

台灣二〇〇二年國際科學展覽會

科 別：化學科

作品名稱：Vitamin E 對回鍋油品質的影響

得獎獎項：化學科佳作

學 校：台北市立第一女子高級中學

作 者：彭夢婷 沈玉婷

作者簡介



作者彭夢婷、沈玉婷二人，目前共同就讀北一女中數理實驗班級，現為高三學生。兩人在國中時期皆曾參與科展，對科學研究有初步涉獵。於高二上一同選修化學專題課程，便合作著手此實驗，經尋找資料、討論規畫實驗流程，此研究並獲得台北市教育局中學生專題研究補助獎金，以一年多的時間全心投入，經反覆實驗修正，完成此作品，並期待這次比賽在結果與個人經驗增益上都有所斬獲。

The Effect of Vitamin E on Re-cooked Oil

Abstract

Cooking oil is often reused in homes in order to economize on its use. In the past few years, many reports have pointed out that “reusing” oil this way always changes the properties of oil and makes it spoiled. Also in the past few years, many oil products have appeared on the market that highlight the fact that vitamin E has been added, in order to attract consumers. This attracted our interest, since we know that on the basis of several studies, vitamin E indeed has an antioxidizing effect at room temperature or below. However, it is not known what effect vitamin E has on re-cooked oil. Therefore, in this experiment we simulated the re-cooking process by frying steamed dumplings in an iron wok with soybean oil, and repeatedly cooling and re-using the oil. Variable factors were the added antioxidants (vitamin E and vitamin E acetate) and the number of re-cooking times. The chemical variation in the resulting oil was tested with regard to acid value, viscosity, carbonyl value, and the value of conjugated bonds. The results indicated that as the number of re-cooking times increased, the quality of the oil had undergone a series of chemical reactions and became spoiled. Also, the addition of vitamin E and vitamin E acetate indeed reduced the formation of certain unhealthful products such as free fatty acids, carbonyl groups, and so on. In certain respects, such as the quantity of oxidized components in the oil, there is no obvious difference between ordinary oil and oil with the vitamin E acetate additives. However, the addition of vitamin E to cooking oil, based on the results of this experiment, can effectively reduce or suppress processes causing rancidity and breakdown into carbonyl groups. Therefore, the addition of vitamin E or vitamin E acetate does have a positive effect on re-cooked oil.

Vitamin E 對回鍋油品質的影響

摘要：

家庭中爲了節省油量的使用，常將所剩的油品另存於容器中，以待下次使用。近幾年來，已有不少文獻報告指出，這種「回鍋」的使用方式，往往使得油品品質變得相當低劣。近來市面上有不少的油品，標榜添加天然維生素 E，使消費者趨之若鶩，作爲一種吸引消費的手段；這激發了我們極高的興趣，因爲在文獻中已知道維生素 E 在室溫下確實可抑制油品的氧化；但添加的油品經過回鍋後，其對油品的影響卻仍不得而知。我們利用鐵鍋油炸澱粉食物，並經由反覆的油炸與冷卻，模擬更真實的回鍋情形。並添加抗氧化劑，包括維生素 E 和酯化的維生素 E，以及回鍋次數等不同的變因進行實驗，進行油品品質的化學變化的測量。經由實驗結果顯示，經數次的回鍋烹煮，油品品質因爲一連串的化學反應變得十分低劣；另外，添加酯化的維生素 E 的油品在某些方面的確減少了某些不良生成物的形成（如游離脂肪酸、羰基化合物等），但在某些方面如氧化程度的比較（共軛雙鍵的生成）卻與一般無添加的回鍋油品無異。反倒是添加維生素 E 對於回鍋油品質的影響在實驗結果的每方面看來，不管是酸敗氧化或是裂解成羰基化合物都能夠有效地減少或產生抑制的作用；故添加維生素 E 對於回鍋油的品質的確有正面性的影響！

Vitamin E 對回鍋油品質的影響

壹、研究動機

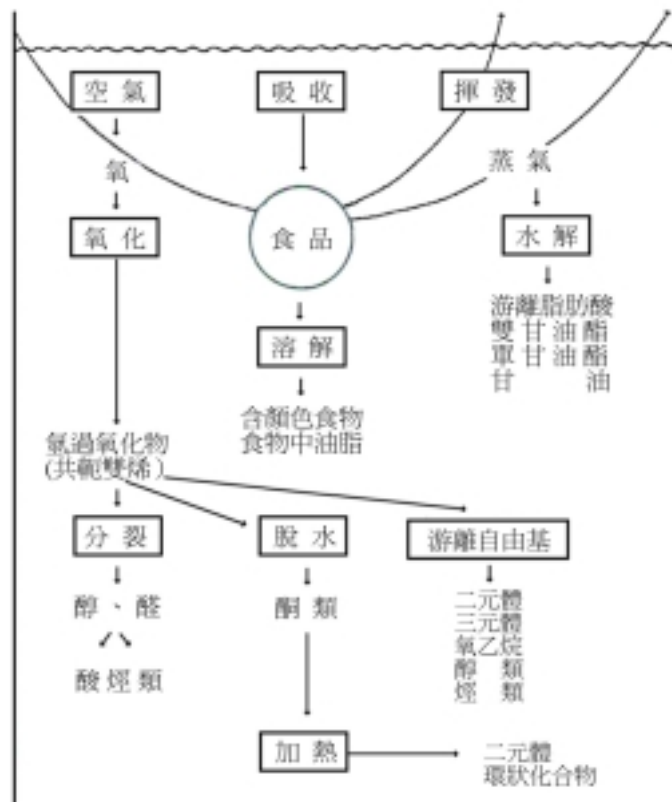
一般家庭爲了節省油量的使用，常將所剩的油品另存於容器中，以待下次使用。近幾年來，已有不少文獻報告指出，這種「回鍋」的使用方式，使得油品的品質往往都已相當低劣，有害於人體健康。近年來市面上有不少的油品，標榜添加天然維生素 E，使消費者趨之若鶩，作爲一種吸引消費的手段；這激發了我們極高的興趣，因爲在一般的文獻中已知道「油溶性維生素 E 在室溫下確實可抑制油品的氧化」。但是添加後的油品在經過回鍋後，是否能依然抑制油品的氧化？還是反而加速破壞油品的品質？我們即以此爲出發點，另外再比較添加未酯化與酯化的維生素 E 的油品，經過反覆回鍋烹煮後，對回鍋油品所造成的影響。

貳、研究目的

本實驗除了探討添加維生素 E 對回鍋油品質的影響外，因市售食品營養劑中所含有的維生素 E 成分大多爲已酯化的維生素 E，因此本實驗也比較已酯化的維生素 E (α -tocopherol acetate) 與未酯化的維生素 E (α -tocopherol) 對回鍋油品質的影響是否不同。

參、文獻探討

一、油品的相關化學性質



一般來說的脂質，指的是醇與脂肪酸結合而成的酯類化合物。若是由單純的甘油（丙三醇，glycerol）與脂肪酸結合，即為一般所謂的「甘油酯」。因結合的脂肪酸數目的不同而有單甘油酯、雙甘油酯及三酸甘油酯的區別。本實驗中所使用的大豆沙拉油大多由不飽和脂肪酸（主要為亞麻油酸、棕櫚油酸）所構成，呈半透明液態狀。

油品在油炸烹煮的過程中，會進行許多複雜的化學反應，諸如氧化、水解、裂解、聚合等。在此針對油品化學反應作個簡略的說明：

1. 發煙點 (smoke point)

發煙點是選擇油品的一個重要指標。油品中游离脂肪酸多時，發煙點的溫度降低；脂肪酸碳鏈短，則發煙點溫度亦降低；越新鮮的油，由於游离脂肪酸少，故發煙點溫度越高。影響發煙點的因素，除了前述的游离脂肪酸數目的多寡外，食物裹的麵衣越多，會使發煙點越低，此乃因顆粒易散於油中，增加食物與油的接觸面積，促使油品作用加速，更易斷裂成小分子的緣故。

2. 粘度 (viscosity)

組成甘油酯中的脂肪酸分子長度將影響油品的粘度。油品的粘度因其脂肪酸的平均鏈長增加而增加。隨不飽和度的增加而降低，與其分子的大小及方向性有關，即分子大小及方向性與油脂的粘度大小有關。另外，溫度也與粘度有關，溫度越高，粘度越低。在本實驗中，因為油脂在回鍋加熱過程中，聚合產生高分子聚合物，使得粘度增大，因此粘度變化常被用來作為評估油品品質的一種指標。

3. 水解作用 (hydrolysis)

甘油酯在水解時，甘油與脂肪酸的酯鍵會斷裂。打斷一個酯鍵需要一分子的水，並形成一分子的甘油及三分子的（游离）脂肪酸。「水解」也是產生酸敗（rancidity）的機制之一，水解引起的酸敗稱為水解型酸敗（hydrolytic rancidity）。熱也可以被視為水解作用的催化劑。當炸油回鍋時，水解的游离脂肪酸將會累積，此時由食物而來的水分及油炸產生的高溫將會促進水解作用。當油脂過度加熱時，另一種反應會隨著水解作用而發生，即甘油會脫水產生丙烯醛（acrolein）。丙烯醛為一種具揮發性及刺激性的物質，其形成的證據可由過度使用油品形成的怪味而證實之。

4. 氧化作用 (oxidation)

脂質的氧化作用是食品變質的主要原因之一。油脂一旦與氧分子作用產生氧化，藉不飽和脂肪酸雙鍵鄰接的含碳原子之自由基（free radical）引發的連鎖反應，生成過氧化物，此即氧化作用（autoxidation）。在最初要移去氫時需要能量，所以受溫度影響。尤其烹煮過程中，催化速度更快。延續上述的變化，氧分子接在自由基上，形成具活性的過氧化物（activated peroxide）。此過氧化物活性極大，由另外一個碳鏈上的雙鍵旁的碳上奪取氫時，只需要少許的能量，而形成氫過氧化物（hydro peroxide）。氫過氧化物本身極不穩定，會進一步氧化，造成斷裂、重組等作用。最後形成短鏈的醛、酮、酸類或醇類，而產生不良氣味。如水解一樣，此不良風味即一般所謂的酸敗或油耗味。但對於油耗味的存在，我們無法斷定其究竟是由水解作用或氧化作用，或兩種作用一同產生的。

在高溫下之氧化與室溫下之氧化不完全相同。高溫下，氧化加速，此時就是飽和的脂肪

酸亦將分解。鍵鏈不斷斷裂，產生揮發性或不揮發性成分、環狀化合物、二元及多元聚合物。若加熱或氧化很嚴重時，油脂將損失部分營養價值；更進一步的加熱或氧化，可能造成油脂的毒性。故長期油炸的油已完全變性，是不可食用的。

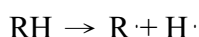
影響氧化的因素有下列幾項：

- (1) 脂肪酸的飽和程度：飽和程度越多，越容易且越快氧化。
- (2) 光線：紫外光影響最大，紅外光影響最小。
- (3) 溫度：自由基鏈反應過程中的生長連鎖期與過氧化物斷裂均與溫度有關係。溫度越高，反應速率越快。
- (4) 氧氣：氧氣濃度與氧化反應成正比。
- (5) 水分：少量水分於油中的影響如下，
 - a. 抑制自由態游離基的形成。
 - b. 與氫過氧化物形成氫鍵以降低氫過氧化物轉變的速率。
 - c. 在鍋中形成金屬水合離子以降低其催化速率。

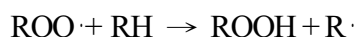
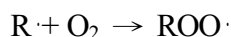
5. 自由基連鎖反應 (free radical chain reaction)

油脂氧化是一種自由基連鎖反應，整個反應可分為三階段視之：

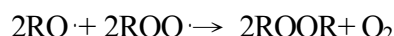
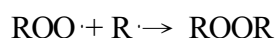
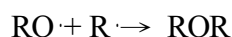
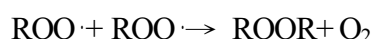
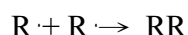
- (1) 開始期 (initiation stage)：不飽和雙鍵上的碳氫化合物受到其他具化學活性物質 (例：自由基) 的作用，移去氫原子形成一自由基，此步驟通常較慢，是此類反應的決定步驟。



- (2) 連鎖生長期 (propagation stage)：此階段的反應含一系列過氧化基及新的自由基生成。



- (3) 終止期 (termination stage)：在此階段，兩個自由基相互作用產生非游離基的產物，致使反應終止。



二、油脂熱解反應中常見的產物

就一般而言，以非氧化方式分解大量飽和脂肪酸，需要在相當高溫的加熱環境進行；因此，過去研究指出，某些飽和油脂在經 200~700°C 的加熱處理後，可分解出大量的產物，其產物主要是由烴、酸、酮類所組成。

1. 真空狀態下油脂熱解產物

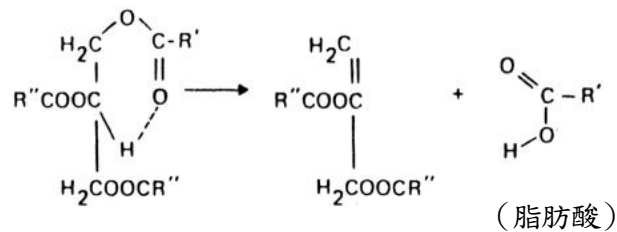
而在最近的一項研究中，研究人員用了一種相當精敏的測量技術，測得了在真空狀態下，當加熱溫度維持在相較為低的 180°C 之下時，油脂分解所產生的產物 (如下圖)，如下所列：

- (1) 由 C_{n-1} 烴類主導下產生一連串的烴類及 1-烯類

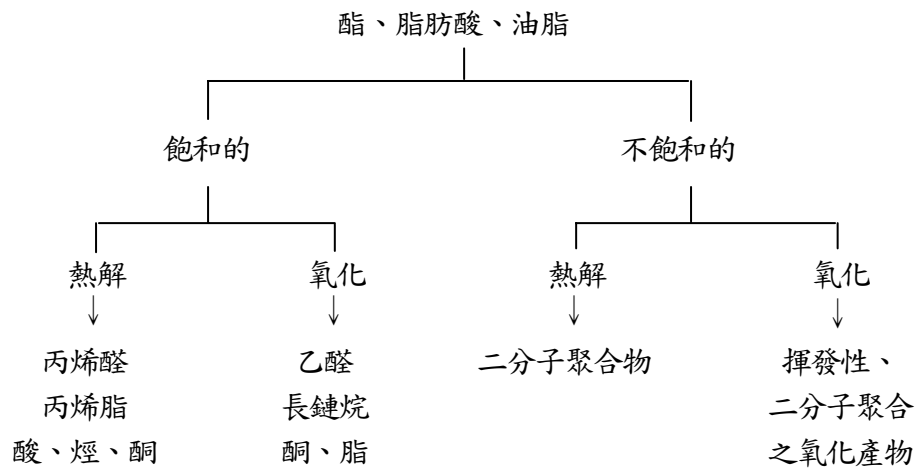
- (2) 產生 C_n 的脂肪酸。
- (3) 產生 C_{2n-1} 均勻、對稱的酮
- (4) 產生 C_n 含丙基的酯

2. 油脂熱解反應機構舉例

C_n 的脂肪酸是加熱油脂所產生最主要的化合物；在水分缺乏的時候，脂肪酸能經由一個六原子的環化反應而形成。

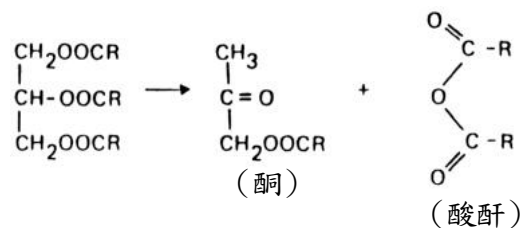


文獻上所記載熱解產物途徑如下：

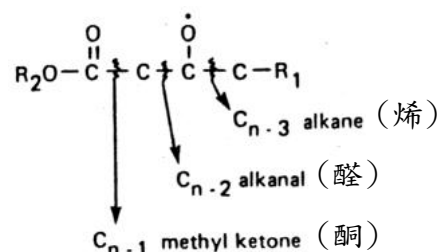


舉例說明：

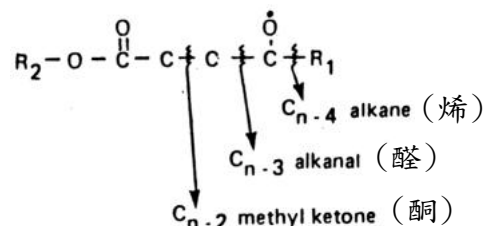
- (1) 產生酮、酸酐



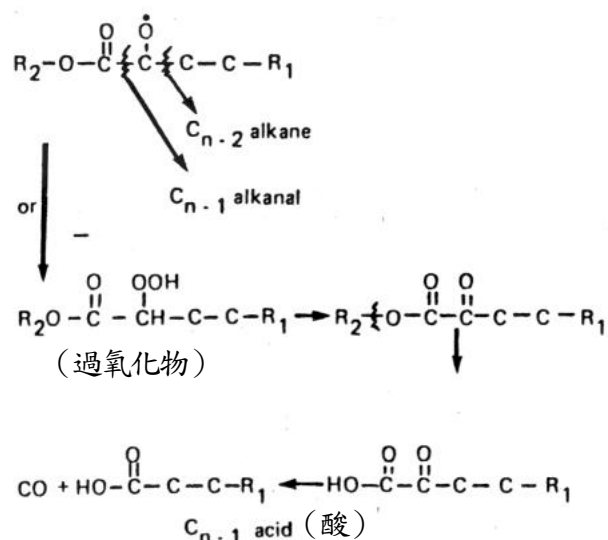
- (2) 產生烯、醛、酮



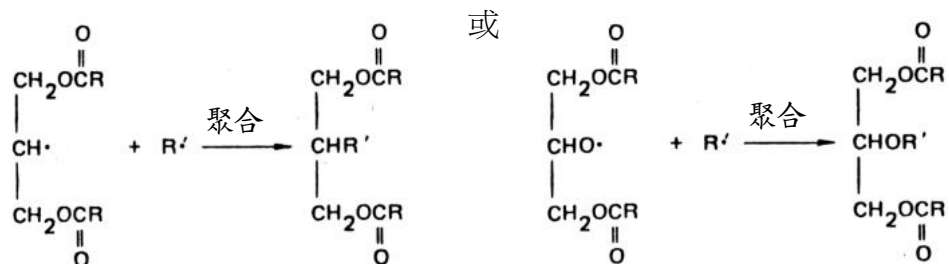
或



(3) 產生烷、醛、酸



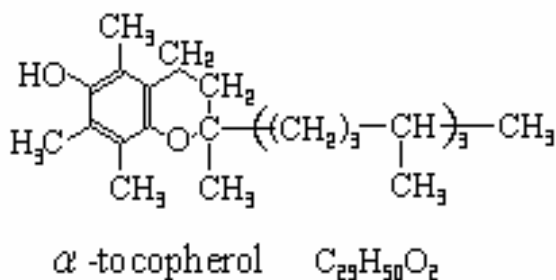
(4) 聚合產物



三、維生素 E (vitamin E) 的相關介紹

Tocopherol (生育酚) 是構成維生素 E 組成的相關物質，有 α -、 β -、 γ -、 δ -四種形式；各種形式皆為二氫苯駢 - α -吡喃的衍生物，不同的是甲基的數目與位置排列，而其中 α 形式為 vitamin E 族中最重要且抗氧化效果最佳的化合物。其廣泛分布於米、小麥胚芽油、萵苣、棉實油、大豆油、紫花苜蓿中。

性質：是清澈黃色黏性油物，比重約為 0.947~0.958。脂溶性，不溶於水，可溶於丙酮、乙醇、氯仿、乙醚等有機溶劑。於空氣中存在下，鹼中，會被氧化；對酸安定，對可見光安定，但遇紫外光分解。另外，關於生物作用機制方面，因不在本實驗中探討，故不列出。(結構式請參見下圖)



四、酸價 (acid value)

酸價為油品劣敗常用的指標，是表示油品本身酸敗的程度。油品中酸價越高，油品的品質也隨之下降。

1. 測定原理

酸價的定義是：中和 1 克油品中所含自由態脂肪酸（油品油炸後裂解產生的酸及水解產生的游離脂肪酸）所需的氫氧化鉀毫克數，即謂之酸價。

2. 計算方式

$$\text{酸價} = A \times N \times 56.11 / \text{樣品重(g)}$$

$$A = \text{【油品的 KOH 消耗量(mL)】} - \text{【空白試驗的 KOH 消耗量(mL)】}$$

N：使用 KOH 的濃度

五、粘度 (viscosity)

流體在流動時，內部液層間所產生的阻力。當流動流體內部的鄰接處所形成的兩液層間有速度差時，根據兩者所產生的摩擦力，發生黏性。溫度升高，粘度降低；壓力升高，粘度增加。本實驗僅以粘度的大小相對比較油樣品的聚合程度。

1. 測定原理

毛細管粘度計（奧士華粘度計 Ostwald viscometer）：依據哈根卜瓦醉定律（Hagen-Poiseuille's law）。測定一定體積的流體以某壓力在毛細管中通過的時間。

2. 計算方式

$$\text{粘度} (\mu) = \mu' \times (d t / d' t')$$

μ ：油品的粘度。 μ' ：標準液的粘度。

d ：油品的比重。 d' ：標準液的比重。

t ：油品留下的秒數。 t' ：標準液留下的秒數。

六、共軛雙鍵 (conjugated double bond) 含量指標

所謂共軛雙鍵是指多烯烴類中具有二雙鍵中夾一單鍵之結構者。當油品氧化時，所形成的共軛雙鍵可吸收強紫外線，波長約為 233nm。故當油脂中所形成的共軛雙鍵含量越多，其吸光值也越大。

1. 測定原理

測定每 1 克油品在波長 233nm 的吸光值，做為油脂中共軛雙鍵的含量指標。

2. 計算方式

$$\text{共軛雙鍵含量指標 (abs./g)} = A \times (V/W)$$

A：油品在 UV233 nm 的吸光值

(V/W)：油品稀釋倍數 (mL/g)

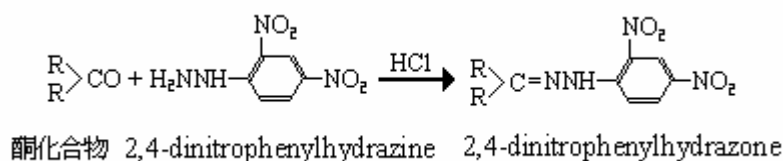
七、羰基價 (carbonyl group)

回鍋過程的初期，油品正在進行氧化的自由基連鎖反應，慢慢產生些含共軛雙烯的物質，所以共軛雙鍵的含量慢慢上升；到達某一反應階段，因油品本身與外界（實驗控制）所給予的條件適當，使油品中的碳鏈分裂或脫水，形成羰基(carbonyl group)化合物——即含有許多低分子的醛類和酮類。

1. 測定原理

醛類和酮類的共同特性為親核性試劑對羰基之加成反應。羰基化合物與

2,4-dinitrophenylhydrazine 作用，生成衍生物，加入鹼酒精溶液，即呈色，用 UV440 nm 比色法定量。



2. 計算方式

$$\text{羰基價 (meq/kg)} = (A \times 50) / (0.854 \times \text{油品重})$$

A：油品在 UV440 nm 的吸光值。

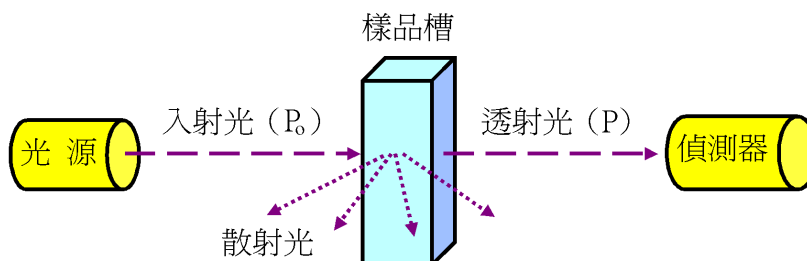
八、連續波長掃描測定模式 (WL scanning)

此測定模式以連續波長 (200nm ~ 500nm) 之光線，測定油品的吸收度。取其測定所得的光譜圖和圖中特定波峰加以比較，藉以觀察各樣品經過回鍋過程後，油品內部化學成份含量變化之差異。

九、比色計使用注意事項

1. 開啓比色計後，調至所欲測試的模式。開始測試之前要先以溶劑歸零。
2. 手持石英試管時，勿碰光滑面，放入前先用拭鏡紙擦拭試管表面，以免因試管表面的雜質增加實驗誤差。
3. 比色計原理：比爾定律(Beer's Law)

當一束光通過含吸收物種的溶液，光束強度由 P_0 調減至 P 。



入射光強度為 P_0 ，透射光強度為 P 。

定義介質的穿透率 (transmittance, 簡記為 T) 與介質的吸光值 (absorbance, 簡記為 A) 如下：

$$T = P / P_0$$

$$A = \log (P_0 / P) = -\log T$$

在單一頻率的光源中，吸光值正比於溶液濃度 c 、光徑長度 b 與物質的吸收特性，其關係式可表示如下：

$$A = \epsilon bc \quad \text{其中 } \epsilon \text{ 為物質莫耳吸收係數 (molar absorptivity)。$$

此即為比爾定律。

肆、研究藥品與器材

維生素 E (α -tocopherol, 簡記為 vit E)	製造公司 SIGMA, Approx. 95% 100g, 開封日期 2001.5.3
酯化的維生素 E (α -tocopherol acetate, 簡記為 vit E(ace))	製造公司 MERCK, 100g, 開封日期 2000.1.5
統一大豆沙拉油	成分 100%大豆沙拉油, 容量 760c.c.(700g), 製造日期 2000.8.16
桂冠冷凍饅頭	主要成分 麵粉、糖、水、酵母、鹽、植物油 製造日期 2001.2.27 重量 40g/顆 (約 6×5.5×3.5 公分)

0.05% 2,4-二硝基苯肼之苯溶液 (2,4-dinitrophenylhydrazine)	乙醚
4.3% 三氯乙酸之苯溶液 (trichloroacetic acid, 簡記為 TCA)	丙酮
4% KOH 乙醇溶液	正己烷
0.01N KOH 乙醇溶液	電子天秤
乙醇-乙醚(1:1)混合溶液	溫度計
廣用指示劑	微量注射針筒
甲苯	滴定管
絕對酒精	奧士華粘度計
	碼錶
	光電比色計

伍、研究步驟

一、油品製備過程

1. 無添加油品

- (1) 預估實際模擬過程所需之油量 (約兩瓶沙拉油共 1820mL), 倒入鍋中。
- (2) 大火加熱至 150°C 左右, 轉成中火; 輕輕放入十顆已四等份的饅頭油炸。
- (3) 炸約十分鐘後瀝乾撈起; 紀錄當時油溫。
- (4) 冷水浴至室溫冷卻後, 再重複四次步驟 2、3。(共油炸五次)
- (5) 於回鍋 (油炸) 過程中, 分別於油炸前、油炸第 2、4、5 次冷水浴後取樣 100mL。(共製備四種樣品)

2. 添加 vit E 油品.....【1mg/mL, 共 0.76g】

- (1) 預估實際模擬過程所需之油量, 倒入鍋中; 添加適量 vit E, 攪拌使之均勻。
- (2) 其餘步驟皆參照步驟 1. (2) ~ (5)。

3. 添加 vit E(ace) 油品.....【1mg/mL, 共 0.76g】

- (1) 於鍋中倒入模擬過程所需之油量; 添加適量 vit E(ace), 攪拌使之均勻。
- (2) 其餘步驟皆參照步驟 1. (2) ~ (5)。

二、酸價的實驗步驟

1. 取 2 克油樣品置於 50mL 錐形瓶中。
2. 加入 30mL 乙醇-乙醚(1:1)混合溶液與數滴廣用指示劑，搖晃使之均勻。
3. 以 0.01N KOH 滴定之，待其顏色呈綠色且維持 30 秒時，即達滴定終點。

三、粘度的實驗步驟

1. 取 4mL 之油樣品置於適當試管中，利用電子天秤計算其比重。
2. 加入 4mL 乙醚於試管中使均勻溶解。
3. 將混合溶液移至黏度計中，以碼錶記錄 2mL 液體於毛細管中流下之時間。
4. 將 4mL 水溶入 4mL 乙醚中做為標準液，重覆第 3 步驟。

四、共軛雙鍵之含量指標的實驗步驟

1. 取油樣品 0.1g 於 100mL 的量瓶中。
2. 在量瓶中加入正己烷至量瓶的刻度線，此時將油樣品稀釋 1000 倍。
3. 將溶液混合均勻後，取溶液 3mL 於石英試管中，加蓋。
4. 放入比色計中，以 UV233nm 測定其吸光值。

五、羰基價的實驗步驟

1. 取 5mg 之油樣品溶於 2.5mL 甲苯中。
2. 加入 4.3% TCA 苯溶液 1.5mL、0.05% 2,4-二硝基苯肼之苯溶液 2.5mL。
3. 塞上血清塞，60°C 水浴加熱 30 分鐘後，水浴冷卻至室溫。
4. 加入 4% KOH 酒精溶液 5mL。
5. 以 UV440nm 波長測定吸光值。
6. 另做空白試驗。以其相差作為試樣的吸光值。

六、連續波長掃描測定模式的實驗步驟

1. 取油樣品 0.1g 於 100mL 的量瓶中。
2. 在量瓶中加入正己烷至量瓶的刻度線，此時將油樣品稀釋 1000 倍。
3. 將溶液混合均勻後，取溶液 3c.c.於石英試管中，加蓋。
4. 放入比色計中，以連續波長 (200nm ~ 400nm) 之光線進行光譜掃描，測定油品的吸光度。

陸、研究結果

一、回鍋過程的觀察紀錄

1. 回鍋過程中，第一、二次幾乎沒有發煙；直到第三次，油煙開始變多，且油耗味亦逐漸明顯；到第五次回鍋時，不僅油煙量大，並瀰漫著一股奇怪的焦味。
2. 油量方面，隨著回鍋過程的進行，油鍋中的油量也因大量油炸（饅頭吸油）而減少，油量從原本將近 1850mL 減少到不到 500mL，相差近 1000 mL 之多。
3. 顏色方面，未經處理的油呈現近乎金黃透明的純淨；隨著回鍋次數的增加，油品的顏色也逐漸加深。到了最後，油品已呈深茶色的濃稠狀態，且鍋底沉著許多焦黑的饅頭屑。
4. 無添加、添加 vit E、和添加了 vit E (ace) 的三種油品，在每次回鍋過程中的色澤大致相同，但在第五次（最後一次）回鍋過程後，無添加的油品色澤明顯比有添加的油品色澤深許多。
5. 各樣品的油炸末溫略控制在 200°C 上下，唯三種油品在進行第 5 次油炸過程中，因油量的大量減少，而導致溫度上升幅度較高。
6. 各次油炸末溫記錄如下：

油炸末溫 (°C)	回鍋第 1 次	回鍋第 2 次	回鍋第 3 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
無添加油品	204	196	204	210	300
添加 vit E 油品	210	232	200	218	248
添加 vit E(ace) 油品	208	219	220	210	250

二、酸價

(V:各種油品進行酸價滴定所消耗 0.01N KOH 的體積)

1. 空白試驗: V=0.4mL

2. 無添加油品

V (mL)	回鍋第 0 次	回鍋第 2 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
1 st	0.50	0.60	0.70	2.80
2 nd	0.50	0.50	0.75	2.70
3 rd	0.48	0.60	0.85	2.70
均值	0.49	0.57	0.77	2.73
酸價	0.042	0.075	0.165	1.047
標準差 S.D.	0.011	0.021	0.028	0.021

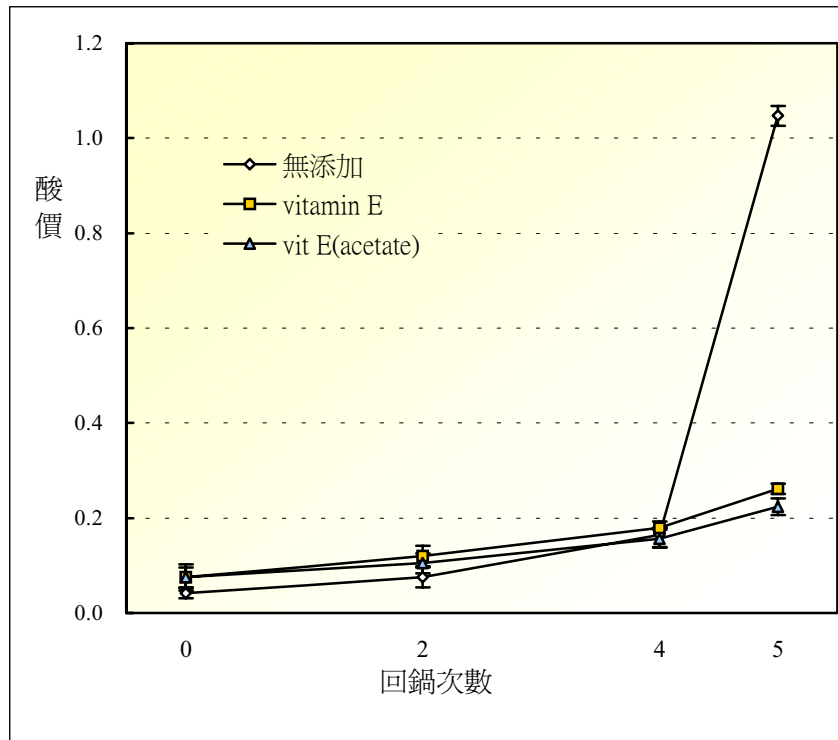
3. 添加 vit E 油品

V (mL)	回鍋第 0 次	回鍋第 2 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
1 st	0.60	0.60	0.80	1.00
2 nd	0.50	0.70	0.80	0.95
3 rd	0.60	0.70	0.80	1.00
均值	0.57	0.67	0.80	0.98
酸價	0.075	0.120	0.180	0.262
標準差 S.D.	0.021	0.021	0.000	0.011

4. 添加 vit E (ace) 油品

V (mL)	回鍋第 0 次	回鍋第 2 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
1 st	0.55	0.70	0.80	0.85
2 nd	0.50	0.60	0.70	0.95
3 rd	0.65	0.60	0.75	0.90
均值	0.57	0.63	0.75	0.90
酸價	0.075	0.105	0.157	0.224
標準差 S.D.	0.042	0.021	0.018	0.018

圖 1. 各種油品酸價變化比較



5. 酸價數據整理如圖 1，說明如下：

- (1) 無添加油品酸價在初始時，即有逐漸增加的趨勢；經過回鍋數次後，其酸價劇烈上升，高達起始值的二十多倍。
- (2) 添加 vit E 油品酸價在剛開始已是無添加油品的兩倍之多。而回鍋過程中，依舊有逐漸增加的趨勢，但後並未出現如同無添加油品般誇張的劇烈變化。
- (3) 添加 vit E (ace) 油品酸價在剛開始也是無添加油品的兩倍之多。而回鍋過程中，其酸價依然為逐步上升的趨勢，但其上升的幅度卻較添加 vit E 油品來的小。

三、粘度

(油品與乙醚一比五倍體積稀釋)

1. 乙醚的流下時間 ('09"24) ; 比重 (0.70g/ml)

2. 無添加油品

	回鍋第 0 次	回鍋第 2 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
比重(g/ml)	0.89	0.91	0.92	0.93
1 st	'54"39	'59"41	1'00"89	1'06"48
2 nd	'54"14	'59"92	1'00"22	1'06"39
3 rd	'54"06	1'00"07	1'00"26	1'07"27
均值	'54"20	'59"80	1'00"46	1'06"71
粘度	3.18	3.58	3.67	4.09
標準差 S.D.	8.43×10^{-3}	1.70×10^{-2}	1.86×10^{-2}	2.43×10^{-2}

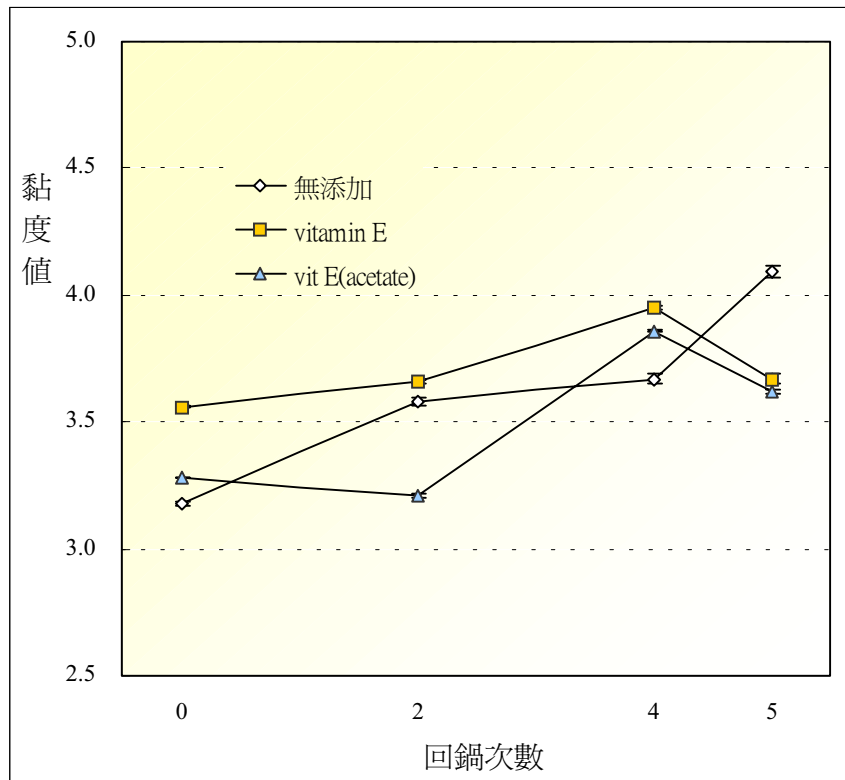
3. 添加 vit E 油品

	回鍋第 0 次	回鍋第 2 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
比重(g/ml)	0.91	0.92	0.94	0.92
1 st	'59"39	1'00"20	1'03"57	1'00"88
2 nd	'59"38	1'00"38	1'03"65	1'00"20
3 rd	'59"36	1'00"37	1'03"80	1'00"45
均值	'59"38	1'00"32	1'03"67	1'00"51
粘度	3.56	3.66	3.95	3.67
標準差 S.D.	7.49×10^{-4}	5.01×10^{-3}	5.91×10^{-3}	1.70×10^{-2}

4. 添加 vit E (ace) 油品

	回鍋第 0 次	回鍋第 2 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
比重(g/ml)	0.90	0.90	0.95	0.93
1 st	'55"37	'54"33	1'01"70	'58"99
2 nd	'55"16	'53"89	1'01"70	'59"01
3 rd	'55"41	'54"16	1'01"62	'59"17
均值	'55"31	'54"13	1'01"67	'59"06
粘度	3.28	3.21	3.86	3.62
標準差 S.D.	0.51×10^{-3}	1.08×10^{-2}	2.36×10^{-3}	4.60×10^{-3}

圖 2. 各種油品黏度變化比較



5. 粘度數據整理如圖 2，說明如下：

- (1) 無添加油品粘度隨著回鍋次數的增加而增加；呈現持續的上升趨勢。
- (2) 添加 vit E 油品一開始的粘度即比無添加油品高，在前四次回鍋油炸後些微增加，但經過第 5 次回鍋過程後，其粘度值卻不升反降。
- (3) 添加 vit E (ace) 油品一開始的粘度較無添加油品高一點，經過一次回鍋後，粘度呈現極小幅的下降；之後又明顯的上升，到第五次回鍋過程結束，亦如同添加 vit E 油品的變化般地不升反降。

四、共軛雙鍵含量指標

(油品與乙醚一比五倍體積稀釋)

1. 在 UV233nm 用正己烷為溶劑將吸光值歸零

2. 純 vit E (0.1g/100mL) 在 UV233nm 吸光值：4.1950

3. 純 vit E(ace) (0.1g/100mL) 在 UV233nm 吸光值：0.4763

4. 無添加油品

UV233nm	回鍋第 0 次	回鍋第 2 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
吸光值	0.8328	1.0034	1.4098	2.9813
共軛雙鍵含量指標	726.702	1017.647	1304.163	3073.505

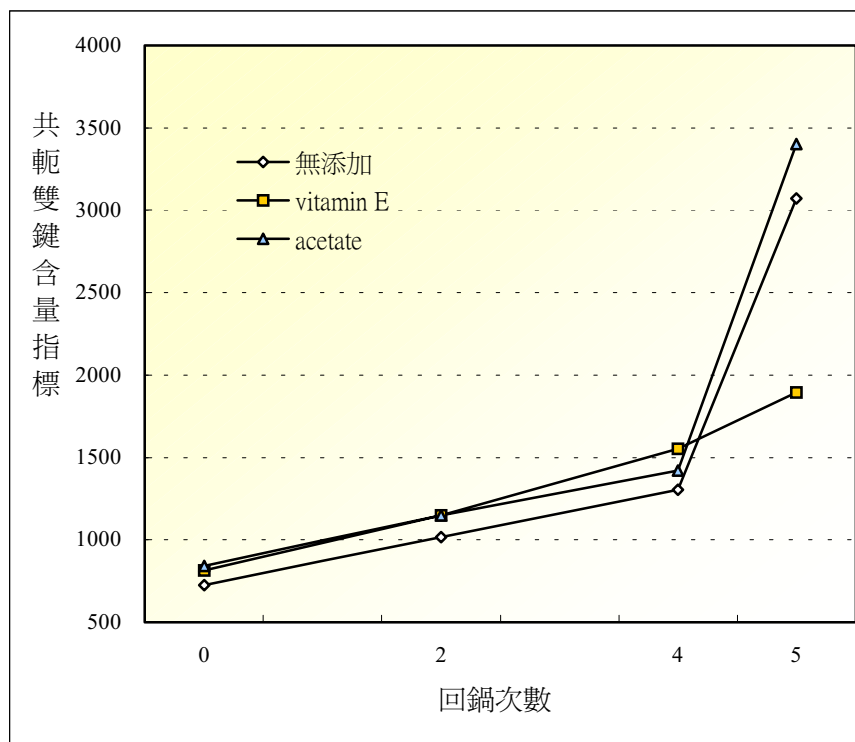
5. 添加 vit E 油品

UV233nm	回鍋第 0 次	回鍋第 2 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
吸光值	0.9456	1.2458	1.6368	2.0896
共軛雙鍵含量指標	815.172	1150.323	1552.941	1896.189

6. 添加 vit E (ace) 油品

UV233nm	回鍋第 0 次	回鍋第 2 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
吸光值	0.8860	1.1860	1.4704	3.4948
共軛雙鍵含量指標	840.607	1150.339	1419.305	3402.921

圖 3. 各種油品共軛雙鍵含量變化比較



7. 共軛雙鍵含量數據整理如圖 3，說明如下：

- (1) 無添加油品的共軛雙鍵含量在前四次回鍋過程中呈現平穩上升的趨勢；到第 5 次回鍋過程後，其共軛雙鍵含量大幅度地劇烈增加。
- (2) 添加 vit E 油品的共軛雙鍵含量在回鍋過程中呈現小幅平穩上升的趨勢。
- (3) 添加 vit E (ace) 油品的共軛雙鍵含量的變化與無添加油品類似，除前四次的上升趨勢外，經第 5 次回鍋過程後，其共軛雙鍵含量亦大幅度劇烈增加。

五、羰基價

(A:各樣品進行羰基價測定在 UV440nm 的吸光值)

1. 空白試驗：0.7175

2. 無添加油品

A	回鍋第 0 次	回鍋第 2 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
1 st	0.7518	0.8188	1.4403	1.3852
2 nd	0.7690	0.9023	1.5747	1.2416
3 rd	0.7647	0.8814	1.5411	1.2775
均值	0.7618	0.8675	1.5187	1.3014
羰基價	0.5191	1.7565	9.3817	6.8376
標準差 S.D.	8.65×10^{-2}	4.15×10^{-1}	6.69×10^{-1}	6.90×10^{-1}

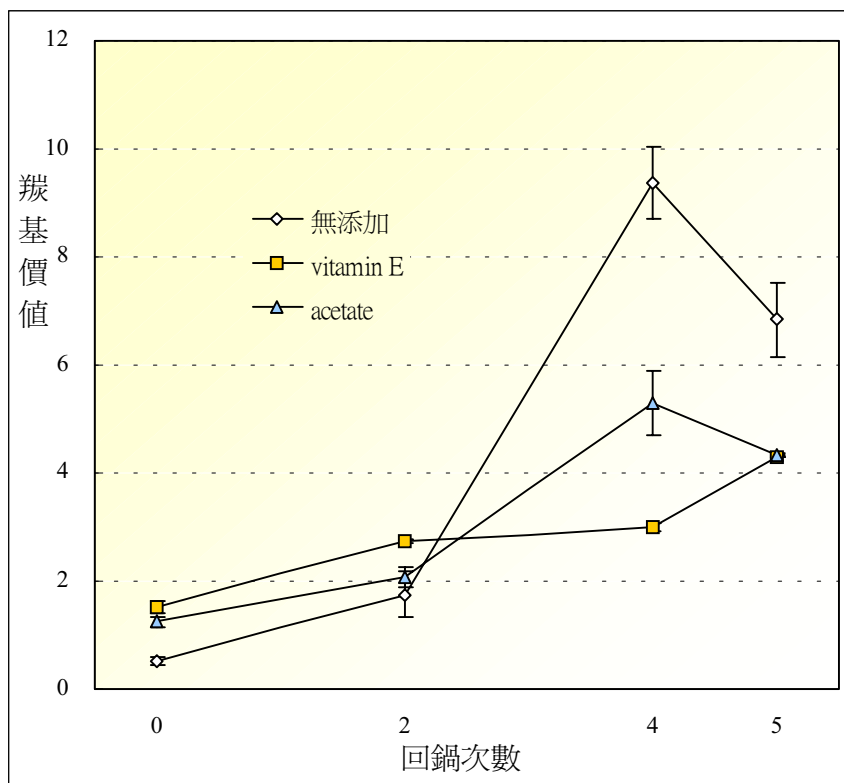
3. 添加 vit E 油品

A	回鍋第 0 次	回鍋第 2 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
1 st	0.8343	0.9496	0.9635	1.0893
2 nd	0.8580	0.9498	0.9803	1.0832
3 rd	0.8521	0.9547	0.9761	1.0847
均值	0.8481	0.9514	0.9733	1.0857
羰基價	1.5296	2.7385	2.9953	4.3120
標準差 S.D.	1.18×10^{-1}	2.52×10^{-2}	8.36×10^{-2}	3.04×10^{-2}

4. 添加 vit E (ace) 油品

A	回鍋第 0 次	回鍋第 2 次	回鍋第 4 次	回鍋第 5 次
1 st	0.8147	0.8723	1.2392	1.0893
2 nd	0.8348	0.9108	1.1213	1.0832
3 rd	0.8215	0.9012	1.1508	1.0911
均值	0.8237	0.8948	1.1704	1.0879
羰基價	1.2432	2.0756	5.3036	4.3368
標準差 S.D.	9.77×10^{-2}	1.92×10^{-1}	5.87×10^{-1}	3.96×10^{-2}

圖 4. 各種油品羰基價變化比較



5. 羰基價數據整理如圖 4，說明如下：

- (1) 無添加油品的羰基價在回鍋過程中變動明顯：前四次的回鍋過程間呈上升走向，尤在第 2、4 次回鍋過程間巨幅上升，但在第 5 次回鍋過程之後下降。
- (2) 添加 vit E 油品的羰基價在回鍋過程中的改變呈現持續上升的趨勢。
- (3) 添加 vit E (ace)油品的羰基價在前四次回鍋過程中有逐步上升的趨勢；但在第 5 次回鍋過程後，其羰基價反而下降。

六、連續波長掃描測定模式

圖 5. 無添加油品在不同回鍋次數下 200~400nm 波長掃描結果

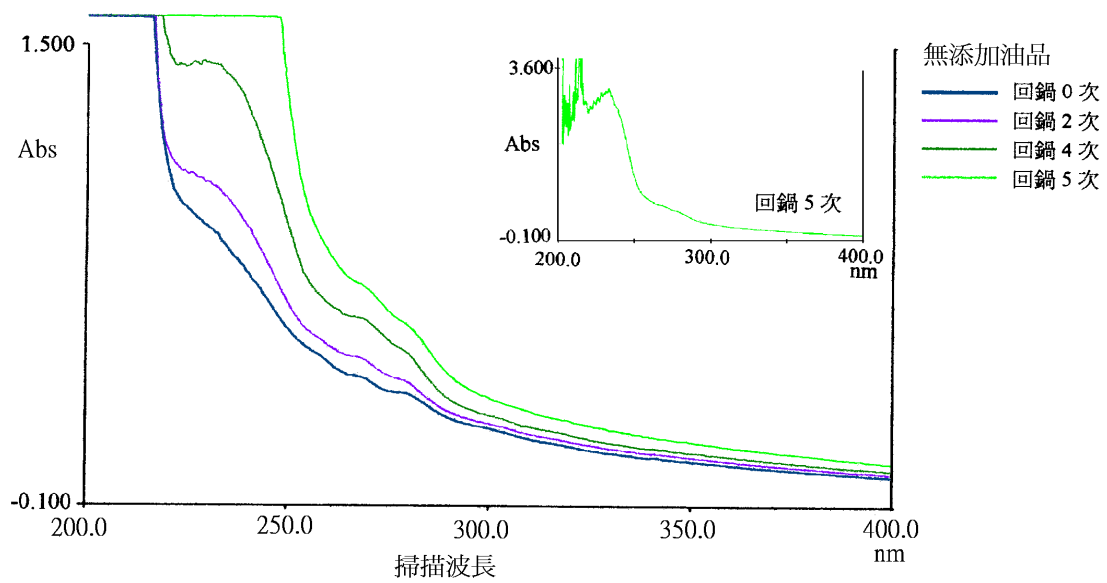


圖 6. 添加 vit E 油品在不同回鍋次數下 200~400nm 波長掃描結果

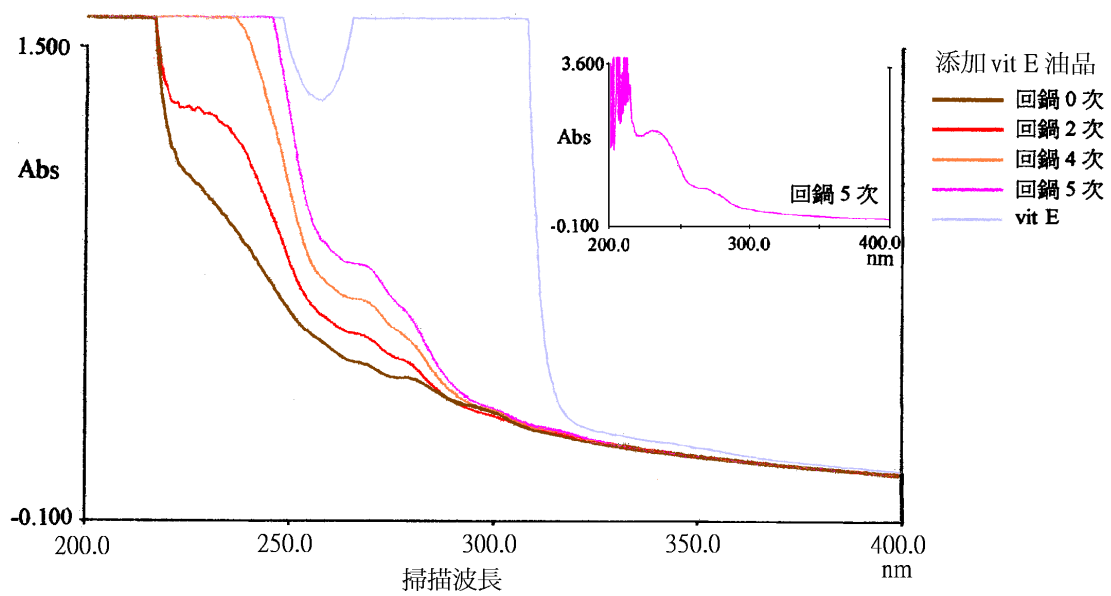
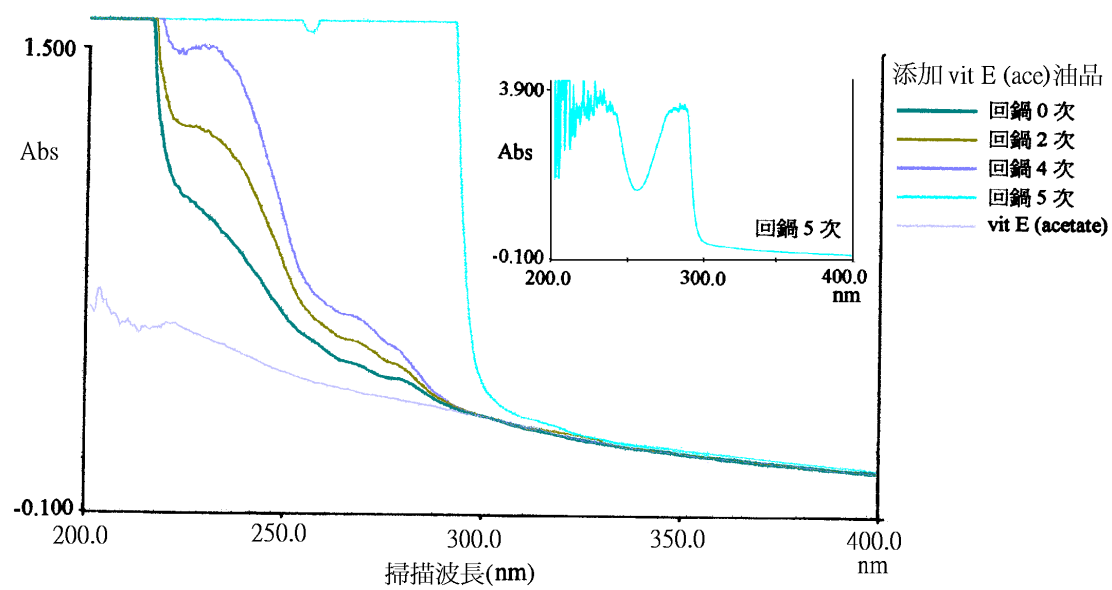


圖 7. 添加 vit E(ace)油品在不同回鍋次數下 200~400nm 波長掃描結果



柒、討論

一、發煙點

五次回鍋中，於回鍋第 3 次時，可能是三種油品中所含脂肪酸含量或碳鏈長短等條件都差不多，而回鍋過程所給予的熱能與加熱溫度，又剛好達到這些條件下的油品發煙點，所以三種油品皆在此時（回鍋第 3 次）產生大量不良氣味的油煙。

二、酸價（圖 1）

1. 無添加油品經回鍋油炸後，游離脂肪酸含量會隨著回鍋次數的增加而增加；且隨次數上升越形劇烈。但相對於有添加（無論有無酯化 vit E）的油品，雖其游離脂肪酸量亦隨著回鍋次數的增加而增加，可是其趨勢卻相對平穩，緩慢增加。
2. 回鍋第 4、5 次之間，無添加油品的酸價變化較大。可能是那一階段油品所具有的條件，剛好可使其達到最大的反應速率，使其在那一階段的回鍋過程中增加大量的游離脂肪酸。
3. 添加有無酯化的 vit E 在回鍋油中，對於酸價的影響並無太大差別，而且添加 vitamin E 的油，其最後產生的游離脂肪酸確實比未添加的油品少許多。由上述可知，vit E 無論是否酯化，其添加對於抑制油品水解產生游離脂肪酸的方面，應都具有正面作用。

三、粘度（圖 2）

無添加油品在回鍋過程中發生聚合的作用，使油品中脂肪酸的碳鏈相接，平均鏈長增加，導致油品的粘度隨回鍋次數的增加而越形黏稠；而其他兩種有添加的油品粘度值，均於回鍋四次後達到最高，回鍋五次後反而降低，所以 vit E 對油品的聚合有些影響，使聚合與裂解等反應複雜地進行交互影響；且不管是有無酯化，這種不穩定的情況還是存在，只是程度不同而已。因此，我們無法判定添加 vitamin E 對油品粘度究竟產生的是正面或是負面的影響。

四、共軛雙鍵含量（圖 3）

1. 無添加油品的共軛雙鍵的含量在前四次的回鍋過程，呈現穩定成長的趨勢，且和添加了 vit E（酯化與未酯化）油品回鍋所呈現的情形大同小異。而在第 5 次後，無添加與添加已酯化 vit E 的油品其共軛雙鍵的含量都上升地相當劇烈，甚至添加 vit E(ace)後其共軛雙鍵含量還略高於原未添加的油品；但添加 vit E 油品在經第 5 次回鍋後，雖然其共軛雙鍵含量上升趨勢也較之前明顯升高，卻相對地受到抑制。
2. 綜合上述討論，三種油品的共軛雙鍵含量，皆隨著回鍋次數而有逐漸上升的趨勢。添加 vit E 對油品於回鍋過程的初期並無明顯的影響，但是第 5 次回鍋後卻有明顯變化：添加 vit E 油品的共軛雙鍵含量明顯比其他兩種油品的含量低很多。由此推測 vit E 原本的確具有抗氧化的作用（即相對抑制過氧化物、氫過氧化物形成的作用），但酯化的 vit E(ace)消失了原本的抗氧化力，所以其共軛雙鍵含量的變化與無添加油品的趨勢相近。可見對於油品經油炸、回鍋後，其共軛雙鍵產生的抑制，僅有未酯化的 vit E 能發揮作用。

五、羰基價（圖 4）

1. 三種油品的羰基價在回鍋過程初期都是呈小幅度的上升；在大約第 4 次回鍋時，不同油品間卻出現相當差距的變化。其中無添加油品的羰基價明顯大幅地升高，次之的是添加 vit E(ace)油品，餘下添加 vit E 油品的上升幅度最小。
2. 無添加油品的羰基價趨勢，在回鍋初期有小幅的上揚，後來可能是因為油品中的反應階

段正進行大量的脫水與分裂，故形成大量羰基化合物，使羰基價劇烈上升；等到回鍋較多次後，又因過度的烹煮加熱，使得油品中的羰基化合物又再度變化，形成一些不具有羰基的化合物，故其羰基價在回鍋多次的樣品中有減少的現象發生。

3. 回鍋作用初期，兩種有添加油品的羰基價大致與無添加的油品相同。回鍋 3 次後，添加未酯化或酯化的 vitE 皆可以抑制羰基化合物的生成。但添加 vit E 的油品，在後來的回鍋過程中，羰基價上揚的趨勢明顯穩定於其他兩種油品，且上揚的幅度相對較小。
4. 添加 vit E(ace)油品於回鍋第 4 次的羰基價明顯高於添加 vit E 油品；等到回鍋第 5 次後，添加 vit E(ace)油品的羰基價下降到幾乎與添加 vit E 油品羰基價相等。這是因為添加 vit E(ace)油品回鍋第 4 次之後，其羰基化合物的量已有相當的累積；致使經過再次回鍋烹煮後，又分裂脫水為其他物質，故羰基價值才在回鍋過程結束後下降。

六、連續波長掃描（圖 5、6、7）

1. 無添加油品在未回鍋時（回鍋第 0 次）的光譜曲線即為一般新鮮油的光譜曲線；回鍋前三次油品的的光譜曲線類似於未回鍋光譜曲線，但其波峰高度微微上揚。這是因為新鮮純油尚未經添加烹煮，油脂中所含物最為精純，導致光譜曲線的波峰高度（吸光值大小）最小。而後，因為不斷地回鍋烹煮，油品中成分開始出現一連串複雜化學連鎖反應，導致油品成分逐漸改變為更複雜的有機物形式。
2. 回鍋次數四次以上之後，光譜曲線圖形改變愈為劇烈，而且光譜曲線的吸光值也不斷地上升，這表示油品中生成了更多複雜的有機化合物。同理於其他兩種添加的油品曲線，大致也呈上述情形，只是各曲線之間的差異不同而已。
3. 光譜曲線的波峰大致可分成三個：大約在 233nm、270nm 與 275nm 的位置。由文獻中已知道，關於 UV233nm 的吸光值可表示油品中的共軛雙鍵含量；但目前由於未有實驗設計，所以並無法推測或證明曲線中另兩個的波峰究竟為何者結構的主要吸光值，只能判定為油品中的有機化合物，因回鍋過程所發生的化學連鎖反應的進行而增加。

捌、結論

我們將酸價、粘度、共軛雙鍵含量及羰基價等作為本次研究中探討油品品質的重要指標，而維生素 E 所造成的影響也因指標的不同而有不同的差異；至於維生素 E 有無酯化，對於回鍋油品質的影響也是有差別的。今茲對於三種油品中不同的抗氧化劑添加所產生的不同影響於作以下的說明：

一、回鍋次數的影響

不管抗氧化劑的添加與否，在回鍋過程的初期，油品中各種品質指標雖然都有增加，但改變都不大，添加抗氧化劑與否的影響在此時也不太明顯。但在第 3、第 4 次回鍋過程時，油品中的各種指標值突然出現明顯的變化，無添加的沙拉油在此刻的幾項不良的指標值都劇烈地上升，表示在此階段油品的品質已經大幅下降，變的低劣。

二、添加未酯化維生素 E 的影響

添加未酯化維生素 E 油品回鍋後，油品的性質不管是共軛雙鍵、羰基化合物，或是游離脂肪酸等，這些代表油脂化學連鎖反應生成物的含量都較無添加油品降低很多很多。這表示維生素 E 確實相對抑制了諸如水解氧化等會使油品品質劣敗的化學反應。故維生素 E 對於回鍋油品的影響相較於一般的回鍋油來說，它的影響是正面的，的確可以降低一般回鍋過程對於油品品質的傷害！

三、添加已酯化的維生素E的影響

添加已酯化的維生素E對於回鍋油的影響，就某些方面的油品品質指標來看，它對回鍋油的影響也是有些許正面的效果，諸如粘度、游離脂肪酸及羰基化合物含量等都較無添加油品來得少，但其減少的效果仍然不如未酯化維生素E的影響。值得一提的，共軛雙鍵的含量，顯示出酯化維生素E對於回鍋油的影響與一般無添加者無異，可見得已酯化的維生素E再已無與維生素E一般的抗氧化作用。

就以上的總結，維生素E的添加確實可以有效減少油品烹煮時的化學反應對於回鍋油的品質的影響；故添加維生素E對於回鍋油的品質的確有正面性的影響！

玖、參考文獻

1. 蔡文宜，市面用油炸品質評估方法之探討，國立台灣大學食品科技研究所論文，民76年6月
2. 楊博光，油脂加熱及油炸過程中品質之測定，台大食品科技研究所碩士論文，民75年6月
3. 李秀、賴滋漢，食品分析與檢驗，富林出版社，民國81年8月張為憲等人，食品化學，華香園出版社，民國84年林志成， α -生育醇和大豆磷脂質對大豆純化油的抗氧化作用，元培學報，第2期，民84年12月施明智《食品學原理》，藝軒出版公司，民85年，第二版
7. 鄭知傑，食用油脂之高溫安定性及食品成分對油脂氧化安定性之影響，大葉工學院食品工程研究所碩士論文，民82年6月
8. 邱秀雲，食物學，合慶國際圖書有限公司，民89年8月，修訂第二版
9. 續光清，食品化學，徐氏基金會，民79年7月
10. 段盛秀、楊海明，食品化學實驗，藝軒圖書公司，84年8月
11. 林敬二、楊寶旺、廖德張、薛敬和，化學大辭典，高偉圖書有限公司發行
12. Michael H. Gordon & Lenka Kourimska, Effect of antioxidants on losses of tocopherols during deep-fat frying, *Food Chemistry*, 52 (1995)
13. 方嘉德等人，儀器實驗分析，高利圖書有限公司，民87年，第二版
14. 黃益次，CHEMICAL TECHNICIANS' READY REFERENCE，大中國圖書公司，民89年10月，修定二版
15. Hsia-Fen Hsu and Yan-Hwa Chu, Quality Evaluation of Corn, Palm, Soybean and Sunflower Oils during Heating, 中國農業化學會誌，民86年2月，第35卷第1期
16. 黃榮茂、王禹文、林聖富、楊得仁，化學化工百科辭典，曉園出版公司，民81年5月，第二版

拾、誌謝

首先感謝在實驗過程中，周芳妃老師以及黃青真教授的親切指導，再來要感謝蔡宛蓉同學共同參與了酸價滴定和粘度測量部份，也謝謝實驗室的亦臻學姊和啓承學長，對於我們的照顧和比色計光譜掃描儀器操作上的教導。此外，校內的師長們在此次實驗期間，有關實驗室的使用和支援器材方面給予我們的幫助，我們同樣滿心感激。自然更要謝謝在我們油炸饅頭的過程中，為我們消耗（吃）掉任何一顆饅頭的老師和同學們。對於每一位曾經為我們這一次實驗盡上任何一點心力的人，我們都將獻上最深的感謝與祝福。

評 語

作者試圖探討維生素 E 對回鍋油品質之影響，內容稍欠完整，創意不多，
為作者工作態度認真、仔細，故給予佳作以茲鼓勵。