

中国科技核心期刊
中国林业核心期刊
中国应用型核心期刊

ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

林业调查规划

FOREST INVENTORY AND PLANNING



第51卷 第1期
Vol.51 No.1

2026 1



云南省林业调查规划院 主办

《林业调查规划》编辑委员会

顾问 唐守正 孙汉董 刘国强 郭辉军 胥 辉 李凤日 张铁明

主编 胡宗华

常务副主编 华朝朗

副主编 许易琦 余昌元

编委 (按姓氏笔画排序)

马国强 国家林业和草原局西南调查规划院

王有兵 云南省林业调查规划院

王得军 国家林业和草原局西北调查规划院

艾建林 云南省林业调查规划院

龙廷位 云南省林业调查规划院

冯 源 云南省林业和草原科学院

刘 扬 西南林业大学

刘扬晶 国家林业和草原局中南调查规划院

安 科 云南省林业调查规划院

许易真 黑龙江省林业和草原调查规划设计院

负新华 云南省林业和草原科学院

李 嵘 中国科学院昆明植物研究所

李元杰 云南省林业调查规划院

李敏敏 云南省林业调查规划院

杨 东 云南省林业调查规划院

杨士剑 云南师范大学

杨国斌 云南省林业调查规划院

杨忠兴 云南省林业调查规划院

吴 飞 中国科学院昆明动物研究所

吴富勤 云南省林业调查规划院

余志飞 云南省林业调查规划院

角媛梅 云南师范大学

邹光啟 云南省林业调查规划院

张 文 四川省林业和草原调查规划院

张大才 西南林业大学

张志明 云南大学

张忠涛 国家林业和草原局产业发展规划院

陈文红 云南省林业调查规划院

武瑞东 云南大学

林 辉 国家林业和草原局华东调查规划院

林寿明 广东省林业调查规划院

欧光龙 西南林业大学

岳彩荣 西南林业大学

郑进烜 云南省林业调查规划院

赵书学 云南省林业调查规划院

秋新选 云南省林业调查规划院

徐吉洪 云南省林业调查规划院

唐雪琼 西南林业大学

陶 晶 云南省林业调查规划院

曹顺伟 云南省林业调查规划院

曾伟生 国家林业和草原局林草调查规划院

温庆忠 云南省林业调查规划院

赖兴会 云南省林业调查规划院

廖声熙 中国林业科学研究院高原林业研究所

廖聪宇 云南省林业调查规划院

谭运洪 中国科学院西双版纳热带植物园

魏雪峰 云南省林业调查规划院

《林业调查规划》编辑部成员

许易琦 刘平书 李甜江 陈 旭 杨焱熔 董 磊

林业调查规划

第 51 卷 第 1 期

(总第 271 期)

2026 年 1 月

目 次

●森林经理

基于机载激光雷达 LiDAR 的单株树高提取研究····· 冷鸿天,施凯泽,黄运荣,吴颜奎,咎建春,廖聪宇(1)

云南省森林认证现状分析与可持续发展路径探究 ····· 尹 玉,魏雪峰(7)

●森林培育

元宝山冷杉种苗质量分级标准研究 ····· 蒋昊龙,唐小华,蒋忠林,邹 蓉,盘 波,唐健民,韦 霄,丁 涛(14)

工程量清单在林业营造林工程中的应用研究 ····· 刘 爽,王志婷,方志平,肖龙山(20)

●资源管理

滇西北老君山森林资源管理“一张图”与国土三调数据对比分析及对策研究

····· 杨忠兴,孙华倩,陈春祥,杨 东,孔维民,张 森,赵昌奎,朱高凡,廖雨秋(26)

基于小班水平的森林可持续经营指标体系构建与评价探索

····· 李章贵,魏雪峰,杨启运,张以棚,宋永全,杜宇航(34)

芬兰森林资源动态变化分析及启示 ····· 吴 恒,罗春林,廖 伟(41)

●林草碳汇

山西省森林资源碳储量及碳汇经济价值 ····· 茹 豪,马 婧,张凯锋,任煜堃,李青辉,孙向宁,张建军(48)

●自然保护区

浙江九龙山自然保护区苔藓植物多样性及其区系特征 ··· 唐战胜,肖 燕,王 宇,朱子安,杨晓君,余水生(56)

广东潮安凤凰山省级自然保护区自然教育基地发展策略

····· 叶培昭,黄伟潮,郑玉忠,陈慧敏,魏 丹,黄 维,陈惠华,韦奕英,李艳容,潘楚云,刘亚群(65)

济南市国家湿地公园管理状况评估体系构建及应用 ····· 王小燕,陈永森,郑 囡,李 欣(74)

●动植物

西畴县维管植物多样性调查与研究 ····· 任正涛,姜志诚,段禾祥,杨 靖,冯圣碧,王 珺,曾熙雯(80)

湖南澧县两栖爬行动物物种多样性研究

..... 龚凌轩,邓泽帅,罗 堯,黎 磊,郑文宝,赵 峰,田祥华,杨道德(92)

中国柿属植物一新纪录种 刘 群,陈文红,吕 凌,黄 庆,张金国,范长丽,税玉民(100)

大理市城市公园植物多样性研究 ... 杨淑娇,王有兵,蒋伟昌,李亚楠,李金亮,胡昌平,杨建军,姜健发(105)

瑞丽市园林绿地园林植物资源调查与分析 段秀明,罗仁山,岳正奎,蔡 薇,张天遥,杨 飞(111)

基于功能多样性的极小种群野生植物保护实践 郑静楠,习白羽(118)

●生态系统

云南省原始森林生态系统服务功能价值评估 毕艳玲,王 勇,蔡文婧(123)

锐齿槲栎群落乔灌木层优势种的种间关联研究 张 莹,蔡京勇,汪 洋,余远国(130)

基于 MaxEnt 模型预测云南橡胶树空间分布的可靠性验证 李玉勤,李博群(140)

广西植被覆盖时空演化及对气候和土地利用变化的响应..... 杨旺彬,王 钰(146)

基于多重中介效应模型的不同立地条件杉木人工林水源涵养能力评价..... 勾承馥,刘 蔓(153)

●林草灾害

玉溪市草原毒害草发生趋势及风险评估 高景芳(160)

黑木相思抗火性能分析与评价 张全武,廖广寿,莫 江,徐圆圆,杨 梅,邓永胜(170)

●林草产业

云南省林草产业现状及发展对策研究..... 李 瑶,刘 娟,邢晓琳,孙 蕊,郎晓雪,王 璇(176)

●生态旅游与森林康养

贵州省森林康养产业发展现状与优化措施探析 张平芳,王磊昭,付甫永,付昀颢(184)

贵州省森林康养产业发展现状及对策研究..... 韦坤静,周先凤,张玉芳,曹 煜,郭金鹏,周戈耀(190)

●其他

我国人象冲突研究及展望..... 陶 庆,郭孝宇,杨昆凤,王兰新(196)

普达措国家公园森林景观 许易琦摄(封面)

Contents

●Forest Management

Height Extraction of Individual Tree Height Extraction Based on Airborne LiDAR

..... LENG Hongtian, SHI Kaize, HUANG Yunrong, WU Yankui, ZAN Jianchun, LIAO Congyu(1)

Forest Certification Status and Exploration of Sustainable Development Pathways in Yunnan Province YIN Yu, WEI Xuefeng(7)

●Forest Cultivation

Seedling Quality Grading Standards of *Abies yuanbaoshanensis*

..... JIANG Haolong, TANG Xiaohua, JIANG Zhonglin, ZOU Rong, PAN Bo, TANG Jianmin, WEI Xiao, DING Tao(14)

Application of Bill of Quantities in Forestry Afforestation Projects

..... LIU Shuang, WANG Zhiting, FANG Zhiping, XIAO Longshan(20)

●Resource Management

Comparative Analysis and Countermeasure Research on “One Map” for Forest Resource Management and Third National Land

Survey Resource Data in the Laojun Mountain Area of Northwestern Yunnan YANG Zhongxing,
SUN Huaqian, CHEN Chunxiang, YANG Dong, KONG Weimin, ZHANG Miao, ZHAO Changkui, ZHU Gaofan, LIAO Yuqiu(26)

Construction and Evaluation of Sustainable Forest Management Indicator System at Sub-compartment Level

..... LI Zhanggui, WEI Xuefeng, YANG Qiyun, ZHANG Yipeng, SONG Yongquan, DU Yuhang(34)

Analysis and Enlightenment of Dynamic Changes of Forest Resources in Finland WU Heng, LUO Chunlin, LIAO Wei(41)

●Forest and Grassland Carbon Sink

Carbon Storage and Carbon Sink Economic Value of Forest Resources in Shanxi Province

..... RU Hao, MA Jing, ZHANG Kaifeng, REN Yukun, LI Qinghui, SUN Xiangning, ZHANG Jianjun(48)

●Natural Protected Areas

Diversity and Floristic Characteristics of Bryophyte Resources in Jiulongshan National Nature Reserve in Zhejiang

..... TANG Zhansheng, XIAO Yan, WANG Yu, ZHU Zi'an, YANG Xiaojun, YU Shuisheng(56)

Development Strategy of Nature Education Base in Chao'an Fenghuangshan Provincial Nature Reserve of Guangdong

..... YE Peizhao, HUANG Weichao,
ZHENG Yuzhong, CHEN Huimin, WEI Dan, HUANG Wei, CHEN Huihua, WEI Yiyi, LI Yanrong, PAN Chuyun, LIU Yaqun(65)

Construction and Application of Management Status Assessment System of National Wetland Parks in Jinan City

..... WANG Xiaoyan, CHEN Yongsun, ZHENG Nan, LI Xin(74)

●Plant and Animal

Investigation and Research on Vascular Plant Diversity in Xichou County

..... REN Zhengtao, JIANG Zhicheng, DUAN Hexiang, YANG Jing, FENG Shengbi, WANG Jun, ZENG Xiwen(80)

Species Diversity of Amphibians and Reptiles in Lixian County of Hunan Province

GONG Lingxuan, DENG Zeshuai, LUO Yao, LI Lei, ZHENG Wenbao, ZHAO Feng, TIAN Xianghua, YANG Daode(92)

A Newly Recorded Species of *Diospyros* (Ebenaceae) from China

..... LIU Qun, CHEN Wenhong, LYU Ling, HUANG Qing, ZHANG Jinguo, FAN Changli, SHUI Yumin(100)

Plant Diversity in Urban Parks of Dali City

YANG Shujiao, WANG Youbing, JIANG Weichang, LI Yanan, LI Jinliang, HU Changping, YANG Jianjun, JIANG Jianfa(105)

Investigation and Analysis of Garden Plant Resources in Green Spaces of Ruili City

..... DUAN Xiuming, LUO Renshan, YUE Zhengkui, CAI Wei, ZHANG Tianyao, YANG Fei(111)

Conservation Practices for Wild Plants with Extremely Small Populations Based on Functional Diversity

..... ZHENG Jingnan, XI Baiyu(118)

●Ecosystem

Value Assessment of Primary Forest Ecosystem Services in Yunnan Province BI Yanling, WANG Yong, CAI Wenjing(123)

Interspecific Associations of Dominant Plant Populations in Tree-Shrub-Grass Layer of *Quercus aliena* var. *acutiserrata* Community

..... ZHANG Ying, CAI Jingyong, WANG Yang, SHE Yuanguo(130)

Verifying Reliability of Predicting Spatial Distribution of *Hevea brasiliensis* Based on MaxEnt Model LI Yuqin, LI Boqun(140)

Spatio-temporal Evolution of Vegetation Coverage and Its Response to Climate and Land Use Changes in Guangxi

..... YANG Wangbin, WANG Yu(146)

Evaluation of Water Conservation Capacity in *Cunninghamia lanceolata* Plantations under Different Site Conditions Based on

Multiple Mediation Effect Model GOU Chengfu, LIU Man(153)

●Forest and Grassland Disaster

Occurrence Trend and Risk Assessment of Poisonous Grasses in Yuxi City GAO Jingfang(160)

Analysis and Evaluation of Fire Resistance of *Acacia melanoxylon*

..... ZHANG Quanwu, LIAO Guangshou, MO Jiang, XU Yuanyuan, YANG Mei, DENG Yongsheng(170)

●Forest and Grassland Industry

Current Situation and Development Countermeasures of Forestry and Grassland Industry in Yunnan Province

..... LI Yao, LIU Juan, XING Xiaolin, SUN Rui, LANG Xiaoxue, WANG Xuan(176)

●Ecotourism and Forest Therapy

Development Status and Optimization Measures of Forest Therapy Industry in Guizhou Province

..... ZHANG Pingfang, WANG Leizhao, FU Fuyong, FU Yunhao(184)

Development Status and Strategies of Forest Therapy Industry in Guizhou Province

..... WEI Kunjing, ZHOU Xianfeng, ZHANG Yufang, CAO Yu, GUO Jinpeng, ZHOU Geyao(190)

●Other Column

Research and Prospect of Human-Elephant Conflict in China

..... TAO Qing, GUO Xiaoyu, YANG Kunfeng, WANG Lanxin(196)

Forest Landscape of Potatso National Park Photographed by XU Yiqi(Front Cover)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.001

基于机载激光雷达 LiDAR 的单株树高提取研究

冷鸿天,施凯泽,黄运荣,吴颜奎,咎建春,廖聪宇

(云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051)

摘要:树高与林木的生物量、碳储量息息相关,测量树高是传统森林调查的痛点和难点,需要大量的工作量。使用机载 LiDAR 能方便地提取森林树高,极大地减少外业工作量。为了研究机载 LiDAR 提取树高的精度,以云南省红塔区为试验区,采集 3 个样地的样木调查信息(包括树高、胸径、树种和位置)和点云数据,通过对点云数据进行去噪、重采样、地面点分类、点云归一化和单木分割等处理提取单株树高,并用外业调查数据进行验证。结果表明,机载 LiDAR 提取的树高信息具有极高精度,可达 95% 以上,完全可以满足实际调查的要求;在对林分样木进行单木分割时,F 评分在 70%~85% 范围,且在不同样地中使用相同方法其参数分割效果存在显著差异,这可能与林分树高的分布特征和林木的形态有关。建立一个普适性较强、精度较高的机载 LiDAR 分割模型可极大地提升森林生物量和碳储量的反演精度。

关键词:机载激光雷达 LiDAR;单木分割;单株树高;点云数据

中图分类号:S758.1;V556.6 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0001-06

引文格式:冷鸿天,施凯泽,黄运荣,等. 基于机载激光雷达 LiDAR 的单株树高提取研究[J]. 林业调查规划,2026, 51(1):1-6. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.001

LENG Hongtian, SHI Kaize, HUANG Yunrong, et al. Height Extraction of Individual Tree Height Extraction Based on Airborne LiDAR[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 1-6. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.001

Height Extraction of Individual Tree Height Extraction Based on Airborne LiDAR

LENG Hongtian, SHI Kaize, HUANG Yunrong, WU Yankui, ZAN Jianchun, LIAO Congyu

(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: Tree height is closely related to the biomass and carbon stock of trees, and measuring tree height is a challenging and labor-intensive aspect of forest surveys. The use of airborne LiDAR can conveniently extract forest tree height and greatly reduce the workload of fieldwork. In order to study the accuracy of tree height extraction by airborne LiDAR, this study selected Hongta District in Yunnan Province as the test area, and collected sample tree survey information (including tree height, diameter at breast height, tree species and location) and point cloud data from three sample plots. The point cloud data were processed through denoising, resampling, ground point classification, normalization, and individ-

收稿日期:2025-01-16;修回日期:2025-02-27

基金项目:云南省林业调查规划院青年联合会项目“机载激光雷达森林参数反演研究”(2022311026);云南省科技厅科技计划项目(林草联合专项)“云南省桉木等五个主要树种的林分碳计量技术研究”(202404CB090005)。

第一作者:冷鸿天(1993-),男,硕士,工程师。主要从事林业遥感研究。Email:lenghongtian@126.com

责任作者:施凯泽(1993-),男,硕士,工程师。主要从事森林经理研究。Email:463040668@qq.com

ual tree segmentation to extract individual tree heights, which were then validated using field survey data. The results indicated that tree heights extracted from airborne LiDAR achieved high accuracy, exceeding 95%, fully meeting the requirements for practical surveys. During individual tree segmentation for sample trees, the F-score ranged from 70% to 85%. However, segmentation performance using the same parameters varied significantly across different plots, likely due to differences in the distribution characteristics of tree heights and tree morphology. Developing a more universal and accurate airborne LiDAR segmentation model would greatly enhance the inversion accuracy for forest biomass and carbon stock.

Key words: airborne LiDAR; individual tree segmentation; individual tree height; point cloud data

森林是陆地生态系统的重要组成部分,具有固碳释氧、涵养水源等重要生态服务功能^[1]。森林存储了超过 75% 的有机碳,对维护区域生态系统的稳定及全球碳平衡、缓解全球气候变化发挥着不可替代的作用^[2]。2020 年 9 月 22 日,中国国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上提出中国碳达峰、碳中和目标(以下简称“双碳”目标),调查森林生物量及碳储量并及时监测其动态变化,对“双碳”目标的达成具有重要的支撑作用。传统的森林调查方法工作量大,加之云南省地形条件复杂,交通不便,森林资源调查成本极高^[3]。

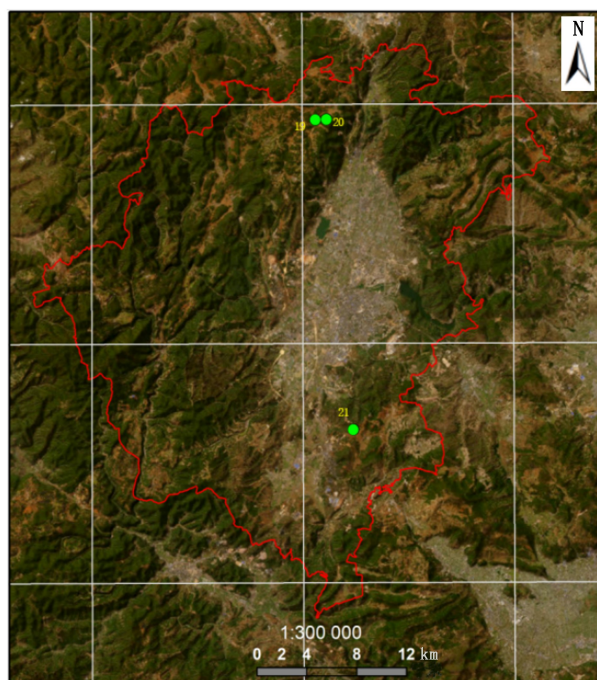
激光雷达(light detection and ranging, LiDAR)是一种主动遥感技术,通过发射激光能量和接收返回信号的方式,获取海量带精确位置信息的点云数据,从而获取高精度的森林空间结构和林下地形信息^[4]。与传统的光学遥感相比,激光雷达不受天气影响,其时效性和对森林结构的穿透性能很好地反映森林结构特征,在森林调查中具有广阔的应用前景^[5]。

森林树高与森林生物量和碳储量相关,通过机载 LiDAR 可以方便地获取单株树木的树高、位置和冠幅等信息,进而反演生物量、碳储量等因子,近年来国内外学者对此进行了大量研究。庞勇^[6]等在山东省泰安市徂徕山林场进行了机载 LiDAR 数据获取和外业测量,结果表明,机载 LiDAR 技术对树高进行估计的精度达 90% 以上,满足调查要求。刘清旺等^[7]在黑河流域获取的机载 LiDAR 点云数据估测了典型树种的树高特征,并建立树高与生物量相关方程进行生物量估算(R^2 为 0.729)。唐佳俊等^[8]在贵州省织金县国有桂花林场建立了包括树高等多个特征变量与单木胸径的相关性模型。

本文拟使用高密度的 LiDAR 点云数据对云南省玉溪市的针叶林和阔叶林进行单木分割,提取单株树高,通过外业样地数据对精度进行验证。

1 研究区域概况

玉溪市红塔区位于云南省滇中腹地,地理位置为 $24^{\circ}08' \sim 24^{\circ}32'N$, $102^{\circ}17' \sim 102^{\circ}41'E$,距省会昆明市 86 km,面积 1 004 km²。红塔区为中亚热带半湿润冷高原季风气候,冬无严寒,夏无酷暑,气候宜人。年均温 17.1℃,年均降雨量 802 mm。红塔区有丰富的森林资源,按面积大小排序前 5 位的主要树种有云南松(*Pinus yunnanensis* Franch.)、栎类(*Quercus* L.)、桉木(*Alnus nepalensis*)、华山松(*Pinus armandii* Franch.)和桉类(*Eucalyptus* spp.)等。2016 年云南省森林资源二类调查结果显示,红塔区森林覆盖率为 60.49%,森林蓄积量为 $379 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[9](图 1)。



图例: 红塔区 ● 样地点

图 1 研究区样地分布

Fig. 1 Distribution of sample plots in the study area

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究使用的野外调查数据采集于 2024 年 5 月。对规格为 25 m×25 m 的 3 个固定样地进行调查,使用围尺测量样地内每株样木的胸径并记录树种,用 RTK 采集每株样木的位置。每个样地抽取 10~20 株不同径阶的样木,使用测高杆测量其树高。经调查统计,研究样地类型分别为以云南松、华山松和桉树为优势树种的纯林,3 个树种在红塔区均有较大面积分布,具有一定的代表性(表 1)。

表 1 固定样地概况

Tab. 1 Overview of sample plots

| 样地号 | 优势树种 | 郁闭度 | 株数/株 | 胸径/cm | 树高/m |
|-----|------|------|------|----------|----------|
| 19 | 云南松 | 0.90 | 79 | 5.7~30.2 | 3.8~18.0 |
| 20 | 华山松 | 0.99 | 75 | 5.8~34.7 | 4.0~22.0 |
| 21 | 桉树 | 0.80 | 69 | 5.6~20.2 | 4.1~15.6 |

胸径可以反映样地中样木的大小规格,对样地的胸径分布进行分析,结果见图 2。

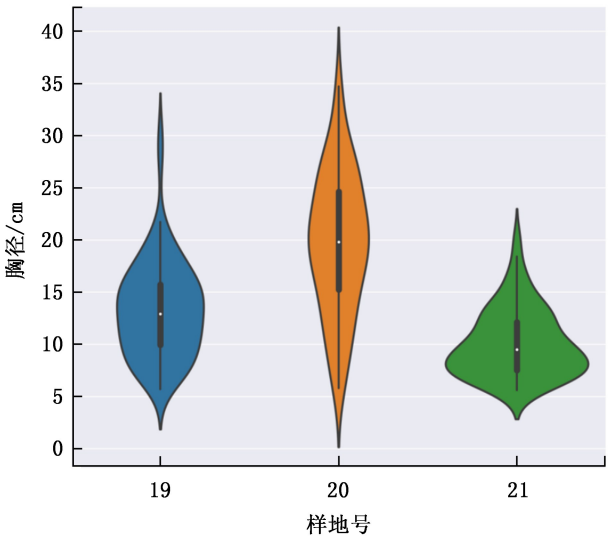


图 2 不同样地样木胸径分布

Fig. 2 DBH distribution of sample trees in different plots

由图 2 可见,19 和 20 号样地林木胸径分布差别较大,其中 19 号样地胸径小的样木较多。考虑到胸径与树高成正相关关系,19 号样地的林木胸径分布较为分散,且存在少数大树遮盖住多株小树的情况;21 号样地林木胸径分布差别较小;20 号样地林

木胸径分布较均匀。

机载 LiDAR 数据采集区域为 3 个固定样地所在地,使用大疆 Matrice 350 RTK 多旋翼无人机搭载禅思 L2 激光雷达传感器获取 LiDAR 数据。无人机飞行高度 100 m,旁向重叠度为 70%,使用仿地飞行进行数据采集。激光雷达脉冲发射频率为 240 kHz,点云平均密度为 120 pts/m²,获取时间为 2024 年 5 月。

2.2 点云预处理

无人机采集的点云数据受天气、仪器和树木晃动的影响,不可避免地存在噪声,需要进行降噪处理。常用的去噪算法包括中值滤波、均值滤波、高斯滤波和基于空间分布的去噪算法(statistical outlier removal, SOR)等,采用的 SOR 通过计算临近点的距离和标准差,距离大于标准差 5 倍的点视为噪点予以删除。

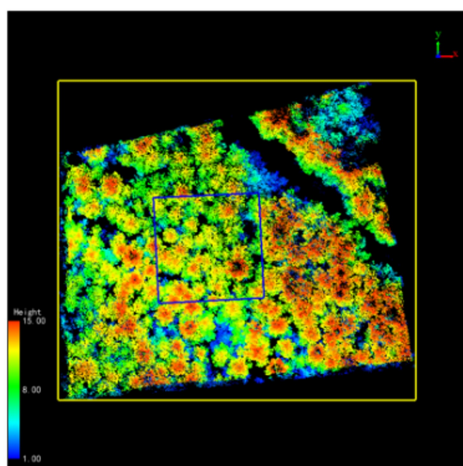
点云数据还包含地面点和植被等地物信息,要对植被进行分析,首先需要对地面点进行分类,并通过地物点云高度减去地面点云高度得到去除地形影响的归一化点云数据。由于数据采集区域位于云南的山区,地形起伏较大,因此采用的地面点分类算法为基于改进加密三角网滤波算法对地面点进行滤波和分类,该算法在点云数据中将树冠最大尺寸作为格网大小,选取格网尺寸的最小值作为起始种子点,通过初始种子点构建稀疏的三角网。遍历所有分类点,计算待分类点到初始三角网顶点的距离、角度,并将计算的距离、角度与设定阈值作比较,如果求算的距离、角度小于设定阈值,则该待分类点为地面点,并加入三角网中,否则为非地面点。通过重复迭代过程,直到所有待分类点分类完毕^[10]。点云归一化后可提取样地的森林参数(图 3)。

2.3 单木分割及单株属性

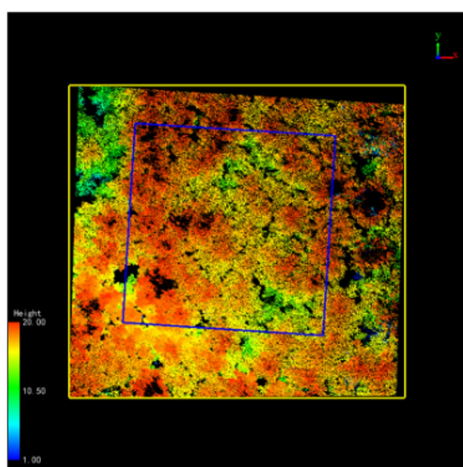
为提取单木参数,需对点云数据进行单木分割。常用的单木分割有分水岭算法、点云聚类算法等,本研究采用的是 LI 等^[11]开发的一种点云分割算法,该算法从种子点(即全局极大值)开始,主要根据间距临界值和最小间距规则,通过对更低的点进行估计,将种子点发展为一个树聚类,从而将每株林木从点云中分出。单木分割后,通过提取最高点和最大半径即可完成树高、冠幅等单株森林参数的提取。

2.4 精度评价

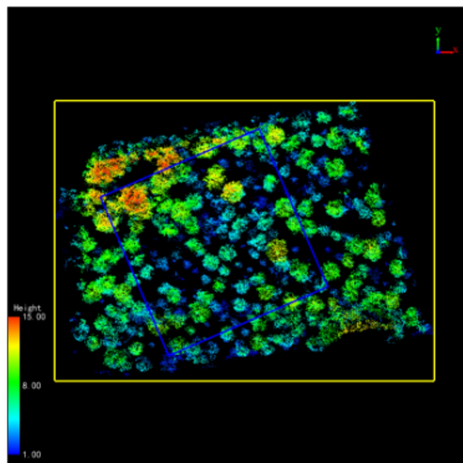
由于在森林中存在树冠重叠、高大乔木与低矮乔木相邻等情况,会使分割算法存在欠分割和过分割情况,为了定量评价单木分割结果的优劣,本研究



(a) 样地19



(b) 样地20



(c) 样地21

图 3 样地点云归一化

Fig. 3 Normalization of point cloud data from sample plots

采用 3 个指标进行衡量^[12],公式分别为:

$$r = \frac{N_t}{N_t + N_o} \quad (1)$$

$$p = \frac{N_t}{N_t + N_e} \quad (2)$$

$$F = 2 \times \frac{r \times p}{r + p} \quad (3)$$

式中: r 为单木探测率; p 为单木探测出的准确率;由 r 与 p 计算得出 F 得分; N_t 、 N_o 、 N_e 分别为正确分割、漏分割和过度分割数量。

将实地调查树高和激光雷达提取树高进行比较,主要评价指标为决定系数 R^2 (coefficient of determination, R^2)、平均误差(Bias)和均方根误差(mean square error, RMSE)^[13],公式分别为:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{n} \quad (5)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n - 1}} \quad (6)$$

式中: y_i 为第 i 棵树的实际树高; x_i 为第 i 棵树的激光雷达提取树高。

3 结果与分析

3.1 样地森林参数的提取

点云归一化后对样地范围内的点云计算森林参数,包括郁闭度、叶面积指数、间隙率、冠层起伏率、高度变量和强度变量等。设置高度阈值为 4 m,消光系数为 0.5,以消除低矮灌木对森林参数提取的干扰。结果显示,各样地的郁闭度与调查的郁闭度高度一致,其中 20 号郁闭度最高,冠层起伏率最高(表 2)。

表 2 样地森林参数

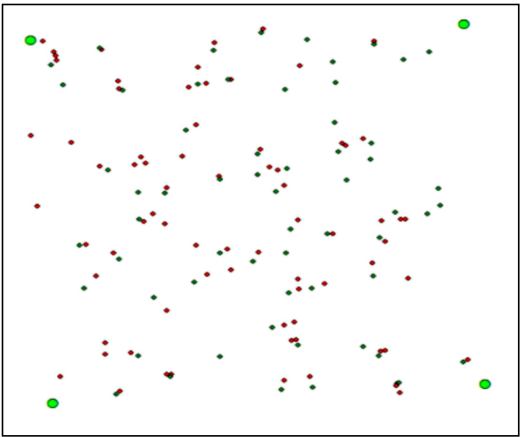
Tab. 2 Forest parameters of the sample plots

| 样地号 | 郁闭度 | 叶面积指数 | 最小高度/m | 最大高度/m | 平均高度/m | 冠层起伏率/% |
|-----|------|-------|--------|--------|--------|---------|
| 19 | 0.91 | 5.56 | 4 | 17.89 | 10.94 | 50 |
| 20 | 1.00 | 13.24 | 4 | 21.91 | 17.65 | 76 |
| 21 | 0.77 | 2.73 | 4 | 16.46 | 8.17 | 33 |

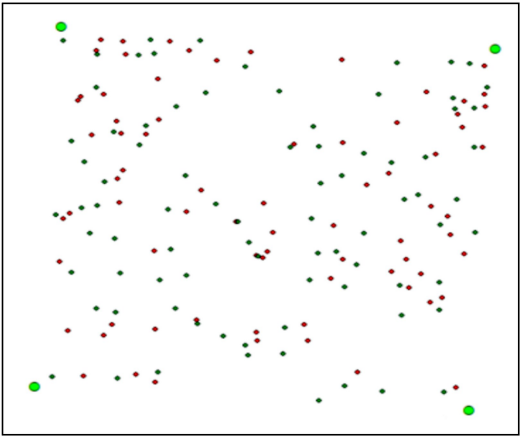
3.2 单木分割

对 3 个样地采用点云分割算法进行单木分割,

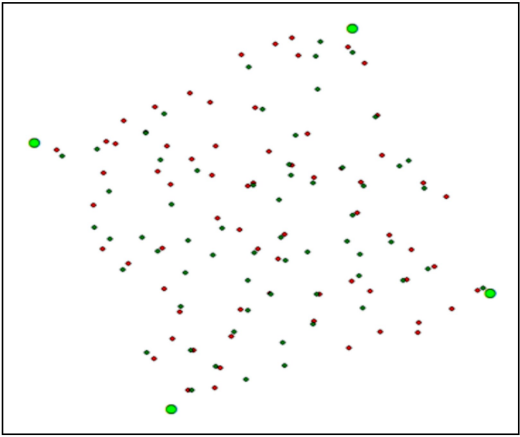
为保证分割方法的普适性与一致性,统一设置相关参数,其中,网格大小 0.3 m,高斯平滑 Sigma 设为 1,半径设为 3 m。分割结果如图 4 所示。



(a) 样地19



(b) 样地20



(c) 样地21

图例
● 边界点 ● 调查样木 ● 分割样木

图 4 实地调查样木与单木分割样木位置对比
Fig. 4 Comparison of locations between field-surveyed trees and segmented trees

由于实地调查单木位置为树干位置,而激光雷达分割的单木位置是树尖位置,两者存在一定误差。本研究使用最小距离法将两个单木位置数据进行连接,并对一对多的连接结果进行人工判定,使单木位置一一对应。分别使用公式(1)~(3)对不同样地单木分割精度进行评价。结果显示,样地 20 分割精度最高,样地 19 分割精度最低(表 3)。

表 3 单木分割结果
Tab. 3 Results of individual tree segmentation

| 样地号 | 调查样木数 | 分割样木数 | 正确分割数 N_t | 漏分割数 N_o | 过度分割数 N_c | 探测率 r | 准确率 p | 得分 F |
|-----|-------|-------|-------------|------------|-------------|---------|---------|--------|
| 19 | 75 | 60 | 47 | 24 | 16 | 0.66 | 0.75 | 0.70 |
| 20 | 75 | 82 | 65 | 10 | 15 | 0.87 | 0.81 | 0.84 |
| 21 | 69 | 62 | 52 | 17 | 9 | 0.75 | 0.85 | 0.80 |

3.3 树高提取

提取正确分割且测量树高的样木,使用公式(4)~(6)对机载 LiDAR 测量的树高精度进行评价。结果表明,机载 LiDAR 提取的树高精度很高, R^2 达到 0.984 4, Bias 仅为 0.464 9 m, RMSE 仅为 0.213 1 m,且每个样地的树高精度均很高(图 5)。

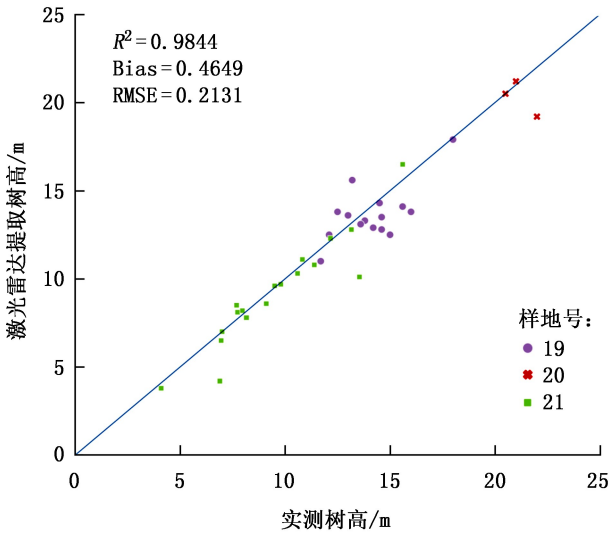


图 5 调查树高与机载 LiDAR 提取树高比较

Fig. 5 Comparison between surveyed tree heights and tree heights extracted from airborne LiDAR

4 结论与讨论

以云南省红塔区为试验区,通过对 3 个样地中的样木进行外业调查,采集树高、胸径、树种和位置

信息,并采集机载 LiDAR 点云数据。应用 LiDAR 360 软件通过去噪、重采样、地面点分类、点云归一化和单木分割等流程处理点云数据,提取单株树高,并用外业调查单木数据进行验证,得出以下结论:

1) 经过实验,不同样地在使用机载 LiDAR 数据进行单木分割时,分割精度受林分结构的影响较大, F 得分在 0.7~0.9 范围不等。对存在问题的样木点云数据进行人工分析发现,受算法的制约,对样地中存在的低矮样木和树冠边界不明显的样木会存在漏分割和错分割情况,对于树冠有多个顶点的样木会存在过度分割情况。从点云数据的分布形态看,20 号样地由于林分郁闭度高(0.99),冠层点云密集,单木分割难度较大,但结果却是分割效果最好。原因在于 20 号样地是华山松纯林,树木大小较为均匀,由于针叶林的生物特征,树冠的起伏准确地反映了树木的分布特征。19 号样地虽然也是云南松纯林,且林分郁闭度略低(0.9),但树木分布较为分散,存在少数大树遮盖住多株小树的情况,导致分割精度最差。21 号样地主要由桉树组成,林分郁闭度低(0.8),主干明显,分割精度较高,但因其中存在一些小树,导致分割时存在漏分割情况。

2) 机载 LiDAR 可很好地估计森林树高信息,单株精度可达 95% 以上,均方根误差仅为 0.2 m,完全满足森林调查要求。传统测量样地树高的方法需要使用测高杆测量多株林木,工作量很大,尤其对于高度超过 20 m 的大树人工测量精度也不尽人意。但机载 LiDAR 在进行单木分割时存在欠分割和漏分割的情况,因此在提取单木树高时存在较大的不确定性,只有在单木分割精度满足要求时,单木树高测量结果才可用。但在林分层面,机载 LiDAR 基本可以代替人工调查林分树高数据。

机载 LiDAR 在森林资源调查中有其独特的优势,对树高的提取精度很高。但云南省树种丰富,林层结构复杂,地形起伏大,机载 LiDAR 在样木尺度反演森林参数时不确定性较大。下一步将使用地基激光雷达采集林下信息,进一步研究机载 LiDAR 对森林参数提取精度的影响,为精准提取奠定坚实基础。

参考文献:

[1] 李杰,刘晓彤,高金萍,等. 基于机载激光雷达点云数据

的海南主要树种蓄积量反演[J]. 林草资源研究,2024(3):25-32.

- [2] TIAN L, WU X, TAO Y, et al. Review of remote sensing-based methods for forest aboveground biomass estimation: Progress, challenges, and prospects[J]. Forests, 2023, 14(6):1086.
- [3] 冷鸿天,岳彩荣. 基于光学遥感联合 GEDI 反演森林蓄积量研究[J]. 西部林业科学,2024,53(4):145-153.
- [4] 李增元,刘清旺,庞勇. 激光雷达森林参数反演研究进展[J]. 遥感学报,2021,20(5):1138-1150.
- [5] 黄冰倩,曹霸,岳彩荣,等. 基于机载激光雷达技术的山区针叶林单木分割方法研究[J]. 中南林业调查规划,2024,43(3):34-39,48.
- [6] 庞勇,赵峰,李增元,等. 机载激光雷达平均树高提取研究[J]. 遥感学报,2008(1):152-158.
- [7] 刘清旺,李增元,陈尔学,等. 机载 LiDAR 点云数据估测单株木生物量[J]. 高技术通讯,2010,20(7):765-770.
- [8] 唐佳俊,柴宗政,赵中文. 基于机载激光雷达数据与机器学习算法的单木胸径遥感估测[J/OL]. 广西科学,1-13. (2024-08-26) [2025-01-16]. <https://doi.org/10.13656/j.cnki.gxkx.20240826.001>.
- [9] 云南省林业厅. 云南省森林资源调查报告(2016 年)[M]. 昆明:云南科技出版社,2017.
- [10] ZHAO X, GUO Q, SU Y, et al. Improved progressive TIN densification filtering algorithm for airborne LiDAR data in forested areas[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2016, 117:79-91.
- [11] LI W, GUO Q, JAKUBOWSKI M K, et al. A new method for segmenting individual trees from the lidar point cloud[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2012, 78(1):75-84.
- [12] GOUTTE C, GAUSSIER E. A probabilistic interpretation of precision, recall and F-score, with implication for evaluation [C]// European conference on information retrieval. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005: 345-359.
- [13] SOKOLOVA M, JAPKOWICZ N, SZPAKOWICZ S. Beyond accuracy, F-score and ROC: A family of discriminant measures for performance evaluation [C]// Australasian joint conference on artificial intelligence. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006: 1015-1021.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.002

云南省森林认证现状分析与可持续发展路径探究

尹 玉, 魏雪峰

(云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要: 聚焦森林认证领域, 系统梳理云南省森林认证的发展现状, 深入剖析其发展趋势、成效与挑战, 并探索可持续发展路径。研究表明, 云南省森林认证在促进森林可持续经营、增强林产品市场竞争力等方面已取得阶段性成果, 但仍面临认证意识薄弱、政策支持力度不足、标准适配性欠佳、认证成本偏高等问题。从完善政策体系、构建市场驱动机制、加强能力建设及推进认证试点等维度, 提出针对性解决方案, 旨在为云南省森林认证实践提供理论参考与实践借鉴, 助力云南林业可持续发展和生态文明建设。

关键词: 森林认证; 林产品; 认证领域; 可持续发展; 云南省

中图分类号: S758.8; F326.23; X22 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2026)01-0007-07

引文格式: 尹玉, 魏雪峰. 云南省森林认证现状分析与可持续发展路径探究[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 7-13. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.002

YIN Yu, WEI Xuefeng. Forest Certification Status and Exploration of Sustainable Development Pathways in Yunnan Province [J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 7-13. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.002

Forest Certification Status and Exploration of Sustainable Development Pathways in Yunnan Province

YIN Yu, WEI Xuefeng

(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: This study focused on the field of forest certification, systematically reviewed the development status of forest certification in Yunnan Province, thoroughly analyzed its development trends, effectiveness, and challenges, and explored pathways for sustainable development. The research indicated that forest certification in Yunnan had achieved phased results in promoting sustainable forest management and enhancing the market competitiveness of forest products. However, the forest certification still faced issues such as weak certification awareness, insufficient policy support, poor standard applicability, and high certification costs. Targeted solutions are proposed from the perspectives of improving the policy system, constructing a market-driven mechanism, strengthening capacity building, and promoting certification pilots. The study aims to provide theoretical reference and practical insights for forest certification practices in Yunnan Province, thereby contributing to the sustainable development of forestry and ecological civilization construction in Yunnan.

收稿日期: 2025-07-31; 修回日期: 2025-09-25

第一作者: 尹玉(1976-), 女, 高级工程师. 主要从事林业调查规划、森林资源管理与森林经营研究. Email: 22700850@qq.com

责任作者: 魏雪峰(1974-), 男, 高级工程师. 主要从事森林资源管理、森林经营研究. Email: 296565014@qq.com

Key words: forest certification; forest products; certification field; sustainable development; Yunnan Province

森林作为地球生态核心与战略经济资源,其可持续经营是平衡生态、社会与经济效益的关键。森林认证作为一种促进森林可持续经营的市场机制,已经成为保护和利用森林资源^[1],充分发挥森林生态、社会 and 经济效益的有效措施之一,受到多数国家及贸易组织的认可和支持,并在全球范围内得到了广泛推广和实践,成为林产品国际贸易“通行证”^[2],在遏制非法采伐、保护生物多样性等方面发挥核心作用。我国引入森林认证体系后,已构建制度框架与标准体系,试点推广成效显著。

云南是西南地区森林资源最富集、生物多样性最突出的省份。作为长江上游生态安全屏障与全球生物多样性保护重点区域,云南的林业产业不仅维系着千万林农的生计,是边疆民族地区发展的重要支撑,更在跨境生态合作与林产品贸易中占据特殊地位。开展森林认证,既是推动云南森林资源从粗放向可持续经营转型、助力“双碳”目标的生态抓手,也是提升林产品国际竞争力、突破绿色贸易壁垒、促进乡村振兴的经济路径,更能服务“一带一路”绿色倡议,深化区域合作。当前,云南森林认证处于起步阶段,面临市场认知不足、政策体系不完善、资源优势转化效率偏低等现实挑战。基于此,深入剖析云南省森林认证现状,系统梳理制约因素,探索可持续发展路径^[3],为完善政策激励、促进市场驱动、优化实践模式提供理论与现实支撑。

1 森林认证的全球趋势与国内实践

森林认证是国际公认的促进森林可持续经营(sustainable forest management, SFM)的重要工具,通过第三方独立评估确保森林经营符合生态、社会与经济平衡原则。自 20 世纪 90 年代以来,森林认证发展迅速,已形成成熟框架,核心聚焦三大方向:(1)认证体系的生态有效性评估,证实其在遏制非法采伐、维护生物多样性中的关键作用;(2)开展市场机制运行研究,重点分析认证对林产品溢价形成、绿色贸易壁垒突破产生的影响;(3)构建多利益相关方协同机制,探讨政府、企业、非政府组织在标准落地中的角色适配问题。实践层面,作为国际上最具影响力的两大森林认证体系:森林管理委员会(forest stewardship council, FSC)和森林认证认可计

划(programme for the endorsement of forest certification schemes, PEFC)^[4],已实现全球覆盖,形成“标准统一化、评估市场化、合作国际化”的发展趋势。

2014 年中国森林认证体系(China forest certification scheme, CFCS)与 PEFC 成功互认^[5],CFCS 正式与国际接轨。该体系在非木质林产品、竹林经营、自然保护区、生产经营性珍贵濒危物种认证领域已处于国际领先行列,受到广泛关注。目前,中国森林认证委员会(China forest certification council, CFCC)已得到 39 个国家的认可,认证领域 7 个,现行国家标准 7 项,行业标准 28 项,国家林业和草原局已在全国 20 余个省市开展了森林认证试点活动。截至 2024 年底,全国累计 CFCC 认证面积 1 200 万 hm²,其中,森林经营(forest management, FM)认证面积近 603 万 hm²;颁发 CFCC 认证证书 1 000 余份,其中产销监管链(chain of custody, CoC)认证企业 359 家,野生动物饲养管理(wildlife husbandry and management, WHM)认证企业 15 家,非木质林产品(non-wood forest products, NWFP)认证企业 85 家,生产经营性珍稀濒危植物(artificial planted endangered species of plants, EP)认证企业 5 家,森林生态环境服务(forest eco-environment services, FES)认证企业 2 家^[6];七大类 40 多种林产品实现“贴标”上市^[5],为社会提供了可信赖的可持续产品,获证单位在获得国际认可的同时取得了较好的市场 and 经济效益,有效促进了森林可持续经营。截至 2021 年底,国家认证认可监督管理委员会(CNCA)共批准森林认证机构 32 家,其中通过中国合格评定国家认可委员会(CNAS)认可 11 家,经中国认证认可协会(CCAA)注册森林认证审核员超过 500 名^[6]。

2 云南省森林认证现状

2.1 林业资源情况

云南地处我国西南边陲,北回归线横贯南部,与缅甸、老挝、越南接壤,边境线长达 4 060 km,土地总面积约 39.41 万 km²,占全国陆地总面积的 4.1%,居全国第 8 位^[7]。云南省统计局数据显示,2023 年全省森林蓄积量 21.44 亿 m³,森林覆盖率达 55.25%,居全国前列。云南森林类型多样,涵盖热带季雨林、

亚热带常绿阔叶林、温带针阔混交林及寒温性针叶林等主要类型,动物和植物种类均居全国首位^[8],是中国乃至世界生物多样性集聚区和物种遗传基因库^[9]。根据《2024 年中国自然资源公报》统计,云南省林地面积 2 479. 76 万hm²,森林面积 2 118. 14 万hm²,均居全国第二;乔木林地面积 2 102. 77 万hm²,居全国第一。

2.2 森林认证发展与实践

在国际贸易中,森林认证已成为林产品的绿色通行证。在此背景下,云南森林认证发展空间潜力巨大,凭借其优越的森林资源条件与独特的区位优势,开展森林认证能够有效衔接国际标准,加速林业国际化进程^[10],实现生态保护与经济协同共发展。云南的森林认证主要遵循国际主流认证体系,包括 FSC 认证、PEFC 认证和 CFCC 认证。自 1998 年腾冲县 5 个国有林场推广森林认证体系并进行高保护价值森林判定以来,随着政府、企业和社会各界的共同努力,云南省在森林认证方面取得了显著进展,越来越多的森林经营单位和木材加工企业开始申请并获得森林认证。2013 年石屏县林业局牛达林场列入国家林业局森林认证试点^[11],成为云南省首个国家级森林认证试点单位。2020 年国家林草局启动了首批天然林保护修复认证实践项目,普洱市卫国林业局被列为全国首批两个试点单位之一,2022 年 10 月该局成为云南省首个通过“FM+CoC”双认证的企业,实现生态与经济效益双提升。此外,为解决小型、家庭和社区森林所有者存在的认证阻碍,降低单个成本,提高认证效率和质量,云南省对联合认证也进行了积极的探索。

通过案例调研与 CFCC 网站数据整合,截至 2024 年,云南省森林认证面积 36. 34 万hm²,森林认证企业 22 家,涉及森工局、国有林场、企业及合作社等(表 1)。

表 1 云南省森林认证企业面积与数量
Tab.1 Area and quantity of forest certification enterprises in Yunnan

| 分类 | 面积/万hm ² | 数量/个 |
|------|---------------------|------|
| 森工企业 | 6. 83 | 1 |
| 国有林场 | 8. 85 | 6 |
| 企业 | 20. 63 | 14 |
| 合作社 | 0. 03 | 1 |
| 合计 | 36. 34 | 22 |

2.3 认证领域及产品

截至 2024 年,云南省通过森林认证林地主要分布在普洱、保山、德宏、临沧、西双版纳等州市。按照森林认证体系来分,获得 FSC 认证企业 10 家,认证面积 11. 60 万hm²,占 31. 9%;CFCC 认证企业 12 家,认证面积 24. 74 万hm²,占比 68. 1%。认证领域涵盖 FM 认证、CoC 认证、NWFP 认证、FES 认证和 WHM 认证等。部分企业同时进行了多领域认证,涉及天然林、人工林等多种森林类型,树种包括松类、桉类、杉木、西南桦、橡胶等。云南森林认证企业在认证领域比重最大的是 FM 认证,占比 53. 57%,其次是 CoC 认证,占比 25%(图 1)。

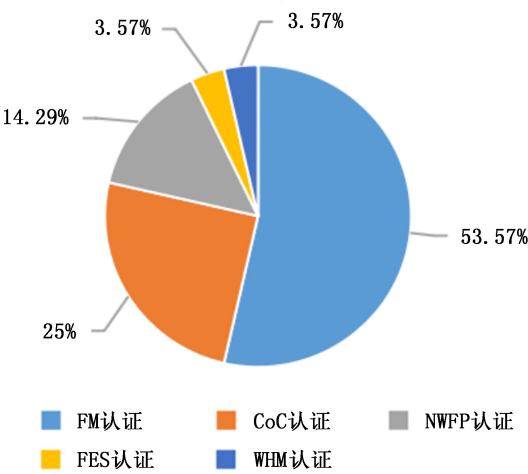


图 1 云南省森林认证领域企业占比
Fig.1 Proportion of enterprises in the forest certification field in Yunnan

产品方面,云南省森林认证产品已从最初的木材原料扩展到家具、纸制品、林下产品等多个领域。认证产品有木材、茶叶、林果、林下经济作物等,特别是对 NWFP 认证进行了有益的探索,腾冲市高黎贡山生态茶叶有限责任公司成为首家通过中国森林认证的普洱茶生产企业。通过认证企业不断发展,逐步形成企业集群,构建起从森林经营到产品加工的完整产业链体系,不仅提升了森林产品的附加值和市场竞争能力,也为当地经济发展和农民增收创造了条件,促进了云南省的森林可持续经营。

2.4 森林认证趋势变化分析

统计研究显示,2014—2024 年云南森林认证总面积从 8. 85 万hm² 增长至 36. 34 万hm²,11 年间总增长了 27. 49 万hm²,年均增长率为 37. 5%;认证单位数量由 5 个增至 22 个,较原数量增长 3. 4 倍,认证面积与认证单位数量增长均呈上升态势(图 2)。

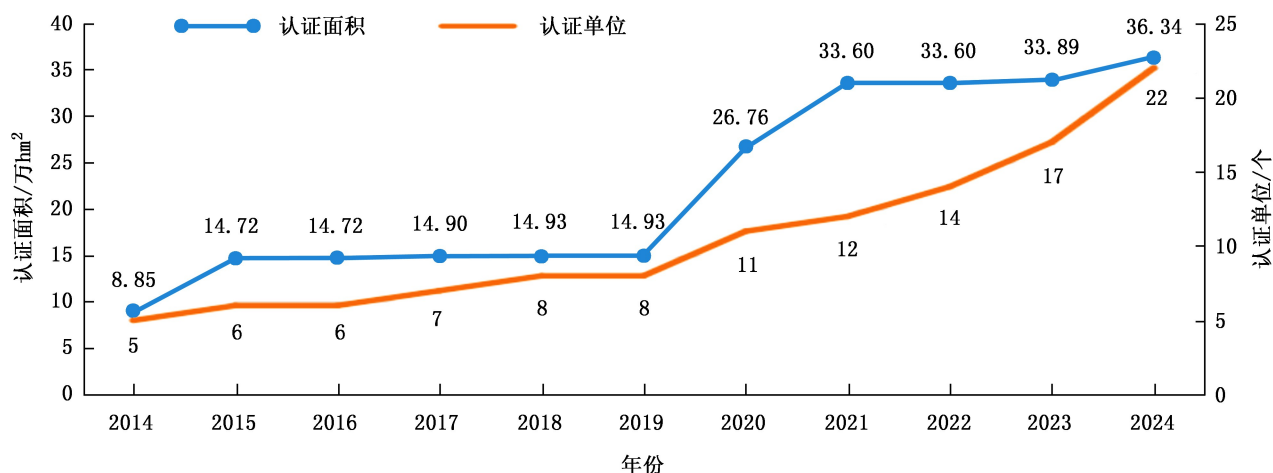


图 2 云南省森林认证面积与认证单位数量变化趋势

Fig. 2 Change trends of forest certification area and enterprises quantity in Yunnan

经对比分析,2014—2019 年认证面积和企业数量发展缓慢,主要受认知不足、森林经营管理水平较低以及认证成本过高等因素影响。随着云南省林业产业快速发展,2020 年开始森林认证面积和企业数量呈现快速增长,FM 认证、CoC 认证增长趋势显著,特别在 NWFP 认证方面有了新突破,多家企业进入国际市场,彰显云南省对森林可持续经营的重视,森林认证体系不断完善。未来,随着持续优化政策,强化市场引导,有望进一步扩大认证规模,提升森林经营的规范化、可持续化水平,助力生态与经济效益双赢。

2.5 森林认证驱动价值

2.5.1 森林可持续经营水平提升

通过森林认证,云南省林业经营主体按照可持续经营标准进行森林培育、采伐和管理,有效提高了森林资源质量和生态功能。发挥森林经营单位和林业企业的积极性和主动性,以科技为依托,实施高集约经营,完善规划和建立森林经营档案,可以监督、检验森林经营实践^[12],促进森林资源的可持续开发和利用。例如,普洱市卫国林业局试点项目围绕认证标准适应性、修复效果评价等展开,建立试验示范林与监测样地,探索认证与生态修复的协同机制。森林经营管理、人造板生产经营管理水平得到显著提升,推进了云南省天然林保护与修复认证实践并形成示范,构建起良性互动的生态建设平台和林产加工业发展平台,为提升森林生态系统服务功能提供可推广模式。

2.5.2 林产品市场竞争力增强

森林认证不仅给林产品标上“合法性”和“可持

续性”标签,还能促进林业企业采用先进的经营和加工技术,提高林产品的市场竞争力^[13],为林产品进入国际市场奠定坚实的基础。云南省一些认证林产品成功进入国际市场,例如云景林纸股份有限公司的产品出口到欧洲多个国家,为企业带来了可观的经济效益。普洱市卫国林业局获得森林认证证书后,生产的木材及人造板可加载 CFCC 和 PEFC 联合标识,标志着其生产的木材和人造板获得了 40 余个 PEFC 成员国的认可,为通过中国绿色评价体系奠定了基础。这些获得认证的林产品在市场上具有更高的信誉度和附加值,能够满足国内外消费者对可持续林产品的需求,带动地区经济发展。

2.5.3 社会经济效益显著

森林认证带动当地就业,促进山区经济发展,提高林农经济收入。在森林认证项目实施过程中,森林经营、认证审核等工作需要大量劳动力,为当地居民提供了就业机会。同时,认证林产品的价格优势也使得农民能够获得更高收入。例如,云南腾冲高黎贡山生态茶业有限责任公司的 318.33 hm² 茶园通过 CFCC 的 NWFP 认证后,凭借认证所赋予的生态品质背书与市场准入优势,产品竞争力及附加值显著提升,进而推动国内外市场份额的扩大。这一过程不仅直接促进了认证区域林农的增收致富,更通过产业链的联动效应,为乡村可持续发展提供了实践路径。

2.5.4 巩固林权制度成效

森林认证的实施为提升生产组织化程度与降低生产成本开辟了新路径。在云南省已完成集体林改的区域,以林农或林业新型合作组织为纽带,组织农

户开展联合(或集体)认证,不仅能够提高森林经营效率和风险抵御能力,还能拓展林产品销售市场,这对于巩固改革成果、提升改革成效而言意义重大^[13]。例如,德宏州对联合认证进行了积极探索,2023—2024年期间,德宏木泽铭华工贸有限公司联合陇川县勐宛林业发展有限责任公司、陇川县林业大户共23个成员单位,梁河县8个乡镇共50个成员单位,开展了FSC森林认证,认证林地总面积达1.65万hm²。这种认证方式允许多个小型森林所有者共同申请认证,从而提高了认证效率,降低了认证成本。从林农的切实利益考量,尽可能降低单个林主或认证主体的认证成本,调动林主的认证积极性,从而推动森林认证在云南省集体林区的发展^[14]。

3 云南省森林认证存在的问题

3.1 社会认知度偏低,市场内生需求乏力

目前,云南省森林认证面积仅占全省森林面积的1.72%,认证工作仍处于探索阶段,面临认知局限与市场动力不足的双重制约。一方面,森林经营主体及社会公众接触认证信息的渠道有限,对森林认证的标准内涵、生态价值及长效效益认知模糊,参与意愿普遍偏低。另一方面,市场需求端动力匮乏,消费者对森林认证产品的认知度较低,未能形成稳定的绿色消费偏好,且认证产品的溢价优势不显著,企业投入认证成本后难以获得预期收益,导致市场供需两端均未形成有效驱动。此外,认证产品推广体系的不完善与政策激励机制的缺失,进一步削弱了市场主体的参与意愿,成为制约森林认证体系在云南深入推进的重要瓶颈。

3.2 缺乏政策支持,认证动力不足

国家林草局多次发布支持森林认证的政策,但具体的鼓励政策和激励措施仍显不足^[1]。云南省同样存在类似问题,在政策执行力度、资金扶持等方面还存在不足,缺乏对认证企业的税收优惠等激励措施,也未建立针对认证机构、从业者的专项扶持机制,难以调动各方参与积极性,无法为森林认证体系的健康发展提供有力支撑。政策的不完善制约了森林认证的进一步发展,使云南森林认证体系难以实现规模化地可持续发展。

3.3 认证成本高,覆盖范围受限

森林认证程序繁琐,需经历现场勘查、文件审核、专家评审等多环节,国际认证体系标准执行严格,企业需在设备更新、人员培训、第三方审核及长期监测评估等方面投入大量资金。在一个认证周期

内,森林认证成本可达数十万至上百万,且每5年需要复审,高成本与长回报周期显著削弱了企业积极性,例如文山州某林场因资金压力放弃续审。受成本制约,认证范围主要集中在少数大型林业企业,大量分散经营的集体林、混农林被边缘化。此外,云南地形复杂,部分偏远林区交通不便,增加实地认证的人力与时间成本,限制了森林认证在全省的全面推广与深度覆盖。

3.4 认证标准适配度低,落地执行困难

云南森林认证深陷标准适配与执行双重困境,其核心是通用标准与区域特质的系统性脱节。国际主流标准(FSC、PEFC)以欧美规模化林场为蓝本,对森林经营的规模化、规范化程度要求极高,而集体林权制度下云南大部分林地由农户分散经营,企业为达标投入的整改成本远超收益,部分投入甚至对目标实现作用有限,显著增加认证难度^[15]。国内CFCC标准虽兼顾国情,但其“全国通用性”的定位导致针对性不足,缺乏小农户“轻量化”模块,“林+药”“林+菌”等复合经营生态判定无指引,对热带与亚热带林的差异化评估、特色物种及生态过程的考量缺失,指标仍笼统粗放。在执行环节,林农与企业对专业条款理解不畅,操作难度大;生态保护措施的标准与实际脱节,如特殊生境植被恢复的要求缺乏可操作性,企业反复整改既费钱又耗时,最终导致认证推进缓慢。

4 可持续发展路径探索

4.1 强化政策引导与顶层设计

4.1.1 完善政策支持体系

云南省森林认证发展亟需政策支持与精准施策。设立专项补贴资金,按认证面积或实际认证费用对林农、企业给予直接补贴,对取得认证且成效显著的企业给予资金奖励与荣誉表彰;针对培训组织、技术指导等关键环节制定专项扶持政策。借鉴先进经验推出税收优惠,如认证企业税收减免15%等。可深化与金融机构的协同,开发专属信贷产品,为认证主体提供低息、长期贷款,帮助缓解资金周转难题。引导国际合作,助力企业接轨国际标准。同时,定期评估政策实施效果并动态优化,确保政策切实贴合认证实际需求,为全省森林认证提供坚实政策保障。

4.1.2 加强宣传与培训

加强对森林认证的宣传推广,提高消费者对森林认证的认知度和认可度。通过举办宣传活动、开

展科普教育、利用媒体平台等方式,向公众普及森林认证知识,引导消费者购买认证林产品。通过林草科技推广服务普及认证知识培训,提升基层经营主体实操能力。同时,加快高素质森林认证队伍的建设,鼓励相关科研单位积极开展森林认证基础性研究,推进森林认证进程^[12]。

4.1.3 推动产业与认证深度融合

发展认证驱动型产业是推动云南森林认证规模化重要路径,可优先聚焦林下经济、木本油料、森林康养等优势领域,通过认证赋予产品生态标签,以此提升附加值。从现有产业基础看,2023 年云南林业产业总产值达 4 588 亿元,其中二、三产业占比分别为 23.81% 和 24.26%,森林认证在推动产业升级中具备巨大拓展空间^[16]。以森林康养产业为例,2024 年云南提出“全域全季发展森林康养”战略,若能通过认证强化其生态公信力,将有效助力打造高端品牌。在夯实产业认证基础后,还可凭借云南得天独厚的自然条件与区位优势,依托中国—东盟自由贸易区、泛珠江三角区域经济合作等平台,深化双边及多边林业经济合作。

4.1.4 融合国际标准与地方特色

云南省需构建国际标准与地方实际兼容的森林认证体系。可参考 FSC 等国际标准核心框架,结合云南特有生态系统优化指标,如在西双版纳热带雨林认证中增设亚洲象栖息地保护指标,在滇西北高山林认证中增加红豆杉等珍稀物种监测要求。借鉴墨江县橡胶林认证经验,将傣族、哈尼族传统林业智慧纳入经营规范,如“刀耕火种”改良的轮歇模式可作为可持续管理案例。同时建立标准转化机制,如腾冲市企业通过国际认证时,同步制定符合云南中小林农的简化实施指南,既保障国际互认,又降低执行门槛,让标准既与国际接轨,又充分考虑国内实际情况。

4.2 构建市场驱动体系

4.2.1 激活内需市场

针对森林认证产品需求不足的现状,需强化政府引导与市场培育双轮驱动。可参考墨江橡胶制品溢价经验,在昆明、大理等城市设认证产品专柜,联动电商平台开设“云南认证森林好物”专区,同时发挥政府采购的杠杆作用,将认证林产品纳入绿色采购清单,明确政府部门、事业单位采购认证木材、纸制品等产品的比例,并对执行绿色采购的民间组织给予 30% 费用补贴。推动“一县一品”模式,打造区域特色森林认证品牌集群^[17],建立“碳汇+认证”联

动机制,鼓励企业采购认证木材以抵消碳足迹。通过政策引导激活内需后,支持企业以认证资质参与国际竞标,形成“内需筑基、外需拓维”的市场格局。

4.2.2 发展联合认证,降低认证成本

云南省森林经营单位可通过发展联合认证有效降低成本。建议由政府与行业协会搭建协作平台,整合区域认证资源,减少重复审核,并提供认证补贴,激励企业与林农参与。依托团体认证模式,将分散的集体林、小片森林联合为统一经营单位,以规模化降低个体认证费用。联合认证不仅能共享信息、技术资源,提升经营水平,还能避免资源重复投入,切实减轻林农负担,契合集体林权改革后的经营现状,有力推动森林认证在云南集体林区的发展。

4.2.3 拓展国际合作与区域协作

依托云南面向南亚东南亚的区位优势,可重点深化森林认证国际协作与区域联动。与老挝、缅甸等国家共建跨境认证示范区,推动检测标准与管理规范互认,简化边贸林产品通关流程,以此降低木材跨境贸易认证成本。在国际市场拓展上,引入欧盟、东盟采购商参与认证产品推介会,借鉴腾冲企业出口经验,助力认证林产品融入国际供应链,推动其进入欧盟、北美市场。同时,加强与国内林草大省的协同合作,共享认证技术资源与市场渠道,构建“区域联动、国际互认”的合作网络,为云南森林认证发展拓宽空间。

4.3 加强能力建设与认证试点

4.3.1 提高企业经营管理水平

提高企业经营管理水平是森林认证落地的核心支撑。可引导林业企业以认证标准为管理标杆,建立覆盖种植、采伐、加工全链条的质量管理体系,将生态保护指标纳入生产考核机制。同时,鼓励企业引入数字化管理工具,对林地资源、生产流程及产品溯源实行可视化监控,建立全流程追溯机制,提升供应链透明度与认证合规效率。支持行业协会组建人才实训基地,定期开展国际标准解读、供应链管理等专题培训,每年至少组织 2 次跨企业经验交流会,强化利益相关方协同治理,提升管理团队专业能力,实现生态与经济效益平衡,为认证落地及参与国际竞争筑牢根基。

4.3.2 积极开展森林经营认证试点

全力推进森林认证试点建设,需以扩大认证范围与科学布局为基础。优先选择普洱、西双版纳等林业基础好、产业集聚度高的区域,科学筛选具代表

性的森林经营主体进行认证规划,将更多林业经营单位纳入其中;强化国际合作与科研支撑,加强与国际森林认证组织合作^[18],大力支持科研院所开展认证科研及推广工作^[5],每年支持3~5家国有林场开展认证试点,对非木质林产品、森林生态环境服务等领域特色认证模式给予政策扶持并积极探索;试点中突出森林经营方案核心地位,依据《森林法》与认证标准,指导编制并严格执行适时、有效、科学的方案。同时建立动态监测机制,跟踪生态效益与经营效率变化,总结可复制的“认证—管理—效益”联动模式,为全省推广积累实践经验。

5 结 论

森林认证对云南森林可持续经营意义重大,不仅能提升森林经营管理水平、巩固林权制度成效、增强林产品市场竞争力,带来显著社会经济效益,还能有效促进森林经营方案实施与《森林法》等法律法规落实,成为实现生态产品价值的有效路径。研究表明,近年来云南省森林认证单位和面积持续增长,但认证面积仅占全省森林面积的1.72%,仍面临认证成本高、标准适配不足、市场机制不完善、企业能力薄弱等挑战,市场发展潜力巨大。未来需以“政策引导—标准适配—市场驱动—能力提升—认证试点”为路径,完善政策支持体系,融合国际标准与地方特色构建兼容认证体系,协同激活内需市场与拓展国际合作,加快联合认证探索,推动森林认证成为云南林业生态保护与产业升级的重要抓手。

参考文献:

- [1] 邓坦,邓照东. 森林认证在河南的实践与应用分析:以欧洲投资银行贷款河南珍稀优质用材林可持续经营项目为例[J]. 林业建设,2020(6):55-58.
- [2] 冯超. 黄丰桥国有林场森林经营认证评价研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2010.
- [3] 刘芳,邹再进. 云南省森林康养基地建设对策探究[J]. 林业建设,2022(1):29-32.
- [4] 王璟,吴智慧. 基于可持续发展的我国家具产业绿色认证机制探析[J]. 林业科技开发,2013,27(4):5.
- [5] 李晟,牟延惠,山昌林,等. 森林认证发展现状、效益及建议[J]. 吉林林业科技,2020,49(3):38-42.
- [6] 中国森林认证发展中心. 中国森林认证官网[EB/OL]. (2024-12-31)[2025-07-15]. <https://www.cfcc.org.cn>.
- [7] 杨秋益,许彦红. 森林认证与云南省林业发展探析[J]. 现代农业科技,2018(3):164-165.
- [8] 云南省自然资源厅. 云南省国土空间规划(2021—2035年)[EB/OL]. (2024-10-23)[2025-06-18]. <https://dnr.yn.gov.cn>.
- [9] 李亚强. NDVI 和 EVI 的云南省植被覆盖变化比较分析[J]. 现代化农业,2021(9):38-40.
- [10] 杨荣飞,李国峰. 森林认证的意义[J]. 云南林业,2014(2):69-70.
- [11] 杨秋益,许彦红. 森林认证在云南国有林场的发展因素分析及建议[J]. 林业调查规划,2018,43(3):163-167.
- [12] 李地雄,郭霞. 海南省森林认证现状与发展对策[J]. 热带林业,2014,42(3):13-16.
- [13] 贺爱珍. 浅谈山西省森林认证[J]. 山西林业科技,2012,41(4):49-51.
- [14] 刘丹萍,许瑶瑶,张硕,等. 南方集体林区森林经营联合认证实践应用分析[J]. 林业经济问题,2019,39(6):578-583.
- [15] 徐斌. 森林认证对森林可持续经营的影响研究[M]. 北京:中国林业出版社,2014.
- [16] 国家统计局. 中国林业和草原统计年鉴 2023[M]. 北京:中国统计出版社,2023.
- [17] 李家璇,彭志远. 森林经营认证比较及中国森林认证发展策略研究[J]. 西部林业科学,2025,54(3):136-145.
- [18] 蒋敏元,伊铭,李继军. 推进我国森林认证的若干思考[J]. 林业经济问题,2003,23(6):319-322.

责任编辑:杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.003

元宝山冷杉种苗质量分级标准研究

蒋昊龙¹, 唐小华², 蒋忠林³, 邹 蓉¹, 盘 波¹, 唐健民¹, 韦 霄¹, 丁 涛¹

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西 桂林 541006; 2. 全州县农业农村局, 广西 桂林 541500;
3. 全州县林业科技推广站, 广西 桂林 541500)

摘要: 为研究元宝山冷杉不同生长阶段的生长特性和根系发育状况, 对 5 年和 10 年生元宝山冷杉种苗的株高、地径、冠幅、主根长、主根粗、全株鲜重和根鲜重 7 个生长指标进行测量和统计分析, 采用主成分分析和聚类分析方法, 筛选出影响种苗生长的重要指标并确定分级标准。根据所有样本聚类分析结果的最终聚类中心, 制定适用于不同栽培环境的种苗质量分级标准: 依据关键生长指标将 5 年和 10 年生元宝山冷杉种苗质量分为高质量、中等质量和低质量 3 个等级。针对不同树龄各生长指标间的差异显著性进行讨论, 并提出对不同质量的种苗采取差异化的管理措施。

关键词: 元宝山冷杉; 种苗质量; 分级标准; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S723.4; S791.14 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2026)01-0014-06

引文格式: 蒋昊龙, 唐小华, 蒋忠林, 等. 元宝山冷杉种苗质量分级标准研究[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 14-19. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.003

JIANG Haolong, TANG Xiaohua, JIANG Zhonglin, et al. Seedling Quality Grading Standards of *Abies yuanbaoshanensis* [J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 14-19. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.003

Seedling Quality Grading Standards of *Abies yuanbaoshanensis*

JIANG Haolong¹, TANG Xiaohua², JIANG Zhonglin³, ZOU Rong¹, PAN Bo¹,
TANG Jianmin¹, WEI Xiao¹, DING Tao¹

(1. Guangxi Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi 541006, China;
2. Agricultural and Rural Bureau of Quanzhou County, Guilin, Guangxi 541500, China;
3. Forestry Science and Technology Extension Station of Quanzhou County, Guilin, Guangxi 541500, China)

Abstract: To investigate the growth characteristics and root system development of *Abies yuanbaoshanensis* at different growth stages, the height, basal diameter, crown width, taproot length, taproot thickness, fresh weight of the whole plant, and fresh weight of roots were measured and statistically analyzed for 5-year-old and 10-year-old seedlings. Principal component analysis (PCA) and cluster analysis were employed to identify key growth indicators and determine the grading standards. Based on the final cluster centers of all samples, seedling quality grading standards suitable for different cultivation environments were established. According to key growth indicators, the quality of 5-year-old and 10-year-old *Abies yuanbaoshanensis* seedlings was categorized into high, medium, and low grades. Significant differences among the growth indicators across different ages were discussed, and differentiated management measures for seedlings of varying quality were proposed.

收稿日期: 2024-09-25; 修回日期: 2024-11-28

基金项目: 广西植物研究所学科发展基金项目 (桂植发 030); 广西林业科技推广示范项目 (桂林科学[2022]GT23)。

第一作者: 蒋昊龙 (1995-), 男, 硕士, 研究实习员。研究方向为药用植物学和植物化学。Email: 435681606@qq.com

责任作者: 丁涛 (1980-), 男, 硕士, 副研究员。研究方向为物种濒危机制与保护技术。Email: dingtao@gxib.cn

Key words: *Abies yuanbaoshanensis*; seedling quality; grading standards; principal component analysis; cluster analysis

元宝山冷杉 (*Abies yuanbaoshanensis*) 属松科 (Pinaceae) 冷杉属 (*Abies*) 植物,常绿乔木,主要生长在寒冷潮湿环境中,偏好阴暗湿润气候,通常能够形成广泛的纯林^[1]。这些植物在水源保护、土壤保持和生物多样性维护方面起着重要作用。此外,研究冷杉的分布变化不仅有助于理解北半球植物区系的演变过程,还能揭示第四纪冰川的形成与发展,以及冷杉属植物的系统演化和珍稀濒危物种的保护重要性^[2]。元宝山冷杉作为其中的代表性物种,具有高耸的树干、密集的针叶和直立的球果,目前野外种群数量 801 株,生长在海拔 1 700~2 100 m 的狭窄山地带,主要植被为常绿阔叶林,植物多样性丰富,伴生物种包括南方铁杉、南方红豆杉、红皮木姜等^[3-4],被列为国家一级重点保护野生植物物种。

随着人类活动的扩展,如森林砍伐、农耕扩张和基础设施建设,元宝山冷杉的自然栖息地逐渐减少和破碎化,导致其生存空间不断缩小,气候变暖也对高海拔的冷杉种群构成巨大威胁。元宝山冷杉的种子萌发率较低,加之其自然分布范围狭窄,种群基数小,导致其繁殖能力较弱,难以自然恢复^[5-6]。因此,亟需开展元宝山冷杉的种苗扩繁和回归栽培工作,以迅速扩大其种群,增加种群数量和分布面积,促进其有效恢复。

鉴于元宝山冷杉的极度濒危现状,除在原生地进行栖息地保护和恢复,种苗扩繁和回归栽培已成为保护该物种的重要途径之一。种苗分级是回归保护和人工栽培中的关键步骤,通过对种苗进行合理分级,可优化种苗选择,确保在不同环境下栽植的适应性和成活率,提高苗木栽培的科学性和有效性^[7]。目前,针对元宝山冷杉的研究多集中于其生态学特性、遗传多样性和种实研究,针对其种苗分级标准的研究相对较少^[8-10]。在种苗扩繁和回归栽培过程中,由于缺乏系统的种苗分级标准,不同种苗的生长表现和移植效果存在较大差异^[11]。因此,制定科学的种苗质量分级标准,将有助于提高元宝山冷杉的种苗扩繁和回归栽培保护效率,增强其在不同栽植环境下的适应能力。在种苗扩繁和回归栽培中,种苗质量直接决定了其保护工作成效,通过科学的种苗分级研究,不仅可以优化元宝山冷杉的种苗选择和管理,还可以提高种群繁殖和恢复能力,从而为该物种的长期保护提供有力的技术支持。

1 试验地概况

试验地位于广西壮族自治区柳州市融水苗族自治县元宝山自然保护区 (109°07'48"~109°12'00"E, 25°19'12"~25°27'36"N), 东西长 9.26 km, 南北宽 18.17 km, 总面积 4 220.7 hm², 其中核心区面积 2 019.8 hm², 缓冲区面积 1 100.4 hm², 实验区面积 1 100.5 hm²。山脉呈南北走向,主峰海拔 2 081 m,为广西第三高峰,一般海拔 1 000~1 500 m,最低海拔 285 m,相对高差 700~1 200 m。山地气候特色,年均温 16.4℃,年降水量 2 379~2 813 mm。

元宝山自然保护区的主要保护对象为珍稀濒危植物和原始森林生态系统。区内植被类型丰富,拥有 300 多种木本植物,包括国家二级保护植物元宝山冷杉、福建柏、鹅掌楸、伯乐树、马尾树、观光木和马蹄参等。其中,元宝山冷杉是中国特有树种,仅分布于元宝山地区。其他重要树种还有华南五针松、长苞铁杉、南方铁杉、鸡毛松和紫茎等。观赏植物有黄杨、杜鹃、深山含笑、广东白兰花和木莲等。自然植被类型主要为常绿阔叶林和针叶林,具有重要的科研和保护价值。

2 材料与方法

2.1 试验材料

试验材料为元宝山冷杉种苗,种子采自元宝山自然保护区。根据种苗标准规范要求,为了研究元宝山冷杉不同生长阶段的生长特性和根系发育状况,选择 5 年和 10 年生两个年龄段的种苗进行测定。

2022 年 10 月,在元宝山自然保护区的冷杉种植苗圃内随机抽取了 55 株 5 年生元宝山冷杉种苗,其中 5 株用于测定根系相关生长指标;同时抽取 49 株 10 年生种苗,对其中的 3 株进行根系相关生长指标的测定。由于元宝山冷杉是国家保护植物,种群规模较小,种苗数量有限。为了保护这一珍稀物种,避免对其生长和种群造成不利影响,在采样过程中严格控制取样数量。

5 年生种苗处于幼苗生长期,根系正处于迅速发育期,对环境因子的响应较为敏感,符合种苗标准规范中对幼苗期的定义;10 年生种苗已进入幼树期,根系结构更为完善,适应能力增强,符合标准中对幼树期的描述。通过对这两个年龄段种苗的比较研究,可深入了解元宝山冷杉在生长发育过程中的生

理特性和生长规律,为其培育和保护提供科学依据。

2.2 测量方法

根据 GB/T 6000 标准要求,为准确评定元宝山冷杉种苗质量等级,选择株高、地径、冠幅、主根长、主根粗、根鲜重和全株鲜重 7 个生长量指标进行测量。株高和地径作为苗木质量分级的主要指标,直接反映了苗木的生长状况和健壮程度。冠幅取南北、东西方向的平均值,反映苗木的枝叶生长状况,影响苗木的光合作用和整体生长能力。以主根长和主根粗评估苗木根系的发育程度,是确定根系质量等级的关键指标,对苗木成活率和后期生长具有重要影响。根鲜重和全株鲜重反映苗木的生物量积累状况,综合评估苗木的生长势和健康状况。

2.3 数据分析方法

使用 Excel 2021 和 SPSS 26.0 对所有 5 年和 10 年生元宝山冷杉种苗的 7 个生长指标进行统计分析。对测得的生长指标数据进行相关性分析,通过主成分分析简化数据结构以提取重要信息,最后采用聚类分析方法确定分级标准。

3 结果与分析

3.1 生长指标统计量结果与分析

5 年和 10 年生元宝山冷杉的株高、地径、冠幅、主根粗、主根长、全株鲜重和根鲜重 7 个生长质量指标的计量结果见表 1 和表 2。

表 1 5 年生元宝山冷杉指标描述

Tab. 1 Descriptive statistics of indicators for 5-year-old *Abies yuanbaoshanensis*

| 指标描述 | 株高 /cm | 地径 /mm | 冠幅 /cm | 主根 长 /cm | 主根 粗 /mm | 全株 鲜重 /g | 根鲜 重 /g |
|-------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| 样品数/个 | 55 | 55 | 55 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 最小值 | 16.000 | 4.570 | 10.392 | 29.000 | 5.110 | 27.200 | 14.600 |
| 最大值 | 32.000 | 9.740 | 39.497 | 54.000 | 13.200 | 51.500 | 29.700 |
| 均值 | 23.309 | 7.203 | 21.966 | 39.400 | 8.688 | 44.180 | 22.560 |
| 标准差 | 4.091 | 1.117 | 6.769 | 9.476 | 3.115 | 9.751 | 5.561 |
| 峰度 | -0.891 | 0.229 | 0.093 | 0.996 | -0.019 | 4.015 | 0.719 |
| 变异系数 | 0.176 | 0.155 | 0.308 | 0.241 | 0.359 | 0.221 | 0.247 |

由表 1 可见,5 年生元宝山冷杉的株高变异系数为 0.176,显示个体间差异较小。由表 2 可见,随着植株的生长,10 年生的株高变异系数显著增加,达到 0.283。表明随年龄增长,个体间的株高差异显著增大。这种差异增大的原因可能在于:随着苗

表 2 10 年生元宝山冷杉指标描述

Tab. 2 Descriptive statistics of indicators for 10-year-old *Abies yuanbaoshanensis*

| 指标描述 | 株高 /cm | 地径 /mm | 冠幅 /cm | 主根 长 /cm | 主根 粗 /mm | 全株 鲜重 /g | 根鲜 重 /g |
|-------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| 样品数/个 | 49 | 49 | 49 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 最小值 | 25.000 | 3.370 | 18.974 | 6.000 | 12.670 | 23.000 | 71.700 |
| 最大值 | 98.000 | 12.210 | 68.542 | 37.000 | 18.050 | 56.000 | 118.600 |
| 均值 | 53.796 | 7.868 | 41.366 | 22.000 | 14.587 | 38.667 | 100.633 |
| 标准差 | 15.214 | 2.080 | 11.469 | 15.524 | 3.005 | 16.563 | 25.300 |
| 峰度 | -0.891 | 0.229 | 0.093 | | | | |
| 变异系数 | 0.283 | 0.264 | 0.277 | 0.706 | 0.206 | 0.428 | 0.251 |

木生长,个体的遗传差异逐渐显现,导致生长速率和发育程度的不同;此外,10 年生苗木所处的生长环境可能存在微小差异,如光照、土壤养分和水分等,累积效应使个体间差异增大;同时,随着苗木生长,个体间资源竞争加剧,优势个体获得更多资源,生长更快,劣势个体则受限,导致差异增大。

地径的均值在 5 年生和 10 年生之间变化不大,但 10 年生的变异系数显著增加,进一步说明个体间的差异逐渐加大。冠幅方面,10 年生的均值几乎是 5 年生的两倍,5 年生的变异系数较大(0.308),10 年生的变异系数略有减小(0.277),这可能与 10 年生苗木的冠幅生长趋于稳定有关。

主根长和主根粗的差异也随年龄增长有所增加,尤其是 10 年生主根长的变异系数高达 0.706,显示个体间差异显著增大;相比之下,主根粗的个体间差异相对较小。全株鲜重和根鲜重的变化也呈类似趋势,5 年生的变异系数较小,10 年生全株鲜重的变异系数增大至 0.428,表明个体间的生物量差异更加明显,进一步验证了上述原因分析,即遗传因素、环境影响和资源竞争等多种因素共同作用结果导致个体间生长差异的显著增加。

综上所述,随着元宝山冷杉年龄的增长,个体间的生长差异显著增大。这一现象对制定元宝山冷杉种苗质量分级标准具有重要意义。在 5 年生阶段,苗木生长较为均一,适合按照统一的标准进行质量评定;而在 10 年生阶段,个体间差异显著增加,需要在质量分级时更加细化对各生长指标的评定。

在制定元宝山冷杉种苗质量分级标准时,应充分考虑不同年龄段苗木的生长特性和个体差异,对关键生长指标设定合理的分级阈值。通过对各生长指标的相关性分析,确定哪些指标对苗木质量具有

显著影响,从而为标准的制定提供科学依据,这将有助于提高元宝山冷杉种苗培育质量,促进其在生态保护和林业生产中的应用。

3.2 相关性分析

对 5 年和 10 年生元宝山冷杉的各项生长数据进行相关性分析,结果见表 3 和表 4。

表 3 5 年生元宝山冷杉生长指标相关性分析

Tab. 3 Correlation analysis of growth indicators for 5-year-old *Abies yuanbaoshanensis*

| | 株高 | 地径 | 冠幅 | 主根长 | 主根粗 | 全株鲜重 | 根鲜重 |
|------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 株高 | 1 | 0.625** | 0.724** | -0.711 | 0.525 | 0.565 | 0.413 |
| 地径 | 0.625** | 1 | 0.574** | -0.601 | 0.493 | 0.842 | 0.736 |
| 冠幅 | 0.724** | 0.574** | 1 | -0.303 | -0.266 | 0.789 | 0.875 |
| 主根长 | -0.711 | -0.601 | -0.303 | 1 | -0.445 | -0.754 | -0.495 |
| 主根粗 | 0.525 | 0.493 | -0.266 | -0.445 | 1 | 0.207 | -0.157 |
| 全株鲜重 | 0.565 | 0.842 | 0.789 | -0.754 | 0.207 | 1 | 0.914* |
| 根鲜重 | 0.413 | 0.736 | 0.875 | -0.495 | -0.157 | 0.914* | 1 |

注:**表示在 0.01 级别(双尾)相关性显著;*表示在 0.05 级别(双尾)相关性显著(下同)。

表 4 10 年生元宝山冷杉生长指标相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis of growth indicators for 10-year-old *Abies yuanbaoshanensis*

| | 株高 | 地径 | 冠幅 | 主根长 | 主根粗 | 全株鲜重 | 根鲜重 |
|------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 株高 | 1 | 0.700** | 0.709** | 0.652 | 0.942 | 0.193 | 0.372 |
| 地径 | 0.700** | 1 | 0.765** | 0.679 | 0.953 | 0.157 | 0.405 |
| 冠幅 | 0.709** | 0.765** | 1 | 0.583 | 0.909 | 0.278 | 0.290 |
| 主根长 | 0.652 | 0.679 | 0.583 | 1 | 0.869 | -0.618 | 0.946 |
| 主根粗 | 0.942 | 0.953 | 0.909 | 0.869 | 1 | -0.148 | 0.662 |
| 全株鲜重 | 0.193 | 0.157 | 0.278 | -0.618 | -0.148 | 1 | -0.839 |
| 根鲜重 | 0.372 | 0.405 | 0.290 | 0.946 | 0.662 | -0.839 | 1 |

分析表 3 和表 4 结果显示,株高、地径和冠幅之间的相关性较高,全株鲜重与根鲜重之间的相关性也较为显著。由于 10 年生元宝山冷杉的根系数据仅取样 3 株,因此未能计算其峰度值。此外,主根长与主根粗的相关性不显著,可能对结果的准确性产生影响,因此未将其数据作为种苗分级的主要指标。

3.3 主成分分析

主成分分析可确定出元宝山冷杉种苗分级的关键性因素。对种苗的地径、株高、冠幅、全株鲜重、根鲜重等指标进行主成分分析,提取出 3 个主成分(表 5、表 6)。

表 5 5 年生元宝山冷杉总方差解释率

Tab. 5 Total variance explained for 5-year-old *Abies yuanbaoshanensis*

| 主成分 | 初始特征值 | | | 提取载荷平方和 | | |
|-----|-------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | 总计 | 方差占比/% | 累积贡献率/% | 总计 | 方差占比/% | 累积贡献率/% |
| 1 | 3.627 | 72.534 | 72.534 | 3.627 | 72.534 | 72.534 |
| 2 | 1.202 | 24.045 | 96.579 | 1.202 | 24.045 | 96.579 |
| 3 | 0.106 | 2.113 | 98.692 | | | |
| 4 | 0.065 | 1.308 | 100.000 | | | |
| 5 | 0 | 0 | 100.000 | | | |

表 6 10 年生元宝山冷杉总方差解释率

Tab. 6 Total variance explained for 10-year-old *Abies yuanbaoshanensis*

| 主成分 | 初始特征值 | | | 提取载荷平方和 | | |
|-----|-------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | 总计 | 方差占比/% | 累积贡献率/% | 总计 | 方差占比/% | 累积贡献率/% |
| 1 | 3.175 | 63.499 | 63.499 | 3.175 | 63.499 | 63.499 |
| 2 | 1.825 | 36.501 | 100.000 | 1.825 | 36.501 | 100.000 |
| 3 | 0 | 0 | 100.000 | | | |
| 4 | 0 | 0 | 100.000 | | | |
| 5 | 0 | 0 | 100.000 | | | |

由表 5 和表 6 可见,在 5 年生元宝山冷杉的主成分分析中共提取出 3 个主成分,主成分 1、2 的累积贡献率分别为 72.534%和 96.579%,其中主成分 1 解释了 72.534%的方差,主成分 2 解释了 24.045%的方差;在 10 年生元宝山冷杉的主成分分析中共提取出 2 个主成分,主成分 1、2 的累积贡献率分别为 63.499%和 100.000%,其中主成分 1 解释了 63.499%的方差,主成分 2 解释了 36.501%的方差。因此,影响这两个主成分的生长指标可作为种苗质量分级依据。

5 年和 10 年生元宝山冷杉主成分提取成分矩阵见表 7 和表 8。

表 7 5 年生元宝山冷杉主成分提取成分矩阵

Tab. 7 Component matrix of principal component extraction for 5-year-old *Abies yuanbaoshanensis*

| 成分 | 株高/m | 地径/cm | 冠幅/cm | 根鲜重/g | 全株鲜重/g |
|------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 成分 1 | 0.622 | 0.900 | 0.761 | 0.944 | 0.980 |
| 成分 2 | 0.770 | 0.349 | -0.649 | -0.252 | -0.063 |

表 8 10 年生元宝山冷杉主成分提取成分矩阵
Tab. 8 Component matrix of principal component extraction for 10-year-old *Abies yuanbaoshanensis*

| 成分 | 株高 /m | 地径 /cm | 冠幅 /cm | 全株鲜重 /g | 根鲜重 /g |
|------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 成分 1 | 0.997 | 0.999 | 0.986 | 0.115 | 0.444 |
| 成分 2 | 0.078 | 0.042 | 0.165 | 0.993 | -0.896 |

结合主成分矩阵结果(表 7 和表 8),主成分 1 的贡献率较高,分别为 5 年生的 72.534%和 10 年生的 63.499%,解释了大部分的生长差异。因此,影响主成分 1 的生长指标应优先作为种苗质量分级标准。虽然主成分 2 的贡献率相对较低,但其解释了剩余的差异,如 5 年生为 24.045%,10 年生为 36.501%,因此,在主成分 2 中载荷较高的生长指标也应纳入考虑。

根据以上主成分分析结果,5 年生元宝山冷杉的种苗质量分级应优先选取全株鲜重、地径、根鲜重为分级依据,株高作为次选指标(对主成分 2 解释率最大)。而对于 10 年生元宝山冷杉则应优先选择地径、株高、冠幅为分级依据,全株鲜重作为次选指标(对主成分 2 解释率最大)。

根鲜重虽然在 5 年生主成分分析中对主成分 1 的载荷值较高(0.944),表明其对解释 5 年生元宝山冷杉的生长差异具有重要作用,但由于元宝山冷杉属于国家一级重点保护植物,测量根鲜重会破坏种苗,显然不适合作为实际操作中的分级指标。在本试验中,对根鲜重数据的分析可以用于评估其与其他生长指标的相关性,探索其对生长的潜在影响,但在实际的种苗质量分级中应避免使用。

以上分析结果表明,5 年生元宝山冷杉的种苗质量分级建议使用全株鲜重、地径、株高作为主要依据;而 10 年生元宝山冷杉的种苗质量分级建议使用地径、株高、冠幅作为主要依据,以确保种苗分级标准的科学性和可操作性。

3.4 聚类分析

5 年和 10 年生元宝山冷杉最终聚类中心结果见表 9 和表 10。

表 9 5 年生元宝山冷杉最终聚类中心
Tab. 9 Final cluster centers of 5-year-old *Abies yuanbaoshanensis*

| 聚类 | 全株鲜重/g | 株高/cm | 地径/cm |
|------|--------|--------|-------|
| 聚类 1 | 27.200 | 20.200 | 6.693 |
| 聚类 2 | 48.425 | 25.900 | 7.629 |

表 10 10 年生元宝山冷杉最终聚类中心
Tab. 10 Final cluster centers of 10-year-old *Abies yuanbaoshanensis*

| 聚类 | 株高/cm | 地径/cm | 冠幅/cm |
|------|--------|--------|--------|
| 聚类 1 | 47.417 | 7.038 | 36.274 |
| 聚类 2 | 71.462 | 10.168 | 55.467 |

根据之前制定的种苗质量分级主要依据,结合表 9 和表 10 的最终聚类中心结果,将 5 年和 10 年生元宝山冷杉种苗分别依据关键生长指标进行分级,将种苗质量分为 3 个等级:高质量、中等质量、低质量。5 年生元宝山冷杉种苗质量分级标准见表 11。

表 11 5 年生元宝山冷杉种苗质量分级标准
Tab. 11 Grading standards for seedling quality of 5-year-old *Abies yuanbaoshanensis*

| 指标 | 全株鲜重/g | 地径/mm | 株高/cm |
|-----|---------------|-------------|---------------|
| 高质量 | ≥48.425 | ≥7.629 | ≥25.9 |
| 中质量 | 27.200~48.425 | 6.693~7.629 | 20.200~25.900 |
| 低质量 | <27.200 | <6.693 | <20.200 |

由表 11 可见,5 年生元宝山冷杉高质量种苗标准:全株鲜重≥48.425 g,地径≥7.629 mm,株高≥25.9 cm;中等质量种苗标准:全株鲜重 27.200~48.425 g,地径 6.693~7.629 mm,株高 20.200~25.900 cm;低质量种苗标准:全株鲜重<27.200 g,地径<6.693 mm,株高<20.200 cm。10 年生元宝山冷杉种苗质量分级标准见表 12。

表 12 10 年生元宝山冷杉种苗质量分级标准
Tab. 12 Grading standards for seedling quality of 10-year-old *Abies yuanbaoshanensis*

| 指标 | 株高/cm | 地径/mm | 冠幅/cm |
|-----|---------------|--------------|---------------|
| 高质量 | ≥71.462 | ≥10.168 | ≥55.467 |
| 中质量 | 47.417~71.462 | 7.038~10.168 | 36.274~55.467 |
| 低质量 | <47.417 | <7.038 | <36.274 |

由表 12 可见,10 年生元宝山冷杉高质量种苗标准:株高≥71.462 cm,地径≥10.168 mm,冠幅≥55.467 cm;中等质量种苗标准:株高 47.417~71.462 cm,地径 7.038~10.168 mm,冠幅 36.274~55.467 cm;低质量种苗标准:株高<47.417 cm,地径<7.038 mm,冠幅<36.274 cm。

通过对主成分分析和聚类分析结果的总结,研究得出,5 年和 10 年生元宝山冷杉种苗质量分级标

准(表11和表12),明确了影响种苗质量的关键性生长指标。

4 结论与讨论

通过对112份5年生和10年生元宝山冷杉样品的7个生长指标进行测量与分析,结果显示,随着树龄的增加,各生长指标间的差异显著增大,尤其在株高、冠幅和全株鲜重等方面表现突出。5年生种苗的株高变异系数为0.176,表明个体间差异较小;而10年生种苗的株高变异系数增加至0.283,说明个体间的生长差异随年龄增长而显著增大。这种差异增大的原因可能在于:随着苗木的生长,个体的遗传差异逐渐显现,导致生长速率和发育程度的不同;同时,10年生苗木所处的生长环境可能存在微小差异,如光照、土壤养分和水分等,累积效应使个体间差异增大。此外,随着苗木生长,个体间资源竞争加剧,优势个体获得更多资源,生长更快,劣势个体则受限,导致差异拉大。

地径的均值在5年和10年生之间变化不大,但10年生的变异系数显著增加,进一步说明个体间差异逐渐加大。冠幅方面,10年生的均值几乎是5年生的两倍,5年生的变异系数较大(0.308),而10年生的变异系数略有减小(0.277),这可能与10年生苗木的冠幅生长趋于稳定有关。主根长和主根粗的差异也随年龄增长有所增加,尤其是10年生主根长的变异系数高达0.706,显示个体间差异显著增大;相比之下,主根粗的个体间差异相对较小。全株鲜重和根鲜重的变化也呈类似趋势,5年生的变异系数较小,而10年生全株鲜重的变异系数增大至0.428,表明随着年龄增长,个体间的生物量差异更加明显。

相关性分析表明,株高、地径和冠幅间存在较强的正相关关系,而主根长和主根粗的相关性不显著,这提示主根长和主根粗可能不适合作为主要的种苗分级指标。基于主成分分析,确定5年生种苗的全株鲜重、地径和根鲜重为关键分级指标,10年生种苗则以地径、株高和冠幅为主要指标。

基于上述研究结果,制定元宝山冷杉种苗质量分级标准,不同质量的种苗应采取差异化的管理措施。在栽培高质量种苗时应保持较低的种植密度,间距建议为2.5~3 m,以确保充足的生长空间和资源利用。由于其生长指标较高,宜选择腐殖质丰富、排水良好的黄棕壤作为种植土壤,并定期深翻以促进根系生长。同时加强水肥管理,尤其在苗期应给予充足的养分供应,确保生长初期的迅速发育。这类高质量种苗生长迅速,竞争优势明显,适合在林业

生产和生态恢复中优先使用,以加快林分更新。

对于中等质量的种苗,种植密度可适当增大,间距建议为2~2.5 m,以避免个体间过度竞争,保证良好的光照和通风条件^[12]。应定期补充土壤有机质,保持良好的土壤结构。需适当加强水分管理,建议每周灌溉2次,尤其在干旱时期保持土壤湿润,以满足其生长需求。

对于低质量的种苗,由于个体体积较小、根系较弱,集中种植和增加株间遮荫能够有效减少蒸腾,帮助种苗适应生长环境。应加强水肥供应,特别是在早期通过施加有机肥或氮肥,提高土壤肥力,促进根系生长。此外,需采取土壤改良措施,如增加土壤有机质含量、改善排水性,以提高其对水分和养分的吸收效率。结合后续低质量种苗生长状况,适时进行移栽,有助于减少过度竞争,确保植株获得更好的生长条件。

参考文献:

- [1] 向小果,曹明,周浙昆. 松科冷杉属植物的化石历史和现代分布[J]. 云南植物研究,2006(5):439-452.
- [2] 姜雪莲,邵毅贞,王文靖,等. 中国珍稀濒危冷杉的发现、现状及未来[J]. 生物学通报,2015,50(3):9-11,63.
- [3] 李先琨,苏宗明,向悟生,等. 濒危植物元宝山冷杉种群结构与分布格局[J]. 生态学报,2002(12):2246-2253.
- [4] 向悟生,李先琨,苏宗明,等. 元宝山冷杉群落主要树木种群生态位的初步研究[J]. 植物科学学报,2002,20(2):105-112.
- [5] 黄仕训. 元宝山冷杉濒危原因初探[J]. 农村生态环境,1998,14(1):6-9.
- [6] 唐润琴,李先琨,欧祖兰,等. 濒危植物元宝山冷杉结实特性与种子繁殖力初探[J]. 植物研究,2001,21(3):403.
- [7] 高娜,孙永军,张建军,等. 中药材种子种苗质量分级标准研究进展[J]. 中国中医药信息杂志,2018,25(4):129-132.
- [8] 李晓笑. 中国5种冷杉属植物生态濒危机制研究[D]. 北京:北京林业大学,2013.
- [9] 韦范,张广荣,覃永贤,等. 梵净山冷杉和元宝山冷杉的叶绿体微卫星遗传多样性分析[J]. 广西植物,2014,34(5):596-600.
- [10] 王莹,文淑均,罗定明,等. 珍稀濒危植物元宝山冷杉种实特征及种子萌发特性研究[J]. 广西科学院学报,2023,39(2):161-168.
- [11] 周慧银,赵宏苏,宋芊芊,等. 凤丹种苗质量分级标准及其方法的优选[J]. 中药材,2020,43(10):2374-2377.
- [12] 李先琨,苏宗明,欧祖兰,等. 元宝山冷杉群落种内与种间竞争的数量关系[J]. 植物资源与环境学报,2002(1):20-24.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.004

工程量清单在林业营造林工程中的应用研究

——以生态扶贫一期 PPP 项目丽江市营造林工程为例

刘 爽¹, 王志婷², 方志平¹, 肖龙山¹

(1. 云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051; 2. 云南省林业调查规划院生态分院, 云南 昆明 650031)

摘要: 聚焦工程量清单计价方法在林业营造林工程中的应用, 通过分析营造林工程造价管理的现状, 指出现阶段营造林工程计价方法存在缺乏统一标准、体系不完善以及成本控制难度大等问题。以生态扶贫一期 PPP 项目丽江市营造林工程为实例, 采用资料收集法、文献研究法、案例筛选法、样地调查法进行分析研究, 整理归纳提出标准化、系统化的清单目录, 为林业营造林工程建设领域科学运用工程量清单提供详实且具实践指导价值的参考。

关键词: 林业营造林工程; 工程量清单; 计价方法; 项目管理

中图分类号: S725.3; TB114.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2026)01-0020-06

引文格式: 刘爽, 王志婷, 方志平, 等. 工程量清单在林业营造林工程中的应用研究——以生态扶贫一期 PPP 项目丽江市营造林工程为例[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 20-25. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.004

LIU Shuang, WANG Zhiting, FANG Zhiping, et al. Application of Bill of Quantities in Forestry Afforestation Projects——A Case Study of Lijiang Afforestation Project under the Phase I Ecological Poverty Alleviation PPP Program[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 20-25. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.004

Application of Bill of Quantities in Forestry Afforestation Projects

——A Case Study of Lijiang Afforestation Project under the Phase I Ecological Poverty Alleviation PPP Program

LIU Shuang¹, WANG Zhiting², FANG Zhiping¹, XIAO Longshan¹

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

2. Ecological Branch of Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650031, China)

Abstract: This paper focused on the application of the bill of quantities pricing method in forestry afforestation projects. By analyzing the current situation of cost management in afforestation projects, this paper identified issues such as the lack of uniform standards, an incomplete system, and difficulties in cost control at the current stage. Taking the Lijiang Afforestation Project under the Phase I Ecological Poverty Alleviation PPP Program as a case study, the methods of data collection, literature review, case screening, and sample plot investigation were adopted to conduct analysis and research. A standardized and systematic list directory was sorted out and summarized to provide detailed and practical guidance value references for the scientific application of the bill of quantities in forestry afforestation projects.

Key words: forestry afforestation project; bill of quantities; pricing method; project management

收稿日期: 2024-12-30; 修回日期: 2025-07-01

第一作者: 刘爽(1981-), 女, 硕士, 高级工程师. 研究方向为林业调查规划和生态系统修复. Email: 79442146@qq.com

责任作者: 王志婷(1983-), 女, 工程师. 研究方向为林业调查规划和森林经营管理. Email: 149134102@qq.com

1 工程量清单计价方法的发展沿革

1.1 起源与发展

19世纪英国工业革命蓬勃推进,工程建设领域迎来高速发展,规模与复杂度同步攀升。传统计价方式在应对工程造价精准确定及交易流程规范方面存在较大缺陷,随之能够明晰具体工作、工程量、合理价格区间等关键要素的工程量清单计价方法应运而生。

进入20世纪,该计价方法凭借其科学性与合理性,在欧美发达国家得到广泛应用并走向国际,成为通用计价模式。按照国际惯例,由业主委托造价咨询机构编制工程量清单,其要素包括:精准的项目名称、独特编码系统、统一计量单位、精确工程数量、综合单价考量。

这种科学完善的计价模式,极大提升了工程各环节的规范性与透明度,规避计价争议,推动工程建设行业健康发展,促进各国交流合作,助力全球基础设施建设繁荣。

1.2 国内的引入与发展

20世纪90年代,随着我国经济体制改革深入,工程建设行业快速发展,传统计价模式局限性凸显,于是引入工程量清单计价方法,开启向科学、规范、国际化迈进的新阶段。2003年《建设工程工程量清单计价规范》颁布,标志其在我国落地生根并全面推行,为建设工程领域市场规范化提供有力支持。此时期工程量清单具有4个特点。

1) 清单编制精细化

明确不同专业的工程量清单项目设置和计算规则,为各专业提供清晰的计量标准,减少计量偏差和争议。

2) 计价原则清晰化

确立综合单价计算方式,考虑成本和预期利润;建立风险分担机制,明确承发包双方风险,平衡双方权益。

3) 招标投标行为规范化

制定详细准则和流程,规范招标投标过程,禁止不正当竞争,确保过程公正透明,吸引有实力企业参与。

4) 合同管理重点化

强调工程量清单在合同价款调整和工程变更处理中的作用,制定相应办法,避免造价争议,保障合同顺利履行和造价控制。

2024年出台的《建设工程工程量清单计价标准》对工程量清单费用组成做了较大修改,给投标人编制投标工程量清单带来了一定挑战。(1)工程

量清单不再按定额编制,价格主要由市场决定;(2)优化清单费用组成,明确计价方法和依据;(3)合理风险分担,排除苛刻条款,应在招标文件、合同中明确计量与计价的风险内容及其范围^[2]。这些措施有利于市场的良性发展,将进一步推动工程量清单计价体系市场化、规范化建设。

随后,各地陆续出台配套政策,推动工程量清单计价在各类建设工程项目中广泛应用。随着实践经验的积累,相关法规不断完善,工程量清单计价在我国工程建设领域逐渐成熟,成为主流计价方式之一。未来,随着信息技术的发展,工程量清单计价有望与BIM技术、大数据分析、AI技术等相结合,进一步提升工程管理的精细化水平。

2 林业营造林工程造价管理现状

2.1 计价方法缺乏统一标准

林业营造林工程建设项目计价方法多样,不同地区、项目差异显著。部分地区沿用定额计价法,依赖过往经验与定额标准,通过套用定额子目、结合地区系数计算价格。然而,因人工费、材料费、机械费随时间变化波动较大,而定额调整不及时,导致依定额编制的工程造价与实际发生成本有较大变动。

2.2 缺乏完善的规范体系

林业作为我国生态文明建设及提供公共产品和服务的主阵地,因缺乏统一的行业计价标准,预算的工程造价中存在很多不确定性,建设过程中成本控制难度较大,为项目建设管理带来巨大风险。但随着生态保护受重视、行业朝市场化与规范化发展,引入和探索一种科学的计价方法势在必行。

由于林业具有生态性和公益性特点,需要注重生态效益与经济效益的双平衡。工程量清单计价方法可以从成本核算、效益评估等方面为这种平衡提供一定的支持。科学、合理的工程量清单不仅能准确反映工程所需材料和劳动力成本,还能工程决策提供有力依据。

2.3 成本控制难度较大

林业营造林工程建设周期长,受自然因素影响大且不确定性强,这使其成本控制成为难题。极端气候如暴雨、干旱、低温冻害等会影响苗木成活生长,比如暴雨引发灾害冲毁苗木,干旱致苗木缺水枯萎,低温冻害冻伤苗木等情况,需补植或采取额外养护措施,增加成本。

材料价格波动也影响成本,尤其是苗木价格受市场供需关系影响明显,需求旺供应不足时价格大

幅上涨。而且项目环节多,成本构成复杂,涵盖规划、种苗培育到抚育管理各阶段诸多费用项目,如土地整理、苗木采购、人工栽植、肥料农药、抚育管理及设备购置维护费用等。

精准监控成本动态并有效控制成本难度大,即便投入大量人力、物力和时间,也难消除成本超支风险。如设计变更会引发成本变动,调整造林布局需更换树种或改变种植密度,涉及多方面费用变化,增加成本控制复杂性。新型材料在林业营造林工程中的应用虽然可能带来一些性能上的提升,但也会因其价格波动、供应稳定性等因素对成本产生复杂影响^[3]。例如某些新型环保材料初期价格较高,若在林业营造林工程中大量应用,会显著增加材料采购成本,同时若供应渠道不稳定,还可能导致施工延误,进一步增加成本,这充分体现了林业营造林工程成本控制的难度。

3 研究意义

3.1 理论意义

林业营造林工程有别于传统工程领域,具有显著生态性、公益性,以往工程造价管理理论多聚焦于其他领域,对林业营造林工程涉及少。研究工程量清单在林业营造林工程建设中的应用,能填补该领域空白,完善理论体系。

从应用机制、计价特点及其与生态、社会效益关联等角度深入剖析,可拓展传统计价理论对非经济价值的考量维度。探索将林业工程生态效益量化纳入计量计价体系,为工程量清单计价方法在考量林业工程多维度价值方面提供了理论借鉴,有助于深化对林业工程经济价值的认识,完善价值评价理论体系,推动林业经济学等学科理论发展,为林业工程建设项目科学规划实施提供理论支撑。

3.2 实践意义

3.2.1 提升林业工程建设项目管理水平

工程量清单在林业工程建设项目管理中作用显著,能提供清晰工作内容与计价依据,助力项目管理者有序组织规划、合理配置资源、有效监控进度与成本。

在项目筹备阶段,依据清单提前筹备物资,按苗木规格数量要求精准采购,避免浪费;根据工序工程量合理调配人力,保障施工按时按质完成。实施中,建设单位借助清单监控进度与成本,及时处理自然条件变化、设计变更等引发的成本变动问题。例如,在降水异常情况下需调整苗木管护措施,可随时依

清单调整成本变化;若遇苗木成活率不达标,可依清单安排补植,并核算调整成本,确保项目顺利验收,提高管理效率和质量。

3.2.2 促进林业工程建设市场的规范化发展

统一规范的工程量清单计价方法有助于营造公平竞争的市场环境,对林业营造林工程建设市场健康有序发展意义重大。施工单位按清单报价,比拼技术、管理与成本控制能力,避免不正当竞争。各单位依清单结合自身情况制定报价策略,促使优势单位脱颖而出,激励行业提升素质。

建设单位能依清单准确评估成本、选择施工单位,并规范合同管理与造价控制。规范的工程量清单计价方法有助于识别和降低招投标过程中的风险,如报价不合理、合同条款不清晰等,进一步强调了其对林业工程建设市场规范化发展的重要性^[4]。

4 研究方法

采用文献综述、案例分析及实证研究相结合的方法。系统梳理国内外林业营造林工程造价管理相关文献,提炼理论基础;选取典型林业营造林工程项目进行深入案例分析,剖析工程量清单应用实践;通过实证数据验证理论假设,构建适用于林业营造林工程的计价模型,为实践提供科学依据。通过多维度数据对比分析,揭示工程量清单在提升项目效益、优化资源配置中的关键作用,验证其在林业营造林工程中的实用性和普适性,为推广和应用提供有力证据。

4.1 文献研究法

深入研究国内外关于工程量清单计价方式以及林业营造林工程构建的各类文献,包括学术论文、行业报告、政策法规等。通过整理、分析和总结这些文献资料,全面掌握工程量清单计价方式在不同国家、不同行业的发展历程、应用情况以及存在的问题;同时,了解林业营造林工程建设项目投资经济计价的历史发展,各种计价方式的特征及其优缺点,收集当地相关人工、材料和机械台班单价等相关数据。关注行业内最新的研究动态和成果,避免重复研究,确保研究的创新性和前瞻性,使研究成果能够站在行业前沿,贴合林业营造林工程建设实际需求。

4.2 案例筛选法

从各类营造林工程项目中,基于数据指标、造林标准及造林规模的考虑,将生态扶贫一期 PPP 项目丽江市营造林工程作为本次研究案例,原因主要有:该项目造林种类丰富,涉及生态林、国储林和经济林

3 种不同类型的造林模式;该项目涉及海拔区间大、立地类型多样,从 1 050~3 700 m 的海拔区间,涉及 68 种立地类型;该项目造林方式采用国家招标投标规范化造林标准开展,因此造林工序规范,可参考性强。

4.3 样地调查法

生态扶贫一期 PPP 项目丽江市营造林工程造林面积为 3 180 hm²,包括古城区、玉龙县、宁蒗县、华坪县和永胜县 5 个县区。以案例作业设计和方案的造林工序为实例,参考国内水土保持、园林绿化工程的计量计价体系构建经验,对案例的作业设计和方案进行分析研究,依据各个立地类型、施工条件和实施工序,制定出分类、分步骤和分项工程的详细名目。

样地选取采用各造林类型、各指标、各影响因子全覆盖方式,共计测设 97 个样地。覆盖的影响因子包括:林地清理中的植被盖度、坡度、立地类型、土类;整地的挖穴规格;苗木定植工程的苗木规格、浇水量、支撑方式;未成林抚育的补植补造、松土、除草、追肥等 7 种抚育方式。样地测设过程中还需要综合考虑云南省营造林工程和建筑工程造价管理工作现状,首先参考项目建设作业设计资料,确定初步的工程量清单内容,然后对样地中的各工程量从开始造林到造林结束以及管护阶段逐一进行跟踪调查记录,按照現地调查记录的内容对清单名目进行调整,最终得出与实际造林措施相符的清单名目内容。在编制清单项目时,应严格以计价规范中的项目名称为主体,结合拟建工程的具体实际,准确、详细地描述影响工程造价的项目特征和有关因素^[5]。工程量计算规则应确定合理的便于招标计量的计量单位。生态林、国储林和经济林造林测设样地汇总见表 1。

表 1 生态林、国储林和经济林造林测设样地汇总

Tab.1 Survey plots for ecological forest, national reserve forest and economic forest afforestation

| 县 | 生态林 | | 国储林 | | 经济林 | | 合计 | |
|-----|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|
| | 面积 /hm ² | 样地 数量 /个 | 面积 /hm ² | 样地 数量 /个 | 面积 /hm ² | 样地 数量 /个 | 面积 /hm ² | 样地 数量 /个 |
| 丽江市 | 389.84 | 31 | 379.72 | 36 | 443.77 | 30 | 1213.33 | 97 |
| 古城区 | 83.35 | 6 | 86.83 | 9 | 67.52 | 2 | 237.71 | 17 |
| 玉龙县 | 220.77 | 19 | 45.35 | 4 | 169.50 | 13 | 435.62 | 36 |
| 宁蒗县 | 56.68 | 2 | 8.02 | 2 | 52.70 | 3 | 117.40 | 7 |
| 华坪县 | 4.36 | 1 | 149.85 | 13 | 118.69 | 10 | 272.89 | 24 |
| 永胜县 | 24.68 | 3 | 89.67 | 8 | 35.36 | 2 | 149.71 | 13 |

5 研究结果

工程量清单是载明建设工程分部分项工程项目、措施项目、其他项目的名称和相应数量以及其他规费、税金项目等内容的明细清单^[6]。本文主要研究营造林工程量清单分部分项的编制方法,通过实地调查和数据汇总,得出与实际造林措施高度契合的清单名目,有效提升工程造价管理的精确性和实用性。

样地测设中,详细记录并分析各造林模式的实际情况,得出不同造林模式的清单子目,反映各造林模式的特性及需求。在生态林造林过程中,要注重造林成本的控制,确保造林工作的经济性和可持续性,同时通过采取必要措施提高造林后的成活率,确保造林效果能够得到长期维护。在实施国储林造林措施时,应充分考虑用材林的培育需求,采取特定的培育策略以培养大径材和优质用材,进而制定出适合国储林工程的详细工程量清单。至于经济林,不仅要考虑造林的存活率,还应着眼于造林的长期经济价值。因此,必须制定合理的、具有针对性的造林和抚育措施,以确保后期的经济效益得到保障。

经过样地测设验证,得出造林清单中生态林子目数量为 293 个,国储林子目数量为 303 个,经济林子目数量为 313 个。生态扶贫一期 PPP 项目丽江市营造林工程工程量清单的工程项目及子目汇总见表 2。

在对样地调查记录时发现,現地环境因素对施工环节的工程量产生较大影响,因此在工程量清单中要补充和细化各环节工程量关键子目(表 3~表 5)。

6 结论与讨论

6.1 结论

通过对生态扶贫一期 PPP 项目丽江市营造林工程的实际案例分析,以及运用多种研究方法进行综合探讨,得出结论。

该工程生态林、国储林、经济林 3 种不同的造林模式具有造林工序、苗木规格的差异性,得出有所差异的工程量清单子目,由于林业营造林工程造林工序历时长,难以形成统一的计量计价体系,应考虑从多维度的因素进行灵活调整。例如,根据不同地区、不同树种、不同培育目标的差异性,制定相应的计价标准和清单子目。此外,还需加强对林业营造林工程造价的动态管理,及时收集和分析市场数据,调整计价标准,以适应市场变化。总之,林业营造林工程造价管理应充分考虑其特殊性和复杂性,建立科学合理的计价体系,为林业工程的可持续发展提供有力支持。

表 2 生态林、国储林和经济林造林模式工程量清单汇总

Tab. 2 Bill of quantities for ecological forest, national reserve forest and economic forest afforestation models 项

| 类别 | 工程项目 | 子目数量 | 类别 | 工程项目 | 子目数量 | 类别 | 工程项目 | 子目数量 |
|-----|-----------|------|-----|-----------|------|-----|-----------|------|
| 生态林 | 分部分项工程 | 277 | 国储林 | 分部分项工程 | 287 | 经济林 | 分部分项工程 | 297 |
| | 造林地清理 | 11 | | 造林地清理 | 11 | | 造林地清理 | 11 |
| | 整地挖穴工程 | 180 | | 整地挖穴工程 | 180 | | 整地挖穴工程 | 184 |
| | 苗木定植工程 | 25 | | 苗木定植工程 | 25 | | 苗木定植工程 | 30 |
| | 运输工程 | 30 | | 运输工程 | 30 | | 运输工程 | 30 |
| | 未成林抚育管护工程 | 31 | | 未成林抚育管护工程 | 41 | | 未成林抚育管护工程 | 42 |
| | 措施项目 | 4 | | 措施项目 | 4 | | 措施项目 | 4 |
| | 其他项目 | 5 | | 其他项目 | 5 | | 其他项目 | 5 |
| | 其他规费、税金项目 | 7 | | 其他规费、税金项目 | 7 | | 其他规费、税金项目 | 7 |
| | 其他规费 | 3 | | 其他规费 | 3 | | 其他规费 | 3 |
| | 税金 | 4 | | 税金 | 4 | | 税金 | 4 |
| 合计 | | 293 | 合计 | | 303 | 合计 | | 313 |

表 3 块状林地清理工程量关键子目

Tab. 3 Key sub-items of the engineering volume for clearing block forest land

| 项目名称 | 项目特征 | 工作内容 | 计量单位/m ² | 植被类型 | 植被盖度/% |
|----------------|--|--|---------------------|---|-----------------------|
| 块状 林地 清理 | 1. 清理方式 2. 清理要求 3. 植被状况 4. 坡度 | 放线,框定作业区边界范围 清理,按 1 m×1 m 块状作业方式,劈、割除 草本、藤本和杂灌,留茬高度≤10 cm;将清 理出的剩余物置于块状施工范围外侧 | 100 | 草丛、草灌 矮灌(杂灌均高≤2.0 m)、芒秆 高灌(杂灌均高>2.0 m)、竹藪 | 11~30 31~60 ≥61 |

表 4 整地挖穴工程量关键子目

Tab. 4 Key sub-items of the engineering volume for land preparation and pit excavation

| 项目 名称 | 项目特征 | 工作内容 | 计量单位 /块 | 作业方式 | 土壤类型 | 整地规格 /cm |
|-----------|--|---|------------|-------|-------------------|--------------------------------|
| 鱼鳞坑 整地 | 1. 整地作业方式 2. 坡度 3. 土壤类型 4. 整地要求 | 坡度≥25°的地块采用鱼鳞坑整地,沿等高 线布置,上下两行呈“品”字形相错排列,含 晒土和碎石处理 | 10 | 人工、机械 | 二类土 三类土 四类土 | 40×40×40, …,100× 100×100 |
| 穴状 整地 | 1. 整地作业方式 2. 坡度 3. 土壤类型 4. 整地要求 | 坡度<25°的地块采用穴状整地,沿等高线 布置,上下两行呈“品”字形相错排列,含晒 土和碎石处理 | 10 | 人工、机械 | 二类土 三类土 四类土 | 40×40×40, …,100× 100×100 |

表 5 未成林抚育管护工程喷洒农药工程量关键子目

Tab. 5 Key sub-items of the engineering volume for pesticide spraying in young forest tending and maintenance projects

| 项目 名称 | 项目特征 | 工作内容 | 计量单位 /hm ² | 可组合的主要内容 | | |
|----------|--|--------------------------------|--------------------------|----------|---------|----------------------------|
| | | | | 作业方式 | 种植类型 | 种植密度/(株·hm ⁻²) |
| 喷洒 农药 | 1. 药剂配置量 2. 种植类型 3. 种植密度 4. 喷洒数量 5. 作业方式 | 配置药剂并喷洒经济林苗木,修剪 受病虫害枝叶并集中烧毁 | 0.67 | 人工、机械 | 经济林 | 330、510、630 |
| | | 配置药剂并喷洒种植苗木,修剪受 病虫害枝叶并集中烧毁 | 0.67 | 人工、机械 | 生态林、国储林 | 840、1110、1665 |

在实践方面,工程量清单为林业工程建设项目管理带来了显著提升,为项目管理者提供清晰准确的工作指引和成本核算依据,有效优化资源配置,精准监控项目进度与成本,及时应对各种项目实施过程中的变化和问题,从而保障项目的顺利推进以及整体质量的提升。部分招标单位或其委托的造价咨询机构在编制工程量清单时,由于专业人员业务能力不足、对施工工艺了解不深入或工作疏忽等原因,导致清单内容存在缺项、漏项,工程量计算错误等问题^[7]。本研究得出了丽江地区细化的清单子目,能显著提升清单编制的准确性和实用性,减少误差,有效确保项目成本的控制。

同时,对于林业营造林工程市场而言,工程量清单计价方法的推广应用有助于营造公平竞争的市场环境,规范市场秩序,激励施工单位提升自身技术、管理和成本控制能力,促进整个行业朝着规范化、有序化方向健康发展,提高资源配置的效率,更好地实现林业营造林工程建设的生态、经济与社会效益目标。

然而,目前林业营造林工程建设领域在工程量清单应用方面仍存在问题,如计价方法缺乏统一标准、规范体系不完善以及成本控制难度较大等,在一定程度上制约了工程量清单计价方法优势的充分发挥,需要进一步加以改进和完善^[8]。

6.2 讨论

展望未来,随着我国对生态环境保护的持续重视以及林业工程建设规模的不断扩大,工程量清单计价方法在林业营造林工程造价管理中的应用前景广阔。

在技术层面,随着大数据、云计算、地理信息系统(GIS)、AI技术等现代信息技术的不断发展与应用,有望实现林业营造林工程建设项目数据的实时采集、精准分析以及高效管理,为工程量清单的编制、计价以及项目全过程管理提供更为科学、准确的数据支撑。例如,利用GIS技术可以精准获取林业营造林工程建设区域的地形、土壤、植被等信息,辅助确定更合理的造林规划和工程量清单内容;借助大数据分析,可以对市场上苗木价格、材料价格等波动情况进行实时监测与预测,帮助建设单位和施工单位更好地进行成本控制和风险应对;通过AI智能模块的分析,对所需的关键指标进行精确描述,可以直接生成具有针对性的工程量清单目录。

在政策层面,国家有望进一步加强对林业营造

林工程建设领域计价规范的引导和完善,出台更为细致、统一的标准和规范,推动工程量清单计价方法在林业营造林工程建设中的标准化、规范化应用。同时,通过政策激励,鼓励更多的社会资本参与林业营造林工程建设,充分发挥各方优势,提升林业营造林工程建设项目的质量和效益,实现生态保护与经济发展的良性互动。

在行业发展层面,随着工程量清单计价方法的不断推广和完善,林业工程建设行业内各参与方将更加重视专业人才培养,提高从业人员在工程量清单编制、工程造价管理等方面的专业素养,促进整个行业的技术水平和管理能力不断提升。行业内也将进一步加强交流与合作,通过分享成功经验、共同攻克难题等方式,不断优化工程量清单在林业营造林工程建设中的应用模式,推动林业营造林工程建设行业持续健康发展,为我国的生态建设和经济社会可持续发展做出更大的贡献。

总之,工程量清单在林业营造林工程建设中的应用虽面临一些挑战,但未来发展潜力巨大,通过各方共同努力,必将在实现林业工程建设的生态、经济与社会效益协同提升方面发挥更为重要的作用。

参考文献:

- [1] 罗礼明. 政府投资项目招标与合同管理要点分析[J]. 建材发展导向, 2024, 8(22): 82-84.
- [2] 卢立明, 王先伟. 新版国家标准《建设工程工程量清单计价标准》重塑招投标发承包模式[J]. 招标采购管理, 2025(2): 17-19.
- [3] 李宇菲. 浅谈园林绿化工程计价问题[J]. 工程造价管理, 2024(5): 81-85.
- [4] 孙明, 李华. 林业工程建设项目招投标中的风险管理研究[J]. 中国林业经济, 2017(2): 33-36.
- [5] 刘瑞婷. 工程量清单计价法对成本控制的影响[J]. 价值工程, 2024, 43(33): 10-12.
- [6] 住房和城乡建设部. 建设工程工程量清单计价标准: GB/T 50500—2024[S]. 北京: 中国计划出版社有限公司, 2024.
- [7] 陈鹏. 工程量清单计价模式下的工程造价管理[C]//第六届工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集. 南宁: 广西网络安全和信息化联合会, 2025: 416-418.
- [8] 赵刚. 林业工程建设项目管理中存在的问题及对策[J]. 现代园艺, 2018(18): 199-200.

责任编辑: 杨竣熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.005

滇西北老君山森林资源管理“一张图”与国土三调数据 对比分析及对策研究

杨忠兴,孙华倩,陈春祥,杨东,孔维民,张森,赵昌奎,朱高凡,廖雨秋

(云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051)

摘要:为完善老君山科学考察的土地利用基础数据,对森林资源管理“一张图”和国土三调数据进行空间叠加分析,找出差异,分析原因。结果显示,成果数据在林地、森林、天然林、公益林、湿地面积等方面差异较大。分析认为,差异原因在于影像底图数据、坐标校正参数不同,技术标准、管理属性不同,以及漏划、错划产生的不同结果。对林地保有量、森林覆盖率、天然林资源保有量、生态效益补偿等指标产生较大影响。针对差异和影响,提出开展差异地块核实,加快林草湿资源普查,加快区域保护利用规划等建议。

关键词:国土三调数据;森林资源管理“一张图”数据;数据差异分析;滇西北老君山

中图分类号:S757.1;TU981 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0026-08

引文格式:杨忠兴,孙华倩,陈春祥,等. 滇西北老君山森林资源管理“一张图”与国土三调数据对比分析及对策研究[J]. 林业调查规划,2026,51(1):26-33. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.005

YANG Zhongxing, SUN Huaqian, CHEN Chunxiang, et al. Comparative Analysis and Countermeasure Research on “One Map” for Forest Resource Management and Third National Land Survey Resource Data in the Laojun Mountain Area of Northwestern Yunnan[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 26-33. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.005

Comparative Analysis and Countermeasure Research on “One Map” for Forest Resource Management and Third National Land Survey Resource Data in the Laojun Mountain Area of Northwestern Yunnan

YANG Zhongxing, SUN Huaqian, CHEN Chunxiang, YANG Dong, KONG Weimin,
ZHANG Miao, ZHAO Changkui, ZHU Gaofan, LIAO Yuqiu

(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: To improve the basic land use data for scientific investigation in the Laojun Mountain area, a spatial overlay analysis was conducted between the “One Map” for forest resource management and the third national land resource survey data to identify discrepancies and analyze their causes. The results showed significant differences in the area of forest land, forest, natural forest, public welfare forest, and wetland between the two datasets. The analysis suggested that the discrepancies arose from differences in base map imagery, coordinate correction parameters, technical standards, management attributes, as well as omissions and misclassifications during mapping. These differences significantly impacted indicators such as the retention of forest land, forest coverage, retention of natural forest resources, and ecological benefit

收稿日期:2024-11-07;修回日期:2024-12-05

基金项目:滇西北老君山科学考察(4530700HT202300042)。

第一作者:杨忠兴(1972-),男,硕士,正高级工程师。主要从事林业调查规划和野生动植物研究监测工作。Email:yangzhongxin1109@163.com

责任作者:孙华倩(1987-),女,工程师。主要从事林草调查规划和野生动植物研究监测工作。Email:826226409@qq.com

compensation. In response to these discrepancies and their impacts, recommendations are proposed, including verifying discrepant land parcels, accelerating the comprehensive survey of forestry, grassland, and wetland resources, and expediting the formulation of regional protection and utilization plans.

Key words: third national land resource survey data; “One Map” data for forest resource management; data discrepancy analysis; Laojun Mountain in Northwestern Yunnan

为查清老君山的资源本底,科学谋划老君山保护与利用,构建科学合理的生态保护和产业发展格局,建立健全有效的生态保护体系,实现区域生态保护与利用协调发展,由云南省林业调查规划院牵头,联合中国科学院昆明植物所、云南师范大学、昆明理工大学、省社科院、国家林业局产业发展规划院等单位,全面开展老君山区域科学考察(以下简称“科学考察”)和老君山区域保护利用规划工作。

土地利用专题是科学考察的重要课题之一,而森林资源管理“一张图”数据与第三次全国国土调查数据(以下简称“国土三调”)对接、融合是土地利用专题的重要基础工作。由于土地分类标准与行业管理差异等因素,森林资源管理“一张图”与国土三调成果数据存在较大差异^[1-4]。因此,在老君山科学考察土地利用调查背景下,如何界定林地、统一数据源是土地利用调查的首要问题,本文通过数据差异对比分析,找出差异,分析影响,提出建议,对老君山区域科学考察和今后成果数据使用具有重要意义。

1 研究区概况及区域数据概况

1.1 研究区概况

滇西北老君山区域(以下简称“研究区”)地处三江并流腹地,位于玉龙县、兰坪县、剑川县交界处,地跨金沙江、澜沧江水系,研究区四至界线:北部沿金沙江、金庄河等至玉龙县与维西县交界处;西部沿兰坪罗古箐风景名胜区边界、通甸河至白石江;南部沿伐木箐、月亮坪河至剑川县羊岑乡金坪村,沿自然地形至玉龙县与剑川县交界处;东部沿九河坝大河、冲江

河等接入金沙江。地理坐标为 99°2′08″~99°57′46″E、26°31′15″~27°09′40″N,南北平均长约 72 km,东西平均宽约 54 km,面积约 26 万 km²。老君山区域拥有众多的地质、地貌自然遗迹,生物垂直分布明显,物种分化剧烈,特有种属多,植被类型丰富且系列完整,高山冰蚀湖泊众多,高山亚高山沼泽化草甸资源丰富,湿地生态脆弱而敏感。研究区包括三江并流风景名胜区老君山片区、兰坪罗古箐风景名胜区、云南箐花甸国家湿地公园、云南玉龙黎明—老君山国家地质公园、玉龙雪山风景名胜区等 5 处保护地,是老君山区域的重要组成部分,该区域是重要的国家生态安全屏障,生态区位重要,保护意义重大。

1.2 区域数据概况

1.2.1 数据来源

国土三调数据是基于第三次国土调查数据,森林资源管理“一张图”数据是基于 2020 年全省森林资源管理“一张图”更新数据。

1.2.2 基础数据

基于国土三调数据统计分析,研究区土地面积 259 989.98 hm²,其中林地面积 224 782.02 hm²,占土地面积的 86.46%。森林面积 209 994.45 hm²,天然林面积 215 428.06 hm²,公益林面积 136 482.71 hm²,森林覆盖率 80.77%。

基于森林资源管理“一张图”数据统计分析,研究区土地面积 259 989.98 hm²,其中林地面积 229 574.22 hm²,占土地面积的 88.30%。森林面积 218 254.47 hm²,天然林面积 225 062.03 hm²,公益林面积 140 557.77 hm²,森林覆盖率 83.95%(表 1)。

表 1 森林资源管理“一张图”与国土三调基础数据统计

Tab.1 Basic data statistics of the “One Map” for forest resource management and the third national land resource survey

| 基础数据类型 | 土地总面积 /hm ² | 林地面积 /hm ² | 森林面积/hm ² | | | 森林覆盖 率/% | 公益林 /hm ² | 重点公益林 /hm ² | 天然林 /hm ² |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|----------|-----------|-------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | | 林地内森林 | 林地外森林 | 合计 | | | | |
| 国土三调 | 259989.98 | 224782.02 | 205375.04 | 4619.41 | 209994.45 | 80.77 | 136482.71 | 131423.18 | 215428.06 |
| 森林资源管理 “一张图” | 259989.98 | 229574.22 | 210683.35 | 7571.12 | 218254.47 | 83.95 | 140557.77 | 135169.49 | 225062.03 |
| 差值 | 0 | -4792.20 | -5308.31 | -2951.71 | -8260.02 | -3.18 | -4075.06 | -3746.31 | -9633.97 |

注:国土三调公益林面积以国土三调认定为林地、森林资源管理“一张图”区划为公益林的图斑面积统计,不包括国土三调认定为林地、森林资源管理“一张图”区划为非林地的图斑面积。

2 研究内容与方法

2.1 研究内容

2.1.1 空间差异分析

利用 GIS 叠加分析功能,联合森林资源管理“一张图”和国土三调空间属性数据库,以地类变化转移为主,结合森林类别、起源、工程类别等管理属性,分析森林资源管理“一张图”和国土三调数据之间的差异,并逐项标识,提取不一致图斑,形成差异分析数据库^[5-9]。

2.1.2 差异原因分析

根据差异分析数据库,以调查时的卫星影像为依据,按照林草部门和自然资源部门的调查标准,逐项分析产生不一致图斑的根源、环境等因素,综合评判具体原因,并做标识^[5-9]。

2.1.3 影响分析

从林草、自然资源管理部门的角度出发,着重分析数据变化对天然林资源总量、公益林保有量、公益林生态补偿效益^[5-9]、退耕还林保存面积的影响以及在政策制定、社会稳定等方面的影响。

2.1.4 提出建议

依据数据差异分析、影响分析和现地调查取证核实结果,结合林业资源管理和自然资源管理的法律法规、政策、文件、技术规范^[5-8],通过客观论证,综合评判,提出具有可操作性建议。

2.2 研究方法

2.2.1 文献调查法

文献调查法是深入了解研究领域的背景、现状和趋势的重要方法,通过检索、查阅相关法律法规、政策文件、技术规范、科技论文等文献资料,提取关键信息,细化数据对比分析的目标要求^[5-9],基于文献资料,初步得出产生数据差异的原因。

2.2.2 空间分析法

空间分析法能够直观展示数据在空间上的分布和变化。利用 ArcGIS 软件空间分析功能,对森林资源管理“一张图”和国土三调数据进行空间叠加分析,以揭示空间范围和属性因子的变化转移情况^[5-9]。

1)数据准备。获取研究区森林资源管理“一张图”和国土三调数据,确保数据的准确性和完整性。

2)空间叠加。利用 ArcGIS 软件中“地理处理”工具下的“联合”功能,对森林资源管理“一张图”和国土三调数据进行空间叠加分析,形成联合数据库。

3)图形数据处理。编辑联合数据库,利用“高级编辑”下的“拆分多部件要素”工具对联合后的多

部件图斑进行拆分,形成单个独立的图斑。求算各图斑的椭圆面积,利用“数据管理工具”中的“消除”功能,合并细碎图斑,最小面积保留 0.04 hm²。

4)变化标识。筛选出森林资源管理“一张图”地类为“林地”且国土三调地类为“林地”的图斑,标识为“保留的林地”;筛选森林资源管理“一张图”地类为“林地”且国土三调地类为“非林地”的图斑,标识为“减少的林地”;筛选森林资源管理“一张图”地类为“非林地”且国土三调地类为“林地”的图斑,标识为“增加的林地”。在“保留的林地”中筛选森林类别为“公益林”、起源为“天然”的图斑,分别标识为“公益林保留”及“天然林保留”;在“减少的林地”中筛选森林类别为“公益林”、起源为“天然”的图斑,分别标识为“公益林减少”及“天然林减少”;在“增加的林地”中筛选森林类别为“公益林”、起源为“天然”的图斑,分别标识为“公益林增加”及“天然林增加”。

2.2.3 转移矩阵分析法

转移矩阵分析法能够系统地分析各因子之间在数量上的转移情况,揭示其变化规律和趋势,分析变化原因。

1)构建转移矩阵。根据空间分析结果,分别统计地类、生态公益林、起源、湿地、退耕还林等的变化转移情况,构建转移矩阵。

2)遥感判读。以最新遥感影像数据为参考,对照调查期影像,对每一类地类转移情况进行遥感判读,标识变化情况和疑似变化原因^[5-7]。

3)原因分析。结合遥感判读结果,综合相关文献和资料,研究确定变化转移的具体原因和影响因素。

3 结果与分析

3.1 国土三调与森林资源管理“一张图”数据对比分析

3.1.1 差异图斑数量

通过国土三调和森林资源管理“一张图”数据对比,对不一致图斑进行统计,不一致图斑共 38 216 个,面积 17 850.24 hm²。其中,单个图斑面积在 0.04~0.07 hm² 范围的有 5 455 个,图斑总面积 281.94 hm²;单个图斑面积在 0.07 hm² 以上的有 32 761 个,图斑总面积 17 568.30 hm²;单个图斑面积在 1 hm² 以上的有 2 320 个,图斑总面积 6 320.83 hm²。其中,单个图斑面积在 0.07 hm² 以上的不一致图斑是今后补充调查核实、对比分析的主要对象。

3.1.2 土地类型差异分析

根据数据转移矩阵分析,国土三调认定的林地面积为 229 574.22 hm²,林地划分为乔木林地、竹林

地、灌木林地、其他林地 4 种类型。森林资源管理“一张图”区划的林地面积为 140 557. 77 hm²,林地划分为有林地、疏林地、国家特别规定灌木林地、其他灌木林地等 8 种类型。国土三调与森林资源管理“一张图”林地面积相比减少 11 321. 52 hm²,面积和类型相比差异较大。由数据转移矩阵可知,森林资

源管理“一张图”数据中的部分林地地块被国土三调认定为草地、耕地、水域及水利设施用地、交通运输用地等多种地类,其中被认定为草地的占比 55. 66%、被认定为耕地的占比 23. 55%、被认定为水域及水利设施用地的占比 6. 58%、被认定为交通运输用地等 9 种地类的占比 14. 21%(表 2,图 1)。

表 2 国土三调与森林资源管理“一张图”地类转移矩阵

Tab. 2 Land type transfer matrix between the third national land resource survey and the “One Map” for forest resource management

hm²

| 国土三调 | | 森林资源管理“一张图” | | | | | | | | | | |
|------|-----------------|-------------|---------|--------------------|----------------|----------|---------------|---------|------------------|-----------|----------|-----------|
| | | 林地 | | | | | | | | 非林地 | 合计 | |
| | | 有林地 | 疏林地 | 国家特别 规定灌木 林地 | 其他 灌木 林地 | 未成 林地 | 无立 木林 地 | 宜林地 | 林业辅 助生产 用地 | | | 小计 |
| 林地 | 乔木林地 | 197180.92 | 207.23 | 4031.27 | 2456.40 | 93.60 | 1076.82 | 295.42 | 33.38 | 205375.04 | 4619.12 | 209994.16 |
| | 竹林地 | | | | | | | | | | 0.29 | 0.29 |
| | 灌木林地 | 5550.47 | 37.29 | 1686.13 | 1549.26 | 13.54 | 1020.88 | 85.12 | 4.92 | 9947.61 | 1399.03 | 11346.64 |
| | 其他林地 | 1922.18 | 29.94 | 312.38 | 347.28 | 8.29 | 238.06 | 71.66 | 0.26 | 2930.05 | 510.88 | 3440.93 |
| | 小计 | 204653.57 | 274.46 | 6029.78 | 4352.94 | 115.43 | 2335.76 | 452.20 | 38.56 | 218252.70 | 6529.32 | 224782.02 |
| 非林地 | 耕地 | 2099.95 | 0.05 | 116.97 | 45.33 | 200.93 | 169.77 | 32.35 | 0.68 | 2666.03 | 11207.98 | 13874.01 |
| | 园地 | 332.76 | | 10.46 | 3.65 | 15.60 | 12.15 | | | 374.62 | 385.99 | 760.61 |
| | 草地 | 2145.35 | 66.43 | 1182.50 | 1464.67 | 72.03 | 719.11 | 646.32 | 5.68 | 6302.09 | 8007.46 | 14309.55 |
| | 湿地 | 39.42 | 0.37 | 2.58 | 37.90 | | 4.43 | 5.54 | | 90.24 | 467.21 | 557.45 |
| | 商业服务用地 | 3.43 | | 0.26 | 0.05 | 0.16 | 0.27 | 0.43 | | 4.60 | 71.62 | 76.22 |
| | 工矿用地 | 15.33 | | 0.45 | 1.54 | 5.40 | 5.66 | 0.11 | | 28.49 | 121.63 | 150.12 |
| | 住宅用地 | 72.38 | | 2.87 | 0.85 | 8.19 | 4.68 | 0.90 | | 89.87 | 1162.70 | 1252.57 |
| | 公共管理与公共 服务用地 | 4.58 | | | | 0.39 | 0.11 | | | 5.08 | 72.05 | 77.13 |
| | 特殊用地 | 2.62 | | | | | 0.15 | 0.91 | | 3.68 | 12.45 | 16.13 |
| | 交通运输用地 | 499.35 | 1.92 | 16.83 | 19.54 | 8.52 | 12.24 | 4.68 | 7.86 | 570.94 | 573.20 | 1144.14 |
| | 水域及水利设 施用地 | 675.60 | 1.56 | 20.73 | 14.71 | 9.30 | 16.38 | 6.05 | 0.09 | 744.42 | 1019.34 | 1763.76 |
| | 其他土地 | 200.60 | 1.74 | 126.10 | 79.72 | 1.47 | 17.94 | 9.14 | 4.75 | 441.46 | 784.81 | 1226.27 |
| | | 小计 | 6091.37 | 72.07 | 1479.75 | 1667.96 | 321.99 | 962.89 | 706.43 | 19.06 | 11321.52 | 23886.44 |
| | 合计 | 210744.94 | 346.53 | 7509.53 | 6020.90 | 437.42 | 3298.65 | 1158.63 | 57.62 | 229574.22 | 30415.76 | 259989.98 |

3. 1. 3 生态公益林面积差异

根据数据转移矩阵分析,国土三调认定的公益林面积为 136 482. 71 hm²,森林资源管理“一张图”区划的生态公益林面积为 140 557. 77 hm²,国土三调与森林资源管理“一张图”公益林面积相比减少了 4 075. 06 hm²。由数据转移矩阵可知,森林资源管理“一张图”数据中的部分公益林地块被国土三调认定为草地、耕地、水域及水利设施用地、交通运输用地等多种地类,其中被认定为草地的占比 51. 98%、被认定为耕地的占比 20. 13%、被认定为水域及水利设施用地的占比 11. 18%、被认定为交通运输用地等 9 种地类的占比 16. 71%(表 3,图 2)。

3. 1. 4 林分起源差异

根据数据转移矩阵分析,国土三调认定的林地面积为 215 428. 06 hm²,其中,天然起源林地 172 630. 39 hm²,人工起源林地 42 797. 67 hm²。森林资源管理“一张图”区划林分起源的林地面积为 225 062. 03 hm²,其中,天然起源林地 179 484. 83 hm²,人工起源林地 45 577. 20 hm²。国土三调与森林资源管理“一张图”数据相比天然林起源林地面积减少 6 854. 44 hm²,人工起源林地面积减少 2 779. 53 hm²。由数据转移矩阵可知,森林资源管理“一张图”数据中的部分天然林地块被国土三调认定为草地、耕地、水域及水利设施用地、交通运输用地等多种地类,其中被认

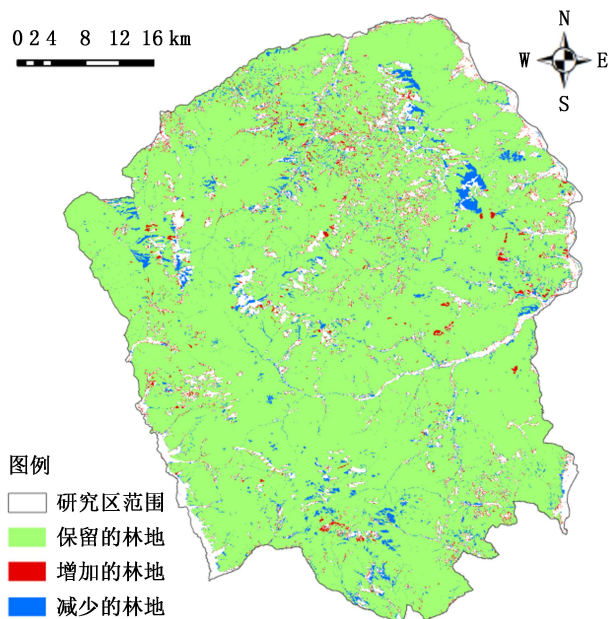


图 1 国土三调与森林资源管理“一张图”林地面积差异
Fig. 1 Discrepancy of forest land area between the third national land resource survey and the “One Map” for forest resource management

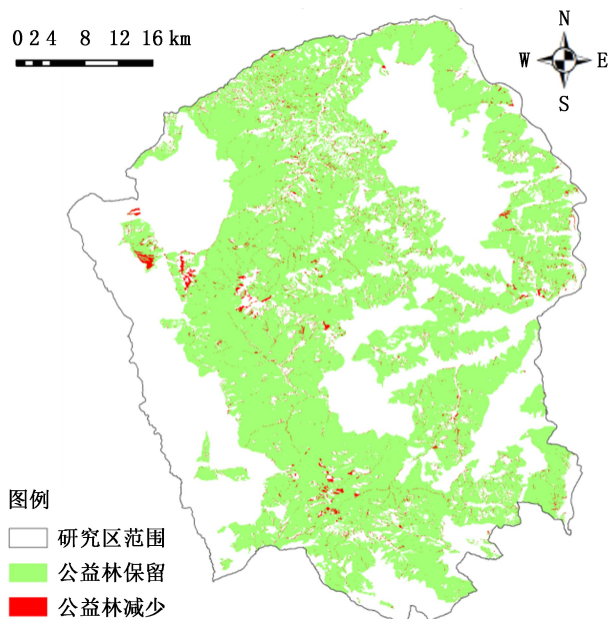


图 2 国土三调与森林资源管理“一张图”生态公益林面积差异
Fig. 2 Discrepancy of public welfare forest area between the third national land resource survey and the “One Map” for forest resource management

表 3 国土三调与森林资源管理“一张图”生态公益林按事权等级统计转移矩阵

Tab.3 Transfer matrix of public welfare forest by management authority level between the third national land resource survey and the “One Map” for forest resource management hm^2

| 国土三调 | | 森林资源管理“一张图” | | |
|------|-------------|-------------|---------|-----------|
| | | 重点公益林 | 一般公益林 | 合计 |
| 林地 | 乔木林地 | 125425.28 | 4548.80 | 129974.08 |
| | 灌木林地 | 5204.96 | 297.61 | 5502.57 |
| | 其他林地 | 792.94 | 213.12 | 1006.06 |
| | 小计 | 131423.18 | 5059.53 | 136482.71 |
| 非林地 | 耕地 | 807.73 | 12.58 | 820.31 |
| | 园地 | 85.48 | 0.12 | 85.60 |
| | 草地 | 1846.26 | 271.87 | 2118.12 |
| | 湿地 | 15.09 | 8.10 | 23.20 |
| | 商业服务用地 | 1.24 | | 1.24 |
| | 工矿用地 | 3.21 | | 3.21 |
| | 住宅用地 | 20.37 | 0.13 | 20.50 |
| | 公共管理与公共服务用地 | 1.58 | | 1.58 |
| | 特殊用地 | 0.10 | | 0.10 |
| | 交通运输用地 | 274.61 | 14.11 | 288.72 |
| | 水域及水利设施用地 | 436.84 | 18.94 | 455.78 |
| | 其他土地 | 253.80 | 2.90 | 256.70 |
| | 小计 | 3746.31 | 328.75 | 4075.06 |
| | 合计 | 135169.49 | 5388.28 | 140557.77 |

定为草地的占比 62.63%, 被认定为耕地的占比 15.51%, 被认定为水域及水利设施用地的占比 7.67%, 被认定为交通运输用地等 9 种地类的占比 14.19% (表 4, 图 3)。

3.1.5 湿地资源差异

根据数据转移矩阵分析, 国土三调区划为湿地的面积为 446.48 hm^2 , 湿地类型划分为森林沼泽、灌丛沼泽、沼泽草地、其他沼泽草地、内陆滩涂 5 类。森林资源管理“一张图”区划的湿地面积为 3241.89 hm^2 , 划分为河流湿地、沼泽湿地、人工湿地 3 类湿地。国土三调与森林资源管理“一张图”相比湿地面积减少了 2795.41 hm^2 , 减少了 86.23%, 湿地面积大幅减少。由数据转移矩阵可知, 森林资源管理“一张图”数据中的湿地地块大部分被国土三调认定为林地、水域及水利设施用地、草地等多种地类, 其中被认定为林地的占比 44.38%, 被认定为水域及水利设施用地的占比 21.96%, 被认定为草地的占比 15.55%, 被认定为耕地等 7 种地类的占比 18.11% (表 5)。

3.1.6 退耕还林面积差异

根据数据转移矩阵分析, 国土三调区划的退耕还林面积为 184.53 hm^2 , 森林资源管理“一张图”区划的退耕还林面积为 656.89 hm^2 。国土三调与森林资源管理“一张图”的退耕还林面积相比减少了 472.36 hm^2 。由数据转移矩阵可知, 森林资源管理“一张图”数据

表 4 国土三调与森林资源管理“一张图”林地起源按地类统计转移矩阵

Tab. 4 Transfer matrix of forest origin by land type between the third national land resource survey and the “One Map” for forest resource management

| 国土三调 | | 森林资源管理“一张图” | | | | | | | | | 合计 |
|------|-----------|-------------|--------|----------|-----------|----------|-------|--------|--------|----------|-----------|
| | | 天然 | | | | 人工 | | | | | |
| | | 乔木林 | 疏林地 | 灌木林地 | 小计 | 乔木林 | 疏林地 | 灌木林地 | 未成林地 | 小计 | |
| 林地 | 乔木林地 | 156220.98 | 122.16 | 6418.02 | 162761.16 | 40961.10 | 85.03 | 69.78 | 93.63 | 41209.54 | 203970.70 |
| | 灌木林地 | 4572.58 | 35.00 | 3165.22 | 7772.80 | 978.23 | 2.27 | 70.11 | 13.55 | 1064.16 | 8836.96 |
| | 其他林地 | 1445.20 | 29.57 | 621.66 | 2096.43 | 477.27 | 0.37 | 38.03 | 8.30 | 523.97 | 2620.40 |
| | 小计 | 162238.76 | 186.73 | 10204.90 | 172630.39 | 42416.60 | 87.67 | 177.92 | 115.48 | 42797.67 | 215428.06 |
| 非林地 | 耕地 | 988.11 | 0.05 | 74.97 | 1063.13 | 1112.06 | | 87.25 | 200.95 | 1400.26 | 2463.39 |
| | 园地 | 95.03 | | 6.81 | 101.84 | 237.69 | | 7.32 | 15.57 | 260.58 | 362.42 |
| | 草地 | 1617.20 | 65.35 | 2610.05 | 4292.60 | 528.32 | 1.06 | 37.18 | 72.02 | 638.58 | 4931.18 |
| | 湿地 | 32.56 | 0.37 | 40.43 | 73.36 | 6.89 | | | | 6.89 | 80.25 |
| | 商业服务用地 | 1.86 | | 0.20 | 2.06 | 1.58 | | 0.11 | 0.16 | 1.85 | 3.91 |
| | 工矿用地 | 8.38 | | 1.76 | 10.14 | 6.93 | | 0.24 | 5.42 | 12.59 | 22.73 |
| | 住宅用地 | 30.76 | | 1.19 | 31.95 | 41.58 | | 2.53 | 8.18 | 52.29 | 84.24 |
| | 公共服务用地 | 2.36 | | | 2.36 | 2.23 | | | 0.39 | 2.62 | 4.98 |
| | 特殊用地 | 1.43 | | | 1.43 | 1.20 | | | | 1.20 | 2.63 |
| | 交通运输用地 | 337.12 | 1.54 | 32.86 | 371.52 | 162.19 | 0.37 | 3.57 | 8.53 | 174.66 | 546.18 |
| | 水域及水利设施用地 | 490.59 | 1.56 | 33.84 | 525.99 | 185.41 | | 1.64 | 9.28 | 196.33 | 722.32 |
| | 其他土地 | 171.47 | 1.74 | 204.85 | 378.06 | 29.27 | | 0.94 | 1.47 | 31.68 | 409.74 |
| | 小计 | 3776.87 | 70.61 | 3006.96 | 6854.44 | 2315.35 | 1.43 | 140.78 | 321.97 | 2779.53 | 9633.97 |
| | 合计 | 166015.63 | 257.34 | 13211.86 | 179484.83 | 44731.95 | 89.10 | 318.70 | 437.45 | 45577.20 | 225062.03 |

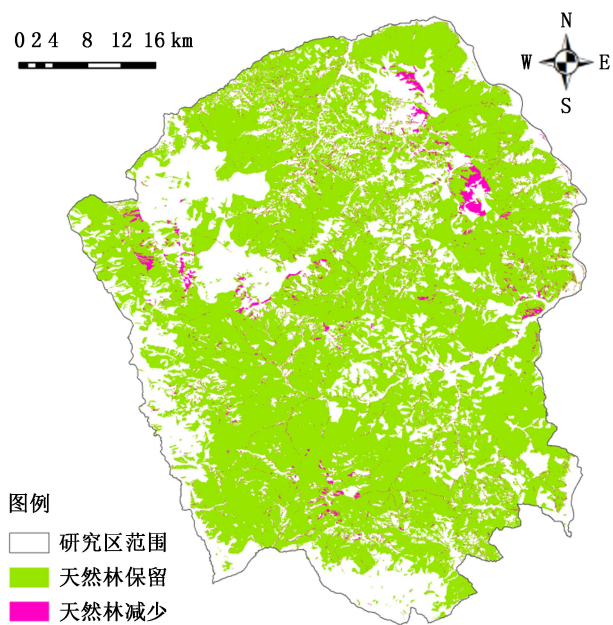


图 3 国土三调与森林资源管理“一张图”天然林面积差异

Fig. 3 Discrepancy of natural forest area between the third national land resource survey and the “One Map” for forest resource management

中的退耕还林地块大部分被国土三调认定为耕地、园地、草地,这些地块已颁发林权证而未认定为林地。

3.2 数据差异原因分析

以叠加分析形成基础数据,统计国土三调和森林资源管理“一张图”各种类型的数据差异情况。根据统计分析,差异原因有 3 类,差异类型有 7 类,根据差异类型分析产生差异的原因(表 6)。

3.3 数据差异影响分析

3.3.1 对林地保有量的影响

基于国土三调数据统计分析,土地总面积 259 989.98 hm²。其中,林地面积 224 782.02 hm²,占研究区土地总面积的 86.46%。基于森林资源管理“一张图”数据统计分析,林地面积 229 574.22 hm²,占研究区土地总面积的 88.30%。林地面积两者相差 1.84%,与森林资源管理“一张图”相比国土三调数据林地面积减少 4 792.20 hm²,对研究区及涉及各县的林地保有量产生较大影响,难以完成林地保有量指标。

3.3.2 对森林面积及森林覆盖率的影响

基于国土三调数据统计分析,森林面积 209 994.45 hm²。其中,林地范围内森林面积 205 375.04 hm²,地类为乔木林地;林地范围外森林面积 4 619.41 hm²,主要为森林资源管理“一张图”非林地上的乔木林和

表 5 2020 年湿地监测与国土三调地类转移矩阵

Tab.5 Land type transfer matrix between the wetland monitoring and the third national land resource survey in 2020 hm²

| 国土三调 | | 湿地监测 | | | | | | | | | |
|------|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|---------|
| | | 河流湿地 | | | 沼泽湿地 | | | | | 人工湿地 | 合计 |
| | | 永久性河流 | 洪泛湿地 | 小计 | 草本沼泽 | 灌丛沼泽 | 森林沼泽 | 沼泽化草甸 | 小计 | 库塘 | |
| 林地 | 乔木林地 | 29.83 | 0.84 | 30.67 | 16.86 | 546.25 | 615.09 | 55.50 | 1233.70 | 3.22 | 1267.59 |
| | 灌木林地 | 14.01 | 0.98 | 14.99 | 9.60 | 58.95 | 35.22 | 17.81 | 121.58 | | 136.57 |
| | 其他林地 | 2.59 | 1.69 | 4.28 | 8.83 | 9.22 | 12.08 | 0.30 | 30.43 | | 34.71 |
| | 小计 | 46.43 | 3.51 | 49.94 | 35.29 | 614.42 | 662.39 | 73.61 | 1385.71 | 3.22 | 1438.87 |
| 非林地 | 耕地 | 37.02 | 21.53 | 58.55 | 0.07 | 0.09 | 1.06 | 2.45 | 3.67 | 1.51 | 63.73 |
| | 园地 | 5.04 | 8.72 | 13.76 | | | | | | | 13.76 |
| | 草地 | 3.68 | 0.11 | 3.79 | 78.57 | 118.02 | 37.33 | 263.53 | 497.45 | 3.01 | 504.25 |
| | 湿地 | 88.57 | 222.36 | 310.93 | 114.69 | | | 4.67 | 119.36 | 16.19 | 446.48 |
| | 商业服务用地 | 0.07 | | 0.07 | | | 0.25 | | 0.25 | | 0.32 |
| | 工矿用地 | 0.05 | | 0.05 | 1.96 | | | | 1.96 | | 2.01 |
| | 住宅用地 | 1.28 | 0.15 | 1.43 | | | | | | | 1.43 |
| | 交通运输用地 | 3.30 | 0.64 | 3.94 | 1.98 | 0.67 | | 3.93 | 6.58 | | 10.52 |
| | 水域及水利设施用地 | 546.43 | 59.79 | 606.22 | 15.86 | 32.74 | 15.82 | 4.09 | 68.51 | 37.24 | 711.97 |
| | 其他土地 | 1.59 | 0.67 | 2.26 | | 35.80 | 0.53 | 9.96 | 46.29 | | 48.55 |
| | 小计 | 687.03 | 313.97 | 1001.00 | 213.13 | 187.32 | 54.99 | 288.63 | 744.07 | 57.95 | 1803.02 |
| | 合计 | 733.46 | 317.48 | 1050.94 | 248.42 | 801.74 | 717.38 | 362.24 | 2129.78 | 61.17 | 3241.89 |

表 6 数据差异原因分析

Tab.6 Analysis of causes for data discrepancies

| 差异原因 | 差异类型 | 原因分析 |
|-------------------|--------------------------------------|---|
| 1 影像底图数据、坐标校正参数不同 | 1.1 细碎图斑 | 因图层对接时在图斑边界形成的面积小于 100 m ² 的细碎图斑 |
| | 1.2 图斑边界差异 | 因图斑区划的影像底图数据分辨率等有差异,造成图斑区划边界不同 |
| | 1.3 影像拍摄季节差异 | 因影像拍摄季节不同,造成地类判定差异。如干热河谷区的稀树灌木草丛,国土三调区划为草地或其他土地类别在森林资源管理“一张图”中被区划为灌木林地 |
| 2 技术标准、管理属性不同 | 2.1 调查精度标准差异 | 国土三调调查精度要求高于森林资源管理“一张图”调查区划精度要求,如国土三调建筑用地最小区划面积为 100 m ² ,农用地最小区划面积为 400 m ² ,而森林资源管理“一张图”最小区划面积为 667 m ² ;森林资源管理“一张图”区划的林地图斑可能包括了国土三调区划为居住用地、交通运输用地、农用地等非林地图斑,因区划精度标准不同而未单独区划 |
| | 2.2 地类划分标准差异 | (1)灌木林地确定标准不同。国土三调要求灌木覆盖度 40%以上划为灌木林地,森林资源管理“一张图”要求灌木覆盖度 30%以上划为灌木林地。(2)湿地划分标准不同。(3)森林资源管理“一张图”无草地类型。(4)森林资源管理“一张图”中盖度较低的有林地、疏林地、灌木林地在国土三调中被认定为草地。(5)森林资源管理“一张图”中的部分未成林地、无立木林地、宜林地在国土三调中被认定为草地。(6)森林资源管理“一张图”中因地质灾害造成无林木或无植被盖度的林地在国土三调中被区划为非林地。(7)森林资源管理“一张图”中的乔木林和灌木林分别包括了国土三调中的乔木林、森林沼泽和灌木林、园地、灌丛沼泽 |
| | 2.3 管理属性差异 | 国土三调按土地覆盖区划地类,森林资源管理“一张图”按土地管理属性区划地类。如国土三调区划为园地的类别在森林资源管理“一张图”中被区划为经济林;国土三调区划为工矿用地、交通运输用地的类别在森林资源管理“一张图”中被区划为临时占用的无立木林地;国土三调区划为耕地的类别在森林资源管理“一张图”中被区划为因毁林开垦形成的无立木林地等 |
| 3 漏划、错划产生的不同 | 3.1 国土三调区划为林地的类别在森林资源管理“一张图”中被区划为非林地 | 除以上几种因素产生的地类不一致外,统一归为漏划、错划图斑 |
| | 3.2 国土三调区划为非林地的类别在森林资源管理“一张图”中被区划为林地 | |

竹林,研究区森林覆盖率为 80.77%。基于森林资源管理“一张图”数据统计分析,森林面积 218 254.47 hm²,森林覆盖率为 83.95%。森林面积两者相差

3.93%,与森林资源管理“一张图”相比国土三调数据森林面积减少 8 260.02 hm²,森林覆盖率减少 3.18%,对森林面积保有量及覆盖率产生较大影响。

3.3.3 对公益林及其补偿的影响

基于国土三调数据统计分析,公益林地面积 136 482.71 hm²,基于森林资源管理“一张图”数据统计分析,公益林地面积 140 557.77 hm²。公益林面积两者相差 2.99%,与森林资源管理“一张图”公益林面积相比国土三调数据减少 4 076.06 hm²。以公益林补偿金额 150 元/hm² 的标准计算,则每年减少补偿资金 61.125 9 万元。因此,公益林补偿资金的减少对公益林补偿对象,特别是对受益农户产生较大影响,存在农户情绪波动、集体上访等风险。

3.3.4 对退耕还林的影响

基于国土三调数据统计分析,退耕还林面积 184.53 hm²。基于森林资源管理“一张图”数据统计分析,退耕还林面积 656.89 hm²。二者相差 255.98%,与森林资源管理“一张图”退耕还林面积相比国土三调数据减少 472.36 hm²。退耕还林工程是国家实施的重大生态保护修复工程,退耕还林保存面积减少对退耕还林工程的面积保有量、退耕还林受益农户、森林覆盖率等产生一定影响。

3.3.5 对天然林资源的影响

基于国土三调数据统计分析,天然林面积 215 428.06 hm²。基于森林资源管理“一张图”数据统计分析,天然林面积 225 062.03 hm²。两者相差 4.47%,与森林资源管理“一张图”天然林面积相比国土三调数据减少 9 633.97 hm²。天然林资源保护工程是国家实施的重大生态保护工程,天然林面积减少对天保工程的天然林资源保有量和今后保护管理产生较大影响。

3.3.6 对湿地资源的影响

基于国土三调数据统计分析,湿地面积 446.48 hm²。基于森林资源管理“一张图”数据统计分析,湿地面积 3 241.89 hm²。两者相差 626.10%,国土三调数据与森林资源管理“一张图”湿地面积相比减少 2 795.41 hm²。由于湿地类型划分标准不同,造成湿地认定对象、区划范围、面积统计差异较大,对湿地的保护管理等产生较大影响。

4 建 议

4.1 开展差异地块核实,完善基础数据

根据数据差异地块分析结果,利用最新的高分辨率卫星影像开展现地调查,其中退耕还林地块以查阅档案资料为主,重点针对森林资源管理“一张图”区划为林地但国土三调认定为非林地、森林资源管理“一张图”区划为非林地但国土三调认定为林地的地块逐一调查核实,找出合理的调整方案,确

定土地利用类型,优化完善数据,为本次老君山科学考察和今后成果数据使用奠定基础。

4.2 加快林草湿资源普查,确定权威数据

2024 年 5 月,云南省启动了林草湿资源普查工作,以实地利用现状认定地类,彻底解决地类认定冲突、调查结果不统一问题,真正形成各级自然资源和林草部门上下一致的自然资源调查监测“一张底图”。涉及老君山区域的各级政府和林草部门应按照普查工作相关要求加快推进工作进度,按程序逐级上报审核认定,形成权威成果数据,为区域发展规划、林地保护利用规划、国土空间规划编制提供科学基础依据。

4.3 加强森林资源保护管理

数据核实调整完善后,根据部门的职能职责,从区域发展的角度出发,保护地内的资源严格按保护地相关规定管理,保护地外的资源按照相关法律法规管理,持续加强林草湿资源保护管理,确保滇西北生态安全。

4.4 加快区域保护利用规划

在综合科学考察基础上,结合保护地整合优化结果,充分运用科学考察成果数据,加快推进老君山区域保护利用规划,合理布局生态保护与产业发展空间,科学指导老君山区域生态保护与合理利用协调发展。

参考文献:

- [1] 梁耀,刘亚,刘震峰,等.数据对接整合背景下森林资源管理研究——以广西南宁横州市为例[J].广西林业科学,2023,52(5):661-668.
- [2] 薛灯虹.林业“一张图”和国土“三调”数据融合森林资源变化分析——以平潭岛为例[J].现代园艺,2023,24:23-25.
- [3] 邱尧荣.新一轮林地保护利用规划的背景、问题与技术要点[J].华东森林经理,2020,34(S1):1-6.
- [4] 姜文龙,武启飞.林草湿与“三调”数据融合研究——以江苏省连云港市赣榆区为例[J].贵州林业科技,2022,50(4):28-33.
- [5] 程伟亚,张镔漫,王涵,等.森林资源管理“一张图”与国土“三调”差异分析及整合探讨[J].林业资源管理,2021(6):6-11.
- [6] 路飞,吴落军,鲜明睿,等.东川区第三次全国国土调查与森林资源管理“一张图”数据对比研究[J].林业建设,2021(3):43-47.
- [7] 曲宏辉,丛鹏蕾,刘成杰,等.关于森林资源管理“一张图”中林地地区划的相关研究[J].林业调查规划,2022,47(4):134-137.
- [8] 郑文松.第三次全国土地调查与森林资源管理“一张图”数据融合方法探讨[J].林业调查规划,2022,47(6):5-9.
- [9] 杨保平,薛婷婷.森林资源管理“一张图”与国土“三调”对接融合成果分析——以吴起县为例[J].绿色科技,2023,25(11):132-137.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.006

基于小班水平的森林可持续经营指标体系构建与评价探索

李章贵,魏雪峰,杨启运,张以棚,宋永全,杜宇航

(云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051)

摘要:在可持续发展理论基础上,根据小班或林分样地可调查数据及相关档案资料,构建包括生态系统生产力维持、生态系统健康与活力、生物多样性、经营者和利益相关者、经济效益 5 个方面 26 个指标的小班水平森林可持续经营指标体系。结合可持续林业评判准则,研究各评价指标定量转化方法及赋权方法,从而计算小班可持续性发展状态综合评价指数,评估小班森林可持续发展状态,对调整小班森林经营措施,指导区域森林可持续经营具有重要现实意义。

关键词:可持续经营指标体系;小班水平;森林生态系统;生态系统生产力;生物多样性

中图分类号:S757.46;X22;Q186.16;N945.16 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0034-07

引文格式:李章贵,魏雪峰,杨启运,等. 基于小班水平的森林可持续经营指标体系构建与评价探索[J]. 林业调查规划,2026,51(1):34-40. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.006

LI Zhanggui, WEI Xuefeng, YANG Qiyun, et al. Construction and Evaluation of Sustainable Forest Management Indicator System at Sub-compartment Level[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 34-40. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.006

Construction and Evaluation of Sustainable Forest Management Indicator System at Sub-compartment Level

LI Zhanggui, WEI Xuefeng, YANG Qiyun, ZHANG Yipeng, SONG Yongquan, DU Yuhang

(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: Based on the theory of sustainable forest development, through the sample plot survey data and archives, this paper constructed the indicator system of sustainable forest management at sub-compartment level, including 26 indicators in five aspects such as maintenance of ecosystem productivity, ecosystem health and vitality, biodiversity, managers and stakeholders and economic benefits. According to the forestry sustainability guidelines, the methods for the quantitative transformation and weighting assignment of each evaluation indicator was proposed, so the sustainable development comprehensive index of the sub-compartment could be calculated and its sustainable development status could be assessed. This is actually helpful for adjusting forest management measures at the sub-compartment level and guiding sustainable forest management practices at the regional level.

Key words: sustainable management indicator system; sub-compartment level; forest ecosystem; ecosystem productivity; biodiversity

收稿日期:2024-10-14;修回日期:2024-12-04

第一作者:李章贵(1972-),男,正高级工程师。从事森林和草原资源监测、森林生态修复和森林经营研究工作。Email:396903698@qq.com

责任作者:魏雪峰(1974-),男,高级工程师。从事森林资源管理、森林经营研究工作。Email:296565014@qq.com

1978 年,国际环境和发展委员会(WCED)首次在文件中正式使用了可持续发展概念。20 世纪 80 年代后期,林业工作者将可持续发展思想应用于林业中,产生了可持续林业概念。森林可持续经营的标准与指标已被公认定义、界定、评估^[1]。森林可持续经营的标准和指标可分为 3 个大的层次,即大生态区水平(国际进程)、国家水平、亚国家水平(地区水平、经营单位水平以及当地社区水平)^[2]。

第一个层次:国际或区域水平的指标和标准。这个层次主要是指九大国际进程以评价和监测森林可持续经营状况。他们分别从各自区域发展和各自森林的特点出发,制定适合本区域的森林可持续经营标准和指标体系。评价体系一般都包含森林生产力、森林生态系统健康和活力、森林生态系统生物多样性、环境保护以及社会经济功能以及法律政策框架等要素内容^[3]。

第二个层次:各国标准与指标。具体指各个国家或地区按照国际标准同时结合自身国情和林情,制定各自国家的标准和指标。我国 2002 年出台了《中国森林可持续经营标准与指标》(LY/T 1954—2002),制定了生物多样性保护、森林生态系统生产力的维持、森林生态系统的健康与活力、水土保持、森林对全球碳循环的贡献、长期社会效益的保持和加强、法律及政策保障体系、信息及技术支撑体系等方面的指标体系。2013 年,国家林业局提出了我国第一部《中国森林可持续经营国家报告》,为中国森林可持续经营提供了翔实的数据和理论支撑,是中国森林可持续经营发展史上的一个重要里程碑,这将为今后完善森林可持续经营标准和指标体系起到积极的促进作用^[3]。

第三个层次:各国内部地区级或具体经营主体级指标和标准。在国家内部,根据地域差异规律,进行地区级或经营主体级别的森林可持续经营标准的研究。我国 2010 年制定发布了 4 个区域标准,分别为东北林区、西北地区、热带地区和西南地区森林可持续经营指标。广东省于 2009 年建立了省域森林可持续经营指标体系,并分析了影响省级森林经营可持续性的相关指标。这个尺度的指标体系构建基本沿袭了更大尺度标准和指标的构建模式,并且大多数指标的统计计算和数据采集方法都可以借鉴或直接应用,因此,这个尺度标准和指标的研建以及应用在宏观统计方法上的表现仍较为突出^[4]。

就目前提出的标准和指标体系而言,仍然停留在宏观方面,且不同体系之间大同小异,缺乏进一步

的实践检验,许多衡量指标的数据获取比较困难,指标之间交叉、重复严重。更小尺度层面,直接面向范围较小的经营实体,如林场、村级森林经营单位或者其他组织形式的经营单位等的森林可持续经营指标,仅有部分林业工作者结合自身的工作提出了指标与评价方法,尚未形成指标体系,而且基于最小经营单元小班或林分的可持续经营指标体系尚未见报道。

我国森林可持续经营标准和指标研究基本上属于倒金字塔形,尺度越小研究越不充分,到森林经营措施水平、小班水平或者林分水平尚属空白,这一现象较不合理。较大尺度的森林可持续性指标及其评价的性质多属于统计性质,其作用在于供相关部门决策参考以及信息的交流与公开。而较小尺度的如森林经营单元则类似于森林可持续经营的细胞,解决好森林经营单元的可持续性问题才能够为更大尺度的森林可持续经营带来实质性的、动态性的演进效果。因此,基于森林经营单位小班(林分)水平的可持续森林经营标准与指标的研建和应用,更加具有推动营林实践意义和现实意义,需要给予更多的研究和关注^[4]。本文尝试在样地调查数据基础上建立林分可持续经营标准与指标体系。

1 基于小班水平的森林可持续经营标准与指标体系构造的迫切性

较大尺度的森林可持续性指标及其评价的性质多属于统计性质,且有的指标并不能从自然植被是否适应适宜其立地的根本上说明是否具有可持续性。到了森林经营的最小单元即小班或林分水平,统计指标已经失去意义。而具体小班或林分的可持续性发展状态,是森林经营者和林业工作者迫切要知道的。对小班或林分各项指标进行可持续性评价,对调整森林经营措施、指导森林经营才具有真正的现实意义。

2 指标体系构建原则与方法

2.1 指标体系构建原则

2.1.1 基于现状调查原则

只有进行现状调查,才能真正掌握当前土壤、林木、灌木、草本的数量与质量,真正了解具体各植物种生长发育和经营者与社区对森林经营的情况。因此,数据的来源应主要基于小班样地调查、访问调查或查阅相关资料等到。

2.1.2 可操作性原则

可操作性原则要求构建的指标体系应尽量和国

际、国家和区域内的衔接,又要反映作为最小经营单元的特点。可操作性主要包括简明性,指标体系力求简洁;可测性,可以通过样地测量或有关资料查阅得到,易于量化和重复;可经营性,指标体系可以通过调整经营措施来影响评价结果,对区分不同经营措施所引起的差异的能力要强;经济性,充分考虑获取数据的成本和效益,以及指标体系被广泛理解和推广的可能性。

2.1.3 全面性原则

指标体系应能够较全面反映小班生产力、多样性、稳定性,也应能反应当前进行的森林经营主要措施、收益情况以及带动的劳动就业情况等,从经营的最小单元层面反应森林经营可持续性。

2.1.4 针对性原则

影响林地持续利用的因素很多,有些因素影响较大,有些因素影响较小。所以,林地可持续利用评价要在综合分析的基础上,对影响该林地利用系统的主要因素进行诊断,选用具有代表性和针对性的评价指标,以提高评价结果的准确性。

2.1.5 动态性原则

森林可持续经营是一个长期的过程,因此,指标不仅要能够综合反映森林经营的现实特点,还要能反应发展趋势,在一定时期内具有稳定性,不同时期要能够体现动态变化过程。

2.2 指标体系构建方法

指标体系的构建方法有系统法、目标法、归纳法、专家咨询法等。本文选择归纳法,即首先海选大量指标,按一定的规则把众多指标进行归类,再对各类指标进行定性和定量相结合,从中抽取指标构建体系^[5]。

3 指标体系构建

参考较大尺度有关森林可持续经营指标体系,依照森林可持续经营指标体系构建可操作性、全面性、针对性、动态性的基本原则,在 116 项因子的基础上筛选 26 个指标,再进行归类,形成生态系统生产力维持、生态系统健康与活力维持、生物多样性、经营者认知和利益相关者、经济效益 5 个系统层的指标体系(图 1)。

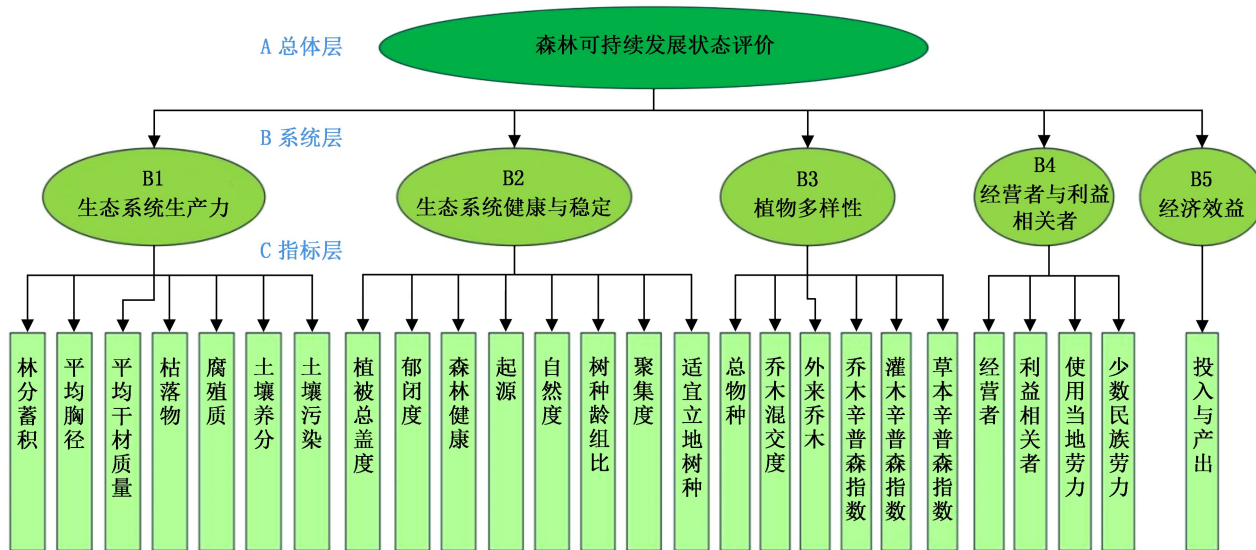


图 1 森林可持续经营指标体系构成

Fig. 1 Composition of the sustainable forest management indicator system

3.1 森林生态系统生产力

森林生态系统生产力的维持,取决于森林的质量、结构、林地质量以及人们对森林的经营水平,是直接体现森林可持续经营能力的指标。评价指标主要有林分质量特征的林分蓄积、胸径、干材质量和土地供给力的枯枝落叶厚度、腐殖质厚度、土壤养分(N、P、K 等)、土壤污染(农残、重金属等)。考

虑到基于小班的监测是基于现状,很少有复测数据,因此不考虑生长量,如果数据齐备,可增加生长量指标。

3.2 森林生态系统健康与稳定

森林生态系统健康与稳定是森林可持续发展的保障,评价指标选择植被总盖度、郁闭度、森林健康、起源、自然度、树种龄组比、聚集度。由于人工造林

或飞播等可能存在未适地适树情况,应将适宜立地树种作为指标。

3.3 植物多样性

生物多样性是生物及其与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和。它包括数以百万计的动物、植物、微生物和它们所拥有的基因以及它们与生存环境形成的复杂的生态系统。考虑到易测性与经济性,选择植物多样性,指标包括总物种数、乔木混交度、外来乔木树种、乔木辛普森指数、灌木辛普森指数、草本辛普森指数。

3.4 经营者和利益相关者

经营者对可持续经营的理解与行动,决定了森

林经营方向与措施。在森林经营决策过程中,应采取“自下而上”的方式,形成伙伴关系的公众参与机制。发展参与式林业是成功实施森林可持续经营战略的关键和必然要求^[1]。因此,选择经营者对森林可持续经营的认识与利益相关者对森林经营的认可与参与作为指标。

3.5 经济效益

小班的经济效益根据总投入与产出值进行计算。考虑到森林生态系统巨大的生态价值和国家资金的可能补贴,以及森林经营周期的长期性,一定时期内可以接受经济上的亏损。森林可持续经营指标体系构成及释义见表 1。

表 1 森林可持续经营指标体系构成与释义

Tab. 1 Composition and description of the sustainable forest management indicator system

| 总体层 (A) | 系统层 (B) | 指标层(C) | 指标释义 |
|--------------------|---------------------|-------------------|---|
| 森林可持续经营指标体系 (A) | 生态系统生产 力 (B1) | 林分蓄积(C1) | 每公顷活立木蓄积 |
| | | 平均胸径(C2) | 乔木 5 cm 以上胸径的加权平均值 |
| | | 平均干材质量指数(C3) | 干材质量分五等,分别为通直完满、轻度弯曲、二分枝、多分枝、显著弯曲,每木按此 5 类分别对应 5、4、3、2、1 分打分,样地平均干材质量指数即为所有样木的干材质量算术平均值 |
| | | 枯枝落叶厚度(C4) | 枯落物厚度 |
| | | 腐殖质厚度(C5) | 土壤腐殖层的厚度 |
| | | 土壤养分(N、P、K 等)(C6) | 土壤养分(N、P、K 等)在土壤中的含量 |
| | | 土壤污染(农残、重金属等)(C7) | 土壤污染,包括除草剂、农药、化肥、重金属等污染物在土壤中的含量。依据测定的数据计算出的污染综合指数大小来定,共分为 5 级:1 级,安全级,土壤无污染;2 级,警戒级,土壤尚清洁;3 级,轻污染,土壤污染超过背景值,植物开始被污染;4 级,中污染,植物被中度污染;5 级,重污染,植物受严重污染 |
| | 生态系统健康与稳定 (B2) | 植被总盖度(C8) | 植被总盖度,不小于乔灌木 3 层郁闭度(盖度)的最大值,不大于 3 层之和,且不大于 100% |
| | | 郁闭度(C9) | 乔木层郁闭度 |
| | | 森林健康(C10) | 按受害木株数占比分为健康、亚健康、中健康、不健康、濒死 |
| | | 起源(C11) | 随着森林经营的推进,同一林分中林木可能存在多种起源,按每株起源调查记录,分为天然与人工,天然分为实生、萌生,人工分为植苗、人工萌 n 代、直播(含点播)、飞播(含撒播)、插条、嫁接 |
| | | 自然度(C12) | 按 I、II、III、IV、V 五级划分:I 级,原始或受人为影响很小而处于基本原始状态的森林类型;II 级,有明显人为干扰的天然森林类型或处于演替后期的次生森林类型,以地带性顶极适应性较高的树种为主,顶极树种明显可见;III 级,人为干扰很大的次生森林类型,处于次生演替的后期阶段,除先锋树种外,也可见顶极树种出现;IV 级,人为干扰很大,演替逆行,处于极为残次的次生林阶段;V 级,人为干扰强度极大且持续,地带性森林类型几乎破坏殆尽,处于难以恢复的逆行演替后期,包括各种人工森林类型 ^[13] |
| | | 树种龄组比(C13) | 林木龄组株数比,恒续林最优幼中近成过比例为 2:1:1:2:1 |
| | | 聚集度(C14) | 聚集度指数是相邻最近单株距离的平均值与随机分布下期望的平均距离之比,通常也叫最近邻分析方法。计算公式按采取了面积与周长调整后的公式计算。聚集度指数 R 计算公式为: $R = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i \right) / \left(0.5 \sqrt{\frac{A}{n}} + 0.0514 \frac{P}{n} + 0.041 \frac{P}{\sqrt{n^3}} \right)$ 式中: r_i 为第 i 个个体与其最近邻体间的距离;A 为样地面积(m^2);n 为样地内的个体数;P 为样地周长(m)。若 R=1,则林木为随机分布;若 R>1,则林木为均匀分布,最大值可以达到 2.149 1;若 R<1,则林木为聚集分布;R 越趋向于 0,表明树木越来越密集 ^[9] |
| | | 适宜立地树种(C15) | 适宜小班立地的树种占比 |

续表 1

| 总体层 (A) | 系统层 (B) | 指标层 (C) | 指标释义 |
|----------------|------------|--------------------------|--|
| | 植物多样性 (B3) | 总物种数 (C16) | 总物种数 |
| | | 乔木混交度 (C17) | 按对象木周围最近 4 株计算对象木混交度,样地平均混交度为所有单木混交度的算术平均值 ^[10] |
| | | 外来乔木树种 (C18) | 外来树种的总株数占总乔木株数比例 |
| | | 乔木辛普森指数 (C19) | 乔木辛普森指数,计算公式为: $D = 1 - \sum_{i=1}^S (P_i)^2$ 。 P_i 为第 i 个乔木种的个体数占样方内总个体数的比值 ^[11] |
| | | 灌木辛普森指数 (C20) | 灌木辛普森指数,公式同 C19。 P_i 为第 i 个灌木种的株丛数(或盖度)占样方内灌木总株丛数(或盖度)的比值 |
| | | 草本辛普森指数 (C21) | 草本辛普森指数,公式同 C19。 P_i 为第 i 个草种的盖度占样方内草本总盖度的比值 |
| 经营者和利益相关者 (B4) | | 经营者对可持续经营理解与行动 (C22) | 可分为 5 类:1. 深入理解可持续性理论并奉行;2. 理解,在试行;3. 有一定了解;4. 听说过概念;5. 不知道 |
| | | 利益相关者对小班森林经营的认可与支持 (C23) | 分为五级:1. 完全同意与积极支持森林经营活动;2. 同意森林经营活动;3. 基本同意森林经营活动,但存在一定的担忧;4. 认为森林经营活动会给自己的利益带来一定的伤害;5. 坚决反对森林经营活动,认为会对自己的利益带来较大伤害 |
| | | 使用当地劳力 (C24) | 使用当地务工占总用工量比例 |
| | | 少数民族劳力 (C25) | 少数民族务工收入占用工费用的比例 |
| 经济效益 (B5) | | 投入与产出 (C26) | 投入(消耗物资价值与用工费用)与产出(木产品、非木产品的销售额加可交易碳增汇量折算额)情况 |

4 各指标可持续性赋值

结合国内外相关的研究成果,定义可持续林业的评判准则为:完全可持续发展状态(1.0~0.9);可持续发展状态(<0.9~0.8);基本可持续发展状态(<0.8~0.7);弱可持续发展状态(<0.7~0.5);基本不可可持续发展状态(<0.5~0.3);完全不可可持续发展状态(<0.3)^[6]。依据评判准则,将各指标量化到 1~0。各指标量化方法见表 2。

5 指标赋权方法

构建的森林可持续经营指标体系中,有部分指标是定性指标,即使指标本身有具体数值,但是不同指标之间数值直接对可持续性影响的意义不大。因此,要对这些指标权重进行赋值。

本文对指标体系分层赋权重,即先对系统层分别赋权,再对各标准下的指标分别赋值。根据萨蒂的层次分析法 AHP,本文在创立层次分析法时,按 1~5 之间整数及其倒数比例标度法,邀请 5 位专家对标准或指标进行两两比较。标度及含义见表 3。

依上述方法先对系统层 B 两两比较打分,依据五位专家的结果分别算出系统层的权重 ω_B ;分别对系统层下的指标层各指标之间再进行两两比较打分,分别算出指标层的权重 ω_C 。具体指标的全局权

表 2 指标量化取值

Tab. 2 Quantification of indicators

| 系统层 B | 指标层 C | D_i 指标取值(1~0) |
|-------|-------|---|
| B1 | C1 | 调查蓄积与目标林分(恒续林、最优林分)蓄积或 150 比值,大于 1 的按 1 计 |
| | C2 | 调查平均胸径与目标林分(恒续林、最优林分)平均胸径或 40 的比值,大于 1 按 1 计 |
| | C3 | 取值按干材质量指数/5 |
| | C4 | 调查值与相同立地顶级群落枯落物厚度或 15 比值,大于 1 按 1 计 |
| | C5 | 调查厚度与目标林分土壤腐殖厚度或 25 的比值,大于 1 按 1 计 |
| | C6 | 调查测定值与相同立地顶级群落土壤养分含量的比值,大于 1 按 1 计 |
| | C7 | 根据污染综合指数确定,安全级为 1~0.8,警戒级为<0.8~0.6,轻污染级为<0.6~0.4,中污染级为<0.4~0.2,重污染<0.2~0 |
| B2 | C8 | 植被总盖度的小数表达,如植被总盖度 55%即取值 0.55 |
| | C9 | 郁闭度 ≥ 0.7 即取值为 1,<0.7 为郁闭度的 1.4 倍,如郁闭度 0.5 即取值 0.7 |
| | C10 | 按 1-受灾害(病虫害、火灾等)林木株数与总株数比值计算 |
| | C11 | 按天然实生 1,天然萌生 0.8,人工植苗 0.6,人工萌生 0.5,直播(含点播)0.4,飞播(点播)0.3,嫁接 0.2 对每木进行赋值,林分起源的平均值即为所有样木的算术平均值 |

续表 2

| 系统层 B | 指标层 C | D_i 指标取值(1~0) |
|----------|----------|--|
| B3 | C12 | 自然度取值按 I 至 V 级分别为 1.0、0.8、0.6、0.3、0.1 |
| | C13 | 按恒续林林木龄组株数最优比幼:中:近:成:过为 2:1:1:2:1,按此为 1,分龄组对比,多的不扣,龄组每缺 1 扣 0.143,如某林分幼中近成过比为 5:2:0:0:0,则取值为 $1-0.143\times4=0.428$ |
| | C14 | 计算的聚集度指数与其最大值 2.1491 的比值 |
| | C15 | 林木适宜立地的株数与总株数之比值 |
| | C16 | 查阅当地有关资料,确定立地条件相近顶级群落或恒续林阶段的总物种数,取值按调查总物种数与查得总物种数的比值,大于 1 的按 1 计 |
| B4 | C17 | 直接采用林分平均混交度,即所有单木混交度的算术平均值 |
| | C18 | 取值按 1-外来树种的株数与总乔木株数比值 |
| | C19 | 直接取乔木辛普森指数 |
| | C20 | 直接取灌木辛普森指数 |
| | C21 | 直接取草本辛普森指数 |
| B5 | C22 | 深入理解可持续性理论并奉行 1.0;理解并试行 0.8;有一定了解 0.6;听说过概念 0.3;不知道 0.1 |
| | C23 | 完全同意与积极支持森林经营活动,取 1.0;同意森林经营活动,取 0.8;基本同意森林经营活动,但存在一定的担忧,取 0.6 分;认为森林经营活动会给自己的利益带来一定的伤害,取 0.2 分;坚决反对森林经营活动,认为会对自己的利益带来较大伤害,0 分 |
| | C24 | 取值按使用当地务工占总用工量比值 |
| | C25 | 取值按少数民族务工占总用工量比值再除以少数民族占当地人口的比例计算,超过 1 的按 1 计 |
| | C26 | 取值按产出与投入比值计算,大于 1 按 1 计。考虑到森林巨大的生态效益以及政府的补助,有一定的亏损依然可以认为有一定的可持续性 |

表 3 标度及含义

Tab.3 Scale and its interpretation

| 标度 | 含义 |
|---------|---|
| 1 | 表示两指标相比,同等重要 |
| 3 | 表示两指标相比,明显重要 |
| 5 | 表示两指标相比,非常重要 |
| 2,4 | 表示上述相邻判断的中间值 |
| 上述数值的倒数 | 若指标 i 与指标 j 的重要性之比 a_{ij} 为上述某一数值,则指标 j 与指标 i 重要性之比为 $1/a_{ij}$ |

重 ω 即为系统层权重与指标层权重的乘积,即 $\omega = \omega B \times \omega C$ 。指标体系权重构成见表 4。

表 4 指标体系权重构成

Tab.4 Weight of the indicator system

| 系统层 B | ωB 系统层 权重 | 指标层 C | ωC 指标层 权重 | ω_i 全局 权重 |
|----------|----------------------|----------|----------------------|---------------------|
| B1 | 0.3459 | C1 | 0.3211 | 0.1111 |
| | | C2 | 0.1266 | 0.0438 |
| | | C3 | 0.0756 | 0.0261 |
| | | C4 | 0.0904 | 0.0313 |
| | | C5 | 0.1575 | 0.0545 |
| | | C6 | 0.1607 | 0.0556 |
| | | C7 | 0.0681 | 0.0235 |
| B2 | 0.2846 | C8 | 0.2428 | 0.0691 |
| | | C9 | 0.0808 | 0.0230 |
| | | C10 | 0.2210 | 0.0629 |
| | | C11 | 0.1002 | 0.0285 |
| | | C12 | 0.1212 | 0.0345 |
| | | C13 | 0.0591 | 0.0168 |
| | | C14 | 0.0513 | 0.0146 |
| B3 | 0.1552 | C15 | 0.1236 | 0.0352 |
| | | C16 | 0.4054 | 0.0629 |
| | | C17 | 0.1262 | 0.0196 |
| | | C18 | 0.1503 | 0.0233 |
| | | C19 | 0.1262 | 0.0196 |
| | | C20 | 0.1042 | 0.0162 |
| | | C21 | 0.0877 | 0.0136 |
| B4 | 0.0896 | C22 | 0.4206 | 0.0377 |
| | | C23 | 0.3705 | 0.0332 |
| | | C24 | 0.1288 | 0.0115 |
| | | C25 | 0.0801 | 0.0072 |
| | | C26 | 1.0000 | 0.1247 |

6 综合指数计算与可持续性判定

6.1 综合指数计算

对各项指标评价值的加权综合方法,一般有线性加权平均法(加法合成法)和乘法合成法(几何平均法)两种。考虑到森林可持续经营研究方向,本文采用线性加权平均法,公式为:

$$A = \sum_{i=1}^S (D_i \times \omega_i)$$

(1)

式中: A 为可持续经营综合指数; S 为总指标个数; D_i 为第 i 指标的评价值; ω_i 为指标的全局权重。

6.2 可持续性判定

森林可持续经营表现为森林生态系统和社会经济的历史过程。可持续经营具有相对性,这种相对性主要表现为经营的阶段性和经营的地域性^[14]。鉴于可持续林业的这种复杂性,定义可持续林业的评

判准则为:完全可持续发展状态(1.0~0.9);可持续发展状态(<0.9~0.8);基本可持续发展状态(<0.8~0.7);弱可持续发展状态(<0.7~0.5);基本不可可持续发展状态(<0.5~0.3);完全不可可持续发展状态(<0.3)^[6]。根据计算出来的可持续经营综合指数 A 值在上述判断准则区间的情况,就可判断出小班可持续发展状态。

本指标体系针对具体的小班或林分,将其各项指标与恒续林(顶级森林群落或目标林分)对比并进行量化,根据量化值与权重得出小班的综合评价指数,即可确定小班可持续发展状态。通过各指标值可看出哪些项需要进一步改进。比如,相对纯林(8 华山松 2 桉木)的辛普森指数为 0.32,单项为基本不可可持续发展状态,就应考虑减少华山松,增加其他树种以调整树种结构。

如果对小班进行了某项经营措施前后的监测或 2 期以上的监测,对比即可得到小班各项指标变化情况和综合评价指数变化情况,就可以知道林分是朝可持续方向发展还是逆向发展。比如,小班进行了抚育间伐(采小留大,采弯留直),伐后森林蓄积量有所下降,但其干材质量指数、平均胸径、聚集度指数提高较大,综合评价指数有所提高,可认为是朝可持续方向发展。

7 结 论

受地域或立地条件的限制,到达恒续林(顶级森林群落或目标林分)的不同小班林分质量、生态系统组成情况也差别较大,应根据具体小班所在区域相似立地条件下恒续林或者顶级森林群落来确定小班最终的理想状态各项因子,也可根据历史调查数据、数表、自然保护区科考、经营方案目标林分、人为破坏较少的天然植被等确定。一旦确定,区域内相同立地条件小班应采用同一数据进行对比,以便长期对比观测森林可持续发展状态。

小班水平的评价直接面向具体林分与森林经营活动,可直接指导经营措施活动,其涉及的指标就不能片面追求大而全,而是要相对更具体与易测易得。同时,本指标体系是以最小的经营单位—小班作为评价对象,社会与经济层面指标仅考虑了与小班经营直接相关的小班经营者、利益相关者和小班的投入与产出。

指标数据大多可通过样地调查经计算获取,而样地调查相比传统国家森林资源连续清查的项目更多更精细,这无疑加大了外业的调查工作量;土壤养

分与污染指标还要进行实验分析方可得知,对于没有污染源(如不施化肥、农药等)的小班,可不进行土壤污染物测定,但土壤养分应测定。

系统层和各指标的权重,可以根据不同经营类型小班的侧重点进行对比分析打分,从而确定指标的权重,进而计算确定小班的可持续发展状态。

构建小班水平的森林可持续经营指标体系是一项系统工程,需要根据区域的情况综合考虑多方面的因素。通过构建科学合理的指标体系,可以有效地指导森林经营活动,实现森林资源的可持续利用,为人类和自然的和谐发展做出贡献。

参考文献:

- [1] 张守攻,朱春全,肖文发. 森林可持续经营导论[M]. 北京:中国林业出版社,2001.
- [2] 姜春前,徐庆,朱永军,等. 世界森林可持续经营标准与指标发展的现状与趋势[J]. 世界林业研究,2004,17(3):1-4.
- [3] 黄雪菊,白彦锋,姜春前,等. 森林可持续经营标准与指标体系研究[J]. 林业经济,2015(6):108-111.
- [4] 罗姗,王六平. 关于我国森林可持续经营标准与指标研究的述评[J]. 贵州林业科技,2016,44(3):61-64.
- [5] 张会儒. 森林经理学研究方法与实践[M]. 北京:中国林业出版社,2018.
- [6] 张继义,陈玉琪. 河西灌区持续林业测度指标体系[J]. 东北林业大学学报,2001,26(6):24-28.
- [7] 柯永发,赵海兰,刘珉,等. 森林可持续经营理论与实践[M]. 北京:中国林业出版社,2021.
- [8] 李朝洪,许俊杰,于波涛. 中国森林资源可持续发展综合评价方法[J]. 东北林业大学学报,2002,30(2):73-76.
- [9] DONNELLY K P. Simulations to determine the variance and edge effect of total nearestneighbour distance[M]. Cambridge:Cambridge University Press,1978:91-95.
- [10] 刘红润. 红松天然林空间结构分析与优化经营研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2010.
- [11] 马菁,张学检. 红松针阔混交林乔灌木生物多样性研究[J]. 林业调查规划,2018,23(5):56-59.
- [12] 刘龙耀. 国有林场森林可持续经营指标体系构建及评价研究——以武平南坊国有林场为例[D]. 福州:福建农林大学,2014.
- [13] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 森林资源连续清查技术规程:GB/T 38590—2020[S]. 北京:中国标准出版社,2020.
- [14] 郭建宏. 福建中亚热带经营单位水平森林可持续经营评价研究[D]. 福州:福建农林大学,2003.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.007

芬兰森林资源动态变化分析及启示

吴 恒^{1,2}, 罗春林¹, 廖 伟¹

(1. 国家林业和草原局 西南调查规划院, 云南 昆明 650031; 2. 赫尔辛基大学 林学系, 芬兰 FI-00014)

摘要: 分析芬兰历次森林资源清查数据及动态变化, 认为芬兰林业在进入可持续发展阶段后, 林地保有量和森林蓄积量维持在一个相对稳定的动态水平, 私有林和国有林呈现动态减少趋势, 保护区林地持续增加, 林龄结构维持相对稳定的动态平衡。森林资源的动态变化反映了可持续经营的发展历程, 在满足木材可持续利用的同时, 增加多样化的阔叶林, 合理调控权属、类别、林龄、径级等结构, 更好地平衡森林培育的后备资源和生物多样性空间。藉此启发, 认为我国林业进入新发展阶段后, 应该科学划分林业用地、深化林权制度改革、强化生物多样性保护, 从而促进森林可持续经营, 充分发挥森林多种功能, 促进生态系统的健康与稳定。

关键词: 森林资源; 蓄积量; 生物量; 可持续经营; 芬兰

中图分类号: S757.2; B815.5 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2026)01-0041-07

引文格式: 吴恒, 罗春林, 廖伟. 芬兰森林资源动态变化分析及启示[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 41-47.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.007

WU Heng, LUO Chunlin, LIAO Wei. Analysis and Enlightenment of Dynamic Changes of Forest Resources in Finland[J].

Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 41-47. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.007

Analysis and Enlightenment of Dynamic Changes of Forest Resources in Finland

WU Heng^{1,2}, LUO Chunlin¹, LIAO Wei¹

(1. Southwest Survey and Planning Institute of National Forestry and Grassland Administration, Kunming 650031, China;

2. Department of Forest Sciences, University of Helsinki, Helsinki FI-00014, Finland)

Abstract: This study analyzed the historical forest inventory data and dynamic changes in Finland. The results showed that after entering the stage of sustainable forestry development, the area of forest land and forest volume were expected to maintain a relatively stable dynamic level, with private and state-owned forests showing a trend of dynamic reduction while protected forest areas continued to increase, and the age structure of forests maintained a relatively stable dynamic balance. These dynamic changes in forest resources reflected the evolution of sustainable forest management practices. While meeting the needs for sustainable timber utilization, Finland increased the proportion of diverse broad-leaved forests and rationally adjusted the structure of ownership, category, age class, and diameter class to better balance the reserve resources for forest cultivation and the space for biodiversity. Inspired by these practices, this paper suggests that as China's forestry enters a new development stage, enhancing the high quality development requires scientifically dividing forestry land, deepening the reform of forest property rights, and strengthening biodiversity protection to promote sustainable forest management, fully leveraging the multiple func-

收稿日期: 2024-10-09; 修回日期: 2024-10-28

基金项目: 国家林业和草原局专项业务费项目(0000216900520260003); 云南省基础研究计划项目(202501AU070001).

第一作者: 吴恒(1990-), 男, 博士, 高级工程师. 主要从事林草资源调查监测与规划设计工作. Email: heng.wu@helsinki.fi

tions of forests, and fostering the health and stability of ecosystems.

Key words: forest resources; forest volume; biomass; sustainable management; Finland

芬兰位于 $60^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{N}$ 范围,属于北温带气候区,冬季寒冷漫长,夏季温暖短暂,年均降水量约为 600 mm,面积约 33.8 万 km^2 ,是世界林业发达国家之一,素有“森林王国”的美誉。林业在芬兰国民经济中占据着十分重要的地位^[1-2],2021 年林业产值超过 180 亿欧元,出口收入约占芬兰出口收入的 17%,为 14 万人提供了就业机会,占芬兰总人口的 2.8%。芬兰最早的森林资源调查可以追溯到 19 世纪末和 20 世纪初,最初的目的是为了解木材资源的状况,以满足日益增长的木材需求。后期,森林资源清查结果为可持续经营提供科学依据,在林业政策制定中起着重要作用,为芬兰实现森林资源的长期利用和保护目标奠定了坚实的基础,也是芬兰履行联合国气候变化框架公约 (UNFCCC) 和京都议定书义务的重要数据来源。因此,本文采用清查数据,分析芬兰森林资源保护发展历程,总结阶段性特征,以期对我国森林资源高质量发展和高水平保护提供参考^[3-4]。

1 芬兰清查概况

1913 年,芬兰首次在 Sahalahti 和 Kuhmalahti 两个直辖市开展了基于统计抽样的森林资源调查试点。1917 年,芬兰独立,1919 年,芬兰共和国成立。全国森林资源清查 (NFI) 方案论证和资金到位后,第 1 次清查于 1921 年开始,1924 年在全国范围内完成现地调查,并于同年公布了初步结果^[2,5-6]。虽然挪威是全球第一个启动全国森林资源清查的国家,芬兰则是第一个完成清查的国家。瑞典也于 1923 年启动森林资源清查。当时美国也曾访问芬兰,调研如何成功实施全国性森林资源清查。第 1 次清查旨在估算森林蓄积量等状况,与现行体系比较,获取的森林信息可以说是相当局限,但在森林工业时期,清查得到了广泛的认可。此后,芬兰森林资源清查以 10 a 为周期重复开展,2004 年后以 5 a 为周期重复开展^[7]。

NFI 成果反映了宏观森林资源现状与动态,旨在为森林经营管理提供指导,是制定和调整林业方针、政策、规划、计划等的重要依据^[8-9]。20 世纪 90 年代以来,林业可持续发展成为重要议题,森林资源清查也更多考虑经济、生态和社会等方面的需求,包括应对气候变化,这些都体现在了森林资源清查的

调查方案、内容和指标中。1980 年,森林损害评估被引入 NFI;1990 年,生物多样性指标测量成为 NFI 的一部分。21 世纪以来,因温室气体清单的需要将清单设计从区域调查转变为连续滚动监测,如第 11 次清查开始统计森林生物量,至今已经记录了超过 100 多个变量,从多个维度监测森林^[10-12]。百年时间序列的森林资源数据客观揭示了土地利用和森林管理变化,包括采伐消耗和枯损消耗等状况。

2 历次清查林业用地变化

2.1 各类林地构成及动态

芬兰林业用地分为有林地 (forest land)、低产林地 (poorly productive forest land)、非产林地 (unproductive land) 和林辅用地 (forest roads, depots etc.), 有林地指林分年均增长量大于 $1.0 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的林地;低产林地指林分年均增长量介于 $0.1 \sim 1.0 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的林地;非产林地指林分年均增长量小于 $0.1 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的林地。有林地和低产林地为森林,林辅用地包括林区道路、储木场等。

第 1 次清查 (1921—1924 年) 时,林业用地面积 2 684.4 万 hm^2 , 占国土面积的 87.88%, 为历次清查的历史最高值。同时期低产林地和非产林地占林业用地的比例分别为 16.32% 和 16.66%, 合计占林业用地近 1/3。林辅用地第 5 次清查以前均为 0。第 13 次清查 (2018—2022 年) 时,林业用地面积 2 622.9 万 hm^2 , 占国土面积的 86.29%。同时期低产林地和非产林地占林业用地的比例分别为 8.50% 和 10.29%, 林辅用地也增加至 22.9 万 hm^2 , 占林业用地的 0.87% (图 1)。

从近百年的森林资源清查数据分析可知,国民经济、社会发展导致林地的利用变化过程是持续和相对稳定的,林业用地减少的 1.59% 主要转化为建设用地,生产性的有林地和林辅用地则会相对持续地增加,低产林地较非产林地更容易提升森林质量,转化为有林地。

2.2 林地权属结构及动态

芬兰林业用地权属分为私有林 (private)、企业所有林 (companies)、国有林 (state)、其他所有制 (others)。从权属结构分析可知,第 3 次清查统计显示,私有林 1 462.10 万 hm^2 、企业所有林 167.0 万 hm^2 、

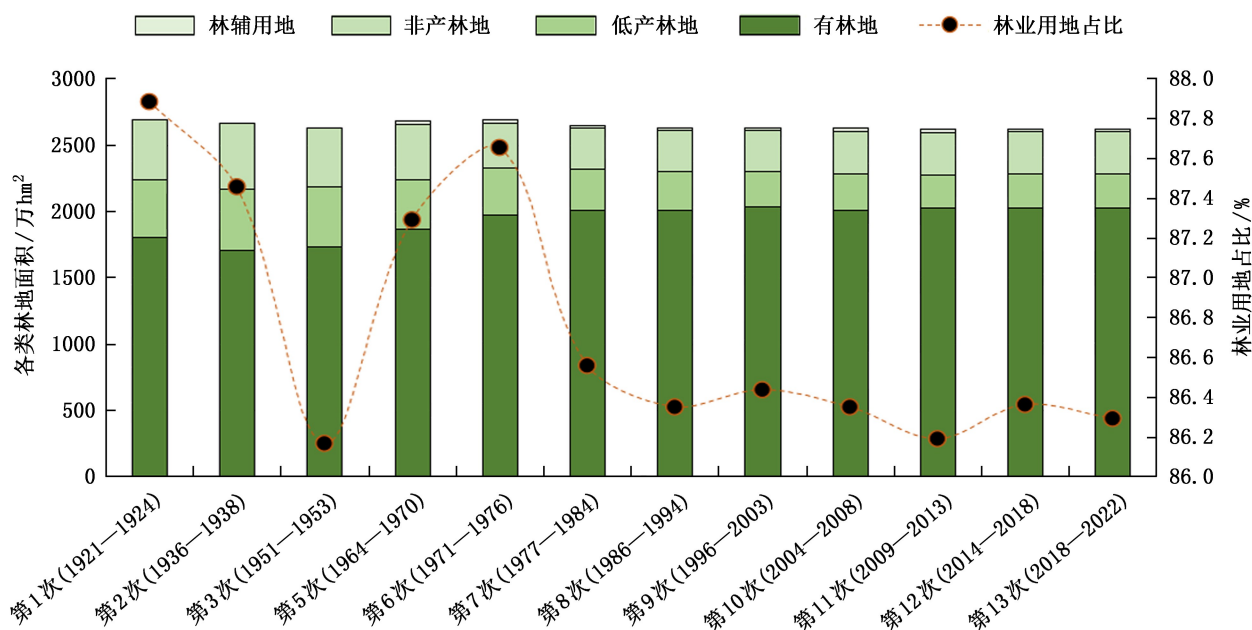


图 1 芬兰历次清查各类林地构成及动态

Fig. 1 Composition and dynamics of various types of forest land based on national forest inventory in Finland

国有林 958.3 万 hm^2 、其他所有制 44.2 万 hm^2 , 分别占林业用地的 55.56%、6.35%、36.42%、1.68%。其中, 私有林第 3 次清查至第 6 次清查期间依次增长至 1520.4 万 hm^2 , 然后依次减少, 第 13 次清查时私有林为 1343.2 万 hm^2 , 占比减小至 51.21%; 企业所有林除第 11 次和 12 次清查略有下降, 整体呈上升趋势, 第 13 次清查企业所有林为 205.9 万 hm^2 , 占比增长至 7.85%; 国有林第 3 次清查至第 8 次清查期间呈下降趋势, 之后呈动态增加趋势, 第 13 次清查国有林为 921.0 万 hm^2 , 占比减小至 35.11%; 其他所有制权属面积则一直呈增长趋势。从近百年的森林资源清查数据分析可知, 私有林和国有林在经济社会发展过程中动态减少, 丰富多样的所有制形式持续增加^[2,11]。

2.3 林地类别结构及动态

芬兰自然保护区域由林业用地和水域构成, 其中的林业用地又分为保护森林 (protected forests) 和自然价值保护森林 (forests supporting conservation of nature values), 保护森林又分为保护区森林 (statutory protected) 和生物多样性保护森林 (biodiversity conservation sites in commercial forests)。第 11 次清查统计显示, 芬兰自然保护区域面积为 661.44 万 hm^2 , 占国土面积的 21.77%。其中, 有林地 189.67 万 hm^2 、低产林地 127.4 万 hm^2 、非产林地 182.37 万 hm^2 、水域 158.48 万 hm^2 、其他土地 3.54 万 hm^2 , 分别占比 28.67%、19.26%、27.57%、23.96%、0.54%。第 13

次清查统计显示, 自然保护区域面积为 691.46 万 hm^2 , 占国土面积的 22.75%。其中, 有林地 204.32 万 hm^2 、低产林地 132.05 万 hm^2 、非产林地 190.91 万 hm^2 、水域 162.19 万 hm^2 、其他土地 2.00 万 hm^2 , 分别占比 29.54%、19.10%、27.61%、23.46%、0.29%。芬兰自然保护区域的林业用地呈增长趋势。林业用地是自然保护区域的主体, 其中低产林地和非产林地又是重要组成部分, 占自然保护区域面积的近一半^[13]。

2.4 林地更新及动态

第 3 次清查时, 林龄小于 40 年的林分合计 288.9 万 hm^2 、占有林地的 16.65%。随后因持续造林, 中幼龄林动态增加。第 13 次清查时, 林龄小于 40 a 的林分合计 697.2 万 hm^2 、占有林地的 34.37%, 森林更新良好。第 3 次清查时, 林龄大于 120 a 的林分面积合计 351.5 万 hm^2 、占有林地的 20.26%; 第 13 次清查时, 林龄大于 120 a 的林分面积合计 196.2 万 hm^2 、占有林地的 9.67%, 成熟林和过熟林呈现动态减少。第 3 次清查时, 林龄 40~120 a 的林分合计 1094.9 万 hm^2 、占有林地的 63.10%; 第 13 次清查时, 林龄 40~120 a 的林分合计 1135.3 万 hm^2 、占有林地的 55.96%, 维持在相对稳定的动态平衡中。从近百年的森林资源清查数据分析可知, 相对稳定和动态变化的森林年龄结构有助于林业可持续发展和生态系统的稳定 (表 1)。

表 1 芬兰历次清查有林地各龄阶面积

Tab. 1 Area of forest lands by ages based on national forest inventory in Finland

万 hm^2

| 清查时间 | <1 a | 1~20 a | 21~40 a | 41~60 a | 61~80 a | 81~100 a | 101~120 a | 121~140 a | >140 a |
|-------------------|------|--------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|--------|
| 第 3 次(1951—1953) | 11.4 | 74.2 | 203.3 | 364.2 | 340.9 | 239.2 | 150.6 | 106.9 | 244.6 |
| 第 5 次(1964—1970) | 82.1 | 220.8 | 214.3 | 273.0 | 378.5 | 247.6 | 154.4 | 91.8 | 207.2 |
| 第 6 次(1971—1976) | 77.9 | 282.6 | 253.5 | 308.8 | 363.5 | 240.1 | 144.6 | 93.4 | 209.5 |
| 第 7 次(1977—1984) | 62.8 | 310.2 | 291.2 | 333.5 | 337.2 | 243.2 | 144.5 | 84.9 | 199.0 |
| 第 8 次(1986—1994) | 29.8 | 310.2 | 352.4 | 331.4 | 328.9 | 246.8 | 138.1 | 86.3 | 183.6 |
| 第 9 次(1996—2003) | 26.3 | 326.8 | 373.3 | 329.9 | 329.7 | 254.3 | 144.4 | 75.9 | 173.2 |
| 第 10 次(2004—2008) | 28.7 | 341.5 | 383.3 | 361.5 | 319.9 | 230.4 | 115.1 | 60.9 | 167.3 |
| 第 11 次(2009—2013) | 25.5 | 325.2 | 368.0 | 414.0 | 331.1 | 237.2 | 117.3 | 62.6 | 145.6 |
| 第 12 次(2014—2018) | 25.7 | 311.7 | 366.1 | 428.2 | 351.3 | 230.4 | 118.1 | 57.9 | 138.4 |
| 第 13 次(2018—2022) | 27.4 | 312.7 | 357.1 | 430.2 | 350.4 | 233.2 | 121.5 | 63.8 | 132.4 |

3 历次清查森林结构变化

3.1 森林蓄积量构成及动态

芬兰林分类型主要由松树林(pine)、云杉林(spruce)、桦树林(birch)和其他阔叶林(other broad-leaved)组成。第 1 次清查时,森林蓄积量为 26.844 亿 m^3 ,为历次清查的历史最高值,之后动态减少。第 13 次清查时,森林蓄积量为 26.229 亿 m^3 。从近

百年的森林资源清查数据分析可知,松树林的蓄积量占整体蓄积量超过 65%,是芬兰林分蓄积构成的主体,呈现动态增长趋势;云杉林和桦树林占整体蓄积量的近 1/3,呈现动态减少趋势;其他阔叶林,如杨树、桤木、榆树、栎类等呈现增长趋势。第 9 次清查时,可采蓄积量占整体蓄积量的 92.30%,之后逐次减少;第 13 次清查时,可采蓄积量占整体蓄积量的 88.20%(图 2)。

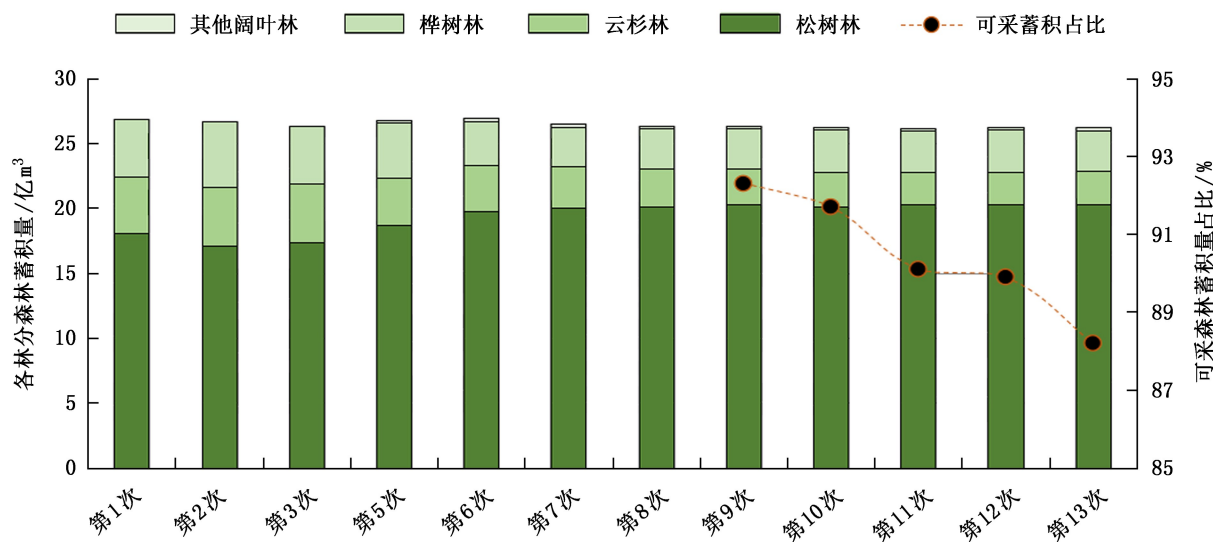


图 2 芬兰历次清查各类林分蓄积量与可采蓄积量占比

Fig. 2 Forest volume and proportion of harvestable volume of various forest stands based on national forest inventory in Finland

整体上,森林蓄积量维持在一个相对稳定的水平,同时,为保障可持续的木材利用以及增加多样化的阔叶林以提供更多的生物多样性空间,使可采蓄积量占比呈持续下降趋势。

3.2 森林径级结构及动态

第 5 次清查时,林木径级 <20 cm、20~29.9 cm、 ≥ 30 cm 的林分蓄积量占森林蓄积量的比例分别为 44.00%、41.01%、14.99%;第 9 次清查至第 13 次清

查期间,各径级蓄积量占比则维持在相对稳定的水平,<20 cm 径级蓄积量占比由 47.42%下降至 41.88%,20~29.9 cm 径级蓄积量占比由 32.60%上升至 37.08%,≥30 cm 径级的蓄积量占比由 19.93%上升至 21.00%,各径级占比在合理区间平稳波动。以人工林为主体的芬兰森林资源在总体水平上符合近自然规律,即小径级、中径级和大径级占比呈现依次下降的倒“J”型分布,而非正态分布,也能更好地平衡森林培育的后备资源(小径级林分)和生物多样性空间(大径级林分)。各林分类型的径级蓄积量占比则各有差异(表 2)。

表 2 芬兰历次清查有林地各径级蓄积量
Tab.2 Forest volume of forest lands by diameter classes
based on national forest inventory in Finland

| 林分类型 | 径级/cm | 亿m ³ | | | | | |
|------|---------|-----------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | | 第 5 次 | 第 9 次 | 第 10 次 | 第 11 次 | 第 12 次 | 第 13 次 |
| 松树林 | <20 | 2.12 | 4.45 | 4.94 | 5.08 | 4.91 | 4.70 |
| | 20~29.9 | 2.86 | 3.21 | 3.64 | 4.17 | 4.85 | 5.20 |
| | ≥30 | 1.24 | 2.00 | 1.99 | 2.08 | 2.23 | 2.48 |
| | 合计 | 6.22 | 9.66 | 10.57 | 11.32 | 12.00 | 12.38 |
| 云杉林 | <20 | 2.52 | 2.54 | 2.50 | 2.58 | 2.64 | 2.71 |
| | 20~29.9 | 2.25 | 2.62 | 2.43 | 2.59 | 2.67 | 2.73 |
| | ≥30 | 0.71 | 1.72 | 1.69 | 1.84 | 2.00 | 2.09 |
| | 合计 | 5.48 | 6.87 | 6.61 | 7.01 | 7.31 | 7.54 |
| 阔叶林 | <20 | 1.71 | 2.68 | 2.89 | 3.02 | 3.05 | 2.98 |
| | 20~29.9 | 0.81 | 0.82 | 0.95 | 1.10 | 1.16 | 1.27 |
| | ≥30 | 0.19 | 0.34 | 0.40 | 0.50 | 0.57 | 0.63 |
| | 合计 | 2.71 | 3.84 | 4.24 | 4.61 | 4.78 | 4.89 |

由表 2 可知,第 5 次清查至第 13 次清查期间,松树林、云杉林、阔叶林径级<20 cm、20~29.9 cm、≥30 cm 的蓄积量占比均值分别为 41.77%、38.82%、19.41%、38.25%、37.60%、24.15%、65.22%、24.62%、10.16%,阔叶林的小径级蓄积量占比最大,松树林中径级蓄积量占比最大,云杉林大径级蓄积量占比最大^[2,11]。

3.3 森林质量及动态

第 5 次清查至第 13 次清查期间,森林单位面积蓄积量由 77.0 m³/hm² 动态增加至 122.0 m³/hm²,其中松树占比 61.0 m³/hm²、云杉占比 37.0 m³/

hm²、桦木占比 20.0 m³/hm²、其他阔叶树占比 4.0 m³/hm²。总体平均年生长量由 2.9 m³/hm² 动态增加至 5.0 m³/hm²,其中松树林平均年均生长量大于云杉林,云杉林大于桦树林,桦树林大于其他阔叶林,也就决定了芬兰的主要用材林为松树林。平均年均增长率则维持在 4.0% 上下浮动,增长率浮动比率小于 15%(表 3)。

表 3 芬兰历次清查森林蓄积量及年均生长量
Tab.3 Forest volume and average annual growth
based on national forest inventory in Finland

| 清查时间 | 公顷蓄积量/(m ³ ·hm ⁻²) | 年均生长量/(m ³ ·hm ⁻² ·a ⁻¹) | | | | | 年均增长率/% |
|--------|---|--|-----|-----|-------|-----|---------|
| | | 松树林 | 云杉林 | 桦树林 | 其他阔叶林 | 总体 | |
| 第 5 次 | 77.0 | | | | | 2.9 | 3.8 |
| 第 6 次 | 75.0 | | | | | 2.9 | 3.9 |
| 第 7 次 | 81.0 | | | | | 3.4 | 4.2 |
| 第 8 次 | 92.0 | 1.6 | 1.4 | 0.6 | 0.2 | 3.8 | 4.1 |
| 第 9 次 | 100.0 | 1.9 | 1.3 | 0.7 | 0.2 | 4.2 | 4.2 |
| 第 10 次 | 107.0 | 2.3 | 1.5 | 0.9 | 0.2 | 4.9 | 4.6 |
| 第 11 次 | 113.0 | 2.3 | 1.6 | 1.0 | 0.2 | 5.1 | 4.5 |
| 第 12 次 | 119.0 | 2.4 | 1.7 | 1.0 | 0.2 | 5.2 | 4.4 |
| 第 13 次 | 122.0 | 2.2 | 1.7 | 0.9 | 0.2 | 5.0 | 4.1 |

4 历次清查生物量和枯损量变化

4.1 森林生物量构成及动态

森林和湿地是芬兰自然生态系统碳循环的主体,也是生物多样性的基础。第 11 次清查森林生物量为 16.68 亿 t,其中树干占比 57.50%、枝叶占比 20.26%、树根占比 22.24%;第 13 次清查森林生物量增加至 17.83 亿 t,树干占比 58.16%、枝叶占比 19.35%、树根占比 22.49%,占比结构未发生明显变化(表 4)。

4.2 森林自然枯损及动态

自然枯损的枯立木和枯倒木为多样性生物提供了循环基础。第 9 次清查自然枯损密度达到 5.8 m³/hm²,其中枯立木占比 1.3 m³/hm²、枯倒木占比 4.5 m³/hm²,并且以针叶林自然枯损密度明显高于阔叶林;第 13 次清查自然枯损密度动态增加至 6.6 m³/hm²,其中枯立木占比 2.1 m³/hm²、枯倒木占比 4.5 m³/hm²(表 5)。

表 4 芬兰历次清查森林生物量
Tab. 4 Forest biomass based on national
forest inventory in Finland 亿 t

| 生物量 | 林分类型 | 第 11 次 | 第 12 次 | 第 13 次 |
|-----|------|--------|--------|--------|
| 树干 | 松树林 | 4.56 | 4.84 | 5.00 |
| | 云杉林 | 2.68 | 2.80 | 2.88 |
| | 桦树林 | 1.95 | 2.04 | 2.08 |
| | 其他阔 | 0.41 | 0.40 | 0.42 |
| | 小计 | 9.60 | 10.08 | 10.38 |
| 枝叶 | 松树林 | 1.41 | 1.42 | 1.41 |
| | 云杉林 | 1.35 | 1.39 | 1.42 |
| | 桦树林 | 0.51 | 0.51 | 0.51 |
| | 其他阔 | 0.11 | 0.10 | 0.11 |
| | 小计 | 3.38 | 3.42 | 3.45 |
| 树根 | 松树林 | 1.54 | 1.63 | 1.66 |
| | 云杉林 | 1.24 | 1.30 | 1.34 |
| | 桦树林 | 0.76 | 0.83 | 0.83 |
| | 其他阔 | 0.16 | 0.17 | 0.17 |
| | 小计 | 3.70 | 3.93 | 4.00 |
| 立木 | 松树林 | 7.51 | 7.89 | 8.07 |
| | 云杉林 | 5.27 | 5.50 | 5.64 |
| | 桦树林 | 3.22 | 3.38 | 3.42 |
| | 其他阔 | 0.68 | 0.67 | 0.70 |
| | 合计 | 16.68 | 17.44 | 17.83 |

表 5 芬兰历次清查森林自然枯损密度
Tab. 5 Forest self-thinning based on national
forest inventory in Finland m^3/hm^2

| 清查 时间 | 枯立木 | | | 枯倒木 | | | 合计 | | |
|----------|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|--------|
| | 针 叶 林 | 阔 叶 林 | 小 计 | 针 叶 林 | 阔 叶 林 | 小 计 | 针 叶 林 | 阔 叶 林 | 小 计 |
| 第 9 次 | 1.0 | 0.3 | 1.3 | 3.6 | 0.6 | 4.5 | 4.6 | 0.9 | 5.8 |
| 第 10 次 | 1.3 | 0.3 | 1.7 | 3.5 | 0.6 | 4.2 | 4.8 | 0.9 | 5.9 |
| 第 11 次 | 1.3 | 0.4 | 1.7 | 3.1 | 0.6 | 4.0 | 4.4 | 0.9 | 5.7 |
| 第 12 次 | 1.3 | 0.4 | 1.7 | 3.3 | 0.9 | 4.2 | 4.6 | 1.3 | 5.9 |
| 第 13 次 | 1.6 | 0.5 | 2.1 | 3.5 | 1.0 | 4.5 | 5.1 | 1.4 | 6.6 |

5 对我国森林资源保护发展的启示

5.1 科学划分林业用地,促进森林可持续经营

芬兰将林业用地分为有林地、低产林地、非产林地和林辅用地,并根据林地生产力差异进行分区管理,为不同生产潜力的林地确定不同的管理和利用

模式。这一分区管理模式确保了有林地的可持续经营,同时合理地开发利用低产林地,有效提高了林地利用效率。

我国从全面保护林地的维度出发,根据生态脆弱性、生态区位重要性等指标,将林地划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级共 4 个保护级别,已实施多年并取得了很好的效果,但从合理利用林地的维度出发,却缺少根据生产力的林地划分管理类型。此外,《林地分类》行业标准 LY/T 1812—2021 取代 LY/T 1812—2009 时,删除了辅助生产林地这个林地分类,实际上与现实不符。在《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》的其他林地中,虽补充了“迹地、苗圃和符合国家规定标准的用于培育、贮存种子苗木等直接为林业生产经营服务的设施用地等”,但依旧缺少林区道路、楞场等经营用地。我国林业进入新发展阶段后,森林自然生态系统面积的增长缓慢,林地保有量将维持在一个相对稳定的动态水平,因此低产低效林地的质量提升变成了主要任务。森林可持续经营方面,应加强经营保障能力建设,根据生产力精细化分区,因地制宜地制定管理策略,提高林地资源的整体利用率^[14];另外,也要防止以残次林(地)改造、低产低效林(地)改造、退化林(地)修复为名,乱砍滥伐、毁林造林、毁林开垦。

5.2 深化林权制度改革,充分发挥森林多种功能

芬兰林业用地的权属结构包括私有林、企业所有林、国有林及其他所有制,并在近百年中根据经济社会需求进行了动态调整,奠定了森林分类经营的制度基础。私有林和国有林面积逐步减少,但企业所有林和其他所有制林地逐渐增加,形成了多元化的所有制格局,森林产权结构及动态变化为可持续经营提供了多样化的支持。对我国而言,《深化集体林权制度改革方案》明确了深化集体林权制度改革对于巩固和完善农村基本经营制度、促进农民就业增收、建设生态文明、推动绿色发展具有重要意义,多主体参与不仅有利于加速林业发展的可持续经营进程,还有助于形成多主体参与的森林保护和经营体系。应该充分发挥政府和市场两种资源配置方式、两种管理运行模式的作用,对公益林要严格加强保护,采取有效措施恢复森林植被,改善林分结构,逐步提高公益林的生态功能;对兼用林要按照可持续经营的目标和“近自然林”的经营模式,实行科学经营管理,全面提高林分质量^[15];对商品林特别是人工用材林,要以追求利润最大化为目标,按照“法正林”的经营模式,通过财政、税收、金融等政策

措施,促进其集约经营,提高林地经营效益。

5.3 强化生物多样性保护,促进生态系统的健康与稳定

芬兰通过持续造林、培育乡土树种等,保持了林龄结构的动态平衡,同时合理调整各径级林分比例,为未来的资源储备和生物多样性发展提供了稳定的生态空间,保障了森林蓄积量的动态稳定和永续利用。此外,芬兰还通过提高枯立木和枯倒木等留存率,给自然生态环境保留或增加生物有机质,为生物多样性提供了重要的物质和能量基础。同时,对外来树种采取审慎态度,欧洲赤松、挪威云杉、白桦等乡土树种占蓄积量主体的结构近百年未发生明显变化,从而有效地保障了森林生态系统的稳定性和安全性^[16-17]。

由于历史原因,我国部分区域天然林过度采伐,次生林、多代萌生矮林比例增加,缺乏原真性和目的树种。针对退化林分,应不断优化林分结构,培育乡土树种,改善生物多样性基础,为不同种群提供栖息和繁殖空间。可持续经营应完善以森林经营规划和森林经营方案为基础的森林培育、保护、利用管理机制,转变经营理念,把培育大径级木材作为森林经营方向,适度延长经营周期;调整优化经营措施,完善关键技术,对树种组成、林龄结构、空间结构不合理的中幼龄林开展抚育,对逆向演替、功能下降的林分开展修复;加强疏林地、迹地、林中空地、天然林分布边缘区封育,实现森林资源稳中有增,结构逐步优化,促进生态系统的健康与稳定。

参考文献:

- [1] RANTALA S. Finish Forestry Practice and Management[M]. Helsinki:Metsäkustannus Oy, 2010.
- [2] KORHONEN K T, AHOLA A, HEIKKINEN J, et al. Forests of Finland 2014–2018 and their development 1921–2018 [J]. *Silva Fennica*, 2021, 55(5): 10662.
- [3] 陈欣, 陈勇. 芬兰林业政策的演变、特点与启示[J]. *世界林业研究*, 2023, 36(2): 114–120.
- [4] GSCHWANTNER T, ALBERDI I, BAUWENS S, et al. Growing stock monitoring by European National Forest Inventories: Historical origins, current methods and harmonisation[J]. *Forest Ecology and Management*, 2022, 505: 119868.
- [5] HENTTONEN H M, NÖJD P, MÄKINEN H. Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971–2010—An analysis based on National Forest Inventory[J]. *Forest Ecology and management*, 2017, 386: 22–36.
- [6] TOMPPON E, HEIKKINEN J, HENTTONEN H M, et al. Designing and conducting a forest inventory—case: 9th National Forest Inventory of Finland[M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2011.
- [7] TOMPPON E, HAAKANA M, KATILA M, et al. Multi-source National Forest Inventory: Methods and Applications[M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2008.
- [8] 吴恒, 胥辉. 森林资源调查监测关键技术及应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 2023: 1–15.
- [9] 曾伟生, 杨学云, 孙乡楠, 等. 森林资源调查监测中各级储量数据的一体化方法研究[J]. *林业资源管理*, 2022(4): 13–19.
- [10] HENTTONEN H M, NÖJD P, MÄKINEN H. Environment-induced growth changes in forests of Finland revisited—a follow-up using an extended data set from the 1960s to the 2020s [J]. *Forest Ecology and Management*, 2024, 551: 121515.
- [11] MÄKISARA K, KATILA M, PERÄSAARI J. The multi-source national forest inventory of Finland—methods and results 2017 and 2019[R]. 2022.
- [12] HAAKANA H, HEIKKINEN J, KATILA M, et al. Efficiency of post-stratification for a large-scale forest inventory—case Finnish NFI[J]. *Annals of Forest Science*, 2019, 76(1): 1–15.
- [13] MYLLYMÄKI M, TUOMINEN S, KURONEN M, et al. The relationship between forest structure and naturalness in the Finnish national forest inventory[J]. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 2024, 97(3): 339–348.
- [14] 史琛明, 邢红, 谢屹. 芬兰林业机械装备发展趋势及动因[J]. *世界林业研究*, 2022, 35(6): 101–106.
- [15] MALTAMO M, KINNUNEN H, KANGAS A, et al. Predicting stand age in managed forests using National Forest Inventory field data and airborne laser scanning[J]. *Forest Ecosystems*, 2020, 7: 1–11.
- [16] HÄRKÖNEN S, MÄKINEN A, TOKOLA T, et al. Evaluation of forest growth simulators with NFI permanent sample plot data from Finland[J]. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(3): 573–582.
- [17] HENTTONEN H M, NÖJD P, SUVANTO S, et al. Size-class structure of the forests of Finland during 1921–2013: A recovery from centuries of exploitation, guided by forest policies[J]. *European Journal of Forest Research*, 2020, 139: 279–293.

责任编辑: 刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.008

山西省森林资源碳储量及碳汇经济价值

茹 豪^{1,2}, 马 婧³, 张凯锋¹, 任煜堃¹, 李青辉¹, 孙向宁¹, 张建军⁴

(1. 山西省林业和草原科学研究院, 山西 太原 030012; 2. 山西太原城市生态系统国家定位观测研究站, 山西 太原 030012; 3. 山西省中医院, 山西 太原 030012; 4. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘要:为了定量分析山西省森林资源碳储量及碳汇经济价值,利用 2005—2015 年 3 期森林资源清查数据,采用联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)材积源—生物量法核算山西省森林资源碳储量及碳汇,依据当年碳汇及氧气价格计算山西省森林资源经济价值。结果表明,山西省森林碳储量从 2005 年的 44.25 TgC 增加到 2015 年的 73.92 TgC,增长率为 67.05%,天然林碳储量、碳密度及碳汇均高于人工林;山西省森林面积、碳储量、碳密度、碳汇最大的树种(组)分别为油松、辽东栎、云杉、阔叶混;森林碳储量与森林龄组结构及碳密度密切相关,中龄林是山西省碳储量和碳汇增加的重要龄组,幼龄林具有非常大的增汇潜力;山西省森林碳汇经济价值从 2010 年的 87.66 亿元增长到 2015 年的 133.59 亿元,年均增长 9.19 亿元,其中,辽东栎碳汇经济价值最大,落叶松单位面积碳汇经济价值最大,刺槐碳汇经济价值增长率和单位面积碳汇经济价值增长率均最大。改善油松纯林结构,增加油栎混交林比例,逐步向近自然顶级群落过渡,是增加山西省森林资源碳储量的关键措施。

关键词:森林资源;碳储量;碳密度;碳汇;经济价值;山西省

中图分类号:S718.556;P461.7 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0048-08

引文格式:茹豪,马婧,张凯锋,等. 山西省森林资源碳储量及碳汇经济价值[J]. 林业调查规划,2026,51(1):48-55. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.008

RU Hao, MA Jing, ZHANG Kaifeng, et al. Carbon Storage and Carbon Sink Economic Value of Forest Resources in Shanxi Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 48-55. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.008

Carbon Storage and Carbon Sink Economic Value of Forest Resources in Shanxi Province

RU Hao^{1,2}, MA Jing³, ZHANG Kaifeng¹, REN Yukun¹, LI Qinghui¹, SUN Xiangning¹, ZHANG Jianjun⁴

(1. Shanxi Academy of Forestry and Grassland Sciences, Taiyuan, Shanxi 030012, China; 2. Taiyuan Urban Ecosystem National Research Station, Taiyuan, Shanxi 030012, China; 3. Shanxi Traditional Chinese Medical Hospital, Taiyuan, Shanxi 030012, China; 4. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To quantitatively analyze the carbon storage and carbon sink economic value of forest resources in Shanxi Province, the forest resource inventory data of three periods from 2005 to 2015 were used to calculate the carbon storage and carbon sink of forest resources by the volume source-biomass method of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), and the economic value of forest resources in

收稿日期:2024-05-29;修回日期:2024-07-12

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFE0104700);山西省林业重点研发计划专项项目(JLYF-2025-30);中国绿色碳汇基金会山西碳汇专项基金“右玉县林草资源碳储量和碳汇动态监测与评估”。

第一作者:茹豪(1987-),男,博士,高级工程师。研究方向为森林生态功能与评价。Email:ruhaoproject@163.com

责任作者:张建军(1964-),男,博士,教授,博士生导师。研究方向为水土保持、森林水文、植被恢复、生态效益评价。

Email:zhangjianjun@bjfu.edu.cn

Shanxi Province was calculated according to the carbon sink and oxygen price of the current year. The results showed that the forest carbon storage of Shanxi Province increased from 44.25 TgC in 2005 to 73.92 TgC in 2015, with a growth rate of 67.05%. The carbon storage, carbon density and carbon sink of natural forests were higher than those of artificial forests. The tree species (groups) with the largest forest area, carbon storage, carbon density and carbon sink in Shanxi Province were *Pinus tabulaeformis*, *Quercus wutaishanica*, *Picea asperata* and broad-leaved mixed forest, respectively. Forest carbon storage was closely related to age-class structure and carbon density. Middle-aged forests were identified as the key age class contributing to the increase in carbon storage and sink, while young-aged forests possessed significant potential for future sink enhancement. The economic value of forest carbon sinks in Shanxi Province grew from 8.766 billion yuan in 2010 to 13.359 billion yuan in 2015, with an average annual increase of 919 million yuan. Among the species, *Quercus wutaishanica* had the highest total carbon sink economic value, *Larix principis-rupprechtii* had the highest economic value per unit area, and *Robinia pseudoacacia* showed the highest growth rates in both total economic value and economic value per unit area. Key measures to enhance forest carbon storage in Shanxi Province include improving the structure of pure *Pinus tabulaeformis* forests, increasing the proportion of mixed *Pinus tabulaeformis* and *Quercus* forests, and gradually transitioning towards near-natural climax communities.

Key words: forest resources; carbon storage; carbon density; carbon sink; economic value; Shanxi Province

森林是地球最重要的陆地生态系统,通过植物光合作用吸收大气中的 CO_2 ,并将其固定在生物体和土壤中,每年固定的碳约占整个陆地生态系统的 $2/3$ ^[1-4]。森林碳汇是目前最重要的碳中和途径,较工业减排更具有成本有效性^[5-7]。随着我国于 2020 年提出的 CO_2 排放量力争在 2030 年前达到峰值,2060 年前实现碳中和的目标,森林生态系统的固碳经济价值日益成为社会广泛关注和生态学者研究的热点。

我国学者利用我国和各省份历次森林资源清查结果数据,基于生物量因子法、异速生长方程法、材积源生物量模型法等,对全国^[8-11]、省域^[12-21]、流域^[22-24]尺度森林植被碳储量及碳汇进行深入研究。此外,对于大区域尺度的森林碳储量及碳汇研究则采用遥感数据,利用如 CASA 模型、NEP 模型等对区域内的植被碳储量及碳汇进行模拟及预测^[25-27]。全国森林资源清查数据具有准确、全面、权威等特点,是众多学者开展森林碳储量及碳汇研究选择的基础数据和验证数据。在乔木林碳储量和碳密度估算方法中,联合国气候变化政府间专家委员会(IPCC)指导各国开展的材积源—生物量模型估算公式成为国际间碳储量研究的通用方法,更能减少因方法不同带来的估算结果争议。

山西省位于华北平原西侧,黄土高原东缘,生态区位极为重要。山西省植被区域分布规律具有水平地带性分布规律比较明显,南北差异较大,垂直地带性分布规律特别突出的特点,每一个山体均具有其特

有的植被垂直分布带谱,是华北区域生态系统的重要天然屏障。根据第九次森林资源清查统计结果,山西省 2015 年森林面积 $3.21 \times 10^6 \text{ hm}^2$,森林覆盖率 20.5%,其中,天然林面积 $1.4 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、蓄积量 $88.38 \times 10^6 \text{ m}^3$,人工林面积 $1.56 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、蓄积量 $40.85 \times 10^6 \text{ m}^3$,人工林具有林龄小、碳汇潜力大的特点。以往对山西省碳储量和碳汇的研究多集中在某一山系或小流域,研究全山西省范围的森林资源、不同树种、不同起源以及不同林龄的碳储量及其碳汇价值尚属空白,因此,科学核算山西省森林资源碳储量、碳汇量,充分发挥森林的碳汇作用和价值,对省域生态建设和实现双碳目标具有十分重要意义。本文利用山西省 2005—2015 年 3 期森林资源清查数据,采用材积源生物量法,结合实测山西省主要树种(组)净初级生产力等数据,估算不同时期山西省森林资源碳储量、碳密度及碳汇经济价值,旨在为山西省森林资源的经营管理和碳汇经济研究提供重要科学依据。

1 研究区域概况

山西省地处黄土高原东部、黄河中游、海河上游,地理坐标为 $34^\circ 34' 48'' \sim 40^\circ 43' 24'' \text{N}$, $110^\circ 14' 36'' \sim 114^\circ 33' 24'' \text{E}$,总面积 $15.67 \times 10^4 \text{ km}^2$,最高海拔 3 061 m,最低海拔不足 250 m,高低相差 2 800 m,全境大部分地区均在海拔 1 000 m 以上。山西省属大陆性季风气候,内长城以北地区属温带半干旱气候,内长城至阳泉—太岳山—河津一线为暖温带半干旱气候,其南

为暖温带半湿润气候。年均温 3.7~13.8℃,呈自南向北、自盆地向高山递减之势,无霜期 100~210 d。大部分地区年降水量 400~650 mm,各地分布不均,总趋势由东南向西北递减,全年降水量的 70%集中在 6—9 月。山西省属黄土高原的组成部分,黄土分布极为广泛。省境中南部是暖温带森林草原褐土区,北部是温带干旱草原栗钙土区,吕梁山以西、恒山以北系由森林草原向干旱草原过渡的栗褐土区。

山西植被水平分布以恒山为界,形成了暖温带夏绿阔叶林和温带草原两个植被地带。恒山以南的广大地域属暖温带夏绿阔叶林地带。地带性土壤为碳酸盐褐土,相应的植被以夏绿阔叶林和次生落叶灌丛为主。主要乔木有油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr.)、云杉(*Picea asperata* Mast.)、侧柏(*Platycladus orientalis* (Linn.) Franco)、樟子松(*Pinus sylvestris* Linn. var. *mongolica* Litv.)、白皮松(*Pinus bungeana* Zucc. et Endl.)、华山松(*Pinus armandii* Franch.)、辽东栎(*Quercus wutaishanica* Blume)、槲树(*Quercus dentata* Thunb.)、槲栎(*Quercus aliena* Blume)、栓皮栎(*Quercus variabilis* Blume)、杨树类、桦木类、刺槐(*Robinia pseudoacacia* Linn.)、国槐(*Styphnolobium japonicum* (L.) Schott)、榆树(*Ulmus pumila* Linn.)、柳树(*Salix babylonica* Linn.)、椴树(*Tilia tuan* Szyszyl.)等,经济林以核桃(*Juglans regia* L.)、红枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)、苹果(*Malus pumila* Mill.)、梨属(*Pyrus*)、连翘(*Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl)、仁用杏(*Prunus armeniaca* L.)为主。

2 研究方法

2.1 数据来源

采用国家林业和草原局汇编的山西省第七次至第九次森林资源清查数据资料,固定样地 9 915 个,其中有林地样地 2 792 个,样地面积 1 hm²,样地间隔 4 km×4 km,包括森林类型、龄组、面积、蓄积、总增长量和总消耗量等指标。森林资源清查未包含地被植物层、枯枝落叶层、土壤层等数据,因此,本研究仅包括活立木碳储量,即乔木林、疏林、散生木、四旁树的碳储量,不包含特灌林和一般灌木林的碳储量。

2.2 研究方法

2.2.1 森林碳储量估算

采用联合国气候变化政府间专家委员会(IPCC)材积源—生物量法计算森林资源碳储量^[28],公式为:

$$C = \sum_{i=1}^n V_i \times SVD_i \times B_{EF,i} \times (1 + R_i) \times CF_i \quad (1)$$

式中: C 为乔木林碳储量(tC); V_i 为第*i*类树种(组)蓄积量(m³); SVD_i 为第*i*类树种(组)木材密度(t d m/m³); $B_{EF,i}$ 为第*i*类树种(组)的生物量扩展因子(无量纲); R_i 为第*i*类树种(组)地下生物量与地上生物量的比值(无量纲); CF_i 为第*i*类树种(组)含碳率(tC/(t·d·m))。

$SVD_i, B_{EF,i}, R_i, CF_i$ 等相关参数参考相关技术标准和文献^[28-29]。两期森林碳储量的变化量与调查年差值的比值即为两期间森林生物量碳汇(TgC/a)。

2.2.2 森林碳密度计算

碳密度为单位面积碳储量,公式为:

$$C_{d,i} = C_i / S_i \quad (2)$$

式中: $C_{d,i}$ 为第*i*类树种(组)的碳密度(tC/hm²); C_i 为第*i*类树种(组)的碳储量(tC); S_i 为第*i*类树种(组)的面积(hm²)。

2.2.3 森林碳汇经济价值计算

森林碳汇经济价值计算以国家标准^[29]公布的参数为依据,计算山西省森林碳汇经济价值,公式为:

$$U = U_c + U_o = \sum_{i=1}^n S_i \times G_c \times (1.63 \times R_c \times B_i + F) + \sum_{i=1}^n 1.19 \times S_i \times G_o \times B_i \quad (3)$$

式中: U 为森林碳汇经济价值; U_c 为森林固碳价值; U_o 为森林释氧价值; S_i 为第*i*个树种(组)的林分面积; R_c 为CO₂的碳含量(27.27%); B_i 为第*i*个树种(组)的实测林分年净生产力(mgC/(hm²·a)),即年均总生长量与总消耗量之差(表1); F 为单位面积森林土壤固碳量,利用其与单位面积森林立木固碳量的比例 0.02:0.49 进行计算^[30]; G_c 为国内 2024 年 3 月底碳汇交易价格(90.66 元/t); G_o 为氧气价格(412 元/t)^[31]。

2.2.4 数据处理与分析

采用 Excel 2019 和 SPSS Statistics 25 对数据进行统计分析。采用双变量单尾法对不同龄组碳储量、面积和碳密度进行相关性分析。利用 Excel 2019 软件作图。

3 结果与分析

3.1 森林资源总碳储量、碳密度及碳汇变化

2005—2015 年山西省森林资源清查结果及碳储量、碳密度、碳汇变化如表 2 所示。

表 1 山西省主要树种(组)林分净初级生产力
Tab.1 Net primary productivity of major tree species
(groups) in Shanxi Province

| 树种(组) | 净初级生产力 /(mgC·hm ⁻² ·a ⁻¹) | | 树种(组) | 净初级生产力 /(mgC·hm ⁻² ·a ⁻¹) | |
|-------|---|--------|-------|---|--------|
| | 2010 年 | 2015 年 | | 2010 年 | 2015 年 |
| 油松 | 6.34 | 8.88 | 刺槐 | 6.44 | 16.20 |
| 落叶松 | 14.91 | 24.74 | 国槐 | 3.94 | 14.43 |
| 云杉 | 14.93 | 18.45 | 桦木类 | 9.36 | 21.46 |
| 柏木 | 3.91 | 4.59 | 鹅耳枥属 | 1.18 | 14.03 |
| 白皮松 | 0.21 | 8.69 | 榆树 | 4.03 | 25.24 |
| 樟子松 | 2.48 | 6.64 | 椴树 | 0.83 | 7.59 |
| 华山松 | 11.76 | 20.22 | 经济树种 | 15.65 | 3.31 |
| 辽东栎 | 11.02 | 15.86 | 其他硬阔 | 25.33 | 13.16 |
| 栓皮栎 | 10.68 | 23.76 | 其他软阔 | 13.69 | 12.27 |
| 其他栎类 | 0.70 | 30.37 | 针叶混 | 3.89 | 0.00 |
| 杨树类 | 5.83 | 7.39 | 阔叶混 | 8.27 | 0.76 |
| 柳树 | 11.99 | 30.95 | 针阔混 | 10.34 | 0.73 |

表 2 山西省 2005—2015 年森林资源清查结果及
碳储量、碳密度、碳汇变化

Tab.2 Forest inventory results and changes in carbon
storage,carbon density, and carbon sink in
Shanxi Province from 2005 to 2015

| 年份 | 森林 覆盖率 /% | 森林 面积 /(10 ⁴ hm ²) | 活立 木蓄 积量 /(10 ⁴ · m ³) | 单位 面积 蓄积量 /(m ³ · hm ⁻²) | 森林 碳储 量 /TgC | 碳密 度/ (mgC· hm ⁻²) | 碳汇/ (TgC· a ⁻¹) |
|------|-----------------|--|---|---|-----------------------|---|-----------------------------------|
| 2005 | 14.12 | 221.11 | 8846.96 | 40.01 | 44.25 | 20.01 | — |
| 2010 | 18.03 | 282.41 | 11039.38 | 39.09 | 55.21 | 19.55 | 2.19 |
| 2015 | 20.50 | 321.09 | 14778.65 | 46.03 | 73.92 | 23.02 | 3.74 |

从表 2 可以看出,山西省森林覆盖率、森林面积、活立木蓄积量、森林碳储量及碳汇均呈逐期增长趋势,单位面积蓄积量、碳密度在 2010 年略微下降,在 2015 年显著提高。2005、2010 年、2015 年山西省森林碳储量分别为 44.25、55.21、73.92 TgC;碳密度分别为 20.01、19.55、23.02 mgC/hm²。2010 年山西省森林碳汇为 2.19 TgC/a,2015 年为 3.74 TgC/a。

3.2 不同树种(组)碳储量、碳密度及碳汇变化

油松是山西省森林主要组成树种,在 3 次森林资源清查结果中,油松面积均为最大,分别占全省森林面积的 23.2%~40.5%。第九次森林资源清查中森林面积及其占比前 10 位的树种分别为:油松、辽

东栎、阔叶混、杨树类、刺槐、针阔混、落叶松、柏木、桦木、栓皮栎,合计占全省森林面积的 86.0%。碳储量前 10 位的树种分别为:辽东栎、油松、阔叶混、针阔混、杨树类、落叶松、刺槐、桦木类、云杉、栓皮栎。碳密度前 10 位的树种分别为云杉、华山松、柳树、辽东栎、落叶松、栓皮栎、桦木类、针阔混、其他栎类、阔叶混。碳汇贡献前 10 位的树种分别为阔叶混、针阔混、刺槐、油松、杨树类、针叶混、落叶松、经济树种、辽东栎、榆树(表 3)。

表 3 2005—2015 年山西省不同树种(组)的
碳储量、碳密度和碳汇

Tab.3 Carbon storage,carbon density, and carbon
sink of different tree species (groups) in
Shanxi Province from 2005 to 2015

| 树种(组) | 清查期 | 面积 /(10 ² hm ²) | 碳储量 /TgC | 碳密度 /(mgC· hm ⁻²) | 碳汇 /(TgC· a ⁻¹) |
|-------|------|--|-------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 油松 | 2005 | 9999 | 17.79 | 17.79 | — |
| | 2010 | 5591 | 10.89 | 19.47 | -1.38 |
| | 2015 | 5666 | 12.18 | 21.49 | 0.26 |
| 落叶松 | 2005 | 2151 | 5.35 | 24.89 | — |
| | 2010 | 1058 | 3.33 | 31.49 | -0.40 |
| | 2015 | 1044 | 3.92 | 37.53 | 0.12 |
| 云杉 | 2005 | 278 | 1.44 | 51.94 | — |
| | 2010 | 285 | 1.93 | 67.73 | 0.10 |
| | 2015 | 253 | 2.05 | 80.90 | 0.02 |
| 柏木 | 2005 | 1387 | 1.56 | 11.28 | — |
| | 2010 | 977 | 0.69 | 7.09 | -0.17 |
| | 2015 | 993 | 0.67 | 6.71 | -0.01 |
| 白皮松 | 2005 | — | — | — | — |
| | 2010 | 458 | 0.63 | 13.82 | — |
| | 2015 | 316 | 0.49 | 15.36 | -0.03 |
| 樟子松 | 2005 | 45 | 0.03 | 7.43 | — |
| | 2010 | 32 | 0.00 | 0.13 | -0.01 |
| | 2015 | 46 | 0.02 | 3.34 | 0.00 |
| 华山松 | 2005 | 48 | 0.08 | 15.80 | — |
| | 2010 | 80 | 0.38 | 47.63 | 0.06 |
| | 2015 | 32 | 0.21 | 67.01 | -0.03 |
| 辽东栎 | 2005 | 3399 | 8.41 | 24.74 | — |
| | 2010 | 3935 | 13.60 | 34.57 | 1.04 |
| | 2015 | 3237 | 13.80 | 42.63 | 0.04 |
| 栓皮栎 | 2005 | 90 | 0.11 | 12.01 | — |
| | 2010 | 693 | 1.93 | 27.84 | 0.36 |
| | 2015 | 456 | 1.68 | 36.94 | -0.05 |
| 其他栎类 | 2005 | 642 | 0.56 | 8.75 | — |
| | 2010 | 236 | 0.61 | 25.70 | 0.01 |
| | 2015 | 91 | 0.27 | 29.84 | -0.07 |

续表 3

| 树种(组) | 清查期 | 面积 /(10 ² hm ²) | 碳储量 /TgC | 碳密度 /(mgC· hm ⁻²) | 碳汇 /(TgC· a ⁻¹) |
|-------|------|--|-------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 杨树类 | 2005 | 3191 | 3.90 | 12.23 | — |
| | 2010 | 2685 | 3.07 | 11.44 | -0.17 |
| | 2015 | 2525 | 3.93 | 15.56 | 0.17 |
| 柳树 | 2005 | 43 | 0.08 | 19.36 | — |
| | 2010 | 158 | 0.41 | 25.70 | 0.06 |
| | 2015 | 127 | 0.61 | 48.00 | 0.04 |
| 刺槐 | 2005 | 1131 | 1.63 | 14.38 | — |
| | 2010 | 1635 | 1.25 | 7.63 | -0.08 |
| | 2015 | 2017 | 2.91 | 14.44 | 0.33 |
| 国槐 | 2005 | 3 | 0.00 | 13.90 | — |
| | 2010 | 94 | 0.04 | 4.26 | 0.01 |
| | 2015 | 110 | 0.18 | 16.55 | 0.03 |
| 桦木类 | 2005 | 993 | 2.12 | 21.36 | — |
| | 2010 | 919 | 2.46 | 26.77 | 0.07 |
| | 2015 | 647 | 2.10 | 32.51 | -0.07 |
| 鹅耳枥属 | 2005 | 287 | 0.19 | 6.56 | — |
| | 2010 | 617 | 1.26 | 20.44 | 0.21 |
| | 2015 | 348 | 0.43 | 12.45 | -0.17 |
| 榆树 | 2005 | 35 | 0.06 | 16.10 | — |
| | 2010 | 108 | 0.09 | 8.17 | 0.01 |
| | 2015 | 141 | 0.31 | 22.08 | 0.04 |
| 椴树 | 2005 | — | — | — | — |
| | 2010 | 79 | 0.11 | 13.87 | — |
| | 2015 | 48 | 0.06 | 13.25 | -0.01 |
| 经济树种 | 2005 | — | — | — | — |
| | 2010 | 16 | 0.06 | 40.36 | — |
| | 2015 | 630 | 0.45 | 7.22 | 0.08 |
| 其他硬阔 | 2005 | 93 | 0.23 | 24.71 | — |
| | 2010 | 473 | 0.79 | 16.64 | 0.11 |
| | 2015 | 428 | 0.51 | 11.90 | -0.06 |
| 其他软阔 | 2005 | 60 | 0.11 | 18.79 | — |
| | 2010 | 159 | 0.19 | 11.81 | 0.01 |
| | 2015 | 159 | 0.19 | 12.09 | 0 |
| 针叶混 | 2005 | — | — | — | — |
| | 2010 | 16 | 0 | 0 | — |
| | 2015 | 365 | 0.82 | 22.50 | 0.16 |
| 阔叶混 | 2005 | — | — | — | — |
| | 2010 | 15 | 0.01 | 3.37 | — |
| | 2015 | 2702 | 6.39 | 23.65 | 1.28 |
| 针阔混 | 2005 | — | — | — | — |
| | 2010 | 15 | 0.05 | 31.75 | — |
| | 2015 | 1722 | 5.29 | 30.71 | 1.05 |

由表 3 可以看出,各树种(组)森林面积在不断变化,其中面积不断增加的树种(组)为:柳树、国槐、刺

槐、榆树、经济树种、针叶混、阔叶混及针阔混;面积不断减少的树种(组)有:其他栎类、杨树类、桦木类、椴树等;近两期森林资源清查结果中,其他树种面积变化不大。2005—2015 年各树种(组)碳密度均呈增加趋势,但有少量树种碳密度减少,如柏木、樟子松、鹅耳枥、经济树种、其他硬阔及其他软阔。

3.3 不同龄组森林碳储量、碳密度及碳汇变化

2005—2015 年山西省各龄组森林面积、碳储量、碳密度及碳汇变化见图 1。

从图 1 可以看出,幼龄林、中龄林面积较其他龄级大,分别占森林总面积的 30.6%~36.7%、31.8%~35.1%,幼龄林和中龄林共占森林总面积的 62.43%~69.1%,过熟林最小,占比 4.4%。中龄林的碳储量最大,占森林总碳储量的 37.2%~42.3%,增长率为 53.1%;近熟林碳储量增长率为 172.4%,增长率最大;过熟林的碳储量最小,仅占比 1.0%~4.0%,增长率为 129.0%;2015 年幼龄林和中龄林共占森林总碳储量的 65.7%。碳密度呈逐期增加趋势,其中过熟林碳密度增长最快,由 4.84 mgC/hm² 增长至 24.34 mgC/hm²,增长率为 403.1%,其次为成熟林,由 11.50 mgC/hm² 增长至 42.56 mgC/hm²,增长率为 270.2%,幼龄林的碳密度变化较小,由 8.40 mgC/hm² 增长至 13.26 mgC/hm²,增长率为 57.8%;中龄林碳密度增长率最小,为 40.0%。中龄林碳汇变化最大,由 0.39 TgC/a 增加至 1.34 TgC/a,增长率为 242.4%,近熟林碳汇变化出现负增长,为 -56.2%,幼龄林、成熟林和过熟林碳汇增长率分别为 60.2%、95.8%、59.2%。

采用 SPSS Statistics 25 对不同龄组碳储量、面积和碳密度进行双变量单尾相关性分析(表 4)。

由表 4 可见,面积与碳储量呈极显著正相关($P < 0.01$),碳密度与碳储量呈显著正相关($P < 0.05$),面积与碳密度呈负相关关系。说明森林面积、碳密度增加是碳储量增加的重要原因,其中,森林面积的增长是碳储量提高的关键因素。在森林面积增长缓慢时,采用恰当的森林经营措施提高碳密度是促进森林增加碳储量的重要方法。

3.4 不同起源森林碳储量、碳密度及碳汇变化

2005—2015 年山西省人工林和天然林的碳储量、碳密度及碳汇变化见表 5。

由表 5 可以看出,2005—2010 年、2010—2015 年山西省森林碳汇表现为,人工林分别吸收 4.17、7.16 TgC,天然林分别吸收 6.40、8.90 TgC,同期天然林碳汇贡献大于人工林。2005—2010 年、2010—

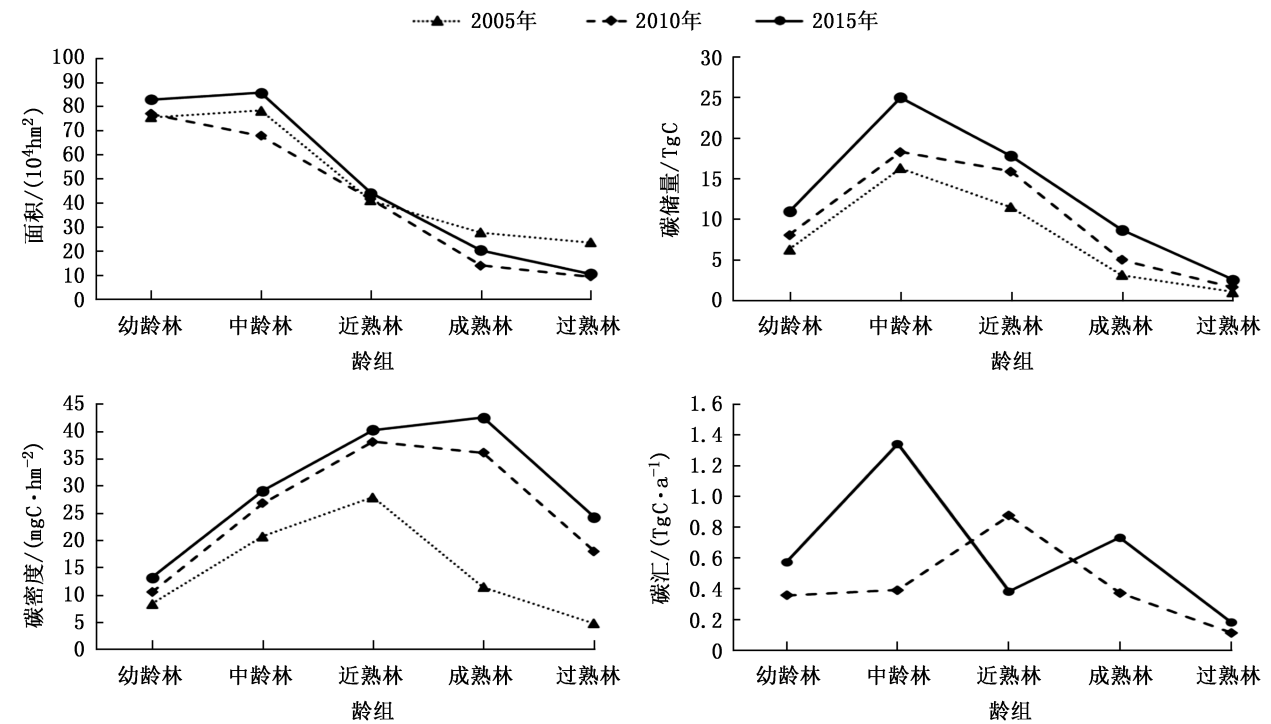


图 1 2005—2015 年山西省森林各龄组面积、碳储量、碳密度及碳汇变化

Fig. 1 Changes in forest area, carbon storage, carbon density and carbon sink across different age classes in Shanxi Province from 2005 to 2015

表 4 森林碳储量、面积及碳密度相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis of forest carbon storage, area, and carbon density

| 项目 | 碳储量 | 面积 |
|-----|----------|--------|
| 面积 | 0.654 ** | |
| 碳密度 | 0.476 * | -0.248 |

注: ** 表示在 $P < 0.01$ 水平显著; * 表示在 $P < 0.05$ 水平显著; $n = 45$ 。

2015 年人工林碳储量增长率分别为 44.98%、53.27%, 天然林则为 21.87%、24.95%, 人工林碳储量增长速率为天然林的 2.0 倍。2005 年、2010 年、2015 年, 天然林碳储量分别是人工林的 3.2 倍、2.6 倍、2.2 倍, 碳密度是人工林的 1.6 倍、1.8 倍、1.6 倍。说明在山西省森林碳汇的增加中天然林起主要作用, 人工林具有较高的增汇潜力。

表 5 2005—2015 年山西省人工林和天然林碳储量、碳密度及碳汇

Tab. 5 Carbon storage, carbon density, and carbon sink of plantations and natural forests in Shanxi Province from 2005 to 2015

| 清查期 | 人工林 | | | | 天然林 | | | |
|------|-------------------------------|-------------------------|--|--|-------------------------------|-------------------------|--|--|
| | 面积 $/ (10^4 \text{ hm}^2)$ | 碳储量 $/ (\text{TgC})$ | 碳密度 $/ (\text{mgC} \cdot \text{hm}^{-2})$ | 碳汇 $/ (\text{TgC} \cdot \text{a}^{-1})$ | 面积 $/ (10^4 \text{ hm}^2)$ | 碳储量 $/ (\text{TgC})$ | 碳密度 $/ (\text{mgC} \cdot \text{hm}^{-2})$ | 碳汇 $/ (\text{TgC} \cdot \text{a}^{-1})$ |
| 2005 | 57.21 | 9.27 | 16.21 | — | 115.21 | 29.27 | 25.41 | — |
| 2010 | 86.40 | 13.44 | 15.56 | 0.83 | 129.54 | 35.67 | 27.54 | 1.28 |
| 2015 | 104.07 | 20.60 | 19.80 | 1.43 | 140.30 | 44.57 | 31.77 | 1.78 |

3.5 森林碳汇经济价值

山西省主要树种(组)碳汇经济价值见表 6。

从表 6 可以看出, 山西省森林碳汇经济价值由 2010 年的 87.66 亿元增长至 2015 年的 133.59 亿元, 年均增长 9.19 亿元, 其中固碳价值由 6.91 亿元增长至 10.53 亿元, 年均增长 0.72 亿元; 释氧价值

由 80.75 亿元增长至 123.06 亿元, 年均增长 8.46 亿元。单位面积森林提供的碳汇经济价值由 2010 年的 0.43 万元/ hm^2 增加至 2015 年的 0.55 万元/ hm^2 。经计算, 单位面积固碳价值由 2010 年的 0.034 万元/ hm^2 增加至 2015 年的 0.043 万元/ hm^2 ; 单位面积释氧价值由 0.40 万元/ hm^2 增加至 0.51 万元/ hm^2 。

表 6 2010 年和 2015 年山西省主要树种(组)碳汇经济价值

Tab. 6 Carbon sink economic value of main tree species (groups) in Shanxi Province in 2010 and 2015

| 树种(组) | 2010 年 | | | | 2015 年 | | | |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| | 固碳 价值 /亿元 | 释氧 价值 /亿元 | 碳汇 价值 /亿元 | 单位 面积 碳汇 价值 /(万元 · hm ⁻²) | 固碳 价值 /亿元 | 释氧 价值 /亿元 | 碳汇 价值 /亿元 | 单位 面积 碳汇 价值 /(万元 · hm ⁻²) |
| 油松 | 1.49 | 17.37 | 18.86 | 0.34 | 2.11 | 24.66 | 26.77 | 0.47 |
| 落叶松 | 0.66 | 7.74 | 8.40 | 0.79 | 1.08 | 12.66 | 13.75 | 1.32 |
| 云杉 | 0.18 | 2.09 | 2.26 | 0.79 | 0.20 | 2.29 | 2.48 | 0.98 |
| 柏木类 | 0.15 | 1.81 | 1.97 | 0.21 | 0.19 | 2.17 | 2.35 | 0.24 |
| 辽东栎 | 1.86 | 21.69 | 23.55 | 0.59 | 2.37 | 27.76 | 30.14 | 0.84 |
| 栓皮栎 | 0.31 | 3.63 | 3.94 | 0.57 | 0.45 | 5.31 | 5.77 | 1.26 |
| 杨树类 | 0.66 | 7.68 | 8.33 | 0.31 | 0.78 | 9.15 | 9.93 | 0.39 |
| 刺槐 | 0.44 | 5.16 | 5.61 | 0.34 | 1.37 | 16.02 | 17.39 | 0.86 |
| 桦木类 | 0.36 | 4.22 | 4.58 | 0.50 | 0.58 | 6.81 | 7.39 | 1.14 |
| 其他硬阔 | 0.50 | 5.87 | 6.38 | 1.35 | 0.21 | 2.46 | 2.67 | 0.70 |
| 合计 | 6.61 | 77.26 | 83.87 | 0.58 | 9.35 | 109.28 | 118.63 | 0.82 |
| 全树种 (组)总计 | 6.91 | 80.75 | 87.66 | 0.43 | 10.53 | 123.06 | 133.59 | 0.55 |

2010 年和 2015 年排名前 10 位主要树种(组)的碳汇价值分别占全部树种(组)的 95.7% 和 88.8%。

从表 6 可以看出,除其他硬阔类外,其余各树种(组)2010 年和 2015 年碳汇经济价值均有不同幅度增长。2015 年各树种(组)碳汇价值及占比依次为:辽东栎(22.6%)、油松(20.0%)、刺槐(13.0%)、落叶松(10.3%)、杨树类(7.4%)、桦木类(5.5%)、栓皮栎(4.3%)、其他硬阔(2.0%)、云杉(1.9%)、柏木类(1.8%)。单位面积碳汇经济价值依次为:落叶松、栓皮栎、桦木类、云杉、刺槐、辽东栎、其他硬阔、油松、杨树类、柏木类。

4 结论与讨论

基于 2005—2015 年 3 期山西省森林资源清查数据以及《森林经营项目碳汇计量监测指南》中公布的木材密度、生物量扩展因子、地下生物量与地上生物量比值、含碳率等参数,依据国家标准《森林生态系统服务功能评估规范》,估算山西省森林资源清查 3 期间森林碳储量、碳密度、碳汇及其动态变化,结合《山西省森林生态连清与生态系统服务功能研究》中公布的固碳价格及制氧价格对山西省森林及主要树种碳汇经济价值进行评估。

1) 山西省森林碳储量从 2005 年的 44.25 TgC 增加至 2015 年的 73.92 TgC,增长率为 67.0%;碳密度由 20.01 mgC/hm² 增加至 23.02 mgC/hm²,增长率为 15.0%。2010 年山西省森林碳汇为 2.19 TgC/a,2015 年为 3.74 TgC/a,增长率为 70.8%。其中,天然林碳储量、碳密度及碳汇均高于人工林,说明山西省森林碳汇的增加,天然林起主要作用,但从碳汇增长率来看,人工林是天然林的 2 倍,具有较高的增汇潜力。山西省森林面积、碳储量、碳密度、碳汇最大的树种(组)分别为油松、辽东栎、云杉、阔叶混。油松森林面积最大,约为山西省森林面积的 1/4,碳储量为全省第二,仅次于辽东栎,碳密度排名第 13 位,碳汇贡献排名第 4 位。综合上述分析认为,油松碳汇能力弱,原因是油松作为山西省主要造林树种,幼龄林面积较大,幼龄林阶段生长较慢,固碳能力差。此外,调查发现,随着龄级的增加,林分逐渐郁闭,树木对光照、水分和养分的需求量增大,种内竞争增强,林分密度大的油松林生长缓慢,此时,密度成为限制油松生长的主要因素,固碳能力变弱^[32-33]。因此,在油松林郁闭后降低林分密度,并结合调整油松纯林结构等措施,增加辽东栎、斛树、槲栎等阔叶树种,逐步向油栎混交林近自然顶级群落过渡,是山西省提高森林资源碳储量的关键措施,有利于增加森林碳汇。

2) 中龄林的碳储量最大,过熟林的碳储量最小,近熟林碳储量增长率最快;成熟林的碳密度最大,幼龄林的碳密度最小,过熟林碳密度增长最快,中龄林碳密度增长率最小;2010 年近熟林碳汇能力最强,2015 年则为中龄林碳汇能力最强,中龄林碳汇增长率最大,近熟林碳汇变化出现负增长。因此可以认为,中龄林是山西省碳储量和碳汇增加的重要龄组,幼龄林的碳储量和碳密度虽然较小,但其面积仅次于中龄林,随着幼龄林向中龄林发展,具有非常大的增汇潜力。这与李伟等在研究林龄老化对中国未来陆地碳汇的影响的结果一致^[34]。

3) 山西省森林碳汇经济价值由 2010 年的 87.66 亿元增长至 2015 年的 133.59 亿元,年均增长 9.19 亿元,单位面积森林提供的碳汇经济价值由 2010 年的 0.43 万元/hm² 增加至 2015 年的 0.55 万元/hm²,年均增长 240 元/hm²;其中,辽东栎碳汇经济价值最大,落叶松单位面积碳汇经济价值最大,刺槐碳汇经济价值增长率和单位面积碳汇经济价值增长率均最大。本研究参考的固碳价格为 2024 年 3 月中国碳汇交易价格,为 90.66 元/t,而欧盟碳市场(EU ETS)碳价为 66.35 欧元/t,折合人民币为 522.96 元/t,说

明我国森林碳汇经济价值具有很大的上升潜力,因此,提高我国碳交易价格有助于提升森林碳汇经济价值,我国需尽快建立全国统一的碳排放权市场,完善碳交易各环节相关制度,提升在国际碳市场的主动地位^[35-36]。

参考文献:

- [1] KRAMER P J. Carbon dioxide concentration, photosynthesis, and dry matter production[J]. *Bioscience*, 1981, 31(1): 29-33.
- [2] 方精云, 陈安平. 中国森林植被碳库的动态变化及其意义[J]. *植物学报*, 2001, 43(9): 967-973.
- [3] 吴庆标, 王效科, 段晓男, 等. 中国森林生态系统植被固碳现状和潜力[J]. *生态学报*, 2008(2): 517-524.
- [4] 胡峻崙, 黄访, 铁烈华, 等. 四川省森林植被固碳经济价值动态[J]. *生态学报*, 2019, 39(1): 158-163.
- [5] RICHARDS K R, STOKES C. A review of forest carbon sequestration cost studies: A dozen years of research[J]. *Climatic Change*, 2004, 63: 1-48.
- [6] 张娟, 陈钦. 森林碳汇经济价值评估研究: 以福建省为例[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2021, 43(5): 121-128.
- [7] 张颖, 李晓格. 碳达峰碳中和目标下北京市森林碳汇潜力分析[J]. *资源与产业*, 2022, 24(1): 15-25.
- [8] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. *生态学报*, 2000, 20(5): 733-740.
- [9] 徐新良, 曹明奎, 李克让. 中国森林生态系统植被碳储量时空动态变化研究[J]. *地理科学进展*, 2007, 26(6): 1-10.
- [10] 李奇, 朱建华, 冯源, 等. 中国森林乔木林碳储量及其固碳潜力预测[J]. *气候变化研究进展*, 2018, 143(3): 287-294.
- [11] 张煜星, 王雪军, 蒲莹, 等. 1949—2018年中国森林资源碳储量变化研究[J]. *北京林业大学学报*, 2021, 43(5): 1-14.
- [12] 王新闯, 齐光, 于大炮, 等. 吉林省森林生态系统的碳储量、碳密度及其分布[J]. *应用生态学报*, 2001, 22(8): 2013-2020.
- [13] 焦燕, 胡海清. 黑龙江省森林植被碳储量及其动态变化[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(12): 2248-2252.
- [14] 樊登星, 余新晓, 岳永杰, 等. 北京市森林碳储量及其动态变化[J]. *北京林业大学学报*, 2008, 30(S2): 117-120.
- [15] 黄从德, 张健, 杨万勤, 等. 四川省及重庆地区森林植被碳储量动态[J]. *生态学报*, 2008, 28(3): 966-975.
- [16] 彭焕华, 姜红梅, 赵传燕. 甘肃省森林植被碳储量及空间分布特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(7): 154-158.
- [17] 张亮, 林文欢, 王正, 等. 广东省森林植被碳储量空间分布格局[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(6): 1295-1299.
- [18] 田秀玲, 夏婧, 夏焕柏, 等. 贵州省森林生物量及其空间格局[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(2): 287-294.
- [19] 曹扬, 陈云明, 晋蓓, 等. 陕西省森林植被碳储量、碳密度及其空间分布[J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(9): 69-73.
- [20] 刘艳, 孙向阳, 范俊岗, 等. 辽宁省森林植被碳储量及其动态变化[J]. *生态环境学报*, 2015, 24(2): 211-216.
- [21] 刘兆丹, 李斌, 方晰, 等. 湖南省森林植被碳储量、碳密度动态特征[J]. *生态学报*, 2016, 36(21): 6897-6908.
- [22] 杨昆, 管东升, 周春华. 潭江流域森林碳储量及其动态变化[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(9): 1579-1582.
- [23] 贾松伟. 黄河流域森林植被碳储量分布特征及动态变化[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(5): 78-88.
- [24] 王菲, 曹永强, 周姝含, 等. 黄河流域生态功能区植被碳汇估算及其主要气象要素分析[J]. *生态学报*, 2023, 43(6): 1-14.
- [25] 孔蕊, 张增信, 张凤英, 等. 长江流域森林碳储量的时空变化及其驱动因素分析[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(4): 60-66.
- [26] LEE J Y, CHEN C L. Comments on “continuous-time optimization model for source-sink matching in carbon capture and storage systems” [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2012, 51(35): 11590-11591.
- [27] ZHANG J, LIU C, HAO H, et al. Spatial-temporal change of carbon storage and carbon sink of grassland ecosystem in the three-river headwaters region based on MODIS GPP/NPP Data[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, 24(1): 8-13.
- [28] 国家林业局造林绿化管理司. 森林经营项目碳汇计量监测指南[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014.
- [29] 国家林业和草原局. 森林生态系统服务功能评估规范: GB/T 38582—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [30] WOODBURY P B, SMITH J E, HEATH L S. Carbon sequestration in the US forest sector from 1990 to 2010[J]. *Forest Ecology and Management*, 2007, 241(1): 14-27.
- [31] 孙拖焕, 梁守伦, 樊兰英, 等. 山西省森林生态连清与生态系统服务功能研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2019.
- [32] 丁波, 丁贵杰, 李先周. 抚育间伐对马尾松人工林生产力和生物量的影响[J]. *林业资源管理*, 2016(1): 72-77.
- [33] 孙美美. 黄土丘陵区三种典型森林类型生产力形成及影响因素[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- [34] LENG Y, LI W, PHILIPPE C, et al. Forest aging limits future carbon sink in China[J]. *One Earth*, 2024, 7: 822-834.
- [35] 郑爽. 国际碳价政策进展及对我国的启示[J]. *中国能源*, 2019, 41(10): 33-37.
- [36] 王煦楠. 碳排放权价格影响因素分析[D]. 长春: 吉林大学, 2016.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.009

浙江九龙山自然保护区苔藓植物多样性及其区系特征

唐战胜,肖燕,王宇,朱子安,杨晓君,余水生

(浙江九龙山国家级自然保护区管理中心,浙江 遂昌 323300)

摘要:为摸清浙江九龙山国家级自然保护区苔藓植物的资源现状,通过样线法对区内苔藓植物的物种组成、区系特征及资源多样性等进行调查分析。结果表明,保护区内共有苔藓植物 84 科 198 属 488 种,其中新增九龙山分布新记录种 51 个,包括浙江省新记录种 2 个,分别是日本小叶苔和美丽拟鳞叶藓钝尖变种;国家二级重点保护苔藓植物 2 种,列入 IUCN 物种红色名录的有 5 种;优势科、优势属明显,区系组成体现了鲜明的温带和亚热带交汇的特色;单种科、属较多,特有现象不明显;分布区类型丰富,表现出东亚色彩以及热带向温带过渡的特点;药用苔藓植物资源丰富,占浙江省药用苔藓植物总种数的 41.79%。以期为保护区苔藓植物的保护和开发利用提供基础资料。

关键词:浙江九龙山国家级自然保护区;苔藓植物;生物多样性;区系特征;药用价值

中图分类号:Q949.35;Q16;Q948.5;S759.93 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0056-09

引文格式:唐战胜,肖燕,王宇,等.浙江九龙山自然保护区苔藓植物多样性及其区系特征[J].林业调查规划,2026,51(1):56-64. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.009

TANG Zhansheng, XIAO Yan, WANG Yu, et al. Diversity and Floristic Characteristics of Bryophyte Resources in Jiulongshan National Nature Reserve in Zhejiang[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 56-64. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.009

Diversity and Floristic Characteristics of Bryophyte Resources in Jiulongshan National Nature Reserve in Zhejiang

TANG Zhansheng, XIAO Yan, WANG Yu, ZHU Zi'an, YANG Xiaojun, YU Shuisheng

(Management Center of Zhejiang Jiulongshan National Nature Reserve, Suichang, Zhejiang 323300, China)

Abstract: In order to understand the current status of bryophyte resources in Jiulongshan National Nature Reserve in Zhejiang, the species composition, floristic characteristics, and resource diversity of bryophytes were investigated and analyzed by using the line-transect method. The results showed that there were a total of 488 species of bryophytes belonging to 198 genera and 84 families in the nature reserve. Among them, 51 species were newly recorded for the reserve, including two new records for Zhejiang Province, i. e. *Fossombronia japonica* and *Pseudotaxiphyllum distichaceum* var. *obtusifolium*. Two species were listed as national second-class key protected bryophytes, and five species were included in the IUCN Red List. Dominant families and genera were prominent. The floristic composition distinctly reflected the characteristics of a transitional zone between temperate and subtropical regions. There were numerous monotypic families and genera, while endemism was not pronounced. The areal-types were diverse,

收稿日期:2024-10-11;修回日期:2024-10-18

基金项目:浙江九龙山国家级自然保护区综合科学考察项目(ZJHT2021B30)。

第一作者:唐战胜(1988-),男,硕士,工程师。主要从事野生植物资源调查与保护研究工作。Email:984793017@qq.com

责任作者:余水生(1974-),男,高级工程师。主要从事自然资源保护和研究工作。Email:schhc@sina.com

demonstrating East Asian affinities and characteristics of a transition from tropical to temperate zones. Medicinal bryophyte resources were abundant, accounting for 41.79% of the total medicinal bryophyte species in Zhejiang Province. This study aims to provide fundamental data for the conservation, development, and utilization of bryophytes in the reserve.

Key words: Jiulongshan National Nature Reserve in Zhejiang; bryophytes; biodiversity; floristic characteristics; medicinal value

苔藓植物是一种由水生向陆生过渡的类群,是自然界重要的拓荒者之一。其植株矮小,结构简单,无维管组织和真正的根茎叶分化,但却拥有仅次于种子植物的种群数量,是高等植物重要的类群之一^[1-2]。现全世界已知共有苔藓植物约 23 000 种^[3],中国约 3 450 种^[4-5],浙江省约 990 种^[6-8],如此庞大的种群数量,让其在整个植物界的系统和演化中占有重要而特殊的地位。苔藓植物由于形态矮小难以辨识,其生态价值及其经济用途常被忽略。现有研究表明苔藓植物在土壤结皮的形成、生物防沙和固沙、水土保持及涵养水源等生态环境改善中发挥着重要作用^[9-11]。部分苔藓植物也具有重要的药用价值,如暖地大叶藓(*Rhodobryum giganteum*)、蛇苔(*Conocephalum conicum*)、地钱(*Marchantia polymorpha*)等^[12-14]。因此,开展科学考察摸清苔藓植物资源家底,加强苔藓植物资源多样性的研究,对苔藓植物的保护和利用具有重要的实际意义。

浙江九龙山国家级自然保护区位于浙、闽、赣三省毗邻地带的遂昌县西南部,区内气候温和,雨量充沛,森林覆盖率达 98.5%,野生动植物资源丰富。目前,对该地区植物的研究主要集中在维管植物方面^[15-18],对苔藓植物的调查研究较少,仅洪如林等曾进行过研究报道^[19],但距今已近 40 年。为此,重新对该区域的苔藓植物资源多样性进行调查研究,以期全面了解该地区苔藓植物的种类及分布状况,同时,为浙江省的苔藓植物多样性保护及开发利用提供一定的数据支持。

1 研究区概况

浙江九龙山国家级自然保护区(以下简称“保护区”),地理坐标为 28°19'10"~28°24'43"N,118°49'38"~118°55'03"E,位于浙江省遂昌县西南部,属武夷山系仙霞岭山脉的分支,是钱塘江水系的最南端源头,其所处的浙、闽、赣三省交界地带,是我国具有全球保护意义的 17 个生物多样性关键地区之一^[20]。保

护区总面积为 5 525 hm²,属野生动物类型的自然保护区,主要保护对象为黑麂(*Muntiacus crinifrons*)、黄腹角雉(*Tragopan caboti*)、连香树(*Cercidiphyllum japonicum*)、九龙山榧(*Torreya grandis* var. *jiulongshanensis*)和伯乐树(*Bretschneidera sinensis*)等珍稀濒危野生动植物种群及其栖息地,还有 600 hm² 以上亚热带东部地区罕见的中亚热带原生森林生态系统^[21]。该地区气候属于中亚热带湿润季风气候,四季分明,雨量充沛,相对湿度较高,年均温约 17℃,年均相对湿度 83%,年均降水量约 1 855 mm。保护区温暖湿润的气候条件和复杂多样的地形环境,为众多野生动植物提供了栖息、繁衍的条件,使其成为华东地区不可多得的天然物种基因库^[20,22]。

2 研究方法

2.1 野外调查与标本采集

根据苔藓植物独特的形态结构和生理特征,采用样线法,于 2020—2022 年多次在保护区内的黄坛淤、上廖坑、杨茂源、西坑里、陈坑、黄基坪等区域进行苔藓植物野外调查及标本采集。尽可能在不同海拔高度、不同生境类型及不同植被条件下采集带有孢蒴的苔藓植物标本,并记录其采集编号、地点、海拔、生境等信息,所有标本均存放于杭州师范大学标本馆。

2.2 物种鉴定与数据分析

苔藓植物的标本鉴定主要依据《中国藓类植物属志》《中国苔纲和角苔纲植物属志》《中国苔藓志》《云南苔藓志》以及近年专科专属修订论文^[23-39]等基础工具书,借助显微镜和解剖镜等工具,对苔藓植物种类进行鉴定,疑难种请教相关科属的修订专家帮忙鉴定及确认。通过汇总标本的鉴定结果及历史调查资料,并根据《中国生物物种名录(2024 版)》^[40]对同物异名进行整理,得到采用 Frey(2009 年)的分类系统进行系统排序的苔藓植物名录,利用 Excel 软件对苔藓植物的物种组成、优势科和属特征、区系地理成分及资源分布情况等进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 物种组成及分布新记录

通过对标本的鉴定及文献资料的汇总,发现保护区共有苔藓植物 84 科 198 属 488 种(包含种以下分类单位),其中苔类植物 32 科 51 属 122 种,藓类植物 50 科 145 属 364 种,角苔类植物 2 科 2 属 2 种(表 1)。

通过对历史资料的重新审查并比对后,此次调查共发现保护区苔藓植物新记录科 3 科、新记录属 11 属和新记录种 51 种(表 2)。

表 1 保护区苔藓植物物种组成
Tab. 1 Species composition of bryophytes in the reserve

| 分类群 | 科数 /个 | 占比 /% | 属数 /个 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 藓类 | 50 | 59.52 | 145 | 73.23 | 364 | 74.59 |
| 苔类 | 32 | 38.10 | 51 | 25.76 | 122 | 25.00 |
| 角苔类 | 2 | 2.38 | 2 | 1.01 | 2 | 0.41 |
| 合计 | 84 | 100.00 | 198 | 100.00 | 488 | 100.00 |

表 2 保护区苔藓植物分布新记录
Tab. 2 New records of bryophytes distribution in the reserve

| 分类群 | 新记录科 | 新记录属 | 新记录种 |
|-----|--|--|--|
| 藓类 | 美姿藓科 Timmiaceae、 曲背藓科 Oncophoraceae | 美姿藓属 <i>Timmia</i> 、矮齿藓属 <i>Bucklandiella</i> 、卷毛藓属 <i>Dicranoweisia</i> 、疣胞藓属 <i>Clastobryum</i> 、赤齿藓属 <i>Erythrodonium</i> 等 9 属 | 美姿藓 <i>Timmia megapolitana</i> 、南亚卷毛藓 <i>Dicranoweisia indica</i> 、尖叶对齿藓 <i>Didymodon constrictus</i> 、疣叶树平藓 <i>Homaliodendron papillosum</i> 、矮平藓 <i>Neckera humilis</i> 等 41 种 |
| 苔类 | 小叶苔科 Fossombroniaceae | 小叶苔属 <i>Fossombronia</i> 、多褶苔属 <i>Spruceanthus</i> | 小瓣光萼苔 <i>Porella plumosa</i> 、断叶扁萼苔 <i>Radula caduca</i> 、尖叶细鳞苔 <i>Lejeunea neelgherriana</i> 、宽片叶苔 <i>Riccardia latifrons</i> 等 10 种 |
| 角苔类 | — | — | — |

由表 2 可知,小叶苔科和小叶苔属为浙江省新记录科、新记录属,日本小叶苔(*Fossombronia japonica*)和美丽拟鳞叶藓钝尖变种(*Pseudotaxiphyllum distichaceum* var. *obtusifolium*)为浙江省新记录种^[41-42]。

3.2 珍稀濒危苔藓植物及分布

此次调查发现,保护区内分布有珍稀濒危苔藓植物 6 科 7 属 7 种(表 3)。

表 3 保护区珍稀濒危苔藓植物
Tab. 3 Rare and endangered bryophytes in the reserve

| 科名 | 种名 | 濒危等级 | 生境 |
|---------------------|--|--------|-----------------|
| 白发藓科 Leucobryaceae | 桧叶白发藓 <i>Leucobryum juniperoideum</i> | 国家二级 | 林中腐木、树干、树基或岩面薄土 |
| 泥炭藓科 Sphagnaceae | 多纹泥炭藓 <i>Sphagnum multifibrosum</i> | 国家二级 | 阴湿山坡林缘或湿地沼泽地带 |
| 紫萼藓科 Grimmiaceae | 狭叶矮齿藓 <i>Bucklandiella angustifolia</i> | 濒危(EN) | 林下沟谷边的岩面或岩面薄土 |
| 灰藓科 Hypnaceae | 密枝灰藓 <i>Hypnum densirameum</i> | 濒危(EN) | 林下或林边岩面、岩面薄土或树基 |
| 大萼苔科 Cephaloziaceae | 无毛拳叶苔 <i>Nowellia aciliata</i> | 易危(VU) | 林下阴湿岩面或岩面薄土 |
| 金发藓科 Polytrichaceae | 细叶拟金发藓 <i>Polytrichastrum longisetum</i> | 近危(NT) | 林下土面、林缘土坡或岩面薄土 |
| 平藓科 Neckeraaceae | 小波叶藓 <i>Himantocladium plumula</i> | 近危(NT) | 林中树干、树枝或潮湿岩面 |

由表 3 可知,桧叶白发藓和多纹泥炭藓为国家二级重点保护植物;狭叶矮齿藓、密枝灰藓、无毛拳叶苔、细叶拟金发藓和小波叶藓列入世界自然保护联盟(IUCN)物种红色名录。桧叶白发藓、细叶拟金发藓和小波叶藓在区内分布较为广泛,密枝灰藓仅

发现于西坑里区域,多纹泥炭藓、狭叶矮齿藓、无毛拳叶苔仅发现于大西坑区域。

3.3 优势科、优势属特征分析

3.3.1 优势科的特征分析

某一植物区系中含属、种数量最多的科、属,通

常构成相应植物区系种类组成的主体,称为优势科、优势属^[43]。优势科、优势属的数量及特点对表明某地区的植物区系的性质起着至关重要的作用^[44]。本研究中将科所含种数不少于 10 种(种数 ≥ 10 种)的科定义为优势科,通过对保护区苔藓植物科的组成进行统计,结果如表 4,表 5 所示。

表 4 保护区苔藓植物科的组成
Tab. 4 Composition of bryophytes families in the reserve

| 科内 种数 | 科数 /个 | 占比 /% | 属数 /个 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ≥ 10 种 | 17 | 20.24 | 100 | 50.51 | 280 | 57.38 |
| 5~9 种 | 20 | 23.81 | 43 | 21.72 | 132 | 27.05 |
| 2~4 种 | 20 | 23.81 | 28 | 14.14 | 49 | 10.04 |
| 1 种 | 27 | 32.14 | 27 | 13.64 | 27 | 5.53 |

表 5 保护区苔藓植物优势科所含属、种统计
Tab. 5 Genera and species of dominant families of bryophytes in the reserve

| 序号 | 科名 | 属数 /个 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% |
|----|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 蔓藓科 Meteoraceae | 14 | 7.07 | 29 | 5.94 |
| 2 | 青藓科 Brachytheciaceae | 12 | 6.06 | 27 | 5.53 |
| 3 | 灰藓科 Hypnaceae | 8 | 4.04 | 22 | 4.51 |
| 4 | 丛藓科 Pottiaceae | 9 | 4.55 | 19 | 3.89 |
| 5 | 金发藓科 Polytrichaceae | 4 | 2.02 | 18 | 3.69 |
| 6 | 绢藓科 Entodontaceae | 3 | 1.52 | 18 | 3.69 |
| 7 | 白发藓科 Leucobryaceae | 4 | 2.02 | 17 | 3.48 |
| 8 | 真藓科 Bryaceae | 3 | 1.52 | 16 | 3.28 |
| 9 | 提灯藓科 Mniaceae | 6 | 3.03 | 16 | 3.28 |
| 10 | 细鳞苔科 Lejeuneaceae | 8 | 4.04 | 16 | 3.28 |
| 11 | 平藓科 Neckeraaceae | 7 | 3.54 | 14 | 2.87 |
| 12 | 紫萼藓科 Grimmiaceae | 5 | 2.53 | 12 | 2.46 |
| 13 | 棉藓科 Plagiotheciaceae | 2 | 1.01 | 12 | 2.46 |
| 14 | 毛锦藓科 Pylaisiadelphaceae | 5 | 2.53 | 12 | 2.46 |
| 15 | 塔藓科 Hylocomiaceae | 6 | 3.03 | 12 | 2.46 |
| 16 | 羽藓科 Thuidiaceae | 2 | 1.01 | 10 | 2.05 |
| 17 | 羽苔科 Plagiochilaceae | 2 | 1.01 | 10 | 2.05 |

结果表明,在 84 个科中,绝大多数为少种科(科内种数在 2~9 种),共 40 个,占总科数的 47.62%,其

次是单种科 27 个,占总科数的 32.14%,优势科 17 个,占总科数的 20.24%。在优势科中,包括藓类植物 15 科,分别为蔓藓科、青藓科、灰藓科等;苔类植物 2 科,分别为叶苔科和耳叶苔科。另外,17 个优势科虽仅占总科数的 20.24%,但却包含 100 属 280 种,分别占总属数、种数的 50.51%和 57.38%,充分体现了这些科的优势地位。

3.3.2 优势属的特征分析

将属所含种数不少于 8 种(属数 ≥ 8 个)的属定义为优势属,通过对保护区苔藓植物属的组成进行统计,结果如表 6,表 7 所示。

表 6 保护区苔藓植物属的组成统计
Tab. 6 Composition of bryophytes genera in the reserve

| 属内种数 | 属数/个 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% |
|------------|------|-------|------|-------|
| ≥ 8 种 | 11 | 5.56 | 113 | 23.16 |
| 5~7 种 | 19 | 9.60 | 107 | 21.93 |
| 2~4 种 | 69 | 34.85 | 168 | 34.43 |
| 1 种 | 99 | 50.00 | 100 | 20.49 |

表 7 保护区苔藓植物优势属统计
Tab. 7 Dominant genera of bryophytes in the reserve

| 序号 | 属名 | 种数/种 | 占比/% |
|----|--------------------------|------|------|
| 1 | 绢藓属 <i>Entodon</i> | 16 | 3.28 |
| 2 | 灰藓属 <i>Hypnum</i> | 13 | 2.66 |
| 3 | 真藓属 <i>Bryum</i> | 11 | 2.25 |
| 4 | 棉藓属 <i>Plagiothecium</i> | 11 | 2.25 |
| 5 | 小金发藓属 <i>Pogonatum</i> | 9 | 1.84 |
| 6 | 曲柄藓属 <i>Campylopus</i> | 9 | 1.84 |
| 7 | 青藓属 <i>Brachythecium</i> | 9 | 1.84 |
| 8 | 羽苔属 <i>Plagiochila</i> | 9 | 1.84 |
| 9 | 光萼苔属 <i>Porella</i> | 9 | 1.84 |
| 10 | 耳叶苔属 <i>Frullania</i> | 9 | 1.84 |
| 11 | 羽藓属 <i>Thuidium</i> | 8 | 1.64 |

结果表明,在 198 个属中,单种属占比最高,包含 99 个属,占总属数的 50%,其次是少种属(属内种数 2~7 种),包含 88 个属,占总属数的 44.44%,优势属仅有 11 属,占总属数的 5.56%。在优势属中,包括藓类植物 8 属,分别是绢藓属、灰藓属、真藓属等;苔类植物 3 属,分别是羽苔属、光萼苔属和耳叶苔属。虽然这 11 个属仅占总属数的 5.56%,但属所含种数(113 种)却能占总种数的 23.16%,且 11

个优势属均囊括在优势科内,也说明了这些属的优势地位。

3.4 区系特征分析

按照植物区系划分的概念,并参考吴征镒等^[45-46]对中国种子植物属分布类型的标准进行划分,将保护区的苔藓植物区系划分为 13 个类型(表 8)。

表 8 保护区苔藓植物区系成分分析

Tab. 8 Composition of bryophyte flora in the reserve

| 序号 | 分布区类型 | 种数/种 | | | | 占比/% |
|----|---------------|------|-----|-----|-----|--------|
| | | 藓类 | 苔类 | 角苔类 | 合计 | |
| 1 | 世界分布 | 15 | 8 | 2 | 25 | — |
| 2 | 泛热带分布 | 16 | 2 | 0 | 18 | 3.69 |
| 3 | 热带亚洲和热带美洲间断分布 | 9 | 2 | 0 | 11 | 2.25 |
| 4 | 旧世界热带分布 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0.41 |
| 5 | 热带亚洲至热带大洋洲分布 | 9 | 1 | 0 | 10 | 2.05 |
| 6 | 热带亚洲至热带非洲分布 | 11 | 8 | 0 | 19 | 3.89 |
| 7 | 热带亚洲分布 | 69 | 20 | 0 | 89 | 18.24 |
| 8 | 北温带分布 | 91 | 28 | 0 | 119 | 24.39 |
| 9 | 东亚和北美洲间断分布 | 6 | 2 | 0 | 8 | 1.64 |
| 10 | 旧世界温带分布 | 8 | 2 | 0 | 10 | 2.05 |
| 11 | 温带亚洲分布 | 25 | 7 | 0 | 32 | 6.56 |
| 12 | 东亚分布 | 88 | 36 | 0 | 124 | 25.41 |
| 13 | 中国特有分布 | 16 | 5 | 0 | 21 | 4.30 |
| 总计 | | 364 | 122 | 2 | 488 | 100.00 |

注:世界分布种在统计各区系成分占比时不计入总数。

结果表明,各分布区类型中属于东亚分布类型的种占比最高,为 25.41%,构成了保护区苔藓植物区系的主体,使其表现出浓厚的东亚特色,其次为属于北温带分布、热带亚洲分布类型的种较多,分别占非世界分布种的 24.39%和 18.24%,是该区苔藓植物区系的重要组成部分。综合来看,保护区苔藓植物既有温带成分(表 8 中 8~11 项)又有热带成分(表 8 中 2~7 项),且温带成分略高于热带成分,反映了该区苔藓植物区系属于热带成分向温带成分过渡地带。

3.4.1 世界分布

属于世界分布类型的种有 25 种,其中藓类植物 15 种,苔类植物 8 种,角苔类植物 2 种。代表种有小石藓(*Weissia controversa*)、鳞叶凤尾藓(*Fissidens*

taxifolius)、真藓(*Bryum argenteum*)、地钱、毛地钱(*Dumortiera hirsuta*)、黄角苔(*Phaeoceros laevis*)等。

3.4.2 泛热带分布

属于泛热带分布类型的种有 18 种,其中苔类植物 2 种,藓类植物 16 种。代表种有桧叶白发藓、卷叶凤尾藓(*Fissidens dubius*)、比拉真藓(*Bryum billarderi*)、尖叶油藓(*Hookeria acutifolia*)、尖叶耳叶苔(*Frullania apiculata*)等。

3.4.3 热带亚洲和热带美洲间断分布

属于热带亚洲和热带美洲间断分布类型的种有 11 种,其中苔类植物 2 种,藓类植物 9 种。代表种有泥炭藓(*Sphagnum palustre*)、狭叶白发藓(*Leucobryum bowringii*)、扭叶藓(*Trachypus bicolor*)、羊角藓(*Herpetineuron toccoeae*)、叉苔(*Metzgeria furcata*)等。

3.4.4 旧世界热带分布

属于旧世界热带分布类型的种有 2 种,分别是拟多枝藓(*Haplohymenium pseudo-triste*)和皱萼苔(*Ptychanthus striatus*)。

3.4.5 热带亚洲至热带大洋洲分布

属于热带亚洲至热带大洋洲分布类型的种有 10 种,其中苔类植物 1 种,藓类植物 9 种。代表种有短月藓(*Brachymenium nepalense*)、刀叶树平藓(*Homaliodendron scalpellifolium*)、南亚火藓(*Schlotheimia grevilleana*)、褶叶藓(*Palamocladium leskeoides*)、偏叶管口苔(*Solenostoma comatum*)等。

3.4.6 热带亚洲至热带非洲分布

属于热带亚洲至热带非洲分布类型的种有 19 种,其中苔类植物 8 种,藓类植物 11 种。代表种有南亚小曲尾藓(*Dicranella coarctata*)、节茎曲柄藓(*Campylopus umbellatus*)、细叶泽藓(*Philonotis thwaitesii*)、灰气藓(*Aerobryopsis wallichii*)、蔓藓(*Meteorium polytrichum*)、四爪哇扁萼苔(*Radula javanica*)、宽片叶苔等。

3.4.7 热带亚洲分布

属于热带亚洲分布类型的种有 89 种,其中苔类植物 20 种,藓类植物 69 种。代表种有暖地大叶藓、暖地小金发藓(*Pogonatum fastigiatum*)、大灰藓(*Hypnum plumaeforme*)、粗枝蔓藓(*Meteorium subpolytrichum*)、细指苔(*Kurzia gonyotricha*)、毛边光萼苔(*Porella perrottetiana*)等。

3.4.8 北温带分布

属于北温带分布类型的种有 119 种,其中苔类植物 28 种,藓类植物 91 种。代表种有狭叶仙鹤藓

(*Atrichum angustatum*)、黄牛毛藓(*Ditrichum pallidum*)、直叶泽藓(*Philonotis marchica*)、匍灯藓(*Plagiomnium cuspidatum*)、绒苔(*Trichocolea tomentella*)、毛叉苔(*Apometzgeria pubescens*)等。

3.4.9 东亚和北美洲间断分布

属于东亚和北美洲间断分布类型的种有 8 种,其中苔类植物 2 种,藓类植物 6 种。代表种有毛尖紫萼藓(*Grimmia pilifera*)、白氏藓(*Brothera leana*)、匙叶毛尖藓(*Cirriphyllum cirrosum*)、无纹紫背苔(*Plagiochasma intermedium*)、双齿护蒴苔(*Calypogeia tosana*)等。

3.4.10 旧世界温带分布

属于旧世界温带分布类型的种有 10 种,其中苔类植物 2 种,藓类植物 8 种。代表种有高山真藓(*Bryum alpinum*)、阔叶棉藓(*Plagiothecium platyphyllum*)、密集匍灯藓(*Plagiomnium confertidens*)、扁平棉藓(*Plagiothecium neckeroideum*)、钱袋苔(*Marsupella emarginata*)、钟瓣耳叶苔(*Frullania parvistipula*)等。

3.4.11 温带亚洲分布

属于温带亚洲分布类型的种有 32 种,其中苔类植物 7 种,藓类植物 25 种。代表种有拟尖叶泥炭藓(*Sphagnum acutifolioides*)、南京凤尾藓(*Fissidens*

adelphinus)、拟三列真藓(*Bryum pseudotriquetrum*)、东亚万年藓(*Climacium japonicum*)、狭叶长喙藓(*Rhynchostegium fauriei*)、东亚金灰藓(*Pylaisia broth-eri*)、盔瓣耳叶苔(*Frullania muscicola*)等。

3.4.12 东亚分布

属于东亚分布类型的种有 124 种,其中苔类植物 36 种,藓类植物 88 种。代表种有东亚小金发藓(*Pogonatum inflexum*)、东亚小石藓(*Weissia exserta*)、东亚短颈藓(*Diphyscium fulvifolium*)、东亚灰藓(*Hypnum fauriei*)、日本细鳞苔(*Lejeunea japonica*)、东亚指叶苔(*Lepidozia fauriana*)等。

3.4.13 中国特有分布

属于中国特有分布类型的种有 21 种,其中苔类植物 5 种,藓类植物 16 种。代表种有多纹泥炭藓、卷叶毛口藓(*Trichostomum hattorianum*)、长帽绢藓(*Entodon dolichocucullatus*)、中华绢藓(*Entodon smaragdinus*)、圆叶耳叶苔(*Frullania inouei*)、复枝羽苔(*Plagiochila multipinnula*)等。

3.5 药用苔藓植物资源

保护区药用苔藓植物资源十分丰富,区内共发现 28 种已经明确具有药用价值的苔藓植物(表 9)。

表 9 保护区药用苔藓植物种质资源
Tab. 9 Germplasm resources of medicinal bryophytes in the reserve

| 科名 | 物种 | 生境 | 入药部位 | 功效 |
|-----------------------|--|--------------------|------|--------------------------------|
| 蛇苔科 Concephalaceae | 蛇苔 | 潮湿的溪边石上或土坡 | 全株 | 清热解毒,消肿止痛,主治烧烫伤、毒蛇咬伤、骨折损伤等 |
| 疣冠苔科 Aytoniaceae | 石地钱 <i>Reboulia hemisphaerica</i> | 沟边、林下土面、润湿岩面 | 全株 | 用于治疗外伤出血,跌打肿痛 |
| 地钱科 Marchantiaceae | 地钱 | 阴湿的土坡和覆薄土的岩石 | 全株 | 主治烫伤、刀伤、蛇毒咬伤以及肝炎、结核病等 |
| 泥炭藓科 | 拟尖叶泥炭藓 | 阴湿山坡草地或沼泽地带 | 全株 | 具有清热、明目、止血等功效,也用于治疗风湿、关节炎 |
| 泥炭藓科 | 拟柔叶暖地泥炭藓 <i>Sphagnum junghuhnianum</i> subsp. <i>pseudomolle</i> | 阴湿山坡草地或沼泽地带 | 全株 | 具有清热、明目、止血等功效,也用于治疗风湿、关节炎 |
| 牛毛藓科 Ditrichaceae | 黄牛毛藓 | 山地土坡或石壁 | 全株 | 清热凉血,化瘀生肌,熄风镇惊,主治小儿惊风 |
| 曲尾藓科 Dicranaceae | 棕色曲尾藓 <i>Dicranum fuscescens</i> | 林下或林边树干基部、腐木、岩面薄土 | 全株 | 对淋巴细胞白血病和神经胶质细胞瘤等有抑制作用 |
| 白发藓科 | 梨蒴曲柄藓 <i>Campylopus pyriformis</i> | 山地土坡或覆薄土的岩石 | 全株 | 用于治疗老年虚咳、风湿麻木、跌打损伤等 |
| 真藓科 | 真藓 | 阳光充足的岩面、土坡、沟谷、阴沟边缘 | 全株 | 具有清热解毒的功效,用于治疗细菌性痢疾 |
| 真藓科 | 暖地大叶藓 | 溪边碎石间及潮湿林地 | 全株 | 养心安神,清肝明目,主治神经衰弱、目赤肿痛、冠心病、高血压等 |

续表 9

| 科名 | 物种 | 生境 | 入药部位 | 功效 |
|----------------------|---|--------------------|------|-------------------------------------|
| 丛藓科 | 小石藓 | 林下石上、林地上、树干基部及阴湿岩面 | 全株 | 具有清热解暑等功效,用于治疗急性鼻炎、鼻窦炎 |
| 葫芦藓科 Funariaceae | 葫芦藓 <i>Funaria hygrometrica</i> | 富含氮肥的土壤、林缘、路边及土壁 | 全株 | 具有舒筋活血、祛风镇痛、止血等功效,用于治疗鼻窦炎、跌打损伤、关节炎等 |
| 提灯藓科 | 尖叶匍灯藓 <i>Plagiomnium acutum</i> | 阴湿岩石、土表及腐木 | 全株 | 具有止血功效,用于治疗鼻衄、崩漏 |
| 提灯藓科 | 匍灯藓 | 高山林地及林缘土坡 | 全株 | 对淋巴细胞白血病和神经胶质细胞瘤有抑制作用 |
| 提灯藓科 | 具缘提灯藓 <i>Mnium marginatum</i> | 阴湿岩石、土表及腐木 | 全株 | 用于治疗鼻衄、崩漏 |
| 珠藓科 Bartramiaceae | 泽藓 <i>Philonotis fontana</i> | 林下沟谷边的岩面 | 全株 | 具有清热解暑的功效,用于治疗扁桃体炎、喉炎、上呼吸道感染等 |
| 蔓藓科 | 毛扭藓 <i>Aerobrydium filamentosum</i> | 林下石上、林地上、树干基部及阴湿岩面 | 全株 | 具有清热消炎等功效,用于治疗烧伤 |
| 蔓藓科 | 新丝藓 <i>Neodictyella pendula</i> | 阔叶林的岩面、土上、腐木及树干 | 全株 | 具有消热等功效,外敷治疗脓肿 |
| 塔藓科 | 小蔓藓 <i>Meteoriella soluta</i> | 林下或林边树干基部、腐木、岩面薄土 | 全株 | 具有止血消炎等功效,用于治疗外伤出血、胃肠出血等 |
| 羽藓科 | 狭叶小羽藓 <i>Haplocladium angustifolium</i> | 林下具土岩面、腐木及树干基部 | 全株 | 主治急性扁桃体炎、肺炎、中耳炎、尿道炎、产后感染等急性炎症 |
| 羽藓科 | 细叶小羽藓 <i>Haplocladium microphyllum</i> | 林下具土岩面、腐木及树干基部 | 全株 | 清热解毒,主治急性扁桃体炎、中耳炎、产后感染等急性炎症 |
| 羽藓科 | 大羽藓 <i>Thuidium cymbifolium</i> | 阴湿石面、腐殖土、腐木及倒木 | 全株 | 具有清热、解毒、生肌等功效,可用于治疗水火烫伤,并对肺炎球菌有抑制作用 |
| 羽藓科 | 短肋羽藓 <i>Thuidium kanedae</i> | 阴湿石上、林地及倒木 | 全株 | 抗菌,可有效抑制金黄色葡萄球菌、痢疾杆菌、大肠杆菌和枯草杆菌 |
| 灰藓科 | 尖叶灰藓 <i>Hypnum callichroum</i> | 阔叶林下的岩面、土上、腐木及树干 | 全株 | 消炎止痛、退热,可用于治疗咽喉炎、肺炎、盲肠炎等 |
| 灰藓科 | 大灰藓 | 林中腐木、树干、树基、岩面薄土等 | 全株 | 用于治疗烧伤、鼻衄、咯血 |
| 灰藓科 | 鳞叶藓 <i>Taxiphyllum taxirameum</i> | 针阔混交林下土上、岩面、树干及腐木 | 全株 | 具有止血消炎的功效,用于治疗外伤出血 |
| 金发藓科 | 东亚小金发藓 | 喜温暖湿润林地及路边、阴湿土坡 | 全株 | 具有镇静安身的功效,用于心血管等疾病的治疗 |
| 金发藓科 | 金发藓 <i>Polytrichum commune</i> | 阴湿土坡、森林沼泽及草丛中 | 全株 | 滋阴清热、凉血止血,主治阴虚骨蒸、潮热盗汗、便血、二便不通等 |

由表 9 可知,28 种药用苔藓植物隶属于 18 科 23 属,占浙江省药用苔藓植物总种数的 41.79%^[47],同时,保护区内分布的具有潜在药用价值的苔藓植物还有日本光萼苔(*Porella japonica*)、毛尖紫萼藓、卷叶凤尾藓、虎尾藓(*Hedwigia ciliata*)等。

4 讨论与结论

1)保护区内共有苔藓植物 84 科 198 属 488 种(包含种以下分类单位),其中苔类植物 32 科 51 属 122 种,藓类植物 50 科 145 属 364 种,角苔类植物 2

科 2 属 2 种。与省内其他保护区的苔藓植物物种多样性相比^[48-50],表现出较高的物种丰富度。

2)保护区内共发现苔藓植物分布新记录科 3 科、新记录属 11 属和新记录种 51 种,其中浙江省新记录科、属各 1 个,浙江省新记录种 2 种^[41-42]。

3)保护区内共分布有珍稀濒危苔藓植物 6 科 7 属 7 种,其中国家二级重点保护植物 2 种,列入世界自然保护联盟(IUCN)物种红色名录的有 5 种。

4)保护区植物区系的优势科为蔓藓科、青藓科及灰藓科等 17 科,优势属为绢藓属、灰藓属及真藓属等 11 属。这些以温带、热带和亚热带成分为主的

优势科、属构成了该保护区苔藓植物的优势主体,具有鲜明的温带和亚热带交汇的特色,这一结果与该地区地处亚热带的地理位置相符。

5)保护区单种科、属较多,其中单种科有 27 个,占总科数的 32.14%,单种属 99 个,占总属数的 50%,反映了该地区的苔藓植物存在历史残存情况和地质年代属性,说明该区部分科、属是起源古老的种类,也可能存在一定的环境因素造成的单种科和单种属现象^[51-52]。

6)保护区苔藓植物分布区类型丰富,共有 13 种。其中亚洲成分占主导地位,表现出明显的东亚特色,反映出该地区与日本区系、喜马拉雅区系之间有着密切的联系^[53];温带成分占比(34.64%)略高于热带成分(30.53%),表现为温带性质和热带性质交汇,由南向北以热带向温带过渡的特点,这一特征与程丽媛、许元科等^[50,53]的研究相同,同时也与保护区地处我国亚热带季风气候区相一致。

7)保护区内共发现有 28 种已明确具有药用价值的苔藓植物,占浙江省药用苔藓植物总种数的 41.79%,与省内其他保护区一样^[54-55],药用苔藓植物资源均表现出较高的多样性。

苔藓植物除在微生态环境的改善中发挥着重要作用外^[10],其药用价值也日益受到重视^[56]。但是苔藓植物植株矮小,易被忽视,多数药用苔藓植物面临着被过度利用而濒临灭绝的风险^[57]。浙江九龙山国家级自然保护区苔藓植物物种多样性丰富,是重要的物种基因宝库,因此,应加大保护力度,加强苔藓植物资源多样性的研究,建立药用苔藓植物的种质资源库,实现对苔藓植物的保护和合理的开发利用。

致谢:感谢杭州师范大学吴玉环教授、黄文专博士在物种鉴定及野外调查过程中提供的支持和帮助,感谢浙江师范大学王云泉博士对文章提出宝贵的修改意见。

参考文献:

- [1] 胡人亮. 藓植物学[M]. 上海:高等教育出版社,1987.
- [2] 曹同,郭水良,娄玉霞,等. 苔藓植物多样性及其保护[M]. 北京:中国林业出版社,2011.
- [3] PATIÑO J, VANDERPOORTEN A. Bryophyte biogeography[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2018, 37(2-3): 175-209.
- [4] 朱瑞良,王幼芳,熊李虎. 苔藓植物研究进展 I. 我国苔藓植物研究现状与展望[J]. 西北植物学报, 2002, 22(2): 444-451.
- [5] 贾渝,何思. 中国生物物种名录·第 1 卷·苔藓植物[M]. 北京:科学出版社,2013.
- [6] LIU Y, CAO T, GUO S L. The mosses of Zhejiang province, China: An annotated checklist [J]. Arctoa, 2005, 14(1): 95-134.
- [7] ZHU R L, SO M L, YE L X. A synopsis of the hepaticae flora of Zhejiang, China[J]. Journal of the Hattori Botanical Laboratory, 1998, 84(1): 159-174.
- [8] 郭水良,曹同. 浙江省藓类植物区系的研究概况[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2003, 26(3): 72-77.
- [9] 程才,李玉杰,龙明忠,等. 苔藓结皮在我国喀斯特石漠化治理中的应用潜力[J]. 应用生态学报, 2019, 30(7): 2501-2510.
- [10] 吴玉环,程国栋,高谦. 苔藓植物的生态功能及在植被恢复与重建中的作用[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 215-220.
- [11] 叶吉. 苔藓植物生态功能的研究进展[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1939-1942.
- [12] 王波,刘屏,沈月毛,等. 回心草化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2005, 30(12): 895-897.
- [13] 衣艳君. 中国药用苔藓植物资源[J]. 中草药, 2000, 31(8): 624-628.
- [14] 韩国营,赵遵田. 我国重要药用苔藓植物的药用功效[J]. 生物学教学, 2008(12): 4-6.
- [15] 朱圣潮,陈秉初. 浙江九龙山自然保护区蕨类植物区系的研究[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2003, 26(4): 389-393.
- [16] 朱圣潮. 浙江九龙山自然保护区木本植物区系的研究[J]. 中南林学院学报, 2004, 24(1): 46-50.
- [17] 张志祥,刘鹏,刘春生,等. 浙江九龙山南方铁杉群落结构及优势种群更新类型[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4547-4558.
- [18] 杜有新,王军峰,梁炜,等. 浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落的结构特征及种间联结性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(5): 66-74.
- [19] 潘金贵,韦直. 浙江省九龙山自然保护区自然资源研究[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- [20] 潘成椿,刘菊莲,黄帮文,等. 浙江九龙山梵净山石斛生境调查及保护对策[J]. 林业资源管理, 2018(2): 132-137.
- [21] 唐战胜. 生态之窗秘境九龙——遂昌九龙山自然教育基地[J]. 浙江林业, 2022(8): 32-33.
- [22] 郑伟成,朱爱军,张方纲,等. 九龙山自然保护区国家重点保护野生植物优先保护序列研究[J]. 浙江林业科技, 2012, 32(6): 39-43.
- [23] 陈邦杰,万宗玲,高谦,等. 中国藓类植物属志(上册)[M]. 北京:科学出版社,1963.
- [24] 陈邦杰,万宗玲,高谦,等. 中国藓类植物属志(下册)[M]. 北京:科学出版社,1978.

- [25] 高谦,吴玉环. 中国苔纲和角苔纲植物属志[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [26] 高谦. 中国苔藓志·第1卷[M]. 北京:科学出版社,1994.
- [27] 高谦. 中国苔藓志·第2卷[M]. 北京:科学出版社,1996.
- [28] 黎兴江. 中国苔藓志·第3卷[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [29] 黎兴江. 中国苔藓志·第4卷[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [30] 吴鹏程,贾渝. 中国苔藓志·第5卷[M]. 北京:科学出版社,2011.
- [31] 吴鹏程,贾渝. 中国苔藓志·第6卷[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [32] 胡人亮,王幼芳. 中国苔藓志·第7卷[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [33] 吴鹏程,贾渝. 中国苔藓志·第8卷[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [34] 高谦,曹同. 云南植物志·第17卷[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [35] 黎兴江. 云南植物志·第18卷[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [36] 黎兴江. 云南植物志·第19卷[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [37] 吴玉环,高谦,曹同. 中国柳叶藓科 Amblystegiaceae 的数值分类[J]. 贵州科学,2001,19(4):68-77.
- [38] 王健. 中国细鳞苔科植物的分类学研究[D]. 上海:华东师范大学,2010.
- [39] 曹娜. 中国北方真藓科(Bryaceae, Musci)植物分类学研究[D]. 石家庄:河北师范大学,2008.
- [40] 中国科学院. 中国生物物种名录(2024版)[M]. 北京:科学出版社,2024.
- [41] 麻馨尹,张芬耀,黄文专,等. 浙江省苔类植物新记录科——小叶苔科[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版),2022,21(6):590-594.
- [42] 盛威,黄文专,张芬耀,等. 浙江省苔藓植物新记录[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版),2022,21(1):34-42,90.
- [43] 聂鸿飞. 塞罕坝自然保护区植物优势科、属的分析[J]. 河北林业科技,2013(5):84-86.
- [44] 张燕,吕光辉,杨建军,等. 克拉玛依种子植物科属的区系地理成分分析[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(8):145-150.
- [45] 吴征镒,孙航,周浙昆,等. 中国种子植物区系地理[J]. 生物多样性,2011(1):148.
- [46] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究,1991(增刊IV):1-139.
- [47] 吴璐璐,严雄梁,季梦成. 浙江药用苔藓植物资源[J]. 浙江林学院学报,2009,26(1):68-75.
- [48] 陈星,涂淑雯,戴尊,等. 浙江天目山国家级自然保护区苔藓植物多样性[J]. 生物多样性,2023,31(4):148-157.
- [49] 李粉霞,王幼芳,刘丽,等. 浙江西天目山苔藓植物种多样性的研究[J]. 应用生态学报,2006,17(2):192-196.
- [50] 程丽媛,曹同,张宏伟,等. 浙江省清凉峰自然保护区苔藓植物区系成分研究[J]. 西北植物学报,2016,36(2):398-403.
- [51] 何强,贾渝. 中国苔藓植物濒危等级的评估原则和评估结果[J]. 生物多样性,2017,25(7):774-780.
- [52] 黄文专. 高山冰缘带苔藓植物物种多样性及其生态学研究[D]. 杭州:杭州师范大学,2020.
- [53] 许元科,赵昌高,林坚,等. 景宁畲族自治县苔藓植物物种多样性及区系特征[J]. 亚热带植物科学,2021,50(5):402-409.
- [54] 陈子林,俞叶飞,周钰鸿,等. 大盘山国家级自然保护区药用苔藓植物资源多样性及其开发潜力评估[J]. 中国野生植物资源,2013,32(5):38-40,51.
- [55] 王强. 百山祖药用苔藓植物的调查研究[J]. 浙江农业科学,2013(12):1593-1595,1612.
- [56] 吴明开,师雪芹. 黄山部分药用苔藓植物资源调查[J]. 安徽农业科学,2011,39(1):127-128.
- [57] 曹威,赵财,熊源新,等. 贵州省珍稀濒危苔藓植物的研究Ⅱ——新增种类与保护策略[J]. 贵州科学,2014,32(3):52-58.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.010

广东潮安凤凰山省级自然保护区自然教育基地发展策略

叶培昭¹, 黄伟潮¹, 郑玉忠², 陈慧敏³, 魏 丹³, 黄 维¹, 陈惠华¹, 韦奕英¹,
李艳容⁴, 潘楚云⁵, 刘亚群²

(1. 广东潮安凤凰山省级自然保护区管理处, 广东 潮州 521000; 2. 韩山师范学院 广东省粤东药食资源功能物质与治未病研究重点实验室, 广东 潮州 521000; 3. 广东省林业科学研究院/广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东 广州 510520; 4. 潮州市生物多样性保护研究中心, 广东 潮州 521000;
5. 广东江门古兜山省级自然保护区管理处, 广东 江门 529200)

摘要:自然教育的核心目标在于促进人与自然的和谐共生, 自然教育基地充当了连接两者的关键媒介。本着为自然保护地可持续发展提供新的理论视角, 并为保护区自然教育基地的未来发展规划提供明确的方向为目的, 以 SWOT 方法系统分析广东潮安凤凰山省级保护区相关情况。突出场地优势, 结合劣势、机遇和挑战等多方面的分析结果, 提出 5 项基地保护与发展策略, 包括推动自然教育生态保护和可持续发展; 构建基础设施体系, 打造国家级综合型自然教育基地; 完善共建共管机制, 打造乡村振兴示范基地; 挖掘红色与畲族文化内涵, 促进基地特色发展; 打造中华穿山甲主题 IP, 树立品牌形象。强调保护区自然教育基地未来发展规划可更多关注并提升特色课程和科普宣教等软实力建设, 以进一步提升其影响力。

关键词:自然教育基地; 生态保护; 单丛茶; 畲族文化; SWOT 分析; 广东潮安凤凰山省级自然保护区

中图分类号: S718.55; G40; S759.9 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2026)01-0065-09

引文格式: 叶培昭, 黄伟潮, 郑玉忠, 等. 广东潮安凤凰山省级自然保护区自然教育基地发展策略[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 65-73. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.010

YE Peizhao, HUANG Weichao, ZHENG Yuzhong, et al. Development Strategy of Nature Education Base in Chao'an Fenghuangshan Provincial Nature Reserve of Guangdong[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 65-73.

doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.010

Development Strategy of Nature Education Base in Chao'an Fenghuangshan Provincial Nature Reserve of Guangdong

YE Peizhao¹, HUANG Weichao¹, ZHENG Yuzhong², CHEN Huimin³, WEI Dan³, HUANG Wei¹,
CHEN Huihua¹, WEI Yiyi¹, LI Yanrong⁴, PAN Chuyun⁵, LIU Yaqun²

(1. Chao'an Fenghuangshan Provincial Nature Reserve Management Office, Chaozhou, Guangdong 521000, China;
2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Functional Substances in Medicinal Edible Resources and Healthcare Products, Hanshan Normal University, Chaozhou, Guangdong 521000, China;
3. Guangdong Academy of Forestry/Guangdong Key Laboratory of Forest Cultivation, Protection and Utilization,

收稿日期: 2024-10-08; 修回日期: 2025-03-17

基金项目: 广东省林学会科技计划项目(2022-GDFS-KJ-01, 2021-GDFS-KJ-01); 潮州市科技计划项目(202404GY06); 广东省粤东药食资源功能物质与治未病研究重点实验室项目(2021B1212040015); 广东省教育厅重点研发项目(2021ZDJS042); 韩山师范学院科研导师帮扶计划项目(XBF202302)。

第一作者: 叶培昭(1968-), 男, 高级工程师。主要从事自然保护研究。Email: 52091299@sohu.com

责任作者: 刘亚群(1990-), 女, 博士, 讲师。主要从事药食资源研究。Email: liuyaun19900921@126.com

Guangzhou 510520, China; 4. Chaozhou Biodiversity Conservation Research Center, Chaozhou, Guangdong 521000, China;

5. Jiangmen Gudoushan Provincial Nature Reserve Management Office, Jiangmen, Guangdong 529200, China)

Abstract: The core goal of nature education is to promote harmonious coexistence between humans and nature, with nature education bases serving as key mediators in this connection. This study aims to provide a new theoretical perspective for the sustainable development of nature reserves and to offer clear directions for the future planning of nature education bases within these reserves. Using the SWOT method, the study systematically analyzed the context of Chao'an Fenghuangshan Provincial Nature Reserve in Guangdong, highlighting site advantages while addressing weaknesses, opportunities, and challenges. Based on the analysis, five strategies for the protection and development of the base are proposed: promoting the integration of nature education with ecological protection and development, constructing an infrastructure system to establish a national-level comprehensive nature education base, improving co-construction and co-management mechanisms to create a model base for rural revitalization, exploring the cultural essence of revolutionary (red) and She ethnic heritage to foster distinctive base development, and creating a Chinese Pangolin-themed IP to build a strong brand image. The study emphasizes that future development planning for nature education bases in reserves should focus more on enhancing soft power, such as specialized courses and science education outreach, to further boost their influence.

Key words: nature education base; ecological protection; Dancong tea; She ethnic culture; SWOT analysis; Chao'an Fenghuangshan Provincial Nature Reserve of Guangdong

在“绿水青山就是金山银山”理念的指引下,我国生态文明建设成为可持续发展的核心理念,强调人与自然的和谐共生,促进经济发展与生态保护的协调统一。自然保护地被认为是开展自然教育的理想场所^[1],而自然教育基地则是实现生态与经济协同发展的重要载体。随着自然教育理念在我国的普及,学者们对保护地的自然教育进行了广泛研究,涵盖了资源评价^[1-2]、体系构建^[3-4]、规划设计^[5-6]、建设运营^[7-8]等多个方面,为保护地的自然教育实践提供了有力支持。然而,目前针对自然保护地的研究较少全面分析保护区的优势,并进而提出针对性的可行发展策略。

广东潮安凤凰山省级自然保护区(以下简称“保护区”),作为粤东唯一的“森林和野生动植物资源湿地型”综合型省级自然保护区,其森林生态环境的完整性为自然教育发展提供了得天独厚的条件。2021年,该自然保护区被评为广东省自然教育基地,为推动绿色经济发展奠定了坚实基础。然而,当前自然保护区的建设主要注重生态保护功能,对自然教育尚未充分挖掘^[9],且自然教育基地建设还大多处于基础阶段,未充分突出自然保护区的特色。因此,深入研究该保护区建立自然教育基地的路径,结合潮州地域文化特色,将其打造成为粤东乃至全省最具特色的综合性科普示范基地之一,对于发挥自然保护区的生态、社会和经济价值,实现生态与经济的良性

循环,具有十分重要的意义。本文旨在通过 SWOT (strengths 优势, Weakness 劣势, Opportunities 机会, Threats 威胁) 分析方法,探讨可行的发展路径,为该保护区的可持续发展提供实践指导,为其他自然保护区开展自然教育基地建设工作提供有益参考。

1 自然教育基地 SWOT 分析

通过 SWOT 分析法,从优势、劣势、机遇和挑战 4 个方面对自然保护区进行全面系统分析^[10],基于此提出相应对策,为自然保护区开展自然教育基地建设提供建议。

1.1 优势分析

1.1.1 典型的“北回归线森林”代表

该自然保护区位于北回归线北缘,属中山地形,一年四季受湿热的东南季风和干冷的大陆高压交替影响,以及山地森林对热量、降水的调节。自然保护区内的森林是典型的北回归线上的森林类型,较为完整地保留了北回归线南亚热带常绿阔叶林,且生态系统保存完好,森林植被覆盖率达 95.6%。这里是不可多得的一块绿洲,是恢复、重建亚热带山地常绿阔叶林的天然参照系统,拥有比普通森林更加适宜人类生存的森林环境与气候,具有重要的科学研究价值和自然教育意义。

1.1.2 珍稀的动植物资源

自然保护区独特的地理位置和气候条件孕育了

丰富的生态资源。区内共记录动物 228 种,其中包括海南鵲、中华穿山甲、小灵猫 3 种国家一级重点保护动物,以及白鹇、豹猫、小灵猫等 32 种国家二级重点保护动物(表 1)。该保护区内生长有 1 584 种野生植物,包括 86 种国家重点保护野生植物。其中,南方红豆杉和紫纹兜兰为一级重点保护植物,桫欏、穗花杉、蛇足石杉等 24 种为二级重点保护植物(表 2)。同时,区内还分布有七叶一枝花、石仙桃、土茯苓、黄花倒水莲等 80 多种具有药用价值的植物。这些丰富的生物资源不仅为科学研究提供了重要基础,也为自然教育基地活动的开展提供了坚实保障,具有重要的教育和科研价值。

1.1.3 浓郁的红色文化与畚族文化

凤凰山脉是一座具有光荣革命史迹的群山。1948 年,中共潮澄饶丰边县委在万峰林场(自然保护区)曾厝村(原凤南五股曾厝村)正式成立,革命军队领导包括丰顺东留、饶平浮凤和潮安韩江以东的大片山区的热血同胞开展革命斗争,在凤凰山脉、万峰林场与当地同胞建立了深厚的友谊。因此,革命遗址保护和红色旅游发展存在一定的潜力,可通过自然教育与红色文化的融合,吸引了众多游客前来参观学习,感受革命先辈的英勇事迹。凤凰山是少数民族畚族的发源地,具有绚丽多姿的文化艺术和鲜明的少数民族特色。畚族村民与外界交流较少,大山深处的少数民族至今保留着古老的传统文化、民间艺术和饮食习惯等,隆重的传统节日有畚族的乌饭节、招兵节等。自然保护区内充满着浓郁的原生态民族风情,自然教育基地建设有助于红色文化与畚族文化的传承和发展^[11]。

1.1.4 单丛茶潜在的经济价值

自然教育基地内有高海拔凤凰单丛茶茶园约 267 hm²,可发展“自然教育+生态旅游”带动相关产业发展。通过制茶和品茶体验,能使自然保护区周边居民从中获得更多机会向游客展示单丛茶生产工艺与凤凰单丛茶文化,让游客参与不同的制茶环节,身临其境感受凤凰单丛茶魅力。这既有助于保护和传承茶文化,又能推动地方经济发展,也有利于提升公众的环保意识,实现多方面共赢。这些为自然保护区自然教育基地的特色文化开发奠定了基础。

1.2 劣势分析

1.2.1 基础设施不够健全

因前期规划不科学等原因,自然教育基地建设用地指标严重缺乏,导致众多基础设施和项目无法

表 1 广东潮安凤凰山省级自然保护区珍稀动物名录
Tab.1 List of rare animal species in Chao'an Fenghuangshan
Provincial Nature Reserve of Guangdong

| 保护级别 | 纲 | 目 | 科 | 种名 |
|------|-----|------|------|---|
| 国家一级 | 鸟纲 | 鸛形目 | 鸛科 | 海南鵲 <i>Gorsachius magnificus</i> |
| | | 哺乳纲 | 鯨鯢科 | 中华穿山甲 <i>Manis pentadactyla</i> |
| 国家二级 | 两栖纲 | 食肉目 | 灵猫科 | 小灵猫 <i>Viverricula indica</i> |
| | | 有尾目 | 蝾螈科 | 潮汕蝾螈 <i>Cynops orphicus</i> |
| | | 无尾目 | 叉舌蛙科 | 虎纹蛙 <i>Hoplobatrachus chinensis</i> |
| | | 爬行纲 | 龟鳖目 | 三线闭壳龟 <i>Cuora trifasciata</i> |
| | 鸟纲 | 鸡形目 | 地龟科 | 乌龟 <i>Mauremys reevesii</i> |
| | | | | 黄喉拟水龟 <i>Mauremys mutica</i> |
| | | | | 平胸龟科 平胸龟 <i>Platysternon megacephalum</i> |
| | | | 有鳞目 | 蟒科 蟒 <i>Python bivittatus</i> |
| | | | 眼镜蛇科 | 眼镜王蛇 <i>Ophiophagus hannah</i> |
| | | | 游蛇科 | 三索锦蛇 <i>Coelognathus radiatus</i> |
| | 鸟纲 | 鸡形目 | 雉科 | 白眉山鹧鸪 <i>Arborophilagingica</i> |
| | | | | 白鹇 <i>Lophura nycthemera</i> |
| | | 鸽形目 | 鸠鸽科 | 斑尾鹃鸠 <i>Macropygia unchall</i> |
| | | 鹃形目 | 杜鹃科 | 褐翅鸦鹃 <i>Centropus sinensis</i> |
| | | 鸚形目 | 鸚鵡科 | 小鸚鵡 <i>Centropus bengalensis</i> |
| | | | | 领角鸮 <i>Otus lettia</i> |
| | | | | 领鸺鹠 <i>Glaucidium brodiei</i> |
| | | 鹰形目 | 鹰科 | 斑头鸺鹠 <i>Glaucidium cuculoides</i> |
| | | | | 黄嘴角鸮 <i>Otus spilocephalus</i> |
| | | | | 黑冠鹃隼 <i>Aviceda leuphotes</i> |
| | 哺乳纲 | 食肉目 | 猫科 | 赤腹鹰 <i>Accipiter soloensis</i> |
| | | | | 凤头鹰 <i>Accipiter trivirgatus</i> |
| | | | | 松雀鹰 <i>Accipiter virgatus</i> |
| | | | | 普通鵟 <i>Buteo japonicus</i> |
| | | | | 白腹隼雕 <i>Aquila fasciata</i> |
| | | | | 蛇雕 <i>Spilornis cheela</i> |
| | | | | 红头咬鹃 <i>Harpactes erythrocephalus</i> |
| | | | | 游隼 <i>Falco peregrinus</i> |
| | | | | 红隼 <i>Falco tinnunculus</i> |
| | | | | 白胸翡翠 <i>Halcyon smyrnensis</i> |
| | 哺乳纲 | 食肉目 | 猫科 | 画眉 <i>Garrulax canorus</i> |
| | | | | 红嘴相思鸟 <i>Leiothrix lutea</i> |
| | | | | 红喉歌鸲 <i>Calliope calliope</i> |
| | | | | 豹猫 <i>Prionailurus bengalensis</i> |
| | 哺乳纲 | 鲸偶蹄目 | 牛科 | 中华鬣羚 <i>Capricornis milneedwardsii</i> |

表 2 广东潮安凤凰山省级自然保护区珍稀植物名录
Tab.2 List of rare plant species in Chao'an Fenghuangshan
Provincial Nature Reserve of Guangdong

| 保护级别 | 科名 | 种名 |
|------|-------------------------------|---|
| 国家一级 | 红豆杉科 | 南方红豆杉 <i>Taxus wallichiana</i> var. <i>mairei</i> |
| | 兰科 | 紫纹兜兰 <i>Paphiopedilum purpuratum</i> |
| 国家二级 | 石杉科 | 蛇足石杉 <i>Huperzia serrata</i> |
| | | 福氏马尾杉 <i>Phlegmariurus fordii</i> |
| | | 闽浙马尾杉 <i>Phlegmariurus mingcheensis</i> |
| | | 观音座莲科 福建观音座莲 <i>Angiopteris fokiensis</i> |
| | 蚌壳蕨科 | 金毛狗 <i>Cibotium barometz</i> |
| | 桫欏科 | 黑桫欏 <i>Alsophila podophylla</i> |
| | | 桫欏 <i>Alsophila spinulosa</i> |
| | 水蕨科 | 水蕨 <i>Ceratopteris thalictroides</i> |
| | 乌毛蕨科 | 苏铁蕨 <i>Brainea insignis</i> |
| | 罗汉松科 | 百日青 <i>Podocarpus neriifolius</i> |
| | 红豆杉科 | 穗花杉 <i>Amentotaxus argotaenia</i> |
| | 瑞香科 | 土沉香 <i>Aquilaria sinensis</i> |
| | 山茶科 | 茶 <i>Camellia sinensis</i> |
| | | 厚荚红豆 <i>Ormosia elliptica</i> |
| | | 软荚红豆 <i>Ormosia semicastrata</i> |
| | 木荚红豆 <i>Ormosia xylocarpa</i> | |
| | | 楝科 红椿 <i>Toona ciliata</i> |
| | 茜草科 | 巴戟天 <i>Morinda officinalis</i> |
| | 延龄草科 | 七叶一枝花 <i>Paris polyphylla</i> |
| | 兰科 | 金线兰 <i>Anoetochilus roxburghii</i> |
| | | 硬叶兰 <i>Cymbidium bicolor</i> |
| | | 建兰 <i>Cymbidium ensifolium</i> |
| | | 墨兰 <i>Cymbidium sinense</i> |
| | | 血叶兰 <i>Ludisia discolor</i> |

建设落地,从而限制了自然保护区保护与发展进程。目前在自然教育方面,公路宽度不足,停车位有限,且交通和游览自然教育设施未形成闭环,影响了游客的参观体验。在基地管理方面,采用地理信息系统(GIS)作为基础平台,结合 ArcSDE 9.3 和 SQL Server 2000 进行数据采集,建立了监测预报网络体系,并通过望远镜、GPS 和巡护摩托等常见设备^[11-12],以及利用无人机等遥感技术^[13],形成巡护体系,但仅能满足基本的巡护需求,部分保护设施、防火林带项目尚未得到有效实施。自然保护区经费基本来源于财政拨款,投入自然教育基地建设资金较少,且未开展系统性的多种经营,导致其“造血”功能较差,无法开展大规模自然教育基地的基础设施建设。

1.2.2 共建共管未形成合力

自然教育基地的保护与发展涉及当地茶厂、村委会及村民等多方利益,由于所处角色、地位、目标任务不同,各利益群体不可避免地产生冲突。自然保护区内村民从事的林副业生产等活动,已给自然保护区造成一定的干扰和威胁。在基地管理上,由于无专业的管理机构,管理部门间各自为政,保护管理效率低下。自然保护区实际从事自然教育基地管理工作的人员较少,很多工作难以开展,许多管理职责也无法履行。当地居民“靠山吃山”的生产、生活方式对自然资源的依赖程度很高,但当地社区扶持能力有限,无法形成共建共管模式^[12]。由于野生动物侵农问题难以得到适当补偿,直接影响到村民利益和参与保护的积极性,从而导致保护与发展处于不断冲突之中^[12]。

1.2.3 资源开发利用不足

旅游业是投资大、回收周期长的行业,相关旅游服务设施需要大量投资,并需要经历较长的建设过程。由于投入旅游开发的资金严重短缺,自然保护区自然教育基地建设未真正进入开发利用阶段,对自然保护区的自然景象、生态内涵、动植物习性等进行系统的科学解释和展示比较少,森林体验探秘、生物多样性等精华亮点也尚未充分发掘。虽然自然教育基地处于北回归线上,但北回归线特色没有得到充分展示,也未能深入挖掘凤凰山的风景优势。春天,凤凰山以高山杜鹃、油桐花和樱花为主打花色^[13],但重点线路不明显,不同观光点的通达性、连贯性及设施配套不足,未形成有特色的自然教育径,也未形成壮观的花海,未达到时时有花、处处有色彩的效果。

1.3 机遇分析

1.3.1 我国法律政策为自然保护区开展自然教育提供了支撑

国家及地方相关部门积极推进自然保护地的自然教育开发。《中华人民共和国自然保护区条例》和《森林和野生动物类型自然保护区管理办法》表明,保护区具有保护、科研、教育和生态旅游等多种功能,在不损害自然环境和自然资源的前提下,可开展自然教育和生态旅游活动。国家林草局发布《关于充分发挥各类自然保护地社会功能 大力开展自然教育工作的通知》强调大力推动自然教育。由此可见,在保护区开展自然教育基地建设是有法可依的,也是我国规章条例的基本要求。《国务院关于促进旅游业改革发展的若干意见》和《关于推进中小研学旅行的意见》等政策也鼓励利用自然环

境开展自然教育活动,强调自然教育在旅游业的重要性。目前,潮州市中小学在校学生超30万人,为保护区打造自然教育基地提供了“流量”支撑^[14]。

1.3.2 高质量多元化旅游诉求为自然教育开辟机遇

在中国旅游市场经历一轮热潮之后,游客需求和行为模式发生了显著变化。游客群体经历了由不成熟向成熟的转变,表现在对目的地的选择上更加注重品质和体验。随着经济水平和文化水平的提高,旅游形式不再局限于传统的走马观花式的旅游,而是转而追求更具特色的旅游体验,如沉浸式旅游、民俗旅游、康养旅游、体育旅游等,更强调与自然的亲近和深度参与。这种转变反映了旅游者对自然旅游的深刻需求和对旅游参与度的提高。随带薪假期的普及、假日安排的改进、生活水平的逐步改善以及居民可自由支配时间的增多,出游方式也慢慢摆脱传统的组团大众观光模式,转变为自助游、高品质旅游和体验式旅游^[15]。这种新的消费趋势为自然教育基地的推广和实施提供了有力支持,因为体验式旅游往往与自然教育紧密相关,通过实地探索和学习来增强人们对自然环境的认识和保护意识。

1.3.3 生态旅游与自然教育的互动发展

在当前的生态旅游发展趋势中,自然教育基地不仅作为生态保护的实践平台,更是生态旅游的重要组成部分。自然教育与生态旅游在目标和功能上具有高度的契合性。自然教育提升公众的环境意识和生态素养,而生态旅游则以可持续的方式促进自然资源的利用与保护,两者的结合不仅能够丰富旅游体验,还能实现教育与经济效益的双赢。保护区具有独特的生物多样性和丰富的文化遗产,这为生态旅游提供了丰富的资源。通过自然教育活动,如导览解说、生态体验工作坊和野外实践活动,增强游客对自然和文化遗产的认识。这种深度的参与不仅提升了游客的满意度,也增加了他们对生态保护的支持。结合自然教育基地的特色,开发与生态旅游相关的产品,如生态摄影、鸟类观察和传统文化体验等,可吸引不同兴趣的游客,提供持续的经济收益支持保护区的长期保护。倡导和实践绿色旅游原则,如减少废弃物、使用环保材料和节能减排等。通过这些实践,自然教育基地不仅承担了生态保护的责任,也向游客展示了环保的重要性和实践途径。

1.4 挑战分析

1.4.1 自然教育发展和生态保护的矛盾

虽然自然保护区自然资源丰富且独特,是自然教育基地建设开发过程中最具竞争力的资本,但开

发起步较晚,经验积累较少,开发过程中可能会有不合理的举措对环境产生威胁,不利于可持续发展。无规划的开发所带来的环境影响是无法弥补的,因此在提高旅游开发程度的同时,需要兼顾对环境的保护,严格按照自然保护区功能区划,将自然教育相关活动限制在实验区内。还需要管理部门、经营企业、自然保护区内原住民和游客统一思想,将保护意识贯穿始终。在自然教育文创的开发上,也需要对游客的行为和观念进行引导,严防经济利益驱使下出现急功近利的开发状况。需要在满足自然教育需求和保护生态环境之间找到一个平衡点,实现自然教育基地的价值。

1.4.2 周边区域竞争激烈

周边省份福建、广西、江西的生态旅游发展起步较早,都是旅游强省,无论是浙闽茶旅融合、广西民族村寨还是江西自然景观,都已建设不少知名景点,可以较好地转化为自然教育资源。广东省内邻近凤凰山自然保护区的粤中地区惠州象头山国家级保护区、惠东海龟国家级保护区开发较早且知名度高,都具有丰富的动植物资源及民族风情;粤西连南地区也正在规划建设国家石漠公园。但这些自然保护地在自然教育的人文景观及旅游产品开发方面有同质倾向。如何在区域竞争中发挥优势,吸引游客,对自然教育基地建设开发具有极大挑战。

1.4.3 村民的保护意识有待提高

自然保护区分布着5个行政村,户籍人口1135人,畲汉混居,村民平均文化程度不高。少数民族地区经济通常较为落后,自然资源得不到充分、合理的开发利用,不仅不利于农民生计生活,而且影响农户生计可持续发展,也使得广大少数民族地区依托生态旅游改善农户生计的规划面临巨大的挑战^[16-17]。农民以种单丛茶和水果为生,仍然存在部分村民偷垦土地、间隙种茶的现象,对自然保护区的生态系统产生不良影响,与自然保护区当前推行的保护发展政策存在分歧和冲突。自然保护区的保护与发展需要周边村民的积极参与,如何通过自然教育提升村民的保护意识,将村民转化为自然教育基地生态环境的保护者与参与者,是自然保护区可持续发展需要解决的重要问题^[16]。

2 自然教育基地发展策略

基于SWOT系统全面分析,以发展自然教育基地的优势为主导,推动自然保护区生态保护与发展为目标,制定以下策略(图1)。

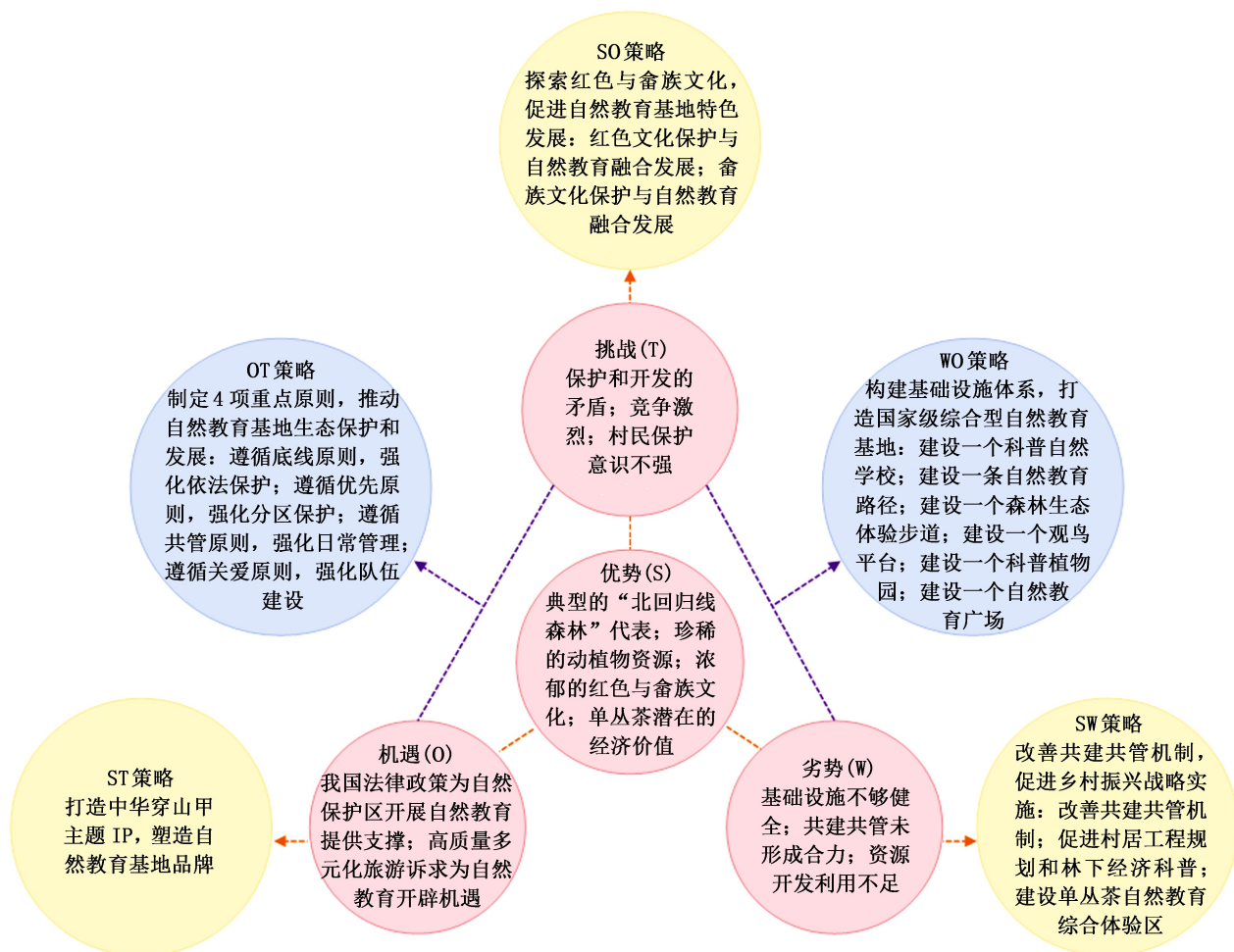


图 1 广东潮安凤凰山省级自然保护区 SWOT 分析

Fig. 1 SWOT analysis of Chao'an Fenghuangshan Provincial Nature Reserve of Guangdong

2.1 制定 4 项重点原则, 推动自然教育基地生态保护和发展的

2.1.1 遵循底线原则, 强化依法保护

贯彻执行国家有关自然资源、自然保护区保护的法律法规和地方政府的相关规定, 一切行为必须以《中华人民共和国森林法》《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国自然保护区条例》《森林和野生动物类型自然保护区管理办法》《广东省森林保护管理条例》及《广东省森林和野生动物类型自然保护区管理实施细则》等为准绳, 依法对保护区内的生物资源和景观资源进行严格管理, 提高保护效果^[17]。

2.1.2 遵循优先原则, 强化分区保护

遵循保护优先的原则, 增强对保护区进行分区保护。持续恢复和丰富区内的生物资源和景观资源, 重点加强对珍稀濒危动植物资源及其栖息环境—中山湿性生态系统以及原生性亚热带常绿阔

叶林森林生态系统保护。实验区可在不破坏自然环境和自然资源的前提下, 适当开展自然教育活动和相关工程建设, 促进自然保护区经济的发展。

2.1.3 遵循共管原则, 强化日常管理

自然保护区的保护管理工作不是独立存在的, 而是与周边村庄的支持和参与分不开的。做好自然保护区的管理, 有赖于建立共建共管保护机制。应加强自然教育专业队伍培训和提高管理能力, 积极邀请原住民、志愿者和自然教育执行人员等参与保护管理工作, 构建全方位、立体化的管理体系。

2.1.4 遵循关爱原则, 强化队伍建设

改善自然教育职工生活和工作环境条件, 解决后顾之忧; 在现有自然保护区管理机构及人员的基础上, 引进和培训专业人才, 打造一支高素质而又爱岗敬业的自然教育基地保护管理和科研队伍, 肩负起保护管理和科研监测任务^[18]。

2.2 构建基础设施体系,打造国家级综合型自然教育基地

广东潮安凤凰山省级自然保护区根据广东省《自然教育基地建设指引》的要求,结合场地基础条件,以自然保护区森林环境及自然资源为依托,以潮汕文化为底蕴,通过科学性、深层次开发,致力于建设以丰富感知体验为主导的国家级综合型自然教育基地。规划包括观鸟平台、科普植物园、科普广场等配套设施,通过自然教育径、森林生态体验步道串联,打造室内和室外自然学校和自然教育之家。修建完善自然教育基地“六个一”的基础设施,以提升自然知识和保护意识的覆盖面,满足人们探索大自然奥秘的好奇心,加强自然保护与自然知识的普及和教育。

2.2.1 建设一个科普自然学校

将自然保护区建设为一个功能齐全的科普自然学校。为确保游客的访问体验既舒适又方便,将访客中心改建为自然教育基地对外管理的主窗口,提供综合服务,包括散客接待、导游服务、科普咨询住宿、餐饮、购物等。为了进一步丰富自然教育内容,设置科普馆,涵盖植物、动物、自然资源等方面的科普内容;构建宣教展览、手工创作、体能拓展为一体的自然教育之家。设置特色展览馆,将红色文化和畬族文化的自然教育相结合,开发一系列文创产品 and 教育课程。

2.2.2 建设一条自然教育路径

在自然保护区南面的实验区范围内,创建长度5 000 m的自然教育路径——“凤凰山自然探秘之旅”主题步道。通过凤凰单丛茶、珍稀动植物与小溪生态景观等科普内容,布设专业设施牌,改造原有场地内设施,安排互动装置、种植花箱等身心参与的设施,使之成为集自然教育、文化体验、生态观光为一体,让青少年在“凤凰山自然探秘之旅”中唤起和提升对森林与自然的生态保护意识。

2.2.3 建设一个森林生态体验步道

在自然保护区实验区,沿着铁炉坪溪开辟绿色栈道,结合植物景观,建设一条长约3 000 m的森林生态体验步道。通过打造溪谷野趣体验,将水融入生态步道中,设置相应的展示绿荫空间,配置近岸湿生植物和水生植物,以长廊、平台等节点串联安排不同自然教育课题内容,加深参观者对体验真实自然以及对自然保护区生态多样性的了解。

2.2.4 建设一个观鸟平台

在铁炉坪村的黄竹窝自然村,建设集教育科普、专业观鸟、休闲游憩于一体的2 000 m观鸟栈道。该栈道依托静谧、富有湿地生态功能的环境,结合山谷小溪和植被,提供适宜野生动物活动的场所,开展野调、夜调等活动^[19]。

2.2.5 建设一个科普植物园

在自然保护区管理处大楼西南面选取20 hm²的区域,设置山地植物园、森林浴场、种植体验区、水生园、生态茶园等,全面展现出自然教育基地的生物多样性。

2.2.6 建设一个自然教育广场

在自然保护区东部选取1 000 m²区域,建设户外自然教育广场,以自然保护区内丰富的动植物资源为依托,开展大型科普活动以及自然教育课程活动,满足学生春秋游集会、单位团体活动等不同需要,丰富自然教育活动,提升质量。

2.3 改善共建共管机制,促进乡村振兴战略实施

2.3.1 改善共建共管机制

改善自然保护区共建共管模式,支持社会各界参与自然教育基地的建设和管理,促进乡村旅游和生态产业发展。自然保护区制定了《广东潮安凤凰山省级自然保护区管理办法》,并设立了林长责任制。尽管这一举措取得了一些成果,但在实践中仍然存在协调难度大、管理效率低下、监督机制不完善、专业知识欠缺等问题。为了促进自然保护区自然教育基地的多元参与和责任共担管理模式,应在当前基础上重视自然教育,制定和完善相关政策和标准体系,明确自然教育基地建设的发展方向和目标,确保各项工作的合法性和有效性,并且加强对自然教育基地的规划引导,确保其与乡村振兴战略相结合。建立激励机制,提供对自然教育工作人员和原住民相关的培训和财政支持,以提高各方的专业素养,增强自然教育基地的规划、建设、管理和运营水平,确保各类活动在自然保护区内的合规性,降低对生态环境的潜在威胁。需要整合政府、企业、社会组织 and 村民等多方资源,加强沟通与协调,明确各方职责,推进资源共享,盘活乡村闲置资产,提高资源利用效率,以保证自然教育基地共建共管模式的顺利运行和有效保护自然资源。

2.3.2 促进村居工程规划和林下经济科普

利用自然教育基地传播和弘扬当地传统文化,丰富乡村旅游内容,提升其吸引力。考虑到自然保

护区内村庄现状,积极筹集资金、组织力量,因地制宜开展自然教育村居的“三清六改”工程,重点进行自然教育设施改造、卫生整治、违建拆除、路灯亮化、绿化美化等方面工作,实行统一规划、统一整治,提高人居环境档次。改善自然保护区原住民生计,引导转变生产生活方式,让原住民参与到自然教育基地建设中来。在发展自然教育基地设施方面,鼓励村民依托自然保护区的生态资源,科学发展投资小、周期短、见效快、收效大的林下经济,如在实验区的林下养殖蜜蜂和套种南药、石斛等,是用绿富民的有力“法宝”^[20],并且在自然教育活动中可以向游客科普展示林下经济相关知识。

2.3.3 建设单丛茶自然教育综合体验区

激发原住民的创新意识和创业精神,提高自然教育基地的服务质量和影响力。依托村民自有生态茶园,结合自然教育径,规划建设一个集自然教育、采摘、制作、品茗于一体的单丛茶自然教育综合体验区,并提供众多就业岗位。该区域不仅通过图文展示、实物、模型、多媒体的多种方式展示单丛茶相关文化知识,提供茶文化的体验,还让参观者通过触摸、闻香等方式了解单丛茶十大香型。该区域提供了茶制作工艺的体验,包括单丛茶采摘、晒青、晾青、做青、杀青、揉捻、烘焙等制茶工艺,使参观者亲身感受单丛茶制作工序之精良。通过“品茗讲堂”等自然教育课程活动,与其他参观者品茗互动,完成从体验茶文化、采摘古茶、制作单丛茶到品茗论道的全流程全方位的沉浸式体验,体验千年茶文化的传承与发展^[21]。

2.4 探索红色文化与畬族文化,促进自然教育基地特色发展

2.4.1 红色文化保护与自然教育融合发展

充分利用中共潮澄饶丰边县委旧址的历史资源,打造一个既能传承红色文化又能普及环保知识的自然教育基地。首先,要积极向上级部门申请资金,重建中共潮澄饶丰边县委办公旧址作为自然教育基地的展示馆,保留原有建筑风格,充分展示历史遗迹。其次,深入研究中共潮澄饶丰边县委的历史背景,收集整理相关的红色故事,开发以红色遗迹为主题的自然教育课程,丰富自然教育课程体系,并且让公众通过实地考察了解历史,提升对自然环境的保护意识。最后,与当地的学校、企事业单位和其他社会力量建立合作关系,共同举办各类自然教育活动,加强宣传红色文化,通过红色文化的感召力,引

导公众对自然环境的保护意识和行动^[22]。

2.4.2 畬族文化保护与自然教育融合发展

建设具有畬族文化特色的自然教育基地。鉴于凤凰山作为畬族发源地,为促进自然保护区自然教育特色发展,有必要采取多方面的措施。首先,在自然教育学校建设畬族文化展览馆,展示凤凰山畬族优秀文化。通过陈列畬族文化展品和传世图卷,建造一个集党建文化、畬族文化、健身娱乐于一体的综合性文化广场。其次,对畬族民居修缮改造。在外立面改造中融入凤凰图腾、山哈图案等畬族文化元素,打造出既传承畬族特色又宜居的畬族民居。这些改造后的民居可以作为自然教育游客旅居的民宿,让游客更好地体验畬族文化。再者,充分利用凤凰山是畬族发源地的优势,通过不断挖掘畬族传统文化以及畬乡内涵,创新自然教育课程内容与形式,将畬乡招兵文化和自然教育文创结合,将招兵节活动打造成为自然保护区的一大特色,并且形成自然教育文创、商业合作的氛围与机会。最后,举办以“凤凰山之韵”森林服装秀为主题的自然教育嘉年华。通过举行森林服装秀,将自然教育基地的自然资源与畬族传统文化有机结合,结合网络直播平台的推动,为游客提供深入感受自然教育基地特色文化的视觉体验。

2.5 打造中华穿山甲主题 IP,塑造自然教育基地品牌

以个性化旅游为主的时代,自然教育基地亟需打造属于自己的特色主题 IP 品牌,以此来吸引更多粉丝参与自然保护区的保护和发展^[23]。针对凤凰山省级自然保护区是全国罕见的中华穿山甲种群栖息地,可筹措资金打造广东首个中华穿山甲主题展示馆。在展示馆内提供各种互动体验活动,例如用虚拟现实技术模拟穿山甲的生活环境,让游客更直观地了解穿山甲的生活习性。通过设计自然教育基地的中华穿山甲主题 IP 形象、标识、口号、广告曲或广告剧,用于产业延伸,包括文创、影视、快消等领域的跨界合作,使其成为“拟人存在”的主题 IP,来实现对消费者整体感官的触动。为增加中华穿山甲主题 IP 在基地的特色,建议通过制作相关教材、视频等教育资源在公众号等多媒体账号进行宣传推广,让游客深入了解穿山甲的生活习性、生态环境以及所面临的威胁,从而培养他们对生物多样性保护的意识。最终目标是通过中华穿山甲主题 IP 的打造,使得自然保护区自然教育更具吸引力,实现自然教育和生态保护的双赢。

3 结 语

广东潮安凤凰山省级自然保护区是一个重要的生态保护区域,为粤东地区的自然环境和生物多样性保护做出了积极的贡献。自然保护区通过自然教育基地的建设,使原住民可深度参与生态保护,为当地经济可持续发展注入新的动力,并且为构建以凤凰山茶旅走廊为纽带、韩江两岸山体及凤凰溪碧道为重点的“一廊一江一道”绿美生态框架提供有力支持和实践基础,促进保护区可持续发展。

本研究通过对广东潮安凤凰山省级自然保护区进行深入的SWOT分析,突出基地优势,提出了一系列创新性的发展策略,致力于拓展该自然保护区自然教育多元化发展途径,可为同类型自然保护区自然教育基地发展提供一定的参考。未来,该保护区自然教育基地可进一步发展“人—地—课”模式^[5],侧重游客的需求,结合地域特色和课程教学,提供更丰富和深入的自然教育体验,以加强自然教育的课程特色。可举办多样化自然教育科普活动,进一步加强自然教育科普宣教工作,推动粤东生态文明的深入开展,打造潮州地区对外展示自然教育和保护亮点的明信片。通过科普宣教工作和多样化的科普自然教育活动,促使更多人投身于自然教育与可持续发展的事业中,促进生态文明建设。

参考文献:

- [1] 陈东军,钟林生,马国飞,等. 自然保护地自然教育资源分类与评价——以神农架国家公园为例[J]. 生态学报,2022,42(19):7796-7806.
- [2] 邵飞,梁江涛,刘金龙,等. 山东省自然保护地自然教育评价与路径构建[J]. 山东林业科技,2022,52(4):110-112,134.
- [3] 李霞,余荣卓,罗春玉,等. 游客感知视角下的国家公园自然教育体系构建研究——以武夷山国家公园为例[J]. 林业经济,2020,42(1):36-43.
- [4] 姚昕雨,张茵. 大熊猫国家公园游客参与自然教育的价值共创机理[J]. 中国城市林业,2023,21(4):102-108.
- [5] 魏丹,郑昌辉,凌仲铭,等. “用户—场地—课程”适配的自然教育基地规划设计——以广东中山翠亨国家湿地公园为例[J]. 中国城市林业,2023,21(2):10-16.
- [6] 钟乐,赵智聪,唐佳乐. 中国国家公园自然教育规划理念与框架[J]. 中国园林,2022,38(10):116-120.
- [7] 范存祥,冯宝莹. 广州海珠湿地自然学校的建设与运营策略[J]. 广东园林,2019,41(5):28-31.
- [8] 唐霞,崔杰,袁富坚,等. 自然教育在森林公园经营中的应用研究——以广州市石门国家森林公园为例[J]. 林业与环境科学,2021,37(1):122-125.
- [9] 周儒. 自然是最好的学校[M]. 上海:上海科学技术出版社,2013.
- [10] 谭振芳. 森林公园开展自然教育SWOT分析[J]. 南方农业,2018,12(26):129-130.
- [11] 吴良云,骆志杰. 浅谈自然保护区对生态文明建设的作用及其发展问题[J]. 国土绿化,2013(11):46.
- [12] 武锋,邱国庆,李世伟,等. 广东星湖国家湿地公园环境教育实践[J]. 湿地科学与管理,2018,14(1):26-28,32.
- [13] 李玉杰. 基于SWOT分析的甘肃大熊猫自然保护区环境教育策略[J]. 林产工业,2017,44(6):59-62.
- [14] 武阿莉. 长青国家级自然保护区公众教育实践研究[J]. 陕西林业科技,2017(2):74-78.
- [15] 李娅,余磊,窦亚权. 中国国家公园自然教育功能提升路径——基于国外的启示与经验借鉴[J]. 世界林业研究,2022,35(4):113-118.
- [16] 李伟,崔丽娟,董雪,等. 湿地自然保护区环境教育研究进展[J]. 林业调查规划,2014,39(5):56-60.
- [17] 胡进霞,董晶丽,窦萌春. 广东象头山国家级自然保护区自然教育径示范建设探讨[J]. 惠州学院学报,2021,41(3):7-11.
- [18] 李涛,黎明,魏丹,等. 自然教育基地建设指引:T/GDFS 4—2021[S]. 广州:广东省林学会,2021.
- [19] 魏丹,黎明,李涛,等. 自然教育基地标识设置指引:T/GDFS 4—2021[S]. 广州:广东省林学会,2021.
- [20] 陈晓康. 中国自然主义教育的历史渊源及其现代启示[J]. 内蒙古社会科学(汉文版),2006(6):120-125.
- [21] 林昆仑,雍怡. 自然教育的起源、概念与实践[J]. 世界林业研究,2022,35(2):8-14.
- [22] 李文周. 戴云山国家级自然保护区环境教育的思考[J]. 武夷科学,2013,29(1):16-21.
- [23] 倪欣语,燕红,江帆,等. 自然教育活动类型及策划初探[J]. 吉林林业科技,2022,51(3):42-45.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.011

济南市国家湿地公园管理状况评估体系构建及应用

王小燕¹, 陈永森², 郑 囡¹, 李 欣¹

(1. 济南市环境研究院, 济南市黄河流域生态保护促进中心, 山东 济南 250000;

2. 济南市公园发展服务中心, 山东 济南 250000)

摘要:以济南市 5 个国家湿地公园为研究对象,采用专家咨询法、层次分析法,构建以管理基础、管理状况、科普宣教、科研监测为内容的国家湿地公园管理状况评估体系。评估结果表明,5 个国家湿地公园管理评估的平均得分为 84.15 分,4 个为优良等级,1 个为中等。其中,济西国家湿地公园评估得分最高,为 88.64 分,钢城大汶河国家湿地公园得分最低,为 79.35 分。结果表明,河流型湿地公园评估得分明显低于湖库型湿地公园,主要是受河流型湿地公园跨度大、流经村落较多,日常管理难度较大等因素影响。湿地公园普遍存在缺少执法权、专业人才不足、经费保障有限、科普与监测设施薄弱等共性问题。

关键词:国家湿地公园;管理状况;评估体系;济南市

中图分类号:Q178.5;S759.91;P964 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0074-06

引文格式:王小燕,陈永森,郑囡,等.济南市国家湿地公园管理状况评估体系构建及应用[J].林业调查规划,2026,51(1):74-79. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.011

WANG Xiaoyan, CHEN Yongsen, ZHENG Nan, et al. Construction and Application of Management Status Assessment System of National Wetland Parks in Jinan City[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 74-79. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.011

Construction and Application of Management Status Assessment System of National Wetland Parks in Jinan City

WANG Xiaoyan¹, CHEN Yongsen², ZHENG Nan¹, LI Xin¹

(1. Jinan Environmental Research Academy, Jinan Yellow River Basin Ecological Protection and Promotion Center, Jinan 250000, China; 2. Jinan Park Development Service Center, Jinan 250000, China)

Abstract: Taking five national wetland parks in Jinan City as research subjects, this paper used the expert consultation method and the analytic hierarchy process to construct an assessment system for the management status of national wetland parks with four contents of management foundation, management status, science popularization and education, and scientific research and monitoring. The assessment results showed an average score of 84.15 for the five national wetland parks, with four rated as excellent or good and one as moderate. Jixi National Wetland Park received the highest score of 88.64, while Gangcheng Dawen River National Wetland Park had the lowest score of 79.35. The assessment scores of river-type wetland parks were significantly lower than those of lake and reservoir-type wetland parks,

收稿日期:2024-12-25;修回日期:2025-01-15

基金项目:济南市科技计划(202317011);济南市湿地资源调查监测评估项目。

第一作者:王小燕(1989-),女,硕士,工程师。主要从事生态保护规划及湿地生态调查与保护工作。Email:1048135230@qq.com

which were mainly affected by factors such as the large span of river-type, the large number of villages passing through, and the difficulty of daily management. Common issues identified across the wetland parks included a lack of enforcement authority, insufficient professional personnel, limited funding guarantees, and weak science popularization and monitoring facilities.

Key words: national wetland park; management status; assessment system; Jinan City

湿地公园是湿地保护体系重要组成部分,也是湿地资源有效保护和合理开发利用的重要方式^[1]。规范化建设和有效管理是保障湿地公园可持续发展的必要条件,有效的管理评估是湿地公园管理的一项重要抓手^[2]。因此,定期对湿地公园管理状况进行评估,对于湿地资源保护及湿地公园管理较为重要。自 2008 年国家颁布国家湿地公园评估标准后^[3],相关学者先后提出了国家湿地公园管理评估指标体系构建、管理绩效的定量评估、社会绩效评估和综合绩效评估^[4-6]。部分学者也从湿地公园类型^[7-8]、湿地公园级别等方面进行了探索^[9-12]。可以看出,现有的湿地公园保护成效评估主要侧重于管理绩效评估,与应用较为成熟的自然保护区管理评价仍存在一定差距^[13]。鉴于现有的评估指标体系不能直接应用,因此,以济南市国家湿地公园为

例,在湿地公园保护和利用的基础上,结合湿地公园保护现状,构建适用于地区的管理状况评估体系,进而明确不同类型湿地公园的保护方向,为科学开展湿地公园生态系统保护修复、监督管理提供决策支撑。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

济南市位于黄河流域下游,地处山东省内陆,辖区内湿地类型主要有河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、沟渠、内陆滩涂;湿地保护载体主要有湿地公园、水源地、水库、河流等类型。截至 2023 年,济南市省级以上湿地公园有 15 个,其中,国家湿地公园 5 个,除钢城大汶河国家湿地公园为河流型湿地外,其他 4 个均为湖库型湿地公园(表 1)。

表 1 济南市国家湿地公园信息
Tab. 1 Information of national wetland parks in Jinan City

| 名称 | 所属行政区 | 面积/hm ² | 获批年份 | 主要湿地类型 |
|-------------|---------|--------------------|-------------|-------------------------------------|
| 济西国家湿地公园 | 长清区、槐荫区 | 1130 | 2011 年 3 月 | 史称“许家洼”,地势低洼,为周边河流、浅层地下水、降雨径流汇聚自然形成 |
| 黄河玫瑰湖国家湿地公园 | 平阴县 | 685 | 2011 年 3 月 | 史称“城西洼”,为河水、降水汇聚自然形成 |
| 济南白云湖国家湿地公园 | 章丘区 | 1628 | 2012 年 12 月 | 济南市唯一、小清河上游最大的天然湖泊 |
| 钢城大汶河国家湿地公园 | 钢城区 | 688 | 2014 年 12 月 | 主体为大汶河干流 |
| 莱芜雪野湖国家湿地公园 | 莱芜区 | 1368 | 2015 年 12 月 | 主体为雪野湖水库 |

1.2 数据来源

1.2.1 资料搜集

通过向相关部门搜集有关资料,获取湿地公园的建设历史、现状、规划编制、管理机构队伍建设、资源调查等情况以及巡护记录及其他相关材料等信息。

1.2.2 实地调查

通过开展现场实地调查,获取湿地公园管护、科研、宣教、办公等基础设施的有关情况,并实地调查获取勘界、定桩、边界管理等信息。

1.2.3 座谈与走访

通过与湿地公园管理部门座谈、与周边群众访谈,获取科普宣传、科研监测、日常管理以及社区协调等方面的信息。

2 评估体系构建

2.1 指标体系

通过资料搜集整理,并结合相关规范标准与文献研究,建立评估指标体系:整理总结相关评估规范标准,依据评估指标采用的频率筛选有代表性且多次应用的指标,初步构建评估指标体系库;咨询湿地资源保护相关专家意见后,对指标进行进一步筛选,保证选取指标的科学性和可操作性;结合实地调查、座谈与走访等方式获取 5 个国家湿地公园快速评估情况,对筛选后的评估指标进行现场核验;结合专家咨询意见和现场实际核验结果,构建包括管理能力、管理状况、科普宣教、科研监测等 4 个评估类型和

24 个评估指标的评估体系。

2.2 指标权重

采用专家咨询法,通过各层级的判断矩阵对指标的重要性进行打分,进而构建评估矩阵。依据层次分析法确定各评估指标的权重(表 2)。

表 2 济南市国家湿地公园管理状况评估指标权重
Tab. 2 Weighting of indicators for management status assessment of national wetland parks

| 评估类型 | 评估指标 | 权重 |
|--------------|----------|--------|
| 管理能力(0.3722) | 管理机构 | 0.0985 |
| | 管理队伍 | 0.0348 |
| | 管理权限 | 0.0173 |
| | 管理边界 | 0.0554 |
| | 规划落实与修编 | 0.0554 |
| | 管理基础设施设备 | 0.0554 |
| | 管理经费保障 | 0.0554 |
| 管理状况(0.3252) | 制度建设 | 0.0600 |
| | 管理计划 | 0.0264 |
| | 巡护情况 | 0.0563 |
| | 能力建设 | 0.0232 |
| | 应急预案 | 0.0531 |
| | 社区协调 | 0.0238 |
| | 保护修复成效 | 0.0824 |
| 科普宣教(0.1513) | 队伍建设 | 0.0268 |
| | 设施宣教 | 0.0559 |
| | 环境解说 | 0.0286 |
| | 媒体宣教 | 0.0114 |
| | 宣教活动 | 0.0286 |
| 科研监测(0.1513) | 本底调查 | 0.0636 |
| | 队伍建设 | 0.0341 |
| | 站点建设 | 0.0128 |
| | 设备配备 | 0.0204 |
| | 监测活动 | 0.0204 |

由表 2 可知,在 4 个评估类型中,管理能力的权重最大,科普宣教与科研监测的权重相同;在评估指标中,“管理机构”“保护修复成效”“本底调查”“制度建设”等所占权重较大。

2.3 评估标准及赋值

参考相关文献及规范标准,结合济南市国家湿地公园管理的实际情况,将评估标准划分为优良(≥ 80 分)、中等($60 \sim < 80$ 分)、差(< 60 分)3 个等

级。根据获取的信息,对每个指标逐一赋值,各项指标的总分值均设定为 100 分(表 3)。

2.4 综合评估

采用综合评估法进行定量评估,计算公式为:

$$P = \sum_{i=1}^n (B_i \cdot W_i) \quad (1)$$

式中: P 为湿地公园评估分值; B_i 为评估因子的权重; W_i 为评估因子的评价分值; n 为评估指标数目。

根据评估标准,80 分 $\leq P \leq 100$ 分为优良,60 分 $\leq P < 80$ 分为中等, $P < 60$ 分为差。

3 结果与分析

3.1 评估结果

基于上述评估体系对济南市 5 个国家湿地公园的管理状况进行评估(表 4)。

由表 4 可知,济南市 5 个国家级湿地公园管理状况评估得分的平均值为 84.15,总体为优良水平。评估等级方面,除钢城大汶河国家湿地公园为中等,其余均为优良。但各湿地公园得分仍有一定差距,最高与最低分之间相差约 10 分。其中,济西国家湿地公园评估得分最高,为 88.64 分,而钢城大汶河国家湿地公园得分最低,为 79.35 分。

3.2 不同类型湿地公园评估结果分析

济南市 5 个国家湿地公园涵盖湖库型和河流型两种类型。评估结果表明,河流型的钢城大汶河国家湿地公园在管理基础、科普宣教以及科研监测方面的评估得分明显低于其他 4 个,尤其是在科普宣教和科研监测两个指标领域,主要是受到河流型湿地跨度大、流经村落较多、日常管理难度较大等因素的影响,进而影响到巡护情况、设施宣教、站点建设、本底调查等方面的得分。对于湖库型的 4 个国家湿地公园,除济西国家湿地公园的管理基础、科研监测评估得分显著高于其他 3 个外,济南白云湖国家湿地公园、黄河玫瑰湖国家湿地公园和雪野湖国家湿地公园在 4 类评估要素的得分基本持平。

3.3 不同分类指标评估结果分析

3.3.1 管理能力

5 个国家湿地公园的管理基础均为优良水平。影响评分的共性问题包括普遍缺少执法权、管理队伍缺乏专业人员、管理经费保障存在不足等。具体表现为,黄河玫瑰湖国家湿地公园由专管机构变为代管,钢城大汶河国家湿地公园的规划落实程度不佳,且管理边界模糊。

表 3 国家湿地公园管理状况评估评分标准及等级

Tab. 3 Scoring criteria and grades for management status assessment of national wetland parks

| 类型 | 评估指标 | 优良 | 中等 | 差 |
|------|----------|---|--|--|
| 管理能力 | 管理机构 | 有专门管理机构,管理机构部门职能明确 | 无专门管理机构,由部门代管 | 无专门管理机构,也无代管机构 |
| | 管理队伍 | 人员配置可以满足湿地管理需要,人员结构合理 | 人员配置基本能满足湿地管理需要,人员结构基本合理 | 人员配置严重不足,缺乏专门的管理人员 |
| | 管理权限 | 有 1 项以上行政执法权 | 无执法权限,但有管理人员 | 无执法权限,无管理人员 |
| | 管理边界 | 管理部门和社区居民均清楚管理边界,已完成勘界和定桩 | 管理部门和社区居民均清楚管理边界,未完成勘界和定桩 | 管理部门和社区居民均不清楚管理边界 |
| | 规划落实与修编 | 严格按照规划建设且已有修编计划 | 基本按照规划建设或已有修编计划 | 未按照总体规划建设,无修编计划 |
| | 管理基础设施设备 | 具有管护工作所需的各种设施设备 | 具有管护工作所需的必备设施设备 | 管护设施设备种类极少或没有 |
| | 管理经费保障 | 管理人员工资和业务经费纳入政府财政预算,保护管理经费保障充分 | 管理人员工资纳入财政预算,业务经费未纳入财政预算,通过自筹资金使保护管理经费基本得到保障 | 管理人员工资和业务经费均未纳入财政预算,虽有自筹资金,但保护管理经费不足 |
| 管理状况 | 制度建设 | 制定了公园管理条例或办法,有健全的内部工作制度(如巡护、宣教、科研、旅游、社区共管) | 尚未制定公园管理条例或办法,制定了内部工作制度(如巡护、宣教、科研、旅游、社区共管),针对性、可操作性强 | 未制定公园管理条例或办法,无内部工作制度 |
| | 管理计划 | 制定了明确的管理目标或管理计划,并按管理计划执行 | 制定了明确的管理目标或管理计划,并按部分管理计划执行 | 未制定管理目标或管理计划 |
| | 巡护情况 | 日常巡护制度健全完善,有满足需求的专职巡护人员,巡护人员严格执行日常巡护制度,巡护记录规范且完整,能及时处置湿地公园内发生的破坏和违法事件 | 日常巡护制度基本健全,有满足需求的兼职巡护人员,巡护人员基本能执行日常巡护制度,巡护记录不规范,能基本处置湿地公园内发生的破坏和违法事件 | 日常巡护制度不健全,巡护人员不足,巡护人员执行日常巡护制度不到位,巡护记录很不规范,对湿地公园内发生的破坏和违法事件处置不到位 |
| | 能力建设 | 每年组织管理人员参加各种相关培训,能适应公园管理的要求 | 少数管理人员参加过相关培训,并能应用到公园管理 | 管理人员未参加过相关培训 |
| | 应急预案 | 有完善的综合应急预案,并得到有效演练 | 有主要方面的应急预案,部分得到演练 | 无应急预案 |
| | 社区协调 | 与社区相关利益群体关系协调,双方能积极参与建设,并从中获得相应利益 | 社区未参与湿地公园建设,同时湿地公园与社区相关利益群体也无利益冲突 | 湿地公园未能妥善处理社区利益关系,与相关利益群体存在一定利益冲突 |
| | 保护修复成效 | 湿地修复科学合理,生态系统得到有效保护或明显改善,野生动植物种类或数量明显增加,外来有害物种已得到有效治理 | 湿地修复基本合理,生态系统得到较好保护或有所改善,野生动植物种类或数量有所增加,重点区域外来物种入侵已基本得到治理 | 湿地修复未开展或方案不合理,生态系统未得到有效保护或继续退化,或野生动植物种类、数量减少,或外来物种入侵严重 |
| 科普宣教 | 队伍建设 | 有专职宣教人员 3 人以上,能提供日常解说服务,以及有计划地组织环境教育等宣教活动 | 有专职宣教人员 1~3 人,能提供日常解说服务,并在特定节日开展环境教育等宣教活动 | 无专职宣教人员,也无相关的宣教活动或服务 |
| | 设施宣教 | 设有综合性、主题性宣教场所,场馆建设自然简朴实用,与湿地环境高度融合;户外标识标牌系统布局合理,内容科学,特色突出,可满足不同受众宣教需要 | 设有综合性或主题性、辅助性宣教场所,户外标识标牌布局基本合理,内容基本科学,具有一定特色,能满足对一定群体的宣教需要 | 缺少科普宣教设施,无标识标牌或有标识标牌但内容存在科学性问题,缺乏特色,布局不合理;有宣教场所但主题缺乏与湿地公园保护及管理相关内容,达不到科普宣教目的 |
| | 环境解说 | 有系统的环境解说方案,解说主题特色鲜明,内容科学严谨、表述形式生动活泼。对解说资源梳理清晰,解说内容全面科学,能针对不同情况开展针对性解说 | 解说方案相对完整,对解说主题和资源有一定的梳理,解说内容基本科学,能开展基本的解说服务 | 无解说方案,或方案设计不符合要求,解说内容无法完整展示湿地公园的核心价值,或不切合湿地保护相关主题,内容缺失或错误明显 |

续表 3

| 类型 | 评估指标 | 优良 | 中等 | 差 |
|------------------|------|---|--|---|
| | 媒体宣教 | 与主流媒体有积极的宣传活动,建有多种新媒体宣传平台,内容科学,趣味性 强,更新及时 | 与主流媒体有一定宣传互动,建有新媒 体宣传途径,但内容不够完善,更新不 及时 | 无媒体宣传活动,未建立新媒体宣 传途径 |
| | 宣教活动 | 年度开展科普宣教活动,具有较大的社 会影响 | 年度开展科普宣教活动,具有一定社会 影响 | 未开展科普宣教活动 |
| 科 研 监 测 | 本底调查 | 近 5 年开展过综合考察和专项调查,编 制了综合考察报告和专项调查报告,主 要保护对象和自然资源资产本底清晰 | 近 5 年开展过专项调查,编制了专项调 查报告,主要保护对象本底清晰 | 近 5 年从未开展过本底调查,自然 资源本底不清 |
| | 队伍建设 | 已建立科研监测队伍,人数、专业、科室 结构合理,已经过专业培训,能满足工 作需要 | 已建科研监测队伍,但人数不足,结构 不合理,培训不到位 | 未建科研监测队伍 |
| | 站点建设 | 建立了布局合理的监测站点 | 建立了监测站点,布局不够合理 | 未设监测站点 |
| | 设备配备 | 配备必要的监测设备,并有效使用 | 配备基本的监测设备,基本满足监测活 动需要 | 监测设备不健全,不能满足监测活 动需要,或配备了必要的监测设 备,但未有效使用 |
| | 监测活动 | 监测工作有序开展,全面掌握本地资源 情况;有系统完整的监测报告,监测内 容针对性强;档案管理科学,为湿地管 护工作提供了有力支持 | 已开展一定的监测工作,基本掌握本底 资源主要情况;有监测报告;监测内容 针对性一般;具有部分监测成果档案 | 尚未开展有效监测,对本地资源情 况不了解,监测成果尚未形成 |

表 4 济南市国家湿地公园管理状况评估得分
Tab. 4 Scores for management status assessment of
national wetland parks in Jinan City

| 名称 | 管理 能力 | 管理 状况 | 科普 宣教 | 科研 监测 | 总分 | 等级 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|-------|----|
| 济西国家湿地 公园 | 34.15 | 28.19 | 13.43 | 12.88 | 88.64 | 优良 |
| 济南白云湖国 家湿地公园 | 33.51 | 28.19 | 12.54 | 12.42 | 86.65 | 优良 |
| 黄河玫瑰湖国 家湿地公园 | 32.84 | 27.06 | 12.17 | 12.33 | 84.40 | 优良 |
| 钢城大汶河国 家湿地公园 | 31.21 | 26.80 | 11.27 | 10.07 | 79.35 | 中等 |
| 莱芜雪野湖国 家湿地公园 | 31.05 | 26.50 | 12.06 | 12.10 | 81.72 | 优良 |
| 平均得分 | 32.55 | 27.35 | 12.29 | 11.96 | 84.15 | 优良 |

3.3.2 管理状况

济南市 5 个国家湿地公园的管理状况均为优良水平,但仍存在巡护频率较低,生态修复时间较短,生态系统尚未达到较稳定状态。其中,黄河玫瑰湖国家湿地公园和莱芜雪野湖国家湿地公园虽开展了湿地修复,但仍集中在水质提升方面。

3.3.3 科普宣教

济西国家湿地公园、济南白云湖国家湿地公园和黄河玫瑰湖国家湿地公园 3 个为优良水平,莱芜

雪野湖国家湿地公园和钢城大汶河国家湿地公园 2 个为中等水平。济西国家湿地公园、济南白云湖国家湿地公园以及黄河玫瑰湖国家湿地公园等 3 个的科普宣教水平相对均衡。莱芜雪野湖国家湿地公园和钢城大汶河国家湿地公园存在宣教设施与宣教活动较少、媒体宣教水平相对较低,且普遍存在标识、标牌数量相对较少的问题。

3.3.4 科研监测

5 个国家湿地公园中,济西国家湿地公园、济南白云湖国家湿地公园、黄河玫瑰湖国家湿地公园和雪野湖国家湿地公园 4 个的科普宣教水平为优良,钢城大汶河国家湿地公园为中等。这 4 个国家湿地公园的生物本底调查数据虽完善,但湿地公园管理体系仍普遍存在人员较少、监测能力不足问题。钢城大汶河国家湿地公园主要存在近 5 年未开展生物本底调查,生物本底资料掌握不足,以及尚未建立独立监测队伍等问题。

4 结论与建议

4.1 结论

研究以济南市国家湿地公园为例,构建了包括管理基础、管理状况、科普宣教、科研监测 4 个评估类型和 24 个评估指标的评估体系,综合评估了济南市国家湿地公园的管理水平。

1)近年来济南市湿地管理部门在湿地公园管理及利用方面开展了大量工作,取得了一定的工作成效,5处国家级湿地公园管理评估等级均为中等或以上水平。

2)河流型湿地公园的评估得分明显低于湖库型湿地公园,主要是由于河流型湿地公园的跨度大、流经村落较多,导致日常管理难度较大。

3)同一类型不同湿地公园亦存在差异。对于4个湖库型湿地公园而言,济西国家湿地公园在管理基础和科研监测两类指标中明显高于其他3处湿地公园。

4)湿地公园管理状况存在的共性问题普遍缺乏执法权、管理队伍中专业人员不足、管理经费保障存在欠缺等;巡护频率相对较低,生态修复时间较短,生态系统尚未达到较稳定状态;管理机构缺少专业技术人才保障较高水平的科研、宣教工作;监测能力不足,标识、标牌数量以及宣教设施相对较少,科普宣教能力建设仍需加强。

4.2 建议

根据评估结果,建议济南市国家湿地公园优先采取以下措施:(1)积极争取各类资金,拓宽投融资渠道,引导社会各界广泛参与,加大湿地保护、科普宣教和科研监测基础设施建设,进一步推进保护、科研监测、生态修复工程等项目的实施;(2)探索灵活的人才引进模式,各级湿地管理机构积极引进湿地保护和科研的专业人才,定期对湿地管理业务人员开展有针对性的培训^[14],不断提升业务人员的科学技术实力与保护管理业务能力;(3)优化科普标识牌的空间布设,将其设置在便于人们观察的高度和角度,并深度挖掘科普宣教内容,营造全社会关注湿地和呵护湿地的良好氛围。

本文所建立的评估指标体系是对现有评估规范标准的拓展,也是结合地方实际进行的具体实践,是一项具有实际意义的尝试。然而,该体系仍存在不足,在具体评价过程中,部分指标的赋值具有主观性,且尚未针对不同类型的国家湿地公园进行差异化评估。鉴于湿地公园存在不同的分类、级别和主导功能定位,开展评估也会有不同的侧重点。因此,

应结合实际,差异化选取评估指标,并开展具有自身特色的评价。

参考文献:

- [1] 王怡,朱颖,冯育青,等.土地利用结构对湿地公园水环境质量的影响[J].中国城市林业,2022,20(3):48-53.
- [2] 金云峰,杨玉鹏,蒋祎,等.国家湿地公园保护与管理研究综述[J].中国城市林业,2015,13(6):1-5,22.
- [3] 国家林业局.国家湿地公园评估标准:LY/T 1754—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [4] 权佳,欧阳志云,徐卫华,等.中国自然保护区管理有效的现状评价与对策[J].应用生态学报,2009,20(7):1739-1746.
- [5] 吴后建,但新球,舒勇,等.国家湿地公园有效管理评价指标体系及其应用[J].湿地科学,2015,13(4):495-502.
- [6] 刘伟玮,付梦娣,任月恒,等.国家公园管理评估体系构建及应用[J].生态学报,2019,39(2):8201-8210.
- [7] 王立帅,徐诗文,林浩文,等.城市湿地公园建成后综合绩效评估:以广州大观湿地为例[J].生态学报,2019,39(16):6001-6016.
- [8] 王春林,张勇斌,朱凯群,等.河流型湿地公园保护与管理:以湖南郴州西河国家湿地公园为例[J].湿地科学与管理,2021,17(4):61-63.
- [9] 张衢,贺桂珍,吕永龙.基于AHP-DEA的滨海湿地保护利用管理效率评价[J].生态学报,2020,40(15):5210-5219.
- [10] 彭颖,赵站超,张校会,等.河南省国家湿地公园建设管理措施与成效分析:以伊川县伊河国家湿地公园为例[J].林业调查规划,2022,47(5):122-8126.
- [11] 王子鹏,周小春,周立志.安徽省湿地公园建设成效评估研究[J].湿地科学,2019,17(5):527-535.
- [12] 罗艳,刘作全,熊皎,等.成都市湿地公园管理绩效评估体系构建及应用[J].湿地科学与管理,2023,19(6):30-33.
- [13] 赵志国,杨立,王青,等.基于熵理论的山东省国家湿地公园管理绩效评价[J].生态学报,2021,41(21):1-9.
- [14] 环境保护部.自然保护区管理评估规范:HJ 913—2017[S].北京:中国环境科学出版社,2017.

责任编辑:董磊

校 对:许易琦,董磊

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.012

西畴县维管植物多样性调查与研究

任正涛^{1,2}, 姜志诚^{1,2}, 段禾祥^{1,2}, 杨 靖^{1,2}, 冯圣碧^{1,2}, 王 珺^{1,2}, 曾熙雯^{1,2}

(1. 云南省生态环境科学研究院, 云南 昆明 650034;

2. 云南省高原湖泊流域污染过程与管理重点实验室, 云南 昆明 650034)

摘要: 基于野外调查及文献资料的查阅与整理, 对西畴县维管植物多样性、植物区系等方面进行统计分析。结果表明, 西畴县记录有维管植物 230 科 937 属 2 515 种, 优势科有兰科、茜草科、菊科、樟科、壳斗科、蔷薇科、蝶形花科、桑科以及禾本科, 这些科的植物是该地区植物区系的重要组成成分。从维管植物属的区系成分看, 以热带成分为主, 同时兼具温带成分, 与温带成分具有紧密联系, 植物区系起源古老。西畴县珍稀濒危植物种类较多, 具有较高的保护价值, 分布有国家一级重点保护野生植物 6 种, 国家二级重点保护野生植物 93 种, 云南省重点保护野生植物 3 种, 受威胁植物 192 种, 云南省极小种群野生植物 6 种, 收录于 CITES 附录的植物 142 种。发现西畴县维管植物新纪录物种 5 种, 另外还调查到外来入侵植物 16 种。结合调查与研究结果, 提出加强保护地外的生物多样性保护以及木兰科植物资源的人工繁育与可持续利用, 强化外来入侵植物物种防控治理等植物多样性保护建议。

关键词: 维管植物; 植物多样性; 植物区系; 珍稀濒危植物; 新纪录植物物种; 外来入侵植物物种; 西畴县

中图分类号: Q948.156; Q16; S757.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2026)01-0080-12

引文格式: 任正涛, 姜志诚, 段禾祥, 等. 西畴县维管植物多样性调查与研究[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 80-91. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.012

REN Zhengtao, JIANG Zhicheng, DUAN Hexiang, et al. Investigation and Research on Vascular Plant Diversity in Xichou County[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 80-91. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.012

Investigation and Research on Vascular Plant Diversity in Xichou County

REN Zhengtao^{1,2}, JIANG Zhicheng^{1,2}, DUAN Hexiang^{1,2}, YANG Jing^{1,2},
FENG Shengbi^{1,2}, WANG Jun^{1,2}, ZENG Xiwen^{1,2}

(1. Yunnan Academy of Ecological and Environmental Sciences, Kunming 650034, China;

2. Yunnan Key Laboratory of Pollution Process and Management of Plateau-Lake Watershed, Kunming 650034, China)

Abstract: Based on field investigations and the review and organization of literature materials, a statistical analysis was conducted on the diversity of vascular plants and flora in Xichou County. The results showed that 2 515 species of vascular plants belonging to 937 genera and 230 families were recorded in Xichou County. The dominant families were Orchidaceae, Rubiaceae, Asteraceae, Lauraceae, Fagaceae, Rosaceae, Fabaceae, Moraceae, and Poaceae, and the plants of these families were important components of the flora in this area. The flora of the genera was dominated by tropical elements while also having temperate elements, which were closely related to temperate elements, with an ancient origin. There were

收稿日期: 2024-10-22; 修回日期: 2024-12-04

基金项目: 云南省生态五年状况变化遥感调查评估项目(4530000HT202108230)。

第一作者: 任正涛(1996-), 男, 硕士, 助理工程师。研究方向为植物分类与植物资源学。Email: 1562229807@qq.com

责任作者: 曾熙雯(1980-), 女, 硕士, 高级工程师。研究方向为植被生态学、生态环境保护。Email: 408256127@qq.com

many species of rare and endangered plants with high conservation value in Xichou County, including 6 species of national first-level key protected wild plants, 93 species of national second-level key protected wild plants, 3 species of provincial key protected wild plants in Yunnan Province, 192 species of threatened plants, 6 species of wild plants with extremely small populations in Yunnan Province, 142 species of plants included in the CITES appendix in Xichou County. Five newly recorded species of vascular plants were discovered in Xichou County during this field investigation. Additionally, 16 invasive plant species were identified. Based on the investigation and research results, recommendations for plant diversity conservation are proposed, including strengthening biodiversity protection outside protected areas, promoting the artificial propagation and sustainable utilization of Magnoliaceae plant resources, and enhancing the prevention and control of invasive alien plant species.

Key words: vascular plants; plant diversity; flora; rare and endangered plants; newly recorded plant species; invasive alien plant species; Xichou County

生物多样性是人类赖以生存和发展的基础。中国是世界上生物多样性最为丰富的国家之一,同时也是生物多样性受到严重威胁的国家之一^[1]。植物多样性是生物多样性的的重要组成部分,植物多样性保护在遏制生物多样性丧失、促进人与自然和谐发展、加快生态文明建设等方面发挥着重要作用^[2-3]。

西畴县地理位置特殊,地处滇东南典型喀斯特地貌核心地带,自第三纪以来气候一直温暖湿润,加之复杂且稳定的地质历史,为许多第三纪孑遗植物提供了避难所^[4],是中国滇、黔、桂古特有中心的重要组成部分,许多古特有植物如华盖木(*Manglietia sinica*)、马尾树(*Rhoiptelea chiliantha*)、锈毛梭子果(*Eberhardtia aurata*)等在此区域生存繁衍至今^[5-6]。自1939年以来,我国著名植物学者王启无、冯国楣、蔡希陶、武全安等先后到西畴县进行了植物标本的采集与研究,并在该区域发现并发表了大量的植物新分类群^[7-8],使该区域成为我国重要的模式产地之一。时至今日,仍有许多专家学者相继在这一区域进行考察。据统计,至今在西畴县境内发表的维管植物新分类群多达110余种,如毛枝五针松(*Pinus wangii*)、西畴含笑(*Michelia coriacea*)、西畴青冈(*Cyclobalanopsis sichouensis*)、西畴蜘蛛抱蛋(*Aspidistra xichouensis*)等,其中有许多植物是西畴县特有植物,如法斗莲座蕨(*Angiopteris sparsiora*)、草果山悬钩子(*Rubus zhaogoshanensis*)等,说明了该区域植物的特有性与古老性^[6]。

目前有关西畴县植物多样性的调查与研究主要集中在文山国家级自然保护区小桥沟片区,缺乏以县域为调查单元对维管植物多样性进行系统性的调查与整理。本研究基于实地调查及文献资料整理,通过对西畴县维管植物多样性进行分析和研究,进

一步掌握该区域维管植物资源状况和区系特征,可为西畴县生物多样性保护与利用提供理论依据。

1 研究区概况

西畴县位于云南省东南部的文山壮族苗族自治州,地处云贵高原的南部边缘,地理位置为104°22'~104°58'E,23°06'~23°37'N,海拔范围介于667.9~1962.9 m^[9-10]。地势呈北部和中部高,东南和西南低,总面积1506 km²,境内喀斯特地貌发育明显,其中裸露、半裸露岩溶面积占西畴县总面积的75.37%^[11]。西畴县属亚热带低纬山地季风气候区,常年受东南季风影响,县境内冬无严寒,夏无酷热;温湿多雨,干雨季分明,年均温15.9℃,年际温差变化不大,最高温20.8℃、最低温12.6℃^[9-10,12-13]。境内水资源丰富,年均降水1294 mm^[7,13]。西畴县境内建有文山州国家级自然保护区小桥沟片区,占地面积3906.6 hm²^[14],保护区内分布有华盖木、西畴青冈、毛枝五针松等保护植物,该地区是西畴县植物多样性最为丰富区域。

2 研究方法

2.1 外业调查

项目组于2023年4月—2024年4月先后开展了7次超40 d的野外维管植物调查,本次以县域为调查单元,采用样线及样方调查,调查时间基本涵盖植物生长的不同物候期。开展调查前,结合卫星影像及实地考察,选择西畴县植被保存完整、生长旺盛的典型地段布设调查线路及样方调查点位。在调查过程中记录植物种类、分布、生境等信息,采集植物标本,拍摄植物及其生境照片。

2.2 室内工作

根据《中国植物志》^[15]、*Flora of China*^[16]、《云南植物志》^[17]、中国数字标本馆(<https://www.cvh.ac.cn/>)、《云南省外来入侵植物图鉴》^[18]等相关志书及在线数字标本平台,完成植物标本以及照片的分类鉴定,并收集整理近年来在西畴县发现并发表的植物新分类群的有关文献^[19-21],最终编目西畴县维管植物名录。采用 Excel 2021 进行科、属、种的数量统计分析,参照吴征镒等^[22-23]、陆树刚^[24]对种子植物以及蕨类植物属分布区类型的划分,分析西畴县维管植物区系基本特征。

3 结果与分析

3.1 种类组成多样性

经实地调查与相关资料收集与整理,西畴县共记录有维管植物 230 科 937 属 2515 种(包含种下变种以及亚种),其中石松类和蕨类植物 42 科 105 属 289 种;种子植物 188 科 832 属 2 226 种,其中裸子植物 9 科 16 属 26 种,被子植物 179 科 816 属 2 200 种(表 1)。

表 1 西畴县维管植物多样性组成

Tab. 1 Composition of vascular plant diversity in Xichou County

| 维管植物 | 科数/科 | 属数/属 | 种数/种 |
|----------|------|------|------|
| 石松类和蕨类植物 | 42 | 105 | 289 |
| 种子植物 | | | |
| 裸子植物 | 9 | 16 | 26 |
| 被子植物 | 179 | 816 | 2200 |
| 合计 | 230 | 937 | 2515 |

注:科属界定:蕨类植物按秦仁昌系统,裸子植物按郑万钧系统,被子植物按哈钦松系统。

3.2 蕨类植物区系分析

3.2.1 数量结构统计分析

1) 科的数量结构

西畴县记录有石松类和蕨类植物 42 科,以科内所含种的数量为依据,将这些科的数量等级划分为 4 类(表 2)。

由表 2 可见,石松类和蕨类植物含 20 种以上的科共 4 科,占石松类和蕨类植物科总数的 16.67%,按种数从大至小依次为:水龙骨科(Polypodiaceae)(15 属/47 种)、鳞毛蕨科(Dryopteridaceae)(7 属/39 种)、蹄盖蕨科(Athyriaceae)(10 属/28 种)、金星蕨科(Thelypteridaceae)(10 属/24 种);含 6~20 种的科共 7 科,分别为铁角蕨科(Aspleniaceae)(2 属/19

表 2 西畴县石松类和蕨类植物科内种的数量结构

Tab. 2 Species quantity structure within families of Lycophytes and Ferns in Xichou County

| 数量等级 | 科数 /科 | 占比 /% | 属数 /属 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 仅含 1 种的科 | 12 | 28.57 | 12 | 11.43 | 12 | 4.15 |
| 含 2~5 种的科 | 19 | 45.24 | 35 | 33.33 | 61 | 21.11 |
| 含 6~20 种的科 | 7 | 16.67 | 16 | 15.24 | 78 | 26.99 |
| 含 20 种以上的科 | 4 | 9.52 | 42 | 40.00 | 138 | 47.75 |
| 合计 | 42 | 100.00 | 105 | 100.00 | 289 | 100.00 |

种)、凤尾蕨科(Pteridaceae)(1 属/15 种)、卷柏科(Selaginellaceae)(1 属/14 种)、碗蕨科(Dennstaedtiaceae)(2 属/8 种)、中国蕨科(Sinopteridaceae)(2 属/8 种)、叉蕨科(Aspidiaceae)(4 属/8 种)、骨碎补科(Davalliaceae)(4 属/6 种)。上述 11 个科占科总数的 26.19%,共计 58 属 216 种,分别占属、种总数的 55.24%、74.74%,这些科是西畴县石松类和蕨类植物区系多样性的主体成分。

2) 属的数量结构

西畴县石松类和蕨类植物共有 105 属,以属内所含种的数量为依据,将这些属的数量等级划分为 4 类(表 3)。

表 3 西畴县石松类和蕨类植物属内种的数量组成

Tab. 3 Species quantity structure within genera of Lycophytes and Ferns in Xichou County

| 数量等级 | 属数 /属 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 仅含 1 种的属 | 48 | 45.71 | 48 | 16.61 |
| 含 2~5 种的属 | 43 | 40.95 | 107 | 37.02 |
| 含 6~10 种的属 | 9 | 8.57 | 67 | 23.18 |
| 含 10 种以上的属 | 5 | 4.76 | 67 | 23.18 |
| 合计 | 105 | 100.00 | 289 | 100.00 |

由表 3 可见,含 10 种以上的属共有 5 属 67 种,占石松类和蕨类植物种总数的 23.18%,按种数从大至小依次为:铁角蕨属(*Asplenium*)(16 种)、凤尾蕨属(*Pteris*)(15 种)、卷柏属(*Selaginella*)(14 种)、短肠蕨属(*Allantodia*)(11 种)、耳蕨属(*Polystichum*)(11 种);含 6~10 种的属共有 9 属 67 种,占石松类和蕨类植物种总数的 23.18%;含 2~5 种的属共有 43 属 107 种,占石松类和蕨类植物种总数的 37.02%;仅含 1 种的属共有 48 属,占石松类和蕨类植物属总

数的 45.71%。说明区系中的石松类和蕨类植物属内种类丰富,区域地理位置和自然条件十分有利于石松类和蕨类植物的生长。

3.2.2 属的地理成分分析

根据陆树刚^[24]对中国蕨类植物区系的划分方法,将西畴县 105 属石松类和蕨类植物划分为 10 个分布区类型(表 4)。

表 4 西畴县石松类和蕨类植物区系组成
Tab. 4 Floristic composition of Lycophytes and Ferns in Xichou County

| 分布区类型 | 属数 /属 | 非世界属占比 /% |
|-------------------|----------|--------------|
| 1. 世界广布 | 20 | — |
| 2. 泛热带 | 33 | 38.82 |
| 3. 热带亚洲及热带美洲间断分布 | 3 | 3.53 |
| 4. 旧世界热带分布 | 10 | 11.76 |
| 5. 热带亚洲至热带大洋洲间断分布 | 2 | 2.35 |
| 6. 热带亚洲至热带非洲 | 8 | 9.41 |
| 7. 热带亚洲分布 | 6 | 7.06 |
| 8. 北温带分布 | 4 | 4.71 |
| 12. 地中海区、西亚至中亚分布 | 18 | 21.18 |
| 13. 中亚分布 | 1 | 1.18 |
| 合计(不含世界广布属) | 85 | 100.00 |

由表 4 可知,西畴县石松类和蕨类植物 105 属共划分为 10 种分布区类型,热带分布属共 62 属,占非世界广布属总数的 72.93%,温带分布属共 23 属,占非世界广布属总数的 27.07%。显然,在属级水平上,西畴县石松类和蕨类植物区系虽然具有一定的温带成分,但仍以热带性质为主导。

3.3 种子植物区系分析

3.3.1 数量结构统计分析

1) 科的数量结构

西畴县记录有种子植物 188 科,以科内所含种的数量为依据,将西畴县种子植物科的数量等级划分为 5 类(表 5)。

由表 5 可知,种子植物含 50 种以上的科共有 9 科,按种数从大到小依次为:兰科(Orchidaceae)(45 属/129 种)、茜草科(Rubiaceae)(38 属/99 种)、菊科(Compositae)(45 属/88 种)、樟科(Lauraceae)(13 属/71 种)、壳斗科(Fagaceae)(5 属/71 种)、蔷薇科(Rosaceae)(25 属/68 种)、蝶形花科(Papilionaceae)(30 属/65 种)、桑科(Moraceae)(5 属/52 种)

表 5 西畴县种子植物科内种的数量组成
Tab. 5 Species quantity structure within families of seed plants in Xichou County

| 数量等级 | 科数 /科 | 占比 /% | 属数 /属 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 仅含 1 种的科 | 38 | 20.21 | 38 | 4.57 | 38 | 1.71 |
| 含 2~5 种的科 | 62 | 32.98 | 100 | 12.02 | 202 | 9.07 |
| 含 6~20 种的科 | 57 | 30.32 | 254 | 30.53 | 610 | 27.40 |
| 含 21~50 种的科 | 22 | 11.70 | 202 | 24.28 | 681 | 30.59 |
| 含 50 种以上的科 | 9 | 4.79 | 238 | 28.61 | 695 | 31.22 |
| 合计 | 188 | 100.00 | 832 | 100.00 | 2226 | 100.00 |

以及禾本科(Poaceae)(32 属/52 种),上述的科均是世界性的大科,这些科下所包含的物种数占西畴县种子植物种总数的 31.22%,是西畴县种子植物资源的重要组成成分;含 21~50 种的科也是种子植物资源的重要组成成分之一,共有 22 科 681 种,占种子植物种总数的 30.59%,如大戟科(Euphorbiaceae)(23 属/50 种)、荨麻科(Urticaceae)(13 属/46 种)、山茶科(Theaceae)(7 属/39 种)、紫金牛科(Myrsinaceae)(5 属/39 种)、苦苣苔科(Gesneriaceae)(18 属/39 种)等;含 6~20 种的科共 57 科 610 属,占种子植物种总数的 27.40%,如伞形科(Umbelliferae)(11 属/20 种)、含羞草科(Mimosaceae)(8 属/19 种)、玄参科(Scrophulariaceae)(14 属/19 种)、夹竹桃科(Apocynaceae)(12 属/18 种)、野茉莉科(Styracaceae)(5 属/17 种)等;上述的 88 个科占种子植物科总数的 46.81%,共 694 属 1 986 种,分别占属、种总数的 83.42%、89.21%。从科下的属级和种级来看,这些科是西畴县种子植物区系的主体。

2) 属的数量结构分析

西畴县记录有种子植物 832 属,以属内种的数量为依据,将这些属的数量等级划分为 4 类(表 6)。

由表 6 可知,属一级的物种组成中,含 20 种以上的属有 4 属,按属下种数大小依次为:榕属(Ficus)(44 种)、冬青属(Ilex)(30 种)、石栎属(Lithocarpus)(28 种)以及蓼属(Polygonum)(21 种),共 123 种,占种子植物种总数的 5.53%;含 6~20 种的属共有 81 属,共 794 种;含 2~5 种的属共有 310 属,共 872 种,是 4 个数量等级中种数量最多的一个类型;仅含 1 种的属共有 437 属,共 437 种。在种子植物属级层面,种数较少的属是西畴县种子植物多样性重要组成部分,反映了区域内丰富的种子植物多样性,这些属中有许多仅含 1 种的属为单种属,如华盖木属

表 6 西畴县种子植物属内种的数量组成
Tab. 6 Species quantity structure within genera of seed plants in Xichou County

| 数量等级 | 属数 /属 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 仅含 1 种的属 | 437 | 52.52 | 437 | 19.63 |
| 含 2~5 种的属 | 310 | 37.26 | 872 | 39.17 |
| 含 6~20 种的属 | 81 | 9.74 | 794 | 35.67 |
| 含 20 种以上的属 | 4 | 0.48 | 123 | 5.53 |
| 合计 | 832 | 100.00 | 2226 | 100.00 |

(*Manglietiastrum*)、观光木属(*Tsoongiodendron*)、狗筋蔓属(*Cucubalus*)、同钟花属(*Homocodon*)、滇兰属(*Hancockia*)等。

3.3.2 属的地理成分分析

根据吴征镒等^[22-23]对种子植物区系的划分标准,将西畴县记录的 832 属种子植物划分为 14 个分布型(表 7)。

表 7 西畴县种子植物属的分布区类型
Tab. 7 Areal-types of the genera of seed plants in Xichou County

| 分布区类型 | 属数 /属 | 非世界属占比 /% |
|------------------|----------|--------------|
| 1. 世界广布 | 42 | — |
| 2. 泛热带分布 | 147 | 18.61 |
| 3. 热带亚洲和热带美洲间断分布 | 39 | 4.94 |
| 4. 旧世界热带 | 60 | 7.59 |
| 5. 热带亚洲至热带大洋洲分布 | 74 | 9.37 |
| 6. 热带亚洲至热带非洲分布 | 34 | 4.30 |
| 7. 热带亚洲分布 | 175 | 22.15 |
| 8. 北温带分布 | 83 | 10.51 |
| 9. 东亚及北美间断分布 | 39 | 4.94 |
| 10. 旧世界温带分布 | 31 | 3.92 |
| 11. 温带亚洲分布 | 4 | 0.51 |
| 12. 地中海区、西亚至中亚分布 | 4 | 0.51 |
| 14. 东亚分布 | 77 | 9.75 |
| 15. 中国特有分布 | 23 | 2.91 |
| 合计(不含世界广布属) | 790 | 100.00 |

1) 热带分布属

热带分布属(2~7 项)共有 529 属,占种子植物总属数的 66.96%(不包括世界广布属),其中以热带亚洲分布型最多,也是本区域分布最多的类型,有

175 属,占比 22.15%,反映了区域内种子植物属区系成分与热带亚洲区系成分具有密切联系。泛热带分布类型的属数量与热带分布型接近,有 147 属,占比 18.61%;热带亚洲至热带大洋洲分布类型的属共 74 属,占比 9.37%;旧世界热带分布属共 60 属,占比 7.59%;热带分布属中,占比较低的两种类型分别为热带东亚和热带南美洲间断分布和热带亚洲至热带非洲分布类型,分别为 39 属和 34 属,占比分别为 4.94%和 4.30%。

2) 温带分布属

温带分布属(8~15 项)共有 261 属,占种子植物总属数的 30.04%(不包括世界广布属),温带分布属中主要以北温带分布型的属和东亚分布型的属为主体,其中以北温带分布型的属最多,有 83 属,占比 10.51%;其次是东亚分布型的属,有 77 属,占比 9.75%。

西畴县种子植物区系起源古老,区域内分布的华盖木属、伯乐树属(*Bretschneidera*)、梭子果属(*Eberhardia*)等均是较为古老的属^[25-26]。另外,该区域被认为是木兰科植物多样性分化中心^[27],仅在该区域内分布的木兰科植物就有 29 种,其种数分别占世界、中国以及云南木兰科植物物种总数的 8.96%、18.18%以及 46.15%,充分反映了区域植物区系的古老性。

综上所述,西畴县种子植物属的区系成分地理来源复杂,从属的区系成分来看,该区域种子植物区系以热带性质为主,与东亚植物区系联系紧密,同时兼具温带成分。另外,区域内许多古老的属和植物种类充分反映了该地区植物区系的古老性。

3.4 珍稀濒危植物多样性

3.4.1 国家重点保护野生植物

根据《国家重点保护野生植物名录(2021 年)》^[28],西畴县共有国家重点保护野生植物 99 种,占西畴县维管植物总数的 3.94%,其中国家一级重点保护野生植物 6 种,国家二级重点保护野生植物 93 种(表 8)。

3.4.2 云南省重点保护野生植物

根据《云南省重点保护野生植物名录(2023 年)》^[29],西畴县共有云南省重点保护野生植物 3 种(表 8)。

3.4.3 受威胁植物

受威胁植物通常指极危(CR)、濒危(EN)和易危(VU)3 个等级的物种^[30]。根据《中国生物多样性红色名录—高等植物卷(2020 年)》^[31],西畴县共

有受威胁植物 192 种,占西畴县维管植物总数的 7.63%,其中极危(CR)植物 19 种,濒危(EN)植物 56 种,易危(VU)植物 117 种。受威胁物种根据物种种类分,蕨类植物 8 种,裸子植物 11 种,被子植物 173 种(表 8)。

3.4.4 极小种群植物

根据《云南省极小种群野生植物保护名录(2022 年版)》^[32],西畴县共记录有云南省极小种群野生植物 6 种,均为受威胁植物,其中 3 种为国家重点保护野生植物,1 种为云南省重点保护野生植物(表 8)。

表 8 西畴县珍稀濒危植物名录

Tab.8 List of rare and endangered plants in Xichou County

| 序号 | 种名 | 保护等级 | 极小种群(是/否) | 受威胁等级 | CITES 附录等级 |
|----|---|------|-----------|-------|------------|
| 1 | 毛枝五针松 | 国家一级 | 是 | EN | |
| 2 | 红豆杉 <i>Taxus chinensis</i> | 国家一级 | | VU | II |
| 3 | 南方红豆杉 <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i> | 国家一级 | | | II |
| 4 | 华盖木 | 国家一级 | | CR | |
| 5 | 紫纹兜兰 <i>Paphiopedilum purpuratum</i> | 国家一级 | | EN | I |
| 6 | 紫毛兜兰 <i>Paphiopedilum villosum</i> | 国家一级 | | VU | I |
| 7 | 椭圆马尾杉 <i>Phlegmariurus henryi</i> | 国家二级 | | VU | |
| 8 | 金丝条马尾杉 <i>Phlegmariurus fargesii</i> | 国家二级 | | | |
| 9 | 福建莲座蕨 <i>Angiopteris fokiensis</i> | 国家二级 | | | |
| 10 | 河口莲座蕨 <i>Angiopteris hokouensis</i> | 国家二级 | | | |
| 11 | 法斗莲座蕨 | 国家二级 | | | |
| 12 | 原始莲座蕨 <i>Archangiopteris henryi</i> | 国家二级 | | | |
| 13 | 圆基原始莲座蕨 <i>Archangiopteris subrotundata</i> | 国家二级 | | | |
| 14 | 金毛狗 <i>Cibotium barometz</i> | 国家二级 | | | II |
| 15 | 中华桫欏 <i>Alsophila costularis</i> | 国家二级 | | | II |
| 16 | 大叶黑桫欏 <i>Gymnosphaera gigantea</i> | 国家二级 | | | II |
| 17 | 苏铁蕨 <i>Brainea insignis</i> | 国家二级 | | VU | |
| 18 | 黄杉 <i>Pseudotsuga sinensis</i> | 国家二级 | | | |
| 19 | 金钱松 <i>Pseudolarix amabilis</i> | 国家二级 | | VU | |
| 20 | 福建柏 <i>Fokienia hodginsii</i> | 国家二级 | | VU | |
| 21 | 小叶罗汉松 <i>Podocarpus brevifolius</i> | 国家二级 | | VU | |
| 22 | 百日青 <i>Podocarpus neriifolius</i> | 国家二级 | | VU | III |
| 23 | 鸡毛松 <i>Podocarpus imbricatus</i> | 国家二级 | | VU | |
| 24 | 篦子三尖杉 <i>Cephalotaxus oliveri</i> | 国家二级 | | VU | |

续表 8

| 序号 | 种名 | 保护等级 | 极小种群(是/否) | 受威胁等级 | CITES 附录等级 |
|----|--|------|-----------|-------|------------|
| 25 | 云南穗花杉 <i>Amentotaxus yunnanensis</i> | 国家二级 | 是 | VU | |
| 26 | 长蕊木兰 <i>Alcimandra cathcartii</i> | 国家二级 | | VU | |
| 27 | 香木莲 <i>Manglietia aromatica</i> | 国家二级 | | CR | |
| 28 | 大果木莲 <i>Manglietia grandis</i> | 国家二级 | | EN | |
| 29 | 大叶木莲 <i>Manglietia megaphylla</i> | 国家二级 | | EN | |
| 30 | 云南拟单性木兰 <i>Parakmeria yunnanensis</i> | 国家二级 | | VU | |
| 31 | 地枫皮 <i>Illicium difengpi</i> | 国家二级 | | EN | |
| 32 | 润楠 <i>Machilus pingii</i> | 国家二级 | | EN | |
| 33 | 八角莲 <i>Dysosma versipellis</i> | 国家二级 | | VU | |
| 34 | 石生黄堇 <i>Corydalis saxicola</i> | 国家二级 | | VU | |
| 35 | 金荞麦 <i>Fagopyrum dibotrys</i> | 国家二级 | | | |
| 36 | 厚轴茶 <i>Camellia crassicolumna</i> | 国家二级 | | VU | |
| 37 | 秃房茶 <i>Camellia gymnogyna</i> | 国家二级 | | | |
| 38 | 广西茶 <i>Camellia kwangsiensis</i> var. <i>kwangsiensis</i> | 国家二级 | | VU | |
| 39 | 毛萼广西茶 <i>Camellia kwangsiensis</i> var. <i>kwangnanica</i> | 国家二级 | | VU | |
| 40 | 白毛茶 <i>Camellia sinensis</i> var. <i>pubilimba</i> | 国家二级 | | | |
| 41 | 大理茶 <i>Camellia taliensis</i> | 国家二级 | | | |
| 42 | 蚬木 <i>Burretiodendron hsienmu</i> | 国家二级 | | VU | |
| 43 | 滇桐 <i>Craigia yunnanensis</i> | 国家二级 | | EN | |
| 44 | 大花香水月季 <i>Rosa odorata</i> var. <i>gigantea</i> | 国家二级 | | | |
| 45 | 肥荚红豆 <i>Ormosia fordiana</i> | 国家二级 | | | |
| 46 | 花榈木 <i>Ormosia henryi</i> | 国家二级 | | VU | |
| 47 | 越南槐 <i>Sophora tonkinensis</i> | 国家二级 | | VU | |
| 48 | 西畴青冈 | 国家二级 | | CR | |
| 49 | 大叶榉树 <i>Zelkova schneideriana</i> | 国家二级 | | | |
| 50 | 望谟崖摩 <i>Amoora ouangliensis</i> | 国家二级 | | VU | |
| 51 | 红椿 <i>Toona ciliata</i> | 国家二级 | | | |
| 52 | 喙核桃 <i>Annamocarya sinensis</i> | 国家二级 | 是 | EN | |
| 53 | 富宁藤 <i>Parepigynum funingense</i> | 国家二级 | | EN | |
| 54 | 云南枸杞 <i>Lycium yunnanense</i> | 国家二级 | | VU | |
| 55 | 长果姜 <i>Siliqueamomum tonkinense</i> | 国家二级 | 是 | CR | |
| 56 | 凌云重楼 <i>Paris cronquistii</i> | 国家二级 | | VU | |
| 57 | 西畴重楼 <i>Paris cronquistii</i> var. <i>xichouensis</i> | 国家二级 | | CR | |
| 58 | 七叶一枝花 <i>Paris polyphylla</i> var. <i>chinensis</i> | 国家二级 | | VU | |
| 59 | 滇重楼 <i>Paris polyphylla</i> var. <i>yunnanensis</i> | 国家二级 | | VU | |
| 60 | 南重楼 <i>Paris vietnamensis</i> | 国家二级 | | VU | |
| 61 | 董棕 <i>Caryota urens</i> | 国家二级 | | VU | |

续表 8

| 序号 | 种名 | 保护等级 | 极小种群 (是/否) | 受威胁等级 | CITES 附录等级 |
|----|--|------|---------------|-------|---------------|
| 62 | 金线兰 <i>Anoetochilus roxburghii</i> | 国家二级 | | EN | II |
| 63 | 杜鹃兰 <i>Cremastra appendiculata</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 64 | 莎叶兰 <i>Cymbidium cyperifolium</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 65 | 长叶兰 <i>Cymbidium erythraeum</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 66 | 蕙兰 <i>Cymbidium faberi</i> | 国家二级 | | | II |
| 67 | 多花兰 <i>Cymbidium floribundum</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 68 | 春兰 <i>Cymbidium goeringii</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 69 | 寒兰 <i>Cymbidium kanran</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 70 | 丘北冬蕙兰 <i>Cymbidium qiubeiense</i> | 国家二级 | | EN | II |
| 71 | 墨兰 <i>Cymbidium sinense</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 72 | 碧玉兰 <i>Cymbidium lowianum</i> | 国家二级 | | EN | II |
| 73 | 钩状石斛 <i>Dendrobium aduncum</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 74 | 叠鞘石斛 <i>Dendrobium aurantiacum</i> var. <i>denneanum</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 75 | 长苏石斛 <i>Dendrobium brymerianum</i> | 国家二级 | | EN | II |
| 76 | 束花石斛 <i>Dendrobium chrysanthum</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 77 | 流苏石斛 <i>Dendrobium fimbriatum</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 78 | 滇桂石斛 <i>Dendrobium guangxiense</i> | 国家二级 | | CR | II |
| 79 | 细叶石斛 <i>Dendrobium hancockii</i> | 国家二级 | | EN | II |
| 80 | 疏花石斛 <i>Dendrobium henryi</i> | 国家二级 | | | II |
| 81 | 聚石斛 <i>Dendrobium lindleyi</i> | 国家二级 | | | II |
| 82 | 美花石斛 <i>Dendrobium loddigesii</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 83 | 罗河石斛 <i>Dendrobium lohohense</i> | 国家二级 | | EN | II |
| 84 | 长距石斛 <i>Dendrobium longicornu</i> | 国家二级 | | EN | II |
| 85 | 细茎石斛 <i>Dendrobium moniliforme</i> | 国家二级 | | | II |
| 86 | 石斛 <i>Dendrobium nobile</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 87 | 铁皮石斛 <i>Dendrobium officinale</i> | 国家二级 | | EN | II |
| 88 | 球花石斛 <i>Dendrobium thyrsiflorum</i> | 国家二级 | | | II |
| 89 | 广东石斛 <i>Dendrobium wilsonii</i> | 国家二级 | | CR | II |
| 90 | 西畴石斛 <i>Dendrobium xichouense</i> | 国家二级 | | CR | II |
| 91 | 宽叶厚唇兰 <i>Epigeneium amplum</i> | 国家二级 | | | II |
| 92 | 流苏金石斛 <i>Flickingeria fimbriata</i> | 国家二级 | | | II |
| 93 | 带叶兜兰 <i>Paphiopedilum hirsutissimum</i> | 国家二级 | | VU | I |
| 94 | 硬叶兜兰 <i>Paphiopedilum micranthum</i> | 国家二级 | | VU | I |
| 95 | 华西蝴蝶兰 <i>Phalaenopsis wilsonii</i> | 国家二级 | | VU | II |
| 96 | 独蒜兰 <i>Pleione bulbocodoides</i> | 国家二级 | | | II |
| 97 | 火焰兰 <i>Renanthera coccinea</i> | 国家二级 | | EN | II |
| 98 | 白及 <i>Bletilla striata</i> | 国家二级 | | EN | II |

续表 8

| 序号 | 种名 | 保护等级 | 极小种群 (是/否) | 受威胁等级 | CITES 附录等级 |
|-----|--|------|---------------|-------|---------------|
| 99 | 伯乐树 <i>Bretschneidera sinensis</i> | 国家二级 | | | |
| 100 | 壮丽含笑 <i>Michelia lacei</i> | 省级保护 | 是 | EN | |
| 101 | 长果核果茶 <i>Pyrenaria oblongicarpa</i> | 省级保护 | 是 | CR | |
| 102 | 西藏山茉莉 <i>Huodendron tibeticum</i> | 省级保护 | | | |
| 103 | 苏铁 * <i>Cycas revoluta</i> | | | CR | II |
| 104 | 柱果琼楠 <i>Beilschmiedia cylindrica</i> | | | CR | |
| 105 | 麻栗坡油果樟 <i>Syndiclis maripoensis</i> | | | CR | |
| 106 | 西畴油果樟 <i>Syndiclis sichouensis</i> | | | CR | |
| 107 | 巨腺棋子豆 <i>Cylindrokelupha xichouensis</i> | | | CR | |
| 108 | 红毛栲 <i>Castanopsis rufotomentosa</i> | | | CR | |
| 109 | 金平青冈 <i>Cyclobalanopsis jinpinensis</i> | | | CR | |
| 110 | 西畴卫矛 <i>Euonymus percoriaceus</i> | | | CR | |
| 111 | 滇龙眼 <i>Dimocarpus yunnanensis</i> | | | CR | |
| 112 | 显脉紫金牛 <i>Ardisia alutacea</i> | | | CR | |
| 113 | 蛇足石杉 <i>Huperzia serrata</i> | | | EN | |
| 114 | 单叶贯众 <i>Cyrtomium hemionitis</i> | | | EN | |
| 115 | 厚叶贯众 <i>Cyrtomium grossum</i> | | | EN | |
| 116 | 波边条蕨 <i>Oleandra undulata</i> | | | EN | |
| 117 | 银杏 * <i>Ginkgo biloba</i> | | | EN | |
| 118 | 棕毛含笑 <i>Michelia fulva</i> | | | EN | |
| 119 | 细梗油丹 <i>Alseodaphne gracilis</i> | | | EN | |
| 120 | 西畴油丹 <i>Alseodaphne sichouensis</i> | | | EN | |
| 121 | 塔序润楠 <i>Machilus pyramidalis</i> | | | EN | |
| 122 | 粉背叶人字果 <i>Dichocarpum hypoglaucum</i> | | | EN | |
| 123 | 黄杨叶海桐 <i>Pittosporum buxifolium</i> | | | EN | |
| 124 | 红毛猕猴桃 <i>Actinidia rufotricha</i> | | | EN | |
| 125 | 短序蒲桃 <i>Syzygium brachythyrsum</i> | | | EN | |
| 126 | 凹脉苹婆 <i>Sterculia impressinervis</i> | | | EN | |
| 127 | 麻栗坡枇杷 <i>Eriobotrya malipoensis</i> | | | EN | |
| 128 | 椭圆叶石楠 <i>Photinia beckii</i> | | | EN | |
| 129 | 长圆臀果木 <i>Pygeum oblongum</i> | | | EN | |
| 130 | 槁藤子 <i>Entada phaseoloides</i> | | | EN | |
| 131 | 秧青 <i>Dalbergia assamica</i> | | | EN | II |
| 132 | 榕叶卫矛 <i>Euonymus ficoides</i> | | | EN | |
| 133 | 荔枝 * <i>Litchi chinensis</i> | | | EN | |
| 134 | 心叶山香圆 <i>Turpinia subsessilifolia</i> | | | EN | |

续表 8

| 序号 | 种名 | 保护等级 | 极小种群(是/否) | 受威胁等级 | CITES附录等级 |
|-----|---|------|-----------|-------|-----------|
| 135 | 线萼杜鹃 <i>Rhododendron linearilobum</i> | | | EN | |
| 136 | 牛角树 <i>Alniphyllum eberhardtii</i> | | | EN | |
| 137 | 柔毛山矾 <i>Symplocos pilosa</i> | | | EN | |
| 138 | 珍珠荚蒾 <i>Viburnum foetidum</i> var. <i>ceanothoides</i> | | | EN | |
| 139 | 腾冲过路黄 <i>Lysimachia tenyuehensis</i> | | | EN | |
| 140 | 薄叶唇柱苣苔 <i>Chirita anachoreta</i> | | | EN | |
| 141 | 红根南星 <i>Arisaema calcareum</i> | | | EN | |
| 142 | 褐苞薯蓣 <i>Dioscorea persimilis</i> | | | EN | |
| 143 | 狭叶省藤 <i>Calamus oxycarpus</i> var. <i>angustifolius</i> | | | EN | |
| 144 | 小白及 <i>Bletilla formosana</i> | | | EN | II |
| 145 | 黄花白及 <i>Bletilla ochracea</i> | | | EN | II |
| 146 | 滇兰 <i>Hancockia uniflora</i> | | | EN | II |
| 147 | 云南曲唇兰 <i>Panisea yunnanensis</i> | | | EN | II |
| 148 | 文山石仙桃 <i>Pholidota wenshanica</i> | | | EN | II |
| 149 | 松叶蕨 <i>Psilotum nudum</i> | | | VU | |
| 150 | 车前蕨 <i>Antrophyum henryi</i> | | | VU | |
| 151 | 滇桂木莲 <i>Manglietia forrestii</i> | | | VU | |
| 152 | 西畴含笑 | | | VU | |
| 153 | 黄花含笑 <i>Michelia xanthantha</i> | | | VU | |
| 154 | 观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i> | | | VU | |
| 155 | 黑老虎 <i>Kadsura coccinea</i> | | | VU | |
| 156 | 白柴果 <i>Beilschmiedia fasciata</i> | | | VU | |
| 157 | 西畴琼楠 <i>Beilschmiedia sichouensis</i> | | | VU | |
| 158 | 短蕊八月瓜 <i>Holboellia brachyandra</i> | | | VU | |
| 159 | 野木瓜 <i>Stauntonia chinensis</i> | | | VU | |
| 160 | 马槟榔 <i>Capparis masakai</i> | | | VU | |
| 161 | 小尖堇菜 <i>Viola mucronulifera</i> | | | VU | |
| 162 | 林地山龙眼 <i>Helicia silvicola</i> | | | VU | |
| 163 | 石生脚骨脆 <i>Casearia tardieuae</i> | | | VU | |
| 164 | 长果栝楼 <i>Trichosanthes kerrii</i> | | | VU | |
| 165 | 普洱茶 * <i>Camellia sinensis</i> var. <i>assamica</i> | | | VU | |
| 166 | 茶 * <i>Camellia sinensis</i> | | | VU | |
| 167 | 蒙自猕猴桃 <i>Actinidia henryi</i> | | | VU | |
| 168 | 糙叶猕猴桃 <i>Actinidia rudis</i> var. <i>rudis</i> | | | VU | |
| 169 | 光茎猕猴桃 <i>Actinidia rudis</i> var. <i>glabricaulis</i> | | | VU | |
| 170 | 硃毛水东哥 <i>Saurauia miniata</i> | | | VU | |
| 171 | 老挝杜英 <i>Elaeocarpus laoticus</i> | | | VU | |
| 172 | 小叶枇杷 <i>Eriobotrya seguinii</i> | | | VU | |

续表 8

| 序号 | 种名 | 保护等级 | 极小种群(是/否) | 受威胁等级 | CITES附录等级 |
|-----|---|------|-----------|-------|-----------|
| 173 | 蒙自黄檀 <i>Dalbergia henryana</i> | | | VU | II |
| 174 | 密花豆 <i>Spatholobus suberectus</i> | | | VU | |
| 175 | 云南旌节花 <i>Stachyurus yunnanensis</i> | | | VU | |
| 176 | 樟叶假蚊母 <i>Distyliopsis laurifolia</i> | | | VU | |
| 177 | 壳菜果 <i>Mytillaria laosensis</i> | | | VU | |
| 178 | 勐海石栎 <i>Lithocarpus fohaiensis</i> | | | VU | |
| 179 | 纸叶榕 <i>Ficus chartacea</i> | | | VU | |
| 180 | 无柄纸叶榕 <i>Ficus chartacea</i> var. <i>torulosa</i> | | | VU | |
| 181 | 贵州榕 <i>Ficus guizhouensis</i> | | | VU | |
| 182 | 平滑榕 <i>Ficus laevis</i> | | | VU | |
| 183 | 柳叶卫矛 <i>Euonymus salicifolius</i> | | | VU | |
| 184 | 毛粗丝木 <i>Gomphandra mollis</i> | | | VU | |
| 185 | 薄叶假柴龙树 <i>Nothapodytes obscura</i> | | | VU | |
| 186 | 印度蛇菰 <i>Balanophora fungosa</i> | | | VU | |
| 187 | 长梗勾儿茶 <i>Berchemia longipes</i> | | | VU | |
| 188 | 胡桃 * <i>Juglans regia</i> | | | VU | |
| 189 | 泡核桃 * <i>Juglans sigillata</i> | | | VU | |
| 190 | 越南枫杨 <i>Pterocarya tonkinensis</i> | | | VU | |
| 191 | 大果树参 <i>Dendropanax macrocarpus</i> | | | VU | |
| 192 | 短梗乌饭 <i>Vaccinium brevipedicellatum</i> | | | VU | |
| 193 | 双齿山茉莉 <i>Huodendron biaristatum</i> | | | VU | |
| 194 | 木瓜红 <i>Rehderodendron macrocarpum</i> | | | VU | |
| 195 | 马金长子 <i>Strychnos ignatii</i> | | | VU | |
| 196 | 红大戟 <i>Knoxia valerianoides</i> | | | VU | |
| 197 | 倒挂金钩 <i>Uncaria lancifolia</i> | | | VU | |
| 198 | 屏边水锦树 <i>Wendlandia pingpiensis</i> | | | VU | |
| 199 | 云南双盾木 <i>Dipelta yunnanensis</i> | | | VU | |
| 200 | 红花丹 <i>Plumbago indica</i> | | | VU | |
| 201 | 苦刺 <i>Solanum deflexicarpum</i> | | | VU | |
| 202 | 细筒苣苔 <i>Lagarosolen hispidus</i> | | | VU | |
| 203 | 卵心叶马铃苣苔 <i>Oreocharis cordato-ovata</i> | | | VU | |
| 204 | 草果 <i>Amomum tsao-ko</i> | | | VU | |
| 205 | 毛姜花 <i>Hedychium villosum</i> | | | VU | |
| 206 | 滇黄精 <i>Polygonatum kingianum</i> | | | VU | |
| 207 | 高山薯蓣 <i>Dioscorea delavayi</i> | | | VU | |
| 208 | 滇南石豆兰 <i>Bulbophyllum psittacoglossum</i> | | | VU | II |
| 209 | 短足石豆兰 <i>Bulbophyllum stenobulbon</i> | | | VU | II |

续表 8

| 序号 | 种名 | 保护等级 | 极小种群(是/否) | 受威胁等级 | CITES附录等级 |
|-----|---|------|-----------|-------|-----------|
| 210 | 西南虾脊兰 <i>Calanthe herbacea</i> | | | VU | II |
| 211 | 短序隔距兰 <i>Cleisostoma striatum</i> | | | VU | II |
| 212 | 白花贝母兰 <i>Coelogyne leucantha</i> | | | VU | II |
| 213 | 狭瓣贝母兰 <i>Coelogyne punctulata</i> | | | VU | II |
| 214 | 光萼斑叶兰 <i>Goodyera henryi</i> | | | VU | II |
| 215 | 圆唇羊耳蒜 <i>Liparis balansae</i> | | | VU | II |
| 216 | 紫花鹤顶兰 <i>Phaius mishmensis</i> | | | VU | II |
| 217 | 长足石仙桃 <i>Pholidota longipes</i> | | | VU | II |
| 218 | 琴唇万代兰 <i>Vanda concolor</i> | | | VU | II |
| 219 | 小香竹 <i>Chimonocalamus dumosus</i> | | | VU | |
| 220 | 长节香竹 <i>Chimonocalamus longiusculus</i> | | | VU | |
| 221 | 马关香竹 <i>Chimonocalamus makuanensis</i> | | | VU | |
| 222 | 单刺仙人掌 <i>Opuntia monacantha</i> | | | | II |
| 223 | 匍匐大戟 <i>Euphorbia prostrata</i> | | | | II |
| 224 | 多裂黄檀 <i>Dalbergia rimosa</i> | | | | II |
| 225 | 托叶黄檀 <i>Dalbergia stipulacea</i> | | | | II |
| 226 | 滇黔黄檀 <i>Dalbergia yunnanensis</i> | | | | II |
| 227 | 兰科其他种 <i>Orchidaceae spp.</i> | | | | II |
| 228 | 买麻藤 <i>Gnetum montanum</i> | | | | III |

注:CR 为极危物种;EN 为濒危物种;VU 为易危物种; * 为栽培植物。

3.4.5 列入国际贸易公约附录植物

根据《濒危野生动植物种国际贸易公约(2023年)》^[33],西畴县共记录有收录于 CITES 附录的植物 142 种,占西畴县维管植物总数的 5.65%,其中蕨类植物 3 种,裸子植物 5 种,被子植物 134 种,兰科植物最多,有 124 种,除带叶兜兰、硬叶兜兰、紫纹兜兰和紫毛兜兰为 I 级外,其他兰科植物均为 II 级。

3.5 新纪录植物物种

在本次野外调查过程中,发现西畴县新纪录维管植物 5 种,分别为:万荣球兰(*Hoya vanguiengiensis*)、美冠水晶兰(*Monotropa callistoma*)、尖山橙(*Melodinus fusiformis*)、细萼吊石苣苔(*Lysionotus petelotii*)、硬毛虫豆(*Cajanus goensis*)(表 9,图 1)。

3.6 外来入侵植物物种

根据《中国外来入侵物种名单(第一批~第四批)》^[34-37]以及《重点管理外来入侵物种名录(2023年)》^[38],西畴县共记录有外来入侵植物物种 16 种(表 10)。

表 9 西畴县新纪录植物物种

Tab. 9 Newly recorded plant species in Xichou County

| 新纪录物种 | 原分布记录 |
|--------|-----------------------------|
| 万荣球兰 | 麻栗坡县 |
| 美冠水晶兰 | 保山市、屏边县、怒江州;四川、湖南、广西等省(区) |
| 尖山橙 | 麻栗坡县;广东、广西、贵州、江西、湖南、四川等省(区) |
| 细萼吊石苣苔 | 金平、屏边县 |
| 硬毛虫豆 | 金平、景谷、景洪等县(市)、西双版纳州 |

注:原分布记录主要参考《中国植物志》^[15]和《云南植物志》^[17]。

表 10 西畴县分布的外来入侵植物

Tab. 10 Invasive alien plants distributed in Xichou County

| 序号 | 种名 | 原产地 |
|----|---|-----------|
| 1 | 土荆芥 <i>Chenopodium ambrosioides</i> | 热带美洲 |
| 2 | 喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> | 巴西 |
| 3 | 刺苋 <i>Amaranthus spinosus</i> | 热带美洲 |
| 4 | 落葵薯 <i>Anredera cordifolia</i> | 热带美洲 |
| 5 | 紫茎泽兰 <i>Ageratina adenophora</i> | 墨西哥 |
| 6 | 藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i> | 热带美洲 |
| 7 | 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> | 美洲 |
| 8 | 飞机草 <i>Chromolaena odorata</i> | 中美洲 |
| 9 | 小蓬草 <i>Conyza canadensis</i> | 北美洲 |
| 10 | 苏门白酒草 <i>Conyza sumatrensis</i> | 南美洲 |
| 11 | 喀西茄 <i>Solanum khasianum</i> | 巴西 |
| 12 | 五爪金龙 <i>Ipomoea cairica</i> | 热带非洲、热带亚洲 |
| 13 | 圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i> | 美洲 |
| 14 | 马缨丹 <i>Lantana camara</i> | 热带美洲 |
| 15 | 野燕麦 <i>Avena fatua</i> | 南欧地中海地区 |
| 16 | 凤眼莲 <i>Eichhornia crassipes</i> | 巴西 |

4 结 论

调查结果表明,西畴县维管植物种类丰富,记录有维管植物 2 515 种,隶属于 230 科 937 属。其中,石松类和蕨类植物 42 科 105 属 289 种,裸子植物 9 科 16 属 26 种,被子植物 179 科 816 属 2 200 种。石松类和蕨类植物中优势科有水龙骨科、鳞毛蕨科、蹄盖蕨科和金星蕨科,这些科内物种数均在 20 种以上;种子植物中优势科有兰科、茜草科、菊科、樟科、壳斗科、蔷薇科、蝶形花科、桑科和禾本科,这些科内物种数均在 50 种以上,属于该地区的优势科。属的组成中,以含 2~5 种的属和含 6~20 种的属为主,这两种类型的属内物种数占维管植物总数的 73.16%。



注:A. 万荣球兰; B. 美冠水晶兰; C. 尖山橙; D. 细萼吊石苣苔; E. 硬毛虫豆。

图 1 西畴县新纪录植物
Fig. 1 Newly recorded plant species in Xichou County

西畴县位于东亚植物区—滇、黔、桂地区—滇东南石灰岩亚地区,该亚区以热带和亚热带成分为主体,被称为植物特有现象中心之一和物种多样化中心之一^[5,22]。植物区系分析结果显示,西畴县维管植物区系以热带成分为主,体现了与东亚植物区系的历史渊缘^[39]。同时兼具温带成分,与温带成分具有紧密联系,另外,区域内众多古老的植物属和植物种类充分反映了该地区植物区系的古老性。

西畴县珍稀濒危植物种类较多,具有较高的保护价值,区域内分布有国家一级重点保护野生植物 6 种,国家二级重点保护野生植物 93 种,云南省重点保护野生植物 3 种,受威胁植物 192 种,云南省极小种群野生植物 6 种,收录于 CITES 附录的植物

142 种。本次调查发现西畴县新纪录维管植物物种 5 种,外来入侵植物 16 种。

5 保护建议

5.1 加强保护地外的生物多样性保护

西畴县拥有较为丰富的植物多样性,针对物种的保护,建有文山国家级自然保护区小桥沟片区、华盖木回归试验区、香坪山珍稀木兰园等,除此之外的其他区域的一些重要保护植物还未得到有效保护,例如在保护区外的董马、莲花塘乡均调查到有国家二级重点保护野生植物董棕群落。在《中国生物多样性保护战略与行动计划(2023—2030 年)》与《云南省生物多样性保护战略与行动计划(2024—2030

年)》中,针对保护地外的生物多样性保护,均提出开展其他基于区域的有效保护措施试点,加强对自然保护地外的野生动物重要栖息地和野生植物原生境保护点(小区)的保护。这为保护地以外的物种保护提供了方向。因此,可探索建立保护点(小区)对西畴县保护地以外分布的重要保护植物进行有效保护。

5.2 加强木兰科植物资源的人工繁育与可持续利用

云南省是木兰科植物的现代分布中心和起源中心,西畴县位于木兰科植物分布较为集中的滇东南分布区^[40-42]。西畴县独特的地理位置和气候条件为木兰科植物的生长、繁育提供了得天独厚的自然条件,县域内分布的木兰科野生植物多达 29 种。针对木兰科植物的保护,在西畴县境内建立有香坪山珍稀木兰园和小桥沟华盖木试验回归区,但在木兰科植物资源的开发与利用方面尚存在空缺。

木兰科植物极具生物资源优势,不仅是我国极具观赏价值的园林树种,还是我国优势特色的材用、药用、香料树种^[43-44]。另外,木兰科植物有许多种类适生于喀斯特地貌区域,能够适应石漠化地区的高钙、缺水以及多样化的环境异质性,可作为喀斯特区域退化生态系统的修复树种^[45-46]。相关部门可加强与高校或科研单位合作交流,开展木兰科植物在种质资源保藏、引种、驯化、回归、繁育等方面的研究,将木兰科植物作为优良的乡土树种应用到城乡园林绿化与生态修复中^[43,45-47]。这样不仅加强了木兰科植物资源保护,而且推动了其在园林绿化与生态修复方面的持续利用。

5.3 强化外来入侵物种的防控与治理

云南省不仅是我国易受外来生物入侵的脆弱区,还是我国受外来生物入侵最为严重的地区之一^[18]。此次在西畴县共调查到外来入侵植物 16 种,调查发现的外来入侵植物大多分布在人为活动较为明显的街道、道路两侧、河道、池塘等区域,另外,在当地的文山国家级自然保护区小桥沟片区内调查发现外来入侵植物分布。因此,建议有关部门加强对外来入侵植物的监测、防控与治理,优化绿化树种布置,提高乡土树种在绿化中的应用比例,防范外来物种潜在入侵风险。

5.4 加强自然保护区管理

目前,在西畴县云南文山国家级自然保护区小桥沟片区内设有南昌管护站、上厂管护站、小桥沟管护站及法斗管护站共 4 个管护站点。每个管护站常驻职工 2~3 人,聘请生态护林员 2~3 人,但管护人

员和专业工作人员配备仍不足,且基础监测设备尚缺乏。因此,可邀请相关生物多样性保护、监测等领域的专家开展技术指导,组织文山州内优秀护林人员进行经验分享,逐步为各管护站采购一批专业设备及书籍(如望远镜、植物图鉴等)并进行培训,从人员技能到基础设备等方面共同提高管护能力。

5.5 加强合作与宣传

加强与其他地区单位或科研单位、教育单位的合作,积极建立长期野生动植物、环境监测,积极开展与生物类野外实习基地、研学基地、体验地等的合作,使人们更多地了解西畴县生物多样性,进而使更多的人员参与到西畴县生物多样性保护队伍中来。

参考文献:

- [1] 马克平. 试论生物多样性的概念[J]. 生物多样性, 1993(1): 20-22.
- [2] 韦广绥,刘欣,黄舒琪,等. 广西南宁市维管植物多样性调查与分析[J]. 福建林业科技, 2024, 51(1): 131-136.
- [3] 刘鸿,杨韩. 云南铜壁关自然保护区的植物多样性分析[J]. 林业调查规划, 2022, 47(4): 55-59.
- [4] 邱英雄,鹿启祥,张永华,等. 东亚第三纪孑遗植物的亲缘地理学:现状与趋势[J]. 生物多样性, 2017, 25(2): 136-146.
- [5] 杨聪,石明,高军,等. 老君山国家级自然保护区小桥沟片区森林种子植物区系分析[J]. 西南林业大学学报, 2021, 41(2): 68-75.
- [6] 杨宇明,田昆,和世钧. 中国文山国家级自然保护区综合科学考察研究[M]. 北京:科学出版社, 2008.
- [7] 李娟. 西畴县野生种子植物区系研究[D]. 昆明:西南林业大学, 2019.
- [8] 包士英,毛品一,苑淑秀. 云南植物采集史略[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1995.
- [9] 林中阳,杨晨,朱恩骄,等. 云南省西畴县蝴蝶群落结构与多样性[J]. 四川农业大学学报, 2019, 37(3): 404-410.
- [10] 云南省西畴县志编纂委员会. 西畴县志[M]. 云南:云南人民出版社, 1996.
- [11] 西畴县人民政府. 西畴概况[EB/OL]. [2024-08-13]. <https://www.xczw.gov.cn/mlxc#xcgk>.
- [12] 张正旺,任曦鹏,朱恩骄,等. 云南省西畴县猎蝽科昆虫多样性与区系研究[J]. 西部林业科学, 2019, 48(1): 36-41.
- [13] 朱恩骄,任曦鹏,林中阳,等. 云南省西畴县蝽次目昆虫区系研究[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(16): 71-75.
- [14] 詹卉,李茂彪,朱仕荣. 文山国家级自然保护区小桥沟片区管理现状及发展思考[J]. 林业建设, 2008(5): 11-15.

- [15] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [16] WU Z Y,PERER H. Flora of China[M]. Beijing:Science Press,2010.
- [17] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [18] 王焕冲,马金双. 云南省外来入侵植物图鉴[M]. 上海:上海交通大学出版社,2024.
- [19] CAI L,PAN B O,LIN C,et al. *Aspidistra xichouensis* (Asparagaceae), a new species from the karst region in south-eastern Yunnan, China[J]. Phytotaxa,2020,439:143-149.
- [20] XU X,DING C,HU W,et al. *Cymbidium xichouense* (Orchidaceae;Epidendroideae), a new species from China: Evidence from morphological and molecular data[J]. Phytotaxa,2021,484:291-297.
- [21] QIN S,WANG H,WANG Y,et al. *Phalaenopsis zhanhuoensis* (Orchidaceae, Vandeae), a new species from Yunnan, China[J]. PhytoKeys,2024,237:153-160.
- [22] 吴征镒,孙航,周浙昆. 中国种子植物区系地理[M]. 北京:科学出版社,2011.
- [23] 吴征镒,周浙昆,孙航,等. 种子植物分布区类型及其起源和分化[M]. 昆明:云南科技出版社,2006.
- [24] 陆树刚. 中国蕨类植物区系[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [25] 李捷. 云南樟科植物区系地理[J]. 云南植物研究,1992(4):353-361.
- [26] 税玉民. 中国滇南第一峰西隆山种子植物[M]. 北京:科学出版社,2016:68-95.
- [27] 张宏达. 陈涛. 木兰科植物地理学分析[J]. 武汉植物学研究,1996(2):141-146.
- [28] 国家林业和草原局,农业农村部公告. 国家重点保护野生植物名录[EB/OL]. (2021-09-08)[2024-06-25]. <https://www.forestry.gov.cn/c/www/lczc/10746.jhtml>.
- [29] 云南省林业和草原局,云南省农业农村厅. 云南省重点保护野生植物名录[EB/OL]. (2023-12-15)[2024-06-25]. https://lcj.yn.gov.cn/html/2023/gongshigonggao_1218/70386.html.
- [30] IUCN. Guidelines for application of IUCN red list criteria at regional and national levels; Version 4.0. Gland, Switzerland and Cambridge[M]. UK:IUCN. 2012:41.
- [31] 生态环境部,中国科学院. 中国生物多样性红色名录—高等植物卷(2020)[EB/OL]. (2023-05-18)[2024-08-12]. <https://www.lyg.gov.cn/zglygzfmhwhz/wryjg/content/8117d7b2-8bee-4ed4-88dd-59c0aefd0dbd.html>.
- [32] 云南省林业和草原局. 云南省极小种群野生植物保护名录(2022年版)[EB/OL]. (2023-01-13)[2024-08-12]. https://lcj.yn.gov.cn/html/2023/zdlyxxgkqt_0113/67989.html.
- [33] 中华人民共和国濒危物种科学委员会. 濒危野生动植物种国际贸易公约附录 I、附录 II 和附录 II I[EB/OL]. (2023-02-27)[2024-06-25]. http://www.cites.org.cn/citesgy/fl/202302/t20230227_734178.html.
- [34] 国家环保总局. 中国第一批外来入侵物种名单[EB/OL]. (2003-01-10)[2024-06-26]. https://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172155.htm.
- [35] 中国环境保护部. 中国第二批外来入侵物种名单[EB/OL]. (2010-01-07)[2024-06-26]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201001/t20100126_184831.htm.
- [36] 中国环境保护部,中国科学院. 中国外来入侵物种名单(第三批)[EB/OL]. (2014-08-15)[2024-06-26]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201408/t20140828_288367.htm.
- [37] 中国环境保护部,中国科学研究院. 中国自然生态系统外来入侵物种名单(第四批)[EB/OL]. (2016-12-12)[2024-06-26]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201612/t20161226_373636.htm.
- [38] 农业农村部,自然资源部,生态环境部,等. 重点管理外来入侵物种名录[EB/OL]. (2022-12-20)[2024-06-26]. https://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202211/t20221109_6415160.htm.
- [39] 朱华. 地质事件和季风气候影响了云南植物区系和植被的演化[J]. 生物多样性,2023,31(12):38-56.
- [40] 谭秀梅,刘敏,万珠珠,等. 云南木兰科(Magnoliaceae)乡土植物资源及其园林应用现状[J]. 现代园艺,2018(14):119-120.
- [41] 李达孝,杨绍诚,税希特. 云南木兰科植物物种资源及其种质库的研究[J]. 生物多样性,1995(4):195-200.
- [42] 常虹,李雅丽,路丹桂,等. 中国木兰科植物的空间分布研究[J]. 南方农机,2019,50(4):211-212.
- [43] 赵荣荣,周刚,冯花妮,等. 陕西佛坪国家级自然保护区木兰科植物资源现状调查[J]. 绿色科技,2022,24(16):53-57.
- [44] 方晓晨,王盼,张雪莹,等. 浙江木兰科野生观赏植物资源及评价[J]. 热带作物学报,2018,39(8):1513-1518.
- [45] 袁丛军,杨焱冰,戴晓勇,等. 贵州木兰科植物种类及资源分布格局特征[J]. 西部林业科学,2017,46(3):68-75.
- [46] 杨成华,方小平. 贵州原生木兰科植物资源与园林利用前景[J]. 贵州林业科技,2002(1):20-25.
- [47] 王尤,李乔明. 贵州特有植物道真润楠研究现状与展望[J]. 西部林业科学,2023,52(3):160-164.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.013

湖南澧县两栖爬行动物物种多样性研究

龚凌轩^{1,2}, 邓泽帅¹, 罗尧¹, 黎磊¹, 郑文宝¹, 赵峰³, 田祥华³, 杨道德¹

(1. 中南林业科技大学 野生动植物保护研究所, 湖南 长沙 410004; 2. 湖南省农林工业勘察设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410004; 3. 湖南澧县林业局, 湖南 常德 415000)

摘要:生物多样性资源本底调查是加强生物多样性科学保护和管理的重要基础, 可为制定科学的保护措施和管理策略提供支撑。2022 年 6 月上旬和 8 月中下旬, 采用样线法和走访调查法, 对澧县县域两栖爬行动物资源进行了调查。结果表明, 样线调查共发现两栖动物 2 目 8 科 23 种, 爬行动物 2 目 10 科 26 种; 采用 eDNA 宏条形码技术共检测出两栖动物 16 种、爬行动物 1 种, 其中 5 种为样线法未调查到的物种。动物区系组成以东洋界物种 (26 种) 为主, 其次为广布种 (23 种), 无古北界物种分布, 其中虎纹蛙、乌龟和宽脊疣螈为国家二级重点保护野生动物; 33 种为湖南省地方重点保护野生动物; 29 种为具有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物; 分别有 4 种、10 种、7 种被《中国生物多样性红色名录》列为濒危 (EN)、易危 (VU)、近危 (NT) 等级物种。

关键词:两栖爬行动物; 物种多样性; eDNA 宏条形码检测; 动物区系; 生态类型; 湖南澧县

中图分类号: S718.61; S718.62; Q16 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2026)01-0092-08

引文格式: 龚凌轩, 邓泽帅, 罗尧, 等. 湖南澧县两栖爬行动物物种多样性研究 [J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 92-99. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.013

GONG Lingxuan, DENG Zeshuai, LUO Yao, et al. Species Diversity of Amphibians and Reptiles in Lixian County of Hunan Province [J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 92-99. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.013

Species Diversity of Amphibians and Reptiles in Lixian County of Hunan Province

GONG Lingxuan^{1,2}, DENG Zeshuai¹, LUO Yao¹, LI Lei¹, ZHENG Wenbao¹,
ZHAO Feng³, TIAN Xianghua³, YANG Daode¹

(1. Institute of Wildlife Conservation, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China;
2. Hunan Survey and Design Institute of Agriculture, Forestry and Industry Co., Ltd., Changsha 410004, China;
3. Forestry Bureau of Lixian County, Changde, Hunan 415000, China)

Abstract: The background survey of biodiversity resources is an important foundation for strengthening the scientific protection and management of biodiversity, and provides an effective basis for formulating effective protection measures and management strategies. In early June and mid to late August 2022, the amphibians and reptile resources in Lixian County were surveyed using the sample line method and the visit survey method. This survey recorded 23 species of amphibians from 2 orders and 8 families, and 26 species of reptiles from 2 orders and 10 families. A total of 16 amphibian and 1 reptile species were de-

收稿日期: 2024-09-12; 修回日期: 2024-11-27

基金项目: 湖南省国家重点野生动植物补助资金项目 (2021-326)。

第一作者: 龚凌轩 (1999-), 男, 硕士研究生。研究方向为野生动物保护。Email: 1165658242@qq.com

责任作者: 杨道德 (1965-), 男, 博士, 教授。研究方向为野生动物保护和自然保护区管理。Email: csfuyydd@126.com

ected using the environmental DNA (eDNA) meta barcoding technique, five of which were species not surveyed by the sample line method. The composition of the fauna was dominated by 26 Oriental species, followed by 23 widespread species, with no Palaearctic species recorded. Among them, *Hoplobatrachus chinensis*, *Mauremys reevesii* and *Tylototriton broadoridgus* were listed as national second-class key protected wild animals; 33 species were listed as Hunan provincial key protected wild animals; 29 species were terrestrial wild animals recognized for having important ecological, scientific and social value; 4, 10, and 7 species were respectively categorized as endangered (EN), vulnerable (VU), and near threatened (NT) in the *China Biodiversity Red List*.

Key words: amphibians and reptiles; species diversity; eDNA metabarcoding technology; fauna; ecological type; Lixian County of Hunan Province

生物多样性本底调查是了解和评估某区域生物多样性的方法,其结果能为当地生物多样性保护提供理论依据。两栖爬行动物是生物多样性的组成部分^[1],我国现已记录两栖动物 3 目 13 科 515 种,湖南省为 2 目 10 科 87 种,占比 16.9%;爬行动物 3 目 35 科 511 种,湖南省为 2 目 22 科 106 种,占比 20.7%^[2]。两栖爬行动物因体型小、对生境要求高等特征,对其研究与保护存在一定难度。在人为干扰和自然等多重因素影响下,我国两栖爬行动物种群面临巨大的威胁^[3],开展两栖爬行动物多样性调查与保护工作已刻不容缓。

在湖南省湘北洞庭湖平原区针对鸟类的研究较多,有关两栖爬行动物的本底研究较少^[4]。湖南两栖爬行动物多样性研究也主要是集中在湖南省的丘陵山区^[5]和自然保护区^[6]。关于湖南澧县地区的两

栖爬行动物生物多样性的历史调查资料相对匮乏,此前在湖南澧州澧县国家湿地公园、澧县北江湖湿地自然保护区进行了自然保护地摸底调查,对两栖爬行动物的调查不够详细且范围偏小。而湖南省第二次陆生野生动物资源调查对澧县的部分单元格进行调查,未能做到县域的全面覆盖,因此缺乏完整且详细的物种名录。开展澧县县域两栖爬行动物多样性调查,可填补湘北洞庭湖平原区两栖爬行动物的调查数据,促进洞庭湖区野生动物的科学保护和有效管理。

1 研究地概况

澧县位于湖南省西北部、洞庭湖西岸,地理坐标为 $111^{\circ}12'27'' \sim 112^{\circ}04'21''\text{E}$, $29^{\circ}25'09'' \sim 29^{\circ}57'24''\text{N}$, 总面积 $2\,107.3\text{ km}^2$ (图 1)。澧县西北部属武陵山脉,地势相对较高;南部与北部为丘陵区,地势相对

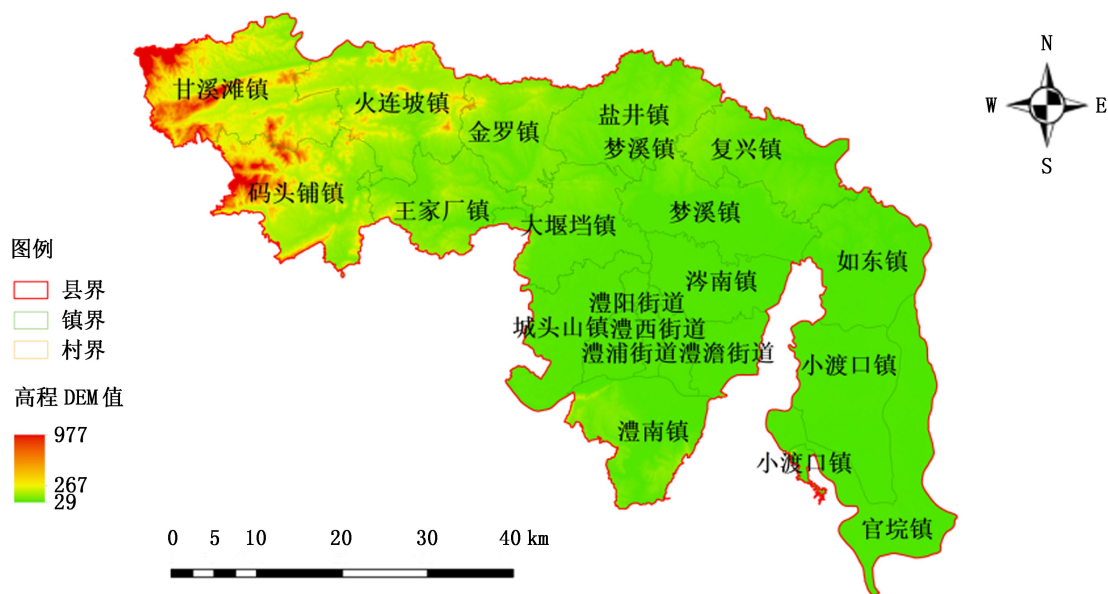


图 1 湖南澧县地理位置示意图

Fig. 1 Location map of Lixian County in Hunan Province

平缓;东部和西南是水系复杂的洞庭湖区;中部是广阔的平原。最高海拔 1 019.5 m,最低海拔仅为 28.6 m,整体呈现出由西北向东南逐渐降低的地势特征。年均温稳定在 16.7℃左右,年降水量 1 200~1 900 mm,年均无霜期 272 d。该地区森林植被主要有常绿阔叶林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林等,是野生动物生存繁衍的理想栖息地。

2 研究方法

2.1 调查时间和方法

调查时间为 2022 年 6 月上旬和 8 月中下旬,主要采用样线法和访问调查法。每天调查时间为 9:00—11:00、19:00—23:00,白天对预设的样线进行实地考察,以保证夜间调查的安全性^[7]。2023 年 9 月,在重点区域和河流交汇处采用 eDNA 宏条形码技术采水取样^[8]。

按照《陆生野生动物监测技术指南》《县域两栖类和爬行类多样性调查与评估技术规定》和《湖南省生物多样性资源本底调查技术规范》的要求,将澧县行政区划公里网格化,无差别划分为 37 个 10 km×10 km 的网格,之后将网格中该行政区域面积大于

50% 的网格设置为调查样区,共 21 个调查样区。按照 60% 的抽样强度,从 21 个样区选取 13 个样区,参考植被覆盖率、植被类型、水源、山脉地势等,将其再分为 2 个重点样区和 11 个一般样区^[9]。

2.2 样线法

样线布设遵循随机性、可达性、生境代表性原则,并结合生态习性,沿溪流、河流、农田、草地、沟渠等生境布设样线,长约 2 km 的调查样线共 69 条(图 2)。其中,重点样区布设 10 条样线、一般样区布设 4 条样线、选择面积过半的 5 个样区布设 5 条样线。样线单侧宽 3~5 m,每 2~3 人为一组,步行调查的行进速度约为 1 km/h,行进过程中仔细搜索样线中心线两侧的两栖爬行动物。使用“两步路”软件记录 GPS 轨迹信息及遇见物种的名称、个体数、地理位置、生境类型、影像等^[10]。

2.3 eDNA 宏条形码技术

在澧县行政辖区内选取 5 个生境较好的溪沟、水塘作为 eDNA 宏条形码检测的取水点(图 2),每个位点取水 3 L,重复取水 3 次,共取水 9 L,使用孔径 0.22 mm 的滤膜抽滤 DNA 后冷冻保存,带回实验室进行检测^[11]。

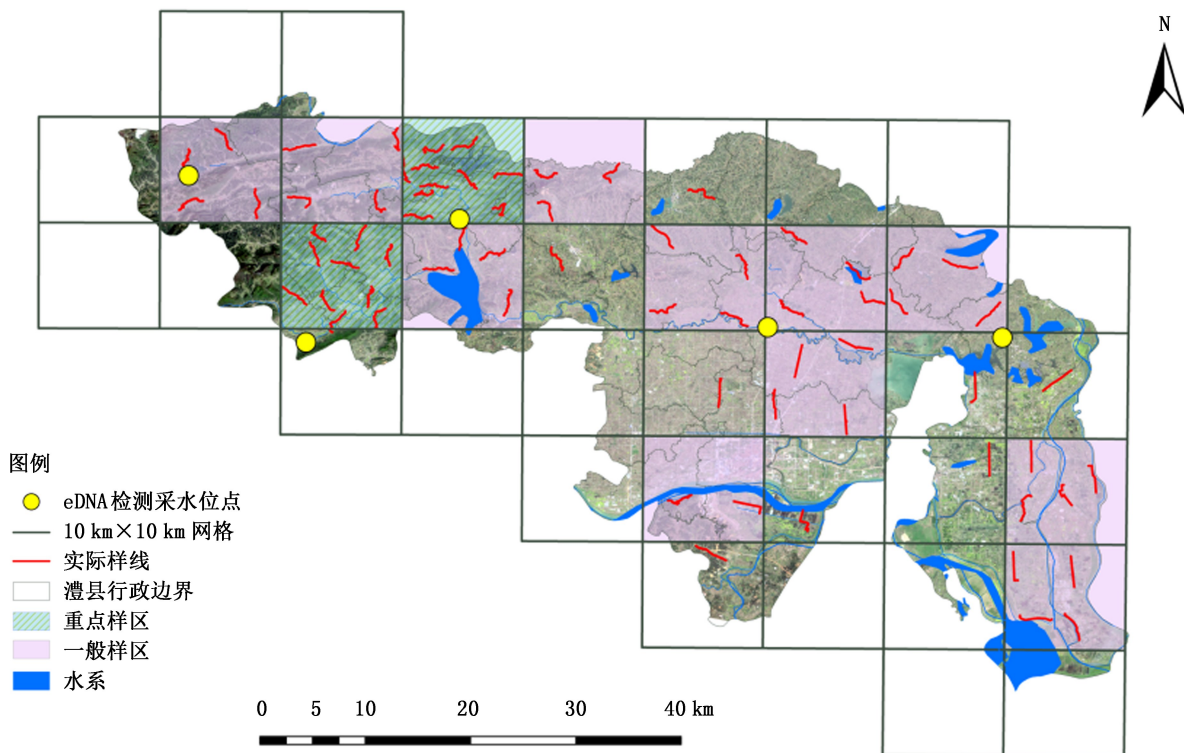


图 2 澧县两栖爬行动物调查样线及 eDNA 检测采水位点分布

Fig. 2 Distribution of survey sampling line for amphibians and reptiles and eDNA sampling sites in Lixian County

基于核基因 18S rRNA 及线粒体 12S rRNA 基因片段^[12],eDNA 样本使用引物 12SF1(5'-ACT GGG ATT AGA TAC CCC-3')、12SR1(5'-TAG AAC AGG CTC CTC TAG-3') 扩增 12S rRNA 片段^[13],引物 F0 4mod(5'-GCT TGW CTC AAA GAT TAA GCC-3')、R22mod(5'-CC TGC TGC CTT CCT TDG A-3') 扩增 S rRNA 片段并测序^[14-15]。

2.4 走访调查法

查阅相关文献,初步确定调查区域及其附近的两栖爬行动物名录,制作物种识别图鉴和走访调查表格,调查时走访当地林业工作者和居民,对物种识别图鉴中的两栖爬行动物物种逐个询问,并记录相应物种。

2.5 物种鉴定与分类

两栖爬行动物物种鉴定参考中国科学院发布的《中国生物物种名录》(2023 版)《中国蛇类图鉴》《中国两栖动物图鉴(野外版)》等^[16-18];动物地理区划参考《中国动物地理》^[19];濒危等级参考《中国生物多样性红色名录·爬行动物》《中国生物多样性红色名录·两栖动物》^[20-21]。

2.6 数据统计方法

为了评估物种多样性,采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H)、Simpson 指数(D)、Pielou 均匀度指数(J)进行评估,公式分别为:

$$H = - (P_i \ln P_i) \quad (1)$$

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2 \quad (2)$$

$$J = H / \ln S \quad (3)$$

式中: S 为物种总数; P_i 为物种 i 个体数与所有物种的总个体数之比; $\ln S$ 为最大 Shannon-Wiener 多样性指数。

资源量(A_R)计算公式为:

$$A_R = N_i / N \times 100\% \quad (4)$$

式中: N_i 为物种 i 的个体数; N 为群落中所有物种个体数。

资源量 10% 以上为优势种,以“+++”表示,资源量 1%~10% 为常见种,以“++”表示,资源量 1% 以下为稀有种,以“+”表示^[22]。

3 结果与分析

3.1 物种组成

本次调查共记录两栖爬行动物 49 种,属于 2 纲 4 目 18 科(表 1,表 2)。

由表 1 可知,两栖动物有 2 目 8 科 23 种,爬行

动物 2 目 10 科 26 种。采用 eDNA 宏条形码技术检测到两栖动物 6 科 16 种,爬行动物 1 科 1 种,其中有 5 种为样线法调查未记录到的物种,分别为东方蝾螈、宽脊疣螈、淡肩角蟾、寒露林蛙和中华鳖。

3.2 动物区系

两栖爬行动物区系组成以东洋界物种为主,共记录到 26 种,占本次调查物种总数的 53.06%;其次为广布种,共记录到 23 种,占比 46.94%;未发现古北界物种。在东洋界物种中,有 4 种为华中区物种,13 种为华中—华南区共有种,9 种华中—华南—西南区共有种^[23]。此物种区系组成特征与澧县的动物地理区划属于东洋界、华中区、东部丘陵平原亚区一致。

3.3 保护级别

在已记录的 49 种两栖爬行动物中,4 种被列为濒危等级(EN),分别是虎纹蛙、乌龟、王锦蛇和中华鳖;10 种被列为易危等级(VU),分别是棘胸蛙、黑眉锦蛇、舟山眼镜蛇等;7 种被列为近危等级(NT);剩余 28 种均为无危等级(LC)。

宽脊疣螈、虎纹蛙和乌龟为国家二级重点保护野生动物;寒露林蛙、泽陆蛙、王锦蛇、铜蜓蜥等 33 种被列为湖南省地方重点保护野生动物;宽脊疣螈、舟山眼镜蛇被列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)附录 II;中华蟾蜍、蓝尾石龙子、翠青蛇等 29 种属于有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物。

3.4 生态类型

两栖动物可划分为 5 个生态类型^[10],澧县两栖动物分别属于流水型(3 种)、陆栖—静水型(11 种)、陆栖—流水型(1 种)、静水型(4 种)、树栖型(4 种)。流水型物种代表为花臭蛙,主要分布于水流湍急处的石壁上或瀑布边,周边大多潮湿阴暗、植被茂盛。陆栖—静水型物种代表主要为中华蟾蜍、泽陆蛙、饰纹姬蛙等,主要分布于农田和池塘附近。陆栖—流水型物种主要为采用 eDNA 检测出的淡肩角蟾。静水型物种代表为沼水蛙、黑斑侧褶蛙、湖北侧褶蛙和虎纹蛙,主要分布农田、水坑、路边沟渠等地。树栖型物种代表为树蛙属(*Rhacophorus*)、泛树蛙属(*Polypedates*)和雨蛙属(*Hyla*)物种,主要分布于树枝上。

爬行动物可划分为 5 个生态类型^[24],澧县爬行动物分别属于灌丛石缝型(10 种)、水栖型(7 种)、林栖傍水型(6 种)、树栖型(3 种)。灌丛石缝型物种代表多属于壁虎科、石龙子科,主要栖息于老式建筑缝隙或藏匿野外草堆内。此次调查并未发现穴居

表 1 澧县两栖动物名录、区系、生态类型、资源量及保护级别

Tab. 1 Catalogue, fauna, ecological type, resource quantity and protection level of amphibians in Lixian County

| 目 | 科 | 种名 | 动物 区系 | 资源 量 | 中国红 色名录 | 保护 级别 | 收录依据 | 生态 类型 |
|----------------|-----------------------|--|----------|---------|------------|------------------|---------------|----------|
| 有尾目 Caudata | 蝾螈科 Salamandridae | 东方蝾螈 <i>Cynops orientalis</i> | C | + | 近危 | 3;湘 | eDNA 检测 | TQ |
| | | 宽脊疣螈 <i>Tylototriton broadoridgus</i> | C | + | 近危 | 3;湘; II ;附 II | eDNA 检测 | TQ |
| | | | | | | | | |
| 无尾目 Anura | 角蟾科 Megophryidae | 淡肩角蟾 <i>Megophrys boettgeri</i> | CS | + | 无危 | 3;湘 | eDNA 检测 | TR |
| | | | | | | | | |
| | 蛙科 Ranidae | 花臭蛙 <i>Odorrana schmackeri</i> | CS | + | 无危 | | 采集或观察、eDNA 检测 | R |
| | | 沼水蛙 <i>Hylarana guentheri</i> | CSSW | ++ | 无危 | | 采集或观察、eDNA 检测 | Q |
| | | 镇海林蛙 <i>Rana zhenhaiensis</i> | CS | ++ | 无危 | | 采集或观察、eDNA 检测 | TQ |
| | | 寒露林蛙 <i>Rana hanluica</i> | CS | ++ | 无危 | 湘 | eDNA 检测 | TQ |
| | | 借母溪林蛙 <i>Rana jiemuxiensis</i> | C | + | 近危 | 湘 | 采集或观察 | TQ |
| | | 阔褶水蛙 <i>Hylarana latouchii</i> | CS | + | 无危 | | 采集或观察、eDNA 检测 | TQ |
| | | 黑斑侧褶蛙 <i>Pelophylax nigromaculatus</i> | W | +++ | 近危 | 湘 | 采集或观察、eDNA 检测 | Q |
| | | 湖北侧褶蛙 <i>Pelophylax hubeiensis</i> | C | ++ | 无危 | | 采集或观察、eDNA 检测 | Q |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | 蟾蜍科 Bufonidae | 中华蟾蜍 <i>Bufo gargarizans</i> | W | +++ | 无危 | 3 | 采集或观察、eDNA 检测 | TQ |
| | 树蛙科 Rhacophoridae | 布氏泛树蛙 <i>Polypedates braueri</i> | CSSW | + | 无危 | 3 | 采集或观察 | A |
| | | 大树蛙 <i>Zhangixalus dennysi</i> | W | ++ | 无危 | 3;湘 | 采集或观察 | A |
| | | 斑腿泛树蛙 <i>Polypedates megacephalus</i> | CSSW | + | 无危 | 3 | 采集或观察 | A |
| | 叉树蛙科 Rhacophoridae | 泽陆蛙 <i>Fejervarya multistriata</i> | CS | +++ | 无危 | | 采集或观察、eDNA 检测 | TQ |
| | | 棘胸蛙 <i>Quasipaa spinosa</i> | CS | ++ | 易危 | 湘 | 采集或观察、eDNA 检测 | R |
| | | 棘腹蛙 <i>Quasipaa boulengeri</i> | W | + | 易危 | 湘 | 采集或观察 | R |
| | | 虎纹蛙 <i>Hoplobatrachus chinensis</i> | CS | +++ | 濒危 | II | 采集或观察、eDNA 检测 | Q |
| | | | | | | | | |
| | 姬蛙科 Microhylidae | 饰纹姬蛙 <i>Microhyla fissipes</i> | W | +++ | 无危 | 湘 | 采集或观察、eDNA 检测 | TQ |
| | | 小弧斑姬蛙 <i>Microhyla heymonsi</i> | CSSW | +++ | 无危 | 湘 | 采集或观察 | TQ |
| | | 粗皮姬蛙 <i>Microhyla butleri</i> | CSSW | + | 无危 | 湘 | 采集或观察、eDNA 检测 | TQ |
| | 雨蛙科 Hylidae | 中国雨蛙 <i>Hyla chinensis</i> | W | + | 无危 | | 走访调查 | A |

注:动物区系中 W 表示广布种,C 表示华中区种,CS 表示华中—华南区种,CSSW 表示华中—华南—西南区种;资源量中+++表示优势种,++表示常见种,+表示稀有种;保护级别中II表示国家二级重点保护野生动物,3 表示有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物,湘表示湖南省地方重点保护野生动物,附 II 表示《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)附录 II 保护野生动物;两栖类动物生态类型中 R 表示流水型,TQ 表示陆栖—静水型,TR 表示陆栖—流水型,Q 表示静水型,A 表示树栖型。下同。

型物种。水栖型物种代表有乌龟、中华鳖、中国水蛇和赤链华游蛇等,主要分布于溪流和水田附近。林栖傍水型物种代表有王锦蛇、玉斑锦蛇等,主要分布于灌丛、沟渠边、草丛中等。树栖型物种代表为福建竹叶青蛇,主要分布于田野、灌木、溪边等。

3.5 不同月份两栖爬行动物资源现状

6 月份和 8 月份,分别记录到两栖动物 414 只和 602 只。其中,泽陆蛙、黑斑侧褶蛙为数量优势种,个体数数量最高;而树蛙科物种以及借母溪林蛙发现个体数较少。这可能由调查频次较少、调查时间未覆盖活动期、样线未能覆盖所有海拔范围所致。

6 月份和 8 月份,分别记录到爬行动物 29 只和

88 只。其中,蜥蜴类多疣壁虎、铜蜓蜥为优势种,铜蜓蜥占绝对优势;蛇类物种数量较少且多为受威胁物种,短尾蝮、赤链蛇、银环蛇等发现数量较多。不同月份间两栖爬行动物物种的标准化相对多度基本相似,无明显统计学差异^[25](图 3)。

不同物种间繁殖期和对气候变化的反应存在差异,且爬行动物移动迅速、警觉性强,在野外调查时难以发现,本次调查记录的两栖动物数量多于爬行动物,但爬行动物种类数量多于两栖动物。澧县两栖爬行动物物种多样性评估结果见表 3。

澧县两栖爬行动物的 Shannon-Wiener 多样性指数及 Simpson 指数受物种丰富度和个体数量变化

表 2 澧县爬行动物名录、区系、生态类型、资源量及保护级别

Tab. 2 Catalogue, fauna, ecological type, resource quantity and protection level of reptiles in Lixian County

| 目 | 科 | 种名 | 动物 区系 | 资源 量 | 中国红 色名录 | 保护 级别 | 收录依据 | 生态 类型 |
|-------------------|------------------|--|----------|---------|------------|----------|---------|----------|
| 龟鳖目 Testudines | 地龟科 Geoemydidae | 乌龟 <i>Mauremys reevesii</i> | W | + | 濒危 | Ⅱ | 走访调查 | D |
| | 鳖科 Trionychidae | 中华鳖 <i>Trionyx sinensis</i> | W | + | 濒危 | 湘 | eDNA 检测 | D |
| 有鳞目 Squamata | 壁虎科 Gekkonidae | 多疣壁虎 <i>Gekko japonicus</i> | CS | ++ | 无危 | 3;湘 | 采集或观察 | B |
| | 石龙子科 Scincidae | 铜蜓蜥 <i>Sphenomorphus indicus</i> | W | ++ | 无危 | 3;湘 | 采集或观察 | B |
| | | 中国石龙子 <i>Plestiodon chinensis</i> | W | + | 无危 | 3;湘 | 采集或观察 | B |
| | | 蓝尾石龙子 <i>Plestiodon elegans</i> | W | + | 无危 | 3 | 采集或观察 | B |
| | 蜥蜴科 Lacertidae | 北草蜥 <i>Takydromus septentrionalis</i> | W | + | 无危 | 3;湘 | 走访调查 | B |
| | 游蛇科 Colubridae | 赤链蛇 <i>Lycodon rufozonatus</i> | W | +++ | 无危 | 3;湘 | 采集或观察 | B |
| | | 王锦蛇 <i>Elaphe carinata</i> | W | + | 濒危 | 3;湘 | 采集或观察 | E |
| | | 黑眉锦蛇 <i>Elaphe taeniura</i> | W | ++ | 易危 | 3;湘 | 采集或观察 | E |
| | | 灰鼠蛇 <i>Ptyas korros</i> | CS | + | 易危 | 3;湘 | 采集或观察 | B |
| | | 乌梢蛇 <i>Ptyas dhumnades</i> | CSSW | ++ | 易危 | 3;湘 | 采集或观察 | F |
| | | 翠青蛇 <i>Cyclophiops major</i> | W | + | 无危 | 3 | 采集或观察 | F |
| | | 玉斑锦蛇 <i>Euprepophis mandarinus</i> | W | + | 易危 | 3;湘 | 采集或观察 | E |
| | | 赤峰锦蛇 <i>Elaphe anomala</i> | W | + | 易危 | 3;湘 | 采集或观察 | B |
| | | 红纹滞卵蛇 <i>Oocatochus rufodorsatus</i> | W | + | 无危 | 3;湘 | 采集或观察 | E |
| | 水游蛇科 Natricidae | 虎斑颈槽蛇 <i>Rhabdophis tigrinus</i> | W | + | 无危 | 3;湘 | 采集或观察 | E |
| | | 黄斑渔游蛇 <i>Xenochrophis flavipunctatus</i> | CSSW | | 无危 | 湘 | 采集或观察 | D |
| | | 乌华游蛇 <i>Trimerodytes percarinatus</i> | CSSW | | 近危 | 3;湘 | 采集或观察 | D |
| | | 赤链华游蛇 <i>Sinonatrix annularis</i> | CS | + | 近危 | 3;湘 | 走访调查 | D |
| | | 锈链腹链蛇 <i>Hebius craspedogaster</i> | W | + | 无危 | 3;湘 | 采集或观察 | D |
| | 水蛇科 Homalopsidae | 中国水蛇 <i>Enhydryis chinensis</i> | CS | + | 易危 | 湘 | 采集或观察 | D |
| | 眼镜蛇科 Elapidae | 银环蛇 <i>Bungarus multicinctus</i> | CSSW | ++ | 易危 | 3;湘 | 采集或观察 | E |
| | | 舟山眼镜蛇 <i>Naja atra</i> | CS | + | 易危 | 3;湘;附Ⅱ | 走访调查 | B |
| | 蝰科 Viperidae | 短尾蝮 <i>Gloydius brevicaudus</i> | W | ++ | 近危 | 3;湘 | 采集或观察 | B |
| | | 福建竹叶青蛇 <i>Trimeresurus stejnegeri</i> | W | ++ | 无危 | 3 | 采集或观察 | F |

注:爬行动物生态类型中 B 表示灌丛石缝型,C 表示穴居型,D 表示水栖型,E 表示林栖傍水型,F 表示树栖型。

影响,分别为 2.401 和 0.756,表明其物种多样性较高,两栖爬行动物资源较丰富;Pielou 均匀度指数为 0.461,个别物种的个体数远高于其他物种,不同物种间的个体数分布不均匀,因此 Pielou 均匀度指数较小。

4 讨论与结论

4.1 传统调查技术和 eDNA 宏条形码检测技术比较
eDNA 宏条形码检测技术调查到样线法中的大多数物种,证明了其在两栖动物调查过程中的可行性,具有快速、准确、非损伤性等优点,为两栖动物多样性调查提供了新的辅助方法^[26]。

两栖动物因其大小、隐蔽性和生存环境等因素难以通过样线法调查发现,而 eDNA 宏条形码检测

技术则可弥补这些不足,特别是对不常见的珍稀物种有较好的预测效果。eDNA 宏条形码检测技术还可反映出该地区存在新种或新纪录的可能性。但同时因为两栖动物的生态学特点,相比鱼类、底栖类和浮游类等生物类群,仍存在一定局限性^[27]。因为大多数两栖动物在成体后会离开水体环境,其尿液、粪便、皮肤分泌物和脱落组织等在水体里的含量低、持续时间短,不利于 eDNA 样本的采集。

eDNA 宏条形码检测技术对爬行动物的资源调查存在一定缺陷,此次仅发现 1 种,为中华鳖。主要原因是仅有小部分爬行动物傍水栖息,在水中的活动时间较短,新陈代谢较慢,脱落、排泄的细胞组织较少,因此难以采集到其 eDNA^[28]。

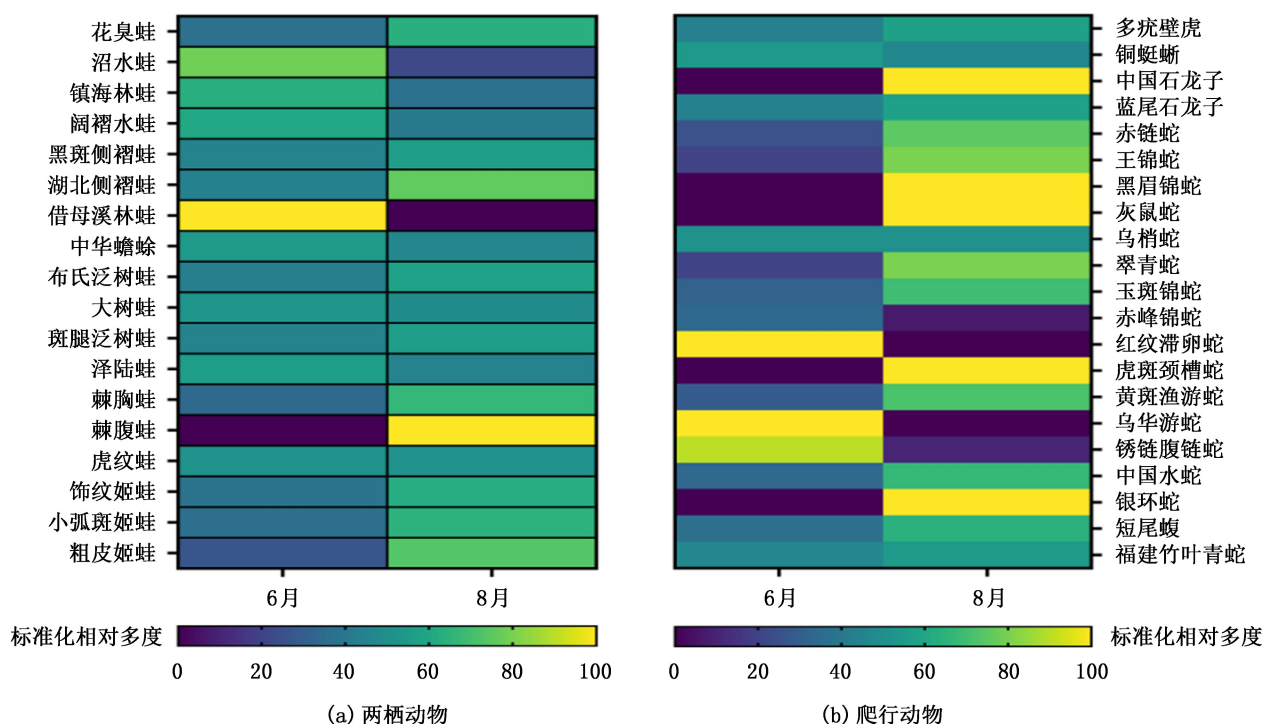


图 3 澧县两栖爬行动物在 6 月份和 8 月份物种标准化相对多度

Fig. 3 Relative abundance of amphibians and reptiles in Lixian County during June and August

表 3 澧县两栖爬行动物的多样性指数

Tab. 3 Species diversity index of amphibians and reptiles in Lixian County

| 类群 | 物种数量 | 个体数量 | Shannon-Wiener 多样性指数 (H') | Simpson 指数 (D') | Pielou 均匀度指数 (J') |
|------|------|------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 两栖动物 | 23 | 1016 | 2.515 | 0.764 | 0.496 |
| 爬行动物 | 26 | 117 | 2.249 | 0.646 | 0.428 |

4.2 与历史资料对比

澧县两栖爬行动物资源本底资料较少,目前仅在湖南澧州涇槐国家湿地公园、澧县北民湖湿地自然保护区开展了自然保护地摸底调查,且未公开发表论文与著作。根据以往未出版的历史报告记录的两栖爬行动物种共 38 种,其中历史报告中的赤链华游蛇、中国雨蛙、中华鳖和乌龟经过访问调查确认后已补充记录。而历史报告中的华西雨蛙 (*Hyla annectans*)、铅山壁虎 (*Gekko hokouensis*) 和滑鼠蛇 (*Ptyas mucosa*) 均不属于湘北洞庭湖平原区^[4]且访问调查也未询问到该物种的分布,暂未列入该名录,建议后续增加调查力度;历史报告中记录了物种小角蟾,但此次 eDNA 宏条形码检测技术测出淡肩角

蟾的存在,推测是因两个物种间特征相似、体型较小,易将淡肩角蟾误认成小角蟾^[29]。在澧县西部与石门县接壤的山地附近采获的 eDNA 样本中测出宽脊疣螈的存在。但因目前调查中暂未发现淡肩角蟾、宽脊疣螈的实体存在,因此需要进一步加强调查强度。

澧县因海拔平均较低,无明显起伏,导致两栖、爬行动物的栖息环境较为单一,本次调查记录到 23 种两栖动物和 26 种爬行动物,大多数为常见种,仅有少数为偶见种。从动物区系组成来看,本县域内东洋界物种和广布种物种种类数量相近。针对澧县两栖爬行动物资源特征和保护现状,下一步应开展两栖爬行动物长期监测,及时掌握野生动物资源动态^[30];加强种群保护,以及澧县涇槐湿地公园、北民湖湿地公园、天供山国有林场等栖息地建设与防护,明确相关人员工作职责^[31];加强野生动物资源保护宣传和普法执法,提高居民的野生动物保护意识,自觉地减少对野生动物的人为干扰^[32]。

致谢:澧县林业局和澧县天供山国有林场对野外调查给予的大力支持,感谢中南林业科技大学硕士研究生高志伟、尚袁凌博、黄涛、孙琳、郑俊妮、杨梦蝶、桂俭参与野外调查,博士研究生刘家斌协助论文撰写,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] 李成,江建平,谢锋,等. 中国两栖爬行动物多样性监测进展与展望[J]. 生物多样性,2023,31(12):186-198.
- [2] 王凯,任金龙,陈宏满,等. 中国两栖、爬行动物更新名录[J]. 生物多样性,2020,28(2):189-218.
- [3] MICHAEL H, CRAIG H, ARIADNE A, et al. The impact of conservation on the status of the world's vertebrates[J]. Science, 2010, 330(6010):1503-1509.
- [4] 高志伟,钱天宇,江建平,等. 湖南省两栖、爬行动物物种多样性及其地理分布[J]. 生物多样性,2022,30(2):101-115.
- [5] 邓文静. 雪峰山两栖动物多样性调查及疣螈属——隐存新种研究[D]. 长沙:湖南师范大学,2020.
- [6] 吴涛,刘志霄,张佑祥,等. 湖南小溪国家级自然保护区两栖爬行动物多样性与区系特征[J]. 四川动物,2019,38(4):452-458.
- [7] 王有兵,杨国斌,王荣兴,等. 水目山两栖爬行动物调查及其生境特征分析[J]. 林业调查规划,2022,47(5):49-54.
- [8] 张靖雯. 基于环境 DNA 的两栖动物多样性监测方法学研究[D]. 南京:南京大学,2021.
- [9] 田书荣,杨蕊,谢旭,等. 县域生物多样性评价方法及应用[J]. 湖南林业科技,2022,49(6):58-65,77.
- [10] 杨道德,丁邦柱,喻勋林,等. 湖南莽山国家级自然保护区生物多样性研究与保护[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,2023.
- [11] JEUNEN G, KNAPP M, SPENCER H, et al. Environmental DNA (eDNA) metabarcoding reveals strong discrimination among diverse marine habitats connected by water movement[J]. Molecular Ecology Resources, 2018, 19(2):426-438.
- [12] EFFENDI H, APRILIA M, PERMATASARI P A. Comparing eDNA metabarcoding primers (12S and 18S) for assessing riparian biodiversity [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2024, 1359(1):012080.
- [13] ZHANG S, ZHAO J, YAO M. A comprehensive and comparative evaluation of primers for metabarcoding eDNA from fish[J]. Methods in Ecology and Evolution, 2020, 11(12):1609-1625.
- [14] KUMAR G, REAUME A M, FARRELL E, et al. Comparing eDNA metabarcoding primers for assessing fish communities in a biodiverse estuary[J]. PloS one, 2022, 17(6):e0266720.
- [15] SILDEVER S, NISHI N, TAZAWA S, et al. Eight years of weekly eDNA monitoring in the North-Western Pacific [J]. Environmental DNA, 2023, 5(6):1202-1215.
- [16] 物种 2000 中国节点. 中国生物物种名录[DB/OL]. [2024-08-26]. <http://sp2000.org.cn>.
- [17] 黄松. 中国蛇类图鉴[M]. 福州:海峡书局,2021.
- [18] 费梁. 中国两栖动物图鉴(野外版)[M]. 郑州:河南科学技术出版社,2020.
- [19] 张荣祖. 中国动物地理[M]. 北京:科学出版社,2011.
- [20] 王跃招,蔡波,李家堂. 中国生物多样性红色名录·脊椎动物·第三卷·爬行动物(上册)[M]. 北京:科学出版社,2021.
- [21] 江建平,谢锋,李成,等. 中国生物多样性红色名录·脊椎动物·第四卷·两栖动物(上册)[M]. 北京:科学出版社,2021.
- [22] WILLIS A D. Rarefaction, alpha diversity, and statistics [J]. Frontiers in Microbiology, 2019(10):2407.
- [23] 王航,周勇,赵霖鹏,等. 大熊猫国家公园长青管理分局辖区两栖爬行动物调查及区系分析[J]. 动物学杂志,2023,58(1):84-93.
- [24] 李辉,朱乐强,潘佳,等. 湖南通道县两栖爬行动物物种多样性调查及区系分析[J]. 生命科学研究,2023,27(6):528-538.
- [25] 施佳怡,何智荣,吴思雨,等. 安徽省黄山市歙县两栖爬行动物生物多样性分布格局研究[J]. 生态与农村环境学报,2024,41(3):367-377.
- [26] 肖泽华,董姗姗,张振华,等. 环境 DNA 在两栖动物监测中的应用研究进展[J]. 生态学报,2023,43(19):7861-7873.
- [27] 孙晓萱,肖能文,郭宁宁,等. 基于环境 DNA 方法探究巢湖两栖动物多样性及分布特征[J]. 环境科学研究, 2024, 37(10):2310-2323.
- [28] HUANG S, YOSHITAKE K, WATABE S, et al. Environmental DNA study on aquatic ecosystem monitoring and management: Recent advances and prospects [J]. Journal of Environmental Management, 2022(323):116310-116310.
- [29] WANG Y Y, ZHAO J, YANG J H, et al. Morphology, molecular genetics, and bioacoustics support two new sympatric *Xenophrys* toads (Amphibia: Anura: Megophryidae) in Southeast China [J]. PloS one, 2014, 9(4):e93075.
- [30] 崔雪晴,解璐萌. 祁连山国家公园野生动物及其栖息地监测体系构建探讨[J]. 自然保护地, 2023, 3(3):28-34.
- [31] 台德运,刘研,陈婉,等. 江西鄱阳湖国家级自然保护区两栖动物资源现状及保护对策[J]. 生态与农村环境学报,2020,36(8):982-987.
- [32] 刘冰许,程国栋,刘继华,等. 嵩山山地陆生野生动物资源调查[J]. 林业调查规划,2024,49(3):41-47.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.014

中国柿属植物一新纪录种

刘 群^{1,2,4}, 陈文红², 吕 凌², 黄 庆^{2,3}, 张金国⁵, 范长丽², 税玉民²

(1. 滇西应用技术大学 普洱茶学院, 云南 普洱 665000; 2. 云南植物多样性与生物地理学重点实验室, 中国科学院昆明植物研究所, 云南 昆明 650201; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 云南大学 生态与环境学院, 云南 昆明 650091; 5. 马关古林箐省级自然保护区管护局, 云南 文山 663701)

摘要:为探究马关古林箐喀斯特热带雨林 25 hm² 样地柿属(*Diospyros* L.) 植物多样性特征, 采用形态学和解剖学方法, 对滇东南地区调查到的植物种类进行系统整理。发现中国柿科柿属一新纪录种硬毛柿(*Diospyros pilosiuscula* G. Don)。描述该新纪录种的形态特征和生境, 并编制了样地柿属植物分类检索表。凭证标本存放于中国科学院昆明植物研究所标本馆(KUN)。

关键词:柿属植物; 新纪录种; 硬毛柿; 分类检索表; 马关古林箐喀斯特热带雨林

中图分类号: Q948.5; S665.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2026)01-0100-05

引文格式: 刘群, 陈文红, 吕凌, 等. 中国柿属植物一新纪录种[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 100-104.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.014

LIU Qun, CHEN Wenhong, LYU Ling, et al. A Newly Recorded Species of *Diospyros* (Ebenaceae) from China[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 100-104. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.014

A Newly Recorded Species of *Diospyros* (Ebenaceae) from China

LIU Qun^{1,2,4}, CHEN Wenhong², LYU Ling², HUANG Qing^{2,3}, ZHANG Jinguo⁵,
FAN Changli², SHUI Yumin²

(1. College of Pu'er Tea, West Yunnan University of Applied Sciences, Pu'er, Yunnan 665000, China;
2. Yunnan Key Laboratory of Plant Diversity and Biogeography, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
4. School of Ecology and Environmental Science, Yunnan University, Kunming 650091, China;
5. Maguan Gulingqing Provincial Nature Reserve Management and Protection Bureau, Wenshan, Yunnan 663701, China)

Abstract: To explore the species diversity characteristics of *Diospyros* L. in the 25 hm² forest dynamics plot located in the karst tropical rainforest in Gulingqing of Maguan County, this study systematically examined the plant species surveyed in southeastern Yunnan using morphological and anatomical methods. As a result, *Diospyros pilosiuscula* G. Don was identified as a newly recorded species in China. The morphological characteristics and habitat of this newly recorded species were described, and the taxonomic key to the species of *Diospyros* found in the plot was also provided. The voucher specimen has been deposited in the Herbarium of the Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences (KUN).

Key words: *Diospyros* L.; newly recorded species; *Diospyros pilosiuscula* G. Don; taxonomic key; karst tropical rainforest in Gulingqing of Maguan County

收稿日期: 2025-01-03; 修回日期: 2025-11-11

基金项目: 云南省基础研究专项重大项目(202101BC070002); 滇东南热带山地森林生态系统云南省野外科学观测研究站 2025 年验收后补助经费(202505AW340001); 云南省生态监测网络监测项目(2025-YN-06); 云南大围山国家级自然保护区第二次综合科学考察(2021—2023)。

第一作者: 刘群(1998-), 女, 硕士研究生。研究方向为植物区系地理学。Email: 2791694013@qq.com

责任作者: 税玉民(1966-), 男, 博士, 研究员。研究方向为植物区系地理学、分类学及生态学。Email: ymshui@mail.kib.ac.cn

柿属(*Diospyros* L.)最初由 Linnaeus 于 1737 年命名,是柿科中种类最多的属,也是热带地区重要类群之一^[1-3]。依据克朗奎斯特分类系统,该属隶属木兰植物门(Magnoliophyta)木兰纲(Magnoliopsida)、五桠果亚纲(Dilleniidae)、柿树目(Ebenales)、柿树科(Ebenaceae)。该属以君迁子(*Diospyros lotus* L.)为模式种,目前在全球已发现 800 多种。我国共记录了 70 余个种和 5 个亚种,其中 65 种是中国特有种,主要分布于东南和西南地区^[4-5]。该属为泛热带(热带广布)植物区系类型,主要分布在热带和亚热带地区,也有少数种类延升分布到温带地区,其中以亚洲太平洋地区分布的物种丰富度最高,我国以云南东南部和云南西南部分布丰度最高^[5-6]。该属单叶互生,无托叶。花单生,雌雄异株,雌花通常较雄花大,雌花单生于叶腋;雄花通常簇生成聚伞花序,花萼通常深裂,萼片 3~7 裂,旋转排列;花丝分离或两两连接成对,花药基生。浆果多肉质,基部常有宿存萼片,种子较大,常呈两侧压瘪^[7-8]。

近年来,国内对柿属的研究侧重于宏观分类学,其他方面的研究多集中于园林绿化、种植栽培、品种培育、病虫害防治、保鲜储藏、产品开发等领域^[9]。本研究以马关古林箐喀斯特热带雨林 25 hm² 样地(以下简称大样地)为研究区域,迄今已在该样地内发现 9 种柿科柿属植物,是该区域重要的柿属野生种质资源。该地区柿属植物种类丰富,但调查尚不充分,因此系统开展该区域柿属植物资源调查具有重要意义。近 20 年来,多个研究团队在滇东南地区陆续报道了多个植物新种及新纪录种^[10],其中也包括若干柿属新种及柿属中国新纪录种^[11-13]。在此背景下,进一步加强对该地区柿属植物资源的调查研究显得尤为必要。

借助形态学和解剖学方法,对滇东南地区的柿属标本开展系统分类学研究,旨在揭示马关古林箐喀斯特热带雨林 25 hm² 样地柿属物种种类及分布概况。研究发现了中国一新纪录种硬毛柿(*Diospyros pilosiuscula* G. Don),并在此进行阐述。

1 柿属植物新资料

硬毛柿 *Diospyros pilosiuscula* G. Don, Gen. Hist. 4. 39 (1837)。

描述:常绿小乔木或灌木,雌雄异株,高可达 24 m。树皮深灰色,纵向分裂。分枝深灰色,圆柱状,密被棕色浓密且长短不一的毛。叶互生薄革质,倒卵状披针形,(8~12) cm×(2.5~3.5) cm,先端渐尖或具

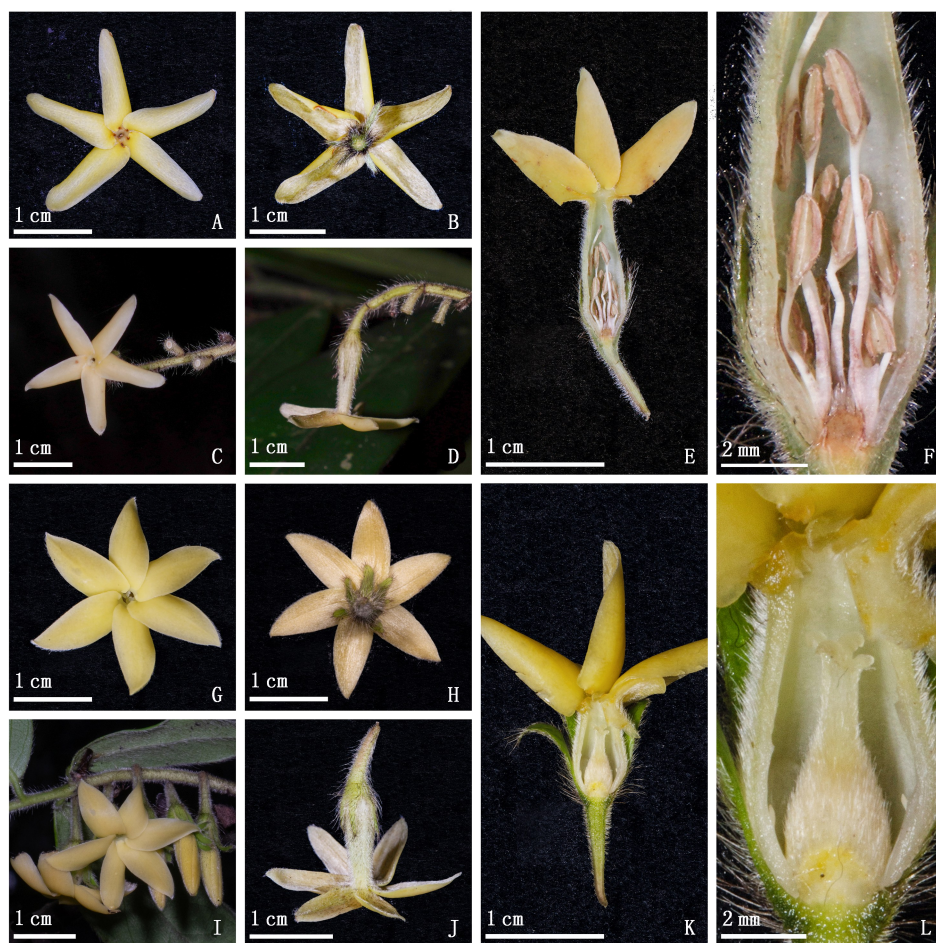
长渐尖,基部楔形或极少数圆形,叶较小且排列紧密,叶全缘,叶基部边缘干燥时微微内卷;叶柄短且被深棕色毛,长 0.3~0.4 cm;叶正面无毛呈光滑有光泽的亮绿色,且密被细密网脉,网脉平行,主脉在正面凹陷;叶背面为淡绿色,背面网脉明显突出,叶背面密被黄色短柔毛,主脉被毛更长,颜色更深,侧脉 10~15 对。花瓣 4~6 枚,黄色,花瓣被白色短柔毛,(1.2~1.4) cm×(0.4~0.5) cm,旋转状排列;花萼深裂到基部,呈线状披针形,(0.7~0.8) cm×(0.2~0.3) cm,密被白色毛;花梗较长,长 0.6~0.8 cm;雄花单生于幼枝,花瓣 5 枚,总状花序,花梗长 0.6~0.8 cm。雄蕊 9~12 枚,花丝不等长,长 0.2~0.6 cm,花药全着药,呈长椭圆形,纵裂释放花粉,药隔明显,花药长椭圆形,顶端无尖头而钝。雌花单生于幼枝,花萼完整,花瓣多数 6 枚(稀 4 枚),单生于叶腋,花梗被长短不一的毛,长 0.6~0.8 cm,子房瓶状 4 室。浆果卵球形,直径 1.5~1.8 cm,果上密被棕黄色浓密短毛,具有薄的外果皮,具狭窄细长的果萼裂片,果萼深裂到基部并向后弯曲;果柄长 0.8~1.0 cm,果柄较粗,柄直径 0.6~0.8 cm;果萼 6 枚,披针形;种子 4 枚,稀 3 枚,种子 1/2 半球状,种子长 1.0~1.2 cm,有背缝线。

物候:一般 3—5 月开花,5—7 月结果。

凭证标本:中国,云南省,文山壮族苗族自治州,马关县,古林箐乡,海拔 530 m,经纬度为 104°15'E, 22°36'N, 2022 年 8 月 3 日,税玉民等, GLQ0621-001 (KUN);中国,云南省,红河哈尼族彝族自治州,河口瑶族自治县,南溪镇,海拔 500 m,地理坐标为 104°58'E, 22°41'N, 2009 年 6 月 25 日,税玉民,陈文红,魏志丹, 82949 (KUN)。

分布地及生境:中国(新纪录);安达曼群岛;印度;孟加拉;老挝;缅甸;泰国;越南;尼科巴;马来西亚半岛;海拔 100~613 m,主要生长在潮湿的热带雨林群落中。

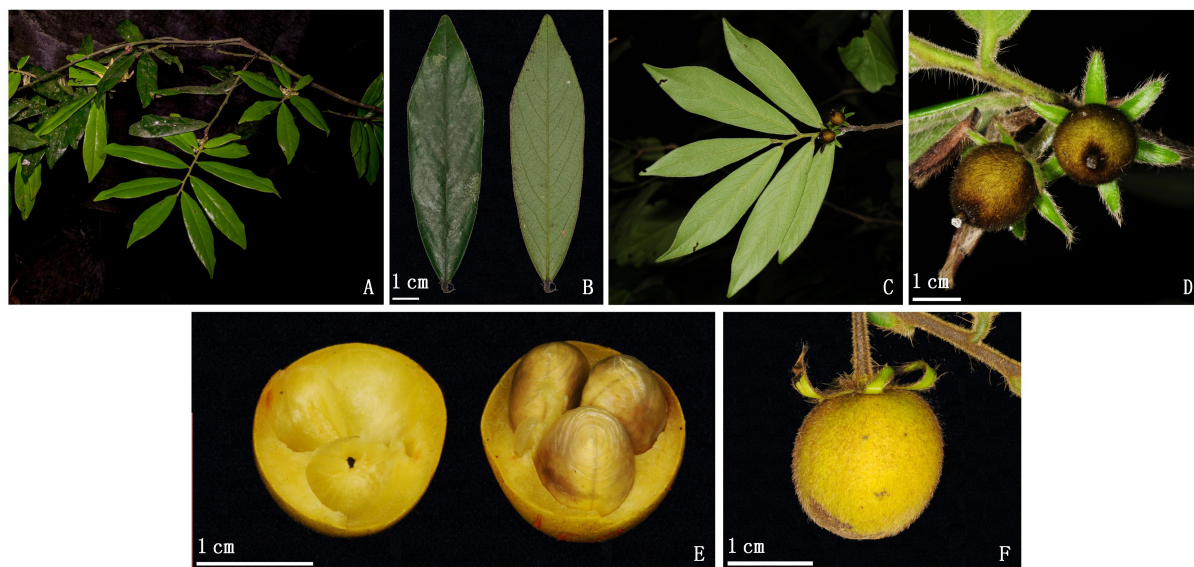
近似种讨论:该物种与版纳柿(*Diospyros xishuangubannaensis* C. Y. Wu & H. Chu)具有很高的相似处。但是,通过查阅朱华等^[14]的文献,对模式标本材料以及采集到的版纳柿新鲜叶子和雌雄花标本进行对比分析发现,二者仍存在诸多区别(图 1~图 3)。例如:该物种叶倒卵状披针形(版纳柿叶长圆形或长圆状披针形);雄花 4~5 数(版纳柿雄花 4 数);花药长椭圆形,顶端钝(版纳柿花药狭卵型,顶端尖);雌花 5~6 数(版纳柿雌花 5 数);柱头分裂(版纳柿柱头不分裂)。



注: A~D. 雄花; E~F. 雄花纵切; G~J. 雌花; K~L. 雌花纵切。

图 1 硬毛柿雌雄花(吕凌 摄)

Fig. 1 Staminate and pistillate flowers of *Diospyros pilosiuscula* G. Don (photographed by LYU Ling)



注: A. 雌小枝; B. 叶正面和叶背面; C. 果枝; D~F. 果。

图 2 硬毛柿雌小枝、叶、果枝、果(税玉民 摄)

Fig. 2 Female twig, leaf, fruiting branch, and fruit of *Diospyros pilosiuscula* (photographed by SHUI Yumin)



注:A. 硬毛柿凭证标本;A1. 叶正面;A2. 叶背面;A3. 幼枝;A4. 果实;B. 硬毛柿模式标本;B1. 叶正面;B2. 叶背面;B3. 幼枝;B4. 果实;C. 版纳柿模式标本;C1. 叶正面;C2. 叶背面;C3. 幼枝;C4. 果实。

图 3 硬毛柿凭证标本和模式标本及版纳柿模式标本(吕凌 摄)

Fig. 3 Voucher specimen and type specimen of *Diospyros pilosiuscula* G. Don, and type specimen of *Diospyros xishuangbannaensis* C. Y. Wu & H. Chu (photographed by LYU Ling)

2 样地柿属植物分类检索表的编制

本研究将马关古林管喀斯特热带雨林 25 hm² 样地内发现的柿属植物鉴定为中国新纪录种。该物种

与 *Diospyros pilosiuscula* G. Don 形态高度相似,系国内首次记录。为系统梳理样地资料,编制了该样地 9 种柿属植物的分类检索表(表 1)。

表 1 马关古林箐喀斯特热带雨林 25 hm² 样地柿属植物分类检索表Tab. 1 Taxonomic key to the species of *Diospyros* in the 25 hm² karst tropical rainforest plot in Gulinqing of Maguan County

1. 小枝或嫩枝通常明显被毛 (2)
1. 小枝无毛, 极少稍被毛 (7)
2. 果直径最多 2 cm (4)
2. 果直径 2.5 cm 以上 (3)
3. 叶小且窄, 革质, 基部宽楔形, 正面无毛, 背面沿中脉疏被微柔毛; 果无毛, 直径约 2.5 cm; 宿存萼革质, 5~6 裂裂至 1/2 处, 呈各边凹陷菱形或五角 六花柿 *Diospyros hexamera* C. Y. Wu
3. 叶更宽更大, 纸质, 基部楔形至圆形, 正面沿中脉具密绒毛, 叶背面密被短绒毛, 边脉和网脉平行; 果密 木果柿 *Diospyros xylocarpa* Y. M. Shui, W. H. Chen & Sima
4. 叶倒卵状披针形, 侧脉和网脉两面突出; 果密被棕黄色浓密短毛, 有窄且长的披针形宿存萼 硬毛柿 *Diospyros pilosiuscula* G. Don
4. 叶不呈倒卵形; 果成熟时近无毛, 有些顶端有少许毛 (5)
5. 果长卵形, 长 1.5~2 cm; 叶革质, 披针形或卵型, 基部圆形, 有些老叶比新叶更小, 叶边缘有睫毛; 果萼较小, 单片圆形, 薄纸质, 4 裂, 果柄长达 1 cm 锤果柿 *Diospyros eugenii* Lecomte
5. 果球形或卵型; 叶硬纸质, 披针形或长圆披针形, 基部楔形或宽楔形; 宿存花萼深 4 裂, 先端急尖 (6)
6. 果球形, 直径 1.5~2 cm; 果柄长约 5 mm; 叶片更宽; 宿存花萼深 4 裂, 基部不被鳞片, 裂片心型, 先端尖 倭柿 *Diospyros kerrii* Craib
6. 果卵形, 直径 0.8 cm, 几乎无果柄; 叶片稍窄; 宿存萼浅 4 裂, 基部被鳞片, 裂片平面略开展 苏门答腊柿 *Diospyros sumatrana* Miq.
7. 果直径小于 2 cm, 果萼正方形, 种子极小; 宿存萼浅裂, 宿存萼边缘反折, 顶端不反折; 叶厚革质, 叶披针形到椭圆形披针形, 叶两面无毛, 网脉不平行且在两面突出 水晶柿 *Diospyros crystallina* Y. M. Shui et W. H. Chen
7. 果直径 2.5 cm 以上, 果萼不呈正方形, 种子大 (8)
8. 叶两面无毛, 椭圆形至长圆形, 侧脉和网脉不突出; 先端有狭翅; 宿存萼 4~5 裂, 裂片三角形, 先端急尖; 果直径 2.5~3 cm, 果皮黑色 黑皮柿 *Diospyros nigricortex* C. Y. Wu
8. 叶正面无毛, 叶背面有短柔毛, 披针形或椭圆披针形, 侧脉羽状, 网脉不突出; 果直径 3.5~5.8 cm, 果皮黄色; 果萼 4 极浅裂, 先端不尖且不反折, 幼时为桶状, 成熟后退化 杨桐柿 *Diospyros adinandrifolia* Y. M. Shui, Z. X. Zhang & C. Y. Zou

致谢: 感谢云南古林箐省级自然保护区管护局对工作的大力支持。感谢北京林业大学邹春玉博士提供版纳柿材料。

参考文献:

- [1] DUANGJAI S, WALLNÖFER B, SAMUEL R, et al. Generic delimitation and relationships in Ebenaceae sensu lato: Evidence from six plastid DNA regions[J]. American Journal Botany, 2006, 93(12): 1808–1827.
- [2] DUANGJAI S, SAMUEL R, MUNZINGER J, et al. A multi-locus plastid phylogenetic analysis of the pantropical genus *Diospyros* (Ebenaceae), with an emphasis on the radiation and biogeographic origins of the New Caledonian endemic species[J]. Molecular Phylogenetics Evolution, 2009, 52(3): 602–620.
- [3] DUANGJAI S, RUEANGRUEA S, PHUTTHAI T, et al. *Diospyros phuwaensis* (Ebenaceae), a new species from North-Eastern Thailand [J]. Thai Forest Bulletin, Botany, 2020, 48(1): 34–44.
- [4] Royal Botanic Gardens, Kew. Plants of the world online [DB/OL]. [2023-07-27]. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:326017-2>.
- [5] Global Plants. Lecomte, Paul Henri (1856–1934) [DB/OL]. [2023-05-21]. https://plants.jstor.org/search?filter=name&so=ps_group_by_genus_species+asc&Query=Diospyros.
- [6] TANG D L, ZHANG Q L, XU L Q, et al. Number of species and geographical distribution of *Diospyros* L. (Ebenaceae) in China[J]. Horticultural Plant Journal, 2019, 5(2): 59–69.
- [7] 李树刚. 柿科[M]//俞德浚, 吴征镒, 崔鸿宾, 等. 中国植物志: 60 卷 1 册. 北京: 科学出版社, 1986: 85–151.
- [8] LEE S G, GILBERT M G, WHITE F. Ebenaceae[M]//WU Z Y, RAVEN P H. Flora of China: Vol. 15. Beijing: Science Press & St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 1996: 215–234.
- [9] 赵青宁, 胡琴, 文军, 等. 基于知识图谱分析国内柿子研究进展与展望[J]. 热带农业科学, 2024, 44(4): 116–123.
- [10] 丁洪波, 王立彦, 全东丽, 等. 中国云南种子植物区系新资料[J]. 生物多样性, 2023, 31(10): 124–135.
- [11] 田祥宇, 陈文红, 税玉民, 等. 中国柿树科植物一新记录种——长柱柿[J]. 热带亚热带植物学报, 2014, 22(1): 31–33.
- [12] 邹春玉, 许为斌, 黄俞淞, 等. 中国柿属植物二新记录种[J]. 广西植物, 2025, 45(5): 964–970.
- [13] LIU Q, ZOU C Y, YANG C, et al. *Diospyros adinandrifolia*, a new species of Ebenaceae from Yunnan, China [J]. Phytotaxa, 2024, 649(1): 121–129.
- [14] 朱华, 吴征镒, 王洪. 西双版纳植物区系资料(1) [J]. 云南植物研究, 1990, 12(4): 375–380.

责任编辑: 董磊

校 对: 许易琦, 董磊

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.015

大理市城市公园植物多样性研究

杨淑娇,王有兵,蒋伟昌,李亚楠,李金亮,胡昌平,杨建军,姜健发

(云南省林业调查规划院大理分院,云南 大理 671000)

摘要:为摸清大理市城市公园植物家底,采用踏查法和样线法对大理市 7 个城市公园植物进行调查,并分析其多样性特征。结果表明,大理市城市公园植物多样性较高,共有 139 科 413 属 611 种,包含了乔木、灌木、藤本、竹类、草本等 6 个大类 10 个小类生活型,且以多年生草本为主;大理市城市公园以自生植物为优势类群,占比 61.4%;应用了大量乡土树种,优势植物大量来自菊科、禾本科、豆科和蔷薇科;调查的 7 个城市公园植物相似性较低,增加了各公园的观赏价值。

关键词:城市公园;植物多样性;资源调查;大理市

中图分类号:Q948.156;Q16;TU986.51 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0105-06

引文格式:杨淑娇,王有兵,蒋伟昌,等.大理市城市公园植物多样性研究[J].林业调查规划,2026,51(1):105-110. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.015

YANG Shujiao, WANG Youbing, JIANG Weichang, et al. Plant Diversity in Urban Parks of Dali City[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 105-110. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.015

Plant Diversity in Urban Parks of Dali City

YANG Shujiao, WANG Youbing, JIANG Weichang, LI Yanan, LI Jinliang, HU Changping,
YANG Jianjun, JIANG Jianfa

(Dali Branch of Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Dali, Yunnan 671000, China)

Abstract: To clarify the plant resources in urban parks of Dali City, a survey was conducted on plants in 7 urban parks using spot survey and line intercept methods, and their diversity characteristics were analyzed. The results showed that the plant diversity in urban parks of Dali City was relatively high, with a total of 611 species belonging to 413 genera and 139 families. These plants included 6 major life-form categories and 10 subcategories, such as arbors, shrubs, vines, bamboos and herbs, among which perennial herbs were dominant. Spontaneous plants were the dominant group in urban parks of Dali City, accounting for 61.4%. A large number of native tree species were applied, and the dominant plants were mainly from Asteraceae, Poaceae, Fabaceae and Rosaceae. The plant similarity among the 7 surveyed urban parks was low, which enhanced the ornamental value of each park.

Key words: urban park; plant diversity; resource survey; Dali City

城市公园是城市生态系统的重要组成部分,具有改善城市生态环境,展示城市地域文化的功能^[1]。植物作为公园造景的重要元素,不仅能调节

城市温度、湿度,净化空气,维持水土平衡,多样化的植物景观还能增加城市公园观赏价值,改善城市风貌^[2]。植物多样性是实现公园景观多样化和发挥

收稿日期:2024-11-05;修回日期:2024-11-18

基金项目:大理白族自治州植物名录编撰项目(20232904D040001);云南省基础研究专项重大项目(202101BC070002)。

第一作者:杨淑娇(1992-),女,硕士,工程师。从事林业草原调查规划工作。Email:1483071362@qq.com

责任作者:蒋伟昌(1986-),男,高级工程师。从事林业调查规划、资源监测工作。Email:1070514973@qq.com

公园生态功能的前提^[3]。对大理市 7 个典型的城市公园景观植物多样性进行调查,分析其物种组成、生活型、来源等方面的特征,有利于为大理市城市公园进一步的发展规划提供建议,也为同类型城市公园建设提供参考。

1 研究区概况

大理市地处云南省西部,大理白族自治州中部,地理坐标为 99°58′~100°27′E,25°25′~25°58′N,总面积 1 815 km²^[4]。大理市属亚热带高原季风气候,年温差小,四季不明显,年均温 16℃,年总降雨量 1 280.2 mm^[5]。大理市拥有得天独厚的自然风光和悠久的历史文化,是面向南亚东南亚开放辐射中枢、国家历史文化名城、旅游发展的重要城市^[5]。本次调查的 7 个城市公园(洱海公园、人民公园、绿玉公园、明珠广场、洱河森林公园、洱海月湿地公园和美登桥南绿地公园)是大理市主城区公园的典型代表(表 1),既是当地居民观赏休憩的重要场所,也是展现城市文化的重要窗口。

2 研究方法

采用踏查法和样线法对大理市 7 个城市公园植物进行调查,详细记录植物的种名、生活型、起源等信息,并拍摄植物生境及形态照片。参考《中国植物志》^[6]和《云南植物志》^[7]对调查到的植物种类进行鉴定,并对各个公园植物种类、起源、生活型、优势植物、来源等数据进行统计分析。部分相同的植物种类,在不同城市公园分别进行统计。

表 1 大理市城市公园基本情况

Tab. 1 Basic situation of urban park in Dali city

| 序号 | 名称 | 类别 | 面积/hm ² |
|----|----------|-------|--------------------|
| 1 | 洱海公园 | 专类公园 | 56.69 |
| 2 | 人民公园 | 区域性公园 | 2.13 |
| 3 | 绿玉公园 | 区域性公园 | 0.43 |
| 4 | 明珠广场 | 区域性公园 | 8.42 |
| 5 | 洱河森林公园 | 区域性公园 | 2.54 |
| 6 | 洱海月湿地公园 | 综合公园 | 28.36 |
| 7 | 美登桥南绿地公园 | 街旁绿地 | 1.57 |

计算各物种在大理市城市公园中出现的频度,公式为:

某物种在大理市城市公园中出现的频度=该物种出现的公园数量/本次调查的公园数量 (1)

采用 Jaccard 相似性系数(S_j)对大理市 7 个城市公园植物相似性进行分析。计算公式为:

$$S_j = a / (a + b + c) \quad (2)$$

式中: a 为两个公园共有种的数量; b 和 c 分别为两个公园相异种的数量。

当 $0.00 < S_j < 0.25$ 表示植物种类极不相似,当 $0.25 \leq S_j < 0.50$ 表示中等不相似,当 $0.50 \leq S_j < 0.75$ 表示中等相似,当 $0.75 \leq S_j < 1.00$ 表示极其相似^[8]。

3 结果与分析

3.1 大理市城市公园植物组成

通过对大理市 7 个城市公园植物种类进行调查,共记录到 139 科 413 属 611 种(表 2)。

表 2 大理市城市公园植物组成

Tab. 2 Plant composition of urban parks in Dali City

| 名称 | 栽培植物 | | | | 自生植物 | | | | 合计 | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 科数/科 | 属数/属 | 种数/种 | 占比/% | 科数/科 | 属数/属 | 种数/种 | 占比/% | 科数/科 | 属数/属 | 种数/种 |
| 洱海公园 | 75 | 151 | 201 | 37.3 | 94 | 255 | 338 | 62.7 | 131 | 383 | 539 |
| 人民公园 | 39 | 53 | 68 | 61.3 | 21 | 40 | 43 | 38.7 | 51 | 93 | 111 |
| 绿玉公园 | 9 | 9 | 13 | 52.0 | 8 | 12 | 12 | 48.0 | 16 | 21 | 25 |
| 明珠广场 | 40 | 66 | 84 | 48.8 | 42 | 83 | 88 | 51.2 | 65 | 146 | 172 |
| 洱河森林公园 | 32 | 45 | 54 | 58.1 | 18 | 36 | 39 | 41.9 | 43 | 80 | 93 |
| 洱海月湿地公园 | 47 | 68 | 86 | 57.7 | 31 | 57 | 63 | 42.3 | 66 | 123 | 149 |
| 美登桥南绿地公园 | 28 | 38 | 49 | 53.3 | 24 | 42 | 43 | 46.7 | 45 | 79 | 92 |

注:公园中部分植物兼具栽培和自生两种类型,在两种类型中重复统计。

由表 2 可知,洱海公园的植物种类最丰富,有 131 科 383 属 539 种;明珠广场和洱海月湿地公园

次之,分别有 65 科 146 属 172 种和 66 科 123 属 149 种;其他公园植物种类相对较少,绿玉公园仅有 16

科 21 属 25 种。按植物起源,可将公园植物分为栽培植物和自生植物两类。公园中部分植物有栽培和自生两种类型,如清香木 *Pistacia weinmanniifolia*、黄连木 *Pistacia chinensis* 和云南松 *Pinus yunnanensis* 等,在两种类型中重复统计。总体来看,7 个城市公园中栽培植物共有 84 科 179 属 260 种,占植物总种数的 42.6%;自生植物有 103 科 274 属 375 种,占植

物总种数的 61.4%,相比较,自生植物种类更丰富。从单个公园来看,洱海公园和明珠广场自生植物种类多于栽培植物种类,而其他公园栽培植物种类更多。

3.2 大理市城市公园植物生活型

大理市城市公园植物生活型十分丰富,可分为 6 个大类 10 个小类(表 3)。

表 3 大理市城市公园植物生活型构成
Tab. 3 Life form composition of plants of urban parks in Dali city

| 名称 | 常绿乔木 | | 落叶乔木 | | 常绿灌木 | | 落叶灌木 | | 1~2 年生草本 | | 多年生草本 | | 木质藤本 | | 草质藤本 | | 半灌木 | | 竹类 | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 种数 /种 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% | 种数 /种 | 占比 /% |
| 洱海公园 | 49 | 9.1 | 19 | 17.1 | 4 | 16.0 | 26 | 15.1 | 15 | 16.1 | 14 | 9.4 | 13 | 14.1 | 57 | 9.3 | 8 | 1.5 | 8 | 1.5 |
| 人民公园 | 53 | 9.8 | 13 | 11.7 | 3 | 12.0 | 19 | 11.1 | 11 | 11.8 | 20 | 13.4 | 6 | 6.5 | 58 | 9.5 | 2 | 1.8 | 3 | 2.7 |
| 绿玉公园 | 66 | 12.2 | 17 | 15.3 | 3 | 12.0 | 22 | 12.8 | 14 | 15.1 | 20 | 13.4 | 10 | 10.9 | 77 | 12.6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 明珠广场 | 48 | 8.9 | 5 | 4.5 | 0 | 0 | 23 | 13.4 | 8 | 8.6 | 14 | 9.4 | 4 | 4.3 | 55 | 9.0 | 3 | 1.7 | 2 | 1.2 |
| 洱河森林公园 | 77 | 14.3 | 17 | 15.3 | 7 | 28.0 | 26 | 15.1 | 19 | 20.4 | 25 | 16.8 | 19 | 20.7 | 85 | 13.9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 洱海月湿地公园 | 194 | 36.0 | 34 | 30.6 | 8 | 32.0 | 42 | 24.4 | 26 | 28.0 | 49 | 32.9 | 36 | 39.1 | 221 | 36.2 | 1 | 0.7 | 3 | 2.0 |
| 美登桥南绿地公园 | 24 | 4.5 | 1 | 1.0 | 0 | 0 | 6 | 3.5 | 0 | 0 | 2 | 1.3 | 1 | 1.1 | 25 | 4.1 | 1 | 1.1 | 2 | 2.2 |

由表 3 可知,大理市城市公园中草本植物种类最丰富,有 306 种,占植物总种数的 50.1%,草本植物中又以多年生草本植物为优势物种,有 221 种,占植物总种数的 36.2%;其次是灌木和乔木,分别有 132 种和 115 种,占植物总种数的 21.6%和 18.8%;藤本、半灌木和竹类植物相对较少,合计有 58 种,占植物总种数的 9.5%。在 7 个城市公园中,洱海公园、明珠广

场和洱海月湿地公园植物生活型较为丰富,10 种类型均有分布,且以多年生草本植物为优势物种;绿玉公园和洱河森林公园植物生活型相对单一,分别有 5 种和 6 种类型,缺少藤本、半灌木和竹类植物。

3.3 大理市城市公园优势植物

对大理市城市公园植物进行科级水平的多样性分析,结果见表 4。

表 4 大理市城市公园植物不同科所含种数统计
Tab. 4 Number of species in different families of plants of urban parks in Dali city

| 类别 | 科所含 种数/种 | 科数 /科 | 占比 /% | 代表科 | 种数 /种 | 占比 /% |
|-----|-------------|----------|----------|--|----------|----------|
| 单种科 | 1 | 57 | 41.0 | 芭蕉科 Musaceae、海桐科 Pittosporaceae、红豆杉科 Taxaceae、怪柳科 Tamaricaceae | 57 | 9.3 |
| 寡种科 | 2~5 | 50 | 36.0 | 天南星科 Araceae、樟科 Lauraceae、松科 Pinaceae、大戟科 Euphorbiaceae | 149 | 24.4 |
| 中等科 | 6~10 | 23 | 16.5 | 锦葵科 Malvaceae、杜鹃花科 Ericaceae、山茶科 Theaceae、石竹科 Caryophyllaceae | 172 | 28.2 |
| 较大科 | 11~20 | 5 | 3.6 | 唇形科 Lamiaceae、天门冬科 Asparagaceae、柏科 Cupressaceae、木樨科 Oleaceae | 65 | 10.6 |
| 大科 | ≥21 | 4 | 2.9 | 菊科 Asteraceae、禾本科 Poaceae、豆科 Fabaceae、蔷薇科 Rosaceae | 168 | 27.5 |

由表 4 可知,大理市城市公园植物以单种科为主,含 57 科 57 种,分别占总科数、总种数的 41%和

9.3%,如芭蕉科和海桐科等;其次为寡种科,含 50 科 149 种,分别占总科数、总种数的 36%和 24.4%,

如天南星科和樟科等;中等科相对较少,有 23 科 172 种,分别占总科数、总种数的 16.5%和 28.2%,如锦葵科和杜鹃花科等;较大科和大科数量最少,较大科有 5 科 65 种,分别占总科数、总种数的 3.6%和 10.6%,如唇形科和天门冬科等;大科有 4 科,仅占

总科数的 2.9%,却包含了 168 种植物,占总种数的 27.5%,分别是菊科、禾本科、豆科和蔷薇科,这 4 个科的植物在大理市城市公园中应用最广泛。

对 4 个大科在大理市各城市公园中的分布情况进行分析,结果见表 5。

表 5 4 个大科在大理市各城市公园的分布

Tab. 5 Distribution situation of four major families of urban parks in Dali city

| 名称 | 菊科 | | 禾本科 | | 豆科 | | 蔷薇科 | | 合计 | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% |
| 洱海公园 | 48 | 8.9 | 43 | 8.0 | 32 | 5.9 | 31 | 5.8 | 154 | 28.6 |
| 人民公园 | 15 | 13.5 | 7 | 6.3 | 2 | 1.8 | 12 | 10.8 | 36 | 32.4 |
| 绿玉公园 | 3 | 12.0 | 4 | 16.0 | 0 | 0.0 | 1 | 4.0 | 8 | 32.0 |
| 明珠广场 | 20 | 11.6 | 14 | 8.1 | 9 | 5.2 | 17 | 9.9 | 60 | 34.9 |
| 洱河森林公园 | 14 | 15.1 | 5 | 5.4 | 8 | 8.6 | 9 | 9.7 | 36 | 38.7 |
| 洱海月湿地公园 | 13 | 8.7 | 11 | 7.4 | 10 | 6.7 | 11 | 7.4 | 45 | 34.1 |
| 美登桥南绿地公园 | 12 | 13.0 | 7 | 7.6 | 4 | 4.3 | 7 | 7.6 | 30 | 32.6 |

由表 5 可知,4 个大科植物在各个公园中均应用较为广泛,其种数之和均占各公园植物总种数的 20%以上。

通过计算各植物物种在大理市城市公园中出现的频度,可知频度为 1 的植物种类有 12 种,在调查的 7 个城市公园中均存在,其中高山榕 *Ficus altissima*、红叶石楠 *Photinia×fraseri*、黄葛树 *Ficus virens*、叶子花 *Bougainvillea spectabilis* 和樟 *Camphora officina-*

rum 属于栽培植物;酢浆草 *Oxalis corniculata*、牛筋草 *Eleusine indica*、牛膝菊 *Galinsoga parviflora*、喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides*、野葵 *Malva verticillata*、早熟禾 *Poa annua* 和泽漆 *Euphorbia helioscopia* 属于公园中的自生植物。

3.4 大理市城市公园植物来源

对大理市城市公园植物物种来源进行分析,结果见表 6。

表 6 大理市城市公园植物物种来源分析

Tab. 6 Source analysis of plants of urban parks in Dali city

| 类型 | 来源 | 洱海公园 | | 人民公园 | | 绿玉公园 | | 明珠广场 | | 洱河森林公园 | | 洱海月湿地公园 | | 美登桥南绿地公园 | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|---------|------|----------|------|
| | | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% |
| 栽培植物 | 乡土树种 | 85 | 42.3 | 38 | 55.9 | 10 | 76.9 | 49 | 58.3 | 29 | 53.7 | 38 | 44.2 | 26 | 53.1 |
| | 国内引种 | 60 | 29.8 | 17 | 25.0 | 1 | 7.7 | 20 | 23.8 | 14 | 25.9 | 30 | 34.9 | 10 | 20.4 |
| | 国外引种 | 56 | 27.9 | 13 | 19.1 | 2 | 15.4 | 15 | 17.9 | 11 | 20.4 | 18 | 20.9 | 13 | 26.5 |
| 自生植物 | 乡土树种 | 330 | 97.6 | 40 | 93.0 | 10 | 83.3 | 85 | 96.6 | 37 | 94.9 | 62 | 98.4 | 41 | 95.3 |
| | 入侵物种 | 8 | 2.4 | 3 | 7.0 | 2 | 16.7 | 3 | 3.4 | 2 | 5.1 | 1 | 1.6 | 2 | 4.7 |

由表 6 可知,大理市城市公园植物物种以乡土树种为主,在栽培植物中占比 44.2%,在自生植物中占比 97.9%;此外,大理市城市公园也引进了大

量国内引种植物和国外引种植物,分别占栽培植物种总数的 26.6%和 29.2%,增加了公园植物的多样性。在自生植物中,除乡土树种外,还有少量外来入

侵物种,如紫茎泽兰 *Ageratina adenophora*、马缨丹 *Lantana camara* 和喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 等,共 8 种,占自生植物的 2.1%,存在潜在的威胁。从各城市公园来看,无论是栽培植物还是自生植物均以乡土树种为主,同时在栽培植物中应用

了大量国内和国外引种植物以丰富物种多样性,自生植物中存在少量入侵物种。

3.5 大理市城市公园植物相似性

通过 Jaccard 相似性系数对大理市 7 个城市公园植物的相似性进行分析,结果见表 7。

表 7 大理市不同城市公园间植物相似性分析
Tab. 7 Similarity analysis of plants of urban parks in Dali city

| | 洱海公园 | 人民公园 | 绿玉公园 | 明珠广场 | 洱河森林公园 | 洱海月湿地公园 | 美登桥南绿地公园 |
|----------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|----------|
| 洱海公园 | 1 | | | | | | |
| 人民公园 | 0.173 | 1 | | | | | |
| 绿玉公园 | 0.039 | 0.172 | 1 | | | | |
| 明珠广场 | 0.281 | 0.374 | 0.139 | 1 | | | |
| 洱河森林公园 | 0.149 | 0.407 | 0.180 | 0.332 | 1 | | |
| 洱海月湿地公园 | 0.192 | 0.300 | 0.108 | 0.269 | 0.360 | 1 | |
| 美登桥南绿地公园 | 0.129 | 0.450 | 0.194 | 0.313 | 0.423 | 0.282 | 1 |

由表 7 可知,7 个城市公园植物 Jaccard 相似性系数均低于 0.50,表明各公园间植物相似性均不

高。对大理市不同城市公园间栽培植物 Jaccard 相似性系数进行分析,结果见表 8。

表 8 大理市不同城市公园间栽培植物相似性分析
Tab. 8 Similarity analysis of cultivated plants of urban parks in Dali city

| | 洱海公园 | 人民公园 | 绿玉公园 | 明珠广场 | 洱河森林公园 | 洱海月湿地公园 | 美登桥南绿地公园 |
|----------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|----------|
| 洱海公园 | 1 | | | | | | |
| 人民公园 | 0.228 | 1 | | | | | |
| 绿玉公园 | 0.034 | 0.157 | 1 | | | | |
| 明珠广场 | 0.261 | 0.448 | 0.155 | 1 | | | |
| 洱河森林公园 | 0.181 | 0.386 | 0.175 | 0.366 | 1 | | |
| 洱海月湿地公园 | 0.253 | 0.294 | 0.112 | 0.308 | 0.346 | 1 | |
| 美登桥南绿地公园 | 0.126 | 0.393 | 0.170 | 0.317 | 0.355 | 0.250 | 1 |

从栽培植物种类来看,7 个城市公园栽培植物相似性系数也均低于 0.50,表明各公园间栽培植物不同且各具特色。

4 讨论与结论

4.1 大理市城市公园植物多样性较高

植物多样性是实现公园景观多样化和发挥公园生态功能的前提^[3],包括植物种类的多样性和生活型的多样性等。本次调查的 7 个城市公园共记录到植物种类 139 科 413 属 611 种,植物物种多样性较高,是大理市城市公园景观多样性的重要组成部分。

在调查的 7 个城市公园中,以洱海公园的植物种类最丰富,有 539 种,明珠广场和洱海月湿地公园次之,其他公园植物种类相对较少,绿玉公园植物种类最少,植物种类多样性与公园面积呈现出明显地正相关。从植物起源来看,大理市城市公园所栽培植物中,有 61.4% 为自生植物,可见自生植物在大理市城市公园植物多样性中贡献较大。从单个公园来看,自生植物在各公园中均占比较大,特别是洱海公园和明珠广场自生植物种类明显多于栽培植物种类,也是这两个公园植物多样性较高的原因之一。

除植物种类的多样性之外,生活型的多样性也

是维系公园景观多样性的前提。大理市城市公园植物生活型十分丰富,生活型包含了乔木、灌木、藤本、竹类、草本等 6 个大类 10 个小类,群落成分较为丰富,层次感强。草本植物,特别是多年生草本是大理市城市公园植物中的优势类群,其多年生特性有利于维持公园地被植物景观的稳定;乔木和灌木次之,是公园植物景观的主体,对于维护公园植物群落稳定意义重大;藤本、半灌木和竹类种类相对较少,但丰富了公园植物种类,增加了景观层次。

4.2 大理市城市公园植物种类规划科学合理

大理市城市公园植物种类规划科学合理。从植物来源来看,大理市城市公园植物的选择坚持了适地适树原则,无论是栽培植物还是自生植物,均以乡土树种为主,乡土树种对当地土壤和气候条件具有更强的适应性,能有效提升种植成效^[9-10];此外,为了增加公园植物的多样性和观赏价值,大理市城市公园在保留好原有优良树种的前提下,也大量引进了适合公园栽培的有观赏价值的其他树种来丰富公园的植物群落结构。从优势植物来看,大理市城市公园应用了大量菊科、禾本科、豆科和蔷薇科的植物,这几个科的植物具有种类丰富、形态多样、花色艳丽、花期长、适应性好、便于养护等特点,是园林景观和园艺花卉的重要成分,是丰富园林色彩和提升园林品质的重要植物类群^[11-14]。调查的 7 个城市公园间植物相似性较低,这也增加了各公园的观赏价值。

总体来看,大理市城市公园植物规划合理,植物种类丰富,观赏价值较高。但也存在部分公园植物种类较少,生活型单一等问题,如绿玉公园因面积较小,仅有 25 种植物,且栽培植物种类仅有 13 种,生活型只有乔木、灌木、草本 3 种类型,景观较为单一,对于这类面积较小的城市公园,建议结合其实际功能,适当增加植物种类,合理配植乔木、灌木、藤本、竹类、草本等不同生活型的植物,以增加公园的实用

性和观赏价值。

参考文献:

- [1] 孙沁茹,何祥盟,杨璠,等. 泉州市城市公园植物景观分析与提升[J]. 热带农业科学,2024,44(6):92-97.
- [2] 罗开金,黄秋淋,柳明珠,等. 福州市闽江公园景观植物多样性研究[J]. 中国野生植物资源,2022,41(6):91-96.
- [3] 余红兵,周小梅,李曦蕊,等. 益阳市会龙山公园植物种类规划[J]. 现代园艺,2024,47(8):117-119.
- [4] 张顺敏,黄晓园,刘俊泽,等. 大理市森林景观形态与热环境的动态研究[J]. 林草资源研究,2023(5):122-132.
- [5] 吴映梅,李琛,高彬媛,等. 高原湖泊城市生态安全格局构建——以大理市为例[J]. 生态学报,2023,43(19):8153-8166.
- [6] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第二十五卷)[M]. 北京:科学出版社,1979.
- [7] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志(第十三卷)[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [8] 孙越,马宏博,程福山,等. 东北中东部山区天然次生林乔木物种组成和群落结构特征[J]. 中南林业科技大学学报,2024,44(1):140-150.
- [9] 陈兰凤. 城市景观公园设计中的植物配置研究[J]. 中国建筑金属结构,2024,23(8):160-162.
- [10] 邓瑞. 重庆市中央公园植物景观配置模式分析[J]. 林业调查规划,2019,44(6):207-212.
- [11] 王瑶,林杏莉,庄雪影. 菊科观赏植物在广州城市公园中的应用[J]. 广东园林,2016,38(1):41-45.
- [12] 惠俊爱. 蔷薇科木本植物在广州市中心城区公园绿化中的应用评价[J]. 现代农业科技,2013(16):164,171.
- [13] 王芳芳,刘国荣. 衡水市公园绿地禾本科植物调查及应用分析[J]. 现代农村科技,2021(12):102-103.
- [14] 盛闻. 漯河市公园绿地豆科植物多样性分析及其应用[J]. 园艺与种苗,2019,39(6):33-35.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.016

瑞丽市园林绿地园林植物资源调查与分析

段秀明¹, 罗仁山¹, 岳正奎², 蔡 薇¹, 张天瑶¹, 杨 飞¹

(1. 云南省德宏热带农业科学研究所, 云南 瑞丽 678600;

2. 瑞丽市城市建设投资开发有限责任公司, 云南 瑞丽 678600)

摘要:基于云南省德宏州城乡园林绿化提升行动,对瑞丽市公园绿地、广场绿地、道路绿地、单位附属绿地、居住区绿地共 23 个园林绿地进行实地调查,分析其园林植物组成、生活型、观赏特性、应用频率、本地木本植物指数。结果表明,瑞丽市共有园林植物 113 科 311 属 455 种;乔木、灌木、草本、藤本种类比例为 22.40:12.00:10.10:1.00;常绿与落叶植物比例为 2.56:1.00;观赏特性排名为:观叶植物>观花植物>观果植物>观茎植物;园林植物应用频率为:乔木植物>灌木植物>草本植物,其中应用频率最高的是三角梅和红花檵木;本地木本植物共 322 种,植物指数为 0.91。瑞丽市园林绿地园林植物选择不够丰富,植物景观略显单一;部分植物不适应本地气候,景观效果不佳。提出提高园林绿地园林植物多样性和乡土树种应用比例,提升区域景观特色,提高园林植物养护管理水平等建议。

关键词:园林植物;资源调查;生活型;观赏特性;应用频率;植物指数;瑞丽市

中图分类号:Q948.156;S757.2;S731.2 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0111-07

引文格式:段秀明,罗仁山,岳正奎,等.瑞丽市园林绿地园林植物资源调查与分析[J].林业调查规划,2026,51(1):111-117. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.016

DUAN Xiuming, LUO Renshan, YUE Zhengkui, et al. Investigation and Analysis of Garden Plant Resources in Green Spaces of Ruili City[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 111-117. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.016

Investigation and Analysis of Garden Plant Resources in Green Spaces of Ruili City

DUAN Xiuming¹, LUO Renshan¹, YUE Zhengkui², CAI Wei¹, ZHANG Tianyao¹, YANG Fei¹

(1. Dehong Institute of Tropical Agriculture, Ruili, Yunnan 678600, China;

2. Ruili Urban Construction and Investment Development Co., Ltd., Ruili, Yunnan 678600, China)

Abstract: Based on the action to improve urban and rural landscaping in Dehong Prefecture, Yunnan Province, a field survey was conducted on a total of 23 garden green spaces in Ruili City, including park green spaces, square green spaces, road green spaces, green spaces attached to institutions, and residential green spaces. The composition, life form, ornamental characteristics, application frequency, and native woody index of the garden plants were analyzed. The results showed that there were 455 species of garden plants in Ruili City, belonging to 311 genera and 113 families. The ratio of arbor, shrub, herb, and vine species was 22.40:12.00:10.10:1.00. The ratio of evergreen to deciduous plants was 2.56:1.00.

收稿日期:2024-10-12;修回日期:2024-12-04

基金项目:德宏热带作物科技创新专项资金子项目“热带果蔬花卉引种栽培及示范种植”(DTARI-2024-10).

第一作者:段秀明(1996-),女,工程师.主要从事园林规划设计工作.Email:604518680@qq.com

责任作者:罗仁山(1989-),男,助理研究员.主要从事植物保护工作.Email:1395768727@qq.com

In terms of ornamental characteristics, the ranking was foliage plants > flowering plants > fruit-bearing plants > stem-appreciating plants. The application frequency of garden plants was arbor plants > shrub plants > herb plants, with *Bougainvillea spectabilis* and *Loropetalum chinense* var. *rubrum* being the most frequently used species. There were a total of 322 native woody plants, resulting in a plant index of 0.91. In conclusion, the selection of garden plants in green spaces of Ruili City was not rich enough, and the plant landscapes were slightly monotonous. Meanwhile, some plants were not adapted to the local climate, resulting in poor landscape effects. This study suggested to increase the diversity of garden plants and the application proportion of native tree species, enhance regional landscape characteristics, and improve the maintenance and management level of garden plants.

Key words: garden plants; resource investigation; life form; ornamental characteristics; application frequency; plant index; Ruili City

园林绿地是将自然资源与人类创造力结合的独特空间形式,其为人类提供了包括生态价值、社会效益和经济效益在内的多重效益^[1]。园林绿地建设以园林植物为基础,在城市园林绿化被普遍关注的情况下,科学选择应用园林植物,不仅可将园林植物的生态、社会、经济效益充分发挥出来,还可为维持城市园林环境提供有力保障。

近年来,瑞丽市在德宏州城乡园林绿化提升三年行动的带动下,以科学规划为引领,制定了《瑞丽市城市绿化景观提升建设方案》《瑞丽市绿美城市建设三年行动实施方案》,通过绿化项目的实施和口袋公园建设,增加了瑞丽市园林绿地面积。但据现有文献可知,现阶段研究人员主要对瑞丽市的公园现状、公园文化及文化特色植物进行过研究^[2],如付蓉对瑞丽市 11 个公园绿地文化特色及公园文化特色类植物进行了调查,但其主要调查范围为瑞丽市城区的各类公园绿地,园林植物主要集中为公园文化特色类植物^[3]。园林植物作为城市建设的重要组成部分,目前对瑞丽市园林绿地园林植物的调查与研究文献尚欠缺。

本文以调查分析瑞丽市园林绿地园林植物资源为目的,对瑞丽市绿地系统中的代表性园林绿地的园林植物组成、生活型、应用频率等进行调查,分析瑞丽市园林绿地园林植物应用现状以及未来园林绿化建设需要提升的方向,以期对相关园林绿化部门在园林植物选择、推广及应用方面提供参考。

1 调查对象、方法及内容

1.1 调查对象

瑞丽市城区现有公园、道路、广场、单位附属、居住区、防护绿地六大绿地类型。通过对瑞丽市园林

绿地布局、数量、绿化覆盖率以及人流动态进行调查,选取城区内 23 个代表性园林绿地样地(涵括公园、广场、道路、附属、居住区绿地五大绿地类型)作为研究对象(表 1)。

表 1 瑞丽市园林绿地 23 个样地概况
Tab. 1 Overview of the 23 sample plots in the green spaces of Ruili City

| 绿地类型 | 样地名称 | 面积/hm ² |
|------------------|----------------|--------------------|
| 公园绿地 | 弄莫湖公园 | 69.67 |
| | 南卯湖公园 | 26.38 |
| | 团结大沟带状公园 | 26.93 |
| | 城市运动公园 | 2.02 |
| 广场绿地 | 市民广场 | 2.56 |
| | 瑞丽江广场 | 34.79 |
| 道路绿地(纵向) | 人民路 | 8.21 |
| | 姐岗路 | 11.31 |
| | 瑞江路 | 7.88 |
| 道路绿地(横向) | 勐卯大道 | 21.33 |
| | 卯喊路 | 11.68 |
| | 瑞丽大道 | 22.98 |
| 单位附属绿地 | 瑞丽市人民政府 | 21.65 |
| | 云南省德宏热带农业科学研究所 | 2.49 |
| | 景城医院 | 3.88 |
| | 景城集团 | 6.37 |
| 居住区绿地 (旧式小区) | 糖厂生活区 | 17.66 |
| | 热作佳园 | 1.98 |
| 居住区绿地 (现代化小区) | 雅居乐 | 2.03 |
| | 阳明国际 | 1.71 |
| | 翡翠世纪城 | 4.13 |
| | 景城新城 | 14.48 |
| | 五缘学府 | 7.89 |

1.2 调查内容和方法

2024 年 3—7 月,通过全面调查法,收集文献资料及向有关园林绿化单位咨询,了解城林绿地园林植物相关概念、研究现状和瑞丽市园林绿地现状。采用抽样调查与实地考察法了解瑞丽市代表性绿地分布概况,选定 23 个研究对象开展实地调查,记录园林植物种类、生活型、观赏特性等。在借鉴相关方法和经验的基础上,运用描述性统计分析法对瑞丽市园林植物的种类组成、生活型、应用频率、木本植物指数等进行统计分析,总结瑞丽市园林绿地园林植物资源及应用状况。

统计计算方式:若某种园林植物在某一调查地点出现,则记录一次,且不进行重复计数。计算公式^[4]为:

某种植物的应用频率=某种植物出现的总次数/绿地调查地点总数×100%

2 结果与分析

2.1 园林绿地园林植物组成

2.1.1 园林植物科、属、种的组成

本次调查共记录到瑞丽市园林植物 113 科 311 属 455 种,其中,蕨类植物 5 科 5 属 5 种,种数占比 1.10%;裸子植物 7 科 9 属 14 种,种数占比 3.08%;被子植物最丰富,共 101 科 297 属 436 种,种数占比达 95.82%,其中,双子叶植物 83 科 225 属 334 种,种数占比 73.40%,单子叶植物 18 科 72 属 102 种,种数占比 22.42%。由此可知,瑞丽市园林绿地园林植物以被子植物为主,而被子植物又以双子叶植物为主(表 2)。

表 2 瑞丽市园林绿地园林植物科、属、种统计
Tab.2 Families, genera and species of garden plants in the green spaces of Ruili City

| 植物类型 | 科 | | 属 | | 种 | |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 数量 /科 | 占比 /% | 数量 /属 | 占比 /% | 数量 /种 | 占比 /% |
| 蕨类植物 | 5 | 4.42 | 5 | 1.61 | 5 | 1.10 |
| 裸子植物 | 7 | 6.19 | 9 | 2.89 | 14 | 3.08 |
| 被子植物 | 83 | 73.45 | 225 | 72.35 | 334 | 73.40 |
| | 18 | 15.93 | 72 | 23.15 | 102 | 22.42 |
| 合计 | 113 | 100.00 | 311 | 100.00 | 455 | 100.00 |

2.1.2 园林植物科级组成

根据所调查的园林植物的科、属、种数量,参考

李艳^[5]对植物科级划分原则,将瑞丽市园林绿地园林植物按照科所含的种数划分为较大科(含 10 种以上的科)、中型科(含 5~9 种)、小型科(含 2~4 种)和单种科(仅 1 种)4 类(表 3)。

表 3 瑞丽市园林绿地园林植物科级分析
Tab.3 Families analysis of garden plants in the green spaces of Ruili City

| 类别 | 科 | | 属 | | 种 | |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 数量 /科 | 占比 /% | 数量 /属 | 占比 /% | 数量 /种 | 占比 /% |
| 较大科(≥10 种) | 14 | 12.39 | 119 | 38.26 | 209 | 45.93 |
| 中型科(5~9 种) | 17 | 15.04 | 11 | 24.44 | 17 | 23.30 |
| 小型科(2~4 种) | 30 | 26.55 | 4 | 20.58 | 26 | 19.34 |
| 单种科(仅 1 种) | 52 | 46.02 | 18 | 16.72 | 23 | 11.43 |
| 合计 | 113 | — | 152 | — | 455 | — |

由表 3 可知,瑞丽市园林绿地园林植物以较大科为主,种数占比 45.93%,如大戟科(21 种)、桑科(26 种)和棕榈科(23 种)等;其次是中型科,种数占比 23.30%,如夹竹桃科(9 种)、菊科(8 种)、百合科(8 种)等;小型科包含有 30 科 64 属,种数占比 19.34%,如鸢尾科(4 种)、使君子科(4 种)、千屈菜科(3 种)等;单种科共 52 科,种数占比 11.43%,如海桑科、紫茉莉科、红树科、金缕梅科等。由此可知,瑞丽市园林绿地园林植物科级组成较为合理,且部分单种科的生长状况较好,营造出较好的景观效果,如金缕梅科的红花檵木、杪罗科的杪罗(*Alsophila spinulosa*)、肾蕨科的肾蕨(*Asplenium nidus*)、海桑科的八宝树(*Duabanga grandiflora*)和紫茉莉科的三角梅等,这些植物不仅丰富了瑞丽市园林植物多样性,更是瑞丽市园林植物生态中不可或缺的重要组成部分。

根据科级划分,将较大科中园林植物种数在 15 种以上的科称为优势科(表 4)。

瑞丽市园林植物优势科共有 5 个科:大戟科、蝶形花科、桑科、棕榈和禾本科。涉及 57 属,共 102 种园林植物,种数占比 22.42%。5 个优势科所包含的植物种类多以热带和亚热带植物为主,这也充分证明了瑞丽市在园林植物选择与应用上遵循了因地制宜的原则,根据地域特点选择了适合的植物种类,体现了适地适树原则。

表 4 瑞丽市园林绿地园林植物优势科统计
Tab. 4 Dominant families of garden plants in
the green spaces of Ruili City

| 科名 | 属 | | 种 | |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 数量 /属 | 占比 /% | 数量 /种 | 占比 /% |
| 大戟科 Euphorbiaceae | 14 | 4.50 | 21 | 4.62 |
| 蝶形花科 Papilionaceae | 11 | 3.54 | 17 | 3.74 |
| 桑科 Moraceae | 4 | 1.28 | 26 | 5.71 |
| 棕榈科 Arecaceae | 18 | 5.79 | 23 | 5.05 |
| 禾本科 Poaceae | 10 | 3.22 | 15 | 3.30 |
| 合计 | 57 | 18.33 | 102 | 22.42 |

2.1.3 各类型绿地园林植物组成

不同类型的园林绿地因其功能属性不同,园林植物的组成也存在着差异,将调查区域内绿地属性进行分类统计,结果如表 5 所示。

表 5 瑞丽市不同类型绿地园林植物物种组成
Tab. 5 Plant species composition in different types of
green spaces in Ruili City

| 绿地类型 | 科 | | 属 | | 种 | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 数量 /科 | 占比 /% | 数量 /属 | 占比 /% | 数量 /种 | 占比 /% |
| 公园绿地 | 93 | 82.31 | 237 | 76.21 | 332 | 72.97 |
| 广场绿地 | 47 | 41.59 | 71 | 22.83 | 83 | 18.24 |
| 道路绿地 | 75 | 66.37 | 145 | 46.62 | 177 | 38.90 |
| 单位附属绿地 | 69 | 61.06 | 135 | 43.41 | 172 | 37.80 |
| 居住区绿地 | 63 | 55.75 | 120 | 38.59 | 147 | 32.31 |
| 合计 | 113 | — | 311 | — | 455 | — |

公园绿地记录有园林植物 93 科 237 属 332 种,种数占比 72.97%,种类与数量均为瑞丽市园林绿地植物最多;其次是道路绿地与单位附属绿地,道路绿地种数占比 38.90%,单位附属绿地种数占比 37.80%,说明瑞丽市道路绿地及单位附属绿地应用的植物种类较为丰富。

广场绿地种数最少,占比 18.24%,有 47 科 71 属 83 种,主要因广场绿地属性及瑞丽市两个广场绿地占地面积较小。本次调查中,居住区绿地园林植物的科数占比 55.75%,属数占比 38.59%,种数占比 32.31%,因近年来人们对园林绿化要求的不断提高,小区园林绿化设计作为房地产开发的核心环

节之一愈发受到重视,在植物选择及应用上更加注重其带来的景观效果。为了进一步提升居住区绿化品质,需要积极推广应用少种科、单种科的新种类园林植物。

2.2 园林植物生活型

园林植物生活型是指其在长期适应周边环境的各种生境中所展现出的独特外貌形态和结构特征的分类^[6]。经调查,瑞丽市园林绿地园林植物生活型主要分为乔木、灌木、草本以及藤本四大类别(表 6)。

表 6 瑞丽市园林绿地园林植物生活型
Tab. 6 Life forms of garden plants in
the green spaces of Ruili City

| 生活型 (大类) | 种 | | 生活型 (小类) | 种 | |
|-------------|----------|----------|-------------|----------|----------|
| | 数量 /种 | 占比 /% | | 数量 /种 | 占比 /% |
| 乔木 | 224 | 49.23 | 常绿乔木 | 161 | 35.38 |
| | | | 落叶乔木 | 63 | 13.85 |
| 灌木 | 120 | 26.37 | 常绿灌木 | 109 | 23.96 |
| | | | 落叶灌木 | 11 | 2.42 |
| 草本 | 101 | 22.20 | 一年生草本 | 8 | 1.76 |
| | | | 多年生草本 | 81 | 17.80 |
| | | | 竹类植物 | 12 | 2.64 |
| 藤本 | 10 | 2.20 | 常绿藤本 | 9 | 1.97 |
| | | | 落叶藤本 | 1 | 0.22 |
| 合计 | 455 | 100.00 | — | 455 | 100.00 |

由表 6 可知,瑞丽市园林绿地植物乔木有 224 种,占总种数的 49.23%,其中常绿乔木有 161 种,落叶乔木有 63 种;灌木有 120 种,占总种数的 26.37%,其中常绿灌木有 109 种,落叶灌木有 11 种;草本中一年生草本 8 种,多年生草本 81 种,竹类植物 12 种,共计 101 种,占总种数的 22.20%,多年生草本植物使用种类数量较多,主要是因其容易养护,性价比相对较高,竹类植物在部分园林绿地也有出现,具有丰富园林景观的作用,一年生草本的使用相对较欠缺;藤本植物最少,仅 10 种,包含常绿藤本 9 种,落叶藤本 1 种。在生活型的数量占比中,乔木占据主导地位,数量接近总数的 1/2,灌木和草本植物数量相近,而藤本植物相对最少。此外,除草本外,常绿植物与落叶植物比例为 2.56 : 1.00,表明常绿植物占优势。

2.3 园林植物观赏特性

园林植物观赏特质源自其茎、叶、花、果及整体形态所引发的美感,这种美感是通过人体多个感官来呈现的^[7]。根据瑞丽市园林植物特点,按其主要观赏部位或观赏器官将瑞丽市园林植物观赏特性分为 4 类,分别为观叶植物、观花植物、观茎植物和观果植物(表 7)。

表 7 瑞丽市园林绿地园林植物不同观赏特性
数量及种数占比

Tab.7 Species quantity and proportion of garden plants
with different ornamental characteristics in
the green spaces of Ruili City

| 观赏特性 | 数量/种 | 种数占比/% |
|------|------|--------|
| 观叶植物 | 407 | 89.45 |
| 观花植物 | 185 | 40.66 |
| 观茎植物 | 34 | 7.47 |
| 观果植物 | 63 | 13.85 |

由表 7 可知,瑞丽市园林绿地园林植物以观叶植物为主,有 407 种,种数占比 89.45%;其次是观花植物,有 185 种,种数占比 40.66%;观茎植物最少,仅 34 种,种数占比 7.47%,主要为竹类植物与棕榈类植物;观果植物有 63 种,主要有芒果(*Mangifera indica*)、菠萝蜜(*Artocarpus heterophyllus*)、石榴(*Punica granatum*)、竹节树(*Carallia brachiata*)、洋蒲桃(*Syzygium samarangense*)等。瑞丽市园林绿地园林植物观赏特性数量排名为观叶植物>观花植物>观果植物>观茎植物,观叶植物的数量远远超出其他观赏特性植物,应加强观花、观茎、观果及其他观赏特性植物的应用,丰富瑞丽市园林植物观赏特性,提升园林绿地景观美感。

2.4 园林植物的应用频率

经过调查及借鉴钟军珩^[8]对上海公共绿地木本植物应用频率划分原则,将瑞丽市园林绿地中的园林植物应用频率划分为 5 个等级(表 8)。

由表 8 可知,瑞丽市园林绿地园林植物应用频率很高的是三角梅和红花檵木,主要因这两种植物适应性强且养护管理较为方便。本次调查中应用频率较高的园林植物有 15 种,种数占比 3.3%,如小叶榕(*Ficus microcarpa*)、凤凰木(*Delonix regia*)、菠萝蜜、芒果、灰莉(*Fagraea ceilanica*)、鸡蛋花(*Plumeria rubra*)等,这些树种基本上为德宏州本土植物,也是

表 8 瑞丽市园林绿地园林植物应用频率

Tab.8 Application frequency of garden plants in
the green spaces of Ruili City

| 应用频率/% | 应用次数 /次 | 种 | |
|----------------|------------|------|-------|
| | | 数量/种 | 占比/% |
| 80~100(应用频率很高) | 19~23 | 2 | 0.44 |
| 60~80(应用频率较高) | 14~18 | 15 | 3.30 |
| 40~60(应用频率一般) | 10~13 | 24 | 5.27 |
| 20~40(应用频率较低) | 5~9 | 61 | 13.41 |
| <20(偶尔应用) | 1~4 | 353 | 77.58 |

市民喜爱的植物种类。本次调查中应用频率一般的园林植物有 24 种,种数占比 5.27%,以变叶木(*Codiaeum variegatum*)、红背桂(*Excoecaria cochinchinensis*)、腊肠树(*Cassia fistula*)、羊蹄甲(*Bauhinia purpurea*)、鸡冠刺桐(*Erythrina crista-galli*)为代表。应用频率较低的树种有 61 种,种数占比 13.41%,以小叶榄仁(*Terminalia neotaliala*)、铁力木(*Mesua ferrea*)、五月茶(*Antidesma bunius*)、雨树(*Samanea saman*)等为代表。偶尔应用的植物有 353 种,种数占比 77.58%,虽然这些植物出现次数少,但其中有很多植物具有较高观赏价值,具有一定的生态效益,且能较好地适应本地气候环境条件,如灯台树(*Cornus controversa*)、人心果(*Manilkara zapota*)、蒜香藤(*Mansoa alliacea*)、龙吐珠(*Clerodendrum thomsoniae*)、吊竹梅(*Tradescantia zebrina*)等,均具有较高利用价值,可进行适当的推广应用。

通过调查还发现,瑞丽市园林绿地园林植物应用频率排序为:乔木植物>灌木植物>草本植物,乔木植物的应用频率远高于其他植物,致使园林植物景观的层次感相对单一,此外,高频应用的园林植物在瑞丽市园林绿地中的数量也较多,使植物景观的相似度偏高,特色景观则相对匮乏,而应用频率较低的园林植物数量稀少,所营造的植物景观效果亦不够显著。

2.5 木本植物指数

2.5.1 园林绿地系统木本植物指数

本地木本植物不仅象征着本地文化,还能满足园林绿化建设需求,既保护了本地生态多样性,也丰富了城市绿化景观^[9]。根据《云南德宏州高等植物》《德宏州主要乡土绿化树种名录(第一批)》,将瑞丽市园林绿地木本植物分为乡土树种、归化树种、驯化树种、外来树种 4 类(表 9)。

表 9 瑞丽市园林绿地木本植物来源

Tab. 9 Sources of woody plants in the green spaces of Ruili City

| 植物来源 | 科 | | 属 | | 种 | |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 数量 /科 | 占比 /% | 数量 /属 | 占比 /% | 数量 /种 | 占比 /% |
| 乡土树种 | 37 | 42.05 | 112 | 47.45 | 173 | 48.87 |
| 归化树种 | 16 | 18.18 | 42 | 17.80 | 66 | 18.64 |
| 驯化树种 | 24 | 27.27 | 58 | 24.58 | 83 | 23.45 |
| 外来树种 | 11 | 12.50 | 24 | 10.17 | 32 | 9.04 |
| 合计 | 88 | 100.00 | 236 | 100.00 | 354 | 100.00 |

由表 9 可知,调查的 23 个区域共有木本植物 88 科 236 属 354 种,本地木本植物包括乡土树种、归化树种及驯化树种共 322 种,本地木本植物指数为 0.90,达到了城市园林绿化评价标准中城市园林绿化级评价标准。木本植物中,乡土树种数量最多,有 173 种,种数占比 48.87%;归化树种和驯化树种数量相差不大,归化树种有 83 种,种数占比 23.45%,驯化树种有 66 种,种数占比 18.64%;外来树种最少,有 32 种,种数占比 9.04%。综上,瑞丽市木本植物以乡土树种为主,在一定程度上说明瑞丽市乡土植物资源丰富,为城市绿化提供了坚实基础,今后应加强对本地植物资源的开发利用;其次驯化树种与外来物种种数之和尚未达到总种数的 1/3,说明瑞丽市本地乡土树种的推广与应用仍需进一步加强。

2.5.2 各类型园林绿地木本植物指数

对调查区域内的五大类绿地木本植物进行详尽统计与分析,结果如表 10 所示。

表 10 瑞丽市不同类型园林绿地本地木本植物数量

Tab. 10 Quantity of Native woody plants in different types of garden green spaces of Ruili City

| 绿地类型 | 木本植物 数量/种 | 本地木本植物 数量/种 | 本地木本 植物指数 |
|--------|--------------|----------------|--------------|
| 公园绿地 | 253 | 228 | 0.90 |
| 广场绿地 | 71 | 68 | 0.96 |
| 道路绿地 | 147 | 143 | 0.97 |
| 单位附属绿地 | 149 | 139 | 0.93 |
| 居住区绿地 | 130 | 119 | 0.92 |

由表 10 可知,瑞丽市不同类型绿地的本地木本植物种类丰富程度按本地木本植物数量排名依次

为:公园绿地>道路绿地>单位附属绿地>居住区绿地>广场绿地。此外,除广场绿地外,其他类型的园林绿地本地木本植物数量均超过 100 种;不同类型绿地的本地木本植物指数排名为:道路绿地>广场绿地>单位附属绿地>居住区绿地>公园绿地,不同类型绿地的本地木本植物指数均超过 0.90。由此可知,道路绿地的本地木本植物指数最高,可能是多数道路建设完成年限距今较长,初期城市建设时选用的本地木本植物较多,因此道路绿地的本地木本植物指数较高。相较之下,公园绿地建设完成年限距今较近,并为满足游玩、观赏和科普等功能,需要引入较多的新奇独特植物品种,这也是公园绿地本地木本植物指数相对较低的原因。

3 讨论与建议

3.1 讨论

园林植物景观讲究观形、赏色、闻香、听声的综合应用^[10]。现阶段瑞丽市园林绿地建设主要注重于园林绿地数量、绿地面积的存量与增量,虽然已达到绿地系统规划中绿地指标要求,却忽视了园林景观对园林植物选择乡土性、多样性、观赏性、独特性的需求,导致瑞丽市园林植物观赏性不足,植物景观多样性、区域特色性不够。此外,瑞丽市园林绿地使用的园林植物中,各绿地之间存在部分本地木本植物重复使用的情况,不利于有待推广的乡土树种的应用拓展^[11],归化树种及驯化树种的应用潜力也未能充分发挥出来。瑞丽市园林绿地园林植物养护管理水平仍需加强,园林植物种植后需对其进行精细养护,才能使其营造的景观呈现最佳效果^[12]。

3.2 建议

3.2.1 提高园林植物多样性,挖掘驯化树种和归化树种应用潜力

本次调查瑞丽市园林植物 455 种,植物种类以热带、亚热带特色植物为主,符合区域特色。但在植物应用频率方面,应用频率在 60% 以上的常用园林植物共有 17 种,种数占比仅为 3.74%,应用频率高的植物应用数量也多,造成瑞丽市园林绿地园林植物同质化现象,缺乏植物景观个性。单种科共 52 种,种数占比 11.43%,以海桑科、紫茉莉科、红树科、金缕梅科等为代表的部分单种科适应瑞丽市生长环境,长势优良,却极少应用。此外,瑞丽市园林绿地中大多归化树种和驯化树种观赏性状表现突出,如美丽异木棉(*Ceiba speciosa*)、九里香、花叶

青木(*Aucuba japonica* var. *variegata*)、沙漠玫瑰(*Adenium obesum*)、大粒咖啡(*Coffea liberica*)、澳洲朱蕉(*Cordyline australis*)、珊瑚树(*Viburnum odoratissimu*)、假槟榔(*Archontophoenix alexandrae*)、蓝花楹(*Jacaranda mimosifolia*)、海南菜豆树(*Radermachera hainanensis*)等,适当应用这些树种可补足乡土树种在景观开发应用方面存在的不足。此外,将科学研究与应用推广相结合,通过建立引种驯化和扩繁基地,筛选出适应性强、观赏性强、应用价值高的园林植物进行推广和应用,丰富瑞丽市城市绿地园林植物品种,提升园林景观效果。

3.2.2 提高乡土树种应用比例

本次调查瑞丽市园林植物中本地木本植物 354 种,乡土树种 173 种,乡土树种数量未达到总数的一半,说明乡土树种的开发利用仍需加强,根据德宏州林业和草原局发布的《德宏州主要乡土绿化树种名录》第一批,共记录有 112 种乡土绿化树种,其中有部分树种尚未在瑞丽市得到推广应用,如云南无忧花(*Saraca griffithiana*)、四角蒲桃(*Syzygium tetragonum*)、东京龙脑香(*Dipterocarpus retusus*)、千果榄仁(*Terminalia myriocarpa*)等。可通过支持本地乡土树种苗源,积极开发应用乡土树种,进一步挖掘乡土树种的观赏价值,增加其在园林绿化中的应用比例。

3.2.3 提升区域景观特色,丰富园林植物观赏特性

本次调查的园林植物在植物观赏性方面以观叶植物为主,共 407 种,种数占比达 89.45%,而观花植物仅 185 种,种数占比 40.66%,观茎及观果植物种数占比更低,从而造成植物观赏性不高,园林植物景观较为单一。其次,在植物生活型方面,乔木、灌木、草本、藤本种类比例为 22.40:12.00:10.10:1.00,各生活型物种的配比不足,致使植物群落结构营造较为单一。今后在植物选择应用上可适当增加灌木、花卉、藤本及草本植物的种类及应用频率,丰富不同层次植物景观,增加植物观赏特性,如通过在城市重要节点上增加特色景观,如花境、花坛、花海、本地特色树种等,因地制宜地营造丰富多彩的园林植物景观。

3.2.4 提高园林绿地园林植物养护管理水平

目前,在瑞丽市园林绿地园林植物景观效果维护方面,大部分区域的植物维护不佳,一方面是基本养护管理水平不到位,另一方面是养护管理水平不高,缺乏专业化的养护管理技术人员。因此,今后在养护管理上还需加强,园林绿化部门可通过开展园林绿化专业技能培训,提升园林植物养护管理人员的专业技能,同时,完善园林植物养护管理监管制度。此外,鼓励市民志愿者投身于公共园林绿化养护工作,增强全民的责任感与归属感。园林绿地园林植物的后期管理工作不仅需要各相关部门之间的全面协同合作,也需要市民群众的主动参与。

参考文献:

- [1] 张碧媛,阮琳,李智琦,等. 广州市常用园林植物调查及应用特点分析[J]. 中国园林,2024,40(6):110-116.
- [2] 付蓉,胥恣旻,段晓梅. 瑞丽市公园绿地文化特色规划研究[J]. 现代园艺,2022,45(5):115-117.
- [3] 付蓉,段晓梅. 瑞丽市公园绿地现状研究[J]. 绿色科技,2015(2):123-125.
- [4] 蒲泽敏. 园林植物的生物多样性与景观设计的关联性[J]. 分子植物育种,2023,21(19):6581-6585.
- [5] 李艳. 茂名市园林绿地植物及其景观调查分析[D]. 南宁:广西大学,2021.
- [6] 杨希博. 河南郑州园林植物系属组成及植物景观评价[J]. 分子植物育种,2023,21(16):5533-5538.
- [7] 代玉荣,穆立蕾. 植物资源园林应用研究及前景展望[J]. 中国果树,2022(7):121.
- [8] 钟军琚,李向茂,王本耀,等. 上海公共绿地木本植物资源调查与分析[J]. 中国园林,2019,35(S2):123-127.
- [9] 李宇轩. 贵港市公园绿地园林植物物种调查及植物景观评价[D]. 南宁:广西大学,2020.
- [10] 黄芮筠. 南宁五象新区创建国家级绿色生态示范城区植物多样性研究[D]. 南宁:广西大学,2018.
- [11] 王娟. 本地木本植物在无锡市城市绿地中的应用研究[D]. 南京:南京农业大学,2013.
- [12] 刘芬. 山东青岛市旅游区绿化园林植物资源调查研究[J]. 分子植物育种,2023,21(14):4816-4823.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.017

基于功能多样性的极小种群野生植物保护实践

郑静楠, 习白羽

(云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要:生物多样性不仅关系到自然界的健康和繁荣,也是人类社会可持续发展的基石。通过分析中国极小种群野生植物分布与保护现状,结合功能多样性理论与实践,从就地保护与生境管理、迁地保护与培育、种子库与基因库建设、公众参与与科普教育 4 个方面提出精准调查、强化监护、实施修复、选址与新栖息地建设、精细栽培管理、构建多形态基因库并建立遗传数据库、开展生态科普等 12 项具体保护策略。以期推动科研与保护实践的深度融合,实现极小种群野生植物的有效保护和可持续发展。

关键词:生物多样性;功能多样性;极小种群野生植物;就地保护;迁地保护

中图分类号:O122.5;S718.54;Q16 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0118-05

引文格式:郑静楠,习白羽. 基于功能多样性的极小种群野生植物保护实践[J]. 林业调查规划,2026,51(1):118-122,129. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.017

ZHENG Jingnan, XI Baiyu. Conservation Practices for Wild Plants with Extremely Small Populations Based on Functional Diversity[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 118-122, 129. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.017

Conservation Practices for Wild Plants with Extremely Small Populations Based on Functional Diversity

ZHENG Jingnan, XI Baiyu

(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: Biodiversity is not only vital for the health and prosperity of the natural world but also serves as a cornerstone for the sustainable development of human society. This paper analyzed the distribution and conservation status of wild plants with extremely small populations in China, and combined functional diversity theory and practice to propose 12 specific conservation strategies across four key areas: in-situ conservation, ex-situ conservation, seed and gene bank construction, and public participation coupled with science popularization. These strategies included precise field surveys, enhanced monitoring and protection, implementation of restoration projects, site selection and establishment of new habitats, refined cultivation practices, construction of multi-form gene banks along with genetic databases, and promotion of ecological science outreach. This study aims to promote the deep integration of scientific research and conservation practices, achieving effective protection and sustainable development of wild plants with extremely small populations.

Key words: biodiversity; functional diversity; wild plants with extremely small populations; in-situ conservation; ex-situ conservation

收稿日期:2024-12-02;修回日期:2025-02-11

第一作者:郑静楠(1993-),女,硕士,工程师.主要从事植物学、林业和草原调查规划、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:习白羽(1985-),男,工程师.主要从事自然保护地研究、林业和草原规划、生物多样性保护工作. Email:xby2155@163.com

中国是世界上生物多样性最丰富的国家之一,拥有高等植物 35 784 种,其中包括被子植物 30 068 种,裸子植物 251 种,石松类植物和蕨类植物 2 244 种,苔藓植物 3 221 种,也是世界上生物多样性热点地区和全球优先保护区域^[1-2]。根据世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)对受威胁物种评估体系的评估结果,我国有 3 879 种高等植物为受威胁物种,约占我国植物总数的 11%^[3],这些物种的致危因素包括过度利用、生境丧失、生物入侵和气候变化等^[4]。植物是生态系统的生产者,是生态系统保护健康发展的基础组分,伴随着植物种群由连续分布的大种群衰退成碎片化分布的极小种群,生态系统也随之退化,带来诸多隐患,包括宝贵生物资源的丧失、土壤退化、水土流失、生态系统服务功能丧失、荒漠化和石漠化、自然灾害等^[1]。极小种群野生植物作为生物多样性的重要组成部分,具有重要的经济和科学价值,保护极小种群有助于延缓物种灭绝,维护生态平衡,保存资源,促进生态可持续发展,对我国生物多样性保护具有极为重要的意义。

1 极小种群野生植物分布与保护现状

极小种群野生植物(plant species with extremely small populations, PSESP)是指分布地域狭窄或呈间断分布,长期受到自身因素(如遗传脆弱性)和外界因素(如环境变化、人为干扰)的双重胁迫,导致种群退化和数量持续减少,其种群及个体数量均极少,已低于稳定存活界限的最小生存种群(minimum viable population, MVP),从而随时面临灭绝危险的野生植物。这一概念于 2011 年由原国家林业局首次提出,并作为《中国(全国)极小种群野生植物拯救保护工程规划》的重要组成部分^[5-8]。

1.1 分布状况及生境

极小种群野生植物在全球范围内分布不均,但主要集中分布在我国的一些特定区域,特别是云南东南部、广西西南部和海南岛西南部,这些地区因其独特的地理和气候条件,成为极小种群野生植物的主要栖息地^[9]。

极小种群野生植物大多分布在年均温较高、温度季节性变化较小的地区,即我国的南部地区。多生长在阔叶林和灌丛中,对生境要求极为严格,生态幅狭窄,难以适应环境变迁。《全国野生动植物及自然保护区建设工程总体规划》最终确定的首批重点保护的 120 种极小种群野生植物广泛分布于中国

南方地区,在云南东南部、广西西南部和海南岛西南部有较高的丰富度^[10],常呈现间断分布或局部分布的特征,如滇南苏铁(*Cycas diannanensis*)、华盖木(*Pachylarnax sinica*)等珍稀植物,仅生存于某些特定山地的常绿阔叶林。许多具有极高保护价值的极小种群野生植物,如百山祖冷杉(*Abies beshanzuensis*)、普陀鹅耳枥(*Carpinus putoensis*)等,其野外种群数量极少,有的甚至只剩下几株原生植株,不仅面临着自然环境的挑战,如授粉困难、天然更新能力差等,还受到人类活动的严重威胁,如过度开发、生境破坏和非法采挖等。极小种群野生植物所处的生态系统常较为单一,抗干扰能力弱,一旦受到破坏,恢复难度极大。因此,在加强保护的同时,也需要注重对其生态环境的保护和恢复,以维护整个生态系统的平衡和稳定。

极小种群野生植物作为自然界中最为脆弱且亟需关注的生命群体,正面临着前所未有的生存挑战。这类植物种群数量稀少,栖息地受限,遗传多样性低,种群结构衰退,加之人类活动的不断干扰,使得其天然更新能力极差,灭绝风险极高。具体的威胁主要包括栖息地破坏、过度采挖与利用、气候变化、外来物种入侵等。

1.2 保护现状及国际国内政策

近年来,中国对极小种群野生植物的保护工作取得了显著进展。以云南省为先锋,中国积极推进极小种群野生植物的保护行动,成功挽救了包括华盖木、漾濞槭(*Acer yangbiense*)在内的 30 多种濒危植物,使其摆脱了灭绝的威胁^[11]。通过就地保护、迁地保护、种质库保存、种群增强及回归自然等方式,云南已建立了 30 个保护小区(点)、13 个迁地基地(园),并迁地保护了 61 种极小种群野生植物,累计超过 10 万株,回归定植 16 种,超 3 万株。《云南省极小种群野生植物拯救保护规划(2021—2030 年)》的出台,明确了 101 种极小种群野生植物作为保护对象,旨在实现所有名录物种种群数量的稳定或增长,改善生境质量,确保免于灭绝,并构建一套完善的拯救保护体系。这些实践和努力不仅体现了中国对生物多样性保护的坚定承诺,也为全球生物多样性保护提供了宝贵的经验^[12]。

国际方面,对极小种群野生植物保护的重视日益增强。中国在这一领域的努力和成就得到了国际社会的广泛认可。在 COP15(第十五届全球生物多样性公约缔约方会议)成功举办的背景下,中国极小种群野生植物保护计划(PSESP)在国际期刊

Plant Diversity 上获得了高度评价,被认为是保护生物多样性、维护地球生态平衡的典范^[13-15]。国际相关领域的保护政策也强调了对极小种群野生植物的保护,强调通过科学研究与实际行动的结合,确保这些濒危物种在自然界中的存续。国际合作项目不断增多,技术交流扩大为各国在极小种群野生植物保护方面提供了资金支持。

2 功能多样性理论与实践

2.1 功能多样性

在生态学与生物多样性保护领域,功能多样性(functional diversity)是指生态系统中物种功能性状分布的大小、范围及其相对丰富度和分布模式^[16]。这一概念强调了物种间功能特性的差异性和互补性,对于理解和预测生态系统功能具有重要意义。

功能多样性不仅关注物种的数量(即物种多样性),更重视物种在生态系统中扮演的功能角色及其相互作用。功能特性包括但不限于物理特征(如植物的叶面积、动物的体型)、行为特征(如觅食策略、活动范围)以及物候特征(如开花时间、繁殖周期)等。这些特征共同决定了物种在特定环境中的生存能力、资源利用效率以及对生态系统服务的贡献^[17-18]。采用功能多样性指数量化功能多样性,如功能丰富度指数(functional richness index, FRic)、功能均匀度指数(functional evenness index, FEve)和功能趋异指数(functional divergence index, FDiv)等^[19-20]。其中,功能丰富度指数反映了物种性状在生态位空间中的占据范围,体现了生态空间的利用程度;功能均匀度指数则描述了性状在生态位空间分布的均匀性,反映了资源利用的全面性和效率;功能趋异指数则揭示了物种性状之间的差异性和生态位分化程度,体现了群落内的竞争与互补关系^[21-22]。

在极小种群野生植物保护的应用中,功能多样性的概念尤为重要。由于极小种群植物种群数量稀少,面临着极高的灭绝风险,因此应保护其功能性状的多样性,确保种群在生态系统中的独特作用得以维持。通过评估和分析极小种群植物的功能多样性,更加精准地制定保护策略,如选择性地保护具有关键功能特性的物种、恢复其生境条件以及促进种群间的基因交流等,以最终实现极小种群野生植物的长期存续和生态系统的稳定。在极小种群野生植物保护实践中,功能多样性的评估和分析将成为制定有效保护策略的重要依据。

2.2 功能多样性在生态保护中的应用

功能多样性指的是影响生态系统功能过程的种间功能特征变化的范围,涵盖了群落种间功能性状、物种组成及其相对多度等基本成分的差异。这一理论不仅丰富了生物多样性的研究视角,也为生态保护实践提供了新思路。

功能多样性作为生态系统功能的重要预测因子,其在生态保护中的应用日益受到重视。在生态保护领域,功能多样性主要通过种间生态位互补效应提升群落的生产力和稳定性。如在极小种群野生植物保护中,通过引入具有不同功能特征的物种,可增加植物性状的多样化程度,如根系深度、冠层高度、生长速度、竞争能力及对不良环境的耐受力等。多样化的功能特征使得植物能在不同时空条件下,以不同方式最大化地利用有限资源,减少资源浪费,从而提升生态系统的整体生产力和稳定性。

在具体应用方面,功能多样性理念指导了极小种群野生植物保护策略的制定与实施。保护区通过建设珍稀濒危植物保育基地,积极开展珍稀濒危植物的栽培与繁育、野外回归与种群恢复工作。在保育基地中,利用温室大棚、苗圃等设施,收集并保育具有不同功能特征的珍稀濒危植物,通过科学管理和合理布局,实现了生态位的互补,提高了资源利用效率,有效促进了生态系统的恢复与重建。

3 极小种群野生植物保护策略

3.1 就地保护措施的实施与优化

3.1.1 科学规划与精准定位

对目标物种的分布范围、种群数量、生境状况等进行全面调查,通过样地研究和单株记录法,详细记录植物的种名、高度、胸径、冠幅等信息,并利用 GPS 进行精确定位。基于调查结果,制定科学的就地保护工程规划,明确保护区域和重点保护对象。

3.1.2 加强原生境保护与管理

维护现存自然生境是就地保护的关键。应在保护点开展动态监测,掌握种群及生境变化规律,加强对保护点原生境的保护管理力度。具体措施包括设立防护栏,安装监控设备,加强巡护和监管,防止人为干扰、非法采集及兽类侵害等行为。同时,建立电子档案,记录每株植物的生长状况、世代序列、种子产量等信息,便于长期跟踪和管理。

3.1.3 实施生境修复与改善

针对退化生境,应采取有效措施进行修复与改善。依据《极小种群野生植物保护技术》(LY/T

3086.1—2019)等标准,采取造林、封山育林、森林抚育等技术措施,恢复和重建适宜的生境条件。此外,还需重视生态补水、土壤改良等工作,为植物提供良好的生长环境。

3.1.4 提升公众意识与参与度

加强宣传教育,提升公众对极小种群野生植物保护的认知和参与度。通过举办科普讲座、展览、志愿者活动等形式,普及植物保护知识,增强社会责任感和参与意识。同时,鼓励科研机构、社会组织及公众共同参与保护工作,形成全社会共同关注、参与的良好氛围。

3.1.5 强化科技支撑与资金投入

加大科研资金投入,加强对极小种群植物遗传水平方向的科学研究。利用现代生物技术手段,如基因测序、遗传改良等,为植物保护提供科学依据和技术支持。同时,积极争取国家和地方财政资金支持,为保护工作提供坚实的资金保障。

3.2 迁地保护策略及其实践效果

在极小种群野生植物保护策略中,迁地保护作为一种重要的保护手段,旨在通过改变植物的原生环境,将其迁移到更为适宜的生长条件下进行栽培和繁殖,从而有效扩大种群数量,降低灭绝风险。

迁地保护策略的核心在于精准选址和科学培育。(1)通过详细的生态环境调查,选择土壤条件优越、气候适宜的新栖息地作为迁地保护点,要求掌握目标植物的生长习性、土壤需求、气候条件等;(2)开展精细化的栽培管理,包括土壤改良、灌溉施肥、病虫害防治等,确保植物在新的环境中能健康生长;(3)建立详细的植物档案,记录其生长状况、繁殖情况等,以便及时调整保护策略^[23]。

迁地保护策略在极小种群野生植物保护中取得了显著成效。(1)通过迁地保护,许多濒危植物得以在更为适宜的环境中存活并繁殖,种群数量得到明显增加,如华盖木、漾濞槭、巧家五针松(*Pinus squamata*)等一批极小种群野生植物人工繁育苗木超5万株,回归自然15种,共3000余株^[24];(2)迁地保护促进了植物遗传多样性的保存,由于新环境中可能存在更多的基因交流机会,迁地保护的植物种群在遗传方面更加多样,有助于其长期适应和进化^[25]。然而,迁地保护也面临一些挑战,如部分植物对原生环境的依赖性强,迁移后可能因不适应新环境而死亡。此外,迁地保护点的管理和维护也需要大量的人力和物力投入。因此,在实施迁地保护策略时,需要充分考虑植物的生物学特性和生态环

境需求,制定科学合理的保护方案,并加强监测和评估工作,以确保保护效果的最大化。

3.3 种子库与基因库建设

3.3.1 种子库建设

种子库作为保存植物种子的物理设施,其设计与运营需遵循严格的标准。(1)空间规划需根据种子种类和数量合理规划,确保每种种子均能有适宜的存储区域,并预留扩展空间;(2)温度、湿度控制是种子保存的关键,需根据种子的生物学特性设定最适的存储条件,并配备专业的温度、湿度控制设备和监测系统,确保种子长期保持活力;(3)光照和通风也是不可忽视的因素,需通过遮光窗帘、通风系统和空气净化设备等手段,为种子创造一个稳定且适宜的存储环境。

3.3.2 基因库建设

基因库则侧重于植物遗传资源的全面收集与长期保存。基因库不仅保存种子,还可能涉及种苗、组织培养物等多种形式的遗传材料。基因库建设需要综合运用分子生物学、遗传学等先进技术,对植物材料进行全面的遗传评估,并建立详细的数据库,记录每份样本的来源、遗传特征等信息。通过基因库的建设可实现对植物遗传资源的长期、稳定保存,为未来的科学研究、生态恢复和作物育种提供丰富的遗传资源。

3.3.3 综合管理与应用

种子库与基因库的建设还需注重综合管理与应用。要建立完善的管理体系,确保种子的定期检测、更新和维护;要积极开展科学研究和合作,探索种子与基因资源的有效利用途径,为生物多样性保护和可持续发展贡献力量。此外,加强公众教育和相关工作的宣传,提高社会各界对极小种群野生植物保护的认知和支持,也是种子库与基因库建设不可或缺的一环^[26-28]。

3.4 公众参与与科学普及

3.4.1 公众参与机制的构建

建立多元化的公众参与渠道,如设立保护热线、开发在线举报平台、组织志愿者活动等,让公众能便捷地参与到保护行动中来。同时,鼓励社区、企业、非政府组织等多方力量参与,形成政府主导、社会参与的协同保护模式。通过定期举办保护论坛、研讨会等活动,促进信息交流与资源共享,激发社会各界对极小种群野生植物保护的关注与热情。

3.4.2 科学普及的深入实施

教育是提升公众保护意识的基础。要将极小种

群野生植物保护知识纳入学校教育体系,从娃娃抓起,培养学生的生态意识和责任感。通过开设生态课程、举办科普讲座、组织野外考察等方式,让学生亲身感受自然界的奇妙与脆弱,激发他们保护环境的兴趣与行动。此外,还应充分利用媒体资源,通过电视、网络、社交媒体等渠道,广泛传播极小种群野生植物保护的重要性与紧迫性,提高公众的认知度和参与度。制作精美的宣传资料、公益广告,讲述保护背后的故事,让更多人了解并参与到保护行动中来。

3.4.3 激励与引导机制

为了持续推动公众参与与科学普及工作,需建立有效的激励与引导机制。对在保护工作中做出贡献的个人或组织给予表彰奖励,树立典型示范,激发全社会的保护热情。同时,通过政策引导、资金支持等方式,鼓励更多人参与到保护行动中来,形成全社会共同关注、共同参与的良好氛围。

4 结 语

在基于功能多样性的极小种群野生植物保护实践过程中,仍然面临着多重挑战与问题,这些挑战不仅关乎技术层面,也涉及政策、资金、社会认知等多个维度。极小种群野生植物常具有独特的生物学特性和生态需求,如何有效进行种群恢复和重建,如何确保迁地保护中种群的遗传多样性和适应性,均是亟待解决的技术难题。科研与保护实践的融合也是一项挑战。虽然近年来在极小种群野生植物研究方面取得了显著进展,但如何将科研成果有效地转化为保护实践,仍需加强思考。特别是在保护生物学理论、种群生态学方法的应用方面,需要更加深入地探索和创新。下一步需不断优化保护策略和技术手段,加强政策支持和资金投入,提升公众保护意识,推动科研与保护实践的深度融合,以实现极小种群野生植物的有效保护和可持续发展。

参考文献:

- [1] ALI M, KENNEDY C M, KIESECKER J, et al. Integrating biodiversity offsets with in Circular Economy policy in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018(185):32-43.
- [2] MENG H H, ZHOU S S, LI L, et al. Conflict between biodiversity conservation and economic growth: Insight into rare plants in tropical China[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2019, 28(2):523-537.
- [3] 覃海宁, 赵莉娜, 于胜祥, 等. 中国被子植物濒危等级的评估[J]. *生物多样性*, 2017, 25(7):745-757.
- [4] 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.
- [5] 杨文忠, 向振勇, 张珊珊, 等. 极小种群野生植物的概念及其对我国野生植物保护的影响[J]. *生物多样性*, 2015, 23(3):419-425.
- [6] 孙卫邦, 韩春艳. 论极小种群野生植物的研究及科学保护[J]. *生物多样性*, 2015, 23(3):426-429.
- [7] CRANE P. Conserving our global botanical heritage: The PSESP plant conservation program[J]. *Plant Diversity*, 2020, 42(4):319-322.
- [8] SUN W. Words from the guest editor-in-chief[J]. *Plant Diversity*, 2016, 38(5):207-208.
- [9] 张则瑾, 郭焱培, 贺金生, 等. 中国极小种群野生植物的保护现状评估[J]. *生物多样性*, 2018, 26(6):572-577.
- [10] 中华人民共和国国务院办公厅. 全国野生动植物保护及自然保护区建设工程总体规划[Z]. 北京: 国务院办公厅, 2009.
- [11] 孙卫邦, 徐永福. 极小种群野生植物中国的保护行动[J]. *森林与人类*, 2022(5):22-45.
- [12] 孙卫邦, 刘德团, 张品. 极小种群野生植物保护研究进展与未来工作的思考[J]. *广西植物*, 2021, 41(10):1605-1617.
- [13] SUN W B, MA Y P, BLACKMORE S. How a new conservation action can help to conserve the world's biodiversity[J]. *Plant Diversity*, 2016(38):207-208.
- [14] YANG J, CAI L, LIU D, et al. China's conservation program on plant species with extremely small populations (PSESP): Progress and perspectives[J]. *Plant Diversity*, 2020(42):10-20.
- [15] WADE E M, NADARAJAN J, YANG X, et al. Plant species with extremely small populations (PSESP) in China: A seed and spore biology perspective[J]. *Plant Diversity*, 2016, 38(5):209-220.
- [16] VILLÉGER S, MASON N W H, MOUILLOT D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology[J]. *Ecology*, 2008, 89(8):2290-2301.
- [17] 王婉婉, 陈明珠, 雷霆. 西洞庭湖洲滩植物物种与功能多样性空间分布特征及其相关性[J]. *生态与农村环境学报*, 2024, 40(6):780-789.
- [18] 樊容源. 不同林龄桉树人工林土壤微生物群落结构与功能多样性变化特征[D]. 南宁: 广西大学, 2024.
- [19] COELHO A J P, SILLA F, MAGNAGO L F S, et al. Anthropogenic disturbances shape functional composition and diversity in Brazilian savanna: Contrasting effects of local and landscape-scale drivers[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2025:e03893.

(下转第 129 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.018

云南省原始森林生态系统服务功能价值评估

毕艳玲,王 勇,蔡文婧

(云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051)

摘要:基于 2023 年云南省原始森林资源调查数据,依据《森林生态系统服务功能评估规范》,采用物质量与价值量相结合的方法,从涵养水源、保育土壤、固碳释氧、积累营养物质、净化大气环境和生物多样性保护 6 个方面,对云南省原始森林生态服务功能价值进行系统评估。结果表明,云南省原始森林总面积为 247.78 万 hm^2 ,生态服务功能总价值为 3 176.67 亿元/a,相当于全省 2023 年 GDP 的 10.58%。其中,生物多样性保护价值(1 415.21 亿元,44.55%)、涵养水源价值(920.33 亿元,28.97%)和保育土壤价值(588.56 亿元,18.53%)贡献最为显著。云南省原始森林单位面积价值为 12.82 万元/ hm^2 ,是全国森林生态服务功能平均值的 3.0 倍,空间分布上呈现明显区域差异,滇西北地区价值总量最大,南部边境地区单位面积价值最高。

关键词:原始森林;生态系统服务功能;价值评估;生物多样性保护;云南省

中图分类号:S718.557 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0123-07

引文格式:毕艳玲,王勇,蔡文婧. 云南省原始森林生态系统服务功能价值评估[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 123-129. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.018

BI Yanling, WANG Yong, CAI Wenjing. Value Assessment of Primary Forest Ecosystem Services in Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 123-129. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.018

Value Assessment of Primary Forest Ecosystem Services in Yunnan Province

BI Yanling, WANG Yong, CAI Wenjing

(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: Based on the 2023 survey data of primary forest resources in Yunnan Province and following the *Specifications for Assessment of Forest Ecosystem Services* (LY/T 1721—2008), this study systematically evaluated the ecological services value of primary forests in Yunnan Province using a combination of physical quantities and value-based measurement methods. The assessment covered six aspects: water conservation, soil preservation, carbon sequestration and oxygen release, nutrient accumulation, atmospheric environment purification, and biodiversity conservation. The results showed that the total area of primary forests in Yunnan Province was 2.4778 million hm^2 , with an annual ecological service value of 317.667 billion yuan, accounting for 10.58% of the province's GDP in 2023. Among the services, biodiversity conservation value (141.521 billion yuan, 44.55%), water conservation value (92.033 bil-

收稿日期:2025-09-19;修回日期:2025-10-17

基金项目:云南省重点研发计划社会发展专项(302403AC100035);国家自然科学基金面上项目(32471737)。

第一作者:毕艳玲(1977-),女,高级工程师。从事林业调查规划、林业遥感、林业信息管理等研究。Email:50012209@qq.com

责任作者:蔡文婧(1988-),女,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。Email:muzicaoji@163.com

lion yuan, 28.97%), and soil preservation value (58.856 billion yuan, 18.53%) contributed most significantly. The value per unit area was 128 200 yuan/hm², which was 3.0 times the national average for forest ecological services. Spatially, the valuation showed distinct regional variations; the northwest Yunnan exhibited the highest total value, while the southern border areas exhibited the highest value per unit area.

Key words: primary forests; ecosystem services; value assessment; biodiversity conservation; Yunnan Province

森林生态系统服务功能是指森林生态系统及其生态过程所形成及维持的人类赖以生存的生态环境条件与效用^[1]。原始森林未受明显人为干扰,具备完整群落结构和原生性特征,在生物多样性保护、水源涵养、碳汇功能等方面具有不可替代的价值^[2]。云南省地处中国西南边陲,是中国生物多样性最丰富的省份之一,原始森林分布广泛,植被类型多样,包括热带雨林、季风常绿阔叶林、寒温性针叶林等。

随着生态文明建设的深入推进,森林生态系统服务功能的量化评估已成为生态学和资源经济学研究的热点。目前,云南省森林生态系统服务功能评估的相关研究较多,但专门针对原始森林生态系统的全面评估仍相对缺乏。云南省作为中国重要的生态安全屏障,其原始森林保护状况直接关系到区域生态安全与可持续发展。

本研究旨在定量评估云南省原始森林生态服务功能价值,明确其空间分布特征,并分析不同植被类型和区域的价值差异,为云南省生态保护红线划定、生态补偿政策制定和森林可持续管理提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

云南省位于 21°8′~29°15′N, 97°31′~106°11′E, 总面积 39.4 万 km²。地势西北高、东南低,海拔 76~6 740 m,形成明显的立体气候和植被带分布。根据 2023 年调查数据,云南省原始森林总面积为 247.78 万 hm², 占全省森林总面积的 9.9%, 主要分布于滇西北、滇西南和滇南地区,构成云南省生态安全格局的核心组成部分^[3]。

1.2 评估指标体系

依据《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T 1721—2008)^[4], 结合原始森林生态系统特点,选取 6 类功能 10 个指标进行评估,指标体系遵循代表性、全面性、简明性、可操作性和适应性原则,确保评估结果科学可靠(表 1)。

表 1 云南省原始森林生态服务功能评估指标体系

Tab. 1 Assessment index system for ecological services of primary forests in Yunnan province

| 功能类别 | 评估指标 | 参数说明 | 评估方法 |
|---------|--------|---|--------------------|
| 涵养水源 | 调节水量 | 降水储存量 | 降水储存量法 |
| | 净化水质 | 水质净化量 | 替代工程法 |
| 保育土壤 | 森林固土 | 土壤保持量 | 土壤侵蚀差法 |
| | 森林保肥 | N、P、K、有机质 | 市场价值法 |
| 固碳释氧 | 森林释氧 | O ₂ 释放量 | 光合作用方程式法 |
| 积累营养物质 | 林木营养积累 | N、P、K 积累量 | 生物量法 |
| 净化大气环境 | 提供负离子 | 负离子释放数量 | 市场价值法 |
| | 吸收污染物 | SO ₂ 、HF、NO _x 吸收量 | 面积—吸收能力法、治理成本法 |
| | 阻滞降尘 | 粉尘阻滞量 | |
| 生物多样性保护 | 物种保育 | 物种丰富度 | Shannon-Wiener 指数法 |

1.3 数据来源与处理

1.3.1 数据来源

1) 云南省 2023 年原始森林分布数据(云南省林业调查规划院成果);

2) 气象数据(云南省气象栅格数据,包括多年平均降水量);

3) 土壤数据(云南国土资源遥感综合调查成果,包括侵蚀模数、养分含量等);

4) 社会公共数据(《云南省 2023 年国民经济和社会发展统计公报》《2023 云南统计年鉴》等^[5-6]);

5) 物种组成等调查数据(2013—2023 年云南省野生动植物资源调查成果);

6) 其他相关研究数据和文献资料。

1.3.2 数据处理

所有数据均经过严格质量控制和处理,包括坐标统一、单位转换、异常值处理等,确保评估结果的科学性和可靠性。土壤侵蚀模数、泥沙平均容重、土壤养分等参数进行本地化,来源于《云南国土资源遥感综合调查》^[7];林分年净生产力根据林木蓄积

及生长力核算。为便于价值量比较,全省范围内运用同一价格。社会公共数据采用 2022 年价格水平,并通过价格指数统一调整。

1.4 评估方法

评估采用《森林生态系统服务功能评估规范》^[4]推荐的方法,通过 GIS 平台进行空间分析和处理。

1.4.1 涵养水源功能

1) 采用降水储量法计算调节水量物质量,其计算公式为:

$$Q = A \times J \times R \quad (1)$$

式中: Q 为涵养水源量(m^3/a); A 为森林面积(hm^2); J 为产流降雨量(mm); R 为径流减少系数。

2) 采用替代工程法计算调节水量价值量,其计算公式为:

$$U_{\text{调}} = Q \times C_{\text{库}} \quad (2)$$

式中: $C_{\text{库}}$ 为单位库容造价(7.28 元/ m^3)。

3) 净化水质价值量采用全省城镇居民用水平均价格(2.50 元/t)计算。

1.4.2 保育土壤功能

1) 固土物质量计算公式为:

$$G_{\text{固土}} = A \times (X_2 - X_1) \quad (3)$$

式中: X_1 、 X_2 分别为林地和无林地土壤侵蚀模数。

2) 固土价值评估采用清除泥沙淤积的费用法计算,其公式为:

$$U_{\text{固土}} = A \times C_{\text{库}} \times (X_2 - X_1) / \rho \quad (4)$$

式中: $C_{\text{库}}$ 为水库挖取土方工程费用(21.80 元/ m^3); ρ 为泥沙的平均容重(t/m^3)。

3) 保肥价值量计算公式为:

$$U_{\text{肥}} = A \times (X_2 - X_1) \times (N \times C_1/R_1 + P \times C_1/R_2 + K \times C_2/R_3 + M/C_3) \quad (5)$$

式中: N 、 P 、 K 、 M 为土壤养分含量; R_1 为磷酸二铵含 N 量(14.00%); R_2 为磷酸二铵含 P 量(15.01%); R_3 为氯化钾含 K 量(50.00%); C_1 、 C_2 、 C_3 为肥料价格(磷酸二铵 2 700 元/t、氯化钾 2 300 元/t、有机质 360 元/t)。

1.4.3 固碳释氧功能

释氧物质量计算公式为:

$$G_{\text{氧}} = 1.19 \times B_{\text{年}} \quad (6)$$

式中: $B_{\text{年}}$ 为林分年净生产力(t/a),通过材积源生物量法计算;制造氧气价格为 1 000 元/t。

1.4.4 积累营养物质功能

1) 物质量计算公式为:

$$G_{\text{氮}} = B_{\text{年}} \times N_{\text{营养}} \quad (7)$$

$$G_{\text{磷}} = B_{\text{年}} \times P_{\text{营养}} \quad (8)$$

$$G_{\text{钾}} = B_{\text{年}} \times K_{\text{营养}} \quad (9)$$

2) 价值量计算公式为:

$$U_{\text{营养}} = B_{\text{年}} \times (N_{\text{营养}} \times C_1/R_1 + P_{\text{营养}} \times C_1/R_2 + K_{\text{营养}} \times C_2/R_3) \quad (10)$$

1.4.5 净化大气环境功能

1) 提供负离子浓度及寿命计算负离子数量,按负离子生产费用计算价值。

2) 采用面积—吸收能力法计算各类污染物吸收量和滞尘量,价值量采用治理成本法计算(SO_2 1.20 元/kg, HF 1.15 元/kg, NO_x 1.20 元/kg;降尘清理 0.25 元/kg)。

1.4.6 生物多样性保护功能

利用区域保护物种分布数据,采用 Shannon-Wiener 指数法确定单位面积价值,按指数大小分为 8 个等级(3 000~60 000 元/ hm^2)。

2 结果与分析

2.1 生态服务功能物质量

云南省原始森林年生态服务功能物质量极为显著。涵养水源量达 94.10 亿 m^3/a ,相当于 941 个中型水库库容量;固土量 2.51 亿 t/a,有效减少土壤侵蚀和水土流失;通过保肥作用减少土壤矿质养分损失 502.00 万 t/a,相当于全国 2020 年化肥总产量(折纯量)的 9.30%;释放氧气 1 021.55 万 t/a;林木积累营养物质 10.31 万 t/a;提供负离子 4.12×10^{25} 个/a,吸收污染物 38.07 万 t/a,滞尘 5 036.21 万 t/a,显著改善空气质量(表 2)。

空间分布方面,滇西北的迪庆、怒江两州在固土量和保肥量方面贡献最大,分别占全省总量的 34.0% 和 37.2%。涵养水源功能方面,迪庆州原始森林面积是西双版纳州的 3.5 倍,但其涵养水源量(14.61 亿 m^3)与西双版纳州(13.36 亿 m^3)相当,主要受植被类型和降雨量差异影响。

2.2 生态服务功能价值量

2.2.1 总价值构成

云南省原始森林生态服务功能总价值为 3 176.67 亿元/a,相当于 2023 年全省 GDP 的 10.58%^[5]。这一价值凸显了原始森林在云南省生态安全和社会经济发展中的重要地位。其各功能价值及占比分别为:生物多样性保护价值 1 415.21 亿元(44.55%)、涵养水源价值 920.33 亿元(28.97%)、保育土壤价值 588.56 亿元(18.53%)、净化大气环境价值 136.77 亿元(4.31%)、固碳释氧价值 102.15 亿元(3.21%)、积累营养物质价值 13.65 亿元(0.43%)。

表 2 云南省原始森林生态服务功能物质质量
Tab. 2 Physical quantities of ecological services of
primary forests in Yunnan province

| 功能类别 | 指标 | 物质量 |
|--------|--------------------|----------------------------|
| 涵养水源 | 调节水量 | 94. 10 亿m ³ /a |
| | 固土 | 2. 51 亿 t/a |
| 保育土壤 | 减少 N 损失 | 111. 03 万 t/a |
| | 减少 P 损失 | 40. 45 万 t/a |
| | 减少 K 损失 | 350. 52 万 t/a |
| | 减少有机质损失 | 2774. 19 万 t/a |
| 固碳释氧 | 释放氧气 | 1021. 55 万 t/a |
| 积累营养物质 | 林木积累 N | 5. 75 万 t/a |
| | 林木积累 P | 0. 35 万 t/a |
| | 林木积累 K | 4. 21 万 t/a |
| 净化大气环境 | 提供负离子 | 4. 12×10 ²⁵ 个/a |
| | 吸收 SO ₂ | 35. 88 万 t/a |
| | 吸收 HF | 0. 70 万 t/a |
| | 吸收 NO _x | 1. 49 万 t/a |
| | 滞尘 | 5036. 21 万 t/a |

生物多样性保护价值占比最高,这与云南省“动物王国”“植物王国”的地位相符,表明原始森林在保护珍稀濒危物种方面具有不可替代的价值。涵养水源和保育土壤价值合计占 47. 50%,表明原始森林在云南省水资源安全和国土安全中发挥着关键作用。

2. 2. 2 空间分布特征

不同区域的原始森林生态服务功能价值差异显著。迪庆藏族自治州价值最高(1 011. 04 亿元, 31. 83%),其次为怒江傈僳族自治州(987. 78 亿元, 31. 09%)和西双版纳傣族自治州(372. 57 亿元, 11. 73%)。3 个州(市)合计占总价值的 74. 65%,显示价值分布相对集中于滇西北和滇南(表 3)。

2. 2. 3 单位面积价值

云南省原始森林生态服务功能单位面积价值达 12. 82 万元/hm²,是全国森林生态服务功能平均值(4. 26 万元/hm²)^[8]的 3. 0 倍。各州市单位面积价值差异显著,保山市(16. 84 万元/hm²)、怒江州(15. 99 万元/hm²)和红河州(14. 08 万元/hm²)较高,空间上呈现“西高东低”格局(表 4,图 1)。

单位面积价值的空间分异主要受植被类型、生物多样性、林分生产力和环境条件等因素影响。南

表 3 各州(市)原始森林生态服务功能价值
Tab. 3 Ecological service value of primary forests in
various prefectures (cities)

| 州(市) | 价值/(亿元·a ⁻¹) | 占比/% | 排序 |
|-------|--------------------------|--------|----|
| 迪庆州 | 1011. 04 | 31. 83 | 1 |
| 怒江州 | 987. 78 | 31. 09 | 2 |
| 西双版纳州 | 372. 57 | 11. 73 | 3 |
| 保山市 | 183. 19 | 5. 77 | 4 |
| 红河州 | 150. 61 | 4. 74 | 5 |
| 德宏州 | 114. 50 | 3. 60 | 6 |
| 普洱市 | 111. 54 | 3. 51 | 7 |
| 临沧市 | 86. 39 | 2. 72 | 8 |
| 丽江市 | 57. 45 | 1. 81 | 9 |
| 大理州 | 44. 80 | 1. 41 | 10 |
| 玉溪市 | 21. 35 | 0. 67 | 11 |
| 楚雄州 | 14. 97 | 0. 47 | 12 |
| 文山州 | 11. 50 | 0. 36 | 13 |
| 昭通市 | 5. 23 | 0. 17 | 14 |
| 昆明市 | 3. 35 | 0. 11 | 15 |
| 曲靖市 | 0. 40 | 0. 01 | 16 |

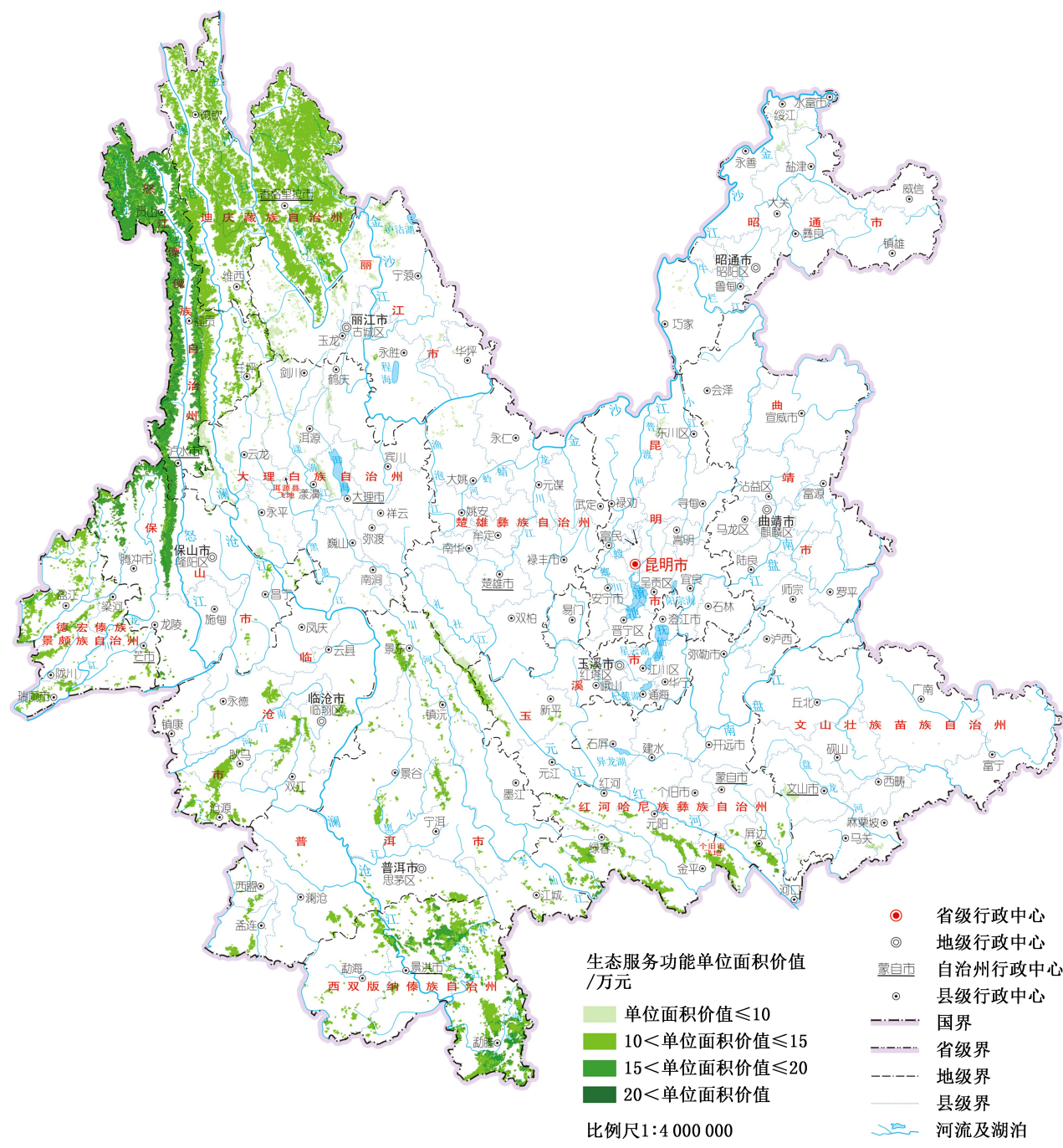
表 4 各州(市)原始森林生态服务功能单位面积价值
Tab. 4 Ecological service value per unit area of
primary forests in various prefectures (cities)

| 万元/(hm ² ·a) | | | | | |
|-------------------------|------------|----|------|------------|----|
| 州(市) | 单位面积 价值 | 排序 | 州(市) | 单位面积 价值 | 排序 |
| 保山 | 16. 84 | 1 | 玉溪 | 9. 97 | 9 |
| 怒江 | 15. 99 | 2 | 丽江 | 9. 35 | 10 |
| 红河 | 14. 08 | 3 | 文山 | 9. 31 | 11 |
| 西双版纳 | 13. 96 | 4 | 楚雄 | 8. 87 | 12 |
| 德宏 | 13. 07 | 5 | 大理 | 8. 73 | 13 |
| 普洱 | 11. 27 | 6 | 昆明 | 7. 86 | 14 |
| 临沧 | 10. 84 | 7 | 昭通 | 7. 54 | 15 |
| 迪庆 | 10. 80 | 8 | 曲靖 | 6. 35 | 16 |

部边境地区分布有热带雨林、季雨林等植被类型,生物多样性丰富,林分生产力高,单位面积价值较高;滇中地区人类活动干扰较大,原始森林质量较差,单位面积价值相对较低。

2. 2. 4 不同植被类型价值特征

不同植被类型原始森林的生态服务功能价值存



注:审图号为云S(2024)9号,本图境界不作划界依据。

图 1 云南省原始森林生态服务功能等级分布
Fig.1 Distribution of ecological service levels of primary forests in Yunnan Province

在显著差异(表 5)。

寒温性针叶林价值最高(872.72 亿元,27.47%),其次为中山湿性常绿阔叶林(584.07 亿元,18.39%)和季风常绿阔叶林(480.30 亿元,15.12%)。3 种植被类型价值占总价值的 60.98%,是主要贡献者。

单位面积价值以石灰山季雨林(15.38 万元/hm²)、山地雨林(15.23 万元/hm²)和中山湿性常绿

阔叶林(15.22 万元/hm²)较高。这些植被类型主要分布在南部和西部边境地区,生物多样性丰富、林分生产力高、生态功能强。寒温性针叶林虽然价值总量大,但单位面积价值相对较低(11.71 万元/hm²),与其分布区域气候寒冷、生长缓慢有关。这一差异反映了不同植被类型的生态功能特点,其保护策略应同时考虑保护面积和单位面积价值。

表 5 不同植被类型原始森林生态服务功能价值
Tab. 5 Ecological service value of primary forests with different vegetation types

| 植被类型 | 价值 /(亿元 · a ⁻¹) | 占比 /% | 排 序 | 单位面 积价值 /(万元 · hm ⁻² · a ⁻¹) | 排 序 | 主要 分布 区域 |
|-------------|-----------------------------------|----------|--------|---|--------|----------------|
| 寒温性针叶林 | 872.72 | 27.47 | 1 | 11.71 | 13 | 滇西北 |
| 中山湿性常绿阔叶林 | 584.07 | 18.39 | 2 | 15.22 | 3 | 滇西、滇南 |
| 季风常绿阔叶林 | 480.30 | 15.12 | 3 | 13.00 | 8 | 滇南 |
| 温凉性针叶林 | 366.85 | 11.55 | 4 | 12.70 | 10 | 滇西北 |
| 寒温性灌丛 | 279.32 | 8.79 | 5 | 11.99 | 11 | 滇西北 |
| 寒温山地硬叶常绿阔叶林 | 137.33 | 4.32 | 6 | 11.78 | 12 | 滇西北 |
| 寒温性竹林 | 126.90 | 4.00 | 7 | 13.58 | 7 | 滇西 |
| 山地苔藓常绿阔叶林 | 93.18 | 2.93 | 8 | 13.96 | 6 | 滇南 |
| 山地雨林 | 63.79 | 2.01 | 9 | 15.23 | 2 | 滇南 |
| 暖温性针叶林 | 61.11 | 1.92 | 10 | 12.91 | 9 | 滇西 |
| 季节雨林 | 42.66 | 1.34 | 11 | 15.03 | 4 | 滇南 |
| 半湿润常绿阔叶林 | 28.15 | 0.89 | 12 | 9.64 | 16 | 滇中 |
| 暖热性针叶林 | 17.49 | 0.55 | 13 | 11.71 | 14 | 滇南 |
| 山顶苔藓矮林 | 16.53 | 0.52 | 14 | 10.85 | 15 | 滇西、滇南 |
| 石灰山季雨林 | 5.89 | 0.19 | 15 | 15.38 | 1 | 滇南 |
| 半常绿季雨林 | 0.38 | 0.01 | 16 | 14.68 | 5 | 滇南 |

3 讨 论

3.1 原始森林生态服务功能的价值特征

与之前的研究相比^[8-13],本研究更加专注于原始森林生态系统,揭示了其相对于其他森林类型的更高生态价值。研究表明,云南省原始森林生态服务功能价值巨大,单位面积价值远高于全国平均水平,这与云南省独特的生物地理条件和丰富的生物多样性密切相关。研究结果强调了原始森林保护在维持区域生态安全中的重要性。

3.2 空间分异特征及其成因

云南省原始森林生态服务功能价值呈现明显的空间分异,是自然地理条件和人类活动共同作用的结果。价值量空间分布与原始森林面积分布基本一致。滇西北的迪庆、怒江两州价值最高,与该区域原始森林面积大、生态系统完整密切相关。南部和西

部边境地区单位面积价值较高,主要因其分布有热带雨林、季雨林等植被类型,生物多样性丰富、林分生产力高。

3.3 原始森林生态服务功能的特殊性

与其他森林类型相比,云南省原始森林有更高的生态服务功能价值,应当作为生态保护的重点对象。

根据相关研究^[8],云南省森林生态系统服务功能总价值为 10 147.61 亿元,单位面积价值为 5.06 万元/hm²。本研究发现,原始森林以全省 9.9% 的森林面积,贡献了全省森林生态服务功能总价值的 31.30%,单位面积价值是其 2.53 倍,凸显了原始森林在生态系统服务中的特殊地位。

与云南省国家级和省级自然保护区森林生态服务功能价值^[9]相比,原始森林单位面积价值也表现出一定优势,表明其作为未经人为干扰或干扰极少的森林生态系统,具有更高的生态服务功能价值,应作为生态保护的重点对象。

3.4 研究的不确定性改进方向

本研究采用《森林生态系统服务功能评估规范》^[4]的方法体系,确保了评估结果的可比性,但仍存在一定不确定性:(1)部分参数采用区域平均值,可能低估局部变异;(2)生物多样性保护价值评估采用 Shannon-Wiener 指数法,未能完全体现珍稀濒危物种的特殊价值;(3)高海拔地区降雪对水源涵养的贡献未纳入评估;(4)一些重要的生态系统服务(如文化服务、旅游价值等)未纳入评估范围。

未来研究应进一步:(1)开发适用于不同植被类型和海拔梯度的评估参数;(2)建立包含珍稀濒危物种保护价值的评估方法;(3)考虑气候变化对生态服务功能价值的长期影响;(4)完善评估指标体系,将文化服务等价值纳入评估范围。

4 结论与建议

4.1 主要结论

1) 云南省原始森林生态服务功能总价值达 3 176.67 亿元/a,单位面积价值 12.82 万元/hm²,远高于全国和全省森林平均水平,凸显了其在生态安全和社会经济发展中的重要地位。

2) 价值分布呈现明显空间异质性,滇西北地区价值总量最大,南部边境地区单位面积价值最高,为差异化保护策略提供了依据。

3) 不同植被类型价值差异显著,寒温性针叶林价值总量最大,石灰山季雨林单位面积价值最高,反映了植被类型对生态服务功能的显著影响。

4.2 政策建议

4.2.1 建立优先保护体系

将原始森林保护纳入云南省生态安全战略核心内容,建立以生态服务功能价值为依据的保护优先级体系,重点保护价值高的热带雨林、季雨林等植被类型。

4.2.2 完善生态补偿机制

提高原始森林生态补偿标准,特别是对单位面积价值高的地区和植被类型,应给予更高补偿标准,体现“优质优价”原则。建议将原始森林生态补偿标准提高至一般森林的 2 倍以上。

4.2.3 加强生态系统管理

针对不同区域原始森林特点,实施差异化保护策略。滇西北地区应注重整体保护,维持生态系统完整性;南部边境地区应加强对高价值植被类型的重点保护。

4.2.4 推动跨部门协作

将原始森林保护与水资源管理、生物多样性保护、气候变化应对等工作有机结合,形成保护合力,最大化生态效益。

4.2.5 开展长期监测研究

建立原始森林生态服务功能监测评估体系,定期评估其变化趋势,为适应性管理提供科学依据。

参考文献:

- [1] DAILY G C. Nature's Services; Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington, DC: Island Press, 1997.
- [2] WATSON J E, EVANS T, VENTER O, et al. The exceptional value of intact forest ecosystems [J]. Nature Ecology & E-

volution, 2018, 2(4): 599-610.

- [3] 温庆忠, 华朝朗, 陶晶, 等. 云南原始林资源[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2024.
- [4] 国家林业局. 森林生态系统服务功能评估规范: LY/T 1721—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [5] 云南省统计局, 国家统计局云南调查总队. 云南省 2023 年国民经济和社会发展统计公报[R]. 昆明: 云南省统计局, 2024.
- [6] 云南省统计局. 2023 云南统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- [7] 云南省发展计划委员会, 云南省国土资源厅. 云南国土资源遥感综合调查[M]. 昆明: 云南科学技术出版社, 2004.
- [8] 王兵, 任晓旭, 胡文. 中国森林生态系统服务功能及其价值评估[J]. 林业科学, 2011, 47(2): 145-153.
- [9] 华朝朗, 杨东, 赵元藩, 等. 云南省国家级和省级自然保护区森林生态服务功能价值评估[J]. 植物分类与资源学报, 2013, 35(5): 656-664.
- [10] 杨海江, 勾晓华, 马维兢, 等. 2010—2021 年中国森林生态系统服务功能价值评估研究进展[J]. 生态学杂志, 2024, 43(1): 244-253.
- [11] 陈俊成, 李天宏. 中国生态系统服务功能价值空间差异变化分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2019, 55(5): 951-960.
- [12] 曹世雄, 刘玉洁, 苏蔚, 等. 中国陆地生态系统服务净价值评估[J]. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(3): 331-339.
- [13] 王兵. 生态连清理论在森林生态系统服务功能评估中的实践[J]. 中国水土保持科学, 2016, 14(1): 1-11, 151.

责任编辑: 杨竣熔

(上接第 122 页)

- [20] PARK A, CARPENTER C. Understory species and functional diversity in a chronosequence of jack pine and red pine stands in the south-central boreal forest[J]. Botany, 2016, 94(3): 185-200.
- [21] 刘雪, 闫晓明, 唐俊, 等. 基于宏基因组分析菌渣微生物群落组成和功能多样性[J]. 安徽农业大学学报, 2024, 51(3): 488-494.
- [22] 李江文, 房美艳, 张晓曦, 等. 降水和载畜率对短花针茅荒漠草原物种及功能多样性的影响分析[J]. 生态学报, 2024, 44(19): 8627-8635.
- [23] 杨文忠, 李永杰, 张珊珊, 等. 云南蓝果树保护小区——中国首个极小种群野生植物保护小区建设实践[J]. 西部林业科学, 2016, 45(3): 149-154.
- [24] 孙卫邦, 程浩, 虎遵会, 等. 部分极小种群野生植物的

“新家”——云南极小种群野生植物迁地保护的现状与成效[J]. 中国林业科学, 2021(3): 27-31.

- [25] 陈进, 杨玺. 关于植物迁地保护若干问题的讨论[J]. 生物多样性, 2024, 32(2): 5-11.
- [26] 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): 84-105.
- [27] 郑进烜, 蔡文婧, 郑静楠, 等. 云南省极小种群野生植物拯救保护规划研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 151-155.
- [28] 郑静楠, 华朝朗, 郑进烜, 等. 云南省重点保护野生植物资源现状与保护对策[J]. 福建林业科技, 2021, 48(2): 102-108.

责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.019

锐齿槲栎群落乔灌木层优势种的种间关联研究

张莹,蔡京勇,汪洋,余远国

(湖北生态工程职业技术学院,湖北 武汉 430200)

摘要:基于样地调查数据,采用方差比率(VR)、 χ^2 检验、Spearman秩相关检验方法,研究堵河源国家级自然保护区锐齿槲栎群落乔木层、灌木层和草本层共67个优势种群、721个种对间的种间关联,应用主成分分析(PCA)划分各层次植物的生态种组。方差分析表明,群落各层优势物种间整体呈显著正关联($P<0.05$),具有较高稳定性; χ^2 检验表明,乔木层、灌木层和草本层种对正负关联比为1.71、1.16和1.44,各层呈不显著关联种对数均在90%以上,乔灌木层种对间关联松散,物种呈独立分布;Spearman秩相关检验显示,乔木层、灌木层和草本层种对正负关联比为1.24、1.19和1.31,各层正相关种对数均多于负相关种对数,呈不显著相关种对数均在80%以上,种对间独立性较高,乔木层优势树种锐齿槲栎幼苗数量多,幼树极少,幼苗阶段的种间竞争是锐齿槲栎更新的主要限制因素;根据PCA排序,将乔木层、灌木层和草本层均划分为4个生态种组。锐齿槲栎群落整体稳定性较强,乔木层稳定性最高;多数种对呈不显著相关,物种独立分布,稳定共存;锐齿槲栎自然更新困难,应结合锐齿槲栎的喜光特性适当开辟林窗促进其更新。

关键词:种间关联;生态种组;锐齿槲栎群落;方差比率(VR); χ^2 检验;Spearman秩相关检验

中图分类号:S792.182;Q948.158;Q948.122.1 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0130-10

引文格式:张莹,蔡京勇,汪洋,等.锐齿槲栎群落乔灌木层优势种的种间关联研究[J].林业调查规划,2026,51(1):130-139. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.019

ZHANG Ying, CAI Jingyong, WANG Yang, et al. Interspecific Associations of Dominant Plant Populations in Tree-Shrub-Grass Layer of *Quercus aliena* var. *acutiserrata* Community[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 130-139. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.019

Interspecific Associations of Dominant Plant Populations in Tree-Shrub-Grass Layer of *Quercus aliena* var. *acutiserrata* Community

ZHANG Ying, CAI Jingyong, WANG Yang, SHE Yuanguo

(Hubei Ecology Polytechnic College, Wuhan 430200, China)

Abstract: Based on field survey data, variance ratio (VR), χ^2 test, and Spearman rank correlation were employed to study the interspecific associations of 67 dominant species and 721 species pairs across the tree, shrub, and herbaceous layers in the *Quercus aliena* var. *acutiserrata* community of Duheyuan National Nature Reserve. Principal component analysis (PCA) was used to classify the ecological species groups in each layer. Variance analysis indicated a significant positive correlation overall among the dominant species in each layer ($P<0.05$), reflecting high community stability. The χ^2 test showed that the

收稿日期:2024-11-19;修回日期:2024-12-10

基金项目:湖北省林业科技支撑重点项目(2020LYKJ03);中德财政合作林业重大研究项目(zdczh2021ky09)。

第一作者:张莹(1984-),女,讲师。研究方向为园艺植物栽培。Email:410550115@qq.com

责任作者:余远国(1966-),男,教授。主要从事经济林栽培与林业生态研究工作。Email:1452141329@qq.com

ratio of positive to negative associations between species pairs in the tree, shrub, and herbaceous layers was 1.71, 1.16, and 1.44, respectively. More than 90% of species pairs in each layer exhibited no significant association, with loose species associations and independent distribution across layers. The Spearman rank correlation test demonstrated that the ratio of positive to negative associations between species pairs in the tree, shrub, and herbaceous layers was 1.24, 1.19, and 1.31, respectively, with more positive than negative species pairs in each layer, and over 80% of species pairs showed no significant correlation, indicating a high degree of independence. Seedlings of the dominant tree species *Q. aliena* var. *acuteserrata* were abundant, but saplings were rare, suggesting that interspecific competition at the seedling stage was the main limiting factor for the regeneration of *Q. aliena* var. *acuteserrata*. According to the PCA ordination, the tree, shrub, and herbaceous layers were each divided into four ecological species groups. The *Q. aliena* var. *acuteserrata* community exhibited overall strong stability, with the tree layer being the most stable. Most species pairs were not significantly correlated, and species were independently distributed, coexisting stably. Natural regeneration of *Q. aliena* var. *acuteserrata* was challenging, and based on its light-demanding characteristics, opening forest gaps was recommended to promote its regeneration.

Key words: interspecific association; ecological species group; *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community; variance ratio; χ^2 test; Spearman rank correlation test

种间关系是生态学研究的基本内容,是植物群落重要的数量和结构特征之一^[1]。种间关系可以用植物的联结性和种间相关性来表示^[2]。群落种间关联研究能有效地反映植物种间的相互作用及植物与生境因子间的耦合关系^[3],即植物在群落中的分布状况和对环境的适应性,表征优势种群的地位。以植物的联结性和种间相关性为依据,将具有相似生理、生态及环境适应性的植物划分为生态种组^[4],或植物功能群^[5],可进一步表达群落内植物分布格局信息,探讨生态系统中不同种群间彼此协同适应及其与生境因子间的关联机制^[6]。因此,研究植物的关联性和种间相关性有助于在理论上认识群落的结构、功能和演替趋势^[7-8],预测种群消长动态,揭示群落演替中植物替代关系机制^[1],在实践中为植物多样性保护提供种间关系依据^[3]。

锐齿槲栎(*Quercus aliena* var. *acutiserrata*)林是堵河源国家级自然保护区的重要组成部分,在森林群落构建、环境形成及生态系统稳定性维护中发挥着关键作用。相关研究表明,锐齿槲栎种群内外竞争激烈,幼苗多呈聚集分布,光照是其更新的主要影响因素^[9-11]。群落内幼树的缺失使竞争主要集中在中、大树之间^[12]。在不同空间尺度上,锐齿槲栎与大部分植物的空间关联呈负相关^[13]。为了探究堵河源自然保护区锐齿槲栎群落特征、群落稳定性及物种多样性维护,本研究以堵河源自然保护区的锐齿槲栎天然林为研究对象,采用方差比率(VR)、 χ^2 检验、Spearman 秩相关检验方法,研究群落各层次

优势种群的联系特征,为维护锐齿槲栎群落的稳定性和生物多样性提供理论依据。

1 研究区概况

堵河源国家级自然保护区(以下简称“保护区”)位于湖北省十堰市竹山县,地处竹山县的瓦桑河至百里河口的巨大断裂以南(109°54'24"~110°10'32"E,31°30'28"~31°57'54"N),属大巴山系,总面积 47 173 hm²,海拔 400~2 635 m。属于北亚热带湿润气候区,年均温 12.9℃,无霜期 219 d,年均降雨量 1 000 mm 以上。该保护区为北亚热带和温带过渡区的自然生态系统,植被种类丰富多样,森林覆盖率为 90.25%,植被类型为北亚热带常绿落叶阔叶混交林,保存着大面积比较完整的原始森林、原始次生林和水源涵养林。在海拔 1 500~1 900 m 区域保存有大面积完整的锐齿槲栎天然林资源,为研究锐齿槲栎群落内物种分布与种间关系提供了实验场所。

2 研究方法

2.1 野外调查

在对群落全面踏查的基础上,于 2020 年 6—8 月,在锐齿槲栎天然林集中分布区(海拔 1 740~1 886 m)选取生长发育阶段一致且有代表性的 4 个锐齿槲栎天然林分设置样地。在面积最大的林分内设置 100 m×100 m 标准样地 1 个,分为 25 个 20 m×20 m 小样地,同时在该样地周边另外 3 个林分各设

置 1 个 30 m×30 m 标准样地,共 28 个小样地。将各小样地划分为 10 m×10 m 的乔木样方,在每个乔木样方中心设置 1 个 5 m×5 m 的灌木样方,在每个灌木样方中心设置 1 个 1 m×1 m 的草本样方。全面调查样地内植物,记录木本植物 (DBH ≥ 1 cm) 的种名、冠幅、胸径、树高及相对坐标;灌木层植物的种名、数量、平均地径、平均高度及盖度;草本层植物的种名、株(丛)数、平均高度及盖度,高度 ≤ 20 cm 的木本植物均作草本层调查^[14]。

2.2 数据统计

统计样方内乔灌木层所有植物的种数、频度、密度及种对间关系。计算公式为:

重要值=(相对频度+相对密度+相对显著度)/3

重要值表示各层物种在群落中的优势程度,重要值>1 的为优势物种(表 1)。

保护区锐齿槲栎群落重要值>1 的优势物种共 67 种,其中:乔木层 20 种、灌木层 22 种、草本层 25 种。

2.3 总体关联性检验

以物种在样方内有无的 0-1 数据作为原始数据,采用 Schluter^[15] 提出零联结模型导出方差比率 (VR),测定该群落各层次主要物种间的总体关联性;通过统计量 W 检验总体关联性是否显著,计算公式为^[15]:

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i(1 - P_i) \tag{1}$$

$$P_i = \frac{n_i}{N} \tag{2}$$

$$S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2 \tag{3}$$

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2 \tag{4}$$

式中:δ_T² 为所有物种出现频度的方差;S_T² 为所有样方物种数的方差;S 为总物种数;N 为总样方数;P_i 为物种 i 出现的频度;T_j 为样方 j 内出现的物种总数;n_i 为物种 i 出现的样方数;t 为样方中物种平均数;VR 为全部物种的关联指数。

2.4 种间关联分析

根据原始数据建立 2×2 列联表,计算 a、b、c、d 值。以 χ² 检验为基础,检验种间关联性,并建立统计量,进一步判断关联的显著性。由于取样的非连续性,采用经 Yates 修正过的 χ² 统计量进行计算,计算公式为^[11]:

$$\chi^2 = \frac{N(|ad - bc| - 0.5N)^2}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)} \tag{5}$$

式中:N 为总样方数;a、b、c、d 为观测值;a 为两物种同时出现的样方数;b、c 分别为仅有 1 个物种出现的样方数;d 为两物种均未出现的样方数。

表 1 锐齿槲栎群落不同层次优势种
(优势种按重要值由高到低排列)

Tab. 1 Dominant species in different layers of
Q. aliena var. *acutiserrata* community
(listed in descending order of importance value)

| 乔木层 | 灌木层 | 草本层 |
|---|--|---|
| 锐齿槲栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acutiserrata</i> | 箬叶竹 <i>Indocalamus longiauritus</i> | 锐齿槲栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acutiserrata</i> |
| 米心水青冈 <i>Fagus engleriana</i> | 白檀 <i>Symplocos paniculata</i> | 鄂西对囊蕨 <i>Deparia henryi</i> |
| 四照花 <i>Cornus kousa</i> | 猫儿刺 <i>Ilex pernyi</i> | 革叶耳蕨 <i>Polystichum neolobatum</i> |
| 美脉花楸 <i>Sorbus caloneura</i> | 细齿叶柃 <i>Eurya nitida</i> | 双蝴蝶 <i>Tripterospermum chinense</i> |
| 鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i> | 米心水青冈 <i>Fagus engleriana</i> | 南漳斑鸠菊 <i>Vernonia nantcianensis</i> |
| 三桠乌药 <i>Lindera obtusiloba</i> | 合轴荚蒾 <i>Viburnum sympodiale</i> | 血盆草 <i>Salvia cavaleriei</i> |
| 红桦 <i>Betula albosinensis</i> | 四照花 <i>Cornus kousa</i> | 珠芽蟹甲草 <i>Parasenecio bulbiferoides</i> |
| 细齿叶柃 <i>Eurya nitida</i> | 桦叶荚蒾 <i>Viburnum betulifolium</i> | 犁头草 <i>Viola japonica</i> |
| 小叶青冈 <i>Cyclobalanopsis myrsinifolia</i> | 美脉花楸 <i>Sorbus caloneura</i> | 兔耳风蟹甲草 <i>Parasenecio ainsliiflorus</i> |
| 猫儿刺 <i>Ilex pernyi</i> | 中华石楠 <i>Photinia beauverdiana</i> | 鹿蹄草 <i>Pyrola calliantha</i> |
| 雷公鹅耳枥 <i>Carpinus viminea</i> | 宜昌荚蒾 <i>Viburnum erosum</i> | 兴山五味子 <i>Schisandra incarnata</i> |
| 灯台树 <i>Cornus controversa</i> | 小叶青冈 <i>Cyclobalanopsis myrsinifolia</i> | 对马耳蕨 <i>Polystichum tsus-simense</i> |
| 白檀 <i>Symplocos paniculata</i> | 鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i> | 粗齿铁线莲 <i>Clematis grandidentata</i> |
| 水榆花楸 <i>Sorbus alnifolia</i> | 单花小檗 <i>Berberis candidula</i> | 麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i> |
| 粉椴 <i>Tilia oliveri</i> | 箭竹 <i>Fargesia spathacea</i> | 中日金星蕨 <i>Parathelypteris nipponica</i> |
| 亮叶桦 <i>Betula luminifera</i> | 川榛 <i>Corylus heterophylla</i> | 万寿竹 <i>Disporum cantoniense</i> |
| 四川杜鹃 <i>Rhododendron sutchuenense</i> | 青荚叶 <i>Helwingia japonica</i> | 六叶律 <i>Galium hoffmeisteri</i> |
| 大叶杨 <i>Populus lasiocarpa</i> | 粉椴 <i>Tilia oliveri</i> | 淡红忍冬 <i>Lonicera acuminata</i> |
| 木蜡树 <i>Toxicodendron sylvestree</i> | 托柄菝葜 <i>Smilax discotis</i> | 美丽胡枝子 <i>Lespedeza thunbergii</i> |
| 光亮山矾 <i>Symplocos lucida</i> | 短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i> | 羊齿天门冬 <i>Asparagus filicinus</i> |
| | 白筋 <i>Eleutherococcus trifoliatus</i> | 变豆菜 <i>Sanicula chinensis</i> |
| | 华山松 <i>Pinus armandii</i> | 绿花杓兰 <i>Cypripedium henryi</i> |
| | | 巴东荚蒾 <i>Viburnum henryi</i> |
| | | 宽叶兔儿风 <i>Ainsliaea latifolia</i> |
| | | 穿龙薯蓣 <i>Dioscorea nipponica</i> |

若 $\chi^2 < 3.841$ ($P > 0.05$),表示种对间无联结性,两种间基本独立;若 $3.841 \leq \chi^2 < 6.635$ ($0.01 < P \leq 0.05$),表示种对间联结性显著;若 $\chi^2 \geq 6.635$ ($P \leq 0.01$),表示种对间联结性极显著。

2.5 种间相关性检验

Spearman 秩相关检验基于定量数据,能清晰反映种间相关性大小,补充了二元数据 χ^2 检验的不足^[16]。本研究基于物种数量(重要值)计算种间 Spearman 秩相关系数来衡量种间相关程度,计算公式为^[16]:

$$r(i,k) = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \overline{x_i})^2 (x_{kj} - \overline{x_k})^2}{N^3 - N} \quad (6)$$

式中: $r(i,k)$ 为 Spearman 秩相关系数; N 为总样方数; x_{ij} 和 x_{kj} 分别为种 i 和种 k 在样方 j 中的秩。

2.6 生态种组

生态种组是群落中生态习性相似的物种组合,可以更加准确地反映种群与群落的相互关系以及种群对环境资源和主导生态因子的适应方式^[17]。基于 Spearman 秩相关,结合各物种对环境因子的生态适应特征和野外调查情况,运用 PCA 排序将乔灌木层优势种群划分为对应的生态种组。

采用 RStudio 4.0.4 软件 spaa 包检验群落总体关联性,分析群落优势种群各种对间联结的 χ^2 检验和 Spearman 秩相关检验,应用 Canoco 5.0 分析 PCA 排序。

3 结果与分析

3.1 锐齿槲栎群落主要种群间的总体联结性

群落各层次主要种间的总体关联性见表 2。

表 2 群落各层次主要种间的总体关联性
Tab. 2 Overall interspecific associations among major species in different layers

| 层次 | 方差 比率 (VR) | 检验 统计量 (W) | χ^2 临界值 ($\chi^2_{0.95}, \chi^2_{0.05}$) | 检测结果 |
|----|------------------|------------------|--|----------------------|
| 乔木 | 2.201 | 61.63 | (10.85, 31.41) | 显著正关联 ($P < 0.05$) |
| 灌木 | 1.788 | 50.06 | (12.34, 33.92) | 显著正关联 ($P < 0.05$) |
| 草本 | 1.654 | 46.32 | (14.61, 37.65) | 显著正关联 ($P < 0.05$) |

由方差比率 VR 和检验统计量 W 可知(表 2),乔木层、灌木层和草本层的 VR 分别为 2.201、1.788 和 1.654,整体关联为正关联。各层统计量 W 分别

为 61.63、50.06 和 46.32,均位于 χ^2 临界值之外,乔灌木各层主要物种间的整体关联显著,群落内种间关系稳定。

3.2 锐齿槲栎群落主要种群间的种对关联性

3.2.1 乔木层种对间关联性

乔木层主要物种的 χ^2 检验结果显示,在 190 个种对中有 120 对(63.16%)呈正关联,其中极显著、显著和不显著正关联的种对分别为 1 对(0.53%)、6 对(3.16%)和 113 对(59.47%)。负关联种对有 70 对(36.84%),显著和不显著负关联的种对分别为 2 对(1.05%)和 68 对(35.79%)。正负关联种对的比值为 1.71,正关联种对占优势。极显著正关联的种对有 1 对,显著正关联的种对有 6 对,表明这些乔木层种对生态适应性较为一致。不显著关联的种对占 95.26%,表明乔木层优势种的种对间关联松散,物种独立分布(图 1,表 3)。

3.2.2 灌木层种对间关联性

灌木层主要物种的 χ^2 检验结果显示,在 231 个种对中有 124 对(53.68%)呈正关联,其中极显著、显著和不显著正关联的种对分别为 1 对(0.43%)、4 对(1.73%)和 119 对(51.52%)。负关联种对有 107 对(46.32%),显著和不显著负关联的种对分别为 2 对(0.87%)和 105 对(45.45%)。正负关联种对比值为 1.16,正关联略占优势。极显著正关联种对有 1 对,显著正关联的种对有 4 对,表明这些种对生态适应性较一致。不显著关联的种对占 96.97%,说明灌木层种对间关联松散,多为独立分布(图 2,表 3)。

3.2.3 草本层种对间关联性

草本层主要物种的 χ^2 检验结果显示,在 300 个种对中有 164 对(54.67%)呈正关联,其中极显著、显著和不显著正关联的种对分别为 3 对(1.00%)、3 对(1.00%)和 158 对(52.67%)。负关联种对有 114 对(38.00%),极显著和显著负关联的种对分别为 0 对(0%)和 2 对(0.67%)。正负关联种对的比值为 1.44,正关联种对占优势。极显著正关联的种对有 2 对,显著正关联的种对有 3 对,表明这些草本层种对的生态适应性较一致。不显著关联的种对占 90.0%,表明草本层物种间关联较松散,主要以独立分布为主(图 3,表 3)。

3.3 锐齿槲栎群落主要种群间的种间相关性

3.3.1 乔木层种间相关性

乔木层优势种的 Spearman 秩相关检验结果显示,在 190 个种对中有 105 对(55.26%)呈正相关,其中极显著、显著和不显著正相关的种对分别为 10 对

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Cm</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| + | <i>En</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | + | <i>Ck</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | + | + | <i>Rs</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | + | + | + | <i>Sa</i> | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | + | + | + | <i>Lo</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| + | + | □ | + | - | - | <i>Qa</i> | | | | | | | | | | | | | |
| - | + | + | + | + | + | + | <i>Ts</i> | | | | | | | | | | | | |
| + | + | - | □ | + | - | - | - | <i>Fe</i> | | | | | | | | | | | |
| + | + | - | - | + | - | - | - | + | <i>Sc</i> | | | | | | | | | | |
| + | + | + | + | + | + | - | + | - | + | <i>Ip</i> | | | | | | | | | |
| + | + | + | + | + | - | - | - | + | + | + | <i>Bl</i> | | | | | | | | |
| + | ▲ | + | - | + | - | + | - | - | - | - | - | <i>Cv</i> | | | | | | | |
| + | + | + | - | - | + | + | + | - | + | + | + | - | <i>Ba</i> | | | | | | |
| - | - | + | + | + | + | + | + | - | + | + | + | + | - | <i>Sl</i> | | | | | |
| + | + | + | ■ | - | - | - | ■ | + | + | + | + | + | - | + | <i>To</i> | | | | |
| - | + | + | - | - | + | + | - | + | + | - | + | + | - | + | - | <i>Ct</i> | | | |
| + | - | + | + | + | + | - | ■ | - | + | + | + | - | + | - | ■ | - | <i>Cc</i> | | |
| - | - | + | ■ | + | + | + | + | - | + | - | + | - | + | + | + | - | + | <i>Pl</i> | |
| - | - | + | + | + | + | - | + | - | - | + | + | - | + | + | + | - | ■ | + | <i>Sp</i> |

- ▲ 极显著正关联
■ 显著正关联
+ 不显著正关联
△ 极显著负关联
□ 显著负关联
- 不显著负关联
○ 无关联

注: *Cm*: 小叶青冈; *En*: 细齿叶柃; *Ck*: 四照花; *Rs*: 四川杜鹃; *Sa*: 水榆花楸; *Lo*: 三桠乌药; *Qa*: 锐齿槲栎; *Ts*: 木蜡树; *Fe*: 米心水青冈; *Sc*: 美脉花楸; *Ip*: 猫儿刺; *Bl*: 亮叶桦; *Cv*: 雷公鹅耳枥; *Ba*: 红桦; *Sl*: 光亮山矾; *To*: 粉椴; *Ct*: 鹅耳枥; *Cc*: 灯台树; *Pl*: 大叶杨; *Sp*: 白檀(下同)。

图 1 锐齿槲栎群落乔木层优势种的 χ^2 检验

Fig. 1 χ^2 test of dominant species in the tree layer of *Q. aliena* var. *acutiserrata* community

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|---|-----|----|---|---|----|
| Sc | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| + | Fe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | Hj | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | Il | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | + | - | - | Ch | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | + | - | □ | + | Ck | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| + | + | - | - | + | + | En | | | | | | | | | | | | | | | | |
| + | + | + | - | + | + | + | Cm | | | | | | | | | | | | | | | |
| + | + | - | - | + | + | + | + | Ve | | | | | | | | | | | | | | |
| + | ▲ | + | - | + | + | + | + | ■ | + | Pb | | | | | | | | | | | | |
| + | + | - | - | + | + | + | - | ■ | + | Bc | | | | | | | | | | | | |
| - | + | - | - | + | + | + | - | + | + | + | Sd | | | | | | | | | | | |
| + | + | □ | + | - | + | ■ | - | - | + | - | + | Eb | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | + | + | + | - | + | - | + | + | + | Ct | | | | | | | | | |
| - | - | + | + | + | + | - | + | + | - | - | + | - | - | Et | | | | | | | | |
| + | - | - | + | + | - | + | - | - | + | - | - | + | - | - | To | | | | | | | |
| - | - | + | - | - | - | - | - | + | - | + | + | + | + | + | - | Vs | | | | | | |
| + | + | - | - | - | - | + | + | + | + | + | - | + | + | + | - | + | - | Sp | | | | |
| - | - | + | - | + | + | - | - | + | - | + | + | - | + | + | - | + | - | Par | | | | |
| - | - | - | - | + | - | - | - | - | - | - | + | - | - | + | - | + | - | + | Vb | | | |
| + | - | - | + | - | - | - | - | + | - | + | + | + | + | + | - | + | + | + | Fs | | | |
| + | ■ | - | - | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | - | - | - | + | + | - | - | Ip |

▲ 极显著正关联

■ 显著正关联

+

不显著正关联

△ 极显著负关联

□ 显著负关联

-

不显著负关联

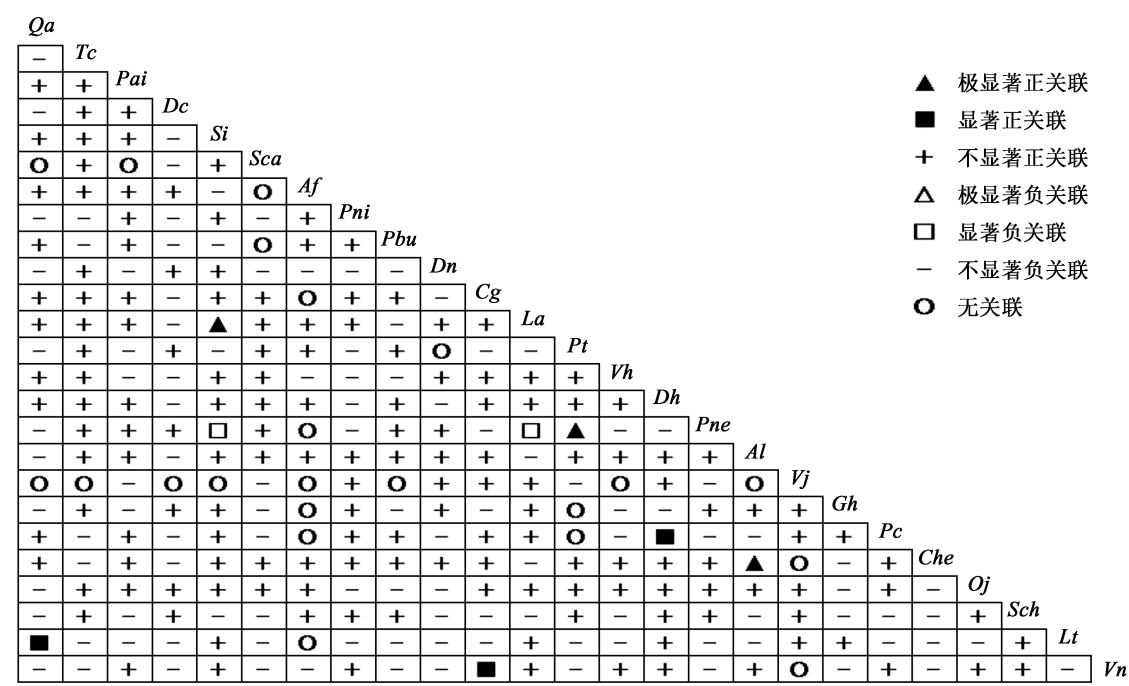
○ 无关联

- ▲ 极显著正关联
■ 显著正关联
+ 不显著正关联
△ 极显著负关联
□ 显著负关联
- 不显著负关联
○ 无关联

注: *Sc*: 美脉花楸; *Fe*: 米心水青冈; *Hj*: 青荚叶; *Il*: 箬叶竹; *Ch*: 川榛; *Ck*: 四照花; *En*: 细齿叶柃; *Cm*: 小叶青冈; *Ve*: 宜昌荚蒾; *Pb*: 中华石楠; *Bc*: 单花小檗; *Sd*: 托柄菝葜; *Eb*: 短柱柃; *Ct*: 鹅耳枥; *Et*: 白栎; *To*: 粉椴; *Vs*: 合轴荚蒾; *Sp*: 白檀; *Par*: 华山松; *Vb*: 桦叶荚蒾; *Fs*: 箭竹; *Ip*: 猫儿刺(下同)。

图 2 锐齿槲栎群落灌木层优势种的 χ^2 检验

Fig. 2 χ^2 test of dominant species in shrub layer of *Q. aliena* var. *acutiserrata* community



注:Qa:锐齿槲栎;Tc:双蝴蝶;Pai:兔儿风蟹甲草;Dc:万寿竹;Si:兴山五味子;Sca:血盆草;Af:羊齿天门冬;Pni:中日金星蕨;Pbu:珠芽蟹甲草;Dn:穿龙薯蓣;Cg:粗齿铁线莲;La:淡红忍冬;Pt:对马耳蕨;Vh:巴东荚蒾;Dh:鄂西对囊蕨;Pne:革叶耳蕨;Al:宽叶兔儿风;Vj:犁头草;Gh:六叶律;Pc:鹿蹄草;Che:绿花杓兰;Oj:麦冬;Sch:变豆菜;Lt:美丽胡枝子;Vn:南漳斑鸠菊(下同)。

图 3 锐齿槲栎群落草本层优势种的 χ^2 检验
Fig. 3 χ^2 test of dominant species in herb layer of *Q. aliena* var. *acutiserrata* community

表 3 锐齿槲栎群落乔灌木层主要物种的 χ^2 检验和 Spearman 秩相关检验比较
Tab. 3 Comparison of χ^2 test and Spearman rank correlation test among dominant species in the tree, shrub and herb layers of *Q. aliena* var. *acutiserrata* community

| 检验方法 | 层次 | 正关联 | | | | 负关联 | | | | 无关联 |
|-----------------|-----|--------------------------|-------------------------|-----------------------|------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|------------|---------|
| | | 极显著 ($P \leq 0.01$) | 显著 ($P \leq 0.05$) | 不显著 ($P > 0.05$) | 总数 | 极显著 ($P \leq 0.01$) | 显著 ($P \leq 0.05$) | 不显著 ($P > 0.05$) | 总数 | |
| χ^2 检验 | 乔木层 | 1(0.53) | 6(3.16) | 113(59.47) | 120(63.16) | 0(0.00) | 2(1.05) | 68(35.79) | 70(36.84) | 0(0.00) |
| | 灌木层 | 1(0.43) | 4(1.73) | 119(51.52) | 124(53.68) | 0(0.00) | 2(0.87) | 105(45.45) | 107(46.32) | 0(0.00) |
| | 草本层 | 3(1.00) | 3(1.00) | 158(52.67) | 164(54.67) | 0(0.00) | 2(0.67) | 112(37.33) | 114(38.00) | 0(0.00) |
| Spearman 秩相关 | 乔木层 | 10(5.26) | 15(7.89) | 80(42.11) | 105(55.26) | 6(3.16) | 5(2.63) | 74(38.95) | 85(44.74) | 0(0.00) |
| | 灌木层 | 3(1.30) | 8(3.46) | 114(49.35) | 125(51.44) | 0(0.00) | 7(3.03) | 98(42.42) | 105(45.45) | 1(0.43) |
| | 草本层 | 5(1.67) | 9(3.00) | 156(52.00) | 170(56.67) | 0(0.00) | 5(1.67) | 125(41.67) | 130(43.33) | 0(0.00) |

(5.26%)、15 对(7.89%)和 80 对(42.11%)。负相关的种对有 85 对(44.74%),其中极显著、显著和不显著负相关的种对分别为 6 对(3.16%)、5 对(2.63%)和 74 对(38.95%)。正负关联种对的比值为 1.24,正关联种对占优势。不显著相关种对占 81.06%,表明种对间独立性较高(图 4,表 3)。

3.3.2 灌木层种间相关性

灌木层优势种的 Spearman 秩相关检验结果显

示,在 231 个种对中有 125 对(51.44%)呈正相关,其中极显著、显著和不显著正相关的种对分别为 3 对(1.30%)、8 对(3.46%)和 114 对(49.35%)。负相关的种对有 105 对(45.45%),其中显著和不显著负相关的种对分别为 7 对(3.03%)和 98 对(42.42%)。无关联种对有 1 对(0.43%)。正负关联种对的比值为 1.19,正关联种对占优势。不显著相关种对占 92.21%,表明灌木层优势种之间具有较高独立性(图 5,表 3)。

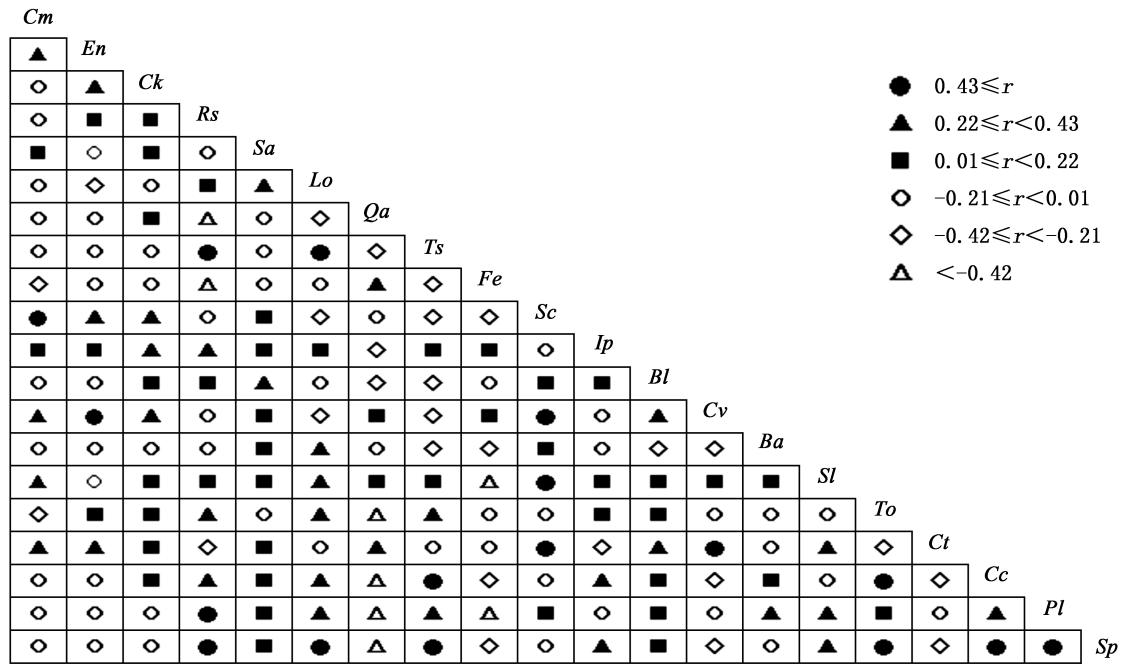


图 4 锐齿槲栎群落乔木层优势种 Spearman 秩相关系数

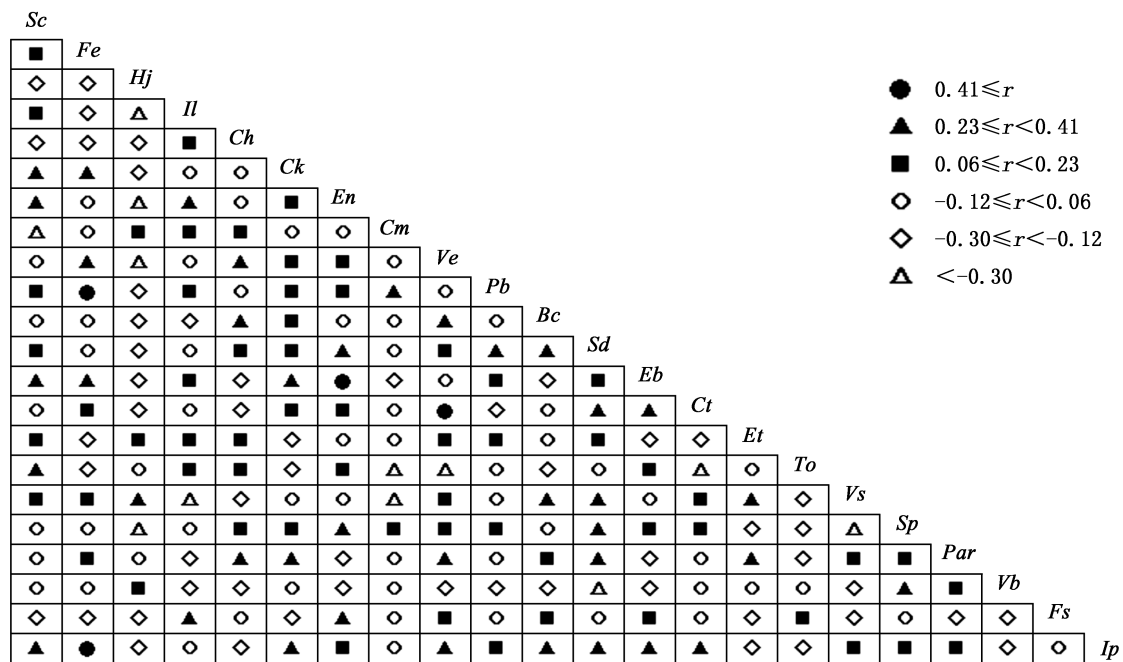
Fig. 4 Spearman rank correlation coefficients among dominant species in tree layer of *Q. aliena* var. *acutiserrata* community

图 5 锐齿槲栎群落灌木层优势种 Spearman 秩相关系数

Fig. 5 Spearman rank correlation coefficients among dominant species in shrub layer of *Q. aliena* var. *acutiserrata* community

3.3.3 草本层种间相关性

草本层优势种的 Spearman 秩相关检验结果显示,在 300 个种对中有 170 对(56.67%)呈正相关,其中极显著、显著和不显著正相关的种对分别为 5 对(1.67%)、9 对(3.00%)和 156 对(52.00%)。负相关

的种对有 130 对(43.33%),其中显著和不显著负相关的种对分别为 5 对(1.67%)和 125 对(41.67%)。正负关联种对的比值为 1.31,正关联种对占优势。不显著相关的种对有 281 对(93.67%),表明大多数草本层优势种相互独立(图 6,表 3)。

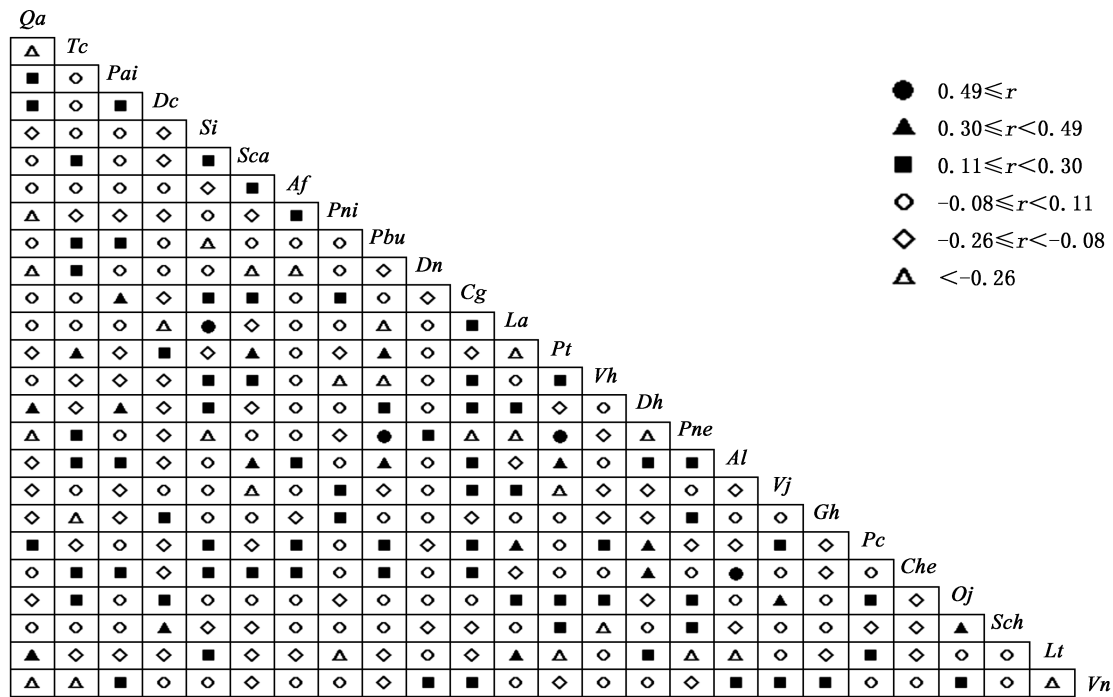


图 6 锐齿槲栎群落草本层优势种 Spearman 秩相关系数

Fig. 6 Spearman rank correlation coefficients among dominant species in herb layer of *Q. aliena* var. *acutiserrata* community

3.4 锐齿槲栎群落主要种群间的生态种组划分

基于 Spearman 秩相关系数的 PCA 排序,锐齿槲栎群落的不同层次生态种组划分见图 7。

乔木层分为 4 个生态种组:第一组包括锐齿槲栎和米心水青冈,位于林分上层,独立性强,是绝对优势种;第二组由猫儿刺和粉椴组成,分布零星,相关不显著;第三组包括三桠乌药、红桦等 7 种,种对多呈正相关;第四组包括光亮山矾、亮叶桦等 8 种,种对间多呈正相关或显著正相关。

灌木层同样划分为 4 个生态种组:第一组仅有粉椴,与其他物种多呈负相关;第二组包括箬叶竹、箭竹等 7 种;第三组包括鹅耳枥、四照花等 8 种;第四组包括华山松、川榛等 6 种。

草本层也分为 4 个生态种组:第一组包括对马耳蕨、双蝴蝶等 8 种;第二组包括粗齿铁线莲、鄂西对囊蕨等 6 种;第三组包括淡红忍冬、美丽胡枝子等 5 种;第四组包括穿龙薯蓣、麦冬等 6 种。

4 结论与讨论

研究表明,锐齿槲栎乔灌草层优势种之间呈显著正关联($P \leq 0.05$),乔木层稳定性最高,群落正向顶级演替。多数种对呈不显著相关,物种独立分布,稳定共存。锐齿槲栎幼苗数量多,但幼树极

少,自然更新困难,种间竞争是关键因素。米心水青冈未来可能替代锐齿槲栎成为第一优势种。为促进锐齿槲栎林分更新,可适当开辟林窗,促进幼苗生长,并调节种间关系,选择正联结较强的物种搭配种植,如乔木层的细齿叶桉-雷公鹅耳枥、四川杜鹃-粉椴等种对。适度调整与优势种负联结或联结性较小的伴生物种,如四照花-锐齿槲栎、四川杜鹃-米心水青冈等,以维持群落稳定并增加物种多样性^[18]。

堵河源国家级自然保护区锐齿槲栎群落的乔灌草层联结比率 $VR > 1$,为显著的正联结,与桂林岩溶石青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*) 群落^[19]、广西大石围天坑森林群落^[20]、南方铁杉 (*Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis*) 群落^[21] 和藤枣 (*Eleutharrhena macrocarpa*) 群落^[22] 的稳定性相似。VR 和 W 统计分析表明,群落各层的种间关系已较为稳定,且稳定性顺序为乔木层>灌木层>草本层。多数种对关联不显著,表明种间关系松散,多数物种独立分布。这可能由于锐齿槲栎群落处于次生演替初期,物种组成复杂、竞争激烈,导致生态位分离,随演替进展,正负关联比将变化,群落将逐步从“竞争主导”向“共存主导”模式演替。锐齿槲栎群落的正关联种对数大于负关联,表明以“共存主导”的联结模式为主,群落逐步达到稳定阶段^[23]。

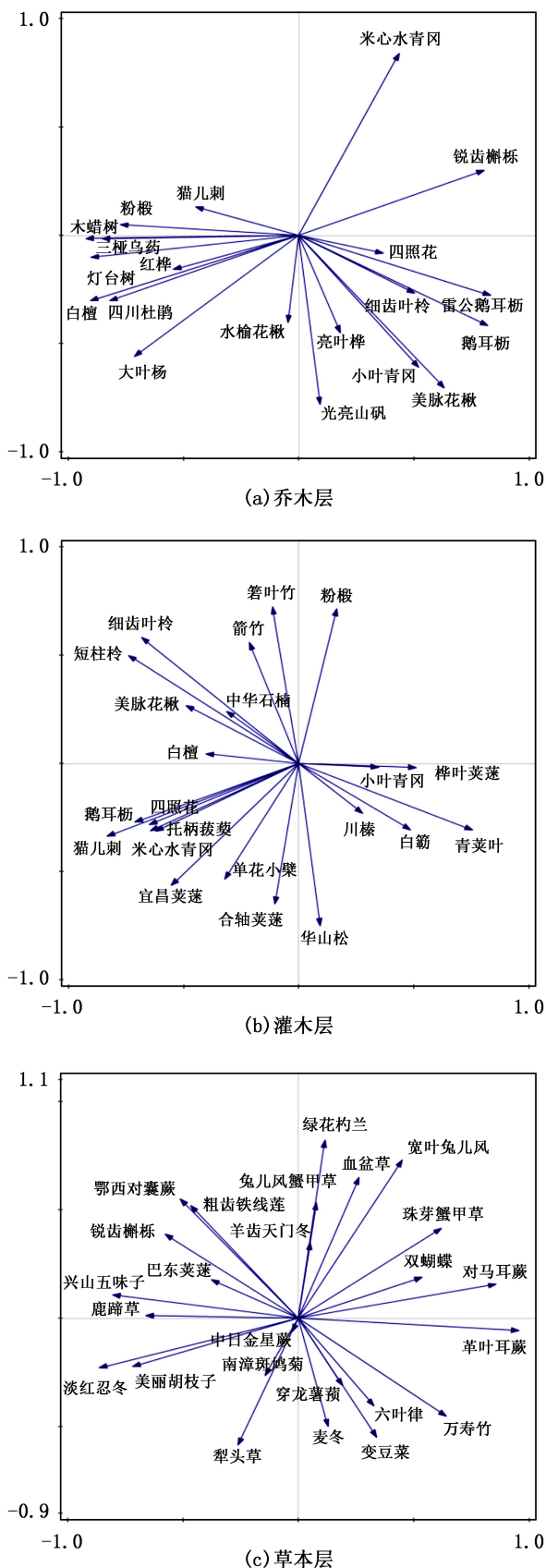


图 7 锐齿槲栎群落不同层次 PCA 生态种组排序

Fig. 7 PCA ordination of ecological species groups in different layers of *Q. saliena* var. *acutiserrata* community

调查发现,锐齿槲栎的中龄级植株($24\text{ cm} \leq \text{DBH} < 36\text{ cm}$)数量最多,灌木层几乎无锐齿槲栎幼树,草本层的锐齿槲栎幼苗较多,且呈聚集分布。锐齿槲栎幼苗在草本层的优势地位较高,与其他物种的生态位重叠显著,其与部分草本种如双蝴蝶、中日金星蕨等呈极显著负相关,竞争激烈,可能是更新困难的原因之一。已有研究表明,幼苗更新是锐齿槲栎更新的主要形式,与林窗形成密切相关^[9]。锐齿槲栎在乔木层的优势地位可能与次生林恢复初期林窗作用有关,但在演替过程中,许多幼树难以穿过光环境筛而死亡,导致“只见幼苗不见树”。米心水青冈则较耐荫,在灌木层更新良好,可能替代锐齿槲栎成为第一优势乔木种。科学改善光照环境有助于维持锐齿槲栎的更新和稳定^[24-26]。乔木层中锐齿槲栎和米心水青冈种对间显著正相关,但其与其他种群的关联性不强,显示这些优势种已占据适宜生态位,与亚冠层其他物种竞争较弱,该结果与王文进等、徐鹏程等、周先叶等及简敏菲等的研究结果一致^[27-30]。

锐齿槲栎群落各层优势种群的种对关系通过 χ^2 检验和 Spearman 秩相关检验分析,结果一致性较高。相比之下,Spearman 秩相关分析基于数量特征,灵敏度高于 χ^2 检验,更适合作为生态种组划分依据^[2,16]。Spearman 秩相关分析中,锐齿槲栎群落各层优势种间的相关种对数多于 χ^2 检验得到的关联种对数(表3),因此,利用 Spearman 秩相关系数进行 PCA 排序,能更准确反映种间关系。植物生态种组是群落中对生境因子有相似响应并起相似作用的植物种群组合^[31]。同一生态种组内物种对环境的适应性相似,分布差异小,多呈正相关^[7,32];不同生态种组间则多为负关联^[24]。本研究中,乔木层喜阳种对如雷公鹅耳枥和细齿叶柃等正联结较强,表明其资源利用相似,竞争较强,属同一生态种组^[17]。相反,负联结较强的种对如锐齿槲栎与四照花等,生态习性差异大,分属不同生态种组^[17]。种组划分显示,喜阳物种多分布于朝南方位,而喜阴物种如四照花和四川杜鹃则位于亚冠层和朝北方位,与野外调查结果相符。少数正相关的种对如米心水青冈和中华石楠虽呈显著正联结,但分布于相邻种组,显示生态适应性具有弹性,并随生境和生态梯度变化而改变^[16,32-33]。

参考文献:

- [1] 张金屯. 数量生态学(第二版)[M]. 北京:科学出版社,2011:100-103.
- [2] 简小枚,税伟,陈毅萍,等. 云南中度退化的喀斯特天坑

- 草地植物群落优势种种间关系[J]. 应用生态学报, 2018, 29(2): 492-500.
- [3] 王乃江, 张文辉, 陆元昌, 等. 陕西子午岭森林植物群落种间联结性[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 67-78.
- [4] DIAZ S, CABIDO M. Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2001, 16: 646-655.
- [5] NOBLE I R, HABIBA G. A functional classification for predicting the dynamics of landscapes[J]. Journal of Vegetation Science, 1996, 7: 329-336.
- [6] 范玉龙, 刘慧敏, 胡楠, 等. 伏牛山自然保护区森林生态系统植物功能群光合特性[J]. 生态学报, 2016, 36(15): 4609-4616.
- [7] 张明霞, 王得祥, 康冰, 等. 秦岭华山松天然次生林优势种群的种间联结性[J]. 林业科学, 2015, 51(1): 12-21.
- [8] SU S J, LIU J F, HE Z S, et al. Ecological species groups and interspecific association of dominant tree species in Daiyun Mountain national nature reserve[J]. Journal of Mountain Science, 2015, 12(3): 637-646.
- [9] 刘峰, 陈伟烈, 贺金生. 神农架地区锐齿槲栎种群结构与更新的研究[J]. 植物生态学报, 2020, 24(4): 396-401.
- [10] 仝玉琴, 王军利, 韩振江. 秦岭中段锐齿槲栎天然次生林群落的物种多样性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(2): 69-78.
- [11] 任学敏, 崔志鹏, 朱雅, 等. 环境因子对太白山锐齿槲栎林林下草本植物组成和多样性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(3): 64-74.
- [12] 王中磊, 高贤明. 锐齿槲栎林的天然更新—坚果、幼苗库和径级结构[J]. 生态学报, 2005, 5(5): 986-993.
- [13] 姚成亮, 胡永春, 范新宇, 等. 木札岭世界地质公园优势种锐齿槲栎的种内关系和群落种间关系[J]. 河南农业大学学报, 2019, 53(1): 56-63.
- [14] 蔡京勇, 郑德国, 罗刚, 等. 锐齿槲栎群落乔灌草层优势种生态位及群落稳定性[J]. 湖南生态科学学报, 2023, 10(1): 44-54.
- [15] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. Ecology, 1984, 65(3): 998-1005.
- [16] 高伟, 黄雍容, 林建丽, 等. 濒危树种闽桦天然林优势种群种间相关性[J]. 林业科学, 2021, 57(10): 1-14.
- [17] 徐满厚, 刘敏, 翟大彤, 等. 植物种间联结研究内容与方法评述[J]. 生态学报, 2016, 36(24): 8224-8233.
- [18] 付翠林, 汪洋, 孙林山, 等. 柏木人工林空间结构特征及其评价[J]. 湖南生态科学学报, 2022, 9(1): 17-26.
- [19] 涂洪润, 李娇凤, 杨丽婷, 等. 桂林岩溶石山青冈群落主要乔木树种的种间关联[J]. 应用生态学报, 2019, 30(1): 67-76.
- [20] 黄林娟, 于燕妹, 安小菲, 等. 广西大石围天坑群天坑森林主要木本植物种间关联性研究[J]. 广西植物, 2021, 41(5): 695-706.
- [21] 曾小霞, 兰文军, 雷平, 等. 江西武夷山南方铁杉林不同阶段优势树种的空间分布格局与种间关联特征[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(1): 108-117.
- [22] 李帅锋, 郎学东, 黄小波, 等. 藤枣生境地木本植物种间关联性与群落稳定性[J]. 生物多样性, 2020, 28(3): 350-357.
- [23] RAD J, SHAFIEI A. The distribution of ecological species groups in fagetum communities of Caspian forests: Determination of effective environmental factors [J]. Flora, 2010, 205(11): 721-727.
- [24] WANG Y, ZHOU H M, CAI J Y, et al. Species abundance distribution models of *Toona ciliata* communities in Hubei Province, China [J]. Journal of Forestry Research, 2021, 32(1): 103-117.
- [25] 程勇, 张珉, 陈明皋, 等. 林窗面积对连香树幼苗生长及生物量分配的影响[J]. 湖南生态科学学报, 2022, 9(1): 44-49.
- [26] 任学敏, 朱雅, 陈兆进, 等. 太白山锐齿槲栎林乔木更新特征及其影响因子[J]. 林业科学, 2019, 55(1): 11-21.
- [27] 王文进, 张明, 刘福德, 等. 海南岛吊罗山热带山地雨林两个演替阶段的种间联结性[J]. 生物多样性, 2007, 15(3): 257-263.
- [28] 徐鹏程, 游章浩, 纪宇骥, 等. 格氏栲自然保护区22种常见木本植物的生态策略[J]. 亚热带资源与环境学报, 2019, 14(4): 23-29.
- [29] 周先叶, 王伯荪, 李鸣光, 等. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 332-339.
- [30] 简敏菲, 刘琪, 朱笃, 等. 九连山常绿阔叶林乔木优势种群的种间关联性分析[J]. 植物生态学报, 2009, 33(4): 672-680.
- [31] KUNWAR R, MAHAT L, SHARMA L N, et al. Underutilized plant species in far west Nepal [J]. Journal of Mountain Science, 2012, 9(5): 589-600.
- [32] JIANG G S, LIU J, YAN C, et al. Intra- and interspecific interactions and environmental factor determine spatial-temporal species assemblages of rodents in arid grasslands [J]. Landscape Ecology, 2015, 30: 1643-1655.
- [33] 涂洪润, 李娇凤, 杨丽婷, 等. 桂林岩溶石山青冈群落主要乔木树种的种间关联[J]. 应用生态学报, 2019, 30(1): 67-76.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.020

基于 MaxEnt 模型预测云南橡胶树空间分布的可靠性验证

李玉勤, 李博群

(云南省林业调查规划院生态分院, 云南 昆明 650031)

摘要:最大熵模型(MaxEnt)已被广泛应用于预测物种的潜在分布区,以往的研究都是采用部分样本地理分布点位数据来预测该物种的潜在分布区,但预测结果的准确性无法得到完整的验证。选用云南省 139 个橡胶树样本分布点和 22 个环境变量因子,利用 MaxEnt 模型生成云南省橡胶树适生区范围,采用该范围与云南省现有橡胶种植区叠加分析,验证使用 MaxEnt 模型预测物种空间分布的可靠性。结果表明,采用橡胶树分布点抽样数据,使用 MaxEnt 模型预测的橡胶树高适生区范围与现地调查的云南省现有橡胶种植区范围几乎重叠。表明使用 MaxEnt 模型预测物种空间分布是可靠的。

关键词:橡胶树;适生区分布;可靠性验证;环境因子;最大熵模型(MaxEnt)

中图分类号:Q948.2;O186.14;S711 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0140-06

引文格式:李玉勤,李博群. 基于 MaxEnt 模型预测云南橡胶树空间分布的可靠性验证[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 140-145. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.020

LI Yuqin, LI Boqun. Verifying Reliability of Predicting Spatial Distribution of *Hevea brasiliensis* Based on MaxEnt Model [J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 140-145. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.020

Verifying Reliability of Predicting Spatial Distribution of *Hevea brasiliensis* Based on MaxEnt Model

LI Yuqin, LI Boqun

(Ecology Branch of Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650031, China)

Abstract: Maximum entropy model (MaxEnt) has been widely used to predict the potential distribution areas of species. However, previous studies typically relied on partial sample distribution data to predict potential habitats, rendering the accuracy of predictions difficult to fully verify. In this experiment, 139 sample distribution points and 22 environmental variable factors of *Hevea brasiliensis* in Yunnan Province were used. The MaxEnt model was used to generate suitable habitat range of *Hevea brasiliensis* in Yunnan Province, and then overlaid with the existing cultivation areas for analysis. The reliability of predicting species distribution by MaxEnt model was verified. The results indicated that the highly suitable habitat range predicted by the MaxEnt model using the sampled distribution data almost completely overlapped with the range of existing cultivation areas identified through field surveys. This indicates that using the MaxEnt model to predict the spatial distribution of species is reliable.

Key words: *Hevea brasiliensis*; distribution of suitable habitat; verifying reliability; environmental factor; maximum entropy model (MaxEnt)

收稿日期:2024-12-04;修回日期:2025-04-14

第一作者:李玉勤(1987-),男,工程师.从事林业调查规划与地理信息科学研究. Email:527399181@qq.com

责任作者:李博群(1994-),女,工程师.从事林业调查规划工作. Email:920533719@qq.com

橡胶树(*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Muell. Arg.)是大戟科橡胶树属植物^[1],原产于亚马孙森林,大乔木,高可达 30 m,有丰富乳汁。喜高温、高湿、静风和肥沃土壤,要求年均温 26~27℃,在 20~30℃ 范围内均能正常生长和产胶,不耐寒,在温度 5℃ 以下即受冻害。要求年均降水量 1 150~2 500 mm,但不宜在低湿区域栽植。适于在土层深厚、肥沃而湿润、排水良好的酸性砂壤土生长^[2],是典型的热带作物,其种植区域受气候、海拔等自然条件制约,属资源约束型物种。云南最早于 1904 年开始种植橡胶,是由德宏盈江宣抚使司刀安仁在日本回国途中,将从马来西亚带回的 8 000 株橡胶苗种植在 24°50'N 的盈江县新城乡凤凰山^[3]。1956 年开始,云南省农垦在西双版纳橄榄坝规模化种植橡胶^[4]。云南从最初种植橡胶至今已有近 120 余年的历史。随着我国经济快速发展,对天然橡胶的需求量也在日益增长,相对于其他农作物,橡胶有其独特的价格和效益优势,橡胶产业已成为植胶区广大群众产业脱贫的有效手段和途径。云南省橡胶种植面积持续扩大,橡胶树的适宜种植区间也得到不断摸索和突破。截至 2024 年 2 月,由云南省林业调查规划院生态分院负责完成的云南省橡胶资源状况调查核实成果表明,云南省橡胶种植面积已达 678 000 hm²。

最大熵模型(maximum entropy model, MaxEnt),是一种基于信息论原理的统计建模方法,广泛应用于自然语言处理、机器学习、数据挖掘等多个领域。该模型由 E. T. Jaynes 于 20 世纪 50 年代提出,其核心思想是在满足已知事实或约束条件下,选择具有最大熵的概率分布作为模型。熵是不确定性或信息量的度量,最大熵模型因此寻求最不确定的模型,即在给定的信息下尽可能不做额外假设。熵值越大,变量随机性也越大,在无人干扰下,随机变量往往趋向最大程度无序,因此熵也会比较大。MaxEnt 模型也是一种基于最大熵理论的生态位模型,能够根据已有的物种分布记录和环境变量数据分析,从而来推算物种的生态需求和模拟物种的潜在分布^[5-6]。MaxEnt 模型由于其简单直接的操作、简洁清晰的图形界面及参数自动配置功能,被广大研究者特别是初学者所青睐^[7]。随着 MaxEnt 模型在物种分布预测中的广泛应用,模型预测的准确性也越来越受到重视。此前很多国内外学者使用 MaxEnt 模型对物种分布进行了大量预测,近年来,国外关于 MaxEnt 的研究也开始注重模型精确度和不确定性分析。

鉴于适宜橡胶树生长的环境对气候、海拔和土

壤要求较高,且云南省橡胶种植面积广、适宜种植和产胶量好的区域几乎均已种植了橡胶树,本研究以云南省橡胶树种植分布为实例,对使用 MaxEnt 模型预测物种空间分布的可靠性进行验证。实验结果可为今后橡胶资源的科学经营和管理、橡胶林更新规划的编制以及合理引种栽培提供基础资料。

1 数据来源及处理

1.1 橡胶分布数据

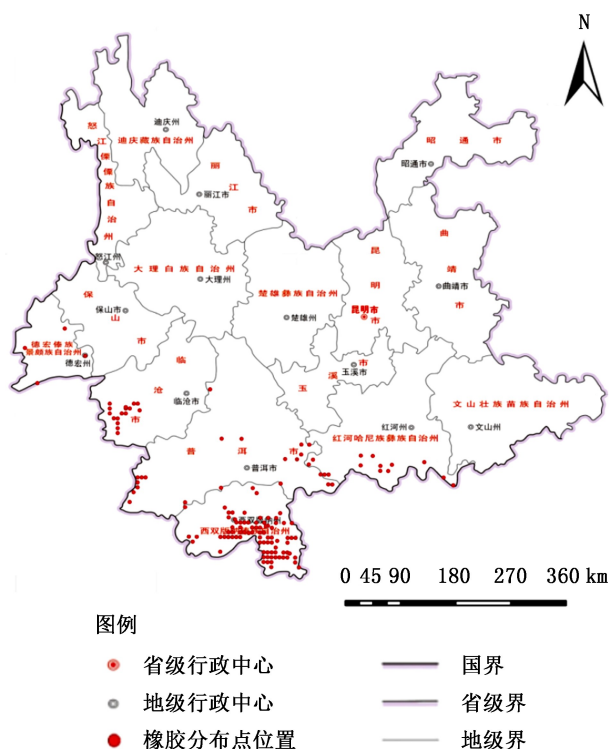
本研究为对照实验,所采用橡胶分布数据有实验数据和对照数据。

实验数据为橡胶分布点位记录数据,用于 MaxEnt 建模。该数据来源于生物百科(<http://www.especies.cn/baike>)、全球生物多样性数据库(<https://www.gbif.org/zh/>)、生物多样性与生态安全大数据平台(<https://bio-one.org.cn/>)、中国数字植物标本馆(<https://www.cvh.ac.cn/>)等数据库和标本记录的坐标,以及全国森林资源连续清查中的橡胶林固定样地坐标。在 ArcGIS 平台下,按 1 km×1 km 网格大小绘制分布点渔网图,剔除成群存在会造成潜能偏见的点位,故对数据集进行过滤处理,确保每 1 km×1 km 的范围内只分布一个记录点,删除记录坐标明显不合理点位,最终选取橡胶分布点位记录数据 139 个,点位分布见图 1。将分布点位数据属性表中的物种名称、经度和纬度 3 列保留并导出,保存为 csv 文件格式。

对照数据为云南省橡胶资源状况调查核实成果数据,用于与实验结果对照分析。根据调查核实成果,云南省现有橡胶种植面积 678 000 hm²,共涉及 7 个州(市)的 35 个县(市、区)。集中分布在西双版纳、普洱、红河、临沧、德宏 5 个州(市),文山州和保山市有少量分布。

1.2 环境因子数据

环境因子分为气候因子、土壤因子和地形因子 3 类。气候因子和地形因子中的海拔(elev)数据均来源于 worldclim 数据库(<https://worldclim.org/>),土壤因子来源于世界土壤数据库(<https://www.fao.org/soils-portal/>)。上述数据空间分辨率均为 1 km×1 km。气候因子包含生物气候变量 19 个(bio1~bio19)因子和近 30 年 1—12 月月均太阳辐射 12 个(sard1~sard12)因子;土壤数据包含 28 个因子;地形因子有 3 个因子,其中坡度和坡向数据通过 ArcGIS 平台用海拔分析获得。共获取 3 类环境变量,其中,气候因子 31 个、地形因子 3 个、土壤因子 10 个,共 44 个因子。



注:该图基于云南省地理信息公共服务平台下载的审图号为云 S(2023)50 号的标准地图制作,底图无修改(下同)。

图 1 云南省橡胶分布点位
Fig. 1 Distribution points of *Hevea brasiliensis* in Yunnan Province

环境变量间往往存在不同程度的共线性,为避免模型的过拟合,环境变量需经过筛选才用于建模^[8]。首先使用 MaxEnt 软件中的刀切法(Jackknife method)评价 44 个环境因子对云南省橡胶树潜在分布的贡献率,并利用 SPSS 软件对 44 个环境因子进行斯皮尔曼相关性分析^[9]。剔除在刀切法中贡献率为 0 的因子,并去除相关系数 ≥ 0.8 中贡献率较小的因子,最终获得用于建模的环境因子有 22 个(表 1)。

将最终获取的环境因子采用 ArcGIS 软件进行掩膜处理,统一坐标系、统一分辨率和行列数,按云南省行政范围进行裁剪,并转为 ASCII 格式,保存为 ASC 文件格式,用于 MaxEnt 建模。

2 模型构建

在 JAVA 环境下运行 MaxEnt 3.4.4 软件,导入橡胶分布点数据和环境因子数据,参与测试百分比设为 25%,剩余的 75%作为训练集,开启刀切法,测试次数设为 10 次,其他参数均为默认值。

表 1 用于建模的环境因子
Tab. 1 List of environmental factors

| 类型 | 名称 | 数据简称 |
|------|------------|-----------|
| 气候因子 | 年均温 | bio1 |
| | 温度季节性 | bio4 |
| | 最热月最高温 | bio5 |
| | 最冷月最低温 | bio6 |
| | 最湿季均温 | bio8 |
| | 最干季均温 | bio9 |
| | 最热季均温 | bio10 |
| | 最冷季均温 | bio11 |
| | 年降水量 | bio12 |
| | 最湿月份降水量 | bio13 |
| 气候因子 | 最冷季降水量 | bio19 |
| | 4 月月均太阳辐射 | srad4 |
| | 6 月月均太阳辐射 | srad6 |
| | 9 月月均太阳辐射 | srad9 |
| | 10 月月均太阳辐射 | srad10 |
| 地形因子 | 11 月月均太阳辐射 | srad11 |
| | 海拔 | elev |
| 土壤因子 | 土壤类型 | su_sym90 |
| | 土壤深度 | ref_depth |
| | 土壤相位 | Phase1 |
| | 有机碳含量 | t_oc |
| | 酸碱度 | t_ph_h2o |

采用刀切法分析不同环境变量对橡胶潜在适生区分布的影响^[10]。为评估所生成的分布模型的预测能力,执行“create response curves”,生成受试者工作特征曲线(receive operating characteristic curve, ROC)。ROC 曲线是以真阳性率为纵坐标,假阳性率为横坐标所形成的曲线,该曲线与横坐标围成的面积值,即曲线下面积(area under curve, AUC),被用作衡量模型总体性能指标,可用于评估模型精度,是反映模型预测能力准确性的指标^[11]。AUC 值的大小反映了模型的预测能力,通常 AUC 值的范围为 0.5~1.0。AUC 值越大,模型的预测能力越好。参考 Swets(1988)的标准:0.5<AUC<0.7 表示预测能力一般;0.7 \leq AUC<0.9 表示预测能力较好;0.9 \leq AUC<1 表示预测能力极好^[12]。

3 结果分析

3.1 运行结果检测

根据 MaxEnt 软件运行的 ROC 曲线结果,经 10

次交叉验证,平均 AUC 值为 0.896,标准差为 ± 0.004 ,表明模拟结果的预测能力较好,具有较高的稳定性(图 2)。

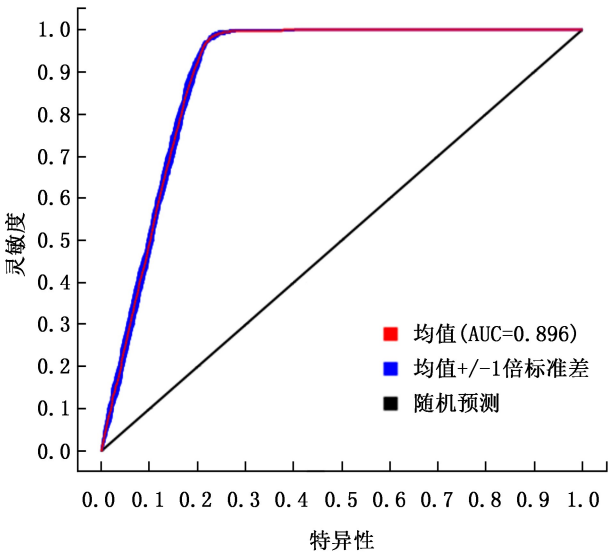


图 2 MaxEnt 模型预测的 ROC 曲线
Fig. 2 Receiver operating characteristic curve predicted by MaxEnt model

3.2 橡胶树与环境因子的关系

基于刀切法的环境变量重要性分析结果如表 2 所示。

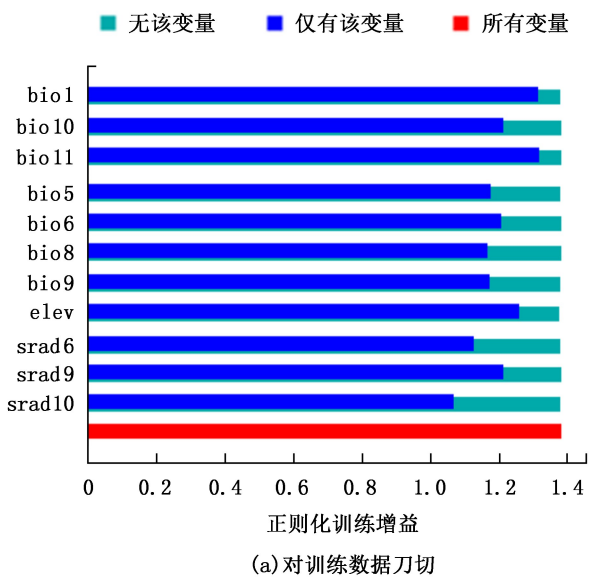
表 2 环境变量贡献率

Tab. 2 Contribution rates of environmental variables %

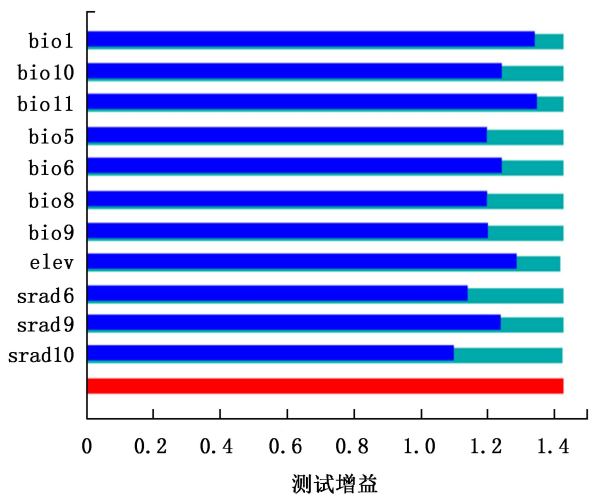
| 变量 | 贡献率 | 排列重要性占比 | 变量 | 贡献率 | 排列重要性占比 |
|----------|------|---------|--------|-----|---------|
| bio11 | 56.4 | 8.4 | phase1 | 2.7 | 0 |
| su_sym90 | 6.1 | 0 | bio5 | 2.6 | 0.7 |
| bio9 | 4.9 | 0.2 | srad6 | 2.3 | 10.7 |
| bio1 | 4.3 | 2.3 | bio13 | 2.2 | 0 |
| elev | 3.9 | 46.3 | srad10 | 2.0 | 25.9 |
| bio6 | 3.5 | 1.2 | | | |

由表 2 可知,贡献率较高的因子为最冷季均温(贡献率 56.4%)、土壤类型(6.1%)、最干季均温(4.9%)、年均温(4.3%)、海拔(3.9%)、最冷月最低温(3.5%);排列重要性占比较高的因子为海拔(排列重要性 46.3%)、10 月月均太阳辐射(25.9%)、6 月月均太阳辐射(10.7%)、最冷季均温(8.4%)、年均温(2.3%)、最冷月最低温(1.2%)。

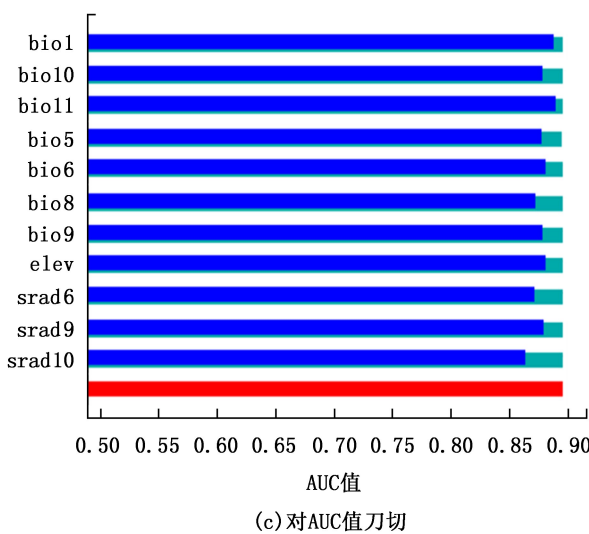
图 3 为基于刀切法的变量重要性分析,对训练



(a) 对训练数据刀切



(b) 对测试数据刀切



(c) 对AUC值刀切

图 3 基于刀切法的变量重要性分析(显示部分)
Fig. 3 Variable importance analysis based on the Jackknife method (partial display)

数据进行刀切分析可知,最冷季均温、年均温、海拔、最热季均温、最冷月最低温、9 月月均太阳辐射等 6 个因子对模型效果影响较大(图 3(a));对测试数据进行刀切分析可知,最冷季均温、年均温、海拔、最冷月最低温、最热季均温、9 月月均太阳辐射等 6 个因子对模型效果影响较大(图 3(b));对 AUC 值进行刀切分析可知,最冷季均温、年均温、海拔、最干季均温、最冷月最低温、9 月月均太阳辐射等 6 个因子对模型效果影响较大(图 3(c))。

综合分析可知,最冷季均温、年均温、海拔、最冷月最低温、最热季均温和 9 月月均太阳辐射 6 项因子是影响橡胶潜在适宜生境的主要环境因子。环境变量重要性分析结果所显示的影响橡胶潜在适宜生境的主要环境因子与前文所述橡胶树的生长特性相吻合。

3.3 分析评价

将模拟实验得到的“橡胶.asc”文件,加载到 ArcGIS 软件中,转为栅格图后进行重分类并生成云南省橡胶树适生区分布图(图 4)。

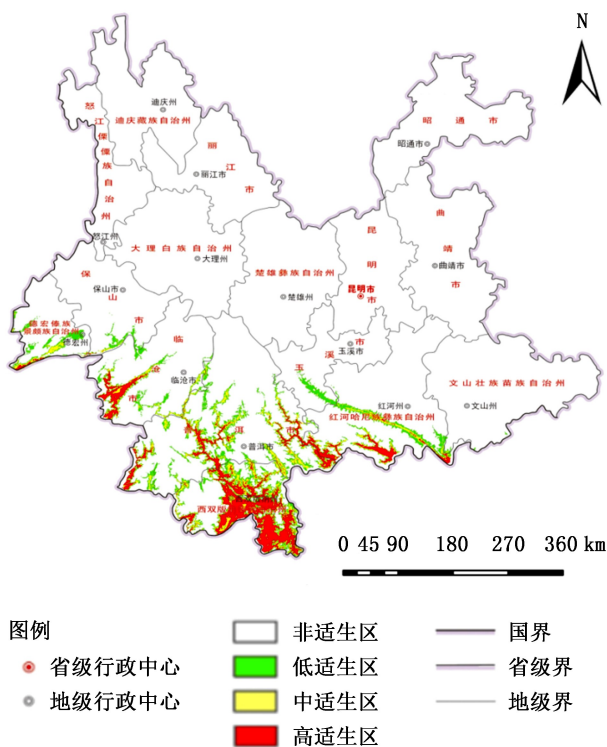


图 4 云南省橡胶种植适生区分布

Fig. 4 Distribution of suitable cultivation areas of *Hevea brasiliensis* in Yunnan Province

在重分类时,参考相关分类标准^[8,13],依据逻辑概率值 p ,将橡胶树的适生区分为 4 类,最终设定 $P <$

0.2 为非适生区, $0.2 \leq P < 0.4$ 为低适生区, $0.4 \leq P < 0.6$ 为中适生区, $P \geq 0.6$ 为高适生区。由于橡胶树的种植不仅考虑到适生性,更重视橡胶树的丰产与稳产问题,故选用模拟结果中高适生区的面积及范围与核实成果展开对照分析。结果表明,橡胶树在云南省的潜在适生区面积为 292.27 万 hm^2 ,其中低适生区面积 117.73 万 hm^2 ,中适生区面积 75.47 万 hm^2 ,高适生区面积 99.07 万 hm^2 。橡胶树适生区范围分布在云南省南部的红河、西双版纳、普洱、临沧、保山、德宏、玉溪和文山等 8 个州(市)。其中,高适生区分布在除玉溪市之外的 7 个州(市),这与对照数据——云南省橡胶资源状况调查核实成果的橡胶树分布州(市)相一致。

在 ArcGIS 软件中,用橡胶树资源状况调查核实成果数据与橡胶种植适生区分布数据叠加分析可知(图 5),现有种植的 67.80 万 hm^2 橡胶中,在非适生区种植的有 1.07 万 hm^2 、低适生区种植的有 4.27 万 hm^2 、中适生区种植的有 12.07 万 hm^2 、高适生区种植的有 50.40 万 hm^2 。种植在高适生区内的面积占总面积的 74.3%,表明实验数据与对照数据有较高的吻合度。

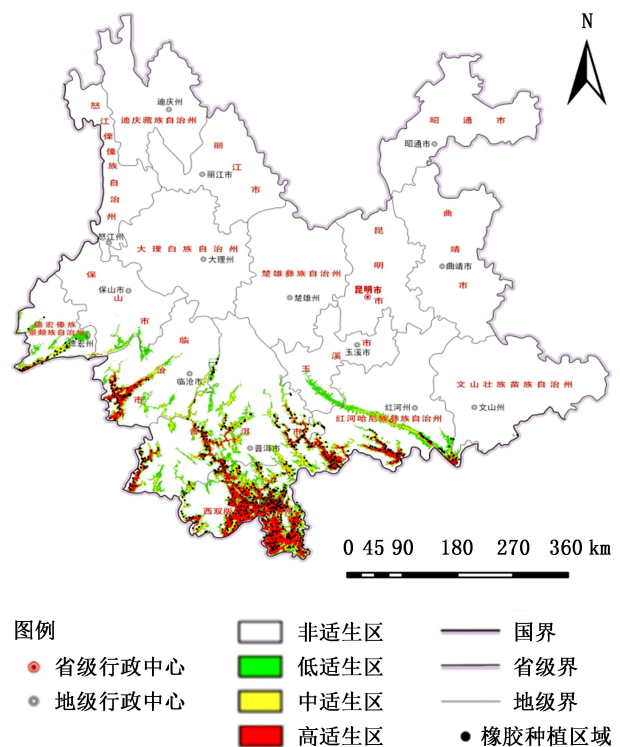


图 5 现有橡胶种植区与适生区对比

Fig. 5 Comparison between existing cultivation areas and predicted suitable areas of *Hevea brasiliensis*

4 讨论与结论

4.1 讨论

现有橡胶种植区与适生区对比发现,在高适生区尚有 48.67 万 hm^2 未种植橡胶。通过对影像、天然林、保护地和耕地等数据叠加分析可知,这些尚未种植橡胶的土地范围主要涉及河流沿岸、城镇、村庄、耕地、天然林和保护区等。其中,红河州未种植区域主要分布于红河水域及沿岸面山;西双版纳州未种植区域则主要分布在西双版纳国家级自然保护区、纳版河国家级自然保护区和勐腊澜沧江绿三角自然保护区;普洱市未种植区域主要分布在糯扎渡电站库区周边和澜沧江与威远江及沿岸面山;临沧市未种植区域主要分布在南滚河国家级自然保护区和孟定镇及周边耕地;德宏州则主要分布在瑞丽市瑞丽江沿岸的城镇和耕地。以上区域多为不能开发种植人工林的区域。排除不宜种植橡胶的特殊区域外,高适生区范围与云南省橡胶资源状况调查核实成果范围高度一致。然而,在非适生区种植有橡胶 1.07 万 hm^2 ,在低适生区种植有 4.27 万 hm^2 。尽管该面积较小,仅占种植总面积的 7.9%,但导致不一致情况的原因也值得思考与探讨。本次模型的建立主要考虑了影响橡胶生长的气候、地形和土壤 3 类外部环境因子,并未综合考虑人为干预生产管理措施的影响,例如新品种的选育、土壤肥力的改善、pH 的调整、排水能力的提升以及布设灌溉措施等措施。并且这部分区域的橡胶生长情况和产胶量如何值得进一步研究和探讨。因此,下一步将从环境因子和人为干预等多方面综合分析来构建模型,以进一步提高运用 MaxEnt 模型预测物种空间分布的可靠性。

4.2 结论

基于 MaxEnt 模型,利用云南省 139 个橡胶树分布点位的记录数据以及 22 个环境变量因子,对橡胶树在云南省的空间分布进行预测。预测结果与云南省橡胶资源状况调查核实成果数据叠加分析显示,高适生区分布范围涉及的州(市)与调查核实成果一致。在排除部分不能开发种植人工林地块后,高适生区面积与调查核实面积高度契合,表明使用

MaxEnt 模型预测物种空间分布是可靠的。

参考文献:

- [1] 张学俊,张萌萌,苏晓兰,等. 原生态杜仲胶的生物提取意义[J]. 中国橡胶,2015,31(5):41-46.
- [2] 卢发章. 橡胶栽培技术探讨[J]. 绿色科技,2010(9):75-76.
- [3] 刘亮,杨财祥. 中国橡胶树北移的历史考察[J]. 北京林业大学学报(社会科学版),2024,23(2):96-103.
- [4] 王跃华,徐涛. 西双版纳地区橡胶种植业的分析评价[J]. 云南大学学报(自然科学版),1998年(增刊4):605-608.
- [5] 吴帆,朱沛煌,季孔庶,等. 马尾松分布格局对未来气候变化的响应[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2022,46(2):196-204.
- [6] PHILIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E. Maximum entropy modelling of species geographic distributions[J]. Ecological Modelling, 2006, 190(3-4):231-259.
- [7] 朱耿平,原雪姣,范靖宇,等. MaxEnt 模型参数设置对其所模拟物种地理分布和生态位的影响:以茶翅蜡为例[J]. 生物安全学报,2018,27(2):118-123.
- [8] 李华,覃阳平,罗春林,等. 基于 MaxEnt 模型的云南省华山松潜在适生区研究[J]. 林业调查规划,2024(9):24-31.
- [9] 周炳江,王玉洁,马长乐,等. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 的云南榿树潜在生境分析[J]. 生态学报,2022,42(11):4485-4493.
- [10] 谢孟,张学星,罗燕,等. 基于 MaxEnt 模型的云南干热河谷适生树种选择应用[J]. 生态学报,2024,44(9):1-19.
- [11] 尚忠慧. 基于 MaxEnt 的物种空间分布预测不确定性分析——以当归为例[D]. 西安:陕西师范大学,2017.
- [12] 陈新美,雷渊才,张雄清,等. 样本量对 MaxEnt 模型预测物种分布精度和稳定性的影响[J]. 林业科学,2012,48(1):53-59.
- [13] 罗开华,付小勇,周晓,等. 基于 MaxEnt 和 GIS 的云南秃杉潜在分布区预测[J]. 林业调查规划,2017(8):7-10.

责任编辑:董磊

校 对:许易琦,董磊

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.021

广西植被覆盖时空演化及对气候和土地利用变化的响应

杨旺彬, 王 钰

(广西壮族自治区国土测绘院, 广西 南宁 530015)

摘要: 植被覆盖是生态环境质量的指示因子之一, 科学揭示其时空变化特征和响应机制, 对区域生态修复与治理有一定的参考价值。基于归一化植被指数 (NDVI), 采用 Sen+Mann-Kendall 趋势分析法, 探究广西 2001—2020 年植被覆盖时空演化特征, 并借助偏相关分析、残差分析等方法, 解析 NDVI 对气候和土地利用变化的响应关系。结果表明, 20 年间, NDVI 值波动增加, 41.11% 的区域植被呈改善趋势, 仅 2.58% 的区域植被呈退化趋势; 气温和降水两因子与植被 NDVI 值均为正相关关系, 降水对植被的影响呈明显的空间异质性; 人类活动对区域植被覆盖具有正负效应, 新增耕地和林地改善植被覆盖状况, 建设占用对城镇周边植被有破坏作用。广西作为我国南方重要的生态屏障, 在气候与人类活动的共同影响下, 植被覆盖状况持续改善, 说明近 20 年退耕还林和石漠化治理成效显著。

关键词: 植被覆盖; 时空演化; 气候响应; 归一化植被指数 (NDVI); 广西

中图分类号: Q948.156; S626.2; S718.512; F301.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2026)01-0146-07

引文格式: 杨旺彬, 王钰. 广西植被覆盖时空演化及对气候和土地利用变化的响应 [J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 146-152. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.021

YANG Wangbin, WANG Yu. Spatio-temporal Evolution of Vegetation Coverage and Its Response to Climate and Land Use Changes in Guangxi [J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 146-152. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.021

Spatio-temporal Evolution of Vegetation Coverage and Its Response to Climate and Land Use Changes in Guangxi

YANG Wangbin, WANG Yu

(Guangxi Zhuang Autonomous Region Institute of Land Surveying and Mapping, Nanning 530015, China)

Abstract: Vegetation coverage is an indicator of ecological environment quality. Scientifically revealing the spatio-temporal variation characteristics of vegetation coverage and response mechanisms holds reference value for regional ecological restoration and management. Based on the normalized difference vegetation index (NDVI), the spatio-temporal evolution characteristics of vegetation cover in Guangxi from 2001 to 2020 were analyzed using Sen+Mann-Kendall trend analysis method, and the response relationship of NDVI to climate and land use change was analyzed by using the methods of partial correlation analysis and residual analysis. The result showed that during the past 20 years, the NDVI of Guangxi showed a fluctuating growth trend, with the area of increasing vegetation coverage accounting for 41.11%, while only 2.58% of the regional vegetation showed a degradation trend. The fractional vegetation cover

收稿日期: 2024-09-11; 修回日期: 2024-09-27

第一作者: 杨旺彬 (1982-), 男, 硕士, 高级工程师. 研究方向为国土空间规划与生态修复. Email: 664624744@qq.com

责任作者: 王钰 (1993-), 女, 硕士, 工程师. 研究方向为生态安全. Email: wangyu175@163.com

was positively associated with both precipitation and temperature, and the impact of precipitation on vegetation showed significant spatial heterogeneity. Human activities had a positive and negative effect on regional vegetation coverage, increasing farmland land and forest land to improve vegetation coverage, and construction occupation had a destructive effect on vegetation around cities and towns. As an important ecological barrier in southern China, the vegetation coverage in Guangxi has continuously improved under the combined influence of climate and human activities, indicating significant achievements in the Grain for Green Program and rocky desertification control in the past 20 years.

Key words: vegetation coverage; spatio-temporal evolution; climate response; normalized difference vegetation index (NDVI); Guangxi

植被作为陆地生态系统的重要组成部分,是大气、土壤、水分等生态要素之间的连接纽带^[1-2]。植被覆盖变化不仅是生态环境演变的重要指标之一,也是全球气候变化的综合指示器。因此,开展植被变化与气候和人类活动之间的响应机制研究,有利于掌握区域生态情况和气候变化,对指导生态环境保护与修复有重要意义^[3-5]。

在全球气候变暖的影响下,植被活动受气温、降水和土地利用类型变化等人类活动的共同影响^[6-8]。近年来,许多学者就植被与气候和人类活动等因子的响应机制开展了一系列研究。如侯志雄等^[9]研究发现,降水和相对湿度是影响北疆天然草地植被覆盖度变化的主要气象因子。付建新^[10]研究表明,山西黄河流域不同土地利用类型 NDVI 时空变化差异显著,NDVI 与气温和降水存在响应关系。黄对等^[11]研究认为,淮河中上游流域和局地尺度的 EVI 与气象因素的关系反映主要植被类型的生长特征和变化,人类活动对不同地类的植被具有积极或消极影响。

2021 年,习近平总书记在广西考察时强调广西生态优势金不换,要在推动绿色发展上迈出新步伐。广西位于西南喀斯特地区,岩溶发育,自 2001 年实施退耕还林工程以来,区域生态环境和土地覆被状况不断改善。作为生态环境治理的表征,植被演化是各方学者的研究热点之一。杨绍锸等^[12]利用 Spot Vegetation NDVI 数据分析了广西多年植被覆盖变化,发现自 1998 年以来植被呈现稳中有升的趋势;张敏等^[13]利用 MODIS NDVI 数据开展广西植被覆盖与气候的响应,认为温度和降水与植被覆盖呈正相关关系;杨艳萍等^[14]采用相关分析等方法研究植被与气候因子、地形和土地利用等的关系。总的来说,现有研究主要集中在水热因子对植被生长的影响方面,较少兼顾气象因子和人类活动对植被的影响;此外,对开展退耕还林工程以来的长时序时

空变化研究较少。因此,基于 2001—2020 年 MOD13A3 NDVI 数据,采用 Theil-Sen Median 趋势分析、Mann-Kendall 检验、偏相关分析、残差分析等方法,对 20 年来广西植被覆盖情况开展分析,定量评估植被覆盖对水热因子和土地利用类型变化的响应,旨在评价退耕还林和石漠化治理成效,为人地关系的协调发展提供参考。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

广西地处云贵高原东南边缘,地理位置为 104° 26'~112° 04'E,20° 54'~26° 24'N。东邻粤、港、澳,北连贵州和湖南,西接云南,面向东南亚,陆域面积为 23.76 万 km²,包括 14 个地级市。属亚热带季风气候区,年均温 17~22℃,年均降水量 1 546 mm。2020 年广西森林覆盖率为 62.5%,全国排名第三,生态环境优越。

1.2 数据来源与处理

采用的 EOS/MODIS 数据产品 MOD13A3 数据来源于美国国家航空航天局(<https://search.earthdata.nasa.gov/search>),时间跨度为 2001—2020 年,空间分辨率为 1 km。利用 MRT(MODIS ropoject tools)软件对数据进行格式转换、拼接、重投影等预处理。采用最大值合成法合成年 NDVI 数据,以消除大气、云等因素的干扰^[15]。

气象数据来源于国家青藏高原科学数据中心(<https://data.tpdc.ac.cn>),选取 2001—2020 年月均气温和总降水栅格数据,空间分辨率为 1 km,利用 ArcGIS 10.2 软件进行年数据合成。

土地利用数据来源于中国国家高技术研究发展计划(863 计划)全球地表覆盖遥感制图与关键技术研究项目的重要成果(<http://globallandcover.com/>),选取 2000 年和 2020 年数据成果,空间分辨率为 30 m,

利用 ArcGIS 10.2 软件进行裁剪、重采样等处理后获得土地利用覆被数据。

1.3 研究方法

1.3.1 Theil-Sen 趋势分析和 Mann-Kendal 检验

Theil-Sen 趋势分析可用于长时间序列的数据变化趋势分析,可以在一定程度上减少异常值干扰,可结合 Mann-Kendal 检验使用。Mann-Kendal 检验为非参数检验,不受缺失值的影响。Theil-Sen 趋势分析公式为:

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{X_j - X_i}{j - i} \right), 1 < i < j < n \quad (1)$$

式中: β 为 NDVI 变化的趋势; X_i 、 X_j 分别为第 i 年和第 j 年的 NDVI; n 为时间序列长度; $\beta > 0$ 为时间序列中存在上升趋势, $\beta < 0$ 则相反。

Mann-Kendal 检验统计量 S 计算公式为:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(X_j - X_i) \quad (2)$$

式中: $\text{sign}()$ 为符号函数,主要对括号中 $X_i - X_j$ 的值进行判别:

$$\text{sign}(X_j - X_i) = \begin{cases} 1, X_j - X_i > 0 \\ 0, X_j - X_i = 0 \\ -1, X_j - X_i < 0 \end{cases} \quad (3)$$

当 S 为正态分布,其均值为 0,其方差为:

$$\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (4)$$

M-K 统计量公式在 $S > 0$, $S = 0$, $S < 0$ 时, Z 对应的值计算公式为:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中: S 为检验统计量。

在某一确定的 α 下, $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ 时,研究序列在 α 上显示出显著的趋势, Z 为正值时代表增加趋势,负值代表减少趋势;当 Z 的绝对值大于等于 1.65、1.96、2.58 时,分别代表通过了可信度为 90%、95%、99% 的显著性检验。

1.3.2 偏相关分析

偏相关系数的原理是在控制其他变量线性影响的前提下,分析两个目标变量之间的相关性^[16]。本文采用偏相关分析法分别探究植被覆盖与降水、气温两个因子的相关关系。偏相关系数公式为:

$$r_{xy,z} = \frac{r_{xy} - r_{xy}r_{yz}}{\sqrt{(1-r_{xz}^2)(1-r_{yz}^2)}} \quad (6)$$

式中: r_{xy} 、 r_{xz} 、 r_{yz} 分别为 x 与 y 、 x 与 z 、 y 与 z 之间的线性相关系数; $r_{xy,z}$ 为固定变量 z 后,变量 x 与 y 之间的偏相关系数。

采用 t 检验对偏相关系数进行显著性检验。

1.3.3 残差分析

残差分析主要是通过逐像元建立植被覆盖与气象因子的回归模型得到植被覆盖的预测值,以预测值和真实值的差值量化人类活动对植被覆盖的影响^[17]。

$$\begin{cases} \varepsilon = \text{NDVI 真实值} - \text{NDVI 预测值} \\ \varepsilon < 0: \text{人类活动产生负面影响} \\ \varepsilon \approx 0: \text{人类活动影响微弱} \\ \varepsilon > 0: \text{人类活动产生正面影响} \end{cases} \quad (7)$$

2 结果与分析

2.1 植被覆盖时空变化特征

2001—2020 年,广西植被覆盖整体呈波动上升趋势,增长速率为 0.000 7/a ($R^2 = 0.123\ 2$, $P > 0.05$)。20 年间,植被覆盖情况得到改善。分时段来看,2001—2006 年,退耕还林工程实施推动广西植被覆盖状况稳中有升;2007—2011 年,受南方雪灾和西南连续干旱等自然灾害影响,植被 NDVI 处于低值区;2011 年之后,石漠化修复治理和新一轮退耕还林工程持续实施,使植被覆盖连续增长,年际变化速率达 0.003 1/a ($R^2 = 0.656\ 5$, $P < 0.05$) (图 1)。

广西植被覆盖呈现北部高于南部,四周高于中间的空间分布格局。植被覆盖的高值区主要分布于云贵高原向广西丘陵盆地过渡地带,以及十万大山、大瑶山等区域。整体上,植被覆盖高值区与山脉走向一致性较高,这些地区林地资源较为丰富。植被覆盖低值区主要分布于北部湾沿海、右江河谷以及各城市建成区及周边区域(图 2(a))。

基于 Sen 趋势分析和 Mann-Kendall 显著性检验,将广西 20 年间植被变化趋势划分为 5 级,结果如表 1 和图 2(b) 所示。植被覆盖无显著变化区域面积占比最大,达 56.31%。改善区域占广西总面积的 41.11%,其中极显著改善区域占比达 25.39%。改善区主要分布于广西中南部地区、百色南部和西北部以及桂林东北部。退化区域面积占比最少,仅占广西的 2.58%,零散分布于各市县中心城区等人类活动频繁区域。总体上,2001—2020 年,植被覆盖稳中有升。

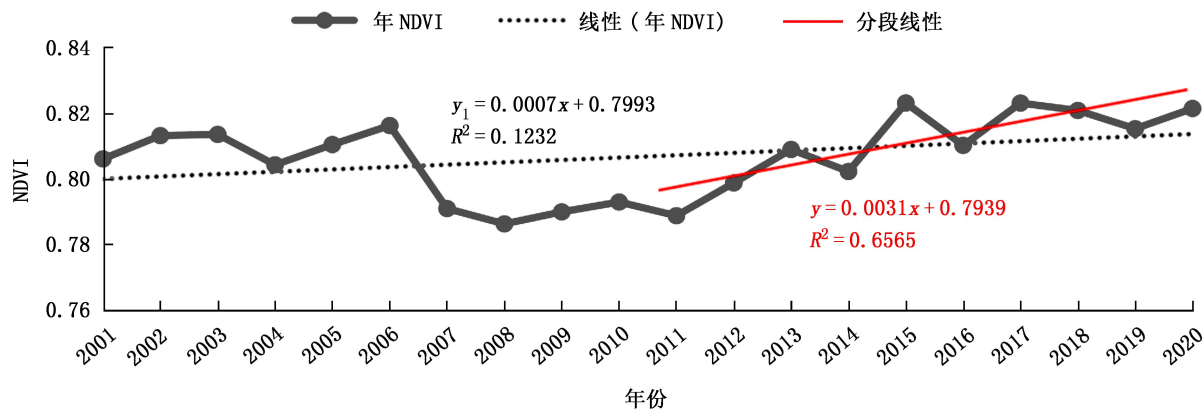


图 1 2001—2020 年广西年 NDVI 年际变化

Fig. 1 Interannual variation of annual NDVI in Guangxi from 2001 to 2020

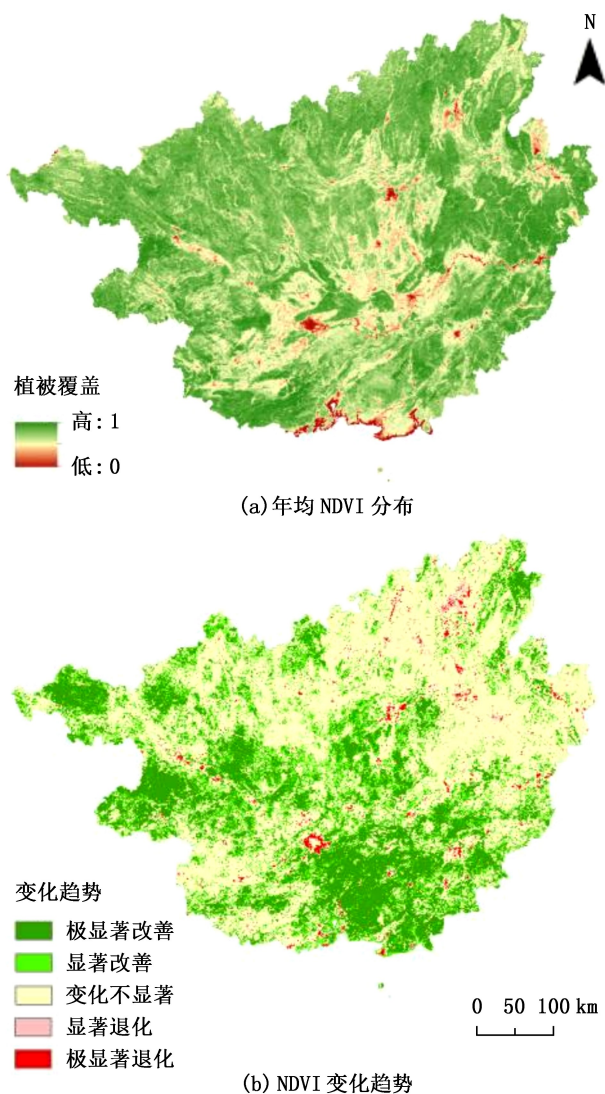


图 2 2001—2020 年广西年均 NDVI 分布和 NDVI 变化趋势

Fig. 2 Distribution of annual average NDVI and NDVI trends in Guangxi from 2001 to 2020

表 1 NDVI 变化趋势统计

Tab. 1 Statistic of NDVI trends

| β | Z 值 | 趋势变化 | 像元个数 | 占比 / % |
|-------------|------------------------|-------|--------|--------|
| $\beta < 0$ | $ Z \geq 2.58$ | 极显著退化 | 2916 | 1.23 |
| $\beta < 0$ | $2.58 > Z \geq 1.96$ | 显著退化 | 3191 | 1.35 |
| — | $1.96 > Z > 0$ | 变化不显著 | 133357 | 56.31 |
| $\beta > 0$ | $2.58 > Z \geq 1.96$ | 显著改善 | 37244 | 15.73 |
| $\beta > 0$ | $ Z \geq 2.58$ | 极显著改善 | 60133 | 25.39 |

2.2 植被 NDVI 对气候要素的响应

采用偏相关分析方法探究降水和气温因子对植被生长的影响,结果如图 3 所示。降水与 NDVI 值偏相关系数为正值面积占研究区总面积的 91.38%,其中,显著正相关的面积占比为 17.08% ($P < 0.05$),主要分布于广西西部的百色、崇左;74.30%的区域降水与植被呈现不显著正相关关系,降水可促进植被的生长。降水与 NDVI 值偏相关系数为负值的面积占研究区的 8.62%,主要分布于广西东部以及北部湾沿海地区。整体上,降水对植被的影响呈现比较明显的空间差异。

气温因子也是影响植被生长的重要气象因子之一。气温与 NDVI 值偏相关系数为正值面积占研究区总面积的 96.75%,显著正相关和不显著正相关面积占比相近,分别为 50.60% ($P < 0.05$) 和 46.15% ($P > 0.05$),广泛分布于整个研究区。气温与 NDVI 值偏相关系数为负值的面积仅占研究区总面积的 3.25%,零散分布于广西各处。总的来说,气温对广西植被有较好的促进作用。

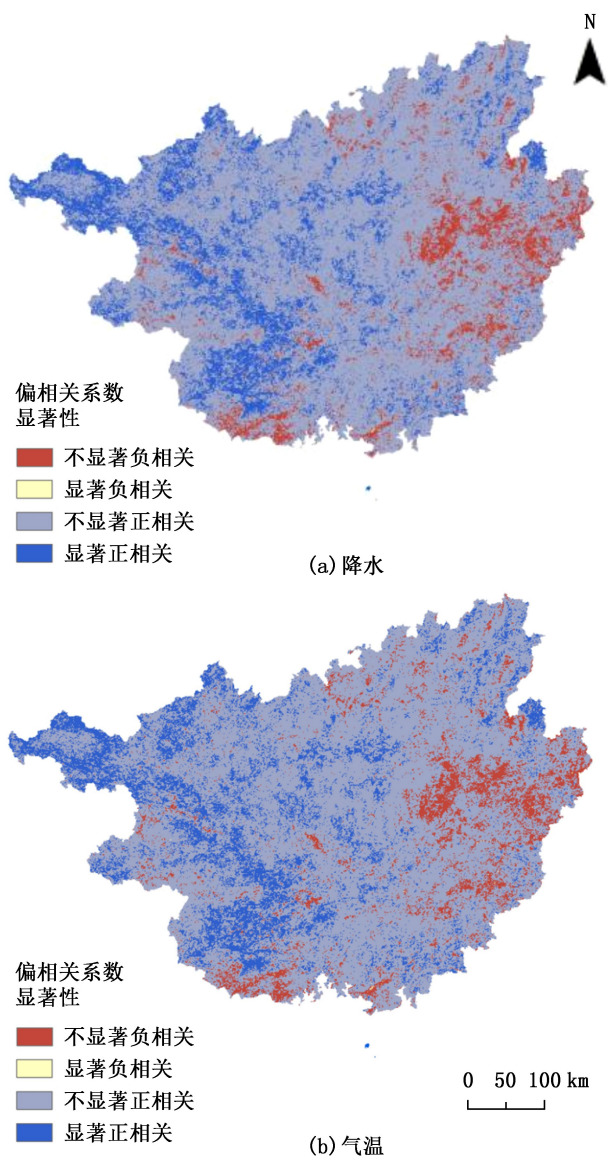


图 3 广西年均 NDVI 值与降水、气温的偏相关分析显著性空间分布

Fig. 3 Significance spatial distribution in partial correlation analysis between multi-year average NDVI and precipitation and temperature in Guangxi

2.3 人类活动对植被 NDVI 的影响

以气温和降水数据作为自变量, NDVI 作为因变量, 采用多元线性回归建立预测模型, 通过 $P < 0.05$ 的显著性检验, 计算得到 NDVI 的预测值, 利用残差分析法分离出人类活动对植被覆盖变化的影响(图 4)。时间上, 2005—2011 年, 广西植被主要受气象因子影响, 人类活动影响较弱; 2012 年后, 人类活动影响增强。空间上, 人类活动对 NDVI 值产生正向效应的区域像元分布面积占研究区总面积的 69.82%, 产生负面效应的像元分布面积占总流域面

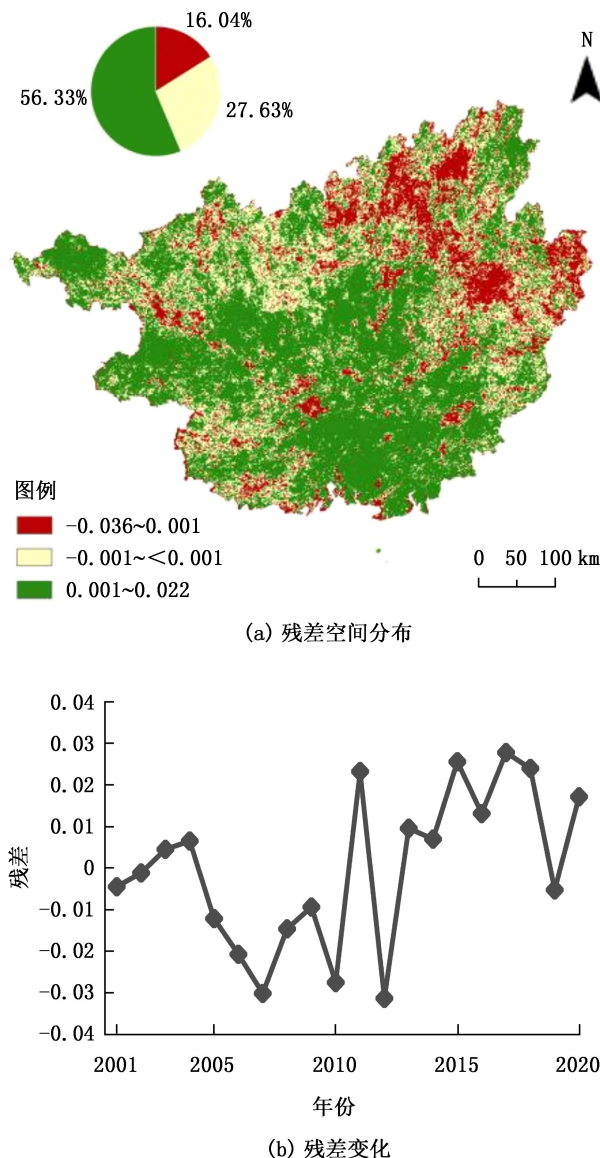


图 4 2001—2020 年广西年均 NDVI 残差空间分布和残差变化

Fig. 4 Residual spatial distribution and trend of multi-year average NDVI in Guangxi from 2001 to 2020

积 30.18%。退耕还林、石漠化治理等工程实施, 使广西大部分地区植被覆盖状况不断改善。桂东地区在 2008 年受气象灾害影响, 植被遭到破坏, 近年来经济发展速度高于植被恢复速度, 因此人类活动对桂东地区植被负面影响较明显。

考虑数据可获取性, 以 2000 年土地利用变更表表征 2001 年的地类情况。为进一步研究人类活动对植被覆盖的影响, 将 2001—2020 年广西土地利用类型转移矩阵与 NDVI 残差趋势进行叠加, 分析土地利用对植被变化的正负效应, 结果如表 2 所示。

表 2 广西 2000—2020 年土地利用类型变化转移矩阵

Tab. 2 Transition matrix of land use type change in Guangxi from 2001 to 2020 km²

| 2000 年 | 残差为负(2020 年) | | | | | | | |
|--------|--------------|----------|----------|-------|----------|--------|---------|-----------|
| | 草地 | 耕地 | 林地 | 裸地 | 人造地表 | 湿地 | 水体 | 小计 |
| 草地 | — | 384. 22 | 1092. 17 | 0. 00 | 62. 02 | 0. 00 | 78. 93 | 1617. 34 |
| 耕地 | 226. 77 | — | 3647. 01 | 0. 26 | 1439. 01 | 4. 18 | 318. 59 | 5635. 81 |
| 林地 | 1379. 94 | 4119. 40 | — | 2. 30 | 614. 61 | 6. 78 | 459. 33 | 6582. 36 |
| 裸地 | 0. 00 | 0. 00 | — | — | 0. 00 | 0. 00 | 0. 00 | 0. 00 |
| 人造地表 | 8. 27 | 368. 12 | 90. 72 | 0. 00 | — | 0. 32 | 48. 00 | 515. 44 |
| 湿地 | 0. 08 | 10. 50 | 8. 27 | 0. 00 | 2. 51 | — | 10. 08 | 31. 43 |
| 水体 | 20. 62 | 212. 31 | 254. 67 | 0. 17 | 58. 30 | 2. 62 | — | 548. 69 |
| 总计 | 1635. 68 | 5094. 55 | 5092. 84 | 2. 73 | 2176. 44 | 13. 90 | 914. 93 | 14931. 07 |

| 2000 年 | 残差为正(2020 年) | | | | | | | |
|--------|--------------|-----------|-----------|-------|----------|--------|----------|-----------|
| | 草地 | 耕地 | 林地 | 裸地 | 人造地表 | 湿地 | 水体 | 小计 |
| 草地 | — | 1431. 99 | 3242. 35 | 0. 00 | 50. 03 | 0. 26 | 51. 94 | 4776. 57 |
| 耕地 | 1241. 99 | — | 15109. 55 | 0. 94 | 1614. 47 | 15. 51 | 785. 59 | 18768. 06 |
| 林地 | 5050. 05 | 17092. 60 | — | 0. 00 | 751. 68 | 10. 62 | 725. 29 | 23630. 24 |
| 裸地 | 0. 00 | 0. 86 | 0. 00 | — | 0. 00 | 0. 00 | 0. 00 | 0. 86 |
| 人造地表 | 10. 82 | 628. 78 | 200. 77 | 0. 32 | — | 1. 49 | 29. 15 | 871. 33 |
| 湿地 | 1. 56 | 21. 02 | 15. 98 | 0. 00 | 1. 52 | — | 14. 18 | 54. 25 |
| 水体 | 42. 07 | 555. 43 | 468. 19 | 1. 33 | 52. 52 | 15. 67 | — | 1135. 21 |
| 总计 | 6346. 49 | 19730. 68 | 19036. 84 | 2. 59 | 2470. 22 | 43. 55 | 1606. 15 | 49236. 52 |

2001—2020 年,林地流入面积为 24 129. 68 km², 主要是耕地和林地之间的流转。残差为负值区域土地利用类型转化,主要是耕地和林地之间的相关转化,以及林地转为人造地表和草地;残差为正值区域中,有 15 109. 54 km² 的耕地和 3 242. 35 km² 的草地转为林地。此外,人造地表的地类来源以耕地和林地为主,建设活动破坏地表植被,因此城镇周边植被覆盖下降。

3 结 论

- 1)2001—2020 年,广西 NDVI 值呈波动增长趋势,年均速率为 0. 000 7/a,退耕还林和石漠化治理成效显著;2012 年后表现为植被覆盖持续上升。空间上,呈现“北高南低,四周高中间低”的分布格局;植被覆盖增加区主要在研究区中南部和西北部,植被覆盖减少区主要为城镇周边地区。
- 2)气象因子是植被覆盖变化的主要驱动因子,气温和降水对 NDVI 值整体为正向影响,气温对植被呈显著正相关的面积(50. 60%)明显大于降水与植被显著正相关的面积(17. 08%),降水对植被覆

盖的影响空间差异明显。

3)残差分析表明,人类活动对植被覆盖具有双重影响,正向改善面积占 71. 22%,负向响应面积占 28. 78%。2001 年,广西被纳入退耕还林工程试点,2005 年启动国家石漠化治理示范项目,2014 年启动新一轮退耕还林工作,相关工作成效显著,人类活动推动植被覆盖状况改善。

4 讨 论

以广西为研究区,分析其 2001—2020 年植被覆盖的时空演化特征发现,区域整体呈“变绿”趋势,空间上北部高于南部,四周高于中间,这一结果与刘大元等^[18]、杨君楠等^[19]的研究结果一致。降水、气温等气象因子是植被变化的主要驱动力。降水是植被获取生长必需水分的主要来源,适宜的温度可促进植物光合作用。研究发现,降水、气温对植被主要体现为正向促进作用。以往研究表明,水热因子对植被同样产生正向影响的地区有西南地区^[7]、长江上游流域^[3]、滇东南喀斯特石漠化地区^[20]等地区。人类活动与自然因素共同作用于植被。受退耕还

林、水土流失和石漠化治理等生态修复工程影响,近 20 年来人类活动对广西植被的影响以促进为主,但是随着城镇化进程加快,人类活动对植被的负向影响在人口密集区逐渐明显。未来人类活动与区域植被变化和环境质量的关系将越来越密切,如何持续巩固提升生态修复成果,筑牢南方生态屏障,是长期的课题。

基于 MODIS NDVI 数据分析广西多年植被演化特征,选取气温、降水、土地利用 3 个因素对区域植被覆盖影响因素进行研究,但是仍存在一些不足。一方面,自然因子方面重点关注气温和降水,对空气湿度、风速等其他气象要素以及地形、植被、土壤等因子对植被的驱动机制分析不够。另一方面,以土地利用类型变化量化人类活动对植被的影响也不够全面。后续将考虑引入更多社会经济活动指标来进一步探究植被对人类活动的响应。

参考文献:

- [1] 王一,郝利娜,强许,等. 2001—2019 年黄土高原植被覆盖度时空演化特征及地理因子解析[J]. 生态学报, 2023,43(6):2397-2407.
- [2] 苏俊磊,罗为群,王广哲,等. 基于 MODIS-EVI 的广西西江流域植被时空变化特征及其影响因素[J]. 水土保持研究,2019,26(3):232-238.
- [3] 杨少康,刘冀,魏榕,等. 长江上游流域生长季植被覆盖度时空变化特征及其成因[J]. 长江流域资源与环境, 2022,31(7):1523-1533.
- [4] 王星,霍艾迪,吕继强,等. 塔里木河干流植被覆盖度动态变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报,2023,39(8):284-292.
- [5] 孙美荣,孙鹏森. 西南高山亚高山区植被活动变化的气候驱动效应与可持续性[J]. 水土保持研究,2023,30(3):240-250.
- [6] 牛继强,张倩,杨晨曦,等. 淮河流域 NDVI 时空变化特征及其气候响应[J]. 地域研究与开发,2023,42(2):155-160.
- [7] 马炳鑫,和彩霞,靖娟利,等. 1982—2019 年中国西南地区植被变化归因研究[J]. 地理学报,2023,78(3):714-728.
- [8] 谢绮丽,鑫杨,郝利娜. 2001—2020 年三江源区植被覆盖度时空变化特征及其影响因素[J]. 水土保持通报, 2022,42(5):202-212.
- [9] 侯志雄,井长青,王公鑫,等. 1998—2018 年北疆天然草地植被覆盖度时空变化及其与气象因子的关系[J]. 中国农业科技导报,2023,25(2):140-151.
- [10] 付建新. 山西黄河流域不同土地利用类型 NDVI 时空变化及其对气温、降水的响应[J]. 水土保持研究, 2023,30(3):364-372.
- [11] 黄对,彭安帮,刘九夫,等. 淮河中上游植被变化及其对气象因素的多时空尺度响应[J]. 水土保持研究, 2023,30(3):268-278.
- [12] 杨绍铭,廖雪萍,谭裕模,等. 广西近十年植被 NDVI 变化及其对降水的响应特征分析[J]. 西南农业学报, 2013,26(2):766-771.
- [13] 张敏,曹春香,陈伟. 基于 MODIS NDVI 数据的广西植被覆盖度时空变化遥感诊断[J]. 林业科学,2019(10):27-37.
- [14] 杨艳萍,陈建军,覃巧婷,等. 2000—2018 年广西植被时空变化及其对地形、气候和土地利用的响应[J]. 农业工程学报,2021,37(17):234-241.
- [15] 马玥,王录仓,赵瑞东,等. 基于不同地貌类型区甘南州植被覆盖度时空变化及其影响因素研究[J]. 生态与农村环境学报,2022,38(11):1427-1436.
- [16] 易浪,孙颖,尹少华,等. 2000—2019 年长江流域植被覆盖度时空演化及其驱动因素[J]. 生态学报,2023,43(2):798-811.
- [17] 余晨渝,肖作林,刘睿,等. 人类活动对西南山地植被覆盖变化的影响——以重庆市为例[J]. 生态学报, 2022,42(17):7177-7186.
- [18] 刘大元,张雪梅,岳跃民,等. 基于 Geodetector 的广西喀斯特植被覆盖变化及其影响因素分析[J]. 农业现代化研究,2019,40(6):1038-1047.
- [19] 杨君楠,狄光智. 广西壮族自治区植被覆盖度时空变化及多元化因子分析[J]. 福建农业科技,2023,54(1):58-65.
- [20] 沈明潭,谭炳香,戚翌,等. 滇东南喀斯特石漠化地区植被覆盖度时空变化特征研究[J]. 林业调查规划, 2022,47(5):1-11.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.022

基于多重中介效应模型的不同立地条件杉木人工林 水源涵养能力评价

勾承馥, 刘 蔓

(普定县林业局, 贵州 安顺 562100)

摘要:为评价贵州省普定县不同立地条件下杉木人工林水源涵养能力,结合 CNRDS 数据库的相关数据,构建多重中介效应模型,分析不同立地条件对杉木人工林水源涵养能力自变量、中介变量、因变量的影响。结果表明,不同立地条件下,坡度 $<15^{\circ}$ 、海拔(1 200 m)和林分密度($650 \text{ 株}/\text{hm}^2$)可保持良好的杉木人工林水源涵养能力;杉木人工林水源涵养能力对中介变量降水截留、地表径流、气候因素、土壤条件、枯枝落叶层、生物多样性均产生间接影响。

关键词:水源涵养能力;杉木人工林;立地条件;多重中介效应模型

中图分类号:S791.27;S727.21;S758.57;S711 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0153-07

引文格式:勾承馥,刘蔓.基于多重中介效应模型的不同立地条件杉木人工林水源涵养能力评价[J].林业调查规划,2026,51(1):153-159. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.022

GOU Chengfu, LIU Man. Evaluation of Water Conservation Capacity in *Cunninghamia lanceolata* Plantations under Different Site Conditions Based on Multiple Mediation Effect Model[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 153-159.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.022

Evaluation of Water Conservation Capacity in *Cunninghamia lanceolata* Plantations under Different Site Conditions Based on Multiple Mediation Effect Model

GOU Chengfu, LIU Man

(Forestry Bureau of Puding County, Anshun, Guizhou 562100, China)

Abstract: To evaluate the water conservation capacity of *Cunninghamia lanceolata* plantations under different site conditions in Puding County of Guizhou Province, a multiple mediation effect model was constructed by integrating relevant data from the CNRDS database. This model was used to analyze the effects of different site conditions on the independent variables, mediating variables, and dependent variables related to the water conservation capacity. The results indicated that under different site conditions, a slope $<15^{\circ}$, an altitude of 1 200 m, and a stand density of $650 \text{ trees}/\text{hm}^2$ contributed to maintaining a favorable water conservation capacity in *C. lanceolata* plantations. The water conservation capacity of *C. lanceolata* plantations indirectly influenced mediating variables including precipitation interception, surface runoff, climatic factors, soil conditions, litter layer, and biodiversity.

Key words: water conservation capacity; *Cunninghamia lanceolata* plantation; site conditions; multiple mediation effect model

收稿日期:2024-11-14;修回日期:2024-12-27

第一作者:勾承馥(1973-),男,高级工程师.研究方向为林业调查规划设计、林业工程管理、林木种苗培育.

责任作者:刘蔓(1973-),女,工程师.研究方向为林业调查规划设计、林业工程管理.

林木水源涵养能力指的是森林生态系统对降水的拦截、吸收、存储和调节等作用^[1]。杉木人工林有一定的水源涵养能力。杉木枝叶相对茂密,林冠层可有效截留部分降水,一般而言,杉木林冠层截留率约 25%。截留的雨水会通过蒸发或者缓慢滴落到地面,减少雨水对地面的直接冲击,降低土壤侵蚀水平^[2]。另外,杉木人工林林下的枯枝落叶可起到一定持水能力,其厚度和持水量随着林龄的增加而递增,成熟的杉木人工林枯枝落叶层持水量可达到自身干重 2~4 倍左右^[3]。通过林冠层截留、枯枝落叶层持水等综合作用,杉木人工林可有效调节地表径流和地下径流的分配,在降雨时减少地表径流的产生,降低洪水的发生风险,在枯水期可通过土壤水分的缓慢释放,维持径流量相对稳定^[4]。

多重中介效应模型指的是存在多个中介变量的模型,如果自变量(X)通过某一变量(M)对因变量(Y)产生一定的影响,则说明 M 为 X 和 Y 的中介变量或 M 在 X 和 Y 之间起中介作用。当前众多学者借鉴多重中介效应模型应用到不同领域研究中:彭清华等^[5]将多重中介效应模型应用到环境组织氛围对员工绿色行为的影响中,得出良好的环境组织氛围对员工绿色行为的养成起到积极影响的结论。张立新等^[6]借鉴多重中介效应模型,分析农村产业融合发展对返乡农民工创业学习的影响,得出产业融合可对返乡农民工创业起到一定引导作用的结论。

当前,多重中介效应模型在林业方面的应用相对较少,鉴于此,为分析多重中介效应模型下不同立地条件杉木人工林水源涵养能力,以贵州省普定县杉木人工林为研究对象,分析多种因素(坡度、海拔、林分密度)通过多个中介变量(降水截留、地表径流、气候因素、土壤条件、枯枝落叶层、生物多样性)对杉木人工林水源涵养能力的影响,从而提出切实合理的林木栽植抚育管理对策,为林业发展提供更全面的决策建议。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

普定县位于贵州省安顺市,地理坐标为 $105^{\circ}27' \sim 105^{\circ}58'E$, $26^{\circ}26' \sim 26^{\circ}31'N$ 。属亚热带季风湿润气候,季风交替明显,全年气候温和,夏无酷暑,春干秋凉,无霜期长,年均温 $15.1^{\circ}C$,年均降水量达 $1\,378\text{ mm}$ 。近些年普定县积极致力于杉木人工林的栽植抚育,人工杉木林面积不断增加。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源

研究数据来源于普定县林业局发布的杉木人工林相关信息,以及在中国研究数据服务平台(Chinese Research Data Services, CNRDS, <http://www.cnrds.com>)检索的相关资料。将“多重中介效应模型”“不同立地条件”“水源涵养能力评价”作为检索关键词,经检索,有 133 条相关文献,说明 CNRDS 数据库收集的相关资料较多,也为本文研究提供了充分的数据基础。结合检索的文献资料和林业局提供的杉木人工林数据,进行数据预处理及关键特征的分析 and 提取。在此基础上,基于统计分析融合、空间分析融合以及数据挖掘和聚类分析等方法,将相似特征的区域进行分类,选择合适的评估指标对建立的融合分析模型进行评估,满足构建多重中介效应模型的数据相关要求。

结合 Python 软件,对不同立地条件下杉木人工林长势以及水源涵养能力进行分析。结合上述研究假设内容,构建多重中介效应模型,对主回归涉及的解释变量及控制变量进行综合评估,IF 均值为 1.2,且控制在 2.0 内^[7],细致阐述不同立地条件对水源涵养能力的影响。在 CNRDS 平台中进行关键词检索,明确自变量(X)影响因素为坡度 $\leq 15^{\circ}$ (X_1)、坡度 $> 15^{\circ}$ (X_2)、海拔 $(1\,200\text{ m})$ (X_3)、海拔 $(1\,800\text{ m})$ (X_4)、 650 株/hm^2 林分密度 (X_5)、 $1\,100\text{ 株/hm}^2$ 林分密度 (X_6);中介变量(M)影响因素为降水截留 (M_1)、地表径流 (M_2)、气候因素 (M_3)、土壤条件 (M_4)、枯枝落叶层 (M_5)、生物多样性 (M_6);因变量(Y)影响因素为土壤性质 (Y_1) 和植被多样性 (Y_2)。结合以上因素进行多重中介效应模型构建与分析。

1.2.2 回归模型设计

在 CNRDS 数据库当中,获得不同立地条件对杉木人工林水源涵养能力影响的相关数据,将不同立地条件的关键影响因素进行对比分析^[8],结果作为水源涵养能力评价指标。借助公式(1)和公式(2),利用 Dig1_u 、 Dig2_u 计算不同立地条件对杉木人工林水源涵养能力的影响,计算公式为:

$$\text{Dig1}_u = \frac{\text{Keyword1}_u}{\frac{1}{n} \sum_i \text{Keyword1}_i} \quad (1)$$

$$\text{Dig2}_u = \frac{\text{Keyword2}_u}{\frac{1}{n} \sum_i \text{Keyword2}_i} \quad (2)$$

式中: i 和 t 分别为不同立地条件代码和年份;Key-

word1 和 Keyword2 为关键词数量。

当 $Dig1_{it}$ 、 $Dig2_{it}$ 均取值 0 时,表示不同立地条件对杉木人工林水源涵养能力产生了影响。

基于多重中介效应模型构建回归模型,公式为:

$$Perf_{it} = \beta_0 + \beta_1 Dig_{it} + \gamma Control_{it} + \sum Year_{it} + \sum Region_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中:Perf 为多重中介效应模型变量影响指标;Dig 为不同立地条件对杉木人工林水源涵养能力变量影响因素;使用 $Dig1_{it}$ 、 $Dig2_{it}$ 来衡量评估自变量(X)影响因素、中介变量(M)影响、因变量(Y)影响因素之间的变化关系;Control 为不同立地条件变量组,分别控制自变量、中介变量、因变量。

本研究设置 12 个变量因素,分别为坡度 $\leq 15^\circ$ 、坡度 $> 15^\circ$ 、海拔 1 200 m、海拔 1 800 m、650 株/hm² 林分密度、1 100 株/hm² 林分密度、降水截留、地表径流、气候因素、土壤条件、枯枝落叶层、生物多样性。对各项影响因素指标进行对比,明确不同立地条件对杉木人工林水源涵养能力的影响关系。

1.3 基于多重中介效应模型的研究假设

鉴于分析的是不同立地条件对杉木人工林水源涵养能力的影响^[9],因此依据不同立地条件提出 3 组假设(图 1)。

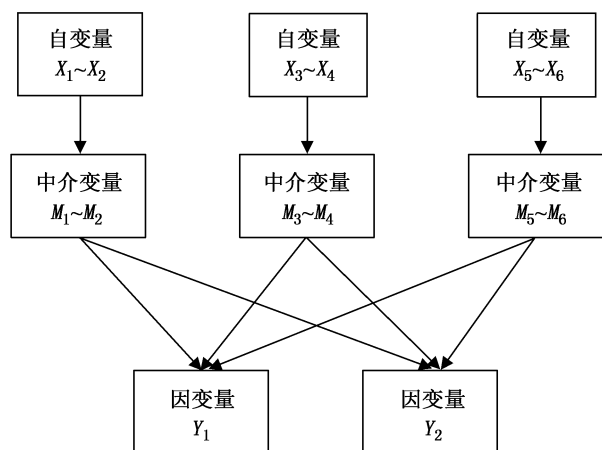


图 1 基于多重中介效应模型的研究假设

Fig. 1 Research hypothesis based on multiple mediation effect model

1) 第一组假设

结合多重中介效应模型研究要素以及文献分析^[10],假设不同立地条件中坡度对杉木人工林水源涵养能力产生影响,则假设坡度 $\leq 15^\circ$ 、坡度 $> 15^\circ$ 是

影响杉木人工林水源涵养能力的自变量因素之一,降水截留和地表径流是中介变量之一,土壤性质和植被多样性作为最终因变量。

2) 第二组假设

结合多重中介效应模型研究要素以及文献分析^[11],假设不同立地条件中坡度对杉木人工林水源涵养能力产生影响,则假设海拔(1 200 m)、海拔(1 800 m)是影响杉木人工林水源涵养能力的自变量因素之一,气候因素和土壤条件是中介变量之一,土壤性质和植被多样性作为最终因变量^[12]。

3) 第三组假设

结合多重中介效应模型研究要素以及文献分析^[13],假设不同立地条件中坡度对杉木人工林水源涵养能力产生影响,则假设林分密度(650 株/hm²)和林分密度(1 100 株/hm²)是影响杉木人工林水源涵养能力的自变量因素之一,枯枝落叶层和生物多样性是中介变量之一,土壤性质和植被多样性作为最终因变量^[14-15]。

2 结果与分析

结合回归模型以及对不同地理条件对杉木人工林水源涵养能力的数据收集^[16],对搜集到的数据选取多重中介效应模型水源涵养能力变量影响因素进行控制,分别控制自变量(X)、中介变量(M)、因变量(Y)等各因素,对两组独立样本率(构成比)进行比较,从而明确各类变量因素对水源涵养能力的影响^[17]。

2.1 自变量(X)的影响率

2.1.1 自变量(X_1 、 X_2)的影响率

杉木人工林水源涵养能力对自变量因素(X_1 、 X_2)的直接影响如表 1 所示。通过 CNRDS 数据库数据检索,筛选出“坡度 $\leq 15^\circ$ ”“坡度 $> 15^\circ$ ”自变量数据信息,从“降水截留”“地表径流”等方面分析其具体影响,通过对照分析的方式,明确“坡度 $\leq 15^\circ$ ”“坡度 $> 15^\circ$ ”对杉木人工林水源涵养能力产生的影响率。从检验结果来看,“坡度 $\leq 15^\circ$ ”“坡度 $> 15^\circ$ ”与“降水截留”“地表径流”存在显著差异性($P < 0.05$)。

据表 1 可知,坡度 $\leq 15^\circ$ 、坡度 $> 15^\circ$ 对降水截留和地表径流均产生显著影响,其中坡度 $\leq 15^\circ$ 对降水截留和地表径流影响较大。

表 1 自变量(X_1 、 X_2)对中介变量(M_1 、 M_2)的影响率

Tab. 1 Influence rates of independent variables

(X_1 , X_2) on mediating variables (M_1 , M_2) %

| 自变量因素 | 降水截留 | 地表径流 |
|------------------------------|-------|-------|
| 坡度 $\leq 15^\circ$ (X_1) | 0.752 | 0.802 |
| 坡度 $>15^\circ$ (X_2) | 0.546 | 0.788 |
| 均值检验 | 0.015 | 0.021 |

2.1.2 自变量(X_3 、 X_4)的影响率

杉木人工林水源涵养能力对自变量因素(X_3 、 X_4)的直接影响如表 2 所示。通过 CNRDS 数据库数据检索,筛选出海拔(1 200 m)、海拔(1 800 m)自变量数据信息。从气候因素、土壤条件等方面分析其具体影响。通过对照分析的方式,明确海拔(1 200 m)、海拔(1 800 m)对杉木人工林水源涵养能力产生的影响率。从检验结果来看,海拔(1 200 m)、海拔(1 800 m)”与气候因素、土壤条件存在显著差异性($P<0.05$)。

表 2 自变量(X_3 、 X_4)对中介变量(M_3 、 M_4)的影响率

Tab. 2 Influence rates of independent variables

(X_3 , X_4) on mediating variables (M_3 , M_4) %

| 自变量因素 | 气候因素 | 土壤条件 |
|-----------------------|-------|-------|
| 海拔(1 200 m) (X_3) | 0.412 | 0.425 |
| 海拔(1 800 m) (X_4) | 0.565 | 0.235 |
| 均值检验 | 0.017 | 0.014 |

据表 2 可知,海拔(1 200 m)、海拔(1 800 m)对气候因素和土壤条件均产生显著影响,其中海拔(1 800 m)对气候因素的影响大,海拔(1 200 m)对土壤条件影响大。

2.1.3 自变量(X_5 、 X_6)的影响率

杉木人工林水源涵养能力对自变量因素(X_5 、 X_6)的直接影响如表 3 所示。通过 CNRDS 数据库数据检索,筛选出林分密度(650 株/hm²)、林分密度(1 100 株/hm²)自变量数据信息。从枯枝落叶层、生物多样性等方面分析其具体影响,通过对照分析的方式,明确林分密度(650 株/hm²)、林分密度(1 100 株/hm²)对杉木人工林水源涵养能力产生的影响率。从检验结果来看,林分密度(650 株/hm²)、林分密度(1 100 株/hm²)与枯枝落叶层、生物多样性存在显著差异性($P<0.05$)。

据表 3 可知,林分密度(650 株/hm²)、林分密度(1 100 株/hm²)对枯枝落叶层、生物多样性均产生显著影响,其中林分密度(650 株/hm²)影响更大。

表 3 自变量(X_5 、 X_6)对中介变量(M_5 、 M_6)的影响率

Tab. 3 Influence rates of independent variables

(X_5 , X_6) on mediating variables (M_5 , M_6) %

| 自变量因素 | 枯枝落叶层 | 生物多样性 |
|--|-------|-------|
| 林分密度(650 株/hm ²) (X_5) | 0.589 | 0.714 |
| 林分密度(1 100 株/hm ²) (X_6) | 0.402 | 0.302 |
| 均值检验 | 0.011 | 0.013 |

2.2 中介变量(M)的影响率

杉木人工林水源涵养能力对中介变量因素(M)的间接影响如表 4~表 9 所示。通过 CNRDS 数据库数据检索,筛选出“降水截留变化(M_1)、地表径流变化(M_2)、气候因素变化(M_3)、土壤条件变化(M_4)、枯枝落叶层变化(M_5)、生物多样性变化(M_6)中介变量数据信息,从地表水流失、土壤水分蓄存、植被覆盖、土壤结构、土壤含水量、土壤温度、水分吸收、水分蓄积、土壤理化性质、土壤化学性质、生态系统结构、生态系统功能等方面,分析间接影响因素,通过对照分析的方式,明确中介变量因素对杉木人工林水源涵养能力的直接影响率。

从检验结果来看(表 4~表 9),降水截留变化、地表径流变化、气候因素变化、土壤条件变化、枯枝落叶层变化、生物多样性变化与降水截留稳定、地表径流稳定、气候因素稳定和土壤条件稳定、枯枝落叶层稳定、生物多样性稳定”存在显著差异性($P<0.05$)。

表 4 中介变量(M_1)对杉木人工林水源涵养能力的影响率Tab. 4 Influence rate of mediating variable (M_1) on

the water conservation capacity of

C. lanceolata plantations %

| 中介变量因素 | 地表水流失 | 土壤水分蓄存 |
|-----------------|-------|--------|
| 降水截留变化(M_1) | 0.541 | 0.458 |
| 降水截留稳定 | 0.354 | 0.622 |
| 均值检验 | 0.002 | 0.004 |

表 5 中介变量(M_2)对杉木人工林水源涵养能力的影响率Tab. 5 Influence rate of mediating variable (M_2) on

the water conservation capacity of

C. lanceolata plantations %

| 中介变量因素 | 植被覆盖 | 土壤结构 |
|-----------------|-------|-------|
| 地表径流变化(M_2) | 0.562 | 0.474 |
| 地表径流稳定 | 0.365 | 0.254 |
| 均值检验 | 0.012 | 0.032 |

表 6 中介变量(M_3)对杉木人工林水源涵养能力的影响率

Tab. 6 Influence rate of mediating variable (M_3) on the water conservation capacity of *C. lanceolata* plantations %

| 中介变量因素 | 土壤含水量 | 土壤温度 |
|-----------------|-------|-------|
| 气候因素变化(M_3) | 0.545 | 0.652 |
| 气候因素稳定 | 0.314 | 0.412 |
| 均值检验 | 0.012 | 0.032 |

表 7 中介变量(M_4)对杉木人工林水源涵养能力的影响率

Tab. 7 Influence rate of mediating variable (M_4) on the water conservation capacity of *C. lanceolata* plantations %

| 中介变量因素 | 水分吸收 | 水分蓄积 |
|-----------------|-------|-------|
| 土壤条件变化(M_4) | 0.236 | 0.254 |
| 土壤条件稳定 | 0.354 | 0.245 |
| 均值检验 | 0.013 | 0.014 |

表 8 中介变量(M_5)对杉木人工林水源涵养能力的影响率

Tab. 8 Influence rate of mediating variable (M_5) on the water conservation capacity of *C. lanceolata* plantations %

| 中介变量因素 | 土壤理化性质 | 土壤化学性质 |
|------------------|--------|--------|
| 枯枝落叶层变化(M_5) | 0.365 | 0.457 |
| 枯枝落叶层稳定 | 0.152 | 0.366 |
| 均值检验 | 0.002 | 0.014 |

表 9 中介变量(M_6)对杉木人工林水源涵养能力的影响率

Tab. 9 Influence rate of mediating variable (M_6) on the water conservation capacity of *C. lanceolata* plantations %

| 中介变量因素 | 生态系统结构 | 生态系统功能 |
|------------------|--------|--------|
| 生物多样性变化(M_6) | 0.451 | 0.365 |
| 生物多样性稳定 | 0.421 | 0.325 |
| 均值检验 | 0.015 | 0.026 |

据表 4~表 9 可知,不同立地条件对杉木人工林水源涵养能力带来影响,降水截留变化对地表水流失和土壤水分蓄存产生影响,其中对地表水流失产生的影响更大;地表径流变化对植被覆盖和土壤结构产生影响,对植被覆盖的影响度更大;枯枝落叶层变化对土壤理化性质和土壤化学性质产生影响,对土壤化学性质的影响更大;生物多样性变化对生态

系统结构和生态系统功能产生影响,对生态系统结构影响更大。

2.3 因变量(Y)的影响率

杉木人工林水源涵养能力对因变量(Y)的整体影响,主要从土壤性质变化、植被多样性变化两个因变量因素进行分析,明确不同立地条件对杉木人工林水源涵养能力的整体影响,如表 10~表 11 所示。通过 CNRDS 数据库数据检索,筛选出土壤性质变化(Y_1)、植被多样性变化(Y_2)因变量数据信息,通过对照分析和数据分析的方式,明确因变量因素对杉木人工林水源涵养能力的总体影响率。从检验结果来看,因变量(Y)因素对杉木人工林水源涵养能力影响显著($P<0.05$)。

表 10 因变量(Y_1)对杉木人工林水源涵养能力的整体影响率

Tab. 10 Overall influence rate of dependent variable (Y_1) on the water conservation capacity of *C. lanceolata* plantations %

| 因变量因素 | 植被层次 | 土壤渗透功能 |
|-----------------|-------|--------|
| 土壤性质变化(Y_1) | 0.201 | 0.471 |
| 土壤性质稳定 | 0.356 | 0.502 |
| 均值检验 | 0.001 | 0.016 |

表 11 因变量(Y_2)对杉木人工林水源涵养能力的整体影响率

Tab. 11 Overall influence rate of dependent variable (Y_2) on the water conservation capacity of *C. lanceolata* plantations %

| 因变量因素 | 土壤水分 | 水分蓄存 |
|------------------|-------|-------|
| 植被多样性变化(Y_2) | 0.658 | 0.521 |
| 植被多样性稳定 | 0.325 | 0.301 |
| 均值检验 | 0.011 | 0.014 |

据表 10~表 11 可知,植被层次和土壤渗透功能对土壤性质产生影响,其中土壤渗透功能的影响率更高;土壤水分和水分蓄存对植被多样性产生影响,其中土壤水分的影响率更高。

3 结论与讨论

3.1 结论

以普定县杉木人工林为研究对象,通过构建自变量(X)、中介变量(M)、因变量(Y)的多重中介效

应模型,分析不同立地条件对杉木人工林水源涵养能力的影响,得出以下结论:

1) 自变量中,坡度 $\leq 15^\circ$ 、海拔 1 200 m、林分密度(650 株/hm²)的立地条件可保持良好的杉木人工林水源涵养能力;

2) 中介因素中,降水截留、地表径流、气候因素、土壤条件、枯枝落叶层、生物多样性等变化均对杉木人工林水源涵养能力产生影响;

3) 杉木人工林水源涵养能力对因变量土壤性质变化和植被多样性变化产生不同程度的影响。

本研究对多重中介效应模型在杉木人工林水源涵养能力评估中的应用,证实该模型在林业领域的重要价值,在未来可通过学科交流和借鉴其他领域经验等方式,对多重中介效应模型在相关林业研究中的应用进行深化,以提高该模型的应用水平。本研究受限于研究地区以及研究对象的限制,加上杉木人工林水源涵养能力还存在很多难以量化的生态、社会等方面价值,很难纳入到模型中,这些因素都限制了模型的普适性,因此多重中介效应模型在林业中的应用统一性有待深入研究。

3.2 讨论

3.2.1 自变量(X)直接影响

普定县不同立地条件对杉木人工林水源涵养能力产生不同程度的影响,其中坡度 $\leq 15^\circ$ 、海拔 1 200 m、650 株/hm² 林分密度的杉木人工林水源涵养能力较佳。分析原因,主要是坡度 $\leq 15^\circ$ 的立地林木长势比较挺拔,林冠层可充分展开,从而更有效地截留降水。相关研究认为,海拔 1 200 m 区域土壤肥沃,高海拔区域以贫瘠山地为主,土壤发育程度低,蓄水能力有限^[18]。与此同时,林分密度较小时,各斑块间的枯枝落叶连续性强,可形成完整的覆盖层,加强枯枝落叶对降水的缓冲和截留作用,整体截留降水效果好^[19]。

3.2.2 中介变量(M)间接影响

不同立地条件通过一系列中介因素间接影响杉木人工林水源涵养能力。降水截留过少、地表径流少、气候变化大、土壤条件不佳、枯枝落叶层稀疏、生物多样性少等均对杉木人工林水源涵养能力产生影响。究其原因,降水截留减少、地表径流减少导致渗入土壤的水不足;气候变化可能导致某些地区降水量增加或者减少,对杉木人工林而言,降水量的减少直接威胁到水源涵养能力,这是因为减少了可被截留、入渗并储存的水量;枯枝落叶可有效缓解雨水降落到地面的速度,让降水均匀地分布在土壤表面。

但若这层变得稀疏,更多的降水直接冲击土壤表面,导致快速的地表径流增加,减少水分渗透到土壤的机会;丰富的植物群可提供多种类型的枯枝落叶,分解后为土壤贡献有机质,改善土壤结构,提高土壤持水能力。但生物多样性减少,植物种类单一,影响水源涵养。综上,各种中介变量因素可能使生态系统的水分调节功能受到削弱,进而影响杉木人工林的水源涵养效果^[20]。

3.2.3 因变量(Y)总体影响

总体影响是杉木人工林水源涵养各影响因素相互作用的结果,总体影响涉及到土壤性质和植被多样性。普定县不同立地条件的杉木人工林水源涵养存在显著差异,加之中介因素的作用将进一步对杉木人工林水源涵养产生影响,总体影响多以负面为主。研究发现,良好的土壤结构可促进水分有效渗透和储存,劣化的土壤结构导致土壤板结,减少水分渗透路径,增加地表径流,降低土壤持水能力。丰富的植被多样性说明拥有不同高度和密度的植物层(如乔木、灌木、草本植物),这些层次可有效拦截降水,减缓雨水到达地面的速度,增加水分渗透时间;此外,不同类型植物凋落物可为土壤提供多种来源的有机物,提升土壤持水能力和肥力。

3.2.4 相互作用分析

本研究基于多重中介效应模型,分别从坡度、海拔和林分密度 3 个方面分析其对杉木人工林水源涵养的影响。结果显示,自变量坡度 $> 15^\circ$ 、坡度 $\leq 15^\circ$ 对应的中介变量为降水截留和地表径流。一般来说,坡度小时,林木生长较为挺拔,可更好地截留降水,截留量比较大。随着坡度的增加,林木为适应地形,可能会出现生长形态不规则的情况,进而导致林冠层对降水的截留效果下降。在缓坡上,降水容易深入土壤,形成地下径流,地表径流相对少,主要是缓坡上的水流速度慢,有更多的时间让水分渗透。自变量中,海拔 1 200 m 和海拔 1 800 m 对应的中介变量为气候因素和土壤条件。海拔低的区域气温较高,土壤相对肥沃,蓄水能力更强。随着海拔的升高,气温降低,降水增加且有时以降雪形式存在,低温导致林木生长受阻,植被类型和覆盖度改变,影响林冠层截留降水能力^[21]。自变量林分密度 650 株/hm² 和林分密度 1 100 株/hm² 对应的中介变量为枯枝落叶层和生物多样性。林分密度低时,可为灌木及草本植物提供更多生长空间和光照,增加植被种类和数量,使水源涵养能力更强^[22]。林分密度过高时,各斑块之间枯枝落叶层连续性差,很难形成相对完整

的覆盖层,削弱枯枝落叶对降水的缓冲和截留作用。

4 建 议

4.1 尽可能选择缓坡种植杉木

鉴于不同坡度及海拔对杉木人工林水源涵养的影响,立足本研究调查结果,在坡度上,以缓坡也就是坡度 $\leq 15^\circ$ 及较低海拔为较为合适的种植区域,有助于杉木根系生长以及水分的渗透,提高水源涵养能力。另外,植被选择上可合理搭配,可间种耐阴的草本植物或者低矮灌木,以增加植被覆盖度和层次结构,提高林分水源涵养能力。

4.2 采取合适的营林举措

不论在何区域种植杉木,都需加强土壤管理,进行合理的翻耕和松土,改善土壤结构,增加其孔隙度和透气性;最大程度保留林内自然生长的杂草和其他植被,形成多层植被结构,以起到截留降水和减缓径流的效果。此外,可建设水土保持工程,开挖截水沟和排水沟等,拦截坡面径流,引导雨水有序排放,减少水土流失。

4.3 对林分密度进行调控

在杉木种植阶段需选择相对合理的密度。合适的林分密度可保证一定的林冠层覆盖度,充分发挥林冠对降雨的截留作用,并有合适的空间及光照促进林下植被生长。各种植物根系在生长过程中相互交织,可改善土壤结构,提高土壤的孔隙度以及通气性,增强土壤蓄水能力,实现较好的水源涵养效果。

参考文献:

- [1] 陈学武. 张掖市人工林区域水源涵养能力与覆盖面积空间差异动态模拟分析[J]. 林业调查规划, 2024, 49(5): 147-152.
- [2] 杨念琼. 杉木不同家系根际土壤养分及丛枝菌根真菌群落特征[D]. 贵阳: 贵州大学, 2023.
- [3] 江廷均. 不同经营模式对杉木人工林生长量和生物量的影响[J]. 福建林业, 2023(3): 45-48.
- [4] 戴俊, 罗启亮, 董利军, 等. 施肥、造林密度和种植穴规格对杉木幼林生长的影响[J]. 广西林业科学, 2023, 52(3): 284-290.
- [5] 彭清华, 聂巧媛, 陈应龙. 亲环境组织氛围对员工绿色行为的影响及多步多重中介效应模型[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2022, 41(1): 81-90.
- [6] 张立新, 丁晓辉. 农村产业融合发展对返乡农民工创业学习的影响——一个复合多重中介效应模型[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2021, 23(3): 154-160.
- [7] 余文梦, 苏时鹏, 沈大军. 福建集体林权制度改革对生态公益林水源涵养能力变化的影响——基于 723 个村的实证研究[J]. 生态学报, 2021, 41(4): 1362-1372.
- [8] 王玮璐, 贺康宁, 张潭, 等. 青海高寒区水源涵养林土壤机械组成和理化性质对其饱和导水率和持水能力的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(2): 69-77.
- [9] 高荣, 成向荣. 间伐对杉木人工林林下植物多样性及其水源涵养能力研究[J]. 绿色科技, 2022, 24(8): 7-11, 62.
- [10] 温林生, 彭云, 邓文平, 等. 庐山杉木林与黄山松林的土壤层水源涵养能力和土壤侵蚀敏感性探究[J]. 水土保持学报, 2022, 36(2): 255-260.
- [11] 陈问新. 林改对生态公益林水源涵养能力变化的影响[J]. 南方农业, 2021, 15(33): 91-92, 95.
- [12] 郭昊澜, 赵子豪, 连晓倩, 等. 间伐对杉木人工林水土保持功能影响的研究进展[J]. 亚热带农业研究, 2021, 17(4): 252-257.
- [13] 白云星, 周运超, 张薰元, 等. 马尾松针阔混交人工林凋落物和土壤水源涵养能力[J]. 林业科学, 2021, 57(11): 24-36.
- [14] 黄茂勋. 水土流失区不同林分类型水源涵养能力评价[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(6): 61-64.
- [15] 程唱, 贺康宁, 俞国峰, 等. 干旱半干旱区不同林型人工林水源涵养能力比较研究[J]. 生态学报, 2021, 41(5): 1979-1990.
- [16] 杨家慧, 谭伟, 卯光宪, 等. 黔中不同龄组柳杉人工林枯落物水源涵养能力综合评价[J]. 水土保持学报, 2020, 34(2): 296-301, 308.
- [17] 盛储望, 郑博福, 朱锦奇, 等. 脐橙种植对赣南丘陵区水源涵养功能的影响[J]. 南昌大学学报(理科版), 2020, 44(4): 380-387.
- [18] 魏宏征, 肖战峰, 何小军, 等. 甘肃子午岭林区不同林分水源涵养能力研究[J]. 林业资源管理, 2020(4): 87-94.
- [19] 邱丽霞, 李淑芬, 温哲华. 不同植被类型枯落物水源涵养功能的研究[J]. 河北林业科技, 2020(2): 1-4.
- [20] 谭韧, 张贵祥. 生态涵养区绿色发展评估与路径研究——以河北省张家口市为例[J]. 城市, 2020(6): 18-26.
- [21] 冯秋红, 王毅, 刘兴良, 等. 川西亚高山不同林龄云杉人工林林地水源涵养能力比较研究[J]. 四川林业科技, 2020, 41(1): 5-10.
- [22] 雷电. 湖南西毛里湖湖滨毛竹林水源涵养能力及其价值评估[J]. 世界竹藤通讯, 2020, 18(2): 29-32, 42.

责任编辑: 刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.023

玉溪市草原毒害草发生趋势及风险评估

高景芳

(云南省林业调查规划院营林分院, 云南 昆明 650021)

摘要:为摸清玉溪市草原毒害草种类及分布情况,评估毒害草发生现状及趋势,科学指导灾害防治工作,通过踏查结合标准地调查,调查到毒害草 103 种;危害的主要方式为侵占、有毒。采用物种重要值评估物种发生程度,紫茎泽兰是种群的绝对优势种,白花鬼针草、蕨为种群优势种,其余物种为一般常见物种。采用 ArcGIS 软件核密度分析工具对“密度”进行分析,将分析结果可视化,重点毒害草不同程度分布在玉溪市,其中澄江市、易门县毒害草密度高,整体有由高密度区向低密度区扩散趋势。运用最大熵(MaxEnt)模型结合 ArcGIS 软件空间分析,对重点毒害草适生区开展风险评估,紫茎泽兰高风险区集中在易门县,白花鬼针草高风险区集中在红塔区,飞机草高风险区集中在新平县和元江县境内红河两岸,蕨高风险区集中在澄江、华宁、通海等县(市)和江川区南部交界区域。运用刀切法测定环境变量对重点毒害草在玉溪市生存的重要性,根据环境变量对其分布重要性的结果图分析,影响紫茎泽兰、白花鬼针草、飞机草、蕨生存的主要环境因子中的主导因子分别是最冷月最低温度、温度季节性、最热月最高温度、年均温。

关键词:毒害草;危害方式;发生程度;发生趋势;风险评估;ArcGIS;MaxEnt 模型;玉溪市

中图分类号:S812.6;S765.3;X820.4 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2026)01-0160-10

引文格式:高景芳. 玉溪市草原毒害草发生趋势及风险评估[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 160-169. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.023

GAO Jingfang. Occurrence Trend and Risk Assessment of Poisonous Grasses in Yuxi City[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 160-169. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.023

Occurrence Trend and Risk Assessment of Poisonous Grasses in Yuxi City

GAO Jingfang

(Forest Management Branch of Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650021, China)

Abstract: This study aims to clarify the species and distribution of poisonous grasses in grasslands of Yuxi City, evaluate the current situation and trend of poisonous grasses, and scientifically guide the disaster prevention and control work. Through the combination of on-site investigation and standard plot sampling, 103 species of poisonous grasses were investigated, and the main hazard patterns were invasion and toxicity. The importance value of species was used to assess their occurrence level. *Ageratina adenophora* was the absolutely dominant species in the population, *Bidens alba* and *Pteridium aquilinum* var. *latiusculum* were dominant species, while the remaining species were common. The kernel density tool in ArcGIS was employed to analyze the “density”, and the results were visualized. The key poisonous grasses were distributed in Yuxi City to different degrees, with high densities found in Chengjiang County and Yimen County. Overall, there was a trend of diffusion from high-density to low-density areas. The Max-

收稿日期:2024-11-16;修回日期:2025-02-26

第一作者:高景芳(1994-),女,助理工程师.研究方向为草原有害生物灾害调查监测. Email:614932593@qq.com

Ent model combined with the spatial analysis of ArcGIS software was used to carry out risk assessment on the suitable areas of key poisonous grasses in Yuxi. High-risk areas for *Ageratina adenophora* were concentrated in Yimen County, for *Bidens alba* in Hongta District, for *Chromolaena odorata* along both banks of the Honghe River within Xinping County and Yuanjiang County, and for *Pteridium aquilinum* var. *latiusculum* in the border areas connecting southern Chengjiang County, Huanning County, Tonghai County, and Jiangchuan District. The importance of environmental variables to the survival of key poisonous grasses in Yuxi City was determined by Jackknife method. Analysis of the results regarding the importance of environmental variables to their distribution indicated that the dominant environmental factors affecting the survival of *A. adenophora*, *B. alba*, *C. odorata*, and *P. aquilinum* var. *latiusculum* were the minimum temperature of the coldest month, the seasonal temperature, the maximum temperature of the hottest month, and the annual average temperature, respectively.

Key words: poison grasses; hazard pattern; occurrence degree; occurrence trend; risk assessment; ArcGIS; MaxEnt model; Yuxi City

气候条件的持续变化、人类活动范围与强度的不断扩张等因素,使毒害草的发生趋势呈现出复杂的动态变化特征。毒害草是影响天然草地退化的重要因素,随着天然草地退化的加剧,草原生态失衡,可食牧草种类和数量减少,而毒害草因抗旱耐寒、抗盐碱等抗逆性强特点,与可食牧草争夺土壤、阳光、营养和水分,引发草原逆向演替。毒害草种群数量和面积不断扩大,甚至呈现蔓延态势^[1]。另一方面,对于一些生态脆弱区或是主要利用方式为生态防护的草地,则可以充分运用其抗逆性强的特点加以利用。

玉溪市的草原类型主要为热性草原,大部分区域地处江河流域、低海拔生态脆弱地区,深入探究毒害草在不同区域的发生规律、扩散机制以及与环境因素之间的相互作用关系,对科学管理毒害草,维护生态系统的平衡稳定具有极为重要的理论意义与实践价值。本文对玉溪市天然草原毒害草种类、危害方式、发生频次、发生程度进行分析,重点对 4 种主要毒害草发生趋势、风险区分布及环境变量影响进行分析,为科学管理毒害草提供参考。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

玉溪市地处云南省中部,地理坐标位于 23°19′~24°53′N、101°16′~103°09′E,下辖红塔、江川、澄江、通海、华宁、易门、峨山、新平、元江 9 个县(市、区)。全市除元江河谷外,大部分地区海拔 1 500~1 800 m。玉溪市有抚仙湖、星云湖、杞麓湖和阳宗海 4 个高原断陷湖泊,面积合计 31 930 hm²。总体上属亚热带高原季风气候,年均温 16.7~24.5℃,年均降水量 787.8~1 000 mm。全市草原面积 28 244.03 hm²,占

国土面积的 1.89%,分布 7 种草地类型,其中山地草甸面积 303.05 hm²,暖性草丛面积 870.30 hm²,暖性灌草丛面积 668.05 hm²,热性草丛面积 14 384.90 hm²,热性灌草丛面积 7 366.54 hm²,干热稀树草原面积 4 631.67 hm²,人工草地面积 19.52 hm²。

1.2 数据来源

本研究所用数据包括调查记录、历史生物气候变量数据。

调查数据来自踏查及标准地详细调查数据。以县级行政区为单位,结合当地草原资源分布、地形地貌及草地类状况规划踏查路线 110 条。通过踏查,初步判断草原有害生物发生情况。根据各踏查点调查的有害生物发生和分布情况进行标准地设置,对毒害草的种类、密度、盖度、危害方式等内容进行详细记录。共设置毒害草标准地 316 个。每个标准地面积为 0.5 hm²,涵盖所有乡镇和草地类。

历史生物气候变量数据:在世界气候网站下载 WorldClim 版本 2 的标准(19) WorldClim 历史生物气候变量数据(1970—2000 年的平均值),分辨率为 30″。各历史生物气候变量具体见表 1。

2 研究方法

2.1 研究范围

以云南省“国土三调”成果与林地资源管理“一张图”融合数据中的玉溪市草地分布为研究范围。风险区划分以玉溪市国土分布为研究范围。

2.2 数据统计及计算

基于 Excel 软件对物种数、频次、相对频次、相对高度、相对盖度、重要值等数据进行运算统计。

表 1 生物气候变量
Tab. 1 Bioclimatic variables

| 变量代码 | 描述 | 变量代码 | 描述 |
|-------|--------|-------|-------------|
| bio1 | 年均温 | bio11 | 最冷季均温 |
| bio2 | 平均昼夜范围 | bio12 | 年降水量 |
| bio3 | 等温性 | bio13 | 最潮湿月降水量 |
| bio4 | 温度季节性 | bio14 | 最干燥月降水量 |
| bio5 | 最热月最高温 | bio15 | 降水季节性(变异系数) |
| bio6 | 最冷月最低温 | bio16 | 最湿季降水量 |
| bio7 | 温度年范围 | bio17 | 最干燥季降水量 |
| bio8 | 最湿季均温 | bio18 | 最暖季降水量 |
| bio9 | 最干燥季均温 | bio19 | 最冷季降水量 |
| bio10 | 最热季均温 | | |

2.3 核密度分析、自然间断点分级法

采用核密度分析(kernel density)方法显示毒害草活动发生的密度区域。核密度分析,是根据输入的要素数据集计算每个输出像元周围的点要素的密度,生成结果为一个连续的密度表面,通过数据聚集情况直观反映指标的分布情况。自然间断点分级法,是基于数据中固有的自然分组对分类间隔加以识别,可对相似值进行最恰当的分组,并可使各个类之间的差异最大化。基于毒害草数据分布不均匀且本身具有明显“群集”特征的情况,对“密度”因子进行核密度分析时选择自然间断点分级法进行分类。结合植株密度分类等级将毒害草按密度从低到高分 5 个等级,即极低密度、低密度、中密度、较高密度、高密度。分级显示的具体密度值为此次调查的单物种密度在玉溪市分布,具有区域相对性。

2.4 最大熵(MaxEnt)模型及刀切法

运用最大熵模型建立重点毒害草适生模型,开展风险评估。预测物种适生分布是生态学的重要研究领域,物种分布模型(species distribution models, SDM)逐渐发展,并成为研究物种适生性的一个重要工具^[2]。目前常用的物种分布模型中,最大熵模型 MaxEnt 的模拟精度要高于其他模型,加之该软件具有运行时间短、操作简便、运行结果稳定和所需样本量小等特点,在业内得到了广泛的认可^[3-4]。最大熵模型在同等条件下对物种潜在分布模拟的精度高于其它生态位模型,其可以预测物种存在的概率,而不仅是是否存在,且只需要较小样本的物种分布数据即可得到较好的模拟效果^[5-8]。因为其可以同时使用连续型和分类型数据,从而减小模型过度拟

合产生的误差,且模型的输出结果为概率分布,可以用于物种保护和管理的决策制定^[9]。

MaxEnt 模型所用的环境因子均来源于 WorldClim 气候数据库。该数据是以全球的气象记录信息为基础数据,整合插值生成的全球气候栅格数据^[10]。运用 ArcGIS 对历史生物气候变量进行预处理,批量裁剪玉溪市范围生物气候变量栅格范围。在 MaxEnt 模型运行中,随机选择单个物种 75% 的分布点作为训练集数据,25% 的分布点作为测试集数据,基于初始模型构建过程中选择 MaxEnt 软件中的刀切法(jack-knife test)检验来测定 19 个环境变量对模型预测的贡献大小,根据刀切法检验结果图反映不同环境变量对于分布增益的贡献大小。该方法分别计算“仅此变量”“除此变量”和“所有变量”模拟时的训练得分情况,判定标准为“仅此变量”时得分较高,说明该因子具有较高的预测能力,对物种分布贡献较大。

基于 MaxEnt 模型输出毒害草存在玉溪市的概率分布图,参考 IPCC 报告^[11]关于评估可能性的划分方法,结合毒害草实际分布情况,划分毒害草气候适宜等级分区,存在概率<0.05 为不适生区;0.05≤存在概率<0.33 为低适生区;0.33≤存在概率<0.66 为中适生区;存在概率≥0.66 为高适生区。利用“重分类”功能,划分布值等级及相应分布范围,进行可视化。运用 ArcGIS 统计各级适生区面积。

2.5 物种鉴定

物种鉴定参照《中国植物志》《中国天然草地有毒有害植物名录》《中国天然草原常见毒害草图谱》《云南省外来入侵植物名录(2019 版)》^[12-15]。

3 结果与分析

3.1 物种及危害方式

经统计分析,共调查到毒害草 103 种,隶属 34 科。菊科调查到的物种数最多,有 27 种,占发现物种数的 26%;其次是豆科,调查到 10 个物种;其余的“科”较少,在 5 种及以下。从“种”级别分析,调查到频次最高的是紫茎泽兰(*Ageratina adenophora*),频次占比达 38.01%;其次是白花鬼针草(*Bidens alba*),频次占比达 11.72%;蕨(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*)、飞机草(*Chromolaena odorata*)频次占比在 5% 左右;其余物种频次占比在 5% 以下。

在危害方式方面,白花鬼针草、飞机草、肿柄菊(*Tithonia diversifolia*)等植物危害方式为侵占;垂序商陆(*Phytolacca americana*)、商陆(*Phytolacca acinosa*)、

草玉梅等植物危害方式为有毒;紫茎泽兰、黄果茄 (*Solanum virginianum*)、赛葵 (*Malvastrum coromandelianum*) 等植物危害方式为有毒、侵占;菟丝子 (*Cuscuta chinensis*) 的危害方式为寄生、侵占;大蓟 (*Cirsium spicatum*)、茅莓 (*Rubus parvifolius*)、大蝎子草 (*Girardinia diversifolia*) 等植物危害方式为其他,这类植物主要是植株有刺,易划伤牲畜;苍耳 (*Xanthium strumarium*) 叶柄边缘有不规则的粗锯齿,瘦果外面有疏生的具钩状的刺,危害方式为有毒、其他。物种频次占比在 0.5% 以上的物种统计见表 2。

表 2 物种频次占比在 0.5% 以上的物种种类及危害方式统计

Tab. 2 Statistics of species with frequency percentages above 0.5% and their hazard pattern

| 序号 | 科 | 物种 | 危害方式 | 物种频次占比/% |
|----|------|--|-------|----------|
| 1 | 菊科 | 紫茎泽兰 <i>Ageratina adenophora</i> | 侵占,有毒 | 38.01 |
| 2 | 菊科 | 白花鬼针草 <i>Bidens alba</i> | 侵占 | 11.72 |
| 3 | 菊科 | 飞机草 <i>Chromolaena odorata</i> | 侵占 | 5.95 |
| 4 | 碗蕨科 | 蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> | 侵占 | 5.38 |
| 5 | 菊科 | 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> | 侵占 | 4.64 |
| 6 | 碗蕨科 | 毛轴蕨 <i>Pteridium revolutum</i> | 侵占 | 3.23 |
| 7 | 菊科 | 肿柄菊 <i>Tithonia diversifolia</i> | 侵占 | 3.13 |
| 8 | 菊科 | 假臭草 <i>Praxelis clematidea</i> | 侵占 | 2.12 |
| 9 | 大戟科 | 蓖麻 <i>Ricinus communis</i> | 有毒 | 1.83 |
| 10 | 菊科 | 大蓟 <i>Cirsium japonicum</i> | 其他 | 1.60 |
| 11 | 蔷薇科 | 茅莓 <i>Rubus parvifolius</i> | 其他 | 1.18 |
| 12 | 苋科 | 喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> | 侵占 | 1.18 |
| 13 | 菊科 | 苏门白酒草 <i>Erigeron sumatrensis</i> | 侵占 | 0.99 |
| 14 | 菊科 | 银胶菊 <i>Parthenium hysterophorus</i> | 侵占,有毒 | 0.94 |
| 15 | 蓼科 | 戟叶酸模 <i>Rumex hastatus</i> | 侵占 | 0.94 |
| 16 | 旋花科 | 圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i> | 侵占 | 0.84 |
| 17 | 锦葵科 | 赛葵 <i>Malvastrum coromandelianum</i> | 侵占,有毒 | 0.77 |
| 18 | 菊科 | 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> | 侵占 | 0.77 |
| 19 | 菊科 | 小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i> | 侵占 | 0.77 |
| 20 | 茄科 | 黄果茄 <i>Solanum virginianum</i> | 侵占,有毒 | 0.74 |
| 21 | 苋科 | 土荆芥 <i>Dysphania ambrosioides</i> | 侵占,有毒 | 0.69 |
| 22 | 菊科 | 蓝花野茼蒿 <i>Crassocephalum rubens</i> | 侵占 | 0.62 |
| 23 | 蔷薇科 | 西南蕨麻 <i>Argentina lineata</i> | 侵占 | 0.54 |
| 24 | 马鞭草科 | 马缨丹 <i>Lantana camara</i> | 侵占,有毒 | 0.52 |

3.2 发生程度

毒害草是草地退化的指示植物^[16-17]。对产生一定危害的毒害草进行标准地调查,采用物种重要

值评估物种发生程度。物种重要值是用来表征群落中某个物种的地位和作用的综合数量指标^[18]。

重要值=(相对密度+相对盖度+相对频度)/3^[19]。

在玉溪市 316 个标准地调查到毒害草 61 种,重要值最大的是紫茎泽兰,重要值达 44.48%,远大于其他物种,是种群的绝对优势种,对种群结构层次影响最大;白花鬼针草、蕨的重要值分别为 12.86%、12.47%,为种群优势种,对种群结构有一定的影响;其余物种重要值小于 5%,为一般常见物种,对种群结构影响相对较小。物种重要值在 0.5% 以上的物种统计见表 3。

表 3 物种重要值在 0.5% 以上的物种统计

Tab. 3 Statistics of species with importance values above 0.5%

| 物种 | values above 0.5% | | | % |
|-------|-------------------|-------|-------|-------|
| | 相对密度 | 相对盖度 | 相对频度 | |
| 紫茎泽兰 | 40.87 | 52.95 | 39.61 | 44.48 |
| 白花鬼针草 | 11.94 | 15.68 | 10.96 | 12.86 |
| 蕨 | 10.28 | 17.57 | 9.55 | 12.47 |
| 飞机草 | 2.99 | 5.15 | 5.72 | 4.62 |
| 毛轴蕨 | 2.96 | 4.88 | 3.70 | 3.85 |
| 鬼针草 | 1.49 | 3.66 | 3.97 | 3.04 |
| 假臭草 | 1.98 | 3.27 | 2.49 | 2.58 |
| 大蓟 | 1.57 | 2.82 | 2.96 | 2.45 |
| 肿柄菊 | 1.66 | 2.85 | 1.82 | 2.11 |
| 茅莓 | 1.56 | 2.16 | 1.34 | 1.69 |
| 白茅 | 1.89 | 1.97 | 1.14 | 1.67 |
| 苏门白酒草 | 0.83 | 1.58 | 1.14 | 1.18 |
| 喜旱莲子草 | 0.81 | 1.51 | 1.08 | 1.13 |
| 小蓬草 | 0.82 | 1.53 | 0.87 | 1.07 |
| 白车轴草 | 1.15 | 0.93 | 0.47 | 0.85 |
| 圆叶牵牛 | 0.61 | 0.85 | 0.94 | 0.80 |
| 西南蕨麻 | 0.51 | 1.00 | 0.81 | 0.77 |
| 戟叶酸模 | 0.31 | 0.79 | 0.74 | 0.61 |
| 赛葵 | 0.24 | 0.61 | 0.67 | 0.51 |

3.3 发生趋势

对频次占比在 5% 以上,标准地调查到毒害草中的绝对优势种、优势种、常见种中重要值较高的物种进行发生趋势分析。具体物种为紫茎泽兰、白花鬼针草、蕨、飞机草。基于 ArcGIS 软件,对标准调查物种“密度”因子进行核密度分析。分级方法采用自然断点分级法,反映紫茎泽兰、白花鬼针草、蕨、飞机草在玉溪市的发生趋势。

紫茎泽兰在澄江市北部、澄江市与江川区分界区域、易门县 4 个正向方位与邻县交界区域为高密

度分布区;较高密度、中密度分布区表现在高密度分布区向外扩散延伸区域;低密度分布区除中密度分布区向外扩散延伸区域外,还在新平县、元江县、红塔区、通海县零散分布。

白花鬼针草在澄江市南部为高密度分布区;较高密度分布区除高密度区向外扩散延伸区域外,还分布在澄江市北部、红塔区东部;中密度分布区除在较高密度分布区向外扩散延伸区域,还零散分布在新平县、元江县;低密度分布区除中密度分布区向外扩散延伸区域,还分布在通海县的东部。

蕨在澄江市北部为高密度分布区;较高密度分布在近东南方向与华宁县交界区域及高密度区向外扩散区域;中密度分布区表现在较高密度分布区向

外扩散延伸区域及江川区、红塔区、通海县交界区域,部分还分布在新平县西北方向与邻县交界区域;低密度分布区除中密度分布区向外扩散延伸区域,还在新平县、元江县、红塔区、峨山县零散分布。

飞机草高密度区分布在易门县、峨山县交界区域,易门县西边邻县交界区域;较高密度区分布在新平县、元江县、峨山县;中密度分布区表现在高密度、较高密度分布区向外扩散延伸区域;低密度区分布在中密度分布区向外扩散延伸区域。

整体看,4种毒害草不同程度分布在玉溪市,其中澄江市、易门县毒害草密度高,整体都有由高密度区向低密度区扩散的趋势。新平、元江、红塔等县(区)毒害草密度连续扩散范围较大(图1)。

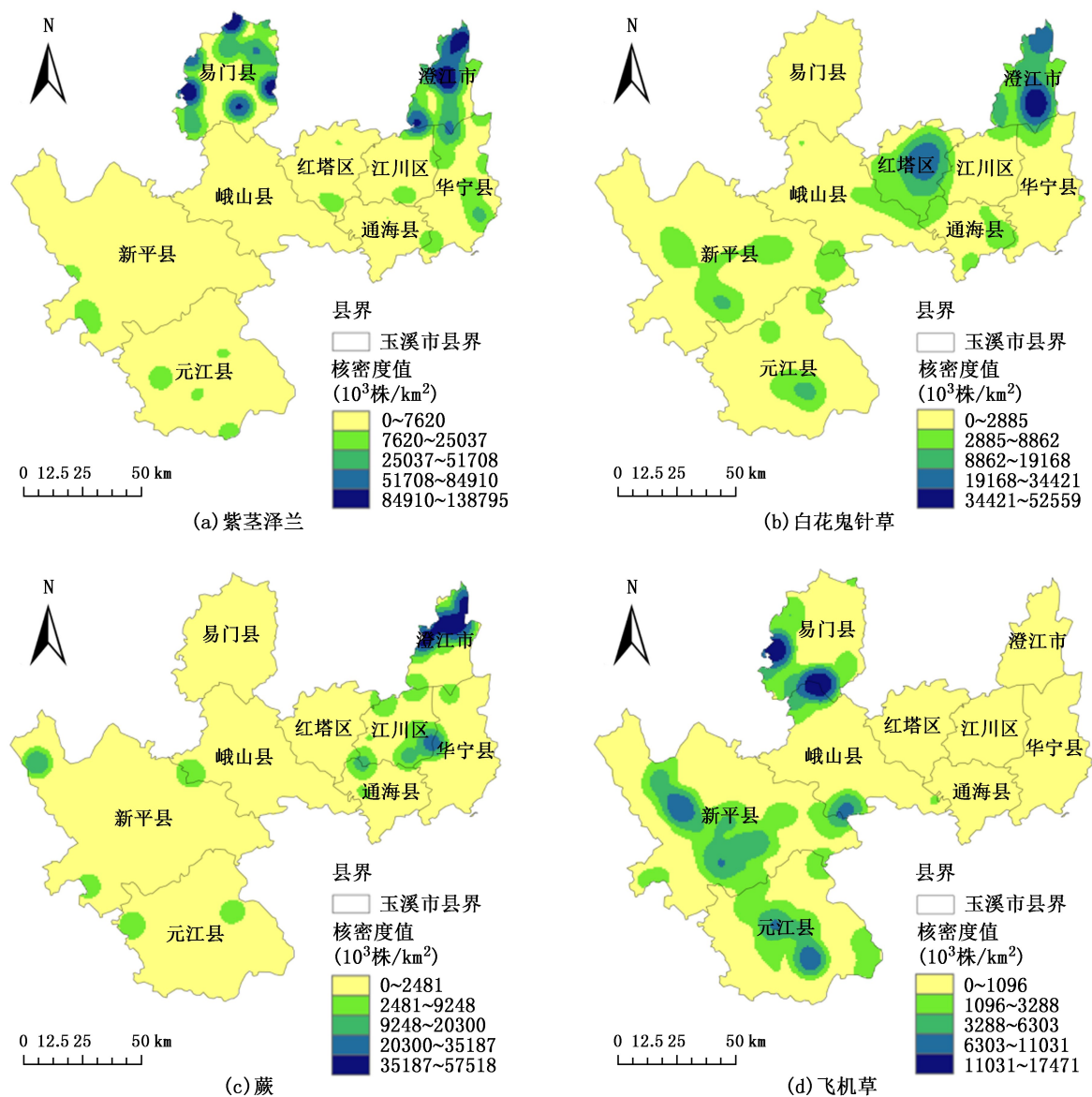


图 1 重点物种核密度分析

Fig. 1 Kernel density analysis of key species

3.4 风险评估

3.4.1 紫茎泽兰风险区分布及环境变量影响分析

根据紫茎泽兰在玉溪的适生区区划图,其发生概率高、风险大的区域集中在易门县以及易门县与峨山县交界处;中风险区域集中分布在红塔、江川、澄江、通海、华宁、峨山,新平、元江等县(市、区)有零星集中分布区域;低风险区集中在元江、新平县(图 2)。

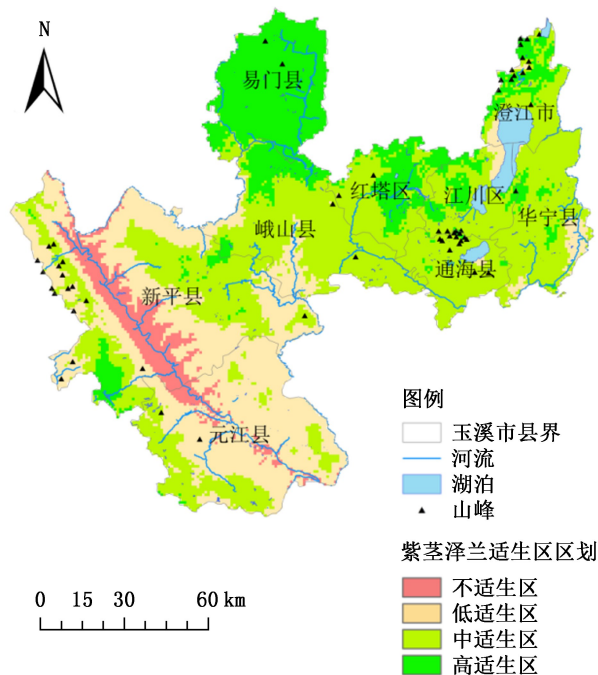


图 2 紫茎泽兰分布区预测

Fig. 2 Predicted distribution area of *Ageratina adenophora*

运用 ArcGIS 对紫茎泽兰在玉溪市预测适生区范围进行面积统计分析。玉溪市国土面积 $149.66 \times 10^4 \text{ km}^2$, 紫茎泽兰在高适生区分布面积为 $18.69 \times 10^4 \text{ km}^2$, 中适生区为 $41.81 \times 10^4 \text{ km}^2$, 低适生区为 $39.34 \times 10^4 \text{ km}^2$, 不适生区为 $49.82 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。总体来看, 适生区面积占国土面积的 66.71%。

运用 MaxEnt 模型中刀切法测定环境变量对紫茎泽兰在玉溪市生存的重要性。根据环境变量对紫茎泽兰分布重要性的结果图分析, 最冷月最低温 (bio6)、最湿季降水量 (bio16)、年降水量 (bio12) 是影响紫茎泽兰生存的主要环境因子, 其训练增益超过 0.17。最冷月最低温训练增益最大, 在主要环境因子中占主导地位。其次是最冷季均温 (bio11)、最

潮湿月降水量 (bio13), 其训练增益超过 0.15。等温性 (bio3)、温度季节性 (bio4)、降水季节性 (bio15) 对紫茎泽兰适生区有一定影响, 但是程度较轻, 单个环境变量训练增益在 0.05 以下 (图 3)。

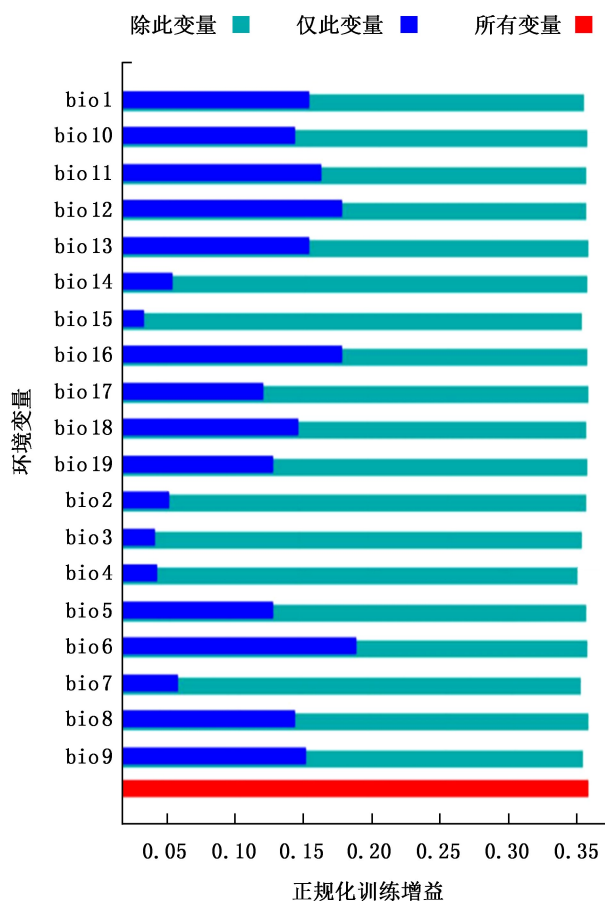


图 3 环境变量对紫茎泽兰分布影响的重要性

Fig. 3 Importance of environmental variables to the distribution of *Ageratina adenophora*

3.4.2 白花鬼针草风险区分布及环境变量影响分析

根据白花鬼针草在玉溪的适生区区划图, 其发生概率高、风险大的区域集中在红塔区、江川区星云湖周边、澄江市抚仙湖北端, 新平、元江县境内红河两岸; 中风险区集中分布在发生概率高、风险大的区域延伸范围; 低风险域集中在新平、元江、易门县除中、高风险区以外区域 (图 4)。

运用 ArcGIS 对白花鬼针草在玉溪市预测适生区范围进行面积统计分析, 在高适生区分布面积为 $3.91 \times 10^4 \text{ km}^2$, 中适生区为 $33.69 \times 10^4 \text{ km}^2$, 低适生区为 $42.14 \times 10^4 \text{ km}^2$, 不适生区为 $59.92 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。总体来看, 适生区面积占国土面积的 59.96%。

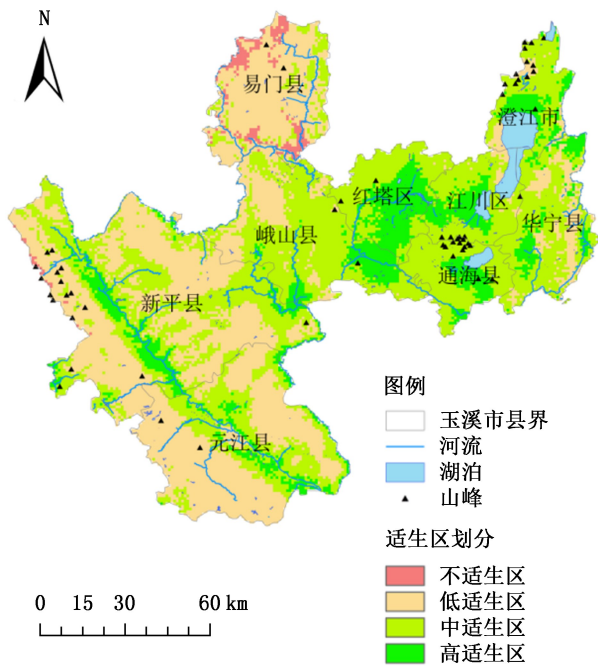


图 4 白花鬼针草分布区预测

Fig. 4 Predicted distribution area of *Bidens alba*

根据环境变量对白花鬼针草分布重要性的结果图分析,温度季节性(bio4)、最干燥季均温(bio9)、温度年范围(bio7)是影响白花鬼针草生存的主要环境因子。温度季节性训练增益值最大,接近 0.1,在主要环境因子中占主导地位。等温性(bio3)、最干燥月降水量(bio14)、降水季节性(bio15)对适生区有一定影响,但是程度较小,单个环境变量训练增益在 0.02 以下(图 5)。

3.4.3 飞机草风险区分布及环境变量影响分析

根据飞机草在玉溪的适生区划图,其发生概率高、风险大的区域集中在新平和元江县境内红河两岸、易门和峨山县交界区域;中风险区集中分布在发生概率高、风险大的区域延伸范围,零星集中区域分布于华宁县;低风险区零星分布在易门、新平、元江、峨山、通海县;不适生区集中分布在新平县境内红河西侧、澄江、华宁、通海、红塔区等县(市、区)(图 6)。

飞机草在高适生区分布面积为 $10.71 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 中适生区为 $17.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 低适生区为 $27.51 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 不适生区为 $94.31 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。总体来看,适生区面积占国土面积的 36.98%。

根据环境变量对飞机草分布重要性的结果图分析,最热月份的最高温度(bio5)、最热季均温(bio10)、

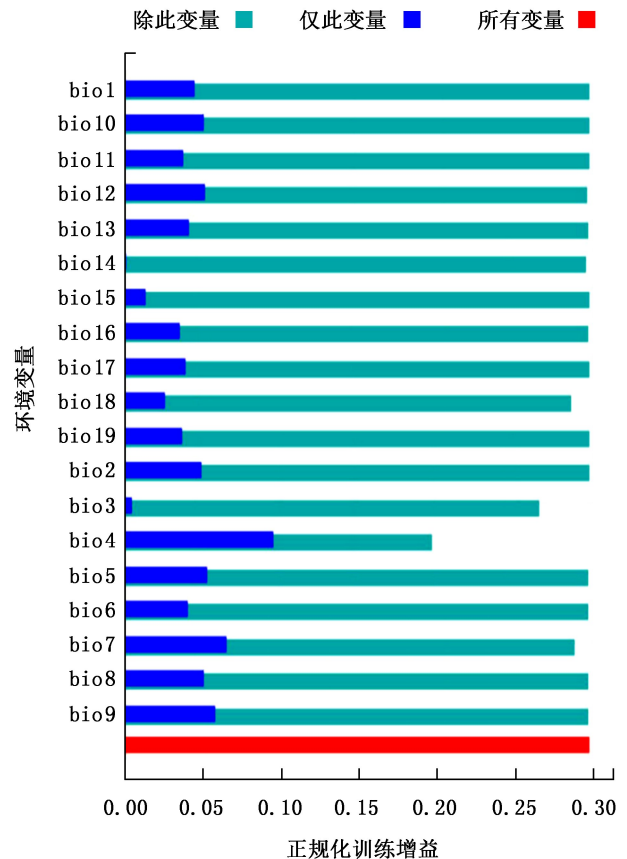


图 5 环境变量对白花鬼针草分布影响的重要性

Fig. 5 Importance of environmental variables to the distribution of *Bidens alba*

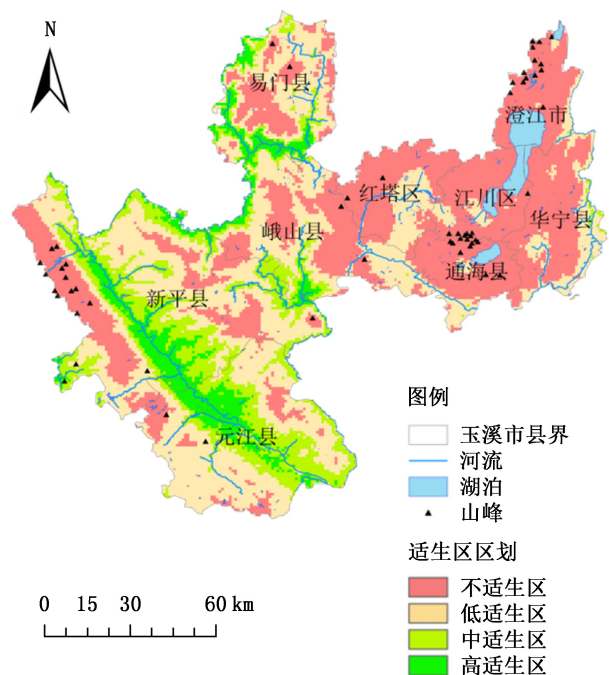


图 6 飞机草分布区预测

Fig. 6 Predicted distribution area of *Chromolaena odorata*

年均温 (bio1)、最冷季均温 (bio11)、最湿季均温 (bio8)、最干燥季均温 (bio9) 是影响飞机草生存的主要环境因子,单个环境因子训练增益在 0.6 以上。训练增益最大的是最热月最高温,是主要环境因子中的主导因子;等温性对飞机草适生区有一定影响,但是程度较小,单个环境变量训练增益在 0.1 以下 (图 7)。

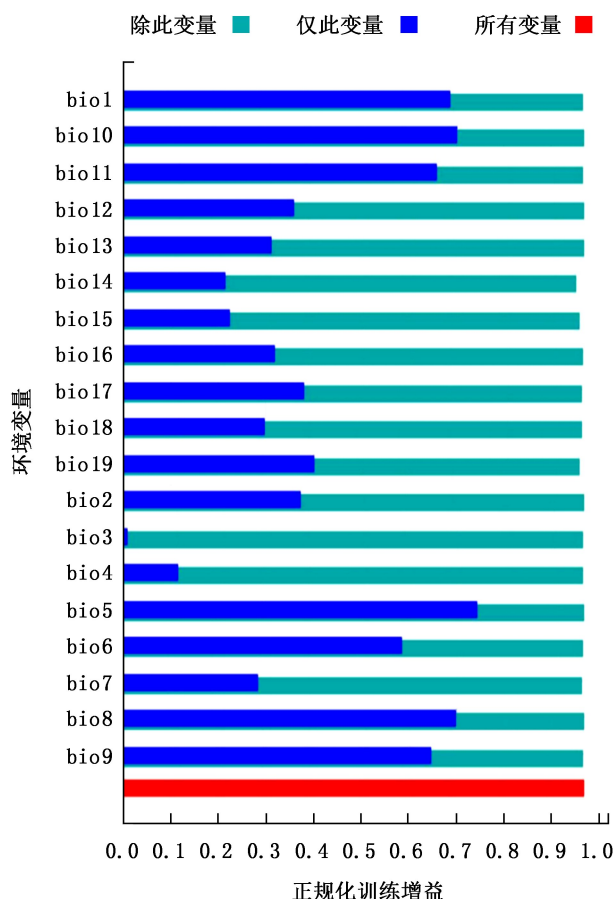


图 7 环境变量对飞机草分布影响的重要性

Fig. 7 Importance of environmental variables to the distribution of *Chromolaena odorata*

3.4.4 蕨风险区分布及环境变量影响分析

根据蕨在玉溪的适生区区划图,其发生概率高、风险大的区域集中在澄江、华宁、通海县和江川区交界区域,零星分布在红塔区北部、新平县西部;中风险区集中分布在发生概率高、风险大的区域延伸范围,零星集中区域分布在峨山、易门、元江县;低风险区集中分布在红塔区、峨山县与红塔区交界区域,零星分布在发生概率中等、风险中等的区域延伸范围;不适生区域集中分布在新平、元江县境内红河两岸,易门、峨山县、华宁县东部部分河流两岸 (图 8)。蕨

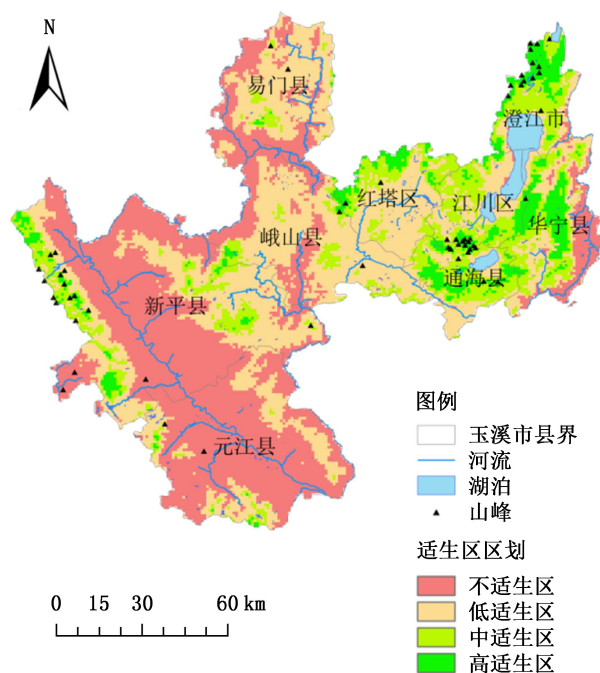


图 8 蕨分布区预测

Fig. 8 Predicted distribution area of *Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*

在高适生区分布面积为 $8.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 中适生区域为 $17.15 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 低适生区为 $27.78 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 不适生区为 $95.84 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。总体来看, 适生区面积占国土面积的 35.96%。

根据环境变量对蕨分布重要性的结果图分析, 年均温 (bio1)、最热季均温 (bio10)、最冷季均温 (bio11)、最湿季均温 (bio8)、最干燥季均温 (bio9) 是影响蕨生存的主要环境因子, 单个环境变量训练增益在 0.8 以上。训练增益最大的年均温是主要环境因子中的主导因子。等温性 (bio3)、温度季节性 (bio4) 对蕨适生区有一定影响, 但是影响程度较小, 单个环境变量训练增益在 0.1 以下 (图 9)。

4 结论与讨论

4.1 结论

在玉溪市设置 110 条踏查线路, 316 个标准地, 共计调查到毒害草 103 种, 隶属 34 科。菊科调查到的物种数最多, 有 27 种。危害的主要方式为侵占、有毒。采用物种重要值评估物种发生程度, 紫茎泽兰是种群的绝对优势种, 对种群结构层次影响最大; 白花鬼针草、蕨为种群优势种, 对种群结构有一定的影响; 其余物种为一般常见物种, 对种群结构影响相对较小。

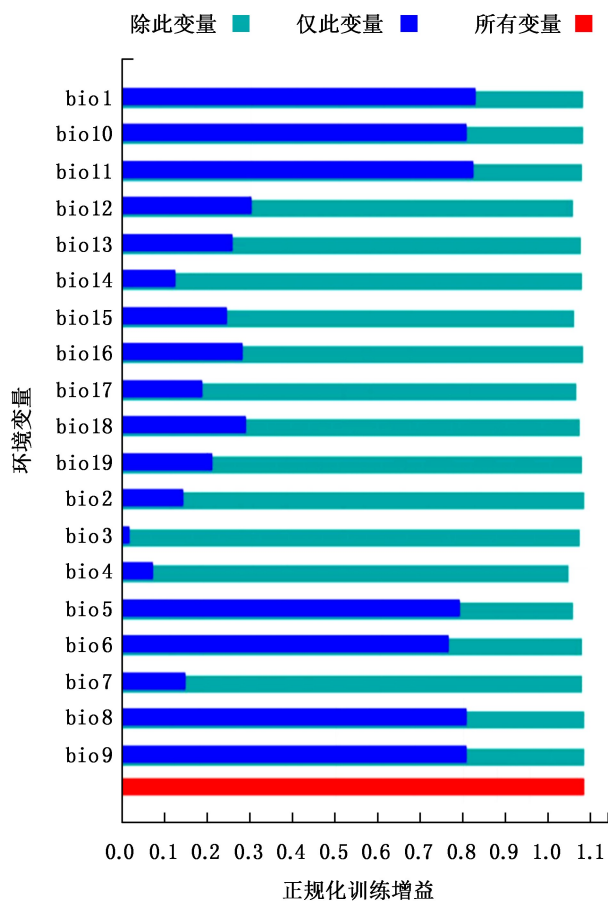


图 9 环境变量对蕨分布影响的重要性

Fig. 9 Importance of environmental variables to the distribution of *Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*

通过对重点毒害草扩散趋势进行分析,结果显示,白花鬼针草、紫茎泽兰、飞机草、蕨不同程度分布在玉溪、澄江、易门县(市),毒害草密度高,整体都有由高密度区向低密度区扩散的趋势。新平、元江、红塔等县(区)毒害草密度连续扩散范围较大。

通过对白花鬼针草、紫茎泽兰、飞机草、蕨风险区进行划分,对各适生区进行面积统计,可为后续开展重点毒害草防控、防治提供参考。紫茎泽兰、白花鬼针草适生区面积占玉溪市国土面积的 50% 以上,且毒害草有向周边区域扩散的趋势。对紫茎泽兰、白花鬼针草、飞机草、蕨在发生概率高、风险大的区域应该重点监测,对中风险及发生概率低、风险低的区域进行一般等级预防,谨防扩散。

运用 MaxEnt 模型中的刀切法测定环境变量对重点毒害草在玉溪市生存的重要性。根据环境变量对其分布重要性的结果图分析,影响紫茎泽兰、白花鬼针草、飞机草、蕨生存的主要环境因子中的主导因子分别是最冷月最低温、温度季节性、最热月最高

温、年均温。在对毒害草的灾害管理方面,了解毒害草灾害风险区域分布、环境因子的影响,可在未来气候影响下更精准地制定防灾措施,减少灾害的发生。

4.2 讨论

多数毒害草具有极强的入侵能力,可快速占领生境,改变植物群落中物种的分布格局,破坏生态平衡。紫茎泽兰自 20 世纪 40 年代从中缅、中越边境侵入我国云南南部以来,已在云南、四川、贵州、广西、西藏等省(区)泛滥成灾^[20-21]。1934 年,首次在我国云南省南部发现了飞机草,在之后的 80 多年间,飞机草在我国南方迅速传播,目前已遍布多个省(区)^[22]。飞机草作为一种恶性杂草,有性生殖与无性生殖并存,通过分泌的化感物质抑制周围的植物生长,快速繁殖,挤占生态空间,严重破坏了我国南方地区的生态环境^[23]。但另一方面,部分毒害草具有很高的营养价值,经过特殊除毒处理后可用于饲喂牲畜^[24];有的毒害草根系发达、抗逆性强等,较优良牧草有更强的耐旱能力和竞争力,在水土保持、防风固沙等方面可发挥重要生态作用^[25]。另外,毒害草入侵扩散,也一定程度会对草地土壤生物学活性、菌群密度、微生物多样性等产生有利影响^[26-28]。可见,毒害草在生态系统中可改变群落组成和多样性、影响种间竞争关系、影响土壤生态。生态系统是生物与生物之间及生物与其生存环境之间密切联系、相互作用,通过物质交换、能量转换和信息传递,形成占据一定空间、具有一定结构、执行一定功能的动态平衡整体^[29]。对于毒害草的管理,应将其置于生态系统中去看,通过制定合理的管理措施和政策,维持生态系统的稳定性和生物多样性。

参考文献:

- [1] 岳方正,段廷玉,才玉石,等. 简述我国草原有害生物发生与防治[J]. 中国森林病虫,2019,38(6):27-31.
- [2] 许仲林,彭焕华,彭守璋. 物种分布模型的发展及评价方法[J]. 生态学报,2015,35(2):557-567.
- [3] 张路. MAXENT 最大熵模型在预测物种潜在分布范围方面的应用[J]. 生物学通报,2015,50(11):9-12.
- [4] 李国庆,刘长成,刘玉国,等. 物种分布模型理论研究进展[J]. 生态学报,2013,33(16):4827-4835.
- [5] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions[J]. Ecological Modeling, 2006, 190(3/4):231-259.
- [6] JAYNES E T. Information theory and statistical mechanics [J]. Physical Review, 1957, 106(4):620-630.

- [7] LI M Y, JU Y W, SUNIL K, et al. Modeling potential habitat for alien species of *Dreissena polymorpha* in the Continental USA[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4256–4258.
- [8] ELITH J, CATHERINE H G, ROBERT P A, et al. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data[J]. *Ecography*, 2006, 29(2): 129–151.
- [9] 陈海涛, 黄鑫, 邱林, 等. 基于最大熵原理的区域农业干旱度概率分布模型[J]. *水利学报*, 2013, 44(2): 221–226.
- [10] 柳晓燕, 李俊生, 赵彩云, 等. 基于 MAXENT 模型和 ArcGIS 预测豚草在中国的潜在适生区[J]. *植物保护学报*, 2016, 43(6): 1041–1048.
- [11] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis report. contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [R]. Geneva: IPCC, 2007.
- [12] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 2024.
- [13] 赵宝玉. 中国天然草地有毒有害植物名录 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016.
- [14] 赵宝玉, 谭承建. 中国天然草原常见毒害草图谱 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2023.
- [15] 蒋学龙, 孙航, 高正文. 云南省外来入侵植物名录 (2019 版) [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2019.
- [16] 刘玉杰, 封志明, 邓福英. 基于草地退化指示植物大狼毒的植被指数研究[J]. *草地学报*, 2014, 22(3): 455–460.
- [17] 王福山, 何永涛, 石培礼, 等. 狼毒对西藏高原高寒草甸退化的指示作用[J]. *应用与环境生物学报*, 2016, 22(4): 567–572.
- [18] 李婷婷, 容丽, 王梦洁, 等. 黔中喀斯特次生林主要物种的生态位及种间联结性动态变化[J]. *热带亚热带植物学报*, 2021, 29(1): 9–19.
- [19] 国家林业局野生动植物保护司. 湿地管理与研究方法 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 166–187.
- [20] 周启武, 于龙凤, 王绍梅, 等. 入侵植物紫茎泽兰的危害及综合防控与利用[J]. *动物医学进展*, 2014, 35(5): 108–113.
- [21] 李永明, 李正跃, 叶敏, 等. 紫茎泽兰不同部位的化学成分及其生物活性[J]. *云南农业大学学报*, 2008, 23(1): 42–46.
- [22] 余香琴, 冯玉龙, 李巧明. 外来入侵植物飞机草的研究进展与展望[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(5): 591–600.
- [23] 朱金方, 赵彩云, 李飞飞, 等. 不同替代修复年限对飞机草种群和本土植物群落结构的影响[J]. *环境科学研究*, 2020, 33(12): 2848–2855.
- [24] 王庆海, 李翠, 庞卓, 等. 中国草地主要有毒植物及其防控技术[J]. *草地学报*, 2013, 21(5): 831–841.
- [25] 张庚, 郭亚洲, 张水平, 等. 甘肃天祝县天然草地毒草危害状况调查与防控[J]. *动物医学进展*, 2019, 40(3): 123–128.
- [26] 黄玺, 李秀璋, 柴青, 等. 醉马草内生真菌共生体对土壤微生物和养分的影响[J]. *草业科学*, 2013, 30(3): 352–356.
- [27] 单贵莲, 尹海燕, 刘洋, 等. 大狼毒种群扩散增殖对滇西北高山草甸土壤养分及微生物特性的影响[J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2021, 36(3): 494–499.
- [28] 王占青, 张杰雪, 杨雪莲, 等. 高寒草甸不同斑块草地土壤微生物多样性特征研究[J]. *草地学报*, 2021, 29(9): 1916–1926.
- [29] 中国大百科全书总委员会环境科学委员会. 中国大百科全书·环境科学 [M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2002.

责任编辑: 刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.024

黑木相思抗火性能分析与评价

张全武¹, 廖广寿², 莫江¹, 徐圆圆², 杨梅², 邓永胜¹

(1. 广西壮族自治区国有六万林场, 广西 玉林 537000; 2. 广西大学 林学院/广西高校亚热带人工林培育与利用重点实验室/中南速生材繁育国家林业和草原局重点实验室, 广西 南宁 530004)

摘要:以 5 年生黑木相思为研究对象, 利用方差分析对比黑木相思不同高度和不同部位间的抗火性能差异, 运用主成分对不同部位抗火性能进行综合得分评价。结果表明, 黑木相思干材的含水率随高度的增加呈梯度下降, 树皮的含水率、热值和燃点在不同高度均高于干材; 热值最大的部位是树叶和枝条, 凋落物的热值最低, 但燃点最高。黑木相思各部位的抗火性作用综合排序为: 树叶>凋落物>枝条>树皮>干材; 相较热值和燃点, 黑木相思的含水率对其抗火性综合作用影响更大; 黑木相思的树皮和树叶抗火性能接近或优于前人研究的传统防火树种。黑木相思总体抗火性能良好, 抗火性较强的树叶和凋落物可有效应对林冠火和地表火的蔓延, 高含水率和高燃点的树皮能在火环境中对木材起到较好的保护作用。

关键词:黑木相思; 抗火性能; 含水率; 热值; 燃点

中图分类号: Q949.751.9; Q948.112.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2026)01-0170-06

引文格式: 张全武, 廖广寿, 莫江, 等. 黑木相思抗火性能分析与评价[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 170-175, 183. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.024

ZHANG Quanwu, LIAO Guangshou, MO Jiang, et al. Analysis and Evaluation of Fire Resistance of *Acacia melanoxylon* [J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 170-175, 183. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.024

Analysis and Evaluation of Fire Resistance of *Acacia melanoxylon*

ZHANG Quanwu¹, LIAO Guangshou², MO Jiang¹, XU Yuanyuan², YANG Mei², DENG Yongsheng¹

(1. Guangxi State-owned Liuwan Forest Farm, Yulin, Guangxi 537000, China; 2. College of Forestry/Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory for Cultivation and Utilization of Subtropical Forest Plantation/Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Cultivation of Fast-Growing Timber in Central South China, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: This study investigated the fire resistance of 5-year-old *Acacia melanoxylon* trees, compared differences in fire resistance performance at different tree heights and among different plant parts by using analysis of variance (ANOVA), and evaluated the comprehensive scores of fire-resistant properties of different parts of *Acacia melanoxylon* by using principal components analysis (PCA). The results indicated that the moisture content of the stemwood decreased gradiently with increasing height. The bark exhibited higher moisture content, calorific value, and ignition point than the stemwood across all heights. Leaves and branches had the highest calorific values, while litter had the lowest calorific value but the highest ignition point. The comprehensive ranking of fire resistance among the different parts was leaves > litter >

收稿日期: 2024-10-23; 修回日期: 2024-11-18

基金项目: 黑木相思人工林产业化关键技术开发(2024GXZCLK29).

第一作者: 张全武(1984-), 男, 高级工程师. 主要从事林业生产技术研究、应用推广及经营管理工作. Email: 396319828@qq.com

责任作者: 邓永胜(1976-), 男, 高级工程师. 从事林业生产技术研究、应用推广及经营管理工作. Email: dysh603988@163.com

branches > bark > stemwood. Compared to calorific value and ignition point, moisture content had a greater overall impact on the comprehensive fire resistance of *Acacia melanoxylon*. The fire resistance of the bark and leaves was close to or superior to that of traditional fire-resistant tree species reported in previous studies. *Acacia melanoxylon* demonstrates generally good overall fire resistance, and the better fire-resistant leaves and litter can effectively deal with the spread of crown and surface fires, and the bark with high moisture content and high ignition point can play a better role in protecting the wood in the fire environment.

Key words: *Acacia melanoxylon*; fire resistance; moisture content; calorific value; ignition point

森林火灾对森林空间结构、格局、生物多样性及土壤养分循环产生巨大影响^[1-2]。生物防火是通过选择抗火性较强的植物形成天然防火屏障带,既能发挥其生态效应,又能达到防控森林火灾目的,正逐渐向全国推广。早在 20 世纪 60 年代,国外学者通过对火烧迹地现场进行调查和评估以及执行明火试验,并结合分析森林可燃物含水率等抗火因素^[3-5],筛选出赤杨(*Alnus japonica*)、欧洲夹竹桃(*Nerium oleander*)等作为欧洲防火线森林的主要树种。我国学者在《全国生物防火林带工程建设规划》的指导下,运用层次分析法、综合评价指标法等筛选出小青杨(*Populus pseudosimonii*)、色赤杨(*Alnus sibirica*)、木荷(*Schima superba*)等作为防火树种^[6-10]。在我国南方部分林区大规模建设的阻火林带已有效取代了传统防火线,并在实际的林火中具有明显的阻火效果。这些防火林带主要由木荷、火力楠等树种组成^[11]。然而,选择这些树种往往基于传统经验或简单的筛选方法,而未充分考虑树种的抗火性能。树种的抗火特性(如热值、燃点、含水率、灰分及其他内含物)是评判其防火效果的关键因素。因此,在选择防火树种时应综合考虑这些属性,以确保防火林带的效能和可靠性^[12-13]。在应对突发性森林火灾时,生物防火技术能有效控制大规模森林火灾的产生和蔓延,在实际林火管理中得到了广泛应用和推广,越来越受到林火专家和相关部门的重视^[14]。

黑木相思(*Acacia melanoxylon*)原产于澳大利亚,为豆科(Leguminosae)金合欢属(*Acacia*)常绿乔木树种。属于相思类树种的高大乔木,树高最高可达 20 m,胸径最大可达 60 cm。树皮为纵状开裂,较僵硬、粗糙,多为深灰色。黑木相思在我国华南地区群体花期 5—7 月,个体花期最长可至 9 月,果期为 7—9 月^[15]。具有速生、适应性较强、耐贫瘠,改良土壤性能好等优良生态学特性。此外,黑木相思在森林生态系统中也起到控制侵蚀、庇护、防火和景观美化作用^[16]。自 20 世纪 90 年代从澳大利亚引入中国后,黑木相思已成为广东、广西等华南地区速生丰产和生

态公益等多用途树种^[17]。黑木相思作为豆科固氮树种,凭借其自身良好的土壤改良特性在我国南方某些地区被用于营造黑木相思×桉树混交林,改善了由于桉树本身速生特性和不合理经营所带来的土壤衰退问题。但目前国内关于黑木相思的研究主要集中于土壤改良和材性分析研究^[18-19],而关于黑木相思抗火性能方面的研究相对较少。20 世纪 80 年代有学者在澳大利亚塔斯尼亚州的森林大火中发现黑木相思能在具有腐殖质火(*Humus Fire*)的环境下存活^[20]。在模拟不同温度和不同浓度烟灰的火灾场景中黑木相思种子发芽率和再生能力高于加拿大飞蓬(*Conyza canadensis*)和蓝桉(*Eucalyptus globulus*)^[21],因其种子具有僵硬的外表皮,容易埋进土壤里而与火源隔绝,在一些热处理下反而能促使其发芽。2013 年澳大利亚新南威尔士州国家公园发生严重火灾后,有学者对该公园火灾前后植被进行调查发现,包括黑木相思在内的金合欢属植物丰富度高于火灾前,表现出较强的抗野火能力和再生能力^[22]。以上研究均表明黑木相思在森林火灾发生时具有一定的抗火作用。

为了进一步探讨黑木相思的抗火效果,发掘其在森林火灾中的抗火作用,本研究通过测定黑木相思不同高度段和不同部位的抗火性能,利用主成分分析法对其不同部位的抗火性能进行初步综合评估,以期今后我国南方地区选择生物防火树种与降低森林火灾隐患提供科学依据。

1 研究区域概况

试验地位于广西壮族自治区六万大山森林公园(109°52'E, 22°35'N),公园位于玉林市福绵区、兴业县、博白县和钦州市浦北县交界处,距兴业县 28 km,距玉林市区 37 km。地处亚热带季风气候区,年均温 20.0℃,年均降雨量 1 350 mm,全年无霜期 325~350 d,年均日照时数 121 h,相对湿度 45%~75%,属于亚热带季风气候区,干湿分明。土壤主要是由砂岩和砂页岩等风化而成的赤红壤,呈弱酸性。

2 材料与方法

2.1 样品采集

于 2023 年 8 月进行样品采集和保存,采样前非降雨天数超过 5 d,保证可燃物的各理化性质在自然状态下的准确性,分别在 5 年生黑木相思人工林的上、中、下坡设置 3 个 20 m×20 m 的样方,对样方内的黑木相思进行每木检尺,计算平均胸径和树高,根据每个样方内的平均胸径和树高选择各样方内的平均标准木。对 3 株标准木进行伐倒,叶子选取每株林木树冠周围的健康无病虫害鲜叶,枝条选取平均木树干周围直径规格为 0.3~2.5 cm,长度为 4~5 cm 的侧枝,对伐倒平均木树干的 1 m、3 m、5 m、7 m 和 9 m 高度位置进行分段截取,每个切口位置截取 20 cm 厚度的圆盘,现场将每个圆盘的树皮和干材进行剥离,分装塑封袋做好编号标记;同时在每个样方内设置 3 个 0.5 m×0.5 m 的小样方进行凋落物收集,随后将 3 个小样方凋落物混合成为一袋,3 个样方 3 大袋凋落物。对以上所有样品按不同高度和不同部位进行分类包装进行现场称重记录,随后带回实验室进行烘干备用。

2.2 样品理化性质的测定

含水率采用 GB/T 2677.2—2001 水分烘干法在 (105±2)℃ 温度下测定^[23],每个部位和每个高度重复 3 次。本研究的含水率指的是绝对含水率;热值使用 GR-3500 型氧弹量热仪测定,测定前将植物组织粉碎过 80 目筛网,避免不完全燃烧造成实验误差,称取样品 (1.000±0.000 1) g 进行测定;燃点利用 DW-2 型着火温度测定仪测定,采取逐步升温的方法对样品进行加温,当样品中出现火焰时记录温度,此温度即为燃点。含水率计算公式为:

$$W = \frac{\text{烘干前质量} - \text{烘干后质量}}{\text{烘干后质量}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:W 为植物绝对含水率。

2.3 数据处理

2.3.1 数据标准化

黑木相思标准木各部位的含水率、燃点和热值采用极差法进行标准化,并统一量纲,含水率和燃点与木材的防火性能具有正向效应关系,采用公式(2)进行标准化,热值与木材的防火性能具有负向效应,采用公式(3)进行标准化,标准化后的所有指标均与植物防火性能具有正向效应,公式为:

$$X_j = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

$$X_j = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

式中: X_j 为标准化后数据; X_i 为原始数据; X_{\max} 为同一指标中最大数值; X_{\min} 为同一指标中最小数值。

2.3.2 抗火指标降维及相关性分析

对黑木相思的防火性能指标综合降维处理后进行主成分分析,计算林木各部位的防火综合性能得分,采用 Pearson 相关性分析探究各指标间存在的关联性。基于因子分析最大方差标准法赋分后对各部位进行综合得分计算,公式为:

$$P = \lambda U \quad (4)$$

式中:P 为综合得分矩阵; λ 为各因子的权重得分系数矩阵;U 为各因子得分矩阵。

3 结果与分析

3.1 不同高度黑木相思树干抗火性能分析

不同高度黑木相思抗火性能差异如图 1 所示。

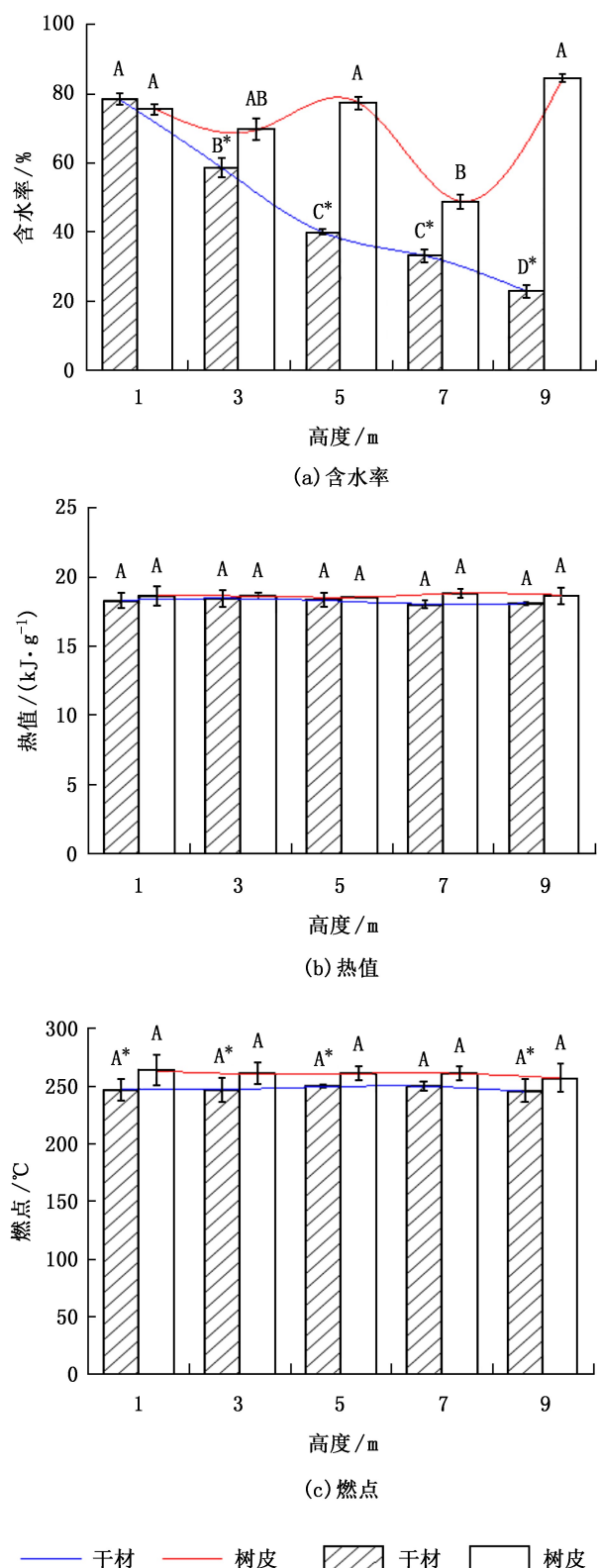
由图 1 可见,除 1 m 处高度外,其余高度下黑木相思树皮含水率均显著高于树干含水率;干材含水率随高度的增加逐渐降低,而树皮含水率随高度的增加呈降低—增加—降低—增加趋势,7 m 处树皮含水率最低,其余高度树皮含水率间相差不大;9 m 处树皮与干材含水率相差最大,差值达 61.76%。同一高度下黑木相思树皮与树干热值相差不大;不同高度下黑木相思树皮与树干热值差异不显著。除 7 m 处高度外,其余高度下黑木相思树皮燃点显著高于树干;不同高度下树皮与树干燃点差异不显著。

3.2 不同部位黑木相思抗火性能分析

不同部位黑木相思含水率均具有显著性差异,其中树叶和枝条含水率最大,分别为 118.36% 和 100.35%,显著大于其余部位含水率,含水率最低的部位是树干,仅为 46.68%。树皮与干材的热值差异不明显,凋落物的热值最低,仅为 17.04 kJ/g,热值最大的部位是树叶和枝条,分别为 21.51 kJ/g 和 19.11 kJ/g;燃点最高的部位是凋落物,达 270℃,显著大于其他部位,树皮与树叶、枝条与干材的燃点无明显差异,但前者两部位燃点显著大于后者(表 1)。

3.3 不同部位主成分综合得分

利用极差法公式(2)、(3)对各指标进行去量纲标准化后,将黑木相思 5 个部位的含水率、热值和燃点进行降维处理,在满足 KMO(0.618)和巴特利特球形检验<0.05 要求的前提下,累积方差贡献率达 94.34%(表 2)。



注:不同大写字母表示相同部位不同高度间差异显著 ($P<0.05$); * 表示相同高度不同部位差异显著 ($P<0.05$)。

图 1 不同高度黑木相思抗火性能差异
Fig. 1 Differences in fire resistance of *Acacia melanoxylon* at different heights

表 1 不同部位黑木相思抗火性能特征

Tab. 1 Fire resistance characteristics of different parts of *Acacia melanoxylon*

| 部位 | 含水率 /% | 热值 /(kJ·g ⁻¹) | 燃点 /℃ |
|-----|--------------|------------------------------|-----------|
| 干材 | 46.68±0.79E | 18.39±0.04C | 248±1.63C |
| 树皮 | 71.21±1.16D | 18.64±0.041C | 260±0.82B |
| 树叶 | 118.36±2.45A | 21.51±0.13A | 259±0.47B |
| 枝条 | 100.35±1.69B | 19.11±0.19B | 250±2.45C |
| 凋落物 | 80.37±0.848C | 17.04±0.10D | 270±0.82A |

注:不同大写字母表示不同部位间差异显著 ($P<0.05$)。

表 2 抗火性因子总方差解释

Tab. 2 Total variance explanation of fire resistance factors

| 因子 | 特征根 | 方差占比/% | 累积方差贡献率/% |
|----|-------|--------|-----------|
| 1 | 1.655 | 55.177 | 55.177 |
| 2 | 1.175 | 39.162 | 94.339 |

利用最大方差法进行 25 次正交旋转后,各因子的载荷值趋于两极化,第一公因子中含水率的载荷值具有较大系数,可以解释为含水率得分因子,其综合得分记为 f_1 ;第二公因子中热值和燃点具有较大载荷系数,可以解释为内在燃烧性因子,其综合得分记为 f_2 。由分析结果建立标准得分系数矩阵(表 3)。以每个因子的方差权重占比进行汇总计算,建立得分函数模型:

$$f_1 = 0.582X_1 + 0.05X_2 - 0.517X_3$$
$$f_2 = 0.267X_1 + 0.844X_2 + 0.271X_3$$

表 3 抗火性公共因子矩阵

Tab. 3 Common factor matrix of fire resistance performance

| 因子 | 公共因子 | | 各因子得分信息 | |
|-----|--------|-------|---------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 含水率 | 0.934 | 0.249 | 0.582 | 0.267 |
| 燃点 | -0.011 | 0.985 | 0.050 | 0.844 |
| 热值 | -0.385 | 0.876 | -0.517 | 0.271 |

以最大方差法旋转 25 次后的各公因子方差贡献率作为权重,将 f_1 和 f_2 代入 $F = (0.5517f_1 + 0.3916f_2) / 0.94339$,得到各部位抗火性能的综合得分,综合得分大小排序为:树叶 (0.98) > 凋落物 (0.3) > 枝条 (0.02) > 树皮 (-0.13) > 干材 (-1.17) (表 4)。

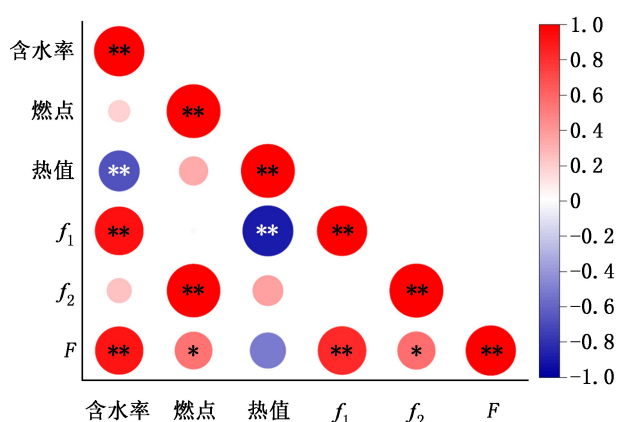
表 4 不同部位黑木相思综合得分矩阵

Tab. 4 Comprehensive score matrix of different parts of *Acacia melanoxylon*

| 部位 | f_1 | f_2 | F | 排名 |
|-----|-------|--------|-------|----|
| 干材 | -1.1 | -1.240 | -1.17 | 5 |
| 树皮 | -0.37 | 0.220 | -0.13 | 4 |
| 树叶 | 1.64 | 0.001 | 0.98 | 1 |
| 枝条 | 0.45 | -0.590 | 0.02 | 3 |
| 凋落物 | -0.63 | 1.610 | 0.30 | 2 |

3.4 抗火性因子相关性分析

抗火性因子相关性分析见图 2。



注: * 表示显著相关 ($P < 0.05$); ** 表示极显著相关 ($P < 0.01$)。

图 2 抗火性因子相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of fire resistance factors

图 2 表明,黑木相思含水率与热值呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$),与抗火综合性得分 F 呈极显著正相关,燃点与内在抗火性因子 f_2 呈极显著正相关,与 F 呈显著正相关 ($P < 0.05$),热值和含水率得分因子 f_1 呈极显著负相关关系, f_1 与 F 的相关系数大于 f_2 与 F 的,可以初步认为,黑木相思含水率对其综合抗火性功能的作用大于内在抗火性因子。

4 讨 论

树种的抗燃性特征在一定程度上可反映其抗火性能。本研究中不同高度干材的内在抗火性因子热值和燃点在不同高度基本无明显差别,但在每个高度段树皮的含水率和燃点基本高于干材,且在综合得分表现中高于干材。说明黑木相思树皮能有效应对森林火灾带来的高温灼烧,延缓大火对木材内部的蔓延时间。凋落物的燃点和热值分别为 270°C 和

17.04 kJ/g ,高于树干的平均燃点 254°C 、低于其平均热值 18.46 kJ/g 。研究表明,林火的蔓延通常是从地表的可燃物开始^[24],而黑木相思凋落物较高的抗燃性以及较低的热量释放可在一定程度上延缓地表火的蔓延速度。含水率是决定树木燃烧性的重要指标^[25],相关性分析表明,含水率与热值呈显著负相关,与李海佳等^[26]评价树种防火性能结论一致,含水率越高,其越不容易燃烧。在不同部位的抗火性因子比较中树叶和枝条的绝对含水率超过 100%,均显著大于其他部位,虽然这两个部位的热值和燃点与其他部位均具有显著差异,但含水率差异性达 20% 以上,且含水率和含水率得分因子 f_1 与综合得分因子 F 具有显著正相关,说明黑木相思的含水率在一定程度上决定了其抗火和阻火能力。

在对 5 个部位的抗火性因子进行因子分析和综合得分计算后发现,抗火性能排名前 3 的部位依次是树叶、凋落物和枝条。这 3 个部位的可燃物均具有较大的表面积,然而可燃物的表面积越大越有利于热量的传递,促进燃烧,加快森林火灾的蔓延速度^[27]。本研究结果表明,这 3 个部位的内在抗火性和阻燃性综合表现较优,在一定程度上弥补了这 3 个部位的外在物理助燃作用。因此,这 3 个部位在应对森林火灾中的地表火和林冠火时具有一定的效果。将本研究中黑木相思抗火性指标与我国亚热带传统防火树种^[28]相比发现,黑木相思树叶的燃点平均值为 259°C ,高于亚热带传统防火树种树叶燃点:木荷 (*Schima superba*) 253°C 、大桂山荷 (*Diphylleia sinensis*) 253°C 、火力楠 (*Michelia macclurei*) 238°C 。此外,黑木相思树皮的燃点均大于以上树种。在热量释放方面,黑木相思树叶的热值释放量约 21.51 kJ/g ,略高于木荷树叶的热值 19.73 kJ/g ,接近于火力楠 21.70 kJ/g ,低于大桂山荷的热值 22.71 kJ/g 。树皮热值释放更是低于大部分防火树种的热值释放量。说明黑木相思在抗火性能方面与大部分传统防火树种相近,某些部位甚至优于部分传统树种的抗火性。

但现实中树种的燃烧、森林火灾的发生以及其蔓延的实际情况往往是多变且复杂的。不同部位、不同高度段的含水率、热值和燃点只能解释树种在火灾中的部分抗火效果。植物的叶片功能性状、树皮厚度^[29]以及植物本身的燃烧时间和燃烧强度也是影响火灾蔓延的重要因素。还应考虑气候、火源、可燃物、地形和防火带建设等多种因素的耦合结果^[30-31]。此外,桉树作为主要经济用材树种在广西大规模种植,带来了巨大的经济效益的同时也产生

了巨大的火灾安全隐患。桉树林是一个能适应火灾且具有高碳储量的森林系统^[32],桉树树干上积聚的树皮致灾程度高,脱落的树皮和树干上的枝叶形成了垂直连续的梯状可燃物,为树冠火创造了条件,导致火强度和扑灭难度加大^[33]。目前在桉树人工林中引入黑木相思营造混交林的主要目的是用于改善桉树单一种植所带来的土壤衰退问题,而并未发掘黑木相思其本身的抗火功能特性。本研究初步证实黑木相思具有一定的抗火性能,因此,在营造桉树×黑木相思混交林的过程中采用带状混交,可形成防火林带,充分发挥黑木相思抗火功能作用,为主要树种建立天然的生物防火屏障,营造复合型多功能的黑木相思混交林创造条件。

5 结 论

黑木相思的叶子和树皮部位的抗火性能优于其他传统树种,干材的含水率随高度的增加而呈梯度下降,树皮的含水率在不同高度基本显著高于其干材,热值和燃点在不同高度中并未表现出明显的变化规律,而部分树皮的燃点显著高于干材。热值最大的部位是树叶和枝条,而凋落物的热值最低、燃点最高。黑木相思各部位间的抗火性能综合排序为:树叶>凋落物>枝条>树皮>干材,可见,黑木相思的叶片具有良好的防火性能,可有效应对地表火和林冠火的发生,其树皮对木材可以起到较好的阻燃保护作用,相对于热值和燃点,含水率对黑木相思的综合抗火性能起到更大的决定作用,含水率越高其抗火性能越强。

参考文献:

- [1] 范兆飞,徐化成,于汝元. 大兴安岭北部兴安落叶松种群年龄结构及其与自然干扰关系的研究[J]. 林业科学,1992(1):2-11.
- [2] GABREY S W, AFTON A D, WILSON B C. Effects of winter burning and structural marsh management on vegetation and winter bird abundance in the Gulf Coast Chenier Plain, USA[J]. Wetlands (Wilmington, N. C.), 1999, 19(3):594-606.
- [3] ANDERSON H E. Forest fuel ignitibility[J]. Fire Technology, 1970, 6(4):312-319.
- [4] ALEXANDRIAN D. Preliminary results of a fertilizer trial in the DFCI (forest fire defence) plots in the forest of Fontfroide (Aude)[J]. Revue Forestière, 1979, 31(6):482-490.
- [5] PREUSSNER K, KILIAS G. Revegetation and silvicultural handling of open-cast mined sites in the Cottbus region[J]. Sozialistische Forstwirtschaft, 1983, 33(8):242-245.
- [6] 高国平,迟功德,周绍林,等. 辽宁省主要造林树种抗火性能测定及其抗火树种的筛选[J]. 沈阳农业大学学报, 1995(2):177-182.
- [7] 陈存及. 南方林区生物防火的应用研究[J]. 福建林学院学报, 1994(2):146-151.
- [8] 陈存及,何宗明,陈东华,等. 37种针阔树种抗火性能及其综合评价的研究[J]. 林业科学, 1995(2):135-143.
- [9] 田晓瑞,舒立福,阎海平,等. 华北地区防火树种筛选[J]. 火灾科学, 2002(1):43-48.
- [10] 单延龙,陶洪伟,赵丽,等. 长白山红松阔叶林主要树种树皮抗火性的分析与排序[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(12):49-50.
- [11] 段向阁. 兴安落叶松抗火性研究[J]. 森林防火, 1991(4):7-10.
- [12] 薄颖生,韩恩贤,韩刚,等. 陕西省生物防火林带树种选择研究[J]. 西北林学院学报, 1997(4):26-32.
- [13] 李华,杜军,田晓瑞. 黑龙江大兴安岭林区森林草类可燃物潜在能量研究[J]. 火灾科学, 2002(1):49-51.
- [14] 孙永明,魏立,刘随存,等. 生物防火林带有效宽度和结构研究[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(5):139-142.
- [15] 黄猛. 黑木相思开花物候及生殖特性初步研究[D]. 福州:福建农林大学, 2019.
- [16] SEARLE S D. *Acacia melanoxylon*-a review of variation among planted trees[J]. Australian Forestry, 2000, 63(2):79-85.
- [17] 白晓刚,莫颖欣,涂攀峰,等. 磷对黑木相思增殖苗丛生芽生长发育的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2024, 32(5):643-650.
- [18] 廖绍波,陆俊锬,江业根,等. 黑木相思与尾叶桉苗期氮素传递的研究[J]. 林业科学研究, 2015, 28(5):640-645.
- [19] 林国胜,朱帅群,包以秋,等. 施肥对黑木相思幼林生长和形质性状的影响[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(3):44-47.
- [20] HILL, ROBERT S. Rainforest fire in western Tasmania[J]. Australian Journal of Botany, 1982, 30(6):583-589.
- [21] ARÁN D, GARCÍA-DURO J, REYES O, et al. Fire and invasive species: Modifications in the germination potential of *Acacia melanoxylon*, *Conyza canadensis* and *Eucalyptus globulus*[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 302:7-13.
- [22] GORDON C E, PRICE O F, TASKER E M, et al. *Acacia* shrubs respond positively to high severity wildfire: Implications for conservation and fuel hazard management[J]. The Science of the Total Environment, 2017, 575:858-868.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.025

云南省林草产业现状及发展对策研究

李 瑶¹, 刘 娟¹, 邢晓琳¹, 孙 蕊¹, 郎晓雪¹, 王 璇²

(1. 云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051; 2. 西南林业大学, 云南 昆明 650051)

摘要:以云南省林草产业现状统计数据为基础,结合木本油料、林下经济、生态旅游与森林康养、特色经济林、木材、苗木等林草重点产业的主要发展现状,分析目前产业发展中存在的困难和问题。结果显示,云南省林草产业产业结构亟待升级,产业基础薄弱,发展定位和空间布局有待优化,经营主体小、散、弱,服务保障体系不健全,科技和人才支撑不足。为此,提出强化产业政策支持,推动产业优化升级,培育壮大市场主体,加大财税金融支持等发展对策。

关键词:林草产业;高质量发展;林草产值;资源优势;云南省

中图分类号:S812.5;F316.23;F416.88 文献标识码:B 文章编号:1671-3168(2026)01-0176-08

引文格式:李瑶,刘娟,邢晓琳,等. 云南省林草产业现状及发展对策研究[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 176-183. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.025

LI Yao, LIU Juan, XING Xiaolin, et al. Current Situation and Development Countermeasures of Forestry and Grassland Industry in Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 176-183. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.025

Current Situation and Development Countermeasures of Forestry and Grassland Industry in Yunnan Province

LI Yao¹, LIU Juan¹, XING Xiaolin¹, SUN Rui¹, LANG Xiaoxue¹, WANG Xuan²

(1. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China;
2. Southwest Forestry University, Kunming 650051, China)

Abstract: Based on statistical data concerning the current state of Yunnan's forestry and grassland industry, and considering the main development status of key sectors such as woody oil crops, understory economy, ecotourism and forest wellness, characteristic economic forests, timber, and seedlings, this study analyzed the difficulties and problems existing in the current industrial development. The results indicated that the industrial structure of Yunnan's forestry and grassland industry urgently required upgrading, the industrial foundation was weak, development positioning and spatial layout needed optimization, business entities were small, scattered, and weak, the service guarantee system was inadequate, and the support of scientific, technological, and talent support was insufficient. Consequently, this paper proposes development countermeasures, including strengthening industrial policy support, promoting industrial optimization and upgrading, cultivating and strengthening market entities, and increasing fiscal, tax, and financial support.

收稿日期:2024-10-17;修回日期:2024-12-19

第一作者:李瑶(1989-),女,硕士,高级工程师.主要从事林业调查规划工作. Email:liyao-forest@qq.com

责任作者:刘娟(1969-),女,高级工程师.主要从事林业生态及产业规划工作. Email:juli69@163.com

Key words: forestry and grassland industry; high-quality development; output value of forestry and grassland; resource advantage; Yunnan Province

林草产业高质量发展是绿水青山转化为金山银山的重要路径之一,是推动乡村产业繁荣、促进农村经济持续健康发展的有效途径,是深化供给侧结构性改革、满足全社会对优质生态产品需求的重要举措,是推动乡村振兴、发展新质生产力的重要抓手。但现阶段,云南林草产业资源底数尚未完全厘清,各类重点产业现状和发展趋势未得到清晰梳理,未来发展重点领域、关键环节和对策仍需进一步探讨。本研究立足云南省林草产业现状统计数据,结合各重点产业主要发展情况,分析目前产业高质量发展进程中存在的主要问题和困难,并提出相应的发展对策建议。

1 发展林草产业的重大意义

1.1 践行“两山”理念的内在要求

发展经济不能对资源和生态环境竭泽而渔,生态环境保护也不是舍弃经济发展而缘木求鱼。社会经济必然要发展,但不能走破坏生态环境再花费大量代价去治理的老路,更不能把生态保护与社会经济发展割裂甚至对立起来,生态保护和社会经济发展是辩证统一、相辅相成的。森林“四库”论揭示了林草资源与水资源、粮食、财富、碳汇之间的有机联系,更证明了林草产业是国民经济不可或缺的重要组成部分,是“两山”转化的重要载体,发展森林食品已成为践行大食物观、满足人民对优质林产品需求的重要路径。就云南而言,通过大力发展现代林草产业,可以实现绿水青山向金山银山转化。

1.2 发展“三大经济”的重要抓手

产业兴则云南兴,产业强则云南强,产业发展对云南实现“3815”战略发展目标具有极重要的作用,“三大经济”是加快云南经济转型升级的重要路径,核心逻辑是以资源换产业,以园区聚产业,以口岸推动产业融入国内大循环、国内国外双循环。大力发展现代林草产业,是云南推进生态绿色高质量发展的一座富矿,是壮大资源经济的一大领域^[1];切实抓好生物资源保护与利用,是云南推进生态绿色高质量发展的显著优势;培育壮大新质生产力,是云南生态绿色高质量发展的强劲动能。

1.3 实现“生态美、产业兴、百姓富”的重要途径

扎实推进林草产业高质量发展,既是践行以人

民为中心的发展思想,实现生态美、产业兴、百姓富的重要途径,也是助推林农共富,走出一条林草产业发展新路子,实现农业农村现代化的重要途径。随着生态文明建设的深入推进,林草产业在推动乡村振兴、促进绿色发展等方面发挥着越来越重要的作用。联合国粮农组织(FAO)研究表明,全球近60亿人使用非木质林产品,70%的贫困人口从中获取食物、药品、能源、收入等。云南核桃、澳洲坚果、林下中药材、野生食用菌等林草重点产业的产量产值连续多年居全国前列,生态旅游和森林康养等产业迅速发展。2023年,云南省农村居民人均可支配收入16361元,同比增长8%,比城镇高4.7个百分点,全省农林牧渔业总产值同比增长4.3%^[2],其中林业活动增长7.0%,增速高于农业、渔业、畜牧业等。据对云南省496户省级龙头企业开展的不完全监测统计,涉林草收入或交易额达1814.7亿元,带动农户100万户以上,每年户均增收1.2万元以上,林草产业联农带农效益日益凸显。

2 林草产业发展现状

2.1 林草资源现状和特点

云南省林地面积2502.48万hm²。根据《云南省2021年森林资源状况》统计数据,森林面积2117.02万hm²,居全国第2位;森林蓄积214447.6万m³,居全国第3位;天然林面积1522.27万hm²,居全国第3位;人工林面积594.75万hm²,居全国第5位;森林覆盖率55.25%,居全国第4位。

根据2021年森林资源监测数据统计,云南省森林资源呈“两多一少”的特点。“两多”即天然林、公益林多,全省天然林面积1522.27万hm²,占森林面积的71.9%,比重较大;人工林面积594.75万hm²,占森林面积的28.1%。全省公益林地面积为1188.93万hm²,占林地面积的47.5%,公益林比例较其他省区偏高;商品林地面积为1313.55万hm²,占林地面积的52.5%。“一少”即人工商品林少,全省人工商品林面积501.7万hm²,约占森林面积的23.7%。虽然云南省的森林资源主要指标在全国排名靠前,但根据现有资源利用政策,实际可充分开发利用的林地很少,产业发展的用地空间十分有限。

2.2 林草产业总体情况

近年来,云南林草部门积极践行“两山”理念,

努力探索生态产品价值实现路径,大力推进林草产业高质量发展。据统计,2023 年云南省林草总产值 4 588.5 亿元,占全国林草产业总产值 9.28 万亿元的 4.95%,较 2022 年增加了 963.47 亿元,同比增长 26.58%。其中,一产产值 2 382.9 亿元,二产产值 1 092.7 亿元,三产产值 1 113.1 亿元,一二三产比例由 2022 年的 58:26:16 调整为 52:24:24,产业结构进一步优化。云南省各州(市)2022 年与 2023 年林草总产值对比见表 1,图 1,图 2。

2.3 林草重点产业情况

目前,云南省林草重点产业主要包括木本油料、林下经济、生态旅游与森林康养、特色经济林、木竹、苗木、林化工、草产业和野生动物驯养繁殖等。据统计,2023 年云南省林草重点产业产值合计 4 156.22 亿元,占林草总产值 4 588.50 亿元的 90.6%,较 2022 年同比增加 975.09 亿元,增幅 30.7%。

2.3.1 木本油料产业

云南省木本油料主要包括核桃、澳洲坚果、油茶、油橄榄和青刺果等。2023 年云南省木本油料产业总体情况见图 3。

2023 年云南省木本油料总面积约 329.03 万 hm^2 ,产量 218.74 万 t,综合产值 683.45 亿元,较 2022 年净增面积 2.56 万 hm^2 ,净增产量 6.27 万 t,净增综合产值 54.98 亿元,同比增幅分别为 0.79%、2.95%和 8.75%。其中:核桃面积 286.14 万 hm^2 ,干壳果产量 198.75 万 t,综合产值 588.98 亿元,面积、产量和综合产值居全国首位。通过核桃丰产栽培等实用技术推广,积极推动优质高效示范基地建设,

表 1 2022 年与 2023 年云南省林草产业总产值对比

Tab. 1 Comparison of total output value of forestry and grassland industry in Yunnan Province in 2022 and 2023

| 序号 | 州(市) | 2022 年 | | 2023 年 | | 增加值 /亿元 | 增幅 /% | 增幅 排序 |
|----|------|--------------------|----|--------------------|----|------------|----------|----------|
| | | 林草产业 总产值 /亿元 | 排序 | 林草产业 总产值 /亿元 | 排序 | | | |
| 1 | 普洱 | 455.68 | 1 | 569.88 | 1 | 114.20 | 25.06 | 13 |
| 2 | 红河 | 396.20 | 2 | 500.40 | 2 | 104.20 | 26.30 | 8 |
| 3 | 临沧 | 384.24 | 3 | 471.13 | 3 | 86.89 | 22.61 | 16 |
| 4 | 楚雄 | 323.62 | 4 | 416.91 | 4 | 93.29 | 28.83 | 3 |
| 5 | 大理 | 309.55 | 5 | 396.31 | 5 | 86.76 | 28.03 | 4 |
| 6 | 西双版纳 | 298.88 | 6 | 378.79 | 6 | 79.91 | 26.74 | 6 |
| 7 | 昆明 | 252.02 | 7 | 327.81 | 7 | 75.79 | 30.07 | 2 |
| 8 | 保山 | 241.76 | 8 | 306.31 | 8 | 64.55 | 26.70 | 7 |
| 9 | 昭通 | 174.39 | 9 | 230.39 | 9 | 56.00 | 32.11 | 1 |
| 10 | 文山 | 173.84 | 10 | 220.56 | 10 | 46.72 | 26.88 | 5 |
| 11 | 丽江 | 163.78 | 11 | 204.76 | 11 | 40.98 | 25.02 | 14 |
| 12 | 曲靖 | 139.97 | 12 | 175.63 | 12 | 35.66 | 25.48 | 10 |
| 13 | 玉溪 | 136.04 | 13 | 170.62 | 13 | 34.58 | 25.42 | 11 |
| 14 | 德宏 | 120.91 | 14 | 151.62 | 14 | 30.71 | 25.40 | 12 |
| 15 | 怒江 | 33.28 | 15 | 41.06 | 15 | 7.78 | 23.38 | 15 |
| 16 | 迪庆 | 20.86 | 16 | 26.32 | 16 | 5.46 | 26.17 | 9 |
| 合计 | | 3625.02 | | 4588.50 | | 963.48 | 26.58 | |

云南已建成近 12.67 万 hm^2 核桃优质高效示范基地。云南从事核桃相关产品生产经营或销售的经营主体

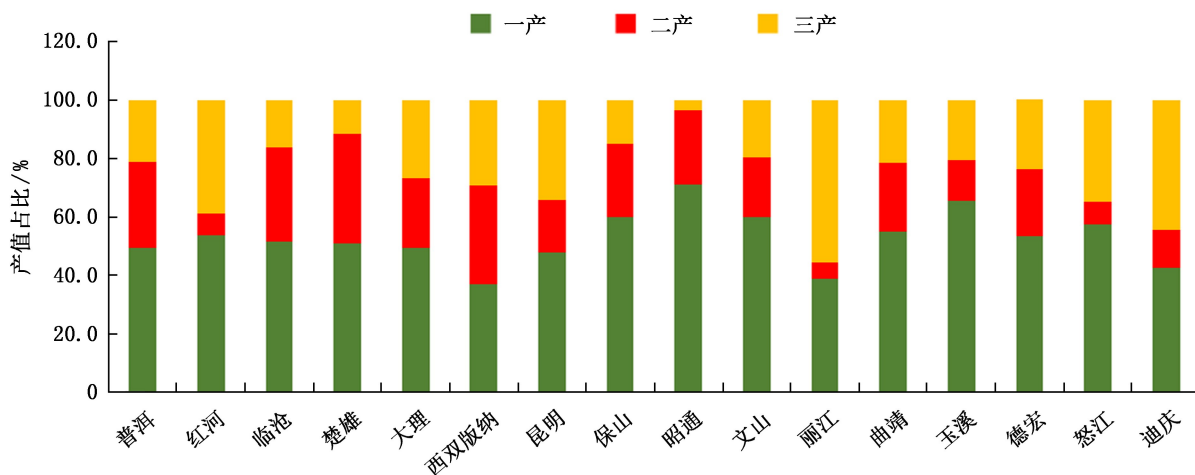


图 1 2023 年云南省各州(市)林草总产值一、二、三产业产值占比

Fig. 1 Proportion of output value of primary, secondary and tertiary industries in total output value of forestry and grassland by prefectures (cities) of Yunnan Province in 2023

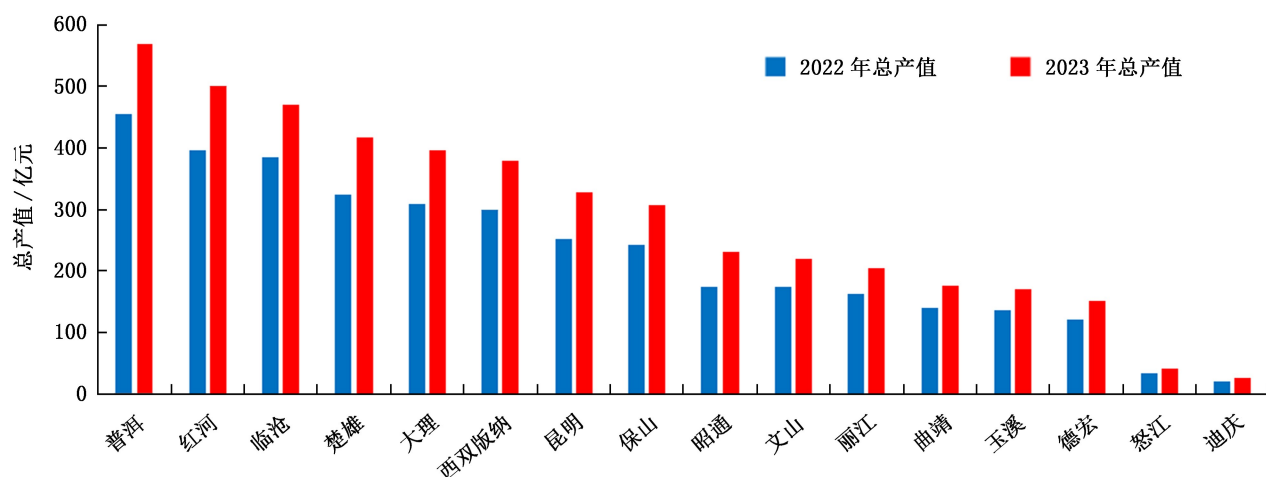


图 2 2022 年与 2023 年云南省各州(市)林草总产值对比

Fig. 2 Comparison of forestry and grassland industry output by prefectures (cities) of Yunnan Province in 2022 and 2023

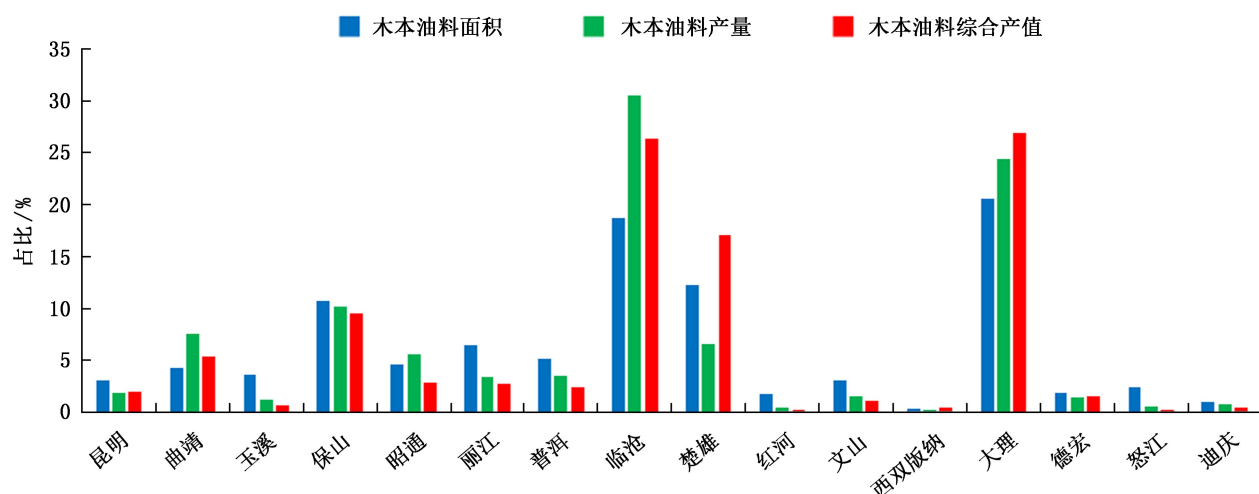


图 3 2023 年云南省各州(市)木本油料产业总体情况

Fig. 3 Overall status of the woody oil crops industry by prefectures (cities) of Yunnan Province in 2023

6 671 户,其中:省级龙头企业 65 户,国家级龙头企业 2 户。澳洲坚果面积 28.38 万 hm^2 ,占全球种植面积的 54%,占全国种植面积的 88%,产量 16.39 万 t,综合产值 84.81 亿元。2023 年,云南省完成 0.5 万 hm^2 澳洲坚果高产示范基地建设。云南省从事澳洲坚果相关产品生产经营或销售的经营主体共 230 户,其中省级龙头企业 35 户,国家级龙头企业 2 户。其他主要木本油料规模、产值分别为油茶面积 12.48 万 hm^2 ,油茶籽产量 3.13 万 t,综合产值 9 亿元;油橄榄面积 1.12 万 hm^2 ,产量 0.37 万 t,综合产值 0.49 亿元;青刺果面积 0.80 万 hm^2 ,产量 253.64 t,综合产值 950 万元。

2.3.2 林下经济产业

2023 年云南省林下经济(不含景观利用产值)总产值 727.12 亿元,较 2022 年增加了 342.33 亿元,增长了 88.96%。其中,林下种植 285.56 亿元,林下养殖 107.55 亿元,林下产品采集加工 334.01 亿元。重点州(市)为楚雄、昭通、普洱、大理、红河等,其林下经济产值分别占全省的 20.97%、16.76%、11.02%、10.94%和 8.29%(图 4)。

云南省涉林下经济企业 3 805 户,其中国家林业重点龙头企业 4 户。围绕乡村振兴,持续挖掘林草资源特色,不断丰富拓展森林食物、药材来源和种类,云南各地努力打好“林药”“林菌”“林菜”和“林下养殖”林下经济 4 张“牌”。积极发展天麻、三七、

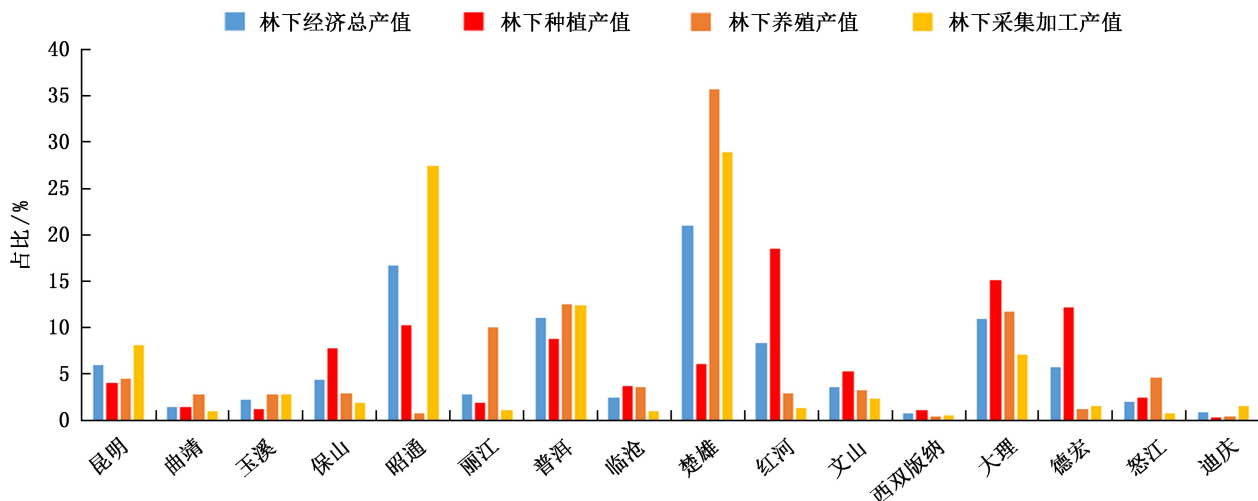


图 4 2023 年云南省各州(市)林下经济产业总体情况

Fig. 4 Overall status of the understory economy industry by prefectures (cities) of Yunnan Province in 2023

重楼、石斛、黄精等中药材仿野生种植,打好林药发展牌;形成昭通天麻、文山三七、滇西北高山药材、楚雄道地药材、西双版纳南药等一批林下中药材种植基地;打造出“昭通天麻”“文山三七”“龙陵石斛”等多个特色鲜明的中药材地域品牌;培育国家级龙头企业 3 家,省级龙头企业 13 家。推广“封山保育、人工促繁、包山养菌”等模式,加快发展林下野生食用菌培育,打好林菌发展牌。开展云南省森林蔬菜资源调查,初选出金雀花、守宫木、大参等 16 种具有较好发展前景的物种,围绕森林蔬菜产业良种选育、丰产栽培技术及产品开发等产业链开展技术攻关,打好林菜发展牌。通过技术创新、产学研合作、标准化建设、特色产业发展以及市场拓展等多种方式,发展林畜、林禽、林蜂等模式,打好林下养殖发展牌。

2.3.3 生态旅游与森林康养产业

2023 年云南省生态旅游与森林康养产业产值 754.27 亿元,占林草总产值的 16.44%,占重点产业产值的 18.15%,比 2022 年净增 398.79 亿元,增加了 112.18%。其中重点州(市)为红河、西双版纳、丽江、大理、普洱、昆明等,其产值分别占全省的 24.25%、14.15%、13.42%、12.89%、7.23%和 6.15%。以绿美云南三年行动为契机,各地全面开展绿美景区、绿美乡村、绿美交通等绿化美化工作,极大提升了旅游景观数量与质量,助推生态旅游产业发展。云南省有 A 级以上旅游景区 559 家,其中林草直接相关景区 274 个,占 49.02%,间接相关(其他类型景区对林草景观资源进行景观利用)景区 97 个,占 17.35%,综合占比 66.37%。据不完全统计,云南省

已认定 135 个各类森林康养基地,其中国家森林康养基地 5 个、全国森林体验基地试点 3 个、国家级全域森林康养试点建设县 4 个,试点建设乡镇 18 个,试点建设基地(或单位)24 个,全国森林康养基地建设试点市 1 个(普洱市)、试点县 8 个,试点单位 62 个,中国森林康养人家 10 个。云南省有国家森林乡村 13 个、省级森林乡村 140 个。

2.3.4 特色经济林产业

2023 年云南省以花椒、板栗、八角、笋用竹等为主的特色经济林产业稳步推进。花椒面积 28.64 万 hm^2 ,产量 15.02 万 t,综合产值 60.92 亿元。板栗面积 12.10 万 hm^2 ,产量 18.83 万 t,综合产值 26.60 亿元。八角面积 8.12 万 hm^2 ,产量 8.97 万 t,综合产值 28.23 亿元。笋用竹面积 47.13 万 hm^2 ,产量 45.91 万 t,综合产值 96.95 亿元。

2.3.5 木竹产业

2023 年云南省木竹产业总产值 421.50 亿元,其中营造林产值 64.3 亿元,木材和竹材采运 92.25 亿元,木竹加工产值 264.95 亿元(其中含木竹浆造纸及纸产品产值 56.23 亿元)。近年来,通过引进或育强木竹加工生产企业,改进生产技术和装备,提高产品附加值,推动产业向高端化、智能化方向发展。据不完全统计,云南有木竹加工企业 4 211 户,加工木材约 485 万 m^3 ,木竹加工产值 264.95 亿元,其中国家级龙头企业 3 家。

2.3.6 苗木产业

2023 年云南省苗木产业产值 279.14 亿元,其中林木育种和育苗 76.95 亿元,花卉及其他观赏植

物种植 202.19 亿元。苗木产业国家级龙头企业有 4 家,云南省“金种子”企业 1 家。

2.3.7 其他重点产业

2023 年云南省草产业产值 78.62 亿元,较 2022 年同比增加了 5.41 亿元,增幅为 7.39%。其中草种植及割草产值 64.18 亿元,饲草加工产值 14.44 亿元,一产和二产比约为 82:18,二产较弱。

林化工产业产值 57.43 亿元,较 2022 年同比减少 10.36 亿元,下降了 15.28%。林化工产业国家级龙头企业有 2 家。

野生动物驯养繁殖产业产值 93.84 亿元,较 2022 年同比增加了 75.61 亿元,增幅达 414.76%。

3 林草产业发展的主要困难和问题

3.1 产业结构亟待升级

云南省林草产业总产值不断增长,2023 年一、二、三产结构为 52:24:24,虽然得到了一定优化,但仍不尽合理,一产比例过大,二产不强,三产不优。一二三产融合度不高,加工能力不足,长期处于价值链低端,没有发挥应有的增值效益。核桃、花椒、鲜笋等森林食品多以原料出售,品种资源优势远未能转化为云南省良种优势、产业优势^[3];澳洲坚果、油茶产区多以初级产品向外销售,产品附加值低,产业链条短。

3.2 产业基础薄弱

资源培育层次有限,林草经营管理方式简单粗放,森林质量亟待提升,核桃及澳洲坚果、油茶、花椒、笋用竹等特色经济林优质高效示范基地建设推进较慢。大多数林区水利设施简陋,电力、道路、通讯等基础设施相对落后,对自然灾害的抵御能力弱,野生菌、鲜笋等森林食品多产于偏远林区,受交通、冷链运输等条件限制,难以便捷进入高端市场。机械化程度低,核桃等机械化采收设备缺乏,机械一体化加工设备覆盖度较低。加工能力建设落后,林产品精深加工能力严重不足,产品附加值低,缺乏有核心竞争力的明星产品和知名品牌。云南省林草资源优势远未转化为经济优势,木竹加工和林浆纸一体化产业仍然十分落后,产能不足,产值较低。

3.3 发展定位和空间布局有待优化

发展定位和思路局限性较大,部分管理者仍存在重保护、轻产业的思维,未树立“在保护中发展,在发展中保护,科学发展是最好的保护”的思想。各地产业发展和产品制造同质化情况仍大量存在,产业布局未能充分结合地方实际,林草、气候、土地

等资源未能得到充分利用,加之部分地区过于依赖资源基础和传统经营方式,对新技术和新手段研究应用相对滞后,新兴产业模式发展不足,产业结构发展不均衡导致资源配置低效,无法形成衔接高效的产业链,造成了资源浪费和效率低下,一定程度上制约了林草产业转型升级和持续发展能力的提高。

3.4 经营主体小、散、弱

2023 年云南省涉林草市场主体有一定程度的发展壮大,但据不完全统计,产值超亿元的龙头企业仅有 51 家,目前还无上市的林草企业,有国家林业重点龙头企业 19 家,仅占全国的 2.8%,且主要以原料供给、资源消耗和初级加工类型为主。经营主体不强,面临市场、资金和技术等方面的诸多困难,经营艰难,产业带动能力弱。

3.5 服务保障体系不健全

林草产业发展缺乏有力支持政策,资源利用政策制约较大,产业发展空间受限,受非农化和非粮化政策影响,林草产业发展空间受到一定的挤压和限制;林下经济需要突破发展政策瓶颈,拓宽发展空间。部门协同配合机制不够健全,对林草产业发展给予的服务保障不足。社会资本投入积极性不高,林草产业扶持资金投入少,无专门的林草产业发展专项资金,地方财政更加缺乏产业资金投入,融资体系发展滞后,林草经营主体融资难等问题依然存在。林草要素保障不足,企业跟踪服务能力较弱,经营主体培育措施有待提高,招商引资企业落地存在困难。市场体系还不够完善,流通环节存在较多短板弱项,缺乏在国内外有影响的林草产品交易市场,市场信息不灵、销售渠道不广、产品价格不稳等问题依然突出。

3.6 科技和人才支撑不足

科技支撑仍然不足,产业发展人才匮乏,市场前景广阔、企业急需、群众期盼的重点领域科研成果储备缺乏,科技创新和科技成果转化能力弱,产业的经营水平整体较低。林草产业管理机构人才队伍薄弱,部分林草局未设立专职的产业科,仅依靠科技推广部门开展产业相关工作,且普遍存在管理人员较少且不稳定的情况。

4 发展对策建议

4.1 强化产业政策支持

完善林地资源利用政策,探索林地空间综合利用,大力拓宽以林下经济为主的产业发展用地空间。在保障生态安全的前提下,分类管控,合法合规利用,鼓励开展林下种植、养殖等经营活动。落实国家

关于支持乡村振兴、生态产业等用地政策,创新推广“以地换绿”机制,针对生态旅游、森林康养等林草产业基地服务设施建设用地,依法依规,开辟绿色通道,做好用林用草用地保障。推进土地要素市场化配置,健全长期租赁、弹性年期供应等产业用地市场供应体系,盘活存量土地资源。整合农业农村、林草、水利、交通、文旅、发改、工信、财政税收、自然资源、中医药、宣传等相关产业政策,系统支持林草产业发展。着力推动《云南省深化集体林权制度改革方案》落实落地,形成权属清晰、责权统一、保护严格、流转有序、监管有效的集体林权制度。深化国有林场和国有林管理改革,探索建立国有林场经营性收入分配激励机制,拓展多元业态,因地制宜发展林草产业,适度放活资源,开展规模经营,做大做强国有林场经济。加快推进国有林管理改革,促进国有森工单位与地方经济社会融合发展,探索国有森林资源有偿使用。创新生态产品价值实现机制,健全林业碳汇价值实现机制和生态产品价值核算与应用机制,促进生态产品价值转化。

4.2 推动产业优化升级

按照“拓三产强二产优一产,以三产促二产带一产”的工作思路,深化改革、优化布局、突出重点、补齐短板,加快构建现代林草产业体系。围绕木本油料、特色经济林、林下经济、木竹、生态旅游与森林康养等产业,强化资源利用政策支撑和空间保障。突出重点产业提质增效和高产示范基地建设,积极打造现代林产业。以休闲食品及油料精深加工为牵引,深化基地、交易市场和收储能力建设,开展良种改造、技术推广,大力发展坚果产业。推进品种改良、精深加工,做精做优油橄榄、花椒等特色经济林产业。做优做强林下经济,实施“小品种大产业”培育工程,以林下中药材、野生食用菌、森林蔬菜、景观利用等为重点,突出绿色化、有机化,推进仿生种植、规模发展、产地加工,建设一批支撑基地。推进木材加工产业提档升级,取消人工商品林主伐年龄限制,激活其潜力^[4],大力发展木材加工、林浆纸一体化、林板家居一体化。发展专业化、机械化的采收与储运,提高效能、降低成本^[5]。着力招大引强经营主体,加大旅游景区、度假区、康养基地品牌创建,联动开展宣传推介,加快发展生态旅游、森林康养,大力推进风景名胜区、森林公园、自然公园、国有林场等创建国家级旅游景区,打造一批森林乡村、森林人家、森林康养基地等特色品牌。

4.3 培育壮大市场主体

围绕建链强链补链,深入实施经营主体倍增计

划^[4]。坚持内培外引,对内,加大对林草产业龙头企业扶持力度,支持林业企业申报国家级、省级林业龙头企业,有力支持企业申报上市;支持满足条件的农林企业积极申报高新技术企业;建立健全中小企业扶持政策和新型经营主体培育机制,培优做强现有加工企业,以林草项目为基础,培育一批农民专业合作社、村集体公司、种植大户、家庭林场等新兴经营主体,深入推进农林合作社规范提升行动,积极推广“企业+合作社+农户”模式,不断壮大林草一、二、三产业经营主体;持续完善龙头企业绑定合作社、合作社绑定林农的“双绑”利益联结机制,带动林农积极参与林草产业融合发展^[6],提高组织化水平和抗风险能力,鼓励返乡入乡农民工发展或参与木本粮油种植、林下特色种养殖及特色加工、物流冷链、产销对接等相关产业,实现就地就近创业就业^[7]。对外,强化招商引资工作,围绕林草产品精深加工和重点产业延链强链,深化省州县联动招商,强化“一把手”联动招商,落实惠企政策,持续优化营商环境,切实引进一批产业链关键环节的国内外领军企业落户云南、进驻园区,招强育大林草龙头企业。

4.4 加大财税金融支持

继续主动争取各级财政资金项目,全力开展核桃、特色经济林等低效林改造,提质增效和示范基地建设,开展以核桃为主的主要林草产品品种改良、收储贴息、冷链仓储、初加工机械一体化等精深加工项目建设。争取更多更优惠的财税支持政策,对具有显著业绩和示范带动作用的龙头企业、中小企业、协会、专业合作社等,从科研创新、设备购置、产品销售、出口贸易等方面给予合理的资金奖补。严格执行税费减免、农机购置补贴、农业生产用电等优惠政策。用好贴息贷款政策,缓解企业贷款资金使用压力,将营造林、收储加工林草产品等贷款也纳入财政贴息范围。深化银政企合作,丰富和创新金融产品,降低综合融资成本,加大对林草经营主体贷款支持,强化助推贷款供需对接,促进林草经营主体快速发展。鼓励金融机构拓展服务,扩大林权抵押等贷款规模,从林业经营特点出发,开发林草全周期信贷产品,探索林草业经营收益权质押贷款和生态保护补偿收益权质押贷款。

4.5 不断强化科技支撑

以科技创新为抓手,扎实推进创新驱动发展,重点攻克林草产业发展关键技术,为林草产业高质量发展注入强劲动力。不断推广和完善核桃油抗氧化、仿野生栽培野生菌、仿野生有机种植道地中药

材、绿色清洁生产木竹产品等关键技术与攻关成果。加快林草产品大数据建设,强化质量监管,完善林草产品产地环境监测和安全保障,深化林草产品追溯体系建设,努力实现林草产品全过程数字化控制^[7]。深入实施种业振兴、关键核心技术攻关、科技产业示范园区创建等林草科技创新行动,积极谋划一批重点科技创新项目,加强与科研院所、高等院校等协同联动,深化林草科技开放合作,加快推进大团队、大平台建设,以科技创新带动林草产业创新。大力推进林草科技创新联合专项,促进一批创新研究、集成示范的成果转移转化。组织实施一批林草科技推广示范项目,强化示范基地建设,推广先进、成熟、实用技术成果^[4]。针对林草关键领域,组建科技服务团队并坚持深入推行科技特派员制度,支持产业园区和企业设立技术研发中心。新型职业农民培育计划中增加林草产品加工人员培训,持续提升林草加工技能和产品质量。修订制订一批好用、实用、管用的林草标准,强化林产品质量监管。

4.6 做强品牌创建宣传

实施品牌发展战略,积极筹备、参与省内外展会活动,努力提升云南林草产业品牌和产品的影响力、知名度和美誉度。支持有关主体申请、注册集体商标,鼓励林草企业参与地理标志产品、森林生态标志、绿色有机等认证认定,强化林草产品尤其是森林食

品、林下中药材类的追溯体系建设,巩固提升云南林草产品市场信任度。融合直播、网购等线上线下多渠道多平台拓展国内外市场。办好各类节会展销活动,推动云南森林生态产品馆、林特产品馆等建设运营。

参考文献:

- [1] 刘娜. 发展现代林业促进林农增收[N/OL]. 云南政协报. (2023-12-14)[2024-10-15]. <https://www.ynzx.gov.cn/cwhy/271568.jhtml>.
 - [2] 云南省统计局. 2023年云南农业农村发展报告[R]. 昆明, 2024.
 - [3] 负新华, 邓喜庆, 杨晓松, 等. 云南核桃栽培区域划分及其评价[J]. 西部林业科学, 2024, 53(3): 30-38.
 - [4] 万勇. 加快从林草资源大省向林草经济强省迈进[J/OL]. 云岭之窗. (2024-03-26)[2024-10-15]. <https://mp.weixin.qq.com/s/sxylycjm7IDsb-MFHZ4Gg>.
 - [5] 余志飞, 杨璇玺, 杨卿, 等. 云南省竹产业发展思路研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(3): 219-224.
 - [6] 云南省人民政府办公厅. 云南省林草产业高质量发展行动方案(2022—2025年)[EB/OL]. (2022-10-08)[2024-10-15]. https://www.yn.gov.cn/zttg/lqhm/zcjd/202210/t20221010_248396.html.
 - [7] 李继品, 赵学俊, 宋志伟, 等. 林业助力保山市乡村振兴的成效及发展对策[J]. 林业建设, 2023, 41(5): 29-33.
- 责任编辑: 杨焱熔
-
- (上接第175页)
- [23] 中国制浆造纸研究院, 四川省造纸产品质量监督检验中心, 国家纸张质量监督检验中心. 造纸原料水分的测定: GBT 2677.2—2011[S]. 2011.
 - [24] 赵璠, 舒立福, 周汝良, 等. 西南林区森林火灾火行为模拟模型评价[J]. 应用生态学报, 2017, 28(10): 3144-3154.
 - [25] 彭徐剑, 何晨, 詹庆斌. 3种南方防火树种理化性质的试验研究[J]. 林产工业, 2021, 58(3): 27-31.
 - [26] 李海佳, 郑淑霞, 单笑笑, 等. 西宁周边山地主要造林树种防火性能评价[J]. 林业科学研究, 2021, 34(5): 111-118.
 - [27] ZHANG Y L, TIAN L L. Examining and reforming the rothermel surface fire spread model under no-wind and zero-slope conditions for the karst ecosystems[J]. Forests, 2023, 14(6): 1088.
 - [28] 舒立福, 田晓瑞, 李红, 等. 我国亚热带若干树种的防火性研究[J]. 火灾科学, 2000(2): 1-7.
 - [29] 李修鹏, 杨晓东, 余树全, 等. 基于功能性状的常绿阔叶植物防火性能评价[J]. 生态学报, 2013, 33(20): 6604-6613.
 - [30] 曹恒茂, 王劲, 王秋华, 等. 昆明市西山林场森林火环境研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2024, 44(4): 166-173.
 - [31] 张恒, 李慧, 赵鹏武. 内蒙古森林火灾发生风险及驱动因素的影响[J]. 生态学报, 2024, 44(13): 5669-5683.
 - [32] WOOD S W, HUA Q, ALLEN K J, et al. Age and growth of a fire prone Tasmanian temperate old-growth forest stand dominated by *Eucalyptus regnans*, the world's tallest angiosperm[J]. Forest Ecology and Management, 2010, 260(4): 438-447.
 - [33] 曹恒茂, 王劲, 王秋华, 等. 昆明市西山林场森林火环境研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学版), 2024, 44(4): 166-173.
- 责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.026

贵州省森林康养产业发展现状与优化措施探析

张平芳¹, 王磊昭¹, 付甫永², 付昀颢¹

(1. 贵州贵大生态科技工程建设规划有限公司, 贵州 贵阳 550025;

2. 贵州省松类有害生物防治工程技术研究中心, 贵州 遵义 563100)

摘要:通过对贵州省森林康养基地进行实地调研和政策研究,结合贵州的生态优势及地域优势,分析其森林康养基地现状及存在问题。结果显示,贵州省森林康养产业存在认知不足,基地设施不完善,专业人才稀缺,政府扶持力度不够,基地交通不便等问题。提出扩大宣传力度,完善基础设施,培养专业人才等发展策略和优化措施。

关键词:森林康养; 产业发展; 乡村振兴; 贵州省

中图分类号:S788.1;F416.88;N945.15 文献标识码:B 文章编号:1671-3168(2026)01-0184-06

引文格式:张平芳,王磊昭,付甫永,等. 贵州省森林康养产业发展现状与优化措施探析[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 184-189. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.026

ZHANG Pingfang, WANG Leizhao, FU Fuyong, et al. Development Status and Optimization Measures of Forest Therapy Industry in Guizhou Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 184-189. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.026

Development Status and Optimization Measures of Forest Therapy Industry in Guizhou Province

ZHANG Pingfang¹, WANG Leizhao¹, FU Fuyong², FU Yunhao¹

(1. Guizhou Guida Ecological Technology Engineering Construction and Planning Co., Ltd., Guiyang 550025, China;

2. Guizhou Provincial Engineering Technology Research Center for Pine Pest Control, Zunyi, Guizhou 563100, China)

Abstract: Through field surveys and policy research on forest therapy bases in Guizhou Province, and considering the ecological and geographical advantages of Guizhou, this paper analyzed the current status and existing problems of forest therapy bases in the province. The results indicated that the forest therapy industry in Guizhou faced issues such as insufficient public awareness, inadequate infrastructure, shortage of professional talent, insufficient government support, and poor transportation accessibility to the bases. Development strategies and optimization measures are proposed, including expanding publicity efforts, improving infrastructure, and cultivating professional talent.

Key words: forest therapy; industrial development; rural revitalization; Guizhou Province

党的十八大以来,“绿水青山就是金山银山”理念等重要论述,深入阐释了绿色发展的生态文明思

想,有力推动生态文明建设与经济发展深度融合,为我国在新发展阶段探索新经济、新业态提供了理论

收稿日期:2024-12-10;修回日期:2025-01-22

基金项目:贵州森林康养综合服务云平台技术研究与应用(黔科合支撑[2022]一般 262)。

第一作者:张平芳(1997-),女,硕士。主要从事森林康养和林业规划研究工作。Email:zpfydx@163.com

责任作者:付昀颢(1979-),女,工程师。主要从事林业管理和森林康养研究工作。Email:66069386@qq.com

指导^[1]。森林“四库”重要理念,即森林是水库、碳库、粮库、钱库^[2],充分阐明了森林在我国经济社会发展中的多功能效益,实现了社会、生态、经济效益相统一,为推动乡村产业振兴、建设美丽中国提供了鲜明指引,为森林康养产业发展奠定了坚实的基础。

伴随着新时代经济技术的快速发展,人们面临着城镇化加速、慢性疾病高发、人口老龄化加剧、生活压力上升等新挑战,健康养老、智能养老也成为社会热议的话题。贵州有“天然空调”“绿色氧吧”的美誉,森林资源丰富,为实现森林资源有效利用,开展森林养生保健、休闲娱乐、康复运动、森林游憩等有益身心发展的活动提供了有利条件^[3],也是统筹贵州政治、经济、文化、生态、社会协调发展的有效途径。贵州省独特的山地景观、丰富的森林资源、良好的生态环境,共同构成了具有吸引力的自然景观^[4],为贵州发展森林康养产业奠定了基础。通过实地走访调研、查阅文献,了解贵州省森林康养产业发展现状及存在的问题,梳理和分析其发展必要性、策略及优化措施,以期的高质量发展贵州省森林康养产业提供针对性建议,最终实现生产、生活、生态共赢。

1 森林康养起源

森林康养概念起源于德国,由森林医疗、森林浴演化而来^[5-6],其目的是为了应对人们因城市发展而产生的亚健康慢性病、都市病等问题。德国研究学者认为森林康养是一种自然健康调养法、气候疗法和地形疗法,森林具有杀菌、净化空气的作用,释放的负氧离子有助于增强身体免疫力、调节人体健康;森林康养活动可以提升免疫力,降低肾上腺素水平和皮质醇浓度,使身心放松;森林环境还可以调节神经系统、促进身体恢复,植物叶片、枝干释放的挥发性物质对部分疾病有一定的疗效,对此可提取植物物质进行康复医疗^[7]。随着森林医疗项目在德国开始盛行,森林康养也被纳入德国医保系统,推动其公共医疗费用总支出下降至30%,每年节省了医疗费用数百亿欧元,德国的居民健康生活指数也总体上升了30%^[8]。此后,森林康养理念陆续传入美国、日本、韩国等发达国家和地区,形成了森林医疗型的德国模式、森林保健型的美国模式、森林浴型的日本模式三大发展模式^[8]。而我国引入森林康养概念较晚,自2012年才逐渐开展森林康养产业基地建设工作^[9]。

2 森林康养产业发展概况

贵州省位于中国西南地区,生态环境优良、气候

凉爽宜人、植被类型丰富、地形地貌复杂多样。得天独厚的地理优势为发展贵州森林康养产业奠定良好基础。在2016年,贵州省才开始发展森林康养产业,截至2023年底,全省共建立森林康养(试点)基地共78个,其中国家级森林康养基地5个、省级森林康养(试点)基地58个、中产联森林康养(试点)基地15个,自然教育基地320处,森林康养人家300处,以旅游、休闲、保健、运动、养生、研学相融合的森林康养休闲旅游服务一体化的产业集群初具规模^[10]。根据贵州省人民政府专题动态要闻报道,全省森林康养(试点)基地累计接待1327.6万人次,提供了就业岗位16139个,带动就业农民人均月收入2600元以上,森林康养全产业链实现产值200亿元^[11-12]。此外,贵州省的森林康养产业还与脱贫攻坚、乡村振兴等工作有机结合,是新时期林业产业发展的新业态。

2024年中央一号文件指出,加快推动农村一二三产融合发展,推进农产品深加工,因地制宜发展当地特色产业,打造乡土特色品牌,推进乡村旅游、农林牧渔、森林康养、生态旅游等融合发展,实施乡村产业全面振兴,助力提升乡村产业发展水平^[13]。为推进森林康养产业化发展,贵州省明确发展目标定位为全面构建林业草原高质量保护发展新格局,基本建立林草发展体系和现代化治理体系^[14],到2025年,力争全省森林覆盖率达64%,森林蓄积量达到7亿m³,创建森林康养试点县(市、区)10个,提升建设森林康养(试点)基地70个、森林康养步道300km,森林康养年服务200万人次以上,森林质量稳步提升,构建比较完善的森林康养产业体系^[15],将贵州森林康养基地打造成国内一流的度假胜地。

3 发展森林康养的机遇

3.1 强力的政策支持

自森林康养概念引入我国后,国家层面陆续出台《关于加快发展养老服务业的若干意见》《关于加快推进健康与养老服务工程建设的通知》《关于进一步扩大旅游文化体育健康养老教育培训等领域消费的意见》《关于促进和规范健康医疗大数据应用发展的指导意见》《关于开展国家森林康养基地建设工作的通知》《关于促进森林康养产业发展的意见》等一系列政策文件,旨在提升国民健康水平、推动健康产业发展。进入新时代,党的二十大报告中提出把人民健康放在优先发展的战略位置,重视慢性病与心理健康管理,倡导文明健康的生活方

式^[16]。贵州也出台了《贵州省大健康产业发展新一轮六项行动计划(2018—2020年)》《关于推动旅游业高质量发展加快旅游产业化建设多彩贵州旅游强省的意见》《贵州省大健康创新发展工程专项行动方案》《关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的实施意见》《贵州省大健康产业“十四五”发展规划》等一系列文件政策,明确了贵州森林康养产业发展定位、发展方向及任务要求等^[17],并提供了有力的政策支撑。

3.2 丰富的自然资源

贵州气候呈现出“一山分四季,十里不同天”的特征,“东边太阳西边雨”的现象表现得尤为典型。在地形地貌方面,贵州属于高原山地地貌,平原稀少,有“八山一水一分田”之称。贵州的瀑布、湖泊、峡谷、溶洞、温泉等自然景观非常独特、新颖,分布范围广、形态类型多样、地域差异明显,构成一幅宏大的自然生态画卷。在水资源方面,贵州处于长江和珠江两大水系交错地带,河流众多,全省69个县属长江防护林保护范围,是长江、珠江上游地区的重要生态屏障^[18]。省内大型水库、水电站数量也多,充分保障农业灌溉、生活饮用水、植被浇灌等用水安全。在森林资源方面,贵州省森林植被丰富多样,种类繁多,成分复杂,特殊的地理位置造就了贵州植被类型多样,涵盖热带阔叶林、寒带针叶林、落叶阔叶林与常绿阔叶林,兼具国家级珍稀植物与地方特有珍稀植物。全省树种资源丰富,拥有大量的珍贵树种、名贵药材,森林中负氧离子含量高,形成了丰富的生物多样性资源。根据贵州省人民政府政务公开数据显示,截至2023年末,贵州森林覆盖率达63%,全省林地面积达1126.67万 hm^2 ,森林面积1106.67万 hm^2 ,城市空气质量达到国家环境空气质量等级二级标准^[19],这些都为贵州省发展森林康养产业提供优越的环境空间。

3.3 强大的市场需求

我国老龄化问题日趋突出,贵州省亦面临相同挑战。随着老龄化程度加深,亚健康人群数量日益庞大,解决该群体心理健康问题并缓解青壮年劳动力供给压力已成为当务之急。注重健康与康养已经成为当今社会发展的潮流,要大力推进健康养老的生活方式,构建与健康老龄化和当代社会发展相适应的老年健康服务体系,助力老年人享有更加充实、健康的晚年生活^[20]。因此,森林康养产业具备广阔的发展前景和市场潜力,构建友好型老年社会,为老

年人健康养老提供一个舒适、有益于其自身发展的生活环境,需要充分发挥贵州的地域优势、森林优势,重视康养融合发展,推动旅游、医疗、度假、健康养老等多种健康服务协调发展。

根据《贵州省2023年国民经济和社会发展统计公报》,截至2023年底,全省旅游接待总人数6.36亿人次/年,比上年增长29.2%;旅游总收入达到7404.56亿元,比上年增长41.2%。全省有9个5A级旅游景区,152个4A级旅游景区,81个全国重点文物保护单位,559个等级以上乡村旅游重点村(镇),8548个等级以上乡村旅游标准化单位,有88.41万间客房,143.62万个客房床位^[21]。在乡村振兴背景下,“生态+”“旅游+”“大数据+”等模式已经促进贵州省向森林康养健康管理方向转型升级,促使“大健康”产业成为全省重点推进的三大发展战略之一^[22]。

4 森林康养产业发展存在的问题

4.1 森林康养产业认知不足

自2012年引入森林康养这个概念,中国才逐渐开展森林康养基地建设工作,森林康养产业进入国内发展的时间尚不足15年^[9],因此,公众对森林康养认识不足,对森林的价值认知还停留在表面,未深入认识到森林康养高层次的价值。作为南方经济发展滞后的内陆省份,贵州省对于森林保健、森林疗养等产业发展尚未形成体系,导致公众对森林康养产业的参与度不足,难以形成全社会共同关注和支持森林康养产业的良好氛围^[23]。

4.2 森林康养基地设施不完善

贵州省森林康养尚处于起步阶段,通过对森林康养基地走访调研发现,绝大多数森林康养基地的康养产品尚未完全开发或服务不完善。虽然部分康养基地里种植了大量的药用植物、园林花卉等森林资源,但康养资源未能得到有效开发和科学利用;有的康养基地设有健康管理中心,但相关的设施设备不足,难以满足森林康养产业的市场化需求,无法更好地为老年人和亚健康职场人群等不同群体提供各种类型的康养体验,从而限制了森林康养产业综合效益的充分发挥。

4.3 森林康养专业人才稀缺

贵州省森林康养产业发展尚不成熟,且森林康养涉及领域广,具有医学、景观学、植物学、养生学、林学、体育学、旅游学、疗养康复学等多学科融合属

性,复合型专业人才缺乏,而贵州发展森林康养产业正亟需研究型康养人才投入。森林康养是一种有益于人类身心健康发展的活动,要求森林康养专业人才需要掌握健康养生和林业、旅游、医疗、保健等多方面的知识背景^[24]。目前,森林康养复合型人才在全国范围内均极其缺乏,贵州省也面临着同样的问题,如果长期缺乏多学科融合发展的森林康养科研团队,将导致康养产品开发不充分,难以向市场提供种类多样、功能齐全的康养产品,无法提供专业化、精细化的康养服务,以及科学引导公众开展康养活动。

4.4 政府扶持力度不够

森林康养产业作为一个新兴产业,其业态新、政策依赖性强,但当前政策扶持缺乏系统性,即便相关政策出台,但在执行过程中可能存在力度不够、监管不严等问题,导致政策效果未能充分发挥。同时,资金支持力度不足,森林康养产业发展包括基础设施建设、康养产品研发、医疗器械配置、市场推广、人才培养等方面,均需要大量资金投入。如荔波县兰鼎山森林康养基地,在2018年就启动省级康养试点基地建设,基地内设有森林康养健康管理中心、餐饮中心、室内民族特色表演场、森林浴场、康养林、石斛中药材基地、森林康养宣传标识系统和生态环境监测系统^[25]。然而,2019年新冠疫情后,基地运营困难,市场投入不足,现有设施已经老化,再加上政府投入力度不足,导致该基地缺乏资金维修,无法正常投入市场运营。所以,当前政府投入的资金难以满足康养产业发展的实际需求,且融资渠道有限,社会资本对森林康养产业的投入意愿不强,导致资金缺口问题成为制约产业发展的关键因素。

4.5 森林康养基地交通不便

贵州地处山地地区,地势起伏较大,大多数乡村公路蜿蜒曲折。在进行康养基地调研的过程中,贵州省多数康养基地交通均较便利,但仍有少部分康养基地交通不便,如六盘水娘娘山森林康养基地,在不同高速路口下收费站后还有约30~65 km路程才能到达基地,而这段乡村公路道路崎岖,对乘车过来体验康养项目的老年人而言,旅途颠簸极易引发身体不适,影响康养体验。因此,娘娘山森林康养基地里康养活动众多,如生态采摘园、科普宣教中心、湿地景观、山体景观、酒店民宿、天坑、溶洞、民族村寨等^[26],却无法给游客提供更好的体验感,导致基地游客稀少,所营收入难以维持基地正常运营状态,限制了当地旅游业发展及居民收入。

5 森林康养产业发展对策

5.1 扩大宣传力度,提高公众认知

地方政府在推动森林康养产业创新发展方面要通过多渠道、多方法加强宣传引导,扩大宣传力度,提高公众对森林康养的认知程度^[27]。目前,抖音、快手等新媒体平台在农村普及率较高,可以借助森林康养与乡村振兴之间的关系,邀请当地网红主播,线上宣传乡村振兴下的森林康养产业的价值意义,普及公众对森林康养价值的认识,线下采取社区拉横幅标语宣传,引导公众参与到森林康养活动中来,共同促进乡村康养全民化发展。

5.2 完善基础设施建设

结合市场需求,依托现地条件,科学规划交通路线、林间小道、旅游步道、防火救援道路等基础设施建设,充分利用现地房屋和民宿,合理规划修建健康管理中心、康养步道、森林浴场、森林药坊、森林疗养院、森林康养中心等服务设施,完善健康体质监测体系,添置医疗器械,让康养人群能够真正意义上体验森林康养带来的全方位益处^[28]。精准把握市场需求,为游客、当地居民提供舒适、安心、享乐的服务体系,打造吃、喝、玩、乐于一体的基础设施建设,让人们在森林康养中疗养的同时也能享受快乐。

5.3 培养专业技能人才

森林康养从业人员需要具备多学科知识,包括医学、康复学、运动学、养生学、生态学、林学、景观学、旅游学等,人才培养需要将不同的专业知识融合,打破传统专业界限,紧跟产业发展趋势,精准定位职业岗位需求,培养森林康养理论与实践相结合的全能应用型人才^[10]。鼓励贵州省内职业院校和高等院校开设与森林康养旅游相关的学科专业,设置康养技术、康养活动方案设计、森林管护技能、老年照护服务技能等相关课程,培养专业化、职业化、专家化的森林疗养服务师、森林疗养师^[29]。同时,加强产学研合作,推动企业与高校、科研机构建立紧密联系,通过开展科研项目合作、实习实训基地建设等形式,提供实践机会和岗位培训,培养适应产业需求的人才,提供森林康养产业就业和创业的支持措施,争取吸引外来人才并提高本地人才康养技能。

5.4 加强政府扶持力度

贵州省政府积极贯彻落实2024年中央一号文件关于森林康养产业发展的要求,构建推动农村一、二、三产业融合发展的政策体系^[13]。地方政府要加强森林康养基地建设的资金支持力度,对已经成形

的森林康养基地、康养小镇、康养乡村给予资金帮扶,优化康养产业经营主体融资贷款利率优惠政策^[30],同时,吸引实力雄厚的社会资本参与,提供康养基地基础设施建设、市场运营、人才培养等方面的特殊政策支持。

5.5 创新森林康养产品

结合市场需求和森林康养主题与特点,因地制宜,开展具有地方特色的养生、养形、养智、养情、塑艺类活动,开发少数民族民医民药、森林康养旅游、药食保健、温泉疗养、运动康复、休闲健身、文化感知等康养产品^[31],形成独具地方特色的以森林环境、民族文化和森林旅游体验为核心的森林康养产品系列,让游客能够根据自身身体状况和喜爱程度来选择合适的康养体验,为游客提供多元化的康养体验,使其在森林康养体验过程中放松身心,享受多民族文化康养活动,从而达到最佳的疗养效果。

5.6 创新“互联网+森林康养产业”模式

贵州拥有首个国家级大数据中心,为贵州“大数据+大健康+物联网”等技术建立功能齐备、资源共享、高效快捷、安全稳定的数字化健康管理系统奠定一个良好的基础。创新“互联网+森林康养产业”的新模式,构建线上康养基地数据可视化,线下融合发展的森林康养产业模式^[32]。可以开发贵州康养App,实时呈现康养基地的具体情况,例如负氧离子浓度、温度、湿度、风速、空气质量等,在适宜时间选择合适的出行方式,有利于更好地体验森林康养的养生乐趣。精准定位市场需求,以消费者为中心,分析其需求,通过线上资源配置和运用,线下围绕森林资源、乡村疗养民宿、农事体验等融合发展,提升森林康养产业智慧养老服务^[33]。例如,荔波县兰鼎山森林康养基地临近厕所设置有一个LED显示屏,主要用于监控老年人进出卫生间时间等信息,精准定位老年人如厕安全,给老年人及其家人一份安心的保障。

5.7 加大森林康养产业招商引资力度

抓好招商引资,吸引社会资本和民间资本的参与,鼓励以融资担保、项目补贴、资金帮扶等多种方式参与森林康养项目建设,积极引进理念先进、创新力强的大企业参与森林康养产业建设^[34]。可以根据经营形式采取“公司+合作社+基地”“公司+农户+基地”“公司+国有林场+基地”“公司+医院+基地”等模式发展森林康养产业^[35]。将森林康养产业作为乡村振兴的重要支柱产业,充分结合地方资源优势,引起地方政府重视,争取国家各部门对森林康养

项目给予专项扶持,医疗、科研部门提供技术支持^[36],引进有创新理念和投资实力的企业,有医疗、养生等理论和技术的科研单位共同开发,共赢发展。

6 森林康养产业发展优化措施

6.1 政策方面

产业的发展离不开政策的支持,通过制定森林康养产业发展的规章制度,完善康养产业体系构建,推动贵州康养产业实现健康、绿色、高质量发展。同时,建议国家相关机构建立森林疗养服务师及森林疗养师资格等级认证制度,通过地方相关单位组织相应的等级测试才能获得等级证书。鼓励有关人员通过兴趣自学或专业培训考取相应的等级证书,以此获得升职加薪的有利条件。

6.2 服务方面

充分挖掘地域特色资源,推动旅游、民族风情、民族工艺、民族文化与森林康养产业有机结合发展,形成完整的产业链。同时,提高消费者体验感,在服务质量和客户体验方面进行优化和完善,做好垃圾分类、垃圾清理工作,为消费者营造干净、整洁、舒适宜人的康养环境。为满足市场需求,可以针对消费者进行问卷调查,了解其偏好和需求以及对基地发展的可行性建议等,及时调整服务措施、提高服务质量,提升消费者的体验感和满意度。

7 结 语

发展森林康养是践行“绿水青山就是金山银山”绿色发展理念的重要举措,是推动乡村全面振兴、顺应新时代健康生活需求的关键路径,对实现健康中国、美丽中国具有积极意义。贵州省气候条件适宜、地形地貌多样、生态环境独特,为森林资源的丰富性和多样性奠定了自然基础。目前,在新时代老龄化加剧的背景下,发展森林康养产业正当其时。但是,贵州森林康养产业的发展也存在森林康养专业人才匮乏、康养设施建设不完善、康养器械不健全、对接市场需求不明确等问题。未来贵州省将紧扣乡村振兴战略,充分挖掘森林康养与乡村振兴之间的联系,连接特色产业与森林康养之间的纽带关系,形成一条全方位产业链,培养森林康养专业技能人才,充分挖掘贵州地域文化,打造贵州康养品牌,推动贵州森林康养产业实现高标准、高品质、高效率发展。

参考文献:

[1] 程丹. 贵州省森林康养产业发展的金融支持研究[D].

- 贵阳:贵州财经大学,2020.
- [2] 刘淑兰,王宇卓,李泽. 绿色共富视域下推进森林“四库”建设的路径[J]. 林业经济问题,2024,44(1):25-31.
- [3] 吴后建,但新球,刘世好,等. 森林康养:概念内涵、产品类型和发展路径[J]. 生态学杂志,2018,37(7):2159-2169.
- [4] 赵勤,张兴强,蒲应春. 浅议贵州森林康养发展形势与展望[J]. 贵州林业科技,2023,51(1):56-58,49.
- [5] 丛丽,张玉钧. 对森林康养旅游科学性研究的思考[J]. 旅游学刊,2016,31(11):6-8.
- [6] 王锦,付丽华,张岩,等. 森林康养的发展历程、模式及演变逻辑研究[J]. 现代园艺,2024,47(3):177-179,182.
- [7] 陆献峰. 德国乡村振兴与森林康养的启示[J]. 浙江林业,2018(9):40-41.
- [8] 张胜军. 国外森林康养业发展及启示[J]. 中国林业产业,2018(5):76-80.
- [9] 闫帅,尹久娜,田富学,等. 国内外森林康养发展历程及我国森林康养发展建议[J]. 南方园艺,2020,31(1):69-73.
- [10] 郭金鹏,张文凤. 贵州省森林康养人才培养创新与探索[J]. 贵州林业科技,2024(4):65-71.
- [11] 王远柏. 森林康养突破千万人次[N]. 贵州日报,2023-10-12(06).
- [12] 贵州省人民政府. 森林康养突破千万人次:贵州加速探索森林生态价值转化路径[EB/OL]. (2023-10-22) [2024-11-06]. https://www.guiizhou.gov.cn/ztzl/gzcxgsssthjdljlsdtfz/dtyw/202310/t20231012_82730769.html.
- [13] 舒坤良. 学好用活“千万工程”经验 加速提升吉林增产保供能力:2024年中央一号文件解读[J]. 新长征,2024(4):50-52.
- [14] 贵州省人民政府. 贵州省国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[EB/OL]. (2023-08-31) [2024-11-6]. https://www.guiizhou.gov.cn/ztzl/gzsswgh/zxgh/202308/t20230831_82150485.htm.
- [15] 姚建勇. 贵州模式“大生态+森林康养”[J]. 中国林业产业,2021(3):55-60.
- [16] 孙智君,安睿哲,常懿心. 中国特色现代化产业体系构成要素研究:中共二十大报告精神学习阐释[J]. 金融经济研究,2023,38(1):3-17.
- [17] 李秋秋. 新时代贵州民族地区发展大健康产业的现实困境与对策[J]. 凯里学院学报,2019,37(4):56-59.
- [18] 贵州省档案局. 自然地理[EB/OL]. (2021-09-14) [2024-11-07]. https://www.guiizhou.gov.cn/dcgz/gzgzk/dl/202109/t20210914_70397096.html.
- [19] 贵州省人民政府. 2023年贵州省林业年鉴[EB/OL]. (2024-09-19) [2024-11-10]. https://www.guiizhou.gov.cn/dcgz/stgz/lynj/202409/t20240919_85729748.html.
- [20] 曲婉莹,杜文章,曹峰. 医养结合背景下贵州省森林康养服务体系发展建议[J]. 贵州中医药大学学报,2024,46(2):99-103.
- [21] 贵州省人民政府. 国民经济[EB/OL]. (2024-04-30) [2024-11-16]. https://www.guiizhou.gov.cn/dcgz/gzgzk/jj/202404/t20240430_84385901.html.
- [22] 贵州省人民政府. 社会[EB/OL]. (2024-11-17) [2024-11-20]. <https://www.guiizhou.gov.cn/dcgz/gzgzk/sh/>.
- [23] 姚建勇,张文凤. 贵州大生态背景下森林康养模式与路径探索[J]. 林业资源管理,2021(5):27-32.
- [24] 姚东. 基于乡村产业振兴的森林康养产业创新发展研究:以山西省为例[J]. 山西农经,2024(17):123-125.
- [25] 张杰,张冕,吴晓梅,等. 贵州省森林康养产业高质量发展策略研究[J]. 绿色科技,2021,23(15):137-139,145.
- [26] 姚炳矾,周春松,杨屹梅. 荔波兰鼎山森林康养基地建设方案探讨[J]. 现代农业科技,2018(22):154-156.
- [27] 杨莎,陈学念,熊涛,等. 贵州娘娘山景区旅游资源开发研究[J]. 安徽农学通报,2020(Suppl. 1):142-144.
- [28] 夏吟. 刍议福建森林康养之科学发展[J]. 林业勘察设计,2019,39(1):27-31.
- [29] 吴帆,陈令君. 贵州森林康养业态及产品开发[J]. 农业灾害研究,2024,14(2):277-279.
- [30] 李新贵,姚建勇,彭丽芬,等. 1+X证书背景下的康养休闲旅游服务专业学生职业能力培养[J]. 西部素质教育,2020,6(11):65-66.
- [31] 陈令君,徐施为. 国家康养政策背景下贵州省森林康养产业发展存在问题及对策研究[J]. 贵州林业科技,2023,51(2):90-94.
- [32] 张力强. 乡村振兴视角下资源型城市发展森林康养产业的思考:以山西省晋城市为例[J]. 农村经济与科技,2019,30(9):1-3.
- [33] 樊文裕. 山西发展互联网+森林康养产业探索[J]. 农技服务,2017,34(18):98-99.
- [34] 王永雄. 梅列区森林康养产业现状与对策建议[J]. 安徽农学通报,2020,26(4):62-64.
- [35] 李权,张惠敏,杨学华,等. 大健康与大旅游背景下贵州省森林康养科学发展策略[J]. 福建林业科技,2017,44(2):152-156.
- [36] 郭金鹏,李君一,姚建勇. 贵州省森林康养产业发展现状与对策[J]. 贵州林业科技,2021,49(2):40-44.

责任编辑:杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.027

贵州省森林康养产业发展现状及对策研究

韦坤静¹,周先凤¹,张玉芳¹,曹煜²,郭金鹏³,周戈耀²

(1. 贵州医科大学 医药卫生管理学院, 贵州 安顺 561113; 2. 贵州医科大学 大健康研究院, 贵州 安顺 561113;
3. 贵州省林业局, 贵州 贵阳 550025)

摘要:为调查贵州省森林康养产业发展现状,基于质性研究方法,采用目的抽样法,选取 17 家森林康养基地的 42 名管理人员进行访谈,运用 Colaizzi 7 步分析法归纳主题。共提炼出 2 个主题和 12 个亚主题,如发展现状中的政策支持、生态环境、民俗文化资源、民族医药资源、康养产品类型、人才队伍、健康管理中心等;存在问题中的财政扶持不足,监管机制薄弱、配套设施滞后,专业人才短缺、特色产品体系难成,产品同质化严重、健康管理形式化,循证医学证据缺乏、旅游康养融合不足,公众康养意识滞后。建议通过引进专业康养人才,优化人才团队培养模式;完善基地服务配套设施,健全健康管理监管机制等措施,推动森林康养产业持续健康发展。

关键词:森林康养;产业发展;健康管理;康养产品;循证医学;半结构访谈;贵州省

中图分类号:S788.1;F416.88 文献标识码:B 文章编号:1671-3168(2026)01-0190-06

引文格式:韦坤静,周先凤,张玉芳,等. 贵州省森林康养产业发展现状及对策研究[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1):190-195. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.027

WEI Kunjing, ZHOU Xianfeng, ZHANG Yufang, et al. Development Status and Strategies of Forest Therapy Industry in Guizhou Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 190-195. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.027

Development Status and Strategies of Forest Therapy Industry in Guizhou Province

WEI Kunjing¹, ZHOU Xianfeng¹, ZHANG Yufang¹, CAO Yu², GUO Jinpeng³, ZHOU Geyao²

(1. School of Medicine and Health Management, Guizhou Medical University, Anshun, Guizhou 561113, China;
2. One Health Institute, Guizhou Medical University, Anshun, Guizhou 561113, China;
3. Guizhou Forestry Bureau, Guiyang 550025, China)

Abstract: To investigate the current development status of the forest therapy industry in Guizhou Province, this study employed purposive sampling to select 42 managers from 17 forest therapy bases for interviews. Using Colaizzi's seven-step analysis method, thematic analysis was conducted, resulting in the identification of 2 overarching themes and 12 sub-themes. The theme of development status included policy support, ecological environment, folk cultural resources, ethnic medicine resources, types of therapy products, status of talent teams, and health management centers. The theme of existing problems included insufficient financial support, weak regulatory mechanisms and supporting facilities, shortage of professional talent and distinctive product system, severe product homogenization and formalistic health management, insufficient evidence-based medical evidence and integration of tourism and therapy, and lagging public

收稿日期:2024-12-17;修回日期:2025-03-26

基金项目:贵州省哲学社会科学规划一般课题“贵州民族医药康养产业发展现状及对策研究(23GZYB46)”。

第一作者:韦坤静(2000-),女,硕士研究生。主要从事公共管理研究。Email:15121585657@163.com

责任作者:周戈耀(1983-),女,博士,教授,硕士生导师。主要从事公共管理研究。Email:51605814@qq.com

awareness of therapy. This study suggests to promote the sustainable and healthy development of the forest therapy industry in Guizhou Province through measures such as introducing professional talent and optimizing talent team training models, improving supporting service facilities at the bases, and establishing sound regulatory mechanisms for health management.

Key words: forest therapy; industry development; health management; therapy products; evidence-based medicine; semi-structured interviews; Guizhou Province

近年来,随着人口老龄化进程的加快和亚健康问题的加剧,康养需求显著增加,促使森林康养旅游产业迅速发展^[1-3]。大力发展森林康养事业,对推动乡村振兴,探索生态产品价值实现机制以及实现区域产业转型升级具有重要意义^[4]。自 2017 年启动首批省级森林康养基地建设试点以来,贵州省森林康养产业呈现良好发展态势^[5]。截至 2022 年,贵州省已建成 78 个森林康养(试点)基地,数量位居全国第 11 位。这些基地共接待游客 1 327.6 万人次,实现森林康养全产业链产值 200 亿元,并创造了 16 139 个就业岗位,带动就业群众人均月增收 2 600 元以上^[6]。此外,贵州省还积极探索差异化发展路径,现初步形成了林茶复合型、民族医药型、林药结合型等各具特色的森林康养模式^[7]。然而,贵州省森林康养产业由于发展历程较短,且前期侧重森林康养基地的数量扩张,导致产业整体质量提升滞后^[8]。为进一步推动贵州省森林康养产业高质量发展,本研究对森林康养基地的管理人员进行半结构化访谈,深入分析产业发展现状及存在问题,并在此基础上提出针对性的对策建议,旨在为贵州省森林康养产业的可持续发展提供决策参考,并为其他社会经济发展水平相近、区域环境特征相似且具有独特民族文化背景的地区发展森林康养产业提供实践指导。

1 对象与方法

1.1 研究对象

根据经济发展水平和森林康养发展模式,将贵州省的贵阳、遵义、铜仁市、黔东南、黔西南州(市)作为调查范围,采用目的抽样抽取 17 家森林康养基地,于 2024 年 3—6 月对森林康养基地内的管理人员进行半结构式访谈(表 1)。

纳入标准:(1)森林康养基地管理人员,经理及以上职位;(2)带领、指导并熟悉所在基地康养项目开展情况;(3)参与者在充分知情的前提下,自愿同意参与本研究。样本量的确定以资料饱和、不再出现新主题为准^[9]。最终共访谈 42 名管理人员,以 A1~A42 进行编号。

表 1 森林康养基地信息

Tab. 1 Information on forest therapy bases

| 序号 | 基地名称 | 管理人员人数 |
|----|------------------|--------|
| 1 | 贵州景阳森林康养基地 | 3 |
| 2 | 遵义十二背后森林康养基地 | 2 |
| 3 | 剑河温泉森林康养基地 | 2 |
| 4 | 遵义林仙康森林康养基地 | 2 |
| 5 | 息烽温泉森林康养基地 | 3 |
| 6 | 凤冈仙人岭森林康养基地 | 3 |
| 7 | 石阡百年楠木森林康养试点基地 | 2 |
| 8 | 凤冈九龙景区森林康养试点基地 | 3 |
| 9 | 凤冈县魅力黔茶森林康养试点基地 | 3 |
| 10 | 贵阳市桃源河景区森林康养基地 | 2 |
| 11 | 开阳水东乡舍森林康养基地 | 3 |
| 12 | 凤冈县茶寿山森林康基地 | 2 |
| 13 | 印江云上居森林康养基地 | 2 |
| 14 | 石阡仙人街森林温泉森林康养基地 | 3 |
| 15 | 兴义云屯森林康养基地 | 2 |
| 16 | 贵州息烽南山温泉森林康养试点基地 | 3 |
| 17 | 兴义市纳具和园康养小镇 | 2 |

1.2 研究方法

1.2.1 资料收集

以描述性现象学研究法为指导,采用半结构化访谈法收集资料。在访谈前期,通过学习相关政策文件,查阅文献资料并召开专家讨论会,制定出相关访谈提纲,选取 2 家森林康养基地的 2 名管理人员进行预访谈。经过反复修订,最终确定了访谈提纲。提纲主要内容:(1)基地环境情况及相关资源;(2)基础设施、康养设施配置情况;(3)健康管理中心开展情况;(4)康养人才情况;(5)康养产品开展情况;(6)基地政策支持情况。访谈前由课题组成员做自我介绍,详细解释此次调查目的、意义及访谈所需的时间,并承诺不泄露个人信息;经访谈对象同意后对全程进行录音。在访谈过程中,研究者仔细追问受访者的表情、语调和动作。访谈接近尾声时,以“您是

否还有其他补充?”进行信息补充及完善。每次访谈时间控制在 30~40 min。

1.2.2 资料分析

访谈结束后,在 24 h 内将录音资料与现场文字记录进行整理并形成原始数据,对有差异的部分通过微信将问题返回受访者求证。采用 Colaizzi 7 步法进行资料分析:(1)整理访谈资料后,反复阅读资料并熟悉所有访谈内容;(2)识别和摘录出有意义的陈述;(3)悬置研究者的观点,对反复出现的观点进行编码处理;(4)从编码后的观点中提炼出主题雏形;(5)对初步形成的主题雏形进行详细描述;(6)比较类似的主题雏形,升华主题概念;(7)将所得结果返回至受访者进行核查。

1.2.3 质量控制方法

课题组成员均经过系统的质性研究学习和培训,且具备较好的访谈经验。访谈时访谈员根据实际情况对问题顺序进行调整,提问过程中适时进行追问、复述和总结。研究者排除个人判断和主观因素,避免对受访者的表述进行引导或中断。为了确保资料分析结论的可靠性与客观性,访谈资料由 2 名专业研究者进行分析,并将转录的文字资料及时反馈给受访者,由其确认是否偏离其本意。

2 结果与分析

2.1 发展现状

2.1.1 政策支持情况

贵州省为推动森林康养产业高质量发展,出台了一系列政策支持森林康养产业的发展。调查发现,57.1%的受访者表示,各市(州)根据政策导向和市场需求,积极发展森林康养产业并出台相关政策,如遵义市凤冈县编制《贵州凤冈县森林康养产业发展总体规划(2021—2030 年)》;黔西南州编制《黔西南州森林康养产业发展总体规划(2020—2030)》等。受访者 A4 表示:“凤冈县还出台了产业发展总体规划,能够帮助茶寿山森林康养的发展”。A9:“国家及我省也出台了相关政策来支持森林康养产业发展,相信未来(森林康养产业)发展前景很好”。A22:“政府对于康养产业有一定的支持和扶持政策”。A36:“地方政府也很支持,并且还发布了相关政策”。

2.1.2 生态环境情况

71.4%的受访者表示,17 家基地年均温介于 11.5~26℃,森林覆盖率达 52%~90%;部分基地负氧离子浓度超过 3 780 个/cm³、平均湿度高于 80%、年降雨量为 900~1 380 mm。此外,64.3%的受访者表

示,部分基地土壤富含硒锌等元素,森林环境类型多样,并种植有百余种景观树种。A14:“基地栽有国内外优质树种 100 多种,森林覆盖率 85%,森林环境有河流、丘陵等,土壤富含硒元素”。A35:“康养区内负氧离子浓度平均达 5 780 个/cm³,是优质的天然氧吧”。A16:“我们这边基地自然禀赋优异,气候温润宜人,冬无严寒、夏无酷暑,降水丰沛”。A28:“基地气温常年约 20℃,十分适合旅居康养”。

2.1.3 民俗文化资源

贵州省拥有丰富的民族文化及历史文化资源。50%的受访者表示,有 10 家基地有状元故事、红色革命事迹等历史文化资源;7 家基地已将苗族、侗族、布依族和仡佬族等各具特色的少数民族文化融入到康养服务中。A19:“有丰富的历史文化,如状元文化、红色文化”。A22:“我们基地有苗族、布依族等文化资源,目前已经将其融入到康养服务中了”。A24:“基地有深厚的文化底蕴,包括水生态文化、农耕文化等”。

2.1.4 民族医药资源

45.2%的受访者表示,有 11 家基地有丰富的民族医药资源,如苗药、侗药及瑶药等,且能够提供苗药调理、彝族火疗、瑶浴等中医理疗服务。此外,部分基地还拥有丰富的药用植物资源。38.1%的受访者表示,目前已有 6 家基地种植了天麻及黄精等多种名贵中药材。A4:“我们基地有苗药和侗药两种民族医药资源”。A20:“有苗药/侗药温泉、侗浴冲淋疗法、苗侗药油肩颈调理等产品”。A31:“种植有车前草、重楼、益母草等,种植面积约 500 亩(33.3 hm²),能够自产自销”。A34:“能够提供瑶浴、彝族火疗等传统理疗项目”。

2.1.5 康养产品类型

贵州省森林康养产品类型繁多。59.5%的受访者表示,森林康养基地有七大类康养产品:康复疗养类、保健养生类、运动健身类、自然教育类、休闲娱乐类、康养住宿类、生态食材类(表 2)。A3:“基地能够提供运动康体、康养住宿等服务”。A20:“目前有温泉疗养、中医理疗等疗养产品”。A27:“我们有运动类的羽毛球场、林下徒步,休闲娱乐的室外 K 歌,还有养生茶的体验”。

2.1.6 人才队伍现状

83.3%的受访者表示,有 15 家基地已设立康养人才团队。人才队伍涵盖医学及养生学人才,如森林康养师、营养师及理疗师等,但大部分康养人才学历为大专。康养人员主要负责健康饮食、养生理疗等简单的森林康养服务,定时接受由基地组织的简

表 2 各类型康养产品
Tab. 2 Types of therapy products

| 类型 | 目标 | 侧重点 | 产品 |
|-------|------------------------------------|---------------------|-------------------|
| 康复治疗类 | 整合现代医学康复技术与森林环境要素,提供专业的康复治疗服务 | 侧重于促进患者的生理机能康复和疾病管理 | 森林疗养、康复护理、中医理疗等 |
| 保健养生类 | 依托自然资源,融合现代养生理念,提供促进健康的服务,倡导健康生活方式 | 侧重于提升个体的身心健康 | 森林日光浴、森林瑜伽、森林太极等 |
| 运动健身类 | 依托山地自然资源,开发山地运动的特色项目 | 侧重于提升参与者的心肺功能和肌肉力量 | 山地徒步、山地登山、户外骑行等 |
| 自然教育类 | 利用自然环境,融合教育理念,提升游客对环境的认知水平 | 侧重于开展不同主题的教育活动 | 地质科普、动物科普、农耕文化教育等 |
| 休闲娱乐类 | 提供以森林环境为背景,融合休闲、娱乐与康养元素的主题活动 | 侧重于营造轻松愉悦的自然体验氛围 | 户外探险、飞跃丛林、野趣探索等 |
| 康养住宿类 | 结合当地资源,提供舒适且具备康养功能的住宿环境 | 侧重于营造温馨舒适、促进睡眠的住宿氛围 | 康养公寓、主题民宿、旅居养老等 |
| 生态食材类 | 结合营养学知识,提供以当地有机食材和药膳食材为基础的健康餐饮 | 侧重于提供营养均衡、绿色健康的膳食方案 | 特色农产品、有机茶、药膳等 |

单培训。此外,有 2 家基地已充分利用了本地民医、老中医、中医药传承人等人才资源。A20:“基地招聘了医学等人才,并且会定期组织他们进行培训”。A21:“基地有具备专业知识和丰富经验的康养师,主要负责健康饮食、养生理疗等”。A23:“有专业康养师和康养讲解员,其学历基本上是专科”。A36:“目前聘请了 2 位中医药传承人负责中医馆项目”。

2.1.7 健康管理中心

73.8%的受访者表示,有 12 家基地已建成健康管理中心,开展的项目有健康体检、健康评估、健康干预及健康教育。28.6%的受访者表示,仅有 3 家森林康养基地进行循证医学研究。A6:“中心开展了睡眠、血压监测等几十个健康管理项目,收集了循证医学证据,能够对慢性病患者进行康复干预”。A21:“健康管理项目有常规健康检查,如身高、体重等,此外还提供心理评估及慢性病干预”。A30:“我们能够提供一些健康建议,比如专家健康咨询”。A36:“能够为客户提供慢性医治、亚健康调理、健康预防、咨询建议等方面的健康管理服务”。

2.2 存在问题

2.2.1 财政扶持力度仍然不足,健康服务监管机制薄弱

有 69.0%的受访者表示,政府在财政政策扶持方面的力度仍然不足,尤其在产品开发等专项资金方面投入不足;健康管理中心的建设及发展缺乏监督管理机制,缺乏统一的运营、考核及服务标准。A39:“政府对基地的资金扶持力度不够,特别是特色产品研发资金不够”。A22:“现在的健康管理中心运营标准不是很规范,无统一的监督管理机制”。A24:

“国家对于康养产业有一定的支持和扶持政策,但具体的实施细则和监管法规仍不够完善”。

2.2.2 服务配套设施建设滞后,康养服务专业人才欠缺

66.7%的受访者认为,基地的基础设施及康养设施尚未完善,尤其是交通设施及森林娱乐设施的建设进展相对缓慢。52.4%的受访者表示,基地专业康养人才欠缺,无林学、心理学等领域人才;另外,还缺乏复合型专业服务和产品开发团队。A13:“基地的停车场、摆渡车、卫生间建设数量不足以满足游客需求”。A22:“康养服务点分布较分散,设置的接驳车数量不足,游客徒步难度较大,影响游客的游览体验”。A4:“森林娱乐设施尚未完善,不能满足研学及亲子旅游的需求”。A25:“人才结构单一,人才数量不足,也没有林学、心理学方面的人才”。A19:“基地缺乏复合型专业人才”。

2.2.3 特色产品体系形成困难,康养产品同质化严重

73.8%的受访者表示,目前基地开发仍以旅游产品为主,在特色产品体系开发上面临困难,普通康养产品同质化普遍。A39:“主营业务较单一,主要业务有膳食餐饮、住宿,目前没有成套的特色康养服务产品体系”。A40:“特色产品开发较难,产品主要以旅游产品为主,不能对中老年人、年轻人等提供特色化康养服务”。A25、A42 受访者表示,公司主要依靠茶资源来开发康养产品,但在同行中也有类似产品,导致产品相似度较高。

2.2.4 健康管理开展浮于形式,系统循证医学证据缺乏

71.4%的受访者指出,基地虽然按照贵州省林业局颁布的建设标准设立了健康管理中心,但实际

开展的项目不多,很多纳入医保的合规性项目没有开展,同时很多基地没有开展循证医学研究,缺乏系统循证医学证据。A40:“健康管理中心实际开展的项目很少,很多仪器存在闲置现象,并且很多纳入医保的合规性项目没有开展”。A22:“基地因为配合主管部门不够,相关技术也没有,因此还没有开展循证医学相关研究”。A9:“我们也和一些单位进行合作,如与县医院一起构建医养结合平台,但是还未开展系统循证医学研究”。

2.2.5 对旅游康养融合认识不足,公众康养理念意识滞后

42.9%的受访者认为,基地对旅游与康养融合的认识存在不足,森林康养产业发展依然按照常规旅游产业的思路来规划;消费者对森林康养的了解度不高,康养理念意识落后。A21:“人们对森林康养理念缺乏,不知道森林康养能为他们带来什么益处”。A30:“公司对旅游康养融合认识不足,常以旅游方式来发展森林康养”。A32:“(管理人员)对森林康养的内涵及功能等的认识比较模糊”。

3 结论与建议

3.1 明晰产业政策扶持指向,完善健康管理监管机制

政策支持对森林康养产业至关重要^[10]。调查发现,贵州省及各市(州)政府在政策支持方面已颁布多个地方标准及管理办法,但针对产品开发等特定领域的财政扶持力度仍有待加强。此外,基地的健康服务监管体系尚待完善。这些问题的原因可能是相关部门对产业政策扶持指向不明晰,在政策制度的引导及监督管理方面存在不足,从而影响基地建设及发展。政策制度是影响森林康养产业高质量发展的重要因素^[11]。因此,建议相关部门增加对森林康养产业的专项资金扶持,确保基地在建设和运营阶段的特色产品开发等方面有足够的资金支持。同时,各基地应借助林业等部门的协助,制定适用于自身的健康管理中心建设和发展的监管机制,建立服务和考核标准,健全健康管理监测与评估机制,持续提升服务质量和运营效率。

访谈结果显示,由于基地自身经济实力薄弱,导致交通、康养设施建设滞后。相关研究也显示,资金受限是制约产业发展的重要因素之一^[12]。对此,建议完善财政资金投入机制,建立、健全政府引导、市场运作、社会参与的资金投入机制;积极探索多元化资金筹集方式,鼓励社会资本参与森林康养产业发

展。同时,应加强交通设施建设,为游客提供多样性的交通工具选择,如引入摆渡车、共享单车等;加快完善康养服务设施,以满足不同消费者需求。

3.2 加强康养服务人才引进,优化人才团队培养模式

专业人才是推动森林康养产业稳健发展的核心要素^[10]。研究发现,15家森林康养基地已配备医学领域的康养团队,但更多基地仍面临康养服务专业人才紧缺及复合型专业人才空白的困境,人才供给陷入瓶颈,导致无法满足行业需求,与刘爱军^[5]等研究结果一致。这可能与基地现有的人才培养机制不足有关。相关研究指出,通过优化人才培养模式,可以缓解制约森林康养产业高质量发展的人才瓶颈^[13]。因此,建议政府推动并支持高校设立交叉学科专业,深化森林康养学科理论与实践应用,加强高素质、多元化专业人才培养力度。此外,基地应优化复合型人才培养策略,致力于培养具备产品开发与市场营销策划等综合能力的精英团队。同时,加强校企合作,推动产教融合,定点定向引进心理学、林学等专业背景人才;组织康养服务人员进行职业技能培训,建立健全培养、使用、评价及激励体系,加快培养具备素质优良、技能卓越的康养服务技能人才^[14]。

3.3 整合资源开发产品体系,塑造民族地方特色品牌

贵州森林康养基地虽然具备优越的自然环境、多彩的民俗文化、丰富的民族医药资源以及类型繁多的康养产品,但特色产品体系尚未形成,且康养产品存在相似性较高的问题,与张琴等^[15]研究结果相同。本研究认为,这是由于基地未能有效整合和利用其独特的旅游资源优势,从而导致无法为各类人群提供个性化及创新性的成套康复疗养、保健养生等服务产品体系。有学者也指出,深入挖掘地方特色资源对于构建森林康养特色产品体系至关重要^[16]。对此,建议深入挖掘民俗文化、民族医药等资源,整合当地旅游与产品资源,推动塑造独具地方特色的森林康养产品,树立具差异化的品牌形象,突破同质化竞争的限制;结合市场需求和消费者偏好,开发个性化与创新性的产品体系,如针对老年人的康复疗养服务、针对年轻人的保健养生服务等。同时,建议已开展系统循证医学研究的基地,结合本地实际打造森林康复疗养等成套产品,并积极研发针对特殊群体的产品体系。

3.4 强化系统循证医学研究,促进特色康养技术落地

本次调研发现,贵州省已有多家基地建成了健康管理中心,中心已开展健康体检、评估及干预等服务项目,然而实际运营的项目较少,健康管理的开展

流于表面;同时,大部分基地并未开展循证医学研究。以上问题的原因在于基地缺乏技术应用平台支持,跨学科合作及协同研究不足,导致健康管理服务缺乏科学依据和实证支持,这与 ZHANG 等^[17]学者的观点一致。因此,建议政府相关部门鼓励及支持基地建设健康管理技术应用平台,并提供必要的技术支持和工具;同时,加强特色康养技术落地,推动基地对特色康养技术开展研究,以确保健康管理项目能够顺利开展并取得实效。此外,基地应与医疗单位密切协作,高效整合医疗资源,构建医养融合的综合平台,积极推进健康管理中心开展系统循证医学研究。加快构建跨学科合作平台,促进医学、林学等领域的专家学者之间的交流;联合开展协同研究,共同探索健康管理的新理论、新技术和新方法,促进森林康养产业的可持续健康发展;建立循证医学证据库,整合国内外相关研究成果,为健康管理提供坚实的科学依据和实证支持。

3.5 充分利用多种渠道宣传,树立公众森林康养理念

研究结果显示,受访者认为基地仍以传统旅游产业思维规划森林康养产业,忽视运用“旅游+康养”理念推动产业发展。原因可能在于管理者专业知识及实践经验匮乏,难以深入理解这两个领域的融合特性及其潜在价值。对此,建议省林业等部门牵头,积极探索及促进旅游与康养融合发展的良性互动机制,并组织专题会议,助力森林康养基地对旅游与康养融合的认识。基地应加强管理团队的理论培训,邀请相关领域的专家进行授课,提升管理人员对旅游与康养融合发展的认识;鼓励管理人员参加相关领域的学术会议和研讨会,以帮助其拓宽视野及掌握行业最新动态和发展趋势;同时,鼓励管理人员积极参与森林康养项目的实践工作,通过实际操作积累经验,提升对该产业的理解和把握能力。

此外,有管理人员表示,游客对森林康养了解度不高,康养意识落后,这与陈令君^[18]的观点一致。原因可能是森林康养的理念与政策的宣传工作仅停留在政府部门层面,官方媒体的宣传工作存在滞后性^[19],以及游客无法体验到森林康养带来的健康促进效果,导致消费者对森林康养的认知度低、康养理念滞后。因此,建议政府加强政策宣传,提高社会、公众对森林康养产业的认可度与参与度,为产业发展营造良好的政策环境。同时,基地应充分利用互联网等现代技术,提高公众对森林康养理念了解度;或通过举办森林康养文化节、康养体验活动等方式,让公众亲身体验森林康养魅力,树立正确的康养理念。

参考文献:

- [1] 戴金霞. 常州市康养旅游产品开发与产业发展对策研究[D]. 南京:南京师范大学,2017.
- [2] 刘拓,何铭涛. 发展森林康养产业是实行供给侧结构性改革的必然结果[J]. 林业经济,2017,39(2):39-42.
- [3] 何思笑,张建国. 浙江省森林康养品牌资源空间分布特征及其影响因素[J]. 浙江农林大学学报,2022,39(1):180-189.
- [4] 李娜,李凤君,冷文涛. 新疆森林康养产业发展的探索与实践[J]. 新疆林业,2023(4):4-8.
- [5] 刘爱军,郭金鹏,张文凤. 贵州省森林康养产业发展现状及对策建议[J]. 贵州林业科技,2022,50(4):53-56,84.
- [6] 贵州省康养产业商会. 贵州大生态背景下森林康养发展探索与实践[EB/OL]. (2023-06-20)[2025-03-18]. https://lyj.guizhou.gov.cn/gzlk/slky/202306/t20230620_80394374.html.
- [7] 姚建勇,张文凤. 贵州大生态背景下森林康养模式与路径探索[J]. 林业资源管理,2021(5):27-32.
- [8] 张乔艳,谭玮颐,冉洁,等. 贵州省森林康养产业现状及对策建议[J]. 绿色科技,2021,23(19):118-119,122.
- [9] 周云仙. 护理质性研究:理论与案例[M]. 杭州:浙江大学出版社,2017.
- [10] 何晨斯,胡玉安,文野,等. 中国森林康养产业现状与未来展望[J]. 南方林业科学,2024,52(4):57-64.
- [11] 于跃. 森林康养如何实现高质量发展[J]. 中国林业产业,2024(6):9-10.
- [12] 张帆. 乡村振兴背景下后发地区森林康养产业创新——基于黑龙江自身优势下的可持续发展路径探索[J]. 黑龙江粮食,2024(8):14-19.
- [13] 郭金鹏,张文凤. 贵州省森林康养人才培养创新与探索[J]. 贵州林业科技,2024(5):1-7.
- [14] 民政部. 关于实施康养职业技能培训计划的通知[EB/OL]. (2020-10-09)[2025-03-18]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-10/24/content_5553862.htm.
- [15] 张琴,王洋,姜欣彤. 贵州省雷公山国家森林公园森林康养产业发展对策研究[J]. 产业创新研究,2022(5):44-46.
- [16] 任慧琴. 海南省森林康养旅游开发路径研究[J]. 旅游与摄影,2024(6):95-97.
- [17] ZHANG Z, WANG P, GAO Y, et al. Current development status of forest therapy in China[J]. Healthcare (Basel), 2020,8(1):61.
- [18] 陈令君,张茂. 贵州省森林康养产业发展现状及发展路径思考[J]. 贵州林业科技,2020,48(4):57-61.
- [19] 李茹. 江苏省森林康养产业优化对策研究[J]. 林业科技情报, 2024, 56(1):109-111.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.028

我国人象冲突研究及展望

陶 庆¹, 郭孝宇², 杨昆凤¹, 王兰新³

(1. 云南西双版纳国家级自然保护区管护局, 云南 景洪 666100; 2. 云南西双版纳国家级自然保护区勐养管护所, 云南 景洪 666100; 3. 云南西双版纳国家级自然保护区研究所, 云南 景洪 666100)

摘要:人象冲突已是亚洲象分布区域常态,是人与野生动物矛盾冲突的典型例证,对当地群众的生命财产安全造成了严重威胁,极大地影响了群众保护亚洲象的意愿。从野外食物不足、人口快速增长、植被正向演替、取食习性变化、栖息环境、公众责任保险、监测预警等方面分析总结了前人的研究成果,认为亚洲象取食习性的变化是农作物损失的最主要原因。目前在缓解人象冲突方面存在着适宜栖息地面积减小、保险理赔不足、政策及法律法规制约、经费不足等诸多问题。为更好地解决人象冲突问题,建议深入开展基础研究、优化理赔机制、完善监测预警体系和建立亚洲象生态价值体系等方面工作。

关键词:人象冲突; 监测预警; 缓解途径; 保险理赔; 取食习性; 亚洲象

中图分类号: Q959.845 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2026)01-0196-05

引文格式: 陶庆, 郭孝宇, 杨昆凤, 等. 我国人象冲突研究及展望[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 196-200.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.028

TAO Qing, GUO Xiaoyu, YANG Kunfeng, et al. Research and Prospect of Human-Elephant Conflict in China[J]. Forest Inventory and Planning, 2026, 51(1): 196-200. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2026.01.028

Research and Prospect of Human-Elephant Conflict in China

TAO Qing¹, GUO Xiaoyu², YANG Kunfeng¹, WANG Lanxin³

(1. Administration of Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666100, China;
2. Mengyang Management Institution of Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666100, China;
3. Research Institute of Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666100, China)

Abstract: Human-elephant conflict has become an inevitable fact in the distribution areas of Asian elephants, and it is a typical example of the conflicts between humans and wildlife, which has caused great threats to the lives and property of local people and seriously affected their willingness to protect Asian elephants. This paper analyzed previous research results from the aspects of insufficient wild food resources, rapid population growth, positive vegetation succession, changes in feeding habits, habitat environment, liability insurance, and monitoring and warning, and concluded that changes in feeding habits were the main cause of crop losses. At present, challenges existed in mitigating human-elephant conflict, such as the reduction of suitable habitat areas, insufficient insurance compensation, constraints of policies and regulations, and lack of funds. To better address human-elephant conflict, this paper suggests to carry out in-depth basic research, optimize the compensation mechanism, improve the monitoring warning system, and establish an ecological value system for Asian elephants.

Key words: human-elephant conflict; monitoring and early warning; mitigation measures; insurance compensation; feeding habits; Asian elephant

收稿日期: 2024-11-08; 修回日期: 2024-11-29

第一作者: 陶庆(1976-), 男, 高级工程师. 主要从事保护区管理工作. Email: 409256765@qq.com

责任作者: 王兰新(1968-), 女, 正高级工程师. 主要从事自然保护区生物多样性调查与监测工作. Email: lxwang1968@163.com

亚洲象作为陆地上最大的动物,分布在南亚、东南亚的13个国家。人象冲突每年都会造成大量的损失。人象冲突不是单一方面的,是指人与象之间相互作用产生的负面影响,包括亚洲象给当地群众造成的粮食和经济作物的损失、财产损失、人员伤亡,以及人给象造成的各种伤害。严重的人象冲突,使亚洲象分布区域出现“产业难兴,有家难居,生活难富”的局面。从1949年开始,我国人象关系呈现出三个不同的阶段,分别是人象互不侵犯阶段(1949—1971年)、人进象退阶段(1972—1995年)、人象相持阶段(1996年至今)^[1],由此可见,我国的人象冲突主要是从20世纪70年代开始出现。如何有效缓解人象矛盾冲突,是相关部门及研究人员的一项重要工作。我国开展亚洲象研究早期的文献主要是以对历史记载资料的分析为主,如亚洲象在中国的历史分布、迁移以及消亡原因的分析^[2-7],并未开展对亚洲象的真正研究工作,报道亚洲象种群数量的仅有少量文献^[8-10]。李芝喜最早开展了亚洲象栖息地评价研究工作^[11]。

针对人象冲突及缓解对策的研究起步较晚,但普遍认为造成人象矛盾冲突的原因有很多,栖息地破碎化、野外的野生食物减少、对人的畏惧程度减弱、取食习性变化、人类活动范围不断扩大以及人类的驱赶、为获取象制品而产生的猎杀等是重要的原因。为了缓解人象矛盾冲突,也开展了相应的研究,如计划烧除、食源地建设、栖息地修复等一系列工作。本文旨在通过对所开展工作的梳理,探讨如何更有效地缓解日益严重的人象冲突,为今后更好地搞好这一工作提供依据。

1 人象冲突原因

1.1 野外食物不足

作为陆地上最大的植食性动物,每天需要大量的食物才能满足其日常所需,一头成年亚洲象一天的食物量可高达150 kg^[12],约70%的时间都在觅食^[13],而在食物不足的情况下,10~12 km²森林面积才能满足一头象的日常生活所需^[14]。有研究认为,野外食物不足是造成人象冲突最直接的原因之一^[14-16],当地群众也认为食物不足是亚洲象肇事的主要因素^[17]。刘鹏等将普洱市全境作为研究区域,采用野外调查结合遥感技术和地理信息系统的方式,用生态位因子分析(ENFA)模型对亚洲象栖息地适宜性进行分析,将亚洲象栖息地分为最适栖息地、较适栖息地、边际栖息地和非栖息地4个等级,各类面积分别为409.32、574.32、2 909.48、38 722.32 km²,最适栖息地仅占全市面积的0.96%,而非栖息地占90.86%,3种

类型的亚洲象栖息地不仅面积小,而且连通性差、破碎化程度高^[18]。林柳等采用上述相同的研究方法对西双版纳亚洲象的栖息地进行评价,得出的结论基本相同^[19]。受到野外食物的影响,雨季和旱季亚洲象的活动范围具有很大的差异^[20-21]。

1.2 人口快速增长

孙刚等对历史上亚洲象所能承受的人口压力阈值研究,认为20人/km²是最大阈值^[22]。陈明勇等的研究也佐证了这一结论^[23]。以西双版纳州为例,全州国土总面积为19 096 km²,人口数量2005年约为88万人,2011年为113万余人^[23],到了2023年,西双版纳全州常住人口数量为133.3万人(<https://www.xsbn.gov.cn>),平均人口密度为69.8人/km²,远超亚洲象所能承受的人口最大阈值。为了满足日益增长人口的生活所需以及当地的经济的发展,需要有更多的土地来种植粮食作物或经济作物,以及用于基础设施建设,使原来就已破碎化的栖息环境进一步破碎^[16]。另外,人类种植粮食作物或经济作物的区域又是亚洲象活动的主要区域,人、象活动区域高度重叠,人类的生产活动减少了野外食物的种类和数量^[24-25]。

1.3 森林植被的正向演替

亚洲象是一个大型的植食性动物,其食物完全来自于各种植物。虽然分布在不同区域的亚洲象对栖息地选择有一定的差异,但在自然状态下均喜欢在坡度小于20°、海拔1 000 m以下、郁闭度小于0.25的疏林、草地或竹阔混交林内活动^[11,19,26-29],海拔1 300 m以上的区域为随机选择^[27]。可以看出,高海拔区域以及郁闭高的森林并非是亚洲象喜欢的类型。云南是一个少数民族聚居的地方,刀耕火种、放火烧山这些传统的农耕方式在西双版纳、普洱、临沧等民族地区曾是主要的耕作方式,这些方式虽然原始,但是却人为制造了大量的林窗,促进了草本植物等林下植物的生长,一方面为当地群众提供了粮食,另一方面为群众放养的牛、羊等食草动物提供了大量的食物,同时也为野生食草动物提供了可靠的食物来源。因此,在一定范围内的刀耕火种和火烧对生态保护也具有一定的正向作用^[30-32]。随着我国生态保护力度的加强,固耕、禁火、禁伐等一系列措施的实施,亚洲象喜欢的草地、疏林地等逐渐演替为森林,导致了亚洲象栖息地的退化或消失,使食物量不断减少^[33-34]。另外,在生态保护过程中,人们更注重的是森林植被的保护,而忽略了亚洲象对栖息环境的需求,过密的森林往往会导致亚洲象食物的减少^[35]。最后导致亚洲象逐渐走出森林,进入人类生产生活区域^[14]。

1.4 取食习性变化

长期以来,亚洲象主要以取食野生植物为主,取

食种类较多,主要有禾本科、豆科、桑科等 100 多种植物^[36-37]。随着亚洲象走出森林进入人类生产生活区域,不断尝试取食当地群众大量种植的粮食作物和经济作物,这种小范围内即可获得的大量食物使其取食习性逐渐发生变化^[16,24,35,38]。为方便取食,部分亚洲象长期在农地或其周边区域活动。有数据显示,20 世纪 90 年代至今,西双版纳州因象造成的损失超过 2 亿元^[39];因为部分象群长期在村寨周边活动,当地群众多数认为亚洲象对其日常生活有影响,安全感降低^[40]。亚洲象不断尝试人类种植的粮食作物或经济作物,使其取食习性逐渐发生变化,是导致亚洲象愈加频繁地进入当地群众生产生活区域的一个重要原因。

2 缓解途径研究

如何有效缓解日益严重的人象冲突是促进人象和谐相处的关键,相关部门和研究人员为此开展了有关研究工作。为亚洲象在野外营造一个好的栖息环境、减少其外出机率是缓解人象冲突的重要举措。食物源建设在一定程度上对亚洲象起到了吸引作用,对缓解人象冲突具有一定作用^[41-42];计划烧除对亚洲象的栖息地具有一定改善作用^[43],可为亚洲象提供更多的食物^[44],明显增加了亚洲象的活动频次^[45]。因此,可以开展适当的计划烧除,利用火在生态系统的作用来改善亚洲象的栖息环境^[46]。文世荣等通过对景洪市人象冲突空间分析,认为发生人象冲突村寨多位于低海拔、缓坡、靠近小河流而远离大河流的区域^[47],因此,建立食物源基地时要尽可能地远离村寨,并需要有一定面积^[48]。

野生动物肇事补偿是事后弥补野生动物损失的一个重要手段^[49],针对肇事最为严重的亚洲象,西双版纳早在 20 世纪 90 年代就开展了野生动物肇事补偿工作^[50]。通过对当地群众亚洲象肇事赔偿意愿调查,约 70% 的农户愿意自发保护亚洲象;在不愿意自发保护亚洲象的农户中,又有约 91% 的农户在得到满意的补偿后会支持亚洲象保护^[51];前野生动物公众责任险给予补偿的群众满意度不高^[52-53]。

为解决亚洲象分布区域碎片化问题,确保其连通性,提出了建立亚洲象生态廊道的设想^[54-56]。郭贤明等针对不同斑块迁徙廊道的设计进行了分析^[57],对是否能有效推进廊道建设,认为当地群众的认知态度是一个关键因素^[58]。

为了让群众提前预知亚洲象活动地点,减少人象相遇事件的发生,尝试开展了利用无线红外相机技术

建立预警系统。该系统的有效预警率达 83.6%,得到了项目区绝大部分群众的认可^[59],在缓解人象冲突、减少地面监测人员的工作强度方面具有很大的优势^[60]。

3 问题与展望

3.1 保护中存在的问题

亚洲象保护不单是某一个部门的职责,而是全社会共同的责任。缓解人象冲突是促进人象和谐的关键。让亚洲象重新回到自然保护区或国有林是最理想的状态,实现这一目标就需要在保护区或国有林纵深区域内有足够的食物、充足的水源和良好的隐蔽场所。但是,随着国家对保护区管理的重视程度不断提高,保护区内的森林覆盖率不断上升,适宜亚洲象生存的草地和灌木林却在不断减少。以西双版纳国家级自然保护区为例,与 1983 年相比,1998 年的森林覆盖率为 93.3%,增加了 5.5%,而草地面积则减少了 8.3%,仅占保护区总面积的 2.4%^[61]。小面积的草地难以满足亚洲象长期留在保护区的生存需要,因此要进行必要的人为干预,恢复亚洲象原有的栖息地状况^[62]。但要开展人为干预工作,就需要法律法规及政策方面的支持^[25]。尽管我国新修订的《中华人民共和国森林法》已明确在保护区内对主要保护对象的生存环境保护不受禁止采伐限制,但在实际执行过程中,有关部门审批时仍然十分谨慎,实施起来仍具有一定的难度^[63]。

目前,有关部门已经购买了野生动物公众责任险,以保险的形式对野生动物造成的损失进行理赔。但由于理赔额度与市场价有较大的差距,大部分群众对理赔结果不满意^[52-53],相应增加了对政府的不满情绪^[1]。保险公司理赔的仅是可以看见的直接损失,由于象的活动导致群众难以开展生产活动、土地撂荒、错过农时、亚洲象长期踩踏造成土地板结增加复耕复垦费用等无形的间接损失却不在理赔范围,加剧了群众的不满感,而不再支持亚洲象保护^[64]。因此,需要进一步优化完善野生动物公众责任保险机制,增加群众对亚洲象肇事的容忍度,提高满意感^[53]。资金投入不足仍然是解决人象冲突的一个很大制约因素,亚洲象监测预警、食源地建设、栖息地修复、肇事补偿等都需要大量的资金支持才能持续开展,而在实际工作中,仍然缺乏稳定的资金来源。

3.2 展望

2021 年,亚洲象北上南归事件引起了全世界对我国亚洲象保护的关注,我国也在推动亚洲象保护的各项工作。针对我国缺乏亚洲象保护相关标准的

实际,云南省先后组织有关单位制定了包括亚洲象救助、食源地建设、亚洲象动态监测等8项地方标准,这些标准已全部正式发布并实施,为今后开展亚洲象研究、缓解人象冲突提供了依据。新修订的《中华人民共和国森林法》第五十五条第三款明确规定了在“维护主要保护对象生存环境”的前提下不受保护区林木禁止采伐的限制,为今后在保护区内开展亚洲象栖息地修复工作提供了法律依据。亚洲象国家公园作为我国2022年公布的49个国家公园候选区之一,目前云南省正在开展公园试点建设工作,范围包括了西双版纳、普洱和临沧3个州(市)的8个县(市、区),总面积为6202.96 km²,70%以上的亚洲象种群在国家公园分布区内^[63]。亚洲象国家公园的建立,将对亚洲象保护起到积极的促进作用。

3.3 建议

为加强亚洲象保护,加快人象和谐相处步伐,需要重点加强以下几个方面的工作。

1) 依托亚洲象研究中心、云南省亚洲象专家委员会、国家林草局亚洲象专家委员会,结合亚洲象国家公园试点建设工作,积极整合各方资源,持续深入开展人象冲突更深层次的研究,提示人象冲突机理。积极探索外溢象群回归保护区或国有林的办法,使亚洲象能够长时间留在森林中,实现人象分离,最终解决人象冲突问题。

2) 优化保险理赔机制,使直接损失的赔付率与市场价值基本持平。同时,积极探索间接损失的理赔措施,使群众不因保护亚洲象而遭受损失,而是在保护亚洲象的过程中受益,从而激发群众的保护热情,实现从被动保护到主动保护的转变。

3) 建立完善的监测预警体系。人员伤亡事件的发生存在很大的突发性,监测预警可在很大程度上解决这一问题。由于亚洲象的活动范围广,且还在不断地尝试拓展新的活动区域,加大了监测工作的难度。监测预警不仅仅是向群众发出预警,而是需要将监测、预警、应急、处置等各项工作有机结合,形成一个完整的体系。因此,需要多部门联动,才能实现“管得了人、管得住象”的监测预警目的。

4) 探索建立亚洲象生态价值评价体系。目前人们重点关注的是人象冲突问题,主要关注亚洲象给当地群众造成的损失,而忽视了亚洲象的生态价值。除西双版纳野象谷景区给周边群众提供了餐饮、住宿等就业渠道外,其他地区群众基本没有因象而受益。因此,可以充分利用亚洲象的知名度和生态价值,把亚洲象打造成亚洲象分布区的一张亮丽名片,让更多的人人在保护亚洲象过程中受益。

参考文献:

- [1] 胡宇轩,杜宇晨,陈俊峰,等. 我国人象冲突演变历程的回顾与展望[J]. 野生动物学报,2022,43(3):830-835.
- [2] 曾坚白. 论几种典型热带动物在南方灭绝的时期[J]. 广东师院学报(自然科学版),1974(1):92-96.
- [3] 文焕然,何业恒,江应樑,等. 历史时期中国野象的初步研究[J]. 思想战线,1979(6):43-57.
- [4] 何兆雄. 中国野象南移与森林破坏[J]. 生态学杂志,1984(5):51-58.
- [5] 翟祥乾. 华北平原野象的南迁[J]. 地球,1988(1):15.
- [6] 文焕然. 再探历史时期的中国野象分布[J]. 思想战线,1990(5):86-91.
- [7] 张梅坤. 我国亚洲象的盛衰及原因—兼论历史气候和生态的变迁[J]. 东南文化,1992(6):68-75,67.
- [8] 杨宇明,王耿民,张枝生,等. 南滚河保护区的野象群[J]. 云南林业调查规划,1982(2):38-39.
- [9] 杨岚. 云南野象[J]. 云南林业,1983(1):29.
- [10] 吕培炎,王建浩. 我国的野象群[J]. 野生动物,1983(4):27-29.
- [11] 李芝喜,李红春,陆锋. 亚洲象生境评价[J]. 环境遥感,1996,11(2):108-115.
- [12] 陈明勇,吴兆录,董永华,等. 中国亚洲象研究[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [13] 国艳莉,张立,董永华. 西双版纳野生亚洲象的觅食行为[J]. 兽类学报,2006,26(1):54-58.
- [14] 许再富. 亚洲象与竹/蕉分布隔离的生态效果及其保护对策探讨[J]. 生态学杂志,2004,23(4):131-134.
- [15] 蔡静,蒋志刚. 人与大型兽类的冲突野生动物保护所面临的新挑战[J]. 兽类学报,2006,26(2):183-190.
- [16] 靳莉. 中国亚洲象肇事原因和对策分析[J]. 野生动物杂志,2008,29(4):220-223.
- [17] 何警成. 西双版纳社区居民对亚洲象肇事与保护的认知研究[D]. 昆明:云南大学,2010.
- [18] 刘鹏,代娟,曹大藩,等. 普洱市亚洲象栖息地适宜度评价[J]. 生态学报,2016,36(13):4163-4170.
- [19] 林柳,金延飞,杨鸿培,等. 西双版纳亚洲象的栖息地评价[J]. 兽类学报,2015,35(1):1-13.
- [20] 张立,王宁,王宇宁,等. 云南思茅亚洲象对栖息地的选择与利用[J]. 兽类学报,2003,23(3):185-192.
- [21] 张龙田. 尚勇保护区亚洲象种群数量动态、种群结构、季节分布格局的研究[D]. 北京:北京师范大学,2008.
- [22] 孙刚,许青,金昆,等. 野象在中国的历史性消退及与人口压力关系的初步研究[J]. 东北林业大学学报,1998,26(4):47-50.
- [23] 陈明勇,洪国政,李正玲,等. 中国人象冲突研究[M]. 昆明:云南科技出版社,2013:132-133.
- [24] 何警成,吴兆录. 我国野生动物肇事的现状及其管理研究进展[J]. 四川动物,2010,29(1):141-143.
- [25] 王兰新,郭贤明. 野生亚洲象栖息地管理的思考[J].

- 四川环境,2016,35(4):113-117.
- [26] 冯利民,张立. 云南西双版纳尚勇保护区亚洲象对栖息地的选择[J]. 兽类学报,2005,25(3):229-236.
- [27] 冯利民. 中国亚洲象(*Elephas maximus*)的现状:分布、数量和栖息地利用[D]. 北京:北京师范大学,2005.
- [28] 杨正斌,陈明勇,董永华,等. 西双版纳国家级自然保护区勐养子保护区亚洲象生境现状分析[J]. 林业调查规划,2006,31(3):49-51.
- [29] 冯利民,王志胜,林柳,等. 云南南滚河国家级自然保护区亚洲象种群旱季生境选择及保护策略[J]. 兽类学报,2010,30(1):1-10.
- [30] 高力士. 西双版纳山区民族历史上传统生态保护[J]. 云南民族学院学报(哲学社会科学版),1999,16(1):53-57.
- [31] 王利繁,王兰新. 利用计划烧除对野生动物栖息地进行管理的探讨[J]. 山东林业科技,2015(1):50-52,17.
- [32] 魏志锦,刘晓东,李伟克,等. 计划烧除对野生动物栖息地影响的研究综述[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版),2015,46(3):331-336.
- [33] 杨清,韩蕾,陈进,等. 西双版纳热带雨林的价值、保护现状及其对策[J]. 广西农业生物科学,2006,25(4):341-348.
- [34] 刘林云,杨士剑,陈明勇,等. 西双版纳野生动物对农作物的危害及防范措施[J]. 林业调查规划,2006,31(s1):33-34.
- [35] 陈明勇,杨士剑,刘林云,等. 中国亚洲象与人类关系[J]. 林业调查规划,2006,31(4):114-117.
- [36] 陈进,邓晓宝,张玲,等. 西双版纳尚勇亚洲象食物组成与取食生态[J]. 生态学报,2006,26(2):309-316.
- [37] 姜志诚,李正玲,保明伟,等. 中国亚洲象取食植物种类统计与分析[J]. 兽类学报,2019,39(5):514-530.
- [38] 郭贤明. 西双版纳人象冲突安全及缓解对策研究[D]. 昆明:西南林学院,2009.
- [39] 刀慧娟,谭文斌. 新时代生态文明背景下野生动物生态补偿机制研究:以西双版纳傣族自治州亚洲象肇事补偿为例[J]. 北方民族大学学报(哲学社会科学版),2021(3):151-156.
- [40] 刘思芮,李娅,余磊,等. 生命共同体视角下人与亚洲象和谐共生路径研究[J]. 野生动物学报,2024,45(1):127-137.
- [41] 郭贤明,何馨成,王兰新,等. 西双版纳亚洲象食物源基地对缓解人象冲突的效应[J]. 生态学杂志,2012,31(12):3133-3137.
- [42] 李中员. 亚洲象食物源基地建设对缓解人象冲突的作用[J]. 林业调查规划,2012,37(5):81-84.
- [43] 杨昆凤,郭贤明,王兰新. 计划烧除对西双版纳地区野生动植物栖息地影响[J]. 安徽农业科学,2019,47(7):104-106.
- [44] 王利繁,王兰新. 利用计划烧除对野生动物栖息地管理的探讨[J]. 山东林业科技,2015(1):50-52,17.
- [45] 杨鸿培,宋军平,王巧燕. 西双版纳保护区计划烧除林下可燃物对大型食草哺乳动物群落结构及动态的影响[J]. 林业调查规划,2013,38(1):9-13.
- [46] 郭贤明,汤忠明,陶庆,等. 利用林火对西双版纳国家级自然保护区生态系统进行有效管理的探讨[J]. 林业调查规划,2011,36(3):61-64.
- [47] 文世荣,周建国,李金荣,等. 西双版纳景洪市人象冲突空间分布特点分析[J]. 环境科学导刊,2018,37(3):1-5.
- [48] 郭贤明,王兰新. 西双版纳亚洲象食物源基地建设的思考[J]. 林业建设,2019(6):30-33.
- [49] 刘欣. 基于亚洲象保护的我国野生动物损害赔偿机制研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2013.
- [50] 蔡炳城,李青文,郭立新,等. 野生动物肇事损失补偿调查[J]. 野生动物,2011,32(4):228-232.
- [51] 刘欣,马建章. 中国亚洲象损害地区农户受偿意愿调查[J]. 东北林业大学学报,2011,39(11):114-116.
- [52] 黄程,于秋鹏,李学友,等. 影响公众对亚洲象态度的关键因子[J]. 林业建设,2019(6):45-48.
- [53] 余磊,刘思芮,李娅,等. 亚洲象肇事受损农户补偿满意度及影响因素研究[J]. 野生动物学报,2024,45(2):378-386.
- [54] 林柳,冯利民,赵建伟,等. 在西双版纳国家级自然保护区用 3S 技术规划亚洲象生态走廊带初探[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2006,42(4):405-409.
- [55] 陈明勇. 中国亚洲象保护廊道研究[M]. 昆明:云南科学技术出版社,2010.
- [56] 李学友,于秋鹏,胡哲畅,等. 中国亚洲象生态廊道建设构想及相关保护建议[J]. 中国科学院院刊,2023,38(12):1845-1855.
- [57] 郭贤明,王兰新,杨正斌,等. 大型野生动物迁徙廊道设计案例分析:以勐腊—勐养保护区间廊道设计为例[J]. 山东林业科技,2015,45(1):1-7.
- [58] 李正玲. 西双版纳亚洲象保护廊道建设与社区发展关系研究[D]. 昆明:云南大学,2009.
- [59] 袁盛东,邓云,罗爱东,等. 尝试利用无线红外相机技术缓解人象冲突[J]. 林业建设,2019(6):61-66.
- [60] 王曼,刘铭宇,王仕华,等. 人工智能技术在西双版纳野生亚洲象监测预警中的首次应用[J]. 野生动物学报,2023,44(3):477-485.
- [61] 西双版纳国家级自然保护区管理局,云南省林业调查规划院. 西双版纳国家级自然保护区[M]. 昆明:云南教育出版社,2006.
- [62] 郭贤明,王兰新,彭勇. 我国亚洲象保护管理工作的思考[J]. 林业世界,2016,5(4):37-43.
- [63] 杨子诚,王丹彤,罗伟雄,等. 亚洲象国家公园人象冲突缓解措施研究[J]. 自然保护地,2024(4):11-19.
- [64] 孙国政,张光元,杨子诚,等. 人象冲突缓解工程研究进展与方向[J]. 林业建设,2019(6):1-5.

责任编辑:刘平书

《林业调查规划》投稿指南

《林业调查规划》是由云南省林业和草原局主管，云南省林业调查规划院主办的国内外公开发行的林业科技类专业学术期刊，被多家期刊数据库全文收录，为中国科技核心期刊、中国林业核心期刊，中国应用型核心期刊。荣获首届《CAJ-CD规范》执行优秀期刊奖，连续两届荣获“云南省优秀期刊奖”，2024年荣获“西牛计划”之优秀中文科技期刊奖。本刊报道林草行业相关理论和应用研究成果，设置有森林经理（含资源监测、管理等）、森林培育、生态保护修复、林草碳汇、自然保护区、生态系统（含森林、草原、湿地、景观）、动植物（含古树名木）、森林土壤、林草灾害（含林火、病虫害、外来物种）、林草产业、智慧林草（信息化）、生态旅游与森林康养、园林绿化等栏目。接收并刊发反映现代林草领域发展方向的优秀论文。

1 来稿要求

1.1 文章内容与字数：要求文稿真实、准确地反映当前林草领域科研新成果，内容具有先进性、科学性、实用性。来稿字数以5 000~15 000字为宜（含图表）。如为基金项目，请注明项目名称和编号。

1.2 文题：文题要言简意赅，以不超过20字为宜。

1.3 署名：第一作者应是稿件的执笔人和修改人，作者之间用逗号“，”隔开。

1.4 单位：要写全称，并注明所在省（区）、市（县）和邮编。

1.5 摘要和关键词：摘要内容应完整准确概括论文的实质性内容，包括研究目的、方法、结果和结论等要素，并具有独立性和自明性，不加注释和评论，字数控制在300字以内。关键词应选择紧扣文章主题、反映文章内容的单词、词组或术语3~8个，中间用分号“；”隔开。

1.6 正文：正文中的各层次标题用阿拉伯数字连续编写，如1；1.1；1.1.1；2；2.1……，顶格书写，层次划分不超过3级。

1.7 图和表：应有自明性，切忌与文字表述重复。插图要求用计算机绘制，图序和图题应标在图的下方；表格采用三线表设计，表中参数应标明量和单位符号。

1.8 量、单位和符号：请使用法定计量单位，量名称及符号、单位、数字等应符合国家标准，书写要规范，外文字母和符号必须注明大小写、正斜体及上下角标。例如：长度单位：km、m、cm、mm；面积单位：hm²、m²、dm²、cm²；体积单位：m³、L、mL；质量单位：t、kg、g、mg；时间单位：a、d、h、min、s。

1.9 数字的写法：凡是可以使用阿拉伯数字且

很得体的地方，均应使用阿拉伯数字；公历世纪、年代、年、月、日均用阿拉伯数字。

1.10 参考文献：只列出作者直接阅读过并已公开发表的主要文献，未发表的著作、论文集、内部资料不列入参考文献范围。采用顺序编码制，即按文中出现的顺序连续编号，并用阿拉伯数字加方括号标于文中适当位置的右上角，并与文末参考文献序号对应一致。著录格式如下：①期刊：[序号]作者（3人以上须满足3人后加逗号和“等”）。篇名[J].刊名，年，卷（期）：起止页码。②图书：[序号]作者.书名[M].出版地：出版单位，出版年：起止页码。③论文集：[序号]作者.论文集名[C].出版地：出版单位，出版年：起止页码。④电子文献：[序号]主要责任者.电子文献题名[电子文献及载体类型标识].发表日期/引用日期（任选）。电子文献的出处或可获得地址。参考文献类型代码分别为：普通图书[M]、会议录[C]、汇编[G]、报纸[N]、期刊[J]、学位论文[D]、报告[R]、标准[S]、专利[P]、数据库[DB]、计算机程序[CP]、电子公告[EB]、联机网络[OL]。对于专著、论文集中析出的文献，其文献类型标识采用“[C]//”，对于图书中析出的文献采用“[M]//”，对于其他未说明文献类型的标识采用[Z]。每一参考文献条目的最后均以“.”结束。

2 投稿与稿件处理

1) 投稿前，请认真阅读本投稿指南中的各项说明。投稿网址为<http://journal.yunnanforestry.cn/ch/index.aspx>；联系电话：0871-63318347。

2) 本刊实行严格的审稿制度，稿件送相关专家审阅，并由编委会讨论定稿。来稿请勿一稿多投。编辑部收稿后将在15个工作日内通知作者审稿结果。

3) 来稿一经刊用，根据论文所占版面情况收取论文发表费，并付给作者稿酬。来稿所在当期期刊出版后，本刊将寄赠作者1册期刊。对具创新性、高质量稿件，优先安排发表，并根据创新性水平减（免）发表费，稿酬从优。

4) 论文的文责由作者自负，署名作者的人数和顺序由作者自定。

5) 作者为论文第一保密责任人，负有自审的责任，确保论文内容符合相关保密规定与法律法规，不涉及任何国家秘密、工作秘密、商业秘密及敏感信息，保障信息安全与合规性，无任何亵渎和诽谤性内容。论文投稿时，作者需签署《版权转让及保密承诺书》。

6) 本刊编辑部保留对来稿进行必要的文字修改、删节的权利，如作者不允许修改，请在来稿中注明。

- 中国科技论文统计源期刊（中国科技核心期刊）
- 《中文核心期刊要目总览》来源期刊
- 《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊
- 《中国知网》《中国学术期刊（光盘版）》全文收录
- 《中文科技期刊数据库》全文收录
- 《超星期刊数据库》全文收录
- 《中国林业文摘》收录
- 2009 年评为云南省优秀期刊
- 2012 年评为云南省优秀期刊
- 2022 年评为“西牛计划”之优秀中文科技期刊
- 2023 年评为云南省优秀科技期刊
- 2024 年评为中国应用型核心期刊

林 业 调 查 规 划
LINYE DIAOCHA GUIHUA

（双月刊，1976年创刊）
2026 年 1 月 第 51 卷 第 1 期

Forest Inventory and Planning

（Bimonthly, Started in 1976）
Vol.51 No. 1 Jan. 2026

| | | | |
|-------|-------------------------|-----------------------|---|
| 主管单位 | 云南省林业和草原局 | Administrated by | Yunnan Forestry and Grassland Administration |
| 主办单位 | 云南省林业调查规划院 | Sponsored by | Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning |
| 主 编 | 胡宗华 | Editor in Chief | HU Zonghua |
| 编辑出版 | 《林业调查规划》编辑部 | Edited & Published by | Editorial Department of Forest Inventory and Planning |
| 地 址 | 昆明市人民东路289号 | Address | No. 289 East Renmin Road, Kunming, China |
| 邮 编 | 650051 | Post Code | 650051 |
| 电 话 | 0871-63318347, 63332538 | Telephone | 0871- 63318347, 63332538 |
| Email | ynfip@vip.163.com | Email | ynfip@vip.163.com |
| 印 装 | 昆明德鲁帕数码图文有限公司 | Printed by | Kunming Drupa Digital Graphics Co., Ltd. |
| 订 购 | 全国各地邮政局 | Distributed by | All Local Post Offices in China |

刊号: ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

国内定价: 20.00 元（全年 120.00 元）

广告经营许可证号: 5300004000093
邮发代号: 64-100

