

## 濒危植物银杉的种群统计与年龄结构\*

谢宗强<sup>1</sup>, 陈伟烈<sup>1</sup>, 路鹏<sup>1</sup>, 胡东<sup>2</sup>

5781. 190. 2

(1. 中国科学院植物研究所, 北京 100093; 2. 首都师范大学生物系, 北京 100037)

**摘要:**通过对银杉主要群落种群的数量统计和年龄组成的分析, 编绘了银杉种群的特定时间生命表、存活曲线和年龄结构图。结果表明, 银杉种群年龄超过200a后, 出现植株个体死亡高峰, 种群的平均生命期望陡降, 预示着种群的生理衰退。银杉种群的存活曲线介于Deevey I和II型曲线之间, 整个银杉种群在40龄级以上的年龄结构基本表现为增长型, 但不同的银杉群落种群的年龄结构差异很大, 大部分种群都存在幼龄个体缺乏的现象, 其中花坪林区和金佛山的2个银杉的群落种群属于严重衰退型种群, 其生存前景堪忧。

**关键词:**银杉; 种群; 特定时间生命表; 存活曲线; 年龄结构

### The demography and age structure of the endangered plant population of *Cathaya argyrophylla*

XIE Zong-Qiang<sup>1</sup>, CHEN Wei-Lie<sup>1</sup>, LU Peng<sup>1</sup>, HU Dong<sup>2</sup> (1. Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100093, China; 2. Department of Biology, Capital Normal University, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The time-specific life table, survivorship curve and age structure of *Cathaya argyrophylla* population were obtained through analysing the demography and age structures of its main coenopopulations. The results showed that after 200 years old, the death peak occurred and expected average life largely decreased for *C. argyrophylla* population, indicating its physiological decline. Although beyond 40 age-class the age distribution of the whole population generally fit the reverse "J" type, it was quite different among the coenopopulations. Most of the coenopopulations showed that the young trees of *C. argyrophylla* were too few to provide enough recruitment, resulting in ageing phenomena. In Huaping of Guangxi and Jinfoshan of Sichuan, there are two seriously decreasing populations, indicating the endangered future.

**Key words:** *Cathaya argyrophylla*; population; coenopopulation; timespecific life table; survivorship curve; age structure

文章编号: 1000-0933(1999)04-0523-06 中图分类号: Q145.1 文献标识码: A

种群统计的核心是建立反映种群全部生活史的各年龄组或生活态级出生率、死亡率, 甚至包括迁移率在内的信息综合表, 即生命表<sup>[1,2]</sup>。常用的生命表主要有两类: 特定年龄生命表以同生群为对象, 得到其不同年龄阶段中的生死动态和命运, 多用于短命植物和1年生草本; 特定时间生命表依特定时间断面上植物种群在各个年龄组的存活状况编制, 多用于长寿种群<sup>[2-5]</sup>。根据生命表中的 $l_x$ 值和龄级中值, 还可绘制出种群的存活曲线, 它与生命表中某些参数相结合, 成为分析种群动态的有效手段<sup>[1,2]</sup>。

植物种群的年龄结构是植物种群生态学的重要内容。研究乔木种群年龄结构不仅可以了解现在的种群状态, 也可以分析过去种群的结构与受干扰状态, 预测未来的种群动态<sup>[6,7-9]</sup>。乔木种群的年龄结构还有助于揭示种子散布、萌发及幼苗建立等特征<sup>[10,11]</sup>。因此, 对于某些不适于编制生命表进行种群动态分析的乔木种群, 可以通过分析其年龄结构来研究种群动态, 弥补生命表的局限性。

银杉主要分布于我国亚热带山地, 残存的个体(高度>1m)不足5000棵, 而且片断化现象严重, 大体形

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 39893360)

博士论文的一部分, 承蒙导师陈灵芝研究员悉心指导, 在此谨表谢意。

收稿日期: 1997-02-15; 修订日期: 1997-10-13

成八面山、大娄山(主要包括金佛山)、大瑶山和越城岭(包括花坪林区和罗汉洞林区)4个集结地<sup>[12]</sup>。即使在每个集结地,银杉仍然呈岛屿状分布,形成不同的群落种群。本文以4个集结地的主要群落种群为对象,旨在通过对银杉种群的特定时间生命表和年龄结构的综合分析,研究银杉种群的动态,评估这一濒危种群的生存前景。

### 1 研究地区的自然条件

银杉分布于我国亚热带山地,具有山地森林气候特点。一般特征是冬季寒冷,夏季凉爽而短促,日照较少,雨多量大。年平均温度在分布区南北差异较大,介于8.3~17℃,极端最高、最低气温分别为34℃和-14.4℃。 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的活动积温介于2000~5000℃。该区域年平均降水量变化于1400~2000mm,季节分配不均,4~10月集中了全年降水的80%,11月到次年3月降水很少,形成明显的干湿季,年平均相对湿度都在85%以上。有些年份冬季低温,有冰冻现象,树枝挂冰,导致折断现象。由于山体高大,水汽丰富,受到一定的天气系统影响时,造成大量降水,出现暴雨,引起滑坡,泥石流等,破坏了生态环境。秋旱和冰雹也是主要的气候灾害。该区域岩层古老,成陆较早。地貌类型复杂,以中山为主,地形起伏大。土壤以红壤、黄红壤和山地黄壤为主。植被受人为干扰严重,次生植被广泛分布,部分地区植被保存完好。

### 2 研究方法

对主要银杉群落进行样方调查的同时,在近地面处钻取银杉生长锥样芯,在年轮分析仪上判读其年轮数以确定树龄,选择正好通过髓心或略有偏斜的树芯,结合解析木资料,建立年龄与胸径的回归方程。以40a为龄距将主要群落的银杉种群划分龄级,统计各龄级株数。根据特定时间生命表的编制原理和方法<sup>[1,2]</sup>,计算生命表中各参数,完成银杉种群特定时间生命表和存活曲线的编绘。根据各主要群落每一龄级的银杉株数,绘制银杉各种群的年龄结构图。其中,对个别特殊的群落种群的40a以下龄级按不等距划分,以便灵活反映实际情况,分析种群动态。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 银杉种群的特定时间生命表与存活曲线

由于银杉种群数量少,有些群落的银杉种群幼龄级个体甚至少于较高龄级,不适于编制生命表,因此,笔者选择各龄级个体数量比较理想、受人为干扰最轻的八面山银杉种群编制生命表(表1),绘制存活曲线(图1)。

表1 八面山银杉种群的特定时间生命表\*

Table 1 The time-specific life table of *Cathaya argyrophylla* population in Bamianshan, Hunan

$x$	$a_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$L_x$	$T_x$	$e_x$	$\ln(d_x)$	$\ln(l_x)$
20	391	1000	223	0.223	888.5	1688.5	1.689	5.969	6.908
60	304	777	521	0.671	516.5	800.0	1.030	5.717	6.655
100	100	256	179	0.699	166.5	283.5	1.107	4.605	5.545
140	30	77	44	0.571	55.0	117.0	1.519	3.401	4.349
180	13	33	0	0.000	33.0	62.0	1.879	2.565	3.500
220	13	33	23	0.700	21.5	29.0	0.879	2.565	3.500
260	4	10	5	0.500	7.5	7.5	0.750	1.386	2.303
300	2	5						0.693	1.609

\*: $x$  龄级中值, $a_x$   $x$ 龄级开始时的实际存活数, $l_x$   $x$ 龄级开始时标准化的存活数, $d_x$  从 $x$ 到 $x+1$ 期的标准化死亡数, $q_x$  各龄级的个体死亡率, $q_x=d_x/l_x$ , $L_x$  从 $x$ 到 $x+1$ 期平均存活个体数  $L_x=(l_x+l_{x+1})/2$ , $T_x$  龄级 $x$ 及其以上各龄级的个体存活总数  $T_x=\sum L_x$ , $e_x$  进入 $x$ 龄级个体的平均生命期望。可理解为平均每个树木在现有年龄之后还能存活年龄间隔期的倍数,如 $x=100$ ,则这时平均每个树木还能存活  $1.107 \times 40=44a$ , $e_x=T_x/l_x$

由表1和图1可以看出,八面山银杉种群在320a范围内的死亡( $q_x$ )趋势:在0~40龄级的死亡率较低,仅为0.223,主要缘于该龄级的个体大多生长在年龄较轻的林窗内,光照条件、养分条件较好,个体间的竞争压力不大;40~80龄级和80~120龄级的死亡率增大到0.671和0.699,是0~40龄级的3倍。该阶段处在青年期和壮年期早期,个体对营养空间的需求不断增大,银杉和上层林木开始靠接,与其他林木的生态位发生

重叠,林内光照、水分、养分和空间等因子已不能充分满足其要求,植株间竞争激烈,自疏和他疏作用增加,个体间的分化现象严重,导致高死亡率;120~160龄级已进入壮龄期晚期,死亡率较40~120两个龄级略有降低;160~200龄级处在壮龄晚期和老年早期,经过前面所述的竞争,占据上层者地位基本巩固,环境条件极大地满足生长需求,个体间竞争明显减弱,植株的死亡危险降低;200~240龄级的植株,在虫害高发期松毛虫危害严重,经生长锥取样发现,多数植株开始出现心腐,枯梢现象也很严重,反映出植株生理功能的衰退,从而形成死亡高峰;能进入240~280龄级的植株是经过上一龄级的死亡高峰后,留下的极少数个体,它们基本没有出现心腐和枯梢,长势较好,仍能正常结实,表现出较强的抗性,其死亡率保持在0.5,较死亡高峰期有所下降。从死亡动态可以初步认为银杉种群的生理年龄是200a左右。

平均生命期望( $e_x$ )反映的是  $x$  龄级内个体的平均生存能力。八面山银杉种群的  $e_x$  值在160~200龄级时达到最大,表明此阶段银杉的生存质量最高,是银杉的生理活动旺盛期;在0~40龄级的  $e_x$  值也较高,这主要是在林窗更新方式下银杉个体受到竞争压力小所致;在200~240龄级及240以上龄级,银杉种群的平均生命期望陡降,仅为160~200龄级的50%以下,显示着银杉种群的生理衰退。

将八面山银杉种群的存活曲线与适用性很强的 Deevey 存活曲线<sup>[13]</sup>叠加(图1)后发现,八面山银杉种群的存活曲线介于 Deevey I 和 II 型曲线之间,与川西高山松种群的存活曲线<sup>[3]</sup>非常相似。

### 3.2 银杉主要分布点的银杉种群年龄结构与动态

3.2.1 八面山银杉种群的年龄结构与动态 根据八面山银杉的35个生长锥取样,建立年龄与胸径的回归方程:

$$A = 16.8 + 5.24D - 0.0029D^2 \quad (1)$$

$$R = 0.83^{**}$$

利用(1)式计算八面山群落银杉种群的年龄,并绘出其年龄结构图(图2)。

八面山银杉种群的年龄结构从整体上看比较合理,种群基本上处于稳定状态(图2,a)。但对于不同的群落类型,银杉种群的年龄结构有明显差别(图2,b,c,d)。银木荷-银杉群落中银杉种群的年龄结构(图2,c)的显著特点是缺乏120a以上的大龄银杉,0~40a的幼苗幼树不如40~80a的银杉个体多,银杉喜光喜湿不耐荫蔽的生物学特性是造成这种情况的主要原因。由于该林分中银杉种群年龄不大,自然稀疏作用较弱,还不足以形成林窗,银杉幼苗幼树在荫蔽的林冠下,空间生态位受到限制,成活株数少。甜槠-银杉群落、南方铁杉-甜槠-银杉群落中银杉种群的年龄结构(图2,b,d)有一个共同特点,即在80~120a和120a以上的龄级中出现有间隔的断代现象,这主要与银杉本身的生物学特性及

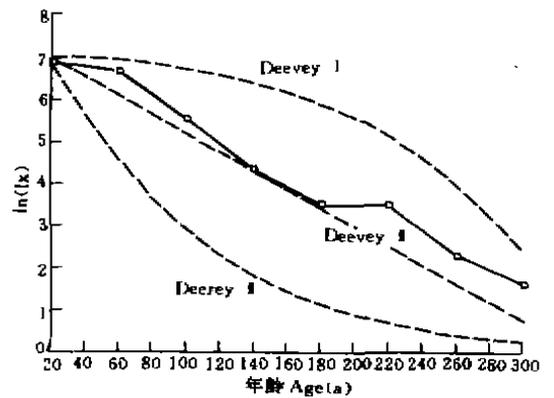


图1 八面山银杉种群的存活曲线

Fig. 1 Survivorship curve of *Cathaya argyrophylla* population in Bamiashan, Hunan

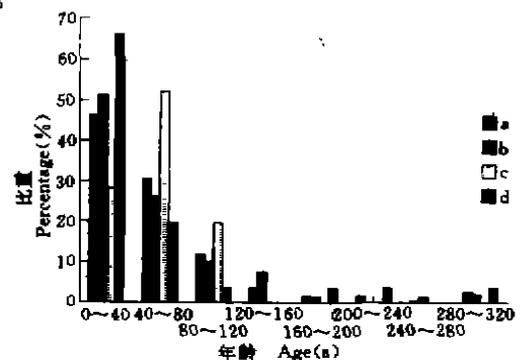


图2 八面山银杉种群的年龄结构

Fig. 2 Age structure of *Cathaya argyrophylla* population in Bamiashan, Hunan

a 整个群落 Whole community b 银杉+甜槠群落 *Cathaya*+*Castanopsis* community c 银杉+银木荷群落 *Cathaya*+*Schima* community d 银杉+南方铁杉+甜槠群落 *Cathaya*+*Tsuga*+*Castanopsis* community

个体间的竞争有关。银杉生长到一定年龄阶段,开始为获取充裕的自然资源特别是光照而对上层空间生态位展开激烈的竞争,从而引起自然稀疏。当某一年龄级的银杉个体在自然稀疏作用下遭到淘汰时,形成林窗,造成该龄级银杉缺乏,而林窗则迅速为幼苗幼树所占据,进而形成某一龄级高峰。这样在整个种群的年龄结构图上就表现为断代现象<sup>[14]</sup>。

**3.2.2 金佛山银杉种群的年龄结构与动态** 利用金佛山解析木资料和生长锥取样,得到年龄与胸径的回归方程:

$$A = 1.54 + 5.20D - 0.0164D^2 \quad (2)$$

$$R = 0.92$$

按(2)计算金佛山群落中银杉种群的年龄,进而绘出年龄结构图(图3)。可以看出,金佛山银杉种群总体来看(图3,d),种群在40a以上,其年龄结构符合增长型,但0~40龄级的个体严重不足,形成整个种群的断层。就各种群落中银杉种群而言,年龄结构虽然都表现为不稳定,但程度不同。马尾松-杉木-银杉群落,扰动较强烈,160~200龄级形成断代,但群落内林窗较多,0~80龄级的银杉比重高达75%,可以认为它是一个不稳定的增长型种群。林窗干扰是幼龄级个体较多的主要因素(图3,a)。石砾-银杉群落生长在孤立台地,土壤侵蚀严重,银杉种群0~40龄级断层极其严重,个体所占比重仅为9.1%,40~80龄级的个体比重也低于80~120龄级,仅为后者的一半,形成极不稳定的衰退型年龄结构。正是严重的土壤侵蚀导致地表岩石裸露,银杉种子难以生根发育,抑制了幼龄银杉的生存和发展。随着侵蚀程度与日俱增,幼龄个体逐年减少,形成0~40龄级个体<40~80龄级<80~120龄级的衰退型年龄结构,

80~120a后,该种群的生存将受到威胁(图3,b)。水青冈-银杉群落中的银杉种群的年龄结构比较复杂(图3,c),各龄级的个体数量差异比前2个种群差异小,幼苗幼树仍然少见,种群也处于不稳定状态。

**3.2.3 大瑶山银杉种群的年龄结构** 大瑶山长苞铁杉-银杉群落中银杉种群的年龄结构(图4)在120~240龄级个体占比较大,达40%以上,0~40龄级的幼龄个体比重也较大,达37%,形成中间低两头高的年龄结构,表明该种群老龄化虽然严重,但后代的更新状况较好,当老龄个体枯死后,幼龄个体能够迅速生长,使种群的生存不至于受到严重威胁。

**3.2.4 花坪银杉种群的年龄结构与动态** 花坪的广东五针松-银杉群落中银杉种群的年龄结构(图5)在0~5龄级的幼苗幼树很多,160以上龄级的个体占有较大比重,但5~40龄级出现断代。这与群落的种类组成和结构有很大关系。群落灌木层生长茂盛,覆盖度高达90%以上,变色杜鹃占绝对优势,因此形成林下阴湿、

地表的覆盖物较少,种子较易接触土壤,萌发的幼苗较多。由于林下过于荫蔽,致使幼苗大量死亡,长成幼树者近于0,在年龄结构图上造成5~40龄级的断代。时隔17a的2次调查发现,群落内出现不少落叶常绿阔叶混交林中主要种类的幼树幼苗,高等植物增加了14种。这说明随着环境条件的改善,阔叶树种的侵入速

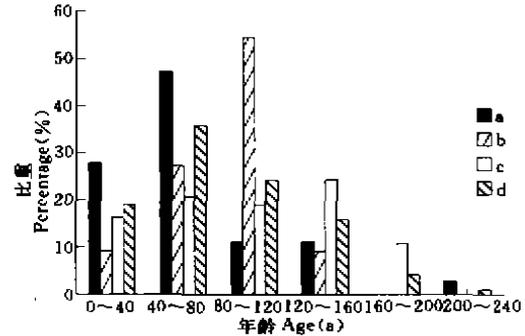


图3 金佛山银杉种群的年龄结构图

Fig. 3 Age structure of *Cathaya argyrophylla* population in Jinfoshan, Sichuan

a 银杉+杉木+马尾松群落 *Cathaya* + *Cunninghamia* + *Pinus* community b 银杉+石砾群落 *Cathaya* + *Lithocarpus* c 银杉+亮叶水青冈群落 *Cathaya* + *Fagus* Community d 整个群落 Whole community

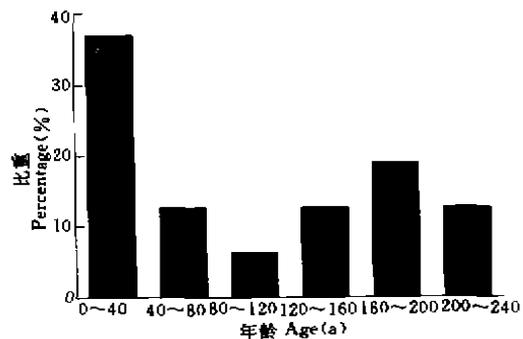


图4 大瑶山银杉种群的年龄结构图

Fig. 4 Age structure of *Cathaya argyrophylla* population in Dayaoshan, Guangxi

度较快,平均0.8种/a,新侵入的种类已进入更替层。由于阔叶树种的不间断侵入和生长,环境越来越不利于银杉的更新和生长<sup>[15]</sup>。因此,该群落中的银杉种群属于严重衰退型种群。

### 3.3 银杉种群年龄结构与种群动态的综合分析

综上所述,可以看出,不同类型的群落中的银杉种群年龄结构差异很大,除了八面山的南方铁杉-甜槠-银杉群落和甜槠-银杉群落中的银杉种群的年龄结构略符合增长型外,大部分种群都存在幼龄个体严重不足、老龄化加剧的现象。特别是在花坪林区的广东五针松-银杉群落和金佛山的石栎-银杉群落的银杉种群中表现尤为突出,这2个群落的银杉种群属于严重衰退型种群,其生存前景堪忧。幼苗对其生境不适,难以安全地通过强烈的环境筛选而成为幼树进入银杉种群的更替层是其主要障碍;不良生境主要是地表侵蚀严重和过于荫蔽形成的。适度的林窗干扰对银杉幼龄个体的繁殖壮大具有促进作用。

从现有银杉的分布格局来看,银杉的4个分布中心相距遥远,个体迁移异常困难。但在金佛山、八面山和大瑶山3个分布中心内部,仍然存在生境破碎化的情况。以八面山为例,银杉的4个群落种群彼此相距2~3km,基因交流较为频繁,个体迁移(种子传播)也容易实现。Levins将这种情况概括为异质种群<sup>[16]</sup>。该理论认为,由于各种原因导致生物种群的破碎化,从而形成在空间上有一定距离的生境斑块(habitat patch);同时也使得一个较大的生物种群因栖息地的破碎化而被分割成许多小的局部种群(local population)。破碎化的栖息地生境的随机变化,致使那些被分割的局部种群随时都有可能发生随机灭绝,同时个体在生境斑块间的迁移作用又为在尚未被占据的生境斑块内建立新的局部种群提供了可能<sup>[17]</sup>。因此可以认为八面山的每个群落种群为局部种群,4个局部种群形成银杉的一个异质种群。金佛山也有类似情况。

就整个银杉种群而言,幼龄个体严重不足成为银杉种群发展壮大的限制因子。加之银杉种群数量有限,每一个群落中银杉种群的消长都将影响到整个银杉种群的稳定性。特别是金佛山和八面山的异质种群中,每个局部种群的消亡都将降低异质种群避免灾难性事件(如火灾、滑坡等)的能力;局部种群的增加,在环境稳定条件下则通过突变增加种群的变异,对种群的生存有利。因此在研究银杉种群动态时,只有针对各种群落中银杉种群的研究,并在此基础上进行综合分析,才能更为准确地反映其生存质量,预测其发展前景。

### 3.4 银杉的濒危原因与保护对策

**3.4.1 银杉的濒危原因** 植物的生存不仅决定于它们对现代生境条件的反应,并且也决定于它们对地质时代气候条件、山岳条件的反应<sup>[18]</sup>。在地质时代,至少在中新世至上新世之间,银杉曾广布欧亚大陆,但由于第四纪冰川的袭击,其种群数量大幅度减少,仅在我国亚热带山地零星残存<sup>[19]</sup>,造成严重的片断化分布,这在客观上成为银杉生存的一大瓶颈。在现代生境条件下,银杉的有性生殖周期较长,胚珠原基在5月份形成,次年5、6月份传粉,第3年6月份受精,10月份种子成熟。从胚珠原基形成到种子成熟历时30个月,其中从传粉到受精,经历13个月,胚胎发育约4个月,其间要遭遇许多不良生境。特别是传粉和受精过程恰逢梅雨季节,致使授精前后的败育率高达70%以上,造成银杉生殖效率低,种子产量极少,严重影响银杉的天然更新;加之银杉在苗期虽然需要一定的荫蔽,但随年龄的增加对光照的要求逐渐增强。此时过于荫蔽,常常导致植株死亡<sup>[20]</sup>。银杉多与阔叶树种混生,常受到阔叶树种荫蔽,导致种群更新不良,数量下降。因此,地质时代的气候变迁和现代生境下种群更新不良,是造成银杉种群濒危的重要原因。

**3.4.2 银杉的保护对策** 针对银杉的濒危原因,应从以下几方面开展保护工作:①研究突破繁殖难关,人为扩大种群数量。由于天然银杉林生境严酷,种群数量稀少,加之,十余年来对银杉种子的大量采集,致使银杉天然更新所必须的种子库遭受严重破坏,造成银杉更新不良,对该种的生存与发展极为不利。虽然移

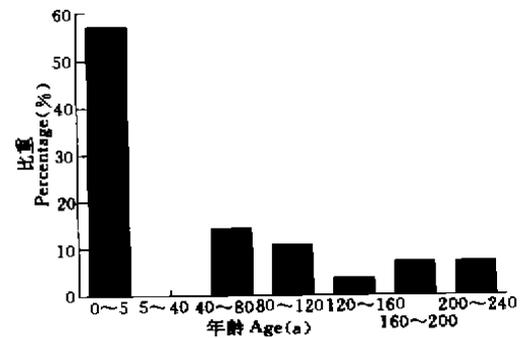


图5 花坪银杉种群的年龄结构图

Fig. 5 Age structure of *Cathaya argyrophylla* population in Huaping, Guangxi

植天然实生苗成活率较高,目前在有些银杉保护区大量实施,但这更加严重地影响银杉自然更新,对天然种群的稳定性不利。银杉人工种子繁殖虽已成功,但发芽率、保存率仍然停留在低水平上。因此,有必要在现有基础上,加强对银杉种子繁殖和营养繁殖的研究,突破技术难关,为大面积营造银杉人工林,实现迁地保护,提供种苗保障。②适度的人为干扰。由于银杉不耐荫蔽,在天然林内部闭度大的林冠下,银杉幼苗、幼树的高生长随着树高的增加,越来越受到上层林冠的抑制,年生长量逐年减少,大部分植株处在等待生长机会状态。如果上层林木不能形成较大的空隙,这些植株便在等待中逐渐死亡。相反,在林窗,银杉的幼苗、幼树的高生长量随着树高的增加而递增。由于银杉多与阔叶树种混交,而且阔叶树种的荫蔽作用更强,成为银杉天然更新的一大障碍。此外,盖度偏高的灌木层也影响银杉种子的萌发和幼苗的存活。因此,应该对种群的演替进程进行适度的人为干扰,在郁闭度大的林分中,对阔叶树种进行适当的疏伐,使其郁闭度保持在0.4~0.5;对下木盖度偏高的林分进行抚育伐,使其盖度在40%左右。这样可促进银杉更新,达到“伐阔保针”的目的。③重视银杉周围生境的保护。调查表明,银杉保存较好的分布点,其周围的环境破坏程度也较轻,植被的原始性较强,说明银杉已经与其周围环境形成了相互依存相互影响的关系,如果仅仅将银杉视为珍宝,而对周围生境不加保护,银杉的保护只是一种短期行为。④注重人才培养,提高管理水平。由于银杉保护区地处偏远山区,人才匮乏现象严重。有的银杉保护区松毛虫虫害严重,银杉幼树针叶几乎全被吃光,却未引起重视,也没有进行防治。因此,应加强对现有工作人员的专业培训,对银杉保护区的自然状况、物种特点等资料进行全面调查、建档,以提供各方面研究和分析之用,做到管理科学化、技术化。

#### 参考文献:

- [1] Harcombe P A. Tree life tables. *BioScience*. 1987, 37:557~567.
- [2] 周纪纶,郑师章,杨 持. 植物种群生态学. 北京:高等教育出版社,1992.
- [3] 江 洪. 云杉种群生态学. 北京:中国林业出版社,1992.
- [4] Begon M & M Mortimer. *Population ecology: A unified study of animals and plants*. Blackwell Scientific Publications. 1981.
- [5] Pielou E C. *The interpretation of ecological data*. Wiley, N. Y. 1984.
- [6] Harper J L. *Population Biology of Plants*. London: Academic Press. 1977.
- [7] Stewart G H. The dynamics of old-growth *Pseudotsuga* forests in the western Cascade Range, Oregon, USA. *Vegetatio*. 1989, 82:79~94.
- [8] Stewart G H & A B Rose. The significance of life history strategies in the developmental history of mixed beech (*Nothofagus*) forest, New Zealand. *Vegetation*. 1990, 87:101~114.
- [9] Ishikawa Y & K Ito. The regeneration process in a mixed forest in central Hokkaido, Japan. *Vegetatio*. 1989, 79:75~84.
- [10] Skoglund J & T Verwijst. Age structure of woody species populations in relation to seed rain, germination and establishment along the river Dalälven, Sweden. *Vegetatio*. 1989, 82:25~34.
- [11] Armesto J J, I Casassa & O Dollenz. Age structure and dynamics of Patagonian beech forests in Torres del Paine National Park, Chile. *Vegetatio*. 1992, 98:13~22.
- [12] 谢宗强. 中国特有植物银杉及其研究. 生物多样性. 1995, 3:99~103.
- [13] Deevey E. Life tables for natural populations of animals. *Quart. Rev. Biol.* 1947, 22: 283~314.
- [14] 谢宗强,陈伟烈,江明喜,等. 八面山银杉林种群的初步研究. 植物学报. 1995, 37:58~65.
- [15] 王献溥. 广西亚热带山地针阔混交林的群落学特点. 武汉植物学研究. 1990, 8:243~253.
- [16] Levins R. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America*. 1969, 15:234~240.
- [17] Hanski I. Single-species metapopulation dynamics: concepts, models and observations. *Biol. J. Linn. Soc.* 1991, 42:17~38.
- [18] 吴鲁夫著,仲崇信,等译. 历史植物地理学. 北京:科学出版社,1964.
- [19] 傅立国. 银杉的发现与分类. 见:王伏雄主编,银杉生物学. 北京:科学出版社,1990.
- [20] 李瑞高,黄正福,石金华. 银杉生态环境的调查研究. 广西植物. 1981, 1:12~17.