

中国科技核心期刊
中国林业核心期刊

ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

林业调查规划

FOREST INVENTORY AND PLANNING



第48卷 第4期
Vol.48 No.4

2023 4

云南省林业调查规划院 主办
西南地区林业信息中心

林业调查规划

第48卷 第4期
Vol.48 No.4

二〇二三年七月

林业调查规划

LINYE DIAOCHA GUIHUA

Forest Inventory and Planning

(双月刊 1976年创刊)

(Bimonthly, Started in 1976)

第48卷 第4期 (总第256期) 2023年7月

Vol. 48 No. 4 (Sum No. 256) July 2023

主办单位 云南省林业调查规划院
西南地区林业信息中心

Sponsored by: Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning,
Southwest Forestry Information Centre

《林业调查规划》编辑委员会

Editorial Board of Forest Inventory and Planning

主任委员 胡宗华

Director of the Board: HU Zonghua

副主任委员 温庆忠

Associate Director of the Board: WEN Qingzhong

委员 (按姓氏笔画排序)

Members:

王卫斌 王生 邓喜庆 孔德昌 龙廷位

WANG Weibin, WANG Sheng, DENG Xiqing, KONG Dechang,

艾建林 刘扬 许易琦 华朝朗 陈文红

LONG Tingwei, AI Jianlin, LIU Yang, XU Yiqi, HUA Chaolang,

张子翼 宋永俊 邹光启 杨光照 宋劲忻

CHEN Wenhong, ZHANG Ziyi, SONG Yongjun, ZOU Guangqi,

余昌元 张程程 吴霞 周小平 欧光龙

YANG Guangzhao, SONG Jinxin, YU Changyuan, ZHANG Chengcheng,

岳彩荣 金瑛 施化云 钟明川 胡宗华

WU Xia, ZHOU Xiaoping, OU Guanglong, YUE Cairong,

秋新选 陶晶 曹顺伟 温庆忠 董建昌

JIN Ying, SHI Huayun, ZHONG Mingchuan, HU Zonghua,

赖兴会 瞿林

QIU Xinxuan, TAO Jing, CAO Shunwei, WEN Qingzhong,
DONG Jianchang, LAI Xinghui, QU Lin

《林业调查规划》编辑部

Editorial Department of Forest Inventory and Planning

主编 胡宗华

Chief Editor: HU Zonghua

副主编 许易琦

Associate Editor: XU Yiqi

编辑部成员 刘平书 许易琦 陈旭

Editor: LIU Pingshu, XU Yiqi, CHEN Xu,

杨峻熔 张瑞君

YANG Junrong, ZHANG Ruijun

英文责编 杨峻熔

English Editor in Charge: YANG Junrong

编辑出版 《林业调查规划》编辑部

Edited & Published by:

地址 昆明市人民东路289号

Editorial Department of Forest Inventory and Planning

云南省林业调查规划院

Address: 289 East Renmin Road, Kunming, China

邮编 650051

Post Code: 650051

电话 0871-63318347; 63332538

Tel: 86-0871-63318347; 63332538

传真 0871-63318347

Fax: 86-0871-63318347

电子信箱 ynfip@vip.163.com

Email: ynfip@vip.163.com

http://www.yunnanforestry.cn; 8099/ch/index.aspx

http://www.yunnanforestry.cn; 8099/ch/index.aspx

印刷 昆明锦润印刷有限公司

Printed by: Kunming Jinrun Printing Co., Ltd.

国内发行 中国邮政集团公司云南省分公司

Distributed by: Yunnan Branch of China Post Group Co., Ltd.

订购 全国各地邮政局

Subscription Office: Post Bureau of China

中国标准连续出版物号 ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

广告经营许可证号 5300004000093

Ad. Licence: 5300004000093

国内定价 20.00元(全年120.00元)

Price(abroad): 5.00 dollars(30.00 dollars yearly)

林业调查规划

第 48 卷 第 4 期

(总第 256 期)

2023 年 7 月

目 次

●森林经理

- 基于混合像元分解的庐山及周边林地遥感图像分析 李大瑞,孙致源,贾刚(1)
- 基于 GIS 的黄杉生长适宜性评价研究 李继品,岳彩荣,孟翠萍,鲜明睿,程文龙,刘燕婕,刘晓波(13)
- 基于高分辨率航空遥感影像的林分因子智能识别技术研究 李琦,辛亮,孟陈(24)
- 基于 GIS 和生态敏感性分析的城乡公园地块规划研究 许维磊(28)

●研究与探索

- 基于 R 软件包(Polysat)的巴山木竹多倍体植物微卫星数据处理 余 鸽,龙凤来,张莹,刘建军(33)
- 广西石漠化地区环境因子对土壤肥力的影响研究 邓利,彭小裕,黎良财(39)
- 大清河流域径流变化趋势分析 申彦科,陈海梅,谭杰(44)

●自然保护地

- 澳大利亚国家公园步道建设及启示 唐超,蒋爱伍(50)
- 卧龙自然保护区珙桐林下资源调查初报 叶平,谭迎春,马联平,张清宇,刘明冲(57)
- 怒江州自然保护地现状与保护空缺分析 崔茂欢,梁建忠,杨国斌(64)
- “一带一路”建设下西双版纳保护区跨境合作保护研究 杨南,王斌,文芒才,王利繁(69)

●动植物

- 利用红外相机调查五道峡自然保护区鸟兽资源及节律特征
..... 李怀祥,李亭亭,邓正斌,陈荣友,祝文龙,任帅,汪正祥(73)
- 基于红外相机技术的雷公山国家级自然保护区鸟类调查研究
..... 吴必锋,古定豪,余德会,李萍,唐秀俊,王泽文(81)
- 太原市居住区绿地植物多样性特征及其与社会经济因素相关性研究
..... 刘亦涵,武小钢,杨秀云,陈小平,王春玲,王蓉(86)

●林草灾害

- 基于层次分析法的北京动物园动物运动场地被植物综合评价 崔雅芳,崔滢心,李艳辉,张恩权(94)
- 善洲林场林分特征与火灾防控研究 左军宏,王金波,王加庆,王劲,张文文,王秋华(100)
- 内蒙古大兴安岭林火与气象因子关系研究 李婧,白斯古楞,虎日乐,李贺新,郭景怡,安慧君(105)
- 保山精品咖啡产区小粒种咖啡病虫害种类调查及防治对策
..... 付兴飞,胡发广,程金焕,黄家雄,李亚麒,李亚男,娄子强,吕玉兰,王健敏,邵杰,李贵平(110)

●林草碳汇

- 北京环球影城地区景观廊道低碳建设途径研究 陶远瑞,姚楚怡(115)
市场化与绿色金融对我国碳中和目标的影响研究 张凯彦,李世刚(120)
草类—兴安落叶松渐伐林固碳研究 郭景怡,岳永杰,邵建勋,李婧(124)

●资源管理

- 云南省森林资源监测及预警系统的构建研究 洪焰泉(131)
柳州市市辖区古树名木资源特征分析 唐琳,郭松(137)
广东理工学院鼎湖校区园林植物资源调查与评价 张铭亦,黄秋燕(146)
新平县古树群特征及地理分布分析 李梦婷,李永宁,赵文军,王娟(153)

●林草产业

- 云南省核桃产业大数据中心构建探究 向艳平,叶树祥(161)
遵义市花椒产业发展现状及对策 陈春旭,潘浪,祝晓云,周宇,张开艳(166)
基于SWOT分析的陕南康养产业发展对策研究 迟超楠,卓娜,杨玉淇,赵耀鹏,陈绪教(171)

●森林培育

- 模拟酸雨对广西4个树种苗木叶绿素含量的影响 周顺福,李春叶(177)
不同种源高山栲苗期生长及生理分析 王顺利,张春华,戚建华,毛晓佩,孙永玉(182)
不同授粉方式对岑溪软枝油茶家系林座果率的影响研究
..... 刘德承,姚国琼,彭雪迪,吴国文,王劲松,李付仲,吴方圆,黄志强(188)

●生态系统

- 香格里拉普朗尾矿区工程边坡植被恢复调查研究 邹国富,黄云朝,杨继清,朱辉,雍伟勋(191)
香格里拉市泥炭沼泽生态系统服务功能价值评估 刘茜,沙剑斌,吴婧,秦燕,蒋丽华(197)
高原湖泊型湿地生态系统服务价值评估研究
..... 付元祥,马国强,王亚萍,李秋洁,魏雯,王德芬,余刚(202)
昭通市退化草地修复技术研究 邓军(207)
对生态学的再认识 王磊(213)

●园林

- 文化主题性公园造园特色及策略研究 梁文玉(216)
对后疫情时代园林设计的再思考 聂雅心,张旭光,张书文(220)
桃金娘科引鸟植物在华南地区园林绿地的生态景观营造研究 何卓彦,丘燕芬,罗连,林石狮(226)
玉龙雪山下的听涛湖 张正友摄(封面)
云南峡谷地貌——虎跳峡 余昌元摄(封底)

Contents

●Forest Management

- Remote Sensing Image Analysis of Forest Land in Lushan Mountain and Its Surrounding Area Based on Mixed Pixel Decomposition
..... LI Darui, SUN Zhiyuan, JIA Gang(1)
- Evaluation of Growth Suitability of *Pseudotsuga sinensis* Based on GIS
..... LI Jipin, YUE Cairong, MENG Cuiping, XIAN Mingrui, CHENG Wenlong, LIU Yanjie, LIU Xiaobo(13)
- Intelligent Recognition Technology of Forest Stand Factors Based on High-resolution Aerial Remote Sensing Images
..... LI Qi, XIN Liang, MENG Chen(24)
- Urban and Rural Park Plot Planning Based on GIS and Ecological Sensitivity Analysis XU WeiLei(28)

●Research and Exploration

- Micro-satellite Data Processing of Polyploid Plant *Bashania fargesii* Based on R Software Package (Polysat)
..... YU Ge, LONG Fenglai, ZHANG Ying, LIU Jianjun (33)
- Effects of Environmental Factors on Soil Fertility in Rocky Desertification Area of Guangxi
..... DENG Li, PENG Xiaoyu, LI Liangcai(39)
- Trend of Runoff Changes in Daqing River Basin SHEN Yanke, CHEN Haimei, TAN Jie(44)

●Natural Protected Area

- Construction and Enlightenment of Trails in Australian National Parks TANG Chao, JIANG Aiwu(50)
- Preliminary Investigation of *Davidia involucrata* Forest Resources in Wolong Nature Reserve
..... YE Ping, TAN Yingchun, MA Lianping, ZHANG Qingyu, LIU Mingchong(57)
- Status and Protection Vacancy Analysis of Natural Protected Areas in Nujiang Prefecture
..... CUI Maohuan, LIANG Jianzhong, YANG Guobin(64)
- Cross-border Cooperative Protection of Xishuangbanna Nature Reserve under the Belt and Road Construction
..... YANG Nan, WANG Bin, WEN Mangcai, WANG Lifan(69)

●Plant and Animal

- Investigating Bird and Animal Resources and Rhythm Characteristics in Wudaoxia Nature Reserve with Infrared Cameras
... LI Huaixiang, LI Tingting, DENG Zhengbin, CHEN Rongyou, ZHU Wenlong, REN Shuai, WANG Zhengxiang(73)
- Bird Survey in Leigongshan National Nature Reserve Based on Infrared Camera Technology
..... WU Bifeng, GU Dinghao, YU Dehui, LI Ping, TANG Xiujun, WANG Zewen(81)
- Characteristics of Plant Diversity and Its Co-relationship with Socioeconomic Factors in Residential Areas of Taiyuan City
..... LIU Yihan, WU Xiaogang, YANG Xiuyun, CHEN Xiaoping, WANG Chunling, WANG Rong(86)

●Forest and Grassland Disaster

- Comprehensive Evaluation of Ground Cover Plants in Animal Enclosure of Beijing Zoo Based on Analytic Hierarchy Process
..... CUI Yafang, CUI Yingxin, LI Yanhui, ZHANG Enquan(94)
- Characteristics and Prevention and Control Countermeasures of Forest Fire in Shanzhou Forest Farm
..... ZUO Junhong, WANG Jinbo, WANG Jiaqing, WANG Jin, ZHANG Wenwen, WANG Qihua(100)
- Relationship between Forest Fire and Meteorological Factors in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia
..... LI Jing, BAI Siguleng, HU Rile, LI Hexin, GUO Jingyi, AN Huijun(105)
- Investigation and Control Measures of *Coffea arabica* Diseases and Insect Pests in Baoshan Specialty Coffee Producing Area
..... FU Xingfei, HU Faguang, CHENG Jinhuan, HUANG Jiaxiong, LI Yaqi, LI Yanan, LOU Yuqiang, LYU Yulan,
WANG Jianmin, TAI Jie, LI Guiping(110)

●Forest and Grassland Carbon Sink

- Low Carbon Construction of Landscape Corridor in Universal Studios Beijing TAO Yuanrui, YAO Chuyi(115)
Impact of Marketization and Green Finance on China's Carbon Neutrality Goals ZHANG Kaiyan, LI Shigang(120)
Carbon Sequestration of Grass-*Larix gmelinii* Successive Cutting Forest
..... GUO Jingyi, YUE Yongjie, SHAO Jianxun, LI Jing(124)

●Resource Management

- Construction of Forest Resource Monitoring and Early Warning System in Yunnan Province HONG Yanquan(131)
Characteristic Analysis of Ancient and Famous Trees Resource in Liuzhou Municipal Districts
..... TANG Lin, GUO Song(137)
Investigation and Evaluation on Landscape Plant Resources in Dinghu Campus of Guangdong Technology College
..... ZHANG Mingyi, HUANG Qiuyan(146)
Characteristics and Geographical Distribution of Ancient Tree Groups in Xiping County
..... LI Mengting, LI Yongning, ZHAO Wenjun, WANG Juan(153)

●Forest and Grassland Industry

- Construction of Walnut Industry Big Data Center in Yunnan XIANG Yanping, YE Shuxiang(161)
Development Situation and Countermeasures of *Zanthoxylum bungeanum* Industry in Zunyi City
..... CHEN Chunxu, PAN Lang, ZHU Xiaoyun, ZHOU Yu, ZHANG Kaiyan(166)
Development Countermeasures of Health Care Industry in Southern Shaanxi Based on SWOT Analysis
..... CHI Chaonan, ZHUO Na, YANG Yuqi, ZHAO Yaopeng, CHEN Xuao(171)

●Forest Cultivation

- Effects of Simulated Acid Rain on Chlorophyll Content of Four Species Seedlings in Guangxi
..... ZHOU Shunfu, LI Chunye(177)
Growth and Physiological Analysis of *Castanopsis delavayi* Seedlings from Different Provenances
..... WANG Shunli, ZHANG Chunhua, QI Jianhua, MAO Xiaopei, SUN Yongyu(182)
Effect of Different Pollination Methods on Fruit Setting Rate of *Camellia oleifera* Cenruan Clone Forest
..... LIU Decheng, YAO Guoqiong, PENG Xuedi, WU Guowen, WANG Jingsong, LI Fushen, WU Fangyuan,
HUANG Zhiqiang(188)

●Ecosystem

- Investigation on Slope Vegetation Restoration of Pulang Tailings Area in Shangri-La City
..... ZOU Guofu, HUANG Yunzhao, YANG Jiqing, ZHU Hui, YONG Weixun(191)
Value Evaluation of Peatlands Ecosystem Services in Shangri-La City
..... LIU Qian, SHA Jianbin, WU Jing, QIN Yan, JIANG Lihua(197)
Evaluation of Ecosystem Service Value of Plateau Lake Wetland
..... FU Yuanxiang, MA Guoqiang, WANG Yaping, LI Qiujie, WEI Wen, WANG Defen, YU Gang(202)
Restoration Technology of Degraded Grassland in Zhaotong City DENG Jun(207)
Further Understanding of Ecology WANG Lei(213)

●Landscape Architecture

- Characteristics and Strategies of Cultural Theme Park Gardening LIANG Wenyu(216)
Rethinking of Landscape Design in Post-epidemic Era NIE Yaxin, ZHANG Xuguang, ZHANG Shuwen(220)
Ecological Landscape Construction of Myrtaceae Bird Attractive Plants in Garden of Southern China
..... HE Zhuoyan, QIU Yanfen, LUO Lian, LIN Shishi(226)

- Tingtao Lake at the Foot of Yulong Snow Mountain Photographed by ZHANG Zhengyou (Front Cover)
Canyon Landform in Yunnan—Hutiao Gorge Photographed by YU Changyuan(Back Cover)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.001

基于混合像元分解的庐山及周边林地遥感图像分析

李大瑞, 孙致源, 贾刚

(国家林业和草原局调查规划设计院, 北京 100013)

摘要: 由于传感器分辨率的限制以及地物的复杂多样性, 混合像元普遍存在于遥感影像中, 在一定程度上影响到地物提取精度。以江西省庐山及周边地区 2019 年 4 月 9 日的 ETM+ 影像为例, 使用线性混合模型和非线性的 BP 神经网络方法对图像进行混合像元分解, 利用 2019 年 5 月的 SPOT 数据及其与 ETM+ 影像融合的分类结果对分解结果进行验证。结果表明, 非线性的 BP 神经网络分解精度高于线性分解精度。对比使用 BP 神经网络分解图像提取林地面积的精度提高了 1%~5%。

关键词: 混合像元分解; 线性分解; BP 神经网络; ETM+ 影像; SPOT 影像

中图分类号: S771.8; TP753 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)04-0001-12

引文格式: 李大瑞, 孙致源, 贾刚. 基于混合像元分解的庐山及周边林地遥感图像分析[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4): 1-12. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.001

LI Darui, SUN Zhiyuan, JIA Gang. Remote Sensing Image Analysis of Forest Land in Lushan Mountain and Its Surrounding Area Based on Mixed Pixel Decomposition[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 1-12. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.001

Remote Sensing Image Analysis of Forest Land in Lushan Mountain and Its Surrounding Area Based on Mixed Pixel Decomposition

LI Darui, SUN Zhiyuan, JIA Gang

(Academy of Inventory and Planning, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100013, China)

Abstract: Due to the limitation of sensor resolution and the complexity and diversity of ground objects, mixed pixels generally exist in remote sensing images, which affects the accuracy of ground object extraction to a certain extent. In this paper, the ETM+ image in Lushan, Jiangxi Province and its surrounding areas on April 9, 2019 was taken as an example. The mixed pixel decomposition of the image was carried out by using the linear mixing model and the nonlinear BP neural network method. The decomposition results were verified by using the SPOT data in May 2019 and the classification results of the fusion with ETM+ image. The results showed that the decomposition accuracy of nonlinear BP neural network was higher than that of linear neural network. Compared with BP neural network, the accuracy of forest land extraction was improved by 1%-5%.

Key words: mixed pixel decomposition; linear decomposition; BP neural network; ETM+ image; SPOT image

一个像元内包含几种地物, 则称这种像元为混合像元。遥感图像中像元很少由单一均匀的地表组

成, 一般都是几种地物的混合体。特别是低空间分辨率的影像数据, 混合像元问题尤其突出, 如 30M

收稿日期: 2021-12-15.

第一作者: 李大瑞(1989-), 男, 北京人, 工程师. 研究方向为林业遥感应用. Email: 498576173@qq.com

责任作者: 贾刚(1989-), 男, 山东济南人, 工程师. 研究方向为林业遥感应用.

分辨率的 Landsat 7 和 ETM+ 影像^[1]。

进行定量遥感应用的一个突出问题就是混合像元的分解问题,如何有效地解译混合像元是遥感应用的关键问题之一。为了提高遥感影像应用精度,就必须解决混合像元的分解问题,使遥感应应用由像元级达到亚像元级,进入像元内部,将混合像元分解为不同的“基本组分单元”或称“终端单元(end-member)”化,并求得这些基本组分的占比,这就是所谓的“混合像元分解过程”^[2]。

庐山自然条件复杂,植被类型具有由暖温带落叶阔叶林向亚热带常绿阔叶林过渡的特征。常绿阔叶林分布在水平地带,由山顶到山麓的植被类型分布规律为针叶林、落叶阔叶林、常绿落叶混交林和常绿阔叶林。由于地形复杂,高差变化大,遥感图像中像元的混合特征明显。

此次研究目的是利用混合像元技术对庐山及周边地区的 ETM+ 影像进行分析,提取该地区遥感数据像元中的林地覆盖信息,探索遥感技术在庐山林地覆盖研究方面的应用,为庐山及其周边林地的保护和资源管理提供参考依据。

1 研究方法与技术路线

1.1 研究方法概述

拟对 ETM+ 影像分别进行基于线性混合模型的混合像元分解和基于非线性的 BP 神经网络混合像元分解。

基于线性混合模型的混合像元分解研究中分别利用 PPI 指数提取端元和彩色合成图像上手动选取端元,并通过混合像元分解的丰度图与预处理后的 ETM+ 影像比较差异来说明哪种端元选取方法更适合本实验数据和区域。

以 SPOT 与 ETM+ 影像的融合图像结果代替野外调查数据作为分解和分类效果的评价依据。分别计算使用相同端元选取方法的基于线性混合模型的混合像元分解和基于非线性的 BP 神经网络混合像元分解丰度结果,同融合图像的监督分类结果、非监督分类结果在林地提取方面的精度差异,以说明在本实验数据和实验区域下线性分解方法和非线性方法的精度差异。

最后选取在该实验区域、实验数据下精度较高的混合像元分解方法。计算混合像元分解结果中的林地覆盖率和 ETM+ 影像非自组织迭代法监督分类所提取的林地覆盖率,同 SPOT 与 ETM+ 影像融合图像最大距离法监督分类结果中林地覆盖率的精度

差异,以评价混合像元分解在林地覆盖率提取方面的精度。

1.2 技术路线

首先对 SPOT 和 ETM+ 影像进行正射校正和地理基础配准,并对上述影像进行图像增强操作以改善其目视解译判读效果^[3]。

将 ETM+ 影像 B1\B5\B7 波段的高亮度地区(DN > 100)视为裸地并掩膜去除,并计算 ETM+ 影像的 NDVI,结果取 DN > 0 部分并掩膜去除使图像残留部分为林地和林地与其他地表覆盖类型的混合部分。因实验区域植被主体为林地,所以本文认为 NDVI 值为正的植被即为林地。

对 ETM+ 影像混合像元的分解,采用线性混合像元分解方法和非线性混合像元分解方法。基于线性混合像元分解方法分别用 PPI 指数结合 N 维散点图选取端元和彩色合成图像上手动选取端元,线性分解使用 ENVI 软件完成,基于非线性的 BP 神经网络混合像元分解方法采用在彩色合成图像上手动选取端元的方法。混合像元分解利用 Matlab 软件的神经网络工具箱来实现,对混合像元分解的结果均进行线性归一化处理。

对 ETM+ 影像的 B1\B2\B3 和 B7\B4\B3 波段重采样,与 SPOT 影像的全色波段进行栅格图像融合,采用 HSV 和 Brovey 融合方法提高目视解译的精度和监督分类训练区的选取准确性,结果进行自组织迭代非监督分类,并采用最大似然法作为评价像元分解效果的依据^[4]。研究的主要路线和工作流程如图 1 所示。

2 研究区域概况和数据

2.1 研究区域

庐山地区位于江西省北部,东经 115°52'~116°8',北纬 29°26'~29°41',面积约 302 km²,外围缓冲区面积约 500 km²。庐山地处中国亚热带东部季风区域,具有鲜明的山地气候特征。年均降水 1 916 mm,年均雾日 191 d,年均相对湿度 78%,庐山自然资源富饶,森林覆盖率达 76.6%。本研究选取江西省庐山及其周边区域作为研究范围,其内地类包括城市区、林区、湖泊河流等复杂地貌,适合本次的混合像元分解研究。

2.2 数据来源

采用 2019 年 4 月 9 日的 ETM+ 卫星影像(行号 121,列号 40)数据,6 个波段(1、2、3、4、5、7),空间分辨率为 30 m。

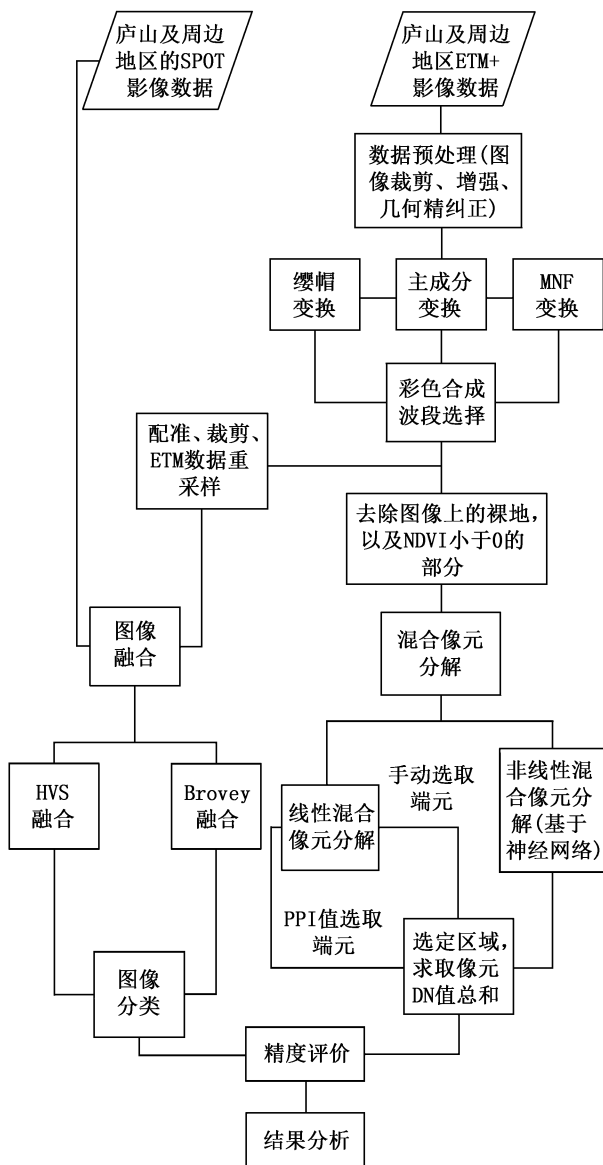


图 1 混合像元分解处理技术流程

Fig. 1 Process flow of mixed pixel decomposition technology

采用2019年5月6日 SPOT 卫星影像(东经 115.737038°~116.347486°,北纬 29.133340°~29.733660°)数据,全色波段,空间分辨率为 10 m。

研究资料均可覆盖区域为庐山整体及周边地区。

2.3 遥感数据预处理

将 NDVI 指数小于 0 的部分掩膜去除,在去除了图像中的水体的同时保证了处理后的图像保留一定的混合像元。因本实验区域植被以林地为主,所以本文将 NDVI 为正值的地表植被视为林地。

SPOT 影像通过和 ETM + 影像配准截取相同区域,按照 DOM 影像对 ETM + 影像进行几何精纠正并与 SPOT 影像配准,配准校正后 ETM + 影像重采样到和 SPOT 影像相同的分辨率(10 m)。实验选取区

域及掩膜后剩余部分见图 2 和图 3。



图 2 选取的实验区域

Fig. 2 Selected experimental area

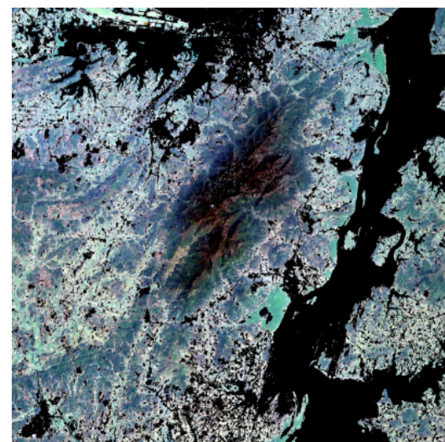


图 3 掩膜后剩余部分

Fig. 3 Remaining part after the mask

3 混合像元分解数据处理

3.1 基于线性的混合像元分解

3.1.1 数据降维

首先对数据进行 MNF 变换,先获取噪声的协方差矩阵,其后将噪声协方差矩阵进行标准和对角化处理,得到影像的变换矩阵,变换后影像所包含的噪声波段方差均为 1,且无相关性。将变换后的影像做主成分变换,最终实现 MNF 变换,此时将得到的影像主成分的解释方差量对应于该主成分的信噪比大小(图 4,表 1)。

从图 4 以及表 1 中可以发现,MNF 前 3 个波段的累计方差贡献率达 79%,说明 MNF 变换结果的前 3 个波段包含了图像的大部分信息。

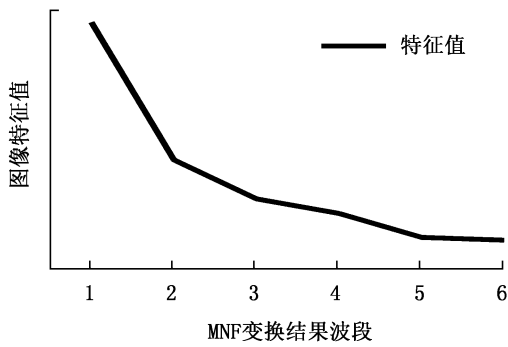


图 4 MNF 变换后的特征值

Fig. 4 Eigenvalues after MNF transformation

表 1 MNF 变换后的特征值和累计方差贡献率

Tab. 1 Eigenvalues and cumulative variance contribution rate after MNF transformation

波段	特征值	累计方差贡献率/%	波段	特征值	累计方差贡献率/%
1	14.432409	46	4	3.235925	89
2	6.371175	66	5	1.835060	95
3	4.088579	79	6	1.671978	100

3.1.2 端元选取

1) 利用 PPI 指数方法选取端元

端元选取采用 PPI 指数方法进行,首先在降为后影像内的前几个主要成分组成的特征空间中,随机生成穿过数据云的测试向量,其后将数据点投影到测试向量上。投影在测试向量两端的数据点有较大的可能属于端元,利用单一阈值选出测试向量两端的极值点。其后生成全新随机向量,多次重复上述步骤,记录图像中每个像元作为极值点的频度,即为 PPI 指数。PPI 指数越高意味着像元的纯度也越高(图 5,图 6)。

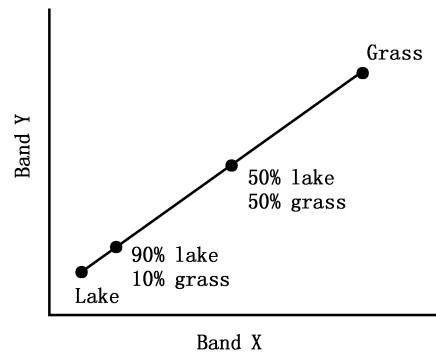


图 5 Grass 和 Lake 两种端元混合的二维散点图

Fig. 5 Two-dimensional scatter plot of Grass and

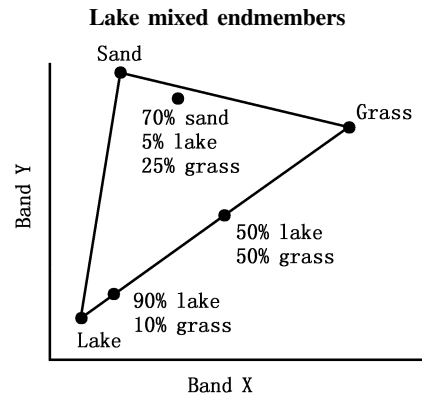


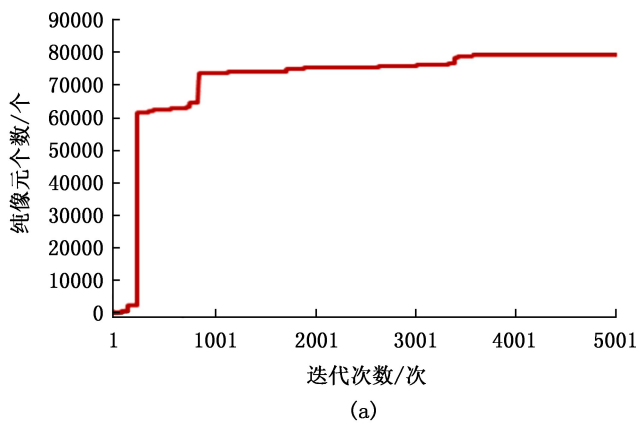
图 6 Sand、Grass、Lake 3 种端元混合的三维散点图

Fig. 6 Three-dimensional scatter plot of Sand, Grass and Lake mixed endmembers

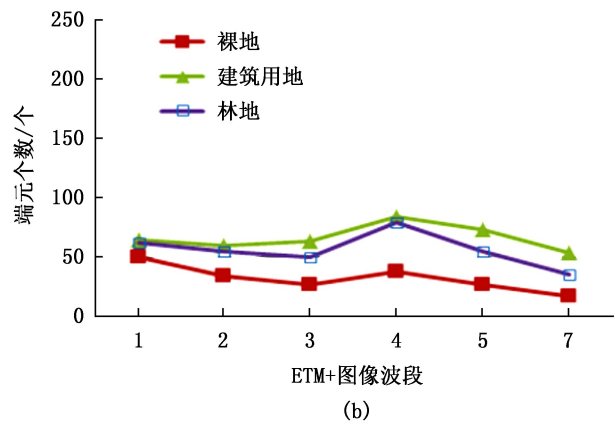
图 7(a)是利用 PPI 指数选取纯像元的过程,进行 5 000 次迭代完成选区。图 7(b)为利用 N 维散点图结合目视解译选择裸地、建设用地、林地 3 种端元。

2) 直接从图像上选取端元

在图像上直接选取端元的方法,是对 ETM+ 影



(a)



(b)

图 7 利用 PPI 选取端元

Fig. 7 Using PPI to select endmembers

像进行彩色合成,通过目视解译来选取端元的过程,利用 ENVI 的 ROI Tools 工具来完成。使用 ETM + B3/B2/B1 来进行彩色合成,该真彩色合成能够较好地地区分出建筑用地、裸地和林地(图 8)。

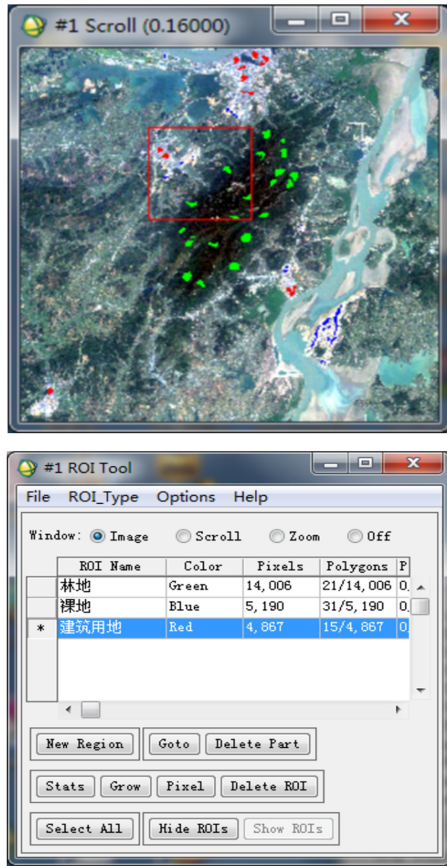


图 8 在 ETM+ 彩色合成图像上选取端元
Fig. 8 Selecting endmembers on ETM+ color composite images

3.1.3 混合像元分解

线性光谱混合模型被定义为:像元在某一光谱波段的反射率(亮度值)是由构成像元的端元组分的反射率(光谱亮度值)以其所占像元面积比例为权重系数的线性组合^[5],公式为:

$$R_{i\lambda} = \sum_{k=1}^n f_{ki} C_{k\lambda} + \varepsilon_{i\lambda} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^m f_{ki} = 1 \quad (2)$$

式中: $R_{i\lambda}$ 为第 λ 波段第 i 像元的光谱反射率(已知); f_{ki} 为第 i 个像元的第 k 个端元组分所占的分量值(待求); $C_{k\lambda}$ 为第 k 个基本组分在第 λ 波段的光谱反射率; $\varepsilon_{i\lambda}$ 为参与误差值(即光谱的非模型化部分); n 为基本组分数目; m 为可用波段数。

该模型受两个约束条件的限制,一是 $0 \leq f_{ki} \leq 1$,二是波段数 m 要大于 $n(n \leq m + 1)$,以便利用最小二乘法求解^[6]。

图 9~图 14 分别为利用 PPI 指数选取端元和手动选取端元的混合像元分解丰度图,图像的 DN 值代表该类别地物在该像素点所占的比例,通过 ArcGIS 将丰度图以等间距分割为 8 级显示,值越高代表该类别所占的比例越大。

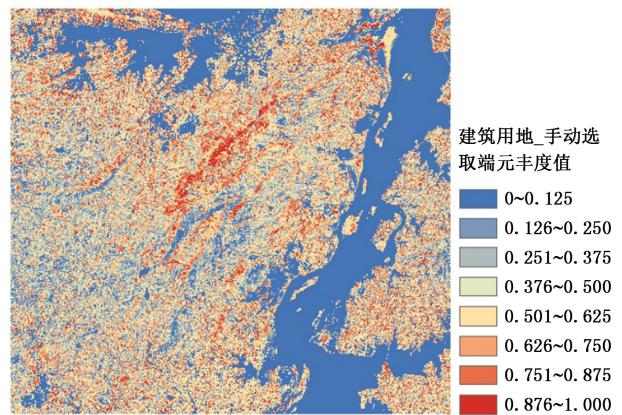


图 9 手动选取端元的建筑用地分解结果
Fig. 9 Building land decomposition results for endmembers by manual selection

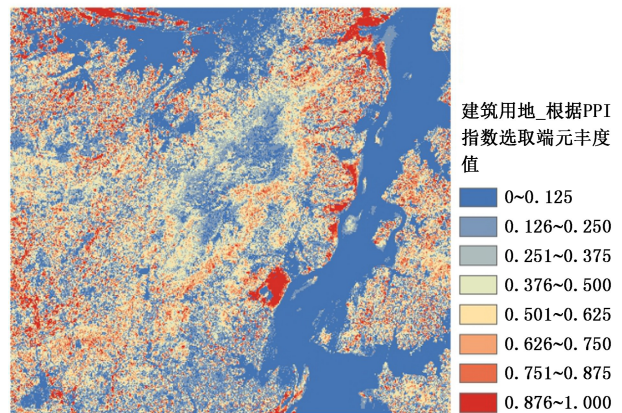


图 10 利用 PPI 指数选取端元的建筑用地分解结果
Fig. 10 Building land decomposition results for endmembers based on PPI index

对比发现,手动选取端元的混合像元分解结果明显比利用 PPI 指数选取端元的混合像元分解结果要准确,如图 13 显示庐山上的林地丰度值较高(大于 75%),而图 14 的林地分布则比较分散,原本应该是林地分布的地区,林地的丰都值也较低,说明在

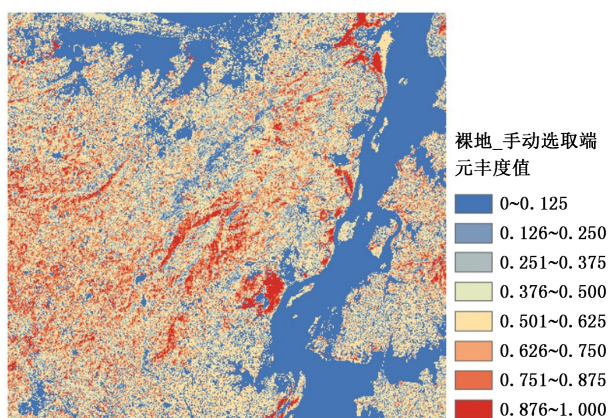


图 11 手动选取端元的裸地分解结果
 Fig. 11 Bare ground decomposition results for endmembers by manual selection

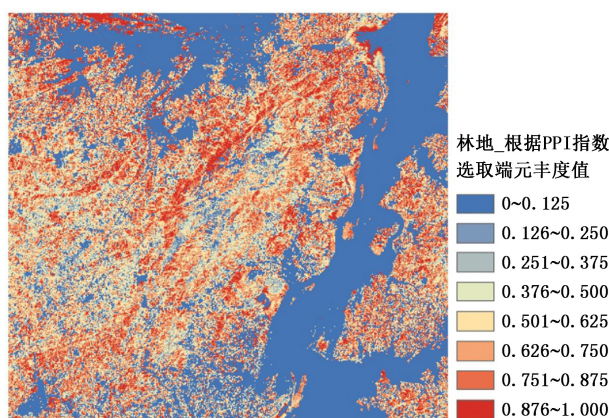


图 14 利用 PPI 指数选取端元的林地分解结果
 Fig. 14 Forest land decomposition results for endmembers based on PPI index

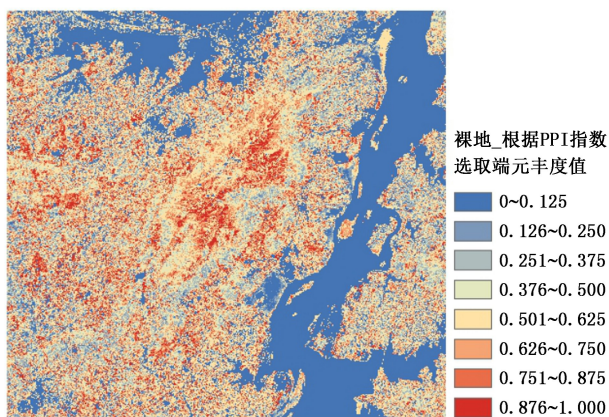


图 12 利用 PPI 指数选取端元的裸地分解结果
 Fig. 12 Bare ground decomposition results for endmembers based on PPI index

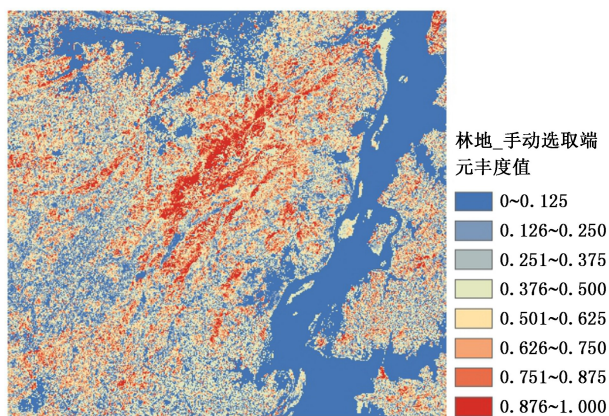


图 13 手动选取端元的林地分解结果
 Fig. 13 Forest land decomposition results for endmembers by manual selection

高。因此下文中提到的基于线性的混合像元分解结果均为采用手动选取端元的结果。

3.2 基于 BP 神经网络的混合像元分解

采用改进的 BP 算法 Levenberg-Marquardt 算法, 该算法是牛顿法的变形, 专门用于误差平方和最小化的方法。该算法的特点是速度快, 迭代次数少, 但需要内存较大。基于实验区域的数据量, 本文使用 Levenberg-Marquardt 来进行混合像元分解(图 15)。

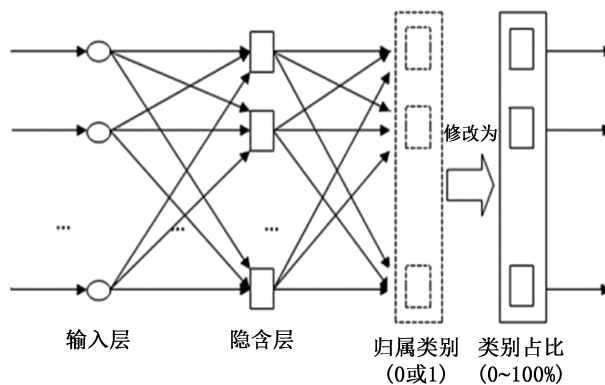


图 15 基于 BP 神经网络的混合像元分解
 Fig. 15 Mixed pixel decomposition based on BP neural network

3.2.1 端元的选取

在 ETM + 影像的彩色合成图像上选取典型地物的像元作为分解端元, 为了在下文进行对比分析, 这里选取的端元使用与线性的混合像元分解采用手动选取端元方法相同的端元(图 16)。

3.2.2 训练网络

为了训练出合适的神经网络来进行混合像元分

该实验数据、实验区域下, 相比利用 PPI 指数选取端元的方法, 手动选取端元的方法的结果准确性更

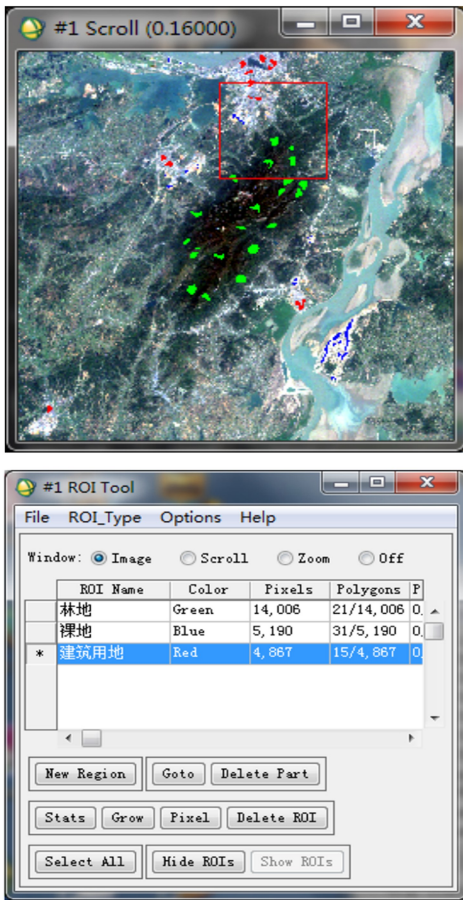


图 16 在 ETM+影像上选取的端元

Fig. 16 Endmembers selected on ETM+images

解,必须模拟出一个已知端元比例的混合光谱来作为训练目标。模拟光谱的生成过程如下:

首先生成一组 [0,1] 内的随机数(随机数的个数由端元的数量决定,本实验为 3),并使其的和为 1,作为随机数向量。将该随机向量与由 MNF 前 3 波段的像素值构成一维向量相乘求和,模拟生成这样的像元值 1 000 个,从中随机选取 200 个光谱矢量作为训练输入,对应的随机向量作为训练输出,使用 Matlab 自带的神经网络工具箱来进行训练。

训练参数如下:

```

net.trainParam.epochs = 3000; %最大训练次数
net.trainParam.goal = 1e-8; %最小均方误差
net.trainParam.min_grad = 1e-20; %最小梯度
net.trainParam.show = 200; %训练显示间隔
net.trainParam.time = inf; %最大训练时间
net = newff(p1, t1, NodeNum, {'logsig', 'purelin'}, 'trainlm'); %选择训练方法

```

图 17 显示,经过 4 次训练网络权值收敛,训练完毕,均方根误差为 0.023。

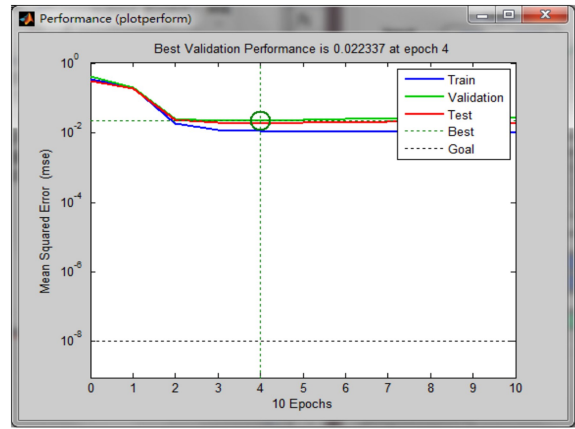


图 17 Matlab 神经网络工具箱训练结果

Fig. 17 Training results of Matlab neural network toolbox

3.2.3 混合像元分解

当训练达到一定的次数,权值收敛后,网络停止训练,以 ETM+影像的 MNF 变换结果的前 3 个波段作为输入向量,对整幅图像进行混合像元分解,输出为各端元在该像素的占比(图 18)。

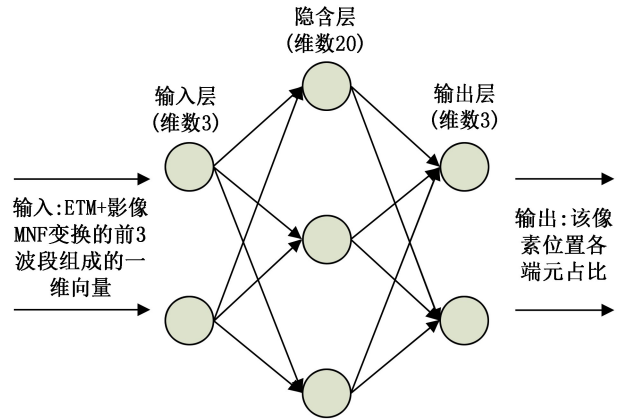


图 18 利用 BP 神经网络进行混合像元分解

Fig. 18 Using BP neural network for mixed pixel decomposition

3.2.4 分解结果

分解后的图像为各端元的丰度图,通过 ArcGIS 以等间距分割为 8 级显示,值越高代表该类别占比越大,混合像元分解结果见图 19~图 21。

图 19 显示被掩膜的建筑用地的边界丰度值较高,说明能较好地分解出建筑用地。图 20 整体丰度值较低,只有左上角的耕地部分值大于 50%,而原图像上裸地基本被掩膜去除,表明该结果准确度较高。同时发现该结果的分解裸地效果明显好于线性分解结果。图 21 分解结果显示的林地分布与原图像基本符合。说明利用 BP 神经网络的混合像元分解能较好地分解实验区域。

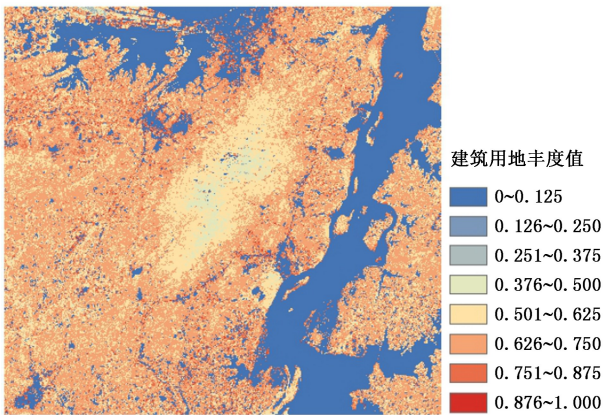


图 19 建筑用地像元分解结果

Fig. 19 Building land pixel decomposition results

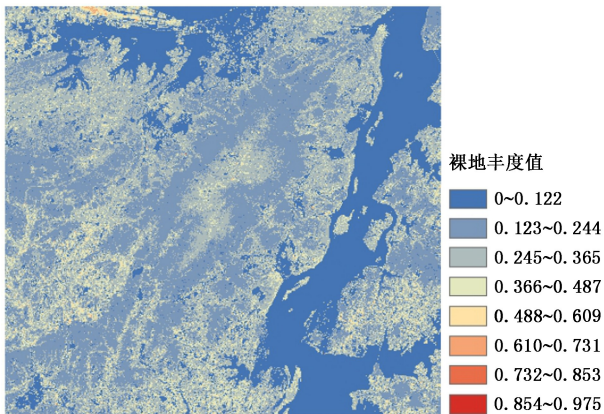


图 20 裸地像元分解结果

Fig. 20 Bare ground pixel decomposition results

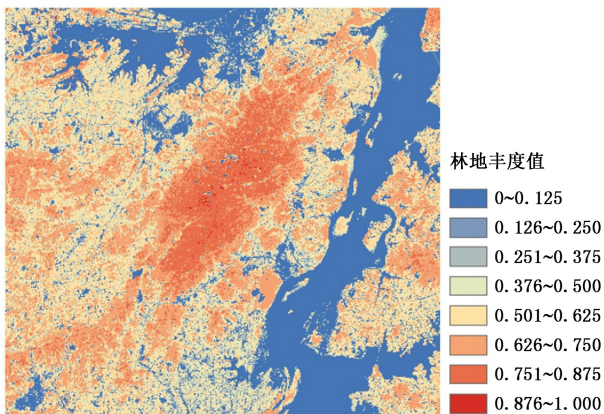


图 21 林地像元分解结果

Fig. 21 Forest land pixel decomposition results

4 图像混合像元分解结果对比分析

为了验证混合像元分解结果的准确性,从线性与非线性混合像元分解结果对比、混合像元分解的必要性和真实性、以及基于非线性的混合像元分解

结果与传统图像分类方法的精度对比 3 个方面来验证混合像元分解结果。

结果验证使用高分辨率的 SPOT 影像来辅助验证结果,因需要对 SPOT 影像进行目视解译,选取典型混合像元区域,将 SPOT 影像与 ETM+ 影像融合来提高目视解译效果。

使用 ENVI 软件的 HVS 融合方法和 Brovey 融合方法来进行融合,融合使用的多光谱波段分别为 B3\B4\B7, B3\B2\B1 以及 MNF_B1\NDVI\KT_BR,融合使用的高分辨率波段为 SPOT 全色波段。

通过对 6 种融合图像的目视判断,发现使用 B3\B2\B1 波段采用 HSV 方法与 SPOT 影像融合的图像对于林地边界的融合效果最佳。因此以该融合结果作为高分辨率的辅助验证数据。

4.1 基于线性与非线性的混合像元分解结果对比

从线性与非线性的丰度结果图来看,线性与非线性具有较大差异,以林地分解结果为例。基于非线性的 BP 混合像元分解的丰度结果显示的地物分布更接近于实际地物分布(图 22,图 23)。

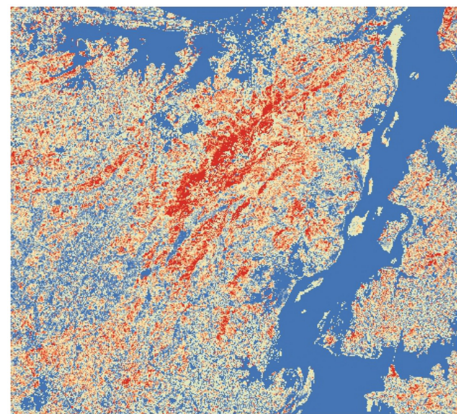


图 22 基于线性的混合像元分解林地结果

Fig. 22 Forest land decomposition results based on linear mixed pixel decomposition

以 SPOT 与 ETM+ 的融合影像最小距离法监督分类和自组织迭代法非监督分类结果作为高分辨率参考数据来验证线性和非线性混合像元分解结果的精度。

首先在融合数据上选取一组 400×400 实验区域,选取区域至少包含林地和一种非林地地物以保证混合像元的存在。

丰度图是混合像元分解的结果,该类别占比通过像素的 DN 值表示,所以混合像元分解结果的丰度求和便为该地区该类别所占的比例^[7]。因 ETM+ 影像掩膜去除了 NDVI 为负值部分,所以混合像元分解

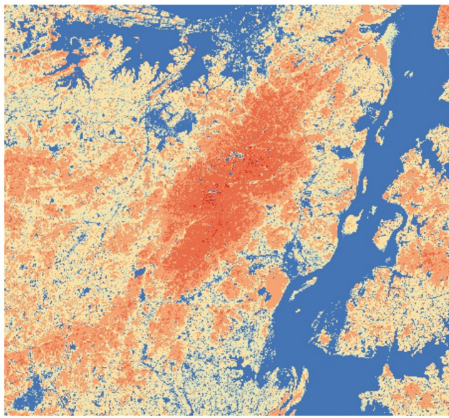


图 23 基于非线性的混合像元分解林地结果
 Fig. 23 Forest land decomposition results based on nonlinear mixed pixel decomposition

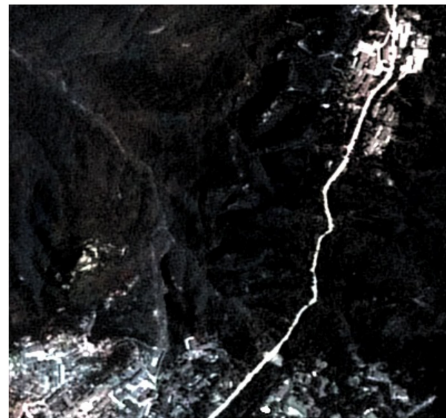
结果中的建筑用地和裸地分解结果难以表达实际的地物覆盖率,因此只选取林地分类来分析计算,将线性和非线性的林地分解结果与融合图像的非监督分类结果进行比较,结果见表 2,图 25。

从表 2 及图 25 中可以发现,基于线性的混合像元分解结果的精度与融合影像精度分类的精度差距较大,而基于 BP 神经网络的混合像元分解结果与融合影像监督分类结果基本吻合^[8]。

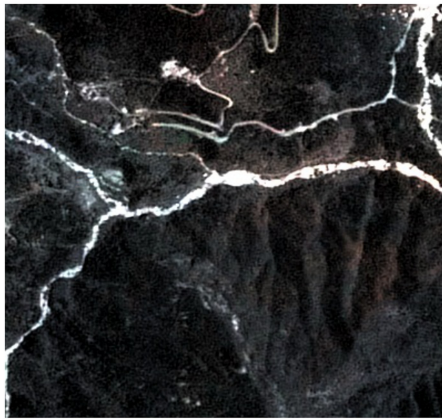
由于基于线性的混合像元分解是建立在像元内相同地物均有相同的光谱特征以及植被指数线性可加性的基础上,忽略了多次散射的影响^[9]。由于无庐山地区各类地物的典型光谱值,加之庐山地区地形复杂,多次散射现象明显,造成实验结果中误差较大。



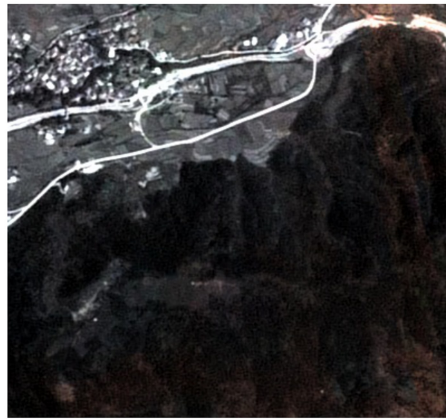
实验区域 1



实验区域 2



实验区域 3



实验区域 4

图 24 SPOT 与 ETM+融合图像上选取的混合像元典型区域

Fig. 24 Typical regions of mixed pixels selected on SPOT and ETM+fusion images

因此庐山地区非线性 BP 神经网络混合像元分解效果要优于线性混合像元分解效果,故在后文中将 BP 神经网络混合像元分解结果作为混合像元分解结果和其他数据进行比较分析。

4.2 验证混合像元分解的必要性和真实性

利用 SPOT 与 EMT+ 的融合数据代替野外实测数据作为高参考数据。从必要性和真实性两方面来验证混合像元分解精度。

表 2 线性和非线性混合像元分解结果比较

Tab. 2 Comparison of linear and nonlinear mixed pixel decomposition results %

分类方法	实验区域 1 占比	实验区域 2 占比	实验区域 3 占比	实验区域 4 占比
融合影像监督分类	82.84	88.01	95.62	73.55
基于线性的混合像元分解	65.43	71.50	68.68	70.74
基于 BP 神经网络的混合像元分解	81.82	86.25	93.44	75.81

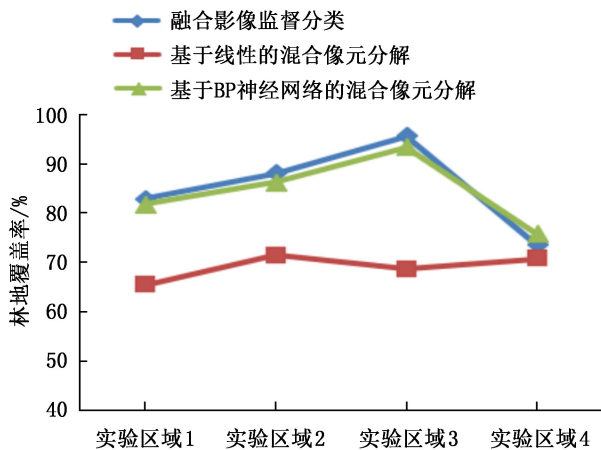


图 25 线性和非线性混合像元分解结果比较

Fig. 25 Comparison of linear and nonlinear mixed pixel decomposition results

4.2.1 验证混合像元分解的必要性

混合像元分解的目的是分解出中低分辨率图像混合像元的混合部分,以提高提取精度。通过分解前后结果来说明混合像元分解的必要性(图 26)。



图 26 SPOT 融合影像(实验区域为黄色箭头所指区域)

Fig. 26 SPOT fusion image (experimental area indicated by yellow arrow)

从图 26 可以看出,融合后的 SPOT 影像所选区域明显有裸地和林地两种地类。

图 27 为重采样到 10 m 分辨率的 ETM+ 影像相同区域,可以看到整体区域显示为林地,无法区分出裸地部分。

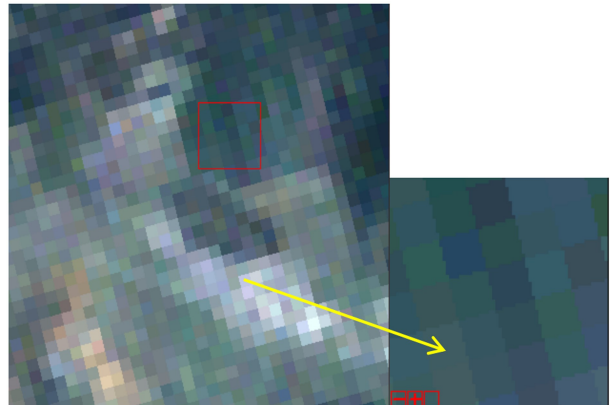


图 27 重采样到 10 m 分辨率的 ETM+ 影像

Fig. 27 Resampled ETM+ image with a resolution of 10 meters

实验区域的混合像元计算结果见表 3。

表 3 实验区域的混合像元计算结果

Tab. 3 Calculation results of mixed pixels in the experimental area %

混合像元分解方法	林地占比	裸地占比
混合像元分解结果	71.78	27.64

从表 3 中可以看出,使用混合像元分解技术可有效分解出混合像元,从而提高林地覆盖提取的准确性,具有一定的实用性,说明在中低分辨率影像下进行混合像元分解是有必要的。

4.2.2 验证混合像元分解的真实性

分别利用 SPOT 和 EMT+ 融合数据的监督和非分类结果与混合像元分解结果进行对比来说明混合像元分解的真实性。实验分别截取融合结果和混合像元分解结果中 400×400 区域进行精度验证。

选取的区域地物类型丰富,区分明显,分别对其进行最小距离监督分类和自组织迭代非监督分类,以确定地物类别。其中非监督分类为突出林地的覆盖率,只分为林地和非林地两类,同时对该区域的混合像元结果的像素值求和,求得各类别在实验区域的比例,将两者进行对比,结果见图 28~图 30,表 4。

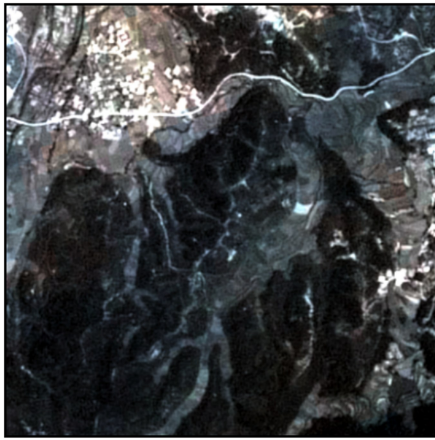


图 28 实验区域

Fig. 28 Experimental area

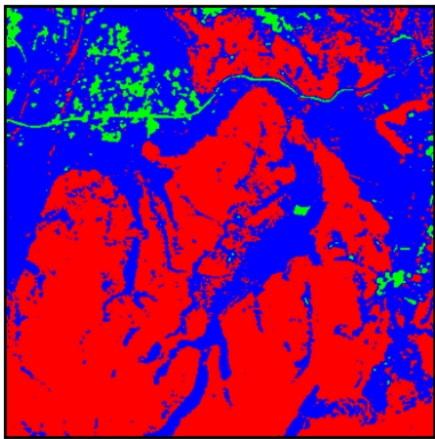


图 29 最小距离监督分类

Fig. 29 Minimum distance supervised classification

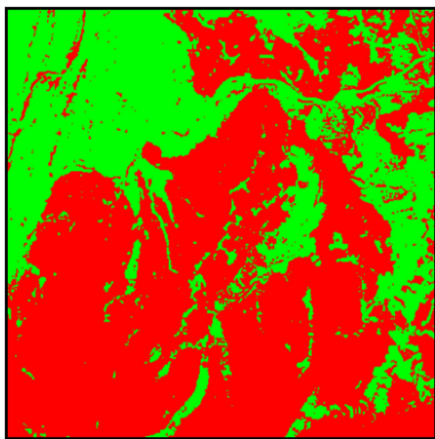


图 30 非监督自组织迭代分类

Fig. 30 Unsupervised self-organizing iterative classification

从表 4 中可以发现,混合像元分解的地物类型占比与融合影像分类结果误差不超过 2%,说明混合像元分解结果可以真实反映不同地物的覆盖占比,

表 4 混合像元分解结果与 SPOT 融合图像分类结果对比
Tab. 4 Comparison of mixed pixel decomposition results and SPOT fusion image classification results %

模型类别	林地占比	建筑用地占比	裸地占比
融合影像非监督分类	52.9	47.0	
融合影像监督分类	52.2	6.7	41.0
基于神经网络的混合像元分解	55.0	6.0	39.0

具有一定的真实性。

4.3 混合像元分解结果与传统图像分类方法的精度分析

选取图 24 的实验区域比较混合像元分解结果与传统图像分类方法的精度差异。

分别对 ETM+彩色合成影像(B3/B2/B1 合成,重采样至 10 m 分辨率)、SPOT 与 EMT+融合影像进行最小距离法监督分类(分为林地和非林地),同时计算实验区域的混合像元分解结果。

其中林地覆盖率结果见图 31,表 5。

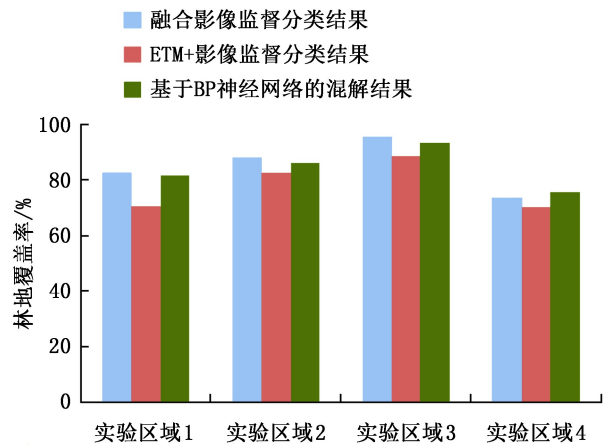


图 31 混合像元分解精度对比

Fig. 31 Comparison of mixed pixel decomposition accuracy

表 5 混合像元分解结果与 ETM 监督分类结果精度对比
Tab. 5 Comparison of accuracy between mixed pixel decomposition results and ETM supervised classification results %

分类方法	实验区域 1	实验区域 2	实验区域 3	实验区域 4
融合影像监督分类	82.84	88.01	95.62	73.55
ETM+影像监督分类	77.56 (5.2)	82.69 (2.6)	88.64 (7)	70.29 (3.2)
基于 BP 神经网络的混解	81.82 (1.0)	86.25 (1.7)	93.44 (2.1)	75.81 (2.2)

表 5 中加粗的部分是相比融合影像分类结果精度最高的方法,在所有的实验区域中利用混合像元分解提取的林地覆盖结果均优于 ETM+影像的自组织迭代法非监督分类,精度提升了 1%~5%。说明混合像元技术在林地覆盖提取方面相比传统的监督分类具有一定的优势,能够更好地反映林地的覆盖率,其主要原因是大部分遥感影像分类利用像元光谱的统计特征进行像元分类,所参照的标准光谱数据通常是一个像元内的所有地类的混合光谱。混合像元分解方法解决了部分统计方法中的问题,该方法将每个像元分解成多个主成分,并计算各成分占比,使统计计算单位均小于一个像元大小^[10-11]。

5 结论与讨论

5.1 结论

分别应用基于线性混合模型的混合像元分解方法和基于 BP 神经网络的混合像元分解方法对庐山及周边地区进行混合像元分解,对 SPOT 影像和原始 ETM+影像进行最小距离法监督分类和自组织迭代法非监督分类,对其结果进行对比分析。

1) 针对中低分辨率影像,混合像元分解技术能解决混合像元的影响,在亚像元级的精度水平上提高了林地覆盖率提取比例。说明当对中低分辨率影像林地覆盖提取精度要求较高时,有必要使用混合像元分解技术。

2) 混合像元分解方法的林地覆盖提取结果优于传统的最小距离监督分类和自组织迭代法非监督分类。

3) 端元组分的选取中,在 N 维散点图中选取纯像元采用了手工方法,人为影响因素比较大,探索端元的自动选取,或选取后自动检验筛选,可进一步提高模型的鲁棒性,提高分析结果精度,同时端元的选取全部来自 ETM+影像,限制比较多,如果同时加入实地勘测结果(如当地林地光谱等信息),能够极大地提高混合像元分解精度。

4) 遥感技术在林地覆盖面积的调查方面具有省时、省力、经费低的特点,提取高精度的林地覆盖面积能够使决策者较为准确快捷地了解林地资源状况,以便制定相应的政策,具有较高的经济效益和社会效益。

5.2 讨论

混合像元分解方法的分类精度也存在一定的误差,究其原因可概括为以下 3 个方面。

1) 端元组分的选择是混合像元分解技术最关键部分,端元组分选择的好坏对结果影像很大,本文基于线性混合模型的混合像元方法选取了 3 类端元组分,可能会因为利用 NDVI 掩膜去除成分不全,也可能把非典型的端元组分纳入分量中,产生分量误差。

2) 基于 BP 神经网络的混合像元的端元选取类似于监督分类的训练区选取,可能会因为训练区不够典型,导致端元选取不良,对结果造成影像,同时训练时随机数据的选择也可能因不够典型而导致网络训练不足而对结果产生影响

3) ETM+影像与 SPOT 影像的配准也会影响分类精度的估算,因为抽样时 ETM+影像选取的样本难以与 SPOT 影像完全吻合。

参考文献:

- [1] 陶雪涛. 线性模型下多通道遥感图像混合像元分解方法研究[D]. 上海:复旦大学,2008.
- [2] 郑丽. 端元提取算法的研究综述[J]. 湖北第二师范学院学报,2015,32(2):20-23.
- [3] 马平. 基于 ETM 数据的城市小片林面积估计探讨[D]. 南京:南京林业大学,2003.
- [4] 林志奎,张贵成. 基于改进 Brovey 变换的 ALI 影像融合算法研究[J]. 遥感技术与应用,2020,35(4):893-900.
- [5] 景元书,李根,黄文江. 基于相似性分析及线性光谱混合模型的双季稻面积估算[J]. 农业工程学报,2013,29(2):177-183,299.
- [6] 胡潭高,张锦水,贾斌,等. 不同分辨率遥感图像混合像元线性分解方法研究[J]. 地理与地理信息科学,2008(3):20-23,40.
- [7] 郝虑远,孙睿,谢东辉,等. 基于改进 N-FINDR 算法的华北平原冬小麦面积提取[J]. 农业工程学报,2013,29(15):153-161,302.
- [8] 刘艳杰. 基于变端元 SOM 神经网络的城市非渗透面估计方法研究[D]. 长沙:中南大学,2011.
- [9] 单丹丹,杜培军,夏俊士,等. 基于 HJ-1 数据和 V-I-S 模型的城市不透水层变化分析[J]. 国土资源遥感,2011(4):92-99.
- [10] 陈树辉,李杨,曾凡君,等. 基于环境星的混合像元分解水稻面积提取[J]. 安徽农业科学,2011,39(10):6104-6106.
- [11] 刘姣娣,曹卫彬,李华,等. 基于线性光谱混合模型的棉花遥感识别混合像元分解[J]. 中国棉花,2011,38(10):32-36.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.002

基于 GIS 的黄杉生长适宜性评价研究

——以滇东北为例

李继品¹, 岳彩荣², 孟翠萍³, 鲜明睿¹, 程文龙¹, 刘燕婕¹, 刘晓波¹

(1. 国家林业和草原局西南调查规划院, 云南 昆明 650031; 2. 西南林业大学, 云南 昆明 650224;
3. 云南湖柏环保科技有限公司, 云南 昆明 650034)

摘要:利用 GIS 技术结合常规统计法、主成分分析法、层次分析法(AHP)、模糊综合评判法构建模糊综合评价模型,对黄杉在云南的集中分布区滇东北的宣威市和会泽县开展生长适宜性研究,预测黄杉在研究区域的潜在分布,找出研究区域适合培育人工黄杉林的宜林地。研究表明,研究区域适宜黄杉生长的面积为 553 128 hm²,占研究区域面积的 46.33%;在研究区域内筛选出适宜营造黄杉林的宜林地 10 550.2 hm²。通过 GIS 技术分析所得结果与天然黄杉林的实际分布情况较符合,说明基于 GIS 技术预测黄杉潜在分布区域和筛选适宜营造黄杉的造林地是可行的。

关键词:黄杉;生长适宜性;潜在分布;宜林地;GIS;隶属度函数;模糊综合评价模型;滇东北

中图分类号:S791.27;Q142.8;P208 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-00013-11

引文格式:李继品,岳彩荣,孟翠萍,等.基于 GIS 的黄杉生长适宜性评价研究——以滇东北为例[J].林业调查规划,2023,48(4):13-23. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.002

LI Jipin, YUE Cairong, MENG Cuiping, et al. Evaluation of Growth Suitability of *Pseudotsuga sinensis* Based on GIS——A Case Study of Northeast Yunnan[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 13-23. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.002

Evaluation of Growth Suitability of *Pseudotsuga sinensis* Based on GIS

——A Case Study of Northeast Yunnan

LI Jipin¹, YUE Cairong², MENG Cuiping³, XIAN Mingrui¹, CHENG Wenlong¹,
LIU Yanjie¹, LIU Xiaobo¹

(1. Southwest Investigation and Planning Institute of National Forestry and Grassland Administration, Kunming 650031, China; 2. Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 3. Yunnan Hubai Environmental Protection Technology Co., Ltd., Kunming 650034, China)

Abstract: This paper used GIS technology combined with conventional statistical methods, principal component analysis, analytic hierarchy process (AHP), and fuzzy comprehensive evaluation method to construct a fuzzy comprehensive evaluation model to study the growth suitability of *Pseudotsuga sinensis* in the concentrated distribution areas of Yunnan, including Xuanwei City and Huize County in northeast Yunnan. The potential distribution of *Pseudotsuga sinensis* in the study area was predicted, and suitable forest areas for cultivating artificial *Pseudotsuga sinensis* forests were identified. The results showed that

收稿日期:2021-12-14.

第一作者:李继品(1988-),男,云南腾冲人,硕士,工程师.主要从事森林资源调查、规划和监测工作.

the suitable area for *Pseudotsuga sinensis* growth in the study area was 553 128 hm², accounting for 46.33% of the area. At the same time, 10 550.2 hm² forest land suitable for planting *Pseudotsuga sinensis* forest was selected in the study area. The results obtained through the analysis of GIS technology were more consistent with the actual distribution of natural *Pseudotsuga sinensis* forests, indicating that it was feasible to predict the potential distribution areas of *Pseudotsuga sinensis* based on GIS technology and to screen suitable plantation land for *Pseudotsuga sinensis*.

Key words: *Pseudotsuga sinensis*; growth suitability; potential distribution; suitable forest land; GIS; membership function; fuzzy comprehensive evaluation model; northeast Yunnan

黄杉 (*Pseudotsuga sinensis*) 为松科黄杉属的一种常绿乔木,为我国特有树种,间断式分布于滇、川、贵、湘、鄂等省份,属于国家二级保护植物,无大面积纯林,多呈零星或小块状分布,由于材质优良,累遭砍伐,分布区正日益缩减。目前黄杉分布几乎不在自然保护区,难于进行保护与管理,人工黄杉林面积又极小,造成黄杉几近濒危,故对其开展保护研究和潜在分布预测以及适生区域研究显得至关重要^[1]。

选择滇东北的宣威市和会泽县为研究区域,以研究区域森林资源规划设计调查成果数据、DEM 数据为基础数据,提取海拔、坡度、坡向、土壤类型、土层厚度、太阳辐射量、地表曲率和地形湿度指数等影响黄杉生长发育的关键生态因子数据,利用 GIS 技术结合常规统计法、主成分分析法、层次分析法 (AHP)、模糊综合评判法构建模糊综合评价模型,对黄杉在研究区域的生长适宜性进行分析,并借助研究区域自然分布的黄杉进行精度检验,对黄杉在云南省的集中分布区—滇东北的宣威市和会泽县开展黄杉生长适宜性研究,预测黄杉在研究区域的潜在分布,为黄杉在云南甚至在全国的保护提供参考,同时,找出研究区域适合培育人工黄杉林的宜林地,为培育黄杉优良用材树种提供选地指导。

1 研究区域概况

研究区域为滇东北的乌蒙山区,黄杉分布较为集中的曲靖市会泽县和宣威市。其中,会泽县处于滇东北、曲靖西北边,地理坐标为东经 103°03′~103°55′,北纬 25°48′~27°04′。全县山高谷深,沟壑纵横。高原空气稀薄,辐射波短,日照时间长,年均晴日 225 d,年日照 2 100 h,年均温 12.7℃,春季升温快,秋季降温快^[2]。宣威市地处云南省东北部,为云南省曲靖市所辖县级市。地处东经 103°35′~104°40′,北纬 25°53′~26°44′。宣威市境内多年均温 13.4℃,最高年均温 14.6℃,最低年均温 12.7℃,

年均降雨量 935.5 mm。山谷沟壑纵横交错,海拔差异大,受海洋和大陆气团作用,南温带、北亚热带和中温带多种气候并存,冬季干燥,夏季多雨,年温差不大,日温差大,光照充足^[3]。

黄杉是研究区域当地主要用材树种之一。研究区域内黄杉主要分布于宣威市与会泽县接合部,主要涉及倘塘、龙场、格宜、鲁纳、大井、雨碌、上村等乡镇,地理位置大致为东经 103°27′~104°19′,北纬 26°14′~26°40′。该分布区为山地地貌,海拔 1 520~2 480 m,暖温带季风气候,年降雨量 900 mm,多集中于 5—10 月,年均温 15℃,7 月最高温 28℃;1 月最低温 -4℃。土壤以红壤、黄壤为主^[4]。

2 研究方法

2.1 数据来源

研究的基础资料为研究区域森林资源规划设计调查成果数据、DEM 数据和文献资料数据,其中:森林资源规划设计调查成果数据是通过与研究区域林业主管部门收集得到;DEM 数据直接通过软件 91 卫图助手下载得到,数据分辨率为 30 m。

2.2 研究方法

利用 ArcGIS 10.2 数据管理功能,从森林资源规划设计调查成果矢量数据中提取研究区域每个黄杉小班的海拔、坡度、坡向、坡位、土壤类型、土壤厚度、土壤结构、腐殖质厚度和岩裸率等 9 个自然条件数据和自然分布黄杉生物学特性数据。通过 ArcGIS 空间分析功能以 DEM 数据计算出研究区域内每个黄杉小班的太阳辐射量、地表曲率和地形湿度指数 3 个值,制作黄杉自然分布图,构建上述各项因子数据库。应用主成分分析法结合现有小班黄杉生长状况筛选出决定黄杉分布和影响黄杉生长指标的限制性因子,并对生境因子进行适当约简;应用层次分析法确定各项生境因子及其权重,运用模糊数学的隶属度函数建立各因子的量化等级,以此为基础构建

黄杉生长适宜性综合评价模型。将研究区域小班定为评价单元,利用上述所得的综合评价模型,在 Arc-GIS 10.2 软件中对研究区域内的黄杉生长适宜性进行评价,将其分成最适宜区、较适宜区、一般适宜区和不适宜区 4 个等级^[5],将模型计算出的黄杉适宜性等级分布图与黄杉实际分布图进行叠加,对模型计算结果进行精度检验。利用精度检验合格后的成果预测黄杉的潜在分布区域,同时为营造人工黄杉林选择适宜的造林地块。技术路线如图 1 所示。

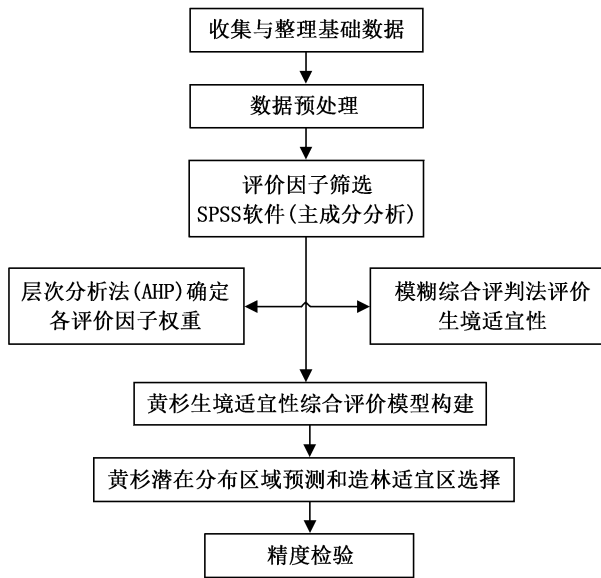


图 1 技术路线

Fig. 1 Technology route

3 评价因子权重的确定及量化分级

3.1 筛选评价因子

样本数据选取的是研究区域的 397 个黄杉小班数据,对每个小班的海拔、坡向、坡度、坡位、地表曲率、地形湿度指数、太阳辐射量、土壤类型、土壤结构、腐殖质厚度、岩裸率和土壤厚度等 12 个因子采用主成分分析法运用 SPSS 软件进行主成分分析,计算出方差贡献率(表 1)。

从表 1 中可以得出前 5 个主成分方差贡献率超 80%,达 81.208%,故本研究选取第一至第五主成分来探究黄杉生长的关键限制因子。

以海拔、坡度、坡向、地表曲率、地形湿度指数、太阳辐射量、土壤类型、土壤厚度、坡位、土壤结构、腐殖质厚度、岩裸率为主要成分的成分矩阵见表 2。

从表 2 可以看出,在第一主成分中,土壤厚度(0.829)和土壤类型(0.853)负荷较大,主要表征了

表 1 方差贡献率

Tab. 1 Variance contribution rate

组件 (因子)	初始平方负荷和			提取平方负荷和		
	总计	方差 /%	累计方 差/%	总计	方差 /%	累计方 差/%
1	2.701	22.508	22.508	2.701	22.508	22.508
2	2.253	18.775	41.283	2.253	18.775	41.283
3	1.940	16.167	57.450	1.940	16.167	57.450
4	1.696	14.133	71.583	1.696	14.133	71.583
5	1.155	9.625	81.208	1.155	9.625	81.208
6	0.842	7.017	88.225	0.842		
7	0.498	4.150	92.375	0.498		
8	0.343	2.858	95.233	0.343		
9	0.205	1.708	96.942	0.205		
10	0.166	1.383	98.325	0.166		
11	0.148	1.233	99.558	0.148		
12	0.053	0.442	100.000	0.053		

黄杉生境不同的土壤成分和土层厚度情况,说明第一主成分与土壤有较大相关性,可以将其定义为“土壤因子”。在第二主成分中,太阳辐射量(0.827)和海拔(0.641)负荷较大,表征不同海拔和太阳辐射量影响黄杉的自然分布,不同的海拔和太阳辐射量直接影响区域内的热量分布,可将其定义为“热量因子”。在第三主成分中,地形湿度指数(0.638)、地表曲率(-0.623)和坡度(-0.554)的负荷较大,地形湿度指数反映该流域内土壤水分的干湿状况,地表曲率和坡度体现涵养水源能力,因此,第三主成分主要表征生境中的水分情况,可将其定义为“水文因子”。在第四主成分中,坡向(0.885)负荷较大,不同坡向接受阳光照射情况不同,第四主成分主要表征光照情况,因此第四主成分可以定义为“光照因子”。在第五主成分中,坡度(0.581)和土壤厚度(-0.550)负荷较大,不同坡度和土壤厚度影响黄杉自然分布,而坡度大的地方一般土壤厚度也比较小,因此,第五主成分主要表征黄杉生境中不同坡度情况,可将其定义为“坡度因子”。从中可以得出限制黄杉自然分布的因素主要是土壤条件、热量分布状况、水文条件、光照条件和坡度情况 5 个因子。综合分析主成分分析结果,结合植物分类、森林培育、地理信息系统等方面专家建议,本研究选取海拔、坡度、坡向、地表曲率、地形湿度指数、太阳辐射量、土壤类型和土壤厚度 8 个生境因子作为本研究的评价因子。

表 2 成分矩阵
Tab. 2 Component matrix

评价因子	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
海拔	0.282	0.641	-0.468	0.232	0.090	-0.164	0.146	0.512	-0.064	-0.178	0.027	-0.002
坡度	-0.137	-0.628	-0.554	-0.002	0.581	-0.191	0.180	0.177	0.185	0.252	-0.061	0.007
坡向	-0.001	0.049	-0.028	0.885	0.078	0.411	-0.150	-0.046	0.085	0.084	-0.019	-0.001
地表曲率	0.065	0.320	-0.623	-0.274	0.137	0.535	0.413	-0.259	-0.042	0.000	0.007	0.006
地形湿度指数	-0.067	-0.324	0.638	0.168	-0.279	0.109	0.560	0.209	-0.055	0.014	0.016	0.003
太阳辐射量	0.253	0.827	0.303	-0.192	-0.110	0.029	-0.004	0.169	0.180	0.305	-0.070	0.009
土壤类型	0.853	-0.242	0.389	-0.269	0.321	0.407	-0.176	0.337	-0.032	-0.049	-0.007	0.001
土壤厚度	0.829	0.309	0.324	0.203	0.590	-0.372	0.284	-0.292	0.030	-0.034	-0.024	-0.002
坡位	-0.492	0.133	0.039	-0.052	0.370	0.034	0.019	0.044	0.328	-0.033	0.256	-0.046
土壤结构	0.535	-0.419	0.006	0.025	0.022	-0.040	-0.017	-0.049	0.024	0.063	0.216	0.144
腐殖质厚度	0.447	-0.556	0.035	-0.055	-0.124	0.054	0.053	-0.052	0.448	-0.220	-0.106	-0.019
岩裸率	-0.358	0.208	0.019	-0.015	-0.021	0.028	-0.002	0.037	0.106	-0.115	-0.119	0.171

3.2 确定评价因子权重

选取的目标层为黄杉适宜性,根据专家指导以及本研究评价因子筛选结果,选取海拔、坡向、坡度、地表曲率、太阳辐射量、地形湿度指数、土壤类型和土壤厚度 8 个生境因子作为评价因子,构建层次结构,分为目标层、准则层和方案层。请森林培育、植物分类、地理信息系统等相关领域的 8 位专家对各评价因子打分,根据专家评分结果,将 8 个评价因子进行两两比较,建立判断矩阵(表 3)。

表 3 评价因子判断矩阵

Tab. 3 Evaluation factor judgment matrix

评价因子	海拔	坡度	坡向	地表曲率	地形湿度指数	太阳辐射量	土壤类型	土壤厚度
海拔	1	4	2	2	3	4	1	1
坡度	1/4	1	1/2	2	1/2	1/3	1/2	1/3
坡向	1/2	2	1	3	4	3	1	1/2
地表曲率	1/2	1/2	1/3	1	1/2	1/2	1/3	1/3
地形湿度指数	1/3	2	1/4	2	1	1/2	1/3	1/3
太阳辐射量	1/4	3	1/3	2	2	1	1/2	1/2
土壤类型	1	2	1	3	3	2	1	1
土壤厚度	1	3	2	3	3	2	1	1

利用 MATLAB 对构建的判断矩阵进行运算,得到 CR 值为 0.0745, CR<0.1,该矩阵通过一致性检验。

通过软件 MATLAB 运算,得到各评价因子权重,权重矩阵记为 A,各评价因子权重详见表 4。

表 4 评价因子权重

Tab. 4 Evaluation factor weights

海拔	坡度	坡向	地表曲率
0.2133	0.0599	0.1595	0.0520
地形湿度指数	太阳辐射量	土壤类型	土壤厚度
0.0669	0.0939	0.1643	0.1902

3.3 评价因子量化分级

评价指标体系建立后,结合专家经验,借助 Arc-GIS 软件分级量化以上 8 个评价因子。选择隶属度函数法对评价因子进行标准化,数值域为 $\in [0 \sim 1]$,此值是单因子适宜度,以 S 加因子类型代表。

3.3.1 海拔因子

海拔的隶属度函数为抛物线型,其表达式为:

$$S_{\text{海拔}} = \begin{cases} 0.9(2300 - x)/100 + 0.1 & 2200 \leq x < 2300 \\ 1.0 & 1800 < x < 2200 \\ 0.9(x - 1700)/100 + 0.1 & 1700 < x \leq 1800 \\ 0.1 & x \leq 1700, x \geq 2300 \end{cases}$$

3.3.2 坡度因子

坡度的隶属度函数为 S 型,其表达式为:

$$S_{\text{坡度}} = \begin{cases} 1.0 & 5 \leq x \leq 20 \\ 0.9(30 - x)/10 + 0.1 & 20 < x \leq 30 \\ 0.1 & x < 5, x > 30 \end{cases}$$

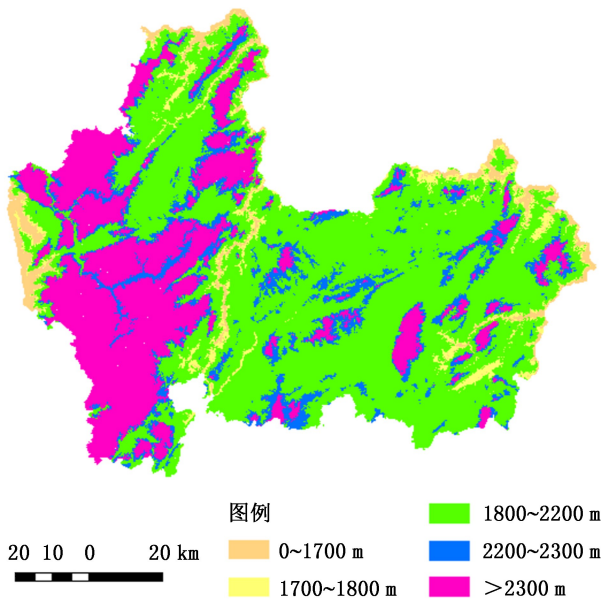


图 2 研究区按海拔分级布局
Fig. 2 Layout of the study area according to altitude

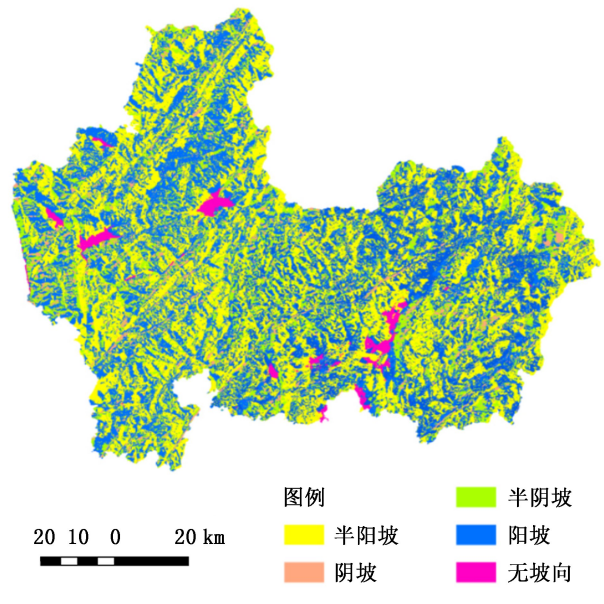


图 4 研究区按坡向分级布局
Fig. 4 Layout of the study area according to slope direction

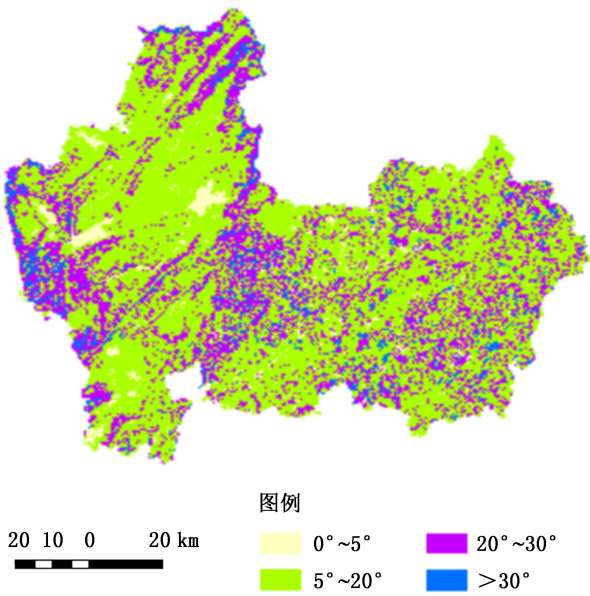


图 3 研究区按坡度分级布局
Fig. 3 Layout of the study area according to slope

3.3.4 地表曲率

地表曲率的隶属度函数为抛物线型,其表达式为:

$$S_{\text{曲率}} = \begin{cases} 0.9(0.6 - x)/0.4 + 0.1 & 0.2 < x < 0.6 \\ 1.0 & -0.2 \leq x \leq 0.2 \\ 0.9(x + 0.6)/0.4 + 0.1 & -0.6 < x < -0.2 \\ 0.1 & x \geq 0.6, x \leq -0.6 \end{cases}$$

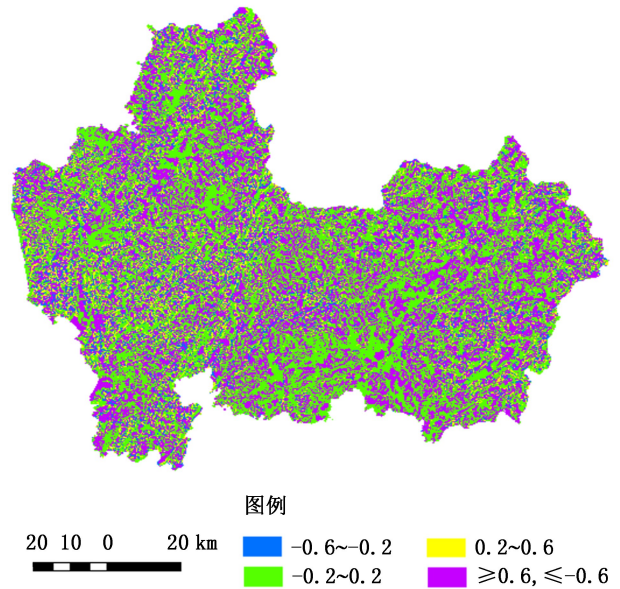


图 5 研究区按地表曲率分级布局
Fig. 5 Layout of the study area according to surface curvature

3.3.3 坡向因子

坡向的隶属度函数为离散型,其表达式为:

$$S_{\text{坡向}} = \begin{cases} 1.0 & \text{阴坡} \\ 0.6 & \text{半阴坡} \\ 0.4 & \text{半阳坡} \\ 0.2 & \text{阳坡} \\ 0.0 & \text{无坡向} \end{cases}$$

3.3.5 地形湿度指数

地形湿度指数的隶属度函数为抛物线型,其表达式为:

$$S_{\text{湿度}} = \begin{cases} 0.9(x - 20)/10 + 0.1 & 20 \leq x \leq 30 \\ 1.0 & 30 < x < 1000 \\ 0.9(100000 - x)/99000 + 0.1 & 1000 \leq x \leq 100000 \\ 0.1 & x > 100000, x < 20 \end{cases}$$

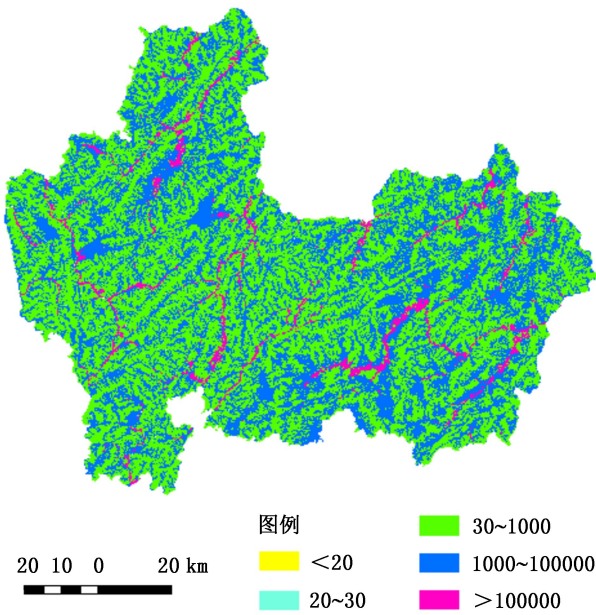


图 6 研究区按地形湿度指数布局

Fig. 6 Layout of the study area according to terrain humidity index

3.3.6 太阳辐射量

太阳辐射量的隶属度函数为抛物线型,其表达式为:

$$S_{\text{辐射量}} = \begin{cases} 0.9(x - 1.0 \times 10^6)/0.5 \times 10^6 + 0.1 & 1.0 \times 10^6 \leq x \leq 1.5 \times 10^6 \\ 1.0 & 1.5 \times 10^6 < x < 1.9 \times 10^6 \\ 0.9(2.0 \times 10^6 - x)/0.1 \times 10^6 + 0.1 & 1.9 \times 10^6 \leq x \leq 2.0 \times 10^6 \\ 0.1 & x > 2.0 \times 10^6, x < 1.0 \times 10^6 \end{cases}$$

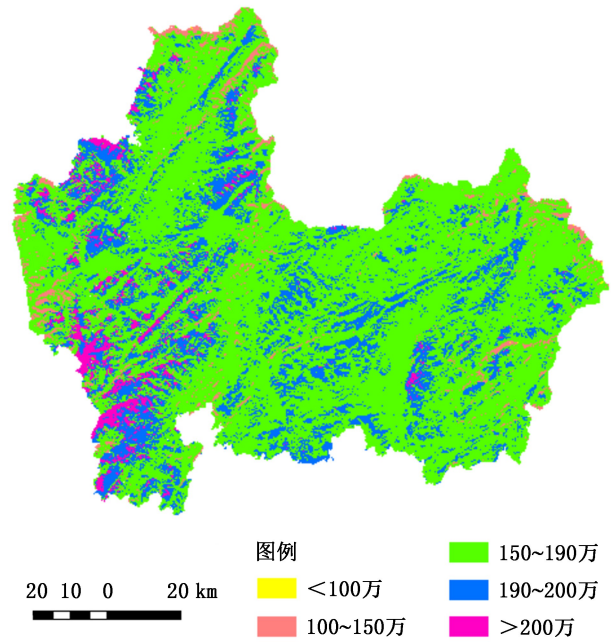


图 7 研究区按太阳辐射量布局

Fig. 7 Layout of the study area according to solar radiation

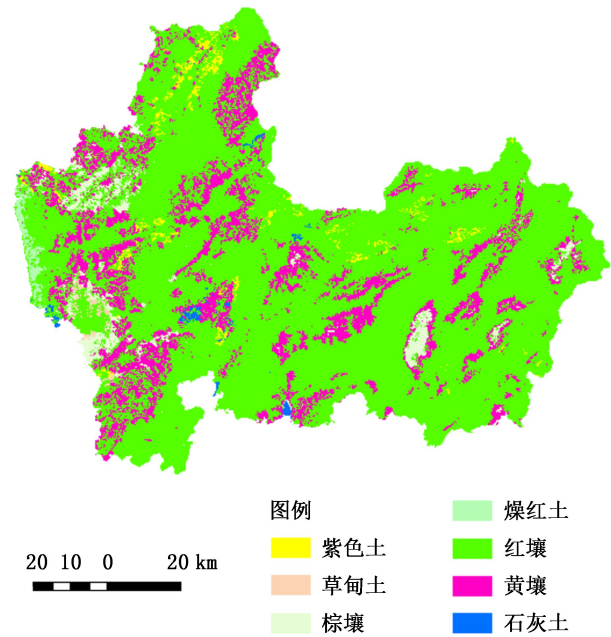


图 8 研究区按土壤类型布局

Fig. 8 Layout of the study area according to soil types

3.3.7 土壤类型

土壤类型的隶属度函数为离散型,其表达式为:

$$S_{\text{土壤类型}} = \begin{cases} 1.0 & \text{红壤} \\ 0.5 & \text{黄壤} \\ 0.3 & \text{紫色土} \\ 0.1 & \text{石灰土} \end{cases}$$

3.3.8 土壤厚度

土壤厚度的隶属度函数为离散型,其表达式为:

$$S_{\text{土壤厚度}} = \begin{cases} 1.0 & \text{厚层} \\ 0.7 & \text{中层} \\ 0.1 & \text{薄层} \end{cases}$$

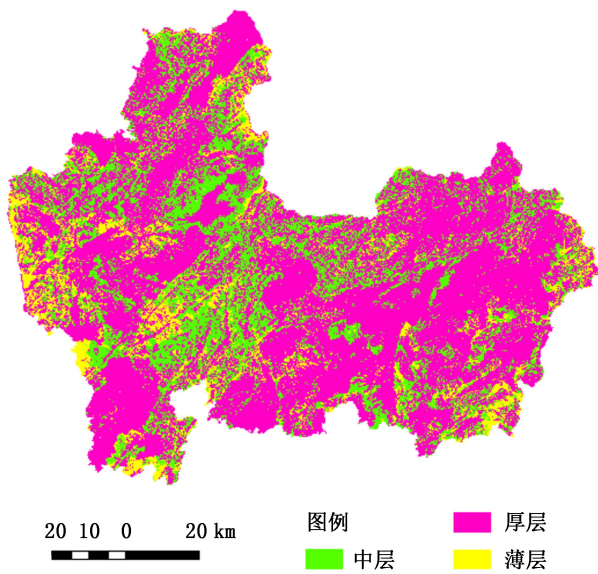


图 9 研究区按土壤厚度布局

Fig.9 Layout of the study area according to soil thickness

4 适宜性模型构建

4.1 模糊综合评判

4.1.1 基本原理

模糊综合评判是在模糊的环境下,综合考虑事物诸多因素,用模糊集理论来评定其优劣的方法^[6]。各种事情评价难于找到共性进行分类,因此先评价单个因素,再综合模糊评价全部因素,避免信息遗漏和损失,能很好地处理确定性评价“是”或“否”引起的对客观的偏离问题,从而确定优劣对象^[7]。这种方法结果准确度高、综合性强,对于模糊无法量化的问题行之有效,能用于非确定性问题。其具体步骤为:

1) 评价对象集、因素集和评判集的确定对象集: $\{o_1, o_2, \dots, o_n\}$, 因素集 $\{u_1, u_2, \dots, u_n\} = \{\text{海拔、坡度、坡向、地表曲率、地形湿度指数、太阳辐射量、土壤类型、土壤厚度}\}$, 评判集 $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_m\} = \{\text{最适宜, 较适宜, 一般适宜, 不适宜}\}$ 。

2) 建立隶属度函数

建立隶属度函数可以模糊矩阵 R 表示因素与方案之间的关系。确定隶属度函数是模糊分析的重要组成部分,为了用模糊集表示和分析模糊现象,隶属度函数的确定是第一步。在实际运用中,隶属度函数能够根据实践逐渐调整健全,依据实践实际效果调节隶属度函数。隶属度函数的确定方式有:对比排序法、综合加权法、模糊统计法、指派法、专家确定法和借用已有的客观尺度等。

评价结果依赖于隶属度函数的确定,隶属度函

数的选择是模糊的,因子量化分级结果在很大程度上受各因子隶属度函数类型的影响。

3) 确定评价因子权重

根据在上述步骤中筛选出的重要因子集合 U , 得出评估因子权重确保过程的精确性与评价结论的准确性,各因子所给予的权重值必须是有效的。本研究采用层次分析法来获取评价因子权重。

4) 获取模糊综合评判矩阵

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

对各评价对象构造综合矩阵 R , R_i 是第 i 个因素 u_i 的单因素评价, r_{ij} 为第 i ($1 \leq i \leq n$) 个因素 u_i 在第 j ($1 \leq j \leq m$) 个评语上的 V_j 评语上的频率分布,一般将其归一化处理,使其满足 $\sum_{j=1}^m r_{ij} = 1$ 。

5) 模糊综合评判

为了获得更加合理的评价结果,各因素必须考虑全面,即需要模糊综合评价,权重 A 和每个因素的判断矩阵 R 由本节第 3、4 步骤计算,以便综合评价,公式为:

$$B = AAR$$

式中: B 为评语集 V 上的模糊综合评判集。

6) 求各评价对象的综合分值

把评价结果 B 转变成综合分值 M ,进而根据 M 值来选择,得到最优者。操作中经常用到的综合评价模型如下^[8-9]:

模型 I: $M(\wedge, V)$ —— 主因素决定型

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) \quad (j = 1, 2, 3, m)$$

a_i 与 r_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n$) 里某个来确定综合评判结果 b_j 的值,重点是主要因素,此种方法会出现决策结果难于分辨的情况。

模型 II: $M(\bullet, V)$ —— 主因素突出型

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \bullet r_{ij}) \quad (j = 1, 2, 3, m)$$

与模型 I 相接近,区别在于 $a_i \bullet r_{ij}$ 替代了 $a_i \wedge r_{ij}$ 。在本模型中,对 r_{ij} 乘以小于 1 的权重 a_i ,说明 a_i 为选择多因素时 r_{ij} 的修正值,和主要因素密切联系,未考虑次要因素。

模型 III: $M(\wedge, \oplus)$ —— 主因素突出型

$$b_j = \bigoplus_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) = \sum_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) \quad (j = 1, 2, 3, m)$$

\oplus 是有界和符号,即 $a \oplus b = \min(1, a + b)$ 。因

为权重分配符合

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1, 0 \leq a_i \leq 1, 0 \leq r_{ij} \leq 1,$$

所以 $\sum_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) \leq 1$, 因此 $\bigoplus_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) = \sum_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij})$

模型 IV: $M(\bullet, +)$ ——加权平均模型

$$b_j = \sum_{i=1}^n (a_i \bullet r_{ij}) (j = 1, 2, 3, m)$$

本模型对所有因素依照权重的大小来均衡和兼顾,非常适用于兼顾各因素所起作用的情况。

本研究选取模型 IV,也就是模型 $M(\bullet, +)$ 来进行计算,计算结果能够全面考虑多种因素的影响和判断结果,因此能反映多策略模式匹配模型的整体特征。

4.1.2 模糊综合评判

运用加权指数和法作为研究区域黄杉生长适宜性评价模型,公式为:

$$B_i = \sum_{j=1}^n A_j \times R_{ij}$$

式中: B_i 为评价单元针对黄杉生长适宜性评价的综合指标; A_j 为第 j 个参评因子的权重; R_{ij} 为第 i 个评价单元第 j 个参评因子的隶属度值; n 为参评因子总个数^[5]。

按照上述方法,综合运用 ArcGIS 和 Excel 软件计算各评价单元和各评价因子的适宜性综合评价指标。 B_i 值的大小反映了第 i 个评价单元对黄杉生长适宜性的隶属度。其大小范围为 $[0, 1]$ ^[5]。参考前人研究成果,结合当地实际情况,得到 B_i 值后,经反复比较和对评价结果的详细分析,结合现有黄杉小班的龄组、公顷蓄积等因素,决定把适宜性等级划分为 4 个等级,即最适宜区 $B_i \in [0.9, 1]$,较适宜区 $B_i \in [0.8, 0.9]$,一般适宜区 $B_i \in [0.7, 0.8)$ 以及不适宜区 $B_i \in [0, 0.7)$ 。综合土地利用现状图,利用 ArcGIS 软件的空间分析和数据管理功能将建设用地和水域也归并进不适宜区域^[5]。

4.2 适宜性评价结果

根据上述分级标准,通过计算分析,得出黄杉生长适宜性综合评价结果,运用 ArcGIS 软件对分级结果进行染色处理,得到如图 10 结果。

在图 10 中,红色区域为种植黄杉的最佳区域,为最适宜区,紫色次之,为较适宜区,绿色为一般适宜区,黄色为不适宜区。本研究中小班总数(评价单元总数)为 127 061 个,小班面积合计 1 194 175.0 hm^2 ,其中最适宜区有小班 15 337 个,面积为 148 947.2 hm^2 ,占总面积的 12.48%;较适宜区小班 34 111 个,

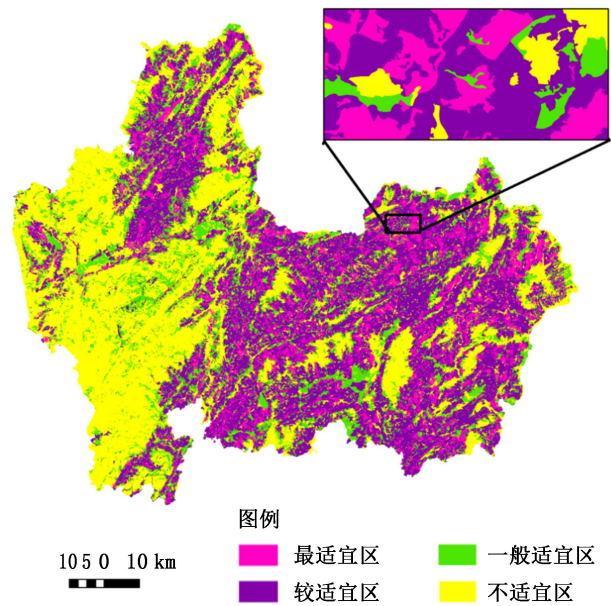


图 10 黄杉生长适宜性分级

Fig. 10 Grading of growth suitability for *Pseudotsuga sinensis*

面积 404 180.8 hm^2 ,占比 33.85%;一般适宜区小班 22 230 个,面积 196 533.4 hm^2 ,占比 16.46%。不适宜区域小班 55 383 个,面积 444 513.6 hm^2 ,占比 37.21%。在营造黄杉人工林时一般选择最适宜区和较适宜区作为造林地,一般适宜区和不适宜区一般不作为营造黄杉人工林的选择地。综合最适宜区和较适宜区,在整个研究区域中,有占总面积 46.33%的区域适宜营造黄杉人工林,面积为 553 128 hm^2 。各区域统计数据见表 5。

表 5 各级数据统计

Tab. 5 Data statistics at all levels

评价分级	小班数/个	预测面积/ hm^2	占比/%
最适宜区	15337	148947.2	12.48
较适宜区	34111	404180.8	33.85
一般适宜区	22230	196533.4	16.46
不适宜区	55383	444513.6	37.21
研究区域	127061	1194175.0	100.00

4.3 适宜造林小班筛选

通过分析得出,占研究区域 46.33%的面积区域适宜营造黄杉人工林。运用 ArcGIS 软件筛选,得到在研究区域内有 10 550.2 hm^2 宜林地位于本研究得到的最适宜区和较适宜区,此部分宜林地可作为营造人工黄杉林的备选地(图 11)。

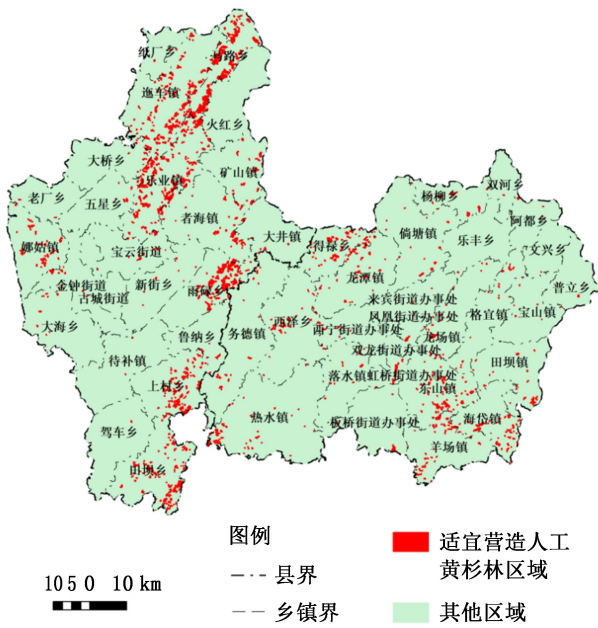


图 11 研究区域适宜营造黄杉林小班分布
 Fig. 11 Distribution of sub-compartment suitable for planting *Pseudotsuga sinensis* forest in the study area

4.4 精度检验

将研究区域森林资源规划设计调查结果中天然黄杉林小班分布情况和本研究模拟出来的黄杉适生范围进行对比。由于研究区域小班数量巨大,如果叠加研究区域所有图斑则无法清晰看到图斑具体情况,故选取天然生长黄杉小班数较多的宣威市龙潭镇来显示(图 12~图 14)。

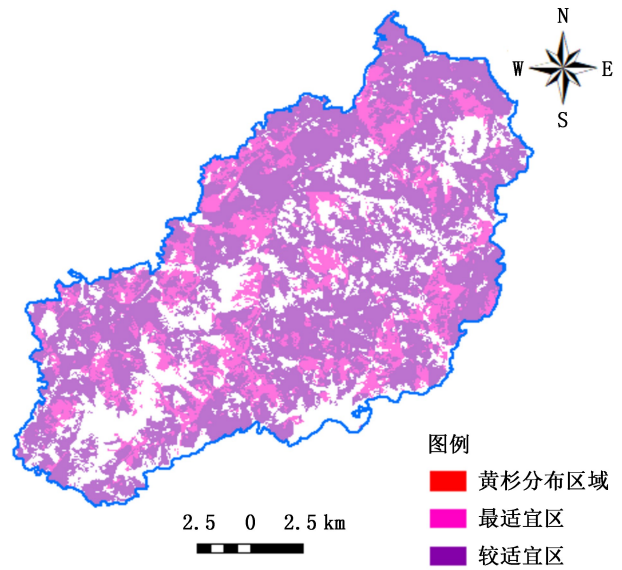


图 13 龙潭镇黄杉预测分布
 Fig. 13 Prediction distribution of *Pseudotsuga sinensis* in Longtan Town

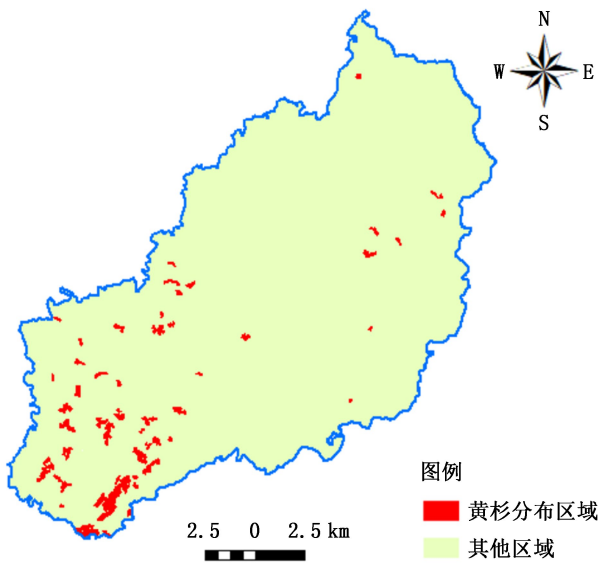


图 12 龙潭镇黄杉实际分布
 Fig. 12 Actual distribution of *Pseudotsuga sinensis* in Longtan Town

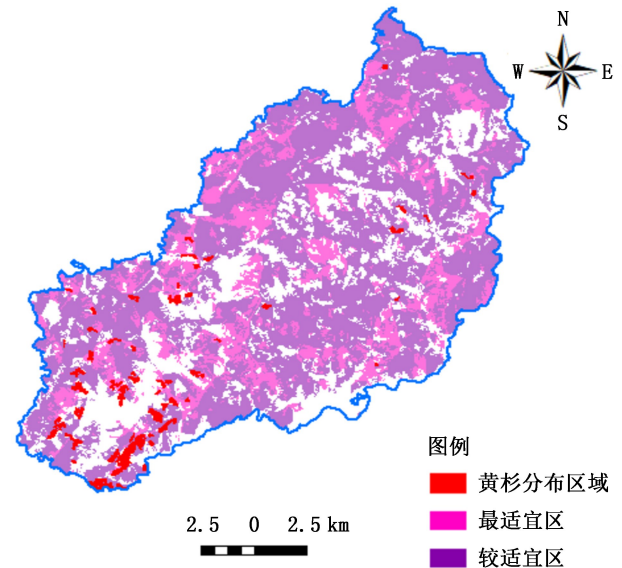


图 14 龙潭镇黄杉分布叠加
 Fig. 14 Stacked map of *Pseudotsuga sinensis* in Longtan Town

图中粉红色和紫色是本研究中通过模型预测出的黄杉适宜生长区域,红色的为黄杉实际分布区。通过运用 ArcGIS 软件叠加分析,结合研究区域森林资源规划设计调查结果,本研究中共有黄杉天然林 1 874.2 hm²。其中 539.1 hm² 黄杉分布于本研究中的最适宜区,占总面积的 28.77%;有 996.5 hm² 黄杉分布于本研究中的较适宜区,占比 53.17%;有 238.8 hm² 黄杉分布于本研究中的一般适宜区,占比

12.74%;有 99.8 hm² 黄杉分布于本研究中的不适宜区,占比 5.32%(表 6)。

表 6 黄杉在各预测区域实际分布

Tab. 6 Actual distribution of *Pseudotsuga sinensis* in each forecast area

评价分级	实际分布面积/hm ²	占比/%
最适宜区	539.1	28.77
较适宜区	996.5	53.17
一般适宜区	238.8	12.74
不适宜区	99.8	5.32
研究区域	1874.2	100.00

综上所述,研究区域中有 1 535.6 hm² 黄杉(占总量的 81.94%)分布于最适宜区和较适宜区;有 12.74%位于一般适宜区。研究预测结果对黄杉的研究和保护具有重要参考价值。

从表 6 可以看出,黄杉的自然分布区域几乎都处于模型预测适宜分布区域。预测其他各种树种还生长于适宜生长区域内,森林类型多种多样,在研究区域内同时还有一部分宜林地、覆盖度较低的灌木林地以及部分未开发利用土地。可以结合林业实际需要,综合生态效益和经济效益,在预测黄杉适生区域营造黄杉人工林,同时也可以预测区域内,特别是预测最适宜区域内针对黄杉开展补充调查,以便对国家重点保护植物黄杉进行更全面地保护。

5 结果分析

5.1 最适宜区

通过 ArcGIS 软件分析和数据整理,研究模型预测研究区域内最适宜区面积为 148 947.2 hm²,其中分布有天然黄杉林 539.1 hm²,占研究区域内天然黄杉林面积的 28.77%,主要分布于会泽县大井镇,宣威市得禄乡、西泽乡、务德镇、倘塘镇、杨柳乡、龙场镇和格宜镇(图 15)。

根据历史观测数据,在最适宜区域,夏秋与冬春分别受到海陆气团作用,形成高原季风气候。冬暖夏凉,年温差小,冬春干燥,夏秋湿润,降水量大,光照充足,积温偏低,区域差异大。多年均温 13.4℃,最高年均温 14.6℃,最低年均温 12.7℃,年际相差 1.9℃。多年平均日照 2 018.5 h,日照百分率为 47%。日照最多年为 2 369.1 h,日照最少年为 1 805.1 h,极差 564 h,气候非常适合黄杉生长。黄杉最适宜区

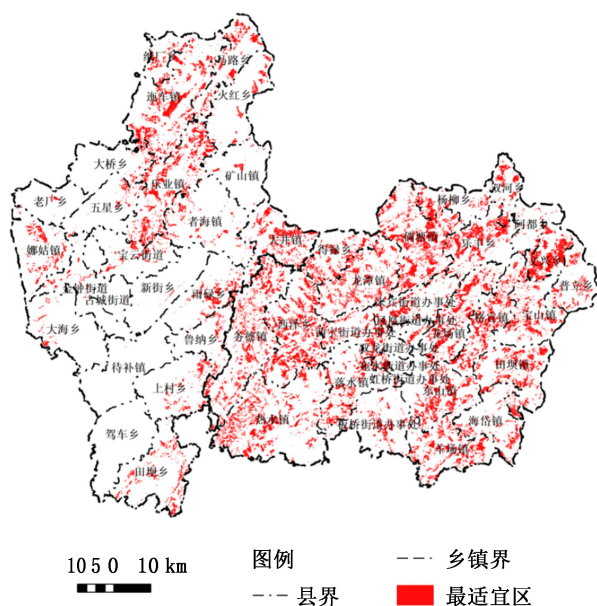


图 15 黄杉最适宜生长区域布局

Fig. 15 Layout of the most suitable growth area of *Pseudotsuga sinensis*

域分布在海拔 1 800~2 250 m 范围,在坡度为 5°~20°的中山阴坡和半阴坡区域。大部分生长于红壤和黄壤,土壤质地主要是壤土,其富含铁、锰等微量元素,土壤理化性质为酸性,土壤厚度主要为厚层,土壤透水透气性良好。上述乡镇非常适合黄杉生长,可结合实际生产生活需要,结合当地林业部门造林实际营造黄杉人工林,在促进当地人工用材林发展的同时也给林农带来良好的经济效益,从而实现生态效益和经济效益同步增长。同时,预测的最适宜区极有可能有黄杉潜在分布,故在最适宜区内开展必要的补充调查,更好地对天然起源的黄杉林进行保护。

5.2 较适宜区

研究模型预测研究区域内较适宜区面积为 404 180.8 hm²。其中分布有天然黄杉林 996.5 hm²,占研究区域内黄杉林面积的 53.17%。主要分布于宣威市得禄乡、西泽乡、务德镇、倘塘镇、龙场镇(图 16)。

该区域内海拔较最适宜区域略有升高,土壤理化性质为酸性至中性,土壤厚度以厚层和 中 层 为 主,坡向为半阴坡、半阳坡和阳坡。海拔和坡向直接影响着黄杉的自然分布。该区域内由于海拔升高,气温下降,营造黄杉林要注意做好防寒防冻措施,由于黄杉在此区域内适宜性等级稍微下降,在该区域内营造黄杉林时建议以生态林建设为主,不建议在此区

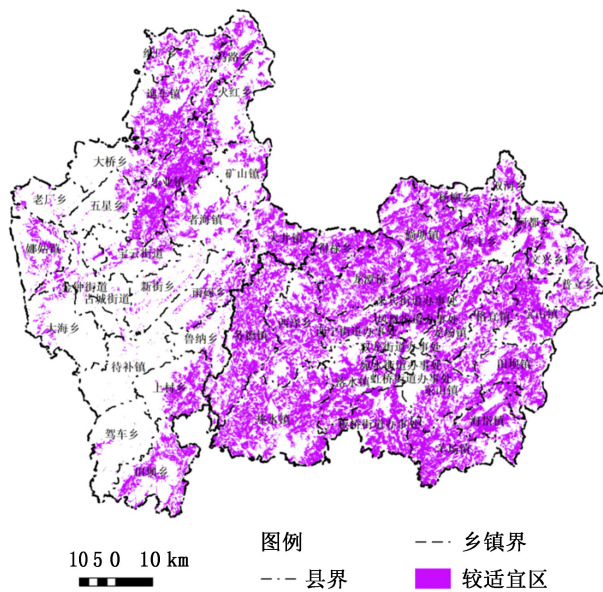


图16 黄杉较适宜生长区域布局

Fig. 16 Layout of the more suitable growth area of *Pseudotsuga sinensis*

域内营造黄杉用材林,如已完成黄杉用材林营造,建议做好抚育管理,如条件允许,可将此部分用材林划入生态公益林。

6 结论和讨论

通过对自然分布于滇东北地区两个县市的国家二级保护植物黄杉自然分布区域的地形、海拔、土壤、气候等因子进行系统调查和综合分析,结合黄杉生长状况综合分析评价黄杉适生环境以及影响因子。通过利用 ArcGIS 软件等多种信息技术,探究影响黄杉自然分布的关键性因子,研究结果显示其关键性因子为土壤条件、热量分布状况、水文条件、光照条件和坡度情况等因子,结合专家经验和主成分分析法结果,选取海拔等 8 项生境因子作为黄杉生长适宜性评价因子。挖掘出黄杉自然分布与其适生环境之间存在高度重合的内在规律,研究黄杉适宜生长环境评价的因子体系和技术方法。通过森林资源规划设计调查数据、DEM 数据和其他查阅的资料数据,综合利用各种数学建模构建黄杉适生环境评价模型,科学地为黄杉生长适宜性做出评价,从而预测重点保护植物黄杉在研究区域的潜在分布,找出适合营造人工黄杉林的区域。研究表明,在整

个研究区中,适宜黄杉生长的面积为 553 128 hm^2 ,占研究区域面积的 46.33%。在研究区域内筛选出适宜黄杉生长的宜林地 10 550.2 hm^2 。其中最适宜黄杉生长的区域面积为 148 947.2 hm^2 ;分布有天然黄杉林 539.1 hm^2 ,占研究区域内黄杉林面积的 28.77%,主要分布于会泽县大桥镇,宣威市得禄乡、西泽乡、倘塘镇、杨柳镇、龙场镇和格宜镇;较适宜黄杉生长区域面积为 404 180.8 hm^2 ,分布有黄杉林 996.5 hm^2 ,占研究区域内黄杉林面积的 53.17%,主要分布于宣威市得禄乡、西泽乡、务德镇、倘塘镇、龙场镇。

开展植物生长适宜性评价是现代林业必不可少的一项内容,通过开展林木生长适宜性评价,为适地适树和优良品种的引进做指导。研究结果为黄杉在研究区域甚至全国的保护和营造人工黄杉林提供参考,同时也将信息技术探究预测重点保护植物潜在分布区域的研究方法引入重点保护植物研究和保护领域。通过研究,获得研究区域黄杉自然分布区域生境因子数据库、黄杉生长适宜性评价模型、黄杉生长适宜性分级图、潜在分布区预测和造林地选择等成果。

参考文献:

- [1] 孟广涛,柴勇,方向京,等. 滇东北黄杉种群数量动态的初步研究[J]. 西北林学院学报,2008,23(6):54-59.
- [2] 柳鹤林. 会泽县林业志[M]. 曲靖:云南轻工科技印刷厂,1997:15-18,43-54.
- [3] 孔源. GIS在耕地地力评价中的应用研究[D]. 昆明:云南大学,2011.
- [4] 高菊芬. 云南曲靖市黄杉种群的群落生态学特征分析[J]. 消费导刊,2008(4):25-26.
- [5] 问青青. 基于GIS的山核桃生长适宜性评价研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2011.
- [6] 李希灿. 模糊数学方法及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005:83-102.
- [7] 彭祖赠,孙韞玉. 模糊(Fuzzy)数学及其应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002.
- [8] 杨纶标,高英仪. 模糊数学[M]. 广州:华南理工大学出版社,2002.
- [9] 肖位枢. 模糊数学基础及应用[M]. 北京:航空工业出版社,1992.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.003

基于高分辨率航空遥感影像的林分因子智能识别技术研究

李琦¹, 辛亮², 孟陈³

(1. 上海市林业总站, 上海 200072; 2. 上海市测绘院, 上海 200063; 3. 景遥信息技术有限公司, 上海 201109)

摘要: 森林资源监测的数字化和智能化是未来发展的主要趋势。基于高分辨率航空、多光谱遥感数据和数字地表模型(DSM)等数据,利用计算机深度学习方法,研究乔木林小班的郁闭度、平均树高、总株数3项主要林分调查因子的数字化智能提取方法。结果表明,郁闭度判读的平均准确率可达到98.6%;平均树高判读的平均准确率可达到90%;株数判读的平均准确率可达到82.36%。

关键词: 智能识别技术;高分辨率航空遥感影像;林分调查因子;自动判读

中图分类号:S771.8;TP75;TP18 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0024-04

引文格式:李琦,辛亮,孟陈.基于高分辨率航空遥感影像的林分因子智能识别技术研究[J].林业调查规划,2023,48(4):24-27. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.003

LI Qi, XIN Liang, MENG Chen. Intelligent Recognition Technology of Forest Stand Factors Based on High-resolution Aerial Remote Sensing Images[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 24-27. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.003

Intelligent Recognition Technology of Forest Stand Factors Based on High-resolution Aerial Remote Sensing Images

LI Qi¹, XIN Liang², MENG Chen³

(1. Shanghai Forestry Station, Shanghai 200072, China; 2. Shanghai Surveying and Mapping Institute, Shanghai 200063, China; 3. Jingyao (Shanghai) Information Technology Co., Ltd., Shanghai 201109, China)

Abstract: The digitization and intelligence of forest resource monitoring is the main trend in future development. Based on high-resolution aerial, multispectral remote sensing data, and digital surface model (DSM) data, this paper studied the digital intelligent extraction method for three main forest stand survey factors, namely canopy density, average tree height, and total plant number, in the subcompartment of arboreal forest by using computer deep learning. The results showed that the average accuracy of canopy density interpretation reached 98.6%; the average accuracy of average tree height interpretation reached 90%; the average accuracy of plant number interpretation reached 82.36%.

Key words: intelligent identification technology; high-resolution aerial remote sensing images; forest stand survey factors; automatic interpretation

森林是陆地生态系统中的重要主体,为人类提供赖以生存和发展的重要物质基础,对人类生存和

经济社会可持续发展起着不可替代的作用^[1]。上海市是最早进行城市森林规划和建设的城市之

收稿日期:2022-03-08;修回日期:2022-06-20.

基金项目:上海市绿化和市容管理局科学技术项目(G201209).

第一作者:李琦(1969-),男,浙江金华人,高级工程师.主要从事森林资源监测工作.

—[2-3]。城市森林在固碳^[4-5]、生物多样性保护^[6]和缓解城市热岛^[7-8]等方面均具有重要作用。森林资源监测是对森林资源的数量、质量、空间分布、利用状况等现状及其动态消长变化进行观测、分析和评价的一项林业基础性工作,为实现森林资源科学管理和合理利用提供重要的基础数据保障。森林资源监测的主要工作内容之一,即是对森林资源的树种、胸径、树高、郁闭度、株数等林分因子状况进行调查。传统的人工调查方式存在着诸多不足之处,主要表现在两个方面:(1)大量的监测数据需要调查人员实地获取,工作任务繁重,人力成本高,监测效率较低;(2)监测数据的精度依赖于调查人员的专业素质和工作责任心,主观因素影响较大,监测成果的质量不稳定。随着科学技术水平的发展,无人机、激光雷达等新装备以及遥感信息自动识别、计算机深度学习等新技术已逐步在森林资源监测领域得到重视和广泛研究^[9-15]。

2020 年以来,上海市林业总站联合上海市测绘院、国家林业和草原局华东调查规划院等多家单位,基于高分辨率航空遥感影像、多光谱遥感影像、数字地表模型(DSM)等数据,利用计算机深度学习方法,开展了以乔木林小班郁闭度、平均树高、总株数 3 项主要林分调查因子为重点研究内容之一的自动估测方法研究,以实现减少外业实地调查工作量,提高监测效率和调查精度,提升上海市森林资源监测智能化水平的目标。

1 研究区域概况

上海市地处长江入海口,位于长江三角洲以太湖为中心的碟形洼地东缘,地势低平。是一座具有世界影响力的现代化国际大都市。据上海市 2020 年度森林资源监测成果显示,全市森林总面积为 117 258 hm²,森林覆盖率为 18.49%。其中,乔木林面积为 104 028 hm²,占森林总面积的 75.87%。上海市森林资源具有典型的城市森林特点,全部为人工林,混交林分占比超过 50%,林分组成较为复杂,其功能以生态防护或景观游憩为主,生态公益林面积占比超过 80%。由于境内水网密布,道路纵横,城镇化水平高等因素影响,森林资源小班的尺度较小,细碎小班多,分布零散。全市共有各类森林资源小班约 35 万个,其中 0.5 hm² 以下小班约 28.5 万个,占比达 81.81%。四旁树的分布在全市占有较大比重。

2 研究方法

2.1 数据源

根据上海市森林资源分布特点,本研究以 2020 年度森林资源监测成果数据库中乔木林小班为研究对象,基于小班现状分布及其边界范围开展郁闭度、平均树高、总株数 3 项主要林分调查因子的自动估测技术研究。研究采用的影像数据主要包括上海市 2019 年 11 月至 2020 年 2 月大飞机 DMC III (digital mapping camera) 航空遥感影像,分辨率为 0.1 m,波段为 RGBN(红、绿、蓝、近红外)4 个波段;以及依据航空摄影测量影像通过空三解算的数字地表模型(DSM)数据(分辨率为 0.1 m)。正射影像和 DSM 模型经布设于地面的检查点核验,平面、高程精度分别为 ±0.12 m 和 ±0.19 m。辅助数据源为 2020 年第三季度高景一号卫星影像,分辨率为 0.5 m。

2.2 技术路线

基于现有乔木林小班边界范围,利用本市高精度四波段航空影像提取小班内植被覆盖范围,然后利用 DSM 数据进行切片处理,剔除低矮植被后提取出乔木分布和冠幅信息,进而获取小班郁闭度、平均树高、总株数等林分调查因子信息(图 1)。

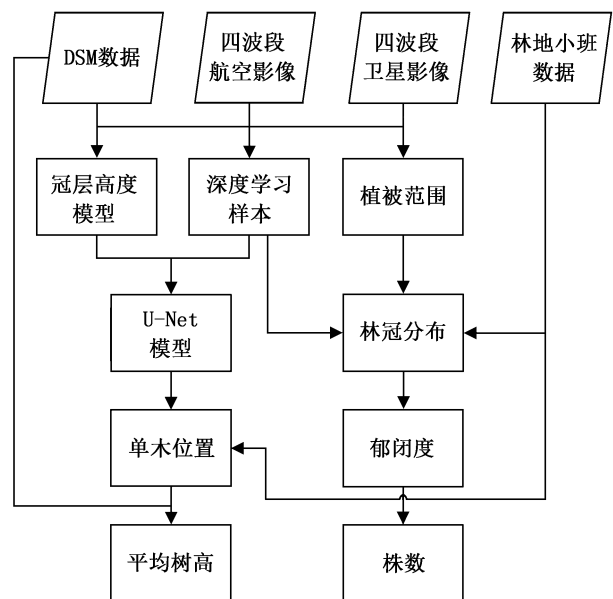


图 1 技术路线

Fig. 1 Technical route

2.3 研究方法

2.3.1 郁闭度判读

郁闭度是指林木冠层的投影面积与该林分林地

总面积的比值。郁闭度准确判读的关键在于乔木层林冠范围的准确识别与提取。本研究采用归一化植被指数算法进行小班郁闭度的自动判读。

归一化植被指数是一种常用的植被提取算法,利用归一化植被指数算法可以提取小班内所有的植被信息,然后利用 DSM 点云数据,通过设置高度阈值剔除草地、农用地、绿化地表等低矮植被信息,即可获得较为准确的乔木冠层信息。由于上海市航空影像的获取时间为冬季,基于光谱信息的冠幅提取方法对落叶树种并不完全适用,判读精度不足。因此,本研究中同时利用了植被生长状态较好的夏季卫星影像来进行弥补,由于卫星传感器无法获取立体影像对,基于 DSM 数据的林冠提取方法并不适用,因此,在已有数据的基础上,通过制作林地样本,利用计算机深度学习技术提取乔木冠幅信息,进而获得了较为真实的小班郁闭度。随机选取 46 个乔木林小班,利用判读数据与人工在航片上区划产生的数据进行精度比对,结果显示,郁闭度判读的平均准确率可达 98.6%。

2.3.2 平均树高判读

平均树高是反映林分中所有林木高度平均水平的测树因子,是森林资源调查中重要的调查因子之一。基于遥感影像开展林分平均树高估测的研究方法很多^[13-15],本研究主要利用数字地表模型(DSM)点云技术进行判读。

DSM 是指包含了地表建筑物、桥梁和树木等高度的地面高程模型,能够真实地表达地面起伏情况,近年来在城市规划、林业等部门已得到较广泛应用。由于 DSM 数据记录了地表不同位置的高程信息,因此对 DSM 数据进行切片处理可得到不同高度平面上的地物信息。本研究通过 DSM 与数字高程模型(DEM)的差值得到乔木林冠层高度模型(CHM),然后利用判读获取的小班内所有乔木的单木位置,在 CHM 中自动提取小班内每株乔木的高度数据,最后汇总计算得到小班的平均树高。随机选取 46 个乔木林小班,利用判读数据与小班实地调查数据进行精度比对,结果显示,平均树高判读的平均准确率可达到 90%。

2.3.3 株数判读

根据遥感影像进行单株定位和识别是本项研究的重点和难点。最终研究确定的方法是:将遥感获得的可见光、多光谱影像和冠层高度模型(CHM)作为输入源,人工标记常绿、落叶和常绿落叶混交 3 种林分的单株乔木样本,并通过构建全卷积深度学习

U-Net 神经网络进行株数判读。U-net 神经网络通过波段组合、归一化、图像增强、交叉熵函数和 Adam 优化等算法,能够获得 U-net 模型最优参数组合,并获得单株乔木分布的概率点阵图,根据概率点阵图可以实现单株乔木识别和位置数据提取,最后根据现状小班边界范围,即可获取小班内乔木总株数。随机选取 100 个乔木林小班,利用判读数据与人工在航片上标记产生的数据进行精度比对,结果显示,株数判读的平均准确率可达到 82.36%。不同林分类型的株数识别准确率不同,主要表现为常绿林分 > 混交林分 > 落叶林分的趋势,其中,常绿林分小班的平均准确率为 90.77%,混交林分小班的平均准确率为 79.15%,落叶林分小班的平均准确率为 69.88%。

3 结 论

在小班郁闭度、平均树高的自动判读研究中,由于研究所使用的航空遥感影像及 DSM 等数据均具有较高的分辨率,再辅助以夏季卫星影像数据进行判读补充,解决了冬季树木落叶的影响,两项研究内容的自动判读结果均符合小班调查精度要求,基本实现了预期目标,证明了其研究方法的有效性。

在小班林木总株数的自动判读研究中,由于受航空遥感影像拍摄季节、树木落叶等因素影响,以及小班破碎化程度、树种组成复杂程度、林分郁闭度过高、环境影响等因素对判读精度造成的干扰,其判读结果距离小班调查精度要求仍有一定差距,说明其研究方法仍有进一步探索和改进的空间。

研究表明,基于高分辨率航空遥感影像的林分调查因子自动判读技术,能够较为快速、客观、准确地获取乔木林小班的部分主要林分调查因子,对于提高森林资源监测效率和调查精度具有重要的实践意义。由于上海市森林资源存在着林相复杂、小班尺度较小且破碎化程度高等特点,目前的试验性研究与未来大范围的实践应用之间仍存在较多不可预见性,因此,本研究工作仍有待进一步深化和拓展。

本项目的研究成果结合主要树种(组)智能识别、主要树种(组)胸径—树高关系模型研建等相关研究成果的综合运用,智能识别技术才能在上海市森林资源监管工作中得到广泛应用,提升全市森林资源监测智能化水平,实现森林资源监测技术质的飞跃。

利用本项目判读获取的小班平均树高及其它研

究获取的胸径—树高关系模型,可以换算获得小班平均胸径这项重要林分调查因子,结合判读获取的小班乔木总株数,即可自动估算出小班的林木蓄积量,从而为上海市开展林长制考核以及为实现碳中和碳达峰而开展的相关工作提供快捷而准确的数据支撑。

随着林长制在上海市的全面推行,加强对森林资源更新变化情况的实时监控必将成为各级政府和林业部门的工作重心之一。计算机智能识别技术高效的监测效率及其全面、客观、准确的判读精度,将在实施森林抚育、林相改造、林地征占用审批、森林资源灾后普查等工作中提供强有力的技术支持。

参考文献:

- [1] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海:华东师范大学出版社,2001.
- [2] 达良俊,杨同辉,宋永昌. 上海城市生态分区与城市森林布局研究[J]. 林业科学,2004(4):84-88.
- [3] 宋永昌. 城市森林研究中的几个问题[J]. 中国城市林业,2004(1):4-9.
- [4] 高业林. 基于3S技术的城市森林碳汇能力研究[D]. 济南:山东建筑大学,2021.
- [5] 张桂莲. 基于遥感估算的上海城市森林碳储量空间分布特征[J]. 生态环境学报,2021,30(9):1777-1786.
- [6] 宋永昌. 城市森林研究中的几个问题[J]. 中国城市林业,2004(1):4-9.
- [7] 陈朱,陈方敏,朱飞鸽,等. 面积与植物群落结构对城市公园气温的影响[J]. 生态学杂志,2011,30(11):2590-2596.
- [8] 曹璐,胡瀚文,孟宪磊,等. 城市地表温度与关键景观要素的关系[J]. 生态学杂志,2011,30(10):2329-2334.
- [9] 陈芸芝,陈崇成,汪小钦,等. 多源数据在森林资源动态变化监测中的应用[J]. 资源科学,2004(4):146-152.
- [10] 覃先林,李增元,易浩若. 高空间分辨率卫星遥感影像树冠信息提取方法研究[J]. 遥感技术与应用,2005(2):228-232.
- [11] 张巍巍,冯仲科,汪笑安,等. 基于TM影像的林木参数提取和树高估测[J]. 中南林业科技大学学报,2013,33(9):27-31.
- [12] 张志超. 多源遥感森林资源二类调查主要林分因子估测关键技术研究及实现[D]. 西安:西安科技大学,2020.
- [13] 江志向,陈紫璇,练一宁,等. 基于航模飞行器摄影数据的森林信息提取方法[J]. 北京测绘,2017(3):153-157.
- [14] 赵芳. 测树因子遥感获取方法研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.
- [15] 韩学锋. 基于高分辨率遥感林分调查因子的提取研究[D]. 福州:福建师范大学,2008.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.004

基于 GIS 和生态敏感性分析的城乡公园地块规划研究

许维磊

(中冶华天南京工程技术有限公司,江苏 南京 210019)

摘要:以盐城市盐龙体育公园景观规划为例,分析高程、坡度、坡向、植被覆盖度、水域敏感因子,计算生态敏感性评价总值。对生态敏感程度进行分级,确定各敏感因子的敏感程度,对 GIS 高程数据进行预处理,采用方根法计算生态敏感因素的权重。在 GIS 技术支持下,设计规划原则,通过 ArcGIS 软件实现向量文档的数字化,根据研究区生态环境状况,将生态功能区划分为生态保育区、生态缓冲区、生态管制区和开发建设区,基于此,设计出城乡公园地块规划效果图。

关键词:生态敏感性;城乡公园;地块规划;规划原则;GIS;方根法

中图分类号:Q142.9;P208;TU986.52 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0028-05

引文格式:许维磊. 基于 GIS 和生态敏感性分析的城乡公园地块规划研究[J]. 林业调查规划,2023,48(4):28-32.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.004

XU Weilei. Urban and Rural Park Plot Planning Based on GIS and Ecological Sensitivity Analysis[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(4):28-32. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.004

Urban and Rural Park Plot Planning Based on GIS and Ecological Sensitivity Analysis

XU Weilei

(MCC Huatian Nanjing Engineering Technology Co., Ltd., Nanjing 210019, China)

Abstract: The elevation, slope, slope aspect, vegetation coverage and water sensitivity factors were analyzed, and the total ecological sensitivity evaluation value was calculated based on the the landscape planning of Yanlong Sports Park in Yancheng City. The ecological sensitivity was graded, the sensitivity of each sensitive factor was determined, the GIS elevation data was preprocessed, and the weight of the ecological sensitive factor was calculated by the method of square method. With the support of GIS technology and the design of planning principles, the digitization of vector documents was realized through ArcGIS software. According to the ecological environment conditions of the research area, the ecological functional area was divided into ecological conservation areas, ecological buffer areas, ecological control areas, and development and construction areas. Based on this, the urban and rural park plot planning effect map was designed.

Key words: ecological sensitivity; urban and rural park; plot planning; planning principle; GIS; square method

目前,我国经济发展与社会生态环境息息相关,人们对环境越来越重视,其影响范围和强度也越来

越大,对现有自然生态体系的结构和功能产生很大影响。区域生态敏感度评估和分析是科学评估人与

收稿日期:2022-01-27.

第一作者:许维磊(1981-),男,山东临邑人,硕士,高级工程师.研究方向为风景园林设计.

自然生态环境协调发展的一个重要指标,生态敏感是指在人类活动影响下,生态环境对外部压力的敏感程度,是一个具有重大意义的生态系统特性,是生态平衡和环境问题的主要标志。近年来,生态敏感问题在国内得到广泛关注,从单一的环境敏感问题发展到对环境敏感的综合评估,虽然取得了不少成果,但大都是在较大范围内进行的,对小范围的综合研究还很少见。基于改进层次分析法的规划方案,结合低影响开发建设需求,从优化城市景观角度出发,构建综合公园地块规划模型,采用了改进层次分析法设计布局方案^[1];基于多时相遥感数据的规划方案,以景观格局动态变化为目的,使用基于面向对象的模糊分类法提取景观格局指数,结合多时相遥感数据规划格局^[2]。布局与地块数量是规划的关键目标,仅使用上述两种方法无法均衡地块数量与布局,容易出现布局不合理情况。为此,提出了基于GIS和生态敏感性分析的城乡公园地块规划研究。

1 项目概况

以盐城市盐龙体育公园景观规划为例,盐龙体育公园占地62万m²,坐落在高新区盘黄街大道。在项目建设上坚持先进的管理模式,树立良好的企业形象。建设新的“EPC+O”模式,包括:3.3 km的骑行道、5个足球场、4个网球场、12个羽毛球场、4个庭院、1个游泳池、1个球馆、1个健身房、1个儿童游乐园、1个老年运动场、1个极限运动场、1个综合素质展示区,充分满足了附近居民的健身需要。

2 基于GIS和生态敏感性分析

2.1 敏感因子分析

在生态敏感性因素分析中,一般是基于所处地区的生态环境特点,综合筛选生态敏感性因素。在对生态敏感性因子进行分析时,通常要根据所在区域的生态环境特征,综合考虑研究重点和对象,选取适宜的敏感因子^[3]。在不同的地形、坡度、坡向等条件下,对盐城市城乡园林用地的生态敏感度进行综合考虑,选取对研究区生态资源影响程度最大的指标,并将其作为评价因子进行敏感性分析^[4]。

2.1.1 高程

在评价生态敏感度时,海拔是一个很重要的指标,其可以被用高度来表达。太阳辐射强度随海拔升高而增大,而大气浓度则呈递减趋势。在高纬度地区,紫外线辐射强度比低纬度地区要大,因此,高

海拔地区的植物生长受到限制^[5]。同时,温度每降低0.5~0.6℃,海平面上升100 m,从高程对生态环境的影响和对生态景观的影响两方面进行分析^[6]。

2.1.2 坡度

斜坡是单位面积接受太阳辐射的区域,其大小与地表的角度有关。同时,边坡在城市生态公园的建设与维护中起着举足轻重的作用^[7-9]。随着斜坡的增大,单位面积的阳光辐射能降低,使其发展与保护变得更加困难。另外,McSweeney的研究显示,在小流域范围内,高程、坡度、平面曲率、剖面曲率、复合地貌指数等5个要素可较好地反映土壤的发生和发育^[10]。

2.1.3 坡向

坡向与太阳辐射有关,坡向角度不同,生态敏感性也不同。根据GIS统计结果可知,在面向太阳一面的土坡其太阳辐射强度大于背向太阳一面。因此,面向太阳一面的土坡为阳面,背向太阳一面的土坡为背面^[11]。由于坡向光照强度的不同,其土壤水分蒸发速率也有一定的差别。阳坡的土壤水分蒸发速度快,对环境的敏感性较高。

2.1.4 植被覆盖度

植被覆盖率是指各地区植物在垂直方向上的投影面积,包括叶片、茎、枝等。植被覆盖率是反映地面植被状况的一个重要指标,也是影响城市生态环境敏感性的一个关键因素。在城市生态公园建设中,森林等级高、外观好、森林覆盖率高的地区要比森林内部单一的森林资源少^[12]。可见,随着植被覆盖度的不断增大,其生态敏感度也随之降低。

2.1.5 水域

研究区水域主要以河道为主,在动植物生长过程中最容易受到人为活动的影响。根据研究区与水源地的距离,将其敏感性等级划分为不同类型,并将其与水质综合考虑,从而得出最大影响区域^[13]。

2.2 生态敏感性评价值的计算

通过上述确定的高程、坡度、坡向、植被覆盖度、水域敏感因子,需计算相应栅格单元的生态敏感性评价值,公式为:

$$R_i = \sum_{j=1}^n w_j \times R_{ij} \quad (1)$$

式中: w_j 表示所有因子的权重值; R_{ij} 表示第*i*个评价因子的第*j*个单元评价值^[14]。

根据栅格单元的生态敏感性综合评价结果,计算总体的生态敏感性评价值,公式为:

$$R = |R_i| \quad (2)$$

式中: R 表示生态敏感性评价总值。

将集合形式的生态敏感性评价总值用矩阵形式来表示,公式为:

$$R = \begin{pmatrix} R_{n_1} & \cdots & R_{l_j} \\ \vdots & R_{xy} & \vdots \\ R_{i_1} & \cdots & R_{ij} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: R_{xy} 表示矩阵中第 x 行第 y 列的评价值。

基于此,将生态敏感程度分为 5 个等级(表 1)。

表 1 敏感因素分级标准

Tab. 1 Classification criteria of sensitive factors

因素	高程/m	坡度/ $(^\circ)$	坡向	植被覆盖度/%	水域
不敏感	650~670	0~8	正南	100	非缓冲区域
轻度敏感	670~710	8~13	东南	75~100	缓冲区域
中度敏感	710~740	13~20	正西	55~75	缓冲区域
高度敏感	740~780	20~30	东北	25~55	缓冲区域
重度敏感	780~850	>30	正北	<25	—

根据表 1 等级划分结果,确定各敏感因子的敏感程度,并以此为依据规划城乡公园地块。

3 城乡公园地块规划

3.1 基于 GIS 的高程数据预处理

城乡公园地块规划前需要对高程数据进行预处理,根据调研资料,对采集到的数据进行整理与分析。

3.1.1 城乡公园地块土地使用/覆盖资料抽取

根据盐城市盐龙体育公园的总体规划资料,将 AutoCAD 生成的规划资料转化为能够与 ArcGIS 进行数据交换的资料;在 ArcGIS 中进行矢量化处理,处理的信息包含土地覆盖图数据、类型以及数据属性;在进行投影时,由于原始规划数据无坐标系统,不需要进行空间修正和投影转换^[15]。

3.1.2 采集植被覆盖度数据

利用盐城市盐龙体育公园调查资料,结合野外地形图,对盐城市盐龙体育公园进行二次调查,并对其进行小区域划分。在 AutoCAD 软件中,将地图绘制结果保存在 ArcGIS 中,利用 ArcGIS 对其进行矢量化处理,得到包括植被覆盖度在内的各种图像和属性数据。

3.1.3 河流缓冲数据的抽取

根据所收集的盐城总体规划资料,将 AutoCAD 生成的规划资料转化为能够与 ArcGIS 进行数据交

换的资料格式;在 ArcGIS 中实现了向量层矢量化处理,并使用 ArcGIS 的缓冲区向导工具构建并分析向量层河流缓冲数据。

3.1.4 地形数据统计

影响地形数据的参数包括高程、坡度、坡向、曲率、等高线等,这些数据 RTK 不仅能够满足 1:500 的测量要求,还能保证地形各测量点数据的充足性,不会造成任何误差,适合大规模的测量。GPS-RTK 是一种应用于平原和小面积地区的测绘,利用单一的高程资料,不仅可以保证地图的准确性,而且还可以体现其灵活、方便的特点。

以 1:10 000 地图数据为基础,利用 RTK 野外测量技术,绘制 1:10 000 地图,并将其转换成 GIS 数据。运用 ArcGIS 的三维建模技术,对 DEM 进行建模,获取地形参数,保证了数据的准确性,为城乡公园地块的合理规划提供依据。

3.2 基于生态敏感因素的权重计算

采用方根法计算权重,详细步骤为:

1) 计算判断矩阵中每一行的乘积,公式为:

$$\lambda_i = \prod_{j=1}^n R_{ij} \quad (4)$$

2) 计算乘积的 n 次方, n 表示矩阵的阶,公式为:

$$\bar{R}_i = \sqrt[n]{\lambda_i} \quad (5)$$

3) 对公式(5)进行归一化处理,公式为:

$$\beta_i = \frac{\bar{R}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{R}_j} \quad (6)$$

公式(6)计算结果就是所求的特征向量。

由于敏感因子在不同环境下的变化具有复杂性,所以通过构造的判断矩阵来检验一致性,判断矩阵为:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

式中:CI 表示一致性比率;RI 表示一致性指标。

当公式(7)计算结果小于 0.1 时,说明判断矩阵满意一致性较高,由此也确定各敏感因子的权重分类是合理的;反之,则说明判断矩阵满意一致性较低,需要调整判断矩阵,直至获取满意一致性为止。

4 规划原则设计

根据 GIS 数据统计内容,通过生态敏感因素权重计算结果,确定高程、坡度、坡向、植被覆盖度、水

域敏感因子的敏感性等级,获取生态综合敏感程度,并结合表 1 敏感因素分级标准,确定分级区间、面积及其占比(表 2)。

表 2 规划原则
Tab. 2 Planning principles

因素	分级区间	面积/hm ²	占比/%
不敏感	0~1.8	5.50	4
轻度敏感	1.8~2.5	3.80	2
中度敏感	2.5~3.0	32.50	24
高度敏感	3.0~3.5	70.00	53
重度敏感	>3.5	18.00	17

依据表 2 规划原则设计详细的规划原则。

4.1 不敏感区域规划原则

不敏感是指在一定程度上,由于受自然、生物活动等因素影响,生态环境不会发生变化。GIS 数据表明,研究区不敏感区面积约为总面积的 4%,研究区的河谷中部和平缓的剖面最多,是人为活动较多区域,在发展过程中可将其作为重点发展区域。

4.2 轻度敏感区域规划原则

由于自然、人类活动和其他因素对生态环境造成一定影响,导致该区域成为轻度敏感区域。通过 GIS 统计分析,研究区域内轻度敏感区面积占总面积的 2%,该部分面积是占用面积最小的,地势起伏较小,坡度不高,该区域植被覆盖度也相对较高。对于轻度敏感区域,可将其用作休闲、娱乐场所。

4.3 中度敏感区域规划原则

中度敏感是指在生态环境相对稳定的情况下,受自然和人为影响,会对其原有的生态环境产生严重影响。根据 GIS 数据,研究区的中度敏感区域面积占总面积的 24%。该区域生态植物在南方山脉中最为常见,主要分布于中部山谷的外围和东边山坡下,这些区域地势低洼、植被茂盛、坡度大、人为活动很少,在进行开发时应尽量避免对原有生态环境造成损害。

4.4 高度敏感、极度敏感区域规划原则

高度敏感、极度敏感均是指生态环境的脆弱性,也就是在自然与人为活动的共同作用下可能会出现生态问题,但其出现的可能性与程度也不尽相同。经 GIS 统计,总面积的 53%为高敏感区域,17%为极度敏感区域。其中南部山体是极度敏感区域的主要聚集区,这些区域具有高海拔、高坡度、低人为活动、

低植被覆盖等特点。因此,对于研究区中的高度敏感、极度敏感区域,应通过生态建设来避免由高敏感区域转变为极度敏感区域。

5 规划结果

依据规划原则,扫描各种类型的生态环境图像,并结合 ArcGIS 软件对图像进行数字化处理,详细步骤为:

步骤一:受到图像阵列影响,对于空间域的图像处理,需将空间域转换为区块域形式,不仅能够大大减少数据统计数量,还能获取精准阵列参数。

步骤二:通过图像编码压缩技术,减少图像相关参数数量,进而缩短图像处理时间。

步骤三:通过图像增强、复原和分割处理,能够获取更加清晰的图像。

步骤四:采用二维形状描述图像,为城乡公园地块矢量化规划提供相关参数信息。

根据图像数值化处理结果得到如图 1 所示的矢量化规范内容。

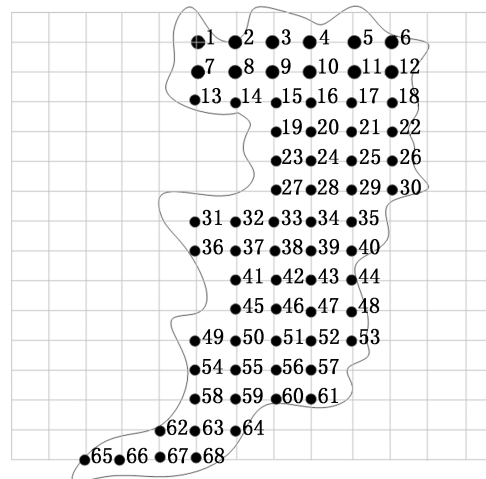


图 1 规划范围网格化

Fig. 1 Planning scope gridding

由图 1 可知,该规划结果与 100 m × 100 m 的网格(实线)相叠,并将其划分为 68 个区域,每个区域均用虚线分割成网格形式。

根据研究区的实际情况及各区域生态环境状况,按生态功能分区划分出生态保育区、生态缓冲区、生态管制区和开发建设区四大区域。

5.1 生态保育区

生态保育区以生态敏感区和核心生态区为主体,该区域由于受自然或人为因素的影响,造成了生

态环境恶化,植被遭到彻底破坏,土壤侵蚀也是一个重要问题。

5.2 生态缓冲区

生态缓冲区以高生态敏感性为主,由于受自然或人为因素的作用,该区域生态系统发生了严重退化,并在一定程度上造成了严重的生态问题,其中还涉及到植被的进一步破坏和土壤侵蚀。

5.3 生态管制区

生态管制区以中等或较低的生态敏感区域为主,与生态缓冲带相比,该区域生态系统较为稳定,并有较好的森林生态系统。

5.4 开发建设区

开发建设区以景观营造区 I、景观营造区 II 为主,可划分为生态敏感区与低敏感区。由于该区域地形较为平坦,因此具备了建设的基本条件。

生态功能区域特征存在如下关系:生态缓冲区 > 生态保育区 > 生态管制区 > 开发建设区,基于此,设计城乡公园地块规划效果图(图 2)。

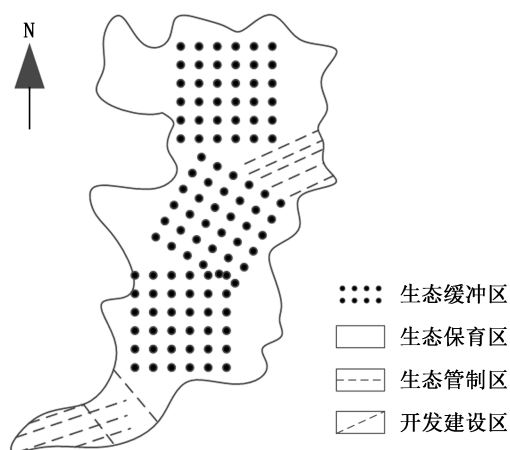


图 2 城乡公园地块规划效果图

Fig. 2 Rendering of urban and rural park plot planning

6 结论

利用 GIS 技术,对盐城市生态敏感性进行分析与评价,并在此基础上进行城乡公园地块规划。将 GIS 技术应用到地块规划过程中,能够协调城市与乡村生态环境,克服了以往分析方法的缺乏可操作性,实现了研究成果的可视化。

目前 GIS 技术对生态敏感度的分析和评估仍有很多问题。由于不同研究领域所关心的问题不同,在生态因素选取、比例分配等方面均存在着人为因

素的判定,使得分析的结论带有主观色彩。因此,在运用 GIS 技术进行环境敏感性分析和评估时,必须将实践中的经验和理论加以评判和运用,以适应现实的需求。

参考文献:

- [1] 李尤,邸苏闯,潘兴瑶,等. 基于改进层次分析法的 LID 空间布局优化研究[J]. 中国给水排水,2020,36(23): 113-120.
- [2] 孙敏,周春国,邹长新,等. 基于多时相遥感数据的老山景区地类信息提取及景观格局动态分析[J]. 生态与农村环境学报,2020,36(2):211-219.
- [3] 陈飞平,李华. 凤凰湖健康主题公园规划设计[J]. 世界林业研究,2021,34(3):137.
- [4] 唐小平. 国家公园规划制度功能定位与空间属性[J]. 生物多样性,2020,28(10):1246-1254.
- [5] 马婕,成玉宁. 基于集群智能行为模拟与空间句法分析的城市公园优化设计研究[J]. 中国园林,2021,37(4): 69-74.
- [6] 唐建兵. 基于“反规划”理论视域下的森林公园总体规划探讨[J]. 林业经济问题,2014,34(2):124-128.
- [7] 周聪惠. 公园绿地规划的“公平性”内涵及衡量标准演进研究[J]. 中国园林,2020,36(12):52-56.
- [8] 李俊奇,闫霄雯,王耀堂,等. 基于雨水蓄排结合的城市公园绿地规划设计方法及案例分析[J]. 给水排水,2020,56(4):92-98.
- [9] 刘萍,王勇. 生态修复视域下的城市公园改造设计[J]. 工程抗震与加固改造,2020,42(6):182-184.
- [10] 冯鹏飞,杨一帆,李楠,等. 城市铁路遗产的景观化保护——京张铁路遗产公园的规划设计[J]. 工业建筑,2021,51(3):15-21.
- [11] 陆哲明,崔戎,沈存,等. 基于景感生态学理论的湿地公园规划设计实践——以长垣市王家潭湿地公园为例[J]. 生态学报,2020,40(22):8158-8166.
- [12] 尹旭红,冀晶娟. 景观形态的秩序建构——以六塘观音山公园规划设计为例[J]. 建筑科学,2020,36(5): 157-158.
- [13] 张亚楠. 无边界公园城市示范区城市设计探析——以成都简州新城龙马湖片区为例[J]. 规划师,2021,37(12):72-77.
- [14] 胡孜军,傅菁菁,裘李豪,等. 基于一、二维耦合模型的某湿地公园水网规划与水力优化应用[J]. 水电能源科学,2020,38(4):91-94.
- [15] 陆平. 国家公园的旅游规划与风景设计——评《国家公园设施系统与风景设计》[J]. 世界林业研究,2020, 33(5):124.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.005

基于 R 软件包 (Polysat) 的巴山木竹多倍体植物 微卫星数据处理

余 鸽¹, 龙凤来¹, 张 莹¹, 刘建军²

(1. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要:针对目前多倍体植物的微卫星数据等位基因拷贝数据处理困难、数据格式转换等问题,利用 R 语言下 Polysat 软件包,以巴山木竹 13 个种群 260 份样本的微卫星数据为例,进行微卫星数据的导入、输出和基因分析,如微卫星等位基因信息统计 SSR 数据的基因型判断及无性系克隆的划分,种群间的 PCA 分析,种群间的 Fst 值分析等。认为与其它多倍体数据处理软件相比,该软件 R 编程环境具备的多功能性和数据输入、输出方法简单等特性,为相关研究人员提供了方便。

关键词:多倍体;微卫星 DNA 数据处理;Polysat 软件;巴山木竹

中图分类号:S759.9;S722.35;TP311.56;P274 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0033-06

引文格式:余鸽,龙凤来,张莹,等. 基于 R 软件包(Polysat)的巴山木竹多倍体植物微卫星数据处理[J]. 林业调查规划,2023,48(4):33-38,136. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.005

YU Ge, LONG Fenglai, ZHANG Ying, et al. Micro-satellite Data Processing of Polyploid Plant *Bashania fargesii* Based on R Software Package (Polysat)[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 33-38, 136. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.005

Micro-satellite Data Processing of Polyploid Plant *Bashania fargesii* Based on R Software Package (Polysat)

YU Ge¹, LONG Fenglai¹, ZHANG Ying¹, LIU Jianjun²

(1. Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In response to the difficulties in processing allele copy data and data format conversion of polyploid plants, the Polysat software package in R language was used to import, output, and analyze micro-satellite data from 260 samples of 13 populations of *Bashania fargesii*, including genotype judgment and clone division of SSR data for micro-satellite allele information statistics, as well as PCA analysis and Fst values analysis between populations. Compared with other polyploid data processing software, the R programming environment of this software had the characteristics of versatility and simplicity of data input and output, providing convenience for relevant researchers.

Key words: polyploid; micro-satellite DNA data processing; Polysat software; *Bashania fargesii*

微卫星 DNA 为简单重复序列(SSR),因其数量 丰富,普遍分布于整个基因组,具有共显性、高多态

收稿日期:2022-03-11.

基金项目:杨凌职业技术学院项目(A2019052);陕西省林业科学院科技创新计划专项项目(SXLK2021-0209).

第一作者:余鸽(1980-),女,陕西长安人,讲师,博士.主要从事生态学研究.

性、重复性,可区分纯合、杂合基因型且可表达生物的倍性信息而被广泛应用于基因分析^[1-2]。然而,对于多倍体植物来说,往往很难确定杂合子等位基因的重复数^[3-4]。复杂的遗传模式和难以确定的等位基因拷贝数,且仅有少量软件可用来处理关于遗传基因多样性的多倍体微卫星数据,使得使用微卫星 DNA 技术研究多倍体生物受到阻碍^[5-7]。因此,研究开发、使用新的软件处理多倍体生物微卫星数据对于多倍体植物基因分析意义重大。

近年来,为了解决这一难题,用来统计多倍体微卫星数据的软件相继被开发,如 Spagedi^[8]、Tetra^[9]、Popdist^[10]、Atetra^[11] 和 Polysat^[12] 等。其中,Polysat 是基于 R 平台下的一个软件包,由 Clark 和 Jasieniuk 于 2011 年开发。相比其他几款软件,在限定同源多倍体和异源多倍体遗传模式下,Polysat 的使用更为简便^[12]。该软件包可以对微卫星扩增植物的倍性进行评估^[12]。它可以处理任何多倍体数据,包含了混合和未知倍体植物的数据。它能够导入和导出数据,可排除特定位点、样本或群体,非常便捷地完成微卫星等位基因信息的统计;能够进行 SSR 数据的基因型判断和无性系克隆的划分;可以计算样本、种群间的遗传距离;完成种群间的 Fst 值分析^[12]。国外使用该软件处理多倍体微卫星数据的做法已趋于成熟^[13-15],而国内在多倍体生物使用微卫星研究分析过程中多数研究仍忽略等位基因频率的计算,使得该项技术失去共显性标记的优势^[16-18]。为了更好地引入 Polysat 处理多倍体生物微卫星数据的方法,本文以巴山木竹的克隆鉴定和遗传多样性数据分析为例,说明 Polysat 软件的数据处理和分析过程,以期为更多研究者处理多倍体微卫星数据提供帮助。

1 数据来源

数据来源于巴山木竹 13 个种群的微卫星数据,每种群 20 份样本。采用 6 对荧光标记的微卫星引物对所有样本进行 DNA 扩增^[19],之后进行毛细管电泳检测(检测仪器 ABI3730XL, Applied Biosystems, USA),读取扩增片段大小(GeneMapper 4.0, ABI, USA 软件),并对扩增片段数据进行矫正,将其输入到 Excel 表格中。

2 数据处理过程

2.1 Polysat 的下载及安装

Polysat 是基于 R 语言环境运行的,使用之前需

要下载安装 R 软件,下载网址: <http://www.r-project.org>。安装 R 软件,运行 R 软件,在 R 环境下下载安装 Polysat。首次安装命令为两步:第一步,安装: `>install.packages("polysat")`;第二步,加载: `>library("polysat")`。退出或重启 R 后,每次需要重新加载 Polysat,使用上述第二步命令即可。

2.2 Polysat 数据的导入、基本信息的输入和数据的导出

2.2.1 Polysat 数据的导入

Polysat 使用纯文本文件输入数据,数据文件要保存于 Polysat 安装文件下的 data 文件夹中,格式同 Polysat 安装文件下的 GeneMapperExample 纯文本文件,可依次命名为 GeneMapperExample1、2、3、... 等。以巴山木竹的 SSR 数据为例,将巴山木竹 SSR 数据输入到 Excel 表中,输入格式如图 1(a)的格式。将图 1(a)转化为纯文本文件格式如图 1(b)的格式,命名为 GeneMapperExample3。

打开 R 软件,加载 Polysat 软件,使用 `getwd` 和 `read.GeneMapper` 命令读取数据。共四步即可读取数据:

第一步: `>library("polysat")`, 加载 Polysat 软件。

第二步: `>getwd()`, 检测数据,可看出数据在 C 盘下的 data 文件中,显示结果: `[1]"C:/Users/我的电脑/Documents/R/win-library/4.1/polysat/data"`。

第三步: `>bashanmuzhu<-read.GeneMapper("GeneMapperExample3.txt")`, 读取文件 GeneMapperExample3 中的数据,将其存于 bashanmuzhu 文件下。

第四步: `>summary(bashanmuzhu)`, 总结文件 bashanmuzhu 的信息,可显示文件的样本数、位点数、种群数信息。

2.2.2 微卫星多倍体基本信息的输入和统计

使用上述四步命令完成数据的基本输入之后,微卫星数据的倍体、种群以及位点碱基重复数的数据需要使用命令来输入。通过 `Samples`、`PopNames`、`PopInfo`、`Ploidies`、`editGenotypes`、`estimatePloidy`、`Usatnts` 和 `Ploidies` 命令来加载,如巴山木竹 13 个种群,每种群 20 个样本,6 个位点的基本信息输入,具体步骤如下:

第一步, `>Samples(bashanmuzhu)`, 统计文件 bashanmuzhu 的样本数据。

第二步, `>viewGenotypes(bashanmuzhu, samples=paste("1", 1:20, sep=""), loci="loc1")`, 查看文件 bashanmuzhu 数据种群 1、位点 1(loc1)、20 个样本的基因型数据。可使用此命令依次查看 13 个种群、6

	A	B	C	D	E	F
1	Sample.Name	Marker	Allele.1	Allele.2	Allele.3	Allele.4
2	A1	loc1	169	182	193	
3	A2	loc1	169	182	193	
4	A3	loc1	166	169	203	212
5	A4	loc1	166	166	185	185
6	A5	loc1	181	181	203	215
7	A6	loc1	169	169	193	193
8	A7	loc1	166	172	177	206
9	A8	loc1	166	172	177	206
10	A9	loc1	166	185	192	200
11	A10	loc1	169	172	206	209
12	A11	loc1	172	181	185	206
13	A12	loc1	169	172	209	212
14	A13	loc1	169	172	209	212
15	A14	loc1	169	169	172	206
16	A15	loc1	172	172	184	209

(a) 巴山木竹SSR数据的Excel输入格式

Sample.Name	Marker	Allele.1	Allele.2	Allele.3	Allele.4
A1	loc1	169	182	193	
A2	loc1	169	182	193	
A3	loc1	166	169	203	212
A4	loc1	166	166	185	185
A5	loc1	181	181	203	215
A6	loc1	169	169	193	193
A7	loc1	166	172	177	206
A8	loc1	166	172	177	206
A9	loc1	166	185	192	200
A10	loc1	169	172	206	209
A11	loc1	172	181	185	206
A12	loc1	169	172	209	212
A13	loc1	169	172	209	212
A14	loc1	169	169	172	206
A15	loc1	172	172	184	209

(b) 巴山木竹SSR数据的Polysat输入格式

图 1 Polysat 数据的输入格式

Fig. 1 Input format of data in Polysat

个位点、20 个样本数据,只需依次更换上述 paste 命令括号中"1"至"13"和 loci 命令中的"loc1"至"loc6"即可。

第三步,>PopNames(bashanmuzhu) <-c("Pop1", "Pop2", "Pop3", "Pop4", "Pop5", "Pop6", "Pop7", "Pop8", "Pop9", "Pop10", "Pop11", "Pop12", "Pop13"), 输入种群 1 至种群 13 的名称。

第四步,>PopInfo(bashanmuzhu) <-rep(1:13, each=20), 分派 20 个样本给每个种群,共计 13 个种群。

第五步,>Description(bashanmuzhu) <- "Dataset for the tutorial", 添加文件 bashanmuzhu 的描述信息到软件教程中的数据体系里面。

第六步,>Usatnts(bashanmuzhu) <-c(3,2,2,2,2,2), 指出文件 bashanmuzhu 6 个位点微卫星碱基的重复长度,分别是 3、2、2、2、2、2。

第七步,>rep(1:13, each=20), >PopInfo(bas-

hanmuzhu), 使用 rep 完成种群数据的分配之后,可使用 PopInfo 命令查看。

第八步,>bashanmuzhu <-editGenotypes(bashanmuzhu, maxalleles=4), 输入数据的种群信息后,可编辑基因型数据,指出文件 bashanmuzhu 所有位点的样本中最大的倍体数为 4(巴山木竹 6 个位点出峰最多数为 4)。

第九步,>bashanmuzhu <-estimatePloidy(bashanmuzhu), 使用此条命令可输出文件每个样本的等位基因的平均值和最大值,以表格的形式出现。

第十步,>Ploidies(bashanmuzhu) <-c(4), 经过判断输入倍性信息为 4。

第十一步,>summary(bashanmuzhu), 完成数据样本基本信息的添加,输入文件 bashanmuzhu 的数据信息。可显示文件 bashanmuzhu 输入的数据信息:缺失基因型 0、样本数 260、位点数 6、种群数 13、倍性 4,微卫星碱基重复数类型为 3 和 2。

2.2.3 数据输出

在 Polysat 软件中,使用 genambig.to.genbinary 和 Genotypes 命令可将基因型数据输出为 0、1 数据。首先,使用前述四步法命令完成数据的输入,再两步命令即可输出数据:

第一步,>bashanmuzhuC <-genambig.to.genbinary(bashanmuzhu), 转换文件 bashanmuzhu 中基因型数据为 0、1 矩阵。

第二步,>Genotypes(bashanmuzhuC, samples=paste("1", 1:N, sep=""), loci="loc1"; 输出文件 bashanmuzhu 中种群 1 第一个位点(loc1) 20 个样本的 0、1 矩阵。重复此命令并更换种群 2、3、4...13 和位点 loc2、3、4...6 和样本 N 的信息即可。如输出种群"10"位点 2(loc2) 20 个样本的信息命令:>Genotypes(bashanmuzhuC, samples=paste("10", 1:20, sep=""), loci="loc2")。

2.3 Polysat 软件数据的处理

Polysat 软件可用来进行微卫星等位基因信息便捷统计、微卫星数据的基因型判断及无性系克隆的划分、种群间的 PCA 分析和种群间的 Fst 值分析。在统计等位基因、基因型判断、PCA 分析和 Fst 值分析前,应先使用前述命令完成 Polysat 数据的导入和基本信息的输入和统计。

2.3.1 统计等位基因信息

使用 simal.alleleDiversity、simal\$count 和 simal\$alleles 命令可便捷地完成等位基因的统计,共三步命令即可输出数据:

第一步, >simal<-alleleDiversity(bashanmuzhu), 统计文件 bashanmuzhu 所有数据的等位基因数。

第二步, >simal \$ counts, 输出文件 bashanmuzhu 所有数据的等位基因数。

第三步, >simal \$ alleles[["Pop1", "loc1"]], 输出种群 1 第一个位点(loc1)的等位基因, 结果为 160 164 168 170 172 176 180 182 184 186 188 190 192 198 200 202 204 206 208 210。重复此命令并更换种群和位点信息, 可将 13 个种群和 6 个位点的等位基因数据全部输出, 如输出种群“11”位点 2(loc2)的等位基因命令:>simal \$ alleles[["Pop11", "loc2"]]

2.3.2 基因型判断和无性系克隆的划分

使用 assignClones 和 clones 即可完成无性系克隆的划分, 以种群 5, 20 个样本数据为例, 具体命令如下:

第一步, >clones<-assignClones(testmat, samples = paste("5", 1:20, sep = ""), threshold = 0.2), 按照基因数据划分克隆。

第二步, >clones, 显示克隆信息。

2.3.3 种群间的 PCA 分析

使用 pca, cmdscale(testmat)、mycol 和 plot 命令来完成 Bruvo 和 Lynch 遗传距离分析, 以 13 个种群 260 个样本为例, 具体命令如下:

第一步, >pcaN1<-cmdscale(testmatN1), PCA 分析。

第二步, >mycol<-c("颜色 1", "颜色 2", ..., "颜色 13"), 给出不同颜色即可, 如"red", "blue"等。

第三步, >plot(pcaN1[, 1], pcaN1[, 2], col = mycol[PopInfo(bashanmuzhu)], main = "PCA with Bruvo distance"), 绘制文件 bashanmuzhu 各种群的 Bruvo 遗传距离 PCA 分析图, 如图 2a。

第四步, >testmatN2<-meandistance.matrix(bashanmuzhu, distmetric = Lynch.distance), 进行 Lynch 遗传距离分析。

第五步, >pcaN2<-cmdscale(testmatN2), 使用 Lynch 遗传距离进行 PCA 分析。

第六步, >plot(pcaN2[, 1], pcaN2[, 2], col = rep(c("颜色 1", "颜色 2",), each = 20), main = "PCA with Lynch distance"), 绘制文件 bashanmuzhu 各种群样本的 Lynch 遗传距离 PCA 分析图, 结果如图 2b。

上述 6 步命令中, pca 和 testmat 后面的数字 N1 和 N2 为数据做分析的次数, 可采用 1, 2, 3, ..., N, 等数字来替换。

2.3.4 核算种群间的 Fst 值

使用 simfreqSimple、simFstSimple 和 calcFst(simfreqSimple) 命令来核算种群间的 Fst 值。首先, 使用 2.3.1 中统计等位基因信息的三步命令完成文件 bashanmuzhu 13 个种群 260 个样本的等位基因信息统计, 再使用如下命令:

第一步, >simfreqSimple<-simpleFreq(bashanmuzhu, samples = Samples(bashanmuzhu, ploidies = 4)), 设置文件 bashanmuzhu 的样本及倍体信息。

第二步, >simFstSimple<-calcFst(simfreqSimple), 计算 Fst 值。

第三步, >simFstSimple, 输出 13 个种群的 Fst 值。

3 结果与分析

3.1 统计等位基因信息

使用 simal \$ counts 命令输出文件 bashanmuzhu 的等位基因信息结果(表 1)。可以看出, 该软件在完成数据的输入之后, 便可以快速统计出 13 个种群每个位点的多态性等位基因数。同时, 表 1 中合计栏还可统计出 13 个种群每个位点的多态性等位基因数。而数据显示的格式为一个无框的表格, 只需要复制粘贴即可在 word 中编辑。

表 1 巴山木竹 13 个种群 6 个位点的等位基因统计信息
Tab. 1 Statistical information of allelic genes at 6 loci in 13 populations of *Bashania fargesii*

种群	位点 1	位点 2	位点 3	位点 4	位点 5	位点 6
种群 1	13	12	8	9	13	10
种群 2	7	8	4	6	6	5
种群 3	9	12	6	11	11	7
种群 4	8	13	8	11	10	14
种群 5	9	9	7	8	10	10
种群 6	14	11	9	8	12	10
种群 7	13	15	10	12	20	21
种群 8	14	16	10	12	20	21
种群 9	11	14	14	11	17	16
种群 10	13	16	7	9	17	13
种群 11	14	17	11	12	20	21
种群 12	12	15	9	13	15	13
种群 13	10	14	9	13	11	11
合计	21	26	26	22	31	32

3.2 基因型判断和无性系克隆的划分

使用 assignClones 和 clones 命令可逐一输出各种群样本的克隆数。表 2 为种群 5 的克隆输出。种群 5 (20 个样本) 的克隆数为 11 个,其中,样本 5-1 和 5-13 为克隆 1; 5-2、5-3 和 5-14 为克隆 2; 5-4 为克隆 3; 5-5 和 5-6 为克隆 4; 5-7、5-8 和 5-10 为克隆 5; 5-9 为克隆 6; 5-11 为克隆 7; 5-12 和 5-15 为克隆 8; 5-16 和 5-17 为克隆 9; 5-18 为克隆 10; 5-19 和 5-20 为克隆 11,即种群 5 所采 20 份样本由 11 个无性系组成。

表 2 巴山木竹种群 5 的克隆数

Tab. 2 Number of clones in population 5 of *B. fargesii*

样本	克隆	样本	克隆	样本	克隆	样本	克隆
5-1	1	5-6	4	5-11	7	5-16	9
5-2	2	5-7	5	5-12	8	5-17	9
5-3	2	5-8	5	5-13	1	5-18	10
5-4	3	5-9	6	5-14	2	5-19	11
5-5	4	5-10	5	5-15	8	5-20	11

3.3 种群间的 PCA 分析

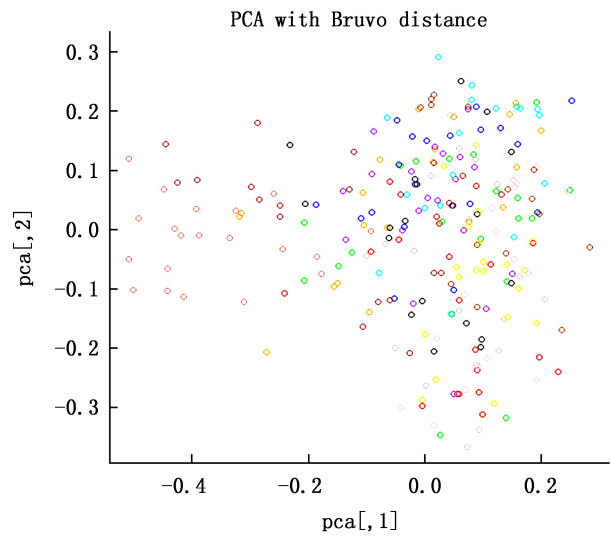
图 2 为基于 Polysat 软件的 PCA 分析,不同颜色圆圈代表不同的种群,13 种颜色代表 13 个种群。对比图 2(a) 和 2(b) 可知,基于 Bruvo 和 Lynch 的 PCA 分析结果一致,其中,显示橙红色的种群 11 (3) 和棕色的种群 10 (4) 聚在一起,其余 12 个种群聚为一类。

3.4 核算种群间的 Fst 值

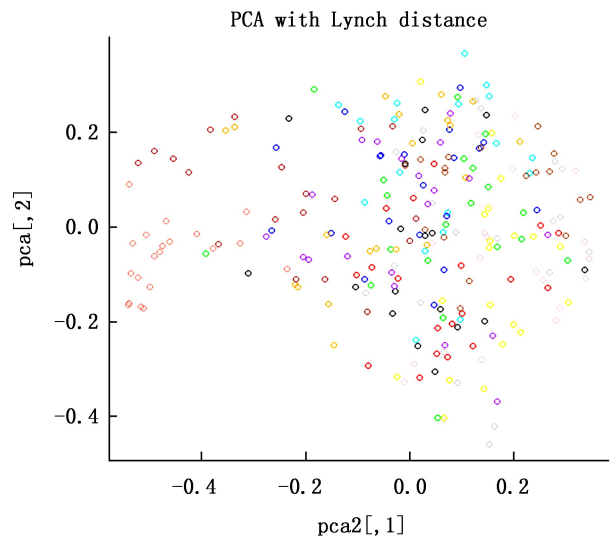
表 3 为采用 Polysat 软件分析巴山木竹 13 个种群的 Fst 值结果。由表中可以清楚地看到,种群之间存在基因的分化,种群间的 Fst 值越小,代表基因分化越小,Fst 值越大代表着存在较高的基因分化。由表 3 可知,成对的 Fst 值整体较大分化出现在种群 3 和种群 1、种群 2,种群 5 直到种群 13 之间以及种群 4 和种群 1、种群 2,种群 5 直到种群 13 之间。这一结果与基于 Bruvo 和 Lynch 的 PCA 分析结果一致,即种群 3 和种群 4 与其余种群之间存在着较大的种群分化。最小 Fst 值为种群 8 和 11,即这两个种群之间遗传分化最小。

4 讨 论

Polysat 软件充分考虑了输出,即使用 genam-big. to. genbinary 和 Genotypes 命令将微卫星基因型数据输出为 0、1 数据,进而转入 GenAlEx、Popgen 和



(a) Bruvo主坐标 (PCA) 分析



(b) Lynch主坐标 (PCA) 分析

图 2 13 个巴山木竹种群主坐标 (PCA) 分析

Fig. 2 PCA analysis of 13 *B. fargesii* populations

Ntsyspc 等软件做进一步的多维度分析,以增加论点的精确性。

在巴山木竹克隆结构的鉴别研究中,具有相同基因型的样本为同一个克隆,即它们是来自于同一无性系或同一基株的不同分株^[20-21]。使用 assignClones 可对样本进行克隆基因型划分^[15],由于其为四倍体,在克隆组划分之前可使用微卫星等位基因峰值比例计量法 (MAC-PR) 确定位点等位基因频率,才能确保准克隆被准确地划分^[19]。基于 Polysat 和 MAC-PR 组合法判定克隆结构,在未知亲本来源情况下,可应用于四倍体生物基因型、等位基因频率的判读,如四倍体玫瑰品种 (*Rosa × hybrida*)、海薰衣草

表 3 巴山木竹 13 个种群的 Fst 值
Tab. 3 Fst values of 13 *B. fargesii* populations

	种群 1	种群 2	种群 3	种群 4	种群 5	种群 6	种群 7	种群 8	种群 9	种群 10	种群 11	种群 12	种群 13
种群 1	0												
种群 2	0.05251	0											
种群 3	0.21147	0.18970	0										
种群 4	0.13809	0.12709	0.09365	0									
种群 5	0.08508	0.08312	0.14536	0.07987	0								
种群 6	0.09198	0.09661	0.19852	0.12474	0.08032	0							
种群 7	0.08126	0.07937	0.18443	0.11153	0.06943	0.06025	0						
种群 8	0.07455	0.07202	0.14798	0.08794	0.05018	0.07199	0.05387	0					
种群 9	0.08029	0.08428	0.18255	0.10703	0.06078	0.06618	0.05540	0.05731	0				
种群 10	0.09967	0.08873	0.16205	0.10481	0.07147	0.07564	0.06983	0.06188	0.05911	0			
种群 11	0.07525	0.07382	0.15528	0.08895	0.05278	0.07778	0.06195	0.04814	0.06319	0.06747	0		
种群 12	0.07484	0.06980	0.15735	0.09079	0.05587	0.07043	0.05195	0.04837	0.05358	0.07098	0.05145	0	
种群 13	0.09318	0.09040	0.18117	0.11295	0.08300	0.07043	0.05526	0.06759	0.06804	0.08009	0.07365	0.05386	0

草 (*Limonium narbonense*) 和巴山木竹 (*Bashania fargesii*) 等^[7,14,19]。而在已知亲本来源的情况下,使用此组合法可判断高于四倍体生物的克隆结构^[15]。

由巴山木竹数据的 PCA 分析结果可以看出, Lynch 和 Bruvo 分析结果保持一致。Polysat 软件的两组 PCA 分析方法分别依据 Lynch 和 Bruvo 方程, Bruvo 分析方法是在忽略等位基因重复数或者默认为所有个体为同一倍体的情况下计算微卫星等位基因遗传距离^[12]。为了弥补这一不足,在数据的处理过程中,Polysat 联合启动 R 的组合工具 (combn 和 permn 功能), 匹配所有可能的等位基因组合, 计算出等位基因之间几何变换后的最小之和距离, 进而保证了分析结果的准确性。

5 结 论

Polysat 是基于 R 平台下的一个软件包, 相比其他在限定同源多倍体和异源多倍体遗传模式下使用的软件, Polysat 以等位基因重复数模糊为前提, 可处理不同遗传模式和任何倍体生物的微卫星数据。基于 R 编程环境使得数据的输入和导出更为快捷, 可便捷地统计等位基因信息, 并对克隆植物进行微卫星基因型判断和无性系结构划分; 同时, 还将 R 其他功能 (如 PCA、Fst 分析) 与 Polysat 连接起来, 丰富了数据的分析功能, 为相关研究人员提供了方便。

参考文献:

[1] 董胜君, 王新鑫, 张皓凯, 等. 基于 SSR 标记的东北杏

遗传多样性分析及指纹图谱构建[J]. 沈阳农业大学学报, 2021, 52(5): 1-11.

- [2] 余意, 王凌, 孙嘉惠, 等. 基于微卫星群体遗传学的栽培枸杞遗传多样性和遗传结构评价[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(4): 838-845.
- [3] BRUVO R, MICHIELS N K, D'SOUZA T G, et al. A simple method for the calculation of microsatellite genotype distances irrespective of ploidy level[J]. Molecular Ecology, 2004, 13: 2101-2106.
- [4] DE SILVA H N, HALL A J, RIKKERINK E, et al. Estimation of allele frequencies in polyploids under certain patterns of inheritance[J]. Heredity, 2005, 95: 327-334.
- [5] SOLTIS D E, SOLTIS P S. Polyploidy: recurrent formation and genome evolution[J]. Trends Ecol Evol, 1999, 14: 348-352.
- [6] SOLTIS D E, SOLTIS P S. The role of genetic and genomic attributes in the success of polyploids[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2000, 97: 7015-7057.
- [7] ESSELINK G D, NYBOM H, VOSMAN B. Assignment of allelic configuration in polyploids using the MAC-PR (microsatellite DNA allele counting-peak ratios) method[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2004, 109(2): 402-408.
- [8] HARDY O J, VEKEMANS X. SPAGeDi: A versatile computer program to analyse spatial genetic structure at the individual or population levels[J]. Molecular Ecology Notes, 2002 (2): 618-620.
- [9] LIAO W J, ZHU B R, ZENG Y F, et al. Tetra: An improved program for population genetic analysis of allotetraploid microsatellite data[J]. Molecular Ecology Resources, 2008(8): 1260-1262. (下转第 136 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.006

广西石漠化地区环境因子对土壤肥力的影响研究

邓利, 彭小裕, 黎良财

(广西生态工程职业技术学院, 广西 柳州 545004)

摘要:以广西 17 个典型岩溶地貌县域的石漠化区域土壤为研究对象,采用野外取样调查和实验室检测分析方法,研究石漠化区域环境因子植被覆盖度、坡度、坡位对土壤肥力的影响。结果表明:土壤水解氮、速效磷和有机质随植被覆盖度增加而增加;坡度增加不利于有机质积累;坡位越低,土壤肥力各项指标越高。建议在坡度陡、坡位高的地方种植浅根性或攀爬类植物或农作物,增加植被覆盖度以提高土壤肥力,改善石漠化状况。

关键词:土壤肥力;植被覆盖度;坡度;坡位;广西石漠化地区

中图分类号:S714.8;P941.73 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0039-05

引文格式:邓利,彭小裕,黎良财.广西石漠化地区环境因子对土壤肥力的影响研究[J].林业调查规划,2023,48(4):39-43. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.006

DENG Li, PENG Xiaoyu, LI Liangcai. Effects of Environmental Factors on Soil Fertility in Rocky Desertification Area of Guangxi[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 39-43. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.006

Effects of Environmental Factors on Soil Fertility in Rocky Desertification Area of Guangxi

DENG Li, PENG Xiaoyu, LI Liangcai

(Guangxi Eco-engineering Vocational and Technical College, Liuzhou, Guangxi 545004, China)

Abstract: The effects of environmental factors such as vegetation coverage, slope, slope position on soil fertility were analyzed by means of field sampling and laboratory testing based on the soils of 17 typical counties in rocky desertification area of Guangxi. The results showed that soil hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, and organic matter increased with the increase of vegetation coverage; the increase in slope was not conducive to the accumulation of organic matter; the lower the slope, the higher the various indicators of soil fertility. This paper suggested that shallow root types or climbing plants or crops should be planted on steep slopes and high slopes to increase vegetation coverage to improve soil fertility and improve environment of rocky desertification.

Key words: soil fertility; vegetation coverage; slope; slope position; rocky desertification area of Guangxi

石漠化是亚热带脆弱的喀斯特环境背景下,人类不合理的社会经济活动造成的土壤严重侵蚀、植

被破坏、基岩大面积裸露、土地生产力衰退,地表出现类似荒漠景观的土地退化过程^[1-2]。广西境内石

收稿日期:2022-01-07.

资助项目:广西林业厅项目(桂林办字[2017]12号).

第一作者:邓利(1979-),女,广西全州人,硕士,讲师.研究方向为森林资源与环境监测. Email:651378987@qq.com

责任作者:黎良财(1978-),男,湖北天门人,博士,教授,高级工程师.研究方向为3S技术在资源与环境监测中的应用. Email:42045552@qq.com

漠化区域分布广泛,其中有 29 个县列入全国集中连片特困地区的滇桂黔石漠化区,是全国土地石漠化最严重的省(区)之一^[3]。石漠化治理是维系广西可持续发展、实现全面建成小康社会目标和构建珠江上游生态屏障的根本大计。

土壤肥力是土壤各种理化性质的综合反映,是土壤的主要功能和本质属性。对广西 17 个典型石漠化县域的土壤肥力指标进行研究,并对其进行综合评价,分析植被覆盖度、坡度和坡位等因素对其影响,为改善石漠化区域土壤肥力,遏制石漠化进程,促进经济与生态协调发展提供科学依据。

1 研究区概况

选取桂西北、桂中多个典型石漠化区域(主要集中在百色市、河池市、崇左市、柳州市和来宾市)进行土壤采样(图 1)。

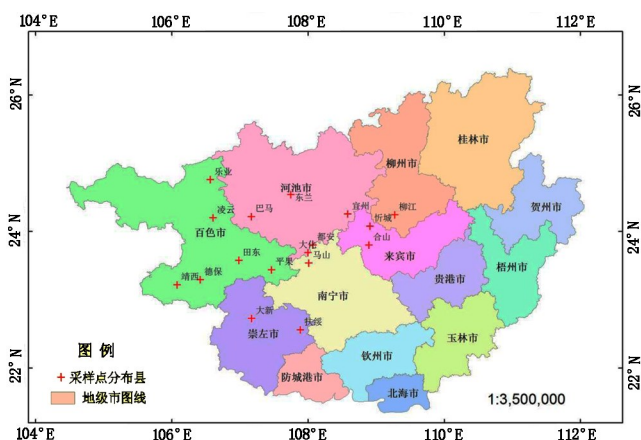


图 1 石漠化地区土壤采样分布

Fig. 1 Distribution of soil sampling in rocky desertification areas

2 研究方法

2.1 土壤样品采集

选择广西典型岩溶石漠化地区乐业、凌云、平果、靖西、德保、田东、大新、扶绥、东兰、巴马、宜州、马山、都安、大化、忻城、合山、柳江 17 个县(区)进行实地调查和采样,采样时间集中在 2020 年 9—10 月。为保证野外采样的科学性和可比性,采集多点混合样,并按四分法混匀对角取样。每个样地取 3 份土壤样品备用。采样共设置 55 个样点,每点取 1~15 cm 的表层土壤^[4],剔除土表中夹带的枯枝落叶、动物残体和石块,装入自封袋,带回实验室自然风干、研磨,95%通过 2 mm 和 0.15 mm 筛,保存备用。

2.2 土壤肥力指标测定方法

土壤样品肥力指标采用常规分析方法进行测定,具体采用的方法标准见表 1。

表 1 土壤肥力指标检测标准和方法

Tab. 1 Detection standards and methods of soil fertility

序号	指标	检测标准	检测方法
1	水解氮	《森林土壤氮的测定》 (LY/T 1228—2015)	碱解扩散吸收法
2	速效磷	《森林土壤磷的测定》 (LY/T 1232—2015)	钼锑抗分光光度法
3	速效钾	《森林土壤钾的测定》 (LY/T 1234—2015)	四苯硼钠比浊法
4	有机质	《森林土壤有机质的测定》 (LY/T 1237—1999)	重铬酸钾氧化-外加热法
5	pH	《森林土壤 pH 值的测定》 (LY/T 1239—1999)	电位计法
6	土壤含水率	—	烘干法

2.3 指标标准化

在计算和评价土壤肥力时,由于所选指标单位不同,具有不可加和性,不能直接进行数据计算,所以要先对其进行标准化计算,以消除各参数之间的量纲差异。标准化计算公式为:

当属性值为“差”,即 $C_i \leq X_a$ 时,

$$P_i = C_i / X_a \quad (P_i \leq 1) \quad (1)$$

当属性值为“中等”,即 $X_a < C_i \leq X_c$ 时,

$$P_i = 1 + (C_i - X_a) / (X_c - X_a) \quad (1 < P_i \leq 2) \quad (2)$$

当属性值为“较好”,即 $X_c < C_i \leq X_p$ 时,

$$P_i = 2 + (C_i - X_c) / (X_p - X_c) \quad (2 < P_i \leq 3) \quad (3)$$

当属性值为“好”,即 $C_i > X_p$ 时,

$$P_i = 3 \quad (4)$$

式中: C_i 为第 i 个指标的测定值; X_a 、 X_c 、 X_p 为分级指标; P_i 为第 i 个指标的肥力系数。各土壤属性值分级标准主要参照第二次全国土壤普查标准^[5]。

2.4 评价模型

采用修正的内梅罗综合指数法对土壤肥力质量进行综合评价。计算公式为:

$$P_j = \sqrt{(P_{\text{平均}}^2 + P_{\text{最小}}^2) / 2} \times \frac{n-1}{n} \quad (5)$$

式中: P_j 为土壤的综合肥力系数; $P_{\text{平均}}$ 为土壤各属

性分肥力系数的平均值; $P_{i最小}$ 为土壤各属性分肥力系数的最小值; n 为参与评价的土壤属性个数。

2.5 数据处理与分析

采用 Excel 2010 软件和 OriginPro 9.1 软件进行绘图,采用 SPSS 16.0 软件进行方差分析和相关性分析。

3 结果与分析

3.1 植被覆盖度对石漠化地区土壤肥力的影响

植被与土壤之间存在密切关系,植被的生长演替会直接或间接地影响土壤肥力各指标含量。对不同植被覆盖度下石漠化地区土壤肥力指标进行统计分析,结果表明:植物覆盖度对土壤 pH 值影响较小,覆盖度为 30%~60%时,土壤 pH 平均值最大(可达 7.69),呈弱碱性,原因可能为植被覆盖率低,植被凋落物分解产生的 CO₂ 和有机酸较少,贡献的酸度减少^[6]。随着植被覆盖度的增加,土壤中自然含水量提高,最高可达 45.00%,这与植被覆盖度越高、枯枝落叶越多,土壤保水性越强的研究结果一致。水解氮、速效磷和有机质含量随着植被覆盖度增加而呈现增加的趋势,其中水解氮含量范围为 13.77~53.20 mg/kg,植被覆盖度大于 90%时,土壤水解氮含量最高;速效磷和有机质含量范围分别为 4.56~14.80 mg/kg 和 22.68~41.20 g/kg。植被覆盖度越大,植物凋落物量越多,凋落物的分解会促进有机质的积累,贡献了土壤中水解氮、速效磷和有机质的来源。速效钾含量总变化趋势为随植被覆盖度增加略有增加(表 2)。

表 2 不同植被覆盖度下石漠化区域土壤肥力指标特征

Tab. 2 Characteristics of soil fertility factors in rocky desertification area under different vegetation coverages

植被覆盖度 /%	土壤自然含水量 /%	pH	水解氮 / (mg · kg ⁻¹)	速效磷 / (mg · kg ⁻¹)	速效钾 / (mg · kg ⁻¹)	有机质 / (g · kg ⁻¹)
5 ≤ ~ ≤ 30	36.60	7.66	13.77	4.56	12.91	22.68
30 < ~ ≤ 60	39.20	7.69	22.49	5.82	13.01	25.74
60 < ~ ≤ 90	41.00	7.42	33.43	7.17	13.79	35.95
>90	45.00	7.55	53.20	14.80	12.90	41.20

结合修正的内梅罗公式,将调查区域内土壤肥力分为 4 个等级(P):土壤很肥沃, $P \geq 2.70$; 土壤肥

沃, $1.80 \leq P < 2.70$; 土壤肥力一般, $0.90 \leq P < 1.80$; 土壤贫瘠, < 0.90 。对土壤肥力指标进行综合性分析统计,结果表明:调查区域植被覆盖度低于 90% 的土壤均为贫瘠土,而植被覆盖度大于 90% 的土壤肥力一般,这是由于样本采集区域大多属于石漠化区,水土流失严重,土壤肥力不足,植被覆盖度增加一定程度上会增加土壤养分(表 3)。

表 3 不同植被覆盖度下土壤肥力综合评价结果

Tab. 3 Comprehensive evaluation of soil fertility under different vegetation coverages

植被覆盖度 /%	pH	水解氮 / (mg · kg ⁻¹)	速效磷 / (mg · kg ⁻¹)	速效钾 / (mg · kg ⁻¹)	有机质 / (g · kg ⁻¹)	$P_{i最小}$	$P_{i平均}$	P
5 ≤ ~ ≤ 30	1.66	0.23	0.91	0.26	2.27	0.23	1.07	0.62
30 < ~ ≤ 60	1.69	0.37	1.16	0.26	2.57	0.26	1.21	0.70
60 < ~ ≤ 90	1.42	0.56	1.43	0.28	3.00	0.28	1.34	0.77
>90	1.55	0.89	2.48	0.26	3.00	0.26	1.64	0.94

植被覆盖度、土壤肥力各指标间相关性分析结果表明:植被覆盖度与土壤自然含水量、水解氮、有机质呈显著正相关;土壤自然含水量与水解氮呈极显著正相关,与速效磷含量、土壤有机质呈显著正相关;水解氮与速效磷、有机质呈显著正相关(表 4)。

表 4 植被覆盖度、土壤肥力各指标相关性关系

Tab. 4 Correlation analysis between vegetation coverage and soil fertility factors

	土壤自然含水量	pH	水解氮	速效磷	速效钾	有机质	植被覆盖度
土壤自然含水量	1	-0.517	0.996**	0.953*	0.111	0.957*	0.987*
pH		1	-0.539	-0.347	-0.846	-0.736	-0.632
水解氮			1	0.967*	0.104	0.967*	0.981*
速效磷				1	-0.144	0.881	0.900
速效钾					1	0.342	0.267
有机质						1	0.981*
植被覆盖度							1

注:**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关;*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。下同。

植物不仅能从土壤中吸收供其生长发育所必需的营养物质,其本身的有机残体也是土壤有机质的重要来源之一,影响土壤营养物质的输入和输出,导致土壤肥力各指标有所差异。

3.2 坡度对石漠化地区土壤肥力的影响

坡度作为地形因素中的重要因子,影响物质在坡面分布的稳定性,不仅影响土壤自然含水量,还对土壤侵蚀过程有显著影响进而影响土壤的养分流失^[7]。不同坡度范围下石漠化区域土壤肥力特征情况见表 5。

表 5 不同坡度下石漠化区域土壤肥力指标特征

Tab. 5 Characteristics of soil fertility in rocky desertification areas under different slopes

坡度 / (°)	土壤自然含水量 / %	pH	水解氮 / (mg · kg ⁻¹)	速效磷 / (mg · kg ⁻¹)	速效钾 / (mg · kg ⁻¹)	有机质 / (g · kg ⁻¹)
15 ≤ ~ ≤ 20 (缓坡)	27.33	7.52	51.65	13.75	12.89	69.23
20 < ~ ≤ 30 (斜坡)	25.80	7.57	33.56	5.60	8.00	33.86
30 < ~ ≤ 60 (陡坡)	25.00	7.78	29.22	5.57	13.29	31.45
> 60 (急坡)	21.00	7.58	35.00	44.60	6.90	22.00

结果表明:坡度越陡,土壤自然含水量越低,从缓坡到急坡,土壤水分减少了 6.00%,含水量流失得越严重。土壤坡度变化对 pH 值影响较小。有机质含量随坡度升高逐渐降低,最高值出现在缓坡处,为 69.23 g/kg。水解氮、速效磷、速效钾含量随坡度增加总体呈现降低趋势,与有机质含量随坡度改变一致。这是由于随坡度升高,土壤含水量流失越严重,土壤水中往往会携带一部分营养物质,因此坡度大的区域,土壤养分相对较少,而坡度小的区域,土壤养分较多。从整体上看,坡度变大,泥沙流失严重,养分流失量会增大。

不同坡度下土壤肥力综合评价结果表明:缓坡处,土壤肥力一般,而斜坡、陡坡和急坡的土壤肥力属于贫瘠类型(表 6)。

通过对坡度、土壤肥力各指标相关性分析可知:仅坡度与土壤自然含水量呈现显著负相关,其余各指标间均无相关性(表 7)。

3.3 坡位对石漠化地区土壤肥力的影响

坡位不同,植被状况、人为干扰、土壤侵蚀程度

表 6 不同坡度下土壤肥力综合评价结果

Tab. 6 Comprehensive evaluation of soil fertility under different slopes

坡度 / (°)	pH	水解氮 / (mg · kg ⁻¹)	速效磷 / (mg · kg ⁻¹)	速效钾 / (mg · kg ⁻¹)	有机质 / (g · kg ⁻¹)	P _i 最小	P _i 平均	P
15 ≤ ~ ≤ 20 (缓坡)	1.52	0.86	2.37	0.26	3.00	0.26	1.60	0.92
20 < ~ ≤ 30 (斜坡)	1.57	0.56	1.12	0.16	3.00	0.16	1.28	0.73
30 < ~ ≤ 60 (陡坡)	1.78	0.49	1.11	0.27	3.00	0.27	1.33	0.77
> 60 (急坡)	1.58	0.58	3.00	0.14	2.20	0.14	1.50	0.85

表 7 坡度、土壤肥力各指标相关性关系

Tab. 7 Correlation analysis between slope and soil fertility factors

	土壤自然含水量	pH	水解氮	速效磷	速效钾	有机质	坡度
土壤自然含水量	1	-0.129	0.498	-0.843	0.666	0.801	-0.980*
pH		1	-0.723	-0.317	0.415	-0.462	0.274
水解氮			1	0.045	0.303	0.905	-0.511
速效磷				1	-0.601	-0.367	0.806
速效钾					1	0.613	-0.504
有机质						1	-0.775
坡度							1

及水土流失情况不同,从而导致不同坡位土壤养分的分布差异。坡下部土壤自然含水量、pH 值、水解氮、速效磷、速效钾和有机质均高于坡中部和坡上部(表 8)。

表 8 不同坡位下石漠化区域土壤肥力指标特征

Tab. 8 Characteristics of soil fertility in rocky desertification areas under different slope positions

坡位	土壤自然含水量 / %	pH	水解氮 / (mg · kg ⁻¹)	速效磷 / (mg · kg ⁻¹)	速效钾 / (mg · kg ⁻¹)	有机质 / (g · kg ⁻¹)
坡上部	33.00	7.46	33.60	14.49	7.05	65.93
坡中部	34.00	7.56	56.40	24.87	12.82	72.12
坡下部	35.67	7.77	58.56	43.08	12.93	105.18

与坡位相对应的土壤肥力综合评价结果表明:坡上部土壤呈现贫瘠状态,而坡中部和坡下部土壤肥力一般(表 9)。

表 9 不同坡位下土壤肥力综合评价结果
Tab. 9 Comprehensive evaluation of soil fertility under different slope positions

坡位	pH	水解 氮/ (mg· kg ⁻¹)	速效 磷/ (mg· kg ⁻¹)	速效 钾/ (mg· kg ⁻¹)	有机 质/ (g· kg ⁻¹)	<i>P</i> _{最小}	<i>P</i> _{平均}	<i>P</i>
坡上部	1.46	0.56	2.49	0.14	3.00	0.14	1.53	0.87
坡中部	1.56	0.94	3.00	0.25	3.00	0.25	1.75	1.00
坡下部	1.77	0.98	3.00	0.26	3.00	0.26	1.80	1.03

坡位、土壤肥力各指标相关性关系统计结果表明:土壤自然含水量与 pH 值呈显著正相关关系;速效磷与土壤自然水含量呈极显著正相关,与 pH 值呈显著正相关(表 10)。

表 10 坡位、土壤肥力各指标相关性关系
Tab. 10 Correlation analysis between slope position and soil fertility factors

	土壤自然含水量	pH	水解氮	速效磷	速效钾	有机质	坡位
土壤自然含水量	1	0.998*	0.831	1.000**	0.742	0.973	0.990
pH		1	0.798	0.999*	0.702	0.985	0.980
水解氮			1	0.824	0.989	0.681	0.902
速效磷				1	0.733	0.976	0.988
速效钾					1	0.568	0.831
有机质						1	0.930
坡位							1

4 结 论

1) 植被覆盖度会影响石漠化地区土壤肥力的各项指标。植被覆盖度越大,调查区域土壤中水解氮、速效磷、有机质、速效钾的含量增加,土壤养分提高。植被覆盖度与土壤肥力因子的相关性分析表明,植被覆盖度与土壤自然含水量、水解氮、有机质

呈显著正相关。

2) 地形因子坡度和坡位对土壤肥力各项指标具有一定的影响。有机质、水解氮、速效磷、速效钾含量随坡度的增加呈现降低的趋势,即坡度的增加导致了土壤养分一定程度上的流失。下坡位的土壤自然含水量、pH 值、有机质、水解氮、速效磷和速效钾均高于中坡位和上坡位。坡位与土壤肥力因子的相关性分析表明,土壤自然水含量与 pH 值呈显著正相关。

3) 植被覆盖度、坡度和坡位会影响土壤肥力综合评价结果。植被覆盖度大于 90% 的土壤肥力一般,小于 90% 的土壤肥力属于贫瘠类型;缓坡的土壤肥力为一般,而斜坡、陡坡和急坡的土壤肥力为贫瘠类型;上坡位的土壤呈贫瘠状态,而中坡位和下坡位土壤肥力为一般。

综上所述,增加土壤贫瘠地区的植被覆盖度能极大地提升土壤肥力,在斜坡、陡坡和急坡等地势可种植适宜的经济作物,在改善土壤养分的同时创造收益。

参考文献:

[1] 景宜然,邓湘雯,魏辉,等. 湘西南石漠化地区灌丛植物叶 N、P 化学计量特征[J]. 应用生态学报,2017,28(2):415-422.

[2] 王霖娇,汪攀,盛茂银,等. 西南喀斯特典型石漠化生态系统土壤养分生态化学计量特征及其影响因素[J]. 生态学报,2018,38(18):6580-6593.

[3] 陈燕丽,莫建飞,莫伟华,等. 近 30 年广西喀斯特地区石漠化时空演变[J]. 广西科学,2018,25(5):625-631.

[4] 周传艳,陈训,周国逸,等. 不同土地利用方式及开垦时间对岩溶山区土壤养分空间分布的影响[J]. 应用与环境生物学报,2011,17(1):63-68.

[5] 张连金,赖光辉,孔颖,等. 基于因子分析法的北京九龙山土壤质量评价[J]. 西北林学院学报,2016,31(3):7-14.

[6] 董佳琦,张勇,傅伟军,等. 香榧主产区林地土壤养分空间异质性及其肥力评价[J]. 生态学报,2021,41(6):2292-2304.

[7] 陈昊轩,刘欣蕊,孙天雨,等. 太白山栎属树种叶片生态化学计量特征沿海拔梯度的变化规律[J]. 生态学报,2021,41(11):4503-4512.

责任编辑: 杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.007

大清河流域径流变化趋势分析

申彦科¹, 陈海梅¹, 谭杰²

(1. 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 河西区 300222; 2. 水利部海河水利委员会, 天津 河东区 300170)

摘要:采用 1956—2016 年长系列径流资料, 选取大清河流域北支水系、南支水系及大清河下游的水文站、典型断面为研究对象, 进行 Mann-Kendall 趋势检验, 分析大清河年径流量的变化趋势。结果显示, 白洋淀流域近 54 年的年降雨 M-K 统计值为 -1.492, 呈弱减少趋势。对规划实施前后各水文站年均径流量变化分析结果, 海河流域综合规划(1993 年)的实施对大清河中下游断面年径流量影响较大。

关键词:径流量; M-K 趋势检验; 大清河流域

中图分类号: Q178.511; S715; X522; P343.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)04-0044-06

引文格式: 申彦科, 陈海梅, 谭杰. 大清河流域径流变化趋势分析[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4): 44-49.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.007

SHEN Yanke, CHEN Haimei, TAN Jie. Trend of Runoff Changes in Daqing River Basin[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 44-49. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.007

Trend of Runoff Changes in Daqing River Basin

SHEN Yanke¹, CHEN Haimei¹, TAN Jie²

(1. China Water Resources Beifang Investigation, Design and Research Co., Ltd., Hexi, Tianjin 300222, China;

2. Haihe River Water Conservancy Commission, MWR, Hedong, Tianjin 300170, China)

Abstract: Based on the long-term series runoff data from 1956 to 2016, this paper selected the representative hydrological stations and typical sections of the the north and south water systems and the lower reaches of Daqing River to carry out Mann-Kendall trend test, and analyze the change trend of annual runoff of Daqing River. The analysis results showed that the M-K value of annual rainfall in Baiyangdian basin in recent 54 years was -1.492, showing a weak decreasing trend. The implementation of the comprehensive planning of Haihe River basin (1993) had a significant impact on the annual runoff of the middle and lower reaches of Daqing River according to the comparative analysis of the annual runoff changes of each hydrological station.

Key words: runoff; M-K trend test; Daqing River basin

新中国成立后, 大清河流域先后开展了《海河流域规划(草案)》《海河流域防洪规划》等 6 次全流域范围的水利规划, 经历次规划治理, 防洪、供水等水利基础设施体系已基本形成, 为流域内社会经济

发展提供了有力保障。但大中型水库的拦蓄作用、引提水工程等大规模水利工程建设, 导致流域水资源开发利用程度提高, 同时由于流域下垫面变化, 影响了中下游减水河段径流过程^[1-2]。采用 1956—

收稿日期: 2021-11-12.

第一作者: 申彦科(1984-), 男, 山西长治人, 硕士研究生, 高级工程师。主要从事生态影响评价与水土保持研究。

2016年长系列径流资料,选取北支水系、南支水系及大清河下游代表水文站、典型断面,分析大清河年径流变化趋势。

1 研究区概况

大清河是海河流域较大水系,源于太行山东麓,上游分为南、北两支。北支为白沟河水系,白沟镇以上流域面积 10 151 km²,其中张坊以上 4 820 km²。南支为赵王河水系,白洋淀以上流域面积 21 054 km²。白洋淀为连接大清河山区与平原的缓洪滞洪、综合利用洼淀,淀区(本杂马)滞洪水位为 9.0 m 时,水面面积 404 km²。下游接赵王新河、赵王新渠入东淀。东淀下游分别流经海河干流和独流减河入海。

2 研究方法

2.1 数据来源

收集大清河流域代表水文站、典型断面 1956—2016 年长系列逐月径流资料。

2.2 研究方法

在 Mann-Kendall 检验中^[3-4],原假设 H_0 为时间序列数据 (x_1, x_2, \dots, x_n) 是 n 个独立的、随机变量同分布样本,备择假设 H_1 是双边检验,对于所有的 $k, j \leq n$,且 $k \neq j$, x_k 和 x_j 的分布是不相同的,检验统计变量 S 为:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \operatorname{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

$$\text{式中: } \operatorname{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & x_j - x_k > 0 \\ 0, & x_j - x_k = 0 \\ -1, & x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

S 服从均值 $E(S) = 0$, 方差 $\operatorname{Var}(S) = [n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^m t_j(t_j-1)(2t_j+5)]/18$ 的正态分布,其中 m 为出现相同秩次的组数, t 为每组中秩次相同的个数。当 $n > 10$ 时,标准正态统计变量表示为:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

在给定的 α 显著性水平上,如果 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$, 则原假设是不可接受的,即该序列存在明显的上升

或下降趋势;而若统计变量 $Z > 0$, 则该序列呈上升趋势;若 $Z < 0$, 则为下降趋势^[5-6]。

3 研究结果

3.1 北支水系

北支水系流域内已建有大型水库 1 座、中型水库 7 座,建成房涑涑和易水 2 个大型灌区和 17 个中型灌区以及五一渠、官座岭和胜天渠三大主要引水工程。

3.1.1 径流量年际间变化趋势

选取上游山区的紫荆关、落宝滩,中游的东茨村、北河店,下游的新盖房 5 个水文站年径流数据,分析年径流变化趋势(图 1)。

1) 1956—2016 年紫荆关、落宝滩、东茨村、北河店 4 个水文站年径流量呈波动下降趋势;1970—2016 年新盖房水文站年径流量呈波动下降趋势。

2) 落宝滩、北河店、新盖房水文站存在断流情况,其中落宝滩水文站自 2006 年起年径流量骤减,2010 年、2014 年、2015 年和 2016 年的年径流量均为 0;北河店水文站自 2001 年开始年径流量骤减,2002 年、2003 年、2007 年、2008 年、2010 年、2011 年、2015 年的年径流量均为 0;新盖房水文站在 1984—1986 年、2002 年、2007 年、2008 年、2010 年、2011 年的年径流量均为 0。

为进一步定量评估上述水文站年径流趋势性变化水平,对紫荆关、落宝滩、东茨村、北河店 4 个水文站 1956—2016 年的实测年径流量和新盖房水文站 1970—2016 年实测年径流量系列进行 Mann-Kendall 趋势检验^[7-9](表 1)。

表 1 大清河北支水系各水文站年径流量 M-K 检验

Tab. 1 M-K test results of annual runoff of hydrological station in north branch water system of Daqing River

名称	M-K 统计值	变化趋势
紫荆关水文站	-7.5200	减少显著
落宝滩水文站	-6.1100	减少显著
东茨村水文站	-6.2185	减少显著
北河店水文站	-6.0720	减少显著
新盖房水文站	-3.1690	减少显著

从表 1 可以看出,上述 5 个水文站年径流检验值均为负,并均突破 $\alpha = 0.05$ 的临界值 (± 1.96),表明实测年径流表现为减少显著趋势。

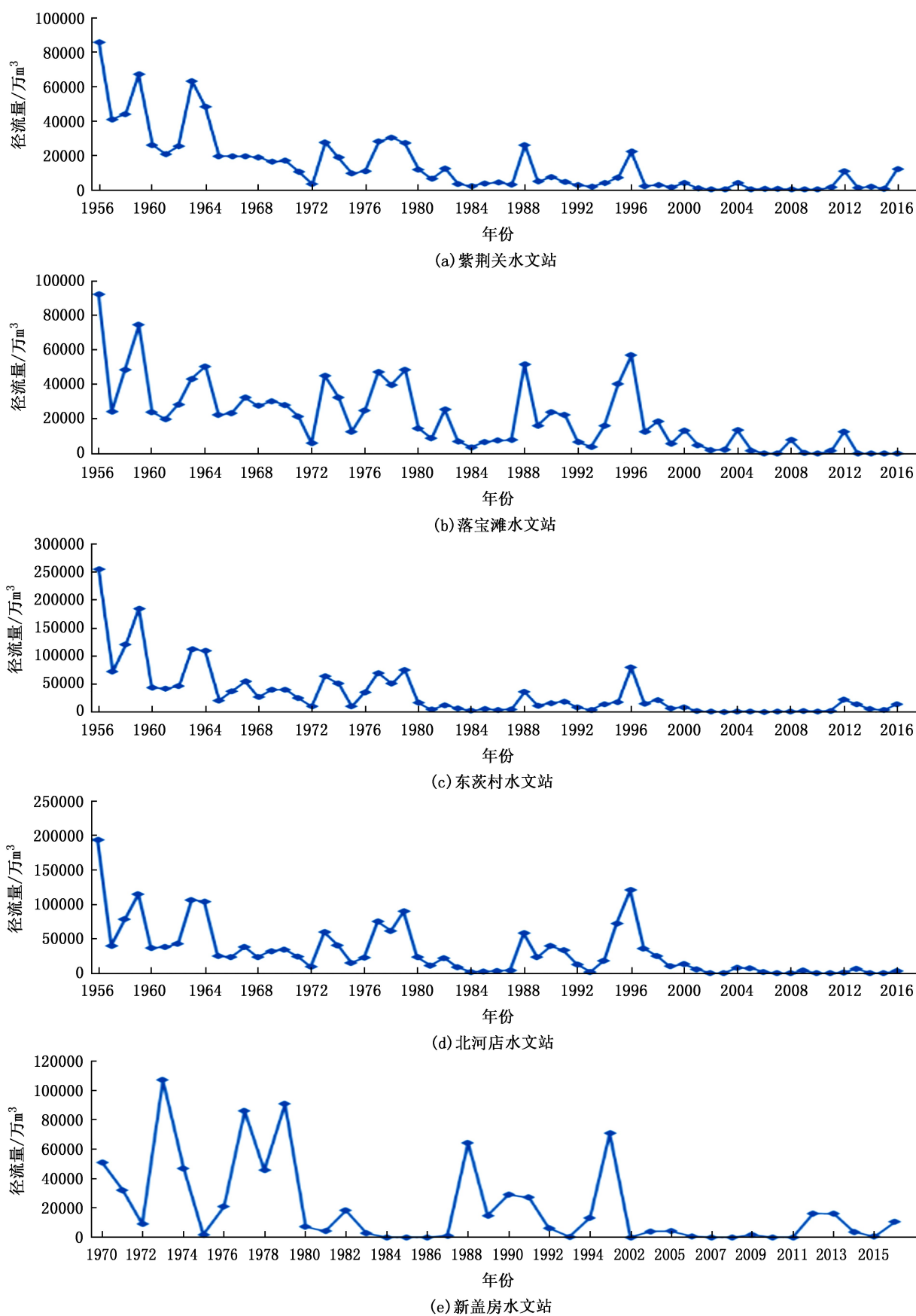


图 1 1956—2016 年北支水系水文站年径流量变化趋势

Fig. 1 Variation trend of annual runoff of hydrological station in north branch water system from 1956 to 2016

3.1.2 《海河流域综合规划》(1993年)实施前后年径流量变化

根据《海河流域综合规划(1993年)》(以下简称规划),大清河领域基本形成了完善的防洪工程体系,以此为节点,将长系列径流资料分为上轮规划实施前(1956—1992年共37a)和上轮规划实施后(1993—2016年共24a)两个阶段,分析规划实施前后上述5个水文站年均径流量变化(表2)。

表2 规划实施前后各水文站年均径流量变化

Tab.2 Changes of annual runoff in each hydrological station before and after the implementation of the plan 万m³

名称	时段		差值	变化率/%
	规划实施前	规划实施后		
紫荆关水文站	21518	3517	18001	83.7
落宝滩水文站	28354	8902	19452	68.6
东茨村水文站	41779	10371	31408	75.2
北河店水文站	42540	13972	28568	67.2
新盖房水文站	29025	8364	20661	71.2

从表2可以看出,规划实施后,紫荆关、落宝滩、东茨村、北河店和新盖房水文站年均径流量均大幅减少,该变化趋势与紫荆关、落宝滩、东茨村、北河店4个水文站1956—2016年共61a及新盖房水文站1970—2016年共47a的年径流量变化趋势一致。

3.2 南支水系

南支主流河道唐河、潞龙河上游均建有大型水库,受水库拦蓄作用影响,下游减水河段水文情势有所变化。

3.2.1 径流量年际间变化趋势

选取唐河上游城头会水文站、西大洋水库坝址断面,潞龙河上游王快水库坝址断面、下游北郭村水文站,下游清水河上北新店水文站5个断面多年径流数据,分析规划实施后年径流变化趋势(图2)。

1) 1958—2016年城头会水文站年径流量总体呈下降趋势;1956—2016年西大洋水库坝址、王快水库坝址、北郭村水文站年径流量呈波动下降趋势;1966—2016年北辛店水文站年径流量呈波动下降趋势。

2) 下游北辛店、北郭村水文站存在断流情况,其中北辛店水文站多个年份年径流量不足100m³,1993年、1998—1999年、2001年、2003—2004年、2006年、2011—2012年、2014年的年径流量均为0;北郭

村水文站在1981年、1984—1987年、1992—1993年、1997—1999年、2001—2003年、2006—2011年共计20个年份年径流量为0。

为进一步定量评估上述水文站年径流趋势性变化水平,对西大洋水库坝址、王快水库坝址、北郭村3个水文站1956—2016年的实测年径流量、城头会水文站1958—2016年实测年径流量和北辛店水文站1966—2016年实测径流量系列进行Mann-Kendall趋势检验(表3)。

表3 大清河南支水系各水文站年径流量M-K检验

Tab.3 M-K test results of annual runoff of hydrological station in south branch water system of Daqing River

名称	M-K统计值	变化趋势
城头会水文站	-9.204	减少显著
西大洋水库坝址水文站	-6.563	减少显著
北辛店水文站	-4.551	减少显著
王快水库坝址水文站	-4.726	减少显著
北郭村水文站	-5.467	减少显著

从表3可以看出,上述5个水文站年径流检验值均为负,并均突破 $\alpha=0.05$ 的临界值(± 1.96),表明实测年径流表现为减少显著趋势。

3.2.2 规划实施前后各水文站年均径流量变化

根据《海河流域综合规划(1993年)》,大清河领域基本形成了完善的防洪工程体系,以此为节点,将长系列径流资料分为上轮规划实施前(1956—1992年共37a)和上轮规划实施后(1993—2016年共24a)两个阶段,分析规划实施前后上述5个水文站年均径流量变化(表4)。

表4 规划实施前后各水文站年均径流量变化

Tab.4 Changes of annual runoff in each hydrological station before and after the implementation of the plan 万m³

名称	时段		差值	变化率/%
	规划实施前	规划实施后		
城头会水文站	10508	4469	6039	57.5
西大洋水库坝址水文站	50256	15332	34924	69.5
北辛店水文站	4513	1167	3346	74.1
王快水库坝址水文站	66867	29373	37494	56.1
北郭村水文站	47972	3758	44214	92.2

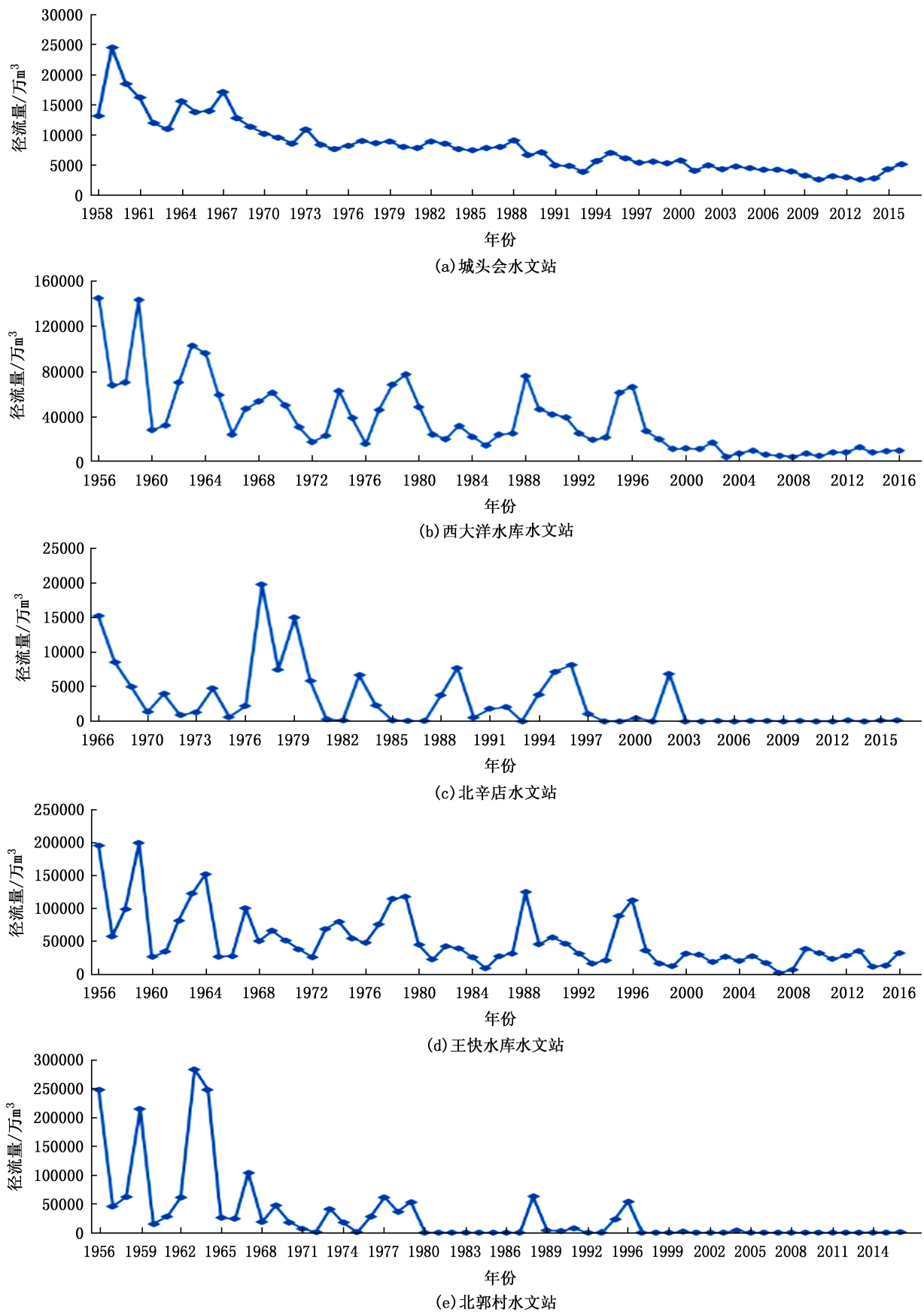


图 2 1956—2016 年南支水系水文站年径流量变化趋势

Fig. 2 Variation trend of annual runoff of hydrological station in south branch water system from 1956 to 2016

从表4可以看出,规划实施后,城头会、西大洋水库坝址、北辛店、王快水库坝址和北郭村水文站年均径流量均大幅减少,该变化趋势与各水文站长系列年径流量变化趋势一致。

3.3 白洋淀下游水系

在海河干流和独流减河入海口分别建有海河闸和独流减河防潮闸以防潮水倒灌。

根据独流减河进洪闸水文站1955—2012年实测径流量资料统计,多年平均径流量为6.09亿 m^3 ,最大年径流量为77.89亿 m^3 。进入20世纪80年代

后,由于来水偏枯和上游用水量的不断增加,多数年份的径流量为0,呈干涸状态。

根据白洋淀下接赵王新河的枣林庄闸下断面1973—2016年长系列年径流量变化趋势图(图3)可以看出,多个年份出现断流情况,近44年来,枣林庄闸下断面年径流量M-K统计值为-2.46,呈显著减少趋势。1993—2016年枣林庄闸下断面年均径流量为13430万 m^3 ,相比1973—1993年间年均径流量减少了58.5%。

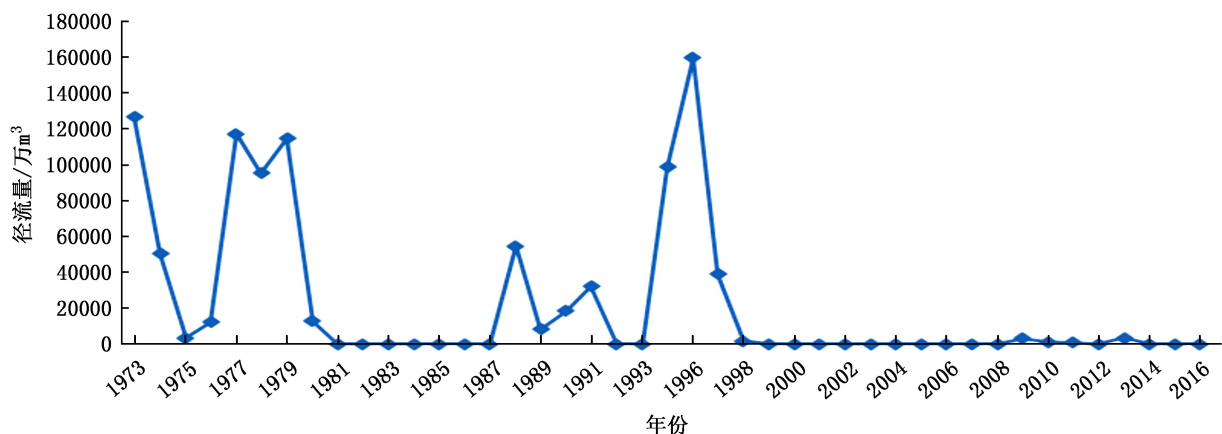


图3 1973—2016年枣林庄闸下断面年径流量变化趋势

Fig.3 Variation trend of annual runoff under Zaolinzhuang gate from 1973 to 2016

4 结 语

大清河系地处海河流域中部,源于太行山东麓,东淀以上分为南、北两支。东淀下游分别经海河干流和独流减河入海。落宝滩、紫荆关、城头会水文站点分别位于大清河北支拒马河、大清河南支唐河上游,不经过灌区且不受大型水库调度控制,相比中下游流域,3个水文站点径流量受气候变化等自然因素影响较大。大清河北支中下游站点以及大清河干流下游典型断面在规划实施后多数年份径流量为0,呈干涸状态。结合白洋淀流域近54年的年降雨M-K统计值为-1.492,呈弱减少趋势,规划的实施对大清河中下游断面年径流量影响较大。

参考文献:

[1] 黄璐,王鼎,朱文彪,等. 基于R/S和M-K分析的高良涧闸年径流量变化趋势研究[J]. 江苏水利,2019(11): 38-40,45.

[2] 尤卫红,何大明. 澜沧江月径流量变化的相关性和多时间尺度特征[J]. 云南大学学报(自然科学版),2005,27(4):314-322.

[3] 王娇,姜仁贵,解建仓,等. 泾河流域径流量变化特征研究[J]. 水资源与水工程学报,2018(6):88-93.

[4] 刘昌明,田巍,刘小莽,等. 黄河近百年径流量变化分析与认识[J]. 人民黄河,2019,41(10):11-15.

[5] 叶炳效,孟春芳. 卫河水系新乡段年径流量变化趋势分析[J]. 河南水利与南水北调,2020,49(7):29-31.

[6] 李四海. 卫河流域年际径流变化趋势分析[J]. 河南水利与南水北调,2014(16):7-8.

[7] 汤杰,徐建华,陈忠升. 党河山区流域近50年径流趋势变化及其突变分析[J]. 中国科技论文在线,2014(1):1-11.

[8] 刘春葵,刘志雨,谢正辉. 近50年海河流域径流的变化趋势研究[J]. 应用气象学报,2004,15(4):385-385.

[9] 邵爱军,左丽琼,王丽君. 气候变化对河北省海河流域径流量的影响[J]. 地理研究,2010(8):1502-1509.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.008

澳大利亚国家公园步道建设及启示

唐超, 蒋爱伍

(广西大学 林学院, 广西 南宁 530004)

摘要:通过对澳大利亚国家公园的步道系统进行线上调查,对澳大利亚国家公园的步道系统、步道分级标准、步道设计的时间因素、步行类型因素以及步道欣赏目的因素进行研究。结果表明,澳大利亚每个国家公园设有(13.2±10.0)条步道,步道总长度为(91.1±75.7) km;按照路面状况和长度,澳大利亚国家公园的步道可按步行难易程度分为5个等级,难度适中级别3的步道条数最多;步行时间在1 h 之内的步道最多,步道的步行类型中,往返型的步道数最多,步道的游览类型中,以观赏自然景观为主的步道最多,其次是既能观赏自然景观也能观赏生物多样性的步道。在此基础上,对我国国家公园步道系统的分级系统和步道设计进行了分析和讨论。

关键词:国家公园;步道建设;分级系统;步道设计;澳大利亚

中图分类号:S759.91;S773.6 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0050-07

引文格式:唐超,蒋爱伍. 澳大利亚国家公园步道建设及启示[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4):50-56. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.008

TANG Chao, JIANG Aiwu. Construction and Enlightenment of Trails in Australian National Parks[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4):50-56. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.008

Construction and Enlightenment of Trails in Australian National Parks

TANG Chao, JIANG Aiwu

(College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Based on the online survey of the trail system in Australian national park, this paper discussed the trail system, the trail grading standard, the time factor of trail design, the type factor of walking, and the purpose factor of trail appreciation. The results showed that each national park in Australia had (13.2±10.0) trails, and the total length of trails was (91.1±75.7) km; according to the pavement condition and length, the trails in Australian national parks could be divided into five grades based on the degree of walking difficulty, and Grade 3 trails with moderate difficulty had the most trails; there were the most trails with a walking time of less than 1 hour, the number of round-trip trails was the highest among the walking types of trails, and among the sightseeing types of trails, the number of trails mainly for viewing natural landscapes was the highest, followed by trails that could both appreciate natural landscapes and biodiversity. This paper analyzed and discussed the grading system and trail design of national park trail system in China.

收稿日期:2022-03-08.

基金项目:国家自然科学基金(31870370).

第一作者:唐超(1994-),女,安徽铜陵人,硕士研究生.研究方向为自然保护地管理与生态修复技术. Email:wylrs1016@163.com

责任作者:蒋爱伍(1978-),男,广西全州人,博士,教授,博士生导师.研究方向为动物生态学、保护生物学、湿地生态系统规划与管理、城市规划对生物多样性的影响等. Email:aiwuu@163.com

Key words: national park; trail construction; grading system; trail design; Australia

“国家公园”的概念产生于美国,1872年美国国会正式批准设立世界范围的第一个国家公园——黄石公园后,“国家公园”概念在世界范围内流行起来。从使用功能和范围来看,不同国家对国家公园的定义和理解有所不同。美国的国家公园特指可以为人们提供游览服务的保护区;澳大利亚的国家公园指的是限制人类活动的陆地保护区;而英国的国家公园内却有着大量居民居住,且可以进行适当的经济活动^[1]。世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature,简称IUCN)将“国家公园”归为“保护地体系”的一类,并对国家公园进行了定义,即:国家公园是指大面积的自然或者接近自然的区域,设立的目的是保护大规模的生态过程及相关物种和生态系统固有特征,同时兼有科研、教育、游憩和参观作用^[2]。此外还有康健、可持续化土地使用(农业、林业、渔业、狩猎)、增强国家及地域认同感等作用^[3]。

随着我国首批5个国家公园的正式设立,以及在新型旅游方式不断被提倡的大环境下,国家公园的规划建设需要更符合其功能和定位的新设计理念,而步道系统建设为其提供了一种新的可能性。与发达国家相比,我国“国家公园”的概念出现较晚,且是在既有的自然保护地的基础上整合而来,因此,国家公园继承了自然保护地各地区面积和数量的不均衡性^[4]。党的十八大以来,党和国家高度重视生态文明建设^[5]。党的十八届三中全会提出建立国家公园体制,党的十九大则进一步明确了我国将建立以国家公园为主体的自然保护地体系^[6-7]。2018年4月,我国正式成立了国家公园管理局,改善了国家公园多头管理、权责不明等问题。2020年,我国正式设立首批10个国家公园试点单位,因此这一年也被称为“中国国家公园元年”。2021年10月12日,我国首批5个国家公园正式设立。虽然我国国家公园建设已取得了较好成绩,但由于起步较晚,其建设体系不够完善,因此,在国家公园建设和规划中仍存在着诸多不足^[8]。我国国家公园的首要功能是重要自然生态系统的原真性、完整性保护,同时兼具科研、教育、游憩等综合功能^[9]。国家林业和草原局倡导的国家公园旅游方式主要为自然教育和自然游憩,这对国家公园的规划建设提出了有别于普通公园与自然保护地建设的新要求,步道建设在一定程度上能够满足这些建设要求。

步道被美国国家公园管理处定义为用于步行、骑马、骑自行车、直排轮滑和越野滑雪等休闲活动的通道^[10]。美国是世界上最早在国家公园规划并建设步道的国家,其步道建设最早源于20世纪20年代,而步道建设的思想基础却可追溯至19世纪中叶保护运动的兴起^[11]。步道是国家公园建设的重要组成部分。在国家公园中,步道既是国家公园内最重要的媒介,也是不可忽视的生态屏障。步道展示当地的自然人文资源或景观资源,并需具备生态旅游、自然体验、环境教育、休闲以及景观观赏等功能^[12-13]。步道建设在保护国家公园自然生态资源的同时也满足公众游憩需求,推动环境教育,兼具国家代表性和全民公益性。

中国的国家公园建设虽然在稳步推进,但对步道建设的重视仍然不够。现阶段正式设立的5个国家公园大多只规划了道路交通系统,步道体系构建尚不完善^[13]。仅武夷山国家公园依托现有的和规划新建的游憩步道、国家森林步道、巡护步道等道路建立了步道系统,并按实际情况将步道类型划分为5类:休闲步道、景观步道、历史步道、环境教育步道和连结步道^[14]。相对而言,我国台湾地区在建设国家公园以及步道系统方面起步较早,于2004年完成了《国家公园步道系统设计规范》的制定^[12]。

本文对澳大利亚6个州和1个领地隶属的30个国家公园的信息进行统计分析,概述澳大利亚国家公园步道分级系统、步道设计规律及在其框架下的设计要素,以期为我国国家公园步道规划建设提供参考。

1 澳大利亚国家公园步道建设概况

1.1 步道建设

澳大利亚是世界上国家公园数量最多的国家,目前共有685个国家公园,总占地面积达335 062 km²。本研究选择了隶属澳大利亚6个州和1个领地的30个国家公园,通过浏览澳大利亚国家公园的官网进行数据收集和整理(表1)。

澳大利亚的国家公园共统计有395条步道,且有394条步道提供了详细的步行时间介绍,仅有个别因地形独特无法设置步道,其余均设有步道。澳大利亚每个国家公园设有(13.2±10.0)条步道,步道总长度为(91.1±75.7) km。

表 1 澳大利亚国家公园步道基本信息

Tab. 1 Basic information of trails in Australian national parks

国家公园名称	公园所在地区	占地面积 /km ²	步道总条数 /条	步道总长度 /km
卡里基尼(Karijini)	西澳大利亚州	6274.2	19.0	32.2
开普山脉(Cape Range)	西澳大利亚州	510.0	6.0	11.2
米尔溪奇切斯特(Millstream Chichester)	西澳大利亚州	2400.0	10.0	48.6
卡巴里(Kalbarri)	西澳大利亚州	1830.0	7.0	52.2
摇篮山—圣克莱尔湖(Cradle Mountain—Lake St. Clair)	塔斯马尼亚州	1614.4	13.0	163.1
弗雷西内特(Freycinet)	塔斯马尼亚州	169.0	7.0	50.3
富兰克林戈登野生河流(Franklin—Gordon Wild Rivers)	塔斯马尼亚州	4463.4	4.0	58.6
西南(Southwest)	塔斯马尼亚州	6182.7	7.0	134.6
卡卡杜(Kakadu)	北领地	19804.0	32.0	108.6
利奇菲尔德(Litchfield)	北领地	1500.0	9.0	23.2
乌鲁鲁卡塔丘塔(Uluru—Kata Tjuta)	北领地	1325.7	8.0	31.8
尼特米鲁克(Nitmiluk)	北领地	2920.0	8.0	157.3
沃什普尔(Washpool)	新南威尔士州	587.0	3.0	54.9
蓝山(Blue Mountains)	新南威尔士州	1989.0	46.0	293.3
巴灵顿顶(Barrington Tops)	新南威尔士州	765.1	18.0	142.6
科修斯科山(Kosciusko Mountain)	新南威尔士州	6900.0	33.0	210.3
雅拉山脉(Yarra Ranges)	维多利亚州	979.0	10.0	63.4
格兰皮亚(Grampians)	维多利亚州	1672.0	25.0	52.8
塔拉—布尔加(Tarra—Bulga)	维多利亚州	1522.0	7.0	11.8
默里日落(Murray Sunset)	维多利亚州	6330.0	5.0	77.4
卡纳冯峡谷,卡纳冯(Carnarvon Gorge, Carnarvon)	昆士兰州	2510.0	14.0	212.9
圣灵群岛(Whitsunday Islands)	昆士兰州	170.0	12.0	22.2
丹特里(Daintree)	昆士兰州	1200.0	9.0	10.1
春溪(Springbrook)	昆士兰州	61.6	4.0	7.2
林肯(Lincoln)	南澳大利亚州	315.0	22.0	217.3
科芬湾(Coffin Bay)	南澳大利亚州	310.0	9.0	100.0
迪尔巴古兰达—因内斯(Dhilba Guuranda—Innes)	南澳大利亚州	94.0	7.0	28.8
弗林德斯山脉(Ikara—Flinders Ranges)	南澳大利亚州	950.0	18.0	164.8
卓越山(Mount Remarkable)	南澳大利亚州	106.0	18.0	141.0
武尔卡通哈—甘蒙山脉(Vulkathunha—Gammon Ranges)	南澳大利亚州	1280.0	6.0	51.7

1.2 步道分级系统

由澳大利亚步道分级系统可知,根据路面状况、倾斜度、地形和周边环境等因素,澳大利亚国家公园的步道可按步行难易程度分为 5 个等级(表 2),但部分地区的国家公园,如南澳大利亚州则将步道分为 4 个等级(表 3)。

从表 2 可以看出,在五级分类系统中,级别 3 的步道平均条数最多,其步道总条数占国家公园步道

总条数的 38.0%;级别 5 的步道平均条数最少,其步道总条数占国家公园步道总条数的 6.6%。此外,级别 4 的步道平均长度最长,其步道总长度占国家公园步道总长度的 50.6%。级别 1 的步道平均长度最短,其步道总长度仅占国家公园步道总长度的 2.5%。

澳大利亚部分地区国家公园步道的路面状况、倾斜度、地形和周边环境等因素差距较小,因此一些国家公园将步道分为 4 个等级(表 3)。

表 2 澳大利亚国家公园步道五级分类系统

Tab. 2 Five grades grading system of trails in Australian national parks

分级	平均条数 /条	范围 /条	平均长度 /km	范围 /km	分级标准	条数占比/%	长度占比/%
1	1.3±2.7	0~12	2.1±6.2	0~29.8	步道路面铺装平坦,无台阶或较大坡度,适合有专人协助的轮椅使用者	9.8	2.5
2	2.6±3.8	0~19	5.6±8.2	0~35.2	步道路面层为硬实铺装,部分路段有不连续的台阶	19.6	6.6
3	5.0±5.9	0~25	22.2±31.2	0~122.8	步道部分路段路面层不平整或有轻微坡度	38.0	26.3
4	3.4±3.8	0~14	42.8±47.3	0~131.5	步道位于近原生的环境中,部分路面层不平整,且缺少部分方向标志牌	25.9	50.6
5	0.9±1.6	0~5	11.9±22.0	0~87.0	步道位于原生环境中,无路面铺装且边界模糊,无方向标志牌	6.6	14.0

表 3 澳大利亚国家公园步道四级分级系统

Tab. 3 Four grades grading system of trails in Australian national parks

分级	平均条数 /条	范围 /条	平均长度 /km	范围 /km	分级标准	条数占比/%	长度占比/%
容易	2.3±1.0	1~4	4.4±2.6	0.3~8.1	步道路面层为平整的铺装且边界清晰,适合不同人群	17.5	3.7
适中	7.5±3.4	5~14	64.9±29.2	24.8~97.6	部分路段有一定坡度或路面层不平整,对于徒步者的健康水平无较高要求	56.3	55.3
较难	2.7±3.6	0~9	25.5±42.7	0~109.9	部分路段路面不平整或有较大坡度,徒步者需有徒步经验和一定的体能	20.0	21.8
挑战	0.8±1.3	0~3	22.5±38.4	0~93.0	步道较长,可能经过偏远地区,需过夜,徒步者需有丰富的经验和高水平体能	6.3	19.2

从表 3 可以看出,在四级分类系统中,适中 (moderate) 的步道平均条数最多,其步道总条数占国家公园步道总条数的 56.3%,同时其步道平均长度也最长,且步道总长度占国家公园步道总长度的 55.3%。适中的步道对徒步者的身体素质无较高要求,较多的国家公园设置此类型步道,能够让更多游客加入到徒步中。挑战 (challenging) 的步道平均条数最少,其步道总条数占国家公园步道总条数的 6.3%。此外,容易 (easy) 的步道平均长度最短,其步道总长度仅占国家公园步道总长度的 3.7%。

1.3 步道设计

澳大利亚国家公园步道的平均长度为 (6.9±10.7) km (n=395),步道的平均步行时间为 (6.3±20.0) h (n=394)。35.9%步道的步行时间在 1 h 之内,仅有 1.5%的步道需要 72 h 以上(图 1)。

步道包括 3 种类型:单程 (one-way)、往返 (return) 和巡回 (loop)。其中往返的步道最多,占国家公园步行类型的 56%。单程和巡回的步道各占国家公园步行类型的 22%(图 2)。

步道的游览类型中,以观赏自然景观为主的步道最多,占国家公园步道的 49.9%,其次是既能观赏自然景观也能观赏生物多样性的步道,占国家公园步道的 28.9%,最少的是既能观赏人文景观也能

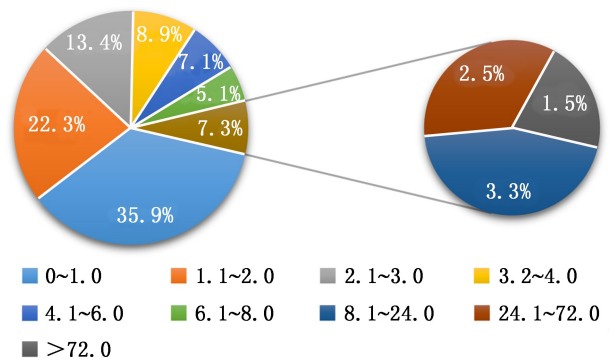


图 1 澳大利亚国家公园步道步行时间占比
Fig. 1 Proportion of walking time of trails in Australian national parks

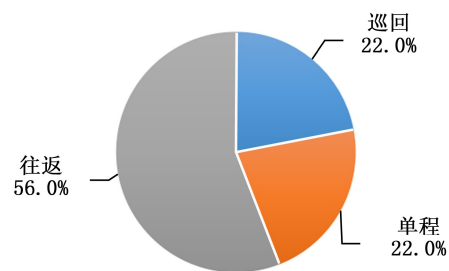
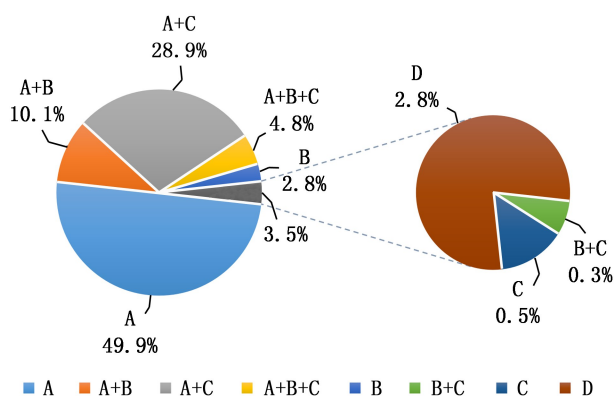


图 2 澳大利亚国家公园步道步行类型占比
Fig. 2 Proportion of walking types of trails in Australian national parks

观赏生物多样性的步道, 仅占国家公园步道的 0.3% (图 3)。



注: A: 欣赏自然景观; B: 欣赏人文景观; C: 欣赏生物多样性; D: 未交代沿途景观或纯粹步行。

图 3 国家公园步道游览类型占比

Fig. 3 Proportion of sightseeing types of trails in national parks

2 对中国国家公园步道建设的启示

2.1 步道建设的重要性

澳大利亚除发达地区以及原住民居住地外, 陆地景观几乎保持着自然原貌, 生物多样性极为丰富, 并且有着独特的本土文化、壮丽的内陆景观、原始的白色沙滩和惊艳的红色峡谷等^[15]。徒步探索自然之美是最简单的方式, 也是徒步者最喜欢的方式。澳大利亚的国家公园设有数量不等、长度不一的步道, 使徒步者能够享受徒步的乐趣, 引导徒步者欣赏国家公园内的自然景观、人文景观以及生物多样性, 让人们充分享受国家公园带来的自然之美。

2015 年以来, 我国先后在 12 个地区开展了 10 个国家公园体制试点, 并在 2021 年正式设立首批 5 个国家公园。未来, 国内还将对新一批试点国家公园进行规划与建设, 这些本土国家公园建设的实践经验将会促进我国国家公园体制建设。国家公园的设立并不仅仅是为了引入国际模式来建设保护地, 更重要的是要以制度保障生态文明建设目标, 重新整合和确立我国自然保护体系, 完善我国自然保护管理体制。而步道建设也不仅是为了连接景观节点, 满足游客游憩需求, 更重要的是推动环境教育。

国外自然保护地环境教育的场所以国家公园为主, 基本具备完善的环境教育体系, 涉及的环境教育手段丰富且形式多样。例如澳大利亚新南威尔士州

的蓝山国家公园与学校展开合作, 设立有 8 条徒步线路, 面向 1~10 年级的学生, 为学生们提供不同层次的环境教育^[16]。我国现有国家公园环境教育多以课堂教学和科普宣传形式为主, 缺乏成体系的针对不同需求和认知特点群体的丰富的环境教育内容和多样化的教育形式, 也尚未与学校的教育体系融合, 缺少趣味性强的互动体验类教育项目, 导致国家公园所蕴含的丰富的环境教育资源和生态文化知识尚未充分发挥其教育价值^[11,17]。步道作为成本最低, 对环境影响最小的设施, 其建设对国家公园的环境教育功能具有极大的推动作用。

2.2 分级系统

步道分级是告知人们步道特征的主要手段, 有助于将步行作为一种休闲活动进行推广^[18]。徒步者能够通过官方提供的标准化难度分级或步道分级, 来衡量当前步道是否适合自己。澳大利亚在对国内外徒步者的信息需求进行为期 3 年的广泛研究后, 结合澳大利亚步道分级标准(《Australian Standard 2156.1-2001 Walking Tracks-Classification and Signage》)中步道的等级划分, 根据路面状况、倾斜度、地形和周边环境等因素, 将步道按步行难易程度分为 5 个等级, 但部分地区的国家公园, 如南澳大利亚州则将步道分为 4 个等级。

我国已有的步道体系, 一种是国家登山健身步道, 另外一种是国家森林步道。国家登山健身步道自 2009 年起在全国范围内修建, 至今已完成 23 条步道的修建。国家登山健身步道按步道所在区域自然环境特点及步道功能分类为: 山野步道、探险步道、亲子步道、自然科普教育步道和其他^[19]五大类。国家森林步道是指穿越重要山脉和森林区域、具有不同的自然风光和历史文化特征、长度超过 500 km、主要供人们以徒步形式深入体验大自然的带状休闲空间。国家森林步道按路段游人最高容量分段为: 高负荷、中负荷、低负荷^[20]三大类。与其他国家相比, 中国的国家公园目前因面积较大、跨越多个省市、包含众多景区, 各景区步道自成系统, 亟需制定统一的分级系统便于之后的管理。可按某统一标准进行分类, 并在步道信息提示牌上详细介绍其所在区域自然环境特点及步道信息, 让游客阅览后自主选择适合自己的步道, 并提前对步道周边信息有一定的了解。

随着中国人口老龄化的加剧, 为老年人及行动障碍人士专门提供的无障碍设计 (barrier free de-

sign)可为该群体接触自然创造更多的可能性,进而培育社会对于残障群体的责任意识,无论是从社会层面或是道德层面出发,无障碍设计考量都必不可少^[12]。澳大利亚国家公园五级分类系统中级别1的步道占国家公园步道条数的9.8%,级别1的步道表面平坦,适合有专人协助的轮椅使用者。国内国家公园亦可考虑设置一定的平缓步道,便于老年人及行动障碍人士通行,还需因地制宜,给予游客听觉、触觉、嗅觉等综合感知的丛林体验,让游客在国家公园真实地体验到自然环境带来的慰藉。

2.3 步道设计

步行所需时间取决于该步道地区的地形起伏、步道使用者类型、行走难易程度等因素,步行时间也是一种步道长度的衡量方式。数据表明,澳大利亚国家公园有较多短途步道,35.9%的步道步行时间在1h内。步道不仅作为景点之间的串联,还为环境教育提供服务,因此,短途步道可以保证徒步者不会过于疲惫,能够充分享受沿途的风景与生物多样性。中国的国家公园内可设置较多步行时间不超过1h的短途步道,让徒步者在徒步的同时有明显的时间节点休憩调整,不至过于疲惫。

视觉是最主要的感官知觉,根据行为心理学研究,行人步行的舒适距离为200~400m,超过这个距离的步行环境无变化会使人产生麻木、无趣的体验^[21]。国内建设步道系统时应注意尽量优化步道路线,使步道的起点与终点不在同一个地方,若起点与终点在同一个地方,可考虑将步道设置为环状步行类型,尽量避免同一条步道往返。步道沿途必须拥有足够多的“兴奋点”,且步道平均每2km需要有至少一处的景观变化,这些“兴奋点”或“景观变化”可以是一个小瀑布、一块奇石或一个视野开阔的山峰^[22]。中国的国家公园内自然景观丰富,可以巧妙地利用沿途自然风景设置“兴奋点”,使步道更富有魅力。

澳大利亚卡卡杜国家公园多样化的地貌诞生了丰富的动植物资源,并且还有岩画记录着的数万年来土著人民的技能和生活方式,让卡卡杜国家公园成为了露天教室,为游客提供生物多样性和文化教育的同时,激发公众的环境意识^[23]。澳大利亚国家公园步道中,以观赏自然景观的步道最多,其次是既能观赏自然景观也能观赏生物多样性的步道,在一定程度上体现了澳大利亚国家公园对生物多样性的重视。中国地大物博,幅员辽阔,地势形态多样,动

植物种类繁多,中国的国家公园自然也是“万类霜天竞自由”。但国内的国家公园目前更多关注于沿途的自然景观,对沿途能观测到的动物等的介绍较少,生态旅游建设亟需推进。例如普达措国家公园不仅具有自然景观独特性,还具有生态系统代表性和生物物种代表性,园内生物景观类游憩资源亚类约占全国国家公园内总数的63%,种类十分丰富^[24]。但普达措国家公园内资源开发有限,且大多被开发为观光旅游产品,游客对旅游线路的选择较为单一,且停留时间较短,缺乏记忆点^[25]。普达措国家公园立足国家公园信息化建设要求,打造“一中心、两平台、三网、四系统”的普达措国家公园综合管理信息化服务平台,为国家公园乃至自然保护地的资源保护和自然教育提供了案例借鉴和技术参考^[26]。传播生态文明、树立文化自信离不开自然游憩,自然游憩能够培养国民的自然保护意识,提升国家公园的自然保护效率^[27]。因此,国家公园可充分利用园内优越的生物资源开展自然游憩和自然教育类旅游,带动生态旅游建设。通过当地珍稀物种唤起人们对生物多样性的重视,从而激起对自然环境的保护意识,构建生态环境全民共建、共治、共享的新模式,实现人与自然和谐共生。

3 结 论

1)除部分因自身地形独特而无法设置步道的国家公园外,澳大利亚的国家公园均设有步道。澳大利亚每个国家公园共有 (13.2 ± 10.0) 条步道,步道总长度为 (91.1 ± 75.7) km。

2)按照路面状况和长度,澳大利亚国家公园的步道可按难易程度分为5个等级,但部分国家公园,如南澳大利亚州则采用四级分类系统。在五级分类系统中,级别3的步道平均条数最多;级别5的步道平均条数最少;此外,级别4的步道平均长度最长;级别1的步道平均长度最短。在四级分类系统中,适中的步道平均条数最多,且步道平均长度也是最长;挑战的步道平均条数最少;容易的步道平均长度最短。

3)澳大利亚国家公园的步道步行时间在0~1h的步道最多,步行时间在72h以上的步道最少。在步道的步行类型中,往返的步道最多,单程和巡回的步道大致等同。澳大利亚国家公园的步道沿途能够欣赏自然景观的步道最多,其次是沿途既能欣赏自然景观也能欣赏生物多样性的步道。

参考文献:

- [1] 耿松涛,唐洁,杜彦君. 中国国家公园发展的内在逻辑与路径选择[J]. 学习与探索,2021(5):134-142,2.
- [2] 徐雷,陈静,刘莉. 我国国家公园特许经营存在问题及法律对策研究——以公益性与营利性的法律关系为分析视角[J]. 西安建筑科技大学学报(社会科学版),2021,40(3):65-71.
- [3] 杨丹,阎凯,金云峰. 欧洲国家公园生态保护和环境教育体系及启示[J]. 广东园林,2020,42(4):20-26.
- [4] 金荣,苏岩. 以国家公园为主体的日本自然公园建设均衡性研究[J]. 中国园林,2021,37(11):104-108.
- [5] 中华人民共和国中央人民政府网. 胡锦涛在十八大报告中提出:大力推进生态文明建设[EB/OL]. (2012-11-08)[2021-09-30]. http://www.gov.cn/ldhd/2012-11/08/content_2260053.htm.
- [6] 中国共产党第十八届中央委员会第三次全体会议公报[R]. 2015.
- [7] 习近平:决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利——在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告[R]. 2017.
- [8] 耿松涛,唐洁,杜彦君. 中国国家公园发展的内在逻辑与路径选择[J]. 学习与探索,2021(5):134-142,2.
- [9] 中共中央办公厅,国务院办公厅. 建立国家公园体制总体方案[EB/OL]. (2017-09-26)[2021-09-30]. http://www.gov.cn/zhengce/2017-09/26/content_5227713.htm.
- [10] National Park Service. National Scenic and Historic Trails—FAQs? [EB/OL]. [2021-09-30]. <https://www.nps.gov/subjects/nationaltrailssystem/faqs.htm#What%20is%20a%20Trail?>.
- [11] 李晓颖,朱珠. 美国国家步道对我国国家公园步道建设的启示[J]. 南京林业大学学报(人文社会科学版),2020,20(3):43-52.
- [12] 苏冠华. 台北市阳明山国家公园步道系统设计研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2015.
- [13] 何疏悦,李方珂,张蕊,等. 美国国家公园无障碍游径体系构建与规划研究及其对中国的启示[J]. 中国园林,2021,37(8):44-49.
- [14] 福建林业局. 武夷山国家公园总体规划及专项规划(2017-2025年)[EB/OL]. (2020-10-24)[2021-09-30]. <http://lyj.fujian.gov.cn/zfxgk/zfxgkml/ywwj/nslpy/201912/P020200102411166922685.pdf>.
- [15] 张天宇,乌恩. 澳大利亚国家公园管理及启示[J]. 林业经济,2019,41(8):20-24,29.
- [16] Blue Mountains National Park [EB/OL]. [2022-01-20]. <https://www.nationalparks.nsw.gov.au/education/search?selectedtypes=1&near=blue%20mountains%20national%20park&extent=in>.
- [17] 孙雅妮. 中国自然保护地环境教育标准体系研究[D]. 北京:北京林业大学,2020.
- [18] Trail classification guidelines [EB/OL]. [2022-01-20]. <http://www.trailtalk.com.au/group/trail-management/forum/topics/trail-classification-guidelines>.
- [19] 中国登山协会官方网站. 国家登山健身步道标准实施细则[EB/OL]. (2013-03-07)[2022-03-01]. <http://cmasports.sport.org.cn/fgzc/hybz/2013/0307/239001.html>.
- [20] 国家林业和草原局,国家公园管理局. 国家森林步道建设规范[EB/OL]. (2017-06-17)[2021-09-30]. <http://www.forestry.gov.cn/uploadfile/lykj/2017-6/file/2017-6-17-67cd350d1a014206b268672d51758490.pdf>.
- [21] 陈秋玲. 厦门山海健康步道康养景观的思考[J]. 现代园艺,2021,44(10):57-58.
- [22] 迟永明. 国外国家步道规划建设分析与借鉴[J]. 中国林业经济,2019(3):124-128.
- [23] Kakadu National Park [EB/OL]. [2022-01-20]. <https://parksaustralia.gov.au/kakadu/>.
- [24] 晁增华,李建伟,陶晶,等. 香格里拉普达措国家公园扩建研究[J]. 林业调查规划,2021,46(2):89-93.
- [25] 王宝宣,巩合德,朱贵青,等. 普达措国家公园游憩资源价值与特色评价[J]. 西南林业大学学报(社会科学),2021,5(3):87-92.
- [26] 王梦犀,易小理. 云南香格里拉普达措国家公园综合管理信息化服务平台设计[J]. 林业调查规划,2021,46(5):99-105.
- [27] 吴必虎,谢治凤,张玉钧. 自然保护地游憩和旅游:生态系统服务、法定义务与社会责任[J]. 旅游科学,2021,35(5):1-10.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.009

卧龙自然保护区珙桐林下资源调查初报

叶平, 谭迎春, 马联平, 张清宇, 刘明冲

(四川卧龙国家级自然保护区管理局, 四川 汶川 623006)

摘要: 为了解卧龙自然保护区珙桐林下乔木、灌木和草本的资源情况, 2021 年 2 月至 11 月, 采用设置样方的形式进行珙桐调查, 综合参考文献, 本次调查发现珙桐林中乔木层物种 48 种、灌木层物种 34 种和草本层物种 56 种, 研究其种类及隶属科、属, 分析珙桐天然林与日本落叶松人工林林下群落生态、优势属种间的差异, 以期保护野生珙桐资源提供基础信息和科学依据。

关键词: 卧龙自然保护区; 珙桐林; 资源调查; 乔木; 灌木; 草本; 优势属; 优势种

中图分类号: S759.91; S758.4; S792.99 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)04-0057-07

引文格式: 叶平, 谭迎春, 马联平, 等. 卧龙自然保护区珙桐林下资源调查初报[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4): 57-63.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.009

YE Ping, TAN Yingchun, MA Lianping, et al. Preliminary Investigation of *Davidia involucrata* Forest Resources in Wolong Nature Reserve[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 57-63. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.009

Preliminary Investigation of *Davidia involucrata* Forest Resources in Wolong Nature Reserve

YE Ping, TAN Yingchun, MA Lianping, ZHANG Qingyu, LIU Mingchong

(Wolong National Nature Reserve Administration, Wenchuan, Sichuan 623006, China)

Abstract: In order to understand the resources of arbors, shrubs and herbs under *Davidia involucrata* forest in Wolong Nature Reserve, the investigation was conducted from February to November 2021 by setting up sampling plots. Based on comprehensive references, this investigation found 48 species of arbors, 34 species of shrubs and 56 species of herbs in *Davidia involucrata* forest. The species, subordinate families and genera were studied, and the differences in the ecology and dominant genera between *Davidia involucrata* natural forest and *Larix kaempferi* plantation were analyzed. The results provided basic information and scientific basis for the protection and utilization of wild *Davidia involucrata* resources.

Key words: Wolong Nature Reserve; *Davidia involucrata* forest; resource investigation; arbors; shrubs; herbs; dominant genera; dominant species

珙桐 (*Davidia involucrata*) 是我国特有的单型属珍稀濒危植物, 为我国 I 级重点保护植物, 第三纪古热带植物区系的孑遗种, 有“植物活化石”之称, 主要分布于我国湖南、四川、云南、贵州和湖北等地

区^[1-3]。因其花形酷似展翅飞翔的白鸽而被西方植物学家命名为“中国鸽子树”^[4-5], 是世界著名观赏植物, 具有极高的观赏价值、特殊的科学研究价值和较高的经济价值^[6-7]。由于森林的砍伐破坏及挖掘

收稿日期: 2022-01-29; 修回日期: 2022-02-24.

基金项目: 2021 年国家重点生态功能区转移支付禁止开发区补助资金 (510000-01-095703).

第一作者: 叶平 (1978-), 女, 四川威远人, 高级工程师. 从事信息化及保护野生动植物工作. Email: 897835236@qq.com

责任作者: 刘明冲 (1967-), 男, 四川眉山人, 教授级工程师. 从事生态与自然保护工作. Email: 1229776748@qq.com

野生苗栽植,造成其数量减少,分布范围日益缩小,若不采取保护措施,有被其他阔叶树种更替的危险^[8]。卧龙西河地区保存有珙桐林千亩以上,多以混交林的形式分布于海拔 1 450~2 170 m 的常绿、落叶阔叶混交林带内^[9]。本研究分析卧龙天然林珙桐与人工林日本落叶松林下乔木层、灌木层和草本层的种类、群落及优势属种,为今后天然珙桐林在保护与管理方面提供科学数据支撑。

1 研究区概况

研究区位于卧龙自然保护区,在成都平原西缘,四川省阿坝藏族、羌族自治州汶川县西南部,邛崃山脉东南坡,距四川省省会成都 134 km。地处北纬 30°45′~31°25′,东经 102°52′~103°24′,保护区地势由西北向东西递减,东西长 52 km,西北部山峰最高海拔 6 250 m;南北宽 62 km,东南部地势相对平缓,最低海拔 1 150 m,总面积 2 000 km²^[10]。特殊的地理位置、地形地貌、气候等生态环境孕育和保存了丰富的野生动植物种类,保护区内国家重点保护野生植物有 13 科、14 属、15 种,其中 I 级保护植物有珙桐、红豆杉、独

叶草、伯乐树等 6 种,II 级保护植物有 9 种^[11]。

保护区属青藏高原气候带,年温差较小,干湿季节分明,降雨量集中,最高温和最低温分别为 29.8℃ 和 -11.7℃,年均温 8.9℃。年日照时数为 949.2 h。年均降雨量为 888.0 mm,降雨主要集中于 5—9 月份。年蒸发量为 888.1 mm,相对湿度 80%。本次调查发现卧龙珙桐主要分布于三江镇境内海拔 1 400~2 100 m 区域,在保护区东部边界耿达镇黄连沟海拔约 1 700 m 有少量分布。

2 研究方法

于 2021 年在四川省卧龙汶川县卧龙保护区三江镇和耿达镇设置样地。在不同海拔高度设置 9 个 20 m×20 m 的大样方,在样方四角和样方中心共设置 5 个 5 m×5 m 和 5 个 1 m×1 m 的小样方,用以调查样地内灌木、草本生长状况,分别详细记录灌木和草本的种类、数量等。

采用数理统计的方法,统计样方的不同参数。分别对乔木层、灌木层、草本层的常规数据进行调查统计,研究样方的基本概况,见表 1。

表 1 卧龙自然保护区珙桐样方野外调查主要参数汇总

Tab. 1 Main parameters of *Davidia involucrata* plots field investigation in Wolong Nature Reserve

样方编号	地点	经度	纬度	海拔 /m	坡度 / (°)	坡向	坡位	乔木郁闭度	灌木盖度 /%	草本盖度 /%	人与动物活动情况
WLGT-1	红桐杠	103°16′9.57″	30°52′48.15″	1580.0	15	西北	中	0.90	0.20	0.40	放黄牛 20 只,强度较强
WLGT-2	白泥杠	103°15′29.89″	30°52′18.36″	1538.0	10	西	中	0.75	0.20	0.75	无
WLGT-3	岩垒桥	103°15′36.09″	30°52′50.5″	1724.0	10	西偏北	中	0.70	0.40	0.60	放黄牛 40 只,强度强
WLGT-4	石生札	103°16′57.8″	30°51′22.38″	2062.0	5	西	山脊	0.75	0.20	0.90	无
WLGT-5	千岩窝	103°15′48.6″	30°52′30.39″	1556.0	12	西北	中	0.80	0.30	0.98	猕猴 10 只,强度强
WLGT-6	岩鹿桥沟西坡	103°15′19.06″	30°52′19.67″	1419.0	20	西北	下	0.65	0.20	0.99	无
WLGT-7	三江乡鹿耳坪上坪	103°14′56.68″	30°51′39.18″	1773.9	5	东	中上	0.85	0.30	0.80	无
WLGT-8	三江乡安家坪草坪村	103°17′46.27″	30°57′39.93″	1650.0	10	南	中	0.85	0.40	0.60	无
WLGT-9	三江乡安家坪草坪村	103°17′36.42″	30°57′18.18″	1477.0	10	东	河边谷地	0.80	0.20	0.60	无

3 结果与分析

3.1 珙桐林乔木层物种生长情况

珙桐林乔木层物种统计结果见表 2。

通过调查 9 个样地并统计发现乔木共有 234 株,其中珙桐 38 株,占比为 29.06%。珙桐林下乔木物种有 49 种,隶属于 24 科、33 属。樟科和胡桃科在珙桐林中数量最多。

表 2 卧龙自然保护区珙桐林乔木物种统计

Tab. 2 Arboreal species of *Davidia involucrata* forest in Wolong Nature Reserve

乔木物种名称	科	属
白颧 <i>Symplocos paniculata</i> (Thunb.) Miq.	山矾科	山矾属
薄叶山矾 <i>Symplocos anomala</i> Brand	山矾科	山矾属
赤杨叶 <i>Alniphyllum fortunei</i> (Hemsl.) Makino	安息香科	赤杨叶属
稠李 <i>Prunus padus</i> L.	蔷薇科	稠李属
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle in Journ.	苦木科	臭椿属
大翅色木槭 <i>Acer pictum</i> subsp. <i>macropterum</i>	槭树科	槭属
大叶杨 <i>Populus lasiocarpa</i> Oliv.	杨柳科	杨属
灯台树 <i>Bothrocaryum controversum</i>	山茱萸科	楸木属
椴树 <i>Tilia tuan</i> Szyszyl.	椴树科	椴树属
珙桐 <i>Davidia involucrata</i> Baill.	蓝果树科	珙桐属
狗枣猕猴桃 <i>Actinidia kolomikta</i> (Maxim. & Rupr.) Maxim.	猕猴桃科	猕猴桃属
枸骨 <i>Ilex cornuta</i> Lindl. et Paxt.	冬青科	冬青属
黑壳楠 <i>Lindera megaphylla</i> Hemsl.	樟科	山胡椒属
红荚蒾 <i>Viburnum erubescens</i> Wall.	忍冬科	荚蒾属
华西枫杨 <i>Pterocarya insignis</i> Rehd. et Wils.	胡桃科	枫杨属
槐树 <i>Sophora japonica</i> L.	豆科	槐属
红果黄肉楠 <i>Actinodaphne cupularis</i> (Hemsl.) Gamble	樟科	黄肉楠属
建始槭 <i>Acer henryi</i> Pax	槭树科	槭属
苦木 <i>Pterocarya quassioides</i> (D. Don) Benn	苦木科	苦木属
亮叶桦 <i>Betula luminifera</i> H. Winkl.	桦木科	桦木属
大叶钓樟 <i>Lindera umbellata</i> Thunb.	樟科	山胡椒属
山青冈 <i>Fagus longipetiolata</i>	山毛榉科	山毛榉属
枸骨 <i>Ilex cornuta</i> Lindl. et Paxt.	冬青科	冬青属
猫屎瓜 <i>Decaisnea insignis</i> (Griff.) Hook. f. et Thoms.	木通科	猫儿屎属
美容杜鹃 <i>Rhododendron calophytum</i> Franch	杜鹃花科	杜鹃花属
木姜子 <i>Litsea cubeba</i> (Lour.) Pers	樟科	木姜子属
泡花树 <i>Meliosma cuneifolia</i> Franch.	清风藤科	泡花树属
青榨槭 <i>Acer davidii</i> Franch.	槭树科	槭属
三角枫 <i>Acer buergerianum</i> Miq.	槭树科	槭属
山毛榉 <i>Fagus longipetiolata</i>	山毛榉科	山毛榉属
三椏乌药 <i>Lindera obtusiloba</i> Bl. Mus. Bot.	樟科	山胡椒属
山矾 <i>Symplocos sumuntia</i> Buch. -Ham. ex D. Don	山矾科	山矾属

续表 2

乔木物种名称	科	属
山核桃 <i>Carya cathayensis</i> Sarg.	胡桃科	山核桃属
扇叶槭 <i>Acer flabellatum</i> Rehd.	槭树科	槭属
石栎 <i>Lithocarpus glaber</i> (Thunb.) Nakai	壳斗科	石栎属
疏花槭 <i>Acer laxiflorum</i> Pax	槭树科	槭属
水青树 <i>Tetracentron sinense</i> Oliv.	水青树科	水青树属
瘦疏 <i>Deutzia scabra</i> Thunb.	虎耳草科	瘦疏属
细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i> (Rehd. et Wils.) Cheng et T. Hong	壳斗科	青冈属
香叶树 <i>Lindera communis</i> Hemsl.	樟科	山胡椒属
小果润楠 <i>Machilus microcarpa</i> Hemsl.	樟科	润楠属
野核桃 <i>Juglans cathayensis</i>	胡桃科	胡桃属
银叶杜鹃 <i>Rhododendron argyrophyllum</i> Franch.	杜鹃花科	杜鹃属
薄叶山矾 <i>Symplocos anomala</i> Brand	山矾科	山矾属
紫楠 <i>Phoebe sheareri</i> (Hemsl.) Gamble	樟科	楠属
色木槭 <i>Acer mono</i> Maxim.	槭树科	槭属
扇叶槭 <i>Acer flabellatum</i> Rehd.	槭树科	槭属
花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i> Maxim.	芸香科	花椒属
野樱桃 <i>Cerasus szechuanica</i> (Batal.) Yu et Li	蔷薇科	李属

3.2 珙桐林乔木层优势属、种的分析

珙桐林乔木层优势属、种统计分析结果见表 3。

由表 3 可知,从种的角度看,珙桐林乔木层物种共有 48 种,樟科和槭树科均含 8 种,占比为 16.67%,山矾科含 4 种,占比 8.33%,蔷薇科、苦木科和杜鹃花科分别占比 4.7%,所含种类相对较丰富,是调查区关键类群。从属的角度分析,樟科含 5 种,占总种数 33 种的 15.15%,胡桃科含 3 种,占比 9.09%。综合考察樟科无论属还是种均最丰富,在调查区构成了乔木层优势科、属。

3.3 珙桐林灌木层资源分析

本次调查发现珙桐林灌木层物种共有 34 种,隶属于 25 科、30 属(表 4)。

从表 4 可知,忍冬科(4 种)、禾本科、虎耳草科、蔷薇科、胡颓子科、鼠李科和五加科均含 2 种,是珙桐林数量最多的灌木种类。

3.4 珙桐林灌木层优势属、种分析

珙桐林灌木层物种优势属、种统计分析结果见表 5。

由表 5 可知,珙桐林灌木层从种的角度看,忍冬科含 4 种,占总种数 34 种的 12.12%,禾本科、虎耳

表 3 卧龙自然保护区珙桐林乔木层优势科和属统计

Tab.3 Dominant families and genera in the arbor layer of *Davidia involucrata* forest in Wolong Nature Reserve

科	属/个	属占比/%	种/个	种占比/%
樟科	5	15.15	8	16.67
胡桃科	3	9.09	3	6.25
蔷薇科	2	6.06	2	4.17
苦木科	2	6.06	2	4.17
杜鹃花科	2	6.06	2	4.17
芸香科	1	3.03	1	2.08
杨柳科	1	3.03	1	2.08
水青树科	1	3.03	1	2.08
山茱萸科	1	3.03	1	2.08
山毛榉科	1	3.03	2	4.17
山矾科	1	3.03	4	8.33
忍冬科	1	3.03	1	2.08
清风藤科	1	3.03	1	2.08
槭树科	1	3.03	8	16.67
木通科	1	3.03	1	2.08
猕猴桃科	1	3.03	1	2.08
蓝果树科	1	3.03	1	2.08
壳斗科	1	3.03	1	2.08
桦木科	1	3.03	1	2.08
虎耳草科	1	3.03	1	2.08
椴树科	1	3.03	1	2.08
豆科	1	3.03	1	2.08
冬青科	1	3.03	2	4.17
安息香科	1	3.03	1	2.08

表 4 卧龙自然保护区珙桐林灌木层物种统计

Tab.4 Shrubs species of *Davidia involucrata* forest in Wolong Nature Reserve

灌木物种名称	科	属
菝葜 <i>Smilax china</i> L.	百合科	菝葜属
白楠 <i>Phoebe neurantha</i> (Hemsl.) Gamble	樟科	楠属
白丝藤 <i>Dregea sinensis</i> Hemsl.	萝藦科	南山藤属
白檀 <i>Symplocos paniculata</i> (Thunb.) Miq.	山矾科	山矾属
薄叶鼠李 <i>Rhamnus leptophylla</i> Schneid.	鼠李科	鼠李属
天山茶藨子 <i>Ribes meyeri</i> Maxim.	虎耳草科	茶藨子属
常青藤 <i>Hedera nepalensis</i> var. <i>sinensis</i>	五加科	常春藤属

续表 4

灌木物种名称	科	属
狗枣猕猴桃 <i>Actinidia kolomikta</i> (Maxim. & Rupr.) Maxim.	猕猴桃科	猕猴桃属
枸骨 <i>Ilex cornuta</i> Lindl. et Paxt.	冬青科	冬青属
拐棍竹 <i>Fargesia robusta</i> Yi	禾本科	箭竹属
红荚蒾 <i>Viburnum erubescens</i> Wall.	忍冬科	荚蒾属
胡秃子 <i>Elaeagnus pungens</i> Thunb.	胡颓子科	胡颓子属
桦叶荚蒾 <i>Viburnum betulifolium</i> Batal.	忍冬科	荚蒾属
黄泡子 <i>Rubus ichangensis</i> Hemsl. et O. Ktunze	蔷薇科	蔷薇属
荚蒾 <i>Viburnum dilatatum</i>	五福花科	荚蒾属
十大功劳 <i>Mahonia fortunei</i> (Lindl.) Fedde	小檗科	十大功劳属
腊莲绣球 <i>Hydrangea strigosa</i>	绣球科	绣球属
冷箭竹 <i>Bashania fangiana</i> (A. Camus) Keng f. et Wen	禾本科	巴山木竹属
亮叶桦 <i>Betula luminifera</i> H. Winkl.	桦木科	桦木属
亮叶忍冬 <i>Lonicera ligustrina</i> sp. <i>yunnanensis</i>	忍冬科	忍冬属
牛奶子 <i>Elaeagnus umbellate</i> Thunb.	胡颓子科	胡颓子属
三棵针 <i>Pterolobium punctatum</i> Hemsl	豆科	老虎刺属
山梅花 <i>Philadelphus incanus</i>	虎耳草科	山梅花属
鼠李 <i>Rhamnus davurica</i> Pall	鼠李科	鼠李属
水黄杨木 <i>Polygala caudata</i> Rehd. et Wils.	远志科	远志属
水麻 <i>Debregeasia orientalis</i> C. J. Chen	荨麻科	水麻属
臭樱 <i>Maddenia hypoleuca</i> Koehne	蔷薇科	臭樱属
卫矛 <i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Sieb	卫矛科	卫矛属
五味子 <i>Schisandra chinensis</i> (Turcz.) Baill.	五味子科	五味子属
显脉荚蒾 <i>Viburnum nervosum</i> D. Don	忍冬科	荚蒾属
岩桑 <i>Morus cathayana</i> Hemsl.	桑科	桑属
常春藤 <i>Hedera nepalensis</i> K, Koch var. <i>sinensis</i> (Tobl.) Rehd	五加科	常春藤属
中华青荚叶 <i>Helwingia chinensis</i> Batal.	山茱萸科	青荚叶属
五裂槭 <i>Acer oliverianum</i>	槭树科	槭属

草科、蔷薇科、小檗科、胡颓子科、鼠李科和五加科均各含 2 种,占总种数 6.06%,种类较丰富,是调查区关键的类群。从属的角度分析,忍冬科、禾本科、虎耳草科、蔷薇科和小檗科占总属数 29 个的 6.90%。综合考察发现忍冬科、禾本科、虎耳草科、蔷薇科和小檗科在调查区构成了优势科、属。

3.5 珙桐林草本层物种调查

通过调查发现组成珙桐林草本层物种共有 56 种,隶属于 33 科、48 属(表 6)。

表 5 卧龙自然保护区珙桐林灌木层优势科、属统计

Tab. 5 Dominant families and genera in the shrub layer of *Davidia involucrata* forest in

Wolong Nature Reserve

科	属/个	属占比/%	种/个	种占比/%
禾本科	2	6.90	2	6.06
虎耳草科	2	6.90	2	6.06
蔷薇科	2	6.90	2	6.06
忍冬科	2	6.90	4	12.12
小檗科	1	3.45	1	3.45
豆科	1	3.45	1	3.45
百合科	1	3.45	1	3.03
冬青科	1	3.45	1	3.03
胡颓子科	1	3.45	2	6.06
桦木科	1	3.45	1	3.03
萝藦科	1	3.45	1	3.03
猕猴桃科	1	3.45	1	3.03
槭树科	1	3.45	1	3.03
桑科	1	3.45	1	3.03
山矾科	1	3.45	1	3.03
山茱萸科	1	3.45	1	3.03
鼠李科	1	3.45	2	6.06
卫矛科	1	3.45	1	3.03
五福花科	1	3.45	1	3.03
五加科	1	3.45	2	3.03
五味子科	1	3.45	1	3.03
绣球科	1	3.45	1	3.03
荨麻科	1	3.45	1	3.03
远志科	1	3.45	1	3.03
樟科	1	3.45	1	3.03

从表 6 可知,毛茛科所含种类最多,其次是禾本科和菊科,为珙桐林草本种类最多的科。

3.6 珙桐林草本层优势属、种分析

珙桐林草本层优势属、种统计分析结果见表 7。

通过调查可知,珙桐林草本层从种的角度看,毛茛科含 6 种,占总种数 56 种的 10.71%,禾本科、菊科和百合科均各含 4 种,占总种数的 7.14%,种类较丰富,是调查区关键的类群。从属的角度分析,毛茛科占总属数 48 个的 12.5%,禾本科和菊科占总属数的 8.33%。综合考察发现毛茛科、禾本科和菊科无论从属还是从种都是最丰富的,在调查区构成了优势科、属。

表 6 卧龙珙桐林下草本层物种统计

Tab. 6 Herbs species of *Davidia involucrata* forest in Wolong Nature Reserve

草本物种名称	科	属
宝兴报春 <i>Primula moupinensis</i>	报春花科	报春花属
扁蓄 <i>Polygonum aviculare</i> L.	蓼科	蓼属
扁竹兰 <i>Iris confusa</i>	鸢尾科	鸢尾属
糙野青茅 <i>Deyeuxia scabrescens</i> (Griseb.) Munro ex Duthie	禾本科	野青茅属
楮头红 <i>Sarcopyramis napalensis</i> Wall.	野牡丹科	肉穗草属
钝叶楼梯草 <i>Elatostema obtusum</i> Wedd.	荨麻科	楼梯草属
刺苋 <i>Amaranthus spinosus</i> L.	苋科	苋属
豆瓣绿 <i>Peperomia magnolifolia</i>	胡椒科	草胡椒属
反瓣石斛 <i>Dendrobium ellipsophyllum</i> T. Tang et F. T. Wang	兰科	石斛属
风轮菜 <i>Clinopodium chinense</i> (Benth.) O. Ktze.	唇形科	风轮菜属
蜂斗菜 <i>Petasites japonicus</i> (Sieb. et Zucc.) F. Schmidt	菊科	蜂斗菜属
凤仙花 <i>Impatiens balsamina</i> L.	凤仙花科	凤仙花属
杠板归 <i>Polygonum perfoliatum</i> L.	蓼科	蓼属
两色鳞毛蕨 <i>Dryopteris setosa</i> (Thunb.) Akasawa	鳞毛蕨科	鳞毛蕨属
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i> (Thunb.) Sw.	海金沙科	海金沙属
花脸细辛 <i>Asarum splendens</i> (Maekawa) C. Y. Cheng et C. S. Yang	马兜铃科	细辛属
黄精 <i>Polygonatum sibiricum</i>	百合科	黄精属
苎草 <i>Arthraxon hispidus</i> (Thunb.) Makino.	禾本科	苎草属
红景天 <i>Rhodiola rosea</i> L.	景天科	红景天属
拉拉藤 <i>Galium aparine</i> Linn. var. <i>echinospermum</i> (Wallr.) Cuf.	茜草科	拉拉藤属
老观草 <i>Geranium wilfordii</i> Maxim.	牻牛儿苗科	老鹳草属
冷蕨 <i>Cystopteris fragilis</i> (L.) Bernh.	蹄盖蕨科	冷蕨属
冷水花 <i>Pilea notata</i> C. H. Wright	荨麻科	冷水花属
羊蹄草 <i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC	菊科	一点红属
少裂秋海棠 <i>Begonia paucilobata</i> C. Y. Wu var. <i>paucilobata</i>	秋海棠科	秋海棠属
裂叶秋海棠 <i>Begonia palmata</i> D. Don.	秋海棠科	秋海棠属
中华鳞毛蕨 <i>Dryopteris chinensis</i>	鳞毛蕨科	鳞毛蕨属
茜草 <i>Schoenoplectus trigueter</i> (L.) Palla	灯心草科	灯心草属
六叶律 <i>Galium asperuloides</i> Edgew. var. <i>Hoffmeisteri</i> (Klotzsch) H. -M.	茜草科	拉拉藤属
楼梯草 <i>Elatostema involucratum</i> Franch. et Savat.	荨麻科	楼梯草属
乱子草 <i>Muhlenbergia hugelii</i> Trin.	禾本科	乱子草属

续表 6

草本物种名称	科	属
驴蹄草 <i>Caltha palustris</i> L.	毛茛科	驴蹄草属
麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i> (Linn. f.) Ker-Gawl.	百合科	沿阶草属
毛茛 <i>Ranunculus asiaticus</i> L.	毛茛科	花毛茛属
牻牛儿苗 <i>Erodium stephanianum</i> Willd.	牻牛儿苗科	牻牛儿苗属
泥炭藓 <i>Herba sphagni</i>	泥炭藓科	泥炭藓属
蒲儿根 <i>Sinosenecio oldhamianus</i>	菊科	蒲儿根属
莎草 <i>Cyperus rotundus</i> L.	莎草科	莎草属
山蓼 <i>Oxyria digyna</i>	蓼科	蓼属
舌唇兰 <i>Platanthera japonica</i> (Thunb. ex A. Murray) Lindl.	兰科	舌唇兰属
肾蕨 <i>Nephrolepis auriculata</i> (L.) Trimen	肾蕨科	肾蕨属
水芹菜 <i>Oenanthe javanica</i> (Blume) DC	伞形科	水芹属
铁破锣 <i>Beesia calthifolia</i> (Maxim.) Ulbr.	毛茛科	铁破锣属
铁线蕨 <i>Adiantum capillus-veneris</i> L.	铁线蕨科	铁线蕨属
乌头 <i>Aconitum carmichaeli</i>	毛茛科	乌头属
黑鱼草 <i>Polygonum plebeium</i> R. Br.	蓼科	蓼属
线蕨 <i>Colysis elliptica</i> (Thunb.) Ching	水龙骨科	线蕨属
星果草 <i>Asteropyrum peltatum</i> (Franch.) Drumm. et Hutch	毛茛科	星果草属
血满草 <i>Sambucus adnata</i> Wall.	忍冬科	接骨木属
野古草 <i>Arundinella anomala</i> Steud.	禾本科	野古草属
鱼腥草 <i>Houttuynia cordata</i> Thunb.	三白草科	蕺菜属
玉竹 <i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce	百合科	黄精属
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i> L.	酢浆草科	酢浆草属
长茎毛茛 <i>Ranunculus longicaulis</i> C. A. Mey.	毛茛科	毛茛属
重楼 <i>Paris</i> spp. (excl. <i>P. verticillata</i>)	藜芦科	重楼属
紫苑 <i>Aster tataricus</i> L. f.	菊科	紫苑属

3.7 珙桐林群落特征

卧龙自然保护区珙桐林主要分布于三江镇西河鹿耳坪至岩垒桥之间,下接常绿、落叶阔叶林,上连铁杉针阔叶混交林。珙桐林主要与灯台树、水青树、连香树、野核桃、华西枫杨、赤杨叶等落叶树种混生组成常绿落叶阔叶混交林,其次与油樟、白楠、山楠、蛮青杠、水青杠、细叶青杠等常绿阔叶林组成落叶阔叶林。

本次调查发现以珙桐林群落、珙桐+野核桃群落为主,还分布着珙桐+连香树群落、珙桐+楠木林群落等。珙桐林群落代表样方是白泥杠海拔 1 538 m

表 7 卧龙自然保护区珙桐林草本层优势科、属统计

Tab. 7 Dominant families and genera in the herb layer of *Davidia involucrata* forest in

Wolong Nature Reserve

科	属/个	属占比/%	种/个	种占比/%
毛茛科	6	12.50	6	10.71
禾本科	4	8.33	4	7.14
菊科	4	8.33	4	7.14
百合科	3	6.25	4	7.14
兰科	2	4.17	2	3.57
牻牛儿苗科	2	4.17	2	3.57
荨麻科	2	4.17	3	5.36
报春花科	1	2.08	1	1.79
唇形科	1	2.08	1	1.79
灯心草科	1	2.08	1	1.79
凤仙花科	1	2.08	1	1.79
海金沙科	1	2.08	1	1.79
胡椒科	1	2.08	1	1.79
景天科	1	2.08	1	1.79
蓼科	1	2.08	4	7.14
鳞毛蕨科	1	2.08	2	3.57
马兜铃科	1	2.08	1	1.79
泥炭藓科	1	2.08	1	1.79
茜草科	1	2.08	2	3.57
秋海棠科	1	2.08	2	3.57
忍冬科	1	2.08	1	1.79
三白草科	1	2.08	1	1.79
伞形科	1	2.08	1	1.79
藜芦科	1	2.08	1	1.79
莎草科	1	2.08	1	1.79
肾蕨科	1	2.08	1	1.79
水龙骨科	1	2.08	1	1.79
蹄盖蕨科	1	2.08	1	1.79
铁线蕨科	1	2.08	1	1.79
苋科	1	2.08	1	1.79
野牡丹科	1	2.08	1	1.79
鸢尾科	1	2.08	1	1.79
酢浆草科	1	2.08	1	1.79

的山腰,坡向为西,坡度为 10°,乔木盖度达到 75%,样地中珙桐有 15 株,树高大部分 12~15 m,其余分布有苦木、野黑桃、小果润楠、澡叶山矾等。灌木层主要分布有五味子、胡秃子、山矾薄叶鼠李等,高度

1~3 m。草本层主要分布有泥炭藓、莎草、毛茛、铁线蕨等,高度在10~70 cm。

4 结论与讨论

调查发现天然形成珙桐林的9个样地,海拔均分布在1419~2062 m,坡度范围为5°~20°,坡位范围从河谷至山脊,其中主要分布在海拔1500~1800 m,坡位为中位,即山半腰。调查共发现珙桐38株,占样地中乔木总数234株的29.06%;灌木层中灌木共有34种,隶属于24科、29属;草本层中草本物种有56种,隶属于32科、48属,珙桐林中植物类群丰富度高。2019年调查发现调查区内人工种植的日本落叶松种植非常密,树小而高,林下物种无法生长。另一种说法是由于日本落叶松林中郁闭度非常高,造成林下草木无法生长^[12],不仅导致植物多样性锐减,同时也导致土壤动物群落密度及类群丰富度显著降低^[13]。总之,天然珙桐林的植物类群丰富度是人工种植的日本落叶松无法比拟的。

经调查发现卧龙自然保护区的珙桐天然林主要分布于三江镇境内海拔1400~2100 m区域,耿达镇与映秀镇的交界处少量分布。曾有调查显示,珙桐实生幼苗很难找到,使得珙桐群落自然更新能力差^[14-15],繁殖能力低,自然繁殖极其困难^[16],导致珙桐种群数量逐渐减少;珙桐适应寒冷气候,随着全球变暖的加剧,改变了珙桐的生长环境^[17],导致珙桐处于不稳定的濒危状态。但本次调查中发现68株珙桐中5 m以下的珙桐幼苗只有7株,占比10.29%。卧龙自然保护区日本落叶松人工林是大面积成片人工种植于保护区的实验区农耕地周围,主要分布在足木山村、龙潭村和耿达村周边山区,其林下却未发现日本落叶松幼苗^[11]。因此,人工种植的日本落叶松不会自然更新,但天然生长的珙桐林可以实现自然更新,卧龙自然保护区因气候适宜天然珙桐林生长,自然更新使其种群数量处于相对较好状态。

参考文献:

- [1] 中国科学院植物研究所. 中国珍稀濒危植物[M]. 上海:上海教育出版社,1989.
- [2] 刘燕,王延茹,侯广维,等. 八月林自然保护区珙桐天然种群动态分析[J]. 四川林业科技,2018,39(1):4.
- [3] LI G L, CAO C X, YANG H, et al. Molecular cloning and potential role of *DiSOC1s* in flowering regulation in *Davidia involucrata* Baill. [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2020(157):453-459.
- [4] 张晓伟. 鸽子树——珙桐[J]. 生态文化,2010(5):1.
- [5] 杨业勤. 中国鸽子树[J]. 森林与人类,2008(12):2.
- [6] 魏佳佳,牛蓓,张静,等. 珙桐的观赏要素分析及园林应用形式研究[J]. 四川林业科技,2017,38(4):7.
- [7] 程立君,吴银梅,王磊,等. 珍稀濒危植物珙桐研究进展[J]. 黑龙江农业科学,2019(4):5.
- [8] 陈旭江. 试议古老珍稀单属树种珙桐的栽培[J]. 吉林农业,2010(6):93-94.
- [9] 钟章成,秦自生,史建慧. 四川卧龙地区珙桐群落特征的初步研究[J]. 植物生态学报,1984(4):3-13.
- [10] 韦华,何晓安,杨建. 四川卧龙国家级自然保护区的鸟类多样性[J]. 四川动物,2021,40(4):451-468.
- [11] 四川西华大学,四川卧龙国家级自然保护区管理局. 四川卧龙国家级自然保护区综合科学考察报告[R]. 南充:西华师范大学,2018.
- [12] 刘明冲,叶平,谭迎春,等. 卧龙国家级自然保护区日本落叶松入侵影响调查初报[J]. 林业调查规划,2020,45(5):4.
- [13] 刘继亮,曹靖,张晓阳,等. 秦岭西部日本落叶松林大型土壤动物群落特征[J]. 应用与环境生物学报,2013,19(4):7.
- [14] 刘海洋,金晓玲,薛会雯,等. 珙桐的群落特征及种群生态学研究进展[J]. 中国农学通报,2012,28(22):1-4.
- [15] 肖开煌,苏智先,黎云祥,等. 珙桐群落中珙桐地位及其土壤特征的相关性[J]. 西华师范大学学报(自然科学版),2006,27(4):5.
- [16] LI M, DONG X J, PENG J Q, et al. De novo transcriptome sequencing and gene expression analysis reveal potential mechanisms of seed abortion in dove tree (*Davidia involucrata* Baill.) [J]. BMC Plant Biology, 2016, 16(1):82-103.
- [17] LIU Q S, RAMESH R V, XU W J, et al. Transcriptomic responses of dove tree (*Davidia involucrata* Baill.) to heat stress at the seedling stage[J]. Forests, 2019, 10(8):656.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.010

怒江州自然保护地现状与保护空缺分析

崔茂欢, 梁建忠, 杨国斌

(云南省林业调查规划院大理分院, 云南 大理 671000)

摘要: 收集怒江州各类自然保护地界线, 利用 GIS 软件对自然保护地现状和空间格局进行分析。怒江州建有自然保护区、森林公园、湿地公园等 5 种类型自然保护地 8 处共 66.15 万 hm^2 , 各类自然保护地之间存在交叉重叠、矛盾冲突突出等问题。结合现有自然保护地分布状况, 开展保护空缺分析。提出整合交叉重叠、归并优化相邻自然保护地和将保护空缺中生物多样性丰富区域纳入自然保护地等优化建议。

关键词: 自然保护地; 交叉重叠; 保护空缺; 整合建议; 怒江州

中图分类号: S759.9; P966 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)04-0064-05

引文格式: 崔茂欢, 梁建忠, 杨国斌. 怒江州自然保护地现状与保护空缺分析[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4): 64-68.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.010

CUI Maohuan, LIANG Jianzhong, YANG Guobin. Status and Protection Vacancy Analysis of Natural Protected Areas in Nujiang Prefecture[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(3): 64-68. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.010

Status and Protection Vacancy Analysis of Natural Protected Areas in Nujiang Prefecture

CUI Maohuan, LIANG Jianzhong, YANG Guobin

(Dali Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Dali, Yunnan 671000, China)

Abstract: Based on the boundary of natural protected areas in Nujiang Prefecture, the status and protect vacancy of natural protected areas were analyzed by GIS software. There were 8 types of natural protected areas, including natural reserves, forest parks and wetland parks, with a total area of 661 500 hm^2 in Nujiang Prefecture where there were problems such as overlapping and prominent conflicts. Combined with the distribution of the existing natural protected areas, the analysis of protection vacancy was carried out. Some optimization suggestions were put forward, such as integrating overlapping, merging and optimizing adjacent nature reserves, and incorporating biodiversity-rich areas in protection gaps into natural protected areas.

Key words: natural protected areas; overlapping; protection vacancy; integration suggestions; Nujiang Prefecture

自然保护地是我国实施战略保护的基础, 是建设生态文明的核心载体, 是美丽中国的重要象征, 在

维护国家生态安全和维持人与自然和谐共生中居于首要地位^[1-2]。党的十九大报告明确提出要建立以

收稿日期: 2022-03-23; 修回日期: 2022-05-19; 二次修回日期: 2022-06-09.

第一作者: 崔茂欢(1980-), 男, 云南宣威人, 高级工程师. 从事林业调查规划、生物多样性保护与自然保护地研究工作.

Email: cmh2006@163.com

责任作者: 梁建忠(1980-), 男, 山西繁峙人, 硕士, 工程师. 从事林业调查规划及森林资源利用与政策、林业碳汇制度研究.

国家公园为主体的自然保护地体系。2019年6月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》(中办发[2019]42号)。2020年2月,自然资源部、国家林业和草原局联合下发了《关于做好自然保护地范围及功能分区优化调整前期有关工作的函》(自然资函[2020]71号)。3月16日,自然资源部、国家林业和草原局联合召开会议,部署推进全国自然保护地整合优化和生态保护红线评估调整工作。4月1日,云南省人民政府召开全省自然保护地整合优化和生态保护红线评估调整工作培训视频会议,正式启动全省自然保护地整合优化工作。

怒江傈僳族自治州(以下简称“怒江州”)地处滇西北“三江并流”世界自然遗产地核心区,位于以生物多样性闻名于世的横断山纵谷地带,是中国乃至全球物种起源和分布的中心之一,生态区位极其重要^[3]。怒江州境内最早的自然保护地为1983年建立的高黎贡山自然保护区^[4],经过近40年的发展,目前怒江州境内已建有自然保护区、风景名胜区、森林公园、湿地公园、水产种质资源保护区等5种类型的自然保护地,保护对象涵盖了重要生态系统类型。这些自然保护地在保护自然生态系统和生物多样性、保存自然遗产、改善生态环境质量和维护国土生态安全方面发挥了重要作用^[5]。由于历史原因,怒江州自然保护地还存在划定不科学、交叉重叠、多头管理、权责不清、保护与发展矛盾突出等问题。鉴于此,对怒江州自然保护地现状及保护空缺进行分析研究,提出整合优化建议,为完善自然保护地体系提供参考。

1 研究区概况

怒江州位于云南省西北部,青藏高原南延部分横断山脉纵谷地带,地处北纬 $25^{\circ}33' \sim 28^{\circ}23'$,东经 $98^{\circ}08' \sim 99^{\circ}39'$ 之间。东面分别与迪庆藏族自治州的德钦县和维西县、丽江市的玉龙纳西族自治县、大理白族自治州的剑川县和云龙县接壤,南面与保山市的隆阳区 and 腾冲市相连,西靠国境线与缅甸毗邻,北与西藏藏族自治州的察隅县相接。境内东西横距153 km,南北纵距320.4 km,国土总面积14 584.72 km²。中缅国境线总长467 km。怒江州政府所在地六库镇距省会昆明市561 km。

怒江州是国家重点生态功能区中的“川滇森林及生物多样性生态功能区”,是国家“三屏两带”生态安全战略格局中“黄土高原—川滇生态屏障”的

重要组成部分^[3,6],是中国野生动植物资源最丰富的地区之一,被誉为“动植物基因库”和野生动植物多样性最关键地区之一。根据相关统计资料,怒江州已知有高等植物210科、1 086属、4 303种,国家一级重点保护野生植物有须弥红豆杉、南方红豆杉、菴齿苏铁、光叶珙桐、长蕊木兰等6种;国家二级重点保护野生植物有西亚黑桫欏、水青树、油麦吊云杉、澜沧黄杉、千果榄仁、贡山三尖杉、滇藏木兰、长喙厚朴、秃杉、云南榧树、滇桐等30余种。种子植物中,有1 116种中国特有种和414种高黎贡山特有种,是植物资源最富集的地区之一。州内记录有脊椎动物472种,其中兽类128种、鸟类284种、爬行类30种、两栖类30种。国家一级重点保护野生动物有怒江金丝猴、高黎贡白眉长臂猿、滇金丝猴、肖氏乌叶猴、蜂猴、印支灰叶猴、贡山羚牛、云豹、豹、林麝、黑颈长尾雉、白尾梢虹雉、灰腹角雉、金雕等20余种,国家二级重点保护野生动物有贡山麂、红鬃羚、猕猴、小熊猫、巨松鼠、普通鵲、红隼、红腹角雉、血雉、白鹇、橙翅噪鹛、丽鹇、鸳鸯、红瘰疣螈等近50种。

2 研究方法

收集怒江州各类自然保护地法定界线,包括边界界线和功能区界线,完成现有自然保护地边界和功能矢量数据。矢量图层分自然保护地单独形成矢量数据库,以第三次国土调查的数据库标准及建库规范为基础,拓展调查因子,建立自然保护地基础资源数据库。利用GIS软件对自然保护地空间格局、交叉重叠等情况进行分析。结合现有自然保护地分布状况,开展保护空缺分析。

3 结果与分析

3.1 现状分析

怒江州境内共建有自然保护地8个,分别为高黎贡山国家级自然保护区、兰坪云岭省级自然保护区、兰坪翠屏山县级自然保护区、三江并流国家级风景名胜区、兰坪罗古箐省级风景名胜区、云南兰坪箐花甸国家湿地公园、新生桥国家森林公园、怒江中上游特有鱼类国家级水产种质资源保护区(以下分别简称高黎贡山保护区、云岭保护区、翠屏山保护区、三江并流风景区、罗古箐风景区、箐花甸湿地公园、新生桥森林公园、怒江中上游水产种质资源保护区)。

怒江州自然保护地批复面积658 548.00 hm²,占全州土地面积1 458 472 hm²的45.15%,落地面

积 661 539.91 hm² (含交叉重叠面积 20 916.47 hm²), 占全州土地面积的 45.36% (表 1)。

表 1 怒江州自然保护地现状面积

Tab. 1 Current area of natural protected areas in Nujiang Prefecture hm²

自然保护地名称	批复面积	落图面积	涉及县(市)
高黎贡山国家级自然保护区	324106	324449.80	贡山、福贡、泸水
兰坪云岭省级自然保护区	75894	75010.98	兰坪
兰坪翠屏山县级自然保护区	8600	8600.21	兰坪
三江并流国家级风景名胜区	222276	226300.39	贡山、福贡、泸水、兰坪
兰坪罗古箐省级风景名胜区	18203	17963.25	兰坪
新生桥国家森林公园	2616	2616.04	兰坪
云南兰坪箐花甸国家湿地公园	479	476.97	兰坪
怒江中上游特有鱼类国家级水产种质资源保护区	6374	6122.27	贡山、福贡、泸水
合计	658548	661539.91	

3.2 自然保护区功能区

怒江州 3 个自然保护区总面积 408 060.99 hm², 占自然保护地总面积的 61.68%。其中:核心区面积 169 172.17 hm², 占保护区总面积的 41.46%;缓冲区面积 150 797.54 hm², 占比 36.95%;实验区面积 88 091.28 hm², 占比 21.59% (表 2)。

表 2 怒江州自然保护区功能区面积

Tab. 2 Functional zoning area of natural protected areas in Nujiang Prefecture hm²

自然保护区	落图面积	核心区	缓冲区	实验区
高黎贡山国家级自然保护区	324449.80	144025.17	142864.39	37560.24
兰坪云岭省级自然保护区	75010.98	16546.79	7933.15	50531.04
兰坪翠屏山县级自然保护区	8600.21	8600.21		
合计	408060.99	169172.17	150797.54	88091.28

注:由于翠屏山保护区建立时没有划分功能区,全部按核心区统计。

3.3 交叉重叠分析

怒江州各类自然保护地交叉重叠面积 20 916.47 hm² (表 3)。

1) 高黎贡山保护区与三江并流风景区重叠面积 87.71 hm²。

2) 翠屏山保护区与云岭保护区重叠面积 6 959.08 hm²; 新生桥森林公园全部处于云岭保护区范围内, 重叠面积 2 616.04 hm²。

3) 新生桥森林公园与翠屏山保护区重叠面积 697.61 hm²。

4) 箐花甸湿地公园全部处于罗古箐风景区内, 重叠面积 476.97 hm²; 箐花甸湿地公园与三江并流风景区重叠面积 26.64 hm²。

5) 罗古箐风景名胜区与三江并流风景区重叠面积 9 474.42 hm²。

6) 怒江中上游水产种质资源保护区与三江并流风景区重叠面积 378.00 hm²。

表 3 怒江州自然保护地交叉重叠面积

Tab. 3 Overlapping area of natural protected areas in Nujiang Prefecture hm²

自然保护地	落图面积	重叠情况				合计
		翠屏山保护区	新生桥森林公园	三江并流风景区	罗古箐风景区	
高黎贡山保护区	324449.80			87.71		87.71
云岭保护区	75010.98	6959.08	2616.04			9575.12
翠屏山保护区	8600.21		697.61			697.61
新生桥森林公园	2616.04					
箐花甸湿地公园	476.97			26.64	476.97	503.61
三江并流风景区	226300.39				9674.42	9674.42
罗古箐风景区	17963.25					
怒江中上游水产种质资源保护区	6122.27			378.00		378.00
合计	661539.91	6959.08	3313.65	492.35	10151.39	20916.47

其中,罗古箐风景区与三江并流风景区重叠面积最大,占重叠面积的 47.10%;翠坪山保护区与云岭保护区交叉重叠面积次之,占比 33.88%。

3.4 矛盾冲突分析

1) 城镇建成区

全州自然保护地中城镇建成区面积 5.74 hm²。涉及云岭保护区、翠坪山保护区和怒江中上游水产资源保护区。

2) 村庄和人口

全州自然保护地内村庄面积 361.77 hm²,涉及人口 17 030 人。其中自然保护区内村庄面积 189.83 hm²,人口 8 942 人,3 个自然保护区内均有村庄分布;自然公园内村庄面积 171.94 hm²,人口 8 088 人,5 个自然公园内均有村庄分布。

3) 集体人工商品林

全州自然保护地中,人工集体商品林面积 3 338.80 hm²。其中,自然保护区内面积 283.03 hm²,涉及云岭保护区、翠坪山保护区;自然公园内面积 3 055.77 hm²,除箐花甸湿地公园外,其他 4 个自然公园内均有分布。

4) 基本农田

全州自然保护地内基本农田面积 4 227.50 hm²,8 个自然保护地内均有分布。其中:自然保护区内面积 2 991.00 hm²,自然公园内面积 1 236.50 hm²。

5) 矿业权

全州自然保护地中,矿业权面积 1 291.14 hm²。其中:自然保护区内面积 415.63 hm²,全部分布在云岭保护区;自然公园内面积 875.51 hm²,涉及三江并流风景区和罗古箐风景区。保护地矛盾冲突情况详见表 4。

表 4 怒江州自然保护地矛盾冲突涉及人口及面积

Tab. 4 Population and area involved in conflicts of natural protected areas in Nujiang Prefecture

自然保护地名称	人口 /人	核心区 和缓冲区 人口/人	城镇建成区 /hm ²	村庄 /hm ²	人工集体商品林 /hm ²	基本农田 /hm ²	矿业权面积 /hm ²
高黎贡山保护区	11	11		0.90		40.83	
云岭保护区	8931	191	0.86	160.61	168.04	2595.20	415.63
翠坪山保护区			0.57	28.32	114.99	354.97	
三江并流风景区	4609			80.26	546.99	839.18	870.10
新生桥森林公园				15.61	33.27	6.35	
箐花甸湿地公园				0.23		2.35	
罗古箐风景区				16.67	2355.15	339.04	5.41
怒江中上游水产种质资源保护区	3479		4.31	59.17	120.36	49.58	
合计	17030	202	5.74	361.77	3338.80	4227.50	1291.14

3.5 自然保护地生态质量整体评价

怒江州自然保护地类型有自然保护区、风景名胜等 5 种,自然保护地数量为 8 个,总面积 661 539.91 hm²,占全州土地面积的 45.36%。其面积居于全省第二位,所占土地面积比例居于全省第一位^[7]。

怒江州自然保护地的生态质量整体上保持良好,尤其是中高海拔地段,植被类型栖息地和各类湿地类型栖息地的质量都比较好,基本没有或极少受到人类活动的干扰。相对而言,低海拔地段的植被类型比中高海拔地带差,主要是受人类生产活动干扰,总体上受干扰程度为中度或轻度干扰。从区域看,独龙江流域比较好,其次为怒江流域,而澜沧江流域相对较差;担当力卡山和高黎贡山整体环境质量较碧罗雪山为好,碧罗雪山的中低海拔地区局部

区域已经受到中度干扰。

3.6 保护空缺分析

保护空缺是指虽然具有保护价值,但目前没有得到有效保护的生态系统、动植物物种及其生境(栖息地)。根据《云南省自然保护地保护空缺分析技术指南》^[8],利用自然资源、生态系统、物种、景观、自然遗迹等分布数据和资料进行空间叠加分析,测算出保护空缺区域,为进一步完善自然保护地体系,编制自然保护地整合优化预案奠定基础。

3.6.1 分析方法

采用叠加和重分类方法^[9],利用收集到的该区域的数字高程图、森林生态系统、湿地生态系统、生态公益林、海拔 3 600 m 以上的区域、自然景观、土地权属和土地利用等空间数据,按《空缺保护分析

评价指标赋分标准》分级赋值,结合区域内现有保护地分布现状,开展空间叠加分析,分别对生态系统原真性、物种重要性、生态区位重要性、生态脆弱性和景观价值 5 个评价指标分级赋值打分,确定保护空缺区域的保护优先等级(表 5)。

表 5 怒江州保护空缺区域保护优先等级分级
Tab. 5 Priority rating of protection vacancy areas in Nujiang Prefecture

等级	I	II	III	IV
总分值	≥24	23~13	12~7	≤6

注: I 级—建议优先纳入自然保护区; II 级—优先纳入自然公园; III 级—作为整合优化或远期目标备选区; IV 级—原则上不纳入自然保护区。

3.6.2 分析结果

怒江州范围内建议优先纳入自然保护区面积为 1 907.6 hm²,主要分布于怒江东部的碧罗雪山北部;建议优先纳入自然公园面积为 109 255.4 hm²,主要分布于怒江西部高黎贡山保护区外围和东部的碧罗雪山;建议整合优化或发展规划备选区域面积为 349 309.2 hm²,在全州范围内均有分布(表 6)。

表 6 怒江州保护空缺分析按保护优先等级统计

Tab. 6 Analysis of protection vacancy in Nujiang Prefecture by protection priority level hm²

单位	计	I	II	III	IV
怒江州	896300.1	1907.6	109255.4	349309.2	435827.9
泸水市	224103.0	1322.3	23592.9	100691.5	98496.3
福贡县	169158.4	266.1	14188.6	93508.1	61195.6
贡山县	192460.5	214.3	55112.3	59327.6	77806.3
兰坪县	310578.2	104.9	16361.6	95782.0	198329.7

4 相关建议

在自然保护区调查评估的基础上,结合生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界三条控制线划定工作,以保持生态系统完整性、物种栖息地连通性、保护管理统一性为原则,开展自然保护区整合优化。整合各类交叉重叠的自然保护区、归并优化相邻的自然保护区及将保护空缺中生物多样性丰富区域纳入自然保护区,合理确定整合优化后的自然保护区类型和功能定位。

1)结合高黎贡山国家公园创建工作,将高黎贡

山保护区、三江并流风景区(贡山景区、月亮山景区、片马景区)原范围及其周边生态保护价值高、生物多样性丰富以及保持生态系统完整性的区域或旗舰物种的栖息地,纳入拟创建高黎贡山国家公园范围。

2)开展碧罗雪山综合科学考察。碧罗雪山是生物多样性最为丰富,生态系统垂直系列最为明显的地区之一^[10]。怒江州境内碧罗雪山已经有部分区域划入三江并流风景区(老窝山景区),碧罗雪山区域目前未开展过系统性的科学考察,是全省为数不多的保护地空缺补充地带。根据碧罗雪山本底资源情况,将其生物多样性丰富区域纳入拟创建高黎贡山国家公园范围。

3)新生桥国家森林公园完全位于云岭保护区范围内,翠屏山保护区大部分与云岭保护区重叠,将其整合一并纳入云岭保护区。

4)罗古箐风景区一半以上范围与三江并流风景区(丽江老君山景区)重叠,前者被后者整合。

5)针对自然保护区内存在的基本农田、人工集体商品林、矿业权等历史遗留问题和林农生产生活与保护管理矛盾突出问题,建议地方政府出台相关政策,将基本农田、矿业权等存在矛盾冲突地块有序退出保护地,以缓解自然保护区的管理压力。

参考文献:

[1] 唐芳林. 建立以国家公园为主体的自然保护区体系[J]. 中国党政干部论坛, 2019(8): 40-44.

[2] 华朝朗,陶晶. 云南省以国家公园为主体的自然保护区体系研究[M]. 昆明:云南科技出版社, 2019.

[3] 张正全,王生. 怒江森林[M]. 昆明:云南科技出版社, 2017.

[4] 张子翼,温庆忠,华朝朗. 云南自然保护区[M]. 昆明:云南科技出版社, 2018.

[5] 马童慧,吕偲,雷光春,等. 中国自然保护区空间重叠分析与保护地体系优化整合对策[J]. 生物多样性, 2019, 27(7): 758-771.

[6] 云南省人民政府. 云南省主体功能区规划[S]. 2014.

[7] 罗怀秀,徐吉洪,俞瑶,等. 云南省自然保护区现状与空间分析[J]. 林业调查规划, 2021, 46(1): 68-74.

[8] 云南省林业和草原局. 云南省自然保护区保护空缺分析技术指南[S]. 2020.

[9] 梁建忠,杨月圆. 云南省怒江州保护地体系问题研究及对策分析[J]. 林业勘察设计, 2022, 51(3): 39-52.

[10] 王勇,余昌元,杨东,等. 云南省自然保护区保护空缺分析[J]. 林业调查规划, 2018, 43(4): 55-62.

责任编辑: 刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.011

“一带一路”建设下西双版纳保护区跨境合作保护研究

杨南¹,王斌²,文芒才²,王利繁³

(1. 云南西双版纳州国家级自然保护区管护局,云南 景洪 666100; 2. 西双版纳州亚洲象保护管理中心,云南 景洪 666100; 3. 云南西双版纳国家级自然保护区科学研究所,云南 景洪 666100)

摘要:介绍云南西双版纳自然保护区与老挝等东盟国家开展跨境保护合作的历程、方式、效果等情况。对其中存在的生态环境保护能力有差距、相关法律制度规范缺失、资金支持不足、小语种和专业技术人才缺乏等阻碍深度合作的问题进行分析,藉此提出创新合作思路、开拓发展空间、多层次开展合作,建设跨国国家公园,建立林业跨境合作绿色通道和人才培养专项基金等对策、建议。

关键词:一带一路;跨境合作保护;自然保护;生物多样性;亚洲象;西双版纳自然保护区;老挝

中图分类号:S759.9;X37 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0069-04

引文格式:杨南,王斌,文芒才,等.“一带一路”建设下西双版纳保护区跨境合作保护研究[J].林业调查规划,2023,48(4):69-72. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.011

YANG Nan, WANG Bin, WEN Mangcai, et al. Cross-border Cooperative Protection of Xishuangbanna Nature Reserve under the Belt and Road Construction[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 69-72. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.011

Cross-border Cooperative Protection of Xishuangbanna Nature Reserve under the Belt and Road Construction

YANG Nan¹, WANG Bin², WEN Mangcai², WANG Lifan³

(1. Xishuangbanna Administration of National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666100, China; 2. Xishuangbanna Dai Autonomous Prefecture Asian Elephant Conservation Management Center, Jinghong, Yunnan 666100, China; 3. Xishuangbanna National Nature Reserve Institute of Sciences, Jinghong, Yunnan 666100, China)

Abstract: This paper introduced the history, methods, and effects of cross-border cooperative protection between Xishuangbanna Nature Reserve in Yunnan and ASEAN countries such as Laos. By analyzing the problems hindering deep cooperation, such as gaps in ecological and environmental protection capabilities, lack of relevant legal and institutional norms, insufficient financial support, and lack of minority languages and professional technical talents, this paper suggested to innovate cooperation ideas, expand development space, and carry out multi-level cooperation, build cross-border national parks, establish green channels for forestry cross-border cooperation, and establish a special fund for talent cultivation.

Key words: Belt and Road; cross-border cooperative protection; nature conservation; biodiversity; Asian elephant; Xishuangbanna Nature Reserve; Laos

近年来,西双版纳州实施“开放活州”战略,充分发挥地缘、区位、人文优势,全力推进澜沧江—湄

公河次区域合作,加快中老磨憨—磨丁跨境经济合作区建设,不断加强与老、缅、泰等湄公河流域国家

收稿日期:2021-12-13.

第一作者:杨南(1983-),女,云南景洪人,高级工程师。从事自然保护区建设与管理工

作。责任编辑:王斌(1980-),男,云南昭通人,高级工程师。从事自然保护区建设与管理工

在交通、能源、贸易、旅游、科技、文化、教育等诸多领域的交流合作,形成了湄公河流域国家全方位、宽领域、多层次合作的新格局。国家构建“一带一路”,使位居中国—东盟自由贸易区结合部的西双版纳迎来了重大的发展机遇。西双版纳将结合实际,积极主动地融入“一带一路”倡议,先行先试。

西双版纳国家级自然保护区按照“严格保护、科学管理、合理利用”的方针,以保护热带雨林、热带季雨林和南亚热带季风常绿阔叶林森林生态系统的生物多样性及珍稀野生动植物种群和生态环境为目的,贯彻落实党的十九大精神和中央“一带一路”倡议,从人与自然和谐发展、建设生态文明的高度出发,充分发挥地域区位优势,在中老以往合作的基础上,加强中老生态环境建设。基于中老跨边界地区的关键生物类群(包括鸟、兽、木本植物、兰科植物、蕨类植物、苔藓植物和地衣等主要动植物),开展生物多样性本底调查、遥感影像数据分析等,形成中老跨边界主要生物类群的物种编目。分析研究主要生物类群现状和受威胁状况,科学制定中老跨边界生物廊道建设方案。通过研究,形成一批理论成果与保护实践方案,成为引领东南亚地区合作开展跨边界生物多样性研究与保护的示范,为中老两国的可持续发展和生态环境建设提供基础数据,为国家绿色“一带一路”建设提供参考^[1]。

1 开展跨境保护合作的历程

我国西双版纳与老挝北部 4 省(南塔省、丰沙里省、乌多姆赛省和波桥省)在经济、文化方面的交流合作由来已久,但在森林资源和生物多样性保护方面的合作起步较晚。中老跨境保护合作始于 20 世纪 90 年代。1998 年,由麦克阿瑟基金会资助,西双版纳热带植物园与保护区管理局共同承办并组织实施了双方联合生物多样性保护等项目,初期以中老边境森林联合防火为主,建立森林防火联合控效机制,并共同打击野生动植物资源犯罪,建立跨境制止非法野生动植物资源贸易合作机制^[2]。随着社会经济的快速发展,国家“一带一路”倡议的提出,双边合作进一步加强。2006 年 4 月,首届“中国老挝跨境亚洲象保护交流研讨会”在西双版纳举行。会议期间,西双版纳国家自然保护区首次提出与老方建立“中老亚洲象跨境联合保护合作”的设想。自此,经过中方与老挝丰沙里、乌多姆赛、南塔三省林业保护部门合作,“中老跨境生物多样性联

合保护区域”已初步成型,长 220 km,面积 20 万 hm^2 的中老边境绿色生态长廊成功构建^[3],促进了联合保护区域内的物种交流与繁衍,确保双方边境生态屏障安全。在此基础上,在中老保护区干部队伍能力提升、亚洲象调查、资源保护宣传、联合监测巡护及交流年会等方面进行了合作,为东南亚生态安全做出了积极的贡献。

2 开展跨境保护合作的方式

在开展跨境保护合作的过程中,鉴于外方经济发展水平和管理水平,合作方式主要有以下 7 种。

1) 界桩赠送

以中老联合跨境保护区为例,由中方制作好水泥界桩,提供给老挝的丰沙里自然保护区,由其安放于保护区周边。

2) 办公设备赠送

以中老联合跨境保护区为例,由中方向老方的自然保护区管理机构赠送电脑、打印机等办公设备。

3) 宣传资料赠送

中方以生物多样性保护为宣教主题,印制中外双语的宣传资料,提供给外方,用于向周边居民发放。此外,中方还制作保护宣传牌、界桩,沿中缅边境、中老边境和保护区边界安放,以起到宣传教育作用。

4) 野外监测设备捐赠与使用培训

利用争取到的项目建设经费,中方采购并捐赠红外照相机给外方,并进行使用培训,外方带回国后安装于保护区内。双方对记录的数据实行共享。

5) 边境合作交流机制

中老边界山水相连,边境居民交往频繁。民间渠道上,通过举办边民座谈交流等方式,在民间建立了较好的合作沟通机制。官方渠道上,通过保护区的多方协调,促成了边境区政府部门与境外毗邻区地方管理部门的洽谈,在边境一带资源管护、森林防火等方面形成了共识,签订了联防协议^[4]。

6) 联合巡护制度

目前,在中老边界,双方保护区的工作人员定期组织沿边境线的联合巡护,并同时开展保护培训和联合科学考察。在中缅边界,因地理和政治原因,建立了武装联合巡护机制,针对保护区边境一带开展武装联合巡护。

7) 召开年会和研讨会制度

搭建会议平台,实现双方面对面的沟通与交流。例如,以中老联合跨境保护区为例,每年一度的跨境保护协调推进会已经持续了 13 年。

3 跨境合作保护的实施效果

中老联合跨境保护区在2009年建立之初,面积5.4万 hm^2 ,目前,已建成面积20万 hm^2 的中老跨境生物多样性联合保护区域。边境线长约220 km的中老边境绿色生态长廊^[5],为栖息于这个区域的野生动物提供了一个安全的迁徙走廊。联合保护区域的建设,也不断更新着边境地区居民的生态意识和观念。对于老方而言,申请进入联合保护区的热情高涨,在第12次年会上,乌多姆赛省的代表表示,中老边境口岸拥有1 000多公顷森林的村寨希望并入到保护区。通过中国和老挝政府、林业和自然保护区管理部门的努力,保护对象也从最初的亚洲象拓展到多物种,野生动植物保护成效显著,为夯实边境绿色生态屏障打下了坚实的基础,构筑形成了“中老边境绿色生态安全屏障”和“中老边境生物多样性走廊带”^[6],为东南亚生态安全提供了保障。

4 生物多样性保护跨境合作中的阻碍因素

4.1 生态环境保护能力有差距

因各个国家保护体制、政策和法律制度的不同,各有关部门、单位的工作机构设置、人员配备及职责要求等多方面有很大差异,从而导致生物多样性保护能力和建设水平参差不齐,让不法分子有了可乘之机。现实中,常因我国法律规范严格,周边国家法律不严格甚至立法缺失,导致大量的规避法律行为,会将国内违法的行为转移到邻国完成,加大了森林公安查处跨境资源破坏案件的难度,造成边境保护执法的空白区域,威胁中方保护成果,对我国执法和国际形象造成极大压力和被动局面。

4.2 相关法律制度规范缺失

双方开展生物多样性合作,涉及人员多、信息量大、流动频繁,在确保国家安全的前提下,需要一定范围内的数据共享。根据基层反映,在规范数据的存留、流动和利用上,目前我国还缺乏林业等相关领域的法律规范,工作中的法律盲区容易集聚风险,不利于工作的开展,影响工作人员积极性。

4.3 资金支持不足

中老跨境联合保护属于云南西双版纳国家级自然保护区的工作创新,效果明显且意义重大,许多交流合作主要靠部门争取各类项目资金或者自筹经费进行。基层反映由于缺乏固定的或者专项的资金投入,难以长期维持,更深入的合作减少,较长时间合作才能产出成果的机会减少,长期可持续发展成为难点。

4.4 小语种和专业技术人才缺乏

目前在西双版纳和老挝跨境生物多样性保护交流工作中,老挝语人才和相关专业技术人才缺乏,涉及技术层面的工作沟通交流存在困难。中方急需会老挝语的林业类专业人才,老方则需要会中文懂林业的专业人才。在合作开展过程中,由于语言沟通表达和人才缺乏,一些工作推进慢或者无法开展,无法达到预期效果和目的。同时,因不同文化的差异和理解的不同,导致在通讯不畅的老挝地区部分工作进展缓慢。在联合保护交流年会上,老方曾提出安排人员到中方长期学习培训的愿望,以培养需要的语言和技术人才。

5 对策及建议

以“一带一路”倡议提供的历史机遇为契机,将跨境生物多样性保护作为树立负责任国家形象的重要抓手,借助保护区、国家公园等平台建设,增加与沿线国家或地区之间的保护合作,加大科研、科考支持力度,为合作机制的建立提供物质支持,将云南建设成为中国西南绿色生态安全屏障,世界重要的跨境生物多样性走廊带,使西双版纳成为生物多样性保护国际合作的窗口。

5.1 创新合作思路,开拓发展空间,多层次开展跨境合作

与云南接壤的老挝、缅甸等国,经济发展水平相对落后,目前尚没有足够的人力物力和财力开展保护工作,但其所处的区域又是全球重要的生物多样性热点区域。因此,在开展双边合作时,可以从内容和主体两方面,形成不同的合作层次,有效推动生物多样性保护跨境合作的开展。

1) 继续开展对边境地区居民的生态文明思想的宣传教育,筑牢可持续发展的生态保护理念。以特有民族传统文化为基础,挖掘和发扬中老两国有利于自然和生态保护的传统文化,加大对各民族传统生态理念的推广和普及工作,倡导农村社区制定生态保护的村规民约,着实营造两国边民积极参与跨境生态保护的良好氛围。同时,针对语言和专业人才缺乏的问题,应加强交流学习培训,鼓励双方现有林业专业技术人员学习对方语言,以有效提升双方交流沟通合作水平,并积极开展物种监测技术、研究方法等专业培训,最终形成既有短期职业培训又有学历教育的体系化教育培训系统。

2) 着力推动联合综合科学考察,摸清联合保护区资源底数,建立信息共享数据库,完成联合保护

行动短期、长期方案规划,建立、完善生物多样性监测体系,为政府部门的科学决策提供详细的依据。

3) 拓展合作领域。通过援建边境生态示范村等项目,促进边境邻国村庄发展理念和方式的转变,还可以通过边境村民交流活动的平台帮助对方获得发展。

同时,在地方政府层面,设立与边境国合作的常设机构和协调员;编制跨境合作短期和长期工作计划、规划,扩展资金渠道,积极争取各级财政资金支持。借力省级地方政府之间关于交通、农业和林业等议题的跨境合作议题,积极争取项目落地边境周边社区,改善保护区周边社区发展的基础条件,从而减弱保护区周边社区居民对保护区内资源的依赖程度,通过发展促进保护。

5.2 由双边合作走向合作网络建设,构建畅通的联合平台

目前的生物多样性跨境保护合作,多是建立在前期的各职能部门自己联系、自己开展的基础上,相互之间没有形成合力。如中科院系统在老挝进行生物多样性保护研究,是通过与老挝科技部联系达成合作框架,但科考地点又需要通过科技部上报主管部门后再和农林厅协商。从上往下又再从下往上的沟通,使得交流成本很高。西双版纳国家级自然保护区虽然可以直接与老挝农林厅联系达成合作框架,但又无法共享中科院的研究成果,造成工作重复。因此,如果能从国家层面打破这种两两合作的部门格局,打通部门间的壁垒,形成跨境合作的联合平台,则沟通协调的程序就会简化,成本也会降低,科研资金的使用效率也会提高。这方面,可积极打造中国—东盟林业生物多样性保护科研平台、中国—东盟林业院校和科研院所合作与人才培养机制。

5.3 深化开发合作,建设跨国国家公园

党的十八届三中全会从国家治理体系和治理能力现代化的改革总目标出发,提出了建立国家公园体制这一生态文明制度建设的重要改革举措^[7]。国家公园作为自然保护体系和生态文明体制建设的重要组成部分,其意义是保存、保护较大的区域任由自然演替的完整生态系统,发挥其生态系统的自然功能和生态衍生功能、溢出效应,是国民生态体验、环境教育和自然生态环境研究的最佳场所,也是我国生态文明建设成果的重要展示,让世界认识中国的重要生态文明名片^[8]。

现存的边境自然保护区应该抓住国家公园建设的机遇,将现有的跨境保护区域中方一侧朝着国家

公园的方向建设,按照国家主导、共同参与的原则,建立公园保护和建设经费支出纳入财政预算的保障机制;设立各级政府、相关部门和居民代表共同参加的联席会议,对重要生态、经济和民生等问题进行协商解决,并将以上各方和访客纳入国家公园资源保护与建设的监督体系,形成国家公园保护管理的长效机制,探索跨国生物多样性保护发展的新模式^[8]。同时,以试点建设国家公园为契机,着力推进生态旅游景区规划、建设和规范管理工作,将自然教育、科普教育有机融入保护区。

5.4 建立林业跨境合作绿色通道和人才培养专项基金

2021年12月,中老铁路开通。中老铁路是中国与周边国家共同推进“一带一路”倡议的标志性工程,对我国“一带一路”倡议的实施具有重要意义。建议发挥中老边境口岸磨憨—磨丁的优势,依托中老铁路开通机遇,建立跨境合作绿色通道,简化出国审批流程,彻底解决历年来工作人员出入境手续繁杂等问题。同时,加大人才培养投入资金和力度,通过建立专项基金、社会企业及公益创投等多种形式,扩展资金渠道和多元化筹资主体。制定短期和长期人才培养计划,加强双方工作人员培训交流(培训内容主要围绕文字语言、专业技术知识等应用领域),从而形成双方合作的长效机制。

参考文献:

- [1] 王见,何娴昕,张坤,等. “澜湄流域”国家林业跨境保护合作的现状及影响因素研究[J]. 中国林业经济, 2021(2): 18-21.
- [2] 罗杰斯,孙萍. 中老跨境联合保护区在生物多样性保护中的作用[J]. 绿色科技, 2020(8): 38-39.
- [3] 王利繁,李泽君,罗爱东,等. 中老跨境生物多样性保护措施初探[J]. 林业调查规划, 2015(2): 149-152.
- [4] 李玉洁. 中老跨境生物多样性联合保护交流年在景洪举行[EB/OL]. (2018-05-26). <http://xw.kunming.cn>.
- [5] 戴振华. 中老跨境生物多样性联合保护交流年在景洪举行[EB/OL]. (2018-05-26). <http://yn.yunnan.cn>.
- [6] 戴振华,张国英. 中老生物多样性联合保护交流年会举办[N]. 云南日报, 2017-05-29(3).
- [7] 中办国办印发《建立国家公园体制总体方案》[N]. 人民日报, 2017-09-26(2).
- [8] 新华网. 建立国家公园体制的探讨与思考[EB/OL]. (2015-01-27). <http://www.xinhuanet.com/politics/2015-01/27/C12742724>.

责任编辑: 刘平书

+doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.012

利用红外相机调查五道峡自然保护区鸟兽资源及节律特征

李怀祥^{1,2}, 李亭亭^{1,2}, 邓正斌³, 陈荣友⁴, 祝文龙^{1,2}, 任帅^{1,2}, 汪正祥^{1,2}

(1. 湖北大学资源环境学院, 湖北 武汉 430062; 2. 区域开发与环境影响湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430062; 3. 湖北五道峡国家级自然保护区管理局, 湖北 襄阳 441699; 4. 长江水资源保护科学研究所, 湖北 武汉 430051)

摘要:为掌握五道峡国家级自然保护区的鸟兽资源情况, 布设 62 台红外相机进行野生动物资源监测。调查发现, 1 433 张独立有效照片共记录兽类 7 目、12 科、19 种, 物种相对丰富度指数前 5 位的是小鹿、中华斑羚、野猪、猪獾和花面狸; 记录到鸟类 5 目、14 科、33 种, 物种相对丰富度前 3 位的是红腹锦鸡、白冠长尾雉和松鸦。节律特征分析结果表明, 夏季物种丰富度显著高于冬季 ($P < 0.05$), 与春季、秋季差异不明显, 野生动物在夏季活动频繁, 冬季动物活动频率较低; 小鹿、中华斑羚和野猪在早晨和黄昏活动频繁, 属昼行晨昏型动物, 白冠长尾雉和红腹锦鸡活动集中于早晨和黄昏。3 种偶蹄目兽类的日活动节律重叠程度的分析结果表明, 3 个优势物种间日活动节律表现为中等程度的重叠, 相互间存在不同程度的竞争。以期掌握五道峡国家级自然保护区鸟兽资源和节律信息, 为保护区生物多样性保护与持续监测提供依据。

关键词:红外相机; 相对丰富度指数; 活动节律; 季节分布; 五道峡国家级自然保护区

中图分类号: S759.9; S718.63; S718.65; S757.2; TB866 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)04-0073-08

引文格式: 李怀祥, 李亭亭, 邓正斌, 等. 利用红外相机调查五道峡自然保护区鸟兽资源及节律特征[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4): 73-80. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.012

LI Huaixiang, LI Tingting, DENG Zhengbin, et al. Investigating Bird and Animal Resources and Rhythm Characteristics in Wudaoxia Nature Reserve with Infrared Cameras[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 73-80. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.012

Investigating Bird and Animal Resources and Rhythm Characteristics in Wudaoxia Nature Reserve with Infrared Cameras

LI Huaixiang^{1,2}, LI Tingting^{1,2}, DENG Zhengbin³, CHEN Rongyou⁴, ZHU Wenlong^{1,2},
REN Shuai^{1,2}, WANG Zhengxiang^{1,2}

(1. College of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China;
2. Hubei Key Laboratory of Regional Development and Environmental Response, Wuhan 430062, China;
3. Administration of Wudaoxia National Nature Reserve, Xiangyang, Hubei 441699, China;
4. Changjiang Water Resources Protection Institute, Wuhan 430051, China)

Abstract: In order to grasp the situation of bird and animal resources in Wudaoxia National Nature Reserve, 62 infrared cameras were deployed for wildlife resource monitoring. The survey found that 1 433 independent and effective photos recorded 19 species, 12 families and 7 orders of mammals, the top 5 species in the relative abundance index were *Muntiacus reevesi*, *Naemorhedus griseus*, *Sus scrofa*, *Arct-*

收稿日期: 2022-02-15.

基金项目: 2019 年中央引导地方科技发展非政府采购项目(214002001004).

第一作者: 李怀祥(1996-), 男, 山东临沂人, 硕士研究生. 主要从事生物多样性研究. Email: Lihuaixiang202101@163.com

onyx collaris and *Paguma larvata*; 33 species, 14 families, and 5 orders of birds were recorded, and the top 3 species in relative abundance index were *Chrysolophus pictus*, *Syrmaticus reevesii* and *Garrulus glandarius*. The analysis of rhythm characteristics showed that the species abundance in summer was significantly higher than that in winter ($P < 0.05$), and was not significantly different from spring and autumn; wildlife activities were frequent in summer, while the frequency of animal activity in winter was relatively low; *Muntiacus reevesi*, *Naemorhedus griseus* and *Sus scrofa* were active frequently in the morning and dusk, belonging to the diurnal twilight type animals, and the activities of *Syrmaticus reevesii* and *Chrysolophus pictus* were concentrated in the morning and dusk. The analysis results of the overlap degree of the daily activity rhythms of the three cloven-hoofed beasts showed that the daily activity rhythms of the three dominant species showed a moderate degree of overlap, and there were different degrees of competition among each other. This paper basically mastered the types and rhythm information of bird and animal resources in Wudaoxia National Nature Reserve, which provided a basis for biodiversity conservation and continuous monitoring in the reserve.

Key words: infrared camera; relative abundance index; activity rhythm; seasonal distribution; Wudaoxia National Nature Reserve

野生动物是生态系统中重要组成部分^[1],是环境变化的指示种群,其多样性和分布模式体现了动物对环境变化的响应^[2],一直是生态学和动物学研究的热点。野生动物多样性的有效保护与管理,需要大范围、长时间的系统监测网络支持^[3]。20世纪90年代中期以来,红外相机逐渐应用于野生动物的研究与监测中^[4-5],红外相机技术指使用带有红外传感功能的相机自动获取野生动物图像数据的技术方法,这些图像数据可用来分析野生动物的物种组成及数量分布信息^[6-7],由于其具有野外耐久性、对动物无伤性、非干扰性等优点^[8],成为自然保护区兽类与鸟类调查的最有效工具之一,广泛应用于各级自然保护区动物资源本底调查和专项调查研究,为区域生物多样性现状提供最直接和最基础的数据^[9]。浙江古田山国家级自然保护区^[10]、广东南岭国家级自然保护区^[11]、福建戴云山国家级自然保护区^[12]、浙江清凉峰国家级自然保护区^[13]等保护区陆续开展了大规模生物多样性的监测研究工作。

野生动物的活动行为分配具有明显的季节性和昼夜差异^[14],掌握动物的活动节律是分析其生存策略的前提,是动物行为在时间维度的分布,是对资源和环境高度适应的结果^[15],活动节律主要通过探查动物活动强度的时空变化及其规律的影响因素等以了解动物的生存行为策略^[16]。基于红外相机技术的五道峡国家级自然保护区鸟兽多样性研究未见报道,此前有关保护区野生动物研究多基于样线^[17]、样点、访问调查和兽类痕迹整理得出^[18],利用红外相机在该保护区开展鸟类和兽类资源调查监测和活

动特征研究,将有助于完善该地区兽类物种资料,进一步为保护区生物多样性保护和管理提供科学参考。

1 研究区概况

湖北五道峡国家级自然保护区(以下简称“保护区”)位于湖北省保康县境内,处于大巴山东延余脉荆山山脉主脉,地理坐标为 $31^{\circ}45'23'' \sim 31^{\circ}37'46''$ N, $111^{\circ}5'44'' \sim 111^{\circ}27'58''$ E,海拔500~1 850 m。保护区总面积20 860 km²,其中核心区面积7 650 km²,缓冲区面积6 352 km²,实验区面积6 858 km²,属森林生态系统类型的保护区。保护区地处北亚热带向暖温带的过渡区域,年均温8.5℃,年降雨量900~1 300 mm。地理位置特殊,山陡谷深,生境复杂多样,孕育了丰富的野生动物资源,在湖北省的动植物区系中占有重要地位。

2 研究方法

2.1 红外相机布设

保护区呈东西走向,狭长分布。红外相机布设以保护区3个片区的核心区为主,缓冲区和实验区根据实际情况布设(图1)。利用ArcGIS 10.2软件生成边长为1 km的正方形网格,依据实际地形每网格尽可能布设1台相机,共布置66台红外相机,覆盖65个网格,除丢失及损坏的红外相机4台,共统计62台红外相机数据;红外相机布设地点选择在林间小道、水源地、山脊、垭口、开阔地等动物活动频繁的区域,并记录其经纬度、海拔和生境,安放前对红

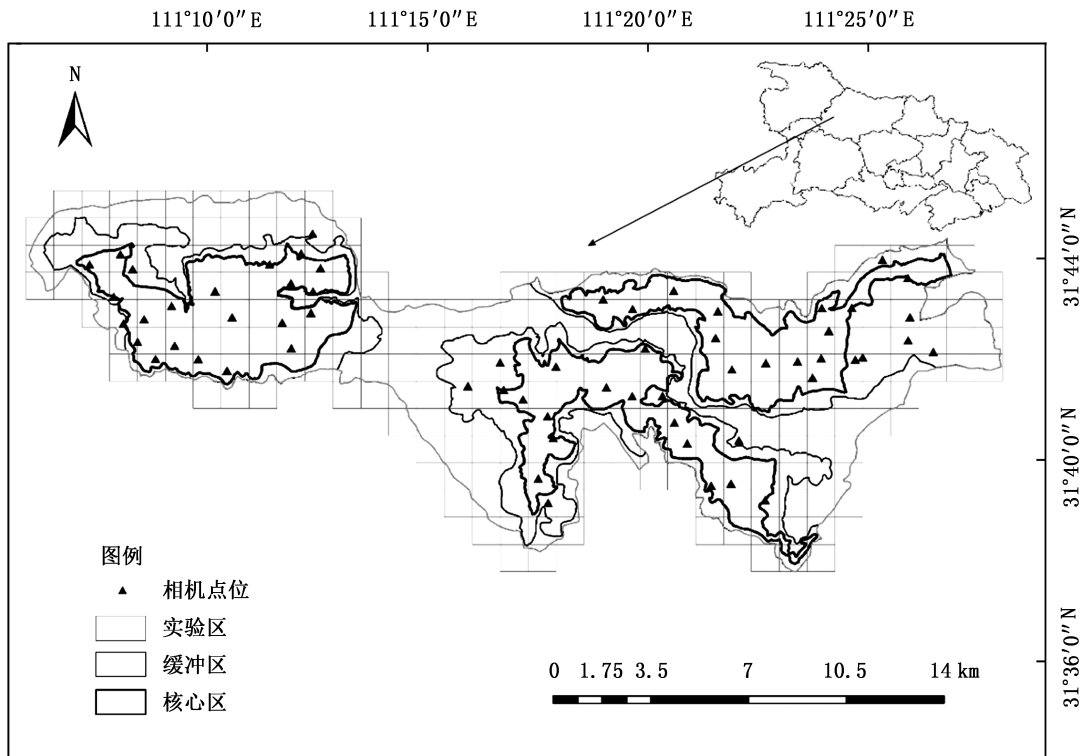


图 1 五道峡国家级自然保护区相机布设位点

Fig. 1 Camera trapping sites in Wudaoxia National Nature Reserve

外相机(夜鹰 TM SG-880V)参数进行统一设置,工作时间为 24 h,拍照模式为混合拍摄(3 张照片+20 s 视频),灵敏度中,对相机拍摄角度进行调整并固定,确保不会移位,将相机固定在较高大的乔木上,距地面约 0.5 m,每 3~4 个月检查相机工作情况并更换电池和内存卡,雨季清理林下拍摄区域草灌茎叶,避免遮蔽红外相机视角。

2.2 数据整理与分析

将定期收回的照片通过分拣整理后录入 Excel 数据表中,物种鉴定参照《中国兽类野外手册》^[19]和《中国鸟类野外手册》^[20],物种分类系统参考《中国脊椎动物红色名录》^[21]和《中国鸟类分类和分布名录》(第三版)^[22],国家重点保护野生动物等级参照《国家重点保护野生动物名录》^[23],IUCN 濒危物种红色名录按照 IUCN Red List (<https://www.iucnredlist.org/>)标准。分析与制图均在 R 4.02 软件的 overlap 包^[24]和 activity 包^[25]、ArcGIS 10.4 中完成。

将同一编号相机在 30 min 内拍到的同一物种的所有有效照片记为一张独立有效照片,分别计算各物种的有效拍摄数,并以有效拍摄数为基础,算出各物种的相对丰富度指数 RAI(relative abundance index)^[26],计算公式为:

$$RAI = \frac{A_i}{N} \times 100$$

式中: A_i 表示第 i 类物种出现的独立有效照片数; N 表示独立有效照片总数。

为探究不同季节野生动物的丰富度情况,利用 2020 年 1—12 月的红外相机数据进行动物季节活动规律分析,根据气候条件划分,2020 年 3—5 月为春季,2020 年 6—8 月为夏季,2020 年 9—11 月为秋季,2020 年 12 月、2020 年 1—2 月为冬季,选取兽类丰富度最高的 6 种和鸟类 2 种参与季节分布分析,以不同季节各物种的独立有效照片代表该物种在该季的丰富度,并进行 T 检验。

研究日活动节律时,由于部分物种丰富度和代表性较低,在物种昼夜节律分析时选取兽类丰富度较高的 3 种偶蹄目兽类和鸟类丰富度最高的鸡形目 2 种进行分析,利用 R 语言将红外照片的时间数据转换为弧度数据,实质是先由时间(时一分一秒)数据转为小数(数值范围 0~1),再转化为弧度数据;使用 densityPlot() 函数绘制单物种核密度曲线图,用 overlapEst() 函数计算重叠系数判断重叠程度,activity 包的 compareCkern() 函数利用 Wald test 对同一分布的循环预测值进行概率检验^[27]。

3 结果与分析

3.1 物种组成和相对丰富度指数

本次兽类资源监测获得兽类独立有效照片 1 065 张,占全部独立有效照片的 74.3%,鉴定出兽类 19 种,隶属 7 目、12 科,种类最多的是食肉目(Carnivora),7 种,占总数的 42%;其次是啮齿目(Rodentia)和偶蹄目,各 4 种,分别占比 31.6%,食虫目(Insectivora)、翼手目(Chiroptera)、灵长目(Primates)和兔形目(Lagomorpha)均只有 1 种。在拍摄到的兽类照片中,有国家 I 级保护动物 1 种,为小灵猫(*Viverricula indica*),国家 II 级保护动物 5 种,分别为猕猴(*Macaca mulatta*)、豹猫(*Prionailurus bengalensis*)、黄喉貂(*Martes flavigula*)、毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*)和中华斑羚(*Naemorhedus griseus*)。在《中国脊椎动物红色名录》中属于易危(VU)动物 5 种,分别为小灵猫、豹猫、毛冠鹿、小鹿和中华斑羚,属于近危(NT)动物 4 种,分别是猪獾、黄喉貂、黄腹鼬和花

面狸,无危动物(LC)10 种。

获得鸟类独立有效照片 368 张,占全部独立有效照片的 25.7%,鉴定显示鸟类 5 目、14 科、33 种,其中雀形目种数最多,有 10 科、25 种,其次是鸡形目 1 科、4 种,鸽形目 1 科、2 种,鹰形目 1 科、1 种,鸱形目 1 科、1 种。在监测到的鸟类中,属于国家 I 级保护动物 1 种,为白冠长尾雉(*Syrnaticus reevesii*),国家 II 级保护动物 8 种,分别为红腹角雉(*Tragopan temminckii*)、勺鸡(*Pucrasia macrolopha*)、红腹锦鸡(*Chrysolophus pictus*)、松雀鹰(*Accipiter virgatus*)、雕鸮(*Bubo bubo*)、画眉(*Garuulax canorus*)、白颊噪鹛(*Garuulax sannio*)和红嘴相思鸟(*Leiothrix lutea*);监测到的鸟类在《中国脊椎动物红色名录》中属濒危(EN)物种 1 种,为白冠长尾雉;近危(NT)物种 6 种,分别为红腹角雉、红腹锦鸡、雕鸮、画眉、眼纹噪鹛、黑胸鸫;无危(LC)级别的物种有 26 种。

保护区红外相机拍摄物种的相对丰富度指数如表 1 所示。

表 1 湖北五道峡国家级自然保护区红外相机拍摄物种统计

Tab. 1 Statistics of species captured by infrared cameras in Wudaoxia National Nature Reserve

目	科	种	红色名录	保护等级	独立有效照片/张	相对丰富度指数
食虫目 Insectivora	猬科 Erinaceidae	东北刺猬 <i>Erinaceus amurensis</i>	LC		8	0.52
翼手目 Chiroptera	蝙蝠科 Vespertilionidae	普通伏翼 <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	LC		3	0.21
灵长目 Primates	猴科 Cercopithecidae	猕猴 <i>Macaca mulatta</i>	LC	II	5	0.31
食肉目 Carnivora	鼬科 Mustelidae	猪獾 <i>Arctonyx collaris</i>	NT		69	4.82
		黄喉貂 <i>Martes flavigula</i>	NT	II	1	0.07
		黄鼬 <i>Mustela sibirica</i>	LC		2	0.42
		黄腹鼬 <i>Mustela kathiah</i>	NT		3	0.21
	灵猫科 Viverridae	花面狸 <i>Paguma larvata</i>	NT		68	4.72
		小灵猫 <i>Viverricula indica</i>	VU	I	2	0.10
	猫科 Felidae	豹猫 <i>Prionailurus bengalensis</i>	VU	II	42	2.94
偶蹄目 Artiodactyla	猪科 Suidae	野猪 <i>Sus scrofa</i>	LC		183	12.79
	鹿科 Cervidae	毛冠鹿 <i>Elaphodus cephalophus</i>	VU	II	14	0.94
		小鹿 <i>Muntiacus reevesi</i>	VU		353	24.64
	牛科 Bovidae	中华斑羚 <i>Naemorhedus griseus</i>	VU	II	203	14.16
啮齿目 Rodentia	松鼠科 Sciuridae	赤腹松鼠 <i>Callosciurus erythraeus</i>	LC		6	0.42
		红颊长吻松鼠 <i>Dremomys rufigenis</i>	LC		36	2.52
		红白鼯鼠 <i>Petaurista alborufus</i>	LC		6	0.42
	鼠科 Muridae	鼠 <i>Muridae</i> sp.	LC		54	3.77
兔形目 Lagomorpha	兔科 Leporidae	草兔 <i>Lepus capensis</i>	LC		6	0.42
鸡形目 Galliformes	雉科 Phasianidae	红腹角雉 <i>Tragopan temminckii</i>	NT	II	3	0.21
		勺鸡 <i>Pucrasia macrolopha</i>	LC	II	9	0.63
		白冠长尾雉 <i>Syrnaticus reevesii</i>	EN	I	69	4.82

续表 1

目	科	种	红色名录	保护等级	独立有效照片/张	相对丰富度指数
		红腹锦鸡 <i>Chrysolophus pictus</i>	NT	II	140	9.78
鸽形目 Columbiformes	鸠鸽科 Columbidae	山斑鸠 <i>Streptopelia orientalis</i>	LC		6	0.42
		珠颈斑鸠 <i>Streptopelia chinensis</i>	LC		9	0.63
鹰形目 Accipitriformes	鹰科 Accipitridae	松雀鹰 <i>Accipiter virgatus</i>	LC	II	3	0.21
鸮形目 Strigiformes	鸱鸮科 Strigidae	雕鸮 <i>Bubo bubo</i>	NT	II	2	0.14
雀形目 Passeriformes	鸦科 Corvidae	松鸦 <i>Garrulus glandarius</i>	LC		29	2.03
		红嘴蓝鹊 <i>Urocissa erythrorhyncha</i>	LC		9	0.63
	山雀科 Paridae	大山雀 <i>Parus cinereus</i>	LC		3	0.21
		绿背山雀 <i>Parus monticolus</i>	LC		5	0.35
	鹎科 Pycnonotidae	领雀嘴鹎 <i>Spizixos semitorques</i>	LC		2	0.14
	莺鹟科 Sylviidae	棕头雀鹟 <i>Fulvetta ruficapilla</i>	LC		2	0.14
	林鹟科 Timaliidae	棕颈钩嘴鹟 <i>Pomatorhinus ruficollis</i>	LC		2	0.14
	噪鹛科 Leiothrichidae	画眉 <i>Garrulax canorus</i>	NT	II	3	0.21
		灰翅噪鹛 <i>Garrulax cineraceus</i>	LC		11	0.77
		眼纹噪鹛 <i>Garrulax ocellatus</i>	NT		9	0.63
		白喉噪鹛 <i>Garrulax albogularis</i>	LC		3	0.21
		黑领噪鹛 <i>Garrulax pectoralis</i>	LC		3	0.21
		小黑领噪鹛 <i>Garrulax monileger</i>	LC		3	0.21
		白颊噪鹛 <i>Garrulax sannio</i>	LC	II	2	0.14
		橙翅噪鹛 <i>Trochalopteron elliotii</i>	LC		6	0.42
		红嘴相思鸟 <i>Leiothrix lutea</i>	LC	II	12	0.84
	鹎科 Sittidae	普通鹎 <i>Sitta europaea</i>	LC		3	0.21
	鸫科 Turdidae	虎斑地鸫 <i>Zoothera aurea</i>	LC		3	0.21
		黑胸鸫 <i>Turdus dissimilis</i>	NT		2	0.14
		灰头鸫 <i>Turdus rubrocanus</i>	LC		2	0.14
		斑鸫 <i>Turdus eunomus</i>	LC		3	0.21
	鹟科 Muscicapidae	鹟 <i>Copsychus saularis</i>	LC		2	0.14
		北红尾鹟 <i>Phoenicurus aureoreus</i>	LC		5	0.35
		紫啸鹟 <i>Myophonus caeruleus</i>	LC		6	0.42
	雀科 Passeridae	山麻雀 <i>Passer cinnamomeus</i>	LC		3	0.21

注: I 表示国家一级保护动物; II 表示国家二级保护动物; CR 表示极危 (critically endangered); NT 表示近危 (near threatened); VU 表示易危 (vulnerable); LC 表示无危 (least concern)。

从表 1 可知,兽类相对丰富度指数排前 8 位的物种是小鹿 (*Muntiacus reevesi*)、中华斑羚、野猪 (*Sus scrofa*)、猪獾 (*Arctonyx collaris*)、花面狸 (*Paguma larvata*)、鼠 (*Muridae*)、豹猫、红颊长吻松鼠 (*Dremomys rufigenis*), 分别为 24.64、14.16、12.79、4.82、4.72、3.77、2.94、2.52。鸟类相对丰富度指数显示,红腹锦鸡 (38.0) 最高,其次是白冠长尾雉 (18.8)。

3.2 季节分布特征

在不同季节中,冬季捕获动物活动有效照片最

少,只有 130 张,显著低于夏季 (388 张) 和秋季 (346 张), $P < 0.05$,夏季动物活动频率最高,冬季动物活动频率最低。对 4 个季节的物种相对丰富度指数进行曲线拟合,显示全年当中夏季动物相对丰富度指数较高,其次分别是秋季、春季和冬季,春季、夏季和秋季动物相对丰富度指数差异不显著 (图 2)。

不同物种在不同季节活动情况不同,小鹿在夏季和秋季活动频繁,春季活动频率低;中华斑羚在秋季活动频率较高,其他季节活动频率接近;野猪活动

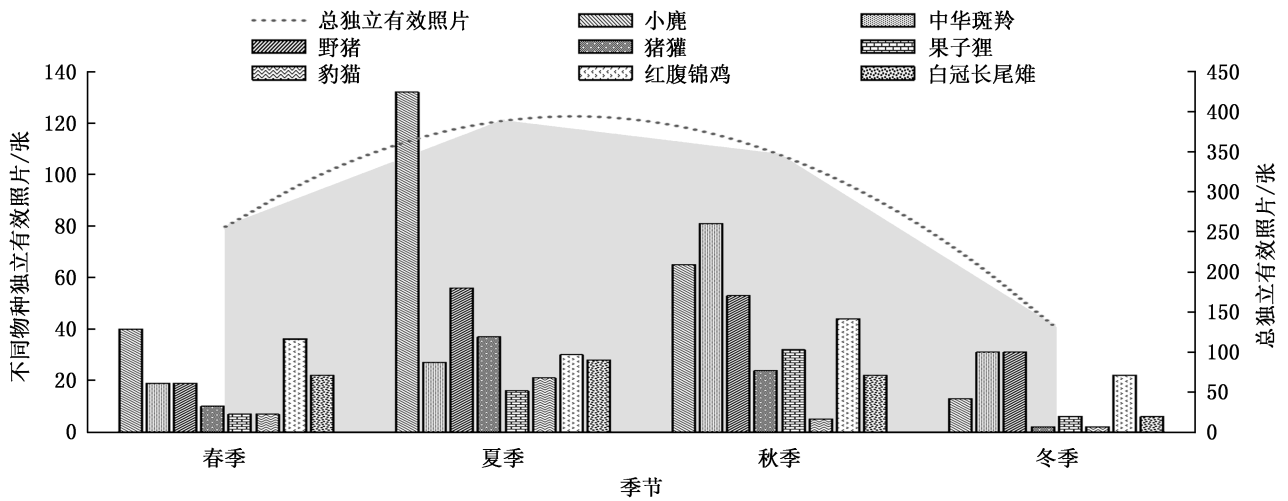


图 2 湖北五道峡国家级自然保护区不同季节物种拍摄情况

Fig. 2 Shooting of species in different seasons in Wudaoxia National Nature Reserve

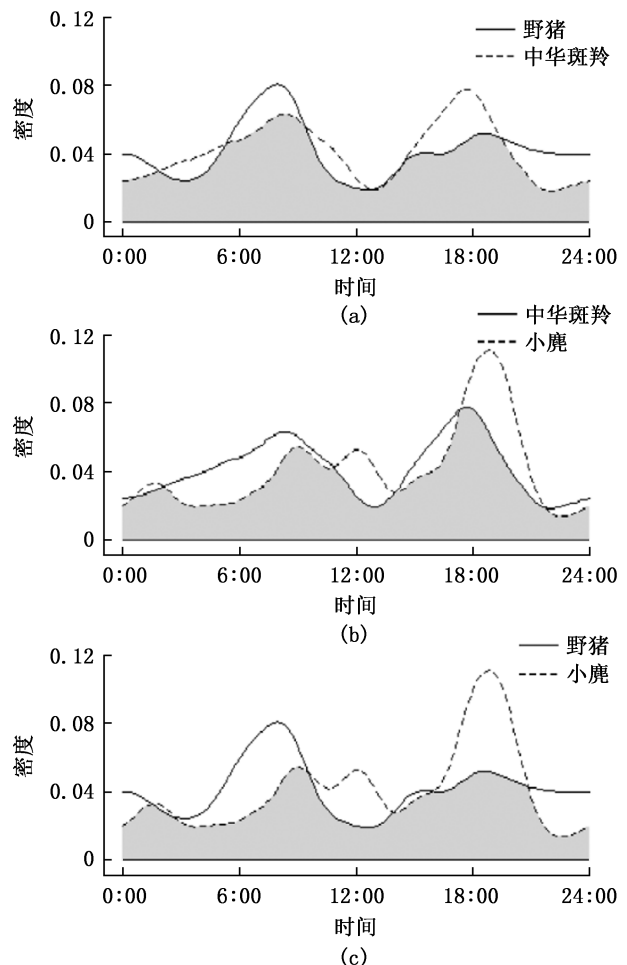
集中于夏季和秋季,冬季和春季活动相对较少;猪獾在冬季少见,多见于春季、夏季和秋季;花面狸在夏季和秋季活动较为频繁,冬季活动频率最低;豹猫主要活动于夏季,其次是秋季;白冠长尾雉活动集中于秋季;红腹锦鸡全年活动较为平均,各个季节均有活动。

3.3 保护区部分物种昼夜节律分析

保护区部分物种活动节律曲线比较情况见图 3,图 4。

从保护区 3 种有蹄目兽类的活动节律曲线可以看出,小鹿的日活动节律表现为单峰型并伴有 3 个小峰,第一个活动小高峰出现在凌晨 2:00 左右,后 2 个小高峰出现在 9:00—12:00,小鹿活动最频繁时间在 19:00 前后;中华斑羚日活动节律属于昼行晨昏型,夜晚也有出现,活动高峰集中于早上 7:00 和下午 18:00;野猪具有晨昏活动习性,且以白昼活动为主,夜晚也有出现,第一个活动高峰在早上 7:00 左右,中午活动频率降低。白冠长尾雉全天第一个活动小高峰位于早上 8:00—9:00,中午过后活动频率逐渐升高,直到下午 18:00 达到一天内的活动高峰,夜晚无活动迹象;红腹锦鸡全天活动高峰在上午 10:00 左右出现,之后活动频率降低,到接近 18:00 时达到一天中第二个小高峰,夜晚无活动迹象。

监测结果显示,记录到小鹿的相机仅 32 台,占比 51.6%,记录到中华斑羚的相机 32 台,占比 51.6%,记录到野猪的相机 37 台,占比 59.7%;同时记录到小鹿和野猪的相机 24 台,占比 38.7%,小鹿和野猪的活动节律重叠系数为 0.74,日活动节律曲线差异显著 ($\Delta=0.74, P < 0.01$);同时记录到中华斑



注:灰色为重叠区域。下同。

图 3 湖北五道峡国家级自然保护区小鹿、中华斑羚、野猪的活动节律曲线比较

Fig. 3 Comparison of daily activity patterns of *Muntiacus reevesi*, *Naemorhedus griseus* and *Sus scrofa* in Wudaoxia Nature Reserve

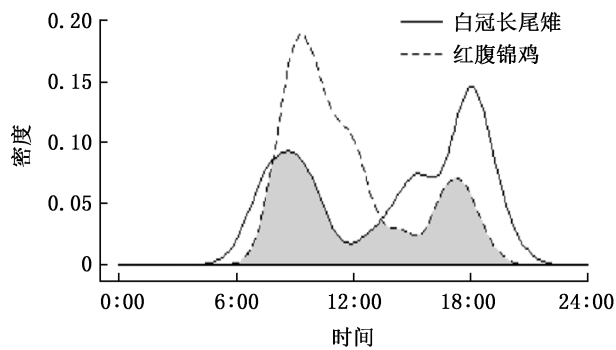


图4 湖北五道峡国家级自然保护区白冠长尾雉和红腹锦鸡活动节律曲线比较

Fig. 4 Comparison of daily activity patterns of *Chrysolophus pictus* and *Syrmaicus reevesii* in Wudaoxia Nature Reserve

羚和小鹿的相机 18 台,占比 29%,中华斑羚和小鹿日活动节律重叠系数 0.80,日活动节律曲线差异显著($\Delta = 0.80, P = 0.01$);同时记录到中华斑羚和野猪的相机 18 台,占比 29%,中华斑羚和野猪活动节律的重叠系数为 0.84,日活动节律曲线差异不显著($\Delta = 0.84, P = 0.28$);白冠长尾雉和红腹锦鸡的活动节律重叠系数为 0.58,日活动节律曲线差异显著($\Delta = 0.58, P < 0.01$)。

4 讨论

保护区内野生动物调查和长期监测是保护区的重要工作。五道峡国家级自然保护区属新晋升国家级的森林生态系统类自然保护区,以往野生动物研究多集中于样线、样点、访问调查和兽类痕迹整理,首次利用红外相机并采用公里网格布设方法进行大规模野生动物资源监测调查,本次调查监测获取了大量照片及视频资料,可基本反映保护区内动物资源状况和活动节律情况。红外相机调查记录到 19 种兽类和 33 种鸟类,兽类均为保护区原脊椎动物名录中所记录物种,而监测记录到保护区鸟类新纪录种 2 种,为小黑领噪鹛和领雀嘴鹛。由于森林生态系统野生动物调查中红外相机视角多集中于中下部且与大多鸟类的活动范围不符^[28],因此鸟类记录物种较少,兽类的有效捕获照片数量多于鸟类,这也解释了雀形目拍摄物种数最多但鸡形目的相对物种丰富度指数最高的原因。

保护区以 1 500 m 以下的山脉为主,地形复杂,森林资源丰富,中华斑羚和小鹿的适宜栖息地较多,使中华斑羚和小鹿的相对丰富度指数较高^[29]。由

于野猪繁殖能力较强,目前在保护区内没有天敌,所以保护区内野猪分布广泛,预期其种群数量将逐步增加,对保护区内实验区人工种植农作物威胁较大。保护区猪獾和花面狸的数量也较多,食物资源丰富,各类型树果和啮齿类动物为其主要食物来源,且受人类活动干扰小,使其相对丰富度指数仅次于有蹄类物种,是否存在与其他物种的竞争或干扰,有必要进行深入研究。

野生动物季节分布情况不均,与各季节的食物资源有关,部分兽类的冬眠习性和鸟类的迁徙特点使冬季拍摄的有效照片数量低于其他 3 个季节。保护区内鸟类和兽类在一天内各时间段的相对丰富度指数不同,可能由于哺乳动物内源性的昼夜节律对环境的高度适应^[30],有蹄类动物都具有明显的晨昏活动习性^[31-32],大都采取夜间活动的策略可能是为避开人类活动。本调查也显示小鹿和中华斑羚在红外相机附近活动时,出现注视和探听行为,也说明二者生性机敏且均有夜行性,且回避程度不同,这与前人的研究结果相似^[33]。保护区小鹿与野猪、中华斑羚日活动节律差异显著,活动高峰不一致,这表明小鹿作为优势种与中华斑羚和野猪等具有明显的日活动节律分化,而中华斑羚和野猪的活动节律无显著分化。同时拍摄到中华斑羚和野猪的相机最多,且活动节律无明显分化,说明中华斑羚和野猪存在一定程度的相互竞争,但推测由于二者形态和取食部位不同,从而降低二者在有限食物资源间的竞争,形成生态位分化。

五道峡国家级自然保护区具有丰富野生动物资源,但由于保护区面积较大,动物多样性调查在短时间难以完全覆盖保护区内所有动物类群,后续研究中建议扩大监测范围,增加监测相机数量,针对重点保护兽类开展栖息地质量评估和野生动物专项调查研究等科研工作,以期更好地建立保护区内的野生动物保护与监测机制。

致谢:感谢五道峡国家级自然保护区工作人员对野外工作的支持和帮助。

参考文献:

- [1] DAVID P, JOANNA B. Methodologies for assessing exposure to metals: Speciation, bioavailability of metals, and ecological host factors [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2003, 56(1): 110-121.
- [2] BURGER J, GOCHFELD M. Metals and radionuclides in birds and eggs from Amchitka and Kiska Islands in the Bering

- Sea/Pacific Ocean ecosystem[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, 127(1-3): 105-113.
- [3] 何百锁, 孙瑞谦, 陈鹏, 等. 基于红外相机技术调查长青国家级自然保护区兽类和鸟类多样性[J]. *兽类学报*, 2016, 36(3): 348-356.
- [4] 李勤, 郭建国, 寇晓军, 等. 相机陷阱在野生动物种群生态学中的应用[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(4): 947-955.
- [5] 李晟, 王大军, 肖治术, 等. 红外相机技术在我国野生动物研究与保护中的应用与前景[J]. *生物多样性*, 2014, 22(6): 685-695.
- [6] ROWCLIFFE J M, JULIET F, SAMUEL T T, et al. Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2008, 45(4): 1228-1236.
- [7] O'CONNELLA F, NICHOLS J D, KARANTH K U. Camera traps in animal ecology: methods and analyses[M]. New York: Springer, 2011.
- [8] PAUL M, GUY B, PETER F. Are we getting the full picture? Animal responses to camera traps and implications for predator studies[J]. *Ecology and Evolution*, 2016, 6(10): 3216-3225.
- [9] 肖治术, 李欣海, 姜广顺. 红外相机技术在我国野生动物监测研究中的应用[J]. *生物多样性*, 2014, 22(6): 683-684.
- [10] 章书声, 鲍毅新, 王艳妮, 等. 不同相机布放模式在古田山兽类资源监测中的比较[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(8): 2016-2022.
- [11] 蔡玉生, 龚粤宁, 卢学理, 等. 南岭森林哺乳动物多样性的红外相机监测[J]. *生态科学*, 2016, 35(2): 57-61.
- [12] 林开森, 徐建国, 李文周, 等. 福建省戴云山野生哺乳动物和鸟类红外相机监测[J]. *生物多样性*, 2018, 26(12): 1332-1337.
- [13] 郭瑞, 许丽娟, 王旭池, 等. 浙江清凉峰国家级自然保护区千顷塘区域鸟兽资源的红外相机调查[J]. *兽类学报*, 2020, 40(2): 183-192.
- [14] NIELSEN E T. Relation of behavioural activity rhythms to the changes of day and night: A revision of views[J]. *Behaviour*, 1984, 89(1/2): 147-173.
- [15] 陈立军, 束祖飞, 肖治术. 应用红外相机数据研究动物活动节律——以广东车八岭保护区鸡形目鸟类为例[J]. *生物多样性*, 2019, 27(3): 266-272.
- [16] 尚玉昌. 动物的行为节律[J]. *生物学通报*, 2006(10): 8-10.
- [17] 吴少斌, 吴法清, 何定富, 等. 五道峡自然保护区兽类资源生态评价[J]. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2005(3): 389-394.
- [18] 汪正祥, 蔡德军. 湖北五道峡自然保护区生物多样性及其保护研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.
- [19] SMITH A T, 解焱. 中国兽类野外手册[M]. 长沙: 湖南教育出版社, 2009.
- [20] 约翰·马敬能, 卡伦·菲利普斯, 何芬奇. 中国鸟类野外手册[M]. 长沙: 湖南教育出版社, 2000.
- [21] 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 中国脊椎动物红色名录[J]. *生物多样性*, 2016, 24(5): 500-551.
- [22] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录(第三版)[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [23] 中国野生动植物保护司. 中华人民共和国野生动物保护法[M]. 北京: 中国法制出版社, 2021.
- [24] MEREDITH M, RIDOUT M. Overlap: Estimates of coefficient of overlapping for animal activity patterns[EB/OL]. (2021-05-23) [2021-12-01]. <https://CRAN.R-project.org/package=overlap>.
- [25] ROWCLIFFE M. Activity: Animal activity statistics[EB/OL]. [2019-01-07]. <https://CRAN.R-project.org/package=activity>.
- [26] 周鹤仙, 李言阔, 李佳琦, 等. 基于红外相机技术调查桃红岭梅花鹿国家级自然保护区鸟兽多样性[J]. *生态学报*, 2019, 39(13): 4975-4984.
- [27] 陈立军, 束祖飞, 肖治术. 应用红外相机数据研究动物活动节律——以广东车八岭保护区鸡形目鸟类为例[J]. *生物多样性*, 2019, 27(3): 7.
- [28] 夏万才, 邵发亮, 贾国清, 等. 贡嘎山鸟类的多样性、分布及区系[J]. *应用与环境生物学报*, 2020, 26(4): 1028-1039.
- [29] AUNDERS D A, HOBBS R J, MARGULES C R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review[J]. *Conservation Biology*, 1991(5): 18-32.
- [30] 安扬, 徐瓔. 哺乳动物昼夜节律机制研究进展[J]. *生命科学*, 2015, 27(11): 1372-1379.
- [31] 武鹏峰, 刘雪华, 蔡琼, 等. 红外相机技术在陕西观音山自然保护区兽类监测研究中的应用[J]. *兽类学报*, 2012, 32(1): 67-71.
- [32] 贾晓东, 刘雪华, 杨兴中, 等. 利用红外相机技术分析秦岭有蹄类动物活动节律的季节性差异[J]. *生物多样性*, 2014, 22(6): 737-745.
- [33] 张源笙, 蒋健, 蒋万杰, 等. 北京松山国家级自然保护区兽类活动节律初步研究[J]. *四川动物*, 2017, 36(4): 460-467.

责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.013

基于红外相机技术的雷公山国家级自然保护区鸟类调查研究

吴必锋,古定豪,余德会,李萍,唐秀俊,王泽文

(贵州省雷公山自然保护区管理局,贵州 雷山 557199)

摘要:为掌握雷公山国家级自然保护区野生鸟类资源状况,采用公里网格随机布设 60 个红外相机监测位点,对雷公山重点区域地面活动鸟类进行调查。2020 年 1 月至 2021 年 12 月,100 台红外相机野外累计正常工作 18 074 个相机日,累计获得独立有效鸟类照片(视频)2 883 份。调查监测记录到鸟类 7 目、17 科、48 种,其中栗苇鳉、红点颏、蓝歌鸲、斑胸钩嘴鹛、灰头绿啄木鸟、灰翅噪鹛、褐翅鸦鹃等 7 种为雷公山保护区鸟类新纪录。分析结果表明:鸟类相对多度最高为白鹇,其次为灰胸竹鸡和棕头鸦雀;鸟类网格占有率最高为白鹇(42.05%),棕头鸦雀(35.23%)和灰胸竹鸡(25.00%)次之。
关键词:红外相机技术;鸟类调查;相对多度;网格占有率;雷公山国家级自然保护区

中图分类号:S759.9;S718.63;S757.2;TB866 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0081-05

引文格式:吴必锋,古定豪,余德会,等.基于红外相机技术的雷公山国家级自然保护区鸟类调查研究[J].林业调查规划,2023,48(4):81-85. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.013

WU Bifeng, GU Dinghao, YU Dehui, et al. Bird Survey in Leigongshan National Nature Reserve Based on Infrared Camera Technology[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 81-85. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.013

Bird Survey in Leigongshan National Nature Reserve Based on Infrared Camera Technology

WU Bifeng, GU Dinghao, YU Dehui, LI Ping, TANG Xiujun, WANG Zewen

(Administration of Leigongshan Nature Reserve, Leishan, Guizhou 557199, China)

Abstract: In order to grasp the status of wild bird resources in Leigongshan National Nature Reserve, 60 infrared camera monitoring points were randomly arranged using a kilometer grid to investigate ground active birds in key areas of Leigongshan. From January 2020 to December 2021, 100 infrared cameras worked normally in the field for a total of 18 074 camera days, and a total of 2 883 independent and effective bird photos (videos) were obtained. The investigation and monitoring recorded 48 species of birds in 17 families and 7 orders, among which 7 species were new records of birds, including *Ixobrychuscin namomeus*, *Calliope calliope*, *Luscinia cyane*, *Pomatorhinus erythrocnemis*, *Picus canus*, *Garrulax cineraceus* and *Centropus sinensis*. The analysis results showed that the relative abundance of *Lophura nycthemera* was the highest, followed by *Bambusicola thoracica* and *Paradoxornis webbianus*; the highest bird grid occupancy rate was *Lophura nycthemera* (42.05%), followed by *Paradoxornis webbianus* (35.23%) and *Bambusicola thoracica* (25.00%).

Key words: infrared camera technology; bird survey; relative abundance; grid occupancy rate;

收稿日期:2022-02-25.

基金项目:贵州省林业科研课题(黔林科合[2020]16号);黔东南州科技计划项目(黔东南科合J[2020]063号).

第一作者:吴必锋(1986-),男,贵州施秉人,工程师.从事生物多样性保护工作. Email:jefeng920@163.com

Leigongshan National Nature Reserve

近年来,红外触发相机(infrared trigger camera)的广泛应用极大地促进了野生动物调查监测工作的开展,并涉及物种识别、种群数量估计、生境利用、活动节律等各方面复杂研究^[1-2]。以前由于红外相机野外布设不规划、布设点位主观随意性大等问题,造成监测数据很难结合物种生境情况进行系统分析^[3-4]。因此,科学布设相机抽样位点,规范获取监测数据,应用 ArcGIS 对植被和 DEM 数据进行自然间断点分级,系统性抽样开展红外相机调查监测,将突破传统方法的不足,有利于摸清区域野生动物本底,推进野生动物保护管理创新。雷公山国家级自然保护区是南岭生物多样性保护优先区域贵州境内重要的区域,但有关保护区的鸟类专项调查一直未开展,鸟类种类与资源量分布等数据信息已多年未进行编目和更新,急需开展系统的调查和监测。为此,充分利用 ArcGIS 强大的数据处理功能,开展公里网格系统抽样布设红外相机点位,以覆盖雷公山国家级自然保护区全境的调查监测,以期进一步完善和核实保护区鸟类物种,为保护区鸟类监测与保护管理工作提供参考。

1 研究地自然概况

贵州雷公山国家级自然保护区(以下简称“雷公山保护区”)地处苗岭东段(108°5′~108°24′E, 26°15′~26°32′N),横跨雷山、台江、剑河、榕江 4 县,总面积为 47 300 hm²,最高海拔苗岭主峰雷公山 2 178.8 m,最低海拔 650 m,东西横延约 15 km,南北纵深约 30 km,是一个典型的山地环境,长江水系与珠江水系极为明显的分水岭高地^[5]。保护区属于中亚热带季风山地湿润气候,区内雨量充沛、生物资源丰富,已经鉴定的各类生物种类 5 158 种,其中:动物 2 300 种,高等植物 2 595 种,大型真菌 263 种。列入国家一、二级重点保护动植物共有 85 种,其中:植物有红豆杉、南方红豆杉、钟萼木、异形玉叶金花、台湾杉等 25 种(一级 4 种、二级 21 种);动物有云豹、金钱豹、林麝、白颈长尾雉、鸳鸯、红腹锦鸡、大鲵、黑熊、穿山甲、猕猴、藏酋猴、大灵猫等 60 种(一级 12 种、二级 48 种)^[7-9]。

2 调查方法

2.1 样地布设

基于雷公山保护区 2016 年森林资源二类调查

成果,通过 ArcGIS 对 ASTGTM3 DEM 数据进行分析,采用 ArcGIS 自然间断点分级法(Jenks)将海拔划分为 650~1 062 m、1 063~1 334 m、1 335~1 617 m、1 618~2 178 m 共 4 个梯度,植被类型划分为阔叶林、针阔混交林、针叶林、竹林和灌丛 5 种类型,每个梯度内的每种植被类型至少布设一个监测样地点位^[4]。结合雷公山保护区实际生境情况,在公里网格中选取 100 个调查监测样地点位(图 1)。

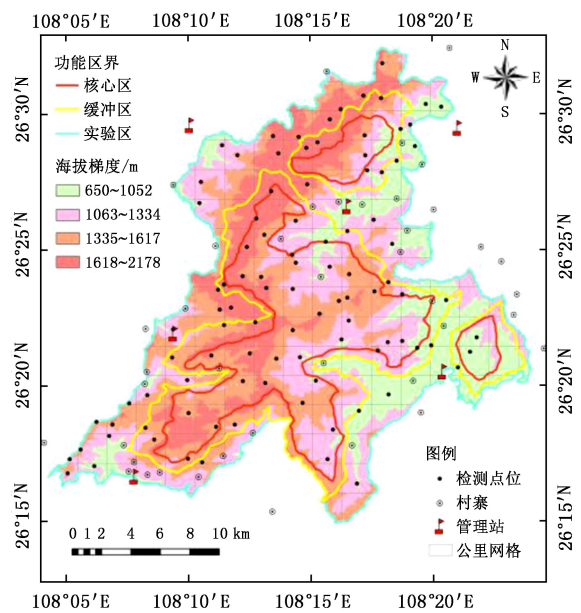


图 1 雷公山保护区鸟类调查监测样地
Fig. 1 Bird survey and monitoring sample plots in Leigongshan Nature Reserve

2.2 相机安装监测

2020 年 1 月—2021 年 12 月在布设的每个固定样地内适宜点位安装 1 台红外相机,两台红外相机点位之间直线距离不小于 1 km,监测时间为 1 a,所有相机均设置为全天候连续工作,相机模式为图片和视频,单次触发拍摄设置为连拍照片 1 张和录像时长 20 s、触发间隔为 0 s、触发敏感度为正常,期间每 4~6 个月收集 1 次数据、更换 1 次内存卡和电池。调查监测使用的红外相机均为北京迪越达 BG962-X36W,内存卡为金士顿 64G SD 卡,电池为南孚 5 号碱性电池。相机安装时,充分考虑动物活动痕迹,选在视线通透、地面低矮灌木和杂草较少的位置,捆绑在树干约 0.5 m 高度,机头平行于地面,朝无阳光直射的方向^[2,6,10];并做好点位号、红外相

机编号、安装时间、坐标海拔、植被类型、综合覆盖度和调查人员等信息记录,并拍摄 1 张含有位置和时间信息的现场照片^[2,6]。

2.3 数据统计及分析

红外相机在野外每监测 4~6 个月进行一次数据收集,及时对收集的数据进行整理和物种识别,物种识别主要依靠专家鉴定图片、视频、羽毛和骨骼等,以及借助工具书《中国鸟类图鉴》^[11]辨别鉴定鸟类物种;依据《中国鸟类志(上下)》分类系统^[12]将其归纳到所属科目;参照《国际自然保护联盟组织濒危物种红色名录(2021 年)》,确定每种动物的濒危等级(endangered category, EC);参考《国家重点保护野生动物名录(2021 年)》,确定保护级别。将同一监测位点红外相机 30 min 内拍到的多张同一物种照片或视频记为 1 张独立有效照片^[1,6],单台红外相机野外持续工作 24 h 记为 1 个相机工作日^[2,6]。

通过对红外相机记录图像数据的识别统计,获得雷公山保护区红外相机监测鸟类物种名录,计算各物种的相对多度指数(relative abundance index, RAI)和网格占有率(grid occupancy, GO)^[2,13-14]。相对多度指数(RAI)为调查区域内每 100 个单位相机日获取同一物种在所有点位记录的独立有效照片数^[6,14],计算公式为:

$$RAI = \frac{A_i}{T} \times 100 \quad (1)$$

式中: A_i 为记录物种 i 的独立有效照片数; T 为总有效相机工作日。

网格占有率也被称为物种相机位点出现率,指某一调查区域内某物种被拍到的网格单元数或相机位点数占所有正常工作网格单元数的百分率^[6,14],计算公式为:

$$GO_i = \frac{n_i}{N} \times 100\% \quad (2)$$

式中: n_i 为物种 i 被记录到的相机位点数; N 为正常工作 100 个相机日的点数。

3 结果分析

野外调查监测期,全部调查样地位点中 100 台红外相机正常工作 100 个相机日及以上的有 88 个点位,累计工作 18 074 个相机日;相机丢失、损坏或系统出错导致正常工作 100 个相机日以下的有 12 个点位,累计丢失 2 571 个相机日。

本次监测调查共获得 41 739 份照片和视频,其

中独立有效鸟类照片(视频)2 866 份,记录到 48 种鸟类(7 目、17 科),栗苇鳉、红点颏、蓝歌鸲、斑胸钩嘴鹀、灰头绿啄木鸟、灰翅噪鹛、褐翅鸦鹛等 7 种为雷公山保护区鸟类新纪录。其中国家一级重点保护鸟类有白颈长尾雉 1 种,国家二级重点保护鸟类有栗苇鳉、凤头鹰、褐耳鹰、白鹇、红腹锦鸡、勺鸡、褐翅鸦鹛、红嘴相思鸟、红点颏等 9 种(表 1)。

表 1 雷公山保护区红外相机监测鸟类物种名录

Tab. 1 List of bird species monitored by infrared cameras in Leigongshan Nature Reserve

物种	IUCN 濒危级别	保护级别	被记录的相机位点数 / 个	独立有效照片数 / 份	相对多度指数	相机位点出现率 / %
一、鸛形目 Ciconiiformes						
(一) 鹭科 Ardeidae						
栗苇鳉 <i>Ixobrychus cinnamomeus</i>	LC	二级	1	2	0.011	1.14
二、隼形目 Falconiformes						
(二) 鹰科 Accipitridae						
凤头鹰 <i>Accipiter trivirgatus</i>	LC	二级	1	1	0.006	1.14
褐耳鹰 <i>Accipiter badius</i>	LC	二级	1	1	0.006	1.14
三、鸡形目 Galliformes						
(三) 雉科 Phasianidae						
灰胸竹鸡 <i>Bambusicola thoracica</i>	LC		22	473	2.617	25.00
白鹇 <i>Lophura nycthemera</i>	LC	二级	37	731	4.044	42.05
雉鸡 <i>Phasianus colchicus</i>	LC		15	127	0.703	17.05
白颈长尾雉 <i>Syrnaticus ellioti</i>	NT	一级	9	49	0.271	10.23
红腹锦鸡 <i>Chrysolophus pictus</i>	LC	二级	17	187	1.035	19.32
勺鸡 <i>Pucrasia macrolopha</i>	LC	二级	1	4	0.022	1.14
四、鸽形目 Columbiformes						
(四) 鸠鸽科 Columbidae						
珠颈斑鸠 <i>Streptopelia chinensis</i>	LC		5	12	0.066	5.68
五、鹃形目 Cuculiformes						
(五) 杜鹃科 Cuculidae						
褐翅鸦鹛 <i>Centropus sinensis</i>	LC	二级	1	5	0.028	1.14
六、鸢形目 Piciiformes						
(六) 啄木鸟科 Picidae						
灰头绿啄木鸟 <i>Picus canus</i>	LC		3	10	0.055	3.41
七、雀形目 Passeriformes						
(七) 鹡鹑科 Motacillidae						

续表 1

物种	IUCN 濒危级别	保护级别	被记录的相机位数/个	独立有效照片数/份	相对多度指数	相机位点出现率/%
山鹊鸲 <i>Dendronanthus indicus</i>	LC		12	21	0.116	13.64
珠颈斑鸠 <i>Streptopelia chinensis</i>	LC		5	7	0.039	5.68
(八) 山椒鸟科 Campephagidae						
短嘴山椒鸟 <i>Pericrocotus brevirostris</i>	LC		2	8	0.044	2.27
(九) 鹎科 Pycnonotidae						
黑[短脚]鹎 <i>Hypsipetes madagascariensis</i>	LC		1	1	0.006	1.14
(十) 鸦科 Corvidae						
红嘴蓝鹊 <i>Urocissa erythrorhyncha</i>	LC		7	23	0.127	7.95
白颈鸦 <i>Corvus torquatus</i>	LC		2	3	0.017	2.27
(十一) 鹎科 Turdidae						
红肋蓝尾鹎 <i>Tarsiger cyanurus</i>	LC		6	3	0.017	6.82
北红尾鹎 <i>Phoenicurus auroreus</i>	LC		4	8	0.044	4.55
红尾水鹩 <i>Rhyacornis fuliginosus</i>	LC		11	146	0.808	12.50
灰背燕尾 <i>Enicurus schistaceus</i>	LC		2	8	0.044	2.27
紫啸鸫 <i>Miophonus caeruleus</i>	LC		2	4	0.022	2.27
斑鹎 <i>Turdus naumanni</i>	LC		16	210	1.162	18.18
乌鹎 <i>Turdus merula</i>	LC		8	29	0.160	9.09
虎斑地鸫 <i>Zoothera dauma</i>	LC		19	163	0.902	21.59
橙头地鸫 <i>Geokichla citrina</i>	LC		2	4	0.022	2.27
(十二) 画眉科 Timaliinae						
棕颈钩嘴鹎 <i>Pomatorhinus ruficollis</i>	LC		4	13	0.072	4.55
白颊噪鹎 <i>Garrulax sannio</i>	LC		11	34	0.188	12.50
红嘴相思鸟 <i>Leiothrix lutea</i>	LC	二级	13	72	0.398	14.77
蓝翅希鹎 <i>Minla cyanouoptera</i>	LC		1	1	0.006	1.14
灰眶雀鹟 <i>Alcippe morrisonia</i>	LC		2	18	0.100	2.27
栗头凤鹟 <i>Yuhina castaneiceps</i>	LC		1	1	0.006	1.14
斑胸钩嘴鹎 <i>Pomatorhinus erythrocnemis</i>	LC		1	2	0.011	1.14
灰翅噪鹎 <i>Garrulax cineraceus</i>	LC		3	9	0.050	3.41
(十三) 鸦雀科 Paradoxornithidae						
棕头鸦雀 <i>Paradoxornis webbianus</i>	LC		31	235	1.300	35.23

续表 1

物种	IUCN 濒危级别	保护级别	被记录的相机位数/个	独立有效照片数/份	相对多度指数	相机位点出现率/%
灰头鸦雀 <i>Paradoxornis gularis</i>	LC		2	2	0.011	2.27
(十四) 莺科 Sylviidae						
黄眉柳莺 <i>Phylloscopus inornatus</i>	LC		1	1	0.006	1.14
极北柳莺 <i>Phylloscopus borealis</i>	LC		1	4	0.022	1.14
(十五) 鹟科 Muscicapidae						
棕胸蓝姬鹟 <i>Ficedula hyperythra</i>	LC		2	36	0.199	2.27
乌鹟 <i>Muscicapa sibirica</i>	LC		18	51	0.282	20.45
北灰鹟 <i>Muscicapa dauurica</i>	LC		8	5	0.028	9.09
红点颏 <i>Calliope calliope</i>	LC	二级	2	9	0.050	2.27
蓝歌鸲 <i>Larivora cyane</i>	LC		2	3	0.017	2.27
(十六) 山雀科 Paridae						
大山雀 <i>Parus major</i>	LC		13	25	0.138	14.77
绿背山雀 <i>Parus monticolus</i>	LC		7	42	0.232	7.95
(十七) 文鸟科 Ploceidae						
山麻雀 <i>Passer rutilans</i>	LC		3	31	0.172	3.41
白腰文鸟 <i>Lonchura striat</i>	LC		10	49	0.271	11.36

对所有监测样地物种的 RAI 统计分析表明：(1) 雷公山保护区鸟类相对多度指数最高的为白鹟 (RAI=4.044)，其次为灰胸竹鸡 (RAI=2.617) 和棕头鸦雀 (RAI=1.300)；(2) 雷公山保护区鸟类网格占有率最高的为白鹟 (42.05%)，其次为棕头鸦雀 (35.23%) 和灰胸竹鸡 (25.00%)。

监测数据显示，在研究区域内还存在较大的人为干扰，干扰形式包括人类活动以及狗、牛、羊等家养动物。100 个样地点位中仅有 13 个相机位点未探测到人类及家犬和家畜等饲养动物活动，其中探测到人类活动次数 > 家畜 > 家犬。但监测数据统计也表明，同一物种被 2 个以上点位记录，且距离农田或公路距离在 1 km 以内人类干扰较大的点位^[15-16]，占总点位 50% 以上的有棕头鸦雀、红嘴蓝鹊、红尾水鹩、红嘴相思鸟、雉鸡、白颈长尾雉和红腹锦鸡等 20 种鸟类，占监测记录鸟类物种的 42%；其中分布在人类干扰较大点位占比最大的为棕头鸦雀，达 81%，其次为红嘴蓝鹊 71% 和红尾水鹩 64%。

4 讨 论

红外相机技术在动物调查中的影像记录能够准确鉴定物种,本次调查监测记录识别到鸟类 48 种,与目前雷公山保护区公开发布记录的鸟类名录对比新增了 7 种分布记录。同时,被记录的鸟类大部分是在林底层和地面活动,其 RAI 值和 GO_i 值均较大,非林底层和地面活动的鸟类则较小。这表明利用红外相机技术开展林底层和地面活动鸟类的资源调查、监测和编目,具有物种识别准确、人为干扰小、监测数据真实等优势,这与国内外大部分研究结果一致。

本次调查监测结果显示,雷公山保护区林底层和地面活动的鸟类资源丰富,尤其是白鹇、灰胸竹鸡等雉类和虎斑地鸫、斑鸫等鸫类在保护区内拥有较丰富的种群数量。因此,进一步利用红外相机技术深入地对保护区内雉类和鸫类的生境结构、数量分布状况及栖息地植被类型和坡位坡向海拔等空间生态位进行研究非常必要。

人类活动是影响野生动物分布的重要因素之一,当前,人类干扰受到各方面极大关注。统计分析表明,人类活动对鸟类的分布影响并非全是负面,有些鸟类喜欢在人类活动频繁的区域活动,体现了动物的生境选择是动物响应异质环境的重要形式^[17]。因此,在物种生境选择利用研究上,应加强多种生态系统功能的交互作用、物种共存机制对物种多样性与生态系统功能关系的研究^[18],这有助于理解物种共存机制以及制定科学性和实效性的物种保护政策。

致谢:感谢贵州林业局冉景丞研究员、贵州大学粟海军教授、贵州师范大学杨卫诚副教授在调查工作中的宝贵意见和物种识别鉴定中的帮助。

参考文献:

- [1] O'CONNELL A F, NICHOLS J D, KARANTH K U. Camera traps in animal ecology: methods and analyses [M]. New York: Springer, 2011.
- [2] 肖治术, 李欣海, 王学志, 等. 探讨我国森林野生动物红外相机监测规范[J]. 生物多样性, 2014, 22(6): 704-711.
- [3] MEEK P D, BALLARD G, CLARIDGE A, et al. Recommended guiding principles for reporting on camera trapping research [J]. Biodiversity & Conservation, 2014, 23(9): 2321-2343.
- [4] 粟海军, 李光容, 陈光平, 等. 贵州宽阔水自然保护区野生动物红外相机调查初报[J]. 兽类学报, 2018, 38(2): 221-229.
- [5] 周政贤, 姚茂生. 雷公山自然保护区科学考察集 [M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1989.
- [6] 范宗骥, 欧阳学军, 万雅琼, 等. 基于红外相机技术对广东鼎湖山及其周边林地的鸟兽调查[J]. 生物多样性, 2020, 28(9): 1147-1153.
- [7] 张华海, 张旋. 雷公山国家级自然保护区生物多样性研究 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2007.
- [8] 王子明, 李萍, 李扬, 等. 雷公山自然保护区鸟类新记录 [J]. 野生动物学报, 2015, 36(1): 118-120.
- [9] 贵州雷公山国家级自然保护区管理局. 贵州雷公山国家级自然保护区简介 [EB/OL]. (2021-03-16). http://lgsbhq.qdn.gov.cn/zwgk/xxgkml/zzjg/jggk/202103/t20210316_67208271.html.
- [10] 肖治术, 陈立军, 宋相金, 等. 基于红外相机技术对广东车八岭国家级自然保护区大中型兽类与雉类的编目清查与评估[J]. 生物多样性, 2019, 27(3): 237-242.
- [11] 约翰·马敬能, 卡伦·菲利普斯, 何芬. 中国鸟类野外手册 [M]. 长沙: 湖南教育出版社, 2000.
- [12] 赵正阶. 中国鸟类志(上下) [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2001.
- [13] O'BRIEN T G, KINNAIRD M F, WIBISONO H T. Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tiger and prey populations in a tropical forest landscape [J]. Animal Conservation, 2003, 6(2): 131-139.
- [14] 陈立军, 肖文宏, 肖治术. 物种相对多度指数在红外相机数据分析中的应用及局限 [J]. 生物多样性, 2019, 27(3): 243-248.
- [15] 盛琪, 董灵波, 刘兆刚. 应用 GIS 对野生动物生境适宜性的评价——以大兴安岭盘古林场紫貂为例 [J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(6): 157-162.
- [16] 游卫云, 高欣, 梅爱君, 等. 基于红外触发相机技术的白鹇栖息地选择研究 [J]. 四川动物, 2019, 38(5): 564-570.
- [17] 张明海, 李言阔. 动物生境选择研究中的时空尺度 [J]. 兽类学报, 2005, 25(4): 395-401.
- [18] 钟明, 侍昊, 安树青, 等. 中国野生动物生境适宜性评价和生境破碎化研究 [J]. 生态科学, 2016, 35(4): 205-209.

责任编辑: 杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.014

太原市居住区绿地植物多样性特征及其与 社会经济因素相关性研究

刘亦涵¹, 武小钢², 杨秀云², 陈小平¹, 王春玲¹, 王 蓉¹

(1. 山西农业大学 城乡建设学院, 山西 太谷 030801; 2. 山西农业大学 林学院, 山西 太谷 030801)

摘要:基于山西省太原市 45 个居住区绿地植物多样性调查,运用植物多样性指数及 PCA 主成分分析,分析居住区绿地植物多样性特征及其与社会经济因子之间的关系。结果表明,太原市居住区绿地中维管束植物 146 种,隶属于 39 科、73 属,其中乔木 101 种,灌木 45 种。53% 的居住区绿地中的乔木物种数为 11~20 种,而 51% 的居住区绿地中的灌木物种数为 5 种及以下,乔木物种的丰富度和均匀度均明显高于灌木物种。PCA 排序结果显示,城镇居民人均可支配收入、城镇居民人均消费性支出及房龄是影响植物多样性水平的主要因子。

关键词:居住区绿地;植物多样性;社会经济因子;太原市

中图分类号:S731.5;Q948.2;Q16;F326.23 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0086-08

引文格式:刘亦涵,武小钢,杨秀云,等.太原市居住区绿地植物多样性特征及其与社会经济因素相关性研究[J].

林业调查规划,2023,48(4):86-93. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.014

LIU Yihan, WU Xiaogang, YANG Xiuyun, et al. Characteristics of Plant Diversity and Its Co-relationship with Socioeconomic Factors in Residential Areas of Taiyuan City[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 86-93. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.014

Characteristics of Plant Diversity and Its Co-relationship with Socioeconomic Factors in Residential Areas of Taiyuan City

LIU Yihan¹, WU Xiaogang², YANG Xiuyun², CHEN Xiaoping¹,
WANG Chunling¹, WANG Rong¹

(1. College of Urban and Rural Construction, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China;
2. College of Forestry, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China)

Abstract: Based on the survey of plant diversity in 45 residential areas in Taiyuan City, Shanxi Province, plant diversity index and principal component analysis were used to analyze the characteristics of plant diversity in residential quarter green space and its relationship with social and economic factors. The results showed that there were 146 species of vascular plants, belonging to 73 genera and 39 families, including 101 species of arbors and 45 species of shrubs. The number of arbor species in the green space of 53% residential areas was 11 to 20 species, while the number of shrub species in 51% residential areas was 5 species or less. The richness and evenness of arbors were significantly higher than those of shrubs.

收稿日期:2022-01-20.

基金项目:国家青年基金项目(32001369).

第一作者:刘亦涵(1997-),女,山西临汾人,硕士研究生.研究方向为城市生态与生物多样性研究. Email:2015083407@qq.com

责任作者:武小钢(1977-),男,山西偏关人,博士,教授.研究方向为城市生态与生物多样性研究. Email:wxc354@163.com

The results of PCA ranking showed that per capita disposable income of urban residents, per capita consumption expenditure of urban residents and housing age were the main factors affecting the level of plant diversity.

Key words: residential quarter green space; plant diversity; socioeconomic factor; Taiyuan City

了解和掌握城市生物多样性变化和维持的驱动因素及其作用机制是保护和改善城市生物多样性格局的基础^[1]。居住区是城市居民生活起居的基本设施,分布广且数量大,居住区绿地植物多样性水平直接影响着城市绿化质量和城市生物多样性水平^[2-3],进而影响城市生态系统服务供给能力以及人类福祉和可持续发展。

与自然生态系统不同的是,社会和经济因子对城市建成区植物多样性具有显著影响。上海市居住区植物丰富度呈随房价上涨而增加的趋势^[4],北京市居住区的植物多样性则与房屋建成时间显著正相关^[5]。对 Arizona 凤凰城居住区绿地植物多样性变化的驱动力研究表明,物种丰富度与房屋密度呈负相关,而与家庭收入和住房年龄呈正相关^[6]。浇水和施肥等管理活动对英国谢菲尔德市居民花园小型植物种群维持和增加物种多样性方面发挥重要作用^[7]。对澳大利亚东南部城镇的研究表明,物种丰富度与居民收入及教育水平呈正相关^[8]。

由于居住区开发模式的不同,国外研究案例所获得的有关房屋密度、管理活动、居民受教育程度等与植物多样性关系的结论并不能直接照搬来认知我国城市居住区绿地植物多样性水平及其影响因素。国内早期研究大多关注居住区园林植物多样性^[9-11]和植物景观配置模式^[12-13],植物多样性与社会和经济要素关系研究的案例较少^[4-5,14]。此外,国内数量有限的研究案例中采用了物业费、距市中心距离、容积率、房价等变量^[4-5,14],而房价和物业费中掺杂了诸多干扰因素,如后续周边配套设施的建设、交通环境的改善、政府开发及学区房特色等,经济因子对植物多样性的影响水平难以得到准确阐释。因此,明晰居住区绿地植物多样性维持机制,进而探讨可能的政策、管理策略,需要寻找更为准确、合理和更好解释力的社会和经济因子。

1 研究区概况

太原市属暖温带大陆性季风气候,全年光能热量十分充足,干湿季节分明^[15]。独特的地理位置、复杂的地貌形态和特征鲜明的气候条件使其可承载

丰富的植物资源^[16],园林绿化中应用的植物种类也较为多样,木本植物有 49 科 97 属 239 种,其中乔木树种 131 种、灌木树种 104 种^[17]。

太原是国务院批复确定的中国中部地区重要的中心城市^[18]。全市总面积 6 988 km²,绿化覆盖面积 15 617 hm²,城市建成区绿化覆盖率达 43.38%。截至 2019 年末,常住人口 446.19 万人,城镇人口 380.36 万人,城镇化率 85.25%,城镇居民人均住宅建筑面积 38.0 m²^[19-20]。全年城镇居民人均可支配收入 36 362 元,人均消费支出 21 305 元。

2 研究方法

2.1 样地选取

本研究从太原房天下网站(<https://taiyuan.fang.com/>)的开放接口获取了太原市城六区内住宅区的基本数据。采用基于关键社会经济变量的抽样策略时考虑空间区域因素,将容积率按 0.3~1.0、1.0~3.0、3.1~5.0 及 5.0 以上进行梯度划分,在每个行政区中进行随机抽样。该抽样方法可以区分不同社会经济地位人群的住房类型。因个别行政辖区内缺少容积率过低或过高的居住区,最后共计选取 45 个居住小区进行植物群落调查(图 1),样地的基本情况见表 1。

2.2 植物多样性调查

采用改进 Whittaker 方法进行取样^[21],每个小区随机布设 20 m × 50 m 的样方 3 个,每个样方内设 2 个 20 m × 5 m 乔木样方和 5 个 2 m × 5 m 灌木样方(图 2)。对每一个样方内维管束植物的种类、株高、冠幅、胸/地径进行记录^[22]。

2.3 物种多样性指标选取与计算

在众多生物多样性研究方法中,物种多样性指数已成为一种被广泛应用的测定手段,由于学者对多样性问题的理解存在差异,多样性定义也就各不相同。通常物种多样性可归纳为 3 种涵义:种的丰富度、种的均匀度或平衡度以及种的综合多样性^[23]。本研究运用群落生态学原理,结合野外实地调查情况,选取能够较好地反映多样性特征的 Patrick 指数、Simpson 指数、Shannon - Wiener 指数和 Alatalo

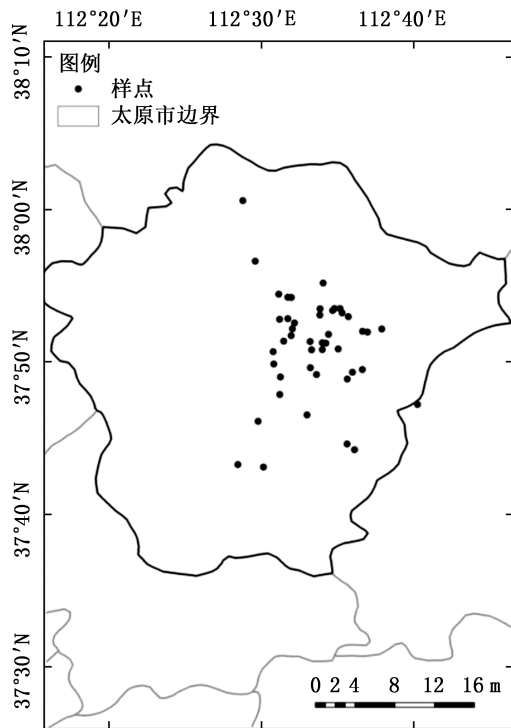


图 1 研究区域及样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling points in survey area

表 1 样地基本情况

Tab. 1 Characteristics of the survey sites

编号	名称	容积率 /%	绿地率 /%	房龄 /a
1	翡翠山庄	0.37	52	15
2	龙观天下	0.60	45	7
3	纳帕溪谷	0.68	50	2
4	汇隆花园	0.90	35	10
5	山水文园	1.00	40	7
6	老军营南区	1.20	20	19
7	丰颂苑	1.20	25	15
8	漪汾小区	1.27	20	19
9	一品嘉园	1.50	20	10
10	湖畔小筑	1.50	40	6
11	文庭半里	1.60	40	4
12	红枫小区	2.00	30	25
13	兰亭国际	2.41	35	4
14	锅炉厂宿舍西区	2.45	30	33
15	朝阳佳园	2.45	25	25
16	山西医科大学桃南家属院	2.45	22	30
17	十二院城	2.48	35	0
18	中铁三局宿舍	2.50	14	37

续表 1

编号	名称	容积率 /%	绿地率 /%	房龄 /a
19	怡和熙园	2.60	50	10
20	星河湾小区	3.00	48	0
21	景都花苑	3.00	40	7
22	光明小区	3.15	19	14
23	迎泽家园	3.21	19	12
24	中景花园	3.24	28	16
25	万达天玺	3.25	35	6
26	迎泽苑小区	3.34	37	25
27	长风小区	3.40	35	17
28	双水湾小区	3.40	40	8
29	圣湖万花年城	3.40	40	2
30	东苑小区	3.45	26	12
31	万科紫台	3.50	35	2
32	机床厂小北门宿舍	3.56	19	57
33	7080 国际青年城	3.60	35	3
34	龙湖易居	3.60	40	15
35	小北门供电局宿舍	3.65	35	16
36	龙昌滨河源	3.68	26	4
37	梧桐花园小区	3.80	31	7
38	华城小区	3.80	40	4
39	鸿峰花园	3.88	29	14
40	晋府公寓	4.31	25	13
41	丰硕苑	4.66	20	12
42	太铁佳苑	4.88	25	4
43	明泰领秀长风	4.99	57	2
44	怡和中馨城	5.62	35	1
45	滨河花苑	8.30	32	13

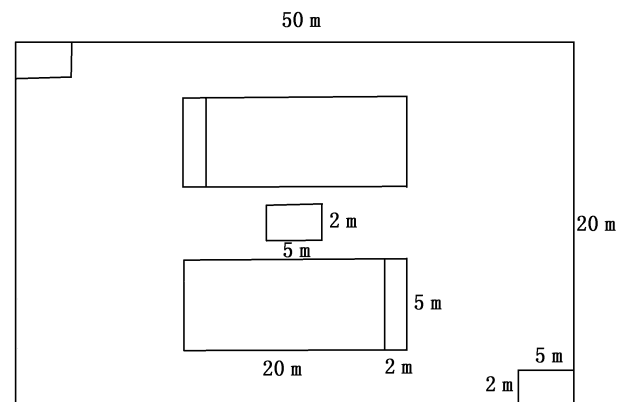


图 2 改进 Whittaker 方法取样方示意图

Fig. 2 Sketch map of modified Whittaker plot

指数,对居住区植物多样性作出恰当的描述,计算公式为:

(1) Patrick 指数(R)^[23]:

$$R = S \quad (1)$$

(2) Simpson 多样性指数(D)^[24]:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2 \quad (2)$$

(3) Shannon-Wiener 指数(H)^[24]:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (3)$$

(4) Alatalo 指数(Ea)^[25]:

$$Ea = 1 / \left(\sum_{i=1}^s P_i^2 \right) - 1 / \exp \left(- \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \right) - 1 \quad (4)$$

式中: S 为种 i 所在样方的物种总数; P_i 为种 i 的相对重要值,由公式 $P_i = N_i / N$ 计算得出,其中 N_i 为种 i 的重要值, N 为种 i 所在样方的各物种的重要值之和。

2.4 社会经济驱动因子

为能够准确反映居住区社会经济水平,并出于对数据真实性和可获得性的考量,社会经济因子除容积率($X1$)、绿地率($X2$)和房龄($X3$)外,还选取了城镇居民人均可支配收入($X4$)、城镇居民人均消费性支出($X5$)、人均居住支出($X6$)和城乡居民人均储蓄存款年末余额($X7$),数据来源于《2020山西统计年鉴》^[26]。需要注意的是,由于年鉴中可获得的社会经济变量数据库的分辨率有限,无法处理城市级别以下的可能变化,因此,同一年份建成的住宅小区的 $X4$ 、 $X5$ 、 $X6$ 、 $X7$ 数据是相同的。

2.5 数据处理

考虑到经济变量自带的相关联的共同趋势属性会使解释变量间存在一定程度的多重共线性,选择PCA主成分分析植物多样性与社会经济因子的关系。该方法运用降维的思维将原本高度相关的自变量转换成相互独立的个体,转换后的变量即为主成分,能够反映原始数据的大部分信息,PCA分析及绘图在Origin 2019软件中完成。

3 结果与分析

3.1 植物种属组成

本次调查共记录146种维管束植物,隶属39科、73属。其中蔷薇科(*Rosaceae*)植物的种类最多,高达42种,其次分别为木犀科(*Oleaceae*)14种、柏科(*Cupressaceae*)11种和豆科(*Leguminosae*)10种;包含种类最多的属依次为苹果属(*Malus* Mill.)

(9种)、桃属(*Amygdalus* L.) (8种)及李属(*Prunus* L.)、丁香属(*Syringa* Linn.)和圆柏属(*Sabina* Mill.) (皆为6种)。按照生活型划分,乔木共计101种,占总物种数的69.18%,灌木45种,占30.82%,乔灌植物种类配置比例为2.2:1。

3.2 物种多样性

图3(a)显示,不同居住区园林绿化植物的物种丰富度差异较大。乔木Patrick指数的最高值、最低值和均值(37.3, 12.02)皆大于灌木(24.0, 6.38)。分段比较发现,53%的居住区绿地中的乔木物种数目在11~20种,6~10种和≤5种的乔木物种数目分别占小区总数的24%和18%;51%的小区灌木种数≤5种,31%的小区灌木种数在6~10种,种数大于10种的仅占16%。

Shannon-Wiener指数是一种基于信息理论的测量指数;Simpson多样性指数又称为优势度指数,是对多样性集中性的度量^[27]。二者既与丰富度关系密切,又受到均匀度的较大影响,是可以全面反映多样性变化的综合指标。由图3(b)、(c)可知,研究区乔、灌木Shannon-Wiener指数的最高值和最低值相差悬殊,乔木数值变化范围为0.42~3.19,灌木变化范围为0~2.44。乔木Simpson指数值范围为0.50~0.95,灌木Simpson指数值域为0.00~0.89。乔木的Shannon-Wiener指数和Simpson指数的平均值皆高于灌木的这两项指标均值。两类指数值在不同居住区的不同生长型植物间的变化趋势基本保持一致,即Shannon-Wiener指数值高的居住区其Simpson指数值也相对较高。分段比较发现,乔木Shannon-Wiener指数值在1.501~2.25和2.251~3这两个区间所占的比重相同,均是36%,指数值≤0.75或>3的小区数量也相等,都只占调研居住区总数的4%,另外还有24%的住宅小区的多样性指数值在0.751~1.5范围;灌木Shannon-Wiener指数基本都≤2.25,指数值位于≤0.75、0.751~1.5和1.501~2.25范围内的小区分别占24%、47%和24%,数值比2.25高的居住区的比例极小,仅为4%,且无大于3的灌木多样性指数。乔木Simpson指数值主要集中于0.801~1,处于0.401~0.60和0.601~0.80数值阶段的住宅小区各占9%和31%;灌木Simpson指数在各优势度水平的占比较为均衡,从低到高依次为9%、13%、31%、33%和13%。

与生物多样性研究中最常选用的Pielou指数不同,Alatalo指数与物种丰富度无关,反映的是植物群落中不同物种多度分布的均匀程度^[28]。图3(d)

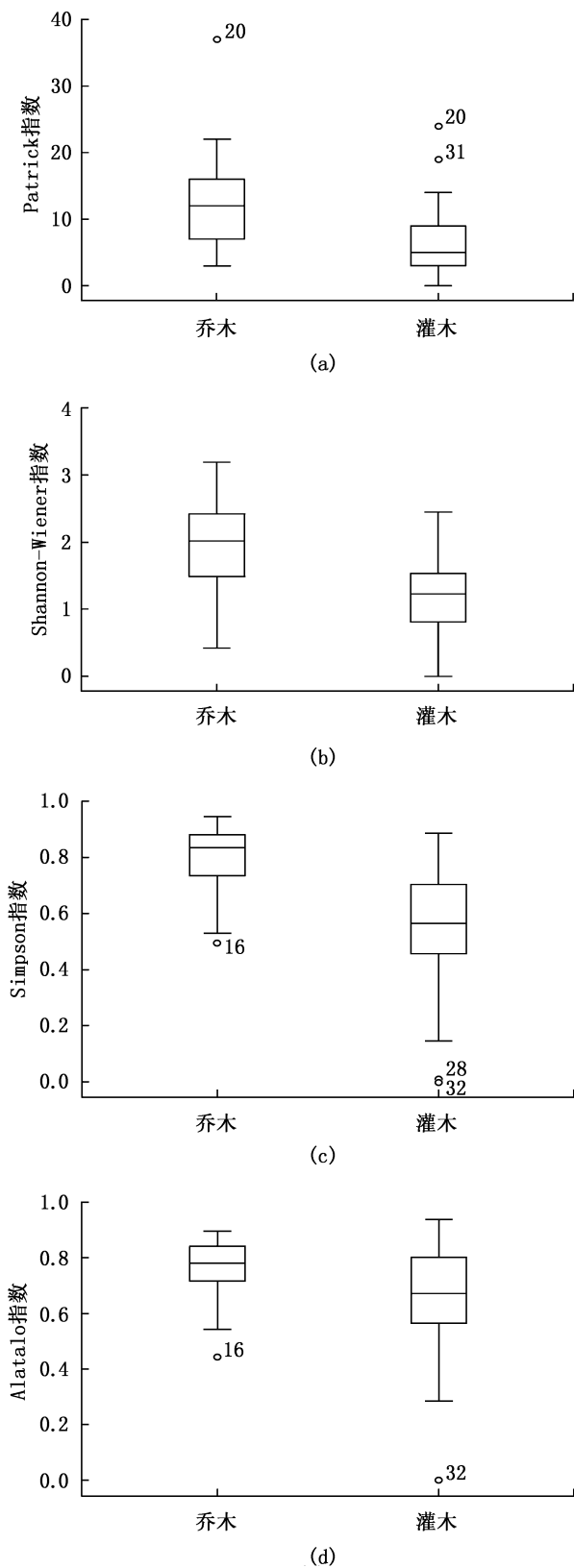


图 3 不同生活型植物多样性特征
 Fig. 3 Diversity characteristics of different life forms of plants

显示,乔木 Alatalo 指数值波动距离相对较短且总体

处于较高水平,峰值为 0.89,谷值为 0.45,平均值为 0.76;灌木整体均匀度稍差,均匀度指数极差大,具体体现在数值上的表现为:灌木 Alatalo 指数值最高达 0.94,最低至 0,均值为 0.66。分段比较发现,数值范围在 0.601~0.80 的乔木均匀度指数占全部指数的 53%,在 0.801~1 指数范围的占 36%的比重,11%的乔木 Alatalo 指数值居于 0.401~0.60 范围;灌木 Alatalo 指数在各区段均有占比,其中多数指数 >0.60,≤0.60 的指数仅占 33%。

3.3 居住区植物多样性与社会经济因素的关联性

为使 PCA 更准确地挖掘社会经济因素与居住区植物多样性的相关关系,需对样本中少量数据属性明显不同的离群值做抛弃处理。在 SPSS 22.0 软件中使用箱形图法进行数据清洗,共剔除 5 个样本(图 3 中的离群点)。PCA 结果如图 4 所示。

40 个样地在图中呈一定规律分布,反映出不同的植物多样性特征。PC1、PC2(即主成分 1 和主成分 2)分别能够解释总体方差的 71.10%和 15.59%。PCA 图中用带箭头的线段象征社会经济指标,线段投影到水平和垂直轴上的值可以体现该指标对 PC1 和 PC2 的贡献性,线段的长度表示影响强度,线段间夹角的余弦值代表社会经济因子间的关联程度(正负及大小)。7 个社会经济变量中仅房龄与第一轴呈负相关,其余的变量都与第一轴呈正相关,PC1 对房龄和 4 个经济指标具有较容积率和绿地率更强的解释力;容积率、城镇居民人均可支配收入、人均居住支出与第二轴正向相关,绿地率、房龄、城镇居民人均消费性支出和城乡居民人均储蓄存款年末余额与第二轴负向相关,容积率和绿地率在 PC2 上的负荷权重远大于其它几个因子。4 个经济指标彼此间存在显著的正相关关系,且皆与房龄显著负相关,与容积率、绿地率正相关;房龄与容积率和绿地率负相关。城镇居民人均可支配收入和城镇居民人均消费性支出对植物多样性特征影响最大,其次为房龄和城镇居民人均储蓄存款年末余额,影响程度最小的是容积率和绿地率,说明经济指标和时间是影响研究区植物多样性水平的关键因素。

4 结论与讨论

4.1 结论

太原市居住区绿地植物共计 39 科、73 属、146 种,灌木物种数量远小于乔木种数,乔灌用量比约为 2.2:1。45 个住宅小区的物种丰富度多集中在平均

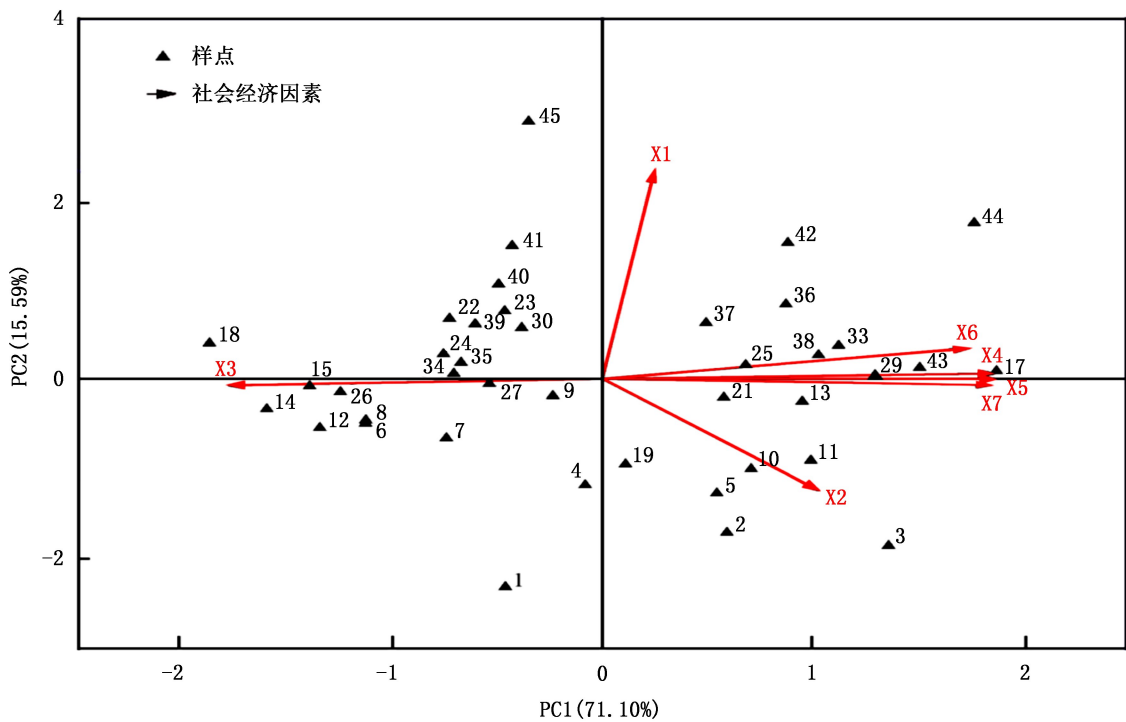


图 4 40 个样地的 PCA 二维排序

Fig. 4 PCA two-dimensional ordination of 40 plots

范围内、均匀度基本处于较高水平,4类8种物种多样性指数均值大小关系皆为乔木>灌木。城镇居民人均可支配收入和城镇居民人均消费性支出以及房龄是最重要的社会经济驱动因子。

4.2 讨论

4.2.1 居住区绿化植物构成

太原市规划城市建设用地范围内的园林绿化木本植物有 49 科、97 属、239 种^[17]。样地中调查到 39 科、73 属、146 种木本植物,分别占太原市城市绿地木本植物科、属、种的 79.59%、75.26%、61.09%,充分表明居住区绿地在城市植物多样性建设与管理中的重要价值。其中蔷薇科植物 42 种,占总植物种数的 28.77%,比值远远大于其他植物科,与 Wang 等在北京居住区植物多样性研究中得到的栽培种植物选择偏好结论类似^[4]。此外,木犀科、柏科和豆科的许多种在群落中常为优势种或建群种,如蔷薇科的月季灌丛和黄刺玫灌丛、木犀科的丁香灌丛、柏科的圆柏林和侧柏林、豆科的刺槐林等都属于太原优势植被类型。调查结果显示,太原市居住区绿地的园林植物中,属内仅应用一个种的共计 42 属,占总属数的 57.53%、占总种数的 28.77%,而全球植物分类中单属单种的只有椴木属(*Kerria* DC.)、杜仲属(*Eucommia* Oliv.)和银杏属(*Ginkgo* L.)3 属^[29]。

这一现象表明,太原市居住区绿地植物种类高度集中在少数属,同时也反映出这些属在城市中可利用种的挖掘已趋近饱和,而本研究中所显示的单种使用的非单型属或可优先成为下一步提高城市植物多样性的重要物种来源。

4.2.2 居住区植物多样性特征

乔木 Simpson、Shannon-Wiener 指数大多高于平均值,灌木 Simpson 指数值高低参差,但大体也都维持在中等偏上水平;乔木 Alatalo 指数分布较为紧凑且总体偏高,灌木 Alatalo 指数间差距显著但基本亦比平均水平高,这表明太原市居住区绿地植物普遍种类较为多样,且各物种间的数量配比较均衡。居住区不同生活型植物的物种多样性比较结果表现为 4 类 8 种植物多样性指数各自的平均值大小关系排序均是乔木>灌木,说明太原市居住绿地中乔木层不仅植物物种数目更多,个体分配的均匀度也更好,由多种丰度相似的物种组成的植物群落的多样性也更高;灌木层应用的种类相对有限,均匀度较低。就各生活型植物内部的多样性特征来看,乔木 Patrick 指数高的前 10 个样本与 Alatalo 指数值最大的 10 个并不完全重叠,结合前期调查得到的各样地植物物种组成及数量特征可以发现,部分小区存在明显优势种,少数物种贡献了大多数个体,这一现象表

明,物种丰富度高的植物群落未必均匀性也越高,这个规律也同样适用于灌木。因此,在构建居住区植物景观时应以生态学理论为基础,选择植物多样化的种类并均衡搭配,复杂的物种组成结构和丰富的绿化层次非但可以提高植物多样性,还能够增加生态系统的稳定性。

4.2.3 居住区植物多样性的主要社会经济影响因素

在居住区绿地这样的典型城市生境中,人为景观改造对物种筛选与分布产生的隐性或显性影响不容忽视,前者是受社会、经济、文化等多重因素综合驱使发生的人类活动,后者具体表现为城市的植物多样性。研究结果显示,城镇居民人均可支配收入、城镇居民人均消费性支出和房龄具有较好的解释作用,是影响太原市居住区绿地植物多样性的重要因子。城镇居民人均可支配收入和城镇居民人均消费性支出这两个经济学指标能够体现出居民的经济实力和消费理念,基本生存型和发展享受型消费所占比重的此消彼长表明居民消费观念的转变,进而映射出公众需求产生的变化,而最基础的生理需要必然会促使能够显著提升生活环境质量的住宅小区绿化模式发生改变。

不同发展水平的城市植物种类组成相异性很高^[1],本组成区域内的苗圃植物种及获取成本也会随之发生变动,从而直接影响到居住区的植物多样性水平。另一类主要社会经济驱动因素房龄^[4-5,14]是经济时间^[30]维度上的复合变量,其还包含房屋建成当年的社会经济状况和城市生产力发展水平,也是对科学技术进步程度、种质资源开发利用能力、出台的居住区建设法律法规政策、颁布的城市绿化条例、房地产开发潮流趋势、公众认知及相关学术领域的研究热点等诸多方面要素的综合反映。由于作为城市生态系统服务基础的城市植物多样性会受到如政府政策^[31]和城市设计^[32]等“下行效应”以及社会经济水平^[33-34]和房主个人偏好^[35]等“上行效应”的影响^[5],因此,糅合多元效应的房龄对居住区绿地植物多样性特征具有较强的影响效果。

从经济发展水平十分落后的年代进入到社会经济持续快速健康发展时期,较长时间跨度内居住区绿地植物多样性的提高会受到城市化进程的制约或推动,经济因子是这个阶段最主要的影响因素。欧美国家在把社区或家庭的社会和经济状况与植被覆盖和物种丰富度相联系的研究结果表明,居住区植物多样性水平的高低更多地取决于住房密度、居民收入水平、受教育程度、需求偏好及户主维护活动等

因素^[6-8]。而我国特有的居住区开发建设和管理模式下,居民职业结构、社会阶层等因素在影响居住区绿地植物组成和结构的作用十分有限。本研究中绿地率和容积率对植物多样性特征影响微弱的结果在一定程度上表明,针对居住区绿地建设生物多样性指标的法律法规政策是未来居住区绿地作为生物多样性保护重要建设空间作用能否发挥的根本保障,今后有必要在《城市居住区规划设计规范》中补充相关条目。

社会学研究认为联系纽带中的认同意识是社区构成的重要因素之一,由于城市居民的受教育程度不同,接触的文化内容各异,形成了异质性较强的社会心理文化结构群体,而要把生态文明建设化为人民自觉行动的重要前提在于强化公民生态意识,加强生物多样性保护宣传教育有助于切实增强人民群众的生态意识,除了被动的理论学习过程,更重要的是将其付诸于实践活动。通过政府调控居住区绿色配套基础设施建设、房地产景观设计师科学合理地应用植物物种并进行专业配置,增加城市居民与多样化的自然接触的机会。国外研究证明,与自然进行互动可以影响人类对自然的感知和保护自然的看法与愿望^[36],公民只有切身获得过自然带来的好处,才能更加深刻地认识到维持和提高生物多样性的重大意义,而为了满足其自身对多样性更高的优质居住环境的需求刺激产生的内向驱动力或许才是对城市居住区绿地植物多样性得以实现实质性的保护及提升的关键。生态文明教育和普及生物多样性保护具有重要意义促使公众生态意识的觉醒并带动居住需求升级,进而推动房地产开发商更新认知、规划设计师提高专业度。

参考文献:

- [1] 何荣晓. 城市化对植物多样性的影响——以海口市为例[D]. 海南:海南大学,2016.
- [2] 林萍,马建武,彭建松,等. 昆明市住宅小区中植物物种多样性现状及分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2007,29(10):55-60.
- [3] 宋坤,秦俊,高凯,等. 上海居住区植物多样性的均质化[J]. 应用生态学报,2009,20(7):1603-1607.
- [4] 黄玥,陈玉,何宇娟,等. 社会经济因素对上海市居住区植物多样性的影响[J]. 应用生态学报,2019,30(10):3403-3410.
- [5] WANG H F, QURESHI S, KNAPP S, et al. A basic assessment of residential plant diversity and its ecosystem services and disservices in Beijing, China[J]. Applied Geography,

- 2015, 64: 121-131.
- [6] HOPE D, GRIES C, ZHU W, et al. Socioeconomics drives urban plant diversity [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2003, 100: 8788-8792.
- [7] THOMPSON K, AUSTIN K C, SMITH R M, et al. Urban domestic gardens (I): Putting small-scale plant diversity in context [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2003, 14: 71-78.
- [8] LUCK G W, SMALLBONE L T, O'BRIEN R. Socioeconomics and vegetation change in urban ecosystems: Patterns in space and time [J]. *Ecosystems*, 2009(12): 604-620.
- [9] 罗庆龙, 卢秀兰, 黄济文. 南宁市住宅小区园林植物多样性研究 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(7): 2952-2954.
- [10] 王红兵, 焦春梅, 胡永红. 上海城镇居住区园林植物多样性研究 [J]. *北京园林*, 2008, 24(4): 40-43.
- [11] 曾双贝, 张利, 朱勇. 昆明市新建居住区园林植物群落多样性分析及评价 [J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(27): 11719-11720.
- [12] 张慧君. 太原市新建居住区树种选择及植物配置模式探讨 [J]. *南方农业*, 2020, 14(23): 21-22.
- [13] 郑芷青, 杨颖仪, 周平德. 广州居住区园林植物景观配置模式探讨 [J]. *广州大学学报(自然科学版)*, 2010, 9(4): 50-55.
- [14] 陈盈贇. 居住区乔木多样性及其社会影响因子分析——跨城市对比研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2019.
- [15] 太原市地方志编纂委员会. 太原市志 [M]. 太原: 山西古籍出版社, 1999.
- [16] 蔚萍, 郭跃东, 白晋华, 等. 太原市域种子植物区系分析 [J]. *山西农业科学*, 2018, 46(4): 606-611.
- [17] 郭华慧, 张芸香, 郭晋平. 基于树种多角度类型的太原市园林绿化树种应用现状与问题诊断 [J]. *山西农业科学*, 2017(6): 1-10.
- [18] 中华人民共和国中央人民政府官网. 国务院关于太原市城市总体规划的批复 [EB/OL]. (2000-06-14): http://www.gov.cn/gongbao/content/2000/content_60407.html.
- [19] 山西省统计局. 2019年山西省人口变动情况抽样调查主要数据公报 [Z]. 2019.
- [20] 太原市统计局. 太原市2019年国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. (2020-04-13). <https://stats.taiyuan.gov.cn/tigh/20200413/942104.html>.
- [21] 梁继业, 于春堂, 杨晓晖. 改进的 WHITTAKER 方法: 一种多尺度的嵌套式植物多样性取样方法 [J]. *水土保持研究*, 2007, 14(1): 226-229, 233.
- [22] 刘天慰. 太原植物志 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990.
- [23] 张金屯. 植被数量生态学方法 [M]. 北京: 中国科学出版社, 1995: 44-45, 58-67.
- [24] PIELOU E C. *Ecological diversity* [M]. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 1975.
- [25] HURLBERT S H. The Non-concept of species diversity, a critique and alternative parameters [J]. *Ecology*, 1971, 52: 577-586.
- [26] 山西省统计局. 2020山西统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [27] SIMPSON E H. Measurement of diversity [J]. *Nature*, 1949, 163: 688.
- [28] 杨振寅, 苏建荣, 李从富, 等. 元谋干热河谷主要植物群落物种多样性研究 [J]. *林业科学研究*, 2008, 21(2): 200-205.
- [29] 李锡文. 中国种子植物区系统计分析 [J]. *云南植物研究*, 1996, 18(4): 363-384.
- [30] 姚祖熙, 王卫农. 经济时间及其管理初探 [J]. *浙江经济*, 1990(6): 46-48.
- [31] CONWAY T M, URBANI L. Variations in municipal urban forestry policies: A case study of Toronto, Canada [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2007(6): 181-192.
- [32] WALKER J S, GRIMM N B, BRIGGS J M, et al. Effects of urbanization on plant species diversity in central Arizona [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7: 465-470.
- [33] HOPE D, GRIES C, ZHOU W X, et al. Socioeconomics drive urban plant diversity [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100: 8788-8792.
- [34] AVOLIO M L, PATAKI D E, TRAMMELL T L E, et al. Biodiverse cities: The nursery industry, home-owners, and neighborhood differences drive urban tree composition [J]. *Ecological Monographs*, 2018, 88: 259-276.
- [35] LARSEN L, HARLAN S L. Desert dreamscapes: Residential landscape preference and behavior [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 78: 85-100.
- [36] DUNN R R, GAVIN M C, SANCHEZ M C, et al. The pigeon paradox: Dependence of global conservation on urban nature [J]. *Conservation Biology*, 2006, 20: 1814-1816.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.015

基于层次分析法的北京动物园动物运动场地被植物综合评价

崔雅芳, 崔滢心, 李艳辉, 张恩权

(北京动物园, 北京 100044)

摘要: 动物运动场的地被植物对动物福利、展示效果、生态效益有着重要意义。为了科学地开发利用现有地被植物资源, 提高动物运动场的生态展示效果, 实施更有针对性的管护手段, 对北京动物园动物运动场地被植物进行实地调查。利用层次分析法对地被植物的生长状况、观赏特性及适应性进行综合评价及分级。结果表明, 涝峪薹草等 25 种地被植物开发利用价值高, 泥胡菜等 27 种开发利用价值较高, 天名精等 20 种开发利用价值较低, 枸杞等 11 种不具有开发利用价值。根据评价结果对 7 个具有代表性的动物场馆的 23 个室外运动场进行聚类分析, 按不同管护特征将其分为易于管理、较好管理、不好管理、难以管理四类。

关键词: 北京动物园; 地被植物; 开发利用价值; 管护难度; AHP; 综合评价; 聚类分析

中图分类号: S711; Q948.2; P964 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)04-0094-06

引文格式: 崔雅芳, 崔滢心, 李艳辉, 等. 基于层次分析法的北京动物园动物运动场地被植物综合评价[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4): 94-99. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.015

CUI Yafang, CUI Yingxin, LI Yanhui, et al. Comprehensive Evaluation of Ground Cover Plants in Animal Enclosure of Beijing Zoo Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 94-99. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.015

Comprehensive Evaluation of Ground Cover Plants in Animal Enclosure of Beijing Zoo Based on Analytic Hierarchy Process

CUI Yafang, CUI Yingxin, LI Yanhui, ZHANG Enquan

(Beijing Zoo, Beijing 100044, China)

Abstract: The ground cover plants in the animal enclosure are of great significance to animal welfare, display effect, and ecological benefits. To promote rational development and utilization of ground cover plants resources, and improve the ecological display effect of animal enclosure, more targeted management should be implemented for the plants in the animal enclosure, and field investigations on the distribution and biodiversity of ground cover plants in the animal enclosure of Beijing Zoo were conducted in this study. Analytic Hierarchy Process was used to comprehensively evaluate and classify the growth status, observation characteristics and adaptability of ground cover plants. The results showed that 25 species including *Carex giraldiana* had extremely high development and utilization value, 27 species such as *Hemistepta lyrata* had high development and utilization value, 20 species such as *Carpesium abrotanoides* had low development and utilization value, and 11 species such as *Lyeium chinense* had no development and utilization value.

收稿日期: 2022-02-25; 修回日期: 2022-03-25; 二次修回日期: 2022-03-28.

第一作者: 崔雅芳(1981-), 女, 北京人, 高级工程师. 从事动物园园林绿化工作. Email: 48985026@qq.com

责任作者: 张恩权(1969-), 男, 北京人, 研究员. 主要从事动物园设计及圈养野生动物行为管理工作. Email: rainhard@yeah.net

According to the evaluation results, cluster analysis of 23 animal outdoor enclosures in 7 representative animal enclosures was carried out, which were divided into four categories of easy managed, better managed, not well managed, and difficult managed according to different management characteristics.

Key words: Beijing Zoo; ground cover plants; development and utilization value; management difficulty; Analytic Hierarchy Process; comprehensive evaluation; clustering analysis

城市动物园是自然生态环境展示、生物多样性研究、生态保护教育的重要场所^[1]。地被植物在维持城市园林生物多样性和土壤肥力、涵养水源、保持水土、提高土地利用效率等方面有重要作用^[2]。动物运动场是动物的主要活动空间以及游客观赏的重要场所。出于动物对植被破坏以及饲养操作安全的考虑,运动场内乔灌木种植相对较少,地被植物往往成为展示空间的绿量和天然垫材。因此,株高 100 cm 以下低矮、株丛紧密的地被植物^[3]应用效果直接影响到游客的游览体验、动物福利和饲养员操作的便利程度,合理运用地被植物也成为提高动物福利和提升景观效果的重要手段。

近年来,国内外学者对于地被植物的抗逆性、多样性、园林应用都有比较广泛深入的研究。对北京地区地被植物的综合性评价也有一定的研究,如张皖清等对北京郊野地区的园林地被植物进行了评价和分级^[4],王德芳等对北京地区 6 种点缀型彩叶地被植物的应用效果进行了评价^[5],李晓鹏等对北京城市公园环境下自生植物的物种组成及多样性时空特征进行了分析^[6]。而涉及动物园范围的地被植物研究仅限于动物饲养区外的绿地,如崔玉琴等对地被植物在太原动物园提质扩容改造工程景观营造中的应用进行了总结^[7],樊江探讨了恢复自然植被对野生动物园生态园林建设的意义^[8]。国内对于动物运动场地地被植物的研究尚属空白。虽然动物运动场地地被植物种类丰富,但由于缺乏更有针对性的管护手段,导致其景观生态价值没有得到最大限度的发挥。为了更好地开发利用动物运动场地地被植物,本文对北京动物园象房、长颈鹿馆、黑猩猩馆、金丝猴馆、大熊猫馆、狮虎山、熊山这 7 个动物场馆的 23 个动物运动场内的地被植物进行详细调查,并采用层次分析法对其开发潜力进行综合评价,对分级后的地被植物所占每个运动场的面积进行统计以及聚类分析,以此为动物运动场地地被植物的开发利用和后期管理提供理论依据。

1 材料与方

1.1 研究地概况

北京市地理位置为北纬 39°54', 东经 116°23',

地带性植被属北部暖温带落叶阔叶林。海拔 20~60 m, 年均温 10~12℃, 年均降水量 626 mm。北京动物园总占地面积 86 hm², 园内展出动物种类 450 余种 5 000 余只。本次调查根据运动场面积、动物类别等选取室外运动场进行实地调查。

1.2 调查方法

调查采用样方法和五点取样法,按梅花形选取样方,在 23 个运动场内均匀选取数个 1 m × 1 m 的方形样地,各样点样方数根据物种分布情况进行相应调整。同时记录运动场面积、植物品种、数量、群落组成、所占比例等。本调查共选取样方 202 个。

1.3 评价方法

根据动物运动场地被植物的实际情况,采用层次分析法,参考他人的评价体系^[9-14],得到北京动物园地被植物质量评价模型(表 1)、地被植物质量评价模型判断矩阵及一致性检验(表 2)及评分标准(表 3)。通过构建综合评价的层次结构模型、判断矩阵及评分标准,对所调查的地被植物的景观质量进行综合评价及分级。

表 1 北京动物园动物运动场地被植物质量评价模型
Tab. 1 Evaluation model of ground cover plants quality in animal enclosure of Beijing Zoo

目标层(A)	准则层(B)	指标层(C)	方案层(D)
地被植物 质量综合 评价	生长特性 (B1)	株高(C1)	D1, D2, D3, D4, ..., 待评 价的地被植 物, ..., Dn-1, Dn
		生活型(C2)	
		茎类型(C3)	
	观赏特性 (B2)	盖度(C4)	
		绿期(C5)	
		叶色(C6)	
		质地(C7)	
	适应特性 (B3)	花期花色(C8)	
		干扰性(C9)	
		抗旱抗寒性(C10)	
抗破坏力(C11)			
抗病虫害(C12)			

表 2 北京动物园动物运动场地被植物质量评价模型判断矩阵及一致性检验

Tab. 2 Judgment matrix and consistency test of ground cover plant quality evaluation model in animal enclosure of Beijing Zoo

A 质量 综合性评价	B1 生长 特性	B2 观赏 特性	B3 适应力	W 单排序
A-B B1 生长特性	1	1/2	1/4	0.1373
B2 观赏特性	2	1	1/3	0.2395
B3 适应特性	4	3	1	0.6232

注:一致性检验结果为 $\lambda_{\max} = 3.018, CR = 0.018$ 。

B1 生长特性	C1 株高	C2 生活 型	C3 茎类 型	C4 盖度	W 单排序	W 总排序
B1-C C1 株高	1	2	2	1/3	0.2216	0.0304
C2 生活型	1/2	1	2	1/3	0.1581	0.0217
C3 茎类型	1/2	1/2	1	1/5	0.0960	0.0132
C4 盖度	3	3	5	1	0.5243	0.0720

注:一致性检验结果为 $\lambda_{\max} = 4.065, CR = 0.024$ 。

B2 观赏特性	C5 绿期	C6 叶色	C7 质地	C8 花期 花色	W 单排序	W 总排序
B2-C C5 绿期	1	3	2	2	0.4231	0.1013
C6 叶色	1/3	1	1/2	1/2	0.1225	0.0293
C7 质地	1/2	2	1	1	0.2272	0.0544
C8 花期 花色	1/2	2	1	1	0.2272	0.0544

注:一致性检验结果为 $\lambda_{\max} = 4.010, CR = 0.004$ 。

B3 适应特性	C9 干扰 性	C10 抗旱 抗寒 性	C11 抗破 坏力	C12 抗病 虫害	W 单排序	W 总排序
B3-C C9 干扰性	1	2	1/2	1	0.2272	0.1416
C10 抗旱 抗寒性	1/2	1	1/3	1/2	0.1225	0.0763
C11 抗破 坏力	2	3	1	2	0.4231	0.2637
C12 抗病 虫害	1	2	1/2	1	0.2272	0.1416

注:一致性检验结果为 $\lambda_{\max} = 4.010, CR = 0.004$ 。

表 3 北京动物园动物运动场地被植物质量量化评分标准

Tab. 3 Quantitative scoring standards for ground cover plant quality in animal enclosure of Beijing Zoo

评分 /分	株高 /cm	生活型	茎类型	盖度	绿期 /d	叶色	质地	花期 花色	干扰性	抗逆性	抗破坏力	抗病 虫害
5	<30	多年生	平铺型、匍匐型	自然生长覆盖度 $\geq 80%$, 全年不露土	>250	墨绿	植株光滑	花期长或观赏性强	对动物无干扰	喜阳、耐阴、抗旱、耐寒、耐瘠薄	生长力强, 具有外观或结构或化学防御手段	抗病虫害力强, 不易感染病虫害
3	30~ <60	自播繁衍, 一二年生	丛生型	自然生长覆盖度达 40%~80%	150~250	中绿	植株被毛	花期花色一般	对动物有轻微影响(如汁液、轻微缠绕、轻微气味等)	喜阳、耐半阴, 需适量浇水, 较耐瘠薄	生长力较强或具有防御手段	抗病虫害力一般
1	60~ 100	一二年生	直立性、攀援型	自然生长覆盖度 <40%	<150	黄绿	植株表面粗糙	花期极短或无观赏性	对动物有较严重影响(如枝、刺、附着、飞絮、严重缠绕、刺激性气味等)	不耐旱, 不耐瘠薄, 不耐寒	生长力弱, 不具有防御手段	抗病虫害力较差, 易发生病虫害

2 结果与分析

2.1 地被植物物种组成分析

通过调查、整理和分析,共记录地被植物 83 种,隶属 31 科、73 属,包括草本植物 69 种、藤本植物 12 种、木本 2 种,占比分别为 83.13%、14.46%、

2.41%,多年生草本 36 种,一二年生草本 33 种,草本植物占据地被植物种类的主导地位。品种较为集中的有菊科(Compositae)16 属、21 种,禾本科(Poaceae)10 属、10 种,茄科(Solanaceae)3 属、5 种,唇形科(Labiatae)4 属、4 种,旋花科(Convulvace-

ae)4 属、4 种,共 5 科、44 种,分别占地被植物总科数和总种数的 16.13%和 53.01%,成为动物运动场地被植物的主要组成部分。自生地被植物 71 种,占比 85.54%;单科单属植物 17 种,分别占地被植物总科数和总种数的 54.84%和 20.48%,成为动物运动场地被植物的重要组成部分,并在一定程度上反映了动物运动场地被植物的丰富性和多样性。

2.2 地被植物综合评价

2.2.1 综合评价及分级

根据表 3 的量化评分标准对每种地被植物的指标进行评分,再根据权重计算出的综合评价值(表 4)。将综合评价值分为 4 个等级,其中 I 级(>4.0),II 级(4.0~>3.5),III 级(3.5~3.0),IV 级(<3.0)。等级为 I 级的有涝峪藁草、马齿苋、委陵菜等 25 种地被植物,开发利用价值较高;II 级的有泥胡菜、篇蓄、夏至草等 27 种,开发利用价值较高,可适度或小规模开发;III 级的有天名精、圆叶牵牛、栝楼等 20 种,开发利用价值较低;IV 级的有枸杞、苍耳、马唐等 11 种,不具有开发利用价值。

表 4 北京动物园动物运动场地被植物综合评价及分级

Tab. 4 Comprehensive evaluation and classification of ground cover plants in animal enclosure of Beijing Zoo

序号	种名	综合评价值	等级
1	涝峪藁草 <i>Carex giraldiana</i>	4.7819	I
2	马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	4.5861	I
3	委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	4.5687	I
4	诸葛菜 <i>Orychophragmus violaceus</i>	4.4725	I
5	紫花地丁 <i>Viola philippica</i>	4.3463	I
6	翅果菊 <i>Lactuca indica</i>	4.3263	I
7	白颖藁草 <i>Carex rigescens</i>	4.3031	I
8	朝天委陵菜 <i>Potentilla supina</i>	4.2913	I
9	蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>	4.2523	I
10	草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	4.2155	I
11	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>	4.2045	I
12	旋覆花 <i>Inula japonica</i>	4.2005	I
13	附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i>	4.1895	I
14	白车轴草 <i>Trifolium repens</i>	4.1719	I
15	刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i>	4.1521	I
16	田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i>	4.1409	I
17	马蔺 <i>Iris lactea</i>	4.1215	I
18	打碗花 <i>Calystegia hederacea</i>	4.1191	I
19	平车前 <i>Plantago depressa</i>	4.0853	I

续表 4

序号	种名	综合评价值	等级
20	斑种草 <i>Bothriospermum chinense</i>	4.0853	I
21	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	4.0411	I
22	乌莓莓 <i>Cayratia japonica</i>	4.0321	I
23	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	4.0303	I
24	扶芳藤 <i>Euonymus fortunei</i>	4.0187	I
25	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	4.0149	I
26	玉蜀黍 <i>Zea mays</i>	3.9109	II
27	泥胡菜 <i>Hemistepta lyrata</i>	3.9061	II
28	萝藦 <i>Metaplexis japonica</i>	3.9015	II
29	篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i>	3.8991	II
30	萎蒿 <i>Artemisia selengensis</i>	3.8957	II
31	虎杖 <i>Reynoutria japonica</i>	3.8925	II
32	夏至草 <i>Lagopsis supina</i>	3.8881	II
33	鹅肠菜 <i>Myosoton aquaticum</i>	3.8623	II
34	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	3.8519	II
35	北京隐子草 <i>Cleistogenes hancei</i>	3.8367	II
36	三叶地锦 <i>Parthenocissus semicordata</i>	3.7927	II
37	五叶地锦 <i>Parthenocissus quinquefolia</i>	3.7927	II
38	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	3.6975	II
39	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	3.6837	II
40	巴天酸模 <i>Rumex patientia</i>	3.6797	II
41	抱茎小苦蕒 <i>Ixeridium sonchifolium</i>	3.6701	II
42	钻叶紫菀 <i>Symphyotrichum subulatum</i>	3.6485	II
43	铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	3.6463	II
44	活血丹 <i>Glechoma longituba</i>	3.6295	II
45	麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>	3.5961	II
46	荚果蕨 <i>Matteuccia struthiopteris</i>	3.5575	II
47	鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	3.5531	II
48	野豌豆 <i>Vicia sepium</i>	3.5447	II
49	黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	3.5403	II
50	苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	3.5339	II
51	青杞 <i>Solanum septemlobum</i>	3.5223	II
52	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	3.5141	II
53	天名精 <i>Carpesium abrotanoides</i>	3.4369	III
54	圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i>	3.4223	III
55	栝楼 <i>Trichosanthes kirilowii</i>	3.4155	III
56	鸡矢藤 <i>Paederia foetida</i>	3.4107	III
57	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i>	3.3831	III
58	牵牛 <i>Ipomoea nil</i>	3.3637	III
59	鸭跖草 <i>Commelina communis</i>	3.3115	III
60	野艾蒿 <i>Artemisia lavandulifolia</i>	3.3007	III

续表 4

序号	种名	综合评价价值	等级
61	龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	3.2959	Ⅲ
62	牛至 <i>Origanum vulgare</i>	3.2913	Ⅲ
63	酸浆 <i>Physalis alkekengi</i>	3.2781	Ⅲ
64	甘菊 <i>Chrysanthemum lavandulifolium</i>	3.2615	Ⅲ
65	葎草 <i>Humulus scandens</i>	3.2481	Ⅲ
66	小藜 <i>Chenopodium ficifolium</i>	3.1563	Ⅲ
67	藟 <i>Cirsium japonicum</i>	3.1473	Ⅲ
68	茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	3.1457	Ⅲ
69	菊芋 <i>Helianthus tuberosus</i>	3.1085	Ⅲ
70	狼把草 <i>Bidens tripartita</i>	3.0565	Ⅲ
71	紫苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	3.0495	Ⅲ
72	大车前 <i>Plantago major</i>	3.0279	Ⅲ
73	枸杞 <i>Lycium chinense</i>	2.9373	Ⅳ
74	婆婆针 <i>Bidens bipinnata</i>	2.9125	Ⅳ
75	黄花蒿 <i>Artemisia annua</i>	2.9039	Ⅳ
76	益母草 <i>Leonurus japonicus</i>	2.8293	Ⅳ
77	小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i>	2.8271	Ⅳ
78	黄瓜 <i>Cucumis sativus</i>	2.7103	Ⅳ
79	苍耳 <i>Xanthium strumarium</i>	2.6863	Ⅳ
80	稗 <i>Echinochloa crus-galli</i>	2.6775	Ⅳ
81	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	2.5943	Ⅳ
82	番茄 <i>Solanum lycopersicum</i>	2.5727	Ⅳ
83	青蒿 <i>Artemisia carvifolia</i>	2.3225	Ⅳ

2.2.2 不同类型动物运动场地被植物分级面积的聚类分析

对每个动物运动场样方内地被植物按上述分级统计其所占面积,采用 SPSS Statistics 24.0 软件对 23 个动物运动场的地被植物生长区域进行 K 均值聚类,差异具有统计学意义($P < 0.05$) (表 5)。

由表 5 可知,4 级地被植物在动物运动场生长区域可以进行归类,可将 23 个动物运动场的管护特征分为易于管理、较好管理、不好管理和难以管理四大类。

3 结论与讨论

3.1 结论

通过对北京动物园动物运动场内地被植物的实地调查,结合相关文献资料,利用层次分析法对地被植物的生长状况、观赏特性及适应性 3 个方面进行综合评价及分级。评价结果详见表 4。从评价结果

表 5 23 个动物运动场的聚类分析结果

Tab. 5 Cluster analysis results of 23 animal outdoor enclosures

管理级别	运动场数量	运动场名称	管护特征
一类	4	亚洲象北、黑猩猩中、黔金丝猴南东、大熊猫奥运馆东	第Ⅲ级的地被植物面积异常大,第Ⅰ、Ⅳ级适中,第Ⅱ级最小。易于管理
二类	8	非洲象南、黑猩猩馆东、川金丝猴南侧中、大熊猫亚运馆南、大熊猫亚运馆中、长颈鹿东、棕熊中、东北虎	第Ⅰ级的地被植物面积最大,第Ⅱ、Ⅳ级最小。较好管理
三类	6	非洲象北、滇金丝猴北东、大熊猫亚运馆北、长颈鹿西、棕熊南、孟加拉虎	第Ⅱ级的地被植物面积较小,其余 3 个适中。不好管理
四类	5	亚洲象南、黑猩猩馆西、大熊猫奥运馆西、大熊猫奥运馆中、亚洲黑熊	第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级的地被植物面积均等。难以管理

看,基本上反映了动物运动场地被植物的实际价值。Ⅰ级地被植物生长状况好,抗破坏力强,观赏特性强;Ⅱ级地被植物生长状况良好,抗破坏力较强,观赏特性好;Ⅲ级地被植物具有一定的抗破坏力和观赏特性;Ⅳ级地被植物多数对动物有一定干扰性,如苍耳、枸杞等。根据地被植物生长面积的聚类分析结果,结合地被植物的基本情况对动物运动场进行管护,才能够提高动物运动场的空间利用率,确保动物福利的积极状态。

3.2 讨论

本研究在实地调查和查阅资料的基础上,基于北京动物园动物运动场对于地被植物的景观需求,确定了地被植物的综合评价指标及标准,利用层次分析法构建评价模型,得到适用于动物运动场的地被植物综合价值排序,这避免了对地被植物性状进行定性描述时人为的局限性^[4]。由于动物的行为活动有别于人类,地被植物的抗破坏性成为判断模型评价矩阵的最重要因素。地被植物的抗破坏性主要根据植物的自身特性决定,判定指标包括外观(低矮的或拟态的),结构防御(包括刺突、革质叶等),化学防御(特殊气味等),生长速度等。通过综合评价结果,优先选用评分高且效果好的地被植物种类进行重点培养、推广应用,对评分低且效果差的地被植物进行有计划的梳理清除,如枸杞、苍耳、茜

草等植物对动物活动范围有较为严重的影响,应作为重点进行清理。有些植物如番茄、玉蜀黍可能来自动物排泄物中的植物种子或游客投喂的植物果实,这一部分植物仅在个别动物运动场单独出现,不具有代表性,在未来的运动场管理工作中不做重点考虑。评价结果基本反映出不同种类的野生地被植物应用潜力大小,评分指标对北方地区动物运动场地被植物的选择与配置有一定的指导意义。虽然层次分析法具有科学合理性,但是地被植物评价体系中的一些指标无法精确定量,对最终评价结果会带来一定的影响,因此还需要不断进行完善。

不同类型的动物运动场条件差异很大,如灵长类、禽类动物运动场的土壤有机质含量及理化性质良好,地被植物生长繁茂;食草动物由于啃食践踏等原因,运动场往往寸草不生;食肉动物运动场虽然客观上拥有创造优良地被景观的客观条件,却往往由于场地小、灌溉设施不足等诸多因素,导致景观效果不佳。通过对动物运动场的聚类分析,可对后续动物运动场地被植物的养护管理起到一定的指导作用。动物运动场地被植物存在时空转换时物种优势度的变化,这也是未来研究的方向。不同应用特点的地被植物其评价的侧重点不同,通过对不同类型目标的综合分析,生态质量在地被植物质量中占十分重要地位,因此在进行地被植物选择时不仅要考虑地被植物的景观效果,更应注重其生态质量^[15]。在营造动物运动场地被景观时,还要结合具体的动物品种、饲养密度、动物原产地景观类型、环境现状以及饲养员需求,选择适合生长的具有优良观赏特性的地被植物。

出于饲养操作安全的要求,园林养护人员不能对动物运动场进行常规操作,常年的累积导致动物运动场拥有大量丰富的城市自生植物,这类残存生境和生物对维护城市的生态平衡发挥了重要作用^[16-17]。这些无需过多养护管理、可自播繁衍、野趣十足的自生植物在构建可持续、低维护园林植物景观中具有重要地位,相比城市栽培群落可更好地发挥生态效益^[6]。从研究结果来看,北京动物园动物运动场地被植物总体情况良好,植物多样性程度高,群落组合丰富,但也有部分运动场地被植物过度生长造成空间利用率降低、防护设施失效等困扰。

通过开展动物园地被植物评价有助于科学指导动物园地被植物的优化及养护管理。地被植物有利于动物运动场的水土保持、地表的增湿降温、为动物提供更加丰富多样的自然垫面。为游客和动物提供

全方位的生态展示是未来动物园发展的方向,同时也是提高动物福利、提升动物运动场空间质量的重要手段。

参考文献:

- [1] 鸣长茵,李冰. 生命、自然与可持续发展——浅谈大连森林动物园规划设计原理[J]. 规划师,2000(1):40-41.
- [2] 赵雪乔. 北京地区12种地被植物应用性评价[D]. 北京:中国林业科学研究院,2015.
- [3] 中国农业百科全书编辑部. 中国农业百科全书观赏园艺卷[M]. 北京:中国农业出版社,1996.
- [4] 张皖清,郝培尧,滕依辰,等. 北京郊野地区园林地被植物综合评价与分级[J]. 西北林学院学报,2015,30(5):252-257.
- [5] 王德芳,郑志勇. 北京地区6种点缀型彩叶地被植物应用效果评价[J]. 江苏农业科学,2013,41(11):211-214.
- [6] 李晓鹏,董丽,关军洪,等. 北京城市公园环境下自生植物物种组成及多样性时空特征[J]. 生态学报,2018,38(2):581-594.
- [7] 崔玉琴,王宏剑. 地被植物在太原动物园提质扩容改造工程景观营造中的应用初探[J]. 科技与创新,2019,20:144-145.
- [8] 樊江. 野生动物园自然植被恢复与生态园林建设[J]. 新疆林业,2010(5):37-39.
- [9] 罗彩云,朱彩华. 榆林市草坪地被植物的应用与评价[J]. 榆林学院学报,2020,30(6):38-42.
- [10] 张宜芹. 南昌市野生观赏地被植物的综合评价研究[J]. 湖北植保,2019(6):117.
- [11] 褚茜. 江苏省城市园林地被植物资源调查与应用研究[D]. 南京:南京林业大学,2012:30-33.
- [12] 吴昊. 基于AHP的武汉市宿根地被植物综合评价[J]. 中国农学通报,2020,36(7):63-68.
- [13] 段传宏,彭祖强,周毅,等. 淮河源园林地被植物综合评价及分级[J]. 西部林业科学,2017,46(2):50-51.
- [14] 熊肱,陈榕,姜帅,等. 张家界市园林地被植物景观质量评价与应用研究[J]. 水土保持通报,2018,38(5):307-308.
- [15] 王业社,陈立军,杨贤均,等. 湖南云山野生地被植物资源及其综合评价分析[J]. 草业学报,2015,24(7):30-40.
- [16] CLEMANTS S, MOORE G. Patterns of species diversity in eight northeastern United States cities[J]. Urban Habitats, 2003,1(1):4-16.
- [17] CRANE P, KINZIG A. Nature in the metropolis[J]. Science, 2005,308(5726):1225-1225.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.016

善洲林场林分特征与火灾防控研究

左军宏¹,王金波¹,王加庆¹,王劲²,张文文²,王秋华²

(1. 施甸县善洲林场,云南 施甸 678200; 2. 西南林业大学 土木工程学院,云南省森林灾害预警与控制重点实验室,云南 昆明 650224)

摘要:依据善洲林场 1988—2021 年 33 年的森林火灾统计资料和近 11 年来善洲林场森林防火取得的成绩,总结、分析善洲林场森林防火发生的特点,探索森林火灾发生的大致规律。结合本地的气候、地形地貌、林分结构、和可燃物及火源等,提出了完善基础设施建设,排查重点火灾区域隐患,落实森林防火工作制度,加强管控火源和督查巡查,以及森林防火队伍建设等适合善洲林场特点的森林火灾防控对策。

关键词:林分特征;森林火灾;防控措施;善洲林场

中图分类号:S718.542;S762.34 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0100-05

引文格式:左军宏,王金波,王加庆,等. 善洲林场林分特征与火灾防控研究[J]. 林业调查规划,2023,48(4):100-104,181. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.016

ZUO Junhong, WANG Jinbo, WANG Jiaqing, et al. Characteristics and Prevention and Control Countermeasures of Forest Fire in Shanzhou Forest Farm[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 100-104, 181. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.016

Characteristics and Prevention and Control Countermeasures of Forest Fire in Shanzhou Forest Farm

ZUO Junhong¹, WANG Jinbo¹, WANG Jiaqing¹, WANG Jin², ZHANG Wenwen², WANG Qiu-hua²

(1. Shidian Shanzhou Forest Farm, Shidian, Yunnan 678200, China; 2. College of Civil Engineering, Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: Based on the 33-year forest fire statistics of Shanzhou Forest Farm from 1988 to 2021 and the achievements of Shanzhou Forest Farm in the past 11 years, the characteristics of forest fire prevention in Shanzhou Forest Farm were summarized and analyzed, and the general rules of forest fire occurrence were explored. According to the local climate, terrain, forest structure, combustible materials and fire sources, measures were proposed to improve infrastructure construction, identify hidden dangers in key fire areas, implement forest fire prevention work systems, strengthen fire source control and inspection, and build forest fire prevention teams that were suitable for the characteristics of Shanzhou Forest Farm.

Key words: stand characteristics; forest fire; prevention and control measures; Shanzhou Forest Farm

收稿日期:2022-03-02.

基金项目:国家自然科学基金(32160376,31960318,31901322);云南省农业联合面上项目(2018FG001-055);云南省教育厅 2022 年研究生科学研究项目(2022Y606).

第一作者:左军宏(1990-),男,云南保山人,工程师.从事基层林业资源培育与管理研究.

责任作者:王秋华(1978-),男,福建长汀人,教授,博士生导师.从事森林防火教学科研工作.

森林防火是我国生态文明建设的安全保障,是国家应急管理的重要内容,事关森林资源和人民生命财产安全,事关国家生态安全,森林防火责任重于泰山^[1-2]。善洲林场是全国地方党性教育特色基地和国家生态文明教育基地,森林覆盖率 87.52%,是周边乡镇的水源地,也是怒江水系部分一二级支流的水源地,保护和发展好善洲林场对生态文明建设意义重大^[3]。

善洲林场地形起伏变化不大,但一部分林区边缘地势陡峭,地形情况相对复杂,加之林木茂密,林下可燃物积累多,一旦发生森林火灾,扑救难度大,易造成巨大损失。通过对善洲林场区位、气候、地形地貌、林分结构、可燃物及火源等方面分析,结合多年来善洲林场森林防火工作取得的经验,探讨善洲林场森林火灾发生特点及防控措施,提出更加适合善洲林场今后森林防火工作的措施和对策。

1 研究区概况

善洲林场位于云南省保山市施甸县,由原保山地委书记杨善洲同志退休后牵头于 1988 年 3 月创办^[4-5]。现下设大亮山营林区和摩苍营林区,其中大亮山营林区位于县城南部,最高海拔 2 618.8 m,最低海拔 1 800 m,地理坐标为东经 99°9'4"~99°15'54",北纬 24°32'47"~24°35'39",地处姚关、酒房、旧城 3 个乡山顶交界处。摩苍营林区位于县城东部,最高海拔 2 895.4 m,最低海拔 1 930 m,地理坐标为东经 99°14'16"~99°17'14",北纬 24°42'40"~24°45'40",地处木老元乡西部、摆榔乡北部、甸阳镇东部、仁和镇北部。土壤类型分布具有垂直地带性的特点,土类随海拔高度分布,红壤分布在 1 800~2 200 m,黄壤 2 100~2 400 m,黄棕壤 2 400~2 618 m。善洲林场是怒江水系部分一二级支流的水源地,是紧靠林区下部 6 个乡镇的山顶水源发源地,林区内有周边村寨 30 多个取水点,为灌溉和水土保持提供了保障。善洲林场经营管护总面积 4 554 hm²,其中建成森林面积 4 513.4 hm²,占林场总面积的 99.11%,森林覆盖率达 97%,是名副其实的“天然氧吧”,活立木蓄积量达 33 万 m³,物种逐年丰富。主要树种有华山松(*Pinus armandii*)、桤木(*Alnus cremastogyne* Burk.)、木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)、栎属(*Quercus* L.)、马缨杜鹃(*Rhododendron delavayi* Franch.)、直干桉(*Eucalyptus maideni* F. V. Muell.)和其他阔叶树种。华山松和直干桉是人工种植,其他为天然更新。

2 林场火环境

善洲林场自 1988 年建场以来共发生森林火灾 11 次,累计受害森林面积 356 hm²,无人员伤亡。森林火灾给林场造成部分生态破坏,也带来一定损失。但几次火灾均被及时发现,及时扑灭,过火面积不大,未给林场植树造林、护林养林、恢复生态带来伤害。

2.1 气象因素

善洲林场地处我国西部季风气候区,受南孟加拉高压气流影响形成高原季风气候,盛行南部季风,其中以西南季风为主,5—10 月在暖湿气流的控制下,区域内降水充沛,湿度大,故形成湿季^[6-7]。根据善洲林场 2010—2020 年各项气象数据统计分析,每年 5—10 月年均降雨量 777.7 mm,占年降雨量的 82%。11 月至翌年 4 月为旱季,冬春季节气候干燥,降雨很少,降雨量仅 167.4 mm,占年降雨量的 18%。善洲林场年均温 17.6℃,年温差较小,一般不超过 10℃,是云南省年温差最小的地区之一^[8]。善洲林场的气候特点是“四季不明,干湿分明”,主要表现在林区内大部分地区四季分配特点是冬无严寒,夏无酷暑,全年无霜期 273 d。每年 3—4 月降雨量极少,月均不足 30 mm,为善洲林场森林防火紧要期。异常高压是研究区域降水减少主要的原因^[9],因此 2020—2021 年善洲林场的森林防火紧要期延长至 5 月下旬,总时长达到 4 个月,高于云南省平均水平^[10]。高火险期内水分蒸发量大,气候干燥,林下可燃物积累量大,稍有不慎,极易引发森林火灾。

2.2 地形因素

善洲林场 2 个营林区主峰梁子呈南北走向,海拔高差较大,相对高差 1 095.4 m。结合 1:10 000 地形图及野外实际调查数据,运用 ArcGIS 软件提取林场范围内的坡度、坡向等地形因子,综合对林场用地进行地形分析可知,林场过半区域(70.14%)的坡度均在 25°以下(缓坡),林场西部区域较东部区域地势更为平坦;坡度大于 25°的土地大部分分布在林场东南及东北部林场边缘区域。从坡向来看,林场 42% 区域位于南坡向,阳光充足,适宜林木生长。善洲林场 1988—2010 年森林火灾统计分析见图 1。23 年来善洲林场在阳坡位置发生森林火灾 8 起(占比 72.73%),阴坡位置发生 3 起。

2.3 各因素间紧密联系

森林防火是林区重要工作,是保障林业资源安

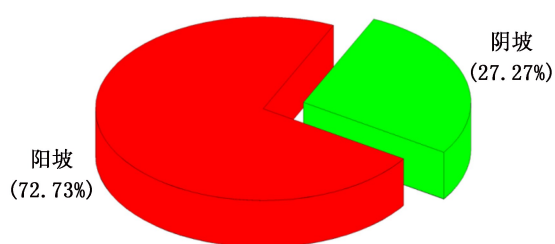


图 1 善洲林场火灾发生坡向统计

Fig. 1 Slope statistics of fire incidents in Shanzhou Forest Farm

全和林区生态完整的关键内容,对于林区以及周边百姓的生命财产有直接影响^[11]。1988—2020年,善洲林场发生的森林火灾均由人为引起,其中63.34%火灾由烧地引起,剩下36.36%由烧荒导致。善洲林场地处周边6个乡镇的交汇处,20个行政村的村民在林区林缘从事生产生活活动,每年有大量游客到善洲林场参观学习。随着森林防火宣传深入人心,绝大多数人员能严格按照要求不在林区和林缘违规用火。但林缘交汇处由于地形复杂、边界线长,林场对林缘实际的有效管护难以达到理想水平,特别是森林防火期内赶上过年、清明节、五一节等重要节日,受春耕等农事活动影响,不能确保完全将火种和火源挡在林区外。近年来,随着林木的良好生长,枯落物和腐殖质也越积越多,森林郁闭度越来越高,造成林区可燃物清理难度大,每年有效清理不足。森林防火期内,气候干燥,特别是高火险期内基本无雨的特点,可燃物极易被引燃^[12],林场森林防火工作面临极大压力。

3 林场林分特征

林分火险由时间和空间两大火灾危险水平构成,时间因素与环境因子变化相关,而空间因素则与森林特性、立地条件相关^[13-14]。善洲林场林木起源分为天然林和人工林,天然林分布在林场中部、东部及南部,主要为阔叶林和针阔混交林;人工林分布在北部及东部,南部有零星分布,主要为针叶林和针阔混交林。由于森林群落各层次的种类结构、空间结构和数量差异,表现出的易燃性、燃烧性不同。对同一林分而言,若地表可燃物的载量占比较大且冠层垂直连续性强,那极易由地表火转化成高能量的树冠火。相反,地表可燃物载量所占比重小,冠层不连续分布,林分火险就相对较小^[15]。

3.1 林分起源

善洲林场的森林类型主要可分为针叶林、阔叶

林、针阔混交林3个类型,90%为复层林。优势树种组成主要有华山松、木荷、栎类、桤木及其他阔叶树种;针叶林有华山松林和杉木林,全部为人工林;阔叶林为天然林。善洲林场人工林经过30多年的生长已成为成熟林且密度大,郁闭度高,由于前期营林活动只考虑乔木林,加之前期人为活动频繁,因此人工林灌木层盖度较小。近10多年来由于人为活动减少,人工林下草本层生长迅速,枯落物增多且积累形成腐殖层,可燃物载量较大,森林防火期内极易引发森林火灾。

善洲林场天然林自林场成立以来主要以保护为主,期间对一部分区域生长状况差的部分树木进行过森林抚育作业,剩下一部分自建场以来未进行过人工干预,保持自然原始风貌。天然林部分由于人工干扰较少,总体来看乔灌草组成丰富,密度大,建场以来未对林下可燃物进行过清理,林下积累了大量的枯落物和腐殖质。同一天气、地形条件下林分可燃物载量越大,特别是易燃可燃物比重越大,其潜在火险就越高^[16]。森林防火期内气候干燥、植被含水率低、林层结构丰富、可燃物载量巨大,并且林间空间密闭、连续性增强,森林防火和预防扑救面临巨大压力^[17]。

3.2 林分分布

针叶林和阔叶林分布在不同区域但相对集中,针阔混交林主要是在林场发展过程中补植补造华山松形成。经过33年的良好管护,林区已形成幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林各个龄段结构,郁闭度高,从上到下依次分布乔冠草结构各种植物。树木的良好生长也使得林下累积了大量的枯枝落叶、各种死树等大量可燃易燃物,据实际调查发现林下针叶林枯落物沉积厚度平均3cm,阔叶林平均5cm,混交林平均3.5cm;由于部分地区地形陡峭加上雨季雨水冲刷,有些地点枯落物积累厚度可达10cm。进入森林防火期,由于边线长,周边村寨多,生产生活活动多,游客众多,加之“善洲林场不冒烟”任务,给善洲林场森林防火工作带来极大考验。

3.3 林相林层结构及树种组成

从林相方面看,善洲林场有阔叶纯林、针阔混交林、针叶纯林3种林相。优势树种比例明显,如图2所示。

从图2可知,优势树种天然更新阔叶林面积、蓄积量占林地面积和林场蓄积量比重最大,其次是人工林树种华山松。优势树种主要是其他阔叶树种、华山松、栎类、杂灌、桤木、直干桉、云南松,华山松和

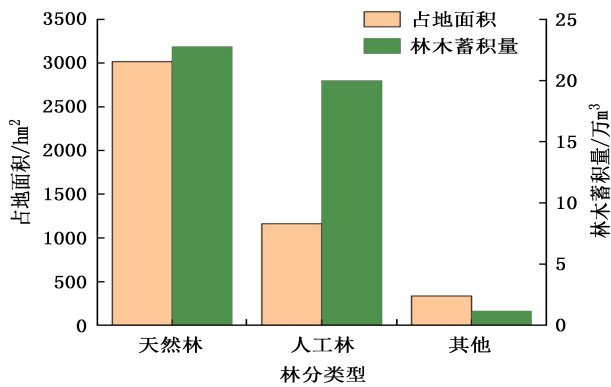


图 2 善洲林场不同林分林木面积与蓄积量

Fig. 2 Area and volume of different forest stands in Shanzhou Forest Farm

直干桉属于人工种植,其他为天然更新,除摩苍营林区灌木林地面积 378.7 hm² 外,森林植被有乔、灌、草 3 层复层林完整体系。

林分潜在火险受可燃物床层的连续性和载量层次分布状况的影响很大^[18-19]。从整体上看,善洲林场针阔混交林比重最大,相较于针叶纯林的抗火性较好,但是其森林植被有乔、灌、草 3 层复层林完整体系,林下枯落物及腐殖质积累更多,一旦发生森林火灾,极易形成树冠火和地下火同时并存的情况,加之扑救难度大,从而形成破坏性极大的森林火灾。

针叶纯林极易发生森林火灾,阔叶林抗火性较好,但是混有针叶林的阔叶林也极易发生森林火灾,加之针阔混交林植被也有乔、灌、草 3 层复层林完整体系,所以也存在极大风险。善洲林场大部分纯林为华山松,其次主要是云南松,均是含油脂树木;由于封山育林及人为活动的减少,林下积累大量的枯落物。华山松和云南松的针叶油脂含量高,受火灾危害严重,树皮厚度小、导热系数大、氧指数小,火烧时树皮对内部皮部和形成层活组织的保护作用有限,耐火性差^[20-21],森林防火期内极易引发森林火灾。纯林部分虽基本无灌木,但含油脂枯落物较多,草本层丰富,加之松树类林木本身的易燃性,森林防火期内存在很大风险,一旦发生森林火灾,极易爆发性形成地层火和树冠火。由于林区森林覆盖率高且集中连片,极易传导形成更大危害的森林大火。

3.4 林分结构

林场幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林面积比例和蓄积比例如图 3 所示。

从图 3 可知,林分集中在中龄林、近熟林,成熟林和幼林比例较低。这也说明善洲林场多年来植树

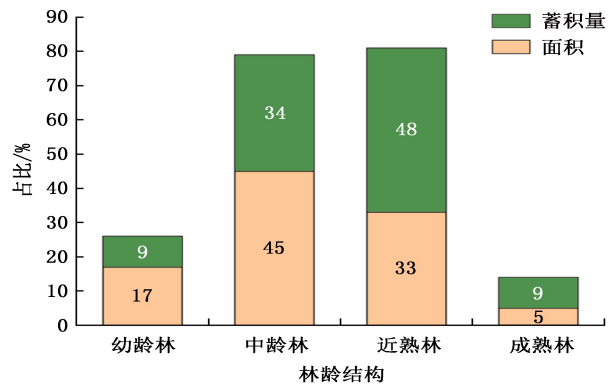


图 3 善洲林场不同林龄林木面积与蓄积量占比

Fig. 3 Area and volume proportion of forest trees of different ages in Shanzhou Forest Farm

造林、管护和防火取得了重要成效。但也应面对新形势,采取新措施,保护好林场。

善洲林场管护措施到位,林木生长良好,中高郁闭度(0.4~1)林地占大部分,且善洲林场林木大部分为中龄林和近成熟林,见图 4。

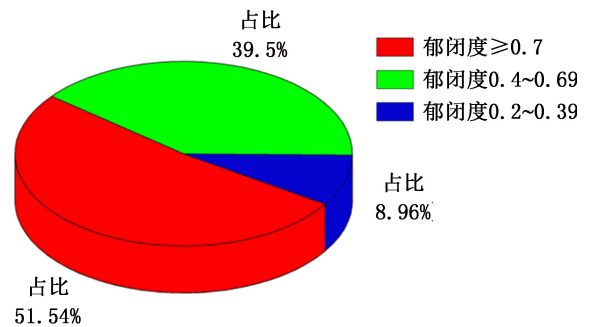


图 4 善洲林场林木郁闭度占比情况

Fig. 4 Proportion of forest canopy density in Shanzhou Forest Farm

疏郁闭度林区一般是幼龄林区,相比中高郁闭度林区草本层和灌木层生长更丰富;每年 1—5 月森林防火期内,由于干燥少雨的气候,易形成大量可燃物,加之阳光直射强,水汽蒸发快,若管护措施不到位极易引发森林火灾。相比疏郁闭度林区,善洲林场中高郁闭度林区基本为中龄林和近成熟林,其生长代谢旺盛,积累有大量枯落物和腐殖质,可燃物载量相较于疏郁闭度林区更大,虽郁闭度高且阳光直射不强,水汽蒸发相对疏郁闭度林慢^[22],但由于保山地区的气候特点是冬春季干燥少雨,水汽蒸发量大,森林防火期内火灾隐患仍极大。

4 森林火灾防控对策

近年来,善洲林场森林防火能力显著提高,已连

续 11 年未发生过森林火灾。如何进行合理防控,更加科学合理做好善洲林场森林防火工作,保护好林场不受森林火灾威胁是当前工作中最突出的问题。

4.1 加强基础设施建设,排查火灾隐患

善洲林场现有基础设施较完善,但整体规划建设的科学完备性还有待加强,林场将根据实际情况同时结合云南省级森林防火阻隔系统规划建设进一步科学规划建设森林防火基础设施,全面考虑整个林区森林防火减灾需求。

排查重点火险区域隐患。善洲林场林间枯落物积累量大,树木生长茂盛。林场每年都对重点隐患区域进行排查和计划清除,应加强科学性和清理力度。同时,根据实际情况进行全面摸底调查,科学合理编制方案,积极向上争取项目,逐步对林区重点区域进行清理和排查,减少火灾隐患。

4.2 落实森林防火工作制度

进入森林防火期,认真落实森林防火各项法律法规,根据实际制定完善善洲林场各森林防火制度,要求每位职工认真学习森林防火法律法规和林场各项规章制度。

抓好森林防火负责制度。善洲林场森林防火由场领导负责总抓,与县人民政府签订《森林防火责任状》,与各林区和护林员签订森林防火责任状。进入防火期后,定期对各林区进行森林防火检查,发现问题及时纠正。按照与各点长和护林员签订的年度森林防火责任状,认真核查,将责任落实到每一个责任人。瞭望台、巡护点通力协作,重点时期严防死守。同时实行 24 小时值班带班制度,各位职工坚守岗位手机保持 24 小时通畅状态。发现森林火情,不瞒报不乱报,确保火情及时发现和处理。

4.3 加强管控火源及督查巡查

加强火源管理,保证森林防火期内禁止一切火源。进入森林防火期,善洲林场在黄泥沟哨所设立森林防火检查站,对进山人员收缴火种并进行森林防火宣传。特别是节假日高峰期,林场在各哨所和重点区域增设森林防火检查站,严禁将火源带入山中。

加强巡逻,排查重点区域。各哨所和森林防火检查站工作人员加大巡查巡护力度,加强火源管理,要求工作人员每月巡护天数不低于 25 d,巡护出勤情况纳入森林防火目标管理责任考核。林场森林防火督查小组定期到各个哨所、林区施工单位进行森林防火督查,发现存在安全隐患的应立即下发隐患整改通知书并要求立即整改。

4.4 加强森林防火队伍建设

为更有效促进林区和周边乡镇的森林防火工作,森林防火期内,林场专门成立以干部职工为主的 21 人应急扑火队。此外,每年县级主管部门安排专项经费,在善洲林场成立一支 15 人的专业扑火队,增设 6 个护林员岗位用以加强善洲林场防火能力。在森林火险紧要期确保“善洲林场不冒烟”。保山市森林消防直属中队抽调 10 名森林消防员到善洲林场部驻靠前驻防,协同互动。

进入森林防火期,上级主管部门专门邀请森林消防队和专家对林场全场职工、护林员、森林防火扑火队员进行岗前相关知识和技能培训。通过培训,理论知识和实际操作能力均大幅提高。同时,加强科技防火在森林防火中的运用。

5 结 论

善洲林场由于特殊的地位和林分结构,发挥了巨大的生态和社会效益。森林火灾是主要威胁,结合林场实际情况,可积极采取一些措施,如结合 2021 年第一次森林可燃物普查,进行合理的火险区划,在高危区和高风险区,防火期来临前清理主要道路两侧可燃物,同时采取林分抚育、修枝等措施,对森林可燃物进行有效调控。既可降低森林火灾的发生概率、增加森林生态系统的抗性,又能提高林区整体健康水平。根据善洲林场地形、地貌,选择适合的耐火树种,采取造林和生态修复措施,营建生物防火林带,将林分划成多个区域,分区控制,防止火灾大面积燃烧,这也是景观尺度的可燃物管理措施之一^[23]。

在多年的森林防火工作中,善洲林场积累了宝贵的经验。林场要紧跟时代步伐,不断完善森林防火预防和扑救措施,提高预防和扑救能力。在实际工作中不断改善不足,学习先进理论改进工作措施,结合科技创新日常预防和扑救技能。应以营林技术为主要手段,提高林分对林火的抗性,实现森林可持续经营。

参考文献:

- [1] 张巍,颜廷强. 新时代生态文明建设与森林防火工作[J]. 森林防火,2018,9(3):1.
- [2] 陶玉柱,杨会侠,刘春潇,等. 影响森林火灾发生规律的因子分析[J]. 安徽农业科学,2015,43(10):162-164.
- [3] 甘应娜. 善洲林场森林资源开发建设的影响[J]. 广东蚕业,2020,54(8):27-29. (下转第 181 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.017

内蒙古大兴安岭林火与气象因子关系研究

李婧¹, 白斯古楞², 虎日乐³, 李贺新⁴, 郭景怡⁵, 安慧君¹

(1. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 锡林郭勒盟林业工作站, 内蒙古 锡林浩特 026000; 3. 内蒙古自治区林业和草原种苗总站, 内蒙古 呼和浩特 010010; 4. 内蒙古自治区第二林业和草原监测规划院, 内蒙古 乌兰浩特 137400; 5. 林西县林业和草原局, 内蒙古 林西 025250)

摘要: 基于内蒙古大兴安岭 1990—2019 年森林火灾历史档案和同期气象因子的数据, 对该地区林火与气象因子间的相关性进行了研究。结果表明, 林火发生与气象因子间的关系密切。林火发生次数随着温度的升高和降水的减少呈上升趋势; 研究区日均相对湿度范围在 58%~62%, 火灾发生次数最多; 林火发生次数与日照时数、日均温、日最高温间均呈显著正相关; 过火面积与日均相对湿度间呈显著负相关, 与日照时数间呈显著正相关。

关键词: 森林火灾; 气象因子; 相关性分析; 回归分析; 大兴安岭; 内蒙古

中图分类号: S762.1; S716.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)04-0105-05

引文格式: 李婧, 白斯古楞, 虎日乐, 等. 内蒙古大兴安岭林火与气象因子关系研究[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4): 105-109, 176. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.017

LI Jing, BAI Siguleng, HU Rile, et al. Relationship between Forest Fire and Meteorological Factors in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 105-109, 176. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.017

Relationship between Forest Fire and Meteorological Factors in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia

LI Jing¹, BAI Siguleng², HU Rile³, LI Hexin⁴, GUO Jingyi⁵, AN Huijun¹

(1. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. Forestry Workstation of Xilin Gol League, Xilinhot, Inner Mongolia 026000, China; 3. Inner Mongolia Forestry and Grassland Seedling Station, Hohhot 010010, China; 4. Second Forestry and Grassland Monitoring and Planning Institute of Inner Mongolia Autonomous Region, Ulanhot, Inner Mongolia 137400, China; 5. Linxi Administration of Forestry and Grassland, Linxi, Inner Mongolia 025250, China)

Abstract: Based on the historical archives of forest fires and meteorological data of the same period from 1990 to 2019 in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia, the correlation between forest fires and meteorological factors was studied. The results showed that there was a close relationship between the occurrence of forest fire and meteorological factors. The number of forest fires increased with the increase of temperature and the decrease of precipitation; the daily average relative humidity ranged from 58% to 62%, and the fires occurred most frequently; the occurrence of forest fires was significantly positively correlated with sunshine duration, daily average temperature and daily maximum temperature; the burned

收稿日期: 2022-03-21.

基金项目: 内蒙古自然科学基金项目(2020MS03036); 内蒙古自治区教育科研“十三五”规划项目(2020MGH020); 内蒙古农业大学双一流项目(DC2100001172).

第一作者: 李婧(1997-), 女, 内蒙古乌兰察布人, 硕士研究生. 研究方向为 3S 技术应用与资源监测评价.

责任作者: 安慧君(1962-), 女, 黑龙江五常人, 教授. 研究方向为 3S 技术应用与资源监测评价.

area had a significant negative correlation with daily average relative humidity and a significant positive correlation with sunshine duration.

Key words: forest fires; meteorological factors; correlation analysis; regression analysis; Greater Khingan Mountains; Inner Mongolia

森林火灾是一个全球性问题,影响着森林资源的可持续性、生态环境安全,威胁着人类生命财产安全^[1]。IPCC 第五次评估报告指出,2003—2012 年全球平均温度较 1850—1900 年上升了 0.78℃^[2],随着全球气候变暖,高温、少雨、大风天气频繁发生,日照强度大,水分蒸发迅速,拉尼娜和厄尔尼诺现象等恶劣天气出现概率增大,导致森林火灾发生的概率和强度增大^[3]。近些年由于气温的不断升高,在加拿大安大略省北方森林^[4]、地中海盆地伊比利亚半岛森林^[5],林火的发生次数显著上升。据统计,我国在 1989—2019 年间,年均发生森林火灾 6 505 次,年均受害森林面积 69 708 hm²^[6],森林防火形式十分严峻。

气象因子对林火的发生和蔓延起着重要作用。Hessl 等^[7]对华盛顿地区火灾的研究表明,当年的极干旱气候条件与火灾蔓延间的关系显著,Jason 等^[8]分析野火对气候变化的响应,表明气候变化对森林火灾的影响较大,火灾的发生与恶劣天气的发生时间关系显著,重大火灾常发生在气候干旱的年份。随着全球气温上升,降水量年际变化波动性增大,春夏季最小相对湿度明显下降,内蒙古大兴安岭林区森林火险季节长度也出现增长趋势,森林火险区域由南向北逐渐转移^[9]。该林区夏季高温少雨,易发生干雷暴现象,导致北部林区由雷击火引起的森林火灾不断增加^[10]。

内蒙古大兴安岭是我国最北部边疆唯一的寒温带针叶林区,其生态功能区面积、有林地面积、森林蓄积等均居全国国有林区之首^[11-12]。受区位、地形和气候等多方面影响,该区域也是我国森林火灾面积最大、受森林火灾影响最严重的林区之一。不同地区,影响森林火灾的主要气象因子不同。因此,研究内蒙古大兴安岭地区气象因子对林火的影响规律,能为该地区森林火灾的精准预测预报、森林资源的可持续经营管理提供理论依据和科学指导。

1 研究区概况

内蒙古大兴安岭林区位于内蒙古自治区东北部,地理坐标为 119°36′20″~125°19′50″E,47°03′40″~

53°20′00″N,国有林区南北长约 696 km,东西宽约 384 km;与俄罗斯、蒙古接壤的边境线长 440 km,总面积约 1.07×10⁷ hm²,是我国五大国有林区之一^[13]。本研究所选研究区范围为内蒙古大兴安岭森林工业集团有限责任公司所辖的内蒙古大兴安岭重点国有林区。

大兴安岭林区属于寒温带大陆性季风气候,年均温-4~-2℃,均温<10℃的天数长达 9 个月,均温≥22℃的天数不超过 1 个月。全年降水量 350~500 mm,相对湿度 70%~75%^[14]。

2 数据来源与分析方法

2.1 数据来源

1990—2019 年森林火灾统计数据来源于内蒙古自治区林业和草原局,包括起火点位置、火灾发生时间、起火原因、过火面积等,其中缺失 2013 年数据;同期的气象数据,来源于内蒙古自治区呼伦贝尔市气象局,包括降水量、均温、平均 2 min 风速、日最高温、日最低温、日均相对湿度、日照时数等因子。

2.2 相关性分析法

使用 SPSS 软件完成研究区林火次数和面积与气象因子间的相关性分析,研究火灾发生与各气象因子间的相互关系,找出对研究区火灾发生具有显著影响的因子。

2.3 回归分析法

以内蒙古大兴安岭林火发生次数、过火面积为因变量,以不同气象因子为自变量,采用 SPSS 软件进行线性回归分析,建立林火与气象因子间的回归方程。

3 结果与分析

气象因子对森林火灾发生的影响存在滞后性,前期的气象条件对森林火灾的发生起重要作用^[15],因此,本研究选取了火灾前 5 d 的气象因子进行分析研究。

3.1 气候变化特征

3.1.1 气温年变化特征

研究区域 1990—2019 年期间均温年变化特征见图 1。

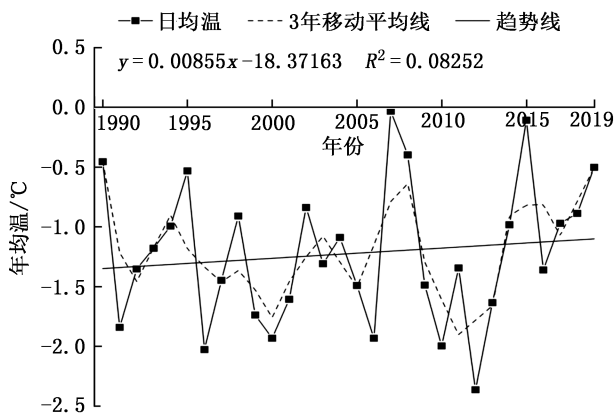


图 1 内蒙古大兴安岭林区年均温变化

Fig.1 Annual variation of average temperature in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia

从图 1 可知,年均温均在 0℃ 以下,随时间变化波动明显,但总体呈现出两个阶段的变化趋势。其中 1990—2006 年年均温低于 -1℃ 的年份多达 12 年,而进入 2007 年后,多数年份的年均温在 -0.5℃ 以上,其中 2007、2008、2015 年年均温最高。根据线性趋势线和 3 年移动平均线可以看出,研究区域年均温整体呈上升趋势。

3.1.2 降水量年变化特征

研究区域 30 年间年均降水量年变化波动明显,见图 2。

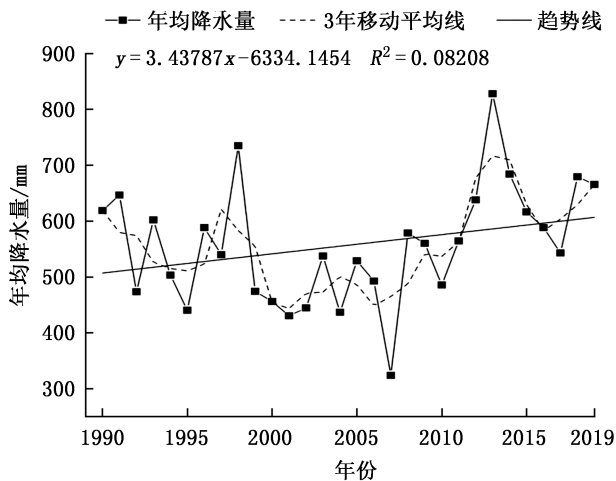


图 2 内蒙古大兴安岭林区年均降水量年变化

Fig.2 Annual variation of average precipitation in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia

从图 2 可知,总体呈现出 3 个阶段的变化趋势,其中 1990—2000 年年均降水量均在 500 mm 以上的年份高达 7 年;而进入 2000 年后,多数年份的年均

降水量集中在 450 mm 左右,降水量 500 mm 以下的年份达 7 年;在 2010—2019 年间研究区域年均降水量达到 600 mm 以上的年份达 8 年。

3.1.3 平均相对湿度变化趋势

研究区域 1990—2019 年平均相对湿度变化呈下降趋势,但变幅不明显,维持在 60%~70% (图 3)。从线性趋势线和 3 年移动平均线可以看出,进入 2005 年后,平均相对湿度呈明显下降趋势。

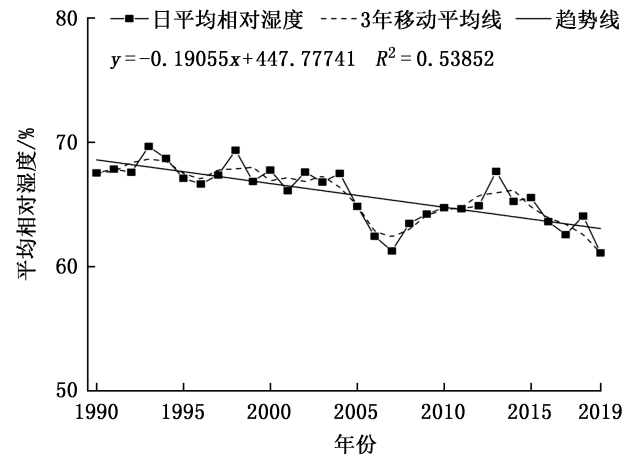


图 3 内蒙古大兴安岭林区平均相对湿度年变化

Fig.3 Annual variation of average relative humidity in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia

3.2 气象因子对林火的影响

3.2.1 不同气温条件下林火分布

研究区域森林火点在不同气温条件下所形成的分布状况见图 4。

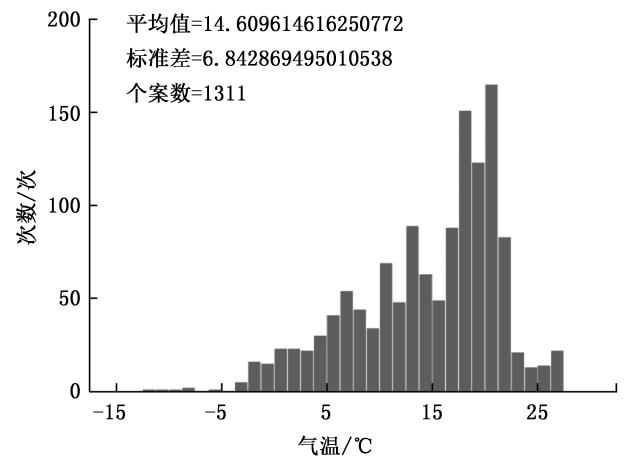


图 4 内蒙古大兴安岭林区不同气温条件下火点分布

Fig.4 Fire distribution of different temperature conditions in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia

从图 4 可知,发生火灾时的最低温为-11.6℃,最高温为 26.5℃,火灾多发生在 5~20℃,高温和低温状态下火灾发生较少。总体来看,随着温度的升高,林火发生次数也随之增加,在 15~20℃时达到峰值,随后减少。

3.2.2 不同降水条件下林火分布

研究区域森林火点在不同降水条件下所形成的分布状况见图 5。

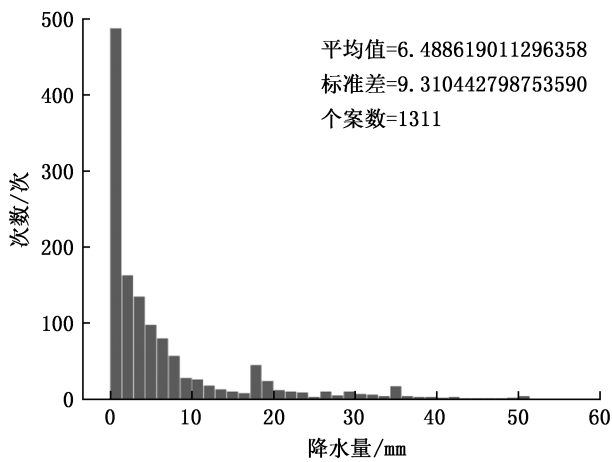


图 5 不同降水条件下火点分布

Fig. 5 Fire distribution of different precipitation conditions

从图 5 可知,大部分火灾集中发生在降水量为 0~10 mm 的范围内。其中火灾发生时的最低降水量为 0 mm,最高降水量为 50 mm,平均降水量为 6 mm,降水量在 0 mm 左右时发生的火灾次数最多。总体来看森林火灾发生次数随着降水量的增加而

减少。

3.2.3 不同相对湿度条件下的林火分布

研究区域林火多集中在相对湿度为 58%~62%,森林火点数量最多,是林火的高发区间(图 6)。火灾发生时的最低相对湿度为 25%,最高相对湿度为 83%,平均相对湿度为 54.1%。总体来看林火的发生随相对湿度的升高呈先增加后减少的趋势,火点在高湿度和低湿度区间分布较少。

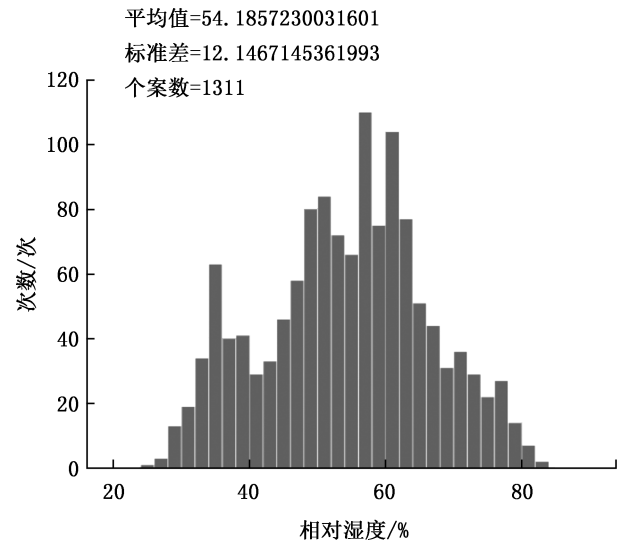


图 6 不同相对湿度条件下火点分布

Fig. 6 Fire distribution of different relative humidity conditions

3.3 林火发生与气象因子的关系

火灾发生次数与气象因子的关系见表 1。

表 1 火灾发生次数、过火面积与气象因子的关系

Tab. 1 Relationship between the number of fires and the burned area and meteorological factors

项目	气象因子	日均相对湿度	日照时数	日最低温	日最高温	日均温	降水量	日平均 2 min 风速
次数	相关性	-0.072	0.242 **	0.110 *	0.221 **	0.186 **	-0.049	-0.059
	显著性	0.176	0.000	0.039	0.000	0.000	0.354	0.267
面积	相关性	-0.143 **	0.150 **	-0.101	0.008	-0.032	-0.070	0.010
	显著性	0.007	0.005	0.058	0.876	0.552	0.191	0.853

注: ** 表示差异极显著($P < 0.01$); * 表示差异显著($P < 0.05$)。

从表 1 可知,火灾发生次数与日照时数、日最高温以及日最低温间有明显的线性关系,均呈显著的正相关,而与其他因子的关系不显著。选择极显著相关的日照时数(x_1)、日均温(x_2)与林火发生次数(y)进行回归分析,回归方程为:

$$y = -0.803 + 0.216x_1 + 0.048x_2 \quad (1)$$

林火发生次数与日照时数和平均气温呈正相关,随着日照时数的增加和日均温的升高,森林火灾发生的可能性上升。回归方程判定系数 $R^2 = 0.071$, 检验量 $F = 13.274, P = 0.000$, 该模型整体显著,具

有统计学意义。

根据过火面积与气象因子的关系可以看出,过火面积与日照时数、日均相对湿度间有明显的线性关系,与其他因子的关系不显著。选择极显著相关的日照时数(x_1)、日均相对湿度(x_2)与过火面积(y)进行回归分析,回归方程为:

$$y = 170.546 + 54.957x_1 - 7.688x_2 \quad (2)$$

过火面积与日照时数呈正相关,与月均相对湿度呈负相关。随着日照时数的增加和日均相对湿度的下降,森林火灾过火面积呈逐渐增加的趋势。回归方程判定系数 $R^2 = 0.032$, 检验量 $F = 5.842$, $P = 0.003$, 该模型整体显著,具有统计学意义。

4 讨论与结论

4.1 讨论

研究区林火的发生与气象因子间的关系密切,针对火灾发生次数、过火面积二者与气象因子进行相关性分析,结果表明,林火发生次数与日照时数、日均温、日最高温间呈显著正相关,与其他因子无显著相关性。过火面积与日均相对湿度间呈显著负相关,与日照时数呈显著正相关。这一结论与孙海滨等^[16]对内蒙古大兴安岭根河林业局以及金河林业局发生的两场火灾进行的研究结果相同。杜建华等^[17]对中国森林火灾特征及其与主要气候因子之间关系的研究也表明,气象因子对森林火灾的发生起着重要作用,林火多发生在降水少的干旱年和气温高、相对湿度小的中午。气温可直接影响空气湿度的变化,一般温度升高,湿度下降,导致可燃物干燥^[18],同时,强烈的太阳辐射有利于水分的蒸发,使可燃物的温度迅速上升^[19],可燃物很容易达到燃点。总之,气温高,日照时数长,相对湿度低,可燃物的含水量就小、易燃,林火一旦发生,将会造成火势蔓延快、强度大,很难扑灭。

随着全球气候变暖,近几年内蒙古大兴安岭地区雷击火发生频繁^[20],雷击火的发生和蔓延除受气象因子的影响外,与闪电次数、冲击电流、电流强度等有很大关系^[21],因此,在未来研究中应结合更多影响因子,充分考虑各影响因子对研究区林火的控制作用,从而更加全面了解未来林火动态的变化趋势。

4.2 结论

基于内蒙古大兴安岭地区 1990—2019 年森林火灾历史档案以及同期的气象数据,利用 Spss、Origin 和 ArcGIS 等软件对研究区林火与气象因子的关

系进行研究。结果表明,林火受气象因子的影响明显。

研究区年均温均在 0℃ 以下,随时间波动明显,总体呈上升趋势。随着温度的升高,林火发生次数随之增加;年均降水量大部分处在 400 mm 以上,随时间变化波动明显,林火发生次数随着降水量的增加而减少;年均相对湿度维持在 60%~70%,变化较小,下降趋势不明显,林火多集中在日均相对湿度 58%~62%,随相对湿度的增大呈先增加后减少的趋势,火点在高湿度和低湿度区间分布较少。

根据火灾次数、过火面积二者与气象因子的相关性分析,得出林火发生次数与日照时数、日均温、日最高温间呈显著正相关,与其他因子无显著相关性;过火面积与日均相对湿度间呈显著负相关,与日照时数呈显著正相关。

参考文献:

- [1] CHUVIECO E, GIGLIO L, JUSTICE C. Global characterization of fire activity: Toward defining fire regimes from Earth observation data [J]. *Global Change Biology*, 2008, 14(7): 1488–1502.
- [2] QIN T F D, PLATTNER G K, TIGNOR M, et al. Climate change 2013, in the physical science basis, working group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change [M]. United Kingdom and New York, Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [3] 沈姣姣, 宋鸿, 曹慧萍, 等. 陕西省林火特征及与关键气候因子的关系 [J]. *灾害学*, 2016, 31(2): 99–105.
- [4] GIRARDIN M P, TARDIF J, FLANNIGAN M D. Temporal variability in area burned for the province of Ontario, Canada, during the past 200 years inferred from tree rings [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2006, 111(D17): 1–10.
- [5] PAUSAS J G. Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin) [J]. *Climatic Change*, 2004, 63(3): 337–350.
- [6] 田晓瑞, 舒立福, 赵凤君, 等. 气候变化对中国森林火险的影响 [J]. *林业科学*, 2017, 53(7): 159–169.
- [7] HESSL A E, MCKENZIE D, SCHELLHAAS R. Drought and Pacific Decadal Oscillation linked to fire occurrence in the inland Pacific Northwest [J]. *Ecological Applications*, 2004, 14(2): 425–442.
- [8] SIBOLD J S, VELEN T T. Relationships of subalpine forest fires in the Colorado Front Range with interannual and multidecadal-scale climatic variation [J]. *Journal of Biogeography*, 2006, 33(5): 833–842. (下转第 176 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.018

保山精品咖啡产区小粒种咖啡病虫害种类调查及防治对策

付兴飞¹, 胡发广¹, 程金焕¹, 黄家雄¹, 李亚麒¹, 李亚男¹, 娄予强¹, 吕玉兰¹,
王健敏², 邵杰³, 李贵平¹

(1. 云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所, 云南 保山 678000; 2. 云南省农村科技服务中心,
云南 昆明 650021; 3. 保山市隆阳区果树蔬菜技术推广站, 云南 保山 678000)

摘要:为明确保山精品咖啡产区小粒种咖啡主要病虫害种类和危害程度,于2019年8月—2021年8月对该产区的病虫害进行系统调查。结果表明:危害小粒种咖啡的病虫害有14种,其中,病害有6种,以咖啡叶锈病危害最严重;虫害有8种,蚧壳虫种类最多,危害最严重,分别为咖啡绿蚧、咖啡蝻、弗州龟蜡蚧、堆蜡粉蚧、咖啡根粉蚧。在保山精品咖啡产区咖啡叶锈病、蚧壳虫类害虫是小粒种咖啡的主要防治对象,为此提出了科学的防治措施。

关键词:精品咖啡产区;小粒种咖啡;病虫害;保山市

中图分类号:S763.3;S571.2 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0110-05

引文格式:付兴飞,胡发广,程金焕,等.保山精品咖啡产区小粒种咖啡病虫害种类调查及防治对策[J].林业调查规划,2023,48(4):110-114. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.018

FU Xingfei, HU Faguang, CHENG Jinhuan, et al. Investigation and Control Measures of *Coffea arabica* Diseases and Insect Pests in Baoshan Specialty Coffee Producing Area[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 110-114.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.018

Investigation and Control Measures of *Coffea arabica* Diseases and Insect Pests in Baoshan Specialty Coffee Producing Area

FU Xingfei¹, HU Faguang¹, CHENG Jinhuan¹, HUANG Jiexiong¹, LI Yaqi¹, LI Yanan¹,
LOU Yuqiang¹, LYU Yulan¹, WANG Jianmin², TAI Jie³, LI Guiping¹

(1. Institute of Tropical and Subtropical Cash Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Baoshan, Yunnan 678000, China; 2. Yunnan Rural Science and Technology Service Center, Kunming 650021, China;
3. Baoshan Fruits & Vegetables Techniques Support Center, Baoshan, Yunnan 678000, China)

Abstract: In order to understand the main species and damage of diseases and insect pests of *Coffea arabica* in Baoshan specialty coffee producing area, the species and damage of diseases and insect pests of *C. arabica* were investigated from August 2019 to August 2021. The results showed that there were 13 diseases and insect pests of *C. arabica*, of which 5 were diseases, and *Hemileia vastatrix* was the most serious; 8 were insect pests. with the largest number of scale insects and the most serious harm, including

收稿日期:2022-03-08.

基金项目:云南省科技计划项目创新引导与科技型企业培育计划(202204BP090205);保山市科技计划项目(2022zc01).

第一作者:付兴飞(1992-),男,云南昆明人,硕士,研究实习员.主要研究方向为热带亚热带经济作物病虫害防控. Email:1161003575@qq.com

责任作者:李贵平(1975-),男,云南保山人,副研究员.主要研究方向为热带亚热带经济作物有害生物综合防治. Email:lgp7007@163.com

Coccus viridis, *Saissetia coffee*, *Ceroplastes floridensis*, *Nipaecoccus vastalor* and *Planococcus lilacinus*. *Hemileia vastatrix* and scale insects were the main control objects of *C. arabica* in Baoshan specialty coffee producing area, and the corresponding control measures of these diseases and pests were also reviewed.

Key words: specialty coffee area; *Coffea arabica*; disease and insect pest; Baoshan City

咖啡是仅次于石油的世界第二大贸易商品,也是热带地区最具价值的农作物之一^[1-2]。咖啡属茜草科(Rubiaceae)咖啡属(*Coffea*),全球已知124种,仅小粒种咖啡(*Coffea arabica*)和中粒种咖啡(*C. canephora*)2种具有商业价值^[3]。小粒种咖啡于1892年由法国传教士传入中国,至今在云南、海南、四川等省均有种植,云南省作为中国最重要的小粒种咖啡种植区,种植面积、产量和农业产值均占全国咖啡总量的98%以上^[4-5]。近年,受咖啡产值低、劳动力投入大和劳动成本高等因素影响,小粒种咖啡逐渐被蔬菜、芒果、龙眼等经济产值较高的作物取代,导致咖啡种植面积减少了2.96万hm²,并仍有减少的趋势^[5]。精品咖啡(specialty coffee)由Erna Knustsen于1974年率先提出,表明最有利的微气候和水土才能栽培出风味独特的咖啡^[6]。精品咖啡是提高咖啡种植者经济收入和维持云南省咖啡产业健康发展的重要途径之一。研究表明:云南怒江流域海拔700~1600m,小粒种咖啡品质与海拔高度成正比^[7],海拔1000m以上的咖啡种植区是主要的精品咖啡生产区。

保山是中国重要的小粒种咖啡种植区之一,该区域的咖啡主要种植于国家级自然保护区高黎贡山的延伸区,具有优越的地理环境和气候资源。该产区小粒种咖啡曾获得1993年布鲁塞尔尤里卡博览会金奖等重要奖项^[5],是世界上为数不多可以生产精品咖啡的产区之一。近年,该产区海拔900m以下的咖啡种植园逐渐被芒果、蔬菜等高产值作物取代,而高海拔地区咖啡园的保留为精品咖啡发展提供了有利条件。

病虫害是导致农作物减产,威胁农业健康生产,降低农民粮食安全和收入的重要因素^[8]。目前,针对保山咖啡产区病虫害种类、危害情况、发生规律及防控等^[5,9]方面开展了系列研究,而有关精品咖啡产区病虫害发生危害尚无相关报道。通过连续2年的系统调查,已经初步明确保山精品咖啡产区主要病虫害种类、危害现状及危害程度等,并提出对危害严重病虫害的防治措施,旨在为精品咖啡病虫害防治提供依据和参考。

1 材料与方法

1.1 调查范围

对保山市隆阳区潞江镇的新寨、赧亢及丛岗3个地区海拔≥1000m精品咖啡产区的病虫害进行系统调查,并对潞江镇新寨咖啡产区进行定期小粒种咖啡病虫害监测,观察主要病虫害的发生规律。

1.2 调查方法

2019年8月—2021年8月采用随机调查、定期定点监测和专题调查的方法对保山市3个精品咖啡产区开展小粒种咖啡病虫害调查。调查过程中记录病虫害危害特征、发生规律及寄主植物受害症状。采集病虫害标本,参照相关资料、工具书对病虫害进行鉴定^[5,10]。参照国家有害生物危害程度标准^[11-12],将病虫害分为轻、中、重3个危害等级,对小粒种咖啡病虫害进行危害等级划分。

2 调查结果

2.1 精品咖啡产区主要病虫害种类

在保山3个精品咖啡生产区小粒种咖啡主要病害有6种,即咖啡叶锈病、炭疽病、褐斑病、煤烟病、藻斑病及枝枯病,除藻斑病外其余5种病害在3个精品咖啡产区均有发生。主要虫害有8种,即灭字脊虎天牛(*Xylotrechus quadripes*)、咖啡绿蚧(*Coccus viridis*)、咖啡盔蚧(*Saissetia coffee*)、弗州龟蜡蚧(*Ceroplastes floridensis*)、堆蜡粉蚧(*Nipaecoccus vastalor*)、白蛾蜡蝉(*Lawana imitate*)、咖啡根粉蚧(*Planococcus lilacinus*)及美洲斑潜蝇(*Liriomyza sativae*),其中灭字脊虎天牛、咖啡绿蚧、咖啡盔蚧、堆蜡粉蚧及美洲斑潜蝇在3个精品咖啡产区均有危害(表1)。

2.2 主要病虫害危害部位及危害特点

3个精品咖啡产区中14种小粒种咖啡病虫害危害部位不同。其中,仅危害叶片的有咖啡叶锈病、褐斑病、炭疽病及美洲斑潜蝇;仅危害枝的有枝枯病和弗州龟蜡蚧;危害枝、叶的有藻斑病、咖啡盔蚧;危害叶、枝、果的有炭疽病等5种;危害根、茎的有灭字脊虎天牛;危害根的有咖啡根粉蚧。同时,小粒种咖

表 1 精品咖啡产区小粒种咖啡病虫害发生情况

Tab. 1 Occurrence of diseases and insect pests of *Coffea arabica* in specialty coffee producing area

产区	病害	虫害
新寨	咖啡叶锈病、炭疽病、褐斑病、枝枯病、煤烟病、藻斑病	灭字脊虎天牛、咖啡绿蚧、咖啡盔蚧、弗州龟蜡蚧、堆蜡粉蚧、咖啡根粉蚧、白蛾蜡蝉、美洲斑潜蝇
赧亢	咖啡叶锈病、炭疽病、褐斑病、枝枯病、煤烟病、藻斑病	灭字脊虎天牛、咖啡绿蚧、咖啡盔蚧、堆蜡粉蚧、白蛾蜡蝉、美洲斑潜蝇
丛岗	咖啡叶锈病、炭疽病、褐斑病、枝枯病、煤烟病	灭字脊虎天牛、咖啡绿蚧、咖啡盔蚧、白蛾蜡蝉、美洲斑潜蝇

啡同一部位可能受一种或多种病虫害侵染,但危害特点有差异(表 2)。

2.3 发生及危害较严重的病虫害种类

对保山市精品咖啡产区 14 种主要病虫害进行专题调查发现,咖啡叶锈病、咖啡绿蚧、咖啡盔蚧、咖啡根粉蚧、堆蜡粉蚧为中度危害;炭疽病、枝枯病、煤烟病、褐斑病、藻斑病、灭字脊虎天牛、弗州龟蜡蚧、白蛾蜡蝉及美洲斑潜蝇为轻度危害(表 3)。

2.3.1 咖啡叶锈病病害

咖啡叶锈病全年均可发生,以锈孢子从咖啡叶片背面气孔入侵,危害初期在叶片背面可见 2~3 mm 黄色小斑,随着黄色小斑的扩大,叶背产生肉眼可见

表 2 精品咖啡产区小粒种咖啡主要病害种类及其危害调查

Tab. 2 Main species and damage of diseases of *Coffea arabica* in specialty coffee producing area

病害	病因	危害部位	危害程度	危害特点
咖啡叶锈病	咖啡驼孢锈菌	叶	++	侵染初期,在叶片背面形成直径 1~1.5 mm 淡黄色圆形斑点,正面相应出现透明侵染斑点;后期,叶背面出现橙黄色孢子粉,病斑不断增大,形成不规则大病斑,严重导致叶片脱落
炭疽病	胶胞炭疽菌	叶、枝、果	+	叶片受害初期,叶缘呈不规则淡褐色至黑褐色病斑,病斑中央白色,边缘黄色,后期整个病斑呈灰色,病斑上具排列成同心轮纹的黑色点状物,严重时导致落叶;枝条受害后呈凹陷病斑,病斑上具黑色点状物,导致枝条枯死;浆果受害后,初期形成水渍状小斑点,随后形成暗褐色至灰黑色凹陷病斑,并长出粉红色黏液孢子堆,严重时导致落果
褐斑病	咖啡生尾孢	叶	+	初期,发病咖啡叶片出现小黄点,后逐渐扩展为圆形或近圆形褐色病斑,病斑中央呈灰白色,有明显的边缘和同心轮纹,病斑周围具有褪绿晕圈,叶片背面有黑色霉状物;后期,数个病斑汇成一个大病斑,病斑中心仍有灰白色圆点
枝枯病	产量过高、寒害、病虫害等	枝	+	初期,叶片枯黄,枝条萎缩,随之出现叶片枯萎脱落,植株枯死
煤烟病	煤炱属真菌	叶、枝、果	+	初期,叶、枝、果表面有煤烟状黑色斑点,不规则状;后期,整个叶面、枝条及果实表面覆盖有黑色煤烟层,出现落叶、落果
藻斑病	寄生性锈藻	枝、叶	+	初期,在叶背面先散生针头状、近十字形灰白色或黄褐色附着物,并逐渐向叶片四周呈放射状扩大成 1~10 mm 的毡状物,影响植物光合,严重导致落叶

的黄色或橙黄色孢子堆,并以同心圆的方式不断扩大,一般直径可达 5~8 mm,多个病斑相互连接形成更大的病斑。初期叶正面则形成黄色圆形病斑,随着病斑老化中间出现褐色斑块。危害后期,整片叶片黄化、脱落,严重影响次年咖啡的产量(图 1)。

2.3.2 蚧壳虫危害

保山精品咖啡产区主要害虫以蚧壳虫种类最多,危害最严重,共 5 种。其中,危害等级为中等的有咖啡绿蚧、咖啡盔蚧、堆蜡粉蚧、咖啡根粉蚧,均以刺吸式口器吸食植物汁液导致生长缓慢或枯枝、落叶、减产,但危害部位不同。同时,也可分泌蜜露诱发煤烟病。咖啡绿蚧 1 年发生多代,28~42 d 就可完成 1 代。咖啡盔蚧 1 年发生 3~6 代,主要以若虫

越冬。弗州龟蜡 1 年仅发生 1 代,以高龄若虫越冬。堆蜡粉蚧 1 年发生 3~4 代,全年均可发生。咖啡根粉蚧全年均有危害,1 年发生 2 代,以若虫在湿润土壤的小粒种咖啡根部越冬。

3 结果分析

对保山精品咖啡产区小粒种咖啡病虫害两年调查发现,危害普遍且严重的病虫害有 14 种,其中病害 6 种,虫害 8 种。咖啡叶锈病和蚧壳虫类的危害较严重,其余病虫害危害较轻。主要原因是精品咖啡产区主要分布于海拔 1 000 m 以上地区,气候湿润,为咖啡叶锈病病原菌(*Hemileia vastatrix*)提供了有利生长条件;受咖啡价格持续低迷的影响,咖啡种

表 3 精品咖啡产区小粒种咖啡主要虫害种类及其危害调查

Tab. 3 Main species and damage of insect pests of *Coffea arabica* in specialty coffee producing area

虫害名称	危害部位	危害程度	危害特点
灭字脊虎天牛 <i>Xylotrechus quadripes</i>	根、茎	+	以幼虫在主根、主干上蛀食危害,造成植株生长衰弱,严重时导致植株易折断,蛀食部位以上的枝条直接死亡
咖啡绿蚧 <i>Coccus viridis</i>	枝、叶、果	++	以幼虫、成虫在枝、叶、果上吸食汁液造成危害,轻则出现褪绿斑点,造成植株生长缓慢、叶片畸形,重则导致幼果落果和受害枝枯萎死亡;分泌蜜露则诱发煤烟病
咖啡蝽蚧 <i>Saissetia coffea</i>	枝、叶	++	主要危害嫩枝,以幼虫和成虫吸食汁液,导致植株生长不良,严重时导致嫩枝死亡
弗州龟蜡蚧 <i>Ceroplastes floridensis</i>	枝	+	以幼虫、成虫危害枝条,导致枝条生长缓慢,但不致死
堆蜡粉蚧 <i>Nipaecoccus vastalor</i>	枝、叶、果	++	以幼虫和成虫成群聚集危害枝、叶、果,覆盖白色蜡层,导致受害部位生长不良,叶片畸形,甚至死亡,也可诱发煤烟病
咖啡根粉蚧 <i>Planococcus lilacinus</i>	根	++	以幼虫、成虫聚集危害根部,根部幼根受损,植株生长缓慢,严重时导致地上部分枝叶枯黄,生长不良,但不致死
白蛾蜡蝉 <i>Lawana imitata</i>	枝、叶、果	+	以幼虫、成虫危害枝、叶、果,导致枝条生长缓慢,不致死,对叶和果影响较小;可分泌蜜露诱发煤烟病
美洲斑潜蝇 <i>Liriomyza sativae</i>	叶、枝	+	成虫、幼虫均可危害,成虫在叶正面产卵,刺伤叶面组织形成圆形刺伤孔,幼虫取食叶肉,形成蛇形白斑,导致叶面畸形



图 1 咖啡叶锈病
Fig. 1 *Hemileia vastatrix*

植户管理粗放,导致咖啡树势降低,抗病性差,多年不进行防控,病原菌初侵染源种群大;咖啡叶锈病病原菌生理小种多,变异快,导致咖啡植株对新的生理小种抗锈性减弱。其余病害发生不严重,可能是由于该区域气候不适合上述 4 种病害的发生,如枝枯病主要由产量过高、寒害、病虫害等因素导致,近年来咖啡园管理粗放或失管,产量明显下降,导致枝枯

病不严重。虫害主要以蚧壳虫类为主,与该区域苗木频繁调运,蚧壳虫类多为广食性类害虫,寄主植物多等因素相关,但在低海拔地区危害较为严重的灭字脊虎天牛危害较轻,主要是该海拔高度不是其主要危害区。

从病虫害危害部位来看,主要以危害叶、枝、果为主,而危害根、茎的病虫害主要是灭字脊虎天牛,但发生数量少、危害程度低。整体来看,在保山精品咖啡产区咖啡叶锈病影响最大,严重时导致树体全部落叶,次年减产或失产。危害种类较多的蚧壳虫类主要危害枝、叶、果实,其吸食植物汁液造成危害,还可分泌蜜露诱发煤烟病,一定程度影响了咖啡植株的生长,但并不会导致植株死亡。

4 防治建议

根据预防为主,综合防治的植保方针,结合有害生物学特性和发生规律,根据长期调查和监测的结果,对危害程度严重的咖啡叶锈病和蚧壳虫类提出防治建议。

1) 咖啡叶锈病的防治方法

选育抗锈病品种;加强咖啡园田间水肥管理,增强植株抗病性;咖啡采收完成后,清除咖啡园病株残体,减少菌源数量;雨季结束后,发病初期选用 25% 戊唑醇乳油 1 000~1 200 倍液、25% 吡唑醚菌酯乳油 1 500~3 000 倍液、25% 啞菌酯悬浮剂 1 500~2 000 倍液、25% 丙环唑乳油 1 000~1 500 倍液、50% 三唑

酮 800~1 200 倍液喷雾防治, 轮换用药, 每 15~20 d 喷施 1 次, 连续 2~3 次, 采收前 30 d 停止用药; 保护和利用病原菌重寄生菌。

2) 蚧壳虫的防治方法

加强咖啡园水肥管理, 增强树势, 提高抗虫能力; 结合整形修剪, 增加林间透风透光; 保护利用本地天敌七星瓢虫 (*Coccinella septempunctata*)、六斑异瓢虫 (*Aiolocaria hexaspilota*)、小毛瓢虫 (*Scymnus* sp.) 及红肩瓢虫 (*Chiomenes quadriplagiata*) 等; 发生期用 70% 吡虫啉水分散剂 2 000~3 000 倍液、30% 噻嗪酮悬浮剂 2 000~3 000 倍液、22.4% 螺虫乙酯悬浮剂 3 000~3 500 倍液、40% 毒死蜱乳油 1 500~20 000 倍液等喷雾, 轮换用药。咖啡根粉蚧发生期用 22.4% 螺虫乙酯悬浮剂 2 000~3 000 倍液、40% 毒死蜱乳油 800~1 000 倍液、2.5% 高效氯氟氰菊酯乳油 800~1 000 倍液灌根, 轮换使用。

5 结 论

咖啡作为云南省最具特色的经济作物之一, 在边疆地区少数民族农民增收、企业增效和财政创收等方面发挥重要作用, 是新时代乡村振兴、产业兴旺的理想选择。但受国际咖啡价格持续走低的影响, 种植户收入产值仅约 45 000 元/hm², 并且劳动力成本高, 劳动数量投入大, 导致大面积的咖啡种植园被破坏和取代, 管理水平低, 病虫害也越来越严重。海拔 1 000 m 以上的精品咖啡被认为是维持咖啡产业健康发展和提高种植者收入的重要途径。因此, 对精品咖啡产区进行精细管理, 进一步明确产区内主要病虫害种类和危害情况, 加强主要病虫害的监测预警工作, 防治病虫害对咖啡的危害。另外, 进一步开展咖啡高品质、高抗性的品种选育工作, 最终实现保山精品咖啡产区的可持续性发展。

参考文献:

- [1] JHA S, BACON C M, PHILPOTT S M, et al. Shade coffee: Update on a disappearing refuge for biodiversity[J]. *Bio-science*, 2014, 64(5): 416-428.
- [2] NGO H T, MOJICA A C, PACKER L. Coffee plant-pollinator interactions: a review[J]. *Revue Canadienne De Zoologie*, 2011, 89(8): 647-660.
- [3] MCCOOK S, VANDERMEER J. The big rust and the red queen: Long-term perspectives on coffee rust research[J]. *Phytopathology*, 2015, 105(9): 1164-1173.
- [4] YAN L, OGUTU C, HUANG L F, et al. Genetic diversity and population structure of coffee germplasm collections in China revealed by ISSR markers[J]. *Plant Molecular Biology Reporter*, 2019, 37(3): 204-213.
- [5] 李贵平, 胡发广, 黄家雄, 等. 小粒种咖啡生产新技术[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2020.
- [6] MCMANUS B. Nonlinear pricing in an oligopoly market: The case of specialty coffee[J]. *Rand Journal of Economics*, 2007, 38(2): 512-532.
- [7] 黄家雄, 吕玉兰, 程金焕, 等. 不同海拔对小粒种咖啡品质影响的研究[J]. *热带农业科学*, 2012, 32(8): 4-7.
- [8] CERDA R, AVELIND J, HARVEY C A, et al. Coffee agroforestry systems capable of reducing disease-induced yield and economic losses while providing multiple ecosystem services[J]. *Crop Protection*, 2020, 134: 105149.
- [9] 付兴飞, 李贵平, 黄家雄, 等. 云南省 3 个咖啡产区小粒咖啡病虫害危害调查分析[J]. *热带农业科学*, 2020, 40(3): 67-75.
- [10] 李荣福, 王海燕, 龙亚芹, 等. 中国小粒咖啡病虫害草害[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [11] 和志娇, 和加卫, 杨正松, 等. 丽江栒子病虫害种类调查及防治对策[J]. *农学学报*, 2019, 9(11): 12-16.
- [12] 国家林业局. 林业有害生物发生及成灾标准: LY/T 1681—2006[S]. 2006: 1-10.

责任编辑: 杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.019

北京环球影城地区景观廊道低碳建设途径研究

陶远瑞, 姚楚怡

(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082)

摘要:在我国推进生态文明建设和实现碳中和目标的背景下,园林绿地建设应努力参与到低碳环保的挑战中,为城市提供高质量绿色空间。环球影城片区作为北京副中心的文化旅游核心功能区,园林绿地设计和建设立足“低碳、生态、可持续”的设计理念,探索低碳植物配置、新材料应用、低碳施工策略,使其不仅成为旅游示范景观的典范,更是建立健全绿色低碳循环发展的绿地体系。

关键词:低碳园林;低碳绿地;景观廊道;碳汇效益;北京环球影城

中图分类号:S718.5;P901;TU986.45 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0115-05

引文格式:陶远瑞,姚楚怡.北京环球影城地区景观廊道低碳建设途径研究[J].林业调查规划,2023,48(4):115-119,212. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.019

TAO Yuanrui, YAO Chuyi. Low Carbon Construction of Landscape Corridor in Universal Studios Beijing[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 115-119, 212. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.019

Low Carbon Construction of Landscape Corridor in Universal Studios Beijing

TAO Yuanrui, YAO Chuyi

(Beijing General Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Beijing 100082, China)

Abstract: In the context of promoting ecological civilization construction and achieving carbon neutrality goals in China, the construction of garden green spaces should strive to participate in low-carbon environmental protection and provide high-quality green spaces for cities. As the core function area of cultural tourism of Beijing City Sub-Center, the design and construction of garden green space in Universal Studios explored low-carbon plant configuration, new material application and low-carbon construction strategies based on the design concept of “low-carbon, ecologically-friendly and sustainable”, which was not only a model of tourism demonstration landscape, but also a green space system facilitating green, low-carbon and circular development.

Key words: low-carbon landscape; low-carbon green space; landscape corridor; carbon sink benefits; Universal Studios Beijing

2020年9月22日,习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表讲话,宣布:“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和

措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和”^[1]。城市绿地是集聚于城市的供人们休息放松、亲近大自然的一个小

收稿日期:2022-03-11.

基金项目:北京市市政工程设计研究总院有限公司基金项目(No. 000910).

第一作者:陶远瑞(1981-),女,湖南衡阳人,高级工程师.主要从事园林景观规划设计研究. Email:33802967@qq.com

型生态系统,通过打造低碳绿地,充分发挥植物的固碳释氧能力,从而降低碳排放量,是保持城市生态平衡、降低碳排放的重要举措。因此,应用合理的规划设计方法和管养手段强化绿地的碳汇作用并降低碳排放,对于打造碳中和城市具有重要意义^[2]。

1 城市景观廊道重要性

廊道是指景观中与相邻两侧环境不同的线状或带状结构,本文主要讨论以线性道路空间为主体的两侧有大量绿地或重要公共空间的景观廊道^[3]。

城市景观廊道两侧通常分布有交通、商业、生活、生产等多种城市功能,连接众多重要的生态景观节点如广场、公园、水体等自然要素。作为城市的大动脉,其两侧的空间为市民提供了通行、休闲、购物、娱乐、社交等各种社会活动所必须的场所,容纳了城市生活中最丰富的内容,因而其也最能反映一个城市的面貌,体现一座城市的特色。所以,城市景观廊道具有重要的交通、生态、社会及景观功能,是城市的骨架,是一个城市最重要的公共空间。

2 低碳绿地建设基本途径

前期策划阶段,首先应从绿地系统的层面,站在城市整体区域的高度,研究和分析城市中各种类型绿地的布局、规模、结构等对城市低碳的影响。在具体项目设计阶段,将低碳的理念真正落到实处,包括低成本、低维护植物品种的运用,高碳汇的植物群落结构,多界面绿化的推广普及,废弃材料、可再生材料的选用,节能灯具的使用,太阳能、风能、地热能等清洁能源在设计方案中的体现,绿地浇灌系统节水措施在规划设计方案中的贯彻落实等。

2.1 建设阶段

在建设维护阶段,首先制定科学合理的施工工序,合理控制建设进度;就近采购绿化苗木和园林用材,充分利用已有废弃材料,减少新材料的使用,特别是高能耗生产的景观材料;地形的塑造遵循就地土方平衡原则,施工建设过程尽量保护好表层土壤;施工建设过程中的节水、节能;树木枝叶粉碎技术的推广利用;园林绿地低成本养护等。

2.2 运营阶段

在后期运营管理阶段,使用与自然生态系统最相似的方法维持园林生态的稳定,减少对植物不必要的整形修剪,尽量减少机械、人工、肥料及药品的

后期投入,提高养护工作管理水平和效率,提高植物成活率,这三个方面是建立长效低碳绿地的管理要点。同时,依托低碳绿地作为科普宣传与展示平台,引导人们了解低碳的意义和途径,约束及引导游客在使用绿地过程中减少碳排放,自觉加入到“低碳游园”的队伍中来。

3 环球影城周边景观廊道低碳实践

环球影城乐园是世界上最大的电影类型主题乐园,经常与迪士尼乐园和嘉年华并称为世界三大主题乐园,全球影响力较强。北京环球影城选址位于北京副中心西南部的文化旅游区,是目前全世界最大的一座环球影城乐园。围绕环球主题公园及度假区,主要发展文化交流和旅游休闲,完善与中心城区相协调的文化和旅游休闲功能布局,本土文化与国际文化深度融合、彰显京华特色和多元包容的大文化产业(图1)。整个文化旅游区域是以环球影城为发展引擎,多元复合蓝绿交织的国际领先文化旅游发展示范区。

本项目位于北京环球影城外围的七条主要道路的景观廊道空间(图2)。这七条景观廊道是整个文化旅游区最重要的城市界面,更是进入环球影城的必经之路和泛游览区,直接决定了游客对它的封面印象和游览体验,是其顺利开园和运营的重要保障。

环球大道位于环球影城区域核心区,是环球主题公园主入口所在道路。九棵树中路和颐瑞东路、文景东街是进入环球影城的主要道路,廊道宽度达100~120 m,包含道路绿化及路侧50~60 m的绿带,也是整个文化旅游区的城市主干道;探奇路、明星巷、日出巷是环球影城内部酒店与主干道间重要的联系通道,廊道宽约50~60 m,路侧绿地宽20~40 m;总景观廊道绿地总面积合计57 hm²。这七条景观廊道环绕环球影城,为环球影城及整个文旅区的发展奠定良好的生态环境和景观界面基础。

3.1 低碳理念指导总体规划设计

3.1.1 因时就势,减少碳耗

北京环球影城区域在启动阶段,多数地块尚待开发,周边居民尚少,周边绿地主要为环球影城游客服务,提供生态景观支持,打造一个绿色园区的启动基础,所以只设置满足基本功能的园路及少量广场,没有大量的铺装硬化及装饰性构筑物,从而降低了高能耗的建筑材料使用,降低整个工程的碳消耗,预留未来补充设施的弹性空间。公共绿地已建成部分硬质铺装占比9%,绿地占比91%。硬化地面主要设



图 1 文化旅游区区位

Fig. 1 Location of cultural tourism areas

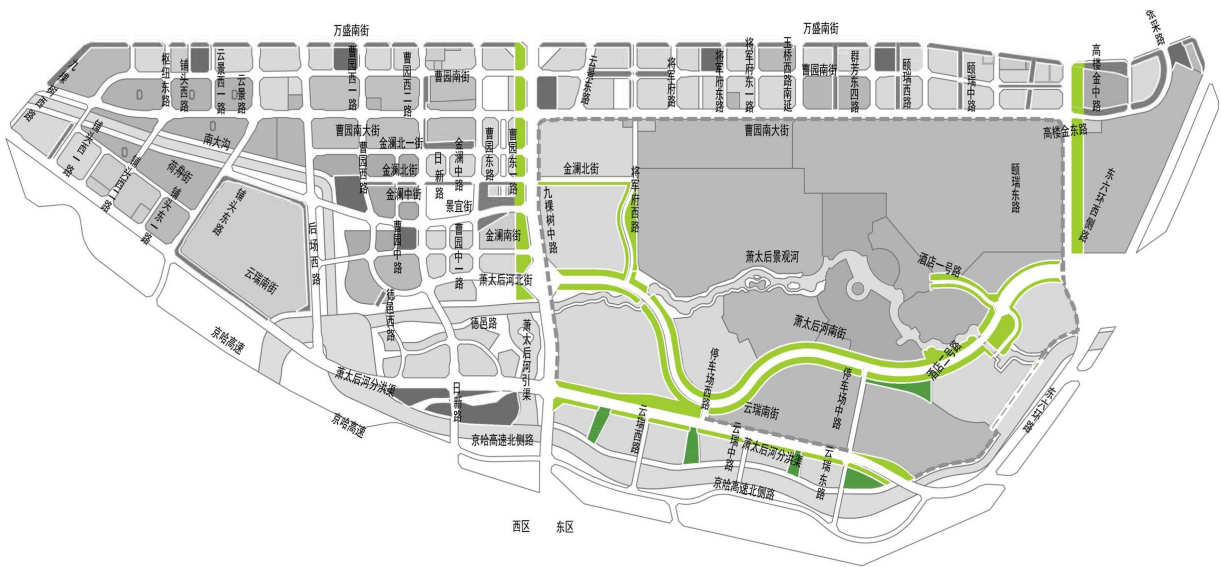


图 2 本项目平面位置图

Fig. 2 Location plan of the project

在有人流需求的街角广场、交通园路及路侧的小型休闲广场。

3.1.2 因地制宜,增加碳汇

园林绿化与市政基础设施设计充分结合。(1)对全区所有道路护坡、桥梁分车带等原来硬化的部分,通过调整竖向高度、改浆砌块石为六棱砖等方式,或者回填种植土等方式,尽可能改硬质为软质,增加绿化面积。(2)对环球影城地铁站等下沉区域的周边,尽可能采取台地结合种植池的形式,既增加绿地面积,又化解高差。(3)对于全区 25 座桥梁下的灰空间,改掉过去单纯硬化的方式,采用耐荫绿化或结

合散铺白砂石的做法,改变了过去粗暴硬化的方式,增加地面的通透呼吸,桥梁的部分排水可以直接通过地面渗透,从而达到减排增效的目的,同时还增加了景观效果。

3.2 低碳园林要素的设计实践途径

3.2.1 植物种植

1)乡土种为主,乔木优先,营造低碳而优美的廊道景观林带

由于碳汇来自植物光合作用吸收二氧化碳而获得的生物量增加,单株植物的固碳量则取决于植物的单个叶片的固碳能力以及植物的叶片总数,因此

综合考量,阔叶树的碳汇能力普遍大于针叶树,乔木的碳汇能力普遍大于灌木及草本。

其次,乡土植物是起源于当地的植物,在当地的环境条件作用下经历了漫长的演进,成活率高、适应性强。因此,在植物选材过程中,应尽可能选择乡土树种及抗性强的树种,进而提升绿地整体的碳汇能力^[4]。

环球主题乐园区域景观廊道项目的乔木及灌木品种合计有 96 种,都是华北地区常用或者适生树种。乔木主要以国槐、白蜡、刺槐、元宝枫、千头椿、银杏等乡土树种为主,占总乔木数量的 74%,其中国槐为北京市市树。根据研究表明,槐树的年碳吸附能力在 2 kg 以上,属于碳汇一类树,也是文旅区用量最大的树种。灌木主要有连翘、迎春、金银木、丁香、棣棠、珍珠梅、紫荆等。地被植物选择早熟禾、麦冬、二月兰、马蔺及崂峪苔草等节水抗旱又经过长期应用效果良好的品种。但是在环球大道等重要节点区域,也使用了约四十五种丰富的观赏草花品种,打造细节丰富、四季变化的地被花境,满足主要节点的景观需求(图 3)。

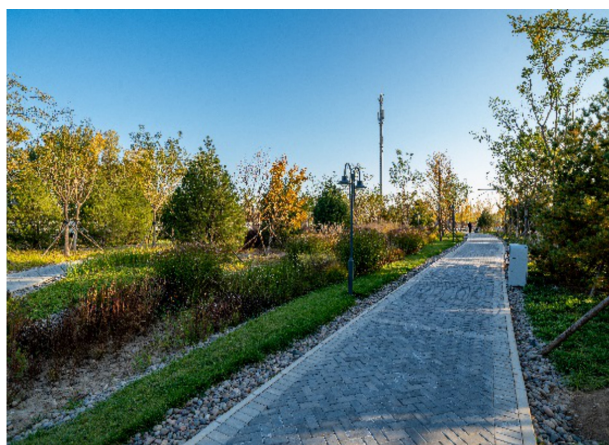


图 3 园路旁的植物群落

Fig. 3 Plant communities along the garden road

2)混龄多样,低龄为主,建设长寿而可演替的自然景观林带

环球主题乐园景观廊道绿地的植物规格都选择在 10~18 cm 这个区域范围。研究表明,平均胸径在 10~20 cm 的植物群落年固碳量最高,以幼年、青壮年树为主,不仅有助于绿地碳汇能力提升,而且对降低工程成本、提高苗木存活率也有正面作用。

同时,为了营造合理的群落演替过程,也为了满足环球影城的游客观赏需求,在关键节点如游客比

较集中的入口端及或者游客视线集中的地方,适当少量栽植大规格苗木,营造绿意葱茏、舒适宜人的游览环境,营造与环球影城园区内外协调的景观效果(图 4)。



图 4 环球大道西侧入口

Fig. 4 West entrance of Global Avenue

3)复合配置,乔灌密植,打造高碳汇、高颜值的廊道景观界面

项目的植物配置方式分为两种。在道路红线内的分车绿带主要以规则式、分层搭配、乔木栽植为主。分车带一般比较窄,而乔木为主的栽植方式可以充分提高单位面积的碳汇效应^[5]。

由于整个环球主题乐园区域开发建设属于早期阶段,主要以环球影城的游客为主,游客的目的性较强,人流密度以环球影城入口为中心逐渐减弱。周边景观以车行视线为主,因此道路两侧公园绿地采用以乔木为主的复合型植物配置结构,既能提高单位面积植物绿量,提高单位绿地的碳汇能力,又可为环球影城竖起一道有型的绿色屏障,让游客恍如在林海穿行,在到达目的地前,保留一种神秘感和新奇效应。丰富的林带景观提供了美好的视觉享受,可提高游客的期待值与好奇心。

4)绿地植物复层种植,打造环球影城两侧的绿色屏障

在绿地的植物配置中要综合考虑绿地的景观功能、植物的生态习性,合理配植,提高绿地容量,创造多样性景观,综合实现乔、灌、草、花的搭配,速生与慢生的搭配,常绿、落叶与彩叶的搭配,乡土与新优的搭配,抗逆与修复的搭配,观叶、观花与观果的搭配,低碳与常规的搭配,让绿地以最合理、自然的方式固碳增汇,营建低碳园林^[6]。

3.2.2 园建工程

1) 土方就地平衡,海绵绿地渗蓄雨水

文旅区 12 km² 的场地内,整体地形偏低,通过建立暴雨模型推演计算,为保证防洪安全,园区内道路标高按照不低于规划萧太后河分洪渠 50 年一遇洪水水位控制。所有道路高程都采用了填方的方式,而绿地内的地势整体平坦偏低,导致各类绿地与道路之间产生较大高差,同时道路两侧也不得不存在大量的硬质护坡。

因此,地形的设计充分考量了实地的现状基础,减少土方调整量和机械使用,避免大量的填挖方及土方运输带来的大量碳排放。同时,又考虑道路沿线的景观效果,沿路侧适当作一定量的地形变化,与道路标高衔接,营造良好的车行景观界面,同时又将硬化边坡通过土方回填调整为土质边坡,扩大绿化碳汇空间。回填的土方尽量取自地块内。挖方部分可以通过竖向设计,合理安排地表水流向,设计雨水花园、下凹绿地、生态草沟等,增大绿地生态系统对雨水的吸纳、蓄渗和缓释作用,有效控制雨水径流,实现自然积存、自然渗透、自然净化的城市低碳发展方式。

在土方调整的过程中,一是做到尽量就地平衡,通过合理的设计降低土方调整,可以减少长途运输,直接减少碳排放,有效控制对环境产生扬尘及噪音污染。二是利用建筑垃圾堆山造景。周边市政道路管廊等建设项目产生了大量无毒无害的砖石建筑废料,本项目在部分种植区域地面以下 1.5 m 处采用建筑垃圾塑造地形,既能丰富景观空间形态,呈现景观绿地的高低起伏,又解决了周边工程的建筑垃圾消解运输问题,进一步降低了工程中的碳排放。

2) 废旧利用,使用新型碳友好材料或节能材料

项目中选用的铺地材料主要是再生透水砖和弗维木。再生透水砖是指以再生骨料为集料,以水泥为胶凝材料,加入适量的外加剂,加水搅拌后压制成型,具有较强透水性的路面砖。弗维木是一种由园林树木修剪的树枝经过打碎压制而成的新型环保材料。弗维木具有无毒、无味、透水、耐酸碱、硬度适中、可降解等优点,比传统铺装材料更加环保,用于铺装脚感更加舒适,还可循环使用,是建设低碳园林、海绵城市的一种新型铺装材料^[7]。

绿地里配套的部分坐凳、花池小品等,也采用石笼填充废弃砖石作为填充物,尽可能重复利用资源,使一些废弃物也能够发挥其剩余价值。通过循环再利用的方式,减少资源浪费,优化城市生态环境,从

而间接降低碳排放。

4 后期施工养护中的低碳策略

项目中所有苗木全部选用环京 300 km 内本地植物,其原因为:(1)近距离运输能源消耗量小,降低了施工过程中的碳排放;(2)外来植物适应环境能力差,容易枯萎死亡,而本地植物天然适应本地气候环境,成活率高,可以大大降低种植成本及养护管理成本,从而降低种植养护过程中的碳排放。

园林施工后期最重要的是养护工作。俗话说“三分种、七分养”,文旅区绿化工程施工中低碳理念贯穿全过程。对植物进行合理修剪,既考虑满足环球影城开园时一定的景观需求,又充分保证植物的成活率。科学管理水肥和病虫害,随时充分回收利用园林废弃物,利用碎木机等园林设施回收再利用,系统转制有机肥料或作为树穴覆盖物等。

5 项目建成后的碳汇效益初步评价

目前城市绿地碳汇的估算主要方法有样地勘测法、同化量法、微气象学法、遥感估算法以及利用碳汇量估算系统等方法。以上方法都存在耗时过长或者相关参数尚不全面的问题。由于本次评估仅对碳汇效益做初步评价,因此选取在工程中相对使用简便的估算方法^[8]。根据相关研究,按植物类型将绿地分为乔灌草型、灌草型、草坪型和草地等类型^[9],各类型绿地的固碳能力见表 1。

表 1 绿地固碳能力

Tab. 1 Carbon sequestration capacity of green space
g/(m²·d)

类型	乔木	灌木	草坪	总体
乔灌草型	35.67	20.95	23.38	80.00
灌草型	15.29	22.52	23.38	61.69
草坪型	15.29	16.76	23.38	55.43
草地	0	0	23.38	23.38

在分析绿地固碳数据时,叶祖达定量比较分析出北京每公顷绿地每年平均的碳汇功能为 68.57 t^[10],则本项目每年的固碳量为 57.010 7×68.57 = 3 909.2 t。而按表 1 指标计算的固碳量为 4 887.4 t。不同方法计算结果有差别,符合文献规律。通过取

(下转第 212 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.020

市场化与绿色金融对我国碳中和目标的影响研究

张凯彦¹, 李世刚²

(1. 深圳市腾讯计算机系统有限公司, 广东 深圳 518000; 2. 江西财经大学, 江西 南昌 330013)

摘要:为实现双碳目标,除持续加强与国际接轨和优化金融体系外,需政府、金融机构、企业等共同推动碳中和目标的实现。分析市场化与绿色金融对我国碳中和目标的影响,总结市场机制对节约生产生活方式的刺激作用以及开展更高附加价值的多元商业模式等。提出政策补贴转向市场调节,绿色金融接轨国际助推绿色产业发展,以及三大功能与五大支柱引领我国金融发展等观点,并对其具体内容进行详细阐述。

关键词:碳中和目标;市场化;绿色金融;绿色产业

中图分类号:P461.7;X322 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0120-04

引文格式:张凯彦,李世刚. 市场化与绿色金融对我国碳中和目标的影响研究[J]. 林业调查规划,2023,48(4): 120-123,130. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.020

ZHANG Kaiyan, LI Shigang. Impact of Marketization and Green Finance on China's Carbon Neutrality Goals[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 120-123, 130. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.020

Impact of Marketization and Green Finance on China's Carbon Neutrality Goals

ZHANG Kaiyan¹, LI Shigang²

(1. Shenzhen Tencent Computer System Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000, China;

2. Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China)

Abstract: In order to achieve the dual carbon goals, in addition to continuously strengthening international integration and optimizing the financial system, the government, financial institutions, enterprises and others need to jointly promote the realization of carbon neutrality goal. This paper analyzed the impact of marketization and green finance on China's carbon neutrality goals, summarized the stimulating effect of market mechanisms on saving production and lifestyle, developed diversified business models with higher added value, proposed viewpoints such as policy subsidies shifting towards market regulation, green finance aligning with international standards to promote the development of green industries, and three major functions and five pillars leading China's financial development, and provided detailed explanations of the specific contents.

Key words: carbon neutrality goal; marketization; green finance; green industry

世界经济论坛(World Economic Forum, WEF)多年来持续发布全球风险报告,从经济、环境、社会、

科技以及地缘政治来观察全球风险趋势与展望。2011年开始,环境风险首度出现在最可能发生的全

收稿日期:2022-01-20.

第一作者:张凯彦(1997-),女,江西赣州人,硕士研究生.研究方向为金融衍生品市场、金融科技与创新、碳中和产业发展研究.

责任作者:李世刚(1982-),男,河南淮滨人,博士研究生,副教授.研究方向为资本市场会计与财务.

球前五大风险中,2020年全球前五大风险警讯全为环境类,包括极端气候、气候行动失败、天灾、生物多样性丧失、人为的环境损伤(表1)。全球性的气候变化使极端气候更频繁地发生,且越来越严重地冲

击人类生活。随着风险与损害的增加,使得居民开始思考伴随经济发展的负向环境因素。许多组织、国家、地区甚至是企业也提倡或宣布进入气候紧急状态,竭力应对气候危机与风险。

表1 WEF 归纳近年全球风险演变(2007—2021年)

Tab. 1 Global risk evolution in recent years summarized by WEF (from 2007 to 2021)

年度	第一风险	第二风险	第三风险	第四风险	第五风险
2007	关键性信息基础设施奔溃	发达国家的慢性病	油价冲击	中国经济硬着陆	资产价格崩坏
2008	资产价格崩坏	中东动荡	失败国家和衰败国家	石油和天然气价格上涨	发达国家的慢性病
2009	资产价格崩坏	中国经济增速放缓	慢性病	全球治理差距	全球化衰退
2010	资产价格崩坏	中国经济增速放缓	慢性病	财政危机	全球治理差距
2011	风暴和飓风	洪水	腐败	生物多样性丧失	气候变化
2012	严重收入差距	长期财政失衡	温室气体排放量上升	网络攻击	水供应危机
2013	严重收入差距	长期财政失衡	温室气体排放量上升	水供应危机	人口老龄化管理不善
2014	收入差距	极端天气事件	失业或不充分就业	气候变化	网络攻击
2015	具有区域影响力的国家间冲突	极端天气事件	国家治理失败	国家解体或危机	结构性失业率高或不充分就业
2016	大规模非自愿性移民	极端天气事件	减缓和适应气候变化措施不力	具有区域影响力的国家间冲突	重大自然灾害
2017	极端天气事件	大规模非自愿性移民	自然灾害	恐怖分子攻击	数据欺诈或盗窃
2018	极端天气事件	自然灾害	网络攻击	数据欺诈或盗窃	减缓和适应气候变化措施不力
2019	极端天气事件	减缓和适应气候变化措施不力	自然灾害	数据欺诈或盗窃	网络攻击
2020	极端天气事件	减缓和适应气候变化措施不力	自然灾害	生物多样性丧失	人为环境破坏
2021	极端天气事件	气候应对行动失败	人为环境破坏	传染病	生物多样性丧失

2020年是《巴黎协定》缔约后的第一个五年,依据《巴黎协定》各缔约国依约每隔5年做一次进展评估,更要确定国家下一阶段的气候方针。在疫情冲击下,国际主要气候议题领导国不仅提出更高的国家自主贡献新目标,也坚持不放松产业转型目标。我国也在2020年9月22日提出双碳目标,即2030年前碳排放达峰,2060年前实现碳中和。此目标也首次纳入我国中央经济工作会议,列为2021年八大重点任务之一,也正式写入经济和社会发展十四五规划中。

《巴黎协定》签订迄今,稳气候的成果相当有限。联合国气候变迁小组在2021年8月9日发表的气候变迁报告,揭露出全球气候变暖的速度超过科学家先前的观察,2030年前可能就会打破升温的限制目标。此时,我国对气候的新承诺不仅带来国

际关注,各界更关注其执行力与国际合作策略,其将成为全球应对气候问题的重要关键。

以下将阐述我国应对气候问题策略的新转变,策略的调整将有助于创造更好的资源引导与分配模式,或将使我国未来的政策手段更多元化且有效。

1 政策补贴转向市场调节

中国政府曾于2009年9月承诺将削减经济快速发展过程中的碳排放系数,这也成为我国绿色低碳经济的开端,随后将减排与能源转型的目标放入“十二五”(2011—2015年)与“十三五”(2016—2020年)规划中并逐步落实。在国家政策强力引导下,凭借世界工厂优势,我国再生能源产业逐渐成形。随着技术渐趋成熟、成本下降、市场渗透率提高,中大型企业也顺势崛起,规模生产促使装置成本不断降低。

广大的幅员与庞大的内部市场使我国再生能源产业由设备制造端扩及到应用端,也激励了相关服务与顾问业的发展。低廉的太阳能装置让我国成为全球最主要的设备输出国,超过 7 成的太阳能装置组件来自我国,也顺势推进全球再生能源的装置容量。

以再生能源中发展最快速的太阳能为例,2011 年我国太阳能光电装置容量仅逾 3.1 GW,仅约占全球装置容量的 4.3%。但在十二五时期政策目标激励下,迎来了 2 年翻倍的扩张,2014 年后装置容量扩张速度虽稍趋缓,但仍维持着双位数的成长。在十三五时期政策加速推动中,2020 年我国累计太阳能光电装置容量再创新高,已逾 253.8 GW,约占全球太阳能光电装置容量的近 35.9%,远超位居第二的美国(占比 10.7%)(图 1)。2013 年起,我国连续 8 年新增太阳能光电装置容量居冠全球,累计装置容量也在 2015 年跃居全球第一。双碳目标宣言再度激励我国再生能源与低碳产业蓬勃发展,凭借着我国采取的政策激励与庞大的市场支持,再生能源与低碳产业或将有更好的发展契机。我国惯常使用大量补贴来推进政策落地与达标,也经常与地方政府绩效和财政挂钩,却也衍生出资源过度投放与浪费的面子工程事件,导致资源配置产生严重扭曲。在太阳能与风力发电产业推进的最初十年,装置容量快速攀升,也带来相对应的再生能源发电量。但太阳与风力资源丰富且可设置大型场域的地区多位于中部、北部与西部区域,既不是沿海富裕城市,也不是主要重度电力需求区域。

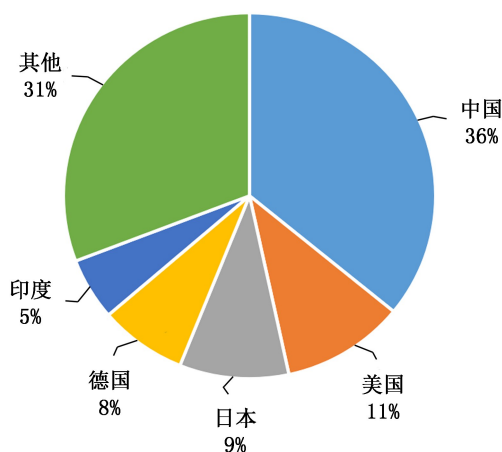


图 1 2020 年太阳能光电累计装置容量分布

Fig. 1 Capacity distribution of solar photovoltaic cumulative devices in 2020

相对昂贵的再生能源电价,在发电当地不易找

到买家,或因再生能源发电高峰与用电高峰不匹配,使得选购意愿不高。潜在的买家或因区位差异与基础设施不足无法取得绿电,导致再生能源的供给与需求不匹配。此外,再生能源的发展中,储能系统、跨区电网布建、智慧电网或灵活可调度的发电系统均为必需之基础建设。传统电网无法负荷频繁绿电并网,为减轻对既有电网的冲击,最终只能关闭部分再生能源机组,导致弃电或停发电的情况重复发生,再生能源电厂遂走向关闭的窘境。为了重新引导再生能源产业正向发展,我国政府在 2018 年 5 月 31 日公布《关于 2018 年光伏发电有关事项的通知》,其中明确降低电价补贴力度,更限制新建电厂的规模。也就是 2018 年之前,我国太阳能发电业是通过政策补贴来维持商转,因此往往与市场供需不相符。2018 年之后,新建案的审核中更强调不依靠补贴仍能商转的模式。风电发展也与太阳能光电有相似情况,因此降低补贴与市场化压力也在风电领域中发酵。

十四五时期,再生能源被赋予更重的能源结构优化角色,少了政策补贴,但借助迎向市场化所带来的竞争压力,让产业更积极探寻较为经济节约的生产模式,也鼓励企业积极开展再生能源高附加值运用的可能性。

2 绿色金融接轨国际助推绿色产业发展

在气候议题的驱动下,许多国家积极推动产业向低碳、绿色与新能源产业转型,最初聚焦高碳排产业,如电力、运输、建筑等领域,最终将会扩及到几乎所有产业的转型。然绿色转型所需要的绿色、低碳或零碳技术以及新兴产业的发展均需要大量且持续的资金。在市场尚未完全形成,不确定性风险大的情况下,金融支持将成为未来产业发展的关键,也为金融业带来绿色商机。根据清华大学气候变化与可持续发展研究所的研究结果,为实现碳中和目标,我国在 2020—2050 年间仅能源系统需要新增约 138 兆元的投资。根据中国金融学会绿色金融专业委员会主任马骏的推估,迎向碳中和约需 100 兆元至 500 兆元的低碳投资需求。前述推估均未包含加强既有基础设施抵御气候变化影响之相关投资需求。

绿色金融扮演绿色产业重要的推手,金融业从业者与投资人也能对企业形成压力,督促其限制温室气体排放。我国绿色金融业近来快速增长,截至 2020 年底,绿色贷款余额近 12 兆元,存量规模已位居世界之冠;绿色债券余额达 8 132 亿元,累计存量规模突破 1.2 兆元,规模仅次于美国。2021 年 2 月

9日,南方电网、三峡集团、华能国际、国家电投集团、四川机场集团、雅砻江水电等6家企业注册首批碳中和公司债券完成发行,发行金额合计64亿元。上海与深圳证券交易所也分别于2021年2月25日和2021年3月5日推出碳中和公司债券。我国的绿色资金缺口将随双碳目标的推进而逐年扩大。2019年新增绿色资金缺口已达6180亿元,其中97%通过绿色信贷和绿色债券来满足,其余则为绿色股权融资。但此也显示目前我国的绿色融资方式过于单一,不利于绿色金融产业发展,也不利于对冲性衍生产品的开发。

我国的双碳目标承诺,初期会为高碳产业和企业带来巨大风险,未来这些产业将面临收入下降、成本上升、盈利下降,可能会延伸出不良资产与债务。因此,在推进绿色转型时需要绿色金融体系的支撑,而完善绿色金融体系可吸引国际投资者参与,并提供多元的产品来协助绿色产业发展。为此,中国人民银行通过三大功能与五大支柱来引领我国金融发展,以逐渐形成支持绿色产业与完善的绿色金融体系。

三大功能乃指充分发挥金融支持绿色发展的资源配置、风险管理和市场定价三大功能。

1)通过货币政策、信贷政策、监管政策、强制披露、绿色评价、行业自律、产品创新等,引导和启动金融资源转向低碳项目、绿色转型项目、碳捕捉与封存等绿色创新项目。

2)通过气候风险压力测试、环境和气候风险分析、绿色和棕色资产风险权重调整等工具,增强金融体系管控气候变化相关风险的能力。

3)推动建设全中国碳排放权交易市场,发展碳期货等衍生产品,通过交易,为排碳合理定价。

五大支柱则是为了进一步完善绿色金融体系。

1)完善绿色金融标准体系

加快构建绿色金融标准体系,遵循国内统一、国际接轨原则,中欧绿色金融标准对照研究工作即将完成,拟在今年推出中欧绿色金融共同标准,促进跨境投资。

2)强化金融机构监管和信息披露要求

持续推动金融机构、证券发行人、公共部门分类,提升环境信息披露的强制性和规范性。

3)逐步完善激励约束机制

通过绿色金融业绩评价、贴息奖补等政策,引导金融机构增加绿色资产配置、强化环境风险管理,有利于提升金融业支援绿色低碳发展的能力。

4)不断丰富绿色金融产品和市场体系

通过鼓励产品创新、完善发行制度、规范交易流程、提升透明度,我国目前已形成多层次绿色金融产品和市场体系,下一步将继续推动产品创新和市场稳健发展。

5)积极拓展绿色金融国际合作空间

积极利用各类多双边平台及合作机制,推动绿色金融合作和国际交流,提升国际社会对我国绿色金融政策、标准、产品、市场的认可和参与度。

3 结 语

一个碳排放量尚未达峰且高度依赖煤炭的制造大国,仅有不到40年的时间要实现碳中和目标是异常艰难的任务。但迎向改革开放逾40年的我国,也以超常的认知与速度将国家与社会发展到当前规模。通过引导再生能源摆脱补贴,走向市场化,以及绿色金融国际接轨的举措,我国正在借助西方惯用的市场机制之特质来优化与多元化其政策手段,在迈向双碳目标的过程中,或许能创造出更好的资源引导与分配模式,其未来发展相当值得关注。

参考文献:

- [1] 舒印彪,张丽英,张运洲,等. 我国电力碳达峰、碳中和路径研究[J/OL]. 中国工程科学,2021:1-14. [2021-11-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4421.G3.20211117.1003.002.html>.
- [2] 王少洪. 碳达峰目标下我国能源转型的现状、挑战与突破[J/OL]. 价格理论与实践,2021:1-5. [2021-11-18]. <https://doi.org/10.19851/j.cnki.CN11-1010/F.2021.08.246>.
- [3] 徐南平,赵静,刘公平. “双碳”目标下膜技术发展的思考[J/OL]. 化工进展,2021:1-7. [2021-11-18]. <https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2021-2143>.
- [4] 汪克亮,赵斌. “双碳”目标背景下数字金融对能源效率的影响研究[J/OL]. 南方金融,2021:1-13. [2021-11-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1479.F.2021110.0937.002.html>.
- [5] 张永生,董舵,肖逸,等. 我国能源生产、消费、储能现状及碳中和条件下变化趋势[J/OL]. 科学通报,2021:1-11. [2021-11-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1784.N.20211108.2112.004.html>.
- [6] 许杰,黎珍羽,闫敬德. 碳达峰、碳中和目标下工业企业电价承受能力研究——基于对甘肃省工业企业电价承受能力相关数据的测算与比较[J/OL]. 价格理论与实践,2021:1-4. [2021-11-18]. <https://doi.org/10.19851/j.cnki.CN11-1010/F.2021.08.239>.

(下转第130页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.021

草类—兴安落叶松渐伐林固碳研究

郭景怡¹, 岳永杰¹, 邵建勋², 李婧³

(1. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 林西县城市管理综合执法局, 内蒙古 林西 025250;
3. 包头市林业和草原局, 内蒙古 包头 014060)

摘要: 以内蒙古大兴安岭草类—兴安落叶松渐伐林为研究对象, 分析不同龄组林分植被层的生物量、碳密度、固碳速率、固碳潜力特征及变化趋势。研究表明, 碳密度与生物量的变化方向一致, 植被层生物量和碳密度变化范围分别为 71.87~115.08 t/hm²、51.48~68.97 t/hm², 两者各层次大小顺序均为乔木层>枯落物层>灌木层>草本层。植被层固碳速率变化范围为 0.96~2.75 t/(hm²·a), 随林龄的增加呈逐渐递减趋势。乔木层固碳速率随林龄增加而减小的变化趋势较明显, 变化范围为 0.26~0.83 t/(hm²·a), 灌木层、草本层的固碳速率变化范围为 0.19~0.55 t/(hm²·a) 和 0.39~1.87 t/(hm²·a)。植被层总固碳潜力随林龄增加而呈减小趋势, 变化范围为 3.61~21.11 t/hm²。

关键词: 生物量; 碳密度; 固碳速率; 固碳潜力; 草类—兴安落叶松渐伐林

中图分类号: Q945.11; S791.222; S718.54 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)04-0124-07

引文格式: 郭景怡, 岳永杰, 邵建勋, 等. 草类—兴安落叶松渐伐林固碳研究[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4): 124-130.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.021

GUO Jingyi, YUE Yongjie, SHAO Jianxun, et al. Carbon Sequestration of Grass-Larix gmelinii Successive Cutting Forest [J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 124-130. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.021

Carbon Sequestration of Grass-Larix gmelinii Successive Cutting Forest

GUO Jingyi¹, YUE Yongjie¹, SHAO Jianxun², LI Jing³

(1. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China;

2. Linxi Bureau of Urban Management Comprehensive Law Enforcement, Linxi, Inner Mongolia 025250, China;

3. Baotou Bureau of Forestry and Grassland, Baotou, Inner Mongolia 014060, China)

Abstract: By taking the grass-Larix gmelinii successive cutting forest in the Great Khingan Mountains of Inner Mongolia as the research object, the characteristics and trends of biomass, carbon density, carbon sequestration rate and carbon sequestration potential of vegetation layer in different age groups were analyzed. The study showed that the change direction of carbon density was consistent with that of biomass, and the change range of biomass and carbon density in vegetation layer was 71.87-115.08 t/hm² and 51.48-68.97 t/hm², respectively, and the order of size of each layer was arbor layer>litter layer>shrub layer>herb layer. The carbon sequestration rate of vegetation layer varied from 0.96 to 2.75 t/(hm²·a), which gradually decreased with the increase of forest age. The carbon sequestration rate of arbor layer decreased significantly with the increase of stand age, and the range was 0.26-0.83 t/(hm²·a). The

收稿日期: 2022-03-22; 修回日期: 2022-03-25; 二次修回日期: 2022-03-29.

基金项目: 内蒙古自治区科技重大专项专题(2019ZD0070402).

第一作者: 郭景怡(1996-), 女, 内蒙古呼伦贝尔人, 硕士研究生. 研究方向为森林生态学. Email: 1677463559@qq.com

责任作者: 岳永杰(1976-), 男, 内蒙古赤峰人, 教授. 主要从事森林生态学、水土保持学方面的研究与教学. Email: wolongyue@126.com

range of carbon sequestration rate of shrub layer and herb layer was 0.19–0.55 t/(hm²·a) and 0.39–1.87 t/(hm²·a). The total carbon sequestration potential of vegetation layer decreased with the increase of stand age, and varied from 3.61 to 21.11 t/hm².

Key words: biomass; carbon density; carbon sequestration rate; carbon sequestration potential; grass—*Larix gmelinii* successive cutting forest

全球气候变化背景下,联合国呼吁各国尽快实现“碳达峰”,减缓全球气候变化问题,根本在于如何降低大气中温室气体浓度,主要途径有两种:减少碳源和增加碳汇^[1],目前各国研究重点仍是通过增加碳汇来缓解全球气候变化所带来的压力^[8]。“碳达峰、碳中和”自2021年被列入我国生态文明建设的整体布局中,“双碳”背景下,森林的固碳能力引起学者们的广泛重视^[2]。森林作为陆地生态系统最大的碳库,具有很高的固碳能力,不仅能够维护区域生态环境的稳定,而且在全球碳循环与碳平衡中占有重要地位^[9–12]。同时,森林作为陆地生态系统的主体,固碳成本较低,具有巨大的减排增汇潜力,在减缓气候变化、参与能量循环、调节碳平衡、维护区域气候稳定等方面均具有不可替代的重要作用^[3–4]。

大兴安岭林区是我国四大国有林区之一,也是我国唯一的寒温带针叶林区和重要的生态功能区^[5–6];被誉为“北疆的绿色长城”和“祖国北疆的重要生态屏障”,作为我国开展全球生态学研究的重要前沿阵地,其固碳能力和生态地位较为重要^[7–8]。兴安落叶松作为大兴安岭林区的建群种和优势种,其在维持区域碳循环上发挥着重要作用^[9–10]。2014年实施全面停止天然林商业性采伐后,中幼龄林向成熟林过渡,林龄结构发生长期动态变化,林分生物量碳储量和碳密度呈进一步上升趋势,碳动态与森林的演替阶段和林龄结构密切相关或将发挥更大的固碳能力^[19]。长期的渐伐使大兴安岭林区形成了大面积的渐伐次生林,而对于渐伐林不同林龄林下植被动态变化研究较少^[20],本研究以草类—兴安落叶松渐伐林为研究对象,测定和估算其生物量、碳密度、固碳速率及固碳潜力,并对其随龄组变化趋势进行分析,揭示其碳储量变化规律,明确森林固碳现状、速率和潜力,对合理经营和管理森林、提升森林固碳功能具有重要意义^[11–12]。

1 研究区概况

研究区位于大兴安岭地区根河市潮查林场境内,地理坐标为 50° 11′ ~ 53° 33′ N, 121° 12′ ~ 127° 00′ E。

东、北与黑龙江接壤,西、南与呼伦贝尔毗邻。大兴安岭地区气候独特,属寒温带大陆性季风气候,地势东高西低,全年温差较大,最高年温差达 80℃。年日照时间 2 600 h;年有效积温 2 100℃;年均降雨量 460 mm。研究区土壤以灰色针叶林土为主,平均土层厚度在 35 cm 以上。森林面积约为 730 万 hm²,森林覆盖率近 80%。兴安落叶松是该地区的主要建群种,主要林型包括草类—兴安落叶松林、杜香—兴安落叶松林和杜鹃—兴安落叶松林。

2 研究方法

2.1 样地设置与生物量的测定

在 2020 年 7—8 月,在内蒙古大兴安岭地区潮查林场境内选取海拔、坡向、立地条件相近的草类—兴安落叶松林典型地段设置调查样地,将兴安落叶松林划分为 4 个龄组(幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林),共设置 12 块(规格为 20 m × 30 m)林分密度相近的固定样地进行调查(表 1)。

表 1 样地信息

Tab. 1 Information of sample land

龄组	海拔 /m	坡度 /(°)	坡位	林龄 /a	郁闭度 /%
幼龄林	845	<5	上坡	25	75
幼龄林	844	<5	上坡	30	74
幼龄林	846	<5	中上坡	35	71
中龄林	831	<5	中上坡	78	65
中龄林	832	<5	中上坡	80	69
中龄林	833	<5	中上坡	76	71
近熟林	792	<5	中坡	92	50
近熟林	791	<5	中坡	97	48
近熟林	785	<5	中坡	99	49
成熟林	840	<5	上坡	133	46
成熟林	836	<5	中上坡	113	43
成熟林	833	<5	上坡	118	45

生物量测定分为乔木层、灌木层、草本层及枯落

物的测定。

2.1.1 乔木层的测定

对样地里胸径≥5 cm 的树木每木检尺,记录其胸径、树高,利用已构建的异速生长方程^[13],求得各龄组样地内乔木层各器官生物量及总生物量。公式为:

$$W = a(D^2H)^b \quad (1)$$

式中: a 、 b 为系数; D 为平均胸径; H 为平均树高。

不同组分 a 、 b 两值存在差异(表 2)。

表 2 不同器官生物量回归模型

Tab.2 Regression models of biomass of different organs

器官	生长方程
树干	$W = 0.024(D^2H)^{0.962}$
树枝	$W = 0.016(D^2H)^{0.719}$
树皮	$W = 0.003(D^2H)^{0.775}$
树根	$W = 0.003(D^2H)^{0.775}$

2.1.2 灌木层、草本层及枯落物的测定

灌草部分的生物量采用“收获法”来测定,林下层生物量测定时分别在样地中心和 4 个角设置 5 个小样方,调查样方内所有灌木和草本及枯落物。草本层分为地上部分和地下部分进行称重和取样。枯落物采用直接收集法,收集样方内所有地表枯落物(包括未分解层和半分解层),称得所有样品的鲜重,然后将样品装入样品袋带回实验室放置于 85℃ 烤箱中干燥至恒重,继而测得样品干重,计算得出样品的含水率。利用取样的鲜重与烘干后的恒定质量的差值算出干物质质量,即生物量。

2.2 碳密度的计算

在已获得各龄组草类—兴安落叶松渐伐林各层次生物量的基础上,采用“生物量×含碳率”求得不同龄组样地内各器官的碳密度及总碳密度^[14],公式为:

$$D = B \times R \quad (2)$$

式中: D 为碳密度; B 为林分生物量; R 为各组分含碳率($R_{\text{树干}}$ 为 0.46, $R_{\text{树枝}}$ 为 0.49, $R_{\text{树皮}}$ 为 0.49, $R_{\text{树叶}}$ 为 0.52, $R_{\text{树根}}$ 为 0.41,地上部分含碳率取平均值)。

2.3 固碳速率的计算

区域尺度上森林生态系统的固碳速率还未形成完备的计算方法体系^[25],植被层的固碳速率通常采用“时间序列法”进行计算,即采用不同时期森林植被层碳密度的变化量来推算固碳速率,“该龄组碳密度变化量/该龄组树木生长年龄”即为其固碳速

率,公式为:

$$CSR = (C_2 - C_1) / (t_2 - t_1) \quad (3)$$

式中:CSR 为固碳速率; $C_2 - C_1$ 为碳密度变化量; $t_2 - t_1$ 为单位时间。

2.4 固碳潜力的估算

采用“最大值法”对草类—兴安落叶松渐伐林固碳潜力的大小进行估算。以各龄组中最大碳密度作为固碳潜力的参考值,其余各龄组的碳密度作为初始固碳潜力,计算两者的差值得到固碳潜力的大小,林下植被层固碳潜力也采取同样的估算方式^[15-16],公式为:

$$CSP = CSr - CS \quad (4)$$

式中:CSP 为森林固碳潜力;CSr 为林分参考密度;CS 为林分初始碳密度。

3 结果与分析

3.1 草类—兴安落叶松渐伐林生物量分配特征

林分植被层生物量随年龄的增长而增加(表 3),各层次生物量大小顺序为乔木层>枯落物层>灌木层>草本层。乔木层生物量约占全部植被层的 89.61%,生物量范围在 70.58~82.89 t/hm²。不同龄组乔木层生物量均占有绝对比重,幼龄林时所占比例最小,为 98.2%,成熟林时所占比例最大,为 99.24%。林下植被层生物量呈枯落物>灌木>草本的变化趋势,约占整个植被层的 10.39%,生物量范围在 0.63~1.40 t/hm²。

表 3 不同龄组植被层生物量占比

Tab.3 Proportion of vegetation layer biomass of different age groups %

龄组	乔木层	灌木层	草本层	枯落物层
幼龄林	98.200	0.170	0.125	1.505
中龄林	98.396	0.052	0.038	1.514
近熟林	98.307	0.062	0.040	1.591
成熟林	99.241	0.029	0.002	0.728

3.1.1 乔木层生物量器官分配特征

乔木层生物量随林龄的增长而逐渐增大,成熟林时达到最大值,为 82.89 t/hm²,幼龄林时生物量最小,为 70.58 t/hm²,中龄林和近熟林分别为 76.68 t/hm² 和 81.58 t/hm²。从幼龄林到成熟林其生物量分别占林分总生物量的 98.2%、98.4%、98.3%、99.4%,与此同时,不同龄组的乔木层因器官的不同

生物量也存在差异。随着林龄的增加,各器官的生物量总体呈上升趋势,而同一发育阶段的草类—兴安落叶松渐伐林的各器官生物量也总体符合树干 > 树根 > 树枝 > 树皮 > 树叶的一般规律。不同林龄时

期树干、树根、树枝、树皮、树叶的生物量范围分别为 10.58 ~ 38.24 t/hm²、11.75 ~ 19.19 t/hm²、8.01 ~ 14.59 t/hm²、9.04 ~ 14.51 t/hm²、3.54 ~ 5.53 t/hm² (图 1)。

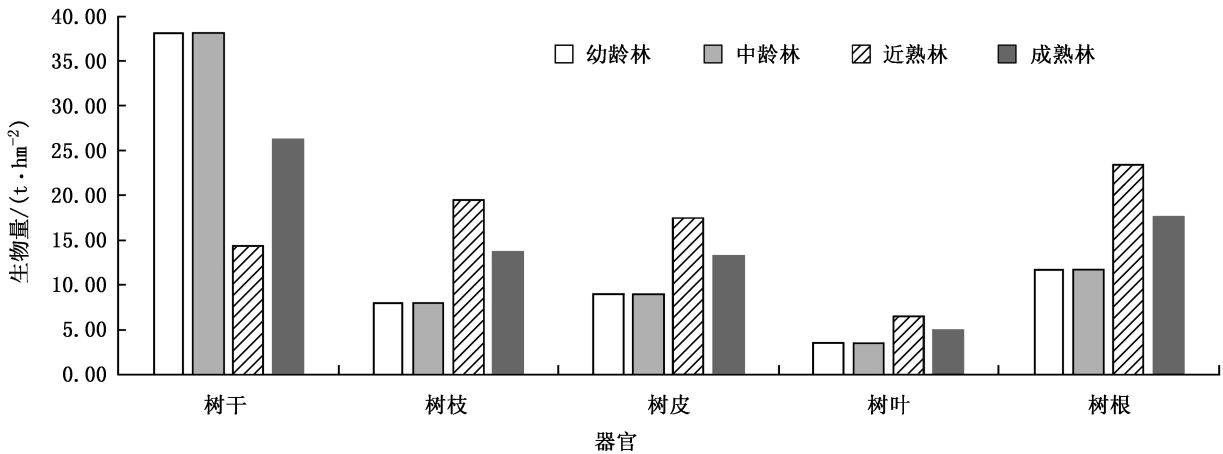


图 1 乔木层各器官生物量

Fig. 1 Biomass of organs in arbor layer

3.1.2 林下植被层生物量器官分配特征

林下植被层生物量随林龄的增加呈下降趋势。从幼龄林到成熟林的灌木层生物量分别为 0.12、0.05、0.04、0.02 t/hm²。草本层生物量分别为 0.089、0.033、0.029、0.001 t/hm²。枯落物部分未分解层的生物量远高于半分解层的生物量,而同一生长阶段枯落物部分的总生物量则呈近熟林 > 幼龄林 > 中龄林 > 成熟林的变化特征,其生物量分别为 1.32 t/hm² (未分解层为 1.08 t/hm²,半分解层为 0.24 t/hm²)、1.09 t/hm² (未分解层为 0.92 t/hm²,半分解层为 0.17 t/hm²)、1.18 t/hm² (未分解层为 0.96 t/hm²,半分解层为 0.22 t/hm²)、0.61 t/hm² (未分解层为 0.49 t/hm²,半分解层为 0.11 t/hm²)。

3.2 草类—兴安落叶松渐伐林碳密度分配特征

林分碳密度随林龄的增加而增大,从幼龄林到成熟林分别为 51.48、57.96、58.83、68.97 t/hm²。中龄林到近熟林时碳密度增势比较缓慢,到成熟林时碳密度增势较为明显。成熟林时林分植被层碳密度达到最大值(图 2)。

3.2.1 乔木层碳密度分配

相同生长阶段的草类—兴安落叶松渐伐林的乔木层各器官碳密度大小排序为:树干 > 树根 > 树皮 > 树枝 > 树叶。随着林龄不断增加,地上和地下部分的总碳密度呈增大趋势,但各器官碳密度的变化规

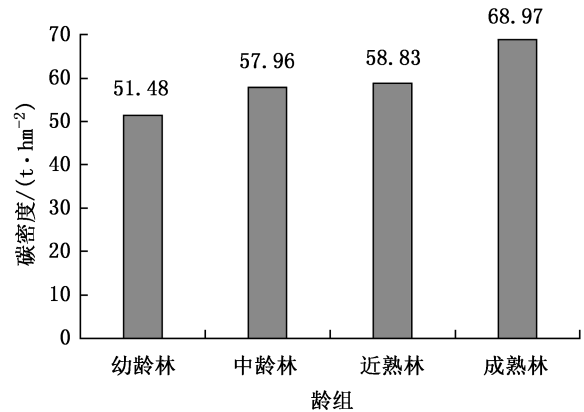


图 2 各龄组碳密度分配

Fig. 2 Distribution of carbon density in different age groups

律不明显。树干的碳密度为 6.35 ~ 17.59 t/hm²,约占整个林分的 34.5%;树枝的碳密度为 3.92 ~ 9.38 t/hm²;树叶的碳密度为 1.84 ~ 7.14 t/hm²;树根的碳密度为 4.82 ~ 10.36 t/hm²;地上部分的碳密度为 19.16 ~ 29.51 t/hm²;各样地内的总碳密度为 26.06 ~ 37.96 t/hm²。从近熟林到成熟林,树干的碳密度增加比较明显,且树干的碳密度占比较大(表 4)。

3.2.2 林下植被层碳密度分配

灌草层碳密度变化范围为 1.64 ~ 3.58 t/hm²,其中灌木层从幼龄林到成熟林分别是 2.20、0.77、1.04、1.25 t/hm²,草本层的碳密度变化范围为 0.39 ~

表 4 乔木层碳密度器官分配

Tab. 4 Organ allocation of carbon density in arbor layer

龄组	树干	树枝	树皮	树叶	树根	地上部分	总碳密度
幼龄林	17.59	3.92	4.43	1.84	4.82	28.24	33.06
中龄林	10.64	7.15	4.70	2.87	10.36	25.36	35.72
近熟林	6.35	9.38	8.24	3.47	9.41	26.12	35.54
成熟林	9.67	8.41	8.32	7.14	8.71	10.73	36.78

1.87 t/hm²。林下植被在长期生长过程中受郁闭度、光照、水分、土壤养分等诸多因素的影响,其变化规律较为复杂。在各生长阶段,枯落物层的碳密度始终占比较大,超过了灌木层和草本层的碳密度。在幼龄林时枯落物的碳密度最小,为 14.85 t/hm²(其中未分解层为 12.80 t/hm²,半分解层为 2.05 t/hm²);在成熟林时达到最大值,为 30.55 t/hm²(其中未分解层为 5.68 t/hm²,半分解层为 24.87 t/hm²);在中龄林和近熟林时分别为 17.37、20.84 t/hm²。成熟林时碳密度最大现象的原因主要为:当林分处于成熟林时,乔木层、灌木层、草本层会有较多的凋落物,如果实、成熟叶子、凋落枯折的粗枝等,这样增大了枯落物层的生物量。

3.3 草类—兴安落叶松渐伐林固碳速率

植被层固碳速率呈随林龄的增加而逐渐递减的趋势,各生长阶段的固碳速率变化范围为 0.96~2.75 t/(hm²·a)。乔木层固碳速率随林龄的增加而减小的变化趋势较为明显。固碳速率变化范围为 0.26~0.83 t/(hm²·a);灌木层、草本层的固碳速率范围分别为 0.19~0.55 t/(hm²·a)和 0.39~1.87 t/(hm²·a)(图 3)。

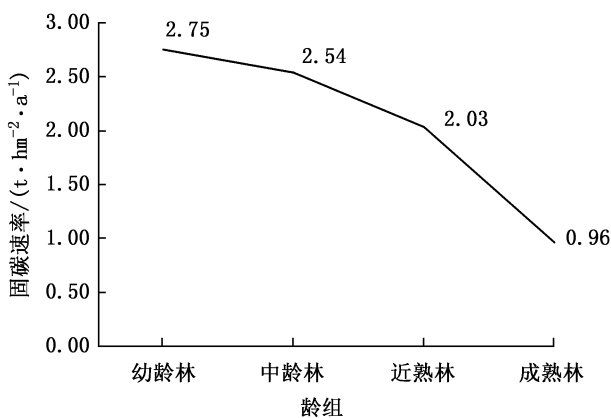


图 3 各龄组植被层固碳速率

Fig. 3 Carbon sequestration rate of vegetation layer in different age groups

3.3.1 乔木层固碳速率特征

乔木层固碳速率呈随林龄的增加而减小的变化趋势,幼龄林到中龄林的变化趋势最为显著,由 0.83 t/(hm²·a)减小到 0.47 t/(hm²·a)。在中龄林向近熟林变化过程中,固碳速率的变化趋势相对比较平缓,由 0.47 t/(hm²·a)减小到 0.36 t/(hm²·a)。由近熟林向成熟林转变时,乔木层的固碳速率最小,由 0.36 t/(hm²·a)减小到 0.26 t/(hm²·a)。说明在幼龄林时,林木生长迅速、生长空间大,固碳速率也较大;到成熟林时,林木的生长基本趋于饱和,生长空间最小,其固碳速率也最小(图 4)。

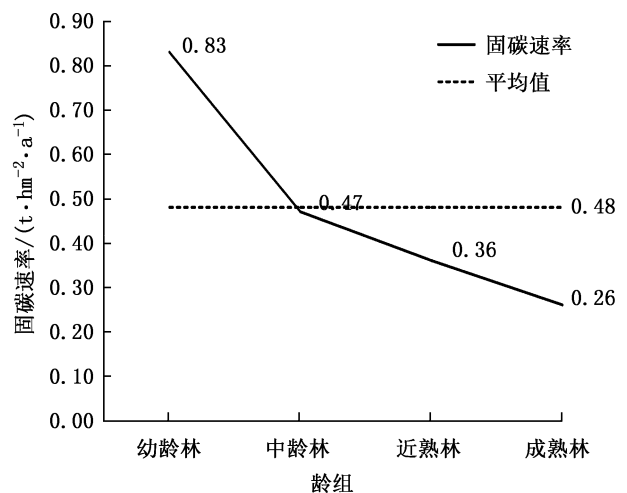


图 4 乔木层固碳速率

Fig. 4 Carbon sequestration rate of arbor layer

3.3.2 林下植被层固碳速率特征

林分从幼龄林到成熟林生长过程中,灌木层的固碳速率呈先减小后增加的变化趋势,幼龄林时为 0.55 t/(hm²·a)、中龄林时为 0.19 t/(hm²·a)、近熟林时为 0.26 t/(hm²·a)、成熟林时为 0.31 t/(hm²·a)。

随着龄组的增大,草本层固碳速率呈先增大后减小的趋势,在幼龄林时为 1.37 t/(hm²·a)、中龄林时为 1.87 t/(hm²·a)、近熟林时为 1.42 t/(hm²·a)、成熟林时为 0.39 t/(hm²·a)。由此可见,草本层的固碳速率在中龄林时达到最大值,而在成熟林时固碳速率最小(表 5)。

3.4 草类—兴安落叶松渐伐林的固碳潜力

林分植被层的固碳潜力呈随林龄增加而逐渐减小的变化趋势,变化范围为 3.61~21.11 t/hm²。从幼龄林到成熟林的生长过程中,林分植被层的固碳潜力分别为 21.111、14.62、13.75、3.61 t/hm²。林分植被层在幼龄林时的固碳潜力最大,中龄林和近

表5 林下植被固碳速率

Tab. 5 Carbon sequestration rate of understory vegetation $t/(hm^2 \cdot a)$

	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林
灌木层	0.55	0.19	0.26	0.31
草本层	1.37	1.87	1.42	0.39

熟林时呈缓慢下降趋势,到成熟林时下降趋势尤为明显,因而成熟林时的固碳潜力最小(图5)。

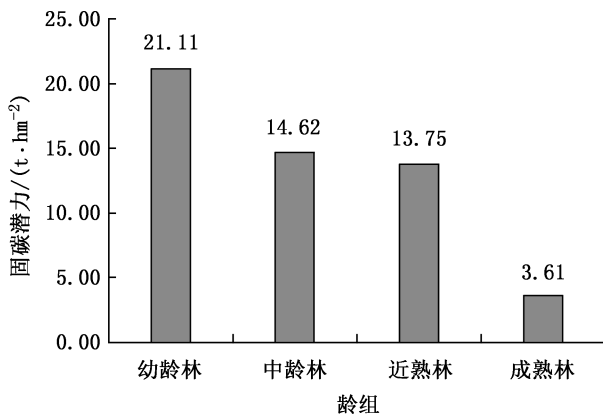


图5 植被层固碳潜力

Fig. 5 Carbon sequestration potential of vegetation layer

3.4.1 乔木层固碳潜力

林分乔木层的固碳潜力是全部植被层固碳潜力的主体,其变化趋势随林龄的增加而减小。幼龄林时乔木层处于生长旺盛阶段的固碳潜力最大,为 $4.90 t/hm^2$,近熟林时乔木层的固碳潜力明显下降,降为 $2.42 t/hm^2$,成熟林时乔木层生长缓慢,乔木层的固碳潜力下降至最低值,为 $1.18 t/hm^2$ 。

3.4.2 林下植被层固碳潜力

不同龄组林下植被的碳密度存在明显差异,中龄林灌木层的固碳潜力为 $1.44 t/hm^2$,近熟林灌木层的固碳潜力为 $1.16 t/hm^2$,成熟林灌木层的固碳潜力为 $0.95 t/hm^2$,呈逐渐下降的变化趋势。

中龄林时的草本层具有最大碳密度,将其碳密度作为草本层固碳潜力的参考值,得到幼龄林、近熟林、成熟林状态下的草本层固碳潜力分别为 0.50 、 0.45 和 $1.49 t/hm^2$,草本层固碳潜力变化趋势不明显。

枯落物层的固碳潜力随林龄的增加而降低,幼龄林时的固碳潜力达到最大值,为 $15.70 t/hm^2$,中

龄林时的固碳潜力为 $13.19 t/hm^2$,近熟林时下降至 $9.72 t/hm^2$ 。

4 结论

1) 植被层生物量范围为 $71.87 \sim 115.08 t/hm^2$,各层次生物量大小顺序为:乔木层($70.58 \sim 82.89 t/hm^2$) > 枯落物层($0.61 \sim 1.32 t/hm^2$) > 灌木层($0.02 \sim 0.12 t/hm^2$) > 草本层($0.001 \sim 0.09 t/hm^2$);其中,乔木层生物量范围为 $70.58 \sim 82.89 t/hm^2$;林下植被层生物量范围为 $0.63 \sim 1.40 t/hm^2$;植被层碳密度大小顺序为:乔木层($33.06 \sim 36.78 t/hm^2$) > 枯落物层($14.85 \sim 30.56 t/hm^2$) > 灌木层($0.77 \sim 2.20 t/hm^2$) > 草本层($0.39 \sim 1.87 t/hm^2$);乔木层占全部植被层生物量的 60.41% ,林下植被层占 39.59% 。

2) 从幼龄林到成熟林,植被层固碳速率分别为 2.75 、 2.54 、 2.03 、 $0.96 t/(hm^2 \cdot a)$,随林龄的增加呈逐渐递减趋势。乔木层的固碳速率为 $0.26 \sim 0.836 t/(hm^2 \cdot a)$,随林龄的增加而减小的变化趋势较为明显。灌木层在幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林时固碳速率分别为 0.55 、 0.19 、 0.26 、 $0.31 t/(hm^2 \cdot a)$;草本层在幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林时的固碳速率分别为 1.37 、 1.87 、 1.68 、 $0.70 t/(hm^2 \cdot a)$ 。

3) 植被层固碳潜力随林龄的增加而减小。幼龄林时的固碳潜力为 $21.11 t/hm^2$;成熟林时的固碳潜力为 $3.61 t/hm^2$;中龄林和近熟林时的固碳潜力分别为 $14.62 t/hm^2$ 和 $13.75 t/hm^2$ 。植被层在幼龄林时的固碳潜力最大,在成熟林时的固碳潜力最小。

5 讨论

森林生物量的研究是对森林能力评估的基础研究,森林的碳密度、固碳速率、固碳潜力均在基于生物量测算基础上进行。本研究采用“异速生长法”对生物量进行计算,得出乔木层生物量随林龄的增长的变化规律,这与胡海清^[23]等在大兴安岭5种林型下不同林龄阶段生物量研究的结果一致。碳密度的变化趋势与生物量是同步的,随着林龄的增加,林分的碳密度也逐渐增加,这与魏亚伟^[24]等对碳密度变化规律的研究一致。由于林下植被的生长受到郁闭度、温度、水分、土壤养分等因素的影响,其固碳速率的变化无具体的规律可寻。本研究对大兴安岭草类—兴安落叶松渐伐林的固碳潜力进行了估算,结果显示,随林龄的增加,植被层的固碳潜力呈下降趋

势,幼龄林时的固碳潜力最大,成熟林时的固碳潜力最小,由于立地条件、生长环境、光照、降水等因素的不同而呈现不同的动态变化,林龄的不同与树种的不同都使固碳速率、固碳潜力存在差异。本研究未对土壤层和微生物群落的固碳速率及固碳潜力进行研究,这在一定程度上影响了对森林生态系统固碳规律的总体认知。

参考文献:

[1] 秦国伟,田明华. “双碳”目标下林业碳汇的发展机遇及实施路径[J]. 行政管理改革,2022(1):45-54.

[2] HOUGHTON J T, CLIMATE C. The scientific basis[J]. Nether Lands Journal of Geosciences, 2001, 87: 197-199.

[3] 谢馨瑶,李爱农,靳华安. 大尺度森林碳循环过程模拟模型综述[J]. 生态学报,2018,38(1):1-14.

[4] 王枫. 浙江省杉木林碳汇供给潜力研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2012.

[5] DIXON R K, SOLOMON A M, BROWN S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystem [J]. Science, 1994, 63: 185-190.

[6] 王邵军,阮宏华. 全球变化下北京森林生态系统碳循环及其管理[J]. 南京林业大学学报,2001,35(2):113-116.

[7] 周国逸. 中国森林生态系统固碳现状、速率和潜力研究[J]. 植物生态学报,2016,40(4):279-281.

[8] 王飞,刘璇,张秋良. 兴安落叶松林植被层碳密度分配

及固碳潜力[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2020,41(1):32-36.

[9] 格日乐高娃. 杜香—兴安落叶松林碳密度及固碳潜力研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2018.

[10] 李丹,杨丽萍,贾成朕. 大兴安岭不同林型地表可燃物含水率特征及其影响因子[J]. 干旱气象,2021,39(1):144-150.

[11] 包田梅. 兴安落叶松林采伐迹地植被恢复研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.

[12] 张俊. 兴安落叶松人工林群落结构、生物量与碳储量研究[D]. 北京:北京林业大学,2008.

[13] 陈晓凤. 北京市乔木林碳储量及其固碳潜力研究[D]. 北京:北京林业大学,2020.

[14] NI J. Carbon storage in Chinese terrestrial ecosystems: Approaching a more accurate estimate[J]. Climatic Change, 2013, 119:905-917.

[15] 李威,黄玫,张远东,等. 中国国家森林公园碳储量及固碳速率的时空动态[J]. 应用生态学报,2021,32(3):799-809.

[16] 胡海清,罗碧珍,魏书精,等. 大兴安岭 5 种典型林型森林生物碳储量[J]. 生态学报,2015,35(17):5745-5760.

[17] 魏亚伟,周旺明,周莉,等. 兴安落叶松天然林碳储量及其碳库分配特征[J]. 生态学报,2015,35(1):189-195.

责任编辑:许易琦

(上接第 123 页)

[7] 邱玥,周苏洋,顾伟,等. “碳达峰、碳中和”目标下混氢天然气技术应用前景分析[J/OL]. 中国电机工程学报,2021:1-20. [2021-11-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2107.TM.20211102.1629.005.html>.

[8] 罗爱明,王懋雄. 对金融支持生态示范区生态产品价值实现的思考[J/OL]. 西南金融,2021:1-12. [2021-11-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1587.F.20211101.1536.014.html>.

[9] 徐高,曹建海. “双碳”背景下我国绿色债券发展研究[J/OL]. 当代经济管理,2021:1-16. [2021-11-18]. [<http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1356.F.20211028.1628.004.html>].

[10] 刘彬. 中国实现碳达峰和碳中和目标的基础、挑战和政策路径[J]. 价格月刊,2021(11):87-94.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.022

云南省森林资源监测及预警系统的构建研究

洪焰泉

(云南省林业调查规划院生态分院, 云南 昆明 650031)

摘要: 森林资源监测与预警工作是森林资源管理的基础。云南省森林资源监测及预警系统由应用平台、综合服务、数据中心 3 部分组成, 分为省级版和县级版 2 个入口; 有平台层和管理层 2 个子系统和 1 个维护系统; 系统具有数据有效性、数据权威性、系统兼容性和功能扩展性的特点。该系统结合专项监测对改变林地用途、采伐林木面积等进行预警, 为管理、决策和监督服务提供了高效的平台与手段。

关键词: 森林资源; 林地管理一张图; 监测预警系统构建; 云南省

中图分类号: S758.4; G303 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)04-0131-06

引文格式: 洪焰泉. 云南省森林资源监测及预警系统的构建研究[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4): 131-136.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.022

HONG Yanquan. Construction of Forest Resource Monitoring and Early Warning System in Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 131-136. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.022

Construction of Forest Resource Monitoring and Early Warning System in Yunnan Province

HONG Yanquan

(Ecology Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650031, China)

Abstract: Forest resource monitoring and early warning work is the foundation of forest resource management. The forest resource monitoring and early warning system in Yunnan Province consists of three parts: application platform, comprehensive services, and data center, and was divided into two entrances: the provincial version and the county-level version; there are two subsystems: platform layer and management layer, and one maintenance system; the system has the characteristics of data validity, data authority, system compatibility, and functional scalability. This system, combined with special monitoring, provides an efficient platform and means for management, decision-making, and supervision services by providing early warning for changes in forest land use and logging area.

Key words: forest resources; map of forest management; monitoring; early warning; system construction; Yunnan Province

森林资源动态监测及预警系统是一种综合应用 GIS、数据库技术、RS 等技术, 基于多期遥感数据提

取的森林资源变化数据, 结合专项监测(征占、造林、采伐、火灾、病虫害、林政案件等)成果叠加分

收稿日期: 2021-12-13; 修回日期: 2022-01-10.

第一作者: 洪焰泉(1971-), 男, 云南大理人, 硕士, 高级工程师. 从事林业调查规划设计工作.

析,并辅助以外业核实,形成资源动态变化监测成果,通过信息化手段实现资源档案更新,及时掌握森林资源发展变化情况的系统^[1]。开展森林资源动态监测及预警关键技术研究工作,能为生态建设提供精准信息保障和科学依据,对全面实现林草资源的实时动态监测具有重要意义。

云南省传统的森林资源调查需要调查人员现场调绘和填写百余项调查因子,内业工作还需对调查卡片内容一一核对、逐项统计^[2]。由于森林资源数据量大,调查间隔期一般为 5 年或 10 年,总体上人力需求较大、调查范围较广、时间跨度长。传统方法缺乏直观性,给经营、决策带来了许多困难,难以满足现代林业发展需求。

云南省于 2016—2017 年完成了新一轮的二类调查,初步实现森林资源管理“一张图,一个库,一套表”^[3],为森林资源动态监测及预警系统的建设打下基础。2020 年,云南省完成了森林督查、国家级、省级公益林监测等工作,逐步实现了森林资源“一张图”管理、“一个体系”监测、“一套数据”评估^[4]。因此,借助林地“一张图”工作,结合森林资源特点和管理需求,开展森林资源动态监测及预警系统建设研究,为云南省建设“生态文明建设排头兵”,“森林云南”提供有效技术支持的同时,也为相关森林资源动态监测及预警系统建设研究提供一定的参考。

1 森林资源动态监测及预警系统构建的目标

1.1 管理目标

建设统一的森林资源动态监测及预警系统,利用实时信息共享的方式,打破各级、各部门间的信息孤岛,使林草政策、法规、数据和各单位、各部门的业务数据能够相互联通,实现每个州市、县区的业务数据都可实时查询,提高林草系统的工作效率。

1.2 技术目标

云南省森林资源动态监测及预警系统的技术目标是实现“以图管地”。按照国家林草局要求的数据标准,快速完成数据统计汇总;针对工作需要,快速制作森林火灾控制图等专项图表;森林资源数据由各县及省林草部门共同管理,当县域内资源数据发生变更时,及时将最新数据提报至数据库。通过系统建设,全省统一使用一套森林资源调查标准,以便于对资源数据进行分析。

2 系统建设方案

2.1 基本原则

2.1.1 突出重点,目标导向

森林资源动态监测及预警要实现短时间内制止毁林开垦、无证采伐等违法破坏森林资源的行为。同时,引导州(市)、县(市、区)两级林草部门提升资源监管能力,构建“三级联动”的森林资源动态监测及预警工作体系。

2.1.2 简化流程,可行导向

森林资源动态监测及预警方法上,坚持可行可靠、删繁就简,选择操作性强的技术路线和方法。工作中既要充分利用现有的工作基础,更要抓住主线,简化流程,确保预警监测工作的高效、及时。

2.1.3 科学客观,公平有据

预警监测工作坚持系统、科学、客观、透明、公平。地类变化信息均采用真实可见的遥感影像资料,疑难地块可采用无人机等技术手段进行现地核实。对确定变化的依据资料进行存档,确保有据可查。

2.1.4 加强研发,逐步完善

森林资源年度监测工作必须继续加强研究开发,边实践边探索,不断完善技术方法体系。

2.2 技术路线、工作方法及步骤

2.2.1 技术路线

以卫星影像等高分辨率遥感数据为年度预警监测的主要信息源,以变化发现技术为支撑,变化地块为线索,聚焦变化地块,建立“变化信息自上而下通报、证据资料自下而上定向提交”的“上下结合、双向校核”模式。通过“上下结合、双向反馈”核实模式,对变化地块提供定向核实依据,对森林资源变化信息进行高效、精准核实,提高信息的准确性和可靠性,形成变化信息核实的证据链,保证变化信息具有可追溯性,确保结果客观真实。

2.2.2 工作方法

对间隔期内林草部门管理的林地进行变化指标调查(分为林地面积增加和林地面积减少两部分)。

对各县域所有的有林地及国家特别规定灌木林变化地块进行变更(包括林草部门管理的森林和非林草部门管理的森林)。

结合森林面积变化情况,将森林面积减少发生位置处于前期天然林覆盖区域的,作为天然林面积减少。森林面积增加部分中,起源于自然生长形成的森林作为天然林增加部分。在资源数据库中修订森林小班起源,完成各县的天然林面积统计。

利用云南省 1978—2012 年各次森林资源连续清查成果,根据每木检尺表中的 30 多万株样木的胸径和蓄积量生长情况,对云南松、栎类、栲类、其它阔叶类、思茅松、华山松等 13 个主要树种(组),区别不同的气候条件、林龄、林分结构、土壤条件、海拔区域等情况分别编制生长量模型,分森林植被情况编制进阶木模型,依据不同类型林分中的枯立木和枯倒木情况,编制全省的自然消耗量模型等。

在完成森林面积变更的基础上,对有林地图斑,利用自然生长量、进界生长量模型、自然消耗量和采伐消耗量数据,分别对图斑的蓄积量进行变更,变更后分起源统计全县的森林蓄积。

利用经营管理档案结合卫星影像资料,在开展“三类蓄积”重点灭失区域(疏林地地类变化或面积减少、林地用途改变、采伐、灾害等)补充调查核实的基础上,分别确定“三类蓄积”的减少数量,然后利用各县(市、区)上年度监测成果中“三类蓄积”各树种净生长率,分别推算其他林木蓄积量。

2.2.3 工作步骤

包括高分辨率遥感数据(卫星影像)获取、处理、确定变化区域、标识变化区域性质、确定变化图层的资源现状、资源数据库中小班边界变更、资源数据库中环境因子变更、小班因子的自然生长消耗、年度监测结果验证和完善、年度监测成果省级审定、年度监测成果制作、年度监测指标变化情况分析等。

2.3 预警监测的基本要素

2.3.1 监测指标

根据预警监测的目的,结合年度考核需要,按照

突出重点的原则,确定森林资源动态监测及预警指标(包括改变林地用途面积、采伐林木面积)。年度森林资源监测指标包括林地面积、森林面积、森林覆盖率、森林蓄积量、乔木林单位面积蓄积量、天然林单位面积蓄积量等主要指标^[5]。

2.3.2 监测基数

预警监测不设监测基数,按可获取高分辨率遥感数据周期时间、频次,与上期影像作比对照判读区划,发现改变林地用途等情况时及时移交现地核实。预警监测不作即时数据更新和现状资源及动态变化统计。森林资源年度监测以上年度完成的全省森林资源监测数据为监测基数^[6]。

2.3.3 监测单元

以县(市、区)为监测单位,产出全省及 16 个州(市)、129 个县(市、区)森林资源动态监测及预警数据;按年度,结合林地地类变化更新、新增森林调查核实,汇总统计年度森林资源现状数据及动态变化监测数据。

2.3.4 监测时间

受云南省高分辨率遥感数据获取时间周期限制,森林资源动态监测及预警系统预警监测时间为 2~3 个月。年度森林资源更新、统计汇总数据结合考核数据提交时间确定,为当年的 12 月份。

2.4 系统总结构

云南省森林资源动态监测及预警系统由应用平台、综合服务、数据中心 3 个层次组成,进入端口为省级和市县级 2 个。系统架构如图 1 所示。

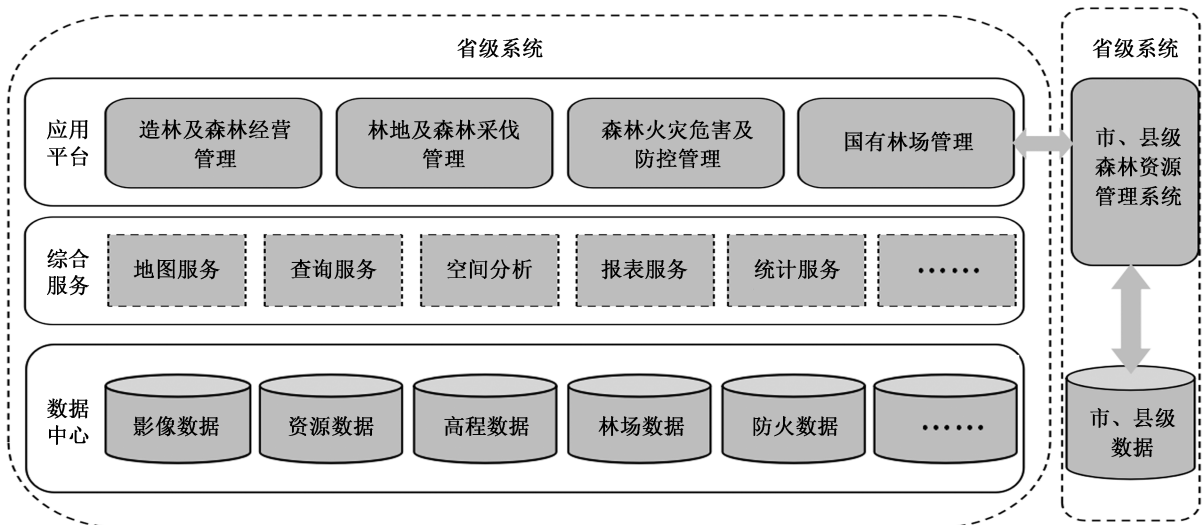


图 1 云南省森林资源动态监测及预警系统构架

Fig. 1 Framework of forest resource dynamic monitoring and early warning system in Yunnan Province

县级负责区域内森林资源调查和数据初步整理工作,省级主要负责检查数据和对技术进行指导。将森林资源数据和国土部门提供的高程数据导入系统作为主要基础数据,林场数据、防火数据等作为辅助基础数据,影像数据作为系统底图数据,建立动态监测及预警系统基础数据中心。利用计算机技术,为应用平台提供算法支持,根据应用需要,建立造林及森林经营管理、森林火灾危害及防控管理等应用模块。

省级系统完成数据更新和检查后,通过对森林资源数据的整合,使省级版实现统计、分析等功能,县级版实现编辑、定位、上报等功能。并建立相关技术规范,形成数据汇总和更新的长效机制,集政策、

机制、更新数据于一体^[7]。

2.5 子系统构建

系统应用子系统包括平台层和管理层。平台层是基于 Arc Engine 软件开发的系统平台,主要实现 GIS 基本功能、图形编辑、图幅整饰和查询分析功能等。管理层是通过整合空间数据进行资源动态监管的平台,由林草资源数据服务、森林资源管理、生态公益林、林地资源管理、森林采伐、自然保护地监管、林长制管理信息服务模块构成。

2.5.1 林草资源数据服务

按林草资源监管要求,进行年度资源数据汇总处理,实现海量矢量数据的整合管理,为林草资源监管提供科学、有效的数据支撑,详见图 2 所示。

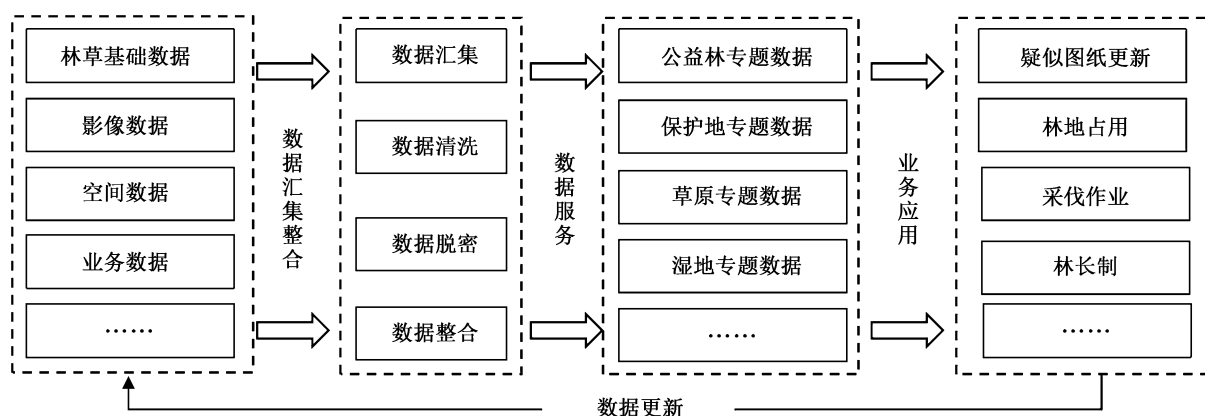


图 2 林草资源管理服务

Fig. 2 Forest and grass resource management services

2.5.2 森林资源管理服务

森林资源管理包括一类调查数据管理、二类调查数据管理、年度造林数据管理、森林资源分布图生

成、山林现状图生成、统计图形生成、统计报表生成及输出,详见图 3 所示。

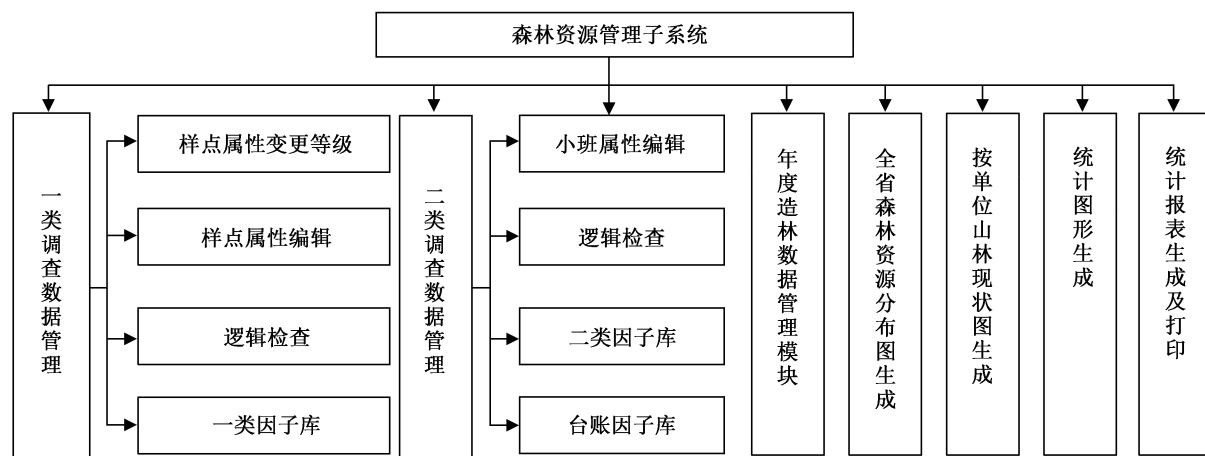


图 3 森林资源管理服务

Fig. 3 Forest resource management services

2.5.3 公益林管理服务

公益林管理主要实现对省内国家级、省级公益林进行统一分级管理。其数据主要来源于二类调查结果和森林分类区划,以公益林管理条例为依据,管理全省重点公益林。详见图 4。

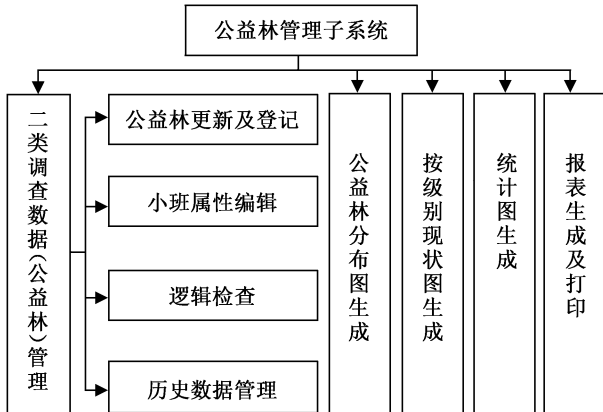


图 4 公益林管理服务

Fig. 4 Public welfare forest management services

2.5.4 林地资源管理服务

林地资源管理主要通过 GPS 点勾绘征占林地的范围,经过叠加分析,统计出征占林地总面积和蓄积量,实现征占林地项目监测和评估,还可对使用林地进行补偿费用估计。详见图 5。

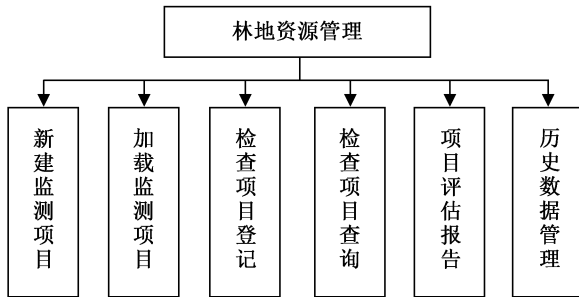


图 5 林地资源管理

Fig. 5 Forest land resource management

2.5.5 森林采伐管理服务

森林采伐管理模块主要提供森林采伐管理和规划设计功能。森林采伐管理主要对已采伐地块进行存档入库和统计采伐信息;规划设计主要对伐区进行作业设计,通过勾绘采伐区域,对小班数据进行空间裁剪,统计伐区的树种、蓄积、面积、地类等相关数据(图 6)。

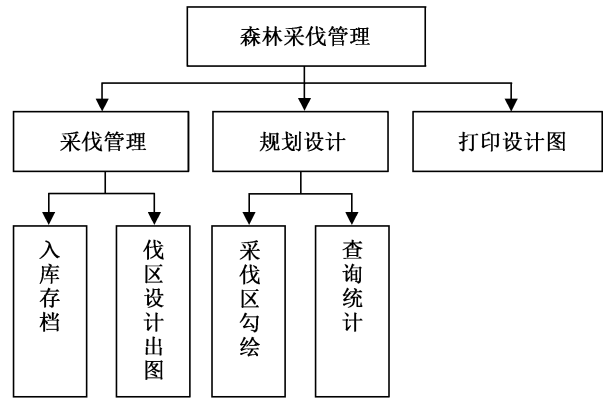


图 6 森林采伐管理

Fig. 6 Forest logging management

2.5.6 自然保护区监管服务

自然保护区监管服务通过提供自然保护区资源数据,建立保护区 2、3 维资源管理服务体系,实现对保护区资源数据的有效监管。

2.5.7 林长制管理服务

通过林长制管理信息系统提供森林资源监测及上下级联动的管理服务,实现森林资源监测变化图斑系统可视化、数据贯通、任务下发、现场核实、信息上报、问题审批流转、日常现地巡护、离线巡检等功能,保证森林资源监测的时效性和全方位监测,提高上下协同效率,提升响应速度及各级林草部门管理水平。系统提供的支撑服务内容:变化信息监测、自主监测、疑似图斑二次人工核查、数据共享。

2.6 监测及预警系统维护

通过信息化运维平台,对现有软硬件进行监测管理,提供智能化的运维服务。主要提供服务内容有软件运行监测、资源分配检测、硬件运行状态、健康状况评估、服务器运行监测、网络状态监测,并提供运行状态全周期记录,以及日志分析服务。

3 系统特点

运用近期卫星影像数据、近年年度森林资源数据,构建符合云南省森林资源管理规范的系统。该系统能及时更新当年森林资源数据,对不同时间、不同范围的森林资源动态变化进行图表制作。

3.1 数据时效性

县(区)级林业局负责管理县域内的森林资源和整理档案,当县域内森林资源管理达到一定时间节点或达到一定数量时可申请变更数据,以保证数据的时效性。

3.2 数据权威性

全省仅有一个森林资源数据库,各县(区)资源数据都需经过县级、市级和省级的检查后才可进入总数据库。资源数据库随时接受省级检查,若发现数据有变化要对其进行及时处理,以保证资源数据权威性。

3.3 系统兼容性

云南省森林资源监测与预警系统对外提供统一数据对接通道,与全国林地变更等系统和国家级公益林系统等进行对接。通过监测系统资源数据直接制作进入相应国家级数据系统的标准化数据。

3.4 功能扩展性

除了现有的应用平台模板,可利用系统对外提供的统一数据接口根据客户需要定制个性化应用模板,加大应用范围的同时,拓展系统功能。

参考文献:

[1] 地林伟业. 森林资源动态监测系统[EB/OL]. [2021-

05-24]. <http://www.forestar.com.cn/system/detail/32>.
[2] 陈忠. 浅谈云南省第九次全国森林资源清查[J]. 贵州林业科技,2018,46(1):61-64.
[3] 孙华倩,蔡利香. 云南省森林资源监测发展历程及问题分析[J]. 现代园艺,2021,44(9):194-195.
[4] 云南省林业和草原局. 云南省对2020年森林督查、森林资源监测暨森林资源管理“一张图”年度更新等六项工作进行培训[EB/OL]. [2021-05-24]. <http://www.forestry.gov.cn/main/447/20200629/164416773240794.html>.
[5] 舒江. 五华区2017—2019年森林资源监测指标变动分析[J]. 绿色科技,2020(11):199-200.
[6] 丁晓曦,刘敏,马勇,等. 2017—2018年昆明市森林资源监测指标变化分析[J]. 西部林业科学,2019,48(5):107-112.
[7] 刘永杰. 省级森林资源监测与评价应用系统建设研究[J]. 林业资源管理,2014(6):160-165,169.

责任编辑:刘平书

(上接第38页)

[10] TOMIUK J,GULDBRANDTSEN B,LOESCHCKE V. Genetic similarity of polyploids; A new version of the computer program POPDIST (version 1.2.0) considers intraspecific genetic differentiation[J]. Molecular Ecology Resources, 2009(9):1364-1368.
[11] VAN PUYVELDE K,VAN GEERT A,TRIEST L. Atetra: A new software program to analyse tetraploid microsatellite data: comparison with TETRA and TETRASAT[J]. Molecular Ecology Resources,2010(10):331-334.
[12] CLARK L V, JASIENIUK. Mpolysat: An R package for polyploid microsatellite analysis[J]. Mol Ecol Res,2011(11):562-566.
[13] ZALAPA J E,BOUGIE T C,BOUGIE T A, et al. Clonal diversity and genetic differentiation revealed by SSR markers in wild *Vaccinium macrocarpon* and *Vaccinium oxycoccos*[J]. Ann Appl Biol,2015,166:196-207.
[14] PALOP-ESTEBAN M, SEGARRA-MORAGUES J G, GONZÁLEZ-CANDELAS F. Polyploid origin, genetic diversity and population structure in the tetraploid sea lavender *Limonium narbonense* Miller (Plumbaginaceae) from eastern Spain[J]. Genetica,2011,139(10):1309-1322.
[15] NYBOM H,ESSELINK G D,WERLEMARK G, et al. Microsatellite DNA marker inheritance indicates preferential

pairing between two highly homologous genomes in polyploidy and hemisexual dog-roses, *Rosa L. sect. Caninae* DC[J]. Heredity,2004,92:139-150.
[16] 黄平,崔娇鹏,郑勇奇,等. 基于月季微卫星标记的7个遗传相似系数比较[J]. 林业科学,2013,49(1):68-76.
[17] 张显波,傅建军,胡锦涛,等. 基于D-loop序列和SSR的从江田鱼与6个鲤群体的遗传分析[J]. 贵州农业科学,2021,49(12):76-85.
[18] 翟书伟,邓婷婷,曹云泉,等. 基于SSR标记的26份棉花材料的遗传多样性分析[J]. 种子,2020,39(10):67-72.
[19] 余鸽,龙凤来,刘建军,等. 不同年龄巴山木竹种群克隆结构[J]. 生态学报,2017,37(14):4743-4753.
[20] KITAMURA K,KAWAHARA T. Clonal identification by microsatellite loci in sporadic flowering of a dwarf bamboo species, *Sasa cernua* [J]. Journal of Plant Research,2009,122(3):299-304.
[21] LIAN C L,OISHI R,MIYASHITA N, et al. Genetic structure and reproduction dynamics of *Salix reinii* during primary succession on Mount Fuji, as revealed by nuclear and chloroplast microsatellite analysis[J]. Molecular Ecology,2003,12(3):609-618.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.023

柳州市市辖区古树名木资源特征分析

唐琳¹, 郭松^{1,2}

(1. 广西大学 林学院, 广西 南宁 530004; 2. 广西艺术学院 建筑艺术学院, 广西 南宁 530007)

摘要:通过对柳州市市辖区古树名木资源特征进行分析,结果显示,古树名木共有 2 236 株,隶属 29 科、42 属、52 种;古树树龄呈金字塔结构;国家级重点保护树种 6 种,共 285 株;古树名木生长状况良好,树高整体呈近似正态分布,胸径与冠幅呈正偏态分布;古树名木权属以国有为主,各市辖区古树名木数量分布存在明显差异;古树名木主要集中在远郊野外,以群团状分布为主。针对市辖区古树名木存在的问题提出了加强技术指导、制定古树保护管理手册、提高意识等建议。

关键词:古树名木;资源特征;树龄结构;柳州市市辖区;保护管理

中图分类号:TU986.36;P964 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0137-09

引文格式:唐琳,郭松. 柳州市市辖区古树名木资源特征分析[J]. 林业调查规划,2023,48(4):137-145.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.023

TANG Lin, GUO Song. Characteristic Analysis of Ancient and Famous Trees Resource in Liuzhou Municipal Districts[J].

Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 137-145. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.023

Characteristic Analysis of Ancient and Famous Trees Resource in Liuzhou Municipal Districts

TANG Lin¹, GUO Song^{1,2}

(1. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. College of Architecture and Art, Guangxi Arts University, Nanning 530007, China)

Abstract: Through the characteristic analysis of ancient and famous trees resources in Liuzhou municipal districts, the results showed that there were 2 236 ancient and famous trees belonging to 52 species, 42 genera and 29 families; the age of ancient trees was pyramid structure; there were 6 national key protected tree species, totaling 285 trees; the growth of ancient and famous trees was in good condition; the overall height of trees was near normal distribution, while the DBH and crown width were positively skewed distribution; the ownership of ancient and famous trees was mainly state-owned; there were obvious differences in the distribution of the number among different districts; ancient and famous trees mainly concentrated in the outer suburbs, with mainly distributed in clusters. In view of the existing problems of ancient and famous trees in Liuzhou, this paper suggested to strengthen technical guidance, formulate the conservation and management manual and raise public awareness.

Key words: ancient and famous trees; characteristics analysis; age structure; Liuzhou municipal districts; protection and management

收稿日期:2022-02-07.

基金项目:国家自然科学基金(31600530);广西新农科研究与实践项目(XNK2023010).

第一作者:唐琳(1993-),女,广西桂林人,硕士研究生.研究方向为城市园林绿化. Email:tl_pc1@163.com

责任作者:郭松(1979-),男,重庆人,教授.研究方向为城市园林绿化技术. Email:guos0@163.com

古树指树龄达 100 a 以上的树木,名木指在历史或社会上有重大影响的中外历代名人、领袖人物所植或具有极其重要的历史、文化价值、纪念意义的树木^[1]。古树是自然界与人类社会中珍贵的植物物种资源,记录了大自然的万物生机与社会发展的日新月异,蕴含了深厚的人文情感与深沉的思乡情愫,传承了璀璨星河的人类文明与源远流长的历史文化。

柳州市是广西壮族自治区的中部重要中心城市,在全国倡导生态文明建设的背景下,实施了两期花园城市建设,打造了“紫荆花都”城市品牌,响应了自治区公园城市建设试点工作,构建了柳州公园城市建设发展新格局,得益于各项园林绿化工作成果,柳州市古树名木资源现状得到较大改善,但仍存在周边环境不佳、保护力度不均衡、意识不到位等问题。目前,针对柳州市古树名木资源的探讨研究集中于保护规划与养护管理^[2-4],且多局限于小范围地区或数量统计等内容,尚未见系统性的古树名木资源研究报道。因而,需尽快对柳州市古树名木资源进行树种资源特点、数量特征、健康情况等内容的研究分析,以期柳州市公园城市建设中古树名木进一步保护和管理提供科学依据。

1 研究地点与方法

1.1 研究地概况

柳州市位于广西壮族自治区中部偏东北,是沟通西南与中南、华东、华南地区的重要铁路枢纽,地理坐标为北纬 23°54'~26°03',东经 108°32'~110°28'。柳州市区地形平坦,微有起伏,海拔 85~105 m,东、西、北三面环山,具有典型的岩溶地貌特征;气候属中亚热带季风气候,具有夏长冬短、夏热冬寒、雨热同季、干湿分明等特点,雨量充沛,年均降雨量超 1 400 mm,年均日照时数 1 250~1 570 h。地质土壤以红壤为主,色红、酸性,质地较好,较富含铁铝,但有机质含量略少,肥力较低。优势树种集中在松科(Pinaceae)、樟科(Lauraceae)、金缕梅科(Hamamelidaceae)等。柳州是国家历史文化名城,具有深厚的历史文化内涵,悠久繁华的商埠文化使柳州素有“桂中商埠”之称。

1.2 研究内容与方法

研究范围包括柳州市 5 个行政辖区,分别为城中区、鱼峰区、柳南区、柳北区、柳江区,面积约 3 556 km²。

研究内容:古树名木的树种资源特征,涉及植物分类、树种、树龄、数量等信息;筛查是否有国家级重

点保护树种,涉及树种类型、保护等级等信息;古树名木生长状况;古树名木权属类型与分布辖区;古树名木保护现状。

采用 Excel 2019 对古树名木基础数据进行统计、制表与分析,其中,依据《中国植物志》《古树名木鉴定规范》对古树名木进行学名查询、植物分类、生活型认定等确认工作;以《全国古树名木普查建档技术规定》对古树名木进行分级,共分 3 级,一级古树树龄 500 a 以上,二级古树树龄 300~499 a,三级古树树龄 100~299 a,名木不设等级;以《国家重点保护野生植物名录》与《广西壮族自治区第一批重点保护野生植物名录》为标准,对重点保护树种进行分类整理。采用查阅文献与收集历史资料的方式,对古树名木现状保护情况进行梳理总结。

2 结果与分析

2.1 资源特征分析

2.1.1 植物分类与科、属、种、生活型组成

通过分析可知,柳州市市辖区共有古树名木 2 236 株,隶属 29 科、42 属、52 种,约占柳州市(含县城)古树名木总株数 18.21%^[5],约占全区古树名木总株数 1.59%^[6]。其中,名木共 8 株,分别为桂花(*Osmanthus fragrans*) 7 株,南洋杉(*Araucaria cunninghamii*) 1 株。具体情况如表 1 所示。

在植物分类方面,属裸子植物的有 6 科、6 属、6 种,共 1 067 株,分别为马尾松(*Pinus massoniana*) 1 055 株,罗汉松(*Podocarpus macrophyllus*) 7 株,柏木(*Cupressus funebris*) 2 株,南洋杉(*Araucaria cunninghamii*)、篦齿苏铁(*Cycas pectinata*)和银杏(*Ginkgo biloba*)各 1 株;属被子植物的有 23 科、36 属、46 种,共 1 169 株,其中,总种数最多的 3 个科共计 870 株,占总株数的 38.91%,分别为樟科(Lauraceae) 326 株,无患子科(Sapindaceae) 273 株,桑科(Moraceae) 271 株;总种数最多的 3 个属共计 868 株,占总株数的 38.82%,分别为樟属(*Cinnamomum*) 324 株,龙眼属(*Dimocarpus*) 273 株,榕属(*Ficus*) 271 株;数量最多的 3 个种共计 780 株,占总株数的 34.88%,分别为樟(*Cinnamomum camphora*) 324 株,龙眼(*Dimocarpus longan*) 273 株,榕树(*Ficus microcarpa*) 183 株。可见,裸子植物中马尾松(*Pinus massoniana*)数量最多,被子植物中樟(*Cinnamomum camphora*)数量最多。被子植物与裸子植物在数量方面十分接近,为 1 169 株与 1 067 株,分别占总株数的 52.28%与 47.72%,但被子植物在树种种类方面明显比裸子植物丰富。

表 1 柳州市市辖区古树名木资源统计

Tab. 1 Statistics of ancient and famous trees resources in Liuzhou municipal districts

科	属	学名	生活型		总株数		树高/m		胸径/cm		冠幅/m	
			E/D	N/B	数量/株	占比/%	均值	最大值	均值	最大值	均值	最大值
松科 Pinaceae	松属 <i>Pinus</i>	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	E	N	1055	47.18	23.40	40.00	45.56	92.00	2.85	20.50
罗汉松科 Podocarpaceae	罗汉松属 <i>Podocarpus</i>	罗汉松 <i>Podocarpus macrophyllus</i>	E	N	7	0.31	9.43	16.00	48.00	73.25	6.32	9.00
柏科 Cupressaceae	柏木属 <i>Cupressus</i>	柏木 <i>Cupressus funebris</i>	E	N	2	0.09	21.00	22.00	67.84	73.25	14.25	15.00
南洋杉科 Araucariaceae	南洋杉属 <i>Araucaria</i>	南洋杉 <i>Araucaria cunninghamii</i>	E	N	1	0.04	10.00	10.00	33.76	33.76	4.00	4.00
苏铁科 Cycadaceae	苏铁属 <i>Cycas</i>	篦齿苏铁 <i>Cycas pectinata</i>	E	N	1	0.04	3.70	3.70	52.87	52.87	4.10	4.10
银杏科 Ginkgoaceae	银杏属 <i>Ginkgo</i>	银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	D	B	1	0.04	12.00	12.00	57.32	57.32	7.00	7.00
酢浆草科 Oxalidaceae	阳桃属 <i>Averrhoa</i>	阳桃 <i>Averrhoa carambola</i>	E	B	1	0.04	15.00	15.00	97.13	97.13	18.50	18.50
大风子科 Flacourtiaceae	脚骨脆属 <i>Casearia</i>	膜叶脚骨脆 <i>Casearia membranacea</i>	E	B	1	0.04	8.00	8.00	73.25	73.25	9.50	9.50
大戟科 Euphorbiaceae	秋枫属 <i>Bischofia</i>	秋枫 <i>Bischofia javanica</i>	E	B	28	1.25	16.07	30.00	103.18	213.00	10.46	22.00
		重阳木 <i>Bischofia polycarpa</i>	D	B	2	0.09	21.00	22.00	117.83	121.09	18.75	23.50
	乌柏属 <i>Sapium</i>	乌柏 <i>Triadica sebifera</i>	D	B	4	0.18	21.50	28.00	75.64	85.99	16.13	21.50
豆科 Leguminosae	槐属 <i>Sophora</i>	槐 <i>Styphnolobium japonicum</i>	D	B	7	0.31	14.71	20.00	71.79	87.58	13.71	18.50
	皂荚属 <i>Gleditsia</i>	皂荚 <i>Gleditsia sinensis</i>	D	B	1	0.04	25.00	25.00	65.92	65.92	16.00	16.00
	金合欢属 <i>Acacia</i>	台湾相思 <i>Acacia confusa</i>	E	B	1	0.04	10.00	10.00	95.00	95.00	7.50	7.50
	红豆属 <i>Ormosia</i>	红豆树 <i>Ormosia hosiei</i>	E/D	B	2	0.09	23.50	25.00	92.07	130.00	17.30	20.00
	黄檀属 <i>Dalbergia</i>	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	D	B	4	0.18	15.80	18.00	45.15	59.87	10.44	11.50
橄榄科 Burseraceae	橄榄属 <i>Canarium</i>	橄榄 <i>Canarium album</i>	E	B	2	0.09	16.00	17.00	82.50	92.00	15.50	17.50
		乌榄 <i>Canarium pimela</i>	E	B	1	0.04	18.00	18.00	33.20	33.20	19.00	19.00
	喙核桃属 <i>Annamocarya</i>	喙核桃 <i>Annamocarya sinensis</i>	D	B	1	0.04	15.00	15.00	159.24	159.24	4.00	4.00
胡桃科 Juglandaceae	枫杨属 <i>Pterocarya</i>	枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	D	B	1	0.04	17.00	17.00	98.73	98.73	18.00	18.00
夹竹桃科 Apocynaceae	倒吊笔属 <i>Wrightia</i>	倒吊笔 <i>Wrightia pubescens</i>	E	B	1	0.04	10.00	10.00	44.59	44.59	8.50	8.50
金缕梅科 Hamamelidaceae	枫香树属 <i>Liquidambar</i>	枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	D	B	14	0.63	25.00	35.00	103.32	185.00	20.93	29.00
壳斗科 Fagaceae	锥属 <i>Castanopsis</i>	鬃蒴锥 <i>Castanopsis fissa</i>	E	B	7	0.31	18.43	22.00	60.03	70.00	4.14	5.00
	柯属 <i>Lithocarpus</i>	烟斗柯 <i>Lithocarpus corneus</i>	E	B	2	0.09	32.00	34.00	98.50	105.00	20.00	22.50
木兰科 Magnoliaceae	含笑属 <i>Michelia</i>	白兰 <i>Michelia × alba</i>	E	B	11	0.49	20.73	25.00	57.06	78.03	16.12	26.00
木麻黄科 Casuarinaceae	木麻黄属 <i>Casuarina</i>	木麻黄 <i>Casuarina equisetifolia</i>	E	N	1	0.04	24.00	24.00	90.76	90.76	20.00	20.00
木棉科 Bombacaceae	木棉属 <i>Bombax</i>	木棉 <i>Bombax ceiba</i>	D	B	24	1.07	15.63	25.00	95.24	156.05	10.65	24.50
木犀科 Oleaceae	木犀属 <i>Osmanthus</i>	桂花 <i>Osmanthus fragrans</i>	E	B	59	2.64	10.32	17.00	45.71	80.57	8.86	16.50
	椴属 <i>Fraxinus</i>	白蜡树 <i>Fraxinus chinensis</i>	D	B	4	0.18	7.00	10.00	56.37	76.43	5.00	6.00

续表 1

科	属	学名	生活型		总株数		树高/m		胸径/cm		冠幅/m	
			E/D	N/B	数量/株	占比/%	均值	最大值	均值	最大值	均值	最大值
漆树科 Anacardiaceae	芒果属 <i>Mangifera</i>	杧果 <i>Mangifera indica</i>	E	B	2	0.09	16.00	18.00	78.83	92.36	20.75	22.50
千屈菜科 Lythraceae	紫薇属 <i>Lagerstroemia</i>	绒毛紫薇 <i>Lagerstroemia tomentos</i>	E	B	1	0.04	16.00	16.00	106.69	106.69	3.00	3.00
桑科 Moraceae	榕属 <i>Ficus</i>	榕树 <i>Ficus microcarpa</i>	E	B	183	8.18	13.39	30.00	119.76	270.70	13.78	36.00
		垂叶榕 <i>Ficus benjamina</i>	E	B	22	0.98	9.45	15.00	102.58	133.76	8.98	13.50
		黄葛榕 <i>Ficus virens</i>	D	B	57	2.55	20.25	32.00	190.43	390.00	24.54	43.00
		聚果榕 <i>Ficus racemosa</i>	E	B	2	0.09	15.50	16.00	130.50	186.00	20.75	24.00
		菩提树 <i>Ficus religiosa</i>	E	B	4	0.18	13.50	16.00	196.66	226.11	7.00	8.00
		斜叶榕 <i>Ficus tinctoria</i> subsp. <i>gibbosa</i>	E	B	3	0.13	11.33	14.00	134.65	136.94	15.50	21.00
柿科 Ebenaceae	柿属 <i>Diospyros</i>	柿 <i>Diospyros kaki</i>	D	B	1	0.04	12.00	12.00	52.00	52.00	11.00	11.00
桃金娘科 Myrtaceae	桉属 <i>Eucalyptus</i>	柠檬桉 <i>Eucalyptus citriodora</i>	E	B	11	0.49	29.82	30.00	77.93	93.94	19.70	25.00
		白皮桉 <i>Eucalyptus dealbata</i>	E	B	1	0.04	35.00	35.00	111.46	111.46	23.50	23.50
		赤桉 <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	E	B	1	0.04	28.00	28.00	136.94	136.94	24.00	24.00
		细叶桉 <i>Eucalyptus tereticornis</i>	E	B	2	0.09	19.50	21.00	104.30	121.02	17.75	20.50
无患子科 Sapindaceae	龙眼属 <i>Dimocarpus</i>	龙眼 <i>Dimocarpus longan</i>	E	B	273	12.21	10.36	20.00	50.47	113.00	9.10	21.00
梧桐科 Sterculiaceae	苹婆属 <i>Sterculia</i>	苹婆 <i>Sterculia monosperma</i>	E	B	4	0.18	11.75	15.00	71.34	89.17	11.00	15.50
榆科 Ulmaceae	榆属 <i>Ulmus</i>	榆树 <i>Ulmus pumila</i>	D	B	2	0.09	14.50	15.00	85.50	117.00	16.50	21.00
	朴属 <i>Celtis</i>	朴树 <i>Celtis sinensis</i>	D	B	33	1.48	17.52	26.00	80.61	114.65	15.85	21.50
	青檀属 <i>Pteroceltis</i>	青檀 <i>Pteroceltis tatarinowii</i>	D	B	52	2.33	13.44	20.00	51.24	142.00	10.74	17.50
樟科 Lauraceae	樟属 <i>Cinnamomum</i>	樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	E	B	324	14.49	18.75	30.00	88.34	292.00	16.31	31.50
	山胡椒属 <i>Lindera</i>	香叶树 <i>Lindera communis</i>	E	B	2	0.09	15.50	18.00	53.28	70.06	14.75	15.00
紫草科 Boraginaceae	厚壳树属 <i>Ehretia</i>	厚壳树 <i>Ehretia acuminata</i>	D	B	8	0.36	17.63	20.00	64.61	79.62	15.13	21.00

注: E(evergreen) : 常绿; D(deciduous) : 落叶; N(needle) : 针叶; B(broadleaf) : 阔叶。

在树种数量方面, 马尾松 (*Pinus massoniana*) 数量最多, 达 47.18%, 约占所有古树名木的一半, 其次是樟 (*Cinnamomum camphora*)、龙眼 (*Dimocarpus longan*)、榕树 (*Ficus microcarpa*)、桂花 (*Osmanthus fragrans*)、黄葛榕 (*Ficus virens*)、青檀 (*Pteroceltis tatarinowii*)、朴树 (*Celtis sinensis*) 等, 分别占总株数的 14.49%、12.21%、8.18%、2.64%、2.55%、2.33%、1.48%, 其余树种大多少于 10 株, 数量少, 各树种数量间存在明显差异。

在植物生活型方面, 主要分为常绿、落叶、针叶与阔叶乔木。常绿乔木 2018 株, 占总株数的 90.25%,

其中属常绿阔叶乔木的有 951 株, 占总株数的 42.53%, 常绿针叶乔木有 1067 株, 占总株数的 47.72%; 落叶乔木均为阔叶树, 有 220 株, 占总株数的 9.84%。柳州市市辖区以常绿乔木为主, 其中, 常绿针叶乔木占古树名木株数的主要地位。

2.1.2 树龄结构

柳州市市辖区古树名木树龄结构具体情况如表 2 所示。

柳州市市辖区古树树龄共分 4 个等级, 一级古树 (树龄 500 a 以上) 仅 13 株, 占总株数的 0.58%, 其中树龄最大的为鱼峰区大牛村游山上的榕树, 树

表 2 柳州市市辖区古树名木树龄结构

Tab. 2 Age structure of ancient and famous trees in Liuzhou municipal districts

古树等级	科		属		种		株数	
	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%	数量/株	占比/%
一级	3	5.08	3	4.05	4	4.49	13	0.58
二级	10	16.95	11	14.86	13	14.61	62	2.77
三级	22	37.29	30	40.54	36	40.45	724	32.38
准古树	22	37.29	28	37.84	34	38.20	1429	63.91
名木	2	3.39	2	2.70	2	2.25	8	0.36
总计	—	100.00	—	100.00	—	100.00	2236	100.00

龄约 1 000 a;二级古树(树龄 300~499 a)有 62 株,占总株数的 2.77%;三级古树(树龄 100~299 a)有 724 株,占总株数的 32.38%;准古树(树龄 80~99 a)最多,有 1 429 株,占总株数的 63.91%;名木有 8 株,占总株数的 0.36%,树龄均小于 100 a。随着树龄的增高,数量明显递减,树龄呈金字塔结构,低龄树种占绝对地位,说明古树名木具有低龄化、年轻化特征,后备资源充足。

2.2 重点保护树种

柳州市市辖区重点保护树种组成具体情况如图 1 所示。

由图 1 可知,国家级重点保护古树共 285 株,占总株数的 12.75%。其中 I 级重点保护树种共 2 株,为篦齿苏铁和银杏,占总株数的 0.09%;II 级重点保

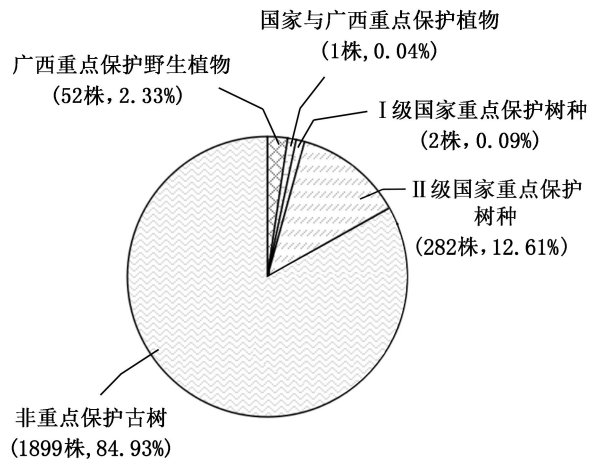


图 1 柳州市市辖区重点保护树种组成

Fig. 1 Composition of key protected tree species in Liuzhou municipal districts

护树种共 283 株,占总株数的 12.66%,为龙眼 273 株、罗汉松 7 株、红豆树 2 株、喙核桃 1 株。广西重点保护野生植物共 53 株,占总株数的 2.37%,为青檀 52 株、喙核桃 1 株。喙核桃既为国家重点保护野生植物^[7],也为广西重点保护野生植物^[8],资源较为稀少,全国不足 500 株^[9]。非重点保护古树有 1 899 株,占总株数的 84.93%,非重点保护古树占古树名木主要地位。

2.3 生长状况分析

2.3.1 树种健康状况

柳州市市辖区树种具体健康状况如表 3 所示。

表 3 柳州市市辖区古树名木生长情况

Tab. 3 Growth of ancient and famous trees in Liuzhou municipal districts

生长状况	古树等级/株					数量/株	占比/%	国家级重点保护树种			
	一级	二级	三级	准古树	名木			I 级/株	占比/%	II 级/株	占比/%
正常	11	50	661	1406	8	2136	95.53	2	0.09	237	11.10
衰弱	1	9	43	19	0	72	3.22	0	0	39	54.17
濒危	1	3	20	4	0	28	1.25	0	0	7	60.71

古树名木生长势分为 3 种情况。(1)正常株:枝繁叶茂,树干基本完好,生长健康树种有 2 136 株,占总株数的 95.53%,其中属国家重点保护树种有 239 株,占国家重点保护树种总数的 83.86%;(2)衰弱株:树枝叶稍有缺损,生长较为缓慢,树干少量坏死的树种有 72 株,占总株数的 3.22%,其中属国家重点保护树种有 39 株,占国家重点保护树种总数的 13.68%;(3)濒危株:树枝条枯死,无新枝

叶,树干腐朽、空洞的树种共有 28 株,占总株数的 1.25%,其中属国家重点保护树种有 7 株,占国家重点保护树种总数的 2.46%。整体而言,古树名木生长情况较好,95%以上古树名木均正常健康生长。另外约 5%生长衰弱与濒危的古树主要集中在三级古树范围且含多株国家级重点保护树种,少量集中在一级与二级古树,影响因素多为周边硬化导致生长欠佳,并非古树自身因素造成衰弱或濒危。由此

可见,需尽快采取有效措施对古树进行复壮保护,改善目前生长状况。

2.3.2 树高、胸径、冠幅分析

古树名木树高呈近似正态分布,胸径与冠幅呈正偏态分布,其中树高范围为 2.30~40.00 m,集中在 20.00~25.00 m 的古树名木最多,有 615 株,占总株数的 27.50%,平均树高为 18.98 m,最大树高为 40.00 m,为柳北区君武植物园内树龄 80 a 的马尾松;胸径范围为 9.87~390.00 cm,集中在 50.00~

100.00 cm 的古树名木最多,达 998 株,占总株数的 44.63%,平均胸径 66.57 cm,最大胸径 390 cm,为柳江区流山镇树龄 426 a 的黄葛榕,属二级古树;平均冠幅范围为 1.25~43.00 m,集中在 0~5.00 m 的古树名木最多,达 1 094 株,占总株数的 48.93%,平均冠幅 8.43 m,最大冠幅 43 m,与最大胸径古树为同一株。整体而言,柳州市市辖区树高较高且胸径、冠幅较大的古树名木数量相对较少,古树名木整体呈年轻化(图 2)。

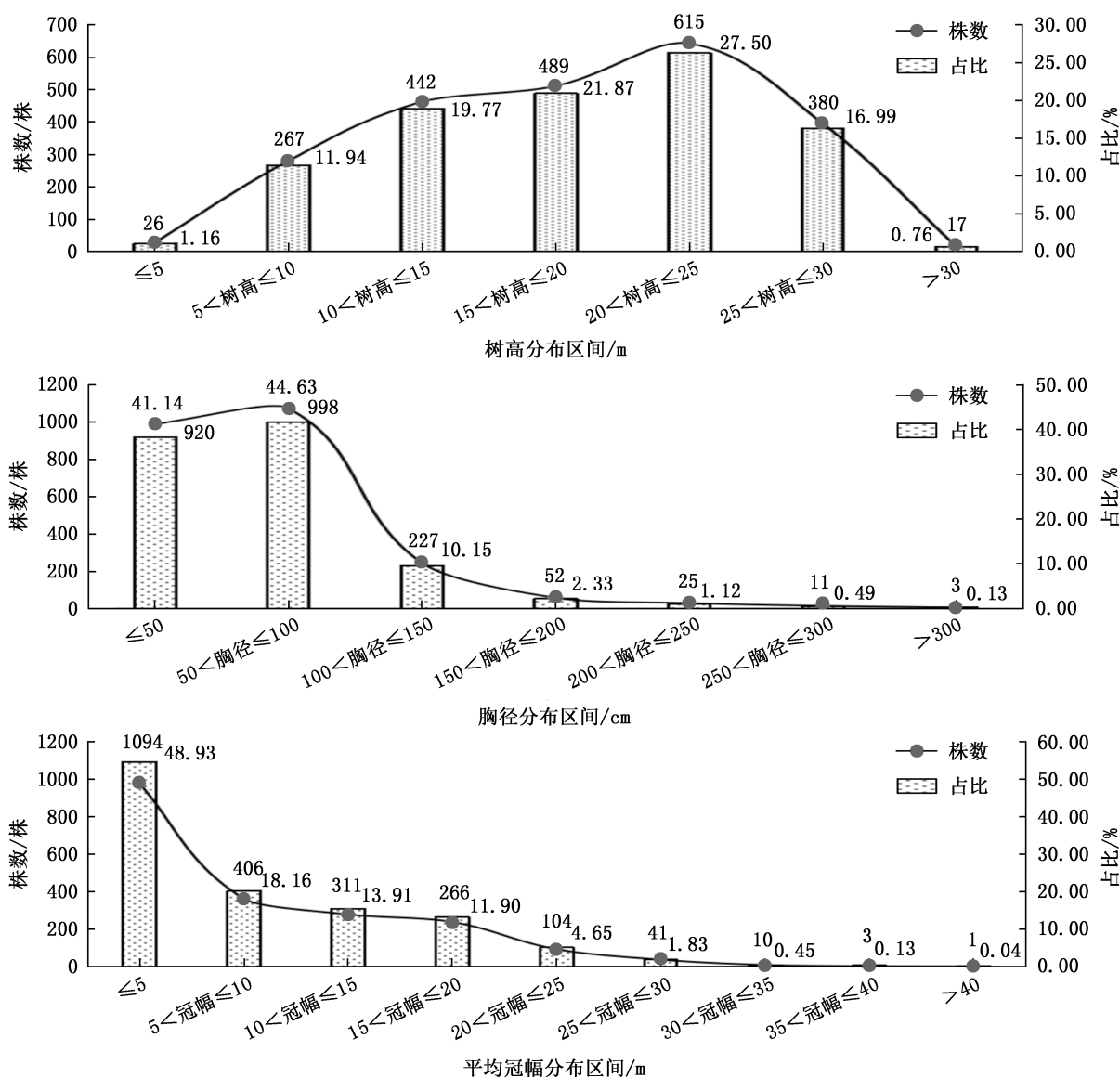


图 2 柳州市市辖区古树名木树高、胸径、冠幅分析

Fig. 2 Analysis of height, DBH and crown width of ancient and famous trees in Liuzhou municipal districts

2.4 古树名木权属与空间分布分析

2.4.1 古树名木权属分布

柳州市市辖区古树名木权属构成具体情况如表

4 所示。

古树名木权属较为集中,其中国有所有古树名木共 2 038 株,含名木 8 株,占总株数的 91.14%;集

体所有古树名木共 186 株,占总株数的 8.32%;个人所有古树名木共 10 株,占总株数的 0.45%;其他权属古树名木共 2 株,占总株数的 0.09%。权属以国有为主,集体其次,个人很少,其他极少。同时,国家级重点保护树种中 278 株古树均在集体或国有权属

中,占国家级重点保护树种总数的 97.54%,说明古树名木资源大多集中在国家或集体的保护和管理中。

2.4.2 古树名木行政区分布

古树名木数量分布不均衡,具体见表 5。

表 4 柳州市市辖区古树名木权属构成

Tab. 4 Ownership structure of ancient and famous trees in Liuzhou municipal districts

权属	古树等级					数量/株	占比/%	国家级重点保护树种			
	一级	二级	三级	准古树	名木			I级/株	占比/%	II级/株	占比/%
集体	8	39	127	12	0	186	8.32	0	0	5	2.69
国有	5	22	588	1415	8	2038	91.14	2	0.10	271	13.30
个人	0	1	9	0	0	10	0.45	0	0	7	70.00
其他	0	0	0	2	0	2	0.09	0	0	0	0

表 5 柳州市各辖区古树名木资源统计

Tab. 5 Statistics of ancient and famous trees resources in each districts of Liuzhou

序号	地名	古树数量/株	古树等级/株					占比/%	树种数量/种	面积/km ²	密度/(株·km ⁻²)
			一级	二级	三级	准古树	名木				
1	城中区	491	3	10	308	169	1	21.96	25	77.56	6.331
2	鱼峰区	419	3	14	262	133	7	18.74	29	863.00	0.490
3	柳南区	74	0	2	34	38	0	3.31	8	541.37	0.137
4	柳北区	1120	0	2	30	1088	0	50.09	21	301.20	3.718
5	柳江区	132	7	34	90	1	0	5.90	15	1773.00	0.074
	总计	2236	13	62	724	1429	8	100.00		3556.13	0.629

从表 5 可知,一半的古树名木资源集中分布在柳北区,共 1 120 株,占总株数的 50.09%,其次分布在城中区与鱼峰区,分别为 491 株、419 株,占总株数的 21.96%与 18.74%,古树名木数量分布最少的为柳南区,仅 74 株,为柳北区的 1/15。

古树名木等级分布不均衡,多次出现不同等级的古树名木集中分布在一个辖区的情况,一级古树与二级古树大多集中分布在柳江区,柳南区与柳北区数量分布最少,仅有 2 株;三级古树大多集中分布在城中区,柳北区分布最少;准古树大多集中分布在柳北区,柳江区分布最少,仅有 1 株;名木主要集中在鱼峰区,有 7 株。古树名木较多的辖区,其树种多样性也较丰富,树种数量达 20 种以上的分布在城中区、鱼峰区与柳北区。古树名木密度最高的为城中区,密度为 6.331 株/km²,其次是柳北区,密度为 3.718 株/km²,古树名木密度最低的为柳江区,密度为 0.074 株/km²。柳北区古树数量最多,城中区

古树名木树种与三级古树数量最多,古树名木密度最高,说明柳北区与城中区均有深入开展古树名木科学、历史文化与旅游资源等研究的良好潜力。

2.4.3 古树名木生长位置和分布格局

古树名木生长位置统计具体见图 3。

从图 3 可知,古树名木生长位置分布差异较大,主要集中在远郊野外,数量分别为 1 263 株,占总株数的 56.48%,分布最少的为历史文化街区,为 68 株,占总株数的 3.04%。多数古树名木集中分布在远郊野外,为古树名木保护与管理工作带来困难,另外约 43.52%的古树名木分布于城区、风景名胜古迹区、历史文化街区等人员密集、文化底蕴深厚的地区,说明市辖区可供挖掘的古树名木资源较为丰富,科研、经济、历史文化价值较高。古树名木以群落状为主,共 1 259 株,占总株数的 56.31%;散生古树 977 株,占总株数的 43.69%。古树名木大部分为群落树,对将来古树名木的集中保护与管理提供了便

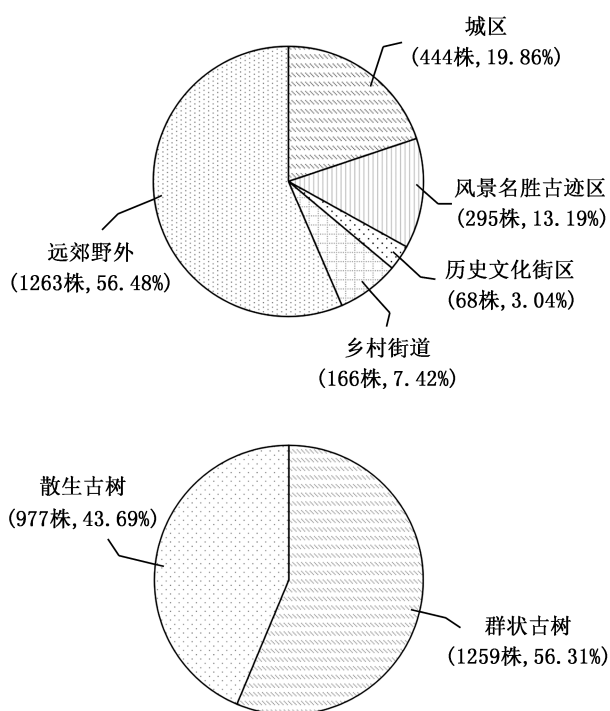


图 3 柳州市市辖区古树名木生长位置和分布格局

Fig. 3 Location and distribution pattern of ancient and famous trees in Liuzhou municipal districts

利,但散生古树数量也不少,使得古树名木资源的保护仍存在一定困难。

2.5 古树名木保护现状分析

研究发现柳州市在古树名木保护方面取得一定成效。对柳州市市辖区每一株古树名木建档立册,统一使用广西壮族自治区古树名木信息管理系统进行古树名木的管理;已完成每一株古树名木的挂牌工作;对每一株古树名木落实了管护责任制,签订了管护合同;设立了专项资金费用以保障古树名木日常养护与抢救复壮工作,并持续拓宽古树名木保护资金筹措渠道;积极引进先进仪器与诊断技术对古树名木进行健康检测;切实抢救复壮衰弱、濒危与整改“过度硬化”古树;通过召开古树名木复壮技术培训会,印发《广西壮族自治区古树名木保护条例》宣传册上万册,向社会公众开展古树保护与复壮技术等宣传工作,提高群众保护意识等。

柳州市市辖区多数古树名木均得到悉心保护,但辖区内偏远郊区古树名木存在多起衰弱及濒危的情况,由于郊区古树名木多数处于野生状态,因建房修路、河堤硬化、白蚁蛀食等人为或自然因素侵占了周围的生长空间,限制了自身健康生长。因此,古树名木在城区等地受重视程度要高于远郊野外与乡村

街道,城郊差异极为明显。

3 讨论与结论

本次调查发现,柳州市市辖区古树名木共有 2 236 株,隶属 29 科、42 属、52 种。从重点保护树种与资源特征来看,古树名木数量较多,有上百株重点保护树种,种类相对丰富,主要以马尾松、樟树、龙眼、榕树等乡土植物为主,其分布具有明显的亚热带气候特征,是古树名木长期适应环境的体现,也是当地历史文化底蕴的体现。如数量最多的马尾松,种植在为纪念著名栽培育种专家、社会活动家马君武先生在柳州市沙塘镇做出的贡献而开辟的君武森林公园内,这一历史背景为马尾松赋予了深厚的文化底蕴。因而,保护古树名木,不单是保护生态环境,更是保护背后独特的历史文化,其都是不可再生的宝贵财富。

从古树名木生长状况与权属空间分布发现,柳州市市辖区部分古树名木虽生长在人口密集的中心城区、历史文化街区等地,但其生长状态均得到良好的保障,说明政策支持、经济发展与民众意识等因素对古树名木的生长具有积极的促进作用,古树名木的保护与城市的快速发展并不矛盾冲突,反而有意识的人为干预是保护古树名木的重要手段之一。另外,大量的古树名木集中在远郊野外,且多数位于森林公园内,说明古树名木对良好的自然生态环境具有一定的依赖性。同时,衰弱与濒危古树也多集中在远郊野外与乡村街道,郊野乡村的古树名木应成为今后古树名木保护工作的重点。

柳州市市辖区除准古树外,共有古树名木 807 株,隶属 25 科、33 属、39 种,密度为 0.227 株/km²,选取地理位置、研究面积与市辖区较为相近的几个城市进行对比,古树名木数量方面均小于对比的 5 个城市,5 个城市古树名木数量分别为云南芒市(1 028 株)^[10]、北海市(1 299 株)^[11]、深圳市(1 482 株)^[12]、海口市(1 684 株)^[13]、佛山市(2 095 株)^[14];古树名木种类方面大于北海市(31 种)^[11]、云南芒市(32 种)^[10],小于海口市(51 种)^[13]、佛山市(51 种)^[14]、深圳市(78 种)^[12]。总体而言,柳州市市辖区古树名木数量与树种相比选取城市其资源丰富度要稍显匮乏。

针对此次分析中发现的问题,(1)衰弱及濒危的古树名木,主要分布于远郊野外与乡村街道,存在管护不当的隐患,管护责任单位需积极寻求、引进技术与资金支持,尽快恢复古树名木健康生长状态;

(2)对个人与其他所有的古树名木进行保护技术指导与定期回访;(3)加大辖区村镇技术人员专业能力的培训力度,以储备更多优秀人才从事古树名木保护工作;(4)积极探索制定古树名木保护管理手册,将法律规范与养护、保护经验等内容有效地科普、推广至各个辖区县城;(5)深入挖掘古树名木背后的历史人文文化,盘活古树资源,不仅切实地保护古树名木,还将自然资源灵活地用起来,做到保护与发展共赢的良好局面;(6)市辖区准古树数量较多,后备资源相对丰富,需做好后续养护与管理等相关工作,为古树名木的健康生长保驾护航;(7)继续加强古树名木保护宣传,提高公众保护意识。

古树名木是自然森林资源的珍贵遗产,是历史名城文化软实力的重要体现,是生态文明建设的重要依托。通过对柳州市市辖区古树名木资源的研究,分析了地域植物资源特征,反映了生长分布状况,发现了古树名木保护工作中仍存在的问题,为当地绿化提供了古树名木研究情况资料,以期促进生态文明和美丽柳州建设。

参考文献:

- [1] 金英美. 古树价值[J]. 森林与人类, 2016(12): 8-10.
- [2] 陶月华. 生态文明背景下柳州古树名木保护规划[J]. 广西城镇建设, 2017(12): 56-64.
- [3] 余劲. 公园古树名木精细化管理养护初探——以柳侯公园为例[J]. 绿色科技, 2019(3): 186-187.
- [4] 谭理贵. 古树名木的养护与管理——以柳侯公园为例[J]. 农业与技术, 2019, 39(3): 147-148.
- [5] 柳州市林业和园林局. 我市古树名木资源普查通过自治区核查验收万株古树名木得到保护[EB/OL]. [2021-03-12]. http://lyhylj.liuzhou.gov.cn/wsbs/ggfw/gsmmex/202009/t20200905_2023922.shtml.
- [6] 梁瑞龙,熊晓庆. 森林瑰宝知多少——广西第二次古树名木资源普查概况[J]. 广西林业, 2018(1): 36-38.
- [7] 国家林业和草原局 农业农村部. 国家重点保护野生植物名录[EB/OL]. [2021-09-07]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/09/content_5636409.htm.
- [8] 广西壮族自治区人民政府. 广西壮族自治区人民政府关于公布广西壮族自治区第一批重点保护野生植物名录的通知[EB/OL]. [2010-03-13]. <http://www.gxzf.gov.cn/zwgk/zfwj/zzqrmzfwj/20100517-297806.shtml>.
- [9] 国家林业局. 中国重点保护野生植物资源调查[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.
- [10] 朱坤,代继平,庞婧,等. 云南省芒市古树名木资源调查与特征分析[J]. 林业资源管理, 2020(1): 22-29.
- [11] 邹嫦,康秀琴,罗开文. 广西北海市古树名木资源特征分析[J]. 林业资源管理, 2017(3): 128-132.
- [12] 黄应锋,孙冰,廖绍波,等. 深圳市古树资源特征与分布格局[J]. 植物资源与环境学报, 2015, 24(2): 104-111.
- [13] 戴边疆,郭运勇,宋希强,等. 海口市古树名木资源特征及其空间分布[J]. 热带生物学报, 2020, 11(1): 63-71.
- [14] 柯欢,谭伯东,胡羨聪. 佛山市古树名木资源调查[J]. 广东园林, 2020, 42(2): 60-63.
- [15] 易善军,姚晔,崔健,等. 玉屏侗族自治县古树名木资源特征分析及保护对策[J]. 林业资源管理, 2020(2): 37-45.
- [16] 吴刘萍,林国权,薛宝莲,等. 湛江市古树名木资源调查与分析[J]. 湛江海洋大学学报, 2004(6): 62-67.
- [17] 王丹英,王建炜,潘声雷. 北京市古树保护存在的问题及管理对策[J]. 林业资源管理, 2007(6): 29-33, 60.
- [18] 胡坚强,夏有根,梅艳,等. 古树名木研究概述[J]. 福建林业科技, 2004(3): 151-154.
- [19] 曾秀丹,姜蕾. 中山市古树名木资源现状及保护对策[J]. 绿色科技, 2021, 23(13): 165-167.
- [20] 唐志萍,吴炳贤,刘婷,等. 永州市古树名木资源现状调查研究[J]. 绿色科技, 2019(1): 18-19, 22.

责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.024

广东理工学院鼎湖校区园林植物资源调查与评价

张铭亦,黄秋燕

(广东理工学院 建设学院,广东 肇庆 526070)

摘要:以广东理工学院鼎湖校区植物景观作为研究对象,在植物资源调查的基础上,运用层次分析法,从植物景观的生态性、观赏性、文化性、功能性和心理性 5 个方面对校园植物景观进行综合评价。结果表明,校区园林植物共 66 种,隶属 43 科、59 属,在植物种类组成方面,被子植物 42 科、58 属、65 种,裸子植物 1 科、1 属、1 种;在生活型组成方面,乔木 21 种,灌木 27 种,草本 15 种,藤本 3 种;构建了植物景观评价模型,包括 1 个目标层、5 个准则层、20 个对象层,校园植物景观综合评价指数为 56.635%,属Ⅲ级,景观质量一般。总结广东理工学院鼎湖校区植物景观存在的问题并提出相应对策,以期在广东理工学院校园景观的提质改造和校园建设的可持续发展提供理论参考。

关键词:大学校园;植物景观;景观评价;层次分析法;广东

中图分类号:TU986.34;S757.2;S758.8 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0146-07

引文格式:张铭亦,黄秋燕.广东理工学院鼎湖校区园林植物资源调查与评价[J].林业调查规划,2023,48(4):146-152.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.024

ZHANG Mingyi, HUANG Qiuyan. Investigation and Evaluation on Landscape Plant Resources in Dinghu Campus of Guangdong Technology College[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 146-152. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.024

Investigation and Evaluation on Landscape Plant Resources in Dinghu Campus of Guangdong Technology College

ZHANG Mingyi, HUANG Qiuyan

(Construction Institute, Guangdong Technology College, Zhaoqing, Guangdong 526070, China)

Abstract: Based on the investigation of plant resources in Dinghu Campus of Guangdong Technology College, the analytic hierarchy process (AHP) was used to comprehensively evaluate the campus plant landscape from ecological, ornamental, cultural, functional, and psychological aspects. The results showed that there were 66 species of garden plants in the campus, belonging to 59 genera and 43 families, including 65 species, 58 genera and 42 families of angiosperms, and 1 species, 1 genus and 1 family of gymnosperms in terms of plant species composition; in terms of lifestyle composition, there were 21 species of arbors, 27 species of shrubs, 15 species of herbs, and 3 species of vines; the plant landscape evaluation model was constructed, including 1 target layer, 5 criterion layers and 20 object layers; the comprehensive evaluation index of campus plant landscape was 56.635%, belonging to Grade III, and the landscape quality was general.

收稿日期:2022-02-21.

基金项目:广东理工学院“质量工程”项目(SHSJJD202103);2023年广东省科技创新战略专项资金项目(pdjh2023b0690).

第一作者:张铭亦(2000-),男,广东佛山人,研究方向为风景园林.

责任作者:黄秋燕(1985-),女,福建宁德人,讲师.主要从事园林植物应用研究. Email:hqy050736@qq.com

Key words: university campus; plant landscape; landscape evaluation; analytic hierarchy process; Guangdong

植物景观具有强大的生命力和感染力,是校园环境的重要组成部分,也是评判一所大学建设水平的重要标准之一。校园植物景观能充分发挥其自身特性,进一步体现地域文化和校园文化的内涵,对推动校园景观文化建设和强化校园景观潜移默化的教育功能起积极作用,良好的校园植物景观为师生营造良好的学习、生活和工作环境,提升学校综合竞争力^[1-3]。因此在高校开展植物景观评价数量化研究,了解高校校园植物景观现状,有针对性提出相关改进建议,对校园景观质量的提升、校园文化建设的推动等带来积极影响^[4-5]。

植物景观评价始于美国,作为风景资源评价的一部分发展和演变而来^[6]。植物景观评价的评价方法有很多,如层次分析法(AHP)^[7]、美景度评价法(SBE)^[8]、语义分析法(SD)^[9]和审美评判测量法(BIB-LCJ)^[10]等。而层次分析法(AHP)具有使用简便、操作灵活、实用性高等特点,被广泛运用于景观评价中^[11]。国内对于植物景观的综合评价研究起步较晚,近年来,植物景观评价数量化成为我国学者的关注热点,对于高校植物景观评价数量化研究也日趋增多。如林锐等^[3]运用层次分析法,从生态结构、心理影响和美学价值3个方面对云南农业大学植物景观进行综合评价,总结出部分区域植物景观季相变化不明显、乡土树种应用比例较低等问题,并提出在植物选择方面以乡土树种优先为原则,选择综合观赏价值高的植物等优化对策。冯雪^[12]运用层次分析法对衡水学院校园植物景观作定性及定量评价,综合分析出植物生态型结构单一、景观效果不够丰富等问题,并提出加大植物种类及其数量、增加植物配置模式、丰富季相景观等具体建议。黄秋燕等^[13]运用层次分析法,从生态、心理、视觉、功能、文化5个方面对肇庆学院校园植物景观进行综合评价,发现行道树品种选择及种植不合理、植物配置比例不协调等问题,提出增加灌木类植物品种、改善校园植物养护管理措施等对策。因目前尚未见广东理工学院鼎湖校区植物景观评价的相关报道,本研究在对广东理工学院鼎湖校区的植物资源进行调查分析的基础上,采用层次分析法(AHP)对学校鼎湖校区具有代表性样地的植物景观进行数量化评价,旨在为校园景观的提质改造和可持续发展提供参考。

1 材料及方法

1.1 研究对象

肇庆市地处粤港澳大湾区核心位置,东与佛山市毗邻,西联广西梧州市,是珠三角沟通联系大西南的枢纽和门户,是粤港澳大湾区的投资热土和发展新秀。肇庆市地理位置为北纬 $22^{\circ}47' \sim 24^{\circ}24'$,东经 $111^{\circ}21' \sim 112^{\circ}52'$,属南亚热带季风气候,自然植被地带性分布为南亚热带常绿季雨林,雨热同期,给予植物良好的生长条件,植物种类丰富,被誉为“南亚热带地区的物种宝库”。广东理工学院设高要校区、鼎湖校区和玳东路校区,鼎湖校区位于肇庆市鼎湖区坑口街道(北纬 $23^{\circ}05' \sim 23^{\circ}15'$,东经 $112^{\circ}30' \sim 112^{\circ}57'$),于2017年9月投入使用,占地面积约 33.33 hm^2 。

1.2 研究方法

1.2.1 实地调查

本研究中以广东理工学院鼎湖校区作为调查对象,2021年9—11月对校园植物资源的名称、种类、基本信息及园林应用情况进行详细分析研究。2021年12月—2022年1月对校园植物资源进行二次调查确保无遗漏,然后选取校园内植物配置较为丰富的样地,对样地内植物景观进行分析,主要侧重于植物景观的植物配置、群落效果等。

1.2.2 问卷调查

采用纸质问卷和线上问卷相结合的方式,对5名风景园林、环境设计等相关专业教师和70名风景园林、环境设计等相关专业学生进行意见征询,以获得影响广东理工学院鼎湖校区植物景观效果各项因子的权重值。本次调查共发放80张问卷,回收有效问卷共75张,有效问卷回收率为93.75%。

1.2.3 综合评价

1) 评价指标的选择

通过对调查地进行现场勘查,根据切实需求结合专家的相关建议,确定以“植物景观生态性”“植物景观观赏性”“植物景观文化性”“植物景观功能性”和“植物景观心理性”为评价原则,下设20个评价指标。

2) 评价模型的建立

校园植物景观评价模型包括1个目标层、5个准则层、20个对象层(表1)。

表 1 广东理工学院鼎湖校区校园植物景观评价模型

Tab.1 Plant landscape evaluation model in Dinghu Campus of Guangdong Technology College

目标层	准则层	对象层
广东理工学院鼎湖校区植物景观评价(A)	植物景观生态性(B ₁)	调节气候(C ₁)
		净化空气(C ₂)
		美化环境(C ₃)
	植物景观观赏性(B ₂)	降噪吸音(C ₄)
		色彩及季相(C ₅)
		物种多样性(C ₆)
		生境和谐性(C ₇)
		整体美观度(C ₈)
		空间层次感(C ₉)
		植物景观文化性(B ₃)
	科普文化教育(C ₁₁)	
	地域文化展示(C ₁₂)	
	语言符号表达(C ₁₃)	
	植物景观功能性(B ₄)	景观保健功能(C ₁₄)
		景观教育功能(C ₁₅)
		景观遮荫功能(C ₁₆)
		空间营造功能(C ₁₇)
	植物景观心理性(B ₅)	舒适感(C ₁₈)
		安全感(C ₁₉)
		愉悦感(C ₂₀)

3) 评价指标权重值的确定

借助 yaahp 软件建立景观评价模型, 构建 A-B、B₁-(C₁-C₄)、B₂-(C₅-C₉)、B₃-(C₁₀-C₁₃)、B₄-(C₁₄-C₁₇)、B₅-(C₁₈-C₂₀) 6 种判断矩阵, 采用“1-9 比例标度法”对两相比较的指标因子的相对重要程度进行赋值^[14]并计算结果。

4) 综合评价值的计算

为使评价结果更加科学, 采用专家对现场和照片相结合的方式量化评分, 以很好(10 分)、较好(8 分)、一般(6 分)、较差(4 分)和很差(2 分)对评价体系中的定性因子进行评分, 取平均值作为各定性因子的定性分值, 具体计算公式及评分细则参照参考文献[15-16]。最后采用差值百分比分级法将景观质量分为 4 个等级: I 级表示景观质量非常好, CEI 为 80%~100%; II 级表示景观质量较好, CEI 为 60%~80%; III 级表示景观质量一般, CEI 为 40%~60%; IV 级表示景观质量较差, CEI ≤ 40%。具体见表 2。

表 2 广东理工学院鼎湖校区校园植物景观综合评价得分

Tab.2 Comprehensive evaluation score of plant landscape in Dinghu Campus of Guangdong Technology College

准则层	对象层	合成权重值	专家评价分值	综合评价分值
B ₁	C ₁	0.0873	4.96	0.4330
	C ₂	0.3848	5.76	2.2163
	C ₃	0.6144	6.40	3.9322
B ₂	C ₄	0.2509	4.63	1.1619
	C ₅	0.2063	6.25	1.2891
	C ₆	0.4213	6.07	2.5570
	C ₇	0.4096	6.37	2.6091
B ₃	C ₈	0.5603	6.15	3.4456
	C ₉	0.2343	5.80	1.3591
	C ₁₀	0.1732	5.20	0.9004
	C ₁₁	0.1679	5.23	0.8780
	C ₁₂	0.1993	5.71	1.1379
B ₄	C ₁₃	0.0794	4.96	0.3936
	C ₁₄	0.1682	5.39	0.9064
	C ₁₅	0.2294	5.41	1.2410
B ₅	C ₁₆	0.2811	4.17	1.1720
	C ₁₇	0.6360	5.84	3.7141
	C ₁₈	0.2815	5.71	1.6074
	C ₁₉	0.1744	5.27	0.9193
	C ₂₀	0.1042	5.57	0.5802

由表 2 可知, 广东理工学院鼎湖校区校园植物景观综合评价指数 CEI 为 56.635%。

5) 判断矩阵的建立

根据校园植物景观评价模型, 采用专家赋值的方式得到两两比较的判断矩阵(A-B、B₁-C、B₂-C、B₃-C、B₄-C、B₅-C), 计算各个评价因子的权重值, 并进行一致性检验, 所得结果均小于 0.1, 说明结果具有一致性, 进而得出广东理工学院鼎湖校区校园植物景观评价模型指标层、准则层和对象层中各个因子所占比重(表 3)。

2 结果与分析

2.1 实地调查结果与分析

2.1.1 园林植物物种组成

统计广东理工学院鼎湖校区校园植物资源, 具体见表 4。

表 3 广东理工学院鼎湖校区校园植物景观
各评价指标总排序

Tab. 3 Total ranking of plant landscape evaluation indexes
in Dinghu Campus of Guangdong Technology College

目标层	目标层 权重值	准则层	准则层 权重值	对象层	对象层 权重值
A	1	B ₁	0.2345	C ₁	0.0176
				C ₂	0.0668
				C ₃	0.0960
				C ₄	0.0542
		B ₂	0.2982	C ₅	0.0330
				C ₆	0.0694
				C ₇	0.0643
				C ₈	0.0911
				C ₉	0.0404
		B ₃	0.1163	C ₁₀	0.0333
				C ₁₁	0.0321
				C ₁₂	0.0349
				C ₁₃	0.0160
		B ₄	0.2499	C ₁₄	0.0312
				C ₁₅	0.0424
				C ₁₆	0.0674
				C ₁₇	0.1089
		B ₅	0.1011	C ₁₈	0.0493
				C ₁₉	0.0331
				C ₂₀	0.0187

经调查统计得出,广东理工学院鼎湖校区内的植物共 66 种,隶属 43 科、59 属。在植物种类组成方面,被子植物 42 科、58 属、65 种,裸子植物 1 科、1 属、1 种;在生活型组成方面,乔木 21 种,灌木 27 种,草本 15 种,藤本 3 种;在广东理工在植物种类组成的排序方面,被子植物 > 裸子植物。广东理工学院鼎湖校区的校园绿地中,应用植物种类超过 3 种的科有豆科(Fabaceae)3 种、夹竹桃科(Apocynaceae)3 种、桑科(Moraceae)3 种、大戟科(Euphorbiaceae)3 种、木犀科(Oleaceae)3 种、桃金娘科(Myrtaceae)4 种;应用植物种类超过 2 种的属有含笑属(*Michelia*)2 种、蒲桃属(*Syzygium*)2 种、榕属(*Ficus*)2 种、山茶属(*Theaceae*)2 种、木犀榄属(*Olea*)2 种、鹅掌柴属(*Schefflera*)2 种、天门冬属(*Asparagus*)2 种。葱莲(*Zephyranthes candida*)、睡莲(*Nymphaea tetragona* Georgi)系草本水生植物。

表 4 广东理工学院鼎湖校区植物资源统计

Tab. 4 Statistics of plant resources in Dinghu Campus of
Guangdong Technology College

序号	种	科	属	生活型
1	金蒲桃 <i>Xanthostemon chrysanthus</i> (F. Muell.) Benth.	桃金娘科	蒲桃属	乔木
2	黄金串钱柳 <i>Melaleuca bracteata</i> F. Muell.	桃金娘科	白千层属	乔木
3	红鳞蒲桃 <i>Syzygium hancei</i> Merr. et Perry	桃金娘科	蒲桃属	乔木
4	凤凰木 <i>Delonix regia</i> (Boj.) Raf.	豆科	凤凰木属	乔木
5	羊蹄甲 <i>Bauhinia purpurea</i> Linn.	豆科	羊蹄甲属	乔木
6	鸡蛋花 <i>Plumeria rubra</i>	夹竹桃科	鸡蛋花属	乔木
7	罗汉松 <i>Podocarpus macrophyllus</i> (Thunb.) Sweet	罗汉松科	罗汉松属	乔木
8	白兰 <i>Michelia alba</i> DC.	木兰科	含笑属	乔木
9	美丽异木棉 <i>Ceiba speciosa</i> St. Hih.	木棉科	吉贝属	乔木
10	木棉 <i>Bombax ceiba</i> L.	木棉科	木棉属	乔木
11	桂花 <i>Osmanthus fragrans</i> (Thunb.) Lour.	木犀科	木犀属	乔木
12	芒果树 <i>Mangifera indica</i> L.	漆树科	芒果属	乔木
13	人面树 <i>Dracontomelon duperreanum</i> Pierre	漆树科	人面子属	乔木
14	波罗蜜 <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	桑科	菠萝属	乔木
15	金钱榕 <i>Ficus deltoidea</i> Jack	桑科	榕属	乔木
16	锦叶榄仁 <i>Terminalia neotaliala</i> Capuron	使君子科	诃子属	乔木
17	复羽叶栎树 <i>Koelreuteria bipinnata</i> Franch.	无患子科	栎树属	乔木
18	大王椰子树 <i>Roystonea regia</i> (Kunth) O. F. Cook	棕榈科	王棕属	乔木
19	狐尾椰 <i>Wodyetia bifurcata</i> A. K. Irvine	棕榈科	狐尾椰属	乔木
20	黄花风铃木 <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S. O. Grose	紫葳科	风铃木属	乔木
21	龙血树 <i>Dracaena draco</i> (L.) L.	龙舌兰科	龙血树属	乔木
22	洒金变叶木 <i>Codiaeum variegatum</i> (L.) A. Juss.	大戟科	变叶木属	灌木
23	琴叶珊瑚 <i>Jatropha integerrima</i> Jacq.	大戟科	麻疯树属	灌木
24	铁冬青 <i>Ilex rotunda</i> Thunb	冬青科	冬青属	灌木
25	非洲凤仙花 <i>Impatiens walleriana</i> Hook. f.	凤仙花科	凤仙花属	灌木
26	长春花 <i>Catharanthus roseus</i> (L.) G. Don	夹竹桃科	长春花属	灌木

续表 4

序号	种	科	属	生活型
27	夹竹桃 <i>Nerium oleander</i> L.	夹竹桃科	夹竹桃属	灌木
28	红花檵木 <i>Loropetalum chinense</i> (R. Br.) Oliver var. <i>rubrum</i> Yieh	金缕梅科	檵木属	灌木
29	扶桑 <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	锦葵科	木槿属	灌木
30	米仔兰 <i>Aglaia odorata</i> Lour.	楝科	米仔兰属	灌木
31	酒瓶兰 <i>Beaucarnea recurvata</i> Lem.	龙舌兰科	酒瓶兰属	灌木
32	花叶假连翘 <i>Duranta erecta</i> Linnaeus	马鞭草科	假连翘属	灌木
33	含笑 <i>Michelia figo</i> (Lour.) Spreng.	木兰科	含笑属	灌木
34	银姬小蜡 <i>Ligustrum sinense</i> Lour. var. <i>variegatum</i>	木犀科	木犀榄属	灌木
35	龙船花 <i>Ixora chinensis</i> Lam.	茜草科	龙船花属	灌木
36	粉萼金花 <i>Mussaenda hybrida</i>	茜草科	玉叶金花属	灌木
37	黄金榕 <i>Ficus microcarpa</i>	桑科	榕属	灌木
38	山茶花 <i>Camellia japonica</i> L.	山茶科	山茶属	灌木
39	杜鹃红山茶 <i>Camellia azalea</i> C. F. Wei	山茶科	山茶属	灌木
40	花叶鹅掌柴 <i>Schefflera arboricola</i> Hay.	五加科	鹅掌柴属	灌木
41	小琴丝竹 <i>Bambusa multiplex</i> (Lour.) Raeuschel ex J. A. et J. H. Schult.	竹亚科	簕竹属	灌木
42	胡椒木 <i>Zanthoxylum piperitum</i> Benn.	芸香科	花椒属	灌木
43	三角梅 <i>Bougainvillea spectabilis</i> Willd.	紫茉莉科	叶子花属	灌木
44	红背桂 <i>Excoecaria cochinchinensis</i> Lour.	大戟科	海漆属	灌木
45	鹅掌柴 <i>Schefflera octophylla</i> (Lour.) Harms	五加科	鹅掌柴属	灌木
46	锈鳞木樨榄 <i>Olea ferruginea</i> Royle	木犀科	木犀榄属	灌木
47	萼距花 <i>Cuphea hookeriana</i> Walp.	千屈菜科	萼距花属	灌木
48	洒金珊瑚 <i>Aucuba japonica</i> Thunb. var. <i>variegata</i> Domb.	山茱萸科	桃叶珊瑚属	灌木
49	鹤望兰 <i>Strelitzia reginae</i> Aiton	芭蕉科	鹤望兰属	草本
50	天门冬 <i>Asparagus cochinchinensis</i> (Lour.) Merr	百合科	天门冬属	草本
51	春羽 <i>Philodendron selloum</i>	天南星科	喜林芋属	草本
52	醉蝶花 <i>Cleome spinosa</i> Jacq.	白菜花科	醉蝶属	草本

续表 4

序号	种	科	属	生活型
53	石刁柏 <i>Asparagus officinalis</i> L.	百合科	天门冬属	草本
54	五彩苏 <i>Coleus scutellarioides</i> (L.) Benth.	唇形科	鞘蕊花属	草本
55	细叶结缕草 <i>Zoysia tenuifolia</i> Willd. ex Trin.	禾本科	结缕草属	草本
56	三色堇 <i>Viola tricolor</i> L.	堇菜科	堇菜属	草本
57	万寿菊 <i>Tagetes erecta</i> L.	菊科	万寿菊属	草本
58	茼蒿菊 <i>Chrysanthemum frutescens</i> (L.) Sch.-Bip	菊科	茼蒿属	草本
59	四季海棠 <i>Begonia cucullata</i> Willd.	秋海棠科	秋海棠属	草本
60	葱莲 <i>Zephyranthes candida</i> (Lindl.) Herb.	石蒜科	蒜莲属	草本
61	睡莲 <i>Nymphaea tetragona</i> Georgi	睡莲科	睡莲属	草本
62	金鱼草 <i>Antirrhinum majus</i> L.	车前科	金鱼草属	草本
63	牵牛花 <i>Ipomoea nil</i> (Linnaeus) Roth	旋花科	牵牛属	草本
64	常春油麻藤 <i>Mucuna sempervirens</i> Hemsl	豆科	蠶豆属	藤本
65	地锦 <i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch.	葡萄科	地棉属	藤本
66	炮仗花 <i>Pyrostegia venusta</i> (Ker-Gawl.) Miers	紫葳科	炮仗藤属	藤本

2.1.2 校园植物景观现状

1) 校园总体植物景观分析

实地调查发现,由于广东理工学院鼎湖校区建设相对于高要主校区较晚,面积较小,植物景观营造方面有所欠缺,校区内的植物物种多样性程度一般,多以乔—草、灌—草类组成景观,群落垂直结构较为简单;常绿植物的应用率明显高于落叶植物,导致部分区域的植物景观季相变化不明显,观赏效果欠佳;乡土树种的种类应用比例较低且多引种于南亚热带地区,如黄金串钱柳、鸡蛋花、花叶假连翘、鹅掌柴等;学校道路两旁种植的芒果树体量太小,栽植密度较低,遮荫效果较差;校园整体园林植物只有 66 种,物种丰富度较差;校内机动车道与宿舍区的边界所植树种隔音效果差等。

2) 校园局部植物景观分析

以植物配置较为丰富的两处样地为例进行植物配置分析,分别为学生公寓区和清心园。

学生公寓区选取了龙血树作为此处的骨干树种,该树形较小,搭配红背桂、鹅掌柴、锈鳞木樨榄,形成高低有致的植物群落。而在宿舍楼下学生活动中心则采用夹竹桃搭配红花檵木形成乔—灌景观。植物配置模式为锈鳞木樨榄+夹竹桃+龙血树+鹅掌柴+红背桂。

清心园位于图书馆前,与美食广场毗邻,中央湖区对望。地理位置优越,是重要的校园景观。植物设计色彩鲜艳,以缀花草坪为主,形成野趣自然、浪漫开阔的景观效果。乔木采用黄金串钱柳、罗汉松、银姬小蜡、红鳞蒲桃等,灌木采用米仔兰、萼距花、洒金珊瑚、黄金榕、红花檵木、胡椒木、花叶假连翘等,搭配长春花、细叶结缕草、葱莲、睡莲、鹤望兰、五彩苏等草本植物,枝叶掩映,空气清新,错落有致的植物搭配形成了独特的校园景观,营造出一种静谧悠闲的景观,为同学们提供了一个休闲娱乐场所。植物配置模式为春羽+红鳞蒲桃+黄金串钱柳+细叶结缕草+五彩苏+天门冬。

2.2 问卷调查结果与分析

调查结果显示,认为广东理工学院鼎湖校区整体的景观风貌为“较好”和“一般”的人群比例最高,为25.33%,另有20%人群认为整体景观风貌“很好”,17.33%人群认为整体景观风貌“较差”,说明大部分人群对校园景观整体风貌的评价达到“一般”及以上的比例为70.66%。有20%人群对校园植物景观生境和谐性的评价为“很好”,28%人群评价为“较好”,29.33%人群评价“一般”,只有8%人群评价为“很差”,这说明绝大部分人认为校园植物景观和校园整体规划是符合的,但还有一部分校园绿地急需提质更新。

2.3 权重值结果与分析

准则层的相对权重分别为植物景观生态性(0.2345)、植物景观观赏性(0.2982)、植物景观文化性(0.1163)、植物景观功能性(0.2499)和植物景观心理性(0.1011)。权重值的大小可以反映出该因子在整体评价中的重要程度,广东理工学院鼎湖校区植物景观评价模型的准则层表现为:植物景观观赏性(0.2982)>植物景观功能性(0.2499)>植物景观生态性(0.2345)>植物景观文化性(0.1163)>植物景观心理性(0.1011)。说明校园在进行植物景观规划时的侧重点为植物景观的观赏性和功能性,可通过合理的园林植物配置,如以龙血树作为骨干树种,搭配红背桂、鹅掌柴和锈鳞木樨榄,形成高低有致的植物群落,布置较高质量的景观小品,如文化

廊道、文化雕塑等,对校园生态景观的打造和校园文化的建设起积极作用,更好地为师生营造“宜学”“宜教”和“宜居”的校园环境^[17-19];此外校园植物景观的设计不仅能更好地展现高校整体的文化建设,良好的校园植物景观能提高师生学习和工作的效率^[20],因此在规划设计时要考虑到师生日常的学习、工作和生活的需求;与此同时要突出校园整体景观风貌独有的景观特质,如地域特色、校园文化等,加强大学校园的文化和精神文明建设,在景观设计中更多考虑师生的心理和使用需求,体现出校园植物景观的人工美和意境美。

对象层权重值表现为空间营造功能(0.1089)>美化环境(0.096)>整体美观度(0.0911)>物种多样性(0.0694)>景观遮荫功能(0.0674)>净化空气(0.0668)>生境和谐性(0.0643)>降噪吸音(0.0542)>舒适感(0.0493)>景观教育功能(0.0424)>空间层次感(0.0404)>地域文化展示(0.0349)>校园文化遗产(0.0333)>安全感(0.0331)>色彩及季相(0.033)>科普文化教育(0.0321)>景观保健功能(0.0312)>愉悦感(0.0187)>调节气候(0.0176)>语言符号表达(0.016)。结果表明广东理工学院鼎湖校区校园植物景观侧重空间营造功能、美化环境和整体美观度的打造,校园整体景观风貌具有一定的肇庆文化特色(端砚文化),能够体现出校园文化内涵,校园植物景观的教育功能^[21]、保健功能^[22]和空间营造功能^[23]的挖掘利用也不可或缺。

2.4 植物景观评价结果与分析

广东理工学院鼎湖校区植物景观综合评价指数为56.635%,按照景观质量等级划分为Ⅲ级,表明广东理工学院鼎湖校区植物景观已达一般水平(表3),但植物景观相比许多高校仍有较大提升空间,将来需结合学校规划建设的实际情况进行植物景观的提质改造,不断丰富植物种类和推出植物养护措施。

在准则层表现前5位的指标分别是空间营造功能(0.1089)、美化环境(0.096)、整体美观度(0.0911)、物种多样性(0.0694)和景观遮荫功能(0.0674)。广东理工学院鼎湖校区植物景观特点为:(1)校园植物种类丰富度不足,植物种类仅有66种,无法形成独具地域特色和校园文化特色的植物景观风貌,在植物景观观赏性以及植物景观文化性等方面还需不断优化,植物配置时应注意层次、分层配置,选用不同高度、不同花色、不同花期的植物进行搭配,充分发挥观赏价值;(2)校园植物景观多以

乔—草、灌—草为主,植物层次结构有待改善,植物生长表现较差,主要表现为校园人工湖湖边杂草丛生、部分草地出现斑秃现象,因此需要对园林植物进行养护管理,完善植物养护管理措施,减少病虫害发生,确保植物长势良好,构建良好的校园植物景观,更好地提高学校整体形象。

3 结 语

目前园林绿地、高校植物景观评价数量化是研究热点,未来将会呈现多学科融合、多维度分析的发展趋势^[24]。采用 AHP 评价法能实现非量化因素的量化研究,将该方法应用于校园景观评价能使得植物景观间具有可比性,评价结果既能直观显示各个指标的结果,也能间接呈现植物景观的整体风貌,评价结果与实地调查的观感一致,可有针对性地提出相关改进建议,并依此采取相关措施,该方法能有效对校园绿地植物景观进行数量化评价,具有一定的指导意义。广东理工学院鼎湖校区校园植物景观评价模型适用于广东省其他高校校园植物景观评价,也可应用于其他地区园林绿地或高校校园的植物景观评价,对园林绿地或高校校园整体风貌的展现和完善绿化养护管理机制具有重要意义。但受到不可控因素(地域、自然气候条件)的影响,园林植物的品种和生长表现将有所不同,构建 AHP 评价模型对校园植物景观进行分析评价时,在某种程度上有一定不足,因此在某些特殊条件下对景观进行评价时需要专家在评价模型的构建方面给予算法的修正。

参考文献:

- [1] 牟慧君,周悦,倪珉. 植物景观在生态校园建设中的应用研究——以山东建筑大学月泉广场为例[J]. 辽宁林业科技,2020(3):61-63.
- [2] 钟小军,杨务发,杨建欣. 大学校园休闲绿地植物景观营造的建议[J]. 林业科技,2011,36(6):52-54.
- [3] 林锐,李叶芳,姜蕾,等. 云南农业大学校园植物景观评价[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2017,32(1):184-190.
- [4] 张春慧. 大学校园绿地景观规划与设计的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2004.
- [5] 肖冰,孙冰. 大学校园绿地景观设计探讨[J]. 中国城市林业,2007(4):42-44.
- [6] 菅文娜,张延龙. 陕西关中城市街道园林绿化景观模糊评价[J]. 西北林学院学报,2006(3):147-149.
- [7] 裴伶俐. 基于 AHP 的城市公园绿地植物景观评价[J]. 现代园艺,2021,44(17):37-39.
- [8] 范志强,吴乐荣,丁元春,等. 基于 SBE 法的安庆新河景观带植物景观评价[J]. 长春师范大学学报,2020,39(12):163-167.
- [9] 张慧莹,肖华斌. 基于 SD 法的城市公园植物景观评价研究——以泰安市东湖公园为例[C]//活力城乡美好人居——2019 中国城市规划年会论文集. 北京:中国建筑工业出版社,2019:351-358.
- [10] 陈璐,陈月华. 基于 BIB-LCJ 法与 SD 法的杜鹃专类园春季植物景观美学评价[J]. 湖北农业科学,2016,55(19):4907-4912.
- [11] 孙明,杜小玉,杨炜茹. 北京市公园绿地植物景观评价模型及其应用[J]. 北京林业大学学报,2010,32(S1):163-167.
- [12] 冯雪. 衡水学院校园植物景观评价[J]. 现代园艺,2019(15):7-10.
- [13] 黄秋燕,杨建欣,和太平. 肇庆学院校园植物景观评价[J]. 广西林业科学,2021,50(4):483-488.
- [14] 许树柏. 实用决策方法:层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社,1988.
- [15] 芦建国,李舒仪. 公园植物景观综合评价方法及其应用[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2009,33(6):139-142.
- [16] 魏梅琳. 福州大学城绿地植物景观评价[D]. 福州:福建农林大学,2013.
- [17] 李庆臻. 论校园十大环境的建设[J]. 济南大学学报(综合版),1995(2):1-4.
- [18] 吴幼容. 基于高校生态校园建设的植物物种研究——以闽江学院大学城校区为例[J]. 农学学报,2014,4(6):83-86.
- [19] 陈伏金. 高校生态型校园建设探析[J]. 宁德师范学院学报(哲学社会科学版),2014(2):111-115,121.
- [20] 黄海燕,闫红伟. 沈阳农业大学校园植物景观功能性分析[J]. 黑龙江农业科学,2011(7):89-91.
- [21] 杨建欣. 以教育功能为导向的大学校园景观优化策略——以福建农林大学金山校区为例[J]. 四川建筑,2015,35(4):59-61.
- [22] 黄亮. 园林景观——人们身心健康的守护者——浅谈园林景观各要素的保健功能[J]. 农业科技与信息(现代园林),2007(4):80-82.
- [23] 王丽丽. 呼和浩特植物景观空间营造的调查研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2019.
- [24] 孙明,杜小玉,杨炜茹. 北京市公园绿地植物景观评价模型及其应用[J]. 北京林业大学学报,2010,32(S1):163-167.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.025

新平县古树群特征及地理分布分析

李梦婷¹, 李永宁², 赵文军², 王娟²

(1. 西南林业大学, 云南 昆明 650224; 2. 新平县林业和草原局, 云南 新平 652409)

摘要:为深入分析新平县古树群资源的生长特征和分布情况,采用文献研究和现场补充调查的方法,对新平县古树群的种类、数量、分布、生长特征、区系等进行了统计与分析。结果表明,新平县古树群 60 个,2 028 株,隶属 14 科、19 属、20 种。平均树龄 100~200 a,林分胸围 200~300 cm,林分高度 10~20 m,郁闭度 0.45。新平县古树群分布于海拔 400~2 000 m,随着海拔升高古树群株数不同程度的减少;古树群只集中分布在漠沙镇、夏洒镇、水塘镇、者竜乡、建兴乡、平掌乡 6 个乡镇,主要树种为杠果、酸豆、茶、云南油杉等,呈现集中分布为主,零星分布为辅的格局。从古树群植物区系组成科级水平方面看,属于热带和温带分布区类型的科数相差不大,但是属级和种级水平方面,属于热带分布区类型的数量较多。以期更地了解新平古树群植物的起源和分布,为新平县古树名木研究和树种规划提供新的依据。

关键词:古树群;分布;区系;新平县

中图分类号:TU986.36;P964;S717.1 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0153-08

引文格式:李梦婷,李永宁,赵文军,等.新平县古树群特征及地理分布分析[J].林业调查规划,2023,48(4):153-160.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.025

LI Mengting, LI Yongning, ZHAO Wenjun, et al. Characteristics and Geographical Distribution of Ancient Tree Groups in Xinning County[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 153-160. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.025

Characteristics and Geographical Distribution of Ancient Tree Groups in Xinning County

LI Mengting¹, LI Yongning², ZHAO Wenjun², WANG Juan²

(1. Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;

2. Xinning Bureau of Forestry and Grassland, Xinning, Yunnan 652409, China)

Abstract: In order to deeply analyze the growth characteristics and distribution of ancient tree groups in Xinning County, the species, quantity, distribution, growth characteristics and flora of ancient tree groups were statistically analyzed by means of literature research and field supplementary investigation. The results showed that there were 60 ancient tree groups in Xinning County, which included 2 028 trees belonging to 20 species, 19 genera and 14 families. Average age was concentrated in 100-200 a, chest circumference was concentrated in 200-300 cm, height was concentrated in 10-20 m, and canopy density was 0.45. The ancient tree groups in Xinning County were distributed at an altitude of 400-2 000 m, and the number of ancient tree groups decreased with the increase of altitude; the ancient tree groups were on-

收稿日期:2021-12-14;修回日期:2022-01-05.

第一作者:李梦婷(1988-),女,云南泸西人,硕士.主要研究方向为风景园林(植物方向).

责任作者:李永宁(1970-),男,云南新平人,正高级工程师.主要从事森林培育和森林管护方面工作.

ly concentrated in six townships, namely Mosha Town, Gasa Town, Shuitang Town, Zhelong Township, Jianxing Township and Pingzhang Township. The main tree species were *Mangifera indica*, *Tamarindus indica*, *Camellia sinensis* and *Keteleeria evelyniana*, which showed a concentrated distribution pattern with sporadic distribution supplemented. At the level of family, there was little difference of quantities between tropical and temperate characters, but at the level of genus and species, tropical characters were more prominent. This paper aimed to have a deeper understanding of the origin and distribution of the ancient tree groups, providing a new basis for the later study of the ancient and famous trees in Xiping County and the planning of tree species.

Key words: ancient tree groups; distribution; flora; Xiping County

古树指树龄在 100 a 以上的树木。古树是历史的见证,是自然生态演变精华的缩影,不但拥有较高的经济、生态、旅游价值,而且拥有特殊的历史文化、科研价值,具有重要的社会意义,是研究当地人文、历史文化和物候特征的重要“书籍”。古树群指一定区域范围内由一个或多个树种组成、相对集中生长、形成特定生境的古树群体。而植物区系指一定地区或国家范围内所有植物种类的总和,是植物界在一定自然地理条件下形成的,特别是在自然历史条件综合作用下发展演化的结果。植物区系能反映一定区域内植物的起源、迁移、历史等情况,通过对植物区系进行研究,能较全面了解该地区植物的种类组成、分布区类型以及发生、发展等重要特征。

新平县位于滇中部偏西南,地处哀牢山脉中段东麓,地势西北高,东南低,最高海拔 3 165.9 m,位于哀牢山主峰大磨岩山,最低海拔 422 m,位于漠沙镇南蒿村。两地高差 2 743.9 m,受海拔差影响,形成河谷高温区、半山暖温区、高山寒温区 3 个气候类型,年均温 17.1℃,年降雨量 946 mm。由于独特地貌和立体气候的交互作用,新平县内植被类型繁多,具有全省植被类型南北汇集,东西兼备的特点。境内山峦起伏,江河深切,元江平行哀牢山而流,将新平县分割成东西两大地域,形成两山对峙,一水中分的特点,为古树群提供了优越的生长条件。此外,新平县历史悠久,民族文化底蕴深厚,普遍存在原始的自然崇拜,对古树保存也产生一定作用,研究其数量、种类、起源及其分布特征是保护古树遗产的基础性工作。

在整理新平县 2018 年古树群调查资料的基础上,辅以现场补充调查,总结分析新平县古树群资源的种类、数量、分布特征,不仅为新平县古树群植物的起源、分布及其研究提供重要的基础数据,也为新平县国家园林县城创建和园林绿化建设,在树种选择方面体现本土文化、突出地方特色、丰富园林植物

种类等提供借鉴和参考。

1 研究区概况

新平彝族傣族自治县位于玉溪市西南部。距离昆明市 180 km、玉溪市 90 km。东与峨山县毗邻,东南与石屏县接壤,南连元江县,西南接墨江县,西与镇沅县相接,北隔绿汁江与双柏县相望^[3]。全县辖 6 乡 4 镇 2 街道、124 个村(社区)委会、1 459 个村(居)民小组,户籍人口 26.28 万人,少数民族人口占总人口的 69.76%,其中彝族、傣族人口占全县总人口的 62.14%。新平县总面积 4 223 km²,占玉溪市总面积的 27.6%,其中山地面积占 98%,森林覆盖率 73.66%,生物物种丰富多样,哀牢山国家级自然保护区是世界同纬度生物多样性,同类型植物群落保留最完整的地区,被列为联合国“人与生物圈”森林生态系统定位观察站和国际候鸟保护基地,西黑冠长臂猿世界分布中心。

2 调查方法

依据《古树名木普查技术规范》和《古树名木鉴定规范》对《新平县古树名木图集》中记录的古树名木拉丁学名和中文名进行查阅整理,同时收集新平县古树名木资料和实地补充调查,在此基础上根据《中国种子植物科属词典》《中国植物志》《云南植物志》和《新平植物志》对整理的古树名木进行科、属、中文名和拉丁学名的鉴定与核对,建立新平县古树名木数据库。数据库包括每一棵古树名木的科、属、中文名和拉丁学名,以及树龄、树高、胸径、冠幅、生境、生长状况等信息,同时按吴征镒院士的划分原理和方法,确定每一种植物的科级分布区类型。属级分布区类型采用 1991 年吴征镒《中国种子植物属的分布区类型》和 1999 年吴征镒《中国种子植物属的分布区类型的增订和勘误》中的观点。种级分布

区类型也参照吴征镒院士的属级分布区类型及《中国特有种植物的多样性及其地理分布》进行划分。

3 结果与分析

3.1 古树群的数量统计分析

3.1.1 古树群按行政区域统计

对新平县古树群的数量进行统计,结果如表1所示。

表1 新平县古树群数量按行政区域统计

Tab.1 Statistics of ancient tree groups in Xinning County by administrative region

单位	群数 /个	占比 /%	株数 /株	占比 /%	主要树种
漠沙镇	20	33.33	792	39.05	芒果、木棉、酸豆
戛洒镇	15	25.00	450	22.19	酸豆、清香木、芒果
水塘镇	9	15.00	436	21.50	茶、木棉、青冈
建兴乡	8	13.34	227	11.20	云南油杉、云南樟
者竜乡	6	10.00	100	4.93	茶、普文楠、核桃
平掌乡	2	33.33	23	1.13	核桃
老厂乡	—	—	—	—	—
新化乡	—	—	—	—	—
平甸乡	—	—	—	—	—
古城街道	—	—	—	—	—
桂山街道	—	—	—	—	—
杨武镇	—	—	—	—	—
合计	60	100.00	2028	100.00	

表1数据显示,新平县有古树群60个,株数2028株,主要分布在6个乡镇。漠沙镇有古树群20个,株数792株,分别占全县古树群群数的33.33%、总株数的39.05%,为全县古树群个数和古树群株数数量最多的乡镇,排名第一,主要树种为芒果、酸豆和木棉。其次戛洒镇有古树群15个,株数450株,分别占全县古树群群数的25.00%、总株数的22.19%,主要树种为酸豆、清香木和芒果,排名第二,其他古树群数量较多的乡镇为水塘镇、建兴乡和者竜乡。通过比较全县古树群的地域性分布,热带树种如芒果、酸豆、木棉主要分布在漠沙镇、戛洒镇、水塘镇3个乡镇,所含树种数量排名前列,占比高;温带树种如云南油杉、云南樟则主要分布在建兴乡、者竜乡、平掌乡,所含树种比例稍低。前3个乡镇与

后3个乡镇所含古树群群数之比为2.2:1,株数之比为4.8:1,古树群大部分分布于前3个乡镇。

从表1看出,古树群主要分布在6个乡镇,其他6个乡镇(街道)未发现古树群。主要原因是6个乡镇刚好地处江西片区,水系发达,水资源丰富,其中戛洒镇、者竜乡、水塘镇3个乡镇与哀牢山自然保护区毗邻,具备独特的山地气候,植物群落保留完整;新平县是一个民族自治县,民族文化深厚,普遍具有原始的自然崇拜,彝族、傣族、哈尼族人口占全县人口的71%,而6个乡镇刚好是彝族、傣族、哈尼族的聚居地,对古树群起到一定保护作用,而其他6个乡镇位于江东片区,工业相对发达,人流集聚,对古树群生存造成影响。

3.1.2 古树群按科属种统计

除国有林区原始林分和自然保护区不对公众开放的区域外,新平县60个古树群,株数2028株,隶属14科、19属、20种,全部为双子叶植物,统计结果如表2所示。

从表2可知,裸子植物有3科、3属、3种,占比分别为21.43%、15.79%、15.00%,被子植物11科、16属、17种,占比分别为78.57%、85.21%、85.00%,被子植物占优势。古树群中数量最多的树种为芒果,共计568株,占全县群状古树株数的28.01%;其他数量较多的树种为酸豆,共计419株,占全县群状古树株数的20.66%,依次为茶、云南油杉、云南樟、木棉、银木荷、胡桃等。

3.1.3 古树群按主要树种统计

新平县古树群树种排名前3的树种有芒果、酸豆、茶,共35个群、1380株,占古树群群数的58.33%、总株数的68.04%。芒果、酸豆、茶、木棉、云南油杉、云南樟六大树种群数为43个,1724株,分别占全县古树群个数的71.67%、总株数的85.01%。新平县古树群在一些小地域集中分布,如漠沙镇曼勒村委会和戛洒镇硬寨老选厂的酸豆、芒果古树群;水塘镇金厂村的茶古树群,3个乡镇的5个村古树群集中分布区共有古树群落33个,1285株,分别占全县古树群个数的55%、株数的63.4%。这种集中分布特点为古树群资源的保护和利用提供了良好条件。其他主要树种分布情况见表3。

表3数据表明,新平县古树群在树种方面呈现集中分布,小部分零星分布的情况。在地理分布方面,各乡镇的分布地均有代表性古树群落,如建兴乡帽盒村的云南樟古树群,漠沙镇曼线村的芒果、木棉等古树群,但这些古树群只分布在特定范围。

表 2 新平县古树群按科属种统计

Tab. 2 Statistics of ancient tree groups in Xiping County by genera and families

序号	树种	科	属	株数 / 株	占比 / %
1	云南樟 <i>Cinnamomum glanduliferum</i>	樟科	樟属	59	2.91
2	普文楠 <i>Phoebe puwenensis</i> Cheng	樟科	楠属	15	0.74
3	高山栲 <i>Castanopsis delavayi</i>	壳斗科	栲属	37	1.82
4	麻栎 <i>Quercus acutissima</i> Garruth	壳斗科	栎属	15	0.74
5	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	壳斗科	青冈栎属	13	0.64
6	胡桃 <i>Juglans regia</i>	胡桃科	胡桃属	62	3.06
7	银木荷 <i>Schima argentea</i> Pritz.	山茶科	木荷属	30	1.48
8	茶 <i>Camellia sinensis</i> (L.) O. Ktze	山茶科	山茶属	393	19.38
9	木棉 <i>Bombax malabaricum</i>	木棉科	木棉属	187	9.22
10	高山榕 <i>Ficus altissima</i>	桑科	榕属	9	0.44
11	黄葛树 <i>Ficus virens</i> Ait. var. <i>sublanceolata</i>	桑科	榕属	10	0.49
12	杧果 <i>Mangifera indica</i>	漆树科	杧果属	568	28.01
13	清香木 <i>Pistacia weinmannifolia</i>	漆树科	黄连木属	45	2.22
14	红椿 <i>Toona ciliata</i>	楝科	椿属	13	0.64
15	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	柏科	侧柏属	14	0.69
16	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	杉科	杉木属	5	0.25
17	酸豆 <i>Tamarindus indica</i>	苏木科	酸豆属	419	20.66
18	云南油杉 <i>Keteleeria evelyniana</i>	松科	油杉属	98	4.83
19	喜树 <i>Camptotheca acuminata</i>	蓝果树科	喜树属	8	0.39
20	心叶木 <i>Haldina cordifolia</i>	茜草科	心叶木属	28	1.38
合计	—	14	19	2028	100.00

3.2 古树群生长特征分析

3.2.1 古树群生境特征

将古树群生境类型分为村庄旁、林区、道路、耕地 4 类,不同生境类型占比情况如图 1 所示。

村庄旁和林区占比较高,林区属于人类活动较

表 3 新平县古树群主要树种统计

Tab. 3 Statistics of main tree species in Xiping County

主要树种	群数 / 个	占比 / %	株数 / 株	占比 / %	集中分布地点
杧果 <i>Mangifera indica</i>	14	23.33	568	28.01	曼线村、水塘村、速都村
酸豆 <i>Tamarindus indica</i>	15	25.00	419	20.66	硬寨老选、曼线村、戛酒社区
茶 <i>Camellia sinensis</i>	6	10.00	393	19.39	金厂村、邦迈村、竹管村
木棉 <i>Gossampinus malabarica</i>	3	5.00	187	9.22	曼线村、戛酒社区、水塘村
云南油杉 <i>Keteleeria evelyniana</i>	4	6.67	98	4.83	挖窖村、盘龙村
云南樟 <i>Cinnamomum glanduliferum</i>	1	1.67	59	2.91	帽合村
合计	43	71.67	1724	85.01	—

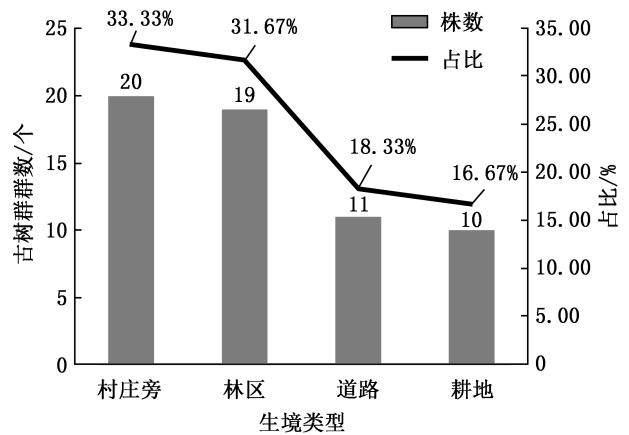


图 1 古树群生境情况统计

Fig. 1 Habitat distribution of ancient tree groups

少,管理规范,对古树群影响较小的区域,古树群长势较好。村庄旁、道路、耕地均属于人类活动频繁的区域,对古树群有一定影响,尤其是耕地和道路区域,对古树群破坏更多,影响古树群生长。

3.2.2 古树群生长特征

对 2 028 株古树的郁闭度、树龄、胸围、林分平均高度等特征进行统计分析,结果见图 2。

图 2 数据显示,古树群的林分高度在 10~15 m 的株数最多,有 980 株,占比 48.32%;郁闭度在 0.4~0.45 的株数最多,有 760 株,占比 37.47%,其次郁闭度在 0.5~0.55 的有 654 株,占比 32.25%,郁闭度在 0.6 以上的有 574 株,占比 28.30%,总体上新平县古树群的郁闭度为中度,长势良好。胸围在 200~300 cm 的株数最多,有 808 株。树龄集中在

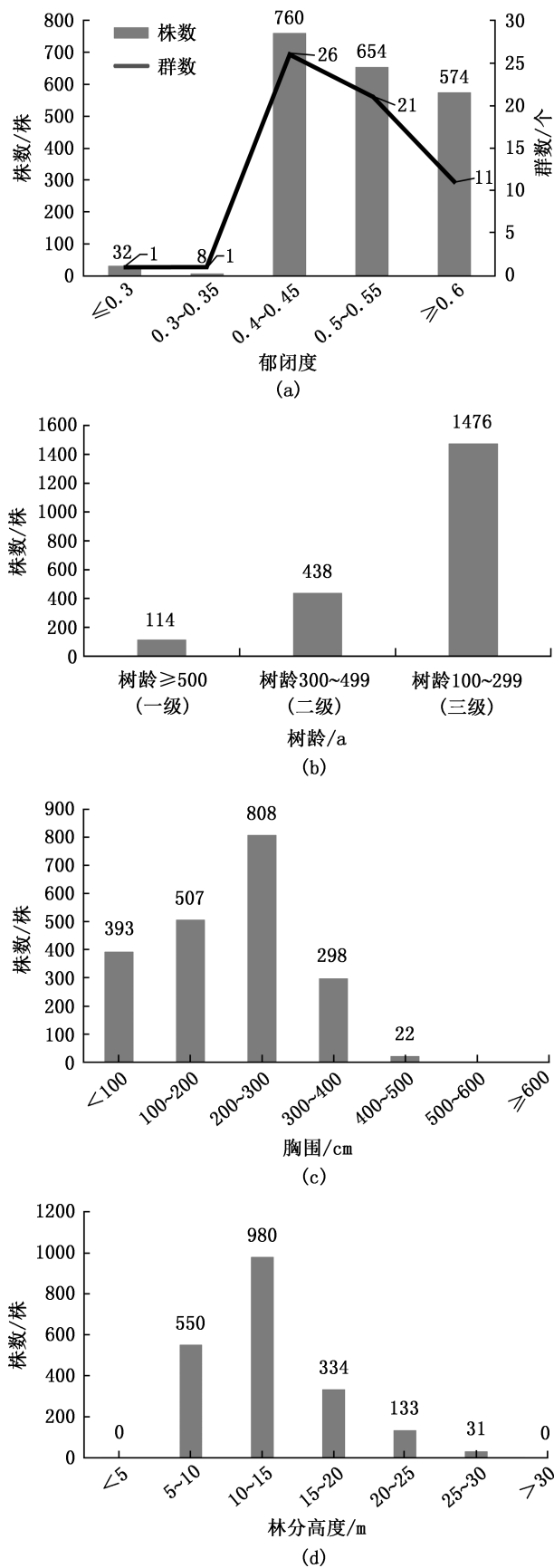


图 2 古树群生长特征统计

Fig. 2 Growth characteristics of ancient tree groups

100~299 a 的株数最多,有 1 476 株。按照树龄大小分为三级古树(树龄 100~299 a)、二级古树(树龄 300~499 a)、一级古树(树龄 ≥ 500 a)。其中,三级古树群株数占比 72.78%,是主要类型;二级古树群株数占比 21.6%,一级古树群株数占比较低,为 5.62%。从树龄分级可看出古树群树龄集中在 100~299 a,整体结构呈现低龄化特点。

3.2.3 古树群株数沿海拔梯度变化特征

新平县地域环境特殊,山体相对高差大,气候垂直分布明显,从山麓至山顶依次为南亚热带、中亚热带、北亚热带、暖温带、温带、寒温带气候,呈明显立体气候,独特的山地气候使植被具有明显垂直分布特征。根据古树群受地理环境的影响,统计古树群树种和株数随不同海拔梯度变换而出现的数量变化,见图 3。

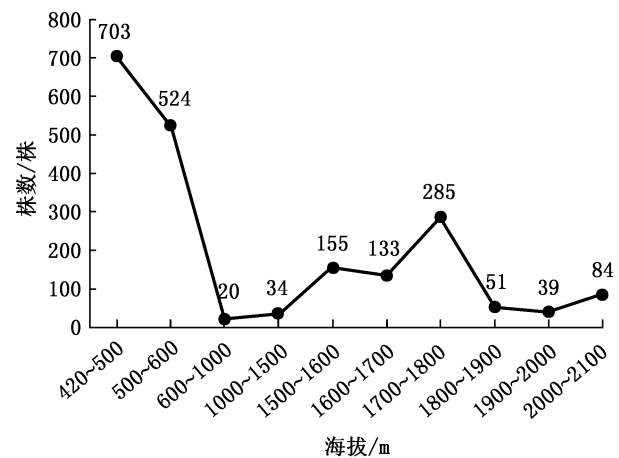


图 3 新平县古树群株数沿海拔梯度变化情况

Fig. 3 Variation of the number of ancient tree groups along the elevation gradient in Xinping County

图 3 数据表明,新平县古树群分布在海拔 400~2 000 m 范围,随着海拔的变化出现两个株数峰值。海拔 400~500 m 范围古树群株数最多,达 700 余株,为第一高峰值,树种主要为杠果、酸豆;海拔 500~600 m 范围株数减少至 520 余株,树种为杠果、酸豆、木棉、黄葛树、清香木;海拔 600~1 000 m 范围株数急剧下降至 20 余株,为第一个下降峰值,树种仅为酸豆一种。海拔 500~1 000 m 范围的古树群主要处于干热河谷地区,长期不合理的开发和利用,原生植被受到破坏,导致株数直线下降。海拔 1 000~1 500 m 范围株数几乎与海拔 600~1 000 m 保持一致,期间树种主要由酸豆过渡为麻栎、高山榕、黄葛树,主要是海拔变化不适合部分热带树种生存,出现

树种的过渡;海拔 1 500~1 800 m 范围株数逐渐上升,但是数量高峰值只达第一高峰值的 40%,并随海拔上升逐渐呈现下降趋势。树种主要由茶、木荷 (*Schima superba* Gardn. et Champ)、胡桃、喜树、云南油杉等组成。海拔 1 800~2 100 m 范围逐渐由茶过渡为云南油杉、云南樟、胡桃,树种主要为温带树种。通过对不同海拔古树群株数的统计,同时对比分析了热带山地和温带山地的主要树种,发现热带山地树种随海拔升高株数迅速降低,而亚热带、温带植物山地的树种随海拔变化发生树种过渡,但没有前者变化幅度大。因此新平县古树群呈现出热带树种和温带树种随海拔变化明显改变的特征,干热河谷的植被特征与哀牢山的植物区系相吻合,海拔 1 000~2 400 m 为半湿性常绿阔叶林带。

3.3 古树群植物区系分布分析

3.3.1 古树群植物区系科的分布

根据新平县的地理地貌和植物区系特点,参照吴征镒《世界种子植物科的分布区类型系统》的修订及《中国种子植物属的分布区类型》对中国种子植物进行分析,可将古树群分为 11 个植物区系分布类型,如表 4~表 6 所示。

表 4 新平县古树群植物区系科的分布区类型

Tab. 4 Areal-types of ancient tree groups families in Xinping County

分布区类型	科数/个	占比/%
1. 世界分布	3	21.43
2. 泛热带分布	5	35.71
8. 北温带分布	2	14.29
8-4. 北温带和南温带间断分布	3	21.43
9. 东亚、北美分布	1	7.14
合计	14	100.00

表 4 数据显示,属于世界分布类型的有桑科 (*Moraceae*)、茜草科 (*Rubiaceae*)、豆科 (苏木科 *Caesalpiniaceae*) 3 科,占总科数的 21.43%,其中豆科是整个古树群群数和株数仅次于漆树科 (*Anacardiaceae*) 的一个科,是古树群中重要组成。泛热带分布的科有漆树科、木棉科 (*Bombacaceae*)、山茶科 (*Theaceae*) 等 5 科,占总科数的 37.71%;北温带分布的有 5 科,占总科数的 37.71%,其中有 3 科是变型分布;东亚、北美分布的只有蓝果树科 (*Nyssaceae*) 1 科,占总科数的 7.14%,与世界分布和泛热带分布具有明

表 5 新平县古树群植物区系属的分布区类型

Tab. 5 Areal-types of ancient tree groups genera in Xinping County

分布区类型	属数/个	占比/%
2. 泛热带分布	1	5.26
3. 热带亚洲、美洲间断分布	2	10.53
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布	1	5.26
6. 热带亚洲至热带非洲分布	2	10.53
7. 热带亚洲分布	4	21.06
7-1. 爪哇、喜马拉雅间断和 华南、西南星散	1	5.26
7-4. 越南(或中南半岛)至 华南或西南	1	5.26
8. 北温带分布		
8-4. 北温带和南温带间断	1	5.26
8-5. 欧亚和南美洲温带间 断	1	5.26
9. 东亚、北美分布	1	5.26
12. 地中海区、西亚至中 亚		
12-3. 地中海区至温带、 热带亚洲	1	5.26
14. 东亚分布		
14-2. 中国—日本	1	5.26
15. 中国特有	2	10.53
合计	19	100.00

表 6 新平县古树群植物区系种的分布区类型

Tab. 6 Areal-types of ancient tree groups species in Xinping County

分布区类型	种数/个	占比/%
2. 泛热带分布	2	10.00
3. 热带亚洲、美洲间断分布	2	10.00
6. 热带亚洲至热带非洲分布	2	10.00
7. 热带亚洲分布	3	15.00
7-1. 爪哇、喜马拉雅间断 和 华南、西南星散	2	10.00
8. 北温带分布		
8-4. 北温带和南温带间 断	1	10.00
8-5. 欧亚和南美洲温带 间 断	1	10.00
9. 东亚、北美分布	1	10.00
12. 地中海区、西亚至中 亚		
12-3. 地中海区至温带、 热带亚洲	1	10.00
14. 东亚分布	1	10.00
14-2. 中国—日本	1	10.00
15. 中国特有	3	15.00
合计	20	100.00

显的科属划分和地域划分,如杉科的杉属与漆树科枞果属。此外壳斗科、胡桃科、桑科等在白垩纪至第三纪的地层中均还保留有各种植物化石,现在大部分种类在新平县植被中处于优势地位。以上不同科的不同分布类型对植物区系的性质以及群落组成、结构和特点均起着重要作用。

通过对古树群科的植物区系分析,属于热带分布的有泛热带分布类型,共有5科,占总科数的37.71%;属于温带分布的有6科,2个分布类型(温带分布、东亚和北美分布),占总科数的42.86%。古树群科的植物区系以温带分布稍占优势,而热带性分布中以泛热带分布类型为主,这与新平县地域气候垂直分布相关,不同海拔分布不同植物种类。

3.3.2 古树群植物区系属的分布

表5数据表明,19个属属于10个分布区类型、5个变型,明显多于科级的分布区类型,表明古树群属一级的植物区系更为广泛。其中属于热带亚洲分布的属最多,占比21.06%,该类型分布范围包括印度、斯里兰卡、缅甸、泰国、中南半岛、印度尼西亚、加里曼丹、菲律宾及新几内亚等。其中分布区的北部边缘,常达我国西南、华南及中国台湾,甚至我国更北地区。新平县古树群芒果属、酸豆属、木棉属、榕属是此分布区类型中最具代表性的属,同时包含一个分布区变型(爪哇、中国喜马拉雅和华南、西南星散),所含木荷属是新平县常绿阔叶林的重要组成。古树群属分布类型(泛热带分布,热带亚洲、美洲间断分布,热带亚洲至热带大洋洲分布,热带亚洲至热带非洲分布,热带亚洲分布)占比57.89%,而温带分布类型只占26.62%,表明古树群的属具有较强的热带、亚热带分布特征。

3.3.3 古树群植物区系种的分布

新平县古树群种的分布类型中属于泛热带和热带亚洲等分布类型最多,占总种数的55%,如枞果、酸豆、木棉、云南樟等是该古树群的重要组成部分,前两者分布类型在属级水平上也有很大的数量,再次表明新平县古树群与热带亚洲地区植物区系的紧密联系。温带分布的种占总种数的30%。中国特有种有3种,如云南油杉、喜树、杉木,占总种数的15%。另外中国特有种云南油杉起源古老,且在新平县古树群中占有重要地位,只在建兴乡集中分布,具有特殊的分布区域。从表6中看出部分温带分布的种占总种数的30%,表明在山地条件下,一定程度上部分热带分布种退出,温带分布种得以形成和迁入。

4 讨论与结论

新平县地处低纬高原,地貌类型复杂多样,同时,在热带季风高原气候作用下,空间或时间分布方面,地貌气候条件差异均很大,从而影响着全县古树群的分布和发育,决定了县域内不同区域的古树群特点,这是影响植被和古树群的主要因素。

4.1 新平县古树群特点

新平县古树群60个,2028株,隶属14科、19属,其中裸子植物有3科、3属、3种,被子植物11科、16属、17种,被子植物占优势。古树群平均树龄集中分布在100~200a,林分胸围分布在200~300cm,林分高度分布在10~20m,郁闭度0.45。热带山地树种随海拔升高株数迅速降低,而亚热带、温带植物山地的树种随海拔变化的过渡变化幅度没有前者大。主要树种为枞果、酸豆、木棉、云南樟等,呈现集中分布为主,零星分布为辅的格局,集中分布在漠沙镇、戛洒镇、水塘镇、者竜乡、建兴乡、平掌乡6个乡镇行政村。

新平古树群植物区系组成的突出特点表现为热带、亚热带植物物种十分丰富。古树群植物科、属、种属于热带分布与温带分布的比例分别为1:1、2.2:1、1.8:1,且热带分布与温带分布的株数比例为9.7:1,热带分布性质突出。新平县古树群14科,占全县古树名木50科的26%,占种子植物192科的6.7%,古树群植物丰富度较高。古树群的集中分布与特殊的地理位置有关,者竜乡、水塘镇、戛洒镇位于哀牢山国家级自然保护区的东部,古树群植物株数多,保存完整。

4.2 起源古老

新平县大部分地区属于热带、亚热带湿润气候,被子植物和古老的热带植被繁盛,壳斗科(Fagaceae)、胡桃科(Juglandaceae)等在白垩纪至第三纪的地层中均还保留有植物化石,而现今其大部分种类在植被中仍处于优势地位。古树群中如杉属(*Cunninghamia*)、油杉属(*Keteleeria*)、樟科(Lauraceae)、茶科(Theaceae)等种类,起源古老,处于重要地位,分布面积较大,表明新平县古树群起源古老。

4.3 地理成分复杂,联系面广

新平古树群植物区系中科一级有共同的起源和联系。一些世界性大科,如豆科、漆树科等,植物属一级的区系地理成分与世界各洲的联系均很广泛。新平热带、亚热带分布植物物种很多,如枞果、酸豆

等均是组成植被的重要成分。热带美洲与热带亚洲间断分布的属,在新平如楠属(*Phoebe*),属的数量虽不多但在热带植被中仍为古老而常见的成分。云南热带区系中与南半球大洋洲共有的属有樟属(*Cinnamomum*)、椿属(*Toona*)等,说明新平与澳洲在历史上也曾有所联系。热带亚洲和热带非洲共有的成分,在新平主要分布在干热河谷、石灰岩等干旱生境,如木棉等。新平古树群热带属中最多的是热带亚洲成分,特别是热带东南亚成分,这是由于地理位置较接近,历史渊源较久,如樟科、茶科中多数属。

新平县古树群属于北温带分布区类型的属如杉木属,在欧亚、北美大陆的温带地区广为分布,在建兴乡分布较普遍。仅分布于云南的特有属(或以云南为中心分布至近云南植物区系中植物种一级)的地理分布区类型更为复杂。总之,温带成分以喜马拉雅东部的横断山区为起源中心,热带成分起源于东南亚,二者在新平境内奇妙地结合在一起,构成错综复杂的植物区系现状。

参考文献:

- [1] 国家林业局. 古树名木普查技术规范: LY/T 2738—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [2] 吴征镒, 王荷生. 中国自然地理-植物地理[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [3] 陆双莉. 海南尖峰岭野生种子植物区系与野生观赏植物资源研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2012.
- [4] 刘光佺. 新平县志(1978—2005)[M]. 昆明: 云南人民出版社, 2019.
- [5] 国家林业局. 古树名木鉴定规范: LY/T 2737—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [6] 侯宽昭. 中国种子植物科属词典[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [7] 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, 2004.
- [8] 吴征镒. 云南植物志[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [9] 彭华. 新平植物志[M]. 北京: 中国科学院昆明植物研究所, 2019.
- [10] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1991.
- [11] 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.
- [12] 吴征镒. 《世界种子植物科的分布区类型系统》的修订[J]. 植物多样性, 2003(5): 535-538.
- [13] 刘鹏, 徐立, 吴盛德, 等. 湖北省古树群资源分布及保护利用对策[J]. 湖北林业科技, 2019, 48(3): 46-49.
- [14] 李永宁. 新平县古树名木图集[M]. 昆明: 云南人民出版社, 2019.
- [15] 王娟, 杜凡, 杨宇明, 等. 中国云南澜沧江自然保护区科学考察研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [16] 高昆谊, 朱慧贤. 云南生物地理[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2008.

责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.026

云南省核桃产业大数据中心构建探究

向艳平¹, 叶树祥²

(1. 云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051; 2. 云南大学滇池学院, 云南 昆明 650228)

摘要:目前云南省核桃产业存在着数字化信息意识不足,全产业链基础数据不完善,数据挖掘和应用力度不足等问题。信息化是云南省核桃产业发展中各环节的重要连接纽带和重要基础保障,是云南省核桃产业发展的有力支撑,为此,设计构建云南省核桃产业大数据中心应用平台,实现全省核桃产业数据共享和综合应用。文中给出了云南省核桃产业大数据综合应用平台总体架构图,从核桃资源基础数据管理系统建设、核桃产业加工企业联网监管系统建设、核桃产业大数据基础信息平台建设、核桃产业物联网生态一体化系统建设、核桃产业电子商务平台建设等 11 个方面详细阐述云南省核桃产业大数据中心的构架及各层面的功能应用。

关键词:核桃产业;大数据中心;信息平台;数据共享;云南省

中图分类号:S792.13;F416.88 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0161-05

引文格式:向艳平,叶树祥. 云南省核桃产业大数据中心构建探究[J]. 林业调查规划,2023,48(4):161-165.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.026

XIANG Yanping, YE Shuxiang. Construction of Walnut Industry Big Data Center in Yunnan[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 161-165. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.026

Construction of Walnut Industry Big Data Center in Yunnan

XIANG Yanping¹, YE Shuxiang²

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

2. Dianchi College of Yunnan University, Kunming 650228, China)

Abstract: The walnut industry had some problems in Yunnan Province, such as insufficient awareness of digital information, incomplete basic data throughout the entire industry chain, and insufficient data mining and application efforts. Informationization is an important connecting link and basic guarantee for the development of the walnut industry in Yunnan Province, and a strong support for the development of the walnut industry in Yunnan Province. Therefore, the big data center application platform for the walnut industry in Yunnan Province was designed and constructed to realize data sharing and comprehensive application. The paper provided an overall architecture diagram of walnut industry big data comprehensive application platform in Yunnan, and elaborated the architecture and functional applications from 11 aspects, including walnut resource basic data management system, walnut industry processing enterprise networking supervision system, walnut industry big data basic information platform, walnut industry Internet of Things ecological integration system and walnut industry e-commerce platform.

收稿日期:2021-12-20.

基金项目:云南省教育厅科学研究基金项目(2023J1302).

第一作者:向艳平(1976-),女,云南石屏人,工程师.从事林业调查规划工作.

责任作者:叶树祥(1980-),云南大理人,高级工程师.研究方向为信息通信和人工智能.

Key words: walnut industry; big data center; information platform; data sharing; Yunnan Province

目前,云南省核桃种植面积和产量已在全国甚至全球排名第一位,目前云南省已有 90% 的县区种植核桃,核桃产业是云南省特殊农业和优势产业,也是传统产业,核桃种植及其发展关系到云南省山区综合开发,也是解决“三农”问题,实现乡村振兴的重要举措,但目前云南省核桃产业在信息化、数字化、大数据建设方面仍处于起步阶段。

大数据技术目前已在社会生产的各领域开展广泛应用,通过对大数据的应用,可有效地将原来分散的数据进行整合,形成数据仓库、数据湖,并通过机器数据、视频、传感数据等各种类型数据的汇聚^[1],有利于充分挖掘数据中的价值,为决策提供科学参考,打破信息壁垒,从而有效提升产业效率和效果。大数据技术已在工业、农业、服务业中得到广泛应用^[2]。

传统农业存在信息不流通、种植无科学数据指导、产业分散等问题,云南省核桃产业也是如此,种植面积和产量巨大,蕴含着大量数据,也形成了分散的大量数据,但对这些数据未能进行有效汇聚和挖掘,产业发展也未能有质的突破。迫切需要构建以大数据为中心,物联网、区块链溯源、信息化系统为外围协作的信息化建设应用体系。

1 核桃产业大数据应用现状

1.1 数字化信息意识不足

信息化和数字化时代的到来,意味着数据将在各行各业发挥重要作用,但传统的核桃一二三产业链均存在着数据意识不足,对数据能发挥的效能意识不足,对基础数据的收集、准确性保障、数据应用意识和思维均处于产业萌芽阶段,在云南省核桃产业发展中习惯了单打独斗,数据不共享,全产业链的数字化、信息化思维存在较大提升空间^[8]。

1.2 全产业链基础数据不完善

一产的种植、采摘、清洗、烘干等产业的数字化和精细化程度较低,缺少基础的详细数据支撑,无法给后续的二产、三产提供详细、精准的数据基础,无数据入池、数据入湖意识;二产加工方面有一定的自动化、数字化能力,但分散管理,数据分散,存在数据壁垒,在产业工业互联网方面尚存在较大差距;三产和一产、二产数据衔接薄弱,无数字溯源保障,无法体现差异化的产业质量,未能更有效地激发种植、加

工质量的提升。

1.3 数据挖掘和应用力度不足

目前云南省核桃大数据平台处于雏形阶段,主要聚焦于统计分析。数据挖掘和全产业链数据整合应用较少,数据量还存在很多欠缺,数据质量尚未得到有效保障,大数据技术还未在核桃产业链中进行大规模推广应用,目前在病虫害领域已建成云南省核桃有害生物智能空间大数据平台,在核桃有害生物方面进行了有效大数据技术应用尝试,但其他领域应用不足。

2 核桃产业大数据中心定位

2.1 信息化是云南省核桃产业发展中各环节的重要连接纽带

云南省核桃产业发展过程中既需要实现产业链上下游环节的信息纵向贯通,同时也需要在核桃相关产业链间实现信息的横向共享,信息化相关应用和工具无疑是最好的载体。信息化作为一种无形手段,可触及到核桃产业链的各个角落。通过信息化可以打破部门壁垒,进而实现信息的自动推送和获取,提高信息的快速共享,实现信息纵向、横向贯通,提升信息的综合利用,最终形成一个围绕云南省核桃产业发展的信息链,建立云南乃至中国特有的核桃产业大数据中心,通过信息辐射逐渐影响全国乃至全球的核桃产业发展。

2.2 信息化是云南省核桃产业发展的重要基础保障

云南省核桃产业发展,急需对现有的核桃数据资源进行调查和梳理。需要了解各地核桃栽培品种、产量、面积、株数、产期、生境等基本情况,调查核桃古树名木数量及空间分布。这些最基础、最原始的数据是促进全省核桃资源提质增效的重要基础保障。通过移动应用采集、数据上报工具等信息化手段进行核桃基础信息采集和管理,保障信息的可靠性,实现信息的全面及鲜活。

2.3 信息化是云南省核桃产业发展的有力支撑

随着云南省核桃产业信息化的推进,通过大数据管理和业务流程标准化的引入,海量数据会逐步汇聚,众多规范化的流程会逐步形成,这将有助于云南省核桃产业发展过程中信息分类更加有序、流程管理更加规范,形成核桃产业链的良性循环。通过物联网、移动互联网、电子商务交易等渠道,对科研、

生产、流通、经营、监管等各类数据的不断采集,将为云南省核桃产业发展提供有力的数据支撑。通过对这些数据进行汇总、分析、碰撞,采用大数据、云计算相关技术逐步实现核桃产业链相关信息的预警、研判,从而为云南省核桃产业发展的科学决策提供可靠依据。

3 核桃产业大数据中心功能分析

云南省核桃产业大数据综合应用平台结构设计采用面向服务的体系架构(SOA),实现全省核桃产业信息资源“七横三纵一接口”的横向、纵向集成和外部系统数据集成,在技术上选择主流、开放的架构体系,充分利用建设单位已有的基础,实现整个应用平台在网络环境下运行,内外网数据分开存储,以不同业务部门数据为分类依据,实现数据更新、业务实现及数据统计汇总。全省统一汇集,实现全省数据共享和综合应用,总体框架设计如图1所示。

4 大数据中心的构建

4.1 核桃资源基础数据管理系统建设

构建云南省核桃产业发展数据标准并持续完善,形成云南省本地规范,指导核桃产业发展信息化全过程;依托云南省林业调查规划院的二类调查结果数据,完善,云南省核桃资源矢量空间和属性数据库;建立核桃古树名木数据库,包括:县、乡、村、自然村、GPS坐标(经纬度坐标或大地坐标)、品种、树龄、产量、树高、胸径、冠幅、照片、该古树名木的简要描述及文化历史信息等;建立云南省核桃种质资源数据库,收集和整理云南省核桃栽培品种和产量信息;以地图形式展现云南省核桃资源以及品种分布情况。

4.2 核桃产业数据公报系统建设

实现云南省核桃产业品种、面积、产量、产值、进出口量、价格、收入、从业、资金投入、创新产出、企业/合作社等数据的统一上报、逐级填报、逐级汇总、逐级统计。实现云南省核桃产业发展目标责任的各级分解、任务下发;通过海关等渠道统计核桃月进出口量动态;通过物流等渠道统计产品流向(包括省内外、出口国)动态。

4.3 核桃产业示范基地动态监测系统建设

挑选1~2个核桃产业示范基地,通过物联网手段,使用视频监控设备接入示范基地园区,连入园区网络;在上述挑选的每个示范基地安装一个小气候传感器,实时监测基地园区气候状况;通过视频专网

实时将示范基地园区核桃影像、气候传感器采集的气候数据投射大屏,对核桃的实际生长环境、气候状况进行实时监测、展示。最终建立起示范基地初期的一个简易生态监测系统。

4.4 核桃产业加工企业联网监管系统建设

挑选1~2个核桃加工企业,通过物联网手段,使用高清摄像头接入加工企业核桃生产车间,连入企业网络;通过系统调取加工企业核桃生产实时影像,在一定程度上实现对加工企业的联网监管。通过系统大数据存储机制将加工企业生产影像、图片等进行存储,为后期电子商务平台商城、核桃产品质量追溯系统提供数据支撑。通过技术手段与加工企业生产系统对接获取生产相关数据,为后续产品质量追溯提供数据支撑。

4.5 核桃产业大数据基础信息平台建设

实现数字大屏建设,通过实地勘验进行设计、安装、调试、维护。建设为大数据服务的基础服务组件,为系统建设提供基础组件支撑;建设职能部门、生产企业管理模块,实现对核桃产业相关机构、部门信息、加工企业进行统一管理;建设统一的单点登录系统,实现单点登录验证、权限控制,为业务系统提供统一的安全认证入口,各业务系统使用统一的登录页面和统一的登录账号密码进行登录,达到一处登录多处使用的目的;建设标准化的流程引擎服务组件,实现核桃产业发展信息化的流程标准化和规范化;提供地理信息系统引擎服务,实现从多维度对核桃基地进行二维、三维展现;提供核桃产业市场动态、价格、咨询等相关数据的爬虫采集模块;提供大数据的存储和访问功能,实现对矢量空间数据、媒体影像等数据的存储、读取;建设大数据的检索、分析、统计、图表展现功能,实现直观的数据分布、统计、实时动态效果,通过丰富的报表、图表多维度展现各类统计数据;通过大屏分屏展示统计数据图表、价格动态、示范基地园区影像、气候动态等。

4.6 核桃产业发展状况监管决策 App 建设

开发移动端 App 对核桃产业品种、面积、产量、产值、价格、收入、从业、资金投入、创新产出、企业/合作社等数据以丰富的报表、多样性图表等多维度直观呈现,方便各级领导及监管部门在任何时间、能联网的任何地点均能很方便地通过 App 直观了解云南省核桃产业发展状况。

4.7 核桃产业数据采集移动端 App 建设

开发移动端 App,方便市场人员、走调人员、加工企业人员对核桃产业品种、面积、产量、产值、价格、

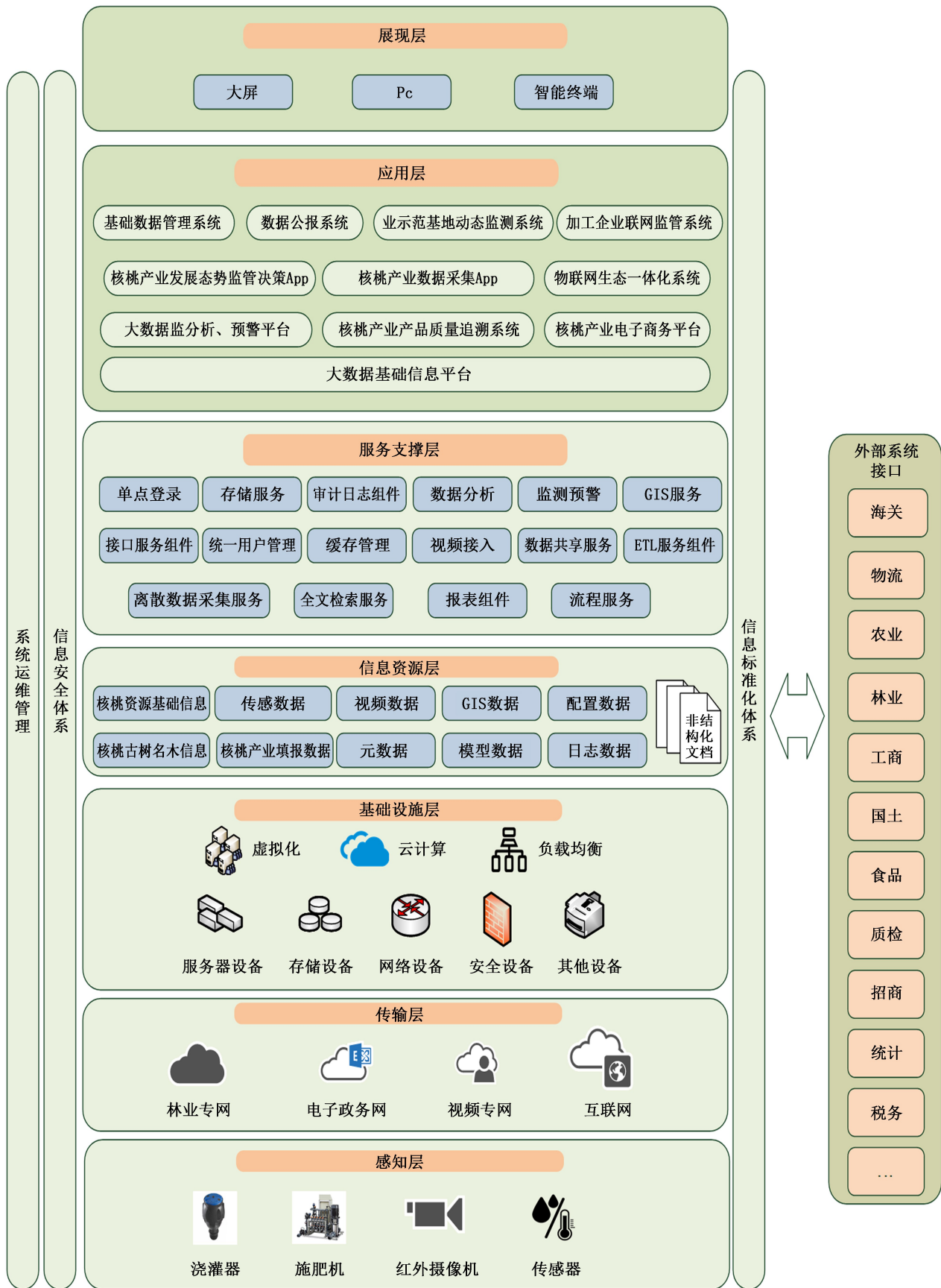


图 1 云南省核桃产业大数据综合应用平台总体架构

Fig. 1 Overall architecture of walnut industry big data comprehensive application platform in Yunnan

收入、从业、企业/合作社等数据进行实地实时填报,无需通过纸质记录数据后再通过PC端进行填报,一定程度地减轻市场或走调人员的工作量,达到无纸化办公、低碳环保的目的。开发移动端App动态数据采集模块,方便基层采集人员对核桃产品价格等动态数据实时录入上传,为后期核桃产业大数据分析、预警平台提供数据支撑。开发移动端App二维码扫描采集模块,方便市场或加工企业等人员通过二维码扫描模块快速采集产品信息上传基础信息平台,为后期电子商务平台做数据储备。

4.8 核桃产业物联网生态一体化系统建设

以“核桃产业示范基地动态监测”为指导,全面铺开所有基地及加工企业的动态监测、监管模块建设,接入视频监控设备、接入网络实时上传基地园区核桃影像;在生态监测模块的基础上建设物联网生态一体化模块,采用物联网技术实现对核桃生长环境的气候监测、温度监测、土壤监测、叶面养分以及病虫害监测,通过大屏实时展现核桃影像、各项生长指标动态数据;实现物联网生态一体化模块采集的数据实时上传、存储,为三期“核桃产业大数据分析、预警系统”建设提供数据支撑,同时也为科研活动提供分析数据来源。

4.9 核桃产业大数据分析、预警平台建设

建设核桃市场行情数据分析、预警模块,实现对核桃进出口量、市场价格、产品流向等情况的实时监测,对市场行情做出及时预警,为云南省核桃产业发展决策提供科学依据;建设核桃生长指标数据监测、分析、预警模块,以二期物联网生态一体化系统提供的数据为支撑,监测、分析核桃生长的实时数据,对核桃生长做出及时预警,实现基地核桃的自动灌溉、施肥智能化等功能。

4.10 核桃产业产品质量追溯系统建设

产品加工企业评级管理、失信企业重点监管模块、产品质量安全监管、集成核桃生态监测系统和加工企业联网监管系统采集的数据,能够对数据采集过程进行有效监督,保证追溯数据的准确性和真实性,提高追溯系统的信息质量。

4.11 核桃产业电子商务平台建设

平台实现统一为客户提供信息、质检、交易、结算、运输等全程电子商务服务;支持网上挂牌、网上洽谈、竞价等交易模式,涵盖交易系统、交收系统、仓储物流系统和物资银行系统等;融合物流配送服

务、物流交易服务、信息服务、融资担保类金融服务等于一体。平台系统将实现基础业务、运营业务、平台管理和运营支持等4个层面的业务功能;实现各层级会员管理、供应商商品发布、承销商在线下单交易、订单结算、交易管理、担保授信等全程电子商务管理。为了支持平台业务向农产品产业链两端延伸,满足开展订单农业、跨国电子交易及国际贸易融资等业务的发展需求,平台支持多种交易管理流程共存,支持标准及可灵活拓展商品,具备交易规则灵活性、结算多样性的特点。

在配送和销售过程中,通过制定和实施符合现代物流要求的技术标准,对核桃产品在流通过程中的包装、搬运、库存等质量进行控制。形成“从园区到餐桌”的完整产业链,由市场有效需求带动核桃产业化,提高核桃生产区域化、专业化、规模化水平。

5 结束语

云南省核桃产业规模较大,但信息化和智能化程度较低,整个产业发展也较为分散,借助数字经济发展的契机,利用大数据、人工智能算法等新技术,依托大数据平台,将云南省核桃全产业链数据进行入库、入湖管理,并实现数据的分析和智能应用,将有力助推云南省核桃产业的跨越式发展。

参考文献:

- [1] 孟小峰,慈祥. 大数据管理:概念、技术与挑战[J]. 计算机研究与发展,2013,50(1):146-169.
- [2] 大数据采集技术概述[EB/OL]. (2021-05-01). <http://c.biancheng.net/view/3526.html>.
- [3] 王雄. 云计算的历史和优势[J]. 计算机与网络,2019,45(2):44.
- [4] 沈响,张焯,李慧,等. 如何实现特色农产品全产业链大数据建设[J]. 农村经济与科技,2021(4):97-98.
- [5] SHAPLEY L S. A value for n-persons games[J]. Annals of Mathematics Studies,1953,28:307-318.
- [6] LUNDBERG S M,LEE S I. A unified approach to interpreting model predictions[J]. Advances in Natural Information Processing Systems,2017(2):4765-4774.
- [7] 杜琼. 突破发展瓶颈 实现云南核桃产业高质量发展[J]. 创造,2018,290(12):60-62.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.027

遵义市花椒产业发展现状及对策

陈春旭^{1,3}, 潘浪¹, 祝晓云², 周宇¹, 张开艳⁴

1. 遵义市林业科学研究所贵州省松类有害生物防控工程技术研究中心, 贵州 遵义 563000;
2. 遵义职业技术学院, 贵州 遵义 563006;
3. 贵州大学昆虫研究所, 贵州 贵阳 550025;
4. 遵义华邦农业科技开发有限公司, 贵州 遵义 563000)

摘要:采取多种调研方法(问卷调查法、网络调查法、实地调查法、抽样调查法)相结合方式对遵义市下辖县(市、区)花椒发展现状开展调查,分析其产业发展面临的问题,并提出增强科技支撑突破花椒产业链技术瓶颈,开展本地红椒品种选育及重大病虫害防治研究,建设标准化绿色花椒基地,扶持龙头企业,加强花椒流通市场管理,加大花椒产品开发力度,延伸花椒产业链等对策。

关键词:花椒;遵义市;品种;种植规模;发展规划

中图分类号:S573.1;F416.88 文献标识码:B 文章编号:1671-3168(2023)04-0166-05

引文格式:陈春旭,潘浪,祝晓云,等. 遵义市花椒产业发展现状及对策[J]. 林业调查规划,2023,48(4):166-170.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.027

CHEN Chunxu, PAN Lang, ZHU Xiaoyun, et al. Development Situation and Countermeasures of *Zanthoxylum bungeanum* Industry in Zunyi City[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 166-170. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.027

Development Situation and Countermeasures of *Zanthoxylum bungeanum* Industry in Zunyi City

CHEN Chunxu^{1,3}, PAN Lang¹, ZHU Xiaoyun², ZHOU Yu¹, ZHANG Kaiyan⁴

1. Guizhou Engineering Technology Research Center for Pine Pest Control, Zunyi Academy of Forestry, Zunyi, Guizhou 563000, China;
2. Zunyi Vocational and Technical College, Zunyi, Guizhou 563006, China;
3. Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China;
4. Zunyi Huabang Agricultural Technology Development Co., Ltd., Zunyi, Guizhou 563000, China)

Abstract: A variety of research methods (questionnaire survey, network survey, field survey, sample survey) were used to investigate the current situation of *Zanthoxylum bungeanum* development in the counties (cities, districts) under the jurisdiction of Zunyi City, and analyze the problems faced by its industrial development. Some countermeasures were proposed to strengthen scientific and technological support to break through the technological bottleneck, carry out local variety breeding and major pest control research, build the standardized green base, strengthen the management of circulation market, increase the development of products, and extend *Zanthoxylum bungeanum* industry chain.

收稿日期:2022-02-10;修回日期:2022-03-10;二次修回日期:2022-07-27.

基金项目:贵州省林业科研项目(黔林科合[2021]18号);贵州省人才工作领导小组“甲秀之光”项目;贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2017]5202号,黔科中引地[2019]4004号,黔科合支撑[2020]4Y103号);遵义市科技计划项目(遵市科合支撑 NS(2020)4号,遵市科合咨询(2021)3号).

第一作者:陈春旭(1993-),男,贵州遵义人,硕士,工程师. 主要研究方向为植物病虫害综合防治研究. Email: chenchunxu17@163.com

责任作者:祝晓云(1965-),男,贵州遵义人,副教授. 主要研究方向为作物栽培与育种技术研究. Email: 2023223352@qq.com

Key words: *Zanthoxylum bungeanum*; Zunyi City; variety; planting scale; development planning

花椒 (*Zanthoxylum bungeanum*), 为芸香科、花椒属落叶小乔木; 茎干上的刺常早落, 枝有短刺, 小枝上的刺基部宽而扁, 为劲直的长三角形, 当年生枝被短柔毛。花椒在我国大多数地区种植^[1], 耐旱, 喜阳光, 常见于平原和海拔较高的山地。果穗采摘后的花椒用作中药, 有温中行气、逐寒、止痛、杀虫等功效; 治胃腹冷痛、呕吐、泄泻、血吸虫、蛔虫等症, 又作表皮麻醉剂^[2]。花椒还可用作火锅佐料。花椒不仅在传统农业、医药、饮食领域发挥重要作用, 更在养生、工业、文游、生态等领域得到充分利用和推广。

目前已有学者对云南省^[3]及其下辖的鲁甸县^[4]、永善县^[5]、宁蒗县^[6], 以及山西省^[7]、重庆市^[8]、四川省^[9]、陕西省^[10]、甘肃省^[11]、湖北省谷城县^[12]等地的花椒产业发展现状及对策进行报道。而花椒作为特色林业产业中的重点产业, 被纳入贵州省 12 个农业特色优势产业和遵义市八大重点农业产业, 尚未有学者对遵义市花椒产业发展现状、存在问题及产业发展对策等基本情况进行系统的调查研究。因此, 调研组先后深入遵义市 14 个县(市、区)开展调研。为使调研内容更广泛, 收集数据更加全面, 采取多种调研方法(问卷调查法、网络调查法、实地调查法、抽样调查法)相结合方式对 14 个县(市、区)产业发展现状、存在问题及产业发展对策进行了解, 旨在为遵义市花椒产业发展规划和制定产业发展支持政策提供借鉴和参考。

1 研究方法

1.1 调查范围

调查范围主要为遵义市 14 个县(市、区), 分别为红花岗区、汇川区、新蒲新区、播州区、仁怀市、习水县、桐梓县、绥阳县、湄潭县、正安县、凤冈县、余庆县、道真县、务川县, 赤水市暂不涉及花椒产业。

1.2 调查方法

采用问卷调查法、网络调查法、实地调查法、抽样调查法相结合的方式。

1.3 调查内容

花椒种植品种、规模, 花椒加工企业基本情况, 花椒产业科研资助立项及研究方向, 科技产出情况。

1.4 数据统计

利用 WPS Office 2019 遵义市政府专业版(11.8.2.9022)统计数据和作图。

2 结果与分析

2.1 花椒种植品种、规模

由于遵义花椒种植起步晚, 近几年林业特色产业将花椒产业纳入重点产业, 因此种植品种较为复杂, 但以引进的江津九叶青种植面积最大。主栽品种有本地红椒、九叶青、藤椒和大红袍, 分别占比约 2.63%、64.58%、7.89%、24.90%(图 1)。

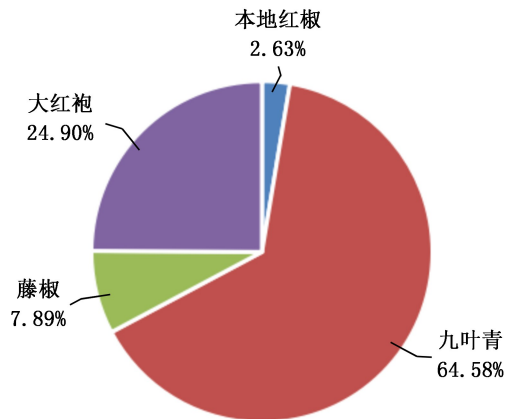


图 1 不同品种花椒占比情况

Fig. 1 Proportion of different varieties of *Zanthoxylum bungeanum*

2.2 花椒加工企业基本情况

遵义市有花椒加工企业 17 家, 产品主要为干花椒、保鲜花椒和花椒油, 主要分布于仁怀市、习水县、桐梓县、绥阳县、湄潭县、余庆县、道真县(图 2)。但是务川县作为遵义市花椒种植大县, 暂未见花椒加工企业。

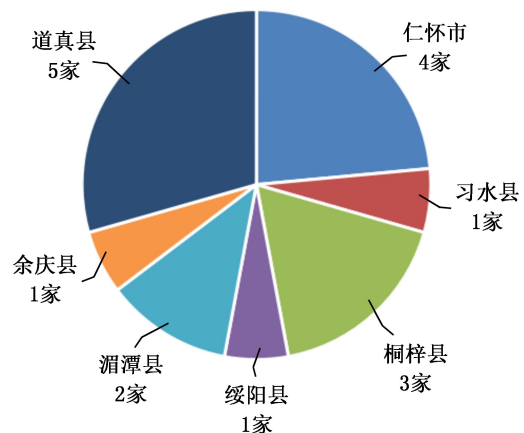


图 2 遵义市花椒加工企业分布情况

Fig. 2 Distribution of *Zanthoxylum bungeanum* processing enterprises in Zunyi City

2.3 花椒产业科研资助立项及研究方向

通过查阅贵州省科技厅、贵州省林业局、遵义市科技局等官网,了解到目前遵义市部分高校、科研院所、公司或合作社均获得花椒产业相关科研立项的资助。2019 年,遵义华邦农业科技开发有限公司获得贵州省科技计划项目资助,研究方向为优质花椒—矮秆作物复合种植模式研究;2020 年,遵义职业技术学院获得贵州省科技计划项目资助,研究方向为贵州优异花椒种质资源挖掘、利用及种植示范;2021 年,遵义市农业科学研究院获得贵州省科技计划项目资助,研究方向为遵义茵红花椒生态化种植关键技术研究与示范。同年,遵义市林业科学研究所获得贵州省林业科研项目资助,研究方向为黔北地区花椒害虫发生规律和绿色防控技术研究。2022 年,遵义师范学院获得 2022 年度基础研究计划(自然科学)项目资助,研究方向为顶坛花椒花性分化过程的资源分配特征及其对人为干扰的响应研究。遵义市科技局也对花椒产业给予大力支持,2019 年,遵义职业技术学院获得遵义市科技计划项目资助,研究方向为遵义花椒生产 GAP 及食药标准研究;2020 年,遵义职业技术学院获得遵义市科技计划项

目资助 2 项,研究方向分别为花椒地控草关键技术研究与示范、花椒复合调味品开发研究;同年,遵义华邦农业科技开发有限公司获得遵义市科技计划项目资助,研究方向为花椒根腐病防控技术研究与示范。2021 年道真县洛龙镇农业服务中心获得遵义市科技计划项目资助,研究方向为道真县洛龙镇辣椒规范化种植示范基地建设;习水县程寨镇石门村股份经济合作社获得遵义市科技计划项目资助,研究方向为花椒低产园改造示范基地。

2.4 科技产出情况

2.4.1 科技论文情况

通过以“花椒和遵义”为关键词,在中国知网(www.cnki.net)检索到遵义市共有 16 篇科技论文报道,研究主要集中于花椒栽培及病虫害防治、花椒工艺研究、花椒在医药方面的应用等。在主要主题分布方面,涵盖了病虫害防治、气候适宜性、病虫害防治技术 3 个高频主题分布关键词(图 3),说明花椒病虫害防治与花椒气候性研究在花椒产业发展方面的重要性;在学科分布方面,涵盖了农作物、轻工业手工业、中药学、植物保护、气象学、一般化学工业等学科关键词(图 4)。

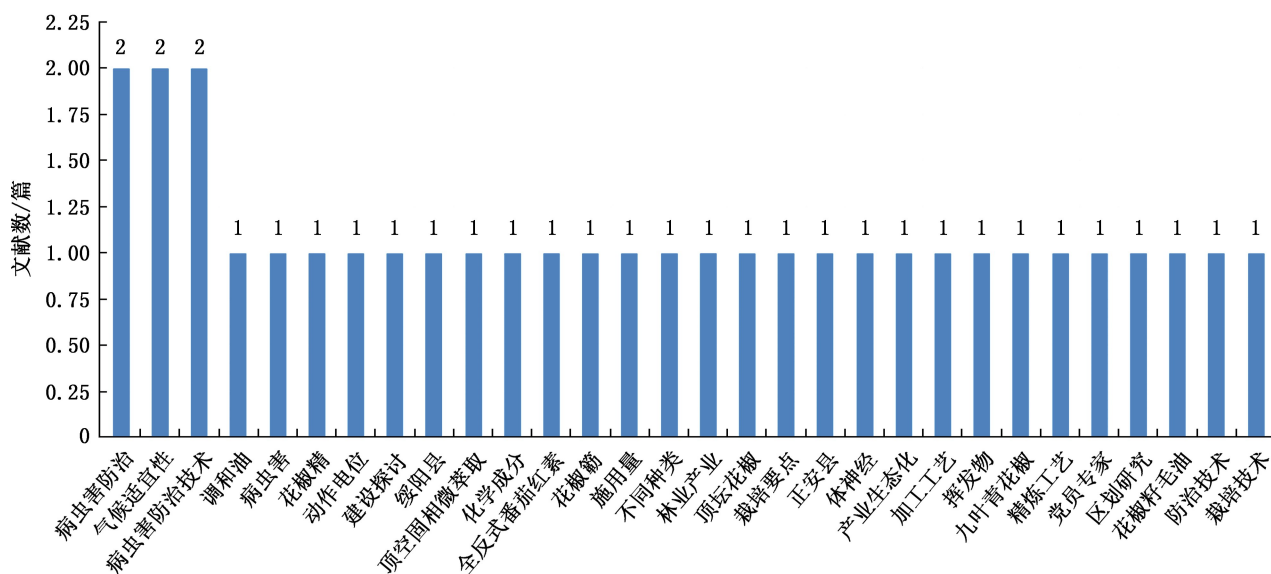


图 3 遵义市花椒产业主要主题分布情况

Fig. 3 Main theme distribution of *Zanthoxylum bungeanum* industry in Zunyi City

2.4.2 专利情况

为了解花椒专利情况,通过网上查阅和实际调查了解了遵义职业技术学院、遵义市林业科学研究所和遵义华邦农业科技开发有限公司的专利情况,精确统计到授权专利 16 项和受理专利 9 项。

3 遵义市花椒产业存在问题

3.1 产业发展规划起步晚,基础薄弱

花椒产业在 2019 年以前呈自然式发展,一般以农户家前屋后分散种植为主、规模化种植比重小,

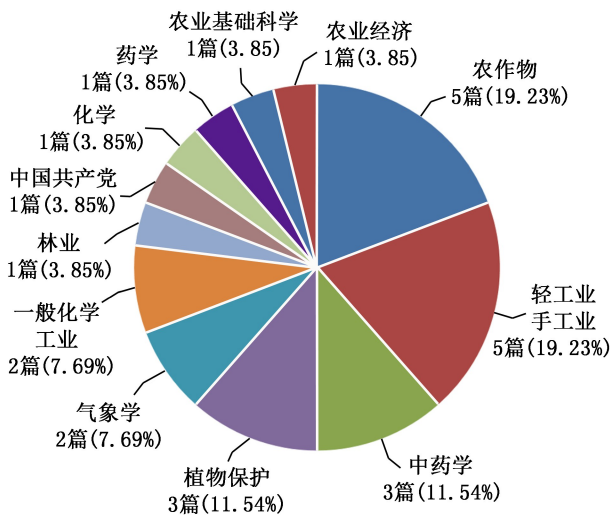


图 4 遵义市花椒产业学科分布情况

Fig. 4 Discipline distribution of *Zanthoxylum bungeanum* industry in Zunyi City

基本属于“只栽不管”的状态,种植后自然枯死或受病虫害影响致死。2019 年以来种植面积爆发式增长,其中以产量和麻度较高的九叶青引种植为主,需栽种 3 年以上才开始挂果。由于花椒基地位于山高坡陡的坡地、荒地,道路崎岖,无机耕道和产业路,产业发展基础薄弱,生产资料和花椒鲜椒运输极为困难,企业劳动力成本较高。与钟爱火锅的重庆、四川和大力发展花椒产业的陕西省、甘肃省相比,存在产业规划起步晚、产业基础薄弱、短期效益低的突出问题。

3.2 产业组织化程度不高

花椒专业服务化组织机构尚未建立健全,花椒种植品种选择、种植技术、青花椒与红花椒生物习性、海拔高度要求等技术问题未得到专业的技术服务团队帮助解决。同时企业间各自为阵,互不沟通,严重影响了花椒产业发展。最突出的问题是种植面积虽大,但品种和栽培地选择不严谨,尤其是 2020 年底至 2021 年年初,引进的九叶青品种由于不适宜遵义气候,加之霜雪冻害,花椒穗条严重受伤。

3.3 加工产业基础薄弱

由于花椒加工产业的资金投入有待进一步加大、科学技术也相对落后,遵义市有花椒经营企业和合作社 292 个,其中加工企业 17 家,占总量的 5.82%,均主要以简单烘干、保鲜和少数花椒油生产为主。目前仅 19.61% 种植面积的花椒挂果,待大部分花椒正式投产时,急需根据花椒原料,合理设置加工企业,弥补加工产业基础薄弱的短板,开发新产品延伸

产业链,使加工端的消化能力与种植端产出能力相匹配。

3.4 科技落后,人才储备严重不足

人才储备严重不足,不能满足种植规模急剧扩大、种植规范制定、优良品种选育要求。(1)花椒栽培管理技术落后,致使已投产的花椒树体长势不均,花椒根腐病、叶锈病、流胶病频发,蚜虫和重大钻蛀性害虫为害严重,树体呈老化趋势,产量下滑;(2)各县市区管理水平差异较大,未形成统一的科学化种植和管理;(3)部分花椒种植户缺乏安全意识,大量施用化肥,尤其是一些毒性高或国家明令禁止药剂的使用,造成农药残留和重金属超标,对人体健康造成影响;(4)科技成果与转化推广存在一定距离,虽已研制和选育出效果较好的病虫害防治对策与较高附加效益的花椒品种,但大部分还处于实验室和理论状态,并未及时有效地转化为生产力。

4 遵义市花椒产业发展对策

4.1 增强科技对花椒产业链技术研究瓶颈的支撑

依靠遵义市林业科学研究所、遵义医科大学、遵义职业技术学院、遵义市农业科学研究院联合搭建的花椒全产业链研究平台,由高校科研院所以及企业技术骨干共同组成的研究团队,围绕花椒全产业链开展品种选育、高产栽培、病虫害防治、水肥一体化管理、花椒基地智能化、生产自动化设备、高效采摘技术、花椒加工以及精深加工等技术(工艺)研究,切实解决制约花椒发展的技术瓶颈,促进花椒产业健康快速发展。

4.2 开展本地红椒品种选育及重大病虫害防治研究

积极探索研发产量高、品质佳、效益好的花椒新品种,如遵义本地红椒已适应本地气候,在抗逆性和品质方面表现不错,利用无性系快繁技术筛选兼具丰产性与稳产性的本地红椒,将植物组织培养技术应用于花椒产业化繁殖体系建立及优良新品种培育,对促进花椒产业发展具有重要意义。另外,随着花椒树龄的增大,花椒重大病虫害(如蛀干性害虫和重大根茎病害)将对花椒树体产生较大威胁,需要定期或不定期进行病虫害实地调查和防治技术深入研究。

4.3 建设标准化绿色花椒基地,重视花椒产品质量

加大标准化绿色花椒基地的建设力度,重视提高花椒产品的质量。对花椒种植户进行栽培技术培训,尤其在生产中积极开展花椒绿色栽培管理技术培训。尽量选择充分腐熟的农家肥、有机肥及生物

有机肥等,达到减少化肥施用的目的。建立健全花椒质量的安全追溯体系,即禁止施用高毒性药剂,全面推广使用低毒无残留农药。科学管理,加大标准化绿色生产基地的建设力度,提高花椒的产量和质量,提升“遵义花椒”知名度。

4.4 扶持龙头企业,做优做强做大特色花椒产业

大力培育龙头企业,牵引花椒产业发展,市场是农业产业化的起点和归宿,建立企业带农惠农利益联结机制。充分发挥龙头企业的示范带动效果,争取政府及科技相关部门在资金和技术上的扶持,同时科研部门和企业要重视科技的力量,延伸花椒产业链,提升核心竞争力,加大花椒产品的附加值。

4.5 加强花椒市场流通,保证农户和商家的利益

在市场上,由于花椒市场的流通管理不够完善,存在以次充好的现象,长此以往不利于花椒市场的繁荣与稳定,因此维护花椒市场正常交易秩序十分重要。(1)对花椒的流通环节进行重点整顿,严肃处理追求短期利益、坑蒙拐骗等行为,倡导规范、净化的市场,保障花椒种植户和商家双方的合法权益;(2)引导花椒种植户和商家按照市场流通的规矩办事,积极营造诚信交易的良好氛围;(3)通过已建立的花椒批发市场,以信息发布平台、联合执法、设置公平秤等方式,促进批发市场的公平交易。

4.6 加大花椒产品开发力度,延伸产业链

目前,花椒主要用于食品调味与医学用药。为促进花椒的深加工和新产品开发应用,拓展花椒的应用领域,延伸花椒产业链,促进花椒生产与消费,查阅历史典籍和文献中的有关花椒用途等的记载,花椒除在药用、食用、工业原料等方面的经济价值外,还有重要的生态、社会和文化审美价值。如传统产品花椒、花椒粉、花椒油、鲜花椒(花椒保鲜品);新产品零食花椒锅巴、复方花椒酒、花椒啤酒、花椒瓜子、花椒香皂、花椒牙膏、妇科洗剂、沐浴露、功能性养生酒、花椒止痛膏等。此外,在黔西南地区以及安顺、毕节等地,巧妙利用花椒树根系发达,可抗干旱、耐瘠薄,适应能力和固土能力强的优势,可发挥良好的水土保持作用,是山区造林绿化、石漠化修复、环境保护的优良树种。花椒地上部枝叶优美,果实艳丽且芳香宜人,有较好的观赏价值。

5 结 论

小花椒可做成大产业。既要发挥花椒在种植端

的农业增收、饮食养生、文化建设、医药保健、生态环保、旅游观光、乡村振兴等方面独特作用,也要重视花椒后端产品的开发利用,尤其在传统领域应有所突破。(1)重视花椒标准化绿色种植技术,做好品种选育,推广花椒配方施肥技术,发展优质花椒,增强产品的市场竞争力,提高花椒种植的综合效益;(2)重视国内外新型花椒市场的开拓,扩大花椒出口和内需。如韩国喜欢泡菜,可开拓花椒在泡菜领域的市场;(3)进一步探索花椒文化旅游产品,充分利用花椒树绿化特性和观赏价值,发展生态旅游,推出系列花椒文旅产品,使椒酒、椒奶、椒浆、椒茶、椒糝、椒芽、椒叶、椒盘等传统产品焕发生命;(4)挖掘花椒的文化内涵,丰富饮食养生与传统医药、保健饮食文化内容,发挥花椒作为传统香料和药用的价值,研发花椒深加工产品和新技术。

参考文献:

- [1] 廖洪凯,龙健,李娟,等.花椒(*Zanthoxylum bungeamun*)种植对喀斯特山区土壤水稳性团聚体分布及有机碳周转的影响[J].生态学杂志,2015,34(1):106-113.
- [2] 袁路阳,杨帅帅,邓德伟,等.喷雾干燥对花椒精油成分及应用的影响[J].食品科技,2021,46(10):243-248.
- [3] 李柱存.云南省花椒产业发展现状及对策[J].内蒙古林业调查设计,2020,43(1):60-62.
- [4] 丁永平,李正银.鲁甸县花椒产业发展现状与对策研究[J].林业调查规划,2017,42(1):130-132.
- [5] 邵光才.加快永善县花椒产业化发展的对策[J].林业调查规划,2011,36(4):96-99.
- [6] 王文明.浅谈宁蒗县花椒产业发展现状及对策[J].林业调查规划,2006(S2):218-220.
- [7] 冯鑫.山西省花椒产业发展现状及对策[J].山西林业,2021(S2):12-13.
- [8] 况冕,张露,李姍蓉,等.重庆市花椒产业发展现状问题及对策[J].南方农业,2020,14(1):11-13.
- [9] 王丽华,赵卫红,彭晓曦,等.四川花椒产业发展现状及对策分析研究[J].四川林业科技,2018,39(2):50-55.
- [10] 原野.陕西花椒产业发展现状及对策[J].陕西林业科技,2018,46(1):74-76.
- [11] 马君义,张继,冯洋洋,等.甘肃花椒产业发展现状及对策分析[J].安徽农业科学,2011,39(16):10055-10057,10091.
- [12] 余远国,张运山,汪洋,等.湖北省谷城县花椒产业发展的现状与对策[J].经济林研究,2008(2):101-104.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.028

基于 SWOT 分析的陕南康养产业发展对策研究

迟超楠, 卓娜, 杨玉淇, 赵耀鹏, 陈绪教
(安康学院 陕南生态经济研究中心, 陕西 安康 725000)

摘要:康养产业是陕南“乡村振兴”战略实施的重要产业,其可持续发展研究对于陕南地区经济增长具有重要意义。利用 SWOT 分析方法,对陕南发展康养产业进行优势、劣势、机遇和威胁分析,认为区域内气候环境条件优越,生物资源丰富,康养资源多样且特色明显,政策支持有力,市场前景广阔,但基础设施建设滞后,专业人才短缺,康养设施不完善,产品不丰富,知名度不高。藉此提出系列发展对策或建议。

关键词:森林资源;生态环境;康养产业;SWOT 分析;发展战略;陕南

中图分类号:S788.1;F416.88 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0171-06

引文格式:迟超楠,卓娜,杨玉淇,等. 基于 SWOT 分析的陕南康养产业发展对策研究[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4):171-176. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.028

CHI Chaonan, ZHUO Na, YANG Yuqi, et al. Development Countermeasures of Health Care Industry in Southern Shaanxi Based on SWOT Analysis[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4):171-176. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.028

Development Countermeasures of Health Care Industry in Southern Shaanxi Based on SWOT Analysis

CHI Chaonan, ZHUO Na, YANG Yuqi, ZHAO Yaopeng, CHEN Xuao
(Shaannan Eco-economy Research Center, Ankang University, Ankang, Shaanxi 725000, China)

Abstract: Health care industry is an important industry for the implementation of the “rural revitalization” strategy in southern Shaanxi, and the research for its sustainable development is of great significance to the economic growth of southern Shaanxi. Using the SWTO analysis method, this paper analyzed the advantages, disadvantages, opportunities and threats of the development of health care industry in southern Shaanxi. The results believed that this region had a superior climate environment, abundant biological resources, diverse and distinctive health care resources, strong policy support, and broad market prospects, but the infrastructure construction was lagging behind, professional talent was scarce, health care facilities were not perfect, products were not abundant, and popularity were not high. Therefore, this paper proposed a series of development strategies or suggestions.

收稿日期:2022-01-04.

基金项目:陕西省教育厅 2021 年哲学社会科学重点研究基地项目(21JZ001);2021 年陕西省大学生创新创业训练计划项目(S202111397049);中国建设银行研究院项目(20210716HZ001);软科学研究计划项目(2023-CX-RKX-197);安康市 2022 年科学技术研究发展计划项目(AK2022-RK-04).

第一作者:迟超楠(1990-),女,山东日照人,助教. 主要从事区域经济研究.

责任作者:陈绪教(1977-),男,陕西安康人,教授. 研究方向主要为陕南生态经济、产业经济.

Key words: forest resources; ecological environment; health care industry; SWTO analysis; development strategies; southern Shaanxi

“健康中国”战略背景下发展康养产业是贫困山区产业转型升级的有效选择。“康养”成为省域经济发展的重要抓手,各地方以康养小镇、康养基地、康养产业园等形式招徕投资者,吸引康养项目落户本地^[1]。陕南位于秦巴山区的核心区域,包括汉中、安康和商洛三市,是秦巴生物多样性生态功能区和南水北调核心水源涵养地,优质生态资源富集,气候地理条件适宜,洁净空气、良好天气、优质水源、自然山水风光等生态产品丰富,成为中国 56 个气候区中适合生态康养产业发展的聚集地。为此,本文通过 SWOT 分析法,分析陕南康养产业发展的优势、劣势、机遇和挑战,探索基于生态环境保护和绿色产业融合发展的康养产业发展策略,是陕南地区践行“两山理论”,实现生态资源向生态产品转化,进而优化区域经济结构、转换增长动力,这无疑对促进陕南经济社会发展具有现实意义。

1 康养产业的概念界定与文献回顾

“康养产业”是一个中国化的概念,在国外类似的提法包括“健康产业”、“银发产业”,相关的概念包括“养老产业”、“老龄产业”和“养生产业”等。房红、张旭辉(2020)认为,“康养产业”的研究范畴包括“大健康产业”和“养老产业”,分别指“以医疗卫生和生物技术、生命科学为基础,以维护、改善和促进人民群众健康为目的,为社会公众提供与健康直接或密切相关的产品(货物和服务)的生产活动集合”、“为老年人提供产品或劳务,满足其生活需求的经营活动的总称”,包括《健康产业统计分类(2019)》和《养老产业统计分类(2020)》中的 13 个大类、12 个大类产品和服务,涉及范畴非常广泛,涵盖第一、二、三产业相关内容^[2];潘家华等(2019)提出大康养是一个更系统的概念,包括康养文化、康养产业、康养产品与消费、康养政策等^[3];丁文珺、熊斌(2020)将康养产业划分为本位产业、衍生产业和支撑产业三个维度,提出构建康养产业体系,实现产业融合发展^[4];张绍全^[5]、张慧琴^[6]、韩立红^[7]等从“两山理论”、产业共融、产业融合视角研究了森林康养产业发展产品体系、治理机制及支撑体系;周功梅^[8]、杨红英^[9]等研究了康养旅游产业区域发展模式及业态类型。综合相关研究成果表明,康养产业

兼具产业发展的融合性、生态性与社会特性、公益性等特征,是我国生态功能区产业转型升级和生态资源产业化及生态产品价值实现的有效路径选择,成为区域优化产业结构、实现产业融合发展、拉动内需进而推动经济社会发展的重要引擎。

2 陕南康养产业发展 SWOT 因素指标体系

结合实地调研资料,参照《国家康养旅游示范基地标准》(LB/T 051-2016)^[15]和其他学者对康养产业的研究文献^[9-11,14],通过对项目开发者、相关企业、地区政府部门负责人、专家学者及部分顾客和村民进行调查,筛选出影响陕南康养产业发展的主要影响因素。按照科学性、系统性、实用性和动态性原则,构建了陕南康养产业发展 SWOT 因素指标体系(表 1)。

表 1 陕南康养产业发展 SWOT 因素指标体系

Tab.1 SWOT factor indicator system for the development of health care industry in southern Shaanxi

优势(S)	劣势(W)
气候环境优越 S1	专业人才短缺 W1
生物资源丰富 S2	基础设施落后 W2
水资源丰富、水环境优越 S3	工业经济落后,产业结构调整缓慢 W3
康养资源多样、有特色 S4	知名度不高 W4
森林资源丰富 S5	康养设施不完善,康养产品有待深度开发 W5
机遇(O)	威胁(T)
政策有力支持 O1	生态保护压力大 T1
市场前景广阔 O2	投资成本高、收益周期长 T2
民众消费观念转变 O3	同行业竞争、产品同质化 T3

3 SWOT 因素分析

3.1 内部优势分析

3.1.1 气候环境优越

陕南地区北依秦岭,南屏巴山,也是亚热带向暖温带过渡的地理分界线,西部属于北亚热带季风气候区,东部为北亚热带与暖温带过渡地域;该地区常年均温在 10~14℃,年均降水量在 700~900 mm,无霜期年均约 240 d。据 2020 年空气检测报告,陕南地

区空气环境优良,负氧离子含量是西安的近10倍。其中安康市中心城区环境空气质量优良天数346 d,优良率94.5%,无重污染天气,PM₁₀、PM_{2.5}浓度分别为53、32 μg/m³,空气质量排名全省第一;汉中市空气质量优良天数215 d,优良率94.7%。商洛市中心城区空气质量优良天数347 d,优良率95.1%,无重污染天气。

3.1.2 生物资源丰富

陕南地区独特的自然环境以及气候条件孕育了亚热带生态系统动植物优越的生长环境,成为南北区系动植物荟萃之地。据西北植物研究所等单位调查统计,陕南地区富集着6 000多种生物资源,仅秦岭山脉内就有种子植物3 400余种,其中秦岭特有品种192种,国家保护植物44种;国家保护兽类144种,国家保护鸟类399种,分别占全国总数的29%和34%。此外,大熊猫、金丝猴、羚牛、朱鹮并称“秦岭四宝”。秦岭也被称为支撑我国可持续发展的生物基因库。丰富的生物资源是区域内独特生态旅游资源的重要组成部分,目前已开发的国家级自然保护区11个,已发现旅游单体2 000余个。

3.1.3 水环境良好,水资源丰富

根据《国家康养旅游示范基地标准》:地表水环境质量应达到GB 3838规定的Ⅲ类以上标准,视野范围内地表无黑臭或其他异色异味水体^[15]。依据2020年陕西省生态环境厅检测结果,陕西省城市水环境质量排名中,汉中、商洛、安康位于前列,其中安康市全省第一,其地表水水质优良率为100%,安康境内汉江水质保持在国家Ⅱ类标准;国考断面水质稳定达到或优于地表水Ⅱ类标准,城市集中饮用水水源地水质100%达标。目前,总体水质达到饮用水标准,属于优质的供水水源。优越的水环境为八大水特产品之一大鲵(娃娃鱼)提供了生长繁殖的场所。此外,陕南水资源总量为314.58亿m³,占全省的70.7%,人均拥有水资源是全国的1.8倍,全省的2.43倍。

3.1.4 康养资源多样且特色明显

2018年10月,陕南三市之一安康市入选“中国康养城市排行榜50强”,康养指数76.44%。陕南主要康养资源可以分为三类。

第一类,是由独特自然地理条件形成的生态旅游资源。例如国家级森林公园等,可以满足登山、寻觅幽径、泛舟漂流、沉浸草甸峡谷、田园杂兴的需要。

第二类,是独特农林资源带来的特色优质生态农林产品资源。如汉中有药用植物1 600多种,位

列全国地级市第二名;汉中洋县五彩米、留坝西洋参、汉中仙毫、汉中大鲵、汉中附子、汉中白猪、宁强华细辛、略阳猪苓、略阳天麻等。安康则以全国最大的富硒区的优势盛产富硒茶、平利绞股蓝、“紫莽印象”苦荞酒,富硒黑花生、长寿草、天然富硒黄花菜等。

第三类,是基于悠久历史文化的地区民俗、饮食文化、风俗习惯、非遗文化的优势资源。据考古发现证实,陕南已有120万年的人类历史,且地处秦头楚尾,连通中原与西北,是秦汉以来移民较为集中的地区,南北移民交融形成了多元丰富的地方民俗文化。尤其是在饮食方面,汉中面皮、核桃饼,安康汉阴炕炕馍、蒸盆子、旬阳八大件、白河三点水宴席,商洛擀面皮、搅团、洋芋糍粑等地方名小吃等近百种;岚皋魔芋干、汉阴炕炕馍等,镇安包谷酒、山阳九眼莲、商南泉茗、商洛冬青木烙花筷子、商南水晶、府谷海红果等特色显著。加上地方民歌、汉调、皮影、汉水航运、茶马古道等非物质文化遗产近200种。3种优势康养资源相互交映,可以形成“悠然南山”的独特意境康养环境,独具竞争力。

3.1.5 森林资源丰富

陕南地处暖温带和北亚热带过渡区,植被区系成分复杂多样,秦岭以暖温带落叶阔叶林植被类型为主,以南地区以北亚热带常绿阔叶成分的落叶阔叶林混交植被类型为主。陕南地区森林覆盖率60%以上,比陕西省高近18个百分点,比全国高近40个百分点。区域内有国家级森林公园9个,国家级湿地公园3个,国家级生态文明教育基地1个,国家级自然保护区1个,以及众多省级自然保护区和森林公园等。森林释放的气体以及杀菌素长时间在低空覆盖,对人体身心健康有益,因此森林也有“天然氧吧”之称。

3.2 自身劣势分析

3.2.1 专业人才短缺

(1)缺乏专业型人才,如康养师、康养保育员、高水平医师等。但由于陕南地区是经济欠发达地区,人才引进困难,同时陕南地区内部人员缺乏标准化技术培训,康养专业技术人员明显不足。部分现有工作人员由于临时上岗,未经培训,服务意识淡薄,阻碍了康养产业整体水平的提升。(2)缺乏相关配套复合型人才,如管理人才、中医药材研制人员等。现有部分开发管理人员存在专业素质不高,环境保护意识不强等问题,对自然保护区开展生态旅游的特殊性认识不到位,导致保护区内的部分康养项目建

设不合理,对生态系统造成一定程度的破坏。(3) 由于缺乏中医药材研究人员,致使大量宝贵中药材资源转化为康养产业优势资源不明显。

3.2.2 基础设施建设落后

陕南康养产业发展另一个制约因素就是交通、通讯、电力、网络等基础设施差。由于恶劣的自然地理条件,山高沟深,基础设施建设投资大,基础设施底子薄弱。设施建设主要依靠财政投入,各级财政投入资金有限,而基础设施的维护成本也较高。

3.2.3 工业化经济发展落后,产业结构调整缓慢

现代工业起步较晚、产业水平低,产业结构调整缓慢。陕南工业经济以中小企业为主,在市场规模有限、融资能力弱、经营管理观念落后、技术人才缺乏等综合因素影响下,陕南工业既没有形成符合区域特点的产业集群和体系,也很难在市场竞争中获得比较优势和竞争优势。在第三产业方面,陕南服务业依然是以劳务输出、交通运输等传统服务业为主,与以文化创意、知识化、信息化等为特征的现代服务业体系间还有较远的差距。但从现阶段看,陕南地区特色化康养产业各产业之间的联系不够紧密,各产业相对独立,融合有限,尤其是“智慧康养”、互联网+医养、远程问诊等发展落后,产业特色突显不足。

3.2.4 知名度不高

陕南康养产业宣传虽已借助互联网、新媒体等技术,但推广形式同成都、重庆、张家界等地区相比相对落后,宣传力度总体不够。以微信公众号和简单小程序为主,缺乏多渠道、多视角,线上+线下的宣传方式,未能充分利用互联网技术,客源以周边地区短期旅游为主。

3.2.5 康养设施不完善,康养产品有待深度开发

陕南地区特色生态资源风景区缺少符合康养标准的森林步道,缺少供需求安静休闲养生康养者选择的相对密闭空间,高水平的医疗设施不足。虽然以“农家乐”为主的餐饮住宿场所较多,但符合绿色康养的理念少,未能形成具有规模集聚效应且特色鲜明的康养产品。在现阶段发展中,未能与相关产业如度假、体育、中医药、研学等产业深度融合,特色鲜明的康养产品缺乏深度开发。

3.3 机会分析

3.3.1 政策有力支持

2016年,康养产业纳入“十三五”规划。随后,首个关于康养旅游的规范性文件《国家康养旅游示范基地标准》颁布。党的十九大报告提出了“实施

健康中国战略”,明确康养产业的发展方向。陕西省发展改革委印发《“十四五”陕南绿色循环发展规划》,明确陕西省将按照国家重要生态安全屏障、国家优质生态产品供给基地、国家绿色旅游和康养旅游示范基地、区域重要交通物流枢纽 4 个战略定位,深入实施陕南绿色循环发展战略。陕西省“十四五”规划特别提及陕南地区康养产业发展。各地市级康养产业发展配套政策也陆续出台,如安康市《关于加快康养产业发展的指导意见》、商洛市《推进大健康产业发展工作方案》、汉中市《巴中市文旅康养首位产业发展补充扶持措施》,康养产业发展迎来春天。

3.3.2 市场前景广阔

按照世界卫生组织标准,当一个国家 65 岁以上人口占总人口比重超过 7% 时,该国进入人口老龄化。我国最近人口普查结果显示,60 岁以上人口占比 18.7%,65 岁以上人口占比 13.5%,其中陕西省有 760 万 65 岁以上老龄人口,周边四川、重庆、湖北 60 岁以上人口占比超过 20%,绝对数量大。此外,中国健康与养老追踪调查发现,2011 年我国老年人均消费开支约 1.18 万元,同年全体居民人均消费开支约 1.03 万元,老年人的人均消费开支是全体居民的 1.15 倍,消费潜力巨大。数据显示,2020 年,我国老年人均消费达 16 307 元,同比增长 9.11%。2019 年我国养老产业市场规模达 6 万亿元,同比增长 30.2%。2020 年我国养老产业市场规模达 7.7 万亿元,同比增长 28.1%。中国社科院的《中国养老产业发展白皮书》显示,预计到 2030 年,我国养老产业市场可达 18 万亿元,消费水平不断提升。从关中各个大中城市到陕南,一般只需 1~5 h 车程,加上陕南与关中截然不同的生态环境,陕南地区是关中人“后花园”的说法越来越得到大家的认可。随着经济发展、城市化加快,人们生活与消费水平不断提升,交通条件不断改善,陕南康养客源必定会井喷式增长。

3.3.3 民众消费观念转变

由于雾霾等恶劣天气频发,环境恶化以及人民生活水平与受教育程度不断提升,从 2003 年的非典,到 2020 年的新冠肺炎疫情,人们对健康的重视程度越来越高,对于医疗、保健的需求更加强烈,康养产业一定会迎来井喷式的发展。

3.4 威胁分析

3.4.1 生态环境保护的压力

秦岭是黄河、长江两大水系的分水岭,是我国中

部最重要的生态安全屏障,同时也是南水北调中线工程和引汉济渭工程重要水源,是名副其实的中华水塔。党的十八大以来,习总书记多次就秦岭生态问题做出重要批示,鲜明地指出了秦岭生态环境保护的重要性和陕西应有的责任担当,故而陕南地区生态保护任重而道远。

同时,陕南处于省际毗邻的边缘山区地带,90%以上属于山地,土地贫瘠,耕地资源有限。虽然康养项目建设是绿色发展,具有“非破坏性”,但随着康养旅游者数量的增加,在陕南康养项目建设中一旦出现构筑物与环境不协调,或者存在重开发、轻保护等缺乏科学规划的现象发生,就会对生态系统造成严重威胁。因此,对于陕南地区生态系统的保护挑战性巨大。

3.4.2 投资成本高,收益周期长

因为康养产业是一个跨领域、多业态、复合型的系统工程,所需的人力物力财力以及前期基础建设、服务设施建设等投入比较大,这也使得投资收益周期变长,加上近年来“新冠”疫情的影响,增加了金融风险,因此较难吸引外商投资和其他社会资本,融资困难。

3.4.3 同行业竞争、产品同质化加剧

康养相关企业数量增长迅速,同质化问题带来的未来同行业竞争会明显增强。企查查数据显示,近10年养老相关企业注册量逐年攀升,2010—2013年相关企业年均注册量为4 035家,2014年达到1.19万家,同比猛增71.8%。2019年相关企业注册量达3.8万家,较十年前增长了151%。目前,我国四川、湖南、贵州等周边地区已大力发展森林康养产,在政策制定、发展规划、建设规范等方面已经开展了大量工作。

4 发展战略分析

在对陕南地区康养产业发展的内部和外部条件进行系统分析的基础上,运用SWOT分析模型分别得出陕南地区康养产业的四大战略策略。

4.1 SO 发展型战略

依据自然生态资源禀赋、康养资源,借助康养产业发展政策与“大健康”东风,大力加快发展陕南生态康养产业;以关中以及陕南周边城市为主要客源地,根据客户年龄、爱好、身份等特征,细分客户群体,深挖客户需求。例如,可以定位为高端商务人士的康养地,退休人士的养老地,亚健康人士、慢性病患者的养生地,摄影爱好者、旅游爱好者的旅游地,

文化爱好者的探索地等;在现有基础上,将生态旅行路线、健康膳食、特色文化、康养地产、康养理疗等多种资源整合规划,全力打造“天养、食养、康养、医养、颐养”融合,建设一批特色明显的高标准精品康养基地,打造特色生态康养品牌,推动全域旅游,提升知名度,建立健全陕南地区特色生态康养产业链。

4.2 WO 扭转型战略

抓住当前康养产业政策新风口,详细规划,完善策划,大力宣传陕南生态康养。在包装设计宣传时,要重视大数据、人工智能、VR、AR等科学技术的应用,抢占生态康养产业高地。在相关政策的指导和推动下,加快康养专业人才的引进,尤其是康养保育员、互联网平台构建运营者和专业管理人才;加强与区域内高校与职业技术学院的合作,委托院校和科研院所对康养产业发展需要的各类专业人员进行针对性技术培养和思想意识形态培养,以便拿得出更留得住专业人才。积极探索生态康养基地建设,逐步完善康养基地建设本土化、在地化标准体系。

4.3 ST 进取型战略

深入挖掘陕南地区特色生态康养产业的物质文化资源,加快康养产业与特色有机农产品、中医药产业以及互联网信息产业等融合发展,打造特色生态资源赋能平台,建设少而精的中高端康养基地,培育金字招牌和特色名品。建立陕南三市统一协调机制,避免同质化问题。

4.4 WT 防御型战略

合理科学规划,整体布局。对陕南地区康养产业建设期限和建设区域分步分期、分主次推进。积极推动特色有机农业、生态旅游、文化创意、高端养老、休闲娱乐等多产业深度融合。以国家级森林公园、国家级自然保护区等特色优势显著的地标为重点打造区域,充分挖掘已有产业与特色资源优势,以特色小镇、重点项目逐步带动全域康养产业整体发展;既要注重广播、报纸、电视等传统宣传方式,更要重视抖音、微信公众号、小视频等新媒体的宣传作用,促进康养相关知识普及,加强大众对康养的认识。同时,注意志愿活动和体验活动等丰富多彩活动的开展,增强群众参与康养的兴趣,提高本地知名度,为对外宣传扩大影响打下基础。

5 结 语

陕南地区推进生态康养产业发展,既基于自身资源禀赋,又得益于国家政策导向和市场需求推动,

因此应当立足自身优势,坚持与时俱进规划引导,完善行业标准和监管体系、配套设施等诸多不足之处,切忌遍地开花。要集中优势力量发展在建项目和规划项目,开创一条体现自身优势的生态康养产业发展之路。深度融合大数据和实体经济的发展,探索应用互联网营销思维溢价销售特色农产品、文化创意产品,打造知名品牌;建立智慧旅游平台,将旅游与交通、景区、餐饮、商贸、康养、康乐等相关服务有机衔接,实现产业互动,为康养产业发展集聚人气;加大与科研院所合作,研发并优先运用可穿戴设备和智能健康电子产品;范围内率先开展影像诊断、病理诊断、远程会诊、病例分析、远程教学等远程医疗项目^[12],弥补区域内医疗条件劣势,持续推进健康信息平台建设,逐步实现智慧康养。

参考文献:

- [1] 程臻宇. 区域康养产业内涵、形成要素及发展模式[J]. 山东社会科学, 2018(12): 141-145.
- [2] 房红, 张旭辉. 康养产业: 概念界定与理论构建[J]. 四川轻化工大学学报(社会科学版), 2020, 35(4): 1-20.
- [3] 潘家华, 李萌, 吴大华. 发展康养产业坚守“两条底线”[J]. 农村·农业·农民, 2019(1B): 52-53.
- [4] 丁文珺, 熊斌. 老龄化视域下康养产业的理论内涵、供需困境及发展路径分析[J]. 卫生经济研究, 2020, 37(10): 3-7.
- [5] 张绍全. 发展森林康养产业推进现代林业转型升级的思考[J]. 林业经济, 2018(8): 42-46.
- [6] 张慧琴, 翟绪军, 何丹. 基于产业共融的森林康养产业创新发展研究——以黑龙江省为例[J]. 林业经济, 2019(8): 56-61.
- [7] 韩立红, 田国双, 高环. 产业融合对森林康养产业发展的影响[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(8): 100-105.
- [8] 周功梅, 宋瑞, 刘倩倩. 国内外康养旅游研究评述与展望[J]. 资源开发与市场, 2021, 37(1): 119-128.
- [9] 杨红英, 杨舒然. 融合与跨界: 康养旅游产业赋能模式研究[J]. 思想战线, 2020, 46(6): 158-168.
- [10] 李文正. 陕南地区生态旅游资源分析评价[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(32): 4.
- [11] 张玲, 王晓荣, 冯兰荣, 等. 湖北省森林康养产业现状及发展对策[J]. 湖北林业科技, 2021(5): 65-67, 75.
- [12] 汪莉霞. 互联网时代下康养产业智慧化转型研究[J]. 技术经济与管理研究, 2021(10): 109-112.
- [13] 扈剑颖. 河北省智慧康养产业发展模式研究[J]. 现代商贸工业, 2021, 42(31): 58-59.
- [14] 朱业辉. 基于SWOT分析的三明市全域森林康养产业发展对策[J]. 湖北林业科技, 2020, 49(2): 44-47.
- [15] 国家旅游局. 全国康养旅游示范基地标准: LB/T051-2016[S]. 2016.
- [9] 傅泽强, 戴尔阜. 大兴安岭森林火险季节动态特征及其气候条件分析[J]. 自然灾害学报, 2001(4): 113-116.
- [10] 赵凤君, 舒立福, 邸雪颖, 等. 气候变暖背景下内蒙古大兴安岭林区森林火灾发生日期的变化[J]. 林业科学, 2009, 45(6): 166-172.
- [11] 郭文, 杨宝成, 孙学庆, 等. 内蒙古大兴安岭森林火险天气等级预报研究与应用[J]. 内蒙古气象, 2010, 187(3): 3-5.
- [12] 岳永杰, 韩军, 李玉柱, 等. 内蒙古大兴安岭森林涵养水源和保育土壤功能评估[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(12): 91-95.
- [13] 毕杰和. 内蒙古大兴安岭林区森林生态状况及保护建议[J]. 内蒙古林业调查设计, 2018, 41(6): 6-8.
- [14] 徐化成. 中国大兴安岭森林[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [15] 沈姣姣, 宋鸿, 曹慧萍, 等. 陕西省林火特征及与关键气候因子的关系[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 99-105.
- [16] 孙海滨, 王美莲, 张红星, 等. 大兴安岭森林火灾与气象因子相关性研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2012, 114(Z1): 87-90.
- [17] 杜建华, 官殷婷, 蒋丽伟. 中国森林火灾发生特征及其与主要气候因子的关系研究[J]. 林业资源管理, 2019(2): 7-14.
- [18] 舒立福, 王明玉, 田晓瑞, 等. 我国大兴安岭呼中林区雷击火发生火环境研究[J]. 林业科学, 2003(6): 94-99.
- [19] 王明洁, 王志成, 殷世平. 2005年黑龙江省夏季林火特征及气象环境条件分析[J]. 林业科技, 2008, 177(2): 19-23.
- [20] 张恒, 张鑫, 赵鹏武, 等. 内蒙古森林草原雷击火灾时空分布特征[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(12): 46-51.
- [21] 孙瑜, 史明昌, 彭欢, 等. 基于MAXENT模型的黑龙江山大兴安岭森林雷击火火险预测[J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1100-1106.

责任编辑: 刘平书

责任编辑: 陈旭

(上接第 109 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.029

模拟酸雨对广西 4 个树种苗木叶绿素含量的影响

周顺福,李春叶

(云南省林业调查规划院大理分院,云南 大理 671000)

摘要:分析不同 pH 值及处理方式的酸雨对广西地区速生及珍贵树种幼苗叶绿素含量的影响,为此类树种对酸雨的耐受性方面研究提供理论依据。通过采用盆栽试验,设置 4 个水平(pH4.0、3.0、5.0、5.6),1 个对照(pH6.0)总共 5 种处理方式,测定叶片叶绿素含量变化情况。结果表明,不同 pH 的酸雨处理下,巨尾桉 9 号、格木、降香黄檀、土沉香的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量及叶绿素 a/b 的变化规律不同,且同一 pH 值的酸雨对 4 个树种叶绿素 a/b 的影响也不相同;随着酸雨 pH 值的减小,各树种的叶绿素 a/b 总体上均表现出先降低后升高趋势。

关键词:模拟酸雨;巨尾桉 9 号;格木;降香黄檀;土沉香;苗木;叶绿素含量

中图分类号:S723.13;X517;Q945.11 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0177-05

引文格式:周顺福,李春叶.模拟酸雨对广西 4 个树种苗木叶绿素含量的影响[J].林业调查规划,2023,48(4):177-181.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.029

ZHOU Shunfu, LI Chunye. Effects of Simulated Acid Rain on Chlorophyll Content of Four Species Seedlings in Guangxi [J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 177-181. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.029

Effects of Simulated Acid Rain on Chlorophyll Content of Four Species Seedlings in Guangxi

ZHOU Shunfu, LI Chunye

(Dali Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Dali, Yunnan 671000, China)

Abstract: This paper analyzed the effect of simulated acid rain with different pH values and different treatments on chlorophyll content of four fast-growing and precious tree species in Guangxi, to provide theory basis for acid tolerance assessment in such kind of trees. By pot experiment method, four pH treatment levels (pH4.0, pH3.0, pH5.0, pH5.6) and one control (pH6.0) with five different treatments were adopted, and the chlorophyll content were determined in the whole process. The results showed that under different acid rain, the content of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and chlorophyll a/b of *E. grandis* × *E. urophylla* No. 9, *Erythrophleum fordii* Oliv, *Dalbergia odorifera* T. Chen and *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg showed significant difference, and the chlorophyll a/b was different under same acid rain in four species; under simulated rain, with the decrease of pH in acid rain, the chlorophyll a/b showed the trend of initial decrease and then increase, further more, different pH acid rain significantly affected the different chlorophyll index.

收稿日期:2022-03-08.

基金项目:广西自然科学基金项目(2015GXNSFAA139081).

第一作者:周顺福(1989-),男,云南会泽人,硕士,工程师.主要从事林业调查规划工作. Email:770216795@qq.com

责任作者:李春叶(1989-),女,云南巍山人,硕士,工程师.主要从事林业调查规划工作. Email:553876350@qq.com

Key words: simulated acid rain; *E. grandis* × *E. urophylla* No. 9; *Erythrophleum fordii* Oliv; *Dalbergia odorifera* T. Chen; *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg; seedling; chlorophyll content

酸雨与全球气候变暖、臭氧层破坏被称为世界三大生态环境灾难,主要表现在对生态系统(土壤、水体、植物等)的危害,而且会对各种建筑物造成破坏,严重威胁着人类的身体健康^[1]。酸雨对植物的伤害有两种,一是直接危害植物叶子,一是通过酸化土壤对植物造成间接伤害。广西地处华南,且山地和盆地较多,纬度较低,属亚热带湿润气候,受气候、逆流层等影响较大,大气污染物扩散能力较差,导致酸雨灾害严重。广西的 11 个地市、33 个县(市)已被列入酸雨控制区^[2]。

广林巨尾桉 9 号(*E. grandis* × *E. urophylla* No. 9) 由于生长迅速、树干通直、枝下高较高等优点被广西林木良种委员会审定为林木良种,在广西区及其周围地区普遍种植^[3]。广西是中国主要桉树引种推广区,也是中国主要木材战略贮备基地。桉树有着药用、经济等多种价值。格木(*Erythrophleum fordii* Oliv)为珍贵的硬材树种,其木材坚硬,结构均匀,是优良的建筑及家具用材^[4];降香黄檀(*Dalbergia odorifera* T. Chen),俗称“黄花梨”,其木材坚硬、纹理美观,是制作古典家具的上乘材料,国家二级重点保护野生植物,濒危树种,与紫檀木、鸡翅木、铁梨木并称中国古代四大名木^[5]。土沉香(*Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg)是我国特有的生产高品质香料及国药沉香的植物,国家二级重点保护野生植物^[6]。

酸雨对植物生长生理的研究已有不少,但有关酸雨对桉树、格木、降香黄檀、土沉香等树种幼苗生理活性尤其是叶绿素含量方面研究仍很少见。广西是大面积种植桉树的省份之一,随着桉树发展趋于饱和,近年来降香黄檀、格木、土沉香等珍贵树种也不断发展,但目前对这 4 个树种在酸雨适应方面的研究仍较少,其适应酸雨的机理还不清楚。本试验以巨尾桉广林 9 号、格木、降香黄檀、土沉香苗木为试验材料,采用不同酸度的酸雨喷淋,模拟研究其在酸雨作用下的生理反应机制,探讨酸性条件下树木的叶绿素变化规律,为此类树种对酸雨的耐受性研究提供参考,也为广西的重要用材树种和珍贵树种的栽培、推广、引种和保护提供一定的理论依据,并与其他林木耐酸性研究提供借鉴,为解决森林酸雨危害问题提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点和材料

试验地位于广西南宁市广西大学林学院苗圃(22°51'20"N, 108°17'14"E)。该地区属亚热带季风气候,年均气温 21.6℃,极端最高气温 40℃,≥10℃年积温 7 200℃,年均降水量 1 304.2 mm,平均相对湿度为 79%,降雨多集中在 5—9 月。

试验树种:巨尾桉 9 号、格木、降香黄檀、土沉香。

试验苗木:巨尾桉 9 号为 3 月生组培苗,其他均为 2 年生实生苗。苗木 2015 年 2 月初移栽到高 10 cm、直径 8 cm 的塑料盆中,每盆装土,用黄心土和河沙按 1:1 混合而成的土壤(pH4.90)进行栽培。在初期进行抚育缓苗,期间用普通自来水喷施。

1.2 实验测定项目和方法

1.2.1 试验设计

模拟酸雨的配制按照广西酸雨化学成分 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 离子浓度为 7:1,用 95%~98% 的浓硫酸和 65%~68% 的浓硝酸按体积比 4.8:1 配置酸雨母液。试验设 4 个水平(pH4.0、3.0、5.0、5.6),一个对照(pH6.0),每组 12 个重复,共计需 240 盆(5 个水平,4 种树种,每个水平每种树种 12 株)。试验于 2015 年 3 月 10 日至 4 月 20 日进行。模拟酸雨的喷洒采用喷雾法,用喷雾器喷洒不同水平值的模拟酸雨。喷洒频率为每隔 7 d 喷 1 次,共 4 次。每次均喷至叶片滴液为度。喷淋时间一般在下午 4:00—6:00。试验结束后测定相关指标。

1.2.2 叶绿素含量的测定

采用熊庆娥等^[7]的方法进行叶绿素含量测定:将新鲜叶片洗净擦干后去除中脉,称取 0.2 g,剪碎,放入 50 mL 的具塞试管中,加入乙醇—丙酮混合液(等体积混合)20 mL。采用电位法测定土壤 pH 值:使叶片完全浸入液体,盖上试管塞,放置暗处 24 h,期间进行多次摇动;当叶片完全变成白色时进行比色;以丙酮—乙醇混合液作空白对照;在波长 665、649 nm 下测定其吸光度。结果计算:分别按公式(1)、(2)计算叶绿素 a、b 的浓度(mg/L),两者相加即得叶绿素总浓度。

$$\text{叶绿素 a 浓度: } C_a = 13.95 A_{665} - 6.88 A_{649} \quad (1)$$

$$\text{叶绿素 b 浓度: } C_b = 24.96 A_{649} - 7.32 A_{665} \quad (2)$$

$$\text{叶绿素总浓度: } C_{a+b} = C_a + C_b \quad (3)$$

求得色素的浓度后,再按下式计算组织中单位鲜重的各色素的含量:

$$\text{叶绿素含量(mg/g)} = \frac{C(\text{mg/L}) \times \text{提取液总量(L)} \times \text{稀释倍数}}{\text{样品鲜重(g)}} \quad (4)$$

$$\text{色素浓度 } C = D \times 1000 / 34.5 \quad (5)$$

1.3 数据分析

对试验数据采用 Excel、SPSS 21.0 等软件进行统计分析,方差分析及多重比较采用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 叶绿素 a 含量

在不同 pH 值的酸雨处理下,4 个树种苗木叶片中叶绿素 a 含量的变化规律不尽相同。巨尾桉 9 号苗木叶绿素 a 含量的大小顺序为 pH3.0 > pH5.6 > pH5.0 > pH4.0, 格木为 pH4.0 > pH5.0 > pH5.6 > pH3.0, 降香黄檀为 pH5.0 > pH4.0 > pH5.6 > pH3.0, 土沉香为 pH5.6 > pH4.0 > pH5.0 > pH3.0。

pH3.0 时,巨尾桉 9 号叶绿素 a 含量最大,为 6.43 mg/g FW,显著大于对照及 pH4.0 时的叶绿素 a 含量;pH4.0 时,格木叶绿素 a 含量最大,为 5.63 mg/g FW,显著大于对照及其他处理下的叶绿素 a 含量;pH5.0 时,降香黄檀叶绿素 a 含量最大,与对照及 pH4.0、5.0、5.6 间差异不显著,但显著大于 pH3.0 时的叶绿素 a 含量;土沉香各酸雨 pH 值下的叶绿素 a 含量均较对照小,pH5.6 酸雨处理下的叶绿素 a 含量与对照间差异不显著,其他 pH 值酸雨处理下的叶绿素 a 含量均显著小于对照(表 1)。

表 1 模拟酸雨对 4 个树种苗木叶绿素 a 含量的影响
Tab.1 Effect of simulated acid rain on the content of chlorophyll a of four tree species seedling

处理	mg/g FW			
	巨尾桉 9 号	格木	降香黄檀	土沉香
pH3.0	6.43±0.34a	4.91±0.07c	5.29±0.03b	5.48±0.16b
pH4.0	5.65±0.18b	5.63±0.09a	5.50±0.07ab	5.64±0.30b
pH5.0	6.13±0.11a	5.36±0.13b	5.63±0.12a	5.64±0.10b
pH5.6	6.18±0.09a	5.25±0.16b	5.42±0.01ab	6.64±0.23a
CK	4.82±0.05c	5.48±0.07c	5.42±0.22ab	6.82±0.18a

2.2 叶绿素 b 含量

在不同 pH 的酸雨处理下,4 个树种苗木叶片中

叶绿素 b 含量的变化规律不尽相同。巨尾桉 9 号叶绿素 b 含量的大小顺序为 pH5.0 > pH3.0 > pH4.0 > pH5.6, 格木为 pH5.0 > pH4.0 > pH5.6 > pH3.0, 降香黄檀为 pH5.6 > pH4.0 > pH5.0 > pH3.0, 土沉香为 pH5.6 > pH4.0 > pH5.0 > pH3.0。pH5.0 时,巨尾桉 9 号和格木叶绿素 b 含量均达到最大,分别为 2.97、2.58 mg/g FW,且均显著大于对照及其他处理下的叶绿素 b 含量;pH5.6 时,降香黄檀和土沉香叶绿素 b 含量最大,分别为 2.65、2.76 mg/g FW,且均显著大于对照组叶绿素 b 含量(表 2)。

表 2 模拟酸雨对 4 个树种苗木叶绿素 b 含量的影响
Tab.2 Effect of simulated acid rain on the content of chlorophyll b of four tree species seedling

处理	mg/g FW			
	巨尾桉 9 号	格木	降香黄檀	土沉香
pH3.0	2.72±0.17b	2.36±0.04bc	2.23±0.07c	2.43±0.26b
pH4.0	2.62±0.14b	2.51±0.10ab	2.58±0.04ab	2.72±0.10ab
pH5.0	2.97±0.13a	2.58±0.07a	2.54±0.06b	2.52±0.11ab
pH5.6	2.60±0.05b	2.40±0.06bc	2.65±0.05a	2.76±0.13a
CK	2.31±0.02c	2.34±0.14c	2.53±0.06b	2.41±0.15b

2.3 叶绿素总含量

在不同 pH 的酸雨处理下,4 个树种苗木叶片中叶绿素总含量的变化规律不尽相同。巨尾桉 9 号叶绿素总含量的大小顺序为 pH3.0 > pH5.0 > pH5.6 > pH4.0, 格木为 pH4.0 > pH5.0 > pH5.6 > pH3.0, 降香黄檀为 pH5.0 > pH4.0 > pH5.6 > pH3.0, 土沉香为 pH5.6 > pH4.0 > pH5.0 > pH3.0(表 3)。

表 3 模拟酸雨对 4 个树种苗木叶绿素总含量的影响
Tab.3 Effect of simulated acid rain on the content of total chlorophyll of four tree species seedling

处理	mg/g FW			
	巨尾桉 9 号	格木	降香黄檀	土沉香
pH3.0	9.15±0.51a	7.27±0.11c	7.52±0.05b	7.91±0.40b
pH4.0	8.27±0.29b	8.14±0.08a	8.08±0.10a	8.37±3.95b
pH5.0	9.09±0.18a	7.94±0.20ab	8.18±0.17a	8.16±0.10b
pH5.6	8.79±0.14ab	7.65±0.21b	8.07±0.05a	9.40±0.32a
CK	7.12±0.06c	7.18±0.20c	7.95±0.21a	9.24±0.31a

pH3.0 时,巨尾桉 9 号叶绿素总含量最大,为 9.15 mg/g FW,显著大于对照组叶绿素总含量;随着

模拟酸雨 pH 值的减小,格木叶绿素总含量逐渐增大;当 pH4.0 时,其叶绿素总含量达到最大,为 8.14 mg/g FW,显著大于对照,且之后随着模拟酸雨 pH 值的减小,其叶绿素总含量迅速下降。随着模拟酸雨 pH 值的减小,降香黄檀叶绿素总含量也呈先上升后下降趋势,在 pH5.0 时,其叶绿素总含量达到最大,为 8.18 mg/g FW,与对照间差异不显著;当 pH5.6 时,土沉香叶绿素总含量最大,为 9.40 mg/g FW,与对照间差异不显著,但显著大于其他酸雨酸度。

2.4 叶绿素 a/b

在不同 pH 值的酸雨处理下,4 个树种苗木叶片中叶绿素 a/b 的变化规律不尽相同。巨尾桉 9 号叶绿素 a/b 的大小顺序为 pH5.6 > pH3.0 > pH4.0 > pH5.0,格木为 pH4.0 > pH5.6 > pH3.0 > pH5.0,降香黄檀为 pH3.0 > pH5.0 > pH4.0 > pH5.6,土沉香为 pH5.6 > pH3.0 > pH5.0 > pH4.0(表 4)。

表 4 模拟酸雨对 4 个树种苗木叶绿素 a/b 的影响
Tab. 4 Effect of simulated acid rain on the chlorophyll a/b of four tree species seedling

处理	巨尾桉 9 号	格木	降香黄檀	土沉香
pH3.0	2.37± 0.02Aa	2.09± 0.01Bb	2.36± 0.08Aa	2.26± 0.19ABbc
pH4.0	2.16± 0.08ABb	2.24± 0.12Aa	2.13± 0.02ABbc	2.07± 0.04Bc
pH5.0	2.07± 0.10BCb	2.08± 0.01BCb	2.22± 0.01ABb	2.24± 0.13Abc
pH5.6	2.38± 0.02Aa	2.19± 0.06Bab	2.04± 0.03Cc	2.41± 0.10Ab
CK	2.09± 0.01Bb	2.07± 0.09Bb	2.14± 0.12Bbc	2.83± 0.12Aa

同一 pH 值的酸雨对 4 个树种叶绿素 a/b 的影响也不尽相同。pH3.0 酸雨处理下各树种叶绿素 a/b 的大小顺序为巨尾桉 9 号 > 降香黄檀 > 土沉香 > 格木;pH4.0 处理下格木 > 巨尾桉 9 号 > 降香黄檀 > 土沉香;pH5.0 处理下格木 > 降香黄檀 > 土沉香 > 巨尾桉 9 号;pH5.6 处理下土沉香 > 巨尾桉 9 号 > 格木 > 降香黄檀。

pH5.6 时,巨尾桉 9 号叶绿素 a/b 最大,为 2.38,显著大于对照组叶绿素 a/b;pH4.0 时,格木叶绿素 a/b 显著大于对照,为 2.24;降香黄檀叶绿素 a/b 在模拟酸雨 pH3.0 时达到最大,为 2.36,显著大于对照及其他处理组;模拟酸雨各处理浓度下,土沉香的

叶绿素 a/b 均显著小于对照。模拟酸雨处理下,随着酸雨 pH 值的减小,各树种的叶绿素 a/b 总体上均表现出先降低后升高趋势。

3 结论与讨论

3.1 结论

不同 pH 的酸雨处理下,4 个树种苗木中叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量及叶绿素 a/b 的变化规律不同,且同一 pH 值的酸雨对 4 个树种叶绿素 a/b 的影响也不相同。

模拟酸雨 pH3.0 时,巨尾桉 9 号叶绿素 a 含量、叶绿素总含量显著大于对照;pH5.0 时,其叶绿素 b 含量最大,显著大于对照及其他处理;pH5.6 时,其叶绿素 a/b 最大,且显著大于对照。模拟酸雨 pH4.0 时,格木叶绿素 a 含量、叶绿素总含量、叶绿素 a/b 显著大于对照;pH5.0 时,其叶绿素 b 含量最大,显著大于对照及其他处理。模拟酸雨 pH5.0 时,降香黄檀叶绿素 a、叶绿素总含量略大于对照及其他处理下的叶绿素 a 含量;pH5.6 时,其叶绿素 b 含量显著大于对照;pH3.0 时,其叶绿素 a/b 显著大于对照及其他处理组。模拟酸雨不同 pH 处理下,土沉香叶绿素 a 含量、叶绿素 a/b 均较对照小;pH5.6 时,其叶绿素 b、叶绿素总含量达到最大。模拟酸雨处理下,随着酸雨 pH 值的减小,各树种的叶绿素 a/b 总体上均表现出先降低后升高趋势。

3.2 讨论

叶绿素在植物叶片光能的吸收、传递及光化学反应等方面起着相当重要的作用。有研究表明,在低 pH 值酸雨处理下,模拟酸雨处理会阻碍树木苗木叶绿素的合成,严重时还会使原有叶绿素发生降解^[8]。杜仲叶叶绿素含量和叶绿素 a/b 值随酸雨 pH 值降低而降低,且呈显著正相关关系^[9];而模拟酸雨对 9 种草本观赏植物叶片叶绿素含量研究的结果与其相反。结果显示,酸雨强度与植物叶绿素含量呈负相关,且随着酸雨胁迫次数的增加,叶片叶绿素含量降低^[10];6 种园林树木在酸雨 pH 值小于 3.5 时,苗木叶片叶绿素含量降低,而轻度酸雨(pH5.0)下苗木均未受到伤害^[11]。本试验中,随着酸雨 pH 值的减小,巨尾桉 9 号、格木、降香黄檀、土沉香等 4 个树种苗木叶片中,叶绿素 a/b 总体上均表现出先降低后升高趋势。不同 pH 值的酸雨对不同树种叶绿素各指标的影响不同,4 个树种苗木叶片中叶绿素总含量显著大于对照的点分别在 pH3.0、4.0、

5.0、5.6。在不同 pH 值模拟酸雨处理下,树木叶绿素总含量增加可能是因为在树木体内更新周期加快,且酸雨中的 NO_3^- 可被树木吸收利用^[8],而树木叶绿素含量的增加能使植株捕获光能的能力增加^[12],促进植株生长,这与模拟酸雨对树木生长的影响结果相一致。

参考文献:

- [1] RIOFRIO-DILLON G, BERTRAND R, GEGOUT J. Toward a recovery time: Forest herbs insight related to anthropogenic acidification[J]. *Global Change Biology*, 2012, 18(11): 3383-3394.
- [2] 覃东才. 广西酸雨污染及变化趋势[J]. *中小企业科技*, 2007(10): 274-275.
- [3] 王鹏良, 姜福星, 蔡玲, 等. 广林巨尾桉9号遗传转化体系的建立[J]. *林业科技开发*, 2013(3): 76-80.
- [4] 赵志刚. 珍稀濒危树种格木保护生物学研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
- [5] 贾瑞丰. 降香黄檀人工促进心材形成的研究[D]. 北

京: 中国林业科学研究院, 2014.

- [6] 马华明. 土沉香(*Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg) 结香机制的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2013.
- [7] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003.
- [8] 黄辉, 黄朝法. 酸雨对植物生理生态特性的影响研究进展[J]. *林业勘察设计*, 2008(1): 46-49.
- [9] 齐泽民, 钟章成. 模拟酸雨对杜仲光合生理及生长的影响[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2006(2): 151-156.
- [10] 张光生, 刘英, 周青. 9种草本观赏植物叶绿素含量和细胞膜透性对酸雨胁迫的响应[J]. *生态与农村环境学报*, 2006(4): 83-87.
- [11] 李志国, 姜卫兵, 翁忙玲, 等. 常绿阔叶园林6树种(品种)对模拟酸雨的生理响应及敏感性[J]. *园艺学报*, 2011(3): 512-518.
- [12] 杨柳青, 廖飞勇, 赵坤, 等. 水分胁迫对加拿大一枝黄花光合和荧光参数的影响[J]. *北方园艺*, 2011(23): 12-14.

责任编辑: 刘平书

(上接第104页)

- [4] 赵建民, 孙宗芹. 善洲林场红色旅游文本英译研究[J]. *保山学院学报*, 2018, 37(6): 71-75.
- [5] 云南省杨善洲精神教育基地管理委员会(善洲林场). 守护精神家园 传承时代力量[J]. *中国生态文明*, 2019(3): 31-32.
- [6] 王可丽, 江灏, 赵红岩. 西风带与季风对中国西北地区的水汽输送[J]. *水科学进展*, 2005(3): 432-438.
- [7] 杨建平, 丁永建, 陈仁升, 等. 亚洲季风与中国干湿、农牧气候界线之关系[J]. *地理科学*, 2005(4): 59-65.
- [8] 卞福久, 王瑞元. 云南热区农业气候资源特征及分布[J]. *热带地理*, 1991(3): 270-277.
- [9] 赵凤君, 舒立福. 气候异常对森林火灾发生的影响研究[J]. *森林防火*, 2007(1): 21-23.
- [10] 闫想想, 王秋华, 李彩松, 等. 昆明重大森林火灾火烧迹地可燃物研究[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2019, 39(5): 157-164.
- [11] 李文华, 李芬, 李世东, 等. 森林生态效益补偿的研究现状与展望[J]. *自然资源学报*, 2006(5): 677-688.
- [12] 王秋华, 徐伟恒, 李伟, 等. 滇中地区地盘松林地凋落物的潜在能量研究[J]. *林业调查规划*, 2014, 39(6): 16-20.
- [13] 吴明山, 周汝良, 张明莎, 等. 林分尺度上的森林火灾险动态评估[J]. *林业资源管理*, 2020(2): 126-134.
- [14] 赵中华. 基于林分状态特征的森林自然度评价研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.

- [15] 王德祥, 张景群, 朱德兰, 等. 几种林分类型火线状况的研究[J]. *西北林学院学报*, 1996, 2(49): 26.
- [16] 肖化顺, 曾思齐, 谢绍锋, 等. 森林可燃物管理研究进展[J]. *世界林业研究*, 2009, 22(1): 48-53.
- [17] 王秋华, 单保君, 龚家平, 等. 滇中地区云南松纯林计划烧除研究[J]. *江西农业大学学报*, 2018, 40(2): 235-240.
- [18] 赵凤君, 王明玉, 舒立福. 森林火灾中的树冠火研究[J]. *世界林业研究*, 2010, 23(1): 39-43.
- [19] 李世友, 刘会龙, 张凯, 等. 预防华山松树冠火的最低修枝高度探讨[J]. *华中农业大学学报*, 2009, 28(3): 361-364.
- [20] 闫想想, 王秋华, 缪秀丽, 等. 昆明西山林场5种可燃物的火行为研究[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2021, 45(1): 197-204.
- [21] 王秋华, 李晓娜, 叶彪, 等. 华山松纯林地表可燃物的潜在燃烧火行为研究[J]. *林业工程学报*, 2019, 4(6): 151-157.
- [22] 李永宁, 张宾兰, 秦淑英, 等. 郁闭度及其测定方法研究与应用[J]. *世界林业研究*, 2008(1): 40-46.
- [23] 金琳, 刘晓东, 张永福. 森林可燃物调控技术方法研究进展[J]. *林业科学*, 2012, 48(2): 155-161.

责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.030

不同种源高山栲苗期生长及生理分析

王顺利¹, 张春华², 戚建华³, 毛晓佩⁴, 孙永玉²

(1. 永善县林业和草原局, 云南 昭通 657000; 2. 中国林业科学研究院高原林业研究所, 云南 昆明 650300;
3. 西南林业大学, 云南 昆明 650300; 4. 云南云景林业开发有限公司, 云南 普洱 665000)

摘要:以不同种源高山栲幼苗为研究对象,通过抗逆性指标测定以探究不同种源幼苗的环境适应能力,筛选出抗逆能力强的种源。将5个种源高山栲一年生实生苗种植于同一环境,测定其株高、地径、冠幅等生长指标,丙二醛(MDA)含量以及过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)等保护酶活性,净光合速率、气孔导度、胞间CO₂、蒸腾速率、光响应等生理生化指标。不同种源高山栲幼苗生长及生理性状均表现出显著性差异($P < 0.05$)。镇沅种源高山栲幼苗株高和冠幅生长量最大,表明镇沅种源有较好的环境适应性,同时其MDA含量最低,SOD、POD活性最高,表明镇沅种源幼苗的细胞膜受损程度更低且具有较强的抗逆性;光合有效辐射强度段400~800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 内高山栲幼苗达到光饱和点,镇沅和龙陵两个种源在相同光辐射强度下的净光合速率大,光合适应性强。综合不同种源幼苗生长及生理测定结果表明,适应性由强到弱排序为ZY > LL > BC > YD > SB。不同种源高山栲幼苗在同一环境中生长,其生理、生化指标差异显著,结合生长和生理指标分析,高山栲苗期在种源选取方面可优先考虑镇沅种源。

关键词:高山栲;种源;幼苗;生长指标;生理生化

中图分类号:S723.13;S792.17;S718.43 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0182-06

引文格式:王顺利,张春华,戚建华,等.不同种源高山栲苗期生长及生理分析[J].林业调查规划,2023,48(4):182-187. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.030

WANG Shunli, ZHANG Chunhua, QI Jianhua, et al. Growth and Physiological Analysis of *Castanopsis delavayi* Seedlings from Different Provenances[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 182-187. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.030

Growth and Physiological Analysis of *Castanopsis delavayi* Seedlings from Different Provenances

WANG Shunli¹, ZHANG Chunhua², QI Jianhua³, MAO Xiaopei⁴, SUN Yongyu²

(1. Yongshan Bureau of Forestry and Grassland, Zhaotong, Yunnan 657000, China; 2. Institute of Highland Forest Science, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650300, China; 3. Southwest Forestry University, Kunming 650300, China; 4. Yunnan Yunjing Forestry Development Co., Ltd., Pu'er, Yunnan 665000, China)

Abstract: Taking *Castanopsis delavayi* seedlings from different provenances as the research object, the environmental adaptability of seedlings of different provenances was explored through the determination of stress resistance indexes, and provenances with strong resistance to stress were screened out. The five provenances were placed in the same environment to measure the plant height, ground diameter, crown

收稿日期:2022-03-11;修回日期:2022-03-30.

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务经费(CAFYBB2018ZB001-6);国家重点研发计划项目课题(2017YFC0505102).

第一作者:王顺利(1994-),女,云南昆明人,硕士.主要从事植物生理生态方面研究.

责任作者:孙永玉(1974-),男,山东济宁人,研究员.研究方向为森林培育与植被恢复. Email:cafsdren@163.com

width and other growth indicators, as well as malondialdehyde (MDA), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), and peroxidase (POD) and other physiological and biochemical indicators such as protective enzyme activity and net photosynthetic rate, stomatal conductance, intercellular CO_2 , transpiration rate, and light response. There were significant differences in the growth and physiological characteristics of *Castanopsis delavayi* seedlings from different provenances ($P < 0.05$). The plant height and crown growth of *Castanopsis delavayi* seedlings from Zhenyuan provenance were the highest, indicating that the Zhenyuan provenance showed better environmental adaptability and its MDA content was the lowest, and its SOD and POD activities were the highest, which indicated that the cell membrane of Zhenyuan provenance was less damaged and had strong stress resistance; the photosynthetic effective radiation intensity reached the light saturation point within $400\text{--}800\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, and the net photosynthetic rate of Zhenyuan and Longling provenances under the same light intensity was large, and the light suitability was strong. The comprehensive analysis of growth and physiological determination results showed that the order of adaptability from strong to weak was $\text{ZY} > \text{LL} > \text{BC} > \text{YD} > \text{SB}$. The physiological and biochemical indicators of *Castanopsis delavayi* seedlings from different sources in the same environment differed significantly. Based on the analysis of growth and physiological indicators, the Zhenyuan provenance can be given priority in the selection of seed sources during the seedling stage of *Castanopsis delavayi*.

Key words: *Castanopsis delavayi*; provenances; growth index; physiology and biochemistry

高山栲(*Castanopsis delavayi*)又名滇锥栗,壳斗科(Fagaceae)栲属(*Castanopsis*)乔木树种,主要分布在我国云南南部、四川西南部和贵州西南部海拔1500~2800 m的山地^[1]。以高山栲为建群种形成的森林是滇中高原和川西南山地区域的地带性顶级群落,高山栲林在生态服务功能方面具有重要作用,由于受人类活动的干扰,现存林地多为残留的斑块状森林,林下自然更新状况较差^[2]。高山栲同时是生态公益林建设的优良树种,具有重要的生态及经济开发价值^[3]。目前有关高山栲的研究主要有叶功能性状种群内的变异及其与环境因子间的关系^[4]、种子超低温保存^[5]、建群种生境^[6]、叶片水提液对云南松种子发芽的化感效应^[7]、种子虫蛀率、落种期、群落分布情况^[8]、种子性状^[2]、潜在适生区分布区及影响因子^[9]等,但尚未见关于不同地理种源的高山栲种苗筛选研究的报道。种源筛选试验能为高山栲壮苗培育和推广提供相应的支撑,以不同种源高山栲为对象,研究不同种源高山栲苗期生长及生理指标的差异。探究不同种源高山栲幼苗的环境适应能力,可筛选出速生、抗逆性强的高山栲种源,为高山栲优良种质选择提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

试验点位于云南省昆明市中国林业科学研究院

高原林业研究所(25°05'N,102°45'E),海拔1891 m,年均降水量约1011.8 mm,年均温14.7℃。依据高山栲实际地理分布,参考中国数字植物标本馆中相关标本采集的地理信息,确定了高山栲核心分布区在滇中高原附近,本次供试的高山栲幼苗种源来自核心分布区域内的5个县域,分别为楚雄双柏(SB)、大理宾川(BC)、临沧永德(YD)、普洱镇沅(ZY)、保山龙陵(LL),具体信息见表1。选取5个种源的一年生高山栲实生苗,每个种源选取15株,幼苗枝叶健康,无明显的损伤和病虫害痕迹。于2020年7月进行室外盆栽种植,盆土选用基础养分一致的红土生土。种植过程中及时补水,待幼苗缓苗,生长状况稳定后开始测定各指标。

1.2 研究方法

1.2.1 生长指标测定

于2020年9月进行生长指标测定,采用精度为0.1 cm的钢卷尺测量株高、冠幅。每次测定位置一致,采用精度0.01 mm游标卡尺测量接近土壤部分的地径,每隔2周测定1次。

1.2.2 生理指标测定

1) 保护酶含量及活性测定

采用硫代巴比妥酸反应法测定高山栲幼苗丙二醛(MDA)含量^[10]。比色法测定高山栲幼苗过氧化物酶(POD)活性^[11]。钼酸铵法测定高山栲幼苗过氧化氢酶(CAT)活性^[12]。依据超氧化物歧化酶抑制

表 1 高山栲种源采集地基本信息

Tab. 1 Basic information of the provenance collection sites of *Castanopsis delavayi*

种源	纬度	经度	海拔 /m	年均降雨量/mm	年均温 /℃
镇沅(ZY)	24°11'	101°14'	1305	1313.5	18.5
龙陵(LL)	24°08'	98°08'	1312	2100.3	14.9
双柏(SB)	24°68'	101°67'	1314	950.3	14.9
宾川(BC)	25°23'	100°16'	1430	578.2	17.9
永德(YD)	24°12'	99°34'	2955	1303.8	17.4

氮蓝四唑在光下的还原作用测定高山栲幼苗超氧化物歧化酶(SOD)活性^[13]。

2) 光合特性测定

采用 Li-6400 便携式光合仪(LI-COR, 美国)测定不同种源高山栲幼苗相同部位的成熟健康叶片。日变化测定 3 次, 从早上 8:00 至下午 18:00, 每隔 2 h 进行 1 次测定, 每株幼苗测量 2 片向阳叶片, 1 片叶测量 3 次, 减少实验误差。光响应曲线测定时选择天气晴朗、无大风的上午 11:00 左右开始测定, 测定 3 次, 设置相应的光合有效辐射梯度为 1 600、1 400、1 200、1 000、800、600、400、200、150、100、50、0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

1.3 数据处理

数据采用 Excel 2010 和 SPSS 25.0 进行统计分析及绘图, 采用单因素方差分析检验不同种源高山栲幼苗生长指标及生理指标的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同种源高山栲幼苗生长指标

5 个种源高山栲幼苗株高、地径、冠幅等生长指标存在差异(表 2)。

表 2 不同种源高山栲株高、地径、冠幅生长量分析

Tab. 2 Comparative analysis of plant height, ground diameter and crown width of *Castanopsis delavayi* from different provenances

种源	株高生长量 /cm	地径生长量 /mm	冠幅生长量 /cm
ZY	9.40 ± 0.49a	2.22 ± 0.46b	10.75 ± 3.03a
LL	3.60 ± 1.30b	2.96 ± 1.17b	4.33 ± 3.69b
SB	3.33 ± 1.07b	2.67 ± 0.10b	2.92 ± 0.95b
BC	8.43 ± 0.84a	4.41 ± 0.71a	6.67 ± 3.39b
YD	1.67 ± 0.61c	2.23 ± 0.67b	3.25 ± 3.03b

注: 不同小写字母表示同一指标在不同种源间存在显著差异 ($P < 0.05$)。下同。

株高生长量方面, ZY 种源生长量最大为 9.4 cm, 地径生长量方面, BC 种源生长量最大为 4.41 mm, 冠幅生长量方面, ZY 种源生长量最大为 10.75 cm。

2.2 不同种源高山栲幼苗生理指标

2.2.1 不同种源高山栲幼苗保护酶含量及活性

5 个种源高山栲幼苗的 MDA 含量、CAT 活性、SOD 活性和 POD 活性均存在显著差异 ($P < 0.05$), 具体见表 3。

表 3 不同种源高山栲保护酶含量、活性分析

Tab. 3 Analysis of protective enzyme content and activity of *Castanopsis delavayi* from different provenances

种源	MDA 含量 / $(\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1})$	CAT 活性 / $(\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$	SOD 活性 / $(\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$	POD 活性 / $(\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$
SB	6.75 ± 0.27b	18.89 ± 4.05d	8.05 ± 2.64d	7.64 ± 1.66bc
BC	8.26 ± 0.93a	34.44 ± 1.35bc	13.38 ± 0.95ab	6.36 ± 1.14c
YD	7.46 ± 0.06ab	22.68 ± 0.43cd	12.47 ± 2.06c	8.90 ± 0.10abc
ZY	4.21 ± 0.98c	54.06 ± 13.62a	17.90 ± 1.48a	9.76 ± 2.80ab
LL	4.72 ± 0.50c	43.43 ± 2.50ab	16.11 ± 0.91ab	11.57 ± 1.67a

从表 3 可知, BC 种源的 MDA 含量最高为 8.26 nmol/g, ZY 种源最低为 4.21 nmol/g; ZY 种源的 CAT 活性最高为 54.06 U/(g · min), SB 种源最低为 18.89 U/(g · min); ZY 种源的 SOD 活性最高为 17.9 U/(g · min), SB 种源最低为 8.05 U/(g · min); LL 种源的 POD 活性最高为 11.57 U/(g · min), ZY

种源次之, 为 9.76 U/(g · min), SB 种源最低为 7.64 U/(g · min)。

2.2.2 不同种源高山栲幼苗光合特性

1) 不同种源高山栲幼苗光合参数日变化

5 个种源光合参数日变化趋势基本相同, 叶片净光合速率日变化曲线呈双峰型(图 1)。

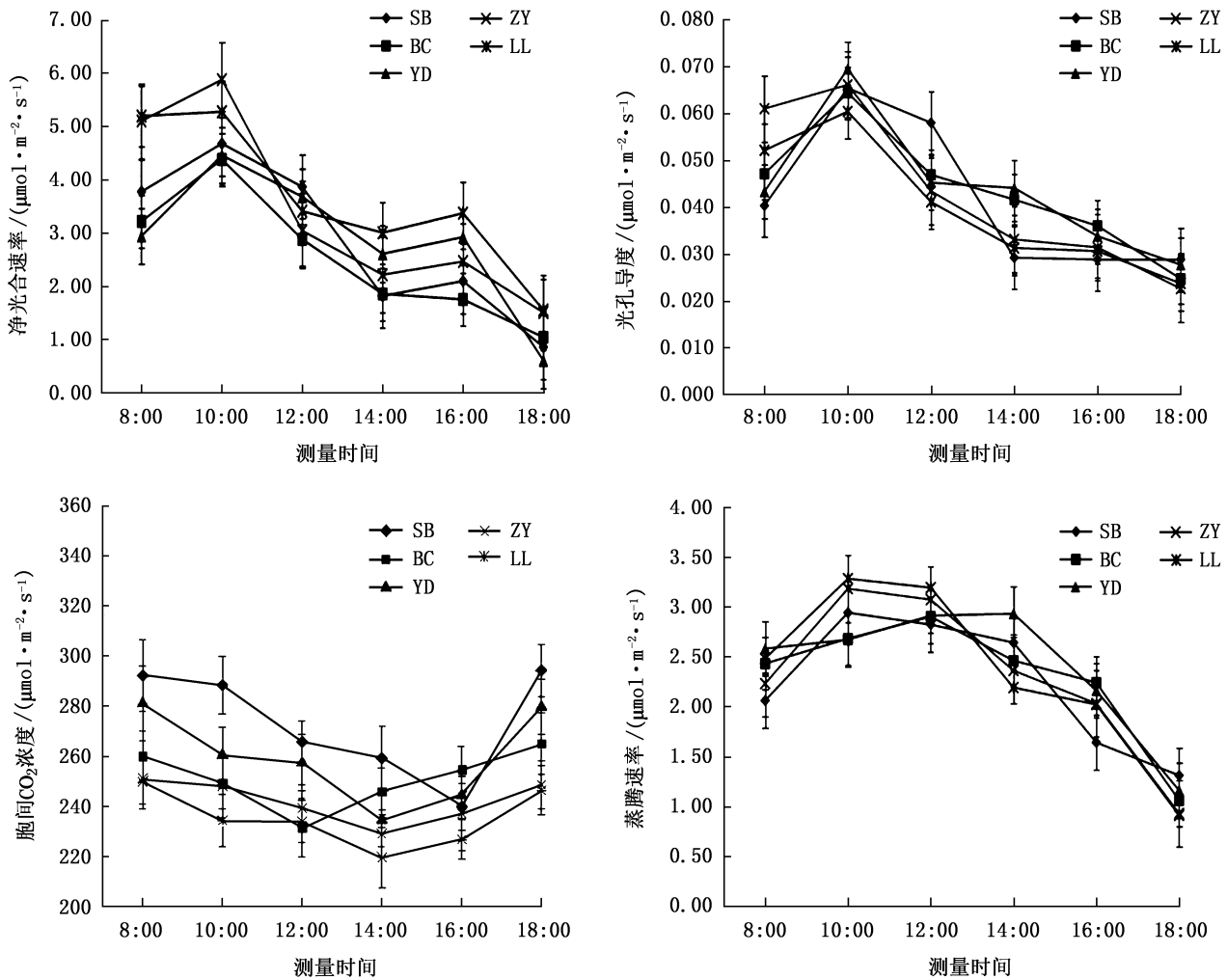


图 1 不同种源高山栲光合参数日变化

Fig. 1 Diurnal variation of photosynthetic parameters of *Castanopsis delavayi* from different provenances

从图 1 可知,叶片净光合速率日变化曲线峰值出现在上午 10:00 时和下午 16:00 时,在两峰之间,即 14:00 时净光合速率出现谷值,说明高山栲幼苗存在明显的光合午休现象。其中 ZY 种源上午 10:00 时净光合速率最大,为 $5.87 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, BC 种源的净光合速率最小,为 $4.38 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 在 18:00 时净光合速率达到最小值,其中 YD 种源最小为 $0.54 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。5 个种源的气孔导度变化均呈单峰型,在 10:00 时出现最大值, YD 种源气孔导度值最大,为 $0.07 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 在 18:00 时达到最小值, ZY 种源最小为 $0.023 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。5 个种源的胞间 CO_2 浓度有两个峰值,其中 SB 和 YD 种源在 10:00 至 18:00 内出现高峰,而 LL、BC、ZY 种源在 12:00 和 18:00 时达到峰值,5 个种源的蒸腾速率变化趋势相似,均为单峰值,均在 10:00 至 14:00 达到最大值,随后一直呈下降的趋势,并且在

18:00 时达到最小值,最大值为 LL 种源,为 $3.28 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,最小值为 SB 种源,为 $1.64 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。5 个种源蒸腾速率也有细微差异, ZY、LL、SB 种源在 10:00 时蒸腾速率最高,而 YD、BC 种源的蒸腾速率则在 12:00 后达到峰值。

2) 不同种源高山栲幼苗光响应曲线

随着光合有效辐射的增加,不同种源的净光合速率均呈上升趋势(图 2)。

由图 2 可知,不同种源在光辐射强度小于 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时苗木的净光合速率急剧增加,当光辐射强度增大至 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以上时,不同种源苗木的净光合速率变化不大,这说明不同种源高山栲苗木的光饱和点为 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,且为阳性树种。此时不同种源的净光合速率以 LL 种源为最大,为 $4.61 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其次为 ZY 种源,为 $4.38 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, SB 种源为 $4.11 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,

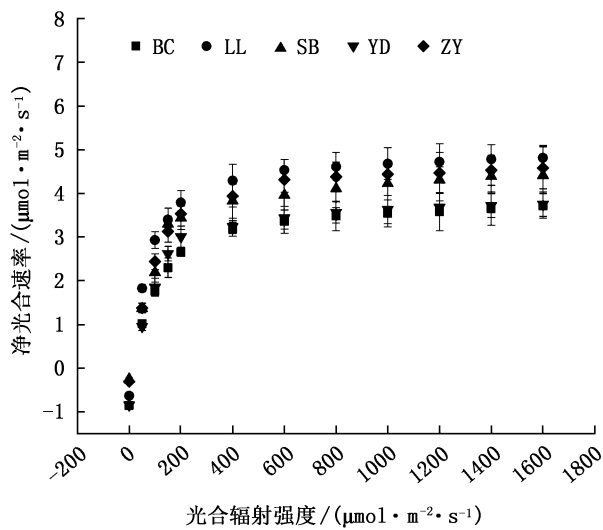


图 2 不同种源高山栲光响应曲线

Fig. 2 Light response curves of *Castanopsis delavayi* from different provenances

YD 种源为 $3.56 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, BC 种源最小, 仅为 $3.48 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。由此得到高山栲能应用在采伐迹地、裸地造林环境, 对强日照有效好的适应能力, 其中以 LL 种源的适应性最强。

3 讨论与结论

3.1 讨论

幼苗期是植物生活史中最为脆弱、对环境变化反应最为敏感的阶段, 其生长规律由遗传特性在环境条件下的适应性所决定^[14-15]。植物功能性状也易受环境因子的影响^[16-17], 经过地理隔离和自然选择, 树种会产生与生境相关的遗传变异以适应生长环境, 这在一定程度上有利于树种的生存和进化^[18]。地形和气候是影响高山栲分布的主要因素, 其中地形因子中海拔的影响最大, 最适的海拔范围在 $1400 \sim 2700 \text{ m}$; 其次是气候因子, 分布最适温度范围 $9 \sim 16.5^\circ\text{C}$, 高山栲的适生区域整体属于亚热带^[6]。本研究试验地位于昆明, 属于亚热带高原季风气候, 而镇沅属温带气候; 昆明海拔较镇沅更高, 受海拔影响, 昆明气温较镇沅低, 总体而言, 昆明海拔和温度均在高山栲最适生长范围内, 实验期间属于雨季, 雨季镇沅降水量为 1135.7 mm , 昆明降水量为 894.9 mm , 但昆明雨季于 5 月中旬至 10 月下旬终止, 雨季较长 (数据来自云南气候图册)。植物生长性状是试验地环境和遗传因素共同作用的结果, 种源间的生长表现依赖于对生境的适应性, 这综合体现了不同种源植物对生长环境的适应和自身遗传

结构在适应环境过程中的改变, 不同地点间光照、温度、降水等因素的差异, 导致不同种源对所处生境的生长适应性存在较大差异。

1) 株高、地径、冠幅等生物量指标是衡量植物生长情况的重要指标, 幼苗的生长指标在一定程度上能反应该植物对环境的适应能力^[19]。ZY 种源幼苗生长量优于其他 4 个种源, SB 和 YD 种源则劣于其他 3 个种源, 从生长性状和生长量来看, ZY 种源幼苗适应性更强。5 个种源生长性状由优到劣总体排序为 $\text{ZY} > \text{BC} > \text{LL} > \text{SB} > \text{YD}$ 。

2) 植物受到逆境胁迫时, 细胞内活性氧代谢平衡被破坏, 活性氧的大量积累会引起膜脂过氧化产物 MDA 含量增加, 细胞膜透性增加; 因此 MDA 含量常被作为表征细胞膜受损程度及其透性的指标, 反映对逆境抵抗力的强弱^[20]; MDA 含量越高说明植物细胞膜质过氧化程度高, 细胞膜受损伤严重, ZY 种源的高山栲幼苗 MDA 含量显著低于其他 4 个种源, 表明 ZY 种源幼苗的细胞膜受损程度更低。CAT 活性是指示植物对逆环境的适应能力的评价指标, 植物体内酶含量及活性能判断植物对逆境环境的适应能力; 植物中 CAT 可较好地清除细胞内产生破坏膜系统的 H_2O_2 ^[21], 维持膜的稳定; 5 个种源中 CAT 活性最高的是 ZY 种源。SOD 是消除植物体在新陈代谢过程中产生的有害物质的一种活性物质^[22], SOD 活性越高越有助于植物叶片细胞活性氧代谢达到平衡, 从而提高植物环境适应力, 5 个种源中 SOD 活性最高的是 ZY 种源。POD 在细胞氧化还原反应平衡中起到非常重要的作用, 对细胞代谢起重要的调控作用^[23-24], 是清除细胞内氧化物防止细胞受损的一种植物保护机制, 结果表明 LL 种源的 POD 活性最高, ZY 种源次之。综合保护酶测定结果可知, 适应性由强到弱排序为 $\text{ZY} > \text{LL} > \text{BC} > \text{YD} > \text{SB}$ 。

3) 光合作用是植物有机物和能量的来源, 在一定程度上决定植物的生长速率^[25]。高山栲光响应曲线及相关性研究表明 5 个种源净光合速率均随光合辐射强度的增加而上升, 在 $400 \sim 800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 后光合速率增长趋势变缓慢, 随后当光辐射强度大于 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 其速率变化并不明显, 部分种源产生了光抑制现象, 导致速率下降。总体而言, ZY 和 LL 两个种源在相同光强下的净光合速率大, 光合适应性强。

3.2 结论

5 个种源间不同性状表现出显著差异。研究表明高山栲种源间存在明显的地理遗传分化, 为优良

种源选择提供了重要依据。从5个种源高山栲幼苗的生长、生理指标表现来看,镇沅种源的高山栲幼苗具有较强的抗逆性和较快的生长速率,可作为高山栲繁育的优良种源。

参考文献:

- [1] 中国植物志编辑委员会. 云南植物志[M]. 北京:科学出版社,1998:64-65.
- [2] 田瑞杰,巩合德,雷晨雨,等. 不同种源高山栲种子性状特征及其变异[J]. 中南林业科技大学学报,2021(9):88-95,126.
- [3] 李鑫,李昆,段安安,等. 不同地理种源云南松苗期表型性状与生物量比较研究[J]. 西北林学院学报,2020,35(1):94-100,139.
- [4] 杨建军,苏文华,王玲玲,等. 高山栲叶性状种内变异及其与环境因子的关系[J]. 广东农业科学,2015,42(12):152-158.
- [5] 卢玲,王海英,图雅,等. 高山栲种子的超低温保存[J]. 东北林业大学学报,2013,41(7):6-8,14.
- [6] 周杰. 滇中半湿润常绿阔叶林建群种生境分异的多尺度研究[D]. 昆明:云南大学,2018.
- [7] 王晓丽,曹子林,朱霞,等. 高山栲水提液对云南松种子发芽的化感效应[J]. 山东林业科技,2007(6):4-6,3.
- [8] 王崇云,朱峰,张智英,等. 滇青冈和高山栲种子昆虫寄生及其对种群更新的影响[J]. 植物分类与资源学报,2014,36(5):629-638.
- [9] 张春华,雷晨雨,田瑞杰,等. 用材树种高山栲潜在适生区分布区及影响因子[J]. 西部林业科学,2021,50(3):28-33.
- [10] ZHAO H D, WANG B G, CUI K B, et al. Improving post-harvest quality and antioxidant capacity of sweet cherry fruit by storage at near-freezing temperature[J]. Scientia Horticulturae, 2019(246):68-78.
- [11] 蒋选利,李振岐,康振生. 过氧化物酶与植物抗病性研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001(6):124-129.
- [12] ROZENTSVET O A, BOGDANOVA E S, TABALENKOVA G N, et al. Morphological, physiological, and biochemical characteristics of adaptation of calciphytes of the genus *Hedysarum*[J]. Contemporary Problems of Ecology, 2021, 14(5):465-471.
- [13] 杨华,宋绪忠,王秀云. 高温胁迫对鹿角杜鹃的生理及生长影响[J]. 森林与环境学报,2020,40(3):284-289.
- [14] 刘从,田甜,李珊,等. 中国木本植物幼苗生长对光照强度的响应[J]. 生态学报,2018,38(2):518-527.
- [15] 王子芝,张王菲,周俊宏,等. 不同地理种源漆树幼苗光合特性研究[J]. 西南农业学报,2020,33(12):2783-2787.
- [16] 肖志鹏,殷崇敏,郭连金,等. 光质对香果树种子萌发及幼苗生长影响的研究[J]. 植物研究,2020,40(2):189-195.
- [17] 倪妍妍,胡军,刘建锋,等. 不同地理种源栓皮栎幼苗生长与物质分配的变化趋势[J]. 西北植物学报,2017,37(3):534-540.
- [18] 赵阳,毕泉鑫,句娇,等. 文冠果种子及苗期生长性状地理种源变异[J]. 林业科学研究,2019,32(1):163-171.
- [19] 靳小未. 松嫩平原虎尾草实验无性系生长可塑性与繁殖策略的研究[D]. 长春:东北师范大学,2018.
- [20] 林榕燕,吴建设,林兵,等. 杂交兰叶艺品系主要生理特性的比较[J]. 江苏农业科学,2021,49(13):136-140.
- [21] 马一丹. 不同种源樟树生长差异性及抗铜研究[D]. 南昌:南昌工程学院,2019.
- [22] 杨栋林,方铁男,潘巍,等. 海棠花种植水对2种沉水植物抗逆性的影响[J]. 安徽农业科学,2021,49(1):66-69.
- [23] FOYER C H, NOCTOR G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria[J]. Physiol Plant, 2003, 119(3):355-364.
- [24] YUN B W, SPOEL S H, LOAKE G J. Synthesis of and signalling by small, redox active molecules in the plant immune response [J]. Biochim Biophys Acta, 2012, 1820(6):770-776.
- [25] 倪建中,王伟,郁书君,等. 不同种源木棉生长及光合特性研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015,39(6):185-189.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.031

不同授粉方式对岑溪软枝油茶家系林座果率的影响研究

刘德承¹,姚国琼¹,彭雪迪¹,吴国文²,王劲松¹,李付伸¹,吴方圆²,黄志强¹

(1. 广西壮族自治区国有维都林场,广西 来宾 546100; 2. 广西壮族自治区林业科学研究院,广西 南宁 530000)

摘要:为探明不同授粉方式对岑溪软枝油茶家系林座果率的影响,采取异株异花授粉、同株异花授粉、同花人工授粉、同花授粉、对照 5 种不同方式对岑溪软枝油茶进行处理。结果表明:岑溪软枝油茶异株异花授粉处理的座果率最高,为 43.33%~63.33%,显著高于其他 4 种处理。油茶为自交不亲和物种,可通过人工异株异花授粉提高座果率的方式改善岑溪软枝油茶家系林花多果少、产量偏低的问题。

关键词:岑溪软枝油茶;授粉方式;座果率;自交不亲和性

中图分类号:S794.4;S334.22;S722.11 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0188-03

引文格式:刘德承,姚国琼,彭雪迪,等.不同授粉方式对岑溪软枝油茶家系林座果率的影响研究[J].林业调查规划,2023,48(4):188-190. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.031

LIU Decheng, YAO Guoqiong, PENG Xuedi, et al. Effect of Different Pollination Methods on Fruit Setting Rate of *Camellia oleifera* Cenruan Clone Forest[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 188-190. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.031

Effect of Different Pollination Methods on Fruit Setting Rate of *Camellia oleifera* Cenruan Clone Forest

LIU Decheng¹, YAO Guoqiong¹, PENG Xuedi¹, WU Guowen², WANG Jingsong¹,
LI Fushen¹, WU Fangyuan², HUANG Zhiqiang¹

(1. Guangxi Zhuang Autonomous Region State-owned Weidu Forest Farm, Laibin, Guangxi 546100, China;
2. Guangxi Zhuang Autonomous Region Academy of Forestry, Nanning 530000, China)

Abstract: In order to determine the effect of different pollination methods on the fruit setting rate of the *C. oleifera* Cenruan clone forest, a total of 5 different methods were selected, including different individual plant cross-pollination, same individual plant cross-pollination, artificial self-pollination, self-pollination and contrast. The results showed that the fruit setting rate of different individual plant cross-pollination was the highest, ranging from 43.33% to 63.33%, which was significantly higher than that of the other four treatment. In the future, the problem of low fruit-to-flower ratio of the *C. oleifera* Cenruan clone forest can be improved by means of different individual plant cross-pollination to increasing fruit setting rate.

Key words: *C. oleifera* Cenruan; pollination method; fruit setting rate; self-incompatibility

油茶(*Camellia oleifera*)为山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia*)植物,籽粒富含油酸、亚油酸和亚麻

酸等不饱和脂肪酸,与椰子、橄榄油和油棕并列世界四大木本油料植物^[1]。油茶果及其副产品被广泛

收稿日期:2022-03-04;修回日期:2022-03-18.

基金项目:广西创新驱动发展专项资金项目(桂科AA20302021-8).

第一作者:刘德承(1979-),男,广西象州人,工程师.研究方向为森林资源培育. Email:838388758@qq.com

责任作者:李付伸(1979-),女,广西博白人,高级工程师.研究方向为森林资源培育. Email:77007114@qq.com

应用于食品、医药、日用化工等领域,经济效益明显。油茶根系深、枝繁叶茂,具有保持水土、涵养水源、促进碳中和及维持生物多样性等森林功能,生态效益良好。油茶主要种植于山区,产业已带动许多贫困人口稳定脱贫,社会效益显著。广西作为全国油茶种植面积前三的省(区),随着油茶“双千”计划推进落实,截至2021年种植面积接近57.33万 hm^2 ,广西拥有岑溪软枝油茶、田阳玉凤油茶、三江孟江油茶、荔浦中果油茶、灵川葡萄油茶等丰富农家品种种质资源^[2],其中,岑溪软枝油茶具有速生、抗性强、适应性广、含油率高等优点,是广西重点推广及主要栽培的油茶良种。

1 研究区概况

广西壮族自治区国有维都林场雅江分场油茶产业示范基地面积139.2 hm^2 。基地位于东经109°33',北纬23°86',属中亚热带向南亚热带过渡的季风气候区,雨量充沛,日照充足。年均降雨量1360mm,年均日照时数1582h,年均温20.30℃,年均无霜期331d,土壤类型为红壤。气候土壤条件适宜岑溪软枝油茶生长。自2009年来,基地开始陆续种植岑溪软枝油茶。虽积极开展整形修剪、追肥、扩坎、砍杂及病虫害防治等油茶林抚育管护措施,但岑溪软枝油茶家系林种植区花多果少现象严重、产量偏低,造林后5~7年平均产油153 kg/hm^2 。排除气候、土壤、良种、抚育管护等方面因素,经多年生产实践观察,产量偏低的最大原因可能是座果率低。为提高岑溪软枝油茶座果率,采取5种不同方式对岑溪软枝油茶进行授粉处理,研究不同授粉方式对其座果率的影响。

2 试验材料和方法

2.1 试验材料

试验材料位于岑溪软枝油茶家系林种植区,种植时间为2011年3月,花期为每年10月中旬至12月下旬。选择无病虫害,长势均匀,开花结实正常的油茶株为试验材料。

2.2 试验方法

于2018年、2019年、2020年12月晴朗天气分别对岑溪软枝油茶进行试验处理,在同一供试植株的东南西北每个方位同一高度附近,每个处理均选择10朵含苞待放的正常健康花朵作为试验对象,5个处理共选择50朵花,同一植株4个方向合计200朵花,共选取3株树作为3个重复,每年共计试验处

理600朵花,用羊皮纸袋按不同方式套袋,并分别在各处理纸袋上做好标记,未套袋的对照组用扎红绳标记好试验花朵,各处理完成后至3月取下袋子。

1) 异株异花授粉:用镊子除去露白花朵的花瓣及雄蕊,用干净的棉球将收集的不同株成熟花粉刷到供试花柱头上,再用羊皮纸袋将花朵完全套住,把纸袋口沿着茎折叠,用曲别针将纸袋固定好,避免风或昆虫影响实验结果(套袋方法下同),操作流程如图1。

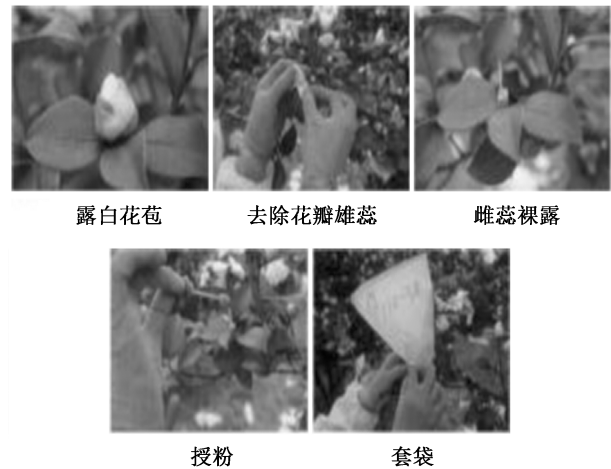


图1 授粉操作流程

Fig. 1 Process of pollination operation

2) 同株异花授粉:用镊子摘除露白花朵的花瓣及雄蕊,将收集的同株不同花的成熟花粉刷到供试花朵柱头上,再套袋。

3) 同花人工授粉:用毛笔将露白花朵的花粉刷到同一朵花的柱头上,然后套袋。

4) 同花授粉:将露白花朵套袋,不做授粉处理。

5) 对照:供试花朵不采取任何处理。

于授粉处理后的次年3月观测座果率,采用Excel 2007统计数据,运用SPSS 18.0作单因素方差分析,选用Duncan法作差异显著性分析。

3 结果与分析

异株异花授粉座果率为43.33%~63.33%,均值为55.55%;同株异花授粉座果率为16.67%~20.00%,均值为17.78%;同花人工授粉座果率为6.67%~10.00%,均值为8.89%;同花授粉座果率为0%~3.33%,均值为2.22%;对照油茶座果率为3.33%~6.67%,均值为5.55%。不同授粉方式处理下岑溪软枝油茶座果率均值由高到低的顺序为:异株异花授粉>同株异花授粉>同花人工授粉>对照>同花授粉,且每年座果率情况均与座果率均值排序一致(表1)。

表 1 不同授粉处理下岑溪软枝油茶座果率

Tab. 1 Fruit setting rate of *C. oleifera* Cenruan by different pollination treatment %

授粉年份	异株异花授粉	同株异花授粉	同花人工授粉	同花授粉	对照
2018	43.33	16.67	10.00	3.33	6.67
2019	63.33	20.00	6.67	0	6.67
2020	60.00	16.67	10.00	3.33	3.33
均值	55.55	17.78	8.89	2.22	5.55

SPSS 分析结果表明,异株异花授粉座果率显著高于同株异花授粉、同花授粉、对照和同花人工授粉的座果率;同株异花授粉座果率显著高于同花授粉、对照的座果率;同株异花授粉座果率与同花人工授粉座果率差异不显著;同花授粉、对照和同花人工授粉的座果率不存在显著差异(表 2)。

表 2 不同授粉处理下岑溪软枝油茶座果率差异比较

Tab. 2 Difference comparison of *C. oleifera* Cenruan fruit setting rate by different pollination treatment

处理	株数/株	1	2	3
同花授粉	3	0.02		
对照	3	0.05		
同花人工授粉	3	0.09	0.09	
同株异花授粉	3		0.18	
异株异花授粉	3			0.55
显著性		0.14	0.06	1.00

注:显著性水平为 0.05。

在同一年份、同等地力条件和同等气候条件下,不同授粉处理的岑溪软枝油茶座果率存在差异,差异受物种特性、风和授粉昆虫等因素影响。上述结果中,异株授粉的座果率显著高于同株授粉,因为油茶是自交不亲和物种,自交授粉的花粉管会生成胼胝质^[1],抑制受精,导致座果率极低或不能坐果,而异交授粉的花粉管则不产生胼胝质,授粉成功率较高。同花人工授粉高于同花授粉,原因是人工授粉确保了 100%传粉。同花人工授粉座果率高于对照座果率,说明此实验地人工授粉对岑溪软枝油茶结实的促进作用高于风力或昆虫传粉。对照座果率高于同花授粉座果率,可能是油茶花粉被风吹到对照花的柱头上,或是有昆虫在对照花上采集花粉,同时携带了不同株油茶的花粉,使对照花发生异花授粉,提高了座果率。另外,相同授粉处理的油茶花在不同年份里座果率也存在差异,可能是不同年份间的降雨量、温度等气候因素或人为管护差异引起。

4 结 论

实验结果表明,自然条件下岑溪软枝油茶座果率低下,异株异花授粉能显著提高岑溪软枝油茶的座果率。油茶为后期自交不亲和性植物^[3],异交与自交花粉均能在柱头上萌发,但异交花粉管的生长势和生长速度均强于自交花粉管,异交花粉管多能成功进入子房和胚囊,而自交花粉管则极少能正常进入子房,故自然条件下油茶败育现象普遍存在。

自交不亲和性是植物进化而来的预防近亲繁殖、保持遗传变异的异花授粉遗传机制,是促进被子植物进化的原因之一。但自交不能结实或结实极少,对油茶实际生产极其不利,严重影响油茶经济效益,限制油茶产业发展。油茶败育受花粉量、花粉活力、复等位不育性基因、品种、光照等内外因素影响,主要由品种内部因素决定。不同油茶种质自然座果率大相径庭,如岑溪软枝油茶为 6.67%,攸县油茶为 13%^[4],长林油茶为 12.15%^[5],岑溪软枝油茶座果率明显低于其他油茶座果率,亟需采取有效措施提高。本研究发现人工异株异花授粉能有效促进岑溪软枝油茶结实,应在生产中应用推广。但人工授粉耗时长、成本高,实际生产可采用无人机喷撒花粉水溶液的方式进行授粉^[6],或引进熊蜂^[7]、地蜂、蜜蜂、胡蜂^[8]等油茶传粉昆虫辅助授粉。

参考文献:

- [1] 廖婷. 油茶自交不亲和性初步研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2013:22.
- [2] 童德文,秦旭东. 广西油茶现代种业现状与发展对策[J]. 广西林业科学,2012,41(4):397-399.
- [3] 高超. 油茶后期自交不亲和性的细胞学研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2017.
- [4] 杨亚,袁德义,刘东明,等. 不同授粉方式对攸县油茶坐果率及果实生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2016,36(2):61-65.
- [5] 李乾明,李晓春,罗颖. 油茶不同授粉方式对其经济性状的影响[J]. 南方林业科学,2019,47(5):28-30.
- [6] 欧阳曦. 让农业种植更智慧更高效河南无人飞机为油茶授粉[J]. 乡村科技,2020,11(33):2.
- [7] 钟培星,谢再成,吴延旭,等. 熊蜂对油茶授粉结实的影响初探[J]. 中国蜂业,2019,70(7):4.
- [8] 韦小平,林平,王海,等. 贵州不同生境油茶林传粉昆虫的多样性及其优势种的访花行为[J]. 西南农业学报,2020,33(10):8.

责任编辑:杨焱焱

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.032

香格里拉普朗尾矿区工程边坡植被恢复调查研究

邹国富¹, 黄云朝², 杨继清², 朱辉¹, 雍伟勋¹

(1. 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司, 云南 昆明 650000; 2. 云南农业大学, 云南 昆明 650201)

摘要:为研究香格里拉市高寒山区工程边坡迹地植物群落结构,以香格里拉普朗尾矿区工程边坡迹地为研究对象,研究其植物群落的物种组成、物种相似性及物种多样性。结果表明:工程迹地乔木层的优势种主要是丽江云杉,灌木层优势种以川滇高山栎为主,其次是滇西北小檗和西南蔷薇,草本层优势种以苔草、蒿等植物为主,未受破坏的自然林地植物优势种更为多元化;工程迹地 1 年自然恢复样地与自然群落样地物种相似性指数较小,为 0.03~0.30;工程迹地多年自然恢复样地物种与自然群落样地物种相似性系数较高,最高为 0.43;F1 样地草本层 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数均较大,但不同工程迹地之间差别较小。草本层自然恢复较快,在演替早期,草本植物中的蒿、苔草、野青茅及西南鳶尾等植物,可作为工程迹地植被恢复的先锋植物。

关键词:工程迹地;植被恢复;物种多样性;优势种;香格里拉市

中图分类号:S758.8;X171.4;Q945.3 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0191-06

引文格式:邹国富,黄云朝,杨继清,等. 香格里拉普朗尾矿区工程边坡植被恢复调查研究[J]. 林业调查规划, 2023,48(4):191-196. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.032

ZOU Guofu, HUANG Yunzhao, YANG Jiqing, et al. Investigation on Slope Vegetation Restoration of Pulang Tailings Area in Shangri-La City[J]. Forest Inventory and Planning, 2023,48(4):191-196. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.032

Investigation on Slope Vegetation Restoration of Pulang Tailings Area in Shangri-La City

ZOU Guofu¹, HUANG Yunzhao², YANG Jiqing², ZHU Hui¹, YONG Weixun¹

(1. China Non-ferrous Metal Industry Kunming Exploration Design Research Institute, Kunming 650000, China;
2. Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: In order to study the plant community structure of the engineering slope in the alpine mountain area of Shangri-La City, the engineering slope in the Pulang tailings area was taken as the research object to study the species composition, species similarity, and species diversity of the plant community. The results showed that the main dominant species in the arbor layer of the project slash was *Picea likiangensis*, the dominant species in the shrub layer were *Quercus aquifolioides*, followed by *Berberis franchetiana* and *Rosa murielae*, the dominant species in the herbaceous layer were *Carex* sp. and *Artemisia* sp., and the dominant species of plants in undamaged forest land were more diversified; the similarity index between the species in the one-year engineering site and the natural community species was small, ranging from 0.03 to 0.30; the similarity index between the species in the multi-year engineering natural

收稿日期:2022-02-15.

基金项目:校企合作项目(20200618);云南省教育厅基金项目(2021J0123).

第一作者:邹国富(1970-),男,黑龙江林甸人,正高级工程师.研究方向为地质工程与生态修复. Email:gwenling2008@sina.com

restoration site and the natural community species was higher, with a maximum of 0.43; in terms of community species diversity, Simpson diversity index and Shannon-Wiener diversity index of herb layer were larger in F1 sample plot, but there was little difference between different project slash. In conclusion, the natural recovery and renewal of the herb layer was faster, in the early stage of succession, herbaceous plants, especially *Artemisia* sp., *Carex* sp., *Deyeuxia* sp. and *Iris bulleyana*, can be used as pioneer plants for vegetation restoration in project slash.

Key words: project slash; vegetation restoration; species diversity; dominant species; Shangri-La City

香格里拉市位于云南省西北部“三江并流”国家级风景名胜区腹地,由于金沙江在其南侧和东侧环切,使其形成一个较为独立和完整的区域。该区域人口密度小,交通不便,植被保存较为完好;由于山高谷深,形成了显著的立体气候,植被垂直带谱完整,生物资源十分丰富,是滇西北生物多样性的缩影和代表,具有较高研究价值^[1]。然而香格里拉市主要属于高寒山区,冬季气候严寒,生态系统十分脆弱。随着香格里拉市高寒地区的开发,矿山、公路、铁路等工程建设形成了大量高陡边坡,工程迹地生态环境极度退化,植物群落结构遭到严重破坏,生物多样性急剧降低,对其植被恢复难度较大,极具挑战性。因此,需重视高寒山区边坡迹地植被恢复工作。

植物多样性恢复是受损生态系统重建的重要内容,其变化说明了植被的恢复进程^[2-4]。植物多样性研究有利于预测植物群落的演替方向及群落稳定程度^[5]。

针对高原高寒山区高陡边坡工程迹地植被自然恢复的研究比较薄弱。对香格里拉普朗尾矿区不同年份形成的工程边坡迹地和原生植被群落进行调查分析,了解工程建设形成的高陡边坡迹地植被自然恢复群落组成、结构特征及生物多样性特征,为后续的生态修复研究提供参考。

1 研究地区与调查方法

1.1 研究区概况

香格里拉市位于云南省西北部的迪庆州东部,属青藏高原南缘横断山脉腹地,地处北纬 26°52′~28°52′,东经 99°20′~100°29′(图 1)。研究区海拔 3 250~3 800 m,属寒温带山地季风气候,常年气温偏低,热量不足,干湿季分明;气象站年均温 6.3℃,平均最高温 14℃,平均最低温 -1.6℃,≥10℃年积温 1 200~1 556℃,年均降雨量 618.4 mm,年日照时数 2 180.3 h,年均相对湿度 70%,霜期 244 d,日温差大,太阳辐射强烈^[6]。

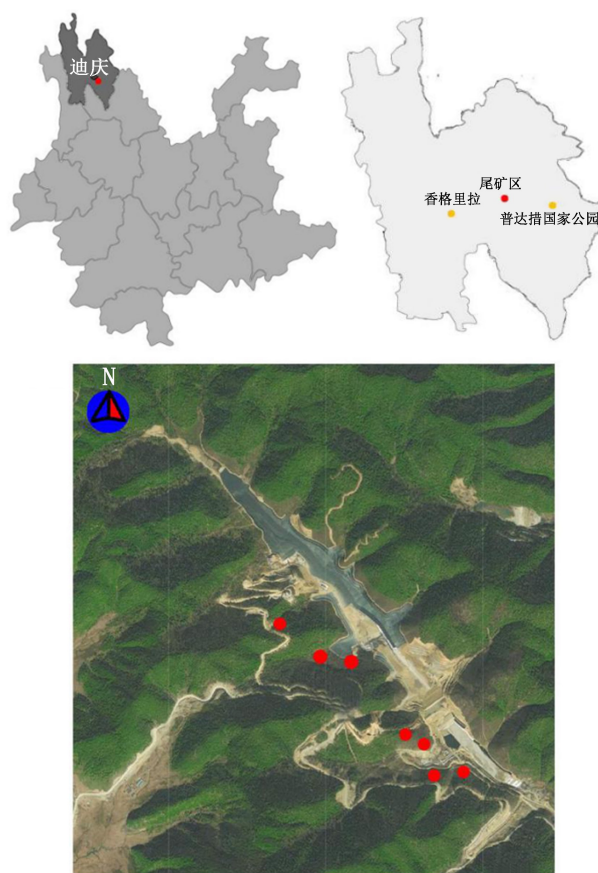


图 1 研究样地区位

Fig. 1 Location of study sample plot

1.2 试验区样地布设

具体调查地点位于香格里拉市格咱乡普朗铜矿尾矿区。在现场踏查基础上,共设置 14 个样方,其中自然植物群落样地 4 个(A1、A2、B1、B2),表面为松软土壤,林下腐殖质丰富,土壤肥力较好;工程边坡迹地 5 年自然恢复样地 2 个(E1、E2),表面有少量碎石,土壤肥力较好;工程边坡迹地 1 年自然恢复样地 6 个(C1、C2、D1、D2、F1、F2),表面有大量小碎石和零星大石块,原有土壤层被破坏,土壤肥力贫瘠,保水能力差;人工恢复边坡迹地 2 个(G1、G2),土壤中加入了腐殖土和肥料。

1.3 采样方法

主要关注工程迹地植物恢复生长一至多季后的草本层和多年(5年)演替的灌木层。2021年5—9月在研究区内选择14个样地进行调查,每个样地设置20m×20m调查区,记录区内植物种名。在每个10m×10m样方中对乔木和灌木进行调查,记录植物名称、数量、盖度、高度等指标;在每个10m×10m样方设置3个1m×1m小样方,进行草本植物调查,记录其名称、数量、盖度、高度等指标。

1.4 调查数据处理

采用重要值表示物种的优势度,重要值(VI)=(相对密度+相对频度+相对盖度)/3。草本层使用相对高度代替相对密度,乔木层中的相对盖度指相对基盖度。采用Simpson多样性指数、Shannon-Wiener多样性指数、Hurlbert均匀度指数和Margalef丰富度指数进行计算。

Simpson多样性指数 D :

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (1)$$

Shannon-Wiener多样性指数 H :

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

Hurlbert均匀度指数 E :

$$E = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{H}{\ln S} \quad (3)$$

Margalef丰富度指数 R :

$$R = \frac{(S - 1)}{\ln N} \quad (4)$$

Jaccard物种相似性指数 I :

$$I = c / (a + b - c) \quad (5)$$

式中: c 表示A和B两个样地群落的共有植物种数; a 表示样地A群落的植物种数; b 表示样地B群落的植物种数。

2 结果与分析

2.1 样地群落组成与结构

调查发现,不同类型工程迹地的植被均有不同程度的恢复,植被恢复初期以草本居多,有少量的灌木或乔木。工程迹地植物群落结构较为简单,植物物种相对单一,主要有菊科(Compositae)蒿属(*Artemisia* sp.),禾本科(Gramineae)野青茅属(*Deyeuxia* sp.),莎草科(Cyperaceae)苔草属(*Carex* sp.)。未受破坏的自然林地植物种类呈现多样化趋势,群落结构相对复杂,乔木层有丽江云杉(*Picea likiangensis*)、高山松(*Pinus densata*)、白桦(*Betula platyphylla*)等,灌木有滇西北小檗(*Berberis franchetiana*)、西南蔷薇(*Rosa murielae*)、云南锦鸡儿(*Caragana franchetiana*)、川滇高山栎(*Quercus aquifolioides*)和红棕杜鹃(*Rhododendron rubiginosum*)等。

在工程迹地中,多年自然恢复样地E1植物物种最多,共有18科26属29种,草本层最为丰富,草本种类大于自然植物群落,但缺少乔木层;而工程迹地人工恢复地(G1)植物物种相对较少,共有6科5属6种;工程迹地自然恢复地(C1、C2)只有草本层;自然植物群落(B2)草本层最为发达,主要有苔草(*Carex* sp.)和西南鸢尾(*Iris bulleyana*)等,灌木为川滇高山栎;E1和E2群落组成只有草本和灌木,缺少乔木层植物。样地基本信息见表1。

表 1 样地基本信息

Tab. 1 Basic information of sample plot

样地编号	描述	海拔 /m	经纬度	坡度 / (°)	坡向	人工干扰
A1	自然边坡植物群落	3265	100°59'10"E, 27°59'10"N	42	东	放牧
A2	自然边坡植物群落	3265	100°59'10"E, 27°59'10"N	40	东	放牧
B1	自然边坡植物群落	3225	100°42'10"E, 29°11'0"N	52	北	放牧
B2	自然边坡植物群落	3225	100°42'10"E, 29°11'0"N	49	北	放牧
C1	工程迹地1年自然恢复边坡	3258	99°45'56"E, 27°59'10"N	35	东北	放牧
C2	工程迹地1年自然恢复边坡	3258	99°45'56"E, 27°59'10"N	37	东北	放牧
D1	工程迹地1年自然恢复边坡	3333	102°44'44"E, 25°80'10"N	19	东	放牧
D2	工程迹地1年自然恢复边坡	3333	102°44'44"E, 25°80'10"N	20	东	放牧
E1	工程迹地5年自然恢复边坡	3267	99°42'49"E, 27°50'0"N	23	北	放牧
E2	工程迹地5年自然恢复边坡	3267	99°42'49"E, 27°50'0"N	21	北	放牧
F1	工程迹地1年自然恢复边坡	3331	99°45'52"E, 27°60'06"N	41	东南	放牧
F2	工程迹地1年自然恢复边坡	3331	99°45'52"E, 27°60'06"N	38	东南	放牧
G1	工程迹地人工恢复边坡	3183	99°38'48"E, 28°04'08"N	50	南	放牧
G2	工程迹地人工恢复边坡	3183	99°38'48"E, 28°04'08"N	47	南	放牧

2.2 不同样地优势种

重要值是衡量群落中植物是否为优势种的一项重要指标。通过对重要值的分析可找出群落中的主要优势物种^[7](表 2)。

1)对乔木层而言,白桦—丽江云杉混交林(A1)以白桦和丽江云杉为优势种,白桦的重要值大于丽江云杉。自然群落(A2)有 3 种乔木,重要值大小排序分别是白桦>丽江云杉>高山松;工程迹地中未见乔木。

2)对灌木层而言,川滇高山栎为多年工程迹地(E1、E2)主要优势种。自然植物群落 B1 样地灌木物种重要值位于前 3 位的依次为西南蔷薇、红棕杜鹃、滇西北小檗;B2 样地灌木物种川滇高山栎和西南蔷薇的重要值较高,滇西北小檗的重要值较小;A1 群落灌木物种重要值位于前 3 位的分别为川滇高山栎、西南蔷薇和滇西北小檗;B2 和 E2 样地灌木优势种相同,均为西南蔷薇、滇西北小檗及川滇高山栎;未收破坏的自然群落中灌木优势种均为川滇高山栎、西南蔷薇及滇西北小檗。

3)工程迹地上草本层的优势植物主要有蒿(*Artemisia sp.*)、西南鸢尾、苔草,其次是接骨草(*Sambucus chinensis*)、蕨(*Pteridium sp.*)、柳兰(*Epilobium angustifolium*)、西南委陵菜(*Potentilla lineata*)等;未受损林地重要值位于前 3 位的分别为西南鸢尾、苔草、蒿。

2.3 群落相似性

物种间相似性是植物群落重要的数量和结构特征之一,是衡量 2 个物种相似程度的一项指标^[10]。研究区植物群落相似性见表 3。

由表 3 可知:轻度相似占比为 10.4%,极不相似占比为 89.5%,相似度最高的是 B1 和 B2、B2 和 E2,B1 和 E2,其余各地均为极不相似。工程迹地 1 年自然恢复样地物种与自然群落样地物种相似性指数较小,为 0.03~0.30;其中工程迹地多年自然恢复样地(E2)物种与自然群落样地物种相似性系数较高,最高为 0.43;工程迹地人工恢复样地与自然群落样地共有物种少,相似性系数仅为 0.02~0.06。工程迹地与未受损自然群落物种相似性系数大小依次为 E2>E1>D1>D2。相比而言,工程迹地多年自然恢复样地之间物种较为相似,其物种相似性指数为 0.14~0.43。其中:E2 和 B2 样地间物种相似性系数最大,为 0.43;E1 与 A1、A2、B1、B2 物种相似性系数相对较小;不同工程迹地之间主要共有物种

表 2 不同工程迹地植物前三位重要值

Tab. 2 Top three important values of plants in different project slashes

样地 编号	草本		灌木		乔木	
	物种	重要值	物种	重要值	物种	重要值
A1	西南鸢尾	0.20	川滇高山栎	0.42	白桦	0.72
	苔草	0.20	滇西北小檗	0.12	丽江云杉	0.12
	蕨	0.19	西南蔷薇	0.16	高山松	0.09
A2	西南鸢尾	0.24	川滇高山栎	0.64	白桦	0.64
	苔草	0.23	西南蔷薇	0.12	丽江云杉	0.22
	西南委陵菜	0.16	红棕杜鹃	0.12	高山松	0.14
B1	苔草	0.28	西南蔷薇	0.26		
	桂皮紫萁	0.22	红棕杜鹃	0.20		
	西南鸢尾	0.21	滇西北小檗	0.14		
B2	西南鸢尾	0.18	川滇高山栎	0.42		
	蒿	0.44	西南蔷薇	0.38		
	小花野青茅	0.23	滇西北小檗	0.20		
C1	蒿	0.28				
	苔草	0.24				
	接骨草	0.22				
C2	接骨草	0.29				
	酸模	0.18				
	苔草	0.22				
D1	蒿	0.41				
	西南委陵菜	0.13				
	柳兰	0.11				
D2	西南鸢尾	0.40				
	蒿	0.21				
	柳兰	0.21				
E1	蒿	0.38	川滇高山栎	0.72		
	西南鸢尾	0.23	西南蔷薇	0.18		
	西南委陵菜	0.21	滇西北小檗	0.10		
E2	西南鸢尾	0.27	川滇高山栎	0.62		
	接骨草	0.16	西南蔷薇	0.20		
	蒿	0.17	滇西北小檗	0.18		
F1	繁缕	0.22				
	蒿	0.15				
	苔草	0.20				
F2	蒿	0.17				
	柳兰	0.16				
	苔草	0.23				
G1	蒿	0.44				
	西南委陵菜	0.23				
	西南鸢尾	0.20				
G2	鸭茅	0.17				
	蒿	0.38				
	接骨草	0.18				

表 3 植物群落相似性
Tab. 3 Plant community similarity

	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G1	G2
A1	1.00													
A2	0.33	1.00												
B1	0.39	0.37	1.00											
B2	0.12	0.23	0.44	1.00										
C1	0.03	0.03	0.04	0.14	1.00									
C2	0.12	0.06	0.09	0.30	0.17	1.00								
D1	0.09	0.09	0.08	0.08	0.29	0.12	1.00							
D2	0.08	0.05	0.08	0.08	0.13	0.11	0.11	1.00						
E1	0.21	0.14	0.22	0.26	0.13	0.19	0.10	0.10	1.00					
E2	0.32	0.16	0.38	0.43	0.17	0.19	0.10	0.06	0.21	1.00				
F1	0.14	0.12	0.20	0.11	0.08	0.10	0.06	0.06	0.09	0.19	1.00			
F2	0.07	0.04	0.03	0.14	0.29	0.13	0.17	0.13	0.12	0.09	0.05	1.00		
G1	0.04	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.06	0.03	0.09	0.03	0.03	0.03	1.00	
G2	0.03	0.04	0.03	0.06	0.23	0.06	0.12	0.09	0.08	0.03	0.03	0.02	0.13	1.00

注:全不相似为 0.00,极不相似为 0.01~0.25,轻度相似为 0.26~0.50,中度相似为 0.51~0.75,极为相似为 0.76~0.99,完全相似为 1.00。

有蒿、西南鸢尾、接骨草、西南委陵菜、小花野青茅、蕨。由于工程迹地多年自然恢复边坡经过多年发育,植被群落达到相对稳定的状态,而工程迹地 1 年自然恢复是在原生演替初期,演替时期不同,因此群落物种相似性低。

2.4 工程迹地草本层多样性指数分析

对于工程扰动后多样性指数的计算和分析能够反映植物群落的生境差异、群落的结构类型、演替阶段和稳定性程度。研究样地的草本植物多样性指数见表 4。

表 4 不同迹地草本层多样性指数
Tab. 4 Diversity index of herb layer in different slashes

样地 编号	乔木				灌木				草本			
	D	H	E	R	D	H	E	R	D	H	E	R
A1	0.59	0.99	0.91	0.91	0.74	1.59	0.76	2.10	0.85	2.27	0.16	2.37
A2	0.48	0.67	0.97	0.62	0.70	1.47	0.75	1.75	0.87	2.21	0.16	2.26
B1	0.41	0.60	0.86	0.51	0.64	1.20	0.74	1.48	0.79	1.89	0.17	1.92
B2	0.41	0.60	0.86	0.51	0.65	1.15	0.71	1.31	0.67	1.46	0.18	1.50
C1									0.78	1.86	0.19	1.71
C2									0.85	1.97	0.25	1.85
D1									1.00	0.14	0.01	2.07
D2									0.76	1.49	0.30	1.18
E1									0.85	2.23	0.16	2.61
E2									0.91	2.36	0.15	3.16
F1									0.92	2.62	0.14	2.90
F2									0.84	2.07	0.19	2.22
G1					0.48	0.67	0.61	0.67	0.78	1.73	0.22	1.50
G2					0.65	1.08	0.77	1.54	0.80	1.81	0.20	1.45

注:D为 Simpson 指数,H为 Shannon-Wiener 指数,E为 Hurlbert 均匀度指数,R为 Margalef 丰富度指数。

工程迹地样地中草本层群落 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数小于自然植物群落,说明工程迹地植被处于恢复初期,物种多样性必定小于长期稳定的未受损自然群落。然而均匀度与未受损的自然群落差距不大,甚至 D2 均匀度大于自然群落均匀度。草本层 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 指数在 E2 样地均较大,分别为 3.16、2.36,Shannon-Wiener 指数 F1 样地最大(2.62)。原有植被被破坏后,最先恢复的是草本层,因此,各样地草本多样性指数总体上差异不大。工程迹地草本层多样性指数高于未受损的自然群落,而自然群落多样性指数和丰富度指数并不高,原因可能是稳定的乔木和灌木群落影响到林下草本层植物的多样性。

3 结 论

工程边坡表层由大量的风化碎石组成,养分极其缺乏,肥力和保水能力均较差,给植被恢复造成很大困难,这与相关研究结果一致^[8-10]。本研究发现,菊科的蒿属、禾本科的野青茅属、鸢尾科的西南鸢尾、莎草科的苔草等植物在工程边坡早期恢复的植物群落里占显著优势,对工程迹地植被恢复有重要作用,是高寒山区常见的先锋植物物种。在工程迹地植被恢复早期,草本植物能较快恢复,灌木次之,而乔木在短时间内很难恢复。因此,工程迹地植被恢复早期的植被类型主要为草本植物群落,乔木较少。从生态修复的角度不仅要考虑植物的抗性和适用性,也要考虑先锋植物种源的获取难易程度,以降低生态恢复的成本。蒿属、小花野青茅、西南鸢尾等草本植物不仅抗性和适用性强,且种子量大、容易获取,建议今后可作为高寒地区边坡生态恢复的先锋物种。

植被恢复是受损边坡生态重建的一项重要环节,然而植被的自然恢复与演替是一个长期过程,尤其是在高寒山区,植物生长期较短,生长较为缓慢,所以对于研究区应进行长期持续的跟踪观测,以便更加深入地解析高寒植被自然恢复与演替的过程,为高寒山区工程边坡的植被恢复与重建提供理论依据。在植被恢复工作中,建议采取自然恢复与人工

恢复相结合的方法,以加快工程边坡的植被恢复进程;植物种类选择方面,优先采集当地先锋物种种子进行播种,尽量做到灌草合理搭配,使受损的工程边坡植被得到快速有效的恢复。

调查区域工程边坡迹地植被破坏较为严重,目前仍处于恢复期,且植被恢复程度不同,其中草本层自然恢复与更新较快,其次为灌木层。未受到破坏的自然群落植物优势种更为多元化。在演替早期,草本植物中的野青茅属、蒿属、苔草及西南鸢尾等,可作为工程迹地恢复初期的先锋植物。

参考文献:

- [1] 李瑞年,杜凡,李云琴,等. 香格里拉县种子植物多样性海拔分布格局[J]. 西南林业大学学报,2013,33(2): 13-18.
- [2] 彭少麟,方炜,任海,等. 鼎湖山厚壳桂群落演替过程的组成和结构动态[J]. 植物生态学报,1998,22(3):245-249.
- [3] 常学礼,邬建国. 科尔沁沙地沙漠化过程中的物种多样性[J]. 应用生态学报,1997,8(2):151-156.
- [4] 罗双,孙海龙,刘冲,等. 四川道路边坡自然恢复的植被多样性研究[J]. 水土保持研究,2011,18(6):51-56.
- [5] 朱晓勇,胡海波,鲁小珍,等. 太湖西区公路两侧植物物种多样性的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2006,30(3):85-88.
- [6] 席赠濮,杜凡,汪健. 香格里拉县亚高山退化草甸植物群落学研究[J]. 西南林业大学学报,2013,33(2):13-18.
- [7] 冶民生. 岷江上游植被群落特征研究[D]. 北京:北京林业大学,2007.
- [8] 梁超,赵廷宁,史常青,等. 基于 NDVI 的汶川大地震前后北川县次生地质灾害区植被破坏评估[J]. 中国水土保持科学,2013,11(4):86-92.
- [9] 锦春,何丙辉,徐小军,等. 汶川草坡乡地震次生灾害迹地植物群落的恢复研究[J]. 西南大学学报(自然科学版),2013,35(4):51-56.
- [10] 崔艳红,史常青,孙丽文,等. 5·12 地震后北川次生灾害迹地植被的自然恢复与更新[J]. 浙江农林大学学报,2018,35(2):219-226.

责任编辑:杨竣熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.033

香格里拉市泥炭沼泽生态系统服务功能价值评估

刘茜,沙剑斌,吴婧,秦燕,蒋丽华
(云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051)

摘要:香格里拉市高寒地区分布有众多泥炭沼泽生态系统,在云南省具有典型性、代表性,在湿地生态系统功能调节过程中具有不可估量的作用。根据《云南省泥炭沼泽碳库调查报告》,结合香格里拉市泥炭沼泽生态系统特点,构建了泥炭沼泽生态系统服务功能价值评估指标体系,评估了支持功能、调节功能和文化功能 3 项服务功能价值,包括 8 个具体评价指标。估算结果表明,香格里拉市泥炭沼泽生态系统服务功能总价值为 5.99 亿元/a,单位面积价值为 110.86 元/(m²·a),其中:间接价值占总价值的 95.32%,蓄水调洪、固氮释氧以及气候调节价值最显著。

关键词:泥炭沼泽;生态系统服务功能;价值评估;香格里拉市

中图分类号:S718.557;P941.78 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0197-05

引文格式:刘茜,沙剑斌,吴婧,等.香格里拉市泥炭沼泽生态系统服务功能价值评估[J].林业调查规划,2023,48(4):197-201. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.033

LIU Qian, SHA Jianbin, WU Jing, et al. Value Evaluation of Peatlands Ecosystem Services in Shangri-La City[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4):197-201. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.033

Value Evaluation of Peatlands Ecosystem Services in Shangri-La City

LIU Qian, SHA Jianbin, WU Jing, QIN Yan, JIANG Lihua
(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: There are many peatlands ecosystems in the alpine region of Shangri-La City, which are typical and representative in Yunnan Province, and play an immeasurable role in the regulation of wetland ecosystem functions. Based on the *Investigation Report on Carbon Storage of Peatlands in Yunnan Province*, combined with the characteristics of the peatlands ecosystem in Shangri-La City, this paper constructed a peatlands ecosystem services value evaluation index system, and evaluated 3 services of support function, regulation function and cultural function, including 8 specific evaluation indicators. The estimation results showed that the total value of the peatlands ecosystem services in Shangri-La City was 599 million yuan/a, and the unit area value was 110.86 yuan/(m²·a), of which the indirect value accounted for 95.32%, and the value of the water storage and flood regulation, the nitrogen and oxygen release and the climate regulation was the most significant.

Key words: peatlands; ecosystem services; value evaluation; Shangri-La City

泥炭沼泽是地表常年过度湿润或土壤表面有薄层积水,且生长有湿生或沼生植物,土壤发育有泥炭

收稿日期:2021-12-20;修回日期:2022-03-17.

第一作者:刘茜(1990-),女,河北怀安人,硕士,工程师.主要从事林业调查规划和自然保护区研究监测工作. Email:873183472@qq.com
责任作者:沙剑斌(1985-),男,云南个旧人,硕士,工程师.主要从事林业调查规划和自然保护区研究监测工作.

Email:shajianbing-angel@163.com

层的湿地^[1],具有固碳释氧、蓄水调洪、气候调节、土壤保持、净化水质、调节径流、补充地下水、休闲娱乐、科研教育等多种生态功能。泥炭沼泽作为湿地生态系统的重要组成部分,单位面积碳储量在各类陆地生态系统中最高,是陆地生态系统中重要的碳库^[2]。

科学化的保护、管理和利用泥炭沼泽湿地资源^[3],必须以泥炭沼泽生态服务价值优化为前提条件,同时估算泥炭沼泽价值也为该条件提供依据和基础^[4]。通过泥炭沼泽湿地价值评估,可为相关部门决策者提供泥炭沼泽湿地规划保护,为泥炭沼泽湿地资源的价值折算和有效补偿提供充分的科学依据。因此,无论从保护还是利用角度,无论是现今的需求还是未来的发展,泥炭沼泽生态价值评估均具有重要的现实意义和长远的战略发展意义。

迪庆州香格里拉市泥炭沼泽生态系统在云南省具有典型性和代表性,本文参照生态系统服务功能评估方法和香格里拉市泥炭沼泽价值组成,构建泥炭沼泽生态系统价值评估体系,估算香格里拉市泥炭沼泽生态系统服务功能价值,为泥炭沼泽资源保护和可持续发展提供依据。

1 研究区概况

香格里拉市位于云南省西北部,地处滇、川、藏的“大三角”区域,地理坐标为东经 99°20′~100°19′、北纬 26°52′~28°52′,是迪庆州府所在地。境内水资源丰富,共有大小河流 244 条^[5],高原湖泊(含冰碛湖)298 个,分布在海拔 3 000~4 500 m 范围。属山地寒温带季风气候,地势较高,气温偏低,具四季不分明,夏秋季节多阴雨,冬春季节多干旱的气候特征。

根据《云南省泥炭沼泽碳库调查报告》,香格里拉市泥炭沼泽斑块共计 52 个,总面积为 540.32 hm²,占湿地总面积的 2.09%,占全市土地面积的 0.05%,主要分布于建塘镇、小中甸镇河格咱乡,均为低位富营养泥炭沼泽^[6]。按植被类型划分,有灌丛泥炭沼泽 6 个,草本泥炭沼泽 46 个,以华扁穗草群系为主,同时还有少量的大狼毒群系、密枝杜鹃群系、灯心草群系、小灯心草群系和水甜茅群系。

2 研究方法

2.1 数据来源

数据依托 2016 年《云南省泥炭沼泽碳库调查报告》和香格里拉市税务局、环保局、旅游局等相关地方部门提供的统计数据资料,以及相关文献资料中析出的参数,对研究区域泥炭沼泽生态服务功能价

值进行评估。

2.2 评估指标体系

湿地生态服务价值评估中最常使用的是 Costanza^[7]提出的 17 项生态服务功能分类体系,由于该体系中存在部分服务重复现象,后期的学者对其进行了优化。参照其生态系统服务功能评估方法以及香格里拉市泥炭沼泽价值组成,构建泥炭沼泽生态系统价值评估体系,估算香格里拉市泥炭沼泽生态系统服务功能价值(表 1)。由于泥炭沼泽湿地供给功能(物质生产、供水功能)无法量化,本次评估仅考虑泥炭沼泽的文化功能、支持功能及调节功能。

表 1 泥炭沼泽生态系统服务功能评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of peatlands ecosystem services

价值类型	服务功能	评估指标	核算指标	评估方法
直接价值	文化功能	休闲娱乐	景观与美学、旅游	成果参照法
		科研教育	科研与教育	成果参照法
	支持功能	栖息地	维持生物多样性、栖息地价值	成果参照法
土壤保持		减少土壤侵蚀	影子工程法	
间接价值	调节功能	蓄水调洪	涵养水源、调节水量	影子工程法
		气候调节	水蒸气量(氧气生产量)	替代成本法
	水质净化	固碳释氧	净化水质(TN、TP)	替代成本法
		净固碳量	碳税法	
		氧气生产量	年金现值法	

2.3 计算方法

根据构建的泥炭沼泽生态系统服务功能评价指标体系,分别确定每项指标的计算方法(表 2)。

3 研究结果

3.1 文化功能

3.1.1 休闲娱乐

香格里拉市为“三江并流”腹地,境内分布有独特的融雪山、峡谷、草原、高山湖泊、原始森林和民族风情为一体的景观,吸引着众多慕名而来的游客。泥炭沼泽的休闲娱乐价值评估参照《云南省湿地生态系统服务价值评估》中成果参照法,泥炭沼泽单位面积的旅游费用取 2.01 万元/(hm²·a),通过公式计算得出全市泥炭沼泽休闲娱乐价值为 0.11 亿元/a。

3.1.2 科研教育

香格里拉市自然资源丰富且独特,具有重要的

表 2 泥炭沼泽生态系统服务功能评价计算公式

Tab. 2 Calculation formula for evaluation of peatlands ecosystem services

评估指标	计算公式
休闲娱乐	$V_1 = S_{\text{湿}} \times C_1$ V_1 为泥炭沼泽的休闲娱乐价值(元·a ⁻¹); $S_{\text{湿}}$ 为泥炭沼泽面积(hm ²); C_1 为泥炭沼泽单位面积的旅游年费用(元·hm ⁻²)
科研教育	$V_2 = S_{\text{湿}} \times K_2$ V_2 为泥炭沼泽的科研教育价值(元·a ⁻¹); $S_{\text{湿}}$ 为泥炭沼泽面积(hm ²); K_2 为泥炭沼泽单位面积的科研教育价值(元·hm ⁻²)
栖息地	$V_3 = \sum_{i=1}^n S_i \times P_i$ V_3 为泥炭沼泽的栖息地价值(元·a ⁻¹); n 为栖息地质量等级总数; S_i 为某种等级的栖息地面积(hm ²); P_i 为某种等级栖息地的单位价值(元·hm ⁻²)
保持土壤	$V_4 = T_{\text{侵}} \times S_{\text{湿}} \times B$ V_4 为泥炭沼泽的土壤保持价值(元·a ⁻¹); $T_{\text{侵}}$ 为年侵蚀土壤厚度(m); $S_{\text{湿}}$ 为泥炭沼泽面积(hm ²); B 为土壤市场价格(元·m ⁻³)
蓄水调洪	$V_5 = Q_{\text{水}} \times P_{\text{成}} \times (1+i)^t$ V_5 为泥炭沼泽的蓄水调洪价值(元·a ⁻¹); $Q_{\text{水}}$ 为蓄积水源总量(m ³); $P_{\text{成}}$ 为每建设 1 m ³ 库容需年投入成本(元·m ⁻³); t 为贴现日期起到贴现截止日期(2019)时间; i 为社会贴现率,取 3.5%
气候调节	$V_7 = \frac{E \times h}{C} \times P_{\text{煤}}$ V_7 为泥炭沼泽的气候调节价值(元·a ⁻¹); E 为水的蒸发量(mm·D ⁻¹ [11]); h 为水的汽化热(kJ·kg ⁻¹); C 为 1 t 煤炭产生的热量(kJ); $P_{\text{煤}}$ 为煤炭单价(元·t ⁻¹)
水质净化	$V_8 = r_{\text{氮}} \times S_{\text{湿}} \times P_{\text{氮}} + r_{\text{磷}} \times S_{\text{湿}} \times P_{\text{磷}}$ V_8 为泥炭沼泽的水质净化价值(元·a ⁻¹); $r_{\text{氮}}$ 为固氮速率(kg·hm ⁻²); $S_{\text{湿}}$ 为泥炭沼泽面积(hm ²); $P_{\text{氮}}$ 为氮肥平均价格(元·kg ⁻¹); $r_{\text{磷}}$ 为固磷速率(kg·hm ⁻²); $P_{\text{磷}}$ 为磷肥平均价格(元·kg ⁻¹)
固碳 土壤 释氧 固碳	$V_{\text{碳}} = Q_{\text{碳}} \times T_{\text{碳}} \times K_1$ $V_{\text{碳}}$ 为泥炭沼泽的土壤固碳价值(元·a ⁻¹); $Q_{\text{碳}}$ 为总固碳量(t); $T_{\text{碳}}$ 为碳税率(美元·t ⁻¹); K_1 为人民币外汇牌价 $V_a = V_{\text{碳}} \times \{i \times (1+i)^t / [(1+i)^t - 1]\}$ V_a 为泥炭沼泽固碳价值的年金现值(元·a ⁻¹); $V_{\text{碳}}$ 为泥炭沼泽的土壤固碳价值(元); t 为年限,取 100 年[8]; i 为社会贴现率,取 3.5%
植物 固碳	$V_{\text{植}} = Q_{\text{植}} \times T_{\text{碳}} \times K_1$ $V_{\text{植}}$ 为植物固碳价值(元·a ⁻¹); $Q_{\text{植}}$ 为植物的固碳量(t); $T_{\text{碳}}$ 为碳税率(美元·t ⁻¹); K_1 为人民币外汇牌价
释氧	$V_{\text{氧}} = Q_{\text{氧}} \times P_{\text{氧}}$ $V_{\text{氧}}$ 为泥炭沼泽的释氧价值(元·a ⁻¹); $Q_{\text{氧}}$ 为泥炭沼泽的氧气释放量(t); $P_{\text{氧}}$ 为工业制氧成本(元·t ⁻¹)

科研价值。泥炭沼泽的科研教育价值采用成果参照法,泥炭沼泽单位面积的科研教育价值采用我国单位面积湿地生态系统的科研价值(382 元/(hm²·

a))与 Costanza^[7]估算的全球湿地生态系统科研价值(881 美元/(hm²·a),按照 2019 年人民币与美元汇率 6.9 计算)的平均值,即 3 230.45 元/(hm²·a)。通过公式计算可得出全市泥炭沼泽的科研教育价值为 0.02 亿元/a。

3.2 支持功能

3.2.1 栖息地价值

香格里拉泥炭沼泽作为自然湿地的重要组成部分,是鸟类、两栖类、兽类等野生动物的主要栖息场所。根据《香格里拉市野生动物资源调查报告》,全市共记录有鸟类 170 种,其中包含 2 个濒危种。泥炭沼泽栖息地价值采用成果参照法计算,栖息地价值参数引用湿地栖息地价值 1 814.90 元/(hm²·a)^[14]。

一般认为严格的保护形式下,湿地物种丰富度要高于一般保护形式和无保护形式的湿地,对应的栖息地价值亦然。据此,将不同保护形式的泥炭沼泽栖息地价值进行分级,并应用调整系数计算不同栖息地质量等级对应的单位面积年价值(表 3)。

表 3 泥炭沼泽栖息地价值分级

Tab. 3 Value rating of peatlands habitat

栖息地 质量等级	保护级别	调整 系数	单位面积年价值 /(元·hm ⁻² ·a ⁻¹)
I 级	自然保护区	2.0	3629.80
	湿地公园		
	国家公园		
II 级	风景名胜区	1.5	2722.35
	其他保护形式		
III 级	无保护形式	1.0	1814.90

根据《云南省泥炭沼泽碳库调查报告》,香格里拉市泥炭沼泽中栖息地质量等级为 I 级的面积为 34.19 hm², II 级面积为 391.99 hm², III 级面积为 63.52 hm²。通过公式计算得出全市泥炭沼泽栖息地价值为 100 万元/a。

3.2.2 土壤保持价值

香格里拉市泥炭沼泽湿地植物资源丰富,植物覆盖度较高,可有效降低水土流失风险,在减少土壤侵蚀方面起到重要作用,具有土壤保持价值。泥炭沼泽土壤保持价值采用替代工程法进行估算,即采用人工挖取同重量土壤所花费地方价值来代替。

由于难以获得泥炭沼泽湿地类型土壤侵蚀总量的准确值,根据《中国生物多样性国情报告》,采用草地中等侵蚀平均值 25 mm/a 代替湿地减少土壤侵蚀的总量,可得出全市湿地年土壤保持量为 13.5

万 m^3 。土壤市场价格按照 100 元/ m^3 计算(土壤干土密度为 1 350 kg/m^3)^[15]。通过公式计算得出全市泥炭沼泽土壤保持价值为 0.14 亿元/a。

3.3 调节功能

3.3.1 蓄水调洪

香格里拉市泥炭沼泽生态系统具有蓄水和补水功能,泥炭沼泽蓄水调洪价值采用影子工程法,即通过分析建造一个相同容量水库的成本来估算^[9]。

利用泥炭沼泽的体积和含水量以及沼泽土壤调蓄洪水能力(8 100 m^3/hm^2),计算可得出全市泥炭沼泽蓄水调洪总水量为 1 169.47 万 m^3 ,单位库容造价取 7.02 元/ $t^{[10]}$,通过公式计算得出全市泥炭沼泽的蓄水调洪价值为 2.01 亿元/a。

3.3.2 气候调节

气候调节价值是泥炭沼泽生态系统对区域气候调节能力的价值体现,气候调节的主要作用为增加空气中水蒸气量,降低区域气温,为当地居民提供适宜的居住环境。采用替代成本法对湿地气候调节价值进行估算,通过公式计算,需要泥炭沼泽湿地年蒸发量、水汽化热及单位煤炭产生的热量等数据。

泥炭沼泽湿地的蒸发量主要来源于湿生植物的蒸腾作用,因此,计算时以湿生植物的蒸腾量作为泥炭沼泽湿地的蒸发量。水生植物的蒸腾量取 1.5 $mm/D^{[11]}$,生长季按 8 个月(240 d)计算,可得出泥炭沼泽湿地年蒸发量为 800 万 m^3 。由于香格里拉市泥炭沼泽所处位置在海拔 3 000~4 000 m 范围,因此在本文中取 93℃时的汽化热,即 2 273.6 kJ/kg 。计算得出蒸发 43.22 亿 m^3 所需要的热量为 $9.85 \times 10^{15} kJ$ 。根据中国煤炭市场网《2018 年 5 月全国煤炭主要产地煤炭代表规格品价格表》中榆林 6 000 Cal 煤炭价格为 436 元/ t ,通过公式计算得出 1 t 煤产生 $0.25 \times 10^8 kJ$ 热量。由此,计算得出香格里拉市气候调节价值为 1.72 亿元/a。

3.3.3 水质净化

水质净化的实质是湿地中的土壤和各类生物对污水中污染物质的吸收、过滤和生化转变等过程的综合,特别是湿地植物对污水中污染物的吸收和生化转变尤为显著^[12]。因香格里拉市泥炭沼泽分布区基本远离市区,污染物大部分来源于畜禽粪便,因此仅考虑湿地植物对氮、磷两种常见污染物的净化作用。净化水质价值采用替代成本法,即净化水质能力采用相同氮、磷含量化肥的市场价值代替。

根据《中国生物多样性国情研究报告》,沼泽湿地对氮、磷的吸收速率分别为 128.77 $kg/(hm^2 \cdot a)$

和 0.87 $kg/(hm^2 \cdot a)^{[13]}$,计算得出香格里拉市泥炭沼泽固氮量为 69.58 t ,固磷量为 0.47 t ;根据《中国化肥网》磷酸二铵化肥平均价格为 2 700 元/ t ,磷酸二铵含氮量为 14.00%,含磷量为 15.01%。通过公式计算得出全市湿地净化水质价值为 0.01 亿元/a。

3.3.4 固碳释氧

1) 固碳价值

泥炭沼泽的固碳价值包括土壤固碳价值及植物固碳价值,其中:土壤固碳价值采用碳税法 and 年金现值法,植物固碳价值采用碳税法分别进行计算。

土壤固碳价值:根据《云南省泥炭沼泽碳库调查报告》,香格里拉市泥炭沼泽土壤固碳量为 293 277.87 t ;碳税率采用《中国生物多样性国情研究报告》中公布的瑞典碳税率 150 美元/ t ;人民币外汇牌价取 6.9 元人民币/美元。通过计算公式得出香格里拉市泥炭沼泽土壤固碳总价值为 30.26 亿元/a。

通过年碳储量价值公式计算,得出全市泥炭沼泽的土壤固碳价值为 1.06 亿元/a。

植物固碳价值:根据《云南省泥炭沼泽碳库调查报告》,香格里拉市泥炭沼泽植物固碳量为 42 128.63 t ;通过公式计算得出全市泥炭沼泽植物的固碳价值为 0.43 亿元/a。

土壤固碳价值加上植物固碳价值,得出香格里拉市泥炭沼泽固碳价值约为 1.49 亿元/a。

2) 释氧价值

泥炭沼泽释放氧气的价值采用替代成本法计算,即采用工业制氧的价格替代。

根据《云南省泥炭沼泽碳库调查报告》,香格里拉市泥炭沼泽植物有机碳含量为 11 272.35 t ,生物量为 26 005.33 t ,利用光合作用及呼吸作用方程式($6CO_2 + 12H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$,即生产 1 g 干物质需要吸收 1.62 $g CO_2$,释放 1.2 $g O_2$),可推算出全市泥炭沼泽氧气释放量为 31 206.40 t ;采用《2017—2018 中国氧气市场年度报告》中 2018 年 8 月全国工业制氧液氧均价 1 552.3 元/ t 。通过公式计算得出全市泥炭沼泽释氧年价值为 0.48 亿元。

综合泥炭沼泽的固碳价值和释氧价值,即得出全市泥炭沼泽的固碳释氧价值为 1.97 亿元/a。

4 结论与讨论

4.1 结论

综合上述 3 项服务功能类型,8 个评估指标,可计算得到香格里拉市泥炭沼泽生态系统服务功能总价值为 5.99 亿元/a(表 4)。根据 2016 年香格里拉

市 GDP 为 110.95 亿元,生态系统服务功能价值相当于 GDP 的 5.40%,但泥炭沼泽仅占全市湿地面积 2.09%,占土地面积 0.05%,且泥炭沼泽单位面积价值为 110.86 元/(m²·a),远高于一般湿地单位面积价值。可见,香格里拉市泥炭沼泽所提供的生态服务功能价值十分重要。

表 4 香格里拉市泥炭沼泽生态系统服务功能价值
Tab. 4 Summary of peatlands ecosystem services value in Shangri-La

价值类型	价值/亿元	服务功能	价值/亿元	评估指标	价值/亿元	占比/%
直接价值	0.28	文化功能	0.13	休闲娱乐	0.11	1.84
				科研教育	0.02	0.33
		支持功能	0.15	栖息地	0.01	0.17
				土壤保持	0.14	2.34
间接价值	5.71	调节功能	5.71	蓄水调洪	2.01	33.56
				气候调节	1.72	28.71
				水质净化	0.01	0.17
				固碳释氧	1.97	32.89
总价值			5.99			

泥炭沼泽生态系统服务功能价值中,间接价值占主要地位,占总价值的 95.32%,其蓄水调洪、固氮释氧以及气候调节价值最显著,分别占总价值的 33.56%、32.89%、28.71%,反映出泥炭沼泽生态系统在生态系统服务功能中发挥着重要作用。各项评估指标中价值最小的是水质净化及栖息地价值,由于排入泥炭沼泽的污水量较少,水质净化功能不明显,且泥炭沼泽大多分布在高海拔区域,人为干扰较小,因此保护投入成本也较低。

4.2 讨论

本文评估指标体系中,由于数据来源和研究方法的限制,泥炭沼泽湿地供给功能(物质生产、供水功能)无法量化,本次评估仅考虑泥炭沼泽的文化功能、支持功能及调节功能。因此,泥炭沼泽生态系统服务功能估算价值结果存在一定的粗糙性,且实际总价值应大于估算价值。

泥炭沼泽是重要的碳汇区,通过形成泥炭的方式固定了环境中大量的碳元素,泥炭沼泽的固碳能力明显大于其他类型湿地。通过构建泥炭沼泽生态系统服务价值评估体系,能够系统评估其价值,反映泥炭沼泽生态服务功能。通过估算可以明显看出,虽然香格里拉市泥炭沼泽面积较小,但其生态价值

较高。价值的直观性为泥炭沼泽的宣传教育保护工作提供便利性,便于社区民众理解泥炭沼泽的重要性,进而减少破坏泥炭沼泽行为发生的概率,同时可为决策者提供泥炭沼泽保护与利用规划,为泥炭沼泽资源受损有效补偿提供充分的科学依据。

参考文献:

- [1] 马学慧. 中国泥炭地碳储量与碳排放[M]. 北京:中国林业出版社,2012.
- [2] BAI J H, OUYANG H, DENG W, et al. Spatial distribution characteristics of organic matter and total nitrogen of marsh soils in river marginal wetlands[J]. Elsevier B. V., 2004, 124(1):181-192.
- [3] 马琼芳,燕红,李伟,等. 吉林省湿地生态系统服务价值评估[J]. 水利经济,2019,37(3):67-71,77,84,88.
- [4] 何浩,潘耀忠,朱文泉,等. 中国陆地生态系统服务价值测量[J]. 应用生态学报,2005,16(6):1122-1127.
- [5] 李和香. 浅谈香格里拉县在水资源保护与开发利用方面存在的问题及对策[J]. 中国科技博览,2011,8:193.
- [6] 尹善春,张伟才,陈友东,等. 中国泥炭资源及其开发利用[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [7] COSTANZA R, ARGE R, GROOT R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387:253-260.
- [8] WILSON S J. Canada's Wealth of Natural Capital Rouge National Park [EB/OL] (2012-09-01). http://davidsuzuki.org/publications/downloads/2012/report_Rouge_Natural_Capital_web.pdf.
- [9] 关鹏. 辽宁省湿地生态系统服务价值评价[D]. 兰州:甘肃农业大学,2008.
- [10] 郝英君,柏祥,张俊安,等. 北戴河区湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2017,38(4):487-492.
- [11] 徐婷,徐跃,江波,等. 贵州草海湿地生态系统服务价值评估[J]. 生态学报,2015,35(13):4295-4303.
- [12] 姚鑫,杨桂山. 自然湿地水质净化研究进展[J]. 地理科学进展,2009,28(5):825-832.
- [13] 潘旭,岳兴亮,崔丽娟,等. 辽宁双台河口湿地营养物质循环功能价值评价[J]. 湿地科学与管理,2015,11(4):20-22.
- [14] 张翼然,周德民,刘苗. 中国内陆湿地生态系统服务价值评估:以 71 个湿地案例点为数据源[J]. 生态学报, 2015,35(13):4279-4286.
- [15] 王岳林,张太平,韩树红. 山东省渤海沿岸湿地价值估算与保护对策[J]. 山东国土资源,2011,27(3):30-34.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.034

高原湖泊型湿地生态系统服务价值评估研究

——以云南玉溪抚仙湖国家湿地公园为例

付元祥¹, 马国强^{1,2}, 王亚萍³, 李秋洁⁴, 魏雯³, 王德芬⁵, 余刚⁵

(1. 国家林业和草原局西南调查规划院, 云南 昆明 650031; 2. 兰州大学 生命科学学院, 甘肃 兰州 730000;
3. 昆明理工大学 建筑与城市规划学院, 云南 昆明 650500; 4. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司,
云南 昆明 650051; 5. 澄江市抚仙湖国家湿地公园保护管理中心, 云南 澄江 652500)

摘要: 通过将云南玉溪抚仙湖国家湿地公园生态系统服务价值分为供给服务价值、生态调节服务价值、精神文化服务价值3个一级指标, 食物生产(A1)、淡水资源(A2)等8个二级指标进行评估体系构建并计算其生态系统服务价值。结果显示: 云南玉溪抚仙湖国家湿地公园生态系统服务价值总量为 4.17×10^9 元, 其中, 生态调节服务价值最高, 为 2.41×10^9 元, 占价值总量的57.90%; 其次为精神文化服务价值 1.71×10^9 元, 占40.91%; 最后为供给服务价值 4.95×10^7 元, 占1.19%。在二级指标中, 价值量排序为美学旅游>气候调节>水质净化>文化科研>生物栖息地>固碳释氧>淡水资源>食物生产。
关键词: 生态系统服务功能; 供给服务价值; 生态调节服务价值; 价值评估; 云南玉溪抚仙湖国家湿地公园

中图分类号: S718.557; Q178.5 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)04-0202-05

引文格式: 付元祥, 马国强, 王亚萍, 等. 高原湖泊型湿地生态系统服务价值评估研究——以云南玉溪抚仙湖国家湿地公园为例[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4): 202-206. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.034

FU Yuanxiang, MA Guoqiang, WANG Yaping, et al. Evaluation of Ecosystem Service Value of Plateau Lake Wetland——A Case Study of Yuxi Fuxian Lake National Wetland Park in Yunnan[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 202-206. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.034

Evaluation of Ecosystem Service Value of Plateau Lake Wetland

——A Case Study of Yuxi Fuxian Lake National Wetland Park in Yunnan

FU Yuanxiang¹, MA Guoqiang^{1,2}, WANG Yaping³, LI Qiuji⁴, WEI Wen³, WANG Defen⁵, YU Gang⁵

(1. Southwest Investigation and Planning Institute of National Forestry and Grassland Administration, Kunming 650031, China;
2. College of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3. College of Architecture and Urban Planning, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;
4. PowerChina Kunming Engineering Corporation Ltd., Kunming 650051, China;
5. Protection and Management Center of Fuxian Lake National Wetland Park, Chengjiang, Yunnan 652500, China)

Abstract: By dividing the ecosystem service value of Xuxi Fuxian Lake National Wetland Park in Yunnan into three first-level indicators, namely, supply service value, ecological regulation service value, spirit-

收稿日期: 2021-12-30.

基金项目: 国家林业和草原局西南调查规划院科技项目(2023-007).

第一作者: 付元祥(1987-), 男, 山东临沂人, 高级工程师. 主要从事湿地规划设计监测等研究.

责任作者: 马国强(1982-), 男, 甘肃天水人, 高级工程师. 主要从事自然保护地规划设计、自然资源调查监测等研究工作.

Email: maguoqiang0825@163.com

ual and cultural service value, and eight second-level indicators, such as food production (A1) and freshwater resources (A2), an evaluation system was constructed to calculate the ecosystem service value. The results showed that the total value of ecological service system of Fuxian Lake National Wetland Park was 4.17×10^9 yuan, the value of ecological regulation service was the highest, 2.41×10^9 yuan, accounting for 57.90% of the total value; the second value was spiritual and cultural service, 1.71×10^9 yuan, accounting for 40.91% of the total value; the lowest value was supply service, 4.95×10^7 yuan, accounting for 1.19% of the total value. The value order of second-level indicators was aesthetic tourism > climate regulation > water quality purification > cultural research > biological habitats > carbon sequestration and oxygen release > freshwater resources > food production.

Key words: ecosystem service; supply service value; value of ecological regulation service; value evaluation; Xuxi Fuxian Lake National Wetland Park in Yunnan

湿地是地球上最重要的三大生态系统之一,被誉为“地球之肾”,是可持续发展的重要资源^[1]。然而,随着城市和经济的发展,生态环境发展与保护的矛盾冲突越来越明显,导致生态环境不断恶化,自然环境的生态功能也逐步减弱。建设国家湿地公园对于保护和恢复湿地生态系统具有十分重要的作用,是我国湿地保护管理系统的重要组成部分^[2]。

截至2022年底,我国国家湿地公园已达903处。国内外学者对于湿地生态系统服务价值的评估多集中于中国沿海地区,对于西南高原地区的湿地生态系统服务价值研究较少。云南省地处青藏高原南延地带^[3],湿地类型多样、特色鲜明,资源丰富。抚仙湖是我国蓄水量最大的深水型淡水湖泊,是珠江源头第一大湖、云南九大高原湖泊之一。其地质构造上的特殊性孕育了典型的高原湖泊湿地动植物资源,包括鲢浪鱼、抚仙金线鲃等多种抚仙湖特有鱼种以及多样的植被类型,云南玉溪抚仙湖国家湿地公园依托抚仙湖湖体及其湖滨带进行保护和建设,近年来通过系统的保护和治理取得了显著成效,但因其特定的供给功能和环境条件,存在着保护压力巨大、保护资金缺失、保护能力较低等问题,随着国家生态补偿政策的出台,科学合理地计算抚仙湖生态系统服务价值,对未来国家湿地公园生态补偿资金的申请、湿地保护和管理计划的制定具有非常重要的作用。

1 研究地区及研究方法

1.1 研究区域概况

云南玉溪抚仙湖国家湿地公园(以下简称“抚仙湖湿地公园”)距云南省昆明市东南部60 km,隶属玉溪市,流域地跨澄江、江川和华宁3县。总面积为22 971.65 hm²,其中,水面面积21 655.74 hm²。

地理坐标为北纬24°21′16.26″~24°38′2.06″,东经102°49′21.72″~102°57′25.49″。

1.2 研究方法

生态系统服务价值(ecosystem services values, ESV)是指人类直接或间接从生态系统获得的利益。因为生态系统功能是多样的,其服务功能的价值体现也是多元的。结合生态普适性和突出区域特色、坚持生物生产性、坚持实物度量性和坚持数据可获得性等湿地生态系统价值评估原则^[4],将国家湿地公园生态系统服务价值分为供给服务价值(A)、生态调节服务价值(B)、精神文化服务价值(C)3个一级指标,食物生产(A1)、淡水资源(A2)、气候调节(B1)、固碳释氧(B2)、水质净化(B3)、生物栖息地(B4)、美学旅游(C1)和文化科研(C2)8个二级指标进行价值计算。所采用评估方法主要有:市场价值法^[5-6]、旅行费用法^[7]、影子工程法^[8-9]、替代成本法^[10]、科研投入法^[11-12]、生态价值法等(表1)。根据国内外研究情况,选择不同的评价方法对不同指标进行核算和评估。

2 抚仙湖湿地公园生态系统服务价值评估

2.1 供给服务价值

抚仙湖湿地公园内总面积为22 971.65 hm²,以水面及林地为主,并主要分布于西岸和东岸^[13]。因此将产品供给服务分为食物生产(A1)、淡水资源(A2)两个二级指标,并采用市场价值法进行核算。其中,食物生产涉及淡水渔类产品及农作物种植;湿地提供的淡水资源主要指其生活及工农业的用水量,计算公式为:

$$ESV_A = A_1 \times P_1 + A_2 \times P_2 + A_3 \times P_3 \quad (1)$$

式中:ESV_A为供给服务价值;A₁为渔产品产量;P₁

表 1 云南玉溪抚仙湖国家湿地公园生态系统服务价值核算指标

Tab. 1 Evaluation indicators of ecosystem service value of Xuxi Fuxian Lake National Wetland Park in Yunnan

一级指标	二级指标	评估范围	评价方法
供给服务 (A)	食物生产 (A1)	渔产品	市场价值法
		作物产量	市场价值法
	淡水资源 (A2)	工农业、生活用水	市场价值法
生态调节服务 (B)	气候调节 (B1)	温度调节	影子工程法
		湿度调节	影子工程法
	固碳释氧 (B2)	固碳	替代成本法
释氧		替代成本法	
精神文化服务 (C)	水质净化 (B3)	降解污染物	影子工程法
	生物栖息地 (B4)	避难所价值	生态价值法
	美学旅游 (C1)	旅游消费	旅行费用法
	文化科研 (C2)	湿地面积	科研投入法

为渔产品价格; A_2 为作物生产量; P_2 为作物单价; A_3 为淡水资源利用量; P_3 为淡水利用价格。

2.2 生态调节服务价值

生态调节服务包括气候调节 (B1)、固碳释氧 (B2)、水质净化 (B3)、生物栖息地 (B4) 4 个二级指标, 计算公式为:

$$ESV_B = ESV_{B1.1} + ESV_{B1.2} + ESV_{CO_2} + ESV_{O_2} + ESV_J + ESV_{live} \quad (2)$$

式中: ESV_B 为生态调节服务价值; $ESV_{B1.1}$ 为湿度调节价值; $ESV_{B1.2}$ 为温度调节价值; ESV_{CO_2} 为固碳价值; ESV_{O_2} 为释氧价值; ESV_J 为水质净化价值; ESV_{live} 生物栖息地价值。

2.2.1 气候调节价值

抚仙湖湿地公园地理位置优越, 流域常年均温 15.5℃, 湖面气温略高于湖四周其他地区气温, 因而湖泊是个天然热库^[13], 对湿度 (B1.1) 和温度 (B1.2) 的调节作用较明显, 因此采用影子工程法从这两个功能上计算其价值。

湿度调节价值计算公式为:

$$ESV_{B1.1} = S_{B1.1} \times E_{B1.1} \times V_{B1.1} \times P_{1.1} \quad (3)$$

式中: $S_{B1.1}$ 为湿地水面面积; $E_{B1.1}$ 为湿地公园年均水面蒸发量; $V_{B1.1}$ 为加湿器蒸发 1 m³ 水的耗电量; $P_{1.1}$ 为当年电价。

温度调节价值计算公式为:

$$ESV_{B1.2} = \frac{Q_{B1.2} \times P_{1.2}}{EER} \quad (4)$$

式中: $Q_{B1.2}$ 为湿地蒸发吸收的总热量; $P_{1.2}$ 为当年电价; EER 为常见空调能效比均值。

2.2.2 固碳释氧价值

固碳释氧价值包括湿地植物固定 CO₂ 与释放 O₂ 两方面。

固碳价值计算公式为:

$$ESV_{CO_2} = S_4 \times Q_4 \times P_4 \quad (5)$$

式中: S_4 为湿地植被面积; Q_4 为云南省植被碳储量 (t); P_4 为固碳价格 (元/t)。

释氧价值计算公式为:

$$ESV_{O_2} = \frac{S_4 \times Q_4 \times 1.63}{1.2 \times P_5} \quad (6)$$

式中: S_4 为湿地植被面积; Q_4 为云南省植被碳储量; P_5 为释氧价格。根据光合作用方程式 CO₂ + H₂O → C₆H₁₂O₆ + O₂ 计算可知, 生态系统每生产出 1 g 干物质, 能固定 CO₂ 1.63 g, 释放 O₂ 1.2 g。

2.2.3 水质净化价值

湿地内的植物、微生物可以通过对 N 元素、P 元素进行吸收和土壤对 N 元素、P 元素的过滤两个方面来实现对水质的净化及污染降解, 计算公式为:

$$ESV_J = S_{B3} \times P_6 \quad (7)$$

式中: S_{B3} 为湿地总面积; P_6 采用 Robert Costanza 的研究成果, 即湿地生态系统降解污染功能的单位面积价值为 29 982.92 元/(hm²·a)。

2.2.4 生物栖息地价值

抚仙湖湿地公园内具有丰富的动植物资源, 目前公园内 462 种维管植物中, 包括栽培植物 158 种, 自然分布野生植物 304 种, 隶属于 87 科、220 属。脊椎动物共 295 种, 其中, 兽类 5 目、9 科、14 种, 鸟类 16 目、39 科、196 种, 两栖动物 2 目、7 科、16 种, 爬行动物 1 目、6 科、26 种, 鱼类 7 目、14 科、43 种^[13]。

$$ESV_{live} = S_{B3} \times P_7 \quad (8)$$

式中: S_{B3} 为湿地面积; P_7 为湿地避难所价值, 采用 Robert Costanza 研究成果 2 182.14 元/(hm²·a)^[14]。

2.3 精神文化服务价值

抚仙湖湿地公园景观资源丰富, 精神文化服务包括美学旅游 (C1) 和文化科研 (C2) 两个二级指标, 采用旅行费用法、科研投入法计算其湿地生态系统的精神文化服务价值, 计算公式为:

$$ESV_C = V_C + P_C + (S_{B3} \times P_m) \quad (9)$$

式中: V_C 为旅游收入 (包括路费、食宿费、公园门票等); P_C 为时间价值; S_{B3} 为湿地面积; P_m 为单位面积科研文化价值。

3 结果与分析

3.1 供给服务

抚仙湖湿地公园内共有鱼类 43 种,属 7 目、14 科,每年仅有半年为开湖期,且对于捕捞种类有着严格的把控,因此鱼类产品以银鱼为主,近几年的抚仙湖渔业年均总产量约为 1 800 t。在作物种植上,谢高地等^[14]将 1 个标准生态系统生态服务价值当量因子定义为 1 hm² 全国平均产量农田每年自然粮食产量的经济价值,并根据生态系统类型设定生态系统服务价值当量^[14],1 个生态服务价值当量因子的经济价值量为当年全国平均粮食单产市场价值的 1/7^[15]。根据抚仙湖湿地公园规划显示,生活、工农业用水约 8.67 × 10⁶ m³^[13],抚仙湖水质为 I 类水,水费按当年居民用水与非居民用水价格的平均值 3.34 元/m³ 进行计算。

抚仙湖湿地公园供给服务价值约为 4.94 × 10⁷ 元。其中,食物生产价值为 2.05 × 10⁷ 元(渔产品价值 2.00 × 10⁷ 元,作物价值 4.73 × 10⁵ 元);淡水资源价值为 2.90 × 10⁷ 元。

3.2 生态调节服务

3.2.1 气候调节服务

抚仙湖湿地公园水面面积为 21 655.74 hm²,流域年均温 15.5℃,多年平均水面蒸发量为 1 374 mm,综合市面常见家用加湿器参数得到加湿器蒸发每立方米水的耗电量 89.29 kW · h,2020 年云南省居民电价为 0.46 元/kW · h,水的汽化热值为 2 260 kJ/kg,常见空调能效比均值为 3^[16]。由此计算可得气候调节服务价值为 1.63 × 10⁹ 元,其中温度调节价值为 4.07 × 10⁸ 元,湿度调节价值为 1.22 × 10⁹ 元。

3.2.2 固碳释氧服务

抚仙湖湿地公园内植被面积为 683.81 hm²。湿地植被碳储量采用 IPCC 的研究结果,一般湿地植被碳储量为 43 t/hm²;固碳价格采用瑞典的碳税率,折合人民币为 1 076.72 元/t;释氧价格则采用现在工业制氧价格 400 元/t。抚仙湖湿地公园固碳释氧服务价值为 4.77 × 10⁷ 元。其中,固碳价值为 2.82 × 10⁷ 元,释氧价值约为 1.60 × 10⁷ 元。

3.2.3 降解污染、生物栖息地服务

降解污染功能的单位面积价值为 29 982.92 元/(hm² · a),湿地的避难所价值为 2 182.14 元/(hm² · a)^[17]。因此,降解污染价值为 6.89 × 10⁸ 元,生物栖息地价值为 5.01 × 10⁷ 元。

由上述数据相加可得,抚仙湖湿地公园生态调节服务总价值为 2.41 × 10⁹ 元。

3.3 精神文化服务

因 2020 年受新冠病毒疫情影响,旅游人数数据以正常年份 2019 年为主。抚仙湖湿地公园 2019 年共接待国内外游客 1 244.7 万人,以一日游居多^[18]。据国家统计局发布的《2020 年城镇单位就业人员平均工资》^[19],全国城镇私营单位就业人员年均工资 57 727 元,城镇非私营单位就业人员年均工资 97 379 元。因此,人均年工资为 77 553 元,日均工资约为 212 元/天,花费时间价值以日工资的 30% 进行计算。全球湿地生态系统科研文化价值沿用我国单位面积湿地生态系统的科考旅游价值 382 元/hm² 和 Costanza 等对全球湿地生态系统科考旅游功能价值 6 180.34 元/hm² 的平均值 3 281.17 元/hm² 进行计算^[17]。因此,抚仙湖国家湿地公园精神文化服务价值为 1.71 × 10⁹ 元,其中美学旅游价值为 1.63 × 10⁹ 元,文化科研价值为 7.54 × 10⁷ 元。

3.4 抚仙湖湿地公园生态系统服务价值总体特征

抚仙湖湿地公园生态服务系统价值总量为 4.17 × 10⁹ 元(表 2)。其中,生态调节服务价值最高为 2.41 × 10⁹ 元,占价值总量的 57.90%;其次为精神文化服务价值 1.71 × 10⁹ 元,占 40.91%;最后为供给服务价值 4.95 × 10⁷ 元,占 1.19%。

4 结 论

1) 在供给服务价值方面,价值最大为淡水资源 2.90 × 10⁷ 元,占公园生态服务系统价值总量的 0.70%;其次为食物生产 2.05 × 10⁷ 元(渔产品价值 2.00 × 10⁷ 元,作物价值 4.73 × 10⁵ 元),占 0.49%。抚仙湖 2.062 × 10¹⁰ m³ 的水资源可为全国人均储备 15 t 优质地表 I 类水,可深知对其淡水资源的保护是重中之重。

2) 在生态调节服务价值方面,气候调节价值最高,为 1.63 × 10⁹ 元(温度调节价值 4.07 × 10⁸ 元,湿度调节价值 1.22 × 10⁹ 元),占总量的 39.02%;其次为水质净化价值,为 6.89 × 10⁸ 元,占 16.53%;其后为生物栖息地价值 5.01 × 10⁷ 元,占 1.20%;最后为固碳释氧价值 4.77 × 10⁷ 元(固碳价值 3.17 × 10⁷ 元,释氧价值 1.60 × 10⁷ 元),占 1.14%。从数据可以看出,抚仙湖湿地公园最重要的生态调节服务为气候调节,这也正体现出湿地公园在改善小气候方面有着重要作用。

3) 在精神文化服务方面,美学旅游价值为 1.63 ×

表 2 云南玉溪抚仙湖国家湿地公园生态系统
服务价值核算结果

Tab. 2 Evaluation results of ecosystem service value of
Xuxi Fuxian Lake National Wetland Park in Yunnan

一级指标	二级指标	评估范围	价值/元	占比/%
供给服务 (A)	食物生产(A1)	渔产品	2.00×10^7	0.48
		作物产量	4.73×10^5	0.01
		合计	2.05×10^7	0.49
	淡水资源(A2)	生活、工农业用水	2.90×10^7	0.70
		小计	4.95×10^7	1.19
生态调节 服务(B)	气候调节(B1)	温度调节	4.07×10^8	9.76
		湿度调节	1.22×10^9	29.27
		合计	1.63×10^9	39.03
	固碳释氧(B2)	固碳	3.17×10^7	0.76
		释氧	1.60×10^7	0.38
		合计	4.77×10^7	1.14
	水质净化(B3)	降解污染物	6.89×10^8	16.53
		生物栖息地	5.01×10^7	1.20
(B4)	小计	2.41×10^9	57.90	
	精神文化 服务(C)	美学旅游(C1)	1.63×10^9	39.10
文化科研(C2)		湿地面积	7.54×10^7	1.81
		小计	1.71×10^9	40.91
总价值			4.17×10^9	100.00

注:价值、占比仅保留 2 位小数点。

10^9 元,占总量的 39.10%;文化科研价值为 7.54×10^7 元,占 1.81%。美学旅游价值为精神文化服务价值中最高,主要原因是抚仙湖湿地公园生态系统整体保存较好,且可达性强,能发挥生态服务功能和合理利用价值,是认识高原湖泊湿地保护、观赏高原湖泊景观、品味高原湖泊特色的理想场所。

4)通过科学有效的措施选择有效的评估指标,建立湿地生态系统的服务价值评估体系,对湿地公园的全面保护、科学恢复和合理利用具有重要意义。本研究所选用的方法和建立的评估体系能快速有效地对国家湿地公园生态系统服务价值进行评估,具有良好的适用性,为管理计划和决策的制定提供科学依据。但价值体系的估算过程中,不同数据的选取可能会存在误差,比如在计算过程中,因无法确定具体游客的交通费用,故以昆明市区为主要出发城市进行交通费用计算其最小的旅游美学价值;在水资源利用方面,其淡水资源价值未来潜力巨大,但目前仅计算实际生活及工农业用水的使用价值,因此较于实际会相对偏小。同时不同价值因在计算过程中部分数据所参考的观点不同,也会存在一定误差,

这些将会在以后的研究中逐步完善。

参考文献:

- [1] 马广仁. 中国国际重要湿地生态系统评价[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [2] 杨永峰, 张晓云, 郗敏, 等. 供给侧改革视角下中国国家湿地公园建设研究[J]. 湿地科学, 2018, 16(2): 165-170.
- [3] 郑维川. 云南省情(2008年版)[M]. 昆明: 云南人民出版社, 2009.
- [4] 张林波, 高艳妮, 李凯, 等. 生态系统生产价值核算与业务化体系研究——以厦门市为例[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [5] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999(5): 635-640.
- [6] WODDWARD R T, WUI Y S. The economic value of wetland services: a meta-analysis[J]. Ecological Economics, 2001, 37(2): 257-270.
- [7] 薛达元. 生物多样性价值评估[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
- [8] 任志远. 区域生态环境服务功能经济价值评价的理论与方法[J]. 经济地理, 2003(1): 1-4.
- [9] SIMON T P. The use of biological criteria as a tool for water resource management[J]. Environmental Science & Policy, 2000(3): 43-49.
- [10] COSTANZA R, GROOT R D, SUTTON P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. Global Environ Change, 2014, 26: 152-158.
- [11] 周文昌, 史玉虎, 潘磊, 等. 神农架林区大九湖湿地生态系统服务价值评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 208-213.
- [12] 王其翔. 黄海海洋生态系统服务评估[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [13] 中国建筑科学研究院. 云南玉溪抚仙湖国家湿地公园总体规划(2016—2020年)[Z]. 2015.
- [14] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [15] 喻露露, 张晓祥, 李杨帆, 等. 海口市海岸带生态系统服务及其时空变异[J]. 生态学报, 2016, 36(8): 2431-2441.
- [16] 谢畅. 云南省湿地生态系统服务功能价值动态评估[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(17): 4619-4624.
- [17] COSTANZA R, D'ARGE R, BELT M, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [18] 澄江市人民政府办公室. 澄江市政府工作报告[R]. 2020.
- [19] 国家统计局. 2020年城镇单位就业人员平均工资[EB/OL]. (2021-05-19). https://www.gov.cn/xinwen/2021-05/19/content_5608863.htm.

责任编辑: 杨焱焱

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.035

昭通市退化草地修复技术研究

邓军

(云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要:昭通市草地以山地草甸为主,草地生态系统脆弱,管理水平和建设能力不高,退化草地修复难度大。昭通市现有草地面积 116 079.33 hm^2 ,其中退化草地面积 6 992.10 hm^2 ,占全市草地总面积的 6.02%。退化草地主要以轻度退化为主,面积 4 221.00 hm^2 。草地退化的原因包括人为因素、有害生物侵入、生态环境脆弱和气候因素。文章给出近自然修复、人工促进修复、人工草地建植和综合修复等退化草地修复措施,并提出加快草种基地建设、规范草地管理、生态优先、因地制宜等草地修复策略。

关键词:退化草地;修复措施;近自然修复;人工草地建植;昭通市

中图分类号:S812.5;X171.4 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0207-06

引文格式:邓军. 昭通市退化草地修复技术研究[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4): 207-212. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.035

DENG Jun. Restoration Technology of Degraded Grassland in Zhaotong City[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 207-212. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.035

Restoration Technology of Degraded Grassland in Zhaotong City

DENG Jun

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

Abstract: The grasslands in Zhaotong City are mainly mountainous meadows, with fragile grassland ecosystems and low management and construction capabilities, making it difficult to restore degraded grasslands. The current grassland area in Zhaotong City is 116 079.33 hm^2 , of which 6 992.10 hm^2 was degraded grassland, accounting for 6.02% of the total grassland area. The degraded grassland is mainly characterized by mild degradation, with an area of 4 221.00 hm^2 . The reasons for grassland degradation include human factors, invasion of harmful organisms, fragile ecological environment, and climate factors. This paper provided measures for the restoration of degraded grasslands, including near natural restoration, artificial promotion restoration, artificial grassland planting, and comprehensive restoration, and suggested to accelerate the construction of grass seed bases, standardize grassland management, prioritize ecology, and adapt to local conditions.

Key words: degraded grassland; restoration measures; near natural restoration; artificial grassland planting; Zhaotong City

收稿日期:2022-01-06;修回日期:2022-02-08.

第一作者:邓军(1968-),男,云南昭通人,高级政工师。从事林业调查规划、石漠化、沙化、草原监测工作。

昭通位于昆明、成都、贵阳和重庆中心城市辐射交汇处,是云南省连接长江经济带和成渝双城经济圈的重要通道,是国内通往南亚、东南亚以及云南通往内地的大走廊,习近平总书记先后考察云南,对昭通发展指出明确的前进方向,市委政府坚定了走生态优先、绿色发展之路,增力度、重实效,进一步抓紧抓实长江上游生态安全屏障建设。为此,分析昭通市草地资源现状,剖析区域草地退化原因,研究适合区域特征的草地恢复对策,为草地生态修复作业设计项目提供技术借鉴。

1 概 况

昭通市位于云南省东北部,地处云、贵、川三省结合部(乌蒙山区腹地,金沙江下游沿岸),在四川盆地向云贵高原抬升的过渡地带,地理位置为东经 $102^{\circ}52' \sim 105^{\circ}19'$,北纬 $26^{\circ}34' \sim 28^{\circ}40'$,东西宽 241 km,南北长 234 km,辖区面积 23 021 km²,山区面积占 96%。昭通市属典型山地构造地形,峡谷深切,山高谷深,特殊的地理、独特的区位,孕育了大山、大水、大峡谷的自然景观。市内最高海拔 4 040 m(巧家县药山),最低海拔 267 m(水富市滚坎坝),平均海拔 1 685 m。境内群山林立,海拔差异较大,属亚热带、暖温带共存的高原季风立体气候,四季不明显,具有冬无严寒、夏无酷暑、雨热同季、干湿季分明等特点。年均温 $11.3 \sim 21.1^{\circ}\text{C}$,最冷月 1 月均温 $1.2 \sim 12.2^{\circ}\text{C}$;最热月 7 月均温 $19.8 \sim 27.3^{\circ}\text{C}$,在东北部年日照时间 1 000~1 200 h,在西南部年日照时间 2 000~2 300 h,年均降雨量 660~1 230 mm,降雨集中在 5 月中旬至 10 月中旬,占年降雨量的 80%~90%,市域海拔高差悬殊,地形条件复杂,异常天气频频,干旱、倒春寒、晚霜冻、低温冷害以及洪涝灾害、冰雹灾害等各类气象灾害繁多,危害重。全市水系水量充沛,多属雨水补给型的高原河流,均属长江水系。草地的地带性土壤有亚高山寒漠土、亚高山草甸土、棕壤、暗棕壤、黄棕壤、黄壤、红壤、燥红土,非地带性土壤有紫色土、红色石灰土、黑色石灰土。

昭通市辖九县一市一区,居住有汉、彝、回、苗等 25 个民族 630 万人。2020 年全市实现 GDP 1 289 亿元,城乡常住居民人均可支配收入 3.1 万元和 1.13 万元,提前实现比 2010 年翻一番目标,185.07 万贫困人口稳定脱贫,10 个贫困县顺利摘帽,35.47 万易地扶贫搬迁群众实现一步跨越进城镇,困扰昭通千百年的绝对贫困问题得到根本性解决,夺取了全面建成小康社会的最终胜利。

2 草地资源现状

2.1 草地资源数量

根据最新“国土三调”草地数据,昭通市现有草地面积 116 079.33 hm²,主要分布在巧家县、永善县、昭阳区和鲁甸县,其中:巧家县草地 43 627.088 hm²,占全市草地面积的 37.58%;永善县草地 33 658.12 hm²,占比 29.00%;昭阳区草地 18 101.23 hm²,占 15.59%;鲁甸县草地 9 666.22 hm²,占比 8.33%;其他 7 县草地面积 11 026.68 hm²,占比仅 9.50%。按草地类别划分,其他草地面积最大,为 89 798.25 hm²,占全市草地面积的 77.36%;其次为天然牧草地,面积 21 153.28 hm²,占比 18.22%;人工牧草地最少,面积 5 127.80 hm²,占比 4.42%(表 1)。

表 1 昭通市草地分布

Tab. 1 Grassland distribution in Zhaotong City

统计单位	面积/hm ²			合计	
	天然牧草地	人工牧草地	其他草地	面积/hm ²	占比/%
昭阳区		924.20	17177.03	18101.23	15.59
鲁甸县	43.19		9623.03	9666.22	8.33
巧家县	3341.50	3687.34	36598.24	43627.08	37.58
盐津县	0	1.58	217.22	218.80	0.19
大关县	0.32	393.09	4282.41	4675.82	4.03
永善县	17765.48	46.63	15846.01	33658.12	29.00
绥江县			391.91	391.91	0.34
镇雄县	2.34	68.01	2220.15	2290.50	1.97
彝良县	0.34		2575.39	2575.73	2.22
威信县	0.11	6.95	659.74	666.80	0.57
水富市			207.12	207.12	0.18
合计	21153.28	5127.80	89798.25	116079.33	100.00
占比/%	18.22	4.42	77.36	100.00	

2.2 草地资源质量

昭通市连片草地多分布在中山和亚高山区域,以山地草甸为主,虽然气候温凉,环境湿润,但也是云南省生态最脆弱区域之一;低山干热河谷区域气候温暖偏热,主要分布有暖热性灌草丛,特别是在该段的峡谷地段,由于水土流失严重,草地生态系统极其脆弱,草地存在不同程度的退化,过度放牧现象未从根本上得到彻底遏制,破坏草地的行为时有发生,草地生态保护任务繁重。

草地退化是指天然草地在干旱、风沙、水蚀、盐碱、内涝、地下水水位变化等不利自然因素影响下,或过度放牧与割草等不合理利用,或滥挖、滥割、樵采破坏草地植被,引起草地生态环境恶化,草地生物产量降低,品质下降,草地利用性能降低,甚至失去利用价值的过程。草地退化包括草地退化、沙化和盐渍化,昭通市的草地主要是利用过度,使草原生态系统逆行演替、生产力下降而形成草地退化,主要表现是草地植被的高度、盖度、产量和质量下降,土壤生境恶化,导致生产能力、经济潜力、服务性能、健康状况和生态功能衰退或丧失。

2.2.1 草地退化分级

草地分级以植物群落特征、群落植物组成结构、指示植物、地上部分产草量及土壤养分为主要依据,结合地表特征、土壤理化性质、土壤养分对草地进行分级,将草地划分为未退化草地、轻度退化草地、中度退化草地和重度退化草地4个等级。

1)未退化草地:牧草在正常采食或刈割下生机

不减,草层高度、盖度正常,草产量下降不超过10%。

2)轻度退化草地:牧草在频繁采食或刈割下,生机衰退,草层高度、盖度下降,草产量下降11%~20%。

3)中度退化草地:草层中优良牧草明显减少,劣质牧草或有毒有害植物相对增加,草地向低产低质演替的同时,土壤结构和理化性状明显恶化,草产量下降21%~50%。

4)重度退化草地:植被和土壤条件进一步恶化,牧草产量降低超50%,草地出现严重侵蚀,草原生产能力和生态功能下降。

2.2.2 草地资源质量现状

昭通市现有草地面积116 079.33 hm²,按草地退化分级统计,未退化草地面积109 087.23 hm²,占全市草地总面积的93.98%。退化草地面积6 992.10 hm²,占比6.02%。退化草地主要以轻度退化为主,面积4 221.00 hm²,其次是重度退化和中度退化,面积分别为1 996.84 hm²和774.26 hm²(表2)。

表2 昭通市退化草地分布

Tab.2 Distribution of degraded grasslands in Zhaotong City

统计单位	未退化草地 /hm ²	退化草地/hm ²				总计/hm ²
		轻度退化	中度退化	重度退化	合计	
昭阳区	17330.72	736.55	22.13	11.83	770.51	18101.23
鲁甸县	9547.72	92.60	23.69	2.21	118.50	9666.22
巧家县	39934.54	1731.89	285.44	1675.21	3692.54	43627.08
盐津县	214.60	1.64	0.08	2.48	4.20	218.80
大关县	4469.78	25.45	178.36	2.23	206.04	4675.82
永善县	31571.56	1580.85	234.98	270.73	2086.56	33658.12
绥江县	308.50	32.61	24.69	26.11	83.41	391.91
镇雄县	2274.92	15.58			15.58	2290.50
彝良县	2574.74	0.99			0.99	2575.73
威信县	665.20	1.60			1.60	666.80
水富市	194.95	1.24	4.89	6.04	12.17	207.12
合计	109087.23	4221.00	774.26	1996.84	6992.10	116079.33
占比/%	93.98	3.64	0.67	1.72	6.02	100.00

退化草地中以山地草甸类为主,主要分布在亚高山区域,面积为4 984.07 hm²,占退化草地面积的71.28%;其次是热性灌草丛类,主要分布在干热河谷区域,面积为1 974.43 hm²,占比28.24%;暖性灌草丛类主要分布在中山区域,面积为33.60 hm²,占比仅0.48%(表3)。

按草地类别划分,人工牧草地、天然牧草地及其他草地面积及占比见表4。

3 草地退化原因分析

草地退化是自然因素和人为因素共同作用的结果,昭通市脆弱的生态环境是草地退化的内因,气候

表 3 昭通市不同草地类型退化数量及占比

Tab. 3 Quantity and proportion of degradation of different grassland types in Zhaotong City

类别	山地草甸类		暖性灌草丛类		热性灌草丛类		合计	
	面积/hm ²	占比/%	面积/hm ²	占比/%	面积/hm ²	占比/%	面积/hm ²	占比/%
轻度退化	2844.78	57.08	9.19	27.35	1367.03	69.24	4221.00	60.37
中度退化	362.44	7.27	23.60	70.24	388.22	19.66	774.26	11.07
重度退化	1776.85	35.65	0.81	2.41	219.18	11.10	1996.84	28.56
合计	4984.07	100.00	33.60	100.00	1974.43	100.00	6992.10	100.00
占比/%	71.28		0.48		28.24		100.00	

表 4 昭通市不同类别草地退化程度

Tab. 4 Degradation degree of different types of grasslands in Zhaotong City

草地退化程度	其他草地		人工牧草地		天然牧草地		合计	
	面积/hm ²	占比/%	面积/hm ²	占比/%	面积/hm ²	占比/%	面积/hm ²	占比/%
未退化草地	84972.04	94.63	4465.33	87.08	19649.86	92.89	109087.23	93.98
轻度退化	3220.07	3.58	172.36	3.36	828.57	3.92	4221.00	3.64
中度退化	576.53	0.64	56.95	1.11	140.78	0.67	774.26	0.67
重度退化	1029.61	1.15	433.16	8.45	534.07	2.52	1996.84	1.72
退化草地合计	4826.21	5.37	662.47	12.92	1503.42	7.11	6992.10	6.02
总计	89798.25	100.00	5127.80	100.00	21153.28	100.00	116079.33	100.00
占比/%	77.36		4.42		18.22		100.00	

变化、人为干扰和利用不合理是草地退化驱动力,气候变暖、变干会加速草地退化。

3.1 人为因素

1) 昭通市人口密度大,家畜是主要的经济收入之一,牧民在草地上长期超载放牧,过度放牧导致牲畜频繁啃食和踩踏草地,导致草地光合作用效率下降,种子繁殖和养分更新受阻,草地生机逐渐衰退。

2) 昭通市地少人多,粮食是人类生存的基础,不适当开垦、撂荒、砍薪、割草、采挖中草药材等人为破坏草地植被行为频繁发生,草地经过长期水蚀,土壤大量流失,土壤贫瘠化加剧。

3) 草地主管部门技术力量薄弱,专职管理人员少,管理不到位,导致在居民点、畜群点、饮水点或河流、道路两侧缺乏保护与管理,草地退化形成以同心圆或平行于河流、道路,逐步向外扩展,距基点、道路、水源越近,退化愈严重。

4) 使用草地的法律法规不健全,管理难度大,露天开矿、项目建设使用草地不规范,严重破坏植被,致使草地退化。此外,过渡开发旅游对草地生态系统造成一定程度的干扰和破坏。

3.2 有害生物侵入

在生态环境脆弱区出现异常天气,导致各种气象灾害发生,加之不利的人为因素影响,助推草地退化加速,草地生态失去平衡,导致草地逆向演化,有害生物趁机侵入。有害草本植物主要以紫茎泽兰、狼毒等有害生物为主,局部区域草地时有鼠害、虫害发生,导致草地生物多样性和生产力下降,加剧退化草地的形成。

3.3 生态环境脆弱

生态环境恶化降低了生态承载力,危及国家或地区生态安全,制约区域社会经济的可持续发展。昭通市地处长江上游、赤水河源头,是长江经济带的重要生态安全屏障。境内属中山、亚高山区域,山高坡陡、地形复杂多样,人地矛盾突出、草地抗干扰能力弱,环境承载力不足,整体生态环境脆弱,从而生物多样性减少,土地资源退化,森林资源和草地遭受破坏,降低了生态承载力,加剧了贫困,当地一些农民成为生态灾民,影响社会安定。自然生态环境遭受破坏,降低了区域生态功能,致使自然灾害暴发频繁,加剧了长江中下游的洪涝灾害。通过实施长江防护林工程、天然林资源保护工程、退耕还林(草)

工程等生态建设工程,整体生态环境质量得到提升,但生态环境仍然脆弱。

3.4 气候因素

昭通市属亚热带、暖温带共存的高原季风立体气候,海拔高差悬殊,地形条件复杂,异常天气频频,各类气象灾害繁多,危害重。主要气象灾害有冬春干旱、春夏连旱、严重伏旱、倒春寒、晚霜冻、8月低温冷害以及洪涝灾害、冰雹灾害等。加之干热河谷区域蒸发量大、降水少,草地自然更替能力弱,导致草地自然衰退。

4 退化草地修复措施

昭通市山高坡陡、地形复杂多样、气象灾害繁多、生态环境脆弱,对退化草地进行恢复时,注重对草地生态环境的保护,本着顺应自然、尊重科学的原则,对昭通市退化草地修复提出修复措施。

4.1 近自然修复

轻度退化草地以近自然修复为主,采取封育措施进行修复,减少人为活动对退化草地的干扰,在人口稠密区域设置围栏封堵,对地力下降区域进行施肥,促进草地恢复。昭通市退化草地 6 992.10 hm²,其中轻度退化草地 4 221.00 hm²,占全市退化草地面积的 60.37%。封育有利于退化植被的恢复演替,改善植物群落的结构和功能,增加植物群落多样性和稳定性,促进植物的生长发育,提高植物生物量和地表植被覆盖率,促进退化植被、生境、土壤的恢复,有效控制草地退化的发展方向和发展速度,保持和提高草地良好的生产力。

4.2 人工促进修复

中度退化草地以人工促进修复为主,采取松耙、划破草皮、除杂、浅耕翻(立地条件好的局部)、补播、施肥和围栏封育等人工措施促进退化草地修复。昭通市中度退化草地面积 774.26 hm²,占全市退化草地面积的 11.07%。根据退化草地的生态区位、气候、土壤类型、立地条件、经营利用方向进行补播,优先选择适应当地生态环境、能促进当地草地植被恢复、产量高、品质好、固土保水能力强的草种。草种选择原则为:(1)选择建植快,根系发达、生长旺盛、保持水土、涵养水源能力较强的牧用生态兼用型草种;(2)选择适宜的豆科、禾本科草种按比例进行混播,保证草地建植成效;(3)选择经国家审定或认定的优良草种进行退化草地生态修复。草种应符合质量好、产量高、抗逆性强、利用年限长的特征。

4.3 人工草地建植

重度退化草地恢复潜力较小,恢复速度较慢,通过人工植被建植,并实施围栏封育,促进草地群落的生态恢复。昭通市重度退化草地面积 1 996.84 hm²,占全市退化草地面积的 28.56%。根据退化草地立地条件,采取破土免耕方法进行穴状、沿等高线带状、块状、浅耕翻(立地条件好的局部)整地和除杂,采用抗逆性强、根系发达的多年生禾草以及生长旺盛、保持水土、涵养水源能力较强的牧用生态兼用型(豆科、禾本科)草种按比例进行混播,对退化草地生态恢复有积极的促进作用。秋季播种,播种时应加底肥,10月开始追肥除杂。

4.4 综合修复

根据退化草地的生态区位、立地条件选择两种或两种以上的修复方法进行综合修复。

5 草地修复策略

长期以来,昭通市主要通过实施岩溶地区石漠化草地治理、退牧还草、退耕还草等工程开展草地生态修复,由于资金投入有限,生态修复成果巩固难度大。

5.1 加快草种基地建设

草种繁育推广整体发展水平滞后,草种种质资源繁育和种子供给能力远远不能满足当前草地修复需要,严重制约草地修复持续开展。根据昭通市草地分布特点,在不同区域,特别是针对干热河谷区域,加快草种种质资源挖掘和优良品种选育利用工作,充分利用现有的成片、成块草地,建设一批天然采种场和乡土草种繁育基地,提供适应性、抗逆性强的乡土草种,持续推进退化草地修复,提升修复质量。

5.2 规范草地管理

规范草地管理,明晰所有权、使用权,建立草地有偿使用的草地管理体制,政府主导,社会参与,采用联户、分户承包等多种形式落实责任,使管、建、用与责、权、利紧密相结合,充分调动草地建设的积极性,从根本上促进草地植被恢复,遏制草地退化。

5.3 生态优先、因地制宜

昭通市地势西南高东北低,山高谷深,属典型的山地构造地形,境内以高山、中山、低山地形为主,区域内生态脆弱,草地修复作业设计要以生态优先为前提,根据修复地块的区位、地形、立地条件确定修复措施和修复方法,同时设置围栏保护,清除有害草本植物,有效防治鼠害虫害的发生。

1)陡坡以上及高山(低山)地形区域,以近自然修复为主,采取封育禁牧措施进行退化草地修复。

2) 斜坡及中山区域,以人工促进修复为主,采取草地改良、划破草皮、松土补播、施肥、封育禁牧、休牧轮牧措施进行退化草地修复。

3) 平缓坡区域,以人工促进修复为主,采取人工草地建植措施进行退化草地修复。

4) 轻度退化草地以自然修复为主;中度退化草地以自然修复为主,改良与封育相结合;重度退化草地以人工促进修复为主,人工草地建植与封育相结合;在干热河谷区域有灌溉条件的要增设灌溉设施。

5) 补植、人工草地建植以减少水土流失、降低生态安全风险为原则,确定整地方式和方法;草种选择以乡土草种优先,适地适草为原则。

6) 草地内部结构复杂,采取两种或两种以上的修复方法对退化草地进行综合修复。

6 结 语

昭通市是云南省连接长江经济带和成渝双城经济圈的重要通道,是四川盆地向云贵高原抬升的过渡地带,生态地位特殊、生态区位重要。草地是牧业基地和生态屏障,在历史发展过程中持续创造经济价值和生态价值,社会效益明显。昭通市生态脆弱,草地管理水平和建设能力不高,乡土草种紧缺、技术

力量和资金不足,导致退化草地修复难度大,针对昭通草地退化程度及恢复潜力,结合草地生境条件进行探索,提出合理的草地生态恢复措施,在国家草原生态修复、退耕(牧)还草等生态保护修复的政策支撑下,促进退化草地生态恢复演替,加速昭通市生态文明建设。

参考文献:

- [1] 天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标:GB 19377—2003[S]. 2003.
- [2] 退化草地修复技术规范:GB/T 37067—2018[S]. 2018.
- [3] 龙瑞军,董世魁,胡自治. 西部草地退化的原因分析与生态恢复措施探讨[J]. 草原与草坪,2005,113(5):3-7.
- [4] 杨汝荣. 我国西部草地退化原因及可持续发展分析[J]. 草业科学,2002(1):23-27.
- [5] 昭通地理[EB/OL]. [2021-11-09]. https://baike.baidu.com/item/%E6%98%AD%E9%80%9A%E5%B8%82/2506155?fr=ge_ala.
- [6] 昭通市人民政府. 昭通市 2020 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [2021-10-20]. <http://www.zt.gov.cn/contents/4500/198731.html?eqid=e55bafbc000364cf00000066476d2d7>.

责任编辑:许易琦

(上接第 119 页)

两者平均值可以得出,本项目的绿地一年固碳量为 4 398.3 t。

6 结 语

北京环球影城区域景观廊道建设对北京环球影城的建成运营、文化旅游区的同步发展具有重要的支撑意义。低碳城市景观廊道建设既回应时代需求,也是我国积极应对气候变化的探索与创新之举,更是新型生态文明和美丽中国中的一个重要实践活动。同时,城市景观廊道承担着多种多样的功能,尤其是环球影城区域这样具有明显旅游消费需求的全球知名 IP 乐园地区,碳效应与娱乐功能、景观功能等其他效应综合平衡。

参考文献:

- [1] 国务院新闻办公室. 中国应对气候变化的政策与行动[Z]. 2020.
- [2] JO, HYUN-KIL PARK, HYE-MI. Changes in growth rate and carbon sequestration by age of landscape trees[J]. The Korean Institute of Landscape Architecture, 2017, 45

(5):97-104.

- [3] 吴颖. 碳达峰与碳中和视角下森林生态与碳循环关系探讨[J]. 林业建设,2021(5):34-37.
- [4] 唐承财,查建平,章杰宽. 高质量发展下中国旅游业双碳目标:评估预测,主要挑战与实现路径[J]. 中国生态旅游,2021,11(4):471-497.
- [5] AFZAL, MUHAMMAD, AKHTA. Aqeela mobeen[J]. Agricultural Research, 2013, 51(1):61-69.
- [6] 包志毅,马婕婷. 试论低碳植物景观设计和营造[J]. 中国园林,2011,27(1):7-10.
- [7] 杨学丽,田晓璐. 碳中和愿景下居民低碳消费的路径探析[J]. 大庆社会科学,2021(6):86-89.
- [8] 于洋,王昕歌. 面向生态系统服务功能的城市绿地碳汇量估算研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2021,53(1):95-101.
- [9] 于敬磊,赵晓东,郭丰. 机场绿化规划的节能减排效果分析[J]. 节能,2014(4):38-39.
- [10] 叶祖达. 建立低碳城市规划工具——城乡生态绿地空间碳汇功能评估模型[J]. 城市规划,2011,35(2):32-38.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.036

对生态学的再认识 ——评述 *Metabolic Ecology: A Scaling Approach* 一书

王 磊

(云南省林业和草原科学院昆明树木园, 云南 昆明 650201)

摘要:以“能否找到一个联系不同生态层次、水平和过程的桥梁?”和“是否存在一个普适性模型可对生态学的各种现象进行解释?”等两个问题作为开篇,推出了所要介绍的生态学著作 *Metabolic Ecology: A Scaling Approach*。文中综述了原著全书的结构和各章节的主要内容,强调了“代谢速率”这个关键性概念,并通过代谢速率这个桥梁,将动物和植物、个体和种群、群落以及生态系统联系起来,既回答了开篇之问,又引出了原著的核心内容。文中还列举了代谢生态学理念在人类学和非生物学领域的拓展与应用,同时还指出了代谢生态学理论的局限性和未来研究热点。

关键词:生态学;新陈代谢;代谢生态学;代谢速率

中图分类号:S718.5;S718.557 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0213-03

引文格式:王磊. 对生态学的再认识——评述 *Metabolic Ecology: A Scaling Approach* 一书[J]. 林业调查规划, 2023, 48(4): 213-215. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.036

WANG Lei. Further Understanding of Ecology——A Review of *Metabolic Ecology: A Scaling Approach*[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 213-215. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.036

Further Understanding of Ecology ——A Review of *Metabolic Ecology: A Scaling Approach*

WANG Lei

(Kunming Arboretum, Yunnan Academy of Forestry and Grassland, Kunming 650201, China)

Abstract: Starting with two questions “Can we find a bridge that connects different ecological grades, levels, and processes?” and “Is there a universal model that can explain various ecological phenomena”, the ecological work *Metabolic Ecology: A Scaling Approach* was introduced. This paper provided an overview of the structure of the original book and the main content of each chapter, emphasizing the key concept of “metabolic rate”. Through the bridge of metabolic rate, animals and plants, individuals and populations, communities and ecosystems were connected, which not only answered the opening question but also led to the core content of the original book. This paper also listed the expansion and application of metabolic ecology concepts in anthropology and non biological fields, and pointed out the limitations and future research hotspots of metabolic ecology theory.

Key words: ecology; metabolism; metabolic ecology; metabolic rate

收稿日期:2021-12-28.

基金项目:云南省科技人才与平台计划项目(202205AD160018);云南省重点研发计划项目(202203AE140002).

第一作者:王磊(1981-),男,云南墨江人,博士,副研究员.主要从事树种资源保护利用及森林生态学研究. Email:wlei222@sohu.com

生态学是研究有机体与周围环境相互关系的科学,是对地球生物圈中生命体系研究的拓展。传统生态学常被认为是宏观生物学,主要在生物个体、种群、群落、生态系统等层次上开展研究。自 20 世纪 90 年代以来,随着分子生态学的兴起,生态学的研究范围已深入到了分子、细胞等微观领域。由此可见,研究尺度跨度之大,研究对象之多样,学科分支之细密,是当今生态学发展的一大特点。然而,生态学作为一门科学,能否找到这样一个桥梁,将该领域中各个不同的层次、水平和过程联系起来?是否存在这样一个普适性的理论模型,它基于所有生命都具有的共同特征,并能根据数学原理进行推导,最终可对生态学中的各种现象进行阐释?人们长期以来苦苦思索并试图找到答案。恩格斯在《自然辩证法》中指出:“生命是蛋白体的存在方式,这个存在方式的基本因素在于它和周围外部自然界的不断新陈代谢”。这似乎已经给了人们暗示。新陈代谢是生命的重要属性之一,是生物与周围环境间物质交换与能量流动的严整有序的过程,也是生物生长、分化、繁殖、遗传、适应、演替的基础。新陈代谢速率决定了几乎所有生物活动的速率^[1]。不久前,由 Richard M. Sibly, James H. Brown 和 Astrid Kodric-Brown(2012)共同主编的 *Metabolic Ecology: A Scaling Approach* 一书就明确提出,代谢理论是生态学的基础,新陈代谢对于生态学的重要性,正如遗传学对于生物进化一样,认为代谢速率是最基本的生物学速率。该书于 2012 年 3 月由约翰·威立出版社(John Wiley & Sons, Ltd.)出版发行。

全书主体分为 3 个部分,共 25 章。在序言中,可以了解到编著该书的缘起是 Brown 等人于 2004 年发表的一篇论文——“Toward a Metabolic Theory of Ecology”^[1],并由此激发了之后一系列相关领域的研究。众多的专业人士和学者为该书的问世做出了卓越贡献。在该书的前言介绍中,作者指出“所有的生态学中的相互作用就如同生物学中物质、能量及信息交流的过程一样,即基本的新陈代谢过程。代谢速率是最基本的生物生态学速率”,并论述了书中围绕着一个基本思想,即新陈代谢能为生态学提供一个统一的理论基础,就类似于遗传学为进化论提供理论支撑。作者提出了 3 个问题(生物与环境之间进行交流的通量是什么?哪些物理学、化学和生物学的法则在调控这一交流过程?这一流通过程对生态学中的各个层级和在不同时空尺度上发生的生态学现象有何意义?),以便为读者洞悉生态

学提供新的视角。

该书第一部分(第 1~11 章)是基础部分,阐述了关于代谢生态学的一些基本方法和原理。其中第 1 章主要介绍了一些具体的方法,如数学模型的构建和数据的统计分析;第 2 章描述了生态学代谢理论模型的“主方程式”;第 3 章是关于化学计量学方面的知识,主要论述了一些基本化学元素和化合物在新陈代谢和生态学中的作用及影响;第 4 章介绍了在个体生长发育过程中,生物是如何分配能量和物质的;第 5 章所关注的是自然选择对生物生活史的塑造过程;第 6 章列举了一些关于新陈代谢对生物行为影响的案例;第 7 章论述了生物体的新陈代谢和代谢速率是如何对种群和群落造成影响的;第 8 章介绍了摄食生态学和食物网结构;第 9 章论述了生物体的代谢速率是如何在生态系统层次上发挥作用的;第 10 章描述了代谢速率对进化速率的影响;第 11 章介绍了新陈代谢与生物多样性的地理格局之间的关系。

第二部分(第 12~20 章)列举了一些代谢生态学理论的应用实例。其中第 12 章讲述了代谢生态学理论在原核生物和单细胞真核生物研究中的应用;第 13 章介绍了代谢生态学理论在水生生态系统浮游植物研究中的应用;第 14 章评述了代谢理论的基本原理在植物学(陆地生态系统)研究中的应用;第 15 章描述了代谢理论在海洋无脊椎动物研究中的应用;第 16 章论述了代谢理论在昆虫及其代谢速率研究中的应用;第 17 章介绍了代谢理论在陆生脊椎动物研究方面的应用;第 18 章讲述了代谢理论在海鸟和海洋哺乳动物研究方面的应用;第 19 章论述了代谢理论在寄生虫学研究中的应用及相互影响;第 20 章评述了代谢生态学理论在人类生态学研究中的应用,以及对人类演化和人类社会—经济体系的影响。

第三部分(第 21~25 章)指出了代谢理论的现实意义,并提出了一些具体应用措施。其中第 21 章涉及到人类对渔业的影响和管理,是基于代谢理论的海洋生态学研究概论;第 22 章介绍了生态学代谢理论模型在现代保护生物学中的作用和影响;第 23 章论述了气候变化对生物体新陈代谢的影响,进而对生物群落造成影响,认为代谢生态学理论可以帮助人们更好地理解生态系统对气候变化引起的异常环境条件的响应机制;第 24 章将代谢生态学的一些理念框架和模型扩展到了从交通运输网络到电脑芯片的各种人类工程系统中;第 25 章对全书内容进行

了综合概括,对生态学代谢理论模型的研究与应用进行了评述,最后提出了代谢生态学的核心问题,即“如何通过个体生物间的尺度关系及形态、生理、行为等限制因素来映射出各种群、群落和生态系统的显著特征?”。

新陈代谢是生命体最基本的特征,也是生物和非生物的根本区别。基于“代谢速率(即有机体摄取、转化和消耗能量与物质的速率)是最基本的生物学速率”这一假设,在1997年,由Geoffrey B. West, James H. Brown 和 Brian J. Enquist 首先提出了代谢生态学理论^[2]。2002年,Allen 等提出用这一理论框架解释大尺度上生物多样性梯度变化的机制,尤其是纬度梯度多样性^[3]。代谢理论可以解释个体生长、发育、种群动态、分子进化、环境中化学元素的通量,以及物种多样性模式等。或者说,代谢生态学理论认为,所有生命受到共同的物理和生物进化规律的制约,都受到个体质量的制约,并通过代谢速率这个桥梁,人们可以在动物和植物、个体生物学和种群、群落以及生态系统生态学之间建立起有机的联系^[1,4]。经过一段时期的发展,代谢生态学的理念已经逐步超越了传统的生物与生态学范畴,开始向探索人类活动领域和社会性昆虫的研究方面拓展,甚至已经渗入进了非生物学领域中,如作者在书中提到的高速公路网控电脑芯片的工程设计^[5];以及邱玉琢等^[6]在代谢生态学理论的基础上,对综合交通运输体系运量需求演化机制进行的研究。

代谢生态学理论作为一个崭新的理论体系,自从提出以来就备受关注,同时也伴随着一些争议。代谢理论可以解释许多,但不是所有的生态学现象。研究对象的个体大小和体温差异越大,代谢理论就越可以发挥效用,但是它不能用于解释个体大小相近的不同物种间的竞争共存机制,以及不同个体大小的共生物种在能量获取和代谢速率上的一致性。这一理论的完善也需要结合更多的其他有关生物多样性的研究方法,使其能更切合实际地预测生物多样性分布规律。随着代谢理论的不断发展和完善,代谢速率假说有可能成为解释生物多样性分布规律的普适性原理。正如任何一门学科或理论体系的建

立,都须经过长期的探索和反复的求证方能日臻完备,代谢生态学也不例外,还存在许多重要的科学问题亟待解决,就如 *Metabolic Ecology: A Scaling Approach* 一书中所指出的,生态学是研究所有关于生物与环境相互作用的科学,探究能量与物质是如何在这些相互作用过程中进行交流,以及这些通量是如何影响生物体和环境本身,这将为生态学领域的研究开启一片新的天地。这也需要广大科技工作者为之不断努力。

总之, *Metabolic Ecology: A Scaling Approach* 一书内容丰富、全面,论述详尽,图文并茂,学术水平高,实用价值大,是一部优秀的生态学研究著作。书后还附有术语汇编、参考文献及关键词索引,是一本关于代谢生态学的重要参考书,适合分子生态学、个体生态学、种群生态学、种群遗传学、群落生态学、生态系统生态学、进化生物学、保护生物学、环境生态学等相关领域的科研人员学习和参考。

参考文献:

- [1] BROWN J H, GILLOOLY J F, ALLEN A P, et al. Toward a metabolic theory of ecology[J]. *Ecology*, 2004, 85: 1771-1789.
- [2] WEST G B, BROWN J H, ENQUIST B J. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology[J]. *Science*, 1997, 276: 122-126.
- [3] ALLEN A P, BROWN J H, GILLOOLY J F. Global biodiversity, biochemical kinetics, and the energetic-equivalence rule[J]. *Science*, 2002, 297: 1545-1548.
- [4] 韩文轩, 方精云. 相关生长关系与生态学研究中的尺度转换[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2003, 39(4): 583-593.
- [5] SIBLY R M, BROWN J H, KODRIC-BROWN A. *Metabolic Ecology: A Scaling Approach* [M]. Chichester: John Wiley & Sons, 2012.
- [6] 邱玉琢, 陈森发, 陈涛. 基于代谢生态学的综合运输体系需求演化机制[J]. *东南大学学报(英文版)*, 2009, 25(2): 271-273.

责任编辑: 刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.037

文化主题性公园造园特色及策略研究

——以安阳市汉字公园为例

梁文玉

(安阳易园管理站,河南 安阳 455000)

摘要:安阳市汉字公园及中国文字博物馆等展馆群联成一体,是以汉字文化为主题的大型高品质综合性公园。通过实地调研,从山体、理水、园林小品、植物四大造园要素进行分析,研究其造园艺术特色,对“汉字之韵”“汉字之变”“汉字之趣”“汉字之源”“汉字力量”“汉字之美”等庭院空间进行造园策略探讨,总结造园中的不足,探讨新时期风景园林融合历史文化元素的应用新模式和新方法。

关键词:汉字文化;造园艺术;造园要素;安阳市汉字公园

中图分类号:TU986.51;F316.23 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0216-04

引文格式:梁文玉.文化主题性公园造园特色及策略研究——以安阳市汉字公园为例[J].林业调查规划,2023,48(4):216-219,225. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.037

LIANG Wenyu. Characteristics and Strategies of Cultural Theme Park Gardening——A Case Study of Chinese Character Park in Anyang City[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 216-219, 225. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.037

Characteristics and Strategies of Cultural Theme Park Gardening

——A Case Study of Chinese Character Park in Anyang City

LIANG Wenyu

(Anyang Yiyuan Management Station, Anyang, Henan 455000, China)

Abstract: The Anyang Chinese Character Park and the Museum of Chinese Characters are a large, high-quality comprehensive park with the theme of Chinese character culture, integrated into a group of exhibition halls. Through on-site research and analysis of the four major garden elements of mountains, water management, garden sketches, and plants, this paper explored the artistic characteristics of garden design, including the “rhyme of Chinese character” “changes in Chinese character” “charm of Chinese character” “source of Chinese character” “power of Chinese character” and “beauty of Chinese character” in courtyard spaces. This paper summarized the garden design strategies, the shortcomings in garden design, and the new models and methods for integrating historical and cultural elements into landscape architecture in the new era.

Key words: Chinese character culture; landscape art; garden elements; Chinese Character Park in Anyang City

收稿日期:2023-01-31.

基金项目:河南省住建厅项目(豫建办[2022]219号).

第一作者:梁文玉(1967-),女,河南安阳人,高级工程师.研究方向为风景园林规划设计、植物配置应用与研究等. Email:519560591@qq.com

1 公园概况

汉字公园坐落在河南省安阳市文峰区南北中央景观带上,占地面积 14.25 hm²,是高规格汉字文化主题景观公园。公园中间部分为中国文字博物馆、博文馆和徽文馆 3 个展馆,中国文字博物馆是中国唯一一座以文字为主题的国家级博物馆,展馆内展示文字发展演变等历史与研究成果,展馆外部是高品质国家级汉字公园,汉字公园依托殷墟发祥地和甲骨文故乡安阳,贯彻保护传承殷商文化、高度重视甲骨文的精神,以丰富的汉字文化园林空间,展示博大精深的汉字文化历史。作为文化性主题公园,公园传承和发扬中国传统园林优秀思想,融合建筑、山池、园艺、诗词、绘画等多种艺术为一体^[1],追求“虽由人作,宛自天开”“步移景异”“因地制宜”^[2]等造园手法,达到天人合一。汉字公园的造园艺术发扬中国传统文化精髓,运用新时代思想和新手法,采用新技术、新材料,力求创新设计,体现亮点。文化景观与园林景观需要高度融合,才能体现景观的高雅和艺术性,造园需要推陈出新,与时俱进。汉字公园积极探索文化性景观在新时代风景园林中的新技艺和新范式应用,同时融合注重生态、生产、生活的和谐发展,创造出宜居宜人、文化内涵深厚的公园环境^[3]。

汉字公园位于河南省安阳市中央景观带轴线上,与南侧 CBD 公园、市政文化广场、党政综合院、易园、北万金游园和洹河绿地等形成南北景观廊道,体现厚重的殷商、周易和汉字文化,彰显安阳浓郁地域文化特色。汉字公园南依人民大道,东接永明路,西邻中华路,北靠文博街,中心博物馆与北部的东西场馆呈双手合抱态势,寓意“天人合一”理念,汉字公园以中国传统园林为主,围绕汉字文化为主题脉络,挖湖营造特色水系、堆山塑造自然地形、配置多样花草树种、设计特色空间、构建浓郁汉字文化小品,通过多样园林空间展现博大精深的中国汉字文化历史,形成特色汉字文化户外客厅,让人们在轻松游园赏景中领略汉字的文化和魅力。

汉字公园有“汉字之源”“汉字之变”“汉字之趣”“汉字之美”“汉字之韵”和“汉字力量”6 个分区,把中华汉字的形成、文韵、变化、趣味、汉字之美和汉字力量融合在园中,形成情景交融、景致多变的主题园林。

2 造园特色

通过实地调研,汉字公园模拟自然山水体现中

国传统园林文化,配置合理的乡土植物,设计体量适宜的园林小品,营造特色庭院空间,通过题材新颖、景观丰富的园林空间体验来展示中国博大精深的汉字文化历史,体现诗情画意的园林文化空间。分析汉字公园山体、理水、园林小品、植物配置等造景元素,总结造园艺术特色和造园策略。

2.1 山体

园区地形设计以中国山水园林理念为依托,模拟自然景观以期达到“虽由人作,宛自天开”之境。整个园区的地势为东西高,中间低,以衬托庄重典雅的文字展馆的中央地位。整个骨架地形遵循西高东低的地势布局,园区东西两侧为地形骨架,种植树木形成屏障,以隔离四周道路的繁华,营造相对安静的环境。最高的山体位于西北部,呈 L 型分布,高 4.5 m 的山脉卧如鲸背,山上置亭,可登高鸟瞰全园,山体从中部断裂成平地,形成西北角广场入口,两侧崖壁石刻,篆刻错字,形成趣味文化景观。整个园区的小块微地形山体,根据园路地块特性,山脉整体控制在 0.8~1.8 m,形成高低错落、相互呼应的地形脉络,整个微地形上栽植花草树木,形成空间饱满的园林景观。中国文字博物馆南侧主入口两侧地形起伏有致,形成开敞阳光草坪空间,背景是浓郁的大叶女贞林带,天空中飞翔着白色鸽群,远处的中国文字博物馆在蓝天碧草的映衬下,格外美轮美奂。

2.2 理水

园林造景贵在理水,水是中国传统园林的灵魂,公园水系分成 3 个部分:(1)以文字博物馆为中心,四周环绕水系,水面横跨 4 座小桥,控制全园的视线景观,水系作为天然屏障隔离通行,便于日常管理;(2)东部水系位于中心展馆群的外部,自然弯曲成狭长的玉带河,与展馆相互映衬,突出中心展馆群的庄严和艺术性;(3)西部水域面积宽阔,岸线曲折蜿蜒,采用一池三山的传统造园做法,湖中配置 3 座小岛,岛屿之间互为对景和借景,隔岸相望,有汉白玉小桥连通,水面清澈秀丽,岸边柳丝轻抚,平湖秋月,四面湖风,通过大小岛屿的虚实变化,营造出丰富的水面景观,岛屿之间相互借景,空间蜿蜒多变,登汉白玉桥上,可赏四面湖风朗月、听风吟诗,岛屿上布置了“汉字之源”和“汉字之趣”园林景点,丰富的汉字文化更是让人目不暇接,遍地文化景观融合在园路两侧的小品中,移步异景,步步生莲,处处文韵,环视四周湖山岛屿小桥流水,走在曲折的栈道湿地中,宛若置身于西湖山水园林中。

驳岸有垂直的硬质驳岸、斜坡草地、鹅卵石等多

种形式,硬质水池较浅,清澈可见池底卵石,水面平静如镜,可见远处湖水中野鸭浅飞。

2.3 园林小品

汉字公园造园以不同材质和艺术造型体现汉字历史和文化,选取殷商时期的历史符号和图案,亭廊以新中式为主,小品秉承中国传统园林风格,题材多样,形式丰富,构思巧妙,做工精致,与场地环境契合自然,在园林中体现浓郁的文化,展现出不同的空间形式。西南入口两侧对称布置大型甲骨风云汉白玉浮雕墙,上边篆刻仓颉造字和王懿荣等甲骨文历史人物,展示汉字文化的发展历史。“汉字之源”内甲骨文碑林小品以仿真出土甲骨文为样本,展示在园路两侧;通过出土的陶罐、瓦缸、水槽、磨盘、院落小门和景墙,营造农家院落(图 1),反映良渚文化和龙山文化。“汉字之韵”以 4 组不同的庭院空间,通过精心设计的花岗岩诗词小品,从《诗经》到唐诗宋词元曲明清诗词、毛泽东诗词来展示中国古典诗词文化历程。“汉字之美”通过营造不同的新中式特色铁艺碑林廊架空间,展现不同朝代的名人字帖、碑刻和历代印章文化,体现汉字之美,汉字美在风骨,美在力量,美在风韵。湖面汉白玉直桥、拱桥和曲折多变的木栈道湿地分隔成丰富的水面空间,汉白玉直桥和拱桥具有典型的传统园林风格,木栈道与柳树掩映,跨越水面,波光粼粼,如杭州西溪湿地自然风光。“汉字之趣”通过多处生动有趣的景观空间,提升人景交互感受和体验^[4]。



图 1 田园农家

Fig. 1 Rural farmhouse

2.4 植物

植物配置以传统园林自然式为主,因地制宜选择乡土树种,全冠栽植,以中央文字博物馆为视觉中

心,整个绿地以草坪打底,以本地适宜的植物为主,组团配置,运用桂花、山桃、山杏等令人愉悦的香花植物^[5],注重感官体验,风格简洁明朗,视线舒朗通透,景深深远,除少量障景外,其余空间开阔明朗,每个区域均看到典雅庄重的展馆伫立在公园中心位置,透出金碧辉煌、典雅大气的宫殿之美。汉字文韵园区竹林庭院,三面环绕早园竹林,庭院经竹林障景,欲扬先抑,犹如半抱琵琶,“复行数十走,豁然开朗”^[6],遂见庭院深深入口,入口景观灯上的竹图案与竹林呼应,体现竹的正直、高洁情操。

西部临湖园路点缀桂花、海棠,粉红骇绿,桂子飘香;沿湖多植垂柳,岸植海棠,有柳丝多情、海棠点水之境。主要大型入口以高大挺拔的银杏树作为迎宾树阵;其余组团绿地内搭配乡土树种,多以朴树、核桃、白蜡等乔木结合白皮松、油松、桂花等常青树,配置山杏、山桃等花灌木,形成乔灌草结合的园林绿地。主要乔木有白皮松、油松、大叶女贞、银杏、白蜡、柳树、朴树、玉兰、桂花、石楠等,主要灌木有梅花、紫薇、海棠、樱花、山杏、山桃等,下层植被有红叶石楠、金叶女贞、大叶黄杨、八宝景天和月季等。

3 营造策略

公园围绕汉字的历史文化,以地形、水体、植物、小品巧妙营造的不同园林来表现形式多变的庭院空间,体现中华悠久的汉字历史。

1)“汉字之韵”以 4 个开放性园林院落空间展示汉字文韵。以镶嵌在 4 个院落景墙上的历代名人诗词为特色,营造不同时期的汉字文化,展示汉字文韵主题。每个庭院以广场为中心,外围景墙篆刻诗词,从先秦《诗经》、乐府诗、唐诗宋词元曲明清诗词到毛泽东诗词,院落内布置中式特色座凳和花池,4 个院落植物按照梅兰竹菊配置,入口景观灯上篆刻“梅兰竹菊”图案,体现“琴棋书画养心,梅兰竹菊寄情”的君子人格精神^[7]。

2)“汉字之变”分布在西部湖中岛上,以仓颉、李斯、王羲之等汉字历史人物为主题(图 2),创作 10 组雕塑和文化墙,自然分布在园路草地两侧,通过动态游览,移步换景,品读文字发展与演变,了解汉字春秋。

3)“汉字之趣”通过儿童涂鸦墙、跳跳格、拼接成语故事墙等儿童趣味活动,增加儿童互动游玩,寓教于乐。

4)“汉字之源”通过农家庭院、甲骨文立柱文化广场(图 3)、塑山文化艺术墙等不同风格场景,表达



图2 王羲之雕塑

Fig. 2 Sculpture of Wang Xizhi



图3 甲骨文立柱

Fig. 3 Column of oracle bone inscription

汉字起源历史,每处景观与园林巧妙结合,过渡自然。中心岛南侧的塑山小品与山体契合自然,山壁立面以结绳记事、伏羲八卦、河图洛书等文化为主题,通过崖壁上的结绳记事、契刻铁艺小品,巧妙营造景观性、文化性和艺术性兼具的塑山景观,与园路、水面、山体和植物自然衔接,相得益彰。

5)“汉字力量”在东南角入口广场两侧文化墙体上刻写李清照、岳飞、毛泽东等历代名人志士的名言名句,两侧为疏林草地空间,体现汉字的力量和风骨。

6)“汉字之美”通过新中式铁艺廊架连廊空间展示历代名人诗词碑刻和印章文化,从曹超的袞雪、李隆基的石台孝经,到欧阳修的昼锦堂记和苏轼的寒食帖,琳琅满目,古韵悠悠;廊内墙上错落有致分布古代各种印章,每处印章均是艺术品,与园林空间结合,展示汉字“风骨”主题。

7)公园的夜景温馨浪漫,富有特色。全园以展馆为中心进行亮化,所有河道采用灯带,河道和展馆采用暖黄光亮化,重点突出中心展馆的视线焦点,体现展馆群庄重大气、金碧辉煌的氛围,倒影四周水中,璀璨迤迤,形成壮丽的双面镜像。公园绿地与园路为暖白色灯光。公共设施、导视系统及园林小品设计巧妙,定制化的公共设施小品具有浓郁汉字公园品牌 Logo,精微之处体现汉字公园的文韵特色和艺术效果,独特夜景成为公园亮点。博物馆入口设计的金色灯具,选取殷商饕餮纹、凤鸟纹图案,外观美丽典雅、装饰效果浓郁。博物馆入口凤鸟小品金碧辉煌,富有传奇色彩(图4)。



图4 凤鸟小品

Fig. 4 Sketch of phoenix

4 结 语

汉字公园深入挖掘汉字文化蕴含的思想观念、人文精神、道德规范,结合时代要求和园林艺术,以汉字的起源和发展历史为载体,在园林呈现三维和四维历史空间,形成景色丰富、内涵深厚的文化游览动线,通过活化汉字文化历史,创造诗情画意园林^[8],提升公园周边活力指数,展现新时代公园光彩,为古都安阳增添浓郁的文韵色彩,为中华民族新时代发展提供精神动力,增强了中华民族文化软实力和文化自信。汉字公园吸取中国优秀造园理念和手法,采用不同营造策略,推陈出新,古为今用,融合创新元素^[9],应用新技术和新方法,积极探索文化景观在新时代风景园林的应用,提升高品质景观建设,应用智慧停车、监控、照明、科普等智慧园林管理。

经过对公园的考察分析,发现还存在一些不足:(1)常青树种比例未达到30%,不能体现“三季有

(下转第 225 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.038

对后疫情时代园林设计的再思考

聂雅心,张旭光,张书文

(河南农业大学 风景园林与艺术学院,河南 郑州 450000)

摘要:分析园林设计的主要议题、公共健康与园林景观设计的关系、历史上重大公共卫生事件对风景园林景观设计的影响,反思园林景观设计的不足。从生态、人居、韧性城市的角度出发,提出构建自然与生物协调的生态系统,构建人居多功能绿地环境,满足韧性城市防灾害的发展需求,以及建设通风廊道等建议。

关键词:后疫情时代;园林设计;韧性城市;公共健康;新冠疫情影响

中图分类号:TU986 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0220-06

引文格式:聂雅心,张旭光,张书文. 对后疫情时代园林设计的再思考[J]. 林业调查规划,2023,48(4):220-225.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.038

NIE Yaxin, ZHANG Xuguang, ZHANG Shuwen. Rethinking of Landscape Design in Post-epidemic Era[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 220-225. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.038

Rethinking of Landscape Design in Post-epidemic Era

NIE Yaxin, ZHANG Xuguang, ZHANG Shuwen

(College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: This paper analyzed the main issues of landscape design, the relationship between public health and landscape design, the impact of major public health events in history on landscape design, and reflected on the shortcomings of landscape design. From the perspective of ecology, human settlement and resilient city, this paper proposed to build a coordinated ecosystem between nature and biology, construct multi-functional green spaces for human settlement, meet the development needs of disaster prevention, and build ventilation corridors.

Key words: post-epidemic era; garden design; resilient city; public health; impact of COVID-19

疫情是一场无形的战争,给人类带来了巨大的伤痛。通过回顾历史可以发现,瘟疫发生在各个时代^[1],总结规律可以得出,疫情的出现与工业化的快速发展引起的环境变化有关。以英国为例,该国是第一个完成工业化的国家,但在遭受瘟疫的冲击后,人口降低,经济发展也受到了打击。这也引发了英国对重大公共卫生的重视,并颁布了一系列法案,

其中就包括加强公共卫生整治,优化公共环境。在此背景下,也推动了风景园林设计的发展,使风景园林设计更加注重生态结构的调整,从而优化人类的生存环境。但是,近年来风景园林设计仍存在不足,加之疫情肆虐,这也引发园林景观设计的新思考,有利于进一步发挥园林景观在公共健康中的价值。故此,对其作出分析是非常有必要的。

收稿日期:2022-02-15.

第一作者:聂雅心(1996-),女,天津人,硕士研究生.研究方向为风景园林规划设计. Email:1034851524@qq.com

1 疫情引发的园林设计思考

后疫情时代园林景观成为了新的议题,国内学者将重点聚焦在城市健康理论和韧性城市的发展两个方面。

1.1 城市健康理论得到社会共识

城市规划与公共卫生之间的密切关系在19世纪就已得到了普遍的共识^[1]。其主要目的是为了应对当时存在的公共健康问题。1984年世界卫生组织(World Health Organization)提出健康城市的概念,倡导城市健康多元合作,并定义了健康的3个方面,即没有疾病,身理心理、社会健康。内涵在于保持自然环境与社会关系的相互协调和发展,强调人、自然、资源之间的关系。其本质是为人类的生存、发展提供健康的生活环境。在此过程中,健康城市的构建就需要保证园林景观设计 with 用地之间的协调,构建绿色的、健康的公共休憩场所、单元结构与城市公共之间的协调共生,这对人类的健康生存环境有着重要意义。在疫情期间,诸多问题显现出来,必须要重新重视,比如城市景观与单元结构之间的不平衡问题,在后疫情时代显得至关重要。

1.2 韧性城市成为发展目标

韧性城市是我国提出的城市发展概念,其核心是能够迅速应对灾情,并在灾害事故中得到经验教训,持续提高城市的抗灾能力。例如在这次疫情的黑天鹅事件,对世界各国来说是一个重大的考验。我国在这次公共健康事件中,集结多方力量通过建立方舱医院、及时的封锁,使疫情迅速得到控制,但是尽管如此也没有做到及时的反应,这也体现了在应急预案方面仍有不足。

2 后疫情时代公共健康与园林的关系

2.1 风景园林与公共健康的产生背景

风景园林的理念最早出现于西方国家^[2]。早在中世纪时,医疗发展落后,西方国家处于一片混乱的时代,将宗教作为维持社会秩序的主要基础。这一时期的风景园林主要体现在修建花园、绿篱迷宫。文艺复兴时期,科学知识成为社会主流崇拜,医疗技术的出现使人们忽略了环境对健康的影响。第一次工业革命时期,风景园林开始逐渐应用到精神治疗层面,但是还未上升到公共健康。直到第二次工业革命,相关研究人员才开始思考风景园林对公共健康的积极作用,认为风景园林对降低慢性疾病的发病率有着积极意义。

2.2 风景园林与公共健康的研究

风景园林景观以公共空间为载体,对促进人类健康有着积极意义,针对这一研究学者们提出了不同的论点。简·雅各布斯提出街道活力可以保障居民出行和良好生活品质。克莱尔·库珀·马库斯则认为,户外景观设计与布局的合理直接影响着城市居民的安全出行和居民的生活品质;麦克哈格则认为,积极的室外活动有利于人类的身心健康。

2.3 风景园林对公共健康的影响

2.3.1 社会影响

风景园林景观影响社会健康^[3]。根据有关研究显示,公共园林是一种社会运动和政策,通过公共服务功能,改善环境、提高人们的生活居住水平、促进社会交往等(图1)。比如增加人与人之间的积极联系,构建友好和谐社会,促进人的幸福感和适应能力得到提高。除此之外,还可以提高社会安全水平,通过绿地减少暴力行为的驱动力。

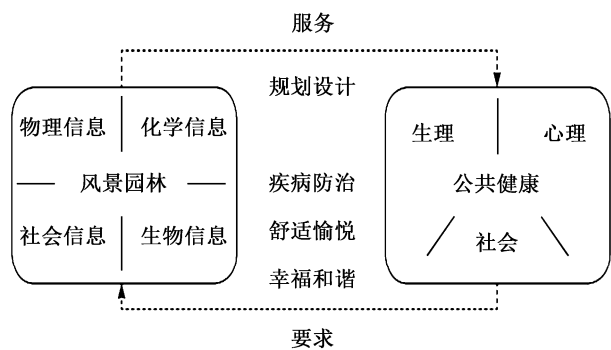


图1 公共园林景观与公共健康之间的相互联系
Fig. 1 Interrelation between public landscape and public health

2.3.2 心理影响

风景园林景观对心理健康有着直接的影响。瑞典学者研究认为,城市园林景观与心理健康方面有着很大联系,在精神压力方面,绿地面积更大的居住场所的居民压力相对较低。美国威斯康星州的研究显示,风景园林景观设计中具有大量绿地时,居民的心理状态更好。特别是在疫情期间,长时间的封锁隔离状态下,社会出现停滞状态,个体、个体与社会、个体与个体之间的情绪压力会更多,相关的矛盾也在增加:根据有关调查显示,疫情期间的离婚率显著提高,且儿童、老人也存在不同层面的压力,故此对风景园林景观设计中的绿地要求更高。

2.3.3 生理影响

生理健康最基本的特征是远离疾病,保证新陈

代谢的正常活动。环境是影响生理健康的重要因素。以 19 世纪的英国霍乱为例,该时期属于工业化快速发展时期,此时的英国因工业发展需要煤炭的支持,而煤炭对环境的污染影响较大,致使伦敦有着雾都的称号。不仅如此,工业化的快速发展急需劳动力,人口开始向城市转移。在 1750 年前后,仅有 1/5 英国人住在 5 000 人以上的城市里。到 18 世纪末期,随工业化的快速发展,城市居住人口膨胀迅速,城市环境恶化,居住环境越来越拥挤,城市人口生活在工业垃圾和生活垃圾中,水源以及生活用品受到污染,成为细菌滋生的温床,给霍乱细菌滋生和传播创造了条件。人体具有内部调节机制,假设外部环境出现相对的变化,那么内部调节机制会尽快适应外部变化,稳定个体的生理健康平衡。同样,当风景园林影响人体生理平衡时,就会带来相应的影响。除此之外,风景园林景观还影响神经—内分泌—免疫系统。具体来说,神经系统可以释放神经递质,进而影响内分泌及免疫系统,内分泌系统亦会通过激素来影响神经系统和免疫系统的活动,而免疫系统通过细胞因子反馈给神经系统和内分泌系统,多个系统协同工作,共同维持人体的健康。

2.4 历史上疫情对风景园林发展的影响

公共健康风险一直存在于人类的生活中^[4-6]。在人类发展史中共经历了几次较为严重的公共健康问题,其中风景园林承担了重要防疫作用,并在疫灾后推动了风景园林的发展。

具体来说,风景园林景观对公共健康的影响最早出现在公元前 6 世纪,古希腊哲学家毕达哥拉斯等指出环境对健康和疾病有着至关重要的影响。但这在 19 世纪英国霍乱后才被进一步重视起来。当时由于霍乱肆虐,医学研究认为是由于有机物体产生的有害物质在空气中扩散,致使人体感染引发疫病,也就是著名的瘴气理论。在该理论下,认为公园绿地是可以有效抵御瘟疫传播的重要手段,并衍生出了城市公园绿色系统,也为后期学者对风景园林景观与公共健康的研究奠定了基础。基于此,以下以 19 世纪为起点,对公共健康传染性疾病对风景园林的影响作简要论述。

1) 英国 19 世纪的霍乱殃及整个欧洲,普遍认为霍乱是由于有机物腐烂散播使人们吸入有害物体导致,并认为公园绿地所产生的新鲜空气可以抵御传染病。在此背景下,英国政府不得不寻找解决方案,设立了公共散步场所。英国医生威廉·法尔(William Farr)在 1839 年首次提出了公园可以创造

洁净的呼吸空间,由植物产生的绿色气体可以稀释瘴气,并提出了避免瘴气的景观设计原则:避免植物阻碍空气流通,保证阳光照射;避免潮湿环境形成的植物配置,如避免在平地、洼地种植大冠树木;在乔木、灌木下方铺设鹅卵石以避免有机物质堆积。

2) 美国在瘴气理论的基础上开始将新鲜空气、阳光作为环境构建的重要标准。美国医学家本杰明·沃德·理查森(Benjamin Ward Richardson)在 1867 年提出了构建乌托邦城市(Hygeia City),并在吸收了前述环境设计原则的基础上建立了健康城镇的思想。这也是田园城市(Garden City)理论来源。

3 对后疫情时代公共安全方面风景园林设计的反思

3.1 风景园林规划设计中“生态”理念未充分应用

后疫情时代对风景园林规划设计进行反思^[7-9],认为风景园林规划设计中的“生态”理念并没有科学地应用到其中。具体表现在以下几个方面:

3.1.1 过于关注美学

风景园林规划设计应该兼顾生态和美学的平衡,这才是新时代对风景园林规划的要求。然而目前则是站在美学的角度上一味地进行人工造景,失去了自然景观的补偿,这种情况下生态性的作用也就无法发挥,甚至还破坏了原生态的基础与周边生态的链接关系。

3.1.2 过度解读景观美学

目前在城市园林景观的规划设计中,出现急功近利的心态,忽略了整体的生态平衡。如原本一株在大山深处的原始榕树,为了打造城市美感,将其搬运到城市中,使得原本 300 m² 遮荫面积削减到不足 10 m²。因此,景观设计中为了追求美感进行植物的迁徙,势必会使原本的森林绿地受到影响,甚至出现绿地滑坡。

3.1.3 盲目追求景观美学

目前各个城市的园林景观设计中虽一再强调以自然生态为基础,适宜当地生态,但是仍有很多城市出现跟风现象,模仿其它城市的园林景观建设,甚至从其它国家引进外来物种,忽略了生物之间的竞争关系,导致本土植物被入侵植物代替,出现生物多样性的丧失。

3.2 忽略了韧性城市的建设要求

21 世纪以来,公共健康事件频发:SARS、禽流感、甲型 H1N1、新型冠状病毒,这些疫情都具有共

同的特点,即自然因素与人为因素交互影响,因此人类必须要考虑将要面对的危机因素^[10]。在此背景下,韧性城市的建设就显得十分重要了。

韧性城市主要包括 5 个特性(图 2),即具有鲁棒性—抵御灾害能力,可恢复性—灾后迅速恢复能力,冗余性—关键功能设施的备用模块,智慧性—基本的救灾资源储备以及合理调配资源能力,适应性—应对灾难的可持续学习能力。在这种情况下,要求城市在建设过程中充分考虑各种安全风险,并且可以最大程度地在公共灾害中恢复秩序。韧性城市的建设需要多部门和多学科的协调配合,难度较大,目前在我国并未得到全面的推广,仅上海、广州、雄安等城市出台的总体规划和国土空间中提及韧性城市的建设目标,但仍未形成适用于建设韧性城市的行动框架,也未针对韧性城市建设出台过特定的专题规划,需要学者们共同研究出适合我国国情的韧性城市建设理论和方案。

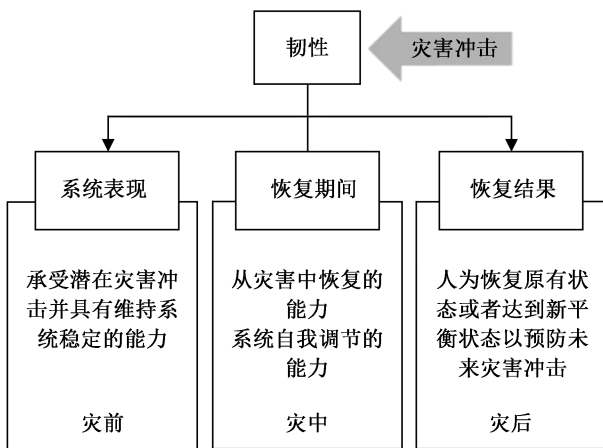


图 2 韧性城市抗灾功能

Fig. 2 Disaster resistance function of resilient city

4 对后疫情时代风景园林设计的建议

疫情的出现与生态环境变化息息相关。随着全球气候的不断变化,为了面对有可能出现的风险,在园林景观设计中必须要兼顾生态系统的协调、人类居住的多功能风景园林布局要求、韧性城市的迅速抗灾难能力。

4.1 构建自然与生物协调的生态系统

4.1.1 以公共健康为导向打造绿色空间

从人类发展视角出发^[11],生存是永恒的主题,在追求健康生存的目的下,生物多样性是维持生存环境的重要基础。因此,在风景园林景观的设计中,

必须要考虑公共健康与生物多样性的关系,构建天人合一、和谐共生的绿色人居环境。通过风景园林的系统规划,将城市融入自然生态体系中,回归地球生物之一的人类身份,而不是作为生物群体的主导者,与自然生物和谐统一,共同参与到生态体系建设和发展中去。以全球最宜居城市温哥华为例,三面环山、一面靠海,森林面积达 60 000 km²,约占全市面积的 36%。根据相关研究调查显示,该市在风景园林景观建设与城市空间布局中充分考虑了公共健康因素,在环境健康指标的评价中提出 10 min 内步行到达开放的绿色空间中,由此在风景园林设计中将绿地作为城市的重要区域。截至 2018 年,温哥华总面积为 114 km²,城市绿地面积为 1 291 hm²,占城市用地面积的 11.3%,人均可享受城市的公共绿色区域达到 39.15 m²/人(表 1)。通过植被改善微气候、调节温湿度、减低热岛效应,在预防疾病及人与自然和谐共生方面提供了坚实的环境基础。

表 1 温哥华城市绿地面积

Tab. 1 Urban green area of Vancouver

城市公共绿地	面积 /hm ²	占城市用地的比例/%	人均面积 / (m ² ·人 ⁻¹)
公园绿地	1168	10.2	18.49
已建城市公园			
拟建城市公园	14	0.1	0.22
绿色自然区域	1291	11.3	20.44
总计	2473	21.6	39.15

4.1.2 争取生物协调与平衡

生物是地球的重要要素^[12-14],由此表明生物系统是生存的基础前提,关系着人类健康生存。为此,在后疫情时代必须要保证生物系统的稳定性,促进生物与生物之间和谐共生,消除人类为首的观点(图 3)。物种与物种之间是共生关系,但同样是具有冲突的,外来物种的冲击会破坏原有的生态秩序。乔、灌、草之间的生态联系被忽视,且被外来植物代替,这就损坏原本的生态链,破坏本土动物、微生物所依赖的生存环境,导致生态链条断裂。后续也会出现多米诺效应,出现顶层链条生物数量减少,底层链条生物肆虐,造成严重的生态冲击,继而影响到人类的生存环境,出现本土生物异化,各种灾害频发。

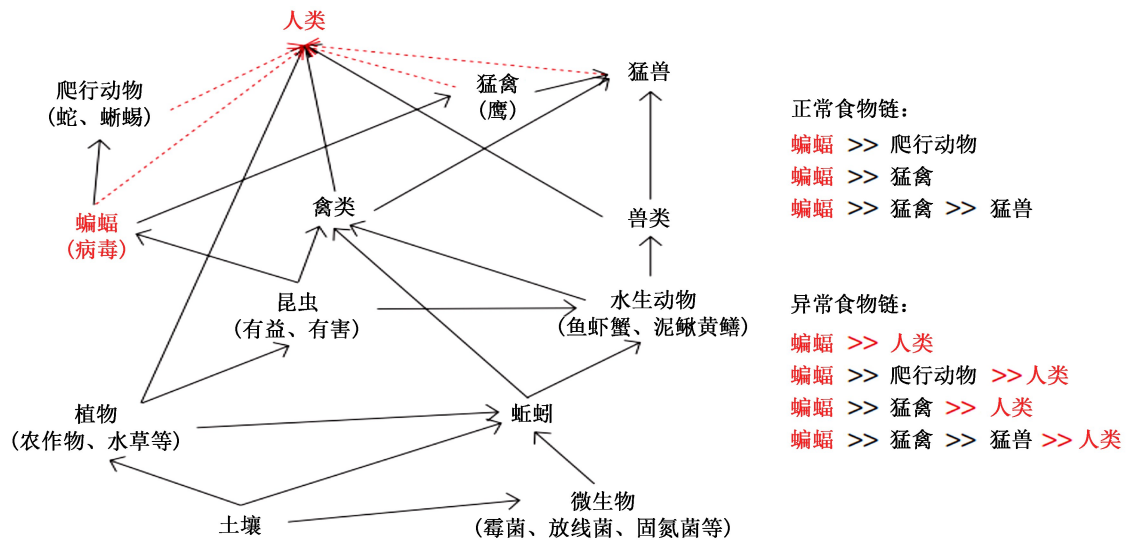


图 3 生物链条

Fig. 3 Biological chain

4.2 构建人居多功能绿地板块

如果说构建自然与生物协调的人居环境是基础^[13-15],那么还需要考虑风景园林的多功能,从而满足人对环境的多样化需求。首先,具体来说,在疫情期间,长时间的居家隔离过程中,人的身心健康会受到多种影响。特别是心理健康方面,疫情间的经济停滞、人与人之间的零距离易产生消极影响。根据 WHO 的数据显示,在疫情期间,患阿尔茨海默病、抑郁症和焦虑症的人群数量显著增加,且日本的自杀率要明显高于疫情前。由此可见,在关注群体公共心理健康的同时,后疫情时代要更加重视风景园林绿地空间对人类生理和心理健康的重要意义,利用绿地的减压和康复疗愈功能降低精神压力,比如通过公园与公共健康的相互作用来满足居民对风景园林景观的多功能需求。

4.3 满足韧性城市防灾害的发展需求

风景园林建设要兼顾韧性城市的发展要求,用可持续发展的眼光去构建园林景观^[16-18],为生态的可持续发展提供足够的冗余空间。兼顾以脆弱性分析、政府管制、预防性政策、适应性导向规划为思路,保证可以迅速应对灾难。可利用风景园林景观的绿地构建应急场地,明确风景园林中的防疫和应急服务功能。以此轮新冠疫情为例,武汉爆发时医疗机构严重超负荷,不仅不利于病人救治,而且极大地增加了内部交叉感染的风险。因此,还应在医疗机构的附近预留出应急空间和设施,在需要时快速满足救治、隔离需要。此外,社区的疫情防控压力也是非

常大的,风景园林要能保证社区居民的正常生活,但同时又要避免出现疫情扩散。因此,风景园林景观设计还应该重视多学科合作,在科学的基础上预留出绿地,最大程度地满足疫情期间的应急及居民日常生活要求,同时还能提高城市防灾避灾水平。

4.4 建设城市通风廊道

通过建设城市通风廊道,提高城市的空气流通能力,调节城市局部气候,改善人类居住环境。通风廊道的设计应引导自然空气流向城市建成区,将城市污染以及空气中的细菌、病毒快速消散。在 2003 经历 SARS 后,中国香港建立了空气流通评估系统,形成了空气流通评估系统的技术方法和指导方针。随后其它城市也开始建立通风廊道,如北京市在 2016 年时就已经开始规划建设 5 条宽度 500 m 以上的一级通风廊道,以及 10 多条宽度达到 80 m 以上的二级通风廊道,形成一套完整的通风廊道网络系统^[4];成都市(2017 年)提出将在城市东北和西北主导风向上,规划“8+X”城市通风廊道^[6]。这些通风廊道的建设,不仅能够缓解城市热岛效应,也能降低污染物浓度,成为城市的“新风系统”。

5 结 语

后疫情时代下,应该思考生命与经济的价值是否平衡,以及现代经济发展的弊端,分析公共健康与风景园林的关系,反思以往风景园林景观的不足,以此为基础丰富风景园林景观设计内涵,从而构建人与自然和谐共生的居住地。

参考文献:

- [1] 刘劲军. 后疫情时代风景园林聚焦公共健康的热点议题探讨[J]. 房地产世界, 2021(12):120-122.
- [2] 侯韞婧, 赵晓龙, 朱逊. 从健康导向的视角观察西方风景园林的嬗变[J]. 中国园林, 2015, 31(4):101-105.
- [3] 武蓓蓓. 新冠肺炎疫情信息的空间分析及可视化研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(10):20-23, 28.
- [4] 容志. 构建卫生安全韧性, 应对重大突发公共卫生事件的城市治理创新[J]. 理论与改革, 2021(6):51-65, 152.
- [5] 姜日忠. 城市街道绿化景观对公共健康的影响[J]. 现代园艺, 2021, 44(18):151-152.
- [6] 丁楠. 基于疫情防控视角的韧性城市规划对策[C]//面向高质量发展的空间治理——2020年中国城市规划年会论文集. 北京:中国建筑工业出版社, 2021:443-451.
- [7] 王月瑶, 陈波. 后疫情时代扬州世园会主题的构思与体现[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(10):2014-2019, 2022.
- [8] 杨瑞, 欧阳伟, 田莉. 城市规划与公共卫生的渊源、发展与演进[J]. 上海城市规划, 2018(3):79-85.
- [9] 姚尧, 尹瀚琦, 李歆艺, 等. 基于多源地理数据精细尺度的武汉市人居环境新型冠状病毒肺炎疫情传播风险评估[J]. 生态学报, 2021, 41(19):7493-7508.
- [10] 金亚亚, 毛晓蒙, 王霞, 等. 新冠疫情的空间分布及影响因素——基于中国病例数据的动态分析[J]. 陇东学院学报, 2021, 32(5):16-23.
- [11] 浙江省风景园林学会. 省风景园林学会通过视频开展线上团拜活动[J]. 浙江园林, 2021(1):97.
- [12] 张秀娟, 杨妍希, 袁龙义, 等. 后疫情时期“风景园林植物造景”课程内容改革探索[J]. 现代园艺, 2021, 44(17):199-200.
- [13] 丁海昕, 王沁, 李志刚. 疫情期间社交媒体舆论影响下公众情感变化与情感指数分布及对策分析[J]. 新媒体研究, 2021, 7(21):11-14.
- [14] 郭腾飞. 新冠疫情对首都园林绿化的启示[J]. 绿化与生活, 2021(5):28-30.
- [15] 蔡丽敏. 后疫情时代绿地及开敞空间拓展功能研究[J]. 园林, 2021, 38(5):90-93.
- [16] 申俊龙, 王鸿江, 魏鲁霞. 我国应对突发公共卫生事件的城市社区韧性治理模式建构研究[J]. 中国医院管理, 2021, 41(12):91-95.

责任编辑:刘平书

(上接第219页)

花,四季常青”;(2)多处活动空间缺乏林荫;(3)色彩树种不够丰富;(4)缺乏水生植物;(5)植物文化性不够突出,特色需要加强;(6)亭廊小品匾额楹联缺失。以上不足希望后续完善,打造国内汉字文字主题公园的示范高地,满足人们不断增长的高品质审美需求。

参考文献:

- [1] 顾红男, 郑生. 基于可视性图解与视域分析的园林空间造景研究——以重庆市川剧艺术中心为例[J]. 中国园林, 2014(9):37-41.
- [2] 计成. 园冶[M]. 北京:中国林业出版社, 1981.
- [3] 孟永红, 缴丽莉, 程英芬. 河北园博园燕赵园景观分析[J]. 河北林业科技, 2012(10):47-49.
- [4] 苏醒. 以地域文化为导向的主题性公园规划设计——以韵园茶文化公园为例[J]. 园林园艺, 2021(23):102-106.
- [5] 王海宏, 杨东海. 海口主要公园香花植物资源调查与分析[J]. 南方林业科技, 2016, 44(6):35-38.
- [6] 高月盈. 浅谈苏州古典园林的空间造景艺术——读彭一刚的《中国古典园林分析》[J]. 河北农机, 2017(12):14-15.
- [7] 滕延秋. 梅兰竹菊的文化意蕴[J]. 中华活页文选, 2014(3):26-34.
- [8] 李宇宏. 植物在诗画园林意境中的表达——以梅兰竹菊为例[J]. 环境艺术, 2009(11):99-101.
- [9] 牛铁达. 现代城市园林景观设计现状及发展趋势分析[J]. 现代园艺, 2022(5).

责任编辑:杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.039

桃金娘科引鸟植物在华南地区园林绿地的生态景观营造研究

何卓彦,丘燕芬,罗连,林石狮
(广东环境保护工程职业学院,广东 佛山 528216)

摘要:桃金娘科园林植物形态种类丰富,能吸引鸟类、蜂类、蝶类等,对部分桃金娘科引鸟植物的生态效益和景观营造进行评估。结果表明:桃金娘科植物花色艳丽,果实硕大,可作动物食源,能有效吸引具有生态景观价值的野生鸟类如暗绿绣眼鸟、白头鹎、红嘴蓝鹊、红耳鹎、珠颈斑鸠、黑脸噪鹛、乌鸫、领雀嘴鹛等。结合花期吸引传粉昆虫及果期引鸟效果,提出相应的生态景观营造策略,有利于食物网的完善构建,进一步完善绿地生态系统建设。

关键词:桃金娘科;引鸟植物;生态景观;取食鸟类

中图分类号:S731.1;P901;Q949.762.2 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0226-05

引文格式:何卓彦,丘燕芬,罗连,等.桃金娘科引鸟植物在华南地区园林绿地的生态景观营造研究[J].林业调查规划,2023,48(4):226-230. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.039

HE Zhuoyan, QIU Yanfen, LUO Lian, et al. Ecological Landscape Construction of Mytaceae Bird Attractive Plants in Garden of Southern China[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 226-230. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.0390

Ecological Landscape Construction of Mytaceae Bird Attractive Plants in Garden of Southern China

HE Zhuoyan, QIU Yanfen, LUO Lian, LIN Shishi
(Guangdong Polytechnic of Environmental Protection Engineering, Foshan, Guangdong 528216, China)

Abstract: The Mytaceae garden plants has a rich variety of forms and can attract birds, bees, butterflies, etc. This paper evaluated the ecological benefits and landscape construction of some Mytaceae bird attractive plants. The results showed that the Mytaceae plants had bright flowers and large fruits, which could be used as the species of animal feed and could effectively attract wild birds with ecological landscape value, such as *Zosterops japonicus*, *Pycnonotus sinensis*, *Urocissa erythrorhyncha*, *Pycnonotus jocosus*, *Spilopelia chinensis*, *Garrulax perspicillatus*, *Turdus merula* and *Spizixos semitorques*. Based on the attraction of pollinating insects during the flowering period and the effect of attracting birds during the fruiting period, corresponding ecological landscape construction strategies were proposed, which was conducive to the improvement and construction of the food web and further improve the construction of the green ecosystem.

Key words: Mytaceae; bird attractive plant; ecological landscape; feeding birds

收稿日期:2022-02-25;修回日期:2022-03-23.

基金支持:广东省教育厅青年创新人才类项目(2017GkQNCX045);广东省教育厅2022年省继续教育质量提升工程建设类项目(JXJYGC2022GX554);广东省高职教育教学改革项目(JZQN201702;CYQN2017027);广东省高等职业院校农林牧渔类专业教学指导委员会教育教学改革项目(YN2021YB18);广州市科技计划项目(201903010076);广东环境保护工程职业学院2019年质量工程项目(J422920022202);广东环境保护工程职业学院2020年度院长基金项目(科学研究类)(K620821042304).

第一作者:何卓彦(1983-),女,广东广州人,硕士,讲师.从事园林植物造景、花坛花境设计、花艺设计等研究. Email:472604402@qq.com

责任作者:林石狮(1984-),男,广东汕头人,硕士,高级工程师.从事生态学研究. Email:lionrei1@163.com

鸟类,作为城市生态系统中重要组成部分之一,其活动的活跃程度与城市生态系统的完善程度呈一定相关性^[1]。鸟类活动一定程度上也是生态园林建设水平的体现,许多欧美国家常以鸟类的出没、活动、栖息状况来衡量城市绿地建设和生态环境质量^[2-3]。在城市的生态环境营造中,可采用作为多种动物食源的乡土植物,以增加野生动物特别是鸟类食物的可选性和丰富性^[4],有效提升城市园林绿地的生态效益。而在城市景观设计中加入动植物生态系统方面的自然科普教育,更是有效提升城市绿地社会效益的方法^[5]。

桃金娘科(Myrtaceae)植物主产热带和亚热带地区,全世界约有100属,超过3000种,我国原产及驯化的桃金娘科植物共有9属、126种、8变种,主产于广东、广西及云南等热带亚热带地区^[6]。据詹慧玲等^[7]统计,华南地区可利用的桃金娘科园林、景观植物有6属、14种,占国内桃金娘科乡土植物属、种的60%和11.6%。国外园艺工作者也对桃金娘科园林观赏植物进行了较多的培育工作,近年来

国内也成功引入了不少种类,如红千层(*Callistemon rigidus*)、白千层(*Melaleuca leucadendron*)、香桃木(*Myrtus communis*)、黄金蒲桃(*Xanthostemon chrysanthus*)、嘉宝果(*Myrciaria cauliflora*)^[7-8]等,在园林、景观上已逐渐推广。桃金娘科的乔木树冠浓密婆娑,花色鲜艳,果实显著饱满,具有极高的生态和观赏价值。尤其蒲桃属、桃金娘属及红千层属植物花型显著,花色或果色呈现鲜艳的红、黄色,盛花期、挂果期能吸引蜜蜂等多种昆虫,其浆果能为鸟类、小型哺乳类、蜂蚁类等提供食物来源^[9-11]。在长期从事引鸟植物筛选与生态景观营造调查和实践的基础上,对部分桃金娘科植物的生态效益和景观营造开展相关评估。

1 华南地区常见桃金娘科园林树种形态特征

结合詹慧玲等^[7-8,10]的研究开展野外观测,初步筛选出华南地区常见桃金娘科园林引鸟植物共14种。对其形态特征、花果期及观赏特点归纳见表1。

表1 引鸟效果较佳的桃金娘科植物

Tab.1 Plants of Myrtaceae plants with better bird attracting effects

植物名	植物形态	花果期	花果颜色	观赏特点
蒲桃 <i>Syzygium jambos</i>	乔木	2—7月	黄绿	速生树种,喜潮湿环境;湿地、河边及河谷均可生长;花、果实大且明显,果可食用;自然状态下小苗较多,繁殖能力强
洋蒲桃 <i>Syzygium samarangense</i>	乔木	2—7月	粉红	枝叶粗壮,树冠大,遮荫;果实大,鲜艳可食用
海南蒲桃 <i>Syzygium hainanense</i>	乔木	4—10月	紫黑	速生树种,耐瘠薄,根系保水能力强,树冠浓密,盛花期满树白花,果可食用
肖蒲桃 <i>Acmena acuminatissima</i>	乔木	7—10月	紫黑	速生树种,树干通直而形态披散,嫩叶红色,果实密集,颇为壮观
小叶蒲桃 <i>Syzygium luehmannii</i>	小乔木	3—6月	粉红	枝纤细,密集而亮,耐修剪,嫩枝叶粉红色,果密集繁多
红鳞蒲桃 <i>Syzygium hancei</i>	灌木至小乔木	8—9月	紫色	叶密集且光亮,枝叶耐修剪,嫩枝叶红色,常用作彩叶植物,果繁多
水翁 <i>Cleistocalyx operculatus</i>	乔木	5—10月	紫红	耐潮湿环境,野生于山地、丘陵的沟谷边,树形疏散,果实多
尖叶红千层 <i>Callistemon pearsonii</i>	小灌木	4—8月	鲜红	株型开展,叶浓密,短小,坚硬;穗状花序亮红色,花期长
岩生红千层 <i>Callistemon pearsonii</i> 'Rocky Rambler'	低矮半匍匐灌木	4—8月	鲜红	尖叶红千层的矮生栽培种,低矮半匍匐植物,植株紧凑,叶暗绿色,花大量着生于枝末,花丝鲜红色,雄蕊金黄色;良好的岩生植物和庭院地被植物,或在海滨驳岸作镶边植物
桃金娘 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	灌木	3—8月	粉红、紫红	山坡复绿、水土保持的常绿灌木;花期绚丽多彩,灿若红霞,边开花边结果;成熟果可食
红果仔 <i>Eugenia uniflora</i>	灌木	4—7月	鲜红	叶色浓绿,四季常青;果实酷似灯笼
串钱柳 <i>Callistemon viminalis</i>	乔木	6—12月	鲜红	枝条下垂,酷似垂柳,随风摆动,树姿优美
小约翰 <i>Callistemon</i> 'Little John'	丛生小灌木	4—10月	鲜红	适合在假山、花钵或列植作绿篱
皱果科林比亚 <i>Corymbia ptychocarpa</i>	小乔木	7—翌年2月	紫红、粉、橙白等多色	伞房花序成簇着生枝顶,花团似锦,非常壮观

2 桃金娘科园林植物引鸟效果

在华南地区的广州、深圳、珠海、佛山等地,定点观察鸟类对城市园林绿地中蒲桃属植物的取食情况,发现在春夏季花期,蒲桃属的花有效吸引叉尾太阳鸟、暗绿绣眼鸟等取食花蜜。而在秋、冬两季,多种鸟类取食桃金娘科植物的频率高,在中小型植物群落里,白天基本每隔半小时就可观察到鸟类取食等活动。部分定点记录详见表 2。

表 2 常见桃金娘科园林引鸟植物及取食鸟类统计
Tab. 2 Statistics of common Mytaceae bird attractive plants and feeding birds in garden

序号	中文名	取食鸟类	取食频率
1	蒲桃	暗绿绣眼鸟、红耳鹎、白头鹎、白喉红臀鹎、乌鸫、红嘴蓝鹊、叉尾太阳鸟	+++
2	洋蒲桃	暗绿绣眼鸟、红耳鹎、白头鹎、白喉红臀鹎、大山雀、灰背鸫、乌鸫、红嘴蓝鹊、鹊鸲、白鹡鸰、黑脸噪鹛、叉尾太阳鸟	+++
3	海南蒲桃	暗绿绣眼鸟、红耳鹎、白头鹎、白喉红臀鹎、领雀嘴鹎、大山雀、灰背鸫、乌鸫、红嘴蓝鹊、鹊鸲、白鹡鸰、黑脸噪鹛	+++
4	肖蒲桃	暗绿绣眼鸟、红耳鹎、白头鹎	+++
5	小叶蒲桃	栗背短脚鹎、暗绿绣眼鸟、白喉红臀鹎	+
6	红鳞蒲桃	暗绿绣眼鸟、栗背短脚鹎、白喉红臀鹎、红耳鹎、白头鹎、灰背鸫、乌鸫、红嘴蓝鹊、珠颈斑鸠	+++
7	水翁	暗绿绣眼鸟、红耳鹎、乌鸫、红嘴蓝鹊、叉尾太阳鸟、红胸啄花鸟	+++
8	尖叶红千层	暗绿绣眼鸟、红耳鹎、白头鹎	+
9	岩生红千层	暗绿绣眼鸟、红耳鹎	+
10	桃金娘	栗背短脚鹎、黑脸噪鹛、大山雀	++
11	红果子	红耳鹎、暗绿绣眼鸟	++
12	串钱柳	红耳鹎、白头鹎、暗绿绣眼鸟、大山雀	+++
13	小约翰	暗绿绣眼鸟	
14	皱果科林比亚(皱果桉)	暗绿绣眼鸟	+
15	柠檬桉	暗绿绣眼鸟	++

蒲桃类植物果实较大,因此鸟类都是啄食式取食。在深圳市荔枝公园种植较多蒲桃类植物,大量鹎类、暗绿绣眼鸟等集群取食其果实,又有部分鸫类在林下觅食,形成较为良好的小群落^[12]。蒲桃类植

物还适宜种植在水边,可以同水体共同组建综合的栖息地。

调查结果显示,主要取食鸟类包括暗绿绣眼鸟(*Zosterops japonicus*)、白头鹎(*Pycnonotus sinensis*)、红耳鹎(*Pycnonotus jocosus*)、乌鸫(*Turdus merula*)、领雀嘴鹎(*Spizixos semitorques*)、黑脸噪鹛(*Garrulax perspicillatus*)、红嘴蓝鹊(*Urocissa erythrorhyncha*)、珠颈斑鸠(*Spilopelia chinensis*)等,同时也观察到有黑领椋鸟(*Sturnus nigricollis*)、黑脸噪鹛(*Garrulax perspicillatus*)、白喉红臀鹎(*Pycnonotus aurigaster*)等取食或来访。大量果实掉到地面,也为节肢动物、软体动物等无脊椎动物提供丰富食源,从而有利于食物网的完善构建。部分国外引进的物种也是当地有名的引蜂、引鸟植物,如桉树类特别是皱果桉,红千层类等在国外常见其引蜂、引鸟的描述^[13]。常见鸟类取食活动见图 1。

3 桃金娘科园林植物生态效果

桃金娘科植物中很多是蜜源植物,花、果的色香显著,能吸引鸟类、蜂类、蝶类动物,丰富城市园林绿地食物链,具有可观的生态价值^[13]。桃金娘科一般花量大而密集,可提供丰富的蜜源,实地观察到其可以吸引大量食蜜鸟类、蜂类、蝶类聚集,如水翁能吸引报喜斑粉蝶等多种蝶类;同时该类昆虫也吸引部分捕食者前来。而在果期,挂果和落果也均能吸引多种昆虫取食,并进而吸引部分食虫鸟类、蜘蛛等捕食者。

4 桃金娘科引鸟植物园林应用及景观营造

桃金娘科园林引鸟植物形态种类丰富,从半匍匐小灌木(如岩生红千层、小约翰)、低矮灌木(如桃金娘、红果子),到小乔木(如小叶蒲桃、红鳞蒲桃)、树形开展婆婆的大乔木(如水翁、水蒲桃),桃金娘科植物广泛应用于各类园林绿地当中。根据周雯等^[14]研究,鸟类群落多样性与城市园林绿地植物群落生境特征因子关系密切,园林绿化树种、层次和盖度等生境特征因子对鸟类的分布、行为、栖息地选择均有一定影响。在 3 类常见的城市绿地空间(临水林下空间、开阔草坪空间、岩石景观空间)当中,桃金娘科园林引鸟植物参与配植能同时满足景观及生态功能(图 2)。桃金娘科引鸟植物的园林应用及景观特色见表 3。



(a) 暗绿绣眼鸟取食桉树花蜜



(b) 暗绿绣眼鸟取食黄金蒲桃花蜜



(c) 红耳鹎取食水翁果实



(d) 红耳鹎取食海南蒲桃果实

图 1 常见鸟类取食活动

Fig. 1 Common bird feeding activities

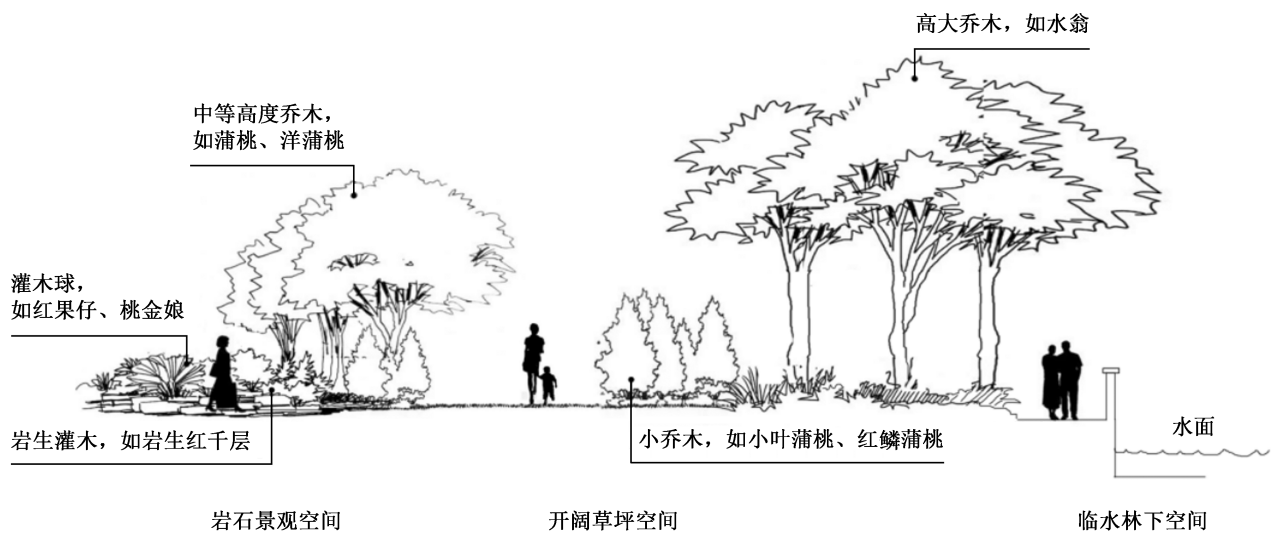


图 2 桃金娘科引鸟植物配置

Fig. 2 Allocation of Myrtaceae bird attractive plants

表 3 桃金娘科引鸟植物园林应用及景观特色

Tab. 3 Application and landscape characteristics of Myrtaceae bird attractive plants in garden

序号	应用场所	可供选择种类	特色
1	湖泊等水景边缘列植	蒲桃、洋蒲桃、水翁	浓密的树冠能给水景边缘营造良好的遮荫效果,为鸟类提供优良的栖息场所;远距离观赏能强调湖岸线性轮廓;利用不同种类花、果期的差异,延长植物群落总体花期和果期
2	绿篱、植物迷宫	桃金娘、红果仔、红鳞蒲桃	生长快速,萌生枝多,枝叶繁茂,花、果具有较高的观赏价值
3	复合群落(乔木、小乔木、灌木、匍匐灌木)	海南蒲桃—红鳞蒲桃、小叶蒲桃—尖叶红千层、桃金娘、红果仔—岩生红千层	配置桃金娘科引鸟植物,能提高景观郁闭度,丰富植物群落中的果实种类,为鸟类提供栖息地及食物来源,提高鸟类群落多样性
4	观光果园	蒲桃、洋蒲桃、桃金娘	果实可直接食用,也可用于药用、酿酒

5 结 论

1) 引鸟植物在生态景观中的重要性

大量调查数据、照片显示,通过种植引鸟植物,城市公园等园林绿地能吸引大量鸟类、蜂蝶类以及无脊椎动物等。因此引鸟植物的种植有利于食物网的完善构建,并进一步完善绿地生态系统建设。

2) 桃金娘科植物的园林使用潜力

桃金娘科园林植物形态种类丰富,能广泛应用于各类园林绿地中,花、果的色香显著,能吸引鸟类、蜂类、蝶类等,丰富城市园林绿地食物链,具有可观的生态价值。

参考文献:

- [1] 冼丽铎,徐彬瑜,翁殊斐,等. 广州城市园林绿地食源树种应用及其生态景观营造[J]. 中南林业科技大学学报,2020,40(2):142-147.
- [2] 王绪平,李德志,盛丽娟,等. 城市园林中鸟类及蜂蝶的重要性及其招引与保护[J]. 林业科学,2007,43(12):134-143.
- [3] 胡运骅. 上海建设现代化国际大都市的绿化发展方向初探[J]. 中国园林,2002,18(5):27-29.
- [4] PAKER Y, YOMTOV Y, ALONMOZES T, et al. The effect of plant richness and urban garden structure on bird species richness, diversity and community structure[J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 122(3):186-195.
- [5] 林石狮,廖亮,何文,等. 优良鸟类食源植物冬红 *Holmskioldia sanguinea* 的生态景观营造实践[J]. 广东园林, 2017, 39(1):71-75.
- [6] 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.
- [7] 詹惠玲,蓝伟根. 华南地区桃金娘科乡土植物的园林开发及应用探析[J]. 安徽农业科学,2012,40(11):6573-6575.
- [8] 刘慧,刘文. 几种桃金娘科新种的引种初报[J]. 中国观赏园艺研究进展,2012:214-217.
- [9] 韦明思,陈章和,任海,等. 鸟类和蚂蚁对桃金娘种子传播的初步研究[J]. 生物多样性,2004,12(5):494-500.
- [10] 李敏莹,冯志坚. 红千层属观赏植物介绍及其园林应用[J]. 广东园林,2014,36(1):60-64.
- [11] 叶静琰,杨凡,史琰,等. 华东地区湿地公园引鸟植物选择及群落构建模式[J]. 中国城市林业,2019,17(8):42-46.
- [12] 林石狮,郑小兰,刘军,等. 城区小型平地公园如何吸引鸟类——以深圳荔枝公园为例[J]. 广东园林, 2017, 39(4):68-73.
- [13] 孙延军,王一钦,林石狮. 珠三角区域引鸟园林花卉调查与生态景观设计建议[J]. 广东园林,2019,41(1):4-9.
- [14] 周雯,陈拓舟,饶显龙,等. 基于引鸟和护鸟的城市绿地植物景观营造[J]. 中国城市林业,2018,16(1):25-29.

责任编辑:杨焱熔

《林业调查规划》征稿简则

《林业调查规划》是全国性的林业科技类期刊,大16开本,国内外公开发行人。本刊任务是报道林业和与林业有关的理论及实践研究成果、综合评述等。设有森林经理、“3S”技术、森林资源管理、生物多样性、森林保护、林火研究、生态建设、自然保护区等多个栏目。本刊已被多个期刊数据库全文收录,为中国科技核心期刊和中国林业核心期刊,荣获首届《CAJ-CD规范》执行优秀期刊奖,在云南期刊奖评选中,连续两届荣获“优秀期刊奖”。

1 来稿要求

1.1 文章内容与字数: 要求文稿真实、准确地反映当前林业生产、科研的新成果,内容具有先进性、科学性、实用性。来稿字数以5000~15000字为宜(含图表)。如为基金项目,请注明论文的基金资助名称和项目编号。

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,不用“本文”、“笔者”等主语,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;采用三线表设计,不要表墙,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。年代不能简写。

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。篇名[C]//编著者。论文集名。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]。电子文献的出处或可获得地址,发表日期/引用日期(任选)。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]。电子文献载体类型标志如下:磁带[MT]、磁盘[DK]、光盘[CD]、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。作者对以上要求如有不明,可参考本刊近期文章或咨询编辑部。投稿前请对稿件认真逐项修改,补充有关内容。

2 投稿与稿件处理

1) 投稿前,请登录本刊网站(<http://www.yunnanforestry.cn:8099/ch/index.aspx>)认真阅读本刊征稿简则中的各项说明,邮箱(ynfip@vip.163.com)投稿后请电话(0871-63318347)告知编辑部以便查对。

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10日内通知作者审稿结果。

3) 来稿一经刊用,将按规定收取专家审稿费,根据论文所占版面情况收取论文发表费,并付给作者稿酬。具体数额以本刊所发通知为准。来稿所在当期期刊出版后,本刊将寄赠作者2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、免审稿费和版面费,稿酬从优。

4) 文稿的文责由作者自负,署名作者的人数和顺序由作者自定。本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。本刊同时加入了万方、维普等多家数据库,作者稿件一经录用,将同时被上述数据库收录,如作者不同意收录,请在投稿时提出声明,否则将视为同意收录。

5) 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。



2009年第三届云南期刊奖评选中荣获“优秀期刊奖”

2012年第四届云南期刊奖评选中荣获“优秀期刊奖”

2022年度“西牛计划”之“优秀中文科技期刊”



云南峡谷地貌——虎跳峡

国内定价：20.00元（全年120.00元）
Price(abroad): 5.00 dollars(30.00 dollars yearly)

广告经营许可证号：5300004000093

ISSN 1671-3168



07>