

海南岛实生油茶种质资源表型多样性分析

陈泰臻^{1,2}, 陈珏琦², 陆玲^{1,2}, 兰寒俏^{1,2}, 范弋豪^{1,2}, 凌鹏^{1,2*}

1. 海南大学热带特色林木花卉遗传与种质创新教育部重点实验室, 海南海口 570228; 2. 海南大学热带农林学院, 海南海口 570228

摘要: 油茶 (*Camellia oleifera*) 是一种在中国南方广泛种植的重要木本油料树种, 其果实、叶片和树型等表型性状表现出丰富的多样性。本研究采集了 100 份实生油茶样本, 对其中 33 个表型性状进行了系统性分析。结果显示: (1) 在数量性状的多样性分析中, 变异系数范围为 8.81%~56.85%, 其中单位面积花量 (NFPUA) 显示出最大的变异性 (56.85%), 果形指数 (FSI) 则表现出最小的变异性 (8.81%)。数量性状的多样性指数范围为 1.13~4.61, 表明果实和叶片性状具有较大的遗传多样性。(2) 通过聚类分析将 100 份实生油茶样本分为 5 类: 第 I 类果色最深, 果实形状较圆, 树体较高大; 第 II 类果实较扁圆, 单果重量偏重, 树冠幅较窄; 第 III 类果实形状较长, 单果重最大, 树木较小但密集度高; 第 IV 类果实多为较圆形, 单果重较轻, 叶片面积较大; 第 V 类果实形状较长, 果皮较厚, 树冠较开阔。(3) 主成分分析提取了 12 个主要成分, 累计贡献率为 79.174%, 包括果实横径、单果重、鲜籽重等性状。综合各主成分分析结果, 筛选出表现优异的实生油茶个体以供进一步观察。研究发现海南省的油茶资源表现出丰富的表型性状多样性, 为油茶的遗传改良提供理论依据。

关键词: 油茶; 表型性状; 遗传多样性; 种质资源; 聚类分析; 主成分分析

中图分类号: S794.4 文献标志码: A

Genetic Diversity Analysis of Phenotypic Traits in Seedling *Camellia oleifera* on Hainan Island

CHEN Taizhen^{1,2}, CHEN Jueqi², LU Ling^{1,2}, LAN Hanqiao^{1,2}, FAN Yihao^{1,2}, LING Peng^{1,2*}

1. Key Laboratory of Genetics and Germplasm Innovation of Tropical Forest Trees and Ornamental Plants (Ministry of Education), Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. College of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China

Abstract: *Camellia oleifera* is a significant woody oil tree species that is extensively cultivated in southern China. It displays a notable degree of diversity in phenotypic traits, such as fruit, leaf and tree shapes, etc.. In the present study, 100 *C. oleifera* seedling trees were collected and 33 phenotypic traits were subjected to the comprehensive evaluation. In the diversity analysis of quantitative traits, the coefficient of variation (CV) was ranged from 8.81% to 56.85%, with the number of flowers per unit area (NFPUA) exhibiting the greatest variability (56.85%), and the fruit shape index (FSI) demonstrated the least variability (8.81%). The diversity index of quantitative traits exhibited a range of 1.13 to 4.61, indicating a notable degree of genetic diversity in fruit and leaf traits. Cluster analysis classified the 100 germplasm accessions into five categories. The first category was characterized by dark fruit colour, a rounder fruit shape, and taller trees. The second category exhibited flattened fruit shape and heavier fruit weight with narrower tree canopy. The third category was characterized by longer fruit shapes with heaviest single fruit weight, and smaller but denser tree canopies. The fourth category was distinguished by mainly round fruits, lighter single fruit weight, and larger leaf area. The fifth category exhibited elongated fruits with thicker peels and more opened tree canopy. Principal component analysis yielded 12 principal components, collectively accounted for 79.174% of the cumulative contribution rate, including

收稿日期 2024-10-29; 接受日期 2024-11-22

基金项目 横向自然科学基金项目 (No. RH2300000578)。

作者简介 陈泰臻 (1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 热带植物园林应用与评价。*通信作者 (Corresponding author): 凌鹏 (LING Peng), E-mail: 18389807612@163.com。

traits such as fruit diameter, single fruit weight, and fresh seed weight. Based on the results of the principal component analysis, superior *C. oleifera* accessions were selected for further observation. This study demonstrated that *C. oleifera* germplasm resources in Hainan province exhibited a high level of phenotypic trait diversity. The research would provide a theoretical base for the genetic improvement of *C. oleifera*.

Keywords: *Camellia oleifera*; phenotypic traits; genetic diversity; germplasm resources; cluster analysis; principal component analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.04.009

油茶 (*Camellia oleifera*), 也叫茶子树、茶油树或中果油茶, 是山茶科山茶属的一种常绿小乔木或灌木, 同时也是全球四大食用油料树种之一^[1]。我国是油茶种植面积最大的国家之一, 油茶被誉为“东方的橄榄树”, 其籽含有丰富的油酸和亚油酸, 具有降低血脂、抗氧化和预防心血管疾病的作用^[2-3]。此外, 油茶在经济和生态环境保护方面也发挥着重要作用^[4]。油茶适应性强, 耐旱、耐贫瘠, 尤其适合在酸性土壤和丘陵山地生长^[5]。其发达的根系和较强的生长能力有助于防止水土流失, 显著推动生态恢复和防止土壤侵蚀。近年来, 油茶还被广泛应用于荒山绿化等项目, 成为一种兼具经济效益和生态功能的优良树种^[6]。此外, 油茶树的花期较长, 具有一定的观赏价值, 也为当地蜜蜂提供了丰富的花蜜来源, 间接促进了生态系统的平衡与发展^[7]。

实生苗是通过种子播种繁育的苗木, 具有发达的根系、旺盛的生长能力和较长的寿命。由于其后代容易出现性状分离, 实生苗通常呈现出丰富的遗传多样性。这种多样性不仅体现在基因层面, 同时也是衡量种质资源质量的重要标志, 能体现遗传的稳定性和变异性^[8]。因此, 对油茶种质资源的表型性状进行系统评估, 有助于发现具有高经济价值和生态价值的优良性状, 为后续新品种的选育提供科学支持^[9]。

海南省是中国油茶种植的重要区域, 拥有数百年的栽培历史。近年来, 学者普遍认为海南油茶资源和产业发展具有独特优势, 包括表型特征和产品油的口感等方面^[10]。已有对海南油茶优质资源进行了系统调查和保存, 为后续研究奠定了基础^[11]。此外, 对海南油茶的引种和优良品种的筛选也进行了初步探索, 为优质油茶品种的选择提供了参考^[12]。在油酸含量较高的无性系品种方面的探究也为优树选育提供了重要参考数据^[13], 对不同产地油茶的脂肪酸含量进行了阐述, 为脂

肪酸分析奠定了基础数据^[14]。目前海南岛油茶资源的调查已相对完善, 但在资源评估方面仍显薄弱, 缺乏系统性研究, 尤其在分布区、采样量和研究目标等方面, 尚未对海南岛油茶资源进行全面系统的评估。本研究拟对海南本地 100 份油茶种质资源进行系统性评价, 对其形态特征和表型多样性进行详细的分析与分类处理。研究的目标是筛选、收集海南油茶资源, 为今后的开发与应用创新提供科学的基础和全面的数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究样品采自海南省昌江黎族自治县金波农场的油茶实生种植园, 地理位置为 19.276876°N, 109.126088°E, 海拔 351.87 m, 属于海南中部山区, 气候为热带季风气候区。该区域年平均气温约为 23 °C, 降水量充沛, 年均降水量在 1500~2500 mm 之间, 年平均日照时数为 1780~1900 h, 植被茂密, 生态条件优越。金波农场油茶实生种植园自 20 世纪 60 年代起收集来自海南岛各地区的油茶种子, 并采用种子材料种植油茶树, 现有树龄在 20~70 a 之间, 展现出较高的遗传多样性。本研究从中挑选了 100 株生长健壮的样本, 所有入选的种质资源单株均在 25 a 以上, 纯自然生长, 无特殊的施肥和管理。本研究收集了入选种质资源单株的叶片、花朵、果实和种子等用于表型性状的测量。

1.2 方法

在果实进入完全成熟期时, 从树冠外围随机采集 10 片健康成熟的叶片、盛开的花朵以及无病虫害的成熟果实。对于数量性状, 使用游标卡尺测量叶长、叶宽、花冠直径、花瓣长度、果实高度、果径和果皮厚度, 精度为 0.01 mm。统计花瓣和种子数量, 果实重量由精度为 0.01 g 的电子天平测量。单位面积花量的计算方法为: 选定

0.5 m×0.5 m 为 1 个单位面积, 计算单株 3 个不同区域的单位面积花量, 取平均值。叶片大小和形状指数的计算方法如下: 叶面积=2/3×叶长×叶宽; 叶形指数=叶长/叶宽; 果形指数=果高/果径; 树冠面积=横向直径×纵向直径。对于 9 项质量性状的测量, 包括果实颜色、果形特征、种仁形状、种皮颜色、花型特征、叶缘形态以及叶片形状等, 均按照中华人民共和国林业行业标准 LY/T 2742—2016 中的相关规定和彭邵锋等^[15]提出的油茶果形分类标准进行。

1.3 数据处理

数量性状的分析应用 Microsoft Excel 软件进行, 包括计算平均值($\bar{x}$)、极差(R)、标准差(SD)、变异系数(CV)和多样性指数(H')。质量性状根据每个等级的有效百分比直接计算。计算数量性状的总平均值($\bar{x}$)和标准差(SD), 然后从第

1 级<-2 s、第 10 级≥+2 s 开始, 每 0.5 s 为 1 级^[16]。利用各等级的相对频率(P_i)计算多样性指数(H'), 多样性指数的计算采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H'), 其计算公式为:

$$H' = -\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i (i = 1, 2, 3, \dots)$$

2 结果与分析

2.1 数量性状多样性分析

对 24 个油茶的数量性状进行了测定, 结果显示变异系数介于 8.81%~56.85%之间(表 1)。其中, 单位面积花量表现出最高的变异系数, 达到 56.85%, 反映出该性状在不同样本间存在较大的差异。而果形指数的变异系数最低, 为 8.81%, 表明这一性状在各样本中的变化幅度较小, 较为稳定。

表 1 100 份油茶资源数量性状多样性分析
Tab. 1 Diversity analysis of quantitative traits of 100 *C. oleifera* resources

性状 Trait	最大值 Maximum	最小值 Minimum	极差 R	平均值 $\bar{x}$	标准差 SD	变异系数 $CV/\%$	多样性指数 H'
果实纵径 LDF/mm	55.12	33.42	21.70	43.31	4.44	10.24	4.52
果实横径 TDF/mm	67.23	34.92	32.31	51.01	5.41	10.60	4.56
果形指数 FSI	1.04	0.70	0.34	0.85	0.08	8.81	3.16
单果重 WF/g	115.68	28.40	87.28	63.31	17.95	28.36	4.59
心室数 VN	4.70	2.90	1.80	3.51	0.45	12.94	2.69
果皮厚度 PT/mm	9.55	4.15	5.40	5.98	1.15	19.18	4.46
籽数 SN	10.40	2.40	8.00	6.21	1.79	28.74	3.84
鲜籽重 FSW/g	34.85	9.93	24.92	22.03	5.73	26.03	4.59
花瓣数 NP	8.50	5.00	3.50	6.71	1.21	18.06	3.34
花径 FD/mm	102.12	55.84	46.28	75.95	9.23	12.15	4.59
花瓣长 PL/mm	51.79	26.50	25.29	37.55	4.71	12.55	4.56
花瓣宽 PW/mm	35.06	14.09	20.97	23.76	4.15	17.46	4.55
花瓣顶端裂深 PASD/mm	12.96	2.62	10.34	7.70	1.82	23.65	4.44
单位面积花量 NFPUA/0.25 m ²	31.33	1.00	30.33	11.02	6.26	56.85	3.85
树高 HT/m	9.60	3.10	6.50	5.79	1.09	18.91	3.50
树冠幅 CW/m	7.30	2.30	5.00	4.21	0.94	22.24	3.29
胸径 DBH/mm	1650.00	300.00	1350.00	850.20	296.18	34.84	3.98
一级分支角度 FOBA/°	90.00	5.00	85.00	31.50	15.83	50.25	2.40
一级分支高 FOBH/mm	640.00	20.00	620.00	225.02	124.28	55.23	3.55
一级分支数 FOBN	6.00	2.00	4.00	2.70	0.92	33.91	1.13
叶长 LL/mm	83.57	51.46	32.11	67.57	7.42	10.99	4.59
叶宽 LW/mm	44.27	20.65	23.62	31.72	4.24	13.35	4.54
叶面积 LA/mm ²	2466.43	873.90	1592.53	1437.46	294.07	20.46	4.61
叶形指数 PI	3.11	1.59	1.52	2.16	0.30	13.70	4.14

数量性状的多样性指数范围为 1.13~4.61，平均值为 3.83。其中，多样性指数最高的 3 个性状为叶面积、鲜籽重和果实横径，多样性指数分别为 4.61、4.59 和 4.56；一级分枝数、一级分枝角度、树冠幅这 3 种性状的多样性指数较小，分别为 1.13、2.40 和 3.29。这些结果表明，油茶的果实和叶片性状在遗传多样性方面更为丰富，而树体结构性状的多样性较低。关于果实大小的性状，体现在单果重、果实纵径和果实横径上。在供试的油茶种质资源中，单果重范围为 28.40~115.68 g，变异系数为 28.36%；果实纵径的范围为 33.42~55.12 mm，变异系数为 10.24%；果实横径在 34.92~67.23 mm 之间，变异系数为 10.60%。果形指数的变异系数为 8.81%，其数值范围为 0.70~1.04，平均值为 0.85，表明油茶果实形状较为稳定。单果重的变异系数较大，为 28.36%，数值范围为 28.40~115.68 g，平均值为 63.31 g，显示出油茶果实重量的差异较大。

在花器官性状方面，花径的变异系数为 12.15%，数值范围为 55.84~102.12 mm，平均值为 75.95 mm；花瓣长的变异系数为 12.55%，数值范围为 26.50~51.79 mm，平均值为 37.55 mm；花瓣宽的变异系数为 17.46%，数值范围为 14.09~35.06 mm，平均值为 23.76 mm。

叶片性状中，叶长的变异系数为 10.99%，数值范围为 51.46~83.57 mm，平均值为 67.57 mm；叶宽的变异系数为 13.35%，数值范围为 20.65~44.27 mm，平均值为 31.72 mm；叶面积的变异系数为 20.46%，数值范围为 873.90~2466.43 mm²，平均值为 1437.46 mm²。

2.2 质量性状多样性分析

本研究共调查了 9 个质量性状，质量性状多样性指数范围为 0.79~3.27(表 2)。在这些性状中，有 4 个多样性指数超过 2，显示出较高的遗传多样性。多样性指数最高的是果色，为 3.27；其次是种皮颜色为 2.85，种仁形状为 2.68，以及果实形状为 2.38。多样性指数最低的是叶面颜色，为 0.79。

在果色中，黄褐色占比最多，占 45%，其次为黄色，占 38%，青色和褐色果实占比分别为 9% 和 8%。在果实形状方面，桔形占比最高，达 68%，其次为球形，占 24%，而卵形和橄榄形占比分别为 6%和 2%。种仁形状中，锥形占比最多，为 70%，其次为似肾形，占 21%，半球形和球形分别占 8%和 1%。种皮颜色以褐色占比最多，为 75%，棕

褐色占 11%，黑色和棕色分别占 10%和 4%。

在花型性状中，单瓣花占比最高，达到 44%，半重瓣占 32%，重瓣占 24%。花色主要为白色，其中 CJ22、CJ77、CJ94 等 9 份单株呈现出白色带红色斑点，占比 9%，纯白色花占 91%。叶面颜色以深绿色为主，占 63%，绿色占 33%，黄绿色仅占 4%。叶缘性状中，粗锯齿占比最高，为 38%，重锯齿占 29%，细锯齿占 26%，全缘占比最少，仅为 7%。叶片形状中，椭圆型占比最多，为 51%，其次为倒卵型，占 20%，窄倒卵型和披针型分别占 16%和 10%，卵型占比最少，仅为 3%。

表 2 100 份油茶资源质量性状的频率分布及多样性
Tab. 2 Frequency distribution and diversity of qualitative traits of 100 *C. oleifera* resources

性状 Trait	等级分布 Distribution of grade/%					多样性指数 <i>H'</i>
	1	2	3	4	5	
果色	9	38	45	8		3.27
果实形状	2	6	24	68		2.38
种仁形状	1	8	70	21		2.68
种皮颜色	4	11	75	10		2.85
花型	44	32	24			1.07
花色	9	91				0.30
叶面颜色	4	33	63			0.79
叶缘	7	26	38	29		1.26
叶片形状	10	51	3	20	16	1.29

2.3 聚类分析

使用 OriginPro 2024b 软件，通过离差平方和法对 100 份实生油茶进行分类，将其划分为 5 个类群(图 1)。其中，类群 I 由 9 份种质资源构成，包括 CJ60、CJ68、CJ85 等。其特征是果色最深，果实形状较圆，果形指数中等，单果重量适中，心室数最多，花径较小，树体较高大，树冠幅较大，胸径较大。类群 II 包括 CJ61、CJ22、CJ47 等 5 份种质资源组成，其特征是果色中等，果实较扁圆，纵径最短，横径最大，果形指数最低，单果重量偏重，果皮较厚，花径较大，树体较矮小，树冠幅较窄，胸径较小。类群 III 包括 CJ47、CJ92、CJ94 等 52 份种质资源组成，其特征是果色略浅，果实形状较长，果形指数 0.88，单果重为所有类别中最重，心室数量适中，果皮较厚，花径较大，花量多，树体较矮，树冠幅较窄，胸径较大，树木较小但密集度高。类群 IV 包括 CJ78、CJ18 共 2 份种质资源组成，其特征是果色中等偏

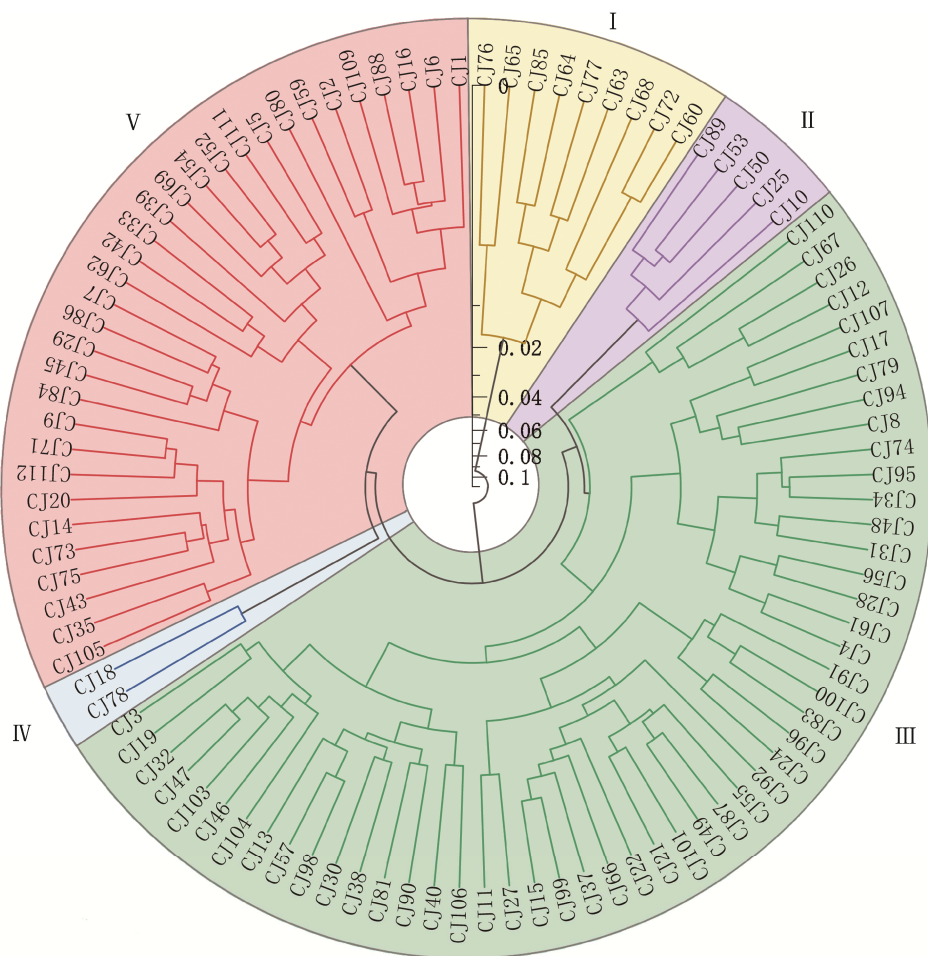


图 1 100 份油茶种质资源的聚类图

Fig. 1 Cluster map of 100 *C. oleifera* germplasm accessions

浅,果实多为圆形,果形指数较低,单果重较轻,心室数量适中,果皮较薄,花瓣数较多,树体较高且胸径较大,叶片面积较大且形状较长。类群 V 包括 CJ16、CJ59、CJ7 等 38 份种质资源组成。其特征是果色稍浅,果实形状较长,果形指数稍高,单果重较重,心室数量较多,果皮较厚,花径较大,树高适中,胸径较大,一级分支角度较大,树冠较开阔。基于聚类分析结果,从生产和观赏价值的角度可以识别出一些重点亲本。类群 I 和类群 III 在生产油茶中表现出优异的性状,特别是类群 I 中的 CJ72,心室数多为 5 房,平均值达到 4.5,显示出较高的结实潜力;类群 III 中的 CJ92、CJ47、CJ94 单果重量分别为 105.84、109.84、115.68 g,是所有亲本中单果最重的,适合用于高产油茶的选育。在观赏性状方面,类群 II 的 CJ10 花径较大,达到 92.73 mm,而类群 V 中的 CJ80、CJ109 和 CJ54 单位面积花量分别为 31.33、26.33

和 25.33,表现出密集的花量。因此,类群 I 和 III 的亲本在生产性状上具备优势,类群 II 和类群 V 的亲本在观赏性状上表现优异,可作为油茶种质资源开发和应用的优选对象。

2.4 相关性分析

相关性分析结果显示,油茶的表型性状之间存在多组显著的关联关系(图 2)。相关系数大于 0.800 的有 3 组,分别为果实横径与单果重(0.952)、叶面积与叶宽(0.871)、花径与花瓣长(0.818),均呈现极显著正相关($P < 0.01$)。相关性系数大于 0.700 的还有果实纵径与单果重(0.782)、果实横径与鲜籽重(0.780)、果实横径与果皮厚度(0.726)、叶面积与叶长(0.795)、单果重与鲜籽重(0.795)、树冠幅与胸径(0.739),这些性状之间也表现出极显著的正相关性($P < 0.01$)。这些结果表明,油茶的果实大小、叶片面积与重量等主要表型性状之间存在显著正相关。

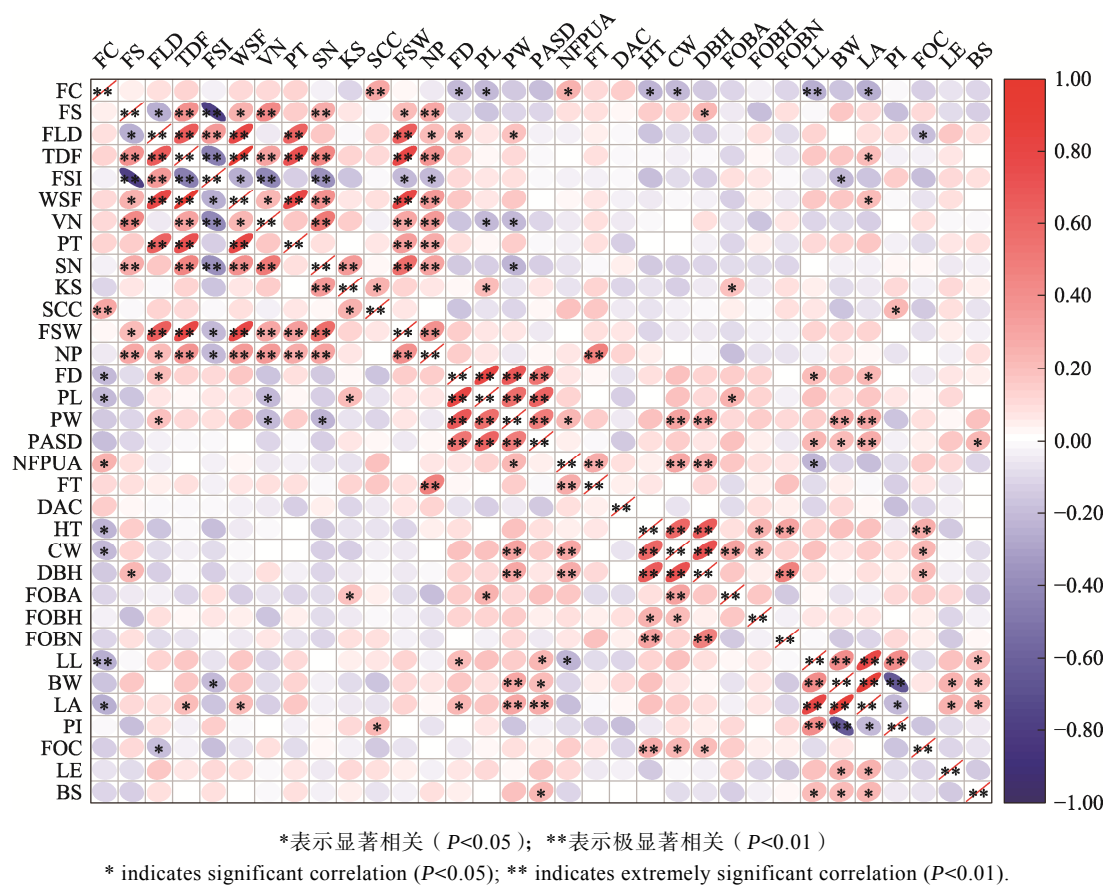


图 2 100 份油茶种质资源的相关性热图

Fig. 2 Phenotypic traits correlation of 100 *C. oleifera* germplasm accessions

与此同时，分析还发现了部分性状之间存在极显著负相关。果形指数与果实形状之间的相关系数为-0.799，叶宽与叶型指数的相关系数为-0.652，果形指数与果实横径之间的相关系数为-0.453，果实形状与果形指数的相关系数同样为-0.453，这些性状之间均呈现显著负相关（ $P<0.01$ ）。其中，果形指数与果实形状的负相关性最为明显。以上结果表明，油茶的多项性状之间存在显著相关，尤其在果实特征和叶片特性方面，相关性较为突出。

2.5 主成分分析

将实生油茶的性状数据标准化处理后进行主成分分析，提取出 12 个主成分，累计贡献率达到 79.174%（表 3）。其中，第 1 主成分的贡献率最高，为 14.813%，主要反映果实大小和重量特征，负荷系数较高的性状包括单果重、果实横径、果实纵径、鲜籽重和果皮厚度，均达到 0.7 以上；第 2 主成分贡献率为 12.650%，主要表征花部特征，相关性状包括花瓣长、花径、花瓣顶端裂深和花瓣宽，负荷系数均在较高水平，主要反映花

的大小和形状特征；第 3 主成分贡献率为 9.500%，主要反映树体结构特征，负荷系数较高的性状有胸径、树高、树冠幅和一级分支数，体现了树木生长的主要维度；第 4 主成分贡献率为 7.686%，主要表征果实的外形和内部结构特征，负荷较大的性状有果形指数、果实形状和心室数；第 5 主成分贡献率为 6.094%，主要反映叶片大小特征，负荷较高的性状包括叶面积、叶长和叶宽；第 6 主成分贡献率为 5.696%，主要涉及叶片形态特征，负荷较高的性状为叶型指数；第 7 主成分贡献率为 4.775%，主要反映果实和种子的颜色特征，负荷较高的性状为种皮颜色和果色；第 8 主成分贡献率为 4.513%，主要表征花的结构和形态特征，相关性状包括花瓣数和花型；第 9 主成分贡献率为 3.654%，主要与种仁形状相关；第 10 主成分贡献率为 3.415%，主要反映叶缘形态和叶片整体形状特征，叶缘特征的负荷系数较大；第 11 主成分贡献率为 3.342%，主要性状为一级分支高度，反映了植物分支高度的特征；第 12 主成分贡献率为 3.036%，无显著负荷特征，可能主要反

表 3 100 份油茶资源质量性状的主成分分析

Tab. 3 Principal component analysis of qualitative traits of 100 *C. oleifera* germplasm accessions

主成分 Principle component	特征值 Eigenval	方差贡献率 Variance contri- bution rate/%	累计贡献率 Cumulative con- tribution rate/%
PC1	4.888	14.813	14.813
PC2	4.175	12.650	27.463
PC3	3.135	9.500	36.963
PC4	2.536	7.686	44.649
PC5	2.011	6.094	50.743
PC6	1.880	5.696	56.439
PC7	1.576	4.775	61.214
PC8	1.489	4.513	65.727
PC9	1.206	3.654	69.381
PC10	1.127	3.415	72.796
PC11	1.103	3.342	76.138
PC12	1.002	3.036	79.174

映次要或辅助性特征，对总体结构的影响较小。

3 讨论

种质资源的调查和收集对于优良种质的发现、保存及利用具有重要意义，这不仅支持新品种的培育，还为建立优质种质基础提供保障^[17]。表型性状的多样性能够反映种质资源对环境变化的适应性和遗传变异的能力，是进行多样性研究的关键方法之一，并且操作相对简便^[18]。目前，已有多种植物，如枸杞^[19]、云南松^[20]等利用表型性状数据开展了遗传多样性分析和优良植株的筛选研究。

本研究以海南实生油茶为研究对象，收集了海南不同区域的实生油茶 100 份，对其 33 个表型性状进行采集与分析，在多样性分析中，变异系数可在一定程度上反映性状的离散程度，变异系数越大，离散程度越高^[21]，油茶表型性状的变异系数分布于 8.81%~56.85%之间，单果重、籽数和鲜籽重等性状的变异系数较高，且大多数性状的变异系数超过 10.00%，表明这些性状在不同油茶种质之间存在显著的遗传差异。单位面积花量的变异系数最高，达到 56.85%，说明该性状的离散程度最大；果形指数的变异系数为 8.81%，在所有性状中离散程度最小。总体而言，油茶的果实性状、树体性状和叶片性状的变异系数较高，表明这些性状在不同种质间具有较丰富的遗传多样性。油茶的多样性指数分布为 1.13~4.61，平均值

为 3.81，表明油茶表型性状间存在丰富的多样性，且在自然群体中的分布较为均匀，具有良好的育种潜力，这一结果与 CHEN 等^[22]的研究结果相对一致。

对实生油茶表型性状进行相关性分析有助于揭示不同性状之间的关联程度，为育种工作提供理论参考^[23]。结果显示，果实横径与单果重、果实纵径与单果重之间均存在极显著的正相关关系，因此，可以将果实横径和纵径作为预测单果重的参考指标。此外，果实横径与鲜籽重、叶面积与叶宽之间的相关性也为相关性状的选择提供了有力支持。

随着计算机技术的迅速发展，统计方法在种质资源分类中的应用变得愈加重要，综合多种性状能够提高分类的准确性^[24]。本研究采用聚类分析方法将所收集的实生油茶资源分为 5 个类群，每个类群在果色深浅、果实形状、单果重量、树体大小和树冠特征等方面表现出不同的特征。但为了更深入地了解这些类群间的亲缘关系，还需开展分子水平的研究。

主成分分析是一种在保留原始信息的同时，用较少且独立的指标代替多个相关指标的统计技术^[25]，能够综合不同性状的表现提供客观的评价。通过对实生油茶的主成分分析，提取出 12 个主成分，筛选出果实横径、单果重、鲜籽重、果皮厚度、果实纵径、花瓣宽度、果形指数、叶宽、叶型指数、种皮颜色和一级分枝高度等关键性状。这些性状是影响油茶种质资源差异的主要因素，可作为筛选优良种质资源的重要依据。

参考文献

- [1] 陈永忠, 王湘南. 油茶生物技术育种研究前景展望[J]. 湖南林业科技, 2005(4): 5-7.
CHEN Y Z, WANG X N. The outlook of the biotechnology breeding research on oil tea *Camellia*[J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2005(4): 5-7. (in Chinese)
- [2] QUAN W, WANG A, GAO C, LI C. Applications of Chinese *Camellia oleifera* and its by-products: a review[J]. Frontiers in Chemistry, 2022, 10: 921246.
- [3] 张东生, 金青哲, 王兴国, 薛雅琳. 油茶籽及油营养品质研究现状[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(4): 53-56.
ZHANG D S, JIN Q Z, WANG X G, XUE Y L. Research status of nutrition quality of *Camellia oleifera* seed and oil[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2013, 21(4): 53-56 (in Chinese)

- [4] 王永安, 黄金玲, 付达夫. 湖南省油茶林分生态功能效益评估[J]. 林业调查规划, 2003(1): 37-41.
WANG Y A, HUANG J L, FU D F. Ecological benefit assessment of *Camellia oleifera* forests of Hunan province[J]. Forest Inventory and Planning, 2003(1): 37-41. (in Chinese)
- [5] DONG B, WU B, HONG W, LI X, LI Z, XUE L, HUANG Y. Transcriptome analysis of the tea oil camellia (*Camellia oleifera*) reveals candidate drought stress genes[J]. PLoS One, 2017, 12(7): e0181835.
- [6] 吴际友, 陈永忠, 李书明, 毛洗荣, 庞文胜. 油茶在平江县退耕还林项目中的应用与成效分析[J]. 湖南林业科技, 2006(2): 33-35.
WU J Y, CHEN Y Z, LI S M, MAO X R, PANG W S. The application and effective analysis of planting *Camellia oleifera* in the returning land for farming to forestry project of Pingjiang county[J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2006(2): 33-35. (in Chinese)
- [7] 邓园艺, 喻勋林, 罗毅波. 传粉昆虫对我国中南地区油茶结实和结籽的作用[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4427-4436.
DENG Y Y, YU X L, LUO Y B. The role of native bees on the reproductive success of *Camellia oleifera* in Hunan province, central south China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(16): 4427-4436. (in Chinese)
- [8] ZHU Y, LIANG D, SONG Z, TAN Y, GUO X, WANG D. Genetic diversity analysis and core germplasm collection construction of *Camellia oleifera* based on fruit phenotype and SSR data[J]. Genes, 2022, 13(12): 2351.
- [9] PUY J, CARMONA C P, DVOŘÁKOVÁ H, LATZEL V, DE BELLO F. Diversity of parental environments increases phenotypic variation in *Arabidopsis* populations more than genetic diversity but similarly affects productivity[J]. Annals of Botany, 2021, 127(4): 425-436.
- [10] 郑道君, 潘孝忠, 谢良商, 曾建华, 吴宇佳, 张治礼, 吉清妹. 海南省油茶产业发展现状调查与分析[J]. 经济林研究, 2015, 33(1): 131-135.
ZHENG D J, PAN X Z, XIE L S, ZENG J H, WU Y J, ZHANG Z L, JI Q M. Investigation and analysis of *Camellia oleifera* industry development status in Hainan province[J]. Non-wood Forest Research, 2015, 33(1): 131-135. (in Chinese)
- [11] 杨枝林, 曾祥全, 陈飞飞, 黎国运. 海南岛油茶资源现状[J]. 经济林研究, 2015, 33(3): 138-144.
YANG Z L, ZENG X Q, CHEN F F, LI G Y. Status of *Camellia oleifera* resources in Hainan island[J]. Non-wood Forest Research, 2015, 33(3): 138-144. (in Chinese)
- [12] 杨伟波, 付登强, 陈良秋, 李艳, 赵松林, 马锦林, 陈国臣, 叶航, 王兴胜. 海南地区引种试种亚热带油茶优良品种初报[J]. 江西农业学报, 2012, 24(4): 63-65.
YANG W B, FU D Q, CHEN L Q, LI Y, ZHAO S L, MA J L, CHEN G C, YE H, WANG X S. Preliminary report on introduction and trial planting of subtropical *Camellia oleifera* excellent varieties in Hainan area[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2012, 24(4): 63-65. (in Chinese)
- [13] 奚如春, 刘胜, 龚春. 高品质油茶新品种经济性状指标的定量评价[J]. 江西林业科技, 2004(4): 8-11, 15.
XI R C, LIU S, GONG C. Analysis on genetic effects about some routine breeding schemes of Chinese fir[J]. South China Forestry Science, 2004(4): 8-11, 15. (in Chinese)
- [14] 叶洲辰, 吴友根, 于靖, 张军锋, 杨东梅, 胡新文. 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.
YE Z C, WU Y G, YU J, ZHANG J F, YANG D M, HU X W. Comparative analysis of antioxidant activities of *Camellia oleifera* oil extracts from different areas and their nutritional assessments[J]. Biotechnology Bulletin, 2019, 35(10): 80-88. (in Chinese)
- [15] 彭邵锋, 陈永忠, 张日清, 杨小胡, 王湘南, 陆佳. 油茶果形果色分类及经济性状[J]. 中南林业科技大学学报, 2007(5): 33-39.
PENG S F, CHEN Y Z, ZHANG R Q, YANG X H, WANG X N, LU J. Classification of fruit shape and color and analysis of the economic traits of oil-tea *Camellia*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2007(5): 33-39. (in Chinese)
- [16] XIN Y H, WU Y X, QIAO B, SU L, XIE S Q, LING P. Evaluation on the phenotypic diversity of *Calamansi* (*Citrus microcarpa*) germplasm in Hainan island[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 371.
- [17] SAHU P K, SAO R, KHUTE I K, BAGHEL S, PATEL R R S, THADA A, PARTE D, DEVI Y L, NAIR S, KUMAR V, MONDAL S, DAS B K, SHARMA D. Plant genetic resources: conservation, evaluation and utilization in plant breeding[M]. Berlin: Advanced Crop Improvement, Volume 2: Case Studies of Economically Important Crops. Cham: Springer International Publishing, 2023: 1-45.
- [18] TIAN W, LI Z, WANG L, SUN S, WANG D, WANG K, WANG G, LIU Z, LU X, FENG J, GAO Y. Comprehensive evaluation of apple germplasm genetic diversity on the basis of 26 phenotypic traits[J]. Agronomy, 2024, 14(6): 1264.
- [19] YANG R, LI J, HUANG H, WU X, WU R, BAI Y. Analysis of phenotypic trait variation in germplasm resources of *Lycium ruthenicum* Murr[J]. Agronomy, 2024, 14(9): 1930.
- [20] LIU Z, GAO C, LI J, MIAO Y, CUI K. Phenotypic diversity analysis and superior family selection of industrial raw material forest species-*Pinus yunnanensis* Franch[J]. Forests, 2022, 13(4): 618.

- [21] ZHOU C, WU H, SHENG Q, CAO F, ZHU Z. Study on the phenotypic diversity of 33 ornamental *Xanthoceras sorbifolium* cultivars[J]. *Plants*, 2023, 12(13): 2448.
- [22] CHEN T, LIU L, ZHOU Y, ZHENG Q, LUO S, XIANG T, ZHOU L, FENG S, YANG H, DING C. Characterization and comprehensive evaluation of phenotypic characters in wild *Camellia oleifera* germplasm for conservation and breeding[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1052890.
- [23] 刘子记, 朱婕, 詹园凤, 党选民. 小型西瓜核心种质遗传多样性及亲缘关系分析[J]. *西南农业学报*, 2015, 28(6): 2686-2690.
- LIU Z J, ZHU J, ZHAN Y F, DANG X M. Genetic diversity and genetic relationship analysis of mini-watermelon core collection[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 28(6): 2686-2690. (in Chinese)
- [24] RESTREPO-MONTOYA D, HULSE-KEMP A M, SCHEFFLER J A, HAIGLER C H, HINZE L L, LOVE J, PERCY R G, JONES D C, FRELICHOWSKI J. Leveraging national germplasm collections to determine significantly associated categorical traits in crops: upland and pima cotton as a case study[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 837038.
- [25] LEVER J, KRZYWINSKI M, ALTMAN N. Points of significance: principal component analysis[J]. *Nature Methods*, 2017, 14(7): 641-643.