



贵州大沙河国家级自然保护区野生银杉种群结构和动态分析

王林津, 杨瑞, 韩继怀, 勾伟, 赵洋洋, 高旭

引用本文:

王林津,杨瑞,韩继怀,勾伟,赵洋洋,高旭. 贵州大沙河国家级自然保护区野生银杉种群结构和动态分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2024, 32(5): 571–578.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4825>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

珍稀濒危植物紫纹兜兰的种群结构和数量动态

Population Structure and Quantitative Dynamics of Rare and Endangered Plant *Paphiopedilum purpuratum*

热带亚热带植物学报. 2020, 28(4): 375–384 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4180>

安徽宁国珍稀濒危植物华东黄杉的种群动态研究

Studies on Population Dynamics of An Endangered Plant of *Pseudotsuga gaussenii* in Ningguo, Anhui Province

热带亚热带植物学报. 2020, 28(4): 385–393 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4177>

江西庐山国家级自然保护区珍稀濒危植物优先保护定量研究

Quantitative Study on Conservation Priority of Rare and Endangered Plants in Lushan National Nature Reserve, Jiangxi

热带亚热带植物学报. 2019, 27(2): 171–180 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3947>

草海国家级自然保护区华山松群落特征及物种多样性研究

热带亚热带植物学报. 2020, 28(1): 44–52 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4063>

尧山国家级自然保护区种子植物区系研究

Floristic Studies of Seed Plants in Yaoshan National Nature Reserve

热带亚热带植物学报. 2020, 28(3): 217–226 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4097>

向下翻页，浏览PDF全文

贵州大沙河国家级自然保护区野生银杉种群结构和动态分析

王林津^{1,2}, 杨瑞^{1*}, 韩继怀³, 勾伟^{3*}, 赵洋洋¹, 高旭¹

(1. 贵州大学林学院, 贵阳 550025; 2. 贵定县林业局, 贵州 贵定 551300; 3. 贵州大沙河国家级自然保护区管理局, 贵州 遵义 563500)

摘要: 银杉(*Cathaya argyrophylla*)是我国特有重点保护珍稀濒危极小种群野生植物之一, 也是贵州大沙河国家级自然保护区重点保护对象和旗舰种。该研究基于 2022 年对贵州大沙河国家级自然保护区野生银杉的调查数据, 计算数量动态指数、编制静态生命表、绘制存活曲线并引入生存函数和谱分析描绘其结构动态。结果表明, 保护区内野生银杉种群年龄结构为倒 J 型, 种群的动态变化指数 V_{pi} 为 39.43%, 大于 V_{pi}' 且两值都大于 0, 可以看出银杉种群为增长型, 但增长缓慢, 对外部干扰非常敏感。银杉的存活曲线属于 Deevey-II 型, 生存率、累计死亡率、死亡密度及危险率在 I~III 龄级变化较大, 后趋于稳定。谱分析表明第 III 龄级是影响银杉种群数量的主要阶段。保护区内银杉幼龄个体数多但死亡率高, 是导致种群野外更新困难的主要原因, 建议保护区加强银杉幼苗抚育工作, 改善生存环境, 从而推动银杉种群的更新与恢复。

关键词: 银杉; 种群结构; 静态生命表; 存活曲线; 生存分析; 谱分析

doi: 10.11926/jtsb.4825

Population Structure and Dynamic Analysis of Wild *Cathaya argyrophylla* in Dashahe National Nature Reserve, Guizhou, China

WANG Linjin^{1,2}, YANG Rui^{1*}, HAN Jihuai³, GOU Wei^{3*}, ZHAO Yangyang¹, GAO Xu¹

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Forestry Bureau of Guiding County, Guiding 551300, Guizhou, China; 3. Guizhou Management Bureau of Dashahe National Nature Reserve, Zunyi 563500, Guizhou, China)

Abstract: *Cathaya argyrophylla* is one of the endemic rare and endangered wild plant with extremely small population in China, and is also the key protected object and flagship species in Guizhou Dashahe National Nature Reserve. Based on survey data of wild *C. argyrophylla* in the reserve in 2022, the quantitative dynamic index was calculated, static life table was compiled, survival curve was drawn, and survival function and spectral analysis were introduced to describe its structural dynamics. The results showed that the age structure of wild *C. argyrophylla* population was inverted J-type, and the dynamic change index of population (V_{pi}) was 39.43%, which was greater than V_{pi}' and both of them were greater than 0, indicating that the *C. argyrophylla* population was a growth type, but the growth was slow, and it was sensitive to external disturbance. The survival curve of the population belonged to Deevey-II type, and the survival rate, cumulative mortality rate, mortality density and risk rate changed greatly in age class from I to III stage, and then tended to be stable. The life spectral analysis showed that the III age class was the main stage affecting *C. argyrophylla* population. Therefore, the large number of young individuals and high mortality rates of *C. argyrophylla* in the reserve was the main reason leading to the

收稿日期: 2023-07-19 接受日期: 2023-09-28

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2020]1Y011); 贵州省林业科研项目(黔林科合[2024]06); 贵州大沙河国家级自然保护区项目(2023009390455714091-001)资助

This work was supported by the Project for Science and Technology Planning in Guizhou Province (Grant No. [2020]1Y011), the Forestry Scientific Research Project of Guizhou Province (Grant No. [2024]06), and the Project of Dashahe National Nature Reserve in Guizhou (Grant No. 2023009390455714091-001).

作者简介: 王林津(1992年生), 女, 硕士研究生, 研究方向为种群生态。E-mail: 494277361@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yr553017@163.com; 276162830@qq.com

difficulties of regeneration. It was suggested that the reserve should strengthen the care of *C. argyrophylla* seedlings and improve the living environment, so as to promote the natural regeneration and recovery of *C. argyrophylla* population.

Key words: *Cathaya argyrophylla*; Population structure; Static life table; Survival curve; Survival analysis; Spectral analysis

种群数量通常能够反映种群规模、密度的变换规律,是植物种群个体存活能力和环境因子共同作用的结果^[1]。研究种群数量能够较好地反映本种群的基本构造和生活史特征,也能表示本种群在群落中的地位,对环境的适应性,以及生态系统的稳定性,有助于剖析种群数量动态变化的原因,对森林的经营和管理有很大意义^[2-3]。数量动态指数、基于静态生命表所构建的存活曲线、生存函数以及谱分析是种群统计学的重要应用方法,可以分析植物种群目前的生存状态及评估历史干扰,也可以用于预测种群未来的发展趋势^[4],这些分析方法广泛应用于植物种群的相关研究^[5-6]。

银杉(*Cathaya argyrophylla*)是松科(Pinaceae)银杉属植物,国家一级保护植物,我国特有种,主要分布于中国西南部的一些地区^[7]。银杉起源古老,极具研究价值,同时对物种的多样性保护和整个森林的生态系统起着不可替代的作用^[8-10]。自 1955 年在广西花坪发现银杉以来^[11],我国开展了对银杉的种群、群落、生物学特性、遗传特性等方面的研究工作^[12-16]。对于贵州大沙河国家级自然保护区野生银杉种群的研究较少,本文利用种群统计学方法,研究贵州大沙河国家级自然保护区内分布的野生银杉种群的生存现状和动态变化,为保护和恢复野生银杉群体提供基础资料和科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

贵州大沙河国家级自然保护区在贵州省遵义市道真自治县,与重庆市接壤,位于 107°21'~107°47' E, 29°00'~29°13' N,面积 26 990 hm²,平均海拔 1 400 m,是以中山为主的自然保护区。属于亚热带季风性气候区,年均温 8.2℃~15.9℃,年日照 1 000~1 500 h,无霜期 245~300 d,年降水量 1 064.6~1 323.9 mm,年均相对湿度 80%~90%;地带性土壤包括常绿阔叶林地区的黄壤和常绿落叶阔叶混交林下的黄棕壤。银杉林位于保护区内中部偏北地带,共计 27 个分布

点。保护区内银杉均分布在针阔混交林群落中,主要伴生树种有小果南烛(*Lyonia ovalifolia*)、丝栗栲(*Castanopsis fargesii*)、云贵鹅耳枥(*Carpinus pubescens*)、白栎(*Quercus fabri*)、猴头杜鹃(*R. simiarum*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、长蕊杜鹃(*R. stamineum*)等,木本植被盖度较大多为 70%以上,草本较少。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查

2022 年 7 月—8 月,在全面踏查的基础上,调查保护区内所有银杉,并在银杉生长的典型群落开展样地调查。沿用传统样地调查方法,布设 14 个面积不同的样地,因地形特殊,每个样地面积在 800 m²的基础上进行调整(表 1)。使用相邻格子法,调查单元格内所有胸径(DBH)≥5 cm (调查银杉含幼苗在内的所有个体)的乔木种类、胸径、树高、冠幅、生长状况、相对位置等指标,对样地的海拔、盖度、坡位、坡度、坡向、坡形及枯落物厚度等进行记录。

1.2.2 种群结构划分

银杉作为珍稀保护植物,不适合取生长锥的方法,因此使用空间代替时间的方法对银杉种群进行划分^[17-18],参考黄杉(*Pseudotsuga sinensis*)的分级方法^[19-20],结合保护区内银杉生长状况,将种群划分为 10 个龄级: I 级(DHB<2.5 cm)、II 级(2.5 cm≤DHB<7.5 cm)、III~IX 级(采用上限排外法,每隔 5 cm 划分为 1 级)、X 级(DHB≥42.5 cm)。

1.2.3 种群动态量化分析

参考陈晓德^[21]动态量化分析方法计算种群各年龄层间的结构动态(V_n)和不计算外界干扰下整个种群的数量变化动态指数(V_{pi})。

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

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

表 1 样地基本情况

Table 1 Basic information of plots

序号 Code	样地 Plot	面积 (m ²) Area	海拔 (m) Altitude	盖度 /% Coverage	坡位 Slope position	坡度 Slope	坡向 Aspect	坡形 Slope form	枯落物厚度 (cm) Thickness of litter fall
1	下水井湾	800	1 397	87	下	>25°	半阴坡	凸形	14.0
2	上水井湾	800	1 437	92	上	>25°	半阴坡	凸形	8.4
	上水井湾-1	200	1 465	100	上	>25°	半阴坡	凸形	5.5
3	下吴家嘴	680	1 494	95	上	>25°	阳坡	凸形	9.2
4	轿子山	800	1 505	95	坡顶	>25°	阳坡	凸形	8.2
5	沙沱	880	1 430	95	坡顶	>25°	阳坡	凸形	9.7
6	李家嘴	800	1 527	88	中	>25°	阳坡	凸形	20.0
7	李家嘴南	600	1 509	79	上	>25°	阳坡	凸形	11.2
8	石香炉上	800	1 558	92	坡顶	>25°	阳坡	凸形	14.0
9	石香炉下	800	1 536	89	坡顶	>25°	阳坡	凸形	11.2
10	杉木湾	800	1 635	85	上	>25°	阳坡	凸形	13.2
11	狮子岭	800	1 540	85	中	>25°	阳坡	凸形	5.0
12	中瓢湾	800	1 584	95	中	>25°	半阴坡	凸形	5.0
13	下瓢湾	800	1 471	90	下	>25°	半阴坡	凸形	6.0
14	甄子岩	600	1 345	60	坡顶	缓坡	阳坡	直线坡	3.8

式中, S_n 和 S_{n+1} 分别为 n 龄级和 $n+1$ 龄级的种群个体数, $-1 \leq V_n \leq 1$, V_n 取正、负、零值分别体现了相邻龄级间不同的关系, K 为种群年龄级数。

考虑外部影响时整个种群的数量变化动态指数 (V_{pi}) ,

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

$P_{最大} = \frac{1}{K \cdot \min(S_1, S_2, S_3, \dots, S_k)}$, 式中, 当种群对外界干扰所承担的风险概率(P)达到最大时, 将对 V_{pi}' 产生最大的影响。

1.2.4 种群静态生命表编制及存活曲线绘制

以银杉种群各径级的株数为基础, 编制其静态生命表^[22-24], 生命表主要包括以下参数: x 龄级个体存活数量(a_x)、 x 龄级开始时的标准化个体存活数量(l_x)= $a_x/a_0 \times 1000$ 、 l_x 的对数($\ln l_x$)、从 x 到 $x+1$ 龄级的标准化死亡数(d_x)= $l_x - l_{x+1}$ 、 x 龄级到 $x+1$ 龄级间的死亡率(q_x)= $d_x/l_x \times 100\%$ 、 x 龄级到 $x+1$ 龄级间平均个体存活数量(L_x)= $(l_x + l_{x+1})/2$ 、 x 龄级以上总个体数(T_x)= $\sum L_x$ 、期望寿命表示第 x 龄级个体所能存活平均期望年数(e_x)= T_x/l_x 、各龄级的消失率(K_x)= $\ln l_x - \ln l_{x+1}$ 、种群存活率(S_x)= l_{x+1}/l_x 。

为明确银杉的存活曲线类型^[25], 参考 Hett 等^[26]提出的数学模型, 即分别用指数方程 $N_x = N_0 e^{-bx}$ 和幂函数方程 $N_x = N_0 x^{-b}$ 对存活曲线进行检验。

1.2.5 生存分析

参考杨凤翔等^[23,27-28]的方法, 使用生存率函数 S_x 、累积死亡率函数 F_x 、死亡密度函数 f_x 和危险率函数 λ_x 对银杉种群的生存现状进行分析, 以揭示银杉种群的动态变化规律。 $S_x = P_1 P_2 \dots P_x$, $F_x = 1 - S_x$, $f_x = (S_{x-1} - S_x)/h_x$, $\lambda_x = 2(1 - S_x)/[h_x(1 + S_x)]$, 式中, P_x 为存活频率, h_x 为区间长度。

1.2.6 谱分析

谱分析是有限傅里叶级数的展开式, 可揭示种群数量的周期性变化, 不同年龄个体数量的分布波动可以体现出银杉种群的更新过程^[29-30]。谱分析的正弦波形式为:

$$N_t = A_0 + \sum_{k=1}^p A_k \sin(\omega_k t + \theta_k)$$

式中, N_t 为 t 时刻种群的大小; A_0 为周期变化的平均值; A_k 为各谐波的振幅($k=1, 2, \dots, p$; $p=n/2$, n 为时间系列总长度, 即龄级总数), 其数值的差异是各周期大小的差值; p 为谐波总个数; θ_k 为相角; ω_k 为谐波频率。

2 结果和分析

2.1 种群的结构特征

年龄结构 银杉种群的年龄结构呈倒 J 型(图 1), 每个径级均有分布, 不存在断层现象, 随着龄级增加, 个体数量减少。I、II 龄级数量最多, 分别

为 366、307 株，占总个体数的 73.23%；第 III~V 龄级个体数占总个体数的 21.33%，第 VI~X 龄级占 5.44%，可见幼龄个体数量较多，中龄和老龄个体较少，属于增长型。

结构类型 从表 2 可见，银杉种群的动态指数(V)值都大于 0，表明银杉个体数量不断增加的结构性动态特征。银杉总的种群动态指数(V_{pi})为 39.43%，考虑干扰的情况下(V_{pi}')为 0.66%， V_{pi}' 小于 V_{pi} ，且大于 0 但趋于 0，表明银杉种群总体结构呈增长趋势，但种群结构增长率不高，更趋向于稳定型。同时由随机干扰风险的极大值($P_{极大}$)为 0.02 可以看出银杉种群对外界干扰的敏感度较高。

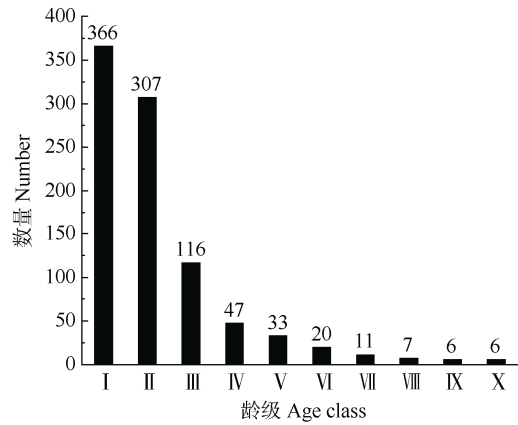


图 1 银杉种群的龄级结构

Fig. 1 Age structure of *Cathaya argyrophylla* population

表 2 银杉种群年龄结构动态变化指数

Table 2 Dynamic indices of *Cathaya argyrophylla* population

种群动态指数 Dynamic index	动态指数 /% Dynamic index	种群动态指数 Dynamic index	动态指数 /% Dynamic index
V_1	16.12	V_7	36.36
V_2	62.21	V_8	14.29
V_3	59.48	V_9	0
V_4	29.79	V_{pi}	39.43
V_5	39.39	V_{pi}'	0.66
V_6	45.00	$P_{极大}$	0.02

2.2 种群静态生命表及存活曲线

从表 3 可见，银杉龄级越大，则银杉种群的存活数(l_x)就越小。银杉种群中生命期望值(e_x)具有一定的波动性，第 IV、I 和 VII 龄级有最高的生命期望值，第 IX 龄级的生命期望值最低。银杉种群的死亡率(q_x)和消失率(K_x)在 I~IV 龄级波动较大，在第 II、III 龄级死亡率和消失率均为最高，在 VI 龄级以后，死亡率和消失率逐渐降低。

以龄级为横坐标， $\ln l_x$ 为纵坐标绘制存活曲线(图 2)，银杉种群的存活曲线介于 Deevey-II 和 Deevey-III 之间。采用数学模型检验(表 4)，2 种模型的拟合结果都极显著($P < 0.05$)，指数函数的 R^2 和 F 值均大于幂函数的，表明银杉种群存活曲线符合指数函数，属于 Deevey-II 型，种群各龄级死亡率基本相同。

2.3 种群生存分析

由图 3 可见，银杉种群随着年龄的增加，存活率逐渐降低，累计死亡率逐渐上升，两者呈互补的关系。银杉种群的生存率和累积死亡率在 I~VII 龄级变化较大，VII~X 龄级则趋于稳定。在 I~II 龄级银杉种群的生存率和累积死亡率达到平衡，随后累

积死亡率大于生存率，种群开始衰退减少，在 VII~X 龄级生存率和累积死亡率增减变缓，表明银杉种群已进入生理性老化阶段。

随着年龄的增加，种群死亡密度下降。种群 I~II 龄级死亡率较高，II~IV 龄级阶段急剧下降，说明其个体数量在此阶段发生锐减，属于死亡高峰期，IV 龄级后趋于平缓。危险率曲线整体稳定性差，危险率在 II 龄级达到最高，而后下降并呈

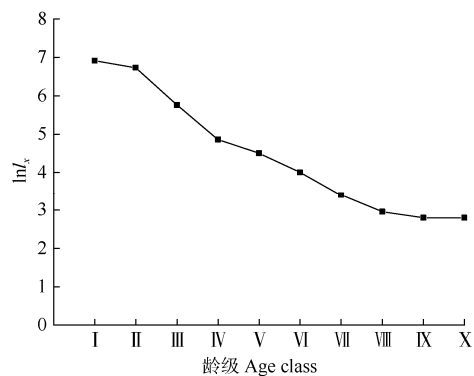


图 2 银杉种群的存活曲线

Fig. 2 Survival curve of *Cathaya argyrophylla* population

表 3 银杉种群静态生命表

Table 3 Static life table of *Cathaya argyrophylla* population

龄级 Age class	径级 (cm) DBH class	a_x	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x	S_x
I	<2.5	366	1 000.00	6.91	161.20	0.16	919.40	2 002.73	2.00	0.18	0.84
II	2.5~7.5	307	838.80	6.73	521.86	0.62	577.87	1 083.33	1.29	0.97	0.38
III	7.5~12.5	116	316.94	5.76	188.52	0.59	222.68	505.46	1.59	0.90	0.41
IV	12.5~17.5	47	128.42	4.86	38.25	0.30	109.29	282.79	2.20	0.35	0.70
V	17.5~22.5	33	90.16	4.50	35.52	0.39	72.40	173.50	1.92	0.50	0.61
VI	22.5~27.5	20	54.64	4.00	24.59	0.45	42.35	101.09	1.85	0.60	0.55
VII	27.5~32.5	11	30.05	3.40	10.93	0.36	24.59	58.74	1.95	0.45	0.64
VIII	32.5~37.5	7	19.13	2.95	2.73	0.14	17.76	34.15	1.79	0.15	0.86
IX	37.5~42.5	6	16.39	2.80	0.00	0.00	16.39	16.39	1.00	0.00	1.00
X	≥42.5	6	16.39	2.80	-	-	-	-	-	-	-

a_x : 存活数; l_x : 标准化存活数; d_x : 标准化死亡数; q_x : 死亡率; L_x : 平均存活数; T_x : x 龄级以上总个体数; e_x : 期望寿命。

a_x : Survival number; l_x : Normalized survival number; d_x : Standardized death; q_x : Mortality rate; L_x : Average survival; T_x : Total number of individuals above x age class; e_x : Expected life.

表 4 银杉种群存活曲线检验模型

Table 4 Test models of survival curves of *Cathaya argyrophylla* population

存活曲线 Survival curve	拟合模型 Fitting model	拟合方程 Fitting equation	R^2	F	P
Deevey-II	$N_x=N_0e^{-bx}$	$y=34.435e^{-0.454x}$	0.942	130.426	<0.001
Deevey-III	$N_x=N_0x^{-b}$	$y=80.362x^{-1.994}$	0.901	72.666	<0.001

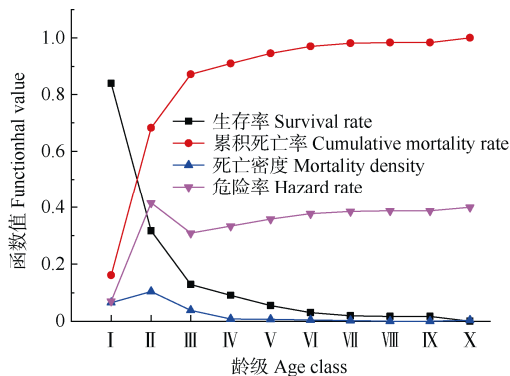


图 3 银杉种群生存率、累积死亡率、死亡密度、危险率函数
Fig. 3 Functions of survival rate, cumulative mortality rate, mortality density and risk rate of *Cathaya argyrophylla* population

缓慢增长状态, 说明银杉种群幼龄期种群波动较大, 幼苗受外界干扰大, 随着龄级的增加, 个体死亡危险率增加。

2.4 谱分析

因龄级间个体数量相差较大, 先进行对数化处理, 然后计算各波形的振幅 A_k , 其中 $A_1=1.695 2$ 为基波, $A_2=0.870 5$, $A_3=0.511 6$, $A_4=0.379 7$ 和 $A_5=0.390 7$ 均为谐波。振幅值呈逐步减小趋势, 最大的为基波 A_1 , 表明银杉群体的大周期特征明显, 其周

期长度为种群自身原有, 无法改变, 表达出整个生命周期的生物学特征主要控制着银杉种群数量的动态变化。此外, 除了受基波的影响, 银杉种群在 A_5 上也表现出小幅波动, 对应第 III 龄级。可见, 第 III 龄级对银杉群体的波动产生了重要的影响。

3 讨论和结论

3.1 银杉种群结构特征

植物种群龄级结构是种群个体内部发展的展现, 也是它的生物学特性和环境因子共同作用的结果^[24]。本研究得出贵州大沙河国家级自然保护区内银杉种群年龄结构呈倒 J 型为增长型, 数量动态变化指数 V_{pi} 、 V_{pi}' 也能印证此结论, 但种群增长率低, 更趋近于稳定型, 同时对外界干扰有着极高的敏感性, 这与澜沧黄杉(*Pseudotsuga forrestii*)的群落结构较为相似^[31]。从野外调查可见, 银杉分布区域相对狭窄, 杉木湾、甄子岩、石香炉下、沙沱等分布点数量较多, 幼苗占比较大, 这些分布点多为阳坡、坡顶、崖边等阳光充足且其他树种较少的生长环境, 除海拔差距较大外, 其他的条件较为相似, 可以看出海拔对银杉分布和幼苗生长无太大影响。银

杉林下幼苗较多、幼树较少,结合银杉种群幼龄期死亡率较高推测,缺乏光照、竞争较大的环境会导致种子难以萌发或萌发后幼苗死亡,导致种群幼龄个体少,造成种群发展的“瓶颈”^[32-33]。

3.2 银杉种群动态趋势

植物种群的静态生命表、存活曲线等能反映种群的基本属性^[34]。不同的环境及人为干扰会使物种种群调查的结果存在差异,因此进行静态生命表的编制对于预测种群动态变化具有重要参考价值。本研究中,银杉种群的生存曲线趋向于 Deevey-II 型,表明该种群各龄级的死亡率基本一致,据推测是因为种群中现存的幼苗数量较多,能维持一段时间内种群的更新,保持群落的发展。

保护区内野生银杉种群呈现出低龄级个体数量起伏大,死亡率高的特点。通过存活曲线可以看出银杉的第 I-IV 龄级下降幅度较大,种群的生存率和累积死亡率反映出银杉种群较早进入衰退阶段,死亡密度和危险率曲线显示种群在幼龄期存在较高的死亡风险,危险率也较高,说明受环境影响明显,可能是中幼龄阶段种群与其他物种争夺生存资源和空间而导致的,同时通过谱分析也确认了第 III 龄级银杉个体间存在强烈的竞争。有研究表明,植物生活史中,幼苗阶段最为敏感和薄弱^[35],资源的缺乏造成剧烈的竞争通常会成为限制种群更新的因素^[36],银杉种群的幼龄个体不仅存在个体竞争,还存在与其他物种生存资源和空间的竞争,因而受环境影响更明显,同时,不同植被类型对于植物幼苗生长的适宜度也同样存在差异^[37]。

3.3 银杉种群的保护和恢复对策

导致物种濒危的因素很多,如种子的活力、休眠期、发芽率、种群的光合、水分、生理、生态适应方式、生态位、生殖特征等^[38],本研究表明银杉种群濒危的原因在于分布范围狭窄,幼龄期的死亡率较高,对于是否还存在其他的致危因素还需进一步研究。根据本研究结果,建议对银杉种群的保护采取以下措施:1) 未来还需通过不断加大科研力度等关键技术研发,以此来快速保护和恢复银杉天然种群。2) 对银杉种群展开实生苗繁育工作并种植,扩大其分布范围,但要降低幼苗密度使幼苗质量提高,并提高其存活概率。3) 一边进行封育保护,一边进行科学管理,适当疏伐非目标树种和病弱的银杉个体。4) 目前已建立的贵州大沙河国家级自然保护区对银杉基本起到了杜绝人为干扰的情况,但银

杉出现的病害仍是需要研究解决的重要问题。

参考文献

- [1] CHHETRI P K, BISTA R, CAIRNS D M. Population structure and dynamics of *Abies spectabilis* at treeline ecotone of Barun Valley, Makalu Barun National Park, Nepal [J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, 36(4): 269–274. doi: 10.1016/j.chnaes.2016.05.003.
- [2] KANG D, GUO Y X, REN C J, et al. Population structure and spatial pattern of main tree species in secondary *Betula platyphylla* forest in Ziwuling Mountains, China [J]. *Sci Rep*, 2014, 4: 6873. doi: 10.1038/srep06873.
- [3] BA L, LI Z J, YANG X R. Mechanisms and advance of apparent competition among plant populations [J]. *Acta Ecol Sin*, 2023, 43(13): 5281–5288. [巴雷,李志坚,杨雪茹.植物种群表现竞争机制及其研究进展 [J]. *生态学报*, 2023, 43(13): 5281–5288. doi: 10.5846/stxb202110142902.]
- [4] ZHAO P, XU X Y, ZHANG Y N, et al. Age structure and its dynamics of artificial *Haloxylon ammodendron* population in Minqin oasis-desert ecotone [J]. *Acta Ecol Sin*, 2023, 43(14): 6069–6079. [赵鹏,徐先英,张裕年,等.民勤绿洲荒漠过渡带人工梭梭种群年龄结构及动态 [J]. *生态学报*, 2023, 43(14): 6069–6079. doi: 10.5846/stxb202204040866.]
- [5] LUO X, GUO Q J, YAO L, et al. Characteristics of natural population structure of endangered plant *Liriodendron chinense* [J]. *J CS Univ For Technol*, 2021, 41(7): 115–123. [罗西,郭秋菊,姚兰,等.濒危植物鹅掌楸的天然种群结构特征 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2021, 41(7): 115–123. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2021.07.014.]
- [6] YU L H, LI Y Q, CHEN Z M, et al. Community and population structure of natural *Taxus chinensis* var. *mairei* in Jiangxi province [J]. *J CS Univ For Technol*, 2021, 41(11): 164–172. [喻龙华,历月桥,陈珍明,等.江西天然南方红豆杉群落及种群结构特征 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2021, 41(11): 164–172. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2021.11.018.]
- [7] MAO Z Z. *Cathaya argyrophylla*, an endemic tree of China, its resources, distribution and environment [J]. *Guihaia*, 1989, 9(1): 1–11. [毛宗铮.我国特有植物银杉的资源、分布及其环境 [J]. *广西植物*, 1989, 9(1): 1–11.]
- [8] XIE Z Q. Chinese endemic plant *Cathaya argyrophylla* and its research [J]. *Biodiv Sci*, 1995, 3(2): 99–103. [谢宗强.中国特有植物银杉及其研究 [J]. *生物多样性*, 1995, 3(2): 99–103.]
- [9] XIE Z Q, CHEN W L, LU P, et al. Growth and population biomass of *Cathaya argyrophylla* [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 1999, 23(6): 536–543. [谢宗强,陈伟烈,路鹏,等.银杉单株生长规律与种群生物量的研究 [J]. *植物生态学报*, 1999, 23(6): 536–543.]

- [10] QI C J, XIAO Y T. Community analysis of *Cathaya argyrophylla* forest on the Bamiashan mountain of Hunan Province [J]. Bull Bot Res, 1988, 8(4): 169–182. [祁承经, 肖育檀. 湖南省八面山银杉林的群落学分析 [J]. 植物研究, 1988, 8(4): 169–182.]
- [11] FU L G, CHENG S Z. The discovery and naming of *Cathaya argyrophylla* [J]. Life World, 1981(4): 42–43. [傅立国, 程树志. 银杉的发现及命名 [J]. 植物杂志, 1981(4): 42–43.]
- [12] SU L Y, ZHAO W Y, ZHANG J J, et al. Analyses on community characteristics and its relict and conservation of *Cathaya argyrophylla* at Bamiashan in Hunan Province [J]. J Plant Resour Environ, 2016, 25(4): 76–86. [苏乐怡, 赵万义, 张记军, 等. 湖南八面山银杉群落特征及其残遗性和保守性分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2016, 25(4): 76–86. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2016.04.10.]
- [13] XIE Z Q, CHEN W L, LIU Z Y, et al. Spatial distribution pattern of *Cathaya argyrophylla* population [J]. Acta Bot Sin, 1999, 41(1): 95–101. [谢宗强, 陈伟烈, 刘正宇, 等. 银杉种群的空间分布格局 [J]. 植物学报, 1999, 41(1): 95–101. doi: 10.3321/j.issn:1672-9072.1999.01.019.]
- [14] XIE Z Q, CHEN W L, LU P, et al. The demography and age structure of the endangered plant population of *Cathaya argyrophylla* [J]. Acta Ecol Sin, 1999, 19(4): 523–528. [谢宗强, 陈伟烈, 路鹏, 等. 濒危植物银杉的种群统计与年龄结构 [J]. 生态学报, 1999, 19(4): 523–528.]
- [15] ZHANG W F, FAN D Y, XIE Z Q, et al. The seasonal photosynthetic responses of seedlings of the endangered plant *Cathaya argyrophylla* to different growth light environments [J]. Biodiv Sci, 2005, 13(5): 387–397. [张旺锋, 樊大勇, 谢宗强, 等. 濒危植物银杉幼树对生长光强的季节性光合响应 [J]. 生物多样性, 2005, 13(5): 387–397. doi: 10.3321/j.issn:1005-0094.2005.05.003.]
- [16] WANG X Q, ZOU Y P, ZHANG D M, et al. Genetic diversity analysis by RAPD in *Cathaya argyrophylla* Chun et Kuang [J]. Sci China Ser C Life Sci, 1997, 40(2): 145–151. [汪小全, 邹喻莘, 张大明, 等. 银杉遗传多样性的 RAPD 分析 [J]. 中国科学 C 辑: 生命科学, 1996, 26(5): 436–441.]
- [17] JIN Z X. A study on *Heptacodium miconioides* community in the Tiantai Mountains of Zhejiang Province [J]. Acta Ecol Sin, 1998, 18(2): 127–132. [金则新. 浙江天台山七子花群落研究 [J]. 生态学报, 1998, 18(2): 127–132. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.1998.02.003.]
- [18] KANG H J, CHEN Z L, LIU P, et al. The population structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in Dapanshan natural reserve of Zhejiang Province [J]. Acta Ecol Sin, 2007, 27(1): 389–396. [康华靖, 陈子林, 刘鹏, 等. 大盘山自然保护区香果树种群结构与分布格局 [J]. 生态学报, 2007, 27(1): 389–396. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2007.01.045.]
- [19] MENG G T, CHAI Y, FANG X J, et al. A preliminary study of population dynamics of *Pseudotsuga sinensis* population in northeastern Yunnan [J]. J NW For Univ, 2008, 23(6): 54–59. [孟广涛, 柴勇, 方向京, 等. 滇东北黄杉种群数量动态的初步研究 [J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6): 54–59.]
- [20] HE B, ZHANG P, LI Q, et al. Population structure and spatial distribution pattern of a rare and endangered plant *Pseudotsuga sinensis* [J]. J Trop Subtrop Bot, 2022, 30(4): 461–471. [何斌, 张萍, 李青, 等. 珍稀濒危植物黄杉种群结构与空间分布格局 [J]. 热带亚热带植物学报, 2022, 30(4): 461–471. doi: 10.11926/jtsb.4507.]
- [21] CHEN X D. A study on the method of quantitative analysis for plant population and community structural dynamics [J]. Acta Ecol Sin, 1999, 18(2): 214–217. [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): 214–217. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.1998.02.017.]
- [22] ZHANG W, JIAO Z W, SHANG T C, et al. Demography and spectrum analysis of *Juglans cathayensis* populations at different altitudes in the west Tianshan Valley in Xinjiang, China [J]. Chin J Appl Ecol, 2015, 26(4): 1091–1098. [张维, 焦子伟, 尚天翠, 等. 新疆西天山峡谷海拔梯度上野核桃种群统计与谱分析 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(4): 1091–1098. doi: 10.13287/j.1001-9332.20141224.008.]
- [23] ZHANG J F, GE S S, LIANG J H, et al. Population structure and dynamic characteristics of *Tilia amurensis* in broad-leaved Korean pine mixed forest in Changbai Mountain [J]. Acta Ecol Sin, 2022, 42(13): 5381–5390. [张金峰, 葛树森, 梁金花, 等. 长白山阔叶红松林紫椴种群结构与动态特征 [J]. 生态学报, 2022, 42(13): 5381–5390. doi: 10.5846/stxb202106191629.]
- [24] WANG J, YAO L, AI X R, et al. Structure and dynamic characteristics of *Betula luminifera* populations in different regions of southwest Hubei Province, China [J]. Chin J Appl Ecol, 2020, 31(2): 357–365. [王进, 姚兰, 艾训儒, 等. 鄂西南不同区域亮叶桦种群结构与动态特征 [J]. 应用生态学报, 2020, 31(2): 357–365. doi: 10.13287/j.1001-9332.202002.010.]
- [25] DEEVEY E S Jr. Life tables for natural populations of animals [J]. Quart Rev Biol, 1947, 22(4): 283–314. doi: 10.1086/395888.
- [26] HETT J M, LOUCKS O L. Age structure models of balsam fir and eastern hemlock [J]. J Ecol, 1976, 64(3): 1029–1044. doi: 10.2307/2258822.
- [27] YANG F X, WANG S Q, XU H G, et al. The theory of survival analysis and its application to life table [J]. Acta Ecol Sin, 1991, 11(2): 153–158. [杨凤翔, 王顺庆, 徐海根, 等. 生存分析理论及其在研究生命表中的应用 [J]. 生态学报, 1991, 11(2): 153–158.]
- [28] LU J, GUO Q Q, ZHENG W L, et al. Population structure and dynamic characteristics of *Pinus densata* in southeast Xizang [J]. Sci Silv Sin,

- 2013, 49(8): 154–160. [卢杰, 郭其强, 郑维列, 等. 藏东南高山松种群结构及动态特征 [J]. 林业科学, 2013, 49(8): 154–160. doi: 10.11707/j.1001-7488.20130822.]
- [29] WU Y G, HAN J X. A spectral analysis of the population dynamics of Korean pine in the mixed broad-leaved *Pinus koraiensis* forest [J]. *Chin J Ecol*, 1988, 7(1): 19–23. [伍业钢, 韩进轩. 阔叶红松林红松种群动态的谱分析 [J]. 生态学杂志, 1988, 7(1): 19–23.]
- [30] HONG W, WANG X G, WU C Z, et al. Life table and spectral analysis of endangered plant *Taxus chinensis* var. *mairei* population [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, 15(6): 1109–1112. [洪伟, 王新功, 吴承祯, 等. 濒危植物南方红豆杉种群生命表及谱分析 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 1109–1112.]
- [31] LI M M, LIU P C, KONG W M, et al. Population structure and dynamic characteristics of the endangered *Pseudotsuga forrestii* Craib [J]. *Acta Ecol Sin*, 2022, 42(13): 5504–5515. [李敏敏, 刘鹏程, 孔维民, 等. 濒危植物澜沧黄杉种群结构及动态特征 [J]. 生态学报, 2022, 42(13): 5504–5515. doi: 10.5846/stxb202001100087.]
- [32] ZHAO Y, LIU J Q, CHEN X L, et al. Population structure characteristics of *Picea purpurea* in the upstream of Taohe River [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2020, 44(3): 266–276. [赵阳, 刘锦乾, 陈学龙, 等. 洮河上游紫果云杉种群结构特征 [J]. 植物生态学报, 2020, 44(03): 266–276. doi: 10.17521/cjpe.2019.0077.]
- [33] QIN A L, MA F Q, XU G X, et al. Population structure and dynamic characteristics of a rare and endangered tree species *Michelia wilsonii* Finet et Gagn [J]. *Acta Ecol Sin*, 2020, 40(13): 4445–4454. [秦爱丽, 马凡强, 许格希, 等. 珍稀濒危树种峨眉含笑种群结构与动态特征 [J]. 生态学报, 2020, 40(13): 4445–4454. doi: 10.5846/stxb201905211042.]
- [34] ZHAO H J, YANG R, YUAN C J, et al. Population structure and spatial distribution pattern of *Rhododendron pudingense* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2024, 32(1): 46–54. [赵宏玖, 杨瑞, 袁丛军, 等. 普定杜鹃花种群结构和空间分布格局 [J]. 热带亚热带植物学报, 2024, 32(1): 46–54. doi: 10.11926/jtsb.4725]
- [35] ZHANG J F, CHEN J M, YAN X F, et al. Effects of seed characteristics and sowing depth on seed germination and seedling growth of *Quercus wutaishanica* [J]. *Guihaia*, 2020, 40(2): 226–236. [张金峰, 程继铭, 闫兴富, 等. 种子特征和播种深度对辽东栎种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 广西植物, 2020, 40(2): 226–236. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201812045.]
- [36] XIANG X Y, WU G L, DUAN R Y, et al. Studies on population structure and dynamics of *Pinus dabeshanensis* [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, 2016, 25(1): 55–62. [项小燕, 吴甘霖, 段仁燕, 等. 大别山五针松种群结构及动态研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(1): 55–62. doi: 10.11870/cjlyzyyhj201601007.]
- [37] LI N, BAI B, LU C H. Recruitment limitation of plant population: From seed production to sapling establishment [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, 31(21): 6624–6632. [李宁, 白冰, 鲁长虎. 植物种群更新限制——从种子生产到幼树建成 [J]. 生态学报, 2011, 31(21): 6624–6632.]
- [38] ZHANG W H, ZU Y G, LIU G B. Population ecological characteristics and analysis on endangered cause of ten endangered plant species [J]. *Acta Ecol Sin*, 2002, 22(9): 1512–1520. [张文辉, 祖元刚, 刘国彬. 十种濒危植物的种群生态学特征及致危因素分析 [J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1512–1520. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2002.09.021.]