北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

新疆单叶蔷薇居群表型变异及多样性研究

刘学森 李娜 张雪云 肖丽 江律 罗乐 于超 张启翔

Phenotypic variation and diversity of natural *Rosa persica* populations in Xinjiang of northwestern China

Liu Xuesen, Li Na, Zhang Xueyun, Xiao Li, Jiang L ü , Luo Le, Yu Chao, Zhang Qixiang

引用本文:
刘学森, 李娜, 张雪云, 肖丽, 江律, 罗乐, 于超, 张启翔. 新疆单叶蔷薇居群表型变异及多样性研究[J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(2):51–61. doi: 10.12171/j.1000–1522.20220525
Liu Xuesen, Li Na, Zhang Xueyun, Xiao Li, Jiang L ü , Luo Le, Yu Chao, Zhang Qixiang. Phenotypic variation and diversity of natural *Rosa persica* populations in Xinjiang of northwestern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(2):51–61. doi: 10.12171/j.1000–1522.20220525

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20220525

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

吉林省天然红松居群表型变异分析及多样性研究

Phenotypic variation and diversity of natural *Pinus koraiensis* populations in Jilin Province of northern China

北京林业大学学报, 2021, 43(4): 25–34. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200250

美洲黑杨表型和生理性状多样性及群体结构分析

Phenotypic and physiological trait diversity and population structure of *Populus deltoides*

北京林业大学学报, 2021, 43(6): 1–12. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200231

蓝莓种质资源表型多样性研究

Phenotypic diversity analysis of blueberry germplasm resources

北京林业大学学报, 2020, 42(2): 124–134. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20190279

枣核心种质表型性状多样性及裂果相关性

Phenotypic genetic diversity of a core collection of *Ziziphus jujuba* and correlation analysis of dehiscent characters

北京林业大学学报, 2017, 39(6): 78–84. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20170024

菏泽和洛阳芍药品种资源表型多样性研究

Phenotype diversity of herbaceous peony variety resources in Heze, Shandong of eastern China and Luoyang, Henan of central China

北京林业大学学报, 2018, 40(3): 110–121. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20170380

山东大青山刺槐无性系叶性状的表型变异分析与饲用优良无性系选择

Phenotypic variation analysis on leaf traits and selection of optimal forage clones of *Robinia pseudoacacia* clones in Shandong Province of eastern China

北京林业大学学报, 2021, 43(11): 62–70. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200305

DOI:10.12171/j.1000−1522.20220525

新疆单叶蔷薇居群表型变异及多样性研究

刘学森　李　娜　张雪云　肖　丽　江　律　罗　乐　于　超　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，城乡生态环境北京实验室，
花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室，北京 100083）

摘要:【目的】单叶蔷薇为蔷薇属唯一的单叶物种，是月季育种中的重要材料，在我国主要分布于新疆北部地区，但由于人为的破坏和环境的改变导致其面临濒危灭绝的风险。本研究通过分析单叶蔷薇表型多样性，探究其表型变异规律，旨在为更好地保护和利用单叶蔷薇种质资源提供理论指导。**【方法】**本研究以 9 个单叶蔷薇天然居群中 270 个单株为研究材料，对其 19 个表型性状数据进行收集，利用巢式方差分析、皮尔逊相关性分析、主成分分析和聚类分析方法，探究其表型变异规律与多样性水平。**【结果】**(1)9 个单叶蔷薇天然居群表型多样性水平较高，19 个表型性状的变异系数和香农多样性指数均值分别为 15.90% 和 2.031；9 个居群的表型变异系数在 10.32%(P4)～13.19%(P8)，表现出中等程度的变异，香农多样性指数在 1.274(P5)～1.825(P8)之间，其中 P8 居群呈现出较高的多样性水平。(2)19 个表型性状在居群间和居群内均存在极显著性差异($P < 0.01$)，居群间的平均表型分化系数为 41.23%，表型变异主要来源于居群内。(3)皮尔逊相关性分析发现，单叶蔷薇花径与叶面积、花瓣面积与花斑百分比等部分性状间存在显著相关性。(4)主成分分析共提炼出 5 个主成分，累计贡献率为 80.463%，贡献率最大的 2 个主成分主要解释花与叶的性状。(5)聚类分析可将单叶蔷薇 9 个居群分为 2 类，第 1 类为大花类，包括 P6、P7、P8；第 2 类为小花类，包括 P1、P2、P3、P4、P5、P9。**【结论】**新疆单叶蔷薇具有较高的表型多样性和变异水平，且变异的来源主要集中在居群内。

关键词：单叶蔷薇；居群；表型变异；表型多样性
中图分类号：S685.12　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000−1522(2024)02−0051−11
引文格式：刘学森，李娜，张雪云，等. 新疆单叶蔷薇居群表型变异及多样性研究［J］. 北京林业大学学报，2024，46(2)：51−61. Liu Xuesen, Li Na, Zhang Xueyun, et al. Phenotypic variation and diversity of natural *Rosa persica* populations in Xinjiang of northwestern China［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(2): 51−61.

Phenotypic variation and diversity of natural *Rosa persica* populations in Xinjiang of northwestern China

Liu Xuesen　Li Na　Zhang Xueyun　Xiao Li　Jiang Lü　Luo Le　Yu Chao　Zhang Qixiang
(School of Landscape Architecture, National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation and Molecular Breeding, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: ［**Objective**］ *Rosa persica*, the only single-leaf species of *Rosa*, is an important material for rose breeding. It is mainly distributed in northern Xinjiang of northwestern China, but it is at risk of extinction due to human damage and environmental changes. This study analyzed the phenotypic diversity of *Rosa persica* and explored the rule of its phenotypic variation, aiming to provide theoretical guidance for better protection and utilization of *Rosa persica* germplasm resources. ［**Method**］ In this study, 270 individual plants from 9 natural populations of *Rosa persica* were used as research materials, and the data of 19 phenotypic traits were collected. Nested analysis of variance, Pearson correlation analysis, principal

收稿日期: 2022−12−29　**修回日期:** 2023−01−15
基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32071820)，国家重点研发计划课题(2019YFD1001001)。
第一作者: 刘学森。主要研究方向：园林植物种质资源挖掘与创新研究。Email: 2538059065@qq.com　地址：100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学园林学院。
责任作者: 罗乐，博士，教授。主要研究方向：园林植物种质资源挖掘与创新研究。Email: luolebjfu@163.com　地址：同上。
本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn; http://journal.bjfu.edu.cn

component analysis and cluster analysis were used to explore the phenotypic variation and diversity level of the plants. [**Result**] (1) The phenotypic diversity of 9 natural populations was higher, and the mean coefficient of variation and Shannon diversity index of 19 phenotypic traits was 15.90% and 2.031, respectively. The phenotypic coefficient of variation of 9 populations ranged from 10.32% (P4) to 13.19% (P8), showing moderate variation. The Shannon diversity index ranged from 1.274 (P5) to 1.825 (P8), and the P8 population showed a high diversity level. (2) The 19 phenotypic traits had significant differences between populations and within populations ($P < 0.01$). The average phenotypic differentiation coefficient between populations was 41.23%, and the phenotypic variation was mainly from within populations. (3) Pearson correlation analysis showed that there were significant correlations between flower diameter and leaf area, petal area and flower spot percentage. (4) A total of 5 principal components were extracted from the principal component analysis, with a cumulative contribution rate of 80.463%, and the two principal components with the largest contribution rate mainly explained the characteristics of flowers and leaves. (5) The 9 populations of *Rosa persica* could be divided into 2 groups by cluster analysis. The first group was large flower group, including P6, P7 and P8, and the second group was small flower group, including P1, P2, P3, P4, P5 and P9. [**Conclusion**] The phenotypic diversity and variation level of *Rosa persica* in Xinjiang are high, and the sources of variation are mainly concentrated in the population.

Key words: *Rosa persica*; population; phenotypic variation; phenotypic diversity

单叶蔷薇(*Rosa persica*)为蔷薇科(Rosaceae)蔷薇属(*Rosa*)唯一单叶的植物[1],且具有深红色或褐色眼斑,观赏价值极高,是月季育种中的重要材料,在世界上主要分布于中亚、帕米尔、阿尔泰和伊朗等地,分布范围较为广泛,在我国分布于新疆昌吉、塔城、博乐等北部地区,生长于山坡、荒地或路旁干旱地区[2]。但由于人类社会活动的影响,新疆的单叶蔷薇居群面积在逐年减少,如今只在农田、沟渠与道路周边有零星分布,生态环境较为脆弱,已被列为国家二级濒危保护植物[3],亟待需要保护。

国内外关于单叶蔷薇遗传多样性的研究较少,主要集中在育种、系统发育学、化学药用成分、生物学特性等方面。在育种研究方面,英国育种家 Harkness 培育了 53 个栽培品种,其他育种家又在此基础上培育出波斯系列的月季品种,如'赏心悦目'(*R.* 'Easy on the Eyes')、'我的眼睛'(*R.* 'Eyes on me')等[4−5]。在系统发育研究方面,Basaki 等[6]利用扩展片段长度多态性(AFLP)分子标记对伊朗的单叶蔷薇进行研究,结果表明,伊朗单叶蔷薇基因型具有高度变异与遗传多样性,居群间存在较大的遗传变异;Samiei 等[7]用简单重复序列(SSR)分子标记对单叶蔷薇与同属蔷薇进行研究,确定了单叶蔷薇在蔷薇属的独特分类学地位。在化学药用成分研究方面,Amini 等[8]提取其精油,并分离出七烷、邻苯二甲酸异丁酯、壬烷、邻苯二甲酸二丁酯、五烷、十六烷酸等 56 种药用活性成分,确定其主要成分为烃类物质;Sadraei 等[9]对其提取物的药用特性进行研究,发现单叶蔷薇的提取物对大鼠离体回肠有抑制作用;Moradkhani 等[10]对单叶蔷薇提取物的抗氧化性能进行研究,结果表明,具有抗氧化性的玫瑰提取物(RPE)可以通过改善小鼠的氧化/抗氧化平衡来预防镉毒性诱导的动物肝脏氧化损伤。在生物学特性方面,贺海洋、朱金启、惠俊爱等[11−14]前期针对单叶蔷薇的形态发生、花形态及花芽分化、物候规律等进行研究,发现单叶蔷薇 3 月份开始花芽分化,当年开花结实,繁殖方式以有性与无性繁殖相结合的方式进行。惠俊爱等[15]确定单叶蔷薇为二倍体($2n = 14$)。罗乐等[16]确定其花粉形为超长球形花粉。另外,张晓龙等[17]还对单叶蔷薇的潜在适宜区进行预测[1],对其幼苗根系不同潜水埋深的适应机制进行研究。欧哲等[18]对利用单叶蔷薇远缘杂交中花粉管生长进行荧光显微观察,发现单叶蔷薇与蔷薇属中的芹叶组蔷薇的亲和性较高。

目前关于蔷薇属植物表型多样性的研究相对较多,如李世超等[19]选取新疆弯刺蔷薇(*R. beggeriana*)的叶片、果实部分等 12 个表型性状探究其表型多样性,发现弯刺蔷薇居群内的表型变异高于居群间的表型变异;向贵生等[20]选取川滇蔷薇(*R. soulieana*)花、叶等部位 12 个性状,探究川滇蔷薇的表型变异规律,确定川滇蔷薇居群间的表型变异为主要的变异来源;付荷玲等[21]利用大花香水月季(*R. odorata* var. *gigantea*)的花瓣、萼片、叶片部分等 16 个表型性状进行表型多样性分析,发现了梁王山大花香水月季居群内的多样性高于居群间的多样性;但关于新疆单叶蔷薇居群表型变异分析及多样性研究还未见报道。因此,本研究通过对我国新疆地区的 9 个

单叶蔷薇居群的表型数据进行统计与分析，研究其表型性状的变异规律及分化情况，为单叶蔷薇种质资源的保护与开发利用提供理论依据，同时也为其群体遗传进化研究奠定基础。

1　材料与方法

1.1　实地概况与样本采集

课题组前期通过实地调查，在新疆共发现 12 个单叶蔷薇天然居群，但由于部分居群规模较小、环境差异较大，因此本试验选择 9 个分布在高适宜区[17]中环境相似且相对较大的单叶蔷薇天然居群作为取样地，这 9 个居群的选择也充分考虑到单叶蔷薇在新疆的基本分布情况，采集地情况见表 1。采样参考《植物新品种特异性、一致性、稳定性测试指南》[22]，选取健康无病虫害的多年生单叶蔷薇植株上的叶片、花瓣与萼片，测定单叶蔷薇具有代表性和遗传相对稳定的 19 项表型指标（表型指标中包含将质量性状量化的指标），采集的样本数量和样本距离会根据居群的大小进行调整，基本按照每个居群 30 个样本，每个样本 5 个重复观测值，样本间距 10 m 以上。采集的植物材料保存在纸袋中，进行编号，并及时进行数据采集。

表 1　新疆单叶蔷薇 9 个居群的采样点信息

Tab. 1　Sampling point information of 9 populations of *Rosa persica* in Xinjiang

居群 Population	采集点 Collection point	样本数 Sample number	生境 Habitat	海拔 Altitude/m
P1	昌吉二六工镇上东工 Shangdonggong Village, Erliugong Town, Changji City	30	道路、农田、大沟渠边 Road, farmland, side of the big ditch	584.23
P2	昌吉二六工镇东六工 Dongliugong Village, Erliugong Town, Changji City	30	道路、农田、小沟渠边 Road, farmland, side of the small ditch	583.05
P3	昌吉呼图壁县五工台 Wugongtai Village, Hutubi County, Changji City	30	道路、农田、干涸的沟渠边 Road, farmland, side of the dry ditch	520.27
P4	昌吉呼图壁县润和路 Runhe Road, Hutubi County, Changji City	20	道路、工厂、干涸的沟渠边 Road, factory, side of the dry ditch	522.36
P5	石河子市 Shihezi City	20	道路、铁路边 Road, railway lines	453.73
P6	塔城额敏县老风口 Laofengkou Village, Emin County, Tacheng City	50	道路、农舍边 Road, farmhouse	552.06
P7	塔城裕民县江格斯 Janges Village, Yumin County, Tacheng City	20	河流、草地边 River, meadow edge	641.05
P8	博乐市火车站 Railway station, Bole City	40	道路、铁路边、林地、干涸沟渠 Road, railway lines, woodlands, dry ditches	507.32
P9	双河市86团 86th Regiment, Shuanghe City	30	道路、农田、沟渠边 Road, farmland, ditch side	503.17

1.2　叶片、花瓣与萼片性状的测定

叶片性状的测定：从单株选取 5 个叶片，放在网格纸上进行拍照，将照片导入 Adobe Photoshop 2021 统一进行图片调整，再将处理后的照片统一导入 ImageJ 软件进行叶片性状的测量，性状包括花梗长（pedicel length，PDL）、叶间距（blade spacing，BS）、叶面积（leaf area，LA）、叶周长（leaf circumference，LC）、叶长（leaf length，LL）、叶宽（leaf width，LW）。

花瓣性状的测定：由于花瓣在脱离植株后会萎缩，为了避免这一影响造成较大的误差，我们通过现场直接采样拍照的方式进行花部性状的采集，再经过图片处理后导入 ImageJ 软件进行花部性状的测定，性状包括花径（flower diameter，FD）、花斑直径（speckle diameter，SD）、花瓣面积（petal area，PA）、花瓣周长（petal circumference，PC）、花瓣长（petal length，PL）、花瓣宽（petal width，PW）、花斑长（speckle length，SL）、花斑宽（speckle width，SW）。花斑百分比（speckle percentage，SP）为后期计算得出的指标，即花斑面积与花瓣面积的比值的百分数，其中花斑面积是花瓣上深红色或褐色区域的面积，是通过 ImageJ 软件测定得到的数值。

萼片性状的测定：从单株上选取 5 个萼片，同样采用拍照测定的方式进行数据收集，具体测定性状步骤与叶片一致，测定的性状包括萼片长（sepal length，SPL）、萼片宽（sepal width，SPW）。

1.3　数据分析

利用 IBM SPSS Statistics 25 软件对采集到的单叶蔷薇表型数据进行巢式方差分析、多重比较、皮尔逊相关性分析、主成分分析与聚类分析，其中聚类分析是在主成分分析和皮尔逊相关性分析后，剔除掉密切相关和次要成分后，保留了性状间相关系数 < 0.6 且 PC1 与 PC2 的特征值 > 0.5 的性状，利用过滤后的表型性状，基于平方欧氏距离并采用组间连接法进行聚类分析。用 Excel 2020 软件对单叶蔷薇表型数值进行整理，并计算其表型分化系数（V_{ST}）、表型变异系数（C_V）与香农多样性指数（H）。

巢式方差分析线性模型[23]为

$$Y_{ijk}=\mu_t+S_i+T_{(i)j}+e_{(ij)k}$$

式中：Y_{ijk}为第 i 个居群第 j 个单株第 k 个观测值，μ_t为总平均值，S_i为居群效应(固定)，$T_{(i)j}$为居群内单株效应(随机)，$e_{(ij)k}$为试验误差。

表型分化系数(V_{ST})[21]为

$$V_{ST}=\frac{\delta_t^2/s}{\delta_t^2/s+\delta_s^2}\times 100\%$$

式中：s 为小居群数目，δ_t^2/s为居群间方差分量，δ_s^2为居群内方差分量。

表型相关系数(r)[24]为

$$r_{xy}=\frac{\sigma_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2\cdot\sigma_y^2}}$$

式中：σ_{xy}为 2 个不同性状的协方差，σ_x^2、σ_y^2分别为 2 个性状的表型方差。

表型变异系数(C_V)[21]为

$$C_V=\frac{\sigma}{\mu}\times 100\%$$

式中：σ为标准差，μ为平均值。

香农多样性指数(H)[25]为

$$H=-\sum_{i=1}^{n}P_i\ln P_i$$

式中：P_i为某一性状在某一级所占的比例。

2 结果与分析

2.1 单叶蔷薇表型变异系数与多样性分析

表型变异系数表示表型性状的离散程度，变异系数越大，表型性状的离散程度越大。表 2 显示：单叶蔷薇 19 个表型变异系数均值为 15.90%(> 10%)，表明单叶蔷薇表型性状的离散程度相对较高，其中，叶面积的性状变异系数最大(29.75%)，变异幅度为 30.232 ~ 225.038 mm^2；其次为花斑百分比的变异(25.43%)；花瓣长宽比的变异系数最小(5.94%)，变异幅度为 1.011 ~ 1.436。19 个表型性状的变异系数由大到小前 5 名为叶面积 > 花斑百分比 > 花梗长 > 花瓣面积 > 叶宽。

19 个表型性状的多样性指数在 1.968(叶长) ~ 2.071(花径)之间，均值为 2.031，表明单叶蔷薇花径性状的多样性水平较高，叶长性状的多样性水平较低。19 个表型性状的多样性指数由高到低分别为花径 > 萼片长 > 萼片宽 > 花瓣宽 > 叶周长 > 花斑宽 >

表 2 单叶蔷薇表型变异

Tab. 2 Variation in phenotypic traits of *Rosa persica*

性状 Trait	平均值 Mean	标准差 SD	最小值 Min. value	最大值 Max. value	极差 Range	变异系数 Coefficient of variation/%	香农多样性指数 Shannon's diversity index
花径 Flower diameter (FD)/mm	28.813	3.015	22.185	40.329	18.144	10.47	2.071 5
花斑直径 Speckle diameter (SD)/mm	12.556	1.295	8.748	17.617	8.869	10.31	2.039 6
花梗长 Pedicel length (PDL)/mm	14.089	3.366	5.586	26.366	20.780	23.89	2.033 3
叶间距 Blade spacing (BS)/mm	10.973	1.957	4.574	18.428	13.854	17.83	2.036 6
花瓣面积 Petal area (PA)/mm^2	170.033	38.019	87.481	335.481	248.000	22.36	1.993 4
花瓣周长 Petal circumference (PC)/mm	53.311	6.378	37.270	80.520	43.250	11.96	2.032 8
花瓣长 Petal length (PL)/mm	15.853	1.813	10.981	23.158	12.177	11.43	2.035 9
花瓣宽 Petal width (PW)/mm	13.498	1.650	9.204	19.485	10.281	12.23	2.063 0
花瓣长宽比 PL/PW	1.178	0.070	1.011	1.436	0.425	5.94	2.031 8
花斑长 Speckle length (SL)/mm	4.764	0.551	2.814	6.446	3.632	11.56	2.009 5
花斑宽 Speckle width (SW)/mm	3.330	0.635	1.033	4.958	3.925	19.06	2.040 7
花斑百分比 Speckle percentage (SP)/%	7.629	1.940	1.664	14.406	12.742	25.43	2.024 3
叶面积 Leaf area (LA)/mm^2	83.117	24.730	30.232	225.038	194.806	29.75	1.984 5
叶周长 Leaf circumference (LC)/mm	42.614	6.497	17.360	68.126	50.766	15.25	2.051 9
叶长 Leaf length (LL)/mm	14.032	1.974	8.505	22.450	13.945	14.07	1.967 8
叶宽 Leaf width (LW)/mm	7.355	1.517	3.150	15.130	11.980	20.62	2.027 1
叶长宽比 LL/LW	1.964	0.375	1.310	4.520	3.210	19.10	2.007 8
萼片长 Sepal length (SPL)/mm	8.945	1.025	6.115	12.222	6.107	11.46	2.070 8
萼片宽 Sepal width (SPW)/mm	2.890	0.273	2.133	3.849	1.716	9.44	2.065 0
均值 Average						15.90	2.030 9

花斑直径 > 叶间距 > 花瓣长 > 花梗长 > 花瓣周长 > 花瓣长宽比 > 叶宽 > 花斑百分比 > 花斑长 > 叶长宽比 > 花瓣面积 > 叶面积 > 叶长(表 2)。

2.2　单叶蔷薇表型性状的巢式方差分析与多重比较

单叶蔷薇表型性状的巢式方差分析结果(表 3)表明：单叶蔷薇 19 个表型性状在居群间和居群内均存在极显著差异($P < 0.01$)。19 个表型性状的多重比较结果(表 4)表明：与其他居群相比，P6 居群的花瓣面积、花瓣周长、花瓣长、花瓣宽等表型指标值最高，其中花瓣面积、花瓣周长、花瓣长、花斑长性状与其他居群存在显著差异；P3 居群的叶宽表型指标值最高，与 P4 居群的差异不显著，但与其他居群存在显著性差异；P8 居群表型指标值比较大的包括花径、花斑直径、花斑宽、叶周长、叶长、叶长宽比与萼片长，其中花径、花斑直径、叶周长、叶长宽比性状与其他居群均存在显著差异；P4 居群表型指标值比较大的包括叶间距、叶面积、叶宽与萼片长，其中叶间距、叶面积、叶宽与其他居群均存在显著差异；

表 3　单叶蔷薇居群间及居群内各表型性状的方差分析

Tab. 3　Variance analysis of phenotypic traits of *Rosa persica* population

性状 Trait	均方 Mean square			*F*	
	居群间 Among populations	居群内 Within population	误差 Error	居群间 Among populations	居群内 Within population
FD	688.667	24.547	0.323	28.055**	75.055**
SD	93.033	5.537	0.067	16.801**	82.131**
PDL	606.638	36.990	0.717	16.400**	51.600**
BS	176.277	13.374	0.244	13.180**	54.802**
PA	124 758.390	3 468.759	43.041	35.966**	80.591**
PC	3 168.959	105.846	1.754	29.939**	60.362**
PL	285.553	7.807	0.102	35.574**	76.564**
PW	234.541	6.536	0.084	35.884**	77.381**
PL/PW	0.250	0.017	0.000	15.011**	66.925**
SL	22.120	0.834	0.014	26.507**	61.677**
SW	21.413	1.372	0.013	15.604**	105.646**
SP	256.868	11.099	0.115	23.143**	96.418**
LA	30 170.140	2 036.793	48.222	14.813**	42.238**
LC	2 062.111	141.556	3.235	14.567**	43.754**
LL	293.049	10.163	0.243	28.836**	41.828**
LW	141.322	6.925	0.153	20.407**	45.166**
LL/LW	14.476	0.256	0.007	56.562**	38.385**
SPL	75.519	2.934	0.045	25.736**	65.373**
SPW	2.608	0.286	0.004	9.110**	64.896**

注：**表示在0.01水平上显著相关。Note: ** means significant correlation at 0.01 level.

表 4　9 个单叶蔷薇天然居群 19 个性状的多重比较分析

Tab. 4　Multiple comparison of 19 characters in 9 natural populations of *Rosa persica*

性状 Trait	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
FD/mm	27.784 ± 1.880e	25.295 ± 2.307f	29.447 ± 2.455c	27.451 ± 1.987e	26.056 ± 1.322f	30.044 ± 2.783b	29.331 ± 1.617c	32.040 ± 2.390a	28.769 ± 2.090d
SD/mm	12.283 ± 0.876c	11.195 ± 0.947e	12.377 ± 0.978c	11.735 ± 1.102d	12.338 ± 0.507c	13.126 ± 1.205b	11.928 ± 1.079d	13.526 ± 1.309a	13.237 ± 1.049b
PDL/mm	13.121 ± 2.471e	14.900 ± 2.457c	14.602 ± 3.049cd	14.465 ± 3.595cd	11.849 ± 1.215f	13.900 ± 1.916d	17.658 ± 4.098a	15.982 ± 3.572b	10.384 ± 2.156g
BS/mm	8.740 ± 1.743f	11.697 ± 1.534b	10.873 ± 2.328d	12.951 ± 2.173a	10.741 ± 1.590d	11.356 ± 1.293bc	10.987 ± 1.233cd	11.445 ± 1.750bc	10.140 ± 1.292e
PA/mm^2	139.333 ± 26.585e	143.181 ± 22.441de	182.602 ± 23.061b	169.753 ± 22.245c	148.307 ± 10.604d	209.542 ± 36.133a	187.889 ± 25.492b	184.691 ± 30.569b	132.393 ± 19.516f
PC/mm	49.171 ± 5.763e	49.549 ± 4.796e	54.380 ± 3.503c	51.838 ± 3.831d	49.638 ± 1.950e	60.146 ± 5.777a	57.058 ± 4.167b	55.025 ± 5.302c	47.395 ± 3.536f
PL/mm	14.286 ± 1.524e	14.389 ± 1.132e	16.060 ± 1.079c	15.871 ± 1.156c	14.794 ± 0.602d	17.869 ± 1.560a	16.677 ± 1.201b	16.589 ± 1.289b	14.478 ± 1.127e
PW/mm	12.295 ± 1.120e	12.474 ± 1.043e	14.393 ± 0.962b	13.387 ± 0.723d	12.552 ± 0.453e	14.885 ± 1.396a	14.916 ± 1.447a	14.026 ± 1.465c	11.577 ± 0.891f
PL/PW	1.162 ± 0.064d	1.155 ± 0.040d	1.117 ± 0.046e	1.185 ± 0.050c	1.179 ± 0.043c	1.203 ± 0.070b	1.122 ± 0.059e	1.188 ± 0.066c	1.252 ± 0.062a
SL/mm	4.512 ± 0.375e	4.375 ± 0.509f	4.742 ± 0.461d	4.145 ± 0.307g	4.991 ± 0.316c	5.333 ± 0.486a	5.151 ± 0.336b	4.657 ± 0.454d	4.626 ± 0.270d
SW/mm	3.450 ± 0.539b	2.860 ± 0.460d	2.728 ± 0.724e	2.903 ± 0.490d	3.162 ± 0.256c	3.603 ± 0.658a	3.712 ± 0.267a	3.642 ± 0.484a	3.559 ± 0.432ab
SP/%	8.907 ± 1.160b	7.076 ± 1.624d	5.721 ± 1.784e	5.678 ± 0.776e	8.361 ± 0.569c	7.449 ± 2.172d	8.116 ± 0.910c	7.434 ± 1.450d	9.857 ± 1.122a
LA/mm^2	70.374 ± 15.212ef	86.148 ± 23.194c	95.951 ± 19.050b	106.542 ± 11.769a	88.213 ± 34.979c	65.898 ± 13.156f	78.376 ± 19.800d	97.739 ± 26.926b	73.347 ± 19.026e
LC/mm	39.236 ± 5.074e	41.051 ± 5.114d	44.370 ± 5.260c	47.221 ± 5.977b	39.955 ± 7.216e	39.261 ± 4.115e	42.434 ± 5.542d	49.011 ± 6.348a	41.681 ± 5.566d
LL/mm	13.072 ± 1.123d	13.476 ± 1.356cd	13.792 ± 1.400c	15.413 ± 1.229b	13.227 ± 1.951de	13.677 ± 1.175c	13.190 ± 0.834de	16.836 ± 2.114a	12.817 ± 1.495e
LW/mm	6.736 ± 1.007d	7.935 ± 1.434b	8.843 ± 1.309a	8.678 ± 0.729a	8.136 ± 1.803b	6.051 ± 0.862e	7.359 ± 1.405c	7.071 ± 1.257cd	7.052 ± 1.133cd
LL/LW	1.966 ± 0.202c	1.736 ± 0.264e	1.577 ± 0.154g	1.780 ± 0.121de	1.652 ± 0.155f	2.290 ± 0.261b	1.837 ± 0.251d	2.422 ± 0.338a	1.837 ± 0.170d
SPL/mm	8.478 ± 0.792d	8.342 ± 0.644d	9.132 ± 0.919b	9.868 ± 0.811a	8.858 ± 0.758c	9.071 ± 0.779bc	9.043 ± 0.675bc	9.916 ± 0.854a	7.700 ± 0.687e
SPW/mm	3.041 ± 0.293a	2.978 ± 0.251b	2.829 ± 0.268d	2.823 ± 0.209d	2.901 ± 0.220c	2.840 ± 0.201d	3.062 ± 0.252a	2.960 ± 0.295b	2.623 ± 0.159e

注：表中数据为平均值 ± 标准差，不同字母表示同一性状在不同居群间在0.05水平上存在显著差异。Notes: data in the table are mean ± standard deviation, and different letters indicate significant differences at 0.05 level between different populations for the same trait.

P5 居群的表型指标值整体处在较低水平，其中花径、花梗长、叶长宽比与其他群居相比指标值最小，且存在显著差异。

2.3 单叶蔷薇不同居群的表型变异特征

由表 5 可知：9 个居群的表型变异系数均值在 10.32%（P4）～ 13.19%（P8）之间，平均值为 11.81%（> 10%），说明本研究中 19 个单叶蔷薇的表型在 9 个居群水平上存在中等变异。9 个居群中，P4、P5、P7、P9 这 4 个居群的变异系数均值相对较低，P1、P2、P3、P6、P8 这 5 个居群变异系数均值相对较高。9 个居群中表型变异系数多数低于 10% 的性状有花径、花斑直径、花瓣周长、花瓣长、花瓣宽、花瓣长宽比、花斑长、萼片长、萼片宽，表型变异系数多数在 20% 以上的有叶面积。说明在这 19 个性状中，单叶蔷薇的变异主要集中在叶面积，鉴于叶面积在单叶蔷薇生长发育中发挥着重要的作用，可能是单叶蔷薇为适应不同的环境所做出表型变异。

2.4 单叶蔷薇不同居群的表型多样性

由表 6 可知：9 个居群 19 个性状的香农多样性指数均值在 1.274（P5）～ 1.825（P8）之间，从高到低

表 5 9 个单叶蔷薇居群的 19 个性状的表型变异系数

Tab. 5 Phenotypic variation coefficients of 19 characters in 9 populations of *Rosa persica* %

性状 Trait	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
FD	6.76	9.12	8.34	7.24	5.07	9.26	5.51	7.46	7.27
SD	7.14	8.46	7.90	9.39	4.11	9.18	9.04	9.68	7.93
PDL	18.84	16.49	20.88	24.85	10.25	13.78	23.21	22.35	20.76
BS	19.95	13.12	21.41	16.78	14.80	11.39	11.22	15.29	12.74
PA	19.08	15.67	12.63	13.10	7.15	17.24	13.57	16.55	14.74
PC	11.72	9.68	6.44	7.35	3.93	9.61	7.30	9.63	7.46
PL	10.67	7.87	6.72	7.28	4.07	8.73	7.20	7.77	7.78
PW	9.11	8.36	6.68	5.40	3.61	9.38	9.70	10.45	7.69
PL/PW	5.50	3.50	4.13	4.25	3.64	5.85	5.30	5.53	4.93
SL	8.32	11.64	9.73	7.42	6.33	9.11	6.53	9.75	5.84
SW	15.62	16.07	26.52	16.89	8.11	18.26	7.20	13.28	12.14
SP	13.02	22.95	31.18	13.67	6.80	29.15	11.21	19.50	11.38
LA	21.62	26.92	19.85	11.05	39.65	19.96	25.26	27.55	25.94
LC	12.93	12.46	11.86	12.66	18.06	10.48	13.06	12.95	13.35
LL	8.59	10.07	10.15	7.97	14.75	8.59	6.32	12.55	11.66
LW	14.95	18.07	12.79	8.40	22.16	14.25	19.09	17.77	16.07
LL/LW	10.26	15.19	9.76	6.82	9.36	11.40	13.67	13.94	9.26
SPL	9.35	7.72	10.06	8.21	8.56	8.58	7.47	8.61	8.92
SPW	9.62	8.44	9.47	7.41	7.58	7.09	8.24	9.96	6.05
均值 Average	12.27	12.73	12.97	10.32	10.42	12.17	11.06	13.19	11.15

表 6 9 个单叶蔷薇居群表型性状的香农多样性指数

Tab. 6 Shannon-Wiener indexes of phenotypic traits of 9 *Rosa persica* populations

性状 Trait	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
FD	1.526	1.655	1.836	1.566	1.063	1.880	1.304	1.686	1.711
SD	1.691	1.613	1.702	1.930	1.030	1.869	1.678	1.919	1.714
PDL	1.676	1.727	1.850	1.818	0.999	1.482	1.775	1.952	1.523
BS	1.804	1.768	2.035	1.891	1.639	1.655	1.489	1.883	1.409
PA	1.640	1.565	1.527	1.400	1.010	1.541	1.373	1.788	1.388
PC	1.890	1.801	1.438	1.431	0.949	1.649	1.238	1.809	1.459
PL	1.812	1.570	1.523	1.626	1.167	1.615	1.432	1.702	1.639
PW	1.619	1.607	1.457	1.161	0.746	1.700	1.608	1.804	1.466
PL/PW	1.729	1.536	1.571	1.624	1.333	1.962	1.775	1.915	1.841
SL	1.528	1.600	1.593	1.194	1.441	1.819	1.470	1.818	1.331
SW	1.794	1.696	1.821	1.584	1.094	2.001	1.206	1.780	1.597
SP	1.362	1.850	1.843	1.063	0.949	1.858	1.327	1.726	1.186
LA	1.460	1.890	1.727	1.345	1.583	1.420	1.639	2.012	1.738
LC	1.766	1.607	1.680	1.373	1.426	1.627	1.808	1.894	1.897
LL	1.514	1.543	1.458	1.331	1.330	1.626	0.975	1.761	1.571
LW	1.626	1.841	1.837	1.375	1.739	1.471	1.825	1.766	1.662
LL/LW	1.254	1.453	1.186	1.013	1.356	1.698	1.574	1.620	1.363
SPL	1.742	1.603	1.729	1.639	1.622	1.741	1.670	1.769	1.542
SPW	1.916	1.783	1.957	1.751	1.735	1.812	1.634	2.074	1.415
均值 Average	1.650	1.669	1.672	1.480	1.274	1.707	1.516	1.825	1.550

依次为居群 P8 > P6 > P3 > P2 > P1 > P9 > P7 > P4 > P5，说明 P4 和 P5 居群表型多样性水平相对较低，而 P3、P6、P8 这 3 个居群具有较高的表型多样性水平。

2.5　单叶蔷薇表型性状变异的来源及居群间的表型分化

表型分化系数表示居群间变异占总变异的百分比，反映表型变异的来源。由表 7 可知：19 个单叶蔷薇表型性状的分化系数在 22.22%（萼片宽）~ 61.24%（叶长宽比）之间，平均表型分化系数为 41.23%，即 19 个表型性状变异在居群间的贡献率为 41.23%，居群内的贡献率为 58.77%，说明基于 19 个表型性状的单叶蔷薇居群内的变异在单叶蔷薇表型变异中起重要作用。表型分化系数 > 50% 的性状有花瓣面积、花瓣长、花瓣宽、叶长宽比，这些表型的变异主要集中在居群间。

2.6　单叶蔷薇表型性状间的皮尔逊相关性分析

对单叶蔷薇的 19 个表型性状进行皮尔逊相关性分析（图 1）。花径与花斑直径、花梗长、花瓣面积、花瓣周长、叶面积分别呈显著正相关，推测叶部性状和萼片性状的改变会影响花瓣与花斑性状的变化。花瓣面积与花径、花斑径、花瓣周长、花斑长、花斑宽、叶面积、叶周长、叶长、叶长宽比分别存在显著正相关性，与花瓣长宽比、花斑百分比分别呈显著负相关性。花斑百分比与花径、叶长宽比、萼片宽不存在显著相关性，说明花斑百分比一般不受花径、叶长宽比、萼片宽性状的影响，但与其他性状存在一定的相关性。叶面积与花径、花梗长、叶间距、花瓣面积、叶周长分别存在显著正相关性，与花斑百分比存在显著负相关性，说明叶面积的改变在一定程度上影响着花与叶的部分性状。

2.7　单叶蔷薇表型性状的主成分分析和聚类分析

对单叶蔷薇 19 个表型性状进行主成分分析（表 8），得到 5 个主成分，累计贡献率为 80.463%。PC1 特征值为 6.550，解释总变异的 34.471%，主要包括花瓣面积、花瓣周长、花瓣长、花瓣宽（载荷的绝对值 > 0.8），主要表征花瓣大小。PC2 的特征值为 3.827，解释了 20.142% 的总变异，主要包括叶面积、叶宽，主要与叶部性状有关。PC3 解释了 12.122% 的总变异，主要表征花斑性状。PC4 解释了 8.192%

表 7　单叶蔷薇表型性状的居群间与居群内表型分化系数

Tab. 7　Differentiation coefficients of phenotypic traits among and within *Rosa persica* populations

性状 Trait	方差分量 Variance component			方差分量百分比 Percentage of variance component/%		表型分化系数 Differentiation coefficient of phenotypic trait/%
	居群间 Among populations	居群内 Within population	误差 Error	居群间 Among populations	居群内 Within population	
FD	4.159	4.844	0.323	44.60	51.94	46.20
SD	0.548	1.094	0.067	32.07	64.01	33.37
PDL	4.309	7.256	0.717	35.08	59.08	37.26
BS	1.207	2.626	0.244	29.61	64.41	31.49
PA	693.506	685.026	43.041	48.78	48.19	50.31
PC	17.369	20.814	1.754	43.49	52.12	45.49
PL	1.542	1.541	0.102	48.41	48.38	50.02
PW	1.457	1.290	0.084	51.47	45.57	53.04
PL/PW	0.002	0.003	0.000	40.00	60.00	40.00
SL	0.136	0.164	0.014	43.31	52.23	45.33
SW	0.136	0.272	0.013	32.30	64.61	33.33
SP	1.810	2.197	0.115	43.91	53.30	45.17
LA	175.987	397.668	48.222	28.30	63.95	30.68
LC	11.455	27.657	3.235	27.05	65.31	29.29
LL	1.687	1.984	0.243	43.10	50.69	45.95
LW	0.817	1.354	0.153	35.15	58.26	37.63
LL/LW	0.079	0.050	0.007	58.09	36.76	61.24
SPL	0.479	0.578	0.045	43.47	52.45	45.32
SPW	0.016	0.056	0.004	21.05	73.68	22.22
均值 Average				39.43	56.05	41.23

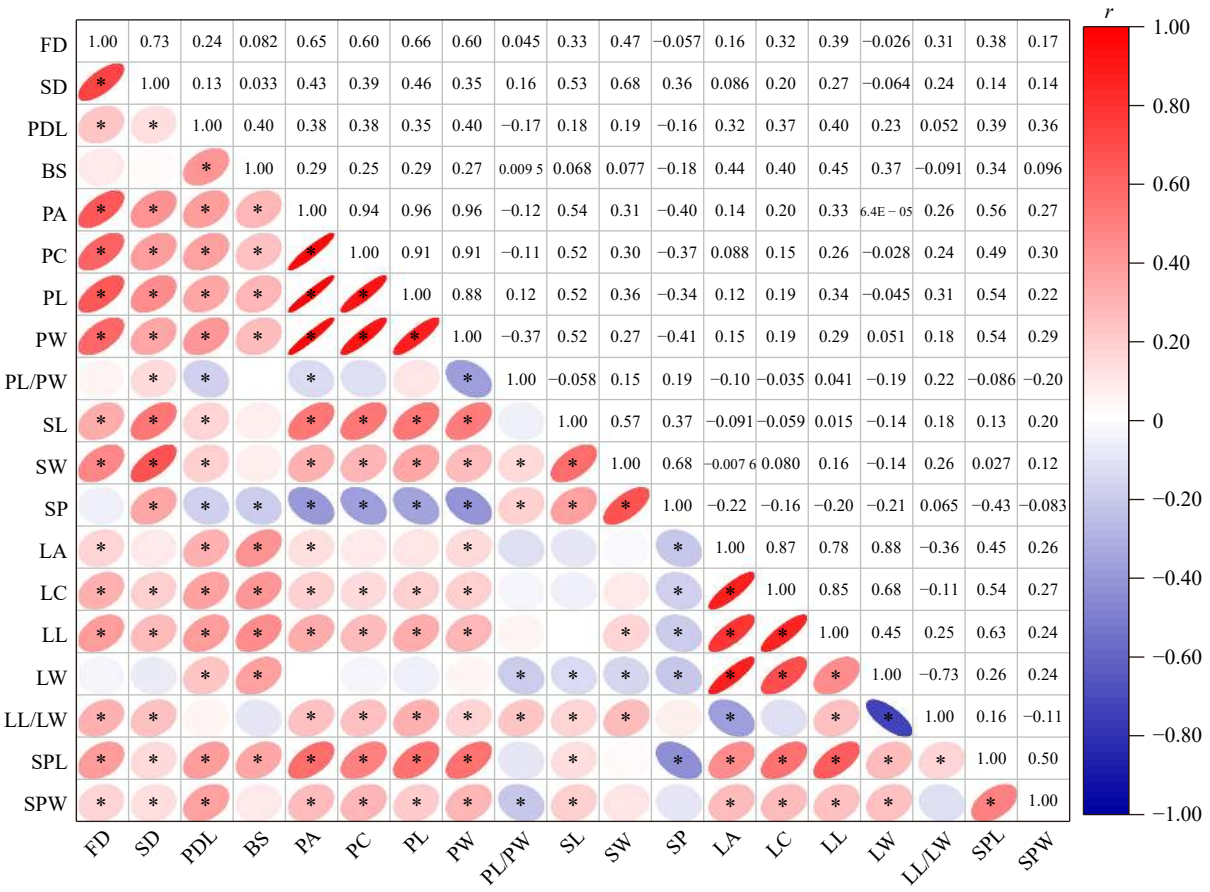


图 1 单叶蔷薇表型性状间的相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis between phenotypic traits in *Rosa persica*

表 8 单叶蔷薇表型性状的主成分分析

Tab. 8 Principal component analysis of phenotypic traits of *Rosa persica*

项目 Item	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
特征值 Eigenvalue	6.550	3.827	2.303	1.557	1.052
贡献率 Contribution rate/%	34.471	20.142	12.122	8.192	5.535
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	34.471	54.613	66.735	74.928	80.463
FD	0.722	0.292	0.179	0.137	−0.142
SD	0.534	0.423	0.535	−0.041	−0.142
PDL	0.552	−0.198	0.006	−0.107	0.390
BS	0.439	−0.370	0.068	0.069	−0.128
PA	0.896	0.259	−0.298	−0.048	−0.145
PC	0.846	0.283	−0.314	−0.082	−0.126
PL	0.869	0.307	−0.214	0.091	−0.213
PW	0.865	0.194	−0.360	−0.201	−0.077
PL/PW	−0.111	0.200	0.343	0.595	0.278
SL	0.491	0.520	0.213	−0.413	−0.012
SW	0.399	0.494	0.650	−0.175	0.044
SP	−0.290	0.398	0.795	−0.248	0.136
LA	0.458	−0.785	0.315	0.000	−0.124
LC	0.543	−0.650	0.366	0.185	0.023
LL	0.643	−0.464	0.317	0.408	0.139
LW	0.249	−0.839	0.206	−0.305	−0.270
LL/LW	0.211	0.565	−0.011	0.633	0.379
SPL	0.720	−0.285	−0.152	0.204	0.282
SPW	0.429	−0.190	0.003	−0.329	0.571

的总变异，主要与花瓣长宽比、叶长宽比有关；PC5 解释了 5.535% 的总变异，主要与萼片相关。

本研究在主成分分析和皮尔逊相关性分析后，利用过滤后的性状（花径、花梗长、花斑长、叶周长、叶长宽比、萼片长）进行单叶蔷薇居群的聚类分析（图 2）。当平方欧氏距离为 20 时，9 个居群根据 19 个表型性状可分为 2 类，第 1 类为塔城博乐地区的 P6、P7、P8 居群，这一类花径、花瓣面积等性状指标值相对较大，表现为大花类；第 2 类主要为昌吉等地区的其他 6 个居群，这些居群为小花类。

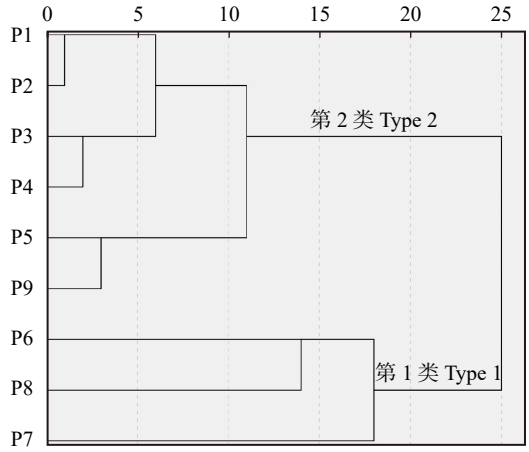


图 2　基于表型性状的单叶蔷薇居群聚类关系

Fig. 2　Cluster diagram of *Rosa persica* populations based on phenotypic traits

3　讨论与结论

植物表型多样性是基因与环境的综合体现，研究各居群在不同生境下的表型变异，是个体基于基因应对环境变化所作出的形态调整，是遗传多样性研究中最基本的方法与途径，可以在一定程度上反映物种的遗传多样性水平[26–27]。本研究对 9 个单叶蔷薇居群的 19 个表型性状进行统计与分析，方差分析结果表明，单叶蔷薇的表型性状在居群内与居群间均存在极显著性差异（$P < 0.01$），说明这 9 个单叶蔷薇居群的 19 个表型性状的遗传多样性比较丰富。单叶蔷薇 19 个表型性状的表型分化系数在 22.22% ~ 61.24% 之间，其中表型分化系数 > 50% 的性状 4 个，包括花瓣面积、花瓣长、花瓣宽、叶长宽比，说明这些性状变异的来源主要来自居群间，而其他性状变异的来源主要来自居群内。单叶蔷薇的平均表型分化系数为 41.23%，说明单叶蔷薇居群间的 19 个表型性状变异占总变异的 41.23%，居群内的变异则占 58.77%，推测居群内的变异为单叶蔷薇居群 19 个表型性状表型变异的主要来源。与蔷薇属其他物种相比，低于川滇蔷薇（63.00%）[20]，高于宽刺蔷薇（*R. platyacantha*）（27.50%）[28]和弯刺蔷薇（35.76%）[19]，而与疏花蔷薇（*R. laxa*）（41.84%）[29]相似，表型分化程度中等。

表型变异系数表示表型性状的离散程度，变异系数越大，表型性状的离散程度越大。本研究中 9 个居群单叶蔷薇 19 个表型性状的表型变异系数在 5.94% ~ 29.75% 之间，低于疏花蔷薇（8.67% ~ 43.54%）[29]、宽刺蔷薇（7.21% ~ 57.89%）[28]、中甸刺玫（*R. praelucens*）（5.42% ~ 58.70%）[30]，与玫瑰（*R. rugosa*）（6.67% ~ 26.79%）[31]和弯刺蔷薇（8.41% ~ 28.06%）[19]相近，存在中等程度的变异[32]。其中叶面积的表型变异系数最大，变异的水平也说明了单叶蔷薇对外界环境具有较强的适应能力，可塑性较高，这与课题组前期的研究结果一致[33]。香农多样性指数用于反映不同表型特征的丰富与均匀程度，单叶蔷薇居群 19 个表型性状的香农多样性指数在 1.968 ~ 2.071 之间，均值为 2.031，高于濒危植物云南黄连（*Coptis teeta*）（1.634 ~ 1.839）[34]，与濒危植物赤皮青冈（*Quercus gilva*）（1.998）[25]、格木（*Erythrophleum fordii*）（2.027 8）[35]相近，说明单叶蔷薇的多样性水平相对较高。9 个居群的表型变异系数平均值在 10.32%（P4）~ 13.19%（P8）之间，平均值为 11.81%，且不同居群表型性状的香农多样性指数均值在 1.274（P5）~ 1.825（P8）之间。P5 居群的表型变异系数与香农多样性指数均呈现较低的水平，推测是受到分布地人为与环境因素的影响，P5 居群主要分布在城市工业区，人为活动的干扰要明显高于其他居群，生存环境相对恶劣，导致植株的适应度下降与数量的减少，从而使居群表型变异减少，遗传多样性水平下降。P3 居群分布面积相对较大，分布在栅栏围护的荒废田地里，周边有天然气输送管道和高速公路，人为的干扰相对较小，生存环境相对适宜，其表型变异较为丰富。P8 居群为大居群，分布在防护林周边的沟渠边，人为干预较少，居群的多样性水平相对较高。

根据表型性状对 9 个单叶蔷薇居群进行主成分分析，共得到 5 个主成分，累计贡献率为 80.463%，贡献率最大的 2 个主成分主要解释花与叶的性状。聚类分析是通过比较相似的数据集进行分类的方法，基于筛选后表型性状的聚类结果将 9 个居群分为 2 类，第 1 类为塔城地区的 P6、P7 与博乐的 P8 居群，表现为大花类，其他居群划分到第 2 类，为小花类。距离较近的 P1 与 P2、P3 与 P4、P6 与 P7 居群聚到一起，但距离较近的 P8 与 P9 居群没有聚到一个分枝上，说明单叶蔷薇聚类结果与居群分布并不完全一致，这与弯刺蔷薇[19]、宽刺蔷薇[28]、疏花蔷薇[29]的研究结果较一致，推测可能受到分布地环境差异与人为活动的影响。

单叶蔷薇作为蔷薇属重要的种质资源，观赏价值极高，是月季育种的材料，但随着全球气候环境的改变和人类活动的加剧，单叶蔷薇长期生存的环境受到极大的挑战，居群面积在逐年减少且破碎化问题严重，单叶蔷薇面临濒危灭绝的风险，亟待保护。本研究以新疆 9 个单叶蔷薇居群的 19 个表型性状为研究对象，研究其居群内与居群间的表型多样性，明确其表型分化与变异的规律，为更好地保护和利用单叶蔷薇的种质资源提供理论依据和科学指导，同时也为其他濒危植物的保护提供参考。

参 考 文 献

[1] 张晓龙, 邓童, 罗乐, 等. 单叶蔷薇潜在适宜区预测及其渐危机制研究 [J]. 西北植物学报, 2021, 41(9): 1570−1582.
Zhang X L, Deng T, Luo L, et al. Prediction of potential suitable area of *Rosa persica* and study on its vulnerable mechanism[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2021, 41(9): 1570−1582.

[2] 中国科学院中国植物志委员会. 中国植物志 [M]. 37 卷. 北京: 科学出版社, 1985: 370−371.
The Flora of China Committee in Chinese Academy of Sciences. Flora of China[M]. Vol. 37. Beijing: Science Press, 1985: 370−371.

[3] 国家林业和草原局. 国家重点保护野生动物名录 [M]. 北京：林业出版社，2021.
National Forestry and Grassland Administration. List of wildlife under state key protection[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2021.

[4] Harkness J. Breeding with *Hulthemia persica* (*Rosa persica*)[J]. The Australian Rose Annual, 1977, 62: 123−130.

[5] 刘鑫颖, 冯策婷, 杨晨，等. 带花斑现代月季育种研究进展 [J]. 江苏农业学报, 2022, 38(5): 1432−1440.
Liu X Y, Feng C T, Yang C, et al. Research progress on breeding of modern rose cultivars with floral blotches[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2022, 38(5): 1432−1440.

[6] Basaki T, Mardil M, Kermani M J, et al. Assessing *Rosa persica* genetic diversity using amplified fragment length polymorphisms analysis[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 120(4): 538−543.

[7] Samiei L, Naderi R, Khalighi A, et al. Genetic diversity and genetic similarities between Iranian rose species[J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2010, 85(3): 231−237.

[8] Amini M, Rineh M K, Yazdani M. Study of the chemical compositions of Iranian rose flower essence oil (*Rosa persica*)[J]. Bulgarian Chemical Communications, 2016, 48: 27−29.

[9] Sadraei H, Asghari G, Jalali F. Assessment of hydroalcoholic and hexane extracts of *Rosa persica* Mich. flower on rat ileum spasm[J]. Research in Pharmaceutical Sciences, 2016, 11(2): 160−167.

[10] Moradkhani S, Rezaei-Dehghanzadeh T, Nili-Ahmadabadi A. *Rosa persica* hydroalcoholic extract improves cadmium-hepatotoxicity by modulating oxidative damage and tumor necrosis factor-alpha status[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(25): 31259−31268.

[11] 贺海洋. 单叶蔷薇花形态建成与繁殖生物学研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
He H Y. Reproductive biology and flora morphogenesis of *Rosa persica*[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.

[12] 贺海洋, 朱金启, 高琪洁, 等. 单叶蔷薇的花芽形态分化 [J]. 园艺学报, 2005, 32(2): 331−334.
He H Y, Zhu J Q, Gao Q J, et al. Morphological differentiation of the flower bud of *Rosa persica*[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32(2): 331−334.

[13] 朱金启. 单叶蔷薇生殖生物学及其繁殖方法研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2003.
Zhu J Q. Studies on reproductive biology and the propagating methods of *Rosa persica*[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2003.

[14] 惠俊爱, 张霞, 王绍明. 新疆野生单叶蔷薇的显微结构特征 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42(3): 126−127.
Hui J A, Zhang X, Wang S M. Microstructure of wild *Rosa persica* in Xinjiang[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2014, 42(3): 126−127.

[15] 惠俊爱, 张霞, 王绍明. 新疆野生单叶蔷薇的染色体核型分析 [J]. 山东林业科技, 2013, 43(4): 58−60.
Hui J A, Zhang X, Wang S M. Karyotype analysis of Xinjiang wild *Rosa persica*[J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 2013, 43(4): 58−60.

[16] 罗乐, 张启翔, 于超, 等. 29 个蔷薇属植物的孢粉学研究 [J]. 西北植物学报, 2017, 37(5): 885−894.
Luo L, Zhang Q X, Yu C, et al. Pollen morphology analysis of 29 *Rosa* germplasm[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2017, 37(5): 885−894.

[17] 张晓龙, 邓童, 刘学森, 等 . 单叶蔷薇幼苗根系对不同潜水埋深的适应机制 [J]. 生态学报, 2022, 42(15): 6137−6149.
Zhang X L, Deng T, Liu X S, et al. Adaptability mechanism of *Rosa persica* seedlings root in different groundwater levels[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(15): 6137−6149.

[18] 欧哲, 杨宇, 冯策婷, 等. 单叶蔷薇远缘杂交中花粉管生长的荧光显微观察 [J]. 东北农业大学学报, 2022, 53(10): 18−26.
Ou Z, Yang Y, Feng C T, et al. Fluorescent microscope observation on growth of pollen tube on distant hybridization in *Rosa persica*[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2022, 53(10): 18−26.

[19] 李世超, 杨树华, 刘海星, 等. 新疆天山地区弯刺蔷薇居群表型多样性的研究 [J]. 园艺学报, 2014, 41(8): 1723−1730.
Li S C, Yang S H, Liu H X, et al. Phenotypic diversity of *Rosa beggeriana* populations in Tianshan Mountains of Xinjiang[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2014, 41(8): 1723−1730.

[20] 向贵生, 王其刚, 蹇洪英, 等. 云南川滇蔷薇天然居群表型多样性分析 [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2018, 40(4): 786−794.
Xiang G S, Wang Q G, Jian H Y, et al. Phenotypic diversity of natural populations of *Rosa soulieana* in Yunnan[J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2018, 40(4):

786−794.

[21] 付荷玲, 王琛瑶, 张晓龙, 等. 梁王山大花香水月季居群表型多样性分析 [J]. 西北植物学报, 2021, 41(5): 854−862.
Fu H L, Wang C Y, Zhang X L, et al. Phenotypic diversity of *Rosa odorata* var. *gigantea* populations in Liangwang Mountains[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2021, 41(5): 854−862.

[22] 国家林业局. 植物新品种特异性、一致性、稳定性测试指南 蔷薇属: LY/T 1868—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
State Forestry Administration. Guidelines for testing specificity, consistency and stability of new plant varieties. *Rosa*: LY/T 1868−2010 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.

[23] 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, 2002, 10(2): 181−188.
Li B, Gu W C, Lu B M. A study on phenotypic diversity of seeds and cones characteristics in *Pinus bungeana*[J]. Biodiversity Science, 2002, 10(2): 181−188.

[24] Zhao X, Li Y, Mi Z, et al. Comparative analysis of growth and photosynthetic characteristics of (*Populus simonii* × *P. nigra*) × (*P. nigra* × *P. simonii*) hybrid clones of different ploidides[J]. PLoS One, 2015, 10(4): e0119259.

[25] 秦之旷, 刘娜, 周霞，等. 中亚热带赤皮青冈天然种群表型多样性分析 [J]. 广西植物, 2023, 43(9): 1622−1635.
Qin Z K, Liu N, Zhou X, et al. Phenotypic diversity of *Quercus gilva* natural populations in middle subtropical China[J]. Guihaia, 2023, 43(9): 1622−1635.

[26] 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 123−140.
Qian Y Q, Ma K P. Principles and methods of biodiversity research[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 123−140.

[27] 周宁宁, 唐开学, 邱显钦，等. 云南峨眉蔷薇天然群体的表型多样性 [J]. 西南农业学报, 2009, 22(6): 1732−1736.
Zhou N N, Tang K X, Qiu X Q, et al. Phenotypic diversity of natural populations in *Rosa omeiensis* Rolfe in Yunnan Province[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2009, 22(6): 1732−1736.

[28] 杨树华, 郭宁, 葛维亚，等. 新疆东天山地区宽刺蔷薇居群表型多样性分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(3): 455−461.
Yang S H, Guo N, Ge W Y, et al. Phenotypic diversity of *Rosa platyacantha* populations in eastern Tianshan Mountains of Xinjiang[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(3): 455−461.

[29] 郭宁, 杨树华, 葛维亚，等. 新疆天山山脉地区疏花蔷薇天然居群表型多样性分析 [J]. 园艺学报, 2011, 38(3): 495−502.
Guo N, Yang S H, Ge W Y, et al. Phenotypic diversity of natural polulations of *Rosa laxa* in Tianshan Mountains of Xinjiang[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(3): 495−502.

[30] 李树发, 李纯佳, 蹇洪英，等. 云南香格里拉特有易危植物中甸刺玫的表型多样性 [J]. 园艺学报, 2013, 40(5): 924−932.
Li S F, Li C J, Jian H Y, et al. Studies on phenotypic diversity of vulnerable *Rosa praelucens* endemic to Shangrila, Yunnan[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2013, 40(5): 924−932.

[31] 童冉. 野生玫瑰表型多样性研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
Tong R. The study on phenotypic diversity in *Rosa rugosa*[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2017.

[32] 徐豪, 刘明国, 董胜君，等. 东北杏种质资源多样性及其地理变化 [J]. 植物生态学报, 2019, 43(7): 585−600.
Xu H, Liu M G, Dong S J, et al. Diversity and geographical variations of germplasm resources of *Armeniaca mandshurica*[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2019, 43(7): 585−600.

[33] 邓童, 张晓龙, 刘学森，等. 单叶蔷薇居群叶功能性状变异特征分析 [J/OL]. 分子植物育种, 1−26[2023−12−19]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220304.1000.002.html.
Deng T, Zhang X L, Liu X S, et al. Variation characteristics of leaf functional trait in *Rosa persica* populations[J/OL]. Molecular Plant Breeding, 1−26[2023−12−19]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220304.1000.002.html.

[34] 杨维泽, 金航, 李晚谊，等. 濒危植物云南黄连不同居群表型多样性研究 [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2013, 35(5): 719−726.
Yang W Z, Jin H, Li W Y, et al. Phenotypic diversity of different populations of the endangered plant *Coptis teeta*[J]. Journal of Yunnan University, 2013, 35(5): 719−726.

[35] 李洪果, 陈达镇, 许靖诗，等. 濒危植物格木天然种群的表型多样性及变异 [J]. 林业科学, 2019, 55(4): 69−83.
Li H G, Chen D Z, Xu J S, et al. Phenotypic diversity and variation in natural populations of *Erythrophleum fordii*, an endangered plant species[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2019, 55(4): 69−83.

（责任编辑　范　娟　赵田芸
责任编委　张建国）