

梭梭不同种源间种子性状和幼苗生长性状 与地理和气候因子的关系

王葆芳¹, 张景波², 杨晓晖^{1,①}, 江泽平¹

(1. 中国林业科学研究院林业研究所 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;
2. 中国林业科学研究院沙漠林业实验中心, 内蒙古 磴口 015200)

摘要: 对6个种源区梭梭 [*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge] 的种子性状和幼苗生长性状进行比较, 并对这些性状与地理气候因子的相关性进行了分析, 通过聚类分析方法对不同种源进行了评价。结果显示, 不同种源间梭梭种子性状和幼苗生长性状存在显著差异, 种子的果翅长度、种子千粒重、单株种子质量和种子发芽率的变化范围分别为 5.13~7.14 mm、2.21~3.75 g、2.49~53.17 g 和 24.45%~75.00%, 幼苗株高、新生枝长度、幼苗地径和幼苗成活率的变化范围分别为 16.67~56.67 cm、14.33~29.34 cm、4.04~8.06 mm 和 42.56%~84.45%。不同种源梭梭的种子及幼苗生长性状与地理分布有关; 单株种子质量、种子发芽率、幼苗株高和幼苗成活率与经度极显著正相关, 果翅长度、种子千粒重和幼苗株高与纬度极显著负相关, 海拔仅与果翅长度有显著相关关系; 单株种子质量、种子发芽率和幼苗成活率的直接影响因子为经度, 果翅长度、种子千粒重和新生枝长度的直接影响因子为纬度。气候因子与种子性状紧密相关, 而与幼苗生长性状的相关性较差, 仅幼苗成活率与1月气温和相对湿度存在极显著相关性; 1月气温对果翅长度、单株种子质量、种子发芽率、幼苗株高和新生枝长度的直接作用最大; 年降雨量对地径的直接作用最大, 相对湿度对幼苗成活率的直接作用最强。通过聚类分析将6个梭梭种源分为3类, 其中内蒙古磴口种源为优良梭梭种源, 新疆乌苏种源为较差种源。

关键词: 梭梭; 种源; 种子性状; 幼苗生长性状; 地理和气候因素; 相关性

中图分类号: Q949.9; Q945.13; S793.9 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2009)01-0028-08

Relationship of seed characters and seedling growth traits of *Haloxylon ammodendron* from different provenances with geographical and climatic factors WANG Bao-fang¹, ZHANG Jing-bo², YANG Xiao-hui^{1,①}, JIANG Ze-ping¹ (1. Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation of State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Desert Forestry Experimental Center, Chinese Academy of Forestry, Dengkou 015200, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2009, 18(1): 28-35

Abstract: Seed characters and seedling growth traits of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge from six provenances were compared and their correlation with geographical and climatic factors was studied, and the six provenances were also evaluated by cluster analysis. The results show that there are significant differences among seed characters and seedling growth traits of *H. ammodendron* from different provenances. The variation range of fruit wing length, 1 000-seed weight, seed weight per plant and germination rate of seed is 5.13-7.14 mm, 2.21-3.75 g, 2.49-53.17 g and 24.45%-75.00%, respectively. And the variation range of height, new branch length, ground diameter and survival rate of seedling is 16.67-56.67 cm, 14.33-29.34 cm, 4.04-8.06 mm and 42.56%-84.45%, respectively. All the above characters are associated with geographical distribution. Seed weight per plant, germination rate of seed, height and survival rate of seedling have highly significant positive correlations to longitude, while fruit wing length, 1 000-seed weight and seedling height have highly

收稿日期: 2008-04-21

基金项目: “十五”国家“863”节水专项课题(2002AA2Z4011)

作者简介: 王葆芳(1950—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 本科, 副研究员, 主要从事西北地区植物选育和荒漠化研究。

①通讯作者 E-mail: deset608@126.com; yangxh@forestry.ac.cn

significant negative correlations to latitude, and only fruit wing length has a significant correlation to altitude. Thus longitude is the direct influence factor for seed weight per plant, germination rate of seed and survival rate of seedling, and latitude is the direct influence factor for fruit wing length, 1 000-seed weight and new branch length. The seed characters have a close correlation to climatic factors, while the seedling growth traits do not. Only survival rate of seedling has a highly significant correlation to temperature in January and relative humidity. Temperature in January has the greatest direct influence on fruit wing length, seed weight per plant, germination rate of seed, seedling height and new branch length. Annual precipitation has the greatest direct influence on ground diameter of seedling, and relative humidity has the greatest direct influence on survival rate of seedling. The six provenances can be divided into three groups according to the cluster analysis, among which *H. ammodendron* from Dengkou of Inner Mongolia is a superior provenance and the provenance from Usu of Xinjiang is poor.

Key words: *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge; provenance; seed character; seedling growth trait; geographical and climatic factors; correlation

随着国家西部大开发战略举措的实施,生态环境建设被列为优先发展领域,退耕还林、植树种草和生物固沙是生态环境建设的重要措施。目前,中国西北地区严峻的荒漠化形势与优良种植树种的严重缺乏密切相关,可供造林的适生优质苗木品种匮乏,造林树种单一,苗木生产量严重不足,一些优良抗逆性植物,如梭梭 [*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge]、胡杨 (*Populus euphratica* Oliv.) 等优良品种的选育问题尚未解决,无法满足大规模绿化工程建设的需要。造成这种局面的主要原因:一是缺少大规模的林木种子园和种苗基地;二是优良树种育种材料短缺;三是缺乏林木快繁技术和规模化、产业化的苗木繁殖配套技术,使许多林木的遗传资源得不到有效利用,造林质量差,造林的成活率和保存率低。

梭梭是干旱荒漠地区优良的固沙先锋树种之一,具有超旱生、耐干旱、抗风沙、抗盐碱、耐高温、抗严寒及生长迅速等独特性状。国外对梭梭的研究较早^[1],主要集中于生理、生长和育苗等方面,研究重点为荒漠地区梭梭的生长状况和根系特性、梭梭的光合作用和蒸腾系数、土壤和水分对梭梭生长的影响、梭梭的育苗技术研究、天然梭梭林结构和自然演替过程等方面。

国内对梭梭的研究早期多集中在生态学特征和育苗及造林技术等方面^[2-9],近年来则加强了梭梭抗旱与生理生化方面的研究^[10-12],而关于梭梭不同种源和引种的研究尚不多见。安守芹等^[13]、郭春秀等^[14]及王焯等^[15]分别对来源于内蒙古、新疆、甘肃等省区不同种源地梭梭的种子特性和品质、苗期生长状况等进行了比较研究并筛选出适宜本区域栽培

的梭梭种源。买买提·依提^[16]和汉斐等^[17]对梭梭引种栽培后的生长表现进行了观察,为梭梭的区域引种栽培提供了依据。尽管如此,对梭梭优良种源选择的研究还比较薄弱,种源试验覆盖范围较窄,种源地不全,且大多是在同一地区进行引种。

作者选择内蒙古、青海、甘肃和新疆等省区天然分布区的梭梭种源,研究了不同种源地梭梭种子质量和幼苗生长状况,以期为西北干旱地区优良梭梭种质资源的筛选提供科学依据,也为国家大规模生态工程、退耕还林还草工程及种子资源保存工程的实施提供基础资料。

1 研究区自然概况和研究方法

1.1 研究区的自然概况

研究区地处内蒙古乌兰布和沙漠东北缘,地理位置为东经 106°24'、北纬 40°29',海拔 1 056 m,属荒漠与干草原的过渡地带。年均温度 7.6 °C,年无霜期 130 ~ 170 d; 年均降水量 142.7 mm, 年均蒸发量 2 110.8 ~ 2 966.0 mm, 年均空气相对湿度 47%; 主风向西北风,全年 40% 的扬尘日数和大风日数及 60% 的沙尘暴日数集中于春季。土壤为发育在冲积湖积型成土母质及风积型母质上的漠钙土。植被以荒漠植被占主导地位,以旱生及超旱生沙生灌木或半灌木为主,主要优势植物有白刺 (*Nitraria tangutorum* Bobr.)、霸王 (*Sarcocolla xanthoxylon* Bunge)、油蒿 (*Artemisia ordosica* Kraschen.)、沙冬青 [*Ammopiptanthus mongolicus* (Maxim. ex Kom.) Cheng f.]、沙鞭 [*Psammochloa villosa* (Trin.) Bor]、梭梭等种类。

1.2 材料

供试梭梭种子来自梭梭天然分布区的 6 个种源地,分别为内蒙古巴彦淖尔市乌拉特后旗(乌旗)、内蒙古阿拉善盟额济纳旗(额旗)、内蒙古巴彦淖尔市磴口县(磴口)、青海德令哈市(德令哈)、甘肃武威市治沙站(武威)和新疆乌苏市甘家湖保护区(乌苏)。各种源地自然条件见表 1。

采种时间为 2003 年 10 月(种子成熟期)。所

选林分均为天然林的集中分布区。采种木间距在 10 m 以上,均为群落中的优势木或亚优势木,无孤立木、林缘木或病虫害木。各种源地选 15~30 株采种木,共 112 株,采种方法为折枝法,即将梭梭种枝折断后,放在塑料布上,人工碾搓取种。按单株进行采种,种子分别装入纸袋内保存。其中新疆乌苏种源的梭梭种子委托当地同行代采。

表 1 供试梭梭各种源地的地理气候概况

Table 1 The geographical and climatic status of different locations of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge

种源号 ¹⁾ No. ¹⁾	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	年降雨量/mm Annual precipitation	年均温度/℃ Mean annual temperature	1 月气温/℃ Temperature in Jan.	7 月气温/℃ Temperature in Jul.	相对湿度/% Relative humidity
1	E 106°24'	N 40°29'	1 056	142.7	7.6	-10.8	23.8	47.0
2	E 100°06'	N 41°47'	982	37.9	8.2	-12.5	26.2	17.4
3	E 106°32'	N 42°12'	846	98.8	6.5	-13.7	24.0	39.0
4	E 102°51'	N 37°54'	1 543	158.4	7.7	-8.7	22.9	50.0
5	E 96°43'	N 37°18'	2 844	156.4	3.5	-10.3	17.2	35.0
6	E 83°50'	N 44°29'	1 000	160.0	9.0	-20.0	30.0	35.0

¹⁾ 1: 内蒙古磴口 Dengkou of Inner Mongolia; 2: 内蒙古额济纳旗 Ejin Qi of Inner Mongolia; 3: 内蒙古乌拉特后旗 Urad Houqi of Inner Mongolia; 4: 甘肃武威 Wuwei of Gansu; 5: 青海德令哈 Delingha of Qinghai; 6: 新疆乌苏 Usu of Xinjiang.

1.3 方法

1.3.1 种子特性测定方法 采集的梭梭种子经晾晒和去除杂质,使种子纯净度达 90% 以上,于室内干燥通风处储藏备用,用于千粒重、单株种子质量、果翅长度和发芽率的测定。

各种源地分别抽取 150 粒种子测定果翅长度,每种源地 3 次重复;千粒重测定采用四分法取样,各种源地分别抽取 15 个样品,共计 90 个样品;按单株采种并风干后,分别进行单株种子质量的测定。

于 2004 年 3 月 31 日开始在室内进行播种观测,采用自然发芽法(除浇水外,未实施任何养护措施),室内温度 16 ℃,土壤含水量 10%~12%,光源为室内自然光照。各种源分别播种 10 个容器杯,每个容器杯播种 20 粒种子,3 次重复,各种源地播种的种子总数均为 600 粒,管理措施相同。4 月 2 日种子开始发芽后,每日观测发芽种子数,直至 4 月 9 日发芽期结束。

1.3.2 幼苗生长状况测定方法 于 2004 年 4 月对 6 个种源地梭梭种子进行播种育苗,2005 年春季将幼苗移至大田栽植并进行幼苗生长性状观测。采用完全随机区组设计,每小区栽植 5 行,每行 7 株,株距 1.0 m,行距 1.5 m,每小区 35 株,各种源区组重

复 6 次,共计 36 个小区 1 260 株幼苗。观测期间采用常规栽培管理措施进行幼苗的田间管理。

在 2005 年 6 月至 8 月的每月下旬,采用每木调查法测定幼苗的株高、新生枝长度、地径和成活率(保护行除外),并针对 8 月下旬的调查数据进行统计分析。

1.4 数据的统计分析方法

采用各种源地梭梭各区组的观测平均值,应用 SPSS 软件(ANOVA)分别对种子和幼苗生长性状(取各月平均值)做方差分析;应用 DPS 软件通过多元逐步回归分析^[18]求得梭梭种子与苗期各性状与地理和气候因素的相关系数,并进行通径分析;应用 SPSS 软件,采用欧氏距离按类间平均法进行系统聚类分析^[19],并据此进行种源类型划分。

2 结果和分析

2.1 梭梭种源间种子性状和幼苗生长性状的分析

地理和气候环境条件与植物的生长发育之间有密切的联系,不仅影响种子的发育,对林木生长也有很大的影响。不同种源梭梭种子和幼苗的生长性状见表 2。由表 2 可以看出,不同种源间梭梭种子质量

和幼苗苗期生长性状有较大差异,梭梭种子的果翅长度、千粒重、单株种子质量和发芽率的最高值分别是最低值的1.39、1.70、21.35和3.07倍,幼苗的株高、新生枝长度、地径和成活率的最高值分别是最低值的3.40、2.05、2.00和1.98倍。方差分析结果显示(表3),梭梭不同种源间种子的千粒重、单株种子

质量和发芽率以及幼苗的株高、新生枝长度、地径和成活率的差异均达到极显著水平($P < 0.01$),不同种源间梭梭种子果翅长度的差异达到显著水平($P < 0.05$),其差异与各种源地生态环境和立地条件不同所导致的适应性差异有关。

表2 梭梭不同种源间种子性状和幼苗生长性状的比较($\bar{X} \pm SD$)

Table 2 Comparison of seed characters and seedling growth traits of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge from different provenances ($\bar{X} \pm SD$)

种源号 ¹⁾ No. ¹⁾	种子性状 Seed character				幼苗生长性状 Seedling growth trait			
	果翅长度/mm Fruit wing length	千粒重/g 1 000-seed weight	单株种子质量/g Seed weight per plant	发芽率/% Germination rate	株高/cm Height	新生枝长度/cm New branch length	地径/mm Ground diameter	成活率/% Survival rate
1	6.46 ± 1.46	3.75 ± 0.67	53.17 ± 27.26	75.00 ± 11.68	56.67 ± 5.69	29.34 ± 5.13	8.06 ± 2.12	84.45 ± 4.80
2	6.18 ± 1.34	2.21 ± 0.39	16.51 ± 10.36	51.11 ± 24.11	35.81 ± 5.36	19.55 ± 3.08	4.88 ± 0.74	48.33 ± 8.23
3	6.12 ± 0.54	2.61 ± 0.40	13.50 ± 8.01	53.50 ± 20.20	33.79 ± 4.42	14.62 ± 1.63	4.04 ± 1.00	62.12 ± 9.27
4	6.91 ± 0.62	3.09 ± 0.81	21.54 ± 10.91	51.53 ± 23.81	33.07 ± 10.14	17.37 ± 4.67	4.50 ± 1.11	82.78 ± 10.10
5	7.14 ± 1.14	3.40 ± 1.17	8.44 ± 4.70	53.45 ± 23.34	44.87 ± 13.37	19.68 ± 6.25	4.86 ± 1.80	44.00 ± 7.56
6	5.13 ± 0.34	2.30 ± 0.18	2.49 ± 0.85	24.45 ± 6.73	16.67 ± 1.52	14.33 ± 2.06	5.78 ± 0.60	42.56 ± 6.08

¹⁾ 1: 内蒙古磴口 Dengkou of Inner Mongolia; 2: 内蒙古额济纳旗 Ejin Qi of Inner Mongolia; 3: 内蒙古乌拉特后旗 Urad Houqi of Inner Mongolia; 4: 甘肃武威 Wuwei of Gansu; 5: 青海德令哈 Delingha of Qinghai; 6: 新疆乌苏 Usu of Xinjiang.

表3 梭梭不同种源间种子性状和幼苗生长性状的方差分析

Table 3 Variance analysis of seed characters and seedling growth traits of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge from different provenances

性状 Trait	离差平方和 SS	自由度 Df	均方 MS	F ¹⁾	Sig.
果翅长度 Fruit wing length	15.107	5	3.021	2.990 *	0.026
种子千粒重 1 000-seed weight	11.571	5	2.314	4.902 **	0.002
单株种子质量 Seed weight per plant	9 564.783	5	1 912.957	10.859 **	0.000
种子发芽率 Germination rate of seed	7 751.446	5	1 550.289	4.075 **	0.006
幼苗株高 Seedling height	4 085.301	5	817.060	13.443 **	0.000
新生枝长度 New branch length	907.080	5	181.416	10.517 **	0.000
幼苗地径 Ground diameter of seedling	62.652	5	12.530	6.935 **	0.000
幼苗成活率 Survival rate of seedling	10 887.429	5	2 177.486	35.037 **	0.000

¹⁾ *: $P = 0.05$; **: $P = 0.01$.

2.2 梭梭种子性状和幼苗生长性状与种源地环境因子的相关性分析

2.2.1 与种源地地理因子的相关性分析 梭梭种子和幼苗生长性状与种源地地理因子的相关性分析结果见表4。由表4可见,梭梭种子性状及幼苗生长性状的差异与地理分布有关。经度与各性状呈正相关,其中,单株种子质量、种子发芽率、幼苗株高、幼苗成活率与经度呈极显著正相关($P < 0.01$);经度与梭梭种子和幼苗各性状的相关系数由高到低依次为:幼苗成活率、幼苗株高、种子发芽率、单株种子质量、新生枝长度、果翅长度、种子千粒重、幼苗地径。

纬度仅与幼苗地径呈正相关,与其他性状均呈负相关,其中,果翅长度、种子千粒重、幼苗株高与纬度呈极显著负相关($P < 0.01$);纬度与梭梭种子和幼苗各性状的相关系数由高到低依次为:果翅长度、幼苗株高、种子千粒重、幼苗成活率、种子发芽率、新生枝长度、单株种子质量、幼苗地径。海拔高度与果翅长度、种子千粒重、种子发芽率、幼苗株高和新生枝长度呈正相关,与其他性状呈负相关,但只与果翅长度的相关性达显著水平($P < 0.05$),与其他性状的相关性均不显著;海拔与梭梭种子和幼苗各性状的相关系数由高到低依次为:果翅长度、种子千粒重、幼

苗株高、幼苗成活率、单株种子质量、幼苗地径、新生枝长度和种子发芽率。

为了分析地理因子对梭梭种子和幼苗各性状的影响程度和相互作用,进行了通径分析,结果见表5。通径分析结果显示,纬度是果翅长度、种子千粒重和新生枝长度的直接影响因子;经度是单株种子质量、种子发芽率和幼苗成活率的直接影响因子;幼苗株高受纬度和经度双重因子的影响,其主导因子为纬度,经度次之,经度通过纬度对幼苗株高的间接作用为0.185 8,纬度通过经度对幼苗株高的间接作用为-0.126 5;幼苗地径受海拔和纬度双重因子的影响,其主导因子为海拔,纬度通过海拔对幼苗地径的间

接作用为0.124 7,海拔通过纬度对幼苗地径的间接作用为0.090 8。

另外,从梭梭种子和幼苗性状与地理因子的关系可看出,纬度对果翅长度、种子千粒重、幼苗株高、新生枝长度及幼苗地径等指标的影响均为负向作用,即随纬度增加,各指标值下降;经度对单株种子质量、种子发芽率、幼苗株高和幼苗成活率的影响均为正向作用,即随经度的增加而增加;此外,海拔仅对幼苗地径有一定影响,而与其他指标无关,说明在我国的梭梭自然分布区内,海拔高度对梭梭种子性状与幼苗生长的影响不大。

表4 梭梭种子性状和幼苗生长性状与种源地地理因子的相关系数(Pearson)¹⁾

Table 4 Correlation coefficients (Pearson) between seed characters, seedling growth traits of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge and geographical factors¹⁾

地理因子 Geographical factor	相关系数 Correlation coefficient							
	果翅长度 Fruit wing length	种子千粒重 1 000-seed weight	单株种子质量 Seed weight per plant	种子发芽率 Germination rate of seed	幼苗株高 Seedling height	新生枝长度 New branch length	幼苗地径 Ground diameter of seedling	幼苗成活率 Survival rate of seedling
经度 Longitude	0.338 *	0.303	0.521 **	0.554 **	0.594 **	0.367 *	0.013	0.647 **
纬度 Latitude	-0.560 **	-0.457 **	-0.175	-0.320	-0.523 **	-0.252	0.095	-0.330 *
海拔 Altitude	0.401 *	0.327	-0.189	0.048	0.308	0.049	-0.135	-0.224

¹⁾ *: $P=0.05$; **: $P=0.01$.

表5 地理因子对梭梭种子性状和幼苗生长性状影响的通径分析结果¹⁾

Table 5 Results of path analysis between geographical factors and seed characters, seedling growth traits of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge¹⁾

性状 Trait	影响因子系数 Coefficient of influence factor			决定系数 Determination coefficient	复相关系数 Multiple correlation coefficient
	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude		
果翅长度 Fruit wing length	-	-0.589 3DF	-	0.314 0	0.607 8
种子千粒重 1 000-seed weight	-	-0.557 3DF	-	0.310 6	0.557 3
单株种子质量 Seed weight per plant	0.551 0DF	-	-	0.303 6	0.551 0
种子发芽率 Germination rate of seed	0.582 3DF	-	-	0.306 5	0.600 6
幼苗株高 Seedling height	0.312 1DF -0.126 5IF	0.185 8IF -0.458 4DF	-	0.423 5	0.650 8
新生枝长度 New branch length	-	-0.373 5DF	-	0.139 5	0.373 5
幼苗地径 Ground diameter of seedling	-	-0.172 1DF 0.090 8IF	0.124 7IF -0.236 5DF	0.042 6	0.206 4
幼苗成活率 Survival rate of seedling	0.640 3DF	-	-	0.410 0	0.640 3

¹⁾ DF: 直接因子 Direct factor; IF: 间接因子 Indirect factor.

2.2.2 与种源地气候因子的相关性分析 梭梭种子性状和幼苗生长性状与种源地气候因子的相关性分析见表6。由表6可见,梭梭种子性状与气候因子的相关性较为密切,果翅长度、种子千粒重和单株种子质量与5个气候因子均存在极显著相关性($P <$

0.01);种子性状与5个气候因子的相关程度由大至小依次为果翅长度、单株种子质量、种子千粒重。梭梭幼苗生长性状与气候因子的相关性较小,只有幼苗成活率与1月气温和相对湿度存在极显著相关性($P < 0.01$),幼苗株高、新生枝长度和幼苗地径与气

候因子的相关性极低, 仅在 0.002 ~ -0.173 之间。

在气候因子中, 1 月气温与梭梭种子性状和幼苗生长性状的相关程度相对较高。1 月气温与果翅长度、种子千粒重、单株种子质量、种子发芽率、幼苗株高、新生枝长度、幼苗地径和幼苗成活率的相关系数分别为 -0.765、0.563、0.624、0.364、0.077、0.063、0.038 和 0.539。值得注意的是, 年降雨量、7 月气温和相对湿度与种子千粒重、单株种子质量和种子发芽率均呈负相关, 这表明梭梭幼苗生长对降雨反应不敏感, 但过多的降雨对种子发育会产生负面作用。据报道^[16,20], 短期的水分供应过多将破坏梭梭的细

胞结构, 对梭梭苗木生长不利, 重者可导致梭梭死亡。从气温上看, 年初低温期的温度越高, 越有利于梭梭的发育; 而在 7 月高温期, 温度越高越不利于梭梭的生长。与年降雨量相比, 相对湿度与种子千粒重、单株种子质量和种子发芽率的相关性较低, 说明相对湿度对种子品质和发育的负面影响小于年均降雨量; 与此相反, 相对湿度与幼苗成活率呈正相关 (0.706), 其相关程度远高于其他气候因子。

为判明种源与气候因子的相互作用, 将 8 个梭梭种子和幼苗生长性状的种源变异与 5 个气候因子进行通径分析, 结果见表 7。由表 7 可知, 1 月气温

表 6 梭梭种子性状和幼苗生长性状与种源地气候因子的相关系数 (Pearson)¹⁾

Table 6 Correlation coefficients (Pearson) between seed characters, seedling growth traits of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge and climatic factors¹⁾

气候因子 Climatic factor	相关系数 Correlation coefficient							
	果翅长度 Fruit wing length	种子千粒重 1 000-seed weight	单株种子质量 Seed weight per plant	种子发芽率 Germination rate of seed	幼苗株高 Seedling height	新生枝长度 New branch length	幼苗地径 Ground diameter of seedling	幼苗成活率 Survival rate of seedling
年降雨量 Annual precipitation	0.777 **	-0.429 **	-0.522 **	-0.214	-0.022	0.010	0.068	0.206
年均温度 Mean annual temperature	-0.880 **	0.441 **	0.508 **	0.158	-0.173	-0.052	0.046	0.182
7 月气温 Temperature in Jul.	0.835 **	-0.440 **	-0.550 **	-0.201	0.002	0.015	0.010	-0.119
1 月气温 Temperature in Jan.	-0.765 **	0.563 **	0.624 **	0.364 **	0.077	0.063	0.038	0.539 **
相对湿度 Relative humidity	0.817 **	-0.421 **	-0.432 **	-0.118	0.059	0.065	0.060	0.706 **

¹⁾ * : P=0.05; ** : P=0.01.

表 7 气候因子对梭梭种子性状和幼苗生长性状影响的通径分析结果¹⁾

Table 7 Results of path analysis between climatic factors and seed characters, seedling growth traits of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge¹⁾

性状 Trait	影响因子系数 Coefficient of influence factor					决定系数 Determination coefficient	复相关系数 Multiple correlation coefficient
	年降雨量 Annual precipitation	年均温度 Mean annual temperature	7 月气温 Temperature in Jul.	1 月气温 Temperature in Jan.	相对湿度 Relative humidity		
果翅长度 Fruit wing length	-	-	-	0.587 2DF	-	0.300 2	0.602 8
种子千粒重 1 000-seed weight	-	-	-0.372 4DF	-	-0.095 4IF	0.333 4	0.582 5
单株种子质量 Seed weight per plant	-	0.398 5DF	0.089 2IF	-	0.376 1DF	0.277 4	0.531 3
种子发芽率 Germination rate of seed	-	-0.189 7IF	-	0.603 0DF	-	0.235 5	0.533 9
幼苗株高 Seedling height	-	-0.221 9DF	-	0.502 4DF	-	0.456 1	0.675 4
新生枝长度 New branch length	-	0.099 5IF	-	0.546 1DF	-	0.158 4	0.398 1
幼苗地径 Ground diameter of seedling	0.247 3DF	-0.045 6IF	-	-	-	0.098 8	0.314 3
幼苗成活率 Survival rate of seedling	-0.427 3DF	-0.070 4IF	-	0.006 6IF	0.698 0IF	0.831 2	0.911 7
	0.088 7IF	0.338 8DF	-	-0.190 9IF	-0.049 0IF		
	-0.006 9IF	-0.160 3IF	-	0.403 4DF	0.296 9IF		
	-0.326 2IF	-0.018 1IF	-	0.131 0IF	0.914 4DF		

¹⁾ DF: 直接因子 Direct factor; IF: 间接因子 Indirect factor.

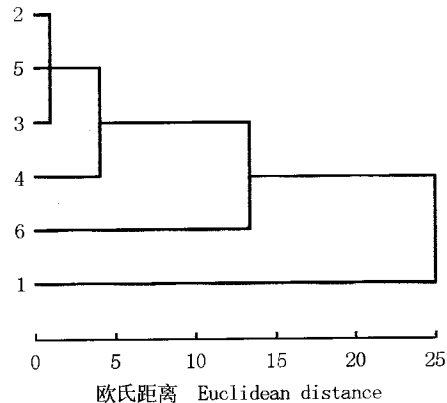
对果翅长度、单株种子质量、种子发芽率、幼苗株高及新生枝长度的直接作用最大;7月气温对种子千粒重的直接作用最强;年降雨量对幼苗地径的直接作用最大;相对湿度对幼苗成活率的直接作用最强;而年均温度则与其他气候因子组合对梭梭种子性状和幼苗生长性状产生作用。另外,从表7中还可以看出,幼苗成活率受气候影响的因子最多(包括年降雨量、年均温度、1月气温和相对湿度),在引种时应对此现象加以重视。上述结果显示,气候因子对梭梭种子和幼苗生长性状的影响主要表现在最低气温(1月气温)和最高气温(7月气温)的差异上,其中最低气温的影响大于最高气温。

2.3 梭梭不同种源的聚类分析

为确定和划分梭梭优良种源,选用8个梭梭种子性状和幼苗生长性状,采用欧氏距离,用类间平均法进行系统聚类分析,结果见图1。按优良、中等和较差3个种源类型划分,欧氏距离分别为24.78、13.65和4.20。优良种源为内蒙古磴口种源;甘肃武威、内蒙古乌拉特后旗、青海德令哈及内蒙古额济纳旗为中等种源,较差的种源为新疆乌苏种源。选择种源间有显著差异的单株种子质量、种子发芽率、幼苗株高和幼苗成活率等4个性状指标进行种源类型间的比较,结果显示,优良梭梭种源的单株种子质量、种子发芽率、幼苗株高和幼苗成活率分别为53.17 g、75.00%、56.67 cm和84.45%;中等梭梭种源上述4个指标的平均值分别为15.00 g、52.40%、36.89 cm和59.31%;较差的新疆乌苏种源上述4个指标值分别为2.49 g、24.45%、16.67 cm和42.56%。

此外,青海德令哈、甘肃武威和内蒙古磴口3个种源种子千粒重分别为3.40、3.09和3.75 g,内蒙古额济纳旗、内蒙古乌拉特后旗和新疆乌苏3个种源的种子千粒重分别为2.21、2.61和2.30 g,表现为低纬度区种源(德令哈、武威和磴口, N 37°18' ~ N 40°29')的种子千粒重高于高纬度区的种源(额旗、乌旗和乌苏, N 41°47' ~ N 44°29')。内蒙古乌拉特后旗、内蒙古磴口和甘肃武威3个种源的幼苗成活率分别为62.12%、84.45%和82.78%,内蒙古额济纳旗、青海德令哈和新疆乌苏3个种源的幼苗成活率分别为48.33%、44.00%和42.56%,表现出定向变异的趋势,即东部区种源的幼苗成活率(乌旗、磴口和武威, E 106°32' ~ E 102°51')高于西部区种

源(额旗、德令哈和乌苏, E 100°06' ~ E 83°50')。不同种源间的单株种子质量、种子发芽率、幼苗株高、新生枝长度和幼苗地径等性状在纬度上虽然无明显的规律性,但均呈现出低纬度种源(南部)好于高纬度种源(北部)的趋势。



1: 内蒙古磴口 Dengkou of Inner Mongolia; 2: 内蒙古额济纳旗 Ejin Qi of Inner Mongolia; 3: 内蒙古乌拉特后旗 Urad Houqi of Inner Mongolia; 4: 甘肃武威 Wuwei of Gansu; 5: 青海德令哈 Delingha of Qinghai; 6: 新疆乌苏 Usu of Xinjiang.

图1 基于种子性状及幼苗生长性状的梭梭6个种源的聚类图
Fig. 1 The cluster dendrogram of six provenances of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge based on seed characters and seedling growth traits

3 结论与讨论

梭梭是温带荒漠地区的地带性植物,在中国主要分布于北纬35°50' ~ 48°、东经60° ~ 111°之间的干旱荒漠地带。由于荒漠中的地貌、基质、水分和盐分的局部变化造成生态条件的差异极大,所以荒漠植被的复合和镶嵌现象十分显著,往往是以不同的荒漠群系斑块散布在荒漠植被中,梭梭便是具有典型代表意义的荒漠群落之一。梭梭荒漠植被盖度低,植被景观破碎化现象比较严重,主要是由于梭梭荒漠植被环境的水热因素极度不平衡而造成的^[21],并且因立地条件不同,其种源间种子质量和生长性状存在显著差异,这种差异主要取决于种苗的遗传基因和环境优劣^[22]。

林木种子的质量主要受遗传基因控制,而种子的繁殖力除了受遗传基因控制外,在一定程度上还受到外在的气候和土壤因素的影响,因而,在环境因素的诱导下,各种源区梭梭种子的遗传基因会发生变异。而从梭梭苗木生长性状来看,幼苗的生长性状受环境影响较大,其表型相关程度较遗传力高,反

映出环境效应对不同种源不同性状的耦合作用^[23]。

梭梭适应性强, 由于自身的特殊结构, 使其能够适应恶劣的环境, 可在石漠、砾漠、沙漠、土漠及盐漠等类荒漠上开花结实、繁衍后代。由于生境不同, 梭梭也会在形态结构和生理生化方面发生变化^[24], 从而影响梭梭的生长发育。因此, 梭梭的种子产量、质量和植株生长性状与地理分布有关。本文研究结果表明, 梭梭单株种子质量、种子发芽率、幼苗株高、幼苗成活率与经度呈极显著正相关; 果翅长度、种子千粒重、幼苗株高与纬度呈极显著负相关; 海拔仅与果翅长度有显著相关性; 单株种子质量、种子发芽率及幼苗成活率的直接影响因子为经度; 果翅长度、种子千粒重及新生枝长度的直接影响因子为纬度; 株高受纬度和经度双重因子影响; 地径受海拔和纬度的影响较大。

梭梭种子性状与气候因子的相关性较为密切, 其中果翅长度、单株种子质量和种子千粒重3个性状与5个气候因子的相关性均较大。梭梭幼苗的生长性状与气候因子的相关性较差, 在4个生长性状中, 只有幼苗成活率与1月气温和相对湿度存在极显著相关性, 幼苗株高、新生枝长度和幼苗地径与气候因子的相关性极低, 相关系数仅0.002 ~ -0.173。在气候因素中, 1月气温对果翅长度、单株种子质量、种子发芽率、幼苗株高及新生枝长度的直接作用最大; 7月气温对种子千粒重的直接作用最强; 年降雨量对幼苗地径的直接作用最大; 相对湿度对幼苗成活率的直接作用最强。由于研究时间较短, 且种源区仅局限于国内, 而环境和气候的变化是一个长期的渐变过程, 因此, 上述研究结论还有待于在今后的研究中加以验证。

根据聚类分析结果将6个种源划分为优良、中等和较差3个类型, 其中分布于内蒙古磴口的梭梭为优良种源; 分布于甘肃武威、内蒙古乌拉特后旗、青海德令哈及内蒙古额济纳旗的梭梭为中等种源; 采自新疆乌苏的梭梭为较差种源。由上述结果可以看出, 虽然分布于新疆的天然梭梭林面积最大, 但并不是适应性最好的种源, 这在已有的研究中已得到证实^[13-15], 这与新疆独特的生态环境有关。

参考文献:

- [1] 贾志清, 卢琦, 郭保贵, 等. 沙生植物——梭梭研究进展[J]. 林业科学研究, 2004, 17(1): 125-132.
- [2] 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): 81-109.
- [3] 陈昌笃, 张立运, 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.
- [4] 胡文康. 准噶尔盆地南部梭梭荒漠类型、特征及其动态[J]. 干旱区研究, 1984, 1(2): 28-38.
- [5] 张立运. 莫索湾地区的梭梭群落的基本特征和天然更新[J]. 干旱区地理, 1987, 10(4): 37-43.
- [6] 崔望诚. 新疆梭梭人工林生长规律的研究[J]. 新疆林业科技, 1989(1): 1-9.
- [7] 海玉生. 流动沙丘、半固定沙丘四种主要沙生灌木造林技术初探[J]. 新疆林业科技, 1992(1): 13-15.
- [8] 常金宝, 邹受益. 梭梭容器苗造林试验研究[J]. 内蒙古林学院学报: 自然科学版, 1995, 17(2): 111-120.
- [9] 王平, 刘湘江. 准葛尔盆地南缘沙荒地梭梭造林技术[J]. 林业科技通讯, 2000(4): 36.
- [10] 杨文斌, 包雪峰, 杨茂仁, 等. 梭梭抗旱的生理生态水分关系研究[J]. 内蒙古林业科技, 1996(3/4): 58-63.
- [11] 马全林, 王继和, 纪永福, 等. 固沙树种梭梭在不同水分梯度下的光合生理特征[J]. 西北植物学报, 2003, 23(12): 2120-2126.
- [12] 郭泉水, 谭德远, 刘玉军, 等. 梭梭对干旱的适应及抗旱机理研究进展[J]. 林业科学研究, 2004, 17(6): 796-803.
- [13] 安守芹, 方天纵, 刘占魁, 等. 五种灌木种源试验与苗期生长对比研究[J]. 内蒙古林学院学报: 自然科学版, 1996, 18(3): 21-28.
- [14] 郭春秀, 万国北, 刘淑娟. 不同种源梭梭栽培试验与生长特性研究[J]. 甘肃林业科技, 2008, 33(1): 4-8.
- [15] 王焯, 尹林克. 梭梭属不同种源种子品质初评[J]. 干旱区研究, 1989, 6(1): 45-49.
- [16] 买买提·依提. 优良固沙植物引种育苗试验[J]. 干旱区研究, 1988, 5(增刊): 25-27.
- [17] 汉隼, 王维邦. 兰州地区梭梭引种初获成功[J]. 甘肃林业科技, 1986(3): 37-40.
- [18] 唐启义, 冯明光. DPS数据处理系统——实验设计、统计分析及数据挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [19] 高祥宝, 董寒青. 数据分析与SPSS应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [20] 侯彩霞, 周培之. 水分胁迫下超旱生植物梭梭的结构变化[J]. 干旱区研究, 1997, 14(4): 23-25.
- [21] 郭泉水, 王春玲, 郭志华, 等. 我国现存梭梭荒漠植被地理分布及其斑块特征[J]. 林业科学, 2005, 41(5): 2-7.
- [22] 王葆芳, 张景波, 江泽平, 等. 梭梭种子性状和繁殖力的遗传变异与评价[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(1): 167-173.
- [23] 王葆芳, 张景波, 杨晓晖, 等. 梭梭种源间苗期性状的遗传变异及相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2007, 16(2): 27-31.
- [24] 李洪山, 张晓岚, 侯彩霞. 梭梭适应干旱环境的多样性研究[J]. 干旱区研究, 1995, 12(2): 15-17.