

## 油茶籽油挥发性风味物质研究进展

刘 海,王 进,许 杰,郭少海,陈 瑶,朱亚艳,李 慧

(贵州省林业科学研究院,贵阳 550000)

**摘要:**风味是油茶籽油的重要品质特征之一,为揭示油茶籽油挥发性特征风味物质的产生规律和机制,对油茶籽油挥发性风味物质及其影响因素的国内外研究进展进行综述。油茶籽油中主要的挥发性风味物质包括醛类、酯类、杂环类、酚类及萜烯类等,这些物质赋予了油茶籽油特有的青香、果香、焙烤香等风味特征。影响油茶籽油挥发性风味物质组成的因素有原料品种、原料产地、生产工艺及储存等。不同品种和产地的油茶籽油挥发性风味物质种类和含量差异较大。油茶籽油加工过程中,预处理温度对挥发性风味物质的形成影响较大,如烘烤和焙炒过程中发生美拉德反应和脂质氧化反应形成多种杂环类挥发性风味物质,使油茶籽油的焙烤香味增加,形成浓香型油茶籽油。但精炼过程中的脱胶、脱酸、脱色、脱臭处理会造成大量的挥发性风味物质损失。储存过程中脂肪酸氧化会产生异味,从而改变油茶籽油的风味特征。采用合适的生产工艺对于油茶籽油风味品质的控制和提升具有重要意义。

**关键词:**油茶籽油;挥发性风味物质;风味

中图分类号:TS225.1;TS221 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)01-0042-06

### Review on volatile flavor components of oil – tea camellia seed oil

LIU Hai, WANG Jin, XU Jie, GUO Shaohai, CHEN Yao,

ZHU Yayan, LI Hui

(Guizhou Academy of Forestry, Guiyang 550000, China)

**Abstract:** Flavor is one of the important quality characteristics of oil – tea camellia seed oil. In order to reveal the production law and mechanism of the volatile characteristic flavor components of oil – tea camellia seed oil, the progress on volatile flavor components and affecting factors of oil – tea camellia seed oil at home and abroad were reviewed. Oil – tea camellia seed oil is endowed with flavor characteristics such as green fragrance, fruity, and roasted aroma by the main volatile flavor components (aldehydes, esters, heterocycles, phenols and terpenes, etc.). The factors affecting the volatile flavor components of oil – tea camellia seed oil included raw material variety, raw material origin, processing process and storage. The types and contents of volatile flavor components from different varieties and origins are great different. During the processing of oil – tea camellia seed oil, the pretreatment temperature has a great influence on the formation of volatile flavor components. For example, a variety of heterocyclic flavor components produced through Maillard reaction and lipid oxidation reaction during roasting and baking of material increase the roasting aroma of oil – tea camellia seed oil and produce strong – flavored oil – tea

camellia seed oil. However, the degumming, deacidification, decolorization and deodorization in the refining process will cause the loss of volatile flavor components. Oxidation of fatty acids during storage will lead to the production of unpleasant odors, thereby changing the flavor characteristics of oil – tea camellia seed oil. So proper processing process is important for the

收稿日期:2021-11-19;修回日期:2022-08-10

基金项目:贵州省科技平台项目(黔科合服企[2018]4003号,黔科合平台人才[2018]5252号);中央财政林业科技推广示范项目([2019]TG01号)

作者简介:刘 海(1988),男,工程师,硕士,研究方向为经济林加工与利用(E-mail)573390817@qq.com。

通信作者:王 进,正高级工程师(E-mail)gzlkywj@163.com;许 杰,正高级工程师(E-mail)404715698@qq.com。

flavor quality control and improvement of oil-tea camellia seed oil.

**Key words:** oil-tea camellia seed oil; volatile flavor component; flavor

油茶属山茶科山茶属植物,在我国有2300多年的栽培和利用历史,主要分布于南方地区,是我国特有的木本油料树种。我国油茶籽年产量已达300多万吨,与油橄榄、油棕、椰子并称为世界四大木本油料植物<sup>[1]</sup>。油茶籽油富含不饱和脂肪酸,特别是油酸和亚油酸,其含量高达80%,有的甚至达到90%以上<sup>[2-3]</sup>,其脂肪酸组成与橄榄油相似,有“东方橄榄油”的美称<sup>[4]</sup>。油茶籽油不仅含有高含量的不饱和脂肪酸,还含有多种功能活性成分,如维生素E、角鲨烯、多酚、植物甾醇、黄酮、山茶苷等<sup>[5]</sup>,具有抗病毒、抗氧化、抗肿瘤、抗炎、抗菌及提高机体免疫力的功能<sup>[6-10]</sup>,长期食用有明显的降血压、降血脂、降胆固醇等功效,可有效预防动脉硬化和心脑血管疾病<sup>[11-13]</sup>,是一种重要的高端保健食用油<sup>[14]</sup>。

挥发性风味物质是植物油的重要组成部分,对植物油整体风味起着决定性作用。植物油中的挥发性风味物质主要有醛类、醇类、酮类、酸类、酯类、吡嗪类、吡咯类、呋喃类等,不同植物油的挥发性风味物质在种类、含量和感官阈值方面的差异,以及它们之间的累加、协同、抑制等作用,使植物油呈现出千差万别的风味特征,同时客观反映出不同植物油的品质特征<sup>[15-16]</sup>。与其他植物油相比,油茶籽油具有细腻独特的风味特征,不仅可以给消费者带来愉悦的感官体验,也可以进一步与其他食品风味成分发挥协同作用,改善食品风味品质。本文对油茶籽油挥发性风味物质的国内外进展进行综述,分析油茶籽油挥发性风味物质组成及其影响因素,旨在为油茶籽油的加工与利用提供研究方向。

## 1 油茶籽油的风味物质

### 1.1 醛类化合物

在油茶籽油的风味化合物中,醛类化合物种类最多,且相对含量最高,是油茶籽油的主要挥发性风味成分。油茶籽油中的醛类化合物主要为C<sub>5</sub>~C<sub>10</sub>醛,大部分来源于脂肪酸的氧化降解,这些醛类物质为油茶籽油提供青香、果香、花香、脂香以及坚果香等(详见表1)<sup>[17-23]</sup>。己醛、壬醛、辛醛是油酸和亚油酸氧化降解后典型的挥发性产物,在油茶籽油挥发性成分中含量较高,是其主体风味物质<sup>[19, 22]</sup>。己醛具有强烈的青草味,壬醛风味特征为脂香和柑橘味,辛醛表现为香草味和柑橘味,使油茶籽油呈现出

青香与果香的整体风味特征<sup>[19, 21]</sup>。此外,油茶籽油中庚醛、癸醛、(E)-2-辛烯醛、(E)-2-癸烯醛、(E)-2-庚烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛的相对气味活度值(ROAV)均大于1,是油茶籽油中的关键风味物质,赋予了油茶籽油青香、坚果香、果香以及脂香,对油茶籽油的整体风味具有重要贡献<sup>[19, 21, 23]</sup>。苯甲醛和苯乙醛是芳香族氨基酸(苯丙氨酸)的Strecker降解产物,在烘烤预处理后制取的油茶籽油中含量较高<sup>[24]</sup>。苯甲醛的气味阈值较高,对油茶籽油整体风味贡献不大,而苯乙醛ROAV较高,是油茶籽油花香、果香及蜂蜜香的重要来源<sup>[19]</sup>。糠醛具有烤面包味、扁桃仁味和甜香味<sup>[21]</sup>,在预热处理制取的油茶籽油中相对含量较高,特别是微波处理和炒制处理后制取的油茶籽油,糠醛相对含量可达10%以上,使油茶籽油的焙烤风味加强,是浓香型油茶籽油的重要风味物质之一<sup>[18]</sup>。

表1 油茶籽油中常见醛类化合物及风味描述

化合物	风味描述
己醛	强烈的青草味、青香、果香
壬醛	柑橘味、脂香、蜡香、花香
辛醛	香草味、柑橘味及油脂味
庚醛	浓郁的果香、甜香味、坚果香
(E)-2-辛烯醛	脂香、青香、花香、坚果香及蜂蜜香
(E)-2-癸烯醛	脂香、青香
(E,E)-2,4-癸二烯醛	脂香、青香、蜡香、油炸香味
(E,E)-2,4-庚二烯醛	坚果味、脂香
(E,E)-2,4-壬二烯醛	脂香、青香、花香、蜡香
(E)-2-庚烯醛	青草香、青香、花香、脂香
癸醛	蜡香、柑橘味
(E)-2-己烯醛	青香、苹果味
戊醛	杏仁味、麦芽香、辛辣味
苯乙醛	花香、杏香、辛香、可可香、樱桃香、蜂蜜香
糠醛	烤面包味、扁桃仁味、甜香味
苯甲醛	苦杏仁味、樱桃味及坚果味

### 1.2 酯类化合物

酯类化合物对油茶籽油的风味具有重要贡献。Jia等<sup>[21]</sup>通过风味重组试验、风味缺失试验与感官评价三角检测法对油茶籽油关键风味物质进行分析发现,酯类化合物是油茶籽油的重要风味特征物质。

酯类化合物具有甜香味、果香、草本和蜂蜜香的气味特征,是油茶籽油果香风味的主要来源<sup>[25]</sup>。Cao等<sup>[25]</sup>发现2-甲基丁酸乙酯是油茶籽油中主要的水果风味物质;李梓铭等<sup>[23]</sup>对不同加工方式油茶籽油挥发性风味成分进行分析发现,甲酸辛酯在油茶籽油中的ROAV大于1,是油茶籽油关键风味物质,赋予油茶籽油香橙味、果香风味。此外,内酯也是油茶籽油果味的主要来源之一,油茶籽油中的内酯主要为 $\gamma$ -丁内酯、 $\gamma$ -己内酯、 $\gamma$ -辛内酯以及 $\gamma$ -壬内酯等。 $\gamma$ -丁内酯呈现焦糖味和香甜味, $\gamma$ -己内酯表现为香豆素的风味特征<sup>[21]</sup>,而 $\gamma$ -辛内酯和 $\gamma$ -壬内酯赋予油茶籽油椰子香味<sup>[26]</sup>。

另外,He等<sup>[18]</sup>在原料未经预热处理的油茶籽油中检测到乙酸苯乙酯,其是油茶籽油的关键风味物质,呈现玫瑰花香。龙奇志<sup>[27]</sup>发现油茶籽油中乙酸乙酯含量较高,对油茶籽油的风味影响较大。

### 1.3 杂环类化合物

油茶籽油中的杂环类化合物包括吡嗪、呋喃、吡咯和吡啶等,主要为原料预热过程中美拉德反应和Strecker降解的产物<sup>[28]</sup>,大多数杂环类化合物的气味阈值较低,对油茶籽油的整体风味影响较大,是浓香型油茶籽油的主要风味物质<sup>[29]</sup>。冷榨油茶籽油中的杂环化合物含量较低,2-戊基呋喃作为油酸和亚油酸的氧化裂解产物常在冷榨油茶籽油中被检出<sup>[30]</sup>,该物质具有豆香、果香、泥土、青香及类似蔬菜香气,是冷榨油茶籽油的关键风味物质<sup>[19, 23]</sup>。呋喃醇具有甜味和焦糖味,是热榨油茶籽油中主要的风味物质之一<sup>[18]</sup>。吡嗪类化合物具有强烈的烘烤味和坚果味,对油茶籽油的烤香味具有重要的影响<sup>[31]</sup>。炒制或烘焙预处理后制取的油茶籽油中2,5-二甲基吡嗪、2-乙基-3-甲基吡嗪、3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、2-甲基吡嗪、2,3-二乙基-5-甲基吡嗪的含量较高,其中,3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、2,5-二甲基吡嗪、2,3-二乙基-5-甲基吡嗪的ROAV均较高,是烘烤或炒制后制取的油茶籽油的关键风味成分<sup>[18, 32]</sup>。

### 1.4 其他风味化合物

油茶籽油中还含有酮类、醇类、萜烯类、酚类等风味物质。酮类和醇类风味化合物主要由脂肪酸降解产生。2-壬酮和2-庚酮是油茶籽油中常检出的酮类风味化合物,2-壬酮具有果香、甜香、蜡香、皂香、青香、椰子香气及奶油香气,2-庚酮具有香蕉、奶酪香气及轻微的药香。在油茶籽油中,2-壬酮的ROAV大于1,对风味贡献较大,2-庚酮的

ROAV较小,但对总体气味有重要的修饰作用<sup>[19]</sup>。醇类化合物包括己醇、庚醇、辛醇、苯乙醇、2-环己烯-1-醇、雪松醇等<sup>[24]</sup>,通常具有植物的芳香气味,气味阈值较高。油茶籽油中的庚醇、苯乙醇、1-辛烯-3-醇的ROAV均大于1,庚醇具有新鲜、轻淡的油脂气味,并带有酒香,有辛辣味<sup>[19]</sup>,苯乙醇具有玫瑰、香草和蜂蜜味,对油茶籽油风味均具有重要的修饰作用<sup>[18]</sup>。油茶籽油中的萜烯类风味化合物包括柠檬烯、 $\alpha$ -蒎烯、1-*p*-薄荷烯和 $\gamma$ -萜品烯等<sup>[24, 27]</sup>。柠檬烯是油茶籽油中最常见的萜烯类化合物,具有柑橘、甜橙和柠檬特征香气,可能源于油茶籽油中的甾醇或角鲨烯及其氧化产物的重排,对油茶籽油风味具有重要贡献<sup>[25]</sup>。苯乙烯也是常被检出的风味物质之一,对油茶籽油风味具有修饰作用<sup>[23]</sup>。酚类化合物有2-甲氧基-4-乙炔基苯酚、2-甲氧基-6-(丙炔基)-苯酚、2-甲氧基苯酚、麦芽酚、愈创木酚等<sup>[21, 24, 33]</sup>,其中愈创木酚的ROAV大于1,表现为辛香、药香、木香、肉香和烟熏味<sup>[19]</sup>,2-甲氧基苯酚表现为甜味、药味及烟熏味,这两种物质对油茶籽油的香气特征也具有重要的贡献<sup>[21]</sup>。

## 2 油茶籽油风味物质的影响因素

### 2.1 原料品种

原料品种对油脂的风味影响很大。在相同的环境和栽培条件下,不同品种油茶籽的营养成分和含量存在差异,导致在同样的工艺条件下制取的油茶籽油营养成分和含量不同,从而影响制油过程中美拉德反应及油脂氧化程度,最终造成油茶籽油挥发性风味物质的差异,形成不同的风味特征。Cao等<sup>[25]</sup>研究了5个不同品种(长林21号、27号、18号、55号和3号)油茶籽油的风味物质,结果发现,不同品种油茶籽油风味物质的种类和含量均存在差异,其中长林18号检出35种风味物质,而长林27号仅检出17种风味物质,5个品种的油茶籽油挥发性物质总量在765~6124  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 范围内,风味物质含量相差较大。

### 2.2 原料产地

原料产地也是影响油茶籽油风味物质的因素之一。原料产地对油茶籽油风味的影响主要源于产地的气候、海拔、环境以及土壤等因素,这些因素导致油茶籽中风味物质或风味前体物质的形成存在差异,最终影响油茶籽油风味物质的种类和含量<sup>[34]</sup>。冯棋琴等<sup>[35]</sup>对海南、湖南、江西、广西4个产地的压榨油茶籽油风味物质进行鉴定,分别鉴定出57、47、58、56种挥发性风味物质,共有的挥发性成分只有

20种,其中湖南、江西、广西油茶籽油中含量最高的挥发性成分均为正己醛,而海南油茶籽油中含量最高的为壬醛,且庚醛、1-辛烯-3-醇、正辛醛、2-正戊基呋喃、1-庚醇含量明显高于湖南、江西、广西的,海南油茶籽油的主要挥发性风味成分含量与湖南、江西、广西油茶籽油的差别较大。Liu等<sup>[26]</sup>对8个主产区的油茶籽油风味物质进行分析也发现不同产地的油茶籽油风味物质组成和含量存在明显的差异,具有不同的风味特征。

### 2.3 生产工艺

#### 2.3.1 预处理

植物油生产过程中,原料预处理可以影响植物油的风味和品质,如焙烤可以增加油料中的O-杂环化合物和N-杂环化合物的占比,使制取的油脂烤香味得到增强和改善<sup>[36]</sup>。油茶籽油生产过程中,油茶籽预处理包括焙烤、炒制、汽蒸等,不同的预处理方式会产生不同的风味特征。He等<sup>[18]</sup>研究发现,未经预热处理直接压榨的油茶籽油风味物质以烃类化合物为主,焙烤和汽蒸处理的以醛类和醇类化合物为主,而微波和炒制处理的以醛类和杂环类化合物为主,而且不同预处理得到的油茶籽油关键风味物质区别较大,未经预处理的油茶籽油关键风味物质为己醛、壬醛、苯乙醛、苯乙醇和乙酸苯乙酯,呈现出天然青草香气,微波和炒制处理的油茶籽油中检出浓度较高的吡嗪类化合物,呈现较多的焙烤风味,焙烤和汽蒸处理的则呈现较多的脂香味。采用蒸汽爆破技术对油茶籽进行预处理后,可使所提油脂产生对二甲苯、1,3-二甲基苯、酯和呋喃等微量挥发性化合物,赋予油茶籽油坚果味和焦糖味<sup>[37]</sup>。

预处理过程中风味物质的产生与处理温度密切相关。朱晓阳等<sup>[32]</sup>对油茶籽进行炒制后压榨制油,分析油茶籽油的关键香气成分,结果表明:随着炒籽温度的升高,油茶籽油中的吡嗪类风味物质相对含量呈现出先增后降的趋势,在炒籽温度达到120℃时达到了最大值;呋喃类风味物质相对含量呈上升趋势,在180℃时达到了50.20%;随着炒籽温度的升高,油茶籽油的烤香味越来越浓,而清香味则逐渐减淡。此外,预处理时间也是影响油茶籽油风味物质的重要因素之一。吴苏喜等<sup>[38]</sup>研究发现,随着预处理时间的延长,压榨油茶籽油会产生大量的糠醛及其衍生物(5-甲基糠醛、5-羟甲基糠醛和2-呋喃甲醇),形成特殊刺激性气味或特殊苦辣气味。He等<sup>[39]</sup>考察微波处理对油茶籽油风味的影响,结果发现,微波处理时间对油茶籽油风味物质的影响

较大,微波0~3 min,油茶籽油挥发性风味物质主要为醇类和酯类化合物,微波4~6 min则主要是杂环类和醛类化合物。

#### 2.3.2 提取

油脂的挥发性风味特征与提取方式密切相关,不同的提取方式对油脂风味物质有较大的影响<sup>[40]</sup>。油茶籽油提取方式有压榨法、浸提法、酶解法等,不同提取方式不仅影响油茶籽油的活性物质,还影响其风味成分。韩小苗等<sup>[41]</sup>比较了热榨法、冷榨法、浸出法、水代法、超临界CO<sub>2</sub>流体萃取5种提取方式所提油茶籽油的风味差异,发现冷榨法和水代法可以较大程度保留油茶籽油原有香味成分,而超临界CO<sub>2</sub>流体萃取的油茶籽油挥发性成分中杂环类化合物含量较高,热榨油茶籽油挥发性风味成分种类较多,浸出油茶籽油挥发性风味成分种类较少,风味较淡。

李梓铭等<sup>[23]</sup>研究表明,压榨油茶籽油中挥发性物质总数最多,达到75种,而溶剂浸提油茶籽油的挥发性物质总数只有49种;压榨油中检测出相对含量较高的前3种挥发性成分是辛醛、壬醛和己醛,而溶剂浸提油的则是壬醛、辛醛和(E)-2-癸烯醛;压榨油以脂香味为主,辅以青草香、香橙味,而溶剂浸提油则缺乏青草香味,香橙味也不太明显,气味较少,缺乏诱人的组合香气。林琅<sup>[24]</sup>对冷榨、热榨和浸提油茶籽油的挥发性成分进行分析发现,油茶籽油的整体香气由强到弱依次是热榨油、冷榨油、浸提油。况小玲等<sup>[22]</sup>研究了液压法、螺旋压榨法和浸出法3种提取方式所提油茶籽油的风味物质,发现壬醛、辛醛、己醛是油茶籽油中主要风味成分,其中螺旋压榨油风味更加丰富,可能与螺旋压榨前炒制处理有关。在压榨制油过程中,温度高低可使油茶籽油的风味物质存在显著差异。此外,油茶籽的水分含量与含壳率也会对油茶籽油的风味物质造成影响<sup>[42]</sup>。

#### 2.3.3 精炼

油茶籽油在生产过程中一般需要进行脱胶、脱酸、脱色、脱臭等一系列精炼工序,去除油脂中的胶体、杂色及异味等,此过程会对油茶籽油的风味物质造成影响。经过脱胶、脱酸、脱色和脱臭等工艺后,油茶籽油的风味物质总量会大幅减少。脱色过程中,白土除了吸附色素之外,部分极性醛、醇、酸都会被吸附;脱臭过程中,伴随着高温和高真空,低分子的醛、酮、酸被蒸馏出来,从而导致醇类、酸类、酮类风味物质减少。此外,在油茶籽油的精炼过程中会产生新的挥发性物质,如月桂烯、1,5-庚二烯-3,4-

二醇、 $\epsilon$ -己内酯、松油烯和2-氨基辛酸等<sup>[43]</sup>,酯类化合物在精炼后也会大幅增加<sup>[20]</sup>。

#### 2.4 储存

油脂在储存过程中受到氧气、温度、水分、光照等因素影响,极易发生自动氧化,产生异味<sup>[44]</sup>。油脂的自动氧化为链式反应,初级氧化过程会产生氢过氧化物,并进一步发生分解产生带有异味的小分子物质如醛、酮、酸等挥发性化合物,形成特殊的刺激性气味,严重影响油脂的风味<sup>[45]</sup>。Cao等<sup>[46]</sup>将油茶籽油在65℃条件下隔绝空气储存,分析其中羰基化合物的变化,结果发现,在储存35d后,油茶籽油中共检测出20种羰基化合物,为乙醛、2-丙烯醛、丙酮等小分子醛、酮类化合物,其中己醛、2-己酮、壬烯醛、2-壬烯醛、辛醛的含量明显增加,而其余的羰基化合物为储存期间产生。

#### 3 结束语

油茶籽油的挥发性风味物质主要为醛类、酯类、杂环类化合物等,这些物质赋予油茶籽油青草香、果香、坚果香、烤香等风味特征。原料的品种、产地及油茶籽油的生产工艺、储存均会造成油茶籽油的风味差异,实际生产中可通过改变生产工艺生产不同市场需求的油茶籽油产品。另外,经过脱胶、脱酸、脱色、脱臭等精炼工艺后,油茶籽油的风味物质损失较为严重,应采取适度精炼工艺,不仅可以减少风味物质的损失,也能延长油茶籽油的保质期。

目前国内外的研究主要集中于油茶籽油风味物质的鉴定以及加工方式对风味物质的影响等方面,缺乏油茶籽油香味形成机制及增香工艺研究。在今后的研究中,需要对油茶籽油特征风味物质的产生规律、精确控制及增香技术进行深入探索,以生产出符合市场需求的特定风味油茶籽油,从而促进油茶产业健康、快速发展。

#### 参考文献:

[1] LIANG H, HAO B Q, CHEN G C, et al. Camellia as an oilseed crop[J]. Hortscience, 2017,52(4):488-497.

[2] WEI Z, YASUSHI E. Lipid characteristics of camellia seed oil[J]. J Oleo Sci, 2019,68(7):649-658.

[3] 郭丽, 赵锋, 吕海鹏, 等. 市售山茶油的脂肪酸组成及含量分析[J]. 食品工业, 2020,41(5):333-336.

[4] ZHU G, LIU H, XIE Y, et al. Postharvest processing and storage methods for *Camellia oleifera* seeds[J]. Food Rev Int, 2020,36(1/2/3/4):319-339.

[5] LUAN F, ZENG J, YANG Y, et al. Recent advances in *Camellia oleifera* Abel: a review of nutritional constituents, biofunctional properties, and potential industrial applications[J/OL]. J Funct Foods, 2020,75(9):104242

[2021-11-18]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104242>.

[6] MONTERRAT-DE LA PAZ S, FERNÁNDEZ-ARCHE M A, BERMÚDEZ B, et al. The sterols isolated from evening primrose oil inhibit human colon adenocarcinoma cell proliferation and induce cell cycle arrest through upregulation of LXR[J]. J Funct Foods, 2015,12:64-69.

[7] WANG X, ZENG Q, DEL MAR CONTRERAS M, et al. Profiling and quantification of phenolic compounds in camellia seed oils: natural tea polyphenols in vegetable oil[J]. Food Res Int, 2017,102:184-194.

[8] DU L C, WU B L, CHEN J M. Flavonoid triglycosides from the seeds of *Camellia oleifera* Abel[J]. Chin Chem Lett, 2008,19(11):1315-1318.

[9] LEE W T, TUNG Y T, WU C C, et al. Camellia oil (*Camellia oleifera* Abel.) modifies the composition of gut microbiota and alleviates acetic acid-induced colitis in rats[J]. J Agric Food Chem, 2018,66(28):7384-7392.

[10] FEASÁ X, ESTEVINHO L M, SALINERO C, et al. Triacylglyceride, antioxidant and antimicrobial features of virgin *Camellia oleifera*, *C. reticulata* and *C. sasanqua* oils[J]. Molecules, 2013,18(4):4573-4587.

[11] GUO L, GUO Y, WU P, et al. Camellia oil lowering blood pressure in spontaneously hypertension rats[J/OL]. J Funct Foods, 2020,70:103915 [2021-11-18]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103915>.

[12] CHOU T Y, LU Y F, INBARAJ B S, et al. Camellia oil and soybean-camellia oil blend enhance antioxidant activity and cardiovascular protection in hamsters[J]. Nutrition, 2018,51/52:86-94.

[13] LEE C P, SHIH P H, HSU C L, et al. Hepatoprotection of tea seed oil (*Camellia oleifera* Abel.) against CCl<sub>4</sub>-induced oxidative damage in rats[J]. Food Chem Toxicol, 2007,45(6):888-895.

[14] SHI T, WU G, JIN Q, et al. Camellia oil authentication: a comparative analysis and recent analytical techniques developed for its assessment. A review[J]. Trends Food Sci Technol, 2020,97:88-99.

[15] ANGEROSA F. Influence of volatile compounds on virgin olive oil quality evaluated by analytical approaches and sensor panels[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2002,104(9/10):639-660.

[16] 陈通. 基于GC-IMS技术的植物油品质分析方法研究[D]. 江苏镇江:江苏大学, 2020.

[17] 喻晴, 王远兴. SPME-GC-MS结合化学计量学方法分析4种植物油挥发性成分[J]. 南昌大学学报(理科版), 2019,43(3):231-240.

[18] HE J, WU X, ZHOU Y, et al. Effects of different preheat treatments on volatile compounds of camellia (*Camellia*

- oleifera* Abel.) seed oil and formation mechanism of key aroma compounds [J/OL]. *J Food Biochem*, 2021, 45(3):13649[2021-11-19]. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13649>.
- [19] 夏欣. 茶油特征香气成分和营养物质组成研究[D]. 南昌:南昌大学, 2015.
- [20] 李梓铭, 李玉平, 余佳荣, 等. 精炼过程对茶籽油脂肪酸与挥发性物质的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(8):34-38.
- [21] JIA X, DENG Q, YANG Y, et al. Unraveling of the aroma-active compounds in virgin camellia oil (*Camellia oleifera* Abel) using gas chromatography - mass spectrometry - olfactometry, aroma recombination, and omission studies[J]. *J Agric Food Chem*, 2021, 69(32):9043-9055.
- [22] 况小玲, 徐俐, 张红梅. 不同加工工艺对油茶籽油风味物质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(6):89-93.
- [23] 李梓铭, 庾庐山, 黄军, 等. 不同加工方式茶籽油挥发性风味成分聚类分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(17):276-279.
- [24] 林琅. 不同来源油茶籽油香气品质分析研究[D]. 上海:上海应用技术大学, 2016.
- [25] CAO W, LIN L, NIU Y, et al. Characterization of aroma volatiles in camellia seed oils (*Camellia oleifera* Abel.) by HS-SPME/GC/MS and electronic nose combined with multivariate analysis[J]. *Food Sci Technol Res*, 2016, 22(4):497-505.
- [26] LIU G, XU S, WANG X, et al. Analysis of the volatile components of tea seed oil (*Camellia sinensis* O. Ktze) from China using HS-SPME-GC/MS[J]. *Int J Food Sci Technol*, 2016, 51(12):2591-2602.
- [27] 龙奇志. 油茶籽油品质及其变化规律研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2012.
- [28] ZHANG W C, WANG R, YUAN Y H, et al. Changes in volatiles of palm kernel oil before and after kernel roasting[J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2016, 73:432-441.
- [29] 郭少海, 刘瑞新, 罗凡, 等. 浓香油茶籽油加工工艺的研究[J]. *中国油脂*, 2015, 40(7):1-5.
- [30] 袁桃静, 赵笑颖, 庞一扬, 等. 基于电子鼻、HS-GC-IMS和HS-SPME-GC-MS对5种食用植物油挥发性风味成分分析[J]. *中国油脂*, 2020, 45(9):102-111.
- [31] 刘云花, 杨颖, 胡晖, 等. 花生油风味物质解析及风味增强研究进展[J]. *中国油脂*, 2017, 42(3):30-34.
- [32] 朱晓阳, 龙奇志, 钟海雁. 炒籽温度对茶油关键香气成分及感官品质的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(5):48-54.
- [33] 姚佳宁, 王道平, 潘卫东, 等. SPME-GCMS对黔产茶油香气成分的分析[J]. *粮油食品科技*, 2014, 22(2):64-66.
- [34] ZHENG X, ZHENG L, YANG Y, et al. Analysis of the volatile organic components of *Camellia oleifera* Abel. oil from China using headspace - gas chromatography - ion mobility spectrometry [J/OL]. *J Food Process Pres*, 2021, 45(9):15670[2021-11-19]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15670>.
- [35] 冯棋琴, 马玉琼, 吴满梅, 等. 不同产地压榨山茶油挥发性风味成分顶空取样 GC-MS 分析[J]. *中国油脂*, 2018, 43(2):138-141.
- [36] 刘春梅, 刘玉兰, 马宇翔, 等. 油菜籽炒籽温度对其油脂风味及综合品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(3):67-74.
- [37] ZHANG S, PAN Y G, ZHANG L, et al. Application of steam explosion in oil extraction of camellia seed (*Camellia oleifera* Abel.) and evaluation of its physicochemical properties, fatty acid, and antioxidant activities[J]. *Food Sci Nutr*, 2019, 7(3):1004-1016.
- [38] 吴苏喜, 黄艳慧, 吴优, 等. 不同热处理压榨油茶籽油的风味差异研究[J]. *中国油脂*, 2020, 45(11):14-20.
- [39] HE J, WU X, YU Z. Microwave pretreatment of camellia (*Camellia oleifera* Abel.) seeds: effect on oil flavor[J]. *Food Chem*, 2021, 364:130388 [2021-11-19]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130388>.
- [40] MORENO A O, DORANTES L, GALÍNDEZ J, et al. Effect of different extraction methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana* Mill.) oil [J]. *J Agric Food Chem*, 2003, 51(8):2216-2221.
- [41] 韩小苗, 吴苏喜, 吴美芳, 等. 不同工艺制取的茶籽油挥发性风味成分分析[J]. *中国油脂*, 2018, 43(1):39-42.
- [42] 罗凡, 郭少海, 费学谦, 等. 压榨条件对油茶籽毛油挥发性成分及品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(4):61-66.
- [43] LONG Q, HUANG Y, ZHONG H. The quality and volatile-profile changes of camellia oil (*Camellia oleifera* Abel) following bleaching[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2008, 110(8):768-775.
- [44] 徐立荣. 食用油贮藏过程自动氧化变化规律研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学, 2017.
- [45] VILLIÈRE A, ROUSSEAU F, BROSSARD C, et al. Sensory evaluation of the odour of a sunflower oil emulsion throughout oxidation[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2007, 109(1):38-48.
- [46] CAO J, DENG L, ZHU X, et al. Novel approach to evaluate the oxidation state of vegetable oils using characteristic oxidation indicators [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(52):12545-12552.