

吉林东部不同野生居群兴安杜鹃 种实表型性状变异研究

于忠亮, 苑景淇, 李成宏, 周梅妹, 王梅芳, 杜凤国^①

(北华大学林学院 长白山特色森林资源保育与高效利用国家林业局重点实验室, 吉林 吉林 132013)

摘要: 选取吉林东部吉林市的松花湖自然保护区、永吉县口前镇和蛟河市拉法镇, 延边朝鲜族自治州安图县二道白河镇以及白山市的临江市柞杖镇和长白朝鲜族自治县十四道沟镇 6 个野生居群兴安杜鹃 (*Rhododendron dauricum* Linn.) 作为研究对象, 对其种实表型性状进行方差分析、变异分析、相关性分析、主成分分析和综合评价。结果表明: 不同居群间兴安杜鹃的果实长、果实直径、果形系数、单果质量、种子长、种形系数和种子含水量存在显著或极显著差异。兴安杜鹃居群间种实表型性状变异系数的平均值 (12.47%) 大于居群内种实表型性状变异系数均值的平均值 (11.44%)。相关性分析结果显示: 兴安杜鹃的单果质量、果实长和果实直径间均呈极显著正相关, 种子千粒质量与单果质量和种子含水量呈极显著正相关; 除果实长与海拔、种子直径与纬度以及种子千粒质量与年均降水量呈显著或极显著相关外, 种实表型性状与地理-气候因子总体上无显著相关性。主成分分析结果显示: 前 3 个主成分的累计贡献率达 92.884%, 果实直径、单果质量、种子千粒质量、种形系数、种子直径和果实长是兴安杜鹃种实表型性状的主导因子。综合评价结果显示: 吉林市永吉县口前镇居群兴安杜鹃的种实表型性状最优。

关键词: 兴安杜鹃; 种实表型性状; 相关性分析; 主成分分析; 综合评价

中图分类号: Q944; S685.21 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2020)03-0026-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2020.03.04

Study on variation of phenotypic traits of seed and fruit of *Rhododendron dauricum* from different wild populations in eastern Jilin Province YU Zhongliang, YUAN Jingqi, LI Chenghong, ZHOU Meimei, WANG Meifang, DU Fengguo^① (Key Laboratory of State Forestry Administration on Conservation and Efficient Utilization of Precious and Rare Forest Resource in Changbai Mountains, Forestry College, Beihua University, Jilin 132013, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2020, 29(3): 26-33

Abstract: Taking *Rhododendron dauricum* Linn. from six wild populations (Songhua Lake Nature Reserve, Kouqian Town of Yongji County and Lafa Town of Jiaohe City of Jilin City, Erdaobaihe Town of Antu County of Yanbian Korean Autonomous Prefecture, and Naozhi Town of Linjiang City and Shisidaogou Town of Changbai Korean Autonomous County of Baishan City) in eastern Jilin Province as research objects, variance analysis, variation analysis, correlation analysis, principal component analysis, and comprehensive evaluation were conducted for their phenotypic traits of seed and fruit. The results show that there are significant or extremely significant differences in fruit length, fruit diameter, coefficient of fruit form, single fruit mass, seed length, coefficient of seed form, and water content in seed of *R. dauricum* among different populations. The average of variation coefficient of phenotypic traits of seed and fruit of *R. dauricum* among populations (12.47%) is greater than that of the average of variation coefficient of phenotypic traits of seed and fruit within population (11.44%). The correlation analysis result shows that there are extremely significant positive correlations among single fruit mass,

收稿日期: 2019-09-01

基金项目: 吉林省科学技术厅项目(20190301041NY); 吉林省发展改革委员会项目(2017C054-5)

作者简介: 于忠亮(1993—), 男, 吉林长春人, 硕士研究生, 主要从事野生植物资源保护与利用方面的研究。

^①通信作者 E-mail: dfg4656@hotmail.com

fruit length, and fruit diameter of *R. dauricum*, and extremely significant positive correlations of 1 000-grain mass of seed with single fruit mass and water content in seed; there are no significant correlations of phenotypic traits of seed and fruit with geographic-climatic factors in general except for significant or extremely significant correlations between fruit length and altitude, between seed diameter and latitude, and between 1 000-grain mass of seed and annual mean precipitation. The principal component analysis result shows that the cumulative contribution rate of the first three principal components reaches 92.884%, and fruit diameter, single fruit mass, 1 000-grain mass of seed, coefficient of seed form, seed diameter, and fruit length are the dominant factors of phenotypic traits of seed and fruit of *R. dauricum*. The comprehensive evaluation result shows that phenotypic traits of seed and fruit of *R. dauricum* from population in Kouqian Town of Yongji County of Jilin City are the best.

Key words: *Rhododendron dauricum* Linn.; phenotypic traits of seed and fruit; correlation analysis; principal component analysis; comprehensive evaluation

兴安杜鹃(*Rhododendron dauricum* Linn.)隶属于杜鹃花科(Ericaceae)杜鹃花属(*Rhododendron* Linn.),为落叶或半常绿灌木,分布于黑龙江、吉林、辽宁、山东和内蒙古等地的石砾山脊和石砬子上^[1]。兴安杜鹃为东北地区早春开花最早的野生观赏灌木,其花瓣粉红色,可用于城市绿化,且其根系抗瘠薄能力强,可作为治理石漠化的优良树种^{[2]147}。目前,众多学者对兴安杜鹃的研究主要集中在生物学特性^[3-4]、生理特性^[5]、繁殖技术^[6]、菌根形态特征^[7-8]、药用价值^[9-10]、光合特性^[11]、园林应用^[12]和木材解剖^[13]等方面。

植物表型性状是指植物对自然环境适应性的外在表现形式,受植物本身遗传和生境共同影响^[14-15],既具有变异性又具有稳定性。果实和种子作为植物遗传变异的重要特征,可直观反映表型性状变异^[16-17]。不同居群植物种实对环境的适应性主要受气候、坡度、坡向、经度、纬度和海拔等影响^[18]。在地理环境因子的长期作用下,不同居群植物种实可能存在较大的表型差异,而居群实验能够快速准确地揭示

其表型性状的变异规律^[19-20]。

鉴于此,作者对吉林东部6个野生居群兴安杜鹃的种实表型性状进行方差分析、变异分析、相关性分析、主成分分析和综合评价,以期揭示兴安杜鹃居群间差异,进而筛选出优良居群,并为选育经济价值和绿化价值高的良种提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

基于吉林东部兴安杜鹃分布地调查结果,选择吉林市松花湖自然保护区、吉林市永吉县口前镇、吉林市蛟河市拉法镇、延边朝鲜族自治州安图县二道白河镇、白山市临江市闹枝镇和白山市长白朝鲜族自治县十四道沟镇6个兴安杜鹃野生居群进行采样,各居群的自然概况见表1。每个居群选取1个面积50 m×50 m的样方,在每个样方内随机选取间距10 m以上的植株15株,在每个植株的东、南、西、北4个方向和树冠的上、中、下3个位置各采集30粒无病虫害果

表1 吉林东部6个兴安杜鹃野生居群的自然概况

Table 1 Natural status of six wild populations of *Rhododendron dauricum* Linn. in eastern Jilin Province

居群 ¹⁾ Population ¹⁾	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	年均气温/℃ Annual mean temperature	年均降水量/mm Annual mean precipitation	无霜期/d Frostless period
P1	E126°43'05"	N43°43'49"	810	24	5.3	710.7	125
P2	E126°15'58"	N43°37'11"	540	21	5.1	699.0	125
P3	E127°24'08"	N43°49'23"	770	25	3.6	782.2	121
P4	E128°18'07"	N42°20'20"	680	9	1.7	783.0	95
P5	E127°01'42"	N41°55'33"	420	17	4.0	747.9	117
P6	E128°12'28"	N41°28'07"	650	18	1.0	1 172.0	113

¹⁾ P1: 吉林市松花湖自然保护区 Songhua Lake Nature Reserve of Jilin City; P2: 吉林市永吉县口前镇 Kouqian Town of Yongji County of Jilin City; P3: 吉林市蛟河市拉法镇 Lafa Town of Jiaohe City of Jilin City; P4: 延边朝鲜族自治州安图县二道白河镇 Erdaobaihe Town of Antu County of Yanbian Korean Autonomous Prefecture; P5: 白山市临江市闹枝镇 Naozhi Town of Linjiang City of Baishan City; P6: 白山市长白朝鲜族自治县十四道沟镇 Shisidaogou Town of Changbai Korean Autonomous County of Baishan City.

实,混合后装入信封,自然干燥后测量果实各项指标。待果实完全干燥后取种子测量各项指标。

6个兴安杜鹃野生居群属于温带大陆性季风气候,植被丰富,土壤类型均为暗棕壤。吉林市松花湖自然保护区居群伴生植物有胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.)、蒙古栎(*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.)、五角枫[*Acer pictum* subsp. *mono* (Maxim.) H. Ohashi]、黄花落叶松(*Larix olgensis* Henry)和卫矛[*Euonymus alatus* (Thunb.) Sieb.]等;吉林市永吉县口前镇居群伴生植物有蒙古栎、春榆[*Ulmus davidiana* var. *japonica* (Rehd.) Nakai]、五角枫、胡枝子、软枣猕猴桃[*Actinidia arguta* (Sieb. et Zucc.) Planch. ex Miq.]和紫椴(*Tilia amurensis* Rupr.)等;吉林市蛟河市拉法镇居群伴生植物有蒙古栎、五角枫、硕桦(*Betula costata* Trautv.)、春榆、大果榆(*Ulmus macrocarpa* Hance)和花曲柳[*Fraxinus chinensis* subsp. *rhynchophylla* (Hance) E. Murray]等;延边朝鲜族自治州安图县二道白河镇居群伴生植物有硕桦、黄花落叶松、蒙古栎、五角枫、山杨(*Populus davidiana* Dode)和稠李(*Padus avium* Mill.)等;白山市临江市闹枝镇居群伴生植物有黄花落叶松、蒙古栎、卫矛、花楸树[*Sorbus pohuashanensis* (Hance) Hedl.]、暴马丁香[*Syringa reticulata* subsp. *amurensis* (Rupr.) P. S. Green et M. C. Chang]和硕桦等;白山市长白朝鲜族自治县十四道沟镇居群伴生植物有蒙古栎、五角枫、白桦(*Betula platyphylla* Suk.)、胡枝子和黄花落叶松等。

1.2 种实表型性状测定方法

将各居群果实分别混合,均分为3组。采用VHX-2000超景深三维显微镜(日本KEYENCE公司)测量果实和种子的长(果实或种子顶部到基部的长度)和直径(果实或种子最粗处的直径),每组30粒;分别根据公式“果形系数=果实长/果实直径”和“种形系数=种子长/种子直径”计算果形系数和种形系数;采用万分之一电子天平称量各组30粒果实的质量,然后计算单果质量;称取种子千粒质量,3次重复;参照文献[21]测定种子含水量,3次重复。

1.3 数据处理与分析

使用WPS EXCEL 2019软件整理数据,使用SPSS 19.0软件进行方差分析、多重比较、显著性检验及Pearson相关性分析。根据公式“ $X_{ij}^* = (X_{ij} - \bar{X}_j) / S_j$ ”对数据进行标准化,式中, X_{ij}^* 为第*i*个居群第*j*个

表型性状的标准化数值, X_{ij} 为第*i*个居群第*j*个表型性状的测量值, \bar{X}_j 为第*j*个表型性状测量值的平均值, S_j 为第*j*个表型性状测量值的标准差。将各表型性状的测量值转化成均值为0、标准差为1的无量纲数据,居群重复力(*T*)计算公式为 $T = 1 - 1/F^{[22]}$,式中,*F*为某一表型性状居群间方差分析的*F*值。*T*值在0~1之间,*T*值越大,表明居群表型性状的差异性越稳定。参照郭松等^[23]的方法,按照特征值大于1提取主成分,计算各表型性状的权重系数,依据权重系数构建各居群综合得分函数方程,然后根据综合得分对居群排序。

2 结果和分析

2.1 吉林东部不同野生居群兴安杜鹃种实表型性状分析

2.1.1 果实表型性状的比较 结果(表2)显示:吉林市松花湖自然保护区(P1)居群兴安杜鹃的果实最短(12.16 mm),白山市临江市闹枝镇(P5)居群的果实最长(13.97 mm);吉林市蛟河市拉法镇(P3)居群的果实直径最小(3.29 mm),延边朝鲜族自治州安图县二道白河镇(P4)居群的果实直径最大(3.81 mm);P1居群的果形系数最小(3.42),P5居群的果形系数最大(4.03);P3居群的单果质量最小(1.03 g),吉林市永吉县口前镇(P2)居群的单果质量最大(1.06 g)。方差分析结果显示:不同居群间果实长、果实直径、果形系数和单果质量存在显著或极显著差异。

P5居群的果实长变异系数最大(12.10%),P3居群的果实直径和果形系数的变异系数均最大(分别为15.20%和14.92%),各居群内单果质量的变异系数均小于1%。果形系数居群间变异系数(13.25%)远大于单果质量居群间变异系数(1.15%)。

2.1.2 种子表型性状的比较 结果(表2)显示:P4居群的种子最短(1.06 mm),P3居群的种子最长(1.26 mm);白山市长白朝鲜族自治县十四道沟镇(P6)居群的种子直径最小(0.44 mm),P2居群的种子直径最大(0.50 mm);P4居群的种形系数最小(2.26),P6居群的种形系数最大(2.81);P6居群的种子含水量最小(40.60%),P2居群的种子含水量最大(47.95%);P6居群的种子千粒质量最小(0.06 g),P2居群的种子千粒质量最大(0.11 g)。方差分析结

果显示:不同居群间种子长、种形系数和种子含水量存在极显著差异。

P1 居群的种子长变异系数最大(14.55%), P6 居群的种子直径变异系数最大(20.45%), P5 居群的种形系数变异系数最大(23.72%), P5 和 P6 居群的种子千粒质量变异系数最大(均为 33.33%), 各居群内种子含水量变异系数均在 1% 左右。种形系数居群间变异系数(21.12%) 远大于种子含水量居群间变

异系数(5.62%)。

兴安杜鹃居群间种实表型性状变异系数的平均值(12.47%) 大于居群内种实表型性状变异系数均值的平均值(11.44%), 说明吉林东部兴安杜鹃种实表型性状变异主要来源于居群间。由居群重复力可以看出:单果质量的居群重复力(0.957) 最高, 且其居群间变异系数仅 1.15%, 说明该性状稳定, 可用于筛选兴安杜鹃优质居群。

表 2 吉林东部不同野生居群兴安杜鹃种实表型性状的比较结果($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 2 Result of comparison on phenotypic traits of seed and fruit of *Rhododendron dauricum* Linn. from different wild populations in eastern Jilin Province ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

居群 Population	果实长/mm Fruit length	果实直径/mm Fruit diameter	果形系数 Coefficient of fruit form	单果质量/g Single fruit mass	种子长/mm Seed length
P1	12.16±0.87dB (7.07%)	3.55±0.19bcAB (5.35%)	3.42±0.16cB (4.68%)	1.04±0.01cBC (0.96%)	1.10±0.16cBC (14.55%)
P2	13.76±1.12aA (8.14%)	3.75±0.48abcA (12.80%)	3.71±0.45bcdAB (12.13%)	1.06±0.01aA (0.94%)	1.24±0.13aAB (10.48%)
P3	12.34±1.00cdB (8.10%)	3.29±0.50dB (15.20%)	3.82±0.57abcdAB (14.92%)	1.03±0.01dD (0.94%)	1.26±0.13aA (10.32%)
P4	13.00±0.96bcAB (7.38%)	3.81±0.36aA (9.45%)	3.44±0.39bcB (11.34%)	1.05±0.01bAB (0.95%)	1.06±0.13cC (12.26%)
P5	13.97±1.69aA (12.10%)	3.49±0.38bcdAB (10.89%)	4.03±0.52aA (12.90%)	1.04±0.01cBC (0.96%)	1.13±0.14bcABC (12.39%)
P6	13.24±1.39abAB (10.50%)	3.46±0.36bcdAB (10.40%)	3.86±0.48abcdAB (12.44%)	1.04±0.01cBC (0.96%)	1.20±0.13abABC (10.83%)
$CV_2/\%$	10.37	11.90	13.25	1.15	12.93
F	7.389**	4.799*	5.738**	23.208*	7.136**
T	0.865	0.792	0.826	0.957	0.860

居群 Population	种子直径/mm Seed diameter	种形系数 Coefficient of seed form	种子含水量/% Water content in seed	种子千粒质量/g 1 000-grain mass of seed	$CV_1/\%$
P1	0.49±0.09aA (18.37%)	2.29±0.44bA (19.21%)	42.20±0.57dD (1.35%)	0.08±0.01abA (12.50%)	9.34
P2	0.50±0.09aA (18.00%)	2.52±0.54abA (21.43%)	47.95±0.50aA (1.04%)	0.11±0.01aA (9.09%)	10.45
P3	0.49±0.07aA (14.29%)	2.63±0.53aA (20.15%)	43.30±0.57cdCD (1.32%)	0.09±0.02abA (22.22%)	11.94
P4	0.48±0.06abA (12.50%)	2.26±0.42bA (18.58%)	44.05±0.21cC (0.48%)	0.09±0.01abA (11.11%)	9.34
P5	0.46±0.09abA (19.57%)	2.53±0.60abA (23.72%)	45.45±0.35bB (0.77%)	0.09±0.03abA (33.33%)	14.07
P6	0.44±0.09bA (20.45%)	2.81±0.60aA (21.35%)	40.60±0.42cE (1.03%)	0.06±0.02bA (33.33%)	13.48
$CV_2/\%$	16.67	21.12	5.62	19.19	
F	1.671	3.335**	5.237**	1.881	
T	0.402	0.701	0.809	0.468	

¹⁾ P1: 吉林市松花湖自然保护区 Songhua Lake Nature Reserve of Jilin City; P2: 吉林市永吉县口前镇 Kouqian Town of Yongji County of Jilin City; P3: 吉林市蛟河市拉法镇 Lafa Town of Jiaohe City of Jilin City; P4: 延边朝鲜族自治州安图县二道白河镇 Erdaobaihe Town of Antu County of Yanbian Korean Autonomous Prefecture; P5: 白山市临江市闹枝镇 Naozhi Town of Linjiang City of Baishan City; P6: 白山市长白朝鲜族自治县十四道沟镇 Shisidaogou Town of Changbai Korean Autonomous County of Baishan City. 同列中不同的大写和小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著 Different uppercases and lowercases in the same column indicate the significant differences at the level of 0.01 and 0.05, respectively. 括号内百分数为变异系数 The percentages in brackets are coefficients of variation. CV_1 : 居群内变异系数的均值 Average of coefficient of variation within population; CV_2 : 居群间变异系数 Coefficient of variation among populations; F : F 值 F value; T : 居群重复力 Population repeatability. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

2.2 吉林东部兴安杜鹃种实表型性状的相关性分析和主成分分析

2.2.1 种实表型性状间的相关性分析

结果(表 3)显示:果实长与果实直径、果形系数、单果质量和种子含水量呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.373、0.443、0.307 和 0.596; 果实直径与果形系数呈极显著

负相关, 相关系数为 -0.656, 与单果质量和种子含水量呈极显著正相关, 与种子千粒质量呈显著正相关, 相关系数分别为 0.265、0.487 和 0.182; 单果质量与种子含水量和种子千粒质量呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.680 和 0.412; 种子长与种形系数呈极显著正相关, 相关系数为 0.593; 种子直径与种形系数呈极

表3 吉林东部兴安杜鹃种实表型性状间的相关系数¹⁾Table 3 Correlation coefficient among phenotypic traits of seed and fruit of *Rhododendron dauricum* Linn. in eastern Jilin Province¹⁾

表型性状 Phenotypic trait	表型性状间的相关系数 Correlation coefficient among phenotypic traits								
	FL	FD	CFF	SFM	SL	SD	CSF	WCS	GMS
FL	1.000								
FD	0.373**	1.000							
CFF	0.443**	-0.656**	1.000						
SFM	0.307**	0.265**	-0.003	1.000					
SL	-0.004	0.145	-0.111	0.120	1.000				
SD	0.039	0.085	-0.056	-0.079	-0.010	1.000			
CSF	-0.047	-0.025	0.081	0.144	0.593**	-0.778**	1.000		
WCS	0.596**	0.487**	0.124	0.680**	0.140	0.053	-0.236*	1.000	
GMS	0.149	0.182*	-0.031	0.412**	0.072	0.200*	-0.160	0.942**	1.000

¹⁾ FL: 果实长 Fruit length; FD: 果实直径 Fruit diameter; CFF: 果形系数 Coefficient of fruit form; SFM: 单果质量 Single fruit mass; SL: 种子长 Seed length; SD: 种子直径 Seed diameter; CSF: 种形系数 Coefficient of seed form; WCS: 种子含水量 Water content in seed; GMS: 种子千粒质量 1 000-grain mass of seed. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

显著负相关,相关系数为-0.778,与种子千粒质量呈显著正相关,相关系数为0.200;种形系数与种子含水量呈显著负相关,相关系数为-0.236;种子含水量与种子千粒质量呈极显著正相关,相关系数为0.942;其他表型性状间的相关性不显著。

2.2.2 种实表型性状与地理-气候因子的相关性分析 结果(表4)显示:果实长与海拔呈极显著负相

关,相关系数为-0.973;种子直径与纬度呈极显著正相关,相关系数为0.942;种子千粒质量与年均降水量呈显著负相关,相关系数为-0.824;所有种实表型性状与经度、年均气温、坡度和无霜期的相关性均不显著,但多数种实表型性状与经度、纬度和海拔呈负相关,与年均气温和无霜期呈正相关。

表4 吉林东部兴安杜鹃种实表型性状与地理-气候因子的相关系数¹⁾Table 4 Correlation coefficient of phenotypic traits of seed and fruit of *Rhododendron dauricum* Linn. with geographic-climatic factors in eastern Jilin Province¹⁾

表型性状 Phenotypic trait	与地理-气候因子的相关系数 Correlation coefficient with geographic-climatic factors						
	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude	坡度 Slope	年均气温 Annual mean temperature	年均降水量 Annual mean precipitation	无霜期 Frostless period
果实长 Fruit length	-0.141	-0.532	-0.973**	-0.413	-0.075	0.063	-0.091
果实直径 Fruit diameter	-0.050	-0.051	-0.223	-0.630	0.012	-0.298	-0.435
果形系数 Coefficient of fruit form	-0.042	-0.409	-0.651	0.158	-0.115	0.312	0.254
单果质量 Single fruit mass	-0.198	-0.233	-0.652	-0.508	0.019	-0.119	-0.202
种子长 Seed length	-0.263	0.312	-0.022	0.636	0.126	0.189	0.569
种子直径 Seed diameter	-0.648	0.942**	0.297	0.440	0.713	-0.772	0.419
种形系数 Coefficient of seed form	0.170	-0.356	-0.240	0.293	-0.352	0.708	0.262
种子含水量 Water content in seed	-0.625	0.309	-0.611	-0.071	0.529	-0.683	0.182
种子千粒质量 1 000-grain mass of seed	-0.627	0.562	-0.328	0.042	0.604	-0.824*	0.195

¹⁾ *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

2.2.3 主成分分析 结果(表5)显示:前3个主成分的累计贡献率达92.884%。第1主成分的贡献率达45.162%,其中,果实直径、单果质量、种子千粒质量和种形系数的特征向量较高,是第1主成分的主导因子;第2主成分的贡献率为29.665%,其中,果实长的特征向量最高,是第2主成分的主导因子;第3主成

分的贡献率为18.057%,其中,种子直径的特征向量最高,是第3主成分的主导因子。说明果实直径、单果质量、种子千粒质量、种形系数、种子直径和果实长可代表兴安杜鹃种实表型性状的绝大部分信息。

2.3 吉林东部兴安杜鹃种实表型性状的综合评价

吉林东部兴安杜鹃果实长(X_1)、果实直径(X_2)、

表 5 吉林东部兴安杜鹃种实表型性状的主成分分析结果¹⁾

Table 5 Result of principal component analysis on phenotypic traits of seed and fruit of *Rhododendron dauricum* Linn. in eastern Jilin Province¹⁾

主成分 Principal component	特征向量 Eigenvector									E	CR/%	CCR/%
	FL	FD	CFF	SFM	SL	SD	CSF	WCS	GMS			
1	0.202	0.861	-0.557	0.810	-0.333	0.696	-0.749	0.737	0.784	4.065	45.162	45.162
2	0.799	-0.060	0.775	0.296	0.640	-0.097	0.583	0.630	0.428	2.670	29.665	74.827
3	-0.553	-0.442	-0.069	-0.327	0.573	0.710	0.006	0.146	0.400	1.625	18.057	92.884

¹⁾ FL: 果实长 Fruit length; FD: 果实直径 Fruit diameter; CFF: 果形系数 Coefficient of fruit form; SFM: 单果质量 Single fruit mass; SL: 种子长 Seed length; SD: 种子直径 Seed diameter; CSF: 种形系数 Coefficient of seed form; WCS: 种子含水量 Water content in seed; GMS: 种子千粒质量 1 000-grain mass of seed. E: 特征值 Eigenvalue; CR: 贡献率 Contribution rate; CCR: 累计贡献率 Cumulative contribution rate.

果形系数(X_3)、单果质量(X_4)、种子长(X_5)、种子直径(X_6)、种形系数(X_7)、种子含水量(X_8)和种子千粒质量(X_9)的权重系数分别为 0.111、0.119、0.006、0.189、0.123、0.239、-0.061、0.300 和 0.310, 其中, 果实表型性状权重系数的均值为 0.106, 种子表型性状权重系数的均值为 0.182, 说明种子表型性状是评价和筛选兴安杜鹃优质居群的又一指标。根据各表型性状的权重系数建立各居群种实表型性状的综合得分函数方程: $Y_i = 0.111X_{i1} + 0.119X_{i2} + 0.006X_{i3} + 0.189X_{i4} + 0.123X_{i5} + 0.239X_{i6} - 0.061X_{i7} + 0.300X_{i8} + 0.310X_{i9}$, 式中, Y_i 为第 i 个居群的综合得分, X_{i1} 至 X_{i9} 分别

为第 i 个居群的 9 个表型性状标准化数值, 综合评价结果(表 6)显示: 不同居群兴安杜鹃种实表型性状的综合得分由高到低依次为吉林市永吉县口前镇(P2)居群(1.798)、延边朝鲜族自治州安图县二道白河镇(P4)居群(0.297)、白山市临江市闹枝镇(P5)居群(0.226)、吉林市蛟河市拉法镇(P3)居群(-0.284)、吉林市松花湖自然保护区(P1)居群(-0.441)、白山市长白朝鲜族自治县十四道沟镇(P6)居群(-1.412), 说明吉林市永吉县口前镇居群兴安杜鹃的种实表型性状最优。

表 6 吉林东部不同野生居群兴安杜鹃种实表型性状综合评价结果

Table 6 Result of comprehensive evaluation on phenotypic traits of seed and fruit of *Rhododendron dauricum* Linn. from different wild populations in eastern Jilin Province

居群 ¹⁾ Population ¹⁾	特征向量得分 ²⁾ Score of eigenvector ²⁾									综合得分 Comprehensive score	排序 Ranking
	FL	FD	CFF	SFM	SL	SD	CSF	WCS	GMS		
P1	-0.139	-0.005	-0.007	-0.061	-0.107	0.141	0.064	-0.201	-0.126	-0.441	5
P2	0.103	0.118	0.000	0.305	0.115	0.248	-0.004	0.470	0.443	1.798	1
P3	-0.112	-0.165	-0.003	-0.244	0.145	0.141	-0.036	-0.073	0.063	-0.284	4
P4	-0.012	0.155	-0.007	0.137	-0.161	0.035	0.072	0.015	0.063	0.297	2
P5	0.135	-0.042	0.008	0.122	-0.054	-0.177	-0.007	0.178	0.063	0.226	3
P6	0.025	-0.061	0.004	-0.061	0.054	-0.389	-0.089	-0.389	-0.506	-1.412	6

¹⁾ P1: 吉林市松花湖自然保护区 Songhua Lake Nature Reserve of Jilin City; P2: 吉林市永吉县口前镇 Kouqian Town of Yongji County of Jilin City; P3: 吉林市蛟河市拉法镇 Lafa Town of Jiaohe City of Jilin City; P4: 延边朝鲜族自治州安图县二道白河镇 Erdaobaihe Town of Antu County of Yanbian Korean Autonomous Prefecture; P5: 白山市临江市闹枝镇 Naozhi Town of Linjiang City of Baishan City; P6: 白山市长白朝鲜族自治县十四道沟镇 Shisidaogou Town of Changbai Korean Autonomous County of Baishan City.

²⁾ FL: 果实长 Fruit length; FD: 果实直径 Fruit diameter; CFF: 果形系数 Coefficient of fruit form; SFM: 单果质量 Single fruit mass; SL: 种子长 Seed length; SD: 种子直径 Seed diameter; CSF: 种形系数 Coefficient of seed form; WCS: 种子含水量 Water content in seed; GMS: 种子千粒质量 1 000-grain mass of seed.

3 讨论和结论

野生兴安杜鹃分布范围广泛, 生境条件各异, 由于长期的地理和生殖隔离, 造成不同野生居群兴安杜鹃产生变异。本研究中, 吉林东部兴安杜鹃果实表型

性状中果实长、果实直径、果形系数和单果质量以及种子表型性状中种子长、种形系数和种子含水量在居群间存在显著或极显著差异, 说明这些种实表型性状产生了明显变异, 遗传改良潜力巨大, 为筛选优质兴安杜鹃居群提供了必要条件。此外, 果实长、果形系数、单果质量、种子长和种子含水量的居群重复力均

在0.8以上,其中,单果质量的居群重复力高达0.957,说明这些种实表型性状较稳定,可为兴安杜鹃的地理变异研究提供可靠保障。

兴安杜鹃9个种实表型性状居群间变异系数为1.15%~21.12%,平均值为12.47%,大于居群内变异系数均值的平均值(11.44%),说明兴安杜鹃种实表型性状存在丰富的变异,且变异主要来源于居群间。姜楠^[24]利用叶绿体基因片段扩增技术对23个自然群落兴安杜鹃进行遗传多样性研究,认为超过70%的变异来源于群落间,而满莉^[25]利用SSR分子标记研究兴安杜鹃群体遗传变异,认为其遗传变异主要存在于群体内(占78.44%)。推测造成上述差异的原因可能是由于表型性状与分子标记的变异模式存在差异。等位基因的基因流通过自然界的风和花粉传播等影响植物群体内与群体间遗传信息的交流,从而产生不连续遗传变异^[26-27],而果实、种子和叶片等表型性状变异多为连续性变异^[28],因此,可能造成兴安杜鹃变异源不同。郭松等^[23]认为,植物种源间变异是其在地理和生殖隔离上变异结果的体现,而种源内变异反映了植物对环境的适应性,种源内变异系数越大,说明植物适应范围越广。本研究所选居群均来自长白山及其附属山脉,生殖隔离和长白山复杂的生境可造成居群间不同程度的变异。此外,野外调查发现,各居群兴安杜鹃多生长于山脊上,呈条带状分布。这表明地理因子和生殖隔离可能是造成兴安杜鹃居群间变异系数大于居群内变异系数的主要原因。

相关性分析结果表明:兴安杜鹃的单果质量、果实长和果实直径间均存在极显著正相关,说明果实长和果实直径对单果质量影响较大,二者的数值越大,单果质量越大;种子千粒质量与单果质量和种子含水量呈极显著正相关,说明单果质量越大、种子含水量越高,种子千粒质量越大;除果实长与海拔、种子直径与纬度以及种子千粒质量与年均降水量呈显著或极显著相关外,种实表型性状与地理-气候因子总体上无显著相关性,表明吉林地区兴安杜鹃果实和种子受这些地理-气候因子影响较小,其中,种子千粒质量与年均降水量呈显著负相关,说明随着年均降水量的减少,种子千粒质量增加,说明兴安杜鹃能够适应干旱少雨的生境,与董世林^{[2]148}描述的兴安杜鹃生境相吻合,因此,可考虑将兴安杜鹃应用于城市干旱、土壤瘠薄的生境的园林绿化。

本研究结果显示:兴安杜鹃的种实表型性状变异

丰富,以居群间变异为主;果实直径、单果质量、种子千粒质量、种形系数、种子直径和果实长是评价兴安杜鹃居群的主要指标,以吉林市永吉县口前镇居群兴安杜鹃的种实表型性状最优。

参考文献:

- [1] 于学仁,沈思军,车代弟.我国东北地区的杜鹃花种质资源[J].中国园林,1993,9(3):61-63.
- [2] 董世林.植物资源学[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1994.
- [3] 徐娟,于德利,刘焕婷.兴安杜鹃和迎红杜鹃种子、幼苗及苗木生长特性研究[J].森林工程,2010,26(2):24-26.
- [4] 李畅,苏家乐,陈璐,等.长白山区6种杜鹃花属植物种子形态及萌发特性[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2011,32(4):59-63.
- [5] 徐娟,曹玉峰,田艳丽,等.不同pH值对兴安杜鹃及迎红杜鹃生理特性的影响[J].林业科技,2009,34(5):58-59.
- [6] 周金梅,宫敬利,建德锋.不同激素及扦插基质对兴安杜鹃嫩枝扦插成活率的影响[J].经济林研究,2012,30(4):123-125.
- [7] 贾锐,杨秀丽,闫伟.兴安杜鹃菌根形态特征和土壤理化性质的关系研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2011,32(3):63-66.
- [8] ALLEN T R, MILLAR T, BERCH S M, et al. Culturing and direct DNA extraction find different fungi from the same ericoid mycorrhizal roots[J]. New Phytologist, 2003, 160: 255-272.
- [9] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:2010年版(一部)[M].北京:中国医药科技出版社,2010:339.
- [10] 乔晶,胡峻,李艳忙,等.杜鹃花科药用植物化学成分及分类研究[C]//中华中医药学会.中华中医药学会中药化学分会第九届学术年会论文集(第一册).厦门:中华中医药学会,2014:339-344.
- [11] 曹玉峰,徐娟,林永木,等.不同光照条件对兴安杜鹃和迎红杜鹃光合生理的影响[J].东北林业大学学报,2008,36(8):19-20.
- [12] 郁永英,张志军,刘桂英.野生兴安杜鹃和迎红杜鹃的园林应用[J].国土与自然资源研究,2009(3):78-79.
- [13] 冯利群,马蓓,康国利.兴安杜鹃材解剖构造及化学组分研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2011,32(1):223-226.
- [14] 李叶芳,马诗雨,宋杰,等.大白花杜鹃三个天然居群的表型多样性分析[J].北方园艺,2019(1):115-120.
- [15] 徐杨,周丽,蔡年辉,等.云南松不同海拔群体的针叶性状表型多样性研究[J].云南农业大学学报(自然科学),2016,31(1):109-114.
- [16] 李晓洁,徐化成.白皮松种子发芽习性及其种源变异的研究[J].林业科学,1989,25(2):97-105.
- [17] LEISHMAN M R, WESTOBY M, JURADO E. Correlates of seed size variation: a comparison among five temperate floras [J]. Journal of Ecology, 1995, 83(3): 517-530.
- [18] GARCÍA D, ZAMORA R, GÓMEZ J M, et al. Geographical

- variation in seed production, predation and abortion in *Juniperus communis* throughout its range in Europe[J]. *Journal of Ecology*, 2000, 88(3): 436-446.
- [19] 何 权,蒋瑞娟,朱 军,等. 新疆梭梭种子表型性状变异分析及相关研究[J]. *植物资源与环境学报*, 2019, 28(3): 26-32.
- [20] 魏胜利,王文全,秦淑英,等. 甘草种源种子形态与萌发特性的地理变异研究[J]. *中国中药杂志*, 2008, 33(8): 869-873.
- [21] 宋松泉. 种子生物学研究指南[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 3-4.
- [22] 陈丽君,邓小梅,丁美美,等. 苦楝种源果核及种子性状地理变异的研究[J]. *北京林业大学学报*, 2014, 36(1): 15-20.
- [23] 郭 松,李在留,薛建辉,等. 不同种源掌叶木果实和种子表型性状多样性分析及综合评价[J]. *植物资源与环境学报*, 2018, 27(4): 11-20.
- [24] 姜 楠. 基于叶绿体 DNA 的兴安杜鹃遗传结构与亲缘地理学研究[D]. 长春: 东北师范大学生命科学学院, 2016: 36-37.
- [25] 满 莉. 基于 SSR 分子标记的兴安杜鹃群体遗传结构研究[D]. 长春: 东北师范大学生命科学学院, 2016: 33-34.
- [26] HUSBAND B C, BARRETT S C H. Estimates of gene flow in *Eichhornia paniculata* (Pontederiaceae): effects of range substructure[J]. *Heredity*, 1995, 75(4): 549-560.
- [27] SLATKIN M. Gene flow and the geographic structure of natural populations[J]. *Science*, 1987, 236(4803): 787-792.
- [28] 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.
- (责任编辑: 张明霞)

~~~~~  
(上接第 25 页 Continued from page 25)

- [12] 张国君,李 云,徐兆翻,等. 引种刺槐无性系形态及叶片营养的初步研究[J]. *北京林业大学学报*, 2012, 34(2): 52-56.
- [13] 任 悦,高广磊,丁国栋,等. 沙地樟子松人工林叶片-枯落物-土壤有机碳含量特征[J]. *北京林业大学学报*, 2018, 40(7): 36-44.
- [14] HAN W, FANG J, GUO D, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China[J]. *New Phytologist*, 2005, 168: 377-385.
- [15] 任书杰,于贵瑞,陶 波,等. 中国东部南北样带 654 种植物叶片氮和磷的化学计量学特征研究[J]. *环境科学*, 2007, 28(12): 2665-2673.
- [16] 吴统贵,陈步峰,肖以华,等. 珠江三角洲 3 种典型森林类型乔木叶片生态化学计量学[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 58-63.
- [17] 平 川,王传宽,全先奎. 环境变化对兴安落叶松氮磷化学计量特征的影响[J]. *生态学报*, 2014, 34(8): 1965-1974.
- [18] 王树力,郝玉琢,周 磊,等. 水曲柳人工林树木叶片营养元素及其化学计量特征的季节动态[J]. *北京林业大学学报*, 2018, 40(10): 24-33.
- [19] 徐化成. 关于人工林的地力下降问题[J]. *世界林业研究*, 1992(1): 66-73.
- [20] 周 磊,王树力. 树种混交对红皮云杉人工林土壤养分的影响[J]. *东北林业大学学报*, 2019, 47(2): 37-41.
- [21] 牛得草,李 茜,江世高,等. 阿拉善荒漠区 6 种主要灌木植物叶片 C:N:P 化学计量比的季节变化[J]. *植物生态学报*, 2013, 37(4): 317-325.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 222-232.
- [23] 李 征,韩 琳,刘玉虹,等. 滨海盐地碱蓬不同生长阶段叶片 C、N、P 化学计量特征[J]. *植物生态学报*, 2012, 36(10): 1054-1061.
- [24] 刘广全,赵士洞,王 浩,等. 锐齿栎林非同化器官营养元素含量的分布[J]. *生态学报*, 2001, 21(3): 422-429.
- [25] HERBERT D A, WILLIAMS M, RASTETTER E B. A model analysis of N and P limitation on carbon accumulation in Amazonian secondary forest after alternate land-use abandonment [J]. *Biogeochemistry*, 2003, 65: 121-150.
- [26] ÅGREN G I. Stoichiometry and nutrition of plant growth in natural communities [J]. *Annual Review of Ecology Evolution, and Systematics*, 2008, 39: 153-170.
- [27] AERTS R, CHAPIN III F S. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns[J]. *Advances in Ecological Research*, 1999, 30: 1-67.
- [28] ELSEY J J, FAGAN W F, DENNO R F, et al. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs [J]. *Nature*, 2000, 408(6812): 578-580.
- [29] GÜSEWELL S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance[J]. *New Phytologist*, 2004, 164: 243-266.
- [30] REICH P B, WALTERS M B, ELLSWORTH D S. Leaf life-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems[J]. *Ecological Monographs*, 1992, 62(3): 365-392.
- (责任编辑: 佟金凤)