

# 油茶籽油氧化稳定性分析研究综述

郭咪咪,薛雅琳,张东,朱琳,李秀娟,段章群,李晓宁,王雅朦

(国家粮食局科学研究院,北京 100037)

**摘要:**油茶籽油具有与橄榄油相类似的脂肪酸组成与生理活性,且其毛油具有良好的耐储性。综述了油茶籽油在不同制油工艺下的品质特性,分析了与油茶籽油抗氧化稳定性相关的因素,探讨油茶籽毛油具有较高稳定性的影响因素,对后续深入研究油茶籽油中主要抗氧化活性成分具有指导意义。

**关键词:**油茶籽油;品质;氧化稳定性;活性成分

**中图分类号:**TS 225.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2017)04-0030-05

## Overview of research on the oxidative stability of camellia oleifera seed oil

GUO Mi-mi, XUE Ya-lin, ZHANG Dong, ZHU Lin, LI Xiu-juan,

DUAN Zhang-qun, LI Xiao-ning, WANG Ya-meng

(Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037)

**Abstract:** Camellia oleifera seed oil has the similar fatty acid composition and biological activities with olive oil, and its crude oil has good storage stability. The quality characteristics of camellia oleifera seed oil processed in different processing techniques were summarized. The factors related to the oxidation stability of it were analyzed. Meanwhile, the factors to cause the oil of the high oxidation stability were discussed. The test has guiding significance for the further research on the main antioxidant activity ingredients.

**Key words:** camellia oleifera seed oil; quality characteristics; oxidative stability; active ingredient

中国是世界上油茶分布最广的国家,主要分布在南部地区。我国油茶种植面积目前占全国木本食用油料栽培面积的80%以上,年总产量60余万t,湖南、江西两省产量占全国总油茶籽产量的60%以上<sup>[1]</sup>。中国是油茶籽生产量最大的国家,年产量15万t左右。油茶籽油突出特点是耐储性。有研究报道<sup>[2]</sup>,油茶籽毛油在自然条件下储藏1~2年无明显变化,与氧化稳定性较好的芝麻油相当。虽然油茶籽油不饱和脂肪酸含量高,容易导致油脂快速氧化酸败,但其具有良好的耐储性,显然其中存在一定的抗氧化因素,发挥了抗氧化稳定特性,延长了油脂储藏期。本文综述油茶籽油中主要活性成分,分析与氧化稳定性相关的因素,对后续深入探索油茶籽油中独特的强抗氧化活性物质具有指导作用,同时对促进木本油料产业发展、提高油茶籽加工产品品质认知度具有重要意义。

收稿日期:2016-10-23

基金项目:国家粮食公益性行业科研专项(201513003);“十三五”国家重点研发计划2016YFD0401403-3

作者简介:郭咪咪,1987年出生,女,助理研究员。

通讯作者:薛雅琳,1960年出生,女,教授级高级工程师。

## 1 油茶籽不同制油工艺油品质分析

油茶树种子制取的油为油茶籽油,俗称山茶油、茶油,是我国特有的传统食用植物油,早在公元前三世纪的《山海经》中有记载:“员木,南方油食也”,“员木”即为油茶。目前,制取植物油脂常见的方法有溶剂浸出法、压榨法和酶法,而不同制油工艺与油脂品质、油中活性物质种类及含量都有密切关系<sup>[3]</sup>。溶剂浸出法主要采用有机溶剂浸提油料中油脂,在生产过程中能明显提高出油率,其加工成本较低;但溶剂浸出法采用的有机溶剂容易在毛油中残留,残溶过高将影响油脂品质。师景双<sup>[4]</sup>检测溶剂浸提得到的小麦胚芽毛油,其中丙酮残留量22.7 mg/kg,正己烷残留量41.2 mg/kg,未达到国家一级食用油标准,经进一步精炼后,丙酮未检出,正己烷残留量降为7.5 mg/kg。压榨法分为冷榨和热榨,工艺较简单,适用范围广。冷榨过程由于采用低温工艺,能最大限度地保存油中各种脂溶性营养成分和油脂独特风味,而某些油料(如亚麻籽)经热榨工艺,其油脂具有更浓郁的烤香气味。但压榨法容易

在饼粕中残留油脂,降低提油率,同时压榨前对原料的热处理,也容易造成有益成分的变化和损失。杨凯<sup>[5]</sup>等研究认为,压榨法由于受压榨过程温度影响,增加了成品油脂中游离脂肪酸含量,同时抗氧化物质也受到一定破坏,导致其含量下降。水酶法制油是近年来研究较多的一种新提油工艺,特点在于能耗小、反应条件温和,可以有效保护油脂、蛋白、胶质等可利用成分的品质。刘瑞兴<sup>[6]</sup>等采用水酶法制取油茶籽毛油,所得毛油各项指标均符合一级压榨茶油标准,完好地保留了各营养活性成分,其中 $V_E$ 含量达204.5 mg/kg,角鲨烯含量达114.4 mg/kg。但水酶法提油存在油水乳化、酶成本高、油香味损失等等问题。因此要根据不同的需求,采取不同的制油工艺。

不同制油工艺油茶籽油,在多项理化指标、营养成分及其油脂特性方面均有所不同。方学智<sup>[7]</sup>等通过不同工艺制取油茶籽油,得出水酶法制取的油茶籽油过氧化值最低,为2.28 meq/kg,营养成分 $V_E$  (270.25  $\mu\text{g/g}$ )、 $\beta$ -胡萝卜素(51.61  $\mu\text{g/g}$ )含量最高,但具有较高的酸值1.38 mgKOH/g和较低含量的多酚和磷脂;浸出油茶籽油中多酚含量最高,达12.74  $\mu\text{g/g}$ ,而压榨油茶籽油中磷脂含量(11.67  $\mu\text{g/g}$ )最高。陈娟<sup>[8]</sup>等分析认为,超临界 $\text{CO}_2$ 萃取油茶籽油不饱和脂肪酸含量比超声波辅助浸提法的高近18%;从脂肪酸组成评价方面考虑,超临界 $\text{CO}_2$ 萃取油茶籽油营养价值更高;但从过氧化值分析方面考虑,超声波辅助提取的低,为6.50 mmol/kg,超临界 $\text{CO}_2$ 萃取的高,为7.47 mmol/kg,且因超临界 $\text{CO}_2$ 萃取采用高压,容易使非油脂成分一并提取,造成皂化物含量升高,降低了油脂品质。吴雪慧<sup>[9]</sup>等采用亚临界流体萃取油茶籽油,最佳萃取率达96.3%,且制备的油茶籽油品质较好,基本符合一级压榨成品油茶籽油国家标准的质量指标。丛玲梅<sup>[10]</sup>等研究对比同一贮藏条件下普通茶油的品质,认为原油贮藏品质最好,压榨精炼油次之,浸出精炼油贮藏品质最差。活性成分 $V_E$ 、 $\beta$ -胡萝卜素、多酚等均有一定的抗氧化功能,对油脂稳定性有促进作用,但不同制油工艺影响抗氧化活性成分分布、油脂理化特性,造成不同工艺所得油茶籽油储藏稳定性的差异,进而影响油脂的质量品质。

## 2 油茶籽脂肪酸组成与稳定性

脂肪酸组成是植物油的特性之一,油茶籽中含油量(干基)为39.6%~65.3%,以单不饱和脂肪酸油酸为主,高达85%,其次是棕榈酸和亚油酸,油茶

籽脂肪酸组成、生理活性与橄榄油非常相似<sup>[11]</sup>(图1),有“中国橄榄油”美誉。油茶籽油不饱和脂肪酸含量高的特性,有助于降血糖、降胆固醇、调节血脂等生理功能;但同时高含量的不饱和脂肪酸,又会在加工储藏中极易被氧化,产生对人体不利的小分子物质(醛、酮、酸等),严重影响油茶籽油的风味、色泽、营养价值等<sup>[12]</sup>。但相关研究分析表明,油茶籽毛油具有较高的储藏稳定性,其氧化稳定指数与橄榄油毛油相近<sup>[13]</sup>,放置1~2年不会发生明显变质。因此研究探讨其存在的氧化稳定机理尤为重要。

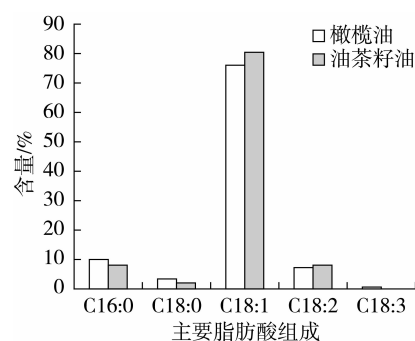


图1 油茶籽油与橄榄油的脂肪酸含量

油脂酸败变质导致油脂品质降低,影响其稳定性,而酸败的主要原因是饱和脂肪酸被氧化,饱和脂肪酸含量越高油脂越不稳定,可通过油脂氧化稳定指数Cox表示(公式1)。由公式1可知,油脂中油酸在氧化稳定指数中占有的系数比亚油酸和亚麻酸要小,因此油酸的氧化速率会低于其它C18的多不饱和脂肪酸,表现出最高的稳定性<sup>[14]</sup>。在油茶籽油中,不饱和脂肪酸主要是油酸,而亚油酸和亚麻酸含量均很低(见图1),因此油茶籽油Cox值很低。有文献报道<sup>[11]</sup>,油茶籽油Cox为1.8,与橄榄油(1.7)接近,这可能是导致油茶籽油具有较高氧化稳定性的原因之一。Sheng-nan Wang等<sup>[15]</sup>研究大豆油与油茶籽油不同比例混合油脂的煎炸品质变化,认为油茶籽油比例增加,导致混合油中单不饱和脂肪酸含量增加,使得煎炸过程油脂品质与氧化稳定性提高。

$$Cox = \frac{1 \times a + 10.3 \times b + 21.6 \times c}{100} \quad (1)$$

式(1)中: $a$ 表示C18:1(油酸)含量; $b$ 表示C18:2(亚油酸)含量; $c$ 表示C18:3(亚麻酸)含量。

三酰基甘油是油脂氧化的主要因素之一,其氧化原理遵循自由基反应机理,但三酰基甘油的空间位阻、不饱和度、助氧剂、光照时间等对氧化均有一定作用,不同脂肪酸在甘油三酯中位置分布以及甘

油三酯结构类型等都使得油脂表现出不同稳定性。在氧化过程中,三酰基甘油氧化生成反应活性组分较高的氢过氧化物,氢过氧化物进一步氧化或降解成二级氧化产物<sup>[16]</sup>。Alam Zeb<sup>[17]</sup>采用 HPLC - ESI - MS 在油茶籽油中得到了 15 种三酰基甘油,较高不饱和度的三酰基甘油容易发生自动氧化,表现为亚麻酸三酰甘油 LnLLn(亚麻酸亚油酸亚麻酸甘油酯)、LnOLn(亚麻酸油酸亚麻酸甘油酯)、LLLn(亚油酸亚油酸亚麻酸甘油酯)和 OLLn(油酸亚油酸亚麻酸甘油酯)损失较多,损失量占完全氧化的 13.5%,氧化产物是环氧氢过氧化物、环氧表二氧化物(epoxy epidioxides)和单环氧化合物。张东等<sup>[18]</sup>研究认为,油茶籽油中主要的三酰甘油为 OOO(三油酸甘油酯)、SLO(硬脂酸亚油酸油酸甘油酯)、LOO(亚油酸油酸油酸甘油酯),其中 OOO 含量最高,为 81.23%。据此可以推断,油茶籽油中亚麻酸三酰甘油含量较低可能是其稳定性较好的一个原因。因此,从油茶籽油脂肪酸组成方面来看,多不饱和脂肪酸含量较低可能是导致油茶籽油较高稳定性的一个原因。

事实上,脂肪酸组成并不能完全反应油脂的稳定性,大量的活性成分,如碳水化合物、甾醇、多酚、生育酚以及一些微量元素等的存在,均有助于提高油脂稳定性。

### 3 油茶籽油主要活性成分与氧化稳定性的关系

油茶籽油中还含有多种脂溶性生物活性成分,如甾醇、生育酚、 $\beta$ -胡萝卜素、角鲨烯等,毛油中活性成分含量相对较高,生育酚、多酚、植物甾醇和角鲨烯可分别达到 138.44 ~ 371.67 mg/kg、7.34 ~ 21.87 mg/kg、1 868 ~ 3 382 mg/kg 和 63.14 ~ 169.71 mg/kg<sup>[19]</sup>,会对油茶籽油的稳定性起到一定作用,同时活性成分的存在提高了油茶籽油的营养价值和保健功能,长期食用油茶籽油,能够预防动脉粥样硬化、心血管硬化,还能降血脂、降血压、抗肝炎、防癌抗癌等<sup>[20]</sup>。

#### 3.1 生育酚

生育酚是一种良好的抗氧化剂,通过向自由基提供氢原子,从而阻断自由基的链式反应,保证油脂的稳定性。生育酚的异构体具有不同的抗氧化性能,一般  $\gamma$ 、 $\alpha$ -生育三烯酚抗氧化作用最强,同时生育酚浓度对抗氧化性也有一定影响<sup>[21]</sup>。刘玉兰<sup>[22]</sup>等研究发现,米糠油中生育三烯酚含量是大豆油的 7.2 倍,在连续煎炸 32 h 后,表现出比大豆油极性组分含量

及羰基价增幅小等良好的煎炸稳定性。佟云伟<sup>[23]</sup>等研究发现,三四级菜籽油的氧化诱导时间要长于一级菜籽油,分析认为这与一级菜籽油精炼脱臭工艺中  $V_E$  大量减少有关。Saldeen<sup>[24]</sup>发现  $\alpha$ 、 $\gamma$ -生育酚能显著抑制动脉过氧化物阴离子的形成,抑制脂质过氧化作用、低密度脂蛋白氧化和内源性 SOD 活性的增加,表明  $\alpha$ 、 $\gamma$ -生育酚是重要的抗氧化物质。

#### 3.2 角鲨烯

角鲨烯是由 6 个非共轭双键构成的类异戊二烯烃类化合物,是植物甾醇生物合成中重要的中间代谢产物。目前,粗制橄榄油被认为是植物源角鲨烯的主要来源之一,含量为 100 ~ 800 mg/100 g<sup>[25]</sup>,而油茶籽毛油中角鲨烯是主要的不皂化物成分,含量占不皂化物的 2.69%<sup>[26]</sup>。

角鲨烯由于低电离阈值,使其能够提供或接收电子而不破坏细胞分子结构,终断氢过氧化物的链式反应,起到抗氧化效果<sup>[27]</sup>。Assunta D M<sup>[28]</sup>等认为,角鲨烯作为过氧化氢自由基清除剂,保护亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸等多不饱和脂肪酸不被氧化。在油脂抗氧化方面,Naziri E<sup>[29]</sup>等发现角鲨烯参与抑制油脂氧化作用,在冷榨和热处理南瓜籽油氧化过程中,角鲨烯含量分别减少了 12% ~ 27%、22% ~ 28%,表现出对油脂的抗氧化特性。雷茜茜<sup>[30]</sup>发现角鲨烯能显著提高猪仔皮肤中 SOD、GSH - Px、CAT 活力,降低皮肤组织中蛋白质羰基和氢过氧化物含量,间接证明了角鲨烯的抗氧化功效。

#### 3.3 植物甾醇

植物甾醇是植物油脂中的微量组分,油茶籽毛油中总甾醇含量 908.75 mg/kg,精炼冬化油中含量为 453.77 mg/kg<sup>[31]</sup>。自然界最常见的甾醇为  $\beta$ -谷甾醇、菜油甾醇和豆甾醇,多数植物油脂含  $\beta$ -谷甾醇最多。甾醇结构中含有不饱和双键、羟基、碳环等官能团,是优良的游离基清除剂。苹果籽油中植物甾醇对 DPPH·、OH·、 $O_2^-$ · 具有明显清除作用,表现出较强的体外抗氧化特性<sup>[32]</sup>。植物甾醇还可有效地延缓油脂脂质过氧化反应,抑制油脂酸价和过氧化值的升高,研究认为<sup>[33]</sup>其抗氧化作用优于 BHT 和 Vc,是一种有效的抗氧化剂,因此被广泛应用于食品中<sup>[34]</sup>。

#### 3.4 多酚

活性成分多酚是一类多羟基的极性酚类化合物,存在于多种植物种子中。通过不同的制油工艺,较少含量的多酚会转移到油脂中。罗凡<sup>[35]</sup>通过高效液相色谱,在茶油毛油中检出羟基酪醇、原儿茶

酸、儿茶素、4-羟基苯甲酸、绿原酸、香草酸、表儿茶素没食子酸酯、对香豆酸、阿魏酸9种酚类物质。由于多酚的多羟基结构,在植物油中发挥一定的抗氧化作用,其抗氧化性能比目前使用的人工合成抗氧化剂BHA、BHT高3~9倍,且安全无毒。刘雳<sup>[36]</sup>等在精炼茶籽油中添加190 mg/kg的极性酚类提取物,其氧化稳定性超过毛油,并认为极性酚类提取物抗氧化性能远优于生育酚。另有研究发现,茶油随着油茶籽多酚添加量的增加,抗氧化性也逐渐增强<sup>[37-39]</sup>。王洪新<sup>[40]</sup>等认为相同添加量(0.03%)的茶多酚对精炼菜籽油的抗氧化效果远优于复合抗氧化剂[BHT(二丁基羟基甲苯)+BHA(丁基羟基茴香醚)+PG(没食子酸丙酯)]的效果,且能延长精炼菜籽油的保质期3倍以上。

邓妍君<sup>[41]</sup>认为一次压榨油茶籽油中的多酚含量与自由基清除活力最高,分别为1.496 mg/g和63.71%,多酚含量与茶油过氧化值之间呈指数递减的关系,证明了多酚对油茶籽油的抗氧化作用。李志晓等<sup>[42]</sup>通过分析碱炼对油茶籽油中多酚等活性成分含量造成的损失以及对3种自由基的清除能力的降低,认为油茶籽油中多酚含量对油茶籽油的抗氧化性具有主要影响作用。

油茶籽油中的生育酚、角鲨烯、植物甾醇、多酚等活性成分的含量均未明显高于其他植物油,但其氧化稳定性却与活性成分含量较高的橄榄油相当,这可能是由于上述某几种活性成分在油茶籽油中以某种特殊比例存在,共同发挥抗氧化作用,相关机理需要做进一步研究。

### 3.5 加工工艺对活性成分的影响

油脂中活性成分含量受不同制油工艺的影响。聂明<sup>[43]</sup>等得出,制油工艺对油茶籽油中的营养成分有显著影响,超临界CO<sub>2</sub>萃取得到的油茶籽油中营养成分V<sub>E</sub>、β-胡萝卜素、角鲨烯、β-谷甾醇等含量均明显高于低温压榨和普通螺旋压榨油茶籽油中的含量,其中β-谷甾醇可达0.57 mg/g。石晓丽<sup>[44]</sup>等研究认为,快速液压制备的油茶籽油不仅能较好地保存角鲨烯与β-谷甾醇,而且V<sub>E</sub>可达29.8 mg/100 g。不同制油工艺得到的油脂,其主要营养成分也有区别。李志晓<sup>[45]</sup>等通过对比分析认为,浸出法提取的油茶籽油中β-胡萝卜素和V<sub>E</sub>含量较高,分别为10.33、524.90 mg/kg;热榨方式提取的油茶籽油其活性成分多酚含量较高,达25.5 mg/kg;张智敏<sup>[46]</sup>分析得出,冷榨油茶籽毛油中V<sub>E</sub>总含量较高,达213 mg/kg,水酶法油茶籽毛油中角鲨烯含量高,达114 mg/kg。因此,制油工艺影响油脂中

活性成分及其含量,一般高温处理极易造成活性成分损失,精炼工序温度较高,一定程度上会影响油茶籽油营养价值。如表1所示,活性成分甾醇、α-生育酚、角鲨烯等含量在油茶籽油精炼工序中均明显减少。

表1 油茶籽油精炼工序活性成分含量变化

活性成分	张东生 <sup>[47]</sup> 等分析		邓龙 <sup>[48]</sup> 等分析	
	毛茶油	冬化油	毛茶油	脱臭油
甾醇/(mg/kg)	1 207.01	681.14	—	—
α-生育酚/(mg/kg)	123.60	79.92	251.34	101.30
角鲨烯/(mg/kg)	160.94	81.52	136.68	89.14
茶多酚/(μg/kg)	—	—	54.70	25.13

因此,应根据对油脂不同的需求,采取不同的加工方式和工序,最大程度保留油脂特有的活性成分,提高油脂品质。魏佳<sup>[49]</sup>等通过适度降低传统的精炼温度,优化组合了一套油茶籽油全程低温精炼工艺,不仅有效去除了不良成分,产品质量符合国家质量标准,而且最大程度保留了其活性营养成分,与传统的高温精炼工艺相比,甾醇、角鲨烯、V<sub>E</sub>保留率分别提高了59.2%、54.3%和56.2%。

## 4 展望

油茶籽作为4大木本油料作物之一,拥有与橄榄油相类似的脂肪酸组成和活性成分,同时拥有与橄榄油、芝麻油相类似的氧化稳定性。但油茶籽油的不饱和脂肪酸高达90%,目前对油茶籽油具有较好稳定性的主要机理还未达成共识。有研究认为,油茶籽油的氧化稳定性是多酚、生育酚、角鲨烯和甾醇类物质共同作用的结果<sup>[33]</sup>,但如何发挥共同抗氧化作用并未作具体分析。油茶籽油是否具有与芝麻油相类似的抗氧化机理:在制油工艺中产生一种特殊的活性成分保留在油脂中,发挥着主要抗氧化作用,或油茶籽油中某些酚羟基以酯化形式较大程度地溶解在油中,在储藏过程中又逐步释放出酚羟基,发挥抗氧化作用还不确定。因此,系统地探讨油茶籽油中特有的活性成分,研究对油茶籽油氧化稳定性起主要作用的抗氧化成分,探明其抗氧化机理,对提高木本油料发展与油茶籽加工产品品质认知度均具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 龙伶俐,薛雅琳,张东,等.油茶籽油主要特征成分的研究分析[J].中国油脂,2012,37(4):78-81.
- [2] 夏春华,朱全芬,田洁华.论茶籽油生产的发展前景[J].茶叶科学,1986,6(1):15-20.
- [3] 王亚萍,费学谦,陈焱,等.制油工艺对油茶籽油质量安全的影响分析[J].中国粮油学报,2012,27(9):60-63.
- [4] 师景双,王成忠,赵乃峰,等.溶剂法浸提小麦胚芽油的溶剂残留及回收问题的研究[J].粮油加工,2010,(8):17-20.

- [5] 杨凯. 不同来源油茶籽油的品质分析与比较研究[D]. 临安: 浙江农林大学, 2013.
- [6] 刘瑞兴, 张智敏, 吴苏喜, 等. 水酶法提取油茶籽油的工艺优化及其营养成分分析[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(12): 54-61, 68.
- [7] 方学智, 姚小华, 王开良, 等. 不同制油方法对油茶籽油品质的影响[J]. 中国油脂, 2009, 39(1): 23-26.
- [8] 陈娟, 李忠军, 郭嵩明, 等. 提取方法对油茶籽油品质和营养价值的影响评价[J]. 中国油脂, 2014, 39(4): 16-19.
- [9] 吴雪辉, 刘肖丽, 刘智锋, 等. 油茶籽油亚临界流体萃取工艺及品质研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(10): 6-9.
- [10] 丛玲美. 茶油品质控制过程中主要质量指标变化规律的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2007.
- [11] 汤富彬, 沈丹玉, 刘毅华, 等. 油茶籽油和橄榄油中主要化学成分分析[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(7): 108-113.
- [12] 王亚萍, 姚小华, 丛玲美, 等. 不同条件对油茶籽油储藏稳定性的影响[J]. 中国油脂, 2011, 36(12): 50-53.
- [13] 郭咪咪, 王瑛瑶, 闫军, 等. 典型木本油料油脂的特性分析[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(2): 74-79.
- [14] Rossi M, Alamprese C, Ratti S. Tocopherols and tocotrienols as free radical-scavengers in refined vegetable oils and their stability during deep-fat frying[J]. Food Chemistry, 2007, 102: 812-817.
- [15] Wang S N, Sui X N, Wang Z J, et al. Improvement in thermal stability of soybean oil by blending with camellia oil during deep fat frying[J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2015, 118(4): 524-531.
- [16] Hamilton R J, Kalu C, Prisk E, et al. Chemistry of free radicals in lipids[J]. Food Chemistry, 1997, 60(2): 193-199.
- [17] Zeb A. Triacylglycerols composition, oxidation and oxidation compounds in camellia oil using liquid chromatography-mass spectrometry[J]. Chemistry & Physics of Lipids, 2012, 165(5): 608-614.
- [18] 张东, 张东生, 薛雅琳, 等. 油茶籽油及茶叶籽油特征组分分析与比较[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(12): 69-72.
- [19] 李志晓. 加工过程对油茶籽油微量营养成分和抗氧化性能的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
- [20] 寇巧花, 吴雪辉, 李丽, 等. 油茶籽壳粗提物的抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(3): 73-76.
- [21] Rossi M, Alamprese C, Ratti S. Tocopherols and tocotrienols as free radical-scavengers in refined vegetable oils and their stability during deep-fat frying[J]. Food Chemistry, 2007, 102(3): 812-817.
- [22] 刘玉兰, 王莹辉, 张振山, 等. 4种油脂煎炸过程中维生素E组分含量变化的研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(12): 48-52.
- [23] 佟云伟, 陈凤香, 杨波涛. 不同食用植物油氧化稳定性的研究[J]. 中国油脂, 2009, 34(2): 31-34.
- [24] Saldeen T, Li D, Mehta J L. Differential effects of  $\alpha$ - and  $\gamma$ -tocopherol on low-density lipoprotein oxidation, superoxide activity, platelet aggregation and arterial thrombogenesis[J]. J Am Coll Cardiol, 1999, 34: 1208-1215.
- [25] Lou-Bonafonate J M, Arnal C, Navarro M A, et al. Efficacy of bioactive compounds from extra virgin olive oil to modulate atherosclerosis development[J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2012, 56(7): 1043-1057.
- [26] 肖义坡, 张彬, 邓丹雯, 等. 油茶籽油不皂化物成分分析与分离[J]. 南昌大学学报(工科版), 2015, 37(1): 16-19.
- [27] 刘纯友, 马美湖, 靳国锋, 等. 角鲨烯及其生物活性研究进展[J]. 中国食品学报, 2015, 15(5): 147-156.
- [28] Assunta D M, Monica D, Day B W, et al. Oxidative stability of polyunsaturated fatty acids; effect of squalene[J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2002, 104(104): 506-512.
- [29] Naziri E, Miti M N, Tsimidou M Z. Contribution of tocopherols and squalene to the oxidative stability of cold-pressed pumpkin seed oil (Cucurbita pepo L.) [J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2015, 118(6): 898-905.
- [30] 雷茜茜. 角鲨烯的抗氧化活性及其脂质体制备研究[D]. 海口: 海南大学, 2013.
- [31] 刘存存, 方学智, 姚小华, 等. 油茶籽油精炼过程中主要营养成分的变化[J]. 中国油脂, 2011, 36(2): 36-39.
- [32] 赵雁武, 王宪伟, 黄滢璋, 等. 苹果籽油中植物甾醇抗氧化活性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(9): 221-226.
- [33] 黄滢璋, 赵雁武, 周振中. 植物甾醇对油脂的抗氧化作用研究[J]. 粮食科技与经济, 2012, 37(3): 38-40.
- [34] 郭咪咪, 王瑛瑶, 栾霞, 等. 植物甾醇的提取、生理功能及在食品中的应用综述[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(9): 2771-2775.
- [35] 罗凡, 费学谦, 方学智, 等. 固相萃取/高效液相色谱法测定茶油中的多种天然酚类物质[J]. 分析测试学报, 2011, 30(6): 696-700.
- [36] 刘芳, 赵正惠. 茶籽毛油中性抗氧化物质的研究[J]. 中国粮油学报, 2002, 17(3): 4-9.
- [37] 袁英姿, 曹清明, 钟海雁, 等. 油茶籽多酚对茶油的抗氧化性的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 103-105.
- [38] 周晴芬, 徐洲, 魏岚, 等. 4种油茶籽油中多酚类物质的抗氧化活性比较研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(1): 35-38.
- [39] 曾磊, 张玉军, 唐怀建. 脂溶性茶多酚的研制及其抗氧化性能研究[J]. 中国油脂, 2004, 29(11): 54-56.
- [40] 王洪新, 邵云天, 陈志华. 茶多酚对精炼茶籽油的抗氧化作用[J]. 中国油脂, 1994, 19(5): 36-38.
- [41] 邓妍君. 茶油氧化稳定性控制及其抗氧化成分研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2013.
- [42] 李志晓, 金青哲, 叶小飞, 等. 精炼过程中油茶籽油活性成分和抗氧化性的变化[J]. 中国油脂, 2015, 40(8): 1-5.
- [43] 聂明, 杨水平, 姚小华, 等. 不同加工方式对油茶籽油理化性质及营养成分的影响[J]. 林业科学研究, 2010, 23(2): 165-169.
- [44] 石晓丽. 油茶籽及油茶籽油贮藏过程中的品质变化研究[D]. 临安: 浙江农林大学, 2014.
- [45] 李志晓, 金青哲, 叶小飞, 等. 制油工艺对油茶籽油品质的影响[J]. 中国油脂, 2015, 40(4): 47-51.
- [46] 张智敏, 吴苏喜, 刘瑞兴. 制油工艺对油茶籽油营养品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 11(34): 268-272.
- [47] 张东生, 薛雅琳, 金青哲, 等. 精炼过程对油茶籽油品质影响的研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(9): 18-22.
- [48] 邓龙, 邓泽元, 胡蒋宁, 等. 油茶籽油加工过程中理化性质和营养品质的变化[J]. 食品科学, 2015, 36(23): 111-115.
- [49] 魏佳, 孙华, 陈小龙, 等. 全程低温精制工艺对油茶籽油主要活性成分的影响[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(10): 31-36. ㊟