

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

王亚萍, 费学谦, 姚小华, 王开良, 郭少海, 任华东

(中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 杭州 311400)

摘要:开展了不同产地对油茶籽脂肪酸和甘油三酯的影响研究。采用气相色谱法和高效液相色谱法,分别对我国47个产地的108份普通油茶籽样品的脂肪酸和甘油三酯组成及含量进行检测,并对其进行主成分分析和聚类分析。结果表明:从47个产地的108份油茶籽样品中共检测出10种脂肪酸,其中以油酸的含量最高,平均相对含量达79.86%,不同产地样品的脂肪酸中饱和脂肪酸含量差异显著($P < 0.05$),不饱和脂肪酸含量差异不显著($P > 0.05$),除海南省5个产地外,其余各个产地样品中油酸含量差异不显著;主成分分析结果显示,油酸、亚油酸、棕榈酸和硬脂酸是油茶籽油的特征脂肪酸;油茶籽中的甘油三酯包括12种组分,其中OOO含量最高,其次是POO和OOL,LLL和PPL含量最低;主成分分析结果显示,POO、SOO、SOP、PPO、POL + SLL、OOO是油茶籽油的特征甘油三酯成分;在主成分分析的基础上,以含量在1%以上的甘油三酯组分作为评价指标,对油茶籽油样品进行了聚类分析,将其划分为2类,第一类42个产地,第二类5个产地均属于海南省。该研究为我国普通油茶的鉴别分类和加工利用提供了理论依据和参考信息。

关键词:产地;油茶籽;脂肪酸;甘油三酯;主成分分析;聚类分析

中图分类号:TS225.1;O657.3 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)09-0112-08

Principal component analysis and cluster analysis of fatty acids and triglycerides in oil – tea camellia seeds from different origins

WANG Yaping, FEI Xueqian, YAO Xiaohua, WANG Kailiang,
GUO Shaohai, REN Huadong

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry (CAF), Hangzhou 311400, China)

Abstract: Studies on the effects of different origins on fatty acids and triglycerides in oil – tea camellia seed were carried out. The fatty acid and triglyceride composition and content of 108 common oil – tea camellia seed samples from 47 origins in China were examined by gas chromatography and high performance liquid chromatography, respectively, and subjected to principal component analysis and cluster analysis. The results showed that ten kinds of fatty acids were contained in all the 108 samples, in which the oleic acid had the highest average relative content of 79.86%, the difference of the saturated fatty acid content among all samples was significant ($P < 0.05$), meanwhile, there was no significant difference in the unsaturated fatty acid content among different origins. There was no obvious difference in

the oleic acid content of samples from origins except for five regions in Hainan province. The results of principal component analysis showed that oleic acid, linoleic acid, palmitic acid and stearic acid were the characteristic fatty acids of oil – tea camellia seed oil. 12 triglyceride components were identified in oil – tea camellia seed, among them OOO was the most, followed by POO and OOL,

收稿日期:2020-11-09;修回日期:2021-06-07

基金项目:林业和草原科技成果国家级推广项目(2020133148);浙江省林业科研成果推广项目(2020B05)

作者简介:王亚萍(1978),女,助理研究员,硕士,主要研究方向为经济林采后处理及质量控制研究(E-mail) wupeasy@163.com。

通信作者:姚小华,研究员,博士(E-mail) yaohx168@163.com。

LLL and PPL content were the lowest. The principal component analysis showed that POO, SOO, SOP, PPO, POL + SLL and OOO were the characteristic triglyceride of oil - tea camellia seed oil. On the basis of principal component analysis, triglyceride with an average content of more than 1% from 47 origin samples were conducted by cluster analysis. The results showed that all the oil - tea camellia seed oil samples could be divided into two categories, the first category included 42 origins and the second category included 5 origins in Hainan province. The study provided theoretical basis and reference information for the identification, classification, processing and utilization of oil - tea camellia in China.

Key words: origin; oil - tea camellia seed; fatty acid; triglyceride; principal component analysis; cluster analysis

油茶(*Camellia oleifera* Abel.) 是山茶科山茶属植物,是我国特有的食用油料树种,有2300多年的栽培和利用历史^[1]。我国油茶主产区集中分布在湖南、江西、广西、浙江、福建、广东、湖北、贵州、安徽、云南、重庆、河南、四川和陕西等14个省(区、市)的642个县(市、区),种植面积约446.67 hm²,年产油茶籽油约60万t^[2]。油茶籽油中不饱和脂肪酸含量高达80%以上,其中油酸含量达70%以上,接近甚至超过了橄榄油^[3],且富含人体必需的多种微量元素和活性成分。研究发现,油茶籽油对人体心脑血管、消化、生殖、神经内分泌、免疫系统都有很好的调节作用^[4],长期食用对高血压、心脑血管疾病、肥胖症等疾病有明显改善^[5]。随着油茶籽油市场认可度的提升和国家政策的大力扶持,我国油茶的种植面积和油茶籽产量将持续增长,油茶籽的开发利用前景更加广阔。

脂肪酸是评价油脂品质的重要指标之一,其组成、含量和比例在很大程度上决定了食用油的营养价值^[6]。甘油三酯也称三脂肪酸甘油酯、甘油三酰酯、甘油三酸酯,是由1分子甘油和3分子脂肪酸缩合而成,在油脂中的含量占98%以上^[7-8]。油脂的甘油三酯组成,不仅包括脂肪酸组成信息,还包括脂肪酸在甘油分子上的位置分布等结构信息^[9]。根据碳链长度及不饱和程度的不同,脂肪酸的种类有

800多种,甘油三酯的种类更是复杂多样^[10]。脂肪酸和甘油三酯对人体的重要性使得科学家们逐渐重视对它们的研究。研究表明,产地环境、气候等因素均会对油茶籽油的脂肪酸组成产生影响^[11-14],但相关研究还缺乏系统性,且对不同产地油茶籽甘油三酯组成鲜见报道。本研究通过收集我国15个省(区、市)47个产地的108份油茶籽样品,分别采用气相色谱法和高效液相色谱法分析其脂肪酸及甘油三酯的组成及含量,采用主成分分析法对不同产地脂肪酸和甘油三酯组成进行分析比较,选出脂肪酸及甘油三酯的特征组分,并采用聚类分析法进行初步评价,以期对油茶的育种和加工利用提供科学的理论依据和参考信息。

1 材料与方法

1.1 试验材料

油茶籽:2015年从我国云南、广西、贵州、海南、湖南、湖北、浙江、江西、福建、安徽、四川、重庆、陕西、甘肃、河南等15个省(区、市)47个产地采集108份普通油茶籽样品,所采集油茶植株均为当地实生的普通油茶大树,待果实自然成熟后采摘,尽快拿回(或快递)到实验室于60℃干燥至含水率约7%,采用液压榨油机榨油,过滤后装于玻璃瓶,于4℃保存备用。

油茶籽样品来源见表1。

表1 油茶籽样品来源

序号	来源	数量	序号	来源	数量	序号	来源	数量
1	江西鹰潭	7	8	湖南衡阳	8	15	海南五指山	1
2	江西景德镇	1	9	湖南长沙	4	16	福建龙岩	1
3	江西赣州	8	10	湖南常德	2	17	福建三明	1
4	江西南昌	1	11	海南白沙	1	18	福建闽侯	1
5	江西宜春	2	12	海南儋州	1	19	福建福安	1
6	湖南怀化	3	13	海南定安	1	20	福建泉州	1
7	湖南永州	6	14	海南琼中	1	21	四川内江	1

续表 1

序号	来源	数量	序号	来源	数量	序号	来源	数量
22	四川自贡	1	31	甘肃陇南	1	40	贵州遵义	1
23	重庆彭水	1	32	浙江金华	11	41	贵州贵阳	1
24	河南信阳	3	33	浙江常山	1	42	贵州黔东南	5
25	安徽黄山	1	34	浙江青田	1	43	贵州黔南	3
26	安徽安庆	1	35	浙江天台	2	44	贵州黔西南	4
27	湖北咸宁	1	36	贵州铜仁	6	45	广西百色	3
28	云南玉溪	1	37	贵州毕节	1	46	广西贺州	1
29	云南曲靖	1	38	贵州六盘水	1	47	广西柳州	1
30	陕西汉中	1	39	贵州安顺	1			

DGG-9140A 电热恒温鼓风干燥箱(上海森信实验仪器有限公司),6YY-190 型液压榨油机(河南汝阳液压机械有限公司),GC-2010 plus 气相色谱仪(日本岛津公司),Agilent 1290 液相色谱仪(美国安捷伦公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 脂肪酸组成及含量测定

参照 GB 5009.168—2016 将油样进行甲酯化,并采用气相色谱法测定脂肪酸组成。色谱分析条件:FAMEWAX 石英毛细管柱(30 m × 0.32 mm × 0.25 μm)(美国 Restek 公司);升温程序为起始温度 150 °C,保持 1 min,以 5 °C/min 升至 190 °C,保持 20 min;分流进样,分流比 10:1;进样口温度 220 °C;进样量 1 μL;载气为 N₂,流速 2 mL/min;H₂ 流速 30 mL/min,空气流速 400 mL/min,尾吹气流速 25 mL/min;FID 检测器温度 220 °C。根据色谱峰保留时间定性,采用峰面积归一化法定量。

1.2.2 甘油三酯组成及含量测定

采用液相色谱法测定油样甘油三酯组成。称取 0.5 g 油样,用丙酮定容至 10 mL,取样检测。色谱分析条件:Waters Spherisorb ODS-2 色谱柱(250 mm × 4.6 mm × 5 μm)(美国 Waters 公司),示差折光检测器;流动相为乙腈-丙酮(体积比 50:50),流速 1.5 mL/min;柱温 40 °C;保留时间 30 min;进样量 10 μL。

1.2.3 数据分析

采用 Excel 2010 软件建立不同产地油茶籽油中脂肪酸和甘油三酯的原始数据文档,用 SPSS 19.0 软件中的最小显著差异法(LSD)多重比较对数据进行分析、作图,并进行显著性差异分析。 $P < 0.01$ 表示差异极显著; $P < 0.05$ 表示差异显著; $P > 0.05$ 表示差异不显著。采用 SPSS 19.0 统计分析软件进行主成分分析,并采用欧氏距离法进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同产地油茶籽的脂肪酸组成及含量

脂肪酸的组成种类是衡量植物油质量的重要指标,常被作为某一种油脂鉴别的参数。油茶籽油中共检测出 10 种脂肪酸,其中饱和脂肪酸包括硬脂酸(C18:0)、棕榈酸(C16:0)、十四烷酸(C14:0)、十七烷酸(C17:0)、花生酸(C20:0),不饱和脂肪酸包括油酸(C18:1)、亚油酸(C18:2)、亚麻酸(C18:3)、棕榈烯酸(C16:1)、花生烯酸(C20:1);10 种脂肪酸中相对含量大于 0.5% 的脂肪酸有 6 种,分别为棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、花生烯酸和亚麻酸。表 2 为不同产地油茶籽油的主要脂肪酸组成及含量。由表 2 可看出:油茶籽油中不饱和脂肪酸的相对含量占脂肪酸总量的 85% 以上,其中以四川自贡的最高,海南定安的最低;油茶籽油的主要脂肪酸中,油酸的含量较高,平均相对含量为 79.86%,其次是棕榈酸和亚油酸,平均相对含量分别为 8.59% 和 8.03%。方差分析显示,不同产地油茶籽油的脂肪酸中饱和脂肪酸含量差异显著($P < 0.05$),不饱和脂肪酸含量差异不显著($P > 0.05$)。

油酸和亚油酸具有延缓动脉粥样硬化、促进人体新陈代谢的重要作用,其中油酸含量一直是衡量油茶籽油品质的重要指标之一^[15]。从测定结果来看(表 2),不同产地的油茶籽油中,油酸的相对含量在 75.45% ~ 82.40%,是各产地油茶籽油主要脂肪酸中变异系数(CV)最小(1.80%)的。47 个产地的样品中,有 38 个产地的油酸相对含量在 79% 以上,其中以重庆彭水的最高,其次是福建泉州、龙岩,贵州贵阳、毕节,海南省几个产区的油酸含量较低,其中海南定安的最低。方差分析显示,15 个省(区、市)中,除海南省 5 个产地外($P < 0.01$),其余各省(区、市)不同产地的油茶籽中油酸含量差异不明显($P > 0.05$)。

就亚油酸指标来看,47 个产地的样品中其相对

含量在 6.01% ~ 10.71%, 含量最高的是浙江金华的, 其次是云南玉溪、浙江常山、湖南长沙、福建闽侯和浙江天台的, 其余产地的相对含量均在 9% 以下, 其中相对含量低于 7% 的有 7 个产地, 由高到低依次是湖南衡阳(贵州毕节)、福建泉州、贵州安顺、江西南昌、贵州贵阳、重庆彭水。除海南省的 5 个产地外($P < 0.05$), 其余产区油茶籽中的亚油酸含量差异不明显($P > 0.05$), 各产地间亚油酸含量的变异系数为 11.01%。

不同产地的样品中亚麻酸的相对含量为 0.25% ~ 1.32%, 其变异系数最大(41.86%), 说明各产地油茶籽中亚麻酸含量存在丰富的变异。亚麻酸相对含量超过 1% 的有 2 个产地, 分别为海南五

指山和云南曲靖, 海南五指山的油茶籽中亚麻酸含量最高, 海南琼中的油茶籽中亚麻酸含量最低。

不同产地的样品中硬脂酸的变异系数为 16.60%。除海南省外($P < 0.01$), 其余各产地油茶籽油脂中的硬脂酸含量差异不明显($P > 0.05$)。硬脂酸含量最高的产地是海南儋州, 其次是海南定安和五指山, 其余产地的硬脂酸相对含量均低于 3%, 其中以陕西汉中的为最低。

各产地油茶籽样品中的棕榈酸和花生烯酸的相对含量分别为 7.48% ~ 10.84% 和 0.44% ~ 0.60%, 均表现出显著差异($P < 0.05$), 二者变异系数分别为 7.90% 和 6.90%。

表 2 不同产地油茶籽油的主要脂肪酸组成及含量

产地 序号	油酸 C18:1	亚油酸 C18:2	棕榈酸 C16:0	硬脂酸 C18:0	亚麻酸 C18:3	花生烯酸 C20:1	饱和 脂肪酸	不饱和 脂肪酸	%
1	79.71 ± 1.67	8.39 ± 1.67	8.29 ± 0.68	2.29 ± 1.49	0.42 ± 0.04	0.55 ± 0.04	10.58 ± 0.29	89.06 ± 0.29	
2	80.51 ± 0.25	7.74 ± 0.08	8.62 ± 0.00	2.15 ± 0.17	0.36 ± 0.03	0.52 ± 0.01	10.77 ± 0.04	89.13 ± 0.04	
3	80.01 ± 0.80	7.96 ± 0.76	8.70 ± 0.28	2.04 ± 0.02	0.47 ± 0.31	0.53 ± 0.01	10.75 ± 0.05	88.97 ± 0.05	
4	80.06 ± 1.22	6.67 ± 0.07	8.24 ± 0.02	2.10 ± 0.00	0.28 ± 0.01	0.50 ± 0.02	10.33 ± 0.17	87.51 ± 0.17	
5	79.28 ± 0.64	8.76 ± 0.52	8.17 ± 0.03	2.03 ± 0.03	0.85 ± 0.30	0.55 ± 0.01	10.20 ± 0.04	89.44 ± 0.04	
6	79.12 ± 1.65	8.44 ± 0.56	8.98 ± 1.06	2.11 ± 0.00	0.56 ± 0.11	0.55 ± 0.03	11.09 ± 0.16	88.67 ± 0.16	
7	79.19 ± 1.19	8.48 ± 1.10	8.99 ± 0.77	2.06 ± 0.17	0.46 ± 0.15	0.52 ± 0.05	11.05 ± 0.38	88.65 ± 0.38	
8	81.01 ± 0.88	6.94 ± 1.07	8.04 ± 0.29	2.53 ± 0.35	0.64 ± 0.23	0.55 ± 0.01	10.57 ± 0.06	89.20 ± 0.06	
9	78.80 ± 1.17	9.23 ± 1.02	8.95 ± 0.31	1.80 ± 0.18	0.42 ± 0.04	0.56 ± 0.02	10.75 ± 0.12	89.02 ± 0.12	
10	80.49 ± 0.78	8.14 ± 0.43	8.17 ± 0.27	2.05 ± 0.11	0.38 ± 0.04	0.55 ± 0.01	10.22 ± 0.29	89.56 ± 0.29	
11	78.36 ± 0.18	7.65 ± 0.07	10.05 ± 0.02	2.89 ± 0.00	0.26 ± 0.03	0.47 ± 0.01	12.93 ± 0.21	86.74 ± 0.21	
12	77.96 ± 0.48	7.98 ± 0.01	9.72 ± 0.14	3.11 ± 0.00	0.67 ± 0.03	0.45 ± 0.02	12.83 ± 0.06	87.06 ± 0.06	
13	75.45 ± 0.23	8.89 ± 0.05	10.84 ± 0.08	3.07 ± 0.04	0.84 ± 0.02	0.45 ± 0.02	13.91 ± 0.43	85.63 ± 0.43	
14	77.62 ± 0.19	8.00 ± 0.02	10.43 ± 0.02	2.93 ± 0.04	0.25 ± 0.03	0.49 ± 0.01	13.36 ± 0.07	86.36 ± 0.07	
15	76.41 ± 0.04	8.63 ± 0.06	9.98 ± 0.01	3.01 ± 0.04	1.32 ± 0.01	0.44 ± 0.02	12.99 ± 0.12	86.81 ± 0.12	
16	81.76 ± 0.12	7.08 ± 0.04	7.85 ± 0.02	2.15 ± 0.00	0.33 ± 0.02	0.56 ± 0.03	10.00 ± 0.31	89.73 ± 0.31	
17	81.13 ± 0.06	7.61 ± 0.05	7.96 ± 0.02	2.13 ± 0.07	0.33 ± 0.02	0.58 ± 0.04	10.09 ± 0.08	89.64 ± 0.08	
18	79.24 ± 0.12	9.21 ± 0.10	8.30 ± 0.00	1.94 ± 0.02	0.57 ± 0.02	0.57 ± 0.03	10.24 ± 0.04	89.58 ± 0.04	
19	81.34 ± 0.07	7.39 ± 0.01	7.97 ± 0.02	2.12 ± 0.03	0.36 ± 0.02	0.55 ± 0.03	10.09 ± 0.02	89.64 ± 0.02	
20	81.82 ± 0.09	6.81 ± 0.10	7.83 ± 0.02	2.24 ± 0.06	0.56 ± 0.02	0.53 ± 0.01	10.08 ± 0.00	89.72 ± 0.00	
21	81.05 ± 0.03	7.61 ± 0.06	8.27 ± 0.04	2.04 ± 0.02	0.33 ± 0.02	0.52 ± 0.01	10.31 ± 0.07	89.52 ± 0.07	
22	81.19 ± 0.10	7.65 ± 0.08	8.10 ± 0.01	1.81 ± 0.00	0.41 ± 0.01	0.59 ± 0.04	9.90 ± 0.34	89.85 ± 0.34	
23	82.40 ± 0.15	6.01 ± 0.01	7.96 ± 0.01	2.62 ± 0.00	0.27 ± 0.01	0.44 ± 0.03	10.58 ± 0.02	89.13 ± 0.02	
24	79.64 ± 0.81	8.83 ± 0.60	8.39 ± 0.12	1.96 ± 0.11	0.37 ± 0.02	0.55 ± 0.02	10.35 ± 0.16	89.38 ± 0.16	
25	79.79 ± 0.11	8.08 ± 0.04	8.75 ± 0.02	2.14 ± 0.00	0.58 ± 0.01	0.50 ± 0.00	10.89 ± 0.11	88.94 ± 0.11	
26	80.52 ± 0.11	7.73 ± 0.09	8.44 ± 0.02	2.27 ± 0.01	0.28 ± 0.04	0.51 ± 0.05	10.71 ± 0.09	89.03 ± 0.09	
27	80.31 ± 0.08	8.06 ± 0.03	8.39 ± 0.01	2.08 ± 0.01	0.34 ± 0.03	0.52 ± 0.01	10.47 ± 0.02	89.24 ± 0.02	
28	78.62 ± 0.14	9.84 ± 0.08	8.55 ± 0.03	1.71 ± 0.01	0.57 ± 0.06	0.52 ± 0.01	10.26 ± 0.01	89.55 ± 0.01	
29	79.90 ± 0.05	7.50 ± 0.05	8.74 ± 0.02	2.06 ± 0.00	1.10 ± 0.05	0.54 ± 0.02	10.80 ± 0.12	89.05 ± 0.12	
30	80.10 ± 0.05	8.18 ± 0.04	8.63 ± 0.02	1.63 ± 0.01	0.77 ± 0.07	0.54 ± 0.03	10.27 ± 0.20	89.58 ± 0.20	
31	79.94 ± 0.03	8.10 ± 0.05	9.01 ± 0.01	1.84 ± 0.00	0.50 ± 0.05	0.47 ± 0.07	10.84 ± 0.03	89.00 ± 0.03	
32	76.57 ± 3.41	10.71 ± 2.69	8.77 ± 0.85	2.12 ± 0.45	0.80 ± 0.45	0.52 ± 0.04	10.89 ± 0.21	88.60 ± 0.21	

续表 2

产地 序号	油酸 C18:1	亚油酸 C18:2	棕榈酸 C16:0	硬脂酸 C18:0	亚麻酸 C18:3	花生烯酸 C20:1	饱和 脂肪酸	不饱和 脂肪酸	%
33	79.06 ± 0.03	9.29 ± 0.04	8.54 ± 0.02	2.04 ± 0.07	0.48 ± 0.01	0.54 ± 0.02	10.58 ± 0.09	89.37 ± 0.09	
34	79.87 ± 0.06	8.53 ± 0.02	8.47 ± 0.04	2.07 ± 0.01	0.36 ± 0.03	0.52 ± 0.01	10.55 ± 0.04	89.29 ± 0.04	
35	79.13 ± 0.96	9.10 ± 0.88	8.61 ± 0.19	1.93 ± 0.00	0.34 ± 0.00	0.53 ± 0.02	10.54 ± 0.11	89.09 ± 0.11	
36	80.39 ± 1.35	7.76 ± 1.28	8.12 ± 0.55	1.97 ± 0.00	0.66 ± 0.16	0.48 ± 0.06	10.09 ± 0.11	89.29 ± 0.11	
37	81.56 ± 0.07	6.94 ± 0.03	8.07 ± 0.04	1.94 ± 0.00	0.76 ± 0.03	0.55 ± 0.03	10.01 ± 0.03	89.80 ± 0.03	
38	80.32 ± 0.16	7.85 ± 0.07	8.61 ± 0.00	1.94 ± 0.01	0.64 ± 0.02	0.49 ± 0.05	10.55 ± 0.30	89.30 ± 0.30	
39	81.16 ± 0.08	6.77 ± 0.07	8.38 ± 0.04	1.81 ± 0.01	0.47 ± 0.01	0.50 ± 0.00	10.19 ± 0.05	88.89 ± 0.05	
40	78.82 ± 0.59	8.73 ± 0.13	9.41 ± 0.00	1.65 ± 0.03	0.51 ± 0.00	0.54 ± 0.02	11.06 ± 0.02	88.59 ± 0.02	
41	81.70 ± 0.10	6.64 ± 0.08	7.48 ± 0.01	2.34 ± 0.39	0.57 ± 0.06	0.51 ± 0.00	9.13 ± 0.01	89.42 ± 0.01	
42	80.80 ± 0.55	7.35 ± 0.65	8.10 ± 0.34	2.56 ± 0.42	0.48 ± 0.13	0.53 ± 0.03	10.65 ± 0.16	89.15 ± 0.16	
43	79.95 ± 0.42	7.97 ± 0.29	8.97 ± 0.14	1.89 ± 0.46	0.54 ± 0.05	0.50 ± 0.02	10.85 ± 0.07	88.96 ± 0.07	
44	79.39 ± 0.98	8.70 ± 0.83	8.33 ± 0.46	2.13 ± 0.44	0.67 ± 0.22	0.52 ± 0.01	10.46 ± 0.25	89.28 ± 0.25	
45	80.20 ± 0.77	8.01 ± 0.30	8.46 ± 0.60	2.22 ± 0.69	0.34 ± 0.05	0.53 ± 0.02	10.68 ± 0.64	89.09 ± 0.65	
46	80.43 ± 0.03	8.06 ± 0.03	8.26 ± 0.03	2.00 ± 0.00	0.42 ± 0.04	0.57 ± 0.01	10.26 ± 0.03	89.48 ± 0.03	
47	81.38 ± 0.01	7.42 ± 0.01	7.97 ± 0.02	1.95 ± 0.01	0.44 ± 0.02	0.60 ± 0.05	9.91 ± 0.05	89.83 ± 0.05	

2.2 不同产地油茶籽脂肪酸主成分分析

以不同产地油茶籽油 6 种主要脂肪酸组分为变量,采用 SPSS 19.0 统计软件,对样本中脂肪酸信息进行集中与提取,得到不同产地油茶籽油脂脂肪酸主成分分析结果,见表 3。从表 3 可知,在所有因子构成中,信息主要集中在前 2 个因子,它们的累积方差贡献率达 76.39%,可概括 6 种主要脂肪酸组分所涵盖的大部分油茶籽油脂脂肪酸的组成信息,故选取前 2 个因子作为主成分 (F_i),即 F_1 、 F_2 作为油茶籽油中的主要脂肪酸组成。

表 3 脂肪酸主成分分析结果

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	2.93	48.81	48.81
2	1.66	27.58	76.39
3	0.82	13.71	90.10
4	0.35	5.89	95.99
5	0.24	3.98	99.97
6	0.00	0.03	100.00

对前 2 个主成分得分系数进行分析,结果见表 4。

表 4 脂肪酸成分得分系数

脂肪酸	主成分 1	主成分 2
油酸	-0.93	-0.34
亚油酸	0.50	0.82
棕榈酸	0.90	-0.02
硬脂酸	0.54	-0.72
亚麻酸	0.50	0.16
花生烯酸	-0.68	0.57

由表 4 可知:第 1 主成分中棕榈酸有较高的正载荷,油酸有较高的负载荷,这 2 种脂肪酸组分是对第 1 主成分影响最大的特征向量,说明第 1 主成分是由油酸和棕榈酸组成的一个综合指标;第 2 主成分中亚油酸有较高的正载荷,硬脂酸有较高的负载荷,说明第 2 主成分是由亚油酸和硬脂酸组成的一个综合指标。综合以上 2 个主成分的特点,可以认为不同产地油茶籽油的脂肪酸组成中,油酸、亚油酸、棕榈酸和硬脂酸这 4 种脂肪酸能较好地反映不同产地油茶籽油的脂肪酸组成情况,可作为鉴别不同产地普通油茶籽的特征脂肪酸,这与杨克玉等^[16]的研究结果基本一致。

2.3 不同产地油茶籽的甘油三酯组成及含量

经测定普通油茶籽的甘油三酯中包括 12 种组分,分别为 LLL、OLL、PLL + POL_n、OOL、POL + SLL、PPL、OOO、POO、PPO、GOO、SOO 和 SOP。不同产地油茶籽的甘油三酯组成及含量范围见表 5。

由表 5 可见,油茶籽的 12 种甘油三酯中,OOO、POO、OOL、SOO 和 POL + SLL 构成了甘油三酯的主体,其含量之和超过了甘油三酯总含量的 91%,其中 OOO 的含量最高,为 35.08% ~ 59.65%,其次是 POO 和 OOL,含量分别为 14.44% ~ 24.97% 和 7.27% ~ 16.66%,SOP、LLL 和 PPL 的含量较低,平均含量均低于 1%。不同产地油茶籽中的甘油三酯含量不尽相同,在所有甘油三酯中,PPL 的变异系数最大,达 103.57%,说明其含量在不同产地样品间存在的差异最大;LLL 和 SOP 次之,变异系数分别为 44.00% 和 35.94%;OOO 的变异系数最小,仅为 7.40%,说明

000 在不同产地样品间存在的差异较小。

表5 不同产地油茶籽的甘油三酯组成及含量范围

甘油三酯	含量范围	均值	标准差	方差	变异系数
LLL	0.17~1.66	0.49	0.22	0.05	44.00
OLL	1.10~5.62	2.53	0.69	0.48	27.34
PLL + POLn	0.68~3.00	1.39	0.34	0.11	24.30
OOL	7.27~16.66	10.75	1.86	2.55	17.30
POL + SLL	2.60~8.13	4.28	1.00	0.89	22.02
PPL	0.05~0.88	0.28	0.29	0.03	103.57
OOO	35.08~59.65	53.67	3.99	15.79	7.40
POO	14.44~24.97	18.18	1.57	2.44	8.60
PPO	1.04~4.60	1.71	0.47	0.22	27.52
GOO	0.43~1.30	0.96	0.14	0.02	14.66
SOO	2.52~8.14	4.72	1.00	0.97	20.82
SOP	0.28~2.58	0.73	0.26	0.07	35.94

注:P. 棕榈酸;S. 硬脂酸;O. 油酸;L. 亚油酸;Ln. 亚麻酸;G. 花生酸。

表6 不同产地油茶籽甘油三酯组成的相关系数矩阵

甘油三酯	LLL	OLL	PLL + POLn	OOL	POL + SLL	PPL	OOO	POO	PPO	GOO	SOO	SOP
OLL	0.65**	1.00										
PLL + POLn	0.51**	0.63**	1.00									
OOL	0.59**	0.77**	0.58**	1.00								
POL + SLL	0.45**	0.66**	0.51**	0.61**	1.00							
PPL	0.27**	0.39**	0.35**	0.33**	0.63**	1.00						
OOO	-0.39**	-0.55**	-0.45**	-0.50**	-0.78**	-0.59**	1.00					
POO	-0.16*	-0.07	-0.04	-0.12	0.17**	0.23**	-0.35**	1.00				
PPO	0.01	0.07	0.09	0.02	0.30**	0.36**	-0.48**	0.71**	1.00			
GOO	-0.08	-0.21**	-0.17**	-0.12	-0.31**	-0.30**	0.39**	-0.38**	-0.43**	1.00		
SOO	-0.41**	-0.52**	-0.56**	-0.64**	-0.40**	-0.25**	0.30**	0.11	-0.02	0.04	1.00	
SOP	-0.35**	-0.33**	-0.31**	-0.42**	-0.15*	-0.07	0.04	0.30**	0.21**	-0.06	0.55**	1.00

2.4.2 不同产地油茶籽甘油三酯组成主成分分析

不同产地油茶籽甘油三酯主成分分析结果见表7。

表7 甘油三酯主成分分析结果

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	4.98	41.53	41.53
2	4.54	37.84	79.37
3	0.82	6.80	86.17
4	0.62	5.15	91.31
5	0.38	3.19	94.50
6	0.30	2.51	97.01
7	0.17	1.43	98.44
8	0.09	0.72	99.16
9	0.05	0.41	99.57
10	0.03	0.28	99.85
11	0.02	0.12	99.97
12	0.00	0.03	100.00

由表7可看出,第1主成分的方差贡献率达41.53%,第2主成分的方差贡献率为37.84%,二者的累积方差贡献率达到79.37%,故选取前2个

2.4 不同产地油茶籽甘油三酯的主成分分析

2.4.1 不同产地油茶籽甘油三酯组成的相关系数矩阵

利用SPSS 19.0软件对不同产地油茶籽中的12种甘油三酯进行了相关性分析,相关系数矩阵结果如表6所示。由表6可以看出,多种甘油三酯之间存在着较强的相关性,如LLL与OLL,OLL与PLL + POLn、OOL,PPO与POO存在显著正相关,OOO与POL + SLL、SOO与OOL存在显著负相关,这说明不同的甘油三酯组分之间存在信息重叠的情况,因此有必要进行主成分分析,选择具有代表性的评价指标,建立尽可能少的新变量,使得新变量间两两不相关,进而减少信息重叠性的发生。

因子作为主成分。对前2个主成分得分系数进行分析,结果见表8。

表8 甘油三酯成分得分系数

甘油三酯	主成分1	主成分2
LLL	-0.53	0.63
OLL	-0.54	0.77
PLL + POLn	-0.55	0.59
OOL	-0.66	0.68
POL + SLL	0.15	0.96
PPL	0.49	0.65
OOO	-0.46	-0.86
POO	0.86	0.36
PPO	0.78	0.52
GOO	-0.60	-0.35
SOO	0.82	-0.35
SOP	0.91	0.03

由表8可看出:第1主成分中SOP、POO、SOO、PPO有较高的正载荷,这4种甘油三酯组分是对第

1 主成分影响最大的特征向量,说明第 1 主成分是由这 4 种甘油三酯组成的一个综合指标;第 2 主成分中 POL + SLL 有较高的正载荷,OOO 有较高的负载荷,说明这 2 种甘油三酯是决定这一主成分的主要因子。综合以上 2 个主成分的特点,可以认为不同产地油茶籽样品甘油三酯组成的主要差异为 POO、SOO、SOP、PPO、POL + SLL 和 OOO,即 POO、SOO、SOP、PPO、POL + SLL、OOO 这 6 种组分为油茶籽的特征甘油三酯成分。

2.5 不同产地油茶籽甘油三酯的聚类分析

聚类分析是将样品按照品质特性相似程度逐渐聚合在一起,相似度最大的优先聚合在一起,最终按照类别的综合性质多个品种聚合,从而完成聚类分析的过程。采用 SPSS 19.0 软件中的聚类分析程序,以各产地油茶籽油中含量在 1% 以上的甘油三酯组分为评价指标,采用平方欧氏距离法,对 47 个产地的样品进行了聚类分析,结果见图 1。

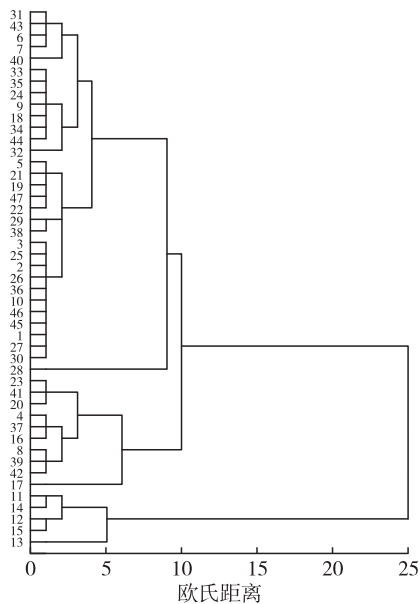


图 1 不同产地油茶籽甘油三酯聚类分析树形图

由图 1 可看出,以 num 5 作为分类标准,当欧氏距离为 10 时,可将 47 个产地的样品划分为 2 类,11、12、13、14、15 号 5 个产地的样品聚为一类,其余 42 个产地的样品聚为一类。11、12、13、14 和 15 号 5 个产地分别为海南省的白沙、儋州、定安、琼中和五指山,该结果与脂肪酸分析结果一致。比较各产地油茶籽甘油三酯组成中含量较高的 OOO 和 POO 的含量,发现与其他产地相比,海南省 5 个产地的油茶籽甘油三酯中的 OOO 含量较低,POO 含量较高,与其他产地有明显差别。

2.6 讨论

本研究发现,不同产地油茶籽中的脂肪酸和甘

油三酯组成及含量存在一定的差异,这与前人^[17-18]的研究结果基本一致,这可能与不同产地的环境条件(如气候条件、土壤类型、田间管理等)不同有关,尤其是气候条件(包括降雨、温度、湿度等)对脂肪酸和甘油三酯的组成有很大影响^[19-22],此外其他一些因素如采收成熟度、采摘方式和加工方式等也会影响脂肪酸和甘油三酯的组成^[10]。本研究发现,海南省 5 个产地样品中的脂肪酸组成及含量与其他产地有明显的不同,这可能是由海南独特的产地气候和地理环境所致^[23]。

本研究发现,油酸、亚油酸、棕榈酸和硬脂酸这 4 种脂肪酸能较好地反映不同产地油茶籽的脂肪酸组成情况,可作为鉴别不同产地油茶籽的特征脂肪酸,通过分析油茶籽油中的脂肪酸和甘油三酯组成,可鉴别油茶籽油的掺伪,这对于人类健康也具有非常重要的意义。

3 结论

对不同产地油茶籽的脂肪酸及甘油三酯组成和含量进行测定并对其进行主成分分析和聚类分析发现,不同产地油茶籽中脂肪酸和甘油三酯含量有一定差异。油茶籽油中主要包括油酸、亚油酸、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸、花生烯酸 6 种脂肪酸。其中油酸的平均含量最高,变异系数最小,除海南省 5 个产地外,其余各产地样品中油酸含量差异不明显。主成分分析结果显示,油酸、亚油酸、棕榈酸和硬脂酸是油茶籽油的特征脂肪酸。油茶籽中的甘油三酯包括 12 种组分,其中 OOO 含量最高,其次是 POO 和 OOL,LLL 和 PPL 含量最低。主成分分析结果表明,POO、SOO、SOP、PPO、POL + SLL、OOO 是油茶籽油的特征甘油三酯成分。在主成分分析的基础上,对油茶籽油样品进行了聚类分析,以 num 5 作为分类标准,可将其划分为 2 类,第一类 42 个产地,第二类 5 个产地均属于海南省。本研究为我国油茶的鉴别分类和加工利用提供了理论依据和参考信息。

参考文献:

- [1] 姚小华. 油茶资源与科学利用[M]. 北京:科学出版社, 2012.
- [2] 2019 年中国茶油行业分析报告:市场规模现状与发展趋势分析[R/OL]. (2019-05-08)[2020-11-01]. <http://baogao.chinabaogao.com/shipin/420848420884.html>.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] FAOUZIA M H, DHOuha K, HÉDIA M, et al. Analytical evaluation of six monovarietal virgin olive oils from Northern Tunisia[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2008,110(10): 905–913.
- [7] LERCKER G, RODRIGUEZ – ESTRADA M T. Chromatographic analysis of unsaponifiable compounds of olive oils and fat – containing foods[J]. J Chromatogr A, 2000, 881(1/2):105–129.
- [8] 管方方,何卓琼,方燕,等. GC – MS 分析食用油中甘油三酯的研究进展[J]. 中国油脂, 2014, 39(5): 76–80.
- [9] 籍淑贤,魏芳,胡娜,等. 食用植物油中甘油三酯色谱分析方法研究进展[J]. 分析测试学报,2014,33(1): 112–118.
- [10] 朱桃花,范璐,钱向明,等. HPLC 分析植物油脂甘油三酯结构组成的研究现状[J]. 中国油脂, 2011,36(5):59–63.
- [11] 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.
- [12] 刘琦,周军,晁燕,等. 不同产地油茶籽油脂肪酸组成研究[J]. 湖南林业科技, 2014, 41(3):34–37.
- [13] 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):110–114, 150.
- [14] 张乃燕,黄开顺,覃毓,等. 主要地理气候因子对油茶籽油脂肪酸组成的影响[J]. 中国油脂, 2013, 38(11): 78–80.
- [15] 吴小娟,李红冰,逢越,等. 山茶和油茶种子中脂肪酸的分析[J]. 大连大学学报,2006,27(4):56–58.
- [16] 杨克玉,高宏旗. 不同产地不同级别山茶籽油理化性质及脂肪酸组成比较研究[J]. 轻工科技,2017,33(6): 6–7,9.
- [17] HU J B, YANG G L. Physiochemical characteristics, fatty acid profile and tocopherol composition of the *Camellia oleifera* Abel cultivated in Henan, China[J]. Grasas Y Aceites, 2018,69(2): 255–263.
- [18] 贺义昌,吴妹杰,董乐,等. 主产区浙江红花油茶籽仁含油率及脂肪酸组成变异分析[J]. 经济林研究, 2020,38(3):37–45.
- [19] RODNEY J M, JAMIE A, KERRIE G, et al. The influence of growing region, cultivar and harvest timing on the diversity of Australian olive oil[J]. J Am Oil Chem Soc, 2010, 87(8): 877–884.
- [20] PIRAVI – VANAK Z, GHASEMI B J, GHAVAMI M, et al. The influence of growing region on fatty acids and sterol composition of Iranian olive oils by unsupervised clustering methods[J]. J Am Oil Chem Soc, 2012, 89(3): 371–378.
- [21] SAMIA D, IMED R, ADEL E, et al. Effect of controlled crossing on the triglyceride and fatty acid composition of virgin olive oils[J]. Chem Biodivers, 2010, 7(7): 1801–1813.
- [22] ABRAHAM G, ANTONIO J, GABRIEL B, et al. Correlation of fatty acid composition of virgin olive oil with thermal and physical properties [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2015,117(3): 366–376.
- [23] 郑道君,潘考忠,张冬明,等. 海南油茶资源调查与分析[J]. 西北林学院学报,2016,31(1):130–135.

欢迎订阅2022年度《中国油脂》
欢迎关注中国油脂微信公众号

