

新疆梭梭种子表型性状变异分析及相关研究

何 权^{1,2}, 蒋瑞娟^{1,2}, 朱 军^{1,2}, 石书兵¹, 李晓瑾^{1,2,①}

(1. 新疆农业大学农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆维吾尔自治区中药民族药研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 对新疆 22 个种源梭梭 [*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge] 的种子表型性状 (包括种子纵径、种子横径、种形系数、种翅长、种翅宽和种子千粒质量) 进行了方差分析和变异分析, 在此基础上, 对种子表型性状进行了相关性分析, 并对 22 个种源进行了聚类分析。结果表明: 梭梭种子表型性状在种源间存在极显著 ($P < 0.01$) 差异, 且各种子表型性状的遗传力较大 (0.918 4~0.985 7), 其中, 种子横径的遗传力最大, 种子纵径的遗传力最小。种子纵径、种子横径、种翅长和种翅宽的均值分别为 2.10、1.17、8.75 和 3.73 mm, 种形系数的均值为 1.81, 种子千粒质量的均值为 2.37 g, 且各种子表型性状变异系数的均值较小 (1.82%~8.00%)。相关性分析结果表明: 种子纵径与种子横径和种子千粒质量呈极显著正相关, 与种翅长和种翅宽呈显著 ($P < 0.05$) 正相关, 相关系数分别为 0.622、0.733、0.473 和 0.474; 种子横径与种形系数和种子千粒质量分别呈极显著负相关和极显著正相关, 相关系数分别为 -0.692 和 0.673; 种翅宽与种翅长和种子千粒质量分别呈极显著和显著正相关, 相关系数分别为 0.937 和 0.462。聚类分析结果表明: 在欧氏距离 10 处, 供试的 22 个种源被分成 I、II、III 和 IV 4 组, 分别包含 10、6、2 和 4 个种源, 且部分地理分布相近的种源聚在一起, 说明新疆梭梭种子表型性状地理变异呈现一定的区域板块化特征, 并伴有随机变异特征。研究结果显示: 新疆梭梭种子表型性状在种源间变异丰富, 且这些表型性状受到较强的遗传控制, 但在种源内却较稳定。

关键词: 梭梭; 种源; 种子表型性状; 变异分析; 相关性分析; 聚类分析

中图分类号: Q944; S793.9.01 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2019)03-0026-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.03.04

Variation analysis on seed phenotypic traits of *Haloxylon ammodendron* in Xinjiang and related research HE Quan^{1,2}, JIANG Ruijuan^{1,2}, ZHU Jun^{1,2}, SHI Shubing¹, LI Xiaojin^{1,2,①} (1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Xinjiang Institute of Chinese Materia Medica and Ethnical Materia, Urumqi 830002, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2019, 28 (3): 26-32

Abstract: Variance and variation analyses on seed phenotypic traits (including vertical and horizontal diameters of seed, coefficient of seed form, length and width of seed wing, and 1 000-grain mass of seed) of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge from 22 provenances in Xinjiang were conducted, on the basis, correlation analysis on seed phenotypic traits and cluster analysis on 22 provenances were conducted. The results show that there are extremely significant ($P < 0.01$) differences in seed phenotypic traits of *H. ammodendron* among different provenances, and the heritability of each seed phenotypic trait is relatively large (0.918 4~0.985 7), in which, that of horizontal diameter of seed is the largest, while that of vertical diameter of seed is the smallest. The means of vertical and horizontal diameters of seed, length and width of seed wing are 2.10, 1.17, 8.75, and 3.73 mm, respectively, the mean of coefficient of seed form is 1.81, that of 1 000-grain mass of seed is 2.37 g, and that of coefficient of variation of each seed phenotypic trait is relatively small (1.82%~8.00%). The correlation analysis result shows that there are extremely significant positive correlations of vertical diameter of seed

收稿日期: 2018-10-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (U1403224)

作者简介: 何 权 (1992—), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要从事药用植物栽培研究。

①通信作者 E-mail: xjljx@126.com

with horizontal diameter of seed and 1 000-grain mass of seed, and significant ($P < 0.05$) positive correlations with length and width of seed wing, with correlation coefficients of 0.622, 0.733, 0.473, and 0.474, respectively; there are extremely significant negative correlation and extremely significant positive correlation of horizontal diameter of seed with coefficient of seed form and 1 000-grain mass of seed, with correlation coefficients of -0.692 and 0.673 , respectively; there are extremely significant and significant positive correlations of width of seed wing with length of seed wing and 1 000-grain mass of seed, with correlation coefficients of 0.937 and 0.462 , respectively. The cluster analysis result shows that at Euclidean distance of 10, 22 provenances tested are divided into 4 groups of I, II, III, and IV, which contains 10, 6, 2, and 4 provenances, respectively, and some provenances with adjacent geographical distribution are clustered together, indicating that the geographical variation of seed phenotypic traits of *H. ammodendron* in Xinjiang shows a certain regional plate characteristics and is accompanied by random variation characteristics. It is suggested that there are abundant variations of seed phenotypic traits of *H. ammodendron* among provenances in Xinjiang, and these phenotypic traits are strongly controlled by heredity, but relatively stable within provenance.

Key words: *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge; provenance; seed phenotypic traits; variation analysis; correlation analysis; cluster analysis

梭梭 [*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge] 隶属于藜科 (Chenopodiaceae) 梭梭属 (*Haloxylon* Bunge), 为灌木或小乔木, 主要分布在内蒙古、宁夏、新疆、甘肃和青海地区。梭梭具有很强的抗逆性, 是中国西北地区防治土壤沙漠化的优良树种之一, 对防风固沙及生态系统保护具有重要作用^[1-2]; 梭梭还是“沙漠人参”——肉苁蓉 (*Cistanche deserticola* Ma) (具有补肾阳、益精血和润肠通便等功效^[3-4]) 的主要寄主之一。然而, 由于人们的过度利用, 梭梭的野生资源几近枯竭, 目前主要通过人工栽培方式进行繁殖和保护。迄今为止, 关于梭梭的研究较多, 并且主要集中在地理分布^[5-6]、对环境胁迫响应^[7]、水分生理特性^[8-9]、种群特征^[10-13]及种子萌发^[14-16]等方面。

种子既是种子植物重要的繁殖器官, 也是种子植物形态学分类的主要依据^[17]。自然界中植物个体间的种子大小不仅受到遗传控制, 而且还受到生长环境的影响。植物的形态特征是其自身遗传物质组成与生长环境共同作用的结果, 是植物适应其生长环境的表现形式^[18-19]。由于地理阻隔和不同自然环境的长期作用, 不同种群间的植物种子可能存在较大的表型差异, 种源实验能够揭示植物表型性状的地理变异规律^[20]。

相关分子标记研究结果表明: 梭梭种群间的遗传多样性变异较大^[21-22]。为了进一步明确不同种源梭梭种子表型性状的变异规律, 作者对新疆梭梭自然分布区内 22 个种源植株的 6 个种子表型性状 (包括种子纵径、种子横径、种形系数、种翅长、种翅宽和种子

千粒质量) 进行了方差分析、变异分析、相关性分析和聚类分析, 以期对梭梭种质资源的保护和可持续利用提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料

于 2017 年 10 至 11 月, 在新疆梭梭 22 个自然分布区内分别随机划分 1 个面积 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 的样方, 各样方间距离在 50 km 以上, 每个样方为 1 个种源, 各种源地的基本情况见表 1。其中, 吐鲁番市艾丁湖乡种源和民丰县安迪尔乡种源的样株为栽培植株, 其余 20 个种源的样株均为野生植株。采集每个样方内各样株的成熟种子, 每株至少采集种子 200 g; 单株采集每株样株的种子, 经自然干燥后置于通风阴凉处保存、备用。

1.2 种子表型性状测定方法

每个种源随机选取 90 粒种子, 平均分成 3 份, 每份 30 粒种子, 视为 1 个重复。使用数显游标卡尺 (精度 0.01 mm) 分别测量每粒种子的纵径和横径以及种翅的长度和宽度; 并参考相关文献^[23] 计算种形系数, 计算公式为种形系数 = 种子纵径/种子横径。

每个种源随机选取 800 粒种子, 平均分成 8 份, 每份 100 粒种子, 视为 1 个重复。采用 GB 2772—1999 中的方法使用万分之一电子天平称量每份种子的总质量, 结果取平均值, 并根据平均值推算种子的千粒质量。

表 1 新疆梭梭各种源地的基本情况

Table 1 Basic situation of each provenance location of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge in Xinjiang

编号 No.	种源 Provenance	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Altitude	样株数 Number of sampling plant
P1	巴里坤哈萨克自治县三塘湖乡 Santanghu Township of Barkol Kazak Autonomous County	N44°03'34"	E93°14'32"	1 440.0	20
P2	布尔津县杜来提乡 Dulaiti Township of Burqin County	N47°39'47"	E86°54'39"	470.7	15
P3	昌吉市蔡家湖镇 Caijiahu Town of Changji City	N44°29'53"	E87°28'21"	417.2	15
P4	福海县阔克阿什乡 Kuoke Ash Township of Fuhai County	N47°05'24"	E87°20'54"	480.0	15
P5	阜康市滋泥泉子镇 Ziniquanzi Town of Fukang City	N44°09'38"	E88°42'44"	610.7	15
P6	富蕴县恰库尔图镇 Chakultu Town of Fuyun County	N46°33'48"	E89°34'42"	922.0	15
P7	哈巴河县阔斯特乡 Koster Township of Habahe County	N47°50'44"	E86°13'47"	451.2	15
P8	和布克赛尔蒙古自治县和什托洛盖镇 Heshituojiao Town of Hoboksar Mongolian Autonomous County	N46°34'00"	E85°35'06"	1 108.3	15
P9	和硕县乌什塔拉乡 Wushitala Township of Hoxud County	N42°13'08"	E87°39'30"	1 334.6	15
P10	呼图壁县芳草湖镇 Fangcaohu Town of Hutubi County	N44°47'31"	E86°36'01"	362.2	15
P11	克拉玛依市车排子镇 Chepaizi Town of Karamay City	N45°04'58"	E84°42'08"	275.3	15
P12	木垒哈萨克自治县雀仁乡 Queren Township of Mori Kazak Autonomous County	N44°10'57"	E90°08'02"	759.3	15
P13	玛纳斯县六户地镇 Liuhudi Town of Manas County	N44°56'58"	E85°57'59"	326.3	15
P14	奇台县芨芨湖乡 Jijihu Township of Qitai County	N44°20'41"	E90°07'39"	706.2	15
P15	鄯善县七克台镇 Qiketai Town of Shanshan County	N43°01'20"	E90°38'46"	487.3	15
P16	沙湾县四道河子镇 Sidaohezi Town of Shawan County	N44°54'51"	E85°34'28"	323.4	15
P17	托克逊县博斯坦乡 Bostan Township of Toksun County	N42°39'30"	E88°34'23"	280.4	15
P18	托里县庙尔沟镇 Miaoergou Town of Toli County	N45°21'10"	E84°37'07"	-94.1	15
P19	吐鲁番市艾丁湖乡 Aidinghu Township of Turpan City	N42°51'13"	E89°11'23"	505.9	15
P20	民丰县安迪尔乡 Andil Township of Minfeng County	N38°59'10"	E83°46'24"	487.3	20
P21	吉木萨尔县五彩湾镇 Wucaiwan Town of Jimsar County	N44°41'39"	E88°53'16"	480.0	15
P22	乌苏市古尔图镇 Gultu Town of Usu City	N44°37'23"	E83°51'45"	343.9	15

1.3 数据统计及分析

参照文献[24]计算梭梭种子表型性状的遗传力(H_2),计算公式为 $H_2 = 1 - 1/F$,式中, F 为方差分析中的 F 值。

使用 EXCEL 2013 软件整理各种种子表型性状的原始数据并计算各种种子表型性状的变异系数;使用 SPSS 25.0 统计分析软件对各种种子表型性状进行方差分析、差异显著性分析(LSD法)、相关性分析和聚类分析。

2 结果和分析

2.1 新疆不同种源梭梭种子表型性状的方差分析

对新疆 22 个种源梭梭种子的各表型性状进行方差分析,结果见表 2。

由表 2 可见:梭梭的种子纵径、种子横径、种形系数、种翅长、种翅宽和种子千粒质量均在种源间存在极显著($P < 0.01$)差异,说明梭梭种子表型性状在种

表 2 新疆不同种源梭梭种子表型性状的方差分析¹⁾Table 2 Variance analysis on seed phenotypic traits of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge from different provenances in Xinjiang¹⁾

表型性状 Phenotypic trait	种源间 Among provenances				种源内 Within provenance			总计 Total		遗传力 Heritability
	SS	df	MS	F	SS	df	MS	SS	df	
种子纵径 Vertical diameter of seed	1.938	21	0.092	12.261**	0.331	44	0.008	2.269	65	0.918 4
种子横径 Horizontal diameter of seed	1.188	21	0.057	70.116**	0.035	44	0.001	1.223	65	0.985 7
种形系数 Coefficient of seed form	1.991	21	0.095	13.105**	0.318	44	0.007	2.309	65	0.923 7
种翅长 Length of seed wing	165.989	21	7.904	54.023**	6.438	44	0.146	172.427	65	0.981 5
种翅宽 Width of seed wing	24.640	21	1.173	40.977**	1.260	44	0.029	25.900	65	0.975 6
种子千粒质量 1 000-grain mass of seed	31.011	21	1.477	37.809**	1.719	44	0.039	32.730	65	0.973 6

¹⁾ SS: 平方和 Sum of square; df: 自由度 Degree of freedom; MS: 均方 Mean square; F: F 值 F value. **: $P < 0.01$.

源间变异丰富。

由表2还可见:在供试的6个种子表型性状中,种子横径的遗传力最大(0.9857),种翅长的遗传力次之(0.9815),种翅宽和种子千粒质量的遗传力居中(分别为0.9756和0.9736),种形系数的遗传力较小(0.9237),种子纵径的遗传力最小(0.9184)。

2.2 新疆不同种源梭梭种子表型性状的变异分析

对新疆22个种源梭梭种子的各表型性状进行变异分析,结果见表3。

由表3可见:巴里坤哈萨克自治县三塘湖乡(P1)种源的种子纵径最小(1.74 mm),哈巴河县阔斯特乡(P7)种源的种子纵径最大(2.43 mm);仅木垒哈萨克自治县雀仁乡(P12)种源种子纵径的变异系数较大(16.87%),其余21个种源种子纵径的变异系数低于5%。福海县阔克阿什乡(P4)种源的种子横径最小(0.89 mm),克拉玛依市车排子镇(P11)种源的种子横径最大(1.42 mm);供试22个种源种子横径的变异系数均低于5%。和硕县乌什塔拉乡

(P9)种源的种形系数最小(1.58),P4种源的种形系数最大(2.31);仅P12种源种形系数的变异系数较大(17.41%),其余21个种源种形系数的变异系数低于5%。P1种源的种翅最短(4.89 mm),阜康市滋泥泉子镇(P5)种源的种翅最长(11.62 mm);7个种源种翅长的变异系数介于5%~8%之间,15个种源种翅长的变异系数低于5%。P1种源的种翅最窄(2.08 mm),P11种源的种翅最宽(4.53 mm);8个种源种翅宽的变异系数介于5%~7%之间,14个种源种翅宽的变异系数低于5%。昌吉市蔡家湖镇(P3)种源的种子千粒质量最小(1.42 g),P7种源的种子千粒质量最大(4.07 g);6个种源种子千粒质量的变异系数高于10%,9个种源种子千粒质量的变异系数介于5%~10%之间,7个种源种子千粒质量的变异系数低于5%。

由表3还可见:梭梭的种子纵径、种子横径、种翅长和种翅宽的均值分别为2.10、1.17、8.75和3.73 mm,种形系数的均值为1.81,种子千粒质量的均值为2.37 g。

表3 新疆不同种源梭梭种子表型性状的变异分析($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 3 Analysis on variation of seed phenotypic traits of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge from different provenances in Xinjiang ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

种源 ²⁾ Provenance ²⁾	种子纵径 Vertical diameter of seed		种子横径 Horizontal diameter of seed		种形系数 Coefficient of seed form	
	MV/mm	CV/%	MV/mm	CV/%	MV	CV/%
P1	1.74±0.02j	1.00	0.99±0.02k	2.02	1.76±0.05fghij	2.94
P2	2.25±0.03bc	1.12	1.15±0.02fgh	1.51	1.96±0.05bcde	2.47
P3	1.84±0.02ij	1.13	1.08±0.04ij	3.70	1.71±0.07ijk	4.55
P4	2.06±0.04defg	2.02	0.89±0.02l	1.95	2.31±0.04a	1.57
P5	2.04±0.02efgh	1.02	1.21±0.06de	4.56	1.69±0.06ijk	3.47
P6	2.13±0.03cdefg	1.24	1.32±0.03c	2.31	1.61±0.02jk	1.10
P7	2.43±0.06a	2.48	1.38±0.04ab	3.16	1.76±0.07fghij	4.02
P8	2.05±0.01defgh	0.28	1.09±0.01ij	0.92	1.87±0.02cdefgh	0.96
P9	2.15±0.03bcdef	1.08	1.36±0.04bc	3.21	1.58±0.03k	2.18
P10	2.07±0.02defg	1.12	1.14±0.05fgh	4.48	1.81±0.10efghi	5.40
P11	2.30±0.03abc	1.33	1.42±0.01a	1.07	1.61±0.01jk	0.83
P12	2.31±0.39ab	16.87	1.16±0.00efg	0.49	1.99±0.34bed	17.41
P13	2.16±0.02bcdef	0.96	1.24±0.01c	1.40	1.75±0.03ghijk	2.19
P14	1.98±0.02ghi	1.05	1.21±0.03de	2.66	1.64±0.04jk	2.75
P15	2.25±0.01bc	0.68	1.17±0.02ef	1.77	1.92±0.03cdef	1.49
P16	2.07±0.01defg	0.56	1.23±0.04d	2.93	1.69±0.04ijk	2.52
P17	2.20±0.04bcde	1.82	1.06±0.00j	0.00	2.07±0.05b	1.82
P18	2.21±0.02bcd	1.05	1.11±0.02hij	1.88	1.99±0.03bc	1.37
P19	2.29±0.02abc	0.76	1.33±0.00c	0.00	1.72±0.02hijk	0.76
P20	1.99±0.03fghi	1.53	1.09±0.03ij	2.43	1.83±0.04defghi	1.92
P21	1.85±0.01ij	0.63	0.97±0.02k	1.57	1.90±0.03cdefg	1.00
P22	1.89±0.00hij	0.31	1.12±0.02ghi	1.55	1.68±0.03ijk	1.73
均值 Mean	2.10		1.17		1.81	

续表3 Table 3 (Continued)

种源 ²⁾ Provenance ²⁾	种翅长 Length of seed wing		种翅宽 Width of seed wing		种子千粒质量 1 000-grain mass of seed	
	MV/mm	CV/%	MV/mm	CV/%	MV/g	CV/%
P1	4.89±0.23l	4.76	2.08±0.04m	2.10	1.52±0.06h	3.81
P2	10.05±0.73cde	7.30	4.06±0.05bedef	1.34	2.72±0.34c	12.53
P3	8.82±0.29ghi	3.33	3.98±0.27cde	6.70	1.42±0.20h	14.26
P4	9.95±0.38de	3.80	4.36±0.25ab	5.77	1.91±0.02efg	1.01
P5	11.62±0.25a	2.14	4.52±0.27a	5.94	2.25±0.15d	6.67
P6	9.12±0.10fgh	1.06	4.18±0.12bcde	2.88	3.56±0.08b	2.36
P7	9.24±0.58fg	6.28	3.96±0.26def	6.70	4.07±0.09a	2.17
P8	7.43±0.26j	3.48	3.57±0.06hi	1.61	1.96±0.10defg	5.30
P9	8.55±0.52ghi	6.13	3.79±0.12fgh	3.11	2.15±0.30de	13.95
P10	9.60±0.14ef	1.50	3.98±0.20cde	5.04	2.22±0.25de	11.35
P11	11.16±0.10ab	0.85	4.53±0.15a	3.24	3.00±0.14c	4.57
P12	8.77±0.21ghi	2.37	3.64±0.18ghi	4.95	1.72±0.10fgh	6.06
P13	8.22±0.53i	6.41	3.47±0.08ij	2.29	2.06±0.11def	5.14
P14	7.15±0.07j	1.04	3.17±0.07k	2.34	1.96±0.24defg	12.27
P15	7.36±0.15j	2.10	3.26±0.19jk	5.88	2.93±0.12c	4.12
P16	8.55±0.60ghi	7.01	3.89±0.16efg	4.17	2.34±0.22d	9.61
P17	8.32±0.51i	6.16	3.98±0.02cde	0.59	2.78±0.05c	1.67
P18	8.46±0.29hi	3.38	3.16±0.11k	3.63	2.20±0.37de	16.87
P19	10.33±0.36cd	3.45	4.28±0.24abc	5.71	3.60±0.32b	8.83
P20	10.69±0.42bc	3.83	4.27±0.12abcd	2.77	2.21±0.22de	9.78
P21	5.77±0.16k	2.72	2.46±0.11l	4.42	1.63±0.15gh	9.35
P22	8.39±0.49i	5.89	3.51±0.22hij	6.25	1.98±0.15defg	7.60
均值 Mean	8.75		3.73		2.37	

¹⁾ MV: 测量值 Measured value; CV: 变异系数 Coefficient of variation. 同列中不同小写字母表示同一表型性状在不同种源间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant ($P < 0.05$) difference in the same phenotypic trait among different provenances.

²⁾ P1: 巴里坤哈萨克自治县三塘湖乡 Santanghu Township of Barkol Kazak Autonomous County; P2: 布尔津县杜来提乡 Dulaiti Township of Burqin County; P3: 昌吉市蔡家湖镇 Caijiahu Town of Changji City; P4: 福海县阔克阿什乡 Kuoke Ash Township of Fuhai County; P5: 阜康市滋泥泉子镇 Ziniquanzi Town of Fukang City; P6: 富蕴县恰库尔图镇 Chakultu Town of Fuyun County; P7: 哈巴河县阔斯特乡 Koster Township of Habahe County; P8: 和布克赛尔蒙古自治县和什托洛盖镇 Heshituojiao Town of Hoboksar Mongolian Autonomous County; P9: 和硕县乌什塔拉乡 Wushitala Township of Hoxud County; P10: 呼图壁县芳草湖镇 Fangaohu Town of Hutubi County; P11: 克拉玛依市车排子镇 Chepaizi Town of Karamay City; P12: 木垒哈萨克自治县雀仁乡 Queren Township of Mori Kazak Autonomous County; P13: 玛纳斯县六户地镇 Liuhudi Town of Manas County; P14: 奇台县芨芨湖乡 Jijihu Township of Qitai County; P15: 鄯善县七克台镇 Qiketai Town of Shanshan County; P16: 沙湾县四道河子镇 Sidahezi Town of Shawan County; P17: 托克逊县博斯坦乡 Bostan Township of Toksun County; P18: 托里县庙尔沟镇 Miaoergou Town of Toli County; P19: 吐鲁番市艾丁湖乡 Aidinghu Township of Turpan City; P20: 民丰县安迪尔乡 Andil Township of Minfeng County; P21: 吉木萨尔县五彩湾镇 Wucaiwan Town of Jimsar County; P22: 乌苏市古尔图镇 Gultu Town of Usu City.

2.3 新疆梭梭种子表型性状间的相关性分析

对新疆梭梭的种子纵径、种子横径、种形系数、种翅长、种翅宽及种子千粒质量进行相关性分析,结果见表4。

由表4可见,种子纵径与种子横径和种子千粒质量呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关,相关系数分别为0.622和0.733;与种翅长和种翅宽呈显著 ($P < 0.05$) 正相关,相关系数分别为0.473和0.474。种子横径与种形系数呈极显著负相关,相关系数为-0.692;但与种子千粒质量呈极显著正相关,相关系数为0.673。种翅长与种翅宽呈极显著正相关,相关系数为0.937。种翅宽与种子千粒质量呈显著正相关,相关系数为0.462。

2.4 新疆不同种源梭梭的聚类分析

基于新疆22个种源梭梭的种子纵径、种子横径、种形系数、种翅长、种翅宽及种子千粒质量,对供试种源进行聚类分析,结果见图1。

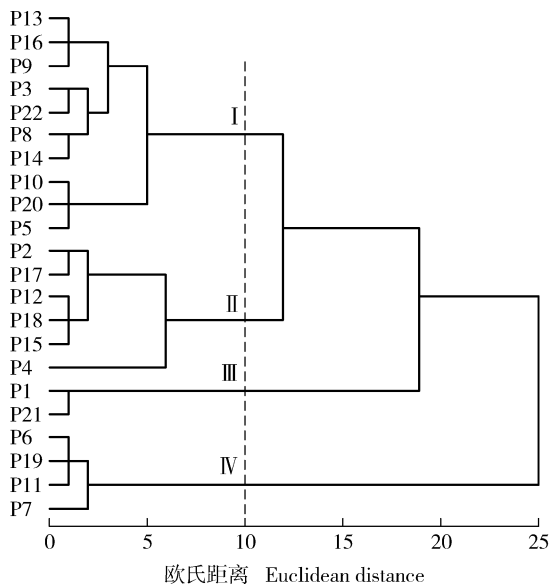
由图1可见,在欧氏距离10处,供试的22个种源被分成I、II、III和IV4组,其中,I组包含10个种源,分别为玛纳斯县六户地镇(P13)种源、沙湾县四道河子镇(P16)种源、和硕县乌什塔拉乡(P9)种源、昌吉市蔡家湖镇(P3)种源、乌苏市古尔图镇(P22)种源、和布克赛尔蒙古自治县和什托洛盖镇(P8)种源、奇台县芨芨湖乡(P14)种源、呼图壁县芳草湖镇(P10)种源、民丰县安迪尔乡(P20)种源和阜康市滋泥泉子镇(P5)种源;II组包含6个种源,分别为布尔

表 4 新疆梭梭种子表型性状间的相关性分析¹⁾

Table 4 Correlation analysis on seed phenotypic traits of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge in Xinjiang¹⁾

表型性状 Phenotypic trait	相关系数 Coefficient of correlation					
	种子纵径 Vertical diameter of seed	种子横径 Horizontal diameter of seed	种形系数 Coefficient of seed form	种翅长 Length of seed wing	种翅宽 Width of seed wing	种子千粒质量 1 000-grain mass of seed
种子纵径 Vertical diameter of seed	1.000					
种子横径 Horizontal diameter of seed	0.622**	1.000				
种形系数 Coefficient of seed form	0.124	-0.692**	1.000			
种翅长 Length of seed wing	0.473*	0.406	-0.045	1.000		
种翅宽 Width of seed wing	0.474*	0.413	-0.040	0.937**	1.000	
种子千粒质量 1 000-grain mass of seed	0.733**	0.673**	-0.174	0.414	0.462*	1.000

¹⁾ **: $P < 0.01$; *: $P < 0.05$.



P1: 巴里坤哈萨克自治县三塘湖乡 Santanghu Township of Barkol Kazak Autonomous County; P2: 布尔津县杜来提乡 Dulaiti Township of Burqin County; P3: 昌吉市蔡家湖镇 Caijiahu Town of Changji City; P4: 福海县阔克阿什乡 Kuoke Ash Township of Fuhai County; P5: 阜康市滋泥泉子镇 Ziniquanzi Town of Fukang City; P6: 富蕴县恰库尔图镇 Chakultu Town of Fuyun County; P7: 哈巴河县阔斯特乡 Koster Township of Habahe County; P8: 和布克赛尔蒙古自治县和什托洛盖镇 Heshituojiao Town of Hoboksar Mongolian Autonomous County; P9: 和硕县乌什塔拉乡 Wushitala Township of Hoxud County; P10: 呼图壁县芳草湖镇 Fangcaohu Town of Hutubi County; P11: 克拉玛依市车排子镇 Chepaizi Town of Karamay City; P12: 木垒哈萨克自治县雀仁乡 Queren Township of Mori Kazak Autonomous County; P13: 玛纳斯县六户地镇 Liuhudi Town of Manas County; P14: 奇台县芨芨湖乡 Jijihu Township of Qitai County; P15: 鄯善县七克台镇 Qiketai Town of Shanshan County; P16: 沙湾县四道河子镇 Sidaohezi Town of Shawan County; P17: 托克逊县博斯坦乡 Bostan Township of Toksun County; P18: 托里县庙尔沟镇 Miaoergou Town of Toli County; P19: 吐鲁番市艾丁湖乡 Aidinghu Township of Turpan City; P20: 民丰县安迪尔乡 Andil Township of Minfeng County; P21: 吉木萨尔县五彩湾镇 Wucaiwai Town of Jimsar County; P22: 乌苏市古尔图镇 Gultu Town of Usu City.

图 1 基于种子表型性状的新疆不同种源梭梭的聚类分析
Fig. 1 Cluster analysis on *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge from different provenances in Xinjiang based on seed phenotypic traits

津县杜来提乡 (P2) 种源、托克逊县博斯坦乡 (P17) 种源、木垒哈萨克自治县雀仁乡 (P12) 种源、托里县庙尔沟镇 (P18) 种源、鄯善县七克台镇 (P15) 种源和福海县阔克阿什乡 (P4) 种源; III 组包含 2 个种源, 分别为巴里坤哈萨克自治县三塘湖乡 (P1) 种源和吉木萨尔县五彩湾镇 (P21) 种源; IV 组包含 4 个种源, 分别为富蕴县恰库尔图镇 (P6) 种源、吐鲁番市艾丁湖乡 (P19) 种源、克拉玛依市车排子镇 (P11) 种源和哈巴河县阔斯特乡 (P7) 种源。

3 讨论和结论

植物的表型性状可直观地反映其遗传多样性, 并且, 与根、茎、叶的表型性状相比, 种子的表型性状较为稳定^[25-26], 更适于植物遗传多样性研究。方差分析结果表明: 新疆梭梭的种子纵径、种子横径、种形系数、种翅长、种翅宽和种子千粒质量在种源间差异极显著 ($P < 0.01$), 说明新疆梭梭种子表型性状在种源间变异丰富, 遗传改良潜力巨大。并且, 梭梭这 6 个种子表型性状的遗传力较高, 均在 0.9 以上, 尤其是种子横径、种翅长、种翅宽和种子千粒质量的遗传力, 分别达到 0.985 7、0.981 5、0.975 6 和 0.973 6, 说明这些表型性状受到较强的遗传控制, 为梭梭的遗传改良提供了可靠保障。本研究结果表明: 新疆 22 个种源梭梭种子纵径、种子横径、种形系数、种翅长、种翅宽和种子千粒质量的变异系数大多低于 10%, 说明梭梭种子表型性状在种源内较稳定。

相关性分析结果表明: 梭梭的种子千粒质量与种子纵径和种子横径均呈极显著正相关, 与种翅宽呈显著 ($P < 0.05$) 正相关, 种翅长与种翅宽呈极显著正相

关,说明梭梭的种子纵径、种子横径和种翅宽对其种子千粒质量影响很大,这些表型性状的数值越大,种子千粒质量越高。

聚类分析结果表明:在欧氏距离 10 处,供试的新疆 22 个种源梭梭被分成 4 组,部分地理分布相近的种源聚在一起,说明新疆梭梭种子表型性状的地理变异呈现一定的区域板块化特征,并伴有随机变异特征^[27-28]。值得注意的是,位于南疆的民丰县安迪尔乡(P20)种源与位于东疆的阜康市滋泥泉子镇(P5)等 9 个种源聚为一组,这可能是由于 P20 种源为栽培种源,据此推测该种源来自东疆地区^[18];而另一个栽培种源[吐鲁番市艾丁湖乡(P19)种源]与富蕴县恰库尔图镇(P6)种源、克拉玛依市车排子镇(P11)种源和哈巴河县阔斯特乡(P7)种源聚为一组,其中后 3 个种源均位于北疆,且均位于准噶尔盆地附近,而 P19 种源距准噶尔盆地较远,据此推测 P19 种源来自北疆地区。

综上所述,新疆梭梭种子表型性状在种源间变异丰富,且这些表型性状受到较强的遗传控制,但在种源内却较稳定。由于新疆面积广阔,不同地区的气候条件差异较大,使新疆的梭梭形成了不同的基因型,仅根据本研究结果无法准确判定新疆梭梭的变异模式。若想准确区分新疆梭梭种源并确定其种源变异模式,应采取田间造林试验和分子标记相结合的方式开展相关研究。

参考文献:

- [1] 王雪芹, 蒋进, 雷加强, 等. 古尔班通古特沙漠短命植物分布及其沙面稳定意义[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 598-605.
- [2] 宋于洋, 刘长青, 赵玉玉. 石河子地区不同生境梭梭种群数量动态分析[J]. 西北植物学报, 2008, 28(10): 2118-2124.
- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2015 年版(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 135.
- [4] 内蒙古植物志编辑委员会. 内蒙古植物志: 第二卷[M]. 2 版. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1990: 227.
- [5] 胡式之. 中国西北地区的梭梭荒漠[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1963, 1(1/2): 81-109.
- [6] 陈昌笃, 马立运, 胡文康. 古尔班通古特沙漠的沙地植物群落、区系及其分布的基本特征[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1983, 7(2): 89-99.
- [7] SHI S Q, SHI Z, QI L W, et al. Molecular responses and expression analysis of genes in a xerophytic desert shrub *Haloxylon ammodendron* (Chenopodiaceae) to environmental stresses [J]. African Journal of Biotechnology, 2009, 8(12): 2667-2676.
- [8] 解婷婷, 张希明, 梁少民, 等. 不同灌溉量对塔克拉玛干沙漠腹地梭梭水分生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(4): 711-716.
- [9] 许浩, 张希明, 闫海龙, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地梭梭(*Haloxylon ammodendron*)蒸腾耗水规律[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3713-3720.
- [10] 李建贵, 宁虎森, 刘斌. 梭梭种群性状结构与空间分布格局的初步研究[J]. 新疆农业大学学报, 2003, 26(3): 51-54.
- [11] 常静, 潘存德, 师瑞锋. 梭梭-白梭梭群落优势种群分布格局及其种间关系分析[J]. 新疆农业大学学报, 2006, 29(2): 26-29.
- [12] 张锦春, 王继和, 安富博, 等. 民勤天然梭梭种群特征初步研究[J]. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1124-1128.
- [13] 吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等. 准噶尔盆地西北缘梭梭种群结构和空间格局特征[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 380-387.
- [14] 黄振英, 张新时, GUTTERMAN Y, 等. 光照、温度和盐分对梭梭种子萌发的影响[J]. 植物生理学报, 2001, 27(3): 275-280.
- [15] 李亚, 张莹花, 王继和, 等. 不同盐分胁迫对梭梭种子发芽的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 293-297.
- [16] 薛建国, 韩建国, 王显国, 等. NaCl 和 PEG 对华北驼绒藜和梭梭种子萌发的影响[J]. 草地学报, 2008, 16(5): 470-474.
- [17] MEIRELES J E, DE A TOZZI A M G. Seed and embryo morphology of *Poecilanthus* (Fabaceae, Papilionoideae, Brongniartieae) [J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2010, 158(2): 249-256.
- [18] 周智彬, 徐新文. 塔克拉玛干沙漠腹地植物引种试验[J]. 干旱区研究, 2004, 21(4): 363-368.
- [19] 任红剑, 丰震, 乔谦, 等. 元宝枫叶片形态特征的地理变异[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(6): 113-119.
- [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] 张林静. 新疆阜康荒漠植物群落物种多样性与梭梭的遗传多样性研究[D]. 兰州: 西北大学生命科学学院, 2002: 62-66.
- [22] 张萍. 利用 ISSR 分子标记对新疆梭梭属植物遗传多样性的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学林学院, 2006: 34-40.
- [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比较[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(4): 11-20.
- [24] 沈熙环. 林木育种学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 55-70.
- [25] 陈巍, 王力荣, 朱更瑞, 等. 基于 SSR 标记和生物学性状进行桃遗传多样性的比较分析[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(1): 86-90.
- [26] 程诗明, 顾万春. 苦楝表型性状梯度变异的研究[J]. 林业科学, 2006, 42(5): 29-35.
- [27] 徐化成, 唐谦. 油松地理变异的初步研究[J]. 北京林学院学报, 1984(2): 57-72.
- [28] 舒泉, 杨志玲, 杨旭, 等. 不同种源厚朴叶片性状变异及幼苗生长量研究[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(4): 19-25.

(责任编辑: 佟金凤)