

黄土高原不同地区杜松的种子萌发特性及其与生态因子的相关性

李谭宝¹, 张亚芳², 李登武^{2, 3}, 王彩云⁴

(1. 国家林业局西北林业调查规划设计院, 陕西 西安 710048; 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100;
3. 宁夏贺兰山森林生态定位研究站, 宁夏 银川 750000; 4. 吕梁市园林绿化管理处, 山西 吕梁 033000)

摘 要: 选取黄土高原 5 个地区杜松(*Juniperus rigida*)种子, 采用种子萌发实验及相关分析的方法, 研究其大小特征、萌发特性及其与生态因子的相关性, 以了解不同地区杜松的种子萌发特性。结果表明, 不同地区杜松的种子大小差异显著, 府谷地区的种子最大、最重, 平均长 6.83 mm, 宽 3.56 mm, 千粒重为 25.89 g; 种子长及种子长宽比随纬度的升高、土壤全磷含量的增加而变小; 种子千粒重随 1 月和 7 月均温的增加而增加, 随土壤有机质、速效磷、全氮含量的增加而减少。种子大小对萌发特征影响显著, 种子萌发率、萌发势及发芽指数均随种子长、种子长宽比的增加呈减小的趋势。不同地区杜松的萌发差异显著, 武川的种子萌发最快最高, 府谷与贺兰山最慢、最低; 萌发率、萌发势及发芽指数均随纬度的升高而增加, 萌发势和发芽指数随土壤全磷含量的增加而增加。研究认为武川及浑源地区是杜松优良的选种地。

关键词: 杜松; 种子萌发; 地区差异; 生态因子; 黄土高原
中图分类号: S791.450.2 **文献标志码:** A

Seed germination performance of *Juniperus rigida* in different regions of the Loess Plateau and its relation with ecological factors

LI Tan-bao¹, ZHANG Ya-fang², LI Deng-wu^{2, 3}, WANG Cai-yun⁴

(1. Northwest Institute of Forest Inventory, Planning and Design, State Forestry Administration, Xi'an, 710048, China;
2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;
3. Ningxia Helan Mountain Forest Ecosystem Orientational Research Station, Yinchuan 750000, China;
4. Luliang Management Office of Landscape and Forestry, Luliang 033000, China)

Abstract: In the present study, the biological characteristics of seed germination were investigated for five typical populations of *Juniperus rigida* growing in different regions of the Loess Plateau, and their relation with climatic and soil factors were studied. The results showed significant difference in seed size among the five regions, with Wuchuan being the smallest with respect to seed length (6.83 mm), width (3.56 mm), and seed weight (25.89 g). Seed length and ratio of length/width decreased as latitude and soil total phosphorus content increased. Seed weight increased with increased mean temperature in January and July, but decreased with increased organic matter, available phosphorus and total nitrogen of soil. There was a significantly negative correlation between germination and seed size. Seed germination differed among regions, with Wuchuan region being the fastest and highest whereas Fugu the slowest and lowest. Germination rate, germination energy and germination index increased with latitude. Additionally, Wuchuan and Hunyuan are suitable for growing *Juniperus rigida*.

Keywords: *Juniperus rigida*; seed germination; regional difference; ecological factors; Loess Plateau

杜松(*Juniperus rigida*)为柏科刺柏属常绿乔木, 主要分布于我国暖温带落叶阔叶林带和草原带的过渡地区, 黄土高原地区是其分布的主要区域之一。杜松为黄土高原地区重点保护植物^[1], 被中国物种

收稿日期: 2014-04-17
基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目 - 科技创新专项(重点项目)(QN2011077)
作者简介: 李谭宝(1971—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为森林资源与保护、园林规划与设计。E-mail: litbbbmwx@sina.com。
通信作者: 李登武(1968—), 宁夏固原人, 教授, 博士生导师, 主要从事植物生物多样性、植物地理学及植物生态学等方面的研究。
E-mail: dengwuli@163.com。

红色名录收录,目前处于近危状态。杜松是干旱或半干旱区重要的造林树种,也是黄土高原基岩山地或砂砾坡地优良的水土保持树种。在我国北方的部分城市,杜松还被用于园林绿化。此外,杜松球果可入药,枝、叶可提取芳香油,是日用化工的重要原料。

种子萌发是植物特别是木本植物繁殖过程中的一个重要环节,是其种群更新发展的基础^[2]。杜松的种皮致密而坚硬,表面有大量油脂,造成种皮透水性差,萌发困难,这极大影响了杜松种群的更新及引种栽培工作。目前对杜松的研究主要集中在群落、种群生态、繁殖发育、化学成分等方面^[3-14],有关种子萌发方面的研究相对较少,因此,进行杜松种子萌发特性的研究很有必要。本文在已有研究的基础上,选取黄土高原(包括邻近区域的河北小五台山)5个不同地区的杜松进行其种子形态、萌发特性

及其与生态因子相关性的研究,通过比较不同地区杜松种子大小、萌发特性并探讨其与生态因子的关系,为黄土高原地区杜松资源的保护、利用及引种栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 样地选择及材料采集

2011 年 10 月,分别在内蒙古武川县、河北涿鹿县、山西浑源县、陕西府谷县、宁夏贺兰山 5 个地区选取典型的杜松天然林为样地,各样地随机选取 3 株生长良好的杜松植株,株距 30m 以上,在植株树冠的不同高度和方向随机采集成熟球果。采集各地的土壤样品带回实验室备用。采样地点及其气候因子见表 1。

表 1 杜松采样地点的地理位置及气候因子

Table 1 Locations and climate factors of the sampling sites of *Juniperus rigida*

编号 No.	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude /m	年均温 Average temperature /℃	1 月均温 Average temperature in January /℃	7 月均温 Average temperature in July /℃	年降水量 Average precipitation /mm	全年日照时数 Average annual sunshine hours /h	坡度 Slope /(°)
WC	40°51′	110°59′	1400	2.6	- 15.2	18.6	352.4	2958.7	60
ZL	40°7′	115°11′	1350	8.8	- 8.1	23.6	372.7	2875.0	70
HY	39°49′	113°33′	1210	6.2	- 12.0	21.6	426.7	2698.2	60
FG	38°57′	111°4′	1150	9.1	- 8.4	23.9	448.8	2894.9	65
HL	38°44′	105°55′	1800	- 8.4	- 14.2	17.8	429.3	3056.4	85

注:1. WC: 内蒙古武川县; ZL: 河北涿鹿县; HY: 山西浑源县; FG: 陕西府谷县; HL: 宁夏贺兰山。下同。

Note: WC: Wuchuan, Inner Mongolia; ZL: Zhuolu, Hebei; HY: Hunyuan, Shanxi; FG: Fugu, Shaanxi; HL: Helanshan, Ningxia. The same below.

1.2 种子形态大小的测定

分别测定种子的长、宽,并计算其长宽比。测定方法如下:将各样地采集的球果风干后取出种子混合,每个样地随机取种子 30 枚,利用游标卡尺测定其长度和宽度,并计算其长宽比^[15]。统计各样地的种子千粒重。每个样地随机选取 100 粒种子为一组,重复 8 次,分别称重,计算其平均值、标准差等,

得出种子千粒重^[16]。

1.3 土壤样品的测定

土壤 pH 值采用电位法,有机质采用重铬酸钾容量法,全氮采用凯氏法,全磷、速效磷采用硫酸钼锑抗比色法,全钾、速效钾采用火焰光度法,速效氮采用碱解扩散法^[17-18]。各采种样地的土壤因子见表 2。

表 2 不同地区杜松采种母树个体所在生境土壤养分因子测定

Table 2 Soil factors of the sampling sites of *Juniperus rigida*

编号 No.	pH	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	速效氮 Available N /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	全磷 Total P /(g·kg ⁻¹)	全钾 Total K /(g·kg ⁻¹)
WC	7.54	69.97	101.34	8.69	285.07	3.093	0.762	20.76
ZL	8.09	27.25	70.70	6.23	206.92	1.753	0.574	19.87
HY	8.24	17.12	23.49	3.48	122.55	1.070	0.711	18.35
FG	8.19	12.95	29.85	3.58	82.77	0.910	0.433	20.52
HL	8.08	60.89	99.92	10.93	215.36	2.863	0.5003	22.53

1.4 种子萌发特性的测定

杜松种子萌发前需去除表面油脂,并用变温处理进行催芽。将种子置于 50℃浓度为 1%的碳酸氢钠溶液浸泡 1 d,自然冷却,清水洗净后浸泡 3 d,用 5%的福尔马林溶液消毒 25 min,洗净后放于 20℃~25℃的室内沙藏 60 d,于 4℃下贮存 40 d。将种子放于铺有湿润滤纸的培养皿中,培养皿置于 20℃、光周期为 8 h 光照 16 h 黑暗的培养箱中,培养 60 d。每天浇水保湿,记录萌发情况,统计并计算种子萌发率、萌发势及发芽指数。计算公式如下^[16,19-20]:

- (1) 萌发率(%) = (萌发种子数/参试种子总数) × 100%;
- (2) 萌发势(%) = (发芽达到高峰时萌发种子数/参试种子总数) × 100%;
- (3) 发芽指数($GI, \%$) = $\sum (G_t/D_t)$, 式中, G_t 为第 t 日的种子萌发率, D_t 为相应的发芽日数。

1.5 数据分析方法

采用 Excel 2003 进行数据常规统计,利用 SPSS 18.0 统计软件进行相关的数据分析。将各种群种

子特性进行单因素方差分析,分析各种群间种子大小形态的变异。将各种群的种子大小性状与其萌发特征进行相关分析,分析其种子萌发特征与种子大小的相关性。分别将各种群的气候因子、土壤因子等与种子特征进行相关分析,分析各种群气候和土壤因子与种子大小性状及萌发特征间的相关性。

2 结果与分析

2.1 种子形态的变异

对 5 个杜松种群的种子长、种子宽、种子长宽比、千粒重等性状进行方差分析,结果见表 3。由表 3 可知,种子长、千粒重的种群间差异极显著,表明种子长、千粒重等存在明显的地区间差异。统计种子各性状的平均值和标准差,并对种群间差异显著的性状进行多重比较,结果见图 1。由图 1 可知,府谷地区的种子最大最重,平均长 6.83 mm,宽 3.56 mm,千粒重为 25.89 g;武川的种子最小,平均长 6.12 mm,宽 3.50 mm;武川和贺兰山的种子最轻,千粒重分别为 21.19 g 和 21.18 g。

表 3 不同地区杜松种子特性的方差分析
Table 3 ANOVA of seed characteristics of *Juniperus rigida* from different sampling sites

性状 Characters	均值 Average value	标准差 Standard deviation	群体间均方 Mean square between groups	群体内均方 Mean square within group	F
种子长 Length/mm	6.47	0.52	1.397	0.206	6.780**
种子宽 Width/mm	3.50	0.30	0.058	0.094	0.618
种子长宽比 Aspect ratio	1.86	0.20	0.074	0.038	1.954
千粒重 Thousand-seed weight/g	23.62	2.39	41.154	1.661	24.777**

注: * $\alpha = 0.05$ 差异显著; * * $\alpha = 0.01$ 差异极显著。下同。
Note: * $\alpha = 0.05$, significant difference; * * $\alpha = 0.01$, extremely significant difference. The same below.

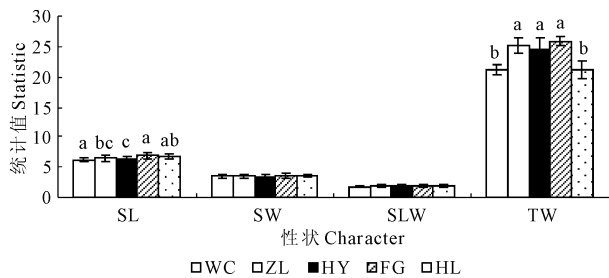


图 1 杜松种群种子表型性状的多重比较
Fig.1 Multiple comparisons of seed phenotypic characteristics of *Juniperus rigida* populations

2.2 不同地区杜松种子的萌发特性

2.2.1 不同地区杜松的种子萌发过程 由图 2 可以看出,不同地区杜松的萌发进程存在很大差异。种子开始萌发的时间差异不大,武川、涿鹿及浑源种群均从第 5 天开始萌发,府谷和贺兰山种群从第 7

天开始萌发,且前者的最终萌发率明显高于后者。萌发率最高的为武川,最低的为贺兰山。府谷和贺兰山两个种群萌发过程相似,萌发过程相对整齐,但萌发率低,两者萌发率无显著差异 ($P = 0.541 > 0.05$)。浑源种群初期萌发快速,但第 10 天之后萌发速度开始变慢,最终萌发率低于武川和涿鹿种群。涿鹿种群初期萌发快速,但在萌发过程中存在波动性,萌发整齐性较差。武川种群虽初期萌发速度稍低于浑源种群,但在第 20 天后仍保持快速而相对整齐的萌发率,最终萌发率高于其它种群。
2.2.2 不同地区杜松的萌发特征的差异 不同地区杜松的萌发率、萌发势及萌发指数存在差异(见图 3)。武川、涿鹿、浑源的各项萌发特征均高于府谷和贺兰山。各萌发特征最高的均为武川地区,浑源的萌发率稍低于涿鹿,但萌发势及发芽指数比涿鹿稍高,府谷和贺兰山的萌发势及萌发指数最低(不足 10%)。

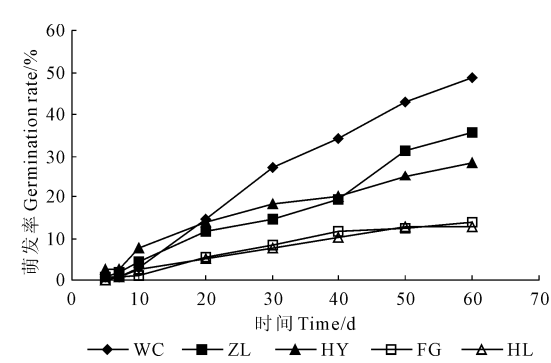


图 2 不同地区杜松的种子萌发过程

Fig.2 Seed germination of *Juniperus rigida* from different sampling sites

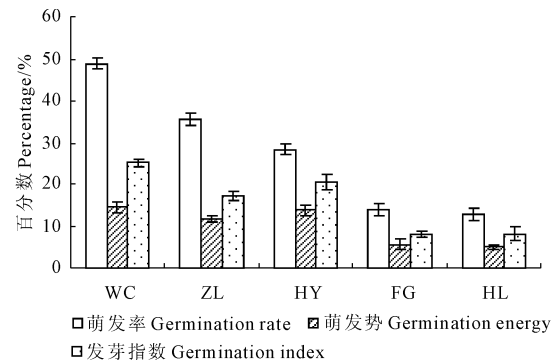


图 3 不同地区杜松的种子萌发率、萌发势及发芽指数的差异

Fig.3 Seed germination rate, germination energy and germination index of *Juniperus rigida* from different sampling sites

2.2.3 杜松种子性状及萌发特征间的相关性 由表 4 可知,种子长与种子长宽比正相关,与萌发率负相关,与萌发势及发芽指数极负相关,相关系数分别为 0.932^{*}、-0.909^{*}、-0.981^{**}和 -0.991^{**};种子长宽比与萌发率极负相关,与萌发势及发芽指数负相关,相关系数分别为 -0.989^{**}、-0.894^{*}和 -0.950^{*};萌发率与萌发势及发芽指数正相关,相关系数分别为 0.897^{*}和 0.941^{*};萌发势与发芽指数极正相关,相关系数为 0.981^{**}。

2.3 不同地区杜松种子特征与生态因子的相关性

2.3.1 不同地区杜松种子特征与气候因子的相关性 由表 5 可知,种子长与纬度负相关(-0.920^{*});种子长宽比与纬度极负相关(-0.979^{**}),而与年降雨量正相关(0.925^{*});千粒重与 1 月均温正相关(0.934^{*}),与 7 月均温极正相关(0.982^{**});萌发率与纬度极正相关(0.997^{**}),而与年降雨量负相关(-0.926^{*});萌发势及发芽指数均与纬度正相关(0.919^{*}、0.954^{*})。

表 4 不同地区杜松的种子萌发特征与种子大小的相关分析

性状 Characters	种子长/mm Length	种子宽/mm Width	种子长宽比 Aspect ratio	千粒重/g Thousand-seed weight
萌发率 Germination rate	-0.909 [*]	-0.346	-0.989 ^{**}	-0.236
萌发势 Germination energy	-0.981 ^{**}	-0.714	-0.894 [*]	-0.058
发芽指数 Germination index	-0.991 ^{**}	-0.628	-0.950 [*]	-0.218

表 5 不同地区杜松种子特征与气候因子的相关分析

性状 Characters	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude	年均温 Average temperature	1 月均温 Average temperature in January	7 月均温 Average temperature in July	年降水量 Average precipitation	全年日照时数 Average annual sunshine hours
种子长 Length	-0.920 [*]	-0.501	0.194	-0.197	0.396	0.213	0.747	0.411
种子宽 Width	-0.386	-0.427	0.252	-0.136	0.240	0.065	0.087	0.765
种子长宽比 Aspect ratio	-0.979 ^{**}	-0.413	0.080	-0.151	0.401	0.265	0.925 [*]	0.121
千粒重 Thousand-seed weight	-0.177	0.687	-0.785	0.841	0.934 [*]	0.982 ^{**}	0.369	-0.652
萌发率 Germination rate	0.997 ^{**}	0.514	-0.199	0.287	-0.272	-0.127	-0.926 [*]	-0.173
萌发势 Germination energy	0.919 [*]	0.652	-0.363	0.376	-0.223	-0.024	-0.702	-0.546
发芽指数 Germination index	0.954 [*]	0.523	-0.264	0.265	-0.364	-0.169	-0.770	-0.396

2.3.2 不同地区杜松种子特征与土壤因子的相关性 由表 6 可知,种子长与全磷极负相关(-0.977^{**});种子长宽比与全磷负相关(-0.886^{*});种子千粒重

与有机质极负相关(-0.965^{**}),与速效磷及全氮负相关(-0.890^{*}、-0.939^{*});萌发势与全磷正相关(0.935^{*});发芽指数与全磷极正相关(0.965^{**})。

表 6 不同地区杜松种子特征与土壤因子的相关分析

性状 Characters	pH	有机质 Organic matter	速效氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K
种子长 Length	0.549	-0.272	-0.156	0.013	-0.519	-0.260	-0.977* *	0.527
种子宽 Width	-0.137	0.185	0.350	0.328	0.064	0.210	-0.727	0.740
种子长宽比 Aspect ratio	0.772	-0.465	-0.408	-0.184	-0.724	-0.467	-0.886*	0.282
千粒重 Thousand-seed weight	0.682	-0.965* *	-0.846	-0.890*	-0.792	-0.939*	-0.365	-0.634
萌发率 Germination rate	-0.742	0.363	0.328	0.078	0.655	0.369	0.842	-0.345
萌发势 Germination energy	-0.444	0.093	-0.004	-0.190	0.381	0.085	0.935*	-0.664
发芽指数 Germination index	-0.603	0.263	0.145	-0.049	0.511	0.246	0.965* *	-0.525

3 结论和讨论

黄土高原不同地区杜松的种子形态大小存在明显变异,武川的种子最小、最轻,府谷的种子最大、最重。这种变异与生态因子存在一定的相关性,相关分析表明,不同地区杜松的种子长及种子长宽比随纬度的升高而变小,种子长宽比随年降雨量的增加而变大,杜松的千粒重呈现随 1 月和 7 月均温的增加而增加的趋势。张敦方等对毛百合的研究表明温暖湿润地区的毛百合有更大的果实和种子千粒重^[21]。本研究的结果也证实了种子形态大小与气候因子的相关性。种子形态大小与土壤因子也表现出一定程度的相关性,种子长及种子长宽比随全磷的增加而减少,千粒重随有机质、速效磷、全氮的含量的增加而减少。本研究的结果表明,种子千粒重有随 1 月和 7 月均温的增加而增加,随土壤有机质、速效磷、全氮含量的增加而减少的趋势,这是由于种子的生长除自身因素外会受到气候因子和土壤因子不同程度的影响,而气候和土壤对植物的作用机理十分复杂,同时本研究所选样地较少,所得数据有限,再加上采种过程中可能存在的各种影响,因而得出千粒重随有机质、速效磷、全氮的含量的增加而减少的结论,这尚需进一步的研究和讨论。

种子的萌发能力受多种因素的影响。王桔红等对 42 种中生植物及宗文杰等对 51 种菊科植物的研究均表明种子大小对萌发能力影响显著,小种子的萌发更快、萌发率更高^[22-23]。本研究的相关分析表明,不同地区杜松的种子萌发率、萌发势及发芽指数均有随种子长、种子长宽比的增加而减小的趋势。这说明不同地区杜松种子的形态大小与种子的萌发特征存在相关性,小种子对环境要求不严格,更能适应黄土高原的环境。

黄土高原不同地区杜松种子的各项萌发特征差

异显著,武川的种子萌发最高、最快,府谷与贺兰山的最慢、最低,涿鹿的萌发率稍高于浑源,但浑源的萌发势及发芽指数更高。许多研究表明,种子的萌发能力与生境有关,诸如气候、地形、土壤、植被等都会影响种子萌发^[24]。柯文山对不同地理种群四川大头茶萌发率的研究表明,萌发率同纬度存在一定相关性;刘桂丰对不同种源樟子松的研究及张敦方等对毛百合地理变异规律的研究均表明种子的萌发率及萌发速度与纬度正相关^[21,25-26]。本研究中,不同地区杜松的种子萌发率、萌发势及发芽指数均呈现随纬度的升高而增加的趋势,种子萌发率同时呈现随年降雨量的增加而减少的趋势。种子萌发特征也与土壤因子相关,萌发势和发芽指数均随全磷含量的增加而增加,与其它因子无太大关联。土壤因子对杜松不同种群的种子萌发率影响不显著,表明杜松萌发对土壤要求不高,能适应黄土高原不同地区的土壤。

杨玉贵^[27]研究了杜松的引种栽培技术,认为杜松栽培较理想的种源为内蒙古的呼和浩特、大青山和赤峰市以及山西省的种子。本研究中,内蒙古武川地区的杜松种子萌发率高且萌发速度快,山西省浑源地区的种子虽萌发率稍低于武川和涿鹿地区,但萌发势和发芽指数高于涿鹿,在选择发芽势高的种子时,武川和浑源地区是优良的选种地。

参 考 文 献:

[1] 李登武. 陕北黄土高原植物区系地理研究[M]. 杨凌:西北农林科技大学出版社,2009.

[2] 李文良,张小平,郝朝运,等. 珍稀植物连香树(*Cercidiphyllum japonicum*)的种子萌发特性[J]. 生态学报,2008,28(11):5445-5453.

[3] 朱志诚. 陕北黄土高原杜松疏林草原初步研究[J]. 林业科学,1991,27(4):447-451.

