

八種植物種子油氧化穩定性之探討

詹文君¹ 邱翊¹ 張惠婷² 汪澤宏³ 許富蘭^{3*}

【摘要】油脂可以幫助人體維持體溫、保護內臟及促進脂溶性維生素吸收，然而在存放過程中，油脂易受到空氣、水分及光照等因素影響而氧化及變質，造成油脂變色、產生異味或失去營養價值，因此了解油脂的氧化穩定性對生產者與消費者極為重要。植物油的種類眾多，其氧化穩定性皆不相同，本試驗挑選紫蘇籽油、核桃油、琉璃苣油、苦茶油、紅松籽油、芝麻油、南瓜籽油及甜杏仁油等目前臺灣市面上常見的壓榨種子油，此八種種子油皆主要由不飽和脂肪酸組成，探討其之間的氧化穩定性及相關機制，然而，國內少有探討此八種種子油之氧化穩定性的相關研究。因此，本研究分析此八種植物種子油的油脂穩定指數 (oil stability index, OSI) 及影響油脂氧化穩定性的因素，包括脂肪酸組成、總酚類含量、酸價與過氧化價，進一步探討油脂的氧化穩定性。研究結果得知，八種試驗種子油中，以甜杏仁油的 OSI 最高 (6.00 ± 0.06 h)，顯示其氧化穩定性最佳；而以紫蘇籽油、核桃油及琉璃苣油的 OSI 最低 (皆小於 1 h)，其氧化穩定性較差。甜杏仁油氧化穩定性較高主要是因為其主要由單元不飽和脂肪酸組成，且過氧化價最低；紫蘇籽油、核桃油及琉璃苣油氧化穩定性較低則因其主要由多元不飽和脂肪酸組成，且紫蘇籽油與核桃油酸價及過氧化價較高，進而降低其 OSI 及氧化穩定性。

【關鍵詞】酸價、油脂穩定指數、過氧化價、種子油、總酚類含量。

Investigation of the oxidation stability of 8 plant seed oils

Wen-Chun Chan¹ Yi Chiu¹ Hui-Ting Chang²
Liang-Jong Wang³ Fu-Lan Hsu^{3*}

【Abstract】Lipid plays important roles in maintaining body temperature, protecting organs, and promoting absorption of fat-soluble vitamins. However, when oil is exposed to air, moisture and light, the valuable nutrients in the oil begin to oxidize and deteriorate and cause discoloration, off-odor or loss of nutritional value. Therefore, understanding the oxidative stability of the oil is very important for producers and consumers. There are many kinds of vegetable oils, and their oxidative stabilities are different. Among them, perilla seed oil, walnut oil, borage oil, camellia oil, korean pine seed oil, sesame oil, pumpkin seed oil and sweet almond oil are 8 commonly pressing seed oils available on Taiwan market. The 8 seed oils are mainly composed of unsaturated fatty acids, and it is worthy to investigate the oxidative stability of them. However, there are few studies on the oxidative stability of these 8 seed oils. Therefore, this study analyzed the oil stability index (OSI) of the 8 plant seed oils and the factors affecting the oxidative stability of the oil, including fatty acid composition, total phenolic content, acid value and peroxide value. The experimental results showed that the sweet almond oil had the highest OSI (6.00 ± 0.06 h), indicating that its oxidative stability was the best among the 8 tested oils. The OSI of perilla seed oil, walnut oil and borage oil were the lowest

¹ 國立臺灣大學森林資源暨環境學系碩士班研究生。10617 臺北市羅斯福路四段一號。

Graduate student, Department of Forestry and Resource, National Taiwan University.
1, Sec. 4, Roosevelt Rd., Taipei 10617, Taiwan (R.O.C.).

² 國立臺灣大學森林資源暨環境學系教授。10617 臺北市羅斯福路四段一號。

Professor, Department of Forestry and Resource, National Taiwan University.
1, Sec. 4, Roosevelt Rd., Taipei 10617, Taiwan (R.O.C.).

^{3*} 農委會林業試驗所副研究員。10066 台北市中正區南海路 53 號。

Associate Researcher, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan.
53, Nanhai Rd., Zhongzheng Dist., Taipei, 10066, Taiwan (R.O.C.).
Corresponding Author, E-mail: flhsu@tfri.gov.tw

No.2

and less than 1 h, and their oxidative stabilities were poor. Sweet almond oil has higher oxidation stability mainly because it is mainly composed of monounsaturated fatty acids and has the lowest peroxide value; while perilla seed oil, walnut oil and borage oil have the lowest oxidation stability because they are mainly composed of polyunsaturated fatty acids, and higher acid value and peroxide value of perilla seed oil and walnut oil which reduce their OSI and oxidation stability.

【Key words】 Acid value, Oil stability index, Peroxide value, Seed oil, Total phenolic content.

I、前言

油脂在日常飲食中扮演重要的角色，攝取油脂可以幫助人體維持體溫、保護內臟、促進脂溶性維生素 A、D、E、K 的吸收以及提供人體無法自行合成的必須脂肪酸。因此，油脂的品質對於人體的健康有很大的影響，若油脂劣化可能會產生異味並導致必需脂肪酸、脂溶性維生素和其他生物活性物質損失，甚至形成有毒化合物，從而使油脂不適合消費及飲食 (Shahidi and Zhong, 2010)。然而，油脂在儲存過程中會受到空氣、溫度、光照、水分及油脂本身的脂肪酸組成等許多因素影響發生變化，使油脂產生不良氣味、風味變差或顏色改變，進而影響到油脂的保存期限 (Kochhar and Henry, 2009)。油脂的氧化穩定性與其穩定指數 (oil stability index, OSI) 成正相關 (Parker *et al.*, 2003)。OSI 是評估食用油保存時間的重要指標，它會影響生產者的製作成本及消費者的保存利用。油脂氧化穩定性試驗是將油脂處於特定溫度及通有空氣的劣化環境中，進行油脂加速劣化的試驗，試驗所得之 OSI 越高表示食用油的氧化穩定性越好 (Farhoosh *et al.*, 2008)。

油脂氧化穩定性會受到許多因素影響，如油脂本身的性質，包括脂肪酸組成、酸價、過氧化價及天然的抗氧化成分等 (Liu and White, 1992; Choe and Min, 2006)。油脂主要由三酸甘油酯所構成，故三酸甘油酯中脂肪酸的種類及比例對油脂之氧化穩定性影響較大。而三酸甘油酯是由 3 個脂肪酸與 1 個甘油以酯鍵鍵結而成的化合物，其中，脂肪酸可分為 3 大類，分別是脂肪酸碳鏈以單鍵連結的飽和脂肪酸 (saturated fatty acid)、碳鏈上有 1 個雙鍵的單元不飽和脂肪酸 (monounsaturated fatty acid)，以及碳鏈上有 2 個以上雙鍵的多元不飽和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid) (Rustan and Drevon, 2005)。食用油依這些脂肪酸所占比例不同而有不一樣的特性，如富含單元不飽和脂肪酸的

油比含多元不飽和脂肪酸具有更高的氧化穩定性 (Sánchez-Machado *et al.*, 2015)。此外，油脂亦受到環境中水和氧影響而劣化，油脂遇水產生水解反應後會形成游離脂肪酸 (free fatty acid, FFA) (Prescha *et al.*, 2014)。而油脂與氧氣接觸產生反應形成的初級產物為氫過氧化物 (hydroperoxide)，氫過氧化物會再與氫氧基反應，產生其他過氧化物，包括環狀過氧化物 (cyclic peroxides)、環氧氫過氧化物 (epoxy hydroperoxides)、二氫過氧化物 (dihydroperoxides) 及酮氫過氧化物 (keto hydroperoxides) 等，這些產物會導致油脂外觀、品質或營養價值劣變 (Frankel, 1988)。過氧化價 (peroxide value, POV) 即為測量油脂中初級氧化產物，亦即氫過氧化物的濃度 (Cebi *et al.*, 2017)。油脂水解及氧化的產物不相同，但其之間產生的交互作用會影響油脂的品質 (Frega *et al.*, 1999)，降低油脂的氧化穩定性。然而，油脂中若含有天然的抗氧化成分如酚類化合物等，則可清除油脂中的自由基，降低油脂的氧化速度 (Hoed, 2010)，進而提高油脂的氧化穩定性。

植物為繁衍後代，會在種子成熟期間蓄積養分，以供給幼苗初期生長。其中，含有較多油粒體之油脂類種子，可製取食用油脂，成為重要營養來源。在眾多植物種子油中，紫蘇籽油 (perilla seed oil) 含有豐富的 α -linolenic acid 能幫助人類大腦發育 (Lee and Song, 2012)；核桃油 (walnut oil) 富含不飽和脂肪酸能幫助人體降低膽固醇，減緩心血管疾病 (Zhang *et al.*, 2011)；琉璃苣油 (borage oil) 含有 γ -linolenic acid 可以減緩乳腺癌、皮膚問題及心血管疾病等病症 (Kotnik *et al.*, 2006)；苦茶油 (camellia oil) 具有抗腫瘤、保護肝臟和心臟、減緩心血管疾病及調節免疫系統等功效 (Li *et al.*, 2011)；松籽油 (pine nut oil) 廣泛用於刺激細胞增殖、降低血脂和血糖及抑制過敏反應 (Wang *et al.*, 2011)；芝麻油 (sesame oil) 可以降低血液膽固醇及罹患心血管疾病的風險 (Kurt, 2018)；南瓜籽油

(pumpkin seed oil) 可以減緩高血壓、糖尿病及關節炎，以及改善膀胱與尿道相關症狀 (Stevenson *et al.*, 2007)；杏仁油 (almond oil) 具有抗炎、增強免疫力及抗肝毒性作用等功效 (Ahmad, 2010)。八種植物種子油皆由 70-80% 以上之不飽和脂肪酸組成 (表 1)，為備受關注的健康食用油，然而，國內卻少有此八種植物種子油氧化穩定性的相關研究，因此值得探討其氧化穩定性及相關機制。

本研究透過分析目前臺灣市面上常見的紫蘇籽油、核桃油、琉璃苣油、苦茶油、紅松籽油 (korean pine seed oil)、芝麻油、南瓜籽油及甜杏仁油 (sweet almond oil) 等種子壓榨油之油脂穩定指數及影響油脂氧化穩定性的因素，如脂肪酸組成、酸價、過氧化價及總酚類含量 (total phenolic content, TPC) 等，進一步探討不同植物種子油之氧化穩定性及相關機制。

II、材料與方法

(I) 材料

本研究選取以螺旋榨油機製取之八種植物種子油 (圖 1)，其中四種為芝麻油 (*Sesamum indicum*)、紫蘇籽油 (*Perilla frutescens*)、南瓜籽油 (*Cucurbita moschata*)、琉璃苣油 (*Borago officinalis*) 等草本植物油；另外四種為苦茶油 (*Camellia oleifera*)、核桃油 (*Juglans regia*)、紅松籽油 (*Pinus koraiensis*)、甜杏仁油 (*Prunus dulcis*) 等木本植物油。

(II) 藥品與溶劑

本研究使用的藥品包括氫氧化鉀 (potassium hydroxide, KOH) (Fisher, USA)、碘化鉀 (potassium iodide) (Sigma, USA)、五倍子酸 (gallic acid, GA) (Sigma, USA)、碳酸鈉 (sodium carbonate) (Sigma, USA)、硫代硫酸鈉 (sodium thiosulfate) (Merck, Germany)、硫酸氫鈉 (sodium hydrogen sulfate anhydrous) (Scharlau, Spain) 及 Folin-Ciocalteu reagent (Sigma, USA)。本研究使用的溶劑包括乙醇 (ethanol) (Fisher, USA)、乙醚 (diethyl ether) (Fisher, USA)、冰醋酸 (acetic acid glacial) (Fisher, USA)、甲醇 (methanol) (Merck, Germany)、異丙醇 (isopropanol) (Merck, Germany) 及異辛烷 (isooctane) (Acros, Belgium)。



圖 1 八種植物種子油的外觀。

A：苦茶油；B：芝麻油；C：核桃油；D：甜杏仁油；E：紫蘇籽油；F：南瓜籽油；G：琉璃苣油；H：紅松籽油。

Fig. 1 Appearance of 8 plant seed oils. A: camellia oil; B: sesame oil; C: walnut oil; D: sweet almond oil; E: perilla seed oil; F: pumpkin seed oil; G: borage oil; H: Korean pine seed oil.

(III) 方法

1. 油脂穩定指數

參考 CNS 14876 (2004)，以油脂氧化穩定分析儀 (892 Professional Rancimat, Metrohm) 進行 OSI 分析。秤取 3 g 油脂，置於空氣流量 9 L/h 及溫度 120°C 之環境下，測量油脂於高溫及通氣環境中所產生可溶於水之揮發性物質，溶於水後造成水中的導電度變化。試驗過程中導電度急速升高之時間點，即為油脂氧化大量產生劣化物的時間點，此值即為 OSI，試驗的重覆次數為 2。

2. 脂肪酸組成

參考 CNS 14759 (2009)，精確秤取 40-60 mg 之油脂，加入 4 mL 異辛烷，配製成油液後，再加入 0.2 mL 氫氧化鉀甲醇溶液，以 vortex 劇烈振盪，進行油脂甲酯化反應。接著加入 1 g 之硫酸氫鈉中和後，離心 5 min，取上層液 300 μ L 加入 1.2 mL 異辛烷稀釋，以 0.45 μ m 飛碟球過濾後，取 1.5 mL 注入氣相層析質譜儀 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) (QP2010, Shimadzu) 進行分析。層析管柱為 SP2380 (內膜厚度 0.2 μ m，內徑 0.25 mm \times 30 m)，層析管溫度初溫 150°C，持溫 1 min；升溫速率 10°C/min；終溫 250°C，持溫 2 min。檢出器溫度為 230°C，注入器溫度為 250°C，移動相氣體氫氣流速為 1 mL/min，分流比為 50:1，試驗的重覆次數為 2。

No.2

表 1 前人研究之八種植物種子脂肪酸組成

Table 1 Fatty acid composition of 8 plant seed oils from previous researches

Constituent	Content (%)							
	Oil 1	Oil 2	Oil 3	Oil 4	Oil 5	Oil 6	Oil 7	Oil 8
Myristic acid (C14:0)	-	0.10	-	-	-	-	-	-
Palmitic acid (C16:0)	7.1	10.23	9.60	3.7	7.4	15.81	6.44	4.70
Palmitoleic acid (C16:1)	0.4	0.07	-	-	-	-	-	-
Stearic acid (C18:0)	1.0	7.22	4.93	2.3	2.1	3.80	2.58	1.86
Oleic acid (C18:1)	68.5	38.98	39.11	18.8	81.7	24.32	14.13	16.92
Linoleic acid (C18:2)	23.0	42.72	43.38	51.2	8.8	35.46	51.44	14.53
Linolenic acid (C18:3)	-	0.16	0.28	12.7	-	15.00	16.29	62.26
Arachidic acid (C20:0)	-	0.52	0.53	-	-	3.13	-	-
Gadoleic acid (C20:1)	-	-	-	0.7	-	-	-	-
cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2)	-	-	-	0.6	-	-	-	-
cis -8,11,14-Eicosatrienoic acid (C20:3)	-	-	-	1.2	-	-	-	-
Behenic acid (C22:0)	-	-	-	0.1	-	-	-	-
Erucic acid (C22:1)	-	-	-	-	-	1.46	-	-

Oil 1 : 杏仁油 (Moayed *et al.*, 2011) ; Oil 2 : 南瓜籽油 (Aktaş *et al.*, 2018) ; Oil 3 : 芝麻油 (Kurt, 2018) ; Oil 4 : 紅松籽油 (Matthäus *et al.*, 2018) ; Oil 5 : 苦茶油 (Su *et al.*, 2014) ; Oil 6 : 琉璃苣油 (Soto *et al.*, 2008) ; Oil 7 : 核桃油 (Xie *et al.*, 2018) ; Oil 8 : 紫蘇籽油 (Li *et al.*, 2017) 。

3. 總酚類含量

本研究參考並修改 Kujala *et al.* (2000) 之試驗方法，將異丙醇加入油樣中 (v : v = 1 : 1) 配置成油液，並使用 GA 作為定量用之參考標準品，以去離子水配置濃度分別為 0.0625、0.0312、0.0156、0.0078 及 0.0039 mg/mL 之 GA 溶液。取 60 μ L 油液添加 960 μ L 去離子水，再加入 60 μ L 2.0 N 的 Folin-Ciocalteu reagent，搖晃混合 5 min 後加入 120 μ L 35% 碳酸鈉溶液，搖晃混合 3 min 後，以 13000 rpm 離心 5 min，取清液置入 cuvette 中以分光光度計測量其波長 750 nm 的吸光值。將油樣吸光值代入標準品之迴歸式即可算出每克樣品中所含之 GA 相對含量 (gallic acid equivalent, GAE)，並以此表示油樣之總酚類含量，試驗的重覆次數為 3。

4. 酸價及過氧化價

酸價 (acid value, AV) 及過氧化價試驗方法分別參考 CNS 3647 (2003) 及 CNS 3650 (2003)，並使用滴定儀 (Titration Excellence T5, Mettler Toledo) 測定。

酸價即為中和 1 g 油脂所含游離脂肪酸所需要

的氫氧化鉀，試驗方法為秤取 2.5 g 油樣於滴定杯中，以 35 mL 乙醇/乙醚溶液 (v : v = 1 : 1) 溶解，並用 0.1 N 氫氧化鉀乙醇溶液滴定至 pH 10 之滴定終點，依公式 1 計算其酸價，試驗的重覆次數為 3。

$$\text{酸價 (mg KOH/g)} = V \times C \times 56.1 \div W \dots\dots\dots 1$$

V = 滴定所消耗氫氧化鉀乙醇溶液 (mL)

C = 氫氧化鉀乙醇溶液之實際濃度 (N)

W = 樣品之重量 (g)

過氧化價之試驗方法為秤取 5 g 油樣於滴定杯中，以 40 mL 冰醋酸/異辛烷溶液 (v : v = 3 : 2) 溶解，再添加 0.5 mL 飽和碘化鉀溶液及 30 mL 去離子水，並用 0.01 N 硫代硫酸鈉標準溶液滴定至導電度快速變化之當量點，依公式 2 計算其過氧化價，試驗的重覆次數為 3。

$$\text{過氧化價 (meq O}_2\text{/kg)} = (S - B) \times N \times 1000 \div W \dots\dots\dots 2$$

S = 滴定所消耗之硫代硫酸鈉溶液 (mL)

B = 空白試驗所消耗之硫代硫酸鈉溶液 (mL)

N = 硫代硫酸鈉溶液之當量濃度 (N)

W = 樣品之重量 (g)

5. 統計方法

試驗數據使用 SAS 統計軟體以 Scheffe 法進行分析，信賴區間為 95%。並使用 SPSS 統計軟體將 OSI 與其他參數進行 Pearson 相關分析。

III、結果與討論

(I) 種子油的油脂穩定指數

由於 OSI 與油脂之穩定性成正相關 (Parker *et al.*, 2003)，故可以用來評估油脂的氧化穩定性。圖 2 為八種植物種子油之 OSI，以甜杏仁油的 OSI 最高 (6.00 ± 0.06 h)，其次為南瓜籽油 (3.83 ± 0.09 h) 及芝麻油 (2.98 ± 0.14 h)，紫蘇籽油、核桃油、琉璃苣油及苦茶油皆小於 1 h。在本研究的八種植物種子油中甜杏仁油的 OSI 最高，表示其氧化穩定性較佳，紫蘇籽油、核桃油及琉璃苣油之 OSI 較

低，表示其氧化穩定性較差。Kochhar and Henry (2009) 的研究中分析了八種植物油 OSI，其中，杏仁油的 OSI 為 10.2 h，在其研究之八種油中相對較高，而核桃油之 OSI 為 4.2 h，在其研究之八種油中相對較低，二者的研究趨勢相符。

(II) 種子油的脂肪酸組成

表 2 為八種植物種子油之脂肪酸組成，由結果可以看出八種植物種子油皆含有 80% 以上的不飽和脂肪酸。其中，甜杏仁油及苦茶油主要以單元不飽和脂肪酸 oleic acid (C18:1) 組成，分別為 67.94 及 82.85 %；南瓜籽油及芝麻油主要由 oleic acid 及 linoleic acid (C18:2) 組成，2 種油之 oleic acid 的含量分別為 37.17 及 40.50%，linoleic acid 的含量分別為 44.93 及 45.10%；紅松籽油及核桃油主要以多元不飽和脂肪酸 linoleic acid 組成，分別佔了整體脂肪酸的 47.65 及 60.67%；琉璃苣油則主要是由 oleic acid、linoleic acid 及 α -linolenic acid (C18:3) 組成，其含量分別為 20.67、37.85 及 19.33%；紫蘇籽油主要以多元不飽和脂肪酸 α -linolenic acid 組成，佔了整體脂肪酸的 59.98%。本研究中八種

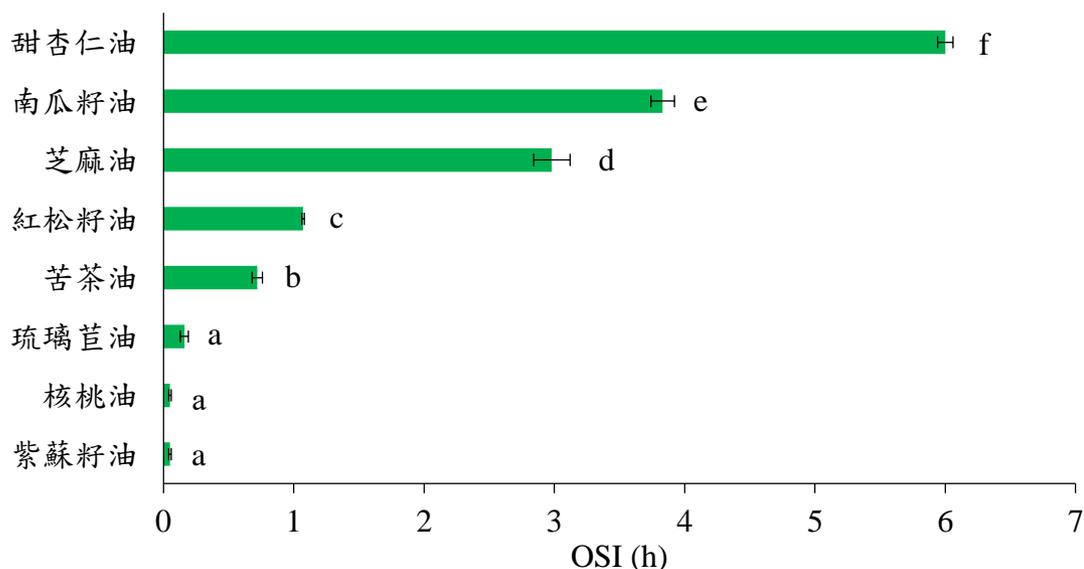


圖 2 八種植物種子油之油脂穩定指數。數值為 mean ± SD (n = 2)；不同字母顯示各組間平均值有顯著差異 ($p < 0.05$)。

Fig. 2 Oil stability index of 8 plant seed oils.

Values: mean ± SD (n = 2)；data with different letters are significantly different $p < 0.05$.

No.2

表 2 八種植物種子油之脂肪酸組成

Table 2 Fatty acid composition of 8 plant seed oils

Constituent	Content (%)							
	Oil 1	Oil 2	Oil 3	Oil 4	Oil 5	Oil 6	Oil 7	Oil 8
Palmitic acid (C16:0)	3.96	10.95	8.16	4.26	8.03	10.28	5.40	5.17
Stearic acid (C18:0)	0.75	5.88	4.68	1.88	1.74	4.78	1.95	1.83
Oleic acid (C18:1)	67.94	37.17	40.50	27.84	82.85	20.21	22.12	18.04
cis-13-Octadecenoic acid (C18:1)	-	0.71	1.03	0.48	-	0.46	0.81	0.83
Linoleic acid (C18:2)	26.78	44.93	45.10	47.65	7.18	37.85	60.67	14.16
5,9-Octadecadienoic acid (C18:2)	-	-	-	1.89	-	-	-	-
α -Linolenic acid (C18:3)	-	-	-	-	-	-	9.04	59.98
γ -Linolenic acid (C18:3)	-	-	-	-	-	19.33	-	-
5,9,12-Octadecatrienoic acid (C18:3)	-	-	-	14.03	-	-	-	-
Nonadecanoic acid (C19:0)	-	0.36	0.52	0.35	-	-	-	-
cis-10-Nonadecenoic acid (C19:1)	0.58	-	-	-	-	2.01	-	-
Gondoic acid (C20:1)	-	-	-	0.97	0.29	4.08	-	-
5,11,14-Eicosatrienoic acid (C20:3)	-	-	-	0.64	-	-	-	-
Nervonic acid (C24:1)	-	-	-	-	-	1.00	-	-
Saturated	4.71	17.19	13.36	6.49	9.77	15.06	7.35	7.00
Monounsaturated	68.52	37.88	41.53	29.29	83.14	27.76	22.93	18.87
Polyunsaturated	26.78	44.93	45.10	64.21	7.18	57.18	69.71	74.14

Oil 1：甜杏仁油；Oil 2：南瓜籽油；Oil 3：芝麻油；Oil 4：紅松籽油；Oil 5：苦茶油；Oil 6：琉璃苣油；Oil 7：核桃油；Oil 8：紫蘇籽油。

植物種子油的脂肪酸組成與前人研究結果相似 (表 1)，杏仁油及苦茶油主要組成單元不飽和脂肪酸，南瓜籽油及芝麻油主要由單元及多元不飽和脂肪酸組成，紅松籽油、琉璃苣油、核桃油及紫蘇籽油主要以多元不飽和脂肪酸組成。

三酸甘油酯為油脂的主要組成成分，其中的脂肪酸是影響油脂氧化穩定性的主要因素之一。飽和脂肪酸、單元不飽和脂肪酸及多元不飽和脂肪酸三類中以多元不飽和脂肪酸較易劣化，若其含量較高則油脂氧化穩定性較差。本研究中紫蘇籽油、核桃油及琉璃苣油含較多多元不飽和脂肪酸含量，分別為 74.14、69.71 及 57.18% (表 2)，因此其 OSI 較低 (圖 2)，氧化穩定性亦為八種植物種子油之中較差的。Parker *et al.* (2003) 比較香菜籽油 (caraway seed oil)、大麻籽油 (hemp seed oil)、蔓越莓籽油 (cranberry seed oil) 及胡蘿蔔籽油 (carrot seed oil) 的脂肪酸組成及油脂氧化穩定性，其多元不飽和脂肪酸含量分別為 58.66、79.29、67.57 及 13.47%，以大麻籽油的多元不飽和脂肪

酸含量最高，氧化穩定性最差，此結果與本研究結果相似。

(III) 種子油的總酚類含量

圖 3 為八種植物種子油之總酚類含量，以南瓜籽油的總酚類含量最高為 0.021 ± 0.002 GAE mg/g，其次為琉璃苣油 0.018 ± 0.001 GAE mg/g，接著為芝麻油、紫蘇籽油及紅松籽油，分別為 0.016 ± 0.002 、 0.015 ± 0.001 及 0.013 ± 0.001 GAE mg/g，總酚類含量較低為甜杏仁油、苦茶油及核桃油，分別為 0.010 ± 0.001 、 0.008 ± 0.000 與 0.009 ± 0.001 GAE mg/g。

本研究八種植物種子油中以甜杏仁油的 OSI 最高 (圖 2)，但其總酚類含量較低；紫蘇籽油的 OSI 較低 (圖 2)，而其總酚類含量則較高。Siger *et al.* (2008) 研究結果亦有此現象，其研究顯示大豆油、葵花油、葡萄籽油、玉米油、葡萄籽油、大麻籽油、亞麻籽油、米糠油及南瓜籽油等 9 種種子壓榨油之總酚類含量及酚類組成皆不相同，其中

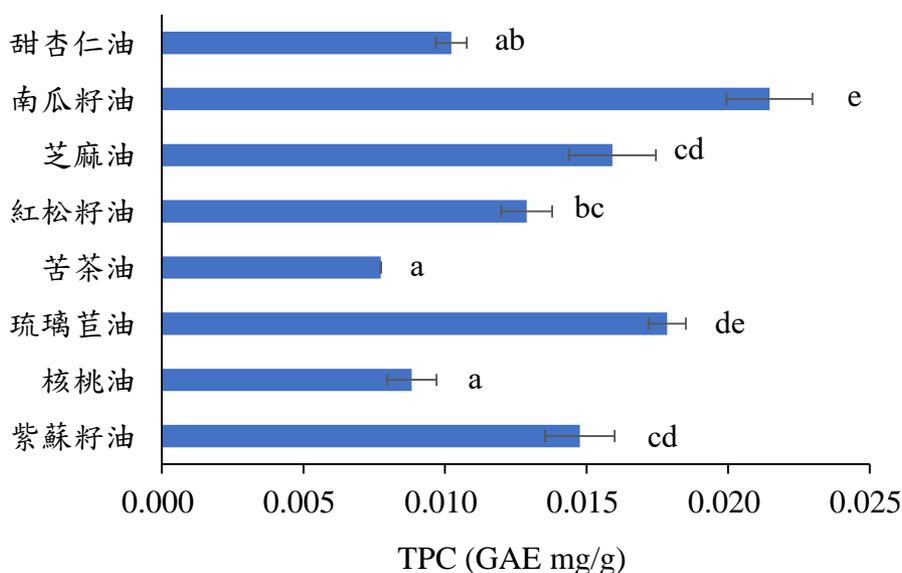


圖 3 八種植物種子油之總酚類含量。數值為 mean \pm SD (n = 3); 不同字母顯示各組間平均值有顯著差異 ($p < 0.05$)。

Fig. 3 Total phenolic content of 8 plant seed oils.

Values: mean \pm SD (n = 3); data with different letters are significantly different $p < 0.05$.

葵花油與玉米油的總酚類含量相同，但葵花油清除自由基的能力明顯較佳，所以不同植物種子油之間總酚類含量與抗氧化活性未必成正相關。酚類化合物為植物油天然之抗氧化成分之一，而不同植物種子油之間所含酚類化合物的種類及含量並不一樣，這些化合物之間的抗氧化活性強弱亦不相同，因此，不同植物油之間，若總酚類含量高，其抗氧化活性不一定較強。

(IV) 種子油的酸價及過氧化價

八種植物種子油的酸價及過氧化價如表 3 所示，種子油之酸價以紫蘇籽油 (3.48 ± 0.01 mg KOH/g) 及核桃油 (3.28 ± 0.01 mg KOH/g) 較高，南瓜籽油 (2.99 ± 0.02 mg KOH/g) 及芝麻油 (2.93 ± 0.01 mg KOH/g) 其次，酸價最低的為紅松籽油 (1.11 ± 0.01 mg KOH/g)。酸價係中和 1 g 油脂中游离脂肪酸 (free fatty acid, FFA) 所需氫氧化鉀的含量，酸價越高表示油脂中 FFA 越多且油脂水解劣敗程度越高，進而降低油脂的氧化穩定性。本研究八種植物種子油中紫蘇籽油及核桃油的酸價最高，其較多的 FFA 含量，可能係導致 OSI 低 (圖 2) 的原因，使油脂氧化穩定性較差。

表 3 八種植物種子油之酸價及過氧化價

Table 3 Acid value and peroxide value of 8 plant seed oils

油樣	酸價 (mg KOH/g)	過氧化價 (meq O ₂ /kg)
甜杏仁油	2.33 ± 0.01 ^c	0.16 ± 0.02 ^d
南瓜籽油	2.99 ± 0.02 ^b	1.68 ± 0.12 ^c
芝麻油	2.93 ± 0.01 ^b	0.26 ± 0.01 ^d
紅松籽油	1.11 ± 0.01 ^c	2.10 ± 0.27 ^{bc}
苦茶油	2.09 ± 0.11 ^d	1.97 ± 0.10 ^{bc}
琉璃苣油	2.19 ± 0.02 ^{cd}	1.37 ± 0.04 ^c
核桃油	3.28 ± 0.01 ^a	6.27 ± 0.61 ^a
紫蘇籽油	3.48 ± 0.01 ^a	2.78 ± 0.15 ^b

數值為 mean \pm SD (n = 3); 不同字母顯示各組間平均值有顯著差異 ($p < 0.05$)。

八種植物種子油之過氧化價中，以核桃油的過氧化價最高 (6.27 ± 0.61 meq O₂/kg)，其次為紫蘇籽油 (2.78 ± 0.15 meq O₂/kg)、紅松籽油 (2.10 ± 0.27 meq O₂/kg) 及苦茶油 (1.97 ± 0.10 meq O₂/kg)，過氧化價最低為芝麻油 (0.26 ± 0.01 meq O₂/kg) 及

No.2

表 4 八種植物種子油之油脂穩定指數與其他參數之相關性

Table 4 Pearson correlations between oil stability index and other parameters of 8 plant seed oils

	SFA	MUFA	PUFA	TPC	AV	POV
<i>r</i>	-0.005	0.469	-0.467	0.147	-0.027	-0.622

r : Pearson 相關係數 ; SFA : 飽和脂肪酸 ; MUFA : 單元不飽和脂肪酸 ; PUFA : 多元不飽和脂肪酸 ; TPC : 總酚類含量 ; AV : 酸價 ; POV : 過氧化價。

甜杏仁油 (0.16 ± 0.02 meq O_2/kg)。過氧化價越高表示其含有較多的氫過氧化物，氫過氧化物的含量愈高愈有機會產生其他過氧化物，促使油脂劣化，進而降低油脂氧化穩定性。核桃油的過氧化價最高，表示其含有較多過氧化物，降低油脂之 OSI (圖 2) 及氧化穩定性。

(V) 種子油的氧化穩定性評估

表 4 為八種植物種子油之 OSI 與各項參數間的相關性，結果顯示 OSI 與各項參數之間有不同程度的相關性。其中，OSI 與不飽和脂肪酸組成及過氧化價之相關性較高，與酸價及總酚類含量的相關性較低，表示所有參數皆會影響油脂的氧化穩定性，而影響的程度則不相同。Ayyildiz *et al.* (2015) 亦提到油脂的氧化穩定性與脂肪酸組成、抗氧化成分、游離脂肪酸與過氧化物的含量相關，所以油脂之氧化穩定性並不取決於單一因素，例如脂肪酸組成雖是影響油脂氧化穩定性的主要原因，但游離脂肪酸及過氧化物含量過高，將會降低油脂的穩定性，而若油脂中含有抗氧化成分，即可幫助油脂提高穩定性。因此，綜合本研究八種植物種子油之 OSI、脂肪酸組成、總酚類含量、酸價及過氧化價的分析結果，以探討八種植物種子油的氧化穩定性。由本研究結果觀察到，八種植物種子油之中，核桃油的多元不飽和脂肪酸含量較高 (69.71%)，總酚類含量較低 (0.009 GAE mg/g)，由酸價 (3.28 mg KOH/g) 及過氧化價 (6.27 meq O_2/kg) 可以看出核桃油的游離脂肪酸及氫過氧化物含量較高，因此用以評估氧化穩定性的 OSI 較低 (0.05 h)，其氧化穩定性差，劣化的程度為本研究八種植物種子油中最高。另外，甜杏仁油含有較少的多元不飽和脂肪酸 (26.78%)，其酸價不高 (2.33 mg KOH/g) 且過氧化價最低 (0.16 meq O_2/kg)，因此甜杏仁油之 OSI 最高 (6.00 h)，表示其氧化穩定性較本研究中其他油脂高。本研究中苦茶油之多元不飽和脂肪酸含量雖然偏低

(7.18%)，但其總酚類含量較低，OSI 中等，推測其抗氧化成分之清除自由基的能力比甜杏仁油或南瓜籽油為低，但優於核桃油。有研究指出若種子在壓榨前經過炒焙，可提高種子油之氧化穩定性 (Nederal *et al.*, 2012 ; Yang *et al.*, 2018)，因此，影響油脂穩定性之因素從榨油材料產地及製作過程至油脂之組成成分等因素，要了解油脂的氧化穩定性需從多方面分析。

IV、結論

油脂的氧化穩定性可以用來評估油脂的保存期限及利用方式，其與多元不飽和脂肪酸含量有很大的關係。本研究八種植物種子油中，多元不飽和脂肪酸含量較少的甜杏仁油氧化穩定性最佳，而含有大量多元不飽和脂肪酸的紫蘇籽油、核桃油及琉璃苣油氧化穩定性則較差。然而，脂肪酸組成並不是影響油脂穩定性的唯一因素，若游離脂肪酸或過氧化物含量過高，同樣會降低油脂之氧化穩定性；抗氧化成分的存在亦是影響油脂穩定性的因素之一，如藉由酚類化合物清除自由基，亦可增加油脂的氧化穩定性。因此，要了解油脂的穩定性，需從多方面進行探討。本研究藉由分析油脂穩定指數，以及影響油脂氧化穩定性的因素，包括脂肪酸組成、總酚類含量、酸價以及過氧化價，了解八種植物種子油的組成、性質與氧化穩定性，有利於製造者評估成本與存放時間以及消費者的保存及利用。

V、誌謝

本研究承蒙行政院農業委員會林業試驗所 107 農科-1.6.2-森-G2 經費補助，特此申謝。

VI、參考文獻

1. 中華民國國家標準 CNS 3647 (2003) 食用油脂檢驗法 - 酸價之測定。經濟部標準檢驗局。
2. 中華民國國家標準 CNS 3650 (2003) 食用油脂檢驗法 - 過氧化價之測定。經濟部標準檢驗局。
3. 中華民國國家標準 CNS 14759 (2009) 食用油脂檢驗法 - 脂肪酸甲酯之測定。經濟部標準檢驗局。
4. 中華民國國家標準 CNS14876(2004) 食用油脂檢驗法 - 穩定性指數之測定。經濟部標準檢驗局。
5. Ahmad, Z. (2010) The uses and properties of almond oil. *Complement. Ther. Clin. Pract.* 16: 10-12.
6. Aktaş, N., K. E. Gerçekaslan and T. Uzlaşır (2018) The effect of some pre-roasting treatments on quality characteristics of pumpkin seed oil. *OCL* 25: A301.
7. Ayyildiz, H. F., M. Topkafa, H. Kara and S. T. H. Sherazi (2015) Evaluation of fatty acid composition, tocopherols profile, and oxidative stability of some fully refined edible oils. *Int. J. Food Prop.* 18: 2064-2076.
8. Cebi, N., M. T. Yilmaz, O. Sagdic, H. Yucesel and E. Yelboga (2017) Prediction of peroxide value in omega-3 rich microalgae oil by ATR-FTIR spectroscopy combined with chemometrics. *Food Chem.* 225: 188-196.
9. Choe, E. and Min D. B. (2006) Comprehensive reviews in food science and food safety. *IFT* 5: 169-186.
10. Farhoosh, R., R. Niazmand, M. Rezaei and M. Sarabi (2008) Kinetic parameter determination of vegetable oil oxidation under Rancimat test conditions. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 110: 587-592.
11. Frankel, E. N. (1988) Hydroperoxidation of unsaturated fatty esters. *Basic Life Sci.* 49: 265-282.
12. Frega, N., M. Mozzona and G. Lerckerb (1999) Effects of free fatty acids on oxidative stability of vegetable oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 3: 325-329.
13. Hoed, V. V. (2010) Phenolic compounds in seed oils. *Lipid Tech.* 22: 247-249.
14. Kochhar, S. P. and C. J. K. Henry (2009) Oxidative stability and shelf-life evaluation of selected culinary oils. *Int. J Food Sci. Nutr.* 60: 289-296.
15. Kotnik, P., M. Skerget and Z. Knez (2006) Kinetics of supercritical carbon dioxide extraction of borage and evening primrose seed oil. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 108: 569-576.
16. Kurt, C. (2018) Variation in oil content and fatty acid composition of sesame accessions from different origins. *Grasas Y Aceites* 69: e241.
17. Kujala, T. S., J. M. Loponen, K. D. Klika and K. Pihlaja (2000) Phenolics and betacyanins in red beetroot (*Beta vulgaris*) root: distribution and effect of cold storage on the content of total phenolics and three individual compounds. *J. Agric. Food Chem.* 48: 5338-5342.
18. Lee, J. and Y. O. Song (2012) Perilla oil rich in α -linolenic acid suppresses hepatic SREBPs and NF- κ B expression in hypercholesterolemia-induced apolipoprotein E knockout mice. *Food Sci. Biotechnol.* 21: 807-813.
19. Li, H., G. Y. Zhou, H. Y. Zhang and J. A. Liu (2011) Research progress on the health function of tea oil. *J. Med. Plants Res.* 5: 485-489.
20. Li, H., Z. Zhang, D. He, Y. Xia, Q. Liu and X. Li (2017) Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from perilla seeds and determination of its physicochemical properties, fatty acid composition and antioxidant activity. *Food Sci. Technol.* 37: 71-77.
21. Liu, H. R. and P. J. White (1992) Oxidative stability of soybean oils with altered fatty acid compositions. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 69: 528-532.
22. Matthäus, B., P. Li, F. Ma, H. Zhou, J. Jiang and M. M. Ozcan (2018) Is the profile of fatty acids, tocopherols, and amino acids suitable to differentiate *Pinus armandii* suspicious to be

No.2

- responsible for the pine nut syndrome from other *Pinus* species? *Chem. Biodivers.* 15: e1700323.
23. Moayed, A., K. Rezaei, S. Moini and B. Keshavarz (2011) Chemical compositions of oils from several wild almond species. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 88: 503-508.
 24. Nederal, S., D. Škevin, K. Kraljić, M. Obranović, S. Papeša and A. Bataljaku (2012) Chemical composition and oxidative stability of roasted and cold pressed pumpkin seed oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 89: 1763-1770.
 25. Parker, T. D., D. A. Adams, K. Zhou, M. Harris and L. YU (2003) Fatty acid composition and oxidative stability of cold-pressed edible seed oils. *J. Food Sci.* 68: 1240-1243.
 26. Prescha, A., M. Grajzer, M. Dedyk and H. Grajeta (2014) The antioxidant activity and oxidative stability of cold-pressed oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 91: 1291-1301.
 27. Rustan, A. C. and C. A. Drevon (2005) Fatty acids: structures and properties. ELS, John Wiley and Sons, Ltd.
 28. Sánchez-Machado, D. I., J. López-Cervantes, J. A. Núñez-Gastélum, G. S. Mora-López, J. López-Hernández and P. Paseiro-Losada (2015) Effect of the refining process on *Moringa oleifera* seed oil quality. *Food Chem.* 187: 53-57.
 29. Shahidi, F. and Y. Zhong (2010) Novel antioxidants in food quality preservation and health promotion. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 112: 930-940.
 30. Singer, A., M. Nogala-Kalucka and E. Lampart-Szczapa (2008) The content and antioxidant activity of phenolic compounds in cold-pressed plant oils. *J. Food Lipids* 15: 137-149.
 31. Soto, C., E. Conde, A. Moure, M. E. Zúñiga and H. Domínguez (2008) Supercritical extraction of borage seed oil coupled to conventional solvent extraction of antioxidants. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 110: 1035-1044.
 32. Stevenson, D. G., F. J. Eller, L. Wang J. L. Jane, T. Wang and G. E. Inglett (2007) Oil and tocopherol content and composition of pumpkin seed oil in 12 cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 55: 4005-4013.
 33. Su, M. H., M. C. Shih and K. H. Lin (2014) Chemical composition of seed oils in native Taiwanese *Camellia* species. *Food Chem.* 156: 369-373.
 34. Wang, H., G. Zu, L. Yang, Y. G. Zu, H. Wang, Z. H. Zhang, Y. Zhang, L. Zhang and H. Z. Wang (2011) Effects of heat and ultraviolet radiation on the oxidative stability of pine nut oil supplemented with carnosic acid. *J. Agric. Food Chem.* 59: 13018-13025.
 35. Xie, C., Z. F. Ma, F. Li, H. Zhang, L. Kong, Z. Yang and W. Xie (2018) Storage quality of walnut oil containing lycopene during accelerated oxidation. *J. Food Sci. Technol.* 55: 1387-1395.
 36. Yang, K. M., F. L. Hsu, C. W. Chen, C. L. Hsu and M. C. Cheng (2018) Quality characterization and oxidative stability of camellia seed oils produced with different roasting temperatures. *J. Oleo Sci.* 67: 389-396.
 37. Zhang, J., J. A. Grieger, P. M. Kris-Etherton, J. T. Thompson, P. J. Gillies, J. A. Fleming and J. P. V. Heuvel (2011) Walnut oil increases cholesterol efflux through inhibition of stearoyl CoA desaturase 1 in THP-1 macrophage-derived foam cells. *Nutr. Metab.* 8: 61.