

國立臺灣大學生農學院森林環境暨資源學系

碩士論文



Graduate Institute of Forestry and Resource Conservation

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

烹飪溫度對短柱山茶油性質及氧化穩定性之影響

Effects of Cooking Temperature on Properties and
Oxidation Stability of *Camellia brevistyla* Seed Oil

邱翊

Yi Chiu

指導教授：張惠婷 博士

Advisor : Hui-Ting Chang Ph.D.

共同指導：許富蘭 博士（林業試驗所）

Co-advisor : Fu-Lan Hsu Ph.D. (TFRI)

中華民國 108 年 7 月

July 2019

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書



烹飪溫度對短柱山茶油性質及氧化穩定性之影響

Effects of Cooking Temperature on Properties and
Oxidation Stability of *Camellia brevistyla* Seed Oil

本論文係邱翊君 (R06625009) 在國立臺灣大學森林環境暨資源學系完成之碩士學位論文，於民國 108 年 07 月 24 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：國立臺灣大學森林環境暨資源學系

張上鎮 博士

張上鎮

林業試驗所森林化學組

許富蘭 博士

許富蘭

實踐大學食品營養及保健生技系

張美鈴 博士

張美鈴

國立臺灣大學森林環境暨資源學系

葉汀峰 博士

葉汀峰

國立臺灣大學森林環境暨資源學系

張惠婷 博士

張惠婷

森林環境暨資源學系系主任

柯淳涵

謝誌



本論文能夠順利完成，特別感謝指導教授張惠婷博士及共同指導林業試驗所許富蘭博士，給予學生專業知識之教導及建議，並支持學生完成論文，回想起大學時進入實驗室及就讀研究所至現在畢業在即，張老師及許博士給予之關心與鼓勵，此感恩之情將於心中長留，在此致上最深感激與敬意。論文之初稿承蒙本校張上鎮博士、葉汀峰博士及實踐大學張美鈴博士悉心審查，並於口試時提供寶貴建議，方能讓本論文更加完善，特此致上萬分感謝。

修業期間，感謝農化系蘇南維教授及其研究生原伯指導脂肪酸分析方法；感謝吳益群教授實驗室提供線蟲及相關實驗技術，佩翎學姊及彥廷學長對於線蟲試驗之幫忙，感謝研究助理小喻在各實驗及儀器上的協助，感謝我的好夥伴文君在研究或日常生活上互相勉勵的一起堅持下去，以及實驗室如或學姊、建鋒、語佟和佳瑩等在實驗及口試時的幫助；也謝謝系女籃的學妹們願意陪我在球場上發洩及發瘋，特別是欸頗與雷雷；還有謝謝娜努、Saru、薇薇、龍龍和小花等好朋友們一直都在，讓我在完成學業旅途上不孤單，在身心俱疲的時候還能繼續走下去，謝謝你們的陪伴。

最重要的是我一直給予我關懷和支持的家人們，一直相信我的母親和姊姊，一直為我驕傲的爺爺，還有在天上保佑我的阿婆，你們始終是我努力的動力和支柱。

邱翊 謹致

臺灣大學森林環境暨資源學研究所生物材料化學利用實驗室

108.07.24



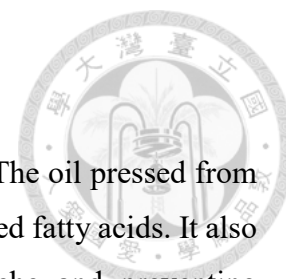
摘要

油茶為全球四大木本油料植物之一，其種子壓榨得之油脂（亦稱苦茶油）含有豐富的單元不飽和脂肪酸及減緩腸胃不適及心血管疾病等保健功效。坊間對苦茶油的烹調方式多建議短時間低溫使用，但亦有「苦茶油的冒煙點高達 220°C，適用於高溫烹調」之說法，然而，有關烹飪溫度對苦茶油品質影響之文獻甚少。本研究取短柱山茶油（*Camellia brevistyla*）於 100、140 及 180°C 三種溫度下連續加熱 24 h，分析烹飪溫度對油脂品質及活性之影響，品質分析項目包含顏色、脂肪酸、總極性物質、酸價、過氧化價、油脂氧化穩定性、 α -Tocopherol、Squalene 及揮發性成分，並以自榨短柱山茶油、亞麻油及葵花油三種壓榨種子油進行比較；活性研究方面，利用秀麗隱桿線蟲（*Caenorhabditis elegans*）作為模式生物，進行秀麗隱桿線蟲熱休克及麻痺試驗，探討短柱山茶油是否具延長線蟲壽命及抗阿茲海默症之活性，及於不同烹飪溫度加熱對其活性之影響。

有關烹飪溫度對短柱山茶油品質之影響研究結果顯示，隨著烹飪溫度增加，其顏色由綠色先變淡後轉深黃、脂肪酸、 α -Tocopherol、Squalene 含量下降、總極性物質含量及酸價上升、過氧化價先升後降及油脂氧化穩定指數呈下降之趨勢，且產生具油耗味之長碳鏈 Aldehydes 等揮發性成分。短柱山茶油因單元不飽和脂肪酸比例較高故較亞麻油與葵花油穩定，油脂氧化穩定指數亦較高，且在高溫使用下，油脂劣化程度較低；秀麗隱桿線蟲活性研究方面，短柱山茶油可有效提高 N2 野生種秀麗隱桿線蟲於高溫逆境下之耐受性及抑制 β -amyloid 活性誘導 GMC101 基因轉殖秀麗隱桿線蟲麻痺率，顯示短柱山茶油具有延長線蟲壽命及應用於治療或預防阿茲海默症之潛力，而此現象隨烹飪溫度愈高而漸弱。綜合上述結果，三種壓榨種子油中，短柱山茶油因含油酸比例較高故具較佳之油脂氧化穩定性，且短柱山茶油具有延長線蟲壽命及應用於治療或預防阿茲海默症之潛力，然而短柱山茶油之品質與活性隨烹飪溫度增加而下降。

[關鍵詞] 短柱山茶油、秀麗隱桿線蟲、烹飪、脂肪酸、氧化穩定性、揮發性成分。

Abstract



The Camellia family is one of the four famous woody oil plants. The oil pressed from camellia seeds, known as Camellia seed oil, is rich in monounsaturated fatty acids. It also provides various benefits to health, such as relieving stomachache and preventing cardiovascular diseases. The most common way of using camellia oil is to cook at low temperatures. It is also suggested that Camellia seed oil is suitable for high temperature cooking since its smoke point is around 220°C. However, there was little study on the effects of cooking temperature on the quality of Camellia seed oil. In this study, commercial *Camellia brevistyla* seed oil was continuously heated at 100, 140 and 180°C for 24 h and analyzed for the influence of cooking temperature on the quality and activity of *C. brevistyla* seed oil, including the oil color, fatty acids, total polar compounds, acid value, peroxide value, oxidative stability, α -tocopherol, squalene and volatile compounds. There is also a comparison with the properties of the three pressed seed oil, *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower oil, at high temperatures. In the biological activity study, heat shock test and paralysis test were conducted by use of *Caenorhabditis elegans* as a model organism to investigate whether *C. brevistyla* seed oil has the prolong the lifespan and anti-Alzheimer's disease effect. The effect of different cooking temperature on the activity of *C. brevistyla* seed oil was also explored.

The effect of cooking temperature on the quality of *C. brevistyla* seed oil showed that as the cooking temperature increased, the color of oil lightened, then turned yellow, while the amount of fatty acids, α -tocopherol and squalene decreased. In addition, the total polar compounds content and acid value increased, the peroxide value increased first and then decreased, and the oxidation stability index decreased in *C. brevistyla* seed oil during heating time. Moreover, volatile oxidation compounds such as long chain aldehydes related to rancid odor were produced. Compared with flaxseed oil and sunflower oil, *C. brevistyla* seed oil is more stable because of higher monounsaturated fatty acids proportion and the higher oxidative stability index. In addition, *C. brevistyla* seed oil at high temperature has lower degree of oxidative degradation. In the *C. elegans* activity study, the *C. brevistyla* seed oil can effectively improve the thermotolerance of N2 wild type *C. elegans* in high temperature stress and inhibit the β -amyloid-induced paralysis toxicity of GMC101 transgenic *C. elegans*, yet this effect weakened with higher

cooking temperature.

Based on the above results, among the three pressed seed oils, high oleic acid *C. brevistyla* seed oil is more suitable and has lower degree of oxidative degradation at high temperature. And *C. brevistyla* seed oil has the potential to prolong the lifespan of *C. elegans* and apply to the treatment or prevention of Alzheimers disease. However, the quality and activity of *C. brevistyla* seed oil decreases with the increase of cooking temperature.

Keywords: *Camellia brevistyla* seed oil, *Caenorhabditis elegans*, Cooking, Color, Fatty acids, Oxidative stability, Volatile compounds.


目錄



摘要	I
Abstract.....	II
目錄	IV
圖目錄.....	VII
表目錄.....	X
壹、前言	1
貳、文獻回顧.....	3
一、苦茶油之介紹.....	3
(一) 油茶.....	3
(二) 苦茶油及其製程.....	4
(三) 苦茶油之成分及生物活性.....	6
二、油脂自氧化反應.....	11
三、油脂品質之評估方法.....	12
四、烹飪對植物壓榨油品質之影響.....	15
參、材料與方法.....	21
一、試驗材料.....	21
(一) 試材.....	21
(二) 線蟲與菌種.....	21
(三) 試驗藥品與溶劑.....	22
二、試驗方法.....	22
(一) 製備油品.....	22
(二) 加熱試驗.....	22
(三) 油脂顏色參數試驗.....	23



(四) 脂肪酸分析試驗	23
(五) 總極性物質含量	24
(六) 酸價試驗	24
(七) 過氧化價試驗	24
(八) α -Tocopherol 及 Squalene 含量分析	25
(九) 油脂氧化穩定性試驗	25
(十) 揮發性成分分析	25
(十一) 線蟲生物活性試驗	26
(十二) 統計方法	27
肆、結果與討論	28
一、烹飪溫度對短柱山茶油油脂顏色之影響	28
二、烹飪溫度對短柱山茶油化學性質之影響	31
(一) 烹飪溫度對短柱山茶油中脂肪酸組成之影響	31
(二) 烹飪溫度對短柱山茶油中總極性物質含量之影響	34
(三) 烹飪溫度對短柱山茶油酸價之影響	35
(四) 烹飪溫度對短柱山茶油過氧化價之影響	37
(五) 烹飪溫度對短柱山茶油中 α -Tocopherol 及 Squalene 含量之影響	39
(六) 烹飪溫度對短柱山茶油油脂穩定指數之影響	41
三、烹飪溫度對短柱山茶油中揮發性成分之影響	44
四、短柱山茶油、亞麻油及葵花油之氧化穩定性比較	52
(一) 烹飪對短柱山茶油、亞麻油及葵花油油脂顏色之影響	52
(二) 烹飪對短柱山茶油、亞麻油及葵花油化學性質之影響	55
1. 烹飪對短柱山茶油、亞麻油及葵花油中脂肪酸含量之影響	55
2. 烹飪對短柱山茶油、亞麻油及葵花油中總極性物質含量之影響	58
3. 烹飪對短柱山茶油、亞麻油及葵花油酸價之影響	60



4. 烹飪對短柱山茶油、亞麻油及葵花油油脂氧化穩定性之影響 ...	61
五、烹飪溫度對短柱山茶油生物活性之影響	63
(一) 烹飪後之短柱山茶油對 N2 野生種 <i>C. elegans</i> 熱耐受性之影響	63
(二) 烹飪後之短柱山茶油對 GMC101 基因轉殖 <i>C. elegans</i> 麻痺率之影響	66
伍、結論	69
陸、參考文獻	70

圖目錄



圖 1. Squalene 之化學結構	7
Fig. 1. Chemical structures of squalene.....	7
圖 2. α -Tocopherol 之化學結構.....	7
Fig.2. Chemical structures of α -tocopherol.....	7
圖 3. 市售短柱山茶油、亞麻籽、葵花籽及短柱山茶種子（由左至右）	21
Fig.3. Commercial <i>C. brevistyla</i> seed oil, flaxseed, sunflower seed and <i>C. brevistyla</i> seed.....	21
圖 4. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中顏色之變化	29
Fig. 4. Changes occurred in the color of <i>C. brevistyla</i> seed oil during the thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.....	29
圖 5. 短柱山茶油中主要脂肪酸之化學結構	33
Fig.5. Chemical structures of the main fatty acids of <i>C. brevistyla</i> seed oil.....	33
圖 6. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中總極性物質含量之變化	35
Fig. 6. Changes occurred in the total polar compounds of <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.....	35
圖 7. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中酸價之變化	36
Fig. 7. Changes occurred in the acid value of <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.....	36
圖 8. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中過氧化價之變化	38
Fig. 8. Changes occurred in the peroxide value of <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.....	38
圖 9. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中 α -Tocopherol 含量之變化	39

Fig. 9. Changes occurred in the α -tocopherol content of <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.....	39
圖 10. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中 Squalene 含量之變化	40
Fig. 10. Changes occurred in the squalene content of <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100、140 and 180°C for 24 h.....	40
圖 11. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中油脂穩定指數之變化	41
Fig. 11. Changes occurred in the oil stability index of <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100、140 and 180°C for 24 h.....	41
圖 12. 短柱山茶油中於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中 Aldehydes、Alcohols、Carboxylic acids、Furan derivatives、Alkanes 及 Ketones 之相對含量	49
Fig.12. Relative abundance of aldehydes, alcohols, carboxylic acids, furan derivatives, alkanes and ketones in <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.....	49
圖 13. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中揮發性成分之主成分分析	50
Fig.13. Principal component analysis for the volatile compound profile of <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.....	50
圖 14. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中揮發性成分之主成分分析	51
Fig.14. Principal component analysis for the volatile compound profile of <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.....	51
圖 15. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於達 180°C 加熱 24 h 過程中油色之變化.	53
Fig. 15. Changes occurred in the color of <i>C. brevistyla</i> seed oil, flaxseed oil and sunflower oil during the thermal treatment at 180°C for 24 h.....	53



圖 16. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於升溫過程中總極性物質含量之變化 59

Fig. 16. Changes occurred in the total polar compounds of *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower oil during the rise of temperature. 59

圖 17. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於達 180°C 加熱 24 h 中總極性物質含量之變化 59

Fig. 17. Changes occurred in the total polar compounds of *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower oil during the thermal treatment at 180°C for 24 h..59

圖 18. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於達 180°C 加熱 24 h 中酸價之變化 61

Fig. 18. Changes occurred in the acid value of *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower oil during the thermal treatment at 180°C for 24 h..... 61

圖 19. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於達 180°C 加熱 24 h 中油脂穩定指數之變化 62

Fig. 19. Changes occurred in the oil stability index of *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower oil during the thermal treatment at 180°C for 24 h.. 62

表目錄



表 1. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中油脂顏色參數之變化 .30	
Table 1. Changes occurred in the color parameter of <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.....	30
表 2. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中脂肪酸含量之變化 32	
Table 2. Changes occurred in the fatty acid content of <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.....	32
表 3. 短柱山茶油之脂肪酸、 α -Tocopherol、Squalene、總極性物質含量、酸價、過氧化價及油脂穩定指數之線性相關性	43
Table 3. Linear correlation for fatty acid, α -tocopherol, squalene, total polar compound content, acid value, peroxide value and oil stability index.....	43
表 4. 以 SPME-GC/MS 分析短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中之揮發性成分	46
Table 4. Volatile compound identified by SPME-GC/MS in <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.	46
表 5. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中揮發性成分總釋放量之變化	49
Table 5. Change in the total volatile compounds in <i>C. brevistyla</i> seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.....	49
表 6. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於 180°C 經 24 h 加熱後油脂顏色參數之變化	54
Table 6. Changes occurred in the color parameter of <i>C. brevistyla</i> seed oil, flaxseed oil and sunflower seed oil during the thermal treatment at 180°C for 24 h.....	54
表 7. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於 180°C 加熱 24 h 後脂肪酸含量之變化 ... 57	



Table 7. Changes in the fatty acid content of *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower seed oil after 24 h thermal treatment at 180°C. 57

表 8. 食用油對 N2 野生種 *C. elegans* 於 37°C 致死溫度下存活率之影響 67

Table 8. Effect of edible oil on the survival rates of wild type N2 *C. elegans* at the lethal temperature of 37°C..... 65

表 9. 食用油對 GMC101 基因轉殖線蟲於 25°C 麻痺率之影響 67

Table 9. Effect of edible oil on the paralysis rates of transgenic GMC101 *C. elegans* at 25°C. 68

壹、前言



森林產物除了木材以外，亦有各式各樣的非木材產物，如樹皮、樹脂、種實、精油、竹筍及蕈類等，由種實壓榨得之油脂亦是森林產物之一。油茶與椰子、棕櫚、橄欖並列為全球四大木本油料植物，油茶為茶科(Theaceae)山茶屬(*Camellia*)中種子含油量高之植物統稱，屬於常綠灌木，原生於東亞，全球約有100多種品種(臺灣植物誌，1996)。臺灣俗稱的苦茶油主要是由原生種短柱山茶(*Camellia brevistyla*)和非原生種的大果油茶(*Camellia oleifera*)之2種油茶種子榨取之油脂，因油茶的根系深及具保水固土等公益之效，故臺灣早期推廣栽種於山坡地，短柱山茶主要分布在臺灣北部中低海拔山區，油茶在臺灣主要生長於中南部及東部。苦茶油含有豐富的單元不飽和脂肪酸，以油酸比例最多，主要脂肪酸成分與橄欖油相似，富含油酸和亞油酸(Shyu *et al.*, 1990)，而有「東方橄欖油」或「近似橄欖油，更勝橄欖油」之美譽。除了作為食用油，在早期華裔社會更可作為治療胃痛與燒傷的傳統藥物，而在近代的相關研究顯示，苦茶油具有抗菌、抗氧化、抗發炎、抑制腫瘤活性、幫助皮膚癒合及降低體內膽固醇等特性。且苦茶油於本草綱目被記載為醫用油，更被聯合國糧食及農業組織(FAO)推薦為健康食用油(Ren *et al.*, 2015)，逐漸受消費者之重視。

食物經由適當烹飪方式舉凡烹煮、烘烤、煎炒及油炸等，不僅能改變食物質地增添口感，亦能提升食物之色、香、味，使食物看起來更加美味，令人食指大動，但當烹飪溫度過高，時間過長，油脂在高溫、氧氣、水及外加食物的情況下，易產生一系列化學反應，如氧化、水解、聚合及環化等(Saguy and Dana, 2003)，因而影響油脂的品質與本身的營養價值，更影響消費者食用時的感受(蔡文宜，1986；Kochhar, 2001)。苦茶油常見的食用方式有生飲、涼拌、熱拌、煲湯、煎炒及油炸等，儘管坊間多建議低溫烹調，但亦有「苦茶油的冒煙點高達220°C，是適用於高溫烹調的食用油」之說法，然而，有關高溫烹調對苦茶油品質影響之研

究甚少。本研究取市售短柱山茶油於100、140及180°C連續加熱24 h，相當於煮湯、煎炒及油炸情境的溫度，分析不同烹飪溫度加熱下短柱山茶油之顏色、脂肪酸比例、總極性物質含量、酸價、過氧化價、油脂氧化穩定性、 α -Tocopherol含量、Squalene含量及揮發性成分等品質之變化，並與自榨短柱山茶油、亞麻油及葵花油三種壓榨種子油進行比較。

隨著現今醫學進步，各國逐漸邁入高齡化的社會，隨著高齡人口增加，心血管、阿茲海默症及老化方面相關疾病比率亦逐年增加，因此人們逐漸重視自身身體保健與保養，常以改善日常飲食及補充膳食補給品等方式，然而苦茶油作為健康食用油，具有許多良好保健功效，如抗氧化、抗發炎、降血脂及延緩動脈粥化等，亦為一種改善健康飲食的好選擇，但是目前苦茶油針對抑制阿茲海默症及老化方面疾病相關試驗之文獻甚少，故本研究將利用秀麗隱桿線蟲為模式生物，進行線蟲熱休克及 β -amyloid誘導麻痺試驗，探討短柱山茶油是否具延長線蟲壽命及抗阿茲海默症之活性，及於不同烹飪溫度加熱對其活性之影響。

希望所得烹飪溫度對於苦茶油品質及活性影響之結果，提供消費者及製油廠如何適當地使用苦茶油之參考，並對其劣化機制有所了解，且有益於未來苦茶油的研究發展與商品化應用。

貳、文獻回顧



一、苦茶油之介紹

(一) 油茶

油茶為茶科 (Theaceae) 山茶屬 (*Camellia*) 植物種子含油量高而可供榨油脂之品種的通稱，山茶屬植物屬於常綠闊葉喬木，樹高可達 6 至 7 m，嫩枝有粗毛。葉革質，為卵狀橢圓形，具鋸齒緣。花白色，幾乎無柄，常單生或成對生於枝頂之側腋，雄蕊鮮黃。蒴果橢圓形，木質化，果實成熟期約在 10 月中旬。種子含油率約為 20 至 30%。全球約有 100 多種品種 (臺灣植物誌, 1996)，適合溫暖潮濕的氣候，原生於東亞與南亞地區，因油茶的根系深、氣候適應力強、具耐旱性及可粗放管理等因素，故多栽種於山地、丘陵等低海拔山區，在華人社會中栽種歷史悠久，分布區域廣，其種子富含油脂，可經壓榨製成茶油，為重要油品來源，與椰子、棕櫚、橄欖並列為全球四大木本油料植物。

臺灣原生山茶屬植物包括日本山茶 (*C. japonica*)、毛枝連蕊茶 (*C. trichoclada*)、短柱山茶 (*C. brevistyla*)、恆春山茶 (*C. hengchunensis*)、垢果山茶 (*C. furfuracea*)、阿里山山茶 (*C. transarisanensis*)、能高山茶 (*C. nokoensis*)、泛能高山茶 (*C. transnokoensis*)、臺灣山茶 (*C. formosensis*)、柳葉山茶 (*C. salicifolia*)、落瓣油茶 (*C. kissi*) 及尾葉山茶 (*C. caudata*) 等 12 種 (臺灣植物誌, 1996)，而臺灣俗稱的苦茶油主要是由原生種短柱油茶和非原生種的大果油茶 (*C. oleifera*) 之 2 種油茶種子榨取之油脂，分別介紹如下 (謝靜敏、黃裕星, 2013)：

1. 短柱山茶

臺灣俗稱小果油茶，原以細葉山茶 (*C. tenuiflora* (Hayata) Coh.- Stuart) 為其學名，但因短柱油茶與細葉山茶之間於外觀、花色及果實大小等特徵難以分辨，蘇夢淮等人 (2012) 認為此兩種山茶形態高度重疊，故將此兩種山茶合併命

名為短柱山茶 (*C. brevistyla*)，主要栽培於臺灣北部桃竹苗等中低海拔山區，果熟期於10月，採收季節在農曆寒露之後（國曆10月中下旬），果實較小，通常每一果實僅具一個種子，且因其種子含油率較低，產量少，價格較昂貴，然而種植短柱山茶較費工成本較高，但因短柱山茶售價高，對於茶農仍具誘因，故臺灣油茶林多以短柱山茶為主。

2. 大果油茶

大果油茶其果實較短柱山茶大，早期從大陸引進，臺灣主要栽培於中南部與花東地區，栽種面積廣，果熟期於9及10月，採收季節在農曆寒露至立冬期間（國曆10月上旬至11月上旬），果實較大，種子含油率較高，目前大多由大陸進口廉價大果油茶籽，成本較低且市占率高，故價格較低廉。

（二）苦茶油及其製程

苦茶油常見的食用方式有生飲、涼拌、熱拌、煮湯、煎炒及油炸等，坊間多建議低溫烹調。除了作為食用油，在早期華人社會更可作為治療胃痛與燒傷的傳統藥物，且於本草綱目中苦茶油記載為醫用油，更被聯合國糧食及農業組織(FAO)推薦為健康食用油 (Ren *et al.*, 2015)，故逐漸受消費者之重視，且苦茶油中主要脂肪酸成分因與橄欖油相似，以油酸組成為主 (Shyu *et al.*, 1990)，而有「東方橄欖油」或「近似橄欖油，更勝橄欖油」之美譽。

油茶果實成熟期約在每年10月中旬至11月上旬，成熟果實會從綠轉紅或黃褐色，果殼開裂露出黑色種子，此時的種子含油量高，為最佳採收期。果實採收後，經日光曝曬或天然陰乾，使果殼乾燥至完全開裂，脫去果殼以取得種子。油茶種子經乾燥脫種殼後，進行壓榨前，通常會經過水蒸及炒焙等加溫程序，目的在於透過加溫破壞油料細胞，使植物組織內油脂因溫度升高而流動性增加，壓榨時更容易出油，使得油率提升 (吳家禎等，2015)。坊間常見的傳統榨油方式為物理性的餅式壓榨法與螺旋壓榨法兩種，目前亦有利用化學溶劑萃取或超臨界萃取等

更快速的化學性方法，以上各榨油方法整理介紹如下（尹華文等，2009；尹華文等，2010；吳家禎等，2015；許富蘭等，2015）：



1. 餅式壓榨法

餅式榨油機分為直立式與臥式，首先會將種仁打碎成種仁粉，經過蒸氣加熱後，種仁粉放入壓模壓至成圓餅形，油茶餅依序一層層放置餅式榨油機上垂直加壓榨取油脂，經沉澱及過濾油渣後，油品即可食用或販售。

2. 螺旋壓榨法

種仁經過炒焙後，倒入螺旋榨油機進樣口，螺旋榨油機配有一錐狀螺旋軸，隨著螺旋軸心不斷旋轉與推進，種仁受到擠壓粉碎，進而榨出油脂從縫隙流出，而油粕則由榨膛排出，油脂經沉澱及過濾油渣後，油品即可食用或販售。

3. 溶劑萃取法

以正己烷為溶劑，將粉碎後的種仁或油粕浸泡於溶劑中，利用索式萃取法或溶劑萃取機進行油脂萃取，經萃取後去除溶劑而得。溶劑萃取油顏色較澄清，缺點是油中易有溶劑殘留，不建議直接食用，且萃取過程溶劑容易逸散，引發環保問題。

4. 超臨界二氧化碳萃取法

為較先進的萃取方法，利用二氧化碳的特性，其臨界溫度 (Critical temperature) 為 31.1°C 、臨界壓力 (Critical pressure) 為 7.38 mPa ，對有機化合物具有良好的溶解力，萃取完成後，使壓力與溫度降低，即可得到乾淨無雜質的油脂。優點為萃取率高、純度高、保有營養成分，且不須過濾等繁雜流程，也不會有殘留的溶劑等環保問題，缺點為設備昂貴，成本較高。

(三) 苦茶油之成分及生物活性

1. 苦茶油之成分

苦茶油主要由三酸甘油酯 (Triacylglycerol) 組成，另有 Hydrocarbons、Tocopherols、Sterols 及 Polyphenols 等成分，成分介紹如下：

(1) 脂肪酸及三酸甘油酯

三酸甘油酯為油脂中的主要成分，是由三個脂肪酸與一個甘油，以酯鍵連接組成之化合物，其中脂肪酸依雙鍵數目不同可分為飽和脂肪酸、單元不飽和脂肪酸及多元不飽和脂肪酸三大類，而不飽和脂肪酸依雙鍵位置不同可分為 Omega-3 脂肪酸、Omega-6 脂肪酸及 Omega-9 脂肪酸等。油脂中之脂肪酸組成皆不相同，會因雙鍵數目及位置等特性不同而使油脂具有不同之性質，例如含雙鍵數目愈多之油脂愈容易氧化而較不穩定，故脂肪酸組成為影響油脂品質之重要因素。

前人研究利用氣相層析質譜儀分析苦茶油之脂肪酸組成，其中苦茶油以單元不飽和脂肪酸為主，約占總脂肪含量的 70-95%，以油酸 (Oleic acid, C18:1, Omega-9 脂肪酸) 比例佔最高，約占總脂肪酸含量 70-85%，其次是亞油酸 (Linoleic acid, C18:2, Omega-6 脂肪酸) 占 3.0-17.0% 與棕櫚酸 (Palmitic acid, C16:0) 占 7.5-20%，硬脂酸 (Stearic acid, C18:0) 占苦茶油的 3.0-5.0%，與其餘微量脂肪酸如肉豆蔻酸 (Myristic acid, C14:0) 和次亞麻酸 (Linolenic acid, C18:3, Omega-3 脂肪酸) 等含量占苦茶油不到 1% (蘇孟淮, 2015; Ma *et al.*, 2011; Yuan *et al.*, 2013; Su *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2016)。

油脂在製造或儲存過程中，因光、熱及空氣等因素，油脂中三酸甘油酯發生水解反應產生游離脂肪酸，游離脂肪酸會影響油脂品質，油脂中游離脂肪酸含量愈高，表示油脂劣化愈嚴重，故游離脂肪酸含量作為油脂劣化程度之指標 (Paul and Mittal, 1996; Győrik *et al.*, 2006)。



(2) Hydrocarbons

Squalene (角鯊烯) 為三萜類化合物，是類固醇合成的前驅物，最早於深海鯊魚的肝臟之魚肝油中發現，而後於多種食用油中發現亦有Squalene存在，對人體健康有顯著的貢獻，如抗疲勞、增強免疫力、增進新陳代謝以及促進腸胃吸收等保健功效 (Kelly, 1999 ; Owen, 2000 ; Zhao *et al.*, 2004 ; Popa, 2015) 。苦茶油中Squalene含量約占 130 - 220 ppm (Li *et al.*, 2006 ; Fang *et al.*, 2015) 。

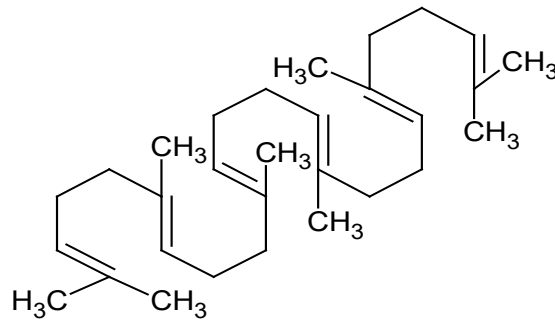


圖 1. Squalene 之化學結構

Fig. 1. Chemical structures of squalene.

(3) Tocopherols

Tocopherols (生育酚) 是一種維生素 E，為脂溶性抗氧化劑，可作為自由基的抑制劑，依結構不同可分為四種 Tocopherols (α -、 β -、 γ -及 δ -Tocopherol)，以 α -Tocopherol 的生理活性最高，是植物油中一種重要成分，其抗氧化特性有助於營養價值，且對於油脂的氧化穩定性有幫助 (Kiritsakis, 1998) 。苦茶油中 Tocopherols 的含量約 270 - 450 ppm，含量順序為 α -Tocopherol > γ -Tocopherol > β -Tocopherol > δ -Tocopherol (王振瀾等, 1994 ; 蔣慎思等, 2016 ; Fang *et al.*, 2015) 。

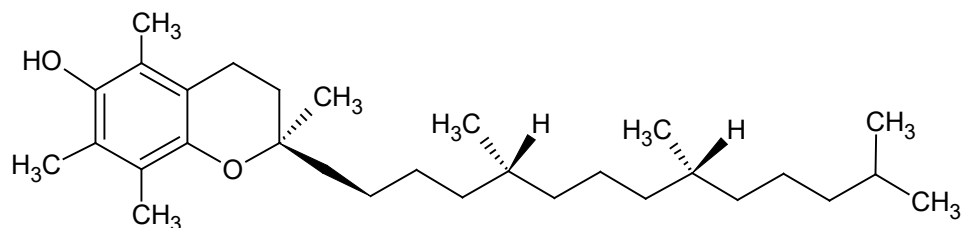


圖 2. α -Tocopherol 之化學結構

Fig.2. Chemical structures of α -tocopherol.



(4) Sterols

苦茶油中 Sterol 含量約為 29 mg/100 g，主要含有 Stigmasterol (豆固醇)、Sitosterol (穀固醇) 及 Campesterol (菜油固醇) 3 種固醇類成分，與油脂的品質與保健成效有關 (王振瀾等，1994；蔣慎思等，2016)。

(5) Polyphenols

苦茶油中含有多種多酚類化合物，包含 Benzoic acids (苯甲酸)、Cinnamic acids (肉桂酸)、 α -Hydroxyphenylacetic acid (α -羥苯乙酸)、Flavan-3-ols (黃烷醇)、Flavonols (黃酮醇)、Flavones (黃素酮) 及 Dihydroflavonoids (二氫黃酮醇) 等，酚類化合物的總濃度範圍為 20.56 - 88.56 $\mu\text{g/g}$ ，包括 76.2 - 90.4% Phenolic acids，2.1-9.7% Catechins 和 4.2 - 17.8% 其他黃酮類化合物，如 Naringenin、Quercetin 及 Kaempferol 等 (Wang *et al.*, 2017)。

2. 苦茶油之生物活性

苦茶油在早期華人社會作為治療胃痛與燒傷的傳統藥物，且苦茶油於本草綱目被記載為醫用油，更被聯合國糧食及農業組織 (FAO) 推薦為健康食用油 (Ren *et al.*, 2015)。近年來亦有許多報告指出苦茶油具有多種生物活性，如抗氧化、抗發炎、降血脂及延緩動脈粥化等 (Chen *et al.*, 1996；Wu *et al.*, 2005；Lee and Yen, 2006；He *et al.*, 2010)，以下為苦茶油生物活性的文獻整理。

(1) 抗氧化活性

Lee和Yen (2006) 利用甲醇 (Methanol)、乙酸乙酯 (Ethyl acetate)、丙酮 (Acetone) 及乙腈 (Acetonitrile) 4種不同溶劑萃取苦茶油，所得之四種萃取物進行DPPH自由基清除試驗 (DPPH· radical scavaging assay) 以及Trolox當量抗氧化能力 (Trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC Assay)，測定此四種萃取物之抗氧化活性。結果顯示，苦茶油甲醇萃取物具有較高的產率及較高的抗氧化活性。作者利用HPLC從甲醇萃取物分離出2個明顯峰貢獻了顯著抗氧化活性成分，

分別為 Sesamin 與 2,5-Bis-benzo[1,3]dioxol-5-yl-tetrahydro-furo [3,4-d][1,3]dioxine 此種新化合物（命名為化合物B），且此兩種化合物經過抑制紅血球活性氧、抑制紅血球溶血及抑制人體低密度脂蛋白氧化試驗，皆能有效降低H₂O₂誘導之紅血球活性氧的形成，抑制APPH誘導之紅血球溶血，並在人體低密度脂蛋白中延緩共軛二烯的形成，皆展現良好的抗氧化活性。

（2）抗菌及抗發炎活性

苦茶油可作為護膚油，亦廣泛用於革蘭氏陽性細菌，革蘭氏陰性細菌和真菌的抗菌劑，有效預防皮膚感染。前人報告指出，苦茶油以外敷使用，治療燒燙傷、嬰兒尿布皮炎及肛周摩擦性紅斑等發炎症狀，具有良好的療效（Feng, 2001; Yuan *et al.*, 2005; Zhu *et al.*, 2005; He *et al.*, 2010），更發現從苦茶油中分離出之 Kaempferol glycosides 等黃酮類化合物表現各種抗炎作用（Liu *et al.*, 2014）。

（3）抑制腫瘤活性

油脂中的不飽和脂肪酸具有顯著的抑制腫瘤活性，Omega-3脂肪酸（次亞麻酸）能夠降低腫瘤從血液中吸收的Omega-6脂肪酸（亞油酸），使其無法充足吸收提供腫瘤成長的營養物質，加上會互相爭奪癌細胞生長所需的一種酶，而使得癌細胞不穩定，細胞膜更脆弱，易受到破壞，而抑制腫瘤生長（Tripoli *et al.*, 2005）。Siegel（1987）研究多種脂肪酸對大鼠腹水腫瘤細胞的生長影響，結果顯示，不飽和脂肪酸可於體外殺死腫瘤細胞，且當對患有癌症之大鼠注射亞油酸，可顯著增加患有癌症之大鼠的存活時間，表示油脂中不飽和脂肪酸可有效抑制腫瘤活性。

（4）調節免疫反應活性

Feng和Zhou（1996）研究苦茶油、玉米油及魚油三種以不飽和脂肪酸組成為主之油脂對小鼠免疫功能及體內脂質過氧化（Lipid peroxidation）之影響，結果顯示，單元不飽和脂肪酸比例最高的茶油其正調節免疫活性最好，而以Omega-3脂肪酸豐富的魚油較容易脂質過氧化，抑制免疫反應。

(5) 降血脂及延緩動脈粥化

LDL (Low density lipoprotein) 是一種低密度脂蛋白，負責運送膽固醇到身體各細胞使用，而若LDL濃度太高，容易在血管管壁堆積，與纖維蛋白原、血小板、巨噬細胞等作用經氧化修飾後，形成動脈粥狀硬化，阻塞血管，造成心肌梗塞、中風等心血管疾病症狀。Deng等人(1993)研究指出每日食用苦茶油，血液中三酸甘油酯、總膽固醇及LDL濃度均下降，且HDL (High density lipoprotein, 高密度脂蛋白) 濃度增加，有利於預防心血管疾病。Chen等人(1996)選用日本大耳雄兔與雄性大鼠，餵食苦茶油、紅花油及豬油，觀察其動脈粥化的現象。結果顯示，單元不飽和脂肪酸比例較高之苦茶油有效降低血液與肝臟中脂肪、增高HDL比例、抑制TXB₂釋放及降低血漿與肝臟中脂質過氧化反應等作用，有效延緩動脈粥化。

(6) 其他生物活性

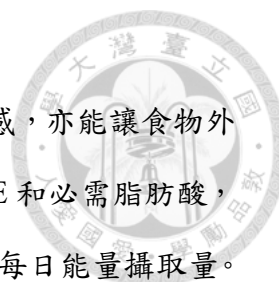
Tu等人(2017)研究苦茶油對經乙醇誘導的胃黏膜損傷之影響。結果顯示，用苦茶油餵食之大鼠通過增強抗氧化酶活性、熱休克蛋白(Heat shock protein)和PGE₂(前列腺素E₂)的產生，以及抑制脂質過氧化、細胞凋亡蛋白、促炎細胞等生成，有效地改善乙醇誘導的胃黏膜損傷，證實苦茶油具通過抑制氧化活性及炎症反應改善乙醇誘導的胃黏膜損傷的功效。

Lee等人(2007)研究苦茶油對經CCl₄誘導的大鼠急性肝毒性之影響。結果顯示，用苦茶油餵食之大鼠抑制脂質過氧化，增加麩胱甘肽(Glutathione, GSH)含量、提高抗氧化酶的作用，改善經CCl₄誘導的大鼠肝臟氧化損傷，從而證實苦茶油具有對經CCl₄誘導的大鼠肝臟損傷的保護作用，其機制可能與抗氧化與自由基清除有關。

二、油脂自氧化反應

油脂自氧化反應 (Autoxidation) 為自由基鏈鎖反應，當油脂在加工或儲存的過程中，受到光、熱、氧及金屬離子等因素催化下，容易使脂肪酸或乙醯甘油酯 (Acylglycerols) 上鄰接雙鍵位置碳之氫原子被除去，形成活性極高的自由基，此自由基會和空氣中的氧氣作用產生過氧化自由基，此過氧化自由基再從其他脂肪酸或乙醯甘油酯獲取氫，經鏈鎖反應產生不安定的氫過氧化物 (Hydroperoxide) 初級產物與自由基，此氫過氧化物在高溫或金屬離子存在下會繼續裂解產生醛、酮、酸、酯或短鏈烴等次級氧化產物，而此些次級氧化產物導致油脂氧化劣變產生的油耗味 (Choe *et al.*, 2006)。過氧化自由基和氫過氧化物的形成速率取決於氧氣和溫度 (Velasco *et al.*, 2003)，且次級氧化產物的形成速率亦因不同的油而變化，在橄欖油和菜籽油中形成氫過氧化物後會立即形成次級氧化產物，然而在葵花油和紅花油中，當氫過氧化物累積到一定濃度時，才會形成次級氧化產物 (Guillen and Cabo, 2002)。

然而烹調過程中的高溫，更加速油脂自氧化反應，若溫度過高，時間過長，以及食物在高溫與外加之氧氣與水的情況下，其油脂會產生一系列化學反應，如氧化、水解、聚合及環化等。氧化反應會使過氧化物反應成醛、酮及酸等次級樣化物，水解反應會使油脂中游離脂肪酸含量增加，聚合及環化反應會產生二聚體、三聚體及環化物等氧化物質，此些氧化物質在烹飪過程中不斷在油脂中累積，不但影響油脂本身的營養價值及品質，而產生的揮發性氧化產物更導致油耗味及腐酸味的生成，影響了消費者食用的感受 (Saguy and Dana, 2003; Ziaifar *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2013)。



三、油脂品質之評估方法

當食物經烹飪後會改變其感官特色，不僅能增加香味與口感，亦能讓食物外觀看起來更加美味，且食物在烹飪後加入脂溶性成分、維生素E和必需脂肪酸，增加食物的營養價值，在均衡飲食的攝取下，油脂能夠增加人體每日能量攝取量。然而若烹飪過程中的長時間高溫使用下與因食物加入氧氣與水的情況下，導致油脂產生一系列的化學變化，影響油脂的品質，亦可能造成人體健康的影響，因此油脂在日常商業使用時定期進行品質檢定管理十分重要(蔡文宜, 1986; Kochhar, 2001; Stevenson *et al.*, 1984)。

1. 感官品評 (Sensory evaluation)

油脂會因為高溫或水、氧氣的影響導致劣變，當油脂劣變後產生氧化物質隨時間累積，造成油脂顏色、氣味及黏度等物理性質改變，故可利用氣味的改變來判斷油脂的品質，另能以肉眼觀察油脂顏色變化與起泡程度，與以味覺感受油脂因劣變後產生的不良油膩感。感官品評測定法具因為品評人員不同而缺乏再現性與客觀性的缺點，須透過固定且經驗豐富的品評人員以求穩定的判斷(蔡文宜, 1986; Kalogianni *et al.*, 2009; Sahasrabudhe *et al.*, 2019)。

2. 物理測定法

包括顏色 (Color)、起泡度 (Foaming)、黏度 (Viscosity)、冒煙點 (Smoking point)、折射率 (Refractive index) 及介電常數 (Dielectric constant) 等物理測定方法 (蔡文宜, 1986)。

油炸後的油脂可藉由油脂的顏色、起泡程度、黏度及冒煙點，進行直觀感官判斷外，另可利用紫外光/可見光分光光譜儀、黏度計等儀器檢測油脂品質的變化。油脂變質中的非揮發性物質的累積會造成折射率改變。介電常數主要是根據油脂劣變時極性物質的增加導致介電常數的增加。

3. 化學測定法

包括總極性物質含量 (Total polar compounds)、酸價 (Acid value)、過氧化價 (Peroxide value)、碘價 (Iodine value)、尿素不結合物含量 (Non-urea-adduct fraction)、石油醚不溶物含量 (Petroleum ether insoluble oxidized fatty acids) 及消光係數 K_{232} 、 K_{270} (Extinction coefficients K_{232} 、 K_{270}) 等一般常用的化學測定方法 (蔡文宜, 1986)。

(1) 總極性物質含量

油脂是非極性物質，在加熱過程中會發生裂解或聚合等作用，而產生醛、酮、酸等極性物質，如甘油二酯 (Diglycerides)、甘油單酯 (Monoglycerides)、游離脂肪酸等經高溫加熱產生的氧化聚合衍生物，這些極性物質的總稱為「總極性化合物」(Casal *et al.*, 2010)，過程中亦會產生一些毒性物質，如環狀脂肪酸單體 (Cyclic fatty acid monomers) 及尿素不結合物等，然而油品中的總極性化合物與毒性物質會隨溫度升高、加熱時間增長而增加，因此總極性物質含量的多寡常作為油炸油的換油指標，國際食品法規規定總極性化合物含量達 25% 以上，此油及需更換，尿素不結合物等毒性物質含量越高，則代表此油已不適合食用 (李惠真, 1988)。

(2) 酸價

油脂主要成分為三酸甘油酯，三酸甘油酯以三個脂肪酸與一個甘油酯組成，當油脂受氧化和水解等化學反應，從甘油酯上脫下的脂肪酸，稱為游離脂肪酸，游離脂肪酸的含量以酸價表示，為油脂劣化程度指標。

(3) 過氧化價

油脂具自氧化作用，不飽和脂肪酸在常溫下即可被空氣氧化，其氧化作用發生於雙鍵上，生成過氧化物，此現象僅發生於氧化初期，由於過氧化物十分不穩定，容易反應成其他物質，故過氧化價在氧化後期的值是趨於平緩下降。



(4) 碘價

碘價常用於檢測油脂中脂肪酸的不飽和度，碘會與碳碳之間雙鍵產生加成反應，故碘價越高，雙鍵含量越高，故脂肪酸的不飽和度亦越高，越容易與空氣中氧氣反應而氧化，影響油脂的性質。

(5) 石油醚不溶物含量

油炸後的油脂中若石油醚不溶物含量 $\geq 0.7\%$ 且發煙點 $< 170^{\circ}\text{C}$ 或石油醚不溶物含量 $\geq 1.0\%$ ，均可視為油脂變質的條件，但此測定方法較不準卻又費時，需要熟練技巧完成，且某些氧化產物是可以溶於石油醚中。

4. 臺灣食用油炸油衛生標準

據衛生福利部食品藥物管理署之衛署食字第 098461015 號函之規定，當食用油炸油之品質指標不符合規定標準，油脂即不建議食用，品質指標包含冒煙點、油脂外觀與氣味、酸價及總極性物質含量，規定標準如下列所示：

- (1) 冒煙點溫度低於 170°C 時（亦即油炸油於低溫時即已冒煙）。
- (2) 油炸油色深且具黏漬感，具油耗味、泡沫多且面積超過油炸鍋之二分之一。
- (3) 酸價超過 2.0 mg KOH/g 。
- (4) 總極性物質含量達 25% 以上。



四、烹飪對植物壓榨油品質之影響

(一) 油脂顏色

Tekin 等人 (2009) 將榛果油、精煉橄欖粕油、精煉葵花籽油、葡萄籽油每天於 175°C 下加熱 5 h，共加熱 25 h，比較不同油炸時間的油色變化，以 CIE Lab 系統表示。隨著加熱時間增加，四種油的 L 值皆是先升後降；榛果油和葵花籽油的 a (a: 負值=綠色；正值=紅色) 下降，加熱後綠色漸增，橄欖粕油與葡萄籽油之 a 上升，加熱後綠色漸少；四種油的 b (b: 負值=藍色；正值=黃色) 皆上升，可知高溫加熱會使油色變暗沉且越來越黃。

Nunes 等人 (2013) 將特級初榨橄欖油於 50、100、150 及 200°C 加熱 2 h，比較不同溫度下加熱油色變化，以 CIE L*a*b* 系統表示。200°C 加熱之橄欖油之 b* 明顯較其他 3 個溫度加熱下之橄欖油低，表示油色中黃色相對較少；在 150 與 200°C 加熱橄欖油之 L* 較高，表示油色較淺，a* 在 4 個溫度加熱下無顯著差異，而橄欖油的油色變化原因主要因為油脂中的葉綠素在高溫下降解。

(二) 脂肪酸組成

Chatzulazarou 等人 (2006) 將初榨橄欖油、玉米油、橄欖粕油及橄欖油與玉米油混合油 (v/v=1:1) 在 175°C 下每天油炸馬鈴薯與鱈魚塊 2.5 h，共連續五天，分析其脂肪酸組成變化。結果顯示，四種油中飽和脂肪酸比例皆增加，多元不飽和脂肪酸比例皆下降，以玉米油脂肪酸下降較顯著。四種油中的亞油酸比例顯著下降，亞油酸相較其他脂肪酸更容易受到氧化、水解及聚合等反應 (Varela, 1980)，而在橄欖油中亞油酸比例損失最少，表示橄欖油於高溫下較玉米油穩定，許多研究皆呈現此結果 (Andrikopoulos *et al.*, 2002; Casal *et al.*, 2010)。

Romero 等人 (2003) 將特級初榨橄欖油與高油酸葵花油在 180°C 下每天油炸 10 次，共計 75 次油炸，分析其脂肪酸組成變化。未經油炸之兩種油，其成分中油酸含量相近，而橄欖油中亞油酸含量較葵花油低，棕櫚酸和亞麻酸含量則較

高。經 75 次油炸後，兩種油的各脂肪酸含量隨時間呈線性減少，其中葵花油中亞油酸含量較橄欖油減少多，表示橄欖油比葵花油相對更穩定，因亞油酸在油脂中更容易被氧化，此結果與葵花油中亞油酸含量較高有關。



(三) 總極性物質含量

Casal 等人 (2010) 將特級初榨橄欖油、2 種初榨橄欖油、精煉橄欖油與葵花油在 170°C 下每 3 h 油炸一次，至油中總極性物質含量超過 25% 為止 (油炸油公定換油指標)。油炸前每種油的總極性含量分別是 5.5、7.0、6.5、6.0 及 13.5%，其中葵花油的總極性物質含量為最高，油中的總極性物質含量隨著油炸時間增加而增加，葵花油在油炸 15 h 後，總極性物質即達到總極性物質含量 25% 的換油指標，其他四種橄欖油則在 24 與 27 h 後 總極性物質含量超過 25%，且增加的趨勢無顯著差異。橄欖油隨著油炸時間增加，總極性物質的增加較緩，可知橄欖油較葵花油不易受油炸加熱後產生劣解、聚合反應的影響，使用期限較長。

總極性物質隨加熱時間而呈線性增加，則其形成速率與數量取決於油脂的組成，當油脂中多元不飽和脂肪酸比例較高，其在加熱後總極性物質增加的速率較快，許多研究皆呈現此結果 (Brenes *et al.*, 2002; Kalogianni *et al.*, 2010; Uriarte and Guillén, 2010)。

(四) 酸價

Casal 等人 (2010) 將特級初榨橄欖油 2 種初榨橄欖油、精煉橄欖油與精煉葵花油在 170°C 下每 3 h 油炸一次新鮮馬鈴薯，至油中總極性物質含量超過 25% 為止。根據國際食品法典對葵花油定義游離酸度得小於 0.1%，橄欖油則得小於 0.8% (2009)。結果顯示在油炸前，四種橄欖油的游離酸度皆小於 0.3%，精煉葵花油的游離酸度為 0.1%；隨油炸時間增加，四種橄欖油的游離酸度穩定增加，油炸 27 h 後最終酸度介在 0.5-0.7% 之間，而葵花油的游離酸度亦隨油炸時間增加而增加，且在油炸 15 h 後為 0.2%，超過規定標準的 0.1%，經統計後，橄欖油

之游離酸度與油炸時間有顯著的相關性，相反地，葵花油的游離酸度與油炸時間之相關性並不高。

Chatzilazarou 等人 (2006) 將特級初榨橄欖油、玉米油、橄欖粕油及橄欖油與玉米油混合油 (v/v= 1:1) 在 175°C 下每天油炸馬鈴薯與鱈魚塊 2.5 h，共連續五天，分析其酸價變化。發現油炸 10 h 後，四種油脂之酸價皆有些微增加。Andrikopoulos 等人 (2002) 將特級初榨橄欖油與商用蔬菜油在不同條件下油煎與油炸新鮮馬鈴薯，分別在 180°C、170°C 下進行 1 與 2 h 後，分析其酸度變化，結果顯示，經煎與油炸後，特級初榨橄欖油之酸度由 0.49% 增加至 0.88 與 0.71%，商用蔬菜酥炸油由 0.14% 增加至 0.35 與 0.28%，表示酸度會隨著加熱時間增加而增加。

(五) 過氧化價

Daskalaki 等人 (2009) 將橄欖油於 180°C 下加熱 1 h，並每 30 min 分析橄欖油之過氧化價，發現橄欖油之過氧化價呈增加的趨勢，然而 Carrasco-Pancorbo 等人 (2007) 將特級初榨橄欖油於 180°C 下加熱 3 h，分析過氧化價之變化，未經加熱的特級初榨橄欖油的過氧化價約 10.54 mequiv of O₂/kg，橄欖油經加熱 1 h 之過氧化價下降至 6.26 mequiv of O₂/kg，而 1 至 2.5 h 間過氧化價保持穩定，而後有增加趨勢，此結果與 Cheikhousman 等人 (2005) 之研究結果相同，由於過氧化物為初級氧化的產物，且十分不穩定，因此在後期可能有次級氧化產物的產生，導致過氧化價下降的情形。

Andrikopoulos 等人 (2002) 將特級初榨橄欖油與商用蔬菜油在不同條件下油煎與油炸新鮮馬鈴薯，分別在 180°C、170°C 下進行 1 與 2 h 後，分析其過氧化價變化，發現表示食物的加入亦會造成過氧化價上升，Casal 等人 (2010) 將四種不同等級橄欖油加入馬鈴薯油炸約 27 h，過氧化價在最初 12 h 呈現增加的趨勢，後則開始下降至約未加熱時之過氧化價水平，也符合上述說明氧化後其因次級氧化產物產生導致過氧化價下降的情形。

(六) 抗氧化物質含量及抗氧化活性試驗

Gómez-Alonso 等人 (2003) 將特級初榨橄欖油以 180°C 油炸馬鈴薯 10 min，每天 2 次，共持續 6 天，分析特級初榨橄欖油中多酚類化合物 Tyrosol (*p*-HPEA) 及 Hydroxytyrosol (3,4-DHPEA) 含量變化及多酚萃取物之抗氧化活性。結果顯示，特級初榨橄欖油中 Hydroxytyrosol 及其衍生物 (3,4-DHPEA-EDA) 的含量迅速下降，第 1 次油炸後，Hydroxytyrosol 含量下降原始值的 50 至 60%，且在第 6 次油炸僅剩下原始值的 10%，然而 Tyrosol (*p*-HPEA) 及其衍生物 (*p*-HPEA-EDA and *p*-HPEA-EA) 損失量遠小於 Hydroxytyrosol 及其衍生物，故 Tyrosol 於高溫油炸中較穩定。此外，經 DPPH 消除自由基試驗發現，第 6 次油炸後，多酚類化合物之抗氧化活性迅速減少，由原始值 740 $\mu\text{mol Trolox/kg}$ 降至低於 250 $\mu\text{mol Trolox /kg}$ 。

Esposito 等人 (2015) 將特級初榨橄欖油與 7 種不同處理方式之精煉橄欖油，放置烘箱，以 180°C 加熱 12 h，於 30 min、1、2、4、6、8、10 及 12 h 取出油樣，分析多酚類化合物含量變化。結果顯示，油炸 30 min 後橄欖油多酚類化合物含量顯著的下降，約損失 90.4%，其中，橄欖苦苷 (Oleuropin) 衍生物完全消失，因油脂自氧化反應成 Hydroxytyrosol (3,4-DHPEA) 及其衍生物 (3,4-DHPEA-EDA) 的氧化產物，可知橄欖油中的多酚類化合物對於高溫加熱下劣化劇烈。

Silva 等人 (2010) 分別利用 60 g，180°C 的特級初榨橄欖油、初榨橄欖油、橄欖油、葵花油、玉米油、大豆油及花生油油炸牛肉與馬鈴薯塊，分析 Tocopherols 含量變化。結果顯示，未經油炸之葵花油、玉米油及大豆油的 Tocopherols 含量較多，且三種油升溫至 180°C 時的 Tocopherols 含量皆減少，而加入食物後有增加的趨勢，推測是食物本身含有的 Tocopherols 經油炸後進入油中。每種油樣的 Tocopherols 組成比例，橄欖油主要以 α -Tocopherol 為主，其他則以 γ -Tocopherol 含量最高，但減少速率較 α -Tocopherol 快速，推測 α -Tocopherol 比 γ -Tocopherol 於高溫油炸下較穩定。

(七) 揮發性化合物含量

油脂中的香氣來源常為Aldehydes、Alcohols、Carboxylic acids及Esters等，如碳數6的Aldehydes、Alcohols 與甜味有關，Esters 與果香有關；Carboxylic acids 則與酸味、刺激感與油脂裂變後之腐酸味有關，而當油脂加熱後產生之氧化產物將使油脂產生油耗味。此氧化產物大多由油酸受熱降解而形成，如Heptanal、Nonanal、*E*-2-Decenal及*E*-2-Undecenal是，Hexanal、*E,E*-2,4-Decadienal、*E*-2-heptenal及*E*-2-Octenal則是通過亞油酸受熱降解形成 (Kalua *et al.*, 2007)。此外，不飽和Aldehydes較其他Aldehydes類化合物更具毒性，如*E,E*-2,4-Decadienal具有細胞毒性與基因毒性 (Boskou *et al.*, 2006；Katragadda *et al.*, 2010)。

Nunes等人 (2009) 將特級初榨橄欖油於50、100、150及200°C加熱2 h，利用頂空固相微萃取法萃取油中之揮發性化合物，再注入GCMS分析不同溫度下之揮發性化合物含量之變化。未加熱與50°C加熱之橄欖油含有較高含量之Alcohol、Ester及Terpene類化合物，而150及200°C加熱之橄欖油則以Aldehyde及Carboxylic acid為主，且以較長碳鏈飽和與不飽和Aldehyde含量最多，如Octanal、Nonanal、*E*-2-Nonenal、*E*-2-Decenal及*E,E*-2,4-Decadienal等。

(八) 其他性質

油脂穩定指數 (Oil stability index, OSI) 表示油脂氧化穩定性之好壞 (Farhoosh *et al.*, 2008)，通過將油脂於高溫有氧的劣化環境下，檢測油脂急遽劣化之時間點，其值即為 OSI，其意義為油脂抵抗劣化之承受時間，可藉以評估油脂保存期限之長短，OSI 越高，油脂越穩定。Carrasco-Pancorbo 等人 (2007) 將橄欖油於 180°C 加熱 3 h，OSI 由 25 h 降至 5 h，OSI 隨著加熱時間增加而下降，可知橄欖油氧化安定性隨著加熱時間增加其而減弱。

碘價檢測油脂中脂肪酸的不飽和度。Chatzilazarou 等人 (2006) 研究顯示，將橄欖油、玉米油及橄欖油與玉米油混合由油炸五天後，碘價皆加熱時間增加而下降，玉米油之碘價顯著下降，經統計結果顯示，碘價與多元不飽和脂肪酸比例具良好相關性。

Conjugated diene (共軛二烯) 表示油中初級氧化產物的含量，作為評估加熱油的氧化程度。經油炸過後的植物油中，橄欖油的 Conjugated diene 含量與大豆油相似，較葵花油、玉米油與花生油的 Conjugated diene 低出許多，表示橄欖油與大豆油中初級氧化產物的含量較低，表示其受到氧化影響程度較低 (Silva *et al.*, 2010)。

p-Anisidine value (茴香胺值) 表示油樣中醛、酮及醌等二次氧化產物所佔之比例，反映油脂受到氧化的程度。葵花油的 *p*-Anisidine value 隨著油炸時間增加而顯著地增加，橄欖油的 *p*-Anisidine value 則緩慢增加到最後有持平的趨勢，由此可知橄欖油的抗氧化能力較葵花油良好，較能夠抵抗油炸導致油脂氧化的影響 (Casal *et al.*, 2010)。

環狀脂肪酸單體為油脂加熱後產生的毒性物質。Romero 等人 (2000) 模擬家庭實際油炸情況，將橄欖油於 180°C 油炸冷凍食品 20 min，分析特級初榨橄欖油環狀脂肪酸單體的含量。新鮮油中沒有環狀脂肪酸單體的成分，環狀脂肪酸單體含量會隨油炸時間增加而增多。故可以得知油炸會使毒性物質在油脂中累積，但需要定期更換新油以防止毒性物質的累積。

參、材料與方法



一、試驗材料

(一) 試材

本試驗使用之油品為短柱山茶油（購自金椿茶油工坊）、市售精煉葵花油及三種自榨種子油。自榨種子油之所使用之短柱山茶（*Camellia brevistyla*）、亞麻（*Linum usitatissimum*）與葵花（*Helianthus annuus*）種子皆購自歐霖公司（圖 3）。



圖 3. 短柱山茶油、亞麻籽、葵花籽及短柱山茶種子（由左至右）

Fig.3. *C. brevistyla* seed oil, flaxseed, sunflower seed and *C. brevistyla* seed.

(二) 線蟲與菌種

1. 秀麗隱桿線蟲（*Caenorhabditis elegans*）

本研究使用之 *C. elegans* 品系共有由國立臺灣大學分子與細胞生物學研究所吳益群教授提供之 N2（Wild-type）及基因轉殖線蟲 GMC101（*dvls100*[*Punc-54::humanA-beta 1-42::unc-54_3'UTR+ Pmtl-2::gfp*]）。

2. 大腸桿菌（*Escherichia coli* OP 50）

由國立臺灣大學分子與細胞生物學研究所吳益群教授提供。

(三) 試驗藥品與溶劑

本試驗所使用之藥品包括 Methyl pentadecanoate (Sigma)、Potassium hydroxide (KOH, Fisher)、Sodium chloride (NaCl, Sigma)、Sodium sulfate anhydrous (Na₂SO₄, J.T. Baker)、Tetramethylammonium hydroxide (TMAH, Acros)、Potassium iodide (KI, Sigma-Aldrich)、Gallic acid (C₇H₆O₅, Fisher)、Folin-Ciocalteu reagent (Fisher)、Acetic acid (CH₃COOH, Fisher)、Sodium thiosulfate (Na₂S₂O₃, Merck)、Sodium hydrogen sulfate anhydrous (NaHSO₄, Scharlau)、Squalene (Acros)、 α -Tocopherol (Sigma)、Cholesterol (Sigma)、Potassium phosphate monobasic (Acros)、Potassium phosphate dibasic (Sigma)、Agar (Sigma)、LB Broth (Affymetrix)、Peptone (Bioshop)、Quercetin (Sigma)、Caffeine (Acros)。採用之溶劑包括 Ethanol (Fisher)、Ether (Fisher)、Hexane (Merck)、Dihydrogen monoxide (Sigma)、Isopropanol (Merck)、Isooctane (Acros)、Acetic acid (Fisher)、Chloroform (Merck)。

二、試驗方法

(一) 製備油品

將氣乾之短柱山茶、亞麻與葵花種子以螺旋榨油機 (歐霖商用榨油機, SX-TB02) 製備出 3 種油品 (榨膛溫度約 60 - 90°C)，所得油品秤重後依下式計算得油率，再存於玻璃瓶內，以鋁箔紙包裹瓶外避光並保存於 4°C 冰箱，待後續試驗分析。得油率 (%) = (油_g/種仁_g) × 100

(二) 加熱試驗

加熱試驗分成三個部分：1. 取 120 g 短柱山茶油於燒杯中，加熱溫度 100、140 及 180°C (相當於煮湯、煎炒及油炸情境之溫度) 連續加熱 24 h，於 8、16 及 24 h 分別取出油樣；2. 自榨短柱山茶油、亞麻油及葵花油則以 180°C 同方法加熱；3. 取短柱山茶油及葵花油於加熱溫度 100、140 及 180°C 加熱，於 30 及 60 min 分別取出油樣，供線蟲試驗使用。

(三) 油脂顏色參數試驗

取油樣入 1.5 mL 拋棄式 Cuvette，利用紫外光/可見光分光光譜儀 (Ultraviolet-visible spectroscopy, HITACHI U-3010) 分析，以波長 380 nm ~ 780 nm 掃描分析可見光穿透率 (%T)，所得數據再以益弘色差值軟體轉換成 CIE 1976 L*a*b* 系統，光源為 D65 光源，觀測角 10°。L* 描述亮度值 (L*=0，黑色；L*=100，白色)，a* 描述綠色到紅色 (a*: 負值 = 綠色；正值 = 紅色)，b* 描述藍色到黃色 (b*: 負值 = 藍色；正值 = 黃色)，並計算色差值 (ΔE^*) 及黃色指數 (Yellow Index)，計算公式如下：

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

$$\text{Yellow Index} = \frac{100(1.28X - 1.06Z)}{Y}$$
，其中 X、Y、Z 為 3 刺激值。

(四) 脂肪酸分析試驗

試驗以氣相層析質譜儀 (Gas chromatography-mass spectrometry, Shimadzu, QP2010) 進行分析 (李敏雄等, 1990)。秤取 0.05 g 十五烷酸甲酯於 10 mL 定容瓶中，再加入正己烷定容至 10 mL，配置 0.5% (w/v) 內標溶液。精確秤取油樣 0.1 g 溶於 3 mL 乙醚後，加入 0.5 mL 25% TMAH 進行甲酯化反應，靜置反應 10 min 後，加入 3 mL H₂O 終止反應，再加入 3 mL 飽和食鹽水使溶液分層。溶液加入 1 mL 0.5% (w/v) 內標液。取上層澄清液至樣品瓶中，加入無水硫酸鈉脫水，再以濾膜過濾至 GCMS 樣品瓶中，進樣 GC-MS 進行分析。層析管柱為 SP2380 (內膜厚度 0.2 μm ，內徑 0.25 mm \times 30 m)，管柱溫度初溫 170°C，持溫 40 min；升溫速率 3°C/min；終溫 200°C，持溫 50 min。檢出器溫度為 230°C，注入器溫度為 250°C，移動相氣體氦氣流速為 0.75 mL/min，分流比為 40:1。



(五) 總極性物質含量

油脂中總極性物質 (Total polar compounds ; TPC) 含量係以食用油炸油品質快速檢測儀 (Testo 270, Germany) 分析, 透過測量油脂中介電常數之變化估算, 使用方式遵照廠商使用說明書。

(六) 酸價試驗

參考 CNS3647 (食用油脂檢驗法-酸價之測定) 並使用自動電位滴定儀 (Mettler toledo, Titration excellence T5) 進行試驗。精確稱取 2.5 g 之油樣於滴定杯, 以 35 mL 乙醇/乙醚溶液 (1:1, v / v) 作為溶劑, 再以 0.01 N 氫氧化鉀/乙醇溶液為滴定液, 滴定至 pH10 之滴定終點, 依以下公式計算其酸價。

$$\text{酸價 (mg KOH/g)} = V \times C \times 56.1 / W$$

$$V = \text{滴定所消耗之氫氧化鉀體積 (mL)}$$

$$C = \text{氫氧化鉀溶液之當量濃度 (N)}$$

$$W = \text{試樣之重量 (g)}$$

(七) 過氧化價試驗

參考 CNS3650(食用油脂檢驗法-過氧化價之測定) 並使用自動電位滴定儀 (Mettler toledo, Titration excellence T5) 進行試驗。精確稱取 5.0 g 之油樣於滴定杯, 以 40 mL 冰醋酸/異辛烷溶液 (3:2, v/v) 作為溶劑, 再添加 0.5 mL 飽和碘化鉀溶液及 30 mL 去離子水, 並以 0.01 N 硫代硫酸鈉標準溶液為滴定液, 滴定至導電度快速變化之當量點, 依以下公式計算其過氧化價。

$$\text{過氧化價 (meq O}_2\text{/kg)} = (S - B) \times N \times 1000 \div W$$

$$S = \text{滴定所消耗之硫代硫酸鈉溶液 (mL)}$$

$$B = \text{空白試驗所消耗之硫代硫酸鈉溶液 (mL)}$$

$$N = \text{硫代硫酸鈉溶液之當量濃度 (N)}$$

$$W = \text{樣品之重量 (g)}$$

(八) α -Tocopherol 及 Squalene 含量分析

以氯仿/正己烷 (7:3, v/v) 作為溶劑，配置 400 ppm α -Tocopherol、Squalene 標品溶液及 20%油樣。以添加標準品分析法配置最終濃度為 10%油樣 + 20 ppm 標品溶液、10%油樣 + 40 ppm 標品溶液及 10%油樣 + 60 ppm 標品溶液之低中高濃度配置組合，後以濾膜過濾入樣品瓶，進樣 UPCC (Ultra performance convergence chromatography, Waters acquity UPC²) 進行分析。

(九) 油脂氧化穩定性試驗

參考 CNS14876 (食用油脂檢驗法-穩定性指數之測定) 並使用油脂氧化穩定儀 (Metrohm, 892 Professional rancimat) 進行試驗。測試組加入去離子水 50 g 於導電度測定管，並插上探針，確定空白水中導電度小於 25 μ s/cm，且導電度需維持恆定。反應組取 3 g 油樣置入樣品反應管底端。將氣流控制器與導電度測定管連接，設定空氣流量 9 L/h、溫度 120°C，於高溫氧化環境下，使油脂產生可溶於水之揮發性物質，此揮發性物質溶於水中後，紀錄油脂於熱氧化過程中導電度之變化，計算導電度急速升高之時間點，即為油脂氧化大量產生劣化物之時間點，其值稱為油脂穩定指數 (Oil stability index, OSI)。

(十) 揮發性成分分析

參考 Nunes 等人 (2013) 的試驗，1 g 之油樣置於 50°C 水浴平衡 5 min 後，以頂空固相微萃取法 (Head-space solid phase microextraction, HS-SPME) 使用 DVB/CAR/PDMS 纖維 (Divinylbenzene / Carboxen / Polydimethylsiloxane) 收集短柱山茶油於不同烹飪溫度加熱下之揮發性成分 (Volatile organic compounds)。萃取 30 min 後，將 SPME 纖維注入，進樣 GC-MS (Shimadzu, QP2010) 進行成分脫附與分析。以不分流分析模式，層析管柱為 DB-5 (內膜厚度 0.25 μ m，內徑 0.25 mm \times 30 m)，管柱溫度初溫 35°C，持溫 2 min；升溫速率 5°C/min；終溫 250°C，持溫 1 min。檢出器溫度為 230°C，注入器溫度為 220°C，移動相氣體流

速為 1 mL/min。成分鑑定係與資料庫 (NIST 11 database) 之質譜圖比對，並以 *n*-Alkanes (C₇-C₃₀) 在相同操作條件下所得之滯留時間 (Retention time) 計算化合物之 Kovats index (KI) 與文獻值比對 (Adams, 2007)，揮發性成分之相對含量以相對峰面積 (%) 表示。

$$KI(x) = 100P_n + 100[(\log RT(x) - \log RT(P_n)) / (\log RT(P_{n+1}) - \log RT(P_n))]$$

RT(P_n)和 RT(P_{n+1}): 為碳數 n 及 n + 1 的 *n*-Alkanes 之滯留時間

RT(x): 為未知化合物 x 之滯留時間，且 RT(P_n) ≤ RT(x) ≤ RT(P_{n+1})

(十一) 線蟲生物活性試驗

1. *E. coli* OP 50 培養

秤取 5 g Tryptone、2.5 g Yeast extract、2.5 g NaCl 及 1 N 0.5 mL NaOH 加入 500 mL 血清瓶中，再加入 500 mL ddH₂O 搖晃均勻，配置完成 LB broth medium，後放入滅菌釜中以 121°C 高壓滅菌 20 min，待放涼後即可使用。於無菌操作台中輕輕刮取培養基上生長完成之 *E. coli* OP50 單一菌落，放入 LB broth medium，置於 37°C 培養箱中培養約 24 h，LB broth medium 會呈混濁貌。

2. NGM agar plate 製備

取 3 g NaCl、17 g Agar、2.5 g Peptone、1 mL Cholesterol (5 mg/mL in Ethanol) 及 25 mL K phosphate buffer (pH 6.0) 加入血清瓶中，再加入 975 mL ddH₂O 搖晃均勻，配置完成 Agar，後放入滅菌釜中以 121°C 高壓滅菌 20 min，待放涼。滅菌過後，加入經 0.22 μm Filter 過濾之 2 mL 0.5 M CaCl₂ 及 MgSO₄，混合均勻後，加入 10 mL Agar 置直徑 6 cm 之塑膠培養皿中，待冷卻凝固後，放入 4°C 冰箱保存。

3. *C. elegans* 及培養

GMC101 基因轉殖線蟲培養於 16°C 及 N2 野生種線蟲培養 20°C 培養箱中塗布 *E. coli* OP 50 菌液之 NGM agar plate，待線蟲長滿後，以解剖刀切取一小塊轉

移至新的 *E. coli* OP 50 菌液之 NGM agar plate。

4. *C. elegans* 之熱休克試驗

參考 Lithgow 等人 (1995) 及 Wei 等人 (2016) 試驗方法並稍作修改，加入 0.005、0.01、0.02、0.04 及 0.08% (v/v) 之不同烹飪溫度之短柱山茶油及葵花油於 LB broth medium 中，並以 0.1% DMSO (v/v) 作為對照組。將此 200 μ L 之菌液塗佈於乾淨的 NGM agar plate，待其水分乾燥後，以白金絲挑取 20 隻 L4 N2 野生種線蟲於 NGM agar plate 上，樣品重複數為 3，培養於 20°C 培養箱中 24 h 後，放入致死溫度 37°C 之培養箱中 2 h，後以解剖顯微鏡觀察線蟲之存活情形，以白金絲輕輕碰觸線蟲身體，若無反應則判定死亡。

5. GMC101 基因轉殖線蟲之麻痺 (Paralysis) 試驗

參考 Dostal 等人 (2010) 及 Wei 等人 (2016) 試驗方法，0.005、0.01、0.02、0.04 及 0.08% (v/v) 之不同烹飪溫度之短柱山茶油及葵花油於 LB broth medium 中，並以 0.1% DMSO (v/v) 作為對照組。將此 200 μ L 之菌液塗佈於乾淨的 NGM agar plate，待其水分乾燥後，以白金絲挑取 20 隻 L4 GMC101 基因轉殖線蟲於 NGM agar plate 上，樣品重複數為 3，培養於 20°C 生長箱中 24 h 後，放入 25°C 雙培養箱中 48 h，後以解剖顯微鏡觀察線蟲之麻痺情形，以白金絲輕輕碰觸線蟲身體，若行動遲緩或無法正常爬行則判定麻痺。

(十二) 統計方法

試驗數據以 Mean \pm S.D. 呈現，使用 SPSS 統計軟體以 Scheffe 法進行統計分析，檢驗各組間是否具統計差異，信賴區間為 95%。相關性分析由皮爾森檢定 (Pearson's test analysis) 進行統計分析。揮發性成分以主成分分析 (Principal component analysis, PCA) 進行統計分析。線蟲試驗數據以學生 T 檢定 (Student's T-test) 之雙尾分配多變異數統計進行分析，以 * 表示 $p < 0.05$ ，** 表示 $p < 0.01$ ，檢驗各組別是否與控制組具統計差異。

肆、結果與討論



一、烹飪溫度對短柱山茶油油脂顏色之影響

目視觀察加熱前後短柱山茶油，未加熱之短柱山茶油呈黃綠色，加熱後油色由綠色漸淡轉呈黃色，於 100 及 140°C 加熱下短柱山茶油隨加熱時間上升顏色由深黃轉淺黃，而於 180°C 加熱下短柱山茶油隨加熱時間上升顏色逐漸黃（圖 4）。

將於 100、140 及 180°C 加熱之短柱山茶油利用紫外光/可見光分光光譜儀分析，藉由色差軟體轉換油脂顏色為 CIE 1976 L*a*b* 顏色參數系統呈現，如表 1 所示。未加熱短柱山茶油之 L*、a*、b* 及 YI 為 92.13、-13.65、120.83 及 108.40，短柱山茶油於 100°C 加熱下其 L*、a* 及 ΔE^* 於 8 h 時為 94.35、-10.80 及 10.80，與未加熱時相較無明顯變化，而隨加熱時間上升而上升、b* 及 YI 於 8 h 時為 110.70 及 107.07，與未加熱時相較無明顯變化，而隨加熱時間上升而下降，表示短柱山茶油之油色逐漸變淡；於 140°C 加熱 8 h 下其 L*、a*、b* 及 YI 為 100.72、-5.50、19.30 及 28.73，與未加熱之短柱山茶油具顯著差異，而皆隨加熱時間上升無顯著變化、 ΔE^* 亦隨加熱時間上升無顯著變化，表示短柱山茶油之油色變化明顯變淡，而隨加熱時間上升油色無明顯變化；於 180°C 加熱 8 h 下其 L* 及 a* 上升至 98.83 及 -6.57，而 16 h 後隨加熱時間上升而下降、b* 與 YI 則加熱 8 h 時下降至 30.08 及 44.03，16 h 後隨加熱時間上升而上升，及 ΔE^* 逐漸下降之變化，表示短柱山茶油在 180°C 加熱後其油色先變淡黃後轉深黃，以上短柱山茶油於三個溫度加熱下之顏色參數變化趨勢與目視觀察之油色變化相符。

油色在高溫加熱下先變淡後轉深變化之原因推論為在烹飪溫度較低或加熱初期情況下會使油脂中的有色物質劣解而油色變淡，此時氧化物質尚未大量產生；而烹飪溫度較高或加熱後期因油脂劣化較劇烈，累積氧化物質而導致油色變深黃，故因短柱山茶油在不同加熱溫度之劣化情況不同，會造成油色改變的現象，於前人研究亦有類似結果（Tekin *et al.*, 2009；Nunes *et al.*, 2013）。

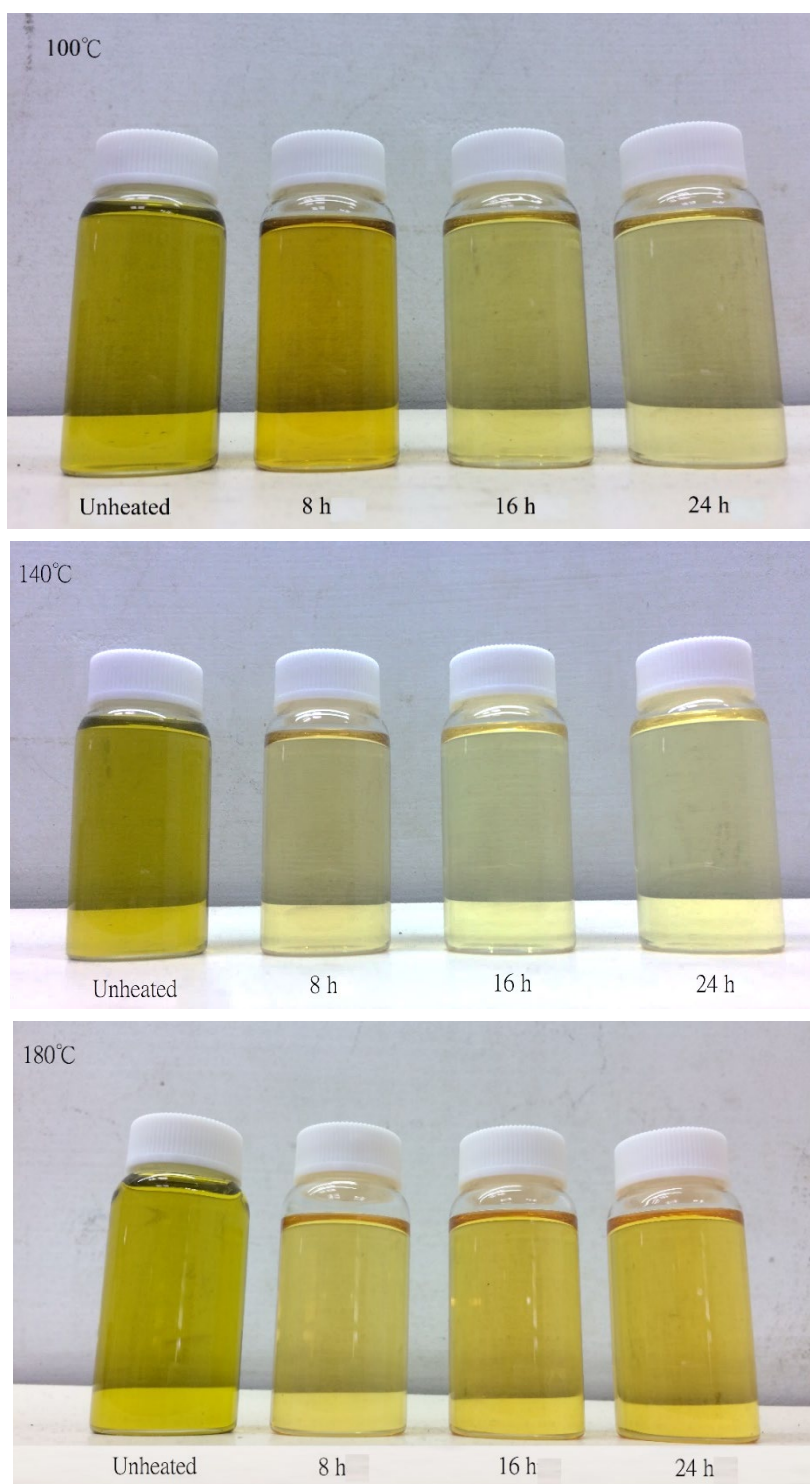


圖 4. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中顏色之變化
Fig. 4. Changes occurred in the color of *C. brevistyla* seed oil during the thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.

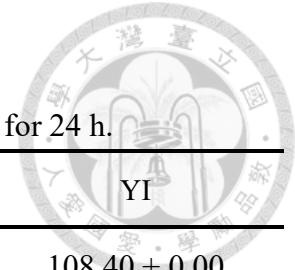


表 1. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中油脂顏色參數之變化

Table 1. Changes occurred in the color parameter of *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.

Temp. (°C)	Time (h)	L*	a*	b*	ΔE*	YI
	Unheated	92.13 ± 0.19	-13.65 ± 0.12	120.83 ± 0.46	-	108.40 ± 0.00
	8	94.35 ± 0.19	-10.80 ± 0.45*	110.70 ± 2.47	10.80 ± 2.47	107.07 ± 1.21
100	16	100.08 ± 1.08*	-5.61 ± 0.81*	18.02 ± 3.47*	103.43 ± 3.19	26.83 ± 5.00*
	24	100.02 ± 0.68*	-4.68 ± 0.53*	15.31 ± 1.70*	106.20 ± 1.41	23.23 ± 2.42*
	8	100.72 ± 0.60*	-5.50 ± 0.29*	19.30 ± 1.97*	102.22 ± 1.78	28.73 ± 2.90*
140	16	102.77 ± 0.18*	-5.39 ± 0.39*	15.13 ± 1.76*	106.55 ± 1.69	22.03 ± 2.48*
	24	102.40 ± 0.42*	-6.15 ± 0.65*	16.21 ± 1.97*	105.39 ± 2.29	23.23 ± 2.63*
	8	98.83 ± 0.75*	-6.57 ± 0.20*	30.08 ± 0.59*	91.27 ± 0.73	44.03 ± 1.10*
180	16	96.96 ± 3.53*	-8.89 ± 0.13*	40.83 ± 3.32*	80.32 ± 3.41	56.07 ± 4.11*
	24	96.12 ± 0.77*	-10.13 ± 0.45*	52.35 ± 7.22*	68.84 ± 7.63	67.90 ± 7.95*

Mean ± S.D. (n = 3), * indicates the treated group has statistical difference from the untreated group ($p < 0.05$)

The values of L*, a*, b*, ΔE* and YI are statistically analyzed individually.



二、烹飪溫度對短柱山茶油化學性質之影響

(一) 烹飪溫度對短柱山茶油中脂肪酸組成之影響

表 2 為短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中脂肪酸含量之變化。未加熱短柱山茶油之主要脂肪酸為油酸占 663.95 mg/g，其次依序為棕櫚酸及亞油酸各占 76.83 及 75.10 mg/g，以及硬脂酸占 15.60 mg/g，各脂肪酸化學結構如圖 5 所示。以脂肪酸組成來看，飽和脂肪酸、單元不飽和脂肪酸及多元不飽和脂肪酸含量分別為 92.42、663.95 及 75.10 mg/g，以單元不飽和脂肪酸含量最高，文獻中短柱山茶油脂肪酸含量結果與本試驗結果一致(蘇孟淮, 2015; Yuan *et al.*, 2013)。

短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱下，為飽和脂肪酸之棕櫚酸及硬脂酸於 3 個溫度加熱後其含量分別維持於約 76 - 77 及 15 - 17 mg/g，無明顯變化；為單元不飽和脂肪酸之油酸於 100°C 加熱與 140 及 180°C 加熱 8 h 時其含量無明顯變化，隨著加熱時間上升，140 及 180°C 加熱後含量呈下降趨勢，於 140 及 180°C 加熱 24 h 後其含量為 585.99 及 547.42 mg/g；為多元不飽和脂肪酸之亞油酸隨著烹飪溫度及時間上升而顯著下降，於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 後其含量為僅存 64.13、34.74 及 25.07 mg/g，且於不飽和脂肪酸組成來看，最終 100、140 及 180°C 加熱 24 h 後，單元不飽和脂肪酸含量分別減少 2.97、11.74 及 17.53%，多元不飽和脂肪酸含量分別減少 14.60、53.74 及 66.61%，由以上數據可知短柱山茶油中亞油酸於烹飪後劣化較嚴重。

結果可知，短柱山茶油中之脂肪酸因高溫加熱而裂解，隨著烹飪溫度增加，單元不飽和脂肪酸及多元不飽和脂肪酸含量皆下降，其中又以多元不飽和脂肪酸減少的程度最嚴重，此結果與文獻中油脂烹調後多元不飽和脂肪酸比例下降最多結果一致(Andrikopoulos *et al.*, 2002; Romero *et al.*, 2003; Chatzulazarou *et al.*, 2006; Casal *et al.*, 2010)。

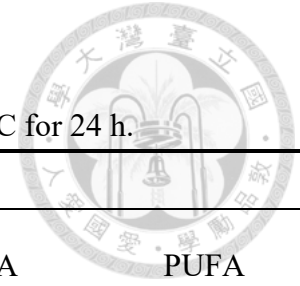


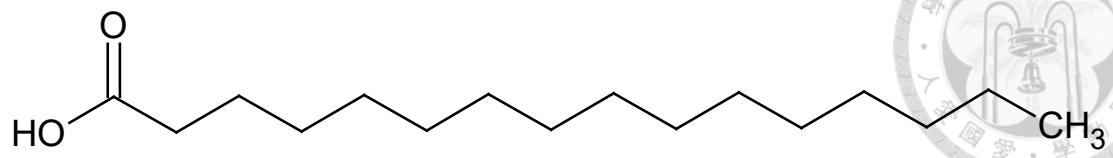
表 2. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中脂肪酸含量之變化

Table 2. Changes occurred in the fatty acid content of *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.

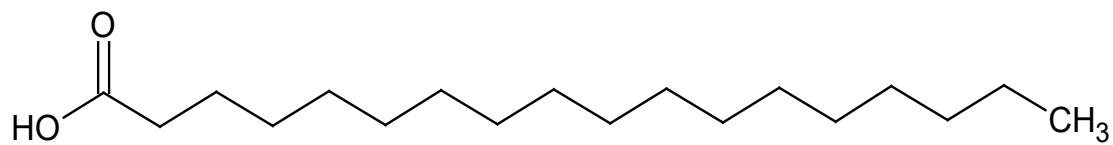
Temp. (°C)	Time (h)	Content (mg/g)						
		Palmitic acid C16:0	Stearic acid C18:0	Oleic acid C18:1	Linoleic acid C18:2	SFA	MUFA	PUFA
Unheated		76.83 ± 1.53	15.60 ± 0.88	663.95 ± 18.51	75.10 ± 2.77	92.42 ± 2.41	663.95 ± 18.51	75.10 ± 2.77
	8	76.95 ± 0.95	15.02 ± 0.31	659.64 ± 11.87	71.92 ± 1.99	91.98 ± 1.25	659.64 ± 11.87	71.92 ± 1.99
100	16	75.31 ± 0.72	15.31 ± 0.73	641.96 ± 3.52	64.49 ± 2.78*	90.32 ± 0.45	641.96 ± 3.52	64.49 ± 2.78*
	24	76.70 ± 1.23	15.75 ± 0.39	644.22 ± 4.34	64.13 ± 0.42*	92.45 ± 1.56	644.22 ± 4.34	64.13 ± 0.42*
	8	77.83 ± 0.14	16.39 ± 0.03	644.55 ± 1.81	62.58 ± 0.30*	94.22 ± 1.27	644.55 ± 1.81	62.58 ± 0.30*
140	16	77.05 ± 0.26	16.26 ± 0.43	610.27 ± 3.24*	48.56 ± 1.92*	94.15 ± 0.47	610.27 ± 3.24*	48.56 ± 1.92*
	24	76.80 ± 0.92	16.77 ± 0.53	585.99 ± 10.56*	34.74 ± 3.02*	94.73 ± 1.34	585.99 ± 10.56*	34.74 ± 3.02*
	8	78.86 ± 1.03	16.59 ± 0.31	639.62 ± 8.09	58.75 ± 2.79*	96.27 ± 1.17	639.62 ± 8.09	58.75 ± 2.79*
180	16	78.63 ± 0.74	16.79 ± 0.62	599.67 ± 2.86*	41.97 ± 2.93*	96.66 ± 1.28	599.67 ± 2.86*	41.97 ± 2.93*
	24	77.16 ± 2.00	16.66 ± 0.86	547.52 ± 2.43*	25.07 ± 3.09*	95.62 ± 2.81	547.52 ± 2.43*	25.07 ± 3.09*

Mean ± S.D. (n = 3), * indicates the treated group has statistical difference from the untreated group ($p < 0.05$)

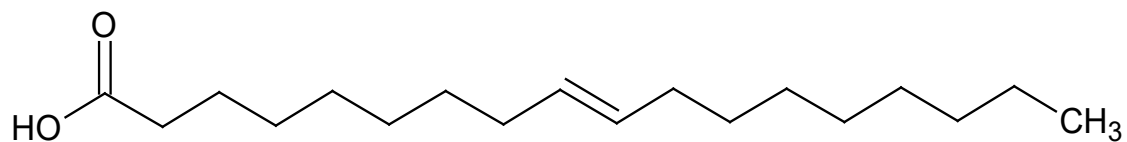
SFA: Saturated fatty acid, MUFA: Monounsaturated fatty acid, PUFA: Polyunsaturated fatty acid



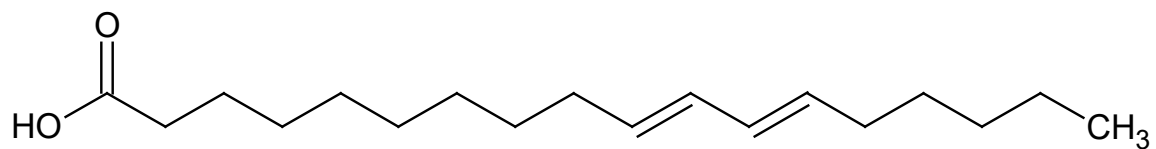
棕櫚酸 (Palmitic acid, C16:0)



硬脂酸 (Stearic acid, C18:0)



油酸 (Oleic acid, C18:1)



亞油酸 (Linoleic acid, C18:2)

圖 5. 短柱山茶油中主要脂肪酸之化學結構

Fig.5. Chemical structures of the main fatty acids of *C. brevistyla* seed oil.

(二) 烹飪溫度對短柱山茶油中總極性物質含量之影響

總極性物質為油脂在加熱過程發生水解、氧化及聚合等反應，所產生醛、酮及酯等具極性的次級氧化物之統稱，衛福部規定食用油中總極性物質含量高於 25%，作為換油指標。

圖 6 為短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱過程中總極性物質含量之變化。未加熱之短柱山茶油之總極性物質含量為 7.5%，隨著加熱時間上升，短柱山茶油於 100°C 加熱下總極性物質含量約 10%，且無顯著變化，於 140 及 180°C 加熱下總極性物質含量呈上升趨勢，且 140°C 加熱 16 h 後總極性物質含量為 26.7%，即超過衛福部食用油炸油之換油指標，180°C 加熱 8 h 後總極性物質含量為 22.2%，逼近換油指標，加熱 16 h 後總極性物質含量即超過衛福部油炸油之換油指標，由此結果可知，短柱山茶油於 100°C 使用下品質穩定；140 及 180°C 下分別使用 8、16 h 後氧化物質大量累積，即需要注意是否該作更換。

Casal 等人 (2010) 將不同等級之橄欖油及葵花油在 170°C 下每 3 h 油炸一次，至油中總極性物質含量超過 25% 即停止，其中橄欖油之總極性物質含量隨著加熱時間增加而增加，且於 24 h 後超過 25%，與本試驗結果具相同趨勢，且達衛福部油炸油之換油指標所需時間較長，表示品質較穩定。Brenes 等人 (2002) 將 2 種不同品種之初榨橄欖油以 180°C 下加熱 1.5、3、5、10、15、20 及 25 h，結果發現 2 種具不同脂肪酸組成之不同品種初榨橄欖油之總極性物質含量隨著加熱時間增加而增加，而於 25 h 時總極性物質含量分別為 14.8 及 28.1%，以多元不飽和脂肪酸較多橄欖油之總極性物質含量較高，與本研究結果具相同趨勢，2 種不同品種之初榨橄欖油之脂肪酸組成不盡相同，影響油脂於熱氧化過程中總極性物質含量的累積，可知總極性物質隨加熱時間而呈線性增加，則其形成速率與數量將取決於油脂的組成及抗氧化活性成分 (Kalogianni *et al.*, 2010; Uriarte and Guillén, 2010)。

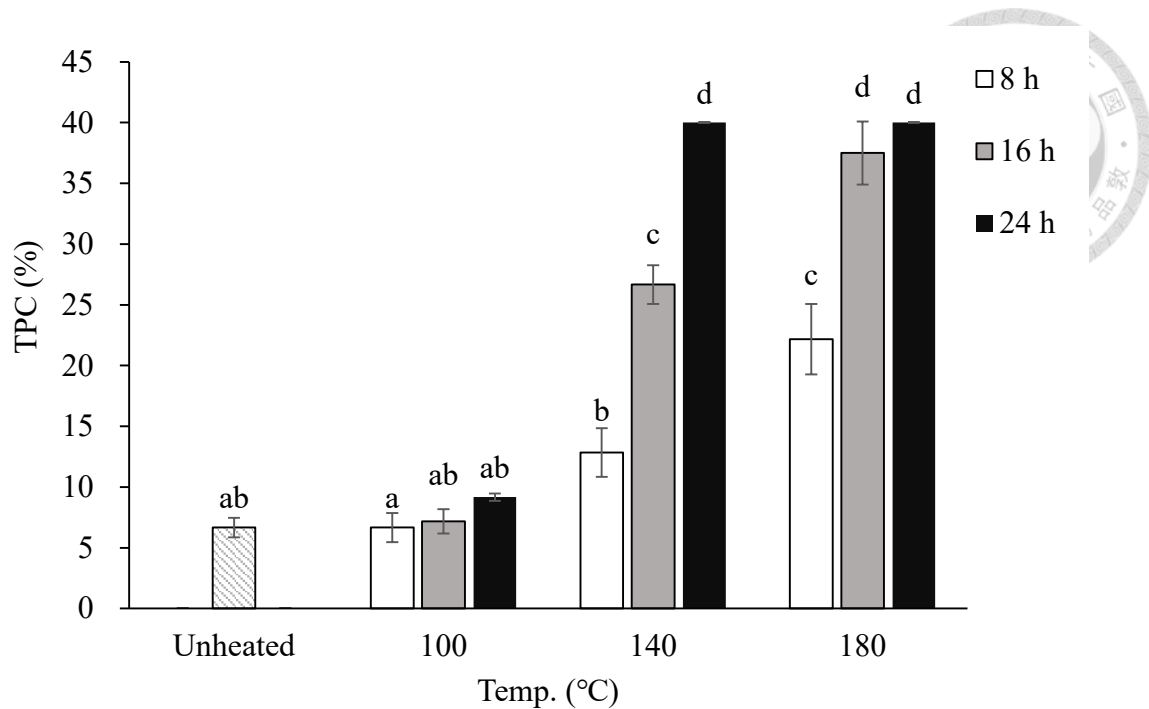


圖 6. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中總極性物質含量之變化
 Fig. 6. Changes occurred in the total polar compounds of *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h. Limit of detection is 40% ; Mean \pm S.D. (n = 3), Different letters (a-f) are significantly different according to Scheffe's test ($p < 0.05$).

(三) 烹飪溫度對短柱山茶油酸價之影響

當油脂受氧化和水解等化學反應，從三酸甘油酯上脫下的脂肪酸，稱為游離脂肪酸，酸價表示油脂中之游離脂肪酸含量，可作為油脂劣化程度指標 (Stevenson *et al.*, 1984)，衛福部規定食用油炸油之酸價超過 2.0 mg KOH/g 即不可食用。圖 7 為短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中酸價之變化。未加熱短柱山茶油之酸價為 0.72 mg KOH/g，符合 CNS 一級苦茶油酸價標準 1.5 mg KOH/g；短柱山茶油於 100°C 加熱過程中酸價無顯著變化，且與未加熱短柱山茶油之酸價無顯著差異；於 140 及 180°C 加熱下酸價皆隨著加熱時間上升而上升，且於加熱 24 h 時酸價分別為 2.03 及 2.55 mg KOH/g，超過衛福部食用油炸油酸價標準，由此結果可知，短柱山茶油於 100°C 使用下品質穩定；於 140 及 180°C 下分別使用 24 h 後即不可食用。

Casal 等人 (2010) 比較四種不同等級橄欖油及葵花油在 170°C 下每 3 h 油炸一次新鮮馬鈴薯，至油中總極性物質含量超過 25% 為止，比較過程中游離酸度之變化。根據國際食品法典對精煉葵花油定義游離酸度得小於 0.1% (約等於酸價 0.19 mg KOH/g)，橄欖油則得小於 0.8% (約等於酸價 1.50 mg KOH/g)。結果顯示在油炸加熱前，四種橄欖油的游離酸度皆小於 0.3%，精煉葵花油的游離酸度為 0.1%；隨油炸時間增加，四種橄欖油的游離酸度穩定增加，油炸 27 h 後最終酸度介在 0.5 - 0.7% 之間，符合國際食品法典規定標準，與本試驗結果比較，在高溫加熱下短柱山茶油之劣化程度較橄欖油高。

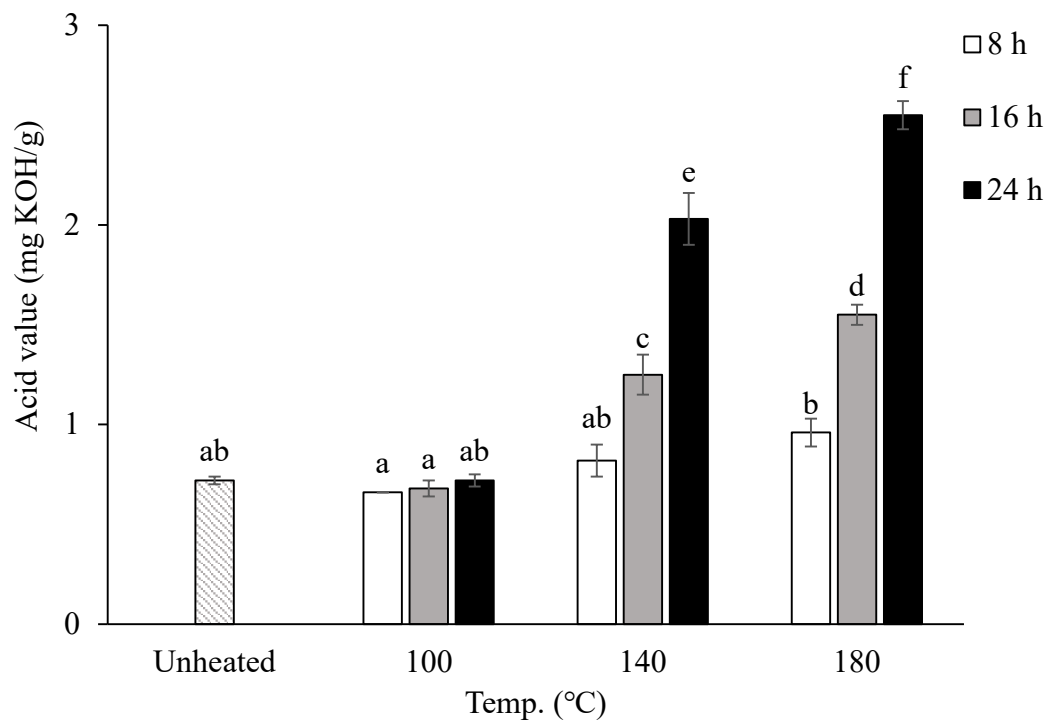


圖 7. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中酸價之變化

Fig. 7. Changes occurred in the acid value of *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h. Mean \pm S.D. (n = 3), Different letters (a-f) are significantly different according to Scheffe's test ($p < 0.05$).

(四) 烹飪溫度對短柱山茶油過氧化價之影響

當油脂發生氧化反應，其氧化作用發生於不飽和脂肪酸之雙鍵上，氧化初期生成極不穩定之過氧化物，過氧化價(1 kg 油脂中所含之過氧化物之毫當量(meq)數)表示油脂中過氧化物之含量，常作為油脂氧化程度指標。圖 8 為短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱過程中過氧化價之變化，未加熱短柱山茶油之過氧化價為 0.86 meq of O₂/kg，符合 CNS 一級苦茶油過氧化價標準 6 meq of O₂/kg，於 100 及 140°C 加熱下過氧化價皆隨著加熱時間上升而呈上升趨勢，180°C 加熱下則無顯著變化，短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱下在最終加熱 24 h 時過氧化價分別為 14.96、12.09 及 2.33 meq of O₂/kg。

從本研究總極性物質及酸價結果可知加熱溫度愈高，油脂劣化愈嚴重，而比較過氧化價結果卻發現短柱山茶油於較高溫度 180°C 加熱下之過氧化價卻最低，此現象是由於過氧化物為初級氧化的產物，且十分不穩定，過氧化價僅在氧化初期有明顯趨勢，而在氧化後期容易反應成次級氧化產物，會有過氧化價下降而趨於平緩的情形，從短柱山茶油加熱後顏色變化結果，亦可證明於氧化後期有次級氧化產物累積現象。

參考 Daskalaki 等人 (2009) 將橄欖油於 180 °C 下加熱 1 h，發現過氧化價呈增加之趨勢，可知在氧化初期過氧化價會增加；而 Carrasco-Pancorbo 等人 (2007) 將特級初榨橄欖油於 180 °C 下加熱 3 h，分析過氧化價之變化，未經加熱的特級初榨橄欖油的過氧化價約 10.54 mequiv of O₂/kg，橄欖油經加熱 1 h 之過氧化價下降至 6.26 mequiv of O₂/kg，而 1 至 2.5 h 間過氧化價保持穩定，呈先升後降之趨勢，可知氧化後期過氧化價會下降而漸緩。前人文獻結果亦符合本試驗過氧化價隨烹飪溫度上升而先升後降之趨勢，因此當過氧化價低時，並不代表油之氧化程度低，故過氧化價可作為油脂氧化初期氧化程度之參考，並不適用於作為評估油脂在長時間且高溫烹調用途之氧化程度指標。

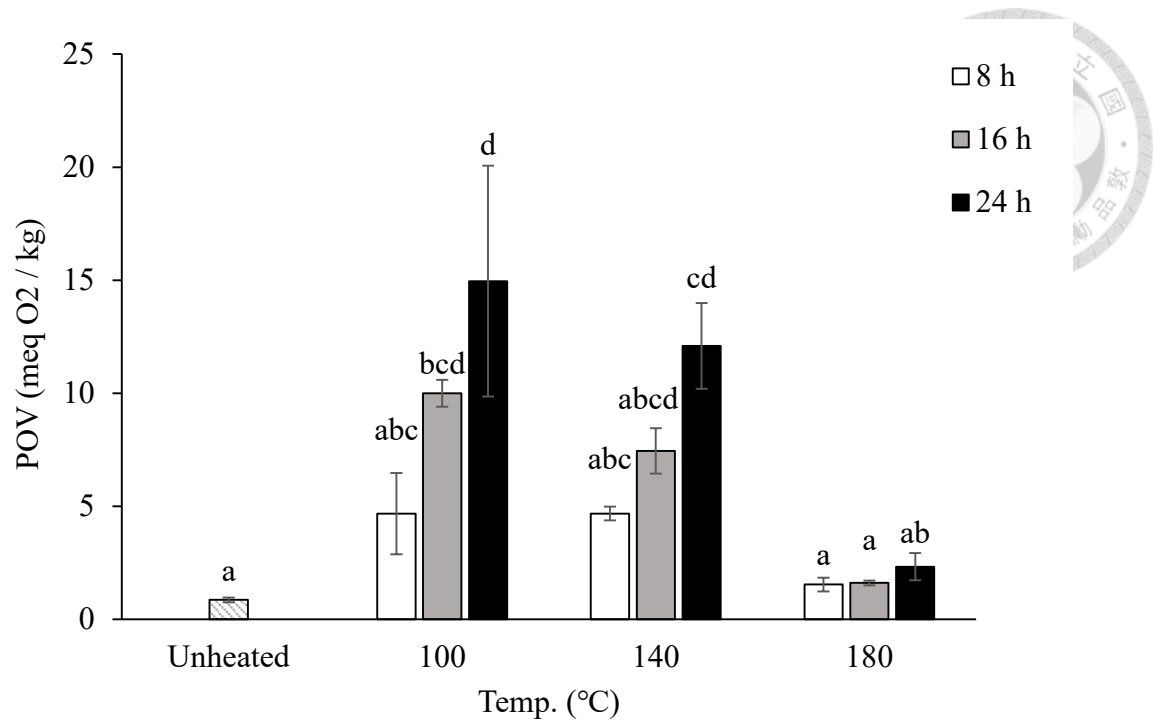


圖 8. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中過氧化價之變化

Fig. 8. Changes occurred in the peroxide value of *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h. Mean \pm S.D. (n = 3), Different letters (a-d) are significantly different according to Scheffe's test ($p < 0.05$).

(五) 烹飪溫度對短柱山茶油中 α -Tocopherol 及 Squalene 含量之影響

圖 9 為短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱過程中 α -Tocopherol 含量之變化。未加熱短柱山茶油中 α -Tocopherol 含量為 153.87 ppm，文獻結果與本試驗結果相符 (Fang *et al.*, 2015)，短柱山茶油加熱後之 α -Tocopherol 含量隨著烹飪溫度上升而下降，於 100、140 及 180°C 加熱 8 h 時含量分別為 18.43、2.83 及 0.47 ppm，而三個溫度皆於加熱 16 h 時即未檢測出 α -Tocopherol 含量，結果可知 α -Tocopherol 含量於加熱後急遽下降，熱穩定性差，而比較前述脂肪酸試驗結果，發現短柱山茶油於相同加熱 8 h 時脂肪酸含量僅略減少，未如 α -Tocopherol 含量急遽下降，可知 α -Tocopherol 作為抗氧化劑可保護脂肪酸被氧化，然而高溫下極易降解，使油脂穩定性受到影響。

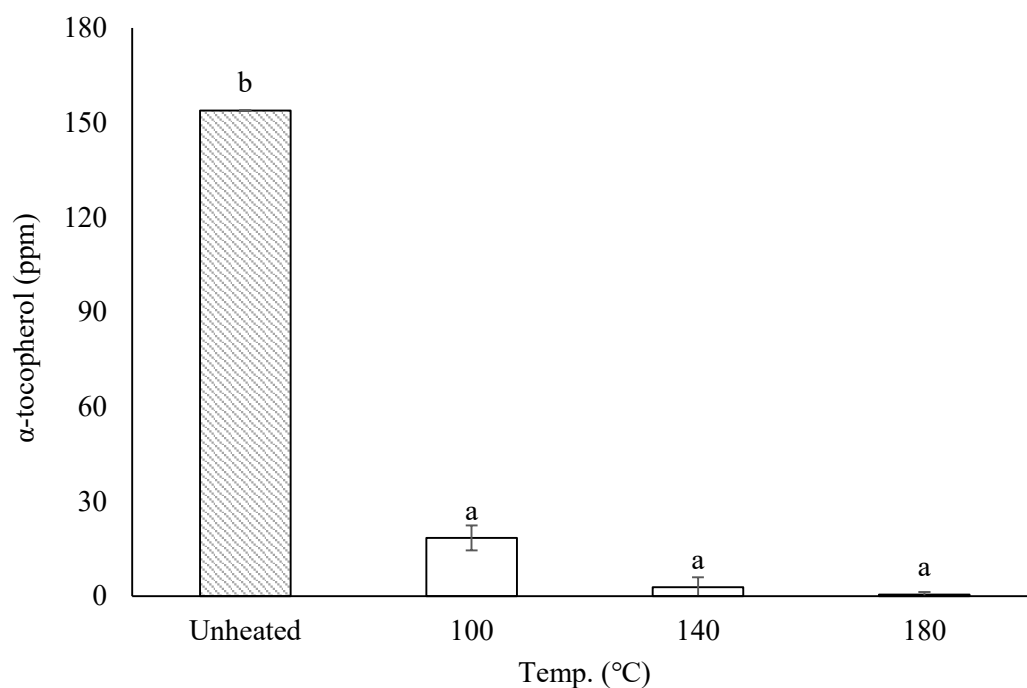


圖 9. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 8 h 後 α -Tocopherol 含量之變化
Fig. 9. Changes occurred in the α -tocopherol content of *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 8 h. Mean \pm S.D. (n = 3), Different letters (a-b) are significantly different according to Scheffe's test ($p < 0.05$).

Squalene 為三萜類化合物，是類固醇生合成的前驅物，具有許多保健功效，如抗氧化、抗疲勞、增強免疫力、增進新陳代謝及促進腸胃吸收等 (Kelly, 1999; Zhao *et al.*, 2004; Popa, 2015)，對於油脂的氧化穩定性與營養價值具有良好的貢獻。圖 10 為短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱過程中 Squalene 含量之變化。未加熱短柱山茶油中 Squalene 含量為 54.83 ppm，略低於文獻結果 (Fang *et al.*, 2015)，100°C 加熱 8、16 及 24 h 之 Squalene 含量分別為 33.45、23.13 及 14.53 ppm，140°C 為 30.60、15.20 及 7.95 ppm，則 180°C 加熱 8 及 16 h 為 19.90 及 1.37 ppm，而加熱 24 h 時未檢測出 Squalene 含量，可知短柱山茶油之 Squalene 含量隨著烹飪溫度及時間上升而下降。

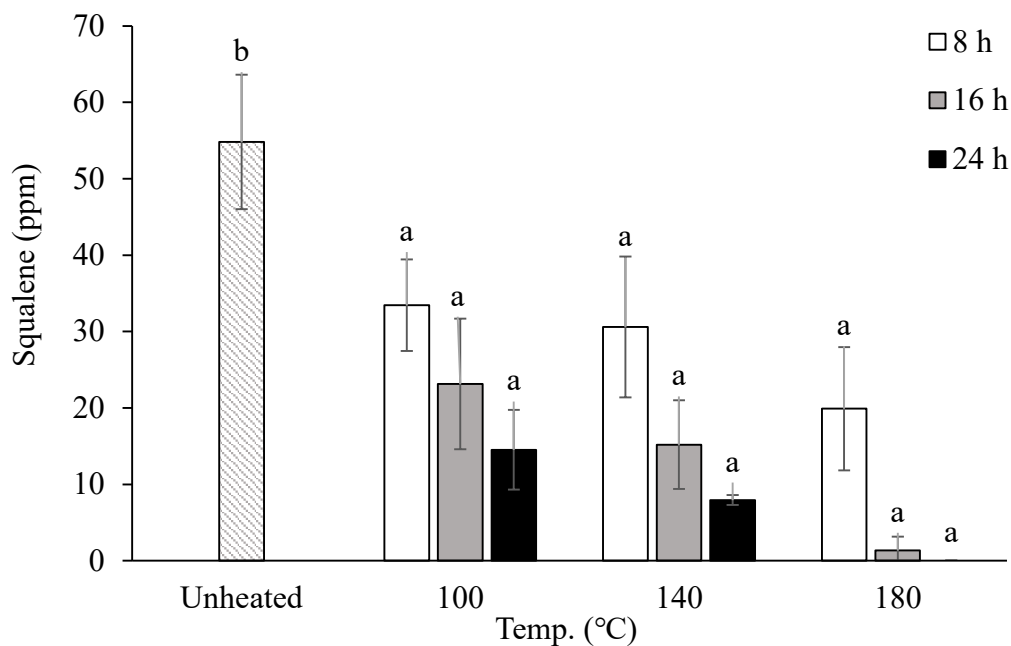


圖 10. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中 Squalene 含量之變化
 Fig. 10. Changes occurred in the squalene content of *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h. Mean \pm S.D. (n = 3), Different letters (a-b) are significantly different according to Scheffe's test ($p < 0.05$).

(六) 烹飪溫度對短柱山茶油油脂穩定指數之影響

油脂穩定指數表示油脂氧化穩定性之好壞(Farhoosh *et al.*, 2008), OSI 越高, 油脂越穩定, 可藉以評估油脂保存期限之長短, 但無法反映實際使用期限(Casal *et al.*, 2010)。圖 11 為短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱過程中 OSI 之變化。未加熱短柱山茶油之 OSI 為 1.50 h, 短柱山茶油於 100°C 加熱之 OSI 隨加熱時間上升而下降, 於 140 及 180°C 加熱 8 h 之 OSI 與未加熱短柱山茶油具顯著差異, 而隨加熱時間增加無顯著變化, 可知短柱山茶油之氧化穩定性於烹飪過後急遽下降, 隨著烹飪溫度增加而減弱, 且與 α -Tocopherol 結果比較, 發現 OSI 與 α -Tocopherol 具相似趨勢, 推測 α -Tocopherol 對於油脂氧化穩定性有關。Carrasco-Pancorbo 等人(2007)將初榨橄欖油於 180°C 加熱 3 h 後進行油脂氧化穩定性分析, 結果發現加熱 3 h 後, 初榨橄欖油之 OSI 由 25 h 降低至 5 h, OSI 隨著加熱時間增加而下降, 可知橄欖油氧化安定性隨著油炸時間增加其而減弱, 與本試驗結果具相同趨勢。

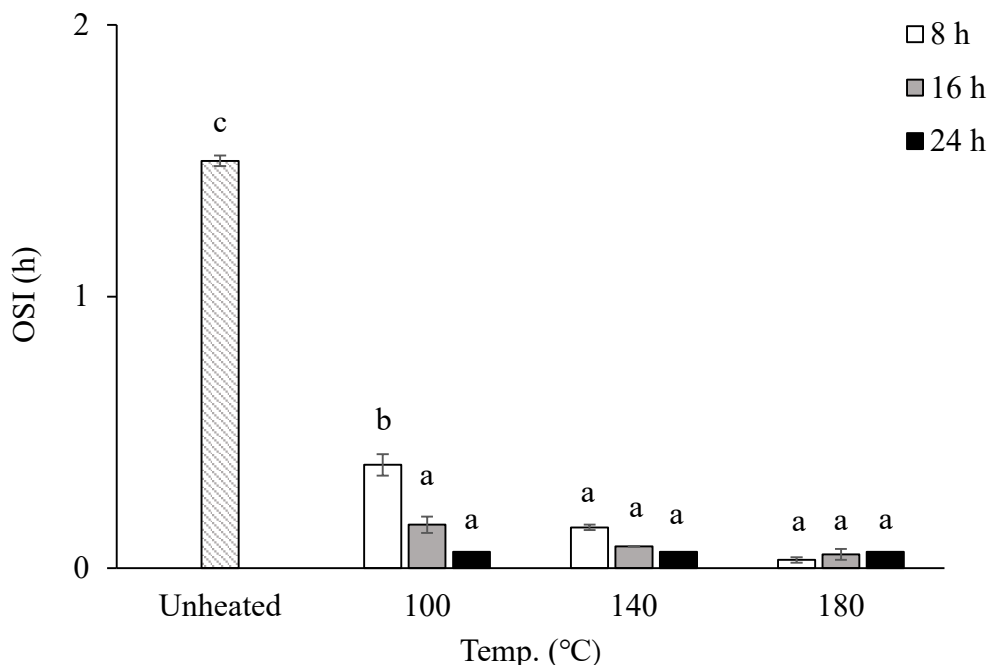


圖 11. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中油脂穩定指數之變化
Fig. 11. Changes occurred in the oil stability index of *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h. Mean \pm S.D. (n = 3), Different letters (a-c) are significantly different according to Scheffe's test ($p < 0.05$).

為了解短柱山茶油於不同烹飪溫度加熱下脂肪酸、 α -Tocopherol、Squalene含量、總極性物質含量、酸價、過氧化價及油脂穩定指數之間之關係，由以上各項品質試驗之數據結果以Pearson's test分析所得之相關性如表3所示。

油酸及亞油酸與總極性物質含量之相關係數為-0.919及-0.958，與酸價之相關係數為-0.976、-0.966，皆呈高度負相關，表示屬於不飽和脂肪酸之油酸及亞油酸對於短柱山茶油於不同烹飪溫度加熱下總極性物質及游離脂肪酸的產生有關。本次短柱山茶油之脂肪酸試驗結果中，為單元不飽和脂肪酸之油酸於140及180°C加熱16及24 h其含量明顯下降，為多元不飽和脂肪酸之亞油酸則除了於100°C加熱8 h時含量無明顯下降外，其含量隨著烹飪溫度及時間上升而顯著下降。而從總極性物質及酸價試驗結果中，短柱山茶油之總極性物質及酸價於140及180°C加熱下皆隨著加熱時間上升而上升。前人研究提及，總極性物質及游離脂肪酸之形成速率與數量取決於油脂中之脂肪酸組成，多元不飽和脂肪酸因雙鍵數目較多，容易氧化而較不穩定，當多元不飽和脂肪酸比例較高之油脂，其在加熱後總極性物質、酸價增加的速率較快（Brenes *et al.*, 2002；Chatzilazarou *et al.*, 2006；Casal *et al.*, 2010；Kalogianni *et al.*, 2010；Uriarte and Guillén, 2010）。由上述結果可知短柱山茶油於不同烹飪溫度加熱下脂肪酸因高溫裂解使其含量減少，又因水解、氧化等化學反應形成總極性物質及游離脂肪酸等氧化物，而因不飽和脂肪酸因雙鍵數目較多容易氧化，因此油脂中不飽和脂肪酸是影響總極性物質及游離脂肪酸生成的重要因素。

α -Tocopherol及Squalene與OSI之相關係數分別為0.984及0.887，呈高度正相關，表明 α -Tocopherol及Squalene含量較高之油脂，其氧化穩定性較好，而本次 α -Tocopherol及Squalene與OSI試驗結果中， α -Tocopherol及Squalene與OSI皆隨烹飪溫度上升而下降，其中OSI與 α -Tocopherol皆於加熱8 h急遽下降，具相似趨勢，可知油脂加熱後， α -Tocopherol及Squalene含量下降，油脂氧化穩定性亦降低（Silva *et al.*, 2010；Esposito *et al.*, 2015）。

表 3. 短柱山茶油之脂肪酸、 α -Tocopherol、Squalene、總極性物質含量、酸價、過氧化價及油脂穩定指數之線性相關性

Table 3. Linear correlation for fatty acid, α -tocopherol, squalene, total polar compound content, acid value, peroxide value and oil stability index.

	TPC	AV	POV	OSI
Palmitic acid	0.397	0.167	-0.593	-0.221
Stearic acid	0.863	0.719	-0.197	-0.450
Oleic acid	-0.919**	-0.976**	0.024	0.476
Linoleic acid	-0.958**	-0.966**	0.002	0.536
α -Tocopherol	-0.375	-0.224	-0.507	0.984**
Squalene	-0.656	-0.637	-0.329	0.887**
TPC	-	0.924**	-0.128	-0.461
AV	-	-	-0.103	-0.348
POV	-	-	-	-0.372
OSI	-	-	-	-

Pearson's test, ** : $p < 0.01$

TPC: Total polar compound, AV: Acid value, POV: Peroxide value,

OSI: Oil stability index

三、烹飪溫度對短柱山茶油中揮發性成分之影響

油脂中的香氣成份來源常為 Aldehydes、Alcohols、Carboxylic acids 及 Esters 等，如碳數 6 的 Aldehydes、Alcohols 類化合物與甜味有關，Esters 類化合物與果香有關；Carboxylic acids 類化合物則與酸味、刺激感與油脂劣變後之腐酸味有關，而當油脂加熱後產生之氧化產物將使油脂產生油耗味 (Kalua *et al.*, 2007)。

表 4 為以頂空固相微萃取法搭配氣相層析儀分析短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中之揮發性成分種類及含量之變化。未加熱短柱山茶油之揮發性成分以 Carboxylic acid 為主；加熱後之短柱山茶油之揮發性成分以 Aldehyde 為主，且 Furan 類之化合物僅於加熱油中出現。未加熱短柱山茶油中之揮發性成分總釋出量為 1.88 Area counts (10^8)，於 100°C 加熱 8、16 及 24 h 分別為 2.92、6.41 及 8.20 Area counts (10^8)，於 140°C 加熱 8、16 及 24 h 為 19.93、30.68 及 37.73 Area counts (10^8)，於 180°C 加熱 8、16 及 24 h 為 31.99、40.03 及 42.00 Area counts (10^8)，短柱山茶油中之揮發性成分總釋出量為隨烹飪溫度上升而增加 (表 5)，表示短柱山茶油加熱過程中不斷產生源自油脂氧化的揮發性成分，而油脂中揮發性成分的含量取決於熱降解、揮發性成分向空氣中的釋出量以及與食物之間的反應等因素，影響油脂揮發性成分釋出量的變化 (Choe and Min, 2007；Arslan *et al.*, 2017)。

圖 12 為短柱山茶油中於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中 Aldehydes、Alcohols、Carboxylic acids、Furan derivatives、Alkanes 及 Ketones 相對含量之變化，由此可知隨著烹飪溫度增加，Alcohols、Carboxylic acids 相對含量減少，而 Aldehydes、Ketones 及 Furan derivatives 等氧化物質之相對含量增加。Kiritsakis (1998) 之研究中提及在橄欖油氧化過程中，觀察到高比例的 Aldehydes (主要是 Nonanal)，且這些化合物對油脂之氣味會產生負面影響 (Vichi *et al.*, 2003；Kalua *et al.*, 2007)，而由本試驗結果發現短柱山茶油中 Aldehydes 之相對含量隨烹飪溫度升高而增加，可知較高烹飪溫度加熱之短柱山茶油會產生較難聞之氣味。

圖 13 及 14 為未加熱與不同烹飪溫度之短柱山茶油揮發性成分之主成分分析 (Principal component analysis, PCA)。由 PC1 軸觀察到區分未加熱與加熱之短柱山茶油的趨勢 (圖 13)，不同烹飪溫度之短柱山茶油的揮發性特徵沿 PC1 軸區分，PC1 軸及 PC2 軸之變異量分別為 46.81 及 24.42%，隨著烹飪溫度增加，樣品沿著 PC1 軸分離，烹飪溫度愈高之短柱山茶油愈坐落於 PC1 軸之右側，因此在 100°C 加熱下之短柱山茶油的揮發性化合物特徵與未加熱短柱山茶油相似，而在 140°C 和 180°C 加熱下之短柱山茶油揮發性化合物特徵相似，與未加熱短柱山茶油不同，Nunes 等人 (2013) 之研究中橄欖油於 50、150 及 200°C 加熱後之揮發性成分數據經 PCA 分析後，可知 50°C 加熱與未加熱之橄欖油更相似，150 及 200°C 之橄欖油加熱更相似，此結果與本試驗結果相符。

在未加熱和較低溫加熱之短柱山茶油中富含具有 8 個碳以下之 Alcohols 和 Aldehydes，較高溫加熱下之短柱山茶油則富含較長碳鏈之飽和與不飽和 Aldehydes (圖 14)。未加熱及 100°C 加熱之短柱山茶油富含 Alcohols 之 1-Octen-3-ol 及 *E*-2-Heptenol 和 Aldehydes 之 Hexanal、Benzaldehyde、*E*-2-Hexenal 及 *E*-2-Octenol；140 及 180°C 加熱之短柱山茶油富含 Alcohols 之 1-Heptanol 和 Aldehydes 之 Octanal、Nonanal、*E*-2-Octenal、*E*-2-Decenal、*E*-2-Undecenal、*E,E*-2,4-Heptadienal 及 *E,E*-2,4-Decadienal。

未加熱及 100°C 加熱之短柱山茶油中富含碳數 6 的 Aldehydes、Alcohols，與甜味及青草味有關，如 Hexanal 及 Benzaldehyde，而隨加熱溫度增加，取而代之的是與油耗味有關之長碳鏈 Aldehydes，如 Octanal、*E*-2-Octenal、*E*-2-Decenal、*E,E*-2,4-Heptadienal 及 *E,E*-2,4-Decadienal 等 (Cao *et al.*, 2016)。加熱油中氧化產物中不飽和 Aldehydes 較其他化合物更具毒性，如 *E,E*-2,4-Decadienal 具有細胞毒性與基因毒性 (Boskou *et al.*, 2006；Katragadda *et al.*, 2010)。

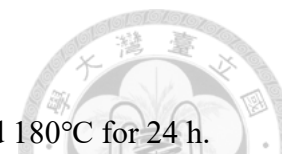


表 4. 以 SPME-GC/MS 分析短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中之揮發性成分

Table 4. Volatile compound identified by SPME-GC/MS in *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.

Compound	RT	KI	rKI	Relative area (%)									
				Unheated	100°C			140°C			180°C		
					8 h	16 h	24 h	8 h	16 h	24 h	8 h	16 h	24 h
Alkanes													
Octane				-	2.60 ± 0.03	1.85 ± 0.29	0.13 ± 0.09	2.50 ± 0.95	0.94 ± 0.02	0.67 ± 0.04	2.29 ± 0.04	1.42 ± 0.04	0.82 ± 0.11
Ketones													
1-Octen-3-one	10.5	986	977	-	0.70 ± 0.01	0.57 ± 0.02	0.47 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
2-Nonanone	14.6	1090	1090	-	-	-	-	-	-	-	0.13 ± 0.02	0.22 ± 0.06	0.28 ± 0.00
2-decanone	17.8	1193	1192	-	-	-	-	0.18 ± 0.02	0.43 ± 0.06	0.47 ± 0.01	0.46 ± 0.04	0.73 ± 0.13	0.86 ± 0.02
Alcohols													
1-Heptanol	10.2	982	966	1.82 ± 0.10	1.23 ± 0.02	1.37 ± 0.16	1.41 ± 0.22	3.20 ± 0.17	1.50 ± 0.04	1.48 ± 0.11	2.32 ± 0.01	1.72 ± 0.15	1.70 ± 0.00
1-Octen-3-ol	10.6	989	979	-	1.68 ± 0.10	4.04 ± 0.10	3.87 ± 0.31	2.30 ± 0.24	0.68 ± 0.02	0.68 ± 0.09	1.05 ± 0.08	0.48 ± 0.00	0.48 ± 0.07
1-Octanol	13.8	1075	1068	1.46 ± 0.02	1.57 ± 0.14	1.27 ± 0.33	1.99 ± 0.11	3.12 ± 0.44	2.59 ± 0.48	3.65 ± 1.51	4.25 ± 0.19	2.42 ± 0.18	2.12 ± 0.29
Carboxylic acids													
Octanoic acid	17.3	1176	1171	3.18 ± 0.26	1.28 ± 0.01	0.17 ± 0.25	0.12 ± 0.06	0.28 ± 0.09	0.19 ± 0.03	-	-	-	-
Nonanoic acid	20.1	1270	1270	11.08 ± 1.62	7.46 ± 0.33	1.89 ± 0.20	0.61 ± 0.06	0.36 ± 0.19	0.42 ± 0.07	0.29 ± 0.07	0.35 ± 0.09	-	-
Hexadecanoic acid	36.5		1960	43.55 ± 5.16	20.82 ± 2.72	6.04 ± 2.15	0.24 ± 0.18	1.82 ± 0.23	0.78 ± 0.02	-	0.86 ± 0.11	-	-

Mean ± S.D. (n = 2), RT: Retention Time, KI: Kovats Index.



表 4. 以 SPME-GC/MS 分析短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中之揮發性成分 (續)

Table 4. Volatile compound identified by SPME-GC/MS in *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h. (Continued)

Compound	RT	KI	rKI	Relative area (%)									
				Unheated	8 h	100°C		140°C			180°C		
						16 h	24 h	8 h	16 h	24 h	8 h	16 h	24 h
Alkanals													
Hexanal	2.2	804	801	4.17 ± 0.06	4.30 ± 0.25	4.99 ± 0.47	4.26 ± 0.82	2.42 ± 0.43	1.59 ± 0.01	1.51 ± 0.19	2.16 ± 0.06	1.88 ± 0.15	1.55 ± 0.10
Heptanal	7.3	913	902	2.25 ± 0.07	1.90 ± 0.13	1.81 ± 0.03	2.06 ± 0.14	1.55 ± 0.19	1.06 ± 0.01	1.31 ± 0.12	1.14 ± 0.02	1.08 ± 0.16	1.25 ± 0.11
Benzaldehyde	9.7	971	960	5.02 ± 0.03	3.76 ± 0.01	1.27 ± 0.64	1.77 ± 0.78	0.24 ± 0.04	-	-	-	-	-
Octanal	11.2	1008	998	4.27 ± 0.10	5.09 ± 0.20	5.01 ± 0.51	4.07 ± 0.11	3.91 ± 0.16	2.52 ± 0.24	2.84 ± 0.18	2.96 ± 0.04	3.43 ± 0.41	3.53 ± 0.14
Nonanal	12.9	1048	1042	8.07 ± 0.45	8.12 ± 0.06	9.11 ± 0.04	10.47 ± 1.21	7.69 ± 0.20	8.70 ± 0.13	13.12 ± 0.26	11.62 ± 0.00	12.63 ± 1.88	16.93 ± 1.36
Alkenals													
E-2-Hexenal	4.9	872	855	-	1.50 ± 0.08	2.27 ± 0.80	3.60 ± 0.06	1.19 ± 0.15	0.41 ± 0.05	0.31 ± 0.05	0.59 ± 0.06	0.33 ± 0.03	-
E-2-Heptenal	9.6	969	954	-	24.13 ± 2.61	19.96 ± 1.19	16.91 ± 1.74	6.59 ± 2.20	4.17 ± 0.34	3.81 ± 0.19	6.04 ± 0.61	4.08 ± 0.44	3.39 ± 0.05
E-2-Octenal	13.5	1063	1054	-	2.85 ± 0.14	4.45 ± 0.24	5.13 ± 0.79	4.72 ± 0.09	2.75 ± 0.07	2.95 ± 0.17	2.92 ± 0.05	2.65 ± 0.01	2.64 ± 0.01
E-2-Nonenal	16.8	1163	1161	-	1.53 ± 0.16	2.90 ± 0.04	3.63 ± 0.58	4.15 ± 0.07	4.98 ± 0.23	4.56 ± 0.16	4.34 ± 0.15	4.48 ± 0.30	5.13 ± 0.19
E-2-Decenal	19.9	1266	1263	3.66 ± 0.03	10.60 ± 0.60	9.89 ± 2.53	21.81 ± 5.30	23.43 ± 1.86	30.82 ± 0.44	30.78 ± 0.77	24.23 ± 0.55	33.88 ± 0.74	31.08 ± 1.01
E-2-Undecenal	22.8	1367	1360	3.82 ± 1.27	1.83 ± 0.01	2.02 ± 0.44	5.76 ± 0.08	8.02 ± 2.46	23.79 ± 0.51	26.69 ± 3.37	16.63 ± 0.89	16.95 ± 0.61	18.05 ± 1.53

Mean ± S.D. (n = 2), RT: Retention Time, KI: Kovats Index.



表 4. 以 SPME-GC/MS 分析短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中之揮發性成分 (續)

Table 4. Volatile compound identified by SPME-GC/MS in *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h. (Continued)

Compound	RT	KI	rKI	Relative area (%)									
				Unheated	100°C			140°C			180°C		
					8 h	16 h	24 h	8 h	16 h	24 h	8 h	16 h	24 h
Alkadienals													
E,E-2,4-Heptadienal	11.5	1016	1007	-	5.00 ± 1.29	5.69 ± 0.94	7.83 ± 0.20	4.89 ± 0.76	1.19 ± 0.04	1.18 ± 0.82	1.88 ± 0.02	0.84 ± 0.01	0.38 ± 0.02
E,E-2,4-Nonadienal	18.5	1218	1219	-	-	0.09 ± 0.03	0.21 ± 0.03	0.37 ± 0.02	0.69 ± 0.02	0.85 ± 0.13	0.36 ± 0.00	0.46 ± 0.01	0.51 ± 0.01
E,E-2,4-Decadienal	21.5	1320	1316	-	1.62 ± 0.83	3.32 ± 0.61	10.08 ± 1.34	7.94 ± 1.08	9.47 ± 1.90	10.13 ± 0.13	3.12 ± 0.22	5.88 ± 0.59	9.15 ± 0.39
Furan derivatives													
2-Pentyl-furan	10.9	995	988	-	-	0.43 ± 0.11	1.07 ± 0.18	0.92 ± 0.02	0.64 ± 0.17	0.53 ± 0.06	0.99 ± 0.11	0.94 ± 0.06	0.55 ± 0.02
5-Ethylidihydro -2 (3H) -Furanone,	13.2	1055		-	-	-	-	-	0.41 ± 0.20	0.64 ± 0.12	0.35 ± 0.09	0.36 ± 0.04	0.39 ± 0.06
5-Butylidihydro -2 (3H) -Furanone,	19.7	1258	-	-	-	-	-	-	0.27 ± 0.15	0.65 ± 0.18	0.24 ± 0.06	0.41 ± 0.06	0.70 ± 0.18

Mean ± S.D. (n = 2), RT: Retention Time, KI: Kovats Index.

表 5. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 中揮發性成分總釋出量之變化
 Table 5. Change in the total volatile compounds in *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.

Time (h)	Area counts (10 ⁸)			
	Unheated	100°C	140°C	180°C
Unheated	1.88 ± 0.23 ^a	-	-	-
8	-	2.92 ± 0.36 ^a	19.93 ± 3.37 ^{bc}	31.99 ± 6.67 ^{cde}
16	-	6.41 ± 0.50 ^a	30.68 ± 3.17 ^{cd}	40.03 ± 5.24 ^{de}
24	-	8.20 ± 0.27 ^{ab}	27.73 ± 3.55 ^{cde}	42.00 ± 6.75 ^e

Mean ± S.D. (n = 2), Different letters (a-e) are significantly different according to Scheffe's test ($p < 0.05$).

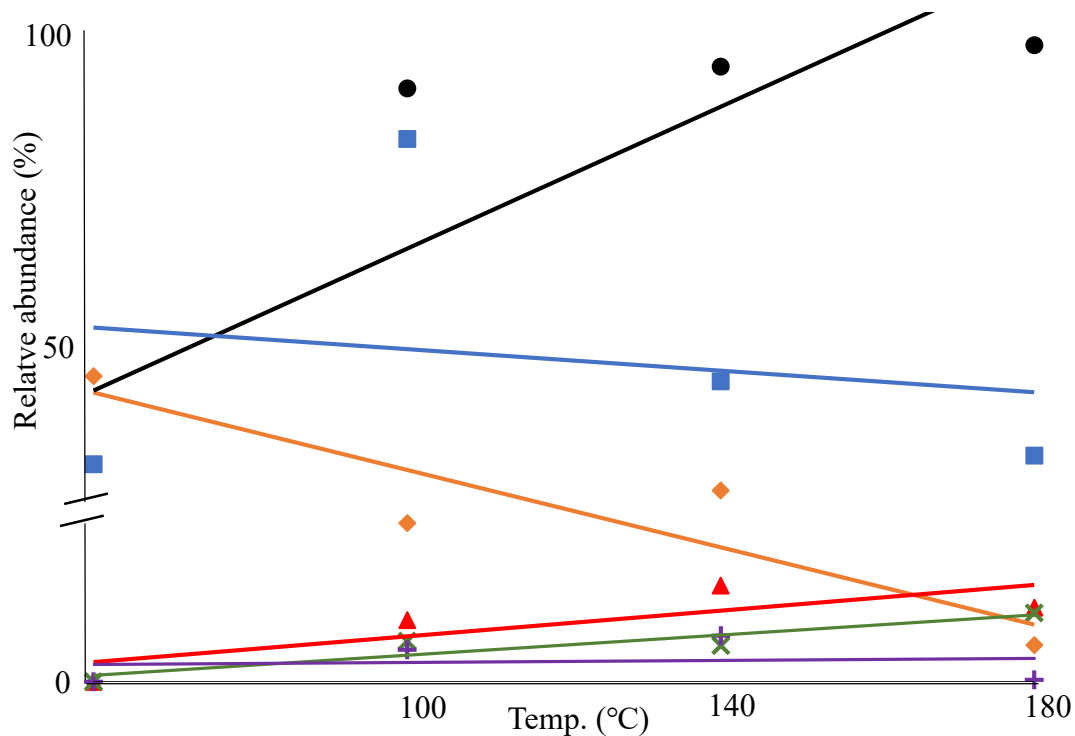


圖 12. 短柱山茶油中於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中 Aldehydes、Alcohols、Carboxylic acids、Furan derivatives、Alkanes 及 Ketones 之相對含量

Fig.12. Relative abundance of aldehydes, alcohols, carboxylic acids, furan derivatives, alkanes and ketones in *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.

● : Aldehydes ■ : Alcohols ◆ : Carboxylic acids
 ▲ : Furan derivatives × : Alkanes + : Ketones

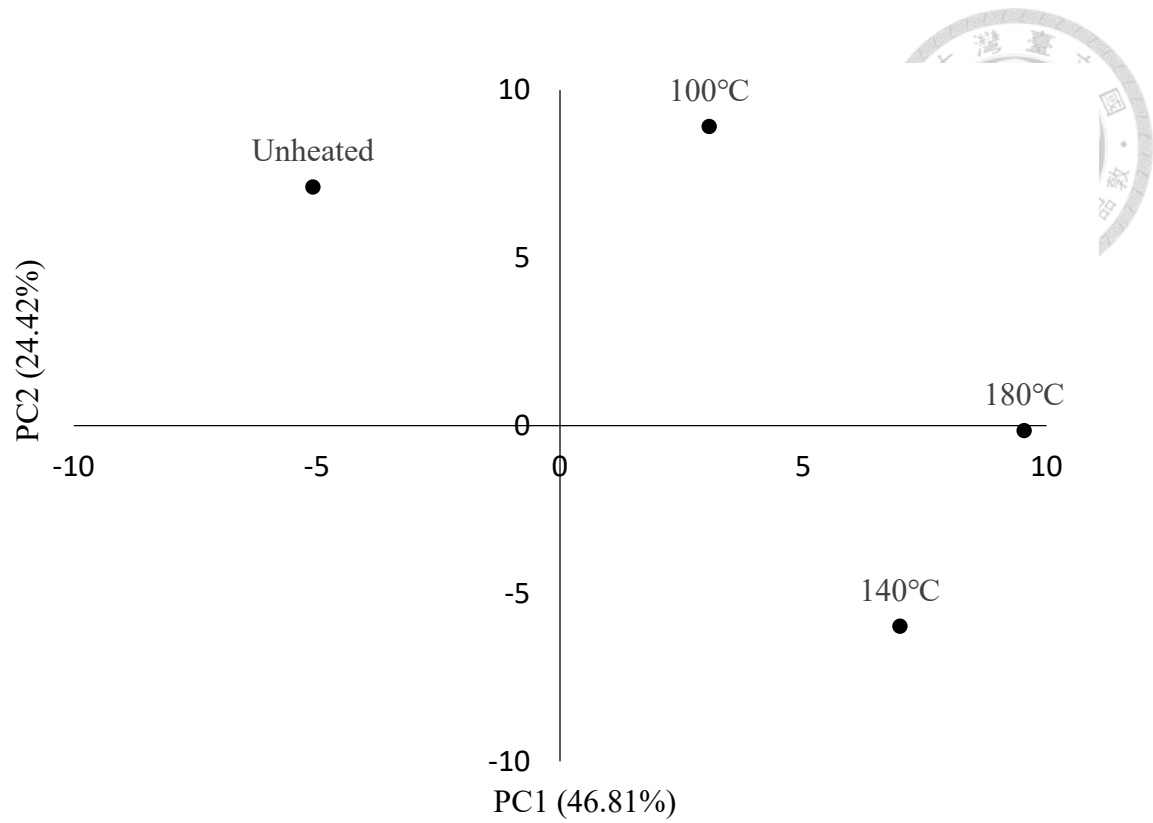


圖 13. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 過程中揮發性成分之主成分分析

Fig.13. Principal component analysis for the volatile compound profile of *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.

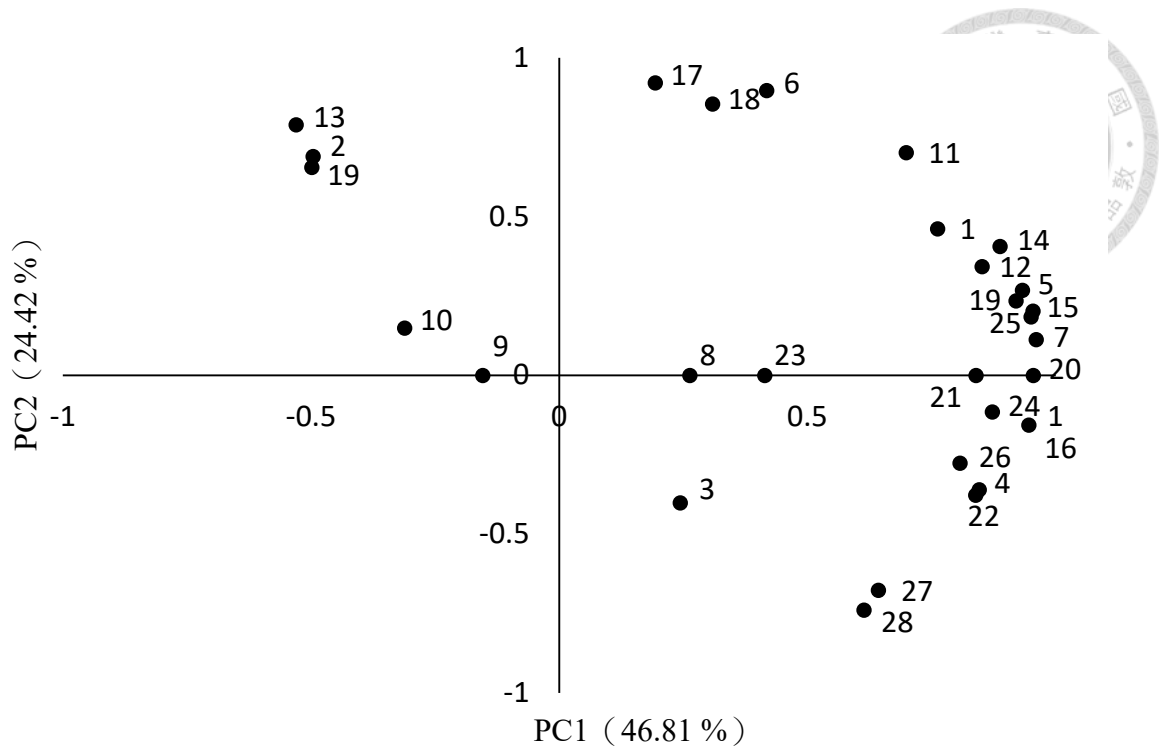


圖 14. 短柱山茶油於 100、140 及 180°C 加熱 24 h 中揮發性成分之主成分分析
 Fig.14. Principal component analysis for the volatile compound profile of *C. brevistyla* seed oil during thermal treatment at 100, 140 and 180°C for 24 h.

- | | | |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 1. Octane | 12. Heptanal | 23. <i>E,E</i> -2,4-Heptadienal |
| 2. 1-Octen-3-one | 13. Benzaldehyde | 24. <i>E,E</i> -2,4-Nonadienal |
| 3. 2-Nonanone | 14. Octanal | 25. <i>E,E</i> -2,4-Decadienal |
| 4. 2-Decanone | 15. Nonanal | 26. 2-Pentyl-furan |
| 5. 1-Heptanol | 16. Decanal | 27. 5-Ethyldihydro-2(3H)-Furanone |
| 6. 1-Octen-3-ol | 17. <i>E</i> -2-Hexenal | 28. 5-butyldihydro-2(3H)-Furanone |
| 7. 1-Octanol | 18. <i>E</i> -2-Heptenal | |
| 8. Octanoic acid | 19. <i>E</i> -2-Octenal | |
| 9. Nonanoic acid | 20. <i>E</i> -2-Nonenal | |
| 10. Hexadecanoic acid | 21. <i>E</i> -2-Decenal | |
| 11. Hexanal | 22. <i>E</i> -2-Undecenal | |



四、短柱山茶油、亞麻油及葵花油之氧化穩定性比較

為了解短柱山茶油與其他壓榨種子油於高溫下品質與氧化穩定性之好壞，本試驗以螺旋榨油機自行壓榨種子油，選擇市面上常見且與短柱山茶油（Oleic acid（Omega-9 脂肪酸）為主）脂肪酸組成不同之亞麻油（Linolenic acid（Omega-3 脂肪酸）為主）與葵花油（Linoleic acid（Omega-6 脂肪酸）為主）進行比較，分析加熱期間油脂顏色、脂肪酸、總極性物質、酸價及氧化穩定性等品質之變化。

（一）烹飪對短柱山茶油、亞麻油及葵花油油脂顏色之影響

三種試驗種子油中，短柱山茶油與亞麻油呈黃色，葵花油呈米白色，而經 180°C 加熱後，短柱山茶油顏色在加熱 8 h 及 16 h 漸變淡，24 h 後轉深黃；亞麻油顏色在加熱 8 h 先變淡，16 h 後隨加熱時間增加轉深黃；葵花油顏色隨加熱時間增加而逐漸變黃（圖 15）。

表 6 為短柱山茶油、亞麻油及葵花油經 180°C 加熱 24 h 過程中油脂顏色參數之變化。未加熱短柱山茶油之 L^* 、 a^* 、 b^* 及 YI 為 88.40、-3.97、89.78 及 99.00，而經 180°C 加熱 24 h，隨加熱時間增加而有 L^* 先升後降、 a^* 逐漸下降、 b^* 與 YI 先降後升、 ΔE^* 逐漸下降之變化，顯示短柱山茶油之油色先變淡後轉深黃，此顏色參數變化趨勢與肉眼觀察顏色變化相符；亞麻油之 L^* 、 a^* 、 b^* 及 YI 為 92.70、0.25、118.88 及 110.45，其加熱後顏色參數變化趨勢與短柱山茶油相似。葵花油之 L^* 、 a^* 、 b^* 及 YI 為 96.46、-0.41、8.61 及 15.40，而隨加熱時間增加，其 L^* 逐漸下降，但無顯著趨勢； a^* 逐漸下降， b^* 、 YI 、 ΔE^* 皆上升，顯示油色逐漸變深黃。短柱山茶油與亞麻油之油色隨加熱時間增加而有先變淡後變深之現象，推測係原存於油脂中有色物質在加熱初期劣解而使油色變淡，加熱後期油脂再因氧化物質累積而顏色變深黃；而葵花油則因原油顏色就較淡，故油脂隨加熱時間增加，氧化物質累積，油色逐漸變深。

Tekin 等人（2009）比較榛果油、葵花油、橄欖粕油及葡萄籽油經加熱後顏色參數之變化， L^* 皆是先升後降，榛果油及葵花油的 a^* 下降，橄欖粕油及葡萄

籽油的 a* 上升；全部油的 b* 皆上升，文獻中橄欖粕油及葡萄籽油結果與本試驗短柱山茶油之結果具相同趨勢。

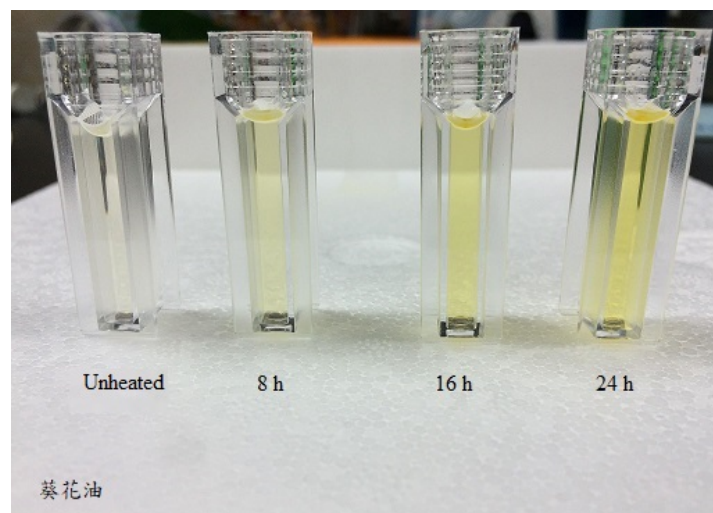
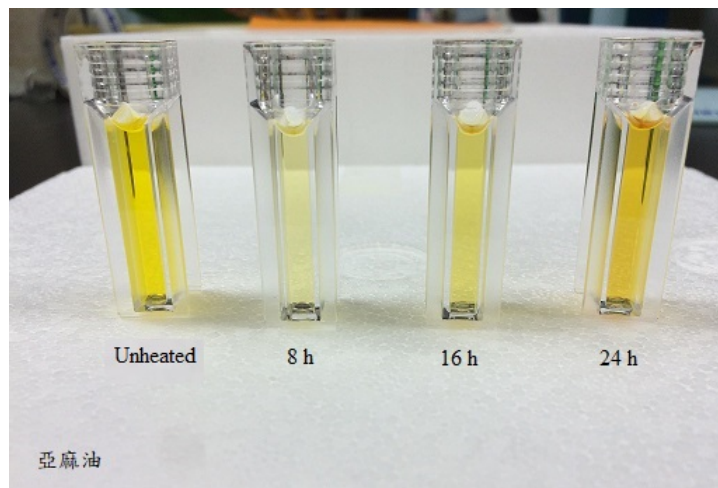
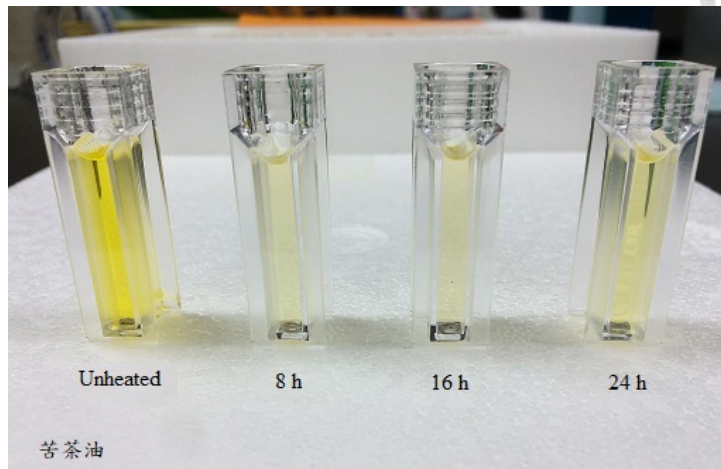


圖 15. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於達 180°C 加熱 24 h 過程中油色之變化
Fig. 15. Changes occurred in the color of *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower seed oil during the thermal treatment at 180°C for 24 h.

表 6. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於 180°C 經 24 h 加熱後油脂顏色參數之變化
 Table 6. Changes occurred in the color parameters of *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower seed oil during the thermal treatment at 180°C for 24 h.

Parameter	Time (h)	C	FL	SF
L*	Unheated	88.40 ± 1.92	92.70 ± 0.01	96.46 ± 0.25
	8	92.37 ± 3.19	99.06 ± 0.31*	95.53 ± 2.65
	16	92.18 ± 2.44	93.64 ± 0.85	93.50 ± 2.22
	24	90.34 ± 3.09	84.23 ± 1.10*	89.94 ± 0.24
a*	Unheated	-3.97 ± 0.55	0.25 ± 0.12	-0.41 ± 0.00
	8	-3.42 ± 0.50	-6.92 ± 0.07*	-3.61 ± 1.33
	16	-3.61 ± 1.62	-5.89 ± 0.08*	-6.46 ± 0.98*
	24	-5.74 ± 0.82	-6.95 ± 0.84*	-6.81 ± 0.80*
b*	Unheated	89.78 ± 1.35	118.88 ± 0.22	8.61 ± 0.01
	8	20.47 ± 3.64*	34.79 ± 2.72*	16.37 ± 6.35
	16	23.02 ± 1.66*	63.84 ± 0.27*	31.89 ± 7.74*
	24	38.62 ± 2.76*	93.51 ± 3.09*	50.22 ± 5.69*
ΔE*	8	69.52 ± 2.58	84.63 ± 2.90	8.62 ± 6.46
	16	66.96 ± 2.77	55.40 ± 0.47	24.26 ± 7.91
	24	51.38 ± 3.86	27.61 ± 3.15	42.62 ± 5.44
YI	Unheated	99.00 ± 0.57	110.45 ± 0.07	15.40 ± 0.00
	8	32.05 ± 5.87*	46.65 ± 3.18*	24.75 ± 9.26
	16	35.75 ± 0.21*	78.95 ± 0.21*	44.90 ± 10.04*
	24	55.30 ± 1.41*	111.75 ± 1.48	67.30 ± 6.36*

Mean ± S.D. (n = 2), C: *C. brevistyla* seed oil, FL: Flaxseed oil, SF: Sunflower seed oil
 The values of L*, a*, b*, ΔE* and YI are statistically analyzed individually, * indicates the treated group has statistical difference from the untreated group ($p < 0.05$)

(二) 烹飪對短柱山茶油、亞麻油及葵花油化學性質之影響

1. 烹飪對短柱山茶油、亞麻油及葵花油中脂肪酸含量之影響

油脂的主要成分為脂肪酸，脂肪酸可依雙鍵數目分為飽和脂肪酸、單元不飽和脂肪酸及多元不飽和脂肪酸三大類，其中含雙鍵數目愈多之油脂愈容易氧化而較不穩定。短柱山茶種子、亞麻籽及葵花籽以螺旋榨油機製油，得油率分別為 31.5、29.4 及 37.2%。

表 7 為短柱山茶油、亞麻油及葵花油於未加熱及加熱 24 h 後主要脂肪酸含量之變化。短柱山茶油在未加熱時總脂肪酸含量為 870.80 mg/g，其中以油酸最高，占 687.86 mg/g，其次依序為亞油酸及棕櫚酸，各占 82.07 及 75.81 mg/g，其飽和脂肪酸、單元不飽和脂肪酸及多元不飽和脂肪酸含量分別為 92.93、692.62 及 85.25 mg/g，以單元不飽和脂肪酸含量最高，文獻中短柱山茶油脂肪酸含量結果與本試驗結果一致（蘇孟淮，2015；Yuan *et al.*, 2013）；亞麻油及葵花油未加熱時總脂肪酸含量為 956.31 及 969.60 mg/g，主要脂肪酸分別為次亞麻酸與亞油酸，各占 445.71 mg/g 與 558.31 mg/g，其次皆為油酸，文獻中亞麻油與葵花油脂肪酸含量結果與本試驗結果一致（Gunstone, 2011；Ma *et al.*, 2011）。

短柱山茶油、亞麻油及葵花油於 180°C 加熱 24 h 後各脂肪酸含量皆下降，總脂肪酸含量分別減少 186.08、239.77 及 303.14 mg/g，以短柱山茶油總脂肪酸含量下降最少，且飽和脂肪酸含量減少了 2.87、5.46 及 12.65 mg/g、單元不飽和脂肪酸減少了 129.63、38.09 及 61.8 mg/g 及多元不飽和脂肪酸含量減少了 53.59、39.77 及 303.14 mg/g，其中以多元不飽和脂肪酸含量分別較未加熱時下降了 62.86、32.87 及 40.96%，較飽和脂肪酸及單元不飽和脂肪酸含量下降比例較高，劣化較嚴重，文獻中油脂烹調後多元不飽和脂肪酸比例下降最多結果與本試驗結果一致（Romero *et al.*, 2003）。

試驗結果可知，短柱山茶油以單元不飽和脂肪酸組成為主，亞麻油與葵花油則以多元不飽和脂肪酸組成為主。然而，三種壓榨種子油中的脂肪酸因高溫加熱而裂解，導致脂肪酸含量下降，短柱山茶油之脂肪酸含量較亞麻油與葵花油之脂肪酸含量下降較少，表示劣化較不嚴重，因此以單元不飽和脂肪酸組成為主之短柱山茶油相較於以多元不飽和脂肪酸組成為主之亞麻油與葵花油穩定。另外，三種壓榨種子油中的多元不飽和脂肪酸皆較飽和脂肪酸及單元不飽和脂肪酸含量下降比例較高，表示多元不飽和脂肪酸於高溫下較容易氧化而裂解，導致含量下降。



表 7. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於 180°C 加熱 24 h 後脂肪酸含量之變化

Table 7. Changes in the fatty acid content of *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower seed oil after 24 h thermal treatment at 180°C.

Constituent	Content (mg/g)					
	C		FL		SF	
	Unheated	24 h	Unheated	24 h	Unheated	24 h
Palmitic acid (C16:0)	75.81 ± 0.26	73.16 ± 0.48	43.13 ± 0.61	40.21 ± 0.05	59.02 ± 0.14	51.84 ± 0.46
Stearic acid (C18:0)	17.12 ± 0.10	16.90 ± 0.06	44.20 ± 0.21	41.66 ± 0.29	42.54 ± 0.27	37.88 ± 0.03
Oleic acid (C18:1)	687.86 ± 0.64	559.58 ± 12.27*	272.22 ± 6.48	234.13 ± 0.20*	303.56 ± 0.97	241.76 ± 2.62*
Linoleic acid (C18:2)	82.07 ± 0.24	31.66 ± 2.43*	151.05 ± 5.71	113.90 ± 0.25*	558.31 ± 2.02	329.63 ± 4.03*
Linolenic acid (C18:3)	3.18 ± 0.08	-	445.71 ± 6.08	286.54 ± 1.74*	-	-
Arachidic acid (C20:0)	-	-	-	-	2.08 ± 0.44	1.74 ± 0.06
Gondoic acid (C20:1)	4.76 ± 0.08	3.41 ± 0.06**	-	-	-	-
Behenic acid (C22:0)	-	-	-	-	4.09 ± 1.04	3.62 ± 0.05
SFA	92.93 ± 0.17	90.06 ± 0.43	87.33 ± 0.30	81.87 ± 0.34	107.73 ± 0.20	95.08 ± 0.60
MUFA	692.62 ± 0.56	562.99 ± 12.32*	272.22 ± 6.48	234.13 ± 0.20*	303.56 ± 0.97	241.76 ± 2.62*
PUFA	85.25 ± 0.16	31.66 ± 2.43*	596.76 ± 5.93	400.55 ± 1.92*	558.31 ± 2.02	329.63 ± 14.03*
Total	870.80 ± 0.57	684.72 ± 30.70*	956.31 ± 17.09	716.54 ± 1.26*	969.60 ± 4.88	666.46 ± 16.04*

Mean ± S.D. (n = 2), *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ compare with unheated group

C: *C. brevistyla* seed oil, FL: Flaxseed oil, SF: Sunflower seed oil

SFA: Saturated fatty acid, MUFA: Monounsaturated fatty acid, PUFA: Polyunsaturated fatty acid

2. 烹飪對短柱山茶油、亞麻油及葵花油中總極性物質含量之影響

總極性物質為油脂在加熱過程發生水解、氧化及聚合等反應所產生醛、酮及酯等具極性的次級氧化物之統稱，衛福部規定食用油中總極性物質含量高於 25% 作為換油指標。

短柱山茶油於 30 min 內由 80°C 至 180°C 升溫過程中，總極性物質含量維持於 6% (圖 16)，經 180°C 加熱 8 h 後，總極性物質含量為 13.0%；加熱 16 h 後總極性物質含量為 30.5%，即超過衛福部食用油炸油之換油指標 (圖 17)。亞麻油及葵花油於 80°C 至 180°C 升溫過程中，總極性物質含量分別維持於 21.3% 及 10% (圖 16)；經 180°C 加熱 8 h 後，總極性物質含量分別 23.3% 及 24.0%，逼近換油指標 25%；加熱 16 h 後總極性物質含量即超過衛福部油炸油之換油指標 (圖 17)。三種油中的總極性物質含量皆隨著加熱時間增加而增加，短柱山茶油於油炸使用 16 h 後與亞麻油及葵花油於油炸使用 8 h 後即需要注意是否該作更換，可知短柱山茶油在油炸使用期限較亞麻油與葵花油長。

Casal 等人 (2010) 將不同等級之橄欖油及葵花油在 170°C 下加熱，隨著加熱時間增加，油中的總極性物質含量亦增加，葵花油在加熱 15 h 後，總極性物質含量即超過 25%，其他四種橄欖油在 24 h 後超過 25%，與本次結果具相同趨勢。

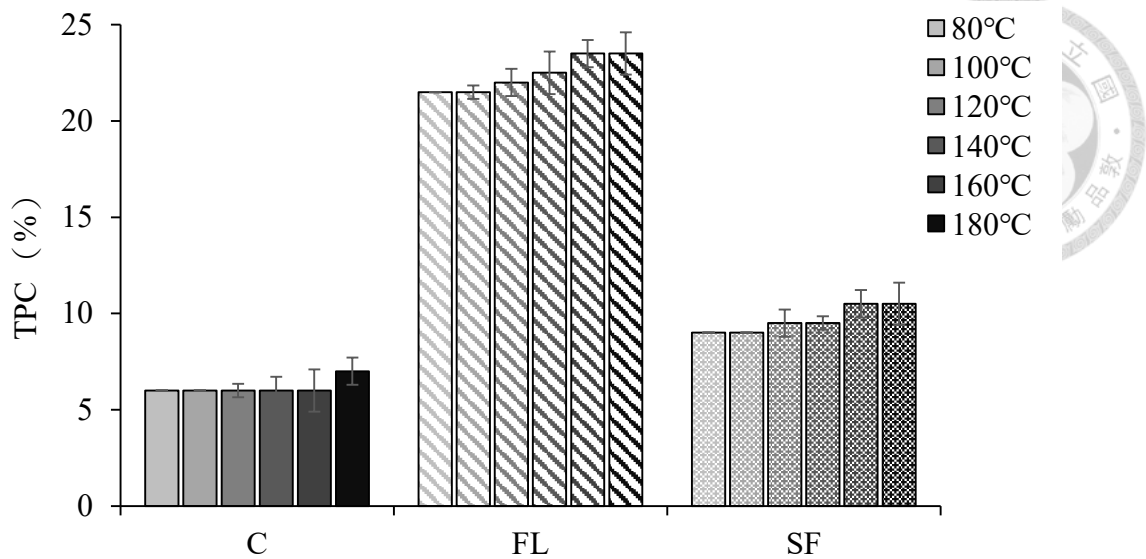


圖 16. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於升溫過程中總極性物質含量之變化

Fig. 16. Changes occurred in the total polar compounds of *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower seed oil during the rise of temperature. Without statistical analysis difference. The legal rejection point for edible oils is 25% of TPC according to Ministry of Health and Welfare.

C: *C. brevistyla* seed oil, FL: Flaxseed oil, SF: Sunflower seed oil

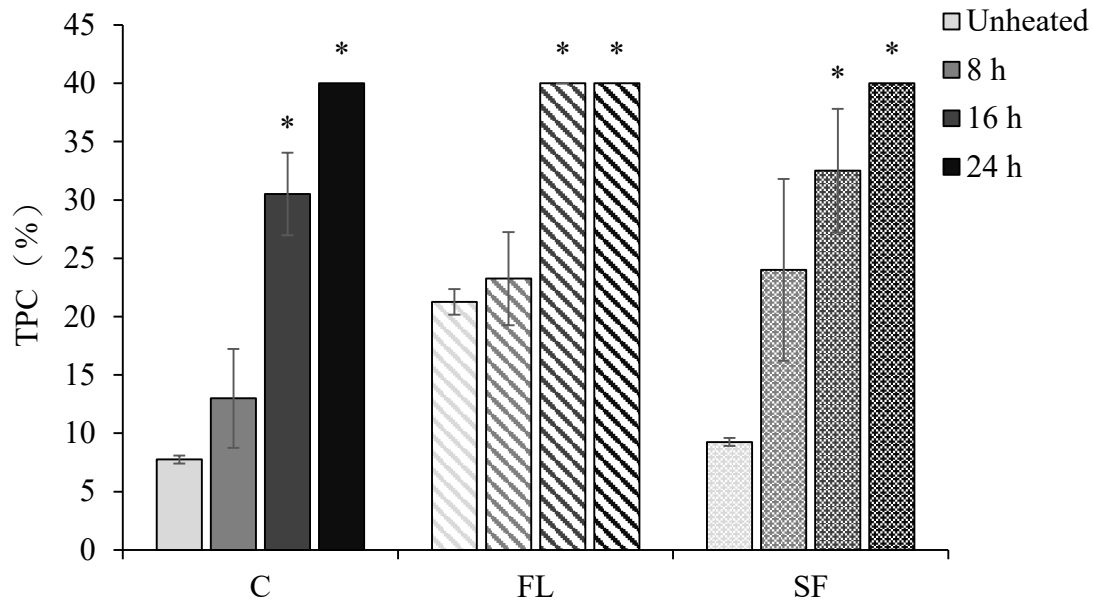


圖 17. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於 180°C 加熱 24 h 總極性物質含量之變化

Fig. 17. Changes occurred in the total polar compounds of *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower seed oil during the thermal treatment at 180°C for 24 h. Mean \pm S.D. (n = 2), * indicates the treated group has statistical difference from the untreated group ($p < 0.05$). The legal rejection point for edible oils is 25% of TPC according to Ministry of Health and Welfare.

C: *C. brevistyla* seed oil, FL: Flaxseed oil, SF: Sunflower seed oil

3. 烹飪對短柱山茶油、亞麻油及葵花油酸價之影響

酸價表示油脂中之游離脂肪酸的含量，可作為油脂劣化程度指標 (Stevenson *et al.*, 1984)，衛福部規定食用油炸油不得超過酸價 2.0 mg KOH/g。圖 18 為短柱山茶油、亞麻油及葵花油於 180°C 加熱 24 h 過程中對酸價之變化，未加熱短柱山茶油之酸價為 0.58 mg KOH/g，符合 CNS 一級苦茶油酸價標準 1.5 mg KOH/g，隨著加熱時間增加酸價亦明顯增加，最終加熱 24 h 之酸價為 1.67 mg KOH/g，符合衛福部食用油炸油酸價 2.0 mg KOH/g；亞麻油及葵花油隨著加熱時間增加，其酸價則無顯著變化。以上結果與總極性物質含量變化結果比較得知，短柱山茶油之酸價與總極性物質含量皆隨加熱時間增加而增加，亞麻油及葵花油在加熱後總極性物質含量顯著增加，酸價卻無明顯趨勢，推測在相同加熱條件下，亞麻油與葵花油氧化反應較短柱山茶油劇烈，使因水解反應脫下之游離脂肪酸更進一步聚合反應成其他氧化聚合衍生物，故氧化後期酸價則無增加趨勢，因此短柱山茶油在高溫加熱下油脂劣化程度較亞麻油與葵花油低。Casal 等人 (2010) 比較四種不同等級橄欖油及葵花油在 170°C 加熱下酸價之變化，其中橄欖油酸價隨加熱時間增加而穩定的增加，與本試驗短柱山茶油之結果具相同趨勢。

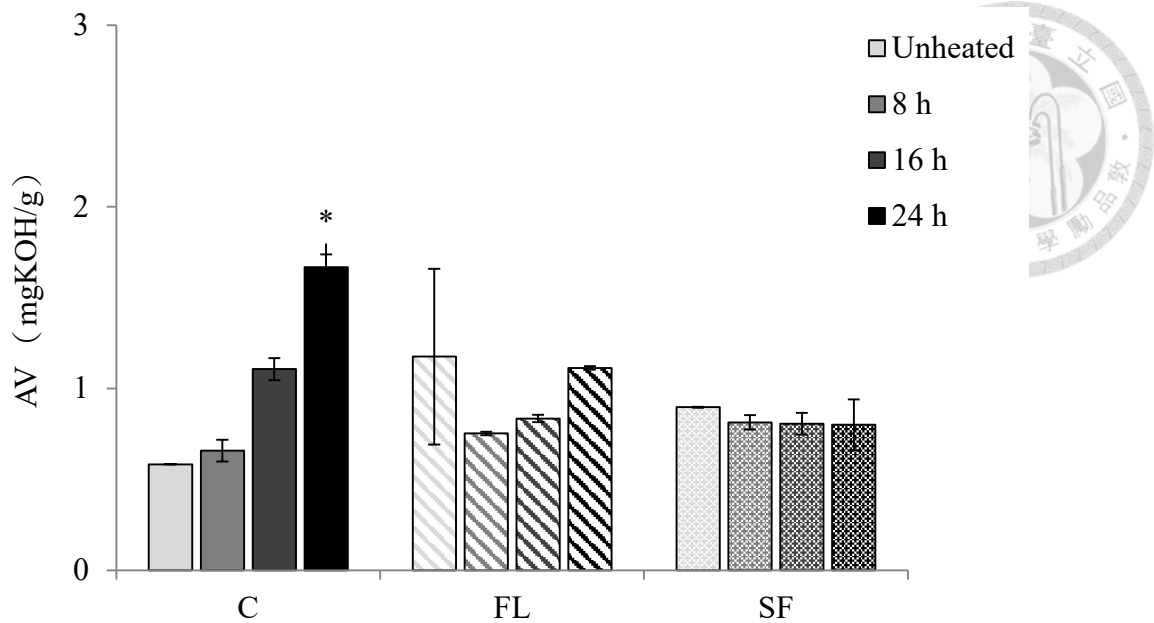


圖 18. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油於達 180°C 加熱 24 h 中酸價之變化

Fig. 18. Changes occurred in the acid value of *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower seed oil during the thermal treatment at 180°C for 24 h. Mean \pm S.D. (n = 2), * indicates the treated group has statistical difference from the untreated group ($p < 0.05$).

C: *C. brevistyla* seed oil, FL: Flaxseed oil, SF: Sunflower seed oil

4. 烹飪對短柱山茶油、亞麻油及葵花油油脂氧化穩定性之影響

油脂穩定指數表示油脂氧化穩定性之好壞 (Farhoosh *et al.*, 2008), OSI 越高, 油脂越穩定, 可藉以評估油脂保存期限之長短。圖 19 為短柱山茶油、亞麻油及葵花油於達 180°C 加熱 24 h 過程中對 OSI 之變化, 未加熱短柱山茶油、亞麻油及葵花油之 OSI 分別為 4.01、0.79 及 2.57 h, 以短柱山茶油之 OSI 最高, 表示其油脂氧化穩定性較亞麻油及葵花油好, 可以儲放的時間較長。且 3 種油於 180°C 加熱後, OSI 隨加熱時間增加而下降, 表示油脂於高溫加熱下其油脂氧化穩定性會減弱。Carrasco-Pancorbo 等人 (2007) 將橄欖油於 180°C 加熱 3 h, 其 OSI 由 25 h 降至 5 h, 可知橄欖油之氧化穩定性隨著加熱時間增加其而減弱, 與本試驗結果具相同趨勢。然而影響油脂氧化穩定性的因素, 除了脂肪酸比例、游離脂肪酸與二次氧化物外, 油脂中的抗氧化活性成分如酚類化合物等亦有可能影響油脂氧化穩定性 (Ayyildiz *et al.*, 2015)。

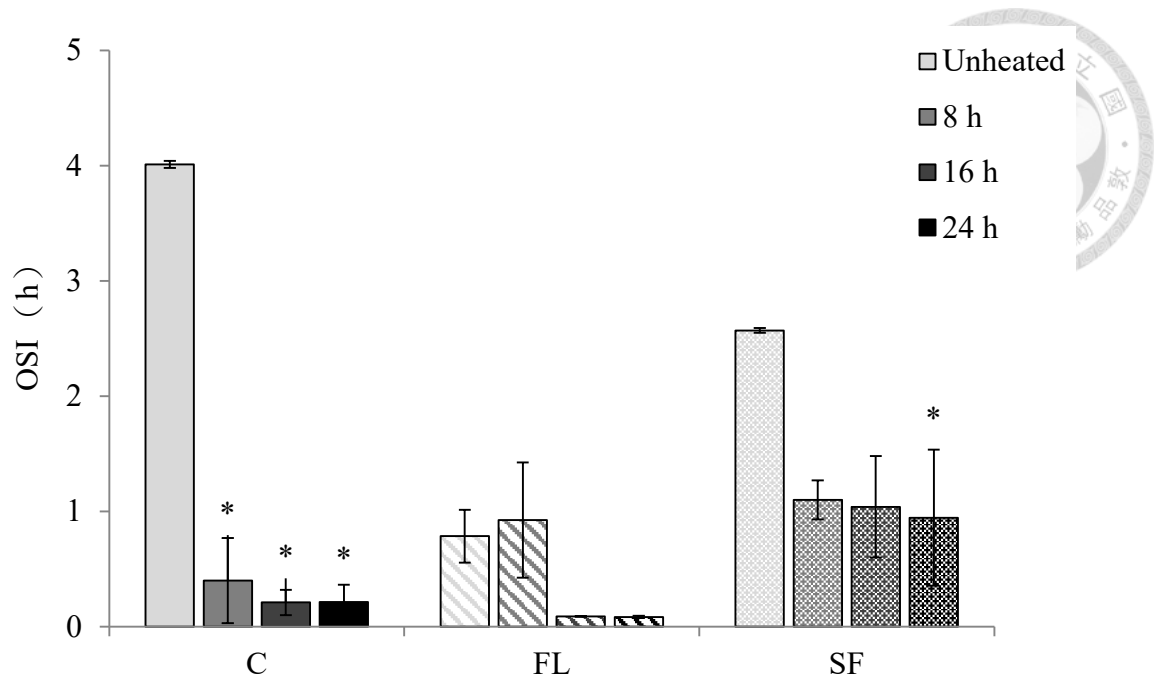


圖 19. 短柱山茶油、亞麻油及葵花油達 180°C 加熱 24 h 中油脂穩定指數之變化
 Fig. 19. Changes occurred in the oil stability index of *C. brevistyla* seed oil, flaxseed oil and sunflower seed oil during the thermal treatment at 180°C for 24 h. Mean \pm S.D. (n = 2), * indicates the treated group has statistical difference from the untreated group ($p < 0.05$).
 C: *C. brevistyla* seed oil, FL: Flaxseed oil, SF: Sunflower seed oil

五、烹飪溫度對短柱山茶油生物活性之影響

苦茶油作為健康食用油，具有許多良好保健功效，如抗氧化、抗發炎、降血脂及延緩動脈粥化等，亦為一種改善健康飲食的好選擇，但是目前苦茶油針對抑制阿茲海默症及老化方面疾病相關試驗之文獻甚少，故本研究利用秀麗隱桿線蟲為模式生物，進行線蟲熱休克及 β -amyloid 誘導麻痺試驗，探討短柱山茶油是否具有延長線蟲壽命及抗阿茲海默症之活性，及於不同烹飪溫度加熱對其活性之影響。

線蟲作為模式生物其優點有三：1.生長快速且生命週期短，由卵孵化至成蟲至需 3 天，生命週期一般僅有 14 天，最多 25-30 天，因此有利於短時間研究觀察；2.因 *C. elegans* 多數為雌雄同體，故不需經由交配即可繁衍後代，且個體之間變異小，有利於老齡化遺傳學研究；3. *C. elegans* 之基因已於 1998 年被完全定序，且 *C. elegans* 的透明身軀有利於以標記蛋白 GFP (Green fluorescent protein) 進行微觀研究 (Johnson *et al.*, 2003)。

(一) 烹飪後之短柱山茶油對 N2 野生種 *C. elegans* 熱耐受性之影響

Lithgow 等人 (1994; 1995) 指出在急性熱壓力下體內之熱休克蛋白 (Heat shock protein; HSP) 表現量具增加趨勢，且可間接延長線蟲壽命，而於 Lithgow 和 Walker (2002) 之研究中發現 20°C 培養下存活較久之長壽型線蟲 *age-1(hx546)* 及 *daf-16* 體內之熱休克蛋白 HSP-16 及 HSP-70 表現量皆有增加，表示線蟲於高溫下之熱耐受性表現與壽命的長短有關。

表 8 為經 100、140 及 180°C 加熱之短柱山茶油與葵花油對 N2 野生種線蟲於 37°C 致死溫度下存活率之影響，N2 野生種線蟲在 20°C 下培養後，升溫至 37°C 致死溫度 2 h 後，控制組之線蟲存活率為 36.7%，而餵食 0.005、0.01、0.02、0.04 及 0.08% 短柱山茶油之線蟲存活率分別為 44.3、45.0、61.7、48.3 及 38.3%，可有效提升線蟲存活率，其中 0.02% 短柱山茶油之線蟲存活率與控制組具顯著差異，且高於餵食正對照組 Quercetin 之線蟲存活率，表示短柱山茶油能有效提高 N2 野

生種線蟲於高溫逆境下之熱耐受性。餵食加熱後之短柱山茶油可發現線蟲存活率隨烹飪溫度增加而降低，於 140 及 180°C 加熱 60 min 短柱山茶油組之線蟲存活率較控制組顯著降低，表示烹飪溫度越高之短柱山茶油對線蟲具有毒性。

餵食 0.005、0.01、0.02、0.04 及 0.08% 葵花油之線蟲存活率分別為 44.3、31.7、38.3、28.3 及 26.7%，與控制組之線蟲存活率無顯著差異，除了餵食濃度 0.005% 葵花油之外，其餘濃度之 140 及 180°C 加熱葵花油，其線蟲存活率隨烹飪溫度增加而降低，於 140 及 180°C 加熱葵花油與餵食濃度 0.08% 葵花油之線蟲存活率較控制組顯著降低，表示烹飪溫度越高與高濃度之葵花油可能對線蟲具有毒性。綜合上述結果，未加熱之短柱山茶油具有有效提高 N2 野生種線蟲於高溫逆境下之熱耐受性之潛力，而葵花油無法提高 N2 野生種線蟲於高溫逆境下之耐受性，而隨烹飪溫度增加，短柱山茶油與葵花油對線蟲具有毒性，使 N2 野生種線蟲於高溫下之存活率下降。

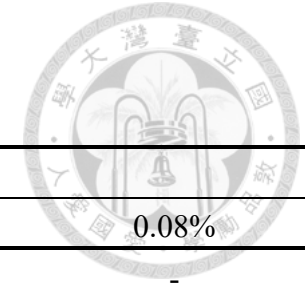


表 8. 食用油對 N2 野生種 *C. elegans* 於 37°C 致死溫度下存活率之影響

Table 8. Effect of edible oil on the survival rates of wild type N2 *C. elegans* at the lethal temperature of 37°C.

Specimen	Survival rate (%)					
	0%	0.005%	0.01%	0.02%	0.04%	0.08%
Blank	40.0 ± 5.0	-	-	-	-	-
Control	36.7 ± 2.9	-	-	-	-	-
Quercetin ¹	-	40.0 ± 10.0	43.3 ± 7.6	31.7 ± 7.6	20.0 ± 10.0*	15.0 ± 5.0*
C Unheated	-	43.3 ± 7.6	45.0 ± 8.7	61.7 ± 10.4*	48.3 ± 5.8	38.3 ± 5.8
C 100°C / 30 min	-	43.3 ± 7.0	35.0 ± 8.7	48.3 ± 5.8*	35.0 ± 5.0	28.3 ± 7.6
C 100°C / 60 min	-	31.7 ± 2.9	30.0 ± 10.0	45.0 ± 8.7	25.0 ± 8.7	26.7 ± 2.9
C 140°C / 30 min	-	28.3 ± 10.4	33.3 ± 5.8	40.0 ± 5.0	23.3 ± 7.6*	23.3 ± 2.9*
C 140°C / 60 min	-	20.0 ± 5.0*	28.3 ± 2.9	28.3 ± 2.9	20.0 ± 8.7*	18.3 ± 5.8*
C 180°C / 30 min	-	26.7 ± 2.9	31.7 ± 10.4	30.0 ± 5.0	16.7 ± 7.6*	13.3 ± 7.6**
C 180°C / 60 min	-	25.0 ± 5.0*	21.7 ± 2.9*	23.3 ± 2.9*	11.7 ± 2.9**	6.7 ± 2.9**
SF Unheated	-	43.3 ± 7.6	31.7 ± 10.4	38.3 ± 12.6	28.3 ± 10.4	26.7 ± 7.6
SF 100°C / 30 min	-	46.7 ± 7.6	33.3 ± 2.9	41.7 ± 2.9	26.7 ± 7.6	15.0 ± 5.0**
SF 100°C / 60 min	-	35.0 ± 8.7	20.0 ± 0.0*	30.0 ± 5.0	18.3 ± 2.9	13.3 ± 5.8**
SF 140°C / 30 min	-	43.3 ± 16.0	25.0 ± 8.7	31.7 ± 2.9	16.7 ± 2.9**	13.3 ± 5.8**
SF 140°C / 60 min	-	48.3 ± 12.6	21.7 ± 5.8*	25.0 ± 5.0*	18.3 ± 10.4*	11.7 ± 7.6**
SF 180°C / 30 min	-	43.3 ± 7.6	25.0 ± 5.0*	26.7 ± 7.6*	11.7 ± 7.6**	6.7 ± 2.9**
SF 180°C / 60 min	-	35.0 ± 5.0	16.7 ± 2.9**	15.0 ± 5.0**	6.7 ± 2.9**	5.0 ± 5.0**

Mean ± S.D. (n = 3), * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ compared with control

¹ Quercetin as positive control, C: *C. brevistyla* seed oil, SF: Sunflower seed oil

(二) 烹飪後之短柱山茶油對 GMC101 基因轉殖 *C. elegans* 麻痺率之影響

阿茲海默症 (Alzheimer's disease) 為一種神經退化性疾病，患者在腦部主要病理特徵為人類 β 類澱粉蛋白 (β -Amyloid, $A\beta$) 沉積 (Lublin *et al.*, 2012)。GMC101 基因轉殖線蟲為一種帶有人類 β 類澱粉蛋白基因之秀麗隱桿線蟲，此種線蟲於 16°C 培養下體內並不會生成 $A\beta$ ，可藉由升溫方式培養 GMC101 基因轉殖線蟲，使線蟲體內之人類 β 類澱粉蛋白基因能正常表現，體內肌肉細胞生成大量 $A\beta$ ，且伴隨麻痺現象，甚至無法行動 (Link *et al.*, 2003)，因此 GMC101 基因轉殖線蟲做為體內試驗模式線蟲，評估經烹飪後之短柱山茶油是否可抑制 $A\beta$ 活性誘導 GMC101 基因轉殖線蟲麻痺的現象，而具抑制阿茲海默症 $A\beta$ 活性。

前人研究曾以 Caffeine 餵食 CL4176 線蟲 (一種帶有人類 β 類澱粉蛋白基因之基因轉殖線蟲)，將 CL4176 線蟲於 25°C 下培養 24 h 後，控制組之麻痺率約為 80%，餵食 3.6 及 0.032 mM Caffeine (相當於 10% 之 Caffeinated 及 decaffeinated coffee) 之線蟲麻痺率為 40 及 80%，可知 Caffeine 可有效降低線蟲麻痺率 (Dostal *et al.*, 2010)。Li 等人 (2018) 將從黃連中純化出之多醣餵食 CL4176 線蟲，於 25°C 下每 6 h 觀察線蟲麻痺情形，結果顯示黃連中純化出之多醣可有效延緩 CL4176 線蟲現象，於 40 - 72 h 期間餵食 100 mg/L 多醣之線蟲麻痺率與控制組具顯著差異，且於 76 h 時餵食 100 mg/L 多醣與控制組之線蟲麻痺率分別為 67.67 及 37.39%，差異達到最高點。Martorell 等人 (2013) 從水解可可副產物獲得生物活性肽 (Cocoa peptide) 餵食 CL4176 線蟲，發現控制組之線蟲麻痺率於 49 h 後為 80.3%，而以 Cocoa peptide 為食的線蟲僅有約 40 - 47%，顯著降低線蟲麻痺率。

表 9 為經 100、140 及 180°C 加熱之短柱山茶油與葵花油對 GMC101 基因轉殖線蟲麻痺率之影響。GMC101 線蟲在 25°C 下培養 48 h 後，控制組之麻痺率達 71.7%，而餵食 0.005、0.01、0.02、0.04 及 0.08% 短柱山茶油之線蟲麻痺率分別為 38.3、25.0、21.7、23.3 及 33.3%，可顯著降低線蟲麻痺率，且皆較餵食相同

濃度之正對照組 Caffeine 的線蟲麻痺率低，顯示短柱山茶油可有效抑制 A β 活性誘導 GMC101 基因轉殖線蟲麻痺的現象。餵食加熱後之短柱山茶油可發現線蟲麻痺率隨烹飪溫度增加而增加，但餵食 100 及 140°C 加熱短柱山茶油其減少線蟲麻痺的效果仍優於控制組，其中除了餵食濃度 0.005% 之外，其餘濃度之 100°C 加熱 30 min 短柱山茶油可降低線蟲麻痺率，甚至優於餵食正對照組 0.005% Caffeine 之效果，表示短時間以較溫和溫度 (100°C) 對短柱山茶油之抑制阿茲海默症 A β 活性影響不大。

餵食 0.005、0.01、0.02、0.04 及 0.08% 葵花油之線蟲麻痺率分別為 60.0、41.7、36.7、35.0 及 40.0%，其中除了餵食濃度 0.005% 之外，其餘濃度之葵花油其線蟲麻痺率與控制組具顯著差異，可顯著降低線蟲麻痺率，卻略高於餵食正對照組相同濃度 Caffeine 之麻痺率，而餵食加熱後之葵花油其線蟲麻痺率亦隨烹飪溫度增加而增加，其中餵食濃度 0.02 及 0.04% 之 100°C 加熱 30 min 葵花油其線蟲麻痺率可降低線蟲麻痺率至 45.0 及 41.7%，但亦高於餵食正對照組 Caffeine 之麻痺率，表示葵花油可抑制 A β 活性誘導 GMC101 基因轉殖線蟲麻痺的現象，但其效果較正對照組 Caffeine 差。

Dostal 等人 (2010) 研究結果中，餵食 3.6 mM Caffeine 之線蟲麻痺率約為 40%，與本次試驗餵食 0.005% 正對照組 Caffeine 之線蟲麻痺率相似，且亦高於餵食 0.005% 短柱山茶油之線蟲麻痺率 38.3%。Martorell 等人 (2013) 研究結果中控制組之線蟲麻痺率約於 48 h 時達 70%，此時餵食 Cocoa Peptide 之線蟲麻痺率約落於 25 - 37%，與本次試驗結果相似。以上與文獻比較結果，可知短柱山茶油、Caffeine 及 Cocoa peptide 皆能有效抑制 A β 活性誘導基因轉殖線蟲麻痺之現象，且短柱山茶油之效果可能優於 Caffeine。

綜合上述結果，短柱山茶油與葵花油可有效抑制 A β 活性誘導 GMC101 基因轉殖線蟲麻痺的現象，其中短柱山茶油之效果優於葵花油，甚至更勝正對照組 Caffeine，表示短柱山茶油可能具有抑制阿茲海默症 A β 活性之潛力，但其活性隨烹飪溫度愈高而漸弱。

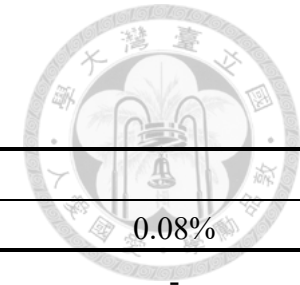


表 9. 食用油對 GMC101 基因轉殖線蟲於 25°C 麻痺率之影響

Table 9. Effect of edible oil on the paralysis rates of transgenic GMC101 *C. elegans* at 25°C.

Specimen	Paralysis rate (%)					
	0%	0.005%	0.01%	0.02%	0.04%	0.08%
Blank	65.0 ± 5.0	-	-	-	-	-
Control	71.7 ± 10.4	-	-	-	-	-
Caffeine ¹	-	40.0 ± 8.7*	36.7 ± 2.9*	28.3 ± 2.9*	26.7 ± 7.6*	33.3 ± 7.7*
C Unheated	-	38.3 ± 2.9*	25.0 ± 8.7*	21.7 ± 5.8*	23.3 ± 2.9*	25.0 ± 5.0*
C 100°C / 30 min	-	51.7 ± 7.6	38.3 ± 5.8*	33.3 ± 10.4*	35.0 ± 5.0*	36.7 ± 7.6*
C 100°C / 60 min	-	63.3 ± 7.6	53.3 ± 2.9	38.3 ± 7.7*	46.7 ± 7.6	55.0 ± 5.0
C 140°C / 30 min	-	56.7 ± 7.6	50.0 ± 8.7	50.0 ± 10.0	60.0 ± 5.0	65.0 ± 5.0
C 140°C / 60 min	-	60.0 ± 5.0	60.0 ± 10.0	61.7 ± 2.9	71.7 ± 2.9	73.3 ± 5.8
C 180°C / 30 min	-	71.7 ± 7.6	73.3 ± 2.9	78.3 ± 2.9	76.7 ± 2.9	80.0 ± 10.0
C 180°C / 60 min	-	73.3 ± 2.9	75.0 ± 8.7	78.9 ± 5.7	83.3 ± 2.9	86.7 ± 15.2
SF Unheated	-	60.0 ± 5.0	41.7 ± 7.6*	36.7 ± 10.0*	35.0 ± 5.0*	40.0 ± 5.0*
SF 100°C / 30 min	-	58.3 ± 7.6	51.7 ± 2.9	45.0 ± 10.0*	41.7 ± 7.6*	48.3 ± 10.4
SF 100°C / 60 min	-	70.0 ± 5.0	63.3 ± 2.9	65.0 ± 13.2	63.3 ± 11.6	60.0 ± 10.0
SF 140°C / 30 min	-	65.0 ± 5.0	51.7 ± 7.6	40.0 ± 10.0	58.3 ± 7.6	56.7 ± 10.4
SF 140°C / 60 min	-	66.7 ± 7.6	66.7 ± 7.6	75.0 ± 5.0	73.3 ± 5.8	76.7 ± 5.8
SF 180°C / 30 min	-	66.7 ± 2.9	76.7 ± 5.8	81.7 ± 7.7	83.3 ± 7.6	85.0 ± 5.0
SF 180°C / 60 min	-	75.0 ± 5.0	83.3 ± 2.9	85.0 ± 5.0	86.7 ± 2.9	88.3 ± 7.6

Mean ± S.D. (n = 3), * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ compared with control

¹ Caffeine as positive control, C: *C. brevistyla* seed oil, SF: Sunflower seed oil

伍、結論

短柱山茶油之油色為黃綠色，主要脂肪酸包括 Palmitic acid、Stearic acid、Oleic acid 及 Linoleic acid 四種脂肪酸，其中 Oleic acid 含量最高，而加熱後，短柱山茶油中綠色漸淡轉呈黃色；短柱山茶油之單元不飽和脂肪酸及多元不飽和脂肪酸含量皆下降，其中以多元不飽和脂肪酸含量下降最多；總極性物質含量及酸價上升；過氧化價呈先升後降之趨勢； α -Tocopherol、Squalene 含量及油脂氧化穩定指數下降，此外，多元不飽和脂肪酸為影響總極性物質含量及酸價之重要因素，且 α -Tocopherol 及 Squalene 含量對油脂氧化穩定性具正面影響。未加熱及 100°C 加熱之短柱山茶油中之揮發性成分以 Carboxylic acid 及富含碳數為 6 的 Aldehydes、Alcohols 與甜味及青草味有關，而隨加熱溫度增加，取而代之的是與油耗味有關之長碳鏈之 Aldehydes。

短柱山茶油、亞麻油及葵花油等三種螺旋壓榨種子油於高溫加熱之品質變化結果顯示，短柱山茶油呈脂肪酸含量下降、油脂顏色先變淡後轉深黃、總極性物質含量及酸價上升、油脂氧化穩定指數下降之趨勢，品質在高溫下隨加熱時間增加而下降。相較於亞麻油與葵花油，短柱山茶油因單元不飽和脂肪酸比例較高故較穩定，其油脂氧化穩定指數亦較高，且在高溫使用下，油脂劣化程度較低。可知三種螺旋壓榨種子油之品質在高溫下皆隨加熱時間增加而下降，惟短柱山茶油含油酸比例較高故具較佳之油脂氧化穩定性，使其在高溫下有劣化程度較低。

短柱山茶油之線蟲熱休克及麻痺試驗結果顯示，短柱山茶油可有效提高 N2 野生種線蟲於高溫逆境下之耐受性及抑制 β -amyloid 活性誘導 GMC101 基因轉殖線蟲麻痺率，顯示短柱山茶油具有延長線蟲壽命及應用於治療或預防阿茲海默症之潛力，然而此現象隨烹飪溫度愈高而漸弱。

綜合上述結果，三種壓榨種子油之中，短柱山茶油含油酸比例較高故具較佳之油脂氧化穩定性，且於高溫下油脂劣化程度亦較低。短柱山茶油具有延長線蟲壽命及應用於治療或預防阿茲海默症之潛力，然而於不同烹飪溫度加熱下，短柱山茶油之品質、活性及氧化穩定性會隨烹飪溫度增加而下降。

陸、參考文獻



王振瀾、尹華文、劉文玉(1994)茶油穩定性探討及生育酚與固醇類成分之分析。

林業試驗所研究報告季刊 9: 73-86。

中華民國國家標準(2003)食用油脂檢驗法-酸價之測定。經濟部標準檢驗局，總號 3647，類號 6082。

中華民國國家標準(2003)食用油脂檢驗法-過氧化價之測定。經濟部標準檢驗局，總號 3650，類號 N6085。

中華民國國家標準(2004)食用油脂檢驗法-穩定性指數之測定。經濟部標準檢驗局，總號 14876，類號 N6370。

尹華文、陳正豐、呂勝由(2009)超臨界二氧化碳萃取苦茶油及茶粕之優異性。林業研究專訊 16: 13-16。

尹華文、呂勝由、陳正豐(2010)苦茶油、茶籽油與茶樹精油之辨別、萃取及其利用。林業研究專訊 17: 5-10。

吳家禎、陳芬蕙、許俊凱(2015)苦茶油-滴滴精純的秘密。林業研究專訊 22: 6-10。

李惠真(1988)油炸油中成分物質之變化及其毒性之探討。國立臺灣大學生物資源暨農學院食品科技研究所碩士論文。第 2-3 頁。

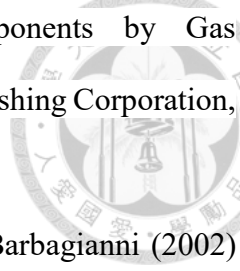
李敏雄、王美苓、閔丙宇(1990)甲基酯化方法對脂肪酸分析結果之影響。食品科學 17: 1-10。

謝靜敏、黃裕星(2013)臺灣油茶產業發展現況調查。林業研究專訊 20: 13-22。

蔡文宜(1986)市面炸油品質評估方法之探討。國立臺灣大學生物資源暨農學院食品科技研究所碩士論文。第 8-10 頁。

蔣慎思、劉瓊峰、許富蘭、許俊凱(2016)臺灣的黃金液體-苦茶油。林業研究專訊 23: 33-38。

蘇夢淮(2015)臺灣原生山茶種子油脂成分。林業研究專訊 22: 17-20。

- 
- Adams, R.P. (2007) Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. 4th Edition Allured Publishing Corporation, Carol Stream.
- Andrikopoulos, N. K., N. Kalogeropoulos, A. Falirea and M. N. Barbagianni (2002) Performance of virgin olive oil and vegetable shortening during domestic deep-frying and pan-frying of potatoes. *International Journal of Food Science and Technology* 32: 177-190.
- Arslan, F. N., A. N. Şapçı, F. Duru and H. Kara (2017) A study on monitoring of frying performance and oxidative stability of cottonseed and palm oil blends in comparison with original oils. *International Journal of Food Properties* 20: 704-717.
- Ayyildiz, H. F., M. Topkafa, H. Kara and S. T. H. Sherazi (2015) Evaluation of fatty acid composition, tocopherol profile, and oxidative stability of some fully refined edible oils. *International Journal of Food Properties* 18: 2064-2076.
- Brenes, M., A. García, M. C. Dobarganes, J. Velasco and C. Romero (2002) Influence of thermal treatments simulating cooking processes on the polyphenol content in virgin olive oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 5962-5967.
- Boskou, G., F. N. Salta, A. Chiou, E. Troullidou and N. K. Andrikopoulos (2006) Content of trans, trans-2,4-decadienal in deep-fried and pan-fried potatoes. *European Journal of Lipid Science and Technology* 108: 109-115.
- Carrasco-Pancorbo, A., L. Cerretani, A. Bendini, A. Segura-Carretero, G. Lercker and A. Fernández-Gutiérrez (2007) Evaluation of the influence of thermal oxidation on the phenolic composition and on the antioxidant activity of extra-virgin olive oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 4771-4780.
- Cao, W., L. Lin, Y. Niu, Z. Xiao and X. Fang. (2016) Characterization of Aroma Volatiles in Camellia Seed Oils (*Camellia oleifera* Abel.) by HS-SPME/GC/MS

and Electronic Nose Combined with Multivariate Analysis. *Food Science and Technology Research* 22: 497-505.

Casal, S., R. Malheiro, A. Sendas, B. P. Oliveira and J. A. Pereira (2010) Olive oil stability under deep-frying conditions. *Food and Chemical Toxicology* 48: 2972-2979.

Chatzilazarou, A., O. Gortzi, S. Lalas, E. Zoidis and J. Tsaknis (2006) Physicochemical changes of olive oil and selected vegetable oils during frying. *Journal of Food Lipids* 13: 27-35.

Chen, M. F., J. F. Gu, M. T. Sun, Yang, S. Q. Zhang and Y. J. Liu (1996) Effect of tea-seed oil on the atheromatic formation and its mechanism. *Acta Nutrimenta Sinica* 18: 13-19.

Cheikhousman, R., M. Zude, D. J. R. Bouveresse, C. L. Léger, D. N. Rutledge and I. Birlouez-Aragon (2005) Fluorescence spectroscopy for monitoring deterioration of extra virgin olive oil during heating. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 382: 1438-1443.

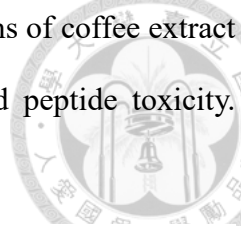
Choe, E., and D. B. Min (2006) Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 5: 169-186.

Choe, E. and D. B. Min (2007) Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science* 72: R77-R86.

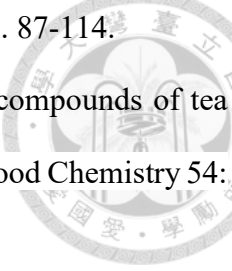
Codex Standard 210, (2009) Codex Standard for Named Vegetable Oils. Codex Alimentarius.

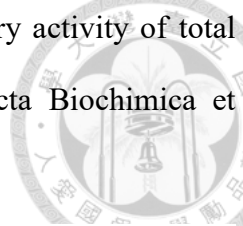
Daskalaki, D., G. Kefi, K. Kotsiou and M. Tasioula-Margari (2009) Evaluation of phenolic compounds degradation in virgin olive oil during storage and heating. *Journal of Food and Nutrition Research*, 48: 31-41.

Deng, P. J., Y. H. Zhang and J. X. Huang (1993) A study of the effect of tea seed oil on serum lipid in normal adults. *Acta Nutrimenta Sinica* 3: 289-292.

- 
- Dostal, V., C. M. Roberts and C. D. Link (2010) Genetic mechanisms of coffee extract protection in a *Caenorhabditis elegans* model of β -amyloid peptide toxicity. *Genetics* 186: 1455-1457.
- Esposito, S., A. Taticchi, I. Di Maio, S. Urbani, G. Veneziani, R. Selvaggini, and M. Servili (2015) Effect of an olive phenolic extract on the quality of vegetable oils during frying. *Food chemistry* 176: 184-192.
- Farhoosh, R., R. Niazmand, M. Rezaei and M. Sarabi (2008) Kinetic parameter determination of vegetable oil oxidation under Rancimat test conditions. *European Journal of Lipid Science and Technology* 110: 587-592.
- Fang, X., M. Du, F. Luo and Y. Jin. (2015) Physicochemical properties and lipid composition of *C. brevistyla* seed oil (*Camellia oleifera* Abel.) extracted using different methods. *Food Science and Technology Research* 21: 779-785.
- Feng, X., Zhou YZ (1996) Influences of feeding tea seed oil, corn oil and fish oil on immune status in mice. *Acta Nutrimenta Sinica* 18: 412-417.
- Feng, P. G. (2001) Application of Oil tea. *China's Naturopathy*, 9: 59.
- Guillen M. D. and N. Cabo (2002) Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils. *Food Chemistry* 77: 503–510.
- Gutierrez-Zepeda, A., R. Santell, Z. Wu, M. Brown, Y. Wu, I. Khan, C. D. Link, B. Zhao and Y. Luo (2005) Soy isoflavone glycitein protects against beta amyloid-induced toxicity and oxidative stress in transgenic *Caenorhabditis elegans*. *BioMed Central Neuroscience* 6: 54-62.
- Gunstone, F. (Ed.) (2011) *Vegetable oils in food technology: composition, properties and use* (2nd ed). Wiley-Blackwell, Oxford, 337 pp.
- Győrök M., Z. Ajtony, O. Dóka, A. Alebic-Juretić, D. Bicanic and A. Koudijs (2006) Determination of free fatty acids in cooking oil: Traditional spectrophotometry

- and optothermal window assay. *Instrumentation Science and Technology* 34: 119-128.
- He, L., G. Y. Zhao, H. Y. Zhang and J. A. Liu (2011) Research progress on the health function of tea oil. *Journal of Medicinal Plants Research* 5: 485-489.
- Huang, T. C. (Eds). (1996) *Flora of Taiwan* (2nd ed, Vol. 2). Editorial Committee of the Flora of Taiwan (2nd ed). Taipei, pp. 667-674.
- Johnson, T. E. (2003) Advantages and disadvantages of *Caenorhabditis elegans* for aging research. *Experimental Gerontology* 38: 1329-1332.
- Kalua, C. M., M. S. Allen, D. R. Bedgood Jr, A. G. Bishop, P. D. Prenzler and K. Robards (2007) Olive oil volatile compounds, flavour development and quality: A critical review. *Food Chemistry* 100: 273-286.
- Kalogianni, E. P., C. Karastogiannidou and T. D. Karapantsios (2009) Effect of the presence and absence of potatoes under repeated frying conditions on the composition of palm oil. *Journal of the American Oil Chemists Society* 86: 561-571.
- Kalogianni, E. P., C. Karastogiannidou and T. D. Karapantsios (2010) Effect of potato presence on the degradation of extra virgin olive oil during frying. *International Journal of Food Science and Technology* 45: 765-775.
- Katragadda, H. R., A. Fullana, S. Sidhu and A. A. Carbonell-Barrachina (2010) Emissions of volatile aldehydes from heated cooking oils. *Food Chemistry* 120: 59-65.
- Kelly, G. S. (1999) Squalene and its potential clinical uses. *Alternative Medicine Review: A Journal of Clinical Therapeutic* 4: 29-36.
- Kiritsakis, A. K. (1998). Flavor components of olive oil - A review. *Journal of the American Oil Chemists Society* 75: 673-681.
- Kochhar, S.P. (2001) The composition of frying oils. In: Rossel, J.B. (Ed.), *Frying*.

- 
- Improving Quality. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, pp. 87-114.
- Lee, C.P. and G.C. Yen (2006) Antioxidant activity and bioactive compounds of tea seed(*Camellia oleifera* Abel.) oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 779-784.
- Lee, C. P., P. H. Shih, C. L. Hsu and G. C. Yen (2007) Hepatoprotection of tea seed oil (*Camellia oleifera* Abel.) against CCl₄-induced oxidative damage in rats. *Food and Chemical Toxicology* 45: 888-895.
- Li, D. M., J. Wang, L. W. Bi and Z. D. Zhao (2006) Influence of extraction method on content of bioactive component squalene in seed oil of *Camellia Oleifera* Abel. *Journal of Biomass Chemical Engineering* 40: 9-12.
- Li, Y., S. Guan, C. Liu, X. Chen, Y. Zhu, Y. Xie, J. Wang, L. Li, Z. Li, Y. Zhang, X. Zeng and M. Li (2018) Neuroprotective effects of *Coptis chinensis* Franch polysaccharide on amyloid-beta (A β)-induced toxicity in a transgenic *Caenorhabditis elegans* model of Alzheimers disease (AD). *International Journal of Biological Macromolecules* 113: 991-995.
- Link, C. D., A. Taft, V. Kapulkin, K. Duke, S. Kim, Q. Fei, D. E. Wood and B. G. Sahagan (2003) Gene expression analysis in a transgenic *Caenorhabditis elegans* Alzheimer's disease model. *Neurobiology of Aging* 24: 397-413.
- Lithgow, G. J., T. M. White, D. A. Hinerfeld and T. E. Johnson (1994) Thermotolerance of a long-lived mutant of *Caenorhabditis elegans*. *The Journal of Gerontology Series B* 49: 270-276.
- Lithgow, G. J., T. M. White, S. Melov and T. E. Johnson (1995) Thermotolerance and extended life span conferred by single-gene mutations and induced by thermal stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 92: 7540-7544.
- Lithgow, G. J. and G. A. Walker (2002) Stress resistance as a determinate of *C. elegans* lifespan. *Mechanisms of Aging and Development* 123: 765-771.

- 
- Liu, X., L. Jia, Y. Gao, B. Li and Y. Tu (2014) Anti-inflammatory activity of total flavonoids from seeds of *Camellia oleifera*. *Journal of Acta Biochimica et Biophysica Sinica* 46: 920-922.
- Lublin, A. L. and C. D. Link (2012) Alzheimer's disease drug discovery: *vivo* screening using *Caenorhabditis elegans* as a model for β -amyloid peptide-induced toxicity. *Drug Discovery Today: Technologies* 10: e115-e119.
- Ma, J., H. Ye, Y. Rui, G. Chen and N. Zhang (2011) Fatty acid composition of *Camellia oleifera* oil. *Journal of Consumer Protection and Food Safety* 6: 9-12.
- Martorell, P., E. Bataller, S. Llopis, N. Gonzalez, B. Álvarez, F. Montón, P. Ortiz, D. Ramón and S. Genovés (2013) A cocoa peptide protects *Caenorhabditis elegans* from oxidative stress and β -amyloid peptide toxicity. *PloS One* 8: e63283.
- Nunes, C. A., V. R. D. Souza, S. C. Corrêa, M. D. C. D. C. Silva, S. C. Bastos and A. C. M. Pinheiro (2013) Heating on the volatile composition and sensory aspects of extra-virgin olive oil. *Ciência e Agrotecnologia* 37: 566-572.
- Owen, R. W., A. Giacosa, W. E. Hull, R. Haubner, B. Spiegelhalder and H. Bartsch (2000) The antioxidant / anticancer potential of phenolic compounds isolated from olive oil. *European Journal of Cancer* 36: 1235-1247.
- Paul, S. and G. S. Mittal (1996) Dynamics of fat/oil degradation during frying based on optical properties. *Journal of Food Engineering* 30: 389-403.
- Popa, O., N. E. Băbeanu, I. Popa, S. Niță, and C. E. Dinu-Pârvu (2015) Methods for obtaining and determination of squalene from natural sources. *BioMed Research International* 1-16.
- Ren, C. Y. Zhang, F. Tang, S. Dan-Yu and R. Mo (2015) Analysis of main chemical components in camellia oil, olive oil, walnut oil and torreyia seeds oil. *Journal of Food Safety and Quality* 6: 5011-5016.
- Romero, A., C. Cuesta and F. J. Snchez-Muniz (2000) Cyclic fatty acid monomers and

- thermooxidative alteration compounds formed during frying of frozen foods in extra virgin olive oil. *Journal of the American Oil Chemists Society* 77: 1169-1175.
- Romero, A., C. Cuesta and F. J. Sánchez-Muniz (2003) Cyclic FA monomers in high-oleic acid sunflower oil and extra virgin olive oil used in repeated frying of fresh potatoes. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 80: 437–442
- Saguay, I. S. and D. Dana (2003) Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering* 56: 143-152.
- Sahasrabudhe, S. N., J. A. Staton and B. E. Farkas (2019) Effect of frying oil degradation on surface tension and wettability. *Journal of Food Science and Technology* 99: 519-524.
- Santos, C. S., R. Cruz, S. C. Cunha and S. Casal (2013) Effect of cooking on olive oil quality attributes. *Food Research International* 54: 2016-2024.
- Shyu, S. L., J. J. Huang, G. C. Yen and R. L. Chang (1990) Study on properties and oxidative stability of tea seed oil. *Journal of Food Science* 17: 114-122.
- Siegel, I., T. L. Liu, E. Yaghoobzadeh , T. S. Keskey and N. Gleicher (1987) Cytotoxic effects of free fatty acids on ascites tumor cells. *Journal of the National Cancer Institute* 78: 271-277.
- Silva, L., J. Pinto, J. Carrola and F. Paiva-Martins (2010) Oxidative stability of olive oil after food processing and comparison with other vegetable oils. *Food Chemistry* 121: 1177-1187.
- Stevenson, S. G., M. Vaisey-Genser and N. A. M. Eskin (1984) Quality control in the use of deep frying oils. *Journal of the American Oil Chemists Society* 61: 1102-1108.
- Su, M. H., M.C. Shih and K.H. Lin (2014) Chemical composition of seed oils in native Taiwanese *Camellia* species. *Food Chemistry* 156: 369-373.
- Tekin, L., M. S. Aday and E. Yilmaz (2009) Physicochemical changes in hazelnut, olive

pomace, grapeseed and sunflower oils heated at frying temperatures. Food Science and Technology Research 15: 519-524.

Tripoli, E., M. Giammanco, G. Tabacchi, D. Di Majo, S. Giammanco, and M. La Guardia (2005) The phenolic compounds of olive oil: structure, biological activity and beneficial effects on human health. Nutrition Research Reviews 18: 98-112.

Tu, P. S., Y. T. Tung, W. T. Lee and G. C. Yen (2017) Protective effect of camellia oil (*Camellia oleifera* Abel.) against ethanol-induced acute oxidative injury of the gastric mucosa in mice. Journal of agricultural and food chemistry 65: 4932-4941.

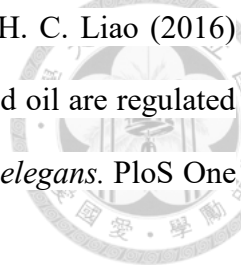
Uriarte, P. S. and M. D. Guillén (2010). Formation of toxic alkylbenzenes in edible oils submitted to frying temperature: Influence of oil composition in main components and heating time. Food Research International 43: 2161–2170.

Varela, G. (1980) Nutritional aspects of olive oil in the frying process. In Proceedings of the 3rd International Congress on the Biological Value of Olive Oil. Chania, Crete, Greece. pp 8–12.

Velasco J., M. L. Andersen and L. H. Skibsted (2003) Evaluation of oxidative stability of vegetable oils by monitoring the tendency to radical formation. A comparison of electron spin resonance spectroscopy with the Rancimat method and differential scanning calorimetry. Food Chemistry 77: 623–632.

Vichi, S., L. Pizzale, L. S. Conte, S. Buxaderas and E. López-Tamames (2003) Solid-phase microextraction in the analysis of virgin olive oil volatile fraction: modifications induced by oxidation and suitable markers of oxidative status. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 6564-6571.

Wang, X., Q. Zeng, M. del Mar Contreras and L. Wang (2017) Profiling and quantification of phenolic compounds in Camellia seed oils: Natural tea polyphenols in vegetable oil. Food Research International 102: 184-194.

- 
- Wei, C. C., P. L. Yen, S. T. Chang, P. L. Cheng, Y. C. Lo and V. H. C. Liao (2016) Antioxidative activities of both oleic acid and *c tenuifolia* seed oil are regulated by the transcription factor DAF-16/FOXO in *Caenorhabditis elegans*. PloS One 11: e0157195.
- Wu, X. H., Y. F. Huang and Z. F. Xie (2005) Health functions and prospective of camellia oil Journal of Food Science and Technology 8: 94-96.
- Yang, C., X. Liu, Z. Chen, Y. Lin and S. Wang (2016) Comparison of oil content and fatty acid profile of ten new *Camellia oleifera* cultivars. Journal of Lipids, 2016: 1-6.
- Yuan, Q, L. S. Li and X. M. Su (2005) Observation and care of treatment of friction use raw oil tea. Modern Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine 12: 336.
- Yuan, J., C. Wang, H. Chen, H. Zhou and J. Ye (2013) Prediction of fatty acid composition in *Camellia oleifera* oil by near infrared transmittance spectroscopy (NITS). Food Chemistry 138: 1657-1662.
- Zhao Z. D. and Z. Sun (2004) Research progress on natural resources and application of the bioactive substance--Squalene. Journal of Chemistry and Industry of Forest Products 24: 107-112.
- Zhu, M. Z., S. H. Zhu and R. L. Huang (2005) Effect analysis of herbal treatment outside washed diapers dermatitis. International Journal of Nursing and Medical Science 24: 360-361.
- Ziaifar, A. M., N. Achir, F. Courtois, I. Trezzani and G. Trystram (2008) Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. International Journal of Food Science and Technology 43: 1410-1423.