

小果油茶种实表型性状遗传多样性研究

黄 勇^{1,2}, 姚小华^{1*}, 王开良¹, 任华东¹, 李志真², 谢一青²

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 富阳 311400; 2. 福建省林业科学研究院, 福州 350012)

摘 要: 分析了小果油茶全分布区的 18 个地理群体进行种实表型性状遗传多样性。结果表明, 小果油茶种实表型性状变异相当丰富, 小果油茶 18 个群体 10 个种实表型性状的平均变异系数高达 24.7%, 平均相对极差也达到 48.2%, 种实表型性状在群体间及内差异极显著。巢式方差分析结果表明: 总体上小果油茶群体间多样性程度略大于群体内的多样性, 其中性状 T_f 、 L_s/W_s 、 L_f 、 W_{ss} 及 L_s 在群体间变异明显大于群体内的变异, W_f 和 R_s 在群体间与群体内变异大小相当, 群体间略大于群体内, 而 N_s 和 L_f/W_f 则是群体内变异明显大于群体间变异, 主要以群体内变异为主。种实聚类分析结果表明, 小果油茶呈现较明显的地理区域特征, 在欧氏平均距离 4.22 的阈值处可将划分为 3 个大类。相关性分析得知小果油茶表观性状没有随经纬度变化而呈现出较明显的地带性演变规律, 但通过进一步的地理趋势面分析得知, R_s 、 L_s/W_s 及 W_s 与经纬度的拟合度及拟合效果均达到较好的水平, 呈现出较明显的地带性分布规律。

关键词: 小果油茶; 种实表观性状; 趋势面分析; 遗传多样性

中图分类号: S794.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2011)05-0698-10

Genetic diversities of phenotypical traits of fruit and seed in *Camellia meiocarpa* Hu.

HUANG Yong^{1,2}, YAO Xiao-hua¹, WANG Kai-liang¹, REN Hua-dong¹, LI Zhi-zheng², XIE Yi-qing²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400; 2. Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012)

Abstract: Genetic diversities of fruit and seed were analyzed in the full distribution area of *C. meiocarpa* Hu with 18 geographic populations. The results showed as follows. The variation of seed phenotypic trait of *C. meiocarpa* Hu was quite rich. The average coefficient of 10 phenotypic traits could reach 24.7% in 18 geographic populations; the mean R_i was 48.2%, and there existed significant differences in seed phenotypic traits of inter-populations and intra-populations. The result of nested variance analysis showed that the diversity of inter-populations was higher than that of intra-populations appreciably; for the traits of T_f , L_s/W_s , L_f , W_{ss} and L_s , the diversity of inter-populations was higher than that of intra-populations obviously, but N_s and L_f/W_f were on the contrary; the diversities of W_f and R_s were nearly equivalent no matter of inter-populations and intra-populations. According to the cluster analysis, *Camellia meiocarpa* Hu had obvious geography regional characteristics, and the 18 populations could be divided into three groups obviously at euclidean distance (4.22). The correlation analysis showed that there was not obvious regional evolutionary law with the change of longitude and latitude in fruit and seed phenotypic traits, however, R_s , L_s/W_s and W_s showed evident regional evolutionary law according to geographic trend surface analysis, and the fitting effects were good.

Key words: *Camellia meiocarpa* Hu.; phenotypic traits of fruit and seed; trend surface analysis; genetic diversity

收稿日期: 2011-01-06

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2009BADB1B01, 2009BADA8B04), 中国林科院公益性科研基金专项(CAFYBB2008005), 中国林科院亚林所公益性科研基金专项(RISF6804), 福建省自然科学基金项目(2010J01088), 福建省林木种苗科技攻关油茶良种选育扩繁推广和加工利用, 福建省科技厅公益项目(2009R10008-5), 国家林业局南方山地用材林培育重点实验室及福建省森林培育与林产品加工利用重点实验室项目共同资助。

作者简介: 黄 勇, 男, 博士, 高级工程师。E-mail: huangyfujian@163.com

* 通讯作者: 姚小华, 男, 研究员, 博导。E-mail: yaohx168@163.com

小果油茶 (*Camellia meiocarpa* Hu.) 又名江西子、小茶、鸡心子等, 主要分布在福建、江西、广西、湖南、贵州、广东及浙江等省, 栽培面积及产量仅次于普通油茶, 具有皮薄、出籽率高、出油率高、丰产性及称产性好等优点, 开发利用前景良好, 特别是在中亚热带中山地带具有极大生产潜力^[1]。关于小果油茶遗传变异方面研究至今未见报道, 为了小果油茶种质资源保存、良种选育及生产应用的需要, 有必要对小果油茶的遗传多样性进行研究。

表型性状遗传多样性是植物遗传多样性的一个重要组成部分, 植物的表型性状包括种实、花、叶及树体性状等, 但对于经济林产果类植物来说, 主要表型性状体现为种实性状。植物种实遗传变异中很大部分是在世代间稳定遗传的^[2], 但由于地理阻隔和不同自然条件的长期作用可使果实和种子大小在植物居群间产生较大的差异^[3]。作者通过 18 个不同地理群体的种实表型性状比较及其与地理生态因子之间的相关性分析, 为进一步揭示小果油茶的遗传多样性规律打下坚实基础, 从而为小果油茶的选择育种提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料的采集

在小果油茶的全分布区采集具有代表性的 18 个地理群体, 群体的分布地点及生态地理因子见表

1, 各地气象资料采自气候数据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。每个地理群体采集样株 20 株, 株距在 100 m 以上, 每株随机测定果实 20 个。

1.2 果实性状测定方法

用电显式游标卡分别测定果高、果径、果形指数 (果高/果径)、果皮厚度、种长、种宽、及种形指数 (种长/种宽)。种子出籽率= 20 个球果的出籽质量/20 个球果质量; 平均单果重=20 个球果质量/20; 单果平均籽数=20 个球果的出籽总数/20。

1.3 统计分析方法

对 10 个性状进行巢式方差分析, 其线性模型为 $Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \delta_{(ij)} + \varepsilon_{(ijk)}$, 其中 Y_{ijk} 为第 i 个地理群体中第 j 个单株的第 k 个观测值, μ 为总均值, τ_i 为群体间变异 (固定), $\delta_{(ij)}$ 为亚组间变异 (随机), $\varepsilon_{(ijk)}$ 为随机误差, 同一亚组内各观察值的随机变异, 遵循 $N(0, \sigma^2)$ ^[4,5]。

$V_{ST} = \delta_{ts}^2 / (\delta_{ts}^2 + \delta_s^2)$, 式中 δ_{ts}^2 为群体间方差分量, δ_s^2 为群体内方差分量, V_{ST} 表型形态分化系数^[6]。

1.4 性状变异特征

用变异系数 (CV) 来表示表型性状离散程度, 用相对极差 R_i' 表示极端差异程度^[7]。

$R_i' = R_i / R_0$ 其中 R_i 为群体内极差, R_0 为性状总极差。

数据分析用 excel 2003 和 DPS12.01 软件处理。

表 1 小果油茶采样点生态地理因子

Table 1 Ecological and geographical factors of the sampled sites

群体 Population	$E/^\circ\text{C}$	$N/^\circ\text{C}$	H/m	U/d	$T_w/^\circ\text{C}$	$T_l/^\circ\text{C}$	$T_f/^\circ\text{C}$
P1	109.220 1	25.542 695	221	320	38.6	-5.5	19.3
P2	109.734 37	26.002 95	492	298	37.5	-6.3	17.5
P3	109.910 1	26.016 9	370	314	40.4	-3.0	18.1
P4	109.552 25	25.785 6	165	320	36.0	-3.0	18.3
P5	109.416 7	26.176 25	530	270	37.9	-9.8	16.4
P6	118.474 08	27.676 56	200	258	39.9	-8.0	17.5
P7	118.82	26.078 1	209	262	40.0	-3.0	20.0
P8	117.797 5	24.109 9	345	358	40.9	1.0	21.8
P9	115.110 75	24.930 78	600	296	39.9	-5.3	18.8
P10	116.239 9	27.910 6	56	266	41.0	-12.7	17.6
P11	116.120 3	26.120 3	299	276	40.5	-7.6	17.9
P12	116.760 8	26.686 1	387	260	39.9	-12.8	16.8
P13	116.882 17	27.213 17	130	278	41.0	-12.3	17.9
P14	116.706 4	26.610 8	396	242	38.0	-7.0	16.8
P15	118.677 4	25.556 1	410	296	39.6	0.1	18.7
P16	113.640 44	28.571 67	103	265	40.3	-12.0	17.0
P17	115.016 7	29.494 2	160	255	41.4	-11.0	17.0
P18	114.066 33	27.993 5	251	275	41.6	-9.2	17.2

续表 1 Continued table 1

群体 Population	$T_{aj}/^{\circ}\text{C}$	$T_{au}/^{\circ}\text{C}$	$T_{aa}/^{\circ}\text{C}$	H_y/h	R_f/mm	R_{fs}/mm	R_{fe}/mm
P1	9.3	27.9	6 258.0	1 450.9	1 824.8	271.8	169.8
P2	4.9	27.2	5 073.9	1 426.0	1 368.6	193.6	139.0
P3	8.0	26.7	5 670.0	1 237.3	1 571.3	217.6	169.8
P4	7.3	27.3	5 691.4	1 334.3	1 730.2	192.0	153.0
P5	4.5	23.0	4 757.0	1 317.9	1 326.8	169.4	162.2
P6	6.2	28.8	5 510.5	1 875.1	1 888.7	146.6	124.4
P7	9.5	28.7	6 374.0	1 776.5	1 490.0	113.0	165.0
P8	10.0	27.0	7 494.2	2 138.2	1 524.7	198.0	225.0
P9	8.0	39.0	6 119.1	1 778.0	1 550.0	108.6	128.5
P10	5.2	28.3	5 453.7	1 776.0	1 735.5	92.0	120.0
P11	7.5	27.1	5 868.0	1 858.7	1 786.0	112.5	128.7
P12	5.0	28.0	4 990.0	1 805.6	1 743.8	110.2	112.2
P13	5.9	28.9	5 382.6	1 776.6	1 779.0	123.0	115.0
P14	5.3	27.1	5 025.0	1 748.0	1 750.0	130.0	161.0
P15	9.5	29.2	5 800.0	1 936.0	1 700.0	163.4	128.5
P16	4.5	28.6	5 327.6	1 725.9	1 316.5	123.2	106.3
P17	3.9	29.2	5 979.1	1 904.0	1 374.0	139.5	149.0
P18	5.0	28.8	5 407.7	1 883.6	1 635.1	128.8	116.3

注: ①生态地理因子缩写: N —纬度; E —经度; H —海拔; U —无霜期; T_h —极端最高温度; T_l —极端最低温度; T_a —年平均温度; T_{aj} —一月份均温; T_{au} —七月份均温; T_{aa} —活动积温; H_y —全年日照时数; R_f —降雨量; R_{fs} —七月降雨量; R_{fe} —八月降雨量② 群体编号: 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; P11—福建清流; P12—福建建宁; P13—江西黎川; P14—福建宁化; P15—福建仙游; P16—湖南平江; P17—湖北阳新; P18—江西宜春

Note: ①Ecological and geographical factor abbreviations: N —latitude; E —longitude; H —altitude; U —frost-free period; T_h —extreme highest temperature; T_l —extreme lowest temperature; T_a —average temperature in a year; T_{aj} —average temperature in January; T_{au} —average temperature in July; T_{aa} —active accumulated temperature; H_y —sunshine duration in a year; R_f —rainfall; R_{fs} —rainfall in July; R_{fe} —rainfall in August; ② Population numbering: P1—Ct.Rongshui in Guangxi prov.; P2—Ct.Tongdao in Hunan provi.; P3—Ct.Longsheng in Guangxi prov.; P4—Ct.Sanjiang in Guangxi prov.; P5—Ct.Liping in Guizhou provi.; P6—Ct.Pucheng in Fujian provi.; P7—Ct.Minqing in Fujian provi.; P8—Ct.Zhangpu in Fujian provi.; P9—Ct.Dingnan in Jiangxi provi.; P10—Ct.Chongren in Jiangxi provi.; P11—Ct.Qingliu in Fujian provi.; P12—Ct.Jianli in Fujian province; P13—Ct.Lichuan in Jiangxi provi.; P14—Ct.Ninghua in Fujian provi.; P15—Ct.xianyao in Fujian provi.; P16—Ct.Pingjian in Hunan provi.; P17—Ct.Yangxin in Hubei provi.; P18—MC.Yichun in Jiangxi provi.

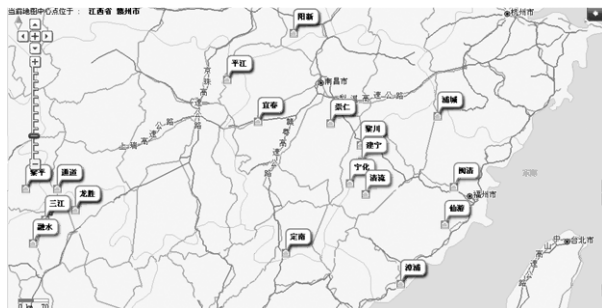


图 1 18 个小果油茶群体采样点示意图

Figure 1 Distribution sketch map of the investigated sites of 18 population of *Camellia meiocarpa* Hu

2 结果与分析

2.1 群体内及群体间小果油茶形态变异特征

平均值用来表明各观测值相对集中较多的位置,

而标准差能反映数据集合的离散程度^[8]。小果油茶 18 个不同群体种实主要数量性状平均值和标准差见表 2。结果表明, 从 L_f 、 W_f 、 T_f 、 R_s 、 L_s 、 W_s 及 W_{ss} 等主要性状指标来看, 群体 P7 和 P15 的 L_f 、 W_f 、 R_s 、 L_s 、 W_s 及 W_{ss} 平均值高于各地平均值, 且 T_f 又低于各地平均值, 种实经济指标最为优良, P11 次之, 除了 W_s 低于平均值外, 其它指标均优于平均值。群体间和群体内表型性状的变异均方及 F 值见表 4。由表 4 可见, 18 个群体间及群体内的种实表型性状全部表现极显著差异。为了准确地反映出 10 个表型性状在各个群体间差异性, 对 10 性状进行 Dumcan 多重比较 (表 2) 可知, 10 个种实表观性状在西南地区 5 个群体 (P1 至 P5) 之间, 均不显著, 显现出极大的相似性。从 L_f 和 W_f 两性状来看, 群体 P7、P9、P10、P11 及 P15 与西南地区 5 个群体 (P1 至 P5)

之间差异显著; 从种子性状 L_s 、 W_s 及 L_s/W_s 来看, 差异显著。
 P_{11} 、 P_{13} 及 P_{14} 与西南地区 5 个群体 (P_1 至 P_5) 之间

表 2 18 个不同群体种实主要数量性状平均值、标准差与多重比较

Table 2 Mean value, standard deviation and multiple comparison of major quantitative traits of seed and fruit of 18 populations in *Camellia meiocarpa* Hu

群体 Population	果高 L_f	果径 W_f	果高径比 L_f/W_f	果皮厚度 T_f	出籽率 R_s
P ₁	18.88±2.68 ^{DE}	17.10±2.55 ^{EF}	1.10±0.12 ^{ABC}	1.16±0.28 ^{DE}	0.62±0.05 ^{AB}
P ₂	18.38±2.10 ^{DEF}	16.88±1.91 ^{EFG}	1.09±0.09 ^{BC}	1.06±0.21 ^{DEFG}	0.61±0.05 ^{ABC}
P ₃	18.82±1.90 ^{DE}	17.71±2.27 ^{DE}	1.07±0.09 ^C	1.16±0.30 ^{DE}	0.62±0.05 ^{AB}
P ₄	19.79±2.28 ^{CD}	18.12±2.14 ^{DE}	1.10±0.12 ^{BC}	1.14±0.26 ^{DEF}	0.63±0.05 ^{AB}
P ₅	19.80±2.64 ^{CD}	18.86±2.67 ^{CDE}	1.06±0.11 ^C	1.24±0.38 ^{CD}	0.63±0.09 ^{AB}
P ₆	16.59±2.30 ^{FG}	15.66±2.47 ^{FGH}	1.07±0.11 ^C	0.73±0.13 ^H	0.59±0.07 ^{ABC}
P ₇	22.71±3.90 ^B	21.22±4.58 ^{AB}	1.10±0.19 ^{BC}	1.08±0.30 ^{EFG}	0.61±0.06 ^{ABC}
P ₈	17.52±2.37 ^{EFG}	18.55±2.86 ^{CDE}	0.95±0.13 ^D	0.96±0.60 ^{DEFGH}	0.64±0.11 ^{AB}
P ₉	23.11±3.20 ^B	21.09±3.26 ^{AB}	1.10±0.13 ^{BC}	2.83±0.84 ^{ABC}	0.39±0.08 ^E
P ₁₀	25.11±3.57 ^A	23.00±4.32 ^A	1.14±0.13 ^{BC}	2.03±0.44 ^B	0.47±0.05 ^{AB}
P ₁₁	23.00±2.88 ^B	20.42±3.16 ^{BC}	1.14±0.20 ^{BC}	1.14±0.414 ^{DEF}	0.64±0.05 ^{AB}
P ₁₂	18.00±3.59 ^{DEFG}	16.92±3.71 ^{EF}	1.11±0.15 ^{BC}	0.85±0.23 ^{FGH}	0.62±0.09 ^{ABC}
P ₁₃	16.22±3.20 ^G	15.01±3.71 ^{GH}	1.14±0.12 ^{BC}	0.81±0.26 ^{GH}	0.60±0.08 ^{ABC}
P ₁₄	17.49±3.14 ^{EFG}	14.54±1.97 ^H	1.24±0.19 ^A	1.03±0.27 ^{DEFGH}	0.59±0.08 ^{ABC}
P ₁₅	26.24±2.70 ^A	22.80±3.13 ^A	1.17±0.17 ^{AB}	1.17±0.17 ^{CD}	0.65±0.04 ^A
P ₁₆	19.42±4.33 ^{DE}	17.71±4.07 ^{DE}	1.11±0.15 ^{BC}	1.49±0.76 ^C	0.57±0.12 ^{BC}
P ₁₇	21.62±3.51 ^{BC}	19.54±2.87 ^{BCD}	1.10±0.14 ^{BC}	2.21±0.60 ^B	0.39±0.06 ^E
P ₁₈	18.48±2.23 ^{DEF}	17.46±2.75 ^{DEF}	1.06±0.12 ^C	0.92±0.23 ^{EFGH}	0.55±0.11 ^C
平均 Mean	20.07±4.10	18.49±3.90	1.10±0.15	1.27±0.66	0.58±0.11

群体 Population	单果种籽数 N_s	种长 L_s	种宽 W_s	种长宽比 L_s/W_s	单果重 W_{ss}
P ₁	1.57±0.41 ^{DEF}	14.9±2.67 ^{DEF}	15.66±2.18 ^{ABC}	0.972±0.115 ^{EF}	3.72±1.36 ^{DEF}
P ₂	1.59±0.36 ^{DEF}	14.54±1.55 ^{EFG}	15.36±1.68 ^{ABCD}	0.95±0.08 ^{EF}	3.18±0.69 ^{DEFGH}
P ₃	1.40±0.25 ^{DEF}	14.30±1.68 ^{EFGH}	15.37±1.70 ^{ABCD}	0.93±0.10 ^F	3.37±0.63 ^{DEFG}
P ₄	1.60±0.52 ^{DEF}	15.33±1.49 ^{DE}	16.23±1.67 ^A	0.95±0.08 ^{EF}	3.80±0.68 ^{DE}
P ₅	1.55±0.41 ^{DEF}	15.00±1.76 ^{DE}	15.81±1.70 ^{AB}	0.98±0.11 ^{EF}	3.86±1.05 ^{DE}
P ₆	1.61±0.35 ^{DEF}	13.85±2.00 ^{FGHI}	12.61±1.49 ^{FG}	1.10±0.16 ^{CD}	2.20±0.56 ^{HI}
P ₇	1.83±0.62 ^{BCDE}	18.11±3.14 ^B	15.90±2.91 ^{AB}	1.14±0.15 ^C	5.39±2.04 ^B
P ₈	1.96±0.45 ^{BCD}	14.10±1.68 ^{EFGHI}	14.13±1.49 ^{DE}	1.00±0.10 ^{DEF}	3.17±0.83 ^{DEFGH}
P ₉	2.23±0.65 ^{ABC}	15.04±1.89 ^{DEF}	14.11±2.44 ^{DE}	1.05±0.19 ^{CDE}	5.65±0.27 ^B
P ₁₀	2.27±0.71 ^{AB}	16.05±2.25 ^{CD}	15.53±2.58 ^{ABCD}	1.06±0.19 ^{CDE}	6.03±1.64 ^B
P ₁₁	2.22±0.53 ^{ABC}	16.73±2.75 ^C	12.24±2.75 ^{GH}	1.42±0.38 ^A	5.30±1.37 ^{BCDE}
P ₁₂	1.59±0.55 ^{DEF}	13.±1.99 ^{FGHI}	10.82±2.51 ^H	1.37±0.33 ^{AB}	2.57±1.35 ^{FGHI}
P ₁₃	1.16±0.16 ^F	12.75±1.95 ^I	11.67±1.66 ^{GH}	1.10±0.11 ^{CD}	1.97±1.44 ^I
P ₁₄	1.8±0.43 ^{BCDE}	12.97±1.60 ^{HI}	11.00±2.22 ^H	1.28±0.32 ^B	2.32±0.65 ^{GHI}
P ₁₅	2.56±0.81 ^A	19.52±2.17 ^A	14.55±3.89 ^{BCDE}	1.42±0.34 ^A	7.76±1.42 ^A
P ₁₆	1.79±0.49 ^{CDE}	14.33±2.58 ^{EFGH}	14.18±2.31 ^{CDE}	1.00±0.16 ^{DEF}	3.58±2.00 ^{DEF}
P ₁₇	1.45±0.39 ^{DEF}	13.84±2.19 ^{FGHI}	14.38±2.01 ^{BCDE}	0.97±0.14 ^{EF}	4.32±1.30 ^{CD}
P ₁₈	2.0±0.47 ^{ABCD}	13.33±1.66 ^{GH}	13.81±1.74 ^{EF}	0.97±0.12 ^{EF}	2.85±0.52 ^{AEFGHI}
平均 Mean	1.78±0.60	14.96±2.67	14.07±2.80	1.09±0.25	3.94±1.94

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。

Note: The data followed with the same letters represent no significant difference, and with complete different letters mean significant difference.

表3 18个不同群体种实性状变异系数(CV)/相对极差(R_i')Table 3 Coefficient of variation (%) / relative extreme value differences (%) of seed and fruit phenotypic traits of 18 populations in *Camellia meiocarpa* Hu

群体 Population	L_f	W_f	L_f/W_f	T_f	R_s	N_s	L_s	W_s	L_s/W_s	W_{ss}	平均 Mean
P ₁	0.142/ 0.498	0.149/ 0.441	0.106/ 0.642	0.238/ 0.292	0.078/ 0.308	0.261/ 0.457	0.149/ 0.489	0.139/ 0.448	0.118/ 0.517	0.365/ 0.596	0.175/ 0.469
P ₂	0.114/ 0.494	0.113/ 0.450	0.085/ 0.473	0.196/ 0.246	0.084/ 0.246	0.226/ 0.355	0.107/ 0.389	0.109/ 0.330	0.088/ 0.191	0.217/ 0.327	0.134/ 0.350
P ₃	0.101/ 0.426	0.128/ 0.573	0.088/ 0.290	0.261/ 0.438	0.084/ 0.329	0.181/ 0.228	0.118/ 0.373	0.111/ 0.338	0.106/ 0.483	0.187/ 0.267	0.136/ 0.375
P ₄	0.115/ 0.458	0.118/ 0.637	0.104/ 0.689	0.236/ 0.278	0.082/ 0.291	0.321/ 0.469	0.097/ 0.355	0.103/ 0.369	0.086/ 0.249	0.178/ 0.279	0.144/ 0.407
P ₅	0.133/ 0.484	0.141/ 0.555	0.102/ 0.315	0.305/ 0.394	0.144/ 0.617	0.261/ 0.481	0.114/ 0.397	0.108/ 0.369	0.112/ 0.293	0.271/ 0.407	0.173/ 0.431
P ₆	0.139/ 0.388	0.157/ 0.457	0.106/ 0.355	0.188/ 0.203	0.122/ 0.545	0.216/ 0.278	0.145/ 0.440	0.118/ 0.295	0.149/ 0.536	0.253/ 0.206	0.159/ 0.370
P ₇	0.172/ 0.786	0.216/ 0.862	0.173/ 0.648	0.274/ 0.352	0.102/ 0.426	0.341/ 0.508	0.173/ 0.610	0.183/ 0.714	0.132/ 0.411	0.379/ 0.882	0.215/ 0.620
P ₈	0.135/ 0.356	0.154/ 0.554	0.131/ 0.454	0.628/ 0.242	0.176/ 0.307	0.227/ 0.481	0.119/ 0.562	0.105/ 0.265	0.097/ 0.481	0.261/ 0.413	0.203/ 0.412
P ₉	0.138/ 0.629	0.155/ 0.707	0.116/ 0.463	0.298/ 0.836	0.195/ 0.400	0.294/ 0.481	0.126/ 0.401	0.173/ 0.690	0.181/ 0.476	0.269/ 0.626	0.195/ 0.571
P ₁₀	0.142/ 0.846	0.188/ 0.789	0.116/ 0.484	0.219/ 0.624	0.105/ 0.311	0.313/ 0.583	0.140/ 0.850	0.166/ 0.505	0.176/ 0.459	0.273/ 0.695	0.184/ 0.615
P ₁₁	0.125/ 0.722	0.155/ 0.632	0.172/ 0.318	0.364/ 0.427	0.082/ 0.351	0.238/ 0.406	0.164/ 0.597	0.225/ 0.480	0.265/ 0.669	0.258/ 0.552	0.205/ 0.515
P ₁₂	0.199/ 0.629	0.22/ 0.679	0.135/ 0.498	0.270/ 0.330	0.139/ 0.539	0.347/ 0.569	0.144/ 0.377	0.232/ 0.480	0.244/ 0.701	0.527/ 0.480	0.246/ 0.528
P ₁₃	0.197/ 0.585	0.247/ 0.097	0.102/ 0.346	0.328/ 0.547	0.124/ 0.424	0.142/ 0.127	0.153/ 0.419	0.142/ 0.337	0.096/ 0.172	0.732/ 0.776	0.226/ 0.383
P ₁₄	0.18/ 0.627	0.136/ 0.366	0.157/ 0.572	0.284/ 0.622	0.128/ 0.592	0.240/ 0.380	0.124/ 0.508	0.201/ 0.427	0.251/ 0.667	0.28/ 0.228	0.198/ 0.499
P ₁₅	0.103/ 0.520	0.137/ 0.675	0.147/ 0.758	0.204/ 0.293	0.064/ 0.298	0.316/ 1.051	0.111/ 0.673	0.267/ 0.713	0.238/ 0.618	0.183/ 0.792	0.177/ 0.639
P ₁₆	0.223/ 0.725	0.230/ 0.703	0.139/ 0.648	0.511/ 0.749	0.212/ 0.540	0.274/ 0.406	0.18/ 0.671	0.163/ 0.499	0.156/ 0.392	0.559/ 0.738	0.265/ 0.607
P ₁₇	0.162/ 0.667	0.147/ 0.659	0.127/ 0.563	0.271/ 0.687	0.161/ 0.303	0.263/ 0.330	0.158/ 0.415	0.140/ 0.461	0.145/ 0.302	0.302/ 0.583	0.188/ 0.497
P ₁₈	0.121/ 0.464	0.158/ 0.370	0.114/ 0.448	0.247/ 0.243	0.208/ 0.561	0.236/ 0.457	0.125/ 0.421	0.126/ 0.341	0.123/ 0.306	0.182/ 0.210	0.164/ 0.382
总计 Total	0.205/ 0.572	0.211/ 0.567	0.134/ 0.498	0.296/ 0.433	0.183/ 0.410	0.34/ 0.447	0.178/ 0.497	0.199/ 0.448	0.233/ 0.440	0.493/ 0.503	0.247/ 0.482

2.2 小果油茶种实性状形态变异特征

2.2.1 小果油茶不同群体种实性状变异系数 变异系数(CV)反映单位均值上的离度,表示性状值离散性特征,变异系数越大,则性状值离散程度越大。在不同的生态地理环境下,各群体的形态性状的变异系数有一定差异,同一地点不同性状之间的变异程度亦有所不同^[9-10]。变异系数可以用来比较量纲不同的性状之间的变异程度^[11]。小果油茶的18个

不同群体的种实性状变异系数见表3。由表3可看出,小果油茶18个种实性状的平均变异系数0.269,变异范围0.134~0.518。种实性状变异系数排序为 $W_{ss}(0.493) > N_s(0.340) > T_f(0.296) > L_s/W_s(0.233) > W_f(0.211) > L_f(0.205) > W_s(0.20) > R_s(0.183) > L_s(0.178) > L_f/W_f(0.134)$,说明与其它单个性状相比, N_s (单果种籽数)和 W_{ss} (单果重)变异程度最高,稳定性最差, L_s (种子长度)变异系数最小,稳定性最

好。从种子 (L_f 和 W_f) 和果实性状 (L_s 和 W_s) 比较来看, 果实长宽变异比种子小, 更加稳定; 种子和果实的长宽两者的变异系数相差很小, 说明种子和果实的横向粗扁的变异程度和纵向长短变异相当; L_s/W_s 大于它的单个性状变异系数, 而 L_f/W_f 小于它的单个性状的变异系数, 说明 L_s/W_s 比它的单个性状稳定性差, 而 L_f/W_f 在稳定性方面大于它的单个性状。这与刘子雷等在浙江红花油茶果实形态变异的结果相类似^[12]。

相同性状在不同群体内的变异程度也有差异, 18 个群体的平均变异系数排序为 $P_{16}(0.265) > P_{12}(0.246) > P_{13}(0.226) > P_7(0.215) > P_{11}(0.205) > P_8(0.203) > P_{14}(0.198) > P_9(0.195) > P_{17}(0.188) > P_{10}(0.184) > P_{15}(0.177) > P_1(0.175) > P_5(0.173) > P_{18}(0.164) > P_6(0.159) > P_4(0.144) > P_3(0.136) > P_2(0.134)$, 说明 P_{16} (平江)、 P_{12} (建宁) 及 P_{13} (黎川) 群体种实表形多样性相对较为丰富, 而西南地区 5 个群体 (P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 及 P_5) 和 P_{18} 群体表型遗传多样性较低。

2.2.2 小果油茶不同群体种实性状的相对极差 为了消除不同量纲在性状间的差异, 使之具有可比性, 采用相对极差 R' 来衡量群体间的极端变异程度^[13]。表 3 所示, 小果油茶的 3 个种子性状相对极差排序为 $L_s/W_s (0.440) < W_s (0.448) < L_s (0.497)$, 种子的相对极差变异与变异系数完全相反, 说明种子的规律性及稳定性较差。7 个果实性状相对极差最大为 L_f (果高), 最小为 R_s (出籽率), 具体排序为 $L_f(0.572) > W_f(0.567) > W_{ss}(0.503) > L_f/W_f(0.498) > N_s(0.447) > T_f(0.433) > R_s(0.410)$, 虽然与变异系数相比较有着一定差别, 但相对于种子性状,

果实稳定性较强。18 个群体种实性状平均相对极差排序为 $P_{15}(0.639) > P_7(0.620) > P_{10}(0.615) > P_{16}(0.607) > P_9(0.571) > P_{12}(0.528) > P_{11}(0.515) > P_{13}(0.383) > P_{14}(0.499) > P_1(0.469) > P_{17}(0.497) > P_5(0.431) > P_8(0.412) > P_4(0.407) > P_{18}(0.382) > P_3(0.375) > P_6(0.370) > P_2(0.350)$ 这个排序与变异系数具有一定的相似性, 说明小果油茶群体内具有一定的变异规律性。

2.3 小果油茶群体间表型分化

按巢式设计方差分量比组成了各方差分量占总变异的比, 用居群间方差、用群体间方差分量占总遗传变异(群体间群体内方差分量之和) 的百分比表示群体间的表型分化系数 $V_{ST}(\%)$ ^[6,14]。表 4 结果显示小果油茶种实各性状表型分化系数变化幅度 26.45%~76.00%, 表型分化系数排序为 $T_f(76\%) > L_s/W_s (64.24\%) > L_f (61.42\%) > W_{ss} (59.16\%) > L_s(58.58\%) > W_f (56.13\%) > R_s(52.69\%) > W_s(52.62\%) > N_s(28.29\%) > L_f/W_f(26.45\%)$, 性状 T_f 、 L_s/W_s 、 L_f 、 W_{ss} 及 L_s 在群体间变异明显大于群体内的变异, W_f 和 R_s 群体间与群体内变异大小相当, 群体间略大于群体内, 而 N_s 和 L_f/W_f 群体内变异明显大于群体间变异, 变异主要以群体内变异为主。

10 个种实表型性状的方差分量百分比群体间方差分量 41.297%, 群体内 35.539%, 表型平均分化系数为 53.56%, 群体间略大于群体内, 说明小果油茶群体间多样性程度略大于群体内的多样性。尽管群体间的变异只是略小于群体内的变异, 但存在群体间变异反映了地理、生殖隔离上的变异, 群体间多样性的变异是种内多样性的重要组成部分^[15]。

表 4 小果油茶种实表型性状方差分析表

Table 4 Variance analysis of seed and fruit phenotypic traits in *Camellia meiocarpa* Hu

性状 Trait	均方 (自由度) $MS (df)$			F 值 F value	
	群体间 Inter-population	群体内 Intra-population	观测误差 Random errors	群体间 Inter-population	群体内 Intra-population
L_f	3 376.050 1 (17)	106.669 2 (342)	3.999 8 (6 840)	31.649 7**	26.668 8**
W_f	2 423.171 7 (17)	96.117 5 (342)	5.163 3 (6 840)	25.210 5**	18.615 7**
L_f/W_f	1.258 5 (17)	0.163 9 (342)	0.011 7 (6 840)	7.679 5**	14.055 6**
T_f	119.178 5 (17)	1.965 2 (342)	0.114 3 (6 840)	60.645 1**	2.430 7**
R_s	0.134 8 (17)	0.005 8 (342)	0	23.430 1**	
N_s	2.367 0 (17)	0.266 2 (342)	0	8.892 4**	
L_s	1 228.716 6 (17)	44.115 7 (342)	2.23 98 (6 840)	27.852 2**	19.696 3**
W_s	1 193.702 2 (17)	53.893 0 (342)	2.577 3 (6 840)	22.149 5**	20.910 5**
L_s/W_s	11.147 0 (17)	0.325 3 (342)	0.024 1 (6 840)	34.412 5**	13.476 3**
W_s	47.650 3 (17)	1.590 1 (342)	0	29.966 9**	

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

表 5 小果油茶种实表型性状方差分量、群体间表型分化系数

Table 5 Variance components and differentiation coefficients of morphological traits of seed and fruit among population in *Camellia meiocarpa* Hu

性状 Trait	方差分量 Variance component			方差分量百分比/%			表型分化系数 $V_{st}/\%$ Differentiation coefficient of Morphological traits
	群体间 δ_{ls}^2 Inter population	群体内 δ_s^2 Intra population	机误 δ_e^2 Random errors	群体间 P_{ls} Inter population	群体内 P_s Intra population	机误 P_{se} Random errors	
L_f	8.173 452	5.133 47	3.999 8	47.227	29.662	23.111	61.42
W_f	5.817 636	4.547 71	5.163 3	37.464	29.286	33.250	56.13
L_f/W_f	0.002 737	0.007 61	0.011 7	12.414	34.518	53.069	26.45
T_f	0.293 033	0.092 545	0.114 3	58.621	18.514	22.866	76.00
R_s	0.000 323	0.00 029	0	52.692	47.309	0	52.69
N_s	0.005 252	0.013 31	0	28.294	71.706	0	28.29
L_s	2.961 502	2.093 795	2.239 8	40.596	28.701	30.703	58.58
W_s	2.849 523	2.565 785	2.577 3	35.652	32.102	32.246	52.62
L_s/W_s	0.027 054	0.015 06	0.024 1	40.858	22.744	36.397	64.24
W_{ss}	0.115 151	0.079 505	0	59.156	40.844	0	59.16
平均 Mean				41.297	35.539	23.164	53.56

表 6 小果油茶种实性状间相关性

Table 6 Correlation coefficients among seed and fruit phenotypic traits in *Camellia meiocarpa* Hu

性状 Trait	L_f	W_f	L_f/W_f	T_f	R_s	N_s	L_s	W_{ss}	L_s/W_s	W_{ss}
L_f	1									
W_f	0.95**	1								
L_f/W_f	0.29	0.37	1							
T_f	0.58**	0.56*	0.1	1						
R_s	-0.32	-0.3	-0.09	-0.87**	1					
N_s	0.74**	0.72**	0.17	0.32	-0.12	1				
L_s	0.83**	0.81**	0.16	0.12	0.2	0.63**	1			
W_s	0.38	0.48*	-0.38	0.28	-0.05	0.06	0.45	1		
L_s/W_s	0.33	0.19	0.57*	-0.21	0.27	0.48*	0.41	-0.61**	1	
W_{ss}	0.98**	0.95**	0.21	0.52*	-0.21	0.76**	0.89**	0.43	0.32	1

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

表 7 小果油茶种实表型性状与地理生态因子的相关性

Table 7 Correlation coefficients between seed and fruit phenotypic traits ecological and geographical factor in *Camellia meiocarpa* Hu

	L_f	W_f	L_f/W_f	T_f	R_s	N_s	L_s	W_s	L_s/W_s	W_{ss}
E	0.21	0.21	0.21	-0.05	-0.11	0.42	0.19	-0.54*	0.63**	0.19
N	-0.05	-0.14	0.27	0.13	-0.45	-0.25	-0.33	-0.18	-0.12	-0.19
H	0.03	0.03	-0.08	0.11	0.08	0.18	0.09	-0.05	0.15	0.1
U	-0.07	0.09	-0.60**	-0.07	0.31	0.05	0.09	0.43	-0.35	0.07
T_h	0.13	0.23	-0.60**	0.18	-0.39	0.18	-0.1	-0.28	0.09	0.08
T_l	0.17	0.24	-0.17	-0.14	0.38	0.31	0.46	0.38	0.01	0.32
T_a	0.12	0.29	-0.28	-0.04	0.2	0.25	0.32	0.3	-0.08	0.25
T_{aj}	0.26	0.33	-0.47*	-0.1	0.35	0.34	0.53*	0.27	0.16	0.4
T_{au}	0.3	0.27	-0.23	0.66**	-0.65**	0.35	0.03	-0.1	0.04	0.3
T_{aa}	0.17	0.33	0.11	0.14	-0.04	0.26	0.23	0.25	-0.11	0.26
H_y	0.16	0.21	-0.50*	0.05	-0.24	0.47*	0.04	-0.50*	0.45	0.15
R_f	-0.09	-0.18	-0.01	-0.34	0.24	0.11	-0.02	-0.44	0.46*	-0.09
R_{fs}	-0.3	-0.26	-0.39	-0.28	0.43	-0.33	-0.04	0.47*	-0.45	-0.17
R_{fe}	-0.17	-0.02	-0.49*	-0.13	0.26	-0.12	0.02	0.35	-0.3	-0.07

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

2.4 小果油茶种实性状间相关关系

对所测定的 18 个种实表型性状进行相关分析及检验, 从表 6 可见, 在果实性状中, L_f 与 W_f 、 T_f 、 N_s 、 L_s 及 W_s 呈极显著相关关系, 它们的相关系数分别为 0.95、0.58、0.74、0.83 及 0.98; W_f 与 L_f 、 N_s 、 L_s 和 W_{ss} 呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.95、0.72、0.81 及 0.95, W_f 与 T_f 及 W_{ss} 呈显著正相关, 相关系数为 0.56 和 0.48; W_{ss} 与 L_f 、 W_f 、 N_s 及 L_s 极显著正相关, 相关系数为 0.98、0.95、0.76 及 0.89, W_s 与 T_f 呈正相关, 相关系数为 0.52。在种子 3 个性状中, 它们相互之间只有 L_s/W_s 与 W_{ss} 存在极显著负相关, 相关系数为 -0.61, L_s 与 L_f 、 W_f 、 N_s 及 W_s 呈正相关, 相关系数 0.83、0.81、0.63 及 0.89, 这与 JOSEFA L 等在豆科植物染料木族的种实形态研究结果相近, 他们研究表明种子的形状大小与果实有着紧密的关系^[16]。

小果油茶种实表型性状间相关关系显著性表明, L_f 、 W_f 、 W_{ss} 及 L_s 是影响小果种实表型性状的主要因子。

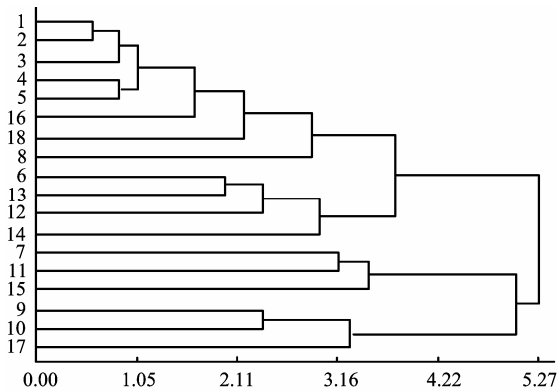


图 2 小果油茶种实表型性状聚类图

Figure 2 UPGMA dendrogram of seed and fruit phenotypic traits in *Camellia meiocarpa* Hu

2.5 小果油茶种实表型性状与生态地理因子的相关分析

种实性状表型性状的差异是基因型与环境相互作用的结果, 也是长期自然选择的结果^[17]。将小果油茶种实表型各个性状与地理生态因子进行相关性分析, 结果 (表 7) 表明, L_f/W_f 与无霜期和极端最高温度呈极显著负相关, 相关系数为 -0.60, 说明随着无霜期的变长和极端最高温度的增加, L_f/W_f 也随之变小, 与一月份均温、全年日照时数及八月降雨量呈负相关, 相关系数 -0.47、-0.50 及 -0.49, 即 L_f/W_f 随着一月份均温、全年日照时数及八月降雨量的增加而减小; R_s 与七月份均温呈极显著负相关,

相关系数为 -0.65, 即七月份均温增加会导致 R_s 随之减小; N_s 与全年日照时数呈显著相关, 相关系数为 0.47, 即全年日照时数的增加会导致 N_s 值减小; L_s 与一月份均温呈显著正相关, 相关系数为 0.53, 即随着一月份均温, L_s 随之减小; W_s 与经度及全年日照时数呈显著负相关, 相关系数分别为 -0.54 和 -0.50, 与七月降雨量呈显著正相关, 相关系数为 0.47; L_s/W_s 与经度呈极显著正相关, 相关系数为 0.63, 与全年降雨量呈显著正相关, 相关系数为 0.46。结果表明影响小果油茶种实表型性状变异的生态因子主要以 E (经度)、 T_{au} (七月份均温) 及 H_y (全年日照时数) 为主, 而与生态因子相关主要表型性状为 L_f/W_f 、 R_s 、 W_s 、 L_s/W_s 、 N_s 及 L_s , 而 L_f 、 W_f 、 T_f 及 W_{ss} 与生态因子无明显的相关性。

2.6 小果油茶种实遗传多样性的聚类分析

由于小果油茶种实 10 个性状指标存在不同的量纲和数量级单位, 为了使不同量纲、不同数量级的数据能放在一起比较, 通过标准化转化后, 距离系数用欧氏平均距离, 聚类方法用 UPGMA 聚类方法, 利用种实性状的平均值, 对 18 个不同地理群的小果油茶进行聚类 (图 2)^[18], 在欧氏平均距离 4.22 的阈值处可以很明显将 18 个群体分成 3 大类群, P_9 (定南)、 P_{10} (崇仁) 及 P_{17} (阳新) 归为第 1 类; P_7 (闽清)、 P_{11} (清流) 及 P_{15} (仙游) 这 3 个群体归为第 2 类; 西南地区 5 个群体 (P_1 - P_5) 及其余群体归为第 3 类。若在欧氏平均距离 3.8 的阈值处, 又可将第 3 类群分为两个亚类群, P_6 (浦城)、 P_{12} (建宁)、 P_{13} (黎川) 及 P_{14} (宁化) 为第 I 亚群体, 西南 5 个群体、 P_8 (漳浦)、 P_{16} (平江) 及 P_{18} (宜春) 为第 II 亚群体。小果油茶种实表型性状聚类呈现较强的地理区域特征, 福建中部的 3 个群体 P_7 (闽清)、 P_{11} (清流) 及 P_{15} (仙游) 划为一个大类; P_6 (浦城)、 P_{12} (建宁)、 P_{13} (黎川) 及 P_{14} (宁化) 划为一个亚类, 它们都位于闽赣交界及武夷山脉边缘, 而地理位置相近的西南 5 个群体, 也是划分在一个亚群内; P_{16} (平江) 和 P_{18} (宜春) 同为一个亚群体, 它们地理位置也是相近。

2.7 小果油茶形态地理变异趋势面分析

趋势面分析 (trend surface analysis) 是拟合数学面的一种统计分析方法, 用数学方法计算出的一个数学曲面“趋势”, 这个数学曲面就是趋势面^[19]。为了全面了解小果油茶种实表观性状地理变异规律, 分别以经纬度为自变量, 以为因变量作二元三次或二元四次趋势面分析, 在 10 个性状分别作趋势面分析 (表 8), 只有 R_s 和 L_s/W_s 与地理变异呈明显的

相关性，其中 R_s 在 4 次趋势面分析中，达到显著水平 (0.05)，且拟合度高达 98.68%，拟合效果极佳； L_s/W_s 作 3 次趋势面分析中，达到显著水平 (0.05)，且拟合度为 83.59%，符合拟合要求。 W_s 在 4 次趋势面分析中，达到显著水平 (0.05)，且拟合度高达 98.03%，拟合效果极佳；其它拟合方程由于 P 值或拟合度达不到要求，而失去意义。

R_s 主要是受纬度影响 (图 3)，从低纬度到高纬

度， R_s 呈较明显的增加趋势；虽然在相同经度线上， R_s 的变化不太明显，但随着经纬度同时增加， R_s 呈缓慢的上升趋势。 L_s/W_s 主要受经度影响 (图 4)，在经度 118.18 和纬度 26.022 8 交叉点附近， L_s/W_s 值达到最大，然后向四周呈渐小的趋势，总体上东部明显大于西部。在纬度 24.488 9 和经度 100.220 1 交汇处西南角， W_s (图 5) 的值达到最小，然后向东北、东部及北部呈递增趋势。

表 8 小果油茶种实表型性状趋势面分析

Table 8 Trend surface analysis of seed and fruit phenotypic traits in *Camellia meiocarpa* Hu

性状 Trait	趋势面方程 Trend surface equation	拟合度/% Simulation	P值 P value
L_f	$Z=-72110.82+1866.08X+47.06Y-19.09X^2+25.10XY-55.71Y^2+0.07X^3-0.15X^2Y+0.17Y^2+0.46Y^3$	37.24	0.807 8
W_f	$Z=-76967.11+1897.80X+481.07Y-18.13X^2+14.06XY-48.33Y^2+0.06X^3-0.11X^2Y+0.21XY^2+0.30Y^3$	30.19	0.901 1
L_f/W_f	$Z=1935.36-44.04X-30.37Y+0.33X^2+0.51XY+0.06Y^2-0.0009X^3-0.001 X^2Y-0.005XY^2+0.006 Y^3$	72.38	0.126 5
T_f	$Z=-10064.18+236.91X+115.82Y-1.75X^2-2.57XY+0.87Y^2+0.003X^3+0.019X^2Y-0.036Y^2+0.04Y^3$ $Z=2270.97-53.69X-25.27Y+0.43X^2+0.32XY+0.32Y^2-0.001X^3-0.002X^2Y+0.0002XY^2-0.004Y^3$	63.14	0.282 8
R_s	或 $Z=191125.40-6167.91X-2526.35Y+86.00X^2-36.44XY+221.31Y^2-0.61 X^3+1.32 X^2Y-4.32XY^2+0.68Y^2+0.002X^4-0.008 X^3Y+0.02X^2Y^2-0.02XY^3+0.01Y^4$	76.49(3) 98.68(4)	0.077(3) 0.021(4)
N_s	$Z=-10198.57+293.75X-123.55Y-2.93X^2+3.35XY-2.58Y^2+0.01X^3-0.018X^2Y+0.015Y^2+0.01Y^3$	45.46	0.659 3
L_s	$Z=-27443.13+823.006X-438.49Y-8.95X^2+14.86XY-15.04Y^2+0.03X^3-0.06X^2Y-0.01XY^2+0.20 Y^3$	58.59	0.376 9
W_s	$Z=-62362.65+1786.06X-592.20Y-17.31X^2+13.99XY-8.4Y^2+0.056X^3-0.0762251184X^2Y+0.07XY^2+0.01Y^3$ 或 $Z=1878935.80-184883.64X+507581.30Y+3236.12X^2-6883.84XY-13758.20 Y^2-21.23X^3+29.66X^2Y+131.86XY^2+153.10Y^3+0.05X^4-0.05X^3Y-0.26 X^2Y^2-0.89Y^3-0.46Y^4$	67.31(3) 98.03(4)	0.205 4(3) 0.038 0(4)
L_s/W_s	$Z=5257.11-144.33X+21.71Y+1.25X^2+0.19XY-1.12Y^2-0.004X^3-0.0001X^2Y-0.004XY^2+0.019Y^3$	83.59	0.023 5
W_{ss}	$Z=-36347.40+998.93X-215.56Y-10.33X^2+14.12XY-22.28Y^2+0.04X^3-0.07X^2Y+0.04XY^2+0.21Y^3$	40.67	0.750 4

注：X、Y 及 Z 分别表示经度、纬度及各性状观测值。

Note: X, Y and Z show latitude, longitude and measured value of seed and fruit phenotypic traits respectively.

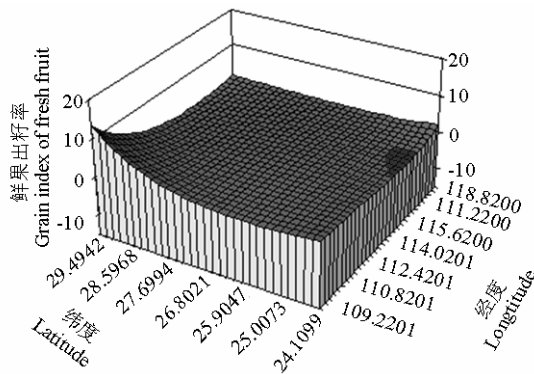


图 3 鲜果出籽率等值线趋势面图

Figure 3 Trend plot of isline in the grain index of fresh fruit

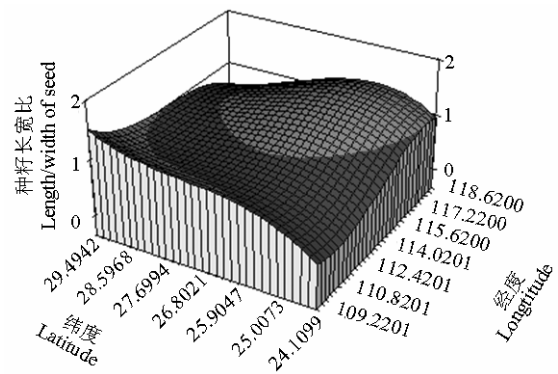


图 4 种籽长宽比等值线趋势面图

Figure 4 Trend plot of isline in length/width of seed

3 讨论

3.1 小果油茶种实表型性状变异特征

本研究研究显示小果油茶种实表型性状变异相当丰富，18 个群体 10 个种实表型性状的平均变异系数高达 24.7%，平均相对极差也达到 48.2%，种实表型性状在群体间及内都表现为极显著，且 10 个性状

的多重比较显示只有西南群体之间差异较小，显示较强的相似性，各个群体两两之间大多都有显著的差异。表明小果油茶种实表型性状变异相当丰富，这可能与小果油茶是异花授粉有关，因为有研究证明异花授粉植物的遗传多样性高于自花型植物^[20]，另还有可能与小果油茶所处生境及遗传机制的差异有关，因为物种变异是遗传、环境等多因素作用的结果^[21]。

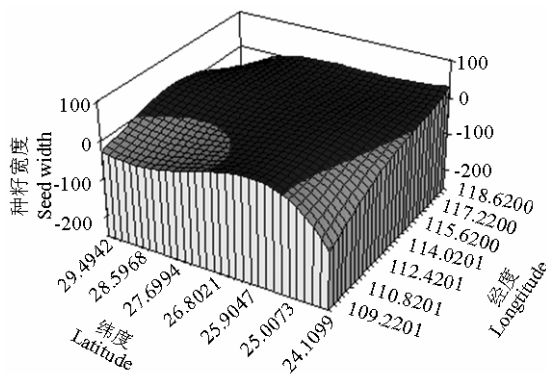


图 5 种籽宽度等值线趋势面图

Figure 5 Trend plot of isline in seed width

小果油茶不同群体表型性状分化结果表明小果油茶群体间多样性程度略大于群体内的多样性。这反映了群体基因与环境互作的复杂性及其适应环境选择压力的广泛程度,是不同环境选择的结果,是群体分化的源泉^[22]。

3.2 小果油茶种实表型性状间相关性及其生态地理梯度变异规律

小果油茶种实表型性状间相关关系显著性表明, L_f 、 W_f 、 W_{ss} 及 L_s 是影响小果油茶种实表型性状的主要因子。小果油茶种实表型性状变异主要以 E (经度)、 T_{au} (七月份均温) 及 H_y (全年日照时数) 为主, 而与生态因子相关主要表观性状为 L_f/W_f 、 R_s 、 W_s 、 L_s/W_s 、 N_s 及 L_s 。虽然从相关性分析得知小果油茶没有随经纬度变化而呈现出较明显的地带性演变规律, 但通过进一步的地理趋势面分析得知, R_s 、 L_s/W_s 及 W_s 与经纬度的拟合度及拟合效果均达到较好的水平, 呈现出较明显的地带性分布规律。对 18 个地理群体进行聚类分析结果表明, 在欧氏平均距离 4.22 的阈值处可以很明显将 18 个群体分成 3 大类群, 且呈现较明显的地理区域特征。

3.3 小果油茶遗传改良前景

小果油茶现有林都是异质杂合的自由授粉群体, 群内变异很大, 遗传基础十分广泛。这就为小果油茶良种选育提供了很好基础。小果油茶个体选择目标主要是果大、皮薄及出籽率高等指标, 根据这些性状指标, P_7 (福建闽清)、 P_{11} (福建清流) 及 P_{15} (福建仙游) 这 3 个地理群体应是小果油茶个体选育的重点, 它们平均果高大于 22 cm、果径大于 20 cm 及出籽率大于 60%, 性状批标远高于其它群体。小果油茶 53.56% 的变异来自于群体间, 46.44% 的变异来源于群体内, 群体内变异小于群体间, 这就说明小果油茶良种选育除了个体选育外,

还要进行群体选择, 利用其群体效应来获得高产, 从而改变目前大量低产林存在局面。

参考文献:

- [1] 姚小华. 油茶高效实用栽培技术[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [2] 刘宝. 表观遗传变异与作物遗传改良[J]. 吉林农业大学学报, 2008, 30(4): 386-393.
- [3] 李珊, 蔡宇良, 徐莉, 等. 云南金钱槭果实、种子形态分化研究[J]. 云南植物研究, 2003, 25(5): 589-595.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 郭平毅. 生物统计学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [7] 李斌, 顾万春, 卢宝明. 白皮松天然群体种实性状表型多样性研究[J]. 生物多样性研究, 2002, 10(2): 181-188.
- [8] 王式安等. 数理统计方法及应用模型[M]. 北京: 科学技术出版社, 1992.
- [9] Zhang J H. Variation and allometry of seed weight in *Aeschynomene Americana*. [J]. *Annals of Botany*, 1998, 82: 843-847.
- [10] 刘永红, 杨培华, 韩创举, 等. 油松不同种源种实性状的变异分析[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25(2): 163-168.
- [11] 孔繁玲. 植物数量遗传学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2005.
- [12] 刘子雷, 杨水平, 姚小华, 等. 浙江红花油茶果实形态变异研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(2): 263-266.
- [13] 兰彦平, 顾万春. 北方地区皂荚种子及荚果形态特征的地理变异[J]. 林业科学, 2006, 42(7): 47-51.
- [14] 顾万春. 统计遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [15] 王娅丽, 李毅. 祁连山青海云杉天然群体的种实性状表型多样性[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 355-362.
- [16] Josefa L, Juan A D, Ana O O, et al. Production and morphology of fruit and seeds in *Genistea* (Fabaceae) of south-west Spain [J]. *Bot J Linnean Soc*, 2000, 132(2): 97-120.
- [17] 蔡永立, 王希华, 宋永昌, 等. 中国东部亚热带青冈果实变异研究[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 581-586.
- [18] 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.
- [19] 陈存及, 梁一池, 丘尔发, 等. 毛竹种源新竹生长地理变异的趋势面分析[J]. 林业科学, 2001, 37(1): 11-17.
- [20] Daniel L H and Andrew G C, 1989. Principles of Population Genetics[J]. Sinauer Associates, Inc USA, 1-670.
- [21] Hamrick J L, Godt M J W. Allozyme diversity in plant species[M]// Brown A H D, Clegg M T, Kahler A L. Plant population genetics, breeding, and genetic resources. Sinauer Association Inc. Massachusetts, 1990: 43-63.
- [22] 李立, 李昆, 崔凯, 等. 云南铁杉地理种源表型变异研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(1): 31-36.