

网络出版时间:2016-08-09 09:41 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2016.09.016
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160809.0941.032.html

北京地区白皮松优良种源与家系的选择

祝良¹,尚旭阳¹,朱晓梅²,袁虎威³,姜英淑⁴,卢宝明⁴,李伟³

(1 北京市十三陵林场,北京 102200;2 内蒙古红花尔基林业局国家樟子松良种基地,内蒙古 呼伦贝尔 021112;

3 北京林业大学 生物科学与技术学院,北京 100083;4 北京市林业种子苗木管理总站,北京 100029)

【摘要】 【目的】筛选优良的白皮松种源和家系,以提高北京市白皮松绿化和造林的质量。【方法】以来自甘肃天水、陕西洛南、甘肃两当、陕西蓝田、山西孝义的5个种源各30个家系的白皮松为研究材料,以北京蟒山的30个白皮松家系为对照,采用完全随机设计,测定4年生白皮松苗的苗高和地径,在北京地区开展种源和家系对比试验。【结果】不同种源间4年生白皮松的苗高和地径生长量差异极显著,其中北京当地对照白皮松表现处于中下水平,而甘肃两当和甘肃天水2个种源白皮松表现较好,苗高和地径生长量较大;白皮松种源内不同家系间的生长量也具有极显著差异,甘肃两当、甘肃天水、陕西蓝田、山西孝义及北京蟒山种源中,白皮松苗高和地径生长均超过对照种源家系均值的家系数分别为23,23,10,10和10个,苗高和地径生长量超过对照平均水平的家系主要来自甘肃两当和甘肃天水地区。【结论】甘肃两当和天水是今后北京地区造林和绿化用白皮松优先考虑的种源地。

【关键词】 白皮松;种源选择;家系选择;园林绿化

【中图分类号】 S791.243

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2016)09-0121-07

Selection of elite provenances and families of *Pinus bungeana* in Beijing

ZHU Liang¹, SHANG Xuyang¹, ZHU Xiaomei², YUAN Huwei³,

JIANG Yingshu⁴, LU Baoming⁴, LI Wei³

(1 Beijing Ming Tombs Forest Farm, Beijing 102200, China; 2 National Fine Variety Base of *Pinus sylvestris* in Honghuaerji Forestry Bureau of Inner Mongolia, Hulunbeir, Inner Mongolia 021112, China; 3 College of

Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

4 Beijing Forestry Seed and Seedling Management Station, Beijing 100029, China)

Abstract: 【Objective】 This study selected elite provenances and families of *Pinus bungeana* to improve the quality of landscaping and afforestation in Beijing. 【Method】 Seeds of *P. bungeana* from 5 provenances (GSTS, SXLN, GSLD, SXLT and SXXY) with 30 families each were compared with seeds of 30 families from BJMS. Seedlings were planted in field comparison test with randomized design. Heights and basal diameters of 4-year old seedlings were determined and compared. 【Result】 There were highly significant differences in height and basal diameter of 4-year old *P. bungeana* seedlings of among provenances. Seedlings from BJMS were in relatively low level, while seedlings from GSLD and GSTS had better performance. There were also highly significant differences among different families of each individual provenance. The numbers of families with better height and basal diameter growth than CK in GSLD, GSTS, SXLT, SXXY and BJMS were 23, 23, 10, 10 and 10, respectively. Superior families mainly originated from GSLD

【收稿日期】 2015-02-23

【基金项目】 中央高校基本科研业务费专项(YX2014-12);国家林业局948引进项目(2012-4-40)

【作者简介】 祝良(1976—),男,北京昌平人,工程师,主要从事林木种苗研究。E-mail: zhuliang37@sina.com

【通信作者】 李伟(1975—),男,河北保定人,教授,博士,主要从事针叶树遗传改良研究。E-mail: bjfuliwei@bjfu.edu.cn

and GSTS.【Conclusion】 *P. bungeana* from GSLD and GSTS should have priority for landscaping and afforestation in Beijing.

Key words: *Pinus bungeana*; provenance selection; family selection; landscaping

白皮松(*Pinus bungeana*)属于松科(Pinaceae)松属(*Pinus*)单维管束亚属(Subgenus *Strobus*)植物^[1],是我国特有的针叶树种,其天然林分主要分布在我国的山西、陕西、河南、湖北、四川及甘肃等省份,分布区位于北纬 30°52′~38°15′、东经104°15′~113°50′^[2-5]。白皮松树皮绿白相间、树干挺拔、冠形优美,而且具有抗臭氧、烟尘、SO₂ 等作用,是应用潜力巨大的园林绿化树种。同时,白皮松具有抗寒性和抗旱性,耐贫瘠,木材质地优良,具有很高的生态价值和经济价值,又是我国北方地区重要的造林树种之一^[6-7]。作为重要的绿化和造林树种,白皮松已被引种到国内外多个适生地区^[8-15]。

北京地区不是白皮松的天然分布区域,但北京地区白皮松引种较早,中国林科院和北京十三陵林场均有白皮松人工林分的分布。造林试验和园林绿化结果表明,白皮松在北京地区有良好的生长适应性,这使得白皮松成为当前北京地区山地造林和园林绿化的优选树种之一^[16-17]。然而,北京地区现有的白皮松林分种源来源不清,针对北京地区的白皮松种源试验和优良家系选择尚未见研究报道,导致目前北京地区造林和绿化用白皮松种源调拨缺少科学依据,严重影响了北京地区白皮松的造林和绿化质量。

本研究以 5 个白皮松种源优树种子为材料,以北京蟒山已有的白皮松种子为对照,通过对各种源区及北京蟒山白皮松家系苗期生长性状的测定,对比不同种源白皮松在北京地区生长表现的相对优异程度,探索其生长性状在种源和家系水平上的变化情况,进而选择和评价适合于北京地区的优良地理种源与家系,为今后北京地区白皮松引种、筛选和评价利用提供重要的理论依据与实践参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

根据白皮松的天然分布范围,确定了 5 个主要的白皮松种源,分别位于甘肃天水、陕西洛南、甘肃两当、陕西蓝田和山西孝义。为了对比不同种源和家系的优异程度,以北京蟒山地区已有的白皮松为对照,作为评价当前北京地区白皮松绿化和造林质量的参考,并以此为标准对来自参试种源的白皮松进行评价。

在参试种源区及北京蟒山白皮松优良林分中采集种子,采种林分均为当地面积较大的天然林(北京地区为人工林),每个种源采集来自 30 株母树上的种子构成 30 个家系,母树间距大于 50 m。不同种源白皮松采种林分情况见表 1。

表 1 白皮松种源和家系采种林分的基本情况

Table 1 Basic information of seed-collected stands in different provenances and families of <i>Pinus bungeana</i>									
种源 Provenance	林分代号 Abbreviation of provenance	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	土壤 pH pH of soil	年均温/℃ Annual average temperature	年降水量/mm Annual precipitation	无霜期/d Frost- free days	林分起源 Source of stand
甘肃天水 Tianshui, Gansu	GSTS	104°02′	33°06′	1 550	6.2	10.9	507.6	176	天然林 Natural stand
陕西洛南 Luonan, Shaanxi	SXLN	109°44′	33°52′	800	6.5	11.1	754.8	195	天然林 Natural stand
甘肃两当 Liangdang, Gansu	GSLD	106°19′	33°57′	1 250	6.8	11.4	632.5	204	天然林 Natural stand
陕西蓝田 Lantian, Shaanxi	SXLT	109°07′	33°50′	650	6.5	13.0	883.3	212	天然林 Natural stand
山西孝义 Xiaoyi, Shanxi	SXXY	111°48′	37°12′	950	6.9	10.3	493.0	198	天然林 Natural stand
北京蟒山(CK) Mangshan, Beijing	BJMS	116°16′	40°15′	330	7.4	11.8	631.0	180~203	人工林 Plantation

1.2 试验地自然概况

试验地位于北京市十三陵林场苗圃,地处北京西北郊昌平区境内。试验地属温带大陆性干旱季风气候,春季干旱少雨,风沙大;夏季高温,雨量集中;

冬季寒冷,多西北风。试验地年均温 11.5~11.8℃,年降水量 650 mm,无霜期 210 d。试验地所属土壤类型为淋溶褐土和农耕土,土层厚度大于 50 cm,土壤 pH 值 7.2。

1.3 试验方法

从各参试种源区及北京蟒山采集的种子经过沙藏后,于第 2 年春天在试验地集中育苗,采用完全随机设计,多株行小区,每个种源每个家系播种 100 粒饱满种子,各试验材料的苗期管理条件基本一致。在每个种源每个家系中随机选择 30 株单株,测定其 4 年生苗高和地径指标,每个指标重复测定 3 次。

1.4 数据分析方法

对来自各种源区及北京蟒山的白皮松子代苗期生长性状进行变异分析时,以单株 3 次测量值的平均值为统计值,用 SPSS 19.0 软件进行方差分析。

在种源间生长性状差异显著的条件下,对种源间白皮松苗期生长差异进行多重比较(Duncan’s

法)分析。

2 结果与分析

2.1 不同种源白皮松苗期生长性状变异

方差分析结果表明,4 年生白皮松苗高和地径 2 个指标在种源和家系间的差异均达到了极显著水平(表 2),说明不同种源和不同家系的白皮松在北京地区的生长表现不均衡。种源间苗高和地径的方差分量分别为 9.24%和 2.17%,家系间苗高和地径的方差分量分别为 16.48%和 10.59%,种源和家系间苗高的变化要大于地径,家系间的变化要大于种源间。种源和家系间生长性状表现的差异为白皮松优良种源及家系的选择提供了材料基础。

表 2 不同种源间白皮松苗期苗高和地径的方差分析

Table 2 Analysis of variance for seedling height and basal diameter among provenances of *Pinus bungeana*

变异来源 Source of variation	苗高 Height				地径 Basal diameter			
	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	方差分量/% Variance component	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	方差分量/% Variance component	<i>F</i> 值 <i>F</i> value
种源间 Provenance	4	2 829.649	9.24	127.610**	4	2.077	2.17	25.473**
种源内家系间 Families within provenance	145	139.232	16.48	6.279**	145	0.279	10.59	3.427**
剩余 Residuals	4 104	26.169		22.174	4 104	0.082		
总和 Total	4 253				4 253			

注: ** 代表差异极显著。表 3 同。
Note: ** represents highly significant. The same for Table 3.

由于来自陕西洛南种源的白皮松种子出苗率低,因此在调查阶段被淘汰。其余种源间 4 年生白皮松苗高生长的多重比较结果表明,在选取的 4 个种源中,以甘肃两当种源苗高生长最好,甘肃天水种源次之,陕西蓝田种源表现一般,山西孝义种源表现最差;与参试种源相比,来自北京当地、种源不清的

白皮松苗高处于中等偏下水平(图 1-A)。对不同种源白皮松地径生长的多重比较结果显示,在 4 个种源中,甘肃天水种源的白皮松地径生长最好,甘肃两当和山西孝义次之,陕西蓝田种源地径较小,而北京当地的白皮松地径生长处于最低水平(图 1-B)。

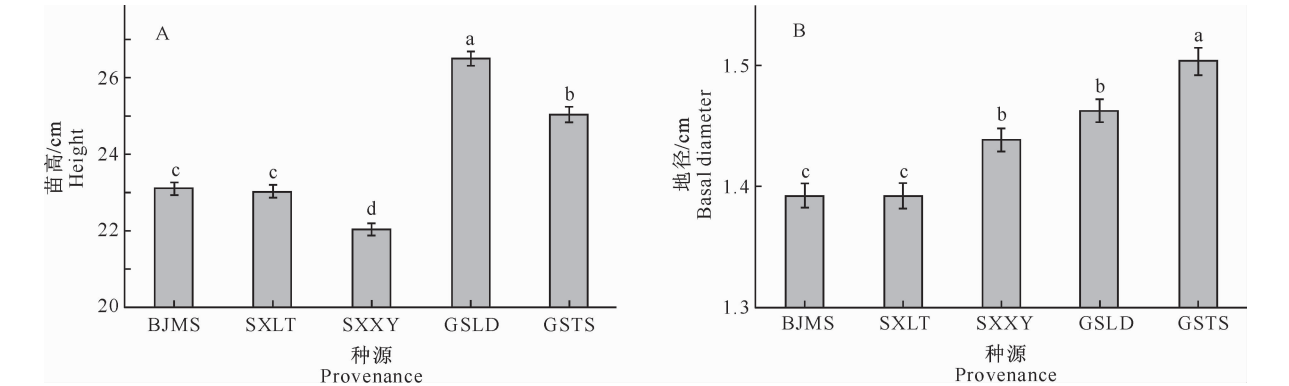


图 1 不同种源间白皮松苗期苗高和地径的变化

Fig. 1 Variations in seedling height and diameter among provenance of *Pinus bungeana*

从上述结果可以看出,不同种源的 4 年生白皮松苗期生长表现存在明显的差异。与参试种源相

比,无论是苗高还是地径指标,北京当地的白皮松生长都处于较低水平。

2.2 白皮松种源内各家系间苗期生长性状变异

在家系间整体生长差异显著的基础上,对种源内不同家系间 4 年生白皮松的生长性状进行了分析。方差分析结果显示,种源内不同家系间的生长差异均达到了极显著水平(表 3)。这说明在同一种源内,各个采种家系间的相对生长表现不同。家系

间苗高变化的方差分量在 12.65%~22.22%,家系间地径变化的方差分量在 7.95%~15.41%,苗高的方差分量要大于地径的方差分量,这说明家系间的差异更多是通过苗高的变化体现出来。生长性状的差异为种源选择基础上的优良家系选择和利用提供了基础。

表 3 种源内不同家系间白皮松苗期苗高和地径的方差分析

Table 3 Variance analysis of seedling height and basal diameter among families within each provenance of <i>Pinus bungeana</i>									
种源 Provenance	变异来源 Source of variation	苗高 Height				地径 Basal diameter			
		自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	方差分量/% Variance component	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	方差分量/% Variance component	<i>F</i> 值 <i>F</i> value
SXLT	家系间 Families	29	134.754	20.75	6.934**	29	0.235	9.79	2.874**
	剩余 Residuals	768	19.433			768	0.082		
	总和 Total	797				797			
SXXY	家系间 Families	29	101.277	17.13	5.993**	29	0.366	15.41	5.282**
	剩余 Residuals	841	16.899			841	0.069		
	总和 Total	870				870			
GSLD	家系间 Families	29	200.155	22.22	8.539**	29	0.206	7.95	2.582**
	剩余 Residuals	867	23.441			867	0.080		
	总和 Total	896				896			
GSTS	家系间 Families	29	175.625	17.14	5.648**	29	0.358	12.63	3.947**
	剩余 Residuals	792	31.095			792	0.091		
	总和 Total	821				821			
BJMS	家系间 Families	29	84.432	12.65	4.164**	29	0.234	8.54	2.685**
	剩余 Residuals	834	20.276			834	0.087		
	总和 Total	863				863			

从种源内不同家系的白皮松苗高和地径统计结果(表 4)可以看出,同一种源内不同家系的苗高和地径间存在很大的变化,种源内家系间苗高生长最大值与最小值之差的变化幅度介于 30~38 cm,而

种源内家系间地径生长的变化幅度介于 1.78~2.16 cm。这说明尽管种源间家系的总体生长表现存在极显著差异,但种源内家系间苗高和地径的变动幅度差别并不大。

表 4 种源内不同家系间白皮松苗期苗高和地径的变异情况

Table 4 Variation in seedling height and basal diameter among families in each provenance cm										
家系号 Family No.	BJMS		SXLT		SXXY		GSLD		GSTS	
	苗高 Height	地径 Basal diameter	苗高 Height	地径 Basal diameter	苗高 Height	地径 Basal diameter	苗高 Height	地径 Basal diameter	苗高 Height	地径 Basal diameter
1	23.793	1.309	25.300	1.486	21.233	1.329	23.310	1.452	22.367	1.426
2	25.633	1.346	19.167	1.369	20.600	1.345	26.000	1.387	19.967	1.284
3	24.033	1.398	23.900	1.429	20.933	1.378	25.067	1.343	21.133	1.312
4	24.700	1.365	22.821	1.320	21.433	1.351	27.300	1.499	27.267	1.544
5	25.533	1.426	23.033	1.307	21.367	1.487	33.033	1.440	28.033	1.529
6	21.700	1.422	23.667	1.309	19.867	1.438	24.133	1.383	26.840	1.414
7	21.167	1.225	24.867	1.345	22.633	1.426	25.233	1.365	28.500	1.560
8	23.967	1.439	22.167	1.432	21.533	1.404	32.267	1.615	26.733	1.542
9	23.567	1.479	22.800	1.444	24.000	1.448	31.100	1.622	27.533	1.683
10	21.267	1.305	22.433	1.449	19.227	1.280	28.300	1.484	24.167	1.548
11	22.533	1.301	17.417	1.302	21.567	1.436	23.467	1.438	24.700	1.546
12	22.867	1.330	19.667	1.191	17.625	1.340	27.500	1.510	20.600	1.322
13	21.300	1.265	25.067	1.447	21.767	1.441	26.400	1.429	21.433	1.502
14	24.833	1.432	24.429	1.493	24.600	1.518	26.433	1.411	23.167	1.426
15	25.379	1.431	22.500	1.261	21.667	1.573	25.633	1.477	23.167	1.276
16	23.067	1.365	20.833	1.341	21.833	1.377	30.100	1.460	25.833	1.466

表 4(续) Continued table 4

家系号 Family No.	BJMS		SXL T		SXX Y		GSLD		GSTS	
	苗高 Height	地径 Basal diameter	苗高 Height	地径 Basal diameter	苗高 Height	地径 Basal diameter	苗高 Height	地径 Basal diameter	苗高 Height	地径 Basal diameter
17	20.767	1.417	24.000	1.601	21.333	1.314	25.000	1.428	26.233	1.525
18	25.467	1.422	26.400	1.527	24.333	1.579	26.933	1.435	25.833	1.440
19	25.267	1.525	25.067	1.431	23.567	1.433	22.900	1.353	23.433	1.447
20	21.933	1.316	25.033	1.461	23.467	1.432	22.267	1.294	26.400	1.560
21	19.167	1.279	24.300	1.375	24.467	1.474	23.367	1.486	25.600	1.589
22	22.100	1.416	23.704	1.379	21.667	1.371	26.433	1.539	30.367	1.642
23	21.000	1.282	22.600	1.365	21.533	1.360	25.633	1.373	25.600	1.735
24	22.200	1.343	22.000	1.245	19.867	1.339	28.000	1.556	25.625	1.651
25	24.333	1.477	19.533	1.271	18.367	1.243	26.310	1.582	24.375	1.714
26	22.100	1.487	25.467	1.436	20.933	1.402	26.900	1.602	26.100	1.579
27	24.433	1.583	19.433	1.221	24.567	1.662	27.467	1.464	26.633	1.501
28	23.167	1.508	20.867	1.356	26.000	1.669	27.133	1.540	25.211	1.702
29	22.952	1.544	23.067	1.415	23.414	1.647	25.367	1.475	22.433	1.480
30	21.200	1.294	24.767	1.486	23.467	1.607	25.967	1.438	25.233	1.529
最小值 Min	11.000	0.360	9.000	0.530	8.000	0.590	13.000	0.650	9.000	0.590
最大值 Max	44.000	2.520	42.000	2.310	38.000	2.450	49.000	2.690	47.000	2.740
均值 Mean	23.098	1.392	23.026	1.393	22.039	1.439	26.503	1.463	25.033	1.503

注:加粗数据为各种源中平均生长超过对照家系平均苗高(23.098 cm)或地径(1.392 cm)的值。
Note: Values in bold represent mean height or basal diameter of the corresponding families higher than the control.

2.3 北京地区白皮松优良种源和家系选择

以上分析结果显示,不同种源的 4 年生白皮松生长性状表现存在显著差异。来自北京当地种源的白皮松生长表现处于中下水平,来自甘肃两当和甘肃天水种源的白皮松生长较好,而陕西蓝田和山西孝义种源的白皮松生长处于中等或中下水平。因此,甘肃两当和甘肃天水为优良白皮松种源地,是北京地区白皮松引种的首要选择地点,而在陕西蓝田和山西孝义引种白皮松应慎重。

从种源内不同家系白皮松的苗高和地径统计结果(表 4)可以看到,种源内生长表现超过北京当地对照平均苗高和平均地径的白皮松家系数目是不同的。尽管 5 个种源中都存在生长超过对照平均苗高(23.098 cm)和平均地径(1.392 cm)的家系,但甘肃两当和甘肃天水种源内苗高和地径均超过对照平均水平的家系数最多,均为 23 个;陕西蓝田、山西孝义和北京蟒山 3 个种源中,生长超过北京当地对照平均水平的家系数目都是 10 个。因此,可在这些种源中选择优良家系为北京地区所用。

3 讨 论

3.1 不同种源白皮松在北京地区的苗期生长表现

已有研究结果表明,不同白皮松群体之间普遍存在着广泛的变异^[18-24]。从本研究结果来看,不同种源白皮松在北京地区的生长表现参差不齐。这些

结果与之前在同一试验地点进行的白皮松种源试验结果相同^[21,25],说明甘肃天水 and 甘肃两当是北京地区的优良白皮松种源地。本试验中,甘肃两当和甘肃天水的海拔明显高于其他地区,有研究表明树种的生物量会随海拔的升高而降低^[26],而且在多点试验中,北京地区的白皮松生长较快^[21],因此甘肃两当和甘肃天水的白皮松子代在北京地区表现好可能是因为北京地区的低海拔环境增加了其生物量生长;同时,甘肃两当和甘肃天水种源的白皮松在天然分布区以外且海拔明显低于天然分布区的北京地区生长表现优良,说明白皮松具有较宽的遗传基础,能在分布区以外的北京生境下正常生长。与参试种源区相比,北京蟒山的白皮松在北京地区的表现处于中等偏下水平,这可能是因为北京不是白皮松的天然分布区,采种林分为人工林,林分内单株可能最初来源于表现一般的种源或者表现参差不齐的种源,最终导致北京蟒山子代整体表现一般。

3.2 相同种源内不同家系间白皮松在北京地区的苗期生长表现

白皮松在北京地区的生长表现是由白皮松本身的遗传因素和北京当地的环境因素共同决定的。在本试验中,来自不同种源区的白皮松种子从储藏、育苗、播种到田间管理的环境条件基本一致,因此家系间表现出来的差异在很大程度上是由白皮松种子本身的遗传因素决定的,同一种源内不同家系间的生

长差异正是对家系本身遗传差异的集中反应。此外,本试验还发现,种源间平均苗高和地径生长超过对照种源均值的白皮松家系数目存在较大的差异,以甘肃两当和甘肃天水种源的优异家系数目最多,这说明甘肃两当和甘肃天水种源白皮松在北京地区的高生长量来源于这 2 个种源区内多数具有优良遗传品质的家系,而非来源于少数具有显著生长优势的家系。

3.3 白皮松优良种源与家系在北京地区的选择及利用建议

来自不同种源区的白皮松在北京地区的生长差异非常明显,与参试种源材料相比,当前北京地区的白皮松生长基本处于中下水平,这说明北京地区现有的白皮松资源不是最优的,北京地区优良白皮松种质资源的筛选还有很大的空间。甘肃两当和甘肃天水是北京白皮松优良基因型引进的首选地。

种源内不同家系间在北京地区的表现也存在着极显著差异,这说明除了可以在种源水平上选择外,家系水平上的优良白皮松基因型的筛选潜力也是巨大的。在所有种源中,优良白皮松家系主要来自于甘肃两当和甘肃天水地区,说明从这 2 个种源地引进白皮松优良家系将会显著提高北京地区白皮松的整体生长水平。

4 结 论

综上所述,来自不同种源区的白皮松在北京地区的生长具有极显著差异,甘肃天水和甘肃两当种源的白皮松在北京地区表现较好;与参试种源材料相比,当前北京地区现有的白皮松整体生长一般。种源内不同家系间白皮松在北京地区的生长量存在明显的差异,甘肃天水和甘肃两当种源内具有生长优势的家系数目最多。在优良种源内选择具有苗高和地径生长量优势的优良家系应用于北京地区,将可明显提高北京地区白皮松的生长量,对于异地保护白皮松优良基因型和提高白皮松在北京地区的造林绿化应用具有重要的意义。

[参考文献]

[1] 中国科学院中国植物志编委会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 1980: 233-234.
Flora of China Editorial Board of Chinese Academy of Sciences. Flora of China [J]. Beijing: Science Press, 1980: 233-234.

[2] 赵 焱, 张学忠, 王孝安. 白皮松天然林地理分布规律研究 [J]. 西北植物学报, 1995, 15(2): 161-166.

Zhao Y, Zhang X Z, Wang X A. A study on geographical distribution law of *Pinus bungeana* natural forests in China [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1995, 15(2): 161-166.

[3] 王小平, 王九龄, 刘晶兰, 等. 白皮松分布区的气候区划 [J]. 林业科学, 1999, 35(4): 101-106.
Wang X P, Wang J L, Liu J L, et al. Climatic regionalization on the distribution area of *Pinus bungeana* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1999, 35(4): 101-106.

[4] 李 斌, 顾万春. 白皮松分布特点与研究进展 [J]. 林业科学研究, 2003, 16(2): 225-232.
Li B, Gu W C. Distribution of natural resources and research review on *Pinus bungeana* [J]. Forest Research, 2003, 16(2): 225-232.

[5] 彭重华, 薄楠林. 白皮松研究进展 [J]. 林业科学, 2007, 23(11): 174-178.
Peng Z H, Bo N L. Research progress in *Pinus bungeana* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 23(11): 174-178.

[6] 戴水泉. 白皮松在林业生产中的开发与应用 [J]. 农业科技与信息, 2011, 28(6): 12-13.
Dai S Q. Development and application of *Pinus bungeana* in forestry production [J]. Agricultural Technology and Information, 2011, 28(6): 12-13.

[7] 王成柱. 白皮松在林业生产中的开发及应用研究 [J]. 现代商贸工业, 2011, 24(24): 413-414.
Wang C Z. Study on development and application of *Pinus bungeana* in forestry production [J]. Modern Business Trade Industry, 2011, 24(24): 413-414.

[8] 薄楠林, 彭重华, 种 洁, 等. 白皮松的特性及园林应用 [J]. 北方园艺, 2008, 32(3): 184-186.
Bo N L, Peng Z H, Zhong J, et al. Characteristic and landscape application of *Pinus bungeana* [J]. Northern Horticulture, 2008, 32(3): 184-186.

[9] 许绍惠, 边立琪, 郭 泳, 等. 白皮松抗寒性及抗寒育苗技术的研究 [J]. 林业科学, 1994, 30(6): 497-506.
Xu S H, Bian L Q, Guo Y, et al. Nursery techniques for the enhancement of cold resistance of *Pinus bungeana* seedlings [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1994, 30(6): 497-506.

[10] 冷肖荀, 杨振国. 白皮松容器育苗基质选择试验 [J]. 西北林学院学报, 1995, 10(3): 102-104.
Leng X X, Yang Z G. Experiment on media selection for seedling raising of *Pinus bungeana* with plastic film container [J]. Journal of Northwest Forestry College, 1995, 10(3): 102-104.

[11] 高 睿, 石仲选, 余杨春, 等. 白皮松引种试验研究 [J]. 宁夏农林科技, 2009, 52(1): 39, 78.
Gao R, Shi Z X, Yu Y C, et al. Study on introduction test of *Pinus bungeana* [J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2009, 52(1): 39, 78.

[12] 石仲选, 郭志文, 余杨春, 等. 白皮松引种试验研究 [J]. 陕西农业科学, 2009, 54(6): 49-50.
Shi Z X, Guo Z W, Yu Y C, et al. Study on introduction test of *Pinus bungeana* [J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2009, 54(6): 49-50.

- [13] Genys J B, Heggstad H E. Susceptibility of different species, clones and strains of pines to acute injury caused by ozone and sulfur dioxide [J]. Plant Disease Reporter, 1978, 62(8): 687-691.
- [14] Lee K C, Ahn K Y A. Study on the diversifying of plant sciences for the landscape construction in Korea [J]. Seoul National University Journal of Agricultural Sciences, 1991, 16(1): 67-80.
- [15] Ueda N, Dewa N, Tsuneya T, et al. The leaf oil components of lacebark pine, *Pinus bungenan* Zucc [J]. Chemistry Express, 1989, 4(12): 813-816.
- [16] 翟明普, 尹伟伦, 邢北任. 北京山地白皮松造林试验研究 [J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(S1): 46-52.
- Zhai M P, Yin W L, Xing B R. The studies on *Pinus bungenan* plantation on Beijing mountainous district [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1991, 13(S1): 46-52.
- [17] 马晓燕, 刘克锋, 于娜娜. 北京市园林绿化苗木市场的调查与分析 [J]. 北京农学院学报, 2002, 17(4): 30-36.
- Ma X Y, Liu K F, Yu N N. The investigation and analysis for the Beijing nursery stock market [J]. Journal of Beijing Agricultural College, 2002, 17(4): 30-36.
- [18] 李晓洁, 徐化成. 白皮松种子发芽习性及其种源变异的研究 [J]. 林业科学, 1989, 25(2): 97-105.
- Li X J, Xu H C. A study on seed and germination characteristics of *Pinus bungenan* Zucc ex Endl from different provenances [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1989, 25(2): 97-105.
- [19] 李 斌, 顾万春, 卢宝明. 白皮松天然群体种实性状表型多样性研究 [J]. 生物多样性, 2002, 10(2): 181-188.
- Li B, Gu W C, Lu B M. A study on phenotypic diversity of seed and cone characteristics in *Pinus bungenan* [J]. Biodiversity Science, 2002, 10(2): 181-188.
- [20] 苏俊霞, 孙建华, 田震平, 等. 吕梁山南端白皮松幼林种群结构的研究 [J]. 西北植物学报, 2003, 23(2): 200-204.
- Su J X, Sun J H, Tian Z P, et al. Study on younger forest population structure of *Pinus bungenan* in the Lüliang Mountains [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2003, 23(2): 200-204.
- [21] 赵 罕, 郑勇奇, 李 斌, 等. 白皮松生长差异及适应性的种源变异分析 [J]. 林业实用技术, 2013, 55(4): 7-10.
- Zhao H, Zheng Y Q, Li B, et al. Analysis of variation in provenance for growth and adaptability of *Pinus bungenan* [J]. Practical Forestry Technology, 2013, 55(4): 7-10.
- [22] 赵 罕, 郑勇奇, 李 斌, 等. 白皮松天然群体遗传结构的地理变异分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(3): 395-401.
- Zhao H, Zheng Y Q, Li B, et al. Genetic structure analysis of natural populations of *Pinus bungeana* in different geographical regions [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(3): 395-401.
- [23] 赵 罕, 郑勇奇, 李 斌, 等. 白皮松天然群体遗传多样性的 EST-SSR 分析 [J]. 林业科学研究, 2014, 27(4): 474-480.
- Zhao H, Zheng Y Q, Li B, et al. Genetic diversity analysis of *Pinus bungeana* natural populations with EST-SSR markers [J]. Forest Research, 2014, 27(4): 474-480.
- [24] 李 斌, 顾万春. 白皮松保育遗传学: 天然群体遗传多样性评价与保护策略 [J]. 林业科学, 2005, 41(1): 57-64.
- Li B, Gu W C. Conservation genetics of *Pinus bungeana*: evaluation and conservation of natural populations' genetic diversity [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(1): 57-64.
- [25] 何 燕, 姜英淑, 卢宝明, 等. 白皮松种源苗期变异与选择 [J]. 林业科技通讯, 2001, 43(6): 5-8.
- He Y, Jiang Y S, Lu B M, et al. Seedling variation and selection among provenances of *Pinus bungeana* [J]. Forest Science and Technology, 2001, 43(6): 5-8.
- [26] 贾开心, 郑 征, 张一平. 西双版纳橡胶林生物量随海拔梯度的变化 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1028-1032.
- Jia K X, Zheng Z, Zhang Y P. The changes of biomass with elevation gradient for *Hevea brasiliensis* plantations in Xishuangbanna [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(9): 1028-1032.