

濒危植物南方红豆杉不同种群的结构和动态变化

刘佳庆, 李宁, 熊天石, 邓青珊, 时光黎, 鲁长虎*

(南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037)

摘要: 为了解南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairei*)不同种群的结构变化,于2007年、2008年、2012年分别对皖南仙寓山双坑村、浙江天目山桐坑村及福建梅花山的南方红豆杉天然种群进行了研究。结果表明,仙寓山的1214株南方红豆杉中,幼苗占80%;天目山有510株,幼苗占39.61%,其次是9 m以上的古树,占22.16%;梅花山有174株,幼苗占70.11%,古树占20.11%。3个种群的天然更新都呈缓慢增长状态,存活曲线为Deevey-III型,空间分布均为聚集分布,但从幼苗到幼树的生长阶段死亡率高。因此,对濒危植物南方红豆杉的保护重点应放在幼苗和幼树阶段。

关键字: 南方红豆杉; 种群结构; 天然更新; 濒危植物

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2014.05.009

Structure and Dynamic Changes of Different Populations of Rare Plant *Taxus chinensis* var. *mairei*

LIU Jia-qing, LI Ning, XIONG Tian-shi, DENG Qing-shan, SHI Guang-li, LU Chang-hu*

(College of Forestry Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: In order to understand the structure changes of different Chinese yew (*Taxus chinensis* var. *mairei*) populations, the regeneration populations of Chinese yew, distributing in Shuangkeng Village in Xianyu Mountain of Anhui Province, Tongkeng Village in Tianmu Mountain of Zhejiang Province and Ecological Garden of Yew, Fujian Meihua Mountain National Nature Reserve, respectively, were studied from October to December in 2007, 2008 and 2012. The results showed that there were 1214 individuals Chinese yew in Xianyu Mountain in 2007, the number of seedlings accounting for 80%. Chinese yew distributed in Tianmu Mountain and Meihua Mountain had 510 and 174 individuals, the number of seedlings accounting for 39.61% and 70.11%, the number of tree height more than 9 m for 22.16% and 20.11%, respectively. All of the three natural regeneration populations showed slowly increasing and the survival curves were Deevey-III type with clumped spatial pattern, and the mortality at growth stage from seedlings to saplings was high. It was suggested that the protect priority to rare and endangered *T. chinensis* var. *mairei* should be placed in stages from seedlings and saplings.

Key words: *Taxus chinensis* var. *mairei*; Population structure; Nature regeneration; Endangered plant

种群的结构及动态变化是植物种群的重要属性之一,它不仅体现了种群大小或不同生长阶段的数量变化情况^[1-2],也反映了种群的结构现状、繁殖策略及未来命运^[3-4]。通过对珍稀濒危植物天然更新种群的结构和动态分析,有助于了解濒危植物种

群在时间和空间上的数量变化机制、种群的生态特征和更新及其群落结构的发展趋势,并为珍稀濒危植物的保护计划制定提供基础性的参考资料^[5-6]。

红豆杉属(*Taxus*)植物是红豆杉科(Taxaceae)中的常绿乔木或灌木,主要分布于欧亚和美洲大

收稿日期: 2013-12-16

接受日期: 2014-03-10

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(30970470);江苏高校优势学科建设工程项目;江苏省研究生培养创新工程项目(CXZZ12_0548)资助

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luchanghu@njfu.com.cn

陆的寒温带、温带和亚热带地区^[7]。南方红豆杉(*T. chinensis* var. *mairii*)又称美丽红豆杉,为我国特有种——中国红豆杉(*T. chinensis*)的变种,国家 I 级重点保护植物^[8-10]。它广泛分布于中国西南、华南、华中、华东和西北地区^[10]。由于受花期不遇,幼苗竞争力弱、种子捕食压力和种子萌发条件等的限制,天然南方红豆杉多呈小种群分散分布,更新困难^[11-12]。南方红豆杉种群常呈现出两种存活状态:一是散生在原始的连续森林中;二是呈集群状分布在村落周围,人为干扰严重,生境呈破碎化,但是第二种存在方式却十分广泛^[12]。目前,关于南方红豆杉种群结构的研究,主要集中于连续森林中的种群^[13-14],种群结构显示出幼苗早期阶段的死亡率较高,但到达一定龄级之后,存活率则处于相对稳定的状态。但是对于村落周围的南方红豆杉种群的结构和动态仍然不甚明了,这对于科学保护该植物资源是不利的。

生存于村落周围的南方红豆杉天然更新种群到底具有什么样的种群结构和动态?不同地点的南方红豆杉种群在更新过程中是否存在差异?这即是本研究所关注的两个问题,本文以浙江天目山、皖南仙寓山和福建梅花山 3 个地区的南方红豆杉种群为研究对象,通过对更新种群结构的动态研究,分析村落周围的濒危植物群落在更新过程中的特点,为保护和合理利用这一珍稀植物资源提供科学依据。

1 研究地概况

浙江天目山、皖南仙寓山和福建梅花山均是我国南方红豆杉种群的重要分布区。福建梅花山的红豆杉生态园内分布着大量的红豆杉林,而且林分古老。与此不同,浙江天目山和皖南仙寓山的红豆杉种群多集群分布在村落的周围^[12,14-16]。

浙江省是我国南方红豆杉资源的主要分布区之一,但各分布地的种群数量不多,呈零星状。天目山是浙江省南方红豆杉分布较为集中的地区,并且以临安市桐坑村(30°00' N, 119°22' E)分布的南方红豆杉种群最大。临安市于 2003 年桐坑村设立了南方红豆杉自然保护小区,海拔为 500~700 m。该区域属中亚热带季风气候区,气候温暖湿润,四季分明。年平均气温 15.2℃~16.8℃,年降水量 1324~

1505.6 mm,土壤母岩为板岩、花岗闪长岩,有结实母树 26 株,母树所在斑块面积约 2.1 hm²^[16]。仙寓山的海拔为 50~1000 m,年平均气温 16℃,年降水量 1626.4 mm,土壤母岩为花岗岩和页岩。红豆杉天然种群大多零星分布于海拔约 540 m 处,其中以双坑村村后山坡上(30°00'537" N, 117°18'753" E)的毛竹林分布最为集中。双坑村位于安徽省石台县,地处石台、东至、祁门三县交界处,为黄山与九华山交错的牯牛降国家级自然保护区西脉,东南部为黄山西脉,西北部是九华山脉的南端,形成南北高,东西低的地势。坡地处于一个山谷中,坡底是一条溪涧,村民沿溪两侧顺势居住,其间平坦处有菜地分布,坡上的红豆杉与毛竹呈混生状态,有结实母树 5 株,母树所在斑块面积约 1.1 hm²。梅花山自然保护区位于福建省上杭、龙岩、连城三县交界处(25°15' N, 116°45' E),红豆杉生态园地处梅花山南麓,面积 81.8 hm²,有结实母树 500 株,海拔 895~1218 m,平均坡度 27°,属中山地貌。气候为中亚热带与南亚热带过渡地带,年平均气温 13℃~18℃,年降水量 1700~2200 mm,土壤母岩为花岗岩,土壤类型为黄红壤,植被类型为亚热带阔叶混交林。

2 研究方法

2.1 数据收集

2007 年 10~12 月对皖南仙寓山双坑村天然更新的南方红豆杉种群分布格局进行调查。对 1.1 hm²的坡面进行全面调查,将长 120 m 的坡面横向按 20 m 为一个单位,纵向按上中下坡位,共划分为 18 个样方。

2008 年 10~12 月对浙江天目山桐坑村红豆杉种群进行野外调查,将 2.1 hm²的坡面划分为 11 个样方,将长为 180 m 的坡面横向按 30 m 为一个单位,纵向按上中下坡位。

2012 年 10~12 月对福建梅花山红豆杉生态园的南方红豆杉种群更新特征进行调查。依据不同林型,在南方红豆杉集中分布处设置样方。在竹林、竹阔混交林、阔叶林 3 种林型各取 20 m×20 m 的大样方 5 个,共设样方 15 个。

统计各样方内南方红豆杉更新幼苗和幼树的数量、高度。同时对南方红豆杉成年树进行每木测量,记录高度、胸径和生长情况。

2.2 种群高度结构划分

根据南方红豆杉生活史的特点,不同发育阶段的南方红豆杉以高度(H)结构来反映红豆杉年龄结构^[17],划分为6个高度级:H≤30 cm (I);30 cm<H≤3 m (II);3 m<H≤5 m (III);5 m<H≤7 m (IV);7 m<H≤9 m (V);H>9 m (VI)。同时参考红豆杉的生长特点^[12]对高度H≤30 cm的幼苗年龄再划分,将H≤10 cm (I₁)的作为一年生幼苗,10 cm<H≤30 cm (I₂)作为2-3年生幼苗。

2.3 种群空间分布格局分析

采用方差/均值比的t检验法、负二项参数(k)法、丛生指标法(I)、平均拥挤指数(m)与聚块性指数法(PAI)分析种群空间分布格局和聚集强度^[18-19],以此判断南方红豆杉更新种群的分佈格局。

2.4 种群动态分析

种群结构动态分析采用陈晓德的量化方法^[20],分析两相邻高度级(n, n+1级)间种群个体数量的动态变化(V_n):

$$V_n = \frac{S_n - S_{n+1}}{\max(S_n, S_{n+1})} \times 100\%$$

当考虑未来的外部干扰时,种群年龄结构动态(V_{pi})还与年龄级数量(K)及各年龄级个体数(S_n)两因素相关,即:

$$V_{pi} = \frac{1}{\sum_{n=1}^{k-1} S_n} \cdot \sum_{n=1}^{k-1} (S_n \cdot V_n)$$

$$V_{pi}' = \frac{1}{K \cdot \min(S_1, S_2, S_3, \dots, S_k)} \cdot \sum_{n=1}^{k-1} S_n \cdot V_n$$

式中, S_n与 S_{n+1}分别为第n与n+1年龄级种群个体数, K表示种群年龄级数量, max(……)表示取括号中数列极大值, min(……)表示取括号中数列的极小值。V_n和 V_{pi}值为正、负、零值时分别反映出种群两相邻年龄级个体数量的增长、衰退、稳定的结构动态关系。

3 结果和分析

3.1 种群高度级

皖南仙寓山双坑村南方红豆杉更新种群共有1214棵。在各高度级别中,从I级到II级的南方红豆杉幼苗数量骤减,这说明天然更新的初期,红豆杉幼苗的死亡率较高。但从3 m高(III级)的南方红豆杉幼树开始,种群数量趋于稳定,此时红豆杉幼树种群的高度生长缓慢,主要变为径向生长,从而使各高度级的株数稳定(图1)。

浙江天目山桐坑村南方红豆杉更新种群共有510棵。在各高度级别中,从I级到II级,南方红豆杉幼苗的数量也呈骤减的趋势,说明在天然更新的初期幼苗也具有较高的死亡率。种群数量从III级(3 m)之后趋于稳定。但是此地的南方红豆杉成年树种群稳定,且数量较大。因此,认为该地区南方红豆杉种群存在明显的周期性,这可能与天然更新

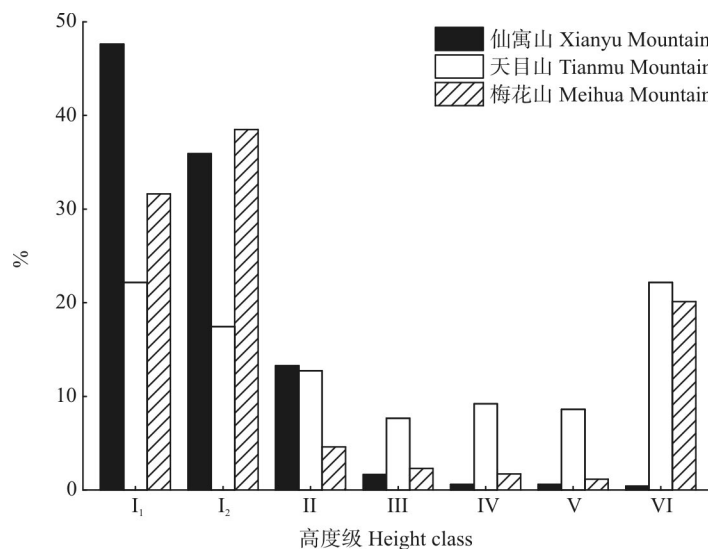


图1 南方红豆杉更新种群的高度级分佈

Fig. 1 Height class of *Taxus chinensis* var. *mairei* populations

过程的周期性相关(图 1)。

福建梅花山红豆杉生态园的南方红豆杉更新种群共有 174 棵。在各高度级别中,从 I 级到 II 级,南方红豆杉幼苗的数量骤减,与以上两地相同,在从幼苗向幼树发展过程中,红豆杉死亡率也较高。但是,在梅花山有大量红豆杉成年树(径级 VI),占种群个体总数的 20.11%,成年树种群稳定。

3.2 种群存活曲线

存活曲线是对一个种群在一定时期内存活状况的重要反映,也是衡量种群增长的基本参数,按 Deevey 的划分,存活曲线一般有 3 种基本类型:Deevey-I 型,曲线呈凸型,表示种群的大多数个体均能实现其平均的生理寿命,达到平均寿命时几乎同时死亡;Deevey-II 型,曲线呈对角线型,表示各龄级具有相同的死亡率;Deevey-III 型,曲线呈凹型,表示幼苗的死亡率高,以后的死亡率低而稳定^[21]。本研究结果表明,仙寓山南方红豆杉天然种群的存活曲线属于 Deevey-III 型。在种群更新的初期幼苗的死亡率很高,但生长到一定的年龄后,死亡率明显下降并且保持稳定(图 2)。仙寓山南方红豆杉种群呈金字塔形结构,属于增长型种群,幼苗数量丰富,该种群具有较强的更新能力。

天目山南方红豆杉天然更新种群的存活曲线属于 Deevey-III 型(图 2)。该地有南方红豆杉 510 棵,其中幼苗 202 棵,占总数的 39.61%。南方红豆杉从幼苗向幼树的生长阶段,幼苗的数量显著下降,但南方红豆杉的成年个体数较稳定,并且呈增长趋势。

梅花山南方红豆杉天然种群的存活曲线也属

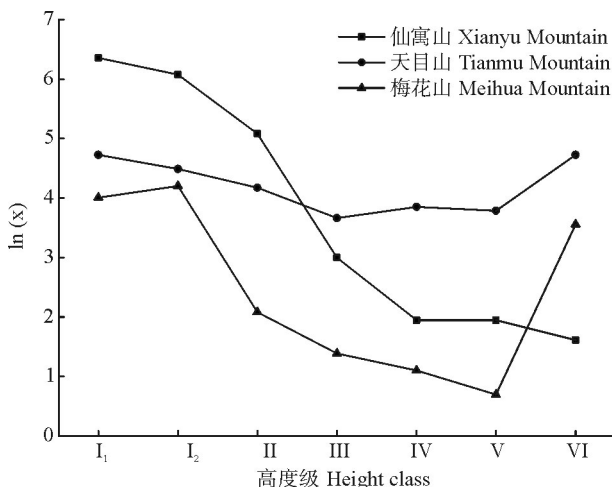


图 2 南方红豆杉种群存活曲线

Fig. 2 Survive curve of *Taxus chinensis* var. *mairei* population

于 Deevey-III 型。更新个体的早期死亡率高,一旦生长到某一年龄,死亡率较低而稳定(图 2)。2012 年,共有南方红豆杉 174 棵,其中 30 cm 以下的幼苗有 122 棵,占总数的 70.11%,幼苗数量丰富,具有较强的更新能力。但是由于受到成年母树密度的限制,在幼苗发育成幼树的过程中出现大量的死亡,但对整个种群的稳定并没有产生影响。

3.3 种群空间分布格局

比较 3 个地点的南方红豆杉个体空间分布格局发现,整体上仙寓山、天目山和梅花山的南方红豆杉天然更新种群都符合聚集分布的特征(表 2)。仙寓山的南方红豆杉天然种群在 I、II 和 III 龄级阶段为较高的集群分布,之后该种群变为随机分布。天目山南方红豆杉天然种群 I、II、III 及 V 级的都为集群分布,但第 VI 龄级的成树以接近均匀分布。梅花山的南方红豆杉种群中 I、II 和 III 龄级的幼苗和幼树呈较为明显的集群分布,IV 龄级为较弱的集群分布,V 龄级接近随机分布,VI 龄级成树接近均匀分布。

3.4 种群动态

从表 3 可以看出,仙寓山南方红豆杉种群中第 I、II、III 和 V 龄级均为增长型结构,第 IV 级为稳定型结构,从种群整体的 V_{pi} 、 V_{pi}' 均为正值,表明该南方红豆杉种群为一个增长型种群,考虑到南方红豆杉幼苗数量较大且死亡率高,故该地红豆杉种群结构为缓慢增长型^[22]。

天目山南方红豆杉种群的 V_I 、 V_{II} 、 V_{IV} 均为正值,表明南方红豆杉种群的 I、II 和 IV 龄级为增长型结构, V_{III} 、 V_V 为负值,表明 III 和 V 级为衰退型结构,且 V 级的衰退度最高。整体看来是增长 > 衰退,表明该南方红豆杉种群为一个增长型种群。整个种群年龄结构的动态指数 $V_{pi}=33.37%$, $V_{pi}'=56.62%$, V_{pi} 和 V_{pi}' 均大于 0,故该地南方红豆杉种群结构为稳定增长型^[23]。

梅花山南方红豆杉种群结构为缓慢增长型。 V_I 、 V_{II} 、 V_{III} 及 V_{IV} 均为正值,表明南方红豆杉种群的 I、II、III 和 IV 龄级为增长型结构,而 V_V 为负值,表明 V 级为衰退型结构,种群整体的 V_{pi} 、 V_{pi}' 均为正值,表明该南方红豆杉种群为一个增长型种群,与仙寓山相同,该地南方红豆杉种群结构也为缓慢增长型。

表 2 南方红豆杉种群空间分布格局分析

Table 2 Distribution pattern of *Taxus chinensis* var. *mairei* population

地点 Site	高度级 Height class	株数 Number	均值 Mean (m)	方差 Variance (V)	V/m	<i>t</i>	<i>k</i>	I	m*	PAI	SD
仙寓山 Xianyu Mountain	I	1014	56.33	5141.22	91.27	263.18	0.62	90.12	146.60	2.61	C
	II	161	8.94	41.49	4.64	10.61	2.46	3.64	12.58	1.41	C
	III	20	1.11	2.43	2.19	3.47	0.93	1.19	2.30	2.08	C
	IV	7	0.39	0.35	0.90	-0.29	-3.90	-0.10	0.29	0.74	R
	V	7	0.39	0.35	0.90	-0.29	-3.90	-0.10	0.29	0.74	R
	VI	5	0.28	0.31	1.11	0.32	2.55	0.11	0.39	1.39	C
天目山 Tianmu Mountain	I	202	18.36	82.85	4.51	5.04	5.23	3.51	21.88	1.19	C
	II	65	5.91	15.09	2.55	2.87	3.80	1.55	7.46	1.26	C
	III	39	3.55	6.87	1.94	2.03	3.78	0.94	4.48	1.26	C
	IV	47	4.27	7.42	1.74	3.08	5.80	0.74	5.01	1.17	R
	V	44	4.00	11.20	2.80	1.19	2.22	1.80	5.80	1.45	C
	VI	113	10.27	15.29	1.49	0.91	21.01	0.49	10.76	1.05	E
梅花山 Meihua Mountain	I	122	8.13	119.55	14.70	18.74	0.59	13.7	21.83	2.68	C
	II	8	0.53	3.27	6.13	7.01	0.10	5.13	5.66	10.61	C
	III	4	0.27	1.07	4.00	4.10	0.09	3.00	3.27	12.25	C
	IV	3	0.20	0.31	1.57	0.78	0.35	0.57	0.77	3.86	C
	V	2	0.13	0.12	0.93	-0.10	4.90	-0.07	0.06	0.46	R
	VI	35	2.33	1.67	0.71	-0.39	2.18	-0.29	2.05	0.88	E

C: 集群分布; R: 随机分布; E: 均匀分布; *k*: 负二项参数; I: 丛生指数; m*: 平均拥挤指数; PAI: 聚块指数; SD: 空间分布。

C: Clumped distribution; R: Random distribution; E: Even distribution; *k*: Negative binomial parameter; I: Clumping index; m*: Average crowding index; PAI: Patchiness index; SD: Spatial distribution.

表 3 南方红豆杉种群动态分析

Table 3 Dynamic analysis for the *T. chinensis* var. *mairei* population

地点 Site	V_n					V_{pi}	V_{pi}'
	I	II	III	IV	V		
仙寓山 Xianyu Mountain	84.12%	87.58%	65.00%	0	28.57%	83.46%	2.78%
天目山 Tianmu Mountain	67.82%	40.00%	-17.02%	6.38%	-61.06%	33.37%	56.62%
梅花山 Meihua Mountain	93.44%	50.00%	25.00%	33.33%	-94.29%	84.97%	7.08%

4 讨论

在原始林中某些南方红豆杉种群依赖于无性繁殖,其种群结构呈较规则的金字塔形,幼树幼苗的贮备较为丰富,体现出较强的更新能力^[15]。而本研究中 3 个地点的南方红豆杉种群结构与原始林中的差异较大,其主要表现为幼树阶段数量匮乏。如皖南仙寓山和福建梅花山红豆杉种群由大量的幼苗组成,幼树较少。皖南仙寓山和福建梅花山南

方红豆杉种群中的幼苗储备丰富,分别占个体总量的 83.53% 和 70.11%,且生长良好。可以看出,在对于两地的南方红豆杉种群来说,直到幼苗定居阶段的更新都十分良好。但是 3 个地点的幼树均较少,尤其在 III 龄级下降严重(图 1),造成此类现象的主要原因可能是与人为干扰有关。南方红豆杉种群均处于人为干扰较大的斑块环境中,采集幼苗,收集林副产品、砍伐薪材等人类活动是影响幼苗生长成为幼树的主要限制因子,直接影响红豆杉种群

的更新,出现了明显的瓶颈阶段,即匮乏幼树。比较3地南方红豆杉种群的存活曲线可以看出,南方红豆杉天然更新种群的存活曲线均属于Deevey-Ⅲ型,早期死亡率高,一旦生长到某一年龄,死亡率降低且趋于稳定;天目山南方红豆杉天然更新种群的存活曲线显示,从Ⅲ级年龄开始,南方红豆杉的种群趋于稳定。这说明红豆杉在由种子萌发成幼苗、并向幼树生长过程中还可能存在着明显的环境筛作用^[24-25],个体很难通过而大量死亡。形成限制的原因是多方面的,可能是种内及种间竞争,也可能是环境条件(地上小气候和土壤)的变化。而从幼苗到幼树阶段,3地种群均无法避免受到环境的负面影响。

种群分布格局是物种与环境长期相互作用的结果。南方红豆杉3个天然更新种群呈现出较相似的空间分布。3地的南方红豆杉天然更新种群都符合聚集分布的特征,不同发育阶段种群的分布格局大体上表现为由集群型向随机型转变,即幼苗呈集群分布,大树成随机分布。3地的南方红豆杉幼苗、幼树集群程度很高,说明植物天然更新中幼苗的分布格局与种子的散布方式有着密切的关系^[26]。南方红豆杉属于鸟传播植物,鸟类将大量的种子沉积在生境中,种子萌发后,形成聚集分布,过分聚集必然会导致更新过程中幼苗的大量死亡^[27]。但残留个体仍能适应环境生存和生长,表现出较强的适应能力。南方红豆杉种群在幼苗向幼树的生长过程中,Ⅱ级个体扩散趋势不明显,Ⅲ级个体表现出较强的聚集趋势,聚集程度仍然较高。但随高度增长,幼树、小树向中龄树生长的过程中,种内或种间竞争加剧,加上外部人为因素的影响,自疏和它疏现象都较为严重,进入群落乔木层上层的数量少,Ⅳ级和Ⅴ级个体呈现随机分布。在浙江天目山和福建梅花山地区,9 m以上的成年树所占比例很高,接近均匀分布。

种群动态反映了植物种群的命运。本研究结果表明,3地的南方红豆杉天然更新种群均属于增长型种群,但也存在一定的差异。仙寓山和梅花山红豆杉种群呈现缓慢增长趋势。而天目山红豆杉种群显示成年个体数量稳定,呈稳定增长趋势。这说明3地的南方红豆杉种群都受到了一定的保护。未来保护的重点应放在母树和幼苗生境中,首先,应从景观尺度上积极营造常绿阔叶林,并对食果鸟类进行招引,使得大部分种子掉入适合幼

树建成的生境;其次,以保证幼树建成为前提,积极营造符合幼苗萌发的微生境;最后,可将部分红豆杉种子播种或幼苗移植在符合幼树建成的微生境中,以促进幼树建成,同时要减少生境中人类的干扰活动,才能有效地保护好濒危植物红豆杉资源。

参考文献

- [1] Begon M, Mortimer M. Population Ecology: A Unified Study of Animals and Plants [M]. Oxford: Blackwell Scientific, 1981: 25-27.
- [2] Freckleton R P, Sutherland W J, Watkinson A R, et al. Density-structured models for plant population dynamics [J]. Amer Nat, 2011, 177(1): 1-17.
- [3] Shen S K, Ma H Y, Wang Y H, et al. The structure and dynamics of natural population of the endangered plant *Euryodendron excelsum* H. T. Chang [J]. Acta Ecol Sin, 2008, 28(5): 2404-2412.
申仕康, 马海英, 王跃华, 等. 濒危植物猪血木(*Euryodendron excelsum* H. T. Chang)自然种群结构及动态 [J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2404-2412.
- [4] Liu P X. Study on population structure and dynamics of *Populus euphratica* in the middle and lower reaches of the Shule River Basin Oasis, Hexi Corridor [J]. J Nat Resour, 2011, 26(3): 429-439.
刘普辛. 疏勒河中下游绿洲胡杨种群结构与动态研究 [J]. 自然资源学报, 2011, 26(3): 429-439.
- [5] Ma J M, Liu S R, Shi Z M, et al. Natural regeneration of *Abies faxoniana* along restoration gradients of subalpine dark coniferous forest in western Sichuan, China [J]. Chin J Plant Ecol, 2009, 33(4): 646-657.
马姜明, 刘世荣, 史作民, 等. 川西亚高山暗针叶林恢复过程中岷江冷杉天然更新状况及其影响因素 [J]. 植物生态学报, 2009, 33(4): 646-657.
- [6] Wu M K, Shen Z J, Liu H, et al. Life table and survival analysis of natural *Davidia involucrate* population in Fanjing Mountain Nature Reserve, Guizhou Province of southwest China [J]. Chin J Ecol, 2012, 31(6): 1419-1424.
吴明开, 沈志君, 刘海, 等. 梵净山自然保护区珙桐天然种群生命表与生存分析 [J]. 生态学杂志, 2012, 31(6): 1419-1424.
- [7] Bao W K, Chen Q H. Present status, problems, and future development strategies on natural *Taxus* source and their exploitation in China [J]. J Nat Resour, 13(4): 375-380.
包维楷, 陈庆桓. 中国的红豆杉资源及其开发研究现状与发展对策 [J]. 自然资源学报, 1998, 13(4): 375-380.
- [8] Fei Y J, Lei Z X, Yu C J, et al. The cause for endangerment of *Taxus* L. and measures for its sustainable development in China [J]. Nat Resour, 1997(5): 59-63.
费永俊, 雷择湘, 余昌均, 等. 中国红豆杉属植物的濒危原因及

- 可持续利用对策 [J]. 自然资源, 1997(5): 59–63.
- [9] Yue H J, Tong C, Zhu J M, et al. Seed rain and soil seed bank of endangered *Taxus chinensis* var. *mairei* in Fujian, China [J]. Acta Ecol Sin, 2010, 30(16): 4389–4400.
岳红娟, 仝川, 朱锦懋, 等. 濒危植物南方红豆杉种子雨和土壤种子库特征 [J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4389–4400.
- [10] Gao Z W. Research on *Taxus chinensis* var. *mairei* [M]. Beijing: Chinese Forestry Publishing House Publishing, 2006: 4–5.
高兆蔚. 中国南方红豆杉研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 4–5.
- [11] Deng Q S, Zhu Q Q, Lu C H. Natural regeneration of *Taxus chinensis* var. *mairei* and its seed dispersal by frugivorous birds [J]. Chin J Ecol, 2008, 27(5): 712–717.
邓青珊, 朱琼琼, 鲁长虎. 南方红豆杉的天然更新格局及食果鸟类对其种子的传播 [J]. 生态学杂志, 2008, 27(5): 712–717.
- [12] Li X K, Huang Y Q, Su Z M. Preliminary studies on interconnections among the main tree populations of *Taxus chinensis* var. *mairei* community [J]. Chin J Ecol, 1999, 10(3): 10–14.
李先琨, 黄玉清, 苏宗明. 南方红豆杉群落主要树木种群间联结关系初步研究 [J]. 生态学杂志, 1999, 10(3): 10–14.
- [13] Li X K, Xiang W S, Su Z M. Structure and dynamics of *Taxus chinensis* var. *mairei* clonal population [J]. Chin J Appl Ecol, 2004, 15(2): 177–180.
李先琨, 向悟生, 苏宗明. 南方红豆杉无性系种群结构和动态研究 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(2): 177–180.
- [14] Shi G L, Bai B, Lu C H. Seed rain and seed bank of Chinese yew (*Taxus chinensis* var. *mairei*) population in Tianmu Mountain [J]. Acta Ecol Sin, 2010, 30(5): 276–279.
- [15] Wang L, Sun Q W, Hao C Y, et al. Point pattern analysis of different age-class *Taxus chinensis* var. *mairei* individuals in mountainous area of southern Anhui Province [J]. Chin J Appl Ecol, 2010, 21(2): 272–278.
王磊, 孙启武, 郝朝运, 等. 皖南山区南方红豆杉种群不同龄级立木的点格局分析 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(2): 272–278.
- [16] Wang Z L, Zhao M S, Lou L H, et al. Study on composition and properties of community in Lin'an [J]. J Zhejiang For Sci Techn, 2003, 23(3): 1–9.
王祖良, 赵明水, 楼炉焕, 等. 临安桐坑南方红豆杉群落区系组成和群落学特征研究 [J]. 浙江林业科技, 2003, 23(3): 1–9.
- [17] Huang Y Q, Li X K, Su Z M. Structure of *Taxus chinensis* var. *mairei* population in Yuanbaoshan of Guangxi, China: I. Size structure [J]. Guihaia, 1998, 18(4): 385–389.
黄玉清, 李先琨, 苏宗明. 元宝山南方红豆杉构件种群结构研究: I. 大小结构 [J]. 广西植物, 1998, 18(4): 385–389.
- [18] Jiang H. Population ecology of *Picea asperata* Mast [M]. Beijing: Chinese Forestry Publishing House Publishing, 1992: 41–45.
江洪. 云杉种群生态学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 41–45.
- [19] Li X K. Study on the Population Ecology of Endangered *Abies yuanbaoshanensis* and *Taxus chinensis* var. *mairei* [M]. Beijing: Science Press, 2006: 103–106.
李先琨. 濒危植物元宝山冷杉与南方红豆杉种群生态学研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 103–106.
- [20] Chen X D. A study on the method of quantitative analysis for plant population and community structural dynamics [J]. Acta Ecol Sin, 1998, 18(2): 376–385.
陈晓德. 植物种群与群落结构动态量化分析方法研究 [J]. 生态学报, 1998, 18(2): 376–385.
- [21] Deevey E S. Life tables for natural populations of animals [J]. Q Rev Biol, 1947, 22(4): 283–314.
- [22] Deng Q S. The natural regeneration of *Taxus chinensis* var. *mairei* in Xianyu Mountain in southern Anhui Province [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2008: 1–30.
邓青珊. 皖南仙寓山南方红豆杉天然更新研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2008: 1–30.
- [23] Chen S J. Relationship between animals and chinese yew's regeneration [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009: 1–37.
陈思静. 动物与南方红豆杉天然更新的关系研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2009: 1–37.
- [24] González-Varoa J P, Norab S, Aparicio A. Bottlenecks for plant recruitment in woodland remnants: An ornithochorous shrub in a Mediterranean 'relictual' landscape [J]. Perspect Plant Ecol, 2012, 14(2): 111–122.
- [25] Rodríguez-Pérez J, Traveset A. A multi-scale approach in the study of plant regeneration: Finding bottlenecks is not enough [J]. Perspect Plant Ecol, 2007, 9(1): 1–13.
- [26] Lu C H, Zhu Q Q, Deng Q S. Effect of frugivorous birds on the establishment of a naturally regenerating population of Chinese yew in *ex situ* conservation [J]. Integr Zool, 2008, 3(3): 186–193.
- [27] Beckman N G, Neuhauser C, Müller-Landau H C. The interacting effects of clumped seed dispersal and distance- and density-dependent mortality on seedling recruitment patterns [J]. J Ecol, 2012, 100(4): 862–873.