

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 06. 019

滇南苏铁种群结构与分布格局研究

郑静楠¹, 郑进烜¹, 王 勇¹, 吴富勤¹, 董 磊¹, 郭汝平², 苏贤海²

(1. 云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051; 2. 双柏恐龙河州级自然保护区管护局, 云南 双柏 675100)

摘要:滇南苏铁(*Cycas diannanensis*)是云南特有种,为国家一级重点保护植物。通过样方法对滇南苏铁种群及其所在群落进行调查,分析其群落结构和物种多样性,以及其种群密度、年龄结构、存活曲线、空间分布格局与森林郁闭度的关系。结果表明,森林中林下植物主要伴生种与其群落物种的组成极具相关性,恐龙河州级自然保护区森林郁闭度整体为 0.6 以下的次生林是滇南苏铁生长的主要生境,共分布有 61 科 127 属 196 种维管束植物,滇南苏铁种群密度为 0.23/m²;受不同森林郁闭度以及种间关系影响,滇南苏铁种群在 I~VI 龄级整体表现出种群数量逐渐减少的趋势,年龄结构呈金字塔型,其存活曲线趋近于 Deevey-II 型;滇南苏铁种群呈聚集分布,各指标中 k 值随着森林郁闭度的增加而逐渐变小,说明其种群密度受森林郁闭度影响。

关键词:滇南苏铁;种群结构;分布格局;年龄结构;存活曲线

中图分类号:S791.11;S718.542;P966 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)06-0108-06

引文格式:郑静楠,郑进烜,王勇,等. 滇南苏铁种群结构与分布格局研究[J]. 林业调查规划,2023,48(6):108-113.

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 06. 019

ZHENG Jingnan, ZHENG Jinxuan, WANG Yong, et al. Population Structure and Distribution Pattern of *Cycas diannanensis* [J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(6): 108-113. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 06. 019

Population Structure and Distribution Pattern of *Cycas diannanensis*

ZHENG Jingnan¹, ZHENG Jinxuan¹, WANG Yong¹, WU Fuqin¹, DONG Lei¹,
GUO Ruping², SU Xianhai²

(1. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China;

2. Administration of Shuangbai Konglonghe Nature Reserve, Shuangbai, Yunnan 675100, China)

Abstract: *Cycas diannanensis* is an endemic species in Yunnan and a national first-class key protected plant. The *C. diannanensis* population and its community were investigated by sampling method, and its community structure and species diversity, as well as the relationship between population density, age structure, survival curve, spatial distribution pattern and forest canopy density were analyzed. The results showed that the main associated species of understory plants in the forest were highly correlated with the composition of their community species, and the secondary forest with an overall forest canopy density of less than 0.6 in Konglonghe Nature Reserve was the main habitat for *C. diannanensis*, where there were

收稿日期:2022-05-13.

基金项目:云南省第二次重点保护野生植物资源项目(000036Z00015).

第一作者:郑静楠(1993-),女,山西昔阳人,硕士,工程师.从事植物学、林业调查规划、生物多样性保护与自然保护地研究工作.

Email:349027767@qq.com

责任作者:郑进烜(1981-),男,福建大田人,硕士,高级工程师.从事植物学、林业调查规划、生物多样性保护与自然保护地研究工作.

Email:zjx3410@163.com

196 species of vascular plants belonging to 127 genera and 61 families, and the population density of *C. diannanensis* was 0.23/m²; affected by different forest canopy density and interspecific relationship, the population showed a gradual decreasing trend from I–VI age class, the age structure was pyramid, and the survival curve was close to Deevey–II type; the *C. diannanensis* population was clustered, and the *k* value in each aggregation degree index gradually decreased with the increase of forest canopy density, indicating that its population density was affected by forest canopy density.

Key words: *Cycas diannanensis*; community structure; distribution pattern; age structure; survival curve

种群结构动态和数量特征是植物种群的两个基本特征。植物种群结构主要包括结构动态、空间结构动态、年龄结构动态和遗传结构动态^[1]。种群大小、数量、年龄、密度、表现型(高度、胸径)特性等均是种群结构要素^[2–4]。种群分布格局是指种群个体在水平空间的配置或分布状态,反映了种群个体在水平空间上的相互关系,是植物种群生态学特征对环境生长适应和选择的结果^[2,4]。滇南苏铁(*Cycas diannanensis*)是常绿棕榈状木本植物,模式标本产地为云南省个旧市,属云南特有种,国家一级重点保护植物,CITES 附录 II,IUCN 等级和 2017 年中国高等植物受威胁物种名录等级为 CR,云南省极小种群物种^[5–6]。该物种历史分布于云南省楚雄州、玉溪市和红河州的红河流域干热河谷中,目前对滇南苏铁的种群动态变化、年龄结构、分布格局及其与森林群落郁闭度的关系研究尚属空白。因此,通过调查恐龙河州级自然保护区滇南苏铁的种群结构及其与森林郁闭度的变化关系,开展群落动态、年龄结构变化与空间分布格局及其相互关系等方面研究,进而预测滇南苏铁种群动态演替方向,为开展其野外回归与保护提供科学依据。

1 研究概况与方法

1.1 研究地概况^[7]

恐龙河州级自然保护区位于双柏县鄂嘉镇和独田乡境内石羊江两侧,北纬 24°22′48.6″~24°34′6.4″,东经 101°9′55.3″~101°24′43.9″,总面积 10 391 hm²。保护区及其周边地区位于双柏县西部的哀牢山北段,整体处于石羊江干热河谷内,其最主要的地貌类型为低山河谷,最高海拔 1 796 m,最低海拔 623 m,相对高差 1 173 m。保护区主要分布于干热河谷气候区内,少部分位于亚热带季风气候区,其中:海拔 1 400 m 以下至河床为河谷区,全年干燥少雨,属典型的干热河谷气候;海拔 1 400~2 000 m 低山地区,

地势陡峭,可见多级河流阶地分布,为典型的亚热带季风气候,气温和降水适中;2 300 m 以上山地地区,为温带季风气候,寒凉多雨。保护区境内共分布有紫色土和红壤 2 个土类,在空间上表现出与等高线平行的垂直带状分布。

按照《云南植被》和《中国植被》区划,保护区以季雨林、常绿阔叶林、硬叶常绿阔叶林、暖性针叶林和稀树灌木草丛为主要植被类型。在森林植被类型中,以千果榄仁林(Form. *Terminalia myriocarpa*)、木棉林(Form. *Bombax malabaricum*)、白头树林(Form. *Garuga forrestii*)、毒药树林(Form. *Sladenia celastriifolia*)、刺栲林(Form. *Castanopsis hystrix*)、毛叶青冈林(Form. *Cyclobalanopsis kerrii*)、高山栲林(Form. *Cast-anopsis delavayi*)、滇青冈林(Form. *Cyclobalanopsis glaucoides*)、锥连栎林((Form. *Quercus franchetii*))、云南松林(Form. *Pinus yunnanensis*)、滇油杉林(Form. *Keteleeria evelyniana*)、含虾子花的中草草丛(Form. *Woodfordia fruticosa*)、滇榄仁灌草丛(Form. *Terminalia franchetii*)等群系为主。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查与样地设置

在恐龙河州级自然保护区干热河谷天然疏林灌丛设置 5 个 30 m×30 m 的样方(编号依次为 1、2、3、4、5),各样方具体情况如表 1 所示。

表 1 恐龙河州级自然保护区滇南苏铁调查样方基本情况

Tab. 1 Basic information of the survey samples of *Cycas diannanensis* in Konglonghe Nature Reserve

样方	经度	纬度	海拔 /m	坡度 /(°)	森林郁闭度
1	101°13′42.9″	24°23′34.1″	835	13	0.23
2	101°16′45.3″	24°24′12.6″	936	11	0.52
3	101°10′0.7″	24°26′48.5″	978	9	0.63
4	101°10′11.3″	24°24′50.3″	1021	10	0.57
5	101°13′12.0″	24°24′12.7″	966	8	0.29

样方总面积 4 500 m², 属低山—高丘陵地貌, 受人类活动的轻微干扰。利用相邻样方格子法将每个样方划分成 9 个 10 m × 10 m 的小样方, 共 45 个小样方, 开展小样方内的物种每木调查, 在小样方内设置 1 个 1 m × 1 m 的草本样方, 调查草本植物种类、数量; 记录整个样方的生境条件、植被情况。

1.2.2 数据统计与分析

1) 群落特征

滇南苏铁所在群落的物种多样性运用 Simpson 多样性指数 (D')、Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 以及 Pielou 均匀度指数 (E') 进行分析。

2) 种群结构

苏铁类植物生长周期长, 主干生长不明显, 其年龄难以判断, 采用高度级或叶片长度等结构特征替代种群年龄结构, 分析种群各龄级的生存和生长动态。结合本研究实际情况, 根据其最长叶片长度进行龄级划分^[8-9] (表 2); 存活曲线根据其特定龄级的相对个体数量绘制^[10]。

表 2 苏铁类龄级划分

Tab. 2 Age classification of *Cycas*

龄级	植物高/cm
I 级幼苗	0~50
II 级幼树	50.1~100
III 级小树	100.1~150
IV 级中树	150.1~200
V 级大树	200.1~250
VI 级老树	>250

3) 种群空间分布格局

根据样方法获得的数据, 用种群分布格局的聚集强度, 即丛生指数 (I)、负二项参数 (k)、格林指数 (GI)、Cassie 指标 (CA)、扩散型指数 (I^0)、平均拥挤度 (m^*)、聚集指数 (Pai) 等 7 种指数测定分析^[11], 并运用方差均值比率法测定整个群落滇南苏铁种群的分布格局类型, 用 t 检验判定显著性。

2 结果与分析

2.1 群落特征

2.1.1 群落结构

调查共记录了高度 ≥ 1.5 m 的维管束植物 61 科 127 属 196 种, 活个体数 2 988 株。其中: 乔木层 29 科 58 属, 灌木层 21 科 65 属, 草本层 11 科 73 属。

群落中平均树高 6.05 m, 平均胸径 5.68 cm; 森林郁闭度 0.3~0.6, 平均冠幅 2.63 m²。群落内乔木物种高度主要集中在 5~9 m, 占比为 93.65%, 冠幅面积集中在 16 m² 以下, 占比为 94.12%。每个 100 m² 样方, 高度 ≥ 1.5 m 的活立木有 26 种 59 株, 以栓皮栎 (*Quercus variabilis*)、火绳树 (*Eriolaena spectabilis*)、银柴 (*Aporosa dioica*) 等为主。滇南苏铁群落结构层次清晰, 群落垂直结构分为乔木层、灌木层、草本层, 其中: 乔木层可分上层和下层, 上层高 10~20 m, 胸径 8~34 cm, 以栓皮栎、滇青冈 (*Cyclobalanopsis glaucoid*)、滇石栎 (*Cyclobalanopsis dealbatus*) 等为主; 下层高 5~10 m, 胸径 3~20 cm, 以银柴、白枪杆、岩柿 (*Diospyros dumetorum*) 等为主。在灌木层中, 滇南苏铁群落出现频度最高, 种群密度也相对较大, 其他主要灌木有狭叶山黄麻 (*Trema angustifolia*)、虾子花 (*Woodfordia fruticosa*)、余甘子 (*Phyllanthus emblica*)、茶条木 (*Delavaya toxocarpa*)、毛叶黄杞 (*Engelhardia spicata*)、坡柳 (*Salix myrtilleacea*)、粉叶羊蹄甲 (*Bauhinia glauca*)、假地豆 (*Desmodium heterocarpon*)、见血飞 (*Caesalpinia cucullata*)、须弥茜树 (*Himalrandia lichiangensis*)、扁担杆 (*Grewia biloba*) 等。草本层黄茅 (*Heteropogon contortus*) 独占优势, 主要有芸香草 (*Cymbopogon distans*)、苞子苣 (*Themeda caudata*)、棕叶芦 (*Thysanolaena maxima*) 等, 局部地段飞扬草 (*Euphorbia hirta*) 较为优势 (表 3)。

2.1.2 群落多样性

滇南苏铁所在群落多样性分析结果表明, Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数在 5 个不同样方中存在差异 (表 4)。

在样方 3 中, Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均达到最大值, 表明样方 3 物种丰富且分布较均匀。其他 4 个样方的指数除样方 5 的 Simpson 多样性指数较高外, 总体相差不大, 样方 4 的 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数最小, 物种丰富度为样方 4 最大 (9.897), 样方 2 最小 (7.287), 说明样方 2 物种种类较少, 物种多样性指数低, 物种分布整体表现较均匀, 样方 5 的物种是否出现的不确定性较高。

2.2 年龄结构

滇南苏铁作为一种生长极其缓慢的植物, 其径向生长不明显, 具体年龄调查困难。根据野外调查数据统计各龄级滇南苏铁种群数量特征 (图 1)。

表 3 乔木层、灌木层和草本层主要植物物种的多度与频度

Tab. 3 Abundance and frequency of major plant species in arbor layer, shrub layer and herb layer

层次	物种	多度	频度
乔木层	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	0.010	0.31
	火绳树 <i>Eriolaena spectabilis</i>	0.005	0.27
	银柴 <i>Aporosa dioica</i>	0.016	0.44
	山槐 <i>Albizia kalkora</i>	0.018	0.60
	白枪杆 <i>Fraxinus malacophylla</i>	0.024	0.72
	锥连栎 <i>Quercus franchetii</i>	0.009	0.24
	滇青冈 <i>Cyclobalanopsis glauroid</i>	0.007	0.18
	滇石栎 <i>Cyclobalanopsis dealbatus</i>	0.009	0.21
	臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	0.054	0.36
	岩柿 <i>Diospyros dumetorum</i>	0.008	0.14
灌木层	白头树 <i>Garuga forresti</i>	0.023	0.78
	狭叶山黄麻 <i>Trema angustifolia</i>	0.141	0.98
	虾子花 <i>Woodfordia fruticosa</i>	0.028	0.77
	余甘子 <i>Phyllanthus emblica</i>	0.032	0.94
	茶条木 <i>Delavaya toxocarpa</i>	0.025	0.81
	毛叶黄杞 <i>Engelhardia spicataa</i>	0.012	0.60
	见血飞 <i>Caesalpinia cucullata</i>	0.008	0.38
	坡柳 <i>Salix myrtilleacea</i>	0.012	0.35
	粉叶羊蹄甲 <i>Bauhinia glauca</i>	0.009	0.58
	假地豆 <i>Desmodium heterocarpon</i>	0.010	0.64
草本层	须弥茜树 <i>Himalrandia lichiangensis</i>	0.018	0.41
	扁担杆 <i>Grewia biloba</i>	0.004	0.11
	黄茅 <i>Heteropogon contortus</i>	0.015	0.04
	芸香草 <i>Cymbopogon distans</i>	0.009	0.03
	苞子营 <i>Themeda caudata</i>	0.007	0.02
	棕叶芦 <i>Thysanolaena maxima</i>	0.012	0.08
	四棱猪屎豆 <i>Crotalaria tetragona</i>	0.001	0.01
	云南兔耳风 <i>Ainsliaea yunnanensis</i>	0.005	0.02
	黄背草 <i>Theneda triandra</i>	0.004	0.01
	土丁桂 <i>Evolvulus alsinoides</i>	0.002	0.01
	飞扬草 <i>Euphorbia hirta</i>	0.005	0.02

从图 1 可以看出,随着龄级的增加,滇南苏铁种群个体数量呈减少趋势,种群龄级 I:II:III:IV:V:VI 数量比为 374:199:192:172:138:7;幼年个体数量多,大树个体少,老年期个体数量仅有 7 株,年龄结构呈金字塔型,说明更新能力较强,只要原生境不被破坏,种群能够自然增长或维持现有种群数量。

表 4 群落物种多样性指数

Tab. 4 Species diversity index of community

样方	Simpson 多样性指数	Shannon-Wiener 多样性指数	Pielou 均匀度指数	物种丰富度
1	0.915	3.350	0.804	9.652
2	0.949	3.332	0.858	7.287
3	0.967	3.651	0.877	9.557
4	0.913	3.250	0.789	9.897
5	0.951	3.466	0.809	8.745

在不同的样方郁闭度下,各个样方中的种群数量有较大差别,同时龄级个体数分布不均,生长有差异。在种群数量上,样方 3(郁闭度 0.63)中的各龄级个体数量相对较多,总株数为 319 株;样方 4(郁闭度 0.57)次之,总株数为 273 株;样方 2(郁闭度 0.52)第三,总株数为 204 株。在不同龄级的种群数量上,在第 I、II 和 V 龄级中,样方 3 的个体数最多,样方 4 次之;第 III、IV 龄级中,样方 3 的个体数最多,其次为样方 2。在郁闭度为 0.5~0.6 的森林群落中滇南苏铁种群整体生长较好,表现为 I、II 龄级幼苗生长最好;郁闭度低于 0.3 的种群数量均少于 150 株。

2.3 存活曲线

以存活个体数^[12]的对数值(以 10 为底)为纵坐标,以龄级为横坐标作存活曲线图(图 2)。

图 2 显示,所有样方存活个体数最大值在 I 龄级,表现出幼树个体多,随龄级的增加,整体缓慢减少,在 II~IV 龄级中相对平缓,至 V 龄级开始大幅下降,VI 龄级个别样方出现存活率为负值。样方 2 和 5 无 VI 龄级的个体数,死亡率随之增加,存活数量逐渐减少,样方 1 和 3 的存活率呈直线下降,且在 VI 龄级时存活率为负值,样方 2、4 和 5 为 0。总体来看,滇南苏铁的存活曲线趋近于 Deevey-II 型,但因 VI 龄级的幼树偏少、几乎无老树,未来种群将会发生衰退,但由于 I~IV 龄级的个体数量相对稳定,只要原生境不被人为破坏或发生区域自然灾害,滇南苏铁种群灭绝的可能性极小。

2.4 种群空间分布格局

滇南苏铁的空间分布格局方差均值比(DI>1),说明种群趋于集群分布;5 个样方差异显著(P<0.05),样方 1 差异不显著(P>0.05),说明滇南苏铁在森林中郁闭度(0.29~0.63)的环境下虽然拥挤生长,但聚集程度有所差异^[12](表 5)。

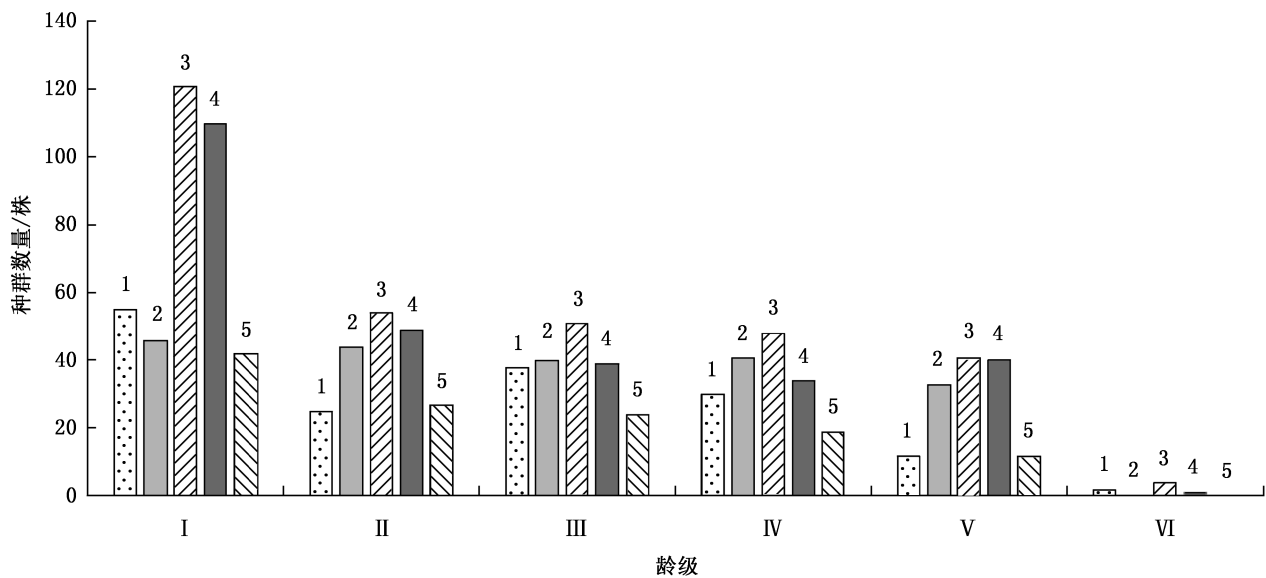


图 1 恐龙河州级自然保护区不同样方滇南苏铁年龄结构

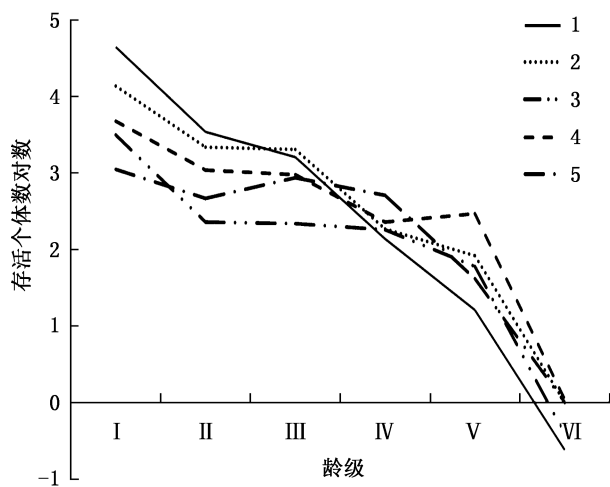
Fig. 1 Age structure of *Cycas diannanensis* in different samples of Konglonghe Nature Reserve

图 2 恐龙河州级自然保护区不同样方滇南苏铁种群存活曲线

Fig. 2 Survival curve of *Cycas diannanensis* population in different samples of Konglonghe Nature Reserve

调查研究发现,聚集程度指标中 k 值随着森林

郁闭度的增加而逐渐变小,说明其种群密度受森林郁闭度影响。在恐龙河州级自然保护区的次生林中,滇南苏铁聚集分布于中等郁闭、光线较充足的森林地块。调查中发现样方 3 的乔木立木较多且高,林隙较多,且岩石的裸露率也大,样方内滇南苏铁的种群分布较为密集,一定程度上说明滇南苏铁喜生于裸露的岩石或是碎石成堆的区域。

2.5 种群数量及密度与样方郁闭度的关系

通过计算 5 个样方内的滇南苏铁个体数量和样方面积的关系,得出幼苗(I级)平均密度分别为 6.1、5.1、13.4、12.2 和 4.7 株/100 m²,种群总密度分别为 18、21.7、35.4、30.3 和 14.3 株/100 m²。可以看出,各样方内滇南苏铁数量分布不均且有着明显差异,其中样方 3 的平均密度最大,其次是样方 4,样方 5 最小。通过表 1 和表 4 的数据对滇南苏铁个体数量进行多元回归分析,发现滇南苏铁的种群大小与种群龄级均呈现不相关,这与森林郁闭度

表 5 恐龙河州级自然保护区滇南苏铁种群空间分布格局

Tab. 5 Spatial distribution pattern of *Cycas diannanensis* population in Konglonghe Nature Reserve

样方	郁闭度	方差	方差均值比	t	负二项参数	丛生指数	平均拥挤指数	聚集指数	扩散型指数	格林指数	Cassie 指标
1	0.23	132.60	24.56	10.80	5.74	14.27	25.44	1.13	1.19	12.30	0.18
2	0.52	187.30	14.19	31.20	4.72	13.25	24.36	2.37	2.08	19.60	0.54
3	0.63	34.67	3.10	5.35	2.87	2.65	12.29	1.39	1.33	2.64	0.26
4	0.57	18.33	2.48	3.15	4.59	1.64	8.36	1.42	1.36	1.01	0.19
5	0.29	137.32	29.32	13.21	5.56	16.25	27.63	1.37	1.33	13.21	0.28

0.29~0.63 适宜滇南苏铁生长的结论基本吻合。因此,可以得出滇南苏铁不适宜在郁闭度大的森林环境中分布。

3 结论与讨论

1)森林中林下植物主要伴生种与其群落物种的组成极具相关性。恐龙河州级自然保护区森林郁闭度整体为0.6以下的次生林是滇南苏铁生长的主要生境,共分布有61科127属196种维管束植物;在5个样方中共调查到1078株,种群密度为0.23/m²。目前保护区的森林环境是滇南苏铁的适生环境,但随着森林植被的恢复或郁闭度的增加,可能影响滇南苏铁种群数量,因此维持现有的森林郁闭度是对滇南苏铁种群的一种保护措施。

2)受不同森林郁闭度以及种间关系影响,滇南苏铁种群在I~VI龄级整体表现出种群数量逐渐减少的趋势,年龄结构呈金字塔型,说明更新能力较强,只要原生境不被破坏,种群能够自然增长或维持现有种群数量。滇南苏铁的存活曲线趋近于Deevey-II型,种群未来可能会发生衰退,但由于I~IV龄级的个体数量相对稳定,只要原生境不被人为破坏或发生区域自然灾害,滇南苏铁种群灭绝的可能性极小。

3)滇南苏铁种群呈聚集分布,且指标中 k 值随着森林郁闭度的增加而逐渐变小,说明其种群密度受森林郁闭度影响;根据森林郁闭度0.29~0.63适宜滇南苏铁生长的结论,认为滇南苏铁不适宜在郁闭度大的森林环境中分布。

参考文献:

- [1] HARPER J L. Approaches to the study of plant competition [J]. Symp Soc Exp Biol, 1961(15): 1-39.
- [2] HARPER J L. The demography of plants with clonal growth [M]. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1978.
- [3] HARPER J L, WHITE J. The demography of plants [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1974(5): 419-463.
- [4] 祝廷成, 钟章成, 李建东. 植物生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [5] 李玉媛. 云南国家重点保护野生植物 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2005.
- [6] 孙卫邦. 云南省极小种群野生植物保护名录 (2021 版) [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2021.
- [7] 郑进烜, 余昌元. 双柏恐龙河州级自然保护区 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2021.
- [8] 谢春平, 吴昌魁, 付桂, 等. 五指山地区海南苏铁种群结构特征与动态 [J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(1): 77-85.
- [9] 李娟, 林建勇, 何应会, 等. 广西崇左叉叶苏铁种群结构与分布格局研究 [J]. 广东农业科学, 2016, 43(12): 25-29.
- [10] 李苑菱, 张丽, 杨小波, 等. 海南岛野生茶树空间分布及种群动态研究 [J]. 林业资源管理, 2017, 46(2): 81-87, 138.
- [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: 14-17.
- [12] 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.

责任编辑: 杨焱熔

(上接第107页)

- [31] 孙儒泳. 动物生态学原理 (第三版) [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2001.
- [32] 卢双珍, 喻庆国, 曹顺伟. 云南糯扎渡自然保护区热带林群落物种多样性相似性研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(9): 3773-3775.
- [33] 孙航, 高正文. 云南省生物物种名录 (2016 版) [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2016.
- [34] 刘阳, 陈水华. 中国鸟类观察手册 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2021.
- [35] 云南省林业和草原局. 云南自然保护地年报 2020 [R]. 昆明, 2021.
- [36] 刘峰. 纳板河流域国家级自然保护区综合科学考察报告 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2014.
- [37] 陈明勇. 西双版纳布龙州级自然保护区科学考察报告

[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2012.

- [38] 刘国龙, 马杰. 西双版纳勐海县级自然保护区 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2019.
- [39] 王西敏, 赵江波, 顾伯健. 雨林飞羽——中国科学院西双版纳热带植物园鸟类 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2017.
- [40] 亚太地区迁徙水鸟保护委员会. 2001-2005 亚太地区迁徙水鸟保护战略 [R]. 北京: 湿地国际-中国办事处, 2002.
- [41] COLWELL R K, LEES D C. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness [J]. Trends Ecol Evol, 2000, 15: 70-76.

责任编辑: 许易琦