DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250930005
引用格式: 陈玮玲, 黄小芳, 黄悦, 等. 油茶籽油活性成分影响因素及掺伪鉴别研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(5): 11–20.
CHEN WL, HUANG XF, HUANG Y, *et al*. Research progress on influencing factors and adulteration identification of active components in *Camellia oleifera* seed oil [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(5): 11–20. (in Chinese with English abstract).

油茶籽油活性成分影响因素及掺伪鉴别研究进展

陈玮玲, 黄小芳, 黄　悦, 曾伟鹏, 李　飞, 欧阳毅, 王　玫*

(赣州市综合检验检测院, 赣州　341000)

摘　要: 油茶籽油富含多种生物活性成分, 其营养价值与健康功效受到消费者广泛认可。然而, 其活性成分的含量与组成受多种因素的影响, 加之市场价格较高, 掺假问题频繁, 制约了产业的高质量发展。本文系统梳理了油茶籽油中生育酚、角鲨烯、植物甾醇、多酚、茶皂素等主要活性成分的最新研究进展, 重点分析了品种与产地、预处理工艺、提取工艺、精炼工艺、贮藏方式等因素对其活性成分的影响。同时, 对油茶籽油掺伪形式及鉴别技术的相关研究进行了探讨, 并对未来的研究方向进行了展望, 以期为油茶籽油质量控制与真伪鉴别提供理论参考和技术支撑。

关键词: 油茶籽油; 活性成分; 影响因素; 掺伪形式; 鉴别技术

Research progress on influencing factors and adulteration identification of active components in *Camellia oleifera* seed oil

CHEN Wei-Ling, HUANG Xiao-Fang, HUANG Yue, ZENG Wei-Peng, LI Fei, OUYANG Yi, WANG Mei*

(*Ganzhou General Inspection and Testing Institute*, *Ganzhou* 341000, *China*)

ABSTRACT: *Camellia oleifera* seed oil is rich in various bioactive components, and its nutritional value and health efficacy are widely recognized by consumers. However, the content and composition of its active ingredients are influenced by many factors, and the high market price and frequent adulteration problems restrict the high-quality development of the industry. This paper systematically reviewed the latest research progress of main active components such as tocopherol, squalene, phytosterol, polyphenols and tea saponin in *Camellia oleifera* seed oil, and emphatically analyzed the effects of varieties and producing areas, pretreatment technology, extraction technology, refining technology and storage methods on its active components. At the same time, this paper discussed the related research on adulteration form and identification technology of *Camellia oleifera* seed oil, and prospected the future research direction in order to provide theoretical reference and technical support for quality control and authenticity identification of *Camellia oleifera* seed oil.

KEY WORDS: *Camellia oleifera* seed oil; active components; influencing factors; adulterated form; identification technology

收稿日期: 2025-09-30
基金项目: 江西省市场监督管理局科技项目(GSJK202309, GSJK202411); 赣州市综合检验检测院开放基金课题项目(GZSZJYKF-202206)
第一作者: 陈玮玲(1992—), 女, 工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: 373059941@qq.com
***通信作者:** 王玫(1984—), 女, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为食品安全与检测。E-mail: wangmei84@163.com

0 引 言

油茶，又称山茶，属于山茶科山茶属木本油料植物，广泛分布于中国、印度、日本和东南亚地区，是一种天然的高级油料作物[1−2]。油茶籽油，亦称山茶油，是从油茶树成熟种子中提取得到的天然保健油脂，富含生育酚、植物甾醇、角鲨烯、茶皂素、多酚等多种生物活性成分，具有抗炎、抗菌、抗氧化和抗癌等传统功效，被广泛用于轻度烧伤与烫伤的皮肤修复，并显示出具有预防阿尔茨海默病和糖尿病的潜力，素有“东方橄榄油”之美誉[3−5]。

近年来，在国家政策支持与健康消费趋势的双重推动下，油茶籽油产业实现了快速发展。截止 2025 年，全国油茶种植面积已突破 7500 万亩，茶油产量达 110 万吨，产业经营主体约 247 万个，加工企业超过 2200 家[6]。此外，随着全民健康意识的增强，我国高端食用油市场规模已超过 850 亿元，其中油茶籽油约占 18%。同时，油茶籽油的应用场景在不断拓展，从传统食用油向保健品、护肤品等领域延伸，推动产业链持续升级[7]。然而，当前行业仍面临品质参差不齐和产品真伪难辨两大核心问题，不仅影响消费者的信任度，也制约了产业规模与效益的有效提升。值得注意的是，活性成分是决定油茶籽油营养功能与品质稳定性的关键指标，其含量受品种、产地环境、加工工艺及储运条件等多重因素的影响。因此，系统探究并厘清这些因素对活性成分的作用机制，对于从源头提升产品质量、推动标准化生产、保护区域特色品牌及促进产业升级，具有重要的理论价值与现实意义。

此外，油茶籽油在原料来源与加工工艺上的多样性，在赋予产品独特风味与价值的同时，也为鉴别和监管带来了挑战。部分不法商家利用其市场售价较高的特点，将大豆油、菜籽油、玉米油等廉价油脂掺入油茶籽油中，或以热榨、浸出工艺生产的油冒充冷压榨油茶籽油，甚至通过添加香精、色素等人工添加剂模拟其特有风味与色泽，严重损害消费者权益并破坏行业信誉[8−9]。因此，开发快速、准确、可靠的掺伪鉴别技术已成为保障产业健康发展的迫切需求。

本文系统综述了近年来国内外关于油茶籽油主要活性成分、其关键影响因素及掺伪鉴别技术的最新研究进展，对比分析各类鉴别方法的优缺点及适用场景，以期为油茶籽油的质量控制、标准制订、产业升级及未来研究方向提供理论参考和技术支撑。

1 活性成分

油茶籽油富含生育酚、植物甾醇、角鲨烯、茶皂素、多酚等活性成分，使其具有抗氧化、抗炎、预防心脑血管疾病、改善皮肤问题等多种健康功效，因而享有“长寿油”的美誉。然而，活性成分的含量与组成是决定产品质量的关键因素之一，不同来源的油茶籽油在活性成分的种类与含量上存在显著差异，这一特性也为筛选优良油茶品种提供了重要的参考依据。通常而言，油茶籽油中的生物活性成分含量越高，其整体品质也越出色。

1.1 生育酚

生育酚是一类由 6-羟基苯并二氢吡喃环和 16 个碳的植醇侧链组成的脂溶性维生素，具有抗氧化、抗肿瘤和免疫调节等功能。根据苯环上甲基取代位置和数量的差异，可将其划分为 α、β、γ 和 δ4 种类型。生育酚作为油茶籽油中天然抗氧化成分与功能性营养物质，在维持油脂氧化稳定性及促进人体健康方面发挥着重要作用。研究表明，油茶籽油中所含生育酚主要是 α-生育酚、γ-生育酚及 δ-生育酚，含量范围分别为 157~771、9.4~59.0 及 0.27~28.00 mg/kg。值得注意的是，不同品种油茶籽油生育酚含量存在明显差别，这反映出产地的自然生态环境对其构成与含量产生了深刻影响[10−11]。另有研究发现，α-生育酚是油茶籽油中最主要的组分，占总生育酚含量的 98%，尽管不同来源的油茶籽油在生育酚总含量上表现出显著的地域性差异，但范围可达 112.35~338.74 mg/kg，且各组分间的构成比例展现出高度一致性[12]。

1.2 角鲨烯

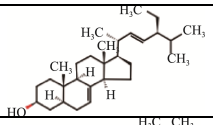
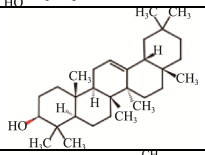
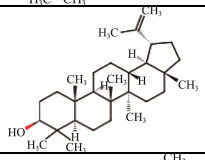
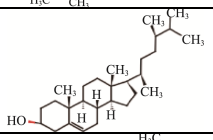
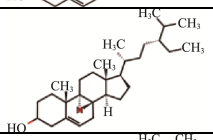
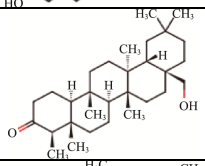
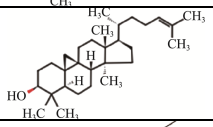
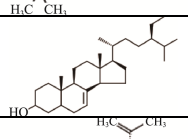
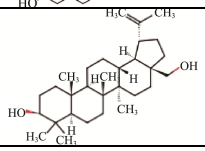
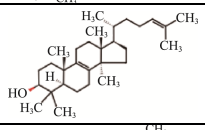
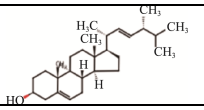
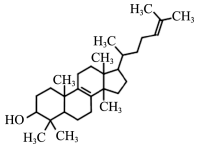
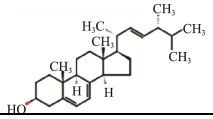
角鲨烯是一种富氧能力很强的三帖类化合物，具有促细胞再生、缓解机体缺氧和抗疲劳功效，在一定程度上有助于增强人体免疫功能[13]。角鲨烯作为油茶籽油中一类含量较为丰富且具有较高经济价值的活性成分，对加工工艺的温度较为敏感，低温处理是保持其生物活性的关键，可有效减少其在生产过程中的降解与损失。研究表明，不同产地油茶籽油中角鲨烯的含量存在较为明显的差异。对来自安徽黄山、江西赣州、广西柳州、湖南郴州、湖南怀化及福建三明等地的油茶籽油样品进行角鲨烯含量检测，结果显示其范围为 122.02~248.24 mg/kg，其中安徽黄山产的油茶籽油角鲨烯含量达到最高[14]。此外，不同品种间角鲨烯含量亦有显著差异。研究发现，对不同品种油茶籽油角鲨烯含量进行检测，结果显示，各品种含量范围为 121.41~817.14 μg/g，其中长林 4 号含量最高，达 817.14 μg/g。在物种层面上，对 7 个不同物种的对比分析显示，多齿红山茶的角鲨烯含量最高，其次为西南红山茶，各物种间含量分布在 131.14~324.55 μg/g 之间[15]。

1.3 植物甾醇

植物甾醇是一类广泛存在于植物油、坚果、豆类、谷物等天然食物中的三帖类化合物，为植物细胞膜和细胞器的重要组成部分，被誉为“生命的钥匙”，在自然界中以游离态和结合态形式存在，具有降低胆固醇、抗炎、抗氧化及免疫调节等多种生理功能[16]。由于无法在人体内自行合成，需依赖膳食摄取，因此一直是食品营养与功能成分领域的研究热点[17]。有研究表明，油茶籽油中甾醇以结合和游离形态存在，总甾醇含量范围为 3072.87~5713.48 mg/kg，其中结合态甾醇占比高达 97.4%~99.4%，为其主要存在形式[18]。目前，植物油中甾醇的测定方法主要有液相色谱法[19]、气相色谱法[20]、气相色谱-质谱法[21]及液相色谱-质谱法[22]及高分辨质谱法，其中采用高分辨质谱法分析鉴定的研究相对较少。油茶籽油现已报道的部分植物甾醇及含量见表 1。

表 1　油茶籽油中已鉴定出的植物甾醇和含量

Table 1　Identified phytosterols and their content in *Camellia oleifera* seed oil

序号	名称	分子式	结构式	含量/(mg/kg)	参考文献
1	菠菜甾醇	$C_{29}H_{48}O$		17.90~49.60	[12]
2	*β*-香树脂醇	$C_{30}H_{50}O$		607.24~913.35	[23]
3	羽扇豆醇	$C_{30}H_{50}O$		214.64~318.17	[23]
4	菜油甾醇	$C_{28}H_{48}O$		27.50~60.45	[23]
5	*β*-谷甾醇	$C_{29}H_{50}O$		106.96~240.12	[23]
6	海棠果醇	$C_{30}H_{50}O_2$		110.66~174.97	[23]
7	环阿屯醇	$C_{30}H_{50}O$		578.87~1093.67	[23]
8	豆甾-7-烯-3-醇	$C_{29}H_{50}O$		269.73~493.55	[23]
9	桦木醇	$C_{30}H_{50}O_2$		165.57~330.56	[23]
10	羊毛甾醇	$C_{30}H_{50}O$		715.19~1202.80	[23]
11	菜籽甾醇	$C_{28}H_{46}O$		11.50~36.00	[22]
12	甘遂醇	$C_{30}H_{50}O$		73.00	[24]
13	麦角甾醇	$C_{28}H_{44}O$		82.00	[24]

1.4 多 酚

酚类化合物是一类具有多个酚羟基结构的植物次级代谢产物, 可分为酚酸、黄酮类、木质素、芪类、单宁等类型, 通常以游离态和结合态的形式存在[25]。不同油脂中多酚的组成存在显著差异, 如橄榄油富含环烯醚萜类、酚酸、苯乙烷衍生物、黄酮及木质素类, 油茶籽油则以酚酸类和黄酮类化合物为主, 其中酚酸类物质占总多酚含量的 76.2%~90.4%[26]。此外, 有研究进一步指出, 油茶籽油中的酚类化合物以糖苷型、结合型、酯化型及游离型 4 种形态存在, 其中, 糖苷型是其主要存在形式, 含量高达 128.71 μg GAE/g, 在总酚中占比 57%[27]。为探究不同形态酚类与氧化稳定性的关系, 另一研究在最优提取工艺下, 测得游离酚、酯化酚和结合酚的含量分别为 43.43、28.67 和 65.87 mg/kg[28]。在化合物鉴定方面, 有研究采用天然低共熔溶剂结合液相色谱-串联质谱技术, 从油茶籽油中鉴定出 20 种酚类化合物, 包括 6 种酚酸、6 种黄酮醇、3 种黄酮及 5 种酚类衍生物, 其中, 山柰酚的含量最为丰富, 高达 1319.07 μg/kg[29]。这些多酚与油茶籽油中生育酚、甾醇及不饱和脂肪酸等活性物质协同作用, 共同赋予其独特的风味与色泽, 并在抗氧化和生理调节等方面发挥关键功效。油茶籽油现已报道的部分多酚及含量见表 2。

表 2 油茶籽油中已鉴定出的多酚和含量

Table 2 Identified polyphenols and their content in *Camellia oleifera* seed oil

序号	名称	分子式	电离方式	理论值(*m*/*z*)	实测值(*m*/*z*)	二级质谱数据(*m*/*z*)	含量/(mg/kg)	参考文献
1	苯甲酸	$C_7H_6O_2$	$[M-H]^-$	121.0295	121.0292	77.0408	2.95~4.91	[26]
2	对羟基苯甲酸	$C_7H_6O_3$	$[M-H]^-$	137.0244	137.0245	93.0334	0.83~2.03	[26]
3	原儿茶酸	$C_7H_6O_4$	$[M-H]^-$	153.0193	153.0190	109.0293, 91.0192	2.27~4.80	[26]
4	没食子酸	$C_7H_6O_5$	$[M-H]^-$	169.0142	169.0147	125.0240	0.46~1.56	[26]
5	邻羟基苯乙酸	$C_8H_8O_3$	$[M-H]^-$	151.0401	151.0397	107.0497	1.33~3.08	[26]
6	香草酸	$C_8H_8O_4$	$[M-H]^-$	167.0350	167.0347	152.0113, 108.0210	1.63~6.69	[26]
7	肉桂酸	$C_9H_8O_2$	$[M-H]^-$	147.0525	147.0529	103.0541	3.72~10.63	[26]
8	对香豆酸	$C_9H_8O_3$	$[M-H]^-$	163.0401	163.0409	119.0506, 93.0331	0.52~1.08	[26]
9	儿茶素	$C_{15}H_{14}O_6$	$[M-H]^-$	289.0710	289.0710	245.0813, 109.0292, 125.0235	0.62~2.17	[26]
10	柚皮素	$C_{15}H_{12}O_5$	$[M-H]^-$	271.0612	271.0623	151.0033, 119.0500, 107.0129	0.16~1.82	[26]
11	咖啡酸	$C_9H_8O_4$	$[M-H]^-$	179.0350	179.0357	135.0436	0.01~0.07	[26]
12	阿魏酸	$C_{10}H_{10}O_4$	$[M-H]^-$	193.0506	193.0507	178.0265, 134.0376	0.05~0.17	[26]
13	介子酸	$C_{11}H_{12}O_5$	$[M-H]^-$	223.0614	223.0614	208.0382, 163.0400	0.05~0.26	[26]
14	绿原酸	$C_{16}H_{18}O_9$	$[M-H]^-$	353.0878	353.0878	191.0564	ND~0.20	[26]
15	表儿茶酸	$C_{15}H_{14}O_6$	$[M-H]^-$	289.0718	289.0710	245.0819, 109.0288, 125.0238	0.14~0.34	[26]
16	芹菜素	$C_{15}H_{10}O_5$	$[M-H]^-$	269.0455	269.0467	225.0534, 117.0342, 151.0031	0.06~0.56	[26]
17	山柰酚	$C_{15}H_{10}O_6$	$[M-H]^-$	285.0405	285.0403	151.0003, 133.0292	ND~0.16	[26]
18	木犀草素	$C_{15}H_{10}O_6$	$[M-H]^-$	285.0405	285.0412	133.0295, 151.0003	NQ	[26]
19	槲皮素	$C_{15}H_{10}O_7$	$[M-H]^-$	301.0354	301.0356	273.0399, 179.9988, 151.0035,	0.23~1.41	[26]
20	杨梅素	$C_{15}H_{10}O_8$	$[M-H]^-$	317.0303	317.0299	178.9985, 151.0031	NQ	[26]
21	邻苯二甲酸	$C_8H_6O_4$	$[M-H]^-$	165.0193	165.0194	121.0293, 77.0399	0.22~0.89	[26]
22	表没食子儿茶素	$C_{15}H_{14}O_7$	$[M-H]^-$	305.0667	305.0663	219.0682, 125.0249, 179.0358	0.05~0.53	[26]
23	表没食子儿茶素没食子酸	$C_{22}H_{18}O_{11}$	$[M-H]^-$	457.0776	457.0769	169.0156, 125.0291	0.11~1.30	[26]
24	紫杉叶素	$C_{15}H_{12}O_7$	$[M-H]^-$	303.0510	303.0515	285.0390, 125.0243	NQ	[26]
25	3,4 二甲氧基肉桂酸	$C_{11}H_{12}O_4$	$[M+H-H_2O]^+$	191.0697	191.0703	163.0742, 148.0528, 91.0545	0.28	[29–30]
26	高香草酸	$C_9H_{10}O_4$	$[M-H]^-$	181.0506	181.0519	137.0472	0.08	[29–31]
27	水杨酸	$C_7H_6O_3$	$[M-H]^-$	137.0244	137.0243	45.6063, 93.0349, 94.0379, 137.0236	0.04	[29,32]
28	异鼠李素	$C_{16}H_{12}O_7$	$[M-H]^-$	315.0510	315.0544	302.0394, 272.0355, 256.0374	0.01	[29,33]
29	二氢槲皮素	$C_{15}H_{12}O_7$	$[M-H]^-$	303.0499	303.0510	285.0405, 125.0244	0.09	[29,34]
30	香叶木素	$C_{16}H_{12}O_6$	$[M-H]^-$	299.0561	299.0565	284.0326, 227.0344, 148.0153	0.03	[29,35]
31	对羟基苯甲醛	$C_7H_6O_2$	$[M-H]^-$	121.0295	121.0284	93.03334, 92.0256	0.25	[29,36]
32	异香兰素	$C_8H_8O_3$	$[M+H]^+$	153.0546	153.0543	93.0338, 111.0442, 125.0596	0.10	[29,37]
33	丁香醛	$C_9H_{10}O_4$	$[M-H]^-$	181.0491	181.0494	166.0245, 120.9868, 59.0129, 151.0013	0.06	[29–30]

注: ND: 低于检出限; NQ: 低于定量限。

1.5　茶皂素

茶皂素, 亦称油茶皂苷, 是一类由疏水性的皂苷元与亲水性的糖链共同构成的五环三萜类皂苷化合物, 这一特性使其成为一种天然表面活性剂, 并赋予其抗氧化、抗炎、抗菌等生物活性[38]。作为影响油茶籽油口感的关键成分之一, 茶皂素的含量会因油茶品种和植株部位的不同而有所差异。研究发现, 不同品种的油茶籽油中茶皂素含量差别明显, 其中黎平 2 号的含量最高, 可达 3.392 mg/mL, 约为长林 53 号的 3.3 倍。此外, 储藏时间也是影响其含量的重要因素, 在 4 ℃ 条件下贮藏 35 d 的过程中, 茶皂素含量呈现先升高后下降的变化趋势, 并在第 21 d 达到峰值, 说明茶皂素的最终含量受到品种特性与储藏时间的双重影响[39]。进一步比较分析发现, 在茶多酚、茶皂素、维生素 E 和角鲨烯这 4 种油茶籽油常见功能性成分中, 茶皂素的含量最为突出, 高达 3.85 mg/g, 表明它是油茶籽油中一种具有代表性的特征性活性物质[40]。同时, 茶皂素在成品油中的残留水平也被视作衡量油脂精炼工艺效果的关键指标之一。茶皂素是油茶物种所特有的, 几乎不溶于油脂, 主要留存于饼粕中。因此, 经过精炼工艺处理的合规成品油中茶皂素含量通常较低, 反之, 若成品油中检测出异常偏高的茶皂素, 则提示可能掺入了饼粕提取物或未经精炼的毛油, 以此作为一种有效的“负向特征性标志物”来判定商家的掺伪行为。油茶籽油目前已报道的部分茶皂素鉴定结果见表 3。

2　活性物质的影响因素

油茶籽油中活性物质的含量、组成及其生物活性, 受品种与产地、预处理工艺、提取工艺、精炼工艺、贮藏方式等全产业链多种因素的复杂影响。系统探究这些因素的内在关联, 既是实现成品油茶籽油精准品质控制的必要前提, 更是为上游“选育优质、高产的油茶品种”提供关键科学依据与实践方向, 对于推动产业实现从源头品质提升、加工工艺标准化、品牌价值强化到整体效益增长的全链条升级, 具有重要的理论支撑与现实指导意义。

2.1　品种与产地

油茶籽油的品质因品种和产地的不同而呈现显著差异。品种作为内在决定因素, 决定了活性物质的合成潜力与组成比例, 是形成高品质油脂的基础, 而产地则通过气候、土壤和地形等环境条件, 调控活性物质的实际积累过程, 构成影响品质的关键外部因素, 共同决定了油茶籽油的最终品质。对不同油茶品种的品质分析表明, 引种至河南信阳的 6 个长林系列

表 3　油茶籽油中已鉴定出的茶皂素[41]

Table 3　Identified saponins in *Camellia oleifera* seed oil[41]

序号	名称	分子式	离子模式	测定值(*m*/*z*)	二级质谱数据(*m*/*z*)
1	茶皂苷 A4 异构体	$C_{58}H_{92}O_{27}$	$[M-H]^-$	1219.5716	1131, 1039, 539, 481
2	茶皂苷 A1 异构体	$C_{57}H_{90}O_{26}$	$[M-H]^-$	1189.5676	1101, 1057, 1027, 1009, 877, 653, 557, 451
3	油茶皂苷 D2 或 D3	$C_{58}H_{90}O_{26}$	$[M-H]^-$	1201.5673	1101, 1069, 1051, 1039, 1021, 907, 889, 665, 569, 551, 451
4	未报道过皂苷 1	$C_{58}H_{94}O_{26}$	$[M-H]^-$	1205.5978	1103, 1043, 1025, 555, 451
5	未报道过皂苷 2	$C_{59}H_{94}O_{27}$	$[M-H]^-$	1233.5925	1071, 1053, 909, 891, 667, 571, 553
6	油茶皂苷 D4	$C_{58}H_{92}O_{26}$	$[M-H]^-$	1203.5829	1101, 1071, 1053, 1023, 909, 891, 667, 571, 553, 451
7	未命名皂苷 1	$C_{59}H_{96}O_{26}$	$[M-H]^-$	1219.6104	1117, 1057, 1039, 895, 653, 557, 539, 481
8	未报道过皂苷 3	$C_{60}H_{94}O_{28}$	$[M-H]^-$	1261.5818	1161, 1129, 1099, 1081, 967, 949, 725, 629, 611, 451
9	未报道过皂苷 4	$C_{61}H_{98}O_{29}$	$[M-H]^-$	1293.6059	1131, 1113, 969, 951, 727, 599, 481
10	未报道过皂苷 5	$C_{58}H_{94}O_{25}$	$[M-H]^-$	1189.6036	1087, 1057, 1027, 1009, 877, 653, 557, 539, 451
11	未报道过皂苷 6	$C_{60}H_{96}O_{28}$	$[M-H]^-$	1263.5917	1131, 1083, 969, 951, 613
12	未报道过皂苷 7	$C_{60}H_{92}O_{28}$	$[M-H]^-$	1259.5673	1159, 1127, 1079, 609
13	油茶皂苷 D5	$C_{59}H_{92}O_{27}$	$[M-H]^-$	1231.5692	1131, 1069, 1051, 907, 889, 665, 569, 551, 481
14	山茶皂苷 II 异构体	$C_{59}H_{94}O_{26}$	$[M-H]^-$	1217.5902	1117, 1055, 1037, 875, 651, 555
15	油茶皂苷 D1	$C_{58}H_{92}O_{25}$	$[M-H]^-$	1187.5803	1055, 1037, 1025, 1007, 875, 651
16	未命名皂苷 2	$C_{60}H_{94}O_{27}$	$[M-H]^-$	1245.5868	1131, 1083, 1065, 903, 679, 583, 565
17	未报道过皂苷 8	$C_{59}H_{92}O_{26}$	$[M-H]^-$	1215.5853	1101, 1083, 1065, 1053, 1035, 921, 903, 679, 583, 565
18	山茶皂苷 I 异构体	$C_{60}H_{96}O_{26}$	$[M-H]^-$	1231.6050	1069, 1051, 569
19	未命名皂苷 3	$C_{63}H_{96}O_{28}$	$[M-H]^-$	1299.5986	1137, 1119, 1005, 987, 763, 667, 649, 451
20	未报道过皂苷 9	$C_{63}H_{98}O_{28}$	$[M-H]^-$	1301.6117	1199, 1169, 1121, 989, 765, 451
21	未报道过皂苷 10	$C_{64}H_{100}O_{29}$	$[M-H]^-$	1331.6229	1229, 1169, 1151, 1007, 783, 765, 669, 651, 481

油茶活性成分含量呈现显著差异, 其中, 长林27号的角鲨烯和α-生育酚表现尤为突出, 含量高达200.4 mg/kg和307.0 mg/kg, 而长林20号则富含β-谷甾醇, 含量可达232.6 mg/kg[42]。从产地因素来看, 对 8 个不同产地油茶籽油的分析结果显示, 浙江衢州油茶籽油样品中总甾醇含量最高, 为316.14 mg/100 g, 而湖南邵阳油茶籽油样品则在角鲨烯和总生育酚两项指标上均居于首位, 含量分别为29.27 mg/100 g和338.74 mg/kg。这说明地理来源对活性成分的积累具有显著影响[12]。对贵州不同品种与产地的油茶籽油进行了进一步研究发现, 平塘普通油茶在总甾醇、维生素 E 和总黄酮含量上均处于最高水平, 威宁短柱油茶的角鲨烯含量达到最高为145.63 mg/kg, 而西南红山茶则在总酚含量上表现最佳, 高达208.69 mg/kg[43]。因此, 品种是决定油茶籽油活性物质含量的内在基础, 而优良的产地生态环境则是充分发挥其积累潜力的关键外部条件。

2.2 预处理工艺

油料预处理是食用油生产的关键环节之一, 对油脂提取效率和活性成分的保留程度起着决定性作用。目前, 烘烤、微波、超声、热风、脉冲电场、湿蒸及高压瞬时膨化等技术已广泛应用于油脂生产实践, 通过改变油料的物理结构和化学特性, 不仅改善了油脂风味和品质, 提升了出油率, 还实现了生产效率的优化和能耗的降低[44]。研究表明, 不同预处理方式对油茶籽油中功能性成分的影响存在明显差异。在微波、焙炒、烘烤、常压湿蒸与高压湿蒸 5 种常见工艺中, 除常压湿蒸外, 其余方式均能提高甾醇含量, 且所有处理方式均对黄酮、多酚和类胡萝卜素的的提取具有正向作用。其中, 烘烤在提升黄酮、多酚和类胡萝卜素方面效果最好, 而微波处理后甾醇含量达到最高为 4608.05 mg/kg[45]。此外, 蒸汽和热风处理也使多酚含量分别提高了 76.79%和 59.81%, 热风处理还能促进植物甾醇的富集, 但两者对角鲨烯含量的影响不大[46]。同时, 烘烤处理还能够显著提升油茶籽油中总酚和角鲨烯的含量水平, 且 α-生育酚和总甾醇含量随烘烤温度的升高和时间的延长呈现先增后减的趋势[47]。值得关注的是, 超声-微波协同干燥技术利用空化效应, 不仅大幅提升了油茶籽的处理效率, 所得油茶籽油的总酚含量及抗氧化能力也较传统热风干燥高出 150%[48]。因此, 预处理工艺的选择与参数调控, 本质上是出油率、油脂品质与活性成分保留之间的权衡过程。采取低温、适时的处理方式, 有助于最大限度的保留油料中的天然营养成分。

2.3 提取工艺

油茶籽油的提取方式多样, 常见的有压榨、浸出、水酶法、超临界萃取、湿法、亚临界萃取和鲜榨等方式, 不同工艺对油脂中生物活性成分的保留程度呈现显著差异。相较于传统的压榨与浸出, 水酶法和超临界萃取不仅能够更好地保留活性物质, 还兼具绿色、高效和环保的优势。研究表明, 制油工艺对油茶籽油中活性成分的组成与含量影响显著。以湿法、超临界萃取和热榨法为例, 湿法制得的油茶籽油中α-生育酚含量最高, 约为超临界萃取法的1.28倍, 而在总酚含量方面, 超临界萃取表现最佳, 且角鲨烯和β-谷甾醇含量分别为热榨法的1.35倍和1.74倍[49]。另一项对比鲜榨、浸提、新水法、冷榨和热榨 5 种工艺的研究也发现, 新水法制得的油茶籽油中 α-生育酚与总生育酚含量最高, 而鲜榨工艺在角鲨烯和多酚含量方面占优势, 明显优于其他处理方法[50]。此外, 在对亚临界正丁烷萃取、超临界二氧化碳萃取和冷榨三种工艺进行比较发现, 亚临界正丁烷萃取所制得的油茶籽油中甾醇和生育酚含量均为最高, 分别达842.25 mg/100 g和26.20 mg/100 g[51]。总体来看, 若以活性成分的保留为导向, 冷榨法是首选方式, 而热榨和浸出虽在出油率上更具优势, 但不可避免地伴随着活性物质的大量损失。

2.4 精炼工艺

油茶籽油活性成分的含量受产品质量等级及加工精炼程度的影响[52]。作为关键加工环节, 精炼是通过对毛油进行脱胶、脱酸、脱色、脱臭和脱蜡等处理, 使纤维素、色素、游离脂肪酸、蜡质及磷脂等杂质与异味物质能够得到有效去除, 起到改善油茶籽油外观、口感和贮藏稳定性的作用, 最终达到不同等级成品油的质量标准。精炼后显著提升了成品油的理化与感官品质, 有效延长了货架期。研究表明, 精炼过程对油茶籽油中的活性成分含量具有显著影响, 其中游离态甾醇的含量在精炼后下降尤为明显, 降幅高达 94.1%, 结合态甾醇的含量也降低了 25.1%, 且脱酸环节对两类甾醇的影响最为显著[18]。另有研究显示, 精炼会使香花油茶籽油与普通油茶籽油角鲨烯和茶多酚严重流失, 总损失率均超过50%。具体来看, 在碱炼过程香花油茶籽油的角鲨烯损失较大, 而在脱胶过程普通油茶籽油的角鲨烯损失更明显, 在脱胶环节两者茶多酚的流失最为严重[53]。因此, 精炼过程在提升油脂安全性与稳定性的同时, 也会导致活性成分大量流失, 精炼程度越高, 成品油中活性成分保留程度越低。

2.5 贮藏方式

油茶籽油中的活性成分在贮藏过程中易受环境条件影响, 而采用科学合理的贮藏方式可有效延缓其降解, 从而更好地保持油脂的营养价值与功能特性。目前常用的贮藏方式主要包括常温贮藏、低温贮藏、真空包装及充氮包装等[54]。研究表明, 在 180 d 的常温贮藏过程中, 油茶籽油中的角鲨烯、植物甾醇、α-生育酚及总酚含量均呈下降趋势, 且各成分之间存在一定的相互转化关系, 其中总酚的降幅最为显著, 精滤油中总酚损失率约为 50%, 说明酚类物质在油茶籽油的抗氧化过程中可能承担主要作用[55]。进一步研究比较了不同贮藏条件对油茶籽油品质的影响, 发现充氮结合 4 ℃冷藏可最有效地维持酚类物质及其他脂质伴随物的含量稳定性[56]。因此,

避光、密封、低温贮藏是延缓活性物质降解, 维持油茶籽油营养品质与货架期的最有效策略。

3　掺伪鉴别

3.1　掺伪形式

油茶籽油是一种营养丰富且具有多重健康功效的高端食用油, 然而其生长周期长、人工采收成本高、加工工艺复杂等因素导致生产成本显著高于普通植物油, 市场价格也远超大豆油、菜籽油等大宗油品。这种显著的价格差异为不法商家提供了掺假牟利的动机和空间。目前, 油茶籽油掺伪手段日趋多样且隐蔽, 主要表现为直接掺入廉价植物油、掺混特征近似的油脂以干扰判别及利用化学改性油脂或精炼副产物模拟其理化性质, 从而逃避常规检测方法的识别。此外, 市场上还存在虚标原料产地、伪造压榨工艺、冒充地理标志产品等标识欺诈行为, 严重误导消费者并扰乱市场秩序。在掺伪鉴别方面, 有研究通过结合脂肪酸比例与生育酚组成的化学计量学方法, 实现了对掺入玉米油、菜籽油、米糠油、芝麻油及大豆油等掺假行为的有效鉴别。该方法采用软独立建模分类法进行分析, 在 5%~100%的掺假范围内, 茶油样本的正确分类率仍可达 90%以上[57]。另一研究则采用近红外光谱技术结合化学计量学方法, 构建了山茶油中掺杂玉米油、大豆油和菜籽油的定量检测模型, 能够对掺假程度进行精准预测[58]。

3.2　鉴别技术

目前, 油茶籽油掺假鉴别的主要分析方法包括基于特征指标分析、光谱技术及仿生识别等检测手段, 不同分析方法的比较见表 4。传统检测方法如气相色谱法、高效液相色谱法、气相色谱-串联质谱法、液相色谱-串联质谱法等色谱与质谱技术, 虽然被广泛应用于食用油掺假鉴别, 但存在检测周期长, 样品前处理复杂及对样品具有破坏性等局限性[61]。相比之下, 荧光光谱法、拉曼光谱、近红外光谱等技术已被证明是食用油掺假鉴别的有效工具, 然而光谱法产生的海量数据无法直接用于掺伪的定性与定量分析, 且昂贵的设备成本也限制了其推广应用[59]。此外, 仿生识别技术通过模拟生物体的感官或免疫机制, 为油茶籽油的快速、无损、智能鉴别提供了新路径。有研究表明, 通过融合近红外光谱、计算机视觉与智能手机视频成像数据, 并结合深度学习算法构建了山茶油掺假检测体系, 且基于视频数据的模型分类准确率可达 96.30%, 为食用油真实性实时检测提供了可靠的技术支撑[62]。

食用油掺伪鉴别主要基于脂肪酸组成、甘油三酯、活性成分分析结合统计学方法进行混合油的识别。然而, 现有方法大多仅适用于二元或三元掺假体系的鉴别, 在复杂掺假情形下存在明显的局限性[63–64]。虽然酚类化合物、生育酚、角鲨烯和甾醇等特征标志物已被广泛应用于油茶籽油的掺假鉴别, 但由于化学标记物覆盖不足、加工方式差异及原料地域性差异等因素, 其鉴别效果往往不够理想。因此, 将非靶向代谢组学的广谱筛查优势与靶向代谢组学的精准定量特性相结合, 并借助化学计量学方法进行综合分析, 正成为油茶籽油掺假鉴别研究的重要发展方向。

传统的理化指标检测在一定程度上反映了油脂劣变情况, 但难以应对复杂且日趋隐蔽的掺伪手段。当前, 真实性鉴别与掺伪识别技术正处于从传统方法向智能分析转型的关键阶段, 其核心是推动高维度化学指纹图谱技术与化学计量学、人工智能的深度融合[65–66]。指纹图谱技术能够获取油样中大量难以仿造的特征化合物信息, 构建鉴别所需的“数据基础”, 结合智能算法, 可从复杂化学数据中挖掘出隐含的、适用于真伪判别与溯源的特征模式, 进而建立高效鉴别模型, 最终实现从“经验判断”到“智能预测”的技术跨越[67]。

表 4　油茶籽油掺伪鉴别主要分析方法比较

Table 4　Comparison of principal analysis methods for the authentication of *Camellia oleifera* seed oil

鉴别方法		优点	缺点	参考文献
基于特征指标的检测技术	液相色谱法	分离能力强、适用性广、方法灵活	溶剂消耗大、峰识别困难	[59]
	液相色谱-质谱法	灵敏度高、适用性广、定量可靠	前处理复杂、仪器成本高、数据解析难度大	[60]
	气相色谱法	分析速度快、定量可靠	适用范围受限、定性能力差	[59]
	气相色谱-质谱法	灵敏度高、定量可靠、特异性强	前处理复杂、适用范围受限	[60]
基于光谱的检测技术	红外光谱法	快速高效、无损检测、结构信息丰富	灵敏度有限、定量能力弱、依赖模型	[60]
	拉曼光谱法	快速、无损检测、适用范围广	灵敏度较低、易受干扰、数据处理耗时	[60]
	荧光光谱法	灵敏度高、选择性强、快速	应用范围窄、易受干扰、数据处理耗时	[60]
基于仿生识别的检测技术	电子鼻	无损、快速、灵敏度高	定量能力差、环境敏感	[60]
	电子舌	无损、智能、便携	特异性不足、易受干扰	[61]
	机器视觉	智能、快速、信息维度广	灵敏度低、模型依赖强、数据分析复杂	[59]

4 结束语

油茶籽油的营养价值和健康功效主要来源于其所含的多种活性成分, 而这些成分的含量高低则受到品种特性、加工方式及储存条件等因素的共同影响。本文系统梳理了油茶籽油中生育酚、角鲨烯、植物甾醇、多酚、茶皂素等主要活性物质的研究现状及其影响因素, 并对其常见的掺伪形式进行了归纳, 进一步比较了不同鉴别方法的优缺点。总体来看, 当前的掺伪鉴别技术已逐步从过去依赖单一理化指标发展为多技术融合的智能识别模式。其中, 光谱技术结合化学计量学的方法是快速筛查的有效手段, 而色谱-质谱联用技术仍然是实验室层面实现精准定性分析的可靠路径。然而, 这一领域仍面临着基础数据库不完善、鉴别模型普适性有待提升、对微量及新型掺伪物识别能力较为有限的现实难题。

现针对油茶籽油产业高质量发展的未来研究方向提出以下几点建议: (1)完善油茶籽油活性成分数据库, 重点采集角鲨烯、甾醇、多酚、茶皂素等特征活性成分数据, 夯实基础数据支撑, 搭建可公开查询的“数字身份证”共享平台, 从源头上为产品品质提供权威背书。(2)加快智能检测设备的研发, 将监管端口前移, 实现快速筛查, 提升监管的威慑力和时效性。(3)借助数字化手段, 构建覆盖全链条溯源体系, 实现从被动打假向主动保真的转变。(4)推动多学科交叉融合, 加强政策协同支持, 为产业构建一个健康、有序且可持续的创新体系。

参考文献

[1] LIU XD, WU YY, GAO Y, *et al*. Valorization of *Camellia oleifera* oil processing byproducts to value-added chemicals and biobased materials: A critical review [J]. Green Energy & Environment, 2024, 9(1): 28–53.

[2] LUAN F, ZENG JS, YANG Y, *et al*. Recent advances in *Camellia oleifera* Abel: A review of nutritional constituents, biofunctional properties, and potential industrial applications [J]. Journal of Functional Foods, 2020, 75: 104242.

[3] GAO L, JIN LH, LIU QN, *et al*. Recent advances in the extraction, composition analysis and bioactivity of *Camellia* (*Camellia oleifera* Abel.) oil [J]. Trends in Food Science & Technology, 2024, 143: 104211.

[4] LI DP, JIANG K, YANG G, *et al*. Integrated colorimetric sensor array with outlier detection and feature selection to detect adulterated *camellia* oil [J]. Microchemical Journal, 2025, 209: 112741.

[5] LI YL, ZHOU SM, QIANG J, *et al*. A layer-by-layer protein-polysaccharides emulsion enhances the bioavailability of butyrospermol in *Camellia* oil [J]. Food Research International, 2025, 211: 116366.

[6] 国家林业和草原局热点专题油茶产业发展工作动态. 全国油茶种植面积达 7500 多万亩[EB/OL]. (2025-11-06) [2025-11-20]. https://www.forestry.gov.cn/lyj/1/ycgzdt/20251106/648389.html
The National Forestry and Grassland Administration’s hot topic: Work dynamics on the development of *Camellia oleifera* industry. The national planting area of *Camellia oleifera* has reached over 75 million mu [EB/OL]. (2025-11-06) [2025-11-20]. https://www.forestry.gov.cn/lyj/1/ycgzdt/20251106/648389.html

[7] 中研普华集团. 茶籽油市场: 15%增速背后的渠道竞争与有机认证困局, 健康风口下的资本暗流与品类洗牌[EB/OL]. (2025-06-29) [2025-11-20]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzA5MTkyMjgwMw==&mid=2651074790&idx=1&sn=e9840db63f03aec722f5e32c75cd4fa6&poc_token=HL_EXWmj2__FevXs-N6qmeAzA8xgL8sF6Jcc7XjZ
China Investment Consulting Group. Tea seed oil market: Channel competition and organic certification dilemma behind 15% growth rate—Capital underflow and category restructuring in the health trend [EB/OL]. (2025-06-29) [2025-11-20]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzA5MTkyMjgwMw==&mid=2651074790&idx=1&sn=e9840db63f03aec722f5e32c75cd4fa6&poc_token=HL_EXWmj2__FevXs-N6qmeAzA8xgL8sF6Jcc7XjZ

[8] YANG XM, ZHANG MJ, KOIDIS A, *et al*. Identiffcation and quantitation of multiplex *Camellia* oil adulteration based on 11 characteristic lipids using UPLC-Q-Orbitrap-MS [J]. Food Chemistry, 2025, 468: 142370.

[9] 陈燕, 张笑, 邱思慧, 等. 茶油掺伪检测技术研究进展[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(4): 159–169.
CHEN Y, ZHANG X, QIU SH, *et al*. Progress in detection methods of *Camellia* oil adulteration [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(4): 159–169.

[10] ZHANG F, ZHU F, CHEN BL, *et al*. Composition, bioactive substances, extraction technologies and the influences on characteristics of *Camellia oleifera* oil: A review [J]. Food Research International, 2022, 156: 111159.

[11] 刘佳丽, 杨茜, 李秀娟, 等. 湖南省主要品种油茶籽油的营养品质研究[J]. 中国粮油学报, 2024, 39(8): 184–190.
LIU JL, YANG Q, LI XJ, *et al*. Study on quality characteristics of main varieties of oil-tea *Camellia* seed oil in Hunan Province [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2024, 39(8): 184–190.

[12] 叶敏倩, 吴峰华, 芮鸿飞, 等. 不同产地油茶籽油主要特征组分分析[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 222–226.
YE MQ, WU FH, RUI HF, *et al*. Comparative analysis of major characteristic components of tea seed oils (*Camellia oleifera* Abel.) from different geographic regions [J]. Food Science, 2020, 41(20): 222–226.

[13] QIN PJ, SHEN JJ, WEI JG, *et al*. A critical review of the bioactive ingredients and biological functions of *Camellia oleifera* oil [J]. Current Research in Food Science, 2024, 8: 100753.

[14] YANG YN, CUI J, ZHANG J, *et al*. Advancements in extraction and sustainable applications of *Camellia oleifera*: A comprehensive review [J]. Food Chemistry, 2025, 488: 144940.

[15] 陈花, 易小艺, 董诗杰, 等. 不同物种及品种茶油品质的分析[J/OL]. 中国粮油学报, 1–18. [2025-05-19]. https://doi.org/10.20048/j.cnki.issn.1003-0174.001037
CHEN H, YI XY, DONG SJ, *et al*. Quality analysis of *Camellia* oil from different species and varieties [J/OL]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 1–18. [2025-05-19]. https://doi.org/10.20048/j.cnki.issn.1003-0174.001037

[16] RUSCICA M, LOH WJ, SIRTORI CR, *et al*. Phytosterols and phytostanols in context: From physiology and pathophysiology to food supplementation and clinical practice [J]. Pharmacological Research, 2025, 214: 107681.

[17] XU QH, WANG D, LV X, *et al*. Comprehensive profiling and evaluation of free/conjugated phytosterols in crops using chemical derivatization coupled with UHPLC-ESI-QTOF-MS/ MS [J]. Food Chemistry, 2025, 463: 141316.

[18] 贾文聪, 方恩华, 吴易峰, 等. 油茶籽油甾醇存在形态及其在精炼和贮

藏过程中动态变化分析[J]. 食品科学, 2021, 42(16): 39–45.
JIA WC, FENG ENH, WU YF, *et al*. Free and bound phytosterols in *camellia* seed oil and their dynamic changes during refining and storage [J]. Food Science, 2021, 42(16): 39–45.

[19] 刘景凡, 孙聪, 梁少华. 玉米植物甾醇中豆甾醇、菜油甾醇、*β*-谷甾醇的定量分析方法[J/OL]. 中国油脂, 1-10. [2025-09-28]. https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240202
LIU JF, SUN C, LIANG SH. Quantitative analysis of stigmasterol, campesterol and *β*-sitosterol in corn sterols [J/OL]. China Oils and Fats, 1-10. [2025-09-28]. https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240202

[20] 李明新. 气相色谱法测定亚麻籽中的植物甾醇含量[J]. 现代食品, 2025(3): 197–199.
LI MX. Determination of plant sterols in flaxseed by gas chromatography [J]. Modern Food, 2025(3): 197–199.

[21] 李玮, 彭博, 吴念, 等. 基于 GC-Q-Exactive-MS 的灵芝孢子油化学成分定性分析[J]. 中国现代中药, 2024, 26(5): 799–806.
LI W, PENG B, WU N, *et al*. Chemome profiling of ganoderma lucidum spore oil using GC-Q-Exactive-MS [J]. Modern Chinese Medicine, 2024, 26(5): 799–806.

[22] 潘锦华, 陈峰, 白建平, 等. 超高效液相色谱—大气压化学电离—飞行时间质谱法测定油茶籽油中的 3 种甾醇[J]. 食品与机械, 2023, 39(7): 56–61.
PAN JH, CHEN F, BAI JP, *et al*. Determination of three sterols in *Camellia oleifera* seed oil by atmospheric pressure chemical ionization ultra performance liquid chromatography-time of flight mass spectrometry (APCI-UPLC-TOF/MS) [J]. Food & Machinery, 2023, 39(7): 56–61.

[23] WANG XQ, ZENG QM, VERARDO V, *et al*. Fatty acid and sterol composition of tea seed oils: Their comparison by the “FancyTiles” approach [J]. Food Chemistry, 2017, 233: 302–310.

[24] LI Z, LIU A, DU Q, *et al*. Bioactive substances and therapeutic potential of *Camellia* oil: An overview [J]. Food Bioscience, 2022, 49: 101855.

[25] 魏征, 郭咪咪, 王雅朦, 等. 油茶籽油多酚化合物研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(3): 311–320.
WEI Z, GUO MM, WANG YM, *et al*. Recent advances in research on polyphenol compounds in *Camellia oleifera* seed oil [J]. Food Science, 2021, 42(3): 311–320.

[26] WANG XQ, ZENG QM, DELMAR-CONTRERAS M, *et al*. Proffling and quantiffcation of phenolic compounds in *Camellia* seed oils: Natural tea polyphenols in vegetable oil [J]. Food Research International, 2017, 102: 184–194.

[27] ZHANG T, QIU FC, CHEN L, *et al*. Identiffcation and *in vitro* anti-inffammatory activity of different forms of phenolic compounds in *Camellia oleifera* oil [J]. Food Chemistry, 2021, 344: 128660.

[28] 刘国艳, 李思童, 梁丽, 等. 油茶籽油不同形态酚类化合物对油脂氧化稳定性的影响[J]. 中国油脂, 2022, 47(2): 85–90, 117.
LIU GY, LI ST, LIANG L, *et al*. Effect of phenolic compounds in different forms extracted from oil-tea *camellia* seed oil on oil oxidative stability [J]. China Oils and Fats, 2022, 47(2): 85–90, 117.

[29] 崔茂凯, 孙诗曼, 沈丹玉, 等. 天然低共熔溶剂提取油茶籽油酚及其成分分析[J/OL]. 中国油脂, 1–13. [2025-05-28]. https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.250056
CUI MK, SUN SM, SHEN DY, *et al*. Extraction and component analysis of phenols from *camellia* seed oil using natural deep eutectic solvents [J/OL]. China Oils and Fats, 1–13. [2025-05-28]. https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.250056

[30] LIU L, CUI ZX, ZHANG YB, *et al*. Identification and quantification analysis of the chemical constituents from mahonia fortune using Q-exactive HF mass spectrometer and UPLC–ESI-MS/MS [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2021, 196: 113903.

[31] QIAN H, YU FJ, LU DY, *et al*. Identification of poliumoside metabolites in rat plasma, urine, bile, and intestinal bacteria with UPLC/Q-TOF-MS [J]. Chinese Journal of Natural Medicines, 2018, 16(11): 871–880.

[32] CHENG YH, WANG YT, YUAN TJ, *et al*. Polyphenol compounds contributing to the improved bioactivities of fermented *Rubus chingii* Hu [J]. Food Research International, 2024, 197: 115218.

[33] SEUKEP AJ, MBUNTCHA HG, MATIETA VY, *et al*. HPLC-ESI-QTOF-MS profiling of antibacterial bioactive solvent fractions of *Senna alata* (L.) roxb (Fabaceae) leaves, and in silico prediction of pharmacokinetic, drug-likeness, and toxicity of major phyto-components [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2025, 344: 119492.

[34] 王宇, 郑媛, 任雪阳, 等. 基于HPLC-Q-Exactive Orbitrap MS和特征分子网络技术快速鉴定滇白珠水提物化学成分[J]. 中草药, 2024, 55(11): 3620–3634.
WANG Y, ZHENG Y, REN XY, *et al*. Rapid identification of chemical components in water extract of *Gaultheria leucocarpa* var. crenulata based on HPLC-Q-exactive orbitrap MS and feature-based molecular networking technology [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2024, 55(11): 3620–3634.

[35] HONG J, CHOI Y, LEE J, *et al*. Inhibitory characteristics of flavonoids from soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) leaf against pancreatic lipase [J]. Food Bioscience, 2023, 56: 103311.

[36] NIU JM, RAN YQ, HU Q, *et al*. Phytochemical analysis and anti-lung cancer effects *in vitro* and *in vivo* of *Eomecon chionantha* root [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2025, 348: 119847.

[37] DANG ZC, SU SS, JIN GE, *et al*. Tsantan sumtang attenuated chronic hypoxia-induced right ventricular structure remodeling and fibrosis by equilibrating local ACE-AngII-AT1R/ ACE2-Ang1-7-Mas axis in rat [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2020, 250: 112470.

[38] MO XY, HANG FX, REN EF, *et al*. Insight into the mechanism of efficient extraction of tea saponins from *Camellia oleifera* shells using deep eutectic solvents [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2025, 102: 104001.

[39] LIU YN, GENG YY, ZHANG SX, *et al*. Quantitative analysis and screening for key genes related to tea saponin in *Camellia oleifera* Abel. seeds [J]. Food Bioscience, 2022, 49: 101901.

[40] 吕建云, 孙丰霞, 耿越. 山茶油中 4 种功能性成分的测定[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(6): 1641–1646.
LV JY, SUN FX, GENG Y. Determination of four functional ingredients in *Camellia* oil [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2014, 5(6):1641–1646.

[41] WANG XQ, CONTRERAS MM, FANG EH, *et al*. Characterization of tea saponins in *camellia* seed oil and their antioxidant behaviors: Exploration of efffcient antioxidant pathway with natural surfactants in bulk oil [J]. LWT, 2025, 215: 117198.

[42] 龚守富, 朱赞彬. 6 个油茶果实经济性状及茶油品质比较分析[J]. 森林工程, 2022, 38(3): 40–46.
GONG SF, ZHU ZB. Comparative analysis of economic characters and tea oil quality of six *Camellia oleifera* varieties [J]. Forest Engineering, 2022, 38(3): 40–46.

[43] 刘海, 王进, 许杰, 等. 贵州不同油茶物种及产地对油茶籽油品质的影响[J]. 中国油脂, 2022, 47(7): 145–152.

LIU H, WANG J, XU J, *et al*. Influence of different species and origins on quality of oil-tea *camellia* seed oil in Guizhou [J]. China Oils and Fats, 2022, 47(7): 145–152.

[44] MIDHUN J, STEPHI D, MUTHAMIL-SELVIK K, *et al*. Effect of emerging pretreatment methods on extraction and quality of edible oils: A review [J]. Food and Humanity, 2023, 1: 1511–1522.

[45] 刘亚男, 吴雪辉, 邹知静, 等. 不同预处理工艺对油茶籽油活性成分及功效的影响[J/OL]. 中国粮油学报, 1–14. [2025-07-31]. https://doi.org/10.20048/j.cnki.issn.1003-0174.001183
LIU YN, WU XH, ZOU ZJ, *et al*. Effects of different pretreatment processes on the active ingredients and efficacy of *Camellia* seed oil [J/OL]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 1–14. [2025-07-31]. https://doi.org/10.20048/j.cnki.issn.1003-0174.001183

[46] 王玫, 刘汉泉, 刘婷, 等. 不同生产工艺对油茶籽油理化指标和脂质伴随物的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(6): 224–230.
WANG M, LIU HQ, LIU T, *et al*. Effects of different production technology on physicochemical parameters and lipid concomitants of *Camellia* oil [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(6): 224–230.

[47] 蒋黎艳, 邓志薇, 李若楠, 等. 油茶籽烘烤预处理对其油脂综合品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2025, 40(4): 133–143.
JIANG LY, DENG ZW, LI RN, *et al*. Effect of roasting pretreatment of *Camellia oleifera* seeds on their oil comprehensive quality [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2025, 40(4): 133–143.

[48] LI QY, CUI MK, SHE JR, *et al*. Preparation high quality *camellia* oil by combining ultrasound pre-treatment and microwave as drying method: Interactive effect on drying kinetics, metabolite proffle and antioxidant ability [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2025, 117: 107338.

[49] 杨思婕, 方学智, 杜孟浩, 等. 三种制油工艺对油茶籽油品质的影响[J/OL]. 中国油脂, 1–14. [2025-09-01]. https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240686
YANG SJ, FANG XZ, DU MH, *et al*. Effects of three oil production processes on the quality of *Camellia* sinensis seed oils [J/OL]. China Oils and Fats, 1–14. [2025-09-01]. https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240686

[50] 刘芳, 吴苏喜, 蒋明芳, 等. 制油工艺对油茶籽油生物活性成分含量和抗氧化活性的影响[J]. 中国油脂, 2022, 47(4): 46–51.
LIU F, WU SX, JIANG MF, *et al*. Effect of oil production process on the biologically active ingredients and antioxidant activity of oil-tea *Camellia* seed oil [J]. China Oils and Fats, 2022, 47(4): 46–51.

[51] YANG T, HE R, XIA QY, *et al*. Phytosterol-enriched *Camellia oleifera* Abel seed oil obtained by subcritical butane extraction: Physicochemical properties and oxidative stability [J]. Food Chemistry, 2025, 472: 142791.

[52] SHI T, DAI TH, WU GC, *et al*. *Camellia* oil grading adulteration detection using characteristic volatile components GC-MS ffngerprints combined with chemometrics [J]. Food Control, 2025, 169: 111033.

[53] 秦荣秀, 文超, 李桂珍, 等. 精炼过程对香花油茶籽油主要活性成分的影响[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(2): 65–68.
QIN RX, WEN C, LI GZ, *et al*. Effect of refining process on main active components of *Camellia* osmantha seed oil [J]. Cereals & Oils, 2022, 35(2): 65–68.

[54] 辛江慧, 胡传双, 涂登云, 等. 影响油茶籽油品质的因素分析[J]. 林产工业, 2024, 61(3): 22–29.
XIN JH, HU CS, TU DY, *et al*. Analysis of factors affecting the quality of *Camellia oleifera* seed oil [J]. China Forest Products Industry, 2024, 61(3): 22–29.

[55] 刘晓丽, 黄丹, 文莎莎, 等. 鲜果压榨油茶籽油贮藏稳定性研究[J/OL]. 中国油脂, 1–11. [2025-09-01]. https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240729
LIU XL, HUANG D, WEN SS, *et al*. Study on storage stability of fresh fruit pressed *Camellia* seed oil [J/OL]. China Oils and Fats, 1–11. [2025-09-01]. https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240729

[56] LIU LL, JIN CY, LU YC, *et al*. In-situ phenolics enrichment of *Camellia oleifera* Abel oil via novel aqueous enzymatic extractions and its potential mechanism [J]. Food Chemistry, 2025, 487: 144663.

[57] SHI T, WU GC, JIN QZ, *et al*. *Camellia* oil adulteration detection using fatty acid ratios and tocopherol compositions with chemometrics [J]. Food Control, 2022, 133: 108565.

[58] WANG RN, FANG Y, LUO WF, *et al*. Quantitative analysis of camellia oil binary adulteration using near infrared spectroscopy combined with chemometrics [J]. Microchemical Journal, 2025, 217: 115018.

[59] 周易枚, 陈彬, 丁红梅, 等. 橄榄油鉴伪检测方法的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2025, 40(2): 227–234.
ZHOU YM, CHEN B, DING HM, *et al*. Progress of research on counterfeit detection methods for olive oil [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2025, 40(2): 227–234.

[60] SHI T, WU GC, JIN QZ, *et al*. *Camellia* oil authentication: A comparative analysis and recent analytical techniques developed for its assessment. A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 97: 88–99.

[61] HU BK, ZHANG DY, GENG YY, *et al*. Chemometrics analysis of *Camellia* oil authenticity using LF NMR and fatty acid GC fingerprints [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2024, 133: 106447.

[62] DENG ZW, ZHENG Y, LAN T, *et al*. Detection of *camellia* oil adulteration based on near-infrared spectroscopy and smartphone combined with deep learning and multimodal fusion [J]. Food Chemistry, 2025, 472: 142930.

[63] RAN D, CHANG XT, WANG H, *et al*. Targeted identification of *camellia* oil and olive oil adulterated with sesame or rice oil based on characteristic substances by HPLC-UV [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2024, 133: 106432.

[64] 孙婷婷, 刘剑波, 任佳丽, 等. 基于特征性脂肪酸和甘油三酯指标的油茶籽油掺伪定性鉴别模型对比分析[J]. 中国油脂, 2023, 48(1): 66–73.
SUN TT, LIU JB, REN JL, *et al*. Comparative analysis of qualitative identification models for oil-tea camellia seed oil adulteration based on characteristic fatty acid and triglyceride [J]. China Oils and Fats, 2023, 48(1): 66–73.

[65] LUO Y, WEI Z, LIU JL, *et al*. Chemo metric assessment of quality biomarkers in *Camellia oleifera* seed oils in the leading production regions of China [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2025, 146: 107949.

[66] DONG RH, LENG T, WANG YT, *et al*. Full composition-wide association study identifies the chemical markers to distinguish different processed *camellia* oils: Integrating multi-targets with chemo metrics [J]. Food Chemistry, 2025, 463: 141217.

[67] SONG GS, XIANG TJ, XU ZM, *et al*. Rapid identification of multiplex *Camellia* oil adulteration based on lipidomic fingerprint using laser assisted rapid evaporative ionization mass spectrometry and data fusion combined with machine learning [J]. LWT, 2025, 228: 118078.

(责任编辑: 韩晓红 安香玉)