能偵測差別的是綠色光。於是再以光敏裝置對其他油品實驗。看看結果是否相同。

以加熱油色變化最少的 **泰牌葵花油** (無加熱、加熱 35 小時) 為研究樣本  
**三牌橄欖油** (無加熱、加熱 32.2 小時)

主要操縱變因:R,G,B三種LED燈

目標:找出效果最好的燈色

油的種類 處理方式	注入管中油量 (ml) LED 顏色 光敏電阻 測電阻值 三次平均 (kΩ)	0ml	0.2ml	0.4ml	0.8ml
		泰牌葵花油 (加熱 0hr)	Red 0.30	0.30	0.30
	Green 3.70	3.70	4.23	4.77	5.87
	Blue 1.30	1.30	1.40	1.73	2.43
泰牌葵花油 (加熱 35hr)	Red 0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
	Green 3.70	3.70	4.53	5.87	7.50
	Blue 1.30	1.30	1.50	1.80	2.83
三牌 橄欖油 (加熱 0hr)	Red 0.30	0.30	0.30	0.40	0.30
	Green 3.70	3.70	4.70	5.60	6.20
	Blue 1.30	1.30	1.67	2.03	2.63
三牌 橄欖油 (加熱 32.2hr)	Red 0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
	Green 3.70	3.70	5.10	6.70	8.70
	Blue 1.30	1.30	2.00	2.30	3.10

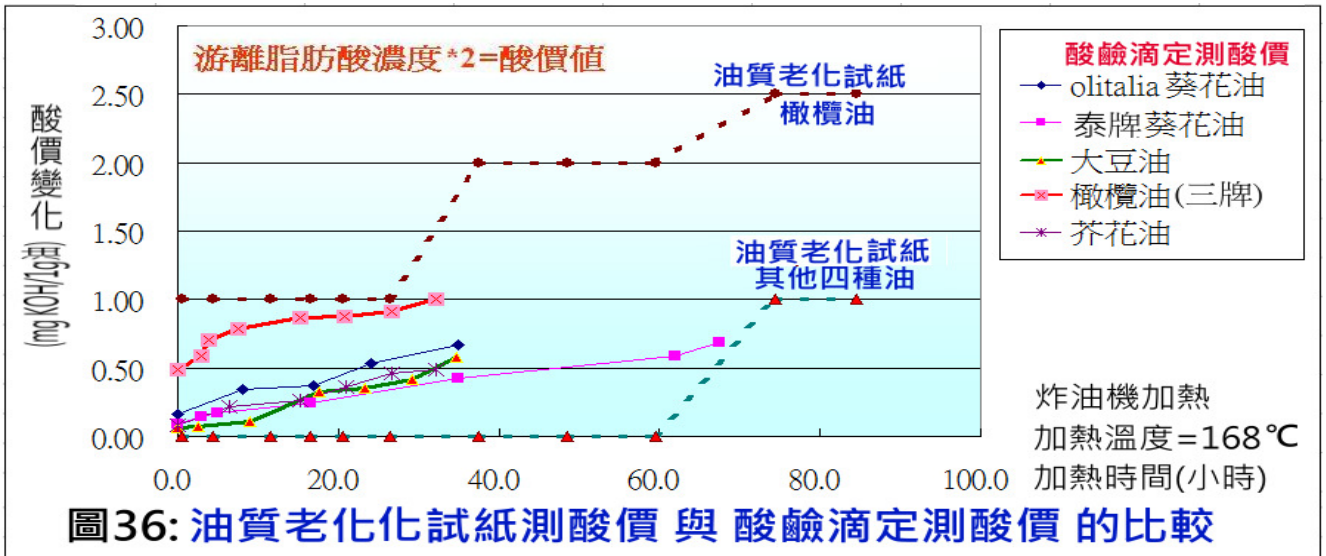


改變偵測樣本,RGB三色LED燈,對油色偵測區分能力依然維持為  
**G(綠) > B(藍) > R(紅) 色LED燈**



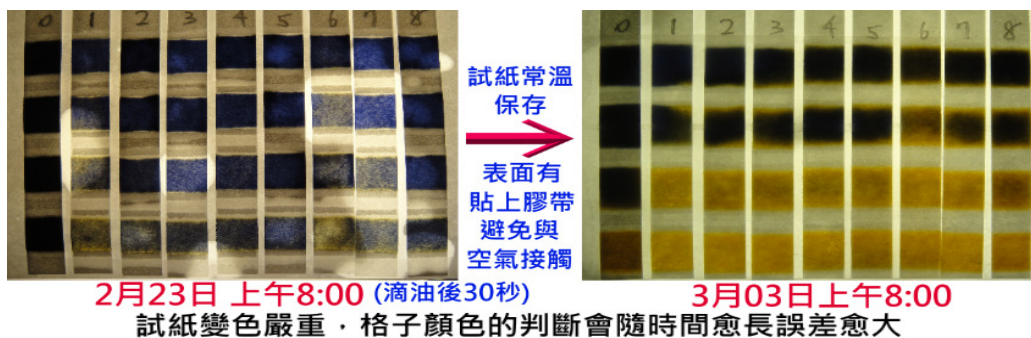
## 陸、討論：

一、比較油質老化試紙 與 酸鹼滴定測酸價方式，測量各種油品加熱後變質程度。

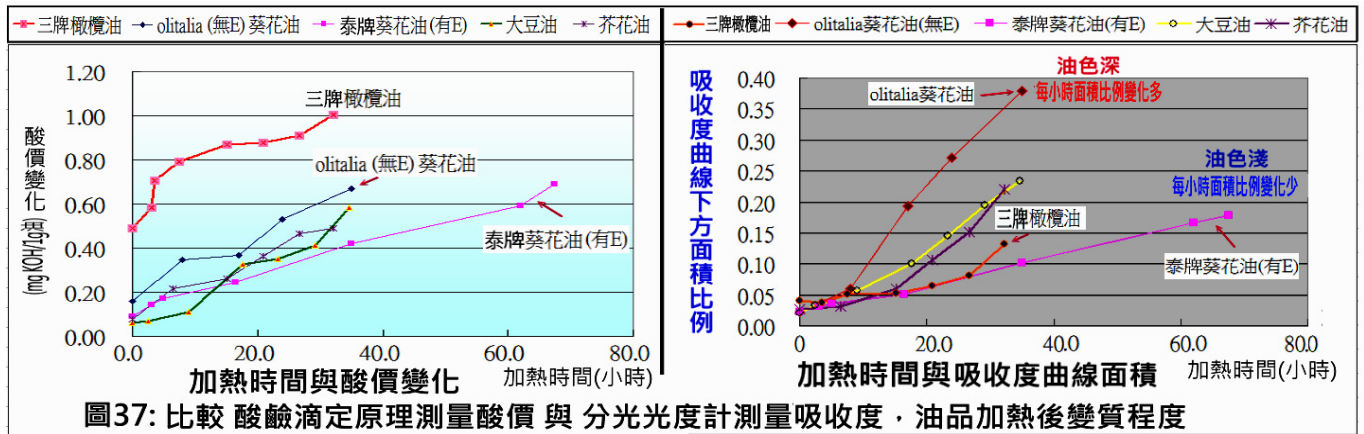


表：利用油質老化試紙 與 酸鹼滴定原理測量酸價，實驗過程與結果比較表

油質老化試紙	酸鹼滴定原理
向 3M 公司購買，每盒 200 張試紙	網路查閱酸鹼滴定標準步驟，購買藥品實驗
只要放到 160~190°C 的油中，看變色即可 測量時，油品為 <b>高溫狀態</b>	需以酸鹼中和原理，換算酸價值 測量時，油品為 <b>常溫狀態(15~25°C)</b>
試紙需冷藏在 4 到 -4°C 的冰箱中 未冷藏時間須 < 36 小時，但 <b>操作簡單快速</b>	酸鹼中和較不受溫度影響，室溫下操作即可 但 <b>操作複雜</b> ，無法及時得知酸價大小
<b>橄欖油在加熱 26.5~37.5 小時間 超過酸價 1(游離脂肪酸濃度=0.5%)的門檻</b>	<b>橄欖油在加熱 26.7~32.2 小時間 超過酸價 1(mgKOH/1g 油)</b>
除橄欖油外，60 小時內，其他所有油品 均無法利用試紙看出酸價變化	除橄欖油外，60 小時內，其他所有油品 酸價都在 1(mgKOH/1g 油)以下，緩慢上升
每個油色變色格子的酸價濃度範圍太寬 對於 <b>酸價的解析度太差</b> ， 未達到每個格子的酸價門檻， 看不到酸價隨加熱時間上升的現象	可以明顯看到：因加熱，油產生變質， 酸價隨時間增加，有明顯的上升， <b>較能精確掌握酸價變化</b> 對於測量酸價的解析度高出試紙很多
試紙使用後，需在 30 秒後讀出數值 時間長，試紙變色愈多，並不是原來的酸價	油脂在常溫下較安定，常溫下進行酸鹼滴定 得到的酸價值，再現性高
<b>酸鹼滴定實驗結果，與試紙實驗相符合，證明操作滴定實驗，方法過程、合理正確</b>	
油中加入糖	糖在高溫下，轉變成碳，放出水，水分子促使酯類水解，放出脂肪酸與甘油 糖在高溫下，進行氧化反應或分解出酸性有機物 使酸價升高



## 二、比較 酸鹼滴定原理測量酸價 與 分光光度計測量吸收度，油品加熱後變質程度

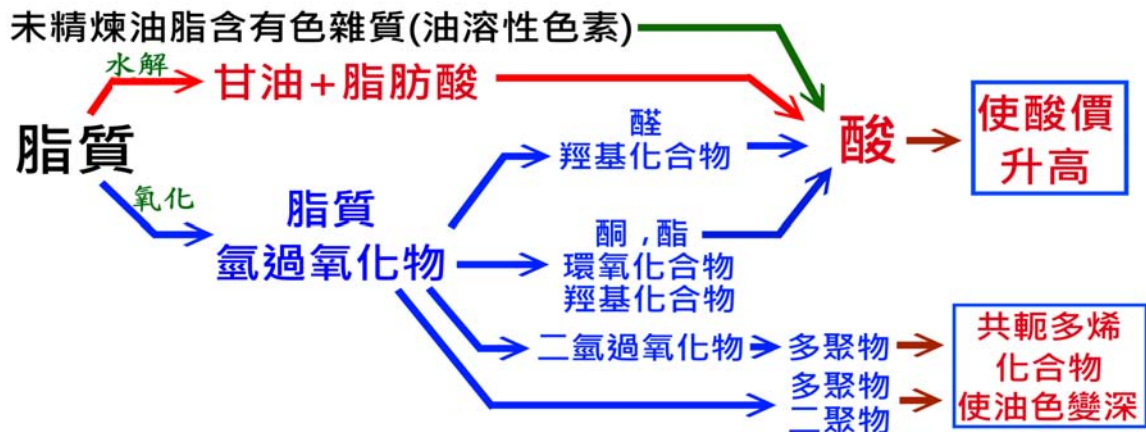


(一) 高酸價植物油，油色變色速率一定快嗎？**橄欖油酸價高，油色變化少。**

	三牌橄欖油	泰牌葵花油	olitalia 葵花油
35 小時內酸價變化	<b>0.49~1.01 (酸價高)</b>	<b>0.09~0.42</b>	<b>0.16~0.67</b>
35 小時內 每小時增加的 吸收度曲線面積比例	<b>0.0024 (油色加深速率慢)</b>	<b>0.0023 (油色加深速率慢)</b>	<b>0.0108 (油色加深速率快)</b>
維生素 E	無	<b>68mg/100ml 油</b>	無
組成脂肪酸比例大小	單元不飽和 > 飽和 > 多元不飽和	多元不飽和 > 單元不飽和 > 飽和	

加熱前 7 小時，橄欖油酸價增加速率快，同時油色有由深變淺的現象，懷疑橄欖油有部分雜質(例如：油溶性色素)存在，有色物質被高溫(168°C)分解成無色，使顏色變淺，同時放出酸性物質，使酸價急速上升。

(二) 我們將長期加熱的變質油拍照，並整理了文獻上有關油品變質的反應<sup>13,23,24</sup>，如下：



### 疑似植物油長期加熱後產生的聚合物





(三)將酸鹼滴定測酸價 與 分光光度計測吸收度結果，比較如下表。

表：酸價 與 吸收度法測油質比較表

酸鹼滴定原理測量酸價	分光光度計測量吸收度
理論依據：加熱會水解酸敗，產生游離脂肪酸 脂肪酸濃度隨加熱時間愈長而升高 利用氫氧化鉀滴定，酸鹼中和原理 代入公式，算出酸價	理論依據：加熱會氧化酸敗，使油變色 油的顏色隨加熱時間愈長而變深 (共軛多烯化合物) 利用分光光度計，測量吸收度曲線變化 使用秤重面積法，算出吸收度曲線下方面積比例
<b>橄欖油加熱酸敗，水解產生酸價高</b> 橄欖油的起始酸價 > 0.4 油中原本就有較多的酸性物質 加熱前 7 小時，酸價增加速率快	<b>橄欖油油色變化最少</b> 橄欖油單元不飽和脂肪酸 74.62%，五種油中最高 多元不飽和脂肪酸 10.02%，五種油中最低 脂肪裡的雙鍵少，形成過氧化物機會少 油色不易改變，油質安定
<b>有添加維生素 E 的泰山葵花油</b> <b>酸價上升最慢</b> 維生素 E 有抗氧化的作用，使油質不易酸敗	<b>有添加維生素 E 的泰山葵花油</b> <b>吸收度曲線上升比例最慢</b> 維生素 E 代替油質與氧作用，使其較難氧化變色
<b>無添加維生素 E 的 Olitalia 葵花油</b> <b>酸價上升第二快速(僅次於橄欖油)</b> 油質不安定，易生成脂肪酸 可能因為多元不飽和脂肪酸，五種油中最高 廠商才加入維生素 E 來抗氧化	<b>無添加維生素 E 的 Olitalia 葵花油</b> <b>吸收度曲線上升比例最快，油色最深</b> 葵花油飽和脂肪酸 10.90%，五種油中第二低 多元不飽和脂肪酸 64.66%，五種油中最高 脂肪裡的雙鍵多，形成過氧化物機會大 油色易改變，油質最不安定
水解生成游離脂肪酸(有機酸)，易溶於水， 容易被人體藉由尿液代謝， 毒性不如氧化酸敗產生的過氧化物強	氧化酸敗產生過氧化物極不穩定， 會快速破壞維生素。 經過氧化酸敗反應的油脂，對人體有害程度更大

(四)脂肪對氧化作用的敏感度隨其構造中多元不飽和脂肪酸含量的增加而增加<sup>30</sup>。比較四種植物油，每小時增加的吸收度曲線面積比例與多元不飽和脂肪酸含量，得下表：

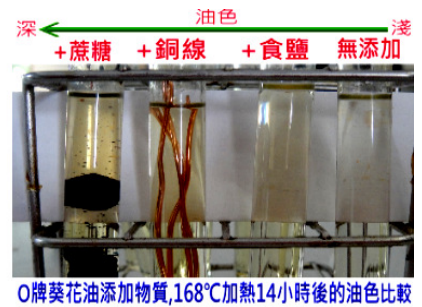
	橄欖油	芥花油	大豆油	葵花油
飽和脂肪酸含量	15.37%	8.04%	16.35%	10.90%
單元不飽和脂肪酸含量	74.62%	58.99%	22.33%	24.43%
多元不飽和脂肪酸含量	<b>10.02%</b>	<b>32.97%</b>	<b>61.33%</b>	<b>64.66%</b>
每小時增加的 吸收度曲線面積比例	<b>0.0024</b>	<b>0.0059</b>	<b>0.0061</b>	<b>0.0108</b>

四種油，以秤重面積法得到的油色增加速率，與多元不飽和脂肪酸含量大小關係順序相同。

(五)查閱文獻<sup>12</sup>發現：橄欖油有熱壓與冷壓兩種，分類如下。未加熱的油，在 400nm 以上的吸收峰，都代表著容易被加熱破壞的油溶性色素，所呈現的吸光特性。

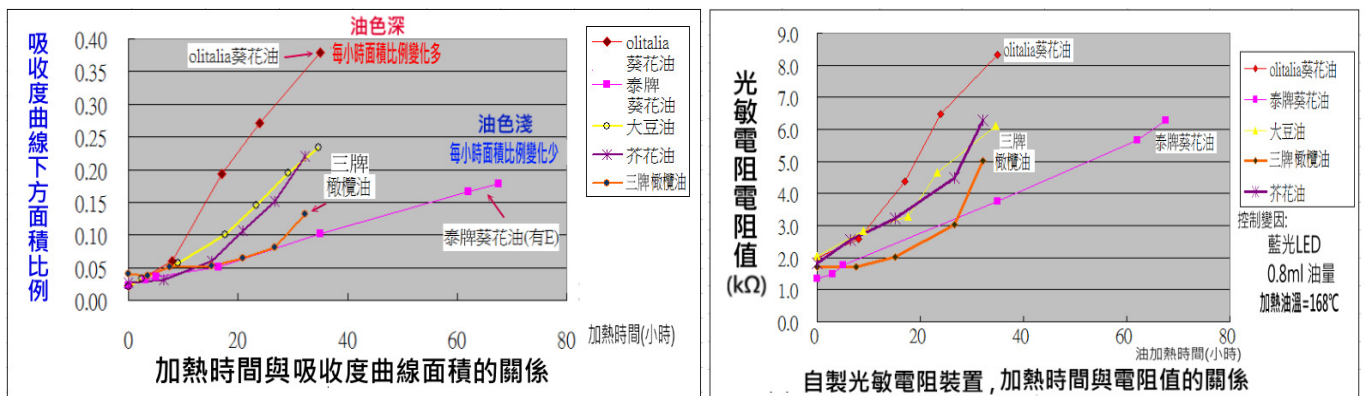
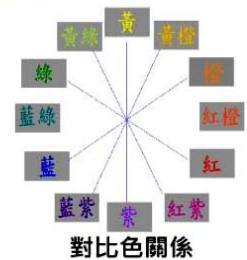
	熱壓橄欖油	冷壓橄欖油
方法	對原料種籽進行蒸氣預熱，提高萃油率 <b>溫度達 45°C~85°C</b> 不摻加任何化學溶劑， 經過純物理冷榨後過濾提取的油	橄欖鮮果採摘後 24 小時內 <b>在溫度不超過 27°C (常溫) 的條件下</b> 不摻加任何化學溶劑， 經過純物理冷榨後過濾提取的油
色素	<b>油溶性色素被破壞，顏色偏黃</b>	<b>油溶性色素沒有被破壞，顏色偏綠</b>
油種	三牌橄欖油；C 牌橄欖油	喜牌橄欖油，得牌橄欖油

(六) 綁油瓶的銅線浸在油中，可以讓油色加速變深。有文獻顯示：各種微量金屬中以銅對促進油脂氧化最為顯著<sup>13</sup>，這是一個意外的發現，油炸鍋材質中應避免含有這種金屬。蔗糖在高溫的油中，很快就變成黑炭，使酸價與油色產生快速變化。反觀食鹽只是略為加速油品變質而已。

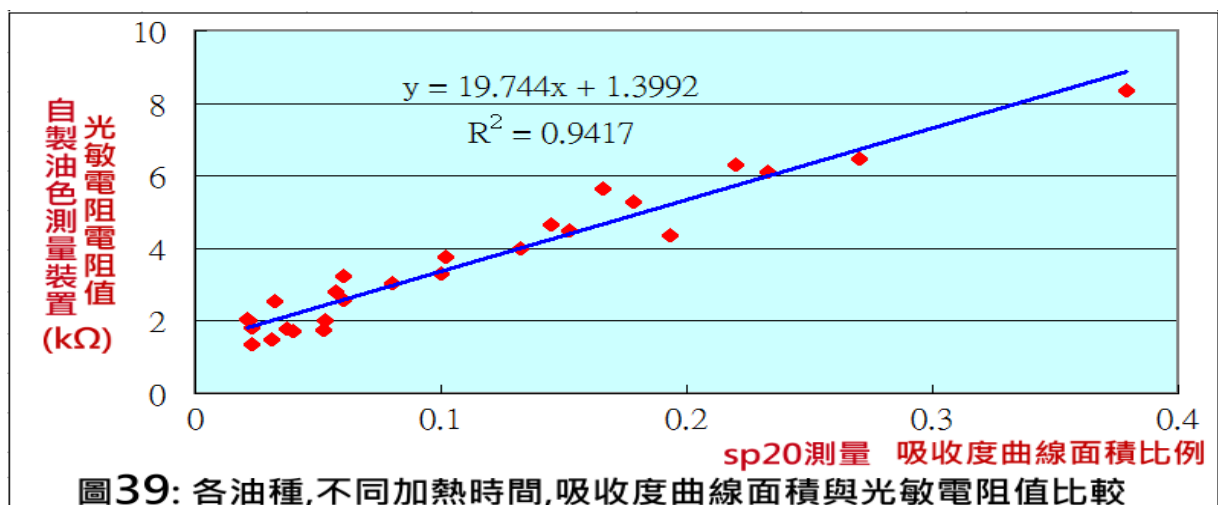


### 三、比較利用分光光度計測量吸收度 與 光敏電阻測油質裝置，油品加熱後變質程度的結果。

(一) 課本提到：物體顏色是它不吸收(反射, 穿透)出來的顏色，也就是呈現的顏色，會與吸收的顏色成為對比色的關係，如右圖。油色大多偏黃，黃色對比色是紫色，接近藍色。以藍光作為光敏電阻測油質裝置光源，應該能有最好的偵測效果。對各種加熱後油樣品進行實驗，測量光敏電阻值，可發現電阻值的上升趨勢與光度計實驗極為類似(如下圖)。



綜合以上兩圖數據：以所有有測量油色油樣本數據，吸收度曲線面積比例為 X 軸，自製測油色裝置，光敏電阻數值為 Y 軸，將上述兩圖合而為一，比較：



兩者有高度線性關係，相關係數平方達到 0.9417



(二) 光敏電阻測油質裝置設計原理，主要在於光源，油樣品與光敏電阻三者，對各種光的發射，穿透與吸收的連帶關係。以 Olitalia 葵花油加熱 0~35 小時，所得到的吸收度圖為例，將 RGB 三種 LED 光對波長的強度分布圖疊合上去，發現：紅光與吸收度曲線，疊合的部分很少。這就是紅色 LED 燈，對於深淺不同的油色，幾乎無法偵測其差別的原因。

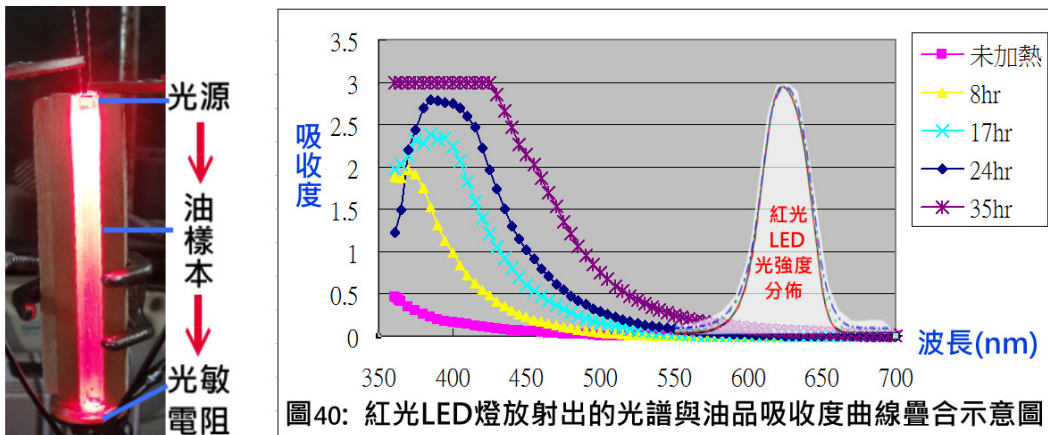


圖40: 紅光LED燈放射出的光譜與油品吸收度曲線疊合示意圖

(三) 以燈色為操縱變因，測量油色光敏電阻電阻值的實驗結果顯示：RGB 三色 LED 燈，對油色有最大電阻值的，竟然是綠色光。能區分油色深淺，偵測能力大小順序是 綠 > 藍 > 紅。進一步的查閱光敏電阻的特性<sup>16,17</sup>後發現：光敏電阻，在綠光範圍 (550nm) 有最大的敏感度(如下圖)，雖然油品只有一點點吸收，但呈現出來的電阻值差異最大。我們自製的光敏電阻裝置，如果改用綠光 LED 燈，應該會有更好的效果。

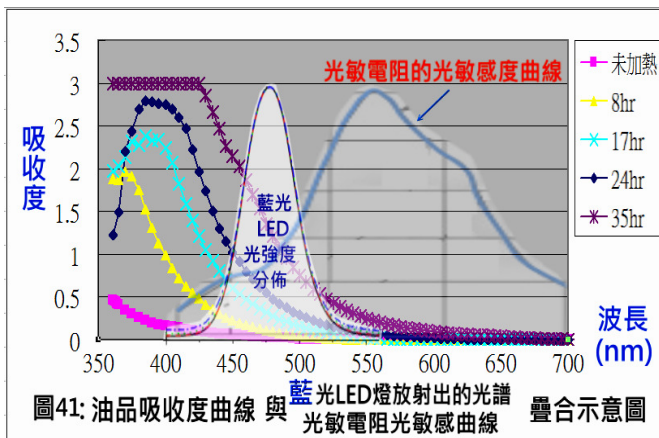


圖41: 油品吸收度曲線與藍光LED燈放射出的光譜光敏電阻光敏感度曲線疊合示意圖

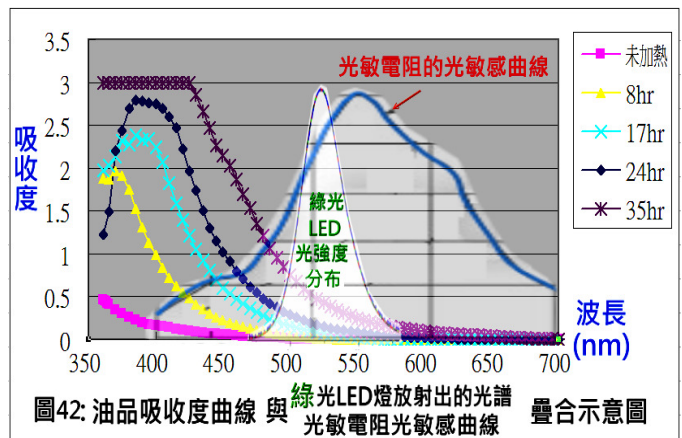


圖42: 油品吸收度曲線與綠光LED燈放射出的光譜光敏電阻光敏感度曲線疊合示意圖

(四) 與光度計數值相對照後，我們的設計，十分成功的偵測出油質在加熱後所產生的油色變化，PVC 塑膠管，LED 燈，光敏電阻，電源，三用電錶，在五百元的預算內，就可以組出，能解決生活上疑難的小工具，也比油質測試紙更能測出油的變質程度，但裝置還是太簡陋，需要再進一步的改良與設計。

五、行政院衛生署，以酸價<sup>14</sup>做為初步管理炸油的指標。當酸價超過 2.0，再送實驗室檢測總極性化合物含量。含量達 25% 以上者，依違反食品衛生管理法第 20 條規定處辦。但若油中不小心滴入醋，這樣子的酸價升高，可以代表油品變質嗎？我們的實驗中，油品變色已經可以用肉眼看出來，但酸價變化還是小於 2。以油色作為初步管理炸油的指標，應該比酸價好。但是油品變質後，會轉變成數百種化合物的混合物。這些物質中，一定有些會對人體造成傷害，真正的把這些有毒物找出來，訂定國家標準，才是最好的方法。

## 柒、結論：

- 一、油質老化試紙，每個油色變色格子的酸價濃度範圍太寬，對於**酸價的解析度太差**。只能用在粗略測量，或油質變質程度已經很高的情形下，才有其效用。
- 二、酸鹼滴定測量酸價，是測量油中酸含量的準確方法。但油中的酸，不一定是變質來的，如果油質較不純，油脂的精煉程度低，酸價會比較高，是可以當成油品質好壞的參考。但正如橄欖油，實驗數據顯示：酸價最高，但油色的變深速率卻是最低。因為內含的單元不飽和脂肪酸，是五種油中最高，最不容易氧化的。所以**高酸價不代表油容易被氧化變質**。
- 三、加入食鹽、蔗糖、銅線，都會使油的變質加快。特別是糖，不耐高溫的醣類，在油中最後變成碳與焦油，也使得油的酸價與變色程度，都有急遽升高的現象。銅也有加速油品氧化的效果，所以建議不可使用銅鍋來油炸食物。
- 四、成分接近的葵花油，有添加維生素 E 的，油的酸價變化與油色的變深速率下降很多。顯示維生素 E 的抗氧化能力，可以使油質更安定。
- 五、**油色變化，直接代表物質化學結構產生改變，應該是測量油變質的主要依據**。以 **SP 20 分光光度計測量油品的吸收度曲線**，判斷顏色與物質吸收色光種類，強弱之間的關係，是**最靈敏的判斷油質變色**的方法。我們設計了**秤重面積法**，可以把吸收度的上升、吸收峰的移動量化，找出油質變色程度的數量關係。
- 六、分光光度計屬於較昂貴的儀器，在已有精準吸收度數值的參考下，我們設計了**光敏電阻測油質裝置**，實際測試後，與吸收度數值，有相當吻合的結果。可以有效的用在油色改變的測量上。再加上實驗結果顯示，油品加熱，油色改變比酸價改變明顯。這個設計就可以取代酸價，作為初步管理炸油的裝置與指標。這只是一個概念的開始，希望能在未來，把這個概念實體化，對油品變質的測量更有幫助。

## 捌、參考資料：

- 1.郭重吉(2009)。國中自然與生活科技課本第一冊。台南市：南一書局。
- 2.陳炳亨等(2009)。國中自然與生活科技課本第三冊。台南市：翰林書局。
- 3.李良聘等(2009)。國中自然與生活科技課本第四冊。台北縣：康軒文教事業。
- 4.戴東發、郭素蓮、鄭智文(2007)。以氧彈法(Oxygen Bomb method)測定植物油脂之抗氧化性。中央畜產會網站，2010年6月11日，取自：[www.naif.org.tw/livestock/20070771.doc](http://www.naif.org.tw/livestock/20070771.doc)
- 5.林宥均(2009)。油脂的酸敗。皂坊有禮-手工皂部落格，2009年6月11日，取自：<http://tw.myblog.yahoo.com/sophia-plaza/article?mid=796&prev=797&next=795&l=f&fid=12>
- 6.翟毓秀，尚德榮(1996)。直接滴定法測定魚油中酸價的研究。中國水產科硏院《海洋科學》1997年第5期。2010年6月11日，取自：<http://www.cqvip.com/qk/90010X/199705/2623865.html>
- 7.郝小波(2008)。植物油酸價測定新方法的研究。黑龍江科技信息 2008(1)。2010年6月11日，取自：[http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hljkjxx200801019.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hljkjxx200801019.aspx)
- 8.田禾、陳孔常(2001)。從綠葉到激光光盤—顏色與化學。台北市：牛頓出版社，22-79。
- 9.楊慶成(1996)。儀器分析。台北市：眾光文化事業公司，160-236。
- 10.楊寶旺、楊美惠等五人(1993)。化學大辭典。台北市：高立出版社，1437-1439。
- 11.王以誠(譯)(1991)。大學儀器分析學。台北市：徐氏基金會，129-148。



- 12.如何分辨橄欖油的等級和風味(2008)。統一生機開發公司網站。2010年6月11日，取自：  
[http://sh2.obuy.tw/organicshop/news.asp?news\\_id=10707&pagenow=1&type=](http://sh2.obuy.tw/organicshop/news.asp?news_id=10707&pagenow=1&type=)
- 13.朱燕華(2009)。油炸製程及油炸油品質簡介。食品工業發展研究所。2010年6月12日，取自  
<http://food.doh.gov.tw/foodnew/library/KnowledgeDetail.aspx?idCategory=126&KnowledgeID=154>
- 14.衛署食管局研議採用總極性化合物快速檢測儀器，作為油炸油品質管理及稽查(2010年1月12日)。行政院衛生署食品藥物管理局新聞。2010年6月12日，取自：[http://www.fda.gov.tw/news.aspx?newssn=4216&key\\_year=2010&keyword=%e9%85%b8%e5%83%b9&classifysn=4](http://www.fda.gov.tw/news.aspx?newssn=4216&key_year=2010&keyword=%e9%85%b8%e5%83%b9&classifysn=4)
- 15.朱玉、周婷玉(2004)。衛生部通報：近一成植物油不合格(大陸酸價標準)。新華網。2010年6月12日，取自：[http://www.agri.gov.cn/ztl/spaq/dttx/t20041228\\_291183.htm](http://www.agri.gov.cn/ztl/spaq/dttx/t20041228_291183.htm)
- 16.光敏電阻(2006)。Hudong 互動百科。2010年6月12日，取自：  
<http://www.hudong.com/wiki/%E5%85%89%E6%95%8F%E7%94%B5%E9%98%B>
- 17.光敏電阻光譜響應。CDS 光敏-PGM 系列測試條件。德鍵電子。2010年6月12日，取自：  
<http://www.token.com.tw/big5/resistors/resistors-cds.htm> (長明街商家建議網站)
- 18.林昭汝、陳震宇、莊宏一、陳思穎(2003)。The colors。高雄市第42屆中小學科學展覽作品集。高雄市政府教育局，4，9，17-19。
- 19.盧翰生、趙家緯，(2008)。色彩之道。高雄市第47屆科學展覽作品集。高雄市政府教育局，3-8。
- 20.許瑋玲、涂育綺、張璣心、黃靖容(2008)。淨化空氣的黃金戰士。高雄市第49屆中小學科學展覽作品集。高雄市政府教育局，7，27。
- 21.侯宇澤、陳維禎、魏士閔、許朝祥(2008)。微粒雜降免。高雄市第49屆科學展覽作品集。高雄市政府教育局，5-11。
- 22.楊遵憲、蕭宇軒、陳彥錚、楊天琪(2008)。護眼大作戰。高雄市第49屆科學展覽作品集。高雄市政府教育局，5-10。
- 23.劉萬鵬、李毓璞(1984)。利用紫外吸收光譜評價煎炸油的質量。中國油脂 1984，S1 期，2010年6月12日，取自：<http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-ZYZZ1984S1052.htm>
- 24.韓玉蓮(1994)。油質氧化常用檢測方法及其評價。中國食品衛生雜誌，1994，6(1)：57-60。
- 25.魏子喬(2007)。調制三原色及白光 LED 混成標準光源 D65 之色溫研究。輔仁大學物理系光電組專題研究報告，2010年6月12日，取自：<http://www.scribd.com/doc/5356557/LEDD65>
- 26.袁于婷、李佳蓁、賴昱融、何思賢(1999)。向氧說不！談油脂的自氧化及抗氧化劑。台灣網路科教館，2010年6月12日，取自：<http://science.ntsec.edu.tw/files/13-1004-14753.php?Lang=zh-tw>
- 27.葉家禎、劉懿賢、高新凱(2004)。炸不炸，有關係；酸不酸，大問題。台灣網路科教館，2010年6月12日，取自：<http://science.ntsec.edu.tw/files/13-1004-8726.php?Lang=zh-tw>
- 28.彭夢婷、沈玉婷(2002)。Vitamin E 對回鍋油品質的影響。台灣網路科教館，2010年6月12日，取自：<http://science.ntsec.edu.tw/files/13-1004-10000.php?Lang=zh-tw>
- 29.John Suchoki(著)、李千毅(譯)(2006)。觀念化學IV。台北市：天下遠見，29。
- 30.羅德富譯(2001)。影響脂肪品質的因子。飼料營養雜誌 90 年第十期。2010年6月12日，取自：<http://www.miobuffer.com.tw/fnm/199010/05.htm>

## 玖、未來展望與感謝：

我們在以上的實驗中，了解 R.G.B.三種色光對油的吸收度，和光敏電阻對綠光的特性。也已經證明了自製裝置的可信度與準確度。雖然自製裝置在操作上還有些不足的地方，但如果此裝置可被發明家、工程師等專業人員重新改良並推廣。那麼相信此裝置一定會更便利、準確，也更普遍。希望我們的自製裝置可以幫助大家能夠更準確的了解自己所食用的油品質，也能為自己的健康把關！感謝這一路過來指導我們，從查資料，設計實驗，操作實驗，數據輸入整理，報告電腦文書美工編排的所有老師。

## **【評語】 030209**

- 1.題材具有實用性。
- 2.所作樣品及結果數據種眾多。
- 3.並未得到油酸價與油色的關係。
- 4.不要去找全部油樣品之油酸價與油色的關係，試著將油樣品分類或許可以找到關係。
- 5.團隊合作佳。