

千年桐优良种质资源筛选与综合评价

曹杰¹, 米小琴², 熊波³, 黄会猛², 许剑萍³, 高凌², 曾传圣³, 陈刚³

(1. 中南林业科技大学 林学院, 长沙 410004; 2. 湘西自治州森林生态研究实验站, 湖南 永顺 416000;

3. 宜春市科学院, 江西 宜春 336000)

摘要:旨在为千年桐产业良种化提供科学依据,以经筛选的29份千年桐优良母株为试验对象,测量其树体表型性状(树高、冠幅和胸径)、果实表型性状(30个鲜果质量、30个干果质量、单株鲜果总质量和干籽出仁率)及油脂性状(干仁含油率,油酸、亚油酸、 α -桐酸含量和 α -桐酸/ β -桐酸),并对各性状指标进行相关性分析、聚类分析和主成分分析,分析评选出优良种质资源。结果表明:29份千年桐的12个性状变异系数介于10.82%~45.84%,其中单株鲜果总质量变异最大;遗传多样性指数介于1.46~1.97;相关性分析表明30个鲜果质量与树高、冠幅呈显著正相关,单株鲜果总质量与胸径呈极显著正相关,干仁含油率与干籽出仁率呈显著正相关,与单株鲜果总质量呈极显著正相关,油酸与亚油酸呈显著正相关, α -桐酸与油酸呈极显著负相关,与 α -桐酸/ β -桐酸呈极显著正相关;通过聚类分析可将千年桐优良母株划分为3个类群,类群II中的种质具有筛选树体矮化、高产、高含油率良种的潜力;通过综合指标与经济指标主成分分析,筛选出AF-7和YZQ-6为最优母株。综上,初步构建了千年桐种质资源综合评价体系,AF-7和YZQ-6可作为今后千年桐良种选育的母株。

关键词:千年桐;种质资源;综合评价;良种; α -桐酸

中图分类号:TS222+.1;TS221 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)12-0105-08

Screening and comprehensive evaluation of excellent germplasm resources of *Aleurites montana*

CAO Jie¹, MI Xiaoqin², XIONG Bo³, HUANG Huimeng², XU Jianping³,
GAO Ling², ZENG Chuansheng³, CHEN Gang³

(1. College of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China;

2. Xiangxi Autonomous Prefecture Forest Ecology Research Experimental Station, Yongshun 416000,

Hunan, China; 3. Yichun Academy of Sciences, Yichun 336000, Jiangxi, China)

Abstract: Aiming to provide a scientific basis for the seeding of *A. montana* industry, 29 excellent maternal plants of *A. montana* selected as the experimental subjects, the plants phenotypic traits (tree height, crown width and diameter at breast height), fruit phenotypic traits (30 fresh fruit mass, 30 dry fruit mass, total mass of fresh fruits per plant and kernel yield of dry seeds), and oil traits (oil content of dry kernel, oleic acid, linoleic acid, α -eleostearic acid and α -eleostearic acid/ β -eleostearic acid) of *A. montana* were determined. Correlation analysis, cluster analysis and principal component analysis were also carried out for each trait index to analyze and select the excellent germplasm resources. The results showed that the coefficient of variation for 12 traits of 29 *A. montana* ranged from 10.82% to

45.84% with the maximum variation in total mass of fresh fruits per plant. The genetic diversity index was between 1.46 and 1.97. Correlation analysis showed that 30 fresh fruit mass was significantly and positively correlated with tree height and crown width, total mass of fresh fruits

收稿日期:2023-06-16;修回日期:2024-08-13

作者简介:曹杰(1994),男,博士,研究方向为经济林育种(E-mail)caojie1302@163.com。

通信作者:曾传圣,高级工程师(E-mail)zeng-chuan-sheng@foxmail.com。

per plant was highly significantly and positively correlated with diameter at breast height, the oil content of dry kernel was significantly and positively correlated with the kernel yield of dry seeds, and highly significantly and positively correlated with total mass of fresh fruits per plant, oleic acid was significantly and positively correlated with linoleic acid, and α - eleostearic acid was highly significantly and negatively correlated with oleic acid, and highly significantly and positively correlated with α - eleostearic acid/ β - eleostearic acid. The excellent maternal plants of *A. montana* could be divided into three groups by cluster analysis, and the germplasm in group II had the potential to screen for tree dwarfing, high yield, and high oil content varieties. AF - 7 and YZQ - 6 were selected as the optimal maternal plants by principal component analysis of comprehensive and economic indicators. In summary, A comprehensive evaluation system for *A. montana* germplasm resource is preliminarily constructed, and AF - 7 and YZQ - 6 can be used as the maternal plants for the future selection of excellent varieties of *A. montana*.

Key words: *Aleurites montana*; germplasm resource; comprehensive evaluation; excellent varieties; α - eleostearic acid

千年桐 (*Aleurites montana*) 属大戟科 (Euphorbiaceae) 落叶乔木, 主要分布于江西、湖南、广西、福建等地, 是我国重要的木本油料树种, 也是我国特有的乡土树种, 已有千年栽培历史。千年桐具有生长快、单位面积鲜果产量高、种子含油率高、适应范围广、栽培性强、经济用途广等特点^[1]。千年桐种子油是良好的工业用干性油, 其树皮、果壳等也具有多种用途^[2]。近年来, 随着人口增加和经济的快速增长, 能源危机与生态环境建设得到了人们的高度重视, 千年桐种子油可能成为缓解我国能源短缺问题最有发展前途的生物质能源之一。

我国千年桐尚未形成品种种植规模, 各地种植的千年桐基本上采用未经改良的实生苗木, 或简单筛选千年桐种子直播造林, 导致人工林分的果实数量、大小、含油率等分化严重, 经济效益不高。目前国内关于千年桐优良种质评价研究开展比较多, 如有学者根据树龄、单株产果量、病虫害抗性、内源激素、鲜果单果质量、鲜果出籽率、干籽出仁率和干籽出油率等选育出一些优良母株^[3-5]。尽管已有关于天然林分中优株选育的研究报道, 但在千年桐良种资源的评价与筛选方面, 尤其是针对高产稳产品种的高效筛选方法, 相关研究仍相对较少。

评价体系的建立过程主要涉及指标确定原则、指标筛选、指标体系构建方法、指标权重等几个方面^[6]。本研究对千年桐资源较好的江西宜春、江西赣州、江西上饶、广西柳州、湖南湘西等地的优良林分进行筛选和评价, 通过相关性分析、聚类分析和主成分分析 (PCA), 了解果实产量、果实质量、含油率等指标间的关系, 初步构建千年桐优良种质资源综

合评价体系, 以期千年桐产业良种选育工作提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

对江西宜春、江西赣州、江西上饶、广西柳州、湖南湘西等地区的天然千年桐林分进行筛选, 取 2019—2021 年单株产量大于 15 kg, 长势良好的 8 ~ 12 年千年桐母株, 共有 29 份优良母株 (见表 1) 进入复选。

表 1 千年桐优良母株产地

Table 1 Origin of *A. montana* excellent maternal plant

母株	产地	母株	产地
YZQ - 1	江西袁州	WZ - 1	江西万载
YZQ - 2	江西袁州	WZ - 2	江西万载
YZQ - 3	江西袁州	WZ - 4	江西万载
YZQ - 4	江西袁州	WZ - 5	江西万载
YZQ - 5	江西袁州	WZ - 6	江西万载
YZQ - 6	江西袁州	AF - 4	江西安福
YZQ - 7	江西袁州	AF - 5	江西安福
YZQ - 8	江西袁州	AF - 6	江西安福
YZQ - 9	江西袁州	AF - 7	江西安福
YZQ - 1	江西袁州	SR - 10	江西横峰
YZQ - 11	江西袁州	SR - 2	江西湖村
YZQ - 12	江西袁州	FZ - 1	江西金溪
YZQ - 13	江西袁州	FZ - 2	江西金溪
YZQ - 15	江西袁州	GZ - 1	江西章贡
YZQ - 16	江西袁州		

石油醚, 乙醇, 盐酸, 氢氧化钠, 甲醇, 三氟化硼, 37 种脂肪酸甲酯混标。

激光测高仪, YF - WGL - 230B 电热鼓风干燥箱, J - HH - 6A 智能恒温水浴锅, AF6DM 阵列水浴

回流仪,Secura 1102-1 电子天平。

1.2 试验方法

1.2.1 树体表型性状测定

使用激光测高仪测量树高,卷尺测定胸径,使用卷尺通过投影法测量冠幅。

1.2.2 果实表型性状测定

收集每棵优良母株上的所有鲜果,并使用四分法随机抽取每棵优良母株果实 30 颗,使用电子天平测定单株鲜果总质量、30 个鲜果质量、30 个干果质量、干籽出仁率(以干种仁质量与干籽质量比计算),重复测定 3 次。

1.2.3 油脂性状测定

参考 GB/T 14488.1—2008 测定干仁含油率;以干种仁为原料,参考 GB 5009.168—2016 测定油脂脂肪酸组成及含量。

1.2.4 遗传多样性指数计算

通过标准差(σ)和平均值(μ)将千年桐各性状划分为 10 级(X_j , j 为级数),其中 $X_j < (\mu - 2\sigma)$ 为 1 级, $X_j \geq (\mu + 2\sigma)$ 为 10 级,其余每 1 级为 0.5σ 。遗传多样性指数按公式(1)计算。

$$H = - \sum P_j \ln P_j \quad (1)$$

式中: H 为遗传多样性指数; P_j 为某一性状第 j 级别试验材料份数的占比。

1.2.5 数据分析

使用 Microsoft Excel 2013、SPSS 22.0 软件整理分析数据。采用 SPSS 22.0 软件对 12 个性状进行相关性分析,然后使用 Origin 2022 进行绘图。采用欧式平方距离 Ward 法将 29 份千年桐优良母株依照 12 个性状进行聚类分析。参照文献[8]采用主成分分析法分别从综合性状与经济性状对千年桐种质进行评价,以累积贡献率大于或等于 85% 为提取主成分的标准。

2 结果与分析

2.1 千年桐优良母株性状变异及多样性分析

29 份千年桐优良母株主要性状测定结果见表 2。

由表 2 可看出,12 个性状变异系数介于 10.82% ~ 45.84%,其中:单株鲜果总质量(45.84%)、 α -桐酸/ β -桐酸(45.23%)、冠幅(40.57%)和 30 个鲜果质量(38.10%)变异系数较高;而 α -桐酸(10.82%)、亚油酸(12.85%)、干籽出仁率(13.10%)、油酸(15.46%)变异系数较低。综上,相比树体表型性状和果实表型性状,油脂性状遗传特性比较稳定。12 个性状表现出丰富的遗传多样性,遗传多样性指数介于 1.46 ~ 1.97,其中:油

酸、胸径、单株鲜果总质量和 30 个鲜果质量遗传多样性指数均高于 1.90,表明这 4 个性状的遗传多样性丰富,数据分布均匀,分散度好;冠幅的遗传多样性指数小于 1.70,遗传多样性指数较低,数据分散度差。

表 2 29 份千年桐优良母株主要性状

Table 2 Main traits of 29 *A. montana* maternal plants

性状	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%	遗传多样性指数
树高/m	6.00	19.00	13.86	3.08	22.22	1.83
冠幅/m ²	36.00	156.00	66.14	26.83	40.57	1.46
胸径/cm	11.40	37.50	25.21	7.57	30.03	1.96
30 个鲜果质量/kg	0.42	1.50	0.84	0.32	38.10	1.93
30 个干果质量/kg	0.24	0.65	0.45	0.09	20.00	1.88
单株鲜果总质量/kg	7.80	46.71	23.21	10.64	45.84	1.95
干籽出仁率/%	39.46	76.45	54.05	7.08	13.10	1.81
干仁含油率/%	19.34	61.71	47.11	10.67	22.65	1.75
油酸/%	7.78	13.30	10.09	1.56	15.46	1.97
亚油酸/%	9.03	15.04	11.28	1.45	12.85	1.82
α -桐酸/%	52.33	73.67	66.18	7.16	10.82	1.71
α -桐酸/ β -桐酸	7.65	79.84	45.79	20.71	45.23	1.78

综上,千年桐优良母株间表型差异大,遗传多样性指数大部分超过 1.70,变异系数均超过了 10%,因此具有较大的选育优良种质资源的潜力^[7-9]。

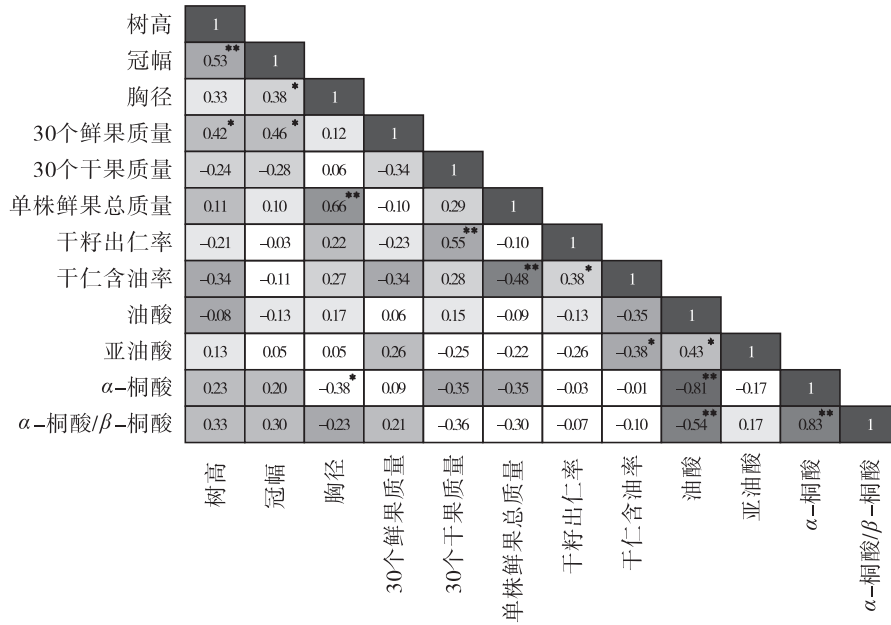
2.2 千年桐优良母株性状间相关性分析

对千年桐优良母株的 12 个性状进行相关性分析,结果见图 1。

由图 1 可看出,30 个鲜果质量与树高、冠幅呈显著正相关,推测植物在林分中相对越高越有利于叶片捕获更多的光能,可以为果实的生长提供更多的有机物^[10]。单株鲜果总质量与胸径呈极显著正相关,这与姚小华等^[11]在小果油茶经济性性状指标上的研究结果一致,树木胸径越大,维管组织越发达^[12],越有利于果实对水分和无机盐的吸收,最终促进果实生长。干仁含油率与干籽出仁率呈显著正相关,这与刘俊涛等^[13]在千年桐盛果期优良单株综合评价中的研究结果相符;但干仁含油率与单株鲜果总质量呈极显著正相关,这与刘俊涛等^[13]的研究结果相反,可能缘于样品来源和样本数不同。油酸与亚油酸呈显著正相关,推测油酸与亚油酸为同一

生物合成途径,且在途径中相互促进合成。 α -桐酸与油酸呈极显著负相关,与 α -桐酸/ β -桐酸呈极显著正相关,这与郑国灿等^[14]的研究结果一致。 α -桐酸与油酸属于不同合成途径,在生物合成过程中,可能竞争同一底物或前体,导致它们之间出现

负相关。 α -桐酸是桐酸中的主要成分,而 β -桐酸是次要成分。由于 α -桐酸和 β -桐酸在合成途径中共享同一底物,它们之间可能存在一定的竞争关系,这解释了 α -桐酸与 α -桐酸/ β -桐酸的正相关性。



注: * 代表显著相关, ** 代表极显著相关

Note: * Represents a significant correlation, ** represents a highly significant correlation

图1 千年桐优良母株性状间相关性分析

Fig.1 Correlation analysis between traits of *A. montana* maternal plants

2.3 基于千年桐优良母株性状的聚类分析

聚类分析是将性状较一致的优良母株聚为一类,有助于分析各优良母株的特点,对优良母株筛选和资源利用有较好的指导作用。采用欧式平方距离 Ward 法按照 12 个性状对 29 份千年桐优良母株进行聚类分析,结果见图 2,各类群性状特征见表 3。

由图 2 和表 3 可看出,在欧氏距离为 9 时,29 份千年桐优良母株可分为 3 个类群:类群 I 包含 21 份种质,其特点为 α -桐酸含量与 α -桐酸/ β -桐酸较高,但胸径、30 个干果质量、单株鲜果总质量性状较差;类群 II 包含 5 份种质,其特点为树矮,冠幅较小,胸径大,30 个鲜果质量较小,但单株鲜果总质量较大,干籽出仁率较高,除干仁含油率和油酸含量较高外,其他油脂性状均较差;类群 III 包含 3 份种质,其特点为树体表型性状较好,除 30 个鲜果质量和 30 个干果质量较大外,果实表型性状较差, α -桐酸含量、 α -桐酸/ β -桐酸和亚油酸含量均较高,但干仁含油率、油酸含量较低。

从整体性状分析,类群 II 中的种质树干较矮,冠幅较小,树体自然矮化便于采摘,单株鲜果总质量较

大,干仁含油率较高,具有筛选树体矮化、高产、高含油率优良品种的潜力。同时发现,不同种质在地理分布上呈现混杂分布,表明千年桐种质资源分布无明显地理变异趋势,可能与千年桐较强的适应性和长期的引种栽培活动有关。

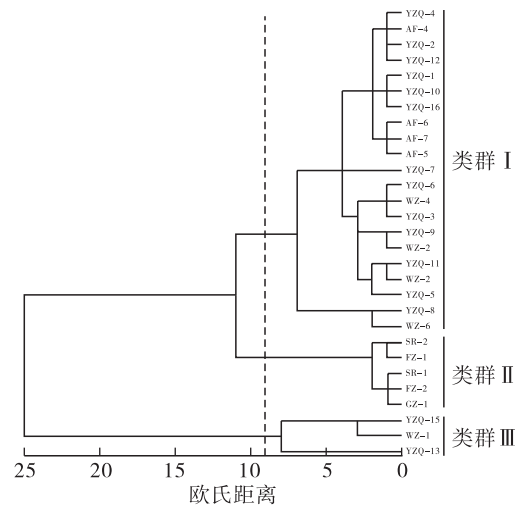


图2 29份千年桐优良母株基于性状的聚类分析结果
Fig.2 Traits-based cluster analysis of 29 *A. montana* maternal plants

表3 不同类群千年桐优良母株的性状统计分析

Table 3 Statistical analysis of traits of different groups of *A. montana* maternal plants

性状	指标			变异系数/%		
	类群 I	类群 II	类群 III	类群 I	类群 II	类群 III
树高/m	13.71 ± 3.00	12.00 ± 1.87	18.00 ± 1.00	21.88	15.58	5.56
冠幅/m ²	58.76 ± 11.39	55.20 ± 11.19	136.00 ± 18.33	19.38	20.27	13.48
胸径/cm	22.86 ± 7.24	32.06 ± 4.15	30.27 ± 5.42	31.67	12.94	17.91
30个鲜果质量/kg	0.81 ± 0.33	0.72 ± 0.13	1.27 ± 0.13	40.74	18.05	10.24
30个干果质量/kg	0.43 ± 0.08	0.48 ± 0.12	0.54 ± 0.04	18.60	25.00	7.41
单株鲜果总质量/kg	20.42 ± 9.19	35.15 ± 7.57	22.85 ± 13.60	45.00	21.54	59.52
干籽出仁率/%	53.62 ± 7.62	57.34 ± 6.22	51.56 ± 2.14	14.21	10.85	4.15
干仁含油率/%	46.15 ± 11.09	54.37 ± 4.87	41.77 ± 11.53	24.03	8.96	27.60
油酸/%	9.78 ± 1.47	11.67 ± 0.83	9.65 ± 1.90	15.03	7.11	19.69
亚油酸/%	11.38 ± 1.53	10.49 ± 0.66	11.86 ± 1.65	13.44	6.29	13.91
α-桐酸/%	68.92 ± 3.93	52.80 ± 0.48	69.25 ± 4.69	5.70	0.90	6.77
α-桐酸/β-桐酸	52.20 ± 12.41	8.95 ± 0.82	62.32 ± 15.19	23.77	9.16	24.37

2.4 基于千年桐优良母株性状的 PCA

2.4.1 千年桐综合指标 PCA

利用 SPSS 22.0 软件对千年桐的 12 个性状指标进行分析, KMO 取样适切性量数为 0.596, p 值小于 0.01, 表明上述数据均属高信度, 且具有较高的内在一致性, 可进行 PCA, 千年桐综合性状 PCA 结果见表 4。由表 4 可看出, 前 6 个主成分累积贡献率大于 85%, 其中: 第一主成分贡献率为 27.898%, 主要由 α -桐酸、 α -桐酸/ β -桐酸、30 个干果质量组成; 第二主成分贡献率为 21.094%, 主要由油酸、

α -桐酸、亚油酸组成; 第三主成分贡献率为 18.319%, 主要由胸径、单株鲜果总质量、冠幅组成; 第四主成分贡献率为 8.371%, 主要由干籽出仁率和 30 个干果质量组成; 第五主成分贡献率为 6.654%, 主要由亚油酸、干仁含油率组成; 第六主成分贡献率为 5.378%, 主要由 30 个鲜果质量、树高组成。分析 6 个主成分贡献发现, 干仁含油率、干籽出仁率、30 个干果质量对综合指标的主成分贡献较大, 30 个鲜果质量、 α -桐酸/ β -桐酸对综合指标的主成分贡献较小。

表4 千年桐综合性状前6个主成分分析结果

Table 4 Analysis of the first six principal components of the comprehensive traits of *A. montana*

项目	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5	主成分 6	各性状总贡献/%
载荷							
树高	0.509	0.328	-0.532	-0.105	0.227	0.446	14.403
冠幅	0.448	0.230	-0.649	-0.158	0.108	-0.208	3.933
胸径	0.305	-0.357	0.782	-0.025	0.201	-0.007	16.092
30个鲜果质量	-0.512	-0.454	0.248	0.155	-0.157	0.464	-16.953
30个干果质量	0.688	0.201	0.037	0.490	-0.151	-0.231	26.136
单株鲜果总质量	0.515	-0.101	0.667	-0.324	0.057	-0.175	21.096
干籽出仁率	0.426	0.409	0.255	0.681	0.107	0.141	32.700
干仁含油率	0.472	0.545	0.395	-0.251	0.324	0.205	33.518
油酸	-0.407	0.795	0.275	-0.120	-0.027	0.033	10.119
亚油酸	0.264	0.600	0.231	-0.183	-0.655	0.087	19.338
α-桐酸	-0.736	0.637	0.084	0.016	0.034	-0.083	-5.105
α-桐酸/β-桐酸	-0.783	0.354	0.129	0.153	0.311	-0.162	-9.235
贡献率/%	27.898	21.094	18.319	8.371	6.654	5.378	
累积贡献率/%	27.898	48.992	67.312	75.683	82.337	87.715	

对 29 份千年桐的综合性状进行评价, 计算评价得分, 结果见表 5。由表 5 可看出, 综合性状评价得分有 16 份为正值, 13 份为负值(正值为性状优良树

种, 负值为性状相对较差树种), 优选出得分值为正值的前 10 份种质作为备选优良树种, 分别为 YZQ-7、SR-1、GZ-1、SR-2、FZ-2、FZ-1、AF-7、

AF-6、YZQ-6、YZQ-4,可以看出,备选优良树种并未呈现区域划分。结合聚类分析结果,类群Ⅱ得分占据第2至第6位置,总体排名靠前,这可能与类群Ⅱ的特点有关。

表5 千年桐综合性状 PCA 的 F 值及排名

Table 5 F value and ranking of the comprehensive traits PCA of *A. montana*

母株	F 值						得分	总排名
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5	主成分 6		
YZQ-1	0.019	0.461	0.429	-0.369	0.563	-0.200	0.202	13
YZQ-2	0.102	1.655	-0.138	-0.202	-0.452	-0.404	0.323	11
YZQ-3	-1.094	1.361	-1.831	-2.005	-0.370	0.233	-0.608	24
YZQ-4	0.320	0.145	1.438	-0.735	0.639	-0.901	0.360	10
YZQ-5	-1.311	2.248	-1.736	0.147	-1.110	-0.108	-0.316	21
YZQ-6	-0.104	2.761	-1.013	1.079	-1.518	-0.607	0.370	9
YZQ-7	1.616	1.856	-0.180	2.888	1.447	0.719	1.352	1
YZQ-8	-0.082	-2.175	-2.431	0.765	-0.158	-0.570	-1.031	25
YZQ-9	-0.324	0.115	-2.668	-0.554	2.559	-0.063	-0.495	23
YZQ-10	-0.913	-0.273	0.437	0.419	-0.305	1.413	-0.161	19
YZQ-11	0.052	0.332	-0.709	1.582	-0.266	-1.302	-0.001	17
YZQ-12	-0.473	0.821	0.320	-0.477	-0.449	-1.238	-0.042	18
YZQ-13	-2.602	-0.878	3.439	-0.097	-0.158	0.128	-0.334	22
YZQ-15	-1.829	0.249	2.714	0.394	-0.589	0.755	0.084	16
YZQ-16	-1.657	0.976	0.650	-0.398	-1.357	1.080	-0.231	20
WZ-1	-2.543	-2.914	0.055	1.447	-0.188	0.440	-1.347	28
WZ-2	-1.950	-2.402	-0.247	1.092	0.629	-0.115	-1.105	26
WZ-4	0.091	2.028	-2.082	-0.500	0.139	2.148	0.176	14
WZ-5	-1.975	-0.870	-1.109	-0.867	-0.046	-0.423	-1.181	27
WZ-6	-0.973	-3.815	-2.253	-0.726	-0.507	-0.023	-1.807	29
AF-4	-0.180	-0.587	1.651	-0.973	0.650	0.341	0.124	15
AF-5	-0.629	0.629	1.566	-0.864	0.834	-0.832	0.208	12
AF-6	-0.276	1.167	0.761	-0.449	1.231	-0.299	0.384	8
AF-7	-0.231	1.577	0.822	0.402	0.609	-1.101	0.495	7
SR-1	3.454	-0.676	0.742	-0.817	0.817	0.990	1.136	2
SR-2	4.202	-1.246	0.346	-0.380	-1.097	-0.589	0.953	4
FZ-1	3.271	-0.888	-0.013	-0.204	-0.816	-0.224	0.729	6
FZ-2	2.991	-0.781	0.300	-0.780	-0.444	0.293	0.736	5
GZ-1	3.027	-0.876	0.741	1.181	-0.287	0.457	1.026	3

2.4.2 经济指标 PCA

若栽培千年桐的主要目的是提取油脂用于化工行业,理想品种为30个鲜果质量、30个干果质量、单株鲜果总质量、干籽出仁率、干仁含油率、 α -桐酸含量、 α -桐酸/ β -桐酸等指标较高,而油酸、亚油酸含量较低,此时经济价值达到最高。利用SPSS 22.0软件对上述性状指标进行分析,KMO 取样适切性量数为0.603, p 值小于0.01,表明上述数据均属高信度,且具有较高的内在一致性,因此可进行PCA,千年桐经济性性状前5个主成分分析结果见表6。由表6可知,前5个主成分累积贡献率大于85%,其中:第一主成分贡献率为32.296%,主要由 α -桐酸/ β -桐酸、 α -桐酸组成;第二主成分贡献率为27.467%,主要由油酸、干仁含油率、亚油酸组成;第三主成分贡献率为11.766%,主要由单株鲜果总质量、干籽出仁率、30个干果质量组成;第四主成分贡献率为9.444%,主要由30个鲜果质量、干籽

出仁率、亚油酸组成;第五主成分贡献率为8.000%,主要由亚油酸、30个鲜果质量组成。分析各性状总贡献发现,油酸、30个鲜果质量、 α -桐酸、 α -桐酸/ β -桐酸对经济指标主成分贡献较大,30个干果质量、干籽出仁率对经济指标主成分贡献较小。

对29份千年桐的经济性状进行评价,计算评价得分,结果见表7。由表7可看出,千年桐经济性性状评价得分有17份为正值,12份为负值,优选出得分为正值的前10份种质作为备选优良树种,分别为YZQ-16、YZQ-13、YZQ-15、AF-4、YZQ-5、WZ-4、AF-7、AF-5、YZQ-10、YZQ-6。结合聚类分析发现,前10份种质主要集中在类群Ⅰ中,其中YZQ-10、YZQ-16位于类群Ⅰ中一个小簇,AF-5、AF-7集中在类群Ⅰ中一个小簇,WZ-4、YZQ-6位于类群Ⅰ中一个小簇,AF-4和YZQ-5分别位于类群Ⅰ中的一个簇,YZQ-15和YZQ-13位于类群Ⅲ中。

表6 千年桐经济性状前5个主成分分析结果

Table 6 Analysis of the first five principal components of the economic traits of *A. montana*

项目	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	主成分5	各性状总贡献/%
载荷						
30个鲜果质量	0.145	-0.153	0.214	0.728	0.646	15.042
30个干果质量	-0.243	0.106	-0.386	0.227	0.097	-6.558
单株鲜果总质量	-0.198	0.074	0.595	0.353	-0.175	4.572
干籽出仁率	-0.139	0.205	-0.509	0.465	0.077	0.160
干仁含油率	-0.140	0.272	0.300	0.159	-0.408	4.717
油酸	0.164	0.327	0.103	-0.044	0.088	15.779
亚油酸	-0.086	0.269	0.157	-0.372	0.795	9.305
α -桐酸	0.272	0.230	-0.052	-0.004	-0.007	14.396
α -桐酸/ β -桐酸	0.279	0.129	-0.090	0.298	-0.343	11.565
贡献率/%	32.296	27.467	11.766	9.444	8.000	
累积贡献率/%	32.296	59.762	71.529	80.972	88.973	

表7 千年桐经济性状PCA的F值及排名

Table 7 F value and ranking of the economic traits PCA of *A. montana*

母株	F值					得分	总排名
	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	主成分5		
YZQ-1	-0.024	0.393	0.119	-0.482	-0.942	-0.008	18
YZQ-2	0.057	0.928	0.004	-0.530	0.237	0.273	11
YZQ-3	0.862	0.284	0.709	-2.566	-0.158	0.208	14
YZQ-4	-0.119	0.469	0.757	-0.087	-0.885	0.113	16
YZQ-5	0.904	0.851	-0.999	-1.552	0.944	0.379	5
YZQ-6	0.015	1.439	-1.434	-0.673	1.165	0.293	10
YZQ-7	-0.587	1.073	-2.679	1.746	-0.628	-0.107	19
YZQ-8	-0.115	-1.850	-1.430	-1.077	-0.473	-0.959	29
YZQ-9	0.526	-0.651	-0.249	-0.012	-3.012	-0.315	22
YZQ-10	0.367	-0.107	0.230	1.134	1.035	0.344	9
YZQ-11	-0.047	0.077	-1.651	0.253	0.078	-0.178	21
YZQ-12	0.137	0.612	0.246	-0.775	-0.251	0.166	15
YZQ-13	0.883	0.196	1.519	1.443	-0.037	0.732	2
YZQ-15	0.764	0.721	0.382	0.628	1.015	0.708	3
YZQ-16	1.003	0.634	0.755	0.228	2.297	0.890	1
WZ-1	0.943	-1.783	-0.814	0.986	0.403	-0.175	20
WZ-2	1.005	-1.518	-0.571	1.636	0.109	0.004	17
WZ-4	0.416	0.585	0.007	-0.165	0.710	0.379	6
WZ-5	1.172	-0.842	0.611	-0.224	0.103	0.232	13
WZ-6	0.509	-2.824	0.116	-1.183	0.585	-0.745	26
AF-4	0.068	0.013	1.939	1.701	-0.233	0.445	4
AF-5	0.447	0.735	0.751	-0.328	-1.114	0.353	8
AF-6	0.324	0.854	0.198	-0.164	-1.438	0.261	12
AF-7	0.176	1.135	-0.240	0.557	-0.963	0.355	7
SR-1	-1.749	-0.139	0.801	-0.079	-0.618	-0.636	23
SR-2	-2.517	-0.471	0.927	0.377	0.670	-0.836	28
FZ-1	-1.948	-0.350	0.226	-0.375	0.522	-0.778	27
FZ-2	-1.698	-0.270	0.700	-0.710	0.280	-0.657	24
GZ-1	-1.774	-0.196	-0.932	0.292	0.598	-0.743	25

结合综合性状与经济性状的分析结果,发现 AF-7 与 YZQ-6 在两种分析结果中得分均排列于前 10,其中 AF-7 具有株高、30 个干果质量大、单株鲜果总质量大、干籽出仁率高、干仁含油率高(52.96%)、 α -桐酸含量高(71.62%)、油酸含量低、 β -桐酸含量低的特点,而 YZQ-6 具有株高、冠幅小、胸径小、30 个干果质量大、干籽出仁率高、干仁含油率高(50.22%)、 α -桐酸含量高(73.67%)、油酸含量低、亚油酸含量偏低、 β -桐酸含量低的特点,因此在今后的育种中可将这 2 份母株列为优良种质。

3 结论

千年桐种质资源性状存在不同程度的变异和丰富的多样性,以单株鲜果总质量、 α -桐酸/ β -桐酸、冠幅和 30 个鲜果质量为代表的变异系数较大,因此具有较大的选育优良种质资源的潜力; α -桐酸、油酸与亚油酸变异系数较小,表明千年桐油脂性状较稳定。 α -桐酸与油酸呈极显著负相关,与 α -桐酸/ β -桐酸呈极显著正相关。聚类分析将千年桐种质划分为 3 个类群,类群间不同性状差异明显,但不同种质无明显地理变异趋势。结合综合性状与经济性状 PCA 结果筛选出具有株高、干果质量大、干籽出仁率高、干仁含油率高(>50%)、 α -桐酸含量高(>70%)、油酸含量低、 β -桐酸含量低等特点的 2 份最优种质 AF-7 和 YZQ-6,其可作为今后千年桐良种选育的母株。本文初步构建了千年桐种质资源综合评价体系,有助于千年桐良种选育及综合利用。

参考文献:

- [1] 谭晓风,蒋桂雄,谭方友,等.我国油桐产业化发展战略调查研究报告[J].经济林研究,2011,29(3):1-7.
- [2] 刘馨蕴,刘年元,尚海,等.油桐花、叶、果壳代谢组成鉴定与差异分析[J].植物生理学报,2021,57(12):2366-2378.
- [3] 林平生,蓝德炎.千年桐选优初报[J].广东林业科技,1989(2):9,35.
- [4] 林晗,陈辉,吴承祯,等.内源激素驱动下的千年桐种源优选[J].热带作物学报,2012,33(11):1937-1941.
- [5] 周义罡,邓国将,罗广忠,等.湘南千年桐优树的选择与评价[J].经济林研究,2016,34(1):12-18.
- [6] 吴志庄,尚忠海,鲜宏利,等.黄连木优良类型综合评价指标体系的构建[J].经济林研究,2008,26(4):22-25.
- [7] 刘俊涛,张鸽,沈燕,等.湘南地区优良千年桐雌株初步选择与评价[J].经济林研究,2021,39(1):50-59.
- [8] 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.
- [9] 于海天,杨峰,吕梅媛,等.伊朗鹰嘴豆种质资源农艺性状遗传多样性分析及综合评价[J].南方农业学报,2021,52(3):769-778.
- [10] 田俊霞,魏丽萍,何念鹏,等.温带针阔混交林叶片性状随树冠垂直高度的变化规律[J].生态学报,2018,38(23):8383-8391.
- [11] 姚小华,黄勇,王开良,等.小果油茶优良种质资源筛选与综合评价[J].经济林研究,2012,30(4):1-8.
- [12] 王桂芹,郑玉华,胡顶超.胡杨茎次生维管组织特点与生境之间的关系[J].植物研究,2015,35(1):11-15.
- [13] 刘俊涛,王瑞辉,沈燕,等.千年桐盛果期优良单株综合评价选择[J].中南林业科技大学学报,2020,40(6):53-62.
- [14] 郑国灿,王晶,刘毅,等.桐油脂肪酸组分 GC-MS 分析及产地特征研究[J].中国林副特产,2014(6):14-16.