

贵州低热河谷区油茶种质果实性状分析与评价

杨露¹, 高超¹, 廖德胜², 龙莉¹, 仇杰¹, 王彪¹, 郭之燕¹, 周运超¹

(¹ 贵州大学贵州省森林资源与环境研究中心 / 贵州省高原山地林木培育重点实验室 / 贵州大学林学院, 贵阳 550025;

² 贵州黔西南喀斯特区域发展研究院, 兴义 562400)

摘要: 对比研究贵州低热河谷区 77 份油茶种质资源的果实品质, 筛选获得综合表现优良的油茶优异种质, 以期为贵州低热河谷区油茶优良品种选育及杂交育种提供理论依据和研究基础。分析 77 份油茶种质成熟果实的 15 个主要性状(单果重、横径、纵径、果皮厚度、鲜出籽率、干出籽率、干出仁率、出油率、棕榈酸、棕榈烯酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、顺-11-二十碳烯酸), 利用主成分分析法对数据进行多元统计降维处理, 将油茶果实的 15 个主要性状简化为 4 组综合指标(4 个主成分), 主成分 1 特征值最大, 为 5.13, 贡献率最高, 为 34.19%, 主要代表种仁含油率; 主成分 2 的贡献率 20.17%, 主要代表单果重; 主成分 3 的贡献率 15.51%, 主要代表了干出仁率, 主成分 4, 贡献率 8.35%, 主要代表鲜出籽率。加权求和法合成主成分, 最终建立综合评价函数, 获得每优株的综合得分, 最后排名并筛选。15 个性状中单果重、鲜出籽率、干出籽率三者均为高度变异, 棕榈烯酸和顺-11-二十碳烯酸的变异系数 $\leq 0.35\%$, 变异程度极低。贵州低热河谷区油茶的种仁含油率与干出籽率、干出仁率均呈极显著正相关, 除顺-11-二十碳烯酸之外, 脂肪酸之间均呈现出极显著正相关或负相关。提取出了特征值 >1 的主成分 4 个, 筛选出综合得分排名前十的优株, 排名依次为: QC-8>QC-58>QC-21>QC-34>QC-32>QC-62>QC-30>QC-61>QC-59>QC-28。贵州低热河谷区 77 份油茶种质在单果重、鲜出籽率、干出籽率方面具有较高的改良潜力, 果皮厚度和除亚油酸之外的其余脂肪酸具有较强的遗传稳定性。贵州低热河谷区油茶的干出籽率和种仁含油率与除油酸之外的不饱和脂肪酸之间呈现负相关关系。QC-8、QC-58 和 QC-21 号优株综合表现最佳, 可作为下一步品种选育的候选资源。

关键词: 油茶; 种质资源; 果实性状; 评价; 主成分分析

Analysis and Evaluation on Fruit Characters of *Camellia oleifera* in Low Thermal Valley Area of Guizhou

YANG Lu¹, GAO Chao¹, LIAO De-sheng², LONG Li¹,
QIU Jie¹, WANG Biao¹, GUO Zhi-yan¹, ZHOU Yun-chao¹

(¹ Research Center for Forest Resources and Environment of Guizhou Province/Key Laboratory of Plateau Mountain

Tree Breeding of Guizhou Province/College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025;

² Guizhou Southwest Karst Regional Development Institute, Xingyi 562400)

Abstract: We attempted to study the fruit quality characters in 77 *Camellia oleifera* Abel germplasms derived from the unique low thermal valley area of Guizhou, in order to determine the *C. oleifera* Abel germplasm with the best performance applicable for breeding. Fifteen characters (Single fruit weight, diameter, height, pericarp

收稿日期: 2021-07-17 修回日期: 2021-08-14 网络出版日期: 2021-08-31

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210717001>

第一作者研究方向为经济林育种与栽培, E-mail: yanglu202020@163.com

通信作者: 高超, 研究方向为经济林育种与栽培, E-mail: gaochao@gzu.edu.cn

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2020]1Y057号, 黔科合服企[2020]4011); 国家自然科学基金(32060331, 31800516); 贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合KY字[2018]097); 贵州大学培育项目(贵大培育[2019]35号); 贵州大学引进人才科研项目(贵大人基合字[2017]41号)

Foundation projects: Science and Technology Planning Projects of Guizhou (Qian Ke He Zhi Cheng [2020] 1Y057, Qian Ke He Fu Qi [2020] 4011), National Natural Science Foundation of China (32060331, 31800516), Young Scientific and Technological Talents Growth Project of Guizhou Provincial Department of Education (Qian Jiao He KY [2018] 097), Cultivation Project of Guizhou University (Gui Da Pei Yu [2019] 35), Research Project of Introducing Talents in Guizhou University (Gui Da Ren Ji He Zi [2017] 41)

thickness, fresh seed yield, dry seed yield, kernel yield, kernel oil content, palmitic acid, palmitoleic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, cis-11-eicosenoic acid) were analysed. Principal component analysis was performed to reduce the dimensionality of the data, thereby reducing the 15 main characters to four independent comprehensive indices (or principal components). The eigen value and contribution rate of the first principal component are 5.13 and 34.19%, respectively; the eigen value of principal component 2 is 3.03, and the contribution rate is 20.17%; the eigen value of principal component 3 is 2.33, and the contribution rate is 15.51%; the eigen value of principal component 4 is 1.25, and the contribution rate is 8.35%. Principal component 1 mainly represented the kernel oil content, principal component 2 mainly represented the single fruit weight, principal component 3 mainly represented the kernel yield, principal component 4 mainly represented the fresh seed yield. Functional expression analysis was performed to obtain the comprehensive score, followed by final ranking and screening. Among the 15 traits, single fruit weight, fresh seed yield, and dry seed yield showed abundant variations. Among the different fatty acids of *C. oleifera* Abel oils, including palmitoleic acid and cis-11-eicosenoic acid were extremely low ($\leq 0.35\%$). Different degrees of correlation were detected between the 15 major traits. There was a significant positive correlation between kernel oil content and dry seed yield and between kernel oil content and dry kernel yield. The correlation between fatty acids was extremely significant except cis-11-eicosenoic acid. By using four principal components of characteristic value >1 , a comprehensive evaluation function model based on oil tea plants in the low thermal valley area of Guizhou was established, and the top 10 *C. oleifera* Abel germplasms in the comprehensive score were selected (QC-8>QC-58>QC-21>QC-34>QC-32>QC-62>QC-30>QC-61>QC-59>QC-28). Our findings indicated that single fruit weight, fresh seed yield, and dry seed yield of the 77 germplasms in the low thermal valley area of Guizhou are the traits with high breeding potential, while thickness of pericarp and other fatty acids, except linoleic acid, have high genetic stability. The dry seed yield and kernel oil content of *C. oleifera* Abel in the low thermal valley area of Guizhou were negatively correlated with all unsaturated fatty acids, except oleic acid. Collectively, this study provided elite germplasms QC-8, QC-58, and QC-21 as candidate parental line for breeding improved *C. oleifera* Abel varieties.

Key words: *Camellia oleifera* Abel; genetic resources; fruit character; evaluation; principal component analysis

油茶 (*Camellia oleifera* Abel) 是贵州省特色林业产业中重点发展的经济林树种之一。贵州省黔东南州内的册亨县和望谟县主要属于低热河谷区,也是贵州主要的油茶分布区。该区内油茶林分布面积广,种植历史悠久,群众种植基础好,境内的册亨县被授予“中国油茶名县”的称号。该区域纬度低、海拔高,主要特点为冬无严寒,夏季炎热,夏湿春干,雨热同季,春暖早、秋凉迟,并且油茶种质资源极为丰富,普遍具有油茶果实大和产量高等优点,丰富的油茶资源对贵州省油茶良种本地化及木本油料产业的发展具有重要意义。但是长久以来贵州低热河谷区油茶资源一直缺乏系统研究,至今没有相关科学报道,没有审定的良种及配套的种植技术,新造油茶林大多采用实生苗种植,大量的实生苗繁育导致该区一直被产果量低且不稳定、成熟期不一致、出油率差异大等低产低效问题所困扰,严重制约着当地茶油

产业高效发展。

综合评价是油茶良种选育工作的重要环节,长久以来油茶的评价通常以产量和含油率为主,近年来众学者开始针对茶籽油脂脂肪酸组分、油脂理化性质和油脂功能性营养成分等建立系统的综合评价体系。常用于油茶果实综合评价的方法主要有:主成分聚类分析法^[1],逼近理想点排序法^[2],合成合理-满意度评价法^[3],模糊综合评价法^[4]。本试验采用的主成分分析法是通过对多组数据进行降维处理,将数据简化为几组独立信息的统计分析方法^[5],该方法优于其他评价方法的地方在于,无需人为地对性状赋予权数或者人为地创造理想值,因为人为地赋予权重容易忽略部分原始信息。同合成合理-满意度评价法一样,主成分分析也是采用加权求和计算综合得分,但其权数来源于提取出的主成分的贡献率占总贡献率之比。通过合成主成分所

有信息被完全客观地包含进去,主观性较弱,因此主成分分析法被国内学者较多地应用于油茶的综合评价^[6-11]。国外关于主成分分析法综合评价食用作物的报道较多,如番茄^[12]、芒果^[13]、葡萄^[14]、辣椒^[15]和石榴^[16]等经济作物。

国内外科技工作者通过对不同物种^[17-23]的良种选育研究得出了充分利用当地的种质资源容易获得相当比例的良种这一结论^[24-28]。因此解决贵州低热河谷区油茶产业发展面临的瓶颈问题,应从当地资源入手,通过研究已收集和保存的种质资源,建立适用的评价体系,实现高品质油茶品种的科学筛选,最终选育出高产优质的油茶品种。贵州大学油茶研究团队经过近12年来对贵州低热河谷区油茶的研究,已收集保存了早实高产特异油茶种质资源500余份。本研究对从中筛选出的77份经过连续5年观测表现出高产、稳产、抗病的油茶种质资源采用主成分分析法,构建综合评价函数模型,以期筛选出综合表现优良的种质作为品种选育的候选资源,为贵州低热河谷区油茶优良品种选育及杂交育种提供

理论依据和研究基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用的油茶种质资源均为生长在册亨县不同区域的野生类型成年树体,本团队前期已连续5年观测表现出高产、稳产、抗病、自然授粉结实率高及树体长势良好等特点,种质基本信息见表1和图1。试验地位于贵州省黔西南布依族苗族自治州册亨县(105°79'~106°05'E、24°71'~24°94'N),境内有大田河、大峡谷,属亚热带温暖湿润季风气候,主要特点是冬无严寒,夏季炎热,夏湿春干,雨热同季,春暖早、秋凉迟。年均气温19.2℃,极端最低温-4℃,极端最高温41.2℃,年均降雨量1340.7mm,年均日照1514h,年均无霜期345d,土壤呈微酸性。于油茶的果实成熟期(2020年11月),每优株围绕树体外围随机采摘果皮轻微开裂的成熟样果60个,以QC-加序号做为优株编号,装袋标记备用。

表1 77份油茶种质基本信息

Table 1 Basic information of 77 *Camellia oleifera* Abel germplasm

种质编号 Number	种质名称 Name	种源地 Source	种质类型 Types
QC-1~QC-21	油茶 <i>C.oleifera</i> Abel	册亨县秧坝镇	野生
QC-22~QC-59	油茶 <i>C.oleifera</i> Abel	册亨县弼佑镇	野生
QC-60~QC-77	油茶 <i>C.oleifera</i> Abel	册亨县八渡镇	野生

1.2 试验方法

1.2.1 种实表型性状的测定 利用电子天平分别测量77份种质的20个样果的单果重、剥出鲜籽测量鲜籽总重、烘干籽重和烘干仁重。测量完毕,计算出每果的鲜出籽率、干出籽率和干出仁率。用电子数显卡尺分别测量每油茶果横径、纵径、果皮厚度,所有数据均取平均值。

1.2.2 脂肪及脂肪酸的测定 参照王碧芳^[3]的方法采用索氏抽提法测定油茶种仁含油率,采用碱式甲酯化法,利用气相色谱仪根据峰面积归一化法测定油茶干籽的脂肪酸组分。

1.3 数据处理和分析、图片处理

运用WPS Office 2019软件对数据进行分析和处理,运用PS 2020软件对图片进行处理,运用SPSS 25软件进行Pearson相关性分析和主成分分析。

根据公式(1)计算各主成分的权重系数P,

$$P = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad i=1, 2, 3, 4, \dots, n \quad (1)$$

式中, C_i 为第*i*个主成分的贡献率。

根据公式(2)计算各油茶种质的综合得分Y,

$$Y = \sum_{i=1}^n P_i Z_i \quad i=1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

式中, P_i 为第*i*个主成分的权重系数^[28], Z_i 为该油茶种质的第*i*个主成分得分。

2 结果与分析

2.1 77份油茶种质果实主要性状描述性统计结果

对77份低热河谷区油茶种质成熟果实的主要性状进行描述性统计,结果如表2所示。77份油茶种质的单果重均值28.67g,其中,QC-8号种质的最大,比排名第二的QC-28号种质高出31.62%,QC-23号种质的最小,仅14.76g。77份油茶种质的横径均值38.31mm,纵径均值35.75mm,表现最



图 1 77 份油茶种质成熟果实

Fig.1 Mature fruits of 77 *Camellia oleifera* Abel germplasm

优的均为 QC-8 号种质。77 份油茶种质的果皮厚度均值 4.47 mm, 其中, QC-24 号种质果皮最薄, 仅 3.21 mm。77 份油茶种质的鲜出籽率均值 44.70%, 其中 QC-24 号种质最高, 为 57.05%。77 份油茶种质的干出籽率均值 53.51%, 其中 QC-41 号种质最突出, 为 67.40%, 且比最低的 QC-28 号种质高出 27.81%。77 份油茶种质干出仁率平均值为 65.44%, 表现最优的为 QC-35 号种质, 高达 75.53%, 77 份种质中有 22% 的优株干出仁率高于 70%。77 份油茶种质含油率均值 44.18%, QC-61 号种质最高, 为 52.90%, 77 份种质中, 有 QC-61、

QC-33、QC-41、QC-47、QC-5、QC-59、QC-56 共 7 份种质的含油率高于 50%。综上所述, 各性状的最优值并非集中于某一种质, 较分散, 77 份油茶种质各有其优缺点, 因此有必要通过综合分析进行评比。

77 份油茶种质果实的 15 个性状变异系数介于 0~178.61% 之间, 可见变异丰富。其中单果重的变异系数为 15 个性状中最高, 达到 178.61%, 鲜出籽率和干出籽率的变异系数分别排名第二和第三, 变异系数高于 35% 的性状还有干出仁率、含油率和亚油酸, 表明贵州低热河谷区油茶在单

表 2 15 个性状描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of 15 traits

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Average	标准偏差 SD	变异系数 (%) CV
单果重 (g) Fruit weigh	14.76	63.15	28.67	7.16	178.61
横径 (mm) Fruit diameter	31.35	51.39	38.31	3.52	32.29
纵径 (mm) Fruit height	26.83	44.71	35.75	3.23	29.16
果皮厚度 (mm) Pericarp thickness	3.21	6.41	4.47	0.70	10.99
鲜出籽率 (%) Fresh seed rate	30.19	57.05	44.70	5.99	80.25
干出籽率 (%) Dry seed rate	39.59	67.40	53.51	6.40	76.52
干出仁率 (%) Dry kernel rate	44.88	75.53	65.44	5.41	44.68
种仁含油率 (%) Kernel oil yield	31.60	52.90	44.18	4.66	49.11
棕榈酸 (%) Palmitic acid	6.42	11.00	8.48	0.86	8.82
棕榈烯酸 (%) Palmitoleic acid	0.04	0.18	0.08	0.02	0.00
硬脂酸 (%) Stearic acid	1.02	2.68	1.78	0.39	8.53
油酸 (%) Oleic acid	71.70	84.30	79.23	2.47	7.69
亚油酸 (%) Linoleic acid	5.43	14.80	9.48	1.98	41.28
亚麻酸 (%) Linolenic acid	0.27	0.69	0.39	0.08	1.79
顺-11-二十碳烯酸 (%) Cis-11-eicosenoic acid	0.45	0.68	0.56	0.05	0.35

果重、鲜出籽率和干出籽率等方面具有较高的改良潜力。横径和纵径为中等程度的变异。15 个果实性状中有 7 个性状(果皮厚度和除亚油酸之外的所有脂肪酸)的变异系数低于 15%,其中棕榈烯酸和顺-11-二十碳烯酸的变异系数 $\leq 0.35\%$,棕榈烯酸的变异系数为 15 个果实性状中最低。综上所述说明这 7 个果实性状表现较稳定,改良潜力较小。

2.2 性状间相关性分析

由表 3 分析可知,77 份低热河谷区油茶果实的 15 个性状间存在不同程度的相关。总体看来,低热河谷区油茶单果重和果型相关性较大,而出籽率、干出仁率以及脂肪酸组分与油茶果实表型性状的相关性较小,各脂肪酸之间的相关性较大。其中干出籽率与棕榈烯酸、两种多不饱和脂肪酸(亚油酸、亚麻酸)以及顺-11-二十碳烯酸的相关性均达到了极显著水平,相关系数分别为 -0.309 、 -0.306 、 -0.745 、 -0.431 ,说明贵州低热河谷区油茶干出籽率与除油酸之外的不饱和脂肪酸含量呈极显著负相关。种仁含油率与干出籽率、干出仁率、硬脂酸、油酸之间均呈极显著正相关,而种仁含油率

与棕榈烯酸、亚油酸、亚麻酸、顺-11-二十碳烯酸之间均呈极显著负相关,说明贵州低热河谷区油茶种仁含油率越高,除油酸之外的不饱和脂肪酸含量则越低。大部分脂肪酸之间的相关性均达到极显著水平。

2.3 主成分的提取和分析

由于低热河谷区油茶的 15 个性状间相关关系较复杂,为简化数据,抛开重叠信息,故进一步对油茶成熟果实的 15 个性状进行主成分的提取。如表 4 所示,前 4 个主成分的累积贡献率达到 78.22%,基本能够代表低热河谷区油茶成熟果实的大部分信息。其中第一主成分,特征值最大为 5.13,贡献率 34.19%,包含的信息比重最大,其中占了较高正荷载的性状为种仁含油率、油酸和硬脂酸含量,而亚油酸和亚麻酸占了较高负荷载,结合前面介绍的低热河谷区油茶种仁含油率与各性状间相关关系可知,第一主成分主要代表了油茶的种仁含油率,说明高含油率是高产优质油茶的第一要素。第二主成分特征值 3.03,贡献率 20.17%,具有较高荷载的性状是单果重、横径和纵径,表明第二主成分主要代表了油茶的单果重,说明单果质量大是油茶丰产的第二重

表 3 贵州低热河谷区油茶性状间相关性

Table 3 Correlation among traits of *Camellia oleifera* Abel in low thermal valley area of Guizhou

性状 Traits	单果重 Fruit weigh	横径 Fruit diameter	纵径 Fruit height	果皮 厚度 Pericarp thickness	鲜出 籽率 Fresh seed rate	干出 籽率 Dry seed rate	干出 仁率 Dry kernel rate	种仁含 油率 Kernel oil yield	棕榈酸 Palmitic acid	棕榈烯酸 Palmitoleic acid	硬脂酸 Stearic acid	油酸 Oleic acid	亚油酸 Linoleic acid	亚麻酸 Linolenic acid
横径 Fruit diameter	0.920**													
纵径 Fruit height	0.680**	0.497**												
果皮厚度 Pericarp thickness	0.498**	0.363**	0.530**											
鲜出籽率 Fresh seed rate	-0.19	-0.06	-0.283*	-0.748**										
干出籽率 Dry seed rate	-0.09	-0.11	0.03	0.255*	-0.232*									
干出仁率 Dry kernel rate	-0.09	-0.17	-0.03	-0.024	0.09	0.519**								
种仁含油 率 Kernel oil yield	0.03	-0.02	0.08	0.251*	-0.21	0.851**	0.589**							
棕榈酸 Palmitic acid	-0.12	-0.12	-0.12	-0.195	0.232*	-0.11	0.18	-0.14						
棕榈烯酸 Palmitoleic acid	-0.19	-0.17	-0.21	-0.267*	0.235*	-0.309**	-0.17	-0.350**	0.496**					
硬脂酸 Stearic acid	0.17	0.14	0.17	0.272*	-0.262*	0.258*	-0.1	0.339**	-0.678**	-0.400**				
油酸 Oleic acid	0.01	0	0.07	0.19	-0.287*	0.279*	-0.02	0.366**	-0.871**	-0.594**	0.691**			
亚油酸 Linoleic acid	0	0.02	-0.05	-0.192	0.297**	-0.306**	-0.01	-0.413**	0.767**	0.579**	-0.734**	-0.976**		
亚麻酸 Linolenic acid	-0.06	-0.02	-0.22	-0.279*	0.17	-0.745**	-0.477**	-0.757**	0.335**	0.381**	-0.524**	-0.468**	0.487**	
顺-11- 二十碳烯 酸 Cis-11- eicosenoic acid	0.17	0.233*	0.03	0.001	0.08	-0.431**	-0.245*	-0.559**	-0.06	-0.15	-0.18	-0.09	0.14	0.360**

** 和 * 分别表示在 0.01 水平和 0.05 水平上相关性显著

*and ** mean significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively

表 4 成分荷载分布、特征值和贡献率

Table 4 Component load distribution, characteristic value and contribution rate

性状 Traits	主成分 Principal component			
	PC1	PC2	PC3	PC4
单果重 Fruit weigh	0.05	0.26	0.18	0.21
横径 Fruit diameter	0.03	0.25	0.14	0.30
纵径 Fruit height	0.06	0.20	0.18	0.03
果皮厚度 Pericarp thickness	0.10	0.16	0.17	-0.39
鲜出籽率 Fresh seed rate	-0.09	-0.09	-0.06	0.60
干出籽率 Dry seed rate	0.12	-0.16	0.18	-0.01
干出仁率 Dry kernel rate	0.05	-0.18	0.21	0.25
种仁含油率 Kernel oil yield	0.14	-0.15	0.19	0.06
棕榈酸 Palmitic acid	-0.14	-0.07	0.24	-0.05
棕榈烯酸 Palmitoleic acid	-0.13	-0.04	0.06	-0.20
硬脂酸 Stearic acid	0.15	0.03	-0.13	0.01
油酸 Oleic acid	0.16	0.00	-0.22	0.03
亚油酸 Linoleic acid	-0.16	0.01	0.20	-0.02
亚麻酸 Linolenic acid	-0.15	0.11	-0.12	-0.13
顺-11-二十碳烯酸 Cis-11-eicosenoic acid	-0.05	0.17	-0.12	0.18
特征值 Eigenvalue	5.13	3.03	2.33	1.25
贡献率(%) Contribution rate	34.19	20.17	15.51	8.35
累积贡献率(%) Accumulating contribution rate	34.19	54.37	69.87	78.22

要因子;第三主成分特征值 2.33,贡献率 15.51%,干出仁率占了较高的荷载,可知第三主成分主要代表了干出仁率的信息,说明干出仁率高是优质油茶的标准之一。第四主成分特征值 1.25,贡献率 8.35%,鲜出籽率的荷载较突出,可将鲜出籽率视为第四主成分的主要代表因子,说明鲜出籽率也是评价低热河谷区油茶的重要指标之一。

2.4 77 份贵州低热河谷区油茶种质果实性状综合评价

表 5 为 77 份贵州低热河谷区油茶种质果实性状综合得分以及排名情况,综合得分排名前十的优株依次为:QC-8>QC-58>QC-21>QC-34>QC-32>QC-62>QC-30>QC-61>QC-59>QC-28,77 份种质中 QC-8 号种质总得分 1.73,综合排名第一, QC-58 号种质总得分 1.25,综合排名第二, QC-21 号种质总得分 1.19,综合排名第三,排名后五位的油茶种质依次为:QC-27<QC-4<QC-67<QC-26<QC-70,综合

得分依次为:-1.33、-1.28、-1.07、-0.94、-0.74。根据 77 份种质在 4 个主成分上的单项得分情况可知,第一主成分得分排名前三的油茶种质为:QC-61>QC-56>QC-32,3 个油茶种质在第一主成分的得分分别为 2.08、1.82 和 1.76,说明 QC-61 号和 QC-56 号种质果实的种仁含油率表现较突出;第二主成分得分排名前三的油茶种质依次为:QC-28>QC-8>QC-24,第二主成分的得分分别为 3.65、3.01 和 1.57,说明 QC-28 和 QC-8 号种质在单果重、横纵径上表现较突出;第三主成分得分排名前三的油茶种质依次为:QC-8>QC-21>QC-29,第三主成分得分分别为 2.63、2.06 和 1.65,说明 QC-8 和 QC-21 号种质干出仁率较高;第四主成分得分排名前三的油茶种质依次为:QC-24>QC-8>QC-59,说明 QC-24 号种质的鲜出籽率较高。排名前十的油茶种质具体表型性状见表 6。

表 5 77 份油茶种质主成分得分与综合得分排名

Table 5 Principal component scores and comprehensive scores of 77 *Camellia oleifera* Abel germplasms

综合排序 Rank	编号 Number	综合得分 Synthesis score	主成分得分 Principal component score				综合排序 Rank	编号 Number	综合得分 Synthesis score	主成分得分 Principal component score			
			PC1	PC2	PC3	PC4				PC1	PC2	PC3	PC4
1	QC-8	1.73	0.50	3.01	2.63	2.00	40	QC-15	-0.07	0.18	-0.62	-0.20	0.52
2	QC-58	1.25	1.52	1.22	1.11	0.46	41	QC-16	-0.09	-0.44	-0.79	0.71	1.50
3	QC-21	1.19	1.22	1.37	2.06	-1.04	42	QC-55	-0.10	0.16	-0.83	0.08	0.28
4	QC-34	0.85	1.47	0.76	-0.40	0.81	43	QC-68	-0.11	-0.26	-0.97	0.87	0.81
5	QC-32	0.77	1.76	-0.18	0.05	0.35	44	QC-12	-0.11	-0.64	0.74	0.15	-0.47
6	QC-62	0.73	1.47	0.14	0.67	-0.79	45	QC-75	-0.12	-0.31	-1.25	1.64	0.13
7	QC-30	0.71	0.95	0.82	-0.45	1.63	46	QC-5	-0.14	0.16	-1.35	0.95	-0.49
8	QC-61	0.71	2.08	-0.13	-0.61	-0.46	47	QC-35	-0.15	-0.60	-0.58	0.63	1.33
9	QC-59	0.68	1.23	0.19	-0.59	1.97	48	QC-10	-0.15	-0.21	-0.62	0.28	0.42
10	QC-28	0.67	-0.17	3.65	-0.45	-1.00	49	QC-20	-0.17	-0.96	0.28	0.12	1.40
11	QC-36	0.57	0.33	0.49	1.28	0.44	50	QC-24	-0.20	-0.94	1.57	-2.20	2.31
12	QC-33	0.57	1.20	-0.71	0.71	0.76	51	QC-14	-0.20	-0.11	0.43	-0.90	-0.78
13	QC-56	0.53	1.82	-0.15	-0.56	-1.05	52	QC-76	-0.20	0.17	-0.77	-0.37	-0.01
14	QC-31	0.49	0.13	1.43	0.43	-0.19	53	QC-64	-0.20	0.05	-0.34	-0.68	0.03
15	QC-7	0.47	0.53	0.46	1.02	-0.77	54	QC-17	-0.24	-0.03	-0.82	-0.14	0.09
16	QC-43	0.45	1.11	0.52	-0.47	-0.76	55	QC-72	-0.26	-1.31	1.25	0.14	-0.33
17	QC-40	0.37	0.93	-0.23	0.61	-0.94	56	QC-22	-0.28	-0.56	-1.34	1.00	1.05
18	QC-57	0.35	1.59	0.41	-1.07	-2.23	57	QC-38	-0.29	-0.67	-0.71	0.88	0.09
19	QC-53	0.35	0.00	0.77	0.32	0.79	58	QC-65	-0.34	-0.80	-0.04	-0.25	0.69
20	QC-52	0.34	0.03	0.34	0.61	1.11	59	QC-69	-0.36	-1.32	0.53	-0.20	1.09
21	QC-63	0.30	0.81	-0.65	0.58	-0.05	60	QC-77	-0.37	-0.68	-0.32	-0.48	0.97
22	QC-49	0.28	1.41	-0.26	-0.91	-0.89	61	QC-54	-0.37	-1.35	0.72	1.44	-2.40
23	QC-6	0.25	1.15	-0.89	-0.06	-0.05	62	QC-51	-0.44	-1.55	0.74	0.55	-0.57
24	QC-29	0.25	-0.44	0.07	1.65	0.88	63	QC-48	-0.46	0.13	1.06	-3.57	-0.80
25	QC-37	0.24	-0.09	0.70	0.61	-0.19	64	QC-73	-0.49	-0.82	0.34	-1.35	0.47
26	QC-45	0.23	0.21	0.46	0.76	-1.17	65	QC-46	-0.54	-0.53	-0.44	-1.31	0.61
27	QC-3	0.23	0.34	0.61	-0.34	-0.07	66	QC-44	-0.55	-0.61	0.23	-1.45	-0.46
28	QC-47	0.22	0.74	-1.31	1.64	-0.84	67	QC-66	-0.59	-1.08	-0.50	-0.09	0.22
29	QC-13	0.22	-0.08	0.71	0.75	-0.67	68	QC-74	-0.64	-0.22	-0.54	-0.97	-1.93
30	QC-42	0.20	0.42	0.20	-0.33	0.28	69	QC-1	-0.66	-0.56	-1.09	-0.92	0.47
31	QC-9	0.13	0.55	-0.38	0.61	-1.27	70	QC-25	-0.66	-1.20	0.44	-0.79	-0.85
32	QC-2	0.08	-0.25	1.52	-0.62	-0.73	71	QC-23	-0.70	0.33	-2.68	-0.55	-0.39
33	QC-11	0.07	0.62	-0.78	0.12	-0.21	72	QC-39	-0.70	-1.13	0.01	-0.74	-0.56
34	QC-41	0.03	1.14	-1.78	-0.07	0.07	73	QC-70	-0.74	-1.25	-0.39	-0.47	-0.02
35	QC-60	-0.04	1.13	-0.94	-1.19	-0.49	74	QC-26	-0.94	-0.91	-1.36	-1.29	0.65
36	QC-50	-0.04	0.39	-0.41	-1.37	1.60	75	QC-67	-1.07	-2.42	0.38	-0.02	-0.94
37	QC-19	-0.04	0.16	0.81	-1.17	-0.81	76	QC-4	-1.28	-2.98	-0.32	1.25	-1.30
38	QC-71	-0.04	-0.37	-0.45	0.80	0.74	77	QC-27	-1.33	-1.83	-1.51	0.32	-1.93
39	QC-18	-0.06	-0.47	0.07	-0.40	1.89							

表 6 综合排名前十的油茶种质具体表型性状

Table 6 The specific phenotypic traits of the top 10 germplasm

性状 Traits	优株编号(综合排序)Number(Comprehensive ranking)									
	QC-8(1)	QC-58(2)	QC-21(3)	QC-34(4)	QC-32(5)	QC-62(6)	QC-30(7)	QC-61(8)	QC-59(9)	QC-28(10)
单果重(g) Fruit weigh	63.15	39.47	40.27	38.04	30.22	30.46	36.70	30.42	37.11	48.00
横径(mm) Fruit diameter	51.39	42.30	42.49	43.87	37.71	37.87	44.40	38.90	42.82	45.65
纵径(mm) Fruit height	44.71	40.00	42.56	35.88	41.57	40.65	39.25	37.23	35.17	44.08
果皮厚度(mm) Pericarp thickness	5.77	6.24	6.41	4.76	4.68	5.68	3.98	4.94	4.25	5.58
鲜出籽率(%) Fresh seed rate	44.21	41.85	30.19	41.80	42.64	37.88	49.55	39.35	52.07	39.90
干出籽率(%) Dry seed rate	49.41	64.00	63.63	58.82	59.93	58.19	54.38	60.64	52.43	39.59
干出仁率(%) Dry kernel rate	72.14	67.26	70.92	64.65	70.53	67.96	63.45	62.38	67.81	44.88
种仁含油率(%) Kernel oil yield	44.00	48.70	47.80	49.10	49.10	48.60	43.50	52.90	50.40	34.70
棕榈酸(%) Palmitic acid	9.04	7.97	8.61	6.79	7.29	7.99	7.41	6.79	7.20	7.96
棕榈烯酸(%) Palmitoleic acid	0.08	0.04	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.05	0.10
硬脂酸(%) Stearic acid	1.76	2.44	1.89	2.10	2.48	1.92	2.56	2.57	2.26	2.24
油酸(%) Oleic acid	78.00	79.20	78.70	83.40	82.60	81.70	81.40	84.30	82.90	79.20
亚油酸(%) Linoleic acid	10.20	9.42	9.79	6.68	6.77	7.49	7.67	5.53	6.65	9.44
亚麻酸(%) Linolenic acid	0.34	0.30	0.35	0.34	0.29	0.27	0.35	0.30	0.40	0.47
顺-11-二十碳 烯酸(%) Cis-11-eicosenoic acid	0.62	0.64	0.61	0.59	0.51	0.52	0.53	0.50	0.51	0.60

3 讨论

利用主成分分析法对油茶主要性状进行综合评价时,需要对提取出的主成分和最终评价结果结合实际情况给予合理的解释,否则将只是空有信息量而无实际含义^[29-30]。从试验排名情况看来 QC-8 号在 77 份种质中的优势较明显,实际情况为:QC-8 号种质的单果重、横径、纵径均排名第一,综合表现最优;排名次之的 QC-58 和 QC-21 表现虽不如

QC-8 但也优秀,两份种质的实际情况为:QC-58 号种质干出籽率排名第二,单果重排名第五,种仁含油率、横径、纵径、棕榈酸、顺-11-二十碳烯酸排名都相对较优;QC-21 单果重排名第三,纵径排名第三,干出籽率排名第四。将 77 份油茶种质的主成分得分情况与实际情况对比,第一主成分得分最高的 QC-61 号种质,种仁含油率为 77 份种质中最高。第二主成分得分较高的 QC-28 号和 QC-8 号种质,单果重分别排名第二和第一。第三主成分得分最高

的 QC-8 号种质,干出仁率为 77 份种质中最高。第四主成分得分最高的 QC-24 号种质,鲜出籽率为 77 份种质中最高。综上,本试验评价结果基本符合实际情况,说明本试验采用的综合评价方法适用于贵州低热河谷区的 77 份油茶种质。

结合其他相关研究,将本试验 77 份油茶果实性状间相关性的研究结果与之对比,结果悬殊的地方有,贵州低热河谷区油茶种仁含油率与单果重、横径和纵径的相关性微弱,这与 1361 份不同种质的油茶研究结果相悖^[31],种仁含油率与单果重、横径、纵径的相关系数分别为 -0.283、-0.280、-0.236,与湖北省红安县油茶 36 个优良单株含油率与每 kg 鲜果重呈负相关的研究结果相悖^[32]。说明大多数油茶果实越重,体积越大,种仁含油率则越低,但贵州低热河谷区油茶并非均如此,体积大、质量重的果实种仁含油率也可能高。产生这种差异的原因较多,可能跟不同地区的油茶果皮密度不同有关;也可能跟采摘时间有关,茶籽油不饱和脂肪酸比例与采果日期呈现显著相关关系^[33],采果日期能影响油茶的含油量、部分脂肪酸含量、鲜出籽率和干出仁率^[34];还可能跟采摘后脂肪的提取工艺有关,不同的提取工艺能影响油茶籽中油脂的提取率^[35]。

将贵州低热河谷区油茶的单果重、干出籽率和种仁含油率 3 个性状与几个油茶品种对比,3 个产区的高州油茶种仁含油率集中在 18.39%~20.48% 之间^[36],岑软系列油茶家系单果重集中在 18.92~28.72 g 之间,出籽率集中在 19.25%~24.27% 之间,种仁含油率集中在 24.52%~31.36% 之间^[9],生长于四川雅安 4 个长林系列油茶种仁含油率在 51.39%~48.43% 之间^[37]。本研究的贵州低热河谷区油茶单果重均值 28.67 g,干出籽率 65.44%,种仁含油率 44.18%,该出油率符合中国林科院关于油茶籽特征指标——油茶籽出油率范围为 25.32%~30.65% 之间的标准^[38]。就单果重而言,贵州低热河谷区油茶单果重略高于岑软系列油茶。就干出籽率而言,贵州低热河谷区油茶高于岑软系列油茶。就种仁含油率而言,贵州低热河谷区油茶仅低于 4 个长林系列油茶。总体看来,在众多油茶品种中,贵州低热河谷区油茶在出籽率和种仁含油率上具有一定的优势。油茶的生长受多重因素的调控,贵州低热河谷区气候复杂,不能简单地断定是由于某单一原因造就了当地油茶的优势所在,在今后的研究中进一步追溯原因,还需要系统地展开

调查研究。

4 结论

贵州低热河谷区油茶单果重、鲜出籽率和干出籽率高度变异,三者具有较高的改良潜力,果皮厚度和除亚油酸之外的其余脂肪酸具有较强的性状稳定性。同时本研究揭示了贵州低热河谷区油茶 15 个性状间的相关关系,指出种仁含油率与干出籽率、干出仁率均呈极显著正相关,大部分的脂肪酸之间呈现出极显著相关关系。通过综合评价, QC-8、QC-58 和 QC-21 号种质为本研究中所选用的 77 份种质资源中综合表现最佳的油茶种质资源,可作为下一步贵州省黔西南低热河谷区油茶品种选育的候选资源。

参考文献

- [1] 陈常理, 骆霞虹, 廖球林, 朱关林, 金关荣. 农家红花油茶种质产量和果实性状主成分聚类分析及综合评价. 浙江农业学报, 2015, 27(11): 1882-1888
Chen C L, Luo X H, Liao Q L, Zhu G L, Jin G R. Luster analysis of principal component and comprehensive assessment for germplasm production and fruit traits of peasant *Camellia chekiangoleosa*. Acta Agriculture Zhejiangensis, 2015, 27(11): 1882-1888
- [2] 谢鹏. 38 个油茶优良无性系综合评价研究. 长沙: 中南林业科技大学, 2010
Xie P. Comprehensive evaluation of the 38 *Camellia oleifera* Abel clones. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2010
- [3] 王碧芳. 海南油茶 50 个优良果实经济性状评价. 长沙: 中南林业科技大学, 2016
Wang B F. Evaluation on fruit's economic character of 50 superior individuals of *Camellia oleifera* in Hainan. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2016
- [4] 于良艺. 湘南低山红壤油茶林土壤肥力质量及其评价. 长沙: 湖南农业大学, 2012
Yu L Y. Soil fertility quality and its assessment and oil-tea *Camellia* in low red earth hills of south Hunan province. Changsha: Hunan Agricultural University, 2012
- [5] Sharma G, Colantuoni C, Goff L A, Fertig E J, Stein-O'Brien G. projectR: an R/Bioconductor package for transfer learning via PCA, NMF, correlation and clustering. Bioinformatics, 2020, 36(11): 3592-3593
- [6] 林辉同. 小果油茶无性系苗木数量性状的主成分分析. 安徽农学通报, 2020, 26(16): 84-85
Lin H T. Principal component analysis of quantitative traits of seedling of *Camellia meiocarpa*. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2020, 26(16): 84-85
- [7] 陈世新. 隆林县油茶林立地分类与立地质量评价. 长沙: 中南林业科技大学, 2018
Chen S X. The research on site classification and site quality evaluation of *Camellia oleifera* Abel. forestry in Longlin County. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2018

- [8] 晏巧, 娄利华, 邓相舜, 谭小梅, 王娅. 彭水县红花油茶品种资源及其主成分分析. 林业调查规划, 2017, 42(4): 64-67
Yan Q, Lou L H, Deng X S, Tan X M, Wang Y. Species resources and main components of *Camellia chekiangoleosa* in Pengshui. Forest Inventory and Planning, 2017, 42(4): 64-67
- [9] 张子杰, 杨善勋, 曾彦江, 王荣刚, 王黎明, 庞晓明, 李悦. 岑软油茶不同品种无性系和家系变异与优株选择. 北京林业大学学报, 2016, 38(10): 59-68
Zhang Z J, Yang S X, Zeng Y J, Wang R G, Wang L M, Pang X M, Li Y. Variation within clones and families and superior individual selection indifferent cultivars of *Camellia oleifera* 'Ruanzhi'. Journal of Beijing Forestry University, 2016, 38(10): 59-68
- [10] 陆思羽, 胡冬南, 郭晓敏, 刘小平, 易世平, 涂淑萍, 喻苏琴. 4个油茶品种的果实生长动态及经济性状比较. 经济林研究, 2020, 38(2): 46-52
Lu S Y, Hu D N, Guo X M, Liu X P, Yi S P, Tu S P, Yu S Q. Comparison of fruit growth dynamics and economic characteristics of four *Camellia oleifera* clones. Nonwood Forest Research, 2020, 38(2): 46-52
- [11] 李月娟, 王东雪, 魏育, 朱慧, 马锦林. 不同外源激素处理下香花油茶扦插生根效果的综合评价. 广西林业科学, 2020, 49(1): 49-53
Li Y J, Wang D X, Wei Y, Zhu H, Ma J L. Comprehensive evaluation of cuttage rooting of *Camellia osmantha* with different exogenous hormone treatments. Guangxi Forestry Science, 2020, 49(1): 49-53
- [12] Sivakumar J, John E P P, Rajesh N, Sridhar M R, Osman B P. Principal component analysis approach for comprehensive screening of salt stress-tolerant tomato germplasm at the seedling stage. Journal of Biosciences, 2020, 45(1): 1-11
- [13] Igbari A D, Nodza G I, Adeusi A D. Morphological characterization of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars from south-west Nigeria. IFE Journal of Science, 2019, 21(1): 155-163
- [14] Li F X, Li F H, Yang Y X, Ran Y, Jian M. Comparison of phenolic profiles and antioxidant activities in skins and pulps of eleven grape cultivars (*Vitis vinifera* L.). Journal of Integrative Agriculture, 2019, 18(5): 1148-1158
- [15] Kaushal M, Mandyal P, Kaushal R. Field based assessment of *Capsicum annum* performance with inoculation of rhizobacterial consortia. Microorganisms, 2019, 7(3): 89
- [16] Peng Y S, Wang G B, Cao F L, Fu F F. Collection and evaluation of thirty-seven pomegranate germplasm resources. Applied Biological Chemistry, 2020, 63(4): 1-19
- [17] Mohammed, Hassen M. Effect of altitude of coffee plants on the composition of fatty acids of green coffee beans. BMC Chemistry, 2020, 14(1): 35-43
- [18] Khan M M H, Rafii M Y, Ramlee S I, Jusoh M, Ai M M. Genetic analysis and selection of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc.) landraces for high yield revealed by qualitative and quantitative traits. Scientific Reports, 2021, 11(1): 7597-7597
- [19] 曾艳华, 谢和霞, 程伟东, 江禹奉, 周锦国, 谢小东, 谭贤杰, 周海宇, 覃兰秋. 广西玉米种质资源系统调查与收集. 植物遗传资源学报, 2019, 20(3): 654-661
Zeng Y H, Xie H X, Cheng W D, Jiang Y F, Zhou J G, Xie X D, Tan X J, Zhou H Y, Qin L Q. Systematic field survey and collection of maize germplasm resources in Guangxi. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(3): 654-661
- [20] 农保选, 秦碧霞, 夏秀忠, 张宗琼, 杨行海, 曾宇, 谢慧婷, 李战彪, 韩龙植, 李丹婷. 栽培稻种质资源的南方水稻黑条矮缩病抗性鉴定评价. 植物遗传资源学报, 2021, 22(4): 939-950
Nong B X, Qin B X, Xia X Z, Zhang Z Q, Yang X H, Zeng Y, Xie H T, Li Z B, Han L Z, Li D T. Identification and evaluation of Southern rice black-streaked dwarf disease for cultivated rice germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(4): 939-950
- [21] 汪宝根, 吴新义, 李素娟, 陈小央, 李艳伟, 汪颖, 鲁忠富, 吴晓花, 李国景. 浙江省地方豇豆种质资源的鉴定与评价. 植物遗传资源学报, 2021, 22(2): 380-389
Wang B G, Wu X Y, Li S J, Chen X Y, Li Y W, Wang Y, Lu Z F, Wu X H, Li G J. Evaluation of cowpea germplasm accessions collected from Zhejiang province. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(2): 380-389
- [22] Fiorella S, Elisabetta M. Sensory evaluation of walnut fruit. Food Quality and Preference, 1997, 8(1): 35-43
- [23] Khattak M S, Ali S, Wahab F. Genetic biodiversity in the segregating population of walnut (*Juglans regia* L.). Pakistan Journal of Biological Sciences, 2000, 3(6): 965-966
- [24] David V, Jan F, Steven M. Preservation of genetic variation in a breeding population for long-term genetic gain. Genes, Genomes, Genetics, 2020, 10(8): 2753-2762
- [25] Kwabena D, Bunmi O, Robert A, Asrat A. Review of empirical and emerging breeding methods and tools for yam (*Dioscorea* spp.) improvement: Status and prospects. Plant Breeding, 2020, 139(3): 474-497
- [26] Wei J Y. A Summary of the breeding methods of cordyceps militaris. International Journal of Education and Economics, 2020, 3(2): 1-1
- [27] Xynias I N, Mylonas I, Korpetsis E G, Ninou E, Tsballa A, Ilias D. A, Athanasios G M. Durum wheat breeding in the Mediterranean region: current status and future prospects. Agronomy, 2020, 10(3): 432-432
- [28] 王焱, 沙柏平, 李明雨, 李雪, 高雪芹, 伏兵哲. 苜蓿种质资源萌发期抗旱指标筛选及抗旱性综合评价. 植物遗传资源学报, 2019, 20(3): 598-609
Wang Y, Sha B P, Li M Y, Li X, Gao X Q, Fu B Z. Indices screening and comprehensive evaluation of drought resistance in alfalfa germplasm resources at germinating stage. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(3): 598-609
- [29] 马帅国, 田蓉蓉, 胡慧, 吕建东, 田蕾, 罗成科, 张银霞, 李培富. 粳稻种质资源苗期耐盐性综合评价与筛选. 植物遗传资源学报, 2020, 21(5): 1089-1101
Ma S G, Tian R R, Hu H, Lv J D, Tian L, Luo C K, Zhang Y X, Li P F. Comprehensive evaluation and selection of rice (*Oryza sativa japonica*) germplasm for saline tolerance at seedling stage. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(5): 1089-1101
- [30] 陈红霖, 胡亮亮, 杨勇, 郝曦煜, 李姝彤, 王素华, 王丽侠, 程须珍. 481份国内外绿豆种质农艺性状及豆象抗性鉴定评价及遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2020, 21(3): 549-559
Chen H L, Hu L L, Yang Y, Hao X Y, Li S T, Wang S H, Wang L X, Cheng X Z. Evaluation and genetic diversity

- analysis of agronomic traits and bruchid resistance using 481 worldwide mungbean germplasms. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21 (3): 549-559
- [31] 陈永忠, 许彦明, 张震, 马力, 王湘南, 陈隆升, 彭邵锋, 王瑞, 彭映赫, 李志钢, 唐炜, 李美群. 油茶果实主要数量性状分析及育种指标体系筛选. *中南林业科技大学学报*, 2021, 41 (3): 1-9
Chen Y Z, Xu Y M, Zhang Z, Ma L, Wang X N, Chen L S, Peng S F, Wang R, Peng Y H, Li Z G, Tang W, Li M Q. Analysis of fruit main quantitative traits and selection of breeding index in *Camellia oleifera*. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2021, 41 (3): 1-9
- [32] 杜洋文, 程军勇, 邓先珍, 聂明, 周席华, 陈慧玲, 向珊珊. 36 个油茶优良单株综合评价及主要性状分类. *湖北林业科技*, 2014, 43 (5): 10-13
Du Y W, Cheng J Y, Deng X Z, Nie M, Zhou X H, Chen H L, Xiang S S. Study on compenhsive evaluation of 36 superior individuals and classification of the main characteristics. *Hubei Forestry Science and Technology*, 2014, 43 (5): 10-13
- [33] 郭钰柬, 王红, 周开兵, 王珮璇, 杨成坤, 陈静. 越南油茶脂肪酸积累及相关基因表达动态分析. *森林与环境学报*, 2020, 40 (2): 203-210
Guo Y J, Wang H, Zhou K B, Wang P X, Yang C K, Chen J. Dynamic changes of fatty acids accumulation and related gene expression in *Camellia vietnamensis*. *Journal of Forest and Environment*, 2020, 40 (2): 203-210
- [34] Peng S F, Lu J, Zhang Z, Ma L, Liu C X, Chen Y Z. Global transcriptome and correlation analysis reveal cultivar-specific molecular signatures associated with fruit development and fatty acid determination in *Camellia oleifera* Abel.. *International journal of genomics*, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/6162802>
- [35] 王晔洋, 刘杨春, 刘觉天, 黄莎, 李伟荣, 杨选. 油茶籽饼提取油茶籽油工艺研究. *浙江林业科技*, 2021, 41 (2): 53-56
Wang H Y, Liu Y C, Liu J T, Huang S, Li W R, Yang X. Experiment on extraction of residual *Camellia* oil from pressed seed cake. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2021, 41 (2): 53-56
- [36] 杨颖, 张鹏, 奚如春, 黄容容. 高州油茶不同产区果实含油率及脂肪酸组成的变异特征. *经济林研究*, 2018, 36 (4): 104-108, 144
Yang Y, Zhang P, Xi R C, Huang R R. Variation characteristics of oil content and fatty acid composition in *Camellia gauchowensis* fruits at different producing areas. *Nonwood Forest Research*, 2018, 36 (4): 104-108, 144
- [37] 刘莉, 黎锐, 李星儀, 冯士令, 丁春邦. 四川雅安引进油茶品种含油率及茶油品质分析. *中国粮油学报*, 2019, 34 (12): 53-58
Liu L, Li R, Li X Y, Feng S L, Ding C B. Analysis of oil content and quality of *Camellia* oil in Sichuan. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2019, 34 (12): 53-58
- [38] 陈振超. 油茶籽品质特征指标筛选与综合评价. 北京: 中国林业科学研究院, 2019
Chen Z C. Screening and comprehensive evaluation of quality characteristics of *Camellia oleifera* Seed. Beijing: Chinese Academy of Forestry Sciences, 2019