

云杉种和种源生长性状早期评价

安三平¹, 许娜¹, 杜彦昌¹, 王丽芳¹, 马建伟^{1*}, 王军辉²

(1. 甘肃省小陇山林业实验局林业科学研究所, 甘肃省次生林培育重点实验室, 甘肃天水 741022;

2. 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)

摘要: [目的]通过对引种的云杉种和种源试验林的适应性和生长变异研究, 选出最适合当地栽培的优良种和种源。[方法]以甘肃省小陇山沙坝试验基地引种的欧洲云杉、黑云杉、白云杉、蓝云杉、红皮云杉和青海云杉6个树种20个种源为研究对象, 分别对6、7、9 a幼林龄的生长性状(树高、地径、新梢和冠幅)进行方差分析和相关性分析, 以早期评价云杉种和种源。[结果]6、7、9 a生长期不同云杉种间和种源间的差异多数达到极显著, 表明不同种间和种源间存在较大的遗传变异。利用树高兼地径为主要指标筛选出7个优良种源, 分别为欧洲云杉加拿大AB01、AB03种源、白云杉加拿大GL01种源; 黑云杉加拿大MA05、MA07、MA08和MA10种源, 树高、地径现实增益均超过11%。欧洲云杉、白云杉种源树高与经纬度呈极显著的正相关, 与海拔呈极显著的负相关; 黑云杉种源树高也与经纬度呈极显著的正相关, 但与海拔相关不显著。[结论]在原产地纬度49°16'~58°38' N, 经度68°13'~118°24' W区域范围内引进欧洲云杉、白云杉、黑云杉种源, 是适宜在甘肃小陇山栽培的云杉树种。

关键词: 云杉; 种源; 遗传变异; 评价

中图分类号: S722.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2018)05-0020-07

Early Evaluation of Growth Traits of *Picea* Species and Provenances

AN San-ping¹, XU Na¹, DU Yan-chang¹, WANG Li-fang¹, MA Jian-wei¹, WANG Jun-hui²

(1. Research Institute of Forestry of Xiaolongshan Forestry Bureau, Gansu Provincial Key Laboratory of Secondary Forest Cultivation of Gansu Province, Tianshui 741002, Gansu, China; 2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key laboratory of Tree Breeding and Cultivation,

State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: [Objective] The adaption and growth variation of the species and provenances in *Picea* were tested in order to select the suitable species and provenances for interior cultivation. [Method] Early evaluation experiments in twenty provenances of six species including *Picea abies*, *P. mariana*, *P. glauca*, *P. pungens*, *P. koraiensis* and *P. crassifolia* in Xiaolongshan Shaba Experimental Base in Gansu province were carried out. The variation and correlation were made on the height, diameter at ground-level (Dg), height increment and crown at 6, 7 and 9 years old. [Result] The differences among the growth traits of the species and provenances in *Picea* at the age of 6, 7 and 9 years old were all extremely significant, indicating larger genetic variation existed among the species and provenances. Seven elite provenances were selected using height and diameter as the main traits. The realized genetic gain of their height and diameter were bigger than 11%. There was significantly positive correlation between height and latitude or longitude for *P. abies*, *P. glauca* and *P. mariana*. The average height of *P. abies* or *P. glauca* had negative correlation with the elevation, but no correlation between the average height of *P. mariana* and elevation. [Conclusion] The best provenances of *P. abies*, *P. glauca*, and *P. mariana* derived from latitude 49°16'~58°38' N and longitude 68°13'~118°24' W are suitable to be introduced and cultivated in Xiaolongshan of Gansu

收稿日期: 2018-01-30

基金项目: 甘肃省重点研发计划项目(1604NKCE071); 中央财政林业科技推广示范资金项目([2017]ZYTG6)

作者简介: 安三平(1976—), 男, 高级工程师, 从事云杉良种选育研究。E-mail: ansanpls@126.com

通讯作者: 马建伟, 正高级工程师, 从事林木遗传育种研究。

province.

Keywords: spruce; provenance; genetic variation; trait evaluation

欧洲云杉(*Picea abies* (Linn.) Karst.) 主要分布在欧洲中部和北部,垂直分布海拔 2 000 m,年降水量 500 ~ 1 000 mm,喜凉爽湿润气候,但也耐大气干旱,是生态和经济上重要的针叶树种,在我国扩大引种潜力很大,是目前国外云杉种在国内适生区表现最好的树种^[1-2]。黑云杉(*Picea mariana* Britt.)、白云杉(*Picea glauca* Voss.) 原产于北美,从阿拉斯加至纽芬兰和美国东北部、中部都有分布,为当地最重要的用材树种,树干通直,材质优良。我国吉林省天南林场进行的引种苗期及栽培试验,发现黑云杉、白云杉较当地树种红皮云杉具有明显的生长势和较强的适应性^[3-4]。蓝云杉(*Picea pungens* Engelm.) 主要分布于北美 34°~45° N 落基山中部的犹他州和科罗拉多州,我国已有近 25 年的引种栽培历史,但规模较小,数量有限,在内蒙古林科院树木园现保存栽培 1 株,生长良好,树高已达 3 m,冠幅 2.3 m^[5]。红皮云杉(*Picea koraiensis* Nakai.) 是我国东北林区的主要用材树种之一,是东北林区珍贵商品林的重要资源,近年来有关该树种良种选育及培育技术方面的研究主要涉及云杉种及种源强化育苗试验、优良种选育、种源区划、遗传多样性等的研究^[6-13]。甘肃省天水市小陇山林业实验局 20 世纪 80 年代初引进了欧洲云杉种子,育苗并上山造林,长势良好,目前已有多株开花结实,培育出第二代优树^[14]。20 世纪 80 年代初期,辽宁省在辽东、辽南引种的欧洲云杉、白云杉和黑云杉等生长良好,云杉已成为辽宁很有发展前途的优良用材和绿化树种^[15]。罗建勋对 17 个云杉种源苗期生长性状进行研究,利用聚类分析将 17 个种源可明显分为 4 个产区,中心种源和边缘种源明显分为显著不同的产区^[16]。本文对 6 个种 20 个种源的幼龄林生长指标进行 9 a 生长性状遗传变异研究,以进一步确定造林后幼龄林云杉种和种源生长指标对生境产生的显著变异,对促进云杉种和种源的选择利用具有重要的实际意义。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地设在甘肃省天水市秦州区娘娘坝镇小陇山林业实验局林业科学研究所沙坝实验基地中心苗

圃。地理坐标为 105° 54' E, 34° 34' N, 海拔 1 560 m, 年均气温 7.2℃, 极端最高气温 32℃, 极端最低气温 -27℃; 年均降水量 800 mm; 年活动积温 2 480℃; 无霜期 154 d; 土壤为棕壤。自然植被类型为落叶阔叶林和针阔混交林, 现存植被以天然次生林和人工林为主。森林覆盖率 98%。

1.2 材料来源

沙坝苗圃地采用 3 年生小陇山林科所试验苗圃容器苗造林。参试云杉属树种有欧洲云杉 4 个种源、白云杉 3 个种源、黑云杉 10 个种源、蓝云杉 1 个种源, 红皮云杉 1 个种源, 以本地种青海云杉(*Picea crassifolia* Kom) 为对照, 各种源的原产地自然概况见表 1。

1.3 试验设计与统计方法

2007 年在甘肃小陇山林业实验局林业科学研究所种子育苗欧洲云杉 4 个种源、白云杉 3 个种源、黑云杉 10 个种源、蓝云杉 1 个种源, 红皮云杉 1 个种源, 以本地种青海云杉为对照, 经过补光、施肥等强化培育 3 年, 2010 年 3 月将 6 个种 20 个种源 3 年生容器实生苗定植造林。采用完全随机区组设计, 5 株小区, 4 次重复, 株行距为 0.8 m × 0.8 m。

2012 年(6 a)、2013 年(7 a)、2016 年(9 a)3 月份, 分别对参试种源的性状进行测定, 包括树高(H/cm)、地径(Dg/cm)、当年新梢长(Ls/cm)、冠幅(CW/cm)和成活率(SR/%)。采用 SAS9.1 统计软件 GLM 模型和 CORR 模型进行方差和相关分析, 采用 VARCOMP 模型进行方差分量估算, 采用 LSD 方法进行多重比较^[17]。2016 年统计测定林保存株数, 计算保存率。以单株测定值为单元, 对种或种内种源的成活率、树高、地径、新梢长和冠幅做单因素方差分析, 采用线性模型: $X_{ijk} = \mu + P_j + e_{ijk}$

X_{ijk} 为单株观测值; μ 为试验均值; P_j 为种源效应(固定); e_{ijk} 为剩余项。

入选种源现实增益: 现实增益 = (入选种源性状平均值 - 总体平均值) / 总体平均值 × 100%^[18]。

2 结果与分析

2.1 6 个云杉种间生长性状对比分析

参试欧洲云杉、白云杉、蓝云杉、黑云杉、红皮云杉与对照青海云杉种间生长性状进行分析比较(表

2)表明:6种云杉9年生时树高、地径、新梢长、成活率生长表现差异较大。以树高为主要指标,9年生欧洲云杉>白云杉>黑云杉>蓝云杉>红皮云杉>青海云杉,表明欧洲云杉生长速度最快,本地青海云杉生长速度较慢。引进的5种云杉各生长指标的变异系数均比本地的青海云杉大,说明引进的国外种及红皮云杉具有丰富的遗传变异,开展云杉种间选择具有很大的潜力。引种造林9 a后,欧洲云杉、蓝云杉、白云杉有较高的成活率,表明树种能够适应造

林当地的气候和土壤环境^[18]。本地青海云杉成活率达94.37%,国外引种云杉欧洲云杉成活率最高达84.75%,这与已有的报道欧洲云杉在小陇山林区引种18 a开花结实,具有较强抗逆性和适应性相符^[14]。黑云杉保存率最低为39.4%,表明黑云杉在小陇山相同地理气候条件下的适生性较差。云杉种保存率变异系数黑云杉较大,说明种间个体存在较大差异。

表1 云杉引种资料自然概况

Table 1 Natural conditions information about introduction of spruce

种 Species	树种代号 SPID	种源代号 Prov. No.	产地 location	国家 Country	纬度 Lat	经度 Lon	海拔 Ele/m
黑云杉	MA	MA01	Creighton SK	加拿大 CAN	54°53' N	102°25' W	338
黑云杉		MA02	Nisbet AB	加拿大 CAN	53°13' N	106°01' W	492
黑云杉		MA03	Hudson Bay AB	加拿大 CAN	52°51' N	102°02' W	351
黑云杉		MA04	Grouard Mission AB	加拿大 CAN	55°57' N	115°57' W	670
黑云杉		MA05	Fort McMurray SK	加拿大 CAN	56°53' N	115°05' W	400
黑云杉		MA06	Fox Creek SK	加拿大 CAN	54°43' N	116°13' W	1 050
黑云杉		MA07	La Ronge NB	加拿大 CAN	55°07' N	105°25' W	374
黑云杉		MA08	Compulsion Bay NB	加拿大 CAN	57°45' N	103°16' W	389
黑云杉		MA09	Kingscl Ear Seed Orchard NB	加拿大 CAN	46°58' N	66°19' W	400
黑云杉		MA10	Ruchard Brood NB	加拿大 CAN	47°13' N	68°13' W	427
欧洲云杉	AB	AB01	Val Visdemde	加拿大 CAN	51°20' N	118°24' W	925
欧洲云杉		AB02	Val Meledrrio	加拿大 CAN	49°17' N	115°45' W	914
欧洲云杉		AB03	Val Didemtio	加拿大 CAN	49°16' N	117°05' W	1 185
欧洲云杉		AB04	Val Difiemme	加拿大 CAN	50°10' N	117°05' W	1 675
白云杉	GL	GL01	DF110-16-5-79 AB	加拿大 CAN	58°38' N	114°57' W	1 231
白云杉		GL02	Nordegg AB	加拿大 CAN	52°11' N	116°00' W	1 372
白云杉		GL03	Rockydisiriet AB	加拿大 CAN	52°14' N	115°18' W	1 160
蓝云杉	PU	PU01	Nisbet AB	加拿大 CAN	46°55' N	110°36' W	2 071
红皮云杉	KOR	KOR01	黑龙江	中国 CHN	45°45' N	126°38' E	610
青海云杉	CR	CRO1	甘肃天水	中国 CHN	34°34' N	105°54' E	1 560

表2 9年生时云杉种间4个性状差异比较

Table 2 Comparison of variation of traits in different species at 9 years old

云杉种 Species	树高 H/cm		地径 Dg/cm		新梢长 Ls/cm		成活率 SR/%	
	均值 ± 标准差 Mean ± Std	变异系数 CV/%						
欧洲云杉	208.40 ± 67.18a	32.23	1.77 ± 0.93a	52.50	37.44 ± 18.79a	50.19	84.75 ± 2.50b	2.95
白云杉	174.08 ± 64.44b	36.86	1.40 ± 0.83b	59.50	34.48 ± 16.55b	48.00	80.32 ± 10.56b	20.99
蓝云杉	126.70 ± 49.77d	39.27	1.22 ± 0.63b	51.64	25.51 ± 12.02d	47.12	82.00 ± 8.33b	10.15
黑云杉	157.77 ± 54.73c	34.69	1.06 ± 0.68c	64.10	30.89 ± 16.59c	53.71	39.40 ± 7.99e	20.28
红皮云杉	117.07 ± 38.30d	32.72	0.79 ± 0.34d	43.04	17.51 ± 7.63d	43.58	72.00 ± 13.47c	18.70
青海云杉	92.15 ± 12.10e	13.13	0.28 ± 0.03e	10.71	22.65 ± 6.62e	29.23	94.37 ± 1.87a	1.98

注:字母 a、b、c、d 代表显著差异。Note: The letter a, b, c, d mean significant differences.

2.2 云杉种源间性状分析对比

对欧洲云杉、白云杉、黑云杉各种源树高、新梢长和地径3个性状进行种源间的变异分析,由表3~5可知:欧洲云杉种源、白云杉种源、黑云杉种源

9年生时树高、新梢、地径均达极显著差异,欧洲云杉种源6、7、9年生时树高、新梢、地径均极显著差异;白云杉6 a树高、新梢、无显著差异;黑云杉种源6、7、9年生时树高、新梢、地径均差异显著或极

差异显著,表明随林龄越大,生长性状变异分化较大。因此,进行种和种源选择时利用9年生生长性状选择较准确。不同的林龄欧洲云杉种源间树高

方差分量均较大,黑云杉7、9年生树高、地径、新梢误差方差分量均大于种源间方差分量,表明黑云杉种源各性状很大程度上受生存环境调控。

表3 6、7、9年生时欧洲云杉种源各性状方差分析

Table 3 Variance analysis of traits on *Picea abies* at 6, 7, and 9 years old

树龄 Tree-age/a	性状 Trait	种源 MS Provenance	区组 MS Area	误差 MS Error	F 值 F	区组 F 值 Area	种源方差分量 Source variance portion/%	区组 MS 方差分量 Area variance portion/%	误差方差分量 Error variance portion/%
9	树高	60 021.98	6 668.72	3 418.75	17.56**	1.95ns	86.27	3.30	10.42
	新梢	113.48	200.28	277.76	0.41**	0.72ns	0.00	0.00	0.00
	地径	0.40	0.74	0.07	5.61**	10.34*	27.21	55.10	17.68
7	树高	3 050.05	198.18	56.99	53.52**	3.48ns	91.53	3.24	5.23
	新梢	300.89	67.71	23.56	12.77**	2.87ns	72.76	8.69	18.55
	地径	1.70	0.12	0.04	42.68**	2.95ns	90.34	3.17	6.50
6	树高	2 217.47	105.40	12.06	183.85**	8.74*	92.74	5.23	2.03
	新梢	298.68	28.46	1.35	221.57**	21.11**	87.74	10.67	1.59
	地径	1.48	0.27	0.02	74.00**	13.50**	77.94	17.79	4.27

注: * 表示在 0.05 水平差异显著; ** 表示在 0.01 水平差异极显著; ns: 无显著差异, 下表同。

Note: * Indicates significant difference at 0.05 level, ** Indicates significant difference at 0.05 level. ns is no significant difference. The same below.

表4 6、7、9年生时白云杉种源各性状方差分析

Table 4 Variance analysis of traits on *Picea glauca* at 6, 7, and 9 years old

树龄 Tree-age/a	性状 Trait	种源 MS Provenance	区组 MS Area	误差 MS Error	F 值 F	区组 F 值 Area	种源方差分量 Source variance portion/%	区组 MS 方差分量 Area variance portion/%	误差方差分量 Error variance portion/%
9	树高	86 106.57	62 340.54	3 301.13	26.08**	18.89ns	54.57	38.91	6.53
	新梢	3 202.94	6 693.06	273.29	11.72**	24.49**	28.81	63.13	8.06
	地径	0.68	0.14	0.05	14.85**	3.11ns	80.26	8.14	11.60
7	树高	1 474.35	272.82	160.69	9.18**	1.69ns	63.51	5.42	31.07
	新梢	150.26	55.17	14.27	10.53**	3.87*	58.13	17.48	24.39
	地径	0.16	0.11	0.04	2.79ns	4.19*	35.51	19.89	44.60
6	树高	274.27	644.59	95.35	2.88ns	6.76*	16.12	49.50	34.38
	新梢	13.17	304.09	14.32	0.92ns	21.23**	0.00	83.49	16.51
	地径	0.27	0.07	0.02	13.36**	3.33	66.11	12.46	21.43

表5 6、7和9年生时黑云杉种源各性状方差分析

Table 5 Variance analysis of traits on *Picea ariana* at 6, 7, and 9 years old

树龄 Tree-age/a	性状 Trait	种源 MS Provenance	区组 MS Area	误差 MS Error	F 值 F	区组 F 值 Area	种源方差分量 Source variance portion/%	区组 MS 方差分量 Area variance portion/%	误差方差分量 Error variance portion/%
9	树高	17 739.71	8 262.68	2 601.19	6.82**	3.18*	27.26	30.58	42.16
	新梢	173.63	178.15	41.72	4.16**	4.27**	14.39	44.65	40.96
	地径	0.23	0.17	0.06	3.55**	2.60ns	15.58	29.40	55.05
7	树高	388.94	937.21	111.11	8.44**	3.50**	8.04	59.79	32.17
	新梢	38.78	379.87	23.01	16.51**	1.69ns	1.39	78.39	20.21
	地径	0.21	0.69	0.08	8.50**	2.62*	5.32	61.76	32.92
6	树高	276.88	185.20	84.94	3.26*	2.18ns	14.86	19.40	65.74
	新梢	209.12	15.39	23.86	8.77**	0.65ns	88.59	0.00	11.41
	地径	0.15	0.08	0.03	5.26**	3.00*	73.95	8.68	17.37

2.3 云杉种源树高与经纬度相关分析

云杉树种的生长快慢除与自身的遗传特性有关

外,还与生长来源地种源变异规律有关。本研究以9年生参试云杉种的种源树高生长与各种来源地

经纬度及海拔为研究对象,进行相关分析,结果(表6)表明:欧洲云杉、白云杉、黑云杉树高均与经纬度呈极显著正相关,欧洲云杉、白云杉树高与海拔呈极显著负相关,黑云杉与海拔无相关关系,说明欧洲云杉、白云杉、黑云杉树高生长与地理来源经纬度有密切关系。这表明,在以后的引种中,欧洲云杉、白云杉、黑云杉来源地纬度在 $46^{\circ}58' \sim 58^{\circ}38' N$,经度在 $66^{\circ}19' \sim 118^{\circ}24' W$ 之间随经纬度升高,在甘肃天水小陇山沙坝实验基地高生长量越大;欧洲云杉与白云杉随海拔升高,高生长量有减小的趋势。

表6 欧洲云杉、白云杉、黑云杉种源间树高与经纬度及海拔的相关性

Table 6 Correlation coefficients among tree height and longitude and latitude and elevation of *Picea abies*, *P. glauca* and *P. mariana*

地理位置 Geographic information	树高 Tree height		
	欧洲云杉 <i>P. abies</i>	白云杉 <i>P. glauca</i>	黑云杉 <i>P. mariana</i>
经度 Longitude	0.16 **	0.44 **	0.39 **
纬度 Latitude	0.34 **	0.38 **	0.34 **
海拔 Altitude	-0.17 **	-0.10 **	0.08

注: * 表示在 0.05 水平差异显著; ** 表示 0.01 水平差异极显著。

Note: * Indicates significant difference at 0.05 level, Indicates very significant difference at 0.01 level.

2.4 优良种源选择

由表7~9可知:欧洲云杉、白云杉、黑云杉种源间均存在极显著差异,欧洲云杉种源 AB01、AB03 树高、地径、冠幅、新梢均极显著优于种源 AB02,冠幅极显著优于 AB04;白云杉种源 GL01 树高、地径、冠幅均极显著优于种源 GL02、GL03,新梢差异不显著;黑云杉种源 MA10、MA05、MA07、MA08 树高、地径与其他种源均存在显著或极显著差异,新梢和冠幅与其他种源间无极显著差异。欧洲云杉、白云杉、黑云杉各种源间以 9 a 生长性状 0.5 倍标准差选择欧洲云杉种源 AB03、AB01;白云杉种源 GL01;黑云杉种源 MA05、MA07、MA08、MA10 均为优选种源,欧洲云杉优选种源树高、地径、新梢、冠幅现实增益为 17%、15%、9%、6%;白云杉优选种源树高、地径、新梢、冠幅现实增益为 11.79%、17.64%、0.63%、7.62%;黑云杉优选种源树高、地径、新梢、冠幅现实增益为 14.44%、22.47%、13.67%、9.11%,优选种源树高、地径现实增益均最大,说明利用树高、地径指标选择出的优良种源是可行的。

3 讨论

我国从 20 世纪 80 年代开始进行云杉种和种源

表7 欧洲云杉优良种源选择

Table 7 Excellent provenances selection of *P. abies*

种源 Provenance	树高 H/cm	地径 Dg/cm	新梢 Ls/cm	冠幅 CW/cm
AB01	223.74aA	18.49aA	42.19aA	101.32 aA
AB02	116.05bB	13.18bB	28.85bB	80.79cC
AB03	229.08aA	20.09aA	40.45aA	104.36aA
AB04	214.51aA	18.29aA	37.42abA	98.84bB
平均值 + 0.5 倍标准差	222.61	19.01	40.19	101.63
现实增益/%	17.00	15.00	9.00	6.00

注:数据后 a、b、c、d 表示 0.05 水平差异显著性,A、B 表示 0.01 水平差异显著性,下表同。

Note: The lowercase letters a、b、c、d after the date mean significant difference at 0.05, and uppercase letters A、B mean very significant difference at 0.01. The same below.

表8 白云杉优良种源选择

Table 8 Excellent provenances selection of *P. glauca*

种源 Provenance	树高 H/cm	地径 Dg/cm	新梢 Ls/cm	冠幅 CW/cm
GL01	209.20aA	17.91aA	35.54aA	92.36aA
GL02	152.44bB	10.30bB	35.39aA	76.86bB
GL03	149.07bB	11.24bB	32.11aA	72.65bB
平均值 + 0.5 倍标准差	187.13	15.22	35.32	85.81
现实增益/%	11.79	17.64	0.63	7.62

表9 黑云杉优良种源选择

Table 9 Excellent provenances selection of *P. mariana*

种源 Provenance	树高 H/cm	地径 Dg/cm	新梢 Ls/cm	冠幅 CW/cm
MA01	146.72cdB	8.32cdB	28.08abcA	80.57abA
MA02	139.33dB	8.22cdB	27.99abcA	73.57bA
MA03	143.88cdB	10.27bcdAB	29.53 abcA	74.08bA
MA04	141.32cdB	7.78dB	25.09bcA	72.83bA
MA05	181.38abAB	12.16abAB	34.17abA	85.99abA
MA06	134.5dB	7.55dB	23.17cA	76.48abA
MA07	174.24bB	13.03abA	30.58abcA	87.71abA
MA08	177.75abB	11.74 abcAB	32.48abcA	91.16aA
MA09	159.89bcdeAB	11.22 bcdAB	34.74abA	82.94abcA
MA10	197.4aA	14.31aA	35.69aA	91.74aA
平均值 + 0.5 倍标准差	170.49	11.66	32.24	85.35
现实增益/%	14.44	22.47	13.67	9.11

试验研究。罗建勋等对云杉天然群体表型多样性的研究表明,云杉具有丰富的变异,其遗传改良前景广阔^[19]。董建等指出,种-种源试验就是通过试验为不同地区、不同立地筛选适应性强、产量高的种或种源,可为划分种子调拨范围,制定种子调拨区划方案提供依据^[15]。有研究报道,选用适宜的种-种源,材积可增产 20%~40%,少数可增产 1~4 倍^[20]。本研究通过对引进的 6 个云杉种 20 个种源进行试验林早期生长评价,表明云杉种和种源间具有丰富

的遗传变异。欧洲云杉、白云杉、黑云杉、蓝云杉、红皮云杉均比本地树种青海云杉生长量大,且各性状变异系数较大,引进的5个种均比本地青海云杉生长快,但黑云杉造林成活率低。李青粉等指出,云杉引种时保存率是不容忽视的一个重要指标^[21]。本研究中,引进的欧洲云杉、白云杉、蓝云杉、红皮云杉保存率均超过80%,仅黑云杉保存率最低39.4%,这可能与黑云杉种源造林地较低,易发生水涝致使黑云杉根浸泡在雨水中的时间过长,造成苗木死亡过多,但黑云杉种源间生长量差异均达极显著,且黑云杉种树高生长量仅次于欧洲云杉和白云杉,因此,对黑云杉进行种源及优良个体的选择很有必要。

马常耕指出,种源测定的目的是揭示种源遗传变异的性质和程度,了解主要性状的地理变异模式,为云杉的引种驯化和遗传改良策略提供依据^[22-23]。本研究分别对欧洲云杉4个种源、白云杉3个种源、黑云杉10个种源进行种源间对比分析发现,不同种源间性状9a均达极显著水平,6、7、9a欧洲云杉、白云杉、黑云杉种源树高、地径方差分量均较大,因此,可利用树高兼地径选择优良种源,共选出7个优良种源可作为甘肃地区育种资源。赵秋玲等对欧洲云杉在小陇山林区18a引种结果表明,欧洲云杉在小陇山林区气候和生境条件能够正常生长和开花结实,指出欧洲云杉10年生以前树高、胸径连年生长量基本接近油松和华山松^[14]。夏燕等对湖北宜昌引种的云杉种和种源采用综合评价法,5~7年生云杉连续3a的评价结果基本一致^[18]。

李青粉等研究表明,欧洲云杉、白云杉、黑云杉有望在北方地区生长良好,是因为欧洲云杉具有广泛的地理分布,白云杉和黑云杉广泛分布于加拿大和北美,与我国北方同属于温带气候^[21]。董建等指出,白云杉种源有随着纬度增加生长量逐渐减小的单向渐变模式趋势^[15]。Bergmann认为,温度是欧洲云杉地理变异的主要选择因子^[24]。王继志等^[25]认为,白云杉在吉林省适宜栽培范围为:125°08'~131°19' E,40°52'~44°37' N。适宜立地为湿润低温,全年降水量800~1000mm,海拔1500m以下。本研究欧洲云杉、白云杉、黑云杉种源与经纬度,海拔的相关分析表明,来自纬度49°16'~58°38' N之间,经度在68°13'~118°24' W附近的云杉种及种源,是最适合甘肃本地区引种的优良种源。

云杉的基因资源丰富,便于广泛引种。有研究表明,云杉的天然群体内遗传变异大约70%存在于

群体内,30%存在于群体间,该树种群体和个体间改良的潜力都较大^[16]。因此,今后应当在进行优良种源选择的同时加大优良个体选择和利用的力度。我国对云杉的引种改良较晚,且引进的数量较少,分布较散,参选的种源少,早期的选择评价不能确定这些树种后期开花结实后代的适生情况。Stebbins认为,比起生长性状,黑云杉天然群体的球果和种子更受强的遗传控制^[26]。在今后的引种试验中,必须选择能够在新环境下长期的适应和能开花结实生长优良的树种,也应找出新环境受压制的主导因子,从而通过栽培技术和选育的方法来改良它们对不利因子的应对能力,对它们的适应性范围作出区划,便于后期的推广应用。

4 结论

对6个云杉种19个种源进行早期生长评价,6、7、9a生长期不同的云杉种间和种源间的生长性状差异多数达到极显著水平,表明云杉种间和种源间存在较大的遗传变异。欧洲云杉、白云杉、黑云杉、蓝云杉、红皮云杉均比本地树种青海云杉生长量大。利用树高为主要指标兼地径筛选出7个优良种源,欧洲云杉意大利种源AB03、AB01,白云杉加拿大种源GL01,黑云杉加拿大种源MA05、MA07、MA08、MA10。树高、地径现实增益均超过11%。欧洲云杉、白云杉种源树高与经纬度呈极显著的正相关、与海拔呈极显著的负相关,黑云杉种源树高也与经纬度呈极显著的正相关,但与海拔相关不显著。因此,在原产地纬度49°16'~58°38' N之间,经度在68°13'~118°24' W的区域范围内引进欧洲云杉、白云杉和黑云杉种源适宜在甘肃小陇山引进和栽培。

参考文献:

- [1] 王豁然,江泽平,傅紫菱,等. 林木引种驯化与森林可持续经营[M]. 北京:中国环境科学出版社,1998:1-292.
- [2] 张立功,张闯令. 欧洲云杉引种研究[J]. 河北林学院学报,1995,10(2):122-126.
- [3] 陈晓波,王继志,田俊德,等. 黑云杉、白云杉引种试验初报[J]. 吉林林业科技,1996(5):176-184.
- [4] 贾忠奎,马覆一,王小平. 北美白云杉黑云杉在中国的引种研究[J]. 江西农业大学学报:自然科学版,2002,24(3):340-345.
- [5] 李爱平,王晓江,王生军,等. 北美蓝云杉不同种源苗期引种试验[J]. 内蒙古林业科技,2008,34(2):22-24.
- [6] Dallimov W, Jackson A B, Harrison S G. Handbook of Coniferae and Ginkgoaceae (Fourth edition) [M]. London: Edward Arnold (Publishers) LTD,1966.

- [7] Bird M R, Neuffer M G. Induced mutation in maize[M]//Janick J. Plant Breeding Review (5). New York: Van Nostrand Reinhold, 1987:1139 - 1801.
- [8] 张华丽, 张金凤, 王军辉, 等. 针叶树补光育苗技术研究进展[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(1):107 - 111.
- [9] 李晓清, 罗建勋. 粗枝云杉纸浆材种源林分区划研究[J]. 四川农业大学学报:自然科学版, 2001, 19(1):34 - 36.
- [10] 罗建勋, 顾万春. 云杉表型与同工酶遗传多样性研究进展[J]. 林业科学研究, 2004, 17(2):255 - 262.
- [11] 罗建勋, 林宏辉, 孙 鹏, 等. 云杉种源间苹果酸脱氢酶同工酶变异的研究[J]. 西南农业学报, 2002, 15(2):106 - 109.
- [12] 王福森, 赵玉库, 郑洲泉, 等. 云杉引种及种源试验研究[J]. 防护林科技, 1998(1):14 - 17.
- [13] Neuffer M G, Coe E H. Paraffin oil technique for treating corn pollen with chemical mutagens [J]. Maydica, 1978, 23(1):21 - 28.
- [14] 赵秋玲, 杨海裕, 负慧玲, 等. 小陇山林区欧洲云杉引种试验初报[J]. 甘肃农业科技, 2006(5):17 - 19.
- [15] 董 健, 于世河, 陆爱君, 等. 云杉引种及优良种 - 种源选择的研究[J]. 辽宁林业科技, 2007(5):1 - 3.
- [16] 罗建勋, 孙 鹏, 王乐辉, 等. 云杉种源苗期性状变异及种源选择初步研究[J]. 西南林学院学报, 2006, 26(4):14 - 17.
- [17] 黄少伟, 谢维辉. 实用 SAS 编程与林业试验数据分析[M]. 广州:华南理工大学出版社, 2001.
- [18] 夏 燕, 张建伟, 田开春, 等. 云杉 5 个种 18 个种源的早期评价[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(12):1 - 6.
- [19] 罗建勋, 顾万春. 云杉天然群体表型多样性研究[J]. 林业科学研究, 2005, 41(2):66 - 73.
- [20] 王明麻. 林木遗传育种学[M]. 北京:中国林业出版社, 2001:130 - 154.
- [21] 李青粉, 王军辉, 张建华, 等. 云杉引种及种和种源早期评价[J]. 林业科学研究, 2012, 25(5):644 - 650.
- [22] 马常耕, 王思恭. 白榆种源选择研究[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1993:24 - 33.
- [23] 马常耕. 落叶松种和种源选择[M]. 北京:北京农业大学出版社, 1992:38 - 49.
- [24] Bergmann F. The allelic distribution at an acid phosphatase locus in Norway Spruce (*Picea abies*) along similar climatic gradients[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1978, 52(2):57 - 64.
- [25] 王继志, 高文韬, 陈晓波. 白云杉引种试验研究[J]. 北华大学学报:自然科学版, 2004, 5(2):176 - 184.
- [26] Stebbins G L. Variation and Evolution in Plants[M]. New York: Columbia Univ Press, 1950.

(责任编辑:张 研)