

广宁红花油茶优树综合评价及指标筛选

张 恒, 袁 汕, 傅志强, 陈锐帆, 申春晖, 奚如春

(华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510642)

摘要: 【目的】研究广宁红花油茶 *Camellia semiserrata* 经济性状遗传变异特征, 筛选核心评价指标, 建立优树评价预测模型, 为广宁红花油茶种质资源创制利用提供科学依据。【方法】以广宁红花油茶核心产区初选的 31 株优树为研究对象, 采用多元统计方法对其冠幅面积、单株产果量和单株产油量等 20 个经济性状指标进行测定分析。【结果】参试株优树的 20 个性状存在不同程度的变异, 变异范围为 3.25%~69.47%; 各指标间共有 38 对达到极显著水平 ($P<0.01$), 15 对达到显著水平 ($P<0.05$)。主成分分析将 11 个评价指标简化为 4 个较为独立的综合指标, 累计贡献率达 80.23%, 保留了供试材料各性状的大部分信息。根据 4 个综合指标的权重以及隶属函数值, 优树综合得分范围为 0.151~0.674, 其中 HY25、HY4、HY20、HY17 和 HY1 综合评价表现较好。采用逐步回归分析建立广宁红花油茶优树评价预测模型, 筛选出冠幅面积、单株产果效率、单株产油量、鲜出籽率、干籽出仁率和鲜果含油率等 6 个核心评价指标。基于 6 个核心指标采用聚类分析可将 31 株样株分为 3 类, 第Ⅰ类属于优质型; 第Ⅱ类丰产性和优质性较好; 第Ⅲ类属于丰产型。【结论】建立了广宁红花油茶优树评价模型, 筛选出 6 个核心评价指标, 获得了 5 株综合表现良好的单株。图 2 表 6 参 24

关键词: 广宁红花油茶; 多元统计分析; 经济性状; 优树评价; 指标筛选

中图分类号: S727.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2023)02-0374-08

Comprehensive evaluation and index screening of excellent plants of *Camellia semiserrata*

ZHANG Heng, YUAN Shan, FU Zhiqiang, CHEN Ruifan, SHEN Chunhui, XI Ruchun

(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: [Objective] This study, with an investigation of the genetic variation characteristics of economic traits of *Camellia semiserrata*, is aimed to establish a prediction model based on the core evaluation indexes screened so as to provide a scientific basis for the formulation and utilization of *C. semiserrata* germplasm resources. [Method] With 31 excellent trees selected from the core production area of *C. semiserrata* as research subjects, a determination and analysis was conducted of 20 economic traits such as crown area, fruit yield per plant and oil yield per plant using multivariate statistical methods. [Result] (1) There were different degrees of variation in the 20 indicators of the participating strains of excellent trees, with a range of 3.25%–69.47% and between these indicators a total of 38 pairs of indicators reached the highly significant level ($P<0.01$) whereas 15 pairs reached the significant level ($P<0.05$). (2) With the principal component analysis, the 11 evaluation indicators were simplified into four independent composite indicators, with a cumulative contribution of 80.23%, retaining most of the information of each trait of the test material. (3) Based on the

收稿日期: 2022-06-02; 修回日期: 2022-11-10

基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2018KJCX008); 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020215003)

作者简介: 张恒 (ORCID: 0000-0003-1272-6880), 从事森林培育理论与应用。E-mail: ginkgozh@163.com。通信作者: 奚如春 (ORCID: 0000-0001-6404-5820), 教授, 从事经济林培育与应用研究。E-mail: xirc2003@126.com

weights of the four integrated indicators and the values of the affiliation functions, the integrated scores of the excellent trees ranged from 0.151–0.674, with HY25, HY4, HY20, HY17 and HY1 displaying better comprehensive evaluation performance. (4) The prediction model was built for the evaluation of *Camellia semiserrata* excellent trees using a stepwise regression analysis with canopy area, fresh seed yield, dry seed yield, fresh fruit oil content, oil yield per plant and fruit yield efficiency per plant being the six core evaluation indicators. (5) The six core evaluation indicators can be classified into three categories using cluster analysis with category I being the high quality type, category II displaying better fecundity and quality whereas category III being the fecundity type. [Conclusion] Single plant fruit yield, single plant fruit yield efficiency, canopy area, fruit yield efficiency per plant, oil yield per plant, fresh seed yield, dry seed yield and fresh fruit oil content can be used as important indicators to identify excellent trees of *C. semiserrata* and in accordance with this model, HY25, HY4, HY20, HY17 and HY1 were selected with favorable comprehensive evaluation. [Ch, 2 fig. 6 tab. 24 ref.]

Key words: *Camellia semiserrata*; multivariate statistical analysis; economic characters; evaluation of excellent plants; index screening

广宁红花油茶 *Camellia semiserrata* 属山茶科 Theaceae 山茶属 *Camellia* 红山茶组常绿乔木, 其果大叶茂、种子含油率高、花色艳丽, 为华南地区重要木本食用油料树种^[1-2]。茶油是从油茶种子中提取的天然可食用性植物油之一, 富含不饱和脂肪酸、维生素和保证人体生理机能正常运行所必需的营养元素等^[3-5]。在红山茶组中, 广宁红花油茶具有一定的栽培面积, 认知度较高^[6]。然而, 由于老油茶园管理粗放、林龄较大, 导致低产林面积不断扩大^[7]。良种种质资源不足是限制油茶产业发展的关键因素, 因此, 开展广宁红花油茶良种选育, 通过改造提升老油茶园, 高标准建设新油茶园, 对推动华南地区油茶产业高质量发展具有重要意义。品种选育是种质资源利用的基础, 果实经济性状特征是反映经济树种优劣的重要指标^[8]。相关研究人员根据广宁红花油茶育种目标, 培育出一批生长快、果皮薄、出籽率高的新品种^[9]。丁晓纲等^[10]对广宁红花油茶果实经济性状进行研究, 结果表明广宁红花油茶的鲜籽质量和单果籽数总体变异程度较大。荣道军等^[2]研究表明: 单株产果量与单果鲜籽质量、种子含油率与树高的相关系数较大。目前, 浙江红花油茶 *C. chekiangoleosa*^[11]、越南油茶 *C. vietnamensis*^[12-13] 等选育研究已有报道。广宁红花油茶作为 13 个主栽油茶物种之一, 其良种选育工作亟需开展。本研究通过对广宁红花油茶核心区优树树体特征和果实经济特征开展调查, 采用多元统计分析法对其进行综合评价, 建立广宁红花油茶评价模型, 以期为特色油茶良种选育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 优树选择范围与标准

于 2018—2020 年, 在广东省肇庆市广宁县和云浮市云安县等区域内开展广宁红花油茶资源普查, 优树初选树龄为 15 a 年以上, 林分起源为实生林, 林分长势良好, 没有严重病虫害。通过连续 3 a 观测其生长和经济性状指标, 最终从 145 株红花油茶中初选出 31 株优树 (HY1~HY31)。

1.2 试验内容与测定方法

于 2021 年 10 月下旬, 采收 31 株初选优树的成熟果实, 30 个·株⁻¹。参考吕欢欢等^[14]方法测定并计算优树胸径、树高、冠幅面积、单株产果量、单株产果效率、单株产油量、单株产油效率、单果鲜质量、果实纵径、果实横径、果皮厚度、果形指数、单果种子数、单果种子鲜质量、百粒重、鲜出籽率、干籽出仁率、干出籽率、种仁含油率、鲜果含油率等 20 个指标。其中单株产果效率为单株产果量与树干横截面积之比 (kg·cm⁻²); 单株产油效率为单株产油量与树干横截面积之比 (g·cm⁻²)。

1.3 数据处理

采用 Excel 2020 统计分析各性状平均值、标准差、变异系数、隶属函数值; SPSS 22.0 对各性状进行相关性分析、主成分分析及逐步回归分析; 采用 Origin Pro2019b 进行聚类分析。隶属函数值计算公式

为 $U(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{j\min})(X_{j\max} - X_{j\min})$ 。其中, X_{ij} 为第 i 品系第 j 个综合指标值, $X_{j\min}$ 和 $X_{j\max}$ 分别为第 j 个综合指标的最小值和最大值。综合指标权重计算公式为 $W_i = P_i / \sum_{i=1}^n P_i$ 。其中, W_i 为第 i 个综合指标在所有综合指标中的权重, P_i 为各品系第 i 个综合指标贡献率。综合评价得分 (D) 计算公式为 $D = \sum_{i=1}^n U(X_{ij})W_i$ 。

2 结果与分析

2.1 各性状指标变异分析

对 31 株初选优树的 20 个主要性状指标进行统计分析 (表 1), 结果表明: 不同指标间存在不同程度的变异。3 个生长指标的变异范围为 14.66%~50.07%, 其中, 冠幅面积变异系数较大, 树高变异系数较小; 17 个果实经济指标的变异范围为 3.25%~69.47%, 其中单株产油效率、单株产果效率、单株产果量、单株产油量、单果种子数和单果鲜质量变异系数较大, 依次为 69.47%、54.23%、51.52%、45.35%、34.20%、30.86%, 说明这些经济性性状变异较为丰富, 有利于优树的比较和筛选, 而种仁含油率、干籽出仁率、果实纵径、果实横径和果形指数变异系数均小于 15%, 性状较为稳定。

表 1 31 株初选优树 20 个指标的变异情况

Table 1 Variation in each individual index of 31 trees of *C. semiserrata*

指标	冠幅面积/m ²	胸径/cm	树高/m	果实横径/mm	果实纵径/mm	果形指数	单果鲜质量/g	果皮厚/mm	单果种子数/个	单果种子鲜质量/g
极小值	5.67	5.84	6.80	59.88	75.50	0.75	205.12	14.97	8.27	20.89
极大值	31.14	41.00	11.20	95.70	119.42	1.16	675.89	28.68	34.78	74.74
均值	14.86	13.47	8.49	72.59	85.06	0.92	303.27	17.63	15.04	50.89
标准差	7.32	6.07	1.22	8.37	7.81	0.13	92.06	2.87	5.06	12.92
变异系数/%	50.07	45.79	14.66	11.73	9.33	13.77	30.86	16.53	34.20	25.82
指标	百粒重/g	鲜出籽率/%	干出籽率/%	干籽出仁率/%	种仁含油率/%	鲜果含油率/%	单株产果量/kg	单株产油量/kg	单株产果效率/(kg·cm ⁻²)	单株产油效率/(g·cm ⁻²)
极小值	223.67	7.96	5.67	53.92	55.94	2.10	16.13	0.42	0.04	0.86
极大值	534.83	23.66	26.74	75.32	66.51	7.23	63.78	2.70	0.64	34.36
均值	365.13	17.23	13.11	59.75	62.14	4.45	26.72	1.02	0.23	9.27
标准差	70.58	3.58	3.80	4.27	1.99	1.22	13.54	0.46	0.12	6.33
变异系数/%	19.65	21.11	29.50	7.27	3.25	27.79	51.52	45.35	54.23	69.47

2.2 相关性分析

对 20 个单项指标进行 Pearson 相关性 (表 2) 分析表明: 共有 38 对指标达到极显著水平 ($P < 0.01$)、15 对指标达到显著水平 ($P < 0.05$)。其中, 果皮厚度与鲜出籽率、鲜果含油率呈极显著负相关, 相关系数分别为 -0.76 和 -0.67; 果实纵径与单果鲜质量、鲜出籽率与干出籽率、鲜出籽率与鲜果含油率、干出籽率与鲜果含油率、单株产果量与单株产油量、单株产果效率与单株产油效率呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.91、0.79、0.82、0.79、0.85、0.95; 但冠幅面积、胸径、树高与百粒重, 果实横径与单株产油量, 种仁含油率、单株产油效率与单果种子鲜质量, 鲜出籽率与单株产油量, 单株产油量、单株产果效率与干籽出仁率以及鲜果含油率与单株产油量的相关系数较低。综上, 说明各单项指标既存在一定的关联性, 又相互较独立。

2.3 主成分分析

由于 20 个指标间存在一定的重叠性, 因此根据相关性分析结果及选育目标, 将地径、冠幅面积、单株产果量和单株产油量等 11 个指标进行主成分分析 (表 3)。以特征值大于 1 的原则提取 4 个主成分, 累计贡献率达 80.23%, 代表了参试品种各指标的绝大部分信息。第 1 主成分贡献率为 23.91%, 其中单株产油量、单株产果量和冠幅面积的特征向量值较大, 分别为 0.91、0.89 和 0.77, 可作为产量因素; 第 2 主成分贡献率为 23.20%, 其中单株产果效率、单株产果效率和胸径的特征向量值较大, 分别为 0.98、

表 2 20 个单项指标的相关性

Table 2 Correlation of 20 individual indicators											
指标	冠幅面积	胸径	树高	果实横径	果实纵径	果形指数	单果鲜质量	果皮厚	单果种子数	单果种子鲜质量	
冠幅面积	1										
胸径	0.66**	1									
树高	-0.13	-0.17	1								
果实横径	-0.19	0.26	0.03	1							
果实纵径	0.19	0.64**	-0.04	0.51**	1						
果形指数	0.29	0.52**	0.02	0.32	0.26	1					
单果鲜质量	0.12	0.59**	-0.06	0.62**	0.91**	0.38*	1				
果皮厚	0.19	0.61**	-0.31	0.62**	0.72**	0.40*	0.74**	1			
单果种子数	-0.24	-0.08	0.02	0.24	0.23	-0.18	0.19	-0.17	1		
单果种子鲜质量	-0.25	-0.03	0.08	0.41*	0.44*	-0.17	0.50**	-0.07	0.66**	1	
百粒重	0	-0.02	0.02	0.04	0.31	-0.20	0.15	0.03	-0.32		0.31
鲜出籽率	-0.24	-0.43*	0.08	-0.24	-0.36*	-0.59**	-0.41*	-0.76**	0.49**		0.53**
干出籽率	-0.27	-0.37*	0.03	-0.23	-0.26	-0.56**	-0.42*	-0.59**	0.64**		0.32
干籽出仁率	-0.03	-0.06	0.06	-0.16	-0.20	-0.24	-0.19	-0.24	0.04		-0.12
种仁含油率	-0.13	-0.15	0.05	-0.40*	-0.19	-0.27	-0.22	-0.31	0.06		-0.01
鲜果含油率	-0.26	-0.35	0.10	-0.28	-0.40*	-0.56**	-0.47**	-0.67**	0.39*		0.27
单株产果量	0.56**	0.55**	-0.22	0.22	0.26	0.06	0.27	0.54**	-0.20		-0.17
单株产油量	0.49**	0.28	-0.13	0.01	-0.06	-0.19	-0.06	0.11	-0.07		-0.10
单株产果效率	-0.22	-0.58**	0.17	-0.15	-0.31	-0.55**	-0.22	-0.11	-0.06		-0.07
单株产油效率	-0.19	-0.54**	0.24	-0.31	-0.22	-0.54**	-0.26	-0.23	0.05		-0.02

指标	百粒重	鲜出籽率	干出籽率	干籽出仁率	种仁含油率	鲜果含油率	单株产果量	单株产油量	单株产果效率	单株产油效率
百粒重	1									
鲜出籽率	0.13	1								
干出籽率	0.06	0.79**	1							
干籽出仁率	-0.15	0.20	0.23	1						
种仁含油率	-0.17	0.23	0.29	0.31	1					
鲜果含油率	-0.07	0.82**	0.79**	0.57**	0.49**	1				
单株产果量	-0.03	-0.39*	-0.36*	-0.18	-0.25	-0.40*	1			
单株产油量	-0.13	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.01	0.85**	1		
单株产果效率	0.12	0.09	0.14	0.01	0.02	0.06	0.07	0.22	1	
单株产油效率	0.04	0.22	0.27	0.15	0.14	0.25	-0.06	0.18	0.95**	1

说明：*表示在0.05水平(双侧)上显著相关；**表示在0.01水平(双侧)上显著相关

表 3 各性状主成分的特征向量及贡献率

Table 3 Eigenvectors and contribution of the principal components of each trait									
特征向量	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	特征向量	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4
单株产油量	0.91	0.24	0.10	-0.08	鲜出籽率	-0.16	0.13	0.83	0.31
单株产果量	0.90	0.04	-0.31	-0.02	干籽出仁率	0.03	-0.05	0.63	-0.27
冠幅面积	0.77	-0.30	-0.07	0.02	单果鲜质量	0.14	-0.36	-0.56	0.25
单株产果效率	0.05	0.98	-0.03	0.07	百粒重	-0.04	0.05	-0.06	0.94
单株产油效率	0.03	0.92	0.15	0.03	特征值	2.63	2.55	2.51	1.13
胸径	0.59	-0.67	-0.28	0.04	贡献率/%	23.91	23.31	22.83	10.29
鲜果含油率	-0.14	0.08	0.95	0.02	累计贡献率/%	23.91	47.11	69.94	80.23

0.92 和-0.67, 可作为产量效率因素; 第3主成分贡献率为22.83%, 鲜果含油率、鲜出籽率、干籽出仁率和单果鲜质量的特征向量值较大, 分别为0.95、0.83、0.63和-0.56, 可作为果实经济因素; 第4主成分贡献率为10.29%, 百粒重的特征向量值较大, 为0.94, 可作为百粒重因素。

2.4 优树综合评价

将4个主成分得分采用隶属函数法进行归一化处理, 计算各品系综合指标的隶属函数值, 并根据各主成分贡献率计算其权重, 依次为0.298、0.289、0.285和0.128, 最后计算得出综合得分值(D)。表4表明: HY25综合表现最好, HY4、HY20、HY17和HY1次之, D 分别为0.674、0.583、0.569、0.516和0.505; HY28、HY26、HY31、HY30和HY27综合表现较差, D 均小于0.300。

表4 31株初选优树综合评价及排名

Table 4 Overall assessment values and ranking of 31 trees of *C. semiserrata*

初选优树	F_1	F_2	F_3	F_4	$U(F_1)$	$U(F_2)$	$U(F_3)$	$U(F_4)$	D	排名
HY1	0.137	1.726	0.806	-2.007	0.318	0.755	0.673	0.000	0.505	5
HY2	0.856	0.113	-0.540	-0.109	0.476	0.457	0.347	0.441	0.429	15
HY3	-0.387	-0.991	1.731	0.644	0.202	0.253	0.896	0.616	0.467	10
HY4	1.894	1.386	-0.418	0.180	0.704	0.693	0.377	0.508	0.583	2
HY5	-0.817	-0.062	0.657	0.514	0.108	0.425	0.637	0.586	0.411	17
HY6	-0.172	-0.894	1.387	0.127	0.250	0.271	0.813	0.496	0.448	12
HY7	-0.938	0.081	-0.165	-0.864	0.081	0.451	0.438	0.266	0.313	26
HY8	-0.994	0.022	-0.165	0.298	0.069	0.440	0.438	0.535	0.341	31
HY9	1.344	-0.701	-0.074	-0.742	0.583	0.306	0.460	0.294	0.431	14
HY10	0.238	0.988	0.258	-0.465	0.340	0.619	0.540	0.358	0.480	9
HY11	-0.866	-0.149	0.690	0.396	0.097	0.409	0.645	0.558	0.402	19
HY12	-0.542	-0.296	0.046	-1.102	0.168	0.382	0.489	0.310	0.327	25
HY13	-0.029	0.546	-0.146	2.299	0.281	0.537	0.442	1.000	0.493	7
HY14	-0.780	0.128	-0.422	-0.190	0.116	0.460	0.376	0.422	0.329	24
HY15	0.439	0.568	0.093	0.480	0.384	0.541	0.500	0.578	0.487	8
HY16	0.060	-0.202	0.094	0.201	0.301	0.399	0.501	0.513	0.413	16
HY17	-0.077	1.027	0.167	1.572	0.271	0.626	0.518	0.831	0.516	4
HY18	-0.756	0.058	0.454	1.398	0.131	0.447	0.588	0.791	0.434	13
HY19	0.293	-1.004	1.710	-1.161	0.352	0.251	0.892	0.196	0.456	11
HY20	-0.079	3.048	-0.072	0.299	0.270	1.000	0.460	0.536	0.569	3
HY31	-0.323	0.275	-0.284	0.718	0.316	0.487	0.409	0.633	0.403	18
HY22	-0.290	-0.589	2.158	-0.337	0.224	0.327	1.000	0.388	0.496	6
HY23	-0.778	-0.105	-0.878	1.624	0.116	0.417	0.266	0.843	0.339	22
HY24	0.557	0.586	-1.776	-0.652	0.410	0.545	0.048	0.315	0.334	23
HY25	3.239	0.096	0.826	-0.255	1.000	0.454	0.678	0.407	0.674	1
HY26	-0.866	-0.138	-1.095	-1.623	0.097	0.411	0.313	0.089	0.220	30
HY27	1.947	-2.358	-1.976	0.863	0.716	0.000	0.000	0.667	0.299	27
HY28	-1.307	-0.691	-1.771	-0.408	0.000	0.308	0.050	0.371	0.151	31
HY29	0.165	-1.558	0.434	0.519	0.324	0.148	0.583	0.587	0.380	20
HY30	-0.489	-0.471	-0.488	-1.731	0.180	0.349	0.360	0.064	0.265	28
HY31	-0.677	-0.440	-1.241	-0.487	0.138	0.355	0.178	0.353	0.240	29

将11个指标与综合得分值(D)进行相关性分析(表5)表明: 除冠幅、胸径、单株产果量、百粒重和干籽出仁率与 D 无显著相关外($P>0.05$), 其余指标均与 D 显著相关($P<0.05$), 其中, D 与单果鲜质量呈负相关, 与其他指标呈显著正相关, 单株产油量与 D 相关系数最大, 为0.68。

2.5 回归分析及指标筛选

以 D 为因变量 (Y)，11 个单项指标为自变量 (X_i)，采用逐步回归分析拟合得到多元线性方程 $Y=-0.431+0.004X_1+0.008X_2+0.003X_3+0.031X_4+0.126X_5+0.339X_6$ ($R^2=0.99$, $P<0.01$)，其中冠幅面积 (X_1)、鲜出籽率 (X_2)、干籽出仁率 (X_3)、鲜果含油率 (X_4)、单株产油量 (X_5) 和单株产果效率 (X_6) 是影响广宁红花油茶综合得分的重要因子。线性回归 (图 1) 发现：预测值与实际值拟合效果较好 ($R^2=0.94$)，表明该模型精确度较高。

表 5 11 个指标与综合得分值相关性

Table 5 Correlation between the 11 indicators and the composite score

指标	相关系数	指标	相关系数
冠幅面积	0.27	单株产果效率	0.49**
胸径	-0.14	单株产油效率	0.55**
鲜出籽率	0.56**	鲜果含油率	0.54**
单果鲜质量	-0.36*	百粒重	0.31
单株产果量	0.34	干出籽率	0.31
单株产油量	0.68**		

说明：*表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关；**表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关

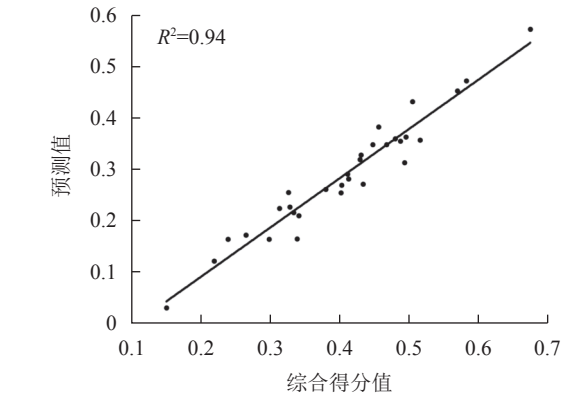


图 1 31 株初选优树综合得分预测值和实际值
Figure 1 Predicted and actual composite scores of 31 trees of *C. semiserrata*

2.6 聚类分析

采用欧氏距离法对 31 株初选优树的 6 个重要指标进行聚类分析，由图 2 可知：31 株初选优树被分为 3 类：第 I 类共有 12 株，包括 HY1、HY11、HY3、HY6、HY5、HY2、HY23、HY7、HY8、HY14、HY18 和 HY22，占供试材料的 38.71%；第 II 类共有 14 株，包括 HY4、HY15、HY10、HY12、HY13、HY20、HY21、HY16、HY17、HY24、HY26、HY28、HY30 和 HY31，占供试材料的 45.16%；第 III 类共有 5 株，包括 HY9、HY29、HY25、HY19 和 HY27，占供试材料的 16.13%。

聚类结果分析 (表 6) 表明：第 I 类主要特征为冠幅小、单株产油量和单株产果效率较低，鲜出籽率、干籽出仁率和鲜果含油率高；第 II 主要特征为冠幅较大、鲜出籽率、鲜果含油率较低、干籽出仁率和单株产油量较高、单株产果效率高；第 III 类主要特征为冠幅大、鲜出籽率和鲜果含油率较高、干籽出仁率高、单株产油量大、单株产果效率低。

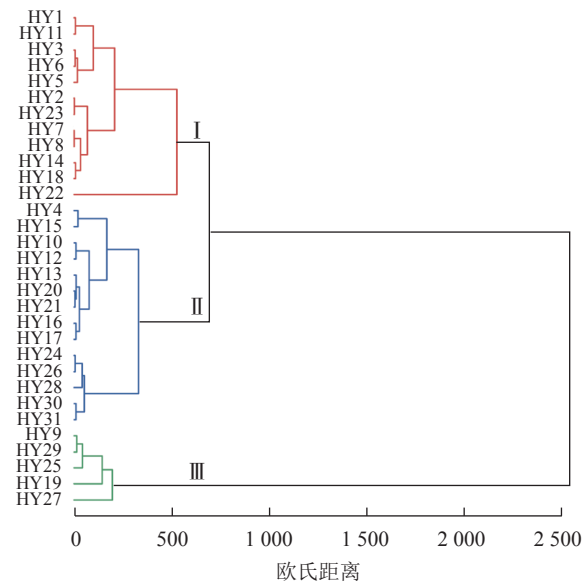


图 2 31 株初选优树聚类树状图
Figure 2 Cluster dendrogram of 31 trees of *C. semiserrata*

3 讨论

变异是林木遗传育种的主要研究内容^[15]，变异系数越大，品种改良时选择的潜力就越大^[16]。本研究对 31 株广宁红花油茶初选优树的 20 个单项指标变异系数进行研究，各性状变异系数为 3.25%~69.47%，变异幅度较大。其中地径、冠幅和单株产果量变异系数较大，这与荣道军等^[2]和戚嘉敏等^[17]的

表 6 不同类型 6 个性状的均值

Table 6 Mean value of 6 traits of different types

类别	冠幅面 积/m ²	鲜出籽 率/%	干籽出 仁率/%	鲜果含 油率/%	单株产 油量/kg	单株产果效 率/(kg·cm ⁻²)
I	8.87	19.41	60.50	5.21	0.89	0.21
II	14.81	15.69	58.86	3.88	1.00	0.28
III	29.38	16.31	60.41	4.23	1.39	0.11

研究结果一致。植物各性状间的相关性分析对了解不同性状间的关系具有重要意义^[18-19]。本研究中单果鲜质量与果实纵径和果皮厚度正相关系数分别达 0.72 和 0.74, 说明果实横径和果皮厚度是影响单果鲜质量的重要指标, 这与前人的研究结果^[17]相似。果皮厚度与鲜出籽率负相关系数最大, 达-0.76。在生产中, 果皮厚度会影响产品加工的难易, 会直接影响单果鲜出籽率^[20]。

对 20 个单项指标进行相关性分析, 发现部分性状密切相关, 且存在一定的重叠性。因此, 对于高度相关的指标, 只需选择其中一个进行综合评价, 结合选育目标, 最终筛选出 11 个重要经济性状。主成分分析可以直接区分各成分主要特征, 且各成分间相对较独立, 评价结果可信度较高^[21]。杨雨晨等^[22]对长林系列油茶进行主成分分析, 将 10 个果实性状简化为 4 个相互独立的主成分, 累计贡献率为 86.44%, 有效反映了油茶果实经济性状的大部分信息。本研究采用主成分分析将 11 个指标转化为 4 个综合指标, 累计贡献率为 80.23%, 且 4 个综合指标区分合理, 能较好地代表广宁红花油茶生长特征和果实特征的大部分信息。最终筛选出 HY25、HY4、HY20、HY17 和 HY1 等 5 株优树。采用逐步回归分析, 建立了广宁红花油茶优树评价模型, 筛选出冠幅面积、鲜出籽率、干籽出仁率、鲜果含油率、单株产油量和单株产果效率等 6 个指标, 上述指标只需通过卷尺、游标卡尺、核磁共振仪和天平即可快速测量计算。

聚类分析将 31 株初选优树分为 3 类, 其中第 I 类属于优质型; 第 II 类属于丰产性和优质性较好; 第 III 类属于丰产型。田朝光^[23]对普通油茶进行杂交发现, 子代出籽率、出仁率、含油率的大小受父本影响较小, 而受母本影响较大。蒋莺^[24]对 5 株油茶优树杂交后代进行分子标记发现: 大部分杂交组合后代都具有偏母本的趋势。因此, 后续可根据不同育种目标及单株特征进行杂交, 如为获得高含油率、高出籽率和高出仁率类型, 以第 I 类作为母本, 为获得高产型, 则以第 III 类为母本, 并根据研究结果验证。

4 结论

31 株广宁红花油茶初选优树各性状遗传变异丰富, 其中, HY25、HY4、HY20、HY17 和 HY1 综合表现较好, 可作为提高经济效益的优良种质资源进行挖掘利用; 冠幅面积、鲜出籽率、干籽出仁率、鲜果含油率、单株产油量和单株产果效率可作为广宁红花油茶优树评价的核心指标。

5 参考文献

- [1] 孙佩光. 广宁红花油茶种质特性与变异研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
SUN Peiguang. *Studies on Germplasm Characteristics and Variation of Camellia semiserrata Chi.* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2012.
- [2] 荣道军, 柳军, 郭业先, 等. 东莞广宁红花油茶产量及果实性状特征[J]. 林业与环境科学, 2021, 37(2): 76-80.
RONG Daojun, LIU Jun, GUO Yexian, et al. Yield and fruit characters of *Camellia semiserrata* in Dongguan [J]. *Forestry and Environmental Science*, 2021, 37(2): 76-80.
- [3] ZHU Yixing, LIN Haimin, CHEN Xiu, et al. Mechanochemical-assisted extraction and antioxidant activities of kaempferol glycosides from *Camellia oleifera* Abel. meal [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(8): 3986-3993.
- [4] CHAVASIT V, PHOTI J, KRIENGSIYOS W, et al. Overcoming the trans fat problem in Thailand[J/OL]. *Current Developments in Nutrition*, 2019, 3(6): nzz045[2022-05-12]. doi: 10.1093/cdn/nzz045.
- [5] TRAN V T, KINGWASCHARAPONG P, TANAKA F, et al. Effect of edible coatings developed from chitosan incorporated with tea seed oil on Japanese pear[J/OL]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 288: 110314[2022-05-12]. doi: 10.1016/j.scienta.2021.110314.
- [6] 陈丰林, 谢海, 游昌乔, 等. 我国油茶资源研究与开发利用现状及展望[J]. 生命科学研究, 2021, 25(5): 425-431.
CHEN Fenglin, XIE Hai, YOU Changqiao, et al. Current situation and prospect of research, development and utilization of *Camellia oleifera* resources in China [J]. *Life Science Research*, 2021, 25(5): 425-431.
- [7] 艾建安, 黄修杰, 苏柱华, 等. 2014 年广东油茶产业发展形势与对策建议[J]. 广东农业科学, 2015, 42(14): 1-6.
AI Jian'an, HUANG Xiujie, SU Zhuhua, et al. Development situation and countermeasures of Guangdong oil-tea industry in 2014 [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 42(14): 1-6.
- [8] 邹玉玲, 钟秋平, 曹林青, 等. 攸县油茶无性系果实性状与茶油品质的综合评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(11): 46-55.
ZOU Yuling, ZHONG Qiuping, CAO Linqing, et al. Comprehensive evaluation of fruit traits and camellia oil quality of

- Camellia yuhsienensis* clones [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2021, **41**(11): 46–55.
- [9] 夏莹莹, 梁斌, 陈林强, 等. ‘红羽1号’和‘红羽2号’油茶新品种(种间)嫁接亲和性[J]. *广西林业科学*, 2018, **47**(4): 447–450.
- XIA Yingying, LIANG Bin, CHEN Linqiang, *et al.* Grafting affinity of *Camellia semiserrata* new varieties ‘Hongyu 1’ and ‘Hongyu 2’ [J]. *Guangxi Forestry Science*, 2018, **47**(4): 447–450.
- [10] 丁晓纲, 张应中, 陈清凤, 等. 广宁红花油茶果实性状的遗传变异规律[J]. *经济林研究*, 2012, **30**(2): 23–27.
- DING Xiaogang, ZHANG Yingzhong, CHEN Qinfeng, *et al.* Law of genetic variation of fruits in *Camellia semiserrata* [J]. *Non-wood Forestry Research*, 2012, **30**(2): 23–27.
- [11] 董乐, 李田, 黄文印, 等. 浙江红花油茶优株筛选与综合评价[J]. *中南林业科技大学学报*, 2021, **41**(11): 35–45.
- DONG Le, LI Tian, HUANG Wenyin, *et al.* Selection and comprehensive evaluation of excellent individual plant in *Camellia chekiangoleosa* [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2021, **41**(11): 35–45.
- [12] 陈静, 郭钰束, 王佩璇, 等. 越南油茶40年生实生林优株筛选与遗传多样性分析[J]. *热带作物学报*, 2019, **40**(12): 2347–2355.
- CHEN Jing, GUO Yujian, WANG Peixuan, *et al.* The selection of excellent trees and analysis of the genetic diversity of forty years old seedling forest of *Camellia vietnamensis* [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2019, **40**(12): 2347–2355.
- [13] 王珮璇, 陈静, 郭钰束, 等. 越南油茶实生优株选择与产区初步评价[J]. *经济林研究*, 2021, **39**(4): 246–255.
- WANG Peixuan, CHEN Jing, GUO Yujian, *et al.* Selection of excellent trees and preliminary evaluation of producing regions of *Camellia vietnamensis* seedling [J]. *Non-wood Forestry Research*, 2021, **39**(4): 246–255.
- [14] 吕欢欢, 伍岳峰, 李煜, 等. 普通油茶优良无性系果实性状变异分析及选择[J]. *森林与环境学报*, 2021, **41**(5): 519–526.
- LÜ Huanhuan, WU Yuefeng, LI Yu, *et al.* Variation and selection of excellent fruit traits in *Camellia oleifera* clones [J]. *Journal of Forest and Environment*, 2021, **41**(5): 519–526.
- [15] 芦贤博, 徐连峰, 庞忠义, 等. 胡桃楸种源家系幼龄期生长变异及选择研究[J]. *林业科学研究*, 2022, **35**(1): 20–30.
- LU Xianbo, XU Lianfeng, PANG Zhongyi, *et al.* Variation and selection of seedling growth traits among *Juglans mandshurica* provenances and families [J]. *Forest Research*, 2022, **35**(1): 20–30.
- [16] 王秀秀, 邢爱双, 杨茹, 等. 陆地棉种质资源表型性状综合评价[J]. *中国农业科学*, 2022, **55**(6): 1082–1094.
- WANG Xiuxiu, XING Aishuang, YANG Ru, *et al.* Comprehensive evaluation of phenotypic characters of nature population in upland cotton [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, **55**(6): 1082–1094.
- [17] 戚嘉敏, 张鹏, 奚如春, 等. 高州油茶果实性状的遗传变异特征[J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, **38**(4): 108–113.
- QI Jiamin, ZHANG Peng, XI Ruchun, *et al.* Genetic variation and correlation analysis of fruit characters of *Camellia gauchowensis* Chang [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2018, **38**(4): 108–113.
- [18] 冯宣军, 潘立腾, 熊浩, 等. 南方地区120份甜、糯玉米自交系重要目标性状和育种潜力分析[J]. *中国农业科学*, 2022, **55**(5): 856–873.
- FENG Xuanjun, PAN Liteng, XIONG Hao, *et al.* Investigation on important target traits and breeding potential of 120 sweet and waxy maize inbred lines in the south of China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, **55**(5): 856–873.
- [19] FENG Jingqiu, ZHANG Fengping, HUANG Jialin, *et al.* Allometry between vegetative and reproductive traits in orchids[J/OL]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, **12**: 728843[2022-05-12]. doi: 10.3389/fpls.2021.728843.
- [20] LUCA P, PAOLO E, GUIDO C, *et al.* Morphological and carpological variability of walnut germplasm (*Juglans regia* L.) collected in north-eastern Italy and selection of superior genotypes [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, **225**: 615–619.
- [21] HENRY F K. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis [J]. *Psychometrika*, 1958, **23**(3): 187–200.
- [22] 杨雨晨, 舒常庆, 姚小华, 等. 北部产区长林系列油茶良种果实品质研究[J]. *中国油料作物学报*, 2022, **44**(3): 562–569.
- YANG Yuchen, SHU Changqing, YAO Xiaohua, *et al.* Research on fruit quality of Changlin series of *Camellia oleifera* in northern production area [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2022, **44**(3): 562–569.
- [23] 田朝光. 普通油茶重要经济性状及脂肪酸组成遗传变异研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2000.
- TIAN Chaoguang. *Studies on Camellia oleifera Abol's Genetics Law of Important Economy Traits and Fatty Acid Composition*[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2000.
- [24] 蒋莺. 油茶杂交后代及其亲本的遗传关系分析与鉴别选育[D]. 福州: 福建农林大学, 2011.
- JIANG Ying. *Genetic Relationship Analysis and Identify Breeding of Hybrid Progenies and Hybrid Parents of Camellia oleifera*[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2011.