

梭梭种源间苗期性状的遗传变异及相关性分析

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: 利用田间种源实验, 对分布在中国 5 个自然分布区的 5 个种源梭梭 [*Haloxylon ammodenaron* (C. A. Mey.) Bge.] 苗期的 10 个生长性状进行了观测分析。结果表明, 不同种源梭梭的苗期生长性状差异显著, 差异较大的性状有新生枝长度、生物量、主根数量和一级分枝数。5 个种源中, 内蒙古磴口种源梭梭幼苗的上述性状表现最好, 其后依次为甘肃武威、内蒙古乌拉特后旗、内蒙古额济纳旗和青海德令哈。相关分析结果表明, 苗期生物量与根部生长性状遗传力的相关程度高于苗期茎部生长性状, 表型性状的相关程度高于遗传力。梭梭苗期种源选择的首选因子为苗高、地上部鲜质量和地径性状, 辅助因子为一级分枝数、主根数量和同化枝粗度。

关键词: 梭梭; 干旱区; 苗期性状; 遗传变异; 相关性

中图分类号: S793.9; Q319⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2007)02-0027-05

Genetic variation of some traits of *Haloxylon ammodenaron* seedlings from different provenances and their correlation analysis WANG Bao-fang¹, ZHANG Jing-bo², YANG Xiao-hui^{1,①}, JIANG Ze-ping¹ (1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Desert Forestry Experimental Center, Chinese Academy of Forestry, Dengkou 015200, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2007, 16(2): 27-31

Abstract: Ten growth traits of *Haloxylon ammodenaron* (C. A. Mey.) Bge. seedlings from five provenances introduced from five natural distribution zones in China were measured through field experiments. The results showed that there were significant differences among all growth traits, in which differences of new-shoot length, biomass, main root number and branch number were distinct. Among the five provenances, the best provenance site was Dengkou of Inner Mongolia, and the following sites were Wuwei of Gansu, Urad Houqi of Inner Mongolia, Ejin Qi of Inner Mongolia and Delingha of Qinghai. The results of correlation analysis showed that the correlation of heritability between biomass and root growth traits were greater than that between biomass and stem growth traits, and correlations among phenotype traits were higher than those among heritability. It is concluded that these traits including seedling height, fresh weight of above-ground part and collar diameter should be considered as preference factors, and the branch number, main root number and assimilation shoot diameter as assistant factors for selecting seedlings.

Key words: *Haloxylon ammodenaron* (C. A. Mey.) Bge.; arid area; seedling trait; genetic variation; correlation

梭梭 [*Haloxylon ammodenaron* (C. A. Mey.) Bge.] 为戈壁沙漠地区的特有树种, 在经纬度 35°50'~48°, 东经 60°~111° 之间的干旱沙漠地带呈断续分布。据报道, 2000 年中国约有梭梭林 6.526 × 10⁶ hm², 其中新疆、内蒙古、青海及甘肃分别占 56.0%、39.8%、2.7% 和 1.5%^[1]。梭梭为超旱生植物, 具有较强的耐旱性和耐盐性^[2-5], 能在沙地、戈壁、风积沙丘、湖底盆地、剥蚀山坡和干旱的龟裂地生长, 因此, 梭梭是干旱地区固沙造林的主要

树种之一。多年来, 国内学者一直非常重视对梭梭的研究, 但早期研究多集中于造林技术等方面。近年来, 抗旱机理和生理生化及干旱适应性方面的研

收稿日期: 2006-10-13

基金项目: “十五”国家“863”节水专项课题(2002AA2Z4011)的部分研究内容

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

究增多^[2-6],但有关梭梭天然分布区内不同种源间生长性状差异的研究尚未见报道。为此,作者选取来源于中国5个天然分布区的梭梭种源,对苗期的10个生长性状进行了观察和统计分析,旨在为干旱地区梭梭优良造林品种的筛选提供一定的依据。

1 实验区概况和研究方法

1.1 实验区自然概况

实验区设在内蒙古磴口中国林业科学院沙漠林业实验中心内。地处乌兰布和沙漠东北缘,位于东经106°46',北纬40°28',海拔1 044~1 061 m,属荒漠与干草原的过渡地带。年均温6.8℃~7.6℃,年最高温37.4℃~38.2℃,年最低温-35.3℃~-33.1℃,≥10℃天数为155.1~163.7 d;无霜期130~170 d;日照时数3 000~3 215.5 h;年降水量105.0~144.6 mm,年蒸发量2 110.8~2 966.0 mm,相对湿度47%;平均风速3 m·s⁻¹,最大风速24 m·s⁻¹,主风向西北风,年沙暴日20 d,≥8级大风日数7.9~28.3 d。

实验地所在的原始荒漠区为古河床冲积平原,地貌呈流动沙丘、垄状半固定沙丘、灌丛沙堆、粘质土平地和风蚀洼地相间分布的特征。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,可分为松沙质漠钙土、沙壤质漠钙土及粘沙壤典型漠钙土3种类型。地面植被以荒漠植被占主导地位,主要以旱生及超旱生沙生灌木或半灌木为主。

1.2 研究方法

1.2.1 材料 供试梭梭种子分别采自内蒙古磴口县、内蒙古阿拉善盟额济纳旗、内蒙古巴彦淖尔市乌拉特后旗天然林保护区、甘肃省武威市和青海省德令哈市怀头他拉镇。所选林分全部为天然林,在组成和结构上具有一致性。采种木间距大于10 m,每个种源地采种10~15株。

1.2.2 方法 采用容器苗春季造林方式,按完全随机区组设计,重复4次,各种源分别含3个家系,各家系按完全随机区组排列,每家系为1个小区,每小区5行,每行5株,共计25株,株行距为1 m×1 m,实验区总株数为1 500株,采用常规管理方法。分别在6月和9月对苗木生长性状进行调查,共观测10个性状,即节间长度、一级分枝数、同化枝粗度、苗高、地径、新生枝长度、主根数量、主根长度、地上

部鲜质量和地下部鲜质量。

1.2.3 数据处理和统计分析方法 计算各区组每个性状的平均值,并用SPSS软件(ANOVA)分别对各种源区的苗木性状进行方差分析。

采用单因素线性固定模型^[6],即 $X_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$,在方差分析基础上计算各种源区种子性状和繁殖力的遗传参数。广义遗传力的计算公式为^[7,8]: $h_b^2 = \sigma_g^2 / (\sigma_g^2 + \sigma_e^2)$,式中, h_b^2 为广义遗传力; σ_g^2 为遗传方差分量; σ_e^2 为环境方差分量。

苗木性状相关系数采用Spearson法进行计算,并采用SPSS软件进行主成分分析。

2 结果和分析

2.1 不同梭梭种源间苗期性状比较及差异性分析

梭梭是亚洲荒漠区分布最广的荒漠植被,按土壤基质特征将梭梭荒漠划分为梭梭沙漠、梭梭砾漠、梭梭壤漠、梭梭盐漠及梭梭荒漠等5大类^[9]。由于梭梭的生境差异极大,其生理机制也有所不同,如弃耕地梭梭初期生长时,冠幅生长快于树高生长;而活化沙地上,树高生长与冠幅生长同步增长;在龟裂地上生长缓慢;在青海砾质戈壁上梭梭林平均株高1.5~3.0 m,在沙砾带上梭梭平均株高仅1.2 m^[10]。不同种源间梭梭苗期生长性状的方差分析结果表明(表1),在相同条件下,不同种源梭梭苗期生长性状存在显著差异,除节间长度外,其他生长性状均存在极显著或显著差异。该变异与不同种源区间的地貌、土壤基质、水分和盐分等生态因子的差异有关。

不同梭梭种源间苗期生长性状差异情况见表2。由表2可知,不同种源间存在较大差异的性状有新生枝长度、地上部鲜质量、地下部鲜质量、主根数量和一级分枝数等,不同种源间上述指标的最高值与最低值分别相差2.90、2.89、2.27、1.72和1.63倍;差异相对较小的性状为节间长度和同化枝粗度,不同种源间最高值与最低值仅相差1.13和1.38倍。对10个性状进行综合比较后发现,内蒙古磴口种源表现最好。在10个性状中,磴口种源梭梭苗期有6项指标最高,其中各种源苗期的节间长度、地径和地上部鲜质量从大到小依次为内蒙古磴口、内蒙古乌拉特后旗、内蒙古额济纳旗、甘肃武威和青海德令哈;苗高、新生枝长度和主根长度等指标也是内蒙古磴口种源最高。

表1 不同种源间梭梭苗期各性状的方差分析

Table 1 Variance analysis of some traits of *Haloxylon ammodenaron* (C. A. Mey.) Bge. seedlings among different provenances

性状 Trait	SS	Df	MS	F ¹⁾	Sig
节间长度 Internode length	6.594	4	1.648	3.183	0.063
一级分枝数 Branch number	0.016	4	0.004	9.089 **	0.002
同化枝粗度 Assimilation shoot diameter	25.270	4	6.318	40.070 **	0.000
苗高 Height	0.036	4	0.009	31.088 **	0.000
地径 Collar diameter	0.596	4	0.149	9.446 **	0.002
新生枝长 New shoot length	0.090	4	0.023	18.402 **	0.000
主根数量 Main root number	0.021	4	0.005	3.495 *	0.049
主根长度 Main root length	0.089	4	0.022	23.301 **	0.000
地上部鲜质量 Fresh weight of above-ground part	0.005	4	0.001	3.793 *	0.040
地下部鲜质量 Fresh weight of under-ground part	0.638	4	0.159	13.167 **	0.001

1) * : $P=0.05$; ** : $P=0.01$

表2 不同梭梭种源间苗期生长性状的比较($\bar{X} \pm SD$)Table 2 Comparison of growth traits of *Haloxylon ammodenaron* (C. A. Mey.) Bge. seedlings from different provenances ($\bar{X} \pm SD$)

种源 Provenance	节间长度/cm Internode length	一级分枝数 Branch number	同化枝粗度/cm Assimilation shoot diameter	苗高/cm Height	地径/cm Collar diameter
内蒙古磴口 Dengkou of Inner Mongolia	1.43 ± 0.241	58.37 ± 35.615	2.46 ± 0.372	67.38 ± 8.630	9.99 ± 1.429
内蒙古额济纳旗 Ejin Qi of Inner Mongolia	1.33 ± 0.358	46.44 ± 8.360	1.80 ± 0.529	42.63 ± 9.729	7.89 ± 2.704
内蒙古乌拉特后旗 Urad Houqi of Inner Mongolia	1.34 ± 0.459	55.24 ± 31.538	2.27 ± 0.172	56.56 ± 12.560	9.45 ± 3.442
甘肃武威 Wuwei of Gansu	1.30 ± 0.420	38.46 ± 17.713	2.49 ± 0.388	50.83 ± 4.377	7.09 ± 1.262
青海德令哈 Delingha of Qinghai	1.27 ± 0.358	62.58 ± 47.971	1.97 ± 0.620	43.00 ± 17.222	6.89 ± 3.279

种源 Provenance	新生枝长度/cm New shoot length	主根数量 Main root number	主根长度/cm Main root length	地上部鲜质量/g Fresh weight of above-ground part	地下部鲜质量/g Fresh weight of under-ground part
内蒙古磴口 Dengkou of Inner Mongolia	43.46 ± 5.647	22.96 ± 7.094	42.95 ± 7.161	119.65 ± 44.035	15.64 ± 1.480
内蒙古额济纳旗 Ejin Qi of Inner Mongolia	38.92 ± 32.550	21.67 ± 7.352	37.32 ± 14.644	50.50 ± 38.989	9.58 ± 8.667
内蒙古乌拉特后旗 Urad Houqi of Inner Mongolia	24.29 ± 10.761	26.14 ± 23.772	25.74 ± 3.365	60.63 ± 22.941	17.09 ± 11.369
甘肃武威 Wuwei of Gansu	27.96 ± 5.668	32.42 ± 11.527	33.89 ± 7.608	45.88 ± 14.415	8.33 ± 3.813
青海德令哈 Delingha of Qinghai	14.99 ± 4.240	18.83 ± 14.213	25.82 ± 15.524	41.39 ± 36.201	7.53 ± 3.835

2.2 不同梭梭种源间苗期性状的遗传力及表型相关分析

各性状间的互动性是苗木获得优良品质和增加遗传进度的重要机制,因此,研究性状之间的相互关系具有重要意义。性状间相关系数的大小主要受性状间的关联性、种源间的差异和环境条件所造成的各性状表达程度等3个方面的影响^[11]。

2.2.1 遗传力的相关分析 根据不同种源间梭梭生长性状的遗传力和表型相关系数(表3)发现,节间长度和新生枝长度分别与其他9个性状的相关性均不显著,说明这2个性状并不具有潜在的遗传竞争优势,稳定性相对较好;显著相关的性状组合的数量和程度存在很大差异,并表现出生物量和根部生长性状的相关程度高于茎干部生长性状的趋势。如:地径和地上部鲜质量分别与其中5个性状呈显

著相关;同化枝粗度和主根长度分别与其中4个性状显著相关;地下部鲜质量与其中3个性状显著相关;一级分枝数和苗高分别与2个性状显著相关;主根数量仅与1个性状显著相关。各性状的相关程度如下:一级分枝数与主根数量($r=0.943$)和地上部鲜质量($r=0.888$)显著相关;同化枝粗度与苗高($r=0.955$)、地径($r=0.938$)、主根长度($r=0.924$)、地上部鲜质量($r=0.914$)显著相关;苗高与同化枝粗度($r=0.955$)、地径($r=0.895$)显著相关;地径与主根长度($r=0.997$)、地上部鲜质量($r=0.997$)及地下部鲜质量($r=0.997$)极显著相关;主根长度与地上部和地下部鲜质量极显著相关($r=0.993$, $r=0.989$);地上部鲜质量与地下部鲜质量极显著相关($r=0.979$)。其中,地上部和地下部鲜质量及地径、主根长度的相关程度高于其他性状。

表3 不同梭梭种源间苗期生长性状的遗传力和表型方差相关系数¹⁾Table 3 Correlation coefficients of heritability and phenotype variances of some growth traits of *Haloxylon ammodenaron* (C. A. Mey.) Bge. seedlings from different provenances¹⁾

性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient									
	IL	Bn	Ad	H	Cd	SL	Rn	RL	Wa	Wu
IL	-	0.489	0.345	0.508	0.555	0.746	0.215	0.578	0.574	0.656
Bn	0.327	-	0.787	0.799	0.862	0.480	0.943 *	0.828	0.888 *	0.763
Ad	0.515	-0.348	-	0.955 *	0.938 *	0.743	0.681	0.924 *	0.914 *	0.858
H	0.040	0.944 *	-0.541	-	0.895 *	0.775	0.622	0.876	0.873	0.815
Cd	0.676	0.670	0.440	0.506	-	0.809	0.745	0.997 * *	0.997 * *	0.977 * *
SL	-0.341	-0.408	0.472	-0.265	0.100	-	0.228	0.840	0.783	0.964
Rn	0.002	0.928 *	-0.570	0.999 * *	0.474	-0.250	-	0.704	0.779	0.656
RL	0.703	-0.121	0.965 * *	-0.356	0.625	0.322	-0.392	-	0.993 * *	0.989 * *
Wa	-0.123	-0.716	-0.084	-0.641	-0.700	-0.032	-0.615	-0.196	-	0.979 * *
Wu	-0.342	-0.386	0.457	-0.239	0.113	1.000 * *	-0.223	0.311	-0.041	-

¹⁾ IL: 节间长度 Internode length; Bn: 一级分枝数 Branch number; Ad: 同化枝粗度 Assimilation shoot diameter; H: 苗高 Height; Cd: 地径 Collar diameter; SL: 新生枝长度 New shoot length; Rn: 主根数量 Main root number; RL: 主根长度 Main root length; Wa: 地上部鲜质量 Fresh weight of above-ground part; Wu: 地下部鲜质量 Fresh weight of under-ground part. 表中横线上方的数据为遗传力相关系数, 下方数据为表型方差相关系数 The data in upside and underside of horizontal lines in this table represent the correlation coefficients of heritability and phenotype variances respectively; *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

2.2.2 表型性状的相关分析 表型性状相关的差异性与遗传力相比有明显差别, 主要表现在显著相关的性状组合的数量和相关程度上。从10个性状间的表型相关系数(表3)可以看出, 节间长度、地径、地上部鲜质量分别与其他9个性状均无显著相关性, 在一定程度上反映了该性状在遗传控制上的独立性; 其余7个性状表现出一定的相关性, 其相关性主要存在于根系和茎部性状间。在茎部性状中, 仅一级分枝数和苗高性状具有相关性, 在众多的相关组合中, 一级分枝数和苗高、主根数量3个性状间的相关性最为密切, 说明选育出即速生又有较好防风效应的优良梭梭种源是有可能的。另外, 由表3可知, 表型显著相关的性状组合的数量明显低于遗传力, 但其相关程度却较遗传力高, 遗传力的相关系数为0.888~0.997, 表型相关系数为0.928~1.000, 这种变化反映出环境效应对不同种源不同性状的耦合作用, 同时也说明环境条件对表型特征有较大的影响。

2.3 梭梭苗期选择的主要性状分析

为获取判定优良种源的性状因子, 根据性状方差分析结果, 选取差异显著的9个性状(一级分枝数、同化枝粗度、苗高、地径、新生枝长度、主根数量、主根长度、地上部鲜质量和地下部鲜质量)进行主成分分析, 其中, 前3个主成分的特征值、特征向量和贡献率见表4。由表4可知, 前3个主成分的累积贡献率达93.826%, 说明仅用前3个主成分即可反映

出各性状的绝大部分信息。用 Y_i 表示各主成分, 则各主成分表达式分别为:

$$Y_1 = 0.141x_1 + 0.622x_2 + 0.954x_3 + 0.908x_4 + 0.720x_5 + 0.152x_6 + 0.646x_7 + 0.947x_8 + 0.807x_9;$$

$$Y_2 = -0.935x_1 + 0.498x_2 + 0.012x_3 - 0.278x_4 + 0.200x_5 + 0.905x_6 + 0.265x_7 - 0.191x_8 - 0.260x_9;$$

$$Y_3 = 0.199x_1 + 0.497x_2 + 0.262x_3 + 0.120x_4 - 0.645x_5 + 0.385x_6 - 0.694x_7 - 0.137x_8 + 0.357x_9。$$

从第一主成分来看, 除一级分枝数和主根数量与其关系较弱外, 其余性状均与第一主成分密切相关, 说明第一主成分基本上涵盖了各性状的主要信息, 为综合因子。相关性最大的是苗高、地上部鲜质量和地径, 即当第一主成分值较大时, 植株较高, 地径较粗, 且地上部鲜质量较大, 且其他性状值也随之有不同程度的增加, 说明生长性状和生产力之间有明显的线性关系。

第二主成分中, 一级分枝数和主根数量的特征向量值最大, 同化枝粗度次之, 其中一级分枝数的特征向量值为负值, 与主根数量呈反相关, 反映了二者之间相互制约的数量关系, 并主要表现在对水分的利用和竞争上。梭梭本身具有的二次休眠特性就是佐证^[12,13]。

第三主成分中, 新生枝长度和主根长度的特征向量值最大, 但均为负值, 除地上部鲜质量外, 其他性状均为正值, 表明新生枝长度和主根长度的生长发育受这些性状的影响较大。

表4 不同梭梭种源间苗期9个性状的主成分分析结果¹⁾Table 4 The results of principal component analysis (PCA) of nine traits of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bge. seedlings from different provenances¹⁾

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Ratio of contribution	累计贡献率/% Accumulating ratio of contribution	特征向量值 Eigenvector value								
				Bn	Ad	H	Cd	SL	Rn	RL	Wa	Wu
1	4.649	51.651	51.651	0.141	0.622	0.954	0.908	0.720	0.152	0.646	0.947	0.807
2	2.233	24.816	76.467	-0.935	0.498	0.012	-0.278	0.200	0.905	0.265	-0.191	-0.260
3	1.562	17.359	93.826	0.199	0.497	0.262	0.120	-0.645	0.385	-0.694	-0.137	0.357

¹⁾ Bn: 一级分枝数 Branch number; Ad: 同化枝粗度 Assimilation shoot diameter; H: 苗高 Height; Cd: 地径 Collar diameter; SL: 新生枝长度 New shoot length; Rn: 主根数量 Main root number; RL: 主根长度 Main root length; Wa: 地上部鲜质量 Fresh weight of above-ground part; Wu: 地下部鲜质量 Fresh weight of under-ground part.

3 结论和讨论

由于中国梭梭天然分布区的生态环境异质化程度较高,梭梭常处于水热条件极不平衡的逆境中,使梭梭的生理功能因环境不同而发生变化,这种变化在苗期就已有表现。在苗期性状上,表现最突出的是新生枝长度和生物量,内蒙古磴口沙地种源的新生枝长度和地上部鲜质量分别是青海德令哈砾石戈壁种源的2.90和2.89倍;其次表现在根系性状上,不同种源间的主根数量和长度最高值分别是最低值的1.72和1.67倍;一级分枝数、苗高和地径性状差异仅次于根系,不同种源间最高值分别是最低值的1.63、1.58和1.45倍;变化最不明显的是节间长度,各种源间差异不显著,最高值仅是最低值的1.13倍。从总体上看,内蒙古磴口种源最好,甘肃武威种源次之,其余种源依次排序为内蒙古乌拉特后旗、内蒙古额济纳旗、青海德令哈。从土壤类型上来看,沙地种源好于砾石戈壁种源。

节间长度和新生枝长度性状具有较好的稳定性,即它们的遗传力分别与其他9个性状相关不显著;生物量和根部生长性状的遗传力相关程度高于茎部生长性状;表型性状的相关程度高于遗传力,表型性状的相关系数为0.928~1.000,其中一级分枝数、苗高和主根数量3个性状间密切相关。

进行梭梭苗期种源选择时,应将苗高、地上部鲜质量和地径性状作为首选因子,一级分枝数、主根数量和同化枝粗度作为辅助因子。上述研究结果为梭

梭苗期的优株筛选提供了依据,同时为提高选种效率奠定了基础,对加速梭梭良种选育和良种化进程有重要意义。

参考文献:

- [1] 马海波,包根晓,马微东,等. 内蒙古梭梭荒漠草地资源及其保护利用[J]. 草业科学, 2000, 17(4): 1-5.
- [2] 蒋进. 极旱环境中两种梭梭蒸腾的生理生态学特点[J]. 干旱区研究, 1991, 9(4): 14-17.
- [3] 黄子琛,蒲锦春,赵翠仙,等. 民勤和沙坡头地区荒漠植物的净光合速率及CO₂补偿点[J]. 中国沙漠, 1984, 4(1): 23-30.
- [4] 周智彬,徐新文. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地三种灌木的离子吸收特性[J]. 干旱区研究, 2002, 19(1): 49-52.
- [5] 赵明范,葛成,翟志中. 干旱地区次生盐碱地主要造林树种抗盐指标的确定及耐盐能力排序[J]. 林业科学研究, 1997, 10(2): 194-198.
- [6] 潘惠新,黄敏仁,阮锡根,等. 材性改良研究[J]. 林业科学, 1996, 32(5): 426-433.
- [7] 张绮纹,苏晓华,李金华,等. 美洲黑杨基因资源收存及其遗传评价的研究[J]. 林业科学, 1999, 35(2): 31-37.
- [8] 姜笑梅,张立非,张绮纹,等. 36个美洲黑杨无性系基本材性遗传变异的研究[J]. 林业科学研究, 1994, 7(3): 253-258.
- [9] 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.
- [10] 崔望诚,刘志俊. 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.
- [11] 熊耀国,竺肇华,林镜中,等. 泡桐苗期性状差异和相关研究[J]. 林业科学研究, 1994, 7(2): 149-154.
- [12] 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.
- [13] 李洪山,张晓岚,候彩霞,等. 梭梭适应干旱环境的多样性研究[J]. 干旱区研究, 1995, 12(1): 11-17.