

文章编号:1001-1498(2013)05-0533-09

# 小果油茶不同居群种仁含油率及脂肪酸组分 变异特征分析及评价

姚小华<sup>1</sup>, 王开良<sup>1</sup>, 黄勇<sup>2</sup>, 任华东<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 福建省林业科学研究院,  
国家林业局南方山地用材林培育重点实验室, 福建 福州 350012)

**摘要:**以小果油茶全分布区的15个居群为试验材料,分析其种仁含油率及脂肪酸组分12个性状的变异状况。结果表明:小果油茶种仁含油率及脂肪酸组分性状变异类型较为丰富,遗传多样性水平较高,但不同性状的变异水平相差较大。除了西南地区5个居群外,含油率及脂肪酸组分12个性状在其它居群的多重比较中呈显著差异。除了含油率在居群间的变异略大于居群内外,脂肪酸各组分性状主要变异存在于居群内,且居群内变异远大于居群间变异。利用主成分分析得到综合得分值来评价居群品质水平,结果表明福建漳浦居群综合得分值最高,即品质水平最佳,其次为福建闽清,其余居群排序依次为江西宜春、广西融水、福建建宁、贵州黎平、广西龙胜、广西三江、湖南通道、湖南平江、江西定南、江西崇仁、福建浦城、福建宁化及湖北阳新。

**关键词:**小果油茶;含油率及脂肪酸组分;变异;评价

中图分类号:S794.4

文献标识码:A

## Analysis and Evaluation on Variation Characteristics of Oil Content and Fatty Acid Composition of *Camellia meiocarpa* Populations

YAO Xiao-hua<sup>1</sup>, WANG Kai-liang<sup>1</sup>, HUANG Yong<sup>2</sup>, REN Hua-dong<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. Fujian Academy of Forestry, Key Laboratory of Timber Forest Breeding and Cultivation for Mountainous Areas in Southern China, State Forestry Administration, Fuzhou 350012, Fujian, China)

**Abstract:** Fifteen populations of *Camellia meiocarpa* in full distribution area were used as experimental material and 12 variation characteristics of oil content and fatty acid were analyzed. The oil content and fatty acid types of *C. meiocarpa* were very rich and the level of genetic diversity was also quite high, however, there were significant variations among different traits. Except five populations from southwest China, there existed significant differences in the traits of oil content and fatty acid by multiple comparison of the other 10 populations. The variation of fatty acid composition existed mainly within populations and was far higher than that among populations. The quality levels of the 15 populations were evaluated by principal components analysis. The results showed that the quality level of Zhangpu population from Fujian Province ranked the first.

**Key words:** *Camellia meiocarpa*; oil content; fatty acid composition; variation

茶油是山茶属(*Camellia* L.)植物种籽油的统称,多数具有饱和脂肪酸含量低、油酸含量高、耐贮性好及富含保健活性成分等优点,且长期食用具有降血脂、缓解动脉粥样硬化、抗胃溃疡、抗氧化、提高

收稿日期:2012-08-04

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目课题(2009BADB1B01);贵州省科技厅重大项目(黔科合重大专项[2009]6004-1)

作者简介:姚小华(1962—),浙江天台人,博导,研究员,主要从事经济林研究。E-mail:yaoxh168@163.com.

机体免疫力及护肝等功效,被视为食用油中的佳品<sup>[1-2]</sup>。不同种源的油料作物种籽含油率及油脂成分等指标的差异是选育油料作物优良品种的前提和基础<sup>[3]</sup>。在山茶属中,不仅在不同物种之间含油率及脂肪酸组分含量存在显著的差异<sup>[4-5]</sup>,而且同一物种内也存在明显的差别<sup>[6]</sup>。含油率是比较稳定的性状,含油率的提高能够增加品种单位面积产油量<sup>[7]</sup>。黎章矩等<sup>[8]</sup>认为影响油茶果实含油率的因素主要为油茶遗传品质及油茶林地的成土母质,丛玲美等<sup>[9]</sup>认为油茶的脂肪酸组成跟地理经纬度存在密切的相关关系。

小果油茶(*Camellia meiocarpa* Hu.)是山茶属中的一个食用油物种,虽然在其分类上多有争议,但作为具有优良栽培特性和经济性状的一类特殊群体,一直受到关注和重视。分析表明小果油茶含油率较高,油脂主要由棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)、油酸(C18:1)、亚油酸(C18:2)、亚麻酸C18:3)等成分组成,目前对其全分布区的不同居群种仁含油率及脂肪酸组分多样性分析未见报道。本研究以全分布区的15个小果油茶居群为样本,对不同居群及个体种仁的含油率及脂肪酸组分进行详细分析,比较含油率及脂肪酸组分性状在不同居群内和居群间的

变异及不同居群的油脂品质,为特异育种种质材料收集提供参考依据,也为进一步开展小果油茶的良种选育打下基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

本研究在小果油茶自然分布区内选择有代表性的15个地理居群,基本涵盖了小果油茶的整个分布区,且能反映出其分布的特点。展开小果油茶多样性取样之前,详细了解当地小果油茶起源情况,从而为选择单株提供了实际依据;其次入选单株的树龄尽量选60 a以上的壮龄树,因为我国从上世纪50年代开始进行油茶物种的大范围调查,60年代才开始进行油茶的选育工作,这个年龄的油茶树能最大限度保证其本土性。所选择的样株代表居群平均生长状态,生长正常、成熟结实、无严重缺陷及病虫害,为了尽量避免采样株间的亲缘关系,样株间距在100 m以上,每个地理居群采样20株,每个样株均用GPS定位,居群的分布地点及地理生态因子见表1,各地气候数据采自中国气象科学数据共享服务网中国地面气候资料数据及所在地气象部门。

表1 小果油茶采样点地理生态因子

居群 编号	E/(°)	N/(°)	H/m	U/d	T <sub>h</sub> /°C	T <sub>l</sub> /°C	T <sub>a</sub> /°C	T <sub>aj</sub> /°C	T <sub>au</sub> /°C	T <sub>aa</sub> /°C	H <sub>y</sub> /h	R <sub>t</sub> /mm	R <sub>1s</sub> / mm	R <sub>1e</sub> / mm
P1	109.220 1	25.542 7	221	320	38.6	-5.5	19.3	9.3	27.9	6 258.0	1 450.9	1 824.8	271.8	169.8
P2	109.734 4	26.003 0	492	298	37.5	-6.3	17.5	4.9	27.2	5 073.9	1 426	1 368.6	193.6	139.0
P3	109.910 1	26.016 9	370	314	40.4	-3.0	18.1	8.0	26.7	5 670.0	1 237.3	1 571.3	217.6	169.8
P4	109.552 3	25.785 6	165	320	36.0	-3.0	18.3	7.3	27.3	5 691.4	1 334.3	1 730.2	192.0	153.0
P5	109.416 7	26.176 3	530	270	37.9	-9.8	16.4	4.5	23.0	4 757.0	1 317.9	1 326.8	169.4	162.2
P6	118.474 1	27.676 6	200	258	39.9	-8.0	17.5	6.2	28.8	5 510.5	1 875.1	1 888.7	146.6	124.4
P7	118.820 0	26.078 1	209	262	40.0	-3.0	20.0	9.5	28.7	6 374.0	1 776.5	1 490.0	113.0	165.0
P8	117.797 5	24.109 9	345	358	40.9	1.0	21.8	10.0	27.0	7 494.2	2 138.2	1 524.7	198.0	225.0
P9	115.110 8	24.930 8	600	296	39.9	-5.3	18.8	8.0	39.0	6 119.1	1 778.0	1 550.0	108.6	128.5
P10	116.239 9	27.910 6	56	266	41.0	-12.7	17.6	5.2	28.3	5 453.7	1 776.0	1 735.5	92.0	120.0
P12	116.760 8	26.686 1	387	260	39.9	-12.8	16.8	5.0	28.0	4 990.0	1 805.6	1 743.8	110.2	112.2
P13	116.882 2	27.213 2	130	278	41.0	-12.3	17.9	5.9	28.9	5 382.6	1 776.6	1 779.0	123.0	115.0
P16	113.640 4	28.571 7	103	265	40.3	-12.0	17.0	4.5	28.6	5 327.6	1 725.9	1 316.5	123.2	106.3
P17	115.016 7	29.494 2	160	255	41.4	-11.0	17.0	3.9	29.2	5 979.1	1 904.0	1 374.0	139.5	149.0
P18	114.066 3	27.993 5	251	275	41.6	-9.2	17.2	5.0	28.8	5 407.7	1 883.6	1 635.1	128.8	116.3

注:(1)地理生态因子缩写:N——纬度;E——经度;H——海拔高度;U——无霜期;T<sub>h</sub>——极端最高气温;T<sub>l</sub>——极端最低气温;T<sub>a</sub>——年平均气温;T<sub>aj</sub>——1月平均气温;T<sub>au</sub>——7月平均气温;T<sub>aa</sub>——年活动积温;H<sub>y</sub>——全年日照时数;R<sub>t</sub>——年降水量;R<sub>1s</sub>——1月降水量;R<sub>1e</sub>——8月降水量。(2)居群编号:P1——广西融水;P2——湖南通道;P3——广西龙胜;P4——广西三江;P5——贵州黎平;P6——福建浦城;P7——福建闽清;P8——福建漳浦;P9——江西定南;P10——江西崇仁;P12——福建建宁;P13——江西黎川;P16——湖南平江;P17——湖北阳新;P18——江西宜春。下同。

## 1.2 研究方法

1.2.1 主要测定项目 含油率、棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C 18:0)、棕榈烯酸(16:1 $\Delta$ 9c)、油酸(18:1 9c)、亚麻酸(18:3  $\Delta$ 9c, 12c, 15c)、亚油酸(18:2  $\Delta$ 9c, 12c)、顺-11-二十碳烯酸(C20:1)。其它指标:单不饱和脂肪酸=棕榈烯酸+油酸,多不饱和脂肪酸=亚油酸+亚麻酸+顺-11-二十碳烯酸,饱和脂肪酸=单不饱和脂肪酸+多不饱和脂肪酸,饱和脂肪酸=棕榈酸+硬脂酸。以上各指标值均为百分比。

1.2.2 种仁含油率测定方法<sup>[10-11]</sup> (1)样品处理:小果油茶种籽剥壳为种仁后,在105℃干燥箱中烘7 h,然后研磨成粉末。(2)用直径为12.5 cm的滤纸折成滤纸包,置于铝盒中在105℃下烘2 h,称质量并记录为M1。(3)将研磨好的种仁粉末放入滤纸包中,105℃烘干4 h,称质量并记录为M2。(3)把有种仁粉末的滤纸包放入索氏抽提器中,加入适量石油醚,浸泡过夜。(4)水浴锅温度定为45℃,用索氏抽提器抽提6 h左右。(5)取出滤纸包,放入原铝盒中,105℃烘干4 h,称质量并记录为M3。(6)含油率=(M2-M3)/(M2-M1)。每个样品重复3次。

1.2.3 脂肪酸测定方法 试剂:甲醇、氢氧化钠、石油醚、氯化钠、蒸馏水<sup>[6,12]</sup>。仪器:GC2010气相色谱仪(日本Shimadzu公司)。脂肪酸测定前处理:取一滴抽提油加2 mL石油醚,加2 mol·L<sup>-1</sup>氢氧化钠的甲醇溶液,然后静止10 min,再加饱和食盐水定容,静止10 min,最后取上层液上机。气相色谱条件:色谱柱(30 m×0.32 mm×0.25  $\mu$ m);升温程序:初始温度为150℃,保持1 min,以5℃·min<sup>-1</sup>升至190℃,保持20 min。进样量1  $\mu$ L,分流比1:10;柱流速1 mL·min<sup>-1</sup>,进样口220℃,检测器为220℃。

1.2.4 统计分析方法 对小果油茶含油率及脂肪酸组分各性状采用巢式方差分析<sup>[13-14]</sup>,其线性模型为: $Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \delta_{(ij)k} + \varepsilon_{(ij)k}$ 。式中, $Y_{ijk}$ 为第*i*个地理居群中第*j*个单株的第*k*个观测值, $\mu$ 为总平均值, $\tau_i$ 为居群间变异(固定), $\delta_{(ij)k}$ 为亚组间变异(随机), $\varepsilon_{(ij)k}$ 为随机误差,同一亚组内各观察值的随机变异,遵循 $N(0, \sigma^2)$ 。用表型分化系数( $V_{ST}$ )来反映居群间表型分化的值: $V_{ST} = \delta_{v/s}^2 / (\delta_{v/s}^2 + \delta_s^2)$ 。其中 $\delta_{v/s}^2$ 为居群间方差分量, $\delta_s^2$ 为居群内方差分量<sup>[15]</sup>。用变异系数(CV)表示表型性状离散程度,相对极差 $R_i'$ 表示极端差异程度<sup>[16]</sup>: $R_i' = R_i/R_0$ 。其中 $R_i$ 为居群内

极差, $R_0$ 为性状总极差。趋势面的数学表达式采用多项式函数,三次函数方程和四次函数方程分别如下: $F(X, Y) = B_0 + B_1X + B_2Y + B_3X^2 + B_4XY + B_5Y^2 + B_6X^3 + B_7X^2Y + B_8XY^2 + B_9Y^3$ ,  $F(X, Y) = B_0 + B_1X + B_2Y + B_3X^2 + B_4XY + B_5Y^2 + B_6X^3 + B_7X^2Y + B_8XY^2 + B_9Y^3 + B_{10}X^4 - B_{11}X^3Y - B_{12}X^2Y^2 - B_{13}Y^3 - B_{14}Y^4$ <sup>[17]</sup>。

利用Excel 2003及SPASS 17.0软件进行数据分析处理。

1.2.5 小果油茶不同居群品质水平的评价方法 将小果油茶含油率及脂肪酸组分12个性状进行主成分分析,然后以不同居群的主成分综合得分值作为比较不同居群品质差异及优劣评判标准,公式为: $S_i = \sum \lambda_j u_{ij}$ 。其中 $S_i$ 为第*i*个居群的主成分总得分值, $\lambda_j$ 为第*j*个主成分的贡献率, $u_{ij}$ 为第*i*个居群第*j*个主成分值<sup>[18]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 小果油茶种仁含油率及脂肪酸组分性状变异特征

不同居群小果油茶种仁含油率及脂肪酸组分性状方差分析结果表明(表2),含油率及脂肪酸组分12个性状在15个小果油茶居群间全部表现出极显著差异。为了准确地反映出含油率及脂肪酸组分在各个居群间的差异性,对这12个性状进行Duncan多重比较(表3、4),西南地区5个居群在大多性状两两比较中差异表现不明显,显示较大的相似性。含油率及脂肪酸组分12个性状在其它多数居群的多重比较中均存在着显著差异。

不同居群小果油茶含油率及脂肪酸组分12个性状的变异系数平均值除了广西龙胜相差较大外,其余居群相差不大,其中最大为广西龙胜(0.487),最小为广西三江(0.098),其余在0.107~0.170之间,说明广西龙胜小果油茶居群遗传多样性最为丰富,而广西三江则最小。相对极差最大为福建闽清(0.672),最小为广西三江(0.382)。不同性状的变异系数差异较为明显,最大的为棕榈烯酸(0.341),最小的为不饱和脂肪酸(0.013),其余在0.034~0.295之间,说明棕榈烯酸的遗传多样性程度最高,而不饱和脂肪酸的遗传多样性程度最低。相对极差最大为顺-11-二十碳烯酸(0.632),最小为棕榈烯酸(0.276),其余在0.372~0.603之间。

表2 小果油茶含油率及脂肪酸组分性状方差分析

性状	均方(自由度)			F值	
	居群间	居群内	观测误差	居群间	居群内
棕榈酸	41.136 6(14)	5.905 8(285)	0	21.670 6**	
棕榈烯酸	0.006 0(14)	0.001 1(285)	0	5.602 6**	
油酸	45.529 1(14)	5.824 58(285)	0	7.816 7**	
亚油酸	33.959 5(14)	3.838 9(285)	0	8.846 1**	
亚麻酸	0.085 8(14)	0.005 7(285)	0	15.159 7**	
顺-11-二十碳烯酸	0.021 2(14)	0.003 4(285)	0	6.279 7**	
硬脂酸	0.731 0(14)	0.063 3(285)	0	11.544 4**	
含油率	629.644 9(14)	27.199 3(285)	0	23.149 3**	
饱和脂肪酸	4.900 0(14)	1.060 0(285)	0	4.637 5**	
单不饱和脂肪酸	40.733 6(14)	5.844 9(285)	0	6.969 0**	
多不饱和脂肪酸	29.388 6(14)	4.119 6(285)	0	7.133 7**	
不饱和脂肪酸	5.499 5(14)	1.141 7(285)	0	4.816 75**	

表3 小果油茶含油率及脂肪酸组分性状的平均值标准差与多重比较

居群编号	棕榈酸/%	硬脂酸/%	棕榈烯酸/%	油酸/%	亚油酸/%	亚麻酸/%
P1	7.54 ± 0.85DE	1.55 ± 0.28EF	0.12 ± 0.03AB	79.00 ± 2.69CDE	9.63 ± 1.88ABC	0.38 ± 0.06ABC
P2	7.39 ± 0.79CD	1.69 ± 0.30CDEF	0.11 ± 0.09BCD	81.97 ± 2.07A	7.32 ± 1.57EF	0.38 ± 0.06ABC
P3	7.64 ± 0.63G	1.66 ± 0.26CDEF	0.12 ± 0.02AB	81.00 ± 2.61ABC	7.31 ± 1.97EF	0.34 ± 0.10BCD
P4	7.56 ± 0.65EF	1.73 ± 0.16CDE	0.13 ± 0.02AB	81.15 ± 1.89ABC	7.68 ± 1.26DE	0.38 ± 0.07ABC
P5	7.54 ± 0.80CDE	1.31 ± 0.20G	0.13 ± 0.04AB	80.50 ± 2.14ABCD	8.17 ± 1.51BCDE	0.44 ± 0.09A
P6	7.80 ± 0.64BCD	1.97 ± 0.25AB	0.11 ± 0.01BCD	80.29 ± 2.95ABCDE	7.44 ± 2.84DEF	0.24 ± 0.10EF
P7	7.96 ± 0.80FG	1.72 ± 0.37CDEF	0.12 ± 0.03ABC	78.27 ± 3.18EF	9.75 ± 2.87AB	0.34 ± 0.09BCD
P8	8.09 ± 0.59EF	1.71 ± 0.23CDEF	0.13 ± 0.03AB	76.57 ± 2.80F	11.26 ± 2.47A	0.41 ± 0.08AB
P9	7.39 ± 0.52AB	1.62 ± 0.19DEF	0.10 ± 0.02BCD	81.15 ± 1.76ABC	8.29 ± 1.62BCDE	0.30 ± 0.05DEF
P10	8.46 ± 0.81A	1.86 ± 0.24ABC	0.09 ± 0.02CD	80.34 ± 2.26ABCDE	7.79 ± 1.83DE	0.27 ± 0.04EF
P12	8.27 ± 0.69CDE	2.00 ± 0.30AB	0.12 ± 0.02AB	78.54 ± 2.15DEF	9.18 ± 1.87BCD	0.41 ± 0.07AB
P13	7.79 ± 0.67BCD	1.79 ± 0.25BCD	0.09 ± 0.03D	80.76 ± 2.30ABCD	7.34 ± 2.39 EF	0.24 ± 0.10F
P16	7.93 ± 0.82BCD	1.61 ± 0.23DEF	0.11 ± 0.02BCD	81.54 ± 1.61AB	7.33 ± 1.24EF	0.33 ± 0.07CDE
P17	7.53 ± 0.82A	1.79 ± 0.18BCDE	0.09 ± 0.01D	80.28 ± 2.31ABCD	8.09 ± 1.70CDE	0.26 ± 0.03EF
P18	8.13 ± 0.82EF	1.49 ± 0.21FG	0.15 ± 0.03A	79.58 ± 2.96BCDE	8.88 ± 2.25BCDE	0.38 ± 0.08ABC
平均值	7.80 ± 0.80	1.70 ± 0.30	0.11 ± 0.04	80.31 ± 2.80	8.15 ± 2.33	0.33 ± 0.10

居群编号	顺-11-二十碳烯酸/%	含油率/%	饱和脂肪酸/%	单不饱和脂肪酸/%	多不饱和脂肪酸/%	不饱和脂肪酸/%
P1	0.54 ± 0.06AB	35.93 ± 4.49DE	9.09 ± 0.80BC	79.12 ± 2.68CDEF	10.56 ± 1.84AB	89.68 ± 1.08ABCDE
P2	0.50 ± 0.05ABCDEF	38.07 ± 4.48CD	9.07 ± 0.65BC	82.08 ± 2.03A	8.20 ± 1.60D	90.27 ± 0.82A
P3	0.55 ± 0.07A	27.53 ± 6.84G	9.30 ± 0.57BC	81.12 ± 2.61ABC	8.20 ± 1.97D	89.32 ± 1.08BCDE
P4	0.49 ± 0.05BCDEF	32.48 ± 3.52EF	9.29 ± 0.67BC	81.27 ± 1.88ABC	8.55 ± 1.28CD	89.82 ± 0.90ABC
P5	0.51 ± 0.06ABCD	36.96 ± 5.27CDE	8.86 ± 0.81BC	80.62 ± 2.11ABCDE	9.12 ± 1.57BCD	89.74 ± 1.53ABCD
P6	0.47 ± 0.05CDEF	40.56 ± 2.81BCD	9.34 ± 1.21BC	80.42 ± 3.25ABCDEF	8.23 ± 2.94CD	88.65 ± 1.14E
P7	0.54 ± 0.07AB	29.79 ± 5.91FG	9.69 ± 0.89AB	78.39 ± 3.16EFG	10.63 ± 2.93AB	88.48 ± 1.12CDE
P8	0.51 ± 0.05ABCDE	33.32 ± 6.99EF	9.80 ± 0.60AB	76.69 ± 2.78G	12.18 ± 2.50A	88.87 ± 0.96CDE
P9	0.44 ± 0.04G	43.94 ± 6.34AB	8.57 ± 0.86C	81.04 ± 1.87ABC	9.16 ± 1.67BCD	90.20 ± 0.55AB
P10	0.45 ± 0.06FG	45.55 ± 4.99A	10.31 ± 0.89A	80.43 ± 2.27ABCDEF	8.51 ± 1.85CD	88.94 ± 0.92CDE
P12	0.53 ± 0.09ABC	37.18 ± 6.02CDE	9.72 ± 1.18AB	78.66 ± 2.03DEFG	10.12 ± 1.80BC	88.78 ± 0.69DE
P13	0.48 ± 0.04CDEF	39.58 ± 2.69BCD	9.59 ± 0.62AB	80.85 ± 2.29AB	8.05 ± 2.44D	88.90 ± 1.67CDE
P16	0.46 ± 0.07EFG	40.21 ± 6.20BCD	9.49 ± 0.81BC	81.65 ± 1.61BC	8.11 ± 1.29D	89.76 ± 0.99ABC
P17	0.51 ± 0.06ABCDEF	46.36 ± 3.83A	8.45 ± 1.28C	80.67 ± 2.06ABCDE	8.65 ± 1.41CD	89.32 ± 0.74BCDE
P18	0.47 ± 0.04DEFG	32.72 ± 5.63EF	9.67 ± 0.81AB	79.73 ± 2.94BCDEF	9.72 ± 2.31BCD	89.45 ± 1.24ABCDE
平均值	0.49 ± 0.06	37.45 ± 7.38	9.35 ± 0.97	80.42 ± 2.74	9.20 ± 2.30	89.62 ± 1.16

注:字母A、B、C、D、E、F完全相同者表示差异极不显著,完全不同者表示差异极显著,显著性水平0.01。

表 4 小果油茶含油率及脂肪酸组分性状变异系数(CV)/相对极差(R<sub>i</sub>')

居群编号	棕榈酸	硬脂酸	棕榈烯酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	顺-11-二十碳烯酸
P1	0.113/0.654	0.177/0.658	0.211/0.243	0.034/0.535	0.195/0.393	0.169/0.424	0.117/0.659
P2	0.107/0.571	0.175/0.627	0.846/0.996	0.025/0.429	0.215/0.322	0.151/0.328	0.107/0.615
P3	0.082/0.531	0.154/0.429	0.152/0.200	0.032/0.549	0.270/0.501	0.298/0.653	0.134/0.733
P4	0.087/0.572	0.093/0.373	0.167/0.182	0.023/0.380	0.164/0.295	0.175/0.378	0.098/0.585
P5	0.106/0.703	0.154/0.457	0.316/0.432	0.027/0.437	0.185/0.353	0.213/0.593	0.109/0.639
P6	0.081/0.586	0.126/0.554	0.132/0.117	0.037/0.766	0.381/0.722	0.420/0.512	0.115/0.678
P7	0.101/0.578	0.213/0.866	0.206/0.297	0.041/0.766	0.295/0.909	0.251/0.627	0.132/0.771
P8	0.073/0.537	0.136/0.522	0.214/0.276	0.037/0.619	0.219/0.601	0.197/0.495	0.010/0.562
P9	0.070/0.426	0.119/0.386	0.238/0.260	0.022/0.337	0.195/0.409	0.174/0.319	0.090/0.451
P10	0.096/0.765	0.131/0.535	0.256/0.211	0.028/0.444	0.235/0.409	0.153/0.281	0.140/0.705
P12	0.084/0.571	0.151/0.644	0.129/0.115	0.027/0.506	0.204/0.434	0.162/0.353	0.165/0.885
P13	0.086/0.665	0.139/0.563	0.351/0.258	0.029/0.577	0.326/0.625	0.407/0.684	0.088/0.445
P16	0.104/0.676	0.140/0.475	0.212/0.197	0.020/0.313	0.169/0.273	0.218/0.545	0.142/0.794
P17	0.108/0.511	0.100/0.378	0.163/0.101	0.029/0.490	0.210/0.416	0.119/0.172	0.126/0.590
P18	0.101/0.704	0.143/0.494	0.224/0.353	0.037/0.637	0.254/0.457	0.213/0.412	0.090/0.535
总计	0.103/0.603	0.179/0.540	0.341/0.276	0.035/0.510	0.286/0.458	0.295/0.450	0.128/0.632

居群编号	饱和脂肪酸	单不饱和脂肪酸	多不饱和脂肪酸	不饱和脂肪酸	含油率	平均值
P1	0.088/0.546	0.034/0.542	0.175/0.387	0.012/0.420	0.125/0.465	0.121 /0.494
P2	0.071/0.375	0.025/0.434	0.195/0.331	0.009/0.279	0.118/0.532	0.170 /0.487
P3	0.061/0.431	0.032/0.558	0.24/0.484	0.012/0.499	0.249/0.566	0.487 /0.511
P4	0.073/0.456	0.023/0.386	0.150/0.297	0.010/0.342	0.108/0.332	0.098 /0.382
P5	0.091/0.528	0.026/0.436	0.172/0.359	0.017/0.739	0.143/0.525	0.130 /0.517
P6	0.130/0.871	0.040/0.683	0.357/0.722	0.013/0.377	0.069/0.267	0.158 /0.571
P7	0.091/0.477	0.040/0.773	0.275/0.915	0.013/0.460	0.198/0.623	0.155 /0.672
P8	0.061/0.464	0.036/0.625	0.205/0.608	0.011/0.486	0.210/0.660	0.117 /0.538
P9	0.100/0.563	0.023/0.342	0.182/0.302	0.006 /0.232	0.144/0.695	0.114 /0.394
P10	0.086/0.599	0.028/0.454	0.217/0.394	0.010/0.333	0.110/0.402	0.124 /0.461
P12	0.122/0.750	0.026/0.516	0.178/0.426	0.018/0.297	0.162/0.618	0.119 /0.510
P13	0.065/0.502	0.028/0.571	0.302/0.616	0.008/1.000	0.068/0.283	0.158 /0.566
P16	0.085/0.549	0.020/0.320	0.160/0.285	0.011/0.402	0.154/0.659	0.120 /0.457
P17	0.152/0.742	0.025/0.498	0.163/0.405	0.008/0.222	0.083/0.361	0.107 /0.407
P18	0.084/0.604	0.037/0.646	0.238/0.456	0.014/0.599	0.172/0.499	0.134 /0.533
总计	0.104/0.470	0.034/0.432	0.250/0.388	0.013/0.372	0.197/0.503	0.148 /0.487

2.2 小果油茶种仁含油率及脂肪酸组分性状居群间表型分化

小果油茶种仁含油率及脂肪酸组分性状居群间表型分化采用巢式方差分析。在本次试验中,由于

部分样品重复测定的数据的缺失,整体数据不均衡导致巢式方差分析时无法显示居群内 F 值及观测误差。由表 5 可知:小果油茶种仁含油率及脂肪酸组分性状平均表型分化系数为 27.132 3%,含油率表型

表 5 小果油茶含油率及脂肪酸组分性状方差分量、居群间表型分化系数

性状	方差分量			方差分量/%			表型分化系数 V <sub>st</sub> /%
	居群间 δ <sub>v/s</sub> <sup>2</sup>	居群内 δ <sub>s</sub> <sup>2</sup>	机误 δ <sub>e</sub> <sup>2</sup>	居群间 P <sub>v/s</sub>	居群内 P <sub>s</sub>	机误 P <sub>se</sub>	
棕榈酸	1.760 0	5.905 8	0	14.366 6	85.653 4	0	14.366 6
棕榈烯酸	0.000 2	0.001 1	0	18.215 6	81.784 4	0	18.215 6
油酸	1.985 2	5.824 6	0	25.419 7	74.580 3	0	25.419 7
亚油酸	1.506 0	3.838 9	0	28.176 8	71.823 2	0	28.176 8
亚麻酸	0.004 0	0.005 7	0	41.267 4	58.732 6	0	41.267 4
顺-11-二十碳烯酸	0.000 9	0.003 4	0	20.745 9	79.254 1	0	20.745 9
硬脂酸	0.033 39	0.063 3	0	34.529 7	65.470 3	0	34.529 7
含油率	30.122 3	27.199 3	0	52.549 6	47.450 4	0	52.549 6
饱和脂肪酸	0.245 0	1.060 0		18.774 0	81.226 1	0	18.774 0
单不饱和脂肪酸	2.036 7	5.844 9		25.841 0	74.159 0	0	25.841 0
多不饱和脂肪酸	1.469 4	4.119 6		26.291 3	73.708 7	0	26.291 3
不饱和脂肪酸	0.275 0	1.141 7		19.409 9	80.590 1	0	19.409 9
平均值				27.132 3	72.869 4		27.132 3

分化系数最高,为 52.549 6%,棕榈酸表型分化系数最小,为 14.366 6%,其余的变化幅度为 18.215 6%~41.267 4%。除了含油率为居群间的变异略大于居群内,脂肪酸各组分性状主要变异存在于居群内,且居群内变异远大于居群间变异。

### 2.3 小果油茶脂肪酸组分性状与地理生态因子的相关分析

由表 6 可见,小果油茶饱和脂肪酸与地理生态因子基本不相关,但其主要组分棕榈酸和硬脂酸却有一定的相关关系,棕榈酸及硬脂酸与经度呈极显著或显著正相关,棕榈酸与全年日照时数呈显著正相关,硬脂酸与年降水量呈显著正相关。相比之下,不饱和脂肪酸受地理生态因子影响较大,不饱和脂肪酸与经度、极端最高气温、1 月平均气温、全年日照时数及 8 月降水量呈极显著或显著负相关,说

明不饱和脂肪酸对温度及光照较为敏感,温度及光照的降低,有利于不饱和脂肪酸的形成,这与黄连木 (*Pistacia chinensis* Bunge)<sup>[19]</sup> 及麻疯树 (*Jatropha curcas* L.)<sup>[20]</sup> 的研究结果相似。单不饱和脂肪酸及其主要组分油酸均与年平均气温、1 月平均气温、 $\geq 20^{\circ}\text{C}$  有效积温、全年日照时数及 8 月降水量呈极显著或显著负相关。而多不饱和脂肪酸及其主要组分亚油酸均与纬度呈显著负相关,与年平均气温、1 月平均气温、 $\geq 20^{\circ}\text{C}$  有效积温及 8 月降水量呈极显著或显著正相关;亚麻酸与纬度呈显著负相关,与海拔高度呈显著正相关;顺-11-二十碳烯酸与 7 月平均气温呈显著负相关,与 7 月降水量、8 月降水量呈显著正相关。含油率与极端最低气温及 1 月平均气温呈显著或极显著负相关,影响含油率的主要因子为温度,适度的低温有利于含油率的提高。

表 6 小果油茶含油率及脂肪酸组分性状与地理生态因子的相关性

地理生态因子	棕榈酸	棕榈烯酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	顺-11-二十碳烯酸	硬脂酸	含油率	饱和脂肪酸	单不饱和脂肪酸	多不饱和脂肪酸	不饱和脂肪酸
E	0.64**	-0.3	-0.49	0.31	-0.48	-0.22	0.60*	0.25	0.44	-0.49	0.27	-0.70**
N	0.27	-0.39	0.34	-0.54*	-0.55*	-0.32	0.22	0.49	0.03	0.38	-0.55*	-0.21
H	-0.47	0.25	0.05	0.13	0.51*	0.13	-0.36	-0.13	-0.49	0.02	0.18	0.46
U	-0.27	0.36	-0.27	0.42	0.44	0.24	-0.23	-0.46	0	-0.29	0.44	0.22
T <sub>h</sub>	0.54*	-0.23	-0.32	0.18	-0.48	-0.18	0.22	0.23	0.31	-0.31	0.13	-0.54*
T <sub>l</sub>	-0.31	0.44	-0.35	0.47	0.36	0.39	-0.19	-0.63**	-0.09	-0.37	0.50*	0.14
T <sub>a</sub>	0.03	0.2	-0.64**	0.72**	0.15	0.27	0.01	-0.38	0.21	-0.66**	0.72**	-0.56*
T <sub>aj</sub>	-0.08	0.3	-0.53*	0.61*	0.18	0.4	-0.05	-0.53*	0.13	-0.56*	0.62**	-0.51*
T <sub>au</sub>	-0.16	-0.37	0.15	-0.03	-0.45	-0.52*	0.17	0.41	-0.27	0.12	-0.05	0.26
T <sub>aa</sub>	0.02	0.1	-0.65**	0.72**	0.01	0.21	0.05	-0.2	0.06	-0.65**	0.69**	-0.59*
H <sub>y</sub>	0.57*	-0.2	-0.55*	0.46	-0.35	-0.34	0.42	0.35	0.31	-0.54*	0.41	-0.52*
R <sub>f</sub>	0.36	-0.01	-0.2	0.04	-0.26	-0.04	0.50*	-0.04	0.39	-0.21	0.04	-0.48
R <sub>fs</sub>	-0.5	0.39	-0.08	0.18	0.45	0.55*	-0.35	-0.46	-0.28	-0.07	0.21	0.25
R <sub>fe</sub>	-0.22	0.35	-0.56*	0.63**	0.46	0.60*	-0.26	-0.48	-0.09	-0.55*	0.64**	-0.57*

注: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ 。

综上所述,温度和 8 月降水量是影响不饱和脂肪酸各组分的主要因子,除了亚麻酸外,两者均与不饱和脂肪酸其它成分呈极显著或显著的相关关系,8 月降水量与不饱和脂肪酸各组分含量的密切关系,也与民间的“七月长果,八月长油”的<sup>[21]</sup> 谚语相吻合。影响含油率的主要地理生态因子为温度,而影响棕榈酸和硬脂酸的主要地理生态因子为经度、全年日照时数及年降水量。脂肪酸各组分除了棕榈烯酸和饱和脂肪酸外,其余 9 个测定性状均与地理生态因子有着不同程度的相关关系。

### 2.4 不同居群小果油茶含油率及脂肪酸组分性状聚类分析

利用含油率及脂肪酸组分 12 个性状的平均值,对 15 个不同居群的小果油茶进行 UPGMA 聚类。结果表明(图 1),在平均欧氏距离 4.57 的阈值处可以把所有居群分为三大类群,福建漳浦、福建建宁及福建闽清为第一类群,湖北阳新、江西定南、江西崇仁、江西黎川、福建浦城为第二类群,广西龙胜、湖南平江、湖南通道、江西宜春、贵州黎平及广西融水为第三类群。西南 5 个居群归在一类显示较近的亲缘关系。

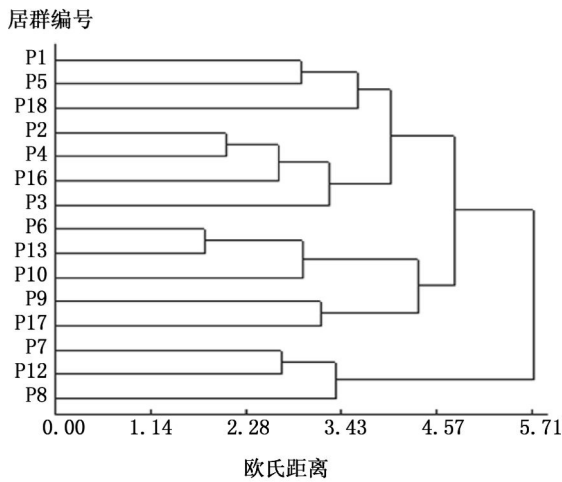


图 1 不同居群小果油茶性状聚类结果

### 2.5 小果油茶含油率及脂肪酸组分性状地理变异趋势面分析

以经度、纬度为自变量,以含油率及脂肪酸组分 12 个性状为因变量作二元三次或二元四次趋势面分析,表 7 所示只有饱和脂肪酸与经度、纬度变化趋势呈明显相关,在三次趋势面分析中,达到显著水平 (0.05),且拟合度高达 90.53%,拟合效果较佳。其它拟合方程由于 *P* 值或拟合度达不到要求,而失去意义。西北部 23.494 2 N 和 109.220 1 E 结合部饱和脂肪酸含量最低(图 2),然后向东南方向急剧上升,在 27.699 4 N 和 112.420 1 E 交汇处趋缓,尔后在 26.820 1 N 和 114.020 1 E 交汇处向东南方向缓慢递减。

表 7 小果油茶含油率及脂肪酸组分性状趋势面分析

性状	趋势面方程	拟合度/%	<i>P</i> 值
棕榈酸	$Z = 7\ 799.690\ 0 - 153.210\ 0X - 233.050\ 0Y + 0.808\ 0X^2 + 4.740\ 0XY - 1.310\ 0Y^2 - 0.000\ 3X^3 - 0.027\ 0X^2Y + 0.028\ 0Y^2 - 0.026\ 0Y^3$	83.690	0.128
棕榈烯酸	$Z = -350.920\ 0 + 10.990\ 0X - 7.740\ 0Y - 0.110\ 0X^2 + 0.120\ 0XY + 0.028\ 0Y^2 + 0.000\ 4X^3 - 0.000\ 7X^2Y + 0.000\ 5Y^2 - 0.001\ 0Y^3$	57.380	0.660
酸	$Z = -60\ 840.090 + 1\ 296.690X + 1\ 300.860Y - 22.61XY - 0.490Y^2 + 0.017X^3 + 0.100X^2Y - 0.01Y^2 + 0.022Y^3$	79.550	0.206
亚油酸	$Z = 50\ 255.470 - 1\ 003.200X - 1\ 358.980Y + 6.460X^2 + 19.810XY + 8.590\ Y^2 - 0.010X^3 - 0.070X^2Y - 0.057Y^2 - 0.024Y^3$	79.530	0.206
亚麻酸	$Z = 2\ 049.110\ 0 - 52.470\ 0X - 7.250\ 0Y + 0.440\ 0X^2 + 0.107\ 0XY + 0.100\ 0Y^2 - 0.001\ 0X^3 - 0.000\ 3X^2Y - 0.001\ 0Y^2 + 0.000\ 4Y^3$	75.040	0.297
顺-11-二十碳烯酸	$Z = 503.880\ 0 - 13.850\ 0X + 2.720\ 0Y + 0.080\ 0X^2 + 0.330\ 0XY - 0.798\ 0Y^2 - 0.000\ 1X^3 - 0.002\ 0X^2Y + 0.003\ 0Y^2 + 0.006\ 0Y^3$	75.080	0.296
硬脂酸	$Z = -2\ 480.770 + 53.020X + 52.010Y - 0.549X^2 + 0.776XY - 3.710Y^2 + 0.002X^3 - 0.009X^2Y + 0.024Y^2 + 0.011Y^3$	63.870	0.534
含油率	$Z = 238\ 012.900 - 6\ 682.860X + 1\ 954.530Y + 67.840X^2 - 81.350XY + 99.420Y^2 - 0.237X^3 + 0.516X^2Y + 99.420Y^2 - 0.237X^3 + 0.516X^2Y - 0.697Y^2 - 0.210Y^3$	81.620	0.167
饱和脂肪酸	$Z = 6\ 309.370 - 49.950X - 509.780Y - 0.660X^2 + 9.640XY - 1.460Y^2 + 0.006X^3 - 0.054X^2Y + 0.052Y^2 - 0.059Y^3$	90.530	0.041
单不饱和脂肪酸	$Z = -60\ 489.530 + 1\ 279.420X + 1\ 335.960Y - 8.623X^2 - 21.998XY - 3.129Y^2 + 0.018X^3 + 0.095X^2Y + 0.004Y^2 + 0.034Y^3$	80.140	0.195
多不饱和脂肪酸	$Z = 51\ 441.830 - 1\ 027.342X - 1\ 388.995Y + 6.690X^2 + 19.677XY + 10.050Y^2 - 0.014X^3 - 0.070X^2Y - 0.066Y^2 - 0.030Y^3$	78.440	0.227
不饱和脂肪酸	$Z = -9\ 472.910 + 265.086X - 61.150Y - 2.006X^2 - 2.629XY + 7.876Y^2 + 0.004X^3 + 0.026X^2Y - 0.065Y^2 - 0.003Y^3$	81.970	0.161

### 2.6 不同居群小果油茶品质水平评价

为了排除统计信息的重叠,可把含油率及脂肪酸组分 12 个性状指标整合成几个较为重要的综合性指标,即起到降维的作用,将小果油茶不同居群的 12 个性状平均值进行主成分分析。由表 8 可见,依据累计贡献率大于 85% 的原则,前 4 个主成分因子的累计贡献率达 92.474 3%,基本能够反映小果油茶含油率及脂肪酸组分性状的全部信息,它们的贡

献率依次为 45.845 8%、26.706 0%、10.951 5% 及 8.971 0%。第 1 主成分因子主要体现了单不饱和脂肪酸、油酸、多不饱和脂肪酸及亚油酸的含量高低;第 2 主成分因子反映了硬脂酸、不饱和脂肪酸及棕榈酸的含量高低;第 3 主成分因子反映了饱和脂肪酸、含油率及棕榈烯酸的含量高低;第 4 主成分因子体现了顺-11-二十碳烯酸的含量高低。这样可以把 12 个性状的信息整合成 4 个综合性状信息。

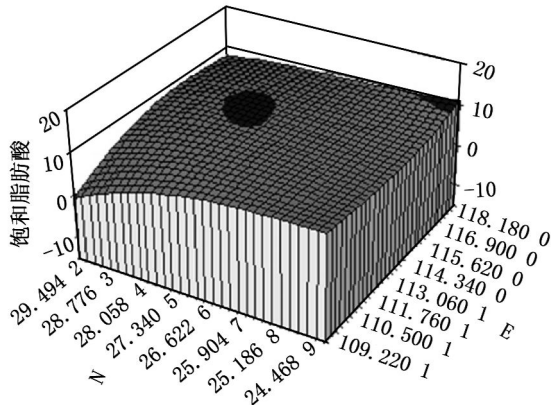


图2 饱和脂肪酸等值线趋势面图

将各个居群的4个主成分因子的得分值与主成分贡献率相乘,就可得出每个居群的综合得分值,以综合得分值来初步评判每个居群的品质水平。由表9可见,福建漳浦居群综合得分值最高,即品质水平最佳,其次为福建闽清,其余居群排序依次为江西宜春、广西融水、福建建宁、贵州黎平、广西龙胜、广西

三江、湖南通道、湖南平江、江西定南、江西崇仁、福建浦城、福建宁化及湖北阳新。

表8 小果油茶含油率及脂肪酸主成分分析特征值和贡献率

性状	第1主成分因子	第2主成分因子	第3主成分因子	第4主成分因子
棕榈酸	0.202 5	-0.406 2	0.313 8	0.262 2
棕榈烯酸	0.277 3	0.304 3	0.367 7	0.119 1
油酸	-0.402 7	0.105 2	0.226 9	-0.014 5
亚油酸	0.385 3	0.038 0	-0.324 2	0.165 7
亚麻酸	0.239 3	0.376 2	0.153 6	0.131 0
顺-11-二十碳烯酸	0.232 9	0.183 5	-0.024 0	-0.699 2
硬脂酸	0.000 0	-0.447 9	-0.039 4	-0.335 5
含油率	-0.244 6	-0.253 9	-0.448 8	0.315 2
饱和脂肪酸	0.202 4	-0.322 8	0.494 2	0.200 3
单不饱和脂肪酸	-0.403 6	0.102 1	0.221 0	-0.039 5
多不饱和脂肪酸	0.389 3	0.063 2	-0.292 9	0.164 5
不饱和脂肪酸	-0.211 2	0.413 4	-0.061 7	0.320 7
特征值	5.501 5	3.204 7	1.314 2	1.076 5
贡献率	45.845 8	26.706 0	10.951 5	8.971 0
累计贡献率	45.845 8	72.551 8	83.503 3	92.474 3

表9 小果油茶15个居群主成分综合得分值与品质评定

居群编号	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分	综合得分值	品质排序
P1	1.812 1	1.811 0	-1.158 6	-0.255 8	1.164 6	4
P2	-2.567 1	1.811 1	0.205 7	-0.157 1	-0.684 8	9
P3	-0.336 8	1.284 7	1.668 6	-2.068 1	0.185 9	7
P4	-0.918 1	1.424 2	1.113 3	-0.245 3	0.059 4	8
P5	-0.142 5	2.960 3	0.020 7	0.383 3	0.761 9	6
P6	-1.184 0	-2.575 7	0.096 0	-0.725 3	-1.285 2	13
P7	3.216 8	-0.169 8	-0.011 4	-0.936 6	1.344 2	2
P8	5.382 4	-0.430 1	-1.105 0	0.748 7	2.298 9	1
P9	-2.651 2	1.001 0	-1.895 5	1.345 8	-1.035 0	11
P10	-0.927 1	-3.673 1	0.737 7	1.291 8	-1.209 3	12
P12	2.810 5	-1.530 9	0.250 7	-0.563 0	0.856 6	5
P13	-1.873 8	-2.027 3	0.081 6	-0.656 1	-1.450 4	14
P16	-2.183 8	-0.114 3	0.905 8	1.149 0	-0.829 4	10
P17	-2.061 1	-0.671 1	-2.408 4	-1.038 7	-1.481 1	15
P18	1.623 8	0.899 9	1.498 7	1.727 2	1.303 8	3

### 3 小结与讨论

目前不少学者强调开展以质量为中心的深层次良种选育工作<sup>[12,22-24]</sup>,而含油率及脂肪酸组分是关系到木本油料树种品质高低的重要经济性性状,引起林木育种工作者的普遍关注,并作为优良单株选择及引种是否成功的重要依据<sup>[7,12,25-28]</sup>。研究表明,15个不同居群小果油茶种仁含油率及脂肪酸组分12个性状的平均变异系数和相对极差分别为0.148

和0.487,说明其含油率及脂肪酸组分性状变异类型较为丰富,遗传多样性水平较高。不同性状的变异系数差异较为明显,最大的为棕榈烯酸(0.341),最小的为不饱和脂肪酸(0.013)。不同居群的油酸变异系数仅为0.035,说明不同居群的油酸含量较为稳定,这与程军勇<sup>[29]</sup>及奚如春<sup>[22]</sup>的研究结果相似。亚油酸和亚麻酸含量的高低,是评价小果油茶油脂品质的重要标准之一<sup>[2,29-32]</sup>。本研究发现亚油酸(0.286)和亚麻酸(0.295)的变异系数较高,变异



类型较为丰富,说明其可选育的潜力较大,是今后小果油茶进一步结合质量定向选育的重要指标依据。

含油率及脂肪酸组分 12 个性状在 15 个小果油茶居群间及居群内全部表现出极显著差异。对这 12 个性状进行 Dumcan 多重比较,除了西南地区 5 个居群在大多性状多重比较中差异不明显,显示了较大的相似性外,含油率及脂肪酸组分 12 个性状在其它居群的多重比较中均存在着显著差异,表明小果油茶的品种选育和优良种质创制的潜力巨大。小果油茶种仁含油率及脂肪酸组分性状平均表型分化系数为 27.132 3%,其中含油率表型分化系数最高,为 52.549 3%,除了含油率在居群间的变异略大于居群内外,脂肪酸各组分性状主要变异存在于居群内,且居群内变异远大于居群间变异,说明居群内变异是小果油茶脂肪酸遗传变异的主要来源和今后品质选育的重要途径。

为了比较各个居群的品质高低,为小果油茶的品质选育提供参考依据,通过主成分分析,将含油率及脂肪酸组分 12 个性状因子整合成 4 个主成分因子,将各个居群的主成分得分值与相应的主成分贡献率相结合得到综合得分值来评价居群品质水平,结果表明福建漳浦居群综合得分值最高,即品质水平最佳,其次为福建闽清,其余居群排序依次为江西宜春、广西融水、福建建宁、贵州黎平、广西龙胜、广西三江、湖南通道、湖南平江、江西定南、江西崇仁、福建浦城、福建宁化及湖北阳新,所以小果油茶优质新品种选育可考虑优先选择排名靠前的福建漳浦、福建闽清及江西宜春等居群。

#### 参考文献:

- [1] 庄瑞林. 中国油茶[M]. 2 版. 北京:中国林业出版社,2008
- [2] 国家林业局油茶产业发展办公室,国家林业局科技司,国家油茶科学中心. 茶油营养与健康[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,2010
- [3] 王艳梅,王东洪,刘震. 6 个种源山桐子种子含油率和脂肪酸 GC/MS 分析[J]. 河南农业大学学报,2011,45(5):530-533
- [4] 王园园,宋晓虹,李成仁,等. 八种山茶属植物种子油脂的脂肪酸分析[J]. 中国油脂,2007,32(9):78-79
- [5] 陈炳章,庄瑞林,黄爱珠. 中国主要油茶物种的脂肪酸含量[J]. 植物生理学通讯,1985,(2):26-28
- [6] 原姣姣,王成章,陈虹霞,等. 不同品种油茶籽的含油率和脂肪酸组成分析研究[J]. 中国油脂,2012,37(1):75-78
- [7] 朱万泽,范建容,彭建国. 四川省油橄榄引种品种果实含油率及其脂肪酸分析[J]. 林业科学,2010,46(8):91-100
- [8] 黎章矩,华家其,曾燕如. 油茶果实含油率影响因子研究[J]. 浙江林学院学报,2010,27(6):935-940
- [9] 丛玲美. 油茶品质控制过程中主要质量指标变化规律的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2007
- [10] 王森,谢碧霞,何方,等. 秦岭山区漆树种籽含油率与脂肪酸成分分析[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(3):97-101
- [11] 余江凡,谢碧霞,胡亿明,等. 漆树果实性状研究(II)[J]. 中南林业科技大学学报,2009,29(1):10-14
- [12] 姚小华,王亚萍,王开良. 地理经纬度对油茶籽中脂肪及脂肪酸组成的影响[J]. 中国油脂,2011,36(4):31-34.
- [13] 葛颂,王明麻,陈岳武. 用同工酶研究马尾松居群的遗传结构[J]. 林业科学,1988,24(4):399-409
- [14] 李长喜. 林木天然居群表型变异研究概述[J]. 林业科学研究,1988,1(6):657-664
- [15] 郭平毅. 生物统计学[M]. 北京:中国林业出版社,2006
- [16] 李斌,顾万春,卢宝明. 白皮松天然居群种实性状表型多样性研究[J]. 生物多样性研究,2002,10(2):181-188
- [17] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [18] 左继林,龚春,汪建平. 赣油茶 25 个优良无性系品质评价[J]. 浙江林学院学报,2008,25(5):624-629.
- [19] 陈隆升,彭方仁,梁有旺. 不同种源黄连木种子形态特征及脂肪油品质的差异性分析[J]. 植物资源与环境学报,2009,18(1):16-21
- [20] 李化,陈丽,唐琳,等. 西南部分地区麻疯树种子油的理化性质及脂肪酸组成分析[J]. 应用与环境生物学报,2006,12(5):643-646
- [21] 李振纪. 油茶[M]. 北京:中国林业出版社,1981
- [22] 奚如春,邓小梅,龚春,等. 高亚油酸含量油茶优良无性系的选育[J]. 林业科学研究,2006,19(2):158-164
- [23] 庄瑞林,董汝湘,黄爱珠. 山茶属植物种质资源的搜集及基因库的建立利用研究[J]. 林业科学研究,1991,4(2):178-184
- [24] 姚小华,王开良,任华东,等. 油茶资源与科学利用研究[M]. 北京:科学出版社,2012
- [25] 祝志勇,王强,阮晓,等. 不同地理居群山桐子的果实含油率与脂肪酸含量[J]. 林业科学,2010,46(5):176-180
- [26] Gurdeniz G, Ozen B, Tokatli F. Classification of Turkish olive oils with respect to cultivar, geographic origin and harvest year using fatty acid profile and mid-IR spectroscopy[J]. European Food Research and Technology, 2008,227(4):1275-1281
- [27] 吴志庄,鲜宏利,尚忠海,等. 黄连木天然群体果实含油率的地理变异[J]. 林业科学,2009,45(5):69-73
- [28] Tsimidou M, Karakostas K X. Geographical classification of Greek virgin olive oil by non parametric multivariate evaluation of fatty acid composition[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1993,62(3):253-257
- [29] 程军勇,李良,周席华,等. 油茶优树脂脂肪酸组成和相关性分析的研究[J]. 林业科技开发,2011,(1):41-43
- [30] 赵登超,王钧毅,韩传明,等. 不同品种核桃仁脂肪含量及脂肪酸组成与成分分析[J]. 华北农学报,2009,24(增刊):295-298
- [31] 邵群,张慧,边际,等. 功能性油脂——共轭亚油酸研究进展[J]. 食品科学,2002,23(2):164-166
- [32] 陆浩,杨会芳,毕艳兰. 山核桃油的理化性质及脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂,2010,35(5):73-76