

# 贵州不同油茶物种及产地对油茶籽油品质的影响

刘 海, 王 进, 许 杰, 陈 瑶, 缪明胜, 郭少海

(贵州省林业科学研究院, 贵阳 550000)

**摘要:**为探究贵州不同油茶的生产适应性,分析贵州本土油茶物种与普通油茶的差异性,研究不同产地对油茶籽油品质的影响,对贵州2个主要油茶物种(威宁短柱油茶、西南红山茶)和3个主要产地(贵阳、平塘、册亨)的普通油茶籽仁含油率及其制取油脂的理化特性、脂肪酸组成与活性物质含量进行检测,应用聚类分析和主成分分析进行综合评价。结果表明,威宁短柱油茶和西南红山茶籽仁的含油率较高,分别达到了57.76%和56.08%,与普通油茶差异显著( $p < 0.05$ )。各物种及产地的油茶籽油饱和脂肪酸相对含量差异不显著( $p > 0.05$ ),而威宁短柱油茶籽油和西南红山茶籽油饱和脂肪酸相对含量较高( $p < 0.05$ )。平塘普通油茶籽油中总甾醇、维生素E、总黄酮含量最高,分别达到了354.63 mg/100 g、84.02 mg/kg和4.24 g/kg;威宁短柱油茶籽油的角鲨烯含量最高,为145.63 mg/kg;西南红山茶籽油的总酚含量最高,达到了208.69 mg/kg。聚类分析显示,威宁短柱油茶和西南红山茶为一类,贵阳和册亨的普通油茶为第二类,平塘的普通油茶单独为一类。主成分分析结果表明,西南红山茶的综合得分最高,威宁短柱油茶的次之,西南红山茶和威宁短柱油茶较适用于油茶籽油的生产加工。

**关键词:**油茶籽油;物种;产地;脂肪酸组成;活性物质;主成分分析

中图分类号:TS222+.1;TQ646 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)07-0145-08

## Influence of different species and origins on quality of oil - tea camellia seed oil in Guizhou

LIU Hai, WANG Jin, XU Jie, CHEN Yao, MIAO Mingsheng, GUO Shaohai  
(Guizhou Academy of Forestry, Guiyang 550000, China)

**Abstract:** In order to explore the production adaptability of different camellia from Guizhou, the differences between native camellia species and *Camellia oleifera* were analyzed, and the influence of different origins on the quality of oil - tea camellia seed oil was studied, the oil contents in seed kernel of 2 species of camellia seeds (*Camellia saluenensis* and *Camellia pitardii*) and *Camellia oleifera* from three origins (Guiyang, Pingtang and Ceheng), and the physicochemical properties, fatty acid composition, and active substance content of their oils were determined. The indexes were comprehensively evaluated by systematic cluster analysis and principal component analysis. The results showed that the oil contents of *Camellia saluenensis* seed and *Camellia pitardii* seed were 57.76% and 56.08% respectively, which were significantly higher than that of the *Camellia oleifera* seed ( $p < 0.05$ ). There was no significant difference in the content of unsaturated fatty acids in oil - tea camellia seed oil from different species and origins

( $p > 0.05$ ). The contents of saturated fatty acids in *Camellia saluenensis* seed oil and *Camellia pitardii* seed oil were higher ( $p < 0.05$ ). The contents of sterols, vitamin E, and total flavonoids in *Camellia oleifera* seed oil from Pingtang were the highest, reaching 354.63 mg/100 g, 84.02 mg/kg and 4.24 g/kg respectively. The *Camellia saluenensis* seed oil had the highest squalene

收稿日期:2021-06-07;修回日期:2022-01-23

基金项目:贵州油茶团队服务企业行动计划(黔科合服企[2018]4003号);油茶特色制油关键技术推广示范([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利用(E-mail)573390817@qq.com。

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

content (145.63 mg/kg). The total polyphenol content in *Camellia pitardii* seed oil was the highest, reaching 208.69 mg/kg. Cluster analysis showed that *Camellia saluenensis* and *Camellia pitardii* were in the first category, the *Camellia oleifera* from Guiyang and Ceheng were in the second category, and *Camellia oleifera* from Pingtang was other category. The results of principal component analysis showed that *Camellia pitardii* had the highest scores, followed by *Camellia saluenensis*, and the seeds of *Camellia pitardii* and *Camellia saluenensis* were more suitable for the production and processing of oil – tea camellia seed oil.

**Key words:** oil – tea camellia seed oil; species; origin; fatty acid composition; active substance; principal component analysis

油茶 (*Camellia oleifera* Abel), 属山茶科 (Theaceae) 山茶属 (*Camellia* L.) 常绿小乔木或灌木植物, 是我国特有的木本食用油料树种, 具有 2 300 多年的栽培和利用历史, 与油橄榄、油棕、椰子并称为世界四大木本油料植物, 与乌桕、油桐和核桃并称为我国四大木本油料植物<sup>[1]</sup>。贵州省是我国油茶主要产区之一, 油茶种植面积达 19.6 万  $\text{hm}^2$ <sup>[2]</sup>, 主要分布于黔东南、黔南、毕节、贵阳、铜仁等地区, 年产油茶籽 7.075 万 t<sup>[3]</sup>, 油茶产业已成为贵州省的特色产业之一。

油茶籽油是以油茶籽为原料采用压榨或浸提等方法制取的植物油, 其脂肪酸组成与橄榄油相似, 有“东方橄榄油”之美称<sup>[4]</sup>。油茶籽油中富含不饱和脂肪酸, 含量高达 80%, 有的甚至达到了 90% 以上<sup>[5]</sup>。油茶籽油中含有维生素 E、角鲨烯、多酚、植物甾醇、黄酮、山茶苷等有益的天然活性物质<sup>[4, 6-7]</sup>, 具有抗病毒、抗氧化、抗肿瘤、提高机体免疫力的功能<sup>[8-9]</sup>, 长期食用有降血脂、降血压、降低胆固醇等功效, 能有效预防动脉粥样硬化和心脑血管疾病, 且具有预防肥胖及护肝的作用<sup>[10-11]</sup>, 是一种重要的高端保健食用油。

研究表明, 区域的差异性会导致油茶籽油中的脂肪酸组成及维生素 E、角鲨烯、多酚、植物甾醇等活性物质含量产生差异<sup>[12]</sup>, 可能是由于油茶产地环境和气候因素所致<sup>[13]</sup>。贵州气候多样, 地貌复杂, 不同产地油茶籽油的脂肪酸组成和活性物质含量可能会有所差异, 从而影响油茶籽油的品质特征。物种是影响油茶籽油品质的主要因素之一, 受油茶自身生物学特性的影响, 不同物种油茶籽油的脂肪酸组成及活性物质含量会存在不同程度的差异, 导致油茶籽油具有不同的品质特征。本研究以贵州油茶主产区的本地油茶物种和不同产地引进物种的油茶籽为原料, 采用高压冷榨法制取油茶籽油, 应用主成分分析和聚类分析对其脂肪酸组成和活性物质含量

进行分析比较, 评价贵州各产地不同物种油茶的特征优势, 为贵州油茶加工利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

油茶果: 普通油茶果, 分别采于贵州省贵阳市 (东经  $106^{\circ}44' \sim 106^{\circ}46'$ , 北纬  $26^{\circ}30' \sim 26^{\circ}34'$ , 由贵州省云关山国有林场提供)、贵州省黔南州平塘县平舟镇 (东经  $103^{\circ}46' \sim 107^{\circ}15'$ , 北纬  $25^{\circ}58' \sim 27^{\circ}06'$ , 由贵州玉水油茶科技发展有限公司提供)、贵州省黔西南州册亨县弼佑镇 (东经  $105^{\circ}53' \sim 105^{\circ}59'$ , 北纬  $24^{\circ}47' \sim 24^{\circ}52'$ , 由贵州大亨油茶科技有限公司提供); 威宁短柱油茶果和西南红山茶果, 采于贵州省毕节市威宁彝族回族苗族自治县岔河镇 (东经  $103^{\circ}43' \sim 103^{\circ}46'$ , 北纬  $27^{\circ}06' \sim 27^{\circ}09'$ , 由威宁县大寨养殖专业合作社提供)。油茶果均为成熟期采摘的果实。

乙醚、异丙醇、氢氧化钾、百里香酚酞、酚酞、石油醚、冰乙酸、三氯甲烷、碘化钾、硫代硫酸钠、无水碳酸钠、可溶性淀粉、乙醇、盐酸、氢氧化钠、三氟化硼、氯化钠、硫酸氢钠、丙酮、福林酚、N-甲基-N-三甲基硅烷七氟丁酰胺、1-甲基咪唑、氧化铝、硝酸铝、醋酸钾为分析纯; 正庚烷、甲醇、异辛烷、正己烷、四氢呋喃、桦木醇为色谱纯; 重铬酸钾、邻苯二甲酸氢钾为工作基准试剂; 脂肪酸甲酯混合标准品, 上海安谱实验科技股份有限公司; 角鲨烯、没食子酸、 $\alpha$ -生育酚、 $\beta$ -生育酚、 $\gamma$ -生育酚、 $\delta$ -生育酚标准品, 美国 Sigma 公司; 芦丁标准品, 中国药品生物制品检定所。

#### 1.1.2 仪器与设备

LH-426 型液压榨油机, 山东彩连机械有限公司; FA1004B 型电子天平, 上海佑科仪器仪表有限公司; SZC-101 型脂肪测定仪, 上海纤检仪器有限公司; DC-12 氮吹仪, 上海安谱科学仪器有限公

司;Agilent Technologies 6850 气质系统串联 5975C - VL MSD 三重传感轴质谱检测器,美国安捷伦科技公司;UltiMate3000 高效液相色谱仪,美国赛默飞世尔科技公司;KH - FL20E 型荧光检测器,上海科哲生化科技有限公司;UV - 1900 型紫外可见分光光度计,上海美析仪器有限公司;TGL - 20M 型冷冻离心机,上海卢湘仪离心机仪器有限公司;RE - 301 型旋转蒸发仪,上海予华仪器设备有限公司;101 - 2 型电热鼓风干燥箱,天津市泰斯特仪器有限公司;HH - 2A 型电热恒温水浴锅,北京科伟永兴仪器有限公司。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 油茶果预处理

将采摘的新鲜油茶果晾晒后进行人工脱蒲,取油茶籽就近进行低温烘干处理,将油茶籽的含水率降低到 13% 以下,用洁净的编织袋进行包装,每个地区称取 2 t 装运到贵州省油茶工程技术研究中心,备用。

### 1.2.2 油样制取

采用贵州省油茶工程技术研究中心油茶籽油中试液压生产线进行油样制取,制取工艺流程:油茶籽→脱壳→压榨(65 MPa,1 h)→原油→过滤→油茶籽油。

### 1.2.3 检测方法

含水率的测定参照 GB 5009.3—2016 第一法,含油率的测定参照 GB 5009.6—2016 第一法,酸值的测定参照 GB 5009.229—2016 第一法,过氧化值的测定参照 GB 5009.227—2016 第一法,皂化值的测定参照 GB/T 5534—2008,脂肪酸组成及相对含量的测定参照 GB 5009.168—2016 第三法,磷脂含量的测定参照 GB/T 5537—2008 第二法,角鲨烯含量的测定参照 LS/T 6120—2017,总酚含量的测定参照 LS/T 6119—2017,总甾醇含量的测定参照 GB/T 25223—2010,维生素 E 含量的测定参照 GB/T 26635—2011,总黄酮含量的测定参照 SN/T 4592—2016。

### 1.2.4 数据处理与分析

用 SPSS 26.0 软件对各检测数据进行多重比较分析, $p < 0.05$  表示差异显著。用 SPSS 26.0 软件对数据进行标准化后,进行聚类分析和主成分分析,并计算累积方差贡献率和主成分综合得分。

## 2 结果与分析

### 2.1 油茶籽仁的含油率和含水率

对不同物种及产地的油茶籽仁进行含油率和含水率测定,结果见表 1。

表 1 不同物种及产地油茶籽仁的含油率和含水率

物种	产地	含油率	含水率	干基含油率
普通油茶	贵阳	44.04 ± 0.66a	3.38 ± 0.16a	45.58 ± 0.64a
普通油茶	平塘	48.80 ± 0.42b	5.66 ± 0.27c	51.73 ± 0.40b
普通油茶	册亨	48.80 ± 0.90b	4.60 ± 0.17b	51.15 ± 1.03b
威宁短柱油茶	威宁	52.76 ± 0.78c	8.65 ± 0.43d	57.76 ± 1.09d
西南红山茶	威宁	49.53 ± 0.63b	11.68 ± 0.11e	56.08 ± 0.65c

注:同列字母不同表示差异显著( $p < 0.05$ )

由表 1 可知,不同物种及产地油茶籽仁含油率为 44.04% ~ 52.76%,含水率为 3.38% ~ 11.68%,干基含油率为 45.58% ~ 57.76%。威宁短柱油茶和西南红山茶籽仁的干基含油率较高,分别达到了 57.76% 和 56.08%,且两者之间有显著性差异( $p < 0.05$ )。对于不同产地的普通油茶,平塘和册亨的油茶籽仁干基含油率显著高于贵阳地区( $p < 0.05$ ),分别高出 6.15 个百分点和 5.57 个百分点,达到了 51.73% 和 51.15%。威宁短柱油茶和西南红山茶籽仁干基含油率均显著高于普通油茶( $p < 0.05$ ),分别高出 6.03 ~ 12.18 个百分点和 4.35 ~ 10.50 百分点,表明不同物种对油茶籽仁干基含油率影响较大。

油茶是我国特有的传统木本粮油作物之一,其主要分布于我国的南方地区,是我国健康优质食用植物油的重要来源。作为一种木本油料,油茶籽仁含油率

直接影响着油茶的推广利用和市场价值。陈丽等<sup>[14]</sup>对贵州 12 个油茶品种的籽仁进行含油率测定,结果发现,各品种含油率范围在 34.34% ~ 52.31% 之间,最高含油率是最低含油率的 1.5 倍,由此可见,油茶物种是影响含油率的主要因素。贵州处于云贵高原东部的大斜坡地带,平均海拔在 1 100 m 左右,气候多样,地貌复杂,部分油茶物种较难适应生长。威宁短柱油茶和西南红山茶经过长期演化,已经完全适应贵州高海拔的气候特征和生态环境。张彦雄等<sup>[15]</sup>对贵州西部高海拔地区的威宁短柱油茶和西南红山茶进行调查研究发现,其籽仁含油率均高达 49.30% 以上,且具有良好的性状表征,是贵州西部高海拔地区油茶产业发展的首选树种。本研究发现,威宁短柱油茶和西南红山茶的籽仁含油率均显著高于普通油茶,具有较好的生产加工适应性。

## 2.2 油茶籽油的理化指标

对不同物种及产地油茶籽油的过氧化值、酸值、皂化值、磷脂含量进行检测,结果见表2。

表2 不同物种及产地油茶籽油的理化指标

物种	产地	过氧化值/ (g/100 g)	酸值 (KOH)/ (mg/g)	皂化值 (KOH)/ (mg/g)	磷脂含量/ (mg/g)
普通油茶	贵阳	0.074 2	0.83	166.69	2.07
普通油茶	平塘	0.029 8	0.50	159.44	1.76
普通油茶	册亨	0.078 1	0.97	164.44	0.21
威宁短柱油茶	威宁	0.070 3	0.61	152.23	0.55
西南红山茶	威宁	0.071 5	0.60	126.42	0.22

由表2可知,不同物种及产地油茶籽油的过氧化值和酸值均在GB/T 11765—2018《油茶籽油》原油限量范围(酸值(KOH)  $\leq$  4.0 mg/g, 过氧化值  $\leq$  0.25

g/100 g)之内。其中,平塘普通油茶籽油酸值和过氧化值最低,而册亨普通油茶籽油酸值和过氧化值最高。皂化值是评价油茶籽油品质的重要指标之一<sup>[16]</sup>。不同物种及产地油茶籽油皂化值(KOH)在126.42~166.69 mg/g之间,西南红山茶籽油的皂化值与其他物种及产地的油茶籽油的相比差异明显。贵阳普通油茶籽油磷脂含量最高,达到2.07 mg/g,册亨普通油茶籽油的磷脂含量最低,为0.21 mg/g。磷脂被认为是引起油脂返色与回味的的主要原因之一<sup>[17]</sup>,是油脂脱胶过程中需要去除的物质,磷脂含量偏高会增加油脂的精炼成本<sup>[18]</sup>。

## 2.3 油茶籽油的脂肪酸组成

不同物种及产地油茶籽油脂肪酸组成及相对含量见表3。

表3 不同物种及产地油茶籽油的脂肪酸组成及相对含量

脂肪酸	普通油茶籽油			威宁短柱油茶籽油	西南红山茶籽油
	贵阳	平塘	册亨		
豆蔻酸	0.03 $\pm$ 0.00a	0.04 $\pm$ 0.00b	0.03 $\pm$ 0.00a	0.03 $\pm$ 0.00a	0.03 $\pm$ 0.00a
棕榈酸	8.51 $\pm$ 0.37a	9.17 $\pm$ 0.22b	8.39 $\pm$ 0.47a	10.22 $\pm$ 0.17c	10.82 $\pm$ 0.33c
硬脂酸	1.97 $\pm$ 0.03a	2.01 $\pm$ 0.06a	1.89 $\pm$ 0.04a	2.42 $\pm$ 0.09c	2.19 $\pm$ 0.07b
花生酸	0.05 $\pm$ 0.00c	0.02 $\pm$ 0.00a	0.03 $\pm$ 0.00a	0.04 $\pm$ 0.00b	0.04 $\pm$ 0.00b
棕榈油酸	0.09 $\pm$ 0.00b	0.08 $\pm$ 0.00a	0.08 $\pm$ 0.00a	0.08 $\pm$ 0.00a	0.08 $\pm$ 0.00a
油酸	79.79 $\pm$ 2.92a	77.46 $\pm$ 0.90a	80.19 $\pm$ 1.76a	77.03 $\pm$ 0.64a	77.27 $\pm$ 0.64a
亚油酸	8.21 $\pm$ 0.25ab	9.94 $\pm$ 0.07c	8.13 $\pm$ 0.20ab	8.62 $\pm$ 0.28b	7.97 $\pm$ 0.28a
亚麻酸	0.43 $\pm$ 0.01b	0.36 $\pm$ 0.01a	0.36 $\pm$ 0.02a	0.68 $\pm$ 0.01c	0.71 $\pm$ 0.01d
花生烯酸	0.56 $\pm$ 0.02b	0.53 $\pm$ 0.04b	0.56 $\pm$ 0.04b	0.44 $\pm$ 0.01a	0.46 $\pm$ 0.01a
芥酸	0.04 $\pm$ 0.00b	0.04 $\pm$ 0.00b	0.04 $\pm$ 0.00b	0.03 $\pm$ 0.00a	0.03 $\pm$ 0.00a
饱和脂肪酸	10.55 $\pm$ 0.36a	11.24 $\pm$ 0.28b	10.33 $\pm$ 0.49a	12.70 $\pm$ 0.14c	13.08 $\pm$ 0.28c
不饱和脂肪酸	89.11 $\pm$ 2.99a	88.41 $\pm$ 0.84a	89.35 $\pm$ 1.82a	86.90 $\pm$ 0.88a	86.52 $\pm$ 0.87a

注:同行不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ )

由表3可知,不同物种及产地油茶籽油中的主要脂肪酸为油酸、亚油酸、棕榈酸和硬脂酸,其相对含量达到了98%以上,饱和脂肪酸相对含量在10.33%~13.08%之间,不饱和脂肪酸的相对含量在86.52%~89.35%之间。

从不同物种来看,威宁短柱油茶籽油和西南红山茶籽油中的脂肪酸组成较为相似,饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸的相对含量均无显著差异( $p > 0.05$ ),这可能与两者亲缘关系较近有关<sup>[1]</sup>,但其中部分脂肪酸组分存在一定的差异,如威宁短柱油茶籽油中的硬脂酸和亚油酸相对含量较西南红山茶籽油的高( $p < 0.05$ ),而西南红山茶籽油亚麻酸相对含量则较高( $p < 0.05$ )。威宁短柱油茶籽油和西南红山茶籽油的饱和脂肪酸相对含量与普通油茶相比较低( $p < 0.05$ ),达到了12.70%和13.08%,而普通油茶籽油的为10.33%~11.24%,比普通油茶籽油

高出1.46~2.75百分点。由于棕榈酸和硬脂酸的相对含量占饱和脂肪酸的99.46%以上,因此威宁短柱油茶籽油和西南红山茶籽油的饱和脂肪酸相对含量与普通油茶籽油的差异主要体现在棕榈酸和硬脂酸的差异上( $p < 0.05$ )。威宁短柱油茶籽油和西南红山茶籽油的不饱和脂肪酸相对含量与普通油茶籽油相比无显著差异( $p > 0.05$ ),但普通油茶籽油不饱和脂肪酸相对含量均处于较高水平,达到88.41%~89.35%。威宁短柱油茶籽油和西南红山茶籽油的亚麻酸含量较普通油茶籽油高( $p < 0.05$ ),分别达到了0.68%和0.71%,比平塘普通油茶籽油分别高出了88.89%和97.22%。由此可见,威宁短柱油茶和西南红山茶与普通油茶相比,其油脂中的部分脂肪酸相对含量存在不同程度的差异,与罗扬<sup>[1]</sup>的研究结果一致。

从产地来看,平塘普通油茶籽油饱和脂肪酸相

对含量显著高于册亨和贵阳地区的,主要由于其中的豆蔻酸和棕榈酸相对含量较高( $p < 0.05$ ),而贵阳和册亨地区普通油茶籽油豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸及饱和脂肪酸相对含量均无显著差异( $p > 0.05$ )。贵阳、册亨和平塘地区普通油茶籽油不饱和脂肪酸相对含量无显著差异( $p > 0.05$ ),但其中的亚油酸相对含量属平塘地区的最高( $p < 0.05$ ),达到了9.94%,分别比贵阳和册亨高出1.73个百分点和1.81个百分点,差异较大。

脂肪酸组成及含量是油脂重要指标之一,不同物种的油茶籽油脂肪酸组分含量存在较大的差异性<sup>[19]</sup>。陈炳章等<sup>[20]</sup>检测威宁短柱油茶籽油的棕榈酸和亚麻酸含量分别为14.53%和1.59%,与普通油茶籽油的11.73%和0.87%相比差异较大。本研究也发现威宁短柱油茶籽油和西南红山茶籽油的棕榈酸和亚麻酸相对含量均显著高于普通油茶籽油(亚麻酸具有降血脂、抗血栓等多种生理功能<sup>[21]</sup>)。

表4 不同物种及产地油茶籽油中活性物质含量

物种	产地	总甾醇/(mg/100 g)	角鲨烯/(mg/kg)	维生素 E/(mg/kg)	总酚/(mg/kg)	总黄酮/(g/kg)
普通油茶	贵阳	236.02 ± 8.98a	94.23 ± 3.01c	48.08 ± 1.04a	195.45 ± 5.05c	2.45 ± 0.08a
普通油茶	平塘	354.63 ± 13.53d	70.68 ± 1.75a	84.02 ± 3.46e	203.87 ± 5.35cd	4.24 ± 0.19c
普通油茶	册亨	297.09 ± 10.44c	85.28 ± 2.97b	59.51 ± 2.71b	179.91 ± 6.51b	3.62 ± 0.13b
威宁短柱油茶	威宁	240.48 ± 10.83a	145.63 ± 4.87e	79.17 ± 2.87d	138.80 ± 4.14a	3.74 ± 0.15b
西南红山茶	威宁	260.73 ± 8.46b	110.35 ± 4.27d	72.06 ± 1.90c	208.69 ± 5.72d	4.01 ± 0.16c

注:同列字母不同表示差异显著( $p < 0.05$ )

由表4可见,不同物种及产地油茶籽油中活性物质的含量均有不同程度的差异。平塘普通油茶籽油的总甾醇含量最高,达到了354.63 mg/100 g,而其他产地均未超过300 mg/100 g,贵阳普通油茶籽油总甾醇含量最低,为236.02 mg/100 g,是平塘普通油茶籽油的66.55%。总甾醇含量的最大值和最小值均出现在普通油茶中,且贵阳、平塘、册亨不同产地之间差异显著( $p < 0.05$ ),说明不同产地对总甾醇含量具有较大的影响。相同产地的威宁短柱油茶籽油和西南红山茶籽油总甾醇含量分别为240.48 mg/100 g和260.73 mg/100 g,具有显著差异( $p < 0.05$ ),但差异性较不同产地的普通油茶籽油小。

不同物种及产地油茶籽油中的角鲨烯含量具有显著差异( $p < 0.05$ ),含量在70.68~145.63 mg/kg之间,且威宁短柱油茶籽油和西南红山茶籽油角鲨烯含量均较普通油茶籽油的高,其中威宁短柱油茶籽油是平塘普通油茶籽油的2倍,可见不同油茶物种对油茶籽油的角鲨烯含量影响较大。维生素E含量在48.08~84.02 mg/kg之间,且各物种及产地间差异显著( $p < 0.05$ )。油茶籽油的总酚含量在138.80~208.69 mg/kg之间,普通油茶籽油中册亨的含量最

除物种因素外,产地对油茶籽油的脂肪酸组成差异也有较大的影响<sup>[22]</sup>,这可能与不同产地的气候条件和环境条件有关<sup>[23]</sup>,降水、日照、气温、土壤以及海拔等因素均会影响油茶籽油中的脂肪酸组成<sup>[24]</sup>。王亚萍等<sup>[25]</sup>发现油茶籽油中的亚麻酸和亚油酸含量在不同产地之间的变异系数较大。本研究中,平塘普通油茶籽油的亚油酸相对含量显著高于贵阳和册亨的,可能是受平塘的气候地理条件影响所致<sup>[26]</sup>,而贵阳普通油茶籽油的亚麻酸相对含量则显著高于平塘和册亨的。

#### 2.4 油茶籽油活性物质含量

油茶籽油不仅含有丰富的不饱和脂肪酸,还含有多酚、角鲨烯、植物甾醇、维生素E、黄酮等活性物质,是优质油茶籽油的品质体现,也是油茶资源作为食用油原料的评价标准之一<sup>[27]</sup>。对不同物种和产地油茶籽油的总酚、角鲨烯、总甾醇、维生素E、总黄酮等活性物质含量进行测定,结果见表4。

低,且与贵阳和平塘均有显著差异( $p < 0.05$ ),威宁短柱油茶籽油和西南红山茶籽油总酚含量差异显著( $p < 0.05$ ),西南红山茶籽油的总酚含量较威宁短柱油茶籽油的高50.35%。总黄酮含量在2.45~4.24 g/kg之间,平塘普通油茶籽油总黄酮含量最高,且各产地普通油茶籽油间差异显著( $p < 0.05$ )。

威宁短柱油茶籽油和西南红山茶籽油中的总甾醇、角鲨烯、维生素E、总酚和总黄酮含量均存在显著差异( $p < 0.05$ ),其中威宁短柱油茶籽油的角鲨烯和维生素E含量较高,而西南红山茶籽油的总甾醇、总酚、总黄酮含量较高,两者的总酚和角鲨烯含量差异较大,这是因为物种是影响油茶籽油中活性物质差异主要因素之一<sup>[28]</sup>。平塘普通油茶籽油的维生素E、总甾醇、总酚、总黄酮含量均较高,但角鲨烯含量较低。贵阳普通油茶籽油中的总甾醇、维生素E和总黄酮含量最低,这可能与产地、气候、环境等因素有关<sup>[29]</sup>。

不同产地对油茶籽油中的活性物质影响较大。叶敏倩等<sup>[29]</sup>分析各产地油茶籽油的甾醇、角鲨烯和生育酚的差异,发现各产地之间均具有不同差异性。本研究发现,平塘地区的普通油茶籽油中的总甾醇、维生素E、总酚、总黄酮含量均较贵阳和册亨地区的

高,但角鲨烯含量较低。威宁短柱油茶籽油和西南红山茶籽油中的部分活性物质含量相较普通油茶籽油的高,可能与油茶物种及产地有关<sup>[15,29]</sup>。

## 2.5 聚类分析

采用 SPSS 26.0 对不同物种及产地油茶籽油品质性状进行系统聚类分析,聚类因子包括油茶籽仁干基含油率,油茶籽油磷脂、总甾醇、角鲨烯、维生素 E、总酚、总黄酮含量,以及豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸、花生酸、棕榈油酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生烯酸、芥酸、饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸的相对含量等 18 个指标。由于选定的评价指标量纲以及数量级不同,因此在聚类分析之前对变量数据进行标准化处理,消除评价指标之间量纲与数量级不同造成的影响,采用组间联接聚类方法和平方欧氏距离度量准则<sup>[30]</sup>分析得到聚类分析图,如图 1 所示。

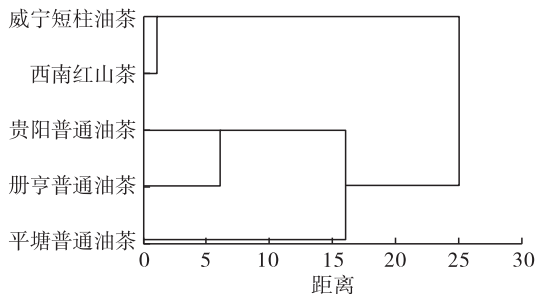


图 1 不同物种及产地油茶籽油品质特征聚类分析图

由图 1 可知:当距离大于 20 时,可以将油茶分为两类,一类是贵阳、册亨和平塘的普通油茶,另一类是威宁短柱油茶和西南红山茶;当距离在 10~15 之间时,可以将油茶分为三类,一类是威宁短柱油茶和西南红山茶,第二类是贵阳和册亨的普通油茶,平塘普通油茶单独为一类。由此可见,聚类分析可以区分各物种及产地的油茶籽油成分和品质信息,将普通油茶区分出来。威宁短柱油茶和西南红山茶划归一类,说明两者的特征与信息极为相似。在普通油茶中,平塘普通油茶可以与贵阳、册亨普通油茶分为两类,说明平塘普通油茶性状特征与贵阳和册亨普通油茶存在差异。

## 2.6 主成分分析

主成分分析是多元统计中一种重要的分析方法,可以在不丢失主要原始数据信息的前提下对数据信息进行提取,排除原始数据中相互重叠的信息,起到降维的作用,用较少的数据表达原始数据信息,使问题简化。选取油茶籽仁干基含油率,油茶籽油中磷脂、总甾醇、角鲨烯、维生素 E、总酚、总黄酮含量,以及饱和脂肪酸、棕榈油酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生烯酸、芥酸的相对含量作为因子对各物种和

产地的油茶进行主成分分析,结果见表 5。其中,由于磷脂、芥酸和饱和脂肪酸对油脂的品质具有不良影响,因此在进行主成分分析之前对其数据实行取负数处理<sup>[31]</sup>。为了避免不同量纲对分析结果的影响,对原始数据进行标准化处理<sup>[32]</sup>。

表 5 不同物种及产地油茶籽油品质指标的主成分特征值和方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	6.95	49.65	49.65
2	3.90	27.88	77.53
3	1.96	14.01	91.54
4	1.18	8.46	100.00

由表 5 可知,共提取了 4 个主成分,前 3 个主成分的累积方差贡献率达到了 91.54%。由于前 3 个主成分包含了原始数据总信息的 91.54%,且特征值均大于 1,故选择前 3 个主成分反映油茶籽油的主要特征。

前 3 个主成分的载荷值见表 6。由表 6 可知,主成分 1 中油茶籽仁干基含油率正载荷值最高,其次是亚麻酸、角鲨烯,负载荷值中花生烯酸最高,其次是饱和脂肪酸,说明主成分 1 主要是由油茶籽仁干基含油率、亚麻酸、角鲨烯、花生烯酸以及饱和脂肪酸构成。主成分 2 中亚油酸、总甾醇、维生素 E 以及总黄酮的载荷值均高于 0.800,说明主成分 2 主要是由油茶籽油中的亚油酸、总甾醇、维生素 E 以及总黄酮构成的综合指标。主成分 3 与棕榈油酸形成较高的负相关,载荷值达到了 -0.856,表明主成分 3 中棕榈油酸为主要评价指标。

表 6 不同物种及产地油茶籽油品质指标的主成分载荷矩阵

项目	主成分 1	主成分 2	主成分 3
干基含油率	0.940	0.276	0.100
饱和脂肪酸	-0.952	-0.073	0.109
棕榈油酸	-0.515	-0.036	-0.856
油酸	-0.770	-0.490	0.332
亚油酸	-0.205	0.878	-0.432
亚麻酸	0.932	-0.277	-0.102
花生烯酸	-0.975	-0.095	0.192
芥酸	0.690	-0.621	-0.002
磷脂	0.660	-0.107	0.674
总甾醇	-0.354	0.903	0.244
角鲨烯	0.809	-0.418	-0.324
维生素 E	0.569	0.805	-0.156
总酚	-0.415	0.203	0.349
总黄酮	0.503	0.806	0.312

将各指标变量的主成分载荷值除以主成分相对

应特征值的平方根,得到3个主成分中每个指标所对应的系数,即特征向量,以特征向量为权重构建3个主成分的函数表达式。

$$Y_1 = 0.357X_{1-1} - 0.361X_{1-2} - 0.195X_{1-3} - 0.292X_{1-4} - 0.078X_{1-5} + 0.354X_{1-6} - 0.370X_{1-7} + 0.262X_{1-8} + 0.250X_{1-9} - 0.134X_{1-10} + 0.307X_{1-11} + 0.216X_{1-12} - 0.157X_{1-13} + 0.191X_{1-14} \quad (1)$$

$$Y_2 = 0.140X_{2-1} - 0.037X_{2-2} - 0.018X_{2-3} - 0.248X_{2-4} + 0.444X_{2-5} - 0.140X_{2-6} - 0.048X_{2-7} - 0.314X_{2-8} - 0.054X_{2-9} + 0.457X_{2-10} - 0.212X_{2-11} + 0.407X_{2-12} + 0.103X_{2-13} + 0.408X_{2-14} \quad (2)$$

$$Y_3 = 0.071X_{3-1} + 0.078X_{3-2} - 0.611X_{3-3} + 0.237X_{3-4} - 0.309X_{3-5} - 0.073X_{3-6} + 0.137X_{3-7} - 0.001X_{3-8} + 0.481X_{3-9} + 0.174X_{3-10} - 0.231X_{3-11} - 0.111X_{3-12} + 0.249X_{3-13} + 0.223X_{3-14} \quad (3)$$

式中: $X_{1-1} \sim X_{1-14}$ 、 $X_{2-1} \sim X_{2-14}$ 、 $X_{3-1} \sim X_{3-14}$ 分别为主成分1、主成分2、主成分3中干基含油率、饱和脂肪酸、棕榈油酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生烯

酸、芥酸、磷脂、总甾醇、角鲨烯、维生素E、总酚、总黄酮标准化后的数值; $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 分别为主成分1、主成分2、主成分3的得分。对每一指标标准化后的数值与相应指标的权重线性加权求和,再分别以每个主成分相对应的方差贡献率作为权重,得到油茶籽油的综合评价函数。

$$F = 0.496Y_1 + 0.279Y_2 + 0.140Y_3 \quad (4)$$

式中: $F$ 为综合得分。

根据上述函数公式,求出各产地油茶籽油的主成分得分和综合得分,结果见表7。由表7可知,威宁短柱油茶籽油在主成分1中得分最高,为3.008。主成分2中平塘普通油茶籽油得分最高,为3.219。主成分3中册亨普通油茶籽油得分最高,为1.839。综合排名得分顺序为西南红山茶籽油最高,为1.375,威宁短柱油茶籽油次之,为1.223,而贵阳普通油茶籽油最低,为-2.112。由主成分综合排名得分可知,西南红山茶和威宁短柱油茶综合评分较高。

表7 不同物种及产地油茶籽油主成分得分和综合得分

物种	产地	主成分得分			综合得分	排名
		$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$		
普通油茶	贵阳	-2.703	-2.216	-1.093	-2.112	5
普通油茶	平塘	-1.430	3.219	-0.565	0.110	3
普通油茶	册亨	-1.533	-0.333	1.839	-0.596	4
威宁短柱油茶	威宁	3.008	-0.313	-1.300	1.223	2
西南红山茶	威宁	2.658	-0.357	1.118	1.375	1

### 3 结论

对贵州2个主要油茶物种和3个主要产地的普通油茶籽仁含油率及其制取油脂的理化特性、脂肪酸组成与活性物质含量进行检测。结果发现,贵州威宁短柱油茶籽仁和西南红山茶籽仁具有较高的含油率,其油脂的饱和脂肪酸组成与普通油茶籽油相比差异显著。活性物质含量方面,威宁短柱油茶籽油、西南红山茶籽油和平塘普通油茶籽油的活性物质含量较高。采用聚类分析对油茶籽油进行差异性综合分析发现,可以将贵阳、册亨、平塘、威宁地区的油茶分为3类,第一类是威宁短柱油茶和西南红山茶,第二类为贵阳和册亨的普通油茶,平塘的普通油茶单独为一类。通过主成分分析对各产地的油茶籽油进行了主成分提取和综合评价,结果发现,西南红山茶的得分最高,威宁短柱油茶的次之,西南红山茶和威宁短柱油茶籽较适用于油茶籽油的生产加工。

### 参考文献:

- [1] 罗扬. 贵州油茶[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2014.
- [2] 方春英. 贵州发展油茶产业助力国家粮油安全[EB/OL]. (2020-10-14) [2021-06-07]. <https://www.forestry.gov.cn/main/102/20201013/15270045625445.html>.
- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴(2020)[EB/OL]. [2021-06-07]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2020/indexch.htm>.
- [4] 谭传波, 田华, 周刚平, 等. 鲜榨山茶油与特级初榨橄榄油营养价值的比较[J]. 中国油脂, 2019, 44(1): 67-69.
- [5] 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.
- [6] 岳超, 喻宁华, 李红爱, 等. 湖南茶油中脂肪酸及活性成分研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(5): 1972-1977.
- [7] 叶洲辰, 吴友根, 于靖, 等. 不同产地油茶籽油提取物

- 的抗氧化活性比较分析及其营养评价[J]. 生物技术通报, 2019,35(10):80-88.
- [8] LI C D, BEI L W, JIAN M C. Flavonoid triglycosides from the seeds of *Camellia oleifera* Abel[J]. Chin Chem Lett, 2008,19(11):1315-1318.
- [9] MONTSERRAT - DE I P 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 Food, 2015,12:64-69.
- [10] 张东生, 金青哲, 薛雅琳, 等. 油茶籽油的营养价值及掺伪鉴定研究进展[J]. 中国油脂, 2013, 38(8): 47-50.
- [11] HAO H, HONGFEI M, SHUANG R, et al. Flaxseed oil containing flaxseed oil ester of plant sterol attenuates high-fat diet-induced hepatic steatosis in apolipoprotein-E knockout mice[J]. J Funct Food, 2015,13:169-182.
- [12] 冯棋琴, 汪有存, 吴满梅, 等. 不同产地压榨山茶油活性成分比较分析[J]. 粮食与油脂, 2020,33(4): 54-57.
- [13] 姚小华, 王亚萍, 王开良, 等. 地理经纬度对油茶籽中脂肪及脂肪酸组成的影响[J]. 中国油脂, 2011,36(4):31-34.
- [14] 陈丽, 刘映良, 柳青, 等. 油茶果实经济性状及含油率比较[J]. 贵州农业科学, 2012,40(5):162-165.
- [15] 张彦雄, 李丹, 许杰, 等. 贵州西部2种特色油茶物种的经济性状及其脂肪酸组成[J]. 西部林业科学, 2014,43(5):13-18.
- [16] 赵瑜亮, 仲山民. 山茶油与常见食用油的理化指标分析比较研究[J]. 安徽农业科学, 2014,42(32):11434-11436.
- [17] 李彦玲. 影响菜籽色拉油回色因素的分析与探讨[J]. 中国油脂, 2002, 27(5):40-42.
- [18] 蒋晓菲. 磷脂对食用油品质的影响及酶法脱胶技术的研究[D]. 江苏 无锡:江南大学, 2015.
- [19] 王园园, 宋晓虹, 李成仁, 等. 八种山茶属植物种子油脂的脂肪酸分析[J]. 中国油脂, 2007, 32(9): 78-79.
- [20] 陈炳章, 庄瑞林, 黄爱珠. 中国主要油茶物种的脂肪酸含量[J]. 植物生理学通讯, 1985(2):26-28.
- [21] VIKKIE A M, STEPHEN D, YUNG - SHENG H, et al. Differential effects of *n*-3 polyunsaturated fatty acids on metabolic control and vascular reactivity in the type 2 diabetic ob/ob mouse[J]. Metabolism, 2006,55(10): 1365-1374.
- [22] HU J B, YANG G L. Physicochemical characteristics, fatty acid profile and tocopherol composition of the oil from *Camellia oleifera* Abel cultivated in Henan, China [J/OL]. Grasas Aceites, 2018,69(2):255 [2021-06-07]. <https://doi.org/10.3989/gya.1224172>.
- [23] 蒋元华, 廖玉芳, 彭嘉栋, 等. 关键气候因子与油茶油酸含量的相关性[J]. 贵州农业科学, 2019,47(5): 99-104.
- [24] 杨颖, 张鹏, 奚如春, 等. 高州油茶不同产区果实含油率及脂肪酸组成的变异特征[J]. 经济林研究, 2018, 36(4):104-108.
- [25] 王亚萍, 费学谦, 姚小华, 等. 不同产地油茶籽脂肪酸及甘油三酯的主成分分析和聚类分析[J]. 中国油脂, 2021,46(9):112-119.
- [26] 李青建. 贵州平塘种植油茶气候条件分析[C]//第35届中国气象学会年会论文集. 北京:中国气象学会, 2018.
- [27] 田潇潇. 茶油主要营养成分分析与质量评价[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2018.
- [28] 田潇潇, 方学智, 孙汉洲, 等. 不同物种及品种油茶籽的营养特性分析与综合评价[J]. 林业科学研究, 2019,32(1):133-140.
- [29] 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.
- [30] 丁义, 杨建. 欧式距离与标准化欧式距离在 *k* 近邻算法中的比较[J]. 软件, 2020,41(10):135-136.
- [31] 刘新华. 因子分析中数据正向化处理的必要性及其软件实现[J]. 重庆工学院学报(自然科学版), 2009,23(9):152-155.
- [32] 叶宗裕. 关于多指标综合评价中指标正向化和无量纲化方法的选择[J]. 浙江统计, 2003(4):25-26.