

花楸树种源间表型性状的地理变异分析

郑健^{1,2}, 胡增辉¹, 郑勇奇^{2,①}, 谢育常³

(1. 北京农学院园林学院, 北京 102206; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091;
3. 河北省易县林业局, 河北 保定 074200)

摘要: 为揭示花楸树(*Sorbus pohuashanensis* (Hance) Hedl.)表型性状的地理变异规律,对来源于山东、山西和河北的7个花楸树种源171个家系2年生幼苗的株高、地径、复叶长、复叶宽、叶柄长、小叶长、小叶宽、复叶长宽比和小叶长宽比9个表型性状进行了比较,并进行了方差分析、主成分分析(PCA)及聚类分析;在此基础上,分析了各种源株高和地径与主要地理-气候因子的相关性。结果表明:在种源间及种源内家系间9个表型性状均有极显著差异;7个种源幼苗的平均株高和平均地径变幅分别为54.21~63.07 cm和8.12~8.45 mm;叶片各项指标的变幅相对较小,变幅最大的为叶柄长,为1.87~3.05 cm;9个性状在种源间的表型分化系数为12.98%~54.04%,其中小叶长的表型分化系数最大(54.04%),株高的表型分化系数最小(12.98%),种源间各性状的平均表型分化系数为34.38%。主成分分析结果表明:花楸树表型性状之间的差异主要表现在小叶长和宽,其次是复叶长和宽。通过聚类分析可将7个种源划分为2组,其中,山东崂山和泰山种源聚为I组;山西庞泉沟及河北白石山、驼梁山、雾灵山和塞罕坝5个种源聚为II组。相关性分析结果表明:花楸树株高与纬度呈显著负相关、与降雨量呈显著正相关($P=0.05$);地径则与经度、年均温和年降雨量呈显著正相关($P=0.05$)。研究结果显示:花楸树的各项表型性状在种源间以及种源内家系间存在丰富的变异,遗传分化显著,其中种源内家系间的变异是花楸树表型变异的主要来源。初步判断花楸树表型性状的变异为经纬向双重变异模式,其中纬度起主要作用。

关键词: 花楸树; 种源; 表型性状; 地理变异; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: Q944.1; S792.25.01 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2012)03-0050-07

Analysis on geographic variation of phenotypic traits of *Sorbus pohuashanensis* among different provenances ZHENG Jian^{1,2}, HU Zeng-hui¹, ZHENG Yong-qi^{2,①}, XIE Yu-chang³ (1. College of Landscape Architecture, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Forestry Bureau of Yi County of Hebei Province, Baoding 074200, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2012, 21(3): 50-56

Abstract: In order to reveal geographic variation law of phenotypic traits of *Sorbus pohuashanensis* (Hance) Hedl., nine phenotypic traits including height, ground diameter, compound leaf length and width, petiole length, leaflet length and width, ratio of length to width in compound leaf and in leaflet of two-year-old seedlings from 171 pedigrees of seven provenances from Shandong, Shanxi and Hebei provinces were compared, and variance analysis, principal component analysis (PCA) and cluster analysis were also carried out. On this basis, the correlation of height and ground diameter of seedling from different provenances with main geographical-climatic factors was analyzed. The results show that there are extremely significant differences in nine phenotypic traits among provenances or among pedigrees within provenance. The change range of average seedling height of seven provenances is 54.21-63.07 cm and that of average ground diameter is 8.12-8.45 mm. The change range of leaf indexes is relatively small and that of petiole length is the largest with the range of 1.87-3.05 cm. The phenotypic differentiation coefficients of nine traits among provenances are 12.98%-54.04%, in which, that of

收稿日期: 2012-01-18

基金项目: 北京农学院2012年度科研质量提高经费招标项目(QKM2012006); 国家林业公益行业专项重大项目(201204307); 北京市属高等学校人才强教计划资助项目(PXM2012-024268-086884)

作者简介: 郑健(1977-),男,河北易县人,博士,主要从事园林植物遗传资源与育种研究。

①通信作者 E-mail: zhengyq@caf.ac.cn

leaflet length is the maximum (54.04%) and that of height is the minimum (12.98%), and average of phenotypic differentiation coefficients among provenances is 34.38%. PCA result shows that the difference among phenotypic traits of *S. pohuashanensis* mainly presents in length and width of leaflet, and then in those of compound leaf. By means of cluster analysis, the seven provenances can be divided into two groups, in which, I group contains two provenances from Laoshan and Taishan of Shandong Province, and II group contains five provenances from Panguangou of Shanxi Province, and Baishishan, Tuoliangshan, Wulingshan and Saihanba of Hebei Province. The correlation analysis result shows that seedling height of *S. pohuashanensis* has a significantly negative correlation with the latitude and a significantly positive correlation with annual precipitation ($P=0.05$), while ground diameter has a significantly positive correlation with the longitude, annual mean temperature and annual precipitation ($P=0.05$). It is suggested that the phenotypic traits of *S. pohuashanensis* seedling vary richly among provenances or among pedigrees within provenances and possess obvious genetic differentiations. In which, the variance from pedigrees within provenances is the main source of the phenotypic variation. A primary opinion is that the variation of phenotypic traits of *S. pohuashanensis* is a double pattern of latitude and longitude, in which the latitude plays the major role.

Key words: *Sorbus pohuashanensis* (Hance) Hedl.; provenance; phenotypic trait; geographic variation; principal component analysis; cluster analysis

花楸树 [*Sorbus pohuashanensis* (Hance) Hedl.] 又名百花花楸、百华花楸、红果臭山槐等,为蔷薇科 (Rosaceae) 苹果亚科 (Maloideae) 花楸属 (*Sorbus* L.) 落叶小乔木,是中国特有且具有多项用途和开发潜力的珍贵资源树种,具有较高的观赏价值^[1]。花楸树为花楸属中分布比较广泛的树种^[2-3],随着城镇绿化和美化工程的大力推进,花楸树的园林观赏价值开始被人们所重视。然而,过度的滥采乱挖对花楸树的野生资源造成了极大的破坏。随着城市化的快速发展,对城镇园林绿化树种的种类多样性要求越来越高,因此,加快花楸树的开发利用研究,对丰富城市绿化植物的种类有重要意义。目前,对花楸树的研究主要集中在野生资源的地理分布与生境^[4]、繁育技术^[5-7]、天然群体遗传多样性^[8]、种实多样性^[9]和异交率^[10]等方面,而关于其表型性状地理变异方面的研究尚未见报道。

作为各种形态特征的组合,表型是生物遗传变异的表征,因此,表型变异是遗传多样性研究的重要内容之一^[11]。近年来,对红楠 (*Mochilus thunbergii* Sieb. et Zucc.)^[12]、川西云杉 (*Picea baifouriana* Rehd. et Wils)^[13]、山樱花 [*Cerasus serrulata* (Lindl.) G. Don ex London]^[14]、毛红椿 [*Toona ciliate* var. *pubescens* (Franch.) Hand. -Mazz.]^[15]、西南桦 (*Betula alnoides* Buch Ham.)^[16]、梭梭 [*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge]^[17]、山合欢 [*Albizia kalkora* (Roxb.) Prain]^[18]和硃砂根 (*Ardisia crenata* Sims)^[19]等树种的表型变异特征进行了研究,结果表明采用表型变异

的分析方法能够系统、全面地揭示林木种源间的遗传变异规律。

作者在全面调查花楸树遗传资源分布区域的基础上,对来源于不同地理种源的花楸树幼苗的表型性状变异规律进行了分析,以期了解不同种源花楸树的表型变异程度和变异格局及其与生态环境的关系,为确定适宜的优良种源及开展花楸树的遗传改良和品种选育提供实验依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试花楸树来源于其自然分布区的山东崂山 (SDL)、山东泰山 (SDT)、山西庞泉沟 (SXP)、河北驼梁山 (HBT)、河北白石山 (HBB)、河北雾灵山 (HBW) 和河北塞罕坝 (HBS) 7 个种源地,各种源地的自然概况见表 1。各种源地均位于暖温带,其中山东崂山种源地的土壤性质为山地棕壤、山东泰山的为山地暗棕壤、山西庞泉沟的为山地褐土和山地棕壤、河北驼梁山的为山地棕壤、河北白石山的为石灰性褐土和山地棕壤、河北雾灵山的为山地褐土和山地棕壤、河北塞罕坝的为山地棕壤。

在 7 个种源地共采集 171 个家系,其中,崂山种源包含 25 个家系、泰山种源包含 28 个家系、庞泉沟种源包含 28 个家系、驼梁山种源包含 24 个家系、白石山种源包含 30 个家系、雾灵山种源包含 30 个家系、塞罕坝种源包含 6 个家系。样株均为 2 年生幼

表1 7个花楸树种源地的自然概况

Table 1 The location natural status of seven provenances of *Sorbus pohuashanensis* (Hance) Hedl.

种源 ¹⁾ Provenance ¹⁾	经度 Longitude	纬度 Latitude	年均温/℃ Annual mean temperature	月均温/℃ Monthly mean temperature		年降雨量/mm Annual precipitation	无霜期/d Frostless period
				1月 January	7月 July		
SDL	E120°37'30"	N36°11'	11~12	-2~-4	25	650~900	209
SDT	E117°06'06"	N36°15'48"	5.3~12.8	-27.5~-22.4	28.6	715	186~196
SXP	E111°25'42"	N37°53'36"	4.3	-10.2	17.5	822.6	100~125
HBT	E113°49'30"	N38°45'06"	8.5	-7	22	700	-
HBB	E114°41'	N39°13'12"	7.3	-30.6	22	700	-
HBW	E117°35'	N40°38'	7.6	-15.6	17.6	763	120~140
HBS	E117°39'	N42°36'	1.4	-43.2	15.5	530.9	60

¹⁾SDL: 山东崂山 Laoshan in Shandong Province; SDT: 山东泰山 Taishan in Shandong Province; SXP: 山西庞泉沟 Pangquanguou in Shanxi Province; HBT: 河北驼梁山 Tuoliangshan in Hebei Province; HBB: 河北白石山 Baishishan in Hebei Province; HBW: 河北雾灵山 Wulingshan in Hebei Province; HBS: 河北塞罕坝 Saihanba in Hebei Province.

苗,均栽植于中国林业科学研究院苗圃基地;采用随机区组试验设计,重复3次;于2007年9月幼苗高生长停止后测定其生长及叶片等表型性状。

1.2 表型性状测定方法

在各种源的每个家系中随机抽取幼苗5~10株,分别测定株高、地径;选择每一植株中部的成熟叶片1片,分别测定复叶长、复叶宽、叶柄长、小叶长和小叶宽等指标。其中,使用游标卡尺测量地径,测量精度为0.01 mm;其他指标均采用直尺进行测量,测量精度为0.01 cm。

1.3 统计分析方法

测定数据均采用 Excel 2003 和 SAS 8.02 统计分析软件进行分析。

1.3.1 方差分析及表型分化系数计算 参照文献[9]的方法,分别计算不同种源各表型性状的平均值、标准差和表型分化系数,并对各表型性状观测值进行方差分析。

1.3.2 主成分分析和聚类分析 以各种源表型性状测定值的平均值为单元,利用样本相关矩阵进行主成分分析,并采用类平均法进行系统聚类分析。

1.3.3 表型性状地理变异模式分析 对幼苗的株高、地径与各种源地经度、纬度及各气候因子的相关性进行分析,归纳出花楸树幼苗株高与地径生长的地理变异模式。

2 结果和分析

2.1 不同种源花楸树幼苗表型性状的变异规律分析

对来源于7个种源171个家系的花楸树幼苗的株高、地径、复叶长、复叶宽、小叶长、小叶宽、叶柄长、

复叶长宽比和小叶长宽比9个表型性状进行测量分析,结果见表2。由表2可见:7个种源花楸树幼苗的平均株高为59.55 cm,变幅为54.21~63.07 cm,优劣种源间相差16.34%;平均地径为8.34 mm,变幅为8.12~8.45 mm,优劣种源间相差4.06%。其余7项指标的变幅相对较小,其中,变幅最大的性状为叶柄长,变幅为1.87~3.05 cm。

巢式方差分析结果表明(表3):在种源间和种源内花楸树9个表型性状的差异均达到极显著水平。说明花楸树幼苗的各项表型性状在种源间以及种源内家系间存在丰富的变异,地理居群间的遗传分化显著,优良种源(家系)的选择潜力很大。

2.2 花楸树种源间表型性状分化程度分析

依据巢式方差分量比组成计算种源间及种源内花楸树9个表型性状的方差分量及其占总变异的比(方差分量百分比),进而得出各性状的表型分化系数,结果见表4。由表4可见:各性状种源间的平均方差分量占总变异的7.69%,种源内的平均方差分量占总变异的16.92%,随机误差占75.39%。9个表型性状在种源间的表型分化系数为12.98%~54.04%;其中表型分化程度最大的性状是小叶长,表型分化系数为54.04%;复叶长宽比和小叶长宽比2个性状的表型分化系数也较大,分别为51.58%和44.74%;表型分化系数最小的是株高,表型分化系数仅为12.98%。说明花楸树叶片的二维结构及小叶差异较大。种源间9个性状的平均表型分化系数为34.38%,表明花楸树的表型变异约1/3来自种源间,相应地,种源内的平均表型变异约占2/3(即约66%)。此结果说明花楸树各种源内家系间的分化变异是花楸树表型性状变异的主要来源。

表2 不同种源花椒树幼苗各表型性状的测定结果($\bar{X}\pm SD$)

Table 2 Determination result of different phenotypic traits of *Sorbus pohuashanensis* (Hance) Hedl. seedling from different provenances ($\bar{X}\pm SD$)

种源 ¹⁾ Provenance ¹⁾	株高/cm Height	地径/mm Ground diameter	复叶特征 Compound leaf feature			小叶特征 Leaflet feature			叶柄长/cm Petiole length
			长/cm Length	宽/cm Width	长宽比 Ratio of length to width	长/cm Length	宽/cm Width	长宽比 Ratio of length to width	
SDL	63.07±17.35	8.41±0.47	22.44±1.83	8.77±0.91	2.57±0.21	6.56±0.69	2.39±0.37	2.77±0.28	3.05±0.69
SDT	60.79±18.08	8.45±0.48	22.89±2.09	9.10±0.96	2.51±0.21	6.58±0.76	2.28±0.36	2.90±0.31	3.01±0.76
SXP	62.34±21.21	8.12±0.49	22.44±1.89	8.70±0.87	2.67±0.23	6.15±0.62	2.03±0.59	3.10±0.40	2.73±0.62
HBT	54.21±13.63	8.42±0.62	23.43±2.05	8.84±1.05	2.67±0.21	6.20±0.63	2.03±0.56	3.13±0.40	2.96±0.73
HBB	60.49±19.34	8.12±0.49	22.56±1.90	8.36±0.83	2.70±0.20	6.03±0.60	1.91±0.29	3.19±0.37	2.69±0.54
HBW	57.23±16.75	8.45±0.53	22.98±1.83	8.76±0.82	2.62±0.19	6.25±0.55	2.10±0.48	3.02±0.33	1.87±0.55
HBS	61.64±15.63	8.29±0.46	24.02±4.26	9.31±1.31	2.60±0.41	6.37±0.79	2.02±0.33	3.20±0.38	2.82±0.64
平均 Average	59.55±18.31	8.34±0.53	23.03±2.13	8.80±1.07	2.63±0.23	6.29±0.67	2.90±0.71	3.03±0.37	2.12±0.46

¹⁾ SDL: 山东崂山 Laoshan in Shandong Province; SDT: 山东泰山 Taishan in Shandong Province; SXP: 山西庞泉沟 Pangquangou in Shanxi Province; HBT: 河北驼梁山 Tuoliangshan in Hebei Province; HBB: 河北白石山 Baishishan in Hebei Province; HBW: 河北雾灵山 Wulingshan in Hebei Province; HBS: 河北塞罕坝 Saihanba in Hebei Province.

表3 花椒树各种种源间幼苗表型性状的方差分析结果¹⁾

Table 3 Variance analysis result of phenotypic traits of *Sorbus pohuashanensis* (Hance) Hedl. seedling among different provenances¹⁾

表型性状 Phenotypic trait	均方(自由度) MS(df)			F	
	种源间 Among provenance	种源内 Within provenance	随机误差 Error	种源间 Among provenance	种源内 Within provenance
株高 Height	16.49(6)	4.19(164)	0.66(3 526)	3.95 **	6.36 **
地径 Ground diameter	13.41(6)	1.26(164)	0.21(3 526)	10.64 **	5.91 **
复叶长 Compound leaf length	130.87(6)	17.40(164)	3.18(3 526)	7.52 **	5.47 **
复叶宽 Compound leaf width	36.69(6)	3.00(164)	0.71(3 526)	12.24 **	4.23 **
叶柄长 Petiole length	12.96(6)	1.66(164)	0.31(3 526)	7.83 **	5.27 **
小叶长 Leaflet length	24.50(6)	1.22(164)	0.37(3 526)	20.13 **	3.28 **
小叶宽 Leaflet width	15.09(6)	0.30(164)	0.09(3 526)	49.44 **	3.56 **
复叶长宽比 Ratio of length to width of compound leaf	9.80(6)	0.56(164)	0.18(3 526)	17.66 **	3.02 **
小叶长宽比 Ratio of length to width of leaflet	12.34(6)	0.87(164)	0.26(3 526)	14.18 **	3.29 **

¹⁾ $F_{0.05}(6, 164) = 2.16$, $F_{0.01}(6, 164) = 2.92$; $F_{0.05}(164, 3 526) = 1.17$, $F_{0.01}(164, 3 526) = 1.25$. ** : $P = 0.01$.

2.3 花椒树幼苗表型性状变异的主成分分析

对花椒树幼苗生长和叶形态等9个表型性状进行主成分分析,结果见表5。由表5可见:第一主成分(y_1)的贡献率占54.96%,第二主成分(y_2)的贡献率占30.55%,前2个主成分的累积贡献率达85.51%,损失14.49%的信息。根据“累积贡献率 $\geq 85\%$ ”的原则^[20],选取第一和第二主成分即可。根据2个主成分的特征向量,推导出的第一主成分的相关方程为 $y_1 = 0.098 0x_1 + 0.298 4x_2 - 0.157 8x_3 + 0.131 8x_4 + 0.311 9x_5 + 0.395 6x_6 + 0.421 9x_7 - 0.357 8x_8 - 0.387 3x_9$; 第二主成分相关方程为 $y_2 = -0.431 5x_1 + 0.327 7x_2 + 0.516 1x_3 + 0.455 3x_4 - 0.321 6x_5 - 0.163 1x_6 - 0.042 6x_7 + 0.246 3x_8 + 0.196 0x_9$ 。

在第一主成分方程中,小叶长(x_6)和小叶宽(x_7)的系数相对较大,表明第一主成分是小叶长和小叶宽的综合因子;第二主成分方程中,复叶长(x_3)和复叶宽(x_4)的系数相对较大,表明第二主成分主要是复叶长和复叶宽的综合因子。总之,花椒树表型性状之间的差异主要表现在小叶长和小叶宽,其次是复叶长和复叶宽。

2.4 基于表型性状分析的花椒树不同种源的聚类分析结果

利用花椒树7个种源9个表型性状的遗传距离、采用类平均法进行系统聚类分析,聚类结果见图1。由聚类图可见:在遗传距离0.94处,7个种源被划分为2大类;其中,山东崂山和泰山种源聚为I类,说明

表4 花楸树各种源间表型性状的方差分量和表型分化系数

Table 4 Variance component and phenotypic differentiation coefficient of phenotypic traits of *Sorbus pohuashanensis* (Hance) Hedl. seedling among different provenances

表型性状 Phenotypic trait	方差分量 Variance component			方差分量百分比/% Percentage of variance component			表型分化 系数/% Phenotypic differentiation coefficient (V_{st})
	种源间 Among provenance (δ_{vs}^2)	种源内 Within provenance (δ_s^2)	随机误差 Error (δ_e^2)	种源间 Among provenance (P_{vs})	种源内 Within provenance (P_s)	随机误差 Error (P_e)	
株高 Height	0.024	0.163 3	0.658 4	2.88	19.30	77.82	12.98
地径 Ground diameter	0.024 0	0.048 5	0.213 0	8.42	16.97	74.60	33.16
复叶长 Compound leaf length	0.224 6	0.658 3	3.181 3	5.53	16.20	78.28	25.44
复叶宽 Compound leaf width	0.066 7	0.106 0	0.708 2	7.57	12.03	80.40	38.61
叶柄长 Petiole length	0.022 4	0.062 1	0.314 3	5.61	15.57	78.82	26.49
小叶长 Leaflet length	0.046 1	0.039 2	0.370 5	10.11	8.60	81.29	54.04
小叶宽 Leaflet width	0.029 2	0.101 3	0.085 6	13.53	46.86	39.61	22.40
复叶长宽比 Ratio of length to width of compound leaf	0.018 3	0.017 2	0.183 4	8.36	7.85	83.79	51.58
小叶长宽比 Ratio of length to width of leaflet	0.022 7	0.028 0	0.264 0	7.21	8.91	83.88	44.74
平均 Average	0.053 1	0.136 0	0.664 3	7.69	16.92	75.39	34.38

表5 花楸树幼苗9个表型性状的主成分分析结果

Table 5 Result of principal component analysis of nine phenotypic traits of *Sorbus pohuashanensis* (Hance) Hedl. seedling

主成分 Principal component	特征向量 ¹⁾ Eigen-vector ¹⁾									特征值 Eigen value	累计贡献率/% Accumulative contribution rate
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9		
γ_1	0.098 0	0.298 4	-0.157 8	0.131 8	0.311 9	0.395 6	0.421 9	-0.357 8	-0.387 3	5.496	54.96
γ_2	-0.431 5	0.327 7	0.516 1	0.455 3	-0.321 6	-0.163 1	-0.042 6	0.246 3	0.196 0	3.055	85.51
γ_3	0.571 0	-0.249 2	0.166 0	0.487 9	-0.258 0	0.218 0	-0.018 7	0.252 1	0.150 4	1.135	96.87
γ_4	-0.009 7	-0.751 0	0.136 4	0.010 7	0.529 5	0.119 8	0.089 5	0.098 0	-0.263 9	0.196	98.82
γ_5	0.236 7	-0.044 1	0.361 8	-0.031 1	-0.065 1	0.106 0	0.360 3	0.410 9	-0.561 5	0.102	99.84
γ_6	0.391 7	0.296 8	-0.254 7	-0.222 7	0.287 1	0.197 9	0.242 5	0.344 9	0.552 7	0.016	100.00

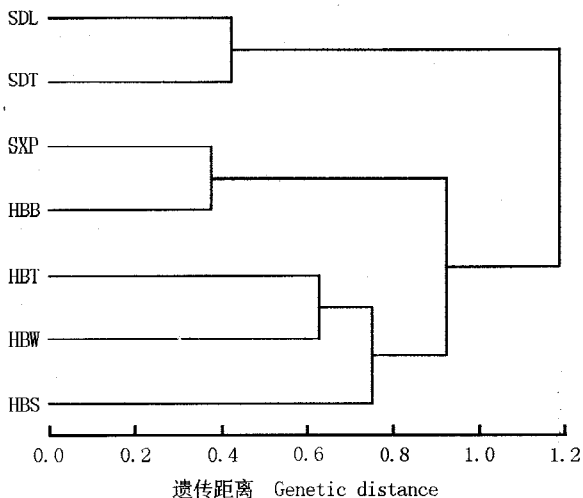
¹⁾ x_1 : 株高 Height; x_2 : 地径 Ground diameter; x_3 : 复叶长 Compound leaf length; x_4 : 复叶宽 Compound leaf width; x_5 : 叶柄长 Petiole length; x_6 : 小叶长 Leaflet length; x_7 : 小叶宽 Leaflet width; x_8 : 复叶长宽比 Ratio of length to width of compound leaf; x_9 : 小叶长宽比 Ratio of length to width of leaflet.

这2个种源的花楸树表型性状相似性比较高,具有较近的亲缘关系;山西庞泉沟及河北白石山、驼梁山、雾灵山和塞罕坝5个种源聚为Ⅱ类,表明这5个种源的表型性状相似性较高,亲缘关系较近。归为Ⅱ类的5个种源又可分为2个亚类,其中,山西庞泉沟与河北白石山种源聚为一个亚类,河北驼梁山、雾灵山和塞罕坝种源聚为另一个亚类。

这一聚类结果可能与各种源间的地理位置有一定的关系。山东泰山与崂山地理位置相对较近,环境条件比较一致,而且处在花楸树分布区的南部边缘,因而这2个种源的表型性状差异较小;其他5个种源在地理位置上也相距较近,且处于花楸树的分布中心,可能存在着基因交流。从聚类结果看,边缘分布区的种源与中心分布区的种源被聚为2类,说明它们的遗传差异较大。

2.5 花楸树表型性状的地理变异模式

对花楸树的株高和地径与原产地主要地理-气候因子的相关性分析结果表明:各种源的株高与种源地的经度、海拔和年均温相关性很小,相关系数(r)分别为0.016 4、-0.015 3和0.000 2;与纬度呈显著负相关, r 为-0.099 7($P=0.05$);与降雨量呈显著正相关, r 为0.065 4($P=0.05$),表现出明显的纬向渐变型,说明花楸树北部种源的株高生长普遍低于南部种源。各种源的地径与种源地的纬度相关性很小, r 为-0.006 0;与经度、年均温和年降雨量呈显著正相关, r 分别为0.197 4、0.157 6和0.078 0($P=0.05$),表现出明显的经向渐变型,说明花楸树东部种源的地径生长普遍高于西部种源;与海拔呈显著负相关, r 为-0.126 1($P=0.05$),表明花楸树的地径生长随原产地海拔的升高有降低的趋势。



SDL: 山东崂山 Laoshan in Shandong Province; SDT: 山东泰山 Taishan in Shandong Province; SXP: 山西庞泉沟 Pangquangou in Shanxi Province; HBT: 河北驼梁山 Tuoliangshan in Hebei Province; HBB: 河北白石山 Baishishan in Hebei Province; HBW: 河北雾灵山 Wulingshan in Hebei Province; HBS: 河北塞罕坝 Saihanba in Hebei Province.

图1 基于表型性状分析的花楸树7个种源的聚类分析结果
Fig. 1 Cluster analysis result of seven provenances of *Sorbus pohuashanensis* (Hance) Hedl. based on phenotypic trait analysis

3 讨 论

形态变异是遗传变异的重要组成部分,形态变异越大,存在的遗传变异可能越大。花楸树7个种源幼苗的表型性状变异十分丰富,9个表型性状在种源间和种源内家系间的差异均达到极显著水平,该结果与红楠^[12]、木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)^[21]、华北落叶松 [*Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii* (Mayr) Pilger]^[22]等树种的研究结果类似。花楸树种源内各表型性状的方差分量为16.92%,大于种源间的方差分量(7.69%),9个性状种源间平均表型分化系数为34.38%,表明种源内的变异是花楸树表型变异的主要来源,种源内的多样性高于种源间。研究结果说明:供试的7个花楸树种源表型性状变异丰富,良种选择潜力很大,有利于品种选育和种质创新;同时,这些种源也为花楸树优良家系的选择储备了丰富的材料,为花楸树的进一步遗传改良和育种提供了基础。

花楸树地理种源间表型生长性状的遗传分化显著,这一现象可能与种源间的基因交流有关。花粉与

种子的扩散、传播是植物最重要的基因交流方式^[23],花楸树为虫媒传粉植物,扩散距离受传粉昆虫的行为和活动的较大影响;花楸树的种子可通过鸟类等动物进行传播^[24],传播距离受鸟类的活动和行为影响也较大,这些因素都使较近地理空间内的基因流加大,促进了花楸树种源内的变异,扩大了种源间的遗传分化程度。尽管种源内的变异远大于种源间,但种源间变异的意义却大于种源内变异,因为存在于种源间的变异反映了地理、生殖隔离上的变异,种源间的变异是种内多样性的重要组成部分^[25]。分布在种源内的变异真实反映了植物在不同环境中的适应状况,其大小在某种程度上说明了该物种对不同环境的适应程度,种源内变异越大则表明适应范围越广。

此外,在株高、地径、叶柄长、小叶长和小叶宽等一维结构性状上,山东泰山与崂山2个种源的差异不显著,可能与生存环境条件比较一致有关。这种现象可能是长期环境选择的结果,也可能由于二者间存在着基因交流。但这一依据表型数据而做出的推测需从细胞水平、分子水平进行进一步验证。

树木种内存在丰富的地理变异,这些变异是经过长期自然选择的结果,这些变异在树木多个性状中得到很好的表现,并且能初步反映出地理变异的趋势。对花楸树种源表型性状地理变异的研究结果表明:2年生花楸树幼苗的株高变异受纬度影响较大,在7个种源中,幼苗株高与纬度的负相关性达到显著水平、与经度的相关性不明显,这一结果与朱翔等^[26]对白桦(*Betula platyphylla* Sukaczew.)的研究结果一致。幼苗株高与纬度的负相关性实际上是与种源地的温度、年降雨量及无霜期的正相关性,表明温度是制约花楸树株高生长的主导因子。花楸树幼苗的地径与产地纬度的相关性很小,与经度呈显著正相关,说明花楸树东部种源的地径生长普遍大于西部种源。初步判断花楸树的地理变异与大多数树种^[27-29]一样,是经纬向双重渐变模式,其中纬度起主要作用。此外,花楸树幼苗的株高和地径生长与种源地海拔高度均呈负相关性,在同一种源内,位于低海拔处的幼苗生长较快,表现出明显的低海拔倾向。

参考文献:

- [1] 郑勇奇,郑健,张川红. 花楸树——城市绿化的新贵[J]. 中国城市林业, 2008, 6(2): 74-76.
- [2] 郑万钧. 中国树木志: 第二卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985: 1009.

- [3] HAMRICK J L. Isozymes and the analysis of genetic structure in plant populations[M] // SOLTIS D E, SOLTIS P S. Isozymes in Plant Biology. London: Chapman and Hall, 1990: 87-105.
- [4] 郑健, 郑勇奇, 吴超, 等. 花椒树的地理分布及天然更新方式[J]. 林业科学, 2007, 43(12): 86-93.
- [5] 沈海龙, 杨玲, 张建英, 等. 花椒树种子休眠影响因素与萌发特性研究[J]. 林业科学, 2006, 42(10): 133-138.
- [6] 王爱芝, 沈海龙, 黄剑, 等. 花椒嫩叶和茎段的愈伤组织诱导[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(2): 12-14.
- [7] 郑健, 郑勇奇, 吴超. 花椒树嫩枝扦插繁殖技术研究[J]. 林业科学研究, 2009, 22(1): 91-97.
- [8] 郑健, 郑勇奇, 张川红, 等. 花椒树天然群体的遗传多样性研究[J]. 生物多样性, 2008, 16(6): 562-569.
- [9] 郑健, 郑勇奇, 宗亦臣, 等. 花椒树天然群体种实多样性研究[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(3): 385-391.
- [10] 郑健, 郑勇奇, 张川红, 等. 花椒树天然群体异交率[J]. 林业科学, 2009, 45(11): 44-49.
- [11] 赵冰, 张启翔. 腊梅种质资源表型多样性[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(5): 10-13, 35.
- [12] 姜荣波, 刘军, 姜景民, 等. 红楠主要表型和苗期性状地理种源变异[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(5): 9-11, 23.
- [13] 辜云杰, 罗建勋, 吴远伟, 等. 川西云杉天然种群表型多样性[J]. 植物生态学报, 2009, 33(2): 291-301.
- [14] 陈璋. 福建山樱花天然居群表型变异研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2008, 16(1): 61-68.
- [15] 刘军, 张海燕, 姜景民, 等. 毛红椿种实和苗期生长性状地理种源变异[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(3): 55-59.
- [16] 陈伟, 陈宏伟, 杨斌, 等. 西南桦苗期生长性状的地理种源变异[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(12): 12-15.
- [17] 王葆芳, 张景波, 杨晓晖, 等. 梭梭种源间苗期性状的遗传变异及相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2007, 16(2): 27-31.
- [18] 崔永忠, 李昆, 孙永玉, 等. 云南省山合欢地理种源变异性研究[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(11): 98-101.
- [19] 陶萌春. 硃砂根(*Ardisia crenata*)居群的形态特征变异及聚类分析[J]. 植物资源与环境学报, 2010, 19(4): 43-49.
- [20] 黄少伟, 谢维辉. 实用 SAS 编程与林业实验数据分析[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.
- [21] 王秀花, 陈柳英, 马丽珍, 等. 7年生木荷生长和木材基本密度地理遗传变异及种源选择[J]. 林业科学研究, 2011, 24(3): 307-313.
- [22] 李文荣, 齐力旺. 山西华北落叶松地理种源苗期生长与性状变异的分析[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 1994, 14(4): 339-345.
- [23] 王德莲, 李超起, 葛学军. 云南穗花杉的遗传多样性研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2005, 13(2): 143-148.
- [24] PÍAS B, GUITIÁN P. Breeding system and pollen limitation in the masting tree *Sorbus aucuparia* L. (Rosaceae) in the NW Iberian Peninsula[J]. Acta Oecologica, 2006, 29(1): 97-103.
- [25] DANIEL Z V, DANIEL P. Patterns of morphological variation and diversity of *Cocos nucifera* (Arecaceae) in Mexico [J]. American Journal of Botany, 1998, 85(6): 855-865.
- [26] 朱翔, 李忠. 2年生白桦种源的地理变异[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(6): 7-10.
- [27] 李因刚, 周志春, 金国庆, 等. 乳源木莲苗生长和形态的地理种源分化[J]. 林业科学研究, 2007, 20(1): 35-39.
- [28] 张萍, 金国庆, 周志春, 等. 木荷苗木性状的种源变异和地理模式[J]. 林业科学研究, 2004, 17(2): 192-198.
- [29] 焦月玲, 周志春, 余能健, 等. 三尖杉苗木生长和形态种源差异[J]. 林业科学研究, 2006, 19(4): 452-456.

(责任编辑: 惠红)

《中国种业》2013年征订启事

全国中文核心期刊 全国优秀农业期刊

《中国种业》是由国家农业部主管, 中国农业科学院作物科学研究所和中国种子协会共同主办的全国性、专业性、技术性种业科技期刊。信息量大, 导向性强, 技术实用。刊物目标定位: 以行业导刊的面目出现, 并做到权威性、真实性和及时性。覆盖行业范围: 大田作物、蔬菜、花卉、林木、果树、草坪、牧草、特种种植、种子机械等。读者对象: 各级种子管理、经营企业的领导和技术人员, 各级农业科研、推广部门人员, 大中专农业院校师生, 农村专业户和广大农业生产经营者。

本刊为月刊, 大16开本; 国内统一连续出版物号 CN 11-4413/S, 国际标准连续出版物号 ISSN 1671-895X。全国各地邮局均可订阅, 邮发代号 82-132; 每期定价 8 元, 全年定价 96 元。也可直接汇款至编辑部订阅, 挂号每期需另加 3 元。地址: 北京市中关村南大街 12 号《中国种业》编辑部 (邮编 100081); 电话: 010-82105796 (编辑部), 010-82105795 (广告发行部); 传真: 010-82105796; 网址: <http://www.chinaseedqks.cn>; E-mail: chinaseedqks@sina.com, chinaseedqks@163.com。

欢迎订阅! 欢迎投稿和刊登广告!