

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49卷 第1期
Vol.49 No.1

2024 1



云南省林业调查规划院 主办

林业调查规划

第49卷 第1期
Vol.49 No.1

二〇二三年一月

《林业调查规划》编辑委员会

顾问 唐守正 孙汉董 刘国强 郭辉军 胥 辉 李凤日 张铁明

主编 胡宗华

常务副主编 华朝朗

副主编 许易琦 余昌元

编委 (按姓氏笔画排序)

马国强 国家林业和草原局西南调查规划院

王有兵 云南省林业调查规划院

王得军 国家林业和草原局西北调查规划院

艾建林 云南省林业调查规划院

龙廷位 云南省林业调查规划院

冯 源 云南省林业和草原科学院

刘 扬 西南林业大学

刘扬晶 国家林业和草原局中南调查规划院

安 科 云南省林业调查规划院

许易真 黑龙江省林业和草原调查规划设计院

负新华 云南省林业和草原科学院

李 嵘 中国科学院昆明植物研究所

李元杰 云南省林业调查规划院

李敏敏 云南省林业调查规划院

杨 东 云南省林业调查规划院

杨士剑 云南师范大学

杨国斌 云南省林业调查规划院

杨忠兴 云南省林业调查规划院

吴 飞 中国科学院昆明动物研究所

吴富勤 云南省林业调查规划院

余志飞 云南省林业调查规划院

角媛梅 云南师范大学

邹光啟 云南省林业调查规划院

张 文 四川省林业和草原调查规划院

张大才 西南林业大学

张志明 云南大学

张忠涛 国家林业和草原局产业发展规划院

陈文红 云南省林业调查规划院

武瑞东 云南大学

林 辉 国家林业和草原局华东调查规划院

林寿明 广东省林业调查规划院

欧光龙 西南林业大学

岳彩荣 西南林业大学

郑进烜 云南省林业调查规划院

赵书学 云南省林业调查规划院

秋新选 云南省林业调查规划院

徐吉洪 云南省林业调查规划院

唐雪琼 西南林业大学

陶 晶 云南省林业调查规划院

曹顺伟 云南省林业调查规划院

曾伟生 国家林业和草原局林草调查规划院

温庆忠 云南省林业调查规划院

赖兴会 云南省林业调查规划院

廖声熙 中国林业科学研究院高原林业研究所

廖聪宇 云南省林业调查规划院

谭运洪 中国科学院西双版纳热带植物园

魏雪峰 云南省林业调查规划院

《林业调查规划》编辑部成员

许易琦 刘平书 陈 旭 杨峻熔 张瑞君 董 磊

林业调查规划

第 49 卷 第 1 期

(总第 259 期)

2024 年 1 月

目 次

●森林经理

- 基于聚焦滤波的林业专题地图制图综合方法 陈春祥(1)
基于规则面向对象分类法的贵州省山区火烧迹地提取 刘芸,廖瑶,李慧璇,杨娟,王伟(8)
基于树木望高比的材积计算方法研究 余国宝(12)

●森林培育

- 黄枝油杉种苗质量分级标准研究 顾春姣,陈泰国,杨一山,孙菲菲,邹蓉,唐健民,柴胜丰(16)
两种经济林下黄芪仿野生种植 严毅,徐钊昌,陆刚,金智伟,王苏化,李云松,杨维雄(22)
黑果枸杞栽培株行距研究 吴秀花,杨荣,杨宏伟,张嘉益,张颖,姜永智(28)

●生态保护修复

- 丽江拉市海国际重要湿地生态修复方案探究
..... 刘茜,沙剑斌,郑进烜,吴婧,郑静楠,蒋丽华,秦燕,杨忠兴(34)
丽江市古城区湿地保护修复研究 樊骥善,高林(40)
自然保护区林地水源污染修复及防治策略研究 马力子,于海洋,田国行(46)

●自然保护地

- 广东梅县阴那山省级自然保护区蝶类多样性及其区系分析
..... 李保铨,李柳红,周露露,彭秋燕,何惠婷,韩婉诗,陈天鹏(51)
西平县引洪河省级湿地公园规划设计 高健康,冯婉婷,胡宗上,刘保国(58)
云南白马雪山自然保护区有蹄类动物活动节律及影响因素初步研究
... 马运军,提布,江次农布,杨建强,斯那劳丁,木艳春,张鹏万,史岩,和雁南,和春菊,扎史品初,马金林,扎巴都吉(63)
贵州省自然保护地建设现状及发展策略 赵勤,张兴强,蒲应春,陈斯侃(69)
国家公园规划体系构建初探 郝永生,赖兴会,杨建光,杨有奎,王平勇(74)

●生态系统(含森林、草原、湿地、景观)

- 澜沧江流域云南松群落分布与地形因子的关系研究
..... 徐婷婷,施凯泽,卢腾飞,郎晓雪,罗胤,冷鸿天,李泽(78)
基于 DPSIR 模型的黄河流域兰考县生态安全评价 彭梦威,薛国宇,卫红(82)
基于色彩要素量化分析的郑州市龙子湖滨水公园植物群落景观评价
..... 杨爽,张旭光,刘洋,郭楠,李永华(89)

●林草碳汇

- 基于文献计量分析的生态系统碳汇现状研究 王应琼,温庆忠,王昌命,尹富鸿(98)

香格里拉市高山松林碳密度与环境因子的关系研究

..... 黄运荣,徐婷婷,施凯泽,卢腾飞,李泽,郎晓雪,罗胤,冷鸿天(108)

“双碳”战略背景下的林业碳账户建设实践与探索 谢秉楼,姚鸿文,季碧勇,程雪翔,姚鑫(115)

● 动植物(含古树名木)

云南松不同部位氮、磷、钾储量分配及异速生长研究 ... 黄德帅,王雪纯,王瑜,蔡年辉,陈诗,邓桂香(120)

郑州市 13 种常绿灌木及其主要挥发物抑菌效应研究

..... 原江琴,王翼飞,汪安印,李朝梅,刘召强,贺丹,张曼(125)

基于生态价值的玉田县适生植物资源实地调查与评价 董国明,于帅,李万增,张鸽(133)

6 个山茶品种的耐晒性研究 李鑫,田学义,赵鸿杰,殷爱华,王冰清,万利鑫(140)

我国麋鹿放归野化概况及放归地适宜性评估 张树苗,李夷平,刘恒官,陈颀,李俊芳,白加德(145)

云南省极小种群野生植物拯救保护规划研究

..... 郑进焯,蔡文婧,郑静楠,李柱存,秦燕,王勇,余昌元,杨华(151)

松华坝水库天然林植物多样性调查研究 夏嘉禹,刘强,吴训锋,唐宗英,王博轶,赵亚玲,和丽华(156)

植物内生真菌生防作用研究进展 白娜娜,姜海燕,狄佳麟(163)

● 森林土壤

南大港滩涂湿地土壤有机碳分布特征研究

..... 石田,饶鑫鹏,魏伯阳,岳荣生,王凤,林琳(167)

北京平原地区不同土地利用类型对土壤颗粒组成及其分形特征的影响

..... 郑桂莲,张月莹,强方方,李宗伦,盛昌昌(172)

● 林草灾害(含林火、病虫害、外来物种)

3S 技术在森林火灾风险普查中的应用研究 杨怀林,毛天翔,程泰明(178)

基于物联网的区域森林防火气象服务系统开发 田淙海,于万荣,王卫国,李必龙,赵海明(182)

基于 Landsat 8 遥感数据的森林火灾过火面积估算 董奎,董平,陈兰(187)

● 生态旅游与森林康养

乡村振兴背景下陕南安康市康养旅游竞争力研究 王萍(192)

基于多层次灰色方法的宁波森林公园康养潜力评价 诸葛丰林,李正泉,吕劲文,王健捷(197)

基于景观大数据的游客时空行为研究进展 马思琦,燕亚飞(204)

● 园林绿化

城市居住区三维绿色空间影响空气温湿度机制研究 肖硕凌,闫菲泽,张钰浩,刘仪,何瑞珍(210)

基于网络数据的洛阳市王城公园景观形象感知研究 王丽,燕亚飞,李舒蕾(218)

绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染的响应关系研究 胡剑东,李红玲,谢慧(225)

云南维西南极洛 袁启慧摄(封面)

Forest Inventory and Planning

Vol. 49 No. 1

(Sum No. 259)

Jan. 2024

Contents

●Forest Management

- Cartographic Generalization Approach of Forestry Thematic Mapping Based on Focal Filtering CHEN Chunxiang(1)
- Extraction of Burned Land in Guizhou Province With Rule-based Object-oriented Classification
..... LIU Yun, LIAO Yao, LI Huixuan, YANG Juan, WANG Wei(8)
- Volume Calculation Based on Pressler Method YU Guobao(12)

●Forest Cultivation

- Quality Grading Standard of Seedlings of *Keteleeria davidiana* var. *calcareo* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba
..... GU Chunjiao, CHEN Taiguo, YANG Yishan, SUN Feifei, ZOU Rong, TANG Jianmin, CHAI Shengfeng(16)
- Simulated Wild Planting of *Astragalus membranaceus* under Two Economic Forests
..... YAN Yi, XU Beichang, LU Gang, JIN Zhiwei, WANG Suhua, LI Yunsong, YANG Weixiong(22)
- Plant-row Spacing of *Lycium ruthenicum* Cultivation
..... WU Xiuhua, YANG Rong, YANG Hongwei, ZHANG Jiayi, ZHANG Ying, JIANG Yongzhi(28)

●Ecological Protection and Restoration

- Ecological Restoration Scheme of Lashihai Internationally Important Wetland in Lijiang
..... LIU Qian, SHA Jianbin, ZHENG Jinxuan, WU Jing, ZHENG Jingnan, JIANG Lihua, QIN Yan, YANG Zhongxing(34)
- Wetland Protection and Restoration in Gucheng District of Lijiang City FAN Jishan, GAO Lin(40)
- Remediation and Prevention Strategies for Water Source Pollution of Forest Land in Nature Reserves
..... MA Lizi, YU Haiyang, TIAN Guoxing(46)

●Natural Protected Areas

- Species Diversity and Fauna Analysis of Butterfly in Meixian Yinna Mountain Provincial Nature Reserve of Guangdong Province
..... LI Baoquan, LI Lihong, ZHOU Lulu, PENG Qiuyan, HE Huiting, HAN Wanshi, CHEN Tianpeng(51)
- Planning and Design of Yinzhonghe Provincial Wetland Park in Xiping County
..... GAO Jiankang, FENG Wanting, HU Zongshang, LIU Baoguo(58)
- Activity Rhythm and Influencing Factors of Ungulates in Baima Snow Mountain Nature Reserve of Yunnan
..... MA Yunjun, Tibu, Jiangci Nongbu, YANG Jianqiang, Sina Laoding, MU Yanchun, ZHANG Pengwan, SHI Yan,
HE Yannan, HE Chunju, Zhashi Pinchu, MA Jinlin, Zhaba Duji(63)
- Current Situation and Development Strategies of Natural Protected Areas in Guizhou Province
..... ZHAO Qin, ZHANG Xingqiang, PU Yingchun, CHEN Sikan(69)
- Preliminary Study on National Park Planning System
..... HAO Yongsheng, LAI Xinghui, YANG Jianguang, YANG Youkui, WANG Pingyong(74)

●Ecosystem(Forest, Grassland, Wetland and Landscape)

- Relationship between *Pinus yunnanensis* Community Distribution and Topographic Factors in Lancang River Basin
..... XU Tingting, SHI Kaize, LU Tengfei, LANG Xiaoxue, LUO Yin, LENG Hongtian, LI Ze(78)
- Ecological Security Evaluation of Lankao County in the Yellow River Basin Based on DPSIR Model
..... PENG Mengwei, XUE Guoyu, WEI Hong(82)
- Landscape Evaluation of Plant Communities in Longzi Lake Waterfront Park of Zhengzhou City Based on Quantitative
Analysis of Color Elements YANG Shuang, ZHANG Xuguang, LIU Yang, GUO Nan, LI Yonghua(89)

●Forest and Grassland Carbon Sequestration

- Carbon Sequestration of Ecosystem Based on Bibliometric Analysis
..... WANG Yingqiong, WEN Qingzhong, WANG Changming, YIN Fuhong(98)

- Relationship between *Pinus densata* Carbon Density and Environment Factors in Shangri-La
 HUANG Yunrong, XU Tingting, SHI Kaize, LU Tengfei, LI Ze, LANG Xiaoxue, LUO Yin, LENG Hongtian(108)
- Practice and Exploration on Construction of Forestry Carbon Account under Background of “Carbon Peak and Carbon Neutrality” Goals
 XIE Binglou, YAO Hongwen, JI Biyong, CHENG Xuexiang, YAO Xin(115)

●Plant and Animal(Old and Famous Trees)

- Distribution of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Reserves and Allometric Growth in Different Parts of *Pinus yunnanensis*
 HUANG Deshuai, WANG Xuechun, WANG Yu, CAI Nianhui, CHEN Shi, DENG Guixiang(120)
- Antibacterial Effects of 13 Evergreen Shrubs and Main Volatiles in Zhengzhou City
 YUAN Jiangqin, WANG Yifei, WANG Anyin, LI Chaomei, LIU Zhaoqiang, HE Dan, ZHANG Man(125)
- Field Investigation and Evaluation of Suitable Plant Resources in Yutian County Based on Ecological Value
 DONG Guoming, YU Shuai, LI Wanzeng, ZHANG Ge(133)
- Sunlight Resistance of Six Different Varieties of *Camellia japonica*
 LI Xin, TIAN Xueyi, ZHAO Hongjie, YIN Aihua, WANG Bingqing, WAN Lixin(140)
- Reintroduction Overview of *Elaphurus davidianus* in China and Suitability Evaluation of Released Sites
 ZHANG Shumiao, LI Yiping, LIU Hengguan, CHEN Qi, LI Junfang, BAI Jiade(145)
- Rescue and Conservation Planning of Wild Plant Species with Extremely Small Populations in Yunnan Province
 ZHENG Jinxuan, CAI Wenjing, ZHENG Jingnan, LI Zhucun, QIN Yan, WANG Yong, YU Changyuan, YANG Hua(151)
- Plant Diversity of Natural Forest in Songhuaba Reservoir
 XIA Jiayu, LIU Qiang, WU Xunfeng, TANG Zongying, WANG Boyi, ZHAO Yaling, HE Lihua(156)
- Advances on Biocontrol Effects of Endophytic Fungi in Plants BAI Nana, JIANG Haiyan, DI Jialin(163)

●Forest Soil

- Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon in Nandagang Mudflat Wetland
 SHI Tian, RAO Xinpeng, WEI Boyang, YUE Rongsheng, WANG Feng, LIN Lin(167)
- Effects of Different Land Use Types on Soil Particle Distribution and Fractal Dimension in Plain Afforestation Area of Beijing
 ZHENG Guilian, ZHANG Yueying, QIANG Fangfang, LI Zonglun, SHENG Changchang(172)

●Forest and Grassland Disaster(Forest Fire, Pests and Diseases, and Alien Species)

- Application and Analysis of 3S Technology in Forest Fire Risk Survey
 YANG Huailin, MAO Tianxiang, CHENG Qinming(178)
- Development of Regional Forest Fire Prevention Meteorological Service System Based on the Internet of Things
 TIAN Conghai, YU Wanrong, WANG Weiguo, LI Bilong, ZHAO Haiming(182)
- Estimation of Forest Fire Burned Area Based on Landsat 8 Remote Sensing Data DONG Kui, DONG Ping, CHEN Lan(187)

●Ecotourism and Forest Therapy

- Competitiveness of Health Preservation Tourism in Ankang City of Southern Shaanxi under the Background of Rural Revitalization
 WANG Ping(192)
- Potential Evaluation of Health Preservation of Ningbo Forest Park Based on Multi-level Grey Method
 ZHUGE Fenglin, LI Zhengquan, LYU Jinwen, WANG Jianjie(197)
- Research Progress on Spatio-Temporal Behavior of Tourists Based on Landscape Big Data MA Siqi, YAN Yafei(204)

●Landscape Greening

- Mechanism of Three-dimensional Green Space Affecting Air Temperature and Humidity in Urban Residential Area
 XIAO Shuoling, YAN Feize, ZHANG Yuhao, LIU Yi, HE Ruizhen(210)
- Landscape Image Perception of Wangcheng Park in Luoyang City Based on Network Data
 WANG Li, YAN Yafei, LI Shulei(218)
- Response Relationship between Vegetation NMHC Emissions and Air Pollution in Greenway Planning
 HU Jiandong, LI Hongling, XIE Hui(225)
- Nanjiluo Scenic Area of Weixi County, Yunnan Province Photographed by YUAN Qihui(Front Cover)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.001

基于聚焦滤波的林业专题地图制图综合方法

陈春祥

(云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要: 森林资源规划设计调查成果总是以连续的面状图斑呈现。当大比例尺二类调查成果图缩编为更小比例尺地图时,常常需要制图综合。如何在制图综合时既要简化多边形边界,又要保持各类型林相面积和位置的相对不变,是林业专题制图的一个难题。经大量实验发现,将实施制图综合的连续面状图斑要素从矢量格式转换为栅格格式,经 Focal 滤波器以 Majority 方式滤波处理后,再将滤波后结果从栅格数据转换为矢量数据,可较好地实现森林资源专题连续面状要素信息的制图综合。以云南省某地一个 1 万 hm^2 的实验区为例,使用该方法将 1:2.5 万的森林资源二类调查成果图缩编为 1:25 万。结果表明,缩编后,多边形边界简化,目视效果较好,各类型林相面积变化绝对值平均为 0.2%,位置精确度平均值为 94.68%。此方法已应用于云南森林资源状况图集相关专题图等的生产实践。

关键词: 林业专题地图;制图综合;连续面状图斑;地图缩编;Focal 滤波器;位置精确度

中图分类号:S758.6 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0001-07

引文格式:陈春祥. 基于聚焦滤波的林业专题地图制图综合方法[J]. 林业调查规划,2024,49(1):1-7.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.001

CHEN Chunxiang. Cartographic Generalization Approach of Forestry Thematic Mapping Based on Focal Filtering[J]. Forest Inventory and Planning,2024,49(1):1-7. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.001

Cartographic Generalization Approach of Forestry Thematic Mapping Based on Focal Filtering

CHEN Chunxiang

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

Abstract: The results of forest resources planning and design survey are always presented in continuous planar patches. When the large-scale result map is reduced to the smaller-scale map, cartographic generalization is often required. How to simplify the polygon boundary and keep the area and position of various objects relatively unchanged during cartography generalization is still a challenge. A large number of experiments found that the continuous planar patches was converted from vector format to raster format, then the focal majority filter was performed on the raster data in Majority manner to convert the filtered raster data to vector format for thematic mapping, which could effectively achieve cartographic generalization of forest resource thematic continuous planar feature information. This approach was used to reduce the 1:25 000 forest inventory map to a 1:250 000 map over the 10 000 hm^2 study area in Yunnan. The results showed that after reduction, the polygonal boundaries were simplified, and the visual effect was

收稿日期:2022-07-04;修回日期:2023-04-18.

第一作者:陈春祥(1975-),男,云南弥渡人,高级工程师.主要从事 3S 技术在林业调查规划中的应用研究及林业信息化建设工作.

good. The average absolute area change of each land use type was 0.2%, and the average positional accuracy was 94.68%. This approach has been widely used in the production practice of relevant thematic maps of Yunnan forest resources atlas.

Key words: forestry thematic mapping; cartographic generalization; continuous planar patches; map generalization; Focal filter; positional accuracy

近 20 年以来,云南省先后开展了两轮全省县级森林资源规划设计调查(简称“二类调查”)。调查以 1:2.5 万或 1:1 万比例尺遥感影像图为工作底图,采用 GIS 技术,建成了大比例尺森林资源空间数据库,为各项林草发展规划、森林资源保护、公益林建设、“一张图”建设等工作提供了基础。

森林资源二类调查是林业建设的重要基础性工作,其成果是科学经营和管理森林资源的重要依据^[1],也是生产小尺度林业地图的主要依据^[2]。县级森林资源调查成果形成了大量数字化的林业专题属性数据和空间数据^[3]成果资料,记载了森林资源状态、分布结构,是地理数据的重要组成部分,有着无重叠、无缝隙、全覆盖的分布特点^[4],在空间数据上表现为连续的面状(polygon)图斑。基于数字化的县级森林资源二类调查成果生产多种小比例尺的空间数据,不仅成为林草信息化建设重要的基础数据来源,也是编制各种小比例尺林业专题地图(如森林分布图、森林资源状况图等)最直接、最主要的数据,因此,如何生产满足要求的多尺度林草地理空间数据已成为当前应用日常之需和一项非常重要的工作。

在全省二类调查成果空间数据编制云南森林资源状况图集(以下简称《图集》)过程中,为制作专题图需获取不同比例尺森林资源面状要素,尝试采取 GIS 方法去实现。GIS 作为当前表达空间数据最佳手段,开展基于大比例尺二类调查成果缩编小比例尺地图,实质就是开展 GIS 技术支持下的多尺度地理空间数据生产,属于地图制图综合范畴。地图制图综合因其复杂性和求解的困难性,无论过去、现在或将来,都是现代地图学中最具挑战性和创新性的研究领域^[5]。因此,如何充分利用二类调查得到的森林资源数据聚合(即综合)生成多种小比例尺尺度下的林业地图是当前林业制图领域和森林资源数字化管理中急需解决的技术问题^[2,6]。

从 1:2.5 万比例尺尺度下的二类调查结果连续图斑提取更小比例尺森林资源专题制图要素,获取《图集》各专题图森林资源面状要素时,需要解决两个方面的问题。一是需要将现有 40 余项调查因

子进行分级组合,合并形成最终的制图用林相类型,这个过程实际上完成了制图综合概念上的语义综合。这个问题根据《图集》技术方案的林相类型综合条件,通过属性查询、筛选、赋值来解决;二是需要对语义综合结果图形边界进行综合,完成制图综合概念上的图形综合^[7]。这个问题从实现过程上可分为两个具体步骤,首先,基于语义综合结果,对原始最细图斑进行融合,完成对类型相同且相邻的图形进行合并,图形融合(dissolve)属于制图综合内容的一个部分,目前大多采用 GIS 软件来实现;其次,合并后的图形边界仍保持原始形状,且不因尺度改变(如缩小)而改变,当成图比例尺大幅减小时,原本细节十分详细且丰富的图形边界因缩小而变得有“褶皱”,细长型多边形缩小后显示为一条“线”且不因比例尺的不断缩小而消失,相离较近的多个同类别图形(以下简称“临近同类图形”)在显示时不会因缩小而聚合成一个图形等,如不对因比例尺缩小表示的图形进行边界化简、合并、聚合等制图进行综合操作,最终《图集》在视觉上将会不美观,也不利于使用,易读性差。因此,需要根据《图集》各专题图不同的比例尺(多尺度)对融合后图形边界实施制图综合处理,同时,每一图幅上专题要素综合后要保持自身的合理性。当前,实现这一步骤对林业技术人员来说仍然无现成的经验和好的做法可以借鉴^[2,8]。

在《图集》编制中,经大量试验发现,采用聚焦滤波的方法能实现从大比例尺变换到小比例尺过程中需要完成的制图综合,即实现了小图斑的删除(实则为合并到相邻大面积图斑)、相邻同类别图斑的合并、临近同类图斑的聚合、细长图斑但并非小面积图斑的删除(实则为图斑切分为多个部分后又合并到各自相邻大面积图斑中)、相邻图斑公共边“褶皱”的平滑等连续面状图斑的制图综合,有效解决了基于县级森林资源二类调查成果图斑生产多种不同小比例尺(多尺度)专题空间要素存在的问题。

1 研究区域概况

云南省地处中国西南边陲,位于东经 97°31′~106°11′,北纬 21°08′~29°15′。为多山省份,山地面

积占总面积的 84.0%,高原面积占 9.9%,盆地面积占 6.1%。下辖 16 个州(市),共设县级行政单位 129 个。全省森林资源丰富,呈现滇西北、滇南多,滇中、滇东及滇东北少,森林植被类型多、树种组成复杂等特点^[9]。全省二类调查区划小班数量多达数百万个。

为了便于对该方法作系统阐述,从拼接的全省 1:2.5 万比例尺尺度下的县级二类调查小班数据成果中随机裁切了 10 km×10 km 的数据范围作为实验区域,总面积 1 万 hm²。裁切得到的空间数据已包含有二类调查小班 40 余项属性因子。实验过程与《图集》中各专题图制图要素生产完全相同。专题图制作采用质底法,语义综合后为 8 个林相类型,每一类均由地类、优势树种和龄组组合而得,开始图形综合前,实验区图斑属性只保留了 8 个林相类型,各类型通过属性表中的 Color_id 字段记录(表 1)。

表 1 Color_id 值与林相类型对应表
Tab. 1 Color_id value and forest type table

林相类型	Color_id 值	林相类型	Color_id 值
针叶林	10	经济林	50
阔叶林	20	竹林	60
针阔混	30	无林地	70
灌木林	40	非林地	80

2 研究方法

实验中采用的 GIS 数据处理工具为 ArcGIS 软件。GIS 环境下数字地图有两种存储格式,一种是矢量结构格式,一种是栅格结构格式。两种结构数据均能同时准确地描述地理空间实体,但由于两种结构的差异,导致数字地图制图综合时会有不同的综合方法,或者说当基于矢量数据进行制图综合困难时,可采用基于栅格数据进行制图综合,反之,当基于栅格数据制图综合困难时,可采用基于矢量数据实施综合。

2.1 Focal 滤波器应用于制图综合的理论依据

2.1.1 Focal 滤波器介绍

Focal 滤波器属于统计滤波,是对移动窗口内的各像元值作数学上的统计(最小值 minimum、最大值 maximum、众数 majority、少数 minority、中值 median、平均值 mean、标准差 std、总和 sum、范围 range、变异性 variety),来确定移动窗口中心输出像元值。本实验中的统计方式采用移动窗口内出现值最多(众数)的值作为输出像元值。

2.1.2 Focal 滤波器滤波实现过程

采用 Focal 滤波器实施制图综合实现过程图解(以 7×7 窗口为例)。

1)在图 1 中,移动窗口内存在两种森林分布图林相类型填色值“10”和“20”,“10”共有 18 个,“20”共有 31 个,经采用 majority(众数)统计后,则移动窗口中心输出像元值为优势值“20”,代替原始图上的值“10”,在原始图上中心像元“10”从图形的角度来看表现为“尖角”,在输出的图上变为“20”后,图形表现为去除“尖角”,达到平滑的效果。

10	10	10	10	10	10	10
20	10	10	10	10	10	10
20	20	10	10	10	10	20
20	20	20	10	20	20	20
20	20	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	20

图 1 Focal 滤波器滤波过程图示 1

Fig. 1 Process of Focal filter 1

2)在图 2 中,浅灰色区域是面积较大的地类 A,深灰色区域是零星分布但较集中的地类 B,在图中的移动窗口内,A 地类有 16 个像元,B 地类有 33 个像元,经移动窗口滤波后中心输出的地类变为 B,代替了原始的 A 地类,达到了聚合 B 地类的效果。

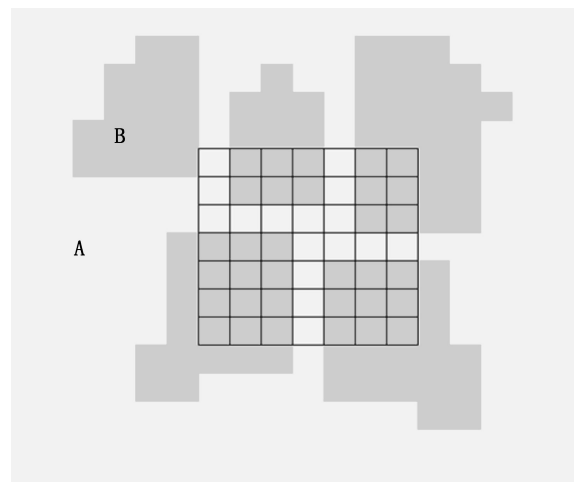


图 2 Focal 滤波器滤波过程图示 2

Fig. 2 Process of Focal filter 2

3)在图 3 中,在大片浅灰色地类 A 中,有一小块深灰色区域 B 地类,移动窗口中心在 B 地类的任意像元上,移动窗口内的优势地类为 A,经过滤波后,移动窗口中心位置输出的像元值均变为 A 地类,达到了删除小面积 B 地类的效果(即地类 B 并入大面积地类 A 中)。

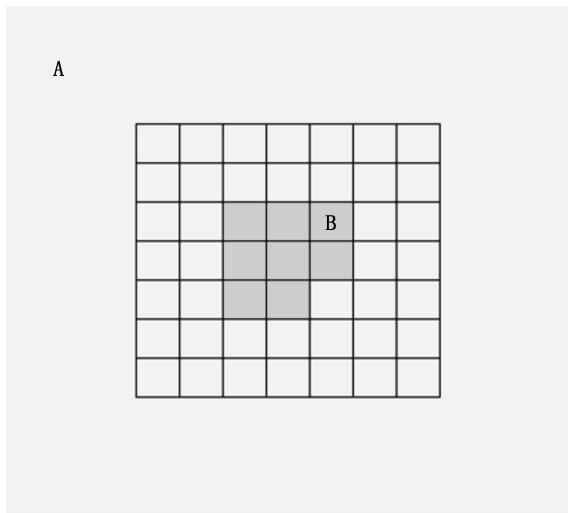


图 3 Focal 滤波器滤波过程图示 3
Fig. 3 Process of Focal filter 3

通过图解方式分析得知,从理论上证明了 Focal 滤波器可应用于制图综合。

2.2 实验

2.2.1 技术路线

经反复测试后,确定实验技术路线如图 4 所示。技术路线流程中几个关键点:

1)矢量转栅格图像时,将 Color_id 值指定为输出的栅格像元值大小。

2)采用 Focal 滤波器对栅格图像滤波时的数学统计方式为众数(majority)。

3)滤波生成的栅格图像转为多边形矢量(polygon)时,矢量多边形要素的属性值指定为像元值,即为 Color_id 值,这一步骤确保综合后各要素属性并未丢失,且属性值的种类与综合前种类保持一致。

4)综合产生的矢量要素图层(中间结果),要实施去除面积小于最小上图面积的图斑操作,这个过程可能要连续多次,以防止面积较小的图斑存在嵌套情况,如果只采取 1 次去除操作,达不到彻底消除的目标。

2.2.2 矢量转栅格

采用 Focal 滤波方法进行连续图斑制图综合处

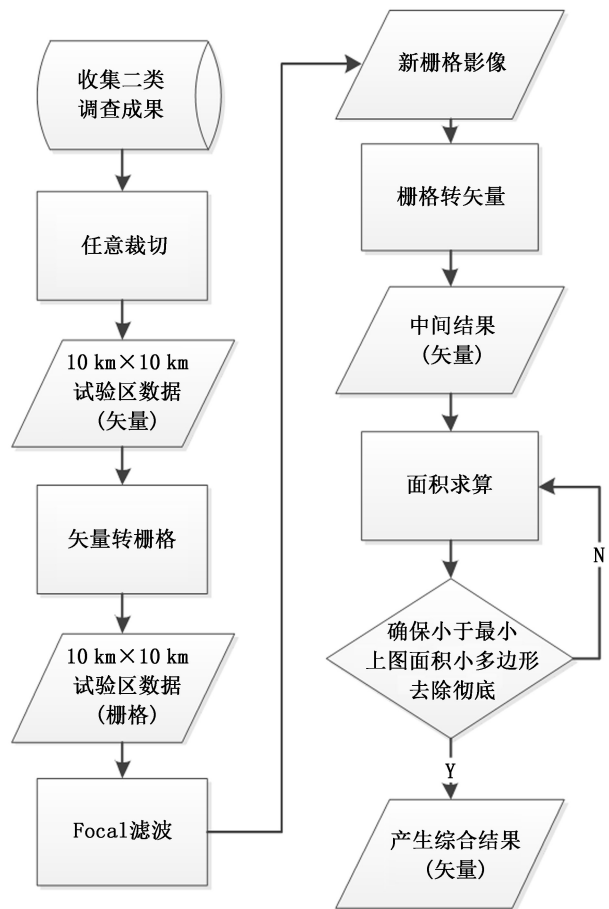


图 4 实验技术路线

Fig. 4 Flow chart of experiment

理时,首先须将矢量格式的图斑空间数据转为栅格图像格式,再对栅格图像数据应用 Focal 滤波器进行滤波处理。矢量转栅格时需要确定栅格的分辨率大小。当栅格分辨率设置过低(即像元大小过大)时,一方面会带来信息量丢失太多,造成失真,同时由于分辨率过低,每个像元表示着较大的范围,当从栅格反转为矢量时,矢量会出现“锯齿”现象,最终成果图也不美观;另一方面,在分辨率过低情况下,实施 Focal 滤波处理时,移动窗口过大,造成综合过度,移动窗口过小,综合效果不佳,还易产生新的小多边形;当栅格分辨率过高时,栅格文件过大,耗费电脑硬件资源、增加运算时间,同时滤波时还须选择较大移动窗口的滤波器才满足甚至达到综合的效果。实验中发现,滤波器窗口的大小与制图综合结果要达到的效果存在着联系,也与矢量转栅格图像时设定的分辨率有关系。栅格分辨率高则滤波窗口要大,分辨率低则滤波窗口要小。在生产过程中,如何确定栅格的分辨率以及基于确定的分辨率要采用多大的滤波窗口显得十分重要。

为确定转栅格图像时的分辨率大小这一关系,在研究中发现,有文献^[10]记载有“数字正射影像图的地面分辨率在一般情况下应不大于 $0.0001M_{\text{图}}$ ($M_{\text{图}}$ 为成图比例尺分母)”的技术规范和要求,依此规定开展了大量实验,发现此规定适用于矢量转栅格图像时分辨率大小的确定,即当《图集》中的森林资源专题图比例尺为 1:25 万时,则矢量转栅格分辨率确定为 25 m。同时,将林相类型 Color_id 值指定为栅格图像的像元值,本实验中,即为 10、20、30、40、50、60、70、80。

2.2.3 Focal 滤波器窗口大小的确定

经大量实验测试,在基于对成图比例尺分母 0.0001 倍的数值为分辨率大小的栅格图像滤波时,移动窗口大小选择 7×7 ,综合结果效果最佳。评估过程不在此文阐述范围,在此不再详述。

3 结果与分析

对 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 实验区数据按上述研究技术路线制图综合处理后,对产生的综合结果从视觉、面积和位置精确度 3 个方面进行评估。

3.1 综合前后视觉感观上的效果评估

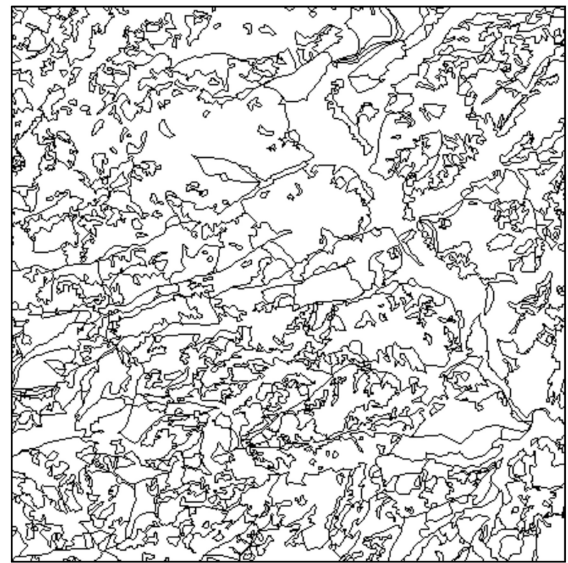
实验区综合前、综合后图斑数的变化及视觉感知对比见图 5,区域放大后的综合前、综合后情况对比见图 6。

从图 5、图 6 中可以看出:综合后的形状符合现实地物由近至远的视觉观察结果,要素数量大幅减少,小图斑被合并,狭长地物也被归并,边界变得平滑,保留下来的图斑在位置上和整体形状上未发生改变。

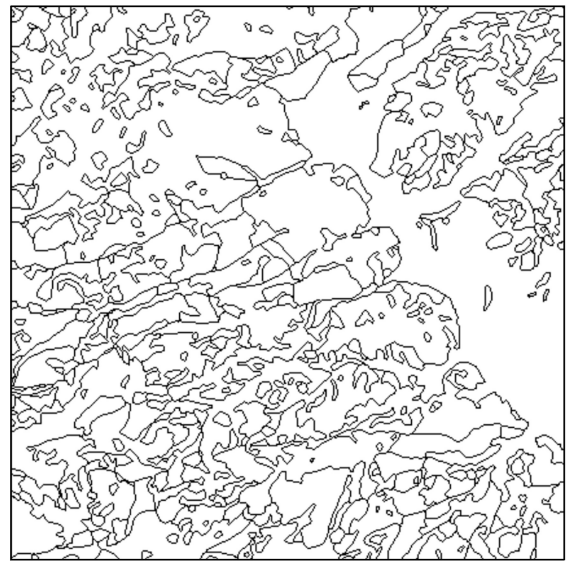
3.2 综合前后面积变化分析

制图综合质量高低可用缩编结构相似度指数来衡量^[11],反映了综合过程对综合前后各林相类型结构变化的影响,与综合前后各林相类型变化及其各林相类型面积统计结果密切相关,可通过综合前后面积变化统计表来对比反映(表 2)。

从表 2 可以看出,综合后,各林相类型总面积占比与综合前基本保持一致;总面积较综合前增加了 0.6 hm^2 ,说明综合过程中,实验区边界未发生明显变化,缩编后整体结构相似度极高;各林相类型面积变化绝对值之和为 161.0 hm^2 ,变化最大的为针叶林,达 72.2 hm^2 ,但变化率仅占总面积的 0.71%,说明整个结构变化极小;综合前无灌木林地,综合后也未产生灌木林地,说明综合过程未产生新的类型,符



(a) 综合前

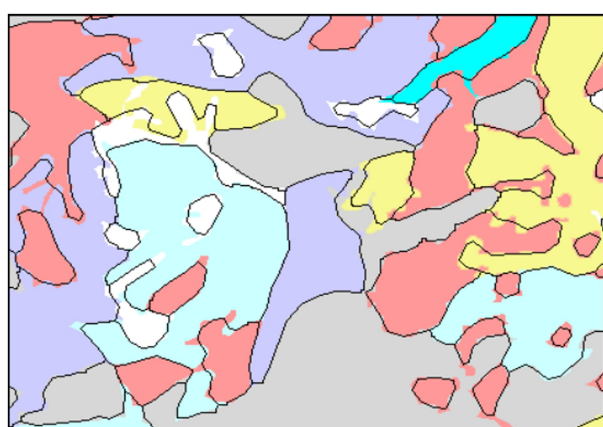


(b) 综合后

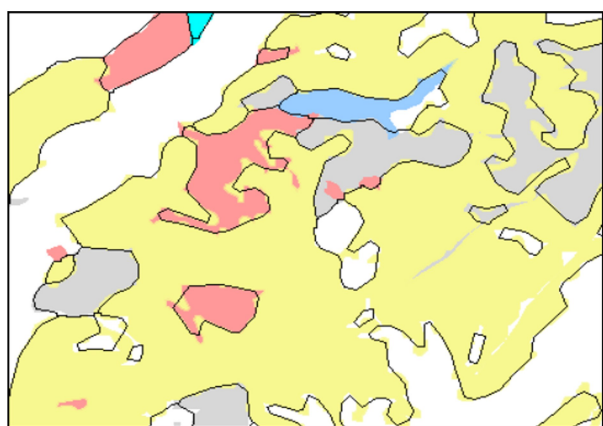
图 5 实验区综合前、综合后图斑数的变化及视觉感知对比

Fig. 5 Patches change and visual comparison between the original thematic map and the generalized map

合综合逻辑;竹林占实验区面积最小,综合后面积缩小了 3.0 hm^2 ,变化率仅占总面积的 0.03%,说明综合过程对劣势类型同样有作用,但并未因整个类型面积占比小而被整体给合并了,占比小的林相类型在综合后仍被保存下来;综合前后各林相类型面积变化绝对值平均为 0.2%,单个林相类型面积变化率最大的是经济林,最小的是其他林地,分别为 0.75%和 0.01%,而林相类型最大的面积为针对林,说明综合过程中综合程度并非与面积大小成比例关



(a) 综合前



(b) 综合后

图 6 两局部区域放大的综合前(填色表示)、综合后(线条表示)情况对比

Fig. 6 Two local enlarged areas before (coloring display) and after (line display) generalization

系;其他非林地综合前面积为 2 527.3 hm²,面积较大,但面积变化率仅为 0.02%,说明综合过程中并未出现占优势的类型因面积大而不断地得以扩张的

表 2 综合前后各林相类型面积变化

Tab. 2 Area changes of each forest type after cartographic generalization

林相类型	综合前		综合后		综合前后面积变化 /hm ²	综合前后面积占比差绝对值 /%
	面积 /hm ²	占比 /%	面积 /hm ²	占比 /%		
针叶林	3692.4	36.93	3764.6	37.64	72.2	0.71
阔叶林	358.6	3.59	359.2	3.59	0.6	0
针阔混	521.5	5.21	528.6	5.29	7.1	0.08
灌木林地	0	0	0	0	0	0
竹林	12.5	0.13	9.5	0.10	-3.0	0.03
经济林	1628.3	16.29	1553.3	15.54	-75.0	0.75
其他林地	1257.2	12.57	1258.1	12.58	0.9	0.01
其他非林地	2527.3	25.28	2525.1	25.26	-2.2	0.02
合计	9997.8	100.00	9998.4	100.00	0.6	0.20

情况,综合过程是依各林相类型分布情况、边界“褶皱”情况等进行的合并(删除)、聚合、化简等,综合结果合理,缩编综合质量高。

3.3 综合前后位置精确度分析

制图综合质量高低也可用缩编布局相似度指数来衡量^[11],反映的是研究区域范围内综合过程中未发生林相类型变化的图斑与缩编前相应林相类型的图斑在布局上的相似程度,与综合前后各林相类型变化及相应面积相互转化情况密切相关,可通过综合前后面积交叉表直观反映。

表 3 为综合前后各林相类型面积交叉表。表中第 1 列代表综合前的各林相类型面积,第 1 行代表综合后的各林相类型面积。

表 3 综合后位置精确度按面积统计

Tab. 3 Positional accuracy of each forest type after cartographic generalization

林相类型	针叶林	阔叶林	针阔混	灌木林	竹林	经济林	其他林地	非林地	合计	位置精确度/%
针叶林	3542.3	3.3	2.1	0	0	76.4	16.0	52.3	3692.4	95.93
阔叶林	3.7	338.1	1.1	0	0	4.9	2.0	8.8	358.6	94.28
针阔混	2.3	1.1	506.5	0	4.0	0.1	7.5	0	521.5	97.12
灌木林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.00
竹林	0	0	0	0	9.0			3.5	12.5	72.00
经济林	132.1	9.4	9.8	0		1440.3	26.8	9.9	1628.3	88.45
其他林地	22.2	2.3	5.0	0		17.6	1198.1	12.0	1257.2	95.30
其他非林地	62.1	5.1	10.0	0	0.4	7.5	10.6	2431.6	2527.3	96.21

从表 3 中可以看出:综合后 8 种林相类型位置精度在 90% 以上的有 6 种,有 5 种林相类型在 95% 以上,各林相类型位置精确度加权平均值为 94.68%,说明综合后整体类型与综合前保持了空间位置上的高度一致,并未因综合而使空间要素发生位置上的系统性偏差。竹林位置精度最低,仅为 72.0%,主要原因是竹林面积小且边界较弯曲,综合后虽然只有极少部分要素被合并到周边类型中,但由于整体面积较小,计算占比时作为分母也就小,尽管被归并到周边类型的面积很小,但其作为分子少许变化对结果影响较大,降低了位置精度。

通过对实验区数据制图综合前后情况进行对比分析,证明此方法可应用于连续面状森林资源图斑要素的制图综合。

4 结论与讨论

栅格专题图像经过 Focal 滤波器滤波后,达到了制图综合过程中要实现的删除、合并、边界平滑等目的。为实现生产小比例尺度下制图要素,将综合对象通过从矢量格式转换为栅格格式再实施制图综合处理,化解了复杂的、非线性的综合过程,利用对数据结构简单的栅格数据进行概括、简化操作等制图综合操作过程较为容易的特点,有效解决了矢量数据在综合中因空间拓扑关系复杂造成的难以解决的技术难题,对综合后专题栅格图像再转为矢量,达到较好的制图综合效果。把实验总结出的方法全面应用于云南省森资源状况图集不同小比例尺专题图的生产中,最终制作的图集不仅美观,而且质量达到了设定的目标要求。

数字环境下计算机地图综合是一件极其富有挑战性的工作^[12]。本文阐述运用 Focal 滤波器实现林业专题地图制图综合的方法,从理论、实验和生产 3 个方面得到了印证,在生产中具有较好的实用性。实验中关于矢量格式转换为栅格格式分辨率的设置直接参考了“数字正射影像图的地面分辨率在一般情况下应不大于 $0.0001M_{\text{图}}$ ”的技术规范和要求,基

于此分辨率下滤波窗口采取了 7×7 的大小,综合过程视每一林相类型的重要性相同,而忽略了重要对象因图形面积非常小也被合并而未被保留下来的方面。在后续研究中可进一步对设定矢量转栅格分辨率大小设为多大为更佳、与之对应的滤波窗口应设为多大,以及分辨率、窗口大小与制图综合成图比例尺之间存在的内在关系加以研究探索,力争将这种内在关系数量化或公式化,并探究不同权重各林相类型的制图综合方法。

参考文献:

- [1] 云南省林业厅. 云南省森林资源规划设计调查操作细则(试行)[Z]. 2004.
- [2] 张超. 基于二类调查数据的林业地图制图综合技术研究[J]. 林业调查规划, 2010, 8(4): 6-10.
- [3] 石军南, 刘恩林, 罗鹏. 基于 GIS 的森林分布图的制图综合[J]. 中南林学院学报, 2005, 25(6): 124-127.
- [4] 李闯. 基于语义优先的多尺度土地利用图斑综合与质量评价[D]. 沈阳: 辽宁师范大学, 2016.
- [5] 武芳, 巩现勇, 杜佳威. 地图制图综合回顾与展望[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1646-1664.
- [6] 罗鹏. 森林资源分布图自动综合技术研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2007.
- [7] 王留召, 梁有, 米振通. 地图自动综合的现状与发展[J]. 中州煤炭, 2001, 114(6): 15-16.
- [8] 王家耀, 成毅. 空间数据的多尺度特征与自动综合[J]. 海洋测绘, 2004, 24(4): 1-3.
- [9] 云南省林业厅. 云南省森林资源调查报告[R]. 昆明: 云南科技出版社, 2016.
- [10] 国家测绘地理信息局职业技能鉴定指导中心, 测绘出版社. 测绘综合能力[M]. 北京: 测绘出版社, 2016.
- [11] 石志宽, 汤国安. 土地利用现状数据缩编的质量评价方法[J]. 地理研究, 2011, 30(2): 233-241.
- [12] 艾廷华, 郭宝辰, 黄亚峰. 1:5 万地图数据库的计算机综合缩编[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, 30(4): 298-300.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.002

基于规则面向对象分类法的贵州省山区火烧迹地提取

刘芸¹, 廖瑶¹, 李慧璇¹, 杨娟¹, 王伟²

(1. 贵州省生态气象和卫星遥感中心, 贵州 贵阳 550002; 2. 贵州省特种水产工程技术中心, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 基于国产高分一号卫星宽幅(WFV)影像,对贵州省复杂地形山区火烧迹地的光谱特征、形状特征、纹理特征等进行了分析,建立了火烧迹地提取规则,完成了研究区基于规则面向对象的火烧迹地提取。利用高分二号卫星 1 m 分辨率影像对提取结果进行精度验证。结果表明,基于规则面向对象分类法的 GF1WFV 火烧迹地提取总体精度为 92.67%,总 Kappa 系数为 0.89,能较好地完成研究区的火烧迹地分类提取,分类质量达到极好水平,为贵州省山区火烧迹地提取提供了一定的参考和理论依据。

关键词: 面向对象分类法; 高分卫星影像; 火烧迹地提取; 山区; 贵州

中图分类号: S771.8; TP573 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0008-04

引文格式: 刘芸, 廖瑶, 李慧璇, 等. 基于规则面向对象分类法的贵州省山区火烧迹地提取[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 8-11. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.002

LIU Yun, LIAO Yao, LI Huixuan, et al. Extraction of Burned Land in Guizhou Province With Rule-based Object-oriented Classification[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 8-11. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.002

Extraction of Burned Land in Guizhou Province With Rule-based Object-oriented Classification

LIU Yun¹, LIAO Yao¹, LI Huixuan¹, YANG Juan¹, WANG Wei²

(1. Guizhou Ecological Meteorological and Satellite Remote Sensing Center, Guiyang 550002, China;
2. Guizhou Special Aquatic Products Engineering Technology Center, Guiyang 550025, China)

Abstract: Based on GF1 WFV images, this paper analyzed the spectral, shape, and texture characteristics of the burned land in complex mountainous areas of Guizhou Province, established the extraction rules of burned land, and completed the extraction of burned land with rule-based object-oriented classification. The results showed that the overall accuracy of this method was 92.67%, and the total Kappa coefficient was 0.89, which could well complete the extraction of burned land in the research area, and the classification quality reached an excellent level, providing a certain reference and theoretical basis for the extraction of burned land in complex mountainous areas of Guizhou Province.

Key words: object-oriented classification; GF1 satellite image; extraction of burned land; mountainous areas; Guizhou Province

收稿日期: 2022-08-16.

基金项目: 贵州省科技厅基础 Research 计划(黔科合基础-ZK[2021]一般 193).

第一作者: 刘芸(1990-), 女, 四川内江人, 硕士, 工程师. 主要从事卫星遥感应用研究. Email: 250013953@qq.com

责任作者: 廖瑶(1987-), 男, 贵州贵阳人, 硕士, 高级工程师. 主要从事遥感与 GIS 应用研究工作. Email: 515326061@qq.com

森林生态系统是生态系统中的重要组成部分,其对维持地球生态平衡、全球气候变化、水土保持、污染防治等方面都发挥着重要作用。森林火灾是破坏森林生态系统的重要干扰因素,火烧迹地为森林被林火烧毁后未能生长出新林的土地类型。火烧迹地的监测对森林火灾的定位、过火区面积及森林植被恢复情况监测等均具有重要意义。

传统的火烧迹地监测主要是通过地面调查的手段来实现。但由于过火区大都在地势陡峭、交通不便的森林深处,依靠地面调查不仅费时费力费财,而且存在监测不及时和漏监测的情况。而卫星遥感具有覆盖范围广、时间和空间分辨率高、能实现连续多点观测等特点,逐渐被国内外用于火烧迹地的提取和监测。Gitas 等基于 NOAA-AVHRR 卫星数据,采用面向对象分类法实现了对大范围火烧迹地的提取^[1];Giglio 等基于不同分辨率的 MODIS 卫星影像,采用阈值条件分类法,实现了全球火烧迹地提取^[2];祖笑锋等采用决策树方法,研究了高分卫星火烧迹地提取^[3];李莹等基于 Sentinel-2 卫星融合红边波段,研究了火烧迹地的提取方法^[4]。现有的火烧迹地提取主要集中在基于遥感光谱指数的计算,但基于高分卫星数据利用面向对象分类法识别火烧迹地方面的研究比较少。

高分一号卫星 WFV 传感器具有较大的幅宽和较短的重访周期,非常适合提取较大范围的火烧迹地。贵州地处云贵高原,森林资源丰富,生态环境优良,但层峦叠嶂的山体在卫星影像上极容易出现阴影,给火烧迹地的提取增加了极大的难度。因此,构建基于高分卫星的贵州省复杂地形的火烧迹地提取规则,对火烧迹地的提取以及森林资源的监测等均具有重要意义。

1 研究区与卫星影像资料

1.1 研究区概况

研究区位于贵州省黔西南州兴仁县和普安县交界处,该地区于 2019 年 2 月 6 日发生了面积较大的森林火灾。

1.2 卫星影像资料

选择 2019 年 2 月 8 日 GF1 号 16 m 分辨率卫星影像资料作为灾后影像数据源,选择 2019 年 3 月 3 日 GF2 号 2 m 分辨率卫星影像资料作为精度验证底图。利用 ENVI 软件分别对两景影像进行辐射定标、大气校正、RPC 正射校正、影像融合等预处理。研究区地理位置及 GF1 假彩色影像如图 1。

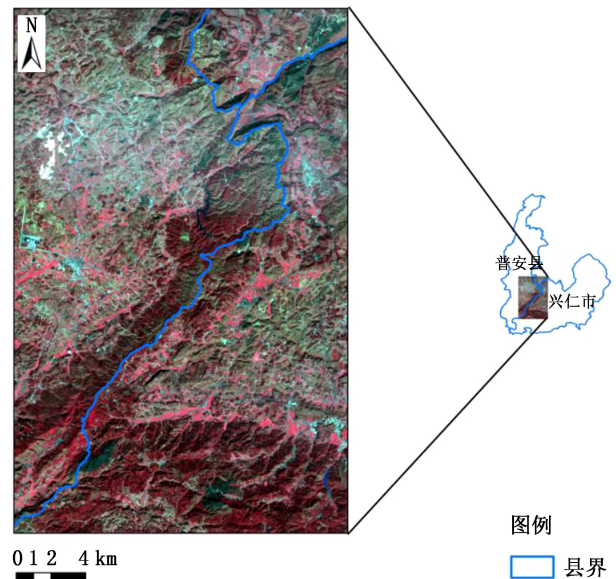


图 1 研究区地理位置及 GF1 假彩色影像

Fig. 1 Location and GF1 false color images of the research area

2 研究方法

2.1 影像分割

采用 eCognition 多尺度分割算法^[5-6]对影像进行分割。经对比,最佳分割参数设置如下:分割尺度:50,形状参数:0.1,紧致度参数:0.6。在该分割参数下,能够较为完整地保留火烧迹地的整体性和周边地物特征。

2.2 分类特征分析与选择

2.2.1 光谱特征

光谱特征是分类提取的最基本特征,能够最直观体现各地物的特点。根据外业调查和 GF2 号影像目视解译,将研究区的地物分为植被、火烧迹地、建设用地、裸地、阴影几个地物类型。选取不同地物类型样本,并统计其光谱特征(图 2)。

1) 均值

从图 2 中分析得知,火烧迹地在红波段高于山体阴影,在近红外波段的反射率明显低于植被、建设用地以及裸地。因此,选取红波段及近红外波段的均值作为分类特征。

2) 光谱指数

归一化植被指数^[7](normalized difference vegetation index, NDVI)公式为:

$$NDVI = \frac{\rho_{Nir} - \rho_{Red}}{\rho_{Nir} + \rho_{Red}} \quad (1)$$

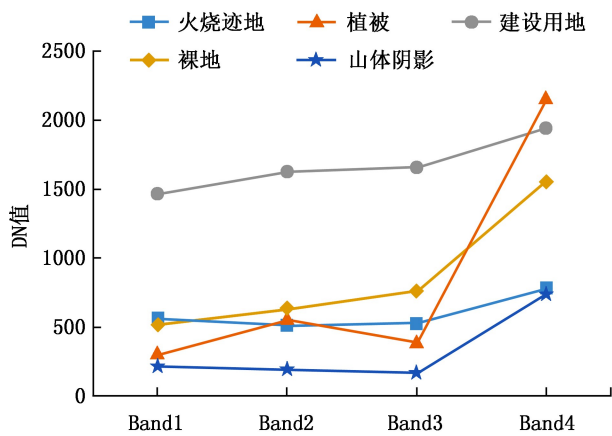


图 2 光谱特征曲线

Fig. 2 Spectral characteristic curve

增强型植被指数^[8] (enhanced vegetation index, EVI) 公式为:

$$EVI = 2.5 \frac{\rho_{Nir} - \rho_{Red}}{\rho_{Nir} + 6\rho_{Red} + 7.5\rho_{Blue} + 1} \quad (2)$$

归一化水体指数^[9] (normalized difference water index, NDWI) 公式为:

$$NDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{Red}}{\rho_{Green} + \rho_{Red}} \quad (3)$$

过火区识别指数^[10] (normalized difference vegetation index, BAI) 公式为:

$$BAI = \frac{1}{(0.1 - \rho_{Red})^2 + (0.06 - \rho_{Nir})^2} \quad (4)$$

式中: ρ_{Red} 、 ρ_{Green} 、 ρ_{Blue} 、 ρ_{Nir} 分别为红波段、绿波段、蓝波段、近红外波段的反射率。

2.2.2 纹理特征

纹理特征是影像在空间上的重复变化和排列规则的体现^[11]。选择灰度共生矩阵 (GLCM) 的同质性 (homogeneity) 在 0° 方向上特征和对比度 (contrast) 在 0° 方向上特征作为分类特征。

2.2.3 几何特征

选择面积和长宽比作为火烧迹地分类特征,用以剔除一些小图斑和干扰因子。

3 火烧迹地提取

3.1 基于规则面向对象分类法的火烧迹地分类提取

基于以上选择的分类特征,建立火烧迹地分类规则集如表 1,设定规则集阈值并完成火烧迹地分类提取,结果如图 3。

表 1 火烧迹地分类提取规则集

Tab. 1 Classification and extraction rule set of burned land

特征	属性	参数
光谱特征	波段值	Band3、Band4
	光谱指数	NDVI
		EVI
		NDWI
		BAI
纹理特征	灰度共生矩阵	同质性 (GLCM homogeneity)
		对比度 (GLCM contrast)
几何特征	范围特征	长宽比
		面积

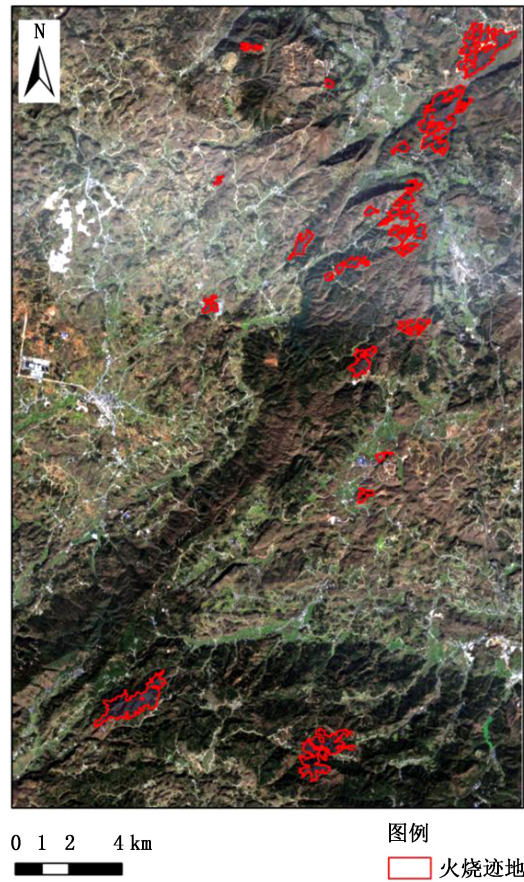


图 3 基于规则面向对象分类法的火烧迹地分类提取结果
Fig. 3 Classification and extraction results of burned land with rule-based object-oriented classification

3.2 分类结果精度评价

利用 GF2 号 1 m 分辨率卫星影像作为参考,通过目视解译随机选取样本点,利用混淆矩阵法对分类结果进行精度验证,分类结果精度评价如表 2。

表 2 分类结果精度评价

Tab. 2 Evaluation of classification accuracy

地类	用户精度/%	生产者精度/%	Kappa 系数
火烧迹地	88.67	96.38	0.87
其他	96.67	89.51	0.97

由表 2 可以看出,基于规则面向对象分类方法能够很好地将火烧迹地提取出来,火烧迹地提取生产者精度为 96.38%,用户精度为 88.67%,分类总体精度达 92.67%,总 Kappa 系数为 0.89,分类质量达极好水平。

4 结论与讨论

贵州地处云贵高原,森林资源丰富,地形复杂,层峦叠嶂的高山在卫星影像上极易出现山体阴影,增加了火烧迹地的提取难度,且贵州省气候复杂,常年云量非常大,可用卫星数据较少。因此,采用幅宽大、重访周期短、分辨率相对较高的高分一号 WFV 卫星影像作为数据源,结合最佳分割参数,构建了基于贵州省复杂地形的火烧迹地提取规则。采用基于规则的面向对象分类法,完成了对研究区的火烧迹地分类提取,并利用高分二号卫星 1 m 分辨率影像完成了分类精度评价。结果表明,基于规则面向对象分类法的 GF1WFV 火烧迹地提取总体精度为 92.67%,总 Kappa 系数为 0.89,能较好地完成研究区火烧迹地分类提取,分类质量达到极好水平,为贵州省复杂山区火烧迹地提取提供了一定的参考和理论依据。

参考文献:

[1] GITAS I Z, MITRI G H, VENTURA G. Object-based image classification for burned area mapping of Creus Cape,

Spain, using NOAA-AVHRR imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 92(3):409-413.

- [2] GIGLIO L, LOBODA T, ROY D P, et al. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor [J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(2):408-420.
- [3] 祖笑锋,覃先林,尹凌宇,等. 基于高分一号影像光谱指数识别火烧迹地的决策树方法[J]. 林业资源管理, 2015(4):73-78,83.
- [4] 李莹,于海洋,王燕,等. 融合红边波段的森林火烧迹地提取方法[J]. 遥感信息, 2019, 34(5):63-68.
- [5] 付杰,宋伦,于旭光,等. 基于最优尺度和随机森林算法的海岛土地利用遥感分类研究——以觉华岛及周边海岛为例[J]. 海洋开发与管理, 2021, 38(9):49-58.
- [6] 谭衢霖,刘正军,沈伟. 一种面向对象的遥感影像多尺度分割方法[J]. 北京交通大学学报, 2007(4):111-114,119.
- [7] 覃志豪,章力建,高懋芳,等. 遥感技术在农业立体污染监测中的应用[J]. 国土资源遥感, 2006(1):1-5, 17,93.
- [8] 薛朝辉,钱思羽. 融合 Landsat 8 与 Sentinel-2 数据的红树林物候信息提取与分类[J]. 遥感学报, 2022, 26(6):1121-1142.
- [9] 李健锋,叶虎平,张宗科,等. 基于 Landsat 影像的斯里兰卡内陆湖库水体时空变化分析[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(5):781-788.
- [10] 廖瑶,李雪,刘芸,等. 基于植被指数的高分一号遥感影像火烧迹地提取评价[J]. 自然灾害学报, 2021, 30(5):199-206.
- [11] 张雯,刘爱利,齐威,等. 基于随机森林的月貌面向对象分类[J]. 遥感信息, 2018, 33(1):93-98.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.003

基于树木望高比的材积计算方法研究

余国宝

(南京警察学院, 江苏 南京 210046)

摘要: 分析望高法计算树木材积的原理、适用范围, 但因为望高点可能被遮挡, 以及测望高效率较低问题, 尝试用树高代替望高进行求积。为此, 在利用既有解析木的有效数据研究形率系列(q)和形状指数(r)的基础上, 提出了直接测算望高比(B)的方法, 解决了测望高(h_R)较为困难及效率较低的问题。

关键词: 望高; 形率系列; 形状指数; 望高比; 树木材积计算

中图分类号: S785.3 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0012-04

引文格式: 余国宝. 基于树木望高比的材积计算方法研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 12-15, 21.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.003

YU Guobao. Volume Calculation Based on Pressler Method[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 12-15, 21.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.003

Volume Calculation Based on Pressler Method

YU Guobao

(Nanjing Police Academy, Nanjing 210046, China)

Abstract: This paper analyzed the calculation principle and applicable scope of tree volume by Pressler method, and attempted to use the tree height method instead of Pressler method due to the potential obstruction of the height observation point and the low efficiency of the observation. Therefore, based on the study of the form quotient (q) and shape index (r) using effective data from existing analytical wood, the method for directly calculating the Pressler function (B) was proposed, which solved the problem of difficulty and low efficiency in measuring Pressler height (h_R).

Key words: Pressler height; form-quotient method; shape index; Pressler function; tree volume calculation

望高(h_R)是树干上部直径等于胸径($d_{1.3}$)一半处的高度。德国林学家普雷斯勒在 1855 年提出的计算单株立木材积式中, 用望高替代树高(h)以达到控制干形的目的^[1]。其材积式为:

$$V = \frac{2}{3} g_{1.3} \left(h_R + \frac{1.3}{2} \right) \quad (1)$$

式中: V 为立木材积; $g_{1.3}$ 为胸高断面面积; h_R 为望高。

由于望高是相对直径的高度, 是高度的绝对值, 它是树高和干形的函数。因此, 上述的望高法求积式, 从形式上看是二元求积式, 实际上是三元求积式。当干形相同时, 树高越高则望高亦越高, 其材积亦越大; 当树高相同时, 干形越饱满则望高亦越高, 其材积亦越大。所以, 望高是一个良好的干形指标, 同时也是计算树干材积良好指标。

收稿日期: 2022-05-25; 修回日期: 2022-06-23.

第一作者: 余国宝(1941-), 男, 江苏南京人, 高级讲师. 主要研究方向为测树学。

望高法求积式适应性较广,既可将树干看作抛物线体,也可看作圆锥体或凹曲线体的体积计算。此法适用于树干明显、树冠较高、枝叶稀疏的立木^[3]。

望高法求积式发表以后,由于没有找到有效的测定立木上部直径从而确定望高的工具和方法,一直未被实际应用。直到 20 世纪 50 年代以后,随着林分速测镜和各种光学测树仪的问世,找到了间接测定望高的方法,这种求积方法才又引起人们的重视^[2]。

但是,望高点可能被树冠遮挡,以及测定望高的效率明显低于树高的测定,这是推广和应用望高求积的两大限制因子。为此,开展了望高和树高的相互关系研究,以期用树高替代望高,解决测定望高困难的问题。

1 $h_R = a + bh$ 关系^[5]

根据 $h_R - h$ 的成对值,用最小二乘法

$$\begin{cases} \sum nh_R = Na + b \sum nh \\ \sum nh_R h = a \sum nh + b \sum nh^2 \end{cases} \quad (2)$$

求得参数 a 和 b 。再将 $h_R = a + bh$ 代入望高法求积式中,得

$$\begin{aligned} V &= \frac{2}{3} g_{1.3} \left[(a + bh) + \frac{1.3}{2} \right] \\ &= \frac{2b}{3} g_{1.3} \left(h + \frac{a + 0.65}{b} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

用勃鲁来斯测高器测高、用 DQW-2 型望远镜测树仪测望高,共测得 338 株马尾松样木的 $h_R - h$ 的成对值,用最小二乘法

$$\begin{cases} 3209.48 = 338a + 4632.52b \\ 42980.7879 = 4632.52a + 66018.4642b \end{cases} \quad (4)$$

求得参数 a 和 b : $a = 1.044\ 792\ 9$, $b = 0.577\ 728\ 332$ (相关系数 $r = 0.988\ 0$)。

2 $h_R = Bh$ 关系,即 $B = h_R/h$ ^[6]

B 称望高比,是望高和树高的比值,是高度的相对值,是一个更为稳定的干形指标。

通过对 $[\frac{h}{2} \sim h_R]$ 这段树段的理论研究,得到望高比(B)是胸高形率(q_2)和形状指数(r)的函数,其表达式为:

$$B = 1 - \frac{1}{2(2q_2)^{2/r}} \quad (5)$$

根据绝大多数树干的平均胸高形率为 $0.65 \sim 0.70$ ^[4]、不同乔木树种的形状指数大体变动在 1.3 ± 0.3 ,将其代入上式,得主要乔木树种的平均望高比为 $0.64 \sim 0.74$ 。

将 $h_R = Bh$ 代入望高法求积式得:

$$\begin{aligned} V &= \frac{2}{3} g_{1.3} \left(Bh + \frac{1.3}{2} \right) \\ &= \frac{2B}{3} g_{1.3} \left(h + \frac{0.65}{B} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

令 $\frac{2B}{3} = f_p, f_p$ 称普雷斯勒形数; $\frac{0.65}{B} \approx 1$, 则

$$V = f_p g_{1.3} (h + 1) \quad (7)$$

3 望高比

在上述乔木树种望高比研究的基础上,再利用已有解析木作为样木,借用其直接测定的有效数据,对乔木树种望高比再行研究,不用野外测定望高,可以提高工作效率,保证测算质量。

3.1 样木基本信息

样木数据取自江苏省 64 株马尾松和福建省 261 株实生杉木的既有解析木,其基本信息见表 1。

表 1 样木的基本信息

Tab. 1 Basic information of sample wood

树种	株数	总断面积 G/m^2	平均胸径 \bar{D}/cm	平均高 \bar{H}/m	实际材积 V/m^3
马尾松	64	1.47	17.1	12.3	8.90
杉木	261	5.33	16.1	13.5	37.43

3.2 形率系列

形率是直径之比,其是树形的良好程度,不仅是研究立木干形的指标,同时也是测算立木材积的因子^[1]。

1899 年,希费尔正式定名形率以后,同时又提出了如下形率系列,即树干基部、1/4、1/2 和 3/4 高度处的直径 d_0 、 $d_{1/4}$ 、 $d_{1/2}$ 和 $d_{3/4}$,分别与胸径 $d_{1.3}$ 之比,得到形率 q_0 、 q_1 、 q_2 和 q_3 ,构成形率系列,可以比较全面地描绘干形^[1]。

分别马尾松和杉木的样木,计算各形率的平均值 \bar{q} 和标准差 S_q ,取 $\bar{q} \pm 2S_q$ 之内的样木,再一次计算得各形率的平均值 \bar{q} 和标准差 S_q ,结果见表 2。

3.3 形状指数

树干形状是一个复杂的几何体,不是一个规则几何体。因此,它的形状指数不是一个整数,而是

表 2 平均形率计算
Tab. 2 Calculation of average form quotient

项目	马尾松				杉木			
	q_0	q_1	q_2	q_3	q_0	q_1	q_2	q_3
n	61	62	61	60	—	255	254	254
Σq	75.256	55.573	43.607	23.499	—	234.87	181.39	109.40
Σq^2	93.1817	49.9094	31.2956	9.3225	—	216.9011	130.1223	48.0712
\bar{q}	1.234	0.896	0.715	0.392	—	0.921	0.714	0.431
S_q	0.073	0.044	0.044	0.043	—	0.048	0.049	0.060

一个小数^[1]。据研究,树干形状在抛物线体和圆锥体之间,更接近抛物线体。所以,树干形状指数(r) 在 1~2 之间^[2],且绝大多数树种的树干形状指数在 1~1.6 之间,平均为 1.3。

样木的形率系列把整个树干划分为长度相等的 4 段。根据其在树干上的位置,组合成 6 个长度不同的树段 $[0 \sim \frac{H}{4}]$, $[\frac{H}{4} \sim \frac{H}{2}]$, $[\frac{H}{2} \sim \frac{3H}{4}]$ 及 $[0 \sim \frac{3H}{4}]$,

$[0 \sim \frac{H}{2}]$, $[\frac{H}{4} \sim \frac{3H}{4}]$,用表 3 中的相应计算公式,求出每株样木相应的形状指数 r_3, r_4, r_2 及 r_0, r_5, r_1 。然后分树种计算各形状指数的平均值 $\bar{r}_3, \bar{r}_4, \bar{r}_2, \bar{r}_0, \bar{r}_5, \bar{r}_1$ 及其相应的标准差 $Sr_3, Sr_4, Sr_2, Sr_0, Sr_5, Sr_1$ 。取其 $\bar{r} \pm 2Sr$ 之间的样木进行再计算,得各形状指数的平均值(\bar{r})及其标准差(Sr),结果见表 3。

表 3 树干形状指数计算
Tab. 3 Calculation of trunk shape index

形状指数 r	树段位置	树种	计算公式	n	Σr	Σr^2	\bar{r}	Sr
r_3	$[0 \sim \frac{H}{4}]$ 段	马尾松	$(\frac{q_0}{q_1})^2 = (\frac{H}{3H/4})^{r_3}, r_3 = \frac{2}{\lg(4/3)} \lg(\frac{q_0}{q_1})$	61	137.29	322.9991	2.25	0.48
		杉木	—	—	—	—	—	
r_4	$[\frac{H}{4} \sim \frac{H}{2}]$ 段	马尾松	$(\frac{q_1}{q_2})^2 = (\frac{3H/4}{H/2})^{r_4}, r_4 = \frac{2}{\lg(3/2)} \lg(\frac{q_1}{q_2})$	62	70.62	84.2544	1.14	0.25
		杉木	243	309.15	407.4658	1.27	0.24	
r_2	$[\frac{H}{2} \sim \frac{3H}{4}]$ 段	马尾松	$(\frac{q_2}{q_3})^2 = (\frac{H/2}{H/4})^{r_2}, r_2 = \frac{2}{\lg 2} \lg(\frac{q_2}{q_3})$	60	102.65	181.5048	1.71	0.32
		杉木	249	368.67	564.1022	1.48	0.27	
r_0	$[0 \sim \frac{3H}{4}]$ 段	马尾松	$(\frac{q_0}{q_3})^2 = (\frac{H}{H/4})^{r_0}, r_0 = \frac{2}{\lg 4} \lg(\frac{q_0}{q_3})$	49	80.80	134.0048	1.65	0.12
		杉木	—	—	—	—	—	
r_5	$[0 \sim \frac{H}{2}]$ 段	马尾松	$(\frac{q_0}{q_2})^2 = (\frac{H}{H/2})^{r_5}, r_5 = \frac{2}{\lg 2} \lg(\frac{q_0}{q_2})$	61	98.56	162.6296	1.62	0.22
		杉木	—	—	—	—	—	
r_1	$[\frac{H}{4} \sim \frac{3H}{4}]$ 段	马尾松	$(\frac{q_1}{q_3})^2 = (\frac{3H/4}{H/4})^{r_1}, r_1 = \frac{2}{\lg 3} \lg(\frac{q_1}{q_3})$	60	90.04	137.0071	1.50	0.18
		杉木	249	349.61	503.8653	1.40	0.23	

不同形状指数的计算公式,源于 1873 年孔兹提出的干曲线式:

$$y^2 = px^r \quad (8)$$

式中: y 为树干横断面半径; x 为树梢至该横断面处

的长度; P 为参数; r 为形状指数^[1]。

形状指数可用 $r = 2[\lg(y_1/y_2)]/[\lg(x_1/x_2)]$ 式计算。当 y_1 和 y_2 分别乘以 2,再除以胸径($d_{1.3}$),即得两个形率之比。

从理论上讲,树段越长,其形状指数(r_0)越接近于整株树干的形状指数(r)。由于根张的影响,其树干基部的形状变化很大,所以形状指数 r_0 不适宜作为树干形状指数 r 的近似值,只能用 r_1 作为整株树干形状指数 r 的近似值。因此,马尾松的形状指数为 1.5,杉木的形状指数为 1.4。

3.4 B 与 q_1 和 r 的关系。

望高比 B 是形率 q_1 和形状指数 r 的函数。依据孔兹干曲线式:

$$\left(\frac{0.5}{q_1}\right)^2 = \left(\frac{(1-B)H}{3H/4}\right)^r \tag{9}$$

$$\left(\frac{1}{2q_1}\right)^{2/r} = \frac{4(1-B)}{3} \tag{10}$$

$$B = 1 - \frac{3}{4(2q_1)^{2/r}} \tag{11}$$

从表 2 中的马尾松和杉木的 q_1 值分析,主要乔木树种的 $\bar{q}_1 = 0.9 \pm 2 \times 0.05$,再取形状指数平均值 $\bar{r} = 1.3$ 代入上式,得到平均望高比 \bar{B} 在 0.64~0.74 之间,见表 4。

表 4 B 与 q_1 和 r 的关系

Tab. 4 Relationship between B and q_1 and r

r	q_1			
	B	0.8	0.9	1.0
1.3		0.636	0.696	0.742

由此可见,望高点在 $\frac{H}{2}$ 和 $\frac{3H}{4}$ 之间,其望高比 B 很容易用下式推算:

$$B = 0.5 + 0.25 \times \frac{q_2 - 0.5}{q_2 - q_3} \tag{12}$$

用上式计算每株样木的望高比(B),再分别树种计算平均望高比(\bar{B})和标准差(S_B),取 $\bar{B} \pm 2S_B$ 内的样木再计算,结果见表 5。

表 5 平均望高比计算

Tab. 5 Calculation of average Pressler function

因子	马尾松	杉木
n	61	244
ΣB	40.552	168.272
ΣB^2	27.022	116.539
\bar{B}	0.665	0.690
S_B	0.030	0.042

从表 5 中可见,马尾松 $\bar{B} = 0.665$,杉木 $\bar{B} = 0.69$ 。将 $Bh = h_R$ 代入望高法求积式,得望高比求积式:

$$V = \frac{2B}{3} g_{1.3}(h + 1) \tag{13}$$

再将 64 株马尾松和 261 株实生杉木用望高比材积式进行材积计算,并与实际材积作比较,结果见表 6。

表 6 计算材积和实际材积的比较

Tab. 6 Comparison between calculated volume and actual volume

树种	株数 n	望高比 B	普雷斯勒形数 f_p	总断面积 G /m ²	平均高 \bar{H} /m	计算材积 V /m ³	实际材积 V /m ³	实际精度 /%
马尾松	64	0.66	0.44	1.47	12.3	8.60	8.90	96.7
杉木	261	0.69	0.46	5.33	13.5	35.55	37.43	95.0

4 小 结

1)从望高(h_R)到望高比(B)的过程,是一个以望高替代树高到以树高替代望高的过程,是一个从望高难以测定到用光学测树仪间接测定,再到用既有解析木的有效数据直接测定的过程。这解决了测望高难的问题,提高了工作效率,同时可保证测算质量。

2)树干形状是个复杂的几何体,其形状指数在 1.3 ± 0.3 之间。由于根张的影响,其树干基部的形状变化很大,只能用 $[\frac{H}{4} \sim \frac{3H}{4}]$ 树段的形状指数

$r_1 = \frac{2}{\lg 3} \lg \left(\frac{q_1}{q_3}\right)$ 作为整株树干形状指数近似值。

3)望高比 B 是形率 q_1 和形状指数 r 的函数,其表达式为: $B = 1 - \frac{3}{4(2q_1)^{2/r}}$ 。通过对形率 q_1 的分析,主要乔木树种的 $\bar{q}_1 = 0.9 \pm 2 \times 0.05$,再取形状指数平均值 $\bar{r} = 1.3$,将其代入上式,得到平均望高比(\bar{B}) 在 0.64~0.74。因此,望高点在 $[\frac{H}{2} \sim \frac{3H}{4}]$ 之

间,望高比可用 $B = 0.5 + 0.25 \times \frac{q_2 - 0.5}{q_2 - q_3}$ 推算得到。

4)望高比是一个比较稳定的干形指标。当知 (下转第 21 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.004

黄枝油杉种苗质量分级标准研究

顾春姣^{1,2}, 陈泰国¹, 杨一山¹, 孙菲菲¹, 邹蓉¹, 唐健民^{1,3}, 柴胜丰¹

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西 桂林 541006; 2. 上海中医药大学附属龙华医院, 上海 200032;
3. 鹿儿岛大学大学院联合农学研究科, 日本 鹿儿岛 〒890-0065)

摘要:黄枝油杉由于其分布区狭窄, 繁殖速度慢, 资源少, 是国家二级保护植物。为了更好地保护其种质资源, 通过实验研究种苗质量分级标准。分别对 2 年生和 4 年生的黄枝油杉种苗性状特征描述, 以地径和株高作为主要分级标准代表, 运用 Excel 2003 和 SPSS 26.0 对种苗特征数据进行统计学相关分析、主成分分析、K 均值聚类分析, 将其种苗分别 2 年生和 4 年生分别分成了三级。2 年生一级株高 >20 cm, 冠幅 >11 cm, 地径 ≥ 0.10 cm; 4 年生一级株高 >127 cm, 冠幅 >56 cm, 地径 ≥ 0.80 cm。2 年生二级株高 14~20 cm, 冠幅 8~11 cm, 地径 ≥ 0.10 cm; 4 年生二级株高 96~127 cm, 冠幅 38~56 cm, 地径 ≥ 0.80 cm; 2 年生三级株高 <14 cm, 冠幅 <8 cm, 地径 ≥ 0.10 cm; 4 年生三级株高 <96 cm, 冠幅 <38 cm, 地径 ≥ 0.80 cm。

关键词:黄枝油杉; 种苗质量分级; 相关性分析; K 均值聚类分析

中图分类号: S791.16; S723.11 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0016-06

引文格式: 顾春姣, 陈泰国, 杨一山, 等. 黄枝油杉种苗质量分级标准研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 16-21.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.004

GU Chunjiao, CHEN Taiguo, YANG Yishan, et al. Quality Grading Standard of Seedlings of *Keteleeria davidiana* var. *calcareo* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 16-21. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.004

Quality Grading Standard of Seedlings of *Keteleeria davidiana* var. *calcareo* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba

GU Chunjiao^{1,2}, CHEN Taiguo¹, YANG Yishan¹, SUN Feifei¹, ZOU Rong¹,
TANG Jianmin^{1,3}, CHAI Shengfeng¹

(1. Guangxi Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China;

2. Longhua Hospital Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200032, China;

3. Graduate School of Joint Agronomy, Kagoshima University, Kagoshima City 〒890-0065, Japan)

Abstract: *Keteleeria davidiana* var. *calcareo* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba is a national second level protected plants due to its narrow distribution area, slow reproduction rate and few resources. In order to better conserve the germplasm resources, the quality grading standard of seedlings of *Keteleeria davidiana* var. *calcareo* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba were experimentally studied. The 2-year-old

收稿日期: 2022-08-05.

基金项目: 广西林业科技推广示范项目([2022]GT23); 国家自然科学基金项目(22180155466); 财政部科技专项(52544788); 广西自然科学基金项目(2014GX233658); 广西科学院创新团队启动项目(CQZ-C-1902).

第一作者: 顾春姣(1997-), 女, 浙江湖州人, 硕士研究生. 主要从事药用植物学和植物化学研究.

责任作者: 唐健民(1988-), 男, 广西桂林人, 副研究员, 博士研究生. 研究方向为保护生物学及可持续利用研究.

and 4-year-old seedlings with diameter and height as the main grading standard were subjected to statistical correlation analysis, principal component analysis, and K-means cluster analysis using Excel 2003 and SPSS 26.0 to develop a reasonable grading standard for seedlings. The seedlings were divided into three levels at different ages. 2-year-old seedlings: primary plant height was >20 cm, crown width was >11 cm, and ground diameter was ≥ 0.10 cm; 4-year old seedlings: primary plant height was >127 cm, crown width was >56 cm, and ground diameter was ≥ 0.80 cm. 2-year-old seedlings: secondary plant height was 14–20 cm, crown width was 8–11 cm, and ground diameter was ≥ 0.10 cm; 4-year old seedlings: secondary plant height was 96–127 cm, crown width was 38–56 cm, ground diameter was ≥ 0.80 cm; 2-year old seedlings: tertiary plant height was <14 cm, crown width was <8 cm, ground diameter was ≥ 0.10 cm; 4-year old seedlings: tertiary plant height was <96 cm, crown width was <38 cm, ground diameter was ≥ 0.80 cm.

Key words: *Keteleeria davidiana* var. *calcareo* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba; quality grading of seedlings; correlation analysis; K-means cluster analysis

黄枝油杉 (*Keteleeria davidiana* var. *calcareo* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba) 属于松科 (Pinaceae) 油杉属 (*Keteleeria*)^[1]。分布区狭窄, 主要分布于广西东北部至北部, 湖南西南和贵州东南部, 资源少, 是我国的特有物种^[2-3]。同时, 结果较少, 种子发育不良, 自然更新能力弱, 以及由于本身木材质量较好, 易受到群众砍伐利用, 使之成为了渐危物种^[4-5]。黄枝油杉多为高大乔木, 树干通直, 树叶繁茂, 适用于庭院绿化。抗旱性能强, 并且根系较为发达, 能在石灰岩石山上生长^[6]。由于广西区石灰岩区域较广泛, 面积可高达 40%, 因此黄枝油杉对于石灰岩石山地域的绿化具有重要意义^[7]。综合考量可知, 黄枝油杉具有较高的生态价值、材用价值和观赏价值^[8]。

黄枝油杉的野生资源十分稀少, 而且人们因其木材质量价值和外观美学价值从而过度地采挖、砍伐利用, 导致黄枝油杉处于渐危状态。同时, 作为我国特有的古老物种, 具有一定研究价值。而且由于黄枝油杉的物种资源稀少, 因此需要通过规模化的方式进行人工种植繁育, 在保证野生物种资源稳定繁育和可持续发展的基础上, 通过人工优化培育开发利用该渐危树种木材, 以满足社会需求。而高质量的种子和种苗是黄枝油杉造林成活率和成材率提高的根本保障^[14]。为了配合黄枝油杉的人工种植繁育研究以及培育出较为优质的黄枝油杉种苗, 在一定程度上有必要制定较为科学合理的种苗质量分级标准。本研究通过对黄枝油杉 2 年生和 4 年生的种子种苗进行测量和统计分析, 提出黄枝油杉种苗的质量分级标准, 力求填补黄枝油杉在种苗质量分级标准研究方面的空缺。

1 试验地概况

试验地位于广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所药食同源植物种质苗圃 (北纬 25°08'29.69", 东经 110°31'24.51")。海拔约为 180 m, 年均温约 19.2℃, 最热月的均温为 28.4℃, 最冷月的均温为 7.7℃, 绝对高温为 40℃, 绝对低温为 -6℃。冬季有霜冻现象。月平均气温中高于 20℃ 的有 6~7 个月。年降雨量在 1 854.8 mm, 多集中于 4—8 月, 占全年总量的 73%。年相对湿度为 78.0%, 干湿季较为明显, 属中亚热带季风气候。

2 材料与方法

2.1 试验材料

试验材料为黄枝油杉种子苗, 种子采自临桂二塘乡沉桥村。2022 年 5 月, 在广西植物研究所药食同源植物种质圃内同一育苗点, 随机抽取 2 年生和 4 年生各 35 株黄枝油杉种子苗。

2.2 测量方法

分别测量种苗的地径、株高、冠幅、主根粗、主根长、地上鲜重、地上干重、地下鲜重、地下干重 9 个生长量指标, 其中的冠幅值为南北、东西方向的平均值。

2.3 数据分析

运用 Excel 2021 和 SPSS 26.0 对种苗数据进行统计分析。先经相关分析确定质量指标, 经主成分分析确定主成分, 再采用聚类分析方法进行分级。

3 结果与分析

3.1 黄枝油杉种苗质量的指标调查

根据黄枝油杉种苗质量的实际特点, 对影响黄

枝油杉种苗的九个指标进行测定,包括种苗的地径、株高、冠幅、主根粗、主根长、地上鲜重、地上干重、地下鲜重、地下干重。所有黄枝油杉的种苗质量指标的结果见表 1、表 2。

表 1 2 年生黄枝油杉种苗各指标描述统计量

Tab. 1 Statistics of indicators description of 2-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareea* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba

指标	最小值	最大值	均值	标准偏差	峰度	变异系数
株高/cm	12.00	23.00	17.54	2.96	-0.78	0.17
地径/mm	0.08	0.23	0.17	0.04	-0.72	0.24
冠幅/cm	7.00	12.49	9.69	1.40	-0.84	0.14
主根长/cm	14.00	52.00	26.40	14.79	3.89	0.56
主根粗/mm	0.15	0.40	0.27	0.10	-1.06	0.36
地上鲜重/g	1.02	2.67	1.96	0.60	1.95	0.31
地上干重/g	0.30	0.90	0.72	0.25	2.81	0.35
地下鲜重/g	1.10	2.62	1.92	0.56	1.08	0.29
地下干重/g	0.50	1.10	0.74	0.22	2.92	0.30

表 2 4 年生黄枝油杉种苗各指标描述统计量

Tab. 2 Statistics of indicators description of 4-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareea* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba

指标	最小值	最大值	均值	标准偏差	峰度	变异系数
株高/cm	72.00	150.00	107.26	18.42	-0.31	0.17
地径/mm	0.49	1.14	0.85	0.14	0.64	0.16
冠幅/cm	24.50	79.37	44.43	13.60	0.47	0.31
主根长/cm	41.00	55.00	47.60	5.90	-2.10	0.12
主根粗/mm	0.85	1.34	1.15	0.19	0.90	0.17
地上鲜重/g	64.35	238.52	128.31	73.08	-0.10	0.57
地上干重/g	51.00	138.70	85.62	35.34	0.06	0.41
地下鲜重/g	39.37	98.49	66.33	22.20	0.38	0.33
地下干重/g	15.00	42.20	27.12	10.80	-0.98	0.40

从表中可知,2 年生种苗各指标变异程度分别为株高 12.00~23.00 cm、地径 0.08~0.23 mm、冠幅 7.00~12.49 cm、主根长 14.00~52.00 cm、主根粗 0.15~0.40 cm、地上鲜重 1.02~2.67 g、地上干重 0.30~0.90 g、地下鲜重 1.10~2.62 g、地下干重 0.50~1.10 g。而 4 年生种苗各指标变异程度分别为株高 72.00~

150.00 cm、地径 0.49~1.14 mm、冠幅 24.5~79.37 cm、主根长 41.00~55.00 cm、主根粗 0.85~1.34 cm、地上鲜重 64.35~238.52 g、地上干重 51.00~138.70 g、地下鲜重 39.37~98.49 g、地下干重 15.00~42.20 g。2 年生种苗平均高度 17.54 cm,4 年生种苗平均高度 107.26 cm;2 年生种苗平均冠幅 9.69 cm,4 年生种苗平均冠幅 44.43 cm;2 年生种苗平均地径 0.17 cm,4 年生种苗平均地径 0.85 cm;2 年生种苗平均主根长 26.40 cm,4 年生种苗平均主根长 47.60 cm;2 年生种苗平均主根粗 0.27 cm,4 年生种苗平均主根粗 1.15 cm;2 年生种苗平均地上鲜重 1.96 g,4 年生种苗平均地上鲜重 107.26 g;2 年生种苗平均地上干重 0.72 g,4 年生种苗平均地上干重 85.62 g;2 年生种苗平均地下鲜重 1.92 g,4 年生种苗平均地下鲜重 66.33 g;2 年生种苗平均地下干重 0.74 g,4 年生种苗平均地下干重 27.12 g。各指标变异幅度为:苗高 4.50~22.60 cm,叶片数 0~17,须根长 6.60~26.00 cm,茎基直径 0.20~2.11 cm。从变异系数可以看出,主根长>株高>苗高>冠幅>地上鲜重>地下鲜重>地上干重=地下干重>主根粗>地径。

3.2 相关性分析

根据相关性分析,发现 9 个因素都呈显著相关,可进行主成分分析。株高和冠幅、地径都呈现显著正相关,主根长和主根粗呈现显著正相关。地上鲜重、地上干重与地下鲜重和地下干重有显著相关性。相关性结果表明,各指标之间存在重叠,可以进行主成分分析法(表 3、表 4)。

3.3 主成分分析

通过主成分分析可以确定出种苗分级的关键性因素。对种苗的地径、株高、冠幅、主根粗、主根长、地上鲜重、地上干重、地下鲜重、地下干重九个指标进行主成分分析,提取出 3 个主成分(表 5~表 10)。

在 2 年生黄枝油杉主成分分析中,共分析出 3 个主成分,主成分 1、2、3 的累积贡献率为 51.141%、79.088%、96.843%;在 4 年生黄枝油杉主成分分析中,共分析出 2 个主成分,主成分 1、2 的累积贡献率为 80.562%、92.169%。

3.4 不同年限黄枝油杉种苗质量分级结果

根据逐步聚类中心结果,以株高、地径、冠幅作为主要指标来进行黄枝油杉种苗分级(表 11~表 12)。同一等级种苗的任一指标若达不到标准则降为下一级^[15]。本试验将黄枝油杉种苗按不同年限分别分成了三级,详见表 13~表 14。

表 3 2 年生黄枝油杉 9 种质量指标相关性分析

Tab. 3 Correlation analysis of 9 quality indicators of 2-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareo* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba

指标	株高	冠幅	地径	主根长	主根粗	地上鲜重	地上干重	地下鲜重	地下干重
株高	1.00	0.31	0.66 **	0.56	0.23	0.65	0.67	0.72	0.63
冠幅	0.31	1.00	0.45 **	-0.51	0.28	0.27	0.09	0.26	0.38
地径	0.66 **	0.45 **	1.00	-0.56	0.63	-0.17	-0.32	-0.23	0.022
主根长	0.56	-0.51	-0.56	1.00	-0.67	0.06	0.30	0.16	-0.13
主根粗	0.23	0.28	0.63	-0.67	1.00	0.53	0.27	0.48	0.73
地上鲜重	0.65	0.27	-0.17	0.060	0.53	1.00	0.95 *	0.99 **	0.89 *
地上干重	0.67	0.09	-0.32	0.30	0.27	0.95 *	1.00	0.93 *	0.71
地下鲜重	0.72	0.26	-0.23	0.16	0.48	0.99 **	0.93 *	1.00	0.91 *
地下干重	0.63	0.38	0.02	-0.13	0.73	0.89 *	0.71	0.91 *	1.00

注:决定因子=0.000;此矩阵不是正定矩阵(下同)。

表 4 4 年生黄枝油杉 9 种质量指标相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis of 9 quality indicators of 4-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareo* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba

指标	株高	冠幅	地径	主根长	主根粗	地上鲜重	地上干重	地下鲜重	地下干重
株高	1.00	0.28	0.58 **	-0.65	0.74	0.94 *	0.94 *	0.91 *	0.81
冠幅	0.28	1.00	0.14	-0.52	0.83	0.91 *	0.90 *	0.84	0.71
地径	0.58 **	0.14	1.00	-0.38	0.54	0.91 *	0.94 *	0.98 **	0.70
主根长	-0.65	-0.52	-0.38	1.00	-0.76	-0.62	-0.54	-0.39	-0.85
主根粗	0.74	0.83	0.54	-0.76	1.00	0.78	0.74	0.61	0.65
地上鲜重	0.94 *	0.91 *	0.91 *	-0.62	0.78	1.00	0.99 **	0.96 *	0.85
地上干重	0.94 *	0.90 *	0.94 *	-0.54	0.74	0.99 **	1.00	0.98 **	0.80
地下鲜重	0.91 *	0.84	0.98 **	-0.39	0.61	0.96 *	0.98 **	1.00	0.72
地下干重	0.81	0.71	0.70	-0.85	0.65	0.85	0.80	0.72	1.00

表 5 2 年生黄枝油杉主成分提取公因子方差

Tab. 5 Common factor variance of principal component extraction of 2-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareo* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba

指标	初始	提取
株高	1.000	0.944
冠幅	1.000	0.997
地径	1.000	0.974
主根长	1.000	0.984
主根粗	1.000	0.998
地上鲜重	1.000	0.975
地上干重	1.000	0.894
地下鲜重	1.000	1.000
地下干重	1.000	0.950

表 6 2 年生黄枝油杉主成分提取总方差解释

Tab. 6 Total variance explanation of principal component extraction of 2-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareo* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比 /%	累积 /%	总计	方差百分比 /%	累积 /%
1	4.603	51.141	51.141	4.603	51.141	51.141
2	2.515	27.948	79.088	2.515	27.948	79.088
3	1.598	17.754	96.843	1.598	17.754	96.843
4	0.284	3.157	100.000			

表 7 2 年生黄枝油杉主成分提取成分矩阵

Tab.7 Component matrix of principal component extraction of 2-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareea* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba

主成分	1	2	3
株高	0.736	-0.410	0.485
冠幅	-0.130	0.651	0.746
地径	0.235	0.461	-0.840

表 8 4 年生黄枝油杉主成分提取公因子方差

Tab.8 Common factor variance of principal component extraction of 4-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareea* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba

指标	初始	提取
株高	1.000	0.920
冠幅	1.000	0.958
地径	1.000	0.804
主根长	1.000	0.965
主根粗	1.000	0.808
地上鲜重	1.000	0.997
地上干重	1.000	0.998
地下鲜重	1.000	0.999
地下干重	1.000	0.846

表 9 4 年生黄枝油杉主成分提取总方差解释

Tab.9 Total variance explanation of principal component extraction of 4-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareea* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比 /%	累积 /%	总计	方差百分比 /%	累积 /%
1	7.251	80.562	80.562	7.251	80.562	80.562
2	1.045	11.607	92.169	1.045	11.607	92.169
3	0.490	5.446	97.616			
4	0.215	2.384	100.000			

表 10 4 年生黄枝油杉主成分提取成分矩阵

Tab.10 Component matrix of principal component extraction of 4-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareea* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba

主成分	1	2
株高	0.957	0.064
冠幅	0.895	0.396
地径	0.897	0.025

表 11 2 年生黄枝油杉逐步聚类中心结果

Tab.11 Gradual clustering center results of 2-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareea* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba cm

指标	1	2
株高	14.67	19.70
地径	0.16	0.18
冠幅	8.69	10.45

表 12 4 年生黄枝油杉逐步聚类中心结果

Tab.12 Gradual clustering center results of 4-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareea* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba cm

指标	1	2
株高	96.00	126.31
地径	0.84	0.87
冠幅	38.00	55.30

表 13 2 年生黄枝油杉种苗分级结果

Tab.13 Seedling grading results of 2-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareea* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba cm

级别	株高	地径	冠幅
一级	>20	≥0.1	>11
二级	14~20	≥0.1	8~11
三级	<14	≥0.1	<8

表 14 4 年生黄枝油杉种苗分级结果

Tab.14 Seedling grading results of 4-year-old *Keteleeria davidiana* var. *calcareea* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba cm

级别	株高	地径	冠幅
一级	>127	≥0.8	>56
二级	96~127	≥0.8	38~56
三级	<96	≥0.8	<38

4 结论与讨论

与其他常见物种相比,渐危、濒危物种的种苗质量分级研究还较少,关于黄枝油杉的报道多集中于化学成分^[9]、群落特征^[10]、光合特性^[11],以及一些关于遗传多样性的分析^[12-13]等方面,但在种苗质量分级标准方面的研究未见报道。种苗质量直接影响

到之后的移栽成活率、木材品质、产量等,所以种苗质量分级是黄枝油杉木材可以资源化的因素之一。本实验通过对不同年限 70 份黄枝油杉种苗进行指标测定、相关性分析、逐步聚类分析,以株高、地径、冠幅作为主要指标,并结合实际结果,制定了黄枝油杉种苗质量分级标准。

将黄枝油杉种苗按不同年限分别分成了三级:2 年生一级株高>20 cm,冠幅>11 cm,地径≥0.10 cm;4 年生一级株高>127 cm,冠幅>56 cm,地径≥0.80 cm。2 年生二级株高 14~20 cm,冠幅 8~11 cm,地径≥0.10 cm;4 年生二级株高 96~127 cm,冠幅 38~56 cm,地径≥0.80 cm。2 年生三级株高<14 cm,冠幅<8 cm,地径≥0.10 cm;4 年生三级株高<96 cm,冠幅<38 cm,地径≥0.80 cm。该种苗分级标准科学简明,便于操作,可用于指导黄枝油杉的栽培生产,促进物种保护和开发,从而有利于其资源化发展。

参考文献:

[1] 李树刚,梁畴芬. 广西植物资源[M]. 北京:科学技术出版社,1990.
 [2] 沈燕,曹基武,刘春林,等. 湖南濒危植物黄枝油杉的资源现状及人工栽培技术[J]. 福建林业科技,2009(3): 107-110,116.
 [3] 覃海宁,刘演. 广西植物名录[M]. 北京:科学出版

社,2010.
 [4] 傅立国. 中国植物红皮书[M]. 北京:科学出版社,1991.
 [5] 聂东玲. 珍稀濒危植物扦插繁殖技术研究[J]. 经济林研究,1999,17(2):21-22.
 [6] 蒋柏生,文桂喜,唐芸,等. 不同处理对濒危植物黄枝油杉扦插育苗的影响[J]. 广西植物,2008,28(4):549-552,436.
 [7] 黄立铨. 石山绿化优良树种——黄枝油杉[J]. 广西植物,1982(2):53-54,48.
 [8] 符支宏. 桂林黄枝油杉种群生态学研究[D]. 南宁:广西师范大学,2014.
 [9] 何道航,庞义,任三香,等. 气相色谱—质谱法分析油杉枝精油的化学成分[J]. 质谱学报,2005(1):43-45.
 [10] 江海都,柴胜丰,唐健民,等. 广西喀斯特地区黄枝油杉林的生境及种群结构特征[J]. 广西科学院学报,2020,36(1):56-64.
 [11] 柴胜丰,唐健民,杨雪,等. 4 种模型对黄枝油杉光合响应曲线的拟合分析[J]. 广西科学院学报,2015(4): 286-291.
 [12] 谢伟玲,柴胜丰,蒋运生,等. 黄枝油杉 ISSR-PCR 反应体系的建立与优化[J]. 种子,2016,35(6):17-21.
 [13] 李瑞杰,陈垣,郭凤霞,等. 素花党参种苗质量分级标准研究[J]. 中国中药杂志,2012(20):3041-3046.

责任编辑:刘平书

(上接第 15 页)

道树种的平均望高比(\bar{B})后,可将其直接代入望高比求积式 $V = \frac{2B}{3} g_{1.3}(h + 1)$,即得其材积。为方便使用,可以预先利用既有解析木研究出各树种的平均望高比分级(表 7),使用时按树种级别计算。

表 7 普雷斯勒形数(f_p)分级

Tab.7 Classification of Pressler shape index

B	$f_p = \frac{2B}{3}$	B	$f_p = \frac{2B}{3}$
0.66	0.44	0.70	0.47
0.68	0.45	0.72	0.48
0.69	0.46	0.74	0.49

参考文献:

[1] 北京林业大学. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,

1987:7-9,36-41,48-50.
 [2] 大隅真一,北村仓美. 森林计测学[M]. 于璞和,李裕国,田镛锡,译. 北京:中国林业出版社,1984:33-35, 110-114.
 [3] 浙江省林业学校. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,1984:60-61.
 [4] 吉林林校蛟河分校,黄山林校. 森林调查规划[M]. 北京:农业出版社,1979:51-52.
 [5] 余国宝,钱祖煜,朱建雄. 马尾松望高和树高相关关系的研究[J]. 云南林业调查规划设计,1995(2):1-4.
 [6] 余国宝,钱祖煜,朱建雄,等. 乔木树种望高比的研究[J]. 云南林业调查规划设计,1997(2):7-9.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.005

两种经济林下黄芪仿野生种植

严毅,徐钊昌,陆刚,金智伟,王苏化,李云松,杨维雄
(昆明市海口林场,云南昆明 650114)

摘要:以核桃林和油橄榄林两种经济林下复合种植的黄芪为试材,研究不同品种经济林下种植的黄芪有效成分含量差异性和复合种植黄芪前后土壤肥力及其变化情况。结果表明,两种经济林下种植黄芪后土壤肥力呈增长趋势,不会对经济林产量造成影响;两种经济林下种植的黄芪有效成分含量存在差异,落叶经济林核桃林下种植的黄芪品质优于常绿经济林油橄榄林,且均达到中国药典规定的质量要求;黄芪种植对土壤要求不高,适宜的土壤肥力能保证黄芪较高的品质,黄芪种植对有机质、钾需求较高,对磷需求较低。经济林下复合种植黄芪模式具有可行性,且落叶经济林核桃林下种植的黄芪品质优于常绿经济林油橄榄林。以期为经济林下黄芪种植提供理论依据。

关键词:经济林;黄芪;仿野生种植;有效成分;土壤肥力

中图分类号:S753.536;S759.82 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0022-06

引文格式:严毅,徐钊昌,陆刚,等.两种经济林下黄芪仿野生种植[J].林业调查规划,2024,49(1):22-27.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.005

YAN Yi, XU Beichang, LU Gang, et al. Simulated Wild Planting of *Astragalus membranaceus* under Two Economic Forests [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 22-27. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.005

Simulated Wild Planting of *Astragalus membranaceus* under Two Economic Forests

YAN Yi, XU Beichang, LU Gang, JIN Zhiwei, WANG Suhua, LI Yunsong, YANG Weixiong
(Haikou Forest Farm, Kunming 650114, China)

Abstract: Using *Astragalus membranaceus* planted under two economic forests of walnut forest and olive forest as test materials, this study investigated the differences in effective components contents of *Astragalus membranaceus* planted under different varieties of economic forests, as well as the changes in soil fertility before and after the compound planting. The results showed that the soil fertility increased after planting of *Astragalus membranaceus* under the two economic forests, which would not affect the soil fertility and the economic forest; the effective components contents of *Astragalus membranaceus* were different, the quality planted under deciduous economic forests (walnut forests) was better than that of evergreen economic forests (olive forests), and both met the quality requirements specified in Chinese Pharmacopoeia. The planting requirements for soil were not high, and suitable soil fertility could ensure higher quality of *Astragalus membranaceus*, while the planting had higher requirements for organic matter and

收稿日期:2022-08-16.

基金项目:昆明市科技计划项目(2016-1-S-03064);中央财政林业科技推广项目([2022]TC09).

第一作者:严毅(1986-),女,四川西昌人,硕士,高级工程师.研究方向为果树学. Email:yanyiok@yeah.net

责任作者:杨维雄(1971-),男,云南昆明人,工程师.研究方向为森林培育. Email:3391594493@qq.com

potassium, but lower requirements for phosphorus. The model of compound planting of *Astragalus membranaceus* under economic forests was feasible, and the quality planted under deciduous economic forests was better than that of evergreen economic forests, to provide theoretical basis for the cultivation of *Astragalus membranaceus* under economic forests.

Key words: economic forest; *Astragalus membranaceus*; simulated wild planting; effective components; soil fertility

黄芪是豆科植物蒙古黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao 或膜荚黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. 的干燥根,主产于我国内蒙古、山西、黑龙江等地,富含多糖类、皂苷类、生物碱类和黄酮类等多种化合物。味甘,性微温,归肺、脾经^[1],具有补气升阳、固表止汗和利水消肿等功效^[2-3]。黄芪入药历史悠久,早在汉代《五十二病方》中就有大量关于黄芪具有保护免疫系统、心血管系统和中枢神经系统等药用功效的记载^[4]。目前已证实黄芪具有增强免疫功能、增强造血功能、强心、降血压、保肝、调节机体代谢等方面的药理作用^[5-6]。新药理作用的挖掘,黄芪需求量逐年飙升,传统的人工栽培和育苗移栽半野生栽培不仅增加成本,对产量和品质均产生不良影响。因此,筛选黄芪适宜的种植模式迫在眉睫。

林下仿野生种植中药材可充分利用林型以及林地的水、土、光、热等自然资源,既能提高土地单位面积的产出,又能提供中药材适宜生长的环境条件,是较好的种植模式^[7]。近年来受到广大农业、林业学者及企业家的关注,林药间作模式得以迅速发展,并取得显著成效^[8-9],但目前有关黄芪林下仿野生种植研究尚未见报道。选择常绿和落叶两种经济林下仿野生种植黄芪,通过测定不同林型的土壤肥力及黄芪有效成分,比较不同林型复合种植黄芪后土壤肥力的变化规律及黄芪有效成分差异,旨在为黄芪经济林下仿野生种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在云南省昆明市海口林场,山冲林区落叶经济林为 2013 年种植的文玩核桃 (*Juglans sigillata* D.), 株行距 5 m×6 m, 平均胸径 4 cm, 林分郁闭度为 0.1; 宽地坝林区常绿经济林为 1964 年种植的油橄榄 (*Olea europaea* L.), 株行距 5 m×6 m, 平均胸径 38 cm, 林分郁闭度为 0.6。地理位置位于 102°28'~102°38' E, 24°43'~24°56' N, 海拔 1 900~

2 100 m, 年均温 14.6℃, 年降水量 909.7 mm, 土壤类型为红壤土。

1.2 试验材料

黄芪种子于 2016 年 12 月购自云南省昆明市种苗站。2017 年 3 月,将种子浸泡在 50℃ 温水中并搅动,当水温降低至 40℃ 以后持续浸泡 24 h,捞出晾至表面无水,细沙拌种后,于事先起好垄(垄宽 1.5 m)的核桃林、油橄榄林地按行距 30 cm 条播,覆厚 1 cm 的表土压实。每个林型下散播 600 m²,按照坡度方向划分为 3 个小区,每个小区 200 m²。20 d 后幼苗长至约 5 cm,按株距 10 cm 进行间苗。仿野生栽培管理过程中,只进行砍杂清理,其他均仿野生状态生长。

1.3 试验方法

于 2018 年 1 月,采用对角线随机取样法,每个小区挖取黄芪 30 株带回实验室自然风干,收集干燥根进行有效成分测定。采用四分法,于黄芪种植前,分别在核桃林和油橄榄林下去除表层掉落物后,取 0~20 cm 混合土壤 1~2 kg,黄芪种植后,采用抖根法处理 0~20 cm 根际土壤,每个土样重复 3 次,带回实验室进行肥力测定。

1.4 项目测定

土壤肥力测定^[10-12]:包括有机质、全氮、水解氮、全磷、速效磷、全钾和速效钾含量。土壤有机质含量采用重铬酸钾外热源法测定;全氮含量采用半微量凯氏法测定;水解氮含量采用碱解扩散法测定;全磷含量采用氢氧化钠熔融-钼蓝比色法测定;速效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;全钾含量采用氢氧化钠熔融-火焰光度法测定;速效钾含量采用 NH₄Ac 浸提-火焰光度法测定。

有效成分含量测定:黄芪总多糖含量采用索氏回流提取法部分改动;黄芪总皂苷含量参照于翔宇的方法测定;黄芪总黄酮含量采用紫外-可见分光光度法^[13];采用高效液相色谱法测定黄芪甲苷含量和黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量^[14-15]。

1.5 数据分析

采用 Excel 2007 软件及 SPSS 18.0 对试验数据

进行统计、制图及差异性分析。

2 结果与分析

2.1 不同林型下林地土壤肥力的变化

土壤肥力是反映土壤肥沃程度的一项重要指标,也是衡量土壤能够提供作物生长所需养分能力的指标^[7]。测定复合种植黄芪前后林地土壤肥力情况,具体结果见表 1。

表 1 复合种植黄芪前后林地土壤肥力变化

Tab. 1 Changes of soil fertility in forest land before and after *Astragalus membranaceus* planting

成分	核桃林/(g·kg ⁻¹)			油橄榄林/(g·kg ⁻¹)		
	种植前	种植后	增长量	种植前	种植后	增长量
有机质	5.342	47.441	42.099	25.696	17.858	-7.838
全氮	0.291	0.420	0.129	0.239	0.292	0.053
水解氮	0.036	0.053	0.017	0.030	0.096	0.066
全磷	0.836	3.651	2.815	1.447	1.670	0.223
速磷	5.890	11.770	5.880	16.010	22.160	6.150
全钾	0.525	0.256	-0.269	1.019	1.576	0.557
速钾	0.150	0.318	0.168	0.443	0.604	0.161

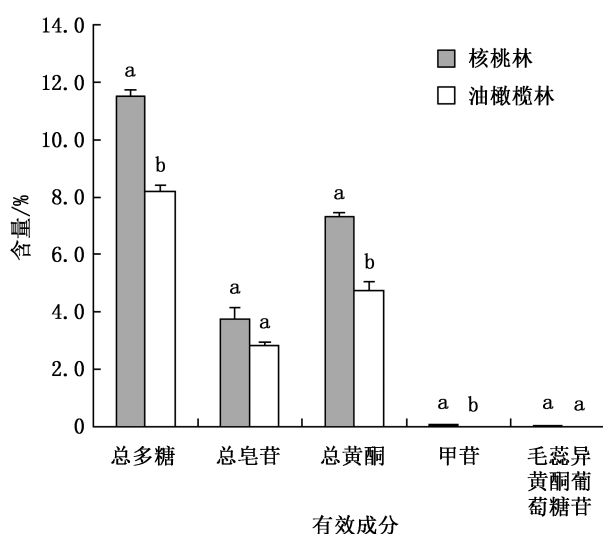
从表 1 可以看出,除氮外,油橄榄林下土壤肥力均高于核桃林下土壤肥力,其中有机质含量是核桃林下的 4.8 倍,两种林型下土壤全氮和水解氮含量均较低。复合种植黄芪后,土壤肥力总体上呈增长趋势,其中核桃林下有机质和速效磷含量增幅较大,油橄榄林下速效磷含量增幅也较大,说明林下复合种植黄芪能一定程度提高土壤肥力,且对磷需求不大,而核桃林下全钾、油橄榄林下有机质含量均出现降低趋势,说明黄芪种植对土壤有机质和钾需求较高,两种林地对元素的补偿各有优势。

2.2 不同林型下仿野生种质黄芪有效成分变化

2.2.1 不同林型下黄芪总多糖含量变化

不同林型下复合种植黄芪总多糖、总皂苷、总黄酮含量测定结果见图 1。

从图 1 可以看出,核桃林下种植的黄芪总多糖含量为 11.54%,是油橄榄林下种植的黄芪总多糖含量(8.24%)的 1.4 倍。方差分析显示,两种林型下种植黄芪总多糖含量差异达显著水平($P < 0.05$),黄芪在核桃林下种植总多糖含量远高于油橄榄林。



注:小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平达差异显著。

图 1 不同林型仿野生复合种植黄芪有效成分对比

Fig. 1 Comparison of effective components of *Astragalus membranaceus* simulated wild planting under different forests

2.2.2 不同林型下黄芪总皂苷含量变化

从图 1 可以看出,核桃林下种植的黄芪总皂苷含量为 3.76%,油橄榄林下种植的黄芪总皂苷含量为 2.84%,核桃林下种植黄芪总皂苷含量高于油橄榄林下种植的黄芪总皂苷含量,方差分析显示,两种林型下种植黄芪总皂苷含量,差异未达显著水平($P > 0.05$)。

2.2.3 不同林型下黄芪总黄酮含量变化

从图 1 可以看出,核桃林下种植的黄芪总黄酮含量为 7.33%,是油橄榄林下种植的黄芪总黄酮含量(4.77%)的 1.5 倍。方差分析显示,两种林型下种植黄芪总黄酮含量差异达显著水平($P < 0.05$),黄芪在核桃林下种植总黄酮含量远高于油橄榄林。

2.2.4 不同林型黄芪甲苷含量变化

通过高效液相色谱分析法测定不同林型下复合种植黄芪的甲苷含量(图 1~图 3)。

由图 2 和图 3 可知,黄芪甲苷出峰时间为 10.162、10.156 min,此时核桃林、油橄榄林下种植的黄芪甲苷含量分别为 0.08% 和 0.06%,其值均达到《中华人民共和国药典(2015)》规定的黄芪甲苷含量不得低于 0.04% 的要求。图 1 方差分析显示,核桃林下种植的黄芪甲苷与油橄榄林下种植黄芪甲苷差异显著($P < 0.05$),黄芪在核桃林下种植甲苷含量优于油橄榄林。

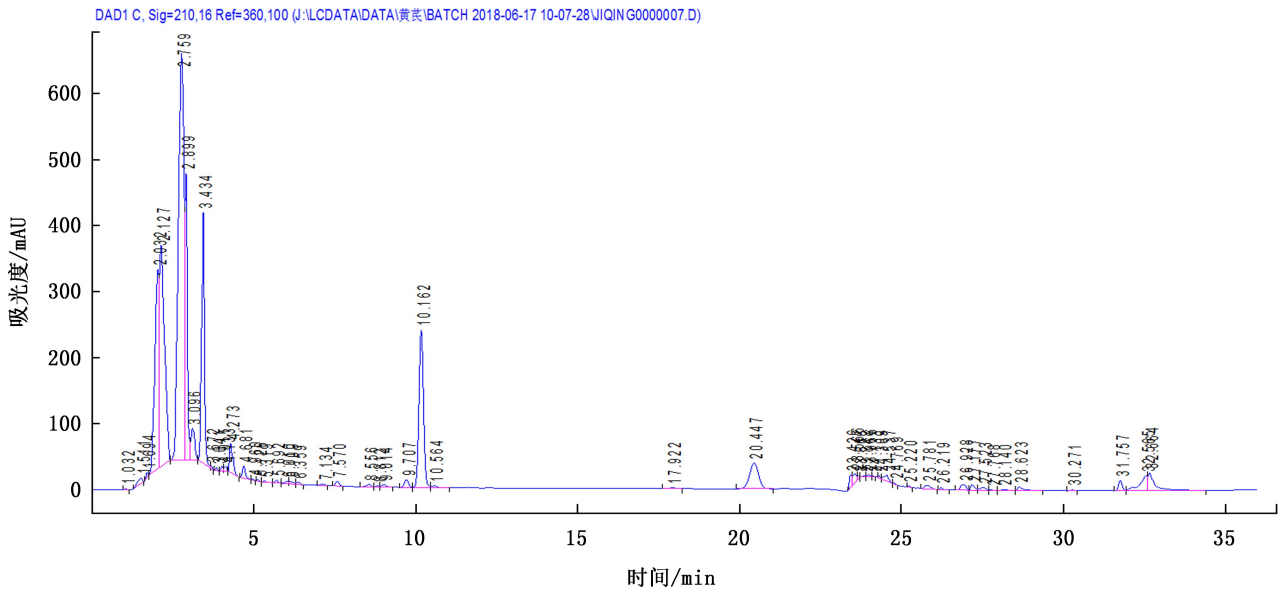


图 2 核桃林下种植黄芪甲苷高效液相色谱分析

Fig. 2 High performance liquid chromatogram of astragaloside IV of *Astragalus membranaceus* planted under walnut forest

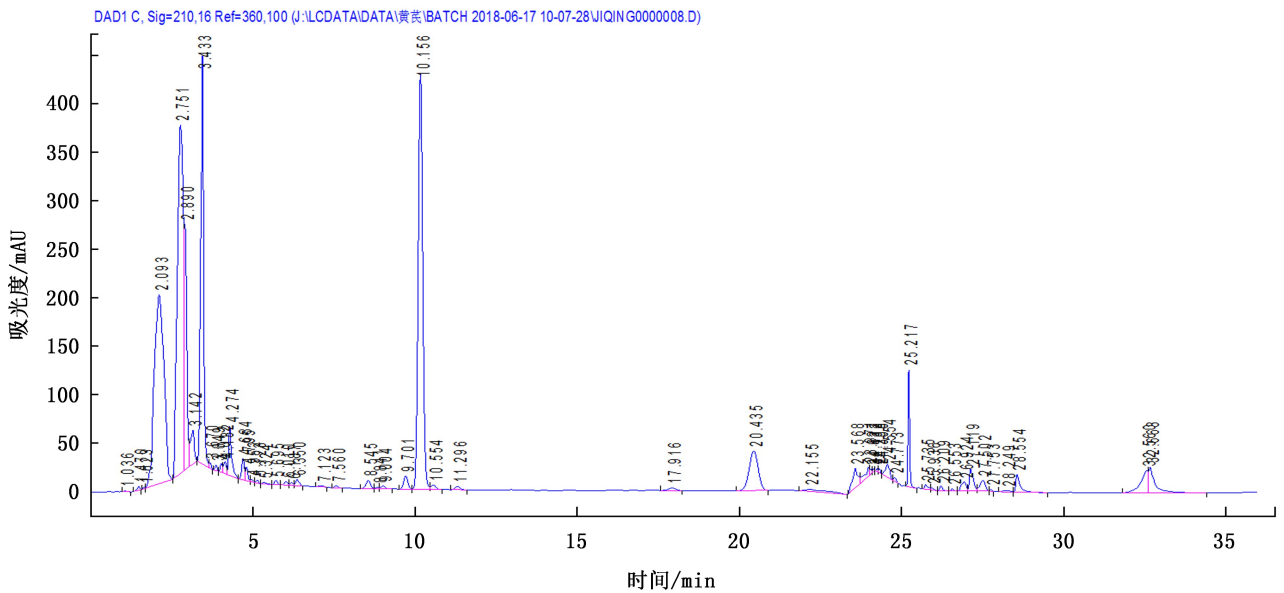


图 3 油橄榄林下种植黄芪甲苷高效液相色谱分析

Fig. 3 High performance liquid chromatogram of astragaloside IV of *Astragalus membranaceus* planted under olive forest

2.2.5 不同林型下黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量变化

通过高效液相色谱法测定不同林型下复合种植黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量(图 1,图 4,图 5)。

由图 4 和图 5 可知,黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷出峰时间为 5.177、5.184 min,此时核桃林、油橄榄林下种植的黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量分别为

0.064%和 0.062%,其值均达到《中华人民共和国药典(2015)》规定的黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量不得低于 0.02%的要求。图 1 方差分析显示,核桃林下种植的黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷与油橄榄林下种植黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷差异不显著($P>0.05$),两种林下种植黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷差异不明显。

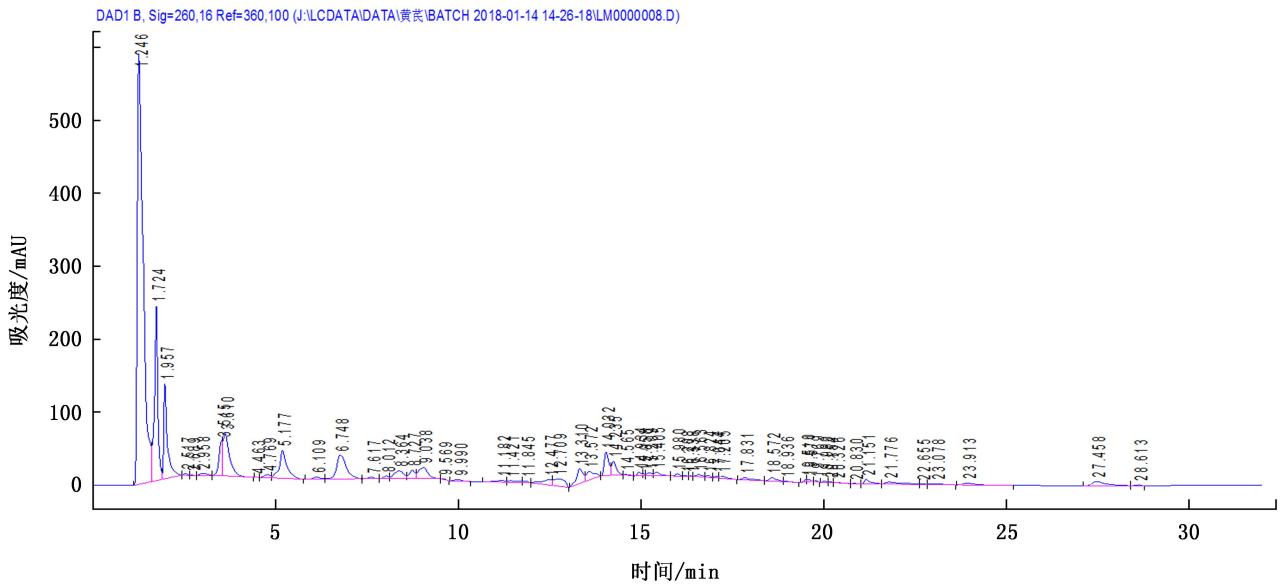


图 4 核桃林下种植黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷高效液相色谱分析

Fig. 4 High performance liquid chromatogram of mullein isoflavone glucoside of *Astragalus membranaceus* planted under walnut forest

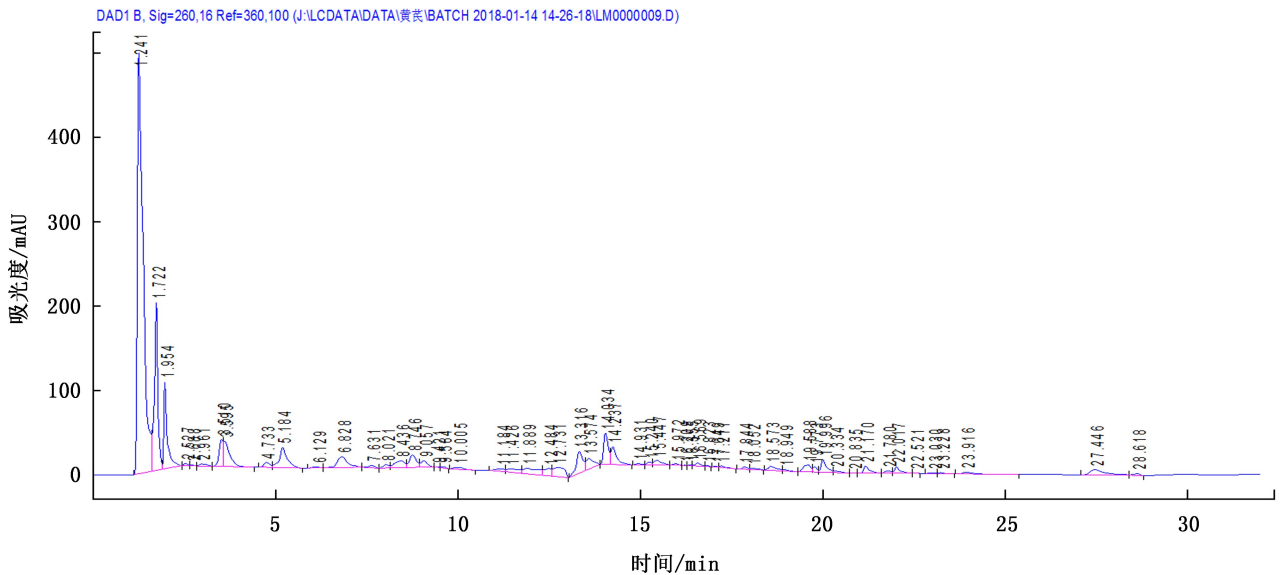


图 5 油橄榄林下种植黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷高效液相色谱分析

Fig. 5 High performance liquid chromatogram of mullein isoflavone glucoside of *Astragalus membranaceus* planted under olive forest

3 讨论与结论

经济林与林下经济有机结合能极大地拓展经济林的发展空间,促进产业的发展 and 壮大,有效地转变经济林产业的增长方式,已成为现代化和多功能林业的必由之路^[16]。不同类型经济林对林地土壤有不同程度的改良作用,该试验中的两种经济林下土壤肥力,初始值除氮外,油橄榄林下土壤肥力均高于

核桃林下土壤肥力;复合种植黄芪后,两种林地土壤肥力呈增长趋势,黄芪复合种植对林地土壤肥力具有提升作用,林下复合种植可抑制水分流失,提高土壤墒情,促进林地凋落物腐解,同时黄芪枯落叶凋落向土壤输送了大量的有机质和养分,该复合模式对土壤肥力提升的结果与川续断、油茶林下套种模式研究结论一致^[7,17]。

黄芪在《本草纲目》中被称为“补药之长”,主要成分为皂苷类、黄酮类及多糖类,有效成分黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷是其质量控制的指标性成分^[18-20]。通过不同类型经济林下种植黄芪有效成分含量比较分析发现,核桃林下种植黄芪的总多糖、总皂苷、总黄酮、甲苷、毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量均高于油橄榄林下种植黄芪,其中黄芪总多糖、总黄酮、甲苷含量差异显著;两种林下种植黄芪的甲苷含量分别为 0.08% 和 0.06%,均达到《中华人民共和国药典》规定的黄芪甲苷含量不低于 0.04% 的要求;黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量分别为 0.064% 和 0.062%,同样达到《中华人民共和国药典》规定不得低于 0.02% 的要求,因此,两种经济林下复合种植黄芪可以作为基源药材,且核桃林下复合种植的黄芪品质更优。本研究中土壤肥力状况相对低的核桃林下种植的黄芪品质优于土壤肥力状况相对较高的油橄榄林下种植的黄芪品质,验证了黄芪栽培对土壤要求较低的结论^[21],说明适宜的土壤肥力是黄芪品质的重要保证。同时复合种植黄芪后核桃林下全钾、油橄榄林下有机质含量均出现降低趋势,说明黄芪种植对土壤有机质和钾需求较高,这与黄芪适宜在有机质含量高、土壤通透性强、渗水良好的沙质土壤种植的生物特性一致^[22],同时验证了钾对根的干物质积累影响较大这一结论^[23-25]。复合种植黄芪后土壤速效磷含量增幅较大,说明黄芪种植对磷需求不大。生产中建议开展平衡施肥措施,以保证较高的黄芪品质。

参考文献:

- [1] XIE G, PENG W, LI P, et al. A network pharmacology analysis to explore the effect of astragali radix-radix angelica sinensis on traumatic brain injury[J]. *BioMed Research International*, 2018(10): 1-13.
- [2] SHAHZAD M, SHABBIR A, WOJCIKOWSKI K, et al. The antioxidant effects of radix astragali (*Astragalus membranaceus* and related species) in protecting tissues from injury and disease[J]. *Curr Drug Targets*, 2016, 17(12): 1331-1340.
- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京:中国医药科技出版社, 2015: 302-306.
- [4] 张尚智, 韩黎明, 贺莉萍, 等. 中国黄芪专利分析与研究[J]. *中医学信息杂志*, 2012(11): 24-27.
- [5] 张芳, 郑旭芳, 高梦雅, 等. 不同激素配方、土壤基质对蒙古黄芪根系生长发育的影响[J]. *分子植物育种*, 2022, 20(2): 564-569.
- [6] 白赞, 严文允, 李茹超, 等. 黄芪利水消肿作用古今研究概况[J]. *山西中医药大学学报*, 2020, 21(6): 461-464.
- [7] 严毅, 陈金龙, 邵建辉, 等. 不同林型下川续断仿野生种植[J]. *北方园艺*, 2019(19): 95-99.
- [8] 赵江怡, 孙志蓉, 张子龙. 我国中药材种植模式研究进展[J]. *中国现代中药*, 2021, 23(2): 372-380.
- [9] 郭玉英. 林药间作研究现状与展望[J]. *农业与技术*, 2018, 38(10): 188.
- [10] 王前登, 张凯, 王成, 等. 基于主成分分析法的沙湾县农田土壤肥力评价[J]. *新疆农业大学学报*, 2017, 40(3): 210-216.
- [11] 杜彩艳, 张乃明, 姜蓉, 等. 云南三七种植区土壤主要养分含量特征研究与评价[J]. *西南农业学报*, 2016, 29(3): 599-605.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000: 56-57.
- [13] 于翔宇, 石慎华, 赵宏伟, 等. 黄芪茎中有效成分提取方法的研究[J]. *哈尔滨商业大学学报(自然科学版)*, 2004, 20(3): 272-274.
- [14] 付娟, 杨世海, 黄林芳. 超高效液相色谱法同时测定黄芪中 6 种黄酮类成分的含量[J]. *中国药学杂志*, 2013, 48(11): 916-917.
- [15] 牟稷征, 崔翰明, 卢贺起. 正交试验优选黄芪有效成分的提取工艺[J]. *中国医学创新*, 2013, 10(29): 1-3.
- [16] 袁军, 石斌, 谭晓风, 等. 林下经济与经济林产业的发展[J]. *经济林研究*, 2015, 33(2): 163-166, 171.
- [17] 丁怡飞, 曹永庆, 姚小华, 等. 油茶间作不同绿肥的土壤分形及养分损耗特征[J]. *安徽农业大学学报*, 2018, 45(5): 867-871.
- [18] 吴娇, 王聪. 黄芪的化学成分及药理作用研究进展[J]. *新乡医学院学报*, 2018, 35(9): 755-760.
- [19] 薛倩倩, 刘晓节, 李科, 等. 黄芪药材化学成分差异的研究进展[J]. *山西医科大学学报*, 2018, 49(10): 1259-1263.
- [20] 聂娟, 谢丽华, 马港圆, 等. 中药黄芪的化学成分及药理作用研究进展[J]. *湖南中医杂志*, 2018, 34(7): 228-23.
- [21] 段琦梅. 黄芪生物学特性研究[D]. 咸阳:西北农林科技大学, 2005.
- [22] 梁永贤, 史纹华, 王登朝, 等. 沙漠盐碱地中药材黄芪关键栽培技术[J]. *农业开发与装备*, 2020(11): 211-212.
- [23] 张振臣, 乔奇, 靳秀兰, 等. 地黄脱毒技术及增产效果[J]. *植物保护学报*, 2004, 31(4): 342-346.
- [24] 赵杨景. 药用植物营养与施肥技术[M]. 北京:中国农业出版社, 2002.
- [25] 赵杨景, 陈震. 氮磷钾营养元素对怀地黄干物质积累和养分含量的影响[J]. *中药材*, 1991, 14(3): 3-6.

责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.006

黑果枸杞栽培株行距研究

吴秀花^{1,2,3}, 杨荣^{1,2,3}, 杨宏伟^{1,2,3}, 张嘉益^{1,2}, 张颖^{1,2}, 姜永智⁴

(1. 内蒙古自治区林业科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010010; 2. 沙地生物资源保护与培育国家重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010010; 3. 内蒙古自治区黑果枸杞工程技术研究中心, 内蒙古 呼和浩特 010010; 4. 磴口县人民政府办公室, 内蒙古 巴彦淖尔 015200)

摘要:为确定黑果枸杞栽培的株行距,以黑果枸杞为试验材料,采用实生苗进行田间栽植,分别设置3个不同株距1、1.2、1.5 m,以及3个栽植株行距1.5 m×2 m、1.5 m×3 m和2 m×2.5 m,通过测定株高、冠幅、分枝数、侧枝数、侧枝长、尖削度、坐果率、果实参数、产量等,比较不同株距和栽植株行距对黑果枸杞生长发育及果实表型性状的影响。结果表明,黑果枸杞人工栽培的合适株距为1.5 m,行距2~3 m,在保持单株占地面积相近的情况下,可根据需要适当地调整株行距;栽植株行距为1.5 m×3 m时,果型变异小,果实纵径、横径、果型指数等表型特征较稳定。以期为人工栽培管理提供技术参考。

关键词:黑果枸杞;栽植密度;表型性状;变异分析

中图分类号:S725.71;S759.82 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0028-06

引文格式:吴秀花,杨荣,杨宏伟,等.黑果枸杞栽培株行距研究[J].林业调查规划,2024,49(1):28-33.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.006

WU Xiuhua, YANG Rong, YANG Hongwei, et al. Plant-row Spacing of *Lycium ruthenicum* Cultivation[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 28-33. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.006

Plant-row Spacing of *Lycium ruthenicum* Cultivation

WU Xiuhua^{1,2,3}, YANG Rong^{1,2,3}, YANG Hongwei^{1,2,3}, ZHANG Jiayi^{1,2},
ZHANG Ying^{1,2}, JIANG Yongzhi⁴

(1. Inner Mongolia Academy of Forestry Sciences, Hohhot 010010, China;
2. Key Laboratory of Conservation and Cultivation of Desert Biological Resources, Hohhot 010010, China;
3. Inner Mongolia Engineering Technology Research Center of *Lycium ruthenicum*, Hohhot 010010, China;
4. General Office of the People's Government of Dengkou County, Bayannur, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: To determine the plant-row spacing of *Lycium ruthenicum*, the seedlings were used for field planting, with three different plant spacing of 1, 1.2, 1.5 m, and three plant-row spacing of 1.5 m×2 m, 1.5 m×3 m and 2 m×2.5 m, the effects of different plant-row spacing on the growth and phenotypic traits of *Lycium ruthenicum* were compared by measuring plant height, crown width, number of branches, number of lateral branches, length of lateral branches, tree tapering, fruit setting rate, fruit parameters and yield. The results showed that the proper plant spacing and row spacing for artificial cultivation of *Lycium*

收稿日期:2022-08-17.

基金项目:内蒙古自治区留学人员科技活动择优资助项目(201722);林业科研能力提升项目;内蒙古自治区应用技术与开发资金计划项目(201602083).

第一作者:吴秀花(1973-),女,甘肃静宁人,博士,研究员.主要从事森林经营和保护相关研究及推广. Email:wuxiuhua-73@163.com

ruthenicum were 1.5 m and 2–3 m respectively, and the plant–row spacing could be adjusted appropriately as required while in similar occupy area for individual plant; under the planting space of 1.5 m×3 m, the fruit variation of *Lycium ruthenicum* was small, fruit phenotypic characteristics such as longitudinal diameter, transverse diameter and fruit shape index were stable relatively. The results aim to provide technical references for artificial cultivation management.

Key words: *Lycium ruthenicum*; planting space; phenotypic traits; variation analysis

黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum* Murray), 为茄科枸杞属多年生多棘刺灌木, 主要分布于中亚、高加索和欧洲, 我国分布于陕西北部、甘肃、宁夏、青海、新疆、西藏、内蒙古西部^[1-4]。黑果枸杞抗逆性及耐盐性强^[5-7], 常生于盐碱、盐化沙地等, 是温性荒漠草地的优势种和主要伴生种, 地下部分的生物量占总生物量的平均比值达 33.2%, 根系系统的供养率高^[8]; 有性繁殖种子的自然萌发率、成活率、成株率低, 但萌蘖能力强, 可通过无性繁殖方式补偿, 使后代得以延续和发展壮大^[9], 因而是理想的荒漠化治理、防沙治沙等生态用灌木树种。

黑果枸杞亦是药食同源的功能性树种, 《四部医典》《晶珠本草》《维吾尔药志》等藏族、维吾尔族药典著作均详细记载黑果枸杞的药用价值, 果实味甘、性平, 清心热, 具有明目、润肝、通经等作用, 果实及根皮可治疗尿道结石、癣疥、齿龈出血等症^[10-13]。果实富含蛋白质、脂肪、多糖、游离氨基酸、有机酸、矿物质、微量元素、生物碱、维生素 C、维生素 B₁、维生素 B₂ 等多种营养成分^[14]。果实花青素 (又称花色苷, 是花色苷的前体物质) 含量高, 超声波辅助亚临界萃取提取得到野生黑果枸杞花青素提取率为 29 mg/g^[15], 花色苷能降低小鼠体内血脂水平, 预防动脉粥样硬化的生成^[16]。叶片提取的叶多糖 LR-LP3 具有较强的还原能力, 对 H₂O₂ 诱导的氧化损伤细胞模型具有一定保护作用, 对小鼠脾细胞增殖具有促进作用^[17]; 叶片总黄酮能显著抑制小鼠红细胞溶血, 增强小鼠血清抗活性氧能力, 抑制小鼠肝组织脂质过氧化产物丙二醛的生成^[18]。

黑果枸杞栽植当年即可挂果, 并形成产量, 可作为干旱区盐渍土改良、开发利用的可选经济树种之一, 在西部生态建设中具有很高的生态价值和经济开发潜力。目前黑果枸杞的相关研究涉及成分测定、提取工艺、生物活性、营养成分、内生菌、生理生化及遗传特性、苗木繁育等方面^[7, 19-27], 但作为经济林培育的栽培技术如整形修剪、栽培密度等相关研究报告较为缺乏。因而, 通过对黑果枸杞栽植株距、

栽植密度等进行了初步研究, 以期为人工栽培管理提供理论依据。

1 试验地与研究方法

1.1 试验地概况

试验地设于内蒙古阿拉善盟阿左旗敖伦布拉格黑果枸杞研究基地, 地处丘陵、平原地带, 地理位置为北纬 40°32', 东经 106°27', 属温带大陆性季风气候, 风大沙多, 降水稀少, 蒸发量大。年均降雨量 119.3 mm, 极端年最大降雨量 202.1 mm, 极端年最少降雨量 48.4 mm, 降水多集中在每年 7—9 月, 年均温 7.8℃, 极端最低温 -37.8℃, 极端最高温 39.4℃, 7 月均温 23.7℃。年均无霜期 134 d, 生长期平均 150 d, 年均日照时数 3 400 h 以上, 年太阳辐射量 160 kcal/cm², 非常适宜黑果枸杞生长。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计与数据测定

试验于 2015—2016 年实施。栽植苗木均为 2 年生实生苗, 南北行向栽植, 各小区水肥等管理条件均一致。

1) 栽植株距试验

行距 1.5 m, 株距设 3 个处理, 分别为 1、1.2、1.5 m, 每处理 1 个小区, 每小区面积 200 m², 各小区随机排列, 每木检尺测定株高、冠幅、分枝数。相关数据于栽植当年秋季测定。

2) 栽植株行距试验

3 个处理, 株行距分别为 1.5 m×2 m、1.5 m×3 m 和 2 m×2.5 m, 每处理 1 个小区, 每小区面积 300 m², 重复 3 次, 各小区随机排列。测定侧枝数、侧枝长、尖削度、坐果率、果实参数、鲜果及干果产量。相关数据于栽植当年秋季测定。

尖削度测定: 每株取 1 个优势枝, 游标卡尺分别测量优势枝的基部直径 (D_b) 和顶梢直径 (D_t), 卷尺测量基部至顶梢的长度 (L), 每个密度处理 30 个重复。尖削度 ($M, \%$) 计算公式为:

$$M = (D_b - D_t) / L \times 100\%$$

果实参数测定:采用游标卡尺测定果实最大长度和最大宽度为果实的纵径和横径,计算果形指数,每个密度处理 50 个重复;量取果实的百粒鲜重,自然干燥后测量百粒干重,每个株行距处理 3 个重复。

1.2.2 数据分析

试验数据应用 Excel 2010 和 IBM SPSS Statistics 19.0 软件统计分析,Duncan 新复极差多重比较。

2 结果与分析

2.1 栽植株距

不同株距栽植黑果枸杞生长情况见表 1。

表 1 不同株距栽植黑果枸杞生长状况

Tab.1 Growth parameters of *Lycium ruthenicum* in different plant spacing

株距 /m	株数 /(株·hm ⁻²)	株高 /cm	冠幅 (南北) /cm	冠幅 (东西) /cm	分枝 数 /个	最少 分枝 数 /个	最多 分枝 数 /个
1.0	29.67	69.2± 1.55c	66.2± 1.54c	65.4± 1.51b	8.9± 0.32b	3	22
1.2	24.73	75.1± 1.41b	75.9± 1.66b	77.2± 1.53a	12.5± 0.46a	1	29
1.5	19.73	81.0± 2.37a	84.3± 2.46a	81.0± 2.39a	11.2± 0.64a	4	23

注:分枝数为从灌木基部开始分枝的枝条总数,包括最初栽植的主干;表中数据为平均值±标准误,同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

行距 1.5 m,3 组不同株距 1、1.2、1.5 m 处理间相比较,株高差异显著,株距 1.5 m 的株高最高,为 81 cm,株距 1 m 的最低,为 75.1 cm,株距 1.2 m 的居中,为 69.2 cm ($F = 9.069, df = 2, P = 0$);不同株距的南北向冠幅与株高的变化趋势类似,株距 1.5 m 的南北向冠幅值最大,为 84.3 cm,株距 1 m 的最低,为 66.2 cm,株距 1.2 m 的居中,为 75.9 cm,三者间差异显著 ($F = 18.412, df = 2, P = 0$);东西向冠幅也有类似的变化趋势,1.5、1.2、1 m 东西向冠幅值分别为 81、77.2、65.4 cm,株距 1.5、1.2 m 与 1 m 之间差异显著,但株距 1.5 m 和 1.2 m 之间差异不显著 ($F = 20.373, df = 2, P = 0$)。结果表明,3 个株距处理的单株冠幅值在 65.4~84.3 cm,株间距应在 1.31~1.69 m。

不同株距栽植黑果枸杞分枝数出现频率见图 1。

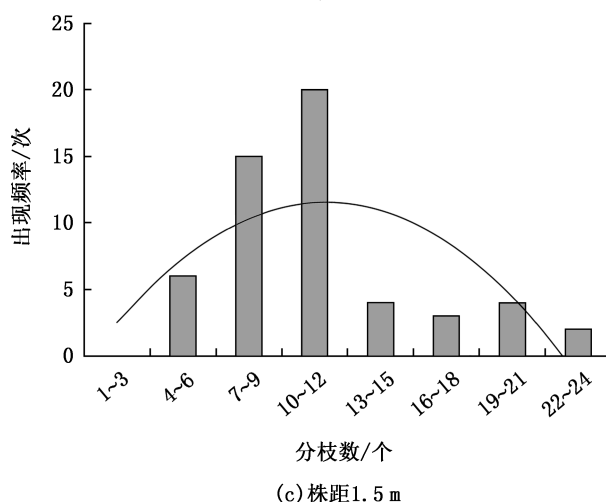
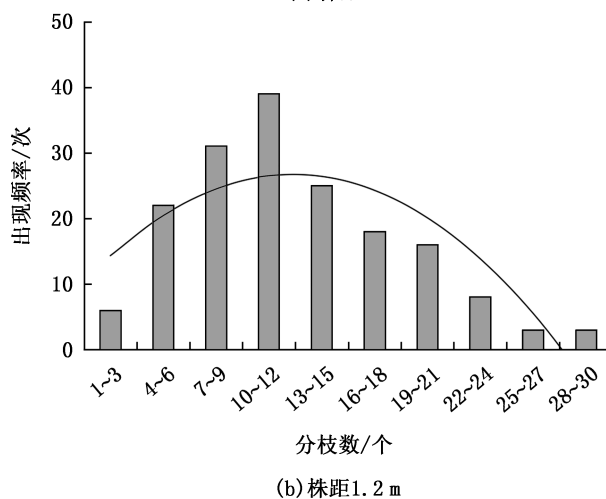
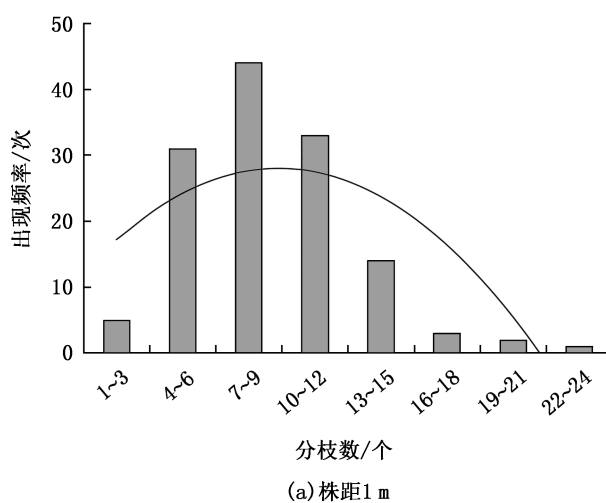


图 1 黑果枸杞植株分枝数出现频率

Fig.1 Frequency distribution of branch number of *Lycium ruthenicum*

株距 1.2 m 处理的平均分枝数最多,为 12.5 个,株距 1.5 m 处理的次之,为 11.2 个,两者间无显著差异,株距 1 m 处理的最少,平均分枝数为 8.9 个,与前两者相比差异显著 ($F = 19.026, df = 2, P =$

0)。栽植株距 1 m 处理最少分枝数为 3 个,最多分枝数为 22 个,其中 7~9 个分枝出现频率最高,占 33.1%,其次为 10~12 个分枝和 4~6 个分枝,分别占 24.8%和 23.3%;栽植株距 1.2 m 处理最少分枝数为 1 个,最多分枝数为 29 个,其中 10~12 个分枝出现频率最高,占 22.8%,其次为 7~9 个分枝和 13~15 个分枝,分别占 18.1%和 14.6%;栽植株距 1.5 m 的最少分枝数为 4 个,最多分枝数为 23 个,其中 10~12 个分枝出现的频率高达 37%,其次为 7~9 个分枝占 27.8%,分枝数 7 以下和 12 个以上的占比较小。总体来看,株距 1 m 处理以分枝数 7~9 个的植株最多,株距 1.2 m 和 1.5 m 处理均以 10~12 个分

枝数的植株最多,表明相对较大的生长空间有利于黑果枸杞基部枝条的萌发。

结果表明,黑果枸杞基部分枝多,成枝力强,3 组栽植株距相比较,从株高、冠幅、分枝数的测定结果来看,较大的株距有利于黑果枸杞的生长和伸展。1.5 m 株距栽植的黑果枸杞有明显的扩展优势,植株生长空间较充足。综合考虑后期黑果枸杞的产量和质量,修剪、采摘、施药等田间管理、机械操作的方便性等,初步认为栽植株距 1.5 m 较为合适。

2.2 栽植株行距

不同株行距栽植黑果枸杞生长及产量情况见表 2。

表 2 不同栽植株行距黑果枸杞生长及产量

Tab. 2 Growth and yield parameters of *Lycium ruthenicum* in different plant-row spacing

株行距	株数 /(株·667 ⁻¹ ·m ⁻²)	单株占 地面积 /m ²	侧枝数 /个	侧枝长 /cm	尖削度 /%	坐果率 /%	鲜果产量 /(kg·667 ⁻¹ ·m ⁻²)	干果产量 /(kg·667 ⁻¹ ·m ⁻²)
1.5 m×2 m	222	3.0	14.3±6.06a	23.78±2.30b	0.507±0.08c	95.53±0.15a	36.55±9.94a	7.23±1.99a
1.5 m×3 m	148	4.5	14.3±3.48a	27.11±3.01b	0.637±0.08bc	89.97±2.11a	13.63±1.18a	2.70±0.23a
2 m×2.5 m	133	5.0	15.3±4.81a	43.89±2.31a	0.770±0.06ab	89.83±1.59a	14.92±0.66a	2.87±0.20a

注:侧枝数为优势分枝上的侧枝数量;侧枝长为优势分枝上 3 个优势侧枝的平均长度。

不同栽植株行距,单株优势枝上平均侧枝数为 14.3~15.3 个,处理间无显著差异;平均侧枝长 23.8~43.9 cm,总体趋势为栽植株行距越大,侧枝越长,侧枝株行距 2 m×2.5 m 与其他两个处理(1.5 m×2 m 和 1.5 m×3 m)相比差异显著,后两者之间差异不显著($F=17.76$, $df=2$, $P=0$)。

尖削度与栽植株行距成正相关,株行距越小,单株占地面积越小,尖削度越小,株行距 1.5 m×2 m 与 2 m×2.5 m 处理间差异显著,这两者与株行距 1.5 m×3 m 处理间差异均不显著($F=3.36$, $df=2$, $P=0.042$)。

3 个栽植株行距处理的坐果率、鲜果产量、干果产量间差异不显著,株行距 1.5 m×2 m 处理的坐果率、鲜果产量、干果产量均高于株行距 1.5 m×3 m 和 2 m×2.5 m 两个处理,后两个处理间相差不大($F=4.55$, $df=2$, $P=0.063$; $F=4.95$, $df=2$, $P=0.054$; $F=4.88$, $df=2$, $P=0.055$)。株行距 1.5 m×3 m 和 2 m×2.5 m 处理的果实横径较大,二者间差异不明显,但与株行距 1.5 m×2 m 处理相比,差异显著($F=10.28$, $df=2$, $P=0$)。

不同栽植株行距黑果枸杞果实参数及果型变异统计见表 3,表 4。

表 3 不同栽植株行距黑果枸杞果实参数

Tab. 3 Fruits parameters of *Lycium ruthenicum* in different plant-row spacing

株行距	果实 横径 /mm	果实 纵径 /mm	果型 指数	百粒 鲜果重 /g	百粒 干果重 /g
1.5 m×2 m	10.43± 0.25b	7.70± 0.12b	0.75± 0.01a	48.85± 0.92a	9.07± 0.54a
1.5 m×3 m	12.02± 0.23a	8.79± 0.12a	0.74± 0.01a	50.37± 3.78a	8.89± 1.12a
2 m×2.5 m	11.48± 0.28a	8.03± 0.18b	0.71± 0.01a	52.46± 1.39a	9.04± 0.31a

表 4 不同栽植株行距黑果枸杞果型变异

Tab. 4 Fruits variability of *Lycium ruthenicum* in different plant-row spacing

株行距	变异系数/%		
	果实横径	果实纵径	果型指数
1.5 m×2 m	17.00	10.69	11.68
1.5 m×3 m	13.34	10.03	11.62
2 m×2.5 m	17.03	16.13	14.93

3 个株行距处理的果实纵径与横径的变化趋势一致,株行距 1.5 m×3 m 处理最大,株行距 2 m×2.5 m 处理次之,株行距 1.5 m×2 m 处理最小,前者与后两者间差异显著($F=15.07$, $df=2$, $P=0$);不同处理的果实均为扁圆形,果型指数为 0.71~0.75,三者差异不显著($F=2.52$, $df=2$, $P=0.084$);百粒鲜果重为 48.85~52.46 g,百粒干果重为 8.89~9.07 g,三者间均无显著差异($F=0.58$, $df=2$, $P=0.59$; $F=0.02$, $df=2$, $P=0.98$)。

3 个株行距处理的果型变异程度不同,株行距 2 m×2.5 m 处理的果型变异系数为 14.93%,果型变异较大,另外两个处理(1.5 m×2 m 和 1.5 m×3 m)的果型变异系数约为 11.6%,果型变异相对较小;株行距 1.5 m×3 m 处理的果实横径变异系数为 13.34%,横径变异小于另外两个处理;株行距 2 m×2.5 m 处理的果实纵径变异系数为 16.13%,横径变异大于其他两个处理;总体来看,株行距 1.5 m×3 m 处理的果型表现较稳定。

结果表明,栽植株行距越大,越有利于黑果枸杞优势枝上侧枝的发生和生长,优势枝的尖削度也越大;栽植株行距与当年产量呈负相关,株行距小,产果量高;栽植株行距小,果实横径、纵径、百粒鲜果重均较小;适中的栽植密度下,果型变异小,表型特征较稳定;单株占地面积相近时,适当地调整株行距,对产量影响不大。

3 讨论与结论

本研究初步确定黑果枸杞人工栽培的合适株距为 1.5 m,行距为 2~3 m,在保持单株占地面积相近的情况下,可根据需要适当地调整株行距,较有利于修剪、用药、施肥、中耕、采收等田间操作和管理。试验开展时,黑果枸杞人工栽植技术研究还处于探索阶段,尚无较成熟的栽培管理技术可借鉴,仅查阅到相关文献中栽植株距为 0.7~1.2 m,行距 1.2~2.2 m,但均未做相应的深入研究来进一步支持其观点^[28-32]。因而本研究在前期实地调研、查阅文献的基础上,参照枸杞的栽培技术,结合实验培育黑果枸杞苗木的规格设计试验方案,采用株距 1~1.5 m,在确定 1.5 m 为适合株距后,采用行距 2~3 m,开展行距试验。此外,为初步了解单株占地面积近似的情况下,株行距的调整对植株生长、产量等的影响,设置了株行距 1.5 m×3 m 和 2 m×2.5 m 栽植处理。

栽植株行距的大小影响植株的养分吸收、光合作用、生长发育空间等,因而会直接影响果实产量。

合理的栽植株行距,能有效地利用土地和立体空间,提高植株的光合作用及单位面积产量,株行距过大或过小,均影响单位面积产量乃至果实质量^[33-35]。在本研究中,栽植株行距较小的黑果枸杞,前期产果量较高,但侧枝数少,侧枝长度短,优势枝的尖削度小,不利于保持优势枝的直立强壮和后期整形修剪,难以获得理想的树形。

表型是基因表达与所处环境交互作用动态表达的结果,是生物遗传受制于生态环境条件的遗传表征,形态特征的变化常可作为遗传变异的表征,一定程度上反映质量性状,变异的大小作为种质固有的特征,反映出种质差异的范围和程度,决定着资源选择余地的大小^[36]。从本研究中表型测定结果来看,不同栽植株行距黑果枸杞果实纵径的变异系数变化幅度大,表明果实纵径受栽植株行距等环境的影响较大,株行距大,单株占地面积大,果实形状的变异较丰富,栽植株行距适中,果型变异小,表型特征较稳定。因此,在栽培过程中,可依据实际需要调整栽植株行距,若以育种选择为目标,可适当地增加栽植株行距,增加单株可利用的生长空间,提高变异丰富度;若以商品销售为目标,则可选择适中的株行距,降低变异幅度,提高果实均匀度。然而,果实的变异较为复杂,栽培株行距仅是其中一个可能的影响因素,在生产上的精确应用还需进一步研究与实践。

黑果枸杞具有边开花边结果的特性,但较集中于夏秋两次。在试验区黑果枸杞于 5 月中旬初花,夏果大量成熟期约在 7 月初,秋果尾果成熟期约在 9 月下旬,但秋果产量较小,产量不足夏果(头茬果)的 1/3^[9]。因本研究中栽植苗木为野生黑果枸杞种子播种培育的实生苗木,人工栽培驯化程度低,与野生种相似,植株低矮,棘刺多,果实采收难度大,综合采收人工成本等因素,采用剪枝收获的方式,仅收获和统计了当年秋果的产量,因而果实总产量统计结果偏低实际水平。此外,由于采用剪枝收获果实,未对之后的产量进行逐年连续测定,株行距对不同树龄的黑果枸杞产量及果实品质的影响还有待于进一步研究完善。

参考文献:

- [1] 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,2004,67(1):10.
- [2] 内蒙古植物志[M]. 呼和浩特:内蒙古人民出版社,1980.
- [3] 中国科学院西北高原生物研究所. 青海经济植物志[M]. 西宁:青海人民出版社,1987:510.

- [4] 中国科学院新疆综合考察队,中国科学院植物研究所. 新疆植被及其利用[M]. 北京:科学出版社,1978:198.
- [5] 杨志江,李进,李淑珍,等. 不同钠盐胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响[J]. 种子,2008,27(9):19-22.
- [6] 姜霞,任红旭,马占青,等. 黑果枸杞耐盐机理的相关研究[J]. 北方园艺,2012(10):19-23.
- [7] 辛菊平. 盐胁迫下黑果枸杞生理特性及耐盐性研究[D]. 西宁:青海大学,2015.
- [8] 何文革,那松曹克图,吾其尔,等. 新疆焉耆盆地黑果枸杞灌丛与根系组成及分布特征[J]. 草业科学,2015,32(7):1192-1198.
- [9] 何文革,那松曹克图,吾其尔,等. 新疆焉耆盆地黑果枸杞自然分布特点及其生物特性[J]. 中国野生植物资源,2015,34(4):59-63.
- [10] 宇妥·元丹贡布. 四部医典[M]. 拉萨:西藏人民出版社,1981:72.
- [11] 帝玛尔·丹增彭措. 晶珠本草[M]. 北京:民族出版社,1986:215-216.
- [12] 刘永民. 维吾尔药志(下)[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1999:478-485.
- [13] 甘青梅,左振常,昌也平,等. 藏药“旁玛”的考证及生药学研究[J]. 中国民族民间医药杂志,1995(12):31-33.
- [14] 甘青梅,骆桂法,李普衍,等. 藏药黑果枸杞开发利用的研究[J]. 青海科技,1997(1):17-18.
- [15] 金玲,娄涛涛,陈天强,等. 黑果枸杞色素研究进展[J]. 亚太传统医药,2016,12(5):80-83.
- [16] 林丽,李进. 黑果枸杞花色苷对小鼠动脉粥样硬化的影响[J]. 中国中药杂志,2012,35(10):1460-1466.
- [17] 刘洋,殷璐,龚桂萍,等. 黑果枸杞叶多糖 LRLP3 的结构、抗氧化活性及免疫活性[J]. 高等学校化学学报,2016,37(2):261-268.
- [18] 李进,李淑珍,冯文娟,等. 黑果枸杞叶总黄酮的体外抗氧化活性研究[J]. 食品科学,2010,31(13):259-262.
- [19] 金红利. 藏药黑果枸杞化学成分的分离纯化与表征[D]. 大连:大连理工大学,2015.
- [20] 娄涛涛,金玲,陀扬凌,等. Box-Behnken 响应面法优化水浴恒温浸提法提取黑果枸杞色素工艺研究[J]. 亚太传统医药,2016,12(3):31-36.
- [21] 暴凤伟,郭武艳,邳馨,等. 黑果枸杞的生物活性研究进展[J]. 中国执业药师,2014,11(7):31-34.
- [22] 陈红军,侯旭杰,白红进,等. 黑果枸杞中的几种营养成分的分析[J]. 中国野生植物资源,2002,21(2):55.
- [23] 李婷. 黑果枸杞内生真菌 R43 的次生代谢产物的研究[D]. 西安:陕西科技大学,2015.
- [24] 赵秀玲. 黑果枸杞生理活性成分研究进展[J]. 食品与生物技术学报,2016,35(6):561-568.
- [25] 杨宏伟,郭永盛,刘博,等. 黑果枸杞硬枝扦插繁育技术研究[J]. 内蒙古林业科技,2016,42(4):33-35.
- [26] 杨荣,尚海军,任倩楠,等. 不同种源黑果枸杞种子特征及萌发试验研究[J]. 内蒙古林业科技,2020,46(3):19-22.
- [27] 杨宏伟,郭永盛,杨荣,等. 黑果枸杞播种育苗关键技术[J]. 内蒙古林业科技,2017,43(1):62-64.
- [28] 孙宁川,徐万里,刘会芳,等. 新疆黑果枸杞育苗和人工栽培关键技术[J]. 农村科技,2015(11):48-49.
- [29] 刘德喜. 西北地区黑枸杞栽培管理技术[J]. 现代农业科技,2015(14):76-77.
- [30] 郝玉兰,石元宁. 青藏高原黑枸杞栽培技术[J]. 现代农业科技,2012(9):138.
- [31] 郑卓然,邓娇娇,杨立新,等. 辽宁地区黑果枸杞的栽培技术[J]. 辽宁林业科技,2016(3):71-72.
- [32] 白生才,孙慧琴,杜希东,等. 黑果枸杞育苗及人工栽植新技术[J]. 林业科技通讯,2016(8):25-27.
- [33] 刘来馨,王福成,姜更生,等. 栽培密度和产量水平对酿酒葡萄含糖量的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2009(3):13-16.
- [34] 周宁. 栽植密度对华玉桃产量的影响[J]. 现代园艺,2013(11):5-6.
- [35] 李民吉,张强,李兴亮,等. 矮化中间砧‘宫藤富士’苹果栽植密度对树体生长、冠层光照和果实产量的影响[J]. 园艺学报,2020,47(3):421-431.
- [36] 王力荣,朱更瑞,方伟超. 桃种质资源若干植物学数量性状描述指标探讨[J]. 中国农业科学,2005,38(4):770-776.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.007

丽江拉市海国际重要湿地生态修复方案探究

刘茜,沙剑斌,郑进烜,吴婧,郑静楠,蒋丽华,秦燕,杨忠兴

(云南省林业调查规划院,云南昆明650051)

摘要:拉市海国际重要湿地是我国重要的候鸟越冬栖息地之一,针对其整体环境整治问题,地方政府和管理部门做了大量工作,取得了较好成效,但还存在退化沼泽湿地急需修复、退养鱼塘急需生态修复、入湖河道急需治理等问题,基于此,提出退化沼泽湿地、退塘还湿、入湖河段生态修复以及破碎化湖滨带治理、外来物种防控等生态修复方案。通过湿地生态修复,湿地整体生态环境得到改善,候鸟栖息地、食源地得到修复,湿地植被和生物多样性明显增加,湿地景观得到优化,湿地生态服务功能有所提高。

关键词:生态修复;退化沼泽湿地;退塘还湿;入湖河段;破碎化湖滨带;丽江拉市海国际重要湿地

中图分类号:X171.4;Q178.5 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0034-06

引文格式:刘茜,沙剑斌,郑进烜,等.丽江拉市海国际重要湿地生态修复方案探究[J].林业调查规划,2024,49(1):34-39. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.007

LIU Qian, SHA Jianbin, ZHENG Jinxuan, et al. Ecological Restoration Scheme of Lashihai Internationally Important Wetland in Lijiang[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 34-39. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.007

Ecological Restoration Scheme of Lashihai Internationally Important Wetland in Lijiang

LIU Qian, SHA Jianbin, ZHENG Jinxuan, WU Jing, ZHENG Jingnan,
JIANG Lihua, QIN Yan, YANG Zhongxing

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

Abstract: The Lashihai Internationally Important Wetland is one of the important wintering habitats for migratory birds in China. The local government and management departments have done a lot of work and achieved good results aiming at the overall environmental remediation problems. However, there are still problems such as the urgent need for restoration of degraded swamp wetlands and retired fish ponds, and the urgent treatment of river sections entering the lake. Therefore, this paper proposed ecological restoration schemes for degraded swamp wetlands, returning ponds to wetlands, river sections entering the lake, fragmented lakeside belts and prevention and control of alien species. Through wetland ecological restoration, the overall ecological environment of wetlands has been improved, migratory bird habitats and food sources have been restored, wetland vegetation and biodiversity have increased significantly, wetland landscapes have been optimized, and wetland ecological service functions have been improved.

收稿日期:2022-08-16;修回日期:2022-10-17.

第一作者:刘茜(1990-),女,河北怀安人,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:杨忠兴(1972-),男,云南景谷人,硕士,正高级工程师.主要从事林业调查规划和自然保护区研究监测工作.

Email:yangzhongxin1109@163.com

Key words: ecological restoration; degraded swamp wetlands; returning ponds to wetlands; river sections entering the lake; fragmented lakeside belts; Lashihai Internationally Important Wetland

1 研究区概况

拉市海国际重要湿地于 2004 年 12 月 7 日被列入《国际重要湿地名录》,由拉市海、文海和吉子水库 3 个片区组成,湿地总面积 3 560 hm²,以中华秋沙鸭、黑鹳、黑颈鹤、灰鹤、大天鹅等国家一级、二级重点保护野生动物和高原湿地生态系统为主要保护对象,由拉市海高原湿地省级自然保护区管护局实施管理。拉市海区域的保护地由拉市海高原湿地省级自然保护区、丽江市玉龙县拉市海水库水利风景区组成,保护区与拉市海国际重要湿地重叠面积 3 555.90 hm²,水利风景区与拉市海国际重要湿地重叠面积 2 418.05 hm²。

2010—2018 年,拉市海国际重要湿地共争取中央投资 2 150 万元。主要完成了湿地生态系统保护和恢复、宣教体系建设和完善、标牌标识系统建设、技术支撑体系建设、管护能力建设、科研监测、视频监控系統维护和更新、核心区及季节性核心区的铁丝网建设、勘界立标、垃圾清运、道路拆除、巡护设备购置等内容。通过项目建设,专业管理队伍得到了加强,管理能力得到了提高,湿地监测、研究能力有所提高,湿地生态系统得到有效保护,减缓了矛盾冲突,保护成效得到进一步加强。但湿地内尚存在一些问题。

2 存在的问题

2.1 退化沼泽湿地急需修复

在国际重要湿地的拉市海片区、文海片区、吉子水库片区的部分区域,由于人口、牲畜较多,人为活动频繁,在放牧、旅游、围垦等人为活动干扰下,沼泽湿地已呈现退化状况,部分区域出现了裸土、沙化现象,急需实施人工干预措施进行退化湿地生态修复。

2.2 退养鱼塘急需生态修复

多年前当地居民和旅游公司大力开展水上娱乐、垂钓等旅游项目,在拉市海周边开挖了众多鱼塘,破坏了拉市海湿地生态系统的完整性和原真性,致使该区域内的湖滨带湿地生态系统严重退化。2017 年加大了对拉市海周边环境保护与整治力度,保护区核心区内旅游项目、经营性项目全面退出,环湖公路以内所有鱼塘全部退出,但退养的鱼塘至今尚未全部修复,特别是在枯水季节水面大幅度下落时,塘埂、道埂、地表建(构)筑物显露于地表,以上问题严重影

响拉市海湖滨带湿地生态系统的完整性和湿地景观。根据现场调查,退养鱼塘主要分布于保护区的核心区、季节性核心区、实验区内。退养鱼塘水深一般为 1.5~2 m,个别超 3 m;埂高一般为 1.7~2.2 m(图 1)。



图 1 海东安上北部鱼塘

Fig. 1 Fish pond in the northern Anshang of Haidong

2.3 入湖河道急需治理

拉市海入湖河流很多,常流水的主要是大沙河、溪沙河、美泉河、赖落坎河等河流。大多数河流流经村庄、农田等人类集聚区和人类活动强烈区域,人为干扰严重,多数河段存在以下问题:(1)河岸过陡、过高;(2)人为干扰、人工硬化现象普遍;(3)河道淤泥沉积、垃圾堆积等现象突出;(4)河岸及河道内喜旱莲子草等外来植物危害严重;(5)河道砂石破坏严重,河道、河岸植被退化或遭破坏。以上问题严重影响湿地动植物的正常生长,急需进行河道整治,修复河道自然生态。根据实地调查,因问题较多而急需处理整治的河段共 11 条(图 2)。

2.4 破碎化的湖滨急需治理

保护区成立之前,旅游公司和当地社区居民开展了骑马、划船等旅游活动。因拉市海是季节性湖泊,枯水季节水位较低,旅游公司和当地居民为了在枯水季节也能正常进行划船、骑马等旅游活动,开挖了大量航道,航道宽 6~8 m,枯水季节航道水深 1~2 m,航道旁的道路、道埂即由挖出的土方堆砌而成。截至 2017 年,所有旅游项目退出核心区。但目前航道、道埂、道路依然存在,主要导致以下问题:(1)改变了湖滨带的结构,造成拉市海湖滨带的破碎化,在



图 2 赖落坎河段

Fig. 2 Lailuokan River section

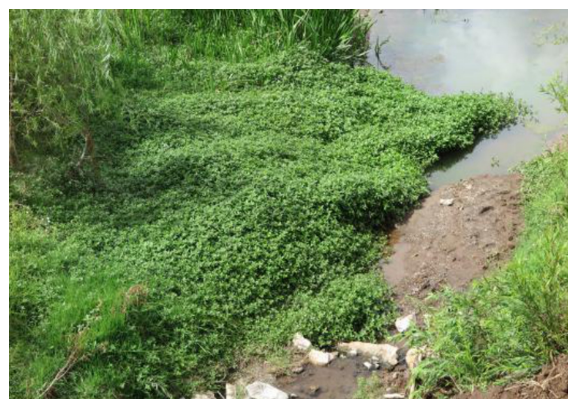


图 4 喜旱莲子草

Fig. 4 *Alternanthera philoxeroides*

枯水季节水源主要集中于航道,周边湿地、草地被旱化,影响了湖滨带的生态系统功能;(2)在枯水期,航道、道埂等裸露地表严重影响湿地景观;(3)航道较深,存在安全隐患。经实地调查,急需生态修复、整治的航道共 26 条,航道总长 13 268.1 m(图 3)。



图 3 航道及道埂

Fig. 3 Waterway and embankment

2.5 外来植物扩散较严重

多年来拉市海国际重要湿地为发展旅游业,开挖水渠、航道和修建码头等工程建设对湿地的水系、地形和植被造成较大干扰和破坏,为外来物种的生长和繁衍创造了条件。据调查,湖周湿地区域有喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)、野西瓜苗(*Hibiscus trionum*)、粉花月见草(*Oenothera rosea*)、秋英(*Cosmos bipinnatus*)、牛膝菊(*Galinsoga parviflora*)、洋金花(*Datura metel*)等外来植物,主要分布区域在北部、东部和南部区域,其中喜旱莲子草尤为严重(图 4),在多条沟渠、河道、河流入口等处密集生长,侵占本土植物生态位,致使区

域植物多样性下降。因此,外来植物急需防控。

2.6 外来动物扩散较严重

目前在拉市海湿地区域内监测到拉市海片区有小龙虾(*Procambarus clarkii*)、牛蛙(*Rana catesbeiana*)、福寿螺(*Pomacea canaliculata*)等外来动物物种,在拉市海北部至东部区域的湖内、湖滨、河流、沟渠和鱼塘等区域均有分布。其中,小龙虾打洞速度快,活动范围大,适应能力强,繁殖速度快,种群数量大,其啃食植物根系,导致有机残体增加,大量堆积的小龙虾粪便易造成水体污染,导致化学需氧量(COD)上升,影响水质。牛蛙、福寿螺等外来物种也大量繁殖,种群数量迅速上升,危害严重。

3 湿地修复方案设计

3.1 退化沼泽湿地生态修复

3.1.1 修复思路

通过植被修复措施修复湿地植物植被,通过封禁措施限制或禁止外来干扰,使湿地植物植被及其生态环境得到修养生息,逐步修复湿地生态系统功能,充分发挥湿地生态效益。

3.1.2 修复措施

1) 植被修复措施

湿地修复实施地点位于拉市海片区的海东与海南区域、文海片区湖周区域、吉子片区,需修复退化沼泽湿地面积 187.16 hm²。实施区域沼泽湿地修复,主要选取本土湿地植物或实施区分布的湿地植物,主要为早熟禾(*Poa annua*)、华扁穗草(*Blysmus sinocompressus*)、葱状灯心草(*Juncus allioides*)等,采用 1:1:1 比例的混合草籽播种,草籽用量为 30 g/m²,草种宜在春末撒播,播前清除杂草、土块,平整土层,

播后覆盖细土。

2) 封禁措施—设置围栏

在拉市海片区的海东修复区设置围栏,防止牧民和家畜进入修复区,降低人为干扰,减少垃圾、粪便对湖区湿地的污染,强化草畜平衡,加强对生态脆弱湿地的保护。共规划设置围栏长 4.0 km,围栏采用水泥柱+钢丝网结构。钢丝网采用 150×150 成品,立柱采用水泥柱,用专用固定件与水泥柱固定连接,水泥柱高度 2.1 m,每 4 m 设置一道,埋入地下,埋深 0.6 m。

3) 加强管理

对沼泽湿地生态修复区安排专人管护,加大巡护力度,巡护频次,加强管理,发现问题及时汇报、解决,保证湿地植物植被正常生长与恢复。

3.2 退塘还湿生态修复

3.2.1 修复思路

根据不同区域的鱼塘实际,充分结合拉市海湿地的地形地貌、水文水系、季节性水位变化等自然特征,有针对性地对鱼塘实施降埂处理、净土回填鱼塘、植被修复等工程。总体上保持原鱼塘的梯度分布,保持原鱼塘的相对独立现状,进行近自然化处理,采用工程措施适当地进行削高填洼、局部土地平整,降低鱼塘深度和塘埂高度。利用拆除的塘埂土壤回填鱼塘、打造生态鸟岛,因地制宜配植湿生、挺水、浮水和沉水植物,促进湿地生态系统恢复,提升生境异质性和稳定性,最终恢复不同湿地植物群落相互镶嵌的空间格局,为湿地动物提供多样的栖息地、食源地。充分利用鱼塘周边水源,枯水期引水到各植被修复区的鱼塘,水流经过各鱼塘,通过各鱼塘的沉淀、植物吸收净化作用,再流进拉市海;丰水期湖泊水位上升,自然进入各修复区的鱼塘,全面恢复湿地生态系统。

3.2.2 修复措施

1) 对简易建筑、硬化路面的拆除

对鱼塘周边的简易建筑、硬化路面及其周边垃圾进行拆除清理,特别是对 5 号鱼塘塘埂上的烧烤房、茶室、休息亭等简易建筑物以及塘埂上的硬化路面进行拆除、清理。共拆除各类建筑物面积 12 990.5 m²,清理简易建筑、硬化路面等建筑垃圾约 8 000 m³,将各类建筑垃圾清运出保护区,对运出的垃圾进行妥善处理,选择适宜地点集中堆放、处理、覆盖,并对表面进行植被修复。

2) 对鱼塘的降埂处理

对大部分鱼塘的塘埂进行降埂处理,降低水深,利于植被修复。退养鱼塘区域总面积 40.066 8 hm²,其中鱼塘降埂面积 8.019 5 hm²。

降埂土方处理:对鱼塘塘埂开挖降低后,建筑垃圾、生活垃圾等全部运出保护区进行妥当处置,其余土方回填鱼塘,适当平整回填土方,为湿地植被恢复提供必要的地形基础。土方平整保持原鱼塘的阶梯状布局,保持鱼塘水深 0.3~0.6 m,保证各鱼塘间水的由上而下动态流动,实现沉淀、净化水质作用。土方平整时适当打造生态鸟岛,构建必要的鸟类栖息地。

3) 植被修复

植被修复区域与面积:植被修复区主要为鱼塘塘面、塘埂等区域。实施退养鱼塘生态修复总面积为 40.066 8 hm²,其中人工种植植物修复面积不超过 30%,其余为自然修复面积。

湿地植物物种选择:根据拉市海原生湿地植物现状,结合鱼塘小环境,湿地修复种植植物全部选择本土物种,杜绝引入外来植物。选择退养鱼塘生态修复的植物物种主要分湿生植物、挺水植物、浮叶植物、沉水植物 4 类湿地植物,湿生植物主要有狗牙根(*Cynodon dactylon*)、假稻(*Leersia japonica*)、牛筋草(*Eleusine indica*)等,挺水植物主要有芦苇(*Phragmites australis*)、香蒲(*Typha orientalis*)、菖蒲(*Acorus calamus*)、菰(*Zizania latifolia*)、灯心草(*Juncus effusus*)、水葱(*Schoenoplectus tabernaemontani*)、荸荠(*Eleocharis dulcis*)、水蓼(*Polygonum hydropiper*)等,浮叶植物主要有细果野菱(*Trapa incisa*)、两栖蓼(*Persicaria amphibia*)、荇菜(*Nymphoides peltata*)等,沉水植物主要有眼子菜(*Potamogeton distinctus*)、海菜花(*Ottelia acuminata*)等。

湿地植物配置:因退养鱼塘之间相对独立,可根据鱼塘分布现状,植物种植时配置不同湿地植物区域,打造不同的湿地植被景观,使植被修复区有层次感,在满足功能需求的基础上,凸显美学价值。在鱼塘塘埂和生态鸟岛上主要种植狗牙根等湿生植物,利于鸟类栖息和人工巡护;在距湖岸较远的鱼塘区域,因水较浅,鱼塘周边或中间配置种植灯心草、水蓼、荸荠等植物,水面配置种植细果野菱、眼子菜等;在距湖岸较近的鱼塘周边或中间配制种植芦苇等植物,水面配置种植两栖蓼、眼子菜等。

通过退养鱼塘植物植被修复,丰富湿地植物多样性,改善湿地环境,提升湿地生态功能,充分发挥湖滨带效用,逐步成为越冬水禽主要栖息地、食源地(图 5,图 6)。

3.3 入湖河段生态修复

3.3.1 修复思路

入湖河段植被修复主要在大沙河、溪沙河、美泉



图 5 退养鱼塘生态修复前现状

Fig. 5 Status of retired fish ponds before the restoration



图 6 退养鱼塘生态修复后效果

Fig. 6 Effect of retired fish ponds after the restoration

河、老落坎河等河流段实施,在环湖公路以下消除硬化直(路)面、降低河流岸线坡度、补植补种本土湿地植物,采取人工辅助修复的方式促进湿地植被修复。人工清理喜旱莲子草,科学配植沉水、浮水、挺水和湿生植物,打造本土湿地植被群落,促进湿地植被修复。

3.3.2 修复措施

1) 河岸线处理

在环湖公路以内的河段,急需处理、整治的河段共 11 条(段),需处理河段长度为 3 530.9 m。

垃圾清理:对河道、河岸的各类垃圾进行清理,运出保护区。

河岸处理:对各河岸硬化的剖面进行清除,对清除的石块、建筑材料进行合理利用,对不能利用的运出保护区。清除硬化剖面后,先进行河坝降低处理,总体高度与整个坡面高度基本一致,在此基础上再进行河岸线降坡处理,降低河岸坡度,适当将河道改弯处理,降低水流速度。对所挖土方进行平整处理,为湿地植被修复打好基础。

外来植物清理:人工清理河道内的喜旱莲子草等外来植物,并运出保护区妥当处置。

2) 河道湿地植被修复

对整治后的河段开展植被修复,并结合局部地形特点、水系情况等,配置种植湿生、挺水、浮水、沉水植物等湿地植被,增加生境异质性,营造涉禽、游禽等多种鸟类适宜生境。植被修复面积 26 864.1 m²。

植物选择与配置:水流较快区域配置芦苇、香蒲、菖蒲等深根性湿地植物,水流较慢区域配置灯心草、水葱、荸荠等植物。配置方式为品字形、线型配置。

3.4 破碎化湖滨带治理

3.4.1 修复思路

降低航道两侧的航埂、道路,土方回填航道,补植补种本土湿地植物,恢复湿地植被群落。通过科学配植挺水和湿生植物,营建本土湿地植被群落,促进湿地植被修复,恢复航道自然生态。

3.4.2 修复措施

1) 航埂(道路)处理

实施处理的破碎带长 13 268.1 m。对航道两侧的航埂、道路进行处理,降低航道两侧的航埂、道路,产生的土方回填航道,降低水深,利于植被修复。与河道相连的航道水深保持在 0.5 m 左右;与河道不相连的航道,回填土方基本与原地面高度保持一致,也可在适宜区域营建几个鸟岛。

2) 植被修复

植被修复面积:植被修复面积为航道回填面积和道埂开挖面积,航道回填面积 12.046 85 hm²,道埂开挖面积与航道回填面积基本一致,实际植被修复面积为 24.093 7 hm²。

湿地植物物种选择:根据拉市海原生湿地植物现状,结合航道小微环境,全部选择本土物种,杜绝引入外来植物。因修复区域在丰水期大部分区域被水淹没,枯水期无水,种植植物物种主要选择湿生植物、挺水植物,湿生植物主要是狗牙根、假稻、牛筋草等,挺水植物主要是芦苇、香蒲、菖蒲、菰、水葱、水蓼、灯心草、荸荠等。

植物配置:根据航道不同区域、不同位置配置不同湿地植物,与自然景观协调统一。与河流相连的航道修复区,因河道有柳树、芦苇等较高植物,植物配置时主要选择芦苇、香蒲、菖蒲、菰、水葱等,与河道植物相呼应;与原来的码头、营地相连的航道修复区,因周边无较高植物,植物配置时主要选择狗牙根、灯心草、荸荠、水蓼、两栖蓼等植株较低矮的湿地植物,主要与周边自然环境协调一致。通过航道回

填、土地平整及植物种植等措施,修复湿地植被,丰富湿地植物多样性,改善湿地环境,提升完善湿地生态功能(图 7,图 8)。



图 7 遗留航道现状

Fig. 7 Status of remaining waterways



图 8 遗留航道修复效果

Fig. 8 Restoration effect of remaining waterways

3.5 外来动植物物种防控

3.5.1 防控思路

坚持生态治理效果最优、治理成本最低,治理方式可行性和防治结合原则,对拉市海湿地外来动植物开展人工清理防控。采用人工拔除或割除的方式清除喜旱莲子草等外来植物,结合清除区域的水土条件科学配植湿地植物,促进本土植物恢复。采取人工打捞、布设虾笼等方式控制牛蛙、福寿螺、小龙虾等外来物种的数量和分布区域。同时,加强对外来物种的科学监测,掌握其动态信息,做到科学防治。

3.5.2 防控措施

外来植物人工防控措施:采取人工拔除和铲除等方法,对以喜旱莲子草为主的外来植物进行清理。一年分夏、冬两次对区域内的外来有害植物进行清

理,恢复乡土植物的生存发展空间,为拉市海高原湿地植物群落的健康和稳定提供保障。

外来动物人工防控措施:对小龙虾采取人工或设置虾笼的方法进行集中诱捕,捕捉后进行无害化处理。捕捞时间为每年的 6—8 月。对牛蛙采用声音诱捕法、小网捕捉法进行捕捞,捕捞时间为牛蛙的交配季节 4—6 月。对福寿螺采用人工捕捞和诱捕器捕捞,捕捞时间为每年的 2—4 月。注重对越冬成螺捕捞,抓好第一代成螺产卵盛期前的防治工作。

植被修复:对于喜旱莲子草等密集分布的清理区域,由于清理空间区域较大,应及时种植本土湿地植物,促进植被恢复。

调查监测:对喜旱莲子草、小龙虾、福寿螺和牛蛙等外来物种的分布、数量、繁育情况和影响程度等进行定点、定位、定期监测,掌控其动态信息,分析人工治理成效,为防控方式、作业强度和频率等的选择提供理论依据,做到有效防控,科学防控。

4 结 语

通过退化沼泽湿地、退塘还湿、入湖河道生态修复以及破碎化湖滨带治理、外来物种防控等项目的实施,湿地整体生态环境将得到改善,候鸟栖息地、食源地得到修复,湿地植被和生物多样性明显增加,湿地景观得到优化,湿地生态服务功能有所提高。

致谢:在调查过程中得到丽江市林业局、玉龙县林业局、自然保护区管护局的大力支持,并派出技术人员参与野外调查,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] 云南省林业调查规划院. 拉市海国际重要湿地生态保护与修复项目可行性研究报告[R]. 2021.
- [2] 杨忠兴,华朝朗,余昌元,等. 玉龙县亚高山沼泽湿地植被研究[J]. 林业资源管理,2014(1):131-139.
- [3] 杨忠兴. 云南省玉龙县湿地资源调查与保护管理对策[J]. 福建林业科技,2014,41(2):183-188.
- [4] 杨忠兴,陶晶,郑进焯. 云南湿地外来入侵植物特征研究[J]. 西部林业科学,2014,43(1):54-61.
- [5] 国家林业和草原局昆明勘察设计院. 丽江拉市海高原湿地省级自然保护区总体规划(2015-2025年)[Z]. 2015.
- [6] 云南省重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021-2035年)[Z]. 2021.
- [7] 自然保护区建设及野生动植物保护重大工程建设规划(2021-2035年)[Z]. 2020.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.008

丽江市古城区湿地保护修复研究

樊骥善, 高林

(云南省林业调查规划院生态分院, 云南 昆明 650031)

摘要: 丽江市古城区湿地在生物多样性保护、区域气候调节和调蓄洪水方面发挥着其重要生态功能, 目前存在着资源面积萎缩和破碎化, 湿地污染严重, 对生物资源过度利用, 对水资源利用不合理, 湿地管理资金投入不足等问题。藉此, 提出加强湿地保护利用体系和共建共管体系及其宣教体系建设, 开展湿地物种保护及其生境修复, 开展水源保护、湖滨带保护、汇水面山以及流域两岸植被保护, 进行湿地基底修复、污染治理和生态修复, 加大对湿地的调查监测能力和科研水平的提升力度等丽江市古城区湿地保护修复策略。

关键词: 湿地资源; 湿地保护; 湿地修复; 湿地监测; 丽江市古城区

中图分类号: X717.4; Q178.5 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0040-06

引文格式: 樊骥善, 高林. 丽江市古城区湿地保护修复研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 40-45. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.008

FAN Jishan, GAO Lin. Wetland Protection and Restoration in Gucheng District of Lijiang City[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 40-45. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.008

Wetland Protection and Restoration in Gucheng District of Lijiang City

FAN Jishan, GAO Lin

(Ecology Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650031, China)

Abstract: The wetlands in Gucheng District of Lijiang City play an important ecological function in biodiversity conservation, regional climate regulation and flood regulation. Currently, there are problems such as shrinking and fragmentation of resource areas, severe wetland pollution, excessive utilization of biological resources, unreasonable utilization of water resources, and insufficient investment in wetland management. Therefore, this paper proposed to strengthen the construction of wetland protection and utilization system, co-construction and co-management system, and education system, carry out wetland species protection and habitat restoration, water source protection, lakeside protection, watershed mountain and vegetation protection, wetland base restoration, pollution control and ecological restoration, and increase the investigation and monitoring capabilities and scientific research level, to enhance the wetland protection and restoration strategies in Gucheng District of Lijiang City.

Key words: wetland resources; wetland protection; wetland restoration; wetland monitoring; Gucheng District of Lijiang City

丽江市古城区位于云南省西北部, 属长江上游地区, 拥有较完备的湿地类型, 湿地在生物多样性保

护、区域气候调节和调蓄洪水方面发挥着生态功能, 然而, 随着区域人口的急剧增长和经济的快速发展,

收稿日期: 2022-07-22.

第一作者: 樊骥善(1987-), 男, 云南宣威人, 助理工程师. 主要从事林业调查规划工作. Email: 362254451@qq.com

责任作者: 高林(1972-), 男, 云南宣威人, 工程师. 主要从事林业调查规划工作. Email: 1186902887@qq.com

受农田扩展、城镇扩容,水利、渔业和旅游业等带来的一些不合理开发活动的影响,导致对湿地自然资源利用强度趋增,加之人们对湿地的保护意识还未认识到位,受眼前利益驱动,一些不合理的人为活动时有发生,湿地生态系统面临的形势十分严峻。本文从古城区湿地资源以及保护利用现状出发,分析古城区湿地保护和利用中存在的现实问题,参阅国内外湿地保护修复等技术,借鉴湿地保护方面的好经验,提出古城区湿地保护利用对策和建议。为促进古城区湿地生态系统的良性循环,推动整体湿地保护提供借鉴和参考。

1 湿地资源现状

1.1 湿地资源类型、面积

根据《2018年丽江市湿地核查矢量数据》统计,古城区湿地总面积1 969.08 hm²,分为4个湿地类6个湿地型,其中,自然湿地有河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地3个湿地类4个湿地型,人工湿地1个湿地类2种湿地型。

古城区自然湿地面积493.71 hm²,占湿地总面积的25.07%,其中,河流湿地408.49 hm²,占湿地总面积的20.75%,湖泊湿地53.68 hm²,占比2.72%,沼泽湿地31.54 hm²,占比1.60%;人工湿地1 475.37 hm²,占比74.93%。

从湿地型分析,永久性河流湿地391.39 hm²,占湿地总面积的19.88%;季节性和间歇性河流湿地17.1 hm²,占比0.87%;永久性淡水湖湿地53.68 hm²,占比2.72%;草本沼泽湿地31.54 hm²,占比1.6%;库塘湿地1 434.84 hm²,占比72.87%;运河、输水河湿地40.53 hm²,占比2.06%。

1.2 湿地生物资源

根据《古城区第二次湿地资源调查报告》《古城区九子海省级重要湿地认定报告》以及本次野外调查及资料收集,古城区湿地保护小区分布有维管束植物59科154属187种。其中蕨类植物有5科5属6种,裸子植物有2科2属2种,被子植物有52科147属179种。在动物资源方面,古城区分布有湿地野生脊椎动物5纲14目25科49种,包括国家Ⅱ级保护野生动物3种。

1.3 湿地非生物资源

古城区湿地非生物资源主要包括水资源、景观资源等。

全区水资源总量(不含金沙江过境流量)5.237亿m³,产水模数39.5万m³/km²,人均占有水量3 330

m³;区域年均降雨量950 mm,雨量丰沛。水资源从总体上较丰富,但过境流量多,时空分布不均匀,工程性缺水、水质性缺水、资源性缺水矛盾交织。

古城区湿地在小景观尺度上有湖泊、草甸、山林、河流一起构成的丰富多样的生境类型,在全市乃至全省湿地类型中独具特色,具有很高的观赏、文化和美术价值的湿地景观。独特的湿地自然景观和丰富多样的野生动植物资源,吸引了众多游客前去休闲、娱乐、旅游观光。

2 湿地面临的主要问题

2.1 湿地资源面临的问题

2.1.1 湿地资源面积萎缩和破碎化

无序地开垦湿地、对天然湿地进行利用以及各种建设占用等各种侵占湿地的现象造成湿地面积减少、生态环境退化、生物多样性降低是古城区湿地面临的主要问题。古城区湿地中大多都面临着这些问题,特别是乡村天然湿地被开垦,是造成湿地面积萎缩的主要原因。另外水土流失也是造成湿地面积萎缩的一个重要原因。特别是雨季汛期,大量雨水对石漠化山体进行冲刷,导致地表径流混入大量泥沙,这些混有泥沙的水流流入湿地,造成泥沙淤积,导致湿地缩减。另外,城市周边建设如房地产开发也是造成湿地面积缩减的原因,随着经济的发展,城市规模的扩大,这种趋势将会越来越严重。

2.1.2 湿地污染严重

环境污染对湿地生态系统的威胁非常严重。环境污染改变了湿地水质状况,使湿地生态系统、生物多样性受到破坏。就古城区而言,农业污染、养殖业污染、工业污染、旅游污染以及村民生产生活污染为主要污染因子。

湿地周边在农业生产过程中大量使用农药化肥,除部分被土壤及作物吸收外,另外很大一部分通过地面水和地下水渗入湿地。由于全区山地面积比例大,对相对低平的湿地农业利用强度较大,对由此产生的面源污染治理难度大。湿地周边村落牲畜养殖产生的粪便也是造成湿地污染的主要因子之一。

丽江是著名的旅游城市,随着湿地旅游业的不断发展,旅游人数增加,使旅游业带来的污染日益严重。如在观音峡景区的黄龙潭湿地,因游客产生的大量垃圾未得到有效收集,导致部分垃圾间接进入湿地。

2.1.3 湿地生物资源的过度利用

古城区湿地是全区经济发展支撑性基础资源和

重要环境,湿地保护与资源可持续开发利用矛盾较为突出。湿地生物资源是利用最普遍、受害最严重的自然资源,而过度捕捞、水电站建设等是影响湿地生物资源最主要因素。

2.1.4 湿地水资源的不合理利用

对于湿地而言,水资源的不合理利用主要表现为湿地上游的水利工程建设,导致水源被截留,大量的工农业生产和生活用水导致湖泊、河流、库塘蓄水量逐年减少,造成湿地面积萎缩,湿地生物多样性减少。另外,金沙江上的金安桥水电站、龙开口水电站的开发利用使大量自然河流湿地转变为人工库塘湿地,隔断了自然河流与湖沼等湿地水体之间的天然联系,天然湿地变为人工库塘的过程中未考虑鱼类和虾蟹类等水生动物的洄游,洄游通道受阻塞,导致鱼、虾、蟹类的栖息与繁殖受到影响,使许多珍稀湿地生物物种受到威胁。

2.2 湿地管理、科研和社会层面的问题

2.2.1 管理体制和协调机制有待完善

湿地资源的保护、利用、管理牵涉面比较广,目前很多湿地在利用上被多个部门管理,另外在保护上缺乏综合协调机制。虽然地方林业主管部门成立湿地保护管理机构,具体负责组织、指导和监督行政区内的湿地保护管理工作,但由于成立的时间比较短,部分机构在人员配备上还不足。其次,湿地保护涉及水务、生态环境、农业农村等多个部门,但各部门间的配合协调机制不顺,很多数据资源未得到共享和利用;各部门在开展湿地保护相关工作方面各自为政,且涉及到责任方面还存在相互推诿和扯皮的情况,不能很好地按照湿地生态系统的系统性、完整性管理的要求有序推进湿地保护工作。

2.2.2 基础研究和技術支撑薄弱

湿地科学是跨学科的新兴科学,涉及很多领域。目前国内从事湿地研究的人员很少,另外信息交换、合作研究、人才交流渠道缺乏,缺少项目评估、专家决策咨询组织,制约了我国湿地保护和管理工作的有效进行。就古城区的状况看,目前对湿地保护和利用的基础研究还比较薄弱,同时对湿地管理和保护的技术手段也相对落后,现代化的管理技术和手段滞后,严重影响到相关部门对湿地的有效管理。

2.2.3 湿地管理资金投入不足

对于湿地保护与管理工作的来说,资金投入的不足也是制约其工作开展的主要问题之一。就古城区而言,政府对湿地保护投入的经费明显不足,致使很多湿地保护管理工作很难开展。古城区地处西南边

陲,经济发展还较为滞后,财政薄弱,而湿地保护与治理都是长期的过程,治理好转后还需要有效的保护措施,这些工作均需要大量资金。目前古城区湿地保护管理资金缺口较大,在湿地调查监测和湿地研究、湿地恢复以及人员培训等方面均存在资金缺乏情况。

2.2.4 全社会湿地保护意识尚未完全形成

湿地保护是一项长期的事业,但目前对于湿地保护与合理利用的宣传教育工作有待提高,湿地价值和重要性在公众认知中还比较薄弱,部分地方政府领导和群众的湿地保护意识淡薄,重视眼前利益而忽略长远利益,重开发轻保护现象严重,认识不到湿地的重要性,把湿地视为耕地占补和建设用廉价牺牲品。古城区重要湿地周边往往人口较多且集中,湿地周边群众的生活方式和生产发展与湿地变迁有着密切关系,应使当地群众充分认识到保护湿地的重要性,并通过一定经济手段提高其保护湿地的积极性,使湿地周边群众成为湿地保护的主体,对湿地保护至关重要。由于湿地保护与利用之间的责权不对等,未建立群众参与保护湿地的共管机制,加之,湿地和流域生态补偿机制尚未形成,导致群众保护湿地的积极性不高。

3 湿地保护修复策略

3.1 制度层面

3.1.1 加强湿地保护利用体系建设

根据古城区湿地现状、生物多样性、生态区位特点,将全区湿地划分为省级重要湿地和一般湿地。加强对省级重要湿地的保护管理,推进一般湿地认定工作。加快对符合国际、国家重要湿地和省级重要湿地认定标准的湿地的认定。及时公布一般湿地名录,对湿地进行动态管理,在开展一般湿地认定工作中充分听取区政府、乡镇(街道)意见,对认定后的湿地边界及管理主体进行明确,对湿地实施分类管理。

通过加强水源保护区建设,清除饮用水源保护区内的污染风险因子,对保护区内的人为生态破坏区域进行修复,保证饮用水源水质稳定达标,实现水资源和生态系统的良性循环。

加强湿地保护小区建设也是保护湿地的一种新形式,湿地小区是服务于地方生态建设而被予以特殊保护管理的湿地区域,在保护地方重要湿地、水资源及野生动植物资源方面具有很多优势。

建立有效的湿地保护管理体系,对全区湿地保护和利用发展目标有着重大影响。湿地资源保护和

合理利用管理涉及多个政府部门和行业,需要各部门之间在湿地管理方面建立一个高效的协调合作机制。对于湿地保护利用,设立一个专门的工作机构来制定工作制度,明确各方的职责很有必要。

3.1.2 加强规章制度建设

1)根据相关法律法规以及相关规章制度,对现行政策和法律法规进行评估,对古城区有关湿地的规章制度进行及时增补、修订、完善。对政策中制约、阻碍湿地保护利用的内容进行修订。

2)将湿地保护利用纳入法治轨道也是制度完善中的关键。制定出台《古城区湿地保护管理办法》,将湿地保护与开发利用的方针、原则和行为规范纳入法治范围,同时规范管理程序,规范对违法行为的处理,为开展湿地保护和利用提供法制保障。

3)加大执法力度,对破坏湿地的行为进行有效打击。各级政府应定期组织监督检查湿地保护利用工作,使破坏湿地资源行为得到有效制止。

4)对湿地开发以及用途的变更要进行生态影响评估,严格按照相关审批管理程序进行审批,涉及湿地开发利用的项目严格依法论证、审批,并在其实施过程中加强监督管理。

3.1.3 开展共建共管体系建设

有效的湿地保护管理协调机制是全区湿地保护与利用发展目标是否实现的关键。政府应统筹协调各部门湿地保护工作,协调其权益关系,做到明确职责,以确保全区湿地保护事业健康有序发展。

保护和合理利用湿地资源需要政府、非政府组织以及广大人民群众通力合作,涉及湿地的各有关机构应加强交流与协调,建立起一套部门间的公共决策协商机制,对湿地的保护意见协调一致;同时在探索湿地保护利用过程中应加大社会组织、人民群众的参与力度,形成一个由政府主导,社会组织、人民群众共同参与的共管机制。

3.2 湿地保护策略

3.2.1 加强湿地物种保护及其生境修复

据《丽江市古城区湿地资源调查报告》,古城区湿地植物有报春花、水毛茛、草玉梅等物种。国家Ⅱ级保护物种有3种,即红瘰疣螈、红隼、水獭。另外,金沙江中还生存着大量的土著鱼类,但随着湿地生境恶化,人为过度开垦、过度捕获,其分布范围急剧缩小,急需采取措施加以保护。

针对湿地植物,通过采取禁止放牧、禁挖草坪、污水分流及处理以及退耕还湿等保护措施,有效恢复土著植被,同时加强对外来入侵物种的管理,以此

来改善报春花等湿地植物的生存环境。改善日益退化的植物生态系统。针对珍稀动物,有针对性地建立保护小区,采取加强执法管理、限制水质污染等措施进行保护。对于金沙江流域各类保护点的土著鱼类,应制定禁渔区、禁渔期,落实就地保护措施。针对古城区特有鱼类进行人工驯养,开展人工繁殖研究。对珍稀鱼类产卵繁殖场、索饵场生态环境实施动态监测,利用标记和跟踪技术对珍稀鱼类进行调查,进一步研究其分布区域、繁殖和生活习性,为湿地保护工作提供理论基础。

3.2.2 加大水源保护力度

清溪水库、黑龙潭、团山水库是古城区重要的集中式饮用水源地,承担着城市生活饮用水的供水重要任务,同时兼顾着城市景观用水和农业生产生活用水。其环境状况及其功能的发挥直接影响到古城区的生产、生活和湿地生态系统,在湿地保护中起着举足轻重的作用。

针对清溪水库水源保护区(包括清溪水库和黑龙潭),应设定界碑或界桩,禁止任何单位和个人破坏、擅自改变保护标志和界桩。在库区及周边设置警示标志、宣传牌板,进一步宣传保护水源地的的重要性和必要性,明确对攀爬、翻越铁栅栏等违反水源管理有关规定行为的处罚措施,使保护管理规范化。

在清溪水库、黑龙潭、团山水库汇水小流域的坡麓荒地营造生态防护缓冲林带,同时采取清理水库岸边畜禽粪便、水库边缘地带漂浮的腐质水草和枯枝败叶以及禁牧禁猎等措施,使城市饮用水的安全得到保障。

对于有旅游价值的水库,结合其自身特点开发其旅游价值,将其打造成开放式水利风景区,在开发过程中,对建设中以及旅游过程中产生的“三废”需建设专业的处理设施,并配有环保服务人员;对后期植被修复以及树种引入景观绿化等工作均需严格按照规定执行。在保障区域生态环境可持续发展的基础上开发当地文化旅游新模式。

3.2.3 加强汇水面山以及流域两岸植被保护

古城区主要湖泊、水库的汇水面山以及金沙江支流两岸均开展过植树造林,但由于历史上破坏严重,周围山地的原始植被曾遭到大量砍伐,目前除有少量次生林外,大多为岩石裸露的荒山荒坡和人工栽植的柏树、云南松林等,树种较为单一,林下植被稀疏,山地石漠化较为严重,雨水冲刷导致大量泥沙流入湖泊河流,致使湿地面积缩小。因此,应对汇水面山、流域两岸的植被进行有效保护,对树种单一、结构不合理的林分进行改造。

3.2.4 加强对湖滨带的保护

对兼有旅游价值的湿地,如黄龙潭(观音峡景区)、黑龙潭(玉泉公园),应采取严格措施对现有湿地植被加以保护:(1)严禁开垦破坏湖滨带以及过度打捞水生植物等任何改变现有水生植物群落的现象及破坏活动。(2)适当割除或打捞部分水生植物以便维持合理的面积及其密度,既有效保护湖滨植物,又合理利用湿地资源,维护湖滨湿地生态系统的稳定和平衡;对非法占用湖滨带和破坏湖滨沼泽的旅游服务设施进行严格管理,通过人工种植芦苇、菖蒲、海寿花等以恢复湖滨植被。

3.3 湿地修复策略

湿地生态恢复的理论基础是恢复生态学。恢复生态学是研究生态系统退化的原因、退化生态系统恢复和重建的技术与方法、生态学过程与机理的科学^[1]。湿地兼具陆地和水域的特点,决定了湿地生态系统易受到自然以及人为活动的影响,湿地生态极易受破坏,破坏后恢复比较困难。另外,湿地多样的动、植物群落决定其具有较高的生产力和丰富多样的生物物种与生态系统类型。因此,在对湿地实施生态恢复时应充分考虑湿地生态特点。

3.3.1 湿地基底修复

在湿地生态系统中,湿地地表基底的稳定性关系到湿地生态系统的稳定,对生态系统的演替与发展具有重要意义。

受污染的底泥中含有重金属、有机质分解物和动植物腐烂物,这种底泥仍可使湿地水质受到二次污染。因此,要加大城市污水处理力度,避免城市生活污水直接进入河道,减少河床污泥量。疏浚河床,清除底泥就是要疏通河道,对淤泥进行清理,防止底泥对水质的二次污染。

另外,湿地退化与湿地面积萎缩等一系列湿地环境丧失导致生物多样性减少的状况与围湖造田直接相关。围湖造田不仅切断了湿地景观上的完整性和连续性,导致自然湿地破碎,面积减少,原有水生植被群落结构遭到破坏,生物多样性减少。因此,必须强化湿地管理,在全面禁止无序围垦湿地的基础上,退耕(塘)还湿,尤其是九子海湿地。退耕(塘)还湿是退化湿地生态系统恢复的重大项目,根据相关政策,对失去土地的农户给以必要补助,使其在工程实施后生活有保障。

3.3.2 湿地污染治理

恢复湿地良好的水质状况,改善湿地水文条件,控制水源污染,是改善湿地和恢复湿地的重要举措。古

城区全区河流均属金沙江水系,境内河流大多短促,主要河流有金沙江及其支流漾弓江、黑水河、文化河、银河等。在入河污染总量构成中,农村面源污染和城市生活污染仍占主要地位。目前对湿地保护较为有效措施是控制污染源,即加大城市污水处理能力,避免城市生活污水直接进入河道,以减少对湿地的污染。

另外,实地调查中发现,湿地周边村、社大量不经处理的生活污水、生活垃圾、人畜粪便等直接和间接排入水体,导致水体污染。流经村庄、农田的河流存在面源污染问题,其污染源主要为农业化肥、农药使用产生的面源污染及周边居民生活垃圾污染。因此,在集中的生活垃圾倾倒处通过采取垃圾集中回收箱、设置指示标语的方式集中收集生活垃圾,减少入河点状污染。

种植业是湿地周边社区的支柱产业,传统的农业生产方式是依靠不断地施用化肥和农药来增收,其化肥和农药随地表径流流入湿地水体,从而对水质产生影响并构成威胁。针对农业面源污染,除推行生态农业,进行种植结构调整外,采取全面推广农田测土配方施肥(含控释肥),发展农田生物多样性种植,进行面源污染控制技术试验、示范、推广,对农户进行环保和农业技术为主的培训,全面提高农户的综合素质。在湖泊汇水区域的农田边缘以及河流汇水区域的农田边缘分别构建缓冲带,过滤净化地表径流泥沙、降低径流中的营养物质,从源头上解决水质污染问题。

3.3.3 湿地生态修复

生态修复,主要是通过人工方法,按照自然规律恢复天然的生态系统,应根据古城区气候特点、湿地类型、经济等因素进行生态修复,制定适当的湿地生态恢复措施。同时考虑生态演替规律,坚持生物多样性原则,根据生态系统自身演替规律进行修复。

湿地生物恢复技术主要包括物种选育和培植技术、物种引入技术、物种保护技术、种群动态调控技术、种群行为控制技术、群落结构优化配置与组建技术、群落演替控制与恢复技术等^[2]。古城区应通过开展水质净化、栖息地营造、必要时进行人工干预进行物种招引,以改善动植物栖息环境,维护生物多样性,对湿地内的珍稀濒危物种必要时进行增殖扩繁,提高种群数量后有计划地进行放生。此外,通过生物廊道和缓冲地带建设保持物种的交流。另外,要加强对外来入侵物种的监测管理,外来物种入侵会破坏水生生态系统的平衡,威胁本地生物多样性,加强对其监测预警并采取有效防治措施也是湿地生态

修复过程中的重要一环。

3.4 对湿地监测和科研方面的建议

3.4.1 加大对湿地调查监测能力的提升力度

湿地监测能力建设主要有遥感监测、样地监测、专项监测、外来入侵物种监测。遥感监测是快速获取湿地类型、分布的重要手段,采用現地调查与前期调查数据、各类现有资料、专家经验相结合,对近期高分辨卫星数据进行判读,更新古城区湿地资源数据库,为古城区湿地保护管理提供科学依据。对古城区湿地重点植被、植物、动物、环境等样地开展样地监测,对全区湿地生态环境进行动态分析,为湿地保护管理提供科学依据。加强对重点湿地如九子海、清溪水库、黑龙潭、黄龙潭、团山水库、漾弓江及金沙江等湿地生态环境的专项监测。对外来物种进行定期监测。

在古城区湿地资源调查监测基础上,建立湿地资源及其生态信息数据库,建立以地理信息系统、遥感和全球定位系统等先进技术为基础的湿地生态信息管理系统,同时借助地理信息技术、计算机技术和网络技术,建立以数据采集录入系统、地理信息系统、数据管理系统、信息分析提取系统为内容的县级湿地信息网络体系,实现湿地各类数据科学使用和湿地数据资源共享。

3.4.2 提升湿地科研水平

湿地科学研究是认识和了解湿地的主要途径,是湿地保护和合理利用的科学依据,也是促进湿地保护和可持续利用发展的重要保证。

1) 加强科研队伍建设

结合湿地保护管理实际和工作需求,与高等院校、科研院所协作,培养有关湿地保护方面的科研人才,也可通过人才引进提升本地科研水平。建立古城区湿地保护与可持续发展研究科学咨询委员会来指导湿地科研工作。同时为湿地研究项目评估以及开发项目的咨询评审等提供咨询服务。

2) 积极开展科研项目研究

根据古城区湿地资源现状,结合现有科研基础,开展以基础应用研究为主的湿地科学研究,坚持研究的系统性、连续性、层次性,并兼顾远期的战略意义和远期与近期的应用意义,以基础研究与应用研究相结合的方式科学研究。具体研究内容可以从以下几方面开展:九子海省级重要湿地研究、金沙江及其支流重点流域湿地自然恢复机制研究;古城区湿地生态系统服务功能评价及其生态补偿机制研究和试点;湿地产品开发和生态旅游潜力研究;金沙江流域高原河流生态系统与森林生态系统的关系研究;湿地

产品开发和生态旅游潜力研究;湿地外来入侵物种防治措施研究;高原湖泊湿地水产养殖对湿地生物多样性的影响研究;高原湖泊湿地水生植被恢复和重建措施研究;湿地外来入侵物种防治措施研究等。

3.5 加强宣教体系建设

湿地保护宣传机制是指湿地保护主管部门或湿地研究机构及湿地保护区内部建立的湿地生态科普宣传教育基地和场所或媒体。

1) 定期或不定期地开展针对广大群众的宣传工作。通过网络、现场发传单、搞展板等方式扩大宣传面和宣传力度。

2) 结合特定的活动,如“世界湿地日”等,集中开展有关湿地保护、湿地功能以及野生动植物保护方面的宣传。

3) 通过学校教育,抓好大中小学生对湿地保护方面的教育,使学生从小建立起湿地保护意识,为湿地保护利用工作提供一个良好的社会氛围。

4) 加强与志愿者机构联系,让更多人加入到湿地保护的行列中来。调动社会各个方面力量参与到湿地保护工作中来。

4 结 语

古城区湿地在景观尺度上具有河流、湖泊、草甸、沼泽、高山、森林多样景观构成的复杂多样的生境类型,在丽江市乃至云南省湿地类型中独具特色,是具有很高的美学、观赏、生态旅游、文化和艺术价值的湿地景观。由于对湿地的保护意识不强、资源开发利用不合理等造成的自然湿地面积萎缩、湿地功能退化等问题日益凸显。本文从古城区湿地资源以及保护利用现状出发,分析古城区湿地保护和利用中存在的一些现实问题,参考国内外湿地保护修复技术,借鉴湿地保护的一些好经验,为建立湿地保护体系,完善湿地保护机制,在湿地保护以及修复方面提出建议。为更好地处理人类发展与湿地保护的关系,充分发挥湿地功能,推动湿地保护与利用工作提供参考。

参考文献:

- [1] 余作岳,彭少麟. 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学[M]. 广州:广东科学技术出版社,1996.
- [2] 张永泽. 自然湿地生态恢复研究综述[J]. 生态学报, 2021, 21(2): 310-313.
- [3] 云南省林业调查规划院生态分院. 丽江市古城区湿地保护修复规划[Z]. 2019.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.009

自然保护区林地水源污染修复及防治策略研究

马力子, 于海洋, 田国行

(河南农业大学 风景园林与艺术学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 林地水源污染关系到整个自然保护区内生物的生存与发展, 为保护水源水质开展了水源污染修复及防治策略研究。以某自然保护区内的一处水源地为例, 采集试验所需的原水, 在选取试验试剂和设备的基础上, 确定 4 项水质分析项目和对应的检测方法。通过壳聚糖微球+活性渗滤反应墙、原位投菌技术来修复水源, 通过人工湿地和人工增氧来实现污染防治。结果表明, 修复策略实施后, 各项水质指标表现越来越好, 林地水源中浮游生物数量和叶绿素 a 含量逐渐上升, 重金属综合污染指数和高锰酸盐指数逐渐下降, 修复策略起到了应有的净化效果; 防治策略实施后, 前 1~3 d 内 4 项水质指标的表现仍在继续提升, 之后出现小幅度下降并最终维持在一个较为平稳的水平, 说明防治策略基本维持住了修复策略的实施效果, 起到了应有的防治作用。

关键词: 自然保护区; 林地水源污染; 水质分析; 污染修复; 污染防治

中图分类号: X171.5; S759.9 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0046-05

引文格式: 马力子, 于海洋, 田国行. 自然保护区林地水源污染修复及防治策略研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 46-50, 203. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.009

MA Lizi, YU Haiyang, TIAN Guoxing. Remediation and Prevention Strategies for Water Source Pollution of Forest Land in Nature Reserves[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 46-50, 203. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.009

Remediation and Prevention Strategies for Water Source Pollution of Forest Land in Nature Reserves

MA Lizi, YU Haiyang, TIAN Guoxing

(College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Water source pollution of forest land is related to the survival and development of organisms in the whole nature reserve. In order to protect water quality, it is important to study water source pollution remediation and prevention strategies. Taking a water source in a natural reserve as an example, the raw water required for the test was collected, and four water quality analysis items and corresponding detection methods were determined based on the selection of test reagents and equipment. For the raw water, the water source was first repaired by chitosan microspheres + active infiltration reaction wall, and in-situ bacterial injection technology, and then the pollution prevention was realized by artificial wetlands and artificial oxygen enrichment. The results showed that after the implementation of the remediation strategy, the performance of various water quality indicators became better, the number of plankton and chlorophyll a content in the forest water source gradually increased, the comprehensive pollution index of heavy metals and

收稿日期: 2022-11-17.

第一作者: 马力子(1994-), 女, 河南郑州人, 硕士研究生. 研究方向为风景园林生态安全. Email: 448181294@qq.com

责任作者: 田国行(1964-), 男, 河南封丘人, 教授, 博士生导师. 研究方向为风景园林生态安全. Email: tgh0810@163.com

permanganate index gradually decreased, and the remediation strategy had played a due purification effect; after the implementation of the prevention and control strategy, the performance of the four water quality indicators continued to improve in the first 1–3 days, then decreased slightly and finally maintained at a relatively stable level, indicating that the prevention and control strategy basically maintained the implementation effect of the remediation strategy and played a due role in prevention and control.

Key words: nature reserves; water source pollution of forest land; water quality analysis; pollution remediation; pollution prevention and control

人们为了扩大生产活动范围,不断侵占自然资源,使自然资源不断减少。自然资源的不断减少不仅损害了自然环境,还给人带来了反噬。基于此,人们逐渐意识到生态保护的重要性。自然保护区是为了保护自然环境与生态系统而设置的一方区域^[1]。通过人为干预和管理以控制人员进入该区域,从而避免因人为活动使该区域遭受破坏。为尽可能地保证自然保护区的生态平衡,对其各方面的修复和防治必不可少,其中林地水源污染就是其中重要的一项。水资源并不是在一个地区固定不变的,而是一直处于动态之中,因此,周围环境中一旦存在污染源,随着水运动也会污染自然保护区林地水源^[2]。而林地水源几乎供给了整个自然保护区各种自然资源和生物资源的水资源所需,一旦林地水源被污染,所造成的影响将是巨大的,会对整个自然保护区造成严重打击^[3]。

针对上述情况,对自然保护区林地水源污染进行有效修复和防治具有重要的现实意义。目前关于这方面的研究有很多,提出了很多技术和方法。例如张倩茹等人^[4]研究了生物炭的改性方法并将制备好的生物炭用于环境修复中,吸附水体中的污染物质,净化水质。李军等人^[5]针对无机氮,有机物和金属元素 3 类常见水体污染物,提出了基于微生物的修复方法,并对修复过程中的关键环节进行了具体阐述。罗华丽等人^[6]从海洋生物废弃物中提取到了壳聚糖这种物质,利用这种物质制成微球,将其投放到水源中可吸附水源中的污染物质。

总结前人研究成果,大多集中在水源污染修复上,对于后期防治的研究甚少。虽然经过修复后水质得到净化,但若不能进行进一步的防治,一段时期后水源还会被再次污染。因此,水污染修复和防治需双管齐下,才能保证自然保护区林地水源水质。基于此,进行了自然保护区林地水源污染修复及防治策略研究。

1 研究区概况

以某自然保护区内的一处水源地为研究对象(图 1)。

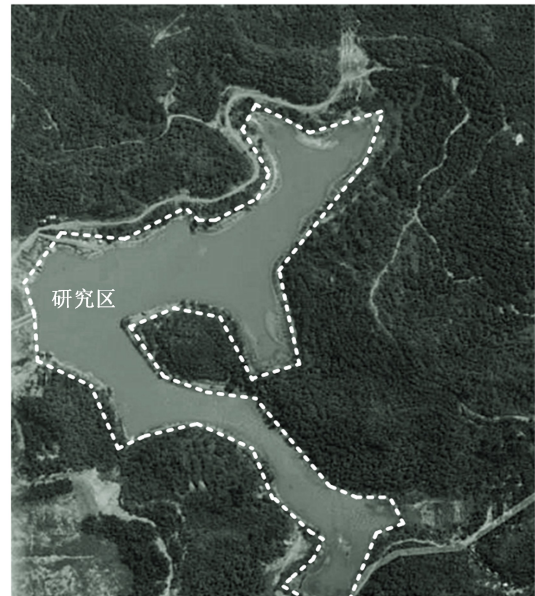


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the research area

该自然保护区周边开垦了大量农田,还有大量的居民居住区以及场区,因此,自然保护区内林地水源污染时常发生^[7]。为了保护自然保护区生态环境,进行林地水源污染修复和防治至关重要。

2 试验设计与方法

2.1 试验原水

自然保护区林地水源污染修复和防治试验所需水源均来自图 1 研究区水源地,在表层水面下 50 cm 处取样,取样点共计 8 个^[8]。在完成水源取样后,放入恒温箱中低温运输到实验室。

2.2 试验试剂与材料

自然保护区林地水源污染修复和防治试验所需

主要试验试剂与材料如表 1 所示。

表 1 试验试剂与材料

Tab. 1 Test reagents and materials

试剂名称	纯度	生产厂家
液体石蜡	分析纯	陕西海王盘龙医药有限公司
醋酸溶液	分析纯	西安百年康生物科技有限公司
甲醛溶液	分析纯	山东龙煤工矿机械有限公司
重铬酸钾	分析纯	青岛景弘环保科技有限公司

2.3 试验设备

自然保护区林地水源污染修复和防治试验所需主要试验设备如表 2 所示。

表 2 试验设备

Tab. 2 Test equipment

设备名称	型号	生产厂家
电磁搅拌器	RO-1D	拓赫机电科技有限公司
电子天平	ADVENTUR-ER AX	庞羽梁仪器仪表(上海)有限公司
计数框	JY-CC-F	北京金洋万达科技有限公司
显微镜	CX21	上海木森生物科技有限公司
玻璃纤维滤膜	M376595	北京海富达科技有限公司
研磨器	JY-1555	京仪(北京)仪器设备有限公司
离心机	D1524R	济宁市裕泽工业科技有限公司
荧光分光光度计	960CRT	北京宏达恒业科技有限公司
电热鼓风干燥箱	CV21	东莞市新远大机械设备有限公司

2.4 水质分析项目与检测方法

对自然保护区林地水源水质的检测项目包括 5 种。这 5 种水质分析项目以及对应的检测方法、检测标准如表 3 所示^[9]。

1) 浮游生物数量

假设 B 代表计数框面积, \hat{B} 代表计数面积, V 代表测试水样量, 则浮游生物数量计算公式为:

$$A = N \left[\left(\frac{B}{\hat{B}} \right) \times \left(\frac{C}{\hat{C}} \times V \right) \right] \quad (1)$$

式中: A 为浮游生物数量(个/L); N 为目镜视野计数结果; \hat{C} 为计数框体积; C 为 1L 原水样沉淀浓缩后的体积。

表 3 水质分析项目及其对应的检测方法

Tab. 3 Water quality analysis items and corresponding detection methods

水质分析项目	检测方法	检测标准	项目计算公式
浮游生物数量	抽滤萃取-目镜视野计数法	DB43/T 432-2009	公式(1)
叶绿素 a 含量	荧光分光光度法	NEN 6520-1981	公式(2)
重金属综合污染指数	原子荧光法/吸收法	GB 15618-2018	公式(3)
高锰酸盐指数	高锰酸盐指数酸性法	GB/T 11892-1989	公式(4)

2) 叶绿素 a 含量

假设 V' 为萃取液的定容体积, b 为比色皿光程, 则叶绿素 a 含量计算公式为:

$$D_a = \frac{V'[\alpha(S_1 - S_0) - \alpha(S_2 - S_0) - \alpha(S_3 - S_0)]}{V \cdot b} \quad (2)$$

式中: D_a 为叶绿素 a 含量($\mu\text{g/L}$); α 为吸光系数; S_0, S_1, S_2, S_3 为萃取液在 4 种波长处的吸光度值。

3) 重金属综合污染指数

假设 E_i 为重金属元素 i 的污染指数, G 为综合污染指数, 则重金属综合污染指数为:

$$\begin{cases} E_i = \frac{F_i}{f_i} \\ G = \frac{\sqrt{E^2 + \max E^2}}{2} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $G < 1$ 为未污染; 在 1~2 范围为较低污染; 在 2~3 范围为较高污染; $G > 3$ 为高污染; f_i 为重金属元素 i 的评价标准; F_i 为重金属元素 i 的浓度; $\bar{E}, \max E$ 为污染指数平均值、最大值^[10]。

4) 高锰酸盐指数

假设 W_1 代表滴定试验所消耗的高锰酸钾溶液的体积, W_0 代表空白试验所消耗的高锰酸钾溶液的体积, 则高锰酸盐指数计算公式为:

$$I_{Mn} = \frac{k(W_1 + W_0) \times R \times P}{W} \quad (4)$$

式中: I_{Mn} 为高锰酸盐指数(mg/L); k 为校正系数; R 为标准溶液的浓度; P 为氧原子摩尔质量。

3 水源污染修复及防治试验

针对受到污染的自然保护区林地水源, 首先通

过壳聚糖微球+活性渗滤反应墙、原位投菌技术来修复水源,之后通过人工湿地和人工增氧进行污染防治,维持或巩固修复效果^[11]。

3.1 水源污染修复策略

修复,即去除水源中的污染物,还原未污染前的水质。

3.1.1 壳聚糖微球+活性渗滤反应墙

壳聚糖微球+活性渗滤反应墙是一种综合修复技术,以前者作为后者的活性反应介质。以往活性渗滤反应墙所使用的活性反应介质多为零价金属、沸石、氧化铁、泥炭等,对污染物的吸附效果有限^[12]。为此,本研究中通过制备壳聚糖微球以部分替代传统活性反应介质,构成改进的活性渗滤反应墙,具体过程如下:

步骤 1: 制备壳聚糖微球

- 1) 称取一定量的壳聚糖粉末置于烧杯内。
- 2) 在烧杯中倒入壳聚糖粉末用量 1/3 的醋酸溶液,并利用电磁搅拌器在 40℃ 恒温下搅拌均匀。
- 3) 置于室温下冷却,排出液体中的气泡,得到壳聚糖乙酸溶液。
- 4) 称取一定量的液体石蜡和 Span 80,并将其置于烧瓶中。
- 5) 边加热边搅拌均匀,使二者混合均匀。
- 6) 将步骤 3 制得的壳聚糖乙酸溶液缓慢加入到上述二者混合液中,边倒入边搅拌。
- 7) 乳化 1 h。
- 8) 加入甲醛溶液,交联固化 3 h。
- 9) 将上述所得产物利用离心机分离处理,去除上层石蜡。
- 10) 将剩余产物利用丙酮和无水乙醇重复清洗。
- 11) 置于电热鼓风干燥箱中,60℃ 恒温烘干,得到壳聚糖微球^[13]。

步骤 2: 设计活性渗滤反应墙

在该反应墙内下部 30 cm 填充零价铁和石英砂的混合物,然后布设一层细纱网,再在上部填充壳聚糖微球。需要注意的是每填充 5 cm 进行一次压实。

步骤 3: 建造活性渗滤反应墙

若是在实验室中借助水泵,使原水通过活性渗滤反应墙即可;若是在实际环境中,需要在自然保护区林地水源河道处建造活性渗滤反应墙,使水流通过活性渗滤反应墙,墙体的长宽高需要根据当地水源所处环境进行自适应调整^[14]。

3.1.2 原位投菌技术

通过壳聚糖微球+活性渗滤反应墙能吸附掉大

部分污染物质,但其中一小部分污染物质并未完全吸附,因此还需进一步地降解。所利用的降解方法为原位投菌技术,即在水中投入微生物菌剂^[15]。原水体中加入的微生物为 3 种不同类型的高效反硝化菌,加入不同活性、不同浓度的菌种后,按不同的比例进行处理。

3.2 水源污染防治策略

在上述水源污染修复后,为巩固修复效果,还需实施进一步的防治策略,否则过一段时间后自然保护区林地水源仍会被污染。采用的防治策略包括人工湿地和人工增氧两种方法。

3.2.1 人工湿地

人工湿地就是人工建立的一种通过模拟自然湿地防治功能的复合型人工系统生态浮岛。使污染源流经人工湿地后,能持续起到循环净化水源作用^[16]。研究中建造的人工湿地各组成部分所选材料如表 4 所示。

表 4 人工湿地组成材料

Tab. 4 Composition materials of artificial wetlands

组成部分	材料名称	防治作用
透水性基质	沸石	吸收污染物质
微生物	好氧菌(醋酸菌、枯草杆菌)和厌氧菌(核梭杆菌、厌氧革兰阳性球菌)	对有机污染物实现降解和转化
水生植物	浮萍、芦苇、苦草	为水体输送氧气,增加水体活性;提高水中污染物的降解速度;对固体颗粒起到拦截吸附作用
动物	蝌蚪、蜗牛、水禽	促进物质循环
水体	在基质上、下流动的水(自然保护区林地水源)	

3.2.2 人工增氧

水源受到污染后往往会存在缺氧问题,使水中生物难以生存,导致水质变得越来越差。针对这一点,只要保证水源中氧气充足,为水中生物提供良好的生存条件,就能在一定程度上防治水污染,提高水源活性。人工增氧可通过设置充氧站来实现。

4 结果与分析

对上述自然保护区林地水源污染修复及防治策略实施后的一段时间内的水源进行采样,基于表 3 进行水质检测,检测结果如图 2 所示。

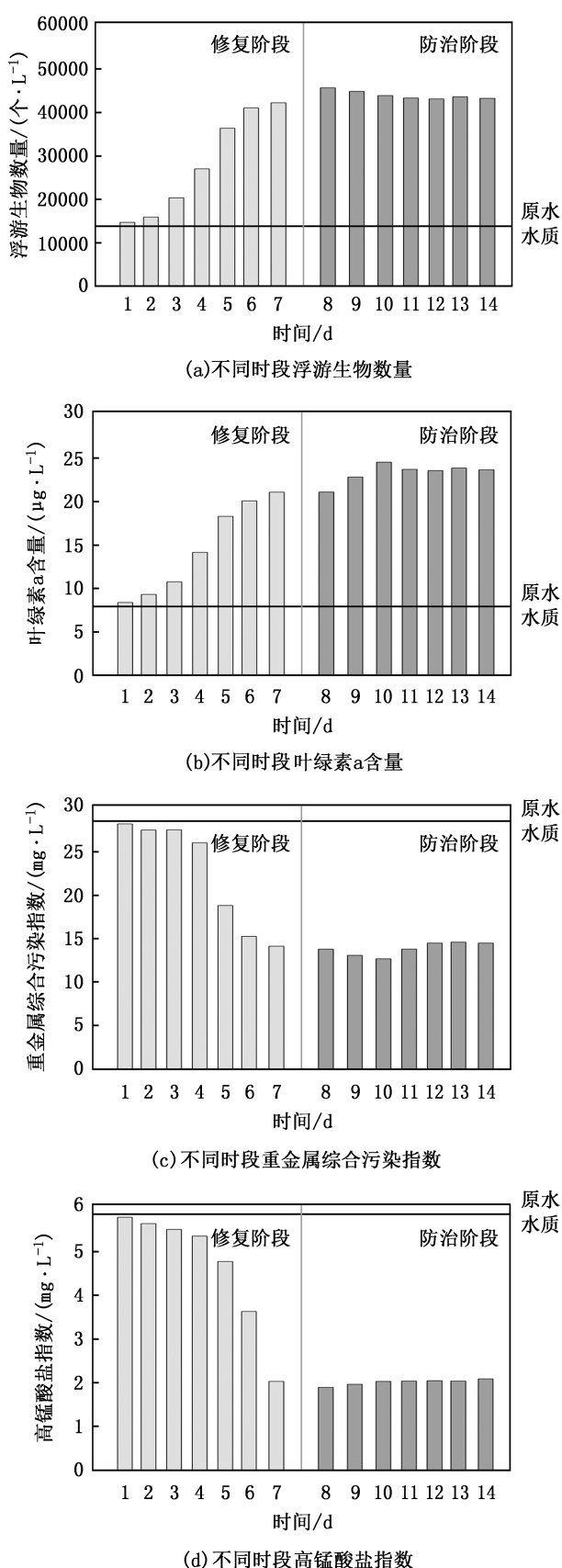


图 2 水源水质修复与防治前后对比

Fig. 2 Comparison of water source quality before and after remediation and prevention

从图 2 中可以看出:(1)自然保护区林地水源水质修复策略实施后,各项水质指标表现越来越好,浮游生物数量和叶绿素 a 含量逐渐上升,重金属综合污染指数和高锰酸盐指数逐渐下降,修复策略起到了应有的净化效果。(2)自然保护区林地水源水质防治策略实施后,1~3 d 内在修复后达到的原有指标数值的基础上各项指标表现仍在继续提升,然后开始出现小幅度下降,最后维持在一个较平稳的水平上,说明防治策略起到了应有的防治效果,基本维持和巩固了修复策略的实施成果。(3)从整体上看,修复策略能够在短期内大幅度降低水源中的污染物,而防治策略主要作用是维持修复策略的实施效果,使水源持续保持在一定范围内的稳定状态。

5 结 语

自然保护区水源为该区域大部分生物的生存与繁衍提供了最为基础的物质资源,一旦该区域内水源被污染,造成的影响将是巨大的。藉此,开展了自然保护区林地水源污染修复及防治策略研究。该研究针对采集到的污染源水样,实施两种修复措施,两种防治措施,针对实施措施后的水样进行 4 项指标的检测,检测结果表明,修复措施取得了应有的净化效果,防治措施取得了应有的防治效果,证明该策略的有效性。

参考文献:

[1] 孙贻超,邢妍,孙静,等. 国家水体污染控制与治理科技重大专项“天津滨海工业带废水污染控制与生态修复综合示范”项目的主要研究成果及其应用[J]. 环境工程学报,2022,16(7):2111-2121.

[2] 耿国婷,武晓峰,游进军. 基于遗传算法的 TCE 污染地下水修复抽水处理优化方案研究[J]. 水利水电技术(中英文),2022,53(7):69-81.

[3] 费宇红,刘雅慈,李亚松,等. 中国地下水污染修复方法和技术应用展望[J]. 中国地质,2022,49(2):420-434.

[4] 张倩茹,冀琳宇,高程程,等. 改性生物炭的制备及其在环境修复中的应用[J]. 农业环境科学学报,2021,40(5):913-925.

[5] 李军,梁永平,邹胜章,等. 微生物在地下水污染修复中的应用研究进展[J]. 环境污染与防治,2021,43(5):638-643.

[6] 罗华丽,王琳玲. 壳聚糖微球在环境修复中的应用研究进展[J]. 环境科学与技术,2021,44(12):23-29.

(下转第 203 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.010

广东梅县阴那山省级自然保护区蝶类多样性及其区系分析

李保铨¹, 李柳红¹, 周露露¹, 彭秋燕², 何惠婷², 韩婉诗², 陈天鹏²

(1. 广东梅县阴那山省级自然保护区管理处, 广东 梅县 514000; 2. 广州草木蕃环境科技有限公司, 广东 广州 510520)

摘要: 为了解广东梅县阴那山省级自然保护区蝶类资源和物种多样性情况, 2021年7—12月利用样线法进行观测调查。结果表明, 阴那山自然保护区共调查到蝶类10科、75属、110种; 区系组成主要以东洋界为主, 古北界和东洋界共有为辅; 随海拔升高, 蝶类群落属数、种数、个体数量、优势度指数、丰富度指数和多样性指数均表现为先增长后下降的单峰趋势, 并均在401~600 m达到最大值, 高海拔地区蝶类群落的均匀度指数大于低海拔地区; 相邻海拔地区蝶类群落的相似性较高, 且高海拔与低海拔间蝶类种类存在明显差异。以期为阴那山省级自然保护区预测气候变化、保护蝴蝶资源和评价生态环境等提供基础资料和理论依据。

关键词: 蝴蝶; 群落组成; 物种多样性; 分布区系; 阴那山省级自然保护区; 广东

中图分类号: Q969.432.2; Q16; S759.9 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0051-07

引文格式: 李保铨, 李柳红, 周露露, 等. 广东梅县阴那山省级自然保护区蝶类多样性及其区系分析[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 51-57. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.010

LI Baoquan, LI Lihong, ZHOU Lulu, et al. Species Diversity and Fauna Analysis of Butterfly in Meixian Yinna Mountain Provincial Nature Reserve of Guangdong Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 51-57. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.010

Species Diversity and Fauna Analysis of Butterfly in Meixian Yinna Mountain Provincial Nature Reserve of Guangdong Province

LI Baoquan¹, LI Lihong¹, ZHOU Lulu¹, PENG Qiuyan², HE Huiting²,
HAN Wanshi², CHEN Tianpeng²

(1. Administration of Meixian Yinna Mountain Provincial Nature Reserve, Meixian, Guangdong 514000, China;
2. Guangzhou Caomufan Ecological Research Co., Ltd., Guangzhou 510520, China)

Abstract: The butterfly resources and species diversity in Meixian Yinna Mountain Provincial Nature Reserve of Guangdong Province was studied by the line-transect method from July to December 2021. The results showed that 110 species of butterflies belonging to 75 genera and 10 families were investigated in the reserve; the fauna distribution type was mainly dominated by the Oriental, supplemented by the Palearctic and Oriental; the number of genera, species, individuals, dominance index, richness index and diversity index of butterfly community at each altitude gradient showed a single peak trend of increasing first and then decreasing with the increase of altitude, reaching the maximum at 401-600 m, and the

收稿日期: 2022-07-07.

基金项目: 广东省2021年度自然资源事务管理—生态林业建设专项资金; 广东梅县阴那山省级自然保护区综合能力建设项目(440001202115632).

第一作者: 李保铨(1983-), 男, 广东梅州人, 工程师. 主要从事林业工程及森林资源调查. Email: 29023199@qq.com

责任作者: 陈天鹏(1994-), 男, 吉林梨树人, 硕士. 主要从事野生动物资源调查. Email: 674167419@qq.com

evenness index was higher at high altitude than at low altitude; the similarity coefficient was higher in the adjacent elevation gradient, and there were obvious differences between high altitude species and low altitude species. The results of this survey provided basic data and theoretical basis for predicting climate change, protecting butterfly resources and evaluating ecological environment in Yinna Mountain Provincial Nature Reserve.

Key words: butterfly; community composition; species diversity; fauna distribution; Yinna Mountain Provincial Nature Reserve; Guangdong

蝴蝶隶属于节肢动物门 (Arthropoda)、昆虫纲 (Insecta)、鳞翅目 (Lepidoptera), 经历卵、幼虫、蛹、成虫 4 个阶段, 是一种完全变态的昆虫^[1]。蝴蝶是一类重要的传粉昆虫, 蝴蝶成虫以花蜜汁液为食, 部分植物进化出细长花距, 依靠鳞翅目昆虫的虹吸式口器才能完成传粉。据统计, 世界已知蝴蝶种类共计超 15 000 种, 我国已记录蝴蝶种类超 2 100 种^[2]。

因对环境因子变化高度敏感, 并能够快速反映出该区域环境变化情况, 所以蝴蝶被认为是生态环境监测和评价的指示生物, 也是生态系统中其他无脊椎动物的伞物种^[3]。国外对蝴蝶长期监测已有数 10 年的历史, 如 1976 年英国将蝴蝶作为环境变化的指示生物进行长期系统监测, 随后美国、澳大利亚、日本等国家相继开展蝴蝶长期监测项目^[4]; 我国对于蝴蝶的监测工作起步较晚, 2016 年生态环境部启动了全国蝴蝶多样性观测项目, 并在全国范围内建立了首个国家级的蝴蝶多样性观测网络, 在《2017 年中国生物多样性观测报告》中指出近 1/3 观测样区的蝴蝶多样性受到旅游开发等各种因素的威胁, 从而导致蝴蝶多样性严重下降。

近年来, 随着森林生态旅游产业的蓬勃发展, 人类活动对生物多样性造成严重威胁。广东省梅州地区旅游资源丰富, 但蝶类多样性相关研究尚未见报道。2021 年 7—12 月对广东梅县阴那山省级自然保护区的蝴蝶资源进行调查, 分析了物种多样性、垂直分布及区系组成, 以期为自然保护区建立以蝶类为指示生物的监测网络, 为保护珍稀濒危蝴蝶资源、预测气候变化和评价生态环境等提供基础资料和理论依据。

1 研究区概况

广东梅县阴那山省级自然保护区 (以下简称“阴那山自然保护区”) 位于梅州市梅县区雁洋镇 (116°21′31.78″E~116°25′39.60″E, 24°21′35.89″N~24°25′31.24″N), 面积 2 566 hm², 区内海拔最高点为

阴那山主峰五指峰 (1 298 m), 是形成于 1 亿多年前的中生代造山运动期的褶皱 (断层山脉), 保护区地处南亚热带北缘, 因受东南季风影响, 属于典型的亚热带季风湿润气候, 具有南亚热带与中亚热带过渡气候特征, 年均温为 22.1℃, 年均降雨量为 1 678.12 mm, 雨期集中在 4—9 月份, 有明显的干湿季节之分。保护区主要保护对象为亚热带常绿阔叶林及珍稀动植物。

2 研究方法

2.1 观测时间

5 次野外调查于 2021 年 7—12 月进行, 每次调查间隔在 20 d 以上, 选择天气晴朗或多云天气进行调查, 观测时间在每天 9:00—17:00, 避开极热天气。

2.2 调查方法

主要调查方法为样线法与网捕法相结合, 根据调查区域的地形地貌以及植被类型, 设置样线。留意路边花草树木或小溪、水坑等, 沿样线缓慢匀速步行, 并记录沿途 5 m 可见范围内的蝶类种类及数量, 对于无法鉴定到种的蝶类, 可网捕采集, 装入三角硫酸纸袋中记录采集信息, 查阅相关资料进行鉴定。

2.3 分类鉴定

本研究中采用周尧 1994 年制定的分类系统^[5]。根据蝴蝶标本的外部形态特征进行鉴定, 如斑纹、触角、翅脉等; 若蝴蝶标本外部形态区别不明显, 可通过解剖观察外生殖器特征。相关文献参考《中国蝶类志》《中国蝴蝶分类与鉴定》《中国蝴蝶图鉴》《The Nymphalidae of China》《中国灰蝶志》^[5-9], 珍稀濒危保护物种等级划分参考《中国物种红色名录》^[10]。

2.4 数据处理

2.4.1 生物多样性指数

采用 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 物种丰富度指数、Berger-Parker 优势度指数、Pielou 均匀度指数和 Jaccard 相似性系数进行多样性分析^[11-12]。

Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 公式为:

$$H' = - \sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \ln \frac{N_i}{N} \quad (1)$$

式中: S 为群落中的物种数; N_i 为群落中蝴蝶 i 的个体数; N 为群落中蝴蝶个体总数。

Margalef 物种丰富度指数 (D) 公式为:

$$D = \frac{(S - 1)}{\ln N} \quad (2)$$

式中: S 为群落中的物种数; N 为群落中蝴蝶个体总数。

Berger-Parker 优势度指数 (d) 公式为:

$$d = \frac{N}{N_{\max}} \quad (3)$$

式中: N_{\max} 为优势种的种群数量; N 为群落中蝴蝶个体总数。

Pielou 均匀度指数 (E) 公式为:

$$E = \frac{H'}{\ln S} \quad (4)$$

式中: H' 为多样性指数; S 为群落中的物种数。

Jaccard 相似性系数 (C) 公式为:

$$C = \frac{c}{a + b - c} \quad (5)$$

式中: c 为不同海拔梯度的共同物种数; a 和 b 分别为海拔梯度 A 和海拔梯度 B 的物种数。 C 取值在 0~1 之间,当 $0.00 \leq C < 0.25$ 时,表示群落极不相似;当 $0.25 \leq C < 0.50$ 时,表示群落中等不相似;当 $0.50 \leq C < 0.75$ 时,表示群落中等相似;当 $0.75 \leq C \leq 1.00$ 时,表示群落极相似。

本研究中某个物种个体数占总物种个体数的比例,占比 5%~100% 为优势种,占比 1%~5% 为常见种,占比 0.5%~1% 为少见种,占比 0.5%~0% 为稀有种。

2.4.2 不同海拔梯度垂直分布分析

将阴那山自然保护区整体划分 5 个海拔梯度,以 200 m 为一个海拔梯度,分别为 200~400 m、401~600 m、601~800 m、801~1 000 m、1 001~1 298 m。

3 结果分析

3.1 蝶类群落组成特征与多样性

在阴那山自然保护区内共记录到蝶类 1 310 只,隶属于 10 科、75 属、110 种(表 1),其中被《中国物种红色名录》评估为“近危等级 (NT)”2 种,为鹤顶粉蝶和燕凤蝶;“易危等级 (VU)”1 种,为拟四眼矍眼蝶。

表 1 广东梅县阴那山省级自然保护区蝴蝶名录

Tab. 1 Checklist of butterfly in Meixian Yinna Mountain Provincial Nature Reserve

科	属	种	个体数量/只		
凤蝶科 Papilionidae	凤蝶属 <i>Papilio</i>	巴黎翠凤蝶 <i>Papilio paris</i> Linnaeus	39		
		碧凤蝶 <i>Papilio bianor</i> Cramer	36		
		玉斑凤蝶 <i>Papilio helenus</i> Linnaeus	36		
		玉带凤蝶 <i>Papilio polytes</i> Linnaeus	74		
		美凤蝶 <i>Papilio memnon</i> Linnaeus	3		
		燕凤蝶属 <i>Lamproptera</i>	燕凤蝶 <i>Lamproptera curius</i> (Fabricius)	12	
		青凤蝶属 <i>Graphium</i>	碎斑青凤蝶 <i>Graphium chironides</i> (Honrath)	2	
			青凤蝶 <i>Graphium sarpedon</i> (Linnaeus)	38	
			木兰青凤蝶 <i>Graphium doson</i> (C. & R. Felder)	2	
			宽带青凤蝶 <i>Graphium cloanthus</i> (Westwood)	1	
			统帅青凤蝶 <i>Graphium agamemnon</i> (Linnaeus)	1	
		粉蝶科 Pieridae	绿凤蝶属 <i>Pathysa</i>	绿凤蝶 <i>Pathysa antiphates</i> (Cramer)	1
黄粉蝶属 <i>Eurema</i>	无标黄粉蝶 <i>Eurema brigitta</i> (Stoll)			1	
	聚黄粉蝶 <i>Eurema blanda</i> (Boisduval)			7	
	宽边黄粉蝶 <i>Eurema hecabe</i> (Linnaeus)			177	
	尖角黄粉蝶 <i>Eurema laeta</i> (Boisduval)			1	
	迁粉蝶属 <i>Catopsilia</i>			梨花迁粉蝶 <i>Catopsilia pyranthe</i> (Linnaeus)	41
	鹤顶粉蝶属 <i>Hebomoia</i>			鹤顶粉蝶 <i>Hebomoia glaucippe</i> (Linnaeus)	1
	橙粉蝶属 <i>Ixias</i>			橙粉蝶 <i>Ixias pyrene</i> (Linnaeus)	23
	纤粉蝶属 <i>Leptosia</i>			纤粉蝶 <i>Leptosia nina</i> (Fabricius)	1
	飞龙粉蝶属 <i>Talbotia</i>			飞龙粉蝶 <i>Talbotia naganum</i> (Moore)	1
	粉蝶属 <i>Pieris</i>			东方菜粉蝶 <i>Pieris canidia</i> (Sparman)	4
				菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i> (Linnaeus)	11
	园粉蝶属 <i>Cepora</i>	黑脉园粉蝶 <i>Cepora nerissa</i> (Fabricius)	9		
斑粉蝶属 <i>Delias</i>	报喜斑粉蝶 <i>Delias pasithoe</i> (Linnaeus)	119			

续表 1

科	属	种	个体数量/只
斑蝶科 Danaidae	斑蝶属 <i>Danaus</i>	红腋斑粉蝶 <i>Delias acalis</i> (Godart)	32
		虎斑蝶 <i>Danaus genutia</i> (Cramer)	24
	青斑蝶属 <i>Tirumala</i>	青斑蝶 <i>Tirumala septentrionis</i> (Butler)	16
	绢斑蝶属 <i>Parantica</i>	绢斑蝶 <i>Parantica aglea</i> (Stoll)	13
	紫斑蝶属 <i>Euploea</i>	蓝点紫斑蝶 <i>Euploea midamus</i> (Linnaeus)	68
环蝶科 Amathusiidae	纹环蝶属 <i>Aemona</i>	纹环蝶 <i>Aemona amathusia</i> (Hewitson)	8
眼蝶科 Satyridae	暮眼蝶属 <i>Melanitis</i>	睇暮眼蝶 <i>Melanitis phedima</i> (Cramer)	3
	黛眼蝶属 <i>Lethe</i>	白带黛眼蝶 <i>Lethe confusa</i> Aurivillius	16
		玉带黛眼蝶 <i>Lethe verma</i> (Kollar)	2
		曲纹黛眼蝶 <i>Lethe chandica</i> Moore	5
		连纹黛眼蝶 <i>Lethe syrcis</i> (Hewitson)	3
		长纹黛眼蝶 <i>Lethe europa</i> (Fabricius)	1
		波纹黛眼蝶 <i>Lethe rohria</i> Fabricius	1
	荫眼蝶属 <i>Neope</i>	蒙链荫眼蝶 <i>Neope muirheadii</i> (C. & R. Felder)	2
	眉眼蝶属 <i>Mycalesis</i>	小眉眼蝶 <i>Mycalesis mineus</i> (Linnaeus)	9
		平顶眉眼蝶 <i>Mycalesis panthaka</i> Fruhstorfer	5
	丽眼蝶属 <i>Mandarinia</i>	蓝斑丽眼蝶 <i>Mandarinia regalis</i> (Leech)	6
	矍眼蝶属 <i>Ypthima</i>	矍眼蝶 <i>Ypthima balda</i> (Fabricius)	31
		拟四眼矍眼蝶 <i>Ypthima imitans</i> Elwes & Edwards	4
蛱蝶科 Nymphalidae	襟蛱蝶属 <i>Cupha</i>	黄襟蛱蝶 <i>Cupha erymanthis</i> (Drury)	2
	斐豹蛱蝶属 <i>Argyreus</i>	斐豹蛱蝶 <i>Argyreus hyperbius</i> (Linnaeus)	2
	枯叶蛱蝶属 <i>Kallima</i>	枯叶蛱蝶 <i>Kallima inachus</i> (Doyère)	1
	斑蛱蝶属 <i>Hypolimnas</i>	幻紫斑蛱蝶 <i>Hypolimnas bolina</i> (Linnaeus)	1
	琉璃蛱蝶属 <i>Kaniska</i>	琉璃蛱蝶 <i>Kaniska canace</i> (Linnaeus)	8
	红蛱蝶属 <i>Vanessa</i>	大红蛱蝶 <i>Vanessa indica</i> (Herbst)	4
	眼蛱蝶属 <i>Junonia</i>	波纹眼蛱蝶 <i>Junonia atlites</i> (Linnaeus)	1

续表 1

科	属	种	个体数量/只
盛蛱蝶属 <i>Symbrenthia</i>	散纹盛蛱蝶 <i>Symbrenthia lilaea</i> Hewitson	散纹盛蛱蝶 <i>Symbrenthia lilaea</i> Hewitson	4
		黄豹盛蛱蝶 <i>Symbrenthia brabira</i> Moore	1
	波蛱蝶属 <i>Ariadne</i>	波蛱蝶 <i>Ariadne ariadne</i> (Linnaeus)	19
	翠蛱蝶属 <i>Euthalia</i>	矛翠蛱蝶 <i>Euthalia aconthea</i> (Cramer)	4
	裙蛱蝶属 <i>Cynitia</i>	绿裙蛱蝶 <i>Cynitia whiteheadi</i> (Crowley)	7
	线蛱蝶属 <i>Limenitis</i>	残钨线蛱蝶 <i>Limenitis sulphita</i> (Cramer)	10
	带蛱蝶属 <i>Athyma</i>	离斑带蛱蝶 <i>Athyma ranga</i> Moore	6
		珠履带蛱蝶 <i>Athyma asura</i> Moore	1
		新月带蛱蝶 <i>Athyma selenophora</i> (Kollar)	1
		相思带蛱蝶 <i>Athyma nefte</i> (Cramer)	2
环蛱蝶属 <i>Neptis</i>	中环蛱蝶 <i>Neptis hylas</i> (Linnaeus)	64	
	珂环蛱蝶 <i>Neptis clinia</i> Moore	4	
	耶环蛱蝶 <i>Neptis yerburii</i> Butler	6	
	娜环蛱蝶 <i>Neptis nata</i> Moore	1	
	阿环蛱蝶 <i>Neptis ananta</i> Moore	1	
	弥环蛱蝶 <i>Neptis miah</i> Moore	15	
蟠蛱蝶属 <i>Pantoporia</i>	金蟠蛱蝶 <i>Pantoporia hordonia</i> (Stoll)	2	
电蛱蝶属 <i>Dichorragia</i>	电蛱蝶 <i>Dichorragia nesimachus</i> (Doyère)	1	
丝蛱蝶属 <i>Cyrestis</i>	网丝蛱蝶 <i>Cyrestis thyodamas</i> Boisduval	5	
猫蛱蝶属 <i>Timelaea</i>	白裳猫蛱蝶 <i>Timelaea albescens</i> (Oberthür)	8	
尾蛱蝶属 <i>Polyura</i>	大二尾蛱蝶 <i>Polyura eudamippus</i> (Doubleday)	1	
螯蛱蝶属 <i>Charaxes</i>	白带螯蛱蝶 <i>Charaxes bernardus</i> (Fabricius)	1	
珍蝶科 Acraeidae	珍蝶属 <i>Acraea</i>	苾麻珍蝶 <i>Acraea issoria</i> (Hübner)	16
蛱蝶科 Riodinidae	褐蛱蝶属 <i>Abisara</i>	蛇目褐蛱蝶 <i>Abisara echerius</i> (Stoll)	2
		白点褐蛱蝶 <i>Abisara burnii</i> (de Nicéville)	1
		长尾褐蛱蝶 <i>Abisara neophron</i> (Hewitson)	9
	白蛱蝶属 <i>Stiboges</i>	白蛱蝶 <i>Stiboges nymphidia</i> Butler	6

续表 1

科	属	种	个体数量/只
灰蝶科 Lycaenidae	波蚬蝶属 <i>Zemeros</i>	波蚬蝶 <i>Zemeros flegyas</i> (Cramer)	52
	蚜灰蝶属 <i>Taraka</i>	蚜灰蝶 <i>Taraka hamada</i> Druce	3
	银灰蝶属 <i>Curetis</i>	尖翅银灰蝶 <i>Curetis acuta</i> Moore	14
	娆灰蝶属 <i>Arhopala</i>	齿翅娆灰蝶 <i>Arhopala rama</i> (Kollar)	1
		娆灰蝶 <i>Arhopala</i> sp.	1
	银线灰蝶属 <i>Spindasis</i>	豆粒银线灰蝶 <i>Spindasis syama</i> (Horsfield)	2
	莱灰蝶属 <i>Remelana</i>	莱灰蝶 <i>Remelana jangala</i> (Horsfield)	1
	安灰蝶属 <i>Ancema</i>	安灰蝶 <i>Ancema ctesia</i> (Hewitson)	4
	娜灰蝶属 <i>Nacaduba</i>	古楼娜灰蝶 <i>Nacaduba kurava</i> (Moore)	3
	雅灰蝶属 <i>Jamides</i>	雅灰蝶 <i>Jamides bochus</i> (Stoll)	23
		素雅灰蝶 <i>Jamides alecto</i> (Felder)	20
	咖灰蝶属 <i>Catochrysops</i>	咖灰蝶 <i>Catochrysops strabo</i> Fabricius	1
	亮灰蝶属 <i>Lampides</i>	亮灰蝶 <i>Lampides boeticus</i> Linnaeus	3
	丸灰蝶属 <i>Pithecops</i>	黑丸灰蝶 <i>Pithecops corvus</i> Fruhstorfer	4
妩灰蝶属 <i>Udara</i>	白斑妩灰蝶 <i>Udara albo-caerulea</i> (Moore)	1	
钮灰蝶属 <i>Acytolepis</i>	钮灰蝶 <i>Acytolepis puspa</i> (Horsfield)	1	
棕灰蝶属 <i>Euchrysops</i>	棕灰蝶 <i>Euchrysops cnejus</i> (Fabricius)	1	
吉灰蝶属 <i>Zizeeria</i>	酢浆灰蝶 <i>Zizeeria maha</i> (Kollar)	27	
弄蝶科 Hesperiidae	趾弄蝶属 <i>Hasora</i>	三斑趾弄蝶 <i>Hasora badra</i> (Moore)	1
		纬带趾弄蝶 <i>Hasora vitta</i> (Butler)	1
	绿弄蝶属 <i>Choaspes</i>	绿弄蝶 <i>Choaspes benjaminii</i> (Guérin-Méneville)	3
	白弄蝶属 <i>Abraximorpha</i>	白弄蝶 <i>Abraximorpha davidii</i> (Mabille)	2
	星弄蝶属 <i>Celaenorhinus</i>	白角星弄蝶 <i>Celaenorhinus leucocera</i> (Kollar)	1
	裙弄蝶属 <i>Tagiades</i>	沾边裙弄蝶 <i>Tagiades litigiosa</i> Möschler	3
	飒弄蝶属 <i>Satarupa</i>	蛱型飒弄蝶 <i>Satarupa nymphalis</i> (Speyer)	1
	腌翅弄蝶属 <i>Astictopterus</i>	腌翅弄蝶 <i>Astictopterus jama</i> C. & R. Felder	19
	袖弄蝶属 <i>Notocrypta</i>	曲纹袖弄蝶 <i>Notocrypta curvifascia</i> (C. & R. Felder)	2

续表 1

科	属	种	个体数量/只
弄蝶科 Hesperiidae	黄室弄蝶属 <i>Potanthus</i>	孔子黄室弄蝶 <i>Potanthus confucius</i> (C. & R. Felder)	2
	稻弄蝶属 <i>Parnara</i>	直纹稻弄蝶 <i>Parnara guttata</i> (Bremer & Grey)	2
	袖弄蝶属 <i>Borbo</i>	袖弄蝶 <i>Borbo cinnara</i> (Wallace)	2
	珂弄蝶属 <i>Caltoris</i>	斑珂弄蝶 <i>Caltoris bromus</i> (Leech)	1
		珂弄蝶 <i>Caltoris cahira</i> (Moore)	1

从物种数量方面看,蛱蝶科物种数量(29种)最多,占总数的26.36%,其次为灰蝶科(17种)、粉蝶科(14种)、弄蝶科(14种)、眼蝶科(13种)、凤蝶科(12种)、蚬蝶科(5种)、斑蝶科(4种)、珍蝶科(1种)和环蝶科(1种);从个体数量方面看,粉蝶科个体数量(428只)最多,占总数的32.67%,其次为凤蝶科(245只)、蛱蝶科(183只)、斑蝶科(121只)、灰蝶科(110只)、眼蝶科(88只)、蚬蝶科(70只)、弄蝶科(41只)、珍蝶科(16只)、环蝶科(8只),具体见表2。

表 2 广东阴那山省级自然保护区蝶类数量特征

Tab. 2 Quantitative characteristics of butterfly in Yinna Mountain Provincial Nature Reserve

科	属数/个	占比/%	种数/种	占比/%	个体数量/只	占比/%
凤蝶科 Papilionidae	4	5.33	12	10.91	245	18.70
粉蝶科 Pieridae	9	12.00	14	12.73	428	32.67
斑蝶科 Danaidae	4	5.33	4	3.64	121	9.24
环蝶科 Amathusiidae	1	1.33	1	0.91	8	0.61
眼蝶科 Satyridae	6	8.00	13	11.82	88	6.72
蛱蝶科 Nymphalidae	20	26.67	29	26.36	183	13.97
珍蝶科 Acraeidae	1	1.33	1	0.91	16	1.22
蚬蝶科 Riodinidae	3	4.00	5	4.55	70	5.34
灰蝶科 Lycaenidae	15	20.00	17	15.45	110	8.40
弄蝶科 Hesperidae	12	16.00	14	12.73	41	3.13
合计	75	100.00	110	100.00	1310	100.00

从表2可知,玉带凤蝶、宽边黄粉蝶、报喜斑粉蝶和蓝点紫斑蝶为研究区内优势种,常见种有21种,少见种和稀有种共计85种。

3.2 蝶类群落多样性指数

阴那山自然保护区在不同海拔梯度蝶类群落属数、种数和个体数情况如表 3 所示。

表 3 广东阴那山省级自然保护区蝶类不同海拔梯度蝶类群落多样性指数

Tab. 3 Diversity indexes of butterfly community at different altitude gradients in Yinna Mountain Provincial Nature Reserve

海拔梯度 /m	属数 /个	种数 /种	个体数量 /只	优势度指数 (d)	丰富度指数 (D)	多样性指数 (H')	均匀度指数 (E)
200~400	37	61	542	6.30	9.53	3.13	0.76
401~600	66	97	614	7.97	14.33	3.78	0.83
601~800	31	43	91	7.00	8.87	3.33	0.90
801~1000	17	19	42	5.25	4.82	2.56	0.87
1001~1298	11	13	21	3.50	3.94	2.31	0.90

从表 3 可知,研究区域海拔 401~600 m 蝶类群落属数、种数和个体数量最高,其次为 200~400 m、601~800 m、801~1 000 m,最低为 1 001~1 298 m。

对不同海拔梯度蝶类群落的多样性指标进行分析发现,丰富度指数最高为海拔 401~600 m,其次为 200~400 m、601~800 m、801~1 000 m,最低为 1 001~1 298 m;优势度指数和多样性指数方面规律相同,指数最高为海拔 401~600 m,其次为 601~800 m、200~400 m、801~1 000 m,最低为 1 001~1 298 m;均匀度指数最高为海拔 601~800 m 和 1 001~1 298 m,其次为 801~1 000 m、401~600 m,最低为 200~400 m。

阴那山自然保护区不同海拔蝶类群落相似性系数情况如表 4 所示。

表 4 广东阴那山省级自然保护区不同海拔梯度蝶类群落相似性矩阵

Tab. 4 Similarity matrix of butterfly at different altitude gradients in Yinna Mountain Provincial Nature Reserve

海拔梯度	200~400 m	401~600 m	601~800 m	801~1000 m	1001~1298 m
200~400 m	1	0.4495	0.4444	0.1940	0.1385
401~600 m		1	0.3592	0.1717	0.1224
601~800 m			1	0.2917	0.1915
801~1000 m				1	0.4545
1001~1298 m					1

从表 4 可知,海拔 200~400 m 与 401~600 m、

601~800 m 间蝶类群落达中等不相似,601~800 m 与 801~1 000 m 间蝶类群落达中等不相似,801~1 000 m 与 1 001~1 298 m 间蝶类群落达中等不相似,其他海拔梯度间蝶类群落均为极不相似。

3.3 地理区系分析

阴那山自然保护区蝶类地理区系组成如表 5 所示。

表 5 广东阴那山省级自然保护区蝶类区系组成

Tab. 5 Faunas of butterfly in Yinna Mountain Provincial Nature Reserve

分布型	物种数量/只	占比/%
1. 东洋界	78	70.91
2. 古北界+东洋界	20	18.18
3. 东洋界+澳洲界	5	4.55
4. 东洋界+澳洲界+非洲界	1	0.91
5. 古北界+东洋界+澳洲界	2	1.82
6. 古北界+东洋界+新北界	1	0.91
7. 古北界+东洋界+澳洲界+非洲界	1	0.91
8. 古北界+东洋界+非洲界+新北界	1	0.91
9. 古北界+东洋界+澳洲界+非洲界+新北界+新热带界	1	0.91
总计	110	100.00

阴那山自然保护区蝶类地理区系中有 9 种分布型,其中 70.91% 分布于东洋界,属于主导分布型,其次 18.18% 分布于东洋界+古北界,4.55% 分布于东洋界+澳洲区,其他分布型共占 6.36%。

4 讨论与结论

本次调查共记录蝶类 10 科、75 属、110 种,约占广东省蝴蝶种类的 20%,对比惠东古田省级自然保护区(54 种)、东莞莲花山自然保护区(50 种)和河源市桂山和福礞生态谷蝶(46 种),阴那山自然保护区蝶类群落具有较高的生物多样性^[13-16]。阴那山自然保护区蝶类地理区系组成属于以东洋界为主导的分布型,同时在一定程度上表现出受古北界和澳洲界影响的分布特征,与所处的地理位置相吻合。

阴那山自然保护区在不同海拔梯度蝶类群落属数、种数、个体数量、优势度指数、丰富度指数和多样性指数方面均表现为随着海拔升高呈现先增长后下降的单峰趋势,均在 401~600 m 达到最大值,符合物种丰富度单峰分布格局^[17-19];Pielou 均匀度指数表现为高海拔大于低海拔,主要因为随着海拔升高,环境压力增大,种间竞争减弱,生物多样性丰富,海

拔 401~600 m 处植被类型为亚热带常绿阔叶林,具有植物种类丰富,垂直结构复杂,人为干扰少等特点,为蝶类生存和躲避天敌提供了良好条件,但海拔 200~400 m 由于靠近亚热带常绿阔叶林,同时受到轻度人类活动干扰,对部分寄主植物的传播和扩散起到推动作用,在一定程度上提高了蝶类群落的多样性和丰富度^[16,20-22],优势种个体数量在低海拔蝶类群落中占比过大,造成低海拔蝶类群落均匀度较低。

阴那山自然保护区相邻海拔梯度的蝶类群落相似性较高,且高海拔种类与低海拔种类间存在明显区别,主要原因是高海拔地区与低海拔地区间生境存在明显差异,大多数蝴蝶的幼虫食性较专一,植被差异导致蝶类群落出现差异性,而相邻海拔梯度生境较为相似,出现相似的蝶类群落。

综上所述,为了更好地评估阴那山保护区的生物多样性情况,应设置监测网络,以蝶类为指示生物,结合气象因子、寄主植物、人为干扰等因素设置固定长期监测样线;开展蝶类与植物协同进化机制、灰蝶与蚂蚁互利共生现象等专项研究;开展科普教育,如以蝴蝶为主题的博物馆展览、科普教育、观蝶日等活动,以增强公众的生物多样性保护意识。

致谢:广东梅县阴那山省级自然保护区管理处陈宏财、赖可欣及广州草木蕃环境科技有限公司陈灏楠、林溢晖等同志参与了调查;中国科学院昆明动物研究所常洲老师、余甜甜博士,西南科技大学黄珍富老师,北京市农林科学院马丽君博士在蝶类鉴定方面给予技术指导,特此致谢。

参考文献:

- [1] 许再福. 普通昆虫学[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [2] 寿建新,周尧,李宇飞. 世界蝴蝶分类名录[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2006.
- [3] BHARDWAJ M,UNIYAL V P,SANYAL A K,et al. Butterfly communities along an elevational gradient in the Tons valley, Western Himalayas: Implications of rapid assessment for insect conservation[J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2012, 15(2): 207-217.
- [4] 房丽君,徐海根,关建玲. 欧洲蝴蝶监测的历史、现状与我国的发展对策[J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2691-2698.
- [5] 周尧. 中国蝶类志[M]. 郑州:河南科学技术出版社,1994.
- [6] 王敏,范晓凌. 中国灰蝶志[M]. 郑州:河南科学技术出版社,2002.
- [7] 周尧. 中国蝴蝶分类与鉴定[M]. 郑州:河南科学技术出版社,1998.
- [8] LANG S Y. The Nymphalidae of China (Lepidoptera, Rhopalocera)[M]. Pardubice; Tshkolovets Publications, 2017.
- [9] 武春生,徐培峰. 中国蝴蝶图鉴[M]. 福州:海峡书局,2017.
- [10] 汪松,解焱. 中国物种红色名录[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [11] 马克平,王恩明. 生物群落多样性的测度方法: I α 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.
- [12] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: I α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [13] 刘桂林,庞虹,周昌清,等. 东莞莲花山自然保护区蝴蝶群落多样性研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 4.
- [14] 翁锦泓,吕文龙,胡诗佳,等. 广东古田自然保护区蝶类群落多样性[J]. 生态学杂志, 2017, 36(1): 132-136.
- [15] 钟平生,张颂声,李东平,等. 河源桂山和福礞生态谷蝴蝶多样性调查[J]. 福建林业科技, 2018, 45(1): 5.
- [16] 洪雪萌,戈昕宇,李俊兰. 赛罕乌拉自然保护区蝶类多样性及其影响因素[J]. 生物多样性, 2018(26): 590-600.
- [17] FU C Z, HUA X, LI J, et al. Elevational patterns of frog species richness and endemic richness in the Hengduan Mountains, China: Geometric constraints, area and climate effects[J]. Ecography, 2006(29): 919-927.
- [18] KESSLER M. The elevational gradient of Andean plant endemism: Varying influences of taxon-specific traits and topography at different taxonomic levels[J]. Journal Biogeography, 2002(29): 1159-1166.
- [19] VETAAS O R, GRYTNES J. Distribution of vascular plant species richness and endemic richness along the Himalayan elevation gradient in Nepal[J]. Global Ecology and Biogeography, 2002(11): 291-301.
- [20] 刘争,蔡东章,刘昊,等. 河南鸡公山蝴蝶资源与区系[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2021, 34(1): 50-60.
- [21] NELSON S M. Butterflies (Papilionoidea and Hesperioidea) as potential ecological indicators of riparian quality in the semi-arid western United States[J]. Ecological Indicators, 2007, 7(2): 469-480.
- [22] RIVA F, ACORN J H, NIELSEN S E. Localized disturbances from oil sands developments increase butterfly diversity and abundance in Alberta's boreal forests[J]. Biological Conservation, 2018(217): 173-180.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.011

西平县引洪河省级湿地公园规划设计

高健康,冯婉婷,胡宗上,刘保国

(河南农业大学 风景园林与艺术学院,河南 郑州 450002)

摘要:以西平县引洪河省级湿地公园为例,根据湿地现状、地理位置以及当地人文历史情况,遵循湿地公园规划的指导思想和基本原则,将湿地公园划分为湿地保育区、合理利用区、宣教展示区和管理服务区4个功能区,形成“一线,两岸,四区”的规划布局。并通过开展湿地生态保护、科普宣教、科研监测等工程措施,构建以保护生态环境为核心,集湿地保护、科研宣教、地域文化传承、休闲观光为一体的省级湿地公园。

关键词:引洪河省级湿地公园;资源保护;生态保护;植物景观;规划设计

中图分类号:Q178.5;TU986 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0058-05

引文格式:高健康,冯婉婷,胡宗上,等.西平县引洪河省级湿地公园规划设计[J].林业调查规划,2024,49(1):58-62.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.011

GAO Jiankang, FENG Wanting, HU Zongshang, et al. Planning and Design of Yin honghe Provincial Wetland Park in Xiping County[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 58-62. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.011

Planning and Design of Yin honghe Provincial Wetland Park in Xiping County

GAO Jiankang, FENG Wanting, HU Zongshang, LIU Baoguo

(College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Taking Yin honghe Provincial Wetland Park in Xiping County as an example, according to the status, geographical location and local cultural and historical conditions of the wetland, and following the guiding ideology and basic principles of wetland park planning, the wetland park was divided into wetland conservation area, reasonable utilization area, propaganda and exhibition area, and management service area, forming a planning layout of “one line, two banks and four areas”. And engineering measures such as wetland ecological protection, popular science education, scientific research monitoring were implemented to build a provincial wetland park that focused on protecting the ecological environment and integrated wetland protection, scientific research and education, regional cultural inheritance and leisure tourism.

Key words: Yin honghe Provincial Wetland Park; resource protection; ecological protection; plant landscape; planning and design

湿地作为自然生态系统的重要组成部分,在调蓄防洪、水质净化、维持生物多样性、防灾减灾等方

面具有不可替代的作用,被喻为“地球之肾”^[1]。近年来,随着经济社会的快速发展,湿地被大量转化为

收稿日期:2022-07-25.

基金项目:河南省科技厅软科学基金项目(212400410023);河南省高校人文社会科学研究一般项目(2021-ZZZH-159);郑州市历史文化遗产数字化保护重点实验室项目.

第一作者:高健康(1996-),男,河南商丘人,硕士研究生.主要从事风景园林规划设计研究. Email:1452063836@qq.com

责任作者:刘保国(1975-),男,河南中牟人,副教授,研究生导师.主要从事风景园林规划设计研究. Email:614285065@qq.com

工业、农业、建设用地,导致了全球湿地面积的锐减,湿地数量与质量下降速度明显加快,湿地功能退化,直接威胁到区域、国家乃至全球的可持续发展,湿地保护恢复工作已迫在眉睫^[2]。

湿地公园在抢救性保护湿地中发挥了重要的作用,已成为我国湿地保护体系的重要组成部分。湿地公园在最大限度保护湿地资源的同时,具有调节大江大河径流、调节区域气候、控制洪涝灾害、满足人们生产生活需求等方面功能^[3-5]。本文以引洪河省级湿地公园为例,以区域生态多样性恢复和保护为主要考量,通过实施科学合理的工程措施,减少不合理的资源利用行为,有效维护和改善野生动植物栖息环境,为城乡居民创造良好的湿地观光环境和休闲场所。

1 研究区概况

1.1 区域位置

西平县引洪河省级湿地公园位于河南省驻马店市西平县的西部区域,整体呈带状分布。地理坐标介于东经 113°98'23"~114°00'64",北纬 33°39'12"~33°42'76"之间。湿地公园西南与嫫祖海棠园相接,东北与西平植物园相连,南由西平大道,北至小王庄村,G107 穿河而过,东西宽 0.25~0.7 km,南北长约 4.8 km。规划区总面积 164 hm²,其中湿地面积 67.7 hm²,湿地率达 41.3%。主要湿地类型为人工湿地类的运河、输水河湿地。

1.2 动植物资源

湿地公园地处亚热带与暖温带的过渡地带,阳光充沛,降水量充足,气候条件良好,有利于多种植物生长,野生植物资源十分丰富。现有维管束植物 54 科 121 属 198 种,其中蕨类植物有 5 科 6 属 8 种,裸子植物有 2 科 4 属 9 种,被子植物 47 科 111 属 181 种。有国家二级重点保护植物 4 种,分别是野大豆、榉树、莲、中华结缕草。除植物外,基地内动物资源亦相当丰富,现有脊椎动物 23 目 63 科 218 种。其中鱼纲 4 目 11 科 51 种,两栖纲 1 目 3 科 7 种,爬行纲 2 目 5 科 16 种,鸟纲 11 目 37 科 128 种,哺乳纲 5 目 7 科 16 种。大部分野生动物都属于常住种类,主要栖息在开放水空间、灌木群落和农田区域。

1.3 现状水系

引洪河湿地水域主要由发源自小洪河的自然径流形成,湿地地貌由人工开挖的引洪道形成。小洪河是洪汝河的主源河,水流量在夏秋两季较大,水源充足、水资源丰富,能保证西平县引洪河省级湿地公园的供水要求,维持完整的湿地生态系统。此外,根

据西平县环境监测站提供的资料显示,该区域水质为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类,存在一定污染情况。

2 规划思路

2.1 指导思想

全面贯彻习近平生态文明思想,国家有关湿地公园的法律、法规、政策、条例,以生态学、生物学、可持续发展论等理论体系为指导,以更好保护引洪河区域生态环境和人文资源为目标,遵循湿地公园“全面保护、科学修复、合理利用、持续发展”的方针,充分考虑引洪河区域湿地生态系统的健康度和承载力,在保护湿地生态系统、生物多样性的前提下,充分发挥湿地公园的资源优势,充分协调周边社区的利益关系,科学合理地建设富有特色的景点,大力发展湿地生态旅游,实现湿地资源保护与开发利用以及周边社区经济发展的多赢局面^[6]。

2.2 规划原则

2.2.1 生态优先,全面保护修复

保护湿地公园范围内生态环境、动植物资源是湿地公园建设运营的首要任务。一切建设活动都不能以破坏生态环境为代价,应根据湿地生态系统产生、发育和演替的自然规律,充分考虑环境与生物之间的相互作用,制定科学的保护规划,保护原生湿地植被及湿地景观,维护湿地生态系统结构稳定,改善野生动植物的生境质量。

2.2.2 合理利用,可持续发展

在保护恢复湿地生态系统结构、功能的基础上,整合现有资源,开展具有公园特色的湿地科普宣教活动,适度安排湿地体验类项目,满足人们亲湿游憩、回归自然等美好生活的需求。此外,湿地资源的保护离不开公众的参与,应发动当地居民及旅游者加入保护行动,以有效提高资源保护效率,实现湿地公园内人与自然和谐持续发展。

2.2.3 多规融合,合理布局

根据湿地公园的地域特点及湿地公园所在区域的社会经济发展情况,严格遵守耕地、河流、环保等相关法律法规。统筹规划,充分发挥自身优势,尽量利用现有基础设施条件,避免重复建设,并根据分期规划确定不同阶段的建设目标和内容,分步骤、有重点地实施建设工程。

2.2.4 因地制宜,突出公园特色

湿地公园规划,需根据项目地区的实际情况,因地制宜地采取有针对性的工程措施。合理利用湿地

资源时,应突出多元湿地生态服务功能、景观和文化特色,充分挖掘、利用现有优势,体现湿地的生态功能、自然风貌、历史文化与旅游环境特色,明确定位,突出个性,创出新意,提高湿地公园的社会影响力和市场竞争力。

2.3 规划目标

不断加强湿地公园湿地资源、生物多样性的保护和恢复,充分利用和挖掘湿地公园的自然景观和人文景观资源,丰富景观内涵;加强景区、景点建设,完善旅游接待基础设施;构建具有自我修复能力、生物多样丰富的湿地安全格局,增强湿地生态系统的自然性、完整性和稳定性。把引洪河湿地公园建成一个集生态旅游、观光休闲、文化体验、科普教育为一体的综合性生态乐园^[7]。

3 总体布局及功能分区

3.1 总体布局

根据引洪河湿地的区位特点、景观环境、资源分布以及与旅游文化开发的需要,综合考量河南省湿地公园总体规划技术规范(DB41/T 723—2012)和国家湿地公园建设规范(LY/T 1755—2008)相关要求,结合湿地公园规划的指导思想和基本原则,将引洪河湿地公园规划建设为“一线、两岸、四区”的总体空间结构^[8](图 1)。

“一线”是指湿地公园引洪河河道形成的水域空间轴线,体现了湿地公园建设的总体性和完整性。

“两岸”是指引洪河东西两侧的河岸。未来将其打造成为连接城市和乡村的生态廊道,能够在提升西平县绿色福祉的同时,为野生动物提供庇护所和栖息地,提高城乡生态系统功能和生物多样性。

“四区”是指将湿地公园划分为湿地保育区、宣教展示区、管理服务区与合理利用区 4 个功能分区。不同的功能区根据不同的资源特点、生态环境等方面进行合理的空间布局^[9]。

3.2 功能分区

3.2.1 湿地保育区

湿地保育区是指湿地生态系统完整性好,生态环境敏感性高的区域,是湿地公园的核心区域。该区域位于湿地河道水面中心区,规划总面积 67.7 hm²,占湿地公园总面积的 41.3%。该区域规划期内以生态保护修复为主,突出保护湿地公园自然水系及其湿地生态过程,提升湿地自净及水源涵养能力,维护区域水生态安全。区域内除开展适当的湿地保护、科研监测等必要的保护管理活动外,不得开展干扰湿地生态系统以及其他与保护管理湿地无关的活动。

3.2.2 宣教展示区

宣教展示区是湿地公园内开展湿地科普宣教的重要场所。该区依托引洪河河道西侧进行建设,规划面积 47.3 hm²,占总面积的 28.9%^[10]。其主要功能是开展湿地认知,普及湿地科学知识,展示湿地生态系统多样性,并强调湿地保护与合理利用的协调发展,让人们体会湿地文明的渊远流长,增强周边民众湿地保护意识。

3.2.3 合理利用区

合理利用区主要位于湿地公园东部引洪河北岸,面积 47 hm²,占总面积的 28.6%。该区以生态体验与生态游憩为主题,以西平县历史文化资源、旅游资源和湿地生态环境为依托,以天然的植被景观为主要观赏对象,进一步完善湿地公园休闲娱乐设施,注重游客的参与性和娱乐性,打造独具特色的旅游活动。

3.2.4 管理服务区

管理服务区是指为满足湿地公园管理和旅游接待服务需要而划定的区域,是湿地公园的交通枢纽和指挥中心,用以维持湿地公园日常工作正常开展。该区域位于湿地公园东北角,占地面积 2 hm²,占总面积的 1.2%。规划办公管理中心、生态亭廊、游客中心、停车场、公厕休息站等接待服务设施。设施的建设必须生态环保并且与周边湿地环境自然融洽^[11]。

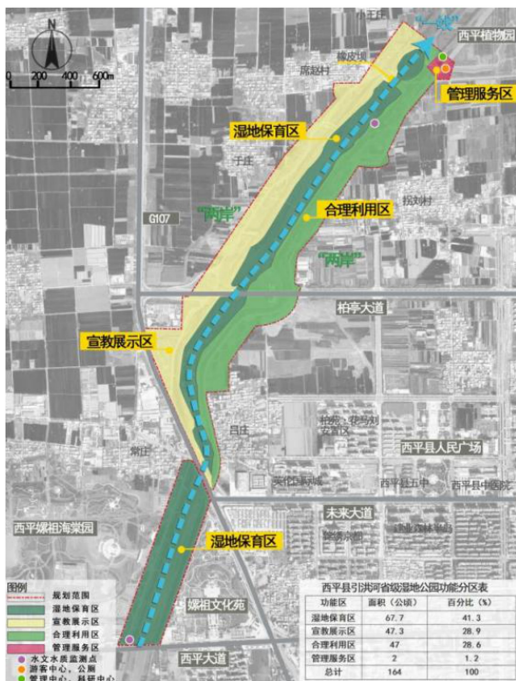


图 1 引洪河省级湿地公园总体布局

Fig. 1 Overall layout of Yinzhonghe Provincial Wetland Park

4 专项设计

4.1 生态保护规划

4.1.1 水系和水资源保护

湿地公园境内地势低洼,水流动性不强,部分狭窄或泥沙淤积严重的河道与周围水系连通性不够。同时公园内岸线大多坡度大、植被简单,虽然已使用松木桩进行加固处理,但河道内较大的水流仍会对岸线进行冲刷侵蚀,造成水土流失、沉积物淤积,阻塞河道。针对湿地公园内水系与水资源现状,提出以下保护措施:

1) 尊重平原水网自然形态,在维持现有河道连通性,防止淤泥堵塞的前提下,对湿地公园内的河道局部进行形态调整,恢复与周边水体的水文连通和生态联系,增强水体生态活力,为生物提供丰富多变的水生环境^[12]。

2) 以恢复湿地原生生境、丰富湿地景观要素为主要目标,针对不同物种对地貌形态的不同生存要求,开展湿地微地形改造工程。通过生境岛营建、浅滩湿地营建、陡坡整理、小型水面规整等方式,改变湿地水文循环和物质迁移路径,恢复重建多类型湿地生境^[13]。

3) 保持水系原生景观的自然性、和谐性,控制公园水系周边的环境容量;提高水系保护宣传水平,加强周边居民的素质教育,使水系保护理念深入人心。

4.1.2 水质保护

由于湿地公园周边村庄、农田广布,周边工厂企业和村镇社区居民生活排污、耕种或水产养殖等,使湿地公园面临着日益严峻的压力。为了维持并提升湿地公园水质,需建立一整套全面的保护管理体系,从多方面采取措施。

1) 持续推进治水工程,健全水质保护长效机制,加强水质日常保洁和巡护监测工作,保护好引洪河良好的水质及净水功能,稳定并进一步优化上游来水水质。

2) 加强农业面源污染控制。湿地公园周边耕地众多,削减农业面源污染排放量,是改善湿地公园水质、预防水体富营养化的根本措施之一。规划在湿地公园及周边区域,大力倡导并示范使用农家肥、病虫害生物防治等绿色有机种植技术,构建绿色有机种植模式。

3) 农村生活污染源控制。结合周边社区环境整治等治水行动,引导改变社区居民的生活生产方式,加强周边城镇及农村生活污水处理设施(污水

收集系统、污水处理厂、农村生态处理池等)建设,禁止将未达标的污水排入河流,影响水体质量。

4.1.3 水岸保护

在确保防洪安全的前提下,考虑稳定、自然透水及经济成本等因素,对破坏驳岸进行修复,对具有改造空间的人工驳岸进行生态化改造,创造适宜于动物栖息和植被生长的生态环境。主要采取以下措施。

1) 对于部分坡度较陡、植被较为单一的水岸,进行水岸地形的适度改造,营造部分缓坡岸带。采取柔性防护结构与植物措施相结合的方式对硬质堤岸进行生态化改造,促进和提升水体—土壤—植物—微生物之间的物质循环与能量流动,形成健康良性循环的滨河岸带生态系统。

2) 保存并利用好原生自然植被,恢复水岸林带。适当在林下种植灌草,以提高水岸结构的稳定性。水岸植被带恢复应选择乡土树种、耐水湿性状较好的植物,植物配置体现水生植物、湿生植物和中生植物分布的连续变化过程。

3) 尊重自然规律,采用自然恢复和人工促进的方式,恢复湿地野生动植物栖息环境,提高生物群落的多样性。

4.1.4 野生动物资源保护

湿地公园是典型的农耕式河网湿地,公园周围存在大面积的耕地,致使自然生境较为破碎。另外,湿地公园周边村庄较多,频繁的农业活动和强度较大的人为活动,会给湿地公园野生动物栖息地带来一定影响。针对湿地公园内野生动物栖息地现状,提出以下保护措施:

1) 对野生动物天然栖息地实施严格保护,防止开发建设活动对野生动物的正常活动造成影响。在保护区的基本道路规划建设中,考虑建立野生动物绿色通道,以维持野生动物栖息地的连续性和完整性,为野生动物的迁徙、交流及繁殖留下通道空间。

2) 利用现代科技手段,开展野生动物的驯养繁育,扩大野生动物种群的数量。完善野生动物的监测管理体系,监测种群规模、分布区面积的变化及其幅度,建立种群数量消长情况的监测数据库,分析种群动态变化趋势及其原因^[14]。

4.1.5 植物景观

湿地公园在植物搭配上以原生植被保护为主,根据各分区规划定位、主要建设项目和景点规划进行植被恢复保护,从而修复湿地生态系统结构,维护湿地基底的稳定^[15]。

1) 湿地保育区植物景观规划以适合鸟类、水生动物等栖息的野生植物为主,包括垂杨、香樟、构树、枫杨、桑树等乔灌木,白三叶、麦冬、野菊花、萱草、地被菊等地被植物,以及芦苇、梭鱼草、香蒲、金鱼藻、眼子菜等水生植物。

2) 宣教展示区植物配置从整体上应遵循本土植物优先原则。可以选择枫杨、垂柳、朴树、榉树等乔木,石竹、小毛茛、羊胡子草、结缕草等地被植物,以及芦苇、小香蒲、慈菇、荷花、窄叶泽泻等水生植物,为青少年及成人提供湿地科普的功能需求。

3) 合理利用区的植物应结合乔灌草进行合理配置。可依托河道整治工程的海棠和樱花为基调树种,增种乔木可选银杏、五角枫、枫杨、白蜡、元宝枫等,灌木可选紫玉兰、紫荆、碧桃、紫叶李、木槿、紫薇、大叶黄杨等,适当配置睡莲、石菖蒲、花叶菖蒲、水葱等水生或湿生植物,为游客提供充分的湿地体验。

4) 管理服务区植物景观规划要多以醒目的颜色与造型示人,能够引导游客。通过不同的植物组团造型,打破单纯的线型植物景观;利用植物空间的围合营造不同景观空间,丰富景观效果。植物可选择黄栌、红花檉木、广玉兰、红枫、棠梨、海棠、碧桃、雪松、女贞、香樟等。

4.2 科普宣教

科普宣教是提高人们对湿地认识的主要手段。湿地公园应在严格保护湿地资源和湿地生态系统的前提下,增加形式丰富的生态文化宣教解说标识,通过设置湿地宣教长廊,生态科普解说牌、多媒体展厅等科普设施,多方位展示生物生长环境和保护知识。在宣教内容上应突出以人为本,将科普知识大众化、解说词人性化,使之更贴近普通百姓。可采用实物、标本、图板、动画、媒体等方式开展湿地、野生动植物的科普实践和培训实验活动,使当地居民和访客体验湿地环境,感悟湿地文化,培养生态意识。

4.3 科研监测

科研监测规划是在开展好湿地资源管理的前提下,进行综合性科学研究,为人们认识湿地公园,探索湿地发生、发展和自然演替变化规律,改造自然和合理利用湿地提供科学依据。为充分高效、准确地利用科学数据,合理保护湿地资源,引洪河湿地公园规划建立一个湿地环境监测站和两个监测点,对湿地公园的水体、水体衍生的水生植物、水禽、鱼类及两栖爬行动物的种类、数量、种群变化等进行监测。通过监测评估体系的调查评估,不但可以获得湿地各种生态环境因子的信息,亦可预测湿地生态系统

的变化趋势,有利于发展完善湿地保护事业。

5 结 语

引洪河是西平县稀有的城郊湿地,有很好的先天条件和地域优势,但生态环境状况不容乐观,需要生态保护和修复。应遵循可持续发展的思路,最终使其成为湿地功能良好、生态系统稳定、科普宣教氛围浓厚、公园特色鲜明的湿地公园典范。此外,引洪河湿地公园的建设应注重充分发挥湿地多种功能效益,可以通过开展湿地生态旅游、湿地科研监测等项目,促进西平县生态、社会、经济和谐发展。

参考文献:

- [1] 鲁敏,李科科,康文凤,等. 湿地园林研究进展[J]. 山东建筑大学学报,2012,27(2):224-228.
- [2] 支乾坤. 河北滦河上游自然保护区湿地保护与恢复[J]. 安徽农学通报,2013,19(15):97-99.
- [3] 韩大勇,杨永兴,杨杨,等. 湿地退化研究进展[J]. 生态学报,2012,32(4):289-303.
- [4] 李文英. 我国湿地公园建设管理现状与展望[J]. 中国城市林业,2010,8(3):50-52.
- [5] 张英云,张玉钧. 基于水环境保护的湿地公园规划探讨——以山东拥翠湖国家湿地公园为例[J]. 湿地科学与管理,2013,9(1):14-17.
- [6] 赵荟,刘永杰,敖明舒,等. 昆明捞渔河国家湿地公园规划构思[J]. 林业调查规划,2018,43(4):139-144,149.
- [7] 邢浩杰,楚端玉,刘汉宇,等. 汤阴县省级森林城市建设规划研究[J]. 林业调查规划,2021,46(3):138-143.
- [8] 蒲应春,曾辉,张志平. 贵州万山长寿湖国家湿地公园规划构思[J]. 林业调查规划,2014,39(2):155-157.
- [9] 彭磊磊,钟黎文. 江西修河源国家湿地公园资源调查及功能分区探讨[J]. 园艺与种苗,2022,42(4):27-28,43.
- [10] 官加杰,周静. 贵州省飞龙湖国家湿地公园规划构想[J]. 现代农业科技,2015(12):188-191.
- [11] 高梓洋. 黑龙江八五八小穆稜河国家湿地公园规划[J]. 湿地科学与管理,2018,14(1):7-10.
- [12] 许信,陆喜云,陈佳秋,等. 典型城郊河流型湿地公园规划与设计:以广西荔浦荔江国家湿地公园为例[J]. 湿地科学与管理,2021,17(4):46-51.
- [13] 刘智. 沈阳市北沙河河道水系现状调查及河道生态修复研究[J]. 科技创新与应用,2014(4):109.
- [14] 闫玉军,高兴云,张建霞,等. 山东野生动物资源的保护与发展[J]. 防护林科技,2014(9):62-64,93.
- [15] 杨文忠,康洪梅,向振勇,等. 极小种群野生植物保护的主要内容和要点[J]. 西部林业科学,2014,43(5):24-29.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.012

云南白马雪山自然保护区有蹄类动物活动节律及影响因素初步研究

马运军, 提布, 江次农布, 杨建强, 斯那劳丁, 木艳春, 张鹏万, 史岩, 和雁南,
和春菊, 扎史品初, 马金林, 扎巴都吉
(云南白马雪山国家级自然保护区管护局, 云南 迪庆 674208)

摘要: 动物活动节律是了解动物生存策略和科学管护的基础, 为探究白马雪山保护区有蹄类活动节律及影响因素, 于 2020 年 6 月—2022 年 6 月在云南白马雪山国家级自然保护区布控 74 台红外相机, 对比分析白马雪山保护区德钦叶日、维西塔城片区有蹄类动物的活动节律及人为活动影响。为掌握白马雪山保护区有蹄类动物日活动节律及科学制定生物多样性保护措施提供科学数据支持。

关键词: 有蹄类; 日活动节律; 人为活动; 白马雪山

中图分类号: S759.9; Q959.842 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0063-06

引文格式: 马运军, 提布, 江次农布, 等. 云南白马雪山自然保护区有蹄类动物活动节律及影响因素初步研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 63-68. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.012

MA Yunjun, Tibu, Jiangci Nongbu, et al. Activity Rhythm and Influencing Factors of Ungulates in Baima Snow Mountain Nature Reserve of Yunnan[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 63-68. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.012

Activity Rhythm and Influencing Factors of Ungulates in Baima Snow Mountain Nature Reserve of Yunnan

MA Yunjun, Tibu, Jiangci Nongbu, YANG Jianqiang, Sina Laoding, MU Yanchun,
ZHANG Pengwan, SHI Yan, HE Yannan, HE Chunju, Zhashi Pinchu, MA Jinlin, Zhaba Duji
(Administration of Baima Snow Mountain National Nature Reserve, Deqen, Yunnan 674208, China)

Abstract: Animal activity rhythm is the basis for understanding animal survival strategies and scientific management and protection. In order to explore the activity rhythm and influencing factors of ungulates in Baima Snow Mountain Nature Reserve, 74 infrared cameras were deployed in the Baima Snow Mountain National Nature Reserve of Yunnan to compare and analyze the activity rhythm and human activities of ungulates in Yeri of Deqen and Tacheng of Weixi, to provide scientific data support for mastering the daily activity rhythm of ungulates in Baima Snow Mountain Reserve and scientifically formulating biodiversity protection measures.

Key words: ungulates; diurnal activity rhythm; human activity; Baima Snow Mountain

活动节律作为动物行为生态学研究的重要内容, 对阐明生物群落的物种间竞争及共存机制起着

非常重要的作用^[1], 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可了解动物的生存行为

收稿日期: 2023-02-15.

第一作者: 马运军(1992-), 男, 云南香格里拉人, 助理工程师. 主要从事自然保护区建设与管理方面的工作. Email: 18908870052@163.com

策略^[2]。活动节律既是动物自身长期进化的结果^[3], 又是对环境因素变化适应的体现^[4], 其受生物学因素(如年龄、性别、繁殖状态等)和外界环境因素(如气候、光照、捕食者、竞争者、人为干扰、食物资源等)的共同作用, 与环境周期变化保持同步^[2,5]。

国内利用红外相机监测技术已对多个目的哺乳动物物种及一些地面活动的鸡形目鸟类^[6]进行野生动物的日活动节律研究, 如林麝(*Moschus berezovskii*)^[7]、毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*)^[8]、中华鬣羚(*Capricornis milneedwardsii*)^[9]、中华斑羚(*Naemorhedus griseus*)^[10]、水鹿(*Rusa unicolor*)^[11]、小麝(*Muntiacus reevesi*)^[12]、黑麝(*Muntiacus crinifrons*)^[13]等物种。

人为干扰是影响野生动物日活动节律的重要因素之一, 对物种的时间生态位重叠度有一定影响, 使种内及种间的竞争变得更加激烈^[6]。近年来人为干扰因素对动物活动节律的影响也开始受到关注和研究。对全球 62 种野生动物的研究表明, 为避开人类活动的干扰和威胁, 原本昼行性的动物开始转变为夜间活动, 动物夜间活动模式增加^[14]。

近年来, 云南白马雪山国家级自然保护区(以下简称白马雪山保护区)基于红外相机监测技术记录了金钱豹(*Panthera pardus*)、水鹿、棕噪鹛(*Garrulax poecilorhynchus*)等物种的影像资料。出版了《白马雪山常见兽类和雉类》, 发表了岩羊、白马雪山哺乳动物调查等相关文章, 极大推动了白马雪山保护区的野生动物监测、调查、编目、评估等研究工作。林麝、毛冠鹿、中华鬣羚是当前南方山地森林较为常见的有蹄类^[15-16], 在白马雪山保护区也成为分布较广, 数量多的优势有蹄动物。目前白马雪山保护区基于红外相机监测技术的专题研究项目中对林麝、毛冠鹿、中华鬣羚活动节律的研究较少。

利用红外相机开展云南白马雪山国家级自然保护区有蹄类林麝、毛冠鹿和中华鬣羚的活动节律研究, 并比较德钦叶日片区、维西塔城片区人为干扰对有蹄类活动节律的影响, 为白马雪山保护区有蹄类的保护、制定生物多样性保护措施及科学研究提供数据支撑。

1 研究方法

1.1 红外相机布设

研究地点位于白马雪山保护区, 属于迪庆藏族自治州德钦县和维西县境内。目前白马雪山保护区共记录到哺乳动物 103 种, 属于 9 目、25 科、71 属。

所记录的 103 种哺乳动物中, 国家重点保护野生动物有 32 种, 共记录到鸟类 18 目、47 科、372 种, 是全球生物多样性热点关注地区和我国“三江并流”世界自然遗产地的核心组成部分^[17]。丰富的野生动物资源是此次调查研究的坚实基础。利用地理信息系统(ArcGIS)在白马雪山保护区设置 3 块样地及 2 条样线布控红外相机。2021 年 11 月—2022 年 6 月, 在德钦曲宗贡片区布设 2 条相机监测样线, 分别位于山脊(曲宗贡—尼思各甲)、沟谷(曲宗贡—崩树青拥), 并在每条样线上各布设 7 台红外相机(总共 14 台)。2021 年 4 月—2021 年 11 月在德钦叶日片区(北片区)设置 1 块样地, 2020 年 6 月—2021 年 4 月在维西塔城片区(南片区)设置 2 块布控样地, 其中将 3 块样地分别划分为 1 km × 1 km 的网格, 每个样地内设置 20 个网格, 在每个网格内选择较好位置(兽道、水源地等动物活动较频繁的生境)布设 1 台红外相机(每块样地内共布设 20 台相机, 总共 60 台相机), 具体红外相机布设点见图 1。

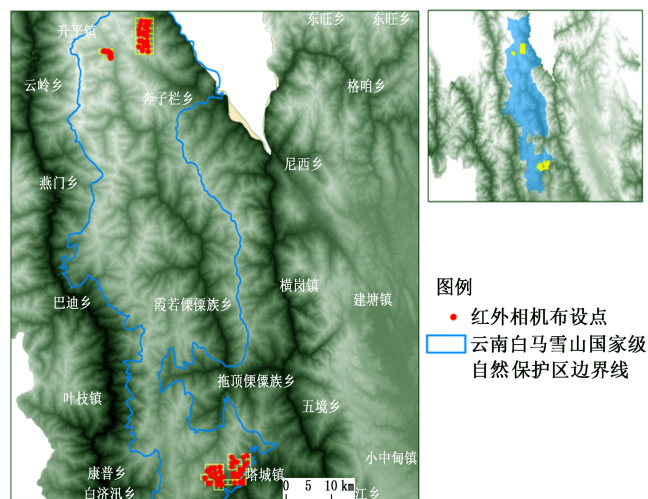


图 1 2020 年 6 月—2022 年 6 月云南白马雪山国家级自然保护区红外相机布设点

Fig. 1 Infrared camera deployment points in Baima Snow Mountain Nature Reserve from June 2020 to June 2022

将相机安装在距离地面 50~150 cm 的树干上, 镜头方向尽量顺光, 清理镜头前的小树枝、灌木、杂草, 降低空拍率。将相机参数进行统一设置: 全天 24 h 监测, 灵敏度低, 拍摄模式(每次连拍 2 张, 录制 1 段视频), 拍照时间间隔 2 min, 拍照像素 1 200 万, 视频尺寸 1 080 P, 视频长度因每个片区的相机内存大小及更换频次不一样, 所以视频长度也不同, 曲宗

贡 2 条样线上的 15 台相机视频长度为 20 s,叶日区域的 20 台相机视频长度为 15 s,塔城区域的 40 台相机视频长度为 10 s。每台相机安装完毕后,记录坐标位置、生境等信息,以方便后期准确找到相机位置进行电池、内存卡更换及数据分析。每隔 3—6 个月更换一次电池及内存卡,取回红外相机后根据每台相机编号建立相应文件夹进行影像资料的储存以备后期整理分析。

1.2 数据分析

利用红外相机照片分拣软件提取每台红外相机拍摄照片上记录的信息(物种、数量、拍照时间),进行物种鉴定,生成 Excel 表格,统计相机有效工作日。将 24 h 作为动物活动的一个有效周期,同一物种在 30 min 内拍到的多张照片记作 1 张独立有效照片^[18-19],有效照片在不同时段的数量反映动物活动的频繁度(动物日活动节律)。统计各物种的独立有效照片数及各物种在不同月份拍到的有效照片数、拍到每个物种的位点数。利用 R 软件 iNEXT 软件包(2016 年),分别绘制出兽类物种累积曲线图,估算白马雪山保护区 2020 年 6 月—2022 年 6 月内红外相机所记录到的全部兽类物种的物种多样性。南北片区物种活动节律的重叠分析采用核密度估计法,比较南北片区物种日活动节律的重叠系数,导入 overlap 包,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,选用 adjust=1 计算 Dhat($\Delta 4$)。用 P 值检验成对物种活动节律曲线差异的显著性。

2 结果分析

2.1 物种统计及分析

经过统计相机工作 19 725 d,共拍摄 42 891 张照片,其中独立有效照片为 4 350 张。拍摄到兽类独立有效照片 2 932 张,占独立有效照片总数的 67.40%,兽类动物共 32 种,其中国家一级重点保护野生动物有滇金丝猴(*Rhinopithecus bieti*)、豺(*Cuon alpinus*);国家二级重点保护野生动物有亚洲黑熊(*Ursus thibetanus*)、狼(*Canis lupus*)、黄喉貂(*Martes flavigula*)、赤狐(*Vulpes vulpes*)、豹猫(*Prionailurus bengalensis*)、小熊猫(*Ailurus fulgens*)、果子狸(*Paguma larvata taivana*)、猕猴(*Macaca mulatta*)、中华斑羚(*Naemorhedus griseus*)、高山麝(*Moschus chrysogaster*)、林麝、毛冠鹿、中华鬃羚。拍摄到鸟类独立有效照片

791 张,占独立有效照片总数的 18.10%,共有 44 种,其中国家一级保护鸟类有斑尾榛鸡(*Bonasa sewerzowi*);国家二级保护鸟类有白腹锦鸡(*Chrysolophus amherstiae*)、红腹角雉(*Tragopan temminckii*)、白马鸡(*Crossoptilon crossoptilon*)、四川雉鹑(*Tetraophasis szechenyii*)、血雉(*Ithaginis cruentus*)、大噪鹛(*Garrulax maximus*)、橙翅噪鹛(*Garrulax elliotii*)、棕噪鹛。

2020 年 6 月—2022 年 6 月白马雪山保护区兽类物种累计曲线如图 2 所示。

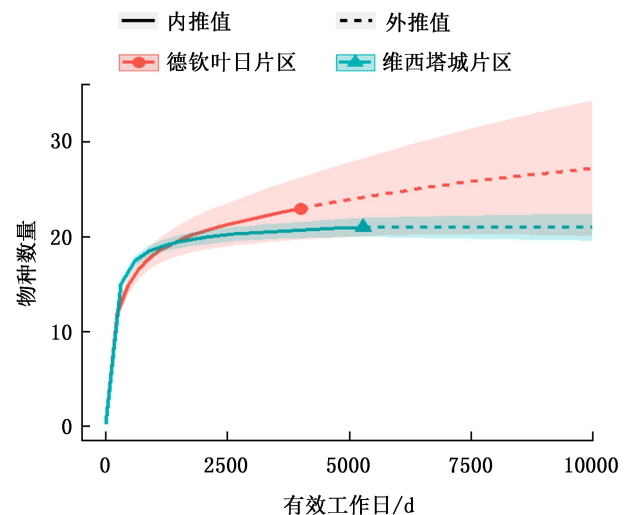


图 2 2020 年 6 月—2022 年 6 月白马雪山保护区兽类物种累计曲线

Fig. 2 Accumulated curve of animal species in Baima Snow Mountain Nature Reserve from June 2020 to June 2022

兽类物种累计曲线显示,德钦叶日片区处于缓慢上升趋势,说明相机工作时长还不够,若延长相机监测时间物种可能继续增多。维西塔城片区在相机工作日达到 2 500 d 后兽类物种趋于饱和,物种累计曲线已基本无变化,这说明相机台数及相机工作天数已足够,研究数据较有代表性和充分说服力。

2.2 不同片区有蹄类日活动节律对比分析

白马雪山保护区有蹄类林麝、中华鬃羚和毛冠鹿均为晨昏活动,具体拍摄位点数及独立有效照片统计见表 1。

拍摄到林麝照片的位点共 41 个,其中德钦叶日片区 22 个,维西塔城片区 19 个;获得林麝独立有效照片 277 张,其中德钦叶日片区 129 张,维西塔城片区 148 张。拍摄到毛冠鹿的位点共 42 个,其中德钦叶日片区 24 个,维西塔城片区 18 个;获得毛冠

表 1 白马雪山保护区不同片区独立有效照片与位点数统计

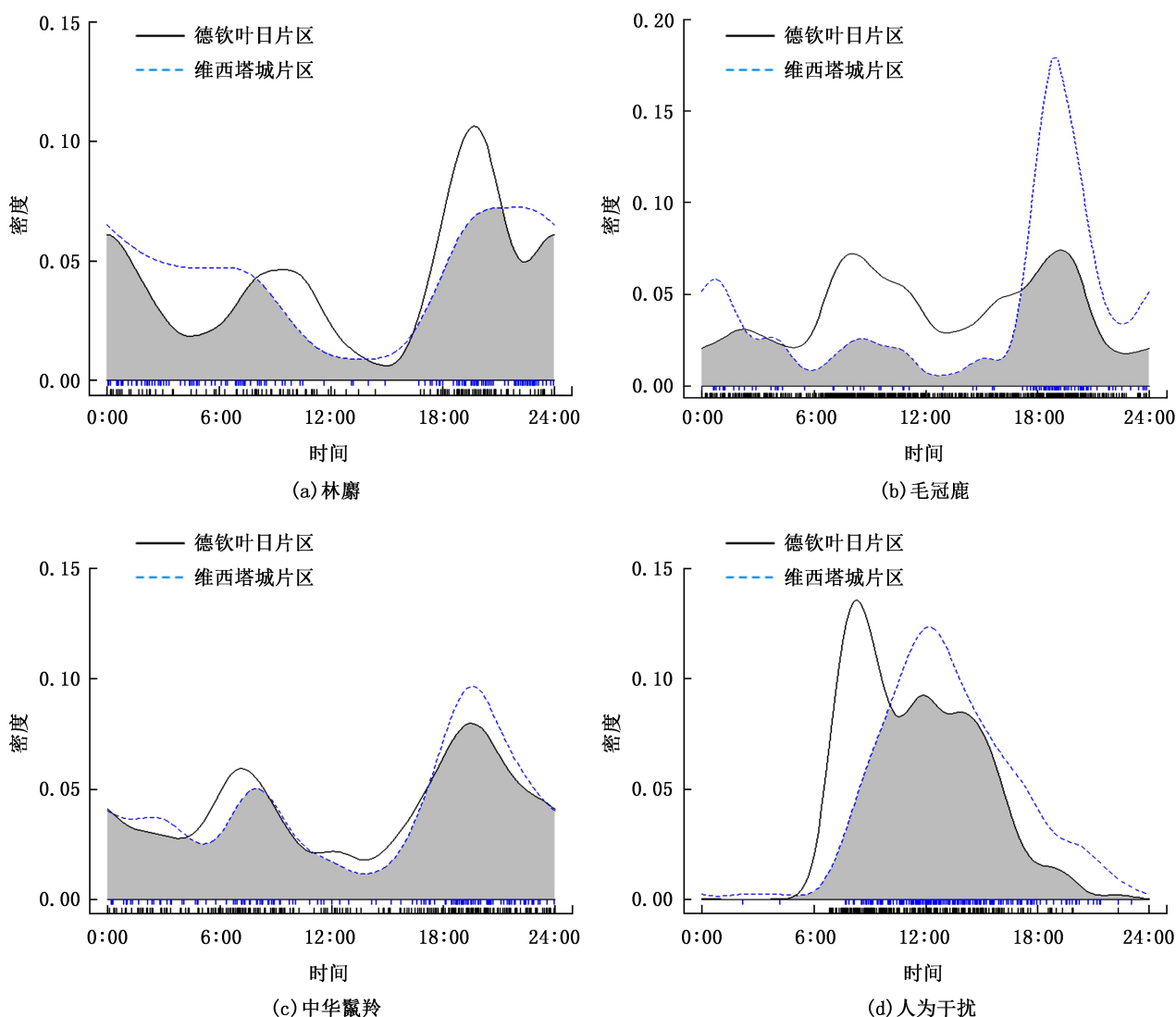
Tab.1 Statistics of independent and effective photos and location points in different areas of Baima Snow Mountain Nature Reserve

区域	林麝		毛冠鹿		中华鬣羚		人为干扰	
	照片 /张	位点 /个	照片 /张	位点 /个	照片 /张	位点 /个	照片 /张	位点 /个
德钦叶日片区	129	22	683	24	262	26	262	21
维西塔城片区	148	19	116	18	143	25	206	26
合计	277	41	799	42	405	51	468	47

鹿独立有效照片 799 张,其中德钦叶日片区 683 张,维西塔城片区 116 张。拍摄到中华鬣羚的位点共 51 个,其中德钦叶日片区 26 个,维西塔城片区 25 个;获得中华鬣羚的独立有效照片 405 张,其中德钦叶日片区 262 张,维西塔城片区 143 张。

白马雪山保护区不同片区有蹄类动物活动节律曲线比较情况见图 3。

不同片区林麝日活动节律重叠率 0.807,不同时间段日活动节律存在差异 ($P=0.011$)。德钦叶日片区林麝日活动节律表现为 3 个高峰,分别出现在 9:30—10:30、20:30—21:30、23:30—0:30。维西塔城片区林麝日活动节律呈现双峰型,分别出



注:灰色为重叠区域。

图 3 2020 年 6 月—2022 年 6 月白马雪山保护区不同片区有蹄类动物及人为活动节律曲线比较
Fig. 3 Rhythm curves comparison of ungulates and human activity in different areas of Baima Snow Mountain Nature Reserve from June 2020 to June 2022

现在 7:30—8:00、21:00—22:00。维西塔城片区林麝早上活动高峰先于德钦叶日片区,傍晚则相反。

不同片区毛冠鹿日活动节律重叠率 0.610,不同时间段日活动节律差异极显著($P < 0.001$)。2 个片区毛冠鹿日活动节律均呈现 3 个活动高峰,出现时间段基本相同,分别为 3:00—4:00、8:30—9:30、19:30—21:30。凌晨和傍晚维西塔城片区的活动高峰先于北片区,早上则相反。维西塔城片区毛冠鹿活动时间主要集中在傍晚,其他时间段活动较少,德钦叶日片区除 3 个活动高峰外,其他时间段毛冠鹿活动也较多。

不同片区中华鬣羚日活动节律重叠率 0.912,不同时间段日活动节律无差异($P = 0.561$)。不同片区中华鬣羚日活动节律均呈双峰型,分别出现在 8:00—9:00、20:00—21:00。早上德钦叶日片区中华鬣羚活动高峰先出现,傍晚出现活动高峰的时间一致。

白马雪山保护区有蹄类动物活动时间与人为干扰活动时间重叠小,有蹄类动物活动有明显回避现象。对比人为干扰活动节律与林麝、毛冠鹿、中华鬣羚日活动节律发现,德钦叶日片区人为干扰活动节律与毛冠鹿活动节律重叠最大,重叠率为 0.599,其余均小于 0.5,差异达极显著($P < 0.001$)。人为干扰活动集中出现在 9:00—17:00,此时间段林麝、毛冠鹿、中华鬣羚活动明显减少,人为干扰活动节律出现高峰时,是林麝、毛冠鹿、中华鬣羚全天内活动最少的时间段。

2.3 人为干扰及比较

拍摄到人为干扰活动的位点共 47 个,其中德钦叶日片区 21 个,维西塔城片区 26 个;获得人为干扰活动独立有效照片 486 张,其中德钦叶日片区 262 张,维西塔城片区 206 张。经统计,德钦叶日片区人为干扰活动以村民采集林下产品松茸等食用菌为主,拍摄到村民活动独立有效照片 249 张,占人为干扰活动独立有效照片总数的 95.0%;放牧干扰活动独立有效照片 13 张,占比 5.0%。维西塔城片区拍摄到村民活动独立有效照片 116 张,占比 56.3%;放牧干扰活动独立有效照片 90 张,占比 43.7%,维西塔城片区放牧干扰占比明显高于德钦叶日片区。不同片区人为干扰日活动节律重叠率为 0.750,不同时间段间日活动节律有差异($P < 0.001$)。德钦叶日片区日活动节律高峰出现在 9:30—10:30,早于维西塔城片区(12:00—13:00)。

3 讨论与结论

白马雪山保护区黄喉貂、狼、黑熊、豺等物种分布较广且数量较多,本次布设相机拍到黄喉貂、黑熊、狼、豺独立有效照片分别为 273、56、44、12 张。这些食肉动物必然会给有蹄类动物带来被捕食压力,影响有蹄类动物的活动节律。有蹄类动物活动节律受人为干扰活动、被捕食压力、食物及气候等因素影响,形成一定的活动节律是有蹄类动物适生存环境,合理利用资源的必然结果^[2-3,5]。

本研究结果显示白马雪山保护区内有蹄类动物的日活动节律具有晨昏性,林麝^[7]、毛冠鹿^[8]、中华鬣羚^[9]等大部分有蹄类动物活动节律研究结果一致。日出前和日落后是白马雪山保护区有蹄类动物的活动高峰期,中午出现活动低谷期。中午有蹄类动物活动减少的结论与李明富等^[20]对扭角羚的日活动模式研究结果相同,原因可能是中午气温较高不适合有蹄类动物取食活动。同时研究结果显示野生动物有明显回避人为活动的现象,中午是人为干扰活动最强时段,人类的生产活动对保护区内大多数野生动物的活动都会产生影响^[21],这也极有可能是导致中午有蹄类动物活动曲线出现低谷的重要原因。

同一物种不同片区活动节律存在一定差异,这与南北片区海拔差异及人为干扰活动有一定关系。不同片区的海拔差导致适合有蹄类动物活动的气温出现时间不同,所以其活动节律出现差异。同时,不同片区人为干扰活动高峰期不同也导致片区内物种活动节律不同。

林麝、毛冠鹿、中华鬣羚等有蹄类动物的季节活动节律存在差异^[22],本研究中维西塔城片区数据为完整的一年数据,德钦叶日片区由于受冬季降雪影响,只有 3—11 月份的数据(缺失冬季数据),2 条样线只有 10 月份到次年 6 月份的数据(缺失夏季数据),同一位点布控时间未形成完整周期的数据,可能对分析结果造成一定影响。从物种累计曲线也可以看出若德钦叶日片区增加相机数或延长布控时间,物种数量还可能增加,研究数据会更具说服力。

致谢:感谢大理大学东喜玛拉雅研究院黄志旁和房以好老师对论文撰写的指导,李军杰为数据分析提供帮助。

参考文献:

[1] 刘小斌. 利用红外相机监测数据分析佛坪国家级自然

- 保护区豹猫和黄喉貂活动节律及空间分布[J]. 动物学杂志, 2022, 57(1): 9-18.
- [2] 尚玉昌. 动物的行为节律[J]. 生物学通报, 2006(10): 8-10.
- [3] 张世卿. 动物的节律性活动[J]. 天中学刊, 1995, 10(1): 49-53.
- [4] SHI J B, DUNBAR R I M, BUCKLAND D, et al. Daytime activity budgets of feral goats (*Capra hircus*) on the Isle of Rum: Influence of season, age, and sex[J]. Canadian Journal of Zoology, 2003, 81(5): 803-815.
- [5] 段利娟. 王朗自然保护区大熊猫及其同域物种活动节律及栖息地利用研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [6] 石江艳. 人为干扰下白冠长尾雉及其同域分布的兽类活动节律分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [7] 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.
- [8] 刘明星, 朱必清, 王语洁, 等. 四川白河国家级自然保护区毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*)活动节律及季节变化[J]. 四川林业科技, 2021, 42(2): 27-32.
- [9] 冯彬, 胡露, 赵姗姗, 等. 同域分布中华鬣羚与中华斑羚时空生态位特征[J]. 生态学报, 2022, 42(13): 5275-5284.
- [10] 赵晨光, 何明超, 苏晋芬, 等. 基于红外相机技术对中华斑羚活动节律的研究[J]. 野生动物学报, 2022, 43(1): 32-37.
- [11] 何兴成, 付强, 吴永杰, 等. 水鹿的群体结构和活动节律分析[J]. 兽类学报, 2019, 39(2): 134-141.
- [12] 官天培, 龚明昊, 胡婧, 等. 小鹿秋季利用人工盐场的节律[J]. 动物学杂志, 2015, 50(2): 169-175.
- [13] 章书声, 鲍毅新, 王艳妮, 等. 基于红外相机技术的黑麂活动节律[J]. 兽类学报, 2012, 32(4): 368-372.
- [14] SHAMOON H, MAOR R, SALTZ D, et al. Increased mammal nocturnality in agricultural landscapes results in fragmentation due to cascading effects[J]. Biological Conservation, 2018(226): 32-41.
- [15] 黄凯, 万雅琼, 李佳琦, 等. 四川白河国家级自然保护区鸟兽红外相机监测[J]. 生物多样性, 2021, 29(4): 554-559.
- [16] 马国飞, 杨万吉, 王晓菊, 等. 神农架国家公园鸟兽多样性的红外相机调查[J]. 四川动物, 2021, 40(5): 581-590.
- [17] 云南省林业厅, 迪庆州人民政府, 白马雪山国家级自然保护区管理局, 等. 白马雪山国家级自然保护区[M]. 昆明: 云南民族出版社, 2003.
- [18] O'CONNELL A F, NICHOLS J D, KARANTH K U. Camera traps in animal ecology: Methods and analyses[M]. New York: Springer, 2011.
- [19] 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): 131-139.
- [20] 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.
- [21] 李明富, 李晟, 王大军, 等. 四川唐家河自然保护区扭角羚冬春季日活动模式研究[J]. 四川动物, 2011, 30(6): 850-855.
- [22] 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.

责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.013

贵州省自然保护地建设现状及发展策略

赵勤, 张兴强, 蒲应春, 陈斯侃

(贵州省林业调查规划院, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 贵州省围绕“四山八水”生态格局正在努力构建种类丰富、类型多样、具有喀斯特山地特色的自然保护地体系,截至 2021 年底,全省林业部门管理的自然保护地共 314 个,总面积 456.88 hm^2 , 占全省土地面积的 12.97%。分析自然保护地发展中存在的管理体制尚未理顺,面积占比相对偏低,空间布局不尽合理,整合优化未达预期,综合利用研究匮乏等问题。藉此,提出逐步理顺体制机制,积极创建国家公园,稳步推进整合优化,妥善处理保护与发展的关系,积极探索价值研究等自然保护地发展策略。

关键词: 自然保护地;整合优化;国家公园;贵州省

中图分类号:S759.9;F316.23 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0069-05

引文格式:赵勤,张兴强,蒲应春,等.贵州省自然保护地建设现状及发展策略[J].林业调查规划,2024,49(1):69-73.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.013

ZHAO Qin, ZHANG Xingqiang, PU Yingchun, et al. Current Situation and Development Strategies of Natural Protected Areas in Guizhou Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 69-73. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.013

Current Situation and Development Strategies of Natural Protected Areas in Guizhou Province

ZHAO Qin, ZHANG Xingqiang, PU Yingchun, CHEN Sikan

(Guizhou Forestry Survey and Planning Institute, Guiyang 550001, China)

Abstract: Guizhou Province is striving to build a natural protected areas system with rich and diverse types and karst mountain characteristics around the ecological pattern of “four mountains and eight waters”. As of the end of 2021, there were a total of 314 natural protected areas managed by the forestry department, with a total area of 456.88 hm^2 , accounting for 12.97% of the total land area in the province. This paper analyzed the development problems of natural protected areas, such as the management system not being rationalized, the proportion of area being relatively low, the spatial layout not being entirely reasonable, the optimization and adjustment not meeting expectations, and the lack of comprehensive utilization research. Therefore, this paper proposed to gradually streamline the institutional mechanisms, actively create national parks, steadily promote optimization and integration, properly handle the relationship between protection and development, and actively explore value research.

Key words: natural protected areas; integration and optimization; national park; Guizhou Province

收稿日期:2022-06-23.

第一作者:赵勤(1975-),男,贵州遵义人,高级工程师,副院长.长期从事自然保护地相关工作.

责任作者:张兴强(1965-),男,贵州遵义人,工程师.长期从事林业调查规划工作.

自然保护地是指由各级政府依法划定或确认,对重要的生态系统、自然遗迹、自然景观及其所存在的自然资源、生态功能和文化价值实施长期保护的陆域或海域。按照自然生态系统原真性、整体性、系统性及其内在规律,依据管理目标与效能并借鉴国际经验,我国将自然保护地按生态价值和保护强度高低依次分为国家公园、自然保护区及自然公园三类^[1]。

2019年6月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《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》(以下简称“指导意见”),是我国自然保护地体系建设的一份纲领性文件,该文件为构建科学合理的自然保护地体系、建立统一规范高效的管理体制、创新自然保护地建设发展机制、加强自然保护地生态环境监督考核及保障措施等问题指明了方向^[2]。2021年10月,在昆明召开的以“生态文明:共建地球生命共同体”为主题的《生物多样性公约》缔约方大会(CBD COP15),倡导推进全球生态文明建设,强调人与自然是生命共同体,强调尊重自然、顺应自然和保护自然。生态文明战略的推进,为中国构建以国家公园为主体的自然保护地体系建设带来了良好发展机遇^[3]。

多年来,贵州立足资源优势,不断完善生物多样性保护格局,围绕保护物种及风景资源集中分布地,初步建立起自然保护区、风景名胜区、森林公园、湿地公园、地质公园、水产种质资源保护区等不同类型不同层级的自然保护地网络体系,在构筑两江上游生态屏障,维护地区生物多样性及促进区域生态系统平衡,坚守发展和保护两条底线和生态文明建设方面取得重大成果。

1 研究区概况

贵州省位于我国西南地区东部,云贵高原腹地,地处长江和珠江两大水系上游交错地带,是“两江”上游重要生态屏障,是国家生态文明试验区。全省国土面积 17.6 万 km²,地势西高东低,自中部向东、南、北三面倾斜,平均海拔约 1 100 m;境内岩溶地貌广布,发育非常典型,形态类型齐全,地域分布明显,构成了一种特殊的岩溶生态系统。全省喀斯特地貌面积 10.91 万 km²,占国土总面积的 61.9%;贵州大部分地区气候温和,冬无严寒,夏无酷暑,四季分明。特殊的地质地貌及温暖湿润的气候,再叠加常态地貌和非常态地貌,造就了贵州丰富的物种多样性,据《贵州省“十四五”野生动植物保护规划》统计,截至

2020年12月,贵州省已知物种约 24 500 余种,其中高等植物(包括苔藓、蕨类和种子植物)9 900 余种,约占全国物种总数的 28%;脊椎动物 1 085 种,约占全国物种总数的 16%;大型真菌 1 200 种,约占全国物种总数的 31%,野生动植物种数分别位居全国第三、第四位。

贵州省素有“八山一水一分田”之说,全省山地和丘陵面积占 92.5%;境内山脉众多,重峦叠嶂,绵延纵横,山高谷深,北部屹立大娄山,中南横亘苗岭,东北蜿蜒武陵山,西部高耸乌蒙山。苗岭以北属长江流域,由乌蒙山脉、大娄山脉和武陵山脉形成了牛栏江、乌江、赤水河綦江和沅江 4 条水系;苗岭以南属于珠江流域,由南盘江、北盘江、红水河和都柳江 4 条水系组成,四大山脉八大水系构筑起了全省“四山八水”的生态格局^[4]。目前,贵州省围绕“四山八水”生态格局正在努力构建种类丰富、类型多样、具有喀斯特山地特色的自然保护地体系。

新一轮机构改革前,全省各类自然保护地归属不同部门管理,交叉重叠现象较为普遍,部分自然保护地存在多个牌子并挂的情况。机构改革后,已将原住建部门管理的风景名胜区、原国土部门管理的地质公园划转至林业部门管理。

截至 2021 年底,全省林业部门管理的自然保护地共 314 个,总面积 456.88 万 hm²,占全省土地总面积的 12.97%。

按管理层级划分:国家级自然保护地 111 个,省级 112 个,市州级 20 个,县(区)级 71。从全省不同管理层级自然保护地占国土面积比例来看,国家级占比最大,为 6.11%;县级占比最小,为 1.32%(表 1)。

表 1 贵州省自然保护地按管理层级统计

Tab. 1 Statistics of natural protected areas in Guizhou by management levels

级别	数量/个	面积/万 hm ²	占比/%
国家级	111	107.63	6.11
省级	112	73.67	4.18
市州级	20	23.89	1.36
县级	71	23.25	1.32
总计	314	228.44	12.97

按类型划分:自然保护区 89 个,风景名胜区 71 个,地质公园 12 个,湿地公园 53 个,森林公园 89 个。从全省各类型自然保护地占国土面积比例来

看,风景名胜区占比最大,为 5.12%;湿地公园占比最小,为 0.4%(表 2)。

表 2 贵州省自然保护地按类型统计
Tab. 2 Statistics of natural protected areas in Guizhou by types

类型	数量/个	面积/万hm ²	占比/%
自然保护区	89	84.96	4.82
风景名胜区	71	90.28	5.12
地质公园	12	18.71	1.06
森林公园	89	27.43	1.56
湿地公园	53	7.06	0.40
合计	314	228.44	12.97

按市州布局划分:贵阳市 26 个,安顺市 14 个,遵义市 63 个,毕节市 34 个,铜仁市 35 个,六盘水市 18 个,黔南州 51 个,黔东南州 46 个,黔西南州 27 个。从全省各市州自然保护地占国土面积比例来看,黔东南州占比最高,为 18.35%;毕节市占比最低,为 6.34%(表 3)。

表 3 贵州省自然保护地按市州统计
Tab. 3 Statistics of natural protected areas in Guizhou by cities

市(州)	数量/个	面积/万hm ²	国土面积/万hm ²	占比/%
贵阳市	26	13.77	80.34	17.14
安顺市	14	7.21	92.67	7.78
遵义市	63	45.73	307.63	14.87
毕节市	34	17.03	268.61	6.34
铜仁市	35	25.63	180.03	14.24
六盘水市	18	10.76	99.14	10.85
黔南州	51	35.60	261.95	13.59
黔东南州	46	55.66	303.39	18.35
黔西南州	27	17.05	168.05	10.15
合计	314	228.44	1761.81	12.97

综上分析,贵州省自然保护地保护管理层级较多,各市州自然保护地占比差异较大,不同类型自然保护地交叉重叠现象普遍,总体布局呈区域化聚集性分布特点,主要聚集在黔北、黔东北的大娄山武陵山区域及黔南、黔东南的苗岭东段区域,而作为长江与珠江分水线上段的乌蒙山、老王山与苗岭西段,黔西北、黔西南以及开发较早的黔中地区,自然保护地分布相对较少。

2 存在的问题

2.1 管理体制尚未理顺

新一轮机构改革,贵州省林业局设立了自然保护地管理处负责监督管理各类自然保护地,管理效能得到进一步增强。根据贵州实际,农业部门管理的水产种质资源、水利部门管理的水利风景区仍由原部门管理,这就导致了自然保护地优化调整不彻底、面积统计不精准等问题;同时,在机构改革过程中,部分市(州)、多数县(区)弱化了林业部门职能,缩减了内设机构,林业部门无力设置专门的内设机构监督管理辖区内的自然保护地,这种上下不一致的管理体制与《指导意见》的要求存在差距,也在一定程度上影响了自然保护地的发展。

2.2 面积占比相对偏低

贵州省自然保护地面积约占国土面积的 12.97%,占比基本合理,但由于各类型自然保护地存在不同程度的交叉重叠,如果扣除交叉重叠面积,自然保护地实际面积占比尚不足 10%,低于周边云南、四川和广西等省份,这与贵州省作为全国生态文明建设先行区的定位不相匹配,与全省正在实施的“大生态”战略不相适应。

2.3 空间布局不尽合理

贵州省现有自然保护地空间布局主要基于物种、风景资源分布及行政区域考虑,对山脉、流域水系及分水岭等自然地理因素考虑不足,空间布局不合理,导致部分需要保护的区域未得到有效保护。

2.4 分类分级亟待完善

目前,贵州省缺少处于主导地位的国家公园,自然保护地类型不全;在管理层级划分上也不合理,如自然保护区、森林公园出现了国家级、省级、市(州)级、县(区)级多个层级;以自然保护区为例:全省自然保护区 89 个,其中国家级 11 个,省级 7 个,市州级 16 个,县级 55 个,而数量庞大的 70 余个市、县级保护区多数处于无独立机构、无经费、无人员编制的三无状态,导致管理效力不高,矛盾问题较为突出。

2.5 整合优化未达预期

贵州省如期提交了自然保护地整合优化预案成果。但由于贵州省属典型喀斯特山地省份,加之自然保护地整合优化工作本身的复杂性、综合性,在优化调整成果中仍存在部分自然保护地空间破碎,生态系统不完整的情况。

全省各类各级自然保护地之间,尤其是风景名胜区与其他自然保护地交叉重叠现象普遍,历史遗留问题也最多;由于优化调整预案成果不涉及风景

名胜区,整合优化工作实质上并未彻底解决当前自然保护地体系重叠设置、多头管理等问题;自然保护地的资源利用、城镇建设、乡村振兴、生态旅游等活动依然受到制约,整合优化成果尚未达到预期效果。

2.6 保护与发展矛盾突出

由于贵州省地理区位和资源禀赋的特殊性,普遍存在农林混合发展、地块零星破碎,以至于生态、生产、生活“三生空间”交叉重叠、交织甚至矛盾对立的现象较为普遍,在协调两者关系上较其它省份难度要大;同时,在过去一段时期,受当时政策及认知水平因素影响,地方政府在申报自然保护地方面存在一哄而上的情况,加之管理水平滞后、本底资源不清,正是由于这种过分追求数量,忽略质量的导向,导致部分自然保护地尤其是县级自然保护地长期处于缓慢发展甚至停顿状态,自然保护地保护与发展矛盾尤为突出,为自然保护地管理带来诸多困惑。

2.7 综合利用研究匮乏

自然保护地一般具备森林覆盖率高、生态环境优越、生物多样性丰富、景区景点分布集中的特点。目前贵州省自然保护地主要围绕资源保护开展工作,保护成效较为显著,但对自然保护地在维护生物多样性、保障生态安全、助推生态旅游、实现林业碳汇等综合利用方面的研究相对匮乏,如何将自然保护地这一优质的“绿水青山转化为金山银山”资源在保护好的同时,进一步开展综合利用产生效益,贵州省尚有很长一段路要走。

3 发展策略

3.1 逐步理顺体制机制

3.1.1 统一管理机构

进一步明确现已划转自林业系统的自然保护地,由各级林业主管部门统一进行管理;鼓励各市(州)、各县(区)林业主管部门成立专门的自然保护地管理机构,统一管理辖区内的自然保护地。

3.1.2 构建分级管理体系

国家级自然保护地按国家有关规定批准设立,省级自然保护地由省人民政府批准设立,各省直部门及市县级人民政府不得批准设立新的自然保护地类型。除国家公园外,原则上国家级自然保护区由省级林业主管部门直接管理,其他自然保护区和自然公园实行属地管理。

3.1.3 规范管理制度及审批流程

组建自然保护地专家委员会,下设各类自然保护地专业委员会,待《国家自然保护地法》颁布后,

组织开展对原有各类地方级自然保护地管理条例(办法)的废、改、立工作,实行全过程统一管理;认真组织实施《促进贵州特色自然保护地高质量发展实施意见》,规范地方级自然保护地的申报、撤销、晋升、更名、范围及功能区调整审批流程及制度,依法依规编制自然保护地总体规划;规范开展建设项目占用自然保护地的生态影响评价;加强自然保护地建设、管理和监督。

3.2 积极创建国家公园

按照国家林业和草原局关于印发《关于支持贵州林草事业高质量发展的若干措施》的函的要求,成立创建国家公园工作专班,学习借鉴先进经验,制定国家公园创建方案,有序推进梵净山国家公园创建。启动西南岩溶国家公园申报前期工作,加强宣传,凝聚共识,力争在 2030 年前成功创建梵净山、西南岩溶两处国家公园,为科学构建自然保护地体系,实现贵州自然保护地高质量发展奠定基础。

3.3 稳步推进优化整合

根据《关于在全国开展“三区三线”划定工作的函》(自然资函[2022]47号)《国家林业和草原自然保护地管理司关于完善自然保护地整合优化预案成果的通知》(保区字[2021]23号)技术要求,结合贵州省实际开展自然保护地整合优化再完善工作。以全省 2020 年国土变更调查成果数据的地类为依据,衔接“三区三线”划定工作,无缝对接生态保护红线划定成果,与“三区三线”形成一张底图、一个底版、一套数据。

自然保护地整合优化预案再完善应尽量考虑自然保护地生态系统延续性及完整性;边界范围划定应便于识别和管理,避免生态系统遭破坏、人文资源被遗失等问题,通过整合优化预案再完善工作,解决自然保护地管理分割、生态系统破碎和孤岛化问题,实现对自然生态系统的整体保护。

3.4 科学构建保护体系

按照“应保尽保”原则,力争将全省生态功能重要、生态区位敏感、生态系统脆弱、生物多样性富集和自然生态保护空缺区域纳入自然保护地体系。鉴于自然保护地未知因素较多、新设立难度较大的实际情况,充分利用贵州省生态文明现行区建设的契机,自然保护地主管部门要与省农业农村厅、省水利厅构建联动机制,在不改变管理体制的前提下,将水产种质资源保护区、水利风景名胜区纳入自然保护地面积测算,以确保全省自然保护地面积占比稳定在 10%以上。从优化全省自然保护地空间布局角

度出发,在不增加矛盾的前提下,支持西部生态区位重要的乌蒙山脉生态环境脆弱区新建自然保护地;进一步加强对全省自然保护地自然属性、生态价值和管理目标的梳理、调整和归类,新建或重组各类自然保护地,确保重要自然生态系统、自然遗迹、自然景观和生物多样性得到系统性保护,实现全省“四大山脉八大水系”自然保护地全覆盖,力争到2030年初步构建起设置科学、规划合理、保护有力、管理有效的贵州特色自然保护地体系。

3.5 持续开展价值评价

分类制定《自然保护地保护价值科学评价》指标体系,将自然保护地保护价值科学评价作为调整经营范围、晋升、整合、归并的前置条件。对各类自然保护地交叉重叠现象,经评估论证后,市、县级自然保护地可以转化为省级自然公园;原设立的市(州)级、县(区)级自然保护公园,经科学评价后,将符合条件的采取晋升、整合、归并等方式纳入省级自然保护地管理;对于无重要保护价值、无明确保护对象、面积较小、较为零星分散、在按照规定扣除各种矛盾地块后较为破碎的自然保护地,可按程序撤销,对其中有保护价值的地块可采取点状方式进行保护,符合条件的地块可转为公益林管理。待整合优化工作结束后,原市(州)县(区)级自然保护地原则上不再保留,最终自然保护地只保留国家级和省级两个层级,以减少管理成本,提升管理效力,实现自然保护地由数量优先向质量优先转变。

3.6 妥善处理保护与发展的关系

正确处理好自然保护地生态保护与资源利用的辩证关系。妥善解决自然保护地历史遗留问题和存在的现实矛盾,通过科学开展自然保护地评估论证,将自然保护地一般控制区内的永久基本农田、城镇建成区、建制镇及大面积村庄、合法矿业权、集中连片的人工商品林和国家重大项目或符合省直主管部门规划但不符合自然保护地主体功能的项目依法依规调出自然保护地^[5]。

用“两山理论”指导自然保护地内的资源保护与利用,坚持生态保护优先,适度发展生态旅游,实现生态保护、绿色发展、民生福祉的有机统一;以保护为前提,在自然保护地一般控制区内划定适当区域开展生态旅游、自然教育、森林康养等活动,科学设置生态产品,走出一条生态优先、绿色发展的特色旅游道路,在资源利用的同时运用技术手段做好预约调控、环境监测、流量疏导,将资源利用对自然环境的影响降到最低^[6]。

3.7 积极探索价值研究

自然保护地是自然资源分布最丰富、最集中的区域。在理顺自然保护地体系的基础上,积极探索自然保护地相关专题研究,深度挖掘自然保护地在维护生物多样性、保障生态安全、开展自然教育、助推生态旅游、实现森林碳汇等方面的优选案例,客观分析、科学评估自然保护地的生态价值及经济价值,使社会各界逐步了解自然保护地在实施大生态战略中的重要作用,从而改变社会各界对自然保护地的认知和态度,促进自然保护地事业可持续发展。

4 结 语

自然保护地是生态建设的核心载体、中华民族的宝贵财富、美丽中国的重要象征,在维护国家生态安全中居于首要地位^[7]。良好生态环境是贵州省最大的资源优势 and 竞争优势,自然保护地是维护贵州省生物多样性、增强生态系统服务功能、稳定生态环境质量的重要载体。摸清贵州省自然保护地现状及存在的问题,提出破解问题的路径和方法,构建贵州特色自然保护地体系,是贵州省生态文明建设的重要抓手。科学设立自然保护地,有序推进自然保护地建设,将为维护贵州省生物多样性,实施生态立省战略,筑牢长江、珠江上游生态屏障,构建生态安全和实现经济社会可持续发展奠定基础;对建设山地公园省筑牢生态根基,推进国家生态文明先行区建设具有重大意义。

参考文献:

- [1] 中共中央办公厅,国务院办公厅. 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)[Z]. 2019.
- [2] 贵州省林业局. 贵州省“十四五”林业和草原发展规划[Z].
- [3] 唐小平,栾晓峰. 构建以国家公园为主体的自然保护地体系[J]. 林业资源管理,2017(6):1-8.
- [4] 刘保堂,冉景丞. 水墨黔乡:66个贵州生态地标[M]. 北京:科学出版社,2017.
- [5] 唐芳林,吕雪蕾,蔡芳,等. 自然保护地整合优化方案思考[J]. 风景园林,2020,27(4):8-13.
- [6] 彭琳,赵智聪,杨锐,等. 中国自然保护地体制问题分析与应对[J]. 中国园林,2017,33(4):108-113.
- [7] 宋峰,周一慧,蒋丹凝,等. 中国自然保护地规划的回顾与对比研究[J]. 中国园林,2020,36(11):6-13.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.014

国家公园规划体系构建初探

郝永生¹, 赖兴会¹, 杨建光², 杨有奎², 王平勇³

(1. 云南省林业调查规划院营林分院, 云南 昆明 650021; 2. 新平县县级自然保护区管护局, 云南 新平 653400;
3. 新平县嘎洒镇林业站, 云南 新平 653405)

摘要: 对国内自然保护地规划体系和美国等国家公园规划体系进行分析研究, 借鉴国内自然保护地既有规划基础与国外国家公园先进规划模式, 构建中国国家公园规划体系。中国国家公园规划体系层次划分为系统规划、总体规划、专项规划、详细规划、年度工作计划。分析认为, 国家公园规划对象是复杂多变的, 因此规划过程应采用适应性管理; 规划应重视对原住民历史文化的保护, 实现人与自然和谐统一; 国家公园的综合科学考察是规划的基础, 需要高度重视; 规划过程积极引导公众参与, 促进国家公园可持续发展。

关键词: 国家公园; 规划体系构建; 自然保护地

中图分类号: TU986; S759.91 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0074-04

引文格式: 郝永生, 赖兴会, 杨建光, 等. 国家公园规划体系构建初探[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 74-77, 144.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.014

HAO Yongsheng, LAI Xinghui, YANG Jianguang, et al. Preliminary Study on National Park Planning System[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 74-77, 144. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.014

Preliminary Study on National Park Planning System

HAO Yongsheng¹, LAI Xinghui¹, YANG Jianguang², YANG Youkui², WANG Pingyong³

(1. Yinglin Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650021, China;

2. Xiping Administration of County-level Nature Reserve, Xiping, Yunnan 653400, China;

3. Gasa Town Forestry Station, Xiping, Yunnan 653405, China)

Abstract: By analyzing and studying the planning systems of domestic natural protected areas and national parks in the United States, this paper constructed the national park planning system in China based on the existing natural protected areas planning foundation and the advanced planning experience of foreign national parks. The planning system of national parks in China was divided into system planning, overall planning, special planning, detailed planning and annual work planning. The analysis found that the planning objects of national parks were complex and variable, so the planning process should adopt adaptive management; the planning should pay attention to the protection of the indigenous history and culture, and realize the harmony and unity of man and nature; the comprehensive scientific investigation of the national park was the basis of the planning and should be valued; the planning process should actively guide the public to promote the sustainable development of the national park.

收稿日期: 2022-08-23; 修回日期: 2022-10-17.

基金项目: 云南省林业调查规划院青联项目“哀牢山国家公园传统生态文化资源调查与保护利用研究”(1QL004Z00018).

第一作者: 郝永生(1982-), 男, 河北保定人, 工程师. 从事林业调查规划工作. Email: 123689688@qq.com

责任作者: 赖兴会(1966-), 男, 云南晋宁人, 正高级工程师. 从事林业调查规划工作. Email: 1784103109@qq.com

Key words: national park; planning system construction; natural protected areas

党的十八届三中全会提出建立国家公园体制;《关于建设以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》提出,建立以国家公园为主体、自然保护区为基础、各类自然公园为补充的自然保护地体系。规划体系对国家公园的建立具有指导与规范的重要作用,同时也是国家公园建设管理最重要的工具,因此,对国家公园规划体系的研究非常必要。由于国家公园体制在我国开始实行时间较短,2021 年国家批准成立第一批 5 个国家公园,因此国家公园规划体系相关研究较少。本文主要借鉴国内自然保护地与国外国家公园相关研究成果,尝试构建符合中国国情的国家公园规划体系。

1 国内自然保护地规划现状

广东鼎湖山自然保护区是我国建立的第一个自然保护区,之后自然保护区、风景名胜区、森林公园、湿地公园、地质公园等各种类型的保护地迅速发展,使得我国自然生态系统中最重要、生物多样性最富集的区域能较好地保存下来,为国家公园体制建设奠定重要基础。在各种类型的自然保护地建设中,积累了较多的规划基础和经验,可以为国家公园规划体系提供借鉴。

1.1 自然保护区规划

截至 2021 年,全国自然保护区数量 2 750 个,国家级自然保护区数量 474 个,自然保护区总面积 14 700 万 hm^2 ^[1]。自然保护区在自然保护地体系中占有优势地位,是国家公园重要的候选区域。我国自然保护区编制和实施总体规划已有 20 年,是自然保护区建设管理的重要环节,也是自然保护区增强保护针对性、提高管理有效性的最有效措施^[2]。

根据《自然保护区总体规划技术规程》(GB/T 20399—2006),《国家环境保护总局办公厅关于印发国家级自然保护区总体规划大纲的通知》(环办[2002]76 号)等文件要求,国家级自然保护区总体规划的编写内容应包括保护区概况、自然保护区建设管理现状、规划目标、总体布局、规划范围及功能分区、保护管理、科研监测、公众教育、可持续发展、基础设施、管理机构、人员编制与能力建设,投资估算与效益评价要求、保障措施等^[3]。

唐小平等^[2]认为,自然保护区总体规划是一个适应性管理过程,自然保护区规划研究的对象是生

物种群及其栖息环境,具有高度的差异性与不确定性。自然保护区规划编制与实施实际上是一个“规划—行动—监控—评价”的循环过程^[4]。自然保护区总体规划编制首先应遵守国家、地方相关法律法规的规定,然后依据综合科学考察成果和技术标准进行编制^[5]。

1.2 我国台湾地区国家公园规划

我国台湾地区的国家公园借鉴了发达国家的经验,注重对公众的环境教育功能,强调多方参与,特别注重和社区、非政府组织、志愿者联盟的合作,许多经验和做法值得借鉴。

我国台湾地区由国家公园组负责国家公园总体规划,各个国家公园管理处根据具体情况制定相应的详细规划。在规划之前,需要对公园进行一系列评估,评估内容有特殊景观评估、自然资源评估、环境评估、地方民情考量、经济效益评估、财政来源考量等。

根据分析,我国台湾地区国家公园的规划作业程序可分为调查、分析、计划、讨论、计划实施四大阶段和 12 个具体步骤,详见图 1^[6]。

由图 1 可以看出,我国台湾地区国家公园在整个规划体系中,前期调查、分析部分占了较大比重,说明这两部分对规划有重要意义;在规划实施后,对规划的实施效果进行跟踪分析,实行动态调整。这些良好经验对国家公园整体规划体系的建立具有重要参考意义。

尽管我国在保护地规划方面取得了一定经验与积累,但与美国等先进国家比较来看差距较大,主要表现在规划的可操作性不强、决策过程的科学性不够、公众参与不充分等。因此,向这些国家学习借鉴就显得非常必要。

1.3 国家公园试点规划

自 2015 年开展国家公园体制试点工作,2021 年正式设立三江源、大熊猫、东北虎豹、海南热带雨林、武夷山第一批 5 个国家公园。在这个过程中,初步形成了国家公园空间布局方案、总体规划、专项规划等规划体系。

2 国外国家公园规划体系

自美国黄石国家公园 1872 年成为世界第一个国家公园,至今世界上有 200 多个国家和地区建立

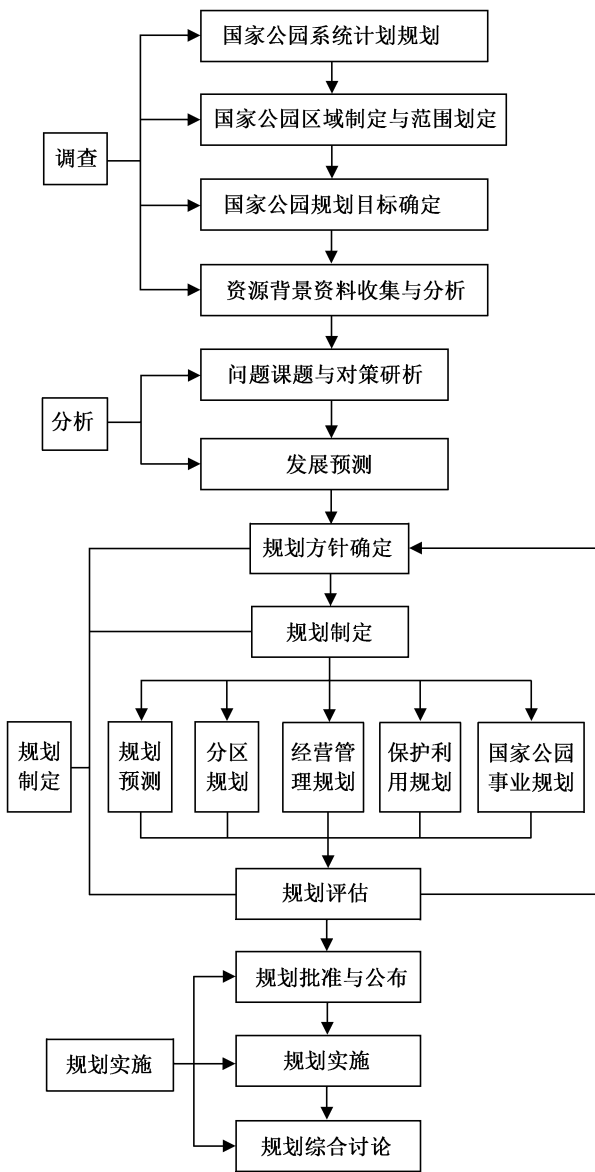


图 1 我国台湾地区国家公园规划过程
 Fig. 1 National park planning process in the Taiwan region of China

了国家公园。据世界保护区委员会数据库(WDCA)统计,截至目前全世界有 5 625 个国家公园^[3]。这些国家公园的规划体系发展历程可以提供借鉴经验。

2.1 美国国家公园规划体系

“国家公园”概念是由美国艺术家乔治·卡特林(George Catlin)首先提出的^[7]。保护自然资源与提供公众服务作为美国国家公园的基本职能,以此作为目标的规划体系经历了几个不同的发展阶段:物质形态规划阶段、综合行动计划阶段、决策体系阶段^[8]。

最开始阶段重旅游轻保护,中期阶段由重旅游

向重保护方向转变;总体规划为主要规划依据;90年代至今,形成总体管理规划、战略规划、实施计划和年度执行计划等较完备的规划体系^[8]。这个过程也体现了美国国家公园的规划体系并不是一蹴而就,而是在曲折中逐步完善的。这套规划体系被加拿大、澳大利亚等国家吸收引用。加拿大国家公园规划体系分为整体规划、综合管理规划、管理计划、年度计划。澳大利亚规划体系分为国家自然保护地体系规划、综合管理规划、年度计划。这种规划体系在发达国家国家公园规划体系中居于主导地位。

2.2 其他国家国家公园规划体系特点

英国国土面积小,人口密度大,人类聚居历史悠久,国家公园内社区生计是规划过程中重点考虑的问题。英国国家公园设立的一个主要目标是促进当地经济和社会的可持续发展。新西兰国家公园在规划中强调历史和人文与自然环境的完美结合。韩国在国家公园规划过程中,注重把传统文化风俗和自然风景保护、利用相结合^[3]。张引等研究得出^[9],法国国家公园具有以下 4 个规划管理特征:整体的自然保护思想、系统化的法律法规和规章制度、规划目标的分区化与多层级、社区协调发展。

法国国家公园规划的编制在 2006 年以前与社区公众协商较少,民众参与度较低,导致国家公园和社区矛盾激化。新西兰保护地的规划体系在规划决策过程的公众参与方面具有比较典型的特征。在法律层面明确公众参与的地位,确保新西兰保护地规划编制中各项决策都经过公众的参与^[10]。由国外国家公园规划体系特点可以得出结论:规划是国家公园最有效的管理工具。

3 中国国家公园规划体系构建

我国国家公园规划体系既要尊重我国自然保护地规划现状又要吸收国外先进理念,更要与我国国情相结合,构建中国特色的规划体系。我国国家公园规划体系的构建应遵循以下几个原则:生态保护第一、国家代表性、全民公益性;以相关法律法规要求为框架;面向管理。

3.1 国家公园规划体系

结合国内自然保护地规划现状与国外国家公园规划现状,我国国家公园规划体系应划分为系统规划、总体规划、专项规划、详细规划、年度工作计划,详见图 2。不同级别规划之间具有从属性,即下位规划要以上位规划为纲领^[11]。

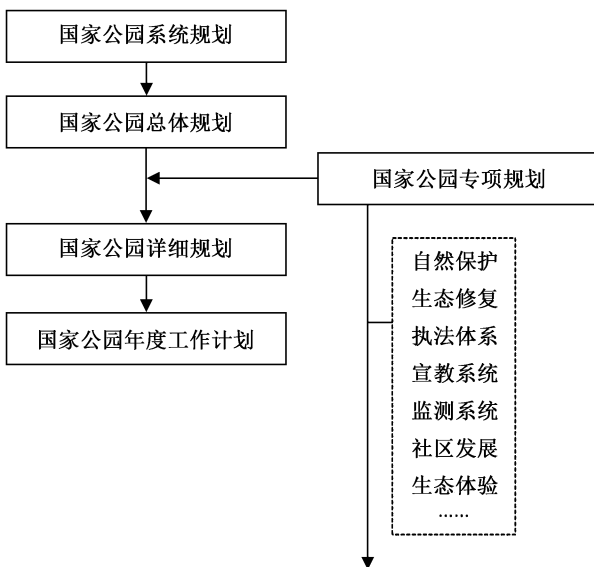
图 2 国家公园规划体系^[13]

Fig. 2 National park planning system

系统规划,主要解决的问题是国家公园在空间上是怎样分布的。根据全国国土空间规划的三区三线,国家公园设立要求,综合生物地理分区进行科学分析,形成具有系统性、科学性和国家代表性的国家公园规划布局。系统规划是单个国家公园规划的纲领。截至目前,全国国家公园空间布局规划数量为 49 个,总面积约占陆域的 10%,海域的 2%。

国家公园的总体规划是确定单个国家公园一定时期内的发展与保护管理方向的规划,是国家公园规划体系中具有重要意义的关键规划。总体规划周期一般 10 年以上^[11]。总体规划应包括国家公园的范围、分区等空间内容,还应包括国家公园的定位、保护目标等政策性内容。总体规划由国务院林业草原主管部门会同国家公园所在地省级人民政府组织编制,经国务院授权国务院林业草原主管部门批准实施。

国家公园专项规划是对总体规划的进一步深入规划,是对一类或几类保护管理目标的纵向研究。专项规划周期一般 3~10 年。每个国家公园拥有的资源禀赋千差万别,定位与保护目标各不相同,因此国家公园专项规划应遵循按需编制的原则。专项规划由国家公园管理机构编制,经国务院林业草原主管部门或者国家公园所在地省级人民政府批准实施。

国家公园详细规划是园区特定空间范围内保护管理目标的实施方案。详细规划的编制应符合国家公园总体规划要求,体现专题规划的研究结论,明确规划范围内各类设施建设的详细位置、规模和控制条件。详细规划周期一般 3~5 年^[12]。合规的详细

规划的实施成果将作为编制新一轮总体规划和专题规划的基础现状。

国家公园年度工作计划是将以上规划内容落实到年度,确保规划内容的时效性与质量要求。

3.2 规划管理制度建设

国家公园规划管理制度是规划能够顺利实施的重要保障。规划管理制度的建设主要由规划编制管理与规划评审管理两方面组成。合适的规划管理制度有利于规划的编制、审批、实施与执行,确保国家公园的可持续发展^[3]。建议建立规划评审管理制度。规划评审专家应从规划单位的选择跟踪起,并参与规划的中期考核和规划的终审,从而让规划评审专家融入规划的全过程,确保规划的科学性和可行性^[14]。

4 结 论

1) 规划是关于未来的艺术,需要不断适应时代的变化^[13]。国家公园规划研究的对象是复杂多变的生物种群及其栖息环境,具有高度的差异与多样性、未知与不确定性,编制和实施规划是一个“规划—实施—监测—评价”的循环过程。国家公园规划是一个适应性管理过程,因此规划采用适应性管理是必要的^[15]。

2) 我国人口民族众多,历史悠久,特别是在少数民族聚居地区具有典型的文化多样性,在国家公园的规划过程中,在保护的前提下还应注重对原住民历史文化的保护,实现人与自然和谐,把民族文化多样性打造成国家公园的特色,增加国家公园的可识别度。通过国家公园解说系统进行弘扬和宣传,让国家公园不但成为公众在大自然中强身健体的重要场所,同时成为提升生态保护意识和民族自豪感的课堂。

3) 总体规划最关键的是建立在综合科学考察的基础上,本底资源调查与评价是国家公园总体规划的关键环节,是划分范围、划定功能分区以及有针对性地规划设计专项的基础性资料,需要高度重视。

4) 我国自然保护区在以往的规划过程中公众参与度不够,引起了周边利益相关者一些矛盾,不利于自然保护区相关工作的开展。国家公园规划体系要吸取国外经验,积极引导公众特别是相关利益者参与,达成共识,实现国家公园的可持续发展。

参考文献:

- [1] 张茂莎,周亚琦,盛茂银. 建立以国家公园为主体的自然保护区体系的思考与建议综述[J]. 生态科学,2022,41(6):237-247. (下转第 144 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.015

澜沧江流域云南松群落分布与地形因子的关系研究

徐婷婷, 施凯泽, 卢腾飞, 郎晓雪, 罗胤, 冷鸿天, 李泽
(云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要: 依据 2020 年在澜沧江流域分层抽样调查的 120 个云南松样地数据, 提取云南松群落数据和地形因子数据, 采用典型对应分析法研究澜沧江流域云南松群落的分布与海拔、坡向和坡度的相关关系。结果表明, 地形因子中对澜沧江流域云南松群落分布影响较大的因子为海拔, 其次为坡度, 坡向对云南松林分布的影响较小。

关键词: 云南松群落; 典型对应分析法; 地形因子; 澜沧江流域

中图分类号: S791.257; S718.54; S717.1; S718.511 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0078-04

引文格式: 徐婷婷, 施凯泽, 卢腾飞, 等. 澜沧江流域云南松群落分布与地形因子的关系研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 78-81, 114. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.015

XU Tingting, SHI Kaize, LU Tengfei, et al. Relationship between *Pinus yunnanensis* Community Distribution and Topographic Factors in Lancang River Basin[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 78-81, 114. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.015

Relationship between *Pinus yunnanensis* Community Distribution and Topographic Factors in Lancang River Basin

XU Tingting, SHI Kaize, LU Tengfei, LANG Xiaoxue, LUO Yin, LENG Hongtian, LI Ze
(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: Based on the data of 120 *Pinus yunnanensis* sample plots in Lancang River Basin in 2020, this paper extracted the data of *Pinus yunnanensis* community and topographic factors to study the relationships between the distribution of *Pinus yunnanensis* community and elevation, aspect, and slope by canonical correspondence analysis (CCA) in Lancang River Basin. The results showed that elevation was the most important topographical factor affecting the distribution of *Pinus yunnanensis* community in Lancang River Basin, followed by slope, while aspect had little influence on the distribution of *Pinus yunnanensis* community.

Key words: *Pinus yunnanensis* community; canonical correspondence analysis; topographic factors; Lancang River Basin

不同的环境下生长着不同的植物群落。地球表面分布着不同的植物群落是由于不同的区域环境所决定的, 同一群落具有不同的分布特点也与环境有很大关系。长期以来, 许多生态学家都在不断探索

影响植物群落分布及其多样性的因素^[1], 从地区尺度甚至是全球尺度来说, 这些影响主要表现在气候和地貌的差异上, 而从局部尺度来说, 地形因素和土壤条件差异占据着主导地位。因此, 不同气候、地

收稿日期: 2022-07-12.

第一作者: 徐婷婷(1990-), 女, 云南曲靖人, 工程师. 主要从事森林经理学的相关工作. Email: 459262257@qq.com

责任作者: 李泽(1975-), 男, 云南思茅人, 高级工程师. 主要从事林业调查规划工作. Email: 519699185@qq.com

貌、地形、土壤等环境因素必然导致植物群落在组成、外貌和结构上的分异^[2]。

澜沧江流域在云南省境内由德钦县开始,流经迪庆、怒江、大理、保山、临沧、思茅、西双版纳等地州,从勐腊县出境,区域降水量小、森林植被稀少,生态环境极其脆弱,土地荒漠化、干旱洪涝等自然灾害频繁。云南松(*Pinus yunnanensis*)为松科(Pinaceae)松属常绿乔木,分布于西藏东部、四川西部及西南部、云南、贵州西部及西南部和广西西北部,是西南地区的乡土树种和荒山绿化造林先锋树种,常形成大面积纯林,云南松具有重要的生态价值和资源价值,在保持水土、防风固沙、涵养水源、森林碳汇、经济用材和园林观赏等方面发挥着巨大作用。

1 研究区概况

澜沧江发源于青藏高原唐古拉山北麓,昌都之后称澜沧江^[3],由西藏从德钦县流入云南,流经迪庆、怒江、大理、保山、临沧、思茅、西双版纳等地州,从勐腊县出境,境外称湄公河,经老挝、缅甸、泰国、柬埔寨和越南等 5 国,最后注入太平洋,有“东方多瑙河”之称。澜沧江全长 4 500 km,云南省境内干流长 1 289.5 km,流域面积 8.87 万 km²,约占全省总面积的 23.3%^[4-5]。澜沧江流域位于纵向岭谷区,具有独特的南北走向。本研究所指的云南省澜沧江流域为 15 个县(市),即:大理州境内的 12 个县市、怒江州境内的兰坪县、迪庆州境内的德钦县和维西县、普洱市景东县部分乡镇。

2 数据采集及研究方法

2.1 数据采集

2.1.1 数据调查

本研究数据于 2020 年实测云南省澜沧江流域范围内的 120 块云南松样地,样地面积 30 m×20 m,记录样地的郁闭度、经纬度、海拔、坡度、坡向、坡位等林分因子,并进行每木检尺,记录树种并测定树高和胸径等,计算每个样地云南松林分的平均树高、平均胸径、平均胸高断面面积、树种组成等数据。

2.1.2 数据处理

云南松群落包含有云南松、落叶松、柏木(*Cupressus funebris*)、云杉(*Picea asperata*)、冷杉(*Abies fabri*)、栎类(*Quercus acutissima*)、苦刺(*Solanum deflexicarpum*)、桦木(*Betula*)、华山松(*P. armandii*)、车桑子(*Dodonaea viscosa*)、杨树(*Populus simonii*)和

其他阔叶树种,根据 CANOCO 4.5 软件对数据格式的要求,将云南松群落的树种组成系数样点数据排列成数据矩阵(表 1)。

表 1 样点优势树种多度

Tab. 1 Dominant trees species class in sample plots

样地号	云南松	落叶松	柏木	云杉	冷杉	栎类	苦刺	桦木	华山松	车桑子	其它阔	杨树
1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
3	7	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
4	6	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
118	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	8	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0

2.2 研究方法

2.2.1 CCA 分析法

CCA (Canonical Correspondence Analysis) 分析叫做典范对应分析,又被称为多元直接梯度分析。在目前梯度分析技术中,CCA 分析法是一种相对比较可靠并且适应性非常强的一种分析方法,在目前的梯度分析方法研究中处于先锋地位。对应分析是 CCA 分析方法的基础,是在对应分析之后发展起来的一种排序方法,CCA 分析法是把对应分析和多元回归分析结合起来的分析方法,CCA 分析方法是先计算出一组样方排序轴,一组种类排序轴,每一步都将计算出的样方排序轴和地形因子进行多元线性回归,此时的样方排序轴就可以反映出样方的整体结构和地形对群落的影响,对所有的样方排序轴进行加权平均再求出种类排序轴,使地形因子也间接地与所得到的种类排序轴相联系^[6],其公式为:

$$Z_j = b_0 + \sum_{k=1}^q b_k U_{kj} \quad (1)$$

式中: Z_j 为第 j 个样方的排序值; b_0 为截距; b_k 为样方第 k 个环境因子之间的回归系数; q 为环境因子数; U_{kj} 为第 k 个环境因子在第 j 个样方中的观测值。

2.2.2 地形梯度分析

在进行 CCA 分析之前,需要把数据整理为两个数据矩阵,一个是物种数据矩阵,另一个为地形数据

矩阵,在 CANOCO 软件下的 WCanolmp 组件中分别将两组数据矩阵转化为 CANOCO 能识别的 .dta 数据格式,在 Canoco for Windows 模块中进行分析,在 CanocoDraw 模块下绘制 CCA 排序图。

将云南松林样点的组成系数作为物种数据矩阵,海拔、坡度、坡向 3 个因子作为地形数据矩阵,将数据标准化后进行 CCA 分析,从分析结果得到云南松林的分布与地形因子的关系。

3 结果分析

3.1 群落分布与地形因子关系的 CCA 排序效果分析

云南松群落分布与地形因子关系的 CCA 排序效果如表 2 所示。

表 2 环境因子 CCA 排序重要参数

Tab. 2 Parameters of CCA ordinate at the study area

参数	Axes				TI
	Axes1	Axes2	Axes3	Axes4	
EI	0.099	0.051	0.012	0.006	6.426
SECO	0.411	0.267	0.150	0.105	
CPVSD	1.500	2.300	2.500	2.600	
CPVSECO	58.400	88.700	95.600	99.100	

注:表内 EI 为特征值,SECO 为物种-环境关联系数,CPVSD 为含物种数据变量信息的百分比,CPVSECO 为物种-环境关联系数变量信息的百分比,TI 为变量值总和。

从表 2 可以看出,排序的总特征值为 6.426,其中 4 个坐标轴的特征值分别为 0.099、0.051、0.012 和 0.006,分别占总物种变量信息的 1.5%、0.8%、0.2% 和 0.1%。云南松林样点和地形因子排序轴的相关系数分别为 0.411、0.267、0.150 和 0.105,4 个坐标轴所占的变量信息占总物种-环境关联系数信息量的 58.4%、30.3%、6.9% 和 3.5%,云南松林样点和地形因子排序轴的第一轴和第二轴相关性较大,并且前两个轴包含了 88.7% 的信息量,说明用前两轴绘制的排序图可以很好地反映出样点、树种与地形三者或两两之间的关系。采用蒙特卡洛拟合 (Monte Carlo permutation test) 对第一排序轴和所有排序轴分别进行云南松林样点和地形因子关系的显著性检验。结果表明,地形因子与云南松群落分布之间相互关系非常显著 ($P=0.002<0.01$),即地形因子对云南松群落的分布有显著影响。

3.2 影响群落分布的地形因子

采用 CCA 分析方法对云南松群落的树种组成

系数和 3 个地形因子进行相关性分析。分析结果如表 3 和表 4 所示。

表 3 CCA 排序地形因子变量与排序轴间关联系数

Tab. 3 Intersect correlations of topographic variables with CCA ordination axes

地形变量	AX1	AX2	AX3	AX4
海拔	-0.1414	-0.2062	0.0708	-0.0040
坡向	0.0633	0.0658	0.0021	-0.0275
坡度	0.3629	-0.0034	0.0635	-0.0058

从表 3 可以看出,地形因子中的海拔因子与第二排序轴呈最大负相关,其相关系数值为 -0.2062,地形因子中的坡向因子与第二排序轴呈最大正相关,其相关系数值为 0.0658,说明第二排序轴较好地拟合了云南松群落与海拔梯度和坡度梯度的变化趋势;地形因子中的坡度因子与第一排序轴呈最大正相关,其相关系数值为 0.3629,说明第一排序轴较好地拟合了云南松群落沿坡度梯度的变化趋势。因此采用前两轴绘制的排序图可以很好地反映出群落、树种与环境三者或两两之间的关系。

表 4 CCA 排序地形因子变量间相关系数

Tab. 4 Intersect correlations of topographic variables by CCA

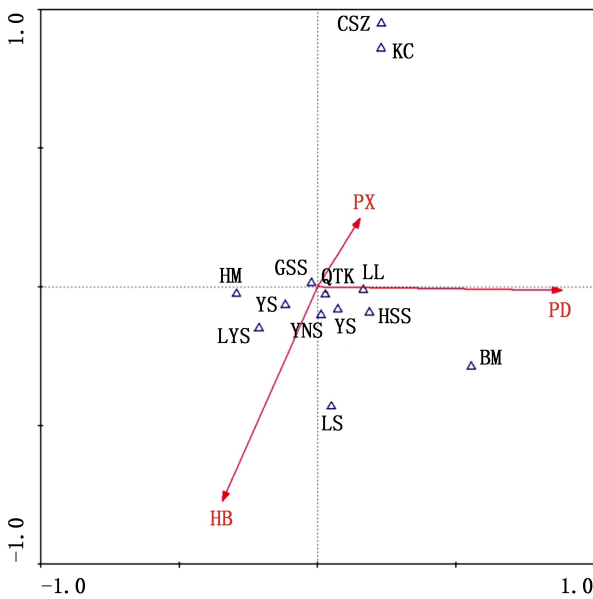
地形因子	海拔	坡向	坡度
海拔	1.0000		
坡向	-0.0017	1.0000	
坡度	-0.1388	-0.0226	1.0000

在本研究中,云南松林样点树种组成系数与地形因子的 CCA 排序结果见图 1。

从表 4 和图 1 中环境轴之间夹角的大小可以看出各地形因子之间的相关性。海拔和坡向、坡度均呈负相关,相关系数值分别为 -0.0017、-0.1388;坡向与坡度呈负相关,相关系数值为 -0.0226。

3.3 群落分布与地形因子的关系

在 CCA 排序结果图中(图 1),地形因子用带箭头的线段(矢量)表示,箭头所处象限代表地形因子与排序轴的正负相关性,箭头连线的长短与地形因子和植物群落分布关系的大小呈正比,箭头连线越长,表示环境对植物群落的影响越大,箭头连线越短,表示环境对植物群落的影响越小,两个箭头之间



注:图中 YNS 代表云南松,GSS 代表高山松,LYS 代表落叶松,BM 代表柏木,YS 代表云杉,LS 代表冷杉,YS 代表云杉,LL 代表栎类,KC 代表苦刺,HM 代表桦木,HSS 代表华山松,CSZ 代表车桑子,QTK 代表其他阔,YS 代表杨树;HB 代表海拔,PD 代表坡度,PX 代表坡向。

图 1 CCA 二维排序
Fig. 1 Two-dimensional CCA

的夹角表示环境变量间的相关程度,样方间的距离表示样方的相似程度^[5-6]。

从图 1 中可以看出,海拔因子处于第三象限,说明海拔因子与第一排序轴和第二排序轴均呈负相关;坡度因子处于第四象限,说明坡度因子与第一排序轴呈正相关,与第二排序轴呈负相关;坡向因子处于第一象限,说明坡向因子与第一排序轴和第二排序轴均呈正相关。从箭头连线在排序图中的斜率可以看出,海拔因子、坡向因子和第二排序轴的相关性最大,坡度因子与第一排序轴的相关性最大。通过地形变量轴的长短可以看出该地形因子对云南松群落分布的影响。

从图 1 中可以看出,海拔、坡向和坡度的轴长大小排序依次为海拔>坡度>坡向。从地形因子的排序轴长短可以看出,对云南松群落分布影响最大的为海拔,其次为坡度,影响最小的为坡向。

4 结论与讨论

地形因子对植物生长环境的影响,在一定程度上印证了地形因子将对局域尺度内的水热资源进行再分配^[7]。地形通过直接或间接地影响光照、水

分、土壤营养等而对植物生长和分布产生重要影响^[8-9]。本文利用 CCA 分析法对澜沧江流域云南松群落与地形因子的关系进行研究,初步揭示了地形因子对澜沧江流域云南松群落分布的影响。结果表明:地形因子中对云南松群落分布影响较大的因子为海拔,其次为坡度和坡向,坡位对云南松群落分布的影响较小。

1)对研究区内以云南松林分布的群落和环境因子进行的 CCA 分析显示,海拔对云南松林分布影响较大,王敏,周才平等在山地植物群落数量分类和排序研究进展中指出:在山区,海拔作为山地植物群落分布格局的首要控制因子,通过太阳辐射和降水的空间再分配,使植被类型发生变化,进而决定植被的分布格局,从而影响群落类型的结构组成,最终决定山地植被的群落类型^[10],本研究结果与其结论一致。

2)Mascaro 等在巴拿马热带雨林中的研究发现,坡度是最强的驱动因子,并且在陡峭的坡地上拥有最大的地上生物量^[11]。在刘海丰等人的研究中,暖温带东灵山样地中胸高断面面积之和随海拔的升高而增大,但海拔对其变异的解释率较低^[12],在本研究中,坡度对云南松林的影响仅次于海拔。

3)坡向与环境中的光照条件关系密切^[13],而光照条件对植物的分布有着极其重要的影响,在本研究中,坡向对云南松群落的影响小于海拔和坡度,可能由于澜沧江流域光照条件差异不大,不同坡向接受光照强度的差异性并不明显。

4)由于植物种群的分布格局是在种群自身生物生态特性、种间关系以及环境条件的共同影响下通过种内和种间的相互作用而形成的,因此,从种群的空间分布格局上可以看出环境因子对种群的生存以及生长的影响^[14-15]。

参考文献:

[1] MOTZKING, EBERHARDT, HALL B, et al. Vegetation variation across cape cod, Massachusetts: environmental and historical determinants [J]. Journal of Biogeography, 2002, 29(10-11): 1439-1454.
 [2] 任学敏. 太白山主要植物群落数量分类及其物种组成和丰富度的环境解释 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
 [3] 唐海行. 澜沧江—湄公河流域的水资源及其开发利用现状分析 [J]. 云南地理环境研究, 1999(1): 16-25.
 [4] 张静. 云南省澜沧江流域耕地分布与自然质量变化规律研究 [D]. 昆明: 云南农业大学, 2010.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.016

基于 DPSIR 模型的黄河流域兰考县生态安全评价

彭梦威, 薛国宇, 卫红

(河南农业大学 风景园林与艺术学院, 河南 郑州 450002)

摘要:为探究黄河流域兰考县的生态安全变化,对其生态安全进行定量评价,明确限制区域生态安全的因素,以 DPSIR 模型为框架,建立 5 个准则层,选取 29 个指标构建生态安全评价指标体系,利用熵值法和综合指数法得到生态安全综合指数与生态安全等级。结果表明,兰考县生态安全指数呈现由低到高、逐渐上升的趋势,生态安全等级由“较不安全”向“较安全”转变,警情由“重警”转变为“中警”;从子系统上来看,对区域生态安全贡献最大的是状态、影响和驱动力,响应和压力贡献偏低。研究表明,区域生态系统结构和功能处于稳定状态,区域内生态安全受经济发展水平、人类活动干扰和工业污染物的排放等因素的影响。

关键词:生态安全评价;DPSIR 模型;黄河流域;兰考县

中图分类号:Q142.9;S711 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0082-07

引文格式:彭梦威,薛国宇,卫红. 基于 DPSIR 模型的黄河流域兰考县生态安全评价[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1):82-88. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.016

PENG Mengwei, XUE Guoyu, WEI Hong. Ecological Security Evaluation of Lankao County in the Yellow River Basin Based on DPSIR Model[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1):82-88. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.016

Ecological Security Evaluation of Lankao County in the Yellow River Basin Based on DPSIR Model

PENG Mengwei, XUE Guoyu, WEI Hong

(College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: To explore the ecological security changes of Lankao County in the Yellow River Basin, the quantitative evaluation of ecological security was conducted, and the factors limiting regional ecological security were identified. Using the DPSIR model as the framework, 5 criteria layers were established, and 29 indicators were selected to construct an ecological security evaluation index system. The entropy method and comprehensive index method were used to obtain the comprehensive index and level of ecological security. The results showed that the ecological security index of Lankao County showed a trend of gradually increasing from low to high, with the ecological security level shifting from “less safe” to “safer”, and the police situation shifting from “serious police” to “moderate police”; from the perspective of subsystems, the state, impact, and driving force contributed the most to regional ecological security, while the response and pressure contributions were relatively low. The structure and function of the regional ecosystem were in a stable state, and the ecological security in the region was affected by factors

收稿日期:2022-06-14.

基金项目:河南沿黄河流域文化景观高质量发展适应性研究(212400410023).

第一作者:彭梦威(1997-),女,河南开封人,硕士研究生.研究方向为风景园林规划设计. Email:464713014@qq.com

责任作者:卫红(1972-),女,河南泌阳人,副教授,研究生导师.从事城乡规划设计等工作. Email:614285065@qq.com

such as the level of economic development, human activity disturbance and industrial pollutant emissions.

Key words: ecological security evaluation; DPSIR model; Yellow River Basin; Lankao County

生态安全是国家安全和社会稳定的重要基础,是社会经济可持续发展的重要保障^[1]。生态安全最早在 1989 年由国际应用系统分析研究所(IASA)提出,指人类生活、健康、基本权利、生存安全和适应环境改变的能力不受到威胁的状态^[2]。生态安全包含两方面的含义:一是生态系统自身的安全,即自身结构未受破坏,二是生态系统功能未受损害,可以为人类的生存和发展需要提供服务^[3]。生态安全评价是对生态系统整体和影响生态环境的因子进行定性或定量评估。随着研究的进展,许多学者相继提出生态安全的理论和方法,评价体系不断得到完善,从单因子指标评价体系发展到多指标综合评价体系^[4-7]。

20 世纪 80—90 年代,国际经济合作与发展组织(OECD)与联合国环境规划署(UNEP)创新性地提出了研究环境问题的框架体系,即“压力—状态—响应”(PSR)模型,该模型在生态安全评价中得到广泛运用^[8]。1996 年,联合国可持续发展委员会(UNCSD)在 P—S—R 模型地基础上建立“驱动力—状态—响应”(D—S—R)模型。该模型更加重视驱动力在生态安全评价中的作用,可操作性强,可用于生态安全水平的监测并为决策者提供决策依据和指导。1999 年,欧洲环境署(EEA)在 PSR 模型的基础上研究社会—生态复杂系统,添加了驱动力指标和影响指标,构成了“驱动力—压力—状态—影响—响应”(DPSIR)框架模型^[9]。改进后的模型关注驱动力和状态变化与环境之间的相互关系。DPSIR 模型 5 类指标可以系统地展现流域生态安全的综合状况。潜在的社会经济“驱动力”给生态安全造成的“压力”引起流域生态、资源环境“状态”改变,进而“影响”人类活动,最终促使一系列“响应”措施的产生。这一完整的因果链为生态安全评价提供了较好的研究思路^[10]。

黄河流域是我国重要的生态屏障,在国家的生态安全和社会经济发展中具有重要的地位。由于黄河流域生态环境的脆弱性和人类干扰的加剧,流域水土流失、生态系统功能弱化等问题频发^[11]。2020 年 8 月,中央发布《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》,明确提出“黄河是中华民族的母亲河,要把黄河流域生态保护和高质量发展作为事关中华民族伟大复兴的千秋大业”^[12],黄河流域高质量发展上升为国家战略。为此,选取位于九曲黄河最后一弯

的兰考县作为研究对象,以 DPSIR 模型为框架构建生态安全评价体系,采取熵值法和综合指数法计算区域生态安全指数,探讨生态安全变化的影响因素,为黄河流域高质量发展战略提供参考和依据。

1 研究区概况

兰考县,位于河南省开封市东部,西通古城开封和省会郑州,与封丘、长垣隔黄河相望,北部及东北方向与山东省东明县、曹县接壤。兰考县地势西高东低,全县总面积 1 116 km²,地处九曲黄河入海前的最后一道大弯,也是黄河最脆弱的位置。黄河发源于青藏高原,流经黄土高原,挟裹大量泥沙流经下游地区,所携带的泥沙沉积,河床不断被抬高,形成“地上悬河”。黄河在兰考境内是一段典型的“地上悬河”,呈倒“U”形,素有“豆腐腰”之称。虽然兰考境内河道长仅有 25 km,但自宋代以来,黄河在本县境内决口泛滥达 124 次。受黄河泛滥影响,常年受风沙、盐碱、内涝“三害”危害,自然条件较为恶劣。在国家的政策扶持和规划下,治理“三害”,改善环境问题,发展社会经济,近年来黄河几乎没有决口现象发生,但仍然存在生态环境脆弱、水土流失、环境污染等问题。

2 数据来源与模型构建

2.1 数据来源

本研究选取 2015—2020 年的统计数据,涉及人口、经济、资源、环境、社会等方面的数据,主要来源于政府部门官方统计数据,有《河南省统计年鉴》《开封统计年鉴》《城市建设统计年鉴》《中国县城建设统计年鉴》《兰考县统计公报》等。其中环境数据来源于地方环境状况公报和水资源公报。

2.2 DPSIR 模型构建

2.2.1 DPSIR 模型

DPSIR 模型,即“驱动力—压力—状态—影响—响应”模型,将社会经济与资源环境之间相互作用的因子联系起来,描述人类活动、社会经济和环境之间的因果关系,对区域生态安全现状进行科学而全面的评估。该模型将兰考县生态安全评价体系自上而下逐层建立,分别为目标层、准则层、指标层 3 个层次。根据黄河流域经济社会发展与资源环境,选

取了具有代表性的 29 个指标建立兰考县生态安全评价指标体系^[13],如表 1 所示。

表 1 兰考县生态安全评价指标体系
Tab. 1 Ecological security evaluation index system of Lankao County

目标层	准则层	指标层	趋向性
生态安全评价 (ESI)	驱动力	经济密度/(万元·km ⁻²)	正
		GDP 增长率/%	正
		人均 GDP/(万元·人 ⁻¹)	正
		农业机械总动力/kW	正
	压力	农林牧渔业总产值/亿元	正
		人口自然增长率/%	负
		人口密度/(人·km ⁻²)	负
		土地开发利用强度/%	负
		人均综合用水量/(L·人 ⁻¹)	负
		农用化肥施用量/t	负
状态	城镇用地比例/%	负	
	农作物总播种面积/hm ²	正	
	粮食作物播种面积/hm ²	正	
	人均耕地面积/(667 ¹ ·m ⁻² ·人 ⁻¹)	正	
	森林覆盖率/%	正	
	年均气温/℃	正	
	年总降水量/mm	正	
影响	水土流失率/%	负	
	年均空气质量指数	负	
	人均公园绿地面积/(人·m ⁻²)	正	
	建成区绿化覆盖率/%	正	
	农村家庭可支配收入/(元·人 ⁻¹)	正	
响应	地均财政收入/(万元·km ⁻²)	正	
	当年造林面积/hm ²	正	
	工业固体废物综合利用率/%	正	
	污水集中处理率/%	正	
	第三产业产值比重/%	正	
	节能环保支出占公共支出比重/%	正	
	农林水支出占公共支出比重/%	正	

2.2.2 评价指标体系构建

目标层是生态安全评价的结果,用于评价生态安全状况和生态安全等级。准则层包括驱动力、压力、状态、影响、响应等 5 个要素。驱动力子系统的指标选取主要考虑人类活动对该区域生态安全的作用,包括社会发展驱动力和经济发展驱动力;生态安全压力子系统的指标选取考虑人口增长对目标区域的压力、生态环境脆弱和资源方面的问题对生态安

全造成压力;生态安全状态子系统的指标是在驱动力和压力的共同作用下,能够反应当前生态环境变化和社会发展的现状;生态安全影响子系统的指标选取包括生态环境和社会两个方面;生态环境响应子系统的指标选取人类对生态安全变化采取的一系列措施,包括社会经济响应、生态恢复和污染控制等。指标的选取遵循可操作性、科学性、系统性的原则。

3 研究方法

3.1 熵值法

熵值法是一种客观的赋权法,最早由申农引入信息论。在信息论中,熵值代表信息无序化程度,熵值越小系统无序值则越小,所以信息熵可以用来评价系统信息的有效性。通过熵来确定权重,就是根据各项指标数值所提供的信息大小,即差异程度来获得指标权重^[14]。该方法可以客观准确地赋予各个指标权重。

3.1.1 极差标准化

为消除指标数据量纲影响,采取极差标准化方法对数据进行处理^[15]。同时,为消除负数和零的影响,对数据进行平移。将原始数据指标对生态安全的影响分为正、负效应。正效应指标是指其值越大,生态安全贡献越大;相反,负效应指标是指其值越小,对生态安全贡献越大。

正效应指标标准化公式:

$$R_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} + 0.0001 \quad (1)$$

负效应指标标准化公式:

$$R_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_i}{\max x_i - \min x_i} + 0.0001 \quad (2)$$

式中: X_{ij} 为第 i 行 j 列指标的原始数值; R_{ij} 为标准值; $\max x_i$ 和 $\min x_i$ 为 i 行指标的最大值和最小值。

3.1.2 指标赋权

通过熵值法对指标和准则层进行客观赋权。第 i 项指标的熵值的计算公式为:

$$e_i = - \frac{1}{\ln(n)} \sum_{j=1}^n \frac{R_{ij}}{\sum_{j=1}^n R_{ij}} \ln \frac{R_{ij}}{\sum_{j=1}^n R_{ij}} \quad (3)$$

第 i 项指标的差异性系数 g_i :

$$g_i = 1 - e_i \quad (4)$$

第 i 项指标的权重 W_i :

$$W_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^n (1 - e_i)} \quad (5)$$

准则层的权重 W_k 计算公式为:

$$W_k = \frac{G_k}{\sum_{K=1}^N G_k} \quad (6)$$

式中: G_k 为各准则层指标的变异系数之和。
经过计算,各指标权重见表 2 所示。

表 2 生态安全评价指标体系及权重
Tab. 2 Ecological security evaluation index system and weight

目标层	准则层	权重	指标层	权重	
生态安全指数	驱动力	0.207	经济密度	0.169	
			GDP 增长率	0.086	
			人均 GDP	0.163	
			农业机械总动力	0.306	
			农林牧渔业总产值	0.276	
	压力	0.177	人口自然增长率	0.112	
			人口密度	0.099	
			土地开发利用强度	0.148	
			人均综合用水量	0.376	
			农用化肥施用量	0.125	
状态	0.147	城镇用地比例	0.140		
		农作物总播种面积	0.143		
		粮食作物播种面积	0.230		
		人均耕地面积	0.119		
		森林覆盖率	0.209		
		年均气温	0.149		
		年总降水量	0.150		
		影响	0.265	水土流失率	0.165
				年均空气质量指数	0.124
				人均公园绿地面积	0.377
建成区绿化覆盖率	0.088				
农村家庭可支配收入	0.114				
响应	0.204	地均财政收入	0.132		
		当年造林面积	0.184		
		工业固体废物综合利用率	0.245		
		污水集中处理率	0.085		
		第三产业产值比重	0.192		
			节能环保支出占公共支出比重	0.178	
			农林水支出占公共支出比重	0.116	

3.2 生态安全综合指数及分级

研究区域生态安全指数采用乘加复合综合指数模型,来评价生态安全总体安全程度。生态安全指

数介于 0~1 之间。

各个指标生态安全指数计算公式为:

$$ESI_i = W_i R_{ij} \quad (7)$$

准则层生态安全指数计算公式为:

$$ESI_{kj} = \sum_{i=1}^n ESI_i \quad (8)$$

系统生态安全指数计算公式为:

$$ESI = \sum_{k=1}^n ESI_{kj} \quad (9)$$

根据生态安全指数 ESI 确定生态安全等级,分级标准见表 3。

表 3 生态安全等级划分标准

Tab. 3 Ecological security classification standard

生态安全指数	安全等级	警度	指示灯
[0,0.2)	不安全	巨警	红灯
[0.2,0.4)	较不安全	重警	橙灯
[0.4,0.6)	一般安全	中警	黄灯
[0.6,0.8)	较安全	轻警	蓝灯
[0.8,1.0)	安全	无警	绿灯

4 兰考县生态安全评价结果与分析

经过计算,兰考县生态安全总体评价结果如表 4,图 1 所示。

表 4 生态安全总体评价结果

Tab. 4 Overall evaluation results of ecological security

年份	综合安全指数	安全等级	警度
2015	0.374	较不安全	重警
2016	0.351	较不安全	重警
2017	0.436	一般	中警
2018	0.568	一般	中警
2019	0.565	一般	中警
2020	0.563	一般	中警

从表 4、图 1 可以看出,研究区域 2015—2020 年生态安全综合指数由 0.37 提高到 0.56,整体呈逐年上升的变化趋势。兰考县生态安全等级 2015—2017 年处于较不安全水平,2018 年得到很大的提升,转变为一般安全水平,而后至 2020 年一直处于一般安全水平。对于研究区域生态安全影响主要的因素依次为“影响”“驱动力”和“响应”,主要原因是人们对绿

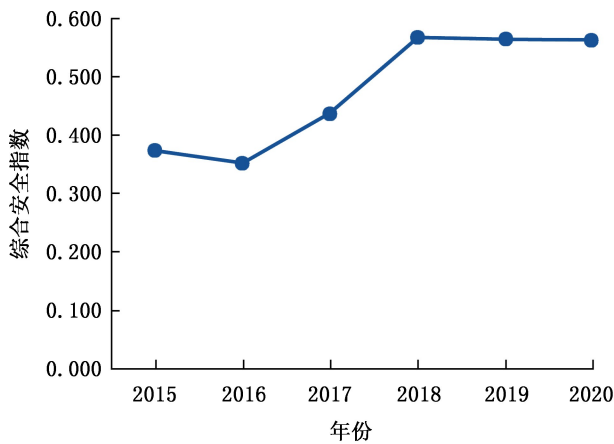


图 1 生态安全总体评价结果

Fig. 1 Overall evaluation results of ecological security

化和环境的重视程度提高、过度增长的人口、高速发展的经济、政府对于环境保护和生态修复的力度(表 5)。由此可见,对于生态资源的保护、环境治理、提高资源利用率等措施对于生态安全状态的提升起到了积极作用。虽然该区域环境污染问题得到了初步治理,问题得到改善,资源消耗减缓,但是经济快速发展、人口过度增长、城镇化发展等因素对于生态安全状态仍然有消极作用。总体来说,兰考县生态安全系统受干扰后容易恶化,生态问题和灾害也容易发生,生态安全状态还有很大的提升空间。

4.1 驱动力分析

“驱动力”是对生态安全产生威胁的潜在因素(图 2,表 6)。2015—2020 年,驱动力指数变化幅度较大,主要分为两个阶段,前期不断上升,后期呈下降趋势。2015—2017 年处于“较不安全”状态;2016 达到最差;2017 年开始上升;2018 年达到最高值 0.758,安全等级由“较不安全”转为“较安全”;2018 年到 2020 年开始呈现下降趋势;2020 年驱动力指数

表 5 兰考县 2015—2020 年生态安全准则层评价结果
Tab. 5 Evaluation results of ecological security criteria layer in Lankao County from 2015 to 2020

年份	驱动力	压力	状态	影响	响应
2015	0.261	0.791	0.354	0.083	0.519
2016	0.161	0.726	0.379	0.237	0.347
2017	0.178	0.662	0.507	0.340	0.575
2018	0.758	0.342	0.833	0.371	0.636
2019	0.704	0.285	0.686	0.778	0.303
2020	0.464	0.277	0.689	0.911	0.369
均值	0.421	0.514	0.575	0.453	0.458

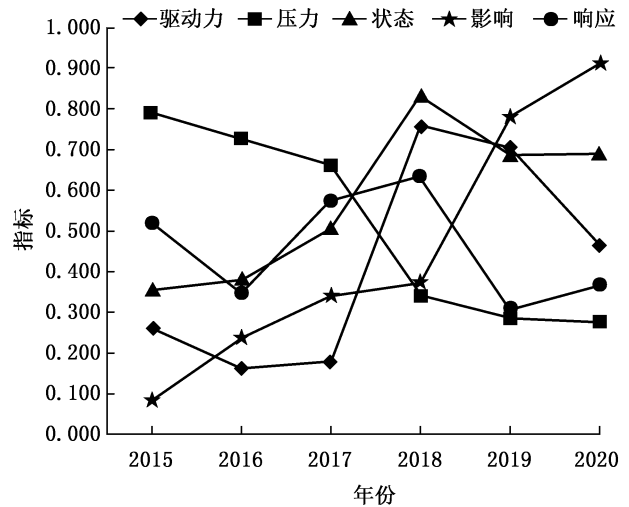


图 2 兰考县 2015—2020 年生态安全准则层变化趋势

Fig. 2 Change trend of ecological security criteria layer in Lankao County from 2015 to 2020

下降至 0.464,安全等级转变为“一般安全”。驱动力的平均值为 0.421,处于“一般安全”状态。经济密度、GDP 增长率、人口自然增长率是影响驱动力指

表 6 兰考县生态安全评价警度及指示灯

Tab. 6 Ecological security evaluation police level and indicator lights in Lankao County

年份	总体生态安全		驱动力		压力		状态		影响		响应	
	警度	指示灯	警度	指示灯	警度	指示灯	警度	指示灯	警度	指示灯	警度	指示灯
2015	重警	橙灯	巨警	红灯	轻警	蓝灯	重警	橙灯	巨警	红灯	中警	黄灯
2016	重警	橙灯	巨警	红灯	轻警	蓝灯	重警	橙灯	重警	橙灯	重警	橙灯
2017	中警	黄灯	巨警	红灯	轻警	蓝灯	中警	黄灯	重警	橙灯	中警	黄灯
2018	中警	黄灯	轻警	蓝灯	重警	橙灯	无警	绿灯	重警	橙灯	轻警	蓝灯
2019	中警	黄灯	轻警	蓝灯	重警	橙灯	轻警	蓝灯	轻警	蓝灯	重警	橙灯
2020	中警	黄灯	中警	黄灯	重警	橙灯	轻警	蓝灯	无警	绿灯	重警	橙灯

数的主要因素。根据统计原始数据发现,GDP 增长率有所下降,但是人均 GDP 和经济密度处于变好的趋势。总体来看,驱动力处于变好的趋势,但仍然处于一般安全状态,需要引起重视。

4.2 压力分析

如图 2 和表 6 所示,“压力”子系统指数整体呈现下降趋势:2015 年得分为 0.791,安全等级为“较安全”;2018 年急速下降至 0.342;2018—2020 年三年间下降速度减缓;2020 年压力指数下降至 0.277,安全等级为“较不安全”。人口持续增长、人均用水量居高不下、城镇用地比例增加,是影响压力子系统变差的主要因素。

4.3 状态分析

“状态”子系统权重为 0.265,是对区域生态安全影响最大的子系统(图 2,表 6)。2015 年“状态”子系统指数最差,分值为 0.354,安全等级为“较不安全”,警度为重警,指示灯为橙灯。2015—2020 年“状态”子系统整体呈上升趋势,2018 年警度为无警,指示灯显示绿灯。生态安全“状态”子系统指数上升主要原因在于森林覆盖率和粮食作物播种面积的增加。地方政府和居民生态环保意识的增强也在区域生态安全中起到了重要作用。

4.4 影响分析

生态安全“影响”子系统权重为 0.265,是对区域生态安全影响贡献率最大的因素。如图 2 和表 6 所示,2015 年“影响”子系统指数为 0.083,安全等级为“不安全”,警度为巨警,指示灯为红灯。2015—2020 年“影响”子系统指数不断上升,2020 年达到了最好的状态,安全等级为“安全”,警度为“无警”,指示灯为“绿灯”。“影响”子系统指数的上升主要因素为人们对于绿化和环境的重视程度提高,家庭收入和人均财政收入增加,水土流失得到控制,人均公园绿地面积增加,空气质量提高,使得影响子系统状况数值持续变好。

4.5 响应分析

如图 2 和表 6 所示,生态安全“响应”子系统指数呈现下降—上升—下降的状态:2015 年处于“一般安全”状态;2016 年下降至“较不安全”状态,随后开始上升;2018 年到达最高值,安全等级转变为“较安全”;2019 年下降至最低值 0.303,安全等级为“较不安全”;2020 年虽有提升,安全等级仍处于“较不安全”。警度经历了由中警转变为重警,指示灯由黄灯变为橘灯。“响应”子系统整体均值为 0.458,处于“一般安全”,说明该区域对于生态环保的重视程度和投入相对较高。但是,工业废水缺乏

处理,耗能高和排放高的产业有待改造,对于工业固体废物综合利用率、污水集中处理率和节能环保的投入仍需要提高。

5 结论与建议

本文结合 DPSIR 模型对兰考县进行了生态安全评价,在分析评价中结合熵值法和综合指数法对该区域生态安全的主要影响因素进行了分析。主要结论有:

1) 2015—2020 年,研究区域生态安全呈逐年上升的趋势,生态安全状态不断提高,生态等级由“较不安全”上升为“一般安全”,综合指数分别为 0.374、0.351、0.436、0.568、0.565、0.563。

2) 该研究区域生态安全状态受多种因素的影响。2015—2017 年,“压力”“状态”对生态安全影响最大(图 3)。其中“影响”“驱动力”和“响应”子系

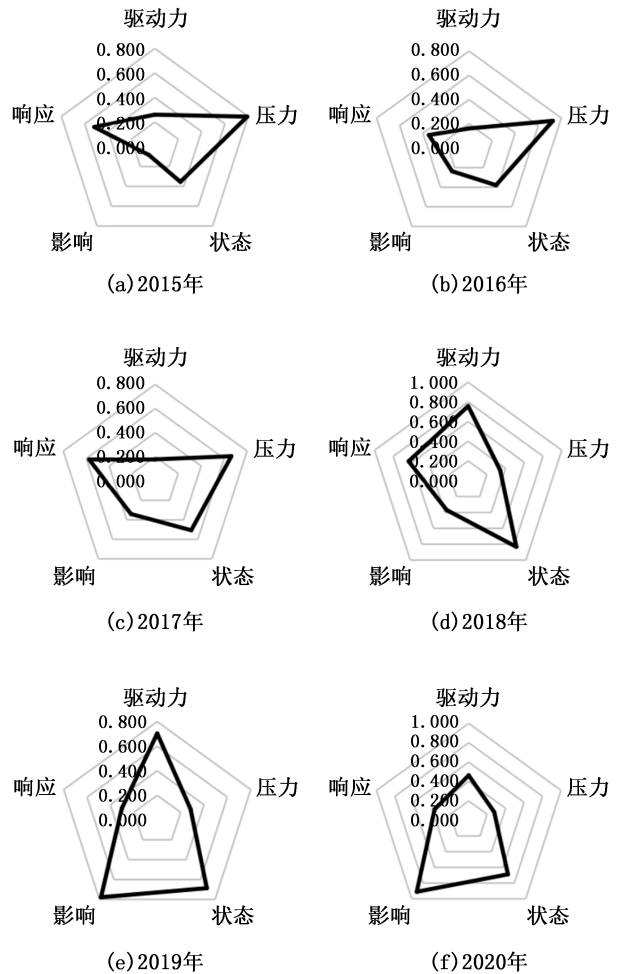


图 3 兰考县 2015—2020 年生态安全评价准则层雷达图
Fig. 3 Radar map of ecological security evaluation criteria layer in Lankao County from 2015 to 2020

统对于生态安全状态的贡献最大,但是“压力”子系统指数持续走低,数值偏低。因此,社会经济发展带来的人口压力、土地开发利用强度以及环境污染与生态安全的状态密切相关。

3)提升该区域生态安全水平,应贯彻高质量绿色发展理念,提高资源利用率、环保投入和生态环保意识,如:严格管控废水排放,促进生态环境健康发展;明确生态用地类型,构建科学合理的生态安全格局;积极引导生态环保意识,探索生态产品价值实现机制与途径。结合《黄河流域高质量发展纲要》的内容,在调洪功能区、滩区治理区、湿地修复区等多级生态功能区划的基础上,尊重自然法则,遵循可持续发展原则,分区分类治理,促进黄河流域生态高质量发展。

参考文献:

- [1] 吴晓. 三峡库区重庆东段生态安全评价研究[D]. 武汉:华中师范大学,2014.
- [2] SHI X Q,ZHAO J Z,OUYANG Z Y. Assessment of eco-security in the Knowledge Grid e-science environment[J]. The Journal of Systems & Software,2005,79(2).
- [3] 郭中伟. 建设国家生态安全预警系统与维护体系——面对严重的生态危机的对策[J]. 科技导报,2001(1): 54-56.
- [4] HACHOL J,BONDAR-NOWAKOWSKA E. Aquatic plantsbased risk model for assessment of ecological safety of rivers[J]. Human and Ecological Risk Assessment,2016, 22(4).
- [5] DOS SANTOS F B,ESTEVEES K E. A fish-based index of biotic integrity for the assessment of streams located in a sugarcane-dominated landscape in southeastern Brazil[J]. Environmental management,2015,56(2).
- [6] 凌红波,徐海量,史薇,等. 新疆玛纳斯河流域绿洲生态安全评价[J]. 应用生态学报,2009,20(9):2219-2224.
- [7] BARBARA SOWIŃSKA-ŚWIERKOSZ. Application of surrogate measures of ecological quality assessment: The introduction of the indicator of ecological landscape quality (IELQ)[J]. Ecological Indicators,2017,73.
- [8] WALZ. Development of environmental indicator systems: experiences from Germany[J]. Environmental Management, 2000,25(6).
- [9] 李玉照,刘永,颜小品. 基于 DPSIR 模型的流域生态安全评价指标体系研究[J]. 北京大学学报(自然科学版),2012,48(6):971-981.
- [10] 陈广,刘广龙,朱端卫,等. DPSIR 模型在流域生态安全评估中的研究[J]. 环境科学与技术,2014,37(S1): 464-470.
- [11] 刘晶晶,王静,戴建旺,等. 黄河流域县域尺度生态系统服务供给和需求核算及时空变异[J]. 自然资源学报,2021,36(1):148-161.
- [12] 黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要[N]. 人民日报,2021-10-09(001).
- [13] 崔馨月,方雷,王祥荣,等. 基于 DPSIR 模型的长三角城市群生态安全评价研究[J]. 生态学报,2021,41(1):302-319.
- [14] 陈广. 基于 DPSIR 模型的三峡库区水生态安全评价[D]. 武汉:华中农业大学,2015.
- [15] 秦寿康. 综合评价原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003:9-23.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.017

基于色彩要素量化分析的郑州市龙子湖滨水公园 植物群落景观评价

杨爽,张旭光,刘洋,郭楠,李永华

(河南农业大学 风景园林与艺术学院,河南 郑州 450002)

摘要:色彩丰富的季相植物景观能提供丰富的视觉感受,营造良好生活环境。以郑州市龙子湖滨水公园为研究对象,基于季节性色彩量化分析,采用 AHP 法与 SBE 法对选定的 20 个植物群落进行植物景观色彩评价,分析影响植物景观色彩质量的主要因子。结果表明,样地植物种类多样,色彩丰富度较高,对比度较低,景观整体色相值偏低,饱和度及明度适中,色彩特征鲜明;AHP 法与 SBE 法虽侧重点不同但二者评价结果具有一致性,可共同应用于景观评价中;根据评价模型可知色彩数量 C_1 、明度指数 C_8 是影响植物景观美景度的主要因子。本次研究结果可为城市园林绿化植物种类的选择及景观塑造提供理论支撑。

关键词:龙子湖城市滨水公园;植物群落;季节性;色彩量化;色彩评价;郑州市

中图分类号:TU986.52;S718.54;P901 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0089-9

引文格式:杨爽,张旭光,刘洋,等.基于色彩要素量化分析的郑州市龙子湖滨水公园植物群落景观评价[J].林业调查规划,2024,49(1):89-97,119. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.017

YANG Shuang, ZHANG Xuguang, LIU Yang, et al. Landscape Evaluation of Plant Communities in Longzi Lake Waterfront Park of Zhengzhou City Based on Quantitative Analysis of Color Elements[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1):89-97,119. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.017

Landscape Evaluation of Plant Communities in Longzi Lake Waterfront Park of Zhengzhou City Based on Quantitative Analysis of Color Elements

YANG Shuang, ZHANG Xuguang, LIU Yang, GUO Nan, LI Yonghua

(College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Colorful seasonal plant landscape can provide rich visual experience for the public and create a good living environment. Taking Longzi Lake Waterfront Park of Zhengzhou City as the research object, based on seasonal color quantitative analysis, this paper used analytic hierarchy process (AHP) and scenic beauty estimation method (SBE) to evaluate the color of 20 selected plant communities, and analyze the main factors affecting the color quality of plant landscape. The results showed that the sample plot had a variety of plant species, rich color, low contrast ratio, low overall color phase value, moderate saturation and brightness, and distinct color characteristics; although the AHP and SBE method were different, the two evaluation results were consistent and could be used in landscape evaluation; according to the evaluation model, the number of colors C_1 and brightness index C_8 were the main factors affecting the beauty of the plant landscape. The results of this

收稿日期:2022-08-23.

基金项目:河南省科技攻关项目(212102110185,21A220002).

第一作者:杨爽(1997-),女,河南三门峡人,硕士研究生.研究方向为风景园林植物资源应用. Email:1059128361@qq.com

责任作者:郭楠(1983-),女,湖南常德人,博士.研究方向为植物景观与规划设计. Email:61024817@qq.com

study could provide theoretical support for the selection of urban landscape plants and landscape modeling.

Key words: Longzi Lake Waterfront Park; plant community; seasonal; color quantification; color evaluation; Zhengzhou City

植物群落是城市绿化中最具生命力和代表性的组成单元,不仅对空气质量和人居环境改善、缓解城市热岛效应、维护城市生态系统起到积极作用,而且还拥有较高的美学观赏价值。研究表明在呈现景观效果、传达景观视觉特征、刺激人体视觉感受方面,植物色彩比植物景观的其他要素更加直接^[1],因此从植物色彩角度出发,营造满足公众审美需求、色彩丰富的季相植物景观,是植物景观提升中一项亟需解决的工作^[2]。

植物景观色彩相关研究主要包括 2 个方面。一是色彩量化研究,主要有比色卡取色法、仪器测量法、软件测量法^[3-4],前两种方法通常只能对局部某一点色彩值进行量化,而针对尺度较大、色彩组成复杂的对象则适合软件测量法。在研究尺度方面主要包括植物个体色彩量化与植物群落色彩量化^[5-6],其中大多数研究还停留在对单一植物色彩量化的阶段,这对高质量植物群落色彩景观营建难以形成有效的指导策略^[7]。二是植物景观色彩评价研究,主要有美景度评价法(SBE法)、层次分析法(AHP法)、比较评判法(LCJ法)和语义分析法(SD法)。赵秋月^[8]采用 SBE 法对选定的植物组合进行景观评价,从 11 个色彩指标中筛选得出影响植物组合美景度的主要因子,分别为色彩层次感、主色彩布局、与周围环境色彩对比程度等。王子^[9]对研究区秋季景观色彩进行量化,并运用 SD 法,构建研究区风景林景观色彩质量综合评价指标体系,弥补了景观色彩量化与色彩评价方面的不足。杨阳等^[10]利用主成分分析法从 25 个变量因子中筛选得出影响美景度等级最为重要的因素是植物景观色彩质量指数,且二者呈正相关关系。而随着研究的深入,越来越多的学者认识到单一评价方法的不足,开始尝试使用多种评价方法协同进行研究,同时也在不断地引入新的评价指标,但在指标的选择方面仍以定性结合定量为主,鲜有研究完全选择定量指标且使用两种评价方法协同进行植物群落景观色彩评价。

本研究中以较大尺度的植物群落为研究对象,采用软件测量法对郑州市龙子湖滨水公园内选定的 20 个植物群落进行色彩量化,弥补了郑州市滨水公园植物景观季节性色彩量化研究的不足。在采用 AHP 法的基础上,引入 SBE 法,将植物群落景观色彩客观量化指标与公众心理响应结合,克服了单一

评价方法的局限性,构建植物群落景观色彩评价模型,为指导园林植物种植、优化植物配置、提高植物群落观赏性提供了参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域及样地选取

郑州市龙子湖滨水公园位于郑州市郑东新区,作为郑州市生态回廊的一部分,发挥着有效的废弃过滤与氧气供给的作用,其绿地景观是郑州市郑东新区绿地系统规划中的重要组成部分,由龙子湖水域(95 hm²)形成环状的城市湿地景观带。场地绿地面积约 96.2 hm²,绿地率 50.3%。经初步调查,研究区域内有乔木 150 余种,灌木 300 余种。

种植设计单元(planting design unit)是园林种植设计中的基本单位,是植物景观营造过程中的最小组成部分^[11],因此本次研究选取 20 个片状且保存情况良好、结构完整、处于生长稳定阶段、具有典型性和代表性的植物群落作为研究对象,依次编号为 Y₁~Y₂₀。此外还需满足植物群落面积在 50 m² 以上,具有一定规模,样地位置在客流量较多的公园主干道旁或公园出入口处等要求(图 1)。

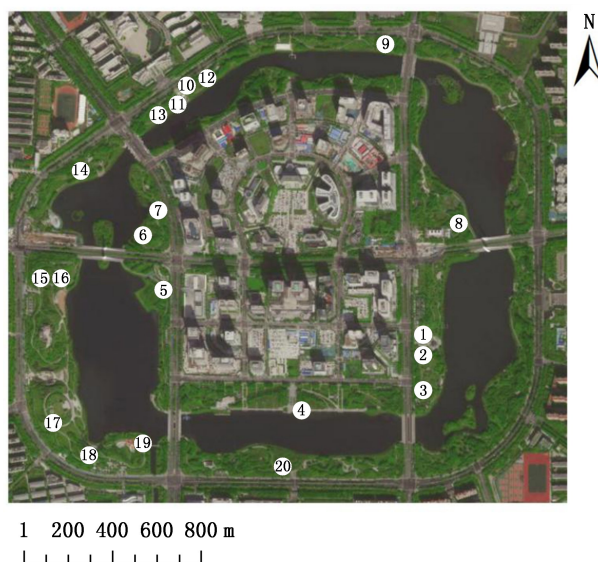


图 1 样地分布

Fig. 1 Distribution of sample plots

1.2 软件测量法

于 2021 年 3 月至 11 月,在光线充足的天气条件

下对样地进行拍摄。统一使用 Nikon D7100 相机,顺光拍摄,拍摄过程中不适用闪光灯,保持拍摄高度、角度、距离相同。尽量保证样片中无建筑物、行人等非构景要素。通过 Photoshop 和 ColorImpact 进行取色,保留占比大于 1% 的色块,读取各色块的色相(H)、饱和度(S)、明度(B)量化数值。根据田玉敏^[12]的量化方法将 HSB 色彩模型进行非均匀的色彩划分,其中 H_1 、 H_2 、 H_{16} 代表红色系色彩, H_3 、 H_4 代表黄色系色彩, $H_5 \sim H_9$ 代表绿色系色彩, $H_{10} \sim H_{12}$ 代表蓝色系色彩, $H_{13} \sim H_{15}$ 代表紫色系色彩。此外,采用 Excel 软件统计每张照片的 HSB 值及其所属范围。

1.3 层次分析法(AHP法)

1.3.1 层次结构模型构建

基于简便、实用、科学等原则,通过查阅相关文献及咨询风景园林行业相关专家的意见,从色彩丰富度、视觉冲击力、色彩表现 3 个方面构建植物群落景观色彩评价体系(表 1)。

表 1 郑州市龙子湖滨水公园植物群落景观色彩评价体系
Tab. 1 Color evaluation system of plant community landscape in Longzi Lake Waterfront Park of Zhengzhou

目标层	准则层	因子层	类目		
			1	2	3
郑州市龙子湖滨水公园植物群落景观色彩评价(A)	色彩丰富度(B_1)	色彩数量(C_1)	0~5	5~10	≥ 10
		植物种类(C_2)	0~5	5~10	≥ 10
	视觉冲击力(B_2)	色相对比度(C_3)	0~60	60~90	90~180
		饱和度对比度(C_4)	0~30	30~50	≥ 50
		明度对比度(C_5)	0~30	30~50	≥ 50
	色彩表现(B_3)	色相指数(C_6)	低	中	高
		饱和度指数(C_7)	低	中	高
		明度指数(C_8)	低	中	高

1.3.2 评价因子权重确定及一致性检验

指标权重计算和一致性检验参照赵焕臣^[13]提出的公式与流程,采用 1-9 比率标度法,判断各指标的相对重要性。具体操作通过 yaahp 软件实现。

1.3.3 指标赋值及计算综合评分

因子层中,色彩数量取群落中色彩占比 $\geq 1\%$ 的

色块数量之和,植物种类为乔灌木植物种类之和;色彩对比度和色彩指数按照以下计算公式进行计算,其中饱和度、明度对比度与色相对比度计算公式相同,饱和度、明度指数与色相指数计算公式相同。

色相对比度(CH)计算公式为:

$$CH = \min(|H_1 - H_2|, 360 - |H_1 - H_2|) \times \min(r_1/r_2, r_2/r_1) \quad (1)$$

式中: H_1 、 H_2 为差值最大的两色块的色相值; r_1 、 r_2 为其对应的面积百分比^[14]。

色相指数(\bar{H})计算公式为:

$$\bar{H} = \sum_{i=1}^n (H_i \times R_{H_i}) \quad (2)$$

式中: H_i 为第 i 个色相的区间范围值; R_{H_i} 为第 i 个色相所占的像素比例, $i=1, 2, 3, \dots, 16$ 。

将色彩指标的定量化数值按照赋值标准(表 1)进行赋值,并参考刘艺平^[20]的计算方法计算各景观单元最终分值及划分景观等级。

1.4 美景度评价法(SBE法)

1.4.1 问卷调查

采用网络问卷的形式,通过问卷星平台发放问卷,在问卷评价前期,向评判者说明对该问卷的评判应主要侧重于植物色彩表现。问卷采用 7 分制的评价等级进行评判(-3~3 分)。

1.4.2 美景度值计算

为了保证数据的可靠性,需要对原始得分数据进行标准化处理。参考赵秋月^[8]的计算方法对美景度值进行标准化计算。

1.4.3 美景度等级划分

参考史可^[2]的计算方法将美景度值划分为 5 个等级,其中 I~V 级分别代表景观很美、美、一般、难看、很难看。

1.5 构建评价模型

利用 Kendall's W 协和系数对 SBE 法和 AHP 法得出的评价结果进行相关性检验,将各植物景观的美景度值作为因变量,各色彩指标作为自变量,运用 SPSS 24.0 软件,采用逐步回归分析处理数据,建立多元线性回归模型。

2 结果与分析

2.1 样地色块分析

利用 Photoshop 软件将 20 个植物群落按照其实际呈现的色彩划分为不同的色块(图 2)。



图 2 郑州市龙子湖滨水公园不同样地色块划分

Fig. 2 Color block division of sample plots in Longzi Lake Waterfront Park of Zhengzhou

从图 2 中可以看出,样地 Y_1 、 Y_2 、 Y_9 、 Y_{16} 、 Y_{20} 有 3 个及以上的明显色块变化。样地 Y_1 中植物群落为石榴 (*Punica granatum*) + 金枝槐 (*Sophora japonica*) + 广玉兰 (*Magnolia grandiflora*) - 八角金盘 (*Fatsia japonica*) + 红叶石楠 (*Photinia fraseri*) - 地毯草 (*Axonopus compressus*) + 狗牙根 (*Cynodon dactylon*)。 Y_2 样地植物群落为石楠 (*Photinia serrulata*) + 金枝槐 + 榔榆 (*Ulmus parvifolia*) - 金叶女贞 (*Ligustrum vicaryi*) + 红花檵木 (*Loropetalum chinense* var. *rubrum*) - 地毯草 + 百慕大草 (*Cynodon dactylon*)。 Y_9 样地植物群落为紫叶李 (*Prunus cerasifera* f. *atropurpurea*) + 悬铃木 (*Platanus orientalis*) - 鸡树条 (*Viburnum opulus*

var. *calvescens*) + 南天竹 (*Nandina domestica*) - 鸢尾 (*Iris tectorum*)。 Y_{16} 样地植物群落为金枝槐 + 桂花 (*Osmanthus fragrans*) + 榆 (*Ulmus pumila*) - 中华金叶榆 (*Ulmus pumila* 'Jinye') + 石楠 - 沿阶草 (*Ophiopogon japonicus*)。 Y_{20} 样地植物群落为南天竹 + 玉兰 (*Magnolia denudata*) + 紫荆 (*Cercis chinensis*) - 中华金叶榆 + 金叶女贞 - 沿阶草。样地 Y_1 、 Y_{16} 中金枝槐在春季呈明亮的金黄色,到了夏季叶色变得浓郁,明度降低,秋季落叶明度再次减弱,留下暗黄色的枝干;样地 Y_2 中红花檵木在春季呈鲜艳的紫红色,随着季节的更替,饱和度逐渐升高、明度降低,直至变为暗紫色;样地 Y_7 、 Y_{18} 中樱花 (*Cerasus yedoensis*),

春花粉嫩,夏叶翠绿,秋叶橙黄,三季色彩各异;样地 Y_9 中紫叶李为广泛使用的色叶树种,其叶色呈暗紫色,饱和度高、明度低,虽季相变化的多样性不如其他植物种类,但可凭借叶色浓郁、三季如初的特点孤植于园林景观节点处,发挥景观中心引导视线的作用;样地 Y_{16} 、 Y_{20} 中中华金叶榆随着季节的变化,由饱和度明度较高的黄色变成黄绿色,最终呈现出饱和度较高、明度较低的绿色,三季色彩变化层层递进。综合 20 个样地,可知乔木金枝槐、樱花、红花檵木、栾树 (*Koelreuteria paniculata*)、悬铃木、丁香 (*Syringa oblata*)、石榴、碧桃 (*Amygdalus persica* f. *duplex*)、五角枫 (*Acer pictum* subsp. *mono*),灌木中华

金叶榆、红叶石楠、南天竹、鸡树条、金叶女贞等均具有丰富的季相变化,可广泛用于各类植物景观中。通过将植物群落划分成不同的色块,可以明确地区分出不同植物色彩的季相变化情况以及粗略比较不同植物景观色彩丰富度。

2.2 植物景观色彩量化

色相 H_1 、 H_3 、 H_4 、 H_5 、 H_6 ,饱和度 S_1 、 S_2 ,明度 B_1 、 B_2 在三季间呈现出显著性差异 ($P < 0.05$),3 个季节两两之间差异性不同 (图 3,图 4)。综合来看,代表红色系的色相 H_1 在春季占比显著高于夏秋两季,代表黄色系的色相 H_3 在秋季占比显著高于春夏两季、 H_4 在秋季占比仅显著高于夏季,代表绿色系的色相

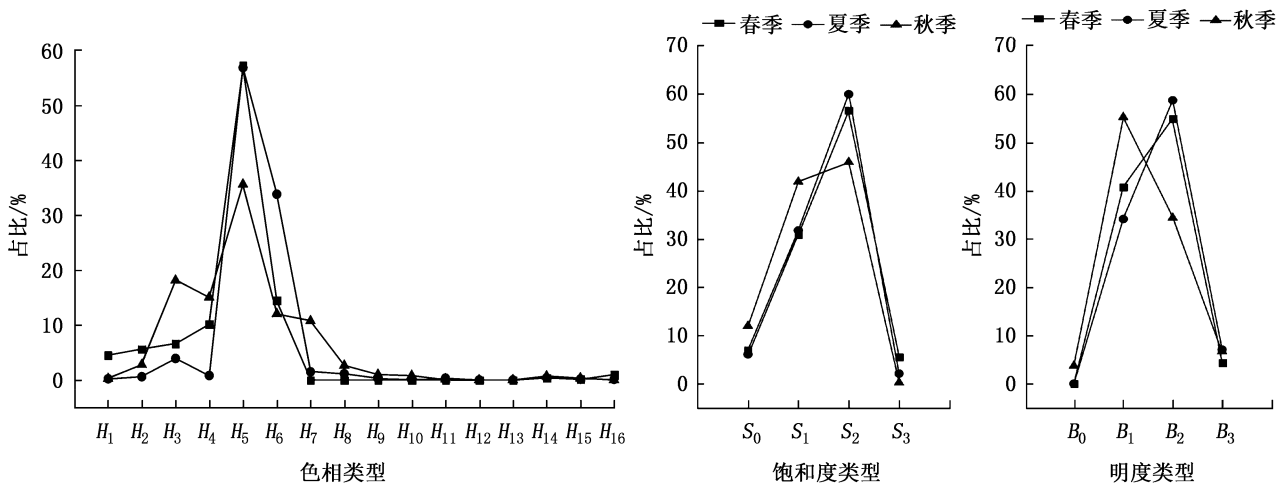
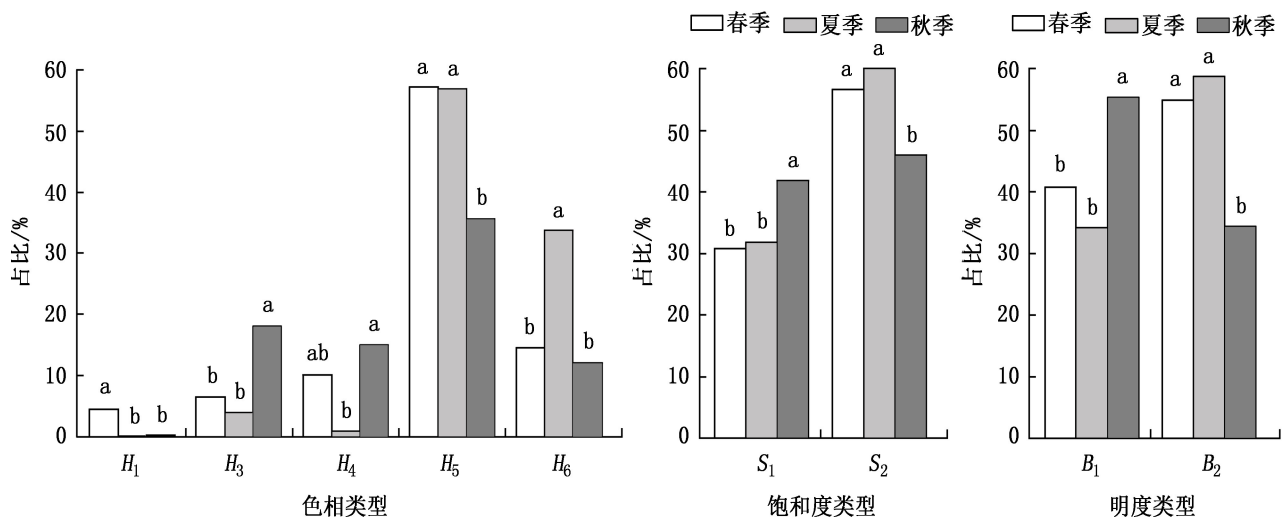


图 3 3 个季节色彩构成要素量化结果

Fig. 3 Quantification results of color composition elements



注:不同小写字母表示 3 个季节间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 4 不同季节色彩构成要素 LSD 多重比较分析

Fig. 4 LSD multiple comparison analysis of color composition elements in different seasons

H_5 在春夏两季的占比显著高于秋季、 H_6 在夏季的占比显著高于春秋两季。由此可见在季相变化中,以 H_5 、 H_6 为主的绿色系色彩先升高后降低,在夏季达到最大值;以 H_3 、 H_4 为主的黄色系色彩先降低后升高,在秋季达到最大值;以 H_1 为主的红色系色彩先降低后升高,在春季达到最大值。郑州市龙子湖滨水公园植物景观色彩整体上以绿色系为主导,占比 60%~95%,相对而言彩色系占比较少。春夏两季以中饱和度、中明度为主,秋季饱和度、明度降低。郑州市龙子湖滨水公园植物景观色彩以中饱和度和明度为主,该区域内的色彩明亮却又温和不刺眼,人眼感知平静沉稳且不易引起视觉疲劳。

由色相量化结果可知,在五大色系中,绿色系在各群落中占据景观主体色谱地位。绿色系包括黄绿色(H_5)、绿色(H_6)、中绿色(H_7)、蓝绿色(H_8)、青绿色(H_9)。其中 H_5 、 H_6 代表暖绿, H_7 、 H_8 、 H_9 代表冷绿,以此分析群落主体色谱的冷暖特征及变化,绿色系量化结果见图 5。

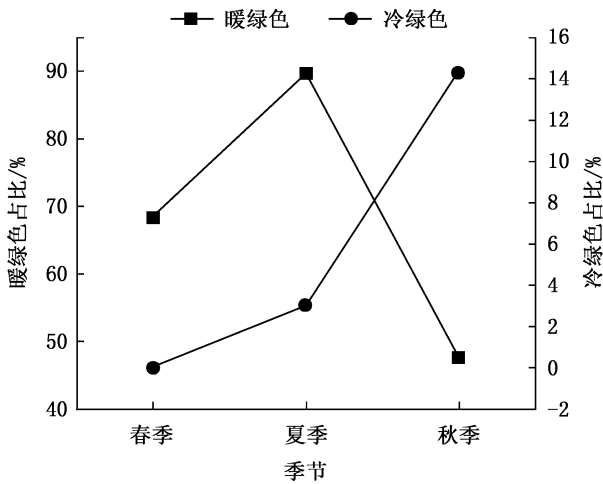


图 5 绿色系量化结果

Fig. 5 Quantification result of green system

由图 5 可以看出,春季植物叶片开始生长,绿色度逐渐升高,冷绿色逐渐转换为暖绿色;夏季植物叶片生长最为茂盛,绿色占比达到最高峰,该时期依旧以暖绿色为主,开始出现冷绿色,绿色系的层次感增强;秋季叶片逐渐凋落,暖绿色占比大幅度降低,常绿植物的叶色逐渐变得浓郁,冷绿色占比达到 3 个季节最高值。可见群落的绿色度变化遵循一年四季植物叶片生长与凋落的规律。不同样地色彩丰富度量化结果见图 6。

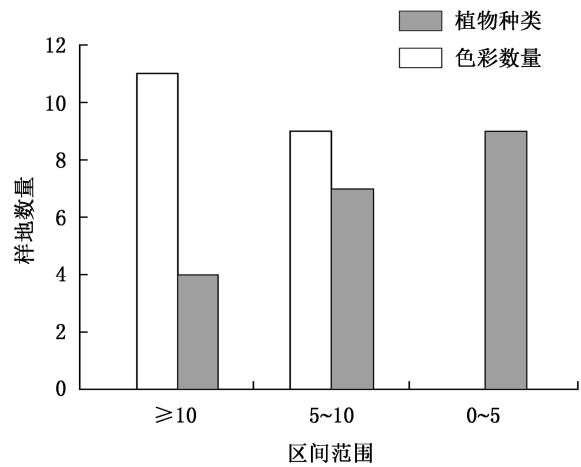


图 6 色彩丰富度量化结果

Fig. 6 Quantification result of color richness

由图 6 可知,本次所调研的 20 个样地色彩丰富度整体上处于适中偏高的范围区间内,100%植物景观所涵盖的色彩数量在 5 种以上,多位于 8~11 种的范围区间内;而有 55%植物群落所包含的植物种类在 5 种以上,大多在 5~10 种之间。综合来看郑州市龙子湖滨水公园植物景观色彩丰富,有较高的观赏性。

在本次所调研的 20 个样地中,色相对比度在 13~74 之间,饱和度对比度为 16~45 之间,明度对比度在 8~30 之间(图 7)。

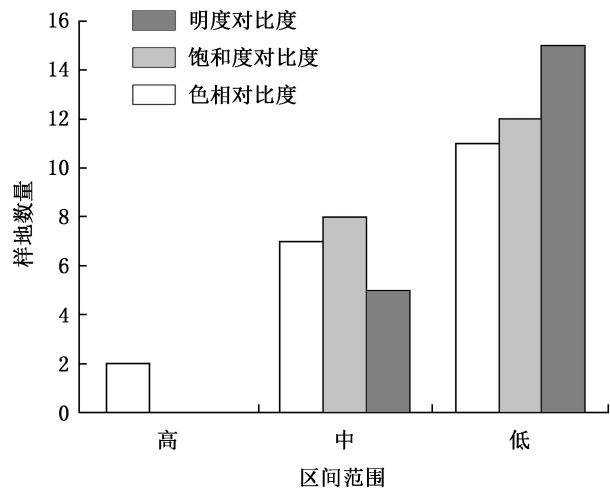


图 7 色彩对比度量化结果

Fig. 7 Quantification result of color contrast

由图 7 可知,大多数样地的色彩对比度较低,样地数量在 11~15 个之间,而具有高色彩对比度的样地仅有 2 个,说明龙子湖滨水公园植物景观色彩整

体上色彩带给人们的视觉冲击力较低,带给人们沉稳厚重、平淡舒适的感觉。

2.3 综合性植物景观色彩评价

2.3.1 SBE 法与 AHP 法一致性检验结果

采用 Kendal's W 协和系数法对 SBE 法和 AHP 法的评价结果进行相关性检验。结果显示, n 为 2, W 为 0.808,卡方为 30.741,自由度为 19,渐近显著性为 $P=0.043<0.05$,则概率保证程度为 95%的情况下 AHP 法和 SBE 法评价排序结果具有较高的一致性,说明使用 AHP 法建立的评价模型所得到的景观评价结果与公众的直观感受一致性较强,因此可以进行后续的计算。

2.3.2 SBE 法与 AHP 法评价结果差异性分析

SBE 法与 AHP 法评价结果之间的差异分析见图 8。

由图 8 可知,SBE 法与 AHP 法具有不同的倾向与特点。如样地 Y_{16} 植物群落,SBE 法样地等级划分结果为 I 级景观,排名第 1,AHP 法样地等级划分结果为 II 级景观,排名第 9,SBE 法评价得分高于 AHP 法评价结果,两者差异较大。该植物群落采用乔灌木植物搭配,从直观上看该群落植被茂盛、植物分布高低错落有层次,色叶植物鲜明,整体景观效果良好,尤其是春季景观效果突出,因此 SBE 法得分较高。但就 AHP 法来看,该植物群落除春季外植物种类、色相对比度、饱和度对比度、色相指数、明度指数等各项指标均较低,因此 AHP 法评价得分较低(图 9)。由此可以发现,SBE 法更强调整体效果,且若单一季节景观表现突出时会模糊公众对于该景观季节性景观综合评价;而 AHP 法则指向性更强,尽管指标的选取具有强烈的主观意愿,但针对植物景观某一特征进行定向的评价时,AHP 法较 SBE 法更能反映出景观在该方面的表现情况。另外,根据不同样

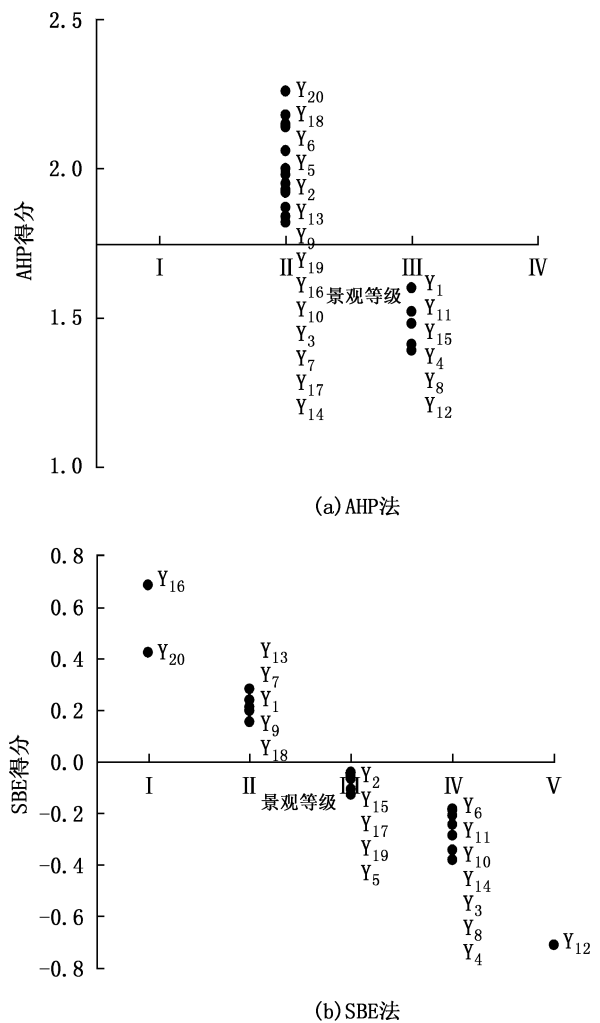


图 8 不同样地景观等级分布

Fig. 8 Level distribution of different sample plots

地的等级划分情况可以发现,对于等级划分 SBE 法较 AHP 法更加细致,AHP 法仅将 20 个样地划分成两个等级,尽管各样地间得分不尽相同,但总体而言差异较小,这与 AHP 法评价体系构建的主观性与植物群落本身色彩呈现的客观性均有一定关系。



图 9 样地 Y_{16} 3 个季节景观实景

Fig. 9 Realistic landscape of Plot Y_{16} in three seasons

2.3.3 植物景观美景度与色彩指标的回归分析

采用多元线性回归分析法中的逐步回归原理,建立因变量 Y_{SBE} 和各自变量 X_i (评价模型中各指标) 间的多元线性回归方程,经逐步回归最终得到方程:

$$Y_{SBE} = -1.793 + 2.173C_1 + 3.125C_8$$

回归方程的显著性检验结果 $P < 0.01$, 结果极显著; R^2 为 0.696, 说明 2 个自变量共同可解释因变量 69.6% 的变异量。 R 为 0.832, 调整后 R^2 为 0.660, 标准估算误差为 0.191 35, 德宾-沃森值为 1.738。该模型保留了与景观质量相关性显著的色彩指标, 可适用于植物景观建成前的规划设计与建成后植物景观改造。

根据评价模型代入 20 个样地色彩数量与明度指数得分, 具体见图 10。

由图 10 可知, 在 20 个样地中, 得分较低的样地 Y_4 、 Y_8 、 Y_{12} 色彩数量 6~8 个, 涵盖 2~4 种色相类型, 明度指数 5.5~6; 而样地 Y_5 、 Y_7 、 Y_{10} 、 Y_{13} 、 Y_{20} 评分较高, 色彩数量 9~11 个, 涵盖 4~6 种色相类型, 明度指数 7.1~8.3, 其中以样地 Y_{20} 综合评分最高, 该植物群落采用乔灌木植物搭配, 主要由南天竹、丁香等 10 种植物组成, 共 11 种色彩数量涵盖 4 种色相类型, 位列第 6 名, 明度指数中等偏高, 位列第 4。由此可见并不是色彩数量越多、明度指数越高的植物群落色彩质量越高。在该植物群落中, 南天竹、红叶石楠、中华金叶榆等均是常用色叶植物, 丁香则为主要的观花树种, 在春夏秋三季色彩变化不一, 尤其是

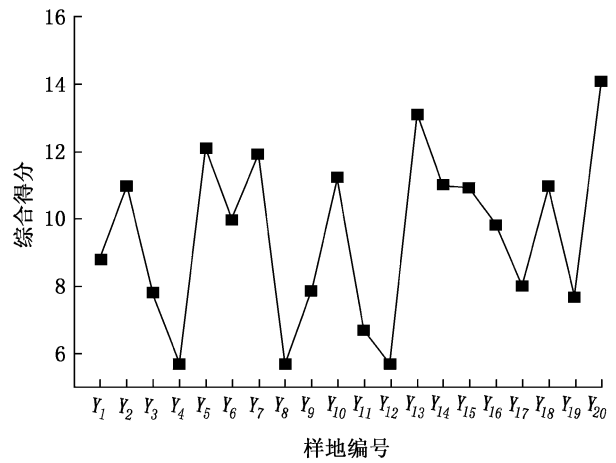


图 10 不同样地综合评价结果

Fig. 10 Comprehensive evaluation results of different sample plots

中华金叶榆在春季呈现鲜艳的明黄色, 在群落中表现突出。在夏季一片碧绿中, 冷色调的高大乔木做背景, 暖色调的小乔木南天竹、石楠与高明度的中华金叶榆等做前景, 搭配浓密的草本植物, 整体层次分明, 明暗突出, 色相对比适中, 观感有序舒适。而在萧瑟的秋季景观中, 橘红色的南天竹为暗淡的群落增添了一抹别样的观赏趣味 (图 11)。整体景观植物素材丰富, 植物配置疏密得当, 充分发挥了植物本身的自然美; 季相变化突出, 既有春季观花, 又有夏秋观枝观叶, 三季有景; 色彩丰富鲜明, 生动活泼又和谐统一, 不会过于繁杂使人心烦意乱。



图 11 样地 Y_{20} 3 个季节景观实景

Fig. 11 Realistic landscape of Plot Y_{20} in three seasons

3 讨论与结论

3.1 结论

通过将 20 个植物景观划分成不同色块, 可以发

现样地 Y_1 、 Y_2 等 5 个样地有 3 个及以上明显色块变化, 金枝槐、樱花等 14 种植物具有丰富的色彩变化, 观赏性强。通过色彩量化处理, 可知在 3 个季节中植物景观整体上以绿色系为主导, 冷暖度变化遵

循一年四季植物叶片生长与凋落的规律;不同色彩要素占比在季节间差异显著,其中色相 H_1 、 H_3 、 H_4 、 H_5 、 H_6 ,饱和度 S_1 、 S_2 ,明度 B_1 、 B_2 占比在 3 个季节间具有显著差异。而通过对色彩丰富度、色彩视觉冲击力两项指标的分析可知本次调研的样地植物种类、色彩种类均较丰富,色彩对比度偏低,均值在 20~40 之间,人眼感知沉稳厚重、平淡舒适。综合来看郑州市龙子湖滨水公园植物群落景观色彩要素特征鲜明,具有明显季相色彩变化的植物种类丰富,广泛适用于各类型植物群落。

Kendall's W 一致性检验结果表明 AHP 法与 SBE 法评价结果的一致性较强,但 SBE 法更调整体效果,若单一季节景观表现突出时会模糊公众对于该景观季节性景观综合评价;而 AHP 法则指向性更强,更适于针对植物景观某一特征进行定向的评价,缺点是评价结果间差异性较小,等级划分不明显。在此基础上根据多元线性回归分析可以构建出以公众审美为导向的植物景观色彩评价模型,由该模型可知影响植物景观色彩质量的主要因子为色彩数量和明度指数,通过对优质样地的色彩分析,可以发现公众更喜爱色彩丰富却不会过于繁杂,明度较高却又不会过于刺眼的植物景观,以色彩数量 9~11 种,涵盖 4~7 种色相类型,明度指数 7.1~8.3 为宜。综上所述,本次研究所选用的两种评价方法虽其评价原理和侧重点不同,但评价结果在整体上具有较强的一致性,共同应用于植物景观色彩评价中能在满足公众审美的基础上,从植物景观色彩客观属性方面更加全面、准确地评价景观色彩,在一定程度上弥补了景观评价研究主观性强、实际应用可操作性差等不足。

3.2 讨论

本研究中基于色彩要素采用软件测量法对郑州市龙子湖滨水公园植物群落景观进行色彩量化研究,研究结果显示公园内植物景观色彩丰富度较高,对比度较低,色彩特征鲜明,以往已有研究学者对公园内春季和秋季植物景观色彩进行研究^[15-16],但未涉及该公园植物群落景观季节性色彩变化特征,本研究填补了该方面的空白,但在研究区域范围内仅选取了 20 个样地,数量有限,且在色彩量化过程中并未包含冬季景观色彩,因此在今后研究中仍需进一步完善。

已有研究表明,在影响植物景观质量的众多因素中,色彩占据着重要地位^[17],在植物景观评价中多包含色彩指标,但鲜有研究结合两种评价方法,完

全采用定量指标单独聚焦于植物群落色彩进行评价,故在春夏秋三季植物群落景观色彩量化分析的基础上,运用 AHP 法和 SBE 法,以公众审美为导向对植物群落景观色彩进行评价,以期为植物景观建成前规划设计与建成后的优化提升提供理论支撑。研究结果显示 AHP 法和 SBE 法的评价结果侧重点不同,但同时又具有较高的一致性,这一点同刘艺平^[18]的研究结果一致,因此可以将两种评价结果相结合,建立美景度值与各色彩指标间的评价模型,根据模型可知色彩数量、明度指数是影响植物景观美景度值的主要因素,即公众更喜爱色彩丰富、明度较高的植物景观,但需要注意的是,过多的色彩会令画面繁杂混乱,而过高的明度则过于鲜艳刺眼,易造成视觉疲劳,减少游客停留时间,这一点与之前的研究结果相符^[19]。因此,在今后的植物景观色彩规划设计中,应增加色叶植物和开花植物的种类以丰富群落色彩,在群落内配置高明度的植物加以点缀以提升群落整体色彩明度,进而提升整体色彩质量;应了解到植物色彩呈现与光照有显著关系,因此还应合理规划群落内植物种植密度、植物冠层、郁闭度等以使得群落内部光线适中^[20-21],使植物呈现最佳色彩。本研究弥补了单一评价方法的不足,使评价结果更加科学准确,在一定程度上拓宽了植物景观色彩评价研究的思路,丰富了色彩指标的选择,在今后色彩评价中可尝试将不同评价方法相结合,选择更为新颖丰富的色彩指标,为指导植物配置,进行景观建设与优化提升提供参考。

参考文献:

- [1] 张喆,鄧光发,王成,等. 多尺度植物色彩表征及其与人体响应的关系[J]. 生态学报,2017,37(15):5070-5079.
- [2] 史可. 基于公众审美的哈尔滨市城市公园植物色彩评价及优化研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2020.
- [3] 杨杰,王秀荣,邸高曼,等. 贵阳市常色叶园林植物叶色量化及配植分析[J]. 中国农学通报,2021,600(21):28-39.
- [4] 冯书楠,岳桦. 寒地农业观光园非农生境植物景观季相色彩量化研究[J]. 东北农业大学学报,2018,49(7):27-37.
- [5] 张小晶,陈娟,李巧玉,等. 基于视觉特性的川西亚高山秋季景观林色彩量化及景观美学质量评价[J]. 应用生态学报,2020,31(1):45-54.
- [6] 王冬梦,谢珊珊,申雪莹,等. 春季城市公园滨水植物群落色彩感受评价[J]. 西部林业科学,2016,45(1):68-73.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.018

基于文献计量分析的生态系统碳汇现状研究

王应琼¹, 温庆忠², 王昌命¹, 尹富鸿³

(1. 西南林业大学 林学院, 云南 昆明 650224; 2. 云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051;
3. 珠江源省级自然保护区管护局, 云南 宣威 655400)

摘要: 为了解近年来生态系统碳汇研究领域的发展状况, 运用 CiteSpace 软件对 CNKI 和 WOS 数据库中 2005—2023 年生态系统碳汇研究领域的相关文献进行可视化分析。通过绘制高频关键词关系网络图谱、作者、机构合作网络图谱以及时间线图谱等, 对国内、国际该领域的演进路径、研究热点与发展态势进行阐述。深入分析不同时段的突现词, 归纳该领域的主流研究热点。结果表明, 该领域发文量国际国内整体上呈波动增长趋势, 相对于国内作者, 国外作者相互之间联系更加紧密, 研究热点上突显了森林在碳汇研究中的重要性, 碳中和与碳汇潜力正在成为新兴的研究热点。

关键词: 生态系统碳汇; 文献计量; 网络图谱; CiteSpace; 研究热点

中图分类号: S718.55; P461.7 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0098-10

引文格式: 王应琼, 温庆忠, 王昌命, 等. 基于文献计量分析的生态系统碳汇现状研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 98-107. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.018

WANG Yingqiong, WEN Qingzhong, WANG Changming, et al. Carbon Sequestration of Ecosystem Based on Bibliometric Analysis[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 98-107. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.018

Carbon Sequestration of Ecosystem Based on Bibliometric Analysis

WANG Yingqiong¹, WEN Qingzhong², WANG Changming¹, YIN Fuhong³

(1. College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China; 3. Administration of Zhujiangyuan Provincial Nature Reserve, Xuanwei, Yunnan 655400, China)

Abstract: To understand the development status of ecosystem carbon sequestration research in recent years, CiteSpace software was used to visualize and analyze relevant literature in the field of ecosystem carbon sequestration research in CNKI and WOS databases from 2005 to 2023. By drawing high-frequency keyword relationship network maps, authors and institutional cooperation network maps and timeline maps, etc., this paper introduced the evolution path, research hotspots and development trends in this field at home and abroad, analyzed the keywords with strongest citations in different periods and summarized the mainstream research hotspots in this field. The results indicated that the number of publications in this field showed a fluctuating growth trend both domestically and internationally, and compared to domestic authors, foreign authors were more closely related to each other, highlighting the importance of forests in carbon sequestration research, with the emerging research hotspots of carbon neutrality and carbon sequestration potential.

Key words: ecosystem carbon sequestration; bibliometric; network map; CiteSpace; research hotspots

收稿日期: 2023-10-16; 修回日期: 2023-11-06.

基金项目: 云南省林业碳汇计量监测项目; 《云南植被志》研编及云南植林业碳汇计量监测项目(202101BC070002).

第一作者: 王应琼(1998-), 女, 云南双柏人, 硕士研究生. 从事森林培育研究. Email: 2095783916@qq.com

责任作者: 温庆忠(1968-), 男, 广东揭西人, 正高级工程师. 从事生态碳汇与生态修复相关研究. Email: wenqingzhong5@126.com

生态系统作为重要的碳汇,具有巨大的潜力,在国家“双碳”目标的实现中将发挥关键作用^[1]。随着“双碳”目标的提出,国际学术界开始热切关注生态系统碳汇。目前,生态系统碳汇研究领域的综述文献主要涉及生态系统碳循环过程、固碳机制和增汇原理^[2]、生态系统碳汇的估算方法^[3]以及生态系统碳汇量及其影响因素^[4]等。这些文献均是从生态系统碳汇的某个角度进行阐述,缺乏对国际国内生态系统碳汇研究的全面把握。文献计量方法作为一种定量分析手段,能客观地反映学术界对特定领域研究的动态和趋势,揭示研究的热点和前沿问题,评估学术贡献和影响力,同时发现潜在的研究空白和未来发展方向^[5]。本文采用文献计量学方法,利用 CiteSpace 可视化软件,基于 Web of Science(WOS)和 CNKI 核心数据库 2005—2023 年发表的研究论文进行可视化分析。通过可视化分析,形象地展示国际国内生态系统碳汇研究的作者、机构、热点等内容,旨在帮助广大学者更深入地思考了解生态系统碳汇研究现状。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

利用中国知网(CNKI)作为中文文献数据源,采用主题词“生态系统碳汇”进行模糊搜索,时间跨度设定为 2005—2023 年,初步检索共得到 4 841 篇文献。为确保数据的全面性和准确性,通过人工判读标题和摘要的方式,剔除与主题无关的文献,例如无

作者的通讯、会议论文、报纸报道、成果总结、学术辑刊、特色期刊以及重复发表的论文,最终筛选出 824 篇有效文献。外文文献来源于 WOS(Web of Science)中的核心合集,检索条件为(TS=(Ecosystem)and TS=(carbon sink)),时间跨度为 2005—2023 年,文献类型限定为“Article”“Review Article”和“Proceeding Paper”。共检索出 7 049 篇文献,在逐条筛选后得到供分析的文献为 930 篇。

1.2 研究方法

利用 CiteSpace 软件对导入的数据进行分析,并对软件进行特定参数设置。时间切片设定为 2005—2023 年期间;节点类型包括关键词、作者、研究机构以及国家地区。网络修剪层级选择最小生成树算法(MST),这种算法具有预算简洁,且能够快速生成图谱的优点。在生成的图谱中,每个节点代表一位作者、一个研究机构或国家,节点的大小反映了其发表论文的数量,连接线代表了节点之间的合作情况,线的粗细表示合作强度^[6]。节点内部颜色表示其对应的年份,有紫色外圈的节点代表具有较高内部中心性的关键节点,此类节点对研究领域具有关键性的影响^[7]。

2 结果与分析

2.1 年度发文量分析

年度发文量可很好地反映出生态系统碳汇研究的趋势性及关注度,将相关文献进行时序数列对比^[8](图 1)。

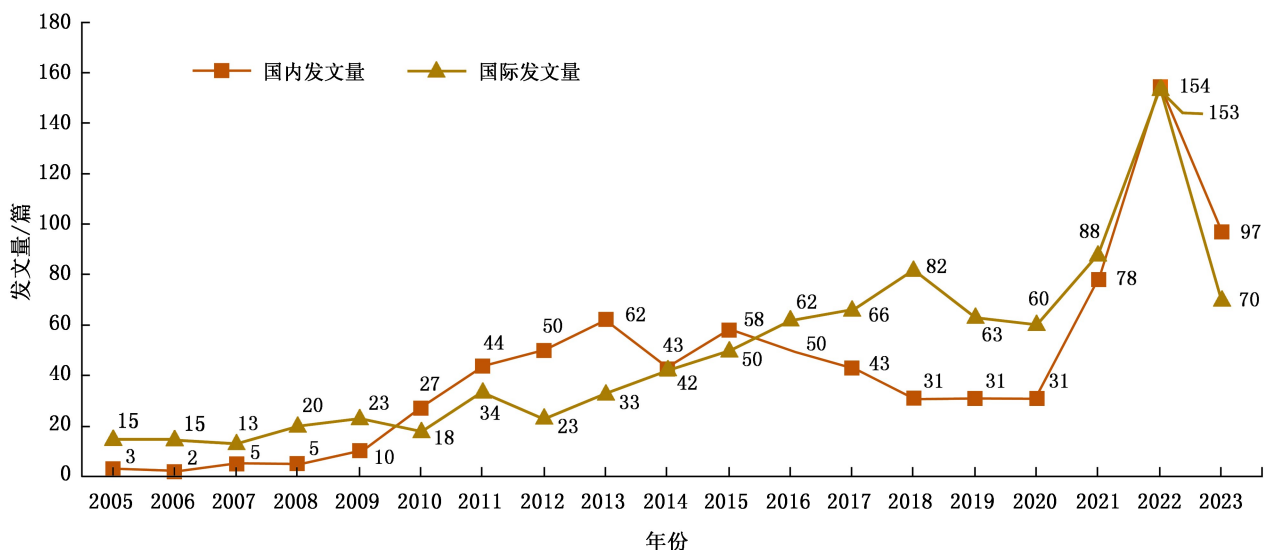


图 1 2005—2023 年生态系统碳汇研究领域发文量

Fig. 1 Number of publications in ecosystem carbon sequestration research from 2005 to 2023

从图 1 可以看出,在整个时间范围内,国际发文量普遍高于国内发文量,但两者的差距逐渐缩小。2022 年是发文量最高的年份,国内和国际发文量均达到较高水平,分别为 154 篇和 153 篇,表明生态系统碳汇研究在全球气候变化中的重要性日益凸显,同时人们对碳汇问题的关注不断增加。根据图 1 可将生态系统碳汇研究发展大致分为 3 个阶段:

第一阶段:萌芽期(2005—2008 年),国内和国际发文量较低,但呈逐年上升趋势。这一时期的背景是国家林业局于 2005 年发布《关于印发 2005 年工作要点的通知》^[9],其中提出了强化国际林业碳汇研究的重要性。随后,2007 年成立了应对气候变化和节能减排工作领导小组^[9],拉开了碳汇研究工作的序幕。

第二阶段:探索期(2009—2014 年),国内和国际发文量呈稳步增长态势,尤其是国内发文量增速明显,这一趋势得益于 2009 年国家林业局出台的《关于促进农民林业专业合作社发展的指导意见》^[10],旨在扩大农田和草地的碳汇潜力。进展到 2011 年,国家林业局发布了《林业应对气候变化“十二五”行动要点》,提出了建立全国林业碳汇计量监测体系,同时启动国内碳汇造林试点等关键措施^[11]。在这一时期,林业碳汇建设工作得到全面推进,同时也开始探讨农田和草地碳汇等相关领域。

第三阶段:成长期(2015—2023 年),国内和国际发文量呈高速增长趋势,特别是国际发文量有显著增长。这一发展趋势受到了多项政策和举措的推动,2015 年,国务院发布了《生态文明体制改革总体方案》,强调建立增加生态系统碳汇的机制^[12]。2021 年,习近平总书记提出,要提高生态系统碳汇能力,充分发挥森林、草原、湿地、海洋、土壤以及冻土的作用^[13]。2022 年党的二十大中习近平总书记再次明确提出要增强生态系统碳汇能力,并积极参与全球气候变化治理^[14]。这一系列重要政策和发展表明,在该时期,生态系统碳汇已成为全球气候变化领域的热点问题。

2.2 研究作者及机构分析

2.2.1 研究作者分析

发文作者在科研中占有重要地位,通过分析发文作者及其合作网络结构特征,可以反映出该领域的核心作者群体及其合作关系^[15]。本文采用普莱斯定律计算核心作者的最低发文量^[16]。根据 CiteSpace 的统计结果,国际国内发文数量排名前 10

位的作者如表 1 所示。

表 1 国内外发文量排名前 10 位的作者
Tab. 1 Top 10 authors in terms of domestic and international publication

序号	国际作者			国内作者		
	发文量/篇	首次发文年份	作者	发文量/篇	首次发文年份	作者
1	28	2011	Ciais, Philippe	7	2005	朴世龙
2	23	2011	Piao, Shilong	4	2009	于贵瑞
3	7	2011	Luo, Yiqi	4	2015	刘世荣
4	6	2018	Li, Wei	3	2005	方精云
5	6	2010	Yu, Guirui	3	2013	沈月琴
6	6	2010	Duarte, Carlos M	3	2013	华志芹
7	6	2017	Fisher, Joshua B	3	2023	朱建华
8	6	2018	Ju, Weimin	3	2010	王晓芳
9	5	2018	Friedlingstein, Pierre	3	2010	张颖
10	5	2017	Poulter, Benjamin	3	2012	杨帆

分别计算国内外核心作者的最低发文量阈值。在国内,发文量在 2 篇及以上的被认为是核心作者,共有 106 人满足这一条件。在国际上,发文量在 4 篇及以上的被认为是核心作者,共有 27 人满足这一条件。在国际研究者中,Ciais, Philippe 是最具影响力的研究者,其发文量远超其他研究者,显示其在生态系统碳汇研究领域的重要地位。在国内研究者中,朴世龙是最具影响力的研究者,其发文量也较其他国内研究者高,显示其在国内生态系统碳汇研究中的领导地位。国内生态系统碳汇研究者的发文量整体较国际研究者低,但随着时间的推移,国内研究者的发文量逐渐增加,呈稳步发展趋势。

国际国内作者发文量分析如图 2,图 3 所示。

图谱中每个节点表示一位作者,节点之间的连线反映了作者间的合作强度^[17]。

从图 2 的 WOS 文献作者合作网络关系可以看出,大部分核心作者之间形成了稳定的合作关系。国际上排名前 10 位的作者中,除了来自中国的 5 名作者外,还有来自不同国家的学者。

图 3 的 CNKI 文献作者合作网络关系显示,国内生态系统碳汇研究者数量较多,但彼此之间的合作关系并不紧密,研究者分散在不同行业 and 部门,呈现小集中、大分散的特点,主要以朴世龙、于贵瑞、刘世荣、方精云和沈月琴等学者为主导力量,在生态系统碳汇研究领域取得了显著的学术进展。

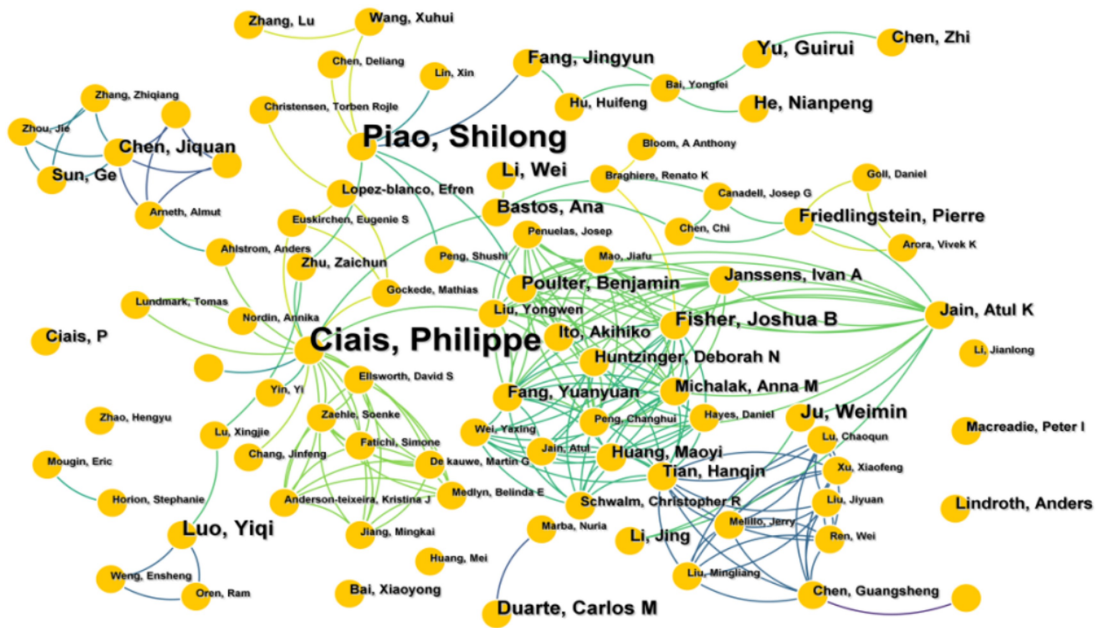


图 2 2005—2023 年生态系统碳汇研究 WOS 文献作者发文量分析及其合作关系

Fig. 2 Publications and cooperation relationships of WOS literature authors on ecosystem carbon sequestration research from 2005 to 2023

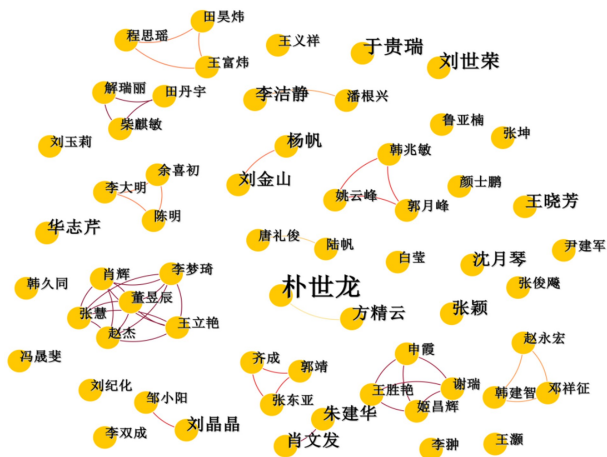


图 3 2005—2023 年生态系统碳汇研究 CNKI 文献作者发文量分析及其合作关系

Fig. 3 Publications and cooperation relationships of CNKI literature authors on ecosystem carbon sequestration research from 2005 to 2023

综合分析,在国际上,生态系统碳汇研究者之间形成了稳定的合作网络,涵盖了不同国家和地区的学者。在国内,虽然研究者数量较多,但合作关系相对分散。因此,加强国内外学者之间的合作交流,汇聚力量,形成更紧密的合作网络,对于推动生态系统碳汇研究领域的发展具有重要意义。

2.2.2 研究机构分析

科研机构肩负着国家战略需求和人才培养的双

重任务,因此对其进行分析很有必要^[18]。表 2 列出了国内外关于生态系统碳汇研究发文量排名前 10 位的研究机构,在国际研究机构中,中国科学院和中国林业科学研究院是发文量最高的两个机构,分别发文 207 篇和 61 篇。在国内研究机构中,浙江农林大学和东北林业大学是发文量最高的两个机构,分别发表文 18 篇和 15 篇。中国科学院是国际和国内生态系统碳汇研究中发文量最高的机构,显示了其在该领域的研究实力和领导地位。通过数据分析可以看出,高校对生态系统碳汇的研究最多,研究院所次之。

通过对国际机构合作网络的分析可以看到该领域的科研力量分布(图 4)。

如图 4 所示,图中共有 251 个节点和 431 条连线,反映出各机构之间的合作关系较为紧密。特别是中国科学院、北京大学、中国林业科学研究院、隆德大学以及美国“橡树岭”国家实验室所组成的合作机构网络表现最为明显,其合作关系网络规模较大。除排名前 10 位的机构外,还有一些机构虽然未进入排名前列,但与其他机构之间有着密切合作关系。例如,加州理工学院(California Technology)和法国气候和环境科学研究院(CEA CNRS UVSQ)等机构也在该合作网络中发挥着重要作用。整体而言,国际各机构之间合作紧密,形成了一个相对稳固的合作网络结构。这种合作有助于推动生态系统碳汇研究进展,促进学术交流和知识共享。

表 2 国内外发文量排名前 10 位的研究机构

Tab. 2 Top 10 research institutions in terms of domestic and international publication

序号	国际			国内		
	机构名称	发文量/篇	首次发文年份	机构名称	发文量/篇	首次发文年份
1	中国科学院	207	2005	浙江农林大学	18	2012
2	中国科学院大学	61	2015	东北林业大学	15	2010
3	北京大学	46	2011	中南林业科技大学	14	2007
4	隆德大学	37	2007	中国科学院大学	13	2016
5	中国林业科学研究院	32	2005	北京林业大学经济管理学院	12	2008
6	北京师范大学	28	2010	北京林业大学	8	2012
7	美国亚利桑那大学	23	2012	中国海洋大学经济学院	6	2011
8	南京大学	22	2011	浙江农林大学经济管理学院	6	2011
9	赫尔辛基大学	18	2007	北京大学城市与环境学院	5	2022
10	美国橡树岭国家实验室	17	2011	中国科学院地理科学与资源研究所	5	2009

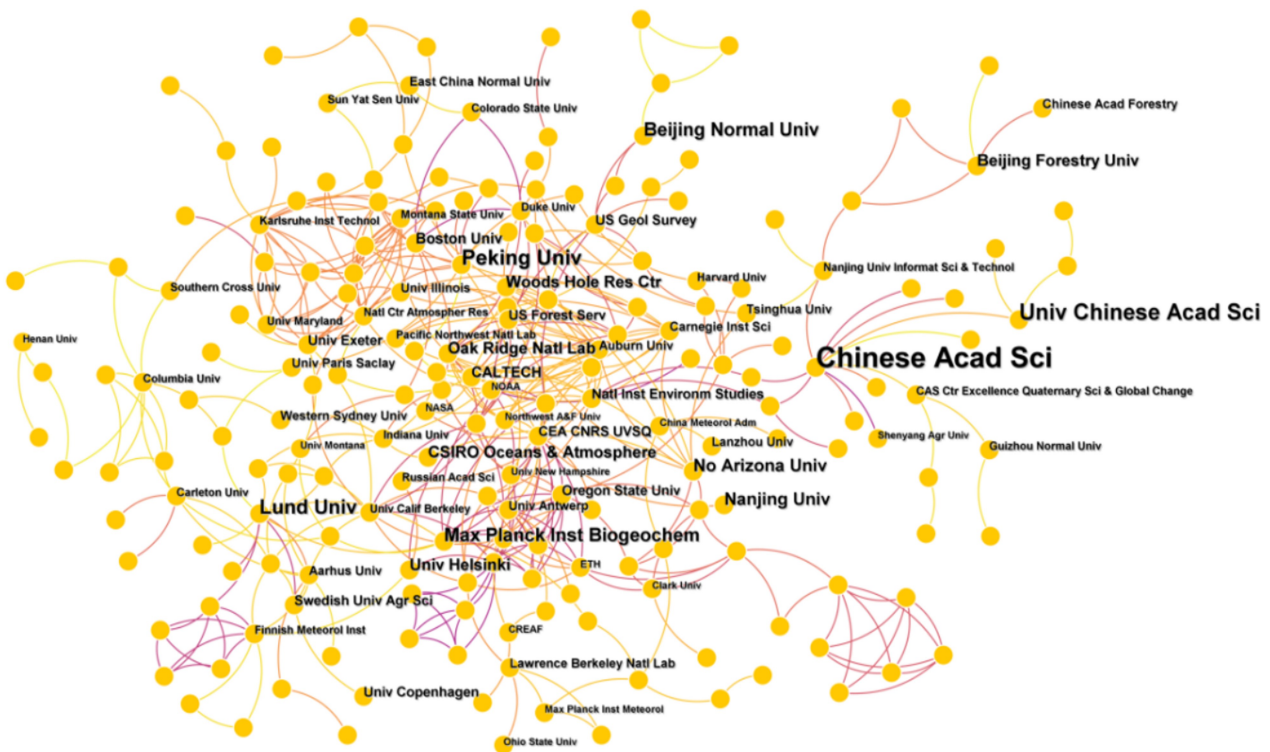


图 4 国际研究机构合作网络

Fig. 4 Cooperation network of international research institutions

国内机构合作网络图如图 5 所示,共有 190 个节点和 85 条连线。该网络密度为 0.004 7,由于密度值较低,表明国内生态系统碳汇研究的科研机构整体合作倾向较低。此外,图 5 显示的网络模块值为 0.817 5,表明该网络具有显著的小群体聚类特征。

在表 2 和图 5 的对比中可以发现,浙江农林大学、东北林业大学和 中南林业科技大学的发文量排

名前 3 位,但他们之间的合作较少为了促进学术交流与合作,为推动生态系统碳汇研究发展,有必要加强这些机构之间的合作。此外,通过对图谱中节点的观察可以发现,合作机构呈一定的跨学科性,不再局限于林业和林业高校,而涉及到财经、农业、工业、化学工程等学科机构,这种跨学科性有助于拓宽生态系统碳汇研究领域,推动该领域的进展。

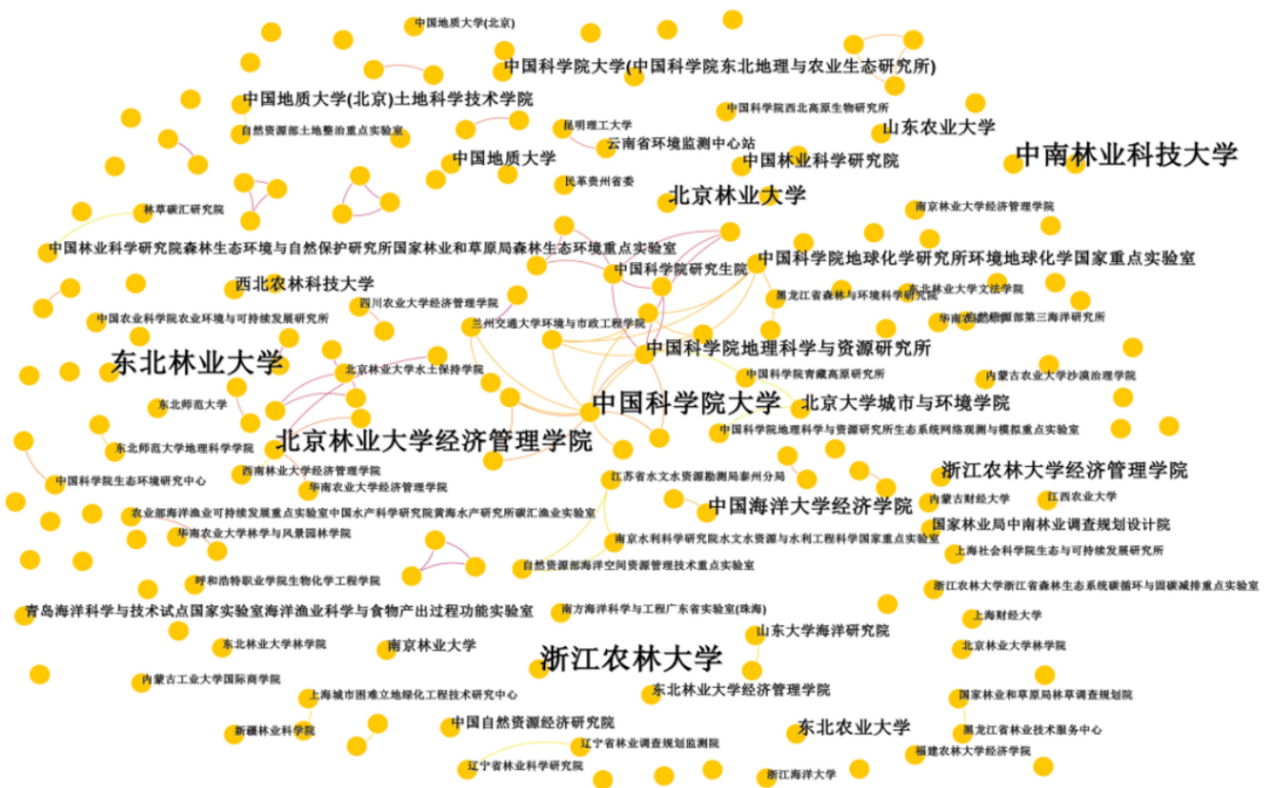


图 5 国内研究机构合作网络

Fig. 5 Cooperation network of domestic research institutions

2.3 研究热点与趋势分析

2.3.1 关键词共现分析

关键词在一篇文献中代表其内容的核心和精华,出现频率较高的关键词通常反映了相关领域的研究热点^[19]。图 6 和图 7 是由 CiteSpace 生成的国际和国内关键词共现图谱。

在图 6 中,有 188 个节点和 262 条连线,网络密度为 0.014 9。其中,“CO₂”是最明显的关键词,其出现频率最高,紧随其后的是“climate change”“ecosystem”“carbon sink”和“dynamics”等,这表明国际上关于 CO₂ 排放与气候变化关系已成为研究热点。全球气候变化背景下碳循环和生态系统功能的重要性日益凸显。

在图 7 中,“碳汇”是最明显的关键词,其次是“森林碳汇”“碳储量”和“碳中和”,这一现象表明,国内对生态系统碳汇的研究重点集中于森林碳汇、森林碳储量和碳中和研究。

用 Microsoft Excel 2019 对国际国内生态系统碳汇研究关键词出现频率进行汇总,并将排名前 10 位的关键词从高到低进行排序(表 3)。

由表 3 可以看出,“碳汇”和“climate change”是研究中出现频率最高的关键词,“森林碳汇”“碳储

量”和“CO₂”是热门关键词,显示了森林在碳汇研究中的重要性以及碳储量和二氧化碳在生态系统碳汇关注度上的突出地位。“碳中和”和“海洋碳汇”是近年来在生态系统碳汇研究中出现的新兴关键词,这可能反映了对碳中和技术和海洋生态系统在气候变化应对中的日益关注。关键词频数与中心性一般呈正相关,但不表示频数越大中心性就越强^[20],每个关键词的中心性指标存在差异^[20],如“CO₂”和“森林碳汇”中心性高,但频数不是最高,这表明某些研究方向的成果集中在少数研究学者之中。

2.3.2 热点研究主题分析

国际关键词聚类(图 8)的 Q 值为 0.721 7(大于 0.5),S 值为 0.862(大于 0.7),说明该聚类结构是显著的,并且具有较高的可信度。国内关键字聚类(图 9)的 Q 值和 S 值分别为 0.817 5 和 0.967 8,其聚类结果也是非常显著的。从国际生态系统碳汇关键词聚类图来看,国际对生态系统碳汇的研究主要是:(1)气候与生态系统碳汇关系:研究气候变化对生态系统碳汇的影响;(2)生态系统碳循环和碳交换:研究生态系统中碳的流动和交换过程,包括生态系统碳的吸收、释放、转移和储存等;(3)碳汇的年度变化研究:研究碳汇在不同年份、季节的变化情况,

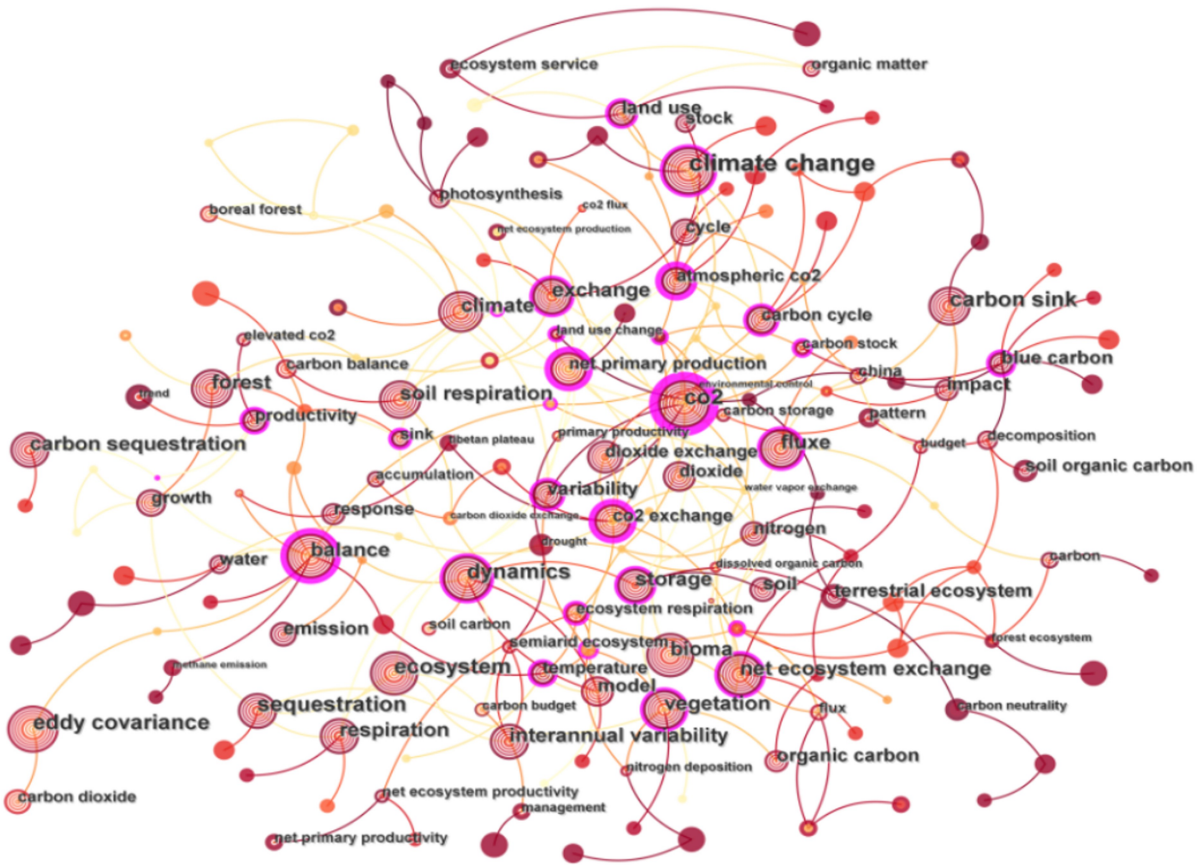


图 6 WOS 文献关键词共现图谱

Fig. 6 Keywords co-occurrence map of WOS literature

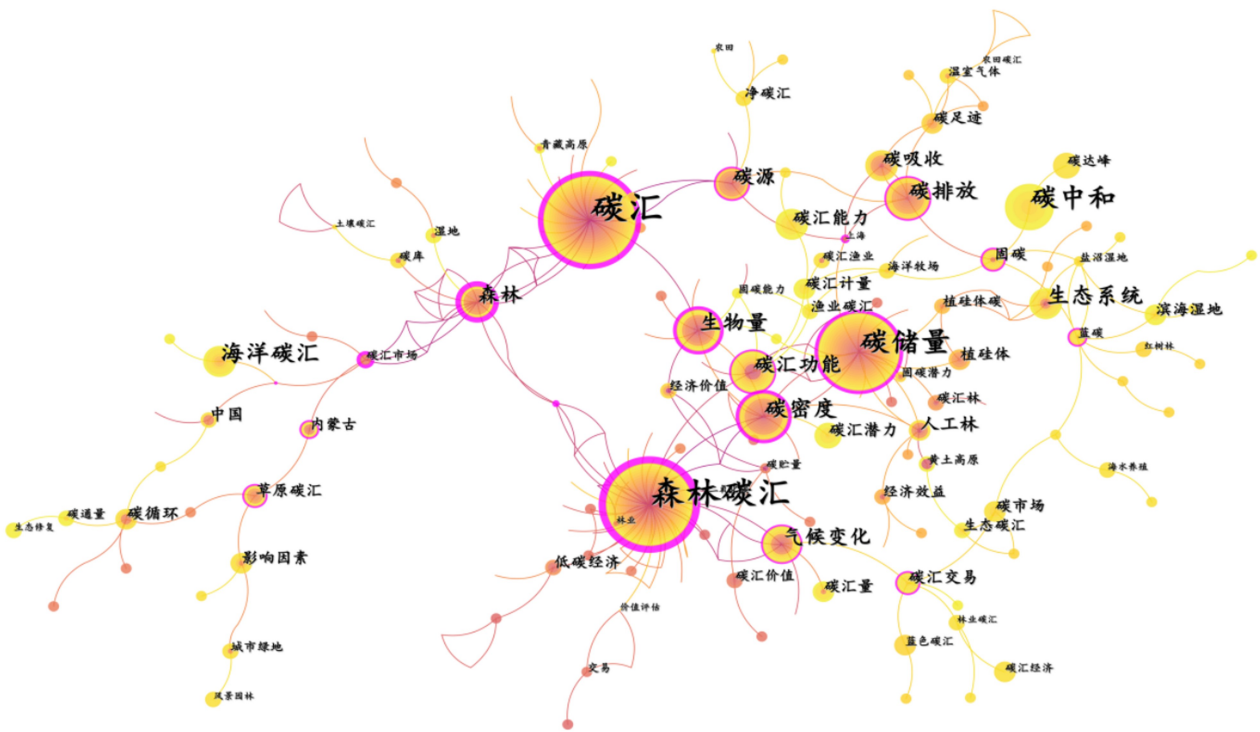


图 7 CNKI 文献关键词共现图谱

Fig. 7 Keywords co-occurrence map of CNKI literature

表 3 国际国内生态系统碳汇关键词出现频率

Tab. 3 Keywords frequency of ecosystem carbon sequestration in international and domestic research

序号	国际				国内			
	关键词	频数	中心性	起始年份	关键词	频数	中心性	起始年份
1	climate change	218	0.14	2005	碳汇	190	0.42	2005
2	ecosystem	114	0.07	2005	森林碳汇	159	0.65	2005
3	sequestration	106	0.07	2006	碳储量	73	0.27	2009
4	CO ₂	102	0.43	2005	碳中和	58	0.01	2021
5	dynamics	100	0.17	2006	海洋碳汇	29	0.01	2018
6	eddy covariance	98	0.02	2005	生态系统	27	0.01	2010
7	carbon sink	97	0.03	2009	碳密度	26	0.31	2005
8	respiration	86	0.05	2005	碳排放	24	0.16	2011
9	forest	85	0.04	2005	生物量	23	0.21	2007
10	fluxe	83	0.11	2007	森林	20	0.47	2006

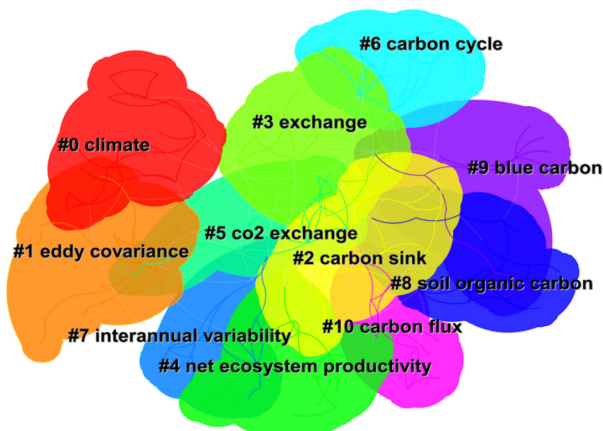


图 8 国际生态系统碳汇研究关键词聚类

Fig. 8 Keywords cluster of international ecosystem carbon sequestration research

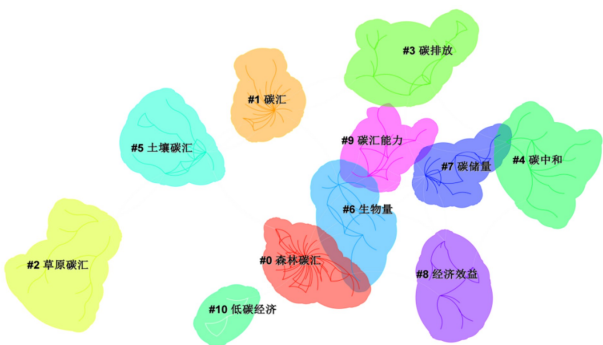


图 9 国内生态系统碳汇研究关键词聚类

Fig. 9 Keywords cluster of domestic ecosystem carbon sequestration research

态系统碳汇的研究主要是:(1)碳汇的定量评估:对不同类型生态系统(如森林、草原、湿地等)中的碳汇进行定量评估,了解其在吸收和储存碳方面的能力以及对全球碳循环的贡献;(2)碳中和与低碳经济:研究碳中和策略,即通过吸收或提高等方式应对碳排放,以及推动低碳经济发展,减少碳排放和碳汇的经济效益;(3)碳排放研究:除关注碳汇外,生态系统碳汇研究还探讨碳排放情况,即生态系统向大气中释放碳的过程,以全面了解生态系统对碳循环的贡献。

3 研究前沿分析

突现词是指在某个时间段内词频突然明显增多的关键词,能够反映相关领域的研究前沿动态^[21]。图 10 为 WOS 数据库生态系统碳汇研究的关键词突现分析。

从图 10 中可以看出,早期的生态系统碳汇研究主要集中在 2005—2010 年间,关键词包括生产力、净初级生产力和水蒸气交换。主要关注生态系统碳通量的测量和净生产力的评估以及与水循环相关研究。2007—2015 年间,关键词“CO₂ 交换”和“平衡”突现,开始关注生态系统与大气之间的碳交换过程以及生态系统的碳平衡状况。反映了此前对生态系统在全球碳循环中的作用和碳平衡的关注。近年来的关键词突现了一些新兴的研究方向,例如,“蓝碳”的关键词出现于 2018—2020 年间,表明对海洋生态系统作为碳汇的研究越来越受到重视。从图 10 中关键词的变化趋势可以看出,生态系统碳汇研

探讨气候等因素对碳汇年际变化的影响。从国内生态系统碳汇关键词聚类图谱中可以发现,国内对生



图 10 国际生态系统碳汇研究关键词突现分析

Fig. 10 Keywords with strongest citations of international ecosystem carbon sequestration research

究正呈现出地理学、生态学、气候学等多个学科的交叉融合趋势,这将成为未来生态系统碳汇研究的发展方向,有助于更全面地理解生态系统碳循环

的复杂性。

图 11 为 CNKI 数据库生态系统碳汇研究的关键词突现分析。

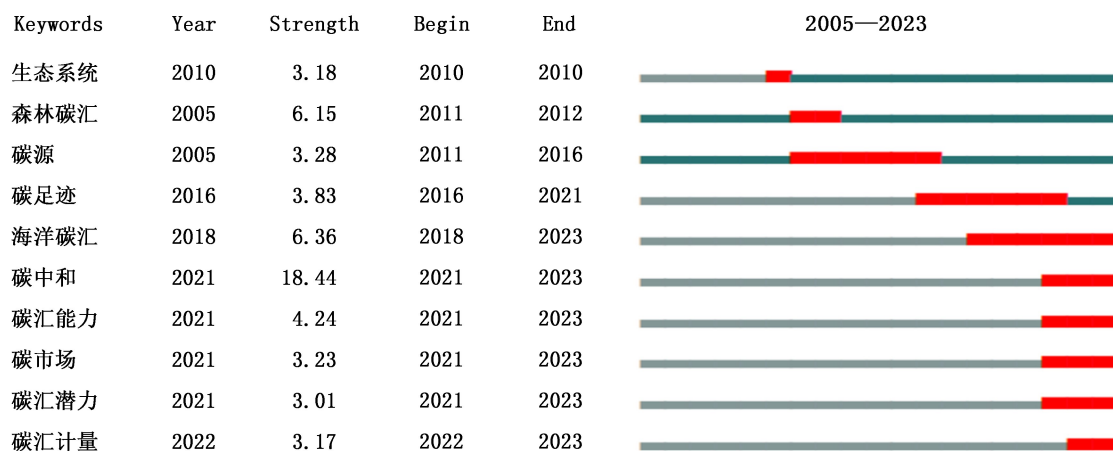


图 11 国内生态系统碳汇研究关键词突现分析

Fig. 11 Keywords with strongest citations of domestic ecosystem carbon sequestration research

从图 11 关键词的出现年份可以看出,生态系统和森林碳汇的研究相对较早,起始于 2005 年,而碳足迹、碳中和等关键词的研究则较晚,起始于 2016 年。说明过去的生态系统碳汇研究主要集中在森林碳汇和碳源方面;最近的研究重点似乎转向了海洋碳汇、碳中和、碳市场,这反映了对海洋生态系统和碳排放指标的关注。

4 结 论

1)从研究的基本特征来看,生态系统碳汇研究逐步成为当前研究热点,发文量国际国内整体上均呈波动增长趋势,并可划分为萌芽期、探索期、成长期 3 个阶段,其中 2022 年是该领域的发文高峰期,国际国内分别发文 163、154 篇,相较于国际而言,国内对

于生态系统碳汇的研究展示出更多的热情。

2)从研究作者和研究机构来看,我国的研究群体已初具规模,但只有少数作者构成了紧密的群体关系,国外作者相对于国内作者,相互之间联系更加紧密。国内外生态系统碳汇研究主要均是以高校为主导,但国内机构之间的联系较少,国外则呈现出相反的态势。这表明国内在该领域有很大的发展潜力,需要更多的学者和团队参与其中,加强跨学科、跨机构、跨领域合作,以推动该领域研究成果更好地应用于实践。

3)从研究进展与热点上看,生态系统碳汇研究的热点词集中在对森林碳汇、碳储量、CO₂ 以及海洋碳汇等关键词,突显了森林在碳汇研究中的重要性,海洋碳汇和碳中和正在成为新兴关键词,反映了应对气候变化挑战的紧迫性。国际研究主要关注气候与生态系统碳汇关系、生态系统循环与碳交换、碳汇的年际变化;国内研究主要关注碳汇的定量评估、碳中和、低碳经济策略及碳排放以及生态系统碳汇对碳循环的贡献。

4)从研究前沿看,碳中和与碳汇潜力正在成为新兴的研究热点,跨学科跨领域的综合研究和应用正在成为趋势,研究方向涉及技术、政策、市场等多个方面。同时,碳交易和碳汇经济将逐渐成为全球关注的焦点,碳中和与碳汇潜力研究将为全球应对气候变化问题提供重要支持和保障。

参考文献:

- [1] YU G,ZHU J,XU L,et al. Technological approaches to enhance ecosystem carbon sink in China:Nature-based solutions[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version),2022,37(4):490-501.
- [2] 周子勋. 我国生态系统碳汇巨大 缓解气候变化大有可为[N]. 绿色低碳,2023-04-27(03).
- [3] 朴世龙,何悦,王旭辉,等. 中国陆地生态系统碳汇估算:方法、进展、展望[J]. 中国科学:地球科学,2022,52(6):1010-1020.
- [4] 石铁矛,王迪,汤煜,等. 城市生态系统碳汇固碳能力计算方法与影响因素研究进展[J]. 应用生态学报,2023,34(2):555-565.
- [5] 张哲,沈月琴,龙飞,等. 森林碳汇研究的知识图谱分析[J]. 浙江农林大学学报,2013,30(4):567-577.
- [6] 胡森,涂圣勇,方传奇,等. 基于 Citespace 的人工林碳汇研究知识图谱分析[J]. 江西科学,2022,40(4):677-682.
- [7] 杨莹博,易显凤,刘学录,等. 基于文献计量的草地恢复近 20 年研究态势分析[J]. 中国草地学报,2021,43(7):95-105.
- [8] 殷俊,邓昌昊,马平瑞. 我国老年人劳动供给的研究进展——基于 CiteSpace 的可视化计量分析[J]. 社会保障研究,2023(3):92-102.
- [9] 国务院. 国务院关于印发 2005 年工作要点的通知[EB/OL]. (2008-03-28). https://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content_1827.htm.
- [10] 国家林业局. 国家林业局关于促进农民林业专业合作社发展的指导意见[EB/OL]. (2013-09-06). <http://www.forestry.gov.cn/c/www/gkgfxwj/300201.jhtml>.
- [11] 国家林业局网站. 林业局印发林业应对气候变化“十二五”行动要点[EB/OL]. (2012-02-01). https://www.gov.cn/gzdt/2012-02/01/content_2055853.htm.
- [12] 国务院. 中共中央 国务院印发《生态文明体制改革总体方案》[EB/OL]. (2015-09-21) https://www.gov.cn/gongbao/content/2015/content_2941157.htm?eqid=c9c1041a000173ed00000006645866ec.
- [13] 人民日报. 提升生态碳汇能力[EB/OL]. (2021-06-10). http://www.china.com.cn/opinion/theory/2021-06/10/content_77559052.htm.
- [14] 经济日报. 积极稳妥推进碳达峰碳中和[EB/OL]. (2022-11-11). <http://cpc.people.com.cn/n1/2022/1111/c448544-32563758.html>.
- [15] 王成梁,戴坚,留伊丹,等. 人工智能辅助教育应用研究的全球知识图谱:发展路径与前沿动态——基于 CNKI 与 WOS 的文献计量分析[J]. 软件导刊,2023,22(1):38-45.
- [16] 刘章生,祝水武,刘桂海. 国内生态资本文献计量研究[J]. 生态学报,2021,41(4):1680-1691.
- [17] 吴胜男,王晓锋. 我国美丽乡村建设研究进展及热点演变——基于文献计量分析[J]. 绿色科技,2023,25(5):62-70.
- [18] 耿一睿,苗红,贾菲,等. 基于 CiteSpace 的旅游研究科研合作网络可视化分析[J]. 旅游研究,2019,11(5):14-24.
- [19] 陈宇,沈利娜,张强,等. 基于 CiteSpace 的国内外苦苣苔科植物文献计量分析研究[J]. 广西科学,2023,30(2):226-238.
- [20] 赵雅曼,邹朝晖. 生态系统碳汇空间占用补偿研究进展与展望——基于 CNKI 数据库的文献计量[J]. 中国国土资源经济,2023,36(8):80-89.
- [21] 潘思佩,陈万旭,梁加乐,等. 基于文献计量分析的国内外空间规划研究比较[J]. 中国农业资源与区划,2023,44(2):131-144.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.019

香格里拉市高山松林碳密度与环境因子的关系研究

黄运荣,徐婷婷,施凯泽,卢腾飞,李泽,郎晓雪,罗胤,冷鸿天

(云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051)

摘要:以香格里拉市高山松林为研究对象,依据前期构建的高山松单木碳储量模型,结合森林资源二类调查数据推算高山松林的碳密度,利用除趋势对应分析方法探讨高山松林碳密度与各环境因子之间的关系。结果表明,在林分因素中,平均树高对高山松林碳密度的影响最大;在地形因素中,坡度对高山松林碳密度的影响最大;在温度因素中,最热月均温和最冷月均温差对高山松林的碳密度影响最大;在降水因素中,最干季降水和最冷季降水对高山松林碳密度的影响最大。环境因子的综合作用对高山松林碳密度影响的综合分析表明,DCA 的第一排序轴与高山松林的碳密度相关性最大,可以很好地解释环境因子的综合作用对高山松林碳密度产生的影响,在 26 个环境因子中,有 20 个环境因子与 DCA 第一排序轴有极显著的相关性,其中,林分因子的相关性系数较大,说明高山松林的碳密度主要受林分因子共同作用的影响。

关键词:高山松林;碳密度;环境因子;DCA 分析法;香格里拉市

中图分类号:S758.5;S718.5;S791.2594 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0108-07

引文格式:黄运荣,徐婷婷,施凯泽,等.香格里拉市高山松林碳密度与环境因子的关系研究[J].林业调查规划,2024,49(1):108-114. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.019

HUANG Yunrong, XU Tingting, SHI Kaize, et al. Relationship between *Pinus densata* Carbon Density and Environment Factors in Shangri-La[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 108-114. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.019

Relationship between *Pinus densata* Carbon Density and Environment Factors in Shangri-La

HUANG Yunrong, XU Tingting, SHI Kaize, LU Tengfei, LI Ze, LANG Xiaoxue,
LUO Yin, LENG Hongtian

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

Abstract: Taking the *Pinus densata* forest in Shangri-La as research object, based on the previously constructed *Pinus densata* carbon stock estimation, carbon density was calculated by using forest resource inventory data, and the relationship between *Pinus densata* carbon density and the various environment factors was studied by DCA analysis method. The study results showed that in stand factors, the influence of average tree height to *Pinus densata* forest carbon density was the largest; in topography factors, the influence of slope was the largest; in temperature factors, the average temperature difference between the hottest and coldest months was the largest; in precipitation factors, the influence of precipitation of driest

收稿日期:2022-07-12.

第一作者:黄运荣(1973-),男,云南宜良人,高级工程师.主要从事林业调查规划、碳汇计量监测、林草碳汇研究等工作.

Email:467338394@qq.com

责任作者:徐婷婷(1990-),女,云南曲靖人,工程师.主要从事森林经理学的相关工作. Email:459262257@qq.com

quarter and coldest quarter was the largest. The analysis for the comprehensive effect of environmental factors on *Pinus densata* forest carbon density showed that the first axis of DCA and *Pinus densata* forest carbon density had the largest correlation, which could well explained the comprehensive effect of environmental factors on the carbon density, and in 26 environmental factors, 20 environment factors with the first axis of DCA had the extremely significant correlation, among which the correlation coefficient of stand factors was larger, which could explain stand factors were the main influencing factors of *Pinus densata* forest carbon density.

Key words: *Pinus densata* forest; carbon density; environment factor; PCA analysis method; Shangri-La

温度、水分、光照、空气、土壤等是植被正常生长不可缺少的环境因子,任何植被群落的存在均与其存在的环境有着非常密切的关系。各式各样植物群落类型的出现及其表现出的不同分布特点均因环境的不同而呈现。为了深入认识环境与植物群落的分布状况,采用环境梯度分析方法研究环境因子之间以及环境与植物群落之间的相互关系,揭示环境对植物群落的影响,为人类更好地认识植物群落与生存环境的关系提供理论依据。

高山松 (*Pinus densata*) 起源于第三纪云南松 (*P. yunnanensis*) 和油松 (*P. tabulaeformis*) 的天然杂交种,高山松是分布在我国西部高山地区的一种特有树种,主要分布在青海南部高山地带、四川西部、云南西北部和西藏东南部^[1]。高山松是一种喜光深根性树种,喜光特性在幼树阶段特别明显,在幼树阶段生长比较迅速。其具有耐旱、耐寒、耐贫瘠特性,适应能力很强,上至森林,下至干旱河谷均有分布^[2]。高山松林常以纯林分布,主要生长在阳坡、海拔 2 600~3 500 m 的河流两岸区域^[3-5]。最近几年,国内大量学者先后对高山松展开了一系列研究,取得了一定成果。但有关高山松的研究主要集中在对其更新评价^[6]、林分直径结构^[7]、苗木培育^[8]、天然更新特性^[9]、火烧迹地更新^[10] 和地形条件对其天然更新的影响^[11] 等方面,但有关高山松林碳密度与环境因子的关系鲜见报道,为此,本文从这一视角对其进行探索研究。

1 研究区概况

香格里拉市是云南省迪庆藏族自治州的一个县,位于云南省西北部,迪庆州东北部,地处四川和云南两省交接地带^[12],地理坐标为 92°~104°E,27°~36°N。东部与四川省木里、稻城两县接壤,东南部、南部与丽江市玉龙县相对,西部以金沙江为界与

德钦、维西两县隔江相望,北部与四川省乡城、得荣两县接壤。金沙江环绕着香格里拉市东、西和南三面。香格里拉市南北两头窄,东西宽,长 218 km,宽 88 km。全县总面积 1 141 739 hm²。

2 数据采集

2.1 地形因子数据

地形数据来源于地理空间数据云平台 GDEM 的免费下载,数据分辨率为 30 m,主要包括海拔、坡度、坡向 3 个因子(表 1)。

表 1 地形因子属性

Tab. 1 Attribute data of topography factors

小班号	坡向/(°)	坡度/(°)	海拔/m
1	291	31	3450
2	12	29	3622
⋮	⋮	⋮	⋮
7222	69	13	3224
7223	115	35	3201

2.2 林分因子数据

林分因子数据来源于 2016 年香格里拉市的森林资源二类调查数据,主要包括年龄、郁闭度、平均胸径、平均树高 4 个因子(表 2)。

表 2 林分因子属性

Tab. 2 Attribute data of stand factors

小班号	年龄/a	郁闭度/%	树高/m	胸径/cm
1	31	50	8	14
2	35	60	10	16
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
7222	45	55	8	15
7223	45	60	8	15

2.3 温度因子数据

温度数据从环境气候网站 WORLDCLIM (<http://www.worldclim.org>) 获取,所有温度数据图层在 ArcGIS 10.1 软件平台下,利用 Spatial Analyst Tools 中的 Extraction 工具,根据小班的经纬度坐标提取信息,

主要包括年均温、最热月均温与最冷月均温差、等温性、季节性温差、最热月最高温、最冷月最低温、气温年较差、最湿季均温、最干季均温、最热季均温、最冷季均温等 11 个因子(表 3)。

表 3 各样本点温度因子属性
Tab. 3 Attribute data of temperature factors

小班号	年均温	最热月均温与最冷月均温差	等温性	季节性温差	最热月最高温	最冷月最低温	气温年较差	最湿季均温	最干季均温	最热季均温	最冷季均温
1	5.2	13	4.5	56	17.2	-11.2	28.4	12.0	-2.4	12.0	-2.4
2	5.6	13	4.5	56	17.7	-10.7	28.4	12.3	-0.9	12.3	-2.0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
7222	8.9	11.4	4.8	45	18.7	-5.0	23.7	14.3	2.8	14.3	2.8
7223	9.0	11.4	4.8	45	18.7	-5.0	23.7	14.3	2.8	14.3	2.8

2.4 降水因子数据

降水数据从环境气候网站 WORLDCLIM (<http://www.worldclim.org>) 获取,所有温度数据图层在 ArcGIS 10.1 软件平台下,利用 Spatial Analyst Tools 中的 Extraction 工具,根据小班的经纬度坐标提取信息,主要包括年降水、最大月降水、最小月降水、季节降水变异系数、最湿季降水、最干季降水、最热季降水和最冷季降水等 8 个因子(表 4)。

表 4 各样本点降水因子属性
Tab. 4 Attribute data of precipitation factors

小班号	年降水	最大月降水	最小月降水	季节降水变异系数	最湿季降水	最干季降水	最热季降水	最冷季降水
1	620	157	3	101	398	13	398	13
2	621	155	4	100	394	15	394	15
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
7222	958	234	4	100	602	21	602	21
7223	962	234	5	99	603	22	603	22

$$T_{总} = T \times N \tag{2}$$

$$CD = T_{总} / M \tag{3}$$

式中: T 为高山松单木碳储量; DBH 为胸径; H 为树高; $T_{总}$ 为高山松林总碳储量; N 为高山松株数; M 为小班面积; CD 为高山松林碳密度。

3.2 高山松林碳密度分布与环境因子的关系研究

3.2.1 高山松林碳密度与环境因子的相关性分析方法

相关性分析是研究两种现象之间是否存在某种相互依存的关系,并探讨这两种现象之间的相关程度,是研究两个相关变量之间相关性的一种统计方法。相关分析方法的基本原理为:首先对现象间是否有相关系数作定性判断,绘制相关图表,明确现象间相关关系的表现形式,通过计算相关系数来精确描述变量间的关系,其数学表达式为:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \tag{4}$$

式中: X 和 Y 为两个待研究变量; $(x_i, y_i) (i=1, 2, \dots, n)$ 是两个待研究变量的 n 对值; \bar{x} 为 n 个 x 的平均值; \bar{y} 为 n 个 y 的平均值。

由于存在样本抽样的随机性、样本数量等原因,为证明分别来自两个总体的样本是否具有显著相关性,要对两个样本的总体进行推断,先假设两个总体无显著相关性,即零假设为 H_0 ,然后再统计有多少个样本能通过假设,最后计算出相应的概率值。

3 研究方法

3.1 高山松林碳密度的计算

根据高山松单木碳储量模型乘以小班内高山松的株数即可求出每个小班内高山松林的总碳储量,总碳储量除以小班面积得到每个小班高山松林碳密度,计算公式为:

$$T = 0.034 \times DBH^{1.623} \times H^{0.952} \tag{1}$$

3.2.2 高山松林碳密度与综合环境因子梯度分析方法-DCA 分析法

DCA (Detrended Correspondence Analysis) 分析也叫做除趋势对应分析, DCA 是以 CA/RA 为基础修改而成的一个特征向量排序, DCA 分析是把第一个轴分成一系列不同的区间, 每个区间求出一个平均数, 把这个平均数定为零, 再对第二轴的坐标值进行调整, 从而克服了弓形效应, 提高了排序精度。DCA 分析方法的一般原理为: 首先任意选定一组样方排序轴, 求出种类的排序值; 种类排序值为样方初始值的加权平均, 然后计算出样方的排序新值; 把种类排序值标准化后得到一个新的样方排序值, 以新的样方排序值为基础进行加权平均; 以第一排序轴同样的方法求出第二排序轴和第三排序轴的值, 计算过程不需要正交化, 方法是除趋势, 对经过除趋势处理过的样方排序值再进行加权平均来求算新的种类排序值。

所有涉及到的环境因子构成一个综合的排序梯度即为 DCA 排序轴, 把所有环境因子和 DCA 排序轴进行相关性分析, 找出与 DCA 排序轴显著相关的环境因子, 这些环境因子就是对植物群落分布有较大影响的因子。在本研究中, 将所有环境因子 (林分因子、地形因子、温度因子和降水因子) 进行 DCA 分析, 得到第一轴、第二轴和第三轴的排序值, 分别用第一轴、第二轴和第三轴的排序值与高山松林的碳密度进行拟合, 分析综合环境因子对高山松林碳密度的影响。

4 结果分析

4.1 高山松林碳密度与环境因子的关系

4.1.1 林分因素对高山松林碳密度的影响

高山松林碳密度随林分因素的变化呈明显的规律性 (表 5)。

表 5 高山松林碳密度与林分因素的相关系数
Tab. 5 Correlation coefficient between *Pinus densata* forest carbon density and stand factors

林分因素	碳密度
林龄	0.585 **
郁闭度	0.572 **
平均树高	0.663 **
平均胸径	0.563 **

注: ** 表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关 (下同)。

由表 5 可见, 高山松林的碳密度与林龄、郁闭度、平均树高和平均胸径存在显著相关性 ($P < 0.01$), 其中, 平均树高与高山松林的碳密度相关性最高, 相关系数为 0.663, 说明在年龄、郁闭度、平均树高和平均胸径 4 个林分因素中, 平均树高对高山松林碳密度的影响最大。

4.1.2 地形因素对高山松林碳密度的影响

高山松林碳密度随地形因素的变化呈明显的规律性 (表 6)。

表 6 高山松林碳密度与地形因素的相关系数
Tab. 6 Correlation coefficient between *Pinus densata* forest carbon density and topography factors

地形因素	碳密度
坡向	-0.042 **
坡度	0.159 **
海拔	-0.057 **

由表 6 可见, 高山松林的碳密度与坡度呈显著正相关 ($P < 0.01$), 与坡向和海拔呈显著负相关 ($P < 0.01$), 其中, 坡度与高山松林的碳密度相关性最高, 相关系数为 -0.159, 说明在坡向、坡度和海拔 3 个地形因素中, 坡度因素对高山松林碳密度的影响最大。

4.1.3 温度因素对高山松林碳密度的影响

高山松林碳密度随温度因素的变化呈明显的规律性 (表 7)。

表 7 高山松林碳密度与温度因素的相关系数
Tab. 7 Correlation coefficient between *Pinus densata* forest carbon density and temperature factors

温度因素	碳密度	温度因素	碳密度
年均温	0.055 **	最冷月最低温	0.023
最热月均温与最冷月均温差	0.114 **	气温年较差	0.067 **
等温性	0.075 **	最湿季均温	0.061 **
季节性温差	0.013	最干季均温	0.040 **
最热月最高温	0.069 **	最热季均温	0.061 **
		最冷季均温	0.047 **

由表 7 可见, 高山松林的碳密度与年均温、最热月均温和最冷月均温差、等温性、最热月最高温、气温年较差、最湿季均温、最干季均温、最热季均温和

最冷季均温呈显著正相关 ($P < 0.01$), 与季节性温差和最冷月最低温无显著相关性 (相关系数分别为 0.013 和 0.023), 其中与最热月均温和最冷月均温差的相关性最高, 相关系数为 0.114, 说明对于年均温、最热月均温和最冷月均温差、等温性、季节性温差、最热月最高温、最冷月最低温、气温年较差、最湿季均温、最干季均温、最热季均温和最冷季均温这 11 个温度因子中, 最热月均温与最冷月均温差对高山松林碳密度的影响最大。

4.1.4 降水因素对高山松林碳密度的影响

高山松林碳密度随降水因素的变化呈明显的规律性 (表 8)。

表 8 高山松林碳密度与降水因素的相关系数
Tab. 8 Correlation coefficient between *Pinus densata* forest carbon density and precipitation factors

降水因素	碳密度	降水因素	碳密度
年降水	-0.008	最湿季降水	0.009
最大月降水	0.008	最干季降水	-0.123 **
最小月降水	-0.095 **	最热季降水	0.009
季节降水变异系数	0.066	最冷季降水	-0.123 **

由表 8 可见, 高山松林的碳密度与季节降水变异系数呈显著正相关 ($P < 0.01$), 与最小月降水、最干季降水和最冷季降水呈显著负相关 ($P < 0.01$), 与年降水、最大月降水、最湿季降水和最热季降水无显著相关性, 其中与最干季降水和最冷季降水的相

关性最大, 相关系数为 -0.123, 说明在年降水量、降水最大月降水、降水最小月降水、季节降水变异系数、最湿季降水、最干季降水、最热季降水和最冷季降水 8 个降水因素中, 最干季降水和最冷季降水对高山松林碳密度的影响最大。

4.1.5 环境因子对高山松林碳密度影响的综合分析

表 9 给出了研究区 26 个环境因子进行 DCA 排序后的各排序轴信息, 其中 4 个轴的特征值分别为 0.122、0.007、0.003 和 0.003, 总特征值为 0.134; 各排序轴的环境梯度长分别为 1.458、0.516、0.833 和 0.782, 其中第一排序轴的特征值较大, 其包含了 91.4% 的信息量, 且高山松林的碳密度与第一排序轴的相关系数 R^2 最高, 曲线拟合效果最好 (表 10), 找出与 DCA 第一排序轴有相关性的环境因子, 这些环境因子即是影响高山松林碳密度分布的主要因子。

表 9 环境因子 DCA 排序重要参数
Tab. 9 DCA ranking parameters of environmental factors

参数	坐标轴				TI
	AX1	AX2	AX3	AX4	
EI	0.122	0.007	0.003	0.003	0.134
LG	1.458	0.516	0.833	0.782	
CPVSD	91.400	96.300	98.700	100.000	

注: EI 表示特征值; LG 表示物种与环境关联系数; CPVSD 表示含物种数据变量信息占比; TI 表示变量值总和。

表 10 高山松林碳密度与环境因子排序轴曲线拟合状况检验

Tab. 10 Test of axis curve fitting of *Pinus densata* forest carbon density and environmental factor

变量	DCA 第一轴				DCA 第二轴				DCA 第三轴				
	t-value	Sig. t	R^2	相关性	t-value	Sig. t	R^2	相关性	t-value	Sig. t	R^2	相关性	
碳密度	A	49.96	0.000		28.00	0.000			4.82	0.000			
	B1	5.56	0.000	0.543	0.717 **	-7.52	0.000	0.208	0.423 **	-4.63	0.000	0.148	0.374 **
	B2	21.24	0.000			16.40	0.000			7.99	0.000		

注: 回归方程为 $Y=A+B_1X+B_2X^2$ 。

环境因子与 DCA 第一排序轴的相关系数见表 11。

由表 11 可以看出, DCA 的第 1 排序轴与年龄、郁闭度、平均树高、平均胸径、坡度、海拔、年均温、最热月均温和最冷月均温差、等温性、最热月最高温、最冷月最低温、气温年较差、最湿季均温、最干季均

温、最热季均温、最冷季均温、最小月降水、季节降水变异系数、最干季降水、最冷季降水这 20 个环境因子存在显著相关性, 其中, 相关系数在 0.5 左右的有年龄、郁闭度、平均树高和平均胸径 4 个因子, 说明高山松林的碳密度主要受年龄、郁闭度、平均树高和平均胸径共同作用的影响。

表 11 环境因子与 DCA 第一排序轴的相关系数

Tab. 11 Correlation coefficients between the first axis of DCA and environmental factors

环境因子	相关性	环境因子	相关性
年龄	0.494 **	气温年较差	0.058 **
郁闭度	0.517 **	最湿季均温	0.115 **
平均树高	0.587 **	最干季均温	0.104 **
平均胸径	0.534 **	最热季均温	0.115 **
坡向	-0.022	最冷季均温	0.096 **
坡度	0.215 **	年降水	0.001
海拔	-0.148 **	最大月降水	0.004
年均温	0.107 **	最小月降水	-0.114 **
最热月均温与 最冷月均温差	0.111 **	季节降水变 异系数	0.043 **
等温性	0.091 **	最湿季降水	0.011
季节性温差	0.004	最干季降水	-0.116 **
最热月最高温	0.126 **	最热季降水	0.011
最冷月最低温	0.074 **	最冷季降水	-0.113 **

5 结论与讨论

5.1 结论

高山松林的碳密度与年龄、郁闭度、平均树高和平均胸径 4 个因子呈显著正相关,其中,平均树高对高山松林碳密度的影响最大;高山松林的碳密度与地形因素中的坡向和海拔因素呈负相关,与坡度因素呈正相关,在地形因素中,坡度对高山松林碳密度的影响最大;高山松林的碳密度与年均温、最热月均温和最冷月均温差、等温性、最热月最高温、气温年较差、最湿季均温、最干季均温、最热季均温和最冷季均温呈显著正相关,其中,最热月均温和最冷月均温差对高山松林的碳密度影响最大;高山松林的碳密度与季节降水变异系数呈显著正相关,与最小月降水、最干季降水和最冷季降水呈显著负相关,其中,最干季降水和最冷季降水对高山松林碳密度的影响最大;DCA 的第一排序轴与高山松林的碳密度相关性最大,可以很好地解释高山松林碳密度是在环境因子的综合作用下对其产生影响,在 26 个环境因子中,有 20 个环境因子与 DCA 第一排序轴存在极显著相关性,其中,年龄、郁闭度、平均树高和平均胸径的相关性系数较大,说明高山松林的碳密度主要是受年龄、郁闭度、平均树高和平均胸径共同作用的影响。

5.2 讨论

1) 对高山松林碳密度与林分因子的研究表明,高山松林碳密度与林龄呈显著正相关,与已研究发现的兴安落叶松^[13]和长白落叶松^[14]碳储量随林龄的变化规律基本一致,原因可能是随林龄的增大,生物量和碳储量增大,因此,高山松林的碳密度与林龄表现出正相关关系;高山松林的碳密度与郁闭度也呈显著正相关,与已研究发现的长白落叶松^[15]、马尾松^[16]和柳杉人工林^[17]碳储量随林分密度的变化规律基本一致,而林分密度是影响郁闭度的主要因素,因此高山松林碳密度与郁闭度呈显著正相关;高山松林的碳密度与平均树高和平均胸径也呈显著正相关,原因可能是随平均树高和平均胸径的增大,高山松林的生物量增大,因此碳密度也随之增大。

2) 国内外学者从多个因子角度研究地形条件对森林植被碳储量影响的报道不多,目前有报道的影响因子主要是海拔、坡向和坡位以及其中两种的交互作用。于顺龙^[18]和王向荣^[19]的研究表明,坡向和坡位两个因子对东北林区水曲柳的生物量分配有非常重要的影响,何志斌等^[20]的研究表明,祁连山青海云杉林斑受到了地形因素的影响,地形因素中的坡向因子直接影响了植被分布,而在本研究中选取的海拔、坡向、坡度 3 个地形因子中,坡向和海拔因子对高山松林碳密度的影响较大,与上述研究结论不一致,可能的原因是研究区处于香格里拉市,地形起伏较大,因此海拔和坡度因子对高山松林的碳密度有显著影响。

3) 温度和降水不仅影响植物生长,还对植被碳密度有较大影响,水热条件对植被生长影响越好的地方,植物的生物量就越大,植被碳密度越大^[21-22],在本研究中,温度和降水对高山松林的碳密度有一定的影响,但并不是影响高山松林碳密度的主要因子,原因可能是本研究的研究区域仅为香格里拉市,研究区域较小,温度和降水并无大的差异,因此,对高山松林的碳密度也无较大影响。

参考文献:

- [1] 毛建丰,李悦,刘玉军,等. 高山松种实性状与生殖适应性[J]. 植物生态学报,2007,31(2):291-299.
- [2] 王玉涛. 川西高山松林火烧迹地天然更新研究[D]. 北京:北京林业大学,2005.
- [3] 吴中伦. 中国森林第 2 卷:针叶林[M]. 北京:中国林业出版社,1996:950-957.
- [4] 杨玉波,李承彪. 四川森林[M]. 北京:中国林业出版社,1992:435-447.

- [5] 韩荣沛. 试谈雅江林区的高山松经营[J]. 四川林勘设计, 1993(4): 21-25.
- [6] 吴明山, 许彦红, 王俊峰, 等. 因子分析在林地更新评价中的应用: 以香格里拉高山松为例[J]. 西南林业大学学报, 2011, 31(6): 36-39.
- [7] 左政, 许彦红, 朱霖, 等. 香格里拉高山松林分直径结构分析[J]. 西南林业大学学报, 2011, 31(2): 29-32.
- [8] 何飞飞, 李永梅, 李翠萍, 滇西北生态公益林区高山松容器育苗基质配方研究[J]. 湖南农业大学学报, 2008, 34(6): 631-634.
- [9] 杨冬. 高山松天然更新特性[J]. 林业科技, 2005, 30(6): 15-17.
- [10] 王玉涛. 川西高山松林火烧迹地天然更新研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [11] 张昆林, 钟蓉军. 地形条件对高山松天然更新和生长的影响[J]. 林业科技, 2000, 25(1): 22-23.
- [12] 胡宗华, 张正全. 云南省香格里拉市森林资源规划设计调查报告[R]. 大理: 云南省林业调查规划院大理分院, 2007: 13-15.
- [13] 齐光, 王庆礼, 王新闯, 等. 大兴安岭林区兴安落叶松人工林植被碳储量[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 273-279.
- [14] 马炜, 孙玉军, 王秀云, 等. 长白落叶松人工林固碳释氧效益评估方法[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(1): 58-61.
- [15] 王秀云. 不同年龄长白落叶松人工林碳储量分布特征[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [16] 张国庆, 黄从德, 郭恒, 等. 不同密度马尾松人工林生态系统碳储量空间分布格局[J]. 浙江林业科技, 2007, 27(6): 10-14.
- [17] 刘贤安, 彭培好, 王莉, 等. 不同林分密度下柳杉人工林立木生物量与碳储量研究[J]. 林业科技, 2013, 38(1): 31-34.
- [18] 于顺龙. 坡向、坡位对水曲柳中龄林生长与生物量分配的影响[J]. Inner Mongolia Forestry Investigation and Design, 2009, 32(1): 54-56.
- [19] 王向荣, 孙海龙, 余鑫, 等. 坡向和坡位对水曲柳中龄林生长的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2011, 31(1): 30-34.
- [20] 何志斌, 赵文智, 刘鹤, 等. 祁连山青海云杉林斑表层土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2572-2577.
- [21] 吕超群, 孙书存. 陆地生态系统碳密度格局研究概述[J]. 植物生态学报, 2004, 28(5): 692-703.
- [22] 于贵瑞. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积[M]. 北京: 气象出版社, 2003.

责任编辑: 许易琦

(上接第 81 页)

- [5] 刘淑霞. 云南省澜沧江流域耕地利用空间分布规律研究[D]. 昆明: 云南农业大学, 2009.
- [6] 张金屯, 邱杨, 郑凤英. 景观格局的数量研究方法[J]. 山地学报, 2000, 18(4): 346-352.
- [7] WOOD S N. mgcv: GAMs and generalized ridge regression for R[J]. R News, 2001, 1: 20-25.
- [8] LAI J S, MI X C, REN H B, et al. Species-habitat associations change in a subtropical forest of China[J]. Journal of Vegetation Science, 2009, 20: 415-423.
- [9] PUNCHI-MANAGE R, GETZIN S, WIEGAND T, et al. Effects of topography on structuring local species assemblages in a Sri Lankan mixed dipterocarp forest[J]. Journal of Ecology, 2013, 101: 149-160.
- [10] 王敏, 周才平. 山地植物群落数量分类和排序研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2011, 35(4): 126-130.
- [11] MASCARO J, ASNER G P, MULLER-LANDAU H C, et al. Controls over aboveground forest carbon density on Barro Colorado Island, Panama[J]. Biogeosciences, 2011, 8: 1615-1629.
- [12] 刘海丰, 薛达元, 桑卫国. 地形因子对暖温带森林群落物种丰富度-地上生物量关系的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(8): 1403-1407.
- [13] JOHN R, DALLING J W, HARMS K E, et al. Soil nutrients influence spatial distributions of tropical tree species[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 2007, 104: 864-869.
- [14] 张峰, 张金屯. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 421-427.
- [15] 余敏, 周志勇, 康峰峰, 等. 山西灵空山小蛇沟林下草本层植物群落梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报, 2013, 37(5): 373-383.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.020

“双碳”战略背景下的林业碳账户建设实践与探索

谢秉楼¹,姚鸿文¹,季碧勇¹,程雪翔²,姚鑫¹

(1. 浙江省森林资源监测中心,浙江 杭州 310020; 2. 衢州市自然资源和规划局,浙江 衢州 324000)

摘要:为服务国家“双碳”战略目标,探索构建林业碳账户体系,以浙江省林业碳普惠项目开发实践为例,提出林业碳账户总体设计思路。应用数字化理念,从账户体系设置,项目开发流程标准化管理与设计,解决目前项目开发过程中流程繁、技术专、管理难等问题,规范林业碳汇项目开发与管理。提出扩大林业碳账户适用范围,集成林业固碳增汇技术服务,创新林业碳账户资源价值转化等对策与建议。

关键词:林业碳账户;林业碳汇项目开发;碳汇项目管理;“双碳”战略

中图分类号:S718.5;P461.7;F231.2 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0115-05

引文格式:谢秉楼,姚鸿文,季碧勇,等.“双碳”战略背景下的林业碳账户建设实践与探索[J].林业调查规划,2024,49(1):115-119. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.020

XIE Binglou, YAO Hongwen, JI Biyong, et al. Practice and Exploration on Construction of Forestry Carbon Account under Background of “Carbon Peak and Carbon Neutrality” Goals[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 115-119. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.020

Practice and Exploration on Construction of Forestry Carbon Account under Background of “Carbon Peak and Carbon Neutrality” Goals

XIE Binglou¹, YAO Hongwen¹, JI Biyong¹, CHENG Xuexiang², YAO Xin¹

(1. Zhejiang Forest Resources Monitoring Center, Hangzhou 310020, China;

2. Quzhou Natural Resources and Planning Bureau, Quzhou, Zhejiang 324000, China)

Abstract: In order to serve the national “carbon peak and carbon neutrality” goals, and study the construction of the forestry carbon account system, taking the development practice of forestry carbon inclusive projects in Zhejiang Province as an example, the overall design concept of forestry carbon accounts was proposed. By applying digital concept, this paper solved problems such as complex processes, technical expertise and difficult management in the current project development process, and standardized the forestry carbon sink project development and management from account system settings, and project development process standardization management and design, and proposed suggestions to expand the application scope of forestry carbon accounts, integrate forestry carbon sequestration and sink enhancement technology services, and innovate the value transformation of forestry carbon account resources.

Key words: forestry carbon account; forestry carbon sink project development; carbon sink project management; “carbon peak and carbon neutrality” goals

收稿日期:2022-07-18;修回日期:2022-08-01.

第一作者:谢秉楼(1983-),男,浙江苍南人,硕士,工程师。从事森林与生态状况监测与评估研究。Email: xiebinglou2022@163.com

责任作者:姚鸿文(1977-),男,山西阳泉人,硕士,高级工程师。从事森林与生态状况监测与评估研究。Email: yaohongwen2005@163.com

碳账户一词出现得较早,英国的《电讯报》在 2009 年称每个获得碳配额的个人都有一个唯一编号,用来购买碳足迹的商品,一旦他们的碳账户降为零,就需要额外支付获得这一信用^[1]。目前较为认可的碳账户定义为:个人或企业主体依据碳排放计量标准,对自身生产和生活中产生的碳排放进行计算,得到特定时间或空间范围内的碳排放量^[2]。碳账户可以明确其在实现我国“碳达峰”和“碳中和”目标中的主体责任,为我国经济低碳转型提供数据支持,因此受到许多学者的关注。全国政协经济委员会副主任刘世锦指出,为实现碳中和,可以探索建立碳账户,建立每一届政府、每一个企业、每一个人在减碳方面的责任^[3]。陈儒和姜志德在省域低碳农业横向空间补偿研究中,对农业碳账户理解为记录农业生产全过程碳足迹与碳固定的账户,用以测算农业净碳汇量^[4]。

目前,碳账户在各领域已开展建设,衢州市全国首创在个人碳账户的基础上再建工业企业碳账户和农业碳中和账户,并将建立企业和个人碳账户列入衢州市十四五规划^[5]。工业企业碳账户主要是通过精准采集企业能源消耗和生产工艺中的碳排放值,核算出企业的碳排放总量和强度指标,形成企业的碳账户指标体系。农业碳中和账户体系主要是以传统种养殖和循环利用作为减排关键点,确定不同的碳中和路径,折算成碳中和值。湖州市创新推出“能源碳效码”,集成企业生产经营的用电、用煤等能耗数据,转换成碳排放量后赋“能源碳效码”,从而评价企业单位产值碳排放水平^[6],这与企业碳账户十分相似。个人碳账户是极具潜力的新兴市场,包括蚂蚁金服、北京环境交易所等国内企业和机构都已在布局^[7]。目前,多个大城市已开展个人碳账户应用。例如南昌的个人碳账户可借阅图书、深圳的个人碳账户可用于充电、成都的个人碳账户可用于兑换礼品^[3]。

碳达峰的实现既要监测社会主体的碳排放,又要核算其减碳贡献。“林业碳汇”作为最经济、最环保的固碳减排措施,对助力碳中和具有重要的战略意义和现实意义。目前对于林业碳账户的提法还较为少见,相似的研究是将林业碳汇作为非木质产品,通过科学计量其实物量和价值量,以生态产品或生态资产纳入生态服务资产^[8]。张颖和潘静设计了森林碳汇资产负债表,对 2008—2013 年全国森林碳汇量进行编表研究^[9]。蒋莉莉认为应将碳账户纳入森林环境账户,用于碳储量、碳变动核算,但未对

碳账户的设计和核算进行细致说明,仅给出生物质碳账户结构以供参考^[10]。总体来看,对林业碳账户的构成、林业碳账户核算体系、指标体系尚未进行细致研究,对于林业碳账户的应用机制探究也很少见。该研究初步提出了林业碳账户构建的基本框架和思路,并以衢州市林业碳账户建设应用于浙江省林业碳普惠项目开发为例,对解决目前林业碳汇项目开发乱象中出现的诸如管理混乱、专业性强、开发成本高等问题提供了很好的探索实践,对于规范林业碳汇项目开发管理,完善林业碳账户构成,建立林业碳账户体系提供实践与借鉴。

1 林业碳账户总体设计

林业碳账户由账户管理设计、项目开发流程设计和应用设计 3 部分构成。账户管理设计分为账户和账号管理,对应不同的使用主体和管理内容进行分类设置。项目开发流程设计主要由行政管理与技术管理两部分组成。行政管理包括开发计划管理、项目实施中材料审核以及减排量备案签发。技术管理主要由数据的标准化设置、逻辑质检控制、抽样设计及减排量计算等部分组成。应用管理主要用于项目减排量交易及其他金融创新服务。

2 账户管理设计

2.1 账户管理

根据账户使用的主体,分为政府管理账户和开发经营账户两大类。其中政府管理账户根据管理层级可分为省级账户、市级账户和县级账户。开发经营账户根据不同的主体又分为开发主体账户和经营主体账户。根据账户的内容不同,分为资源账户和项目账户。资源账户包括森林、林地、林木等资源状况数据。项目账户主要包括林业碳汇项目开发过程中发生的减排量、登记备案、交易等相关信息。

2.2 账号管理

账号根据账户使用主体不同分为政府管理账号、开发经营账号、监测账号和第三方核证账号。其中政府管理账号功能主要有查看各级行政区域内资源现状、项目开发利用总体状况以及项目审核功能。不同行政层级审核账号权限又有所不同。县级审核账号主要用于管理档案资料的上传、项目开发计划的发布以及佐证材料的审核;市级审核账号主要用于对县级上报材料和开发计划的审核;省级审核账号主要用于对市级上报材料和开发计划的审核。

不同开发经营账户对应不同开发经营账号。其中,开发主体账号用于项目地块数据、佐证和签约材料、减排量核算报告、备案申请、交易注销等操作;经营主体账号用于查看经营地块信息,确认签约信息。监测账号用于监测样地数据外业采集与上传。第三方核证账号用于材料审核、核证结果的确认上传。

3 项目开发流程设计

3.1 计划管理

3.1.1 计划制定

计划制定是指各级林业主管部门负责统筹制定辖区内项目开发计划。计划的内容应明确项目名称、适用的方法学、计划开发面积、委托的监测单位和第三方核证机构等信息。

3.1.2 计划申报

计划申报统一由县级林业主管部门发起,具体包括经营档案材料整理、明确项目开发主体和计划填报上传 3 个环节。首先,县级林业主管部门应对照项目开发方法学要求,完成林业生产经营项目的作业设计、检查验收等档案资料的收集整理,汇总形成原始资料扫描件。其次,县级林业主管部门根据收集整理的档案资料,确定项目涉及的经营主体,组织召开项目开发意愿征集会,确定项目开发意愿后,明确项目开发主体。最后,县级林业主管部门在林业碳账户应用模块内填报计划信息并上传相关资料。

3.1.3 计划审核

市级林业主管部门对县级上报的项目开发计划进行初审,省级林业主管部门对项目开发计划进行终审,通过审核的计划项目列入年度开发计划。

3.2 组织开发

3.2.1 开发准备

开发准备阶段主要由计划发布、账号开通和档案资料推送 3 个环节组成。首先,项目开发计划经省级审核通过后,县级林业主管部门在林业碳账户模块内发布开发计划公告;其次,县级林业主管部门根据项目开发计划,为项目开发主体开通操作账号;最后,县级林业主管部门将项目计划内相关档案资料通过林业碳账户平台推送至项目开发主体账号。

3.2.2 数据矢量化

项目开发主体接收到县级林业主管部门推送的档案资料后,开始对项目开发地块进行落地上图。首先,按照数据矢量化标准要求,勾绘项目开发地块边界并录入属性数据,完成后通过林业碳账户管理

模块上传矢量数据。其次,林业碳账户内嵌数据质检逻辑,对上传的矢量数据进行自动化检查,检查内容包括数据完整性检查、项目方法学适用性检查、与森林资源年度监测数据重要管理因子校验检查。最后,对质检结果不过的地块,要求提交相关举证材料或删除该项目地块后,提交项目地块最终成果数据。

3.2.3 数据审核及结果反馈

县级林业主管部门对开发主体上传的矢量及其他材料开展数据审核,重点审核项目实施地块的真实性和举证材料的合规性。根据审核情况作出审核通过或不通过意见。审核通过的,进入签约环节;审核未通过的,应对未通过地块作出原因说明,并退回修改。

3.2.4 项目开发协议的签订

项目开发主体根据县级审核结果,确定项目开发最终地块,与项目经营主体签订项目开发协议,收集林权证明等相关资料,并逐地块上传签约材料。

3.3 监测核证

3.3.1 监测样地布设

林业碳账户平台根据方法学碳层划分要求,综合考虑树种、龄组、密度、起源等林分因子以及不同林分的自然生长率等因素,对上报的基础数据自动划分碳层。碳账户平台内嵌生物量模型公式及参数,自动求算各碳层碳储量结果,根据方法学中抽样设计公式和抽样精度要求,自动求算各碳层样地布设个数。按照系统布设要求实现监测样地的数量和地块位置的自动布设。布设结果通过省级林业主管部门的最终审核确认后,由项目监测单位组织开展样地监测工作。

3.3.2 监测样地调查

项目监测单位组织监测调查人员开展技术培训,使用统一开发的平板端采集软件开展样地监测调查。监测样地调查按照监测样地调查相关要求执行。县级林业主管部门应指导并监督样地监测实施。样地监测数据通过平板端在线传输到林业碳账户平台。

3.3.3 报告编制

林业碳账户平台根据前期基础数据和本期监测数据,自动计算基线情景和项目情景碳储量变化情况,自动生成项目减排量结果表。监测单位应根据项目实施情况和项目减排量计算结果编制项目减排量核算报告。

3.3.4 第三方核证

第三方核证单位根据核证所需材料清单,对项目开发主体及监测单位提交的材料开展内业审核和外业检查工作。内业审核重点对材料内容的完整性、减排量计算的准确性开展审核,外业检查重点对监测样地和项目边界进行检查。检查通过后,出具减排量核证表并盖章上传至林业碳账户管理模块。

3.4 审核备案

3.4.1 备案申请提交

项目开发主体通过林业碳账户模块提交项目备案申请表、减排量核算报告、减排量核证表。

3.4.2 林业主管部门管理审核

管理审核分为县级审核、市级审核和省级审核。县级林业主管部门通过林业碳账户模块对项目开发主体提交的项目开发协议、权属资料、公示情况等进行形式审查;市级林业主管部门对县级林业主管部门审核结果开展复审,并出具复审意见;省级林业主管部门对市级林业主管部门审核结果开展形式审核,通过后,出具审核意见。

3.4.3 减排量备案申请

省级林业主管部门根据审核意见,通过林业碳账户向减排量审核备案管理部门转报减排量备案申请。

3.4.4 减排量备案

减排量审核备案管理部门开展核证减排量备案审核,通过后将审核结果反馈至林业碳账户模块,完成减排量的备案。

4 拟解决的主要问题

4.1 标准化设计,解决流程“繁”的问题

参照 CCER 林业碳汇项目相关开发流程,充分考虑地方林业碳普惠项目开发特性,通过开发流程的标准化设计,将碳汇项目开发环节优化为“计划管理、组织开发、监测核证、审核备案”4 个环节,简化了项目开发材料的提交。归集了企业工商、森林资源监测、森林经营档案、地块监测信息等数据,形成项目材料资源库,自动填充申报,有效提高了开发效率,缩短了开发时长、减少了开发成本,降低了操作门槛。

4.2 精准化计量,解决技术“专”的问题

根据《森林经营碳汇项目方法学》相关要求,内嵌生物量计量模型、碳层自动划分标准、自然生长率数据、基线和项目情景碳储量变化计算方法等功能,按照抽样设计方法,实现监测样地的自动布设。其

中,监测样地外业调查统一使用省级“掌上林业”外业采集端,通过实时在线定位、电子化数据采集,回传至林业碳账户平台后自动生成项目减排量结果。

4.3 智能化审核,解决管理“难”的问题

应用数字化理念,表单化管理项目,全流程线上办理,关键节点及时短信提醒,实时掌握项目进度,提升办理效率。平台内嵌数据质检逻辑,联通省级森林资源年度监测数据库,实现项目开发地块信息与省级数据库在线叠加分析,完成地块的自动化校验与审核。对自动审核未通过的地块,逐项反馈未通过的原因等具体信息,便于项目开发单位修改或举证,确保地块开发的合规性和准确性。

5 对策与建议

5.1 出台省级地方标准与规范

从省级层面尽快出台林业碳账户建设规范,规范和指导全省林业碳汇项目开发工作。制定并明确林业碳账户内涵及分类,林业碳账户平台建设标准、林业碳汇项目开发机制、开发管理流程等相关要素,形成统一的林业碳汇项目减排量管理的账户机制,明晰全省林业碳汇管理一本账,构建全省林业碳汇数字化体系规范。

5.2 扩大林业碳账户适用范围

目前林业碳账户的实践是基于《森林经营碳汇项目方法学》的一种地方林业碳普惠项目开发探索,开发对象为前期已实施过森林经营的省级抚育项目。对于 CCER 林业碳汇项目方法学和地方林业碳普惠方法学还存在项目开发机制、开发管理流程、计量监测方法不同等问题,并不具有普适性。但其可作为一种开发机制的有效探索,对后期碳账户功能的完善具有重要参考价值。

5.3 丰富林业碳账户资源类型

林业碳汇项目开发仅仅是林业碳账户的一种资源类型,后续的碳账户建设中应逐步增加其资源类型,涵盖森林、林地、林木等资源状况数据,在林业碳账户政府端实现资源、地块、项目开发及储备等一屏展示和管理,形成林业碳汇资源和管理一本账。构建政府端林业碳资产负债表,实时掌握碳汇项目开发动态及资源现状,为森林经营和碳汇开发及政策补助决策提供依据。

5.4 集成林业固碳增汇技术服务

林业碳账户应充分服务于林业工作生产实际,分别从造林增汇、退化林修复、森林经营、经济林增汇减排 4 个方面集成林业固碳增汇技术成果。应用

数字化手段,通过项目区概况信息输入识别,智能化推送符合项目区实际的固碳增汇技术,围绕造林作业设计、低产低效林改造、退化竹林修复、中幼林抚育、大径材培育等重点领域提供科学性技术服务支撑。

5.5 创新林业碳账户资源价值转化

充分利用“生态产品价值实现机制”现有工作成果,把林业碳账户的碳资源作为一种重要“生态产品”,完善纵向生态保护补偿制度,探索林业碳汇横向补偿和交易机制,将碳汇交易与商业活动、公益活动有机结合,鼓励更多民众和企业参与林业碳汇项目开发,探索多元转化机制。积极对接省内各部门林业碳汇司法赔偿、碳中和机关、碳中和活动的产品需求,大力培育省内林业碳汇意向受买方市场主体规模,促进林业碳账户资源的生态价值转化。

参考文献:

- [1] PETERS G P. From production-based to consumption-based national Emission inventories [J]. *Ecological Economics*, 2008, 65(1): 13-23.
- [2] 刘明,王丽英,方逸可,等. “碳达峰”“碳中和”标准化研究路径探索——以衢州市“碳账户”标准化建设为例[J]. *中国标准化*, 2023(3): 122-126.
- [3] 赵新江. 建立碳账户,推动碳中和[J]. *理财*, 2021(6): 29-30.
- [4] 陈儒,姜志德. 中国省域低碳农业横向空间生态补偿研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(4): 87-97.
- [5] 衢州市人民政府. 衢州市人民政府关于印发衢州市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二零三五年远景目标纲要的通知(衢政发[2021]4号)[Z]. 衢州:衢州市人民政府.
- [6] 于佳秋. “双碳”背景下工业企业低碳发展绩效评价研究——以湖州“工业碳效码”建设为例[J]. *江南论坛*, 2023(4): 51-54.
- [7] 吴嘉莹,毛庆庆,董炳灿. 大数据时代下个人碳账户的可持续发展研究——以蚂蚁金服为例[J]. *时代金融*, 2019(14): 103-107, 111.
- [8] 袁继安. 湖南省森林资源资产负债表研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2019.
- [9] 张颖,潘静. 森林碳汇经济核算及资产负债表编制研究[J]. *统计研究*, 2016, 33(11): 71-76.
- [10] 蒋莉莉. SEEA 中森林资源核算发展变化及对我国的借鉴与应用[D]. 北京:北京林业大学, 2016.
- [7] 申世广,李灿柳,苏露. 基于视觉感知的植物色彩景观研究进展[J]. *世界林业研究*, 2021, 34(1): 1-6.
- [8] 赵秋月,刘健,余坤勇,等. 基于 SBE 法和植物组合色彩量化分析的公园植物配置研究[J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(5): 245-251.
- [9] 王子. 基于游客偏好的风景林景观色彩评价与优化经营方法研究——以紫金山国家森林公园为例[D]. 南京:南京林业大学, 2021.
- [10] 杨阳,唐晓岚,刘澜,等. 基于主成分法与美景度法的南京市植物景观质量评价——以 6 所大学校园为例[J]. *西北林学院学报*, 2020, 35(4): 256-264.
- [11] 应求是,钱江波,张永龙. 杭州植物配置案例的综合评价与聚类分析[J]. *中国园林*, 2016, 32(12): 21-25.
- [12] 田玉敏,林高全. 基于颜色特征的彩色图像检索方法[J]. *西安电子科技大学学报(自然科学版)*, 2002, 29(1): 43-46.
- [13] 宁惠娟,邵锋,孙茜茜,等. 基于 AHP 法的杭州花港观鱼公园植物景观评价[J]. *浙江农业学报*, 2011, 23(4): 717-724.
- [14] 王贤广,王峥嵘,何小勇,等. 浙西南秋季林相美景度及其最优颜色构成模式研究[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2019, 43(1): 118-126.
- [15] 陈嘉婧,刘保国,李睿,等. 基于植物群落色彩构成量化分析的植物配置研究[J]. *河南农业大学学报*, 2019, 53(4): 550-556.
- [16] 陈予诺,杜师傅,王艳想,等. 郑州龙子湖公园春季植物景观色彩评价[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(10): 142-148.
- [17] XING X, HAO P, DONG L. Color characteristics of Beijing's regional woody vegetation based on Natural Color System [J]. *Color Research & Application*, 2019, 44(4): 595-612.
- [18] 刘艺平,赵佳伦,李晓敏,等. 基于 AHP 法和 SBE 法的郑州龙子湖公园植物群落景观综合评价[J]. *西北林学院学报*, 2021, 36(2): 250-257.
- [19] 马冰倩,徐程扬,崔义. 八达岭秋季景观整体色彩组成对美景度的影响[J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(6): 258-264.
- [20] 王旭东,杨秋生,张庆费. 城市绿地植物群落构建与调控策略探讨[J]. *中国园林*, 2016, 241(1): 74-77.
- [21] 吴二焕,李东海,杨小波,等. 海南苏铁种群结构与森林群落郁闭度的关系[J]. *生物多样性*, 2021, 29(11): 1461-1469.

责任编辑:许易琦

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.021

云南松不同部位氮、磷、钾储量分配及异速生长研究

黄德帅¹, 王雪纯¹, 王瑜^{2,3}, 蔡年辉^{2,3}, 陈诗^{2,3}, 邓桂香⁴

(1. 西南林业大学 林学院, 云南 昆明 650224; 2. 西南林业大学 西南山地森林资源保育与利用教育部重点实验室, 云南 昆明 650224; 3. 西南林业大学 云南省高校林木遗传改良与繁育重点实验室, 云南 昆明 650224; 4. 云南省林木种苗工作站, 云南 昆明 650215)

摘要:为更好进行云南松苗木培育,提升云南松苗木质量,通过对2年生云南松苗木生长性状及不同部位氮(N)、磷(P)、钾(K)储量进行统计以及相关性和异速生长分析,研究云南松氮、磷、钾储量。结果表明,云南松幼苗生长2年后,其地下部位氮、磷、钾分配大小依次为钾储量>氮储量>磷储量;氮、磷、钾在土壤中的分配比例为氮储量>磷储量>钾储量;地上部位氮、磷、钾储量占单株氮、磷、钾储量的比例为钾储量>磷储量>氮储量;磷和钾在地下部位的累积速率大于地上部位的累积速率。以期为云南松苗木培育提供理论参考,为实际生产提供一定理论依据。

关键词:云南松;氮储量;磷储量;钾储量;储量分配;异速生长

中图分类号:S791.257;S718.43;S758.52 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0120-05

引文格式:黄德帅,王雪纯,王瑜,等.云南松不同部位氮、磷、钾储量分配及异速生长研究[J].林业调查规划,2024,49(1):120-124,181. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.021

HUANG Deshuai, WANG Xuechun, WANG Yu, et al. Distribution of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Reserves and Allometric Growth in Different Parts of *Pinus yunnanensis*[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 120-124, 181. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.021

Distribution of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Reserves and Allometric Growth in Different Parts of *Pinus yunnanensis*

HUANG Deshuai¹, WANG Xuechun¹, WANG Yu^{2,3}, CAI Nianhui^{2,3},
CHEN Shi^{2,3}, DENG Guixiang⁴

(1. College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Key Laboratory of Forest Resources Conservation and Utilization in the Southwest Mountains of China, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 3. Key Laboratory for Forest Genetic and Tree Improvement & Propagation in Universities of Yunnan Province, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 4. Yunnan Forest Seedling Work Station, Kunming 650215, China)

Abstract: In order to better cultivate *Pinus yunnanensis* seedlings and improve the quality of *P. yunnanensis*, seedlings, the growth characters and reserves of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in different parts of 2-year-old *P. yunnanensis* seedlings were studied by descriptive statistics, correlation analysis and allometric analysis. The results showed that the distribution of N, P and K in the under-

收稿日期:2022-08-03.

基金项目:云南省万人计划青年拔尖人才项目(09901-80201441).

第一作者:黄德帅(2001-),男,河南商城人.研究方向为森林培育. Email:h379403270@126.com

责任作者:邓桂香(1975-),女,广西全州人,高级工程师.从事林木种苗管理工作. Email:21239083@qq.com

ground parts of 2-year-old *P. yunnanensis* seedlings was $K > N > P$; the proportion distribution of reserves in soil was $N > P > K$; the proportion of aboveground parts to reserves per plant was $K > P > N$; the accumulation rate of P and K in underground parts was faster than that in aboveground parts. The research results aim to provide theoretical reference for the cultivation of *P. yunnanensis* seedlings and provide a certain theoretical basis for actual production.

Key words: *Pinus yunnanensis*; nitrogen, phosphorus and potassium; reserves distribution; allometric growth

氮(N)、磷(P)、钾(K)作为森林生态系统中的重要组成元素,对生态系统中的物质循环、能量流动以及对树木植物的生长发育起着重要作用^[1]。氮(N)元素是植物进行光合作用的营养元素,影响植物的生长发育^[2];磷(P)元素是生物细胞的构成成分,参与物质循环和能量代谢,是植物生长主要限制因子^[3-4];而钾元素可明显提高氮(N)元素在植物各器官的转移量和转移率^[5]。同时,氮、磷、钾也是衡量土壤肥力和土地生产力的重要指标^[6],不同树种间氮、磷、钾的储量分配存在差异^[7],目前有关氮、磷、钾储量的分配在草本、灌木植物^[8-9]和作物^[10-11]间的研究较多,且多集中在土壤间氮、磷、钾储量分配研究^[12-14],在乔木及林木不同部位氮、磷、钾储量分配研究较少。为此,主要针对2年生云南松苗木地上、地下部位间的氮、磷、钾储量分配进行研究。

异速生长是生物体不同性状间生长速度不成比例的现象^[15],能揭示植物生长的内在规律^[16],氮、磷、钾是植物生长必需的营养元素,其在植物不同部位的分配决定着不同的功能,研究植物异速生长的关系可了解植物个体发育规律以及不同部位间的生长速度,进而更好地进行苗木培育^[17]。

云南松(*Pinus yunnanensis*)是松科松属的喜光性乔木树种,生长迅速,在全国范围内大面积栽植,广泛分布于我国西南地区,是我国西南地区的乡土树种,也是主要造林树种,同时是主要经济树种^[18],但是云南松人工林生产力不高,一定程度可能是由于苗期苗木所需营养元素不足导致,因此研究云南松氮、磷、钾不同部位间储量分配有利于云南松苗木生长发育,及时为苗木补充营养,以期为云南松培育及后期造林奠定基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地设在西南林业大学苗圃,位于东经 102°

45'41",北纬 25°04'00",海拔 1 950 m,属北亚热带半湿润高原季风气候,干湿季节分明,晴好天气多,四季温差小,年均温约 15℃,绝对最低温-9℃,绝对最高温 32.5℃;年均降水量约 900 mm,年均相对湿度 68.2%;土壤为酸性低磷红壤。

1.2 实验材料

云南松种子来自弥渡云南松种子园,种子混合后,浸入清水中,用 0.5%高锰酸钾溶液浸泡 0.5 h 消毒后取出,用清水洗净,50℃温水浸泡种子 24 h 后再用清水浸泡 24 h,然后播种。苗期管理同常规的育苗管理。试验材料为 2 年生云南松,试验用土为育苗基质公司的腐殖土与苗圃内酸性红壤土按 2:1 混合均匀,每盆重量约 2.0 kg。试验前测定育苗基质氮、磷、钾浓度分别为 1.090、0.69、9.189 g/kg。

1.3 苗木测定

1.3.1 形态指标测定

2020 年 12 月底,挖取云南松苗木,使用电子游标卡尺测其地径(D),精确到 0.01 mm,采用直尺测定其苗高(H),精确到 0.1 cm。

1.3.2 氮、磷、钾储量测定

2020 年 12 月,随机选取 54 株长势均匀的苗木进行测定,重复 3 次。将样品(植物根、茎、叶、土壤)烘干后,研磨过筛后用于消煮。植物样采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 法消煮,土壤样采用 $H_2SO_4-HClO_4$ 法消煮,氮、磷、钾储量测定分别采用奈氏比色法、钼锑抗比色法和火焰光度法^[19],公式分别为:

$$\text{氮储量} = \text{氮含量} \times \text{生物量} \quad (1)$$

$$\text{磷储量} = \text{磷含量} \times \text{生物量} \quad (2)$$

$$\text{钾储量} = \text{钾含量} \times \text{生物量} \quad (3)$$

地上部位氮、磷、钾储量为植物茎、叶储量之和,地下部位为根的储量。

1.4 数据分析

异速生长关系可表示为 $y = ax^b$ 的形式, y 为苗高, x 为与 y 对应苗木的地径; a 和 b 均为常数项。可将其线性转化为 $\log y = \log a + b \log x$, a 为截距, b 为该直线的斜率,即异速生长指数,对所测定的数据

进行统计,分别使用 Excel 2013 计算平均值、标准差、变异系数等^[20]。

采用 Excel 2013 进行数据整理汇总,采用 SPSS 25.0 软件进行统计和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 2 年生云南松苗木生长性状及不同部位氮、磷、钾储量统计

对云南松苗木的苗高、地径以及地上部位、地下部位、单株氮、磷、钾储量进行统计,结果见表 1。

表 1 云南松生长性状及不同各部位氮、磷、钾储量
Tab. 1 Growth characters and N, P and K reserves of *Pinus yunnanensis*

部位	指标	平均值 /mg	标准差	最小值 /mg	最大值 /mg	变异系数 /%
地下部位	氮储量	16.480	5.623	2.970	32.482	34.12
	磷储量	12.733	5.231	2.804	30.850	41.09
	钾储量	86.468	30.510	21.698	164.905	35.28
地上部位	氮储量	41.191	17.448	20.889	106.582	42.36
	磷储量	38.577	12.790	20.693	81.821	33.16
	钾储量	283.328	85.303	168.269	547.550	30.11
单株	氮储量	57.670	19.982	27.792	124.074	34.65
	磷储量	51.310	16.282	29.681	100.633	31.73
	钾储量	369.796	103.509	205.015	641.203	27.99
	苗高/cm	12.030	3.390	5.800	19.300	28.14
	地径/mm	15.420	2.770	8.070	20.840	17.96

结果表明,地上部位氮、磷、钾储量均值均高于地下部位,地上部位氮储量均值为 41.191 mg,约为地下部位氮储量的 2.5 倍;地上部位磷储量均值为 38.577 mg,约为地下部位磷储量的 3 倍;地上部位钾储量均值为 283.328 mg,约为地下部位钾储量的 3.5 倍。地下部位氮储量约占单株氮储量的 28.6%,地上部位氮储量约占单株氮储量的 71.4%;地下部位磷储量约占单株磷储量的 24.8%,地上部位磷储量约占单株磷储量的 75.25%;地下部位钾储量约占单株钾储量的 23.4%,地上部位钾储量约占单株钾储量的 76.6%(图 1)。地下、地上部位及单株氮、磷、钾储量关系均为:钾储量>氮储量>磷储量,由此可见,在云南松不同部位钾储量最高,磷储量最低,且氮、磷、钾主要集中分布在地上部位。

从变异系数可以看出,2 年生云南松苗木生长

性状与各部位氮、磷、钾储量变异系数在 17.96%~42.36%间波动,平均变异系数为 30.16%;地下部位变异系数最大的为磷储量,达 41.09%;地上部位变异系数最大的为氮储量,达 42.36%;地下部位氮储量变异系数低于地上部分,说明地下部位氮储量相较于地上部位稳定,而地下部位磷储量、钾储量变异系数均高于地上部位,说明地下部位磷、钾储量不及地上部位稳定;单株变异系数最大的也为氮储量;综合分析可知生长性状中,地径的变异系数较小,生长较稳定。氮储量变异系数较大,稳定性小,可利用潜力较大。

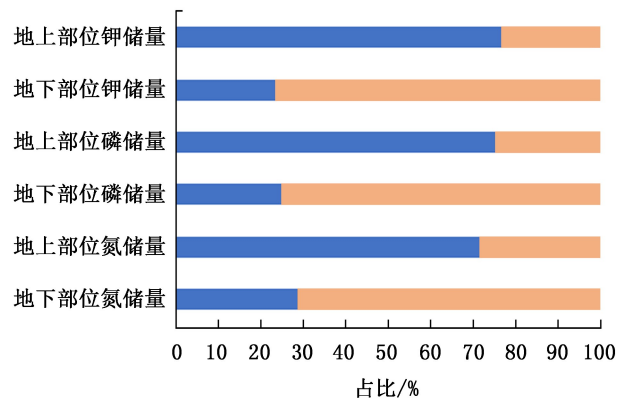


图 1 不同部位氮、磷、钾储量均值占单株储量均值比例
Fig. 1 Proportion of N, P and K reserves in each part to the average reserves per plant

2.2 2 年生云南松苗木各部位氮、磷、钾储量相关性分析

对 2 年生云南松苗木各部位氮、磷、钾储量进行相关性分析,各部位氮、磷、钾储量相关系数分析结果见表 2。

结果表明,除地下部位钾储量与地上部位氮储量间无相关关系外,其他指标两两间均存在相关关系。其中,地下部位氮储量与地上部位氮储量呈显著性正相关($P < 0.05$),其他指标间均呈极显著正相关关系($P < 0.01$);说明各部位氮、磷、钾储量之间的研究具有意义,且相互影响。相关程度表明,地上部位钾储量与单株钾储量相关性最高,为 0.966。地下部位磷储量与地上部位氮储量相关性最低,为 0.277。单株氮、磷、钾储量均与地上部位氮、磷、钾储量间呈极显著正相关关系($P < 0.01$),可见,地上部位氮、磷、钾储量是单株氮、磷、钾储量的重要组成部分。据此,在生产过程中可合理地控制地上部位氮、磷、钾储量以保证云南松苗木更好生长。

表 2 云南松不同部位氮、磷、钾储量相关性分析

Tab. 2 Correlation analysis of N, P and K reserves in different parts of *Pinus yunnanensis*

指标	地下部位 氮储量	地上部位 氮储量	单株氮 储量	地下部位 磷储量	地上部位 磷储量	单株磷 储量	地下部位 钾储量	地上部位 钾储量	单株钾 储量
地下部位氮储量	1.000								
地上部位氮储量	0.322 *	1.000							
单株氮储量	0.563 **	0.964 **	1.000						
地下部位磷储量	0.552 **	0.277 *	0.397 **	1.000					
地上部位磷储量	0.408 **	0.681 **	0.710 **	0.554 **	1.000				
单株磷储量	0.498 **	0.624 **	0.685 **	0.757 **	0.964 **	1.000			
地下部位钾储量	0.751 **	0.201	0.387 **	0.866 **	0.542 **	0.704 **	1.000		
地上部位钾储量	0.413 **	0.772 **	0.791 **	0.511 **	0.956 **	0.915 **	0.482 **	1.000	
单株钾储量	0.562 **	0.696 **	0.766 **	0.676 **	0.947 **	0.961 **	0.692 **	0.966 **	1.000

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

2.3 云南松不同部位氮、磷、钾储量异速生长分析

云南松地上与地下部位氮、磷、钾储量异速生长关系如表 3 所示。

表 3 地上与地下氮、磷、钾储量异速生长关系

Tab. 3 Allometric growth relationship of N, P and K reserves between aboveground and underground parts

性状	R^2	P	斜率	95% 置信区间	F	$P_{-1.0}$	类型
地下与 地上部位 氮储量	0.116	0.012	1.076	[0.830, 1.393]	0.312	0.579	I
地下与 地上部位 磷储量	0.269	0.000	1.293	[1.022, 1.637]	4.809	0.033	A
地下与 地上部位 钾储量	0.253	0.000	1.391	[1.096, 1.766]	7.873	0.007	A

注: $P_{-1.0}$ 表示斜率与理论值 1.0 的差异显著性; A 表示异速生长关系; I 表示等速生长关系。

由表 3 可以看出,地上与地下部位间磷储量和钾储量均呈极显著正相关($P < 0.01$),且地下与地上部位的斜率与理论值 1.0 有显著差异的异速生长关系,其中磷储量、氮储量的地上与地下部位的斜率均为大于理论值 1.0 的异速生长,说明云南松苗木中地下部位磷、钾储量积累速度大于地上部位的积累速度,同时地下部位与地上部位氮储量的斜率为与理论值 1.0 差异不显著的等速生长关系。

3 讨论与结论

植物在生长发育过程中,不同部位对资源的获

取及利用存在竞争关系,只有将资源合理地分配给各个部位,才能适应生存,植物个体发育过程中,不同部位协调发展是植物的一种生活史对策^[21]。对云南松苗木各部位氮、磷、钾储量进行统计分析,结果表明云南松苗木地上部位氮、磷、钾储量均值均高于地下部位,地下部位中钾储量>氮储量>磷储量,说明地下部位钾储量积累最多,而对于单株生长来说,地下部位氮、磷、钾储量占单株储量比例大小为氮储量>磷储量>钾储量,说明相较于钾元素,地下部位氮元素对单株生长影响较大。这可能与氮元素对植物生长发育具有促进作用有关,也可能是由于土壤氮元素对云南松地下部位造成的影响^[22],地上部位中钾储量>氮储量>磷储量;地上部位氮、磷、钾储量占单株储量比例大小为钾储量>磷储量>氮储量;可见地上部位钾物质积累最多且占单株储量比例较高,这可能与交换性钾的互作作用有关^[23]。综合分析可知云南松苗木生长主要靠钾积累,其次是氮积累,以磷积累功能最弱。地上部位为氮、磷、钾物质的储存库。研究表明,植物氮、磷、钾储量与生物量关系密切^[24],云南松前期苗木生长所需物质主要分配给地上部位,以更好地获取光能,进行营养物质的积累,为后期生长发育奠定物质基础^[25],这与本研究结果相似。

相关性分析研究表明,除地上氮储量与地下钾储量间无相关关系外,其余地上、地下部位间均存在相关关系,且绝大多数呈极显著正相关($P < 0.01$),说明云南松不同部位氮、磷、钾储量存在密切联系,各指标间存在相互促进作用,这也就印证了植物在生长发育过程中各部位协调发展的结论^[21]。地上钾储量与单株钾储量相关性最高,为 0.966,说明地

上钾储量对单株钾储量影响较大,是单株钾储量的重要组成部分,其次地上氮储量与单株氮储量间,地上磷储量与单株磷储量间均呈极显著正相关,相关系数达 0.964,综合分析可知,地上部位氮、磷、钾储量与单株氮、磷、钾储量间均呈极显著相关,可见在云南松苗木生长前期,地上部位氮、磷、钾储量对单株氮、磷、钾积累贡献最大。再一次证明前期云南松生长发育重心在地上部位,根据地上与地下部位云南松氮、磷、钾储量相关性这一辅助指标可选择优质良木。

苗木的不同部位具有不同功能,地上部位主要通过固定 CO_2 进行光合作用,并进行养分积累和运输作用;地下部位主要维持和支撑地上株体,不同部位的物质分配常受植株种类、大小、年龄、温度及光照等影响,并以异速生长形式表现出来^[26]。在 2 年生云南松不同部位氮、磷、钾储量异速生长关系中,地下与地上部位磷、钾储量均呈极显著正相关,且均表现出异速生长关系,分析其斜率可知,地下部位磷、钾储量增长速度均快于地上部位。但结合地下部位与地上部位氮、磷、钾储量占比可知,地下部位的氮、磷、钾储量远少于地上部位氮、磷、钾储量,可见地下部位氮、磷、钾储量积累到一定程度时将维持一定平衡,不再继续增长,这也进一步印证了苗木不同部位协调发展的机制,且地下与地上部位间钾储量呈极显著差异($P < 0.01$),说明钾元素在云南松苗木不同部位间相对不稳定。这与王轶浩等^[7]研究结果不一致。而地下与地上部位间氮储量呈差异不显著的等速生长关系,说明氮元素在云南松苗木生长所需组成元素中具有相对稳定性。在植物个体生长发育中,植物会在消耗物质与获取资源方面作出权衡,以适应环境进行生长^[27]。本研究表明植物地上部位氮、磷、钾储量对单株氮、磷、钾储量分配具有重要影响作用,这与武瑞鑫等^[28]研究相似。目前,对于氮、磷、钾储量的异速生长关系研究较少,因此,植物氮、磷、钾储量异速生长关系仍有待进一步研究。

本研究结果对云南松如何提高不同部位氮、磷、钾储量,以及如何更好地培育云南松苗木提供理论基础,也为云南松不同部位氮、磷、钾储量异速生长关系研究奠定基础。

参考文献:

- [1] 张建锋,张旭东,周金星,等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究,2005(6):32-34,111.
- [2] 苗艳明,吕金枝,毕润成. 不同功能性植物叶氮含量与光合特性的关系研究[J]. 植物研究,2012,32(4):425-529.
- [3] VANCE C P, UHDE-STONE C, ALLAN D L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource [J]. *New Phytologist*, 2003(157):423-447.
- [4] SEPASKHAH A R, BARZEGAR M. Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment [J]. *Agricultural Water Management*, 2010(98):38-44.
- [5] 刘晓燕,何萍,金继运. 钾在植物抗病性中的作用及机理的研究进展 [J]. 植物营养与肥料学报,2006(3):445-450.
- [6] SISTLA S A. Stoichiometric flexibility as a regulator of carbon and nutrient cycling in terrestrial ecosystems under change [J]. *New Phytologist*, 2012,196(1):68.
- [7] 王轶浩,崔云凤,薛兰兰. 重庆武陵山区柏木幼、中龄林的碳、氮、磷、钾储量及其分配特征 [J]. 四川林业科技, 2018,39(4):1-7,30.
- [8] 邵学新,李文华,吴明,等. 杭州湾潮滩湿地 3 种优势植物碳氮磷储量特征研究 [J]. 环境科学,2013,34(9):3451-3457.
- [9] 曾艳,伊晓云,李延升,等. 氮肥对夏秋季茶树吸收根生物量和养分储量的影响 [J]. 生态学报,2016,36(2):411-419.
- [10] 王凯博,陈怡平,郑太波,等. 施肥、起垄和品种对黄土高原新造耕地马铃薯氮磷钾吸收与分配的影响 [J]. 干旱地区农业研究,2022,40(2):144-152.
- [11] 冯蕾,童成立,石辉,等. 不同氮磷钾施肥方式对水稻碳、氮累积与分配的影响 [J]. 应用生态学报,2011,22(10):2615-2621.
- [12] 柳叶,任悦,高广磊,等. 沙地樟子松人工林土壤碳氮磷储量分布特征 [J]. 中国水土保持科学(中英文), 2021,19(6):27-34.
- [13] 冯俊芳. 采煤沉陷对土壤氮磷钾库扰动影响研究 [D]. 晋中:山西农业大学,2019.
- [14] 王娜. 东北三省春玉米种植区土壤碳氮磷钾的变化及其平衡特征 [D]. 咸阳:西北农林科技大学,2016.
- [15] 程栋梁. 异速生长关系在生物学中的应用 [J]. 沈阳大学学报,2009,21(6):12-15.
- [16] 黄菊莹,余海龙. 四种荒漠草原植物的生长对不同氮添加水平的响应 [J]. 植物生态学报,2016,40(2):165-176.
- [17] 江洪,林鸿荣. 云南松异速生长现象的初步研究 [J]. 林业科学,1984(1):80-83.

(下转第 181 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.022

郑州市13种常绿灌木及其主要挥发物抑菌效应研究

原江琴¹, 王翼飞¹, 汪安印¹, 李朝梅¹, 刘召强², 贺丹¹, 张曼¹

(1. 河南农业大学 风景园林与艺术学院, 河南 郑州 450002; 2. 武汉市伊美净科技发展有限公司, 武汉 430070)

摘要:为探究郑州市常绿灌木的抑菌能力,以十大功劳(*Mahonia fortunei*)、南天竹(*Nandina domestica*)等13种常见常绿灌木为试验材料,采用平板计数法测定抑菌率,选择癸醛、苯甲醛、 β -蒎烯、柠檬烯、3-萜烯5种叶片中主要的挥发物单体,以抑菌圈直径、最小抑菌浓度和最小杀菌浓度为检测指标,研究不同挥发物单体的抑菌能力。结果表明,13种常绿灌木间抑菌率差异显著($P<0.05$),同一植物碎叶的抑菌率大于相同质量的整叶,南天竹和海桐对金黄色葡萄球菌抑制效果最好,对枯草芽孢杆菌和大肠杆菌抑制效果最好的均为南天竹;5种挥发物单体对供试菌株的抑制程度不同,苯甲醛的抑菌和杀菌效果最强, β -蒎烯最弱。在今后郑州市进行城市绿化时,可以选择南天竹等抑菌能力较强的树种。

关键词:郑州市;常绿灌木;挥发物;抑菌率;抑菌圈直径;最小抑菌浓度;最小杀菌浓度

中图分类号:S793;S482.7 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0125-08

引文格式:原江琴,王翼飞,汪安印,等.郑州市13种常绿灌木及其主要挥发物抑菌效应研究[J].林业调查规划,2024,49(1):125-132. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.022

YUAN Jiangqin, WANG Yifei, WANG Anyin et al. Antibacterial Effects of 13 Evergreen Shrubs and Main Volatiles in Zhengzhou City[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 125-132. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.022

Antibacterial Effects of 13 Evergreen Shrubs and Main Volatiles in Zhengzhou City

YUAN Jiangqin¹, WANG Yifei¹, WANG Anyin¹, LI Chaomei¹, LIU Zhaoqiang²,
HE Dan¹, ZHANG Man¹

(1. College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;
2. Wuhan Imagination Science and Technology Development Co. Ltd., Wuhan 430070, China)

Abstract: For the antimicrobial ability of evergreen shrubs in Zhengzhou, 13 typical evergreen shrubs such as *Mahonia fortunei* and *Nandina domestica* were used to determine the antimicrobial rate by the method of plate count. Decanal, benzaldehyde, β -pinene, limonene and 3-carene were selected as the main volatiles, the antimicrobial capability of volatiles was researched by taking inhibitory zone, the minimum inhibitory concentration and minimal bactericidal concentration as determining target. The results showed that there were significant differences in the antimicrobial rate among the 13 evergreen shrubs species ($P<0.05$), the bacteriostatic rate of broken leaves was greater than that of whole leaves of the same quality, *Nandina domestica* and *Pittosporum tobira* against *Staphylococcus aureus* was the strongest, and

收稿日期:2022-08-05.

基金项目:国家自然科学基金项目(31600579);河南省科技攻关项目(202102110234).

第一作者:原江琴(2000-),女,山西长治人,硕士研究生.主要从事风景园林植物应用. Email:yuanjiangqin1215@163.com

责任作者:张曼(1982-),女,河南商丘人,硕士,中级实验师.主要从事园林植物栽培应用.

the antimicrobial effect of *Nandina domestica* against *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli* was the strongest. Five volatile monomers had different inhibitory effects on the tested strains, benzaldehyde had the strongest antibacterial capability, and β -pinene had the weakest. The evergreen trees with a strong antibacterial capability, such as *Nandina domestica* should be priority selection in urban greening of Zhengzhou City.

Key words: Zhengzhou City; evergreen shrubs; volatile material; antimicrobial rate; inhibitory zone; minimum inhibitory concentration; minimal bactericidal concentration

近年来,随着工业化和城市化的不断发展,城市环境污染日趋严重,引发了温室效应、沙尘、雾霾等一系列环境问题^[1-2]。雾霾天气时大气含有非常多的微生物,其中细菌可达 80%,其对降解有机污染物、维持生态平衡具有重要作用;致病微生物如空气中的细菌可通过呼吸道或受损的皮肤进入体内,对人体健康造成严重危害^[3]。园林植物作为城市园林绿化的主体部分,具有吸附、阻滞大气颗粒物以及抑菌杀菌、净化空气等方面的作用,在美化环境的同时,也能改善空气质量^[1,4-5]。植物通过释放挥发性物质对细菌产生影响^[6]。因此,研究不同植物及其挥发物成分对空气中微生物的影响对保护环境、调节人类身心健康具有重要意义。

植物在生长周期内主要通过叶片释放外源挥发性物质,能抑制或杀灭某些特定的植物和人类病原体,从而改善生态环境质量^[7-8]。不同植物其抑菌作用不同^[1,6]。孙雨珂等^[7]对成都市 16 种园林植物抑菌能力进行研究,发现雪松、八角金盘、南天竹对空气中微生物整体抑菌效果较好,而山茶和狭叶梔子抑菌能力较弱。李睿等^[9]研究发现郑州市园林植物枇杷、南天竹、碧桃和旱柳具有良好的综合抑菌能力,对供试菌种的抑制作用较强。植物挥发性物质是一类小分子化合物,包括萜烯类化合物、脂肪酸衍生物、苯丙类、苯类和其他氨基酸衍生物等^[10]。研究表明,癸醛、苯甲醛、 β -蒎烯、柠檬烯、3-萜烯等化合物在园林植物中含量较高^[2,11-12]。Mari 等^[13]研究发现,醛类物质具有杀菌、抗癌等保健作用;萜烯类化合物具有调节神经系统、缓解紧张情绪等作用。Gao 等^[14]对癸醛、苯甲醛、壬醛 3 种单体进行研究,发现醛类物质对空气微生物的生长有明显抑制作用。连翘挥发油含有 β -蒎烯、柠檬烯等烯类化合物,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均具有较强的抑制作用^[15]。

目前,园林植物抑菌试验材料的处理方法有植物整叶处理、碎叶处理和叶片挥发物处理等,研究方法尚不统一。通过对郑州市 13 种常绿灌木的叶片

及其主要挥发物质的抑菌能力进行系统研究,筛选出抑菌能力较强的植物,为郑州市大气污染防治过程中合理选择高效抑菌的绿化树种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样点概况

采样地点位于郑州市中心城区文化公园,四季分明,全年均温 16.7℃,年均相对湿度 61.1%。周边多为居民区和大学,无大型工厂及其他主要污染源,其空气污染物主要来自于道路交通,能代表城市中的主要污染来源与污染情况。所选 13 种供试常绿灌木树种在文化公园内均有分布,且在多处群落景观配置中出现(图 1)。



图 1 采样地区位

Fig. 1 Sampling location

1.2 树种样品选择与供试材料

1.2.1 树种与叶片采集

本试验中采集叶片样品所选树种如表 1 所示。在所选择树的四周随机采集叶片,采集叶片样品时从叶柄处摘下,以保证叶片完整、不受损伤。所选叶片应生长良好,且无病虫害。采集完成后放入自封袋并于冰盒中保存,带回实验室 4℃ 保存。

表 1 供试植物统计

Tab. 1 List of tested shrub species

编号	种名	科名	属名	株高 /m	冠幅 /m
1	十大功劳 <i>Mahonia fortunei</i>	小檗科	十大功劳属	0.83	0.47
2	南天竹 <i>Nandina domestica</i>	小檗科	南天竹属	1.50	1.13
3	蚊母树 <i>Distylium racemosum</i>	金缕梅科	蚊母树属	2.87	2.53
4	海桐 <i>Pittosporum tobira</i>	海桐科	海桐属	2.40	2.57
5	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	蔷薇科	火棘属	1.57	2.00
6	石楠 <i>Photinia serratifolia</i>	蔷薇科	石楠属	2.50	2.67
7	洒金桃叶珊瑚 <i>Aucuba japonica</i>	山茱萸科	桃叶珊瑚属	0.57	0.47
8	冬青卫矛 <i>Euonymus japonicus</i>	卫矛科	卫矛属	1.60	2.33
9	枸骨 <i>Ilex cornuta</i>	冬青科	冬青属	1.37	1.73
10	八角金盘 <i>Fatsia japonica</i>	五加科	八角金盘属	1.27	2.23
11	夹竹桃 <i>Nerium indicum</i>	夹竹桃科	夹竹桃属	2.53	1.93
12	金叶女贞 <i>Ligustrum vicaryi</i>	木犀科	女贞属	0.50	0.67
13	珊瑚树 <i>Viburnum odoratissimum</i>	忍冬科	荚蒾属	2.80	1.80

1.2.2 供试材料

选择大气中常见的枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*)、大肠杆菌 (*Escherichia coli*) 和金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) 进行试验,以上菌种来自河南农业大学风景园林与艺术学院观赏植物实验室。植物叶片挥发物单体癸醛、苯甲醛、 β -蒎烯、柠檬烯和 3-蒎烯均购买自上海安谱实验科技股份有限公司。

1.3 植物叶片抑菌率测定

将采回的完整叶片去柄,用 75% 酒精和无菌水充分清洗干净后,置于超净工作台中灭菌 15 min。按照常规法制备牛肉膏蛋白胨固体培养基和液体培养基^[16],活化 3 种供试菌种并进行菌液的制备。将 3 种细菌悬浮液均匀涂布于平板培养基上,在皿盖中加入预处理后的整叶和碎叶各 1 g,放入 37℃ 恒温培养箱中培养 12~18 h,观察各菌落在平板培养

基上的生长情况,以不放植物叶片的培养基作为空白对照(CK),整叶和碎叶各 3 次重复。统计各平板中的菌落数量,并与对照组进行对比,得出抑菌率,公式为:

$$\text{抑菌率}(\%) = (\text{对照组平均菌落数} - \text{处理组平均菌落数}) / \text{对照组平均菌落数} \times 100\% \quad (1)$$

1.4 挥发物单体抑菌能力测定

按照常规方法配制 LB 固体培养基和液体培养基^[16],挑取 3 种活化后的菌落制备悬浮液。采用滤纸片扩散法测定不同挥发物单体的抑菌圈直径。使用无菌 96 孔板进行最小抑菌浓度检测,在每孔中先后加入 100 μ L 稀释后的悬浮液和不同浓度的挥发物单体,在 37℃ 下培养 12 h,记录菌落的生长状况,以 100 μ L 的 LB 液体培养基作为空白对照,重复进行 3 次实验。最小抑菌浓度 (minimum inhibitory concentration, MIC) 指菌落数量明显少于对照组的挥发物浓度。最小杀菌浓度 (minimal bactericidal concentration, MBC) 是培养后仍无菌落生长的挥发性物质浓度。

1.5 数据处理

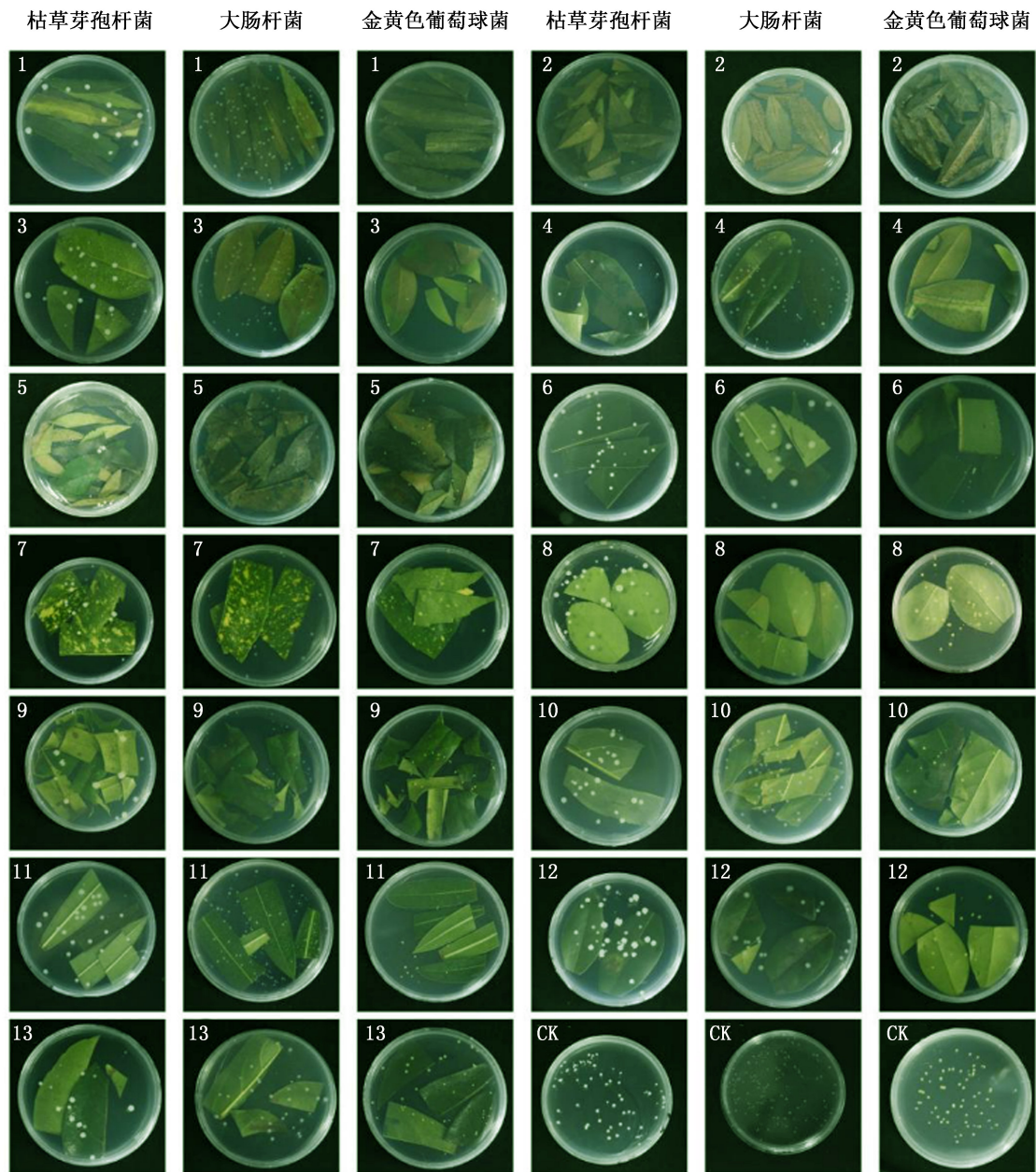
利用 SPSS 26.0 软件对数据进行处理,采用单因素方差分析法 (one way ANOVA) 分析不同植物整叶和碎叶抑菌率的差异,并用 Photoshop 2020 和 Excel 2016 对图片及数据进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同植物整叶的抑菌能力

在相同菌液浓度下,经过植物叶片处理的平板上生长的菌落数明显少于对照组平板上所生长的菌落数(图 2)。不同树种整叶的抑菌率具有显著差异 ($P < 0.05$),具体见表 2。

13 种植物叶片对枯草芽孢杆菌的抑制效果较好,抑菌率均在 40% 以上,其中火棘的抑菌作用最强,达到 87.07%,冬青卫矛抑菌率最小,为 43.82%。13 种植物叶片对大肠杆菌的抑菌率为 6.33%~100%,其中,南天竹、洒金桃叶珊瑚和石楠抑菌率达 80% 以上,南天竹抑菌作用最大,为 100%;蚊母树和十大功劳抑菌率小于 20%,十大功劳的抑菌率最低,只有 6.33%。对金黄色葡萄球菌抑菌率最高的是南天竹和海桐,达到 100%,其次为十大功劳(98.35%)、洒金桃叶珊瑚(96.73%)和蚊母树(87.57%),珊瑚树抑菌率最小,为 37.69%。



注:1~13 号所选择树种参见表 1。下同。

图 2 13 种常绿灌木整叶抑菌效果

Fig. 2 Antimicrobial effect of whole leaves of 13 evergreen shrubs

2.2 不同植物碎叶的抑菌能力

经过碎叶处理后的菌落数显著低于对照组以及整叶处理后的菌落数量(图 3)。不同植物碎叶对枯草芽孢杆菌和大肠杆菌的抑菌效果差异显著,而对金黄色葡萄球菌无显著差异,只有珊瑚树与其他树种的抑菌率有明显差异($P < 0.05$),具体见表 3。

13 种植物碎叶对枯草芽孢杆菌的抑菌效果较好,均在 60%以上,其中南天竹抑菌作用最强,抑菌率达 98.7%,其次是蚊母树、枸骨和海桐,抑菌率分

别为 89.35%、89.10%和 87.87%;金叶女贞抑菌率最小,为 61.92%。13 种植物碎叶对大肠杆菌的抑菌率为 12.28%~100%,其中南天竹抑菌率最高(100%),金叶女贞最低(12.28%),除海桐、蚊母树、十大功劳和金叶女贞外,其他 9 种供试植物抑菌率均在 70%以上。对金黄色葡萄球菌抑菌率最高的是十大功劳、南天竹、石楠、海桐、洒金桃叶珊瑚和八角金盘 6 种植物,抑菌率均为 100%,珊瑚树抑菌率最低,为 74.24%。

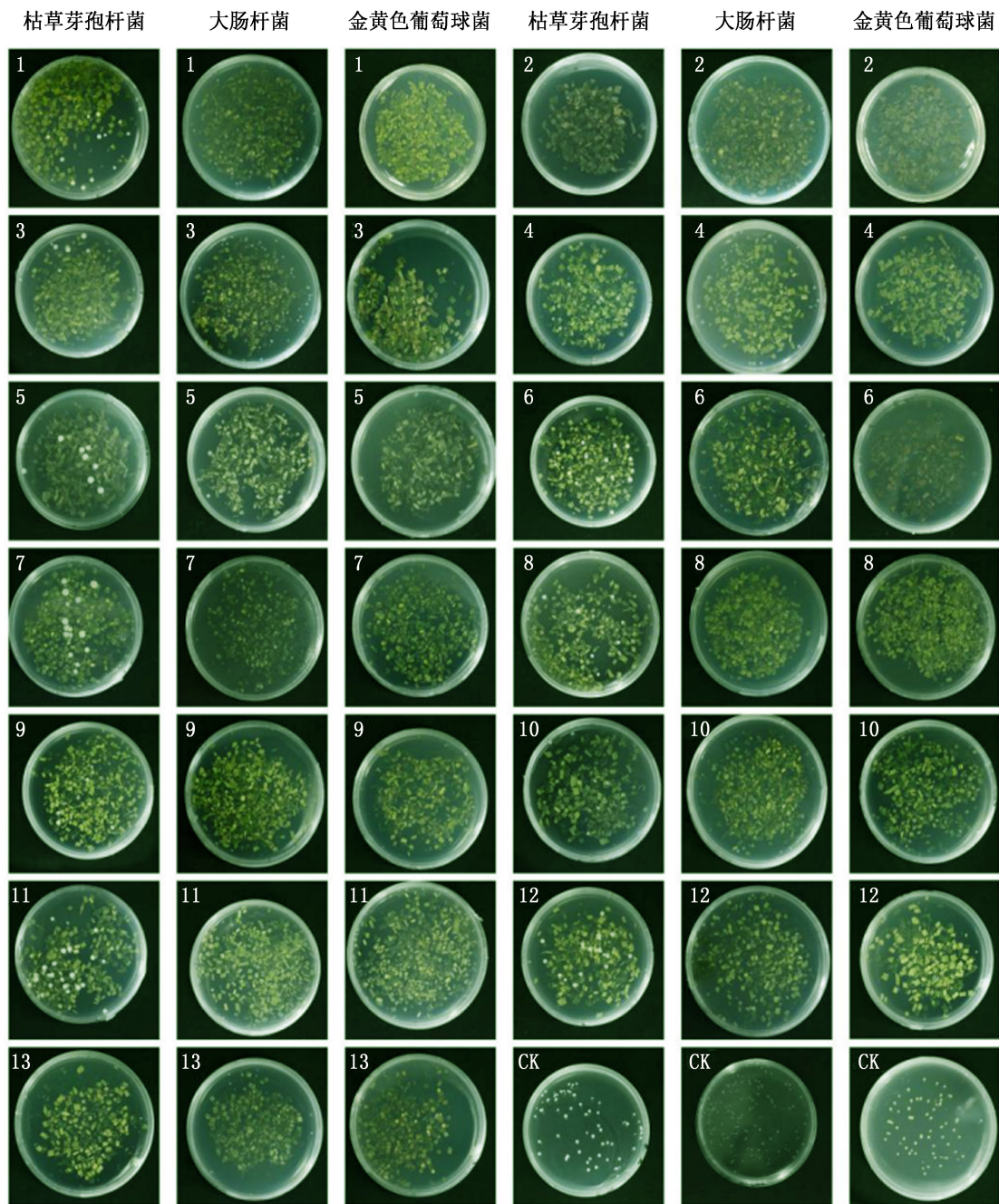


图 3 13 种常绿灌木碎叶抑菌效果

Fig. 3 Antimicrobial effect of broken leaves of 13 evergreen shrubs

综合 13 种常绿灌木整叶与碎叶的抑菌率发现,南天竹、海桐、枸骨 的整叶与碎叶对枯草芽孢杆菌的抑制作用较强。南天竹、石楠的整叶与碎叶对大肠杆菌的抑制作用较强。南天竹、海桐、十大功劳的整叶与碎叶抑制金黄色葡萄球菌的能力较强。

2.3 不同叶片挥发物单体的抑菌能力

2.3.1 不同挥发物单体的抑菌活性

5 种叶片挥发物单体对受试菌株有不同程度的

抑制作用(图 4)。不同挥发物单体对枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌抑制效果如表 4 所示。

如表 4 所示,癸醛、苯甲醛对枯草芽孢杆菌,苯甲醛、3-萜烯对金黄色葡萄球菌,3-萜烯对大肠杆菌抑制作用最强(均为极敏);3-萜烯对枯草芽孢杆菌,柠檬烯对大肠杆菌,癸醛对金黄色葡萄球菌抑制作用较强(均为高敏);柠檬烯对枯草芽孢杆菌,苯

表 2 13 种常绿灌木整叶抑菌率 (抑菌率±标准偏差)

Tab.2 Antimicrobial rate of whole leaves of 13 evergreen shrubs (antimicrobial rate±SE)

树种	抑菌率/%		
	枯草芽孢杆菌	金黄色葡萄球菌	大肠杆菌
十大功劳	67.43±0.15abc	98.35±0.02a	6.33±0.16g
南天竹	84.79±0.03a	100.00±0.00a	100.00±0.00a
蚊母树	56.04±0.15cd	87.57±0.04acd	16.44±0.17fg
海桐	79.07±0.04ab	100.00±0.00a	30.45±0.23ef
火棘	87.07±0.04a	74.61±0.13bcde	74.25±0.08bc
石楠	52.34±0.03cd	79.25±0.07abcd	84.54±0.03ab
洒金桃叶珊瑚	52.92±0.13cd	96.73±0.04ab	84.28±0.04ab
冬青卫矛	43.82±0.14cd	44.00±0.10f	79.81±0.10ab
枸骨	78.32±0.07ab	73.98±0.16cde	75.39±0.07bc
八角金盘	58.17±0.06bcd	53.99±0.16ef	56.31±0.23cd
夹竹桃	61.39±0.18bcd	57.76±0.15def	47.44±0.08de
金叶女贞	53.29±0.16cd	71.89±0.05cde	71.50±0.06bc
珊瑚树	67.95±0.06abc	37.69±0.29f	70.67±0.03bc

注: 同列不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同。

表 3 13 种常绿灌木碎叶抑菌率 (抑菌率±标准偏差)

Tab.3 Antimicrobial rate of broken leaves of 13 evergreen shrubs (antimicrobial rate±SE)

树种	抑菌率/%		
	枯草芽孢杆菌	金黄色葡萄球菌	大肠杆菌
十大功劳	72.49±0.05def	100.00±0.00a	41.36±0.22de
南天竹	98.70±0.02a	100.00±0.00a	100.00±0.00a
蚊母树	89.35±0.07ab	98.82±0.01a	38.28±0.13e
海桐	87.87±0.02abc	100.00±0.00a	59.52±0.11cd
火棘	83.41±0.10bcd	98.04±0.03a	86.13±0.06ab
石楠	71.45±0.11def	100.00±0.00a	86.65±0.07ab
洒金桃叶珊瑚	75.59±0.01cde	100.00±0.00a	85.63±0.06ab
冬青卫矛	81.53±0.08bcd	98.61±0.02a	87.58±0.05ab
枸骨	89.10±0.02abc	99.51±0.01a	79.33±0.05ab
八角金盘	76.88±0.10bcde	100.00±0.00a	74.44±0.15bc
夹竹桃	67.43±0.09ef	94.67±0.09a	90.52±0.07ab
金叶女贞	61.92±0.09f	93.55±0.04a	12.28±0.20f
珊瑚树	84.06±0.05bcd	74.24±0.19b	85.72±0.02ab

甲醛对大肠杆菌, β -蒎烯、柠檬烯对金黄色葡萄球菌抑制作用明显 (均为中敏); 癸醛对大肠杆菌抑制作用不显著 (低敏); β -蒎烯对枯草芽孢杆菌和大肠杆菌无抑制作用。

枯草芽孢杆菌 大肠杆菌 金黄色葡萄球菌

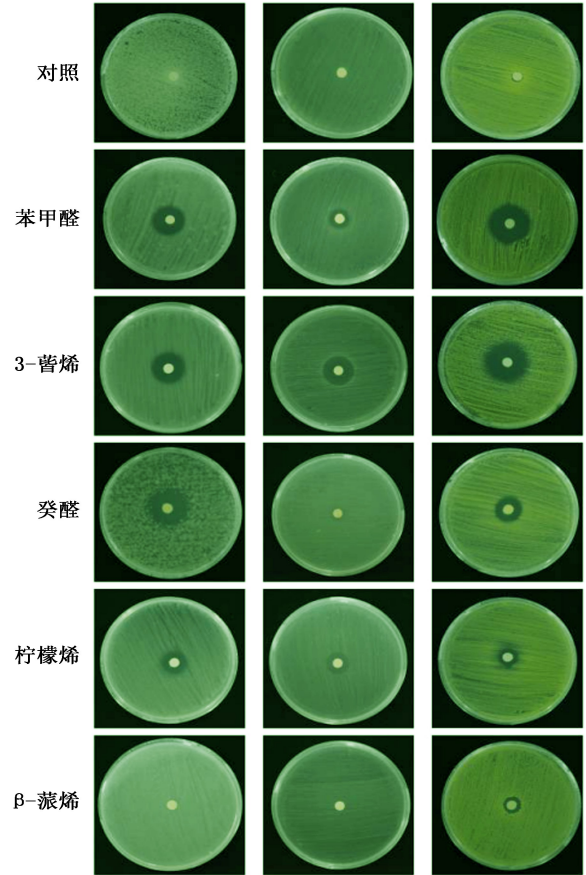


图 4 不同挥发物单体抑菌圈

Fig.4 Inhibition zone of different volatiles

表 4 不同挥发物单体对 3 种条件致病菌的抑制效果

Tab.4 Inhibitory effects of different volatiles on three kinds of opportunistic pathogens

挥发物单体	抑菌圈直径/mm		
	枯草芽孢杆菌	大肠杆菌	金黄色葡萄球菌
癸醛	30.15	7.41	15.73
苯甲醛	20.65	11.46	26.06
β -蒎烯	6.99	6.00	11.27
柠檬烯	12.65	15.71	12.71
3-萜烯	17.28	20.49	23.57

注: 滤纸片直径 (6 mm) 包含在测量结果中。抑菌圈直径 (D) < 7 mm 代表药敏试验无敏; $D < 10$ mm 代表低敏; $D < 15$ mm 代表中敏; $D < 20$ mm 代表高敏; $D \geq 20$ mm 代表极敏。

2.3.2 不同挥发物单体最小抑菌浓度 (MIC) 和最小杀菌浓度 (MBC)

不同挥发物单体浓度对供试菌种表现出不同程度的抑制作用 (表 5)。

表 5 不同挥发物单体的最小抑菌浓度和最小杀菌浓度

Tab. 5 Minimal inhibitory concentration and minimal bactericidal concentrations of different volatiles

挥发物 单体	最小抑菌浓度/%			最小杀菌浓度/%		
	枯草芽 孢杆菌	大肠 杆菌	金黄色 葡萄球 菌	枯草 芽孢 杆菌	大肠 杆菌	金黄色 葡萄球 菌
癸醛	1.560	—	50.000	6.250	—	—
苯甲醛	0.780	1.560	3.125	6.250	3.125	6.250
β -蒎烯	—	—	50.000	—	—	—
柠檬烯	3.125	6.250	100.000	12.500	50.000	—
3-蒎烯	6.250	12.500	6.250	12.500	25.000	50.000

注:—表示该单体成分无抑菌或杀菌作用。

如表 5 所示,癸醛对大肠杆菌无明显抑制作用,对枯草芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度分别为 1.56% 和 50%;苯甲醛对枯草芽孢杆菌、大肠杆菌以及金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度分别为 0.78%、1.56% 和 3.125%; β -蒎烯仅对金黄色葡萄球菌有一定的抑制作用,最小抑菌浓度为 50%,对其他 2 种细菌无抑菌效果;柠檬烯和 3-蒎烯对 3 种供试菌种的最小抑菌浓度分别为 3.125%、6.25%、100% 和 6.25%、12.5%、6.25%。癸醛对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌无杀菌作用,对枯草芽孢杆菌的最小杀菌浓度为 6.25%;苯甲醛对 3 种供试菌种的杀菌效果较好,最小杀菌浓度分别为 6.25%、3.125% 和 6.25%; β -蒎烯对供试菌种无杀菌作用;柠檬烯对枯草芽孢杆菌和大肠杆菌有一定杀菌效果,最小杀菌浓度分别为 12.5% 和 50%,但对金黄色葡萄球菌无杀菌作用;3-蒎烯对 3 种供试菌种的最小杀菌浓度分别为 12.5%、25% 和 50%。试验表明,苯甲醛对 3 种供试菌的抑制作用最强,仅 0.78% 浓度即可抑制枯草芽孢杆菌的生长,浓度为 3.125% 时可完全杀灭大肠杆菌。 β -蒎烯的抑杀菌效果最差,仅对金黄色葡萄球菌有一定的抑制作用。

3 讨论与结论

植物能够分泌天然杀菌素,对大气中常见细菌有抑制作用。植物的抑菌效果因植物种类而异,且同一植物对不同细菌的抑制程度也不同^[1]。本研究中,南天竹、火棘、枸骨对 3 种细菌抑制作用明显,抑菌率均在 70% 以上,可能是由于这些植物体内释放的间羟基苯甲酸、柠檬烯、乙醚等物质含量较多,使细菌的细胞膜发生畸变和损伤破裂,改变菌体的

细胞膜通透性,导致内部物质大量外流;或通过破坏细胞内的酶和功能蛋白,使其不能生长繁殖,从而达到一定抑菌效果^[17-21]。十大功劳对大肠杆菌的抑制作用较弱,而对另外 2 种细菌的抑制作用较强,可能是由于阔叶植物释放的抑菌物质较复杂,这与郑素兰等^[22] 研究结果相同。植物挥发物主要通过叶片向外界释放,当叶片受损时挥发性物质的释放更加彻底,抑杀菌物质的浓度增加,抑菌能力也随之增强,因此同一植物碎叶的抑菌效果普遍大于相同质量的整叶^[23-24]。本研究中不同植物整叶和碎叶的抑菌率存在一定差异,但整体表现为碎叶的抑菌效果更好。而金叶女贞对大肠杆菌的抑菌效果在整叶状态下更好,这可能是因为金叶女贞的完整叶片挥发抑菌物质的能力较强^[6]。本研究中火棘和八角金盘整叶和碎叶的抑菌率同李睿等^[9] 存在一定差异,这可能与植物的立地环境条件等因素有关^[7,19]。

植物释放的挥发性成分能够抑制空气中微生物的生长或加速附着在颗粒物表面细菌的沉降,最终达到抑菌、杀菌的效果^[25]。对 5 种主要挥发性单体进行抑菌试验,结果表明 5 种挥发物单体对供试细菌具有不同程度的抑制作用。其中,癸醛对枯草芽孢杆菌有较强的抑制作用,浓度为 1.56% 即可抑制其生长,对金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度则为 50%,但对大肠杆菌无抑制作用。研究表明,石楠叶片中癸醛含量较高^[11],其抑制枯草芽孢杆菌的能力也较强,因此推测石楠对枯草芽孢杆菌的抑菌效果正是由于其叶片所释放的癸醛发挥作用。苯甲醛对 3 种致病细菌均有明显的抑制和杀菌效果,可能是抑制微生物生长的主要成分,这与 Mari 等^[13] 研究结果一致。郭阿君等^[8] 研究发现, β -蒎烯对枯草芽孢杆菌抑制作用较强(高敏),对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制作用较弱(低敏)。在本试验中, β -蒎烯对枯草芽孢杆菌、大肠杆菌均为无敏,而对金黄色葡萄球菌为中敏,与上述研究结果存在差异,可能是滤纸片上挥发物单体的体积以及菌液浓度等导致的^[26]。海桐挥发性成分中 β -蒎烯含量较高^[27],这进一步说明海桐抑制金黄色葡萄球菌的能力也较强。柠檬烯对枯草芽孢杆菌和大肠杆菌的抑菌效果较好,但对金黄色葡萄球菌抑制作用较差,这可能是由于柠檬烯对酵母菌有良好的抑制作用,而对霉菌的抑制作用相对较弱,特别是对金黄色葡萄球菌和青霉菌不敏感^[28]。综合对比表明,醛类物质抑菌效果比萜烯类更明显,这与赵亚红等的研究结果一致^[4,25]。本试验中醛类和萜烯类抑菌效果与相关研

究结果不完全一致,这可能是由于细菌种类的差异以及细菌浓度等造成的^[26]。

综上所述,南天竹、石楠、海桐、枸骨等植物抑菌能力较强。在今后郑州市景观规划过程中,在满足植物观赏特性的前提下可优先选择以上植物应用于城市园林绿化。

参考文献:

- [1] 郑素兰,王兵丽,陈凡,等. 10种园林植物的抑菌作用和滞尘能力研究[J]. 闽南师范大学学报(自然科学版), 2015,28(4):77-81.
- [2] 沈鑫,柳新红,蒋冬月,等. 枫香等22种常见园林植物滞尘与抑菌能力评价[J]. 东北林业大学学报,2019,47(1):65-70.
- [3] 甄泉,方治国,王雅晴,等. 雾霾空气中细菌特征及对健康的潜在影响[J]. 生态学报,2019,39(6):2244-2254.
- [4] 赵亚红,徐翠霞,马玲,等. 3种常绿树挥发物成分对空气负离子及微生物的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2020,37(4):654-663.
- [5] 马海旭,郭阿君. 两种园林植物提取液抑菌活性的研究[J]. 林业勘查设计,2017(1):54-56.
- [6] 张国帅,张义坤,谷衍川,等. 5种常绿园林树种抑菌能力研究[J]. 山东林业科技,2012,42(1):8-10,76.
- [7] 孙雨珂,郑雨曦,邓思颖,等. 成都市16种园林植物抑菌作用的比较[J]. 中国城市林业,2015,13(5):10-13.
- [8] 郭阿君,李丽敏. 红刺玫挥发物成分及抑菌作用[J]. 东北林业大学学报,2016,44(11):81-84.
- [9] 李睿,谢久凤,聂林杰,等. 郑州市38种常用园林植物的抑菌作用比较[J]. 河南科学,2018,36(12):1947-1951.
- [10] ŠIMPRAGA M, TAKABAYASHI J, HOLOPAINEN J K. Language of plants: Where is the word? [J]. Journal of Integrative Plant Biology,2016,58(4):343-349.
- [11] 马楠. 16种常用园林植物VOCs成分研究及AHP评价[D]. 杭州:浙江农林大学,2012.
- [12] 梁珍海,刘海燕,周玉开,等. 南京紫金山主要植物挥发物成分与含量分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2010,34(1):48-52.
- [13] MARI M, BAUTISTA-BAOS S, SIVAKUMAR D. Decay control in the postharvest system: Role of microbial and plant volatile organic compounds[J]. Postharvest Biology & Technology,2016(122):70-81.
- [14] GAO Y, JIN Y J, LI H D, et al. Volatile organic compounds and their roles in bacteriostasis in five conifer species [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2005, 47(4): 499-507.
- [15] 田丁,史梦琪,王赞. 连翘挥发油化学成分及其药理作用研究进展[J]. 天然产物研究与开发,2018,30(10): 1834-1842.
- [16] 周德庆,徐德强. 微生物学实验教程[J]. 北京:高等教育出版社,2013.
- [17] 王进,曹先爽,宋丽,等. 吹扫捕集-热脱附-气相色谱-质谱联用法分析不同产地香樟叶精油成分及抑菌活性比较[J]. 食品科学,2017,38(12):131-136.
- [18] 黄丽云,马海旭,郭阿君. 罗勒精油成分鉴定及抑菌活性测定[J]. 北华大学学报(自然科学版),2018,19(2):257-261.
- [19] 霍归国,梁婷玉,黄志芸,等. 茛蒿精油成分分析及抑菌活性机理探究[J]. 西北植物学报,2021,41(2): 273-280.
- [20] 刘婷. 胡桃醌的抗氧化、抑菌活性及抑菌机理研究[D]. 太原:山西师范大学,2018.
- [21] LV F, LIANG H, YUAN Q P, et al. In vitro antimicrobial effects and mechanism of action of selected plant essential oil combinations against four food-related microorganisms [J]. Food Research International,2011,44(9):3057-3064.
- [22] 郑素兰,王兵丽. 9种常见灌木滞尘和抑菌的初步研究[J]. 西北林学院学报,2015,30(6):186-189.
- [23] 张薇. 几种园林植物挥发性物质成分分析及抑菌活性研究[D]. 长沙:湖南大学,2007.
- [24] 刘洋,王飞,田治国,等. 8种园林草本植物挥发性物质的抑菌效果研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(3):141-145.
- [25] 韦赛君,张静,王翔,等. 金钱松林挥发物季节性变化对空气负离子及微生物的影响[J]. 江西农业大学学报,2021,43(6):1316-1326.
- [26] 李进强,卢国洪,邱建鹏,等. 三种红树植物醇提取物抗菌及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技,2016,37(4):173-177.
- [27] 江汉美,李婷,郭彧,等. 海桐挥发油化学成分GC-MS分析[J]. 中国医药导报,2011,8(7):29-31.
- [28] 王雪梅,谌徽,李雪姣,等. 天然活性单萜—柠檬烯的抑菌性能研究[J]. 吉林农业大学学报,2010,32(1): 24-28.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.023

基于生态价值的玉田县适生植物资源实地调查与评价

董国明, 于帅, 李万增, 张 鸽

(河北省地质矿产勘查开发局第二地质大队(河北省矿山环境修复治理技术中心), 河北 唐山 063000)

摘要:为探索玉田县适生植物资源,进行实地调查,立足于植物资源的生态价值,运用生态服务价值评价与当量因子法研究不同区域的适生植物。结果表明,玉田县北部褐土丘陵地带应多种植榆树、黄栌、油松等植物;中部平原草甸地带应种植紫穗槐、栎树与侧柏等,植物与园林观赏植物交叉种植;南部脱沼泽化潮土区域应多种植油松、栎树、臭椿等植物,补充种植牡荆等观赏植物。

关键词:生态价值;适生植物;实地调查;评价体系;特尔斐法

中图分类号:S757.2;S718.557 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0133-07

引文格式:董国明,于帅,李万增,等.基于生态价值的玉田县适生植物资源实地调查与评价[J].林业调查规划,2024,49(1):133-139. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.023

DONG Guoming, YU Shuai, LI Wanzeng, et al. Field Investigation and Evaluation of Suitable Plant Resources in Yutian County Based on Ecological Value[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 133-139. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.023

Field Investigation and Evaluation of Suitable Plant Resources in Yutian County Based on Ecological Value

DONG Guoming, YU Shuai, LI Wanzeng, ZHANG Ge

(No. 2 Geological Brigade of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration
(Hebei Mining Environment Rehabilitation Technology Center), Tangshan, Hebei 063000, China)

Abstract: In order to explore the suitable plant resources in Yutian County, the field investigation was carried out, and the suitable plants in different areas of Yutian County were studied by using the evaluation of ecological service value and equivalent factor method based on the ecological value of plant resource. The experimental results showed that *Ulmus pumila*, *Cotinus coggygria* and *Pinus tabulaeformis* should be planted more in the northern brown soil hilly areas; the meadow in the central plain should be planted with *Amorpha fruticosa*, *Koelreuteria paniculata* and *Platycladus orientalis*, and the plants should be cross planted with garden ornamental plants; more plants such as *Pinus tabulaeformis*, *Koelreuteria paniculata* and *Ailanthus altissima* should be planted in the southern swamp free tidal soil areas, with more ornamental plants such as *Vitex negundo* var. *cannabifolia*.

Key words: ecological values; suitable plants; field investigation; evaluation system; Delphi method

收稿日期:2022-05-13.

基金项目:“地面沉降预警监测技术与矿山生态修复研究”(454-0601-YBN-1RVZ).

第一作者:董国明(1974-),男,河北唐山人,硕士,正高级工程师.主要研究方向为生态修复.

责任作者:于帅(1984-),女,河北唐山人,硕士,助理工程师.主要研究方向为生态修复.

玉田县作为环渤海经济带的重要组成部分,毗邻北京与天津两大一线城市,经济发展迅速。近年来,玉田县在经济发展的同时,生态资源也受到一定程度的破坏,从而出现了一系列生态环境问题^[1]。针对生态问题应当以实际情况为主要依据研究解决方法。因此,应该根据玉田县不同区域的不同情况进行植物栽种与修复,从而最大化发挥植物的生态价值^[2]。

适生植物分析需要结合生态价值来评判。生态价值作为判断植物重要性的重要依据之一有众多衡量方式,其中,较为常用的为生态系统服务价值^[3]。生态系统服务价值是指通过生态系统的功能直接或间接得到的产品或服务,是人类经济、社会发展的基础^[4]。常用的生态系统服务价值核算方法,主要有当量因子法和基于生态系统服务功能的价值定量方法。当量因子法直观易用,数据需求少,在大尺度的价值评估上具有一定的优势^[5]。

根据过往学者的研究以及玉田县的实地调查情况,在生态价值的基础上,利用当量因子法对适生植物调查数据进行评价,并提出相应的建议,可为玉田县后续生态发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

玉田县地处暖温带东亚季风区,受季风影响四季分明,全年日照时数为 2 574.9 h,日照百分率为 58%,年平均气温 11.2℃。玉田县作为我国的传统农业大县,素有“冀东粮仓”的称号。地势北高南低,略向西南平缓倾斜,地貌具有明显的分带性。玉田县地貌主要分为 4 个区域:北部为褐土丘陵区,面积 139.96 km²。丘陵区日照充足,热量丰富,但容易发生干旱的情况。中部平原区面积 449 km²。土壤类型为草甸褐土、潮土。地势平坦,土壤肥沃易耕。西南、南部低洼区面积 372.6 km²。大部分为脱沼泽化潮土,土质粘重,多有姜砂障碍层,地下水位高,部分耕地有季节性积水。全县最高海拔 408 m,土壤酸碱度中性居多,物理性状较好,宜于耕作。

玉田县地处京津冀经济带,地理环境与较多经济重地相邻。据地块实测,地下水位平均埋深为 20 m 左右;地下水类型为第四系松散岩类孔隙水;含水层富水性由北向南逐渐降低,场地附近含水层富水性多大于 30 m³/(h·m)。

1.2 研究方法

1.2.1 生态价值量评判

利用中国生态系统服务价值当量因子表,将不同的生态类型转化成相同尺度的定量指标,使得生态系统服务价值成为可比较的因子^[6]。其中中国生态系统服务价值当量因子如表 1 所示。

表 1 中国生态系统服务价值当量因子
Tab. 1 Ecosystem service value equivalent factor in China

生态项目	森林	草地	耕地	湿地
气体调节	3.0960	707.9	442.2	1592.7
气候调节	2.3810	796.4	787.5	15130.0
水源调节	2.8910	732.9	530.2	13715.0
土壤保护	3.4590	1725.2	1291.8	1513.7
废物处理	1.1590	1159.2	1451.3	16086.0
生物多样性保护	2.3006	964.2	628.9	2212.2

生态系统价值计算公式如下:

$$ESV = \sum P_i \times A_i \quad (1)$$

式中:ESV 为生态系统价值量; P_i 为单位面积上土壤发挥的生态系统价值(元/hm²); A_i 为土壤面积。

过往研究中,多以植物大小或植物聚集的数量来判定某类植物的重要性,但这种判断方法的依据较为单一。植物多以植群的形式出现,因此使用植群重要值作为判断植物重要性的指标可以降低判定结果的误差值,客观选出较为重要的植物种类^[7]。植群计算公式如下:

$$\alpha_1 = (\rho_1 + \mu_1 + \sigma_1) / 3 \quad (2)$$

式中: α_1 为乔灌层重要值; ρ_1 为相对密度; μ_1 为相对频度; σ_1 为相对盖度。

$$\alpha_2 = (\mu_1 + \sigma_1) / 2 \quad (3)$$

式中: α_2 为草本层重要值。

$$\beta_i = b / \beta \quad (4)$$

式中: β_i 为植群相对多度; b 为单一植物的多度; β 为植群总多度。

$$\mu_1 = c / \mu \quad (5)$$

式中: c 为单一植物的频度; μ 为植群总频度。

$$\sigma_1 = d / \sigma \quad (6)$$

式中: d 为单一植物的盖度; σ 为植群总盖度。

$$h_1 = e / H \quad (7)$$

式中: h 为植群相对高度; e 为单一植物的高度; H 为平均高度。

研究地区植物物种时,可用物种丰富度、S-W 指数(Shannon-Wiener 多样性指数)、Simpson 指数(植群优势度指数)、Pielou 指数(均匀度指数)作为判断指标^[8]。物种丰富度计算公式如下:

$$S = F_i \quad (8)$$

式中: S 为物种丰富度; F_i 为样本物种数量;S-W 指数计算公式如下:

$$Q = \sum_{i=1}^S q_i \ln q_i \quad (9)$$

式中: Q 为多样性指数; q_i 为物种的重要值, q_i 计算公式如下:

$$q_i = N_i / N \quad (10)$$

式中: N_i 为第 i 个物种的个体总数; N 为所有物种个体数之和。植群优势度指数计算公式如下:

$$D = 1 - \sum q_i^2 \quad (11)$$

式中: D 为植群优势度指数。植群均匀度计算公式如下:

$$E = Q / \ln S \quad (12)$$

式中: E 为植群均匀度指数。

1.2.2 基于生态价值的适生植物评价模型构建

根据玉田县目前的土地特点,根据植物的生态价值对适生植物进行评价。评价体系包括 5 个小评价因子。建立的适生植物评价因子模型^[9]如图 1 所示。

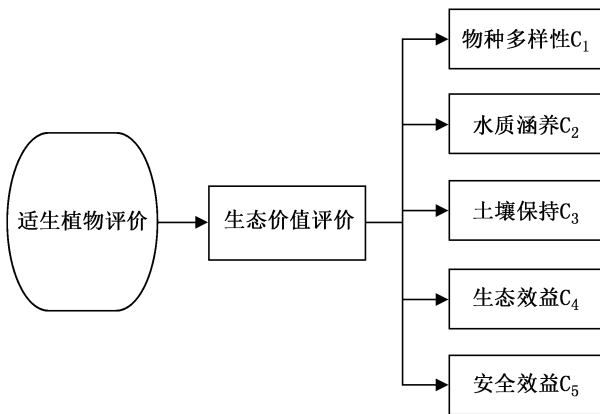


图 1 适生植物评价因子模型

Fig. 1 Model of suitable plant evaluation factors

以经验与已有研究作为根据,对 C_1 、 C_2 、 C_3 指标作出判断。关于 C_3 、 C_4 指标,通过实地调查,根据现场的调查数据对指标作出判断。各评价指标对适生植物评价的影响不同,为了反映各评价指标对适生植物评价模型的作用情况,需要逐项对评价因子的

适宜度关联进行量化分级并打分。分级数量可以结合研究区域的特点进行调整^[10]。根据评价指标对适生植物评价模型的影响程度不同,分别对评价指标赋予不同的权重值^[11]。由于评价指标较少,使用特尔斐法即可^[12]。特尔斐法确定权重的流程如图 2 所示。

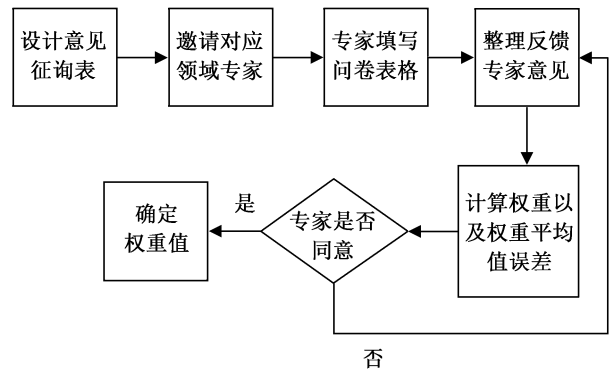


图 2 特尔斐法确定权重流程

Fig. 2 Flowchart of Delphi method for determining weight

如图 2 所示,通过专家意见对评价指标的权重进行测评^[13],并按大小进行排序。输出的评价指标权重结果如表 2 所示。

表 2 评价指标权重结果

Tab. 2 Evaluation index weight results

评价指标	属性分级	评价值	权重
物种多样性	丰富	5	0.20
	较丰富	3	
	欠佳	1	
水质涵养	高	5	0.32
	一般	3	
	较差	1	
土壤保持	均匀	5	0.13
	一般	3	
	较差	1	
生态效益	高	5	0.60
	一般	3	
	较低	1	
安全效益	高	5	0.40
	一般	3	
	较低	1	

1.2.3 基于生态价值的适生植物调查分析

通过实地调查获得现场数据,根据上述评价指标权重计算各项评价指标得分,并在最后进行加权求和处理^[14]。

结构的平衡方程为:

$$W_i = \sum_{i=1}^n U_i \quad (13)$$

式中: W_i 表示各评价单元在某一评价指标中的评价总分; U_i 为评价单元在评价指标中的得分^[15]。多因子综合评价结果计算公式如下:

$$W_{all} = \sum_{i=1}^n W_i \times Q_j \quad (14)$$

式中: j 为第 j 个评价指标。

2 结果与分析

2.1 适生植物数据收集

玉田县有价值的野生植物,北部丘陵地有 304 种,分属 70 科 202 属;平原洼地有 261 种,分属 59 科 165 属。按用途分类:饲草植物 120 种,药用植物 217 种,油料植物 39 种,园林植物 37 种,水土保持植物 20 种。此外,有编织、造纸、纤维、栲胶和染料植物。从植物形态来看,常绿灌木较多。

经过实地调查与查阅文献可以得知,玉田县目前适生植物种类主要包括侧柏、榆树、油松、黄栌、臭椿等;适生农作物种类主要包括小麦、棉花、花生、板栗、鲜果等;适生园林植物种类主要包括栾树、牡荆、五叶地锦、紫穗槐、马唐等(图 3)。

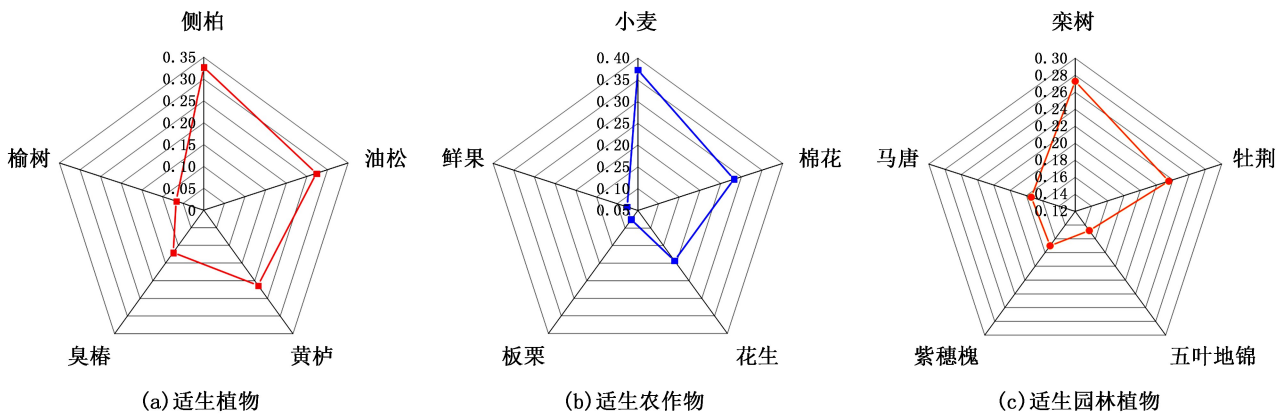


图 3 适生植物资源调查结果

Fig. 3 Investigation results of suitable plant resources

2.2 适生植物资源生态价值

2.2.1 物种多样性、水质涵养与土壤保持

调查玉田县适生植物资源的物种多样性、水质涵养与土壤保持,得分结果如图 4 所示。

根据图 4,玉田县适生植物资源物种多样性得分最高的为园林植物,最低为农作物。由此可知玉田县目前农作物的生态多样性较低,生态价值较低,应引进或种植更多样的适生农作物。适生植物资源水质涵养得分最高的为园林植物,最低为适生植物,因此应针对水质涵养问题,在水源附近多种植园林植物,维持水质循环。适生植物资源土壤保持得分最低为适生农作物,因此在土壤问题方面,应采取主要种植农作物,四周种植其他植物的方式,保持土壤肥沃度。

2.2.2 生态效益与安全效益

分别对玉田县适生植物资源的生态效益与安全

效益进行分析,结果如图 5 所示。

根据图 5,玉田县适生植物资源生态效益得分最高的为适生植物,得分最低为适生农作物;安全效益最高的为适生园林观赏植物,最低为适生农作物。

2.3 分区域植物生态价值

分别在各区域选取样本进行生态价值评价,根据土壤情况将玉田县划分为北部、中部、南部。

2.3.1 北部生态价值

根据玉田县北部土壤特点选取五块样本地进行分析,分别编号为 1-1、1-2、1-3、1-4、1-5 号,分析结果如图 6 所示。

由图 6 可见,玉田县北部样本区生态价值物种多样性最高的为 1-1 号,最低为 1-3 号;水质涵养得分最低为 1-1 号,最高为 1-3 号;土壤保持得分最高的为 1-4 号,得分最低为 1-5 号;生态

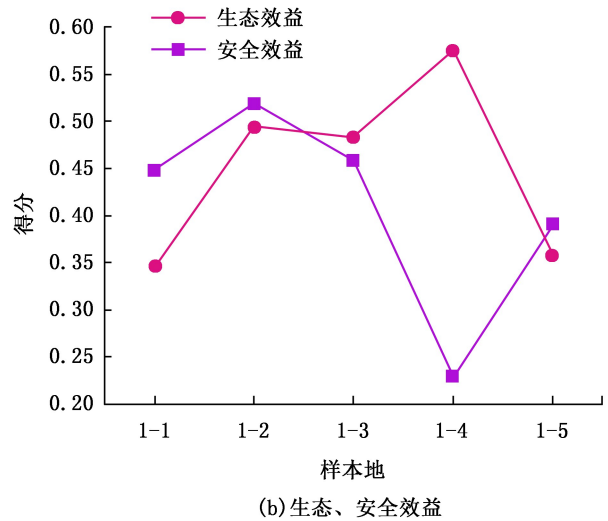
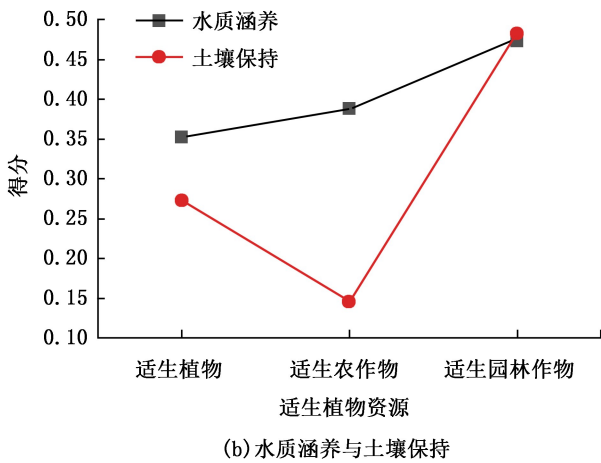
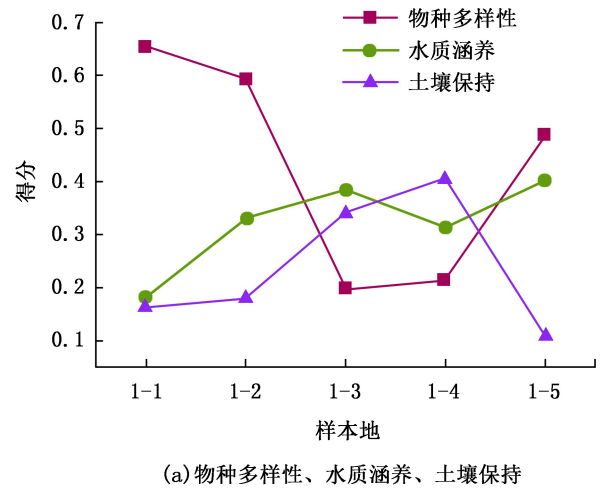
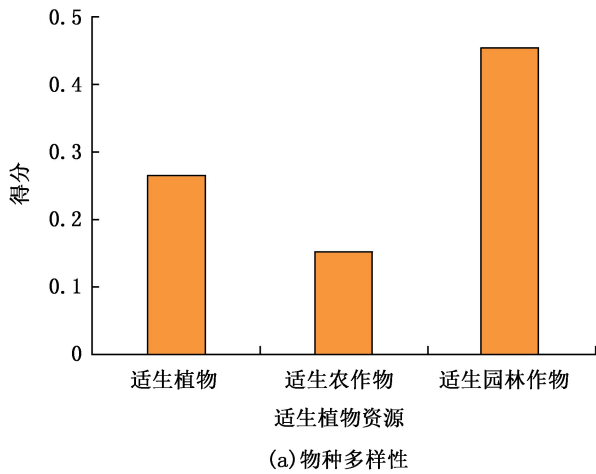


图 4 玉田县适生植物资源评价结果

Fig. 4 Evaluation results of suitable plant resources in Yutian County

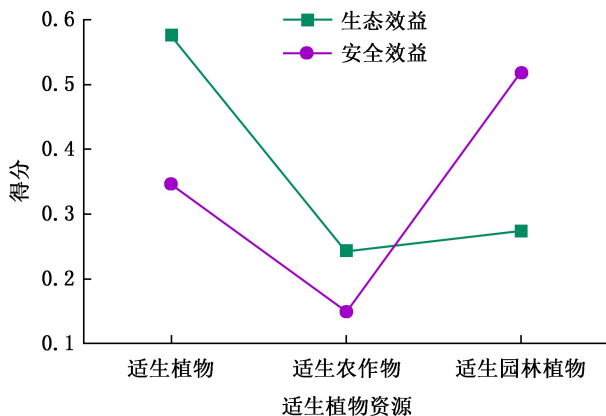


图 5 玉田县适生植物资源生态效益与安全效益评价结果

Fig. 5 Evaluation results of ecological benefits and safety benefits of suitable plant resources in Yutian County

图 6 玉田县北部植物生态价值评价结果

Fig. 6 Evaluation results of plant ecological value in northern Yutian County

效益最高的为 1-4 号,最低的为 1-1 号,安全效益最高的为 1-2 号,最低的为 1-4 号。综合以上分析,北部地区综合得分最高的为 1-1 号,其次为 1-3 号、1-5 号。

2.3.2 中部生态价值

根据玉田县中部土壤特点选取五块样本地进行分析,分别编号为 2-1、2-2、2-3、2-4、2-5 号,分析结果如图 7 所示。

由图 7 可见,玉田县中部样本区生态价值物种多样性最高的为 2-2 号,最低的为 2-3 号;水质涵养得分最低的为 2-4 号,最高为 2-2 号;土壤保持得分最高的为 2-4 号,得分最低的为 2-5 号;生态效益最高的为 2-1 号,最低的为 2-5 号;安全效益最高的为 2-5 号,最低的为 2-1 号。综合以上分

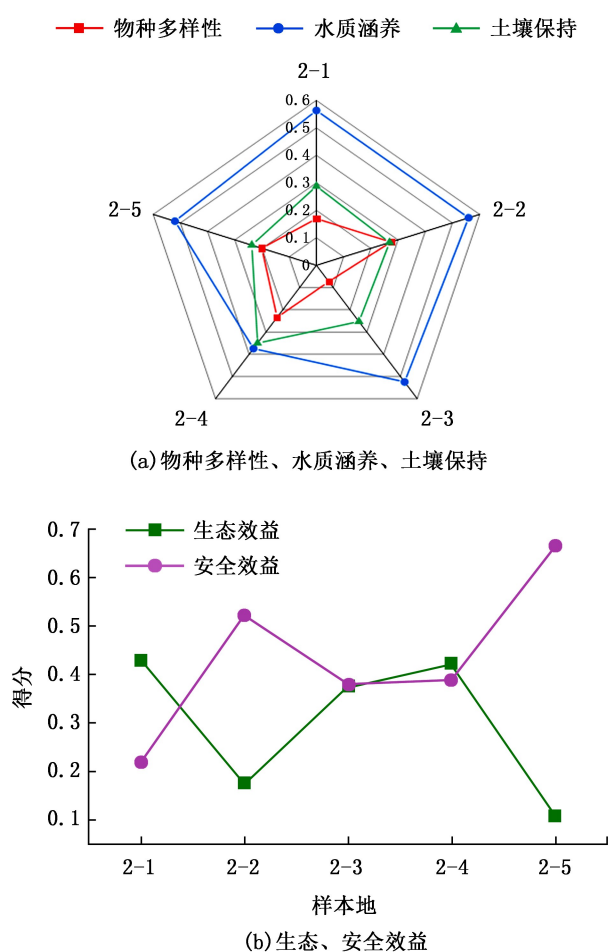


图 7 玉田县中部植物生态价值评价结果

Fig. 7 Evaluation results of plant ecological value in central Yutian County

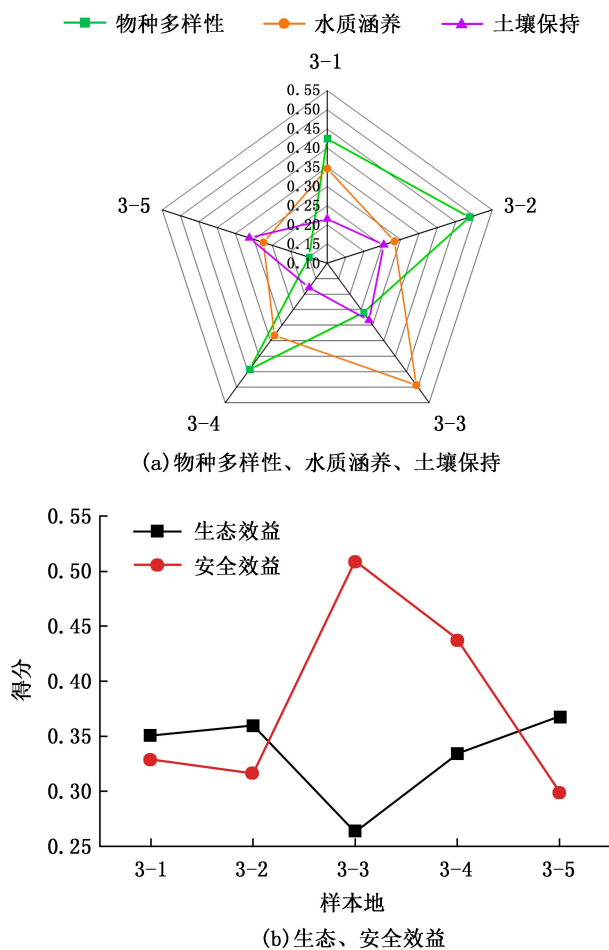


图 8 玉田县南部植物生态价值评价结果

Fig. 8 Evaluation results of plant ecological value in southern Yutian County

析,中部地区综合得分最高的为 2-2 号,其次为 2-4 号、2-3 号。

2.3.3 南部生态价值

根据玉田县南部土壤特点选取五块样本地进行分析,分别编号为 3-1、3-2、3-3、3-4、3-5 号,分析结果如图 8 所示。

由图 8 可见,玉田县南部样本区生态价值物种多样性最高的为 3-2 号,最低的为 3-5 号;水质涵养得分最低的为 3-5 号,最高为 3-3 号;土壤保持得分最高的为 3-5 号,得分最低的为 3-4 号;生态效益最高的为 3-5 号,最低的为 3-3 号;安全效益最高的为 3-3 号,最低的为 3-5 号。综合以上分析,南部地区综合得分最高的为 3-2 号,其次为 3-1 号、3-3 号。

2.4 适生植物配置

根据上述综合分析结果,选取各地前两名的样本地,并根据评价数据计算出的重要值对群落配置

模式进行相应的凝练和简化,去除冗余的植物成分,只保留群落的优势种,使得结果更具参考性和应用性。配置结果如表 3 所示。

表 3 植物资源配置结果

Tab. 3 Plant resource allocation results

样方编号	样本地土壤类型	配置形式		
1-1	褐土丘陵	榆树	黄栌	艾草
1-3	褐土丘陵	油松	紫穗槐	五叶地锦
2-2	平原草甸	紫穗槐	狗尾草	侧柏
2-4	平原草甸	侧柏	构树	栎树
3-1	脱沼泽化潮土	牡荆	油松	马唐
3-3	脱沼泽化潮土	臭椿	油松	栎树

3 结论与讨论

对玉田县适生植物资源进行实地调查,并基于

生态系统服务价值对调查数据进行评价,结果表明,玉田县北部褐土丘陵地带应多种植榆树、黄栌、油松等植物;中部平原草甸区域应种植紫穗槐、栾树与侧柏等,植物与园林观赏植物交叉种植;南部脱沼泽化潮土区域应多种植油松、栾树、臭椿等植物,补充种植牡荆等观赏植物。经过不同地区样本调查,得出各个地区适生植物结果,为后续玉田县绿化建设提供建议。不足之处为分析样本地较少,研究结果与真实情况间会有偏差,后续将结合实际情况进一步调查研究。

参考文献:

- [1] CHEN X, LI X, ELADAWY A, et al. A multi-dimensional vulnerability assessment of Pingtan Island (China) and Nile Delta (Egypt) using ecological Sensitivity-Resilience-Pressure (SRP) model[J]. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2021, 27(7): 1860-1882.
- [2] 杨斌斌, 于金源, 郭瑞鹏. 辽河流域生态修复问题与对策[J]. *中国水利*, 2021(10): 3.
- [3] SANTOSO D, SYUKUR A, ZULKIFLI L, et al. Development of science teaching materials based on ecological value of mangrove ecosystems as a strategy to improve science literacy of junior high school students on the south coast of east Lombok [J]. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 2022, 8(1): 283-290.
- [4] 靳甜甜, 张云霞, 朱月华, 等. 黄土高原林区生态系统服务价值与景观生态风险时空变化及其关联性——以子午岭区为例[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(5): 10.
- [5] ZHANG H, CHEN Y, PANG X. A study on the conversion method based on standard pedestrian equivalent factors at signalized crosswalks in China[J]. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 2022, 20(1): 320-329.
- [6] 家淑珍. 中国西北地区生态系统服务价值的时空变化研究[J]. *山西师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 34(4): 7.
- [7] HINNENKAMP V, BALSAA P, SCHMIDT T C. Target, suspect and non-target screening analysis from wastewater treatment plant effluents to drinking water using collision cross section values as additional identification criterion [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2022, 414(1): 425-438.
- [8] 高伟, 黄石德, 林建丽, 等. 亚热带 3 种森林类型的群落特征与物种多样性的耦合关系[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(6): 8.
- [9] ZHAN P, WANG F, XIA P, et al. Assessment of suitable cultivation region for *Panax notoginseng* under different climatic conditions using MaxEnt model and high-performance liquid chromatography in China [J]. *Industrial Crops and Products*, 2022, 176: 114416.
- [10] 史俏焰, 张旺. 山区县域村镇空间开发适宜性评价与功能分区研究[J]. *可持续发展*, 2022, 12(2): 16.
- [11] WANG J, MAN Y, RUAN W, et al. The effect of rhizosphere and the plant species on the degradation of sulfonamides in model constructed wetlands treating synthetic domestic wastewater [J]. *Chemosphere*, 2022, 288: 132487.
- [12] 黄晓磊, 邓友超. 学校活力评价指标体系构建——基于德尔菲法的调查分析[J]. *教育学报*, 2017, 13(1): 23-31.
- [13] SONESON E, BURN A M, ANDERSON J K, et al. Determining stakeholder priorities and core components for school-based identification of mental health difficulties: A Delphi study [J]. *Journal of School Psychology*, 2022, 91: 209-227.
- [14] 陈凤姣. 用层次分析法合理确定基础教学实验室评估指标的权重[J]. *通化师范学院学报*, 2011, 32(8): 9-11.
- [15] SONG Y, HU Z, LI T, et al. Performance evaluation metrics and approaches for target tracking: A survey [J]. *Sensors*, 2022, 22(3): 793.

责任编辑: 刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.024

6 个山茶品种的耐晒性研究

李鑫, 田学义, 赵鸿杰, 殷爱华, 王冰清, 万利鑫
(佛山市林业科学研究所(佛山植物园), 广东 佛山 528000)

摘要:为筛选出耐晒性较强的山茶花品种,以烈香、六角大红、克瑞墨、金花茶、五色赤丹、迪斯 6 个品种为试验材料,研究不同光照强度(全光照、遮阴率 50%、遮阴率 70%、遮阴率 90%)对植物形态指标及叶绿素含量的影响。结果表明,从生长特性、叶绿素含量、生物量积累等方面来看,全光照条件下品种迪斯、克瑞墨的生长表现最好,不同程度的遮阴处理均影响各品种的生长。最终筛选出品种迪斯、克瑞墨作为耐晒性较强的山茶品种。

关键词:山茶;光照强度;耐晒性;遮阴处理;生长表现

中图分类号:S685.14;S718.512.2 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0140-05

引文格式:李鑫,田学义,赵鸿杰,等.6 个山茶品种的耐晒性研究[J].林业调查规划,2024,49(1):140-144.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.024

LI Xin, TIAN Xueyi, ZHAO Hongjie, et al. Sunlight Resistance of Six Different Varieties of *Camellia japonica*[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1):140-144. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.024

Sunlight Resistance of Six Different Varieties of *Camellia japonica*

LI Xin, TIAN Xueyi, ZHAO Hongjie, YIN Aihua, WANG Bingqing, WAN Lixin
(Foshan Institute of Forestry (Foshan Botanical Garden), Foshan, Guangdong 528000, China)

Abstract: In order to screen out the varieties of *Camellia japonica* with strong sunlight resistance, the effects of different light intensity (full light, 50% shade, 70% shade and 90% shade) on plant morphological indexes and chlorophyll content were studied with six varieties of Strong Fragrance, Hexagonal Red, Kremer, Jinhuaacha, Wuse Chidan and L. T. Dees as experimental materials. The results showed that from the aspects of growth characteristics, chlorophyll content and biomass accumulation, the growth performance of L. T. Dees and Kremer under full light was the best, and different degrees of shading treatment would affect their growth. Finally, L. T. Dees and Kremer were selected as *Camellia japonica* varieties with strong sunlight resistance.

Key words: *Camellia japonica*; light intensity; sunlight resistance; shading treatment; growth performance

茶花,又称山茶花,是山茶科、山茶属多种植物和园艺品种的通称,因其植株形态优美,叶浓绿而光泽,花形艳丽缤纷,受到世界园艺界的珍视,得到广泛应用^[1]。山茶喜温暖、湿润和半阴环境,为半阴

性花卉^[2],自古以来有“阴茶花,阳牡丹”的说法,山茶生长期要置于半阴半阳的散射光环境中,不宜接受过强的阳光直射^[3],特别是夏、秋季的正午要进行遮荫,或放树下疏荫处^[4]。由于其半阴特性,在南

收稿日期:2022-05-19.

基金项目:2022 年佛山市自筹经费类科技计划项目(2220001005774).

第一作者:李鑫(1989-),男,江西吉安人,硕士,园林工程师.主要从事城市林业研究.

责任作者:赵鸿杰(1976-),女,内蒙古赤峰人,硕士,高级工程师.主要从事山茶科植物引种驯化及培育.

方常栽植于山林边缘、假山亭旁、院墙一角,北方以室内盆栽种植为主,阳光直射的开阔地段种植较少。为扩大山茶在城市公园、庭院、行道绿化中的应用范围,充分发挥山茶的观赏价值,以烈香、六角大红、克瑞墨、金花茶、五色赤丹、迪斯 6 个品种的 2 年生健壮扦插苗为试验材料,研究不同光照强度下山茶的形态指标及叶绿素含量,筛选出耐晒性较强的山茶品种,为山茶在城市园林绿化建设中的应用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择烈香、六角大红、克瑞墨、金花茶、五色赤丹、迪斯 6 个山茶品种的 2 年生健壮扦插苗为试验材料,各品种间苗木长势基本一致。统一换盆,栽植容器盆径大小为 28 cm,高 23 cm。换植土、种植土均为混合土壤(红壤土与泥炭土体积比为 2:1)。

1.2 试验设计

本实验设置 4 个处理,即对照 CK(全光照,遮阴率 0%)、遮阴率 50%、遮阴率 70%、遮阴率 90%,每个处理 15 盆,共计 360 盆。选用黑色遮阴网进行遮阴处理,采用 Li-6400 便携式光合仪校准遮阴率。将遮阴网固定到高 1.8 m 的杉木杆上,四角固定到地面,培养 2 个月后进行试验。培养期间日常管养水、肥、病虫害防治均为同等条件。通过人为控制,让盆栽山茶的生长尽量仅受不同遮阴率影响,再通过定期测定植株的苗高、冠幅、根径、叶绿素含量等指标分析 6 种常用于盆栽山茶的耐晒性。

1.3 测定方法

1.3.1 苗高、冠幅、根径生长量测定

苗高以种植容器盆上沿口边为基准线至植株最高点;冠幅选择植株南—北和东—西两个方向测定植株最大投影宽度;苗高及冠幅指标均直接采用有

刻度的卷尺进行测量;根径以苗木土痕处的最大根径值为准,采用游标卡尺测定。

1.3.2 叶片叶绿素含量测定

整株植株分上、中、下 3 层,每层选取 3 片不同朝向的叶片,待叶片擦拭干净后,在避开主脉的同一位置处用便携式叶绿素测定仪 SPAD-502Plus 测定叶片叶绿素含量。

1.3.3 植株鲜重及干重测定

待试验结束后选取 5 株山茶,将植株从种植容器盆中取出,清洗根部泥土,在清洗过程中需提前浸泡根部,避免因清洗泥土导致植株的须根断裂,此步骤需尽量保证植株的完整性。清洗干净的植株置于阴凉通风处,待根部无明显水珠后进行称重。分别称重整株山茶、叶片(含花蕾)、茎杆、根的鲜重;将称重完的根、茎、叶置于 65℃ 条件下连续烘 48 h 直至恒重,然后再次称重,进行鲜重、干重对比分析。

1.4 数据分析

本试验数据采用 Excel 2007 进行整理,用 DPS V15.10 进行方差分析及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同遮阴率对 6 种盆栽山茶生长特性的影响

不同品种山茶的形态特征在不同遮阴处理下存在差异,从植株外观看,迪斯、克瑞墨、五色赤丹、烈香、六角大红品种在全光照处理下植株长势正常,叶片浓绿、有光泽且未发生明显灼伤的现象,5 种山茶在其他遮阴处理下长势正常,苗高和地径生长速度差异显著;金花茶品种在全光照条件下长势较差,叶片变黄、干枯甚至出现植株死亡的情况,而在其他遮阴处理下长势正常,部分植株叶片变黄、干枯,无植株死亡的现象。

不同遮阴处理对 6 种茶花苗高、地径增长量差异分析结果见表 1。

表 1 不同遮阴处理对 6 个山茶品种苗高及地径的增长量影响

Tab. 1 Effect of different shading treatments on the growth of seedling height and diameter of six *Camellia japonica* varieties

遮阴率 (处理) /%	苗高增长量/cm						地径增长量/mm					
	金花茶	烈香	克瑞墨	六角大红	迪斯	五色赤丹	金花茶	烈香	克瑞墨	六角大红	迪斯	五色赤丹
0	23.85± 3.20	15.74± 2.44	11.65± 1.54	7.44± 1.67	16.29± 1.63	16.07± 1.84	3.36± 0.49	9.12± 0.57	4.15± 0.57	4.41± 0.49	6.08± 0.75	6.92± 0.29
50	39.11± 3.52	21.71± 2.88	6.79± 1.06	9.72± 1.38	3.15± 0.49	23.46± 2.54	4.89± 0.64	4.95± 0.66	1.52± 0.32	2.10± 0.34	0.63± 0.13	5.16± 0.55
70	40.91± 3.90	13.95± 1.92	8.17± 1.26	7.03± 1.17	3.74± 0.70	13.82± 2.66	4.45± 0.53	3.90± 0.49	0.93± 0.19	2.01± 0.41	0.67± 0.11	3.55± 0.50
90	26.13± 3.84	19.81± 3.38	4.93± 0.90	6.53± 0.96	5.20± 0.81	14.05± 2.43	3.72± 0.35	4.62± 0.58	2.03± 0.64	1.79± 0.39	1.44± 0.28	3.29± 0.41

从表 1 可知,金花茶、烈香、六角大红、五色赤丹品种苗高增长量随遮阴率的升高总体上呈现先增大后减小的趋势;品种金花茶在遮阴率 50% 和 70% 处理下苗高增长量显著大于其他处理组;烈香、六角大红、五色赤丹品种在遮阴率 50% 处理下苗高增长量最大;迪斯、克瑞墨品种苗高增长量随遮阴率的升高呈显著减小趋势,全光照下苗高增长量明显大于其他处理组。金花茶品种地径增长量随遮阴率的增大呈现先增大后减小的趋势,遮阴率 50% 和 70% 处理地径增长量稍大于其他处理组,烈香、克瑞墨、六角大红、迪斯、五色赤丹品种地径增长量随遮阴率的增大总体呈现逐渐减小的趋势,全光照下地径增长量明显大于其他处理组。

2.2 不同遮阴率对 6 种盆栽山茶叶绿素含量的影响

叶绿素对光合作用起着决定性作用,可见光能促使叶绿素的形成,光照的强弱、温度的高低均会对植株体内的叶绿素含量产生影响^[5-6]。叶绿素含量在一定程度上能反映植物同化物质的能力^[7],不同遮阴率处理显著影响山茶叶片叶绿素含量(表 2)。

表 2 不同遮阴处理对 6 种山茶叶绿素含量的影响

Tab. 2 Effect of different shading treatments on the chlorophyll content of six *Camellia japonica* varieties

遮阴率 (处理) /%	叶绿素含量 (SPAD 值)					
	金花茶	烈香	迪斯	克瑞墨	五色赤丹	六角大红
0	65.5± 3.60	63.53± 1.98	69.56± 1.59	72.39± 1.41	78.07± 1.71	77.75± 2.07
50	70.53± 3.22	62.04± 1.25	62.04± 1.75	66.43± 1.78	71.62± 1.71	70.64± 2.30
70	56.94± 1.54	64.91± 1.19	62.03± 1.63	71.46± 1.60	70.21± 2.28	71.49± 1.85
90	64.07± 1.69	65.73± 1.29	65.02± 1.73	72.03± 1.79	72.37± 1.78	66.21± 1.79

从表 2 可知,与全光照相比,不同遮阴处理下不同品种叶绿素含量有明显变化。随着遮阴率的增大,迪斯、五色赤丹、六角大红品种叶绿素含量总体呈递减趋势;品种烈香叶绿素含量有小幅上升,克瑞墨品种叶绿素含量有小幅下降,但总体变化不明显;品种金花茶叶绿素含量则呈现先升高后降低的趋势,在遮阴率 50% 处理下叶绿素含量最高。

2.3 不同遮阴处理对 6 种山茶生物量积累及其分配的影响

遮阴强度的变化显著影响了山茶生物量的积累(表 3)。

从表 3 可知,五色赤丹品种在遮阴率 50% 处理下生物量积累最大,但与全光照处理间未见显著差异,遮阴率 70% 和 90% 处理降低了其生物量积累,且随遮阴率增大呈下降趋势。

生物量在植株各部分的分配中,随遮阴程度的增加,不同遮阴率对五色赤丹品种叶生物量比的影响大小依次为:50% > 0% > 70% > 90%,不同处理间均无显著差异;对茎生物量比的影响大小依次为:90% > 0% > 70% > 50%,其中遮阴率 90% 处理与全光照处理间差异显著;对根生物量比的影响大小依次为:50% > 0% > 90% > 70%;对冠根比的影响大小依次为:90% > 70% > 0% > 50%,不同处理间均无显著差异。

山茶品种六角大红在全光照处理下生物量积累最大,随遮阴程度增加呈下降趋势,但不同处理间均无显著差异。随遮阴程度的增加,叶生物量比逐渐减小,不同遮阴率对茎生物量比的影响大小依次为:0% = 70% > 90% > 50%,不同处理间均无显著差异;对根生物量比的影响大小依次为:90% > 50% > 70% > 0%,对冠根比的影响大小依次为:0% > 70% > 50% > 90%,其中遮阴率 90% 与全光照处理间差异显著。

山茶品种迪斯在全光照处理下生物量积累最大,不同遮阴率对生物量积累的影响大小依次为:0% > 50% > 90% > 70%,且遮阴率 90% 与全光照处理间差异显著。随遮阴程度的增加,叶生物量比逐渐减小,且遮阴率 90% 与全光照处理间差异显著;茎生物量比和根生物量比逐渐增大,其中不同处理间茎生物量比均无显著差异,而根生物量比显著差异;冠根比逐渐减小,不同处理间均无显著差异。

山茶品种烈香在全光照处理下生物量积累最大,不同遮阴率对生物量积累的影响大小依次为:0% > 70% > 90% > 50%,不同处理间有显著差异。随遮阴程度的增加,不同遮阴率对叶生物量比和茎生物量比的影响大小依次为:0% > 90% > 50% > 70%,且遮阴率 90% 与全光照处理间均无显著差异;对根生物量比的影响大小依次为:70% > 0% = 90% > 50%,对冠根比的影响大小依次为:0% > 90% > 50% > 70%,且遮阴率 90% 与全光照处理间均无显著差异。

山茶品种金花茶在全光照处理下生物量积累最小,不同遮阴率对生物量积累的影响大小依次为:50% > 70% > 90% > 0%,但不同处理间均无显著差异。随遮阴程度的增加,不同遮阴率对叶生物量比的影响大小依次为:70% > 90% > 50% > 0%,茎生物量比逐渐减小,遮阴率 90% 与全光照处理间均差异

表 3 不同遮阴处理对 6 种山茶生物量积累和分配的影响

Tab. 3 Effect of different shading treatments on biomass accumulation and distribution of six *Camellia japonica* varieties

品种	遮阴率/%	生物量/g				生物量比			冠根比
		叶	茎	根	总计	叶	茎	根	
五色赤丹	0	44.31±6.74a	27.50±4.14a	24.26±4.80a	97.70±14.90a	0.45±0.02a	0.29±0.03b	0.24±0.02a	3.17±0.30a
	50	44.71±2.51a	28.23±1.16a	24.53±2.70a	98.14±6.11a	0.46±0.01a	0.29±0.01b	0.25±0.01a	3.07±0.25a
	70	26.54±4.93b	18.99±4.11a	13.16±3.34b	64.81±11.97ab	0.43±0.05a	0.29±0.02b	0.20±0.02a	3.66±0.23a
	90	25.75±4.15b	21.18±2.43a	13.36±2.43b	60.55±8.79b	0.42±0.01a	0.36±0.01a	0.22±0.01a	3.62±0.27a
六角大红	0	50.11±1.98a	31.66±2.44a	20.37±2.02a	101.74±2.21a	0.49±0.02a	0.31±0.02a	0.20±0.02b	4.23±0.55a
	50	47.81±6.75a	26.19±3.04a	25.71±7.54a	99.65±16.08a	0.49±0.02a	0.27±0.01a	0.24±0.03ab	3.33±0.42a
	70	37.49±3.74ab	24.61±1.77a	18.33±2.37a	80.32±6.91a	0.47±0.01a	0.31±0.02a	0.23±0.02b	3.51±0.31ab
	90	26.85±3.70b	23.60±5.64a	24.76±6.09a	76.91±14.06a	0.36±0.02b	0.30±0.02a	0.31±0.03a	2.21±0.22b
迪斯	0	42.28±3.00a	33.31±3.12a	21.44±2.69a	96.17±7.93a	0.44±0.01a	0.35±0.01a	0.22±0.01b	3.62±0.26a
	50	15.42±3.52b	12.70±2.78b	8.56±1.34b	36.84±7.75b	0.41±0.01a	0.34±0.01a	0.24±0.01ab	3.16±0.20a
	70	9.53±3.81b	10.25±2.07b	7.54±0.68b	27.98±5.81b	0.30±0.06b	0.38±0.04a	0.29±0.04a	2.58±0.61a
	90	9.84±3.13b	10.84±1.08b	7.93±0.70b	28.59±7.93b	0.31±0.05b	0.40±0.03a	0.29±0.02ab	2.51±0.27a
烈香	0	51.17±6.48a	63.83±6.66a	47.11±3.02a	160.09±14.34a	0.32±0.02a	0.40±0.01a	0.30±0.02b	2.43±0.19a
	50	33.58±4.24b	41.98±5.92b	32.18±4.72b	111.67±14.80b	0.31±0.01b	0.37±0.01ab	0.29±0.01b	2.37±0.05a
	70	41.02±1.45ab	52.09±1.81ab	51.89±2.63ab	148.28±5.44ab	0.28±0.02a	0.35±0.01b	0.35±0.01a	1.81±0.10a
	90	39.49±3.90ab	50.07±7.69ab	38.56±6.08ab	128.41±17.01ab	0.31±0.01a	0.39±0.01a	0.30±0.02b	2.38±0.20b
金花茶	0	11.68±3.01a	17.50±2.93a	5.95±1.18a	35.17±6.90a	0.32±0.03b	0.51±0.02a	0.17±0.02a	5.03±0.74a
	50	23.99±2.98a	29.71±3.37a	10.31±1.60a	63.48±6.16a	0.38±0.04ab	0.47±0.03ab	0.16±0.01a	5.44±0.48a
	70	26.05±7.53a	28.13±6.87a	8.80±2.53a	62.95±16.83a	0.41±0.02a	0.46±0.01ab	0.14±0.01a	6.34±0.44a
	90	21.44±4.12a	23.41±3.54a	8.96±0.89a	54.49±8.63a	0.38±0.03ab	0.43±0.01b	0.18±0.02a	4.85±0.59a
克瑞墨	0	23.99±3.36a	16.04±2.03a	12.26±1.12a	52.07±5.87a	0.45±0.03a	0.31±0.02a	0.24±0.02b	3.28±0.37a
	50	16.14±2.94ab	10.68±1.70b	11.73±1.29a	38.58±5.82ab	0.41±0.02a	0.28±0.01a	0.31±0.02a	2.26±0.23a
	70	14.21±1.26b	10.63±0.58b	10.72±0.87ab	35.19±2.07b	0.40±0.02a	0.30±0.01a	0.31±0.02ab	2.36±0.21a
	90	13.23±2.31b	8.85±1.14b	8.11±0.68b	30.18±3.72b	0.43±0.03a	0.29±0.01a	0.28±0.03ab	2.75±0.42a

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

显著;对根生物量比的影响大小依次为:90% > 0% > 50% > 70%,对冠根比的影响大小依次为:70% > 50% > 0% > 90%,不同处理间均无显著差异。

山茶品种克瑞墨在全光照处理下生物量积累最大,随遮阴程度增加呈下降趋势,但不同处理间差异显著。随遮阴程度的增加,不同遮阴率对叶生物量比的影响大小依次为:0% > 90% > 50% > 70%,对茎生物量比的影响大小依次为:0% > 70% > 90% > 50%,对冠根比的影响大小依次为:0% > 90% > 70% > 50%,不同处理间均无显著差异;对根生物量比的影响大小依次为:70% = 50% > 90% > 0%,且遮阴率90%与全光照处理间差异显著。

3 讨论与结论

光是影响植物生长、存活和分布的重要生态因子^[8],不同植物对光照强度有不同的生理反应,体现出不同的生长特征^[9]。

3.1 苗高及地径增长量差异

光照强度影响植物生长。与全光照处理相比,不同程度的遮阴处理均会抑制品种迪斯、克瑞墨苗高的增长,抑制品种迪斯、克瑞墨、烈香、五色赤丹、六角大红地径的增长,而促进品种金花茶苗高、地径的增长。低遮阴率处理可促进品种烈香、六角大红、五色赤丹苗高增长,高遮阴率处理将抑制其增长。

3.2 叶绿素含量

光照强度影响叶绿素的形成。与全光照处理相比,不同程度遮阴处理均会抑制品种迪斯、五色赤丹、六角大红叶绿素的形成,对品种烈香、克瑞墨的影响较小,低遮阴率处理可以促进品种金花茶叶绿素的形成。

3.3 生物量积累

光照强度影响植株生物量的积累。与全光照处理相比,低遮阴率处理不影响品种五色赤丹、六角大红生物量的积累,但高遮阴率处理将抑制其生物量积累。不同程度遮阴处理均促进金花茶生物量积累,而抑制品种迪斯、烈香、克瑞墨生物量积累,且对品种迪斯抑制作用最强。不同遮阴处理间 6 个品种山茶生物量分配有差异,其中迪斯、克瑞墨两个品种在全光照条件下叶生物量比最高,总生物量远高于在其他遮阴处理,表明这两个品种山茶在全光照条件下更倾向于长叶,有利于增加光合速率,使植株生长速率更快。

综合不同测定指标得出,在全光照条件下,迪斯和克瑞墨两个品种生长好于其他遮阴处理,且两者间品种迪斯生长速率略高。品种五色赤丹、六角大红、烈香、金花茶在全光照条件下植株生长速率慢于其他遮阴处理,但品种五色赤丹、六角大红、烈香间无显著差异,品种金花茶在全光照条件下生长速率最慢。测定的数据一定程度反映出 6 种盆栽山茶对光生境适应能力存在差异,品种迪斯和克瑞墨在全

光照条件下生长最佳,表明其耐晒性最强,品种五色赤丹、六角大红、烈香相对较弱,品种金花茶耐晒性最弱。

参考文献:

- [1] 张兵,况红玲,徐海芹,等. 克瑞墨大牡丹茶花嫩枝扦插实用技术[J]. 湖北林业科技,2020,49(2):2.
- [2] 李仁娜,闫会玲,王亚玲. 山茶花受环境胁迫影响的研究进展[J]. 分子植物育种,2023,21(11):3798-3805.
- [3] 韩春叶. 浅谈山茶花的栽培技术与应用[J]. 现代农业,2019(12):61-62.
- [4] 冷寒冰,秦俊,胡永红. 春秋两季不同环境下山茶的光合特性研究[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(12):29-33.
- [5] 李汉生,徐永. 光照对叶绿素合成的影响[J]. 现代农业科技,2014(21):4.
- [6] 季宏伟,李良璧,匡廷云. 莲胚芽叶绿素合成对光照的依赖性[J]. 植物学报(英文版),2001,43(7):693-698.
- [7] 方志伟,张荣铎,朱培仁. 水稻叶片叶绿素含量的变化与光合作用的关系[J]. 南京农业大学学报,1987,10(4):18-22.
- [8] 李晓征. 多脉青冈和金叶含笑幼苗的光合生理特性研究[D]. 南京:南京农业大学,2004.
- [9] 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):10.

责任编辑:陈旭

(上接第 77 页)

- [2] 唐小平. 我国自然保护区总体规划研究综述[J]. 林业资源管理,2015(6):1-9.
- [3] 唐芳林. 国家公园理论与实践[M]. 北京:中国林业出版社,2017.
- [4] 黄龙奇. 风景名胜区规划重点内容探析[J]. 建筑与文化,2014(7):135-136.
- [5] 贾建中,邓武功. 中国风景名胜区及其规划特征[J]. 城市规划,2014,38(S2):55-58.
- [6] 唐川. 台湾地区国家公园建设与发展[J]. 云南地理环境研究,1999(2):16-23.
- [7] MACKINTOSH Barry. The national parks: Shaping the system[M]. Washington, DC: U. S. Department of the Interior, 2000.
- [8] 杨锐. 美国国家公园规划体系评述[J]. 中国园林,2003(1):45-48.
- [9] 张引,庄优波,杨锐. 法国国家公园管理和规划评述[J]. 中国园林,2018,34(7):36-41.
- [10] 赵智聪,庄优波. 新西兰保护地规划体系评述[J]. 中国园林,2013,29(9):25-29.
- [11] 杨锐,马之野,庄优波,等. 中国国家公园规划编制指南研究[M]. 北京:中国环境出版社,2018.
- [12] 赵智聪. 编制好国家公园四个层次的规划[N]. 青海日报,2018-01-08(011).
- [13] 唐小平,张云毅,梁兵宽,等. 中国国家公园规划体系构建研究[J]. 北京林业大学学报(社会科学版),2019,18(1):5-12.
- [14] 严国泰,沈豪. 中国国家公园系列规划体系研究[J]. 中国园林,2015,31(2):15-18.
- [15] 唐小平. 生物类自然保护区适应性管理关键问题的研究[D]. 北京:北京林业大学,2012.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.025

我国麋鹿放归野化概况及放归地适宜性评估

张树苗¹,李夷平¹,刘恒官²,陈颀¹,李俊芳¹,白加德¹

(1. 北京麋鹿生态实验中心,北京 100076; 2. 辽宁省辽阳市中小学素质教育实践中心,辽宁 辽阳 111000)

摘要:麋鹿在我国经过 37 年的繁衍、复壮及野外放归,目前麋鹿种群已全面覆盖历史分布区,分布地点从重引入时的 2 个增至现在的 89 个迁地保护场所,种群数量已逾 1.2 万只,其中建立 6 处野生种群,数量达 5 258 只。从重引入到成功放归野化,中国麋鹿保护已成为全球野生动物保护史上的范例。麋鹿放归野化成功的关键在于科学、合理地选择放归地,通过介绍我国麋鹿放归野化的概况,并针对放归地的适宜性开展评估,主要包括天然植被资源可利用性、天然水资源的水质和水量、疾病风险、种间竞争、人鹿冲突、捕食天敌、突发自然灾害等,为我国麋鹿放归野化标准化管理提供依据,为其他物种放归野化提供参考。

关键词:麋鹿;重引入;放归野化;适宜性;评估

中图分类号:S825;Q142.9 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0145-06

引文格式:张树苗,李夷平,刘恒官,等. 我国麋鹿放归野化概况及放归地适宜性评估[J]. 林业调查规划,2024,49(1):145-150. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.025

ZHANG Shumiao, LI Yiping, LIU Hengguan, et al. Reintroduction Overview of *Elaphurus davidianus* in China and Suitability Evaluation of Released Sites[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 145-150. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.025

Reintroduction Overview of *Elaphurus davidianus* in China and Suitability Evaluation of Released Sites

ZHANG Shumiao¹, LI Yiping¹, LIU Hengguan², CHEN Qi¹, LI Junfang¹, BAI Jiade¹

(1. Beijing Milu Ecological Research Center, Beijing 100076, China;

2. Liaoyang Primary and Secondary School Quality Education Practice Center, Liaoyang, Liaoning 111000, China)

Abstract: After 37 years of reproduction, rejuvenation, and wild release in China, the population of *Elaphurus davidianus* has fully covered historical distribution areas, and the distribution locations have increased from 2 sites at the time of reintroduction to 89 ex-situ conservation sites, with a population of over 12 000, among which 6 wild populations have been established, with a total number of 5 258. From reintroduction to successful released into the wild, the conservation of *Elaphurus davidianus* in China has become a model in the history of global wildlife conservation. The key to the successful reintroduction of *Elaphurus davidianus* was the scientific and rational selection of released sites. By introducing the reintroduction overview of *Elaphurus davidianus* in China and evaluating the suitability of the released sites, including the availability of natural vegetation resources, quality and quantity of natural water resources,

收稿日期:2022-08-03.

基金项目:北京市财政资助项目(11000024T000002819938).

第一作者:张树苗(1977-),女,辽宁辽阳人,博士,研究员.主要从事野生动物保护与研究工作. Email: shumiaozhang@126.com

责任作者:白加德(1966-),男,山西太原人,研究员.主要从事野生动物保护与研究工作. Email: baijiade234@aliyun.com

disease risks, inter species competition, human-deer conflicts, predation of natural enemies, and sudden natural disasters, this paper provided a basis for standardized management of *Elaphurus davidianus* in China and a reference for the wild release of other species.

Key words: *Elaphurus davidianus*; reintroduction; wild release; suitability; evaluation

麋鹿 (*Elaphurus davidianus*) 又称“四不像”, 隶属于偶蹄目鹿科麋鹿属, 是我国特有物种, 属于国家一级保护动物, IUCN (世界自然保护联盟) 红皮书野外灭绝物种。麋鹿在中国经历了繁盛、衰落、灭绝到重引入、迁地保护、恢复野生种群的传奇经历。1900 年, 由于栖息地丧失、战乱及自然灾害, 麋鹿在中国本土消失。1956 年和 1973 年, 英国乌邦寺庄园主通过英国政府和民间组织, 与中国科学院及中国动物学会联系, 赠送 2 对麋鹿回归中国, 放养在北京动物园。1980 年, 哈尔滨动物园通过动物交换方式从加拿大获得 1 对麋鹿。这些麋鹿在动物园存在繁殖障碍, 种群发展极为缓慢, 至 1984 年, 种群仅有 12 只。1985 年 7 月 17 日, 在原城乡建设环境保护部、原国家林业部、中国科学院和北京市政府及相关部门的共同努力下, 我国“麋鹿重引入”项目小组与英国乌邦寺庄园塔维斯托克侯爵签署《中英关于麋鹿重引入的协议》。同年及 1987 年, 英国乌邦寺分别赠送 20 只和 18 只麋鹿回归到其最后的消失地北京南海子麋鹿苑 (以下简称南海子麋鹿苑)。1986 年, 原国家林业部从英国 7 家动物园选择 39 只麋鹿引入到江苏大丰麋鹿国家级自然保护区 (以下简称大丰保护区)^[1]。自此, 77 只来自英国的麋鹿成为了我国重引入麋鹿的基础种群^[2]。

重引入具有 2 个层面的含义: 捕捉野生状态的物种将其移入该物种已消失的区域, 称为移入 (translocation), 是捕捉、运输、放归的过程, 是相对简单的重引入过程; 将圈养的野生动物重新放归到野外环境中 (该物种野生分布地), 训练其恢复行为、生理等方面已丢失的某些野生特性, 即野化 (re-wilding 或 naturalization), 此层面的重引入要经历圈养、野化、放归环节, 是相对复杂的重引入过程。我国麋鹿重引入可分为 2 个阶段, 第一阶段是繁育种群的建立和复壮, 第二阶段是野化放归, 并恢复自然种群。麋鹿圈养、野化、放归的过程可行性较高, 并且通常将野化和放归同步进行, 实际上是放归后逐渐实现野化。截至 2022 年 5 月, 我国已建立了 89 个麋鹿圈养、半散放、放归野化场所, 种群数量已从最初的 77 只发展至超过 1.2 万只。我国麋鹿三大繁育基地中南海子麋鹿苑种群数量为 200 只, 大丰

保护区种群数量为 7 033 只, 湖北石首麋鹿国家级自然保护区 (以下简称石首保护区) 种群数量为 2 700 只 (1993 年、1994 年及 2002 年由南海子麋鹿苑输出共 94 只发展而来)。我国野生麋鹿的发展形成以湖北石首麋鹿为中心的长江中下游野生麋鹿生态廊道, 以及以江苏大丰麋鹿为中心的沿海麋鹿生态廊道^[3-4]。我国麋鹿野生种群场所达到 6 处, 数量达到 5 258 只, 完成重引入第二阶段的任务, 从生物学角度来看实现自然种群的繁衍生息。由此可见, 我国麋鹿重引入任务已获得成功, 并由此产生良好的生态和社会效益。

我国麋鹿重引入, 是世界范围内确认的 138 个物种重引入项目中, 15 个取得成功的项目之一^[5], 是国际自然保护人士合作拯救濒危物种的示范, 是中国政府致力于生物多样性保护中成功实施重引入项目的案例。中国麋鹿重引入的成功, 为我国珍稀濒危野生动物开展迁地保护提供了有益示范, 推动了我国野生动物保护、生态环境保护、生态文明建设。IUCN 及 2021 年的 COP15 大会和《昆明公约》高度评价了中国麋鹿重引入项目、迁地保护及野生种群恢复工作, 中国麋鹿保护工作取得显著成绩, 得到世界认可。

1 我国麋鹿放归野化概况

1.1 自然野化

麋鹿的自然野化, 始于 1998 年长江中下游的特大洪水, 一些麋鹿从石首保护区意外逃逸, 在周边湿地自然生存并繁衍。1998 年 7 月 3 日至 8 月 31 日历时近两个月的洪水, 给保护区内麋鹿的觅食和管理带来很大困难。特别是在高水位期间, 保护区栅栏被洪水淹没, 整个保护区与长江浑然一体, 致使 34 只麋鹿受灾失散。11 只麋鹿向东游到石首市小河口镇杨坡坦湿地; 23 只横渡长江, 向南游到石首市东升镇三合垸湿地, 其中 5 只再从三合垸沿长江游到湖南东洞庭湖。这些意外扩散到周边的麋鹿, 完全摆脱对人类的依赖, 自由自在地在野外生存, 成为我国首批野化麋鹿种群, 其很快适应了野外复杂的环境, 种群数量稳步增长。2012 年末, 杨坡坦麋

鹿数量为 100 只,三合垸 98 只,东洞庭湖 65 只^[6-7],而且分布范围进一步扩大。2017 年底,杨坡坦麋鹿种群已达 200 多只,三合垸种群达 300 多只,湖南东洞庭湖种群 146 只。截至 2022 年,湖北石首麋鹿种群有 1 200 只(杨坡坦 800 只,三合垸 400 只),湖南东洞庭湖有 230 只。另外,洞庭湖与三合垸的麋鹿种群间互相交流,大多沿着固定线路游走。这些自然野化麋鹿自我繁衍生息,形成了长江中游特有的麋鹿野生种群。由于洪水,石首保护区率先建立完全摆脱对人类依赖、可自我维持的野生麋鹿种群,结束数百年来我国无野生麋鹿的历史。

1.2 人为放归

1998 年 11 月 5 日,大丰保护区实施有计划的野生放养试验,选择了 8 只麋鹿开展首次麋鹿放归野化试验,放归的麋鹿很快适应了野外环境,自然繁殖成功。此后,为继续优化野生麋鹿种群结构,2002 年、2003 年、2006 年和 2016 年,保护区先后 4 次继续放归麋鹿 86 只。2018 年和 2019 年,再次进行麋鹿的放归野化工作。调查发现,2018 年,江苏大丰野生麋鹿种群数量为 900 余只^[4],2020 年发展到 1 820 只^[8],2022 年已达 3 116 只,实现恢复野生种群的目标。

2007 年,江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区将人工圈养的 10 多只麋鹿放归自然(1998 年由南海子麋鹿苑输出),2018 年种群数量近 100 只^[4],大丰保护区野放的麋鹿有部分也进入其中,促进了该麋鹿种群的基因交流,2022 年已达近 600 只,在滨海湿地建立了盐城野生麋鹿种群。

2008 年,南海子麋鹿苑向河北滦河上游国家级自然保护区(以下简称滦河上游保护区)输出麋鹿 10 只,半散放在木兰围场近 200 hm² 的围栏中,以使其能适应当地气候和环境,为真正放归野化做准备。2010 年,将 6 只麋鹿野放到保护区的自然环境中,但由于麋鹿喜欢到庄稼地采食,引起当地群众和麋鹿之间的冲突,导致放归野化失败。2016 年,南海子麋鹿苑再次输送 10 只麋鹿到保护区开展放归野化,这些麋鹿可耐受-30℃严寒,并成功繁殖。截至 2022 年,滦河上游保护区内野生麋鹿数量为 26 只。

2016 年,大丰保护区向湖南东洞庭湖国家级自然保护区输出 16 只麋鹿,并将这些麋鹿放归自然,扩大了洞庭湖野生麋鹿群,为优化种群结构、促进基因交流、提高种群遗传多样性奠定基础^[4]。

2018 年,来自南海子麋鹿苑的 30 只麋鹿与江西鄱阳湖国家湿地公园圈养的 17 只麋鹿(2013 年

由南海子麋鹿苑输出)在该国家湿地公园内放归野化。2019 年 3 月调查发现,野放的麋鹿主要分布于鄱阳湖流域 4 个湿地区域,种群数量已有 50 多只^[8],截至 2022 年,种群数量已达 86 只。麋鹿在鄱阳湖的成功繁衍,标志着麋鹿在其古分布地重建野生种群取得成功。

2021 年,南海子麋鹿苑和大丰保护区的 27 只麋鹿野放到内蒙古大青山国家级自然保护区。两个不同来源的麋鹿种群在新环境下安全越冬,进行基因交流,并且初步适应高寒气候环境,今年成功繁殖 9 只幼崽,是大青山放归野化麋鹿种群成功繁衍的第一代仔鹿,标志着我国首次在蒙古高原南缘建立野生麋鹿种群取得阶段性成功。

2 麋鹿放归地适宜性评估

2.1 天然植被资源可利用性

麋鹿放归地自然环境中食物资源的优劣、丰富度是关系其放归能否成功的重要因素。通常在放归前要进行详实的可利用植物资源及隐蔽性评估,主要包括:(1)可采食食物资源种类、丰富度及空间分布;(2)可采食食物资源的季相动态;(3)可采食食物营养价值状况;(4)是否具有鲜嫩无味有毒食物。麋鹿 20 余年的人工野化实验表明,从圈养人工投食的被动采食到野生环境主动觅食不存在大的障碍,麋鹿在野生环境下能较快适应觅食天然食物。另外,需定期、持续监测麋鹿对天然植被的利用情况,食物资源的季相及年度变化,在时空上对食物资源利用的合理性,幼鹿成长期、母鹿孕期、公鹿长茸期等食物营养满足程度,以及丰水期、冬季食物的丰富度等均关系到放归后是否能够长期繁衍生息。

植被资源的另一个重要特征是隐蔽性,即是否能为麋鹿繁殖、躲避天敌提供场所,保护其躲避捕食者、抚育幼仔。隐蔽性主要包括植被类型;景观格局;种类组成、高矮、疏密等^[9]。在放归地中,由植被提供的隐蔽能够为麋鹿躲避天敌的捕食提供重要条件,在隐蔽性好的地点觅食,会降低其应激性,提高安全性。另外,待产的雌麋鹿在生产时需寻找隐蔽性好的地方,提高生产的安全性。生产后当雌麋鹿外出觅食时,为了保护幼仔躲避天敌,提高幼仔存活率,也会将新生幼仔藏匿在隐蔽性好的地点^[10]。

2.2 天然水资源的水质和水量

对于麋鹿而言,只要环境中存在水资源,即可发现并饮用。麋鹿是典型的湿地动物,对水的需求不仅仅限于饮用,更重要的是夏季消暑纳凉、消除体表

寄生虫和对水生植物的需求。因此,放归地的水质和水量是先期科学评估中一项重要内容。在放归前要进行详细的水源水质及水量评估,主要包括:水源、水面的空间分布;水质、水量的季相动态(包括丰水期、枯水期);水中是否有寄生虫及寄生虫的丰度、危害等;水体是否具有流动性(包括冬季)。

在麋鹿的放归环境中应存在多处水面,主要是因为:(1)减少捕食者在水面附近伏击的机率;(2)减少家族群相遇的机会,尤其是夏季繁殖期降低雄性个体相遇和打斗的机会,避免竞争伤亡;(3)减少过度利用同一水面(麋鹿喜欢在水中排泄粪便和尿液),造成水质恶化;(4)避免同一水面种群密度过大,造成疾病的传播。对于一些野化放归地需要开展适度的水资源改造,以改善其饮水和栖息条件。在水资源改造中,需要注意:(1)水面要具有流动性,避免水质恶化,造成水质污染;(2)水面改造的方式应与自然环境相协调;(3)水深适宜,不能对麋鹿及同域分布的其他动物,特别是幼体造成伤害,便于动物进出,防止陷落;(4)水面面积不能过小,避免动物密度过大;(5)水面间应有一定距离,减少繁殖群体相遇或捕食者伏击。

2.3 疾病风险

野生动物的疾病不仅关系到放归野化的物种自身,而且影响到同域分布的其他物种及家畜的安全。疾病风险一直以来都是非常复杂的问题,涉及保护生物学的很多层面^[11]。引发动物患病的病原体种类繁多,如各种细菌、真菌、病毒和寄生虫等。病原体通常以两种方式存在:(1)由放归个体自身携带,动物引入新环境后,由于生理应激或干扰,短期内不能适应新环境,导致体质下降,免疫力降低,进而引发疾病,应选择健康的放归个体,并强化检疫手段;(2)放归环境中本来存在,动物引入新环境后,缺乏对环境某些病原体的免疫力,遭受侵袭后易引发患病,在放归前应检测环境中及同域内家畜携带的病原体种类、丰度情况等。

据统计,圈养及散放的麋鹿种群均存在疾病,尤其是消化道、呼吸道和脓肿病等疾病问题^[12-14]。近年来麋鹿种群爆发的魏氏梭菌导致死亡率达 20%~75%^[12,15],成为麋鹿种群健康发展的严重威胁。非特异性疾病及条件致病菌感染无疑与麋鹿的免疫力低下存在密切关系。麋鹿属于机警、胆怯的物种,当将麋鹿放归到一个新环境中,易受外界惊扰或环境变化而产生较强的生理应激反应,导致动物机体免疫力下降^[16-18]。近年来,在石首保护区、南海子麋

鹿苑、北京动物园、河北木兰围场等间歇性爆发了几次大规模麋鹿死亡事件,主要由于环境土壤或水源中发现致病菌引起。另外,寄生虫对麋鹿种群的影响也较大,大丰保护区麋鹿种群遇到了体外寄生虫长角血蜱;石首保护区麋鹿种群受到血吸虫病的困扰。

为确保麋鹿放归后在新环境中健康繁衍,在对放归地评估时,需要开展以下工作^[19]:(1)调查放归地及周边的野生动物及家畜是否有传染性疾病,调查是否曾有相关疾病爆发和流行情况,评价放归地可能遇到的疾病风险及影响程度;(2)掌握疾病防控相关知识,及时采取预防措施,如针对性注射预防口蹄疫等疾病的疫苗,定期药物除虫,隔离家畜;(3)加强放归地水资源、土壤、大气监测管理等;(4)建立放归麋鹿亲缘关系及健康档案,加强健康管理,监测疾病的发生并及时隔离医治。

2.4 种间竞争

水和隐蔽是野生动物生存的两大要素。竞争是物种协同进化的一部分,包括种间竞争和种内竞争。种间竞争是不同种群间为争夺有限的食物、资源及生存空间等出现的竞争。麋鹿放归到新环境中,必然面临与同域内分布的其他动物产生资源竞争,互相争夺生态位的现象,竞争的种类、数量越多,麋鹿占有的生态位越小,越不利于麋鹿的放归野化,尤其在食物资源、活动区域匮乏时,可能会威胁到麋鹿的生存。在放归初期,处于新环境中的麋鹿种群数量通常较小,在探索资源、保卫资源及有效利用资源等方面处于弱势。放归初期必要时需要人工干预,保障其尽快占据生态位。

在麋鹿的放归评估中,应考虑以下要素:(1)调查放归环境中与麋鹿拥有相近生态位的动物种类、丰度;(2)调查食物资源、活动区域匮乏时种间竞争的时间和强度;(3)预测竞争的可能结果。种间资源竞争的强度是关系到麋鹿放归是否成功的重要因素。必要时,可采取调控同域中竞争物种的种群数量和时空分布的措施,避免过强的竞争压力对放归麋鹿造成的影响。

2.5 人鹿冲突

麋鹿放归地的人兽冲突主要表现为人类活动对麋鹿的干扰,如当地居民的生活方式、农林渔牧生产方式、交通运输等。随着放归野化麋鹿种群数量的逐渐增加,其不断地扩散到人类的生产、生活区域,如农场、养殖场、庄家、林场等,导致人与野生麋鹿之间不断产生矛盾^[20]。这种干扰应尽力回避但又不

可能完全避免,在选择放归地时,需要对以下内容进行评估:(1)当地居民对麋鹿放归的认知、态度及发生麋鹿肇事的容忍度;(2)当地经济社会活动是否与麋鹿的放归存在严重冲突,是否存在“人鹿争地”“鹿畜争地”等矛盾^[21];(3)当地居民是否可以从麋鹿放归中获益;(4)人类活动对麋鹿的干扰,如侵占、破坏麋鹿栖息地,干扰麋鹿觅食、休息、繁殖等行为;(5)人类附属品的危害,如废弃渔网、农药污染、水体污染、土壤污染、病菌传染等对麋鹿的影响等。

若麋鹿的放归与当地经济社会活动存在一定矛盾,如土地权属问题、麋鹿采食农作物、影响捕鱼活动等问题。每年均需采取补偿的方式弥补当地居民因放归麋鹿而造成的损失,这种放归若无长效补偿机制,其前景必然黯淡^[23],不是理想的放归场所。鉴于此,建议采取以下措施:(1)建立较高、较长的围栏设施,将放归的麋鹿与当地社区隔离,避免麋鹿采食、破坏当地群众种植的农作物;(2)开展以麋鹿等野生动物为主题的生态旅游,促进当地社区的经济发展,使当地群众从麋鹿放归中获益;(3)若可能,可将放归地的居民迁出,减少人鹿冲突的发生。

2.6 捕食天敌

在地球上任何一种生物,其种群数量的发展均受到自然环境和天敌的限制。麋鹿是草食性动物,天敌是其生存中必然存在的环境因子,在保证麋鹿群体健康和调节种群数量方面具有重要作用。在麋鹿野化放归初期,通常种群数量较低,产生一定程度的生理应激反应,缺乏抵御捕食的技能,若环境中存在较高强度的捕食者可能造成放归的失败。若放归地点存在大量捕食者,在放归初期需采取人工干预措施,主要包括:(1)人为控制放归麋鹿的活动范围,如建设围栏;(2)加强训练放归麋鹿对历史捕食者声音和图像的识别能力;(3)加强对麋鹿活动轨迹的监测,必要时采取人为恐吓、驱赶入侵的捕食者。

目前,我国麋鹿放归野化地点通常缺乏捕食天敌,随着麋鹿种群数量的增长,缺乏天敌对麋鹿的协同作用,有可能会影响麋鹿种群的健康繁衍。

2.7 突发自然灾害

突发自然灾害不是经常性的危害因素,发生概率较小,在对麋鹿放归地开展评估时常被忽视。但若发生通常会造成极其严重的后果,如泥石流、洪水、暴雪、极寒、极热、倒春寒、极旱以及重大生物灾害等的发生均将对麋鹿产生致命的伤害。因此,需要调查分析放归地的长期气候资料并做出正确的评估。灾害发生时麋鹿可利用植被及水资源的情况;

灾害发生时麋鹿可利用栖息地大小;灾害发生时是否有传染病发生。

在放归初期,若发生突发灾害,为了减轻灾害程度,减少灾害带来的不良影响,需要做应急紧急救助准备工作:(1)在放归地临近区域建设应急避险、应急避寒、避暑场所,以备灾害发生时临时收容麋鹿;(2)准备应急救援物资,如救生绳索、救生船等;(3)准备应急生存资源,如种植鲜嫩饲草、储备优质水源等。这些措施只适用于在放归初期麋鹿种群数量较少的情况。从长远来看,只有不断扩大放归麋鹿的种群数量和分布区,才是抵御自然灾害的根本途径。

3 小 结

麋鹿在中国野外灭绝后,英国乌邦寺贝德福 11 世公爵收集的 18 只麋鹿发展到 1914 年的 88 只,至 1948 年已达 255 只^[22],说明麋鹿已突破遗传瓶颈,从乌邦寺建群到现今世界上多个迁地种群来看,麋鹿数量一直在逐步增长,且未发现有明显的生存力和繁殖力下降的情况。目前,严重的近交似乎对麋鹿种群繁衍未产生明显的不良影响,说明麋鹿的有害基因较少,未造成由于近亲繁殖引起的物种退化。但是重返自然环境的麋鹿将经受各项自然因子的压力,自然选择重新发挥作用是物种保持进化上的连续性和持续生存所必须的外部条件。具有优良基因的个体可通过自然繁殖途径遗传给下一代,促使放归种群的群体遗传质量的提高,增强群体水平的适应力。然而,在放归初期的相当一段时间内,种群数量必然处在较低水平,近亲繁殖及其导致的遗传漂变似乎是不可避免的问题,主要原因是因为麋鹿是一雄多雌的交配制度,有可能造成单一或少数雄性在几年内拥有交配权,从而加速了有限遗传多样性的丢失。建议在科学选点的基础上,注重分批次放归并增加基础种群数量,放归地应具备一定面积的栖息空间和丰富的可采食植物,当种群初具规模后建议适当引入捕食者。

对于麋鹿放归,除了栖息地选择外,存在的最大问题是人与鹿之间的冲突。当地群众为了获取更大的经济利益而侵占麋鹿的栖息地,到麋鹿栖息地采摘野菜、挖草药、放牧等。另外,麋鹿也会对当地居民的经济生活造成破坏,到居民社区种植区啃食破坏经济作物,造成放归地周边群众的经济损失。因此,如何减少人类活动对麋鹿放归野化的负面影响,提高群众对麋鹿肇事的容忍度,增强群众对麋鹿等野生动物的保护意识,促进当地居民从麋鹿放归项

目中受益,做到人与麋鹿的良性互动等是麋鹿放归成功的关键。

在我国麋鹿保护工作中,加强放归野外群体的基因交流意义重大,但也充满挑战。在制定重引入计划时,通常建议选择多个放归地点进行重引入^[24-25],但目前我国麋鹿放归地点在空间上相隔甚远。如何加强放归种群间的基因交流,还需开展深入研究。建议通过 GPS 项圈监测麋鹿的活动路线和范围,开展食物和水源地等关键生存因子的研究,并尝试将这些研究结果与种群的遗传学数据相结合,以期能为麋鹿放归地选择提供科学的决策。

参考文献:

- [1] 丁玉华. 麋鹿轶事——麋鹿回归的历史真相[J]. 特种经济动植物,2021,24(5):1,3-4.
- [2] 杨戎生,张林源,唐宝田,等. 中国麋鹿种群现状调查[J]. 动物学杂志,2003,38(2):76-81.
- [3] 丁玉华. 达氏麋鹿[M]. 南京:南京师范大学出版社,2017.
- [4] 丁玉华,丁晶晶,李鹏飞,等. 中国野生麋鹿种群发展策略探究[J]. 江苏林业科技,2018,45(5):49-51,56.
- [5] 杜悦英. 麋鹿:野生动物保护的中国样本[J]. 中国发展观察,2018(8):50-52.
- [6] 丁玉华,任义军,温华军,等. 中国野生麋鹿种群的恢复与保护研究[J]. 野生动物学报,2014,35(2):228-233.
- [7] 李鹏飞,丁玉华,张玉铭,等. 长江中游野生麋鹿种群的分布与数量调查[J]. 野生动物学报,2018,39(1):41-48.
- [8] 白加德,张渊媛,钟震宇,等. 中国麋鹿种群重建 35 年:历程、成就与挑战[J]. 生物多样性,2021,29(2):160-166.
- [9] COCKBURN A. Environmental correlates of home ranges in cryptic small mammal species [J]. Acta Zool. Fennica, 1984(171):251-254.
- [10] 梁兵宽,李夷平,陈頔,等. 麋鹿非繁殖期生境适宜度评价指标探讨[J]. 林业资源管理,2019(3):41-48.
- [11] GRENFELL B T, DOBSON A P. Ecology of infectious diseases in natural populations [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [12] 张成林,刘燕,闫鹤,等. 麋鹿发生 C 型魏氏梭菌病[J]. 野生动物,2012,33(5):260-263.
- [13] 张林源,温华军,钟震宇,等. 湖北石首野生麋鹿种群大量死亡原因调查[J]. 畜牧与兽医,2011,43(4):89-91.
- [14] 程志斌,郭青云,钟震宇,等. 麋鹿常见疾病及其防治[J]. 野生动物学报,2021,42(3):897-902.
- [15] 钟震宇,张林源,唐宝田. 2000—2009 年北京南海子麋鹿出血性肠炎发生特点分析[J]. 畜牧与兽医,2013,45(4):56-58.
- [16] JIANG Z G, KAJI K, PING X G. The tale of two deer: Management of Père David's deer and sika deer in anthropogenic landscape of eastern Asia [J]. Animal Production Science, 2016, 56(6):953-961.
- [17] LIU N, JIANG Z, ZHANG L, et al. Bioacoustic cues and their relations to dominance rank in Père David's deer stags [J]. Animal Production Science, 2016(56):971-977.
- [18] ZHANG M S, SHI M H, FAN M Y, et al. Comparative analysis of the gut microbiota changes in Père David's deer population in Beijing Milu Park and Shishou, Hubei Province in China [J]. Frontiers in Microbiology, 2018(9):1258.
- [19] 张树苗,白加德,李夷平,等. 中国麋鹿迁地保护现状、保护模式及保护建议[J]. 林业资源管理,2017(2):16-22.
- [20] 刘彬,安玉亭,薛丹丹,等. 人类活动对野化麋鹿生存的影响及保护对策[J]. 四川动物,2021,40(2):176-182.
- [21] 蔡家奇,温华军,沙平,等. 石首麋鹿保护区人与动物冲突问题的调查与思考[J]. 特种经济动植物,2022,25(2):59-60.
- [22] 程志斌,白加德. 麋鹿重生[M]. 北京:中国环境出版集团,2023.
- [23] 胡德夫,王伟,张林源,等. 大中型野生动物放归野化问题的探讨—以普氏野马和麋鹿为例 [C]//野生动物生态与资源保护第四届全国学术研讨会论文摘要集. 西宁:中国动物学会,2007.
- [24] 张林源,夏经世,蒋志刚. 麋鹿的兴衰与受威胁等级变化研究 [C]//面向 21 世纪的中国生物多样性保护—第三届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 北京:中国科学院生物多样性委员会,1998.
- [25] 王立波,姜慧,安玉亭,等. 中国麋鹿种群现状分析及保护对策探讨[J]. 野生动物学报,2020,41(3):806-813.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.026

云南省极小种群野生植物拯救保护规划研究

郑进焜¹, 蔡文婧¹, 郑静楠¹, 李柱存¹, 秦燕¹, 王勇¹, 余昌元¹, 杨华²

(1. 云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051; 2. 云南省林业和草原局, 云南 昆明 650224)

摘要:以《云南省极小种群野生植物保护名录(2021版)》收录的101种云南省极小种群野生植物物种为规划研究对象,分析物种数量与分布现状,总结拯救保护成效与存在问题,从保护体系和科研管理支持体系两大领域进行规划研究并提出保障措施,旨在全面提升云南省对极小种群野生植物认识水平和关注度,将极小种群拯救保护作为云南省生态文明建设的重要组成部分和亮点。

关键词:极小种群;野生植物;拯救保护;云南省

中图分类号:Q145.2;Q16 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0151-05

引文格式:郑进焜,蔡文婧,郑静楠,等.云南省极小种群野生植物拯救保护规划研究[J].林业调查规划,2024,49(1):151-155. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.026

ZHENG Jinxuan, CAI Wenjing, ZHENG Jingnan, et al. Rescue and Conservation Planning of Wild Plant Species with Extremely Small Populations in Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 151-155. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.026

Rescue and Conservation Planning of Wild Plant Species with Extremely Small Populations in Yunnan Province

ZHENG Jinxuan¹, CAI Wenjing¹, ZHENG Jingnan¹, LI Zhucun¹, QIN Yan¹, WANG Yong¹,
YU Changyuan¹, YANG Hua²,

(1. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China;
2. Yunnan Forestry and Grassland Administration, Kunming 650224, China)

Abstract: The 101 wild plant species with extremely small populations in the *Conservation List of Wild Plant Species with Extremely Small Populations in Yunnan Province* (2021 Edition) were selected to study the number and distribution of species, and summarize the effectiveness and existing problems of rescue and conservation. The conservation system and the scientific research management support system were planned and studied, and safeguard measures were proposed, aiming to comprehensively improve the awareness level and attention of the whole society to wild plant species with extremely small populations in the public, make the rescue and conservation of extremely small populations an important component and highlight of Yunnan Province's ecological civilization construction.

Key words: extremely small populations; wild plants; rescue and conservation; Yunnan province

收稿日期:2022-06-07;修回日期:2022-10-12.

第一作者:郑进焜(1981-),男,福建大田人,硕士,高级工程师.从事植物学、林业调查规划、生物多样性保护与自然保护地研究工作.

Email:zjx3410@163.com

极小种群野生植物是指分布地域狭窄或呈间断分布,长期受到外界因素胁迫干扰,呈现种群退化和数量持续减少,种群(population)及个体(individual)数量均极少,已低于稳定存活界限的最小生存种群(MVP),随时濒临灭绝的野生植物种类^[1-5]。极小种群野生植物是受到强烈人为干扰,在自然界中濒临高度灭绝风险,亟需优先开展抢救性保护的植物类群。云南是中国植物种类最丰富的省区,在中国生物多样性保护行动计划中占有举足轻重的地位,是中国生物多样性保护的关键地区之一^[6-7]。云南省于 2005 年率先提出“野生动植物极小种群保护”概念,并最早制订了极小种群物种保护规划、紧急行动计划及实施方案。以《云南省极小种群野生植物保护名录(2021 版)》^[8]的 101 个物种为规划研究对象,分析物种数量与分布现状,总结拯救保护成效与存在问题,从保护体系和科研管理支持体系两大领域进行规划研究,全面提升云南省对极小种群野生植物认识水平和关注度,营造良好的社会氛围,将极小种群拯救保护作为云南省生态文明建设的重要组成部分和亮点。

1 极小种群野生植物物种现状

为深入推进“十四五”期间云南省极小种群野生植物拯救保护工作,最终确定了《云南省极小种群野生植物保护名录(2021 版)》野生植物 101 个种。该名录收录了原 62 种极小种群野生植物中的 22 种,新增 79 种,包括蕨类植物 4 科、4 种,裸子植物 3 科、7 种,被子植物 44 科、90 种。其中国家Ⅰ级重点保护植物 12 种,国家Ⅱ级重点保护植物 37 种,有 69 种列入《中国高等植物受威胁物种名录》,包括 23 种极危(CR),25 种濒危(EN),6 种近危(NR),15 种易危(VU);83 种列入《云南省生物物种红色名录(2017 版)》,包括 26 种极危(CR),26 种濒危(EN),12 种易危(VU),56 种属于云南省特有,67 种属于中国特有。

依据目前初步掌握的资源数据,101 种极小种群野生植物中,野外株数在 10 株以下的有 15 种,野外株数在 11~100 株的有 35 种,野外株数在 101~1 000 株的有 43 种,野外株数超过 1 000 株的有 8 种。在野外只有 1 个分布点的有 38 种,野外仅存 2 个分布点的有 23 种,野外有 3~4 个分布点的有 22 种,野外有 5~9 个分布点的 17 种。

2 极小种群拯救保护取得成效

通过“十二五”和“十三五”期间的实践与探索,

云南省形成了一套较为完善的极小种群野生植物保护体系。

2.1 多元保护模式日益完善

云南省在开展专项调查的基础上,针对分布在自然保护地范围内、自然保护地外、分布区极为狭窄或生境极为特殊和分布点极少以及生境不断恶化导致物种生存和繁衍受到严重威胁的物种形成就地保护、近地保护、迁地保护、回归自然与种群重建等综合保护体系。

2.2 建立多渠道资金筹措机制

云南采取“科技支撑单位与基层林草部门”联合实施的方式,突破了过去单一靠政府预算的筹资方式,通过“政府、科研机构、非政府组织”合作,形成以科技为先导和支撑,以法制建设和资金投入为保障的资金筹措机制。

2.3 地方性立法是极小种群野生物种保护的法律基础

2018 年,云南省政府发布了《云南省生物多样性保护条例》,这是我国第一部生物多样性保护的地方性法规,其中极小种群野生物种保护概念得到强化。

3 极小种群拯救保护存在问题

3.1 本底资源不清

原省林业厅在 2011—2016 年基本查清云南省国家重点保护野生植物资源分布及栖息地现状^[10],为极小种群野生植物拯救保护实施奠定了基础。但由于缺乏对极小种群野生植物物种的专项调查,难以开展具有针对性的保护工作。在极小种群野生植物中,如独龙江空竹(*Cephalostachyum manni*)、贡山绿绒蒿(*Meconopsis smithiana*)、缅北山黑豆(*Dumasia prazeri*)、竹生羊奶子(*Elaeagnus bambusetorum*)、贡山菠萝蜜(*Artocarpus gongshanensis*)、喙果秋海棠(*Begonia rhynchoarpa*)、希陶木(*Tsaiodendron dioicum*)、大围山梧桐(*Firmiana dawuishanensis*)等 80 余种植物的野外种群数量和空间分布尚不清楚。

3.2 对物种的拯救保护认识不足

据云南省第二次国家重点保护野生植物资源调查结果显示,云南省野生动植物资源保护现状依然严峻。虽然云南省享有“植物王国”和“动物王国”的美誉,但长期以来,广大群众对于极小种群野生植物的认识不足,尚未认识到物种保护的重要性。对于尚未纳入自然保护地管护的物种,未明确具体的保护管理机构及责任人,或由地方林草部门代管,保护管理队伍的不稳定或专业知识的缺乏,导致野生

动植物种群及生境保护不到位;对于处在自然保护区内的野生植物的个体和种群,由于体制等方面的原因,保护管理人员数量不足,加之缺乏专业的保护知识和技能,保护工作仅停留在简单的看护方面,难以针对极小种群野生动植物制定科学的保护管理计划,采取切实有效的保护管理措施。

3.3 生境破碎化和人为干扰严重

随着经济发展和人口增加,人类对用地面积需求越来越大,破坏森林、围湖造田偶有发生,合理的经济植物种植导致原植物栖息地丧失和恶化。同时,受极小种群野生植物大多具有重要的经济价值,如提供优质的药材、木材和工业原料,或加工成优良的工艺品和观赏对象等。极小种群野生植物多分布于经济相对落后的边远地区,受经济利益的驱动,资源的可持续利用常被忽视,破坏野生植物资源的现象时有发生,如苏铁属、五裂黄连等野生植物因其独特的药用、观赏或材用价值被过度采挖利用,最终走向极度濒危甚至灭绝。

3.4 物种生理机能脆弱

极小种群野生植物物种在历史演化过程中,由于存在着某些脆弱的环节,如繁育系统缺陷、基因漂变或某些物种生物生态学的特化而依赖于单一特殊的环境条件,近代急剧变化的环境和特殊生境丧失,使其尚未产生新的变异去适应新环境而陷入濒危状态,甚至出现灭绝危险^[9],如高寒水韭(*Isoetes hypsophila*)、华盖木(*Pachylarnax sinica*)等。

3.5 基础研究不足

由于极小种群野生植物保护的技术难度大,真正在野外生境条件下所能采用的保护实用技术研究不足,各物种间的研究不平衡,特别是对许多极小种群野生植物的生理及生物学特性认识不够,物种保护及生境恢复等方面的实用科学技术短缺,科研成果推广应用不力。如对极小种群野生植物内在致濒机理的研究不够,导致在拯救保护工作中采取的技术路线不合理难以,阻碍了极小种群野生植物拯救保护工作的进度和难以达到预期成效。

4 极小种群拯救保护规划

4.1 指导思想与目标

4.1.1 指导思想与原则

坚持“加强保护、积极培育、大力恢复发展、促进可持续利用”的方针,以保护生物多样性和野生植物资源为目标,以科学研究和资源调查监测为基础,以构建多元化保护体系为抓手,强化物种和遗传

资源保护能力,逐步实现从拯救保护向纵深保护转变,为云南省生物多样性资源可持续利用、区域经济社会可持续发展和建设生态文明排头兵服务。规划以因地制宜与节约高效、目标明确与重点突出、科技引领与实干创新、政府主导与公众参与为主导原则。

4.1.2 总体目标

初步形成以科技为先导和支撑,以法制建设和资金投入为保障,以就地保护为基础,以迁地保护和近地保护为依托的保护体系。建设极小种群野生植物原生境小区(点)、近地保护基地和迁地保护专类园;对极小种群野生植物物种进行生境恢复,实现70%极小种群野生植物物种的近地、迁地保护及人工扩繁,40%极小种群野生植物物种的回归;积极消除或减缓物种致濒因素及其不利影响,实现极小种群野生植物种群数量的稳定、增长以及生境的改善;确保101个极小种群野生植物物种得到100%保护,基本构建拯救保护体系。

4.2 保护体系规划

4.2.1 就地保护规划

在原生境中保护目标物种,通过建立极小种群野生植物小区(点)、生境恢复等措施加强原生境中极小种群野生植物的保护。规划建立分布于保护地外的翼囊蕨(*Didymochlaena truncatula*)、高寒水韭、蓑衣油杉(*Keteleeria evelyniana* var. *pendula*)、粉背含笑(*Michelia glaucophylla*)、鼠刺含笑(*Michelia iteophylla*)、云南澄广花(*Orophea yunnanensis*)、疣叶暗罗(*Polyalthia verrucipes*)、文采木(*Wangia saccopetaloides*)、征镒木(*Wuodendron praecox*)、长瓣杓兰(*Cypripedium lentiginosum*)、格力兜兰(*Paphiopedilum gratrixianum*)、飘带兜兰(*Paphiopedilum parishii*)、文山兜兰(*Paphiopedilum wenshanense*)、洛氏蝴蝶兰(*Phalaenopsis lobbii*)、云南兰花蕉(*Orchidantha yunnanensis*)、瑞丽芭蕉(*Musa ruiensis*)、独龙江空竹、长果秋海棠(*Begonia longicarpa*)、喙果秋海棠(*Begonia rhynchocarpa*)、希陶木(*Tsaiodendron dioicum*)、毛紫薇(*Lagerstroemia villosa*)、红河橙(*Citrus hongheensis*)、大翼厚皮橙(*Citrus macroptera* var. *kerrii*)、富民枳(*Poncirus polyandra*)、白马芥(*Baimashania pulvinata*)、尾球木(*Urobotrya latisquama*)、八蕊单室茱萸(*Mastixia euonymoides*)、小萼柿(*Diospyros minutiseptala*)、匍枝粉报春(*Primula caldaria*)、马关报春(*Primula chapaensis*)、河口长梗茶(*Camellia hekouensis*)、富宁金花茶(*Camellia fascicularis*)、长果核果茶(*Pyrenaria oblongicarpa*)、钝头杜鹃(*Rhododendron*

farinosum)、朱红大杜鹃(*Rhododendron griersonianum*)、昭通杜鹃(*Rhododendron tsaii*)、红河素馨(*Jasminum honghoense*)、圆叶马铃苣苔(*Oreocharis rotundifolia*)、腺叶醉鱼草(*Buddleja delavayi*)、火焰兰(*Renanthera imschootiana*)等 40 个极小种群野生植物物种原生境小区(点),在强化科学管理的基础上,根据物种的生物生态学特性及生境特点,采取必要的措施重建或恢复其适宜生境。

4.2.2 近地保护规划

在滇西北、滇东南、滇南、滇西等生物多样性最为富集的地区,结合极小种群野生植物的分布区域,依托高黎贡山、白马雪山、哀牢山、元江、苍山洱海、铜壁关、药山、西双版纳、大围山、文山、驮娘江、黄连山等自然保护地,因地制宜规划建设近地保护基地 13 个,收集当地及周边对生境有高度依赖且分布狭窄的极小种群野生植物,规划近地、迁地保护的极小种群野生植物 72 种。

4.2.3 迁地保护规划

将大多数生存条件不复存在、种群数量极少、难以进行繁殖等的极小种群野生植物移入迁地保护基地,通过人工辅助措施,扩大物种种群。根据云南植物区系分区建设昆明植物园、昆明树木园、普文极小种群野生植物专类园、西双版纳极小种群专类园、高黎贡山极小种群野生植物保山专类园、高黎贡山极小种群野生植物怒江专类园、文山极小种群野生植物专类园、红河迁地保护与回归基地、瑞丽植物园、丽江高山植物园、曹洞林场、香格里拉高山植物园、香格里拉极小种群野生植物专类园等 13 个极小种群野生植物专类园,实现迁地保护极小种群野生植物 72 种。

4.2.4 种质资源收集保存规划

按照国际规范有效保存种子库、植物离体库、DNA 库、种质资源圃及信息库的研究体系和技术手段,保存个体数量可满足将来开展极小种群野生植物研究以及回归、再引种需要。在新建设的迁地保护专类园内,建设普文、高黎贡山、文山、红河、瑞丽、香格里拉等 6 个极小种群野生植物种质资源收集保育园。

4.2.5 种源培育

按照极小种群野生植物采集技术规范,根据种群大小、生物学特性、小生境状况等,采用混合采种的方式采集种子等繁殖材料,建立人工繁殖试验基地和开展种苗繁育,为近地保护、迁地保护和回归引种等提供繁殖材料。在新建设迁地保护专类园内,建设普文、高黎贡山、文山、红河、瑞丽、香格里拉等

6 个极小种群野生植物种苗繁育中心;选择 76 种极小种群野生植物物种进行人工扩繁与苗木培育。

4.2.6 物种回归

选择人工培植技术成熟、谱系清晰、多样性丰富、生长状态良好的极小种群野生植物,在原生地或与原生地生境状况相似的自然或半自然区域,开展种群回归试验,实现极小种群野生植物回归,增加物种野外种群数量,维持或恢复自然的生物多样性。规划选择云南穗花杉(*Amentotaxus yunnanensis*)、贡山三尖杉(*Cephalotaxus lanceolata*)、灰干苏铁(*Cycas hongheensis*)、蓑衣油杉、毛枝五针松(*Pinus wangii*)、囊花马兜铃(*Aristolochia utrififormis*)、滇南风吹楠(*Horsfieldia tetratelpala*)、云南肉豆蔻(*Myristica yunnanensis*)、亮叶木莲(*Manglietia lucida*)、卵果木莲(*Manglietia ovoidea*)、壮丽含笑(*Michelia lacei*)、茶果樟(*Cinnamomum chago*)、禄劝花叶重楼(*Paris luquanensis*)、贡山棕榈(*Trachycarpus princeps*)、长果姜(*Silicoum tonkinense*)、竹生羊奶子、喙核桃(*Annamocarya sinensis*)、长果秋海棠、喙果秋海棠、希陶木、毛紫薇、三裂槭(*Acer calcaratum*)、红河橙、大翼厚皮橙、富民枳、大围山梧桐、云南梧桐(*Firmiana major*)、景东翅子树(*Pterospermum kingtungense*)、版纳青梅(*Vatica xishuangbannaensis*)、八蕊单室茱萸、滇藏榄(*Diploknema yunnanensis*)、马关报春、云南金花茶(*Camellia fascicularis*)、富宁金花茶、钝头杜鹃、长梗杜鹃(*Rhododendron longipedicellatum*)、腺叶醉鱼草、无柄醉鱼草(*Buddleja sessilifolia*)等 38 种具有回归条件的极小种群野生植物进行人工培植并回归。

4.3 科研管理支撑体系规划

4.3.1 本底资源调查规划

掌握极小种群野生植物资源状况、生境特征以及受威胁因子,为极小种群野生植物拯救保护提供准确信息。针对 101 种极小种群野生植物,采用社区访谈和植物样方调查相结合的方法进行物种分布区、群落和种群调查,从物种群落学结构、生境调查和监测等方面,进一步掌握目的物种种群数量、空间分布、生境现状特征以及受威胁因子。

4.3.2 科研项目规划

探索极小种群野生植物致濒原因,掌握物种繁育技术,完善标准化体系建设,实现极小种群野生植物的科学管理和有效保护。开展 101 种极小种群野生植物保护生物学、繁殖生物学、种群动态和种间关系、物种生活史、保护遗传学、种质资源保存技术、人工繁育技术等方面的基础研究和综合保护研究;开展

极小种群野生植物保护标准制(修)定和实施,完善标准化体系建设;加强极小种群野生植物保护国家标准、行业标准和地方标准应用,实现保护全过程标准化管理,提升保护的质量和力度。

4.3.3 信息化平台建设规划

以《云南省数字林业总体建设方案》《云南省“十四五”数字林业规划》为引领,综合应用大数据、物联网、云计算、人工智能等新技术,全面推进全省极小种群野生植物综合管理数字化、拯救保护智能化、回归基地管理智慧化建设,初步建成云南省极小种群野生植物监测框架体系,基本实现极小种群野生植物资源监测管理高效化、精准化。

4.3.4 人才队伍建设规划

努力提高各基层单位林草技术人员相关保护管理水平和专业技术技能,熟练掌握极小种群野生植物的保护管理及调查、监测方法等技能;培养一批具有专业水平的管护人员;加强与国内外有关科研机构、高等院校(校)合作交流,建立项目合作与信息交流平台,引进先进的科学技术和物种管理经验,培养一批极小种群野生植物拯救保护方面的专业人才;对极小种群分布区域的社区人员进行培训,提高公众对保护极小种群野生植物和保护生态环境的意识,提升拯救保护的公众参与度,使极小种群野生植物得到确实有效的保护。

5 极小种群拯救保护保障措施

5.1 组织保障

各级党委和政府要重视极小种群野生植物拯救保护工作,建立健全保护管理机构,做到责任到位、政策到位和工作到位。各级政府尤其是职能部门应提高对极小种群野生植物保护的重要性和紧迫性的认识,加强与发展改革、财政、自然资源、农业农村、生态环境等部门的沟通协调,解决规划实施过程中跨部门、跨行业、跨地区的重大问题。

5.2 法规保障

严格执法和加强法制建设是极小种群野生植物保护的重要保证。一是修改和完善《云南省自然保护区管理条例》,同时尽快制定并颁布《云南省野生植物保护条例》,重新修订和公布《云南省重点保护野生植物名录》。二是严格执行《森林法》《种子法》《自然保护区条例》《野生植物保护条例》《环境保护法》等国家法律法规,以及《云南省珍贵树种保护条

例》《云南省自然保护区管理条例》等地方性法规。

5.3 政策保障

各级政府和职能部门应明确极小种群野生植物保护管理目标和落实责任主体,实施单位要加强合作与交流,建立保护管理目标责任制,出台规范管理政策,为规划实施营造良好氛围,将极小种群野生植物拯救保护工作作为地方考核责任清单。

5.4 资金保障

各级政府和林草管理部门积极争取中央预算内专项资金投入,确立以政府投入为主体的投资渠道,各级政府应将其纳入公共财政预算,并广泛吸纳社会资金,不断增加资金投入力度。优先安排极小种群野生植物国家级就地保护点巡护道路、通讯线路、防护围栏等基础设施建设费用,对极小种群野生植物管护、监测、森林防火和病虫害防治等方面的经费给予重点倾斜。同时,在资金管理方面,认真贯彻国家关于资金使用管理的各项规定,保证资金真正用于物种拯救保护,充分发挥资金的使用效益。

参考文献:

- [1] IUCN. 生物多样性公约指南[M]. 北京:科学出版社, 1997:13.
- [2] SILVERTOWN J, CHARLESWORTH D. 简明植物种群生物学[M]. 李博,董慧琴,陆建忠,等译. 北京:高等教育出版社,2003.
- [3] 祝廷成,钟章成,李建东. 植物生态学[M]. 北京:高等教育出版社,1998.
- [4] 黎德丘,彭定人. 广西极小种群野生植物保护对策探讨[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(30):14806-14807.
- [5] 郑进烜,华朝朗,陶晶,等. 云南省极小种群野生植物拯救保护现状与对策研究[J]. 林业调查规划, 2013, 38(4):61-66.
- [6] 郭辉军. 努力提高极小种群物种拯救保护水平[J]. 云南林业, 2011, 32(6):8-9.
- [7] 贺佳飞. 极小种群物种拯救保护云南在行动[N]. 云南经济日报, 2011-11-4(A04).
- [8] 孙卫邦. 云南省极小种群野生植物保护名录[M]. 2021版. 昆明:云南科技出版社, 2021.
- [9] 孙卫邦,杨静,刀志灵. 云南省极小种群野生植物研究与保护[M]. 北京:科学出版社, 2019.
- [10] 郑进烜,杨焱焱,郑静楠,等. 云南省第二次重点保护野生植物资源调查研究[J]. 林业调查规划, 2022, 47(2):70-76.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.027

松华坝水库天然林植物多样性调查研究

夏嘉禹¹, 刘强¹, 吴训锋¹, 唐宗英¹, 王博轶¹, 赵亚玲², 和丽华³

(1. 云南林业职业技术学院, 云南 昆明 650224; 2. 云南云绪林业规划管理有限公司, 云南 昆明 650500;
3. 哈巴雪山省级自然保护区管护局, 云南 迪庆 674499)

摘要: 根据松华坝水库天然林群落的不同海拔梯度以及不同坡向设置 36 个典型样方进行调查。对松华坝水库物种组成、种子植物区系、群落各层次物种的重要值以及植物多样性进行分析。结果表明: 调查到维管植物 300 种; 乔木层云南松种群占绝对优势; 水库天然林从乔木到灌木再到草本, 植物多样性水平递增; 随着海拔的上升, 植物多样性水平先升高再降低; 从阳坡到半阴坡再到阴坡, 植被多样性水平先升高再降低。

关键词: 松华坝水库天然林群落; 物种组成; 种子植物区系; 植物多样性

中图分类号: S718.551; Q16 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0156-07

引文格式: 夏嘉禹, 刘强, 吴训锋, 等. 松华坝水库天然林植物多样性调查研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 156-162.
doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.027

XIA Jiayu, LIU Qiang, WU Xunfeng, et al. Plant Diversity of Natural Forest in Songhuaba Reservoir[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 156-162. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.027

Plant Diversity of Natural Forest in Songhuaba Reservoir

XIA Jiayu¹, LIU Qiang¹, WU Xunfeng¹, TANG Zongying¹, WANG Boyi¹,
ZHAO Yaling², HE Lihua³

(1. Yunnan Forestry Technological College, Kunming 650224, China;
2. Yunnan Yunxu Forestry Planning and Management Co., Ltd., Kunming 650500, China;
3. Administration of Haba Snow Mountain Nature Reserve, Deqen, Yunnan 674499, China)

Abstract: According to different altitude gradients and slope directions of natural forest communities in Songhuaba Reservoir, 36 typical plots were set up for investigation. The species composition, plant flora, importance values of species at all levels of the community, and plant diversity of Songhuaba Reservoir were analyzed. The results showed that 300 species of vascular plants were investigated; the *Pinus yunnanensis* population in arbor layer was absolutely dominant; the level of plant diversity of natural forest in Songhuaba Reservoir increased from arbor layer to shrub layer and then to herb layer; with the increase of altitude, the level of plant diversity first increased and then decreased; from sunny slope to semi shady slope and then to shady slope, the level of vegetation diversity first increased and then decreased.

Key words: natural forest communities in Songhuaba Reservoir; species composition; seed plant flora; plant diversity

收稿日期: 2022-07-01.

基金项目: 云南林业职业技术学院校级科研项目(KY(QN)202115).

第一作者: 夏嘉禹(1990-), 男, 山西太原人, 硕士, 助教. 主要从事森林植物教学工作.

责任作者: 刘强(1980-), 男, 甘肃定西人, 博士, 教授. 主要从事生物多样性和兰科植物的教学和科研工作.

城市森林的植物多样性是维持城市森林多重生态系统服务功能的必要条件^[1]。较高的城市植物多样性能够提供更丰富的休闲功能和空气净化功能。居民也可以从多样的城市树木中获得更高的幸福感,例如从中收获更多样的食物种类等,同时也可以发挥科研教学、科普教育等作用。社会和经济指标也显示人类的幸福指数和生活质量随着城市生物多样性的提高而得到提升^[1]。植物多样性高的城市森林可以持续地提供更为多样和稳定的生态服务功能。城市居民对城市森林生物多样性的偏爱高于对其所能提供的休闲、娱乐等用途的期望^[1]。

松华坝水库是昆明市工业农业生产和城市居民的主要水源。目前,很多学校和科研机构均开展过松华坝水库水源涵养林调查及科研工作,对松华坝水库水源涵养林的管护措施以及生态修复措施等有过一些报道^[2-6]。2009年陈木亮以松华坝水库为研究对象,通过分析其天然林森林群落的演替过程、物种多样性等因素来评价水库天然林健康状况^[7],但对松华坝水库天然林植被群落多样性在空间分布格局的系统研究较少。因此,开展对松华坝水库天然林植物群落多样性在乔木层、灌木层和草本层变化情况的调查研究,并分析不同海拔以及坡向对多样性的影响,为松华坝水库天然林群落的恢复和保护提供参考,为开展相关科学研究提供重要的数据。

1 研究地概况

松华坝位于昆明市东北方,地理坐标为 25°08'~25°27'N, 102°45'~102°59'E,属我国亚热带山地高原季风气候,年均温 12.6℃,最热月均温为 17.9℃,最冷月均温为 5.7℃,年较差 12.2℃,年降雨量 1 030.5 mm,属降雨量较为丰沛的区域,但季候分配不均,5—10月汇集了全年降雨量的 89%,冬春常因雨量少而干旱,全年干湿分明,季风气候特征显著。土壤类型主要为红壤。

2 研究方法

2.1 调查方法

2021年10月在松华坝水库消落带及以上 300 m 海拔梯度区域内设置固定样地,并在样地中选择代表性的天然林群落,使调查样地可以反映水库天然林群落特征,一般以高差 100 m 来划分高程^[8-10],在每个样地下部(1 960~2 000 m)、中部(2 000~2 100 m)、上部(2 100~2 200 m)各设置 1 条样线,共 3 条样

线,样线长度依实际情况而定,一般不小于 3 000 m,样方均设置在样线两侧各 20 m 内位置,各样方之间距离不小于 30 m,每个样线上设置 12 个 20 m×20 m 样方,每个样线 12 个样方中包括 4 个阳坡、4 个阴坡、4 个半阴坡,共设置 36 个样方。植被调查主要采集难鉴定的植物标本,测量和记录每个样方的坡度、坡向、坡位、经纬度、地形、外界干扰程度和海拔以及样方内植被的种类、个体数量、高度、胸径(基径)、盖度、冠幅、物候和生活力信息。

2.2 标本采集和物种鉴定

对样方内现场不能确定的物种收集标本于实验室进行分类鉴定,主要依据《中国植物志》等资料来进行鉴定。参考吴征镒(2006)的种子植物属分布区类型分析群落植物区系地理成分^[11]。

2.3 数据分析

2.3.1 重要值分析

物种重要值(IV)、相对密度(RD)、相对频度(RF)、相对优势度(RA)的计算公式为:

$$IV = (RD + RF + RA) / 3 \quad (1)$$

$$RD = \frac{\text{一个种的个体数}}{\text{全部种的个体总数}} \times 100 \quad (2)$$

$$RF = \frac{\text{一个种的频度}}{\text{全部种的频度之和}} \times 100 \quad (3)$$

$$RA = \frac{\text{一个种的胸高断面积之和或覆盖面积}}{\text{全部种的胸高断面积之和或样地面积}} \times 100 \quad (4)$$

2.3.2 多样性分析

植物的物种丰富度(S)、物种多度(P_i)、Pielou 均匀度指数(E)、Gleason 丰富度指数(D_{mg})、Shannon-Wiener 多样性指数(H_e')和 Simpson 优势度指数(D)计算公式为:

$$H_e' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (5)$$

$$P_i = n_i / N \quad (6)$$

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2 \quad (7)$$

$$P_i^2 = n_i(n_i - 1) / N(N - 1) \quad (8)$$

$$E = \frac{H_e'}{\ln S} \quad (9)$$

$$D_{mg} = \frac{S - 1}{\ln N} \quad (10)$$

式中: S 为样地中物种的丰富度,以数目表示; N 为样地中所有种的个体数量之和; n_i 为第*i*种的个体的数量; P_i 为第*i*种的多度比值。

采用 Microsoft Excel 2003 及 SigmaPlot 12.5 进行数据统计及图表制作。

3 结果与分析

3.1 植物种类组成

2021 年调查到松华坝水库天然林维管植物共计 300 种,隶属于 3 门 4 纲 44 目 90 科 227 属。其中,蕨类植物门 1 纲 2 目 13 科 16 属,裸子植物门 1 纲 1 目 2 科 3 属,被子植物门 2 纲 41 目 75 科 208 属。其中,被子植物门种类最多,为 278 种,占总数的 92.67%;蕨类植物门种类居中,为 18 种,占总数的 6.00%;最后是裸子植物门,为 4 种,占总数的 1.33%(表 1)。

表 1 松华坝水库天然林植物物种组成
Tab. 1 Species composition of natural forests in Songhuaba Reservoir

植物类群	科数	占科总数比例 /%	属数	占属总数比例 /%	种数	占种总数比例 /%
蕨类植物	13	14.44	16	7.05	18	6.00
裸子植物	2	2.22	3	1.32	4	1.33
被子植物	75	83.33	208	91.63	278	92.67
合计	90	100.00	227	100.00	300	100.00

3.2 种子植物区系特征

群落内有种子植物 77 科 211 属,属的地理成分中有 9 个类型 8 个亚型。世界分布型最多,有 86 属,占总属数的 40.76%;其次为热带分布型,有 70 属,占总属数的 33.18%,其中以泛热带分布为主,有 61 属,占总属数的 28.91%;温带分布型 55 属,占总属数的 26.07%,其中北温带分布 20 属,占总属数的 9.48%,北温带和南温带间断分布 13 属,占总属数的 6.16%。结果表明,构成该地区群落的植物区系以热带分布为主,但这一区系植物属水平上热带分布型和温带分布型比例相近,体现了松华坝水库南北植物区系交汇,种子植物区系总体上为亚热带性质,这一观点同昆明西山喀斯特地区种子植物区系研究结果相似^[12]。世界分布 86 属,泛热带分布 61 属,共 147 属,占总属数的 69.67%,这两种分布型中的物种多为次生阳性种,如牛膝属(*Achyranthes*)、相思树属(*Acacia*)、紫茎泽兰属(*Ageratina*)等,可以看出该群落受到一定程度破坏后,进入到较多的次生阳性物种。该区共发现 4 个中国特有属,分别为

马蹄香属(*Saruma*)、车前紫草属(*Sinojohnstonia*)、鹭鸶草属(*Diuranthera*)、刚竹属(*Phyllostachys*)(表 2)。

表 2 松华坝水库天然林种子植物区系统计
Tab. 2 Flora of seed plants of natural forests in Songhuaba Reservoir

序号	分布区类型	科数	占比 /%	属数	占比 /%
1	世界分布	31	40.26	86	40.76
2	泛热带分布	21	27.27	61	28.91
2-1	热带亚洲,大洋洲和热带美洲分布	1	1.30	1	0.47
2-2	热带亚洲,非洲和热带美洲分布	1	1.30	1	0.47
2S	以南半球为主的泛热带	1	1.30		
3	东亚及热带南美间断分布	2	2.60	3	1.42
5	热带亚洲至热带大洋洲分布	1	1.30	1	0.47
6d	南非分布	1	1.30	3	1.42
	热带分布(2-6d)	28	36.36	70	33.18
8	北温带分布	4	5.19	20	9.48
8-4	北温带和南温带间断分布	10	12.99	13	6.16
8-5	欧亚和南美洲温带间断分布	1	1.30	2	0.95
8-6	地中海区,西亚和东亚间断分布	1	1.30	1	0.47
10-3	欧亚和南非分布	1	1.30	1	0.47
12	地中海区,西亚至中亚分布	1	1.30	2	0.95
13	中亚分布			1	0.47
14	东亚分布			8	3.79
14SJ	中国—日本			3	1.42
15	中国特有			4	1.90
	温带分布(8-15)	18	23.38	55	26.07
	总计	77	100.00	211	100.00

3.3 天然林群落各层次物种的重要值

松华坝水库天然林群落乔木层优势种群的作用较明显,共调查到 23 种乔木,其中重要值在 10% 以上的就有 3 种,云南松种群占绝对优势,重要值达 32.27%,在调查样地中出现次数最多,株数最多,相对优势度和相对密度远远高于其他乔木,其次优势

种为旱冬瓜,重要值达 14.24%,虽然在样地中出现次数不多,株数不多,但胸径均较粗,可达 46 cm,华山松重要值 10.79%,这 3 种优势种的重要值之和达 57.30%,在其天然林群落中起着主导作用,控制群落的生境空间。在灌木层中,共调查到 46 种,比乔木层丰富度高,占优势地位的为小铁仔,重要值达

14.08%,在样地中出现次数最多,丛数最多,其余种重要值均在 10% 以下,呈现分散分布。在草本层中,共调查到 231 种,丰富度最高,占优势地位的是三花枪刀药,重要值达 4.80%,在样地中出现次数和丛数最多,其余种重要值均在 4.5% 以下,呈现零星分布(表 3)。

表 3 松华坝水库天然林群落各层次排名前十物种的重要值

Tab. 3 Importance values of the top ten species at different levels of natural forest communities in Songhuaba Reservoir

科名	属名	种名	相对频度 /%	相对优势度 /%	相对密度 /%	重要值 /%	层次
松科	松属	云南松 <i>Pinus yunnanensis</i>	23.30	34.48	39.04	32.27	乔木
桦木科	桤木属	旱冬瓜 <i>Alnus nepalensis</i>	13.59	21.48	7.64	14.24	乔木
松科	松属	华山松 <i>Pinus armandii</i>	15.53	5.70	11.15	10.79	乔木
松科	油杉属	滇油杉 <i>Keteleeria evelyniana</i>	3.88	14.98	7.10	8.65	乔木
壳斗科	青冈属	小叶青冈 <i>Cyclobalanopsis myrsinifolia</i>	8.74	9.01	7.94	8.56	乔木
壳斗科	柯属	白皮柯 <i>Lithocarpus dealbatus</i>	3.88	3.52	8.40	5.27	乔木
豆科	金合欢属	银荆 <i>Acacia dealbata</i>	6.80	3.33	3.28	4.47	乔木
壳斗科	栎属	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	2.91	2.31	4.28	3.17	乔木
山茱萸科	四照花属	头状四照花 <i>Cornus capitata</i>	1.94	2.16	2.29	2.13	乔木
胡桃科	胡桃属	核桃 <i>Juglans regia</i>	1.94	0.08	1.99	1.34	乔木
紫金牛科	铁仔属	小铁仔 <i>Myrsine african</i>	9.56	14.68	18.00	14.08	灌木
蔷薇科	火棘属	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	6.25	8.49	9.31	8.02	灌木
杨梅科	杨梅属	云南杨梅 <i>Myrica nana</i>	6.62	7.51	7.08	7.07	灌木
瑞香科	堇花属	细轴堇花 <i>Wikstroemia nutans</i>	5.88	7.90	6.61	6.80	灌木
杜鹃花科	越橘属	南烛 <i>Vaccinium bracteatum</i>	6.25	6.24	5.93	6.14	灌木
芸香科	花椒属	两面针 <i>Zanthoxylum nitidum</i>	5.15	6.93	5.93	6.00	灌木
马钱科	醉鱼草属	密蒙花 <i>Buddleja officinalis</i>	5.88	6.59	4.99	5.82	灌木
蔷薇科	梨属	杜梨 <i>Pyrus betulifolia</i>	6.99	5.90	4.38	5.76	灌木
忍冬科	荚蒾属	珍珠荚蒾 <i>Viburnum foetidum</i> var. <i>ceanothoides</i>	4.04	2.83	2.90	3.26	灌木
小檗科	小檗属	粉叶小檗 <i>Berberis pruinosa</i>	4.04	2.34	3.24	3.21	灌木
爵床科	枪刀药属	三花枪刀药 <i>Hypoestes triflora</i>	1.39	7.06	5.96	4.80	草本
鳞毛蕨科	鳞毛蕨属	黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	3.24	4.67	5.21	4.37	草本
菊科	蒿属	南艾蒿 <i>Artemisia verlotorum</i>	2.93	2.11	3.46	2.83	草本
唇形科	香薷属	野拔子 <i>Elsholtzia rugulosa</i>	2.00	2.55	2.54	2.36	草本
菊科	鬼针草属	鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	2.62	1.39	2.98	2.33	草本
荨麻科	蝎子草属	蝎子草 <i>Girardinia diversifolia</i> subsp. <i>suborbiculata</i>	1.85	2.30	2.85	2.33	草本
禾本科	求米草属	竹叶草 <i>Oplismenus compositus</i>	1.85	2.36	2.73	2.31	草本
蔷薇科	悬钩子属	凉山悬钩子 <i>Rubus fockeanus</i>	2.31	1.83	1.94	2.03	草本
薯蓣科	薯蓣属	黄独 <i>Dioscorea bulbifera</i>	2.93	1.48	1.44	1.95	草本
荨麻科	冷水花属	冷水花 <i>Pilea notata</i>	0.77	1.58	2.20	1.52	草本

3.4 天然林植物多样性分析

3.4.1 天然林群落各层次的植物多样性

松华坝水库天然林植物多样性在群落各层次的变化如图 1。

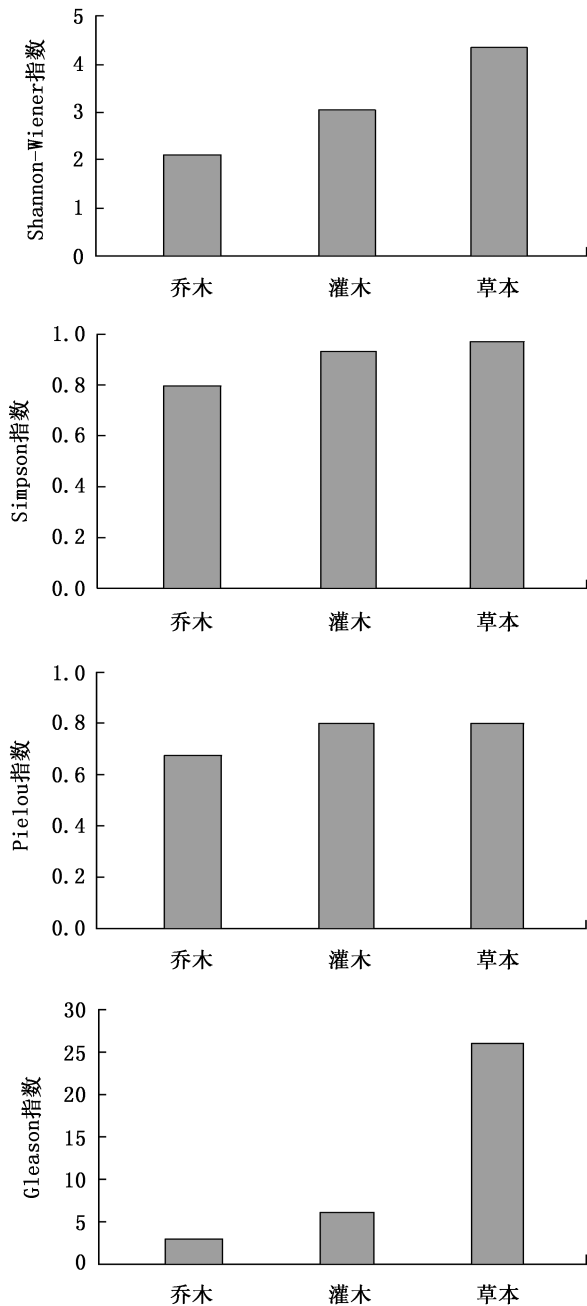


图 1 天然林群落各层次物种多样性指数

Fig. 1 Species diversity index of arbor layer, shrub layer and herb layer

从图 1 看出,相对于乔木层和灌木层,草本层的 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数和 Gleason 指数均较高,为 4.363、0.969、0.802、26.089,

说明草本层中物种数量最多,而且物种分配较均匀,共有 67 科 176 属 231 种,而乔木层和灌木层 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数和 Gleason 指数均较低,分别为 2.113、0.797、0.674、3.079 和 3.064、0.931、0.800、6.160,说明其物种数量较少,分别为 12 科 20 属 23 种和 27 科 39 属 46 种。

3.4.2 天然林垂直分布植物多样性

依据不同海拔记录的物种数据可以看出,海拔 1 900~2 000 m,处于松华坝水库消落带上,在 3 个梯度中位置最低,其 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数均较低,分别为 4.006、0.957、0.797,说明此海拔区间物种数量较少,而且物种分配不均匀,调查到 152 种。海拔 2 000~2 100 m,处于 3 个梯度中段,其 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数和 Gleason 指数均较高,分别为 4.432、0.980、0.879、19.476,说明此海拔区间物种数量最多,调查到 155 种。海拔 2 100~2 200 m,处于 3 个梯度最高位置,其 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数居中,分别为 4.143、0.971、0.825,说明此海拔区间物种的数量较多,调查到 152 种(图 2)。

3.4.3 天然林不同坡向的植物多样性

依据不同坡向记录的物种数据可以看出,在阳坡上,其 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Gleason 指数均较低,分别为 4.245、0.974、17.699,体现了松华坝水库阳坡物种数量较少,调查到 145 种。在半阴坡上,其 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数和 Gleason 指数均较高,分别为 4.477、0.978、0.858、23.074,体现了半阴坡物种数量最多,而且物种分配均匀,调查到 184 种。在阴坡上,其 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Gleason 指数居中,分别为 4.286、0.975、20.860,体现了阴坡物种数量较多,调查到 170 种(图 3)。

4 结论与讨论

1) 调查到样地中维管植物 3 门 4 纲 44 目 90 科 227 属 300 种,被子植物种类最多,蕨类植物次之,裸子植物种类最少,种类较多的科有蔷薇科、豆科、菊科等。该地植物区系隶属 9 个类型 8 个亚型,该区共发现 4 个中国特有属,分别为马蹄香属、车前紫草属、鹭鸶草属和刚竹属。从松华坝水库天然林群落重要值来看,乔木层优势种群的作用较明显,云南松种群占绝对优势,重要值达 32.27%,其次优势种群为旱冬瓜,重要值达 14.24%;灌木层占有优势地

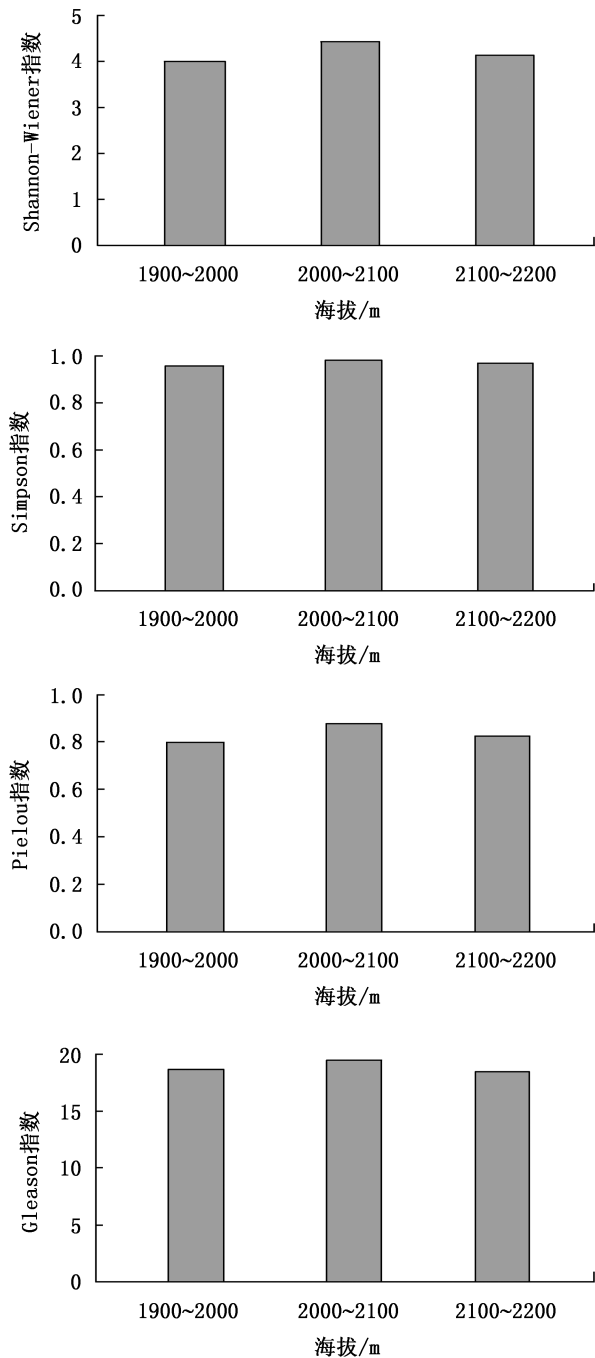


图 2 不同海拔物种多样性指数

Fig. 2 Species diversity index at different altitudes

位的是小铁仔,重要值达 14.08%;草本层植物种类最多,丰富度最高,占优势地位的是三花枪刀药,重要值达 4.80%,其他种呈零星分布。从松华坝水库天然林群落各层次物种的分布格局来看,草本层中物种数量最多,而且物种分配较均匀,乔木层和灌木层物种数量较少,总体上松华坝水库 3 个群落层次多样性差距较大,说明群落结构较为完整,草本层物种多样性水平较高。

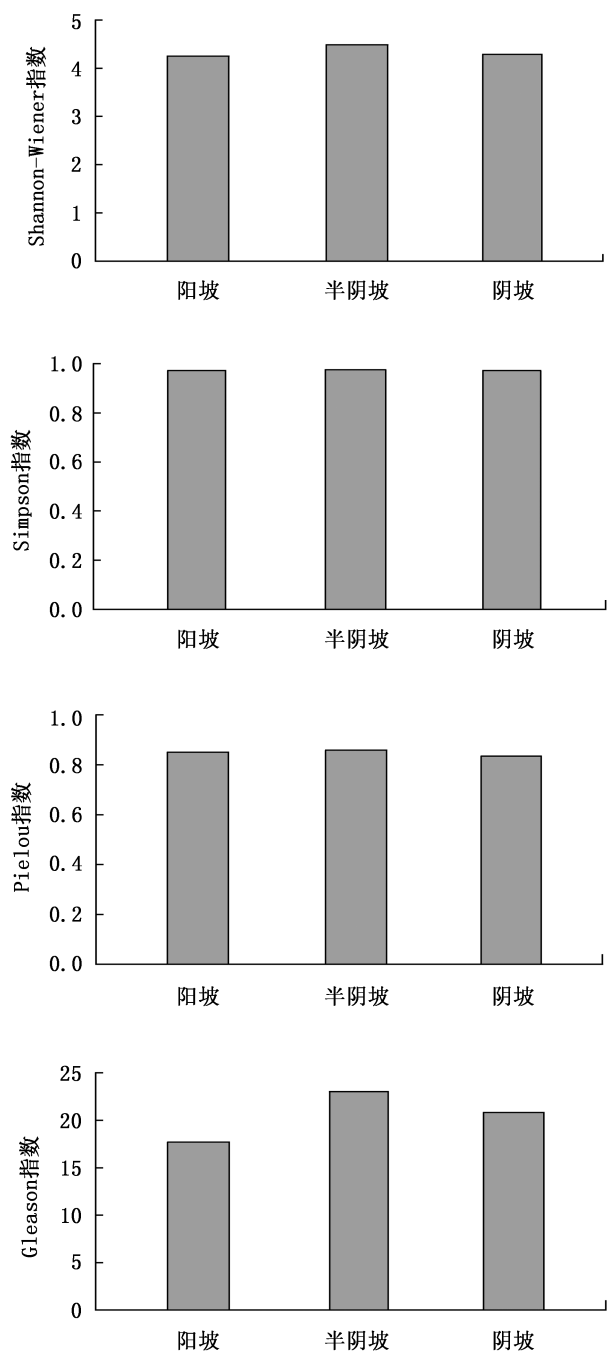


图 3 不同坡向物种多样性指数

Fig. 3 Species diversity index in different slope directions

2) 植被多样性在不同海拔梯度的变化情况为随着海拔的上升,植物多样性水平先上升再降低,水库海拔 2000~2100 m 和 2100~2200 m 植物多样性水平高于海拔 1900~2000 m,是由于低海拔水库消落带受到水淹的影响,导致群落物种尤其是草本植物生长受到干扰,植物多样性水平低,这与王业春等^[13]对三峡库区腹地忠县消落带植被的研究结果基本一致。决定湿地植被空间分布格局的主导因子

之一是水文机制^[14],处于不同海拔区段的植物所受的水淹胁迫程度不同,植物群落的分布格局及物种组成也有所差异,一般认为,植物受水淹胁迫程度越大,其植物多样性就越低^[15-16]。松华坝水库海拔 1 900~2 000 m 部分地区由于受到水淹胁迫,大部分植物为耐水湿植物或是生长快速的入侵物种,如银荆、紫茎泽兰等。水库海拔 2 000~2 100 m 由于基本未受到水淹,群落结构稳定,水分光照充足,因此植物多样性水平较高,海拔 2 100~2 200 m 基本在山脊上坡,虽然未受到水淹,但相对干旱,水分不足,因此多样性也较低。总体上看松华坝水库 3 个海拔梯度物种多样性差距不大。

3) 植物多样性在不同坡向的变化情况为从阳坡到半阴坡再到阴坡,植物多样性水平先升高再降低,阴坡和半阴坡植物多样性水平高于阳坡,阳坡虽然光照充足,但是水分不足,较为干旱,多为比较耐旱的针叶植物,如云南松、滇油杉等。总体上看 3 个坡向物种多样性差距不大。

致谢:在外业调查工作中得到昆明市盘龙区农林局等部门工作人员,云南林业职业技术学院老师以及叶胜、李玉学、林爽等学生的支持,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 闫蓬博. 中国城市树种多样性评价及树种规划研究[D]. 北京:北京林业大学,2019.
- [2] 张建林,施永生. 松华坝水库水源保护区的生态修复技术探讨[J]. 云南化工,2006,33(4):47-49.
- [3] 范夔夔,段顺琼,张琴. 昆明市松华坝水库饮用水源地保护措施[J]. 区域治理,2019:111-113.
- [4] 李雯,王富林. 昆明市松华坝水源保护区存在问题与对策[J]. 安徽农学通报,2012,18(7):147-148.
- [5] 赵忠琼,陈红书. 松华坝水库水源保护区污染现状及整治对策建议[J]. 环境科学导刊,2011,30(6):40-44.
- [6] 胡建芳,裴宗阳,陈建中,等. 松花坝水源林分土壤理化特性研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2011,31(4):302-307.
- [7] 陈木亮. 昆明市松华坝水源保护区天然林森林健康评价研究[D]. 昆明:西南林业大学,2009.
- [8] 喻庆国,亢新刚,曹顺伟,等. 云南糯扎渡自然保护区植被空间分异研究[J]. 西北林学院学报,2007,22(2):11.
- [9] 喻庆国,曹顺伟,邓喜庆,等. 云南糯扎渡自然保护区植被垂直分布研究[J]. 林业科技开发,2006,20(4):48.
- [10] 喻庆国,亢新刚,曹顺伟,等. 云南糯扎渡自然保护区植被沿坡向空间分异研究[J]. 福建林业科技,2007,34(1):10.
- [11] 吴征溢,孙航,彭华,等. 种子植物分布区类型及其起源和分化:第 1 版[M]. 昆明:云南科技出版社,2006.
- [12] 段华超,李双智,茶晓飞,等. 昆明西山喀斯特地区种子植物区系研究[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2020,49(3):383.
- [13] 王业春,雷波,张晟. 三峡库区消落带不同水位高程植被和土壤特征差异[J]. 湖泊科学,2012,24(2):206-212.
- [14] 孙鹏飞,沈雅飞,王丽君,等. 三峡库区秭归段水位消落带草本植物多样性分析[J]. 林业科学研究,2020,33(6):103.
- [15] 孙荣,陈忠礼,张跃伟,等. 三峡水库消落带植物群落组成及物种多样性[J]. 生态学杂志,2011,30(2):208-214.
- [16] 刘维璋,王杰,王勇,等. 三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异[J]. 生态学报,2012,32(17):5454-5466.

责任编辑:杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.028

植物内生真菌生防作用研究进展

白娜娜¹, 姜海燕¹, 狄佳麟²

(1. 内蒙古农业大学林学院, 内蒙古呼和浩特 010018;
2. 内蒙古农牧业研究院蔬菜花卉研究所, 内蒙古呼和浩特 010031)

摘要: 通过查阅文献资料分析总结近年来国内对植物内生真菌生防作用的最新研究进展。结果显示, 内生真菌广泛分布在健康植物各个组织、器官内, 在与植物经历协同进化后, 可形成与宿主植物相同或类似的活性产物, 其种类丰富多样, 具有抑制病原菌生长、杀死植食性昆虫以及促进宿主植物生长等生防作用。基于现阶段研究中存在的不足, 提出未来的研究趋势, 以期新型生防菌剂的开发和利用提供参考。

关键词: 内生真菌; 代谢产物; 生防作用; 宿主植物

中图分类号: S718.512.2; S718.81; S476 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0163-04

引文格式: 白娜娜, 姜海燕, 狄佳麟. 植物内生真菌生防作用研究进展[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 163-166.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.028

BAI Nana, JIANG Haiyan, DI Jialin. Advances on Biocontrol Effects of Endophytic Fungi in Plants[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 163-166. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.028

Advances on Biocontrol Effects of Endophytic Fungi in Plants

BAI Nana¹, JIANG Haiyan¹, DI Jialin²

(1. Forestry College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2. Institute of Vegetables and Flowers, Inner Mongolia Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China)

Abstract: This paper summarized and analyzed the latest domestic research progress on the biocontrol effects of endophytic fungi in plants in recent years through literature review. The results showed that endophytic fungi were widely distributed in various tissues and organs of healthy plants, and could form the same or similar active products with host plants after undergoing coevolution with plants, which were diverse and had biocontrol effects such as inhibiting the growth of pathogens, killing herbivorous insects, and promoting the growth of host plants. Based on the analysis for the existing shortcomings in the current research, this paper proposed future research trends in order to provide reference for the development and utilization of new biocontrol agents.

Key words: endophytic fungi; metabolites; biocontrol effect; host plant

植物内生真菌(endophytic fungi)是指真菌生活史的某一部分或全部寄生于健康植物的组织、器官

内,但不导致宿主植物表现出显著病症^[1-2]。这类真菌在植物根、茎、叶、花、果、种子内广泛分布^[3-4]。

收稿日期:2022-07-25;修回日期:2022-10-09.

基金项目:阿鲁科尔沁旗生物多样性专项调查与保护规划服务项目(AQJYZX-2018TP047-FW).

第一作者:白娜娜(1998-),女,内蒙古赤峰人,硕士.研究方向为森林病理学. Email:1554108298@qq.com

责任作者:姜海燕(1975-),女,内蒙古巴彦淖尔人,博士,副教授.研究方向为从事森林病理学和菌物分类研究. Email:jhydlm@126.com

关于植物内生真菌的起源可以追溯到 19 世纪中期,从 1866 年 Anton 等首次观察到健康植物细胞间隙中生活着某些微生物^[5],到 1886 年“植物内生菌(endophytic)”一词的提出^[6],再到 1898 年黑麦草种子中分离出第一株内生真菌^[7],这标志着对植物内生真菌领域探索的开端。直到 1993 年, Sterile 等^[8-9]从短叶紫衫的韧皮部分离得到 *Taxomyces andreae*,通过研究其次级代谢物,发现该菌可以产生紫杉醇类抗癌物质。自此之后,国内学者将研究重点从植物转移到相关的植物内生真菌,从而揭开了对植物内生真菌及其代谢产物的研究序幕。植物内生真菌在与宿主植物长期共存的过程中,形成一种特殊的关系,从而产生与宿主植物相同或类似的代谢产物,具有抑制病原菌生长、杀死植食性昆虫以及促进宿主植物生长等生防作用。植物内生真菌及其代谢产物的研究可以缓解植物开发利用的压力,为植物自然更新恢复提供保障,且其具有成为新型生防菌剂的潜力,将有效解决过度使用农药导致的植物病虫害耐药问题。因此,对植物内生真菌及其代谢产物的抑菌、杀虫、促生 3 个方面进行归纳总结,并分析现阶段研究的不足和未来的发展方向,以期新型生防菌剂的开发和利用提供参考。

1 植物内生真菌的抑菌作用

植物内生真菌可以通过与病原菌竞争生存空间、破坏细胞膜完整性、降解细胞壁等方式影响病原菌菌丝的生长,从而达到抑菌效果。抑菌机制的研究有助于探索植物内生真菌及其代谢产物抑菌的关键靶标位点,为开发微生物资源提供重要参考。

1.1 与病原菌竞争生存空间

孙凯^[10]利用 GFP 标记法,将枫香拟茎点霉侵染水稻根部全过程可视化,实验结果显示:接种 12 h 枫香拟茎点霉侵入水稻根表;7 d 在根表形成菌丝网络;14 d 开始进入表皮层。闫思远^[11]利用 GFP 标记的枸杞内生真菌 NQ8GII4 转化子,将其发酵液灌溉处理枸杞植株,研究结果明确了 NQ8GII4 菌株在枸杞根茎叶中定植情况及对枸杞促生抗病的影响。

1.2 破坏细胞膜完整性

王永刚等^[12-13]从白毛蛇中分离出一株内生真菌,并将其鉴定为链格孢,经研究该菌发酵提取物(B06e)对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的细胞膜完整性有较大影响,试验结果表明,经过 B06e 处理后,病原菌细胞膜表面变得粗糙异常,细胞膜出现大

量塌陷,致使细胞外界物质的大批量流入与细胞质等内源物质的大批量外泄,导致菌体细胞的渗透压和代谢调控系统发生紊乱,最终菌体丧失生命活力,达到抑菌效果。

1.3 降解细胞壁

陆洁森等^[14]通过扫描电镜观察西红柿球茎腐烂病菌丝形态,发现拮抗菌株 CS05 菌丝能产生 β -1,3-葡聚糖酶与几丁质酶,使病原菌胞外 AKP 含量增加,菌丝稀疏、皱缩。王亚楠等^[15]发现柳珊瑚链格孢属共附生真菌 WZL003 发酵液的乙酸乙酯提取物中存在抑菌活性较强物质,试验结果发现该萜醌类化合物能损伤鳗弧菌的细胞壁。

2 植物内生真菌的杀虫作用

植物内生真菌可以通过产生生物碱等含毒素物质,减少昆虫对植物的取食,甚至引起昆虫拒食,此外,植物内生真菌还可以通过与昆虫进行能源竞争和影响昆虫产卵等生殖,从而起到抗虫、杀虫的作用^[16]。

2.1 产生毒素

茉莉酮酸甲酯是能促进植物抵抗昆虫取食的植物激素^[17],利用外源使用茉莉酮酸甲酯模拟植食性昆虫的危害。何雅丽等^[18]发现内生真菌侵染的醉马草与未侵染的醉马草相比,植物代谢物明显降低,进而降低醉马草的适口性,削弱了植食性昆虫取食,提高了植物自身防御能力,试验结果表明,茉莉酮酸甲酯对内生真菌侵染的醉马草抗虫性有增益效果。秦俊华等^[19]以羽茅为试验材料,利用茉莉酮酸甲酯模拟食草昆虫的取食,对比感染内生真菌和不染内生真菌的羽茅形态指标和生理指标的区别,试验结果发现, MJ 可以抑制羽茅地上部分生长,提高其防御物质总酚和木质素含量,同时降低蚜虫种群数量。

2.2 影响昆虫生殖

孙艺昕等^[20]研究玉米内生真菌菌株 YB8、GX5、YB15、YC1 对玉米蚜幼虫历期、产雌历期、产雌量、死亡时间等指标影响,试验结果显示,玉米内生真菌对蚜虫生长繁殖存在不利影响,玉米蚜虫表现出趋避现象。常燕等^[21]选取夹竹桃根、茎、叶分离内生真菌为试验材料,测定其抗虫活性,结果表明,内生真菌有不同程度的杀虫活性,其中包括对幼虫的触杀活性。

3 植物内生真菌对宿主植物的促生作用

植物内生真菌能通过促进营养元素的吸收、植

物激素的干预和增加光合作用等方式,促进宿主植物的生长。任锡跃等^[22]研究发现,滇重楼内生真菌能产生不同程度的吲哚乙酸,促进宿主植物生物量的积累,其中木霉菌(8-6)可以明显提高滇重楼幼苗的光合能力;人参生柱隔孢(8-13)促进了糖苷类物质含量的积累,研究为植物内生真菌提高寄主植物生长提供理论参考。

3.1 营养元素的吸收

氮、磷、钾是植物正常生长所需大量元素,但植物能直接利用的效率低,甚至很难直接吸收。杨刚等^[23]采用溶磷圈法和钼锑抗比色法筛选糜子内生真菌溶磷活力,通过盆栽试验选出目标菌株 GM3,其具有良好的溶磷促生作用。朱静等^[24]从千年桐根茎叶分离筛选内生真菌,得到具有较强溶磷活性的菌株青霉属和嗜热真菌属。詹寿发等^[25]以芒萁为试验材料,从中分离并筛选出具有溶磷、解钾、分泌吲哚乙酸(IAA)功能的内生真菌,得到菌株 MQ013、MQ039,与此同时测试对玉米幼苗生长的影响,结果表明,这两株内生真菌均具有明显的促进作用。据宋欢等^[26]研究,内生真菌 NS33、NS6 拥有分泌铁载体、吲哚乙酸和溶磷等能力,对雷公藤种子萌发等形态指标有显著促进作用。刘军等^[27]从檀香内生真菌中筛选具有促生效果的内生真菌,其中内生真菌 *Monilia* sp. TXRF45 既具溶磷活性,又能产生 IAA 和铁载体,该菌能稳定生存在檀香体内,并持续发挥其促生作用。

3.2 植物激素的干预

张集慧等^[28]从兰科药用植物中筛选出能产生不同程度的赤霉素、吲哚乙酸、脱落酸、玉米素、玉米素核苷 5 种植物激素的内生真菌。陈科霖等^[29]从金线莲的根、茎、叶中分离内生真菌,并分析优良菌株产吲哚乙酸(IAA)的特性。内生真菌聚多曲霉 *jdqmzz-1* 来自华重楼,杨涛等^[30]利用 LC-MS 鉴定出该菌主要具有玉米赤霉烯酮、甜菜碱和对硝基苯酚等促生活性物质,能够有效地促进华重楼的生长。

3.3 增加光合作用

鲍根生^[31]研究发现禾草源内生真菌寄生马先蒿后,马先蒿叶片的气孔导度等显著降低,胞间二氧化碳浓度明显增加。贾彤等^[32]对比是否感染内生真菌的羽茅形态和生理的区别,结果发现,感染两种内生真菌的羽茅二氧化碳浓度显著高于未染菌羽茅。狄佳麟等^[33]通过盆栽试验发现,菌株 SDYS63(三线镰刀菌 *Fusarium tricinctum*)对沙地云杉种子萌发率、株高、地径等形态指标均有提高;总

叶绿素、可溶性蛋白、丙二醛浓度等生理指标皆有显著提高。谢佳伟等^[34]研究结果发现,内生真菌云烟 87 发酵液浇灌的烟苗,在鲜质量、根鲜质量、地上部鲜质量等形态指标方面均有不同程度的增加。

4 存在问题与展望

植物内生真菌是一类具有研发潜能的微生物资源。目前国内对植物内生真菌的分离技术已经十分娴熟,大量研究显示,内生真菌具有促进宿主生长、防治病虫害以及抗非生物胁迫等作用,且室内效果明显。因此,应对植物内生真菌进行更加深入全面的研究。截至目前,对内生真菌的研究还存在不足,未来很长一段时间将处于发展阶段,可从 4 个方面加大研究力度:内生真菌的接种形态存在持久性考验;内生真菌代谢产物尚不能大量分离纯化;缺少对内生真菌遗传组学的研究;室内内生真菌作用良好,但林地或农田研究存在空白。

植物内生真菌分布在大多数高等植物体内,利用与宿主协同进化所形成的特殊关系,不仅有利于进一步开发利用内生真菌的生防作用,而且对提高植物抗性,促进植物自然更新恢复有一定帮助。未来的工作将会继续重视内生真菌代谢产物的分离提取、代谢遗传性、室外试验,致力于开发新型生物菌剂,同时培育高品质、高抗性、高遗传的转基因良种,此外,通过创新开辟植物内生真菌新领域。综上所述,以了解内生真菌与宿主植物的共生机制为基础,利用现有的科技手段利用内生真菌开发生物药剂,以期更好地为人类服务。

参考文献:

- [1] WILSON D. Endophyte: The evolution of a term, and clarification of its use and definition [J]. *Oikos*, 1995, 73(2): 274-276.
- [2] 狄佳麟. 4 株内生拮抗菌对沙地云杉的抗病促生作用 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
- [3] STROBEL G, DAISY B, CASTILLO U, et al. Natural products from endophytic microorganisms [J]. *Journal of Natural Products*, 2004, 67: 257-268.
- [4] PETRINI O. Fungal endophytes of tree leaves [M]. New York: Springer-Verlag, 1991: 179-197.
- [5] 郑江松, 李继扬. 植物内生菌在药物研究中的应用 [J]. *复旦学报(医学版)*, 2013, 40(5): 610-618.
- [6] 张倩. 马齿苋内生菌抗青枯病的研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2019.
- [7] 张文豪. 侧柏内生菌抑菌活性研究 [D]. 杨凌: 西北农

- 林科技大学,2015.
- [8] STIERLE A, STROBEL G, STIERLE D. Taxol and taxane production by *Taxomyces andreae*, an endophytic fungus of *Pacific yew*[J]. Science, 1993, 260(5105): 214-216.
- [9] DURÁN E L, PLOPER L D, RAMALLO J C, et al. The foliar fungal endophytes of *Citrus limon* in Argentina[J]. Canadian Journal of Botany, 2005, 83(4): 350-355.
- [10] 孙凯. 氮素调控内生真菌枫香拟茎点霉与植物共生互作的机制研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2021.
- [11] 闫思远. 枸杞内生真菌 *Fusarium nematophilum* NQ8GH4 遗传化体系的建立及在宿主植中的定殖[D]. 银川: 宁夏大学, 2020.
- [12] 王永刚, 杨光瑞, 陈凯, 等. 内生真菌链格孢菌醋酸乙酯提取物对金黄色葡萄球菌抑菌机制的研究[J]. 中草药, 2018, 49(3): 619-625.
- [13] 王永刚, 杨光瑞, 马雪青, 等. 内生真菌链格孢菌醋酸乙酯提取物对大肠杆菌抑菌机制的研究[J]. 中草药, 2018, 49(2): 374-381.
- [14] 陆洁森, 张家豪, 明乾良, 等. 西红柿球茎腐烂病拮抗真菌的筛选、鉴定及抑菌机制[J]. 中草药, 2022, 53(10): 3165-3170.
- [15] 王亚楠, 郑彩娟, 邵长伦, 等. 柳珊瑚共附生真菌 *Alternaria* sp. (WZL003) 抑菌化合物的分离及其作用机制初步研究[J]. 中国海洋药物, 2015, 34(2): 10-16.
- [16] 王婷, 叶耀辉, 郑红梅, 等. 植物内生真菌抗虫活性研究进展[J]. 江西中医药, 2016, 47(5): 67-70.
- [17] 孟昭军. 外源茉莉酸类化合物对两种落叶松的诱导抗虫性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008.
- [18] 何雅丽, 陈振江, 魏学凯, 等. 喷施茉莉酮酸甲酯及感染内生真菌促进醉马草抗虫性的生理作用研究[J]. 草业学报, 2020, 29(3): 121-129.
- [19] 秦俊华, 卢玉, 李夏, 等. 喷施茉莉酮酸甲酯及感染内生真菌对羽茅生长的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(4): 1145-1152.
- [20] 孙艺昕, 门兴元, 李超, 等. 高抗虫玉米内生真菌对玉米蚜生长、繁殖及取食选择的影响[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(2): 184-188.
- [21] 常燕, 曹军, 王兆慧, 等. 夹竹桃内生菌杀虫活性研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 202-203.
- [22] 任锡跃, 李艳冰, 陈严平, 等. 4 株滇重楼内生真菌诱导甾体皂苷合成机制[J]. 分子植物育种, 2021(8): 1-15.
- [23] 杨刚, 余仲东, 赵世伟, 等. 糜子溶磷内生真菌的筛选及其鉴定[J]. 水土保持通报, 2020, 40(4): 124-132.
- [24] 朱静, 洪陈洁, 吴承祯, 等. 千年桐内生真菌的分离鉴定及溶磷能力测定[J]. 广东农业科学, 2019, 46(6): 46-51.
- [25] 詹寿发, 卢丹妮, 毛花英, 等. 2 株溶磷、解钾与产 IAA 的内生真菌菌株的筛选、鉴定及促生作用研究[J]. 中国土壤与肥料, 2017(3): 142-151.
- [26] 宋欢, 刘洁, 宋萍, 等. 内生真菌和内生细菌接种对雷公藤生长和次生代谢产物积累的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(4): 347-355.
- [27] 刘军, 刘艳明, 徐在超, 等. 檀香内生真菌多样性及其抗菌与促生特性的研究[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(17): 3477-3483.
- [28] 张集慧, 王春兰, 郭顺星, 等. 兰科药用植物的 5 种内生真菌产生的植物激素[J]. 中国医学科学院学报, 1999(6): 49-54.
- [29] 陈科霖, 王明元, 尤长胜, 等. 金线莲分泌 IAA 内生菌的筛选与鉴定及其发酵条件优化[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2022, 43(3): 348-354.
- [30] 杨涛, 赵疆, 魏亚琴, 等. 华重楼内生真菌聚多曲霉的促生与拮抗作用[J]. 微生物学通报, 2021, 48(8): 2665-2680.
- [31] 鲍根生. 禾草内生真菌共生体对根寄生植物光合特性影响的研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2020, 50(3): 1-7.
- [32] 贾彤, 任安芝, 王帅, 等. 内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(17): 4811-4817.
- [33] 狄佳麟, 姜海燕, 丛林, 等. 4 株内生拮抗菌对沙地云杉的促生作用[J]. 东北林业大学学报, 2022, 50(6): 39-45.
- [34] 谢佳伟, 彭小祠, 陈小巧, 等. 云烟 87 内生真菌多样性及其促生作用评估[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2021, 36(6): 1000-1008.

责任编辑: 杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.029

南大港滩涂湿地土壤有机碳分布特征研究

石田¹, 饶鑫鹏¹, 魏伯阳¹, 岳荣生¹, 王凤², 林琳¹

(1. 国家林业和草原局林草调查规划院, 北京 100714; 2. 河北省林业调查规划设计院, 河北 石家庄 050056)

摘要:滨海滩涂湿地是提高“蓝碳”碳汇、补偿碳排放的重要空间资源。为研究滨海滩涂土壤有机碳分布特征,在河北南大港滩涂湿地内设置采样地,对不同湿地类型、不同植被覆盖下土壤有机碳含量进行测定。结果表明,南大港滩涂湿地土壤有机碳含量平均值为 8.03 ± 3.39 g/kg,略低于全国平均水平。土壤有机碳空间分布有一定差异,内陆滩涂湿地土壤有机碳含量高于沿海滩涂湿地。土壤有机碳含量随土层深度增加呈下降趋势,不同深度下土壤有机碳含量差异显著。不同植物群落下土壤有机碳含量不同,表现为芦苇群落>莎草群落>碱蓬群落>金鱼藻群落>光滩地。南大港滩涂湿地土壤有机碳密度分布与土壤碳含量分布相似,土壤结构、地表植被类型对土壤有机碳含量、碳密度分布产生影响。

关键词:土壤有机碳;碳密度;湿地类型;植被类型;南大港滩涂湿地

中图分类号:S714.5;Q178.5 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0167-05

引文格式:石田,饶鑫鹏,魏伯阳,等.南大港滩涂湿地土壤有机碳分布特征研究[J].林业调查规划,2024,49(1):167-171. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.029

SHI Tian, RAO Xinpeng, WEI Boyang, et al. Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon in Nandagang Mudflat Wetland[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 167-171. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.029

Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon in Nandagang Mudflat Wetland

SHI Tian¹, RAO Xinpeng¹, WEI Boyang¹, YUE Rongsheng¹, WANG Feng², LIN Lin¹

(1. Academy of Forest and Grassland Inventory and Planning, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100714, China; 2. Hebei Forest Inventory and Planning Institute, Shijiazhuang 050056, China)

Abstract: Coastal mudflat wetland is an important space resource to improve carbon sink and compensate carbon emission. In order to study the distribution characteristics of soil organic carbon in coastal mudflat, sampling sites were set in Nandagang mudflat wetland in Hebei Province. The content of soil organic carbon under different wetland types and different vegetation cover were collected. The results showed that the average content of soil organic carbon in Nandagang mudflat wetland was 8.03 ± 3.39 g/kg, which was slightly lower than the national average level. There were some differences in the spatial distribution of soil organic carbon. The contents of soil organic carbon in inland mudflat wetland were higher than that in coastal mudflat wetland. The content of soil organic carbon decreased with the increase of soil depth, and the contents of soil organic carbon were significantly different at different depths. The contents

收稿日期:2022-04-21.

第一作者:石田(1982-),男,湖北武汉人,高级工程师.主要从事湿地保护修复研究.

责任作者:林琳(1989-),女,北京人,工程师.研究方向为生态环境保护. Email:daben1989@126.com

of soil organic carbon were different under different plant communities, which showed that *Phragmites australis* community > *Cyperus rotundus* community > *Suaeda glauca* community > *Ceratophyllum demersum* community > pure mudflat. The distribution of soil organic carbon density in Nandagang mudflat wetland was similar to that of soil carbon content. Soil structure and surface vegetation types had an impact on soil organic carbon content and carbon density distribution.

Key words: soil organic carbon; carbon density; wetland type; vegetation type; Nandagang mudflat wetland

湿地生态系统是地球上最重要的碳库之一,作为碳移动和流通媒介,其碳汇功能是消减大气温室气体含量的主要途径之一。湿地土壤有机碳含量约占整个陆地碳库的 20%~30%,因其积水厌氧环境而在土壤中积累大量的有机碳,是陆地上碳素积累速度最快的自然生态系统之一^[1-2]。

红树林地、沼泽地、滩涂地等不同湿地类型土壤碳储量差异较大^[3]。目前针对湿地土壤碳研究集中在红树林、森林沼泽等碳汇功能以及沼泽地、泥炭地的碳储量计算,对滨海湿地“蓝碳”研究相对较少,尤其是滨海内陆滩涂、沿海滩涂土壤碳含量对比研究存在一定空缺^[4]。滨海湿地分布于海洋与陆地交汇地带,具有独特水文、土壤、植被特征。滨海湿地大部分时间处于水淹状态,缺氧环境使土壤中微生物分解碳的能力较弱,且滨海地区河流较多,带来的泥沙快速埋藏植物残骸,形成长期稳定的碳库。滨海湿地具有碳沉积速率高、碳埋藏速率快、固碳能力强的特点,是地球上重要的碳库之一,对抑制大气中温室气体升高、缓解全球变暖具有重要作用^[5]。

我国滨海湿地面积广阔,是未来补偿碳排放的重要空间资源^[3]。研究滨海滩涂湿地土壤有机碳含量及空间分布特征,准确估算其土壤碳储量,对制定科学合理的滨海湿地管理措施具有重要意义。南大港湿地位于渤海湾西岸,分布有典型内陆滩涂、沿海滩涂湿地,生物资源众多,是我国环渤海地区保存较为完好的滨海湿地之一^[6]。本研究在河北南大港滨海湿地内陆滩涂、沿海滩涂中设置样地,采集植物及 1 m 深度的土壤样品,测定土壤有机碳含量,分析不同湿地、不同植被类型下湿地土壤有机碳分布差异,以为滨海湿地生态管理提供支撑。

1 研究区概况

研究区位于河北省沧州市东北部南大港湿地区(38°25′~38°35′N, 117°24′~117°40′E),泻湖洼地、浅槽型洼地密布,是海陆交接、咸淡水交汇的过渡地带。研究区地处暖温带半湿润大陆性气候区域,四

季分明,光照充足,年均温 12.1℃,日照时数 2 462 h,降水年内分布不均,年均降水量 624.5 mm,集中在 6—8 月,年蒸发量约 1 974 mm。研究区土壤类型为盐化潮土、滨海盐土,其中潮土分布面积较大,土层厚度 0.3~0.8 m^[6]。

研究区处于陆地生态系统与海洋生态系统过渡区域,生物资源丰富,野生植被组成中多为盐生植物,呈带状、斑块状分布,常见某种植物形成单优种群落。主要分布植物有芦苇(*Phragmites australis*)、盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、中亚滨藜(*Atriplex centralasiatica*)、獐毛(*Aeluropus sinensis*)等。研究区丰富的植物资源和独特的地理位置使其成为东亚—澳大利西亚候鸟迁徙网络的重要中转站,每年春秋两季迁徙鸟类数量达数十万只,主要有灰雁(*Anser anser*)、白琵鹭(*Platalea leucorodia*)、东方白鹳(*Ciconia boyciana*)等。

2 研究方法

2.1 土壤样品采集

2021 年 7—8 月,在南大港滩涂湿地区(以下简称“南大港湿地”)选取 12 个典型样地,每个样地根据地表植被不同,选取 3 个能够代表整个样地的样方,分别对每个样方内地表植被类型、盖度及生物量进行调查和采样。鉴于土壤有机碳主要分布在土壤表层下 100 cm 以内,本研究以 100 cm 作为本次研究的采样深度。使用土钻及环刀、容重钻等工具,按表土层 0~30 cm、心土层>30~50 cm 及底土层>50~100 cm 3 个深度分层采集土样,每次取 200 cm²,称取鲜重后带回实验室分析。

2.2 样品测定及数据处理

用烘干法测定植被、土壤含水量;用环刀法测定土壤容重。土壤有机碳测定采用丘林法(重铬酸钾外加热法),将筛孔风干土样加入 0.80 mol/L 重铬酸钾标准溶液及 98% 浓硫酸,热油浴锅中煮沸冷却后滴加邻菲罗啉指示剂,用 0.2 mol/L FeSO₄ 标准溶液滴定。

土壤有机碳密度及有机碳储量参考王勇辉、聂浩亮等研究中的计算方法,计算公式为:

$$D_{\text{SOC}} = \sum_{i=1}^n \text{SOC}_i \times D_i \times H_i \times 10^{-2} \quad (1)$$

式中: D_{soc} 为土壤有机碳密度 (kg/m^2); SOC_i 为第 i 层土壤有机碳含量 (g/kg); H_i 为第 i 层土层厚度 (cm); D_i 为第 i 层土壤容重 (g/cm^3); n 为剖面土层数。因各土壤层次深度不同,为便于对比分析,采用第 i 层土壤有机碳含量 \times 第 i 层土壤容重作为单位 (cm) 厚度土壤有机碳密度 (kg/m^2)^[7-8]。

利用 SPSS 软件对上述数据进行分析。由于数据呈偏态分布,利用 Kruskal-Wallis H 检验不同分类土壤有机碳含量差异,在总体差异显著的情况下,采用 Mann-Whitney U 比较两两之间差异性。文中土壤有机碳含量数值以平均值 \pm 标准差表示。用 Origin 2021 软件完成制图。

3 结果与分析

3.1 土壤有机碳含量

经分析,南大港滩涂湿地土壤有机碳含量在 2.25~16.13 g/kg 范围,平均值为 8.03 \pm 3.39 g/kg (表 1)。

表 1 南大港滩涂湿地土壤有机碳含量总体分布
Tab. 1 Distribution of soil organic carbon content in Nandagang wetland

有机碳含量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	出现频数/次	占比/%
≤ 5	7	19.44
$>5 \sim 10$	23	63.89
$>10 \sim 15$	4	11.11
>15	2	5.56

3.1.1 不同湿地类型土壤有机碳含量

南大港湿地有机碳含量变异系数均值为 25.33%,属于中度变异,表明南大港湿地土壤有机碳空间分布有一定差异。南大港内陆湿地土壤有机碳含量平均为 9.28 \pm 3.37 g/kg ,含量相对较多,但不同样地间数值变动较大。沿海滩涂湿地土壤有机碳平均含量为 5.83 \pm 0.70 g/kg ,数值分布较为均匀。Mann-Whitney U 检验显示,不同湿地类型土壤有机碳含量差异极显著($U=54.000, P<0.01$)。

3.1.2 不同土层深度土壤有机碳含量

南大港土壤有机碳含量随土壤深度增加呈减小趋势。0~30 cm、>30~50 cm、>50~100 cm 土层深度

土壤有机碳含量依次为 10.14 \pm 3.79 g/kg 、7.68 \pm 3.28 g/kg 、6.68 \pm 2.10 g/kg ,Kruskal-Wallis H 检验结果表明,不同深度下土壤有机碳含量差异显著($\chi^2=6.813, df=2, P<0.05$)。进一步两两比较发现,仅 0~30 cm 土层深度表土壤与其他两个深度土壤间差异显著(Mann-Whitney U 检验。0~30 cm 与 >30~50 cm: $U=35.000, P<0.05$; 0~30 cm 与 >50~100 cm: $U=23.000, P<0.05$)(表 2)。

表 2 不同土层深度下南大港滩涂湿地土壤有机碳含量分布

Tab. 2 Distribution of soil organic carbon content in Nandagang wetland at different depths

湿地类型	土层深度 /cm	土壤有机碳含量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)			标准差	变异系数/%
		最大值	最小值	均值		
内陆滩涂	0~30	16.13	6.46	11.47	3.81	33.22
	>30~50	15.05	5.20	8.85	3.16	35.71
	>50~100	9.61	4.50	7.64	1.56	20.42
沿海滩涂	0~30	8.70	6.20	7.06	2.03	28.75
	>30~50	8.05	3.25	5.57	1.48	26.57
	>50~100	7.39	2.25	5.35	0.39	7.29

3.1.3 不同植被类型土壤有机碳含量

南大港滩涂湿地植被类型主要有芦苇群落、莎草群落、金鱼藻群落、碱蓬群落等,不同植物群落下土壤有机碳含量不同。总体而言,土壤有机碳含量大小依次为芦苇群落(9.51 \pm 1.21 g/kg)>莎草群落(8.81 \pm 0.60 g/kg)>碱蓬群落(7.17 \pm 0.49 g/kg)>金鱼藻群落(6.25 \pm 0.16 g/kg)>光滩地(3.23 \pm 0.41 g/kg)。Kruskal-Wallis H 检验结果表明,不同植物群落土壤有机碳含量差异极显著($\chi^2=13.865, df=4, P<0.01$)。芦苇群落下土壤有机碳含量变异系数较大,金鱼藻群落土壤有机碳变异系数较小,在 0~30 cm、>30~50 cm、>50~100 cm 土层深度各植物群落土壤有机碳含量变化如图 1 所示。

3.2 土壤有机碳密度

土壤有机碳密度是指单位面积(m^2)中一定厚度的土层中有机碳储量,其大小与土壤容重有关。南大港湿地区土壤容重均值为 1.55 \pm 0.15 g/cm^3 ,其中内陆滩涂、沿海滩涂容重均值分别为 1.58 \pm 0.13 g/cm^3 、1.49 \pm 0.17 g/cm^3 。结合容重计算得出南大港内陆滩涂、沿海滩涂湿地土壤有机碳密度分别为 14.23 kg/m^2 、8.81 kg/m^2 。

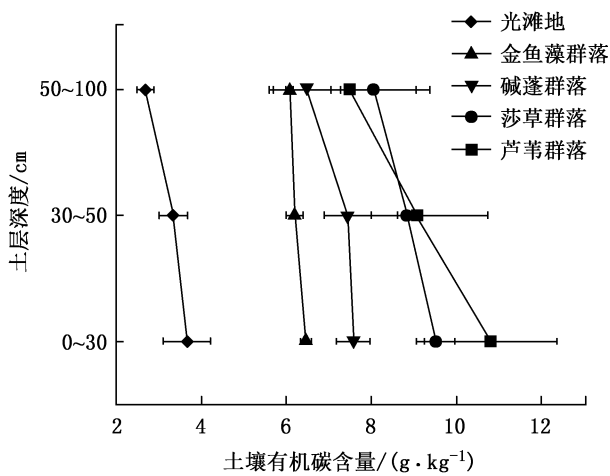


图 1 不同植被群落土壤有机碳含量垂直分布
Fig. 1 Vertical distribution of soil organic carbon in different vegetation communities

不同湿地类型之间土壤有机碳密度差异较大(图 2)。内陆滩涂土壤有机碳密度较高,在 0~30 cm、>30~50 cm、>50~100 cm 土层深度下单位(cm)厚度有机碳密度依次表现为 17.43 kg/m²、14.07 kg/m²、12.38 kg/m²。沿海滩涂有机碳密度相对较低,依次为 10.10 kg/m²、8.19 kg/m²、8.29 kg/m²。不同植物群落下土壤有机碳密度分布与有机碳含量分布相似,表现为莎草群落>芦苇群落>碱蓬群落>金鱼藻群落>光滩地,莎草、芦苇群落土壤有机碳密度大小显著高于其他植被群落。

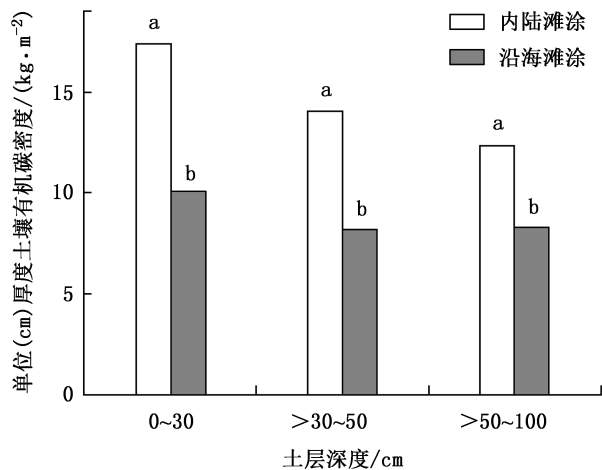


图 2 不同湿地类型土壤有机碳密度分布
Fig. 2 Distribution of soil organic carbon density in different wetlands

4 讨论

南大港滩涂湿地土壤有机碳含量与同区域天津

北大港滩涂湿地土壤有机碳含量相似,略低于同纬度河北内陆白洋淀其他沼泽湿地土壤有机碳含量^[9]。滨海湿地土壤主要由海河交互作用沉积而成,土壤类型主要为潮土、盐土,质地较为紧实,空隙较少,土壤中积累的有机碳含量平均较低^[10]。

陈立华研究滨海湿地滩涂土壤物理性质与土壤有机质含量关系,植被覆盖区土壤容重较低,土壤孔隙度、最大持水量较高,土壤结构明显较好,有机质含量较多^[11]。本研究内陆滩涂土壤容重及有机碳含量均高于沿海滩涂,土壤容重与土壤有机碳含量呈正相关关系,与部分研究结果相反,属水文运动和土壤质地双重影响造成^[12]。南大港沿海滩涂区域以砂质土壤为主,质地松散,表土层结构差,土壤容重相对较低,较高的土壤孔隙度结合潮汐涨落的冲刷作用减少了土壤有机物质含量。而南大港内陆滩涂区域筑堤形成了较为稳定的水文条件,土壤质地以砂壤土和轻壤土为主,结构呈夹粘型、夹砂型,有利于土壤有机碳的积累。

南大港沿海滩涂、内陆滩涂土壤有机碳含量随土层深度增加均呈下降趋势。表土层土壤有机碳含量最高,心土层土壤有机碳含量下降明显,底土层土壤有机碳含量趋于稳定。土壤有机碳分布具有表聚效应,在表层土壤出现峰值,随着土层深度增加其含量呈下降趋势^[9]。凋落物和土壤微生物活动影响土壤有机碳含量,0~30 cm 表层是草本植物根系主要分布区和地表凋落物的主要分解区,植被凋落物的分解和植物根系的固定作用造成浅层土壤碳含量及碳密度较大,随着土壤深度增加,有机质含量逐渐下降。底土层较为紧实,与上层有机质及空气中碳交换较少,物质转化缓慢,土壤有机碳含量及碳密度较小,本研究结果与白洋淀湿地、黄河三角洲滩涂湿地土壤有机碳空间分布规律相似^[13]。

自然状态下,土壤有机碳主要来自于地表植被凋落物及根茎,不同植被类型因其相异的生理生态特征,在土壤中分解残留量不同,对土壤有机碳密度及含量产生影响。刘文龙等对胶州湾滨海湿地研究发现,土壤碳含量与地表芦苇等植被生物量呈正相关关系,与本研究结果相似^[14]。南大港内陆滩涂湿地芦苇、莎草群落生物量较大,植物凋落物对碳归还作用较为明显,生物量较大的植被土壤含碳量较高。此外,芦苇、莎草等草本植物根系主要分布在 40 cm 以上土层,通过根系呼吸作用促进土壤团粒结构的形成,有利于土壤中有机质的积累,造成芦苇、莎草土壤表层有机碳含量较高。

南大港沿海滩涂以碱蓬为主,群落内植物较为单一,部分区域无植被覆盖。天津滨海新区盐生植物及光滩土壤有机碳含量集中在 3.32~8.55 g/kg 范围,黄河三角洲沿海滩涂碱蓬群落下土壤有机碳含量集中在 2.54~6.14 g/kg 范围,与本研究相似。沿海滩涂受径流和潮汐作用双重影响,潮间带较强的水动力作用会带走地表植被枯落物及残体,造成土壤表层有机质含量较低^[13]。

5 结 论

南大港滩涂湿地土壤有机碳整体含量较低,其中内陆滩涂湿地土壤有机碳含量高于沿海滩涂。不同湿地类型和植物群落下土壤有机碳分布具有表聚效应,在表层土壤出现峰值,随着土层深度增加其含量呈下降趋势。土壤结构、地表植被类型通过有机质沉积与分解对土壤有机碳含量产生影响,芦苇、莎草群落植被土壤碳含量高于碱蓬、金鱼藻群落,光滩地土壤有机碳含量最低。南大港滩涂湿地土壤有机碳密度分布与土壤碳含量分布相似。

参考文献:

- [1] MITRA S, WASSMANN R, VLEK P L G. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock[J]. *Current Science*, 2005, 88(1): 25-35.
- [2] MITSCH W J, BERNAL B, NAHLIK A M, et al. Wetlands, carbon, and climate change[J]. *Landscape Ecology*, 2013, 28(4): 583-597.
- [3] 李瑾璞, 于秀波, 夏少霞, 等. 白洋淀湿地区土壤有机碳密度及储量的空间分布特征[J]. *生态学报*, 2020, 40(24): 8928-8935.
- [4] 王法明, 唐剑武, 叶思源, 等. 中国滨海湿地的蓝色碳汇功能及碳中和对策[J]. *中国科学院院刊*, 2021, 36(3): 241-251.
- [5] 王启栋, 宋金明, 李学刚. 黄河口湿地有机碳来源及其对碳埋藏提升策略的启示[J]. *生态学报*, 2015, 35(2): 568-576.
- [6] 黄艳凤, 胡振, 周绪申, 等. 南大港湿地浮游植物多样性现状分析[J]. *环境生态学*, 2020, 2(6): 34-38.
- [7] 王勇辉, 焦黎. 艾比湖湿地土壤有机碳及储量空间分布特征[J]. *生态学报*, 2016, 36(18): 5893-5901.
- [8] 聂浩亮, 薄慧娟, 张润哲, 等. 北京海坨山典型林分土壤有机碳含量及有机碳密度垂直分布特征[J]. *林业科学研究*, 2020, 33(6): 155-162.
- [9] 郝翠, 李洪远, 李姝娟, 等. 天津滨海湿地土壤有机碳储量及其影响因素分析[J]. *环境科学研究*, 2011, 24(11): 1276-1282.
- [10] 李媛媛, 朱源山, 郭长城, 等. 津冀 3 个盐渍化沼泽湿地土壤团聚体有机碳的分布特征[J]. *天津师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 39(6): 51-61.
- [11] 陈立华, 张欢, 姚宇阔, 等. 盐地碱蓬覆被对滨海滩涂土壤理化性质的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2021, 30(2): 19-27.
- [12] WANG C, FU B J, ZHANG L, et al. Soil moisture-plant interactions; an ecohydrological review [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2019, 19(1): 1-9.
- [13] 董洪芳, 于君宝, 管博. 黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征[J]. *环境科学*, 2013, 34(1): 288-292.
- [14] 刘文龙, 谢文霞, 赵全升, 等. 胶州湾芦苇潮滩土壤碳、氮和磷分布及生态化学计量学特征[J]. *湿地科学*, 2014, 12(3): 362-368.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.030

北京平原地区不同土地利用类型对土壤颗粒组成及其分形特征的影响

郑桂莲¹, 张月莹¹, 强方方², 李宗伦¹, 盛昌昌²

(1. 国家林业和草原局林草调查规划院, 北京 100714; 2. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

摘要:选取农田、撂荒草地、人工乔木林、人工灌木林和次生林 5 种不同土地利用类型土壤颗粒为研究对象, 采用 Microtrac S3500 激光粒度仪测定土壤样品粒径, 利用土壤分形学理论和方法, 分析不同土地利用类型对土壤颗粒组成及其分形特征的影响。结果表明, 土壤粒径在不同土地利用方式下存在显著差异, 其中撂荒草地以砂粒为主, 农田、人工乔木林、人工灌木林和次生林以粉粒为主; 次生林、人工乔木林黏粒体积分数最大, 且显著大于其他土地利用类型, 撂荒草地最小; 次生林、人工乔木林、人工灌木林粉粒体积分数最大, 且显著大于农田与撂荒草地; 砂粒体积分数则与粉粒相反。土壤分形维数的大小依次为撂荒草地<农田<人工灌木林<次生林<人工乔木林; 土壤分形维数与土壤黏粒含量、粉粒含量均呈显著正相关, 与土壤砂粒含量呈显著负相关。

关键词:土地利用类型; 土壤颗粒; 分形维数; 体积分数

中图分类号: S714.5; F301.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0172-06

引文格式: 郑桂莲, 张月莹, 强方方, 等. 北京平原地区不同土地利用类型对土壤颗粒组成及其分形特征的影响 [J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 172-177. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.030

ZHENG Guilian, ZHANG Yueying, QIANG Fangfang, et al. Effects of Different Land Use Types on Soil Particle Distribution and Fractal Dimension in Plain Afforestation Area of Beijing [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 172-177. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.030

Effects of Different Land Use Types on Soil Particle Distribution and Fractal Dimension in Plain Afforestation Area of Beijing

ZHENG Guilian¹, ZHANG Yueying¹, QIANG Fangfang², LI Zonglun¹, SHENG Changchang²

(1. Academy of Forest and Grassland Inventory and Planning, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100714, China; 2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to study the effects of different land use types on soil particle composition, the soil particles of five different land use types were selected, including farmland, abandoned grassland, artificial arbor forest, artificial shrub forest and secondary forest. The particle size of soil samples was measured by Microtrac S3500 laser particle sizer, and fractal characteristics were analyzed by using soil fractal theory and method. The results revealed that there were significant differences in soil particle size among different land use types, in which abandoned grassland was dominated by sand, while farmland, artificial

收稿日期: 2022-08-05.

基金项目: 北京市平原造林工程绿化废弃物资源化利用研究与示范 (LC-6-01).

第一作者: 郑桂莲 (1984-), 女, 重庆人, 硕士, 高级工程师. 主要从事林业规划设计工作. Email: ZGLian555@126.com

责任作者: 李宗伦 (1993-), 男, 辽宁沈阳人, 工程师. 主要从事林草规划设计工作. Email: 1017652026@qq.com

arbor forest, artificial shrub forest and secondary forest was dominated by silt; the clay volume fraction of secondary forest and artificial arbor forest was the highest, which was significantly higher than that of other land use types, and the abandoned grassland was the lowest; the silt volume fraction of secondary forest, artificial arbor forest and artificial shrub forest was the highest, which was significantly higher than that of farmland and abandoned grassland; the sand volume fraction was opposite to the silt volume fraction; the order of soil fractal dimension from high to low was abandoned grassland < farmland < artificial shrub forest < secondary forest < artificial arbor forest; soil fractal dimension was significantly positively correlated with soil clay content and silt content, but significantly negatively correlated with soil sand content.

Key words: land use type; soil particle size; fractal dimension; volume fraction

土壤的结构和性质与土壤颗粒的组成密切相关,土壤颗粒又间接影响土壤水分、土壤养分、土壤抗蚀性等多个方面,从而进一步改变土地利用方式^[1]。同时,土地利用方式又对土壤颗粒组成与分布特征具有重要影响。研究表明,土地利用方式反映了人类与大自然之间的相互关系。人们通过对不同的土地利用方式,不同程度地干扰着土壤肥力、水分状况等理化性质,对土壤结构稳定性等产生一定影响^[12];不同土地利用方式下土壤颗粒特征是开展土地管理相关研究的主要内容。随着科学技术的不断提升,激光衍射技术可以快捷精准地得到土壤颗粒的体积分布特征,为科研工作人员分析不同土地利用方式下土壤颗粒分布特征提供了先进的技术方法,从而更好地开展对土壤理化性质、发育状况等更深入的研究^[2,13]。前人对土壤颗粒组成已开展了大量研究。其中,杨培岭^[3]和 TYLER^[4]开创性地利用土壤颗粒的重量分布计算分形维数,对土壤结构特征进行定量分析;王国梁等^[5]在此基础上,将重量分布改为体积分布来计算分形维数,如今已被学者广泛采纳和应用。此外,土壤分形维数值可以用来判定土壤颗粒的粗细程度^[6]。大量科研人员基于分形理论对土壤母质^[7]、植被类型^[8]、土地利用类型^[9-11]等多方面的土壤粒径分布与变化特征开展了研究,证明了土壤分形理论适用于土壤粒径分布研究。然而,针对北京平原造林地区的土壤颗粒分布和分形特征的报告较为稀少。本研究采用激光粒度仪获得土壤粒径分布数据,基于分形理论,对北京市房山区 5 种不同土地利用类型的土壤颗粒分形特征开展研究,并建立土壤分形维数与砂粒、粉粒、黏粒等不同粒径间的回归关系,揭示该区域土壤颗粒组成、土壤颗粒分形维数特征和变化规律,旨在为该区域今后土壤质量评价与土地利用提供理论指导与数据支撑,为该区域平原造林工程的实施提供科学依据。

1 研究区概况

北京市房山区位于华北平原和太行山交界地带,地理坐标为 115°25'~116°15'E,39°30'~39°55'N。海拔-8~2 014 m,平均海拔 381.92 m。房山区属暖温带半湿润大陆性季风气候,春季干旱,夏季多雨,年均温 11.7℃,年均降水量 582.8 mm。房山区土壤类型以褐土为主,土壤质地多为壤质,轻壤质、中壤质和砂壤质分别占全区总面积的 76.80%、6.14%和 9.42%。土地利用类型主要以农用地为主,占全区总面积的 58.49%;其中,农用地中又以林地为主,占农用地总面积的 63.24%。

2 研究方法

2.1 样方设置与采样调查

项目组通过前期的调研与考察,于 2020 年 9—11 月在研究区内选取农田、撂荒草地、人工乔木林、人工灌木林和次生林地等 5 种具有典型性和代表性的土地利用类型作为研究样地,采用样方法对样地内植被、土壤进行全面调查与采样。每种土地利用类型样地随机设置 3 个样方,其中人工乔木林和次生林采用 20 m×20 m 样方、人工灌木林采用 10 m×10 m 样方、撂荒草地和农田采用 1 m×1 m 样方进行取样调查。同时,运用手持 GPS 记录每个样地的经纬度、海拔等地理信息,运用坡度仪测量坡度,利用数码照相机估算植被盖度等,并记录各项数据,各样地基本概况如表 1 所示。

2.2 土壤样品采集

每种土地利用类型的调查样方各设置 1 个土壤剖面,每个土壤剖面按 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层设置 3 个重复进行土壤样品采集,共挖取 15 个土壤剖面,180 袋土壤样品,装入自封袋中,带回实验室风干,风干后去除地表枯落物、

表 1 样地基本信息

Tab. 1 Basic information of the study sites

土地利用类型	地理位置	坡度 / (°)	海拔 / m	主要植物种类	植被盖度 / %
农田 (FL)	116°0'13" E 39°44'25" N	0~5	100	向日葵、红薯、艾蒿、狗尾巴草、苍耳等	50
撂荒草地 (AG)	116°0'14" E 39°44'20" N	0~5	90	青蒿、狗娃花、狗尾巴草等	40
人工乔木林 (AAF)	116°12'55" E 39°46'7" N	0~5	50	毛白杨、落叶松等	80
人工灌木林 (ASF)	116°12'60" E 39°46'7" N	0~5	50	皂荚、美人梅等	60
次生林 (SF)	116°0'6" E 39°44'27" N	0~5	90	毛白杨、黄荆子等	90

细根及其他杂物并过 2 mm 筛供土壤颗粒分析。土壤颗粒组成采用 Microtrac S3500 激光粒度仪测定。

2.3 土壤颗粒分形维数计算方法

利用激光粒度仪可以准确、快速地获得土壤颗粒体积分布 (PSD) 数据。根据测得的颗粒平均横截面积计算等效圆直径,进而得到不同粒径级颗粒的体积百分比,计算简单分形维数^[14]。土壤 PSD 简单分形维数可量化表征土壤颗粒组成性质,即反映土壤颗粒的大小及其比例关系和土壤质地的粗细程度。分形维数由小到大,可表征土壤质地由粗到细或由疏松到紧实变化。文中采用土壤颗粒体积分形模型计算土壤颗粒体积分形维数 (D),排除不同土壤粒径下土壤密度的干扰因素,方法更加严谨,结论更具说服力^[5]。计算公式为:

$$\frac{V(r < R_i)}{V_T} = \left(\frac{R_i}{R_{max}}\right)^{3-D} \quad (1)$$

式中: r 为土壤颗粒粒径 (mm); R_i 为某一区间的代表粒径,即该区间上下限的算术平均值; $V(r < R)$ 为粒径小于 R 的累计体积; V_T 为土壤颗粒总体积; R_{max} 为所有粒径的上限,即最大粒径值; $V(r < r_i)/V_T$ 为粒径小于 R 的累积体积百分比; D 为粒径分布的体积分形维数。

计算土壤分形维数时,首先需要将左右两边取对数,然后进行绘点。绘点时,横坐标为 $\lg(R_i/R_{max})$,纵坐标为 $\lg(V(r < r_i)/V_T)$ 。最后,对所绘制的点进行线性回归分析。得到拟合直线的斜率为 $(3-D)$,从而得到土壤颗粒分形维数值 D 。

2.4 统计分析方法

采用 Excel 2010 和 SPSS Statistic 21 软件对实验数据进行统计分析,通过单因素方差分析 (One-way ANOVA) 的最小显著差异 (LSD) 对研究区不同土地利用类型的土壤粒度组成与粒度参数进行差异显著性检验,并采用 origin 软件制图。

3 结果与分析

3.1 土壤粒径分布特征

土壤粒径分布体积分数如图 1 所示。

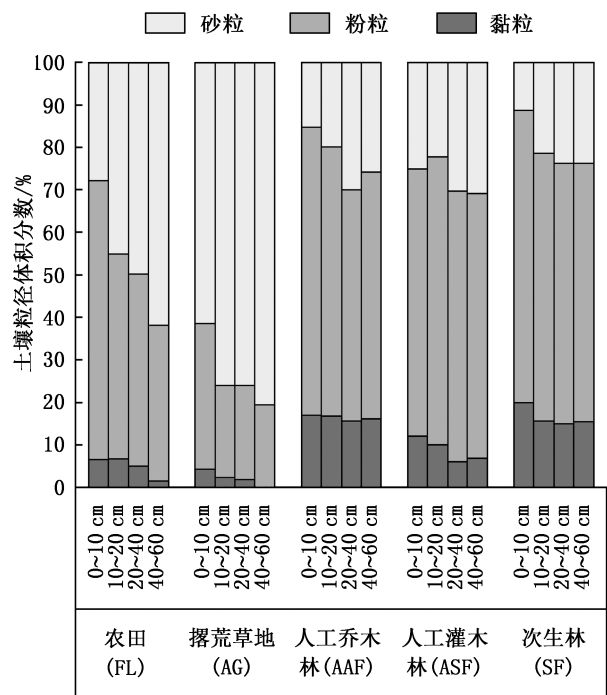


图 1 土壤粒径分布体积分数

Fig. 1 Volume fraction of soil particle-size distribution

由图 1 可知,在 0~60 cm 土层深度范围内,同一土地利用类型样地土壤黏粒、粉粒的体积分数总体均随土层深度的增加含量逐渐减少的趋势,砂粒的体积分数分布特征则与之相反,总体上表现为随土层深度增加而增加的趋势。同一土地利用类型样地的黏粒、粉粒和砂粒的体积分数在不同土层深度无显著差异 ($P > 0.05$)。

不同土地利用类型土壤颗粒组成及其存在的显著性见表 2。

由表 2 可知,不同土地利用类型的土壤颗粒结构存在显著差异。撂荒草地中,土壤粒径分布规律为:黏粒 (2.14%) < 粉粒 (24.31%) < 砂粒 (73.56%);

表 2 不同土地利用类型土壤颗粒组成及其显著性
Tab. 2 Soil particle composition and significance of different land use types

土地利用类型	土壤粒级/mm							
	黏粒 <0.002	粉粒 0.002~0.05	砂粒					合计 0.05~2
			极细砂粒 0.05~0.1	细砂粒 0.1~0.25	中砂粒 0.25~0.5	粗砂粒 0.5~1	极粗砂粒 1~2	
FL	4.86±1.21c	48.92±6.09b	23.25±3.01a	19.17±5.51a	3.04±0.46b	0.78±0.38b	—	46.23±7.05b
AG	2.14±0.87c	24.31±3.32c	13.95±1.47b	17.50±1.78ab	35.37±1.75a	5.71±1.50a	1.03±0.40a	73.56±4.12a
AAF	16.34±0.34a	60.94±2.88a	7.02±1.21c	6.65±1.03c	6.41±2.23b	2.65±1.10ab	—	22.72±3.21c
ASF	8.75±1.41b	64.10±1.20a	9.05±1.42bc	9.99±1.01bc	5.81±1.80b	2.30±1.55ab	—	27.16±2.04c
SF	16.48±1.19a	63.52±1.79a	8.70±1.03bc	6.00±0.95c	4.50±1.10b	0.80±0.19b	—	20.01±2.96c

注:小写字母表示不同样地类型间差异显著性($P<0.05$)。

除撂荒草地外,不同土地利用类型,样地土壤粒径分布表现为黏粒含量最少,粉粒含量最多。具体来看,黏粒体积分数变化范围为 4.86%~16.48%,粉粒为 48.92%~64.10%,砂粒为 20.01%~46.23%。人工乔木林和次生林的黏粒体积分数显著大于人工灌木林、农田和撂荒草地($P<0.05$);人工乔木林、人工灌

木林和次生林的粉粒体积分数显著大于农田和撂荒草地($P<0.05$);撂荒草地的砂粒体积分数显著大于其他土地利用类型($P<0.05$)。

3.2 不同土地利用类型与土壤粒径分形维数的关系
不同土地利用类型土壤质地与 PSD 简单分形维数(D)见表 3。

表 3 不同土地利用类型土壤质地与 PSD 简单分形维数(D)
Tab. 3 Fractal dimension (D) and soil texture of different land use types

土地利用类型	D 最大值	D 最小值	D	拟合方程	R^2	F	Sig
FL	2.582	2.249	2.489±0.079bc	$y=0.50x+2.254$	0.800	84.184	0.000<0.01
AG	2.563	1.944	2.354±0.139c	$y=0.65x+2.355$	0.757	81.011	0.000<0.01
AAF	2.732	2.720	2.727±0.003a	$y=0.27x+2.148$	0.854	128.724	0.000<0.01
ASF	2.654	2.537	2.600±0.0226ab	$y=0.40x+2.202$	0.847	110.873	0.000<0.01
SF	2.757	2.710	2.726±0.011a	$y=0.27x+2.160$	0.837	113.215	0.000<0.01

注:小写字母表示不同样地类型间差异显著($P<0.05$)。

由表 3 可知,不同土地利用类型其土壤 PSD 的分形维数(D)在 2.354~2.727 范围。

农田的拟合方程为:

$$y = 0.50x + 2.254 \quad (2)$$

式中: $R^2=0.800$;Sig<0.01。

撂荒草地的拟合方程为:

$$y = 0.65x + 2.355 \quad (3)$$

式中: $R^2=0.757$;Sig<0.01。

人工乔木林的拟合方程为:

$$y = 0.27x + 2.148 \quad (4)$$

式中: $R^2=0.854$;Sig<0.01。

人工灌木林的拟合方程为:

$$y = 0.40x + 2.202 \quad (5)$$

式中: $R^2=0.847$;Sig<0.01。

次生林的拟合方程为:

$$y = 0.27x + 2.160 \quad (6)$$

式中: $R^2=0.837$;Sig<0.01。

结果显示,人工乔木林(2.727)、次生林(2.726)的分形维数显著大于农田(2.489)和撂荒草地(2.354),但与人工灌木林(2.600)的差异不显著。

3.3 土壤颗粒组成与分形维数的关系

土壤 PSD 分形维数与土壤颗粒组成相关性分析见表 4。

由表 4 可知,各样地中黏粒含量、粉粒含量与分形维数呈极显著正相关,相关系数分别为 0.780 和 0.750;砂粒含量与分形维数呈极显著负相关,相关系数为-0.795。撂荒草地中土壤黏粒、粉粒体积分数较低,砂粒体积分数较高,导致其土壤分形维数较低和粗粒化程度较高。

表 4 土壤 PSD 分形维数与土壤颗粒组成相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis between soil particle composition and fractal dimension

参数	黏粒	粉粒	砂粒	D
黏粒	1			
粉粒	0.772 **	1		
砂粒	-0.875 **	-0.983 **	1	
D	0.780 **	0.750 **	-0.795 **	1

4 讨 论

土壤结构与土壤质量密切相关,土壤颗粒又是土壤结构的物质基础^[15]。影响土壤粒径分布特征的主要因素包括侵蚀以及其他成土因素^[9,16]。本研究北京市房山区土壤颗粒组成以粉粒、砂粒为主,与郭中领^[17]研究的北京地区表层土壤分形特征以及徐佳佳^[18]在房山区蒲洼小流域研究结果一致。在 0~60 cm 土层范围内,同种土地利用类型的土壤黏粒、粉粒和砂粒总含量的体积分数在不同土层深度无显著差异,与李松阳^[19]在云南省昆明市蒋家沟流域研究的不同土地利用类型土壤粒径分布特征、周学峰^[20]研究的围垦后不同土地利用方式对土壤粒径分布的研究结果一致,但与孟婷婷^[21]对废弃宅基地复垦杨树林地土壤粒径分形特征的研究、沙国良^[22]在黄土高原研究的典型植物群落土壤粒径分布特征研究结果不同,可能是由于同一土地利用类型的不同深度土壤剖面土壤母质来源和质地较为相似,并且植被恢复对不同深度土壤质地的影响是一个缓慢的过程,需要较长的时间^[19]。

土地利用类型是土壤粒径分布产生差异的重要因素之一。本研究中,撂荒草地黏粒的体积分数显著低于其他土地利用类型,砂粒体积分数显著高于其他土地利用类型。前人研究表明,植被覆盖是侵蚀程度的主要影响因素,裸露土壤更易受到侵蚀的影响。不同颗粒中,黏粒受土壤侵蚀的影响最大,土壤中的黏粒含量越少,表明该地区水土流失越严重^[9,16,23]。撂荒草地植被覆盖度较低,在风蚀以及降雨、径流的共同作用下,土壤中细粒含量逐渐减少。此外,草地根系较浅,生物量和凋落物量较少,土壤自然恢复过程缓慢,对土壤结构的改善作用不显著。农田受到的人工扰动因素复杂,例如耕作、浇水、施肥等,使农田土壤中较大的颗粒被粉碎、细化,因此,农田的粉粒体积分数高于撂荒草地,而砂粒体积分数低于撂荒草地^[11,24-25]。人工乔木林、人工灌

木林以及次生林植物的根系比草地更发达,植被对土壤的改良作用更强。植物根系在生长过程中分泌的物质促进土壤粉粒、黏粒增加,砂粒减少,导致土壤质地细化,进而影响土壤养分状况和其他理化性质^[26]。前人的研究认为,灌木林和乔木林较草地具有更强的减沙能力^[23],本研究中人工灌木林的黏粒体积分数显著低于人工乔木林和次生林,而砂粒体积分数则偏大,可能是因为本研究中人工乔木林的植被盖度大于人工灌木林,且人工乔木林植被冠幅也更大。人工乔木林的冠层对降雨的截留能力大于人工灌木林,因此,雨滴击溅侵蚀和径流侵蚀在人工乔木林中明显减弱,最终使得人工乔木林的黏粒体积分数大于人工灌木林,砂粒、黏粒体积分数为人工乔木林小于人工灌木林;人工乔木林与天然林土壤颗粒组成无显著差异,可能因其乔木物种均以毛白杨为主,且均为成熟林,生态系统相对稳定^[16]。

研究表明,土地利用类型对分形维数具有显著影响。土壤颗粒分形维数值与土壤质地关系紧密,表现为土壤质地越粗分形维数(D)值越小,土壤质地越细分形维数(D)值越大。本研究与贾晓红^[27]等研究结果一致,即土壤分形维数与黏粒、粉粒含量呈正相关,黏粒、粉粒含量越高,分形维数就越大;而砂粒含量越高,土壤分形维数则越低。已有研究表明,土壤质地和性能较好时 PSD 的体积分形维数(D)值范围为 2.55~2.80^[24],桂东伟等^[28]研究结果表明,土壤分形维数大于 2.21 时,土壤颗粒分布相对较好。本研究区人工乔木林、人工灌木林和次生林的 D 与其比较接近,农田、撂荒草地的 D 明显较低,说明植被覆盖度较低,表层土壤干燥,风沙活动频繁,则土壤表层细颗粒物损失较为严重,因为细小的颗粒物更容易随气流飘动。而土壤中细颗粒物质的损失又使得表层土壤粗粒化程度加剧,导致土壤分形维数减小^[16]。因此,土壤分形维数既可以很好地反映土壤中不同粒径的颗粒损失状况,同时也体现出不同土地利用类型对土壤的影响。胡云峰^[10]等研究发现,土壤粒径分形维数随土地利用类型的不同而发生规律性改变,具体表现为植被覆盖度高的区域,土壤颗粒分形维数有所增加。

5 结 论

1) 不同土地利用类型对土壤颗粒分布的影响差异显著。总体表现为人工乔木林、人工灌木林以及次生林以粉粒为主,体积分数分别为 60.94%、64.10% 和 63.52%;农田以粉粒(48.92%)、砂粒

(46.23%)为主;撂荒草地以砂粒(73.56%)为主。

2)不同土地利用类型的黏粒体积分数特征为:次生林、人工乔木林显著大于人工灌木林,人工灌木林显著大于农田和撂荒草地;粉粒体积分数特征为:次生林、人工乔木林、人工灌木林显著大于农田,农田显著大于撂荒草地,砂粒体积分数特征与粉粒相反。

3)土壤分形维数可以作为衡量土壤粗细程度的指标,分形维数越大,土壤越细腻;分形维数越小,土壤越粗糙。土壤分形维数与黏粒、粉粒含量呈显著正相关,与砂粒含量呈显著负相关。

参考文献:

- [1] HUANG G, ZHANG R. Evaluation of soil water retention curve with the pore-solid fractal model [J]. *Geoderma*, 2005, 127(1-2): 52-61.
- [2] 茹豪, 张建军, 李玉婷, 等. 黄土高原土壤粒径分形特征及其对土壤侵蚀的影响 [J]. *农业机械学报*, 2015, 46(4): 176-182.
- [3] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征 [J]. *科学通报*, 1993, 38(20): 1896-1896.
- [4] TYLER S W, WHEATCRAFT S W. Fractal scaling of soil particle-size distributions: Analysis and limitations [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56(2): 362-369.
- [5] 王国梁, 周生路, 赵其国. 土壤颗粒的体积分形维数及其在土地利用中的应用 [J]. *土壤学报*, 2005, 42(4): 545-550.
- [6] 吴承祯, 洪伟. 不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究 [J]. *土壤学报*, 1999, 36(2): 162-167.
- [7] 李红丽, 万玲玲, 董智, 等. 沙柳沙障对沙丘土壤颗粒粒径及分形维数的影响 [J]. *土壤通报*, 2012, 43(3): 540-545.
- [8] 刘志强, 高吉喜, 田美荣, 等. 生态修复区植物群落土壤粒径的分形特征 [J]. *生态学杂志*, 2017, 36(2): 303-308.
- [9] 王德, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 不同土地利用类型下土壤粒径分形分析——以黄土丘陵沟壑区为例 [J]. *生态学报*, 2007, 27(7): 3081-3089.
- [10] 胡云锋, 刘纪远, 庄大方, 等. 不同土地利用/土地覆盖下土壤粒径分布的分形特征 [J]. *土壤学报*, 2005, 42(2): 336-339.
- [11] 郭士维, 钟斌, 许文年, 等. 不同土地利用方式下粉壤土粒径分形特征——以鄂西典型小流域下牢溪为例 [J]. *中国水土保持科学(中英文)*, 2022, 20(1): 25-32.
- [12] 李民义, 张建军, 王春香, 等. 晋西黄土区不同土地利用方式对土壤物理性质的影响 [J]. *水土保持学报*, 2013, 27(3): 125-130, 137.
- [13] 桂东伟, 雷加强, 曾凡江, 等. 绿洲边缘不同土地利用方式下土壤粒径分布特征 [J]. *林业科学*, 2011, 47(1): 22-28.
- [14] 白雪, 杨扬, 黄婷婷, 等. 激光衍射法与湿筛-吸管法测定中国 3 种典型土壤粒径分布的差异分析 [J]. *水土保持研究*, 2021, 28(4): 84-90.
- [15] 肖巍. 不同土地利用类型表层土壤粒度特征 [J]. *温带林业研究*, 2020, 3(3): 55-59.
- [16] 陈宇轩, 张飞岳, 高广磊, 等. 科尔沁沙地樟子松人工林土壤粒径分布特征 [J]. *干旱区地理*, 2020, 43(4): 1051-1058.
- [17] 郭中领, 符素华, 王向亮, 等. 北京地区表层土壤分形特征研究 [J]. *水土保持通报*, 2010, 30(2): 154-158.
- [18] 徐佳佳, 于占成, 史隄俊, 等. 北京石质山区不同水土保持措施对土壤物理性质及抗冲性的影响——以房山区蒲洼小流域为例 [J]. *中国水土保持科学*, 2017, 15(2): 107-114.
- [19] 李松阳, 林静远, 潘佳虹, 等. 泥石流频发区不同土地利用类型土壤粒径分布多重分形特征 [J]. *应用与环境生物学报*, 2021, 27(4): 893-900.
- [20] 周学峰, 赵睿, 李媛媛, 等. 围垦后不同土地利用方式对长江口滩地土壤粒径分布的影响 [J]. *生态学报*, 2009, 29(10): 5544-5551.
- [21] 孟婷婷, 刘泽鑫, 刘峰, 等. 不同管理模式对废弃宅基地复垦杨树林地土壤的粒径分形特征的影响 [J]. *土壤通报*, 2021, 52(6): 1299-1307.
- [22] 沙国良, 魏天兴, 陈宇轩, 等. 黄土高原丘陵区典型植物群落土壤粒径分布特征 [J]. *干旱区地理*, 2022(4): 1212-1223.
- [23] 艾宁, 魏天兴, 朱清科. 陕北黄土高原不同植被类型下降雨对坡面径流侵蚀产沙的影响 [J]. *水土保持学报*, 2013, 27(2): 26-30, 35.
- [24] 方肖晨, 王春红, 张荣华, 等. 伏牛山区迎河小流域不同土地利用类型的土壤粒径分布特征 [J]. *中国水土保持科学*, 2017, 15(3): 9-16.
- [25] 任婷婷, 王瑄, 孙雪彤, 等. 不同土地利用方式土壤物理性质特征分析 [J]. *水土保持学报*, 2014, 28(2): 123-126.
- [26] 郑永林, 王海燕, 解雅麟, 等. 北京平原地区造林树种对土壤肥力质量的影响 [J]. *中国水土保持科学*, 2018, 16(6): 89-98.
- [27] 贾晓红, 李新荣, 李元寿. 干旱沙区植被恢复过程中土壤颗粒分形特征 [J]. *地理研究*, 2007, 26(3): 518-525.
- [28] 桂东伟, 雷加强, 曾凡江, 等. 绿洲农田不同深度土壤粒径分布特性及其影响因素——以策勒绿洲为例 [J]. *干旱区研究*, 2011, 28(4): 622-629.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.031

3S 技术在森林火灾风险普查中的应用研究

——以甘孜州稻城县为例

杨怀林¹, 毛天翔², 程秦明²

(1. 四川省林业和草原调查规划院, 四川 成都 610081; 2. 稻城县林业和草原局, 四川 稻城 627750)

摘要:为提高森林火灾风险普查的工作效率,保证数据成果的准确性,分别介绍了利用 GPS、RS 获取外业调查数据以及利用 ArcGIS 获取内业矢量化数据的方法,总结了 3S 技术在森林火灾风险普查工作中调查可燃物、重要火源点、森林火灾减灾能力以及内业图件成果编制方面的经验,且针对工作中遇到的实际问题进行了讨论,为今后 3S 技术应用于其他林业调查提供参考。

关键词:3S 技术;森林火灾风险;普查

中图分类号:S762.2;S771.8;P208;P228.4 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0178-04

引文格式:杨怀林,毛天翔,程秦明.3S 技术在森林火灾风险普查中的应用研究——以甘孜州稻城县为例[J].林业调查规划,2024,49(1):178-181. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.031

YANG Huailin, MAO Tianxiang, CHENG Qinming. Application and Analysis of 3S Technology in Forest Fire Risk Survey——A Case Study of Daocheng County in Garze Prefecture[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 178-181. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.031

Application and Analysis of 3S Technology in Forest Fire Risk Survey

——A Case Study of Daocheng County in Garze Prefecture

YANG Huailin¹, MAO Tianxiang², CHENG Qinming²

(1. Sichuan Forestry and Grassland Survey and Planning Institute, Chengdu 610081, China;
2. Forestry and Grassland Bureau of Daocheng County, Daocheng, Sichuan 627750, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of forest fire risk survey and ensure the accuracy of data results, the paper introduced the methods of using GPS and RS to obtain field survey data and using ArcGIS to obtain indoor vectorized data respectively, summarized the experience of using 3S technology to investigate combustibles, important fire source points, forest fire disaster reduction capabilities, and prepare indoor map results in forest fire risk survey, and discussed the practical problems encountered in survey, providing reference for the application of 3S technology in other forestry investigations in the future.

Key words: 3S technology; forest fire risk; survey

森林生态系统是我国重要的陆地生态系统,具有很强的水源涵养功能,主要表现在森林产水、净水、拦洪、削峰补枯等方面^[1]。同时,森林可以通过

植物光合作用将外界的二氧化碳转化为自身的能量,释放氧气,缓解全球气候变暖的环境问题^[2]。受极端天气增多和全球气候变暖影响,我国森林火

收稿日期:2022-07-04;修回日期:2022-07-20.

第一作者:杨怀林(1981-),男,重庆人,高级工程师.主要从事林业调查规划工作.

灾面临的形势异常严峻。森林火灾会对动植物资源、生态环境造成严重破坏,也造成水土流失、空气污染等环境问题,位列世界三大破坏森林资源的自然灾害之首^[3]。应用高科技手段对森林生态系统中可燃物数量进行监测,对森林资源的保护意义重大。

1 3S 技术简介

地理信息系统(geographical information systems, GIS)是一种计算机信息系统,主要作用包括空间数据的采集、存储、处理、分析、显示和制图^[4]。作为一款查询和空间分析功能强大的工具,现广泛应用于国土、农林、交通、水利等不同领域。

遥感(remote sensing, RS)是利用卫星、航空飞机等搭载传感器,依据不同地物对电磁波的反射波谱不同而获取地物信息的先进技术^[5]。遥感技术现已广泛应用于森林资源调查、湿地遥感监测、荒漠化遥感监测、森林火灾遥感监测、森林病虫害遥感监测等领域^[6]。

全球定位系统(global positioning system, GPS)是利用卫星信号、地面基站和用户接收机,通过物理有关精准原理进行定位和追踪的系统。

2 材料与方法

2.1 普查方法及步骤

本研究采用的遥感数据为 0.8 m 的影像数据,地形数据为 20 m 分辨率的 DEM 数据,充分利用稻城县森林资源管理“一张图”、稻城县森林资源规划设计矢量数据、稻城县国土“三调”矢量数据,采取内外业结合方式,进行标准地布设和大样地林分型区划,然后再进行外业调查,形成最终数据成果。利用 3S 技术进行火灾风险普查的技术路线如图 1 所示。

2.2 标准地和大样地布设

2.2.1 内业 GIS 布点图制作

利用 ArcGIS 对下载的稻城县 0.8 m 分辨率的遥感影像进行大气校正、几何校正,将校正后的影像进行镶嵌,再沿稻城县矢量范围裁剪,得到稻城县遥感影像^[7]。叠加稻城县森林资源管理“一张图”、稻城县森林资源规划设计矢量数据、稻城县国土“三调”矢量数据,利用植被纹理信息和矢量数据信息进行分析研究,按照省级林草主管部门下达的标准地分层要素的要求进行标准地内业布点和大样地林分型内业区划。

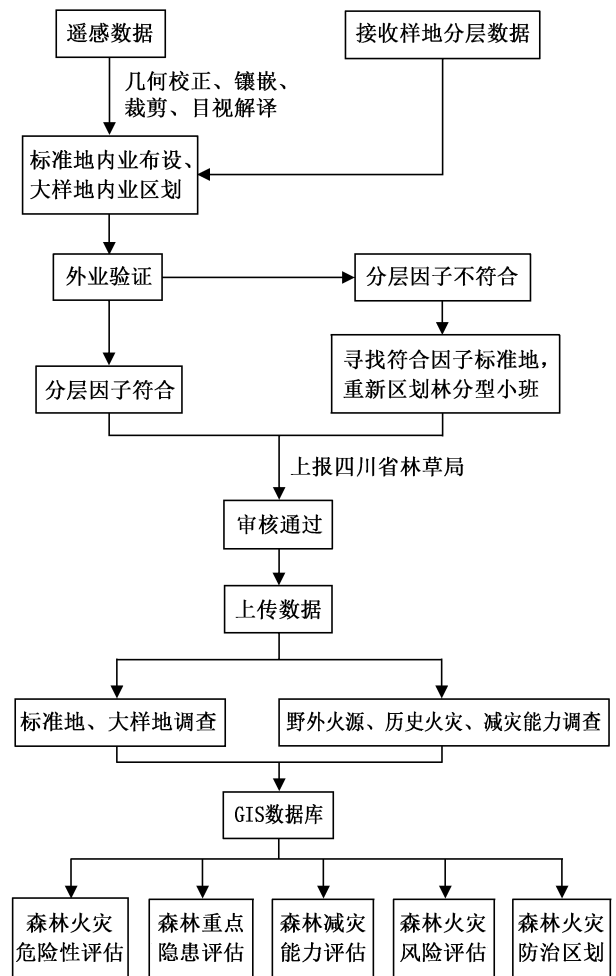


图 1 稻城县火灾普查技术路线

Fig. 1 Technical route of fire survey in Daocheng County

2.2.2 标准地和大样地现地验证

将标准地和大样地的坐标导入 GPS 定位仪,按照分层因子优势树种组、起源、龄组和郁闭度(盖度)进行外业核实,对符合标准地类型码的样地,使用 PVC 管固定西南角位置,写上标准地编号,并用 RTK 采集西南角坐标。对于不符合分层码的样地,重新踏查筛选出符合类型的标准地,大样地林分型重新区划,采集西南角坐标。

2.2.3 标准地和大样地布点确定

通过内业初步点位布设和外业标准地、大样地现地验证,将最终确定的样地点位和大样地区划利用 GIS 进行编辑,形成标准地和大样地布点方案,上报省级林草主管部门进行方案报批,待批复后将点位上传至全国森林和草原火灾风险平台。根据《四川省第一次森林和草原火灾风险普查实施方案》,稻城县共布设 90 个标准地和 9 个大样地。稻城县样地分布如图 2 所示。

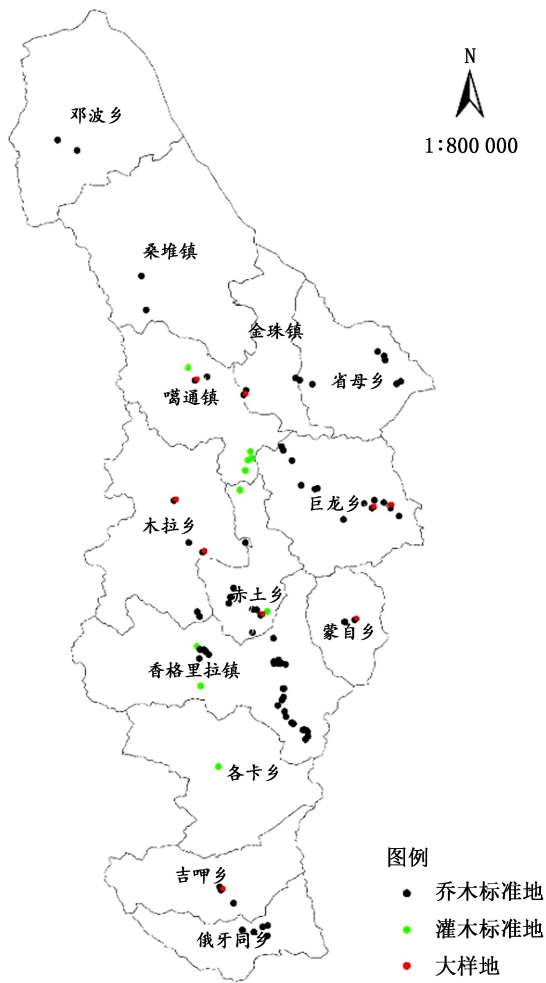


图 2 稻城县样地分布

Fig. 2 Distribution of sample plots in Daocheng County

2.3 外业调查

2.3.1 工器具准备

无人机、载波相位差分仪 (RTK)、GPS 定位仪、数据采集平板、计算器、罗盘仪、花杆、恒温烘箱、便携式电子天平、吊秤、枝剪、手锯、砍刀、铁耙、PVC 塑料管、编织袋、10 目网筛、钢围尺、布袋、塑料袋、钢卷尺、角规、剪刀、防水签字笔、签字笔、自动铅笔、橡皮擦、文件夹等。

2.3.2 标准地、大样地可燃物调查

利用奥维互动地图、数据采集平板和 RTK, 导航至样地位置或角规点位置, 记录坐标, 然后进行样地或角规测量, 按照《森林可燃物标准地、大样地调查操作细则》进行数据与样品的采集。

2.3.3 重要火源点调查

以稻城县森林资源规划设计矢量图为基础, 在 ArcGIS 中对林区边线进行缓冲分析, 缓冲距离为 100 m, 生成重要火源点调查图层。在图层范围内对坟

墓、庙宇、工矿企业和旅游景点进行 GPS 坐标记录。

2.3.4 森林火灾减灾能力调查

收集防火物资储备库、防火阻隔系统、防火瞭望监测系统、火险预警系统设施、防火道路、林业管护站、防火检查站、宣传设施等工程的矢量图位置, 利用 ArcGIS 将其转换为 kml 格式, 导入奥维互动地图, 现地逐一核实位置的准确性, 对位置出现错误的进行修改, 最终落实到数据库中。

2.4 内业图件成果编制

依据调查结果, 在 ArcGIS 中建立稻城县森林火灾风险普查的文件数据库, 再分别建立不同调查要素的数据集, 各要素属性字段要符合四川省第一次森林和草原火灾风险普查调查底图标准化处理技术指南, 为后期森林火灾危险性评估、森林火灾重点隐患评估、森林火灾减灾能力评估、森林火灾风险评估与区划、森林火灾防治区划等图件提供帮助。稻城县火灾风险普查内业图件编制示意如图 3 所示。

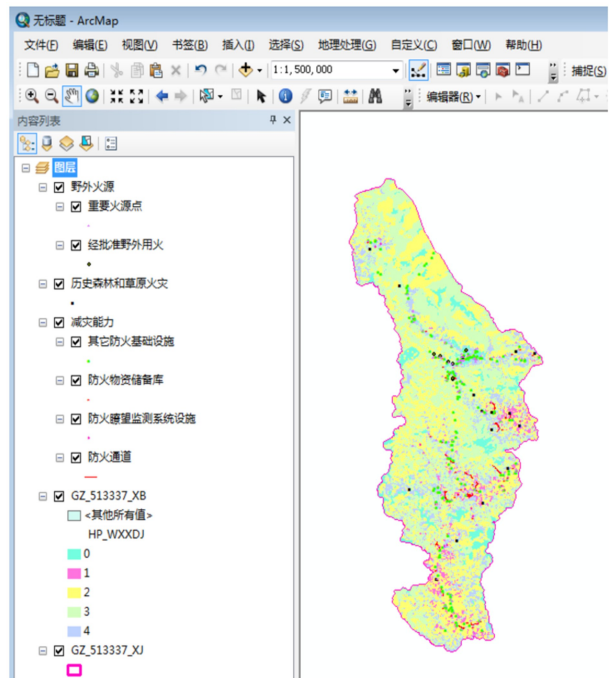


图 3 稻城县火灾风险普查内业图件编制示意

Fig. 3 Schematic diagram of maps preparation for the fire risk survey in Daocheng County

3 讨论与结论

虽然 3S 技术应用于森林火灾风险普查极大地提高了林业调查的准确性和高效性, 但也存在一些问题亟待解决。

1)在山区、林区等作业时,GPS 卫星信号被阻挡的几率较大,信号较差,卫星空间结构差,易造成失锁,重新初始化困难,影响正常作业^[10]。

2)RTK 作业模式要求高程的转换必须精确,但稻城县处于高原地区,高程起伏较大,使得 GPS 大地高程转换至海拔高程的工作相对较为困难,极大地降低取得的高程精度^[11]。

3)RS 遥感数据受时空限制,普遍分辨率较低。同时,遥感数据更新周期过长,部分新采伐地块不能在影像中及时反映出来,为森林资源火灾风险评估带来不准确性。因此,要想直接将遥感影像用于布设标准地或区划大样地困难。

4)RTK 仪器较为笨重,稻城属高海拔、高山峡谷区域,携带不便。

基于 3S 技术的森林火灾风险普查调查方法极大地提高了调查效率,传统的林业调查多为地形图调查,与遥感卫星影像相比,调查的误差较大,且效率低下^[8]。结合 RS 和 GPS 技术核实并采集火灾风险普查相关数据信息,同时输入属性信息,使外业调查更准确高效,同时也减少内业录入工作量。使用 GIS 的属性分析和空间分析功能进行内业工作处理,极大地提高内业处理效率,也能提高成果的可视化效果^[9]。

参考文献:

- [1] 周佳雯,高吉喜,高志球,等. 森林生态系统水源涵养服务功能解析[J]. 生态学报,2018,38(5):1679-1686.
- [2] 焦文月. 森林经营管理对碳汇的作用和影响[J]. 广东蚕业,2022,56(1):34-36.
- [3] 楚艳萍,蒋瑶,王旭. 森林火灾危害及其预防措施[J]. 北京农业,2015(36):117-118.
- [4] 李建松. 地理信息系统原理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2006:1-24.
- [5] 郭宛予,孙素芬,冯仲科,等. 基于 3S 技术的园林绿化调查方法与分析——以北京市通州区为例[J]. 江苏农业科学,2019,47(10):162-166.
- [6] 李增元,陈尔学. 中国林业遥感发展历程[J]. 遥感学报,2021,25(1):292-301.
- [7] 黄国森,阮芳. 基于镶嵌数据集的多源影像标准分幅裁剪[J]. 测绘和空间地理信息,2021,44(3):124-126.
- [8] 李春干,代华兵. 中国森林资源调查:历时、现状与趋势[J]. 世界林业研究,2021(6):72-80.
- [9] 桑开军. GIS 技术林业应用实践研究[J]. 绿色科技,2019(19):121-122,125.
- [10] 余小龙,胡学奎. GPS RTK 技术的优缺点及发展前景[J]. 测绘通报,2007(10):39-44.
- [11] 乔永利. GPS-RTK 在矿山测量中的应用研究[J]. 应用技术,2007(10):101-102,108.

责任编辑:陈旭

(上接第 124 页)

- [18] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第 7 卷[M]. 北京:科学出版社,1978:255-259.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [20] 王丹,李江飞,李亚麒,等. 不同苗龄云南松异速生长及其表型可塑性[J]. 中南林业科技大学学报,2022,42(1):36-44.
- [21] 朱强根,金爱武,王意锟,等. 不同营林模式下毛竹枝叶的生物量分配:异速生长分析[J]. 植物生态学报,2013,37(9):811-819.
- [22] 李聪,吕晶花,陆梅,等. 文山自然保护区典型植被土壤碳氮储量变化特征[J]. 生态学杂志,2021,40(11):3531-3542.
- [23] SANYAL D,BRAR B S,DHERI G S. Organic and inorganic integrated fertilization improves non-exchangeable potassium release and potassium availability in soil[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis,2019(50):2013-2022.
- [24] QUAN W M,HAN J D,SHEN A L,et al. Uptake and distribution of N,P and heavy metals in three dominant salt marsh macrophytes from Yangtze River estuary, China[J]. Marine Environmental Research,2007,64(1):21-37.
- [25] 蔡年辉,王大玮,黄文学,等. 云南松苗木生长与生物量的相关性及其通径分析[J]. 植物研究,2019,39(6):853-862.
- [26] 毛圆圆,郝俊,龙水义,等. 煤矸石山不同种植年限香根草生物量分配及异速生长分析[J]. 广西植物,2020,40(6):802-811.
- [27] 杨琼,李征珍,傅强,等. 胡杨(*Populus euphratica*)叶异速生长随发育的变化[J]. 中国沙漠,2016,36(3):659-665.
- [28] 武瑞鑫,邵新庆,胡新振,等. 披针叶黄华茎叶性状对不同草地管理措施的响应及其生长关系研究[J]. 草地学报,2015,23(3):476-482.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.032

基于物联网的区域森林防火气象服务系统开发

田淙海, 于万荣, 王卫国, 李必龙, 赵海明

(山西省气象服务中心(山西省气象影视中心、山西省专业气象台), 山西 太原 030002)

摘要: 基于互联网的森林防火气象服务系统进行软硬件设计, 建立物联网技术的可视化系统, 融合多项气象数据采集技术, 实时反馈气象数据。结果表明, 区域森林防火气象服务系统采用 B/S 模式, 充分运用 Java EE 技术、数据库管理, 完成了整体系统、多重搭建、广泛使用的管理模式, 有利于提高区域森林气象数据管理的便利性, 对于最大限度地预防火灾和顺利开展灭火工作具有重要意义。

关键词: Java EE 技术; B/S 模式; 气象数据; 可视化; 区域森林防火

中图分类号: S762.2; TP311.13 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0182-05

引文格式: 田淙海, 于万荣, 王卫国, 等. 基于物联网的区域森林防火气象服务系统开发[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 182-186. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.032

TIAN Conghai, YU Wanrong, WANG Weiguo, et al. Development of Regional Forest Fire Prevention Meteorological Service System Based on the Internet of Things[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 182-186. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.032

Development of Regional Forest Fire Prevention Meteorological Service System Based on the Internet of Things

TIAN Conghai, YU Wanrong, WANG Weiguo, LI Bilong, ZHAO Haiming

(Shanxi Meteorological Service Center (Shanxi Meteorological Film and Television Center, Shanxi Professional Meteorological Observatory), Taiyuan 030002, China)

Abstract: The regional forest fire prevention meteorological service system based on the Internet was designed in software and hardware, and the visualization system of Internet of Things technology was established, which integrated multiple meteorological data collection technologies and fed back meteorological data in real time. The results indicated that the regional forest fire prevention meteorological service system adopted the B/S mode, fully utilized Java EE technology and database management, and completed the overall system, multiple constructions, and widely used management mode. This study was conducive to improving the convenience of regional forest meteorological data management, and was of great significance for maximizing fire prevention and smoothly carrying out firefighting work.

Key words: Java EE technology; B/S mode; meteorological data; visualization; regional forest fire prevention

森林火灾是森林最危险的敌人,也是林业最可怕的灾害,给森林带来最有害、最具毁灭性的后果。

森林火灾发生时还会产生大量烟雾,污染空气环境。此外,扑救森林火灾消耗大量的人力、物力和财力,

收稿日期: 2022-06-23.

第一作者: 田淙海(1988-),男,四川成都人,高级工程师。主要研究方向为气象防灾减灾、专业气象服务、公共气象服务。

Email: 393811881@qq.com

影响工农业生产,甚至造成人身伤亡,影响社会安定。如何有效的实施森林防火监测备受关注。

森林火灾危害大,扑灭困难,在火灾萌芽状态便立即扑灭显得尤为重要。森林火灾因为常发生在深山老林中,不易发现,故而发现火灾对于早扑灭火灾具有重要意义。在森林可燃物和火源具备的情况下,林火能否发生主要取决于火险天气,一般来说,火险天气也就是有利于发生森林火灾的气候条件,如气温高、降水少、相对湿度小、风大、长期干旱等,因此气象观测和预报对森林防火具有十分重要的意义。随着信息技术的飞速发展,信息化环境给社会各阶层带来了巨大挑战,同时也提供了更多方法^[1-2],将各个地区的采集数据信息化,并实时通过通讯装置 3G/4G/5G 通信传输到后台,能满足数据采集的时效性和准确性。

森林防火气象服务系统系统管理作为现代工业的基础设施,具有重要的研究价值。同时涉及环境、通信、运维等各方面均具备极强的专业性和复杂性,业务的复杂性为管理工作带来了更多的挑战,需要开发信息软件进行数据管理^[3-4]。系统根据防火气象管理的需求,急需组建一个覆盖数据中心总部和各个采集点的统一标准、信息互通便捷、流程简洁的森林防火气象服务系统平台,既能实现采集点与数据中心的数据交互,又可以实现各采集点之间的协同。运用信息技术开展气象数据管理工作,对森林防火气象服务系统数据管理发展具有深刻的影响和意义。气象信息数据采集同样面临着采集工作的复杂性和采集过程的专业性,采集的地区、环境、地形等差异,需要不同的方案执行,对于气象信息数据的采集也需要相当专业的技术。本系统依托精细化的网格气象服务数据及高分辨率的卫星雷达监测产品建设,能提供精细化、有针对性的森林气象服务产品,大大提升森林气象服务水平,有效强化防火的气象服务能力,做到准确、及时、有效服务。

1 气象数据采集要点

采集过程中注意样本的选取,每种环境样本选取 3 组。采集系统可以连续不断地工作,在外部电路中设计看门狗,在系统进入死循环时及时重启电路。所以采集系统具备免维护能力,在断电后能自动休眠,在系统来电后会自动恢复工作。采集系统能接收远程的网络配置信息,实现一定程度的远程配置升级。对于采集的数据可以通过互联网传输到服务器后台,方便后台操作人员对比和操作。采集

设备具备自检功能,在发现传感器等出现异常数据或不工作时会上报报警信息,对于采集过程中出现的设备断电故障问题可以及时反馈。

2 关键技术

2.1 Java EE

Java EE 一般缩写为 J2EE,是美国 SUN 集团推出的一款针对企业的开发工具,具有快速部署且易于入手的网络化编程语言,基于传统 Java 的一项变种创新尝试,为公司和集团开发软件提供了新的选择。J2EE 的组件包括 JDBC、EJB、JNDI 等 13 项,其中 JDBC 用于数据库的读写,EJB 为企业级 JavaBean,在一个企业级应用程序中作为一个可被管理的组件,随着技术的发展更新,这项技术已逐渐被淘汰。JNDI 是 J2EE 相关文件系统的接入路径管理,提供了一个入口程序。特别还有 Servlets 为 J2EE 的网页可视化提供了动态特性,为 UI 的人机友好化带来极大便利,所以 J2EE 是开发软件与网页的最佳选择。

2.2 物联网技术

物联网技术是第三次信息技术革命的产物,通过物联网技术可以实现万物互联,并可以通过传感设备与互联网进行数据交换,实时对数据进行跟踪、定位、收集。

2.3 CDN 分发

区域森林气象服务系统需要数据发布和数据更新等功能,需要采用内容分发技术,当前热门的 CDN 技术是理想的选择之一。CDN 内容分发网络通过在多处布置静态缓存服务^[5-6],从而以存储空间换取时间上的效率,会自动选择附近节点中的内容,以代替请求服务器发送所需要的内容。随着信息技术的发展,基于 CDN 的理念又开发了 Squid、Varnish 等软件,目前 Squid 慢慢退出 CDN 市场,而 Varnish 正在兴起。Varnish 的优点是减少了在网络上的请求和响应要求,对于托管用户的互联网带宽有所下降,节省了带宽,减少了服务器的请求,对服务器的载入也随之减少,用户可立即获得请求的响应,因此也减少了用户接入时间,增加了吞吐量,提高了可靠性。这些优异的特性都将帮助提升管理系统使用的便利性和稳定性,从而选择 CDN 作为管理系统的分发关键技术。

3 系统设计方法

3.1 数据可视化架构设计

气象检测系统服务利用 Java EE 平台,采用多

重架构组成,三层架构体系如图 1 所示。

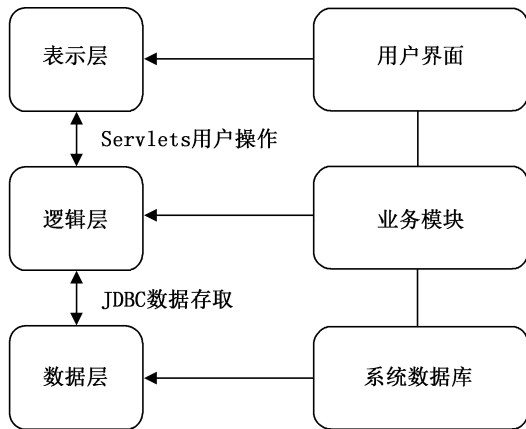


图 1 业务系统三层架构体系

Fig. 1 Three-tier architecture of business system

Java EE 业务系统有表示层、逻辑层和数据层,其中比较关键的是利用逻辑层将表示层与数据层分隔开,减少气象检测数据与外界连通,使系统数据更具有安全性。

在用户界面层,系统给使用者提供了操作接口。以 HTML 部署架构, CSS 与 JavaScript 编写程序逻辑,还将 jQuery 与 Bootstrap 结合进行美学人机交互的深度重构,实现业务管理功能。再利用 Java EE 平台将前端数据传递至逻辑层,然后将后台数据处理后在前端显示。在逻辑层主要实现业务登记流程,把数据与业务流程结合,完成业务系统后台正常运转,自动存取运算工业企业的相关信息数据,实现用户界面与系统数据库的链接。最终在数据层利用 Java EE 平台逻辑层设计面向对象的应用接口,根据逻辑层指令对工业企业数据进行处理,再返回逻辑层。通过以上三层架构,实现整个业务管理系统的正常流转,从而满足业务管理系统稳定运行的需要。

3.2 物联网系统设计

必须充分了解掌握气象数据管理系统的原则、架构、功能,才能设计出管理系统的建设方案。气象数据管理系统应满足软件行业多项技术标准原则,防止出现不可控的软件故障问题,影响用户体验和安全性问题。气象数据管理系统采用 B/S 结构, B/S 结构在 Internet 模式下的应用,成本较低,可以实现不同工作人员对系统的操作与访问^[7-8],在 B/S 结构下数据平台和访问的权限更加安全,系统数据库也相对比较安全。系统由 SoTower 组件、MVC 开发模式简化和规范开发流程,减少软硬件技术难题,充

分发挥 Java 的部署优势,可以在多系统之间灵活移植。

在纵向上,后台对监测点可以自上而下或自下而上地进行双向数据传输,通过一体化平台可以保证数据安全有效的快速传输。

根据企业业务逻辑需求,对系统的数据库进行设计,具体业务需求本系统采用 E-R 模型,直接跳过数据库管理系统来表达实体之间的关系。数据库主要分为采集点数据表、气象数据处理后的记录表、数据中心进行数据处理的记录表。采集点数据表主要包含各采集点的数据,气象数据处理后的记录表主要是处理分析收集企业数据,反馈至系统后台,后台再将结果反馈至气象数据记录,采集点与数据中心之间的信息就能迅速协同。

外部物联采集设备需要满足低功耗和低成本要求,综合考量下选用 CC 系列模块。CC 系列模块价格低廉,具备一定的数据处理功能,能满足低频的数据采集转发需求,在物联网行业应用广泛。目前行业内已经存在物联网专用的芯片,这类芯片将常用无线通讯模块与单片机封装到一起,增强数据采集、分发、上载的可靠性和稳定性。CC2540 就是这类芯片,将数据采集与低功率蓝牙模块结合,本次物联网设备选用此芯片作为主控芯片。系统硬件及外部电路如图 2 所示。

4 数据采集与可视化效果

气象物联数据管理系统采用 B/S 模式,充分运用 Java EE 技术、数据库管理,完成了整体系统、多重搭建、广泛使用的管理模式,更有效地加快各采集点之间的联系沟通,降低信息传递的拖延和失真。同时管理系统采用的 Java EE 技术使本系统具有很好的可移植性,同时也提高了数据的安全性,使数据更加安全可靠,气象数据采集的便利性和可靠性提升明显。

物联网采集数据主要包含温度、湿度、PM_{2.5}、PM₁₀ 等,采集模块使用模块化设计,具体采集模块依据场景需要进行裁剪。在实际使用中发现气象采集系统在一年中的不同时间、不同典型环境下,数据的实时性以及可靠性、有效性均较高,以某森林中的采集点为例,气象数据采集数据如表 1 所示。

通过数据可以发现,同一时间物联数据与现场实测数据基本一致,误差基本在检测系统误差内,采集系统数据稳定可靠。3 d 统计结果平均维修时间小于 8 min,平均无故障时间高于 71 h。

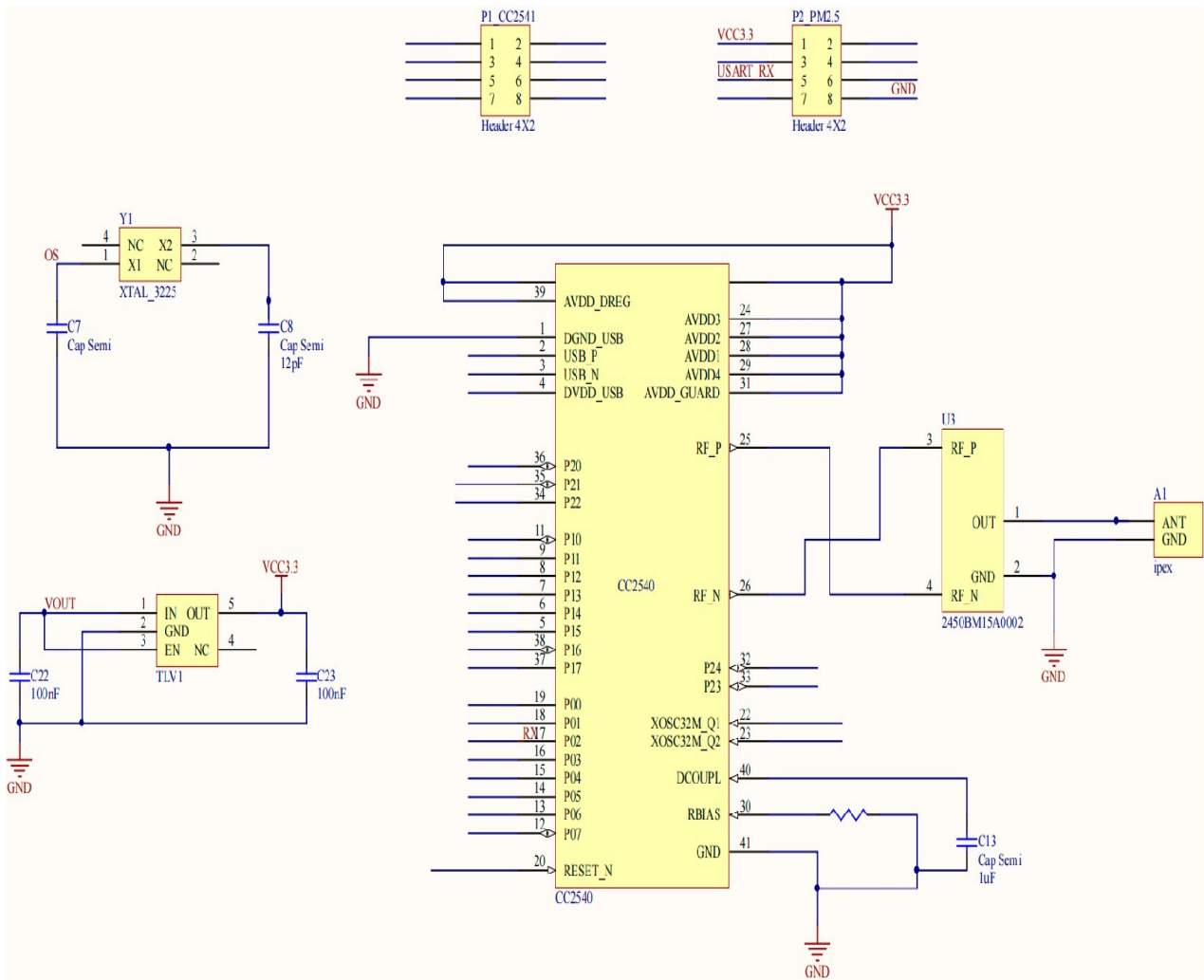


图 2 电路硬件设计

Fig. 2 Circuit hardware design

表 1 气象数据采集

Tab. 1 Meteorological data collection

试验序号	实际温度 /°C	实际湿度 /%	实际 PM ₁₀ /((mg·m ⁻³))	采集温度 /°C	采集湿度 /%	采集 PM ₁₀ /((mg·m ⁻³))
1	24.5	56	180	25.3	55	168
2	16.3	60	122	16.4	60	130
3	5.6	40	203	6.0	40	196
4	-10.2	14	192	-10.4	14	185
5	-5.0	20	188	-4.8	20	178

通过葵花卫星数据或极轨卫星数据,实时监测热点信息并突出显示,可查看该火点的过火面积、经纬度坐标、林场地址等信息。同时可对过去监测到的热源点信息进行查看及导出,如图 3 所示。

5 结论

区域森林防火气象服务系统的设计与开发不仅把握了世界绿色发展机遇,也是积极应对未来挑战的正确选择。区域森林防火气象服务系统采用 B/S 模式,充分运用 Java EE 技术、数据库管理,完成了整体系统、多重搭建、广泛使用的管理模式,更有效地加快物联网数据上载,各级采集点与数据中心之间的联系沟通。同时管理系统采用的 Java EE 技术使本系统具有很好的可移植性,同时也提高了数据的安全性,使数据更加安全可靠。对于区域森林气象数据采集应用此管理系统不仅可以提升森林气象数据的采集效率,同时还增强了各采集点之间的协同能力,有效提高了森林气象数据的可靠性和安全性。区域森林防火气象服务系统融合了先进的卫星监测、雷达监测、气象观测站以及林区观测站的实时监

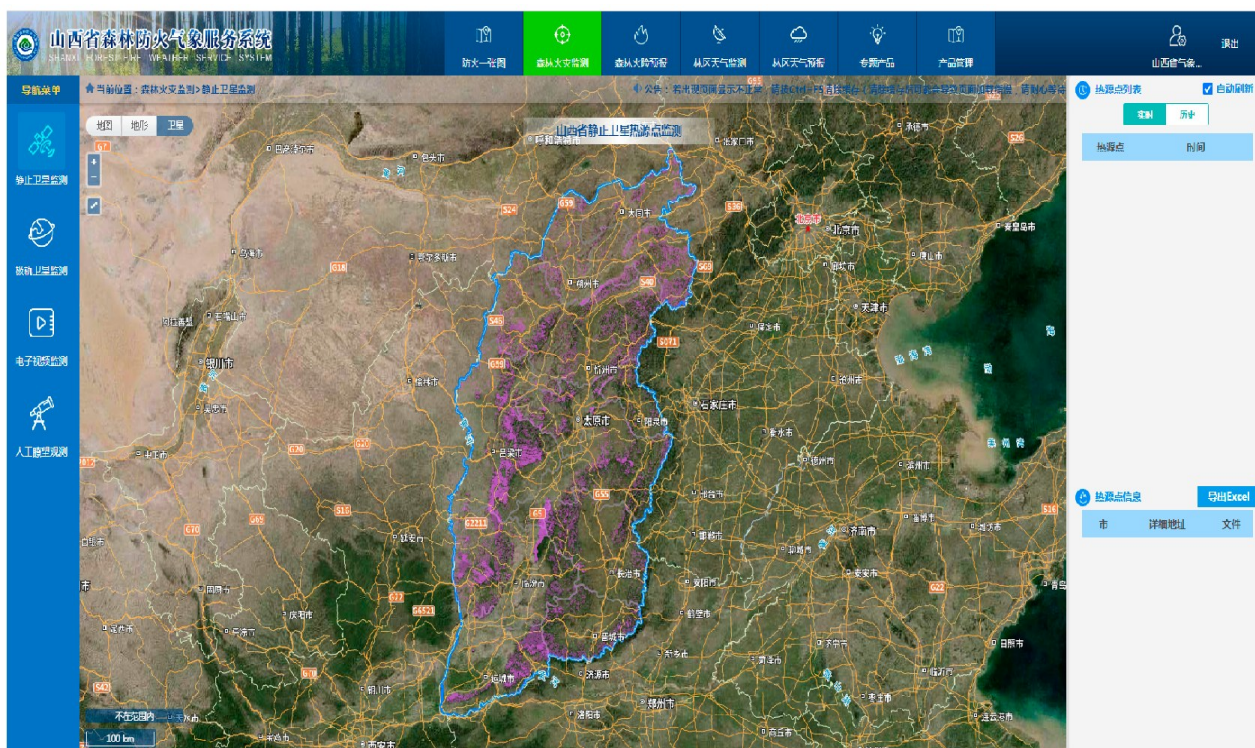


图 3 热点信息卫星监测

Fig. 3 Satellite monitoring of heat source point information

测数据,观测站网密集,观测手段全面,用户可实时查看各类监测实况数据,及时全面地为用户提供所需要的实况资料,从而为森林防火的决策和实施提供便利。

参考文献:

[1] 朱航标,吴青,杨满江,等. 混有智能船舶水域的航行风险评价软件框架设计[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2021,43(3):231-235.

[2] 胡万宏,高亮,段州君,等. 烟草行业消防智能一体化平台设计应用探讨[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2021,43(3):218-223.

[3] 李超. 纺织企业管理中财务会计核算问题[J]. 棉纺织技术,2021,49(8):91.

[4] 闫慧. 大数据时代企业财务会计与管理会计融合发展路径探讨[J]. 商业经济研究,2021(15):132-134.

[5] 孟晓景,张春勇. 一种改进加权最小连接算法及在 CDN 的负载均衡技术中的应用分析[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2020,39(1):85-90.

[6] 赵礼强,姜崇,靖可. 基于网络小说热度预测的 CDN 内容分发策略研究[J]. 中文信息学报,2018,32(10):87-97.

[7] 姚引娣,王磊,花静云,等. 基于 B/S 架构的 LoRa 远程温室监测系统[J]. 传感器与微系统,2021,40(1):78-80,84.

[8] 陈钟荣,洪滔. 基于 Java 和聚类分析移动端天气雷达管理系统设计[J]. 现代电子技术,2019,42(2):62-66.

责任编辑:杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.033

基于 Landsat 8 遥感数据的森林火灾过火面积估算

——以贵州毕节市赫章县“3·18”火灾为例

董奎¹, 董平², 陈兰³

(1. 毕节市天然林资源保护中心, 贵州 毕节 551700; 2. 四川山海图农林科技有限公司, 四川 成都 610081;
3. 毕节市林业调查规划设计院, 贵州 毕节 551700)

摘要:以贵州省毕节市赫章县 2021 年 3 月 18 日较大森林火灾为例, 利用火灾前后 Landsat 8 遥感数据及 ENVI 遥感数据处理分析软件, 通过图像预处理、计算归一化植被指数和燃烧面积指数等方法, 提取森林火灾过火区域, 计算过火面积。结果表明, 利用 Landsat 8 数据能够较好地提取森林火灾过火区域, 过火面积估算准确率达 96.2%。

关键词:Landsat 8 遥感数据; 森林火灾; 过火面积; 归一化植被指数; 燃烧面积指数

中图分类号:S762.31;S711.8 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0187-05

引文格式:董奎, 董平, 陈兰. 基于 Landsat 8 遥感数据的森林火灾过火面积估算——以贵州毕节市赫章县“3·18”火灾为例[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1):187-191. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.033

DONG Kui, DONG Ping, CHEN Lan. Estimation of Forest Fire Burned Area Based on Landsat 8 Remote Sensing Data——A Case Study of “3·18” Forest Fire in Hezhang County, Bijie City, Guizhou Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1):187-191. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.033

Estimation of Forest Fire Burned Area Based on Landsat 8 Remote Sensing Data

——A Case Study of “3·18” Forest Fire in Hezhang County,
Bijie City, Guizhou Province

DONG Kui¹, DONG Ping², CHEN Lan³

(1. Bijie Center of Natural Forest Resources Protection, Bijie, Guizhou 551700, China;
2. Sichuan Shanhaitu Agriculture and Forestry Technology Co., Ltd., Chengdu 610081, China;
3. Bijie Institute of Forestry Inventory and Planning, Bijie, Guizhou 551700, China)

Abstract: Taking the forest fire in Hezhang County, Bijie City, Guizhou Province on March 18, 2021 as an example, this paper used Landsat 8 remote sensing data, and remote sensing data processing and analysis software (ENVI), to extract and calculate the burned area based on image preprocessing, calculation of normalized vegetation index and burned area index. The results showed that the burned area of forest fire could be extracted well by using Landsat 8 data, and the accuracy of burned area was 96.2%.

Key words: Landsat 8 remote sensing data; forest fire; burned area; normalized vegetation index; burned area index

收稿日期:2022-08-23.

第一作者:董奎(1990-),男,贵州织金人,工程师.主要从事林业调查规划工作. Email:296940506@qq.com

责任作者:陈兰(1998-),女,贵州安顺人,硕士研究生.主要从事林业调查工作.

森林资源是陆地生态系统的重要组成部分,对全球和区域生态环境及地理气候有着重要意义。由于自然及人为等因素的影响,森林火灾时有发生,且呈逐年增加趋势^[1],对生态环境和人类生命财产安全造成严重威胁^[2]。如何有效预防森林火灾,减少森林火灾对生态安全和生命财产的威胁,对改善和保护生态环境,促进社会经济发展具有重要意义。近年来,随着地理信息系统(GIS)、遥感技术(RS)及全球定位系统(GPS)技术(统称“3S”技术)的逐步成熟和快速发展,森林火灾监测和预防从传统地面调查上升至天地一体结合,监测精度大幅提高,特别是遥感技术因其具有时空分辨率高、覆盖面广、成本低等优点,已被广泛应用于森林火灾监测和灾后评估中,成为大面积森林火灾监测与过火面积估算的重要手段^[3-4]。利用低空间分辨率气象卫星 NOAA/AVHRR 数据^[5-6]、中空间分辨率陆地卫星 MODIS 及国产环境卫星 HJ-1B 数据^[7]、高空间分辨率卫星 Landsat 系列数据^[8-9]进行的火灾监测研究取得了较好成果。以贵州省毕节市赫章县“3·18”森林火灾为例,使用最新的高空间分辨率 Landsat 8 遥感数据,利用 ENVI 软件对遥感数据进行处理和分析,对比火灾前后遥感影像,对此次森林火灾过火区域进行分析,并测算过火面积。

1 研究区域及遥感数据

1.1 研究区域

赫章县位于贵州省西北部、毕节市西部,地处乌江北源六冲河和南源三岔河上游的滇东高原向黔中山地丘陵过渡的乌蒙山区倾斜地带,介于东经 104°10'28"~105°01'23",北纬 26°46'12"~27°28'18",东西长 85.276 km,南北宽 77.696 km,土地面积 3 250 km²。境内最高海拔 2 900.6 m(贵州屋脊小韭菜坪),最低海拔 1 230 m,平均海拔 1 996 m。赫章县森林资源丰富,全县森林覆盖率达 58.32%,荣获“贵州省森林城市”称号,境内有夜郎国家森林公园、阿西里西景区、平山及水塘国有林场等重要生态区分布。

赫章县“3·18”森林火灾发生于 2021 年 3 月 18 日 16 时,起火地点位于可乐乡农场村顺山组后山上,过火区域主要为灌木林和乔木林,火灾发生后,市、县林业、应急、公安等部门及当地政府及时组织扑救,火灾于 3 月 19 日下午扑灭,无人员伤亡。

1.2 遥感数据

2013 年 2 月 11 日,美国 NASA 成功发射 Landsat

系列最新卫星 Landsat 8,该卫星携带 OLI 陆地成像仪和 TIRS 热红外传感器。OLI 陆地成像仪包括 9 个波段,成像宽幅为 185 km×185 km,空间分辨率为 30 m,其中包含 1 个全色波段,空间分辨率为 15 m,OLI 包括 ETM+传感器所有波段,同时为了避免大气吸收特征,OLI 对波段进行了重新调整,调整较大的是 OLI Band5(0.845~0.885 μm),排除 0.825 μm 处水汽吸收特征。此外,还增加了 2 个新波段:蓝色波段(0.433~0.453 μm)主要应用于海岸带观测,短波红外波段(1.36~1.39 μm)包括水汽强吸收特征可用于云检测;TIRS 热红外传感器包括 2 个单独的热红外波段,空间分布率为 100 m。

查询得到研究区火灾前后卫星过境数据仅有火灾发生当日及之后 3 月 25 日数据,因此本次研究选取的火灾发生前后 Landsat 8 影像,分别是 3 月 18 日(成像时间为北京时间 11:27)和 3 月 25 日(成像时间为北京时间 11:33)数据,数据来源于中国科学院空天信息创新研究院对地观测数据共享平台(<http://ids.ceode.ac.cn/index.aspx>)。

2 研究方法

健康绿色植物的光谱特性主要取决于其叶片,由于叶绿素的吸收作用,使植物在以 0.5 μm 为中心的蓝光波段和以 0.67 μm 为中心的红光波段有吸收谷,而在 0.75 μm 附近的近红外波段内反射率迅速增加,至 1.1 μm 内反射率达峰值,形成了植被独特的光谱反射特征^[10-11]。而在中红外波段(1.3~2.5 μm),植被对光谱的吸收率增加,反射率大大下降,特别是在水的吸收带形成低谷^[12]。因此,可以通过研究区域地物反射率变化来研究其植被覆盖情况变化,森林火灾发生时,植被物理化学性质就会发生变化,这种改变可以判别森林发生火灾的区域及其蔓延趋势,从而实现利用遥感信息监测森林火灾,并且在火灾发生后还可以根据图像的变化情况对森林受灾面积进行统计分析。在林火遥感研究领域,常用的有归一化植被指数(NDVI)、燃烧面积指数(BAI)、归一化燃烧指数(NBR)等。根据以往研究,结合此次过火区域提取研究重点,选取 NDVI 和 BAI 进行目标提取和统计计算。

2.1 遥感数据处理

由于研究使用的 Landsat 8 数据为 1 级产品,提取火灾信息前需经过预处理,主要包括打开数据、可见光及近红外数据辐射定标、大气校正、植被指数计算等。

2.1.1 辐射定标

利用 ENVI5.3 软件中辐射定标工具 (ToolBox/Radiometric Correction/Radiometric Calibration) 分别对两期影像可见光-近红外数据进行辐射定标, 为方便后续大气校正, 将数据定标为辐射亮度值 (radiance)。

2.1.2 大气校正

为有效地去除水蒸气、气溶胶散射效应等影响, 需对数据进行大气校正, 本文采用 FLAASH 大气校正模型进行校正。利用 ENVI5.3 大气校正工具 (ToolBox/Radiometric Correction/Atmospheric Correction Module/FLAASH Atmospheric Correction) 对辐射定标后数据进行大气校正, 将大气表观反射率校正为地表反射率。

2.1.3 植被指数计算

根据归一化植被指数和燃烧指数计算公式, 利用 ENVI5.3 波段计算工具 (ToolBox/Band Algebra/Band Math) 或直接使用植被指数计算工具 (ToolBox/Band Algebra/Spectral Indices) 进行计算, 得到两期影像 NDVI 和 BAI。

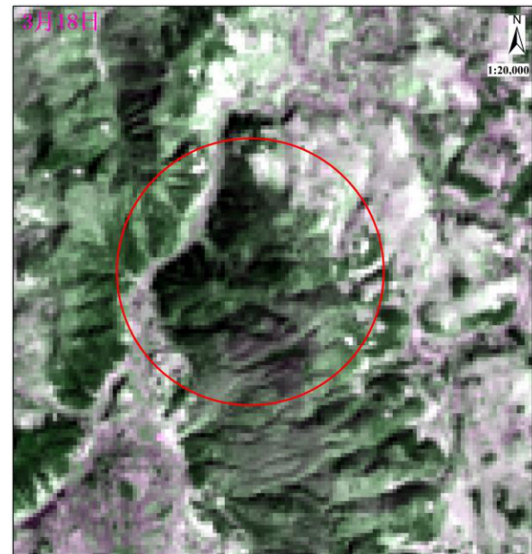
2.2 过火区域提取及面积估算

利用波段组合显示、计算 NDVI 和 BAI 等方式, 提取森林 (植被) 区域过火区域。植被覆盖区域 NDVI 通常高于 0, 利用该条件判别植被和非植被区, 以减少其他因素对提取结果的干扰, 再利用火灾前后 NDVI 差值图像进行二次判别, 最后利用燃烧面积指数 BAI 差值进行阈值判断, 得出最终过火区域。

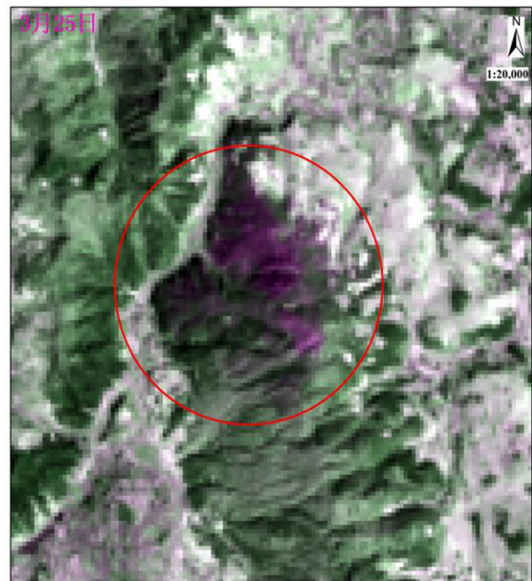
3 研究结果

热红外数据可以监测火灾等自然灾害引发的热突变, 对于 Landsat 8 数据来说, 长波红外 (LWIR) 可以检测到热点信息, 并能区分高空冷云和燃烧烟雾, 而短波红外 (SWIR) 可以穿透雾霾和烟雾, 所以, 利用短波红外影像可以穿透烟雾分析活跃的森林火点和识别火点。在 ENVI 软件中, 使用短波红外数据组合 ($R = SWIR2, G = SWIR1, B = SWIR2$) 形成假彩色合成图像 (图 1), 可以明显看出, 3 月 25 日图像上粉红色区域能较好显示火烧位置及大致范围。

计算火灾前后两期影像的 NDVI (图 2), 对比分析发现, 3 月 18 日上午火灾未发生, 研究火点区 NDVI 值指数较高 (图像较亮), 植被覆盖较好, 火灾发生后, 在 3 月 25 日 NDVI 图像上看出, 燃烧区域 NDVI 值下降 (较暗)。统计前后两期 NDVI 影像最



(a)



(b)

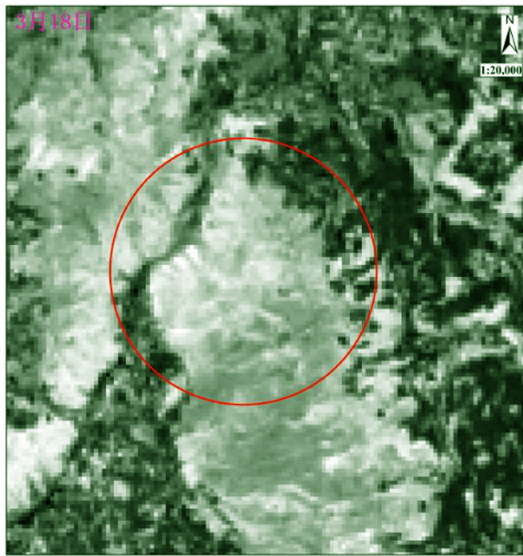
图 1 研究区 3 月 18 日 (a) 和 3 月 25 日 (b) Landsat 8 假彩色合成图像

Fig. 1 Landsat 8 false color composite image on March 18th (a) and March 25th (b) in the research area

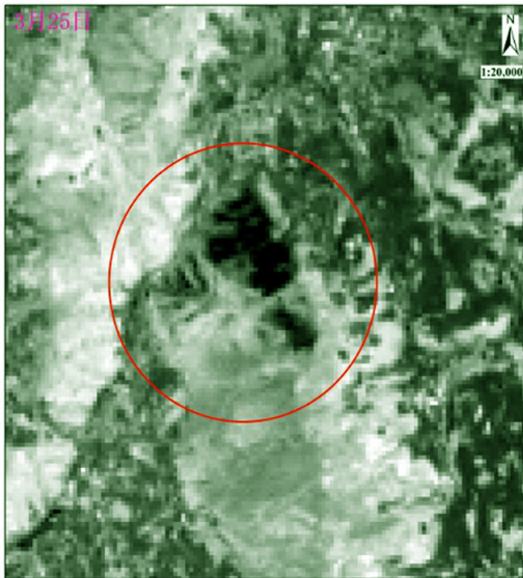
大值、最小值、平均值及标准差等特征值, 火灾发生后归一化植被指数 NDVI 特征值发生明显变化, 火灾发生前高于火灾发生后 (表 1)。

通过波段组合和归一化植被指数计算, 能定性描述此次火灾发生情况, 为进一步排除其他因素对灾前灾后影像突变的影响, 需进一步计算影像燃烧面积指数 BAI (图 3)。

利用 ENVI 软件像素查看器分析火灾前后燃烧指数值 (Data 值) 发现, 3 月 25 日燃烧面积指数明显



(a)



(b)

图 2 研究区 3 月 18 日 (a) 和 3 月 25 日 (b) NDVI 影像

Fig. 2 NDVI images of the research area on March 18th (a) and March 25th (b)

表 1 研究区火灾前后 NDVI 特征值统计

Tab. 1 NDVI characteristic values before and after fire in the research area

时间	最小值	最大值	平均值	标准差
火灾前(18日)	0.09272	0.95213	0.53002	0.16993
火灾后(25日)	0.03552	0.54427	0.30964	0.10752

高于 3 月 18 日(图 3 十字光标位置),说明燃烧区域明显,采用 BAI 能较好表征燃烧区域。

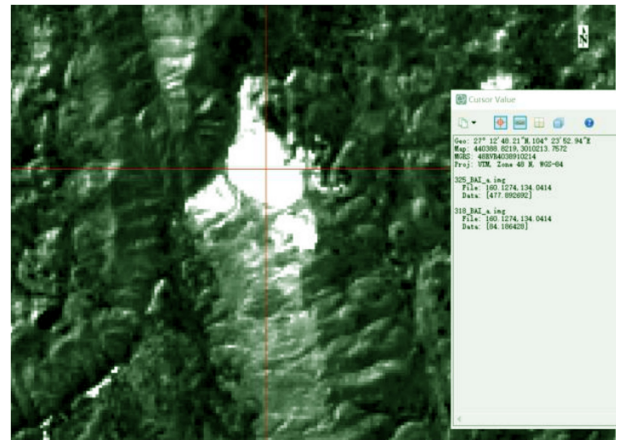


图 3 火灾前后 BAI 像素值对比

Fig. 3 Comparison of BAI pixel values before and after fire

然而,从 BAI 图像上发现,存在非植被区域产生热突变现象(BAI 较高),这可能是 3 月 25 日影像部分区域云覆盖率较高以及非植被区热源影响,需进一步结合 NDVI 和 BAI 对真实燃烧区域(过火区域)进行识别提取。采用图像差值法及阈值法进行变化检测,即通过火灾发生前 3 月 18 日 NDVI 值(高于 0 代表植被区)将非植被区剔除,再对植被区 NDVI 进行差值计算(差值高于 0 即为突变),进一步排除干扰,最后对筛选后的区域 BAI 进行差值计算,得出真实过火区域(图 4)。

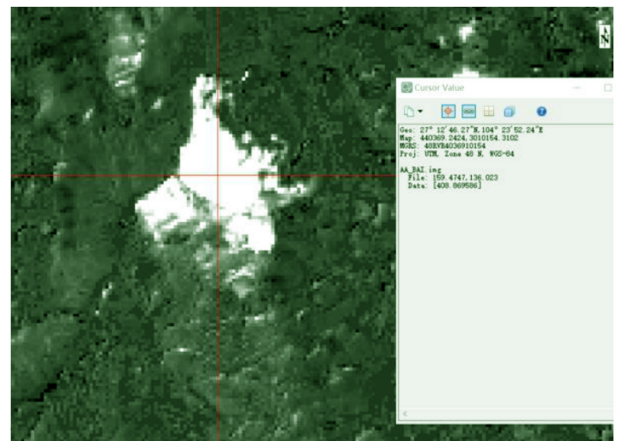


图 4 BAI 差值

Fig. 4 Difference of burned area indexes

由 BAI 差值图可以看出,燃烧区和非燃烧区 BAI 差异明显。采用 BAI 阈值法进行过火区域像素提取,经过不断尝试,最终设定 150 为 BAI 差值图像判别阈值,DN 值高于 150 即为燃烧区,低于 150 则

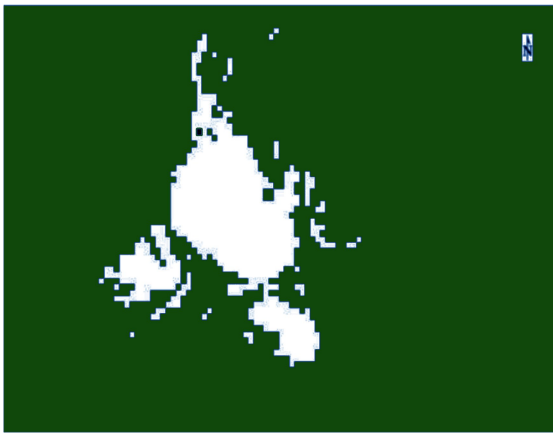


图 5 BAI 阈值提取结果

Fig. 5 Extraction results of burned area index threshold

为背景值,通过波段计算得出阈值提取结果(图 5)。

利用 ENVI 软件将燃烧区域栅格转换矢量数据,导入 ArcGIS 软件中进行制图和面积统计(图 6)。计算过火区域矢量数据面积为 69.21 hm^2 ,根据此次火灾事故现地调查报告,地面调查过火面积为 66.7 hm^2 ,二者相差 2.51 hm^2 ,遥感估算准确率为 96.2% 。

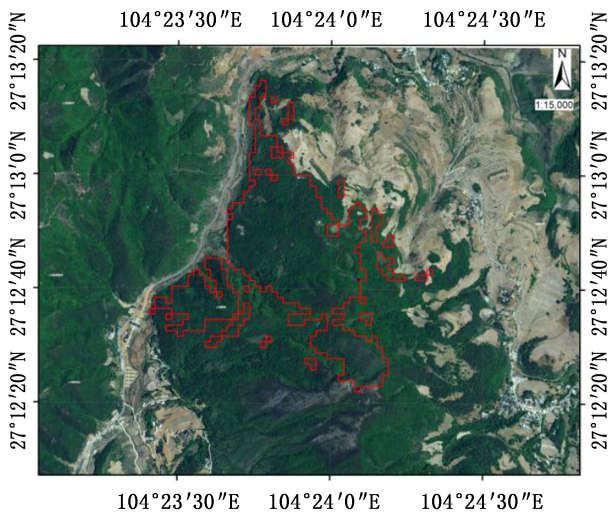


图 6 提取结果叠加天地图影像

Fig. 6 Extraction results overlaid with sky map images

4 结 论

利用火灾前后 Landsat 8 数据,通过图像预处理、计算归一化植被指数和燃烧面积指数、设定阈值等方法,提取了赫章县“3·18”森林火灾过火区域,

估算了过火面积。研究发现,利用 Landsat 8 数据计算归一化植被指数和燃烧面积指数能较好表征森林火灾发生情况,可用于灾后损失评估。经过计算,最终得出基于 Landsat 8 遥感数据的估算面积为 69.21 hm^2 ,地面实测过火面积为 66.7 hm^2 ,二者相差 2.51 hm^2 ,遥感估算准确率高达 96.2% ,估算精度较高,可满足实际工作需要。误差来源可能是遥感数据空间分辨率限制(Landsat 8 数据为 30 m)及数据质量影响,同时,在我国西南山区云雾天气较多的情况下,较高云覆盖对遥感数据质量的影响会使估算结果产生偏差。

参考文献:

- [1] 饶月明,王川,黄华国. 联合多源遥感数据监测四川木里县森林火灾[J]. 遥感学报,2020,24(5):559-570.
- [2] 萨如拉,周庆,刘鑫晔,等. 1980—2015 年内蒙古森林火灾的时空动态[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(2):137-143.
- [3] 莫伟华,马轮基,何立,等. 基于 GIS 的广西卫星遥感林火监测系统介绍[J]. 广西气象,2001,22(3):56-57.
- [4] 唐尧,王立娟,赵娟,等. 基于遥感技术的“3·28”四川木里森林火灾应急灾情监测[J]. 国土资源信息化,2021(1):12-18.
- [5] 卿清涛. NOAA/AVHRR 遥感监测森林火灾的准确性研究[J]. 四川气象,2004(4):30-32.
- [6] 张顺谦,郭海燕,卿清涛. 利用遥感监测亚像元分解遗传算法估算森林火灾面积[J]. 中国农业气象,2007,28(2):198-200.
- [7] 付迎春,速云中,钟小君. 基于 MODIS 遥感影像的森林火灾火点检测方法[J]. 华南师范大学学报(自然科学版),2008(3):112-118.
- [8] 张兵,韦锐,宋昆仑,等. 基于 TM8 遥感影像的森林火灾监测与过火面积测算[J]. 矿山测量,2015(3):75-84.
- [9] 郑江杰,王有志,穆振娟,等. 基于遥感数据的林火监测与过火面积估算方法研究[J]. 价值工程,2017,36(12):219-222.
- [10] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [11] 游先禅. 遥感原理及在资源环境中的应用[M]. 北京:中国林业出版社,2003.
- [12] 武永峰,李茂松,宋吉青. 植物物候遥感监测研究进展[J]. 气象与环境学报,2008,24(3):51-58.

责任编辑:杨竣熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.034

乡村振兴背景下陕南安康市康养旅游竞争力研究

王萍^{1,2}

(1. 安康学院经济与管理学院, 陕西 安康 725000; 2. 陕南生态经济研究中心, 陕西 安康 725000)

摘要: 陕南位处秦巴山脉, 自然资源非常丰富, 安康市作为南水北调工程水源保护地, 康养旅游成为最佳生态旅游产业。结合各地康养旅游研究成果和经验, 在对陕南安康市康养旅游竞争力进行 SWOT 分析的基础上, 从内部优势, 内部劣势, 外部机遇, 外部挑战选取 14 个指标层, 采用 AHP 分析法构建安康市康养旅游竞争力评价指标体系, 并计算出评价指标权重。评价结果表明, 战略点 G (0.005, 0.0028) 位于第一象限, 安康市康养旅游竞争力选择增长型战略, 以康养旅游产业发展助力美丽安康建设。提出建立“安康康养旅游生态区”, 打造安康市康养旅游品牌等增强安康市康养旅游竞争力策略。

关键词: 康养旅游; 竞争力; 指标体系; SWOT 分析法; AHP 分析法; 安康市

中图分类号: S788.1; S788.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0192-05

引文格式: 王萍. 乡村振兴背景下陕南安康市康养旅游竞争力研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 192-196, 224.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.034

WANG Ping. Competitiveness of Health Preservation Tourism in Ankang City of Southern Shaanxi under the Background of Rural Revitalization[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 192-196, 224. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.034

Competitiveness of Health Preservation Tourism in Ankang City of Southern Shaanxi under the Background of Rural Revitalization

WANG Ping^{1,2}

(1. School of Economics and Management, Ankang University, Ankang, Shaanxi 725000, China;

2. Shaannan Eco-economy Research Center, Ankang, Shaanxi 725000, China)

Abstract: Southern Shaanxi is located in the Qinba Mountains and is very rich in natural resources. As a water source protection area for the South-to-North Water Diversion Project, Ankang City is a good place for health preservation tourism. Based on the research results and experience of health preservation tourism in various places and the SWOT analysis of the competitiveness of health preservation tourism in Ankang City, this study used the AHP analysis method to construct the evaluation index system and weight of Ankang City's health preservation tourism competitiveness with 14 index layers from internal advantages, internal disadvantages, external opportunities and external challenges. The evaluation results

收稿日期: 2022-07-18; 修回日期: 2022-08-15.

基金项目: 陕西省教育厅重点科学研究计划项目“数智赋能陕南生态康养旅游产业创新发展模式研究”(23JZ006); 陕西省科技厅软科学项目“共享理念下陕南康养旅游产业链系统价值共创及绩效研究”(2023-CX-RKX-197); 安康学院教育教学改革研究项目资助“高校创新创业教育及课程研究”(JG202224); 秦巴山区生态经济与绿色发展研究创新团队项目(2022AYSKT01); 安康学院 2022 年大学生创新创业训练计划项目“‘安不离码’陕西富硒茶溯源码调查研究”(AKXY2022049).

第一作者: 王萍(1979-), 女, 陕西汉滨人, 硕士, 讲师. 研究方向为财务管理、成本管理会计、区域经济学.

indicated that the strategic point G (0.005, 0.0028) was located in the first quadrant, and the health preservation tourism competitiveness of Ankang City selected the growth strategy to promote the construction of beautiful Ankang supported by the health preservation tourism industry. This paper proposed strategies to enhance the competitiveness of Ankang's health preservation tourism, such as establishing an "Ankang Health Preservation Tourism Ecological Zone" and building a brand of health preservation tourism.

Key words: health preservation tourism; competitiveness; index system; SWOT analysis method; AHP analysis method; Ankang City

国务院〔2009〕41号文件确定了旅游业在我国战略性支柱产业地位^[1]。安康市重点是建设旅游城市,打造精品景区,建设特色小镇,发展乡村旅游。对安康旅游发展进行研究的代表性成果主要有:赵临龙(2019)基于中西部南北旅游大通道的“盐道文化”廊道的旅游发展^[2],芮旻(2018)山地城市旅游景区空间结构分形研究——以安康市为例^[3],崔晓明(2017)乡村旅游影响下的农户可持续生计研究——以秦巴山区安康市为例^[4],赵临龙(2015)我国中西部南北旅游大通道构建的思考^[5],李文正(2014)陕南 A 级旅游景区空间格局演变特征及内在机理研究^[6],陈绪敖(2014)基于旅游产业链整合视角的旅游资源非优区开发研究^[7]等。本文采用多种方法相结合以及 SWOT 与 AHP 相结合的分析法对陕南安康市康养旅游竞争力进行研究,旨在以此分析方法找到旅游发展新突破点。

1 旅游发展优势

1.1 独特的气候为安康市康养旅游提供天然保障

安康市位于南水北调中线工程的核心水源区,承担着“一江清水供北京”的光荣使命和政治责任。安康是中国十大宜居小城、国家森林城市。安康市属亚热带大陆性季风气候,气候湿润温和,四季分明,雨量充沛,无霜期长,年均降水量 1 050 mm,年均降雨日数 94 d^[8],气候特点适宜于发展康养旅游。

1.2 康养特色旅游景区

香溪洞始建于盛唐,鼎盛于明初,位于安康中心城市,是国家 AAA 级风景名胜区、省级风景名胜区。景区内群山环抱,翠屏相列,有香溪八洞、天梯、三清殿、纯阳楼、荷花池、驾云桥、镜儿湖、凌霄亭、玉皇阁、古钟亭、香溪湖、鼓亭、残棋等景点文物,景点多达 50 余处,自古以来就是道家修身养性之地,更是广大游客及市民观光、旅游、休闲、健身、陶情冶性的“洞天福地”^[9]。

天宝梯彩农园景区位于白河县仓上镇,保持现代

化农业与农村旅游紧密结合,是集农牧业产业园区、旅游观光、农旅融合为一体的综合型旅游景区^[10]。

登南宫山,春看百花,夏观云海,秋赏红叶,冬戏冰雪。南宫山以“一绝五奇”闻名,一绝是:火山地貌形成的火山石林;五奇是:百年高僧真身不腐、千年古栎佯死复活、万年法螺呼风唤雨、亿年佛掌感应丰欠,无源方池去病强身。

中坝峡谷占地 21 km²,进入大峡谷犹如溶于大自然,山青水秀,花香鸟语,登高望远一览无遗,山景、水景、石景相映交辉,十分壮观。景区内奇石叠立,山泉潺潺,竹木蓊郁,是休闲纳凉、寻奇探幽的好去处。

汉江石泉古城景区位于石泉县城,现保存有始建于唐代的禹王宫以及明清时期的古建筑群。石泉山清水秀、物产丰富、民风淳朴、人文荟萃,岁月把古城积淀得深厚凝重,时代则把古城打扮得靓丽纷呈,传统与现代在此交汇融合。

2 康养旅游竞争力分析

2.1 康养旅游发展战略的 SWOT 分析

SWOT 分析法,就是利用内部优势、内部劣势、外部机会、外部威胁等要素的列举,采用矩阵形式排列,把 4 类要素作为底层因子,构建评价指标体系,由目标层、准则层、因子层构成。通过调研、文献研究、专家打分等方法得到安康市康养旅游竞争力的 SWOT 分析(表 1)。

2.2 康养旅游竞争力的 AHP+SWOT 分析

为了分析不同因素的重要程度,采用层次分析法(AHP),将 SWOT 中各要素进行两两比较,并采用特征值方法进行分析。构建两两比较的评价矩阵,SWOT 矩阵中 w_i 由 s_1 到 t_3 14 个指标的权重组成。以内部优势 S 为例构建如下判断矩阵 C_k (表 2),其中 c_1, c_2, \dots, c_m 表示各因子, c_{ij} 表示第 i 个因子与第 j 个因子相比较的结果。

对矩阵中 14 个指标进行专家打分,得到指标权

重。求解判断矩阵最大特征值和特征向量。判断矩阵元素 c_{ij} 的标度方法如表 3。

表 1 陕南安康市康养旅游竞争力的 SWOT 矩阵
Tab.1 SWOT matrix of competitiveness of health preservation tourism in Ankang City of Southern Shaanxi

内部优势(s)	外部机遇(o)
自然风光优美,生态旅游资源丰富 s_1	西部大开发机遇 o_1
独特的气候环境为康养提供保障 s_2	西咸新区带动区域经济发展 o_2
民俗文化便于文化交流 s_3	生态文明建设等政策加快旅游产业转型 o_3
古镇游古建游茶文化节等垄断性旅游资源 s_4	南水北调工程 o_4
内部劣势(w)	外部挑战(t)
区位条件差等制约旅游发展 w_1	市场需求多变与康养旅游建设周期形成矛盾 t_1
品牌效应弱,旅游资源不突出 w_2	国内同质化竞争激烈 t_2
缺乏人才和技术 w_3	旅游市场季节性强 t_3

表 2 判断矩阵

Tab.2 Judgment matrix

c_k	c_1	c_2	...	c_m
c_1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1m}
c_2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2m}
...
c_m	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mm}

表 3 比例标度

Tab.3 Proportion criteria

因素 i 比因素 j	量化值	因素 i 比因素 j	量化值
同等重要	1	强烈重要	7
稍微重要	3	极端重要	9
较强重要	5	两相邻判断的中间值	2,4,6,8

2.3 建立评价指标体系

根据前述 SWOT 分析结果,建立目标层(安康市康养旅游竞争力评价)、准则层(优势、劣势、机遇、挑战)和因子层特征要素,构建安康市康养旅游竞争力评价指标体系(表 4)。

2.4 评价指标权重

本研究专家组成员由陕南生态研究中心和乡村

表 4 安康市康养旅游竞争力评价指标体系

Tab.4 Evaluation index system for the competitiveness of health preservation tourism in Ankang City

目标层 c	准则层 c_i	因子层 c_{ij}
安康市康养旅游竞争力评价	内部优势 c_1	自然风光优美,生态旅游资源丰富 c_{11}
		独特的气候环境为康养提供保障 c_{12}
		民俗文化便于文化交流 c_{13}
		古镇游古建游茶文化节等垄断性旅游资源 c_{14}
	内部劣势 c_2	区位条件差等制约旅游发展 c_{21}
		品牌效应弱,旅游资源不突出 c_{22}
		缺乏人才和技术 c_{23}
	外部机遇 c_3	西部大开发机遇 c_{31}
		西咸新区带动区域经济发展 c_{32}
		生态文明建设等政策加快旅游产业转型 c_{33}
		南水北调工程 c_{34}
	外部挑战 c_4	市场需求多变与康养旅游建设周期形成矛盾 c_{41}
		国内同质化竞争激烈 c_{42}
		旅游市场季节性强 c_{43}

振兴学院部分专家组成。通过专家打分法和文献研究法进行评价指标权重赋值。最终构建各层评价因子的两两比较判断矩阵。计算过程如公式(1~4)所示。通过计算,因子层权重值如表 5 所示。

$$\bar{p}_{ij} = \frac{p_{ij}}{\sum_{k=1}^m p_{ik}}, i, j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$\tilde{w}_i = \sum_{j=1}^m \bar{p}_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$w_i = \frac{\tilde{w}_i}{m} \quad (3)$$

$$\lambda_{\max} = 1/m \sum_{i=1}^m \frac{(Pw)_i}{w_i} \quad (4)$$

式中: $(Pw)_i$ 表示向量 Pw 的第 i 个分量。

2.5 评价结果

安康市康养旅游竞争力优势明显,独特的气候环境(c_{12})、生态旅游资源丰富(c_{11})是排在前两位的重要优势,其中气候环境优势是安康市康养旅游最为重要的优势。安康市康养旅游竞争力劣势并不严重,表现在各因子的权重均不高,品牌效应弱(c_{22})、区位条件(c_{21})是2个主要劣势,其中品牌效

表 5 安康市康养旅游竞争力评价指标权重
Tab.5 Weights of evaluation indexes for the competitiveness of health preservation tourism in Ankang City

目标层 c	准则层 c _i 及权重	因子层 c _{ij} 及权重
安康市康养旅游竞争力评价	内部优势 c ₁ (0.312)	自然风光优美,生态旅游资源丰富 c ₁₁ (0.082)
		独特的气候环境为康养提供保障 c ₁₂ (0.104)
		民俗文化便于文化交流 c ₁₃ (0.054)
		古镇游古建游茶文化节等垄断性旅游资源 c ₁₄ (0.072)
	内部劣势 c ₂ (0.176)	区位条件差等制约旅游发展 c ₂₁ (0.058)
		品牌效应弱,旅游资源不突出 c ₂₂ (0.082)
	外部机遇 c ₃ (0.312)	缺乏人才和技术 c ₂₃ (0.036)
		西部大开发机遇 c ₃₁ (0.123)
		西咸新区带动区域经济 c ₃₂ (0.054)
	外部挑战 c ₄ (0.2)	生态文明建设等政策加快旅游产业转型 c ₃₃ (0.034)
		南水北调工程 c ₃₄ (0.101)
		市场需求多变与康养旅游建设周期形成矛盾 c ₄₁ (0.085)
		国内同质化竞争激烈 c ₄₂ (0.061)

应弱是最大劣势。同时也提醒安康市康养旅游产业链建设尚有很大潜力。安康市康养旅游竞争力面临重大机遇,其中西部大开发机遇(c₃₁)、南水北调工程(c₃₄)是 2 个关键机遇。安康市康养旅游竞争力面临挑战,市场需求多变与康养旅游建设周期形成矛盾(c₄₁)、国内同质化竞争激烈(c₄₂)是 2 个最主要的挑战。其中,国内同质化竞争对当地康养旅游产生很大压力,需要迅速建设特色康养旅游,并推动康养旅游品牌建设。

从平均权重值可知,若 P 点位于第一象限 SO,旅游产业处于增长型战略,若在 $[0, \frac{\pi}{4}]$ 区域,内部优势大于外部机遇,若在 $(\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}]$ 区域,外部机遇大于内部优势;若 P 点位于第二象限 WO,旅游产业处于扭转型战略;若 P 点位于第三象限 WT,旅游产业处于防御型战略;若 P 点位于第四象限 ST,旅游产业处于多种经营战略。

2.6 康养旅游竞争力态势分析

2.6.1 基于总体特征强度的趋势判断

趋势判定,需要计算安康市康养旅游竞争力的优势、劣势、机遇和挑战强度。一般以平均权重值表示总特征强度。

$$\text{内部优势 } S = \frac{\sum w_{1j}}{n}, j = 1, 2, \dots, n;$$

$$\text{则: } S = \frac{0.312}{4} = 0.078$$

$$\text{内部劣势 } W = \frac{\sum w_{2j}}{n}, j = 1, 2, \dots, n;$$

$$\text{则: } W = \frac{0.176}{3} = 0.059$$

$$\text{外部机遇 } O = \frac{\sum w_{3j}}{n}, j = 1, 2, \dots, n;$$

$$\text{则: } O = \frac{0.312}{4} = 0.078$$

$$\text{外部挑战 } T = \frac{\sum w_{4j}}{n}, j = 1, 2, \dots, n;$$

$$\text{则: } T = \frac{0.2}{3} = 0.067$$

在平面坐标系内四大因素共同作用,每个角的顶点分别用 S₁、W₁、O₁、T₁ 表示;四边形重心 G (0.005, 0.0028) 的具体位置反映安康市康养旅游竞争力趋势(图 1)。

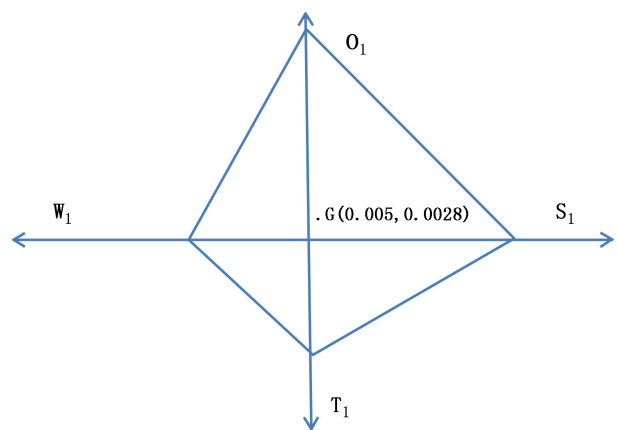


图 1 SWOT 总体特征强度分析

Fig.1 SWOT overall feature strength analysis

$$G(x, y) = \left(\frac{\sum x_i}{4}, \frac{\sum y_i}{4} \right)$$

$$= \left(\frac{0.078 - 0.059}{4}, \frac{0.078 - 0.067}{4} \right)$$

$$= (0.005, 0.0028)$$

从平均权重值可知,战略 G 点(0.005,0.0028)位于第一象限 $[0, \frac{\pi}{4})$ 区域,从整体特征强度来看,安康市康养旅游竞争力处于增长型战略区,安康市旅游产业可以应用自身内部优势来撬动外部机会,实现旅游产业增长态势。

2.6.2 基于关键要素特征强度的趋势判断

上述结果表明,安康市康养旅游竞争力最大优势是 c_{12} ,独特的气候环境为康养提供保障,权重 0.104;最大劣势是 c_{22} ,品牌效应弱,旅游资源不突出,权重 0.082;最大机遇是 c_{31} ,西部大开发机遇,权重 0.123;最大挑战是 c_{41} ,市场需求多变与康养旅游建设周期形成矛盾,权重 0.085。

关键要素特征强度值用具体因素的权重值来表示,将 S_1, W_1, O_1, T_1 描点于坐标轴上,连接四点成四边形,横纵轴将四边形划分为 4 个三角形,其中面积最大的三角形所在的斜边为战略态势选择依据^[11]。

则 $S_1 = c_{12} = 0.104; W_1 = c_{22} = 0.082; O_1 = c_{31} = 0.123; T_1 = c_{41} = 0.085$

如图 2 所示,显然三角形 GS_1O_1 面积最大,应采取增长型战略,与总体特征强度判断结果一致。但是,机遇特征强度大于优势特征强度,说明安康市康养旅游竞争力需要发挥自身旅游优势的同时,还需抓住外部发展机遇,利用独特的气候环境打造康养旅游生态特区。

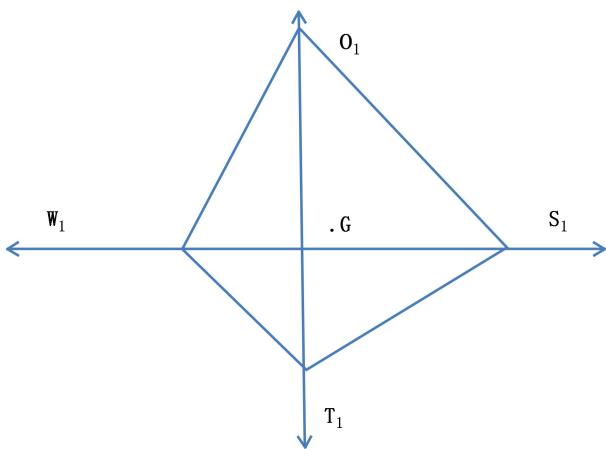


图 2 SWOT 关键要素特征强度分析

Fig. 2 SWOT key element feature strength analysis

解析安康市康养旅游竞争力各因素,基于 SWOT-AHP 分析,借鉴已有研究成果,安康市康养旅游选择增长型战略,以康养旅游产业发展助力美丽安康建设。

3 提高安康市康养旅游竞争力策略

3.1 抓住南水北调机遇,建立“安康康养旅游生态区”

安康市旅游景点丰富。秦巴水乡石泉“石泉十景”,石泉县地处秦巴腹地和汉水之滨,北依秦岭,南依枕巴山,总面积 1 525 km²,森林覆盖率达 78.8%,森林旅游资源十分丰富。石泉鬼谷岭国家森林公园,石泉饶峰生态驿站,石泉中坝作坊小镇,鬼谷岭公园的秦楚走廊。镇坪县,全县森林覆盖率达 88.81%,县域建成区绿化覆盖率达 41.4%,村庄林木覆盖率 90.23%,生态环境质量在全省处于前列,空气质量保持良好,年总降水量 1 227 mm。安康市旅游资源主要有飞渡峡景区、化龙山自然保护区、镇坪县曙河源湿地、三道门森林公园等,在安康市区域内这类景区还有很多,将这些景区串联起来构建“安康康养旅游生态区”。

3.2 打造安康市康养旅游品牌

安康市康养旅游充分发挥生态资源优势,不断完善旅游基础设施,提升安康生态旅游品牌的知名度和美誉度。如安康“春来早”特色旅游品牌,已连续推广十几年,推出了一批精品旅游线路,“春来早”已成为安康文化旅游的一张靓丽名片,在省内外影响较大。如宁陕“秦岭之心绿都宁陕”旅游品牌,以生态观光、研学旅游、康养宜居、休闲度假为一体的旅游发展模式,成功打造了悠然山、上坝河、秦岭峡谷乐园等一批核心旅游产品;打造渔湾逸谷田园综合体、守拙园、漫林山舍等一批精品民宿。

3.3 加大对外宣传力度

“春来早”特色旅游活动季,全市各县区举办富有地域特色的文旅活动,市文旅广电局主办“文化润民心·演出惠民生”文化演出系列活动;岚皋县举办“巴人美食·岚皋味道”长街宴活动;汉滨区举办黄洋河之春旅游推介活动;瀛湖举行瀛湖踏青季植树节和采茶节活动;平利县举办“茶之旅”文化旅游季活动;汉阴县举办油菜花旅游季活动;白河县举办旅游文化节;紫阳县举办“春之茶”开园节。这些活动进一步丰富了安康“春来早”活动内容,同时也宣传了安康市康养旅游,扩大了安康市康养旅游在省内外影响力。(下转第 224 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.035

基于多层次灰色方法的宁波森林公园康养潜力评价

诸葛丰林¹, 李正泉², 吕劲文¹, 王健捷³

(1. 浙江省宁波市气象服务中心, 浙江 宁波 315000; 2. 浙江省气候中心, 浙江 杭州 310000;
3. 浙江省宁波市鄞州区气象台, 浙江 宁波 315100)

摘要: 基于层次分析法结合灰色理论构建了宁波森林公园康养潜力评价指标体系, 分别对四大森林公园的康养潜力进行了评价和排序。结果表明, 宁波四大国家级森林公园康养潜力均较大, 其开发价值均较高, 其中奉化溪口森林公园具有相对最高的康养潜力评分, 值得重点发展康养事业。认为森林公园康养潜力多层次灰色评价法中所需的样例数少, 对于层次分析法中出现的信息不完备以及信息不确切等问题可加以有效解决, 从而使评价结果更加客观可信。

关键词: 森林公园康养潜力; 多层次灰色方法; 森林公园; 宁波

中图分类号: S788.1; S759.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0197-07

引文格式: 诸葛丰林, 李正泉, 吕劲文, 等. 基于多层次灰色方法的宁波森林公园康养潜力评价[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 197-203. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.035

ZHUGE Fenglin, LI Zhengquan, LYU Jinwen, et al. Potential Evaluation of Health Preservation of Ningbo Forest Park Based on Multi-level Grey Method[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 197-203. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.035

Potential Evaluation of Health Preservation of Ningbo Forest Park Based on Multi-level Grey Method

ZHUGE Fenglin¹, LI Zhengquan², LYU Jinwen¹, WANG Jianjie³

(1. Ningbo Meteorological Service Center, Ningbo, Zhejiang 315000, China; 2. Zhejiang Climate Center, Hangzhou 310000, China; 3. Yinzhou Meteorological Observatory, Ningbo, Zhejiang 315100, China)

Abstract: The evaluation index system of health preservation potential of forest parks was constructed and the four major forest parks in Ningbo was evaluated and ranked based on analytic hierarchy process and multi-level grey. The results showed that all of four forest parks had a great potential and were worthy for forest health preservation development, especially Xikou Forest Park in Fenghua had the highest potential value to take great efforts to develop. This paper believed that the multi-level grey evaluation method of the health preservation potential of forest parks required a small number of samples, and the problems of incomplete and inaccurate information in the analytic hierarchy process could be effectively solved, so as to make the evaluation results more objective and credible.

Key words: health preservation potential of forest park; multi-level grey; forest park; Ningbo

收稿日期: 2022-07-05.

基金项目: 宁波舟山港南大风的时空分布特征及诊断分析项目(2021YB21).

第一作者: 诸葛丰林(1989-), 男, 浙江舟山人, 硕士, 工程师. 主要从事气象服务研究工作. Email: espnss@qq.com

1 研究背景

气候与人类的生活息息相关。随着社会、经济日新月异地飞速发展,现代人工作及生活压力日益增长,运动量减少,城市人居环境恶化等一系列问题让越来越多的人开始更加重视健康养生之道。森林拥有优质富氧的森林环境、丰富多彩的森林景观以及深厚浓郁的森林文化等,能够缓解人们心理及精神压力,亦可辅助治疗相关疾病,其作为一类重要而独特的康养资源正吸引着越来越多的旅游人群。森林康养依托于优良的森林环境和自然资源,具备康复、疗养等多项功能,以全面促进人的身心发展为目的而进行各类疗养、康复、养生和休闲活动。青少年、亚健康人群、老年等人群,从森林小气候、芬多精、负氧离子等康养要素中,无论从心理上还是生理上都能获得显著的健康效益,同时也可促进社会交往^[1-6]。

国内外对于森林康养的研究有很多。早在 19 世纪 40 年代,德国巴特的威利斯赫恩镇创立了世界上第一个森林医疗基地,“森林康养”得到推广和普及。美国森林资源丰富,将森林作为旅游休闲场所,进而开展森林保健。日本形成“森林浴”理念,并在 2007 年建立了首个森林康养基地认证体系。随后森林康养在世界范围内蓬勃发展^[7]。Hansen 等^[8]研究发现,漫步或短居在森林中,能够有效地缓解心理、精神压力。Lee 等^[9]认为,森林浴能够对人体的身心健康发展产生积极的作用。StiAsdotter 等^[10]将森林自然疗法联系人的行为,规划设计森林医疗花园。

森林康养在中国仍处于起步阶段。李正泉等^[11]研究丽水市生态气候发现,丽水的森林覆盖率达 80.8%,休闲养生适宜性在国内城市中具有突出优势。李济任等^[12-13]、宋子健等^[14]、晏琪^[15]、潘洋刘等^[16]均对构建森林康养资源评价指标体系做出了一定的研究。陆晓梅等^[17]对黄山的森林养生旅游开发潜力进行多层次灰色评价研究并建立相应的评价指标。景志慧等^[18]对巴中南阳森林公园的旅游资源开发潜力也进行了多层次灰色评价研究。徐高福等^[19]、马德辉等^[20]、李欣华等^[21]、李祗辉^[22]均探析需要深入增强康养资源评价指标来促进森林康养产业发展。

目前,对森林资源康养潜力的定量评价研究尚浅,且尚未有系统的森林康养潜力评价指标体系。而宁波地处中国华东沿海,属亚热带季风气候,四季分明。“书藏古今、港通天下”的宁波也不乏国家级

森林公园,诸如奉化溪口国家森林公园、余姚四明山国家森林公园、鄞州天童国家森林公园、宁海双峰国家森林公园,且奉化溪口是国家级重点风景名胜区 5A 级旅游区,余姚四明山、奉化、宁海是宁波市三大“中国天然氧吧”区。鉴于此,尝试建立森林资源康养潜力评价指标体系,在此基础上运用 AHP 层次分析法确定指标权重,并以宁波市四大国家级森林公园为例,采用多层次灰色评价法对其康养潜力进行测算,旨在为宁波森林公园森林康养活动的潜力开发提供参考和借鉴。

2 研究方法

层次分析法(analytic hierarchy process,简称 AHP),是将与决策相关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。期间运用求解判断矩阵特征向量的办法,求得每一层次各元素对上一层次某元素的权重,最后再加权重的方法递阶归对总目标的最终权重。它多被应用于旅游开发潜力评价的研究中。但层次分析法具有一定的局限性,比如信息不完备(咨询专家时,专家易因不满足传递性公理而丢失部分评价信息),以及信息不确切(专家评价时易出现建立在专家的个人经验、认知能力上的人为因素偏差)等问题。为有效解决 AHP 法的上述问题,可运用将层次分析法与灰色系统理论相结合的方法实现。

灰色系统理论是一种研究样例数少、信息量少、系统因素间关联程度不确定性问题的新方法,其主要优点在于:(1)对于信息不确切的系统具有较明显的分析优势;(2)所需的样例数少,研究分析计算相对简易^[23]。灰色理论与 AHP 法相结合的研究方法常用于城市、旅游、工程、投资等方面的评价,评价结果客观有效^[24-27]。本文在宁波森林公园康养潜力的评价上尝试运用多层次灰色评价方法,以宁波四大森林公园为例进行实证研究。

宁波森林公园康养潜力的多层次灰色评价研究步骤如下:(1)应用因子分析法整理出影响森林公园康养潜力的关键因素,将这些关键因素指标分配至相对应的递阶内容层次,从而构建多层次评价指标体系,并制定评价指标的评分等级标准;(2)运用李克特量表进行评价指标的量化,利用 AHP 法确定各层次的评价指标的权重;(3)使用专家评价法对评价对象进行打分,依据灰色评价过程确定评价样本矩阵和评价灰类,求得灰色评价权向量;(4)计算出各评价对象的康养潜力综合评价值并排序。

本研究咨询的专家学者主要是在旅游管理、经济学、地理学、林学、生态学、风景园林学、医学、心理学等相关领域有深入研究,其中也不乏对森林公园有着丰富研究经验的专家,具有很强的代表性。以上多种研究方法的综合运用使评价过程更加科学,结果更加客观,能更真实地反映森林公园康养情况。

3 实证研究

3.1 评价指标体系

森林康养开发潜力评价指标的遴选是森林康养开发潜力评价的关键点和首要的难点,若评价指标不全面和不准确,将直接影响评价结果的科学性和准确性。目前国内仍未有一套较为成熟的森林康养评价指标体系。本研究通过借鉴国标和国内外研究成果,根据全面性、层次性和可行性的原则,并结合宁波森林公园的实际情况及相关专家咨询和问卷调查的结果等,综合遴选出 30 项评价森林康养开发潜力的评价指标,最终确定了宁波森林公园康养潜力评价指标体系,如表 1 所示。

该指标体系分 4 个层次。总目标层为森林康养潜力评价体系 H;H 分成 H₁ 资源价值、H₂ 环境价值和 H₃ 开发价值 3 个方面,形成综合层,进而形成 8 个要素层及 30 个指标层的递阶层次,对森林公园康养潜力进行全面系统的测量。

3.2 计算评价指标权重

运用 AHP 法对所有评价指标进行权重计算。在评价指标间的重要性时常采用 1-9 标度法,即用 1、3、5、7、9 标度前者较后者同等重要、稍重要、明显重要、强烈重要、极端重要,2、4、6、8 标度介于相邻两种情况间的过渡情形,而后者较前者的重要性标度值用前者较后者的重要性标度值的倒数来表示。鉴于不同专家对于指标间互比的重要性的认知存在差异,指标量化阶段经过数轮反馈后最终确定了评价指标间互比的重要性标度值,并进行 AHP 法求权重的相关计算后,通过了判断指标矩阵的一致性检验(由于篇幅有限,具体计算过程略),进而求得各层次的评价指标的权重值(表 1)。

3.3 确定评价样本矩阵

参照国家环境行业相关标准和研究区的实际情况^[28-40],采用李克特五级量表对宁波四大森林公园的康养潜力评价指标进行评分评价。评价值为 1、2、3、4、5 时,分别表示康养潜力价值很不好、不好、一般、好、很好;评价值为 1.5、2.5、3.5、4.5 时,分别表示介于相邻两种情况间的过渡情形。

表 1 森林公园康养潜力评价体系

Tab. 1 Evaluation index system of health preservation potential of forest parks

目标层	综合层		要素层		指标层	
	综合	权重	因素	权重	指标	权重
森林康养潜力评价指标体系 H	H ₁ 资源价值	0.2395	H ₁₁ 康养价值	0.3667	H ₁₁₁ 观赏游憩价值	0.1687
					H ₁₁₂ 养生体验价值	0.5616
					H ₁₁₃ 艺术审美价值	0.2697
	H ₂ 环境价值	0.6232	H ₂₁ 自然环境	0.5679	H ₁₂ 资源属性	0.6333
					H ₁₂₁ 资源丰度和规模	0.5571
					H ₁₂₂ 资源组合度	0.1226
					H ₁₂₃ 资源影响力	0.3203
					H ₂₁₁ 森林覆盖率	0.1282
					H ₂₁₂ 植物杀菌素含量	0.1096
					H ₂₁₃ 负氧离子浓度	0.1072
H ₃ 开发价值	0.1373	H ₃₁ 区位设施条件	0.5834	H ₂₁₄ 海拔高度	0.0555	
				H ₂₁₅ 温度和湿度	0.2451	
				H ₂₁₆ 风速	0.1035	
				H ₂₁₇ 地表水质量	0.0763	
				H ₂₁₈ 土壤环境质量	0.0574	
				H ₂₁₉ 声环境	0.1172	
				H ₂₂ 人文环境	0.0982	
				H ₂₂₁ 民俗养生文化	0.6999	
				H ₂₂₂ 中医药养生文化	0.1936	
				H ₂₂₃ 康养人文氛围	0.1065	
H ₃₂ 建设条件	0.4166	H ₃₂ 建设条件	0.3339	H ₂₃ 多样性和稳定性	0.3339	
				H ₂₃₁ 生态环境方面	0.7750	
				H ₂₃₂ 物种方面	0.2250	
				H ₃₁₁ 交通条件	0.3442	
				H ₃₁₂ 食宿条件	0.0988	
H ₃₃ 社会条件	0.1765	H ₃₃ 社会条件	0.2366	H ₃₁₃ 购物条件	0.0687	
				H ₃₁₄ 安全设施	0.1765	
				H ₃₁₅ 医疗卫生设施	0.3118	
				H ₃₂₁ 环境容量	0.1183	
				H ₃₂₂ 用地条件	0.1005	
				H ₃₂₃ 社会经济条件	0.2366	
				H ₃₂₄ 专项规划、政府支持	0.3682	
				H ₃₂₅ 科普宣传力度	0.1764	

根据现有的多层次灰色评价方法研究发现,通常采用 5 个数据列进行研究即可得到客观可信的评价结果^[41-43]。为了保证数据的可靠性,通过宁波各

国家森林公园的官方网站、宁波市统计局、宁波市政府信息公开网、宁波市气象局和宁波市环保局等渠道,邀请了 5 位对森林公园有着丰富研究经验的专家,分别对四个国家森林公园进行打分,综合获得了定量指标数据,形成样本评价矩阵。

设第 p 个专家对第 S 个森林公园评价形成的矩阵为 $D^{(S)}$,其中 $d_{ijkp}^{(S)}$ 为评价分, S 为数值(1 代表四明山、2 代表溪口、3 代表天童、4 代表双峰)。设综合层 $H=(H_i)=(H_1, H_2, H_3)$,要素层 $H_i=(H_{ij})=(H_{i1}, H_{i2}, \dots, H_{im_i})$,指标层 $H_{ij}=(H_{ijk})=(H_{ij1}, H_{ij2}, \dots, H_{ijm_{ij}})$ 。各层对应的指标权重分别为 $A=(A_i)=(A_1, A_2, A_3)$, $A_i=(A_{ij})=(A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{im_i})$, $A_{ij}=(A_{ijk})=(A_{ij1}, A_{ij2}, \dots, A_{ijm_{ij}})$ 。由于篇幅原因,本文仅展示以宁波四明山国家森林公园为例。

$$D^{(S)} = \begin{bmatrix} d_{1111}^{(S)} & d_{1112}^{(S)} & \dots & d_{111p}^{(S)} \\ d_{1121}^{(S)} & d_{1122}^{(S)} & \dots & d_{112p}^{(S)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{ijm_{ij}1}^{(S)} & d_{ijm_{ij}2}^{(S)} & \dots & d_{ijm_{ij}p}^{(S)} \end{bmatrix} (H_{111}, H_{112}, \dots, H_{ijm_{ij}})^T$$

3.4 确定评价灰类和灰色系数

根据森林康养潜力评价指标很好、好、一般、不好、很不好 5 个灰类等级,每一个灰类都对应着一个白化权函数 $f_e(e=1,2,3,4,5)$ 。第一灰类“很好”($e=1$),灰数 $\otimes_1 \in [5, \infty)$;第二灰类“好”($e=2$),灰数 $\otimes_2 \in [0,4,8]$;第三灰类“一般”($e=3$),灰数 $\otimes_3 \in [0,3,6]$;第四灰类“不好”($e=4$),灰数 $\otimes_4 \in [0,2,4]$;第五灰类“很不好”($e=5$),灰数 $\otimes_5 \in [0,1,2]$ 。其白化权函数公式分别如下:

$$f_1 = \begin{cases} \frac{1}{5} d_{ijkp}^{(S)}, d_{ijkp}^{(S)} \in [0,5] \\ 1, d_{ijkp}^{(S)} \in [5, \infty) \\ 0, d_{ijkp}^{(S)} \notin [0, \infty) \end{cases}$$

$$f_2 = \begin{cases} \frac{1}{4} d_{ijkp}^{(S)}, d_{ijkp}^{(S)} \in [0,4] \\ -\frac{1}{4} d_{ijkp}^{(S)} + 2, d_{ijkp}^{(S)} \in [4,8] \\ 0, d_{ijkp}^{(S)} \notin [0,8] \end{cases}$$

$$f_3 = \begin{cases} \frac{1}{3} d_{ijkp}^{(S)}, d_{ijkp}^{(S)} \in [0,3] \\ -\frac{1}{3} d_{ijkp}^{(S)} + 2, d_{ijkp}^{(S)} \in [3,6] \\ 0, d_{ijkp}^{(S)} \notin [0,6] \end{cases}$$

$$f_4 = \begin{cases} \frac{1}{2} d_{ijkp}^{(S)}, d_{ijkp}^{(S)} \in [0,2] \\ -\frac{1}{2} d_{ijkp}^{(S)} + 2, d_{ijkp}^{(S)} \in [2,4] \\ 0, d_{ijkp}^{(S)} \notin [0,4] \end{cases}$$

$$f_5 = \begin{cases} 1, d_{ijkp}^{(S)} \in [0,1] \\ -d_{ijkp}^{(S)} + 2, d_{ijkp}^{(S)} \in [1,2] \\ 0, d_{ijkp}^{(S)} \notin [0,2] \end{cases}$$

3.5 计算灰色评价系数

对于评价指标 H_{ijk} ,其灰色评价系数为

$$o_{ijkp}^{(S)} = \sum_{p=1}^5 f_e(d_{ijkp}^{(S)})$$

宁波四明山森林公园康养潜力评价指标 A_{111} (观赏游憩价值)灰色评价系数为 $o_{111e}^{(1)}$ 。当 $e=1$,

$$o_{1111}^{(1)} = \sum_{p=1}^5 f_1(d_{111p}^{(1)}) = f_1(5) + f_1(4.5) + f_1(5) + f_1(4.5) + f_1(5) = 1 + 0.9 + 1 + 0.9 + 1 = 4.8$$

同理可得:当 $e=2$, $o_{1112}^{(1)}=4$;当 $e=3$, $o_{1113}^{(1)}=2$;当 $e=4$, $o_{1114}^{(1)}=0$;当 $e=5$ 时, $o_{1115}^{(1)}=0$ 。所以,对于评价指标 H_{111} ,宁波四明山森林公园康养潜力属于各个灰类的总灰类评价系数

$$o_{111}^{(1)} = \sum_{e=1}^5 o_{111e}^{(1)} + o_{1111}^{(1)} + o_{1112}^{(1)} + o_{1113}^{(1)} + o_{1114}^{(1)} + o_{1115}^{(1)} = 4.8 + 4 + 2 + 0 + 0 = 10.8$$

3.6 计算灰色评价权向量

经过归一化,获得评价对象的权矩阵为 $u_{ijkp}^{(S)}$

$$= o_{ijkp}^{(S)} / \sum_{e=1}^5 o_{ijkp}^{(S)} (e=1,2,3,4,5)$$

以及评价指标 H_{ijk} 灰色评价权重向量 $u_{ijk}^{(S)} = (u_{ijk1}^{(S)}, u_{ijk2}^{(S)}, u_{ijk3}^{(S)}, u_{ijk4}^{(S)}, u_{ijk5}^{(S)})$ 。

就评价指标 A_{111} ,5 位专家对宁波四明山森林公园康养潜力主张第 e 个评价灰类的灰色评价权向量

$$记为 u_{111e}^{(1)}, 则当 e=1, u_{1111}^{(1)} = o_{1111}^{(1)} / \sum_{e=1}^5 o_{111e}^{(1)} = 4.8 / 10.8 =$$

0.4444。同理可得:当 $e=2$, $u_{1112}^{(1)}=0.3704$;当 $e=3$, $u_{1113}^{(1)}=0.1852$;当 $e=4$, $u_{1114}^{(1)}=0$;当 $e=5$, $u_{1115}^{(1)}=0$ 。所以,宁波四明山森林公园康养潜力评价指标 H_{111} 对于各灰类的灰色评价权向量为 $u_{111}^{(1)} = (u_{1111}^{(1)}, u_{1112}^{(1)}, u_{1113}^{(1)}, u_{1114}^{(1)}, u_{1115}^{(1)}) = (0.4444, 0.3704, 0.1852, 0, 0)$ 。

同理可计算出 $u_{112}^{(1)}, u_{113}^{(1)}, u_{121}^{(1)}, u_{122}^{(1)}, u_{123}^{(1)}, u_{211}^{(1)}, u_{212}^{(1)}, u_{213}^{(1)}, u_{214}^{(1)}, u_{215}^{(1)}, u_{216}^{(1)}, u_{217}^{(1)}, u_{218}^{(1)}, u_{219}^{(1)}, u_{221}^{(1)}, u_{222}^{(1)}, u_{223}^{(1)}, u_{231}^{(1)}, u_{232}^{(1)}, u_{311}^{(1)}, u_{312}^{(1)}, u_{313}^{(1)}, u_{314}^{(1)}, u_{315}^{(1)}, u_{321}^{(1)}, u_{322}^{(1)}, u_{323}^{(1)}, u_{324}^{(1)}, u_{325}^{(1)}$ 。宁波四明山森林公园康养潜力 H_{11} 所属

指标 $H_{1j}(j=1,2,3), H_{12}$ 所属指标 $H_{12j}(j=1,2,3), H_{21}$ 所属指标 $H_{21j}(j=1,2,3,4,5,6,7,8,9), H_{22}$ 所属指标 $H_{22j}(j=1,2,3), H_{23}$ 所属指标 $H_{23j}(j=1,2), H_{31}$ 所属指标 $H_{31j}(j=1,2,3,4,5), H_{32}$ 所属指标 $H_{32j}(j=1,2,3,4,5)$, 对于各指标评价灰类的灰色评价权矩阵为 $U_{11}^{(1)}$, 则 $U_{12}^{(1)}, U_{21}^{(1)}, U_{22}^{(1)}, U_{23}^{(1)}, U_{31}^{(1)}, U_{32}^{(1)}$ 如下:

$$U_{11}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{111}^{(1)} \\ u_{112}^{(1)} \\ u_{113}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4444 & 0.3704 & 0.1852 & 0 & 0 \\ 0.4798 & 0.3599 & 0.1603 & 0 & 0 \\ 0.4114 & 0.3801 & 0.2084 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_{12}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{121}^{(1)} \\ u_{122}^{(1)} \\ u_{123}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4276 & 0.3753 & 0.1971 & 0 & 0 \\ 0.3657 & 0.3933 & 0.2409 & 0 & 0 \\ 0.4798 & 0.3599 & 0.1603 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_{21}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{211}^{(1)} \\ u_{212}^{(1)} \\ u_{213}^{(1)} \\ u_{214}^{(1)} \\ u_{215}^{(1)} \\ u_{216}^{(1)} \\ u_{217}^{(1)} \\ u_{218}^{(1)} \\ u_{219}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4798 & 0.3599 & 0.1603 & 0 & 0 \\ 0.4114 & 0.3801 & 0.2084 & 0 & 0 \\ 0.4619 & 0.3653 & 0.1728 & 0 & 0 \\ 0.3803 & 0.3889 & 0.2308 & 0 & 0 \\ 0.4798 & 0.3599 & 0.1603 & 0 & 0 \\ 0.3515 & 0.3975 & 0.2510 & 0 & 0 \\ 0.3657 & 0.3933 & 0.2409 & 0 & 0 \\ 0.3515 & 0.3975 & 0.2510 & 0 & 0 \\ 0.3956 & 0.3846 & 0.2198 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_{22}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{221}^{(1)} \\ u_{222}^{(1)} \\ u_{223}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3243 & 0.4054 & 0.2703 & 0 & 0 \\ 0.2987 & 0.3734 & 0.2885 & 0.0393 & 0 \\ 0.2748 & 0.3435 & 0.3053 & 0.0763 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_{23}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{231}^{(1)} \\ u_{232}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4619 & 0.3653 & 0.1728 & 0 & 0 \\ 0.3515 & 0.3975 & 0.2510 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_{31}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{311}^{(1)} \\ u_{312}^{(1)} \\ u_{313}^{(1)} \\ u_{314}^{(1)} \\ u_{315}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2413 & 0.3016 & 0.3291 & 0.1280 & 0 \\ 0.2866 & 0.3583 & 0.2969 & 0.0581 & 0 \\ 0.2205 & 0.2756 & 0.3438 & 0.1601 & 0 \\ 0.2987 & 0.3734 & 0.2885 & 0.0393 & 0 \\ 0.2987 & 0.3734 & 0.2885 & 0.0393 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_{32}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{321}^{(1)} \\ u_{322}^{(1)} \\ u_{323}^{(1)} \\ u_{324}^{(1)} \\ u_{325}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4619 & 0.3653 & 0.1728 & 0 & 0 \\ 0.4444 & 0.3704 & 0.1852 & 0 & 0 \\ 0.2522 & 0.3153 & 0.3212 & 0.1113 & 0 \\ 0.3657 & 0.3933 & 0.2409 & 0 & 0 \\ 0.3657 & 0.3933 & 0.2409 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.7 综合评价各级评价指标

3.7.1 综合评价三级指标

先对宁波四明山森林公园康养潜力的三级评价指标 $H_{11}, H_{12}, H_{21}, H_{22}, H_{23}, H_{31}, H_{32}$ 作综合评价, 评价结果为 $B_{11}^{(1)}, B_{12}^{(1)}, B_{21}^{(1)}, B_{22}^{(1)}, B_{23}^{(1)}, B_{31}^{(1)}, B_{32}^{(1)}$ 。

$$B_{11}^{(1)} = A_{11} \times U_{11}^{(1)} = (0.4554, 0.3671, 0.1775, 0, 0)$$

$$B_{12}^{(1)} = A_{12} \times U_{12}^{(1)} = (0.4367, 0.3726, 0.1907, 0, 0)$$

$$B_{21}^{(1)} = A_{21} \times U_{21}^{(1)} = (0.4256, 0.3758, 0.1985, 0, 0)$$

$$B_{22}^{(1)} = A_{22} \times U_{22}^{(1)} = (0.3141, 0.3926, 0.2776, 0.0157, 0)$$

$$B_{23}^{(1)} = A_{23} \times U_{23}^{(1)} = (0.4371, 0.3725, 0.1904, 0, 0)$$

$$B_{31}^{(1)} = A_{31} \times U_{31}^{(1)} = (0.2724, 0.3405, 0.3046, 0.0800, 0)$$

$$B_{32}^{(1)} = A_{32} \times U_{32}^{(1)} = (0.3581, 0.3692, 0.2462, 0.0263, 0)$$

3.7.2 综合评价二级指标

再对宁波四明山森林公园康养潜力的二级评价指标 H_1, H_2, H_3 作综合评价, 评价结果为 $B_1^{(1)}, B_2^{(1)}, B_3^{(1)}$ 。

$$B_1^{(1)} = A_1 \times \begin{bmatrix} B_{11}^{(1)} \\ B_{12}^{(1)} \end{bmatrix} = (0.4436, 0.3706, 0.1858, 0, 0)$$

$$B_2^{(1)} = A_2 \times \begin{bmatrix} B_{21}^{(1)} \\ B_{22}^{(1)} \\ B_{23}^{(1)} \end{bmatrix} = (0.4185, 0.3764, 0.2036, 0.0015, 0)$$

$$B_3^{(1)} = A_3 \times \begin{bmatrix} B_{31}^{(1)} \\ B_{32}^{(1)} \end{bmatrix} = (0.3081, 0.3525, 0.2803, 0.0576, 0)$$

由 $B_1^{(1)}, B_2^{(1)}, B_3^{(1)}$ 得宁波四明山森林公园康养潜力的总灰色评价权矩阵 $U^{(1)}$:

$$U^{(1)} = \begin{bmatrix} B_1^{(1)} \\ B_2^{(1)} \\ B_3^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4436 & 0.3706 & 0.1858 & 0 & 0 \\ 0.4185 & 0.3764 & 0.2036 & 0.0015 & 0 \\ 0.3081 & 0.3525 & 0.2803 & 0.0576 & 0 \end{bmatrix}$$

3.7.3 综合评价一级指标

然后对宁波四明山森林公园康养潜力的一级评价指标 H 作综合评价, 得其综合评价结果为 $B^{(1)}$:

$$B^{(1)} = A \times U^{(1)} = (0.4093, 0.3717, 0.2101, 0.0089, 0)$$

3.8 评价对象综合评价计算及排序

研究宁波森林公园的康养潜力评价中, 评价灰

类等级值化向量 $C=(5,4,3,2,1)$, 得到评价对象的综合得分 $W^{(n)}=B^{(n)}C^T$ 。故宁波 4 个森林公园康养潜力综合评价如下:

$$W^{(\text{四明山})}=B^{(1)}\times C^T=(0.4093, 0.3717, 0.2101, 0.0089, 0)(5,4,3,2,1)^T=4.1814$$

$$W^{(\text{溪口})}=B^{(1)}\times C^T=(0.4062, 0.3791, 0.2124, 0.0024, 0)(5,4,3,2,1)^T=4.1894$$

$$W^{(\text{天童})}=B^{(1)}\times C^T=(0.3852, 0.3829, 0.2271, 0.0047, 0)(5,4,3,2,1)^T=4.1483$$

$$W^{(\text{双峰})}=B^{(1)}\times C^T=(0.3880, 0.3752, 0.2251, 0.0116, 0)(5,4,3,2,1)^T=4.1393$$

得四大森林公园康养潜力综合评价的排序为:

$$W^{(\text{溪口})}>W^{(\text{四明山})}>W^{(\text{天童})}>W^{(\text{双峰})}$$

根据以上计算,宁波四大森林公园的森林康养潜力综合评价均大于等于 4,均为优先开发森林康养景区。宁波溪口森林公园不仅有青山碧水、幽谷飞瀑的自然景观,还有蒋氏故居、禅宗古刹等人文景观,是集旅游观光、休闲度假、健康养生及餐饮住宿等于一体的综合性森林公园,且位置距离宁波市区相对较近且交通较方便。四明山森林公园内古木参天、千峰竞翠、湖泊连绵、奇岩众多,有千种植物及多种鸟类景观,并有仰天湖、商量岗等景区,生态旅游独显风采,但位置距离宁波市区相对较远且交通较不便。天童森林公园以森林、寺庙、奇石、云雾、溪瀑等构成,植被茂密,风景优美,更有神秘莫测的岩洞、深邃幽幻的峡谷等奇异自然景观,位置距离宁波市区相对较近且交通较方便。双峰森林公园植被繁茂葱郁,奇树异木千姿百态,溪谷瀑泉美不胜收,但位置距离宁波市区相对较远且交通较不便。总体来说,宁波溪口森林公园的康养潜力最高,四明山森林公园次之,紧接着分别为天童森林公园和双峰森林公园。

3.9 评价结果检验

为检验多层次灰色评价方法的宁波四大森林公园康养潜力研究成果的科学性和可靠性,使用特尔菲调查法,邀请四大森林公园的规划建设专家、资源保护专家和公园管理人员等对研究结果进行评价。多方的评价结论与研究结果基本一致,从而验证了将多层次灰色方法应用于森林公园康养潜力评价具有一定的准确性,可以为其他森林公园的康养研究提供参考和借鉴。

4 结 论

本文通过多层次灰色分析法综合评价,不仅构

建了宁波森林公园康养潜力评价指标体系,同时也对宁波四大国家森林公园的康养潜力进行了具体评价。研究表明,四大国家级森林公园在发展森林康养事业中的优势与劣势共存,整体来说均具有较高的森林康养开发价值潜力,尤其奉化溪口森林公园可重点开发森林康养事业。另外,将 AHP 和灰色系统理论这两个方法有机结合,研究过程所需样例数少,研究结果客观可信,不仅有效地解决了以往 AHP 法中出现信息不完备的问题,同时也解决了信息不确切的问题。研究结果望能为未来宁波森林公园康养开发规划提供有益的参考。宁波森林公园可凭借自身的优势条件充分展现宁波森林康养独一无二的特色。

参考文献:

- [1] 陈纯. 国内外康养旅游研究综述[J]. 攀枝花学院学报, 2019, 36(4): 43-47.
- [2] 尹思琴, 李燕. 浅谈森林康养与森林资源的开发利用[J]. 中国林业产业, 2017(4): 244.
- [3] 黄艳华. 论森林康养的功能、价值及路径[J]. 湖南生态科学学报, 2019, 6(2): 38-42.
- [4] 廖日红, 刘国平. 森林康养对维护人体健康的综合影响[J]. 现代园艺, 2019(1): 93-95.
- [5] 王忠贵. 森林康养对人体健康促进作用浅析[J]. 现代园艺, 2020(1): 106-108.
- [6] 李虹. 康养旅游研究述评与展望[J]. 商业经济, 2019(4): 50-52.
- [7] 许忠南. 森林康养发展模式及康养要素浅析[J]. 农业开发与装备, 2019(10): 148-151.
- [8] HANSEN M M, JONES R, TOCCHINI K. Shinrin-yoku (forest bathing) and nature therapy: a state-of-the-art review[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017, 14: 851-887.
- [9] LEE J, PARK B J, TSUNETSUAU Y, et al. Effect of forest bathing on physiological and psychological responses in young Japanese male subjects[J]. Public Health, 2011, 125(2): 1-100.
- [10] STIASDOTTER U K, CORAZON S S, SIDENIUS U, et al. Forest design for mental health promotion—using perceived sensory dimensions to elicit restorative responses[J]. Landscape & Urban Planning, 2017, 160: 1-15.
- [11] 李正泉, 肖晶晶, 马浩, 等. 丽水市生态气候休闲养生适宜性分析[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(3): 104-111.
- [12] 李济任, 许东. 森林康养旅游评价指标体系构建研究[J]. 林业经济, 2018(3): 28-34.
- [13] 李济任, 许东. 基于 AHP 与模糊综合评价法的森林康养旅游开发潜力评价[J]. 中国农业资源与区划,

- 2018,39(8):135-142.
- [14] 宋子健,温全平. 森林康养资源评价指标体系构建及评价——以蔡家川森林康养区为例[J]. 林业科技情报,2020,52(1):38-43.
- [15] 晏琪,刘苑秋,文野,等. 基于因子分析的森林康养空间评价指标体系研究[J]. 中国园林,2020(1):81.
- [16] 陆晓梅,张鑫,高淑春. 森林养生旅游开发潜力评价研究[J]. 林业经济问题,2017,37(1):44-49.
- [17] 潘洋刘,刘苑秋,曾进,等. 基于康养功能的森林资源评价指标体系研究[J]. 林业经济,2018(8):53-57.
- [18] 景志慧,张隧文. 基于多层次灰色方法的旅游资源开发潜力评价——以巴中南阳森林公园为例[J]. 西北大学学报:自然科学版,2014,44(5):813-816.
- [19] 徐高福,徐小忠,余梅生. 千岛湖森林康养基地发展路径探析——基于千岛湖龙川湾的调查研究[J]. 林业调查规划,2020,45(1):168-172.
- [20] 马德辉,王赟,高建玉,等. 对森林康养产业发展的思考[J]. 林业调查规划,2020,45(6):105-107.
- [21] 李欣华,陈红玲. 森林康养高质量发展研究[J]. 林业调查规划,2021,46(3):171-177.
- [22] 李祗辉. 韩国森林疗愈服务体系建设及其对我国森林康养产业发展的启示[J]. 林业调查规划,2021,46(5):59-64.
- [23] 汪侠,顾朝林,刘晋媛,等. 旅游资源开发潜力评价的多层次灰色方法[J]. 地理研究,2007,26(3):625-635.
- [24] 周明耀,陈朝如,彭怀英. 灌溉管理的递阶多层次灰色评价方法[J]. 系统工程理论与实践,2000,20(4):120-126.
- [25] 石丹,杨慧. 基于多层次灰色方法的生态旅游发展潜力评价及实证研究[J]. 中国农业资源与区划,2019,40(2):40-48.
- [26] 姜伯敏,姚立根. 基于 AHP 的建筑企业知识创新能力灰色评价[J]. 石家庄铁道大学学报:社会科学版,2012,6(2):41-45.
- [27] 蔡建春,王勇,李汉铃. 风险投资中投资风险的灰色多层次评价[J]. 管理工程学报,2003,17(2):94-97.
- [28] GB/T 14592—1993,自然保护区类型与级别划分原则[S].
- [29] GB 15618—1995,土壤环境质量标准[S].
- [30] GB/T 18005—1999,中国森林公园风景资源质量等级评定[S].
- [31] GB 3838—2002,地表水环境质量标准[S].
- [32] GB/T 17775—2003,旅游区(点)质量等级的划分与评定[S].
- [33] GB/T 18972—2003,旅游资源分类、调查与评价[S].
- [34] GB 5749—2006,生活饮用水卫生标准[S].
- [35] GB 3096—2008,声环境质量标准[S].
- [36] GB/T 26358—2010,旅游度假区等级划分[S].
- [37] GB 3095—2012,环境空气质量标准[S].
- [38] LB/T 051—2016,国家康养旅游示范基地[S].
- [39] LY/T 2934—2018,森林康养基地质量评定[S].
- [40] T/LYCY 012—2020,国家级森林康养基地标准[S].
- [41] 李大建,王凤山. 地空导弹总体性能多层次灰色评价[J]. 中国管理科学,2004,12(5):107-110.
- [42] 胡望煌. 主观指标评价的多层次灰色评价法[J]. 系统工程理论与实践,1996(1):12-20.
- [43] 唐炎钊,邹珊刚. 企业技术创新能力的多层次灰色评价[J]. 科技进步与决策,1999,16(5):46-49.

责任编辑:刘平书

(上接第 50 页)

- [7] 张文静,梁振天. 生物表面活性剂及其在地下水污染修复领域的应用与展望[J]. 环境污染与防治,2021,43(2):237-242.
- [8] 陈世贵. 宁夏山区水库污染水体生态修复研究[J]. 人民黄河,2020,42(12):66-69.
- [9] 宋易南,侯德义,赵勇胜,等. 京津冀化工场地地下水污染修复治理对策研究[J]. 环境科学研究,2020,33(6):1345-1356.
- [10] 胡世琴,杨金辉,杨斌,等. 稻壳基材料应用于水污染治理领域的研究进展[J]. 材料导报,2022,36(4):49-59.
- [11] 何舸,牛宇琛,王成坤,等. 高度城镇化地区跨区水污染协同综合治理——东莞案例[J]. 中国给水排水,2020,36(12):25-30.
- [12] 孙文洁,任顺利,武强,等. 新常态下我国煤矿废弃矿井水污染防治与资源化综合利用[J]. 煤炭学报,2022,47(6):2161-2169.
- [13] 瞿芳术,余华荣,朱学武,等. 基于超滤/纳滤双膜工艺的给水厂应急处理技术研究[J]. 给水排水,2020,56(S2):189-194.
- [14] 刘艺,于洋,金彪,等. 持久、迁移性有机污染物的水污染现状、分析检测方法和去除技术[J]. 地球化学,2021,50(3):305-316.
- [15] 付鹏波,田金乙,吕文杰,等. 物理法水处理技术[J]. 化工学报,2022,73(1):59-72.
- [16] 赵玄,高文艳,周曦琳,等. 废水中络合态重金属形态、去除机制及净化技术研究进展[J]. 燕山大学学报,2022,46(4):297-308.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.036

基于景观大数据的游客时空行为研究进展

马思琦, 燕亚飞

(河南科技大学 园艺与植物保护学院, 河南 洛阳 471000)

摘要:信息和计算机科学技术的快速发展改变了以往游客时空行为相关理论的研究方式。游客在旅游过程中使用社交 APP、定位装置和在线媒体会产生大量的景观时空大数据,为游客时空行为研究提供了更多发展空间。文中系统地介绍景观大数据的获取来源和方法,针对景观大数据处理分析方法进行概括,主要是以 ArcGIS 核密度、社会网络、图片内容分析法 3 种方法为主。从时间和空间角度,对国内外游客时空行为研究进展进行梳理,总结基于景观大数据的游客时空行为研究热点,未来的研究趋势可能为多空间类型、多采集平台、多时空要素同时开展。

关键词:景观大数据;游客时空行为;ArcGIS 核密度分析法;社会网络分析法;图片内容分析法

中图分类号:S788.2;P901;TP311.13 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0204-06

引文格式:马思琦,燕亚飞. 基于景观大数据的游客时空行为研究进展[J]. 林业调查规划,2024,49(1):204-209.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.036

MA Siqi, YAN Yafei. Research Progress on Spatio-Temporal Behavior of Tourists Based on Landscape Big Data[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 204-209. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.036

Research Progress on Spatio-Temporal Behavior of Tourists Based on Landscape Big Data

MA Siqi, YAN Yafei

(College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China)

Abstract: The rapid development of information and computer science and technology has changed the previous research methods of spatio-temporal behavior of tourists. The use of social Apps, positioning devices and online media by tourists in the process of tourism will produce a large amount of landscape spatio-temporal big data, which provides more development space for the research of spatio-temporal behavior of tourists. This paper systematically introduced the sources and methods of obtaining landscape big data, summarized the processing and analysis methods of landscape big data, mainly including ArcGIS kernel density, social network and image content analysis. From the perspective of time and space, this paper reviewed the research progress on spatio-temporal behavior of tourists at home and abroad, summarized the hot topics of research based on landscape big data, and suggested that future research trends may involve multiple spatial types, multiple collection platforms, and multiple spatio-temporal elements simultaneously.

Key words: landscape big data; spatio-temporal behavior of tourists; ArcGIS kernel density analysis method; social network analysis method; image content analysis method

收稿日期:2022-05-25.

第一作者:马思琦(1997-),女,河南洛阳人,硕士研究生.研究方向为风景园林规划与设计. Email:15138769577@163.com

责任作者:燕亚飞(1977-),女,河南焦作人,博士,讲师.研究方向为风景园林学、园林建筑设计. Email:gigi0924@163.com

长久以来,时间、空间和人类活动均是人文地理学的中心话题,时空行为研究以时间地理学理论为基础,研究个体在时间和空间上的分配活动,其作为一个重要的理论工具,揭示了时空与人类的关系^[1]。一直以来,由于大数据技术研究的高难度,对游客时空行为的研究普遍缺乏有效的表达,难以揭示游客时空行为和景区规划设计管理等方面的深层次问题。近年来,随着科学技术的飞速发展,极大地推进了游客时空行为相关理论研究。本文对利用大数据进行游客时空行为研究内容进行梳理,旨在为未来大数据景观发展和风景园林规划设计提供借鉴。

1 景观大数据获取方法

党安荣等根据景观规划设计的内涵和特点,将与城乡景观规划设计相关的时空大数据分为两大类——静态数据和动态数据,场地资源、网络媒体数据等 12 个中类,网络照片、自然资源数据等 30 多个小类^[2]。其中,与研究游客时空行为有关的是动态数据中的社交网络数据、定位通信数据以及网络媒体数据。

社交网络数据指人们各类社交 APP 上分享的各种行为及活动,如学习工作、娱乐、聚会旅游、看病等所被记录下来的数据,其中蕴含大量时空及丰富的语义信息,并在时空行为分析中得到了一定的应用和实践^[3]。

空间通信数据指通过使用空间定位技术获取的位置服务数据,包括位置、轨迹信息,可以表达人群的时空行为模式,揭示人群和场地的时空特征以及人与场地之间的关系^[4]。目前多种新技术已应用到游客时空分布的监控与分析中,如全球定位系统(GPS)、手机信令数据、WIFI 发射器等。

网络媒体数据指人们自主发布在网络上的点评、照片、消费等被记录的网络数据^[5],常见的与时空行为研究相关的有大众点评、美团上的游客点评、马蜂窝游记里的内容和照片等。

景观大数据特别是利用社交网络和新空间定位技术如 GPS、手机信令等应用为主的获取方法,相比于传统途径不仅成本小且样本量大,提高了效率,确保了准确性,同时更注重提取研究对象的地理位置信息。传统途径数据获取方式与景观大数据来源优势特性对比见表 1。

表 1 游客时空行为研究中主要的数据获取方法比较

Tab. 1 Comparison of main data acquisition methods in the study of spatio-temporal behavior of tourists

方法	主要数据	优点	缺点	记录工具、平台
问卷调查	定点游客行为观察或发放调查问卷	技术难度低,数据有针对性	无法准确记录位置,研究区域有限	人工记录文本
统计数据	游客抽样资料调查	能够适用大尺度研究区域	无法准确记录位置,区域、调查项目有限	手机信令等
社交网络	社交 APP 或网站的签到信息数据	数据获取容易,准确记录位置	记录样本较杂,数据难整理	微博、两步路等
空间通信	利用空间定位装置或移动电话等获取的游客位置时间信息	能够精确记录空间位置	获取难度较大,成本高	GPS、手机信令、WIFI 发射器等
网络媒体	游客分享的游记攻略、点评照片等	数据获取容易,真实性强,能够准确记录位置	数据零散,采集工作量大	马蜂窝、携程、美团等

2 景观大数据处理分析方法

早期的有关时空行为研究,由于技术条件应用的限定和调查研究方法的单一,往往采用传统计量统计学方法来进行分析,如访谈问卷调查后对数据进行定量定性分析,较多的使用描述性统计分析、因子分析等^[6]。随着大数据在景观领域应用难度的降低,研究方法愈发多样化,形成以 GIS 工具应用为主的多种数据处理分析方法,如 ArcGIS 核密度估

算、图片内容分析、社会网络分析、空间趋势面建模和构建重心模型等。

2.1 ArcGIS 核密度分析法

核密度分析法是一种用于估计概率密度函数的非参数方法,采用 ArcGIS 的核密度分析功能完成对其函数的计算,通过平滑的峰值函数拟合观察点来估计概率密度函数,用来对真实的概率曲线进行模拟,描述出空间点在不同位置发生聚集的程度差异^[7]。运用这种计算和模拟方法可以得到研究地

热冷门空间拍摄点、游客最短、最长行为轨迹、热门景观类型等。

2.2 社会网络分析法

社会网络分析是一种以图论为基础的定量研究方法,将研究对象之间的关系抽象为社会网络,通过社会网络结构等内容对其进行解释^[8]。社会网络分析法已在社会学、经济学领域内取得较为丰富的研究成果,逐步形成一种以结构关系为主导的研究方法。常用 UNCINET 和 NETDRAW 等软件进行量化处理与可视化分析,对游客空间行为模式以及网络结构、节点特征等方面进行定量测算,并将分析结果实现网络结构可视化。

2.3 图片内容分析法

所有文本,包括文字、图片、音频等可以转换为各种文本的传播内容进行内容分析。图片内容分析法就是通过对传播内容的深入剖析,经过客观、系统、定量分析后,透过现象揭示内容中隐含的本质,并给予相应推理的方法^[9]。常见的研究方式有采集社交媒体上用户发布的签到信息,通过 SPSS 软件或 Rost Content Mining 软件对内容详细整理和数据分析。

3 游客时空行为研究进展

3.1 国外有关时空行为研究进展

国外学者对游客时空行为的研究起步较早,研究手段较为丰富,数据获取多元化,大数据平台的开放程度较高,研究内容多集中在内容数据、数量数据方面,倾向于研究时空分布规律、时空特征、时空行为、时空分布格局及其变化规律以及构建游客行为模式^[10],缺乏数据深入挖掘和探索解读。

早期国外对于游客时空行为的研究多为信息技术领域的学者基于技术层面进行的研究,在时空数据获取方法上进行了相关探索。Asakura 等利用个人手机系统(PHS)进行个人旅行的跟踪调查,以此来获取时空数据,研究对日本大阪城堡会议中心观看相扑表演的 100 名旅游者进行了分析^[11];同样是采用手机作为数据获取媒介,Jarv 等利用手机定位技术,通过分析气温条件与游客空间行为的关系,探究其与游客目的地选择的关系^[12]。

以上初步探索都是针对游客时空数据获取的技术手段进行的,此外,众多学者在对游客的时间行为和空间行为研究方面也做了更为细致和专业化的研究。

在游客时间行为方面,国外学者的研究从游客

宏观特征分析发展到对微观个体特征探索的转变。20 世纪 80 年代,Cooper 为了验证游客行为的本质,首次尝试通过绘制游客行为来研究游客旅游行为的空间和时间模式^[13];Fennell 等利用时空日记来解释游客在游览过程中的行为变化^[14]。之后,许多学者开始尝试利用科学技术来收集大数据进行分析和研究,例如 Girardin 等从 Fliker 网站收集了 144 501 张带有地理信息标记的照片,共计 6 019 位用户,利用照片等研究了到访罗马游客的时间行为规律^[15];还有学者采集游客发布的照片、通话记录、手机短信等,研究不同地点的旅游状况,得出游客在不同景区类型的时间分布特征和趋势^[16]。

游客空间行为方面,相对时间因素来说成果则较为丰富,但内容具有一定的相似性,集中在理论模型研究和行为空间、机制研究、时空轨迹等。早期学者关注于宏观尺度目的地内部游客空间移动研究,Compton 提出了经典的 5 种区域旅游空间模式^[17],Mckercher 等根据游客行为模式将游客行为模型分为领域模型和线路模型两类^[18]。20 世纪 90 年代,研究从宏观角度转向微观特征,如 Mings 采用传统问卷调查方式对 600 名进入黄石公园的旅游者进行研究,探讨旅游者的空间行为模式^[19];同样是从 Fliker 网站获取的城市地理标记照片,Yin 等选取 12 个不同城市,分析了用户、位置和照片轨迹之间的关系并对多样化的轨迹模式进行了排名^[20];Xia 等利用马尔科夫链对游客旅行的时空移动模型进行实证研究,有效地推断了特定景点的吸引力和位移概率^[21]。

随着研究的深入,越来越多领域学者开始尝试研究游客时空行为的其他相关要素,如游客动机偏好、时空流向等。Janika Raun 率先获取了 2013 年爱沙尼亚国外游客的手机定位数据,选取爱沙尼亚国家尺度下到访的游客,以量级地理范围到访的游客为例,对比研究不同地理空间尺度游客时间行为特征差异^[22]。大多数学者从手机信令提取到样本数据中的游客出发、抵达、离开时间和居住地点坐标等信息,并使用这些信息定量对研究地点特征进行量化描述,研究分析其原因^[23];有些学者利用社交网站生成的大数据做了研究分析,洞察游客动机和偏好,为不同类型的旅游景区管理及后期旅游业的挖掘提供了借鉴^[24-25]。

国外学者研究起步相对较早,数据获取平台选择广泛,视角也更多元,内容多数为从旅游目的地外部或大尺度进行的游客时间、空间研究,从游客时空

行为研究逐步转向游客行为轨迹、情绪特征探索。

3.2 国内有关时空行为研究进展

国内学者由于大数据平台限制,并且缺乏学科间的交叉研究,使得社交媒体网站数据成为了重要的挖掘对象,但相对来说研究层次更丰富,从初期的停留在对游客时间特征、空间分布和时空行为的感知研究,转换到深入地不同角度、不同背景下对游客行为研究细化,对游客的时空特征研究也延伸到对个体特征的研究。

从时间方向研究来看,有学者关注于区分不同时间长短的游客时间行为,早期有学者从游客日内、季内人数时间以及特征变化情况等方面研究游客的时间行为特征^[26-27];唐佳等利用收集到的西安市微博签到数据,探究游客日内时间分布模式,且旅游节点游客的日内时间呈多峰波动型、日夜间活跃型分布^[28];少部分学者关注于游客停留时间及其背后原因分析;更多学者探索不同时间段游客行为分析^[29],梁燕敏等采集桂林市独秀峰·王城景区动态和静态数据,分析国庆期间游客 4 种行为模式,针对该景区资源配置和管理服务等方面提出相应的规划建议^[30];黄潇婷在早期研究的基础上,从时间角度描述景区内游客游览时间、速度、停留次数 3 个方面的特征,通过对北京颐和园的实证研究,验证旅游时间要素对游客行为的影响有时会高于空间要素^[31]。

从游客空间行为研究方向来看,主要分为两个方面,研究规模和空间类型。其中,研究规模可根据具体范围划分为大、中、小 3 个尺度,空间模式分为基础空间类型和以某具体案例地相关进行研究的模式^[32]。起初,国内学者由于缺乏有效的技术手段,将研究聚焦于大尺度空间,例如以城市为空间节点的区域旅游空间结构^[33];之后,杨敏等利用网络文本和照片的时空信息分析得出成都入境游客的入境旅游集中时间、偏好景区和特色街区等^[34];基于这些研究基础,郭旸等创新地采用将手机信令数据和 UGC 网络文本数据相结合的分析方法,通过可视化分析得出外地来沪游览迪士尼游客对旅游目的地的选择,总结出游览空间结构主要表现为单一目的地型^[35]。

之后,随着学者们进行时空分析的空间尺度缩小,对于单个景区不同时间尺度的游客行为分析以及景区内部游客时空分布也逐渐成为研究热点^[36-38]。刘雅静等选取 Flickr 与蜂鸟网的摄影图片,记录年度、季度等与时刻相关的游客时间行为特征,通过分析研究地的热点区域,得出霞浦尚未形成

真正意义上的中心^[39];张少杰通过西安旅游圈有关照片得出其存在 3 种不同的旅游路径轨迹方式^[40]。有学者尝试将空间行为模式和路线设计相结合,从不同地理尺度探究适合该研究区域且更具有针对性的空间行为模式,呈现出很强的实践性与指导作用^[41],例如学者李渊等利用 GPS 对不同景区进行研究,根据旅游景点类型定量分析游客的空间行为^[42]。针对主题公园进行游客时空行为研究,张腾获取了上海迪士尼新浪微博签到数据,用 ArcGIS 绘制了其客源市场空间结构图,分析该主题公园客流的地理特征和空间分布规律^[43]。

目前已有学者开始尝试将物质与虚拟空间结合,将游客行为时间、空间上的数据分析转向对游客动机和情感因素的研究,如“旅游情感路径”,将时空行为与游客情绪相联系,深层次发掘时空行为背后的游客心理因素^[44]。学者胡广等首次采用将社交媒体大数据运用到景观游客体验分析中,从片区和景点两个空间尺度出发,研究了西湖不同景点中游客对桂花的感官和行为模式体验差异^[45];类似地,梁嘉祺通过语义分析提取识别与游客情绪相关的词语、时空行为因素,运用 GIS 可视化分析证明两者之间有一定相关性^[46]。此外,有学者已从对游客时空行为分析中得出游客的景观偏好以及感情倾向,林仔健通过构建情感词典从文本中抽取情感潜在的主题特征,对数据分类再进行聚类分析,结果表明,对负向景点评论指标上有很好的性能^[47];有学者专注于将游客时空分布和景观偏好相结合,采用图片内容分析法,将游客拍摄的照片进行统一编码,研究得出某景区或某一案例相关地具体热门景观类型、游览路线等^[48]。

与传统调研方法相比,利用大数据分析方法呈现出更为全面、客观和深入的特点;但是,有学者认为这些方法存在一些缺点,例如哈斯等通过研究发现,一些游客担心隐私的泄露增加了数据获取难度^[49],有学者认为使用带有定位技术的装置进行调查时,这些装置应操作简单且便于携带,不应妨碍游客参观等^[50],利用大数据和新技术手段全面地探索景观大数据方向的游客时空行为仍需深入研究。

4 结 语

4.1 总结

现有大量文献记录分析研究游客时空行为,看似这方面研究相对成熟,其实不然,在查阅文献中发现,多数发文作者的研究方向为地理学、旅游学,相

关景观研究目前还在探索阶段。我国学者针对游客时空行为特征研究,整体上以带有定位数据的研究为主,部分以网络文本数据进行研究,主要有两方面原因:(1)大数据的获取途径有限,很多时空大数据都是个人或企业服务器所有,因此景观规划设计者无法取得大量有效数据来应用;(2)对于大数据的处理不够熟悉,涉及相关数据处理还需要学习软件,相关研究者未达到与研究匹配的软件处理能力,因此无法在景观规划设计中尝试应用景观大数据^[51]。

4.2 研究趋势

根据论文查阅趋势发现,关于大数据分析游客时空行为的研究正在扩大规模并呈现越来越准确、快速的特点。但是,目前多数研究学者是将某一城市景区或同一类型公园作为研究地点,研究区域范围相对较小,现有大数据处理能力逐步提升、技术不断进步,可尝试将多个调查地作为研究点,一次获取大量数据,纵向对比提高效率的同时扩充研究内容。现阶段已开展的此方面研究,通常采用的是某一种大数据的试验研究;事实上,这些采集景观大数据的平台有着不同的优势与应用特点,仅仅依靠某一类平台大数据也许只能从某个角度或方向进行解释阐述;随着大数据应用和获取体系的构建,以及专业技术的提升,未来多类型的大数据融合分析应用将提供更多探索方向。此外,在景观空间的规划设计研究中,大数据技术应用已逐步引起专业人士的重视,但针对游客时空行为方面的研究相对局限,且多数将时间和空间作为两个要素分开来研究,可尝试将两者同时作为研究要素进行分析。

参考文献:

- [1] 梁雅洁. 基于旅游数字足迹的游客时空行为特征研究——以杭州市为例[D]. 杭州:浙江工商大学,2018.
- [2] 党安荣,张丹明,李娟,等. 基于时空大数据的城乡景观规划设计研究综述[J]. 中国园林,2018,34(3):5-11.
- [3] 李昊. 基于 Flickr 地理标记照片的长三角城市群入境游客时空行为研究[D]. 上海:上海师范大学,2017.
- [4] 丁治凡,严靖恒,严军. 基于多源数据的南京玄武湖公园使用情况评价与分析[J]. 现代城市研究,2020(8):35-43.
- [5] 陈子微,姚建盛. 基于旅游数字足迹的游客时空行为研究——以南京市玄武区为例[J]. 软件,2020,481(5):187-191.
- [6] 秦萧,甄峰. 基于大数据应用的城市空间研究进展与展望[C]//2013 中国城市规划年会论文集. 2013:1-14.
- [7] 史宜,杨俊宴. 基于手机信令数据的城市人群时空行为密度算法研究[J]. 中国园林,2019,35(5):5.
- [8] 张秀香. 基于数字足迹的生态旅游地游客时空行为特征及影响因素研究——以西藏林芝为例[D]. 南京:南京师范大学,2017.
- [9] 秦萧,甄峰,熊丽芳,等. 大数据时代城市时空行为研究方法[J]. 地理科学进展,2013(9):50-59.
- [10] 李娜. 基于微博签到的湖南省森林公园游客时空分布特征研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2018.
- [11] ASAKURA Y, HATO E. Tracking survey for individual travel behaviour using mobile communication instruments [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2004, 12(3): 273-291.
- [12] JARV O, AASA A, AHAS R, et al. Weather dependence of tourist's spatial behaviour and destination choices: Case study with passive mobile positioning data in Estonia [C]//MATZARAKIS A, DE FREITAS C R. Developments in Tourism Climatology. Freiburg: Commission on Climate, Tourism and Recreation, 2007:221-227.
- [13] COOPER C P. Spatial and temporal patterns of tourist behaviour [J]. Regional Studies, 1981, 5(5): 359-371.
- [14] FENNELL D A. A tourist space-time budget in the Shetland Islands [J]. Annals of Tourism Research, 1996, 23(4): 811-829.
- [15] GIRARDIN F, CALABRESE F, FIORE F D, et al. Digital foot printing: uncovering tourists with user generated content [C]. Sydney, Australia: Pervasive Computing, IEEE 7. 4, 2008:36-43.
- [16] EAGLE N, PENTLAND A. Inferring social network structure using mobile phone data [C]//Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), 2009, 6(36): 15274-15278.
- [17] COMPTON J L D. Fesenmainer, Conception of multi-destination pleasure trips [J]. Annals of Tourism Research, 1993, 20(2): 289-301.
- [18] LEW A B. McKercher, Modeling tourist movements a local destination analysis [J]. Annals of Tourism Research, 2006, 33(2): 403-423.
- [19] MINGS R C, MCHUGH K E. The spatial configuration of travel to Yellowstone National Park [J]. Journal of Travel Research, 1992, 30(4): 38-46.
- [20] YIN Z, CAO L, HAN J. Diversified trajectory pattern ranking in geo-tagged social media [J]. SDM, 2011, 30(6): 980-991.
- [21] XIA J C, ZEEPHONGEKUL P, PACKER D. Spatial and temporal modelling of tourist movements using Semi-Markov processes [J]. Tourism Management, 2011, 32(4): 844-851.
- [22] RAUN J, AHAS R, TLRU M. Measuring tourism destinations using mobile tracking data [J]. Tourism Management,

- 2016(57):202-212.
- [23] ROSANNA L, JIA R, et al. Tourists visit and photo sharing behavior analysis: A case study of hong kong temples [C]//Information and Communication Technologies in Tourism, 2016:197-209.
- [24] CRANDALL D, BACKSTROM L, COSLCY D, et al. Inferring social ties from geographic coincidences[C]// Proc. National Academy of Sciences (PNAS), 2010(52):22436-22441.
- [25] PAWITRA T A, TAN K C. Tourist satisfaction in Singapore a perspective from Indonesian tourists[J]. Journal of Service Theory & Practice, 2012, 13(5):399-411.
- [26] 解籽, 张捷, 刘泽华. 旅游客源市场空间结构及地理细分市场计量分析研究——以江西省为例[J]. 经济地理, 2004(6):852-855.
- [27] 张仁军. 基于 GIS 与 multi-agent system 的景区游客空间行为模拟系统[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2006, 29(4):495-498.
- [28] 唐佳, 李君轶. 基于微博大数据的西安国内游客日内时间分布模式研究[J]. 人文地理, 2016, 31(3):151-160.
- [29] 李春明, 王亚军, 刘尹, 等. 基于地理参考照片的景区游客时空行为研究[J]. 旅游学刊, 2013, 28(10):30-36.
- [30] 梁燕敏, 杨泽, 黄智孟. 基于景观时空大数据的桂林王城景区游客行为研究[J]. 湖南包装, 2021, 36(3):14-18.
- [31] 黄潇婷. 基于时间地理学的景区旅游者时空行为模式研究——以北京颐和园为例[J]. 旅游学刊, 2009(6):82-87.
- [32] 江金波, 任小乐. 基于怀旧动机的景区内部游客时空行为模式研究——以广东省博物馆为例[J]. 中大管理研究, 2015, 10(3):22-40.
- [33] 梁增贤, 保继刚. 主题公园黄金周游客流季节性研究——以深圳华侨城主题公园为例[J]. 旅游学刊, 2012(1):58-65.
- [34] 杨敏, 李君轶, 杨利. 基于旅游数字足迹的城市入境游客时空行为研究——以成都市为例[J]. 旅游科学, 2015, 29(3):59-68.
- [35] 郭旸, 胡雅静, 林玥. 基于手机信令和网络游记数据的游客时空行为分析——以上海迪士尼乐园外地游客为例[J]. 旅游论坛, 2020, 13(1):10.
- [36] 徐薛艳, 龙涛, 孙雪飞. 上海中心城区海外游客兴趣点 (POI) 时空分布特征研究[J]. 世界地理研究, 2018(5):10.
- [37] 马丽君, 江恋. 湖南“红三角”潜在游客时空分布特征及其影响因素[J]. 资源开发与市场, 2016, 32(9):1122-1126.
- [38] 黄蔚欣, 张宇, 吴明柏, 等. 基于 WiFi 定位的智慧景区游客行为研究——以黄山风景名胜区为例[J]. 中国园林, 2018, 34(3):7.
- [39] 刘雅静, 薛秋华. 基于多源数据的霞浦县滩涂摄影游客时空行为特征研究[J]. 台湾农业探索, 2021(2):6.
- [40] 张少杰. 基于地理标记照片的大西安旅游圈游客时空行为研究[D]. 西安:陕西师范大学, 2015(3):105:14-36.
- [41] 李渊, 刘嘉伟, 严泽幸, 等. 基于卫星定位导航数据的景区旅游者空间行为模式研究——以鼓浪屿为例[J]. 中国园林, 2019, 35(1):5.
- [42] 李渊, 黄惠珠, 黄珊珊, 等. 基于 GPS 的景区旅游团时空行为特征研究——鼓浪屿实证案例[J]. 城市建筑, 2019, 16(22):5.
- [43] 张腾. 基于微博签到数据的主题公园游客时空行为研究[D]. 上海:上海师范大学, 2017:30-36.
- [44] 梁嘉祺, 姜珊, 陶犁. 旅游者时空行为模式与难忘旅游体验关系研究[J]. 旅游学刊, 2021, 36(10):98-112.
- [45] 胡广, 王东昱, 胡绍庆, 等. 基于社交媒体大数据的杭州桂花景观游客体验分析[J]. 园林, 2021, 38(9):9.
- [46] 梁嘉祺, 姜珊, 陶犁. 基于网络游记语义分析和 GIS 可视化的游客时空行为与情绪关系实证研究——以北京市为例[J]. 人文地理, 2020, 35(2):152-160.
- [47] 林仔健. 旅游活动发现与游客行为挖掘研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2018.
- [48] 钟晓林. 基于两步路平台的武陵源景区游客时空分布与景观偏好研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2019.
- [49] 甄峰, 秦萧, 王波. 大数据时代的人文地理研究与应用实践[J]. 人文地理, 2014, 29(3):1-6.
- [50] SHOVAL N, ISAACSON M. Sequence alignment as a method for human activity analysis in space and time[J]. Annals of Association of American Geographers, 2007, 97(2):282-297.
- [51] 宋启, 李侃侃, 刘建军. 基于 UGC 数据的乡村游客行为时空特征研究[J]. 中国园林, 2021, 37(8):80-85.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.037

城市居住区三维绿色空间影响空气温湿度机制研究

肖硕凌, 闫菲泽, 张钰浩, 刘仪, 何瑞珍

(河南农业大学 风景园林与艺术学院, 河南 郑州 450002)

摘要:以郑州市居住区为例,采用手持式路昌 LM-8000 四合一环境测量仪,对郑州市区中不同方位、不同高度、不同布局形式分类的 6 个居住区微气候环境进行观测,对气温、相对湿度等气象数据进行分析,并探讨绿色空间布局形式影响空气温湿度的机制。结果表明:居住区白天相对湿度的变化幅度高于温度;测量日内,高层小区和多层小区的温湿度达到最大值的时间不同;在静风条件下,植物蒸散和阴影影响的范围为 10~50 m,相对湿度的影响范围为 10~50 m;居住区相对湿度最小值、均值分别与测点 10 m 范围内绿色空间的分形维数有关;相对湿度最大值与 50 m 范围内绿色空间的形状指数有关;白天时段,湿度的变化与 50 m 范围内的形状指数和连接度指数有关。

关键词:微气候;绿色空间布局形式;分形维数;形状指数;温湿度

中图分类号:S731.2;S718.512.1 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0210-08

引文格式:肖硕凌,闫菲泽,张钰浩,等.城市居住区三维绿色空间影响空气温湿度的机制研究[J].林业调查规划,2024,49(1):210-217. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.037

XIAO Shuoling, YAN Feize, ZHANG Yuhao, et al. Mechanism of Three-dimensional Green Space Affecting Air Temperature and Humidity in Urban Residential Area[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 210-217. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.037

Mechanism of Three-dimensional Green Space Affecting Air Temperature and Humidity in Urban Residential Area

XIAO Shuoling, YAN Feize, ZHANG Yuhao, LIU Yi, HE Ruizhen

(College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The handheld Luchang LM-8000 multi-functional environment measurement instrument was used to observe the microclimate environment of six urban residential areas with different directions, heights and layout forms in Zhengzhou City, meteorological data such as temperature and relative humidity were analyzed, and the mechanism by which green space layout forms affected air temperature and humidity was explored. The results showed that the variation amplitude of relative humidity during the day in residential areas was higher than that of temperature; the time when the temperature and humidity reached the maximum value was different between high-rise buildings and multi-story buildings; under calm wind conditions, the range of plant evapotranspiration and shadow influence was 10-50 meters, and the range of relative humidity influence was 10-50 meters; the minimum and average relative humidity in

收稿日期:2022-07-01.

基金项目:国家自然科学基金项目(31470029).

第一作者:肖硕凌(1996-),女,河南洛阳人,硕士研究生.主要从事城市微气候方面的研究. Email:429577061@qq.com

责任作者:何瑞珍(1970-),女,河北高邑人,博士,副教授.主要从事 3S 地理信息系统和城市微气候研究. Email:hrzzjd@126.com

residential areas were related to the fractal dimension of the green space within a range of 10 meters from the measurement point; the maximum relative humidity was related to the shape index of green space within a range of 50 meters; the variation of humidity during the day was related to the shape index and connectivity index within a range of 50 meters.

Key words: microclimate; green space layout; fractal dimension; shape index; temperature and humidity

伴随着城市原有下垫面性质改变、人类活动强度增加、建成区无序蔓延扩张以及生物量减少等因素,城市气候“五岛”效应越发凸显^[1]。城市绿色空间成为城市发展的一个重要组成部分,因为其具有显著的生态调节功能^[2]。绿色空间能促进局地降温,从而有效缓解城市热岛^[3],城市绿地冠层导度是影响城市气候的重要因素,绿色空间中植物的蒸散和遮阴作用起到一定的降温增湿效果^[4-5]。绿色空间不仅可以改善或提升城市生态环境,还可以保持市民身心健康^[6]及产生美学价值^[7]。因此,亟需进行城市绿色空间研究,帮助人们创造宜居城市环境。

目前,大多研究主要针对城市热岛效应^[8-10]。一些学者采用大尺度遥感影像反演地表温度进行研究^[11-13],但是数据的处理结果会受影像精度的影响。此外还有数值模拟方法^[14],但是其构建场景模型较为复杂,有时模型构建较为单一。小气候中能量、水气的交换对空气温度、相对湿度、风环境等影响复杂多变,实测数据往往更加真实。实际环境中,每个不同的绿色空间在一定的范围内具有其独特的微气候,人们对微气候的感知是最密切的。而人口密集的居住区在城市中面积占比大,因此本研究将实验定在居住区^[15]。孙杰等^[16]研究发现,增加居住区内植物冠层厚度有助于改善微气候环境,任斌斌等^[17]研究发现,绿地面积与降温增湿作用呈正相关,空气温湿度是和市民关系最为密切的因子^[18-19]。He 等^[20]对郑州市的研究发现,春季温度与容积率和绿地率有关,夏季温度与 65 m 以上高差有关,秋季温度与建筑高度有关,冬季温度与距市中心距离差异和建筑高度有关。影响样点温度的最高值、最低值和均温的因素变化在不同季节中差异较大。由此可见,绿色空间影响温湿度研究从二维绿地面积已扩展至三维建筑高度,还需对三维绿色空间进行深入研究。城市景观格局与城市气候关系密切,Do-browski 等^[21]和 Saunders 等^[22]在对山区和林区的研究中发现,景观与空气温度的关系是动态、跨尺度的。在两者关系研究中,由于遥感数据易获取,多数

研究^[23-27]利用遥感数据研究景观类型水平指数和地表温度的关系。而从市民舒适度感知角度来看,本研究采用的实测空气温湿度比地表温度更接近于实际,选取的景观水平指数比类型水平指数更能体现区域整体环境的影响。

1 研究区概况

河南省会郑州市主城区为:金水区、二七区、中原区、管城区、惠济区、郑东新区、经开区、高新区、航空港区,中心建成区面积为 709.69 km²。气候类型为北温带大陆性季风气候,冬冷夏热,四季分明。以郑州市城区居住区为例,在郑州市不同的温度带中选取了市区中 6 个不同方位、不同高度、不同布局形式、不同绿化覆盖的居住区(表 1)。

表 1 居住区建筑和植被信息

Tab. 1 Information of building and vegetation in residential area

名称	建筑形式	与市中心距离 /m	建筑布局	楼间距 /m	建筑层数 /层	容积率	绿化覆盖率 /%	绿地率 /%
天下城	高层	1688.71	围合式	50	28	3.60	23	23
帝湖花园	多层	5809.56	行列式	20	6	2.39	22	29
蓝堡湾	高层	4531.92	半围合式	50	33	3.51	40	40
非常国际	高层	5176.22	行列式	50	30	3.00	53	34
宝景花园	多层	4813.19	行列式	20	6	2.30	46	39
帝湖花园	高层	5809.56	行列式	52	33	3.00	24	24

为了减少乔木、草坪等绿色空间蒸腾和阴影的影响以及研究覆盖整个居住区的原则,根据不同的下垫面、植物类型搭配、空间开敞度等因素布设样点。根据居住区不同面积布设相应数量观样点,总计布设 32 个(图 1)。测试居住区均不存在水域。

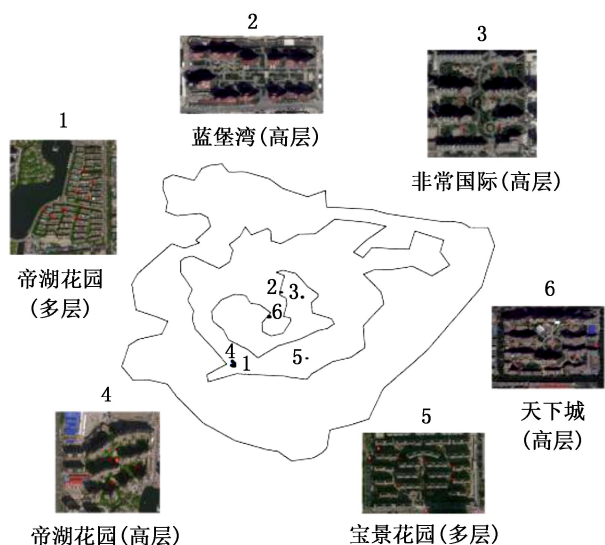


图 1 样点分布

Fig. 1 Distribution of sample points

2 研究方法

研究包括 4 个步骤: 研究区域空气温湿度、风速、太阳辐射数据测量; 三维绿色空间数据调查和测量; 景观指数计算; 综合数据分析。

2.1 空气温湿度、风速、太阳辐射和 SVF 测量

选择晴朗无持续风向微风的天气, 测量日为 2021 年 9 月 12 日, 测量时段为 8:00—18:00, 每隔 1 h 分别对各个样点处进行风速、温度、相对湿度观

测。实验采用手持式路昌 LM-8000 温度/相对湿度/风速/照度四合一环境测量仪进行测量。仪器温度测量范围为 -100.0~1 300.0℃, 精确度为 ±1%。相对湿度测量范围为 10%~95%, 精确度为 ±4% (温度 0~50.0℃)。风速为 0.4~30.0 m/s, 精确度为 ±3% (温度 0~50.0℃)。天空视域因子(SVF)数据收集采用安装鱼镜头的 SONYNEX-7, 在地面约 0.8~1 m 处高度对各样点垂直于地面向上进行定点拍照, 使用 Rayman 处理软件对照片进行处理分析获取 SVF 数值。

2.2 三维绿色空间数据调查和测量

利用高分 3 号卫星资料结合实地调查, 目视解译了 6 个居住区绿色空间数据。绿色空间数据包括: 乔、灌、草和非硬化地面。乔木调查数据为树种、树高、胸径、冠幅、枝下高; 灌木调查数据为基径、冠幅、高度; 草本数据为草本的高度; 非硬化地面为裸土和水体。最后根据选取的居住区各自不同的材料和属性, 计算这 6 个居住区的三维绿量。现场实地调查测定了每个样点周围的绿量。采用测高仪、胸径尺和皮尺现场实测获得三维绿量数据。通过对高分 3 号卫星的影像解译获得形状指数, 采用生态学中三维生物量的计算方法, 根据测定的树木参数获得三维绿量(表 2)。为了探讨三维绿色空间的尺度效应, 以观测样点为圆心计算间隔 10 m、半径 50 m 缓冲区内的三维绿量。

表 2 不同树种的三维绿量计算公式

Tab. 2 Calculation formula of three-dimensional green biomass of different tree species

立体几何形态	树种	三维绿量计算公式
卵形 扁球形 广卵形 近球形	国槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> 、枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i> 、白皮松 <i>Pinus bungeana</i> 、洋槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> 、杨树 <i>Populus</i> 、木瓜 <i>Chaenomeles speciosa</i> 、垂柳 <i>Salix babylonica</i> 、枫香 <i>Liquidambar formosana</i> 、朴树 <i>Celtis sinensis</i> 、臭椿 <i>Ailanthus altissima</i> 、黄栌 <i>Cotinus coggygia Scop.</i> 、青桐 <i>Firmiana platanifolia</i> 、香椿 <i>Toona sinensis</i> 、楝树 <i>Melia azedarach</i> 、五角枫 <i>Acer mono Maxim</i> 、构树 <i>Broussonetia papyrifera</i> 、梓树 <i>Catalpa ovata</i> 、杜仲 <i>Eucommia ulmoides Oliver</i> 、栾树 <i>Koelreuteria paniculata</i> 、石榴 <i>Punica granatum</i> 、山楂 <i>Crataegus pinnatifida</i> 、广玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i> 、马褂木 <i>Liriodendron tulipifera</i> 、柿树 <i>Diospyros kaki</i> 、白玉兰 <i>Magnolia heptapeta</i> 、柞树 <i>Quercusmongolica Fisch</i> 、复叶槭 <i>Acer negundo</i> 、白蜡 <i>Fraxinus chinensis</i> 、元宝枫 <i>Acer truncatum</i> 、挪威槭 <i>Acer platanoides</i> 、大叶女贞 <i>Ligustrum compactum</i> 、三角枫 <i>Hedera nepalensis</i> 、丝棉木 <i>Euonymus maackii</i> 、银杏 <i>Ginkgo biloba</i> 、紫杉 <i>Taxus cuspidata</i> 、乌桕 <i>Sapium sebiferum</i> 、合欢 <i>Albizia julibrissin</i> 、樱花 <i>Cerasus serrulata</i> 、紫叶矮樱 <i>Prunus x cistena</i> 、枇杷 <i>Eriobotrya japonica</i> 、桂花 <i>Osmanthus</i> 、鸡爪槭 <i>Acer palmatum</i> 、桃树 <i>Amygdalus persica</i> 、海棠 <i>Malus spectabilis</i> 、碧桃 <i>Amygdalus persica</i> 、紫荆 <i>Cercis chinensis</i> 、紫叶李 <i>Prunus cerasifera</i> 、紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i> 、腊梅 <i>Chimonanthus praecox</i> 、香樟 <i>Cinnamomum camphora</i> 、海桐 <i>Pittosporum tobira</i> 、重阳木 <i>Bischofia polycarpa</i> 、夹竹桃 <i>Nerium oleander L.</i> 、楸树 <i>Catalpa bungei</i> 、核桃 <i>Juglans regia</i> 、悬铃木 <i>Platanus acerifolia</i> 、泡桐 <i>Paulownia fortunei</i> 、石楠 <i>Photinia serratifolia</i> 、无花果 <i>Ficus carica</i> 、棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>	$\frac{\pi x^2 y}{6}$
圆锥形	雪松 <i>Cedrus deodara</i> 、榆树 <i>Ulmus pumila</i> 、珊瑚树 <i>Viburnum odoratissimum</i> 、木槿 <i>Hibiscus syriacus</i> 、水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	$\frac{\pi x^2 y}{12}$
球扇形	丁香 <i>Syringa oblata</i> 、绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i> 、结香 <i>Edgeworthia chrysantha</i> 、南天竹 <i>Nandina domestica</i>	$\frac{\pi(2y^3 - y^2\sqrt{4y^2 - x^2})}{3}$

注: x 为平均树木冠径(m), y 为树木冠高(m)^[28]。

2.3 景观指数计算

为探讨景观类型和景观水平上绿色空间的温湿度效应,研究利用 Fragstats 4.2 软件间距 10 m 的移动同心圆窗口采样法,计算每个样点 50 m 缓冲区内形状指数。郑州市内的街区通常分成两个约 500 m 的住宅居住区,在围墙的分隔下形成了独立的城市小气候。住宅区又通常分成 5 部分,东西方向共有 2~3 排楼房,在人行水平上,将 50 m 作为缓冲区覆盖整个居住区。利用多元回归分析方法分析绿色空间的温湿度效应。景观水平绿色空间的量化指标主要选取形状指数、连接度指数和分形维数(表 3)。

表 3 研究采用的景观指数

Tab. 3 Landscape index used in the study

指数	描述	水平
分形维数(FMN)平均值	缓冲区内分形维数	类、景观
形状指数(SMN)平均值	缓冲区内形状维数	类、景观
相关外接圆指数(CMN)平均值	缓冲区内相关外接圆指数	类、景观

3 研究结果与分析

3.1 居住区内各样点间温度数据分析

将外业收集的温度、相对湿度和风速数据,使用 WPS Office 2019 和 Origin 2020 软件进行处理制作图表。各个样点的温度平均值可以看出,各个居住区白天的温度均值差距均较大。温度值为:蓝堡湾(高层)<宝景(多层)<帝湖(高层)<非常国际(高层)<天下城(高层)<帝湖(多层)。帝湖多层温度均值最高,蓝堡湾温度均值最低。帝湖多层绿化覆盖率 22%、建筑高度 6 层,蓝堡湾绿化覆盖率 40%、建筑高度 33 层,较高的绿化覆盖和较高的建筑对温度均有降温影响。帝湖多层建筑低、绿化覆盖率低,这两个因素会增加场地内太阳辐射热量吸收,造成平均温度比其他居住区高(图 2)。

3.2 居住区内各样点间湿度数据分析

通过观测时段各个样点的湿度平均值可以看出,各个居住区平均湿度值差距相对较小。湿度值为:帝湖(多层)<帝湖(高层)<蓝堡湾(高层)<宝景(多层)<天下城(高层)<非常国际(高层)。因为建筑高度较低,接受太阳辐射热量多,多层比高层蒸散面积大,更容易降低空气湿度,低绿化和多层建筑的组合湿度最小,高绿化和高层建筑的组合湿度大(图 3)。

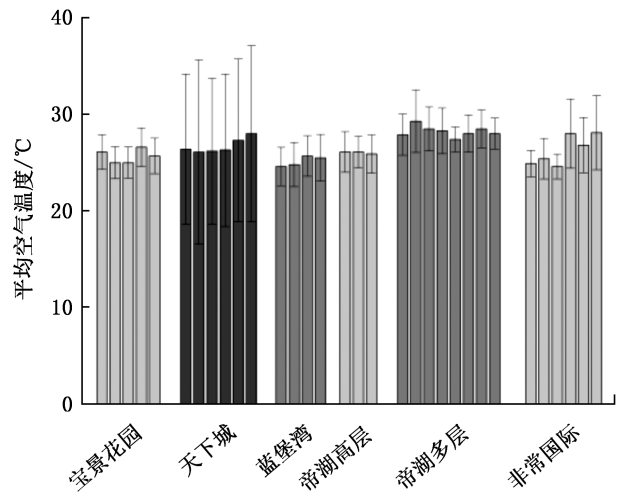


图 2 居住区样点实测温度平均值

Fig. 2 Mean value of measured temperature in residential area sample points

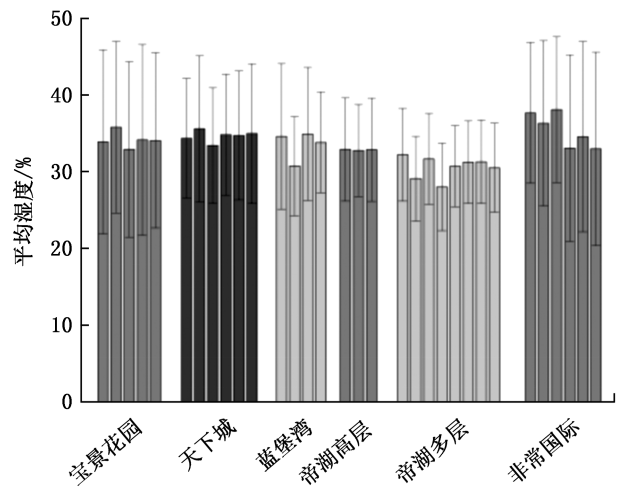


图 3 居住区样点实测湿度平均值

Fig. 3 Mean value of measured humidity in residential area sample points

3.3 居住区样点空气温湿度白天变化情况分析

为了对不同类型不同绿化的居住区空气温湿度数据进行对比,以宝景花园多层和帝湖高层为例分别制作了温度和湿度的变化图(图 4,图 5)。

从图 4 中可以看出,多层和高层日间的温度变化表现出不一样的趋势,多层在上午 9:00 出现一个小低谷,直至上午 11:00 一直上升,在 11:00 达到最大值;而高层从上午 8:00 一直升温,至下午 14:00 达到一天中的最高值。从温度变化图中可以看出,多层中样点有 3 个峰值,而高层只有 2 个,这说明多层的温度变动幅度和频率比高层大。多层降温时间段为 11:00—18:00,高层降温时间段为 14:00—

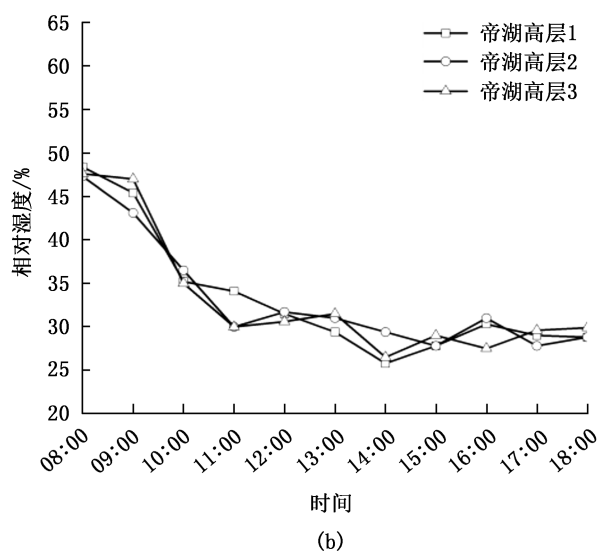
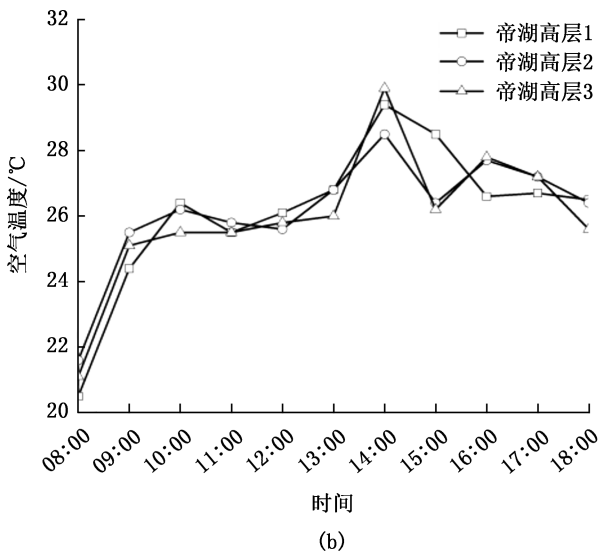
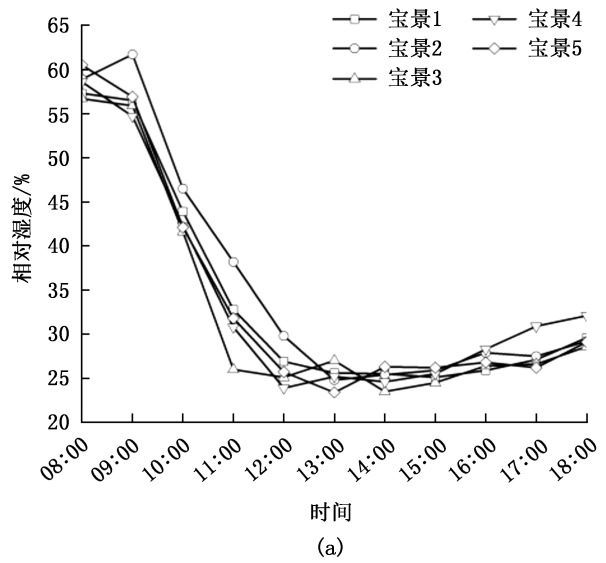
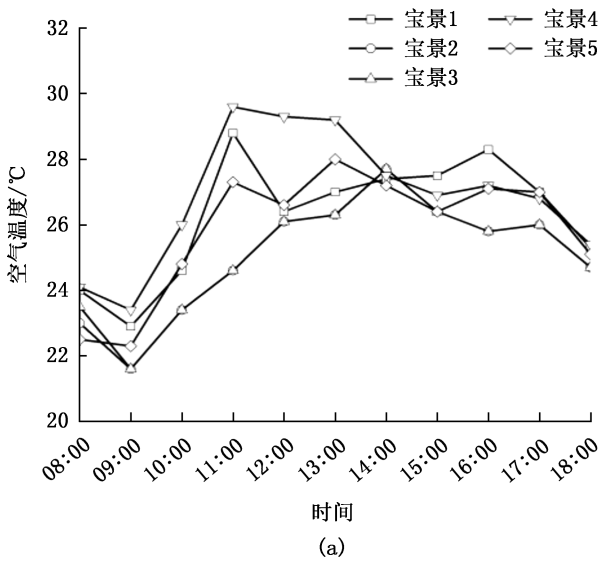


图 4 多层和高层白天的温度变化及对比

图 5 多层和高层白天的湿度变化及对比

Fig. 4 Daytime temperature change and comparison between multi-story buildings and high-rise buildings

Fig. 5 Daytime humidity change and comparison between multi-story buildings and high-rise buildings

18:00。宝景建筑高度比帝湖高层高度低,开阔的天空视域吸收了更多的太阳辐射热量,所以在上午 11:00 就达到一天中最高温度。宝景的绿化覆盖面积比帝湖高层的大,植物的蒸腾起到了很好散热作用,所以宝景在 11:00 后温度就开始下降,而帝湖高层在 14:00 后温度开始下降。更高的天空开阔度使得多层在日间会反复吸收和散发更多的热辐射,因此变动幅度和频率比高层的大,多层温度变化起伏柔和丰富,高层温度变化单一而剧烈。

从图 5 中可以看出,多层和高层白天的湿度变化均表现出先降后升的趋势,多层和高层分别在 13:00 和 14:00 达到日间湿度最小值。由此看出,多层达到最小值的时间比高层早,并且保持低值湿

度时间更长。上午 8:00 宝景湿度比帝湖高层大,宝景较高的绿化覆盖率和天空视域度使得湿度在日间蒸散快且程度大,但除 8:00—11:00 幅度大,其他时间整体波动平稳。帝湖高层因较低的天空视域度导致湿度降低速度慢,但是波动较为丰富。整体而言,高绿化率反而在白天湿度低,这可能是因为较大的叶面积蒸腾加速了湿度的降低,但是在太阳辐射逐渐减弱后湿度又会很快出现上升。

3.4 居住区空气温湿度和 SVF 值多因素综合分析

帝湖多层绿化覆盖低,平均温度最高,湿度均值最低,太阳辐射均值最大。宝景花园绿化覆盖高,湿度值最大,平均温度和太阳辐射均值第二低,湿度均值和湿度最小值均处于中间位置。蓝堡湾高层虽然

绿化覆盖高,温湿最低值和最高值差距较大,温度均值最低、温度最大值、湿度最小值均出现在这里,这也许和蓝湾堡地处繁华商业中心、郑州热岛强度最大的第一梯度有关(表 4)。

表 4 居住区空气温湿度和 SVF 值
Tab. 4 Temperature, humidity and SVF value in residential areas

名称	温度 均值 /°C	温度 最大值 /°C	湿度 均值 /%	湿度 最小值 /%	太阳辐 射均值 /W	SVF /%
帝湖 高层	26.11± 1.90	29.9	32.88± 6.50	25.8	5905.08± 3387.76	26.98
帝湖 多层	28.12± 2.09	33.7	30.62± 5.64	19.0	14082.53± 5920.04	32.08
宝景 花园	25.59± 1.78	29.6	34.20± 11.71	23.4	5732.63± 3069.26	31.40
非常 国际	26.19± 2.51	34.8	35.48± 11.11	18.6	10634.53± 5167.56	26.76
天下 城	26.53± 2.75	38.4	34.68± 8.38	26.8	3491.81± 1852.83	39.65
蓝堡 湾	25.13± 2.22	38.8	34.20± 8.29	17.2	7141.82± 3776.85	26.98
方差	0.95	4.18	3.55	3.97	3653.55	4.58

从温度均值和湿度均值的方差可以看出,湿度的变动度高于温度,温度最大值的方差高于湿度最小值,这说明湿度对绿色空间的响应灵敏度高于温度。同时,上述结果表明,微气候是一个复杂的环境,影响微气候的环境因素更加复杂,太阳辐射、SVF、建筑高度、建筑容积、植被覆盖类型和植被高度、水体形状及水体量、绿色空间的布局形式均会对微气候产生影响。

3.5 缓冲区内三维绿量计算结果

影响植物三维绿量的因素有宏观的植物形态指标和微观的指标,如植物的叶面积密度、叶面积指数等,植物形态起着决定性作用,因此,本研究主要利用植物的形态数据计算三维绿量。样点周围 50 m 内间隔 10 m 三维绿量的变化情况结果如图 6 所示。

从图 6 中可以看出,各样点周围三维绿量数值变化很大,且各样点不同距离缓冲区内三维绿量数值变化也较大。

3.6 绿色空间景观指数与温湿度的相关性

绿色空间影响温湿度的机制是水体和草坪通过蒸腾作用降温,乔木通过蒸腾和阴影降温,绿色空间通过减少阳光入射量,同时通过光合作用达到降温

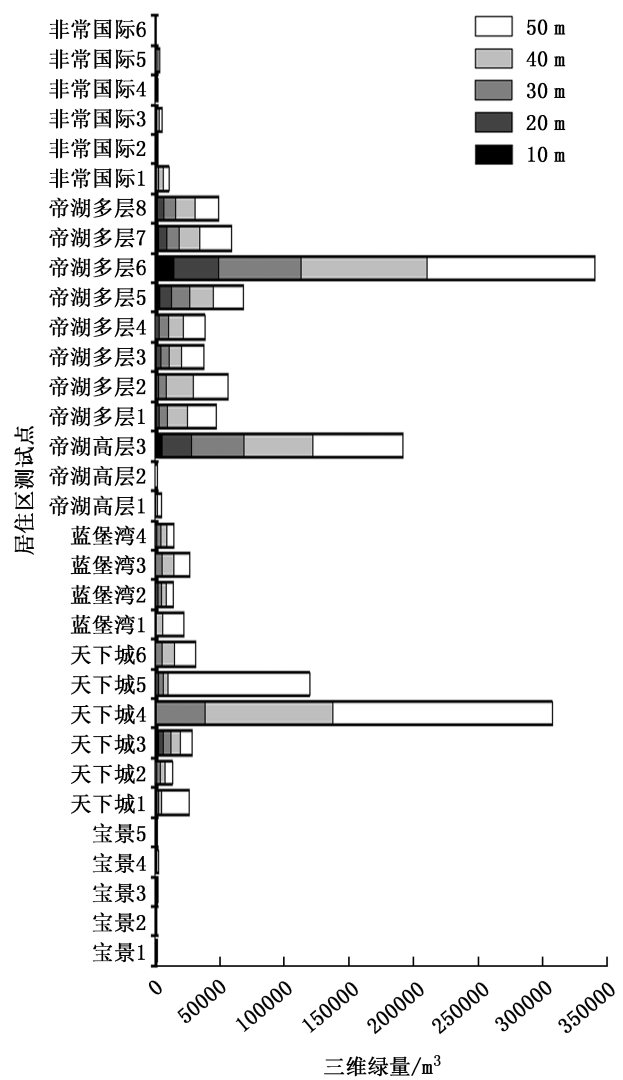


图 6 各样点 50 m 缓冲区内三维绿量随距离的变化情况
Fig. 6 Variation of three-dimensional green biomass with distance within a buffer zone of 50 meters for various sample points

增湿的效果。研究分析了各样点温湿度与形状指数、分形维数和相关外接圆指数的相关关系,各缓冲区相关系数均为非线性关系(表 5)。

从表 5 可以看出,绿色空间景观指数与温湿度关系密切。距离观测样点越远,温度呈下降趋势,湿度呈上升趋势,具体原因还有待研究。

3.7 绿色空间的温湿度效应

利用 SPSS 软件,以 9 月 12 日所测的各样点温度均值 AV、湿度均值 RA、湿度最大值 RAMAX、湿度最小值 RAMIN,白天湿度的变化范围 RADIF 为因变量,以三维绿量、景观层次的各种形状为自变量,应用逐步回归分析方法,建立了各样点白天的温湿度与绿色空间布局的多元方程,FMN 代表分形维

表 5 不同距离缓冲区内景观指数与温湿度均值的相关系数
 Tab. 5 Correlation coefficient between landscape index and mean temperature and humidity in buffer zones with different distances

相关外接圆指数	温度均值	湿度均值	形状指数	温度均值	湿度均值	分形维数	温度均值	湿度均值
CN	0.13520	-0.247430	SMN	0.060575	-0.229270	FN	0.351597	-0.476080
CMN2	-0.17556	-0.024660	SMN2	-0.119630	0.073620	FMN2	-0.070000	0.099995
CMN3	-0.16416	0.171821	SMN3	-0.143380	0.172279	FMN3	-0.245080	0.203089
CMN4	-0.21414	0.223292	SMN4	-0.157930	0.183514	FMN4	-0.047720	0.031846
CMN5	-0.17105	0.238006	SMN5	-0.191870	0.286324	FMN5	-0.149170	0.203524

数, SMN 代表形状指数, CMN 为相关外接圆指数, 计算公式为:

$$\text{白天温度均值 AV9} = \text{FMN} \times 0.352 \quad (R^2 = 0.352) \quad (1)$$

$$\text{湿度均值 RA9} = -5.009 \times \text{FMN} + 40.059 \quad (R^2 = 0.613) \quad (2)$$

$$\text{湿度最大值 RA9MAX} = \text{SMN5} \times 38.302 - 2.538 \times \text{SMN4} \quad (R^2 = 0.578) \quad (3)$$

$$\text{湿度最小值 RA9MIN} = 30.577 - 4.606 \times \text{FMN} \quad (R^2 = 0.365) \quad (4)$$

$$\text{白天时段湿度差值 RA9DIF} = 70.425 \times \text{SMN5} - 52.636 \times \text{CMN5} - 48.350 \quad (R^2 = 0.675) \quad (5)$$

温度最小值和温度最大值及温度变动幅度与绿色空间参数间的关系不显著, 未有方程成立。从公式看出, 居住区内每个点的日均温、白天湿度最大值和白天湿度最小值及白天湿度变动度与形状指数 SMN 有关, 部分与分形维数 FMN 有关。从 9 月数据来看, 居住区尺度的温度均值、湿度均值和湿度最小值均与 10 m 内的绿化分形维数 FMN 关系密切, 而湿度最大值及白天时段湿度差值与 50 m 内的形状指数 SMN 有关。结果表明, 在 9 月静风条件下, 植物的蒸散和阴影影响的幅度为 10~50 m。居住区湿度的影响范围为 10~50 m, 而白天时段湿度差值方程说明湿度的变化与 50 m 范围内的形状指数 SMN 和连接度指数 CMN 有关。居住区尺度上, 绿色空间影响温湿度的尺度是不同的, 影响湿度的绿色空间尺度要比温度大些, 在景观指数中, 分形维数 FMN 影响最大, 其次是形状指数 SMN。

4 结论与讨论

4.1 结论

1) 在秋季, 形状指数 SMN、分形维数 FMN 和周

长面积比 PMN、相关外接圆指数 CMN 对景观层次上温湿度的影响较大, 说明绿色空间的布局对温湿度是有影响的。

2) 秋季无风的日间, 绿色空间影响温湿度的尺度不同, 影响湿度的绿色空间尺度要比温度大。

3) 在景观水平上, 观测样点的温湿度与 10 m 内缓冲区内绿色空间的分形维数 FMN、形状指数 SMN 和相关外接圆指数 CMN 呈显著相关, 分形维数 FMN 对温湿度影响最大。

4) 绿化覆盖大的多层居住区温湿度变化均优于绿化覆盖低的多层和高层。

5) SVF 值较大且绿化率低的多层居住区温度高、湿度低。

4.2 讨论

1) 由于尺度较小, 通常表示绿色空间数量关系的绿地率和绿化覆盖率未在本次模型构建中予以考虑。

2) 由于所测空气温度与研究区的围合度有关, 大于 50 m 的缓冲区会包括围墙的影响, 因此, 研究中未选取超过 50 m 的缓冲区。场地范围较大时, 影响空气温度的范围可能会增加。

3) 空气温度是随季节变化的, 本研究只探讨了秋季的温度与周围环境的关系, 春、夏和冬的关系将进行后续研究。

绿色空间与空气温湿度关系的研究因区域气候、地形和景观背景不同产生较大的区别, 因此景观的地域性、景观空间构成和尺度应成为区域及局地气候研究关注的重点。这些研究数据与结果将为城市区域合理规划绿色空间提供科学依据, 创造更舒适健康的环境。

参考文献:

[1] 周淑贞. 上海城市气候中的“五岛”效应[J]. 中国科学

- (B 辑), 1988(11):1226-1234.
- [2] 王如松. 转型期城市生态学前沿研究进展[J]. 生态学报, 2000(5):830-840.
- [3] 苏王新, 常青, 刘筱, 等. 城市蓝绿基础设施降温效应研究综述[J]. 生态学报, 2021, 41(7):2902-2917.
- [4] 白玉洁, 朱媛君, 马景永, 等. 城市绿地冠层导度季节变化及其环境调控[J]. 生态学杂志, 2020, 39(1):120-129.
- [5] FAN S X, ZHANG M Y, LI Y L, et al. Impacts of composition and canopy characteristics of plant communities on microclimate and airborne particles in Beijing, China [J]. Sustainability, 2021, 13(9):4791.
- [6] 贺宏斌, 孙然好, 段兴武. 城市景观影响人居环境健康的研究进展[J]. 生态学杂志, 2022, 41(2):1-10.
- [7] 李锋, 王如松. 城市绿地系统的生态服务功能评价、规划与预测研究——以扬州市为例[J]. 生态学报, 2003(9):1929-1936.
- [8] 彭保发, 石忆邵, 王贺封, 等. 城市热岛效应的影响机理及其作用规律——以上海市为例[J]. 地理学报, 2013, 68(11):1461-1471.
- [9] 薛倩, 谢苗苗, 郭强, 等. 地理学视角下城市高温热浪脆弱性评估研究进展[J]. 地理科学进展, 2020, 39(4):685-694.
- [10] 黄群芳. 城市空间形态对城市热岛效应的多尺度影响研究进展[J]. 地理科学, 2021, 41(10):1832-1842.
- [11] DARARAT K, SHOBHAKAR D. Time series analysis of land use and land cover changes related to urban heat island intensity: Case of Bangkok metropolitan area in Thailand [J]. Journal of Urban Management, 2020, 9(4):383-395.
- [12] 陈康林, 龚建周, 陈晓越, 等. 广州城市绿色空间与地表温度的格局关系研究[J]. 生态环境学报, 2016, 25(5):842-849.
- [13] 李空明, 李春林, 曹建军, 等. 基于景观生态学的辽宁中部城市群绿色基础设施 20 年时空格局演变[J]. 生态学报, 2021, 41(21):8408-8420.
- [14] 魏琳沅, 孙然好. 城市绿地和建筑格局影响热环境的模拟研究[J]. 生态学报, 2021, 41(11):4300-4309.
- [15] 范舒欣, 李坤, 张梦园, 等. 城市居住区绿地小微尺度下垫面构成对环境微气候的影响——以北京地区为例[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(10):100-109.
- [16] 孙杰, 毛智慧, 王乐, 等. 居住区典型地物热环境的日变化及其相互影响分析[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(2):279-289.
- [17] 任斌斌, 李薇, 谢军飞, 等. 北京居住区绿地规模与结构对环境微气候的影响[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(6):289-295.
- [18] 陈红, 何瑞珍, 郭煜琛, 等. 校园不同绿色空间的小气候特征及其人体舒适度[J]. 地域研究与开发, 2018, 37(3):126-131, 137.
- [19] 熊瑶, 金梦玲. 南京林业大学校园不同类型绿地冬季微气候效应分析[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(1):281-288.
- [20] HE R Z, CHEN H, GUO Y C, et al. Study on the influential mechanism of green space to microclimate in Zhengzhou [C]//刘滨谊. 中国第一届风景园林与小气候国际研讨会论文集. 北京:中国建筑工业出版社, 2018:792-801.
- [21] DOBROWSKI S Z, ABATZOGLOU J T, GREENBERG J A, et al. How much influence does landscape-scale physiography have on air temperature in a mountain environment? [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(10):1751-1758.
- [22] SAUNDERS S C, CHEN J Q, CROW T R, et al. Hierarchical relationships between landscape structure and temperature in a managed forest landscape [J]. Landscape Ecology, 1998, 13(6):381-395.
- [23] 潘明慧, 兰思仁, 朱里莹, 等. 景观格局类型对热岛效应的影响——以福州市中心城区为例[J]. 中国环境科学, 2020, 40(6):2635-2646.
- [24] 乔治, 黄宁钰, 徐新良, 等. 2003—2017 年北京市地表热力景观时空分异特征及演变规律[J]. 地理学报, 2019, 74(3):475-489.
- [25] 卢惠敏, 李飞, 张美亮, 等. 景观格局对杭州城市热环境年内变化的影响分析[J]. 遥感技术与应用, 2018, 33(3):398-407.
- [26] 王敏, 孟浩, 白杨, 等. 上海市土地利用空间格局与地表温度关系研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(2):343-350.
- [27] 陈爱莲, 孙然好, 陈利顶. 传统景观格局指数在城市热岛效应评价中的适用性[J]. 应用生态学报, 2012, 23(8):2077-2086.
- [28] 陈颖. 北京地区森林植被三维绿量估测及分析[D]. 北京:北京林业大学, 2011.

责任编辑: 杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.038

基于网络数据的洛阳市王城公园景观形象感知研究

王丽, 燕亚飞, 李舒蕾

(河南科技大学园艺与植物保护学院, 河南 洛阳 471000)

摘要:以互联网络游客评论为数据来源,通过网络文本分析法,从词频分析、社会网络和语义分析、情感分析 3 个方面对洛阳市王城公园景观形象感知进行分析,以了解王城公园旅游地形象。结果表明,王城公园景观形象由空间场地、植物景观、景观设施和人文景观组成;游客感知由游客关注点、游客行为特征以及游客评价组成;游客对王城公园的整体感知印象较好,情感倾向以正面为主,负面情绪多集中在服务管理、景观设施和景观维护等方面。最后,基于为游客提供更优质的游憩体验,提出改善设施服务、提升互动体验、丰富景观内涵、加强高峰期与数字化的管理等优化建议。

关键词:城市公园;网络文本分析法;游客感知;景观形象;王城公园;洛阳

中图分类号:P901;TU986.52;TP311.13 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0218-07

引文格式:王丽,燕亚飞,李舒蕾.基于网络数据的洛阳市王城公园景观形象感知研究[J].林业调查规划,2024,49(1):218-224. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.038

WANG Li, YAN Yafei, LI Shulei. Landscape Image Perception of Wangcheng Park in Luoyang City Based on Network Data [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 218-224. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.038

Landscape Image Perception of Wangcheng Park in Luoyang City Based on Network Data

WANG Li, YAN Yafei, LI Shulei

(College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China)

Abstract: Based on the data source of online tourist reviews, this study used web text analysis method to analyze the perception of the landscape image of Wangcheng Park in Luoyang City from three aspects of word frequency analysis, social network and semantic analysis, and emotional analysis, to understand the image of Wangcheng Park. The results indicated that the landscape image of Wangcheng Park consisted of spatial sites, plant landscapes, landscape facilities and cultural landscapes; tourist perception was composed of focus, behavioral characteristics and evaluation; tourists had a good overall perception and impression of Wangcheng Park, with a positive emotional tendency and negative emotions mainly concentrated in service management, landscape facilities, and landscape maintenance. Finally, this paper proposed to improve facility services, enhance interactive experiences, enrich landscape connotations, and strengthen peak season and digital management, to provide tourists with a better recreational experience.

Key words: city park; web text analysis; tourist perception; landscape image; Wangcheng Park; Luoyang City

收稿日期:2022-05-25;修回日期:2022-06-28.

基金项目:河南科技大学博士启动基金(13480056).

第一作者:王丽(1997-),女,河南南阳人,硕士研究生.研究方向为风景园林规划与设计. Email:haustwl@163.com

责任作者:燕亚飞(1977-),女,河南焦作人,博士,讲师.研究方向为风景园林学、园林建筑设计. Email:gigi0924@163.com

城市公园作为城市建设的主要内容之一,是城市生态景观的重要组成部分^[1]。对城市公园进行评估能提高公园的景观质量与整体利用率^[2]。在互联网、旅游业的强力推动下,如今的城市公园不仅具备服务当地群众的功能,而且作为一座城市的文化象征,影响着外来游客对其印象^[3]。游客的景观形象感知是基于自身感受对景观各要素进行评价^[4-5],是衡量城市发展的一项重要指标和参考依据。以往的研究多采用问卷调查、访谈等形式进行,但该方式存在着诸多限制,如问卷的真实性、收集样本的时间和空间限制,以及人力资源的耗费等。

随着学科的交融和科技的发展,网络平台作为新兴的旅游评论阵地,因其易操作性与互动性愈发受到群众的喜爱^[6],而网络文本是游客自发产生的永久性易获取信息,具有数量庞大、动态、情感真实、低价值密度等特点^[8]。网络文本分析法作为一种全新的研究方式^[9],能够综合全面地探究游客对景观的真实感知^[10]。Stepchenkova 和 Morrison 针对美国与俄罗斯旅行网站的内容进行分析,探究了网络数据中俄罗斯的旅游目的地形象^[11]。Andsager、Drzewiecka、Echtner、Tapachai、Waryszak 等将网络文本中的高频特征词作为衡量指标,对旅游地意象进行了研究^[12-15]。张高军等以华山为例,利用网络采集游客游记及评价,探讨了对景区旅游形象认知产生影响的因素^[16]。吴林等人则通过网络文本对居民行为数据进行分析,探究了公园主题、时段、景点和人物行为活动之间的关系^[17]。王城公园作为河南省最大的综合性公园,采用网络文本分析法对其进行相关研究,分析其景观形象及游客感知,以期公园的可持续发展提供可靠的参考意见。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

王城公园坐落于河南省洛阳市,占地约 39.77 hm²,始建于 1995 年,是中国洛阳牡丹文化节的发生地。作为著名的遗址公园及河南省最大的综合性公园,景区内部涵盖历史文化区、牡丹观赏区、动物园、大型游乐区,构成“牡丹争艳、周鼎雄踞、河图洛书”等独特景观^[18]。园内设有明堂、牡丹仙子、河图洛书碑、东周历史故事墙、三礼广场等景点(图 1)。

1.2 数据获取

选取国内影响力较大的点评网站大众点评网、



图 1 洛阳市王城公园平面图

Fig. 1 Plan of Wangcheng Park in Luoyang city

携程网以及用户使用率较高的美团网作为样本来源,运用八爪鱼采集器爬取各平台评论样本,以“王城公园”为关键词检索 2019—2021 年 3 年的评价。结果显示,评论最为集中且最具代表性的时间段为每年的 4 月 1 日—5 月 10 日中国洛阳牡丹文化节期间,故以该时段作为研究区间进行研究。对所采集的 3 070 条评论进行初步筛选,删除部分重复和无意义的评论,最终获得有效评论 1 048 条(表 1)。

表 1 网站获取的评论数量

Tab. 1 Amount of comments from the web

网站	数量/条
携程网	103
大众点评网	341
美团网	604
总计	1048

1.3 数据处理

为最大限度地降低数据误差对研究的科学性、严谨性造成影响,在进行系统分析前,对初步筛选的文本进行二次人工浏览处理^[19]。具体流程如下:

删除英文字符、空行,修正错别字,删减同一评论中重复出现的词语。

同义词替换。将文本中语义相似但表达不同的词语进行统一处理。

删除无意义词语。删除出现频率较高且与研究内容无关的助词、语气词、介词、代词等。

文本再审查。重新审核文本内容,以获得最终有效文本^[20]。

通过上述的方法处理后文本字数由 86 424 字缩减为 76 400 字。将最终有效文本导入 ROST CM

6.0 对其进行系统化统计,进而进行词频分析、高频词提取、社会语义网络分析及情感分析,最终得到王城公园的景观形象及游客感知结果。

2 结果与分析

2.1 词频分析

使用 ROST CM 6.0 对评论中代表形象感知的词语进行分词后,对文本进行词频分析,处理无意义词、同义词和近义词,按词频从高到低排序,得到公园评价的高频词汇。结果表明,前 200 高频词汇以名词、形容词和动词为主。名词共 98 个,占比 49.0%,主要描述区位、游览人群及景点方面;形容词 45 个,占比 22.5%,主要描述游客对景区的总体印象及环境的整体感受^[21];动词 44 个,占比 22.0%,主要反映游客的各种行为活动。王城公园网络评价前 30 高频词汇见表 2。

表 2 王城公园网络评价高频词汇(前 30)

Tab. 2 High-frequency words for online evaluation of Wangcheng Park (top 30)

排序	高频词	频数	排序	高频词	频数
1	牡丹	1540	16	时间	189
2	动物园	736	17	节假日	168
3	王城公园	683	18	设施	151
4	景区	590	19	游乐场	151
5	洛阳	463	20	人多	136
6	漂亮	367	21	整体	114
7	门票	339	22	观赏	105
8	品种	334	23	方便	104
9	牡丹节	286	24	开心	99
10	游玩	239	25	亲朋好友	91
11	值得	235	26	服务	89
12	环境	207	27	天气	82
13	孩子	200	28	华南虎	78
14	交通	198	29	便宜	76
15	盛开	197	30	遗憾	68

2.2 景观形象分析

根据词频统计表以及评价文本对高频词进行编码分析,构建王城公园形象感知高频词编码组,以景观形象和游客感知为核心建立主要编码,其中景观形象二级编码包括空间场地、植物景观、景观设施和人文景观 4 个具体维度(表 3)。

表 3 王城公园景观形象高频词编码

Tab. 3 Encoding of high-frequency words in the landscape image of Wangcheng Park

核心编码	二级编码	高频词
景观形象	空间场地	动物园、牡丹园、游乐场、综合性、整体、规模、很大、总体、一体、植物园
	植物景观	牡丹、种类、凋谢、颜色、繁多、国色天香、芍药、丰富、争奇斗艳、绿色、大片、树木
	景观设施	设施、项目、停车、地铁、卫生间、卫生、灯光
	人文景观	洛阳、华南虎、牡丹节、主会场、遗址、古都、历史、涧河、沉香楼

2.2.1 空间场地

在提及频率较高的要素中,主要包括“动物园”“牡丹园”“游乐场”等关于功能分区的词语,表明游客对游憩空间环境具有较高的关注度。王城公园作为河南省内最大的综合性公园^[19],拥有较高知名度和影响力,这一点从提及频次较多的“综合”“很大”“一体”等有关整体规模的词语中可以体现,表明游客对公园的景观资源、生态环境具有肯定的态度,这也是游客选择王城公园作为旅游目的地的重要影响因素。

2.2.2 植物景观

王城公园植物群落极其丰富。公园将园林景观与地域文化紧密结合,以品种资源丰富的牡丹造景为主,精心搭配乔灌木等^[22]。“牡丹”“种类”等高频词体现出牡丹作为植物中的主要观赏对象深受关注。“颜色”“国色天香”“争奇斗艳”等词语表明牡丹多样的花形花色是吸引游客观赏的重要因素。牡丹种质资源丰富,但文本中对其多是概括性形容,不同品种并无明确区分,说明针对牡丹的文化科普工作还不完善,景观营造方式存在同质化现象。同时,游客对“牡丹仙子”提及较少,表明该景观小品及背后典故辨识度不高,此文化元素未能真正融入自然景观设计中。牡丹花期较短,故搭配芍药以及晚开花种类可延长游园的“适宜期”,提升景观美景度。对此,“凋谢”“芍药”等词语皆有所体现。“丰富”“绿色”“树木”等也表现出王城公园良好的自然生态环境。

2.2.3 景观设施

景观设施指为满足游客在游览过程所产生的需

求而修建的卫生、交通、照明、服务等公共设施。景观设施的完善程度对游客旅游体验影响较大^[23]。游客在提到较多的“设施”“项目”中保持积极态度,表明王城公园整体的基础设施配置较为完善,能够满足游人的基本需求。在公共交通设施中,游客多以自驾、搭乘地铁等方式前往公园,这由“停车”“地铁”等词语可以体现。但大部分游客提出停车场数量较少,停车管理体制不健全等问题。游客对公共卫生设施满意度较低,主要表现在卫生间较小、人流量大及环境差,也有表示动物园卫生管理不妥当等。此外,游客的负面情感大多也与设施服务有关。这些都强调了基础设施更新的重要性,亟待解决。

2.2.4 人文景观

洛阳素有“牡丹花城”之称,洛阳牡丹文化节已成了洛阳展示城市形象的窗口,游客多次提到“洛阳”“牡丹节”“主会场”等,均表明洛阳牡丹独一无二的资源,也说明地方特色文化塑造较为成功,为洛阳创造了经济效益和社会价值。动物园部分,“华南虎”被作为区别于其他景区的珍贵物种具备竞争优势。王城公园坐落于东周王城遗址之上,拥有极其丰富的东周文化。游客提及较多的人文景观有“沉香楼”,但对河图洛书碑和东周历史故事墙并无过多关注,反映出游客对园区内东周文化、河图洛书等形象元素缺乏明显的感知。这也表明,王城公园

遗址文化资源丰富,但与更加出彩的牡丹文化相比,辨识度和知名度逊色不少。总结原因如下:首先,历史文化区相对偏僻,且并无相关主题的游览线路及解说标识系统,游客在常规线路游览过后缺乏精力去欣赏厚重的历史景观。其次,无相关东周文化的宣传及文旅活动,景点仅停留在你展我看状态,群众参与性、互动性低,并与牡丹节庆缺乏网状联系性。

2.3 社会网络和语义分析

语义网络分析图(图 2)呈发散状分布,大致呈 3 层结构:第一层为核心区,是由“牡丹”“王城公园”“动物园”等最高频共现词所形成的最小圈,“牡丹”一词位于最核心位置。第一层主要是游客对景区名称、活动内容和区位的客观认知。第二层是次核心区,由“品种”“动物”“门票”“游玩”等组成,是对核心圈的拓展,也是对王城公园性质和观感的进一步认识。第三层为边缘层,主要由“牡丹节”“观赏”“漂亮”“环境”等词语组成。该层将游客对王城公园的形象特征认知和旅游评价感知进行反映,是核心圈和次核心圈的进一步描述和补充。从表 4 可得知,“动物园—牡丹”“洛阳—牡丹”等词汇保持着较高连接度,这也是游客对于王城公园的首要感知;“门票—牡丹”“动物园—动物”“品种—牡丹”等词语则反映了王城公园旅游服务的最大特点和最主要特色。“好看—牡丹”“孩子—动物园”等体现了游

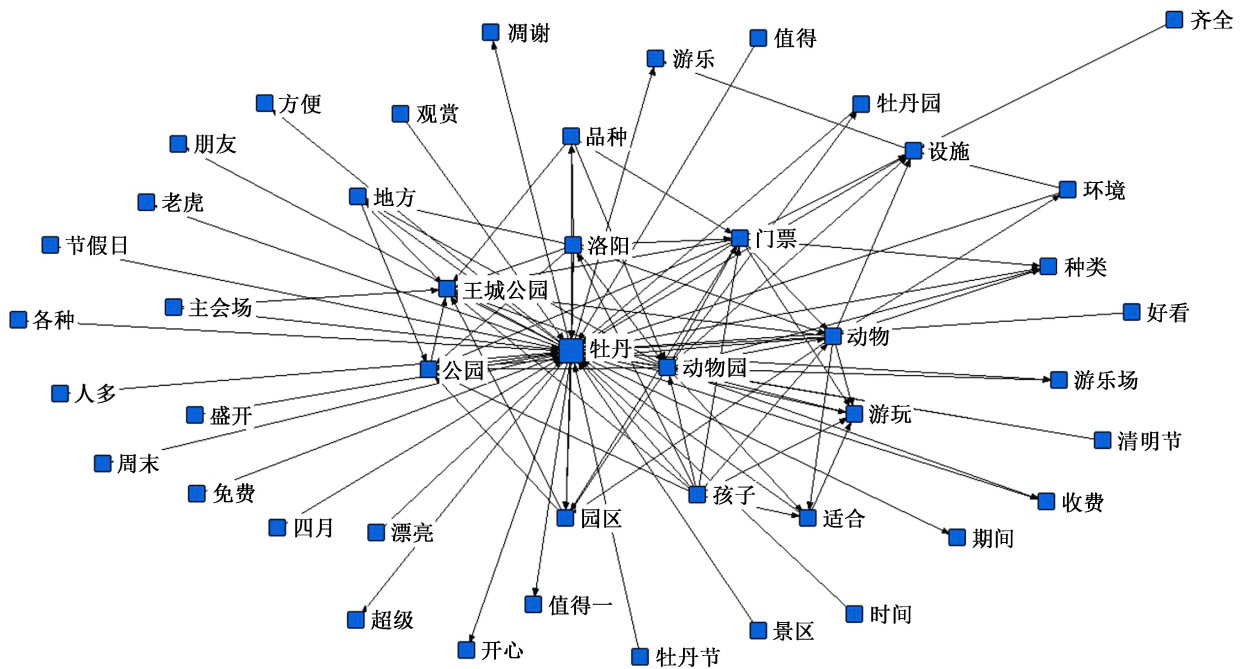


图 2 王城公园语义网络

Fig. 2 Semantic network of Wangcheng park

表 4 前 20 词汇连接强度
Tab. 4 Connection strength of top 20 words

排名	词汇	连接度	排名	词汇	连接度
1	动物园—牡丹	221	11	洛阳—动物园	97
2	洛阳—牡丹	199	12	动物园—门票	94
3	牡丹—王城公园	198	13	洛阳—公园	84
4	牡丹—公园	158	14	孩子—牡丹	73
5	动物—牡丹	143	15	孩子—动物园	70
6	洛阳—王城公园	142	16	好看—牡丹	69
7	门票—牡丹	117	17	门票—王城公园	67
8	动物园—动物	111	18	漂亮—牡丹	66
9	品种—牡丹	108	19	洛阳—品种	61
10	动物园—王城公园	105	20	洛阳—门票	58

客们对于王城公园游憩体验保持着较高的肯定。通过语义网络核心—次核心—边缘层的结构及词汇连接强度,可以全面地了解游客对王城公园旅游形象感知的全要素,并能反映出游客对景区的核心诉求以及景区在今后发展中应该注意的问题。

2.4 游客感知分析

游客感知二级编码包括游客关注点、游客行为特征以及游客评价(表 5)。

表 5 王城公园游客感知高频词编码

Tab. 5 Encoding of high-frequency words perceived by tourists in Wangcheng Park

核心编码	二级编码	高频词
游客感知	游客关注点	动物、门票、地区、环境、游乐场、交通、气候、服务、体验、性价比
	游客行为特征	孩子、游玩、节假日、朋友、家人、清明节、四月、观赏、拍照、天气、晚上、学生、喂食、老人
	游客评价	好看、漂亮、适合、方便、开心、齐全、超级、值得、好玩、遗憾、不大、唯一、失望

2.4.1 游客关注点

在游览体验中,游客对于出游目的地选择的切实关注要素主要包括门票价格、休闲活动、交通区位等。“牡丹”凭借得天独厚的观赏价值,在游客关注要素中占比(48.55%)最高。其作为洛阳市长久以来的文化旅游符号之一,相关产业受到地方扶持,这是其一大资源优势。其次,“动物”“游乐场”等主题

词占比较高,游客常以亲子家庭为主要结伴方式,更关注于公园的娱乐属性,这也说明王城公园景点多以家庭群体为目标客群,成为增进交流与亲情的重要载体。“区位”的关注度也较高,占比 11.09%,这在一定程度上说明了洛阳城市自身对外部游客存在客观吸引力,拥有较高的知名度。此外,多数游客对王城公园有较高的感知价值,而感知价值是重游意向最关键的驱动因素^[24]。

2.4.2 游客行为特征

针对游客不同的游憩行为特征进行分析,能够粗略得到其游玩王城公园的互动行为及游玩目的。“游玩”(39.89%)、“观赏”(16.85%)、“拍照”(10.11%)等为游客的主要行为特征,其分别从动、静两个角度表现了游客的出游动机^[25]。“拍照”是一种记录游玩历程与美景的方式;“观赏”则表现了游客对亲近自然的强烈需求。对于游玩时间,清明节和劳动节为客流量的两个高峰期,该时节气候条件与花卉景观状态较好,反映出天气状况、大众作息时间及植物生长状态是影响游客游览体验的重要因素。因此,迎合花期与气候、避开人流高峰期等方式可显著提升游园体验。

2.4.3 游客评价

游客对王城公园的评价占据王城公园形象感知高频词的将近 1/3,可将其分为积极(好看、漂亮、适合、值得)、中立(不大、唯一)和消极(遗憾、失望)三部分。大量的积极评价说明王城公园的游览体验通常是令人愉悦的,能够增加群众幸福感;而从消极评价中,主要反映了两个问题:园内游人过多,拥挤导致游览体验不佳;游客对旅游地感知不佳或自身行程原因导致的遗憾,如天气、时间等因素影响。

2.5 情感分析

通过 ROST CM 6.0 对游记数据进行分析,得到游客在游园时的情感倾向(表 6)。结果显示,游客对王城公园旅游形象以积极情感为主(77.91%),总体上呈现正面积的趋势,整体认同度较高,而中性情绪和消极情绪占比较小。正面情感结果显示,其景观资源丰富、活动形式多样、市场价格制定合理、牡丹文化底蕴深厚,游客自我感知达到了满意的程度。“很棒”“真漂亮”等词语具有喜悦、惊讶等强烈情感特点,表明该部分游客实际体验远超期望值。负面情感在游客情感表达中占 13.72%,与正面词汇相对比例相差较大,主要来自基础设施建设、环境卫生、人流控制、景观维护等因素,这表明游客并不只注重景观品质,同时也注重公共设施的高效配置

表 6 情感倾向统计分析

Tab. 6 Statistical analysis of emotional tendency

情感类型	占比 /%	频次 /次	分段统计结果	占比 /%	频次 /次
积极情绪	77.91	829	一般(0~10)	24.62	262
			中度(>10~20)	21.62	230
			高度(>20 以上)	31.67	337
中性情绪	8.36	89		8.36	89
消极情绪	13.72	146	一般(-10~0)	9.77	104
			中度(-20~<-10)	2.44	26
			高度(<-20 以下)	0.75	8

(功能性和美观度),景区客流量合理控制,整体氛围的文明友好。正因这些不足,让部分游客的旅游体验小于期望值,降低了王城公园的旅游满意度,使景区客源减少、经济收益下降,影响游客的旅游意向。

3 结论与建议

3.1 结论

通过分析游客对王城公园的网络评价数据,可以得出以下结论:

在景观形象方面,可划分为空间场地、植物景观、景观设施、人文景观四类,游客对于植物景观感知较强;结合社会语义网络的聚类显示可知,牡丹位于最核心位置,景区特色和人文景观处于次核心,再往外是特征感知及评价,呈现出对王城公园由内而外扩散的理解。

在游客感知方面,主要由游客关注点、游客行为特征及游客评价构成。游客对王城公园整体情感倾向较为正面,重游意向及整体满意度较高;而消极情绪中,主要集中在服务管理、公共设施、人流控制、景观维护等方面。就客观条件来说,游客易对时间、天气等因素产生不满。

3.2 建议

根据文本分析结果,并总结实际情况,提出 5 点形象活化策略。

1) 提高环境卫生管理能力,完善公共基础设施建设

在园区内增设垃圾筒、卫生间等公共设施;对环卫人员增强培训与管理力度,根据园区旅游旺季及客流量动态调整保洁频次,营造干净整洁的园区环境。

2) 提升互动体验,丰富景观与文化内涵

王城公园地处文化底蕴深厚的洛阳,拥有独特的地理区位优势。园区可在优化现有项目的同时,积极开发牡丹文化、河洛文化、周文化以及大唐服饰等具有高辨识度的地域文化活动,提高趣味性与互动性,将活动有机串联起来,以此丰富游览体验,提升游客满意度。

3) 提升服务体验,规范经营管理

丰富意见反馈路径,使游客反映的问题切实得到解决。酌情增加园内餐饮种类与数量,保质保量满足大众需求。景区停车问题亟待解决。王城公园地处市中心繁华地段,兴建停车场代价过高,建议增加可达的公共交通,引导城市居民选择公共交通出行,并坚持以人为本发展理念,提升公共交通运行效率,满足游客不同的出行需求。

4) 加强高峰期与数字化的管理

高峰期客流与景区管理是影响游客感知的重要因素^[26],但天气预测、监测管理、科普知识等均未在文本中涉及,这说明王城公园在数字化应用方面不够深入。应加大数字化技术的开发,增设特色科普系统,提升景区预测与管理能力,科学控制客流量。

5) 加大营销力度,积极利用新媒体

景区可将新媒体平台作为重要宣传媒介,打造官方账号,做好内容输出,在节庆期间通过直播活动实时互动;同时,可扩大与旅行社合作范围,提升景区知名度与美誉度。

参考文献:

- [1] 谢焕景. 福州金牛山综合公园景观视觉评价研究[D]. 福州:福建农林大学,2020.
- [2] 符兴源,姜珊,王雪娜,等. 城市公园使用者景观偏好与景观认知比较研究——以哈尔滨市平房公园为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2020,45(3):127-136.
- [3] 李珍妮,苗健,李莉萍. 城市公园的使用后评价——以河南省济源市清趣园为例[J]. 城市建筑,2020,17(1):187-189.
- [4] 李玺,叶升,王东. 旅游目的地感知形象非结构化测量应用研究——以访澳商务游客形象感知特征为例[J]. 旅游学刊,2011,26(12):57-63.
- [5] 张颖. 基于网络文本内容分析的乡村旅游形象感知研究——以济南朱家峪为例[J]. 福建农林大学学报(哲学社会科学版),2016,19(2):65-70.
- [6] 高银,张建林. 基于网络数据的重庆园博园景观形象游客感知研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2021(3):132-141.

- [7] NEIDHARDT J, RÜMMELE N, WERTHNER H. Predicting happiness; User interactions and sentiment analysis in an online travel forum[J]. *Information Technology & Tourism*, 2017, 17(1):101-119.
- [8] 王琳, 白艳. 基于网络点评的城市公园使用后评价研究——以合肥大蜀山森林公园为例[J]. *中国园林*, 2020, 36(6):60-65.
- [9] 吴佳慧, 陈华清. 基于网络文本分析的洛阳旅游形象感知研究[J]. *创新科技*, 2018(12):77-80.
- [10] 孙晓东, 倪荣鑫. 中国邮轮游客的产品感知、情感表达与品牌形象感知: 基于在线点评的内容分析[J]. *地理研究*, 2018(6):1159-1180.
- [11] STEPCHENKOVA S, MORRISON A M. The destination image of Russia: From the online induced perspective[J]. *Tourism Management*, 2006, 27(5):943-956.
- [12] ANDSAGER J L, DRZEWIEEKA J A. Desirability of differences in destinations[J]. *Analysis of Tourism Research*, 2002, 29(2):401-421.
- [13] ECHTNER C M. The Content of Third World tourism marketing: A 4A approach[J]. *International Journal of Tourism Research*, 2002, 4:413-434.
- [14] ECHTNER C M, RITCHIE J R B. The measurement of destination image: an empirical assessment[J]. *Journal of Travel Research*, 1993, 31(Spring):3-13.
- [15] TAPCHAI N, WARYSZAK R. An examination of the role of beneficial image in tourist destination selection [J]. *Journal of Travel Research*, 2000, 39:37-44.
- [16] 张高军, 李君轶, 张柳. 华山风景区旅游形象感知研究——基于游客网络日志的文本分析[J]. *旅游科学*, 2011, 25(4):87-94.
- [17] 吴林, 刘耿, 张鸿辉. 大数据视角下的公园绿地使用状况评估——以长沙橘子洲公园为例[J]. *中外建筑*, 2018(11):95-98.
- [18] 李纳. 牡丹文化在洛阳城市公园中的应用研究[J]. *风景名胜*, 2019(9):149.
- [19] 王雨文, 骆培聪, 刘莹楠, 等. 基于网络点评的涠洲岛游客满意度研究[J]. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 2018(5):83-92.
- [20] 吴珊珊. 南昌市红色旅游形象感知与提升策略研究——基于游客在线点评的内容分析[D]. 南昌: 江西财经大学, 2020.
- [21] 张瑞, 张建国. 基于网络文本与 IPA 模型分析的上海辰山植物园旅游形象感知研究[J]. *中国园林*, 2019(8):83-87.
- [22] 李会云, 李世鹏, 程可可, 等. 洛阳王城公园园林植物配置调查研究[J]. *科技视界*, 2018(31):64-66.
- [23] 王雅琼, 宋娥, 廖再毅. 苏州白鹭园公园景观设施 POE 研究[J]. *安徽农业科学*, 2015(8):170-174.
- [24] 郭安禧, 黄福才, 黎微. 重游意向最关键驱动因素的实证研究——感知价值、感知吸引力、游客满意和游客信任的比较[J]. *江西财经大学学报*, 2013(1):38-46.
- [25] 孟玮, 张建国, 张瑞. 基于旅游数字足迹的宁波植物园旅游形象感知与游客行为特征研究[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 46(1):106-114.
- [26] 许亚元, 姚国荣. 基于在线点评的黄山风景区旅游形象感知研究[J]. *世界地理研究*, 2016(2):158-168.

责任编辑: 刘平书

(上接第 196 页)

参考文献:

- [1] 吕俊芳. 基于 SWOT+AHP 分析法的旅游发展战略研究——以宁夏回族自治区为例[J]. *宁夏大学学报(自然科学版)*, 2015, 36(3):288-292.
- [2] 赵临龙. 基于中西部南北旅游大通道的“盐道文化”廊道的旅游发展[J]. *社会科学家*, 2019(3):97-105.
- [3] 芮旻, 马滕, 王兴, 等. 山地城市旅游景区空间结构分形研究——以安康市为例[J]. *山地学报*, 2018, 36(4):607-616.
- [4] 崔晓明, 陈佳, 杨新军. 乡村旅游影响下的农户可持续生计研究——以秦巴山区安康市为例[J]. *山地学报*, 2017, 35(1):85-94.
- [5] 赵临龙. 我国中西部南北旅游大通道构建的思考[J]. *西北大学学报(哲学社会科学版)*, 2015, 45(5):117-124.
- [6] 李文正. 陕南 A 级旅游景区空间格局演变特征及内在机理研究[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(5):138-143.
- [7] 陈绪敖. 基于旅游产业链整合视角的旅游资源非优区开发研究[J]. *广西社会科学*, 2014(3):75-78.
- [8] 百度百科. 安康[EB/OL]. [2022-05-01]. <https://baike.baidu.com/item/%E5%AE%89%E5%BA%B7/230475?fr=aladdin>.
- [9] 安康市文化和旅游广电局. 香溪洞景区[EB/OL]. (2021-10-11)[2022-05-01]. <https://wh.ankang.gov.cn/Content-2300540.html>.
- [10] 安康市文化和旅游广电局. 天宝梯彩农园景区[EB/OL]. (2021-09-24)[2022-05-01]. <https://wh.ankang.gov.cn/Content-2299870.html>.
- [11] 周璇, 郭丕斌, 黎斌林. 芦芽山风景区生态旅游发展战略研究——基于 SWOT-AHP 的实证分析[J]. *林业经济*, 2018, 40(2):75-80.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.039

绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染的响应关系研究

胡剑东, 李红玲, 谢慧

(中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 在环境大气中非甲烷总烃(NMHC)属于重要污染物,其成分结构较为复杂,种类较多,部分非甲烷总烃化合物具有致癌作用、刺激性和毒性,有时还会形成二次有机气溶胶和光化学烟雾,造成环境污染,严重威胁着生态环境和人体健康。研究绿道规划植被非甲烷总烃排放与大气污染间存在的响应关系具有重要意义。采用光合有效辐射和叶温等基本变量,计算绿道规划植被 NMHC 排放量,分析不同植被排放的 NMHC 成分构成,获取了光强和温度对植物排放 NMHC 速率产生的影响。采用最大增量活性因子法 MIR 和丙烯等效浓度(Prop-Equiv)研究绿道规划植被 NMHC 排放与臭氧生成潜势(OFP)之间的关系,进而获得 NMHC 排放与大气污染之间的响应关系。

关键词: 绿道规划植被; NMHC 排放; 排放速率; 大气污染; 最大增量活性因子法(MIR); 丙烯等效浓度(Prop-Equiv); 臭氧生成潜势(OFP)

中图分类号: S731.8; X131.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0225-06

引文格式: 胡剑东, 李红玲, 谢慧. 绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染的响应关系研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 225-230. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.039

HU Jiandong, LI Hongling, XIE Hui. Response Relationship between Vegetation NMHC Emissions and Air Pollution in Greenway Planning[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 225-230. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.039

Response Relationship between Vegetation NMHC Emissions and Air Pollution in Greenway Planning

HU Jiandong, LI Hongling, XIE Hui

(PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 310000, China)

Abstract: Non methane total hydrocarbons are important pollutants in the environmental atmosphere, with complex composition and diverse types. Some non methane total hydrocarbon compounds have carcinogenic, irritating and toxic effects, and sometimes form secondary organic aerosols and photochemical smog, causing environmental pollution and seriously threatening the ecological environment and human health. The research on the response relationship between non methane total hydrocarbon (NMHC) emissions from vegetation and atmospheric pollution in greenway planning is of great significance. The proposed method calculated the NMHC emissions from vegetation by using the basic variables such as photosynthetic effective radiation and leaf temperature, analyzed the NMHC components of different vegetation emissions, and obtained the effects of light intensity and temperature on the rate of NMHC emissions from

收稿日期: 2022-07-19.

基金项目: 华东勘测设计研究院科技项目“江南地区山地绿道的选型及技术应用”(KY2020-JZ-20).

第一作者: 胡剑东(1986-), 男, 浙江宁波人, 硕士, 高级工程师. 研究方向为风景园林规划与设计.

责任作者: 李红玲(1991-), 女, 浙江绍兴人, 工程师. 研究方向为风景园林规划与设计.

plants. On this basis, the maximum incremental reactivity factor method (MIR) and propylene equivalent concentration (Prop-Equiv) were used to study the relationship between vegetation NMHC emissions and ozone formation potential (OFP) in greenway planning, and to obtain the response relationship between NMHC emissions and air pollution.

Key words: greenway planning vegetation; NMHC emissions from vegetation; emission rate; air pollution; maximum incremental reactivity factor (MIR) method; propylene equivalent concentration (Prop-Equiv); ozone formation potential (OFP)

我国碳达峰、碳中和愿景与美丽中国建设目标高度协同,应尽快构建新一代大气污染防治科学体系。新政策已把“治标和治本很好地结合起来”,同时将大气污染物与温室气体协同减排,共同助力“碳达峰”“碳中和”“双碳”战略目标。当前,我国面临光化学烟雾、酸雨、气候变化等环境问题,其中痕量气体是大气化学的重要组成部分,其带来的环境问题不容忽视。通过对环境中痕量气体浓度的分析发现,活性低、寿命短的痕量气体变化明显,变化迅速,对大气的影响比较大。大气痕量成分中含有非甲烷总烃(NMHC),是城市化学烟雾的主要成分。在酸除尘过程中,NMHC在有机酸的组成中起着很大作用^[1],经调查发现,在全球范围内,人为排放的NMHC远低于植物排放的NMHC,通过上述分析可知,研究绿道规划植被NMHC排放与大气污染的响应关系具有重要意义。

1 研究方法

1.1 参数计算

经调查发现,光照和温度等均会影响植物排放NMHC的速度,两者之间呈正相关。随着光照和叶温的增加,植物排放NMHC的速度加快,相反,随着光照和叶温的降低,植物排放NMHC的速度降低。当光撤去时,植物NMHC的排放量不断降低,最后降为0。在温度为40℃时,且光照处于中等水平条件下,植物排放的NMHC达到饱和^[2]。在上述分析的基础上,通过光合有效辐射和叶温等基本变量计算植物的NMHC排放量*R*,具体计算公式为:

$$R = \sum_i R_i = \sum_i N_{li} R_{0i} \eta_i \varepsilon_i \quad (1)$$

式中:*R_i*为第*i*种植物的NMHC排放量;*N_{li}*为叶生物量;*R_{0i}*为第*i*种植物在标准光强和标准温度下排放异戊二烯的潜力,其中标准光强为1 000 μmol/(m²·s)时,标准温度为303 K;*ε_i*为控制变量,该变量考虑了长期排放活性,可通过下式计算得到:

$$\varepsilon = \begin{cases} 0 & K < K_0, K > (K_0 + K_D) \\ \sin \frac{K - K_0}{K_D} & K_0 \leq K \leq (K_0 + K_D) \end{cases} \quad (2)$$

式中:*K₀*为植物初始排放异戊二烯的时间;*K*为植物排放异戊二烯的当天;*K_D*为植物排放异戊二烯的总天数。

公式(1)中的*η_i*为排放活性因子,其表达式为:

$$\eta_i = \left\{ \exp \left(\frac{cT_1(T - T_s)}{T_s T} \right) \right\} / \left\{ 1 + \exp \left(\frac{cT_2(T - T_M)}{T_s T} \right) \right\} \times \left(\frac{\beta c T_1}{\sqrt{1 + \beta^2}} \right) \quad (3)$$

式中:*T*为植物表面温度;温度*T_M*=314 K;参数β=0.002 7;*cT₁*=1.066 J/mol;*cT₂*=2 300 J/mol;*T_s*为标准条件下植物的叶温。

1.2 植物NMHC排放构成

植物表面存在的挥发油组成会影响植物非甲烷总烃(NMHC)的排放,不同植物排放的NMHC构成如表1所示。

表 1 不同植物排放的 NMHC 构成

Tab. 1 Non methane total hydrocarbons emitted by different plants

植物	非甲烷总烃成分
开花期的槐树	β-罗列烯、异戊二烯、d-苾烯、α-蒎烯、β-蒎烯、α-松油烯
松树	正十一烷、α-蒎烯、壬烷、β-蒎烯、辛烷、α-松油烯、庚烷、d-苾烯、戊烷、β-罗列烯、异戊二烯、单萜烯
槐树	正十一烷、异戊二烯、戊烷、戊烯
柏树	β-罗列烯、α-蒎烯、d-苾烯、α-松油烯、单萜烯
杨树	异戊二烯

单萜烯和异戊二烯是植物排放的主要非甲烷总烃成份,植物中的链烷烃含量较少。典型的针叶树种包括柏树和松树,该类植物排放的NMHC主要为单萜烯。典型的阔叶树种包括槐树和杨树,该类植物排放的NMHC主要由异戊二烯构成。

1.2.1 松树 NMHC 的排放速率

光强和温度对植物排放非甲烷总烃 NMHC 的速率会产生影响。本次研究的各种植物信息均在春季 4 月收集。春季的日照和光强较温和。首先研究不同时间段光强和温度变化(图 1)。

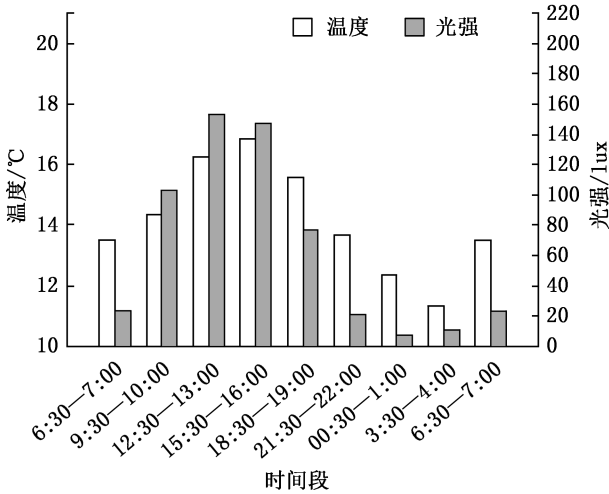


图 1 春季 4 月不同时间段光强和温度数据

Fig. 1 Light intensity and temperature data for different time periods in April

确认不同时间段松树的光强和温度变化后,研究不同时间段松树 NMHC 排放速率(图 2)。

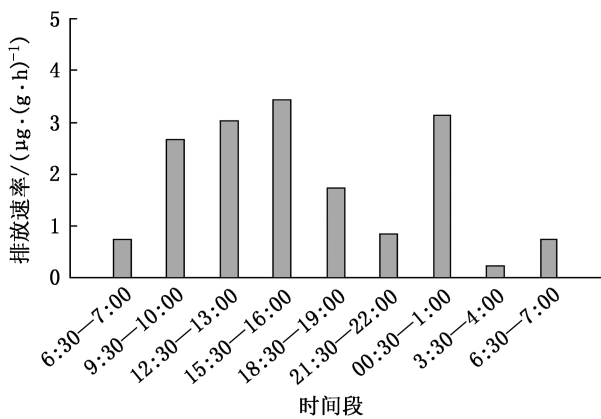


图 2 不同时间段受光强和温度影响的松树 NMHC 排放速率

Fig. 2 Emission rate of NMHC from pines affected by light intensity and temperature at different time periods

由图 2 可知,在一天内,松树排放 NMHC 的速率在 15:30—16:00 和 00:30—1:00 时处于高峰期,这种现象的发生与其自身的生理特性有关。一天的光照强度和温度在中午时最高,此时,植物与外

界的气体交换速度最高,呼吸和光合作用最高,因此,植物排放 NMHC 的速率达到最大^[3-4]。植物的光合作用在夜间基本停止,但植物的呼吸作用未停止,植物的呼吸作用在子夜前后达到峰值。按照一天的光照强度和温度,对柏树、杨树、槐树也进行 NMHC 排放速率收集。

1.2.2 柏树 NMHC 的排放速率

不同时间段受光强和温度影响的柏树 NMHC 排放速率见图 3。

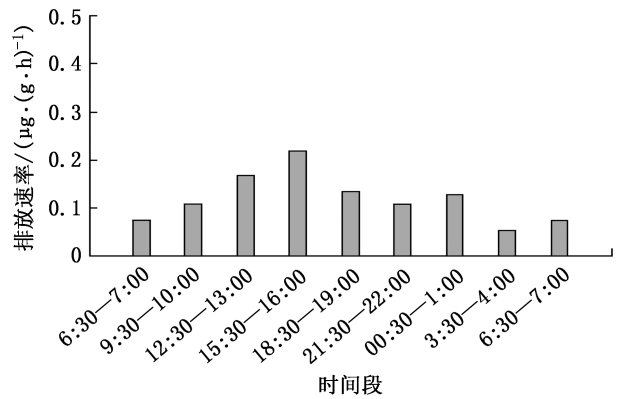


图 3 不同时间段受光强和温度影响的柏树 NMHC 排放速率

Fig. 3 Emission rate of NMHC from cypresses affected by light intensity and temperature at different time periods

由图 3 可知,柏树的 NMHC 排放速率相对较低,与松树相比,其值在 0~0.5 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 范围。

1.2.3 杨树 NMHC 的排放速率

不同时间段受光强和温度影响的杨树 NMHC 排放速率见图 4。

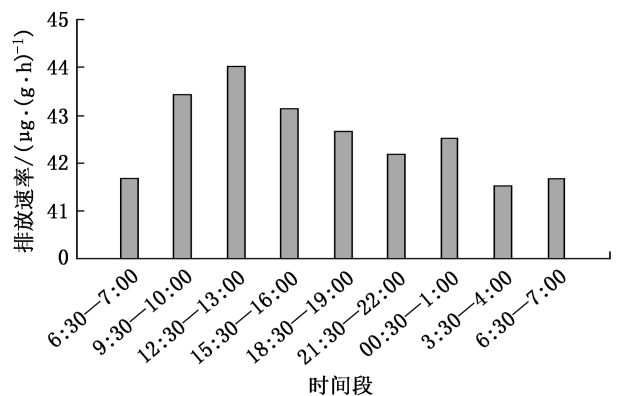


图 4 不同时间段受光强和温度影响的杨树 NMHC 排放速率

Fig. 4 Emission rate of NMHC from poplars affected by light intensity and temperature at different time periods

由图 4 可知,杨树是研究的几种植物中 NMHC 排放速率最高的树种,其值在 41~45 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 范围。

1.2.4 槐树 NMHC 的排放速率

不同时间段受光强和温度影响的槐树 NMHC 排放速率见图 5。

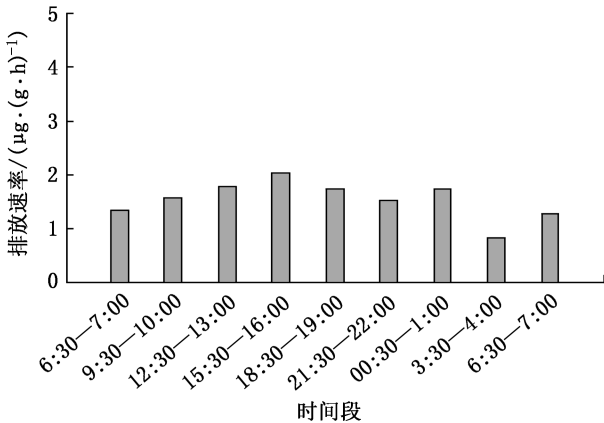


图 5 不同时间段受光强和温度影响的槐树 NMHC 排放速率

Fig. 5 Emission rate of NMHC from locust trees affected by light intensity and temperature at different time periods

由图 5 可知,槐树的 NMHC 排放速率在 1~3 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 范围。

槐树和柏树排放 NMHC 的速率呈季节性规律,在冬季,树木释放出的非甲基烃类化合物的速度比春季要慢,而在秋季和夏季中,以夏季为最高。树叶是树木排放 NMHC 的主要途径。冬季常绿树木如柏树和松树的 NMHC 排放速率较低,造成这种现象的主要原因是树木在冬季的生理过程变慢,进而降低了排放 NMHC 的速率。

2 NMHC 排放与大气污染的响应关系

大气中存在的挥发性有机物种类较多,不同种类的有机物对应的结构有所不同,物种与大气间存在的化学反应直接受物种结构的影响。臭氧生成潜势 OFP 直接受 NMHC 各物种最大增量反应活性和浓度的影响^[5-6],其中最大增量反应活性描述的是每毫克 NMHC 物质生成的臭氧质量,臭氧生成潜势 OFP 可通过下式计算得到:

$$\text{OFP} = \sum_i \frac{[\text{NMHC}]_i \cdot M_i \cdot \text{MIR}_i}{M_{\text{O}_3}} \quad (4)$$

式中: M_i 为物质的质量; MIR_i 为最大增量反应活性; M_{O_3} 为臭氧的质量; $[\text{NMHC}]_i$ 为 NMHC 各物种在实际观测过程中的大气环境浓度。

绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染的响应关系分析采用的方法为最大增量活性因子法 MIR^[7]和丙烯等效浓度 Prop-Equiv。研究绿道规划植被 NMHC 排放对 OFP 的影响,获得绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染的响应关系。

不同类别 NMHC 在环境大气中的占比以及对 OFP 贡献率和 Pro-Equiv 浓度如图 6 所示。

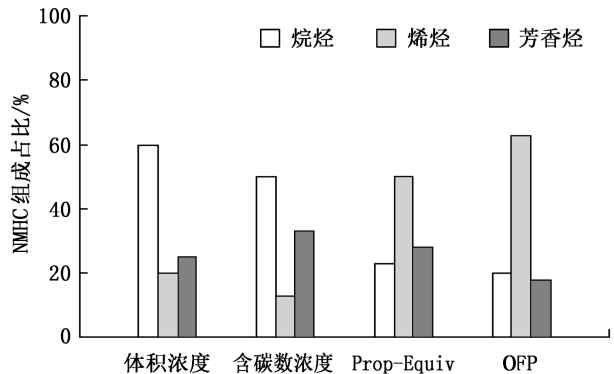


图 6 NMHC 组成占比与臭氧生成潜势贡献率和 Pro-Equiv 浓度关系

Fig. 6 Relationship between the proportion of NMHC and the contribution rate of OFP and Prop-Equiv concentration

由图 6 可知,从含碳数浓度和体积混合比角度分析,烷烃对 NMHC 的贡献率为 60%,对 OFP 贡献率和丙烯等效浓度进行分析,烯烃占比分别为 62%和 50%,在所有物种中,烯烃对臭氧生成的贡献最高。芳香烃和烯烃的反应活性较大,容易在环境中参与光化学反应,对臭氧生产的贡献较高。

芳香烃、烯烃、烷烃在一年四季中对 Prop-Equiv 的贡献率如图 7 所示。

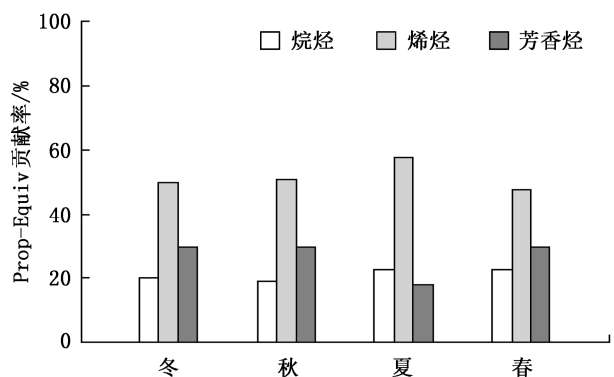


图 7 不同季节 Prop-Equiv 贡献率

Fig. 7 Contribution rate of Prop-Equiv concentration in different seasons

由图 7 可知,烯烃在一年四季中对 Prop-Equiv 的贡献率较高,在春季和冬季中,烯烃的 Prop-Equiv 贡献率要低于秋季和夏季,造成这种现象的主要原因是烯烃拥有较低的沸点,夏季和秋季的温度相对较高,烯烃更容易挥发^[8]。图 8 为芳香烃、烯烃和烷烃在一年四季中的 OFP 贡献率。

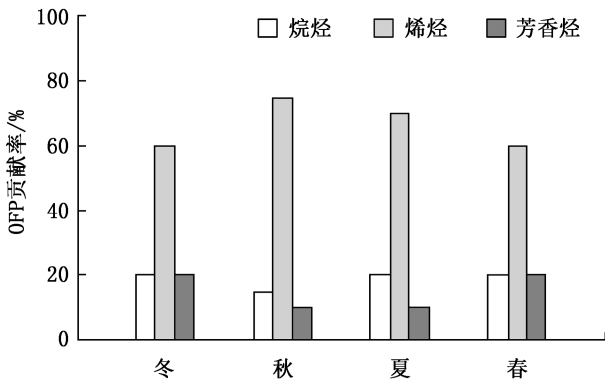


图 8 不同季节的 OFP 贡献率

Fig. 8 Contribution rate of OFP in different seasons

由图 8 可知,OFP 贡献率变化情况与 Prop-Equiv 贡献率变化情况接近,烯烃在一年四季中的 OFP 贡献率最高。Prop-Equiv 和 OFP 排名如图 9,图 10 所示。

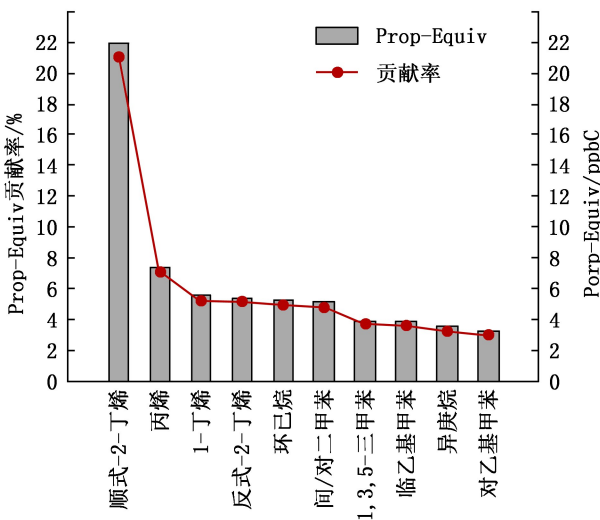


图 9 Prop-Equiv 及其贡献率排名

Fig. 9 Ranking of contribution rate of Prop-Equiv concentration

烯烃和芳香烃在两个排名中均名列前茅,在上述排名中只存在环己烷这一种烷烃,剩下的物种均

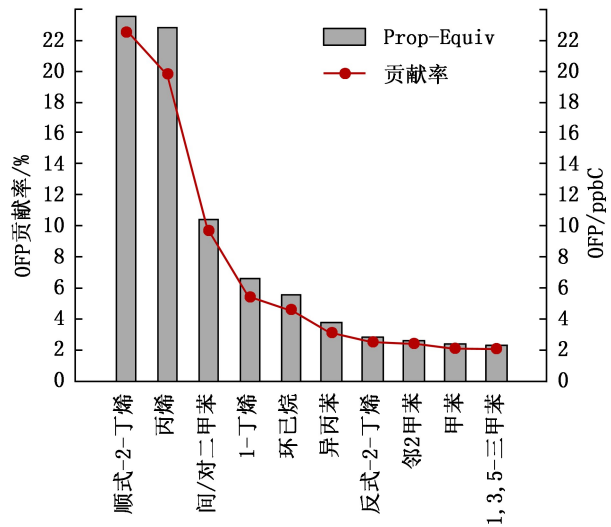


图 10 OFP 及其贡献率排名

Fig. 10 Ranking of contribution rate of OFP

为芳香烃和烯烃。在大气环境中芳香烃的浓度较低,但其反应活性和含碳数较高,因此拥有较大的臭氧生成贡献,分析 Prop-Equiv 可知,对臭氧贡献最大的是顺式-2-丁烯。NMHC 在春季、夏季、秋季和冬季的 OFP 如图 11,图 12 所示。

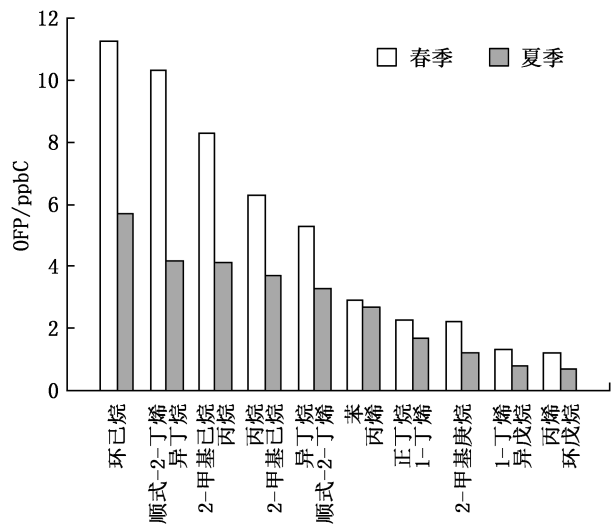


图 11 春季和夏季 OFP 排名

Fig. 11 Ranking of OFP in spring and summer

由图 11 和图 12 可知,春季 OFP 排名前三名为环己烷、顺式-2-丁烯、2-甲基己烷,夏季 OFP 排名前三名为环己烷、异丁烷、丙烷;秋季 OFP 排名前三名为环己烷、顺式-2-丁烯、2-甲基己烷;冬季 OFP 排名前三名为丙烷、异丁烷、顺式-2-丁烯。

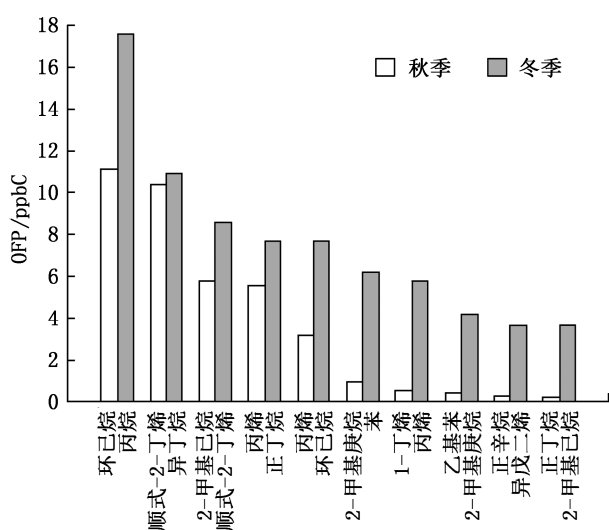


图 12 秋季和冬季 OFP 排名

Fig. 12 Ranking of OFP in autumn and winter

3 结论

1) 对我国 4 种常见树种 NMHC 排放测算结果显示,松柏等针叶树种排放的主要是单萜烯,松树也排放少量的异戊二烯和链烷烃,杨树、槐树等阔叶树排放的主要是异戊二烯,槐树在花期也会释放一定数量的单萜烯。

2) 树种的 NMHC 排放规律不仅与树种自身的结构、成熟度、生理周期等内在因素有关,而且受温度、光照强度等环境因素的影响较大。温度越高,光照越强,植物的排放速率就越大。杨树异戊二烯排放速率与环境温度呈良好的对数线性相关。

3) 不同树种 NMHC 排放速率差异较大。

4) 植物的 NMHC 排放是大气中 NMHC 的一个重要来源,无论是排放量还是反应性皆如此。本文涉及的树种和采集的样本数量比较有限,只能得出一些初步结论。非常有必要继续在此领域进行更深入、更细致的研究。

4 讨论

在二次有机气溶胶和对流层臭氧形成过程中, NMHC 发挥着重要作用,甲苯和苯均属于 NMHC,会对大气环境、生态系统和人类健康产生影响。NMHC 的来源较多,具有复杂的成分结构和较多的种类,研究 NMHC 造成的大气污染时,通常只研究 2-12 含碳数的 NMHC 化合物,不同的 NMHC 化合物

的物理化学性质均不相同,因其分子结构和含碳数存在差异。因此不同 NMHC 化学物由其自身的浓度水平、化学结构和含碳数决定其物理和化学性质。

在大气化学研究领域中,植被排放的 NMHC 与大气污染之间存在的响应关系属于重要部分,可根据两者之间的响应关系制定酸雨防治对策和光化学烟雾污染的控制策略。在大气化学研究过程中,对大气环境的变化实行相关的评价和预测具有重要意义,可按照人为来源和天然来源划分大气中存在的 NMHC,其中植物排放的 NMHC 在天然来源 NMHC 中占据较大比例,因此,研究绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染之间的响应关系具有重要意义,所提方法根据绿道规划植被排放的 NMHC 中存在的各类物种与 OFP 之间的关系,获得绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染之间的响应关系,为降低环境污染、大气污染以及保障人体健康提供了相关依据。

参考文献:

- [1] 谢馨,韩颖,秦承华. 基于便携式氢火焰离子化检测器法测定固定污染源废气中非甲烷总烃的研究[J]. 中国环境监测,2020,36(1):120-124.
- [2] 郑文霞,郭新彬,郭雨萱,等. 大兴安岭典型乔木树种燃烧排放非甲烷总烃(NMHCs)的特性[J]. 林业科学,2020,56(12):101-113.
- [3] 秦金萍,刘颖,马玉寿,等. 返青期休牧对退化高寒草甸植被生长及其优势植物垂穗披碱草光合作用的影响[J]. 草地学报,2020,28(4):1068-1075.
- [4] 林淑芳. 例析论证式教学在初中生物学总复习中的应用——以“绿色植物的光合作用和呼吸作用”为例[J]. 生物学教学,2020,45(6):31-34.
- [5] 崔茹,莫梓伟,袁斌,等. 我国日化用品使用挥发性有机物(VOCs)排放及臭氧生成潜势研究[J]. 环境科学学报,2021,41(6):2272-2281.
- [6] 刘中凯,刘万超,闫琨,等. 拜耳法生产氧化铝溶出过程挥发性有机物排放特征及臭氧生成潜势[J]. 环境污染与防治,2020,42(11):1375-1379.
- [7] 姚青,韩素芹,张裕芬,等. 天津夏季郊区 VOCs 对臭氧生成的影响[J]. 环境科学,2020,41(4):1573-1581.
- [8] 罗耀亚,王森,郭淑佳,等. 不同合成方法制备 Zn_xCe_(2-y)Zr_yO₄/SAPO-34 催化剂及其合成气制低碳烯烃催化性能的研究[J]. 燃料化学学报,2020,48(5):594-600.

责任编辑:许易琦

《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 5 000~ 15 000 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、论集中析出的文献，其文献类型标识采用“[C]//”，对于圈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，并付给作者稿醒。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。

- 中国科技论文统计源期刊（中国科技核心期刊）
- 《中文核心期刊要目总览》来源期刊
- 《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊
- 《中国知网》《中国学术期刊（光盘版）》全文收录
- 《中文科技期刊数据库》全文收录
- 《超星期刊数据库》全文收录
- 《中国林业文摘》收录
- 2009 年评为云南省优秀期刊
- 2012 年评为云南省优秀期刊
- 2022 年被评为“西牛计划”之优秀中文科技期刊

林业调查规划
LINYE DIAOCHA GUIHUA

（双月刊，1976年创刊）
2024年1月 第49卷 第1期

Forest Inventory and Planning

（Bimonthly, Started in 1976）
Vol.49 No. 1 Jan. 2024

主管单位	云南林业和草原局	Administrated by	Yunnan Forestry and Grassland Administration
主办单位	云南省林业调查规划院	Sponsored by	Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning,
主 编	胡宗华	Editor in chief	HU Zonghua
副 主 编	许易琦	Associate Editor in chief	XU Yiqi
编辑出版	《林业调查规划》编辑部	Edited & Published by	Editorial Department of Forest Inventory and Planning
地 址	昆明市人民东路289号	Address	289 East Renmin Road, Kunming, China
邮 编	650051	Post Code	650051
电 话	0871-63318347, 63332538	Telephone	0871- 63318347, 63332538
Email	ynfip@vip.163.com	Email	ynfip@vip.163.com
印 装	昆明锦润印刷有限公司	Printed by	Kunming JINRUN Printing Co.,Ltd.
订 购	全国各地邮政局	Distributed by	All Local Post Offices in Chin

刊号: ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

国内定价: 20.00 元 (全年 120.00 元)

广告经营许可证号: 5300004000093
邮发代号: 64-100

