

# 海南尖峰岭地区闽粤苏铁的群落结构及种群特征

苏红华<sup>1</sup>, 许冯进<sup>1</sup>, 罗文<sup>1,①</sup>, 苏海峰<sup>1</sup>, 罗长安<sup>1</sup>, 谢春平<sup>2,①</sup>

(1. 海南热带雨林国家公园管理局尖峰岭分局, 海南 乐东 572542; 2. 琼台师范学院 热带生物多样性与资源利用实验室, 海南 海口 571127)

**摘要:** 为揭示海南尖峰岭地区闽粤苏铁 (*Cycas taiwaniana* Carruth.) 群落结构特征与演替阶段, 明确该种的生存状态, 以山荣、娜姆河和国界的闽粤苏铁群落为研究对象, 对群落的物种组成、重要值、垂直结构及径级结构进行分析, 并对闽粤苏铁种群的径级结构和动态指数进行分析。结果表明: 该群落木本植物有 48 科 104 属 147 种 (含亚种和变种, 下同), 其中, 含 1 种的科占比 41.7%, 含 2~5 种的科占比 45.8%。种-多度分布曲线及频度分析结果均表明该群落的物种多度和频度分布不均衡。闽粤苏铁的重要值高达 44.0%, 其余乔木和灌木种类的重要值普遍较低。该群落乔木层的垂直结构呈金字塔形, 其中, 60.1% 的个体集中在乔木层的下层 (高度 3.0~6.0 m)。整个群落的径级结构呈“倒 J”型, 其中, 小径级 (乔木胸径或灌木基径在 6 cm 以内) 个体占比高达 73.6%, 大径级 (乔木胸径或灌木基径在 16 cm 及以上) 个体占比仅 2.5%。国界种群个体较多 (275 株), 径级结构完整, 更新能力强; 而山荣和娜姆河种群个体较少 (分别为 8 和 9 株), 存在径级缺失情况, 更新能力较弱。从种群动态指数看, 3 个区域的闽粤苏铁种群均呈现增长趋势, 且国界种群对完全随机干扰所承担的最大风险概率明显低于山荣和娜姆河种群, 对外部环境干扰的敏感性更强。综上, 海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落呈现典型的次生群落特征, 并处于早期演替阶段; 虽然闽粤苏铁在灌木层中占据主导地位, 但其种群在未来更新中可能受限。建议在海南尖峰岭地区实施兼顾生态监测、生境优化与社区共管的综合保护策略, 以达到增强群落稳定性、实现闽粤苏铁种群可持续发展及生态保护与地方经济协同发展的目标。

**关键词:** 闽粤苏铁; 物种组成; 群落结构; 种群动态变化; 保护策略

中图分类号: Q948.15; S718.54 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2025)06-0020-12

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2025.06.03

**Community structure and population characteristics of *Cycas taiwaniana* in Jianfengling area of Hainan Province** SU Honghua<sup>1</sup>, XU Fengjin<sup>1</sup>, LUO Wen<sup>1,①</sup>, SU Haifeng<sup>1</sup>, LUO Chang'an<sup>1</sup>, XIE Chunping<sup>2,①</sup> (1. Jianfengling Branch of Hainan Tropical Rain Forest National Park Administration, Ledong 572542, China; 2. Tropical Biodiversity and Bioresource Utilization Laboratory, Qiongtai Normal University, Haikou 571127, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2025, 34(6): 20-31

**Abstract:** To reveal the community structure characteristics and succession stage of *Cycas taiwaniana* Carruth. in Jianfengling area of Hainan Province, and clarify the survival status of this species, the *C. taiwaniana* communities in Shanrong, Namu River, and Guojie were taken as research objects, the species composition, importance value, vertical structure, and diameter class structure of the communities were analyzed, and the diameter class structure and dynamic indexes of the *C. taiwaniana* population were analyzed. The results show that there are 147 species (containing subspecies and varieties, the same below) of woody plants belonging to 104 genera of 48 families in this community, in which, the families containing one species account for 41.7%, and the families containing 2-5 species account for 45.8%. The species-abundance distribution curve and frequency analysis results both indicate an uneven distribution of species abundance and frequency in the community. The importance value of *C.*

收稿日期: 2025-06-30

基金项目: 海南省自然科学基金高层次人才项目(725RC789); 海南国家公园研究院科研项目(KY-23ZK10)

作者简介: 苏红华(1968—), 男, 广东高州人, 本科, 助理工程师, 主要从事自然保护区森林管护的研究工作。

①通信作者 E-mail: 1103031220@qq.com; xcp@mail.qtnu.edu.cn

引用格式: 苏红华, 许冯进, 罗文, 等. 海南尖峰岭地区闽粤苏铁的群落结构及种群特征[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(6): 20-31.

*taiwaniana* is as high as 44.0%, while the importance values of the other arbor and shrub species are generally low. The vertical structure of the arbor layer in the community is pyramidal, in which, 60.1% of individuals concentrate in the lower layer (3.0–6.0 m of height) of the arbor layer. The diameter class structure of the entire community exhibits an “inverted J”-shape, in which, the small-diameter (diameter at breast height of arbors or basal diameter of shrubs less than 6 cm) individuals account for as high as 73.6%, while the large-diameter (diameter at breast height of arbors or basal diameter of shrubs 16 cm and greater) individuals account for only 2.5%. The Guojie population has many individuals (275 individuals), exhibits a complete diameter class structure, and has a strong regeneration capacity; while the Shanrong and Namu River populations have few individuals (which are 8 and 9 individuals, respectively), exhibits gaps in diameter classes, and have a weak regeneration capacity. Based on the population dynamic indexes, the populations of *C. taiwaniana* in all three regions show a growth tendency. Moreover, the maximum risk probability of Guojie population to completely random disturbance is obviously lower than those of Shanrong and Namu River populations, and has a higher sensitivity to external environmental disturbance. In conclusion, the *C. taiwaniana* community in Jianfengling area of Hainan Province shows typical secondary community characteristics and is in an early successional stage; although *C. taiwaniana* dominates in shrub layer, its population may face limitations in future regeneration. It is recommended to implement comprehensive conservation strategies in Jianfengling area of Hainan Province viz. integrate ecological monitoring, habitat optimization, and community co-management to enhance community stability, achieve sustainable development of the *C. taiwaniana* population, and promote synergistic development of ecological conservation and local economy.

**Key words:** *Cycas taiwaniana* Carruth.; species composition; community structure; population dynamic variation; conservation strategy

随着全球气候变化与人类活动的加剧,珍稀濒危植物及其赖以生存的群落正面临着日益严峻的生存挑战<sup>[1-2]</sup>。群落是植物生存的基本生态单元,其结构与功能直接影响植物的种群动态与生态适应能力<sup>[3-4]</sup>。从群落角度对珍稀濒危植物的生境结构特征、演替过程及群落稳定性进行系统研究,不仅有助于准确评估物种的生存风险,还为制定科学有效的物种保护策略提供了基础支撑。近年来,虽然国内学者已经在宝华玉兰 [*Yulania zenii* (W. C. Cheng) D. L. Fu]<sup>[5]</sup>、黄杉 (*Pseudotsuga sinensis* Dode)<sup>[6]</sup>、桫欏 [*Alsophila spinulosa* (Wall. ex Hook.) R. M. Tryon]<sup>[7]</sup>等珍稀濒危植物群落研究方面取得了一定进展,但仍存在调查群落区域覆盖不平衡、对群落层次结构认知不足、缺乏长期动态监测等问题,尤其是分布在特殊生态地貌中的极小种群植物,其野外种群的数量、结构及动态规律尚不明确,相关基础数据严重匮乏<sup>[8]</sup>,亟需开展系统的实地调查与深入研究。

苏铁属 (*Cycas* Linn.) 植物被誉为“植物界的活化石”,是裸子植物中较为古老的类群之一<sup>[9]</sup>,广泛分布于热带与亚热带地区<sup>[9-10]</sup>。该属植物不仅具有重要的系统演化研究价值,而且在探索植物多样性起源、第四纪冰期残遗种群保育等方面发挥着关键作用<sup>[10-11]</sup>。苏铁属植物生长缓慢、繁殖机制特殊、对环

境高度敏感<sup>[12]</sup>,在自然状态下极易受到人类活动的影响<sup>[13]</sup>,目前已有多个种类被世界自然保护联盟 (IUCN) 列入红色名录或被不同国家列入重点保护野生植物名录<sup>[14]</sup>。在中国,苏铁属所有种类均被列为国家一级重点保护野生植物,并被作为极小种群野生植物保护工程的重点对象<sup>[15]</sup>。

闽粤苏铁 (*C. taiwaniana* Carruth.) 为中国特有珍稀濒危植物,主要分布于海南、广东及福建南部<sup>[16]</sup>,属于典型的极小种群物种。近年来,关于该种在形态特征、分类地位、种质资源保存及遗传多样性分析等方面的研究已取得诸多进展<sup>[14,17-18]</sup>,但该种在自然分布区内的群落结构特征、生境适应机制及种群更新动态等缺乏系统性研究<sup>[19]</sup>,尤其是不同演替阶段的群落特征与种群稳定性均不明确,这在一定程度上阻碍了该物种的就地保护及种群恢复策略的制定。

海南尖峰岭地区是闽粤苏铁野外自然分布的一个重要集中区。然而,近年来,该地区的闽粤苏铁群落遭到严重破坏,面临严峻的生存挑战。更为糟糕的是,部分区域的闽粤苏铁成年植株数量明显不足,严重限制了该物种的自然更新与种群延续。鉴于此,笔者对海南尖峰岭地区山荣、娜姆河和国界的闽粤苏铁群落木本植物的物种组成、重要值、垂直结构和径级结构以及闽粤苏铁种群的径级结构和动态变化指数

进行了分析,以期揭示海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落结构特征与演替阶段,明确闽粤苏铁的生存现状,为制定闽粤苏铁的科学保护与管理策略提供理论依据,亦可为热带地区濒危植物群落生态学研究奠定基础,助力热带地区生物多样性保护与生态系统管理实践的优化。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

尖峰岭地区位于海南岛西南部(北纬  $18^{\circ}20' \sim 18^{\circ}57'$ 、东经  $108^{\circ}41' \sim 109^{\circ}12'$ ),总面积约  $660 \text{ km}^2$ ,森林覆盖率达  $98\%$ ,是海南岛上生态系统较为完整的区域之一。同时,该地区保存有中国大陆面积最大的原始热带山地雨林,具有重要的生态学研究价值。该区域属典型的热带季风气候,受海陆交替和地形影响显著,干湿季分明。年均温  $19.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最冷月均温  $10.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最热月均温  $27.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年积温(大于或等于

$10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )达  $9\,000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[20]</sup>。从低海拔至高海拔,年降水量从  $1\,305 \text{ mm}$  增至  $3\,686 \text{ mm}$ <sup>[21]</sup>。区内植被类型多样,包括热带半落叶季雨林、热带常绿季雨林、滨海有刺灌丛、稀树草原、山顶苔藓矮林等<sup>[22]</sup>。

### 1.2 方法

1.2.1 野外调查方法 于2023年7月至2024年8月,对海南尖峰岭地区的山荣、娜姆河和国界3个分布有闽粤苏铁的区域进行野外调查。根据地形和植被分布情况,在山荣和娜姆河各设置1个面积  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$  的样方,在国界设置1个面积  $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$  的样方。记录每个样方内所有木本植物的种名、株数、高度和冠幅,并统计乔木种类的胸径及灌木种类的基径,同时记录各样方的经纬度、海拔、坡度、坡向和土壤类型(表1)。其中,高度使用测高仪(精度  $1 \text{ m}$ )测量,胸径和基径使用围尺(精度  $1 \text{ cm}$ )测量;冠幅为树冠东西向和南北向宽度的平均值,使用皮尺(精度  $1 \text{ cm}$ )测量。参考《野生植物资源调查技术规程》(LY/T 1820—2009)划分乔木和灌木<sup>[23]</sup>。

表1 海南尖峰岭地区3个区域闽粤苏铁群落样方的基本信息

Table 1 Basic information of the plots of *Cycas taiwaniana* Carruth. community in three regions of Jianfengling area of Hainan Province

区域 Region	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Elevation	坡度/ $^{\circ}$ Slope	坡向 Slope aspect	土壤类型 Soil type
山荣 Shanrong	N18°42'	E109°01'	439	29	南 South	沙壤土 Sandy loam
娜姆河 Namu River	N18°50'	E108°55'	337	32	南 South	沙壤土 Sandy loam
国界 Guojie	N18°51'	E108°56'	441	35	东 East	沙壤土 Sandy loam

1.2.2 群落物种组成分析 根据 APG IV 系统<sup>[24]</sup>进行物种科、属归类,并进行科组成分析。根据群落内各木本植物的株数,以物种多度累计百分比为纵坐标、种数为横坐标绘制种-多度分布曲线<sup>[25]</sup>。参照 Damgaard<sup>[26]</sup>的方法,采用 Raunkiaer 频度定律对物种频度进行分级,共分成 A、B、C、D、E 5 个等级,对应的频度范围分别为  $0\% \sim 20\%$ 、 $20\% \sim 40\%$ 、 $40\% \sim 60\%$ 、 $60\% \sim 80\%$ 、 $80\% \sim 100\%$ 。根据上限排外原则,每个等级的上限值归入下一等级,100%归入 E 级。

1.2.3 群落物种重要值分析 根据调查结果计算木本植物的相对多度(某物种的个体数占木本植物个体总数的百分比)、相对频度(某物种出现的样方数占样方总数的百分比)和相对优势度(乔木种类为某物种的胸径总和占所有乔木胸径总和的百分比,灌木种类为某物种的基径总和占所有灌木基径总和的百分比),三者的平均值即为重要值<sup>[27]</sup>。

1.2.4 群落垂直结构分析 参照谢春平等<sup>[28]</sup>的方法,根据调查到的木本植物的高度( $h$ )数据,以  $1.5 \text{ m}$  为高度阶,划分群落内木本植物的高度级,共分成 I ( $0.0 \text{ m} < h < 1.5 \text{ m}$ )、II ( $1.5 \text{ m} \leq h < 3.0 \text{ m}$ )、III ( $3.0 \text{ m} \leq h < 4.5 \text{ m}$ )、IV ( $4.5 \text{ m} \leq h < 6.0 \text{ m}$ )、V ( $6.0 \text{ m} \leq h < 7.5 \text{ m}$ )、VI ( $7.5 \text{ m} \leq h < 9.0 \text{ m}$ )、VII ( $9.0 \text{ m} \leq h < 10.5 \text{ m}$ )、VIII ( $10.5 \text{ m} \leq h < 12.0 \text{ m}$ )、IX ( $12.0 \text{ m} \leq h < 13.5 \text{ m}$ )、X ( $13.5 \text{ m} \leq h < 15.0 \text{ m}$ )、XI ( $15.0 \text{ m} \leq h < 16.5 \text{ m}$ ) 和 XII ( $h \geq 16.5 \text{ m}$ ) 12 个等级。其中, I 级和 II 级为灌木, III 级到 XII 级为乔木。

1.2.5 群落径级结构分析 根据乔木种类的胸径和灌木种类的基径划分群落木本植物的径级结构。以  $1 \text{ cm}$  为径阶<sup>[3]</sup>,共分成 30 个径级,其中, I 级为  $0 \sim 1 \text{ cm}$ , II 级为  $1 \sim 2 \text{ cm}$ , III 级为  $2 \sim 3 \text{ cm}$ ……XXX 级为  $29 \text{ cm}$  及以上,每个径级的上限值归入下一径级。同时,将  $6 \text{ cm}$  以内定为小径级, $6 \sim 16 \text{ cm}$  定为中径级,

16 cm 及以上定为大径级。

1.2.6 闽粤苏铁种群径级结构及动态变化分析 根据山荣、娜姆河和国界 3 个区域闽粤苏铁植株的基径 ( $d$ ) 划分径级, 以 2 cm 为径阶, 共分成 7 个径级, 分别为 I ( $0\text{ cm} < d < 2\text{ cm}$ )、II ( $2\text{ cm} \leq d < 4\text{ cm}$ )、III ( $4\text{ cm} \leq d < 6\text{ cm}$ )、IV ( $6\text{ cm} \leq d < 8\text{ cm}$ )、V ( $8\text{ cm} \leq d < 10\text{ cm}$ )、VI ( $10\text{ cm} \leq d < 12\text{ cm}$ )、VII ( $d \geq 12\text{ cm}$ )。同时, 通过加权法与条件概率乘法法则, 定量推导出山荣、娜姆河和国界 3 个区域的闽粤苏铁种群动态变化指数<sup>[29-30]</sup>, 包括相邻径级间的动态指数 ( $V_n$ )、不考虑外部环境干扰时的动态指数 ( $V_{pi}$ )、考虑外部环境干扰时的动态指数 ( $V_{pi}'$ ) 以及种群对完全随机干扰所承担的最大风险概率 ( $P_{\max}$ )。  $V_n$ 、 $V_{pi}$  和  $V_{pi}'$  为正值、零、负值时分别表示种群呈增长、稳定和衰退的动态变化趋势;  $P_{\max}$  越小表示种群对外部环境干扰的敏感度越高<sup>[31]</sup>。

## 2 结果和分析

### 2.1 群落物种组成分析

2.1.1 科组成分析 调查与统计结果(附录 I 和表 2)显示: 海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落共包含木本植物 48 科 104 属 147 种(含亚种和变种, 下同)。含 1 种的科有 20 个, 占总科数的 41.7%, 包括苏铁科 (Cycadaceae)、清风藤科 (Sabiaceae)、使君子科

(Combretaceae) 等; 这些科包含的种数占总种数的 13.6%。含 2~5 种的科有 22 个, 占总科数的 45.8%, 包括壳斗科 (Fagaceae)、无患子科 (Sapindaceae)、豆科 (Fabaceae) 等; 这些科包含的种数为 76 种, 占总种数的 51.7%。含 5 种以上的科共有 6 个, 占总科数的 12.5%, 包括茜草科 (Rubiaceae)、樟科 (Lauraceae)、桃金娘科 (Myrtaceae)、叶下珠科 (Phyllanthaceae)、芸香科 (Rutaceae) 和桑科 (Moraceae); 这些科包含的种数为 51 种, 占总种数的 34.7%, 其中, 茜草科和樟科的种数较多, 分别为 12 和 11 种。

2.1.2 种-多度分布曲线分析 海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落木本植物共有 147 种 2 643 株, 从种-多度分布曲线(图 1)看, 这些植物的多度累计百分比分布符合对数函数曲线  $y = 19.16 \ln x + 9.77$  ( $R^2 = 0.97, p < 0.05$ )。群落内木本植物的多度分布极不均衡, 前 10 种植物(占总种数的 6.8%)的多度累计百分比达 50.8%, 而簕欏花椒 [*Zanthoxylum avicennae* (Lam.) DC.]、滨木患 (*Arytera littoralis* Blume)、鱼骨木 (*Psydrax dicocca* Gaertn.) 等 137 种植物(占总种数的 93.2%)的多度累计百分比才 49.2%。其中, 闽粤苏铁的个体数最多(292 株), 占比 11.0%; 银柴 [*Aporosa dioica* (Roxb.) Müll. Arg.]、毛柿 (*Diospyros strigosa* Hemsl.)、细齿叶柃 (*Eurya nitida* Korth.)、烟斗柯 [*Lithocarpus corneus* (Lour.) Rehder] 的个体数较多, 占比均在 5% 及以上。

表 2 海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落木本植物的科组成分析<sup>1)</sup>

Table 2 Analysis of family composition of woody plants in *Cycas taiwaniana* Carruth. community in Jianfengling area of Hainan Province<sup>1)</sup>

科 Family	$n_g$	$n_s$	科 Family	$n_g$	$n_s$	科 Family	$n_g$	$n_s$
茜草科 Rubiaceae	11	12	报春花科 Primulaceae	2	3	龙脑香科 Dipterocarpaceae	1	1
樟科 Lauraceae	6	11	冬青科 Aquifoliaceae	1	3	木兰科 Magnoliaceae	1	1
桃金娘科 Myrtaceae	2	8	核果木科 Putranjivaceae	1	3	牛栓藤科 Connaraceae	1	1
叶下珠科 Phyllanthaceae	5	7	夹竹桃科 Apocynaceae	3	3	青钟麻科 Achariaceae	1	1
芸香科 Rutaceae	7	7	漆树科 Anacardiaceae	3	3	清风藤科 Sabiaceae	1	1
桑科 Moraceae	2	6	蔷薇科 Rosaceae	2	3	山茶科 Theaceae	1	1
壳斗科 Fagaceae	3	5	番荔枝科 Annonaceae	2	2	山茱萸科 Cornaceae	1	1
马鞭草科 Verbenaceae	3	5	橄榄科 Burseraceae	1	2	使君子科 Combretaceae	1	1
卫矛科 Celastraceae	3	5	胡桃科 Juglandaceae	1	2	柿科 Ebenaceae	1	1
无患子科 Sapindaceae	5	5	木樨科 Oleaceae	2	2	苏铁科 Cycadaceae	1	1
杨柳科 Salicaceae	3	5	天门冬科 Asparagaceae	1	2	檀香科 Santalaceae	1	1
锦葵科 Malvaceae	4	5	紫葳科 Bignoniaceae	1	2	藤黄科 Clusiaceae	1	1
大戟科 Euphorbiaceae	3	4	金莲木科 Ochnaceae	1	1	五加科 Araliaceae	1	1
豆科 Fabaceae	4	4	金丝桃科 Hypericaceae	1	1	五列木科 Pentaphragaceae	1	1
山矾科 Symplocaceae	1	4	苦木科 Simaroubaceae	1	1	心翼果科 Cardiopteridaceae	1	1
野牡丹科 Melastomataceae	2	4	楝科 Meliaceae	1	1	紫草科 Boraginaceae	1	1

<sup>1)</sup>  $n_g$ : 属数 Genus number;  $n_s$ : 种数 Species number.

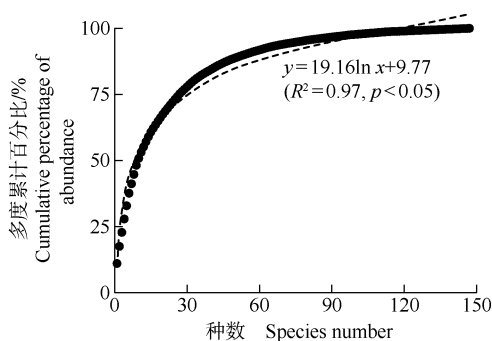


图1 海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落木本植物的种-多度分布曲线  
Fig. 1 Species-abundance distribution curve of woody plants in *Cycas taiwaniana* Carruth. community in Jianfengling area of Hainan Province

2.1.3 频度分析 根据物种频度分析结果,海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落木本植物频度级的 A、B、C、D、E 级(频度范围分别为 0%~20%、20%~40%、40%~60%、60%~80%、80%~100%)的种数分别为 121、17、8、1 和 0 种,种数占比分别为 82.3%、11.6%、5.4%、0.7% 和 0.0%,其中频度级为 D 级的木本植物为闽粤苏铁。可见,该群落木本植物的频度分布不符合 Raunkiaer 频度定律,即各频度级的物种数量大小关系不符合“A>B>C≥D<E”的规律。

## 2.2 群落物种重要值分析

对海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落中木本植物的主要种类(重要值在 2%以上)进行重要值分析,结果见表 3。结果显示:乔木种类的重要值普遍较低,银柴、烟斗柯、毛茶 [*Antirhea chinensis* (Champ. ex Benth.) Benth. et Hook. f. ex F. B. Forbes et Hemsl.]、毛柿等 9 种植物的重要值均大于 2%,累计重要值达 30.5%,其中,银柴和烟斗柯的重要值均在 5%以上;其余乔木种类的重要值均小于或等于 2%,累计重要值为 69.5%,说明该群落的乔木种类较为分散。灌木种类中重要值大于 2%的更少,只有闽粤苏铁、九节 (*Psychotria asiatica* Linn.)、叶被木 [*Taxotrophis taxoides* (B. Heyne ex Roth) Chew ex E. M. Gardner]、细齿叶柃和毛柿 5 种,累计重要值达 56.1%,其中,闽粤苏铁的重要值最为突出(44.0%),其相对多度(48.9%)和相对优势度(79.4%)占据绝对主导地位;其余灌木种类的重要值均小于或等于 2%,累计重要值为 43.9%,说明该群落内灌木种类的分布明显不均衡,闽粤苏铁在灌木种类中占有绝对优势。

## 2.3 群落垂直结构分析

根据高度( $h$ )分析群落的垂直结构,结果(图 2)

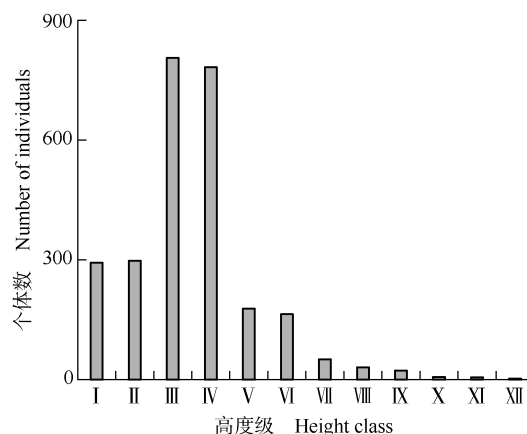
显示:海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落的乔木层和灌木层分层清晰,呈现典型的热带山地雨林垂直分布格局。乔木层的垂直结构呈金字塔形,个体数随着高度级升高逐渐递减,并且,该层次可划分成上、中、下 3

表 3 海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落木本植物主要种类(重要值在 2%以上)的重要值<sup>1)</sup>

Table 3 Importance values of main species of woody plants (importance value greater than 2%) in *Cycas taiwaniana* Carruth. community in Jianfengling area of Hainan Province<sup>1)</sup>

种类 Species	RA/%	RF/%	RD/%	IV/%
乔木 Arbor				
银柴 <i>Aporosa dioica</i>	7.8	1.5	7.8	5.7
烟斗柯 <i>Lithocarpus corneus</i>	6.2	1.0	8.4	5.2
毛茶 <i>Antirhea chinensis</i>	5.8	1.5	4.1	3.8
毛柿 <i>Diospyros strigosa</i>	5.9	1.0	3.3	3.4
细齿叶柃 <i>Eurya nitida</i>	5.1	0.5	2.5	2.7
刺桑 <i>Taxotrophis ilicifolia</i>	3.9	1.0	3.2	2.7
毛椴 <i>Melastoma sanguineum</i>	4.3	0.5	2.7	2.5
海南榄仁 <i>Terminalia nigrovenulosa</i>	1.8	1.5	3.8	2.4
贡甲 <i>Maclurodendron oligophlebium</i>	3.0	0.5	2.8	2.1
灌木 Shrub				
闽粤苏铁 <i>Cycas taiwaniana</i>	48.9	3.8	79.4	44.0
九节 <i>Psychotria asiatica</i>	5.4	3.8	1.8	3.7
叶被木 <i>Taxotrophis taxoides</i>	5.4	2.5	2.2	3.4
细齿叶柃 <i>Eurya nitida</i>	5.1	1.3	1.9	2.7
毛柿 <i>Diospyros strigosa</i>	3.0	2.5	1.2	2.3

<sup>1)</sup> RA: 相对多度 Relative abundance; RF: 相对频度 Relative frequency; RD: 相对优势度 Relative dominance; IV: 重要值 Importance value.



I: 0.0 m <math>h</math> < 1.5 m; II: 1.5 m <math>\leq h</math> < 3.0 m; III: 3.0 m <math>\leq h</math> < 4.5 m; IV: 4.5 m <math>\leq h</math> < 6.0 m; V: 6.0 m <math>\leq h</math> < 7.5 m; VI: 7.5 m <math>\leq h</math> < 9.0 m; VII: 9.0 m <math>\leq h</math> < 10.5 m; VIII: 10.5 m <math>\leq h</math> < 12.0 m; IX: 12.0 m <math>\leq h</math> < 13.5 m; X: 13.5 m <math>\leq h</math> < 15.0 m; XI: 15.0 m <math>\leq h</math> < 16.5 m; XII:  m. : 高度 Height.

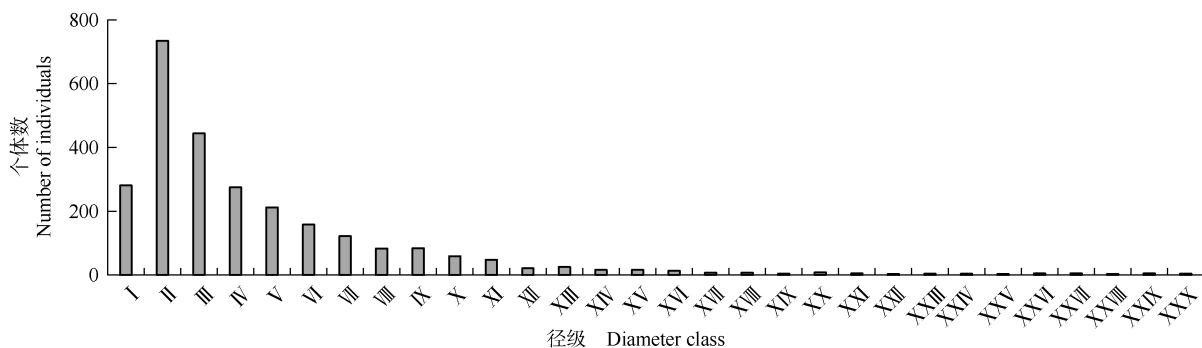
图 2 海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落木本植物的垂直结构特征  
Fig. 2 Vertical structure characteristics of woody plants in *Cycas taiwaniana* Carruth. community in Jianfengling area of Hainan Province

个明显层次。上层对应的高度级为Ⅶ级(9.0 m ≤ h < 10.5 m)到Ⅻ级(h ≥ 16.5 m), 个体数共计 121 株, 占群落个体总数的 4.6%。该层次主要树种有青梅(*Vatica mangachapoi* Blanco)、橄榄[*Canarium album* (Lour.) Raeusch. ex DC.]、海南蒲桃(*Syzygium hainanense* H. T. Chang et R. H. Miao)、黄杞(*Engelhardia roxburghiana* Wall.)等, 这些树种高大挺拔, 常显著突出于群落冠层, 成为群落的主要骨架。中层对应的高度级为Ⅴ级(6.0 m ≤ h < 7.5 m)和Ⅵ级(7.5 m ≤ h < 9.0 m), 个体数共计 342 株, 占群落个体总数的 12.9%。该层次主要树种包括烟斗柯、海南榄仁(*Terminalia nigrovenulosa* Pierre)、椴叶吴萸[*Tetradium glabrifolium* (Champ. ex Benth.) T. G. Hartley]、光蜡树(*Fraxinus griffithii* C. B. Clarke)等, 这些树种多为亚冠层种类, 适宜在中等光照条件下生长。下层对应的高度级为Ⅲ级(3.0 m ≤ h < 4.5 m)和Ⅳ级(4.5 m ≤ h < 6.0 m), 个体数达 1 589 株, 占群落个体总数的 60.1%, 为该群落的主体。该层次常见树种有刺桑[*Taxotrophis ilicifolia* (Kurz) S. Vidal]、贡甲

[*Maclurodendron oligophlebium* (Merr.) T. G. Hartley]、假黄皮(*Clausena excavata* N. L. Burman)、毛柿、毛茶、细齿叶柃、银柴等, 多为耐阴性较强的中小型乔木和大型灌木。灌木层对应的高度级为Ⅰ级(0.0 m < h < 1.5 m)和Ⅱ级(1.5 m ≤ h < 3.0 m), 个体数共计 591 株, 占群落个体总数的 22.4%。该层次主要由低矮灌木和乔木幼苗组成, 其中, 闽粤苏铁有 289 株, 在该层次中占比高达 48.9%。

### 2.4 群落径级结构分析

群落径级结构分析结果(图 3)显示: 海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落木本植物径级结构呈“倒 J”型, 其中, Ⅱ级(1~2 cm)个体最多(734 株), 占群落个体总数的 27.8%, 随后各径级的个体数随径级升高持续递减。小径级(6 cm 以内)个体最多(1 946 株), 占群落个体总数的 73.6%; 中径级(6~16 cm)个体有 632 株, 占群落个体总数的 23.9%; 大径级(16 cm 及以上)个体有 65 株, 占群落个体总数的 2.5%。径级在Ⅺ级(10~11 cm)及以下的木本植物共有 2 452 株, 占群落个体总数的 92.8%, 为群落的主体。



I: 0-1 cm; II: 1-2 cm; III: 2-3 cm; IV: 3-4 cm; V: 4-5 cm; VI: 5-6 cm; VII: 6-7 cm; VIII: 7-8 cm; IX: 8-9 cm; X: 9-10 cm; XI: 10-11 cm; XII: 11-12 cm; XIII: 12-13 cm; XIV: 13-14 cm; XV: 14-15 cm; XVI: 15-16 cm; XVII: 16-17 cm; XVIII: 17-18 cm; XIX: 18-19 cm; XX: 19-20 cm; XXI: 20-21 cm; XXII: 21-22 cm; XXIII: 22-23 cm; XXIV: 23-24 cm; XXV: 24-25 cm; XXVI: 25-26 cm; XXVII: 26-27 cm; XXVIII: 27-28 cm; XXIX: 28-29 cm; XXX: 29 cm 及以上 29 cm and above. 每个径级的上限值归入下一径级 The upper limit value of each diameter class is included in the next diameter class.

图 3 海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落木本植物的径级结构

Fig. 3 Diameter class structure of woody plants in *Cycas taiwaniana* Carruth. community in Jianfengling area of Hainan Province

### 2.5 闽粤苏铁种群径级结构及动态变化分析

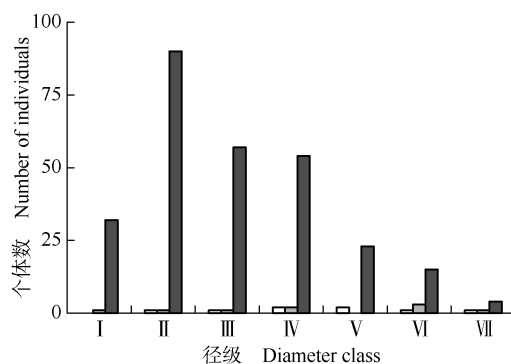
2.5.1 种群径级结构分析 根据基径(d)划分径级, 结果(图 4)显示: 山荣、娜姆河和国界的闽粤苏铁种群径级结构存在明显差异。山荣和娜姆河的闽粤苏铁种群个体数均较少, 分别只有 8 和 9 株, 其中, 幼龄个体[Ⅰ级(0 cm < d < 2 cm)和Ⅱ级(2 cm ≤ d < 4 cm)]共 3 株, 占比 17.6%; 中龄个体[Ⅲ级(4 cm ≤ d < 6

cm)和Ⅳ级(6 cm ≤ d < 8 cm)]共 6 株, 占比 35.3%; 老龄个体[Ⅴ级(8 cm ≤ d < 10 cm)至Ⅶ级(d ≥ 12 cm)]共 8 株, 占比 47.1%, 说明这 2 个区域闽粤苏铁种群的更新能力较弱, 种群结构不稳定。国界的闽粤苏铁种群个体数共计 275 株, 且在Ⅰ级至Ⅶ级均有分布, 其中, 幼龄个体最多(Ⅰ级 32 株, Ⅱ级 90 株), 占比 44.4%; 中龄个体(Ⅲ级 57 株, Ⅳ级 54 株)略少于幼

龄个体,占比40.4%;老龄个体较少[V级23株,VI级(10 cm ≤ d < 12 cm)15株, VII级4株],占比15.3%,说明该区域闽粤苏铁种群的更新潜力较强,种群结构稳定。

2.5.2 种群动态变化分析 供试3个区域闽粤苏铁种群的动态指数见表4。结果显示:山荣I级到II级的动态指数、娜姆河III级到IV级及V级到VI级的动态指数以及国界I级到II级和III级到IV级的动态指数均为负值,说明3个区域闽粤苏铁种群个体在相应径级过渡时明显受阻,个体死亡率较高。3个区域闽粤苏铁种群不考虑外部环境干扰时的动态指数( $V_{pi}$ )和考虑外部环境干扰时的动态指数( $V_{pi}'$ )均为正值,说明3个区域的闽粤苏铁种群均呈现增长趋势。由于山荣和娜姆河种群各径级的个体数量较少,这种增长趋势可能受到种群规模小、遗传多样性不足等因子的影响,种群个体数量增长的可持续性存在不确定性。3个区域的闽粤苏铁种群对完全随机干扰所承担的最大风险概率( $P_{max}$ )分别为0.14、0.14和0.04,且国

界种群的 $P_{max}$ 明显低于山荣和娜姆河种群,说明3个区域的闽粤苏铁种群对外部环境干扰的敏感性均较高,且国界种群对外部环境干扰的敏感性更强。



□: 山荣 Shanrong; ▨: 娜姆河 Namu River; ■: 国界 Guojie. I: 0 cm < d < 2 cm; II: 2 cm ≤ d < 4 cm; III: 4 cm ≤ d < 6 cm; IV: 6 cm ≤ d < 8 cm; V: 8 cm ≤ d < 10 cm; VI: 10 cm ≤ d < 12 cm; VII: d ≥ 12 cm. d: 基径 Basal diameter.

图4 海南尖峰岭地区3个区域闽粤苏铁种群的径级结构  
Fig. 4 Diameter class structure of *Cycas taiwaniana* Carruth. population in three regions of Jianfengling area of Hainan Province

表4 海南尖峰岭地区3个区域闽粤苏铁种群的动态指数<sup>1)</sup>

Table 4 Dynamic indexes of *Cycas taiwaniana* Carruth. population in three regions of Jianfengling area of Hainan Province<sup>1)</sup>

区域 Region	$V_1/\%$	$V_2/\%$	$V_3/\%$	$V_4/\%$	$V_5/\%$	$V_6/\%$	$V_{pi}/\%$	$V_{pi}'/\%$	$P_{max}$
山荣 Shanrong	-64.4	36.7	5.3	57.4	34.8	73.3	24.1	0.9	0.14
娜姆河 Namu River	0.0	0.0	-50.0	100.0	-100.0	66.7	43.8	6.3	0.14
国界 Guojie	-100.0	0.0	-50.0	0.0	50.0	0.0	7.1	1.0	0.04

<sup>1)</sup>  $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$ : 分别表示I级到II级、II级到III级、III级到IV级、IV级到V级、V级到VI级、VI级到VII级的动态指数 Representing dynamic indexes from class I to class II, class II to class III, class III to class IV, class IV to class V, class V to class VI, and class VI to class VII, respectively;  $V_{pi}$ : 不考虑外部环境干扰时的动态指数 Dynamic index without considering external environmental disturbance;  $V_{pi}'$ : 考虑外部环境干扰时的动态指数 Dynamic index considering external environmental disturbance;  $P_{max}$ : 种群对完全随机干扰所承担的最大风险概率 The maximum risk probability of the population to completely random disturbance.

### 3 讨 论

#### 3.1 群落物种组成特征

海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落中,含1种的科占比较高(41.7%),这可能与尖峰岭地区地形复杂和微生境异质性有关<sup>[32]</sup>;含2~5种的科占比最高(45.8%),可能原因是壳斗科、豆科等能够在热带森林群落的乔木层或灌木层中扮演重要角色,提高群落的结构稳定性和物种丰富度<sup>[20,33]</sup>。频度分析结果显示:频度级为A级(频度介于0%~20%之间)的物种占比高达82.3%。已有研究结果显示:频度为A级的物种占比较大是次生群落的明显特征<sup>[34]</sup>;并且,“优势种不突出+大量稀有种”的频度结构是群落处于次

生演替早期阶段的重要证据<sup>[35]</sup>,同时暗示群落会受到一定程度的人为干扰(如道路修建、林下采伐、作物种植)或自然灾害(如台风、火灾)的影响<sup>[35]</sup>。由此推测,该闽粤苏铁群落正处于次生演替阶段,群落稳定性较低。种-多度分布曲线结果显示:该群落木本植物的多度分布极不均衡,前10种植物的多度较高,绝大多数物种的多度较低,说明该群落并不稳定,极易受到外部环境的干扰。综上,海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落的物种组成表现出较强的不均衡性和分散性,呈现典型的次生群落特征。

重要值统计结果显示:海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落乔木和灌木植物中重要值大于2%的种类均较少且重要值多在5%以下,多数乔木和灌木种类的重要值低于2%,说明该群落中的多数木本植物生态地

位较弱<sup>[36]</sup>,群落结构呈现较高的离散性。群落物种重要值的高度分散性与频度和多度的不均衡分布格局相呼应,进一步验证了该闽粤苏铁群落处在不稳定的次生演替阶段<sup>[37]</sup>。

此外,海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落包含一些茜草科、樟科和桃金娘科等热带科植物,表明该群落具备热带山地雨林植物特征<sup>[22,33]</sup>。尽管闽粤苏铁在该群落灌木层中占有突出的地位,但其种群稳定发展仍需依赖群落的稳定性,鉴于目前该群落并不稳定,推断海南尖峰岭地区的闽粤苏铁种群面临资源竞争加剧、生存空间受限等潜在威胁。

### 3.2 群落垂直结构特征

海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落的乔木层垂直结构呈金字塔形,乔木层下层的个体数占群落个体总数的60.1%,为群落的主体,上层的个体数仅占群落个体总数的4.6%,可见,该群落尚未形成典型热带山地雨林常见的多层复合林冠<sup>[38]</sup>,乔木层的上层呈现较为开放的空间格局,林下光照条件相对较好,能够为光照需求较高的种类提供较好的生存环境。然而,植物群落的垂直结构并不是一成不变的。随着群落演替的自然推进,乔木层物种之间的竞争加剧,不断向上生长,构建出更为致密的林冠,导致林下光照减少<sup>[39-40]</sup>。调查群落中的闽粤苏铁集中分布在灌木层,占灌木层植物个体总数的48.9%,且在重要值上远高于其他物种,说明闽粤苏铁在该群落灌木层中具有显著的生态地位。相关研究结果表明:光照是影响苏铁属植物生长和繁殖的一个重要生态因子,过度遮阳会显著降低其光合效率和更新能力<sup>[19,41]</sup>。综上,该群落的垂直结构可能只是阶段性利于闽粤苏铁的生长,一旦林冠闭合、林下光照下降,闽粤苏铁种群将面临严重的生存威胁。

此外,该群落乔木层的上层主要由青梅、橄榄、海南蒲桃等典型热带大乔木组成,其稳定性对于群落结构稳定具有重要意义,应予以重点监测。乔木层的中层和下层物种较为丰富,是群落演替的核心驱动层,同时也是与闽粤苏铁存在潜在种间竞争的关键层。这2个层次的植物对光照、水分和土壤养分竞争激烈,可能在演替过程中抢占闽粤苏铁的更新空间<sup>[42]</sup>,进而抑制其种群发展。因此,建议对该群落进行选择性的疏伐及光照管理,以优化闽粤苏铁的生存环境。

### 3.3 群落径级结构特征

海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落木本植物的径级

结构呈“倒J”型,小径级(6 cm以内)个体数占群落个体总数的73.6%。刘明伟等<sup>[3]</sup>认为,“倒J”型径级结构通常是群落更新活跃、具备持续生长能力的重要标志。由此推断,该群落具有较强的更新潜力。另外,该群落中的大径级(16 cm及以上)个体稀少,占比仅2.5%,说明该群落整体尚处于早期演替阶段,缺乏结构上的成熟度和稳定性<sup>[43]</sup>。

### 3.4 种群更新特征

从种群的径级结构和动态变化指数看,目前山荣、娜姆河和国界的闽粤苏铁种群均呈现增长趋势,其中,国界种群规模大、密度高( $0.11 \text{ m}^{-2}$ )、结构完整,而山荣和娜姆河种群规模小、密度低( $0.02 \text{ m}^{-2}$ )、结构不完整(缺少幼龄个体,径级分布不连续)。总体来看,虽然闽粤苏铁在灌木层中具有一定的个体数量,但多数个体为幼树或幼苗,成年个体稀少。这种分布格局具有明显的“双刃剑”效应:一方面,丰富的小径级个体使种群具有强大的更新潜力,为未来种群扩张和维持提供了良好的基础<sup>[44]</sup>;另一方面,大径级个体缺失则可能制约种群的繁殖、生态功能稳定及遗传多样性<sup>[12,45]</sup>。需要注意的是,在群落演替早期阶段,群落内的种间竞争尚未形成长期稳定格局,小径级个体之间存在激烈的资源争夺,尤其是对光照、水分和养分的竞争<sup>[46]</sup>,并且,这种竞争压力可能会限制闽粤苏铁幼苗的成活率和生长。另外,群落其他早期演替优势种(如银柴、细齿叶柃、毛柿等)与闽粤苏铁对环境的资源利用存在竞争关系<sup>[47]</sup>,这些种类可能会进一步加剧闽粤苏铁小径级个体面临的生存挑战。

### 3.5 闽粤苏铁保护策略建议

基于上述研究结果,为确保海南尖峰岭地区闽粤苏铁种群的稳定与持续繁衍,需采取兼顾生态监测、生境优化与社区共管的综合保护策略。首先,需建立长期监测体系。通过设置固定样地,持续跟踪不同径级个体的生长动态、存活率与死亡率,分析限制径级转化的关键生态因子(如光照、土壤养分、人类活动干扰等),从而明确种群的更新瓶颈并制定针对性强的干预措施<sup>[48]</sup>。其次,需优化生境管理。针对个体密度较高、更新潜力较好的种群(如国界种群),建议划定“核心保护区”或“个体生境缓冲带”,保护大径级个体,降低周边植物的竞争压力,改善根际环境与光照条件,增强植株的繁殖能力<sup>[49]</sup>。在幼龄个体密集区域,可适度开展林下择伐,移除与闽粤苏铁存在直接竞争、生态价值较低的灌木或先锋种,通过“适

度干预+自然演替”模式,优化生态位条件,提升种群向上转化率与稳定性。再次,需实施定向森林经营。在闽粤苏铁集中分布区域,通过选择性疏伐和密度调控,移除部分竞争性强的乔木层中层和下层的木本植物,改善林下光照,延缓林冠闭合,维持群落垂直结构的异质性,为闽粤苏铁种群更新创造有利条件。最后,需构建社区共管机制。针对非法采挖、生境破碎及管护不足等威胁<sup>[45]</sup>,传统的封闭式保护已显现出明显不足,需引入以社区参与为核心的共管模式<sup>[50]</sup>。通过科普宣传(包括宣讲、图文展示、学校课程等),提升社区民众对闽粤苏铁生态价值与保护价值的认知<sup>[51]</sup>,降低非法采挖行为<sup>[52]</sup>。建立“村级护林员”制度,赋予村民巡护与报告职责,缓解管理压力,遏制盗挖行为。同时,在保护区边缘设置生态缓冲区,并通过“社区保护协议”明确权责,促进“生态治理-物种保护-社区经济”的协同发展<sup>[53]</sup>。总之,海南尖峰岭地区的闽粤苏铁保护需从单一的种群维持保护模式转向生态监测、生境管理与社区共管的综合策略,通过制度建设与法治保障,实现从“封闭隔离”向“融合共管”的转型,为该区域闽粤苏铁野生种群的可持续发展提供坚实基础。

## 4 结 论

综合上述研究结果,海南尖峰岭地区闽粤苏铁群落内的少数物种占据主导地位,该群落呈现典型的次生群落特征,群落稳定性较低,并处于早期演替阶段。闽粤苏铁虽然在灌木层中占据主导地位,但种群在未来更新中可能受限。比较而言,国界的闽粤苏铁种群更新潜力较强,而娜姆河和山荣的种群规模小、结构不稳定,需重点关注。为确保海南尖峰岭地区闽粤苏铁种群的稳定发展,建议实施兼顾生态监测、生境优化与社区共管的综合保护策略,从而达到增强群落稳定性、实现闽粤苏铁种群可持续发展及生态保护与地方经济协同发展的目标。

### 参考文献:

- [1] VINCENT H, BORNAND C N, KEMPEL A, et al. Rare species perform worse than widespread species under changed climate[J]. *Biological Conservation*, 2020, 246: 108586.
- [2] MARCH-SALAS M, MORALES-ARMILLO F, HERNÁNDEZ-AGÜERO J A, et al. Rock climbing affects cliff-plant communities by reducing species diversity and altering species coexistence patterns[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2023, 32: 1617-1638.
- [3] 刘明伟, 赵常明, 陈聪琳, 等. 神农架南坡小叶青冈+曼青冈常绿阔叶林物种组成与群落结构[J]. *植物科学学报*, 2024, 42(6): 737-747.
- [4] FRANKLIN J, SERRA-DIAZ J M, SYPHARD A D, et al. Global change and terrestrial plant community dynamics[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016, 113(14): 3725-3734.
- [5] 李乃伟, 吴宝成, 庄维兵, 等. 江苏宝华山宝华玉兰种群结构与动态特征分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2024, 33(5): 98-105.
- [6] 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.
- [7] 李 辉, 包维楷, 李芳兰. 画稿溪自然保护区桫欏(*Alsophila spinulosa*)群落乔木层的物种组成与结构[J]. *应用与环境生物学报*, 2021, 27(5): 1399-1404.
- [8] 许 玥, 臧润国. 中国极小种群野生植物保护理论与实践研究进展[J]. *生物多样性*, 2022, 30(10): 22505.
- [9] MANKGA L T, YESSOUFOU K. Factors driving the global decline of cycad diversity[J]. *AoB Plants*, 2017, 9: plx022.
- [10] YESSOUFOU K, DARU B H, TAFIREI R, et al. Integrating biogeography, threat and evolutionary data to explore extinction crisis in the taxonomic group of cycads[J]. *Ecology and Evolution*, 2017, 7(8): 2735-2746.
- [11] LIU Y, WANG S, LI L, et al. The *Cycas* genome and the early evolution of seed plants[J]. *Nature Plants*, 2022, 8: 389-401.
- [12] TOBGAY S, WANGDI T, WANGCHUCK K, et al. Assessment of population, habitat, and threats to *Cycas pectinata* Buch.-Ham. (Cycadaceae), a vulnerable cycad in Bhutan[J]. *Journal of Threatened Taxa*, 2023, 15(3): 22866-22873.
- [13] MARTÍNEZ-DOMÍNGUEZ L, NICOLALDE-MOREJÓN F, VERGARA-SILVA F, et al. Evolutionary trends of reproductive phenotype in Cycadales: an analysis of morphological evolution in *Ceratozamia*[J]. *Annals of Botany*, 2024, 134: 631-649.
- [14] WU L X, XU H Y, JIAN S G, et al. Geographic factors and climatic fluctuation drive the genetic structure and demographic history of *Cycas taiwaniana* (Cycadaceae), an endemic endangered species to Hainan Island in China[J]. *Ecology and Evolution*, 2022, 12: e9508.
- [15] 卯梅华, 卯吉华, 贾代顺, 等. 5种苏铁属极小种群植物种子生物学特性研究[J]. *中国野生植物资源*, 2024, 43(10): 78-85.
- [16] XIE C, LI M, JIM C Y, et al. Distribution pattern of endangered *Cycas taiwaniana* Carruth. in China under climate-change scenarios using the MaxEnt model[J]. *Plants*, 2025, 14: 1600.
- [17] 李 蒙, 周焯玺, 杨 永. 基于最新裸子植物分类系统的中国裸子植物物种编目[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2024, 48(4): 49-56.
- [18] FENG X Y, WANG X H, CHIANG Y C, et al. Species delimitation with distinct methods based on molecular data to

- elucidate species boundaries in the *Cycas taiwaniana* complex (Cycadaceae)[J]. *Taxon*, 2021, 70(3): 477-491.
- [19] 吴二焕,李东海,杨小波,等.海南苏铁种群结构与森林群落郁闭度的关系[J].*生物多样性*, 2021, 29(11): 1461-1469.
- [20] 李艳朋,许涵,李意德,等.海南尖峰岭热带山地雨林物种多样性空间分布格局的尺度效应[J].*植物生态学报*, 2016, 40(9): 861-870.
- [21] 王颖灿,林家怡,许涵,等.海南尖峰岭热带山地雨林60 ha大样地木本植物性别系统数量特征[J].*生物多样性*, 2019, 27(3): 297-305.
- [22] 李意德.海南岛尖峰岭热带山地雨林的群落结构特征[J].*热带亚热带植物学报*, 1997, 5(1): 18-26.
- [23] 国家林业局.野生植物资源调查技术规程:LY/T 1820—2009[S].北京:中国标准出版社,2009:1.
- [24] The Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV [J]. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2016, 181(1): 1-20.
- [25] 谢春平,南程慧,伊贤贵,等.浙江安吉金钱松群落特征研究[J].*植物资源与环境学报*, 2018, 27(1): 91-99.
- [26] DAMGAARD C. Revisiting the Böcher-modified Raunkiaer method for estimating the frequency of plant species [J]. *Ecological Informatics*, 2015, 26(3): 1-5.
- [27] 方精云,王襄平,沈泽昊,等.植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J].*生物多样性*, 2009, 17(6): 533-548.
- [28] 谢春平,刘大伟,沈顺霆.福建省连城县南方红豆杉古树群落特征[J].*热带作物学报*, 2023, 44(2): 429-437.
- [29] 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.
- [30] 何佳宁,宁才文,张闻涛,等.东天山北坡雪岭云杉种群结构动态的海拔格局[J].*生态学报*, 2024, 44(12): 5389-5398.
- [31] 谢立红,黄庆阳,曹宏杰,等.五大连池火山蒙古栎种群结构及动态特征[J].*浙江农林大学学报*, 2022, 39(5): 960-970.
- [32] XIE C, CHEN L, LUO W, et al. Species diversity and distribution pattern of venerable trees in tropical Jianfengling National Forest Park (Hainan, China) [J]. *Journal for Nature Conservation*, 2024, 77: 126542.
- [33] 李艳朋,陈洁,卢春洋,等.海南尖峰岭热带山地雨林64 ha次生林动态监测样地群落结构特征[J].*生物多样性*, 2025, 33(2): 24445.
- [34] 谢春平,王华辰,陈林,等.木林子自然保护区河谷樱花群落特征分析[J].*南京林业大学学报(自然科学版)*, 2014, 38(增刊): 81-88.
- [35] ABBAS S, NICHOL J E, ZHANG J, et al. The accumulation of species and recovery of species composition along a 70 year succession in a tropical secondary forest[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 106: 105524.
- [36] MOHAMMED E M I, HASSAN T T, IDRIS E A, et al. Tree population structure, diversity, regeneration status, and potential disturbances in Abu Gadaf natural reserved forest, Sudan [J]. *Environmental Challenges*, 2021, 5: 100366.
- [37] YING Y, WU Z, YAN Y, et al. Structural characteristics and interspecific relationship changes during the succession process of the Fagaceae community in a subtropical forest [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2025, 16: 1489090.
- [38] ZHU H. The tropical rainforest vegetation in Xishuangbanna [J]. *Chinese Geographical Science*, 1992, 2(1): 64-73.
- [39] VAN BREUGEL M, MARTÍNEZ-RAMOS M, BONGERS F. Community dynamics during early secondary succession in Mexican tropical rain forests [J]. *Journal of Tropical Ecology*, 2006, 22(6): 663-674.
- [40] 许涵,李意德,骆土寿,等.达维台风对海南尖峰岭热带山地雨林群落的影响[J].*植物生态学报*, 2008, 32(6): 1323-1334.
- [41] KRIEG C P, GOSETTI S, WATKINS J E, Jr, et al. Reproductive phases coincide with changes in morphology and photosynthetic physiology in an endangered cycad species [J]. *Conservation Physiology*, 2023, 11(1): coad020.
- [42] GUARIGUATA M R, OSTERTAG R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics [J]. *Forest Ecology and Management*, 2001, 148: 185-206.
- [43] LI Y, HE J A, YU S, et al. Spatial structures of different-sized tree species in a secondary forest in the early succession stage [J]. *European Journal of Forest Research*, 2020, 139: 709-719.
- [44] LI Y, YE S, LUO Y, et al. Relationship between species diversity and tree size in natural forests around the Tropic of Cancer [J]. *Journal of Forestry Research*, 2023, 34(6): 1735-1745.
- [45] 席辉辉,王祎晴,潘跃芝,等.中国苏铁属植物资源和保护[J].*生物多样性*, 2022, 30(7): 21495.
- [46] CRAINE J M, DYBZINSKI R. Mechanisms of plant competition for nutrients, water and light [J]. *Functional Ecology*, 2013, 27: 833-840.
- [47] 杨众养,王小燕,刘宪钊,等.海南白沙热带天然次生林更新组成及多样性[J].*热带作物学报*, 2018, 39(12): 2506-2512.
- [48] MOUSTAFA A A, ZAGHLOUL M S, MANSOUR S R, et al. Long term monitoring of *Rosa arabica* populations as a threatened species in South Sinai, Egypt [J]. *Journal of Biodiversity and Endangered Species*, 2017, 5: 197.
- [49] JAMES H E, FORSTER P I, LAMONT R W, et al. Conservation genetics and demographic analysis of the endangered cycad species *Cycas megacarpa* and the impacts of past habitat fragmentation [J]. *Australian Journal of Botany*, 2018, 66: 173-189.
- [50] WANG S, XIE C. Securing the future of Hainan's Tropical Rainforest: challenges and strategies for conservation [J]. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2025, 8: 1576900.
- [51] DHYANI A, SURESH S, BINDU S, et al. Empowering conservation of the critically endangered tree *Buchanania barberi* through an education campaign [J]. *Oryx*, 2023, 57(6): 698-700.
- [52] XIE C, JIM C Y. Safeguarding China's threatened cycads:

strategies to combat alarming habitat degradation and anthropogenic collection pressure[J]. *Nature Conservation*, 2025, 59: 89–99.

[53] FA J E, LUISELLI L. Community forests as beacons of

conservation: enabling local populations monitor their biodiversity [J]. *African Journal of Ecology*, 2024, 62(1): e13179.

(责任编辑: 佟金凤)

## 附录 I Appendix I

- 报春花科 Primulaceae  
紫金牛属 *Ardisia*  
粗脉紫金牛 *A. crassinervosa* (1)  
密鳞紫金牛 *A. densilepidotula* (1)  
杜茎山属 *Maesa*  
杜茎山 *M. japonica* (1)  
大戟科 Euphorbiaceae  
巴豆属 *Croton*  
光叶巴豆 *C. laevigatus* (34)  
野桐属 *Mallotus*  
粗糠柴 *M. philippensis* (2)  
云南野桐 *M. yunnanensis* (61)  
白树属 *Suregada*  
白树 *S. multiflora* (13)  
冬青科 Aquifoliaceae  
冬青属 *Ilex*  
洼皮冬青 *I. nuculicava* (1)  
铁冬青 *I. rotunda* (3)  
三花冬青 *I. triflora* (5)  
豆科 Fabaceae  
合欢属 *Albizia*  
香合欢 *A. odoratissima* (3)  
猴耳环属 *Archidendron*  
亮耳猴耳环 *A. lucidum* (1)  
盾柱木属 *Peltophorum*  
银珠 *P. dasyrrhachis* var. *tonkinensis* (1)  
三叉刺属 *Trifidacanthus*  
三叉刺 *T. unifoliolatus* (23)  
番荔枝科 Annonaceae  
皂帽花属 *Dasymaschalon*  
皂帽花 *D. trichophorum* (14)  
细基丸属 *Huberantha*  
细基丸 *H. cerasoides* (47)  
橄榄科 Burseraceae  
橄榄属 *Canarium*  
橄榄 *C. album* (10)  
乌榄 *C. pimela* (3)  
核果木科 Putranjivaceae  
核果木属 *Drypetes*  
海南核果木 *D. hainanensis* (1)  
核果木 *D. indica* (1)  
网脉核果木 *D. perreticulata* (3)  
胡桃科 Juglandaceae  
黄杞属 *Engelhardia*  
海南黄杞 *E. hainanensis* (2)  
黄杞 *E. roxburghiana* (30)  
夹竹桃科 Apocynaceae  
鸡骨常山属 *Alstonia*  
盆架树 *A. rostrata* (1)  
狗牙花属 *Tabernaemontana*  
尖蕾狗牙花 *T. bufalina* (2)  
倒吊笔属 *Wrightia*  
蓝树 *W. laevis* (16)  
金莲木科 Ochnaceae  
金莲木属 *Ochna*  
金莲木 *O. integerrima* (15)  
金丝桃科 Hypericaceae  
黄牛木属 *Cratoxylum*  
黄牛木 *C. cochinchinense* (9)  
锦葵科 Malvaceae  
苧婆属 *Sterculia*  
假苧婆 *S. lanceolata* (23)  
银叶树属 *Heritiera*  
银叶树 *H. littoralis* (7)  
破布叶属 *Microcos*  
破布叶 *M. paniculata* (14)  
翅子树属 *Pterospermum*  
翻白叶树 *P. heterophyllum* (3)  
变叶翅子树 *P. proteus* (1)  
壳斗科 Fagaceae  
锥属 *Castanopsis*  
罗浮锥 *C. faberi* (2)  
海南锥 *C. hainanensis* (1)  
柯属 *Lithocarpus*  
烟斗柯 *L. corneus* (132)  
栎属 *Quercus*  
槟榔青冈 *Q. bella* (8)  
托盘青冈 *Q. patelliformis* (6)  
苦木科 Simaroubaceae  
鸦胆子属 *Brucea*  
鸦胆子 *B. javanica* (2)  
楝科 Meliaceae  
山楝属 *Aphanamixis*  
山楝 *A. polystachya* (2)  
龙脑香科 Dipterocarpaceae  
青梅属 *Vatica*  
青梅 *V. mangachapoi* (31)  
马鞭草科 Verbenaceae  
紫珠属 *Callicarpa*  
红紫珠 *C. rubella* (4)  
石梓属 *Gmelina*  
苦梓 *G. hainanensis* (4)  
牡荆属 *Vitex*  
莺哥木 *V. pierreana* (35)  
山牡荆 *V. quinata* (19)  
越南牡荆 *V. tripinnata* (1)  
木兰科 Magnoliaceae  
长喙木兰属 *Lirianthe*  
香港木兰 *L. championii* (4)  
木樨科 Oleaceae  
栲属 *Fraxinus*  
光蜡树 *F. griffithii* (29)  
木樨属 *Osmanthus*  
显脉木樨 *O. hainanensis* (2)  
牛栓藤科 Connaraceae  
单叶豆属 *Ellipanthus*  
单叶豆 *E. glabrifolius* (2)  
漆树科 Anacardiaceae  
山楝子属 *Buchanania*  
小叶山楝子 *B. microphylla* (52)  
厚皮树属 *Lannea*  
厚皮树 *L. coromandelica* (8)  
漆树属 *Toxicodendron*  
野漆 *T. succedaneum* (14)  
茜草科 Rubiaceae  
毛茛属 *Antirhea*  
毛茛 *A. chinensis* (125)  
猪肚木属 *Canthium*  
猪肚木 *C. horridum* (28)  
山石榴属 *Catunaregam*  
山石榴 *C. spinosa* (3)  
狗骨柴属 *Diplospora*  
狗骨柴 *D. dubia* (2)  
粗叶木属 *Lasianthus*  
美脉粗叶木 *L. lancifolius* (28)  
大沙叶属 *Pavetta*  
大沙叶 *P. arenosa* (7)  
南山花属 *Prismatomeris*  
南山花 *P. tetrandra* (1)  
九节属 *Psychotria*  
九节 *P. asiatica* (49)  
鱼骨木属 *Psydax*  
鱼骨木 *P. dicocca* (4)  
倒卵叶鱼骨木 *P. dicocca* var. *obovatifolia* (3)  
乌口树属 *Tarenna*  
乌口树 *T. asiatica* (2)  
水锦树属 *Wendlandia*  
水锦树 *W. wariifolia* (3)  
蔷薇科 Rosaceae  
枇杷属 *Eriobotrya*  
台湾枇杷 *E. deflexa* (4)  
石楠属 *Photinia*  
闽粤石楠 *P. benthamiana* (6)  
桃叶石楠 *P. prunifolia* (8)  
青钟麻科 Achariaceae  
大风子属 *Hydnocarpus*  
海南大风子 *H. hainanensis* (4)  
清风藤科 Sabiaceae  
泡花树属 *Meliosma*  
樟叶泡花树 *M. squamulata* (2)  
桑科 Moraceae  
榕属 *Ficus*  
苹果榕 *F. oligodon* (1)  
斜叶榕 *F. tinctoria* subsp. *gibbosa* (1)  
白肉榕 *F. vasculosa* (1)  
黄葛树 *F. virens* (2)  
刺桑属 *Taxotrophis*  
刺桑 *T. ilicifolia* (91)  
叶被木 *T. taxoides* (94)  
山茶科 Theaceae  
多瓣核果茶属 *Pyrenaria*  
多瓣核果茶 *P. jonquieriana* subsp. *multiseptata* (1)  
山矾科 Symplocaceae  
山矾属 *Symplocos*  
橄榄山矾 *S. atriolivacea* (3)  
丛花山矾 *S. poilanei* (4)  
山矾 *S. sumuntia* (1)  
绿枝山矾 *S. viridissima* (1)  
山茱萸科 Cornaceae  
八角枫属 *Alangium*  
八角枫 *A. chinense* (6)  
使君子科 Combretaceae  
榄仁属 *Terminalia*  
海南榄仁 *T. nigrovenulosa* (38)  
柿科 Ebenaceae  
柿属 *Diospyros*  
毛柿 *D. strigosa* (140)  
苏铁科 Cycadaceae  
苏铁属 *Cycas*  
闽粤苏铁 *C. taiwaniana* (292)  
檀香科 Santalaceae  
硬核属 *Scleropyrum*  
硬核 *S. wallichianum* (1)  
桃金娘科 Myrtaceae  
桃金娘属 *Rhodomyrtus*  
桃金娘 *R. tomentosa* (8)  
蒲桃属 *Syzygium*  
短序蒲桃 *S. brachythyrsum* (2)  
黑嘴蒲桃 *S. bullockii* (1)  
赤楠 *S. buxifolium* (7)  
棒花蒲桃 *S. claviflorum* (17)  
海南蒲桃 *S. hainanense* (12)  
红鳞蒲桃 *S. hancei* (37)  
蒲桃 *S. jambos* (4)  
藤黄科 Clusiaceae  
藤黄属 *Garcinia*  
岭南山竹子 *G. oblongifolia* (22)  
天门冬科 Asparagaceae  
龙血树属 *Dracaena*  
长花龙血树 *D. angustifolia* (23)  
龙血树 *D. draco* (3)  
卫矛科 Celastraceae  
卫矛属 *Euonymus*  
流苏卫矛 *E. gibber* (35)  
疏花卫矛 *E. laxiflorus* (3)  
中华卫矛 *E. nitidus* (1)  
假卫矛属 *Microtropis*  
*Microtropis* sp. (1)  
盾柱槭属 *Pleurostyliia*  
盾柱槭 *P. opposita* (7)  
无患子科 Sapindaceae  
异木患属 *Allophylus*  
异木患 *A. viridis* (1)  
滨木患属 *Arytera*  
滨木患 *A. littoralis* (5)  
龙眼属 *Dimocarpus*  
龙眼 *D. longan* (4)  
车桑子属 *Dodonaea*  
车桑子 *D. viscosa* (3)  
韶子属 *Nephelium*

海南韶子 <i>N. topengii</i> (1)	野牡丹属 <i>Melastoma</i>	黄皮属 <i>Clausena</i>	莲桂属 <i>Dehaasia</i>
五加科 <i>Araliaceae</i>	毛柃 <i>M. sanguineum</i> (94)	假黄皮 <i>C. excavata</i> (53)	莲桂 <i>D. hainanensis</i> (3)
鹅掌柴属 <i>Heptapleurum</i>	谷木属 <i>Memecylon</i>	山小橘属 <i>Glycosmis</i>	木姜子属 <i>Litsea</i>
鹅掌柴 <i>H. heptaphyllum</i> (2)	天蓝谷木 <i>M. caeruleum</i> (9)	山小橘 <i>G. pentaphylla</i> (1)	黄丹木姜子 <i>L. elongata</i> (3)
五列木科 <i>Pentaphylacaceae</i>	棱果谷木 <i>M. octocostatum</i> (9)	贡甲属 <i>Maclurodendron</i>	潺槁木姜子 <i>L. glutinosa</i> (2)
柃属 <i>Eurya</i>	细叶谷木 <i>M. scutellatum</i> (1)	贡甲 <i>M. oligophlebium</i> (70)	润楠属 <i>Machilus</i>
细齿叶柃 <i>E. nitida</i> (134)	叶下珠科 <i>Phyllanthaceae</i>	小芸木属 <i>Micromelum</i>	短序润楠 <i>M. breviflora</i> (20)
心翼果科 <i>Cardiopteridaceae</i>	银柴属 <i>Aporosa</i>	大管 <i>M. falcatum</i> (30)	尖峰润楠 <i>M. monticola</i> (4)
琼榄属 <i>Gonocaryum</i>	银柴 <i>A. dioica</i> (171)	九里香属 <i>Murraya</i>	梨润楠 <i>M. pomifera</i> (14)
琼榄 <i>G. lobbianum</i> (2)	黑面神属 <i>Breynia</i>	九里香 <i>M. exotica</i> (7)	柳叶润楠 <i>M. salicina</i> (4)
杨柳科 <i>Salicaceae</i>	黑面神 <i>B. fruticosa</i> (2)	吴茱萸属 <i>Tetradium</i>	楠属 <i>Phoebe</i>
刺篱木属 <i>Flacourtia</i>	土蜜树属 <i>Bridelia</i>	椴叶吴萸 <i>T. glabrifolium</i> (12)	乌心楠 <i>P. tavoyana</i> (29)
刺篱木 <i>F. indica</i> (1)	禾串树 <i>B. balansae</i> (1)	花椒属 <i>Zanthoxylum</i>	紫草科 <i>Boraginaceae</i>
天料木属 <i>Homalium</i>	土蜜树 <i>B. tomentosa</i> (2)	箭欏花椒 <i>Z. avicennae</i> (11)	基及树属 <i>Carmora</i>
毛天料木 <i>H. mollissimum</i> (14)	算盘子属 <i>Glochidion</i>	樟科 <i>Lauraceae</i>	基及树 <i>C. microphylla</i> (3)
广南天料木 <i>H. paniculiflorum</i> (9)	红算盘子 <i>G. coccineum</i> (2)	樟属 <i>Camphora</i>	紫葳科 <i>Bignoniaceae</i>
箭柃属 <i>Scolopia</i>	圆果算盘子 <i>G. sphaerogynum</i> (6)	黄樟 <i>C. parthenoxylon</i> (11)	菜豆树属 <i>Radermachera</i>
黄杨叶箭柃 <i>S. buxifolia</i> (8)	余甘子属 <i>Phyllanthus</i>	桂属 <i>Cinnamomum</i>	美叶菜豆树 <i>R. frondosa</i> (23)
广东箭柃 <i>S. saeva</i> (1)	余甘子 <i>P. emblica</i> (7)	钝叶桂 <i>C. bejolghota</i> (1)	海南菜豆树 <i>R. hainanensis</i> (2)
野牡丹科 <i>Melastomataceae</i>	芸香科 <i>Rutaceae</i>	阴香 <i>C. burmanni</i> (2)	

括号内数值为个体数 The values in the parentheses are the number of individuals.

(上接第 19 页 Continued from page 19)

- [27] 雷颖, 何雪娜, 王佳敏, 等. 重庆喀斯特生境中桢楠种群结构与动态特征[J]. 生态学报, 2022, 42(12): 4903-4911.
- [28] BIERZYCHUDEK P. Plant biodiversity and population dynamics [M] // MONSON R K. Ecology and the Environment; The Plant Science 8. New York: Springer Science+Business Media, 2014: 29-65.
- [29] 段昌群, 苏文华, 杨树华, 等. 植物生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2020: 167-168.
- [30] 桂慧颖, 方发之, 黎肇家, 等. 海南吊罗山濒危植物美丽火桐种群结构与动态特征[J]. 广西植物, 2025, 45(1): 197-206.
- [31] 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.
- [32] 王燕玲, 招礼军, 朱栗琼, 等. 广西天然红鳞蒲桃种群幼苗数量特征及动态分析[J]. 植物生态学报, 2023, 47(9): 1278-1286.
- [33] 杨小林, 王秋菊, 兰小中, 等. 濒危植物大花黄牡丹 (*Paeonia ludlowii*) 种群数量动态[J]. 生态学报, 2007, 27(3): 1242-1247.
- [34] 包崇寅, 孙永玉, 李敏敏, 等. 不同生境濒危植物龙棕种群结构及其动态特征[J]. 西北植物学报, 2024, 44(3): 479-490.
- [35] 袁志忠, 包维楷, 何丙辉. 川西地区岷江柏种群生命表与生存分析[J]. 云南植物研究, 2004, 26(4): 373-381.
- [36] 刘海洋, 金晓玲, 沈守云, 等. 湖南珍稀濒危植物: 珙桐种群数量动态[J]. 生态学报, 2012, 32(24): 7738-7746.
- [37] LAPORTE M M, DELPH L F. Sex-specific physiology and source-sink relations in the dioecious plant *Silene latifolia*[J]. Oecologia, 1996, 106: 63-72.
- [38] 吴其超, 臧凤岐, 李呈呈, 等. 濒危树种五莲杨种群结构与动态特征[J]. 生态学报, 2021, 41(12): 5016-5025.
- [39] 蔡晨, 李珂佳, 凌书伟, 等. 福建古田会址风水林小叶红豆种群结构与动态特征[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(1): 61-69.
- [40] 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.
- [41] 李肇晨, 陈永富, 洪小江, 等. 海南霸王岭陆均松种群年龄结构与点格局分布特征[J]. 生态学杂志, 2015, 34(6): 1507-1515.
- [42] 蔡飞. 杭州西湖山区青冈种群结构和动态的研究[J]. 林业科学, 2000, 36(3): 67-72.
- [43] 刘浩栋, 陈巧, 徐志扬, 等. 珍稀濒危树种陆均松天然种群结构与空间分布格局[J]. 生态学报, 2020, 40(9): 2985-2995.
- [44] 杜华强, 汤孟平, 周国模, 等. 天目山物种多样性尺度依赖及其与空间格局关系的多重分形[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5038-5049.
- [45] 丁剑敏, 张向东, 李国梁, 等. 濒危植物居群恢复的遗传学考量[J]. 植物科学学报, 2018, 36(3): 452-458.

(责任编辑: 佟金凤)