

Introduction, Domestication and Early Evaluation on Heredity Effects of *Picea crassifolia**

Shibo Lan

Division of Forests Botany, Forestry Research Institute of Heilongjiang Province, Harbin
Email: Lanshibo1966@163.com

Received: May 7th, 2013; revised: May 9th, 2013; accepted: May 30th, 2013

Copyright © 2013 Shibo Lan. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: *Picea crassifolia* is the endemic species from the northeast edge of the Tibetan Plateau, which has strong adaptability and widely application value. In order to enrich the resources of wood species in the cold area, following resemble principle between the environmental conditions of seed zone and introduction area. The areas introducing fine varieties in the cold area confirm to regard the suitable Tibetan Plateau as the area of origin according to its own natural alternation in climate between wet and dry, soil, vegetation distribution, landform and the general configuration of the earth's surface, geographical position and the other main environmental situations. *Picea crassifolia* was employed to analyze and evaluate the growth rhythm, the ecological adaptability, the resistance early growth traits, the heritability, genetic gain and heterosis on the heredity effects. The results showed that the growth trend of *Picea crassifolia* is in accordance with *Picea koraiensis* Nakai during the period of seedling cultivation, and it can adapt to the new ecological environment. The coefficients of variance of seedling height (22.71%) were small, but its seedling diameter (53.22%) were larger among families. Meanwhile, its growth character had strong heritability, high genetic gain, and remarkable heredity effects. The heritability of seedling height and diameter were 0.644 and 0.906, and the genetic gains were 11.69% and 38.58%, respectively.

Keywords: *Picea crassifolia*; Introduction and Domestication; Early Evaluation; Heredity Effects; Genetic Gain; Heritability

青海云杉引种驯化及遗传效应早期评价*

兰士波

黑龙江省林业科学研究所森林植物学科, 哈尔滨
Email: Lanshibo1966@163.com

收稿日期: 2013年5月7日; 修回日期: 2013年5月9日; 录用日期: 2013年5月30日

摘要: 青海云杉(*Picea crassifolia* Kom.)是中国青藏高原东北边缘的特有种, 生态适应性强, 应用价值广泛。为了丰富我国高寒地区用材林树种资源的遗传多样性, 遵循供种区与引种区环境条件相似之原则, 根据引种区土壤、植被分布、地形地貌及地理位置等主要环境条件, 兼顾全年明显干湿季节交替的自然气候, 确定与之相适应的青藏高原为供种区。以青海云杉为引种栽培对象, 在引种驯化的基础上, 系统开展家系子代的生长节律、生态适应性和抗逆性分析, 综合评价了早期生长表现、遗传力和遗传增益等遗传参量的遗传效应。结果表明: 青海云杉苗期的生长趋势与乡土树种红皮云杉基本一致, 能较快地适应新的生态环境, 但是, 生长性状存在一定的变异, 其中: 苗高性状变异较小, 地径性状变异较大, 平均变异系数分别为 22.71%和 53.22%。青海云杉的遗传力较强, 遗传增益较高, 遗传效应显著, 苗高和地径 2 个性状的遗传力分别为 0.644 和 0.906, 遗传增益分别为 11.69%及 38.58%。

*基金项目: 国家林木种质资源平台运行服务项目(2011DKA21003-02); 黑龙江省重大科技支撑项目(GB07B301)、(GB05B101)资助。

关键词: 青海云杉; 引种驯化; 早期评价; 遗传效应; 遗传增益; 遗传力

1. 引言

云杉属植物为白垩纪遗留下来的北方针叶林的特征种, 在北方针叶林区分布最广、最具代表性。中国云杉属植物的种类繁多, 现存 20 种 5 变种 2 引种, 且资源十分丰富, 集中在东北、华北、西北和西南等高山地带, 在世界云杉林中占居极其重要的地位^[1,2]。云杉林是以云杉属树种为建群种所组成的分布于北半球的森林类型之一, 属种群稳定、竞争力强的顶级群落, 呈典型暗针叶林的外貌, 具有林冠稠密、林中潮湿阴暗之特征^[2]。青海云杉(*Picea crassifolia* Kom.) 为青藏高原东北边缘的特有种, 适应性强, 分布广域。在植物系统分类学上, 隶属松科(*Pinaceae*)、松属(*Picea* Dietr.)、云杉组(*Sect. Picea*), 是分布区内重要的用材林树种、森林更新树种、荒山造林树种, 以及护牧林、水源涵养林和环保观赏树种, 除形成纯林外, 在半阴坡地带常混生祁连山圆柏(*Sabina przewalskii*), 在稀疏林分内常出现山杨(*Populus davidiana*), 而在海拔较高的地段则与红桦(*Betula albo-sinensis*)伴生形成混交林^[3,4]。青海云杉的自然分布区存在一定的局限性, 虽然, 祁连山为适中分布区, 但受地理变迁、传播条件及各种障碍因素的影响, 致使其自然分布区并非最佳适生区, 其他区域亦可能更适宜其生长发育^[5,6]。因此, 在自然条件相对较差, 树种资源相对匮乏的东北高寒地区, 有针对性地引进其他生态区的用材林树种, 对丰富我国林木种质资源的遗传多样性, 维持生态平衡, 改善人工林的组成成分, 整合区域性用材林资源结构, 增强林地水源涵养机能, 提高林地生产潜力, 意义重大而深远。

2. 试验材料与方法

2.1. 引进用材林树种介绍

1) 生物学特性: 青海云杉为常绿针叶乔木, 小枝上具木钉状叶枕; 叶四棱状条形, 近辐射伸展, 先端钝, 或具钝尖头, 横切面四菱形, 四面具气孔线; 1a 生枝多少具毛或近无毛, 2a 生枝粉红色或淡褐黄色, 被白粉或无, 叶枕顶端白粉尤为明显; 花单性, 雌雄同株, 雄球花单生于枝先端叶腋处, 雌球花单生枝顶

端; 球果圆柱形或长圆柱形, 下垂, 幼果紫红色, 成熟前种鳞背部露出部分呈绿色, 上部边缘紫红色, 熟时褐色; 花期 4~5 月, 果熟期 9~10 月; 种子斜倒卵圆形, 具淡褐黄色的倒卵形种翅, 球果成熟后果鳞张开, 带翅种子自行飞走^[1,7]。

2) 生态学特性: 青海云杉适应性较强, 耐寒(可耐-30℃低温), 耐轻度盐碱; 喜寒冷潮湿环境和中性土壤, 忌水涝; 在山地褐土或山地棕褐土等土壤类型上, 生长势较强, 表现良好; 耐阴性中等, 幼年稍耐荫; 抗旱性强, 耐瘠薄; 浅根性, 抗风力较差。

3) 生长习性: 青海云杉的枝条无再生能力, 主枝断后不能再生; 幼树 10a 前喜上方庇荫, 10a~20a 喜上方透光且侧方庇荫, 20a 后无需庇荫, 30a 开始结实, 结实周期 4a。幼年生长缓慢, 15a 后树高生长逐渐加快, 20a~60a 树高生长迅速; 40a~80a 径生长旺盛; 30a 后分化严重, 产生自然稀疏。

4) 利用价值: 青海云杉的材质优良, 是我国西北地区重要的用材林树种; 生态防护效能佳, 为水源涵养林和护牧林的优良树种; 寿命长, 树干通直高大, 树姿雄伟美观, 四季常青, 冠形优美, 为城乡美化和绿化的观赏树种。木材性质与云杉(*Picea asperata*)相似, 木材黄白色、纹理直、结构细致、弹性好, 可供建筑、桥梁、船舶、车辆、装修、家俱、航空器材及木纤维工业原料等用。球果和果仁可食用; 树皮提取栲胶; 树干割取树脂; 树根、木材、枝桠和针叶提取芳香油^[2,5]。

2.2. 引进用材林树种的地理分布

青海云杉原产青海祁连山区, 都兰以东, 西倾山以北; 甘肃河西走廊祁连山北坡、兰州兴隆山和白龙河流域; 宁夏回族自治区的贺兰山和六盘山; 内蒙古自治区的大青山, 涵盖 4 大自然分布区, 即: 青海分布区、甘肃分布区、宁夏分布区和内蒙古分布区。水平分布: 98°40'E~112°30'E, 32°40'N~41°30'N; 垂直分布: 主要分布在海拔 1750 m~3550 m 之间, 多集中于 2200 m~3200 m 范围内, 具越西越高, 垂直带幅越西越窄之特点。目前, 受强度破坏的影响, 自然分布范围逐渐缩小至祁连山和贺兰山两大山系, 分布中心位

于甘肃与青海两省交界的祁连山区,东起寿鹿山、连城山,经乌鞘岭至河西走廊南山的石油河,呈带状或斑块状分布^[5,7]。虽然,青海云杉的自然分布存在一定的局限性,但对生态环境的适应能力较强,能够较快地适应新的生态条件,引种区域较为广泛。

1) 青海自然分布区:大致分布于 98°30'E~102°05'E、34°30'N~38°35'N 范围内,集中成片分布在祁连山中段和东段的祁连、门源、大通、互助、湟中、乐都及民和等县。原始林主要分布在祁连县境内的黑河流域,多数集中于海拔 2500 m~3200 m 之地段,一般组成纯林,在树种更替竞争阶段常与阔叶树种混交成林。

2) 甘肃自然分布区:原产肃南、张掖、民乐、山丹、永昌、古浪、天祝、永登、夏河、卓民、迭部和舟曲等地域,以及祁连山北坡、景泰寿鹿山、靖远岷吴山、榆中马街山等海拔较高的地段,主要分布在 98°E~104°E、33°50'N~40°30'N 的范围内。

3) 宁夏自然分布区:原产贺兰山和罗山,生于海拔 2400 m~3000 m 的阴坡和半阴坡地带,主要分布于 105°50'E~106°30'E、37°25'N~39°N 的区域。

4) 内蒙古自然分布区:主要分布于 105°50'E~112°30'E、38°46'N~41°30'N 之间,集中生长在海拔 1750 m~3100 m 的山地阴坡和半阴坡及潮湿谷地。

2.3. 原产地和引种区自然概况

2.3.1. 原产地自然概况

遗传育种材料源自中国青藏高原东北部的青海云杉自然分布区,地理位置:89°35'E~103°04'E、31°40'N~39°19'N。该区域的地貌复杂多样,属暖温带半湿润高原大陆性气候,气温较低、昼夜温差大、降雨少而集中、日照时数长、太阳辐射强,年降雨量 400 mm~650 mm,年湿润系数 0.4~1.0,年最暖月份气温 10°C~18°C,生长期 110 d。土壤以灰褐色森林土和棕色森林土为主要类型,林冠下无永冻层,土层深厚,岩石有砂岩、花岗岩、板岩、千枚岩、砾岩和页岩。

2.3.2. 引种区自然概况

引种地选设在黑龙江省林口县林业局青山林场,地处中国东北的东部山区,属长白山系张广才岭东坡的丘陵区,地理位置:130°20'E~130°40'E、45°17'N~45°30'N。该区域的地势东北高、西南低,平均坡度

10°~15°,最大坡度 40°,海拔 300 m~500 m;气候属寒温带大陆季风气候,冬季寒冷干燥而漫长,夏季温暖湿润而短促,水热同季,光照充足,无霜期 120 d~130 d,平均降水量 400 mm~600 mm,且多集中在 6~8 月份,此期降水量约占全年降水量的 50%,≥10°C 年有效积温 2100°C~2600°C;地带性土壤类型为暗棕壤,土层深厚、土壤湿润肥沃,通透性强,适宜林木生长发育。该区域的生长条件与引进树种的原产地基本相似,满足引种栽培所需的基本条件。

2.4. 试验设计与方法

2.4.1. 苗木培育

苗木培育期间整个生长季节内的温热,且无明显的高温气候利于苗木的生长发育,而冬季和春季干燥的气候则不利于幼苗生长,鉴于此,苗木培育地点选设在黑龙江省双丰农林科技园区,地理坐标:127°13'E~128°27'E、46°23'N~46°49'N。该区域地势平坦,排水良好,水源方便,光照充足,全年具明显干湿季节交替的气候,降低了引种驯化的难度。苗圃地的土壤疏松肥沃,土层深厚,每年用 400 kg/hm² 的硫酸亚铁溶液消毒。播种前,用 30°C~40°C 的温水浸泡种子 48 h,再置 0.1% 的高锰酸钾溶液中浸泡 2 h,清水冲洗后,按种子和湿沙 1:3 的比例均匀混拌,堆放于背风向阳处,待 1/3 的种子裂嘴露白时播种,播种量 415 kg/hm²。采用针叶树种常规的育苗方法培育苗木;在育苗过程中,全程采取露天全光育苗管理,并定期观测幼苗的生长动态,以及适应性和抗逆性等特性。

2.4.2. 示范林配置

遵循原产地与引种区环境条件相似之原则,引进 3 个自然群体 45 个家系的种子材料,2003 年繁育苗木,2007 年建设示范林。示范林选建在北温带林木种质基因保存库(林口青山)内,按完全随机区组设计配置 3 个群体 45 个家系,分别标记为 PC_{I-01}、PC_{I-02}、……、PC_{I-15}; PC_{II-01}、PC_{II-02}、……、PC_{II-15}; PC_{III-01}、PC_{III-02}、……、PC_{III-15}; 小区内的个体采用双行 15 株随机排列方式,以红皮云杉(*Picea koraiensis* Nakai)家系为对照(CK),标记为 PS₀₁、PS₀₂、……、PS₁₅,株行距 1.5 m × 2.0 m,整地规格 50 cm × 50 cm × 40 cm,设置 5 次重复,重复间用樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)作隔离带。

2.4.3. 测试指标及测定方法

1) 测试指标: 主要测试指标包括苗高、地径、当年生长量、成活率、保存率和冻害指数等数量性状指标。

2) 测定方法: 采用游标卡尺测定法测量幼苗地径(精确度: 0.5 mm); 采用卷尺测量法测定幼苗高及当年生长量(精确度: 0.5 cm)。

2.4.4. 数据统计分析

运用统计分析 SPSS 13.0 软件进行数据处理^[8], 方差分析采用数学模式: $Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + BF_{ij} + \varepsilon_{ijk}$ 进行统计分析, 式中, Y_{ijk} 为第 i 个区组第 j 个家系的第 k 个观测值, μ 为总体平均值, B_i 为区组, F_j 为家系, BF_{ij} 为家系与区组间的交互作用, ε_{ijk} 为随机误差。根据方差分析结果估算生长性状的遗传参数和变异系数^[9-11], 其中: 1) 家系遗传力(h^2) = $(MS_f - MS_e) / MS_f$; 2) 遗传增益(ΔG) = SH^2/X ; 3) 变异系数(CV) = $100 \times S/X$, 式中, ΔG —遗传增益, h^2 —家系遗传力, CV —变异系数, S —选择差, X —群体性状均值; MS —性状表现型方差, MS_e —环境方差^[10,11]。

3. 试验结果与分析

3.1. 苗期适应性分析及生长表现测定

3.1.1. 苗期适应性分析

在苗木培育过程中, 自播种至生长停止大致经历 6 个阶段, 即: 出苗期、初生期、均稳生长期、速生期、硬化期和生长停止期, 青海云杉与红皮云杉不同阶段的生长量存在一定差异, 但生长趋势却基本趋于一致。5 月 1 日播种育苗, 5 月 15 日[红皮云杉]和 5 月 20 日[青海云杉]开始陆续出苗, 5 月下旬至 6 月中旬为幼苗初生期, 6 月中旬至 6 月下旬为幼苗均稳生长期, 7 月上旬至 8 月下旬为速生期, 9 月初至 9 月中旬为硬化期; 9 月末, 幼苗先后封顶, 进入生长停止期。测定结果显示, 红皮云杉完全适应当地生态条件, 秋季能及时封顶并安全越冬, 无冻害发生; 利用冻害指数进行综合评价, 青海云杉家系子代随苗龄的变化存在不同程度的轻微冻害[1.45%], 家系间抗寒适应性差异较大, 但是, 经过一段时间的缓苗后, 冻害现象逐渐消失, 翌年仍可正常生长, 越冬保存率可达 95.6%, 符合引种保存率的选择标准。这充分说明,

青海云杉幼苗的抗逆性和耐寒能力较强, 对新的生态环境的适应性亦较强, 具备引种驯化的充要条件。

3.1.2. 苗期生长表现

为探讨青海云杉苗期的生长表现, 随机选留青海云杉和红皮云杉 2 个树种的幼苗各 15 株, 生长季结束后, 连续 9a 测定幼苗高生长, 结果见图 1。从图 1 可以看出, 前 4a, 青海云杉幼苗高生长缓慢, 与红皮云杉相比存在较大的差异, 平均苗高(8.9 cm)较红皮云杉(10.2 cm)降低了 14.6%。自第 5a 起, 幼苗高的增长速度明显加快, 2 个树种间幼苗生长量的差异逐渐缩小, 青海云杉幼苗的平均高(10.8 cm)较红皮云杉的平均高(12.3 cm)仅降低了 13.9%, 如此可以说明, 青海云杉家系子代的生长潜力较大, 在适宜的生态条件下引种栽培存在一定的可能性。

3.1.3. 生长性状变异

引种用材林树种时, 苗期生长性状变异是不容忽视的一个重要选择指标。为评价青海云杉苗期生长性状的变异规律, 随机选择 3 个群体 15 个家系的子代各 20 株, 分别定位测定苗高和地径 2 个性状, 测定与方差分析结果分别见表 1、表 2。从表 1 和表 2 可以看出, 苗高和地径 2 个性状均呈正态分布, 红皮云杉家系间苗高性状在 5% 水平上差异极显著, 地径性状差异不显著; 而青海云杉 2 个生长性状均达到差异极显著水平, 显著性概率远远低于 0.01。青海云杉家系子代的苗高性状变异较小, 地径性状变异较大, 平均变异系数分别为 22.71% 和 53.22%; 乡土用材树种红皮云杉 2 个生长性状的变异较小, 平均变异系数分别为 19.90% 和 24.31%。这可以说明, 红皮云杉家系完全适应当地的生态条件, 苗期生长势较强, 生长表现稳定, 而青海云杉家系子代苗期的生长势较弱, 生

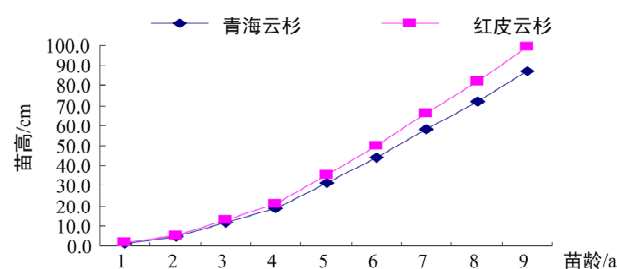


Figure 1. The comparison of the height growth from *Picea crassifolia* and *Picea koraiensis*
图 1. 红皮云杉和青海云杉苗高生长对比

Table 1. The results of variance analysis between the growth characteristics in seedling from *Picea crassifolia* and *Picea koraiensis*
表 1. 青海云杉和红皮云杉家系子代苗期生长性状的方差分析结果

树种	性状	变异来源	平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F 值	概率(P 值)
青海云杉	苗高/cm	家系间	1127.347	14	80.525	2.807**	0.001
	地径/mm	家系间	6.269	14	0.448	10.669**	0.000
红皮云杉	苗高/cm	家系间	704.850	9	78.317	3.335**	0.001
	地径/mm	家系间	0.376	9	0.042	1.475	0.169

注: **表示 5%水平极显著。

Table 2. The statistical description on the growth characteristics in seedling from *Picea crassifolia* and *Picea koraiensis*
表 2. 青海云杉和红皮云杉家系子代苗期生长性状的统计描述

树种	家系	苗高性状				地径性状			
		平均值/cm	标准差	标准误	变异系数/%	平均值/cm	标准差	标准误	变异系数/%
青海云杉	PC01	25.35	5.743	1.284	22.56	0.65	0.188	0.042	28.89
	PC02	22.25	4.471	1.000	20.09	0.55	0.164	0.037	30.05
	PC03	23.75	6.197	1.386	26.09	0.64	0.119	0.027	18.56
	PC04	27.80	7.179	1.605	25.82	0.76	0.252	0.056	33.42
	PC05	25.20	5.367	1.200	21.30	0.68	0.265	0.059	38.94
	PC06	23.10	5.340	1.194	23.12	0.43	0.245	0.055	57.01
	PC07	27.20	4.538	1.015	16.68	0.41	0.213	0.048	51.83
	PC08	27.50	4.915	1.099	17.87	0.42	0.224	0.050	53.30
	PC09	25.25	5.129	1.147	20.31	0.40	0.231	0.052	58.36
	PC10	23.80	5.512	1.232	23.16	0.36	0.228	0.051	63.34
	PC11	25.75	5.821	1.302	22.61	0.39	0.220	0.049	56.36
	PC12	20.55	5.568	1.245	27.09	0.31	0.174	0.039	56.26
	PC13	23.80	4.916	1.099	20.66	0.30	0.138	0.031	45.88
	PC14	23.70	3.246	0.726	13.70	0.35	0.196	0.044	56.00
	PC15	23.45	5.385	1.204	22.96	0.33	0.152	0.034	46.69
	均值	24.56	5.578	0.322	22.71	0.46	0.247	0.014	53.22
红皮云杉		26.75	5.323	0.532	19.90	0.71	0.172	0.017	24.31

长表现不稳定,对引种区新的生态环境的适应尚需一定的时间阶段,但是,仅就苗期生长状况而言,仍具有一定的增产潜力。

3.2. 子代测定林生长性状的遗传表现

子代测定林定植保存率调查结果显示,青海云杉定植保存率为 90.52%,较对照红皮云杉(95.01%)仅降低了 4.96%,这充分说明,青海云杉具有一定程度的适应性,在我国高寒地区引种栽培具有极大的可能性。为探讨青海云杉家系子代测定林的生长表现,试

验对该树种的树高和地径 2 个生长性状进行了方差分析和统计描述,结果分别见表 3 和表 4。从方差分析结果(表 3)可以看出,青海云杉家系子代的树高和地径 2 个性状基本呈正态分布,家系间树高(2008a)和地径(2008a)性状的显著性概率均明显小于 0.01,差异极显著;2011 年的树高性状差异显著,而地径性状差异不显著,具备优良家系选择的遗传基础。由表 4 分析可知,在相同的立地条件下,青海云杉与红皮云杉 2 个树种的生长量存在较大的差异,由于,青海云杉的适应能力强,生长潜力较大,随着林龄的增大,二者之

青海云杉引种驯化及遗传效应早期评价

Table 3. The results of variance analysis between the growth characteristics in family progeny test from *Picea crassifolia*
表 3. 青海云杉家系子代测定林生长性状的方差分析结果

树种	统计指标	家系间变异				家系内变异			
		2008a 苗高	2008a 地径	2011a 苗高	2011a 地径	2008a 苗高	2008a 地径	2011a 苗高	2011a 地径
青海云杉	平方和(SS)	1127.347**	6.269**	888.247	38.963	8174.450	11.962	12151.500	1123.079
	自由度(df)	14	14	14	14	285	285	285	285
	均方(MS)	80.525	0.448	63.446	2.783	28.682	0.042	42.640	3.941
	F 值	2.807	10.669	1.488	0.706	-	-	-	-
	P 值	0.001	0.000	0.114	0.768	-	-	-	-
红皮云杉	平方和(SS)	818.857	0.487	1815.485	4.107	2194.857	2.671	2918.117	8.389
	自由度(df)	14	14	14	14	90	90	90	90
	均方(MS)	58.490	0.035	129.677	0.293	24.387	0.030	32.424	0.093
	F 值	2.398	1.172	3.998	3.147	-	-	-	-
	P 值	0.007	0.310	0.000	0.000	-	-	-	-

注: **表示 5%水平极显著。

Table 4. The statistical description on the growth characteristics in family progeny test from *Picea crassifolia*
表 4. 青海云杉家系子代测定林生长性状统计描述结果

树种	家系	树高性状				地径性状			
		均值/cm		变异系数/%		均值/mm		变异系数/%	
		2008a	2011a	2008a	2011a	2008a	2011a	2008a	2011a
青海云杉	PC01	25.35 ± 5.743	36.45 ± 7.381	22.65	20.25	0.65 ± 0.188	7.49 ± 1.687	28.89	22.50
	PC02	22.25 ± 4.471	34.10 ± 4.994	20.09	14.64	0.55 ± 0.164	7.84 ± 2.087	30.05	26.63
	PC03	23.75 ± 6.197	34.10 ± 6.349	26.09	18.62	0.64 ± 0.119	7.80 ± 2.065	18.56	26.82
	PC04	27.80 ± 7.179	37.75 ± 8.220	25.82	21.77	0.76 ± 0.252	6.88 ± 1.852	33.42	26.92
	PC05	25.20 ± 5.367	34.80 ± 5.105	21.30	14.67	0.68 ± 0.265	6.47 ± 1.710	38.94	26.45
	PC06	23.10 ± 5.340	33.70 ± 7.212	23.12	21.40	0.43 ± 0.245	6.98 ± 1.636	57.01	23.44
	PC07	27.20 ± 4.538	37.05 ± 6.013	16.86	16.23	0.41 ± 0.213	7.11 ± 1.997	51.83	28.09
	PC08	27.50 ± 4.915	38.30 ± 6.752	17.87	17.63	0.42 ± 0.224	7.47 ± 2.026	53.30	27.12
	PC09	25.25 ± 5.129	34.90 ± 6.577	20.31	18.84	0.40 ± 0.231	7.25 ± 2.139	58.36	29.50
	PC10	23.80 ± 5.512	35.30 ± 7.035	23.16	19.93	0.36 ± 0.228	7.52 ± 2.331	63.34	30.96
	PC11	25.75 ± 5.821	37.40 ± 6.855	22.61	18.33	0.39 ± 0.220	7.60 ± 2.145	56.36	28.22
	PC12	20.55 ± 5.568	31.65 ± 6.667	27.09	21.07	0.31 ± 0.174	7.24 ± 2.193	56.26	30.29
	PC13	23.80 ± 4.916	35.65 ± 6.344	20.66	17.79	0.30 ± 0.138	6.79 ± 2.083	45.88	30.63
	PC14	23.70 ± 3.246	34.20 ± 5.700	13.70	16.67	0.35 ± 0.196	7.04 ± 1.691	56.00	24.01
	PC15	23.45 ± 5.385	35.85 ± 5.967	22.96	16.65	0.33 ± 0.152	7.29 ± 1.977	46.69	27.13
	均值	24.58 ± 5.578	35.41 ± 6.604	21.61	18.30	0.465 ± 0.247	7.25 ± 1.971	46.33	27.25
红皮云杉		26.57 ± 5.383	43.72 ± 6.747	20.26	15.43	0.71 ± 0.174	8.02 ± 0.347	24.51	4.33

Table 5. The estimates of variance components and genetic parameters on the growth characteristics in family progeny test from *Picea crassifolia*

表 5. 青海云杉家系子代生长性状方差分量及遗传参数估算

性状	均值	标准差	家系间方差分量		家系内方差分量		家系遗传力	遗传增益/%
			MS _f	SS _f	MS _e	SS _e		
树高/cm	24.578	5.578	80.525	1127.347	28.682	8174.450	0.644	11.69
地径/mm	0.465	0.247	0.448	6.269	0.042	11.962	0.906	38.58

注: MS_f表示表现型方差, MS_e表示环境方差, SS 表示平方和, 选择强度 i = 0.80。

间的生长差异逐步缩小。青海云杉子代测定林的 2 个生长性状变异较小, 平均变异系数分别为 18.30%(H: 2011a)和 27.25%(D₀: 2011a), 较苗期分别下降了 21.91%和 96.30%, 其中: 地径性状变异系数降低幅度较大, 说明苗木已进入生长适应期; 树高性状变异系数高于红皮云杉(15.42%), 反映出其生长和增产潜力较大, 引种栽培价值较高。

3.3. 生长性状遗传力和遗传增益分析

遗传力是评价遗传改良和遗传增益的遗传参数, 其大小和相对稳定性受基因和环境的共同影响。青海云杉为雌雄同株, 自然授粉的植株为纯合体, 个体间差异较小。为探讨家系子代生长性状的遗传力和遗传增益, 对 2008 年的树高和地径 2 个生长性状进行方差分析, 并根据方差分析结果估算性状的遗传力和遗传增益等遗传参数, 结果见表 5。从表 5 可以看出, 青海云杉的树高和地径性状受遗传基因控制程度较强, 遗传力较强, 遗传分化较小, 2 个性状的遗传力分别为 0.644 和 0.906。根据青海云杉家系的数量性状, 选择具有高产特性的优良单株, 建立子代测定林, 其生长性状具有一定的稳定性, 树高和地径 2 个性状的平均遗传增益分别为 11.69%和 38.58%。可见, 青海云杉的遗传增益较高, 生长潜力较大, 应用前景广阔。

4. 结论与讨论

1) 青海云杉材质优良, 生态防护效能佳, 适应性强, 引种区域广泛。在我国东北高寒地区, 青海云杉苗期的生长趋势与乡土树种红皮云杉基本趋于一致, 受气候条件的影响, 家系间抗寒适应性差异较大, 随苗龄变化存在不同程度的轻微冻害, 经过一定的缓苗阶段, 冻害现象逐渐消失。这可说明, 青海云杉耐寒性和对新的生态环境的适应能力均较强, 东北高寒地区引种具有一定的可能性。

2) 青海云杉生长潜力较大, 家系间苗高性状变异较小, 地径性状变异较大, 平均变异系数分别为 22.71%和 53.22%; 与乡土树种红皮云杉相比较, 随着苗龄的增大, 苗高和地径 2 个生长性状的变异则呈逐渐缩小之趋势, 生长势逐渐增强, 生长表现趋于稳定。

3) 青海云杉可集中分布于自然分布区的潮湿谷地, 在引种栽培或迁地保存过程中, 土壤水分和大气湿度对其影响较大, 若土壤含水量过高, 空气湿度过大, 则冻拔危害严重, 大幅度降低了定植成活率和保存率, 因此, 在自然条件相对较差的高寒地区引种, 应避免此类立地条件, 以确保植株安全越冬。

4) 青海云杉为自由授粉的纯合体, 通过对子代生长性状的遗传力和遗传增益等遗传参数的遗传效应分析, 进一步证实, 青海云杉的遗传力较强, 遗传增益较高。试验结果显示, 树高和地径 2 个性状的遗传力分别为 0.644 和 0.906, 遗传增益分别为 11.69%及 38.58%, 生长性状遗传稳定, 遗传效应显著。

参考文献 (References)

- [1] 郑万钧. 中国树木志(第一卷)[M]. 北京: 中国林业出版社, 1983: 220-221.
- [2] 杨玉波. 中国云杉[J]. 四川林业科技, 1983, 4(2): 28-33.
- [3] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第七卷)[M]. 北京: 科学技术出版社, 1978: 137-139.
- [4] 周以良, 李世友. 中国森林[M]. 北京: 科学技术出版社, 1990: 143-152.
- [5] 刘兴聪. 青海云杉[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1992: 1-16.
- [6] 兰士波. 高寒地区国外用材树种引种驯化及早期评价[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(12): 2467-2471.
- [7] 吴为群. 欧美北部珍贵树种引种驯化研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004: 12-15.
- [8] 余建英, 何旭宏. 数据统计分析与应用(SPSS)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 148-154.
- [9] 胡延吉. 植物育种学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 122-125.
- [10] 沈熙环. 林木育种学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 54-65.
- [11] 兰士波. 杂种沙棘果实性状遗传效应分析[J]. 林业科技开发, 2011, 25(5): 13-16.