

山东稀有植物小果白刺天然群体表型变异研究

董 昕¹, 王 磊¹, 鲁仪增¹, 杨海平¹, 韩 义¹,
王 倩², 栗宁宁¹, 解孝满^{*}

(1. 山东省林木种质资源中心, 济南 250014; 2. 山东农业大学, 泰安 271018)

摘要: [目的] 研究山东小果白刺的表型变异程度及变异规律。[方法] 采用方差分析、相关分析、聚类分析等分析方法, 对山东小果白刺 5 个群体种实和叶片的 10 个表型性状进行了比较分析。[结果] 群体内变异是山东小果白刺表型变异的主要来源; 各性状群体间表型分化系数的变幅为 20.20%~60.70%, 平均值为 40.71%; 所有性状的变异系数平均值为 9.34%, 各器官的表型变异程度有叶片大小(8.99%) > 种子大小(7.74%) > 果实大小(6.77%) 和种子形状(10.22%) > 叶片形状(6.70%) > 果实形状(4.35%); 小果白刺 10 个表型性状间大多呈显著或极显著的相关关系; 5 个小果白刺群体被聚合成 2 类。[结论] 山东小果白刺种实及叶片表型性状在群体间和群体内存在丰富的表型变异, 其地理变异规律遵循随机变异模式。该研究结果为小果白刺种质资源的保存提供了依据。

关键词: 小果白刺; 天然群体; 种实; 叶片; 表型; 变异

中图分类号: S793.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)02-0293-07

Phenotypic Variation of *Nitraria sibirica* Natural Populations in Shandong

DONG Xin¹, WANG Lei¹, LU Yi-zeng¹, YANG Hai-ping¹, HAN Yi¹, WANG Qian², LI Ning-ning¹, XIE Xiao-man¹

(1. Center for Forest Genetic Resource of Shandong Province, Ji'nan 250014, Shandong, China;

2. Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China)

Abstract: [Objective] To figure out the degrees and laws of phenotypic variation of *Nitraria sibirica* in Shandong Province. [Method] 10 phenotypic traits about fruit and leaf of five *N. sibirica* populations in Shandong Province were analyzed by the methods of variance analysis, correlation analysis, and cluster analysis, etc. [Result] The variation within populations was proved as the main resource of the phenotypic variation. The phenotypic differentiation coefficients among the populations varied from 20.20% to 60.70%, with an average value of 40.71%. The average variation coefficient for all the traits was 9.34%. The relationship of the phenotypic variability degrees for different components are as follows: leaves size (8.99%) > seeds size (7.74%) > fruits size (6.77%) and seeds shape (10.22%) > leaves shape (6.70%) > fruits shape (4.35%). Most of those traits were significantly correlated with one another. The five *N. sibirica* populations were then clustered into 2 groups. [Conclusion] The results showed that extensive genetic variations were detected both within and among the five *N. sibirica* populations, whose geographic variations were in accordance with the random variation mode. These results could afford basis for protecting germplasm resources of *N. sibirica*.

Keywords: *Nitraria sibirica* Pall.; natural population; fruit; leaf; phenotypic; variation

收稿日期: 2016-06-12

基金项目: 山东省农业良种工程重大课题“林木种质资源收集保护与评价”(鲁农良字[2010]6号); 山东(暖温带)珍稀濒危树种种质资源保护与利用建设项目。

作者简介: 董 昕(1987—), 女, 硕士, 主要从事林木种质资源收集、保护与利用研究。E-mail: energy0126@sina.com

* 通讯作者: 解孝满(1970—), 男, 硕士, 研究员, 主要从事林木种质资源收集、保护与利用研究。E-mail: xxm529@126.com

小果白刺(*Nitraria sibirica* Pall.)为蒺藜科(Zygo-
phyllaceae)白刺属(*Nitraria*)灌木^[1];其天然资源主要
分布于我国西北等沙漠地区、华北、东北沿海沙区,蒙
古、中亚、西伯利亚;具有极强的耐干旱、耐风沙、耐盐
碱能力,可以在 pH 9.0 ~ 11.0 的重盐碱地上正常生
长^[2];是盐碱地区公路绿化和城市园林绿化的优良地
被植物,同时还具有较高的开发利用价值,果入药健
脾胃、助消化,枝、叶、果可做饲料。由于本种分布范
围很广,生态条件悬殊,所以植物形态变幅大。天然
居群的表型变异研究能够使我们初步了解类群遗传
变异大小,是人工驯化和遗传育种研究的基础,也是
揭示类群适应性的有效途径之一^[3]。果实和种子是
植物繁殖系统的重要组成部分,它们在选择压力下会
发生适应性演化^[4]。由于果实形态往往是较稳定的
遗传特征,因此,在植物分类中具有重要的价值^[5]。
此外,叶形态是一个重要的形态特征,与植物的营养
和其他生理、生态因子以及植物的繁殖密切相关^[6]。

小果白刺是山东自然分布的重要耐盐植物,主
要分布于东营、滨州、潍坊等滨海盐碱地。近年来,
由于城市建设和盐碱地开发等原因,小果白刺的分
布范围急剧减小,生境趋于破碎化,现被列为山东
(暖温带)稀有植物,如不加强保护,许多地方的小
果白刺天然资源将会消亡。因此,搞清山东小果白

刺天然群体的变异程度及分布特征,对于保护和利
用这一珍稀树种意义重大。目前,对于小果白刺的
研究主要涉及育苗^[7-9]、造林方法^[10-11]、生理生化
特性^[12]及果实成分^[13-14]的测定,有关其表型多样
性的研究鲜有报道。

本文对山东境内 5 个小果白刺天然群体种实和
叶片的表型性状进行比较分析,以期揭示山东小果
白刺表型变异程度与变异规律,为小果白刺资源保
护与合理利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源及采样方法

在山东省林木种质资源调查基础上,分别于
2014 年 7 月和 2015 年 7 月小果白刺果熟期完成其
天然群体种实和叶片的采集工作。试验材料主要来
源于无棣、沾化、孤岛、河口和寿光 5 个群体。采样
时,确保结果母树间距在 50 m 以上,尽量避免株间
亲缘关系。在每株母树南向树冠的中上部选择 8 ~
10 个生长良好的结果枝采集全部果实,要求每份果
实不少于 80 粒。选取当年生枝中间部位的健康叶
片,每株摘取至少 100 个叶片。根据采样群体大小
确定采样的份数,从 5 个群体中共采集种实 86 份,
叶片 84 份。各采样地生态因子详见表 1。

表 1 小果白刺各取样群体生境概况

Table 1 The situations of different natural populations of <i>Nitraria sibirica</i> Pall.									
群体 Populations	经度 Longitude/ E°	纬度 Latitude/N°	海拔 Altitude/m	年均温 Average temperature/°C	年均降水量 Precipitation/ mm	日照时数 Sunshine hours/h	地形 Topography	种实份数 Amounts of fruits	叶片份数 Amounts of leaves
沾化 Zhanhua	118.150	37.822	2.2	12	610.3	2699.2	平原	14	11
无棣 Wudi	118.022	37.953	0.9	12.9	597.0	2711.1	平原	14	8
孤岛 Gudao	118.729	37.803	1.5	12.1	580.0	2700.0	平原	10	6
河口 Hekou	118.730	37.801	17	13.1	598.1	2812.6	平原	29	30
寿光 Shouguang	118.872	37.247	5	12	608.0	2510.5	平原	19	29

1.2 表型性状的测定

选取能够表征小果白刺性状且容易获得的指标
进行测量。对于种实指标,用游标卡尺测量果实横
径(FTD)、果实纵径(FLD)、种子横径(STD)、种子
纵径(SLD),每份随机测量 30 粒,测量值保留 3 位
小数,计算果径纵比横(FLD/FTD)和种径纵比横
(SLD/STD)。用电子天平测量种子重量,重复 3 次,
以百粒法计算种子千粒重(SM),结果保留 2 位小
数。对于叶片指标,用直尺测量叶片长(LL)、叶片
宽(LW),每份随机测量 30 片叶,测量值保留 2 位小
数,计算叶片长/宽(LL/LW)。

1.3 统计分析方法

对于各性状值采用单因素随机区组方法进行方
差分析。以方差分量表示群体间和群体内表型分化
程度,以各方差分量与总分量的比值作为表型分化
系数:

$$V_{st} = \frac{\sigma_{U/s}^2}{(\sigma_{U/s}^2 + \sigma_s^2)}$$

式中: V_{st} 表示表型分化系数; $\sigma_{U/s}^2$ 表示群体间
方差分量; σ_s^2 表示群体内方差分量^[15]。分别计算
各性状间以及性状与地理生态因子间的皮尔逊相关
系数进行相关分析,并利用各群体数据平均值进行

聚类分析和主成分分析。以上分析过程全部应用SPSS 18.0 和 EXCEL 5.0 等有关软件完成。

2 结果与分析

2.1 小果白刺群体间和群体内的表型变异特征

由表2 可知,小果白刺 10 个表型性状在群体间和群体内差异均达到显著或极显著水平,说明小果白刺的表型性状在群体间和群体内均存在广泛的变异。

对各性状平均值比较及群体间多重比较结果见表 3,果实横径最大的是孤岛群体,值为 0. 590,最小的是寿光群体,值为 0. 469;果实纵径最大的是孤岛群体,值为 0. 645,最小的是寿光群体,值为 0. 567。以上说明寿光群体的果实体积最小。各群体果实纵径与横径的比值差异较小,为 1. 1 ~ 1. 2,表明小果白刺各群体的果实形状均近似圆形。对于各群体种子性状的差异,以河口群体的种子最大,种子横径值为 0. 295,种子纵径值为 0. 531,其种子质量也最大,值为 22. 05;种子最小的是无棣群体,种子横径值为 0. 243,种子纵径值为 0. 463,而种子质量最小的是沾化群体,值为 13. 13。各群体种子纵径与横径的比值为 1. 8 ~ 2. 3,即种子纵径近似于横径的 2 倍,以寿光群体最符合这一规律。叶片大小以河口群体的最大,叶长值为 1. 4,叶宽值为 0. 4,无棣群体和孤岛群体的叶片最小,叶长值为 1. 1,叶宽值为 0. 3。对于叶长比宽这一性状差异较大,其值最大的是寿光群体,为 3. 7,值最小的是沾化群体,为 3. 1,表明寿光群体的叶片形状较为狭长。

综上,小果白刺群体间果实、种子和叶片的表型指标值差异较大,均达到显著或极显著水平,但相同群体的果实大小和种子大小没有呈现一一对应关系。

2.2 小果白刺群体间、群体内表型性状的形态变异

变异系数可以反映表型性状在群体间和群体内的变异,从而揭示其变异格局^[3]。小果白刺群体的种实及叶片性状的变异系数存在差异,各性状群体间的变异系数为 4. 35% ~ 25. 09%,平均值为 9. 34%。从表 4 可以看出,种子千粒重的群体间变异系数最大,为 25. 09%,叶长和叶宽的群体间变异系数分别为 11. 09% 和 6. 88%,种子横径和种子纵径的群体间变异系数分别为 9. 65% 和 5. 83%,果实

表 2 小果白刺群体种实及叶片表型性状方差分析
Table 2 Variance analysis of phenotypic traits of fruits and seeds among and within *Nitraria sibirica* Pall. populations

性状 Traits	来源 Sources	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F 值 F value
果横径 FTD	群体间 Among populations	0. 159	4	0. 040	16. 053 **
	群体内 Within population	10. 777	85	0. 127	48. 240 **
果纵径 FLD	群体间 Among populations	0. 073	4	0. 018	7. 322 **
	群体内 Within population	8. 173	85	0. 096	33. 217 **
果径纵比横 FLD/FTD	群体间 Among populations	0. 174	4	0. 044	5. 446 **
	群体内 Within population	25. 106	85	0. 295	28. 488 **
种子横径 STD	群体间 Among populations	0. 04	4	0. 010	14. 103 **
	群体内 Within population	2. 928	85	0. 034	62. 780 **
种子纵径 SLD	群体间 Among populations	0. 06	4	0. 015	6. 315 **
	群体内 Within population	7. 564	85	0. 089	35. 279 **
种径纵比横 SLD/STD	群体间 Among populations	2. 315	4	0. 579	5. 219 **
	群体内 Within population	337. 114	85	3. 966	27. 479 **
千粒重 SM	群体间 Among populations	1 393. 924	4	348. 481	26. 378 **
	群体内 Within population	7 391. 643	85	86. 961	113. 286 **
叶片长 LL	群体间 Among populations	1. 106	4	0. 276	7. 464 **
	群体内 Within population	121. 654	83	1. 466	44. 187 **
叶片宽 LW	群体间 Among populations	0. 045	4	0. 011	2. 707 *
	群体内 Within population	11. 067	83	0. 133	21. 954 **
叶片长比宽 LL/LW	群体间 Among populations	2. 262	4	0. 565	3. 695 **
	群体内 Within population	430. 261	83	5. 184	11. 108 **

注: * 表示差异显著 ($p < 0. 05$), * * 表示差异极显著 ($p < 0. 01$)。
Note: FTD, fruit transverse diameter; FLD, fruit longitudinal diameter; FLD/FTD, ratio of fruit longitudinal diameter to transverse diameter; STD, seed transverse diameter; SLD, seed longitudinal diameter; SLD/STD, ratio of seed longitudinal diameter to longitudinal diameter; SM, 1000 - seed weight; LL, leaf length; LW, leaf width; LL/LW, ratio of leaf length to width; * $p < 0. 05$; * * $p < 0. 01$.

表 3 小果白刺群体种实及叶片表型性状变异(平均值±标准偏差)

Table 3 Variation of fruit and seed phenotypic traits of <i>Nitraria sibirica</i> Pall. populations(mean value ± SD)					
性状 Traits	沾化群体 Zhanhua	无棣群体 Wudi	孤岛群体 Gudao	河口群体 Hekou	寿光群体 Shouguang
果实横径 FTD/cm	0.561 ± 0.06 ^{ab}	0.531 ± 0.09 ^b	0.590 ± 0.08 ^a	0.573 ± 0.07 ^a	0.469 ± 0.05 ^c
果实纵径 FLD/cm	0.644 ± 0.08 ^a	0.596 ± 0.06 ^b	0.645 ± 0.07 ^a	0.627 ± 0.08 ^{ab}	0.567 ± 0.07 ^b
果径纵比横 FLD/FTD	1.2 ± 0.14 ^a	1.1 ± 0.14 ^b	1.1 ± 0.11 ^{ab}	1.1 ± 0.12 ^b	1.2 ± 0.15 ^a
种子横径 STD/cm	0.254 ± 0.03 ^b	0.243 ± 0.03 ^b	0.243 ± 0.06 ^b	0.295 ± 0.03 ^b	0.255 ± 0.03 ^a
种子纵径 SLD/cm	0.475 ± 0.06 ^b	0.463 ± 0.68 ^b	0.524 ± 0.06 ^a	0.531 ± 0.07 ^a	0.513 ± 0.08 ^a
种径纵比横 SLD/STD	1.9 ± 0.29 ^{bc}	1.9 ± 0.29 ^{bc}	2.3 ± 0.83 ^a	1.8 ± 0.20 ^c	2.0 ± 0.29 ^b
千粒重 SM/g	13.13 ± 2.15 ^b	13.55 ± 2.98 ^b	19.84 ± 3.57 ^a	22.05 ± 4.37 ^a	13.77 ± 3.73 ^b
叶片长 LL/cm	1.1 ± 0.24 ^b	1.1 ± 0.19 ^b	1.1 ± 0.20 ^b	1.4 ± 0.26 ^a	1.3 ± 0.30 ^a
叶片宽 LW/cm	0.4 ± 0.14 ^a	0.3 ± 0.08 ^b	0.3 ± 0.09 ^b	0.4 ± 0.09 ^a	0.4 ± 0.10 ^a
叶片长比宽 LL/LW	3.1 ± 0.65 ^b	3.5 ± 0.72 ^a	3.4 ± 0.68 ^{ab}	3.6 ± 0.69 ^a	3.7 ± 0.85 ^a

横径和果实纵径的群体间变异系数分别为 8.58%和 4.95%,说明小果白刺种子质量的变异程度最为丰富,且叶片大小的变异>种子大小的变异>果实大小的变异。小果白刺果径纵比横、种径纵比横和叶长比宽的变异系数分别为 4.35%、10.22%和 6.70%,说明种子形态变异>叶片形态变异>果实形态变异。10 个性状中果径纵比横的变异系数最小,说明果实形态比其他性状更为稳定。进一步对群体间各性状变异系数进行比较,不同群体的同一性状变异程度存在差异,这是由环境异质性导致的,变异系数平均值从大到小排列顺序为:孤岛(18.52%)>沾化(17.66%)>寿光(17.57%)>无棣(16.74%)>河口(14.81%)。孤岛群体各性状变异系数平均值最大,说明其群体表型多样性最丰富;而河口群体的变异系数平均值最小,说明其群体表型多样性最低。

2.3 小果白刺群体间的表型分化

表型分化系数反应了群体间表型分化的大小,其值越大,表明群体间的遗传分化越大,群体间的遗传变异也越大^[16]。根据方差分析结果计算小果白刺各性状群体间和群体内方差分量及表型分化系数,见表 5。群体间方差分量占总变异的 21.46%,群体内方差分量占总变异的 28.85%,随机误差方差分量占总变异的 49.69%。10 个性状的表型分化系数平均值为 40.71%,表明小果白刺群体表型变异在群体间的贡献占 40.71%,在群体内的贡献占 59.29%,说明群体内变异大于群体间变异,群体内的表型多样性大于群体间的。由表 5 可知,各性状表型分化系数变化幅度为 20.20%~60.70%,种子千粒重的表型分化系数最大,种径纵比横的最小,表明种子质量在群体间分化较大,而种子形态分化较小,说明山东小果白刺在进化过程中,种子质量变异

表 4 小果白刺群体间、群体内种实及叶片表型性状的变异系数

Table 4 Variation coefficients of phenotypic traits of fruit and leaf among and within *Nitraria sibirica* Pall. populations

性状 Traits	群体内 Within population					群体间 Among populations
	沾化 Zhanhua	无棣 Wudi	孤岛 Gudao	河口 Hekou	寿光 Shouguang	
果实横径 FTD/cm	11.47%	16.21%	13.13%	12.89%	9.77%	8.58%
果实纵径 FLD/cm	12.45%	10.78%	10.66%	12.01%	11.49%	4.95%
果径纵比横 FLD/FTD	12.44%	12.44%	9.99%	10.60%	12.44%	4.35%
种子横径 STD/cm	13.49%	13.72%	22.86%	8.72%	12.04%	9.65%
种子纵径 SLD/cm	12.67%	14.74%	11.59%	12.85%	15.09%	5.83%
种径纵比横 SLD/STD	15.38%	15.25%	35.82%	11.13%	14.57%	10.22%
千粒重 SM/g	16.39%	21.96%	18.00%	19.81%	27.07%	25.09%
叶片长 LL/cm	22.13%	16.87%	17.87%	18.60%	22.68%	11.09%
叶片宽 LW/cm	39.16%	25.01%	25.68%	22.09%	27.25%	6.88%
叶片长比宽 LL/LW	20.99%	20.37%	19.62%	19.42%	23.26%	6.70%
平均值 Mean value	17.66%	16.74%	18.52%	14.81%	17.57%	9.34%

较大,种子形态变异较小,这与前文性状变异系数的分析结果较为一致。

2.4 小果白刺表型性状的相关分析

以个体为单位进行表型性状的相关分析,结果见表 6。小果白刺 10 个果实、种子和叶片性状中多数呈显著或极显著的相关关系,这些性状是能够代表小果白刺种实及叶片特征的重要性状。这些性状中,除了表征相同器官部位的性状自相关外,表征不同器官部位的性状也存在一定的相关关系。果实横

表 5 小果白刺群体间的方差分量及表型分化系数
Table 5 Variance component and phenotype differentiation coefficient of *Nitraria sibirica* Pall.

性状 Traits	方差分量 Variance component			方差分量百分比 Proportion of variance component/%			表型分化系数 Phenotype differentiation coefficient/%
	群体间 Among populations	群体内 Within population	机误 Random errors	群体间 Among populations	群体内 Within population	机误 Random errors	
果实横径 FTD/cm	0.001 9	0.004 2	0.006 7	14.88	32.89	52.24	31.32
果实纵径 FLD/cm	0.002 1	0.003 3	0.006 0	18.41	28.92	52.67	38.79
果径纵比横 FLD/FTD	0.013 7	0.009 6	0.020 3	31.39	22.00	46.61	58.86
种子横径 STD/cm	0.000 9	0.001 2	0.001 7	23.94	31.92	44.14	43.91
种子纵径 SLD/cm	0.004 3	0.003 2	0.005 6	32.87	24.46	42.67	57.72
种径纵比横 SLD/STD	0.032 1	0.126 7	0.165 9	9.89	39.02	51.09	20.20
千粒重 SM/g	47.509 2	30.757 2	31.031 2	43.47	28.14	28.39	60.70
叶片长 LL/cm	0.026 2	0.048 0	0.079 6	17.04	31.21	51.75	35.32
叶片宽 LW/cm	0.002 9	0.005 6	0.010 2	15.48	29.89	54.64	33.65
叶片长比宽 LL/LW	0.053 3	0.146 9	0.532 2	7.28	20.06	72.67	26.63
平均值 Mean value	—	—	—	21.46	28.85	49.69	40.71

径、果实纵径分别与种子横径、种子纵径、种子千粒重呈极显著的正相关关系,表明小果白刺的果实越大,则种子越大,种子质量也越大;叶长、叶宽、叶长比宽分别与种子横径、种子纵径、种径纵比横、种子千粒重呈显著或极显著的相关关系,说明小果白刺营养生长与生殖生长具有较为密切的联系。

2.5 小果白刺表型性状的地理变异

以群体为单位进行地理变异分析。由表 6 可知,除了果径纵比横和种子纵径这两个性状分别与经度和纬度地理因子相关性显著外,其他大部分性状受地理因子影响较小,这与小果白刺的研究尺度和其在山东的分布范围较小有关。其中,种子纵径与经度因子呈显著的正相关,表明越往东分布的群

体,其种子纵径越大。果径纵比横与纬度因子呈显著的负相关,表明在小果白刺生境内,越往北分布的群体其果实纵径与横径相差的越小,果实形状越接近圆形。同时,果径纵比横受水分生态因子影响较大,与年均降水量呈极显著的正相关关系,表明水分越大的地方,小果白刺群体果实纵径有比横径大得越多的趋势,果实形状越趋于长圆形。日照时数对果实横径具有较明显的影响,二者呈显著的正相关关系,表明日照相对充足的地方,其果实横径越大。然而,树种天然分布区内环境因素往往是复杂多样的,其生长生活不只是受到单一环境因子的影响,因此,山东小果白刺群体的地理变异表现为随机变异模式。

表 6 小果白刺群体种实及叶片表型性状间的相关分析
Table 6 Analysis of correlation between fruit and seed phenotypic traits of *Nitraria sibirica* Pall. populations

性状 Traits	果实横径 FTD/cm	果实纵径 FLD/cm	果径纵比横 FLD/FTD	种子横径 STD/cm	种子纵径 SLD/cm	种径纵比横 SLD/STD	千粒重 SM/g	叶片长 LL/cm	叶片宽 LW/cm
果实纵径 FLD/cm	0.668 **								
果径纵比横 FLD/FTD	-0.572 **	0.195 **							
种子横径 STD/cm	0.238 **	0.187 **	-0.109 **						
种子纵径 SLD/cm	0.145 **	0.311 **	0.144 **	0.348 **					
种径纵比横 SLD/STD	-0.036	0.107 **	0.160 **	-0.591 **	0.490 **				
千粒重 SM/g	0.414 **	0.438 **	-0.043	0.490 **	0.497 **	0.034			
叶片长 LL/cm	0.038	0.01	-0.032	0.165 **	0.227 **	0.052 **	0.328 *		
叶片宽 LW/cm	-0.008	-0.015	-0.001	0.167 **	0.141 **	-0.044 *	0.209 **	0.642 **	
叶片长比宽 LL/LW	0.060 **	0.051 **	-0.025	-0.067 **	0.058 **	0.137 **	0.127 *	0.187 **	-0.552 **

注: * 表示差异显著($p < 0.05$), * * 表示差异极显著($p < 0.01$)。
Note: * $p < 0.05$; * * $p < 0.01$.

2.6 小果白刺表型性状的聚类分析

采用组间联接法对小果白刺 5 个群体进行系统聚类分析,生成聚类树系图,见图 1。在阈值为 23.90 处,6 个小果白刺群体被划分成 2 类,第 I 类包括沾化、无棣、孤岛和寿光 4 个群体,第 II 类由河口群体独自组成。在阈值为 15.11 处,第 I 类可再

划分成两个亚类,第 i 亚类包括沾化、无棣、孤岛 3 个群体,第 ii 亚类仅包含寿光群体。通过聚类分析被划分在同一类的群体其地理上并不都是相连接的(例如孤岛和寿光群体),而且在地理上分布距离较近的群体没有被优先聚合成一类(例如孤岛和河口群体),由此说明山东小果白刺不同群体间叶片和种

表 7 小果白刺种实及叶片表型性状与地理生态因子的相关分析

性状	经度	纬度	海拔	年均温 Average	年均降水量	日照时数
Traits	Longitude/E°	Latitude/N°	Altitude/m	temperature/℃	Precipitation/mm	Sunshine hours/h
果实横径 FTD/cm	-0.261	0.652	0.151	0.296	-0.441	0.832 *
果实纵径 FLD/cm	0.436	-0.305	0.009	-0.325	0.583	0.088
果径纵比横 FLD/FTD	0.640	-0.874 *	-0.118	-0.642	0.966 **	-0.655
种子横径 STD/cm	0.710	-0.613	0.611	0.013	0.760	-0.059
种子纵径 SLD/cm	0.912 *	-0.809	0.237	-0.365	0.774	-0.379
种径纵比横 SLD/STD	0.447	-0.302	-0.514	-0.632	-0.015	-0.407
千粒重 SM/g	0.804	-0.582	0.351	-0.128	0.640	-0.072
叶片长 LL/cm	0.698	-0.684	0.674	0.042	0.190	-0.273
叶片宽 LW/cm	0.018	-0.140	0.495	0.000	-0.176	-0.046
叶片长比宽 LL/LW	0.621	-0.487	0.338	0.089	0.498	-0.371

注：* 表示差异显著($p < 0.05$)，* * 表示差异极显著($p < 0.01$)。
Note：*， $p < 0.05$ ；* *， $p < 0.01$ 。

实性状的变异在空间上是不连续的。

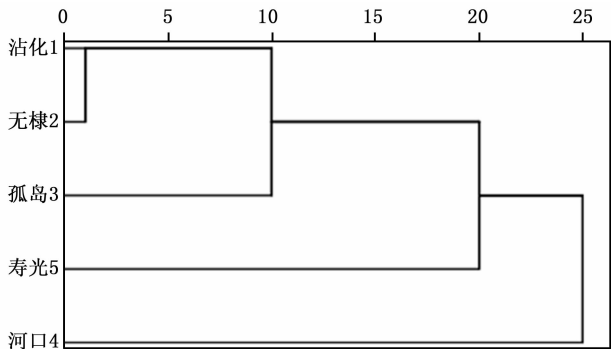


图 1 基于小果白刺群体种实及叶片表型性状的聚类树系图
Fig. 1 UPGMA cluster based on the fruit and seed phenotypic traits of *Nitraria sibirica* Pall. populations

3 讨论

3.1 山东小果白刺群体种实及叶片表型变异多样性

对山东小果白刺 5 个群体的 10 个种实和叶片性状调查研究发现,小果白刺在群体间和群体内存在显著或极显著的差异。对于各器官部位大小的变异程度有:叶片(8.99%)>种子(7.74%)>果实(6.77%),说明表征小果白刺果实大小的性状更为稳定。对于各器官部位形态的变异程度有:种子(10.22%)>叶片(6.70%)>果实(4.35%),说明小果白刺叶片形状是较稳定的性状,表现为倒披针形,这与对青海高原西伯利亚白刺群体表型变异研究的结果正好相反^[17]。分布在群体间的变异真正反映了群体在不同环境中的适应状况,其大小在某程度上说明了该生物对不同环境适应的广泛程度,值越大,适应的环境越广^[18]。不同群体的相同性状变异程度存在差异,这是由环境异质性导致的,各群体变异系数平均值从大到小排列顺序为:孤岛(18.52%)>沾化(17.66%)>寿光(17.57%)>无棣(16.74%)>河口(14.81%),说明孤岛群体的表

型多样性最丰富,昌邑群体的表型多样性最低。

对山东小果白刺表型性状的变异来源进行定量分析,各性状群体间表型分化系数平均值为 40.71%,表明山东小果白刺天然群体表型变异群体间贡献占 40.71%,群体内贡献占 59.29%,群体内变异大于群体间变异,说明山东小果白刺的表型变异主要来源于群体内,群体内的多样性大于群体间的。山东小果白刺的表型分化系数与其他具有防护作用的灌木树种相比,分别大于康定柳(*Salix paaplesia* Schneid.) 雄性群体(21.51%)^[19]、康定柳雌性群体(27.32%)^[19]、同为黄河三角洲的怪柳(*Tamarix chinensis*) (7.17%)^[20]、柠条锦鸡儿(*Caragang korshinskii*) (19.50%)^[21],小于刚毛怪柳(*Tamarix hispida* Willd.) (62.50%)^[22]、山苍子(*Litsea cubeba*) (60.19%)^[23],表明山东小果白刺群体间分化水平处于中等偏高的水平。然而,尽管山东小果白刺群体内的变异大于群体间的变异,但是群体间变异的意义却远大于群体内变异,因为存在于群体间的变异反映了地理、生殖隔离上的变异,群体间的多样性变异是种内多样性的重要组成部分^[24]。这表明山东小果白刺种实和叶片性状的群体间分化在一定程度上是由其本身的遗传基础决定的。山东小果白刺具有中等的群体间分化水平,可能与其交配系统和地理分布范围双层因素有关。一方面,小果白刺为虫媒传粉树种,以种子繁殖为主要繁衍方式,与风媒传粉的树种相比,其花粉的传播距离受到限制,从而导致群体间的基因流水平相对较低,这增加了小果白刺群体间分化的可能性;另一方面,小果白刺在山东的分布范围比较集中,主要分布于黄河入海口及莱州湾附近的泥质海滩上,尽管近些年由于沿海滩涂开发力度加大,滨海植被遭到不断地破坏,导致小果白刺资源呈现岛屿化、斑块化的分布状态,因地理隔离和遗传漂变可能加剧了小果白刺的群体间分化,然而,在山东小果白刺的分布区内全部为平原地形,有利于种群基因交流,这会促进其种群基因

频率维持在较为稳定的水平,从而使群体间分化程度减弱。

3.2 山东小果白刺表型性状的地理变异

山东小果白刺种实、叶片性状与地理生态因子之间具有不同的相关性,是种实各部位对不同环境条件适应的外在表现。除了果实横径、果实形状和种子纵径性状分别表现出受到日照时数、纬度和年均降水量、经度因子较大影响外,其他大部分性状受地理生态因子的影响并不显著,因此山东小果白刺群体的地理变异不是连续的,而是表现为随机变异模式。通过聚类分析将5个小果白刺群体划分成2类,然而,有些地理上相近的群体并没有优先聚合成一类,这可能与群体间立地条件类型存在差异有关。

3.3 山东小果白刺种质资源的保护对策与意义

小果白刺适生范围广泛,耐干旱和耐盐碱能力极强,具有重要的生态价值和经济价值,目前,在山东小果白刺主要分布于鲁东北平原及莱州湾附近的滨海地区。通过连续2年对山东小果白刺资源的调查和研究,发现小果白刺生存条件逐渐发生恶化,一方面,生殖行为受到连续极端天气的影响,如连续高温导致的干旱不结实,另一方面,生存环境受到人为干扰,在大兴现代化建设过程中对小果白刺天然生境破坏严重,山东小果白刺的遗传多样性逐渐变小,甚至有些小果白刺资源在山东濒临消失,因此,对于山东小果白刺资源的保护工作亟待全面开展。具体保护建议有:(1)人为干扰严重的地区要着重封育保护,抢救性加强小果白刺现有资源原地保护,在东营、滨州或者潍坊地区建立1~2个原地保存林;(2)借助分子手段开展小果白刺群体遗传多样性评价,建立山东小果白刺异地保存基因库,注意做到保存群体的完整性;(3)适当开展设施保存。小果白刺是鲁北平原区的乡土树种,其群体多层次的变异为其优异种质的选育和利用提供物质基础,然而,只有首先将这一珍稀濒危资源合理地保存好,才能谈及其资源的开发和利用,因此,对于小果白刺的研究,注重对其种质资源的保护是第一要义。

4 结论

综合多种分析方法研究山东小果白刺天然群体种实和叶片表型变异,结果表明,其种实、叶片在群体间和群体内均存在着较为丰富的变异,这些变异是遗传和环境共同作用的结果。群体内变异是山东小果白刺表型变异的主要来源。目前,山东小果白刺群体间分化水平与一些同类灌木相比处于中等偏上的水平,其地理变异遵照随机变异模式。群体间和群体内多层次变异为山东小果白刺资源的保育和

利用提供了物质基础。

参考文献:

- [1] 刘嫔心. 中国植物志,第43卷(第1分册)[M]. 北京: 科学出版社,1998: 118-122.
- [2] 王国柱,王秉喆,黄雪峰,等. 苏打盐碱土区小果白刺造林效果的研究[J]. 吉林林业科技, 2009, 38(2): 11-13.
- [3] 曾 杰,郑海水,甘四明,等. 广西西南桦天然居群的表型变异[J]. 林业科学, 2005, 41(2): 59-65.
- [4] 杨 玲,沈海龙,等. 不同产区野生花楸果实和种子的型表多样性[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(2): 8-10.
- [5] 李文英,顾万春. 蒙古栎天然群体表型多样性研究[J]. 林业科学, 2005, 41(1): 49-56.
- [6] Naomi Chechowitz, Dorothy M. Chappell, Sheldon I. Guttman, Lee A. Weigt. Morphological, electrophoretic, and ecological analysis of *Quercus macrocarpa* populations in the Black Hills of South Dakota and Wyoming[J]. Canadian Journal of Botany, 1990, 68(10): 2 185-2 194.
- [7] 李振洲,陈 真,刘晓慧,等. 西伯利亚白刺播种育苗技术[J]. 北方园艺, 2011, (07): 71-72.
- [8] 王德强,马盈慧,杜海波,等. 优良碱地造林树种西伯利亚白刺种苗繁育技术[J]. 农业科学, 2011, (4): 139.
- [9] 张启昌,李双福,其其格. 西伯利亚白刺的微繁殖技术[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(4): 12-28.
- [10] 徐 森. 西伯利亚白刺盐碱地造林试验[J]. 吉林林业科技, 2011, 40(4): 10-12.
- [11] 王 丽,张英楠. 西伯利亚白刺人工栽培技术[J]. 吉林林业科技, 2010, 39(1): 47-51.
- [12] 左凤月,郝秀芬,陈占峰,等. 小果白刺和泡果白刺的耐盐性[J]. 天津农学院学报, 2013, 20(2): 11-14.
- [13] 王金梅,康文艺. 唐古拉特白刺和西伯利亚白刺叶挥发性成分研究[J]. 精细化工, 2009, 26(8): 774-780.
- [14] 李永强,杨士花,朱仁俊,等. 西伯利亚白刺果实花色苷的初步鉴定[J]. 食品科学, 2009, 30(9): 77-79.
- [15] Khalil M A K. Genetic variation in eastern white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) populations[J]. Can J For Res, 1985, 15(2): 444-452.
- [16] 刁松锋,邵文豪,姜景民,等. 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究[J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1451-1459.
- [17] 张亚琦,王 宁,赵 越,等. 青海高原西伯利亚白刺天然居群表型多样性研究[J]. 北方园艺, 2013, (9): 64-67.
- [18] 庞广昌,姜冬梅. 群体遗传多样性和数据分析[J]. 林业科学, 1995, 31(6): 543-550.
- [19] 冯 毅,王朱涛,蔡应君,等. 川西北地区康定柳天然群体表型多样性研究[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(4): 11-15.
- [20] 赵景奎,徐立安,解荷峰,等. 黄河三角洲柽柳群体遗传多样性RAPD分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2008, 32(5): 56-60.
- [21] 王 赞,高新中,韩建国. 柠条锦鸡儿表型多样性研究[J]. 草地学报, 2006, 14(3): 201-205.
- [22] 张 娟,尹林克,张道远. 刚毛怪柳天然居群遗传多样性初探[J]. 云南植物研究, 2003, 25(5): 557-562.
- [23] 田胜平,汪阳东,陈益存,等. 山苍子天然种群叶片和种实性状的表型多样性[J]. 生态学杂志, 2012, 31(7): 1665-1672.
- [24] Daniel L H, Andrew G C. Principles of Population Genetics[M]. Sinauer Associates: Inc., Sunderland, U. K. : 1997: 1-670.

(责任编辑:崔 贝)