

DOI: 10.20103/j.stxb.202404070746

王兴龙,程建军,张庆,施皓,方宏明,刘坤,邵剑文.牯牛降自然保护区浙江桂生境群落及种群结构特征.生态学报,2024,44(19):8844-8853.

Wang X L, Cheng J J, Zhang Q, Shi H, Fang H M, Liu K, Shao J W. Habitat community and population structure of *Cinnamomum chekiangense* in Guniujiang Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(19): 8844-8853.

牯牛降自然保护区浙江桂生境群落及种群结构特征

王兴龙¹,程建军¹,张庆²,施皓²,方宏明²,刘坤^{1,3},邵剑文^{1,3,*}

1 安徽师范大学生命科学学院,芜湖 241000

2 安徽省牯牛降国家级自然保护区石台管理站,池州 245100

3 安徽省重要生物资源保护与利用研究重点实验室,芜湖 241000

摘要:浙江桂经济价值高,野生资源有限。基于 2hm² 固定样地调查数据,通过分析其群落特征,编制静态生命表、绘制存活曲线、计算数量动态指数、引入时间序列模型等,研究了安徽省牯牛降国家级自然保护区浙江桂生境群落结构及种群动态特征。结果表明:(1)样地内共记录物种 198 种,木本以樟科、壳斗科、杜鹃花科为主;(2)甜槠是建群树种,其龄级组成以老龄级(V级)为主(占总株数的 78.92%),其它优势种有香桂、马银花、新木姜子等,以幼龄级(I和II级)为主(占总株数 90%以上);(3)浙江桂种群龄级组成呈倒“J”型,幼龄级个体占总数的 85.15%,但幼苗转化成体折损率高;(4)时间序列预测分析表明,浙江桂种群未来个体数量呈增加趋势。基于这些研究结果我们提出就地封育保护为主,辅以低龄级幼株的精准抚育管理,以促进其种群的恢复。

关键词:浙江桂;种群结构;静态生命表;存活曲线;时间序列模型;保护策略

Habitat community and population structure of *Cinnamomum chekiangense* in Guniujiang Nature Reserve

WANG Xinglong¹, CHENG Jianjun¹, ZHANG Qing², SHI Hao², FANG Hongming², LIU Kun^{1,3}, SHAO Jianwen^{1,3,*}

1 College of Life Science, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China

2 Shitai Management Station, Anhui Province Guniujiang National Nature Reserve, Chizhou 245100, China

3 The Key Laboratory of Conservation and Employment of Biological Resources of Anhui, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China

Abstract: *Cinnamomum chekiangense* has high economic value, yet its wild resources are limited. Based on the survey data of a 2 hm² fixed plot, we analyzed the community characteristics, static life table, survival curve, quantity dynamic index, and time series model to reveal the population structure and dynamics of *Cinnamomum chekiangense* in Guniujiang National Nature Reserve, Anhui Province, China. The results showed that: (1) In total, 198 species (161 woody species) were recorded in fixed plot, belonging to 54 families and 96 genera. There were 122 species and 7387 plants of trees, belonging to 46 families and 78 genera. The families with more than 5 species included Lauraceae, Fagaceae, Rhododendroaceae, Rosaceae, Symplocaceae, and Pentagraceae. 93 species were shrubs, belonging to 39 families and 62 genera, and 37 species were herbs, belonging to 29 genera and 20 families. (2) Trees with important values exceeding 10% included *Castanopsis eyrei* (22.42%) and *Cinnamomum subavenium* (11.1%), shrub dominant species included *Cinnamomum subavenium* (17.14%) and *Camellia cuspidata* (17.1%), and herbaceous plants included *Liriope graminifolia* (13.92%), *Arachniodes aristata* (13.59%), *Dryopteris fuscipes* (11.63%) and *Ophiopogon bodinieri* (11.22%). In trees, *Castanopsis eyrei* was a constructive species, with its age class mainly composed of aged (V-class) trees, accounting for 78.92% of the

基金项目:国家自然科学基金项目(32070370);安徽牯牛降国家级自然保护区森林生态系统固定样地监测项目(CZS42023010)

收稿日期:2024-04-07; **网络出版日期:**2024-07-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shaojw@ahnu.edu.cn

total; other dominant species included *Cinnamomum subavenium*, *Rhododendron ovatum*, and *Neolitsea aurata*, which were primarily young (I and II classes) trees, accounting for more than 90% of their respective totals; (3) The population dynamics of *Cinnamomum chekiangense* $V_1—V_8$ were all ≥ 0 . When external interference was ignored, the value of V_{pi} was greater than 0.50, and when external interference was considered, the value V'_{pi} was 0.0257, indicating that its population as a whole belongs to the growth type. The maximum value of random interference (P_{max}) in the population was 0.037, indicating its population was high sensitivity to external interference and poor adaptability to environmental changes. The age structure of the community of *Cinnamomum chekiangense* exhibited an inverted “J” shape, with young individuals making up 85.15% of the total; but the loss rate of seedlings into adults was high; (4) The time series prediction analysis displayed a trend towards an increasing number of individuals in the *Cinnamomum chekiangense* population in future. Based on these results, we proposed to prioritize in situ conservation, supplemented by precise nurturing and management of young plants, to promote the recovery of the *Cinnamomum chekiangense* population.

Key Words: *Cinnamomum chekiangense*; population structure; static life table; survival curve; time series model; protection strategy

种群是物种存在和进化的基本单位,是生物群落和生态系统的基本组成^[1]。种群结构与动态是种群生态学研究的核心内容^[2-3]。种群年龄结构不仅可以反映种群内个体的年龄、数量及其配置情况,也能用于分析种群数量动态、预测未来变化趋势等^[4-6]。基于静态生命表所构建的存活曲线、生存函数分析可以揭示种群目前的存活状态与环境的相互关系和适合度^[7],结合种群动态量化分析和时间序列预测模型还可以评估种群的受干扰状况及未来的发展趋势,对植物资源的保护及利用具有重要意义^[8-9]。了解生境群落物种组成、径级结构特征及主要共存物种竞争关系,有助于理解种群的发展动态过程及机制^[10]。近年来珍稀濒危物种的研究和保护越来越受关注和重视,采用上述方法揭示珍稀树种的生境群落特征、种群结构与动态来探讨其濒危原因,对珍稀植物种群及生境的保护和管理具有重要意义^[3,11-16]。

浙江桂(*Cinnamomum chekiangense*)又称浙江樟、土肉桂,属于樟科(Lauraceae)桂属(*Cinnamomum*),其树皮和枝叶能够生产制作各种香料和香精,木材耐久坚硬,观赏价值高,宜作园林绿化或造林用树^[17-18]。但近几十年来由于人类活动的影响,伴随天然阔叶林的砍伐和破坏及过渡利用(树皮作香料),其野生分布范围不断缩小,在安徽省该种已被列为珍稀濒危树种^[19]。目前有关浙江桂的研究主要是一些人繁殖技术、生理及活性成份等^[20-23]。在《中国植物志》中,浙江桂曾被处理为天竺桂(*Cinnamomum japonicum*)的异名^[24],因此之前一些关于天竺桂的活性成份、育苗技术及病虫害防治、遗传多样性等研究实际也可能是有关该种的^[25-28]。近期基于形态和分子,其物种分类地位得到进一步确认^[29],然而有关浙江桂野生种群及生境群落特征的研究还未见报道。本文以人为干扰较小的牯牛降国家级自然保护区内 2hm² 固定样地为例,研究浙江桂野生群落和种群结构特征,为构建符合其物种特性的适宜生境、就地保护和人工促进种群恢复提供依据。

1 研究区域与方法

1.1 区域概况

安徽省牯牛降国家级自然保护区位于池州市石台县和黄山市祁门县交界处,总面积 6713hm²,属亚热带季风气候区,平均气温 17.4℃,年平均降雨量 1169.5mm,平均湿度 89%。它是黄山山脉向西延伸的主体,最高海拔 1727.6m,具有明显的山地垂直变化,主要植被类型为亚热带常绿阔叶林、落阔混交林和针叶林等^[30]。

1.2 样地特征

样地选择在浙江桂较丰富的和尚庵、祁门叉附近,位于谷底一侧东坡,样地面积 100m×200m,东南角的 GPS 信息为东经 117.497411°、北纬 30.057162°,海拔 630—680m,平均坡度约 30°,植被类型为常绿阔叶林(图 1)。

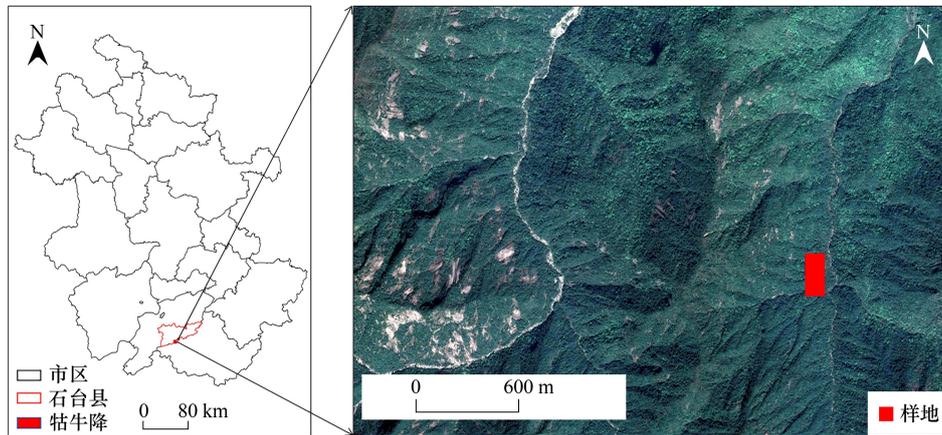


图1 研究样地位置图

Fig.1 Location map of the fixed plot

1.3 调查方法

采用全站仪将样地划分为 50 个 20m×20m 的样方并进行固定永久标识,对样方内胸径(DBH)≥1cm 木本植物(乔木)个体进行每木挂牌编号,测量记录指标:种名、胸径以及坐标值(西南角为原点,测定 X 和 Y 轴长)等。在样方四角各设置一个 5m×5m 的灌木样方和 2m×2m 的草本样方,记录灌木(DBH<1cm 木本植物)和草本的种名、株(丛)数等指标。

1.4 乔木径级划分

浙江桂种群:由于样地内浙江桂种群胸径普遍在 10cm 范围内,因此参照小乔木的径级(龄级)划分方法^[11],分为 9 级:DBH≤2cm 为 I 级、2cm<DBH≤4cm 为 II 级、…、14cm<DBH≤16cm 为 VIII 级、DBH>16cm 为 IX 级。其他乔木种群:采用大乔木的径级划分方法^[3],分为 5 级:1cm≤DBH≤5cm 为 I 级;5cm<DBH≤10cm 为 II 级;10cm<DBH≤15cm 为 III 级;15cm<DBH≤20cm 为 IV 级;DBH>20cm 为 V 级。

1.5 群落物种重要值

分层计算群落物种重要值^[31]:

$$\text{乔木重要值} = (\text{相对频度} + \text{相对优势度} + \text{相对密度}) / 3 \quad (1)$$

$$\text{灌木重要值} = (\text{相对频度} + \text{相对密度}) / 2 \quad (2)$$

$$\text{草本重要值} = (\text{相对频度} + \text{相对密度}) / 2 \quad (3)$$

1.6 种群静态生命表及存活曲线

参照相关文献^[3],根据不同龄级的数量编制浙江桂种群静态生命表,采用匀滑技术^[32],对数据进行处理,计算公式如下:

$$l_x = (a_x / a_0) \times 100\% \quad (4)$$

$$d_x = l_x - l_{x+1} \quad (5)$$

$$q_x = (d_x / l_x) \times 100\% \quad (6)$$

$$L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2 \quad (7)$$

$$T_x = L_x + L_{x+1} + L_{x+2} + \dots + L_{x+n} \quad (8)$$

$$e_x = T_x / l_x \quad (9)$$

$$K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1} \quad (10)$$

$$S_x = \frac{l_{x+1}}{l_x} \quad (11)$$

式中, a_x 指匀滑后的 x 龄级的个体数量、 l_x 指 x 龄级开始时标准化存活个体数量、 $\ln l_x$ 指标准化存活数的对数、 d_x 指 x 龄级到 $x+1$ 龄级之间的死亡数量、 q_x 指 x 龄级到 $x+1$ 龄级之间的死亡率、 L_x 指 x 龄级到 $x+1$ 龄级之间的存活个体数量、 T_x 指第 x 龄级到超过 x 龄级的个体数(区间寿命)、 e_x 指 x 龄级的预测平均理想寿命(期望寿命)、 K_x 指种群消失率、 S_x 指存活率。同时, 根据龄级和标准化存活个体数(l_x)的对数($\ln l_x$)绘制出浙江桂种群存活曲线。采用 Hett 和 Louck 等提出的指数函数模型以及幂函数模型来对浙江桂群落存活曲线拟合^[33]。

1.7 种群动态量化分析

根据植物群落的动态量化分析方法对浙江桂种群结构动态进行分析^[34]。计算公式如下:

$$V_n = \frac{S_n - S_{n+1}}{\max(S_n, S_{n+1})} \times 100\% \quad (12)$$

$$V_{pi} = \frac{1}{\sum_{n=1}^{k-1} S_n} \times \sum_{n=1}^{k-1} (S_n V_n) \quad (13)$$

$$V'_{pi} = \frac{\sum_{n=1}^{k-1} (S_n V_n)}{\min(S_1, S_2, \dots, S_k) k \sum_{n=1}^{k-1} S_n} \quad (14)$$

$$P_{\max} = \frac{1}{k \min(S_1, S_2, \dots, S_k)} \quad (15)$$

式中, S_n 指 n 龄级种群个体数量, S_{n+1} 指 $n+1$ 龄级种群个体数量; k 指种群划分的龄级数量; V_n 指种群相邻的两个龄级间个体数量动态变化指数, 当 V_n 取正值时表示相邻龄级间个体数量增长, 当取负值时表示衰退, 当取 0 时表示稳定^[11]; V_{pi} 指外部干扰被忽略时种群龄级结构数量动态变化指数, V'_{pi} 指考虑到未来外部干扰时的种群龄级结构数量动态变化指数, 当 V_{pi} 、 V'_{pi} 取正、负或 0 值时, 分别代表种群个体数量的增长、衰退以及平稳情况^[35]; P_{\max} 指种群对完全随机干扰所需要承担的最大风险概率。

1.8 种群生存力分析

引入四种生存分析函数绘制生存函数曲线, 既生存率函数 $S_{(i)}$ 、累计死亡率函数 $F_{(i)}$ 、死亡密度函数 $f_{(i)}$ 以及危险率函数 $\lambda_{(i)}$ 对浙江桂种群进行生存力分析^[8, 34]:

$$S_{(i)} = S_1 S_2 S_3 \dots S_i \quad (16)$$

$$F_{(i)} = 1 - S_i \quad (17)$$

$$f_{(i)} = (S_{(i-1)} - S_i) / h_i \quad (18)$$

$$\lambda_{(i)} = 2(1 - S_{(i)}) / [h_i(1 + S_{(i)})] \quad (19)$$

式中, S_i 表示生存率, h_i 表示龄级宽度(区间长度)。

1.9 时间序列预测模型

参照肖宜安等的计算方法^[36], 采用一次移动平均法对浙江桂种群进行未来 2、4、6、8 龄级时间的个体数量预测分析。计算公式如下:

$$M_t^{(1)} = \frac{1}{n} \sum_{k=t-n+1}^t X_k \quad (20)$$

式中, $M_t^{(1)}$ 表示未来 n 年时 t 龄级种群数量, n 表示未来预测的时间年限, t 为龄级, X_k 表示 k 龄级时的种群数量。通过对 2、4、6、8 龄级时间后浙江桂种群各龄级的个体数量进行预测。

1.10 竞争指数

样地内主要优势种甜槠平均冠幅约为 8m, 对象木浙江桂平均冠幅约为 2m, 因此取半径 5m 范围内 DBH \geq 1cm 的乔木视为竞争木, 利用 ArcGIS 测量对象木及竞争木之间的距离^[37], 再根据胸径和个体数以 Hegyi 竞争

指数(CI)计算竞争强度^[38]:

$$CI = \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{L_{ij}} \right) \left(\frac{D_j}{D_i} \right) \quad (21)$$

式中, CI 是指目标个体 i 的竞争指数; L_{ij} 是指目标个体 i 与竞争者 j 之间的距离; D_i 是指目标个体 i 的胸径; D_j 是指竞争者 j 的胸径; N 是指目标个体的邻近个体数。

2 结果与分析

2.1 群落物种组成

样地内共调查记录物种 198 种(木本 161 种),隶属 54 科 96 属。乔木共有 122 种 7387 株,隶属 46 科 78 属,含 5 种以上的科有樟科、壳斗科、杜鹃花科、蔷薇科、山矾科、五列木科;灌木 93 种 3152 株(丛),隶属 39 科 62 属;草本 37 种 816 株(丛),隶属 20 科 29 属。

2.2 群落物种重要值

重要值超过 10% 乔木树种有甜槠(*Castanopsis eyrei*) (22.42%) 和香桂(*Cinnamomum subavenium*) (11.1%), 灌木优势种有香桂(17.14%) 和尖连蕊茶(*Camellia cuspidata*) (17.1%), 草本层有禾叶山麦冬(*Liriope graminifolia*) (13.92%)、刺头复叶耳蕨(*Arachniodes aristata*) (13.59%)、黑足鳞毛蕨(*Dryopteris fuscipes*) (11.63%) 及沿阶草(*Ophiopogon bodinieri*) (11.22%) (表 1)。浙江桂在乔木层和灌木层重要值分别排第 12(1.72%) 和第 14(1.73%)。

表 1 乔木、灌木、草本重要值前 6 位优势种

Table 1 Importance values of top six dominant species of trees, shrubs and herbs

乔木 Trees	重要值 Importance value/%	灌木 Shrubs	重要值 Importance value/%	草本 Herbs	重要值 Importance value/%
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	22.42	香桂 <i>Cinnamomum subavenium</i>	17.14	禾叶山麦冬 <i>Liriope graminifolia</i>	13.92
香桂 <i>Cinnamomum subavenium</i>	11.10	尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidata</i>	17.10	刺头复叶耳蕨 <i>Arachniodes aristata</i>	13.59
马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	6.24	新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i>	6.34	黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	11.63
新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i>	4.57	络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i>	4.12	沿阶草 <i>Ophiopogon bodinieri</i>	11.22
格药枥 <i>Eurya muricata</i>	3.44	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	3.58	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	9.21
木莲 <i>Manglietia fordiana</i>	2.48	格药枥 <i>Eurya muricata</i>	3.31	青绿薹草 <i>Carex breviculmis</i>	7.02

2.3 群落水平结构

乔木层的径级结构总体以 I、II 级为主的单峰型曲线,占乔木总数的 83.65%; III、IV 级个体最少(占 6.58%); V 级个体数占 9.77%(图 2)。重要值排前 4 的优势种中,仅甜槠以 V 级为主(占 78.92%),平均胸径为 28.9cm,另三个优势种香桂、马银花(*Rhododendron ovatum*)、新木姜子(*Neolitsea aurata*)均以 I、II 级为主(96.26%、95.23%、94.37%)。浙江桂径级组成以小径级为主, I—III 级(幼龄)占 85.15%(258 株), IV—VI 级(中龄)占 11.22%(34 株), VII—IX 级(老龄)占 3.63%(11 株)。

2.4 种群数量动态

浙江桂种群数量动态(表 2) $V_1 - V_8$ 均 ≥ 0 , 忽略外部干扰时, V_{pi} 值大于 0.50, 考虑外部干扰时, V'_{pi} 值为 0.0257, 表明其种群整体属于增长类型。种群随机干扰的极大值(P_{max}) 为 0.037, 提示其对外部干扰的敏感程度较高, 对环境变化的适应能力较差。

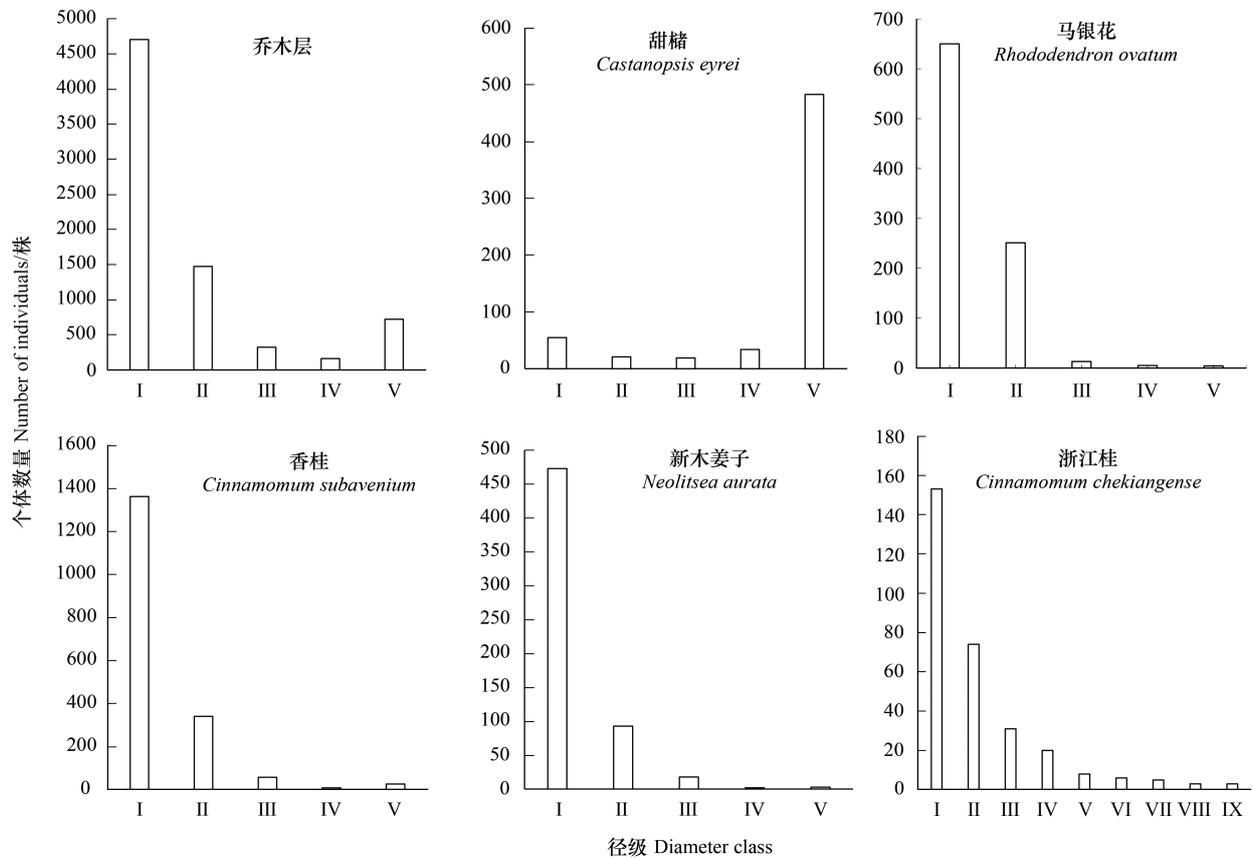


图 2 优势种及浙江桂种群径级结构

Fig.2 Size structure of dominant trees and *Cinnamomum chekiangense* population

根据胸径将浙江桂划分为 9 个径级 Classification of *Cinnamomum chekiangense* into 9 classes according to diameter at breast height (DBH): I, DBH ≤ 2cm、II, 2cm < DBH ≤ 4cm、III, 4cm < DBH ≤ 6cm、IV, 6cm < DBH ≤ 8cm、V, 8cm < DBH ≤ 10cm、VI, 10cm < DBH ≤ 12cm、VII, 12cm < DBH ≤ 14cm、VIII, 14cm < DBH ≤ 16cm、IX DBH > 16cm; 其他优势种划分为 5 个径级 The other dominant species are divided into five path classes: I, 1cm < DBH ≤ 5cm、II, 5cm < DBH ≤ 10cm、III, 10cm < DBH ≤ 15cm、IV, 15cm < DBH ≤ 20cm、V, DBH > 20cm

表 2 浙江桂种群动态变化指数/%

Table 2 Dynamic index of *Cinnamomum chekiangense* population

V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_{pi}	V'_{pi}	P_{max}
51.63	58.11	35.48	60	25	16.67	40	0	50	2.57	3.7

V_n : 种群从 n 到 $n+1$ 的数量动态变化指数 Number dynamic index of the Community from age class n to $n+1$; V_{pi} : 忽略外部干扰时种群的数量动态变化指数 Number dynamic index of the Community when the external disturbance is ignored; V'_{pi} : 考虑外部干扰时种群的数量动态变化指数 Number dynamic index of the Community when the external disturbance is under considering; P_{max} : 随机干扰风险极大值 Random disturbance probability

2.5 静态生命表分析

浙江桂种群不同龄级匀滑处理后个体数 (a_x) 和标准化个体存活数 (l_x) 都随龄级的增加而减少 (表 3); 生命期望值 (e_x) 随龄级增加呈现先升后降的趋势, I 级的生命期望值为 1.382, 在 V 级时升至峰值 3.071, 随后迅速下降到 IX 级时达最小值 0.500, 表明浙江桂随年龄的增长对环境的适应能力呈现出先升后降趋势, 即中龄浙江桂个体对生存环境的适应能力最强。

2.6 种群存活曲线和生存力分析

浙江桂的存活量随龄级的增长而呈现逐渐下降趋势 (图 3), 其中 V—IX 径级斜率相较 I—V 略显平缓,

表 3 浙江桂种群静态生命表

Table 3 Static life table of *Cinnamomum chekiangense* population

龄级 Age class	径级/cm Diameter class	A_x	a_x	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x	S_x
I	DBH≤2	153	153	1000	6.908	516	0.516	742	1382	1.382	0.726	0.484
II	2<DBH≤4	74	74	484	6.181	281	0.581	343	676	1.399	0.870	0.419
III	4<DBH≤6	31	31	203	5.311	72	0.355	167	363	1.790	0.438	0.645
IV	6<DBH≤8	20	20	131	4.873	85	0.650	88	219	1.675	1.050	0.350
V	8<DBH≤10	8	7	46	3.823	7	0.143	42	141	3.071	0.154	0.857
VI	10<DBH≤12	6	6	39	3.669	7	0.167	36	98	2.500	0.182	0.833
VII	12<DBH≤14	5	5	33	3.487	7	0.200	29	62	1.900	0.223	0.800
VIII	14<DBH≤16	3	4	26	3.264	7	0.250	23	33	1.250	0.288	0.750
IX	DBH>16	3	3	20	2.976	—	0	10	10	0.500	0	—

DBH: 胸径 Diameter at breast height; A_x : x 龄级内现有个体数 Individual number of age class x ; a_x : A_x 匀滑后 x 龄级内的存活个体数 The revised data of A_x ; l_x : 标准化存活个体数 The standardized number of surviving individuals of age class x ; $\ln l_x$: 标准化存活数对数 The natural logarithm of l_x ; d_x : 死亡率 The standardized number of mortality from age class x to age class $x+1$; q_x : 死亡率 Mortality rate from age class x to age class $x+1$; L_x : x 到 $x+1$ 龄级间隔期间存活个体数 The number of surviving individuals from age class x to age class $x+1$; T_x : 第 x 龄级到超过第 x 龄级的个体总数, Total individuals number of age class x and age class elder than x ; e_x : 期望寿命 Life expectancy; K_x : 消失率 Vanish rate; S_x : 存活率 Survival rate

指数函数和幂函数模型对存活曲线拟合均达到了极显著水平 ($P<0.01$), 但指数方程的拟合效果更好 (R^2 值更高, 表 4)。因此浙江桂种群存活曲线整体偏向于 II 型对角线型, 提示各龄级死亡率基本相同。种群的生存率和累计死亡率趋势互补 (图 4), 前者随径级增加而下降, 而后者呈现上升趋势, 其中 I—IV 级的曲线变化较为急剧, 个体数量衰减速度较快, IV 级生存率仅有 0.045, 之后曲线变化明显平缓。浙江桂种群的死亡密度和危险率函数曲线反比例的变化 (图 4), 在 I 龄级时死亡密度最高为 0.242, 危险率最低为 0.348, 从 I—III 级死亡密度呈锐减趋势, 危险率呈迅速上升趋势, 随后趋于平缓, 说明浙江桂种群在幼龄个体死亡率较高。

2.7 种群数量时间序列预测

如表 5 所示, 在经过 2 个龄级后浙江桂种群各龄级数量均有所增加, 其中 II、III 龄级增长幅度达到 54.1%、64.5%, 其余龄级增长幅度较小。在经过 4、6、8 个龄级后, 其种群对应龄级的个体数量也都有不同程度的增加。这表明在不受外界干扰情况下, 种群数量会随着时间的推移而呈现增长趋势。

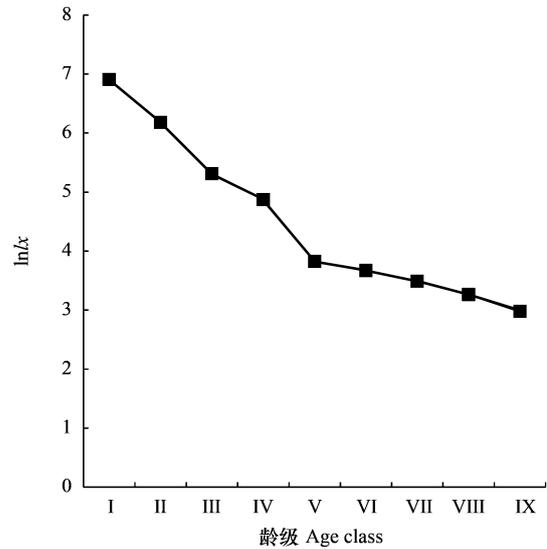


图 3 浙江桂种群存活曲线

Fig.3 Survival curve for *Cinnamomum chekiangense* population

表 4 浙江桂种群存活曲线检验模型

Table 4 Test models of survival curve of *Cinnamomum chekiangense* population

拟合模型 Survival curve	方程 Equation	R^2	F	P
$N_x = N_0 e^{-bx}$	$a_x = 7.1507e^{-0.13x}$	0.972	245.656	0.000
$N_x = N_0 x^{-b}$	$a_x = 7.5636x^{-0.495}$	0.946	123.126	0.000

N_x : 匀滑后 x 龄级内存活数 The correction value of A_x ; N_0 : 种群形成初期的个体存活数 Number of surviving individuals in the early formation stage of Community; x : 龄级 Age class

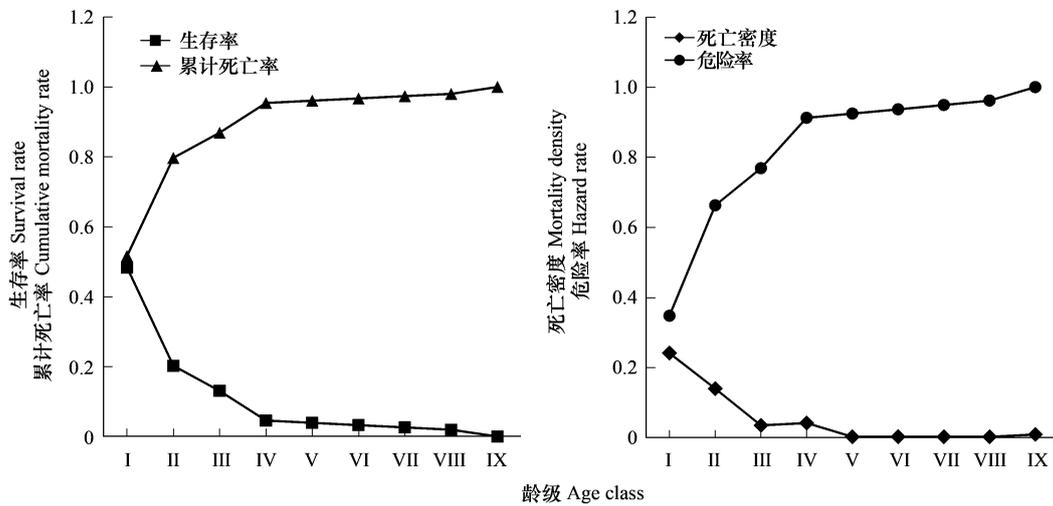


图 4 浙江桂种群生存率与累计死亡率曲线、死亡密度与危险率曲线

Fig.4 Survival and cumulative mortality rate, mortality density and hazard rate curve of *Cinnamomum chekiangense* population

表 5 浙江桂种群数量动态变化时间序列分析

Table 5 Time series analysis of population dynamics of *Cinnamomum chekiangense*

龄级 Age class	原始数据 Primary data	$M_2^{(1)}$	$M_4^{(1)}$	$M_6^{(1)}$	$M_8^{(1)}$
I	153				
II	74	114			
III	31	53			
IV	20	26	70		
V	8	14	33		
VI	6	7	16	48	
VII	5	6	10	23	
VIII	3	4	6	12	38
IX	3	3	4	7	19

$M_2^{(1)}$: 经过 2、4、6、8 龄级时间后 t 龄级的种群大小 The Community size of age class t after the time of 2, 4, 6, 8 age class; (1): 移动平均法中的一次移动平均法标识 The mark of one-time moving average in moving average method

2.8 种内种间竞争

对浙江桂造成竞争压力排名前 10 的树种见表 6, 甜槠竞争指数最高 1717.18, 占总竞争强度的 34.85%, 平均胸径为 29.46cm。其次是香桂、新木姜子以及马银花, 共有 1012 株参与种间竞争, 占总竞争强度的 23.07%, 平均胸径分别为 3.43cm、3.76cm 和 4.34cm。浙江桂种内竞争压力占总竞争强度的 6.82%, 远小于种间竞争压力(占 93.18%)。

3 讨论

3.1 浙江桂生境群落特征

基于 2hm²样地调查显示, 牯牛降国家级自然保护区浙江桂生境群落属典型的亚热带常绿阔叶林, 种类以壳斗科、樟科常绿树种为主, 优势种以甜槠、香桂、马银花、新木姜子、格药柃 (*Eurya muricata*)、木莲 (*Manglietia fordiana*) 等常绿树种为主, 与安徽黄山、浙江古田山、浙江天童山已建大样地常绿阔叶林相似^[39-41], 与近缘种天竺桂在日本非典型常绿阔叶林略有不同^[42]。该样地群落属于以甜槠为建群种的成熟林, 甜槠的径级以 V 级为主(占 78.92%), 与周边报道样地以中小径级为主恢复型甜槠群落明显不同^[43-44]。

除建群种外的其它优势种(香桂、马银花、新木姜子、格药桉等)与浙江桂相似,均属于增长型,龄级组成上以小径级(I、II级)为主(图2),也显示他们彼此间正处于强烈的竞争过程中(表6)。近30年来,由于封山育林的实施以及农村耕作方式和能源结构的调整,安徽南部山区天然次生林,尤其是类似于调查样地的天然常绿阔叶林得到了较大面积的恢复,它也是该区域低海拔区地带性的顶级植被群落^[45]。本次调查样地位于保护区的核心区,其建群种甜槠平均胸径为28.9cm,推测其植被已自然恢复约60—70年^[46],因此上述天然的常绿阔叶林恢复可能为浙江桂种群增长起到积极的作用。

表6 对浙江桂的竞争强度排名前10的树种

Table 6 Competitive intensity of other tree species against *Cinnamomum chekiangense*

竞争木 Competition wood	株数 Number of plants	比例 Proportions/%	平均胸径 Average DBH/cm	竞争指数 Competition index	竞争强度 Competition intensity/%	平均竞争指数 Average competition index
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	171	7.93	29.46	1717.18	34.85	10.04
野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	16	0.74	13.88	93.69	1.9	5.86
木莲 <i>Manglietia fordiana</i>	45	2.09	10.07	184.16	3.74	4.09
浙江桂 <i>Cinnamomum chekiangense</i>	108	5.01	4.4	336	6.82	3.11
青冈 <i>Quercus glauca</i>	91	4.22	8.82	276.66	5.62	3.04
江南越橘 <i>Vaccinium mandarinorum</i>	42	1.95	3.79	108.89	2.21	2.59
新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i>	238	11.04	3.76	367.05	7.45	1.54
马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	300	13.91	4.34	340.34	6.91	1.13
格药桉 <i>Eurya muricata</i>	99	4.59	3.85	95.04	1.93	0.96
香桂 <i>Cinnamomum subavenium</i>	474	21.99	3.43	428.9	8.71	0.9

3.2 浙江桂种群动态变化

了解种群的生存状况及判断其未来的发展趋势对珍稀濒危植物的保护具有重要意义^[13]。牯牛降自然保护区浙江桂种群以小径级个体为主,其中 $DBH \leq 4cm$ 共有227株,占总株数的74.92%, $4cm < DBH \leq 8cm$ 有51株,占总株数的16.83%, $DBH > 8cm$ 有25株,仅占株数的8.25%。因此径级结构显示调查样地浙江桂种群幼苗储备较丰富,但幼苗到成体的更新过程中损耗度很高,存活曲线、生存率及死亡密度均一致显示幼苗有较高的折损率(图3和图4)。静态生命表显示浙江桂个体的生命期望值(e_x) 在V龄级时出现高峰,表明浙江桂在中龄期有较高的生长势,对生存环境有了较高的适应性;动态指数 V_{pi} 、 V'_{pi} 均大于0、且 V'_{pi} 趋于0说明浙江桂种群处于增长型,但种群结构相对不稳定,容易受到外界干扰;这些结果与濒危植物大苞山茶(*Camellia granthamiana*)^[11]、堇叶紫金牛(*Ardisia violacea*)^[12]、山铜材(*Chunia bucklandioides*)^[47]相似。时间序列预测分析进一步显示,牯牛降自然保护区内浙江桂种群经过几个龄级后,各龄级的个体数量也都有不同程度的增加。因此,综上所述牯牛降自然保护区浙江桂种群属增长型群体,幼苗数量较充足、不受外界干扰的情况下种群数量会随着时间的推移而呈现增长趋势,但幼苗转化成体效率不高。

4 保护对策

研究样地位于牯牛降自然保护区的核心区,鉴于该样地内的浙江桂种群属于增长型群体,因此建议以就地封山保护为主。针对幼苗折损率高的问题,建议对位于浙江桂幼苗附近胸径较小的竞争木如香桂、马银花、新木姜子、格药桉等进行适当减伐,以便减小种间竞争,给浙江桂幼苗的生长留出更多的空间;对幼苗分布相对集中区域,可将部分幼苗移栽到幼苗较少且相对较空旷的区域,以减少种内竞争对幼苗生长的影响。此外,需进一步加强该样地的跟踪研究,监测了解样地内浙江桂种群个体生长动态及精准抚育的幼苗个体生长情况,为后续抚育管理提供指导;同时应进一步开展不同区域及植被浙江桂群落结构及种群动态研究,以便全面了解其生境特点(偏好)及种群发展趋势。

参考文献 (References):

- [1] 董鸣. 生态学透视: 种群生态学. 北京: 科学出版社, 2016.
- [2] Gurevitch J, Scheiner S M, Fox G A. The Ecology of Plants. Sunderland, Massachusetts, USA: Sinauer Associates, 2002.
- [3] 吴其超, 臧凤岐, 李呈呈, 马燕, 高燕, 郑勇奇, 臧德奎. 濒危树种五莲杨种群结构与动态特征. 生态学报, 2021, 41(12): 5016-5025.
- [4] 王进, 姚兰, 艾训儒, 朱江, 刘松柏. 鄂西南不同区域亮叶桦种群结构与动态特征. 应用生态学报, 2020, 31(2): 357-365.
- [5] 赖江山, 张谧, 谢宗强. 三峡库区常绿阔叶林优势种群的结构和格局动态. 生态学报, 2006, 26(4): 1073-1079.
- [6] Wang T, Liang Y, Ren H B, Yu D, Ni J, Ma K P. Age structure of *Picea schrenkiana* forest along an altitudinal gradient in the central Tianshan Mountains, northwestern China. *Forest Ecology and Management*, 2004, 196(2/3): 267-274.
- [7] Harcombe P A. Tree life tables. *BioScience*, 1987, 37(8): 557-568.
- [8] 杨凤翔, 王顺庆, 徐海根, 李邦庆. 生存分析理论及其在研究生命表中的应用. 生态学报, 1991, 11(2): 153-158.
- [9] 张亮, 王孝安, 刘鹏, 王贤, 邓美皎, 朱云云. 陕西子午岭北桑寄生的种群生命表与生存分析. 植物生态学报, 2014, 38(7): 687-693.
- [10] Tilman D, Reich P B, Knops J M H. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 2006, 441(7093): 629-632.
- [11] 林春惠, 顾惠怡, 叶钦良, 张志坚, 钟智明, 易绮斐. 珍稀濒危植物大苞山茶种群结构与动态特征. 植物生态学报, 2023, 47(12): 1684-1692.
- [12] 马丹丹, 库伟鹏, 夏国华, 毛洁莹, 薛建辉. 珍稀濒危植物堇叶紫金牛种群结构及动态分析. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2021, 45(3): 159-164.
- [13] 姜在民, 和子森, 宿昊, 赵涵, 蔡靖. 濒危植物羽叶丁香种群结构与动态特征. 生态学报, 2018, 38(7): 2471-2480.
- [14] 李敏敏, 刘鹏程, 孔维民, 马方莲, 李帅锋, 王萌. 濒危植物澜沧黄杉种群结构及动态特征. 生态学报, 2022, 42(13): 5504-5515.
- [15] 张志祥, 刘鹏, 蔡妙珍, 康华靖, 廖承川, 刘春生, 楼中华. 九龙山珍稀濒危植物南方铁杉种群数量动态. 植物生态学报, 2008, 32(5): 1146-1156.
- [16] 杜晓洁, 易绮斐, 叶钦良, 钟智明, 王永淇, 陈红锋. 濒危植物紫纹兜兰群落特征及其保护. 植物科学学报, 2017, 35(6): 844-850.
- [17] 李根有. 植物志新编(樟科). 杭州: 浙江科学技术出版社, 2021.
- [18] 浙江省林业局发布“碳汇造林十大主推树种”. 浙江林业, 2023, (4): 48-49.
- [19] 安徽省林业局. 关于加强珍稀树种保护的通知([1993] 43号). 1993.
- [20] 谢光新. 浙江桂扦插繁殖技术. 安徽农学通报, 2015, (15): 24-25, 30.
- [21] 王丰, 潘彪, 蒋亚萍, 连彩萍, 唐菁, 殷云龙. 浙江桂幼龄材的生长特性及主要材性. 林业科技开发, 2014, (5): 75-79.
- [22] 陈冰冰. 瓜馥木、浙江桂水分生理特征初探[D]. 福州: 福建师范大学, 2010.
- [23] 杨青, 陈世品, 邹利清, 连培华. 浙江桂叶油化学成分的 GC-MS 分析. 生物质化学工程, 2009, 43(3): 25-27.
- [24] 李锡文. 中国植物志(樟科). 北京: 科学出版社, 1982.
- [25] 陶思兴, 王佳玉, 罗水平, 吴其超, 金会会, 毕淑峰. 野生天竺桂叶挥发油的抗氧化活性研究. 北京联合大学学报, 2014, 28(2): 22-25.
- [26] 舒康云, 陶永元, 徐成东, 蔡晨波, 陈靖, 杨刚. 天竺桂叶精油的提取及成分分析. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(1): 107-111.
- [27] 杜佩剑, 徐迎春, 李永荣. 天竺桂容器育苗基质配方研究. 江苏农业科学, 2008, (2): 143-146.
- [28] 杨颖, 刘向东, 段豪, 芦治国. 基于 SLAF-seq 的天竺桂群体遗传变异分析. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2022, 46(5): 33-39.
- [29] Lin H Y, Yang Y, Li W H, Luo Y X, Bai X H, Ohi-Toma T, Kim C, Kim J H, Zhao Y P. Species boundaries and conservation implications of *Cinnamomum japonicum*, an endangered plant in China. *Journal of Systematics and Evolution*, 2024, 62(1): 73-83.
- [30] 陈明林, 陈文豪, 方宏明, 周守标, 张小平. 牯牛降自然保护区. 植物杂志, 2002(4): 8-9.
- [31] 高润梅, 郭晋平. 文峪河上游河岸林的演替分析与预测. 生态学报, 2010, 30(6): 1564-1572.
- [32] 杨彪, 张全建, 龚旭, 段晨松, 张远彬. 雅砻江冬麻豆(*Salweenia bouffordiana*) 种群结构与动态特征. 生态学报, 2020, 40(4): 1184-1194.
- [33] Hett J M, Loucks O L. Age structure models of balsam fir and eastern hemlock. *The Journal of Ecology*, 1976, 64(3): 1029-1044.
- [34] 陈晓德. 植物种群与群落结构动态量化分析方法研究. 生态学报, 1998, 18(2): 214-217.
- [35] 谭菊荣, 袁位高, 李婷婷, 许国良, 吴正柱, 陈小明, 李卫忠, 许惠春, 库伟鹏, 朱锦茹, 吴初平. 极小种群野生植物细果秤锤树种群结构与动态特征. 生态学报, 2022, 42(9): 3678-3687.
- [36] 肖宜安, 何平, 李晓红, 邓洪平. 濒危植物长柄双花木自然种群数量动态. 植物生态学报, 2004, 28(2): 252-257.
- [37] 陈永刚, 汤孟平, 杨春辉, 马天午, 王礼. 天然毛竹林竞争空间关系分析. 植物生态学报, 2015, (7): 726-735.
- [38] Hegyi F. A simulation model for managing jack-pine stands. In: Royal College of Forestry ed. *Growth Models for Tree and Stand Simulation*. Sweden: Royal College of Forestry, Stockholm, 1974: 74-90.
- [39] 丁晖, 方炎明, 杨新虎, 袁发银, 何立恒, 姚剑飞, 吴俊, 迟斌, 李垚, 陈水飞, 陈婷婷, 徐海根. 黄山亚热带常绿阔叶林的群落特征. 生物多样性, 2016, 24(8): 875-887.
- [40] 祝燕, 赵谷风, 张丽文, 沈国春, 米湘成, 任海保, 于明坚, 陈建华, 陈声文, 方腾, 马克平. 古田山中亚热带常绿阔叶林动态监测样地——群落组成与结构. 植物生态学报, 2008, 32(2): 262-273.
- [41] 杨庆松, 马遵平, 谢玉彬, 张志国, 王樟华, 刘何铭, 李萍, 张娜, 王达力, 杨海波, 方晓峰, 阎恩荣, 王希华. 浙江天童 20ha 常绿阔叶林动态监测样地的群落特征. 生物多样性, 2011, 19(2): 215-223.
- [42] Shim H Y, Park S G, Choi S H, Lee S C, Yu C Y, Sung C Y. The Characteristics of *Cinnamomum japonicum* Community in Japan's Special Natural. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 2019, 33(1): 52-63.
- [43] 张银, 吴浩, 徐耀粘, 王世彤, 杨腾, 李晶, 吕林玉, 周天阳, 肖之强, 王建, 江明喜. 湖北九宫山甜槠群落结构与优势种的空间分布格局研究. 长江流域资源与环境, 2021, 30(5): 1130-1140.
- [44] 李小东, 丁晖, 吴俊, 方炎明. 黄山常绿阔叶林优势种甜槠的种群动态与点格局分析. 西北植物学报, 2018, 38(11): 2110-2119.
- [45] 安徽植被协作组. 安徽植被. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1983.
- [46] 赵青, 刘爽, 陈燕菲, 吴承祯, 范海兰, 林勇明, 李键. 武夷山不同林龄甜槠林土壤呼吸特征及影响因素. 生态学报, 2021, 41(6): 2326-2338.
- [47] 桂慧颖, 方发之, 黎肇家, 麦有专, 张晓凤. 海南吊罗山濒危植物山铜材种群结构与动态特征. 植物研究, 2024, 44(1): 75-85.