

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 化學科

050214

「油」「氧」運 Don't—食用油氧化狀態監測

學校名稱：國立臺南女子高級中學

作者： 高二 林益微 高二 黃詠歆	指導老師： 陳俊佑
-------------------------	--------------

關鍵詞：高溫及油炸脂質結構變化、

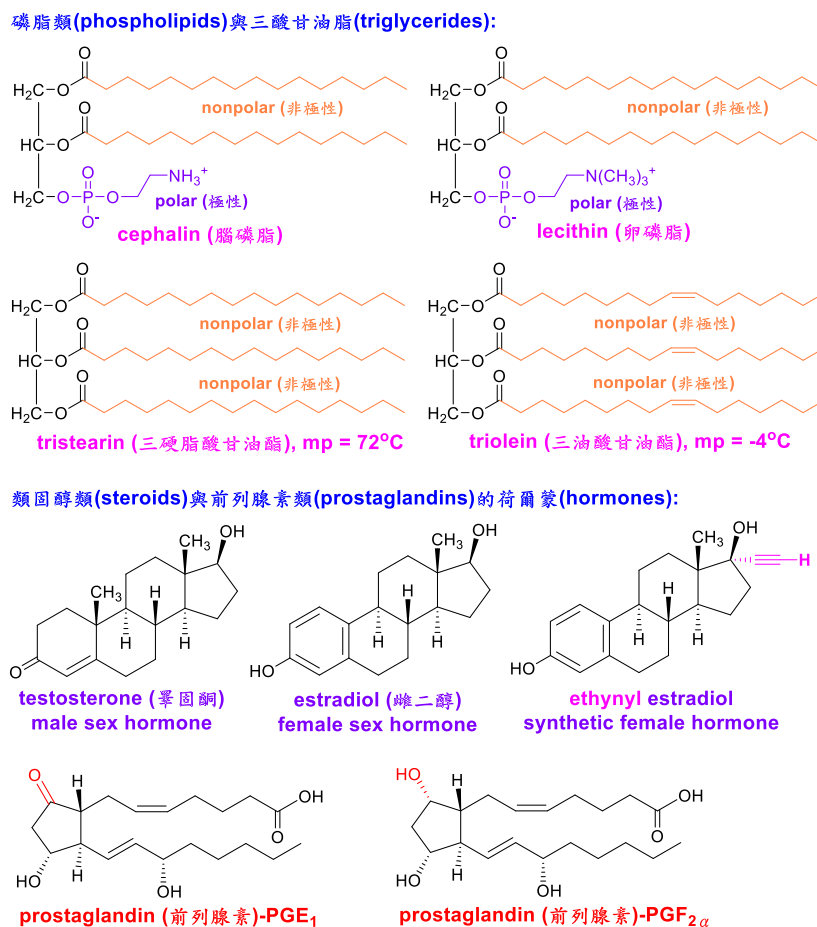
食用油品的氧化、核磁共振光譜

摘要

食用與烹調的動物性及植物性油脂的主要成分為三酸甘油酯，其中不飽和脂肪酸碳鏈上的雙鍵 π 鍵在加熱過程中，很容易與空氣中自由基態的氧氣分子進行反應，造成雙鍵旁邊碳上的種類 G 和種類 E 的氫原子脫落，在脂肪酸碳鏈上生成自由基，進一步氧化之後，造成油品的破壞。為了瞭解油脂在烹調過程中的氧化程度，我們設計了加熱食用油的實驗，並利用核磁共振儀來檢測油品的氫譜光譜。我們發現，只是在 300 °C 的溫度下加熱 3 分鐘的高溫快炒或是 200 °C 油炸 3 個小時，食用油已產生很嚴重的氧化現象，長期食用這種過度氧化的油炸食物與高溫快炒的食物會危害身體健康，因此透過本研究透過科學實驗及證據提出烹調過程中油品應控溫，以減少對於食物的破壞。

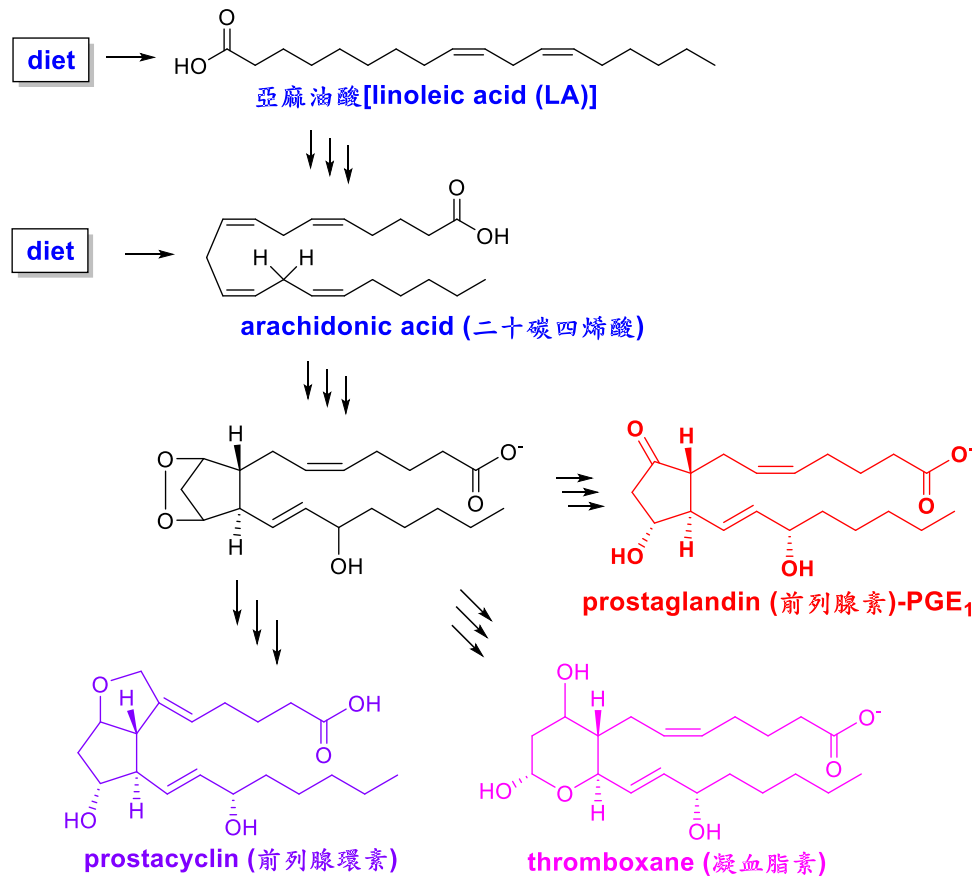
壹、研究動機

一、人體中含有多種脂質，例如：細胞膜中的磷脂類(phospholipids)、血液中的脂蛋白(lipoproteins)、組織器官周圍與脂肪組織中的三酸甘油酯(triglycerides)、類固醇類(steroids)與前列腺素類(prostaglandins)的荷爾蒙(hormones)等，如(圖一)所示：



圖(一)、脂質的結構

有些脂質(lipids)可以從食物中獲得，其它的可以藉由攝取食物中的必需脂肪酸，包含亞麻油酸與 α -次亞麻油酸等，再於體內自行合成所需要的脂質，如圖(二)：



圖(二)、前列腺素類荷爾蒙的合成路徑

由此可知，攝取“適量”的脂質是必須的。

- 二、高溫讓油脂分解成游離脂肪酸，同時產生許多過氧化物，這些不穩定的過氧化物會讓分解更加活躍，產生許多酮、醛及酯類等揮發物。其中，提供誘人香氣的成份即是醛類，也因此油炸食物普遍受大眾喜愛。中式的料理常使用高溫快炒烹調食物，西式料理的油炸物更是令人愛不釋手。而食用與烹調的動物性及植物性油脂的主要成分為三酸甘油酯。各方資訊及文獻皆證實油炸食物不利於身體健康，長時間加熱也會造成油品的酸敗，這主要是因為油炸過程中的氧化作用。其作用機制是與油脂的雙鍵反應產生氫過氧化物、羧酸類、自由基，氧化結果提高酸價、使油炸油變質，產生總極性化合物 (total polar compounds) 及氣味物質等(高中選修化學第 7 章有機化合物)。氧化反應過程中的產物都會加速油炸油變質。這讓我們好奇油炸與高溫快炒下的烹調方式是否真的會造成油脂的氧化，進而導致油品變質；並且提出具體數據證實油脂在烹調過程氧化的實際程度。所以我們設計了食用油的加熱實驗，進而紀錄並探討在烹調過程中，食用油在不同加熱時間與不同加熱溫度下，脂肪酸被氧化的情形。

貳、研究目的

- 一、探討橄欖油中的脂肪酸在 200°C 下加熱不同時間(1 小時、5 小時、12 小時、15 小時、20 小時、25 小時、30 小時)與在 300°C、350°C 下快炒 3 分鐘被氧化的程度。
- 二、探討芥花油中的脂肪酸在 200°C 下加熱不同時間(1 小時、5 小時、12 小時、15 小時、20 小時、25 小時、30 小時)與在 300°C、350°C 下快炒 3 分鐘被氧化的程度。
- 三、探討炸雞店所使用之炸油中的脂肪酸在 200°C 下加熱不同時間(1 小時、5 小時、12 小時、15 小時、20 小時、25 小時、30 小時)與在 300°C、350°C 下快炒 3 分鐘被氧化的程度。
- 四、利用核磁共振光譜儀來鑑定油品中的脂肪酸結構，並分析圖譜及數據，瞭解食用油在加熱之後的破壞程度。

參、研究設備與器材

一、研究設備：

- (一) 電磁加熱攪拌器
- (二) 家用廚房瓦斯爐與抽油煙機
- (三) 紅外線雷射溫度計
- (四) 300MHz 核磁共振光譜儀

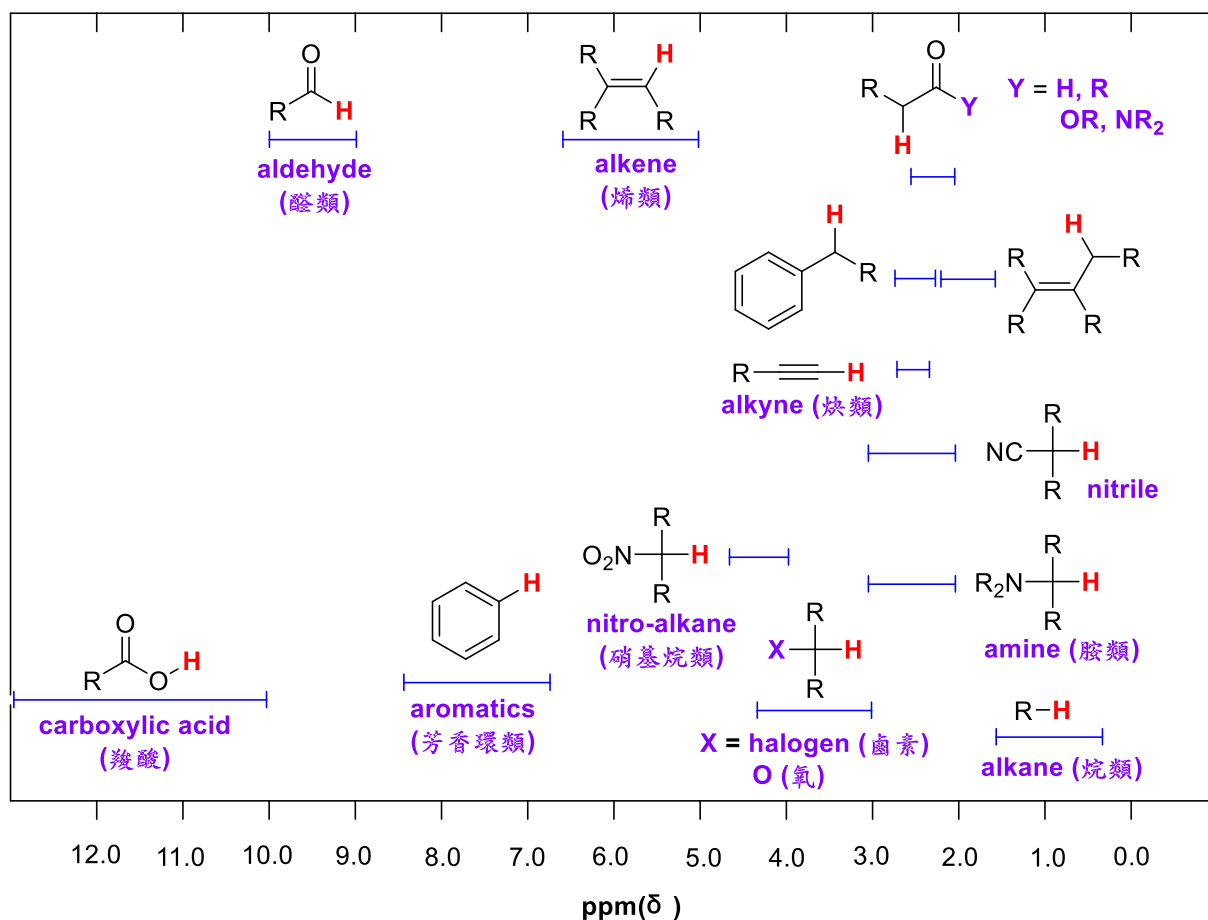
二、研究器材：

- (一) 不鏽鋼鍋
- (二) 家用炒菜鍋
- (三) 樣品瓶
- (四) 核磁共振光譜儀測量管
- (五) 滴管與乳帽

肆、研究方法與過程

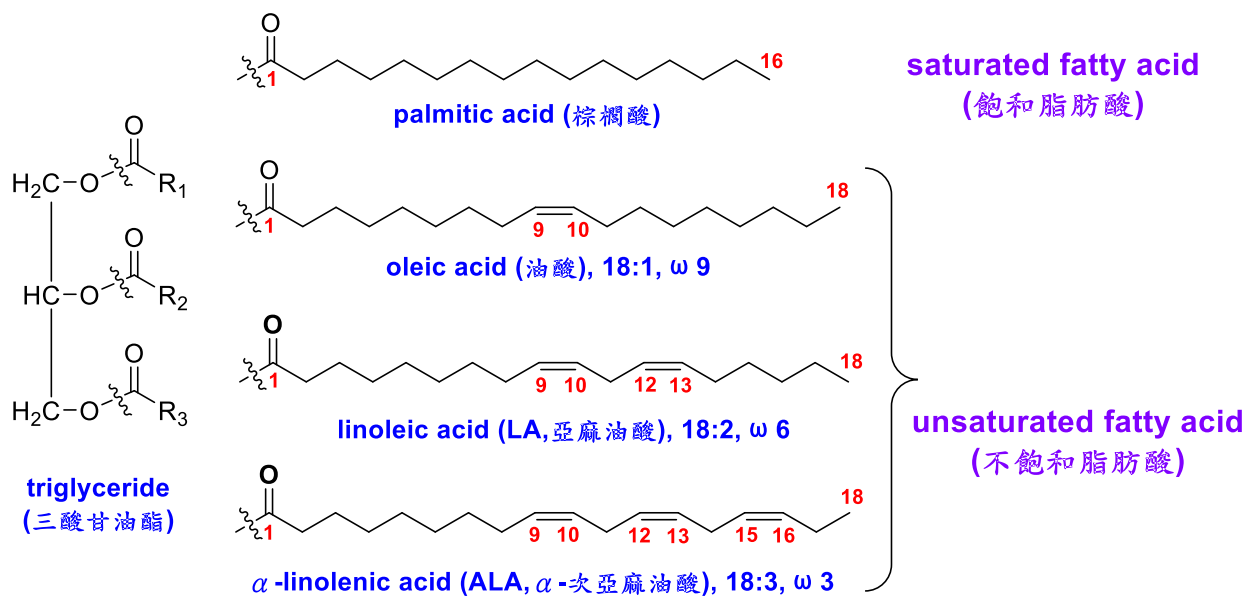
一、研究方法：

(一) 有機化合物含有多種不同的 C-H 鍵結，為了解析有機化合物的分子結構，1938 年以色列物理學家 IsidoRabi 開發了核磁共振光譜儀，讓科學家能鑑定與證明有機化合物的分子結構。不同官能基上的氫原子在核磁共振光譜的氫譜光譜($^1\text{H-NMR}$ spectrum)中的訊號位置如(圖三)所示。¹



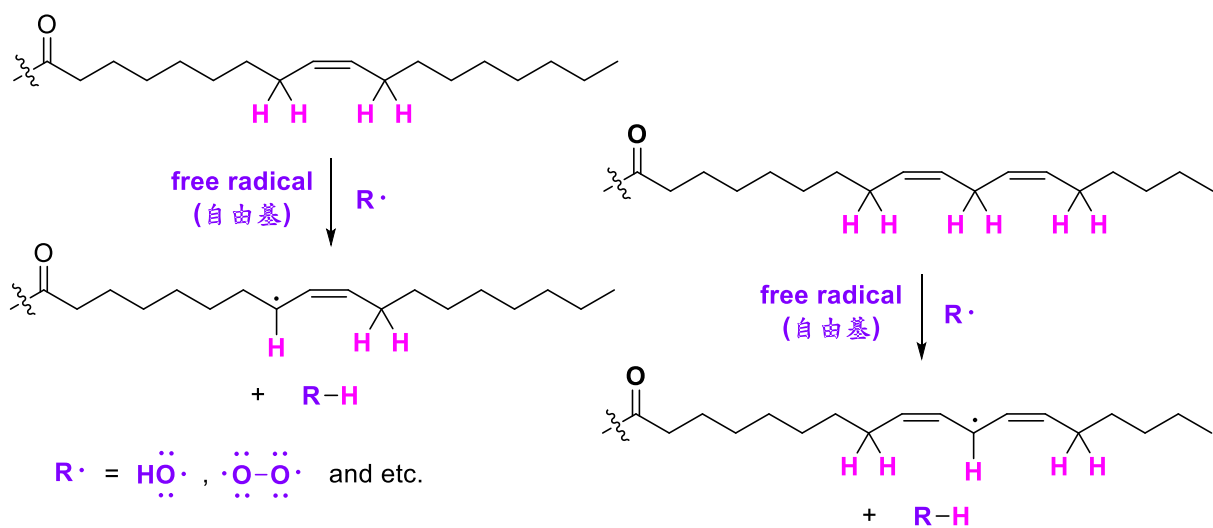
圖(三)、核磁共振光譜-氫譜光譜中各種氫原子的化學位移

(二) 動物性與植物性油脂中的主要成分為三酸甘油酯，由一個甘油與三個脂肪酸組成；飽和脂肪酸中，碳鏈上所有的 C-C 鍵都是單鍵，不飽和脂肪酸則含有一個以上的 C-C 雙鍵在碳鏈上，如圖(四):¹



圖(四)、三酸甘油酯的結構

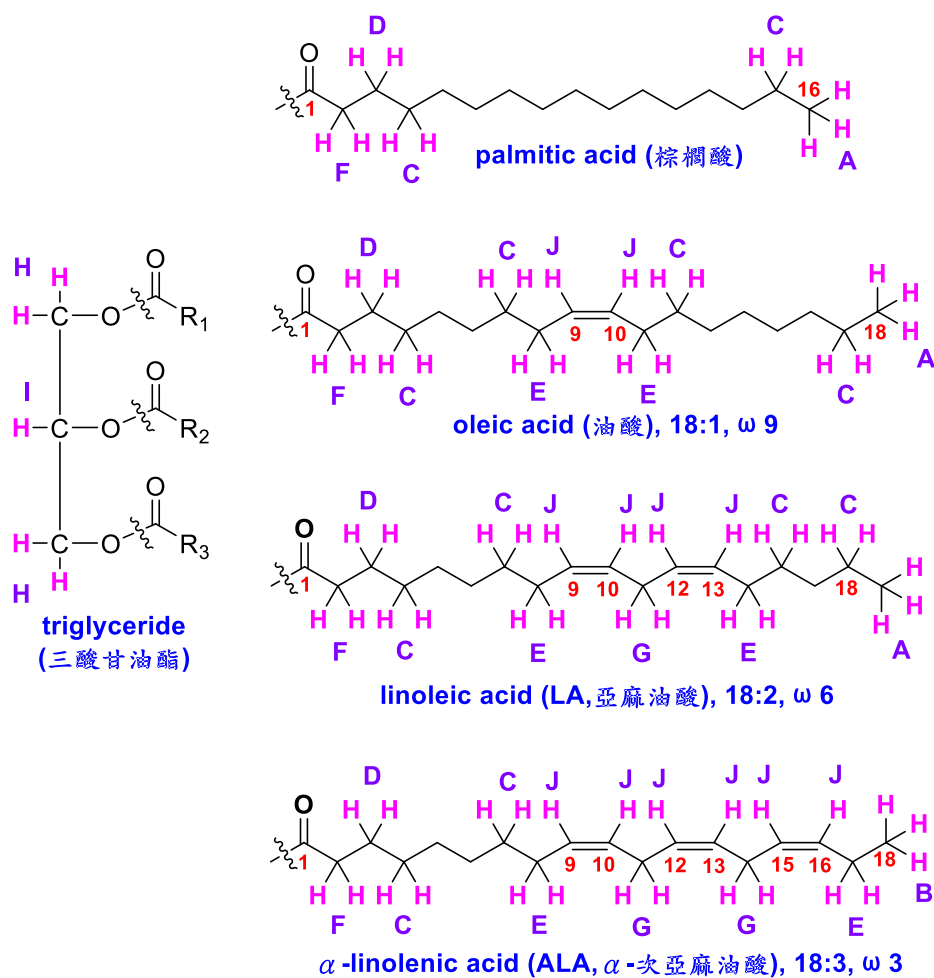
(三) 身體中的不飽和脂肪酸具有抗氧化的作用，因為不飽和脂肪酸中，C-C 雙鍵旁邊相鄰的碳上的氫可以與自由基反應，避免自由基與其它分子反應，進而造成身體器官的破壞，如圖(五)



圖(五)、不飽和脂肪酸與自由基的反應

(四) 在核磁共振光譜的氫譜光譜中，含有飽和脂肪酸或單元/多元不飽和脂肪酸的三酸甘油酯分子，共有 A~J 等 10 種不同類型的氫原子圖(六)²，並且由上述得知，種類 G 的氫最容易與自由基反應，然後是種類 E 的氫，而甘油結構中的種類 H 的氫比較安定，不會先反應。

(五) 最後藉由比對加熱前與加熱後脂肪酸的核磁共振光譜，了解脂肪酸在加熱中被破壞的程度。



圖(六)、飽和與不飽和脂肪酸中氫原子在核磁共振光譜氫譜光譜中的分類

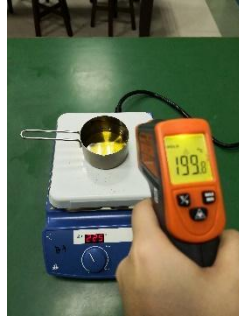
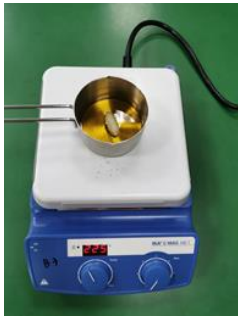
二、研究過程：

(一) 選取食用油的樣品：

1. 炸雞店使用的炸油 (fried chicken oil)
2. 市售橄欖油 (olive oil)
3. 市售芥花油 (canola oil)

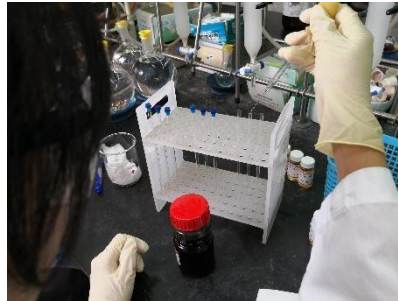
(二) 模擬餐廳/小吃店等長時間的油炸烹調：

1. 將適量的油品倒入不鏽鋼鍋中，並放置在電磁加熱攪拌器上加熱，使用紅外線雷射溫度計測量鍋中的油溫，當溫度到達 200°C 時，調整加熱功率以維持固定的 200°C 油溫，然後開始計時加熱時間，並分別在加熱 1 小時、5 小時、12 小時、15 小時、20 小時、25 小時、30 小時之後，從不鏽鋼鍋中取出部分油品至樣品瓶中保存圖(七)。



圖(七)、油品加熱、溫度控制、收集。

2. 使用乳帽與滴管取出樣品瓶中的油品至核磁共振光譜儀測量管中，加入 CDCl_3 溶劑之後，使用核磁共振光譜儀測量油品的核磁共振光譜-氫譜光譜。如圖(八)。



圖(八)、準備食用油樣品至核磁共振光譜儀測量管

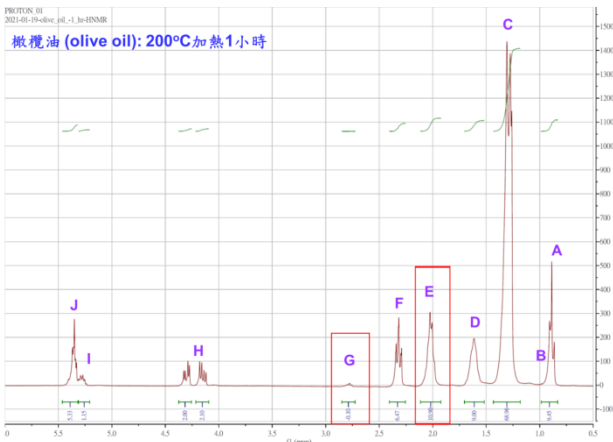
3. 量測油品樣品的核磁共振光譜-氫譜光譜。

(三) 模擬一般的中式料理中，高溫快炒的烹調方式：

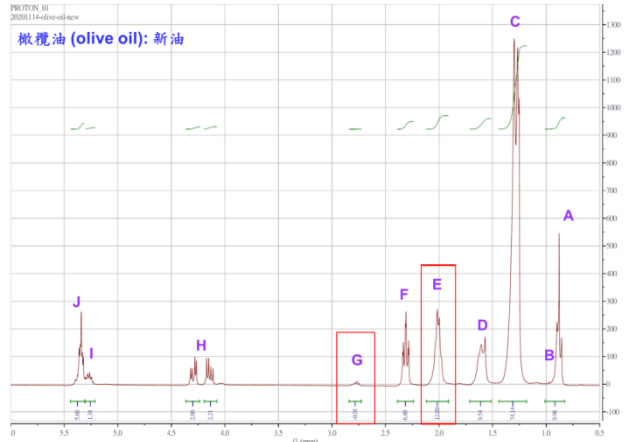
1. 瓦斯爐開大火加熱家用炒菜鍋，並使用紅外線雷射溫度計測量鍋中的溫度，當溫度到達 300°C 時，調整加熱功率以維持固定的 300°C 油溫，然後加入油品至鍋中，並開始計時加熱時間，3 分鐘後停止加熱，從家用炒菜鍋中取出部分油品至樣品瓶中保存。
2. 使用滴管取出樣品瓶中的油品至核磁共振光譜儀測量管中，加入溶劑之後，使用核磁共振光譜儀測量油品的核磁共振光譜的氫譜光譜。
3. 分析與整理樣品的核磁共振光譜的氫譜光譜。

伍、研究結果

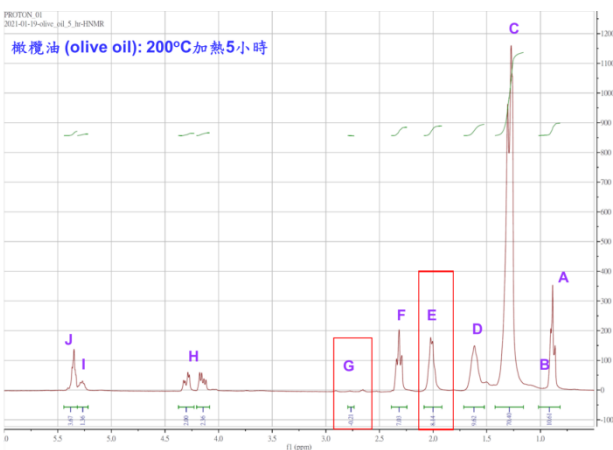
一、油脂樣品的核磁共振光譜-氫譜光譜如下所示：



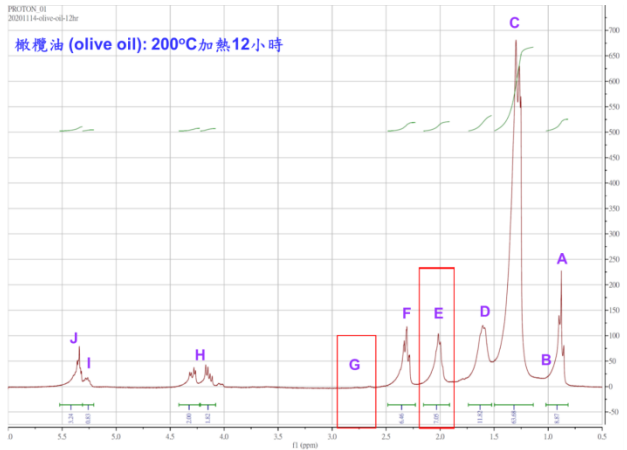
圖九、橄欖油(新油)



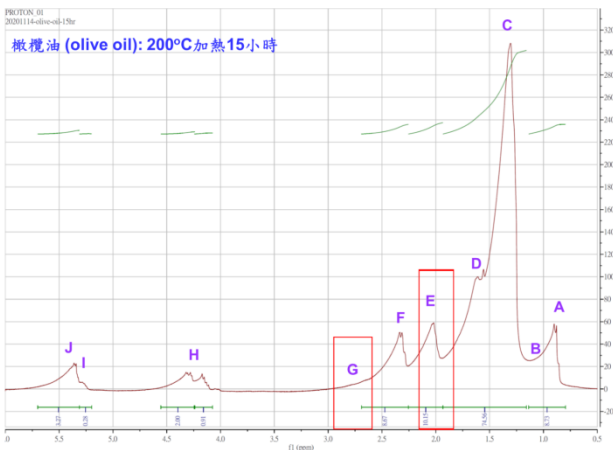
圖十、橄欖油(200°C 加熱 1 小時)



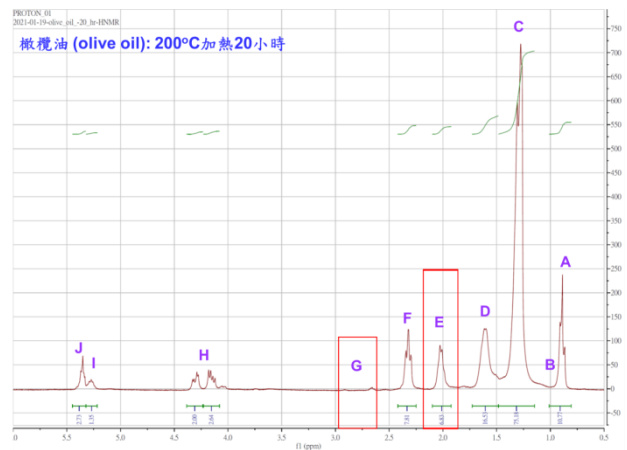
圖十一、橄欖油(200°C 加熱 5 小時)



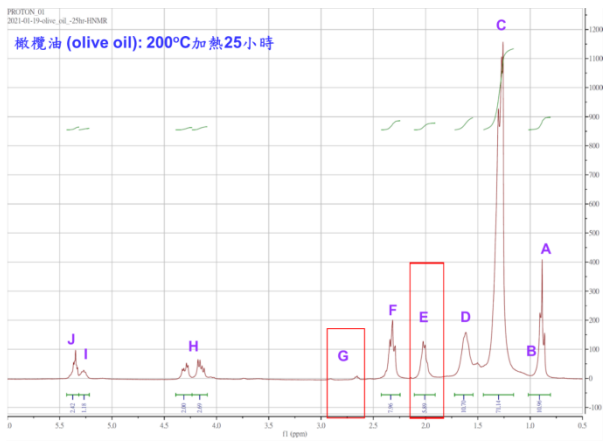
圖十二、橄欖油(200°C 加熱 12 小時)



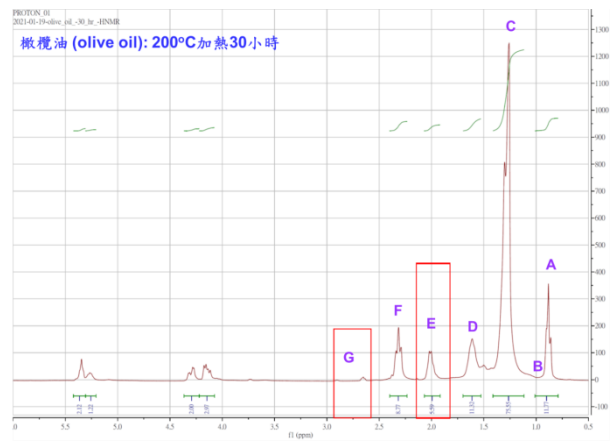
圖十三、橄欖油(200°C 加熱 15 小時)



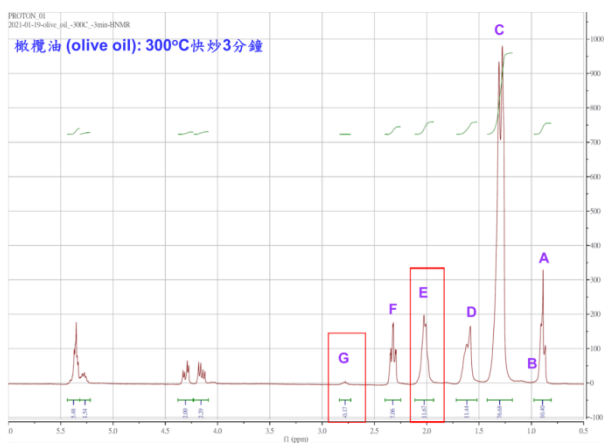
圖十四、橄欖油(200°C 加熱 20 小時)



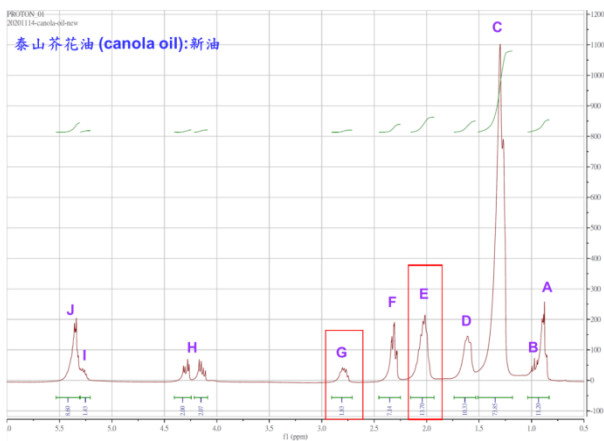
圖十五、橄欖油(200°C 加熱 25 小時)



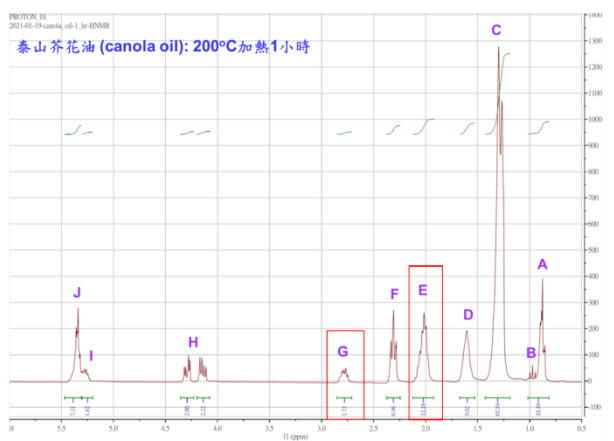
圖十六、橄欖油(200°C 加熱 30 小時)



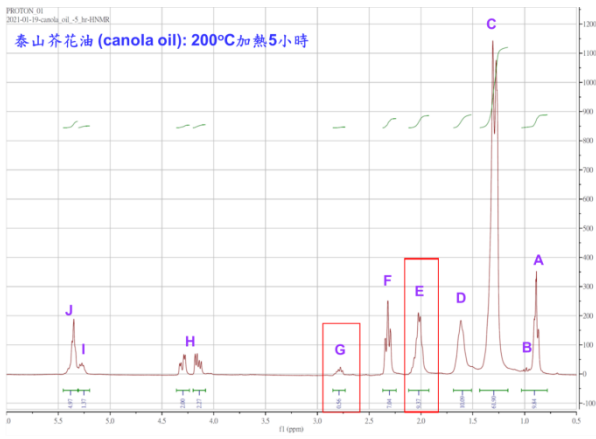
圖十七、橄欖油(300°C 快炒 3 分鐘)



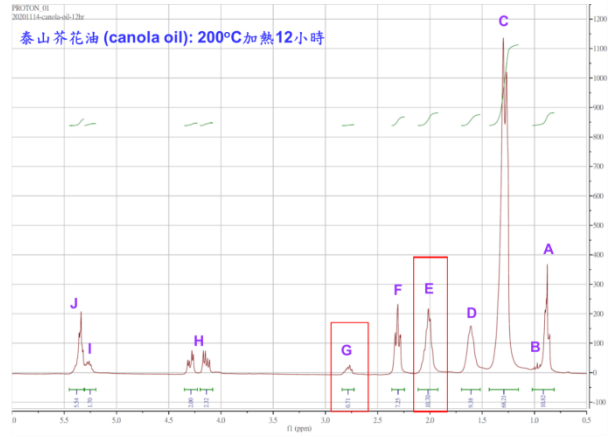
圖十八、芥花油(新油)



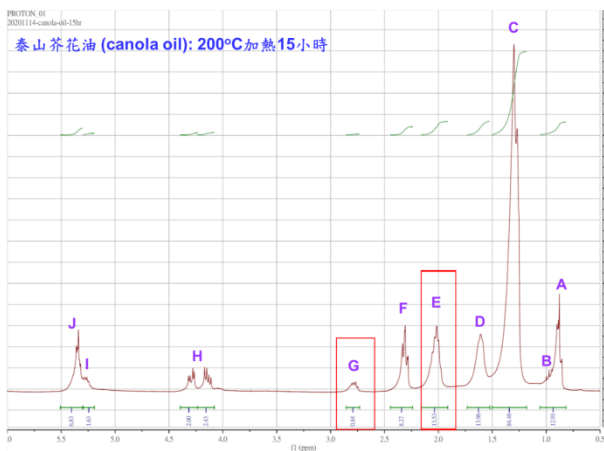
圖十九、芥花油(200°C 加熱 1 小時)



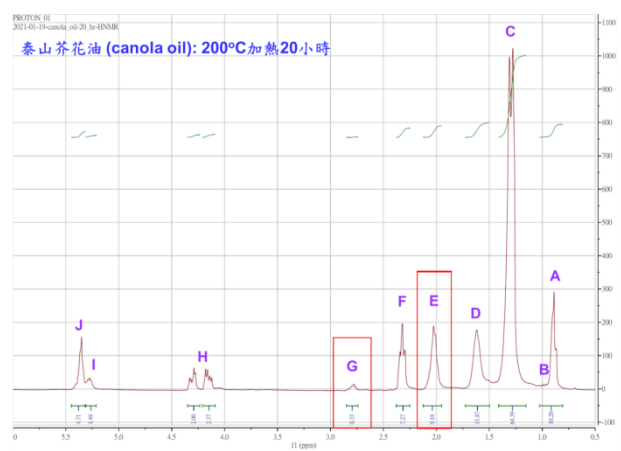
圖二十、芥花油(200°C 加熱 5 小時)



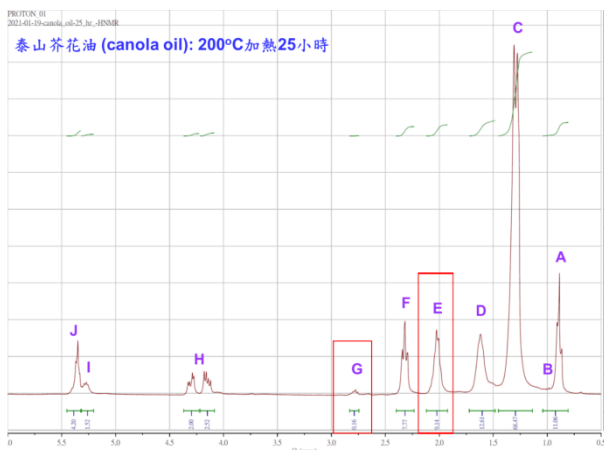
圖二十一、芥花油(200°C 加熱 12 小時)



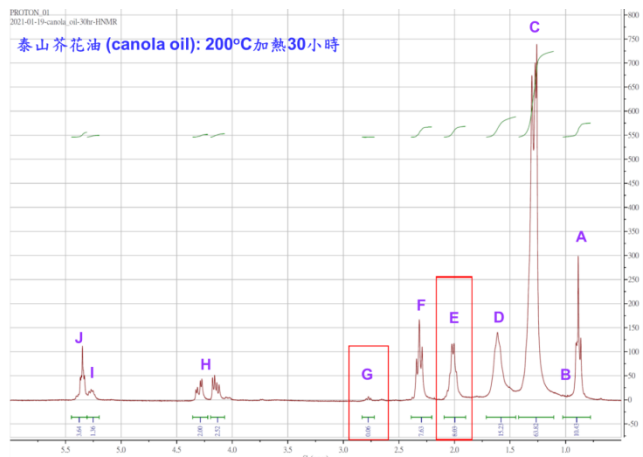
圖二十二、芥花油(200°C 加熱 15 小時)



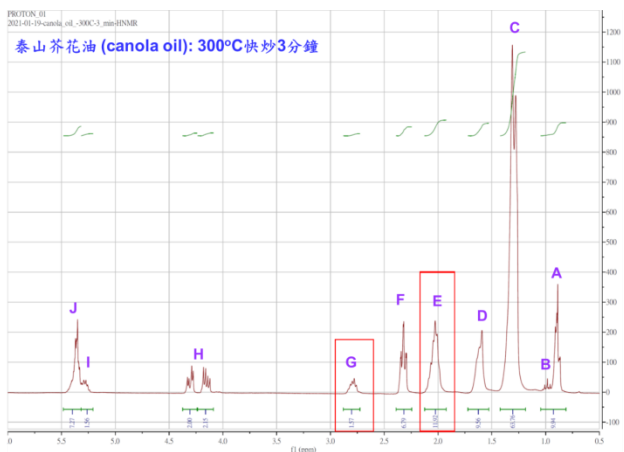
圖二十三、芥花油(200°C 加熱 20 小時)



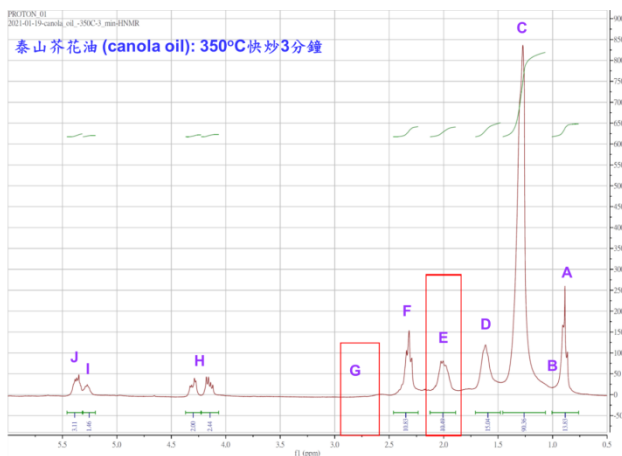
圖二十四、芥花油(200°C 加熱 25 小時)



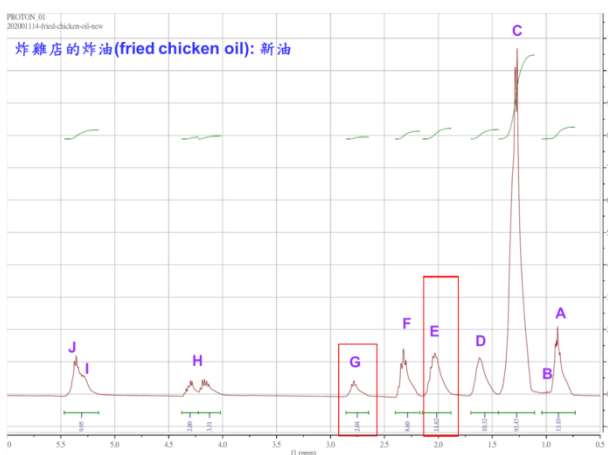
圖二十五、芥花油(200°C 加熱 30 小時)



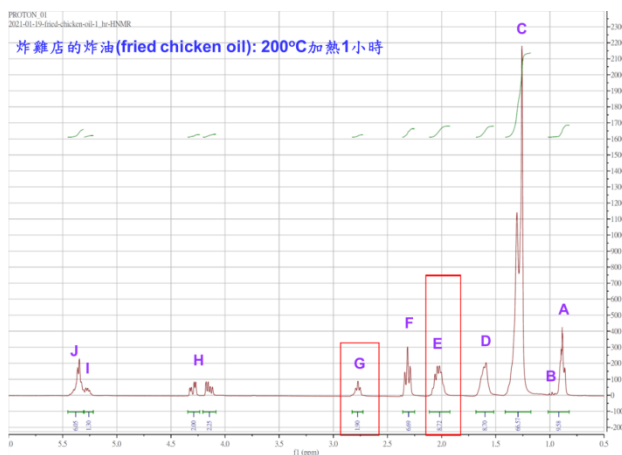
圖二十六、芥花油(300°C 快炒 3 分鐘)



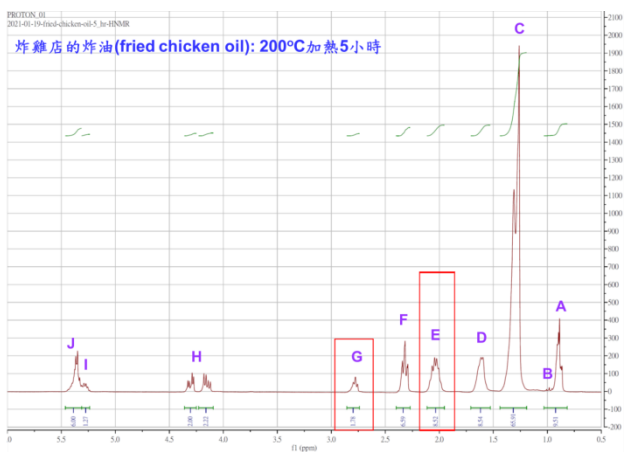
圖二十七、芥花油(350°C 快炒 3 分鐘)



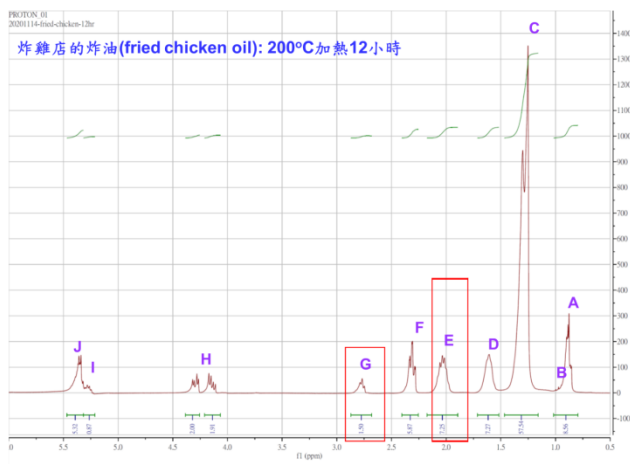
圖二十八、炸雞店的炸油(新油)



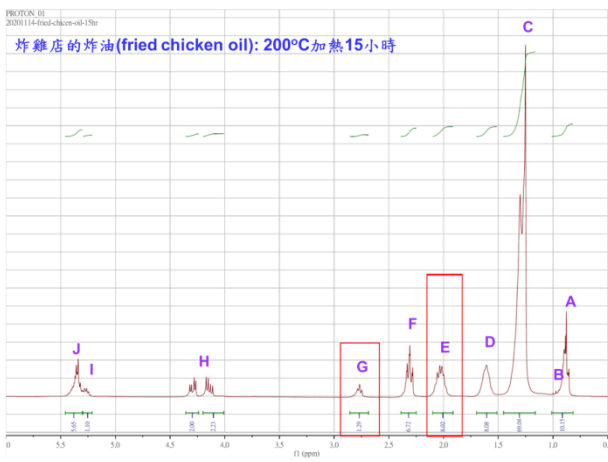
圖二十九、炸雞店的炸油(200°C 加熱 1 小時)



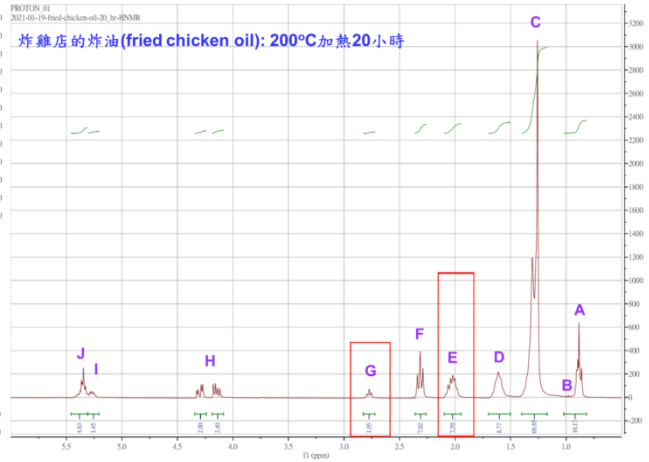
圖三十、炸雞店的炸油(200°C 加熱 5 小時)



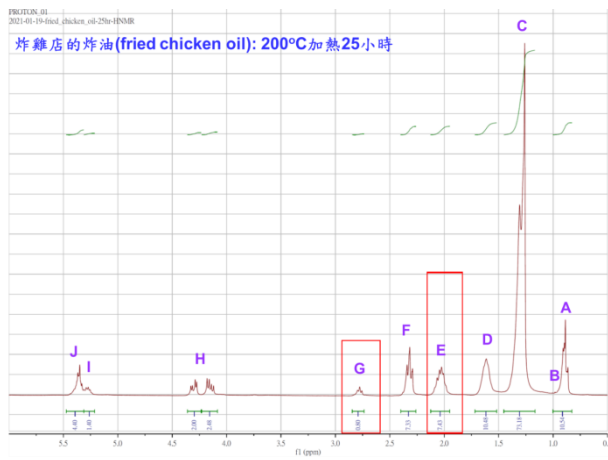
圖三十一、炸雞店的炸油(200°C 加熱 12 小時)



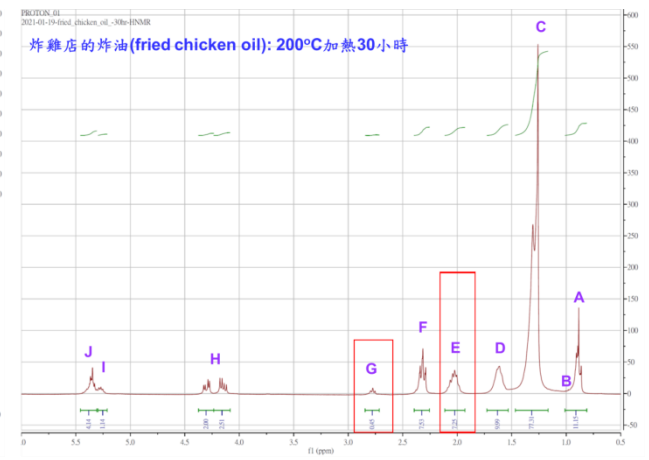
圖三十二、炸雞店的炸油(200°C 加熱 15 小時)



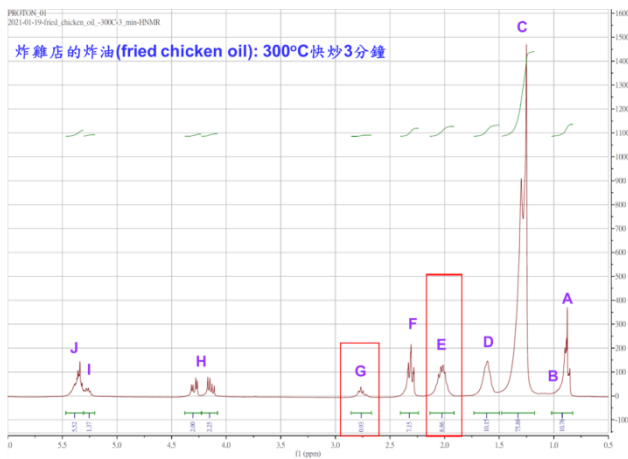
圖三十三、炸雞店的炸油(200°C 加熱 20 小時)



圖三十四、炸雞店的炸油(200°C 加熱 25 小時)



圖三十五、炸雞店的炸油(200°C 加熱 30 小時)



圖三十六、炸雞店的炸油(300°C 快炒 3 分鐘)

二、數據整理：

表格一、油品的核磁共振光譜-氫譜光譜(¹H-NMR spectrum)數據資料

加熱時間 與加熱溫度	泰山芥花油 (canola oil)			橄欖油 (olive oil)			炸雞店的炸油 (fried chicken oil)		
	氫原子的數目比			氫原子的數目比			氫原子的數目比		
	H	G	E	H	G	E	H	G	E
新油	2	1.83	13.70	2	0.01	12.09	2	2.04	11.82
200°C 加熱 1 小時	2	1.73	12.18	2	-0.10	10.90	2	1.90	8.72
200°C 加熱 5 小時	2	0.56	9.37	2	N/A	8.14	2	1.78	8.52
200°C 加熱 12 小時	2	0.71	10.70	2	N/A	7.05	2	1.50	7.25
200°C 加熱 15 小時	2	測量 誤差	測量 誤差	2	N/A	測量 誤差	2	1.29	8.02
200°C 加熱 20 小時	2	0.33	9.18	2	N/A	6.83	2	1.05	7.59
200°C 加熱 25 小時	2	0.16	9.14	2	N/A	5.89	2	0.80	7.43
200°C 加熱 30 小時	2	0.06	8.03	2	N/A	5.59	2	0.45	7.25
200°C 加熱 30 小時 之後的殘留量		3%	58%		0%	46%		22%	61%
300°C 快炒 3 分鐘	2	1.57	11.92	2	N/A	11.67	2	0.93	8.86
300°C 快炒 3 分鐘 之後的殘留量		85%	87%		0%	96%		45%	75%
350°C 快炒 3 分鐘	2	N/A	10.49						

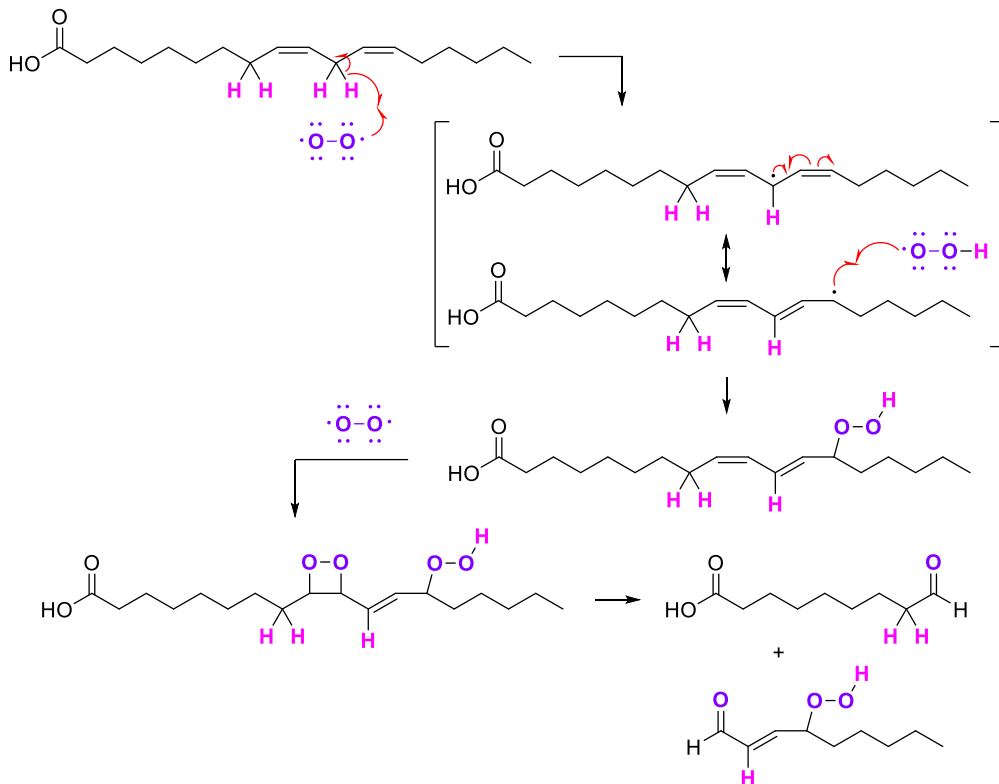
陸、討論

- 一、在核磁共振光譜的氫譜光譜數據中，明顯的發現隨著加熱時間增長，食用油中種類 G 或是種類 E 的氫的數目比一直在降低，表示食用油在接觸空氣下加熱，會一直被氧化。
- 二、橄欖油(olive oil)：
 - (一) 含有大於 80%的單元不飽和之脂肪酸，種類 G 的氫比較少，在 200°C 加熱 1 個多小時後就已完全消失，甚至於在 300°C 快炒 3 分鐘的狀況下，種類 G 的氫就完全消失了。
 - (二) 種類 E 的氫在 200°C 加熱 20 小時之後只剩一半，即便 300°C 快炒 3 分鐘，也有部份的單元不飽和之脂肪酸會被氧化。
- 三、芥花油(canola oil)：
 - (一) 雖然比橄欖油含有較多的多元不飽和之脂肪酸，然而種類 G 的氫在 200°C 加熱 5-12 小時之後剩下不到一半；300°C 快炒 3 分鐘的狀況下，減少了約 15%，而在 350°C 快炒 3 分鐘的狀況下，全部都消失了。
 - (二) 種類 E 的氫在 200°C 加熱 30 小時之後剩下不到 60%，300°C 快炒 3 分鐘之後，種類 E 的氫也損失 13%。
- 四、炸雞店使用的炸油(fried chicken oil)：
 - (一) 比橄欖油與芥花油含有更多的多元不飽和之脂肪酸，但是，在 200°C 加熱 20 小時之後，種類 G 的氫剩下一半，200°C 加熱 30 小時之後，種類 G 的氫剩下約 20%，300°C 快炒 3 分鐘的狀況下，種類 G 的氫剩下不到一半。
 - (二) 種類 E 的氫在 200°C 加熱 30 小時之後損失了約 40%，300°C 快炒 3 分鐘的狀況下，也損失了約 25%。
- 五、未來可繼續嘗試加熱其它種類的油品(例如：麻油、維力清香油、葵花油、葡萄籽油及精緻豬油等)，並使用不同的加熱溫度，測試與比較各種油品在加熱之後的破壞程度。

柒、結論與建議

一、結論：

- (一)油溫越高，加熱的時間越長，種類 E 及 G 的氫減失的速度越快。
- (二)多元不飽和脂肪酸含量比率高的油(芥花油)，和單元不飽和脂肪酸含量比率高的油(橄欖油)油炸過程中種類 E 及 G 的氫快速下降，是屬於不耐高溫的油，不適合油炸。但即使是安定性高的酥炸油，僅僅幾分鐘的高溫快炒，我們的實驗證明也會產生變質，可見油炸食物的危險性。³



圖三十七、不飽和脂肪酸的氧化反應。

- (三)無論何種食用油都容易在高溫烹調的料理方式下被氧化，而產生酸敗。長期食用這種過度氧化的油炸食物與高溫快炒的食物並不利於身體健康，所以，審選油炸油品以減緩種類 E 及 G 的氫的減失及降低烹調的溫度，都可以減少對於食物的破壞，比較能攝取更多未被破壞的營養成份。

二、建議：

- (一)研究可持續嘗試其他類型油品，並使用不同的加熱溫度，測試與比較各種油品在加熱之後的破壞程度。
- (二)未來研究亦可進一步探討環境因素對減緩油質氧化的影響。例如鍋具材質、是否加蓋減少接觸氧氣及其食用添加物對於減緩 G 鍵及 E 鍵形成自由基的狀況，例如油炸食物時常會加一些鹽、小蘇打粉...等，讓油的化學結構產生改變。

捌、參考資料及其它

- 1、 Leroy G. Wade and Jan William Simek. *Organic Chemistry* **2017**, Chap. 13-NMR spectroscopy and Chap. 25-Lipids, 9th ed., Pearson.
- 2、 (a) Peter P. Lankhorst and An-Ni Chang. “The Application of NMR in Compositional and Quantitative Analysis of Oils and Lipids”. *Modern Magnetic Resonance* **2017**, P.1743, Springer. (b) Maria D. Guillen and Ainhoa Ruiz. “Monitoring of heat-induced degradation of edible oils by proton NMR”. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2008, 110, 52-60. (c) Wei Xia, Suzanne M. Budge, and Michael D. Lumsden. “New ¹H NMR-Based Technique To Determine Epoxide Concentrations in Oxidized Oil”. *J. Agric. Food Chem.* **2015**, 63, 5780-5786.
- 3、 V. M. Dembitsky and V. A. Vil'. “Medicinal Chemistry of Stable and Unstable 1,2-Dioxetanes: Origin, Formation, and Biological Activities”. *Science of Synthesis Knowledge Updates* **2019**, 3, P.333-381. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, Germany.

【評語】 050214

為了瞭解油脂在烹調過程中的氧化程度，利用核磁共振儀來檢測油品加熱到高溫的氫譜。發現在 高溫快炒或是油炸數小時，食用油已產生很嚴重的氧化現象。本研科學實驗及證據提出烹調過程中油品因高溫破壞的證據。以下建議可參考

1. 太過簡單的實驗設計，萬一沒有核磁共振光譜儀，如何作研究。可構思簡單化學呈色或發光反應來偵測。
2. 其他分析儀器如層析或層析質譜可提供比較準確的定量分析。
3. 可提供多些文獻背景，本實驗數據結果是否與之前相關研究有所差異？
4. 環境因素對減緩油質氧化(如未來展望 2)或在何種類型食物下使用哪種油脂可以避免變質？

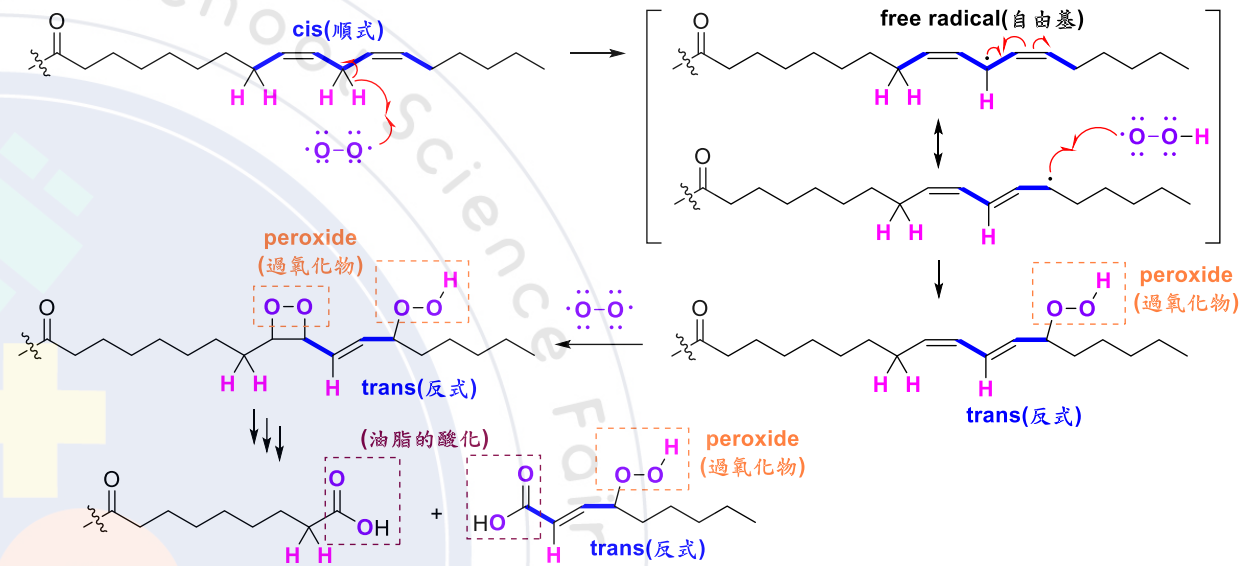
作品簡報



**「油」「氧」運 Don't
食用油氧化狀態監測**

壹、研究動機

食用與烹調的動物性及植物性油脂的主要成分為三酸甘油酯，中式的高溫快炒與西式的油炸方式容易造成三酸甘油酯中脂肪酸的氧化，產生自由基、過氧化物、反式脂肪等有害物質，食用這些油脂有礙身體健康，且長時間的高溫加熱會造成油脂的氧化，食用這樣的油脂並不有利於身體健康。這讓我們好奇油炸與高溫快炒下的烹調方式是否真的會造成油脂的氧化，進而導致油品變質，並且提出具體數據來證實油脂在烹調過程氧化的實際程度。所以，我們設計了食用油的加熱實驗，進而紀錄並探討在烹調過程中，食用油在不同加熱時間與不同加熱溫度下，脂肪酸被氧化的情形。



圖(一)脂肪酸的氧化反應機構

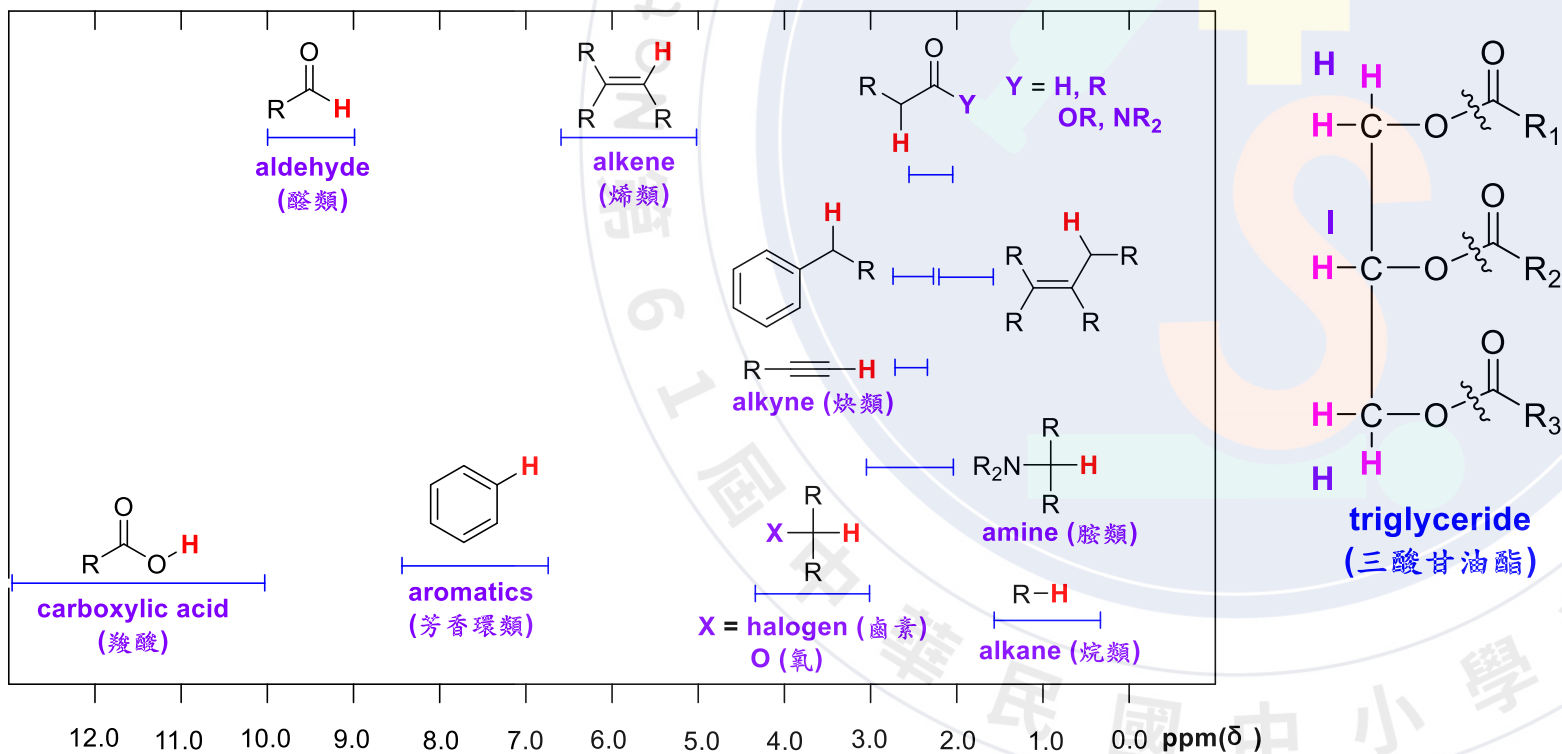
貳、研究目的

- 一、探討橄欖油中的脂肪酸在200°C下加熱1小時、5小時、12小時、15小時、20小時、25小時、30小時與在300°C、350°C下快炒3分鐘被氧化的程度。
- 二、探討芥花油中的脂肪酸在200°C下加熱1小時、5小時、12小時、15小時、20小時、25小時、30小時與在300°C、350°C下快炒3分鐘被氧化的程度。
- 三、探討炸雞店所使用之炸油中的脂肪酸在200°C下加熱1小時、5小時、12小時、15小時、20小時、25小時、30小時與在300°C、350°C下快炒3分鐘被氧化的程度。
- 四、利用核磁共振光譜儀來鑑定油品中的脂肪酸結構並分析圖譜及數據，探討與比較各食用油在加熱之後的破壞程度。

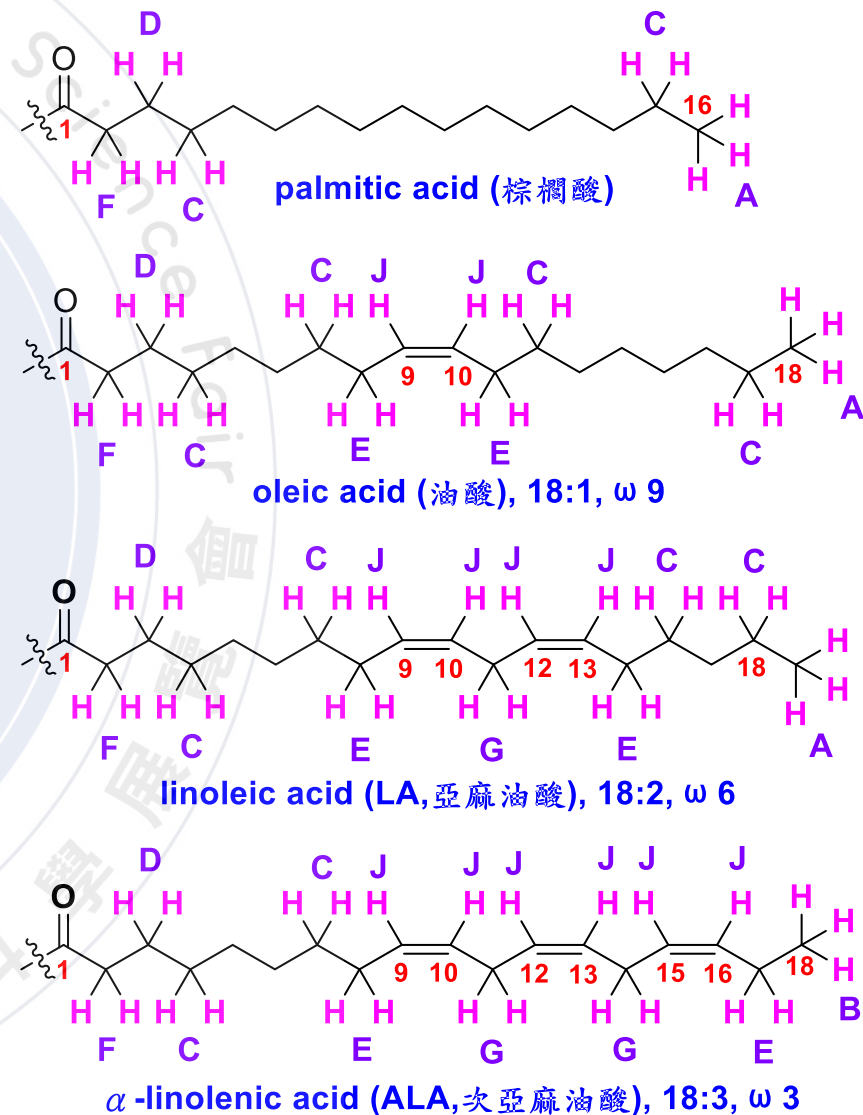
參、研究方法與過程

一、研究方法

在核磁共振光譜的氫譜光譜中，含有飽和脂肪酸或單元/多元不飽和脂肪酸的三酸甘油酯分子，共有A~J等10種不同類型的氫原子，並且由其中得知，種類G的氫最容易與自由基反應，然後是種類E的氫，而甘油結構中的種類H的氫比較安定，比較不會先反應。我們藉由比對加熱前與加熱後脂肪酸的核磁共振光譜，了解脂肪酸在加熱中被破壞的程度。



圖(二)核磁共振光譜-氫譜光譜中各種氫原子的化學位移



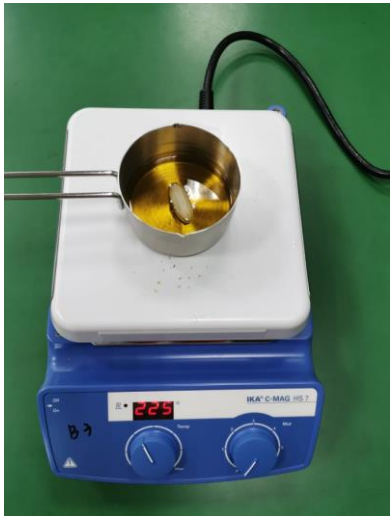
圖(三)脂肪酸中氫原子在核磁共振光譜氫譜光譜中的分類

參、研究方法與過程

二、研究過程

- (1) 選取食用油的樣品：市售橄欖油、市售芥花油、炸雞店使用的炸油。
- (2) 將測試的油品加入鍋中，利用電磁加熱攪拌器加熱油品。
- (3) 紅外線雷射溫度計監控油品的溫度。
- (4) 分別在 200°C 加熱1小時、5小時、12小時、15小時、20小時、25小時、30小時與 $300^{\circ}\text{C}/350^{\circ}\text{C}$ 的高溫快炒3分鐘等時間之後，收集油品至樣品瓶中。
- (6) 測量油品的核磁共振光譜的氫譜光譜。

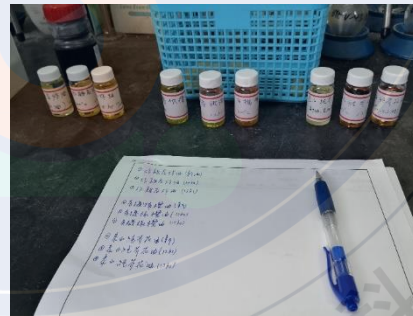
油品加熱



油溫控制



樣品收集



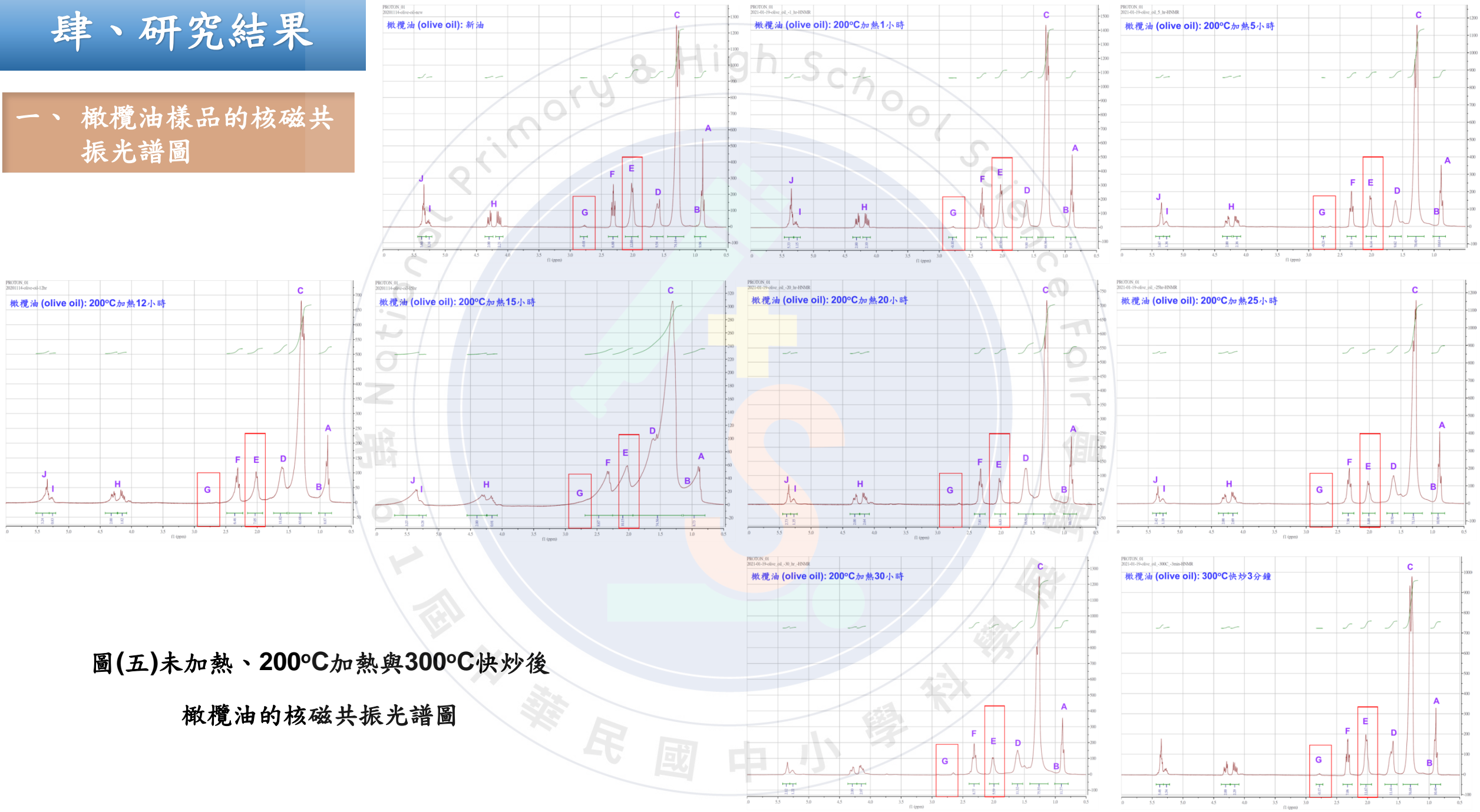
油品的核磁共振光譜測量



圖(四)研究過程流程圖

肆、研究結果

一、橄欖油樣品的核磁共振光譜圖

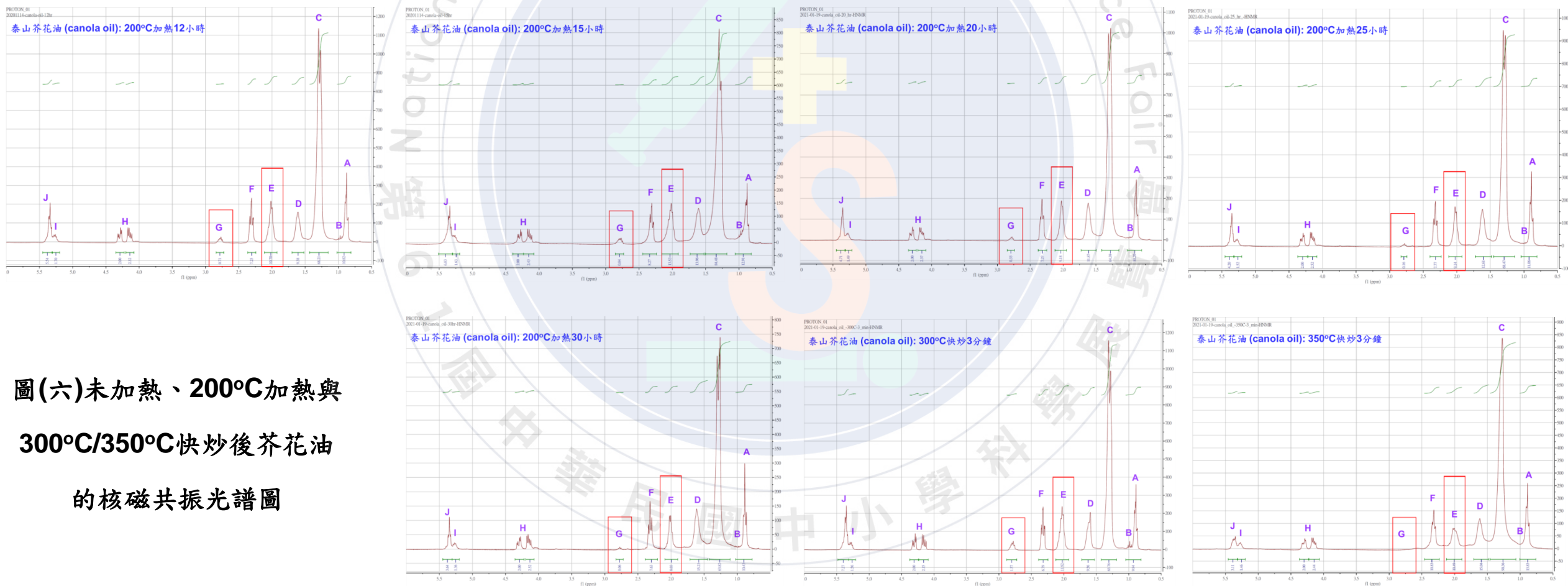


圖(五)未加熱、200°C加熱與300°C快炒後

橄欖油的核磁共振光譜圖

肆、研究結果

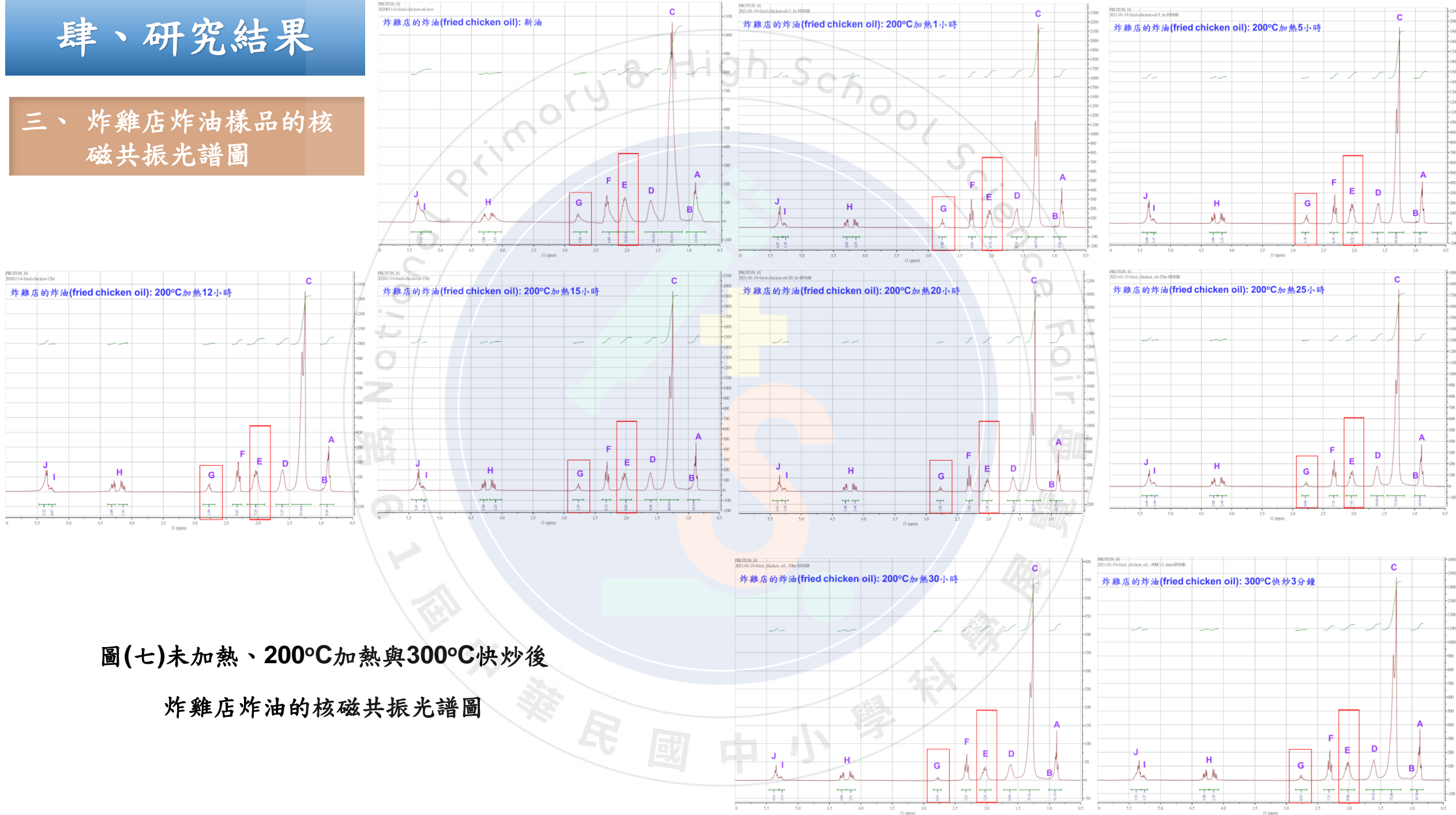
二、芥花油樣品的核磁共振光譜圖



圖(六)未加熱、200°C加熱與
300°C/350°C快炒後芥花油
的核磁共振光譜圖

肆、研究結果

三、炸雞店炸油樣品的核磁共振光譜圖



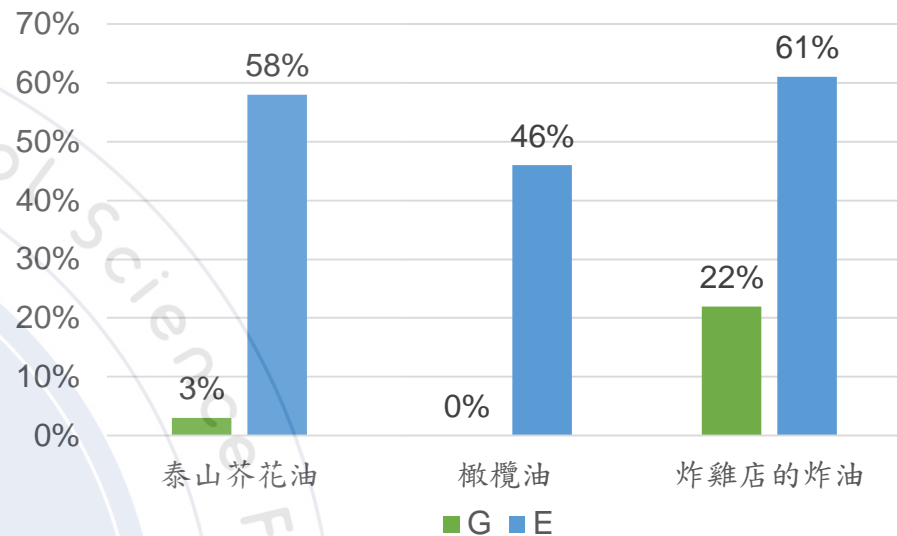
圖(七)未加熱、200°C加熱與300°C快炒後

炸雞店炸油的核磁共振光譜圖

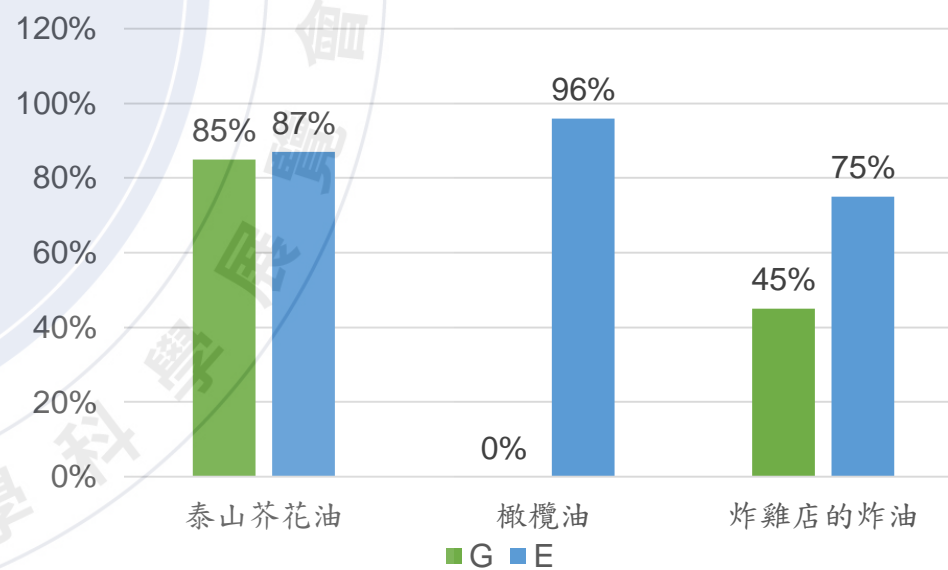
四、原始數據及其圖表呈現

表(一)各油品加熱後氫原子數目比

加熱時間 與加熱溫度	泰山芥花油			橄欖油			炸雞店的炸油		
	氫原子的數目比			氫原子的數目比			氫原子的數目比		
	H	G	E	H	G	E	H	G	E
新(原)油	2	1.83	13.70	2	0.01	12.09	2	2.04	11.82
200°C加熱1小時	2	1.73	12.18	2	-0.10	10.90	2	1.90	8.72
200°C加熱5小時	2	0.56	9.37	2	N/A	8.14	2	1.78	8.52
200°C加熱12小時	2	0.71	10.70	2	N/A	7.05	2	1.50	7.25
200°C加熱15小時	2	測量 誤差	測量 誤差	2	N/A	測量 誤差	2	1.29	8.02
200°C加熱20小時	2	0.33	9.18	2	N/A	6.83	2	1.05	7.59
200°C加熱25小時	2	0.16	9.14	2	N/A	5.89	2	0.80	7.43
200°C加熱30小時	2	0.06	8.03	2	N/A	5.59	2	0.45	7.25
200°C加熱30小時 後殘留量		3%	58%		0%	46%		22%	61%
300°C快炒3分鐘	2	1.57	11.92	2	N/A	11.67	2	0.93	8.86
300°C快炒3分鐘 後殘留量		85%	87%		0%	96%		45%	75%
350°C快炒3分鐘	2	N/A	10.49						



圖(八)200°C加熱30小時後氫原子的數目殘留百分比



圖(九)300°C快炒3分鐘後氫原子的數目殘留百分比

伍、討論

一、橄欖油(olive oil)

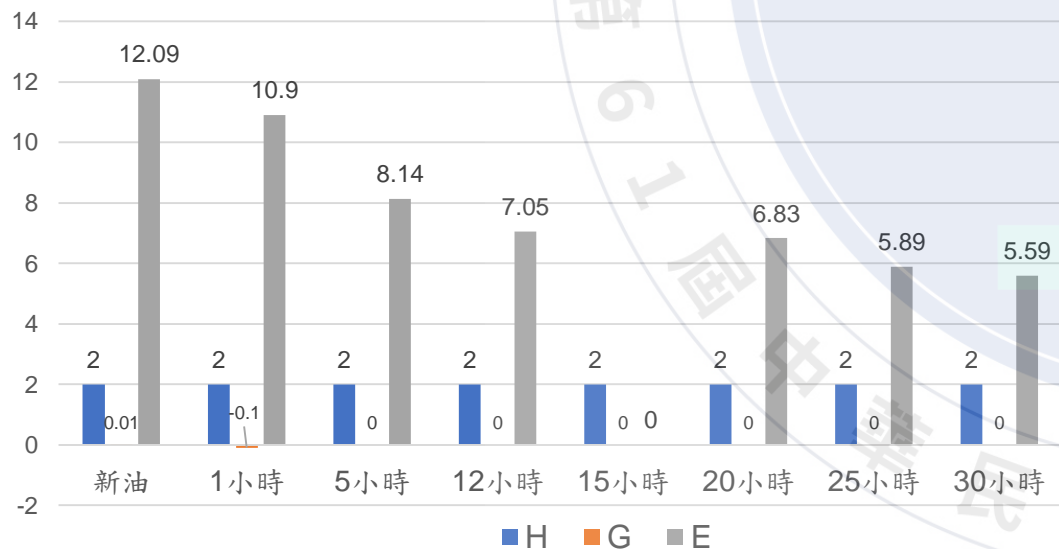
含有大於80%的單元不飽和之脂肪酸，種類G的氫比較少。

G

200°C加熱1小時之後已完全消失
300°C快炒3分鐘下完全消失

E

200°C加熱20小時之後只剩50%
300°C快炒3分鐘剩餘96%



圖(十)橄欖油於200°C下加熱不同時間後各氫原子數目比

二、芥花油(canola oil)

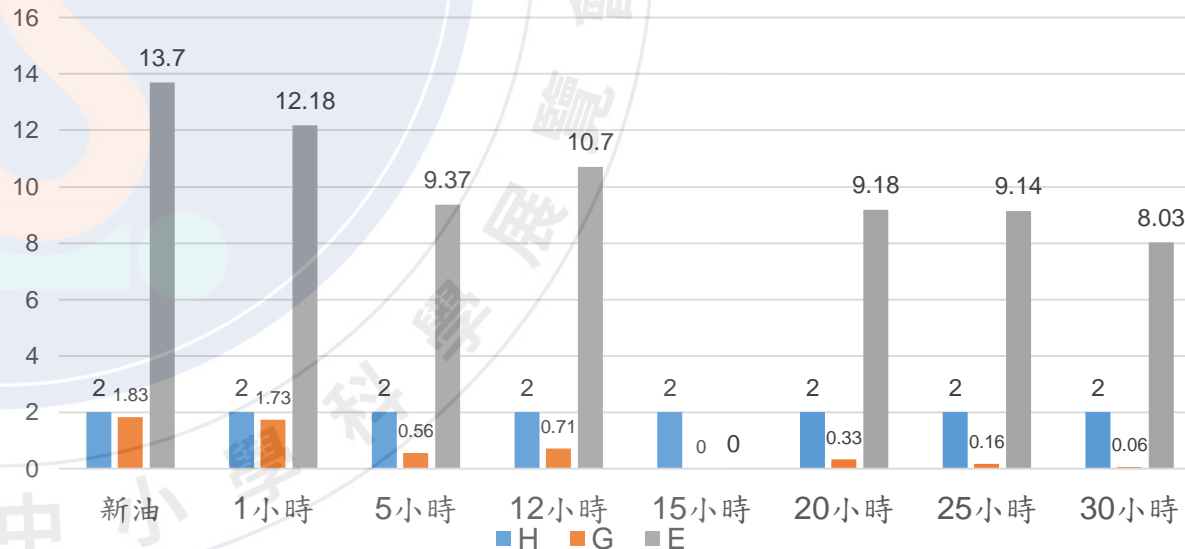
芥花油比橄欖油含有較多的多元不飽和之脂肪酸。

G

200°C加熱12小時之後已剩50%
300°C快炒3分鐘下減少約15%

E

200°C加熱30小時之後剩58%
300°C快炒3分鐘剩餘87%



圖(十一)泰山芥花油於200°C下加熱不同時間後各氫原子數目比

伍、討論

三、炸雞店的炸油(fried chicken oil)

相較於橄欖油與芥花油，炸雞店的炸油含有更高比例的多元不飽和之脂肪酸。

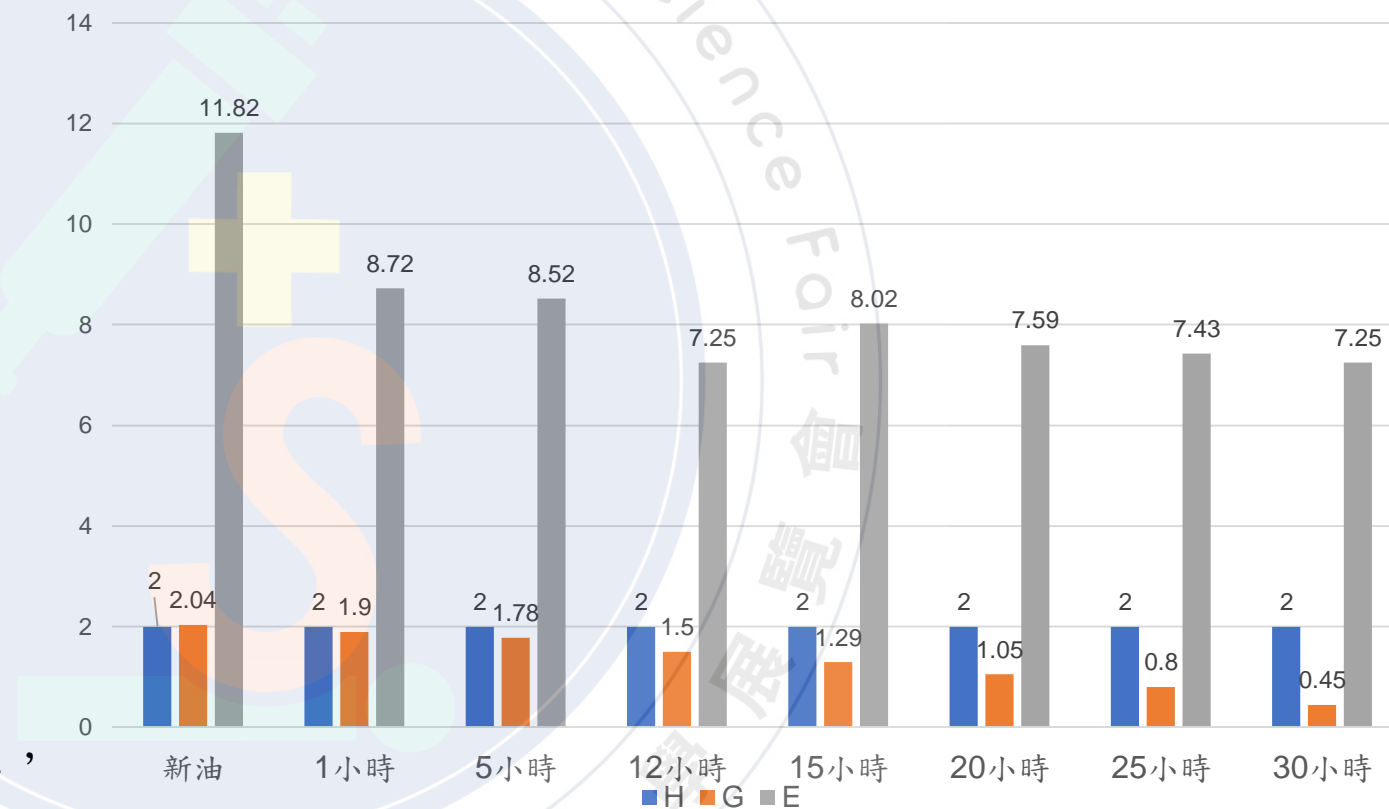
G

200°C加熱30小時之後剩下約20%
300°C快炒3分鐘剩下不到一半

E

200°C加熱30小時之後損失了約40%
300°C快炒3分鐘剩餘75%

即使是炸雞店的炸油也會在高溫加熱下氧化，如果製造與販售油炸食物的商家沒有經常更換油炸食物的油品，這些食物中將會含有相當高比例被氧化的脂肪酸，這樣的食物不利於身體健康。



圖(十二)炸雞店炸油於200°C下加熱不同時間後各氫原子數目比

陸、結論

(一) 油溫越高，加熱的時間越長，種類E及G的氫消失的速度越快，表示不飽和脂肪酸已經被氧化。長期食用這種過度氧化的油炸食物與高溫快炒的食物對身體健康存在危害，因此本研究透過科學實驗及證據提出烹調過程中油品應控溫以減少對於食物的破壞。

多元不飽和脂肪酸含量比率高的油(芥花油)，和單元不飽和脂肪酸含量比率高的油(橄欖油)油炸過程中種類E及G的氫快速下降，是屬於不耐高溫的油，不適合油炸。但即使是安定性高的酥炸油，僅僅幾分鐘的高溫快炒，我們的實驗證明也會產生變質，可見油炸食物的危險性。

無論何種食用油都容易在高溫烹調的料理方式下被氧化，而產生酸敗。所以，降低烹調的溫度以減緩食用油在烹調過程的氧化速度，都可以減少對於食物的破壞，比較能攝取更多未被破壞的營養成份。

(二) 未來的研究工作：

繼續嘗試加熱其它種類的油品(例如：麻油、維力清香油、葵花油、葡萄籽油及精緻豬油等)，並使用不同的加熱溫度，測試與比較各種油品在加熱之後的氧化程度。

進一步探討環境因素對減緩油質氧化的影響。例如鍋具材質、是否加蓋減少接觸氧及其食用添加物對於減緩油脂氧化形成自由基與過氧化物的狀況。

柒、參考資料

- Leroy G. Wade and Jan William Simek. *Organic Chemistry* **2017**, Chap. 13-NMR spectroscopy and Chap. 25-Lipids, 9th ed., Pearson.
- Peter P. Lankhorst and An-Ni Chang. “The Application of NMR in Compositional and Quantitative Analysis of Oils and Lipids”. *Modern Magnetic Resonance* **2017**, P.1743, Springer.
- Maria D. Guillen and Ainhoa Ruiz. “Monitoring of heat-induced degradation of edible oils by proton NMR”. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2008, 110, 52-60.
- Wei Xia, Suzanne M. Budge, and Michael D. Lumsden. “New ¹H NMR-Based Technique To Determine Epoxide Concentrations in Oxidized Oil”. *J. Agric. Food Chem.* **2015**, 63, 5780-5786.
- V. M. Dembitsky and V. A. Vil’. “Medicinal Chemistry of Stable and Unstable 1,2-Dioxetanes: Origin, Formation, and Biological Activities”. *Science of Synthesis Knowledge Updates* **2019**, 3, P.333-381. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, Germany.