

# 川西亚高山人工针叶林生态恢复过程的种群结构

刘庆<sup>1</sup>, 吴彦<sup>1</sup>, 何海<sup>1, 2</sup>, 林波<sup>1</sup>

(1. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041; 2. 重庆师范大学生物系, 重庆 400047)

**摘 要:**研究了川西米亚罗亚高山人工针叶林 70 a 恢复过程中不同恢复级段云杉种群结构的变化并比较了与原始林的差异。研究表明, 所调查的人工云杉林有两个快速生长(平均高度和胸径)时期: 一是 20~ 30 林龄人工林, 年均高生长量达到 0.428 m, 年均胸径增长量为 0.57 cm; 二是 50~ 70 林龄人工林, 年均高生长量达到 0.364 m, 年均胸径增长量为 0.431 cm。与天然原始林相比, 人工林苗木的高度级宽幅(10/21)和胸径宽幅(20/36)都较小, 下层更新苗木少。50 林龄以前的人工林年龄均为同一龄级, 70 林龄后才有少量的更新幼苗, 种群的年龄结构很不合理, 说明人工云杉林生态功能的恢复是一个十分漫长的过程, 需要对其采取相应的调控措施。

**关键词:**亚高山人工针叶林; 云杉; 恢复; 生态过程; 种群结构; 米亚罗

中图分类号: P968

文献标识码: A

亚高山针叶林是我国西南林区森林的主体, 主要分布于长江上游的金沙江及其支流雅砻江、岷江等流域, 是长江上游重要的生态屏障, 具有维持区域小气候、保持水土和涵养水源等重要生态功能, 对整个长江流域的生态平衡起着重大调节作用<sup>[4-6]</sup>。自 20 世纪 40 年代起, 该区森林被大规模的采伐, 随后在皆伐的迹地上自 40 年代至今陆续营造人工云杉林进行恢复, 形成了较为完整的不同级段的人工针叶林恢复序列<sup>[6, 8]</sup>。开展亚高山人工针叶林的生态恢复过程研究, 探讨不同恢复级段的种群、群落特征和生态功能, 将有助于为该区域大规模的人工针叶林恢复重建和调控提供科学依据。

许多学者对川西亚高山林区天然林的生境特征、群落特点和采伐迹地更新技术等许多方面进行了研究<sup>[3, 7, 8]</sup>。但对已经人工恢复约 60 a 的亚高山人工针叶林的生态恢复过程还缺乏系统深入的认识。另一方面, 我国已有关于生态恢复的研究很少涉及恢复过程或恢复过程中关键种群的变化<sup>[1, 9]</sup>。

云杉(*Picea asperata*)是该区人工林中的主要乔木树种, 也是人工林群落的优势种<sup>[2]</sup>。在恢复过程中云杉的生长进程和种群结构动态是研究人工林生态恢复过程的重要内容。本文旨在通过对不同恢复级段中人工针叶林云杉种群的调查分析, 揭示人工林恢复与重建过程中种群结构的变化规律, 为当前实施的“天然林资源保护工程”和生态环境建设中大规模的营林造林提供科学依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究地区自然概况

研究区位于四川省理县米亚罗林区, 31°35'N, 102°35'E, 海拔 2 850~ 4 200 m, 属于青藏高原向四川盆地过渡的高山峡谷区。夏季温凉多雨, 冬季寒冷干燥, 1 月均温为 - 8 ℃, 7 月均温为 12.6 ℃, ≥ 10 ℃的年积温为 1 200~ 1 400 ℃, 年降水量为 600~ 1 100 mm, 年蒸发量为 1 000~ 1 900 mm, 属季风

收稿日期(Received date): 2004- 01- 10; 改回日期(Accepted): 2004- 03- 10。

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究发展规划项目(G2000046802- 05)、中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1- 07- 02)、“十五”国家科技攻关课题(2001BA606A- 05- 01)和中国科学院“西部之光”人才计划项目资助。[The study was financially supported by the State Key Basic Research and Development Plan of China(No. G2000046802- 05), the Key Project of “Tenth Five-year” Program(No. 2001BA606A- 05) and knowledge Innovation Project of the Chinese Academy of Sciences(No. KSCX1- 02), and the Talent Plan of the Chinese Academy of Sciences.]

作者简介(Biography): 刘庆(1965-), 男, 重庆市人, 博士, 研究员, 博士生导师, 退化生态系统恢复与重建研究中心主任, 茂县山地生态系统定位研究站站长, 主要从事亚高山针叶林恢复生态学和植物种群生态学研究。Tel: 028- 85229115, E- mail: liuqing@cib.ac.cn。[Dr. Liu Qing, was born in Chongqing in 1965, and is professor, mainly researches on subalpine coniferous forest restoration ecology and plant population ecology.]

性山地气候<sup>[5]</sup>。研究区的主要土壤类型为棕壤,原生植被类型为亚高山针叶林,主要分布于海拔 2 500 ~ 3 700 m 地带,关于该区原生植被的描述,详见参考文献<sup>[7, 8]</sup>。不同级段恢复的人工云杉林是在原始林采伐迹地上人工更新而成的纯林,林下基本上无灌木层和草本层。

## 1.2 研究方法

在米亚罗林区选取海拔、坡度、坡向和土壤等环境条件基本一致的不同恢复级段的人工云杉林序列,包括 10 林龄、20 林龄、30 林龄、40 林龄、50 林龄和 70 林龄的人工林云杉林样地 6 个。对每个样地进行样方调查,样方大小为 500 m<sup>2</sup>,重复数为 3~5 个。通过每木编号和检测,对云杉树高和胸径进行调查,乔木树高按照每隔 2 m 为一个高度级,胸径按照每隔 2 cm 为一个径级进行的生长级统计,并以相似立地条件的原始林样地为对照,对人工林恢复过程中种群结构变化与原始林进行比较分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 高度结构的变化

#### 2.1.1 平均高度和高生长量的变化

云杉人工林在恢复过程中树高的生长除了受自

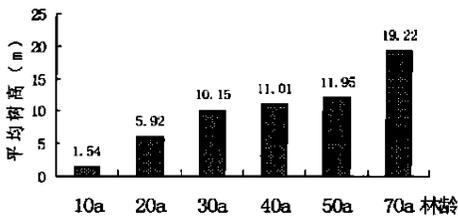


图 1 不同恢复阶段云杉树高的变化趋势

Fig. 1 Height variation of *Picea asper* at plantations of different restoration phases.

#### 2.1.2 不同恢复级段云杉种群高度结构变化

种群的高度结构是指林分中某组成树种在不同高度级内的株数分布比例。人工云杉林在恢复过程中,不仅树高生长速率在各个级段有很大的差异,而且由于个体间的高度也发生了分化,通过树高级的分布格局分析,可以探讨恢复过程中云杉种群的竞争动态。

图 3 反映了不同恢复级段云杉树高级分布结构。通过比较分析可以发现,随着人工云杉林的恢

复进程,林木个体树高级的分布中心逐渐向上移动。如 10 林龄人工云杉林,个体高度以 2 m 以下的为主;20 林龄以高度级 4~6 m 和 6~8 m 个体数最多;30 林龄主要集中在 10~12 m 和 8~10 m 两个高度级;40 林龄以高度级 12~14 m、10~12 m 和 8~10 m 个体数最多;50 林龄以高度级 12~14 m 和 14~16 m 个体数最多;70 林龄高度级以 22~24 m 个体数最多。这与林木高度生长的总趋势是一致的。

身生物学特性影响,也受生境条件的影响。在早期 10 林龄时人工林,由于受草本、灌木竞争的影响,云杉林的高生长较慢,平均树高仅为 1.54 m,还不及箭竹、高山栎等灌木的高度,此时云杉还处于对新生境的适应级段。人工云杉林平均高度变化有两个快速上升时期:一是人工林年龄在 20~30 a 间(即 20 世纪 80 年代种植和 70 年代种植的两种人工林),这一级段的云杉林,在经过前 10 多年的生长,林木高度已经超过灌木层,在以后的 10 多年间,生长迅速,20 林龄时云杉树高为 5.92 m,比 10 年前增加了 4.38 m;30 林龄时云杉平均高为 10.15 m,是生长非常迅速的级段,年均高生长量达到 0.428 m(图 1,图 2),并使整个云杉林在 30 林龄达到郁闭状态。

人工林从 30 林龄开始郁闭后,树高生长速率明显减缓。由于密度过大,种内竞争产生自疏,使得人工云杉林在 30~50 林龄级段的年均树高生长量降到 0.086 m 和 0.094 m,20 a 时间内树高增长不到 2 m。自疏作用使群落密度有所下降,在竞争中取胜的个体又获得了进一步生长的空间和光热等资源,在以后的近 20 a 中(年龄在 50~70 a),人工林云杉树高从 11.95 m 长到 19.22 m,云杉林的高生长又进入第二个快速生长期(图 2)。

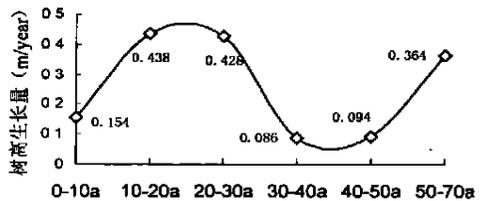


图 2 不同恢复阶段云杉树高生长速度的比较

Fig. 2 Comparison of height growth rate of *Picea asper* at plantations of different restoration phases.

人工云杉林的高度级结构,除了分布中心的变

化外,还表现出高度级宽幅的变化。种群高度级宽幅是指从分布最低的高度级到最高的高度级之间的高度级个数,高度级宽幅越大表示调查样地树高的分化程度越剧烈。按照每隔 2 m 作为一个高度级对人工云杉林不同恢复级段的高度级宽幅进行的统计,可以发现,随着恢复进程的增加,云杉高度级宽幅有逐渐增加的趋势(表 1)。

10 林龄级段高度级宽幅为 2,云杉树高分布在 0~2 m 和 2~4 m 两个高度级,树高分布十分集中;20 林龄级段高度级宽幅为 5 个,表明个体高度已经出现了分化,这一级段以 4~6 m 高度级的个体最多,占调查样地云杉株数的 43.68%,其次是 6~8 m 高度级的个体,约占 37.93%;30 林龄到 50 林龄级段云杉的高度级宽幅都为 7 个,说明这一级段云杉的树高没有进一步分化的趋势,尽管如此,树高分

布比较集中的高度级仍然不断的向上移动(图 3)。到了 70 林龄级段,高度级宽幅有所增加,达到了 10 个,从 0~2 m 到 26~28 m 几乎各个高度级都有个体分布,以 22~24 m 高度级居多,占调查样地云杉株数的 26.47%。这说明人工林在经过郁闭和自疏级段之后,树高的生长出现了剧烈分化,有些在竞争中处于优势的云杉个体已经进入了快速生长级段,另一些被压木的高度生长速率减缓,人工林群落乔木层有了分层的迹象。同时由于云杉一般在 50 a 左右开始开花结实,野外发现 70 林龄级段的人工林在林下出现了一定数量的更新幼苗,造成了高度级宽度的增加。这也从一个侧面反映了 70 林龄级段的云杉林已经开始更新,不断增加群落的高度级分布结构,并逐渐向稳定的群落空间结构过渡。

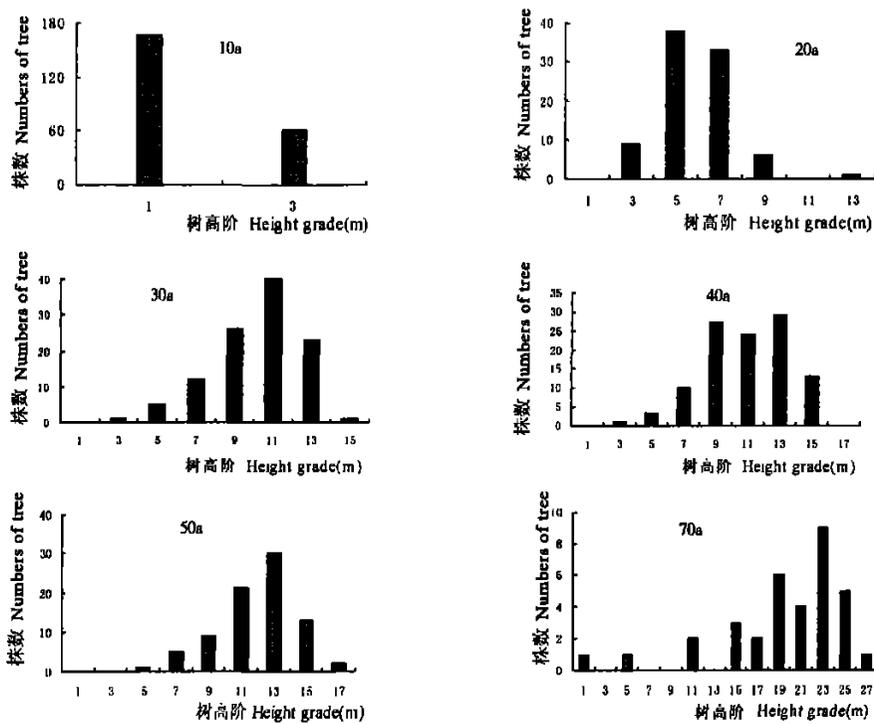


图 3 不同林龄云杉的树高分布结构

Fig. 3 Height distribution structures of different age-class *Picea asperata* plantations.

表 1 不同恢复级段人工林和原始林云杉高度级宽幅

Table 1 Ranges of height grades of trees in *Picea asperata* forests

人工林不同恢复级段 Different restoration phases plantations	10 a	20 a	30 a	40 a	50 a	70 a	原始林 Primary forest
高度级宽幅 Ranges of height grades	2	5	7	7	7	10	21

随着人工云杉林林龄的增加,在各个高度级的云杉株数有逐渐均匀化分配的趋势,这可能是树高增长出现分化以后逐渐形成的。还可以看出,个体数最多的高度级大都集中在从最大高度级向下数的第 2~3 级,这反映出林冠上层的个体数较多,多数个体都能长到林冠层。而高度比较低矮的云杉个体尽管数量比较少,但一般都占据了多个高度级,在林冠下往往显得参差不齐。

### 2.1.3 人工云杉林与原始林高度级结构的比较

原始林平均高度仅 12.98 m(包括林冠下的更新幼苗),低于 70 林龄级段人工云杉林,这是因为原始林更新幼树较多的缘故。据调查,原始林中树高在 2 m 以下的云杉个体数非常多,2~10 m 的个体所占比例也较大。如在一个云杉个体数为 301 株的调查样方内,发现有树高为 0~2 m 的更新幼苗 141 株,占 46.84%,树高为 2~4 m 的幼苗共 24 株,占调查样方总个体数的 8.0%,说明原始林中云杉的自然更新情况良好,“后继有树”。

原始林的云杉高度级宽幅多达 21 级(表 1、图 4),不同高度级的植株都有分布,林内既有大量的不同龄级的更新幼苗和幼树,也有一定数量的被压木,还有高度在 20~30 m 间的主林层云杉个体,甚至有个别云杉高度远远超过林冠层,高达 40 m 以上,表明原始林林内分层现象十分明显。多元化的高度级结构对于维持群落的稳定性和充分利用空间资源都是十分有益的。

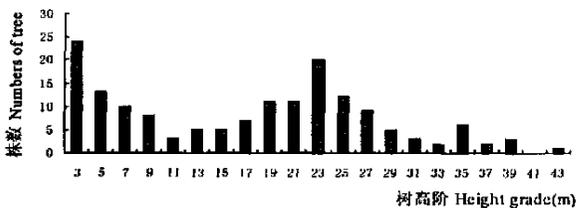


图 4 原始林云杉的树高分布结构(约 150 年)

Fig. 4 Height distribution structure of *Picea asperata* primary forest (approximately 150 ages).

与各个级段的人工云杉林相比,天然原始林有许多不同之处:苗木分布的高度级宽度很大,多达 21 个高度级;下层更新苗木很多,这在人工云杉林中是非常缺乏的;在 10 m 以上高度的个体分布基本上呈正态分布,显示出群落的稳定状态。而人工云杉林除早期恢复级段外,林木个体多居于中上层,缺乏完整的结构。恢复了近 60 年的人工云杉林,垂直分层现象和林木高度级的分化程度远不及天然原

始林,说明人工云杉林生态功能的恢复是一个十分漫长的过程。

## 2.2 径级结构的变化

### 2.2.1 平均胸径的变化

云杉人工林不同恢复级段平均胸径(DBH)的变化趋势与树高的生长一样,早期级段由于受下层草本、灌木竞争的影响,胸径增长较慢,年均胸径生长量 $< 0.373$  cm/a,20 林龄时平均胸径仅为 5.02 cm;在云杉高度超出灌木层以后的 10 a 间(20~30 a),胸径增长较快,到 30 林龄时胸径生长达到最高峰,年均胸径生长量可达 0.57 cm/a;30 林龄以后随着人工云杉林的不断郁闭,在 30~50 a 这一级段,胸径生长又变得很慢,这主要是由于云杉种群的自疏作用,使种内竞争激烈,影响云杉的生长。在经过 20 多年的种内竞争,自疏作用使群落密度有所下降以后,竞争中取胜的个体又获得了进一步生长的空间和光热资源,所以在以后的近 20 年间(50~70 a 级段)云杉的胸径增长很快,平均胸径从 15.02 cm 增加到 28.67 cm(图 5,图 6)。

### 2.2.2 不同恢复级段云杉种群径级结构变化

随着恢复年代的增加,云杉个体的分布中心逐渐从小径级移动到大径级,而且分布的径级幅度有逐渐扩大的趋势(图 7,表 2)。按胸径(DBH)每隔 2 cm 为一个径级统计,10 林龄云杉胸径主要集中在 0~2 cm,占总个体数 61.06%,只有 0~2 cm 和 2~4 cm 等 2 个径级幅度。20 林龄主要集中在 10 cm 以下,2~4 cm 径级的个体最多,占总数的 27.59%,共 8 个径级幅度。说明经过 10 余年的时间,云杉种群内部已出现了分化,径级幅度开始扩大。30 林龄主要集中在 6~16 cm 之间,10~12 cm 的个体最多,平均共占 10 个径级幅度。与 20 林龄相比,径级分布中心向大径级移动,径级幅度进一步扩大,各个径级个体的分配格局则以 10~12 cm 为中心呈正态分布(图 7)。

40 林龄云杉胸径主要集中在 6~18 cm 间,以 14~16 cm 的个体最多,共有 14 个径级幅度。与 30 林龄人工林相比,20 cm 以上较大径级的个体增多,径级分布中心稍微向大径级移动,径级幅度继续扩大。50 林龄大多集中在 8~22 cm 间,18~20 cm 的个体最多,占 13 个径级幅度。与 40 林龄相比,径级分布中心进一步向大径级移动,径级幅度继续扩大。70 林龄的径级结构变得进一步松散,甚至变得有些凌乱,36~38 cm 的个体最多,占 20 个径级幅度,胸

径 30 cm 以上的个体占相当大的比例, 径级分布中心大幅度向大径级移动, 径级幅度继续扩大, 径级分布曲线继续向扁平化和不规则化发展(图 7)。另外, 70 林龄人工林胸径 10 cm 以下的个体比例也明显增加, 这是由于人工林在林下出现了一定数量的更新幼苗所致。

纵观人工云杉林近 70 年的恢复过程, 径级结构变化总体表现为径级分布中心逐渐向大径级移动, 径级宽幅不断增加, 径级结构呈现不断分化的趋势, 径级分布曲线继续向扁平化和不规则化发展。这说明随着恢复年代的增加, 人工林云杉种群间的竞争不断加剧, 使得人工林的结构更加复杂, 并有助于对

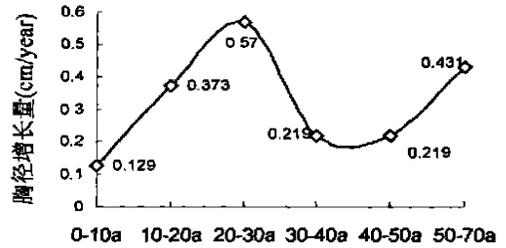
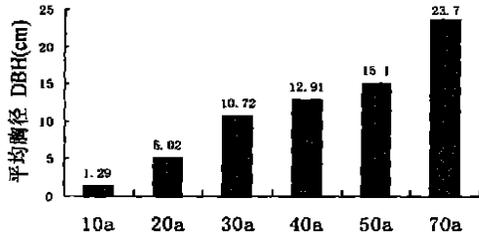


图 5 不同恢复阶段云杉胸径的变化趋势

图 6 不同恢复阶段云杉胸径生长速度的比较

Fig. 5 Variation of DBH of *Picea asperata* plantations of different restoration phases.

Fig. 6 Comparison of DBH growth rate of *Picea asperata* plantations of different restoration phases

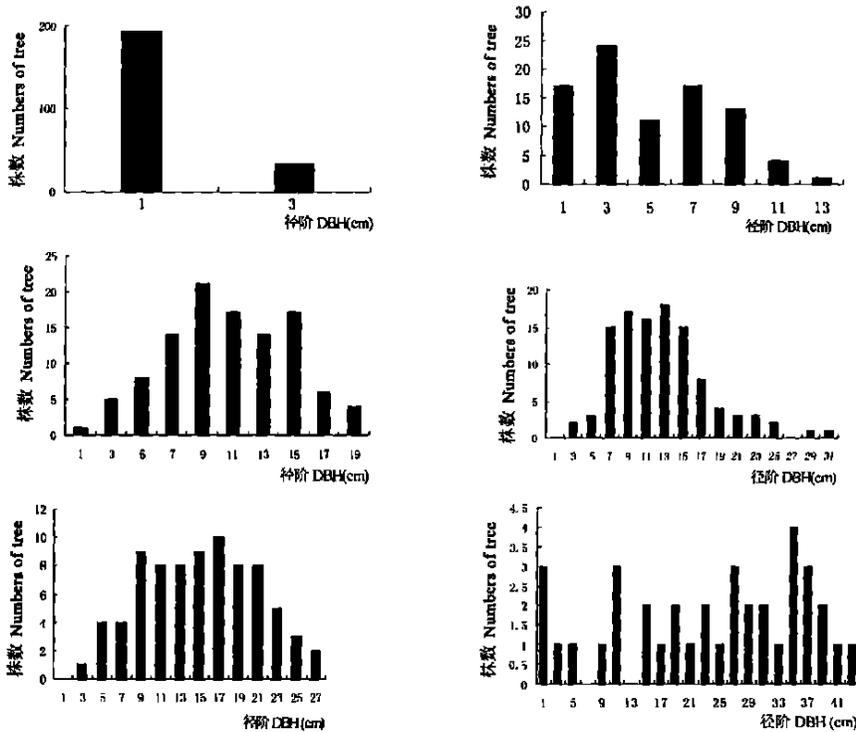


图 7 不同林龄云杉的径阶分布结构

Fig. 7 DBH distribution structures of different age-class *Picea asperata* plantations.

表 2 不同恢复级段人工林和原始林云杉径级宽幅  
Table 2 DBH width scope of trees in *Picea asperata* forests

人工林不同恢复级段 Different restoration phases plantations	10 a	20 a	30 a	40 a	50 a	70 a	原始林 Primary forest
径级宽幅 DBH width scope	2	7	10	14	13	20	36

空间资源的合理利用。

### 2.2.3 人工云杉林与原始林径级结构的比较

原始林径级结构多元化,天然更新良好,群落基本呈稳定状态。原始林乔木平均胸径仅 19.13 cm,低于 70 林龄人工云杉林。原始林以小径级林木的个体数占绝对多数,胸径 6 cm 以下的个体占其总数的 71.78%,其中,0~2 cm 级的个体最多,占 46.11%,可见原始林天然更新良好,以径级结构代替年龄结构,则表现为增长型。原始林乔木径级的幅度很宽,径级宽幅多达 36 个(表 2)。从 0~2 cm 径级分布到 108~110 cm 几乎各个径级都有分布,其中大于 10 cm 径级的个体分布呈一种稳定状态,大量更新幼苗中只有少数个体成活、长大进入林冠层,以补充原有冠层林木的死亡,维持整个群落林冠层的相对稳定。

人工林径级结构与原始林相比较,主要有以下几方面的差异:一方面人工云杉林 50 林龄前没有自我更新能力,只有在 70 林龄时才出现了少量的天然

更新苗,在郁闭度很高的林冠下基本上没有幼苗更新,很难天然更新维持其稳定状态。另一方面,径级的分布宽度没有原始林宽,径级结构比较单一,个体间的径级分化程度远不如原始林。

### 2.3 不同恢复级段云杉种群大小级结构分析

大小级结构是指同一林地中不同大小个体的比例构成。对不同恢复级段的人工云杉林按树高和胸径大小划分为 5 级(表 3)。统计发现,10 林龄人工云杉林绝大部分为幼树(II),占 96.46%,而小树(III)仅占 3.54%;20 林龄人工云杉林,以小树为主,占 48.28%,幼树占 31.03%,中树(IV)占 20.69%;30 林龄云杉林以中树为主,小树其次,幼树和大树很少;40 林龄云杉林也以中树为主,小树其次,没有幼树,大树(V)所占比例上升;50 林龄云杉林仍以中树为主,小树所占比例下降,大树所占比例继续上升。到了 70 林龄级段,人工云杉林则以大树为主,中树其次,小树较少,一些样方有不少的幼苗(I)、幼树出现。

表 3 人工云杉林不同大小级个体数分布表

Table 3 Distribution of size grade of trees in *Picea asperata* plantations

编号	规格	10 a		20 a		30 a		40 a		50 a		70 a	
		个体数	%										
I	$h \leq 0.33$ m	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	1	2.78
II	$h \geq 0.33$ m & $DBH < 2.5$ cm	218	94.46	27	31.03	1	0.93	0	-	0	-	1	2.78
III	$2.5$ cm $\leq DBH < 7.5$ cm	8	3.54	42	48.28	21	19.44	16	14.95	7	8.75	2	5.56
IV	$7.5$ cm $\leq DBH < 22.5$ cm	0	-	18	20.69	85	78.70	85	79.44	65	81.25	9	25.00
V	$DBH \geq 22.5$ cm	0	-	0	-	1	0.93	6	5.61	8	10.00	23	63.88
合计 Total		226	100	87	100	108	100	107	100	80	100	36	100

I: 幼苗 Young plant; II: 幼树 Young tree; III: 小树 Little tree; IV: 中树 Mid-tree; V: 大树 Big tree. N: 个体数 Number of trees

由于人工云杉林郁闭以后,林下光线很弱,植物很难生长,可以发现,自 30 林龄以后一直到 50 林龄的二十多年的恢复过程中,人工林的大小级结构没有实质性的改变,基本上是以中树为主,也没有幼苗更新,只有在恢复到 70 林龄左右之后才有少数更新苗的出现。

## 3 结论与讨论

研究结果表明,所调查的人工云杉林有两个快速生长(平均高度和胸径)时期:一是 20~30 a 人工林,年均高生长量达到 0.428 m;二是 50~70 a 人工林,年均高生长量达到 0.364 m。与天然原始林相比,人工林苗木的高度级宽幅(10/21)和胸径宽幅

(20/36)都较小,下层更新苗木少,林木个体多居于中上层,缺乏完整的结构。恢复了近 60 年的人工云杉林,垂直分层现象以及林木高度级和胸径的分化程度远不及天然原始林,说明人工云杉林生态功能的恢复是一个十分漫长的过程。

人工云杉林在 70 林龄后才有少量的更新幼苗,50 林龄以前的人工林年龄均为同一龄级,林下还没有更新苗木,所以种群的年龄结构很不合理,缺乏像原始林那样稳定的种群年龄结构。尽管经过了 70 年的恢复以后,乔木的高度级结构和径级结构有所改变,但与原始林相比仍有不小的差距。从根本上讲,人工林乔木种群的空间结构仍不稳定,还需要进一步的恢复和调控。

## 参考文献(References):

- [1] Cao Chengyou, Jiang Deming, Ala Mushan, *et al.* Ecological process of vegetation restoration *Caragana microphylla* sand-fixed area [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 2000, **11**: 349~ 354. [曹成有, 蒋德明, 阿拉木萨, 等. 小叶锦鸡儿人工固沙区植被恢复生态过程的研究[J]. 应用生态学报, 2000, **11**(3): 349~ 354.]
- [2] Chinese Forests Editorial Committee. Chinese Forests (Vol. 2): Coniferous forests[M]. Beijing: China Forestry Press, 1999. 725~ 730. [中国森林编辑委员会. 中国森林(第2卷): 针叶林[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999, 725~ 730.]
- [3] Li Chengbiao. Ecological Study of Sichuan Forest[M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science & Technology. 1990. 1~ 48. [李承彪. 四川森林生态研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990, 1~ 48.]
- [4] Liu Qing. Advances in Research on Restoration and Rehabilitation of Ecotone in Eastern Qinghai-Tibetan Plateau (Western Sichuan) [J]. *Resource Science*. 1999, **21**(5): 81~ 86. [刘庆. 青藏高原东部(川西)生态交错带恢复与重建研究进展[J]. 资源科学, 1999, **21**(5): 81~ 86.]
- [5] Liu Qing. Ecological research on subalpine coniferous forests in China [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 2002. 1~ 15. [刘庆. 亚高山针叶林生态学研究[M]. 成都: 四川大学出版社, 2002. 1~ 15.]
- [6] Liu Qing, Wu Yan, He Hai. Ecological problems of subalpine coniferous forest in the southwest of China[J]. *World Sci-Tech & Development*. 2001, **23**: 63~ 69. [刘庆, 吴彦, 何海. 中国西南亚高山针叶林的生态学问题[J]. 世界科技研究与发展, 2001, **23**: 63~ 69.]
- [7] Shi Lixin, Wang Jinxi, Su Yiming, *et al.* Earlier-stage succession of vegetation on the clear-cuts in Miyaluo forest district in western Sichuan[J]. *Acta Phytocologica & Geobotanica Sinica*. 1988, **12**(4): 306~ 313. [史立新, 王金锡, 宿以明, 等. 四川西部米亚罗地区森林采伐迹地植被的早期演替[J]. 植物生态与地植物学报, 1988, **12**(4): 306~ 313.]
- [8] Wu Yan, Liu Qing, Chen Qinghen, *et al.* Quantitative analysis of species diversity and soil factors in 30 a subalpine coniferous plantations at different altitudes[J]. *Chinese Journal of Application Biology*. 2001, **7**(5): 408~ 415. [吴彦, 刘庆, 陈庆恒, 等. 亚高山30 a人工针叶林物种多样性的定量分析[J]. 应用与环境生物学报, 2001, **7**(5): 408~ 415.]
- [9] Zhao Ping, Peng Shaolin. Species and species diversity in relation with restoration and persistence of degraded ecosystem functions [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 2001, **12**(1): 132~ 136. [赵平, 彭少麟. 种、种的多样性及退化生态系统功能的恢复与维护[J]. 应用生态学报, 2001, **12**(1): 132~ 136.]

## Ecological Restoration Process of Subalpine Coniferous Plantations in Western Sichuan, China

LIU Qing<sup>1</sup>, WU Yan<sup>1</sup>, He Hai<sup>1,2</sup>, Lin Bo<sup>1</sup>

(1. Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041;

2. Dept. of Biology, Chongqing Normal University, Chongqing 400047)

**Abstract:** *Picea asperata* population structures were investigated in variously phases of ecological restoration of the subalpine coniferous plantations, in comparison with natural forest at Miyaluo in the west of Sichuan province, China. Results showed that there were two significantly soon relative growth phases for the subalpine coniferous plantations in the process of ecological restoration, that are the period of 20~ 30 years with annual average relative height growth (RGH) 0.428 m and relative diameter of breast height (DBH) 0.57 cm, and the period 50~ 70 years with RHG 0.364 m and DBH 0.431 cm. Range of height grade, DBH width scope and number of seedlings and saplings of the subalpine coniferous plantations are less than natural forest. *Picea asperata* trees were of the same age in subalpine coniferous plantations younger than 50 years. Moreover, there was only a small quantity of seedlings and saplings in subalpine coniferous plantations more than 70 years and the age structure was not steady.

**Key words:** subalpine coniferous plantations, *Picea asperata*, restoration, ecological process, population structure, Miyaluo