

川西云杉天然林分布特点和种内 群体分化的初步研究

吴远伟^{1,2}, 罗建勋^{1,2}, 胡庭兴¹, 辜云杰², 曹小军²

(1 四川农业大学 林学院园艺学院, 四川 雅安 625014; 2 四川省林业科学研究院 林业研究所, 四川 成都 610081)

[摘要] 【目的】系统揭示川西云杉表型变异程度和变异规律。【方法】以川西云杉天然分布区内 12 个有代表性的群体、每个群体的 30 个单株为试材,测定其球果、针叶、种鳞和种翅 12 个性状,采用方差分析、聚类分析方法,对群体间和群体内的表型多样性进行系统比较研究。【结果】川西云杉球果、针叶、种鳞和种翅的表型分化系数均值分别为 39.69%, 34.19%, 27.20% 和 45.82%,以种鳞的最小,其性状稳定性较高;群体间变异(36.53%)小于群体内变异(63.47%);以川西云杉全分布区内的地理气候因子进行聚类分析,可以将其划分为 5 个小生态分布区;通过表型性状的聚类分析可以将川西云杉的 12 个群体划分为 3 类,白玉群体单独聚为一类,九龙、雅江和色达群体聚为一类,其余 8 个群体聚为一类。【结论】川西云杉天然林群体内多样性大于群体间多样性,群体内分化明显高于群体间,因此在遗传改良工作中进行优良群体选择和利用时,应该加大对优良个体选择和利用的力度。

[关键词] 川西云杉;天然林;分布特点;表型变异;群体分化

[中图分类号] S791.180.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2008)09-0081-06

Study on natural distribution characteristics and populations differentiation in *Picea balfouriana*

WU Yuan-wei^{1,2}, LUO Jian-xun^{1,2}, HU Ting-xing¹, GU Yun-jie², CAO Xiao-jun²

(1 College of Forestry and Horticulture, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;

2 Research Institute of Forestry, Sichuan Academy of Forestry, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: 【Objective】 The study was to investigate and analyze the natural distribution of *Picea balfouriana* (PB). 【Method】 12 populations which represented natural populations of the distribution area were selected, and 30 individuals in each population were taken as samples. 12 characteristic forms of the cones, needles, seeds scales and seed wings etc. were analyzed systematically. The methods of ANOVA analysis and hierarchical cluster analysis were used for analysis of data obtained in the experiment. 【Result】 The differentiation coefficient of morphological traits (Vst) of cone, needle, seed scale and seed wing were 39.69%, 34.19%, 27.20% and 45.82% respectively. The traits stability of seed scale was higher than that of other traits; The variation among populations was 36.53%, which was greatly smaller than that within populations (63.47%); With the method of hierarchical cluster analysis, the geographic distribution and weather factors in the distribution area were analyzed for all distribution of PB, and the five relatively small distribution areas of PB could be divided. According to the UPGMA cluster analysis, the 12 populations of the PB could be divided into three groups. One was Baiyu group, the other was Jiulong, Yajiang and Seda

* [收稿日期] 2007-09-29

[基金项目] 国家“十一五”科技攻关项目(2006BAD01A1401)

[作者简介] 吴远伟(1979—),男,四川南溪人,在读硕士,主要从事林木遗传育种研究。E-mail: eo_@163.com

[通讯作者] 罗建勋(1964—),男,四川崇州人,研究员,主要从事林木遗传育种研究。E-mail: jianxun@263.net

group, and the rest eight populations belonged to one group. 【Conclusion】 The result showed that the variation among populations was greatly smaller than that within populations, and the differentiation within populations was obviously higher than that among populations. Therefore, elite individual selection and utilization should be strengthened in carrying out provenance trials.

Key words: *Picea balfouriana*; natural population; distribution characteristic; morphology variation; population differentiation

云杉属(*Picea dietr.*)植物全世界约有 40 种,主要分布在北纬 50°~60°的寒温带或冻原地带,少数分布在温带或亚热带的湿冷高山上,即多数种呈环极式分布,而在我国和美国可分布到北纬 30°附近,成为低热量地区的重要建群树种^[1]。

我国云杉属有 17 种 9 变种,是世界上该属种类最多的地区,我国云杉属分布最广的种是青杆(*Picea wilsonii*),其次为油麦吊云杉(*Picea brachytyla*)和川西云杉(*Picea balfouriana*),分布面积最小的是白皮云杉(*Picea aurantiaca*)、康定云杉(*Picea montigena*)和长叶云杉(*Picea smithiana*)^[2]。

川西云杉(*Picea balfouriana*)又名西康云杉、康藏云杉、包氏云杉^[3]。川西云杉林是四川的主要森林类型,为青藏高原东部地区的特有森林植物群落,其不仅分布辽阔,且资源丰富,是重要的用材林树种;同时,它还是川西高原地区组成森林草原过渡地带的连缘森林,对防止草原南移、森林线下降及涵

养水源、保持水土和长江源头地区的防护都有极为重要的作用。目前,国内外针对川西云杉的研究主要集中在生态学及种群结构^[4]、人工林养分含量及种群竞争规律^[5-6]、育苗扦插和造林^[7-10]及营养元素分布^[11]等方面,而关于其遗传多样性,特别是表型遗传多样性的研究很少。本研究主要对川西云杉天然林的分布特点和种内群体分化进行了初步探索,以期揭示其与地理生态环境的联系,为我国西部这一特有树种的种质资源保存和遗传改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 川西云杉群体选择与材料采集

在对川西云杉全分布区地理、生态因子等立地气候条件资料进行整理和分析的基础上,于 2006 年 9~10 月在川西云杉自然全分布区内,选择四川甘孜州的石渠、巴塘、道孚、九龙等县共抽样 12 个群体。采样地地理生态因子见表 1。

表 1 川西云杉采样点地理的生态因子

Table 1 Locations and related ecological factors of the sampled populations in *Picea balfouriana*

群体 Population	经度(东经) Latitude	纬度(北纬) Longitude	海拔/m Altitude	年均温/℃ Annual average temperature	1月均温/℃ Average temperature of January	7月均温/℃ Average temperature of July	年降水量/mm Annual precipitation	≥10℃积温/℃ Accumulation of the daily temperature higher than	极端最高温/℃ Absolute maximum temperature	极端最低温/℃ Absolute minimum temperature
九龙 Jiulong	101°25'	29°03'	3 180	8.8	0.7	15.2	891.5	1 955	31.0	-14.9
康定 Kangding	101°26'	29°27'	3 410	7.1	-2.5	15.7	804.5	1 548	28.9	-14.7
雅江 Yajiang	100°56'	29°59'	3 430	10.9	1.4	18.1	705.7	3 098	35.9	-15.9
巴塘 Batang	99°00'	30°00'	3 500	12.6	3.7	19.5	474.0	3 608	37.6	-12.4
理塘 Litang	100°28'	30°03'	4 014	3.0	-6.0	10.5	725.8	301	25.6	-26.0
乡城 Xiangcheng	99°48'	28°54'	3 580	10.7	1.9	17.7	462.0	2 980	34.4	-27.6
道孚 Daofu	101°39'	30°09'	3 652	7.8	-2.4	15.9	578.6	2 067	32.0	-21.9
炉霍 Lube	100°22'	31°32'	3 500	6.3	-3.3	15.3	652.0	1 517	30.4	-21.2
色达 Seda	100°41'	31°51'	3 450	-0.1	-11.3	9.8	644.0	189	23.7	-36.3
新龙 Xinlong	100°30'	30°48'	3 420	7.4	-2.2	15.1	602.0	1 887	32.7	-19.2
白玉 Baiyu	99°30'	31°20'	3 098	7.7	-1.6	15.7	599.0	1 584	39.4	-19.2
石渠 Shiqu	98°00'	32°30'	4 298	-1.6	-12.6	8.4	569.0	79	25.5	-37.7

中选群体必须为天然林,保存基本完好,林相整齐,林内卫生状况良好,郁闭度在0.5以上,面积在10 hm²以上,林龄Ⅲ~Ⅳ(60~80年),川西云杉为主要建群种(云杉占95%以上)。

每群体分别选择30个单株,株间距离100 m以上,以保证取样的均匀性,且最大限度降低母树间的亲缘关系。中选单株必须处于亚优势地位,生长正常,无严重缺陷,无明显病虫害。在每个单株树冠中上部南向的2年生枝上,采集80~100个成熟球果,同时采集2年生针叶枝10~20 cm。

1.2 川西云杉球果、针叶、种鳞和种翅表型性状的测定

参照文献[12-13]的方法,测量每群体中选单株的所有表型性状。每单株随机测定30个球果和30枚针叶(测量精度为0.01 cm),再从上述30个球果的中部随机抽取一个完整种鳞(种翅)完成性状测定(测量精度为0.01 cm)。测量时用直尺测定球果长度,针叶长度、宽度(中央),种鳞长度、宽度(最宽端)和种翅长度、宽度(最宽端);用游标卡尺测定球果径(中央直径)。

1.3 数据统计分析

对各群体不同单株的各性状值按巢式设计的方差分析法进行分析,用SPSS10.0软件^[14]进行相关聚类分析,用SAS软件^[15]进行表型分化系数等计算,其他统计分析按照常规方法并利用EXCEL5.0等提供的有关程序进行。

2 结果与分析

2.1 川西云杉的水平分布和垂直分布

川西云杉分布的经纬度范围为东经93.4°~102.5°,北纬27.9°~33.2°^[2],分布地区为四川西部、西藏东南部及青海东南部,具体分布在四川甘孜州除泸定县外的其他17个县、西藏的昌都地区和林芝地区,另外在四川阿坝州(壤塘县、金川县和小金县)、青海玉树州(玉树县、杂多县、囊谦县)和西藏那曲地区(巴青县、比如县、索县、嘉黎县)等也有分布。川西云杉以雅砻江中游地区为分布中心,向北至石渠洛须、色达和壤塘一带,已接近西风带气候区的边缘,向南至乡城、稻城和九龙,向东至康定,向西越金沙江可达西藏东部的索县和江达一带。其分布区横跨雅砻江、金沙江、澜沧江、怒江流域,向西直达雅鲁藏布江流域。

川西云杉垂直分布规律表现为东北部低于西南

部,在四川大小金川一带为海拔2 600~2 900 m;在四川雅砻江、金沙江流域主要分布于海拔3 200~4 000 m,而在理塘垂直分布高达海拔4 690 m^[16],为四川云杉属组成林树种的最高分布记录,同时在世界各类森林垂直分布高度中所少见;在青海省主要分布的海拔高度是3 300~4 300 m^[7];在西藏自治区主要分布的海拔高度是3 500~4 300 m^[8]。

2.2 川西云杉全分布区地理生态因子的相关性

对川西云杉天然林全分布区(包括四川、青海和西藏等3个省区),按经纬度、海拔、年均温、年日照时数、降水量和无霜期等立地气候条件进行聚类分析,得到川西云杉全分布区内立地气候条件聚类图(图1)。从图1可以看出,以欧式平均距离5为阈值,可以大体上将川西云杉全分布区按地理生态因子划分为5个小区:全分布区西部和西北部的西藏巴青、嘉黎、类乌齐和青海省的囊谦4个县可以归类于1个小分布区;全分布区藏东南的波密、察隅和墨脱可以分别归于3个小分布区;而在川西云杉分布区内的绝大部分地方,如四川甘孜州全境、青海东南部地区和西藏分布区的大部分地区如昌都地区等,都可以归为1个分布区。因此,本研究从占全分布区大部分面积的分布区内采种,可以代表川西云杉在全分布区内的大部分遗传多样性信息。

2.3 川西云杉天然群体间的表型分化

按巢式设计计算的方差分量比,组成了各方差分量占总变异的比例,用群体间方差分量占遗传总变异(即群体间和群体内的方差分量之和)的百分比表示群体间的表型分化系数(表2)。从表2可以看出,球果、针叶、种鳞和种翅的表型分化系数的变异幅度是11.27%~62.08%,说明川西云杉天然群体的群体内表型变异大于群体间表型变异;球果、针叶、种鳞和种翅的表型分化系数均值分别为39.69%,34.19%,27.20%和45.82%,种鳞的表型分化系数最小,这说明种鳞性状较其他性状稳定。由球果、针叶、种鳞和种翅的12个表型性状的平均值可以看出,群体间的方差分量占总变异的20.01%,群体内的方差分量占总变异的32.84%,机误的方差分量占总变异的47.15%。从表2可以进一步看出,球果、针叶、种鳞和种翅的12个表型性状的平均表型分化系数为36.53%,川西云杉天然群体表型变异在群体间的贡献占36.53%,群体内的贡献占63.47%,说明川西云杉天然群体内的多样性大于群体间。

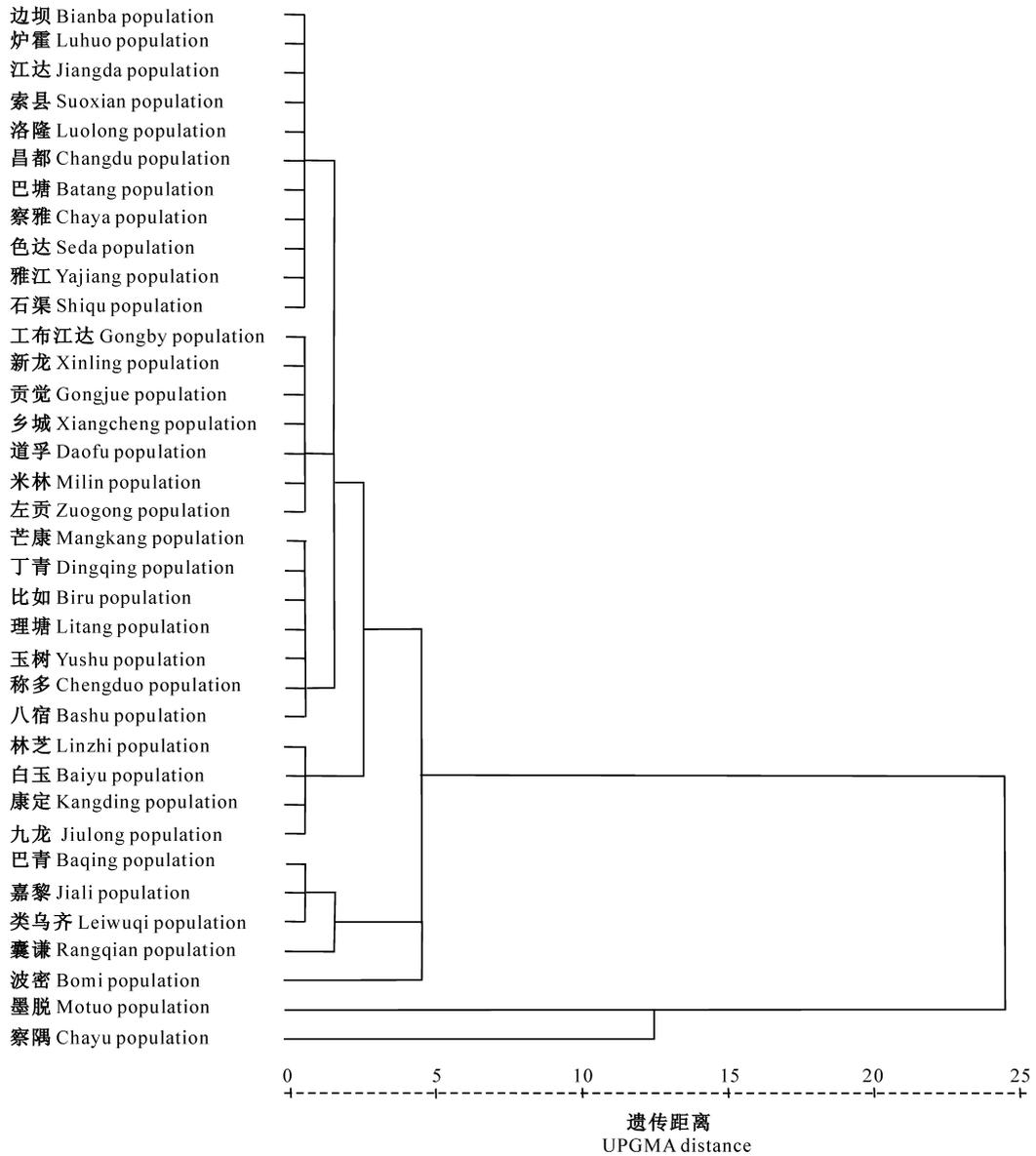


图 1 川西云杉全分布区内立地气候条件聚类图

Fig. 1 UPGMA cluster based on distribute area in *Picea balfouriana*

表 2 川西云杉球果、针叶、种鳞和种翅表型性状的方差分量及群体间的表型分化系数

Table 2 Variance portions and differentiation coefficients of morphological traits among/within populations of cone, needle, seed scale and seed wing in *Picea balfouriana*

性状 Trait	方差分量 Variance portion			方差分量比/% Percentage of variance portion			表型分化系数/% Differentiation coefficient of morphological traits vst
	群体间 Among populations	群体内 Within populations	机误 Random errors	群体间 Among populations	群体内 Within populations	机误 Random errors	
	球果长 Cone length	0.570 8	0.595 3	0.470 6	34.875 6	36.373 5	
球果径 Cone width	0.017 8	0.040 7	0.031 9	19.710 2	44.975 9	35.313 8	30.43
针叶长 Needle length	0.016 2	0.034 6	0.015 4	24.437 2	52.280 3	23.282 5	31.89
针叶宽 Needle width	0.000 1	0.000 2	0.014 8	0.839 6	1.457 2	97.703 2	36.49
种鳞长 Seed scale length	0.012 9	0.042 1	0.043 6	13.081 7	42.686 2	44.232 1	23.45

续表 2 Continue table 2

性状 Trait	方差分量 Variance portion			方差分量比/% Percentage of variance portion			表型分化系数/% Differentiation coefficient of morphological traits vst
	群体间 Among populations	群体内 Within populations	机误 Random errors	群体间 Among populations	群体内 Within populations	机误 Random errors	
	种鳞宽 Seed scale width	0.006 5	0.014 5	0.019 6	15.979 8	35.760 9	
种翅长 Seed wing length	0.006 1	0.009 1	0.010 3	23.862 5	35.628 2	40.509 3	40.13
种翅宽 Seed wing width	0.001 7	0.001 6	0.003 9	23.476 8	21.840 5	54.682 7	51.52
球果长宽比 Cone length/cone width	0.138 0	0.084 3	0.064 5	48.119 1	29.403 5	22.477 5	62.08
针叶长宽比 Needle length/needle width	4.578 8	12.126 7	11.664 9	16.139 4	42.744 1	41.116 5	27.41
种鳞长宽比 Seed scale length/seed scale width	0.001 6	0.012 6	0.026 7	3.842 8	30.741 0	65.416 2	11.27
种翅长宽比 Seed wing length/seed wing width	0.033 7	0.043 3	0.137 2	15.723 6	20.223 0	64.053 4	43.77
平均 Mean	—	—	—	20.007 4	32.842 9	47.149 8	36.53

2.4 川西云杉群体表型的聚类分析

利用欧式平均距离,采用 SPSS10.0 软件上的类间平均锁链法,对 12 个群体的球果、针叶、种鳞和种翅等相关数据进行变量聚类,得到川西云杉表型性状的聚类图(图 2)。由图 2 可以看出,以欧式平均距离 10 为阈值,12 个群体可以分为 3 组:新龙群

体、炉霍群体、巴塘群体、乡城群体和道孚群体聚为一组,然后再分别与理塘群体、康定群体和石渠群体聚为一组;九龙群体先和雅江群体聚在一起,然后与色达群体聚为一组;白玉群体单独为一组。这进一步表明,川西云杉边缘群体和中心群体的表型性状有明显差异。

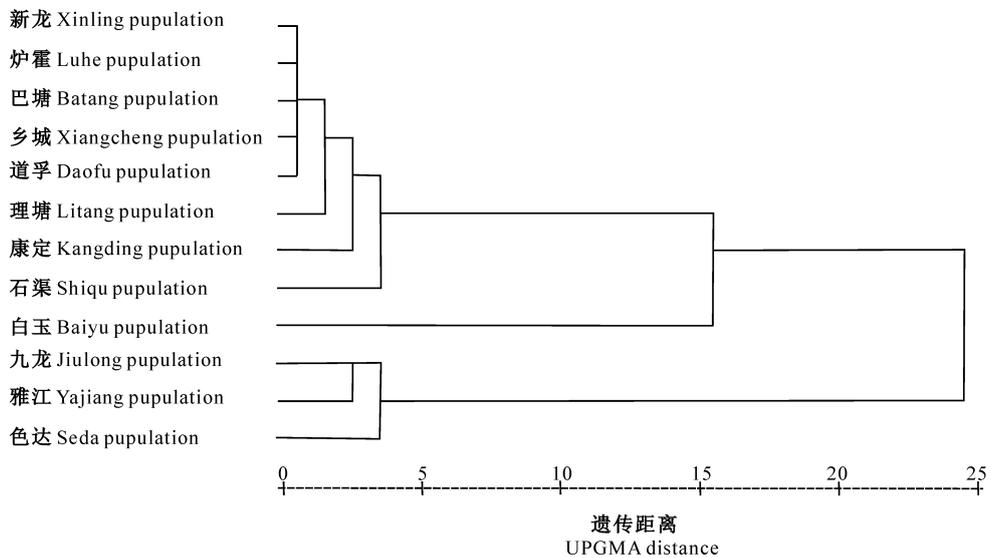


图 2 川西云杉球果、针叶、种鳞和种翅的表型性状聚类图

Fig. 2 UPGMA cluster based on cone, seed scale, seed wing, seed morphological traits of ten populations in *Picea balfouriana*

3 结论与讨论

3.1 川西云杉的主要分布特点

川西云杉分布的经纬度范围为东经 93.4°~102.5°,北纬 27.9°~33.2°,其主要分布在四川西部、西藏东南部和青海东南部地区;其分布区横跨雅

砻江、金沙江、澜沧江、怒江流域,向西直达雅鲁藏布江流域;在四川大小金川一带分布在海拔 2 600~2 900 m,在雅砻江、金沙江流域主要分布于海拔 3 200~4 000 m;在青海省主要分布的海拔高度是 3 300~4 300 m,在西藏自治区主要分布的海拔高度是 3 500~4 300 m。

3.2 川西云杉天然群体种内群体分化

川西云杉天然群体球果、针叶、种鳞和种翅的表型分化系数均值分别为 39.69%, 34.19%, 27.20% 和 45.82%, 种鳞的表型分化系数最小, 性状较其他性状稳定; 球果、针叶、种鳞和种翅的 12 个表型性状的平均表型分化系数是 36.53%, 表型变异在群体间的贡献占 36.53%, 群体内的贡献占 63.47%, 川西云杉天然群体群体内的多样性大于群体间多样性, 因此遗传改良工作中, 在进行优良种源、优良群体选择和利用时, 应该加大对优良个体选择和利用的力度。

利用群体间欧式距离进行 UPGMA 聚类分析, 可以把上述 12 个川西云杉分成 3 类: 新龙、炉霍、巴塘、乡城、道孚、理塘、康定、石渠为一组, 九龙、雅江、色达为一组, 白玉单独为一组。

[参考文献]

- [1] 罗建勋, 孙鹏, 李小清. 国外云杉遗传改良现状和粗枝云杉育种策略 [J]. 四川林业科技, 2001, 22(4): 31-40.
Luo J X, Sun P, Li X Q. Advances in genetic improvement of spruce in abroad and breeding strategies of *Picea asperata* mast [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2001, 22(4): 31-40. (in Chinese)
- [2] 刘增力, 方精云, 朴世龙. 中国冷杉、云杉和落叶松属植物的地理分布 [J]. 地理学报, 2002, 57(5): 577-586.
Liu Z L, Fang J Y, Pu S L. Geographical distribution of species in Genera *Abies*, *Picea* and *Larix* in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2002, 57(5): 577-586. (in Chinese)
- [3] 贺家仁. 甘孜州树木 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1993.
He J R. Ganzi State tree [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technique Press, 1993. (in Chinese)
- [4] 刘兴良, 汪明, 宿以明, 等. 川西高山林区人工林生态学研究——种群结构 [J]. 四川林业科技, 2003, 24(3): 1-9.
Liu X L, Wang M, Su Y M, et al. Studies of ecology of plantations in Alpine forest areas of Western Sichuan; division and classification of plantations [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2003, 24(3): 1-9. (in Chinese)
- [5] 刘兴良, 宿以明, 向成华, 等. 川西云杉人工林养分含量、贮量及分配的研究 [J]. 林业科学, 2001, 37(4): 10-18.
Liu X L, Su Y M, Xiang C H, et al. Concentration, storage and allocation of nutrient element in *Picea balfouriana* plantation of West Sichuan [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001, 37(4): 10-18. (in Chinese)
- [6] 刘兴良, 宿以明, 向成华, 等. 川西云杉人工林种群竞争规律初步研究 [J]. 四川林业科技, 1998, 19(2): 14-21.
Liu X L, Su Y M, Xiang C H, et al. Research on the competitive laws of artificial spruce forest populations [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 1998, 19(2): 14-21. (in Chinese)

- [7] 王宽邦, 吕才忠, 杨海文, 等. 川西云杉温室容器育苗技术 [J]. 青海农林科技, 2004(1): 75-76.
Wang K B, Lv C Z, Yang H W, et al. Technique on container nursery of Chuanxi spruce in warm house [J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 2004(1): 75-76. (in Chinese)
- [8] 王军辉, 张建国, 张守攻, 等. 川西云杉硬枝扦插生根特性的研究 [J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(3): 351-356.
Wang J H, Zhang J G, Zhang S G, et al. Rooting ability of hardwood cutting of *Picea balfouriana* [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2006, 23(3): 351-356. (in Chinese)
- [9] 王军辉, 张建国, 张守攻, 等. 几种因素对川西云杉扦插繁殖生根的影响 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, 31(1): 51-54.
Wang J H, Zhang J G, Zhang S G, et al. Effects of several factors on rooting of cutting propagation of *Picea balfouriana* [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2007, 31(1): 51-54. (in Chinese)
- [10] 童德英, 张世玺, 李春风. 玛可河林区川西云杉大苗造林实验 [J]. 青海农林科技, 2004(2): 44-45.
Tong D Y, Zhang S X, Li C F. Chuanxi spruce forestation by big nursery stock in Makehe Forest Region [J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 2004(2): 44-45. (in Chinese)
- [11] 刘兴良, 宿以明, 刘世荣, 等. 四川西部川西云杉人工林非同化器官营养元素含量与分布 [J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2573-2578.
Liu X L, Su Y M, Liu S R, et al. Macronutrients and their allocations in non-photosynthetic organs in the *Picea balfouriana* in Western Sichuan [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(12): 2573-2578. (in Chinese)
- [12] Falkenhagen E R, Chhatre V E, Nilsson M C, et al. Multivariate classification in province research [J]. Silvae Genetica, 1978, 27(1): 14-23.
- [13] Li P, Beaulieu J, Bousquet, et al. Genetic structure and patterns of genetic variation among populations in eastern white spruce (*Picea glauca*) [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1997, 27(2): 189-198.
- [14] 蔡程辉, 庄永龙. SPSS v10.0 for windows [M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2002.
Cai C H, Zhuang Y L. SPSS v10.0 for windows [M]. Beijing: Beijing Hope Electronic Press, 2002. (in Chinese)
- [15] 黄少伟, 谢给辉. 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.
Huang S W, Xie G H. Practical SAS plait distance and forestry experiment data analysis [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2001. (in Chinese)
- [16] 管中天. 森林生态研究与应用 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2004: 526-536.
Guan Z T. Forest ecology research and application [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technique Press, 2004: 526-536. (in Chinese)