

海南岛不同油茶主产区油茶籽油营养成分分析及品质综合评价

夏腾飞^{1,2}, 陈加利^{1,2}, 熊子君³, 孙秀秀^{1,2}, 马光耀², 王春梅²,
梁振儒², 冯依欣², 郑道君^{1,2}

(1. 海南省农业科学院 三亚研究院, 海南 三亚 572025; 2. 海南省农业科学院 热带园艺研究所, 国家种质资源澄迈观测实验站, 海南省特种经济植物种质资源创新利用重点实验室, 海口 571100;
3. 中国热带农业科学院 热带生物技术研究所, 海口 571101)

摘要:海南岛油茶籽油品质独特, 为促进海南岛油茶资源开发利用并为油茶籽油品质性状育种提供参考依据, 选取海南岛不同油茶主产区的油茶籽, 对油茶种仁含油率及油茶籽油理化指标、无机元素含量、脂肪酸组成和生物活性物质含量进行测定, 并对考察指标进行相关分析、品质综合评价和聚类分析。结果表明: 海南岛油茶籽种仁平均含油率为 49.13%; 油茶籽油无机元素含量丰富, 不饱和脂肪酸含量在 90% 左右, 角鲨烯含量为 78.33 ~ 96.23 mg/kg, 茶多酚含量为 64.78 ~ 77.36 mg/kg, 维生素 E 含量为 430.7 ~ 484.4 mg/kg; 某些考察指标之间存在显著或极显著的相关性; 定安和海口产油茶籽油综合得分较高, 琼海油茶籽油综合得分最低; 通过聚类分析, 海南岛油茶籽油主产区可分为 3 类, 其中定安为一类, 屯昌、琼海、澄迈、临高为一类, 海南中部山区、海口为一类。综上, 海南岛油茶籽油品质较高, 各油茶主产区油茶籽油有其自身特点。

关键词:海南岛; 油茶籽油; 营养成分; 品质; 综合评价

中图分类号: TS225.1; TS227 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2023)06-0091-08

Nutritional components analysis and comprehensive quality evaluation of oil-tea camellia seed oil from different main producing areas in Hainan Island

XIA Tengfei^{1,2}, CHEN Jiali^{1,2}, XIONG Zijun³, SUN Xiuxiu^{1,2}, MA Guangyao²,
WANG Chunmei², LIANG Zhenru², FENG Yixin², ZHENG Daojun^{1,2}

(1. Sanya Institute, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Sanya 572025, Hainan, China; 2. The Key Laboratory of Tropic Special Economic Plant Innovation and Utilization, National Germplasm Resource Chengmai Observation and Experiment Station, Institute of Tropical Horticulture Research, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100, China; 3. Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China)

Abstract: The quality of oil-tea camellia seed oil originated from Hainan Island is unique. To promote the development and utilization of oil-tea camellia resources and further provide a reference for the quality traits breeding of oil-tea camellia seed oil in Hainan Island, oil-tea camellia seed samples from the main oil-tea camellia producing areas in Hainan Island were collected. The oil content in oil-tea camellia seed kernel, the physicochemical indexes, contents of inorganic elements, fatty acid composition and bioactive substances contents in oil-tea camellia seed oil were determined. Subsequently, data on these traits were submitted to do correlation analysis, comprehensive quality evaluation and cluster analysis. The results

收稿日期: 2022-01-14; 修回日期: 2023-02-03

基金项目: 国家自然科学基金(31860082); 海南省省属科研院所专项(KYYS-2021-27)

作者简介: 夏腾飞(1987), 男, 副研究员, 博士, 主要从事油茶遗传育种研究(E-mail) xtf68@163.com。

通信作者: 郑道君, 研究员(E-mail) daojunzh@163.com。

showed that the average oil content in oil - tea camellia seed kernel was 49.13%. The oil - tea camellia seed oil was rich in inorganic elements, and the contents of unsaturated fatty acid, squalene, tea polyphenol and vitamin E were about 90%, and 78.33 - 96.23, 64.78 - 77.36, 430.7 - 484.4 mg/kg, respectively. Significant or extreme significant correlations were found between some traits. The comprehensive scores of oil - tea camellia seed oil originated from Ding'an and Haikou were relatively higher, while that from Qionghai was the lowest. According to cluster analysis, the main producing areas of oil - tea camellia seed oil in Hainan Island could be divided into three categories, Ding'an into one category, Tunchang, Qionghai, Chengmai and Lingao into one category, and the central mountains and Haikou into one category. In conclusion, the quality of oil - tea camellia seed oil originated from Hainan Island is high, and the oil - tea camellia oil in each main producing area has its own characteristics.

Key words: Hainan Island; oil - tea camellia seed oil; nutritional component; quality; comprehensive evaluation

油茶是山茶科 (Theaceae)、山茶属 (*Camellia* L.) 中种子含油率较高植物的统称,经济价值较高,其中普通油茶 (*Camellia oleifera*)、小果油茶 (*C. meiocarpa*) 和越南油茶 (*C. vietnamensis*) 在当前栽培最多^[1-3]。油茶种植主要集中在我国南方低山和丘陵地区,不与粮食作物争地,具有一次种植长久受益的特点,既能缓解我国耕地短缺,促进农民增产增收,增加食用植物油料供给和保障国家植物食用油安全,也能美化环境、保持水土和防火防灾^[4-6]。

以成熟油茶籽为原料制备的油脂称为油茶籽油、山茶油或山柚油^[7]。油茶籽油感官上色泽明亮、风味醇香独特;营养成分上其脂肪酸组成与橄榄油相似,甚至一些指标优于橄榄油,因此被誉为“东方橄榄油”^[8-9]。另外,油茶籽油烟点高,热稳定性好,不易在烹饪煎炸过程中产生有害物质,深受我国消费者喜爱^[10]。油茶籽油已被联合国粮农组织推荐为高级健康食用油^[9,11]。油茶籽油的营养价值、药用价值和工业价值长期受到人们关注,而这些价值均与油茶籽油的成分密不可分^[12-13]。除富含油酸外,油茶籽油还含有亚油酸等人体必需的不饱和脂肪酸,硬脂酸、棕榈酸等饱和脂肪酸,钙、镁、钾、锌和铁等无机元素,以及茶多酚、角鲨烯、维生素 E 和类胡萝卜素等生物活性物质^[14-15]。长期食用油茶籽油,可以在补充人体不饱和脂肪酸、无机元素和能量的同时,提高人体免疫力,延缓细胞衰老,降低胆固醇,溶解血栓,预防和缓解“三高”以及冠心病^[16-18]。另外,油茶籽油还可以用作工业原料,深加工成高级化妆品、护肤品和精油等^[19-20]。

海南岛是我国油茶资源分布的最南端,岛上油茶资源丰富,在原始森林中甚至还有普通油茶原生种分布^[21]。受益于海南优越的热带气候条件,海南

岛油茶籽油品质优良、风味独特^[22]。近年来,随着各级政府对油茶产业的重视,海南油茶产业迎来了新的发展机遇。但是,关于海南岛油茶籽油营养成分及品质综合评价的系统研究还比较欠缺。在前期研究的基础上,本研究选取海南岛油茶主产区的油茶籽,对油茶种仁含油率和油茶籽油的无机元素含量、脂肪酸组成、理化指标和生物活性物质含量等进行分析,综合评价岛内各油茶主产区的油茶籽油品质特征,从而为海南岛油茶资源综合开发利用和油茶籽油品质性状育种提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

从海南岛油茶主产区海口、临高、澄迈、定安、琼海、屯昌和海南中部山区(白沙、琼中和五指山)等市县,自然生长的半野生状态越南油茶老林中摘取成熟果实。每个油茶主产区取样,设置 3 个重复。将成熟油茶果带回实验室后,室内自然风干。待油茶果实自然开裂后,取出油茶籽,置于 80℃ 烘箱中干燥至恒重。

乙醚、甲基叔丁基醚、无水乙醚、石油醚、乙醇、异丙醇、乙酸乙酯、十二烷酸乙酯、冰乙酸、正丁醇、三氯甲烷、盐酸、浓硫酸、硝酸、高氯酸、焦性没食子酸、氨水、无水硫酸钠、氢氧化钠、硫代硫酸钠、硫酸氢钠、碳酸钠、碘化钾、氢氧化钾、重铬酸钾、韦氏试剂、四氢呋喃、福林酚和香草醛,分析纯;甲醇、正己烷、正庚烷,色谱纯。

混合脂肪酸甲酯标准品,角鲨烯标准品(纯度 $\geq 98\%$), α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚标准品, α -、 β -、 γ -、 δ -生育三烯酚标准品和元素(钙、镁、钾、锌和铁)标准贮备液等。

1.1.2 仪器与设备

索氏脂肪提取仪, Agilent 8890 气相色谱仪(配置 FID 检测器), Agilent1260 高效液相色谱系统, 紫外分光光度计, Agilent7900 电感耦合等离子体发射光谱仪, 微波消解仪, 高速粉碎机, 旋转蒸发仪, 折光仪, 超声波发生器, 微量测定管, 天平, 恒温水浴锅, 恒温干燥箱, 离心机, 氮吹仪, 涡旋振荡器, 可调式控温电热板, 马弗炉, 可调式控温电热炉。

1.2 实验方法

1.2.1 油茶籽油的制备

参照周莉君等^[19]的方法制备油茶籽油。取已烘干至恒重的油茶籽去掉坚硬外壳, 得到油茶种仁(带棕褐色内种皮)。取 10 g 油茶种仁, 100℃干燥 4 h 并磨碎后, 用脱脂滤纸包裹好置于索氏抽提器中, 加入正己烷, 65℃恒温循环 12 h。回收溶剂后, 将所制备的油脂置于恒温箱内烘至恒重, 得到油茶籽油。计算油茶籽油质量与油茶种仁质量的比值, 得到油茶种仁含油率。

1.2.2 油茶籽油营养成分和理化指标测定

1.2.2.1 无机元素含量测定

无机元素钙、镁、钾、锌和铁含量测定参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中的电感耦合等离子体发射光谱法。

1.2.2.2 脂肪酸组成测定

脂肪酸组成的测定参照 GB 5009.168—2016《食品国家安全标准 食品中脂肪酸的测定》中的归一化法。

1.2.2.3 理化指标测定

酸值的测定参照 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》; 碘值的测定参照

GB/T 5532—2008《动植物油脂 碘值的测定》; 过氧化值的测定参照 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》; 折光指数的测定参照 GB/T 5527—2010《动植物油脂 折光指数的测定》。

1.2.2.4 生物活性物质含量测定

茶多酚含量的测定参照 LS/T 6119—2017《粮油检验 植物油中多酚的测定 分光光度法》和吕建云等^[23]的方法; 角鲨烯含量的测定参照 LS/T 6120—2017《粮油检验 植物油中角鲨烯的测定 气相色谱法》; 维生素 E 含量的测定参照 GB/T 26635—2011《动植物油脂 生育酚及生育三烯酚含量测定 高效液相色谱法》。

类胡萝卜素含量的测定参照杨万政等^[24]的方法。精确称取 0.1 g 油茶籽油样品于 10 mL 容量瓶中, 石油醚定容后用 1 cm 比色皿测定 445 nm 处的吸光值, 同时以石油醚作空白对照, 按文献中改进方法部分的公式计算类胡萝卜素含量。

1.2.3 数据分析

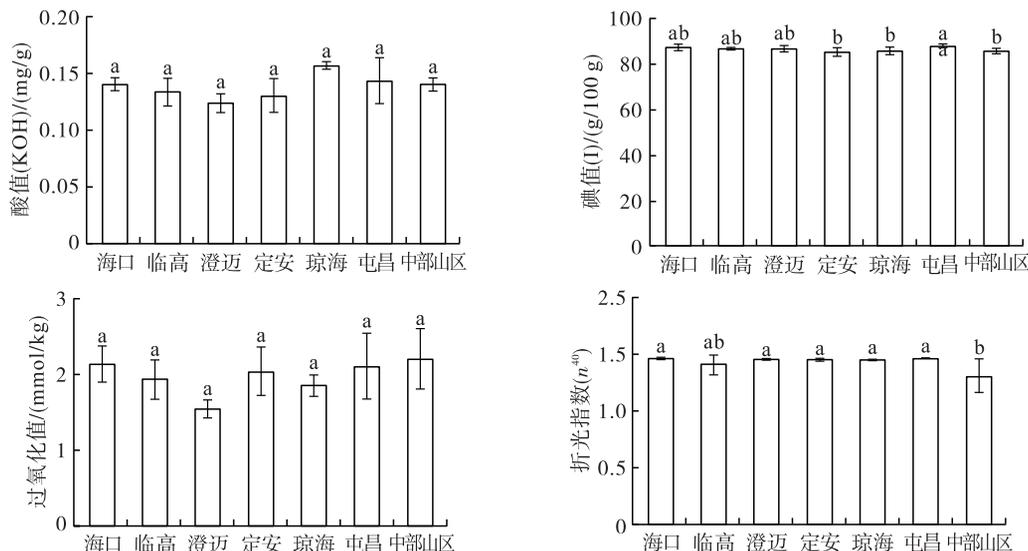
在 Excel 2016 中对原始数据采用 Z - Score 法标准化处理后, 再使用 SAS 9.4 软件对数据进行方差分析和相关分析。海南岛主产区油茶籽油的综合品质评价得分计算参照黄安香^[25]、马林龙^[26]的方法。品质综合评价时逆向指标的正向化选用逆向指标倒数法^[27]。聚类分析采用品质综合评价时的标准化数据, 采用 ward's 方法。差异显著性检验采用 Duncan 多重比较法。

2 结果与讨论

2.1 海南岛油茶籽油理化指标及营养成分含量

2.1.1 油茶籽油理化指标

海南岛油茶主产区油茶籽油理化指标见图 1。



注: 不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$); 相同字母表示差异不显著 ($p > 0.05$)。下同

图 1 海南岛油茶主产区油茶籽油理化指标

由图1可知,海南岛油茶籽油酸值和过氧化值远低于GB/T 11765—2018《油茶籽油》的要求,且不同油茶主产区之间不存在显著差异。而碘值和折光指数在不同油茶主产区之间存在显著差异。其中,屯昌产的油茶籽油碘值显著高于定安、琼海和中部山区产的油茶籽油,而中部山区产的油茶籽油折光指数显著

低于海口、澄迈、定安、琼海和屯昌产的油茶籽油。因此,可以考虑从屯昌和中部山区的油茶资源中分别选育出高碘值和低折光指数的油茶籽油品种。

2.1.2 海南岛油茶籽油中无机元素含量

海南岛油茶主产区油茶籽油中无机元素含量见图2。

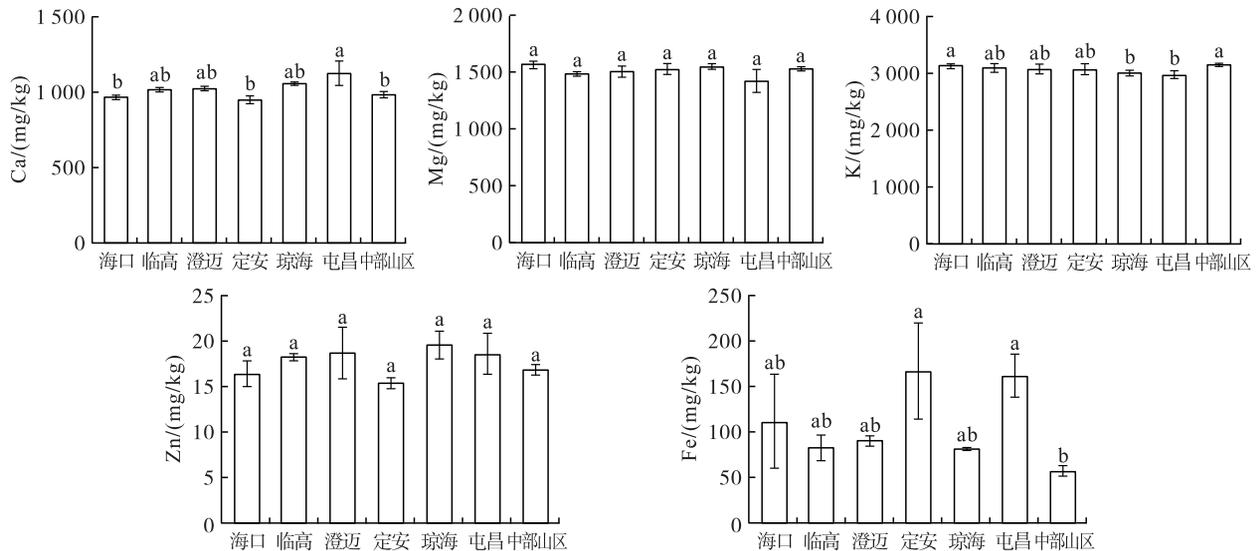


图2 海南岛油茶主产区油茶籽油中无机元素含量

由图2可知,不同主产区油茶籽油中钙、钾和铁含量存在差异。其中,屯昌(1 130.05 mg/kg)产的油茶籽油中钙含量显著高于定安(951.81 mg/kg)和海口(972.57 mg/kg)产的油茶籽油($p < 0.05$);中部山区(3 174.42 mg/kg)和海口(3 157.41 mg/kg)产的油茶籽油中钾含量显著高于屯昌(2 998.75 mg/kg)和琼海(3 029.4 mg/kg)产的油茶籽油($p < 0.05$);定安(167.9 mg/kg)和屯昌(162.25 mg/kg)产的油茶籽油中铁含量显著高于中部山区(57.11 mg/kg)产的油茶籽油($p < 0.05$)。然而镁和锌含量稳定,在海南岛油茶主产区之间差异不显著($p > 0.05$)。总之,海南岛产的油茶籽油中钙、镁、钾、锌和铁等无机元素含量较高,其中钙、钾和铁等无机元素在主产区之间存在显著差异。油茶品种、人工施肥和产区环境是影响油茶籽油中无机元素含量的重要因素,而本研究所选原料来自各主产区半野生状态的越南油茶老林,日常缺乏人工管理干预,因此推测海南岛油茶籽油中钙、钾和铁等无机元素含量存在差异的原因可能是产区环境中无机元素含量差异或不同主产区油茶籽原料吸收元素的能力差异所致,具体原因还需进一步研究。

2.1.3 海南岛油茶种仁含油率和油茶籽油脂肪酸组成

海南岛油茶主产区油茶种仁含油率和油茶籽油

脂肪酸组成见图3。由图3可知,海南岛油茶种仁平均含油率为49.13%,变异幅度为46.35%~55.54%,其中临高油茶种仁含油率最高且显著高于其他油茶主产区的。就脂肪酸组成而言,海南岛油茶籽油中仅棕榈酸和亚麻酸含量在主产区之间有差异。中部山区(7.36%)和澄迈(7.34%)产的油茶籽油中棕榈酸含量显著高于定安(4.85%)产的油茶籽油;仅在临高(0.016%)和琼海(0.010%)产的油茶籽油中检测到了亚麻酸,且临高产的油茶籽油亚麻酸含量显著高于琼海产的油茶籽油。海南岛油茶籽油中油酸和亚油酸等不饱和脂肪酸的含量在90%左右,硬脂酸和棕榈酸等饱和脂肪酸的含量在9%左右,并且在不同油茶主产区之间,不饱和脂肪酸以及饱和脂肪酸的含量差异不显著。总体而言,海南岛油茶在种仁含油率和油茶籽油不饱和脂肪酸含量方面的表现较优且相对稳定。海南岛内一些油茶主产区的油茶籽油某些性状方面表现突出,这就为针对突出性状开展油茶遗传育种工作提供了种质资源,比如:临高油茶在种仁含油率和亚麻酸含量方面表现优异,为高种仁含油率和高亚麻酸含量性状育种提供了契机,在以后的油茶育种研究中,可加强对临高油茶的研究,从中筛选出产量稳定且种仁出油率高和亚麻酸含量高的油茶品种;定安油茶低棕榈酸的特点也值得挖掘,以后的油茶研究中可从中

选育出低棕榈酸油茶品种。因没有在海口、澄迈、定安、屯昌和中部山区产的油茶籽油中检测到亚麻酸,

因此亚麻酸含量数据未被用于相关分析、综合评价和聚类分析。

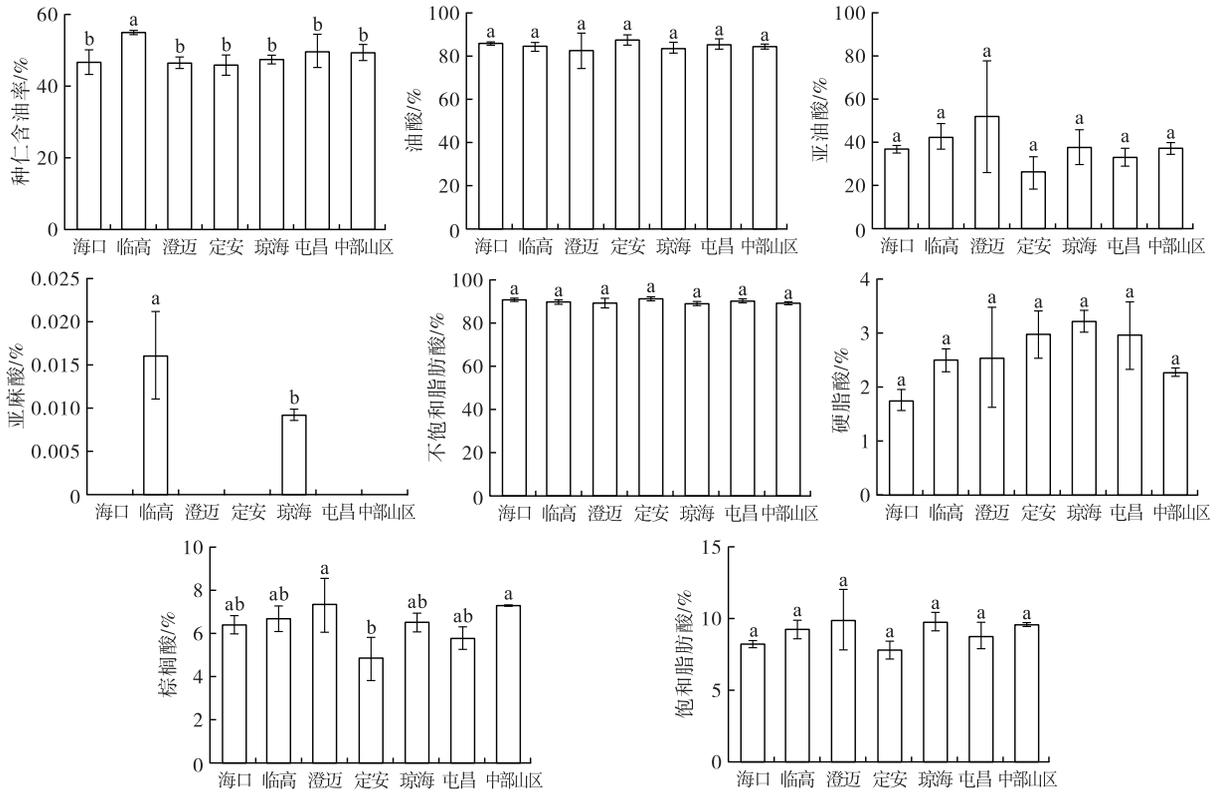


图3 海南岛油茶主产区油茶种仁含油率和油茶籽油脂肪酸组成

2.1.4 海南岛油茶籽油生物活性物质含量

海南岛油茶主产区油茶籽油生物活性成分及含量见图4。由图4可知,海南岛油茶籽油生物活性物质中,各主产区之间角鲨烯含量具有差异性,定安产的油茶籽油中角鲨烯含量显著低于海口、临高、澄迈、琼海和屯昌产的油茶籽油,而各主产区之间茶多酚、维生素E和类胡萝卜素的含量没有表现出显著差异。结合已有报道发现:海南岛油茶籽油中角鲨烯含量(78.33~96.23 mg/kg)和黔西南地区的油茶籽油中角鲨烯含量(79~87 mg/kg)水平相当^[25],

处于国内油茶籽油中角鲨烯含量的中等水平;海南岛油茶籽油中茶多酚含量(64.78~77.36 mg/kg)处于国内油茶籽油中茶多酚含量(20.56~88.56 mg/kg)^[13]的较高水平;海南岛油茶籽油中维生素E含量(430.7~484.4 mg/kg)明显高于国内大多油茶籽油中维生素E含量(38.54~280 mg/kg)^[25,28];海南岛油茶籽油中类胡萝卜素的含量(42.9~60.1 mg/kg)明显高于沙棘油中类胡萝卜素含量(0.1~19.7 mg/kg)^[24]。综上所述,海南岛油茶籽油中生物活性物质含量较高。

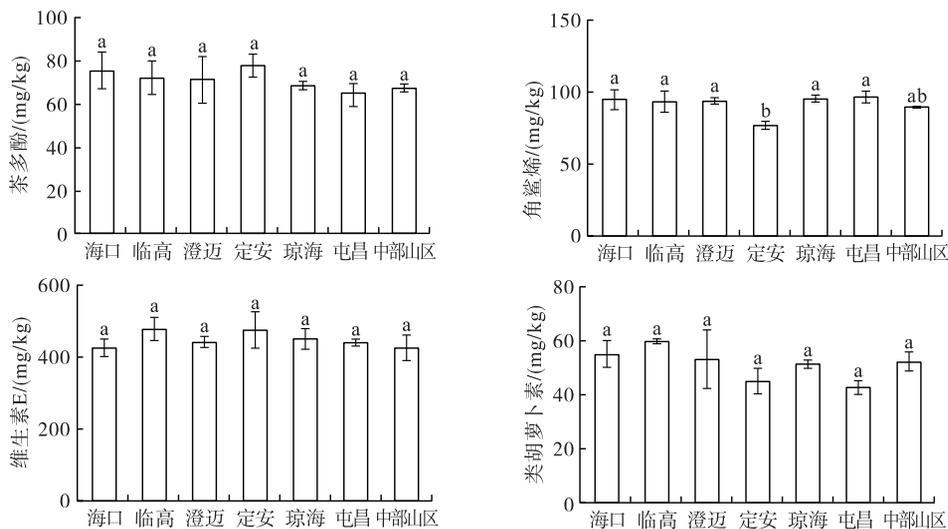


图4 海南岛油茶主产区油茶籽油生物活性成分及含量

2.2 海南岛油茶籽油考察指标间的相关性(见表1)

由表1可知,海南岛油茶籽油中除亚麻酸含量外的20个考察指标之间呈显著或极显著相关。其中,钙含量与锌含量呈显著正相关,与钾含量和茶多酚含量呈显著负相关;钾含量与硬脂酸含量呈显著负相关;锌含量与饱和脂肪酸含量呈显著正相关,与不饱和脂肪酸含量呈显著负相关;铁含量与棕榈酸

含量呈极显著负相关,与饱和脂肪酸含量和类胡萝卜素含量呈显著负相关;棕榈酸含量与亚油酸含量以及饱和脂肪酸含量呈显著正相关,与油酸含量以及不饱和脂肪酸含量呈显著负相关;油酸含量与不饱和脂肪酸含量呈极显著正相关,与亚油酸含量以及饱和脂肪酸含量呈极显著负相关;不饱和脂肪酸含量与饱和脂肪酸含量呈极显著负相关。

表1 海南岛油茶主产区油茶籽油20个指标的相关分析

项目	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	1									
X2	-0.73	1								
X3	-0.82*	0.60	1							
X4	0.81*	-0.34	-0.62	1						
X5	0.12	-0.44	-0.48	-0.34	1					
X6	0.08	0.18	0.40	0.44	-0.90**	1				
X7	0.51	-0.37	-0.83*	0.45	0.34	-0.43	1			
X8	-0.36	0.03	0.03	-0.75	0.74	-0.86*	0.01	1		
X9	0.19	-0.01	0.13	0.58	-0.63	0.83*	-0.25	-0.92**	1	
X10	-0.47	0.04	0.18	-0.81*	0.72	-0.76*	-0.24	0.93**	-0.70	1
X11	0.41	-0.04	-0.08	0.76*	-0.77*	0.83*	0.15	-0.95**	0.75	-0.99**
X12	0.31	0.27	-0.32	0.32	-0.17	-0.04	0.29	0.07	-0.35	-0.21
X13	0.61	-0.57	-0.28	0.37	0.16	0.19	-0.29	-0.18	0.31	-0.02
X14	-0.18	0.02	0.26	-0.55	0.20	-0.32	-0.28	0.69	-0.74	0.54
X15	0.25	-0.12	-0.59	0.20	0.61	-0.51	0.33	0.18	-0.04	0.27
X16	0.29	-0.44	-0.01	0.29	-0.28	0.25	-0.04	-0.21	0.19	-0.19
X17	-0.81*	0.53	0.43	-0.68	0.28	-0.43	-0.29	0.49	-0.22	0.67
X18	0.66	-0.22	-0.24	0.75	-0.42	0.61	-0.18	-0.63	0.59	-0.57
X19	-0.11	-0.16	-0.26	-0.02	0.29	-0.49	0.52	0.21	-0.18	0.20
X20	-0.34	0.45	0.58	0.13	-0.76*	0.66	-0.56	-0.49	0.62	-0.30

项目	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20
X11	1									
X12	0.13	1								
X13	0.03	-0.09	1							
X14	-0.53	0.36	0.01	1						
X15	-0.35	-0.02	0.28	-0.43	1					
X16	0.24	-0.07	0.29	0.16	-0.38	1				
X17	-0.65	-0.39	-0.40	-0.05	0.33	-0.34	1			
X18	0.56	0.31	0.75	-0.19	0.07	0.33	-0.63	1		
X19	-0.21	-0.25	-0.39	-0.25	0.26	0.34	0.40	-0.48	1	
X20	0.37	-0.13	0.00	-0.22	-0.30	0.45	0.19	0.33	0.05	1

注: X1. Ca; X2. Mg; X3. K; X4. Zn; X5. Fe; X6. 棕榈酸; X7. 硬脂酸; X8. 油酸; X9. 亚油酸; X10. 不饱和脂肪酸; X11. 饱和脂肪酸; X12. 酸值; X13. 碘值; X14. 过氧化值; X15. 折光指数(n_{40}^D); X16. 种仁含油率; X17. 茶多酚; X18. 角鲨烯; X19. 维生素E; X20. 类胡萝卜素。* 表示显著相关($p < 0.05$), ** 表示极显著相关($p < 0.01$)

2.3 海南岛油茶籽油品质综合评价

油茶籽油中不饱和脂肪酸、油酸、亚油酸、茶多酚、角鲨烯、维生素E、类胡萝卜素含量的高低是评价油茶籽油品质的重要指标;种仁含油率和无机元

素(钙、镁、钾、锌、铁)含量是评价油茶品质和油茶籽油营养价值的关键性指标^[25]。一定程度上,这13个指标含量数值越高相应的油茶或油茶籽油的品质也就越高(正向指标)。油茶籽油中饱和脂肪

酸含量、棕榈酸含量、硬脂酸含量、酸值、过氧化值5个考察指标,一定程度上测定数值越小,油茶籽油的品质越高(逆向指标)。因此,在油茶籽油品质综合评价之前需要对这5个逆向指标进行正向化处理,从而避免出现与实际不符的错误综合得分和总排名^[27,29]。折光指数和碘值是油茶籽油的重要特征指标,均在一定范围内,因此折光指数和碘值未被用于基于主成分分析的品质综合评价。

2.3.1 公因子提取

海南岛主产区油茶籽油主成分分析结果见表2。

表2 海南岛油茶主产区油茶籽油主成分分析结果

项目	特征向量			
	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4
特征根值	7.48	4.47	2.35	1.60
方差贡献率/%	41.54	24.81	13.06	8.91
累积贡献率/%	41.54	66.35	79.41	88.32
Ca	-0.20	-0.37	-0.11	0.05
Mg	0.05	0.35	-0.08	-0.31
K	0.05	0.44	-0.06	0.10
Zn	-0.31	-0.21	0.04	-0.03
Fe	0.26	-0.28	0.08	-0.04
棕榈酸	0.32	-0.21	0.11	-0.03
硬脂酸	0.03	0.37	-0.25	0.09
油酸	0.35	-0.07	-0.14	0.09
亚油酸	-0.30	0.15	0.24	-0.03
不饱和脂肪酸	0.34	0.03	-0.03	0.14
饱和脂肪酸	0.35	-0.01	-0.03	0.06
酸值	0.02	0.12	0.49	0.10
过氧化值	-0.19	0.01	0.48	-0.30
种仁含油率	-0.13	-0.04	0.00	0.73
茶多酚	0.25	0.24	0.28	-0.05
角鲨烯	-0.29	-0.04	-0.24	0.08
维生素E	0.10	-0.12	0.45	0.32
类胡萝卜素	-0.16	0.35	0.08	0.30

由表2可知,逆向指标正向化后,通过主成分分析可将海南岛油茶籽油的18个指标综合为4个主成分,代表考察性状88.32%的变异。主成分1方差贡献率为41.54%,正向化后的饱和脂肪酸、油酸以及不饱和脂肪酸3个考察指标特征向量值较大且均为正效应,因此可以把主成分1概括为脂肪酸因子。主成分2方差贡献率为24.81%,钾元素含量特征向量最大且为正效应,可把主成分2概括为钾因子。主成分3方差贡献率为13.06%,正向化后的酸值和过氧化值特征向量较大且为正效应,表明主成分3与油茶籽油的氧化相关,因此可把主成分3概括为氧化因子。主成分4方差贡献率为

8.91%,种仁含油率的特征向量最大且为正效应,因此可把主成分4概括为种仁含油率因子。

2.3.2 综合评分

海南岛油茶主产区的油茶籽油综合得分如表3所示。

表3 海南岛油茶主产区油茶籽油综合得分

主产区	主成分1得分	主成分2得分	主成分3得分	主成分4得分	综合得分
海口	1.71	2.53	-1.52	-0.23	1.27
临高	-1.20	0.64	1.17	2.48	0.04
澄迈	-2.81	0.74	2.14	-1.24	-0.92
定安	5.25	-0.51	1.40	-0.47	2.48
琼海	-2.05	-1.21	-0.60	-1.12	-1.51
屯昌	-0.02	-3.85	-1.05	0.49	-1.20
中部山区	-0.87	1.67	-1.55	0.09	-0.16

由表3可知,综合得分最高的是定安产的油茶籽油,其主成分1得分最高,说明定安产的油茶籽油在不饱和脂肪酸含量上占有优势。综合得分次高的是海口产的油茶籽油,其主成分2得分最高,说明海口产的油茶籽油在钾元素含量方面占有优势。综合得分第3的是临高产的油茶籽油,其主成分4得分最高,说明临高产的油茶籽油在种仁含油率方面占有优势。综合得分最低的是琼海产的油茶籽油。由此可知,海南岛各主产区的油茶籽油综合评分虽有高低之分,但各有其自身特点,后期可根据各主产区油茶籽油特点针对性开展相关研究。

2.4 海南岛油茶籽油的聚类分析

为更加深入了解海南岛不同油茶主产区的油茶籽油品质综合评价的区域分布情况,用海南岛油茶籽油品质综合评价的数据进行聚类分析,结果见图5。

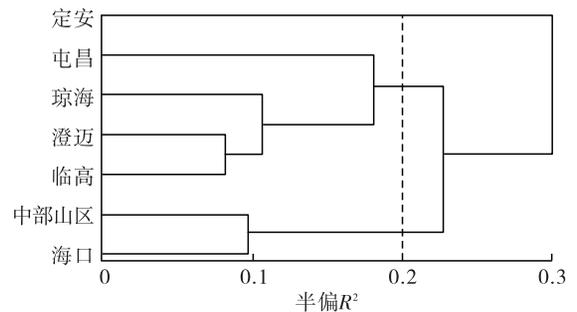


图5 海南岛油茶主产区油茶籽油的聚类分析结果

由图5可知,在半偏 R^2 为0.2时,海南岛油茶籽油主产区可分为3类。其中,定安被单独区分开(I类),屯昌、琼海、澄迈和临高被划分为一类(II类),而中部山区和海口被划分为一类(III类)。结合海南岛油茶主产区油茶籽油综合得分(表3)可知,I类油茶籽油综合得分最高,II类油茶籽油综合

得分总体较低,III类油茶籽油品质综合得分居中。

3 结论

海南岛油茶种仁的平均含油率为49.13%,且海南岛产的油茶籽油不饱和脂肪酸含量约90%,理化指标稳定且达到较优水平,富含茶多酚、角鲨烯、维生素E和类胡萝卜素等生物活性物质。钙、钾和铁等无机元素含量,亚麻酸和棕榈酸等脂肪酸含量,碘值和折光指数等理化指标,以及角鲨烯含量在不同油茶主产区之间有显著差异,其余考察指标在不同油茶主产区之间无显著差异。相关分析表明海南岛油茶籽油考察指标间存在显著和极显著相关性。主成分分析将选取的海南油茶籽油相互关联指标概括为脂肪酸因子、钾因子、氧化因子和种仁含油率因子。海南岛不同油茶主产区油茶籽油的品质综合评价和聚类分析表明,油茶籽油的综合品质与油茶籽油的产地有一定关联性。其中,定安被单独划分为一类,该类油茶籽油综合得分最高;屯昌、琼海、澄迈和临高被划分为一类,该类油茶籽油综合得分总体偏低;而海南中部山区和海口被划为一类,该类油茶籽油综合得分居中。本研究在分析海南岛不同油茶主产区油茶籽油的营养成分及含量的基础上,综合评价了各油茶主产区油茶籽油的品质,可为海南岛油茶资源开发利用以及油茶籽油品质性状育种提供参考依据。

参考文献:

- [1] 杨立荣,张治礼,陈加利,等.海南油茶种实数量性状多样性评价[J].经济林研究,2018,36(3):69-76.
- [2] 陈宣,云勇,吴宇佳,等.海南岛油茶种质资源遗传多样性的SRAP分析[J].热带亚热带植物学报,2019,27(6):659-668.
- [3] 韦靖杰,潘晓芳,覃镇,等.陆川油茶现蕾期至谢花期主要器官中内源激素的变化规律[J].经济林研究,2021,39(2):123-131.
- [4] 曹永庆,任华东,王开良,等.油茶叶片氮磷钾含量与经济性状的关联分析[J].林业科学研究,2021,34(1):165-172.
- [5] 马力,陈永忠,李志钢,等.种质差异对油茶果实主要性状的影响研究[J].中国粮油学报,2021,36(7):100-105.
- [6] 廖阳,李昌珠,于凌一丹,等.我国主要木本油料油脂资源研究进展[J].中国粮油学报,2021,36(8):151-160.
- [7] 戚华沙.海南岛油茶种质资源的分子鉴定[D].海口:海南大学,2020.
- [8] 刘跃进,欧日明,陈永忠.我国油茶产业发展现状与对策[J].林业科技开发,2007,21(4):1-4.
- [9] 陈柏林.南带油茶油脂品质特征研究[D].长沙:中南林业科技大学,2018.
- [10] 王进英.油茶热稳定性研究[D].长沙:中南林业科技大学,2017.
- [11] 陈隆升,陈永忠,彭邵锋.油茶光合特性研究进展与高光效育种前景[J].湖南林业科技,2010,37(3):33-39.
- [12] 唐旭晓,张应中,王静,等.GC-MS法结合酸酯化预处理测定不同地区油茶籽油脂肪酸含量[J].现代食品科技,2021,37(12):286-293.
- [13] 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.
- [14] 叶洲辰.不同产地油茶籽油和茶桔饼的化学成分及生物活性比较研究[D].海口:海南大学,2017.
- [15] 李思童.油茶籽油不同形态酚类化合物抗氧化互作及油相迁移特征[D].江苏扬州:扬州大学,2021.
- [16] 夏欣,姚磊,曹君,等.两种油茶籽油风味物质的分析与比较[J].中国食品学报,2016,16(4):251-257.
- [17] 黄安香,杨守禄,张彦雄,等.气相色谱-质谱法分析贵州自育油茶籽油的脂肪酸成分[J].贵州农业科学,2017,45(11):130-134.
- [18] 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.
- [19] 周莉君,刘静,王艳芹,等.12株油茶种仁含油率及脂肪酸组成分析[J].中国油脂,2017,42(5):132-135.
- [20] 徐德兵,陈福,张林涛,等.云南高原山地油茶籽油脂脂肪酸组成及品质分析[J].西部林业科学,2021,50(1):112-117.
- [21] 郑道君,潘孝忠,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.
- [22] 李杨.海南省油茶及其林下植物炭疽病菌遗传多样性研究[D].长沙:中南林业科技大学,2017.
- [23] 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.
- [24] 杨万政,曹秀君,李金淑,等.紫外分光光度法测定沙棘油中总类胡萝卜素方法改进[J].中央民族大学学报(自然科学版),2009,18(3):5-8.
- [25] 黄安香,王忠伟,杨守禄,等.黔产油茶籽油不同抽取方法营养成分分析及品质评价[J].食品工业科技,2022,43(7):294-302.
- [26] 马林龙,刘艳丽,曹丹,等.不同茶树品种(系)的绿茶滋味分析及评价模型构建[J].农业工程学报,2020,36(10):277-286.
- [27] 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.
- [28] 陈振超,倪张林,莫润宏,等.7种木本油料油脂品质综合评价[J].中国油脂,2018,43(11):80-85.
- [29] 林海明,杜子芳.主成分分析综合评价应该注意的问题[J].统计研究,2013,30(8):25-31.