

## 胭脂花野生群体表型多样性研究

穆绘莉 游晓会 石超 马琳 姜岩 潘会堂 张启翔

(北京林业大学园林学院, 国家花卉工程技术研究中心)

摘要: 对胭脂花的5个野生群体17个表型性状进行测量和分析, 结果表明: 胭脂花野生群体间和群体内均存在显著差异, 表型分化系数( $V_{st}$ )为0.09~0.34, 群体内多样性大于群体间的多样性, 其变异来源主要存在于群体内; 表型性状的变异系数(CV)在13.71%~48.80%之间, 其中变异最大的性状是花眼颜色, 为48.80%, 花冠筒长度表现最为稳定, 变异系数为13.71%; 叶片数、叶长、叶宽、花萼直径、花序轮数、花量等性状之间呈显著正相关, 花柱长短与花冠筒长呈显著负相关。经度和纬度与大部分性状之间呈显著正相关; 海拔、年均降雨量与大部分性状之间呈显著负相关。对其野生群体进行UPGMA聚类表明, 5个群体聚为2大类, 并没有严格按照地理距离聚类。

关键词: 胭脂花; 野生群体; 表型多样性

中图分类号: S682.1<sup>+</sup>5 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2012)03-0097-06

MU Hui-li; YOU Xiao-hui; SHI Chao; MA Lin; JIANG Yan; PAN Hui-tang; ZHANG Qi-xiang.

**Phenotypic variation in natural populations of *Primula maximowiczii*.** *Journal of Beijing Forestry University* (2012) 34(3) 97-102 [Ch, 26 ref.] College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, National Engineering Research Center for Floriculture, 100083, P. R. China.

Investigation of seventeen phenotypic traits from five natural *Primula maximowiczii* populations showed significant differences among all the traits both within and between populations. The phenotypic differentiation coefficient ( $V_{st}$ ) ranged from 0.09 to 0.34. Phenotypic diversity within populations was higher than that among populations and the main source of variation was observed within populations. The variation coefficient (CV) of phenotypic traits ranged from 13.71% to 48.80%. The color of corolla eyes is the most unstable trait (CV = 48.80%), while the corolla tube length is the most stable trait (CV = 13.71%). Leaf number, leaf length, leaf width, scape diameter, inflorescence number and flower number were significantly positively correlated while stigma type was significantly negatively correlated with corolla tube length. Pin-type plants usually had shorter corolla tubes while thrum-type plants had longer corolla tubes. Most phenotypic traits showed a significantly positive correlation with longitude and latitude, but a significant negative correlation with altitude and annual rainfall. UPGMA cluster analysis classified the five *P. maximowiczii* populations into two groups without a clear geographic correlation.

**Key words** *Primula maximowiczii*; natural population; phenotypic diversity

胭脂花(*Primula maximowiczii*)为报春花科报春花属多年生草本植物,花柱二型,花多为红色,少见黄色,花期5—6月,主要分布在我国北京、河北、山西、宁夏、河南、内蒙古等地区<sup>[1]</sup>,多生于山地林下、林缘、亚高山草甸、溪畔等腐殖质较丰富的潮湿生境。胭脂花作为一种最近才被人们注意和重视的报春花属植物,相关研究工作主要涉及胭脂花的种子萌发<sup>[2-3]</sup>、生长环境及植物生长调节物质对胭脂

花生长发育影响<sup>[4-5]</sup>以及染色体核型观察<sup>[6]</sup>等方面。

报春花属植物种质资源多样性评价方面的研究主要集中于少数的几个种,人们对分布于日本的翠南报春(*P. sieboldii*)<sup>[7]</sup>、中国云南的滇北球花报春(*P. denticulata* ssp. *sinodenticulata*)<sup>[8]</sup>进行了表型多样性研究。近年来,研究人员利用分子标记技术对一些报春花属植物的遗传多样性进行了研究,

收稿日期: 2011-07-18

基金项目: 教育部新世纪优秀人才计划项目(NCET-10-0231)。

第一作者: 穆绘莉。主要研究方向: 观赏植物资源与育种。电话: 010-62348738 Email: muhui2008@163.com 地址: 100083北京市清华东路35号北京林业大学园林学院。

责任作者: 潘会堂, 副教授。主要研究方向: 园林植物与观赏园艺。电话: 010-62338005 Email: htpan2000@gmail.com 地址: 同上。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

包括利用 AFLP 技术研究 *P. elatior*<sup>[9]</sup>、鹅黄灯台报春 (*P. cockburniana*)<sup>[10]</sup>、滇北球花报春<sup>[11]</sup>, 利用 RAPD 标记研究安徽羽叶报春 (*P. merrilliana*)<sup>[12]</sup>、雅江报春 (*P. yargongensi*)<sup>[13]</sup>, 利用 ISSR 标记研究钟花报春 (*P. sikkimensis*)<sup>[14]</sup>、安徽羽叶报春<sup>[15]</sup>、*P. apennina*<sup>[16]</sup>, 利用 SSR 标记分析欧报春 (*P. vulgaris*)<sup>[17]</sup>、翠南报春<sup>[18-20]</sup> 的遗传多样性, 为确定上述报春花植物的遗传多样性水平, 制定野生报春花种质资源保护策略提供了依据。

通过前期的调查, 发现胭脂花野生群体中存在多样的花部形态和丰富的花色变异, 具有很好的观赏性, 是一种具有开发潜力的观赏植物材料。同时发现, 虽然胭脂花地理分布较广, 但分布不均匀, 有些地区仅有零星分布, 群体很小, 加之人为活动的影响, 一些野生群体已经受到威胁, 对其资源的保护刻不容缓。然而, 目前对该物种种质资源的调查研究还未见报道, 也未见对胭脂花野生群体表型变

异和遗传多样性方面的研究。在前期调查的基础上, 本研究对 5 个胭脂花野生群体的表型多样性进行了研究, 以揭示其多样性水平, 为以后胭脂花野生种质资源的保护, 以及引种、育种研究提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 取样方法

在 2008—2010 年连续 3 年对胭脂花野生群体进行野外调查的基础上, 于 2010 年 5—6 月对 5 个野生群体 (表 1) 进行表型多样性研究。胭脂花尽管在地理范围上分布广, 但是其群体仅分布在北方少数地区, 且群体面积较小, 有的群体仅有几十株个体。在群体内采取随机取样, 采样范围覆盖整个分布区, 并根据其异花授粉的生物学特性, 每个群体随机选取  $\geq 25$  个个体, 群体内个体数少于 25 的, 则全部取样, 取样个体间距离  $\geq 3 \text{ m}$ <sup>[21]</sup>。

表 1 胭脂花野生群体地理位置及生态因子

Tab. 1 Locations and ecological factors of the sampled populations of *P. maximowiczii*

群体编号	样本数	分布	生境	经度	纬度	海拔/m	年均气温/°C	年均降雨量/mm	无霜期/d
LS	28	北京东灵山	草甸	115°28'07"E	40°02'05"N	2 000 ~ 2 200	4.8	611.9	160
NMG	28	内蒙古赛罕乌拉自然保护区	草甸	118°45'07"E	44°11'20"N	1 937	2.0	400.0	100
PQG	24	山西庞泉沟自然保护区	水边林下	111°30'15"E	37°52'21"N	1 900 ~ 2 100	4.3	830.8	100
SHB	38	河北塞罕坝自然保护区	草甸	117°30'04"E	42°27'29"N	1 800	-1.4	454.2	59
WTS	26	山西五台山	草甸	113°39'40"E	39°03'31"N	2 500 ~ 2 700	-4.2	966.3	75

### 1.2 性状选取和测量

对胭脂花叶长 (由叶基至叶尖)、叶宽 (叶片最宽处)、花萼高度、花萼直径、花序轮数、花量 (花序上小花的数量)、冠幅 (单花)、花冠筒长、花冠裂片长、花冠裂片宽、花梗长、花眼直径、萼片长等 13 个性状进行测量和记录, 精度为 0.1 mm; 其中冠幅 (单花)、花冠筒长、花冠裂片长、花冠裂片宽、花梗长、花眼直径、萼片长等 7 个性状每株分别测量 3 朵小花。同时记录每个植株的叶片数、花柱类型 (短花柱类型赋值为 1, 长花柱类型赋值为 2), 用英国皇家园艺协会比色卡 (RHSCC) 测定花冠颜色和花眼颜色, 参考张海平等<sup>[22]</sup> 的方法对所测得的花冠颜色和花眼颜色进行赋值 (见表 2)。

表 2 花色性状赋值

Tab. 2 Quantified value of corolla color and corolla eye color

性状	赋值
花冠颜色、花眼颜色	Yellow, Green-Yellow = 1, Yellow-Orange = 2, Orange = 3, Orange-Red = 4, Red = 5

注: 表中英文为英国皇家园艺协会比色卡 (RHSCC) 颜色编码, 分别代表黄、黄绿、橙黄、橙色、橙红、红色。

### 1.3 数据分析

对所测量的各个群体的性状, 采用巢式方差分析方法进行方差分析, 比较群体间和群体内的差异。其线性模型为  $Y_{ijk} = \mu + S_i + T_{(i)j} + \varepsilon_{(ij)k}$ ,  $Y_{ijk}$  为第  $i$  个群体第  $j$  个单株第  $k$  个观测值,  $\mu$  为总体平均值,  $S_i$  为第  $i$  个小群体的效应 (固定),  $T_{(i)j}$  为第  $i$  个小群体第  $j$  个单株的效应 (随机),  $\varepsilon_{(ij)k}$  为实验误差。计算表型分化系数 ( $V_{st}$ ), 表示群体间的表型变异与总变异的百分比<sup>[23]</sup>; 用变异系数 (CV) 表示表型性状离散程度。

采用偏相关分析方法分析表型性状与生态因子间的相关关系<sup>[24]</sup>, 用 Pearson 积矩相关系数表示表型性状之间的相关关系。

利用 Excel 和 SPSS11.0 进行数据统计, 采用 SAS 9.0 进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 胭脂花群体间和群体内表型性状的方差分析

由表 3 所示, 除花序轮数在群体间无显著差异外, 其他性状在群体间均有显著差异。在所研究的

胭脂花表型性状中,以 PQG 和 WTS 群体的叶片数、叶长、叶宽、花萼高度、花萼直径、花序轮数和花量为最小;而花部形态中,NMG 群体的花冠筒长、花冠裂片长、花冠裂片宽和萼片长为最短。

巢式设计方差分析结果(表 4)表明,花部形态性状群体间和群体内均具有显著差异,说明群体间和群体内表型性状都有较高的多样性。方差分量

分析结果(表 5)表明,胭脂花表型分化系数的变化范围为 0.09 ~ 0.34,其中分化系数最小的为冠幅 0.09,最大的为花冠筒长和花梗长,均为 0.34。平均分化系数为 0.22,占总变异的 1/5,说明群体间对表型的贡献小于群体内对表型分化的影响,胭脂花野生群体的表型多样性主要存在于群体内。

表 3 胭脂花 5 个野生群体表型性状的平均值及多重比较结果  
Tab.3 Multiple contrast of phenotypic traits among five populations of *P. maximowiczii*

群体	叶片数	叶长/cm	叶宽/cm	花萼高度/cm	花萼直径/cm	花序轮数	花量
LS	13.710 ± 3.101 <sup>c</sup>	11.889 ± 2.959 <sup>b</sup>	3.877 ± 1.097 <sup>b</sup>	27.629 ± 6.263 <sup>b</sup>	0.645 ± 0.539 <sup>b</sup>	1.820 ± 0.476 <sup>a</sup>	16.710 ± 6.959 <sup>ab</sup>
NMG	12.390 ± 3.258 <sup>bc</sup>	13.832 ± 3.842 <sup>c</sup>	4.714 ± 1.132 <sup>c</sup>	39.543 ± 8.620 <sup>d</sup>	0.668 ± 0.237 <sup>b</sup>	2.000 ± 0.471 <sup>a</sup>	21.140 ± 8.623 <sup>bc</sup>
PQG	9.920 ± 2.765 <sup>a</sup>	10.314 ± 3.954 <sup>ab</sup>	3.624 ± 1.031 <sup>ab</sup>	22.083 ± 10.146 <sup>a</sup>	0.444 ± 0.189 <sup>a</sup>	1.710 ± 0.624 <sup>a</sup>	12.000 ± 7.126 <sup>a</sup>
SHB	13.000 ± 4.133 <sup>bc</sup>	11.637 ± 2.663 <sup>b</sup>	3.968 ± 1.007 <sup>b</sup>	34.234 ± 7.422 <sup>c</sup>	0.684 ± 0.228 <sup>b</sup>	1.920 ± 0.673 <sup>a</sup>	25.680 ± 13.303 <sup>c</sup>
WTS	11.150 ± 4.529 <sup>ab</sup>	8.724 ± 2.223 <sup>a</sup>	3.241 ± 0.641 <sup>a</sup>	24.889 ± 5.120 <sup>ab</sup>	0.428 ± 0.127 <sup>a</sup>	1.670 ± 0.555 <sup>a</sup>	11.960 ± 5.148 <sup>a</sup>
平均	12.170 ± 3.848	11.348 ± 3.517	3.902 ± 1.093	30.232 ± 9.769	0.586 ± 0.316	1.803 ± 0.578	18.260 ± 10.582
群体	冠幅/cm	花冠筒长/cm	花冠裂片长/cm	花冠裂片宽/cm	花梗长/cm	花眼直径/cm	萼片长/cm
LS	1.806 ± 0.414 <sup>a</sup>	1.494 ± 0.189 <sup>ab</sup>	0.971 ± 0.150 <sup>b</sup>	0.419 ± 0.084 <sup>bc</sup>	1.265 ± 0.395 <sup>b</sup>	0.290 ± 0.080 <sup>a</sup>	1.050 ± 0.234 <sup>c</sup>
NMG	1.819 ± 0.295 <sup>a</sup>	1.452 ± 0.235 <sup>a</sup>	0.840 ± 0.140 <sup>a</sup>	0.383 ± 0.092 <sup>a</sup>	1.994 ± 0.702 <sup>d</sup>	0.365 ± 0.095 <sup>b</sup>	0.809 ± 0.135 <sup>a</sup>
PQG	2.063 ± 0.401 <sup>bc</sup>	1.850 ± 0.239 <sup>d</sup>	1.165 ± 0.310 <sup>c</sup>	0.400 ± 0.102 <sup>ab</sup>	1.643 ± 0.573 <sup>c</sup>	0.279 ± 0.108 <sup>a</sup>	0.923 ± 0.206 <sup>b</sup>
SHB	1.961 ± 0.499 <sup>b</sup>	1.528 ± 0.219 <sup>b</sup>	0.960 ± 0.165 <sup>b</sup>	0.436 ± 0.096 <sup>c</sup>	1.306 ± 0.409 <sup>b</sup>	0.305 ± 0.053 <sup>a</sup>	0.896 ± 0.205 <sup>b</sup>
WTS	2.140 ± 0.287 <sup>c</sup>	1.602 ± 0.201 <sup>c</sup>	0.966 ± 0.138 <sup>b</sup>	0.394 ± 0.089 <sup>ab</sup>	1.035 ± 0.333 <sup>a</sup>	0.424 ± 0.127 <sup>c</sup>	0.866 ± 0.127 <sup>b</sup>
平均	1.952 ± 0.415	1.574 ± 0.253	0.974 ± 0.210	0.409 ± 0.095	1.439 ± 0.591	0.331 ± 0.106	0.908 ± 0.203

注:表中数据为平均值 ± 标准差;a、b、c、d 为 Duncan grouping 表示值,字母相同的两者间无显著差异。

表 4 胭脂花野生群体间和群体内表型性状方差分析  
Tab.4 Variance analysis of phenotypic traits among and within populations of *P. maximowiczii*

性状	均方(自由度)			F	
	群体间	群体内	机误	群体间	群体内
冠幅	1.733 5 (4)	0.469 8 (139)	0.006 7	3.69**	69.69**
花冠筒长	1.896 3 (4)	0.131 1 (139)	0.006 5	14.47**	20.19**
花冠裂片长	1.041 7 (4)	0.098 8 (139)	0.004 0	10.54**	24.51**
花冠裂片宽	0.042 6 (4)	0.023 1 (139)	0.001 7	1.84**	14.01**
花梗长	11.534 9 (4)	0.736 7 (139)	0.007 7	15.66**	95.41**
花眼直径	0.296 2 (4)	0.022 9 (139)	0.001 8	12.93**	13.72**
萼片长	0.674 7 (4)	0.097 7 (139)	0.005 2	6.91**	18.84**

注:\*表示 α=0.05 水平上差异显著;\*\*表示 α=0.01 水平上差异显著。下同。

表 5 胭脂花群体内和群体间方差分量与群体间表型分化系数

Tab.5 Variance portions and differentiation coefficients of phenotypic traits among and within populations of *P. maximowiczii*

性状	方差分量			方差分量百分比/%			表型分化系数/%
	群体间	群体内	机误	群体间	群体内	机误	
冠幅	0.014 7	0.154 4	0.006 7	8.38	87.78	3.84	0.09
花冠筒长	0.020 6	0.041 5	0.006 5	30.00	60.54	9.46	0.34
花冠裂片长	0.011 0	0.031 6	0.004 0	23.57	67.78	8.65	0.26
花冠裂片宽	0.000 2	0.007 2	0.001 7	2.52	79.17	18.31	0.03
花梗长	0.125 9	0.243 0	0.007 7	33.42	64.53	2.05	0.34
花眼直径	0.003 2	0.007 1	0.001 7	26.69	59.32	13.99	0.31
萼片长	0.006 7	0.030 8	0.005 2	15.74	72.13	12.13	0.18

## 2.2 表型性状的变异分析

对变异系数(表 6)的分析可以看到,花冠颜色平均变异系数为 17.09%,在所测量的 17 个性状中,其平均值相对较低,但不同群体花冠颜色的变异却有很大的差异。LS 和 WTS 2 个群体的变异系数为 32.96%、32.01%,大于平均变异水平 28.40%,

说明这 2 个群体中花色丰富;而 NMG、PQG 和 SHB 群体的花冠颜色变异较低,分别为 7.34%、8.49%和 4.64%,说明这 3 个群体中花色变异很少。调查中也发现:LS 和 WTS 这 2 个群体中,花色以红色为主,同时也有较多的橙红、橙色、橙黄等花色,并有较稀少的纯黄色种类;而 NMG、PQG 和 SHB 群体虽

表6 胭脂花野生群体表型性状变异系数  
Tab.6 Coefficients of variance of phenotypic traits  
among populations of *P. maximowiczii* %

性状	群体编号					平均变异系数
	LS	NMG	PQG	SHB	WTS	
叶片数	22.61	26.29	27.88	31.79	40.63	29.84
叶长	24.88	27.78	38.34	22.88	25.49	27.87
叶宽	28.29	24.01	28.46	25.36	19.76	25.18
花萼高度	22.67	21.80	45.94	21.68	20.57	26.53
花萼直径	83.57	35.52	42.57	33.38	29.77	44.96
花序轮数	26.11	23.57	36.53	35.04	33.28	30.91
花量	41.64	40.78	29.38	51.80	43.03	41.33
冠幅	22.90	16.19	19.43	25.45	13.39	19.47
花冠筒长	12.63	16.16	12.91	14.30	12.57	13.71
花冠裂片长	15.50	16.70	26.61	17.21	14.31	18.07
花冠裂片宽	20.12	24.05	25.43	22.13	22.60	22.87
花梗长	31.50	35.19	34.91	31.35	32.13	32.97
花眼直径	27.70	26.16	38.70	17.25	29.85	27.93
萼片长	22.29	16.65	22.35	22.88	14.69	19.77
花柱类型	32.64	35.71	41.11	35.41	33.07	35.59
花冠颜色	32.96	7.34	8.49	4.64	32.01	17.09
花眼颜色	55.00	63.00	41.00	33.00	52.00	48.80
平均变异系数	30.75	26.88	30.59	26.20	27.60	28.40

然在株型上有较大的差异,但是花色基本都是红色,其他花色则很少见。花眼颜色也是影响花朵整体色彩和观赏特点的重要性状,研究结果显示,花眼颜色的变异系数为48.80%,在所有性状中变异最大,其变异与花冠颜色变异呈正相关。花冠颜色

与花眼颜色的变异系数从理论上证明了其野生群体中丰富的色彩变异。除花冠颜色和花眼颜色变异多样外,变异系数较大的有花萼直径和花量,其变异系数分别为44.96%和41.33%,说明这2个性状不稳定;而花冠筒长的变异系数为13.71%,在所有性状中其变异系数最小,说明此性状相对较稳定,不易发生变化。

对各个群体的表型变异分析表明:LS和PQG群体的变异系数最大,分别为30.75%和30.59%,说明这2个群体内的表型变异最为丰富,存在较多的变异类型;而WTS、NMG和SHB的变异系数较为接近,分别为27.60%、26.88%和26.20%,说明其群体内部的变异水平相当,较前2个群体的丰富度稍低。

### 2.3 表型性状的相关性分析

对所测量的17个性状进行相关性分析及显著性检验(表7),结果表明,胭脂花叶片数、叶长、叶宽、花萼直径、花序轮数、花量两两之间呈极显著正相关。冠幅与花冠筒长、花冠裂片长呈极显著的相关性。花柱类型与花冠筒长也呈极显著的相关性,短花柱类型的花冠筒长显著大于长花柱类型的花冠筒长。花冠颜色和花眼颜色也呈极显著的相关性。

表7 Pearson相关性系数及显著性检验

Tab.7 Pearson correlation coefficient ( $r$ ) for phenotypic traits and their significance in the populations

性状	叶片数	叶长	叶宽	花萼高度	花萼直径	花序轮数	花量	冠幅	花冠筒长	花冠裂片长	花冠裂片宽	花梗长	花眼直径	萼片长	花柱类型	花冠颜色
叶长	0.395**															
叶宽	0.285**	0.733**														
花萼高度	0.153	0.527**	0.457**													
花萼直径	0.294**	0.411**	0.366**	0.344**												
花序轮数	0.216**	0.436**	0.469**	0.343**	0.257**											
花量	0.443**	0.471**	0.405**	0.450**	0.464**	0.568**										
冠幅	0.001	-0.065	-0.023	-0.017	-0.021	-0.095	-0.013									
花冠筒长	-0.119	-0.180*	-0.077	-0.207*	-0.136	-0.131	-0.158	0.221**								
花冠裂片长	0.020	0.075	0.142	-0.090	0.016	0.046	-0.021	0.378**	0.419**							
花冠裂片宽	0.140	0.083	0.231**	0.047	0.068	0.115	0.159	0.204*	0.146	0.555**						
花梗长	0.080	0.397**	0.366**	0.290**	0.180*	0.184*	0.208*	0.055	0.016	0.116	0.003					
花眼直径	0.097	-0.005	0.107	0.049	-0.022	-0.055	-0.084	0.186*	0.080	0.089	0.226**	0.020				
萼片长	0.179*	0.069	0.125	-0.083	0.102	0.008	0.136	0.032	0.159	0.334**	0.191*	-0.027	-0.071			
花柱类型	-0.003	0.025	-0.032	-0.064	0.036	-0.070	0.008	0.102	-0.276**	0.007	-0.048	-0.065	-0.092	-0.050		
花冠颜色	-0.032	0.037	0.062	0.081	-0.038	0.128	0.131	-0.036	-0.012	-0.043	-0.038	0.137	0.010	-0.096	-0.205*	
花眼颜色	0.046	0.069	0.134	0.100	-0.023	0.087	0.256**	-0.039	0.137	0.182*	0.109	0.147	-0.074	0.088	-0.083	0.405**

### 2.4 表型性状与生态因子间的相关性分析

对胭脂花表型性状与地理生态因子间进行了偏相关分析,结果见表8。由表可知:大部分性状与经度和纬度呈正相关,其中,冠幅、花冠筒长、花冠裂片长与纬度和经度显著负相关;海拔、年均降雨量与大部分性状之间呈显著或者极显著的负相关

关系;年均温与叶长、冠幅、花梗长、花眼直径有显著的相关关系,与其他性状无明显的相关性;无霜期与花萼高度、花量、冠幅、花眼直径、花冠颜色和花眼颜色有显著的负相关性。

分析结果说明,胭脂花的表型性状与生态因子有显著的相关性。从南到北其叶长、叶宽逐渐加

长,叶片数和花量也有增加的趋势,然而这些性状则随着海拔的升高有下降的趋势;年均降雨量则对其花朵的大小(冠幅、花冠筒长、花冠裂片长)有着

极显著的正相关性,与其他一些性状则呈负相关,说明气候湿润的地方有助于促进其花朵的生长;而年均温和无霜期对其大部分的性状无明显影响。

表 8 胭脂花表型性状与地理生态因子的相关性分析

Tab. 8 Correlation coefficients between geo-ecological factors and phenotypic traits of *P. maximowiczii*

性状	地理生态因子					
	经度	纬度	海拔	年均降雨量	年均温	无霜期
叶片数	0.238 **	0.187 *	-0.109	-0.227 **	0.042	0.103
叶长	0.369 **	0.383 **	-0.330 **	-0.429 **	0.232 **	0.125
叶宽	0.343 **	0.371 **	-0.285 **	-0.380 **	0.167	0.055
花萼高度	0.614 **	0.633 **	-0.339 **	-0.568 **	-0.050	-0.141 *
花萼直径	0.310 **	0.289 **	-0.249 **	-0.336 **	0.076	0.034
花序轮数	0.187 *	0.194 *	-0.158	-0.203 *	0.042	-0.014
花量	0.410 **	0.392 **	-0.379 **	-0.440 **	-0.082	-0.196 *
冠幅	-0.208 *	-0.190 *	0.182 *	0.256 **	-0.225 **	-0.211 *
花冠筒长	-0.461 *	-0.414 **	0.080	0.359 **	0.069	-0.046
花冠裂片长	-0.397 *	-0.374 **	-0.013	0.265 **	0.119	0.001
花冠裂片宽	0.054	0.027	-0.129	-0.094	-0.010	-0.040
花梗长	0.188 *	0.281 **	-0.301 **	-0.282 **	0.272 **	0.040
花眼直径	0.077	0.108	0.301 **	0.122	-0.359 **	-0.239 **
萼片长	-0.138	-0.191 *	-0.053	0.038	0.233 **	0.264 **
花柱类型	-0.034	-0.074	0.092	0.050	0.048	0.153
花冠颜色	0.120	0.212 *	-0.366 **	-0.220 **	-0.026	-0.341 **
花眼颜色	0.097	0.150	-0.366 **	-0.209 *	-0.027	-0.294 **

### 2.5 聚类分析

对数据进行标准化转换,采用欧氏距离对 5 个群体进行 UPGMA 聚类,聚类结果如图 1。可以看出,胭脂花野生群体首先聚为 2 大类,PQG 单独为一类,LS 和 SHB 聚为一类,NMG 和 WTS 聚为一类,其野生群体并没有严格的按照地理关系进行聚类,这可能与胭脂花不同群体的生境条件、当地的气候类型有关。PQG 群体是调查到的最南端的群体,且生境特殊,主要生于林下沟谷边,本研究中的其他群体则大多分布在山顶草甸;NMG 为调查点的最北端,海拔 1 900 m,与 WTS 在地理位置上相隔较远,但胭脂花在 WTS 分布的海拔为 2 500 ~ 2 700 m,可能由于遗传和环境的共同作用,使胭脂花野生群体间表型性状呈现不连续的变异。

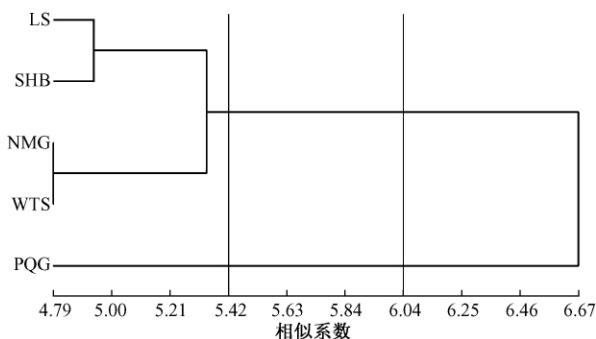


图 1 基于 17 个表型性状的胭脂花野生群体 UPGMA 聚类树形图  
Fig. 1 UPGMA-derived dendrogram of 5 natural populations of *P. maximowiczii* based on 17 phenotypic traits

### 3 结论与讨论

胭脂花群体间和群体内均具有很高的表型多样性水平;但是,群体内的多样性水平要高于群体间的多样性水平,说明其野生群体的表型变异主要来自群体内。这与 Yoshida 等<sup>[20]</sup>对翠南报春野生群体花部形态变异的研究结果相一致,也与张睿鹏等<sup>[8]</sup>对滇北球花报春野生群体表型多样性研究结果相一致,都说明了报春花属植物在野生状态下有着丰富的表型变异。虽然胭脂花群体间表型多样性相对于群体内较低,但群体间也存在显著的差异,群体间存在的遗传多样性反映了地理、生殖隔离上的变异,可能是由于不同的生境而产生的变异。胭脂花异花授粉的繁殖特性应该促进其群体间的基因交流,然而其群体间表型分化系数为 0.22,与滇北球花报春<sup>[8]</sup>表型分化系数 0.29 较为接近,说明其群体也存在一定程度的遗传分化,这与其生境条件差异大、地理和生殖隔离等因素相关。

对胭脂花 17 个表型性状的研究表明,各个性状变异都有显著的差异,具有很高的表型多样性。地理分布、种子传播和繁育系统等是影响群体遗传多样性的主要因素<sup>[25]</sup>,胭脂花较大的表型变异可能与其花柱二型性和自交不亲和等繁育特性相关。同时,生境也是影响野生群体表型变异的重要因素,调查中发现,胭脂花群体分布的生境有水边、林下、高山草甸等,研究也表明生态因子与胭脂花的表型性状之间具

有显著相关关系,其中经度、纬度、海拔和年均降雨量对其大部分表型性状具有极显著的影响。

对胭脂花 17 个表型性状的相关性分析表明,花柱的长短与花冠筒长呈极显著的负相关性,具体表现为短花柱类型的花冠筒长,长花柱类型的花冠筒短,结果与 Kalman 等<sup>[26]</sup>的研究结果一致。Kalman 等研究了黄花九轮草 (*Primula veris*) 与欧报春杂交后代的花部形态变异,发现短花柱的花冠筒长比长花柱的长很多,且花冠筒变异最小,这与其花柱二型、异花授粉的繁殖特性相关。本研究中花冠筒长度为胭脂花表型性状中表现最为稳定的性状,变异系数为 13.71%。

由于受到各种因素的干扰,胭脂花野生群体正在缩小,例如 PQG 的野生群体虽然变异丰富,但其储量却在逐渐减少。根据本研究的结果,胭脂花形态性状的变异主要存在于群体内,在对种群资源进行保护的同时,应选择多样性高的群体进行优先和重点保护。LS 和 WTS 这 2 个群体在群体水平上具有较高的表型多样性,花色变异丰富,应该首先重点保护;PQG 的群体已经遭到很大程度的破坏,应该尽快采取保护措施,减少资源损失。

胭脂花野生群体存在很高的表型多样性,然而直接从野外测量其表型性状也存在不足。这种测量方法受到了环境及地理因素的影响,测得表型多样性水平不能完全代表其真正遗传多样性水平<sup>[25]</sup>;所以还需要从分子水平对其进行更深入的研究,同时结合表型多样性研究,为以后的工作提供更精确的信息。

#### 参 考 文 献

- [1] 胡启明. 中国植物志: 第 59 卷第 2 分册[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 169-170.
- [2] 潘会堂, 张玉刚, 张启翔, 等. 胭脂花种子萌发特性研究[C]//张启翔. 中国观赏园艺研究进展. 北京: 中国林业出版社, 2004: 230-234.
- [3] 薄伟, 杨晓益. 胭脂花种子发芽生物学特性研究[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2009, 29(5): 415-418.
- [4] 毛娟娟, 潘会堂, 唐明. 光质对胭脂花幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(17): 7961-7962, 7982.
- [5] 唐明, 毛娟娟, 陈惜, 等. GA-3 和 6-BA 对胭脂花 (*Primula maximowiczii*) 幼苗生长影响的初步探讨[C]//张启翔. 中国观赏园艺研究进展. 北京: 中国林业出版社, 2009: 383-388.
- [6] 张晓曼, 张启翔, 孙晓光. 5 种报春花属植物材料的核型研究[J]. 园艺学报, 2007, 34(5): 1263-1266.
- [7] YOSHIOKA Y, IWATA H, OHSAWA R, et al. Quantitative evaluation of the petal shape variation in *Primula sieboldii* caused by breeding process in the last 300 years[J]. *Heredity*, 2005, 94(6): 657-663.
- [8] 张睿鹏, 贾茵, 张启翔. 滇北球花报春天然群体表型变异研究[J]. 生物多样性, 2008, 16(4): 362-368.
- [9] JACQUEMYN H, HONNAY O, GALBUSERA P, et al. Genetic structure of the forest herb *Primula elatior* in a changing landscape [J]. *Molecular Ecology*, 2004, 13(1): 211-219.
- [10] 陈强. 鹤黄灯台报春遗传多样性 AFLP 分析[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008.
- [11] 张睿鹏. 滇西北报春花资源及滇北球花报春核心种质研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [12] 彭艳秋, 邵剑文, 张小平, 等. 珍稀濒危植物安徽羽叶报春遗传多样性的 RAPD 分析[J]. 云南植物研究, 2007, 29(5): 549-553.
- [13] 潘远智, 庞博, 孙振元, 等. 雅江报春天然居群 RAPD 遗传多样性[J]. 四川农业大学学报, 2008, 26(1): 28-31.
- [14] 王凤英, 葛学军, 郝刚, 等. 喜马拉雅—横断山区钟花报春居群遗传多样性及遗传分化[J]. 热带亚热带植物学报, 2005, 13(2): 149-153.
- [15] SHAO J W, CHEN W L, PENG Y Q, et al. Genetic diversity within and among populations of the endangered and endemic species *Primula merrilliana* in China[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2009, 37(6): 699-706.
- [16] CREMA S, CRISTOFOLINI G, ROSSI M, et al. High genetic diversity detected in the endemic *Primula apennina* Widmer (*Primulaceae*) using ISSR fingerprinting [J]. *Plant Systematics and Evolution*, 2009, 280(1): 29-36.
- [17] VAN GEERT A, VAN ROSSUM F, TRIEST L. Genetic diversity in adult and seedling populations of *Primula vulgaris* in a fragmented agricultural landscape [J]. *Conservation Genetics*, 2008, 9(4): 845-853.
- [18] HONJO M, KITAMOTO N, UENO S, et al. Management units of the endangered herb *Primula sieboldii* based on microsatellite variation among and within populations throughout Japan [J]. *Conservation Genetics*, 2009, 10(2): 257-267.
- [19] YOSHIDA Y, HONJO M, KITAMOTO N, et al. Reconsideration for conservation units of wild *Primula sieboldii* in Japan based on adaptive diversity and molecular genetic diversity [J]. *Genetics Research*, 2009, 91(4): 225-235.
- [20] YOSHIDA Y, HONJO M, KITAMOTO N, et al. Genetic variation and differentiation of floral morphology in wild *Primula sieboldii* evaluated by image analysis data and SSR markers [J]. *Breeding Science*, 2008, 58(3): 301-307.
- [21] 金燕, 卢宝荣. 遗传多样性的取样策略[J]. 生物多样性, 2003, 11(2): 155-161.
- [22] 张海平, 房伟民, 陈发棣, 等. 部分睡莲属植物形态性状的多样性分析[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(4): 47-52.
- [23] 葛颂, 王明麻, 陈岳武. 用同工酶研究马尾松群体的遗传结构[J]. 林业科学, 1988, 24(4): 399-409.
- [24] 明军, 顾万春. 紫丁香表型多样性研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(2): 199-204.
- [25] HAMRICK J L, GODT M J W. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species [J]. *New Forest*, 1992, 6(1/4): 95-124.
- [26] KALMAN K, MEDVEGY A, MIHALIK E. Pattern of the floral variation in the hybrid zone of two distylous *Primula* species [J]. *Flora*, 2004, 199(3): 218-227.

(责任编辑 董晓燕)