

# 极小种群海南风吹楠种群的数量特征及动态

蒋迎红<sup>1,2</sup>, 项文化<sup>1</sup>, 何应会<sup>3</sup>, 蒋 焱<sup>3</sup>, 林建勇<sup>3</sup>, 黄荣林<sup>3</sup>

(1. 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004; 2. 广西林业厅保护处, 广西 南宁 530028;  
3. 广西林业科学研究院 广西优良用材林资源培育重点实验室, 广西 南宁 530002)

**摘 要:** 通过对广西分布区海南风吹楠野生资源的调查, 从径级结构、静态生命表、存活曲线以及乔木重要值等方面, 分析了海南风吹楠种群的生态学特征。结果表明: (1) 海南风吹楠种群径级结构呈典型的倒 J 型, 偏态分布极为明显, 种群结构大致趋于稳定型, 但径级结构、幼苗库存在明显不均衡性。(2) 存活曲线趋于 Deevey- II 型, 幼苗阶段的高死亡率是导致其种群濒危的重要原因, 且光因素是该树种生长和种群发展的限制性环境因子。(3) 海南风吹楠在 5 龄级以前, 树高与胸径的增长几乎呈线性相关, 此后开始变缓。(4) 海南风吹楠在群落中的竞争优势不明显, 6 龄级以后消失率增高。针对海南风吹楠濒危的原因, 对现有种群进行适度人工干预, 提高幼苗至幼树的转化率, 加强片段化居群间的基因交流是当前海南风吹楠种群恢复的关键。

**关键词:** 极小种群; 海南风吹楠; 数量特征; 径级结构; 种群动态

中图分类号: S723.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-923X(2017)08-0066-06

## Population quantitative characteristics and dynamics of *Horsfieldia hainanensis*, a rare and extremely small population plant

JIANG Yinghong<sup>1,2</sup>, XIANG Wenhua<sup>1</sup>, HE Yinghui<sup>3</sup>, JIANG Yi<sup>3</sup>, LIN Jianyong<sup>3</sup>, HUANG Ronglin<sup>3</sup>

(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan, China; 2. Guangxi Department of forestry protection, Nanning 530028, Guangxi, China; 3. Guangxi Academy of Forestry, Guangxi Key Laboratory of Superior Timber Trees Resource Cultivation, Nanning 530002, Guangxi, China)

**Abstract:** Through investigation into the wild resources of *Horsfieldia hainanensis* distributed in Guangxi, this article analyzes the ecological characteristics of the *H. hainanensis* population from aspects including diameter class structure, static life table, survival curve, the importance value of arbor tree, etc. The results are as follows: (1) the diameter class structure of the *H. hainanensis* population presents a typical inverted J-shaped distribution, which indicates that the population will still be a stable one in the short term, but the diameter class structure and seedling inventory show clear imbalance. (2) the survival curve tends to conform to the Deevey- II type. High mortality during the seedling stage is an important factor that leads to the endangered status of the population, and besides, the light factor may also plays a role in limiting the growth and development of this tree species. (3) before reaching the 5th age class, the height and DBH of *H. hainanensis* almost show a linear correlation which tends to slow down thereafter. (4) the competitiveness of *H. hainanensis* in the community is not obvious, and the mortality rate among individuals after reaching the 6th age class increases. In view of *H. hainanensis* endangered reasons, Appropriate human intervention on the current population, raising the transformation ratio from seedlings to saplings and enhancing the gene exchange between fragmented population are the keys in restoring the current *H. hainanensis* population.

**Keywords:** plant species with extremely small populations; *Horsfieldia hainanensis*; quantitative characteristics; diameter class structure; population dynamics

种群的年龄结构、生命表和存活曲线的分析, 是研究种群数量动态变化的重要手段<sup>[1-3]</sup>。年龄结构作为种群动态重要特征, 它的研究可以了解种群的现存状态、受干扰情况以及预测种群发

展趋势<sup>[4-5]</sup>, 还有助于揭示种子散布、种子萌发以及幼苗库建立等特征<sup>[6-7]</sup>。目前, 对于树种种群年龄结构的研究, 基本上采用立木径级结构代替, 尤其见于濒危树种, 其中在蚬木 *Excentrodendron*

收稿日期: 2016-12-07

基金项目: 国家林业局部门预算广西项目支出预算项目“极小种群树种海南风吹楠的野外救护与保育研究”

作者简介: 蒋迎红, 高级工程师, 博士研究生

通讯作者: 项文化, 教授, 博士生导师; E-mail: xiangwh2005@163.com

引文格式: 蒋迎红, 项文化, 何应会, 等. 极小种群海南风吹楠种群的数量特征及动态 [J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(8): 66-71, 80.

hsienmu、急尖长苞冷杉 *Abies georgei*、翠柏 *Calocedrus macrolepis*、脱皮榆 *Ulmus lamellosus*、沉水樟 *Cinnamomum micranthum* 等的研究中均获得了较为可靠的分析数据<sup>[8-12]</sup>。制定种群生命表可为种群数量的统计提供更丰富的指标信息<sup>[13-14]</sup>，诸如死亡率、消失率、期望寿命等。存活曲线是建立在存活个体数量统计基础上的，可以反映树木个体在各年龄阶段的存活状态<sup>[15]</sup>。

肉豆蔻科 Myristicaceae 是湿润热带雨林的标识性植物，尤其以风吹楠属为典型，它对于研究热带雨林区系构成、地理分布和生态特征具有重要价值<sup>[16]</sup>。海南风吹楠 *Horsfieldia hainanensis* 为肉豆蔻科风吹楠属高大乔木，雌雄异株，属渐危种和国家 II 级重点保护野生植物<sup>[17]</sup>，2011 年广西壮族自治区将其列入广西极小种群野生植物名录。海南风吹楠分布于我国广西、云南和海南的部分地区，多见于原始森林中，分布在广西和云南的地理位置多处于我国与越南、缅甸的交界处，而在海南仅尖峰岭、霸王岭、五指山等处有少量分布。据本项目组 2013 年、2014 年对广西、海南和云南的资源调查结果，目前保存较为完好的海南风吹楠天然种群多见于广西境内。有关海南风吹楠的研究鲜见报道，仅见于采种育苗和药用价值分析等方面<sup>[18-20]</sup>，基础性研究相当薄弱。本研究利用 2013 年对分布于广西区内所有海南风吹楠群落的野外调查数据，从径级结构、静态生命表、存活曲线、个体生长动态、乔木重要值等方面，分析海南风吹楠种群生态学特征，预测其数量动态变化规律，揭示其濒危机制，希望能为海南风吹楠种群修复、野生资源的保护和可持续发展提供参考依据。

## 1 调查区域概况

海南风吹楠地理分布狭窄，在广西零星分布于大新、龙州、宁明、防城一带，且多处于保护区内，分布区范围濒临北部湾海岸，地处 106°30' ~ 107°30'E，21°30' ~ 23°0'N 之间，西部为大青山山脉，南部为公母山山脉和十万大山山脉，山多地少，地貌复杂多样，以喀斯特岩溶峰丛、峰林地貌为主体<sup>[21]</sup>。防城，夏季多雨高温，年降雨量可达 3 465 mm，年平均气温 22 °C，无霜冻期。宁明、龙州、大新一带，气候温和，夏长冬短，年日照时数 1 600 h，1 月平均气温 13.8 °C，7 月平均气温 28.1 °C，年平均气温 20.8 °C ~ 22.4 °C，年无霜期长达 340 d 左右，年降雨量 1 200 mm 以上。主要成土母岩以石灰岩占优势，页岩、砂岩次之，

第四纪酸性赤红壤土层为地表盖层。

## 2 研究方法

### 2.1 样地调查

2013 年 4 月，对广西分布区海南风吹楠野生资源展开调查，共调查了大新硕龙镇念典村念斗屯和岩应村门屯、龙州县弄岗保护区弄岗站瞭望台、龙州县三联村、宁明县院景村以及防城区垌中林场 6 个分布点。根据海南风吹楠种群的分布特点，运用典型取样法，每个分布点调查面积基本设置为 30 m × 30 m，大新硕龙镇念典村念斗屯分布点视实际地形另增加一个 20 m × 30 m 的样方，调查面积共计 6 000 m<sup>2</sup>。选择代表区域种群特征的 4 个分布点（样地编号为 PND= 大新念斗、PNG= 龙州弄岗、PSL= 龙州三联、PDZ= 防城垌中）进行种群特征分析，因宁明县院景村样方内仅 3 株，不纳入数据统计。

详细记录各样方中心地理坐标、海拔、生境面积、郁闭度、坡度、坡向、岩石裸露度等生境指标。采用相邻格子法将每个大样方划分成 10 m × 10 m 的小样方，逐一对小样方内所有胸径  $DBH \geq 2.5$  cm 的乔木种类进行每木调查，包括胸径、树高、冠幅、生长状况。测定和统计每个小样方内海南风吹楠幼苗（胸径 < 2.5 cm）的株数以及株高、地径、叶片数。统一在每个乔木样方内的左下角设置 1 个 5 m × 5 m 的小样方，作为林下植被调查样方，分别记录灌木、藤本和草本植物的种名、个体数、高度和盖度。此外，对于样方外的海南风吹楠大树及幼苗一并进行清查。

### 2.2 种群数量特征

#### 2.2.1 径级结构分析

径级结构是植物群落稳定性和生长发育状况的重要指标<sup>[22]</sup>。海南风吹楠为国家二级野生保护植物，极小种群树种，资源数量有限，树液呈血红色且丰富，因此，不宜利用生长锥或解析木进行年龄测定。故将依胸径大小代替年龄结构来分析种群动态。关于种群结构立木级的划分标准，学者们在研究不同树种中采用了不同的标准<sup>[15,23]</sup>。本研究参照种群结构研究经验，结合海南风吹楠种群生活史特点，将其径级划分标准如下：胸径  $DBH < 2.5$  cm 划分为幼苗，其中幼苗高  $H < 0.50$  m 划分为第 1 龄级，幼苗高  $H \geq 0.50$  m 划分为第 2 龄级； $2.5 \leq DBH < 7.5$  cm 划分为幼树，为第 3 龄级；此后按每隔 10 cm 为一个径级来进行划分，以此

类推, 海南风吹楠共分为 9 个龄级, 统计各龄级个体株数比例。

### 2.2.2 静态生命表编制

对于长周期的多年生植物可应用静态生命表来分析种群的动态。静态生命表是依据植物种群在特定时间断面上的年龄结构而建立的, 本研究以 4 个样地的综合资料来编制海南风吹楠种群的静态生命表, 其关系式及相关参数如下<sup>[12]</sup>:  $l_x = n_x/n_1 \times 1000$ ,  $d_x = l_x - l_{x+1}$ ,  $q_x = d_x/l_x \times 100\%$ ,  $L_x = (l_x + l_{x+1})/2$ ,  $T_x = \sum L_x$ ,  $e_x = T_x/l_x$ ,  $K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$ 。其中:  $x$  表示某一特定龄级,  $n_x$  为  $x$  龄级内现有个体数;  $n_1$  为 1 龄级内存活的个体数;  $l_x$  为  $x$  龄级开始时标准化存活个体数;  $d_x$  为从  $x$  到  $x+1$  龄级期间内标准化死亡个体数;  $q_x$  为从  $x$  到  $x+1$  龄级期间的死亡率;  $L_x$  为从  $x$  到  $x+1$  龄级期间的平均存活个体数或区间寿命;  $T_x$  为从  $x$  龄级到超过  $x$  龄级的个体总数;  $e_x$  为  $x$  龄级开始时个体的平均生命期望寿命;  $K_x$  为各年龄组致死力, 即消失率。只有  $n_x$  为测定值, 其余参数为统计值。由于第 3 龄级与第 4 龄级间存在死亡率为负值的情况<sup>[23]</sup>, 参照陈远征<sup>[12]</sup>、李艳丽等<sup>[15]</sup>的处理方法, 采用分段平滑技术对  $n_x$  数据进行了修匀, 得到  $n'_x$ , 编制出海南风吹楠特定时间生命表。

### 2.3 个体生长动态分析

对所调查的 847 株海南风吹楠, 采用二项式回

归方程检验胸径与树高的相关性。将胸径  $DBH < 2.5$  cm 的植株划分为 1 级, 以地径代替胸径, 然后每隔 2 cm 划分为 1 个级别, 算出每一径级中胸径和树高的平均值, 利用二项式方程拟合曲线。

## 3 结果与分析

### 3.1 海南风吹楠在群落中的重要值

以样方调查数据为基础, 统计出海南风吹楠在分布点物种组成的数量特征, 并对每个分布点中海南风吹楠重要值进行计算(表 1)。样地的分布状态与重要值反映了海南风吹楠对生境的要求和不同立地条件下的竞争地位, 通过对群落内乔木层树种重要值的分析表明, 海南风吹楠处于优势或较优势地位的样地点为大新念斗(PND)和龙州弄岗(PNG), 重要值分别为 30.15% 和 18.05%。大新念斗(PND)样地地势平坦开阔, 光照时间长, 有利于幼苗和个体的生长, 分布有较多的成年大树, 乔木重要值为最高。防城垌中(PDZ)样地海南风吹楠重要值仅为 2.04%, 在群落中处于竞争劣势。海南风吹楠群落的主要伴生树种有苹婆 *Sterculia monosperma*、火果 *Baccaurea ramiflora*、中国无忧花 *Saraca dives*、人面子 *Dracontomelon duperreanum*、棋子豆 *Archidendron robinsonii*、秋枫 *Bischofia javanica* 等。

表 1 海南风吹楠的群落特征  
Table 1 Community characteristics of *H. hainanensis*

样地	郁闭度	海拔/m	坡度/(°)	岩石裸露度/%	重要值/%	群落类型
PND	0.5	375	5~25	20	30.15	海南风吹楠+灰毛浆果楸+木油桐
PNG	0.6	163	30~35	85	18.05	中国无忧花+苹婆+海南风吹楠
PSL	0.7	540	20~35	40	9.97	苹婆+岩生厚壳桂+中国无忧花
PDZ	0.6	470	35~45	15	2.04	秋枫+棋子豆

### 3.2 种群结构特征

统计到的 4 个分布点共有海南风吹楠 847 株, 形成的种群龄级结构呈典型的倒 J 型(图 1), 偏态分布极为明显。1、2 龄级幼苗个体数量多, 占 83.23%, 表明调查区域自然状态下海南风吹楠种子的萌发状况良好。而到 3 龄级幼树阶段数量却断崖式下滑, 表现出从幼苗→幼树转化率极低的现象。由图 1 可见, 海南风吹楠种群在数量特征上大致呈现增长型结构, 但目前的 5~7 龄级(中树)、8~9 龄级(大树、巨树)基数偏小, 如若幼苗→幼树的生存障碍长期存在, 这两种现状将可能威胁到海南风吹楠种群的发展。

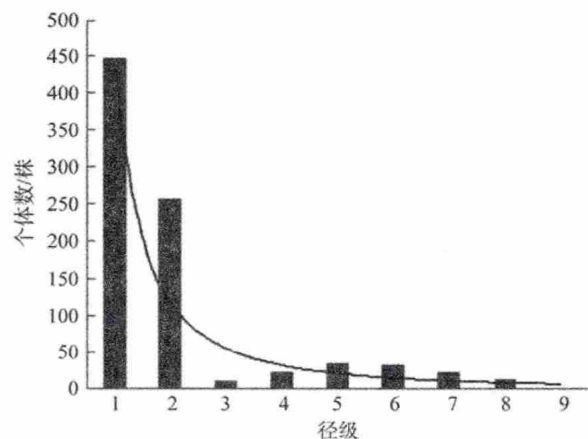


图 1 海南风吹楠种群的径级结构  
Fig. 1 The diameter class structure of *H. hainanensis* populations

对各样地胸径数据进行单因素方差分析显示(表 2), 样地间差异显著 ( $F=6.503, p < 0.001$ ), 表明调查区域海南风吹楠种群的大小级结构存在明显不均衡性。比较图 2 中各样地种群径级结构发现, 海南风吹楠处于不同生境条件下, 种群径级结构、幼苗库大小均存在较大差异。大新念斗 (PND) 和龙州三联 (PSL) 种群 1、2 龄级幼苗个体所占比例大, 整体接近增长型。其中, PND 样地点海南风吹楠幼苗的密集分布, 对抗外来因素具有一定优势, 但同时存在激烈的种内竞争, 加上环境筛选的强烈作用, 导致了绝大部分幼苗死亡。如将 1 至 4 龄级归为幼年期, 5 至 7 龄级归为中年期, 8 和 9 龄级归为老龄期, 龙州弄岗站 (PNG) 种群则拥有较多的幼苗、幼树以及中树, 其幼、中、老龄期个体分别占比 41.89%、

52.70%、5.41%, 属于成熟稳定型种群结构。防城垌中 (PDZ) 种群径级大小结构缺乏延续性, 幼苗、幼树均缺乏, 种群结构极不稳定。实际调查发现, 该点位于沟谷, 灌、草盖度分别为 40.58% 和 34.17%, 仅有 1 株结果树, 母株生长良好, 结果量大, 但林下只发现了 2 株幼苗, 其中 1 株在被发现的一年后消失。推断分析, 灌草盖度大, 加上长期的高温高湿是导致种子难发芽、幼苗难存活的重要原因, 因此导致种群难以实现自我更新。

表 2 各样地海南风吹楠胸径单因素方差分析  
Table 2 ANOVA of DBH for *H. hainanensis* populations in sample plots

变异来源	SS	df	Mean Square	F	Sig.
样方间	2 387.402	3	795.801	6.503	0.000
样方内	26 939.882	136	198.087		
总体	29 327.284	139			

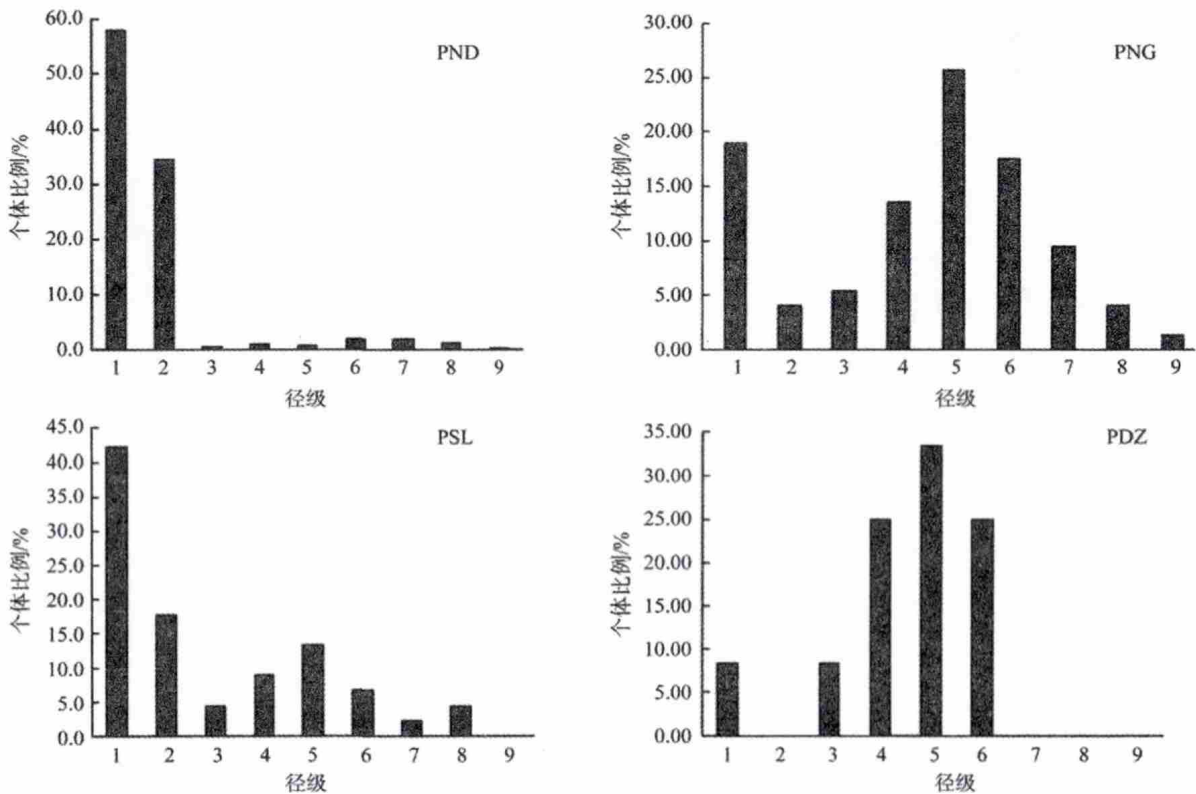


图 2 各样地海南风吹楠种群径级结构  
Fig.2 The diameter class structure of *H. hainanensis* populations in sample plots

3.3 种群静态生命表与存活曲线分析

根据静态生命表的编制方法和本研究调查数据, 编制海南风吹楠种群特定时间生命表(见表 3)。从各龄级个体数量  $n_x$  数据来看, 海南风吹楠幼苗数量占据了资源总量的 83.23%, 而进入 3 龄级的幼树仅占不到 2%。此过程中幼苗个体对水分、养分、光照和空间环境资源的竞争存在高

度一致性<sup>[8]</sup>, 海南风吹楠果实硕大, 自身传播距离非常有限, 来自空间上的高密度分布的种内竞争作用是导致幼苗难进阶的重要原因之一。

以径级相对应的龄级为横坐标, 以  $\ln l_x$  为纵坐标, 绘制调查区域海南风吹楠野生种群的存活曲线(见图 3)。按 Deevey 存活曲线的划分<sup>[12]</sup>, 初步认为海南风吹楠野生种群存活曲线在 Deevey - II 型和 Deevey - III 型之间波动, 另采用 2 种数学模型对

表 3 海南风吹楠种群静态生命表  
Table 3 Static life table of *H. hainanensis* population

龄级	径级 DBH /cm	$n_x$	$n'_x$	$lx$	$\ln lx$	$d_x$	$q_x$	$L_x$	$T_x$	$e_x$	$K_x$
1	$D < 2.5, h < 0.5$ m	448	448	1 000	6.91	426	42.63	787	1391	1.39	0.56
2	$D < 2.5, h > 0.5$ m	257	257	574	6.35	509	88.72	319	604	1.05	2.18
3	2.5 ~ 7.5	11	29	65	4.17	5	7.72	63	285	4.40	0.07
4	7.5 ~ 17.5	24	27	60	4.10	4	7.41	58	222	3.69	0.08
5	17.5 ~ 27.5	35	25	56	4.02	5	8.96	54	164	2.94	0.08
6	27.5 ~ 37.5	33	23	51	3.94	2	4.35	50	110	2.15	0.04
7	37.5 ~ 47.5	23	22	49	3.89	18	36.36	40	60	1.23	0.45
8	47.5 ~ 57.5	14	14	31	3.44	27	85.71	18	20	0.64	1.95
9	$\geq 57.5$	2	2	4	1.50	--	--	2	2	0.50	--

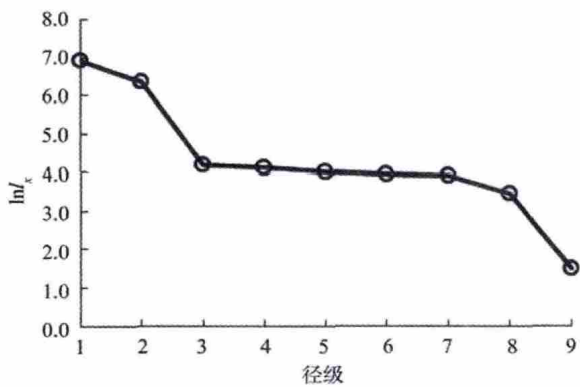


图 3 种群存活曲线  
Fig.3 Population survival curve

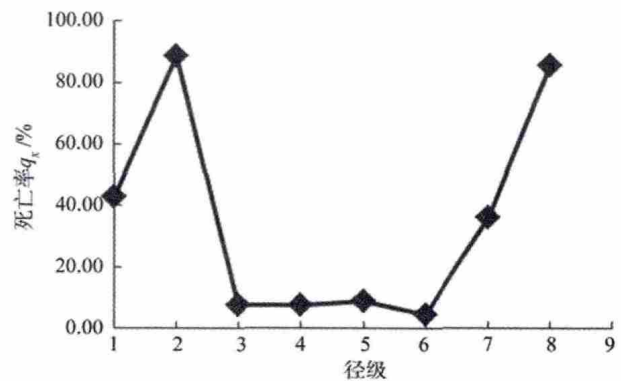


图 4 种群死亡率 ( $q_x$ ) 曲线  
Fig.4 Population mortality rate ( $q_x$ ) curve

海南风吹楠存活曲线进行趋势预测, 建立的对应模型为: 线性方程  $y = -0.518x + 6.848$ ,  $R = 0.733$ ,  $p < 0.01$ ; 幂函数式  $y = 7.892x - 0.48$ ,  $R = 0.647$ ,  $p < 0.01$ ; 2 个模型均在 1% 水平上显著, 但线性模型的相关系数  $R$  大于幂函数模型, 因此, 判定调查区域海南风吹楠野生种群的存活曲线确实接近于 Deevy- II 型, 但其存活曲线仍存在一个较大的波动, 即从 2 龄级进入到 3 龄级, 要经过环境筛的强烈筛选而大量死亡, 此阶段的高死亡率可能是限制海南风吹楠种群发展并导致濒危的重要原因之一。

海南风吹楠种群存在 2 次死亡高峰, 分别为第 2 和第 8 龄级 (见图 4)。可见, 海南风吹楠早期死亡率较高, 从 1 龄级进入到 3 龄级, 出现了 88.72% 的死亡高峰, 仅有少量个体能发育成幼树进入主林层。而 3 龄级以后至成年阶段生长相对平稳, 死亡率为 4.35% ~ 8.96%, 种群处于稳定状态; 当进入老龄阶段 ( $DBH \geq 57.5$  cm) 再次出现较大死亡率 (85.71%), 种群的规模也因此受到限制。调查表明, 海南风吹楠在群落中的竞争优势并不明显, 6 龄级以后消失率或者死亡率高 (表 2 和图 4) 正反应了这一点。无论是幼苗还是成年树,

海南风吹楠都表现出了较强的需光性, 光环境筛可能是该树种生长和种群发展的限制性因子。

### 3.4 个体生长动态

与刘方炎等<sup>[10]</sup>人采用的指数方程式检验翠柏胸高断面积与树高生长的相关性不同, 本研究采用多项式方程回归拟合胸径与树高的关系, 拟合曲线见图 5。回归方程的相关系数  $R^2 = 0.944$ , 认为此模型更符合海南风吹楠树种的生长曲线。散点图示可以发现, 海南风吹楠胸径大小在 25 cm (5 龄级) 之前, 树高与胸径的增长几乎呈线性相

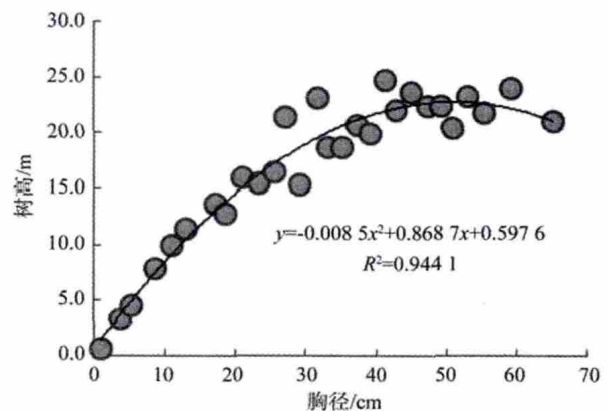


图 5 胸径与树高的关系  
Fig.5 Relationship between tree H and DBH

关, 此时树高 16 m 左右。5 龄级以后树高生长开始变缓。经回归计算, 海南风吹楠树高 24.31 m, 胸径 54.56 cm 为极值点。据此, 将 3 至 9 龄级植株进行分级, 3 至 5 龄级为旺盛生长期, 6~8 龄级为种群成熟期, 9 龄级为衰老期, 以此计算各样地不同生长期所占个体比例。结果发现, 大新念斗 (PND) 种群成熟个体占比 67.86%, 种群整体介于稳定和衰退之间, 因此可推断该样地幼苗成活率极低的原因可能与种实质量、幼苗抗性有关。龙州弄岗站 (PNG) 种群成熟个体占比 40.35%, 进一步说明为典型的成熟型种群。龙州三联 (PSL) 种群和防城垌中 (PDZ) 种群 3 至 5 龄级分别占比 66.67% 和 72.73%, 结合本研究径级结构分析结果, PSL 为增长型种群, 生长旺盛; PDZ 种群虽然径级大小结构缺乏连续性, 看似属衰退型结构, 但大树处于旺盛生长期, 若通过合理的人为种群复壮, 完全可使种群朝着增长的方向发展。

#### 4 结论与讨论

海南风吹楠种群径级结构偏态分布极为明显, 1、2 龄级幼苗个体数量多, 占 83.23%, 种群大致趋于稳定型。但在不同生境条件下, 居群的径级结构、幼苗库存在明显的不均衡性, 这种不均衡性极有可能与生境片段化后的生殖隔离有关, 且雌雄异株的树种特性更加重了这一结果。海南风吹楠的存活曲线是趋于稳定的 Deevy- II 型, 幼苗阶段的高死亡率是导致其种群濒危的重要原因。海南风吹楠种群具有一定数量的幼苗, 但受生境条件的影响, 种子萌发率存在极大的不均衡性。同时, 幼苗期因种内竞争大、抗逆性差以及环境筛的强烈筛选作用, 表现出较高死亡率, 进而造成幼树断崖式缺失, 最终导致了种群龄级的不连续性和不稳定性。

4 个样地海南风吹楠平均重要值为 15.05%, 在群落中的竞争优势并不明显, 6 龄级以后消失率增高, 海南风吹楠中年期在群落中竞争处于相对弱势, 进入主林层缓慢或在等待中逐渐死亡。无论是幼苗还是成年树, 海南风吹楠都表现出了较强的需光性, 光环境筛可能是该树种生长和种群发展的限制性因子。根据海南风吹楠目前种群的结构特征, 预测在目前已知的地理分布范围内, 仍然存在一定数量的呈片段化和孤岛状分布的种群, 资源数量也比之前定义的“极小种群”要多, 但因为空间上的隔离导致了生殖上的隔离, 以致于遗传力的衰退, 种群发展仍堪忧, 种群在群落

中是不稳定和濒危的。

通常认为, 小尺度上的空间分布格局主要是受种群自身生物学特性的影响, 而较大尺度上形成的空间分布格局则更多的是受生境异质性的作用<sup>[24]</sup>。本研究只依据径级结构和数量特征来分析海南风吹楠树种的种群状况, 尚未结合种群在水平空间上的分布状况以及与微生境的相关性进行分析, 因此, 对于海南风吹楠种群演替动态规律还有待进一步研究。且在运用点格局、角尺读法、树木定位<sup>[25]</sup>等分析方法时, 样地面积、最大分析尺度等<sup>[26]</sup>的选择很关键。针对海南风吹楠种群濒危的原因, 对现有种群进行适度人工干预, 改善林内透光度, 提高种子萌发率和幼苗至幼树的转化率, 加强片段化居群间的基因交流是当前海南风吹楠种群恢复的关键。同时, 开展海南风吹楠的人工采种育苗、立体保存以及扦插繁殖技术研究, 扩大资源数量, 是海南风吹楠拯救保护工作的必要手段。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王国严, 罗 建, 徐阿生, 等. 西藏色拉季山川滇高山栎种群结构与动态[J]. 林业科学研究, 2011, 24(3): 292-299.
- [3] 吴承祯, 洪 伟, 谢金寿. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 333-336.
- [4] Stewart G H, Rose A B. The significance of life history strategies in the developmental history of mixed beech (*Nothofagus*) forest, New Zealand. *Vegetation*, 1990(87): 101-114.
- [5] Suzan-A z p iri H, Sanchez-Ramos G, Martinez-Avalos G, et al. I Population structure of *Pinus nelson Show*, an endemic pin yon pine in Tamaulipas, Mexico[J]. *Forest Ecology and Management*, 2002(165): 193-203.
- [6] Skoglund J, Verwijst T. Age structure of woody species populations in relation to seed rain, germination and establishment along the river Dalalven, Sweden. *Vegetation*, 1989(82): 25-34.
- [7] Armesto J J, Casassa I, Dollenz O. Age structure and dynamics of Patagonian beech forests in Torres del Paine National Park, Chile. *Vegetation*, 1992(98): 13-22.
- [8] 袁铁象, 欧芷阳, 苏志尧, 等. 桂西南喀斯特山地蚬木野生种群结构与动态[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(3): 1-8.
- [9] 卢 杰, 潘 刚, 罗大庆, 等. 濒危植物急尖长苞冷杉种群结构及空间分布格局[J]. 林业资源管理, 2009(4): 48-53.

(下转第 80 页)

- [25] 左俊杰. 平原河网地区河岸植被缓冲带定量规划研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2011.
- [26] 何逢斌, 夏江林, 胡忠辉, 等. 南岳衡山彩叶植物资源及其在园林中的应用 [J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(10): 49-53.
- [27] 晏丽, 廖博儒. 武陵山区野生木本观赏植物资源调查与开发利用研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(10): 51-55.
- [28] 杨贤均. 武冈云山景观植物资源评价 [J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(5): 87-91.
- [29] Munn A, Prat N, Sol C, *et al.* A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index [J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2003, 13(2): 147-163.
- [30] 张以晖. 黄浦江河岸带土地利用变迁及其水质响应关系研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2015.
- [31] 夏继红, 鞠蕾, 林俊强, 等. 河岸带适宜宽度要求与确定方法 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2013, 41(3): 229-234.
- [32] Lee P, Smyth C, Boutin S. Quantitative review of riparian buffer width guidelines from Canada and the United States [J]. *Journal of Environmental Management*, 2004, 70(2): 165-180.
- [33] 高润梅, 石晓东, 郭跃东. 山西文峪河上游河岸林群落稳定性评价 [J]. 植物生态学报, 2012, 36(6): 491-503.
- [34] 李春华, 叶春, 赵晓峰, 等. 太湖湖滨带生态系统健康评价 [J]. 生态学报, 2012, 32(12): 3806-3815.
- [35] Sirombra M G, Mesa L M. A method for assessing the ecological quality of riparian forests in subtropical Andean streams: QBRy index [J]. *Ecological Indicators*, 2012, 20(1): 324-331.
- [36] 汪冬冬, 杨凯, 车越, 等. 河段尺度的上海苏州河岸带综合评价 [J]. 生态学报, 2010, 30(13): 3501-3510.
- [37] 修晨, 欧阳志云, 郑华. 北京永定河-海河干流河岸带植物的区系分析 [J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1535-1547.
- [38] Richardson D M, Holmes P M, Esler K J, *et al.* Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects [J]. *Diversity and Distributions*, 2007, 13(1): 126-139.
- [39] 李晨然, 晏海, 宋爱春, 等. 城市河岸带植物多样性调查研究——以京杭大运河杭州段为例 [J]. 浙江农业学报, 2014, 26(6): 1530-1535.
- [40] 孙儒泳, 李博, 诸葛阳, 等. 普通生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.
- [41] Connel J. Diversity in tropical rainforests and coral reefs [J]. *Science*, 1978(199): 611-612.

[ 本文编校: 文凤鸣 ]

(上接第 71 页)

- [10] 刘方炎, 李昆, 廖声熙, 等. 濒危植物翠柏的个体生长动态及种群结构与种内竞争 [J]. 林业科学, 2010, 46(10): 23-28.
- [11] 茹文明, 张桂萍, 毕润成, 等. 濒危植物脱皮榆种群结构与分布格局研究 [J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(1): 14-17.
- [12] 陈远征, 马祥庆, 冯丽贞, 等. 濒危植物沉水樟的种群生命表和谱分析 [J]. 生态学报, 2006, 26(12): 4267-4272.
- [13] 党海山, 张燕君, 张克荣, 等. 秦岭巴山冷杉 (*Abies fargesii*) 种群结构与动态 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(8): 1456-1461.
- [14] 胡云云, 亢新刚, 赵俊卉. 长白山地区天然林林木年龄与胸径的变动关系 [J]. 东北林业大学学报, 2009, 379(11): 38-42.
- [15] 李艳丽, 杨华, 亢新刚, 等. 长白山云冷杉种群结构和动态分析 [J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(3): 18-25.
- [16] 许玉兰, 蔡年辉, 吴裕, 等. 几种风吹楠属植物脂肪酸成分分析 [J]. 中国油脂, 2012, 37(5): 80-82.
- [17] 广西植物研究所. 广西壮族自治区极小种群野生植物名录与分布 [R]. 2012.
- [18] 刘寿柏, 梅文莉, 曾艳波. 黎药海南风吹楠脂溶性成分研究 [J]. 中国民族民间医药, 2010, 19(20): 147-149.
- [19] 党金玲, 杨小波, 黄运峰, 等. 海南风吹楠皮挥发油化学成分 Gc-MS 分析 [J]. 中药材, 2009, 32(5): 714-716.
- [20] 何贵整, 蔡林, 梁刚, 等. 海南风吹楠播种育苗技术 [J]. 林业实用技术, 2013(6): 35-37.
- [21] 蒋迎红, 项文化, 蒋燧, 等. 广西海南风吹楠群落区系组成、结构与特征 [J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(1): 75-82.
- [22] 叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 等. 2008. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林 20 公顷样地群落特征研究 [J]. 植物生态学报, 32(2): 274-286.
- [23] 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.
- [24] 黄明钗, 史艳财, 韦霄, 等. 珍稀濒危植物金花茶的点格局分析 [J]. 生态学杂志, 2013, 32(5): 1127-1134.
- [25] 禄树晖, 宫照红, 熊振峰. 色季拉山急尖长苞冷杉林木分布格局研究 [J]. 西藏科技, 2006, 155(3): 52-55.
- [26] 林芳, 黄梓良, 叶功富, 等. 茫荡山小叶青冈天然种群生命表分析 [J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(2): 8-11.

[ 本文编校: 文凤鸣 ]