林业科学研究 2012,25(5):644～650
Forest Research

文章编号:1001-1498(2012)05-0644-07

云杉引种及种和种源早期评价

李青粉[1], 王军辉[1*], 张建华[2], 张宋智[2], 马建伟[2], 杨海裕[2]

(1. 国家林业局林木培育重点实验室,中国林业科学研究院林业研究所,北京 100091; 2. 甘肃小陇山林业科学研究所, 甘肃 天水 741022)

摘要:对引进的欧洲云杉、西加云杉、白云杉、黑云杉以及国内的川西云杉和青海云杉的 24 个不同种和种源生长及分枝性状进行早期(8 年生)测定与评价。结果表明:5 年生长期内生长及形态性状在不同的云杉种间和种源间的差异多数达到极显著或显著水平,且种和种源的方差分量分别占总方差分量的 32.47% 和 23.97%,证明不同种间和种源间存在较大的遗传变异。通过多重比较和相关分析发现,国外的云杉种较国内种在生长表现和适应性上均有明显的优势。经性状相关分析得知:各个生长及形态性状之间均存在极显著的正相关关系,尤其是苗高与各分枝性状之间的相关系数均值为 0.825 9。最后利用苗高为主要指标初步筛选出 6 个优良种源,入选的种源均表现出明显的优势,其中苗高、侧枝总数以及当年侧枝数的平均值分别为 117.07 cm、57.75、12.46, 均分别比对照种源的总平均值高 48.54%、56.46% 和 63.30%。

关键词:云杉;种和种源;生长;生长相关;生长和形态相关

中图分类号:S722.7 **文献标识码**:A

Introduction and Early Evaluation of Species and Provenances of Spruce

LI Qing-fen[1], *WANG Jun-hui*[1], *ZHANG Jian-hua*[2], *ZHANG Song-zhi*[2], *MA Jian-wei*[2], *YANG Hai-yu*[2]

(1. State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Xiaolongshan Forestry Research Institute of Gansu Province, Tianshui 741022, Gansu, China)

Abstract: Early evaluation experiments in twenty-four provenances of *Picea abies*, *P. sitchensis*, *P. glauca*, *P. mariana*, *P. likiangensis* (Franch) Pritz var. *balfouriana* (Rehd. et Wils.) Hillier ex Slavin and *P. crassifolia* were carried out. The results showed that there existed very significant or significant differences in most of growth and lateral branch traits among species and provenances of young forests, and the average variance component of species and provenances accounted for 32.47% and 23.97% of total variance component respectively, all of which indicated that there were high genetic variations among species and provenances. Moreover, there was a extremely and obviously positive relationship between growth and lateral branch characteristics by correlation analysis, especially the plant height and lateral branch traits, their average value of correlation coefficients was 0.825 9. As a result of this research, six excellent provenances of spruce were selected tentatively on the basis of plant height. All of these superior provenances had distinct predominance in growth, their average values of plant height, total number of lateral branches and the number of newest lateral branches were 117.07 cm, 57.75 and 12.46, respectively, which were 48.54%, 56.46% and 63.30% higher than the overall means of contrast spruce provenances.

Key words: spruce; species and provenances; growth; correlation of growth; correlation between growth and morphology

收稿日期: 2011-07-25

基金项目: 农业科技成果转化资金项目"欧洲云杉无性扩繁技术体系应用与示范(2010GB24320611)"

作者简介: 李青粉(1987—),女,河南人,硕士研究生,主要从事云杉体细胞胚胎发生技术研究工作. Email: li63757416@163.com

*通讯作者: 王军辉(1972—),男,河南郏县人,研究员,博士生导师,主要从事云杉、楸树遗传育种研究.

全世界云杉自然种有 42 种 l4 变种[1],人工林面积仅次于松属,大于落叶松属[2]。我国云杉属有 19 种 6 变种,主要分布在东北、华北、西北、西南等高山地带[3]。我国从 20 世纪 80 年代开始系统地进行云杉引种方面的研究。童成仁等[4]经过多年观察试验发现,云杉属的引种潜力很大,前景广阔。马常耕[5-7]、朱之悌等[8]指出,在苗期和幼林期进行优良种和种源的早期选择,可以在缩短育种周期的同时减小测定林的试验规模。张葳等[10]对国内 9 个云杉种 1 ～ 5 生苗和幼林生长性状进行试验分析,发现不同种间高生长、发芽率和保存率均存在极显著差异;罗建勋等[11]研究发现,7 年生云杉的苗高、地径和侧枝数在 l7 个种源间存在显著差异。欧洲云杉(*Picea abies* (Linn.) H. Karsten)[12-13]、西加云杉(*P. sitchensis* (Bong.) Carr.)[12,14]、白云杉(*P. glauca* (Motnch) Voss)和黑云杉(*P. mariana* (Mill) B. S. P.)[12,14-19]苗期和幼林期的相关研究已有报道,研究结果均表明其较国内云杉种具有明显的生长优势和较强的适应性;但由于引种点比较分散,且参选的种源比较少且不明确,不注意引种种源间的差异,尚未确定这些树种在我国的适生范围。为了选出适应甘肃地区发展的云杉种,本文对 4 个国外云杉种和 2 个国内云杉种 4 年生幼林的生长及形态性状进行连续 5 年的综合研究,以进一步验证欧洲云杉的生长优势的同时对其适生的种源进行早期评价,并初步筛选出在我国甘肃地区生长表现良好、适应性强、稳定性高的优良云杉种和种源,为云杉引种和纸浆材及绿化造林苗木良种的选育以及遗传改良提供参考和生产实践依据。

1　材料与方法

1.1　试验林概况

试验区属关山余脉林农交错区,34°38′17.4″N,106°15′02.7″E,海拔 1 980 m,灌木林地,土壤肥力较高,水分供应充足。春天季风大,土壤解冻迟至 5 月 1 日前后;最低气温 -23.5 ℃,最高气温 39 ℃,年均气温 5.6 ℃,降水量 600 ～ 700 mm,无霜期 148 d。其中试验地位于甘肃小陇山林区山门林场,金柳滩管护站 135 林班 7 小班中上部,坡度 26°,坡向西北坡,土壤厚度 40 cm 左右。

表 1　国外云杉种源的地理位置

树种	树种代号	种源代号	种源	地区	纬度(°)	经度(°)	海拔/m
欧洲云杉		1-1	Italy	LATEMAR	N	E	
		1-2	Italy	BRENTC	N	E	
		1-3	Germany	NS-IEZZIZ	N	W	
		1-4	Germany	HEILEUNGT	N	W	
西加云杉	SQ- IE1115-V8#A	2-1			N	W	
白云杉	7965049.0	3-1	DF 110-16-5-79	AB CAN	58. 38N	114.57W	335
	7061820.0	3-2	NORDEGG	AB CAN	52. 11N	116.00W	1 372
	8560053.0	3-3	ROCKY DISTRICT	AB CAN	52. 14N	115.18W	1 160
	8250086.0	3-4	BIG RIVER	SK CAN	53. 55N	106.50W	523
	8750062.0	3-5	CYPRESS HILLS	SK CAN	49. 32N	109.53W	1 231
	8451592.0	3-6	GREEN LAKE	SK CAN	54. 15N	107.45W	490
	7341270.0	3-7	BERNIC LAKE MB	MB CAN	50. 25N	95. 36W	274
	7341280.0	3-8	ANGL E INL ET	MB CAN	49. 19N	95. 20W	335
	8411488.0	3-9	RICHARD BROOD	MB CAN	47. 13N	68. 13W	227
		3-10	QUEENSBURY SEED ORCHARD	NB CAN			
黑云杉	7550005.0	4-1	HUDSON BAY	SK CAN	52. 51N	102.20W	351
	7669448.0	4-2	GROUARD MISSION	AB CAN	55. 57N	115.57W	670
	9060059.0	4-3	FORT MCMURRAY	AB CAN	56. 53N	111. 50W	400
	9060058	4-4	FOX CREEK	AB CAN	54. 43N	116.13W	1 050
	8950111.0	4-5	LA RONGE	SK CAN	55. 07N	105.25W	374
	8550173.0	4-6	COMPULSION BAY	SK CAN	57. 45N	103.16W	
	9910001.0	4-7	KINGSCL EAR SEED ORCHARD	NB CAN	46. 58N	66. 19W	40
		4-8		NB CAN			

1.2 材料来源

选用6个云杉种不同种源的4年生实生苗，分别为欧洲云杉的4个种源，西加云杉的1个种源，白云杉的10个种源，黑云杉的8个种源，川西云杉（*P. likiangensis*（Franch）Pritz var. *balfouriana*（Rehd. et Wils.）Hillier ex Slavin）的1个种源，并以青海云杉（*P. crassifolia* Kom.）为对照，各种源的地理位置见表1。

1.3 试验设计与统计方法

2006年4月将24个云杉种源和对照的4年生实生苗定植造林。采用完全随机区组设计，9株方块小区，3次重复，株行距2m×2m，整地规格50 cm×50 cm×40cm。

从2006年开始连续5年在每年的11月份开展云杉种和种源试验林的全林生长和形态性状的测定，测定的性状包括苗高、地径、当年新梢长、冠幅、侧枝总数、最长侧枝长、当年侧枝数和当年最长侧枝长。对侧枝总数、当年侧枝数及保存率的数据进行反正弦转换，然后采用SAS统计软件GLM模型和CORR模型进行方差和相关分析，采用VARCOMP模型进行方差分量的估算，采用LSD方法进行多重比较。方差分析模型中变异来源为种（$\sigma_e^2 + n\sigma_{p/s}^2 + np\sigma_s^2$）、种源（$\sigma_e^2 + n\sigma_{p/s}^2$）、区组（$\sigma_e^2 + nps\sigma_b^2$ 和误差（σ_e^2）。

各性状方差分析采用线性固定模型计算：

$$Y_{Ijkl} = \mu + B_i + S_j + P_{(k)j} + e_{ijkl}$$

式中：Y_{ijkl}为第i个区组第j个种第k个种源的第l个观测值；μ为总体平均值；B_i表示第i个区组；S_j表示第j个种；$P_{(k)j}$表示第j个种内的第k个种源；e_{ijkl}表示误差。

2010年统计云杉保存株树，计算保存率并进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 云杉不同种和种源幼林生长及分枝性状和保存率的差异

由表2可知：云杉保存率在种间和种源间的差异均极显著，且保存率种间方差分量占总方差分量

表2 2006年和2010年云杉不同种和种源幼林的生长及分枝性状方差分析

2006年变异来源	苗高				地径			
	df	*MS*	*F*	方差分量/%	*df*	*MS*	*F*	方差分量/%
种	5	201.25	21.99**	57.71	5	0.020 0	1.50	0.00
种源(种)	24	25.58	2.80**	15.93	24	0.030 0	2.45**	37.13
区组	2	35.30	3.86*	3.01	2	0.005 9	0.49	0.00
误差	47	9.15		23.36	47	0.012 1		62.87
2010年变异来源	**苗高**				**地径**			
	df	*MS*	*F*	方差分量/%	*df*	*MS*	*F*	方差分量/%
种	5	2 821.98	7.69**	30.36	5	0.46	3.40*	12.85
种源(种)	23	904.88	2.47**	23.79	23	0.31	2.32**	29.22
区组	2	847.35	2.31	2.28	2	0.08	0.59	0.00
误差	46	367.07		43.57	46	0.13		57.92
2010年变异来源	**冠幅**				**最长侧枝长**			
	df	*MS*	*F*	方差分量/%	*df*	*MS*	*F*	方差分量/%
种	5	437.73	5.58**	20.83	5	1 227.59	9.67**	33.53
种源(种)	23	254.36	3.24**	36.66	23	295.00	2.32**	22.58
区组	2	248.34	3.17	3.12	2	52.38	0.41	0.00
误差	46	78.43		39.39	46	126.97		43.89
2010年变异来源	**侧枝总数**				**当年侧枝数**			
	df	*MS*	*F*	方差分量/%	*df*	*MS*	*F*	方差分量/%
种	5	143.66	3.37*	28.94	5	60.29	2.62*	6.88
种源(种)	23	74.75	1.75	10.11	23	41.21	1.79*	16.32
区组	2	63.70	1.49	0.63	2	31.82	1.38	3.63
误差	46	42.64		60.32	45	23.00		73.17
2010年变异来源	**当年最长侧枝长**				**保存率**			
	df	*MS*	*F*	方差分量/%	*df*	*MS*	*F*	方差分量/%
种	5	63.86	4.92**	20.54	5	2.09	18.02**	44.38
种源(种)	23	29.78	2.29**	25.40	24	0.31	2.66**	19.24
区组	2	17.40	1.34	0.58	2	0.27	2.35	1.56
误差	45	12.98		53.48	58	0.12		34.82

注：2006年为4年生苗，2010年为8年生苗；*表示在0.05水平差异显著；**表示在0.01水平差异极显著。

的 44.38%,种源方差分量占 19.24%,这说明云杉引种时保存率是不容忽视的一个重要选择指标。苗高及当年新梢长在云杉幼龄林种间和种源间差异极显著,而地径差异显著;8 年生云杉冠幅和最长侧枝长在种间和种源间的差异均达到极显著水平,当年侧枝数在种间和种源间均存在显著性差异,这说明不同树龄的云杉种间和种源间的生长及分枝性状之间具有显著的遗传差异。此外,8 年生云杉的侧枝总数在种间差异显著,种源间的差异不显著。

由方差分量百分比可知:苗高、最长侧枝长、侧枝总数和保存率在种间的方差分量要比在种源间的大,而地径、冠幅、当年侧枝数和当年最长侧枝长的方差分量则在种源间的差异更大一些。由此可见,不同生长和分枝性状在种和种源间的差异是不同的,进行引种时应根据不同的种和种源选择不同指标,尽管不同性状的变异来源不同,但均表明种间和种源间的生长及分枝性状遗传变异十分丰富,且是遗传变异的主要来源,因此选择潜力很大。

2.2　云杉不同种生长差异的多重比较

从表 3 可以看出:6 个云杉种的苗高、地径大都存在极显著差异。4 年生云杉苗高的排序为:欧洲云杉 > 西加云杉 > 白云杉 > 黑云杉 > 川西云杉 > 青海云杉,其中欧洲云杉的苗高极显著优于其它 5 个云杉种,青海云杉苗高极显著地低于其它 5 个云杉种,其它 4 个种间的差异不显著;8 年生云杉苗高排序为欧洲云杉 > 西加云杉 > 白云杉 > 青海云杉 > 黑云杉 > 川西云杉,其中欧洲云杉极显著地优于其它 5 个种,川西云杉极显著地低于其它 5 个种,其它 4 个种间的差异不显著。综上所述,欧洲云杉生长速度最快,其 5 年内的苗高、地径的生长量均极显著地高于另外 5 个种,国产的川西云杉、青海云杉及引进的黑云杉生长较慢。

表 3　2006 年和 2010 年不同云杉种的生长指标(苗高、地径)多重比较

云杉种	2006 年		2010 年	
	苗高/cm	地径/cm	苗高/cm	地径/cm
欧洲云杉	29.40 A	0.59 A	125.44 A	4.59 A
西加云杉	21.92 B	0.43 B	103.75 B	1.87 B
白云杉	21.41 B	0.49 AB	97.86 B	1.84 B
黑云杉	20.61 B	0.49 AB	85.93 B	1.50 B
川西云杉	18.71 B	0.45 B	64.55 C	1.45 B
青海云杉	13.31 C	0.43 B	93.08 B	1.79 B

注:数据后不同字母表示 0.01 水平差异显著性,相同。

2.3　云杉不同种在各年份的苗高变异

从图 1 可以看出:6 个云杉种 5 年内一直以较快的增长速度稳定地生长,但由于不同种适应性不同,6 种云杉的生长速度存在一定的差异。从图 2 中可以看出:欧洲云杉、黑云杉以及川西云杉的苗高增长速度是前 3 年逐步加快,至 2010 年生长速度稍减慢。欧洲云杉 2010 年的平均增长速度虽然有所减慢,但是部分种源还是表现出优良的生长状况;白云杉和青海云杉则是稳定增加,增长速度稳步加快;西加云杉是前 2 年生长极其缓慢,但后 2 年增长速度显著加快。总体来说,5 年生长期内不同云杉种生长均比较稳定,2007 年、2008 年、2009 年和 2010 年苗高的净增长量分别占 2010 年苗高的约 7%、15%、27% 和 27%。特别是欧洲云杉、西加云杉和白云杉,苗高生长量一直优于其它 3 种云杉,证明国外云杉在我国具有良好的适应性。

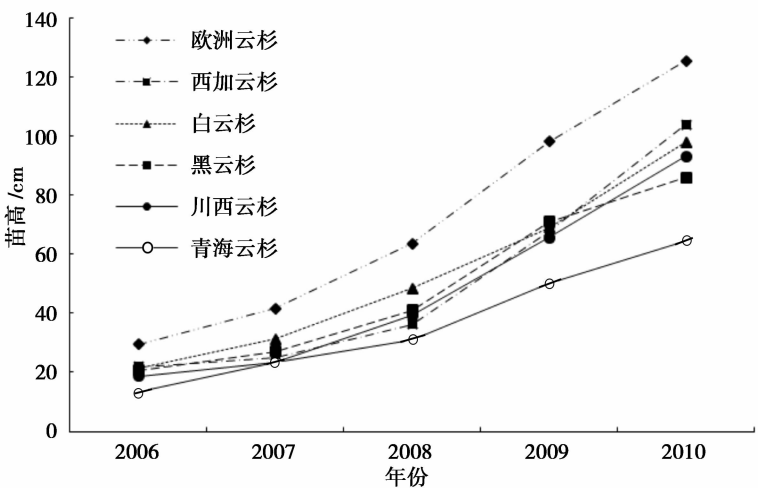

图 1　不同年份不同种源苗高的变化

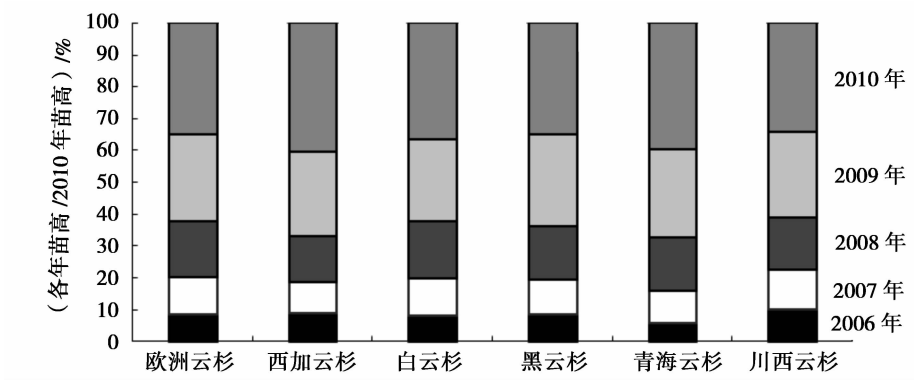

图2 不同云杉种不同年份苗高增长百分比

2.4 云杉苗高的年相关分析

表4所示:云杉不同林龄的苗高间均呈极显著的正相关,特别是相邻年份苗高间的相关系数比较大,说明云杉生长具有良好的稳定性。

表4 4～8年生云杉不同种源苗高的年相关分析

	2006年	2007年	2008年	2009年
2006年	0.652 7**	0.527 4**	0.400 6**	0.391 7**
2007年		0.921 9**	0.575 3**	0.546 5**
2008年			0.631 7**	0.637 7**
2009年				0.460 1**

注:*表示在0.05水平差异显著;**表示在0.01水平差异极显著

2.5 云杉幼林种源生长和分枝性状间的相关性分析

对2010年云杉的生长性状及分枝性状间进行相关性分析发现:性状两两间的相关性均达到极显著水平,表明可以通过这些性状的调查对引进的云杉种和种源进行早期的评价并对其生长状况做出预测。苗高与其它生长及分枝性状之间的相关系数均值为0.825 9,普遍高于其它性状两两间的相关系数。由此可见,对云杉进行早期评价时,应以苗高为主要评价指标。冠幅和侧枝总数2个分枝性状与苗高的相关性均达到极显著水平。建立上述2个分枝性状和苗高的散点图,并对其进行一元回归分析,苗高为因变量(y),分枝性状为自变量(x),结果见图3、4。

由图3、4可知:随着冠幅和当年侧枝数的增加,苗高值也随之增大,说明这2个性状与苗高密切相关,且其决定系数分别为0.866 7和0.792 4,表明这2个线性回归方程具有良好的可预测性,可为云杉早期评价指标的筛选提供理论依据,即从测定方便和节约费用角度考虑,可通过测定冠幅和侧枝总数这两种形态指标来预测苗高。

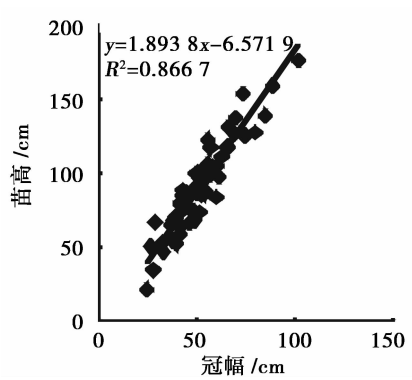

图3 苗高与冠幅的相关性散点图

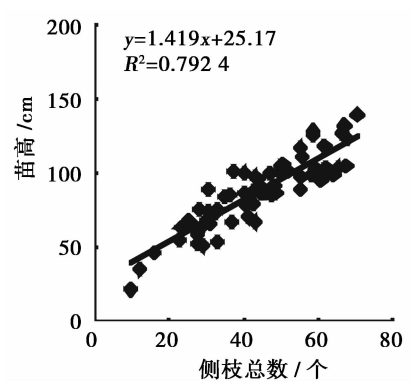

图4 苗高与侧枝总数的相关性散点图

2.6 云杉速生优良种源初选

根据上述相关性分析结果,以树高为主要选择指标,兼顾地径等其它生长性状,并适当考虑分枝指标,从所有参试种源中初步筛选出6个在幼林期表现较优异的种源(表5)。入选的种源均表现出明显的优势,其苗高、地径、冠幅、侧枝总数、最长侧枝长、当年侧枝数、当年最长侧枝长的平均值分别为117.07 cm、2.07 cm、63.97 cm、57.75个、39.95 cm、12.46个、19.87 cm,均分别比对照的总平均值高48.54%、27.78%、32.20%、56.46%、23.26%、63.30%和36.10%。这6个种源分别为欧洲云杉和白云杉的3个种源。

表 5　苗高生长排名在前 6 位的种源生长和分枝性状测定值

种源代号	苗高/cm	地径/cm	冠幅/cm	侧枝总数/个	最长侧枝长/cm	当年侧枝数/个	当年最长侧枝长/cm
1-1	157.04	2.36	93.11	75.64	54.14	23.82	26.64
1-3	132.44	2.52	76.97	60.39	48.28	9.88	21.40
3-1	131.82	2.67	63.29	48.20	41.00	8.00	24.00
3-9	115.33	2.01	64.30	67.74	38.75	11.65	19.48
1-2	112.56	2.04	65.94	54.19	44.81	9.25	19.04
3-7	109.63	2.04	53.50	55.50	35.88	24.50	16.63
平均值	117.07	2.07	63.97	57.75	39.95	12.46	19.87
对照均值	78.81	1.62	48.39	36.91	32.41	7.63	14.60
比对照增加/%	48.54	27.78	32.20	56.46	23.26	63.30	36.10

3　结论与讨论

方差分析和多重比较结果表明:不同林龄的生长及分枝性状和保存率在云杉种间和种源间具有极显著的遗传差异,且苗高和冠幅、当年最长侧枝长在种间和种源间的方差分量分别平均约占总方差分量的 20.00% 以上,表明种间和种源间的生长及分枝性状遗传变异十分丰富,且是遗传变异的主要来源,因此选择潜力很大,给优良种源的引进提供了较大的空间。由云杉幼林苗高的年际间相关分析可知,不同云杉种的实生苗在 5 年生长期内具有较良好的适应性和稳定性。

对云杉的生长及分枝性状间进行相关性分析发现,性状两两间的相关性均达到极显著水平,其中苗高与其它生长及分枝性状之间的相关系数普遍高于其它性状两两间的相关系数。由此可见,对云杉进行早期选择时,应以苗高为主要选择指标。建立的当年最长侧枝长、最长侧枝长和当年侧枝数以及侧枝总数 4 个分枝性状与苗高的线性回归方程具有较良好的可预测性,从而可以在保证高效选择的基础上,通过测定分枝性状对苗高进行预测,继而减少工作量;但由于数据测定于云杉幼林期,随着林龄的增长,其预测准确性还有待进一步验证。

以苗高为主要选择指标,兼顾地径等其它生长性状,并适当考虑当年侧枝数等分枝性状,对云杉所有参试种和种源进行综合分析和评价,从中初步筛选出在幼林期表现优异的 6 个种源,这 6 个种源均表现出明显的优势,其生长及分枝性状和保存率的平均值均显著高于对照种源的总平均值。这 6 个种源分别为欧洲云杉和白云杉的 3 个种源。6 个优良种源与其苗期的表现有所不同,这可能与试验地点的不同、生长环境的改变、不同种和种源对生长环境的适应性不同有密切的关系。

值得注意的是,国外云杉种特别是欧洲云杉、西加云杉和白云杉较国内种生长表现良好且适应性强、稳定性高,这可能有 2 个原因:一是早有研究认为北美植物区系和东亚植物区系一起,代表着一个整体,说明东亚和北美植物区系亲缘上的密切关系[20]。欧洲云杉是生态和经济上重要的针叶树种,有广泛的地理分布和对大范围环境条件的良好适应性[21]。白云杉和黑云杉广泛分布于加拿大和北美,我国北方地区与加拿大地区的纬度接近,同属于温带气候,且自然条件、植被类型、气候特点相近,我国已经引种的广布于加拿大的白云杉、黑云杉有望在北方地区也能良好生长。西加云杉是英国高地林业的最主要的工业用材树种,约占造林总面积的 50%。显然,2 个植物区系间气候条件相似可能是国外云杉能在我国较好且稳定生长的重要原因之一。二是,据初步调查研究发现国外云杉,特别是欧洲云杉在苗期补光后生长速度增快且增幅大大超过国内云杉,表明可能是由于光合特性比较强导致国外云杉种在生长和适应性上较国内云杉种表现优异,因此进行云杉引种栽培时应予以充分的重视。

在进行引种工作时,既要考虑种又要考虑种源,在适应的优良种源中选择一些优良单株进行扦插繁殖以建立无性系采穗圃;但由于所选种源仅造林 5 年,尚需进一步观测选择,而且还有待于进行多年、多立地和多区域的重复试验,以便全面正确地评定初选优良种源的优劣。

参考文献:

[1] Harrison. Handbook of Coniferae and Ginkgoaceae (Fourth edition) [M]. London: Edward Amoid (Publishers) LTD,1966

[2] 马常耕. 不断开拓,高效快速推进我国无性系林业[R]. 1997 年全国林木遗传育种学术会议论文. 北京:中国林业出版社,1997:11-19

[3] 郑万钧. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1978:127-166

[4] 童成仁,刘平生. 呼和浩特树木园云杉属(*Picea*)引种及评估[J]. 内蒙古林业科技,2009,35(2):37-43

[5] 马常耕. 世界林木遗传改良研究水平与趋势[J]. 世界林业研究,

1991,4 (1):85 -87
[6] 马常耕. 世界加速林木育种轮回研究的现状[J]. 世界林业研究, l996,9 (6):15 -23
[7] 马常耕. 世界松类无性系林业发展策略和现状研究[J]. 世界林业研究,1994,7(2):12 -18
[8] 朱之悌. 树木的无性繁殖与无性系育种[J]. 林业科学,1986,22(3):280 - 289
[9] 洪菊生,王豁然. 世界林木遗传、育种和改良的研究进展和动向[J]. 世界林业研究,1991, 4 (1):7 -11
[10] 张 葳,王思恭,刘永红,等. 云杉苗期和幼林期种间性状变异初探[J]. 陕西林业科技, 1997(2): 11 -12,16
[11] 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):15 -18
[12] 祁生秀,蔡晋翔, 徐守成,等. 国外云杉引种试验[J]. 青海农林科技,2008(1):28 -30
[13] 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
[14] 刘娇妹,王军辉,张守攻,等. 云杉种间和种源间苗期性状的遗传变异研究[J]. 河北农业大学学报,2003,26(增刊):112 -115
[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 -19
[16] 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):15 -17
[17] 贾忠奎,马履一,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
[18] 狄杜娟,徐永波,梁延海,等. 黑云杉、白云杉苗期生长性状研究[J]. 防护林科技,2005(4):16 -18
[19] 陈晓波,王继志,田德俊,等. 黑云杉、白云杉引种试验初报[J]. 吉林林业科技,1996(5):15 -17
[20] 谢孝福. 植物引种学[M]北京:科学出版社,1994
[21] Igor A Y, Fossdal C G, Johnsen Ø. MicroRNAs, the epigenetic memory and climatic adaptation in Norway spruce[J]. New Phytologist, 2010(187): 1154 -1169