

秀丽四照花叶色参数和叶形性状的变异及相关性分析

徐肇友¹, 肖德卿^{2,3}, 沈斌¹, 肖纪军¹, 陈杏林¹, 周志春^{2,①}

(1. 浙江省龙泉市林业科学研究院, 浙江 龙泉 323700;

2. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所 浙江省林木育种技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311400;

3. 沈阳农业大学林学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要:以9个产地51个秀丽四照花[*Cornus hongkongensis* subsp. *elegans* (W. P. Fang et Y. T. Hsieh) Q. Y. Xiang]家系的3年生子代试验林为研究对象,对其叶色参数和叶形性状进行变异分析,并对叶色参数和叶形性状间及其与产地地理-气候因子的相关性进行分析。结果表明:叶色参数中, L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 和 h° 值的变幅分别为26.41~31.25、6.76~12.21、5.09~9.11、8.99~14.90和0.53~0.77,变异系数分别为5.52%、20.07%、19.26%、11.77%和7.94%;彩叶期变幅为121~146 d,变异系数为5.43%。叶长、叶宽、叶长宽比、叶周长和叶面积的变幅分别为6.57~10.19 cm、2.89~4.70 cm、1.64~2.53、16.94~26.32 cm和14.06~32.08 cm²,变异系数分别为13.74%、14.96%、13.43%、13.16%和24.79%。方差分析结果表明: C^* 值在产地间的差异以及 L^* 、 a^* 和 C^* 值在产地内的差异均显著($P<0.05$),彩叶期在产地间的差异以及叶长、叶宽、叶长宽比、叶周长和叶面积在产地间和产地内的差异均极显著($P<0.01$)。除彩叶期外,其余叶色参数和叶形性状在产地内的方差分量百分率大于产地间;供试叶色参数和叶形性状在产地内的方差分量百分率均值为20.09%,明显大于产地间(13.99%)。相关性分析结果表明: L^* 、 a^* 、 b^* 和 C^* 值间极显著正相关; h° 值与 a^* 值极显著负相关,与 b^* 值显著正相关。叶长与叶宽、叶周长和叶面积极显著正相关;叶宽与叶周长和叶面积极显著正相关,与叶长宽比极显著负相关;叶面积与叶长宽比显著负相关,与叶周长极显著正相关。多数叶色参数和叶形性状与海拔显著或极显著相关,部分叶色参数和叶形性状与纬度和年均温显著或极显著相关。综上所述,秀丽四照花叶色参数和叶形性状变异较大,且变异主要来自产地内的家系间,其叶色参数和叶形性状受产地地理-气候因子影响。

关键词: 秀丽四照花; 叶色参数; 叶形性状; 家系; 变异; 相关性

中图分类号: S602.4; S685.99 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2021)01-0061-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2021.01.08

Variation and correlation analyses on leaf color parameters and leaf shape traits of *Cornus hongkongensis* subsp. *elegans* XU Zhaoyou¹, XIAO Deqing^{2,3}, SHEN Bin¹, XIAO Jijun¹, CHEN Xinglin¹, ZHOU Zhichun^{2,①} (1. Forestry Academy in Longquan City of Zhejiang Province, Longquan 323700, China; 2. Key Laboratory of Tree Breeding of Zhejiang Province, Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China; 3. College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2021, 30(1): 61-68

Abstract: Taking 3-year-old progeny test forests of 51 families of *Cornus hongkongensis* subsp. *elegans* (W. P. Fang et Y. T. Hsieh) Q. Y. Xiang from 9 localities as research objects, the variation of their leaf color parameters and leaf shape traits was analyzed, and the correlations among leaf color parameters and leaf shape traits and correlations of them with geographical-climatic factors of locality were analyzed. The

收稿日期: 2020-10-20

基金项目: 浙江省林业发展与资源保护专项资金项目[浙林计(2018)81号]

作者简介: 徐肇友(1976—),男,浙江龙泉人,本科,高级工程师,主要从事林木良种和种苗繁育研究。

①通信作者 E-mail: zczhou_risf@163.com

引用格式: 徐肇友, 肖德卿, 沈斌, 等. 秀丽四照花叶色参数和叶形性状的变异及相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(1): 61-68.

results show that among leaf color parameters, the variation ranges of L^* , a^* , b^* , C^* and h° values are 26.41–31.25, 6.76–12.21, 5.09–9.11, 8.99–14.90 and 0.53–0.77, respectively, and their variation coefficients are 5.52%, 20.07%, 19.26%, 11.77% and 7.94%, respectively; the variation range of colored leaf stage is 121–146 d, and its variation coefficient is 5.43%. The variation ranges of leaf length, leaf width, ratio of leaf length to leaf width, leaf perimeter and leaf area are 6.57–10.19 cm, 2.89–4.70 cm, 1.64–2.53, 16.94–26.32 cm and 14.06–32.08 cm², respectively, and their variation coefficients are 13.74%, 14.96%, 13.43%, 13.16% and 24.79%, respectively. The result of analysis of variance shows that the difference in C^* value among localities and differences in L^* , a^* and C^* values within locality are significant ($P < 0.05$), and the difference in colored leaf stage among localities and differences in leaf length, leaf width, ratio of leaf length to leaf width, leaf perimeter and leaf area among localities and within locality are extremely significant ($P < 0.01$). Except for colored leaf stage, the percentage of variance component of other leaf color parameters and leaf shape traits within locality is higher than that among localities; the mean percentage of variance component of test leaf color parameters and leaf shape traits within locality is 20.09%, which is obviously higher than that among localities (13.99%). The correlation analysis result shows that there are extremely significantly positive correlations among L^* , a^* , b^* and C^* values; there is an extremely significantly negative correlation of h° value with a^* value, and a significantly positive correlation with b^* value. There are extremely significantly positive correlations of leaf length with leaf width, leaf perimeter and leaf area; there are extremely significantly positive correlations of leaf width with leaf perimeter and leaf area, and an extremely significantly negative correlation with ratio of leaf length to leaf width; there is a significantly negative correlation of leaf area with ratio of leaf length to leaf width, and an extremely significantly positive correlation with leaf perimeter. There are significant or extremely significant correlations of most leaf color parameters and leaf shape traits with altitude, and there are significant or extremely significant correlations of some leaf color parameters and leaf shape traits with latitude and annual mean temperature. In conclusion, the variations of leaf color parameters and leaf shape traits of *C. hongkongensis* subsp. *elegans* are large, and the variations mainly come from the families within locality, its leaf color parameters and leaf shape traits are affected by geographical-climatic factors of locality.

Key words: *Cornus hongkongensis* subsp. *elegans* (W. P. Fang et Y. T. Hsieh) Q. Y. Xiang; leaf color parameter; leaf shape trait; family; variation; correlation

叶片是植物对环境变化反应最敏感的器官之一,能够在不同选择压力下形成适应性特征,因此,可通过叶片表型性状间接判断植物的遗传变异状况及其对环境变化的适应性,植物的叶片表型性状变异越大,表明植物体越能适应环境变化^[1-3]。开展植物叶片表型性状研究不但能揭示植物的遗传变异规律,还对其良种选育具有重要意义^[4-6]。

秀丽四照花 [*Cornus hongkongensis* subsp. *elegans* (W. P. Fang et Y. T. Hsieh) Q. Y. Xiang] 为常绿小乔木或灌木,主要分布在浙江、江西和福建等省,具有一定的耐盐性^[7],且树形美观、叶色艳丽^[8-9],极具开发利用前景。作者观察发现,秀丽四照花的叶片在入秋后随温度降低逐渐转红,并且,全株叶片在冬季及早春时完全变红,但在春季气温升高时又逐渐复绿。秀丽四照花喜温暖、阴湿的环境,常生长于山林内及阴湿溪边,在阳光直射条件下叶片下垂、生长矮小,且叶尖在夏季易出现枯焦现象^[10]。作者在野外调查时发

现,部分秀丽四照花植株瘦弱,叶片发黄、卷曲,甚至整株干枯死亡,因此,亟需加强对秀丽四照花优良种质资源的收集和保护,并在此基础上进行良种选育,为该种的开发应用奠定基础。

鉴于此,作者以浙江、江西、福建和湖南4个省份9个产地51个秀丽四照花家系的3年生子代试验林为研究对象,对其叶色参数和叶形性状在产地间和产地内的变异规律进行了分析,并对其叶色参数和叶形性状间的相关性以及叶色参数和叶形性状与产地地理-气候因子的相关性进行了分析,以期对秀丽四照花的遗传改良和推广提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料来源

于2015年11月,在浙江、江西、福建和湖南4个省份内,选择秀丽四照花分布较为集中的9个产地,

在每个自然居群中至少选择 3 株优树(即居群内生长量大、叶多、秋季叶片深红、无明显病虫害且正常结实的植株),收集优树种子,共选取 51 株优树。居群内优树间距离不小于 50 m,每株优树采集种子 1.0 kg

以上。各产地的地理-气候信息及优树数量见表 1。根据相关文献^[11-12]确定地理-气候因子,通过国家气象局气象信息中心(<http://data.cma.cn/>)获取各地地理-气候因子数据。

表 1 秀丽四照花各产地的地理-气候信息及优树数量

Table 1 Geographical-climatic information and superior tree number in each locality of *Cornus hongkongensis* subsp. *elegans* (W. P. Fang et Y. T. Hsieh) Q. Y. Xiang

产地 Locality	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	年均温/℃ Annual mean temperature	年降水量/mm Annual precipitation	1月均温/℃ Mean temperature of January	7月均温/℃ Mean temperature of July	无霜期/d Frostless period	优树数量 Superior tree number
浙江龙泉 Longquan of Zhejiang	E119°08'29.68"	N28°04'30.64"	194	17.6	1 699	6.5	27.9	263	3
江西广丰 Guangfeng of Jiangxi	E118°11'24.36"	N28°27'51.76"	115	17.9	1 662	8.0	31.0	266	11
江西袁州 Yuanzhou of Jiangxi	E114°25'40.08"	N27°47'49.56"	85	17.0	1 625	5.0	28.5	269	3
江西分宜 Fenyi of Jiangxi	E114°41'34.08"	N27°48'53.28"	84	18.5	1 644	7.5	31.0	310	7
江西上犹 Shangyou of Jiangxi	E114°33'04.68"	N25°47'06.36"	157	18.8	1 497	10.0	31.0	289	8
江西龙南 Longnan of Jiangxi	E114°47'24.36"	N24°54'39.60"	204	19.2	1 526	8.3	27.7	286	4
福建大田 Datian of Fujian	E117°50'48.48"	N25°41'35.88"	354	18.5	1 558	12.0	29.5	297	6
福建武平 Wuping of Fujian	E116°06'00.72"	N25°05'44.88"	289	20.4	1 710	12.0	27.1	275	3
湖南南岳 Nanyue of Hunan	E112°44'16.08"	N27°13'54.48"	95	17.5	1 440	1.5	23.5	283	6

1.2 试验地概况

在浙江省龙泉市林业科学研究院林木良种基地进行秀丽四照花优树家系遗传测定林造林。该基地的具体地理坐标为东经 119°04'、北纬 27°59',海拔 300 m。该区域的气候类型属于亚热带季风气候,年平均气温 17.6 ℃,年降水量 1 699 mm,无霜期 263 d。基地内的地带性植被为中亚热带常绿阔叶林;土壤为酸性红壤。

1.3 方法

1.3.1 育苗方法 于 2016 年 3 月培育秀丽四照花各优树的轻基质容器苗,获得 51 个优树家系的苗木,各家系苗木数量均在 100 株以上。

于 2017 年 3 月,在每个家系中选择 15 株株高约 44.00 cm、地径约 0.44 cm 的 1 年生轻基质容器苗,营建秀丽四照花优树家系遗传测定林。因立地条件基本一致,造林采取随机完全区组(RCB)设计,株距和行距均为 2 m。

1.3.2 叶色参数和叶形性状测定 于 2019 年 12 月中旬在秀丽四照花全株叶片变红时,对秀丽四照花植株叶片的叶色参数和叶形性状进行观测。其中,叶色参数包括明度(L^*)、色相(a^* 和 b^*)、饱和度(C^*)、色相角(h°)和彩叶期 6 个指标,叶形性状包括叶长(叶基部至叶尖的长度)、叶宽(叶片最宽处的长度)、叶长宽比(叶长与叶宽的比值)、叶周长和叶面积 5 个指标。

采用 CM-700D 分光测色计(日本 Konica Minolta 公司)在秀丽四照花植株叶片进入全红期(红色叶片占全株叶片的 95%)后测定叶片正面的色彩。在每个家系的同一区域内选择 3 株生长健壮的植株,采集植株东、西、南和北 4 个方向冠层中部的健康叶片,每株采集 40 枚叶片,混合均匀后,随机选取 15 枚叶片测定 L^* 、 a^* 和 b^* 值。 L^* 值越大表示叶片色彩越明亮; a^* 值越大表示叶片色彩越偏红, a^* 值越小表示叶片色彩越偏绿; b^* 值越大表示叶片色彩越偏黄, b^* 值越小表示叶片色彩越偏蓝^[13]。根据 L^* 、 a^* 和 b^* 值计算 C^* 和 h° 值^[14-15]。

彩叶期指红色叶片占全株叶片 50% 及以上的天数。植株进入彩叶期后(11 月初),在每个家系的同一区域内选择 3 株生长健壮的植株进行定期观测,一般情况下 5~7 d 观测 1 次,在物候转折期 2~3 d 观测 1 次。

使用 LA2400 扫描仪(日本 Epson 公司)扫描叶片,通过 WinRHIZO 软件测定叶长、叶宽、叶面积和叶周长,并计算叶长宽比。在每个家系的同一区域内选择 8 株生长健壮的植株,采集植株阳面冠层中部的健康叶片,每株 30 枚。

1.4 数据处理

采用 EXCEL 2010 软件整理数据,依照拉依达准则^[16]去除异常数据。采用 SPSS 19.0 软件计算叶色参数和叶形性状的均值及变异系数,分析各叶色参数

和叶形性状间及其与产地地理-气候因子的相关性。采用 SAS 9.0 软件中的 GLM 和 PROC VARCOMP 对各性状进行方差分析,并估算方差分量^[17]。方差分析线性模型为 $Y_{ijk} = \mu + S_i + T_{ij} + E_{ijk}$, 式中, Y_{ijk} 为第 i 个种源第 j 个单株的第 k 个观测值, μ 为总体平均值, S_i 为第 i 个种源的效应值, T_{ij} 为第 i 个种源第 j 个单株的效应值, E_{ijk} 为机误。

2 结果和分析

2.1 秀丽四照花叶色参数和叶形性状的变异分析

供试秀丽四照花家系叶色参数和叶形性状的统计、变异系数及方差分析结果见表 2。由表 2 可见:秀丽四照花叶色参数 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 和 h° 值的变幅分别为 26.41~31.25、6.76~12.21、5.09~9.11、8.99~

14.90 和 0.53~0.77, 均值分别为 29.23、9.52、6.96、11.81 和 0.63, 其中, a^* 、 b^* 和 C^* 值的变异系数较高(分别为 20.07%、19.26% 和 11.77%), 而 L^* 和 h° 值的变异系数却较低(分别为 5.52% 和 7.94%); 彩叶期变幅为 121~146 d, 均值为 138 d, 变异系数为 5.43%。叶片 C^* 值在产地间的差异以及 L^* 、 a^* 和 C^* 值在产地内的差异均显著 ($P < 0.05$), 彩叶期在产地间的差异极显著 ($P < 0.01$)。

由表 2 还可见:秀丽四照花的叶长、叶宽、叶长宽比、叶周长和叶面积的变幅分别为 6.57~10.19 cm、2.89~4.70 cm、1.64~2.53、16.94~26.32 cm 和 14.06~32.08 cm², 均值分别为 8.31 cm、4.00 cm、2.12、21.88 cm 和 23.18 cm², 变异系数分别为 13.74%、14.96%、13.43%、13.16% 和 24.79%。叶长、叶宽、叶长宽比、叶周长和叶面积在产地间和产地内的差异均极显著。

表 2 供试秀丽四照花家系叶色参数和叶形性状的统计、变异系数和方差分析¹⁾

Table 2 Statistics, variation coefficient and variance analysis on leaf color parameters and leaf shape traits of test families of *Cornus hongkongensis* subsp. *elegans* (W. P. Fang et Y. T. Hsieh) Q. Y. Xiang¹⁾

性状 Trait	最小值 Minimum	最大值 Maximum	均值 Mean	变异系数/% Variation coefficient	产地间 Among localities		产地内 Within locality		机误 Error	
					均方 Mean square	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	自由度 Degree of freedom
L^*	26.41	31.25	29.23	5.52	3.698	8	3.578*	50	2.123	102
a^*	6.76	12.21	9.52	20.07	5.119	8	4.333*	50	3.255	102
b^*	5.09	9.11	6.96	19.26	3.026	8	2.083	50	1.582	102
C^*	8.99	14.90	11.81	11.77	7.201*	8	5.650*	50	3.449	102
h°	0.53	0.77	0.63	7.94	0.008	8	0.006	50	0.010	102
CS/d	121	146	138	5.43	265.871**	8	58.072	50	39.137	102
LL/cm	6.57	10.19	8.31	13.74	17.658**	8	3.443**	50	0.764	357
LW/cm	2.89	4.70	4.00	14.96	5.237**	8	1.209**	50	0.175	357
LL/LW	1.64	2.53	2.12	13.43	0.576**	8	0.210**	50	0.058	357
LP/cm	16.94	26.32	21.88	13.16	124.653**	8	27.375**	50	4.061	357
LA/cm ²	14.06	32.08	23.18	24.79	518.752**	8	107.855**	50	15.873	357

¹⁾ L^* : 明度 Luminance; a^* 、 b^* : 色相 Hue; C^* : 饱和度 Saturation; h° : 色相角 Hue angle; CS: 彩叶期 Colored leaf stage; LL: 叶长 Leaf length; LW: 叶宽 Leaf width; LL/LW: 叶长宽比 Ratio of leaf length to leaf width; LP: 叶周长 Leaf perimeter; LA: 叶面积 Leaf area. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

供试秀丽四照花家系叶色参数和叶形性状的方差分量分析结果见表 3。由表 3 可见:秀丽四照花叶色参数中, L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 和 h° 值在产地内的方差分量百分率大于产地间, 而彩叶期在产地内的方差分量百分率却小于产地间; 叶长、叶宽、叶长宽比、叶周长和叶面积在产地内的方差分量百分率均大于产地间。秀丽四照花叶色参数和叶形性状在产地内的方差分量百分率均值为 20.09%, 明显大于产地间 (13.99%), 说明秀丽四照花叶色参数和叶形性状变异主要来自产地内的家系间。

2.2 秀丽四照花叶色参数和叶形性状间及其与产地地理-气候因子的相关性分析

2.2.1 叶色参数和叶形性状间的相关性分析 对秀丽四照花叶色参数和叶形性状间的相关系数进行分析, 结果见表 4。由表 4 可见: L^* 、 a^* 、 b^* 和 C^* 值间极显著 ($P < 0.01$) 正相关; h° 值与 a^* 值极显著负相关, 与 b^* 值显著 ($P < 0.05$) 正相关, 但与 L^* 和 C^* 值的相关性不显著; 彩叶期与 L^* 、 a^* 、 b^* 和 C^* 值的相关性均不显著。叶长与叶宽、叶周长和叶面积极显著正相关; 叶宽与叶长宽比极显著负相关, 与叶周长和叶

表 3 供试秀丽四照花家系叶色参数和叶形性状的方差分量分析

Table 3 Analysis on variance components of leaf color parameters and leaf shape traits of test families of *Cornus hongkongensis* subsp. *elegans* (W. P. Fang et Y. T. Hsieh) Q. Y. Xiang

性状 ¹⁾ Trait ¹⁾	方差分量 Variance component			方差分量百分率/% Percentage of variance component		
	产地间 Among localities	产地内 Within locality	机误 Error	产地间 Among localities	产地内 Within locality	机误 Error
<i>L</i> *	0.007	0.485	2.123	0.28	18.55	81.17
<i>a</i> *	0.048	0.359	3.255	1.30	9.81	88.89
<i>b</i> *	0.057	0.167	1.582	3.15	9.24	87.61
<i>C</i> *	0.094	0.734	3.449	2.19	17.16	80.65
<i>h</i> °	0.000	0.000	0.008	2.70	3.01	94.29
CS	12.549	6.312	39.137	21.64	10.88	67.48
LL	0.288	0.296	0.764	21.36	21.93	56.70
LW	0.082	0.114	0.175	22.03	30.77	47.20
LL/LW	0.007	0.018	0.058	9.02	20.23	70.75
LP	1.972	2.572	4.061	22.91	29.89	47.20
LA	8.325	10.146	15.873	24.24	29.54	46.22
均值 Mean				13.99	20.09	65.91

¹⁾ *L**: 明度 Luminance; *a**, *b**: 色相 Hue; *C**: 饱和度 Saturation; *h*°: 色相角 Hue angle; CS: 彩叶期 Colored leaf stage; LL: 叶长 Leaf length; LW: 叶宽 Leaf width; LL/LW: 叶长宽比 Ratio of leaf length to leaf width; LP: 叶周长 Leaf perimeter; LA: 叶面积 Leaf area.

表 4 秀丽四照花叶色参数和叶形性状间的相关系数¹⁾

Table 4 Correlation coefficients among leaf color parameters and leaf shape traits of *Cornus hongkongensis* subsp. *elegans* (W. P. Fang et Y. T. Hsieh) Q. Y. Xiang¹⁾

性状 Trait	叶色参数和叶形性状间的相关系数 Correlation coefficient among leaf color parameters and leaf shape traits										
	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>C</i> *	<i>h</i> °	CS	LL	LW	LL/LW	LP	LA
<i>L</i> *	1.000										
<i>a</i> *	0.441**	1.000									
<i>b</i> *	0.579**	0.713**	1.000								
<i>C</i> *	0.521**	0.966**	0.869**	1.000							
<i>h</i> °	0.115	-0.434**	0.314*	-0.190	1.000						
CS	0.070	-0.088	0.090	-0.030	0.237	1.000					
LL	0.131	0.005	0.078	0.028	0.044	0.106	1.000				
LW	0.193	0.086	0.214	0.135	0.111	0.220	0.720**	1.000			
LL/LW	-0.085	-0.098	-0.185	-0.137	-0.094	-0.239	0.161	-0.560**	1.000		
LP	0.220	0.113	0.215	0.154	0.073	0.159	0.927**	0.875**	-0.122	1.000	
LA	0.173	0.060	0.182	0.105	0.101	0.184	0.882**	0.958**	-0.308*	0.960**	1.000

¹⁾ *L**: 明度 Luminance; *a**, *b**: 色相 Hue; *C**: 饱和度 Saturation; *h*°: 色相角 Hue angle; CS: 彩叶期 Colored leaf stage; LL: 叶长 Leaf length; LW: 叶宽 Leaf width; LL/LW: 叶长宽比 Ratio of leaf length to leaf width; LP: 叶周长 Leaf perimeter; LA: 叶面积 Leaf area. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

面积极显著正相关;叶长宽比与叶面积显著负相关;叶周长与叶面积极显著正相关。值得注意的是,叶色参数与叶形性状间的相关性均不显著。

2.2.2 叶色参数和叶形性状与产地地理-气候因子的相关性分析 对秀丽四照花叶色参数和叶形性状与产地地理-气候因子的相关系数进行分析,结果见表 5。由表 5 可见:叶色参数和叶形性状与经度均无显著相关性。*L** 值与海拔显著负相关;*a** 值与年均温显著负相关;*b** 值与纬度显著正相关,与海拔极显

著负相关,与年均温和 1 月均温显著负相关;*C** 值与年均温显著负相关;*h*° 值与海拔显著负相关;彩叶期与纬度极显著正相关,与海拔和年均温极显著负相关,与 1 月均温和无霜期显著负相关。叶长与年均温显著正相关;叶宽与海拔极显著负相关,与 7 月均温显著正相关;叶长宽比与纬度极显著负相关,与海拔显著正相关,与年降水量显著负相关;叶周长与海拔显著负相关;叶面积与海拔显著负相关,与 7 月均温显著正相关。

表5 秀丽四照花叶色参数和叶形性状与产地地理-气候因子的相关系数¹⁾Table 5 Correlation coefficients of leaf color parameters and leaf shape traits of *Cornus hongkongensis* subsp. *elegans* (W. P. Fang et Y. T. Hsieh) Q. Y. Xiang with geographical-climatic factors of locality¹⁾

性状 Trait	与产地地理-气候因子的相关系数 Correlation coefficient with geographical-climatic factors of locality							
	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude	年均温 Annual mean temperature	年降水量 Annual precipitation	1月均温 Mean temperature of January	7月均温 Mean temperature of July	无霜期 Frostless period
L^*	-0.030	0.222	-0.312*	-0.147	0.120	-0.141	0.140	-0.096
a^*	-0.067	0.167	-0.128	-0.341*	-0.044	-0.215	-0.083	-0.083
b^*	-0.118	0.340*	-0.361**	-0.312*	0.095	-0.283*	0.035	0.014
C^*	-0.087	0.244	-0.221	-0.356*	0.006	-0.253	-0.043	-0.053
h°	-0.026	0.237	-0.279*	0.033	0.212	-0.070	0.163	0.114
CS	-0.005	0.508**	-0.582**	-0.375**	0.204	-0.348*	0.145	-0.315*
LL	-0.190	-0.149	-0.198	0.356*	-0.066	0.121	0.172	-0.033
LW	-0.132	0.141	-0.376**	0.160	0.149	0.058	0.322*	-0.035
LL/LW	-0.060	-0.392**	0.309*	0.202	-0.315*	0.064	-0.258	0.058
LP	-0.266	-0.040	-0.327*	0.261	-0.050	0.023	0.179	0.017
LA	-0.156	0.022	-0.311*	0.269	0.079	0.113	0.302*	-0.013

¹⁾ L^* : 明度 Luminance; a^* , b^* : 色相 Hue; C^* : 饱和度 Saturation; h° : 色相角 Hue angle; CS: 彩叶期 Colored leaf stage; LL: 叶长 Leaf length; LW: 叶宽 Leaf width; LL/LW: 叶长宽比 Ratio of leaf length to leaf width; LP: 叶周长 Leaf perimeter; LA: 叶面积 Leaf area. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

3 讨论和结论

研究发现,不同种类植物的叶色和叶形存在明显差异^[18],同种植物不同种质资源的叶色和叶形也存在较大差异^[19]。性状变异丰富对于科学选配植物杂交亲本有重要意义^[20-21],有利于良种选育^[22-23]。本研究中,秀丽四照花部分叶色参数和供试5个叶形性状的变异系数较高,在产地间和产地内的差异显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$),说明秀丽四照花叶色和叶形性状在产地间和家系间变异丰富,具有较大的遗传改良潜力。然而,各叶色参数和叶形性状的变异程度明显不同,例如, a^* 、 b^* 和 C^* 值的变异系数明显高于 L^* 和 h° 值以及彩叶期,且前3个叶色参数的变幅较大,其最大值分别是最小值的1.81、1.79和1.66倍,有利于选育叶色丰富、鲜艳的秀丽四照花品种。

方差分量分析结果表明,除彩叶期外,秀丽四照花其余叶色参数和叶形性状在产地内的方差分量百分率均大于产地间,并且,所有叶色参数和叶形性状在产地内的方差分量百分率均值大于产地间,可见,秀丽四照花的叶色参数和叶形性状变异主要来自产地内的家系间,因此,应加强秀丽四照花产地内优质家系的筛选。其原因可能是秀丽四照花以种子繁殖为主,香甜的果实对鸟类和啮齿动物有一定的吸引作用,动物传播促进了种群间的基因流动,致使产地间

的变异较小。此外,秀丽四照花叶色参数和叶形性状在产地间变异较小还可能与气候等环境因子有关^[24],具体原因尚待进一步研究。

植物各性状间通常存在不同程度的相关性,人们可根据性状间的显著或极显著相关关系通过一个性状预测另一个性状的状况^[25]。本研究中,秀丽四照花的叶色参数与叶形性状间无显著相关性,彩叶期与其余叶色参数间也无显著相关性,说明秀丽四照花的叶色参数与叶形性状间以及彩叶期与其余叶色参数间的关系均不紧密。 L^* 值与 a^* 和 C^* 值极显著正相关, h° 值与 a^* 值极显著负相关,但与 b^* 值显著正相关,说明秀丽四照花叶片的明度越高,叶片越红、色彩饱和度越高;叶片的色调角较大,叶片的黄色越明显,红色越淡。叶长与叶宽、叶周长和叶面积极显著正相关,说明秀丽四照花的叶片越长,其叶片越宽,叶周长和叶面积也越大。叶宽与叶长宽比极显著负相关,与叶周长和叶面积极显著正相关,说明秀丽四照花的叶片越宽,其叶片越接近圆形,叶周长和叶面积也越大。叶长宽比与叶面积显著负相关,说明秀丽四照花的叶片越狭长,其叶面积越小。在实际生产中,可通过叶色参数和叶形性状间的上述相关关系间接筛选出具有不同特点(如叶色鲜艳、叶面积较大和叶片狭长等)的秀丽四照花优良植株。

一般来说,经纬度和海拔能够综合反映气温、降水、土壤和植被等环境因子对植物生长的影响^[25]。

本研究中,秀丽四照花叶色参数和叶形性状与经度均无显著相关性,多数叶色参数和叶形性状与纬度也无显著相关性,但多数叶色参数和叶形性状与海拔存在显著或极显著相关性。其中,叶宽与海拔极显著负相关,叶周长和叶面积与海拔显著负相关,但叶长宽比与海拔显著正相关,说明海拔较高产地的秀丽四照花的叶较小,且叶片呈狭长形越明显。究其原因,可能是海拔较高地区的生境条件相对恶劣,气温较低,植物生长缓慢,面积较小且狭长形的叶片在低温条件下可增加叶片边界层阻力,能够减少热量散失,降低蒸腾作用强度,从而减少叶片的水分蒸发^[26]。秀丽四照花的 a^* 、 b^* 和 C^* 值与年均温显著负相关,彩叶期与年均温极显著负相关,而叶长与年均温显著正相关,说明年均温较低产地的秀丽四照花的叶色较鲜艳、叶片较短、彩叶期长,据此推测秀丽四照花在低温条件下叶片观赏性更强。秀丽四照花的彩叶期与纬度极显著正相关,与海拔和年均温极显著负相关,并与1月均温和无霜期显著负相关,说明秀丽四照花的彩叶期随产地纬度升高而延长,并随产地海拔、年均温、1月均温和无霜期的降低或减小而延长,据此认为,产地的纬度、温度和无霜期对秀丽四照花彩叶期有较大影响。此外,秀丽四照花叶长宽比与产地纬度极显著负相关,与年降水量显著负相关,说明纬度较高(即偏北)产地的秀丽四照花的叶形偏圆,年降水量较少产地的秀丽四照花叶形狭长;秀丽四照花叶片的 b^* 值与1月均温显著负相关,叶宽和叶面积与7月均温显著正相关,说明1月均温较低产地的秀丽四照花叶色偏黄,7月均温较高产地的秀丽四照花叶片较宽、叶面积较大。总体来看,秀丽四照花多数叶色参数和叶形性状与产地纬度的相关性较大,这很可能是因为纬度变化导致温度和降水量明显改变,而温度和水分往往限制植物的生产力和分布^[27],低温和降水量减少可抑制植物光合作用、生长速率和体内的酶活性,从而导致植物形态发生改变^[28-29]。同时,本研究结果还表明秀丽四照花的叶色参数和叶形性状受环境影响明显,为了能够更好地开发、改良和利用秀丽四照花种质资源,应通过多区域测定来验证秀丽四照花的适应性和稳定性。

秀丽四照花多数叶色参数和叶形性状的变异较大,且供试5个叶形性状在产地间和产地内的差异极显著;除彩叶期外,其余叶色参数和叶形性状变异均来自产地内的家系间。总体来看,秀丽四照花叶色参

数和叶形性状受产地地理-气候因子影响,多数叶色参数和叶形性状与产地海拔关系紧密,且部分叶色参数和叶形性状与产地的纬度和年均温关系紧密。

参考文献:

- [1] 崔新爽,李晓雪,王菲,等.不同种源紫苏叶片性状的差异[J].东北林业大学学报,2020,48(6):47-50.
- [2] VERBEECK H, BETEHNDOH E, MAES W H, et al. Functional leaf trait diversity of 10 tree species in Congolese secondary tropical forest[J]. Journal of Tropical Forest Science, 2014, 26(3): 409-419.
- [3] SAENGER P, WEST P W. Phenotypic variation of the mangrove species *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. from seven provenances around Australia[J]. Aquatic Botany, 2018, 149: 28-32.
- [4] 张元燕,虞木奎,方炎明.麻栎不同种源的表型性状变异分析[J].植物资源与环境学报,2014,23(3):36-44.
- [5] 何庆海,方茹,李文鑫,等.不同种源枫香树幼苗生长性状的地理变异[J].植物资源与环境学报,2019,28(2):88-95.
- [6] 吕运舟,董筱昀,杨小鑫,等.黄山栎树新品种‘金焰彩栎’叶片呈色的生理特性及影响因子分析[J].植物资源与环境学报,2020,29(6):51-56.
- [7] 鲁强,杨玲,王昊伟,等.秀丽四照花光合特性和叶绿体超微结构的盐胁迫响应[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(4):29-36.
- [8] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志:第五十六卷[M].北京:科学出版社,1990:88-90.
- [9] 洪香香,徐杰,刘国华.观赏型四照花种质资源及其开发利用[J].林业科技开发,2015,29(3):1-6.
- [10] 郭振.武夷四照花光合生理特性的研究[D].合肥:安徽农林大学林学与园林学院,2013:8.
- [11] 汪洋,陈文学,明安觉,等.湖北红椿天然种群小叶表型性状变异研究[J].植物资源与环境学报,2019,28(2):96-105.
- [12] 罗建勋,顾万春.云杉天然群体表型多样性研究[J].林业科学,2005,41(2):66-73.
- [13] 吕运舟,施士争,吴静.不同间种模式对白茶春梢叶色参数与色素含量的影响[J].江苏林业科技,2020,47(4):13-16.
- [14] 王改萍,张磊,姚雪冰,等.金叶银杏叶色变化特性分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(5):41-48.
- [15] 胡晓立,杨建民,陈东亮,等. NaCl 胁迫对紫叶李叶片色泽的影响[J].林业科学,2010,46(12):64-69.
- [16] 张敏,袁辉.拉依达(PauTa)准则与异常值剔除[J].郑州工业大学学报,1997,18(1):84-88.
- [17] ISIK F, GOLDFARB B, LEBUDE A, et al. Predicted genetic gains and testing efficiency from two loblolly pine clonal trials[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35(7): 1754-1766.
- [18] 姚淑均,张守攻,王军辉,等.滇楸花部性状的表型多样性研究[J].中南林业科技大学学报,2013,33(10):19-24.
- [19] 黄国伟,陈慧玲,包一鸣,等.滇楸幼苗无性系光合特性的比较[J].东北林业大学学报,2015,43(1):20-23,66.

- [20] 辛娜娜, 张蕊, 徐肇友, 等. 木荷1代育种群体遗传多样性分析[J]. 林业科学研究, 2015, 28(3): 332-338.
- [21] 齐明, 何贵平, 李恭学, 等. 杉木不同水平试验林的遗传参数估算和高世代育种的亲本评选[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(5): 4-8.
- [22] HODGE G R, DVORAK W S. The CAMCORE international provenance/progeny trials of *Gmelina arborea*: genetic parameters and potential gain[J]. *New Forests*, 2004, 28: 147-166.
- [23] GOH D K S, JAPARUDIN Y, ALWI A, et al. Growth differences and genetic parameter estimates of 15 teak (*Tectona grandis* L. f.) genotypes of various ages clonally propagated by microcuttings and planted under humid tropical conditions [J]. *Silvae Genetica*, 2013, 62(4/5): 196-206.
- [24] 王旭军, 程勇, 吴际友, 等. 红榉不同种源叶片形态性状变异[J]. 福建林学院学报, 2013, 33(3): 284-288.
- [25] 罗芊芊, 楚秀丽, 李峰卿, 等. 5年生南方红豆杉生长和分枝性状家系变异与选择[J]. 林业科学研究, 2020, 33(1): 136-143.
- [26] 韩威, 刘超, 樊艳文, 等. 长白山阔叶木本植物叶片形态性状沿海拔梯度的响应特征[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(4): 47-53.
- [27] 潘红丽, 李迈和, 蔡小虎, 等. 海拔梯度上的植物生长与生理生态特性[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 722-730.
- [28] SLOT M, WIRTH C, SCHUMACHER J, et al. Regeneration patterns in boreal Scots pine glades linked to cold-induced photoinhibition[J]. *Tree Physiol*, 2005, 25(9): 1139-1150.
- [29] 陶宏征, 赵昶灵, 李唯奇, 等. 植物对低温的光合响应[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2012, 28(6): 501-508.

(责任编辑: 佟金凤)

(上接第51页 Continued from page 51)

- [23] 李辛雷, 孙振元, 李纪元, 等. 濒危植物杜鹃红山茶种群结构和动态变化[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(2): 17-23.
- [24] 游惠明, 何东进, 刘进山, 等. 倒木覆盖对天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林内土壤理化特性的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2013, 22(3): 18-24.
- [25] SKOGLUND J. Age structure of woody species populations in relation to seed rain, germination and establishment along the river Dalälven, Sweden[J]. *Vegetatio*, 1989, 82: 25-34.
- [26] 毕晓丽, 洪伟, 吴承祯, 等. 黄山松种群统计分析[J]. 林业科学, 2002, 38(1): 61-67.
- [27] GODRON M. Some aspects of heterogeneity in grasslands of Cantal [J]. *Statistical Ecology*, 1972, 3: 397-415.
- [28] 陆龙龙, 郭忠玲, 范春楠, 等. 吉林磨盘山次生落叶阔叶林群落特征和稳定性分析[J]. 应用生态学报, 2018, 29(7): 2079-2087.
- [29] 陈晓德. 植物种群与群落结构动态量化分析方法研究[J]. 生态学报, 1998, 18(2): 214-217.
- [30] DEEVEY E S, Jr. Life tables for natural populations of animals[J]. *The Quarterly Review of Biology*, 1947, 22(4): 283-314.
- [31] 金慧, 赵莹, 尹航, 等. 长白山濒危植物牛皮杜鹃 (*Rhododendron chrysanthum*) 种群数量特征与动态分析[J]. 生态学杂志, 2017, 36(11): 3123-3130.
- [32] 苏炳霖, 何东进, 洪伟, 等. 武夷山风景名胜天然林乔木层主要种群的种间联结性研究[J]. 植物资源与环境学报, 2007, 16(3): 40-45.
- [33] PALA N A, NEGI A K, GOKHALE Y, et al. Diversity and regeneration status of Sarkot Van Panchyat in Garhwal Himalaya, India[J]. *Journal of Forestry Research*, 2012, 23(3): 399-404.
- [34] 林 旭. 福建天宝岩自然保护区植物资源的现状与保护对策[J]. 亚热带农业研究, 2007, 3(1): 77-80.

(责任编辑: 张明霞)