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
贠新华　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　杨焕熔　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)

●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,徐钡昌,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

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)

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

“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)

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)

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

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,程秦明(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

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)

●园林绿化

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)

[期刊基本参数] CN 53-1172/S * 1976 * b * A4 * 230 * zh * P * 20.00 * 600 * 26 * 2024-01 * n

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)

●Forest Cultivation

Quality Grading Standard of Seedlings of *Keteleeria davidiana* var. *calcarea* (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

Planning and Design of Yinhonghe Provincial Wetland Park in Xiping County

····· GAO Jiankang, FENG Wanting, HU Zongshang, LIU Baoguo(58)

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* Communnity Distribution and Topographic Factors in Lancang River Basin
..... XU Tingting, SHI Kaize, LU Tengfei, LANG Xiaoxue, LUO Yin, LENG Hongtian,LI Ze(78)

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)

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)

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
.....

Advances on Biocontrol Effects of Endophytic Fungi in Plants ..... BAI Nana, JIANG Haiyan, DI Jialin(163)

●Forest Soil

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

Potential Evaluation of Health Preservation of Ningbo Forest Park Based on Multi-level Grey Method
..... ZHUGE Fenglin, LI Zhengquan, LYU Jinwen, WANG Jianjie(197)

●Landscape Greening

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聚,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班中)、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 hm^2。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确准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、变异度 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。

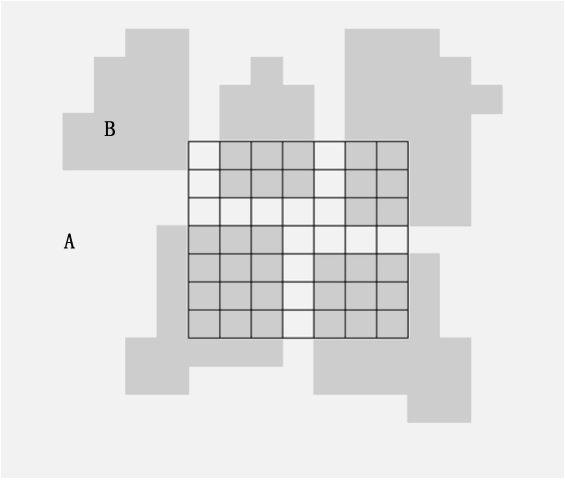


图 2　Focal 滤波器滤波过程图示 2

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)。

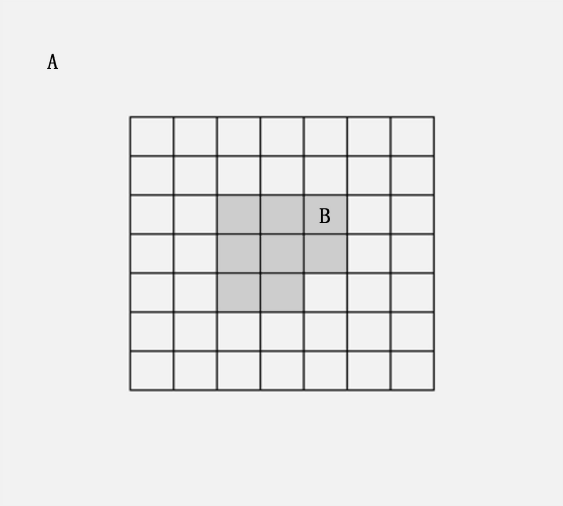


图3　Focal滤波器滤波过程图示3

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

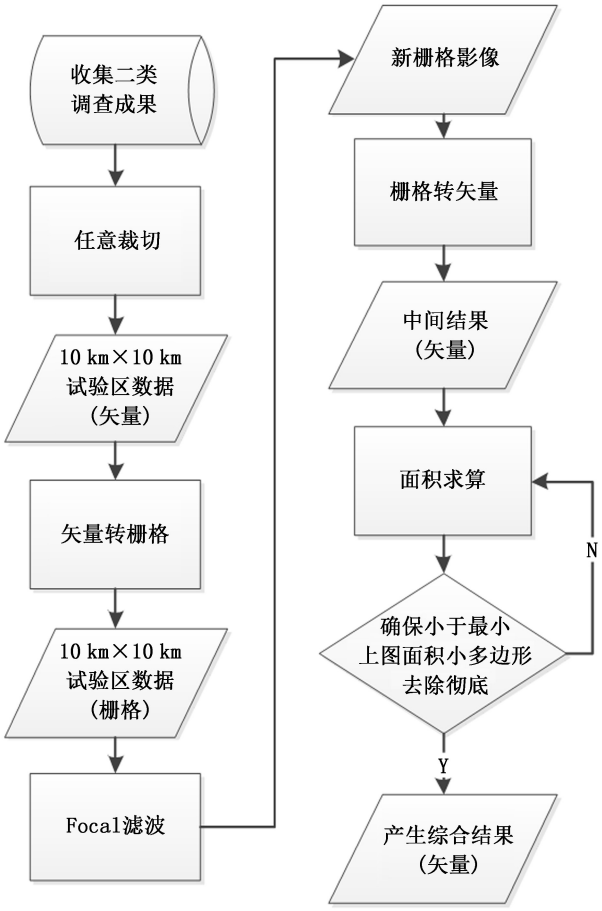


图4　实验技术路线

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 0.000 1$M_{图}$($M_{图}$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 0.000 1 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 km×10 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

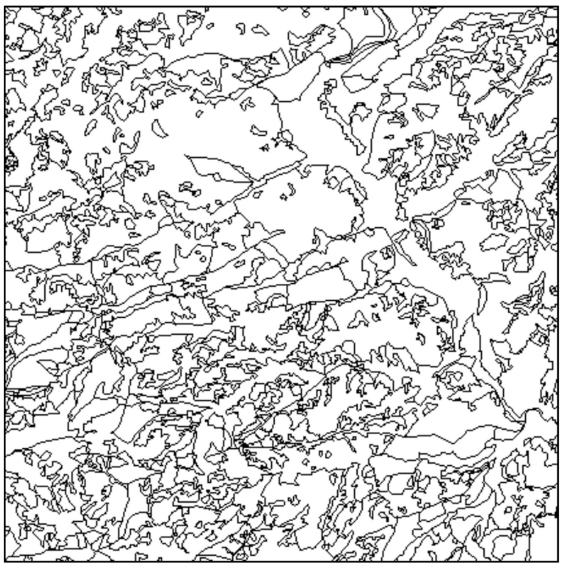
实验区综合前、综合后图斑数的变化及视觉感知对比见图 5,区域放大后的综合前、综合后情况对比见图 6。

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。

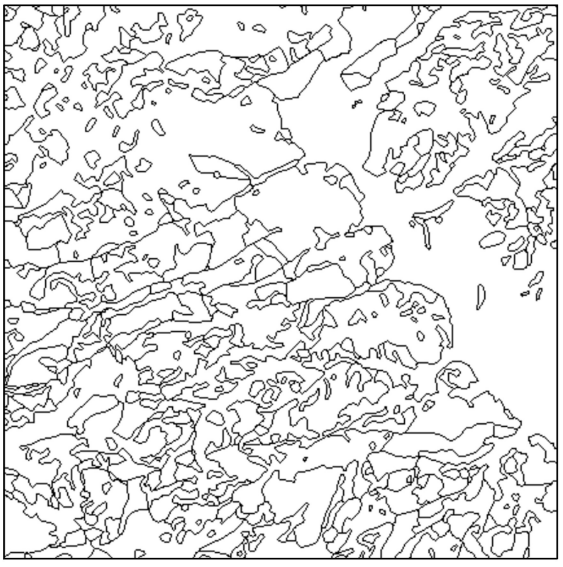
3.2 综合前后面积变化分析

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



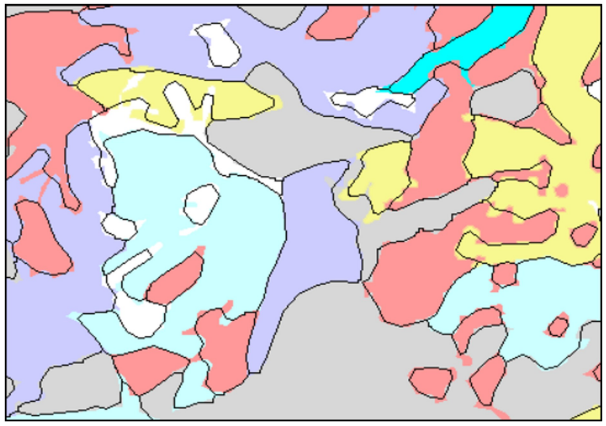
(a)综合前



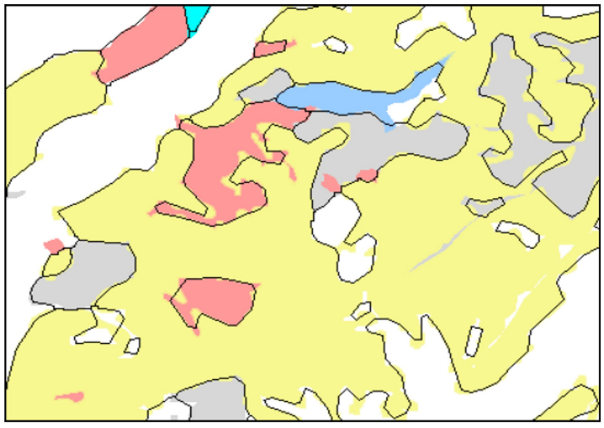
(b)综合后

图 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



(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 hm^2,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。

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

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　hm^2

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 0.000 1$M_{图}$”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前望[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及发展[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 Yun[1], LIAO Yao[1], LI Huixuan[1], YANG Juan[1], WANG Wei[2]
(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:贵州省科技厅基础研究计划(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。

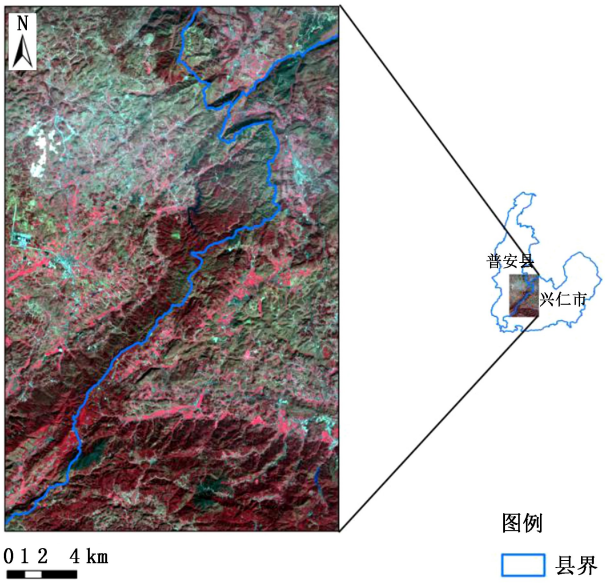


图 1　研究区地理位置及 GF1 假彩色影像

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:

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

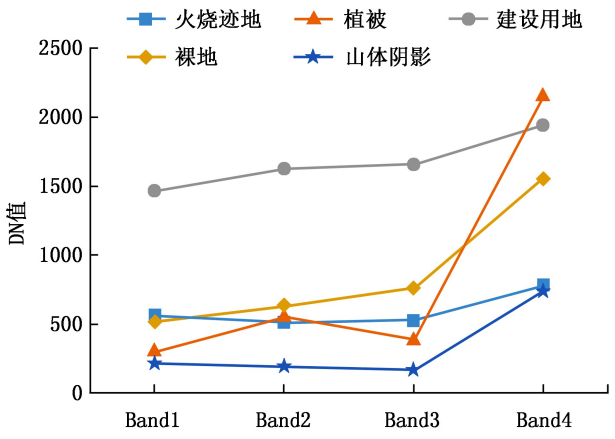


图 2 光谱特征曲线

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

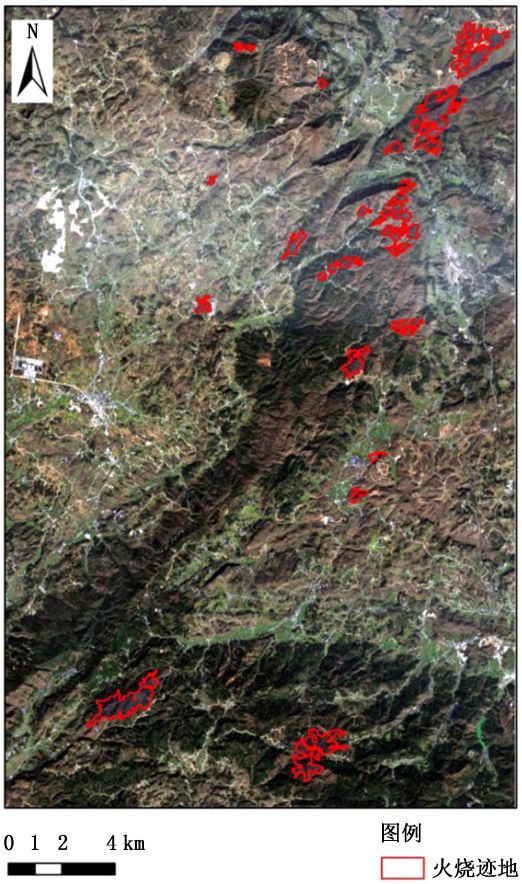


图 3 基于规则面向对象分类法的火烧迹地分类提取结果

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. 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. *calcarea* (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. *calcarea* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba

GU Chunjiao[1,2], CHEN Taiguo[1], YANG Yishan[1], SUN Feifei[1], ZOU Rong[1],
TANG Jianmin[1,3], CHAI Shengfeng[1]
(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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (W. C. Cheng & L. K. Fu) Silba; quality grading of seedlings; correlation analysis; K-means cluster analysis

黄枝油杉(*Keteleeria davidiana* var. *calcarea* (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,能在石灰岩石山上面生长[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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (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. *calcarea* (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光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($\overline{B}$)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,田镐锡,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,徐钡昌,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,徐钡昌,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〕TG09).
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 m^2,按照坡度方向划分为 3 个小区,每个小区 200 m^2。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 NH_4Ac 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

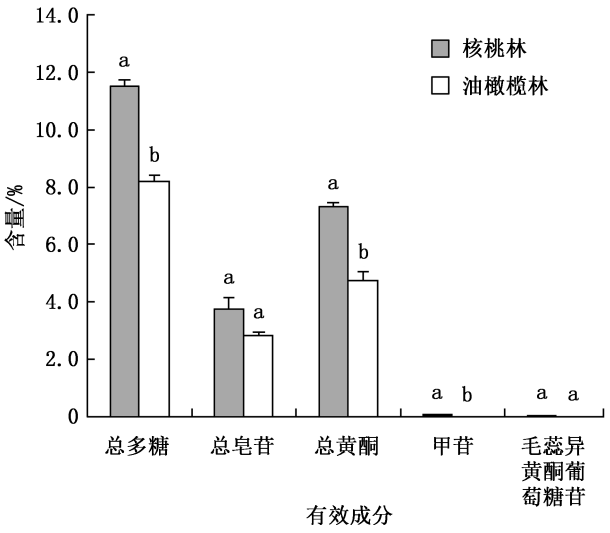
从表1可以看出,除氮外,油橄榄林下土壤肥力均高于核桃林下土壤肥力,其中有机质含量是核桃林下的4.8倍,两种林型下土壤全氮和水解氮含量均较低。复合种植黄芪后,土壤肥力总体上呈增长趋势,其中核桃林下有机质和速效磷含量增幅较大,油橄榄林下速效磷含量增幅也较大,说明林下复合种植黄芪能一定程度提高土壤肥力,且对磷需求不大,而核桃林下全钾、油橄榄林下有机质含量均出现降低趋势,说明黄芪种植对土壤有机质和钾需求较高,两种林地对元素的补偿各有优势。

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。

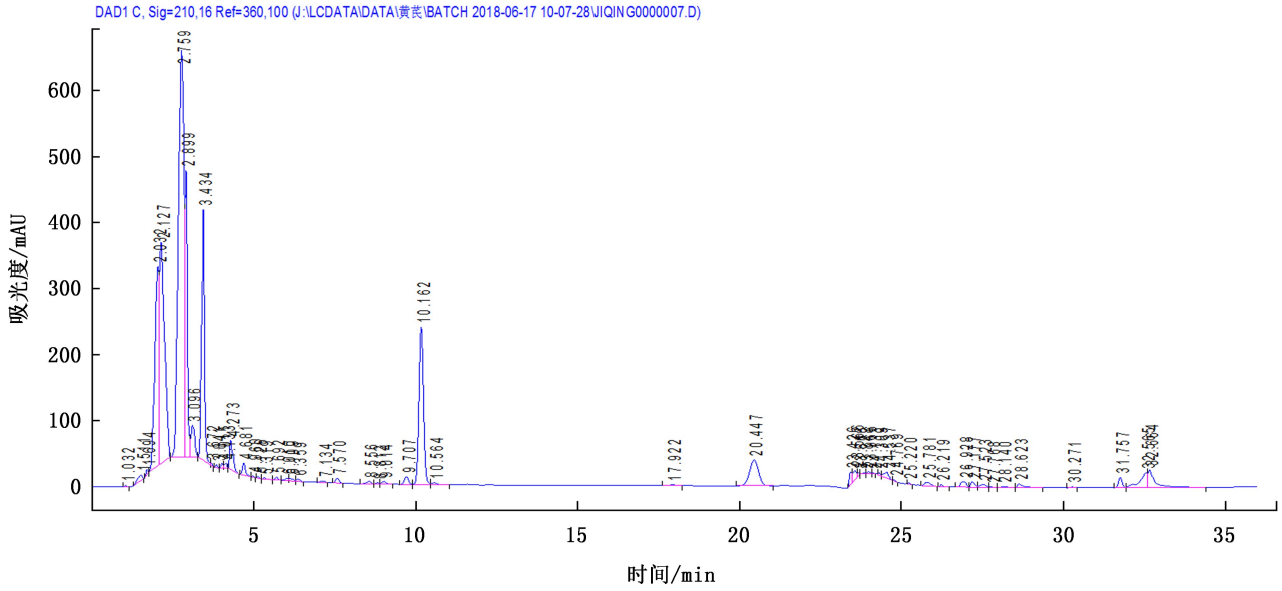


图 2　核桃林下种植黄芪甲苷高效液相色谱分析

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

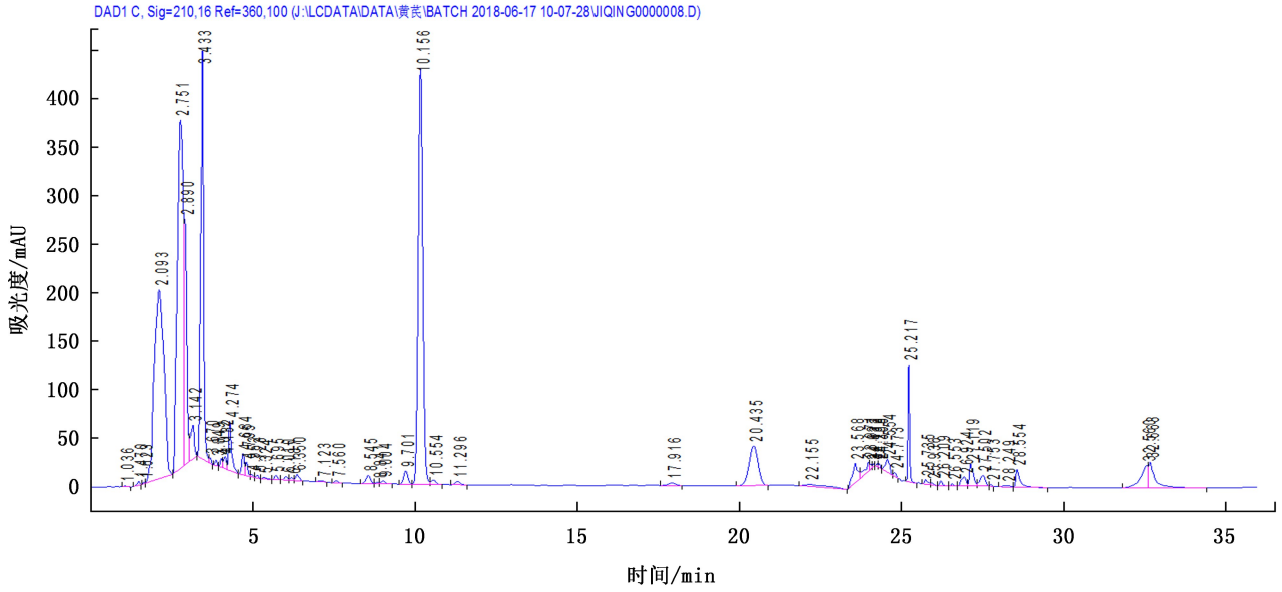


图 3　油橄榄林下种植黄芪甲苷高效液相色谱分析

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。

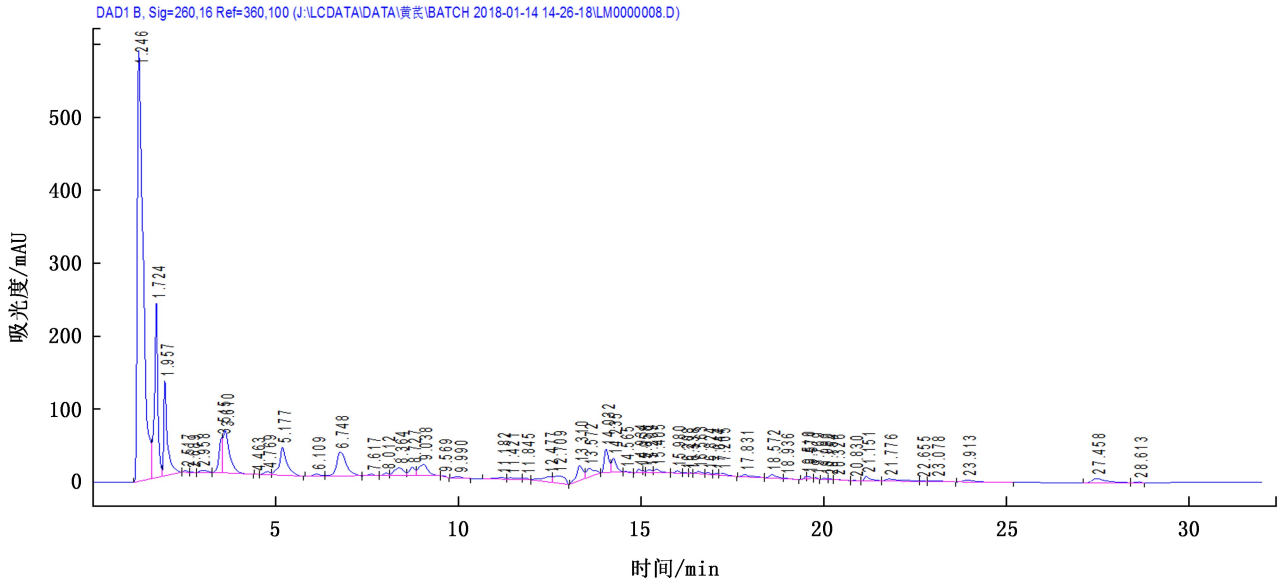


图 4　核桃林下种植黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷高效液相色谱分析

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

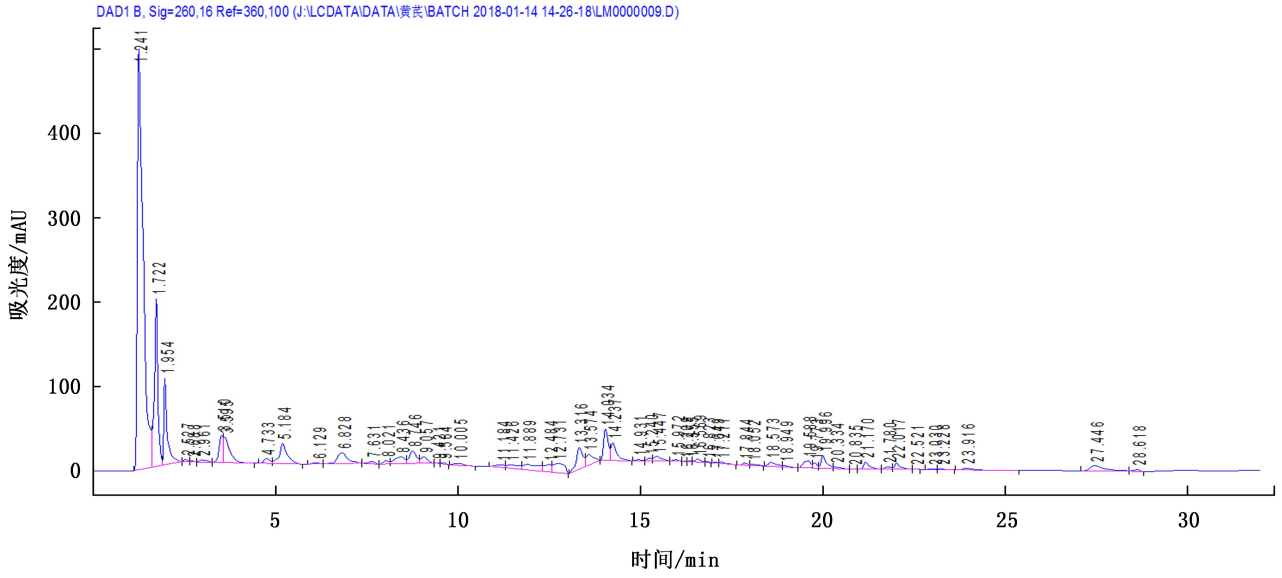


图 5　油橄榄林下种植黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷高效液相色谱分析

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,促进产业的发展和壮大,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,提高土壤熵情,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学特性一致[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] 白赟,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:为确定黑果枸杞栽植的株行距,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 Yongzhi[4]
(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 Monglia 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研究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 B_1、维生素 B_2 等多种营养成分[14]。果实花青素(又称花色素,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 LRLP3 具有较强的还原能力,对 H_2O_2 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道较为缺乏。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/cm^2,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 m^2,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 m^2,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。

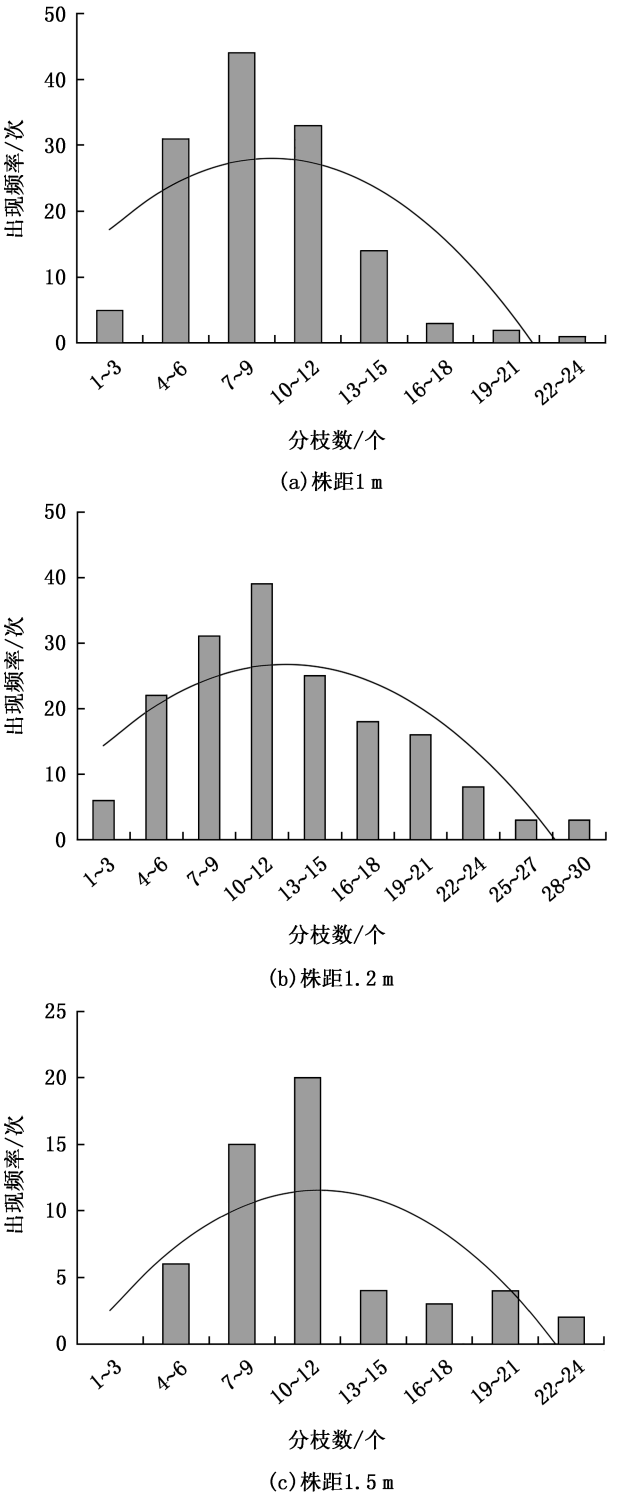


图 1 黑果枸杞植株分枝数出现频率

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于实际水平。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系统分离纯化与表征[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,邱馨,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地研究监测工作. 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地研究监测工作. 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 hm^2,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 hm^2,水利风景区与拉市海国际重要湿地重叠面积 2 418.05 hm^2。

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、视频监控系统维护和更新、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流于航道,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(*Pomaceacanaliculata*)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 hm^2。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/m^2,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 m^2,清理简易建筑、硬化路面等建筑垃圾约 8 000 m^3,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 hm^2,其中鱼塘降埂面积 8.019 5 hm^2。

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 hm^2,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,结合鱼塘小微环境,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芯草、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，先进行河埂降低处理，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 m^2。

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 hm^2，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 hm^2。

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、灯芯草、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、灯芯草、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,郑进烜. 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] 自然保护地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 hm^2,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 hm^2,占湿地总面积的 25.07%,其中,河流湿地 408.49 hm^2,占湿地总面积的 20.75%,湖泊湿地 53.68 hm^2,占比 2.72%,沼泽湿地 31.54 hm^2,占比 1.60%;人工湿地 1 475.37 hm^2,占比 74.93%。

从湿地型分析,永久性河流湿地 391.39 hm^2,占湿地总面积的 19.88%;季节性和间歇性河流湿地 17.1 hm^2,占比 0.87%;永久性淡水湖湿地 53.68 hm^2,占比 2.72%;草本沼泽湿地 31.54 hm^2,占比 1.6%;库塘湿地 1 434.84 hm^2,占比 72.87%;运河、输水河湿地 40.53 hm^2,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m^3,产水模数 39.5 万m^3/km^2,人均占有水量 3 330 m^3;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 基础研究和技术支撑薄弱

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。就古城区的情况看,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地廉价牺牲品。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的通力合作,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。

针对清溪水库水源地保护区(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重要性和必要性,明确对攀爬、翻越铁栅栏等违反水源地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人河道，减少河床污泥量。疏汲河床，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、黑白水河、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,采用现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进行科学研究。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研究[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,还给人类带来了反噬。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	ADVENTURER 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:

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

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:

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

式中:D_a为叶绿素a含量(μg/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:

$$\begin{cases} E_i = \dfrac{F_i}{f_i} \\ G = \dfrac{\sqrt{\overline{E}^2 + \max E^2}}{2} \end{cases} \tag{3}$$

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;$\overline{E}$、$\max E$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:

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

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。使污染水源流经人工湿地后,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

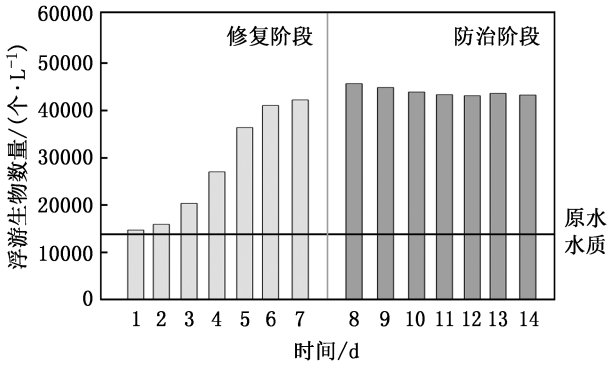
组成部分	材料名称	防治作用
透水性基质	沸石	吸收污染物质
微生物	好氧菌(醋酸菌、枯草杆菌)和厌氧菌(核梭杆菌、厌氧革兰阳性球菌)	对有机污染物实现降解和转化
水生植物	浮萍、芦苇、苦草	为水体输送氧气,增加水体活性;提高水中污染物的降解速度;对固体颗粒起到拦截吸附作用
动物	蝌蚪、蜗牛、水禽	促进物质循环
水体	在基质上、下流动的水(自然保护区林地水源)	

3.2.2 人工增氧

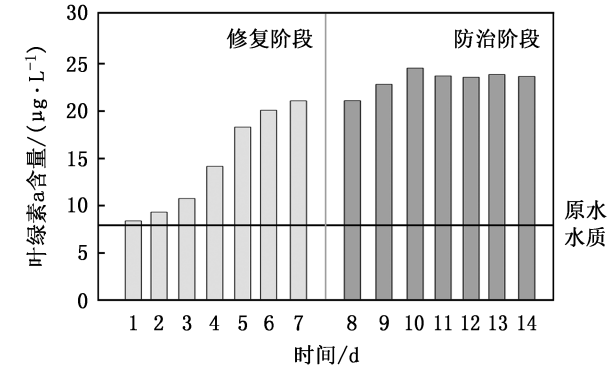
水源受到污染后往往会存在缺氧问题,使水中生物难以生存,导致水质变得越来越差。针对这一点,只要保证水源中氧气充足,为水中生物提供良好的生存条件,就能在一定程度上防治水污染,提高水源活性。人工增氧可通过设置充氧站来实现。

4 结果与分析

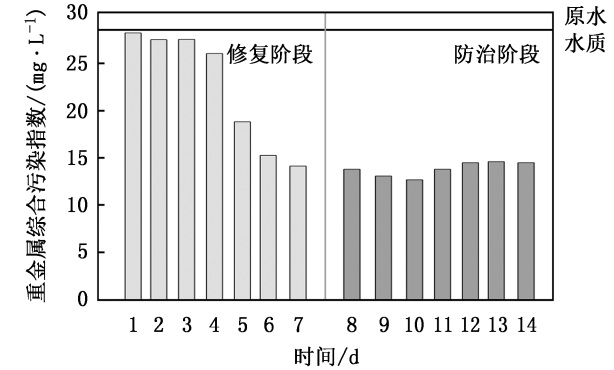
对上述自然保护区林地水源污染修复及防治策略实施后的一段时间内的水源进行采样,基于表 3 进行水质检测,检测结果如图 2 所示。



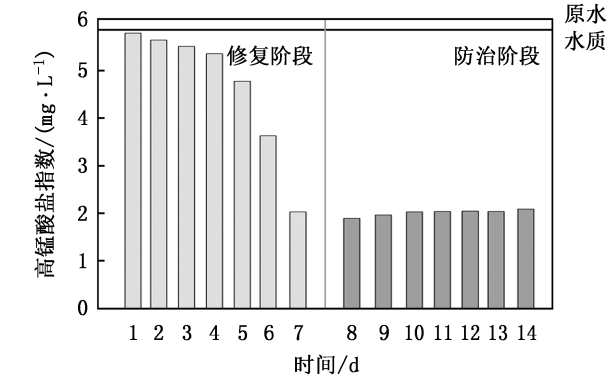
(a)不同时段浮游生物数量



(b)不同时段叶绿素a含量



(c)不同时段重金属综合污染指数



(d)不同时段高锰酸盐指数

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水源水样,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. 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 Yinhonghe 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 Yinhonghe 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 Yinhonghe 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: Yinhonghe 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研究项目(212400410023);河南省高校人文社会科学研究一般项目(2021-ZZJH-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。湿地公园西南与嫘祖海棠园相接,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 hm^2,其中湿地面积 67.7 hm^2,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)。

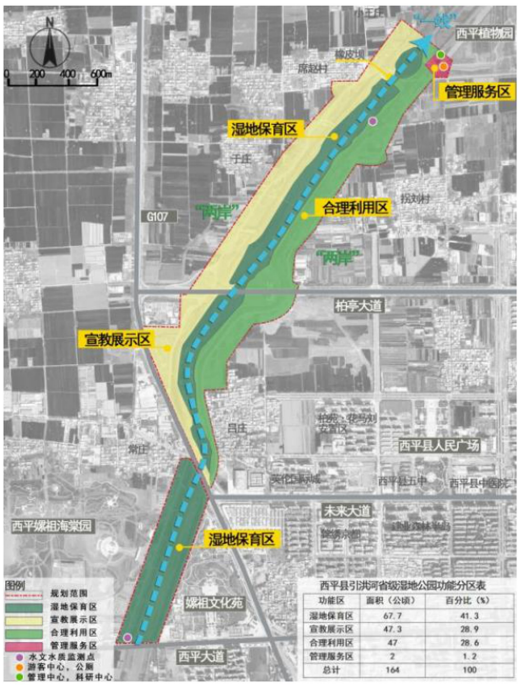


图 1 引洪河省级湿地公园总体布局

Fig. 1 Overall layout of Yinhonghe Provincial Wetland Park

“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 hm^2,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 hm^2,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 hm^2,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 hm^2,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]。

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、红花檵木、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. 黑龙江八五八小穆棱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技术要点[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. 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:2002-06-23.

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 km^2，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 km^2，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 hm^2，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现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、县级自然保护区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物种多样性、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和竞争优势,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垫定基础;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 Yongsheng[1], LAI Xinghui[1], YANG Jianguang[2], YANG Youkui[2], WANG Pingyong[3]
(1. Yinglin Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650021, China;
2. Xinping Administration of County-level Nature Reserve, Xinping, Yunnan 653400, China;
3. Gasa Town Forestry Station, Xinping, 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

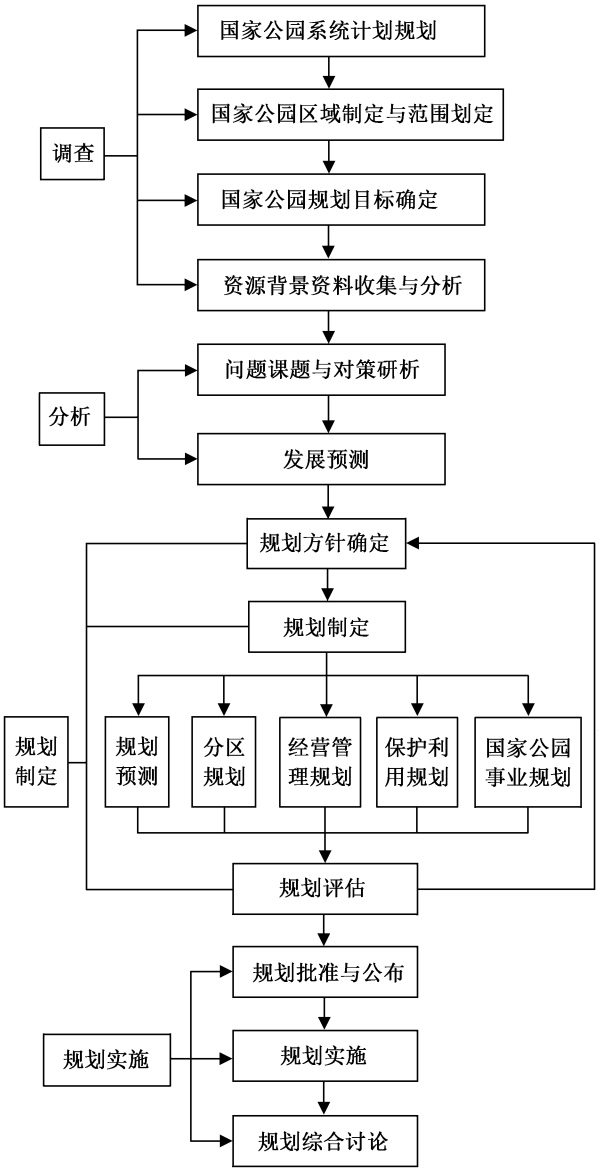


图1　我国台湾地区国家公园规划过程

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(Geoge 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]。

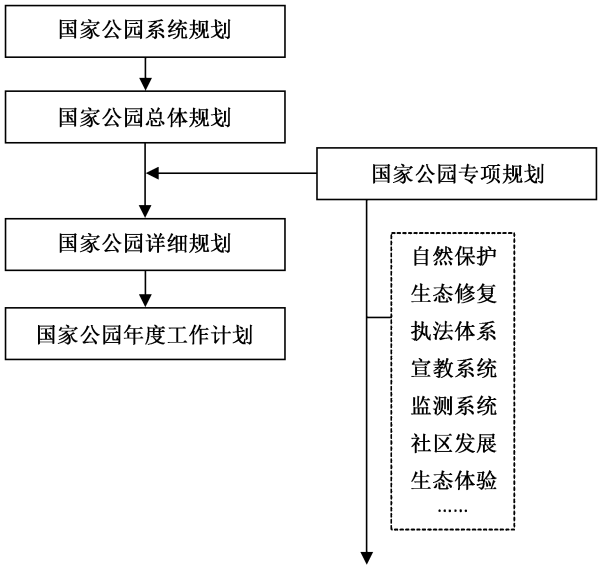


图 2　国家公园规划体系[13]

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)我国自然保护地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,不利于自然保护地相关工作的开展。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地体系的思考与建议综述[J]. 生态科学,2022,41(6):237-247.

(下转第 144 第页)

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* Communnity 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* Communnity 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* communnity; 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km^2,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前锋地位。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:

$$Z_j = b_0 + \sum_{k=1}^{q} b_k U_{kj} \tag{1}$$

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 WCanoImp 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. 206 2,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. 065 8,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. 362 9,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

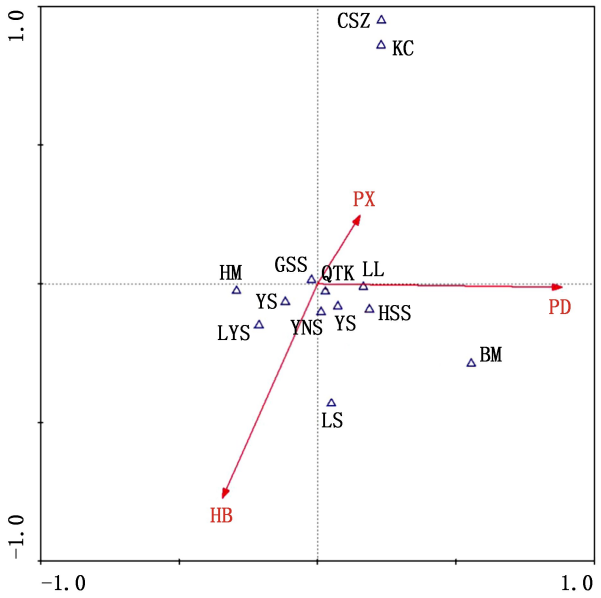
地形因子	海拔	坡向	坡度
海拔	1. 0000		
坡向	-0. 0017	1. 0000	
坡度	-0. 1388	-0. 0226	1. 0000

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. 001 7、-0. 138 8;坡向与坡度呈负相关,相关系数值为-0. 022 6。

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, EBERHARDTR, HALL B, et al. Vegetation variation across capecod, 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.

(下转第 114 页)

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 rstimation 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 hm^2)形成环状的城市湿地景观带。场地绿地面积约 96.2 hm^2,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 Y_1~Y_{20}。此外还需满足植物群落面积在 50 m^2 以上,具有一定规模,样地位置在人流量较多的公园主干道路旁或公园出入口处等要求(图 1)。

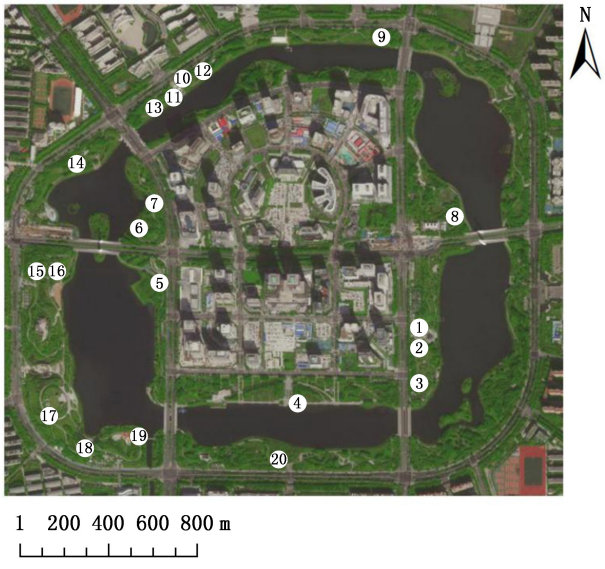


图 1 样地分布

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≥1%的色块数量之和,植物种类为乔灌草植物种类之和;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($\overline{H}$)计算公式为:

$$\overline{H} = \sum_{i=1}^{n} (H_i \times R_{H_i}) \quad (2)$$

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,$i = 1,2,3,\cdots,16$。

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 Kendal'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,可广泛使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

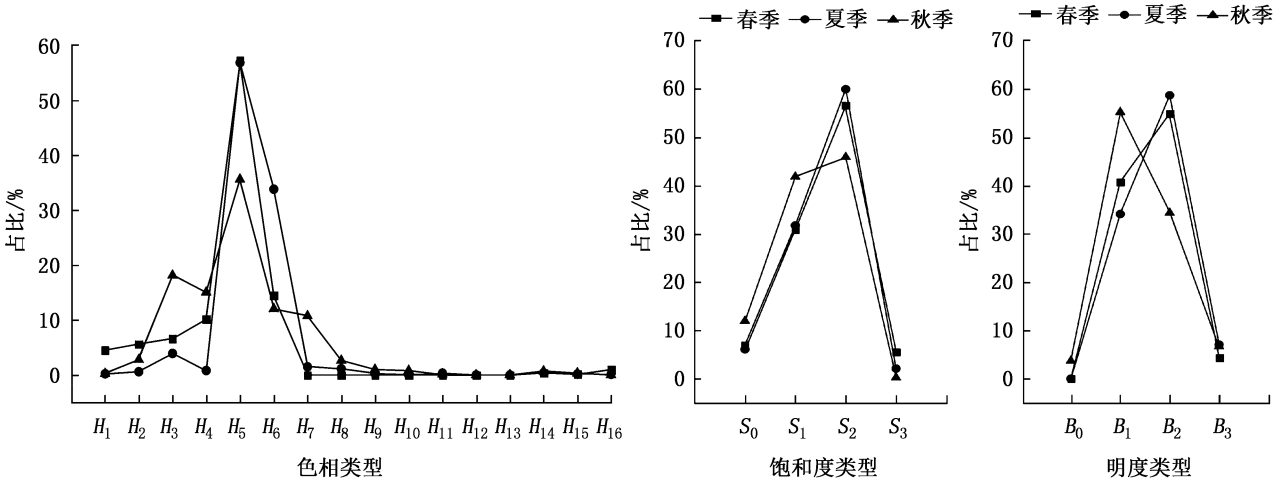
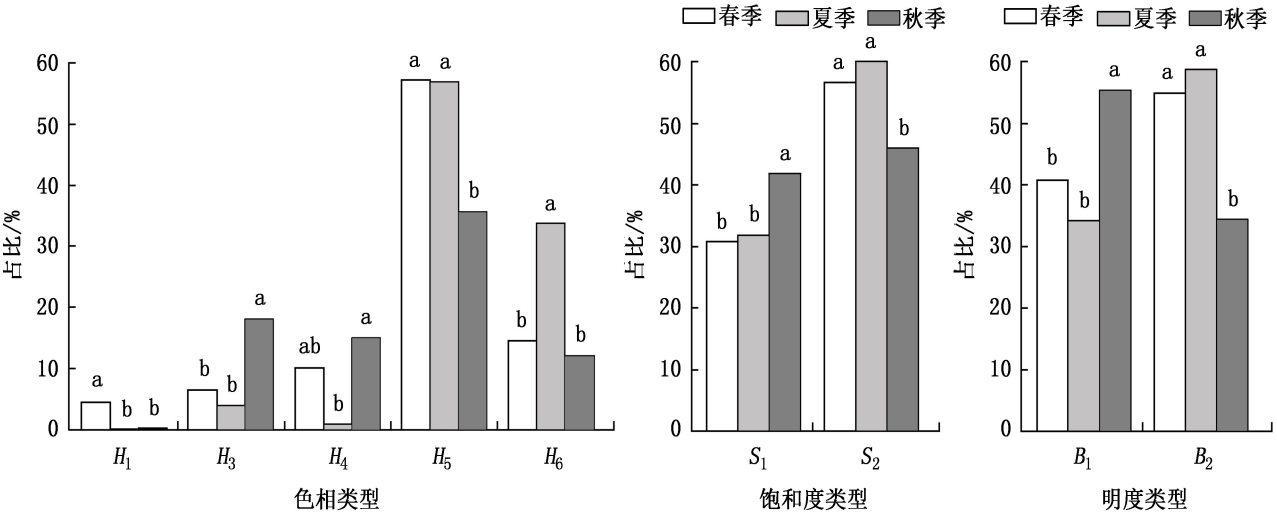


图 3　3 个季节色彩构成要素量化结果

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。

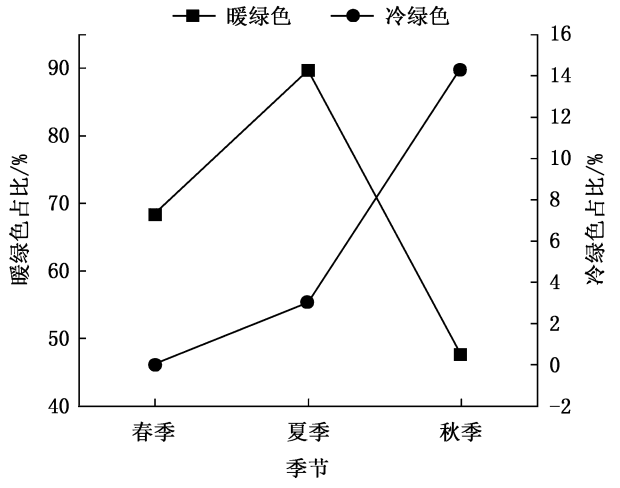


图 5　绿色系量化结果

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。

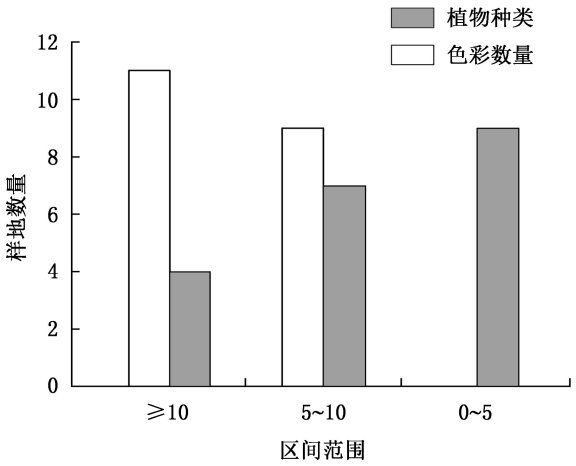


图 6　色彩丰富度量化结果

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）。

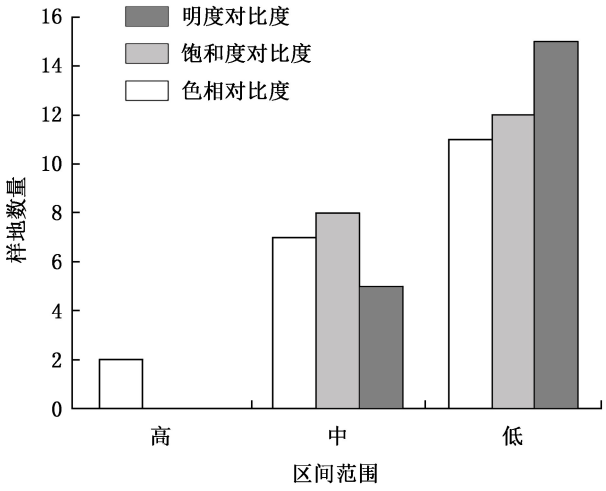


图 7　色彩对比度量化结果

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运算。

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草植物搭配,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。

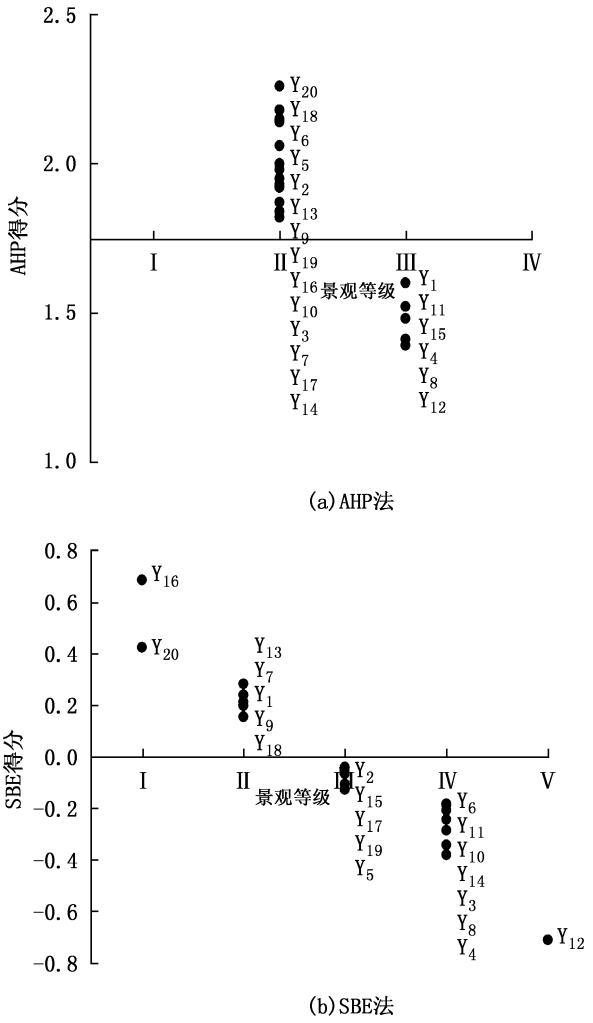


图 8　不同样地景观等级分布

Fig. 8　Level distribution of different sample plots

(a)春季　　(b)夏季　　(c)秋季

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)间的多元线形回归方程,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。

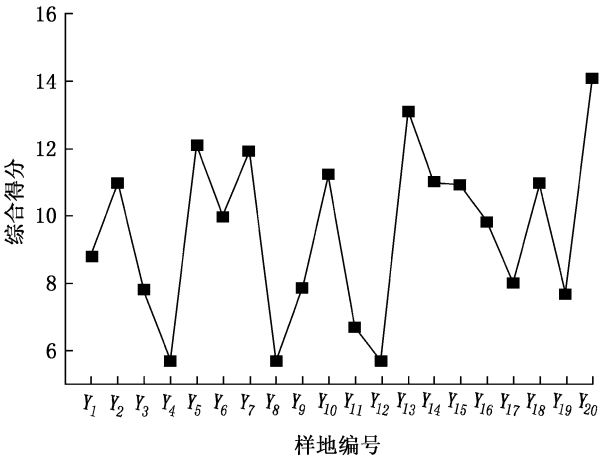


图 10 不同样地综合评价结果

Fig. 10 Comprehensive evaluation results of different sample plots

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草植物搭配,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。

(a)春季 (b)夏季 (c)秋季

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 个及以上的明显色块变化,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 法更强调整体效果,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,郄光发,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.

(下转第 119 页)

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 Yingqiong[1], WEN Qingzhong[2], WANG Changming[1], YIN Fuhong[3]
(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(CNCI)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)。

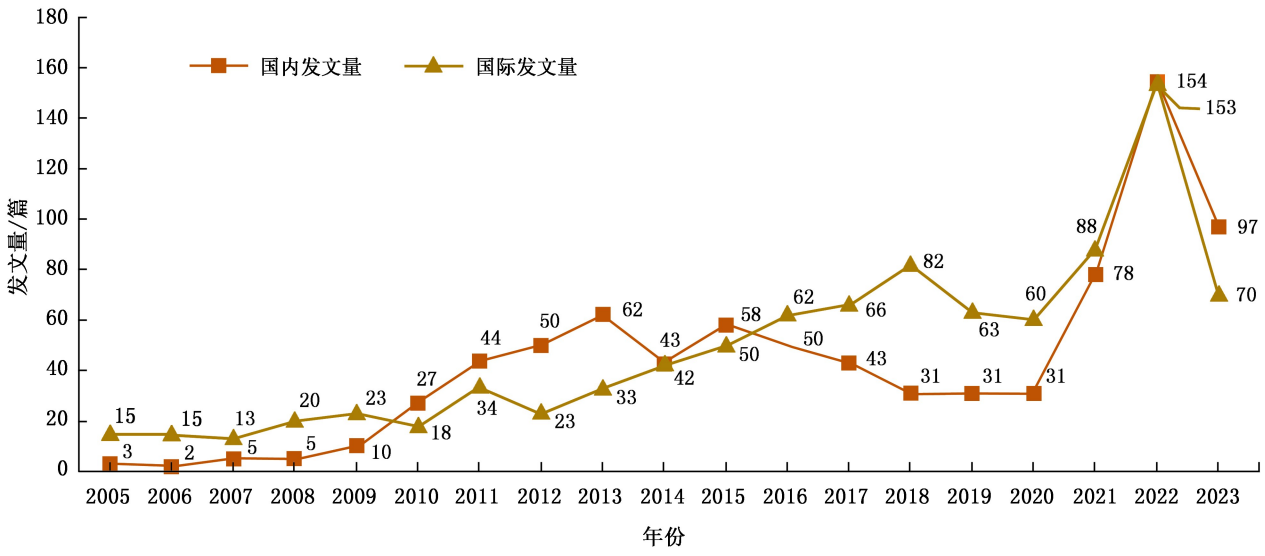


图 1　2005—2023 年生态系统碳汇研究领域发文量

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和部门,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。

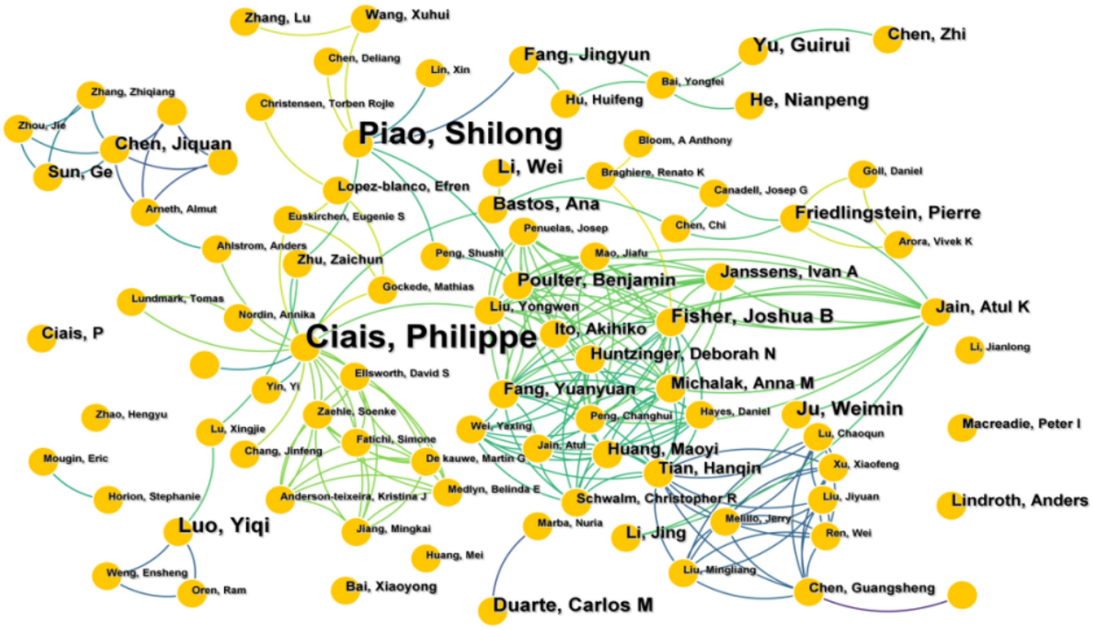


图 2　2005—2023 年生态系统碳汇研究 WOS 文献作者发文量分析及其合作关系

Fig. 2　Publications and cooperation relationships of WOS literature authors on ecosystem carbon sequestration research from 2005 to 2023

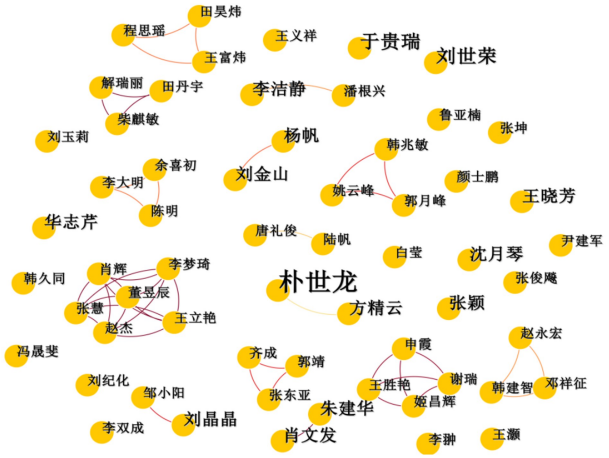


图 3　2005—2023 年生态系统碳汇研究 CNKI 文献作者发文量分析及其合作关系

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

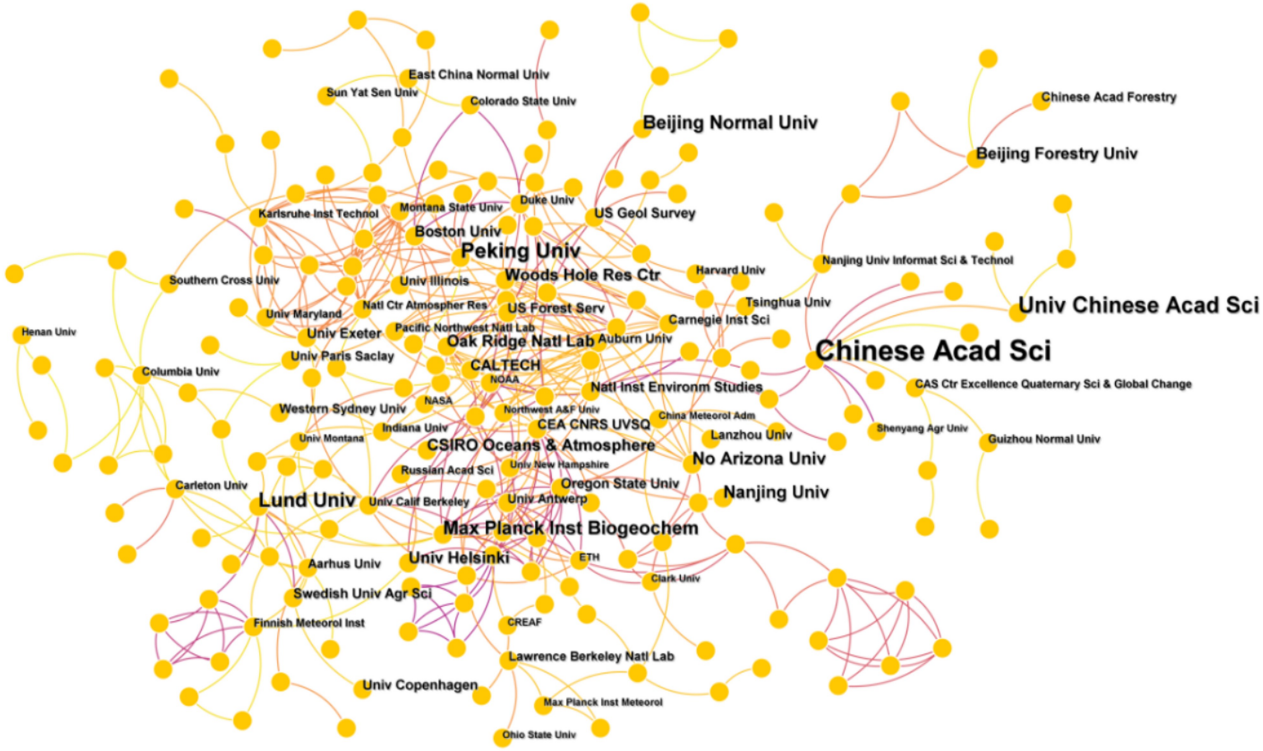


图 4 国际研究机构合作网络

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。

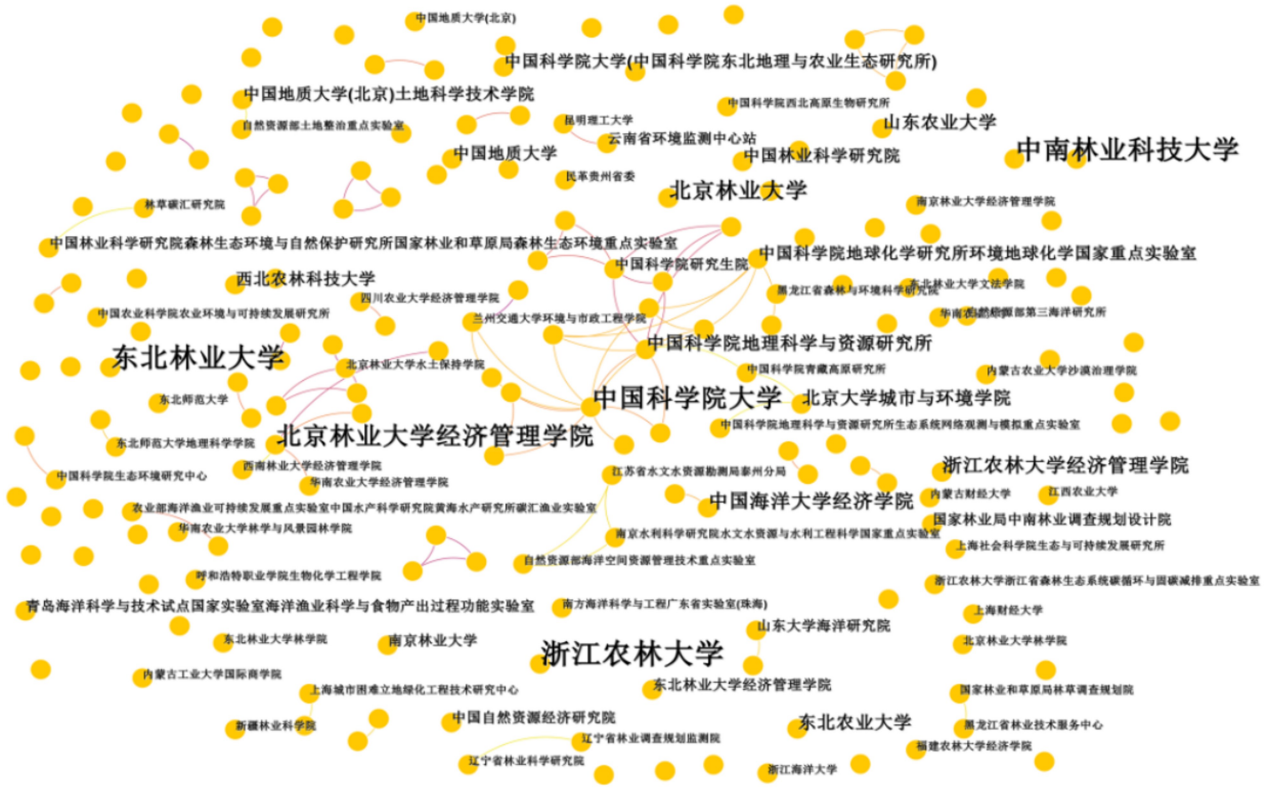


图 5　国内研究机构合作网络

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,“CO_2”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 CO_2 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“CO_2”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“CO_2”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)碳汇的年际变化研究:研究碳汇在不同年份、季节的变化情况,

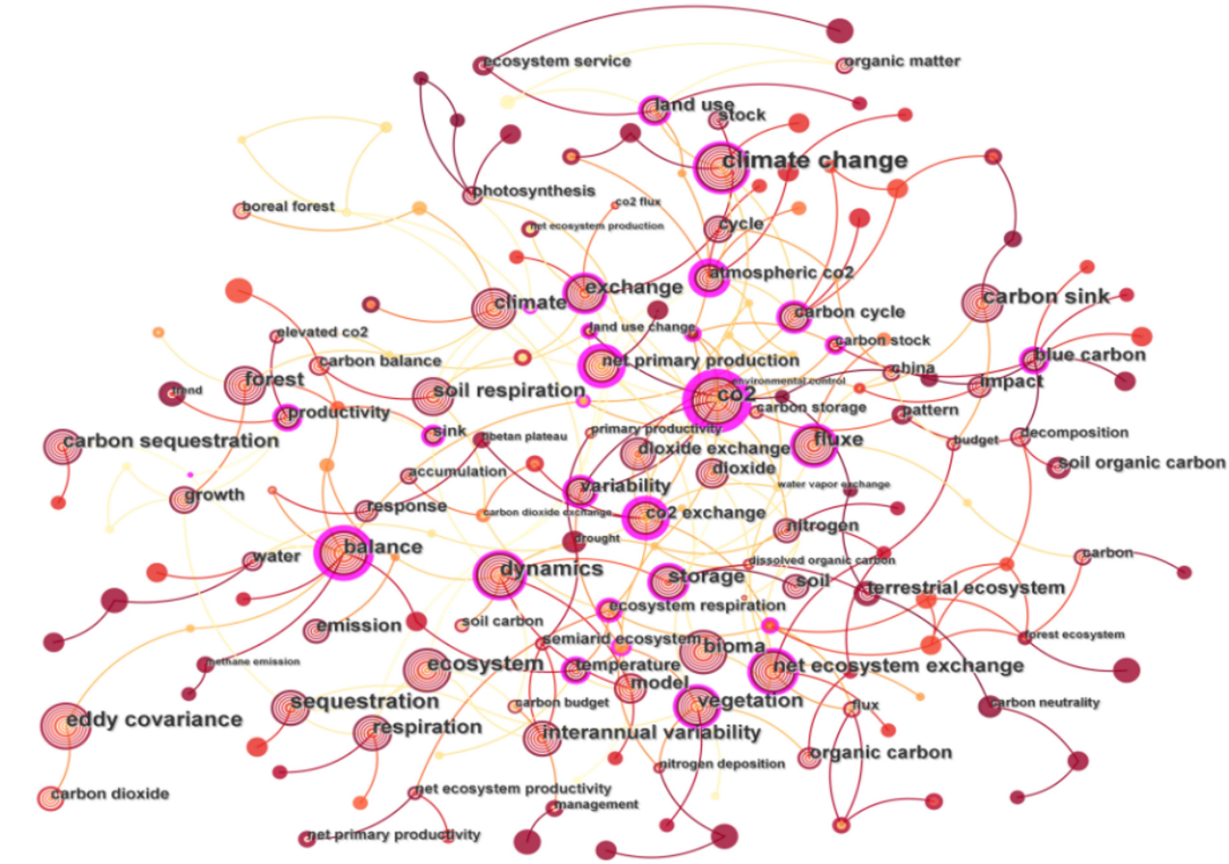


图 6　WOS 文献关键词共现图谱

Fig. 6　Keywords co-occurrence map of WOS literature

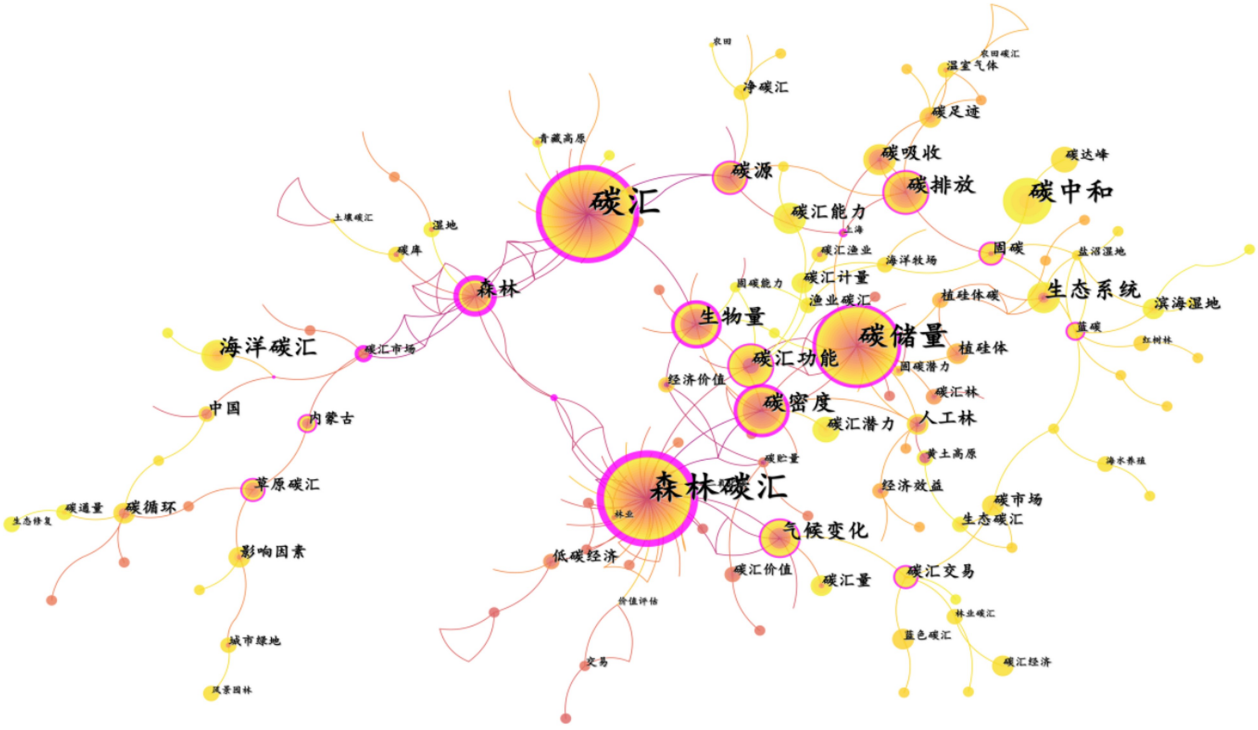


图 7　CNKI 文献关键词共现图谱

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

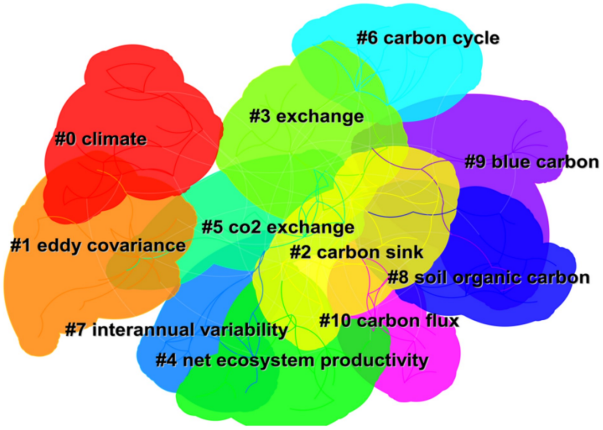


图 8　国际生态系统碳汇研究关键词聚类

Fig. 8　Keywords cluster of international ecosystem carbon sequestration research

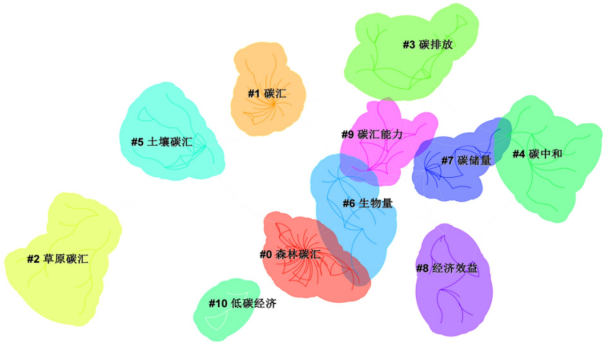


图 9　国内生态系统碳汇研究关键词聚类

Fig. 9　Keywords cluster of domestic ecosystem carbon sequestration research

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“CO_2 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

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2005—2023
flux	2005	6.74	2005	2013	
net primary production	2005	6.04	2005	2011	
water vapor exchange	2005	4.73	2005	2010	
vegetation	2006	4.73	2006	2013	
eddy covariance	2005	6.95	2007	2014	
co_2 exchange	2007	6.27	2007	2013	
fluxe	2007	5.03	2007	2010	
balance	2005	4.68	2007	2015	
ecosystem respiration	2009	7.12	2009	2016	
boreal forest	2005	4.71	2016	2017	
semiarid ecosystem	2017	7.68	2017	2021	
stock	2016	4.87	2017	2018	
blue carbon	2015	4.87	2018	2020	
carbon neutrality	2022	6.23	2022	2023	
terrestrial ecosystem	2016	4.92	2022	2023	

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。

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2005—2023
生态系统	2010	3.18	2010	2010	
森林碳汇	2005	6.15	2011	2012	
碳源	2005	3.28	2011	2016	
碳足迹	2016	3.83	2016	2021	
海洋碳汇	2018	6.36	2018	2023	
碳中和	2021	18.44	2021	2023	
碳汇能力	2021	4.24	2021	2023	
碳市场	2021	3.23	2021	2023	
碳汇潜力	2021	3.01	2021	2023	
碳汇计量	2022	3.17	2022	2023	

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、CO_2 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] 胡淼,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.1671-3168.2024.01.021

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总站,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、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 Deshuai[1], WANG Xuechun[1], WANG Yu[2,3], CAI Nianhui[2,3], CHEN Shi[2,3], DENG Guixiang[4]
(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,后用清水洗净,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。

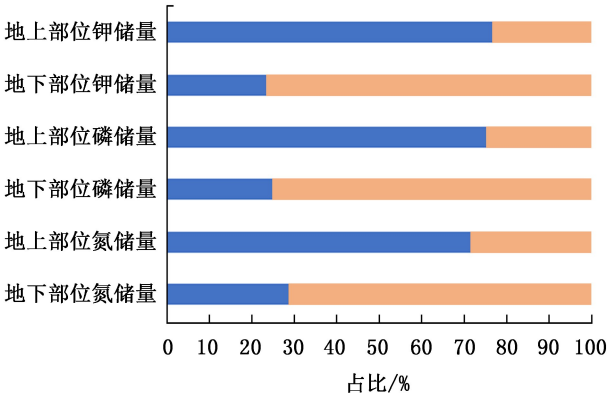


图 1 不同部位氮、磷、钾储量均值占单株储量均值比例

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 acqui-sition 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. Scoichiometric 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,崔云风,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-蒈烯 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 Jiangqin[1], WANG Yifei[1], WANG Anyin[1], LI Chaomei[1], LIU Zhaoqiang[2], HE Dan[1], ZHANG Man[1]
(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 shurbs in Zhengzhou, 13 typical evergreen shurbs 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,而山茶和狭叶栀子抑菌能力较弱。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-蒈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)。

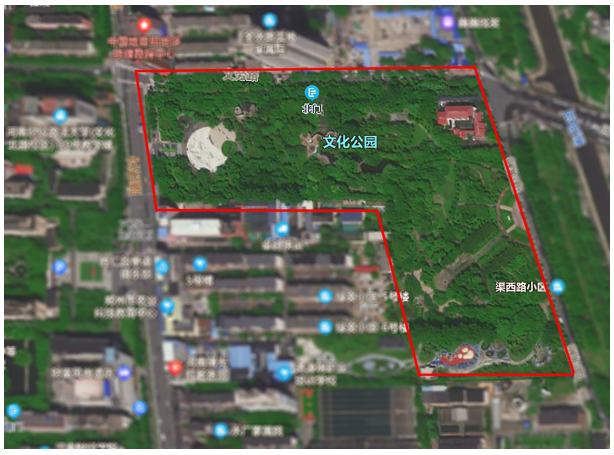


图 1 采样地区位

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。在所选样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 *Mahonia fortunei*	小檗科	十大功劳属	0.83	0.47
2	南天竹 *Nandina domestica*	小檗科	南天竹属	1.50	1.13
3	蚊母树 *Distylium racemosum*	金缕梅科	蚊母树属	2.87	2.53
4	海桐 *Pittosporum tobira*	海桐科	海桐属	2.40	2.57
5	火棘 *Pyracantha fortuneana*	蔷薇科	火棘属	1.57	2.00
6	石楠 *Photinia serratifolia*	蔷薇科	石楠属	2.50	2.67
7	洒金桃叶珊瑚 *Aucuba japonica*	山茱萸科	桃叶珊瑚属	0.57	0.47
8	冬青卫矛 *Euonymus japonicus*	卫矛科	卫矛属	1.60	2.33
9	枸骨 *Ilex cornuta*	冬青科	冬青属	1.37	1.73
10	八角金盘 *Fatsia japonica*	五加科	八角金盘属	1.27	2.23
11	夹竹桃 *Nerium indicum*	夹竹桃科	夹竹桃属	2.53	1.93
12	金叶女贞 *Ligustrum vicaryi*	木犀科	女贞属	0.50	0.67
13	珊瑚树 *Viburnum odoratissimum*	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-蒈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:

抑菌率(%) = (对照组平均菌落数 - 处理组平均菌落数)/ 对照组平均菌落数 × 100%　　(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 μL 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 μL 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

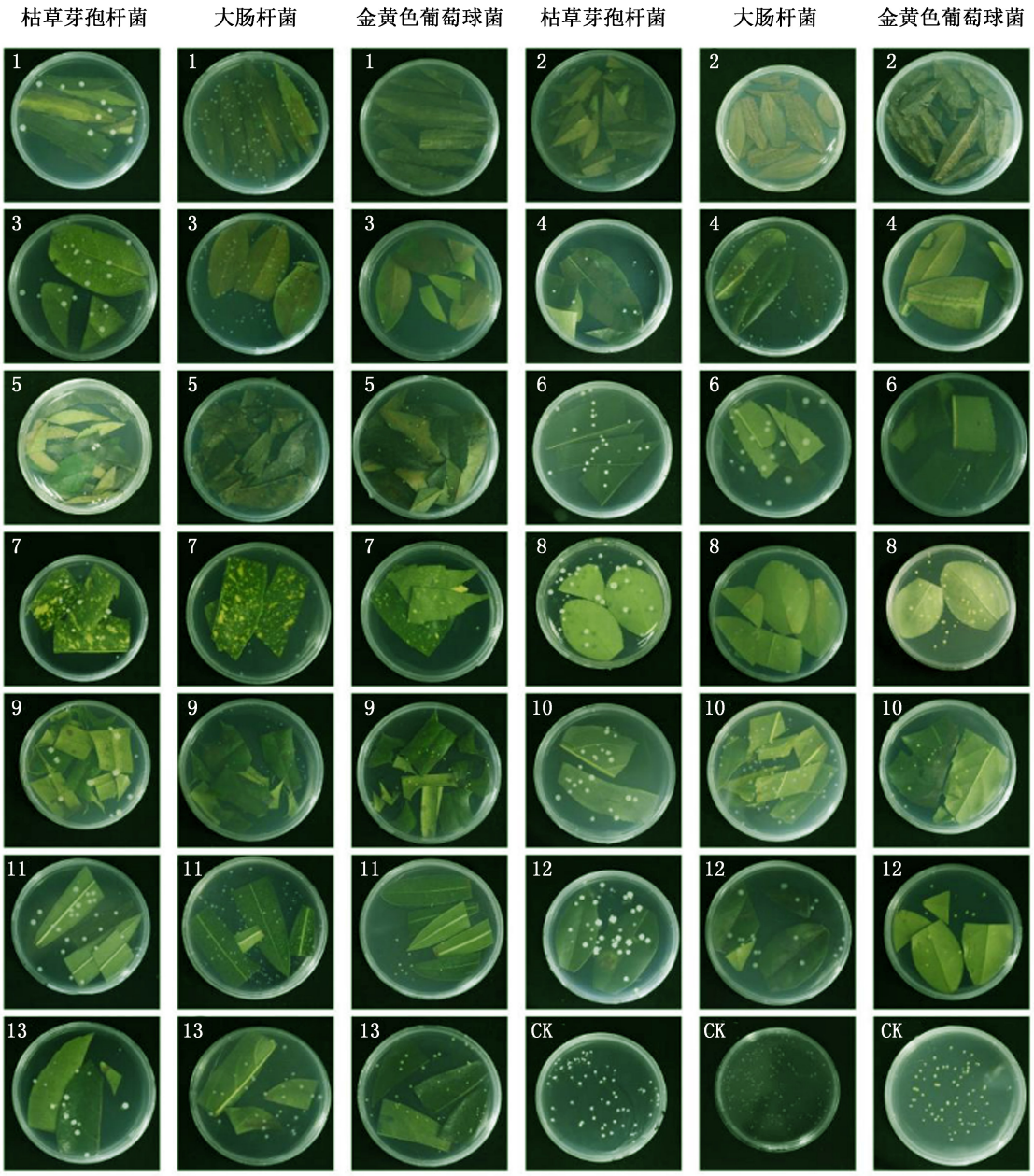
利用 SPSS 26.0 软件对数据进行处理,采用单因素方差分析法(one way ANOVA)分析不同植物整叶和碎叶抑菌率的差异,并用 Photoshop 2020 和 Excel 2016 对图片及数据进行处理。

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%。

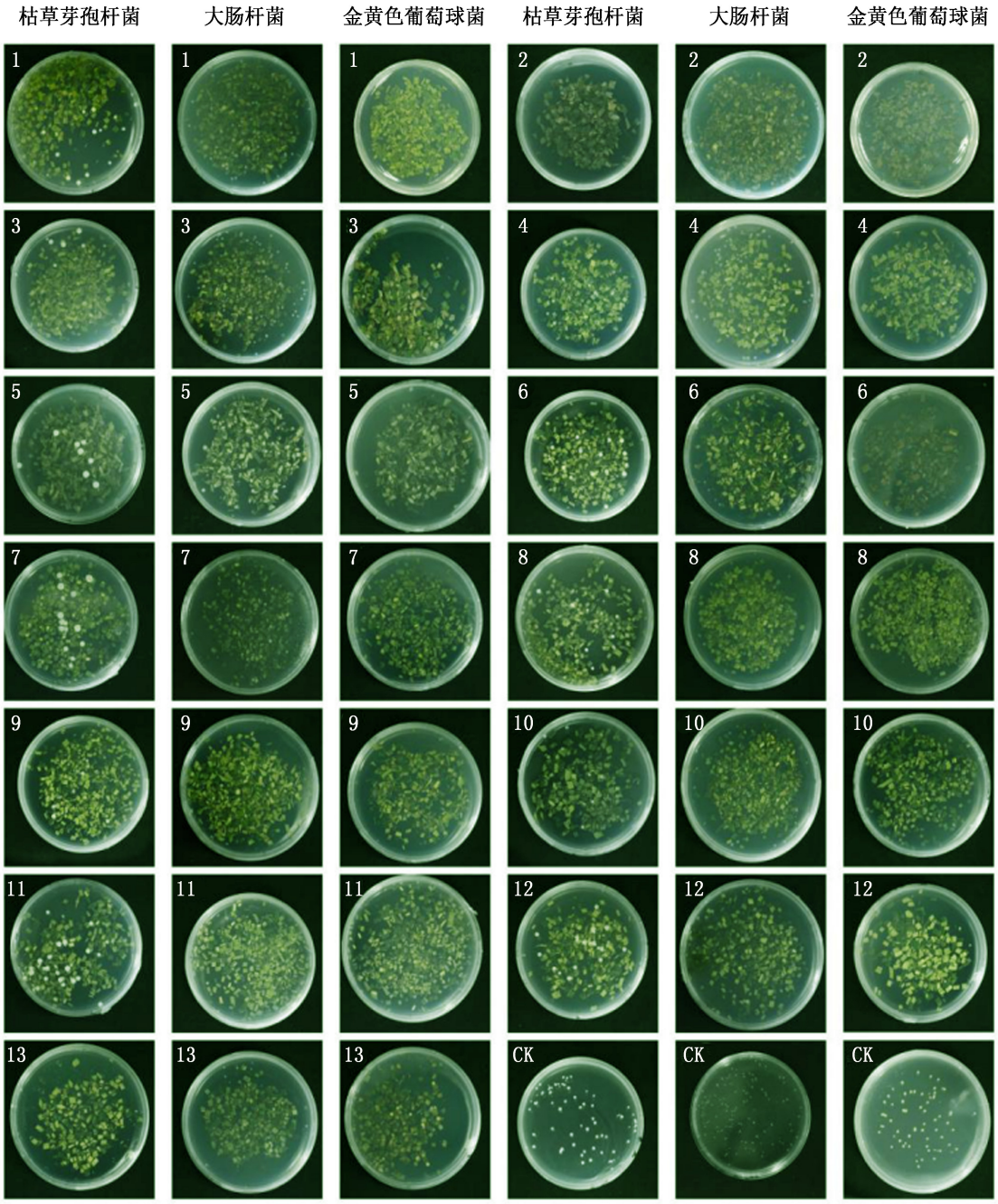


图 3　13 种常绿灌木碎叶抑菌效果

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-蒈烯对金黄色葡萄球菌,3-蒈烯对大肠杆菌抑制作用最强(均为极敏);3-蒈烯对枯草芽孢杆菌,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。

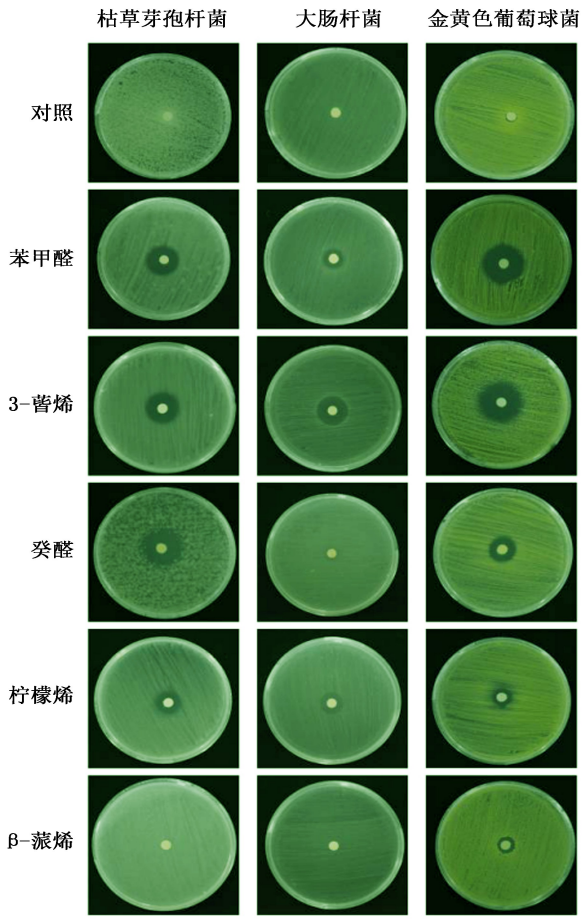


图 4 不同挥发物单体抑菌圈

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-蒈烯	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-蒈烯	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-蒈烯对 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-蒈烯对 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,这可能是因为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,王赟. 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] 黄丽沄,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. 莳萝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 ResearchInteroational,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、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。

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 filed 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 tabuliformis* 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 tabuliformis*, *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. *cannabifoli*.

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 km^2。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 km^2。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 km^2。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 $m^3/(h \cdot m)$。

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/hm^2);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为草木层重要值。

$$\beta_i = b/\beta \quad (4)$$

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:

$$S = F_i \tag{8}$$

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:

$$Q = \sum_{i=1}^{S} q_i \ln q_i \tag{9}$$

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:

$$q_i = N_i / N \tag{10}$$

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:

$$D = 1 - \sum q_i^2 \tag{11}$$

式中:D 为植群优势度指数。植群均匀度计算公式如下:

$$E = Q / \ln S \tag{12}$$

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。

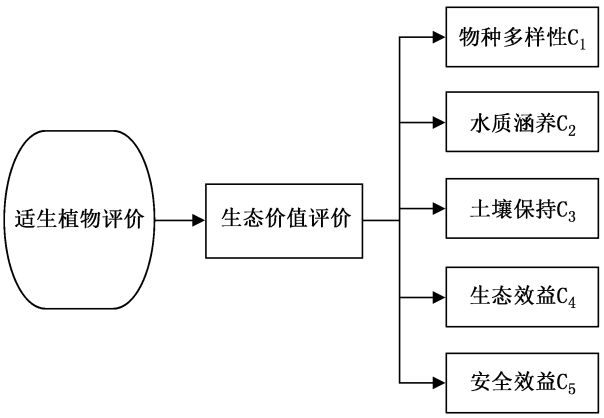


图 1　适生植物评价因子模型

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。

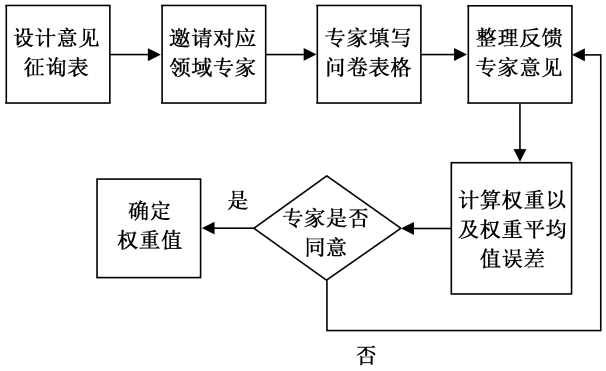


图 2　特尔斐法确定权重流程

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：

$$W_i = \sum_{i=1}^{n} U_i \tag{13}$$

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：

$$W_{all} = \sum_{i=1}^{n} W_i \times Q_j \tag{14}$$

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)。

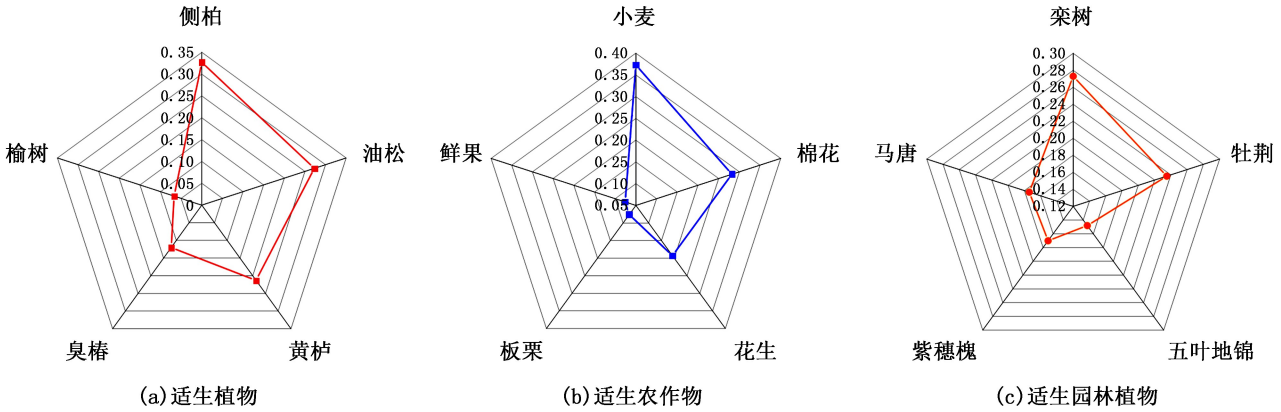


图 3 适生植物资源调查结果

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，最低的为农作物。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，最低的为适生植物，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的为适生农作物，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，得分最低的为适生农作物；安全效益最高的为适生园林观赏植物，最低的为适生农作物。

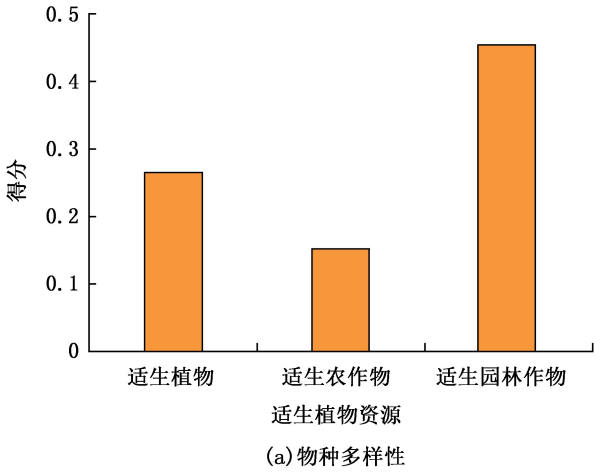
2.3 分区域植物生态价值

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。

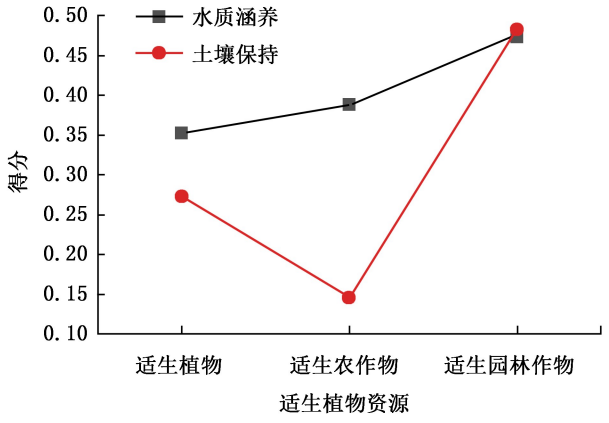
2.3.1 北部生态价值

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，最低的为 1-3 号；水质涵养得分最低的为 1-1 号，最高为 1-3 号；土壤保持得分最高的为1-4号，得分最低的为1-5号；生态



(a)物种多样性



(b)水质涵养与土壤保持

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

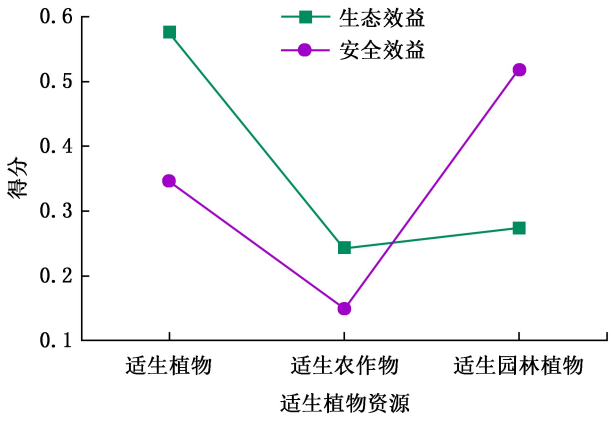
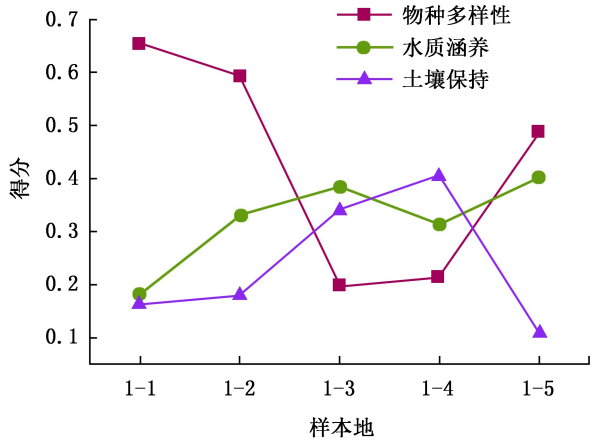
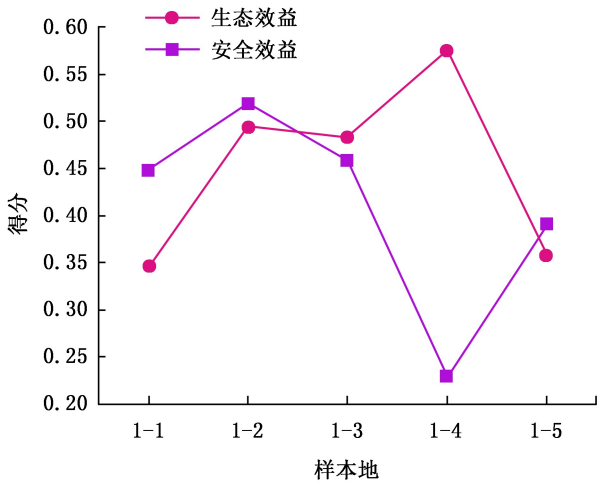


图 5　玉田县适生植物资源生态效益与安全效益评价结果

Fig. 5　Evaluation results of ecological benefits and safety benefits of suitable plant resources in Yutian County



(a)物种多样性、水质涵养、土壤保持



(b)生态、安全效益

图 6　玉田县北部植物生态价值评价结果

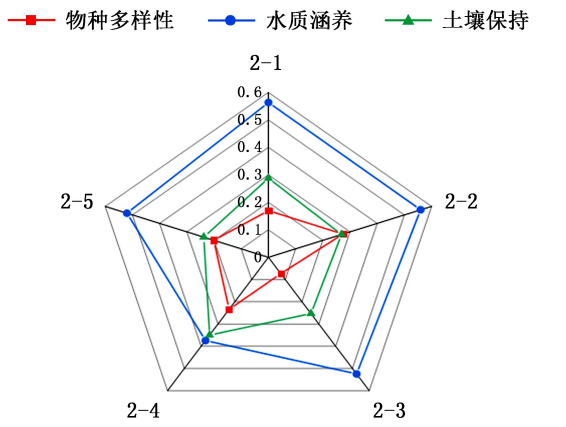
Fig. 6　Evaluation results of plant ecological value in northern Yutian County

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。

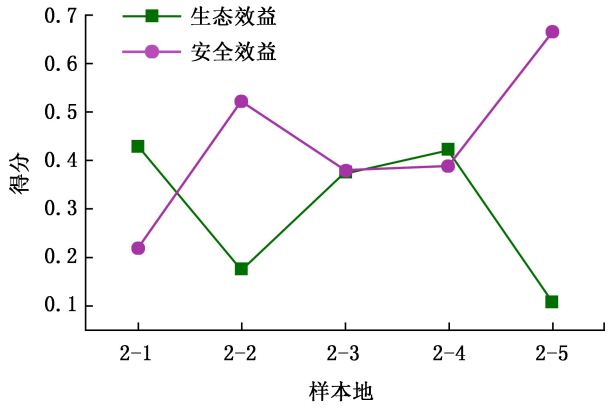
2.3.2　中部生态价值

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



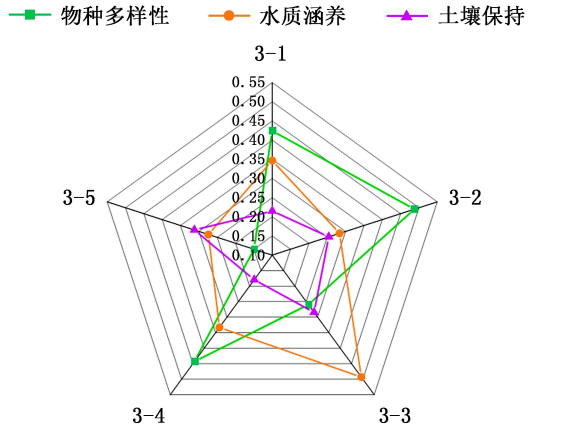
(a)物种多样性、水质涵养、土壤保持



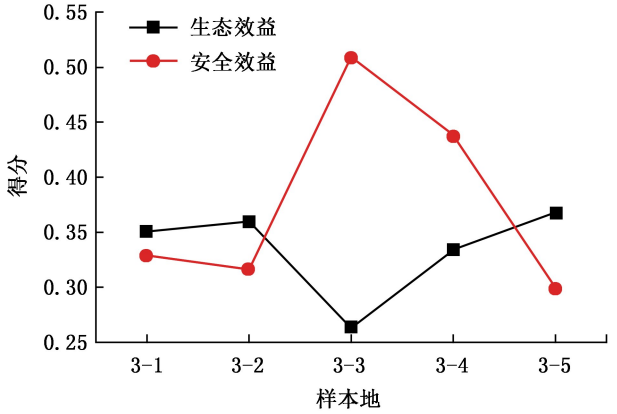
(b)生态、安全效益

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



(a)物种多样性、水质涵养、土壤保持



(b)生态、安全效益

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	栾树
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	栾树

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 ccosystems 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. 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 Shumiao[1], LI Yiping[1], LIU Hengguan[2], CHEN Qi[1], LI Junfang[1], BAI Jiade[1]
(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:北京市财政资金项目(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 hm^2 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,缺乏对环境中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,若环境中有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. Enviromental correlates of home ranges in cryptic small mammal species[J]. Acta Zool. Fennica, 1984(171):251-254.

[10] 梁兵宽,李夷平,陈颀,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. 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,以期为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 Nana[1], JIANG Haiyan[1], DI Jialin[2]
(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 andreanae*，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，以期为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

陆洁淼等[14]通过扫描电镜观察西红花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]发现柳珊瑚链格孢霉属共附生真菌 WZL003 发酵液的乙酸乙酯提取物中存在抑菌活性较强物质，试验结果发现该蒽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 andreanae*,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* NQ8GII4 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] 陆洁淼,张家豪,明乾良,等. 西红花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:杨竣焓

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 Guilian[1], ZHANG Yueying[1], QIANG Fangfang[2], LI Zonglun[1], SHENG Changchang[2]
(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道较为稀少。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、黏粒等不同粒级间的回归关系,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,利用数码照相法估算植被盖度等,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、红蓼、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 简单分形维数可定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。

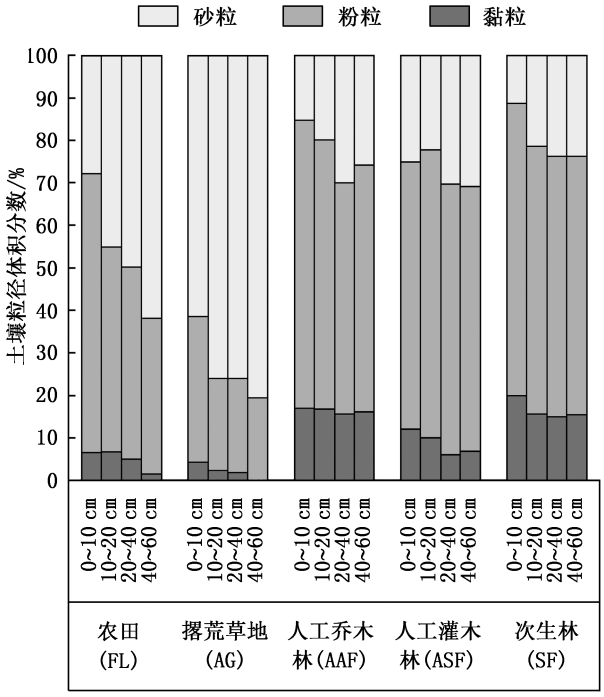


图 1 土壤粒径分布体积分数

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呈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					
			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	合计 0. 05~2
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]。本研究中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。前人研究结果表明,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]。

研究结果表明,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质损失较为严重,因为细小的颗粒物质更容易随气流飘动。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维特征[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维特征[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,史陇俊,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 Huailin[1], MAO Tianxiang[2], CHENG Qinming[2]
(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。

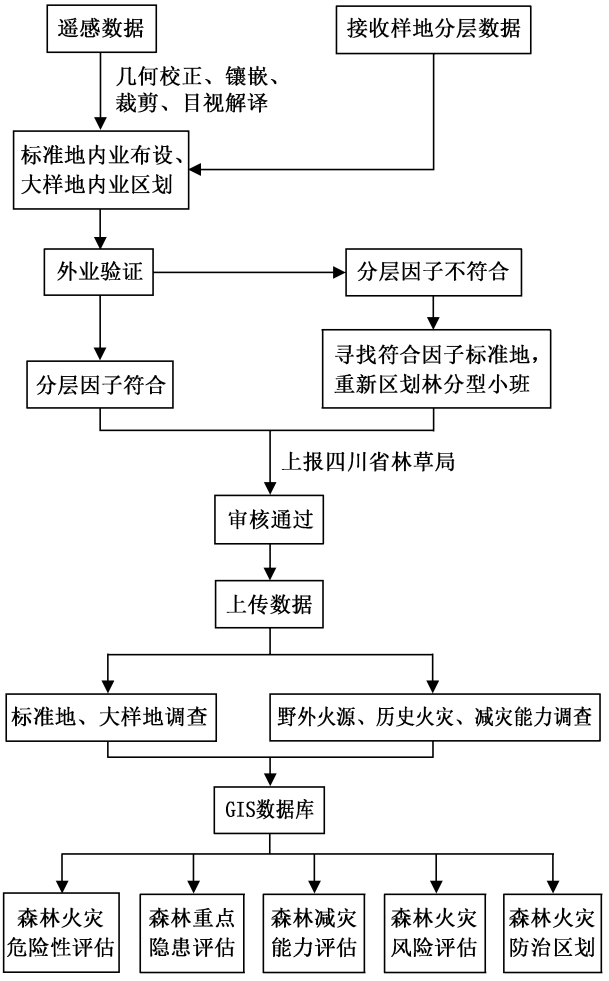


图 1　稻城县火灾普查技术路线

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。

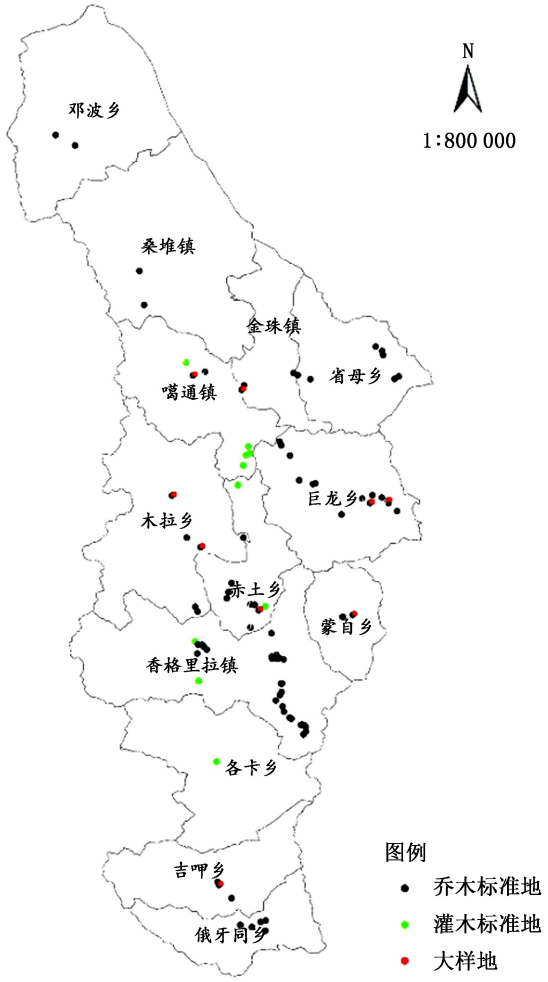


图 2　稻城县样地分布

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。

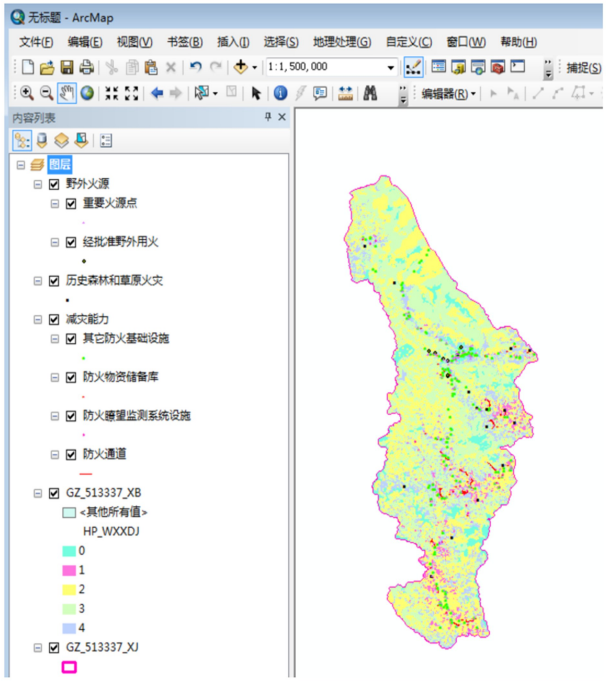


图 3　稻城县火灾风险普查内业图件编制示意

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经度[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,也能提高成果图的可视化效果[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 inte-grated 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:基于互联网的区域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 Professtional 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传报警信息,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。

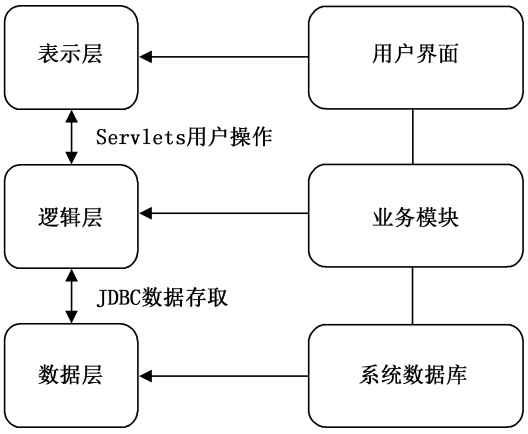


图 1 业务系统三层架构体系

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、$PM_{2.5}$、PM_{10} 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。

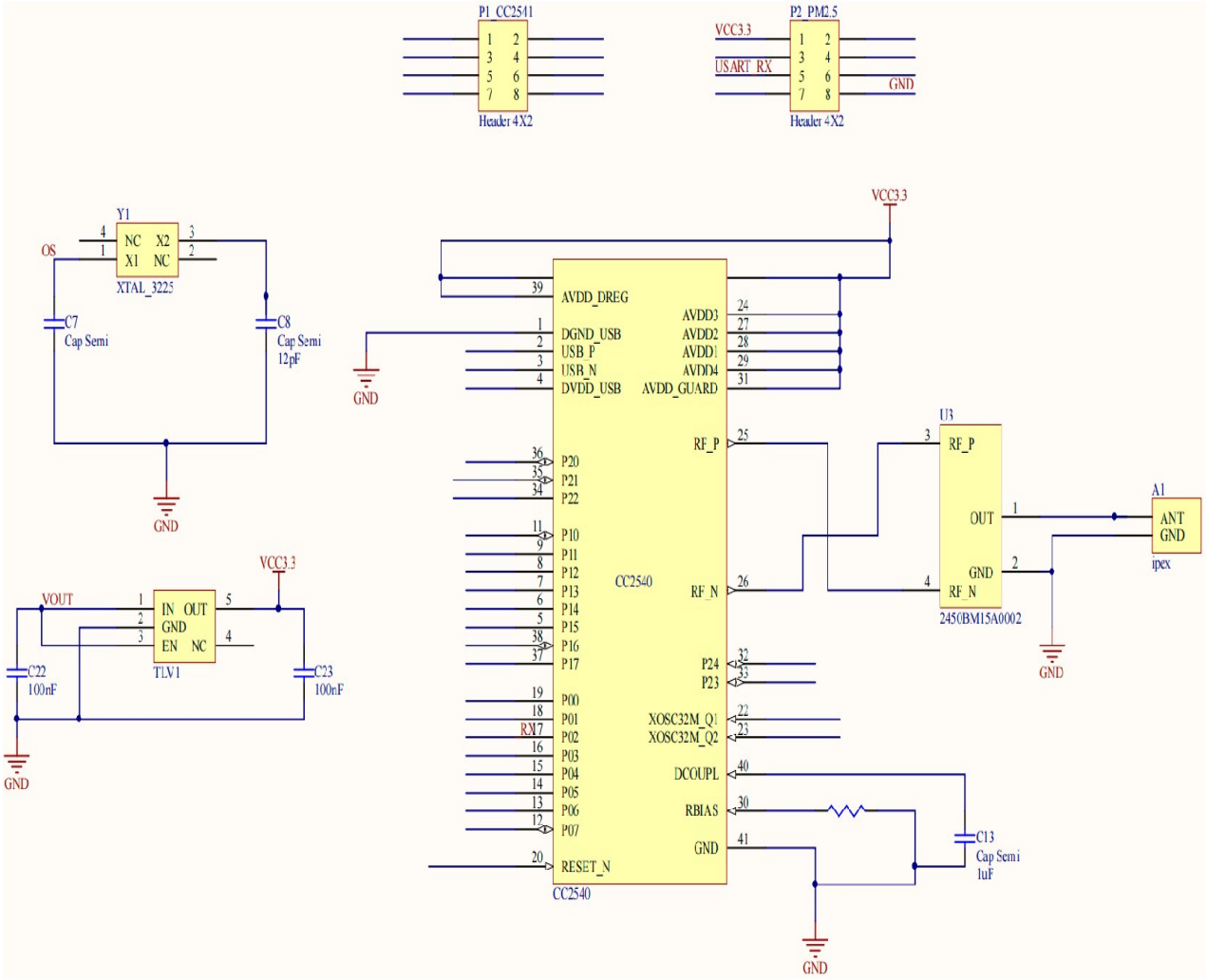


图 2　电路硬件设计

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/℃	实际湿度/%	实际 PM_{10}/(mg·m^{-3})	采集温度/℃	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. 烟草行业消安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的核算问题[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:杨竣焓

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, Bjjie 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, Bjjie City, Guizhou Province

DONG Kui[1], DONG Ping[2], CHEN Lan[3]

(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 km^2。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

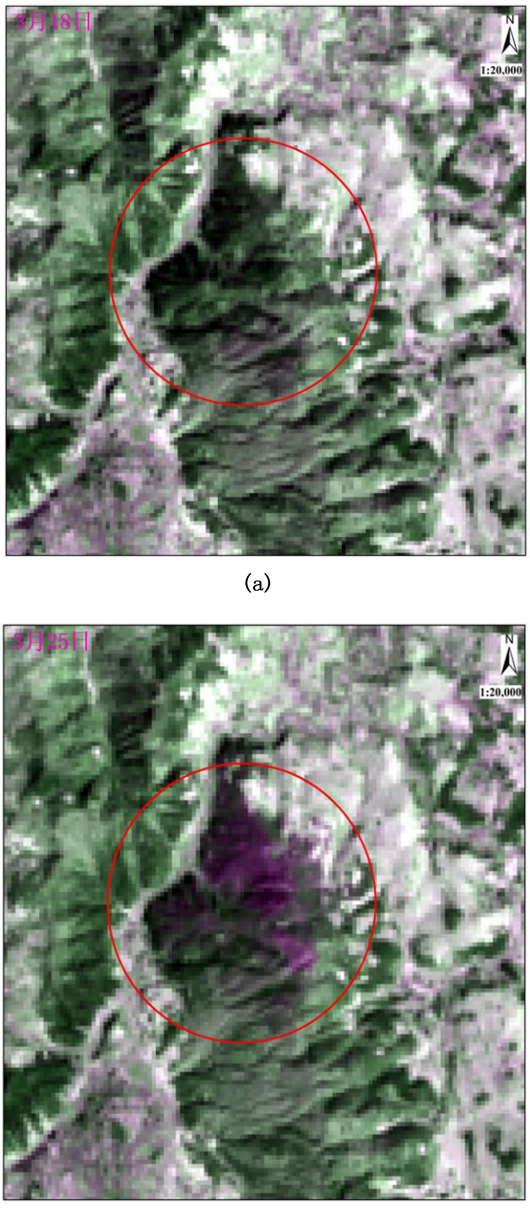


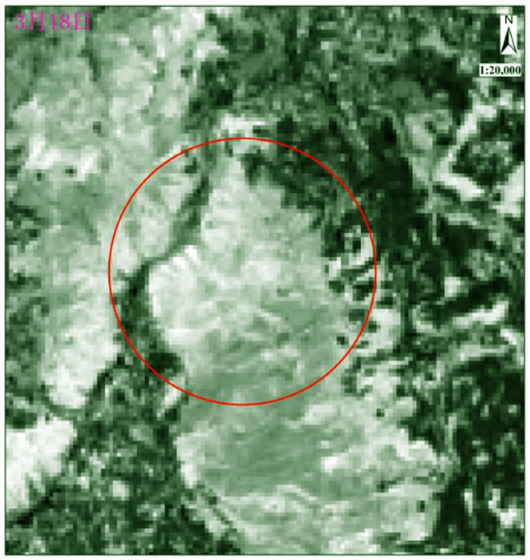
图 1　研究区 3 月 18 日(a)和 3 月 25 日(b) Lantsat 8 假彩色合成图像

Fig. 1　Lantsat 8 false color composite image on March 18th (a) and March 25th (b) in the research area

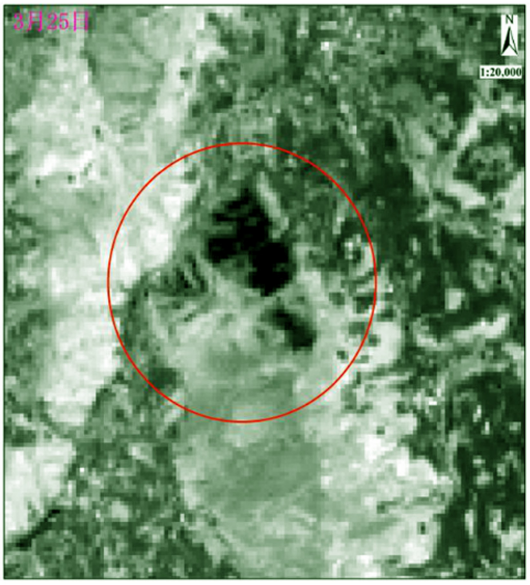
大值、最小值、平均值及标准差等特征值,火灾发生后归一化植被指数 NDVI 特征值发生明显变化,火灾发生前高于火灾发生后(表 1)。

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。

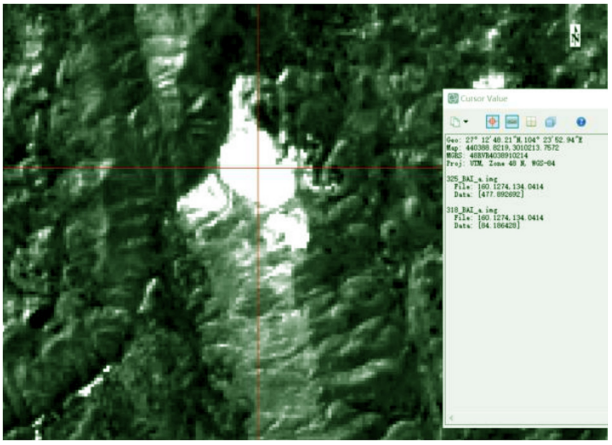


图 3　火灾前后 BAI 像素值对比

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)。

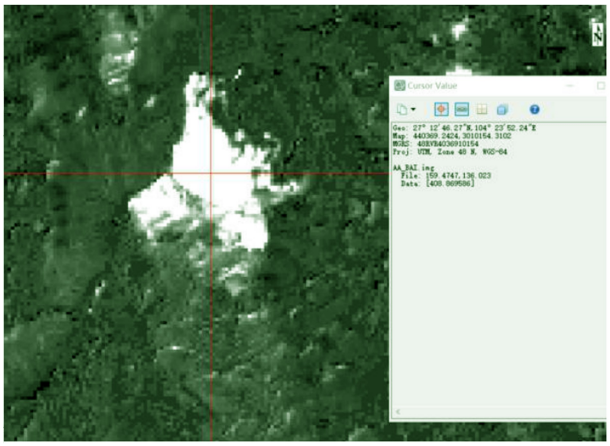


图 4　BAI 差值

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

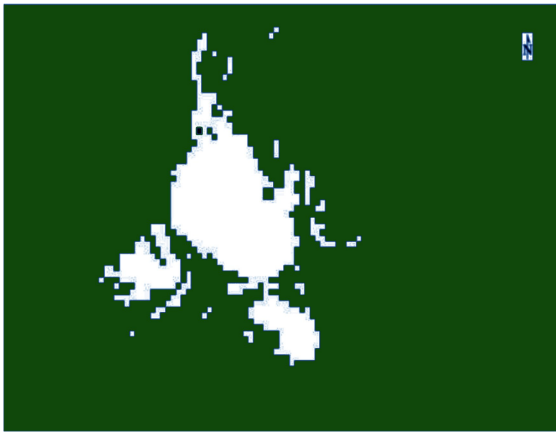


图 5　BAI 阈值提取结果

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%。

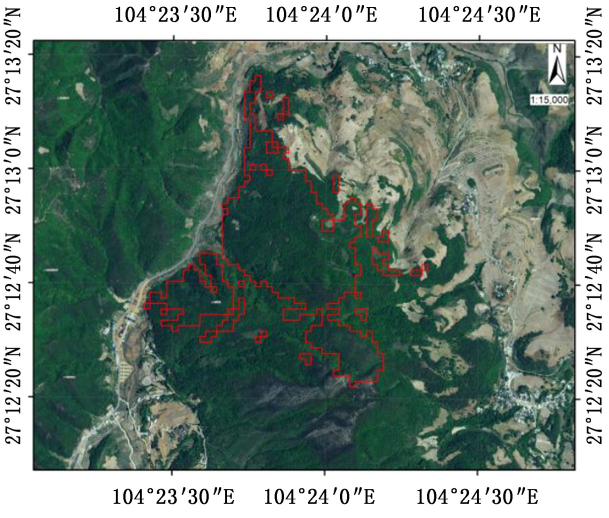


图 6　提取结果叠加天地图影像

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:杨竣焓

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 Fenglin[1], LI Zhengquan[2], LYU Jinwen[1], WANG Jianjie[3]
(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]、李祇辉[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,求得每一层次的各元素对上一层次某元素的权重,最后再加权和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 H_1 资源价值、H_2 环境价值和 H_3 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),进而求得各层次的各评价指标的权重值(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_{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_2 环境价值	0.6232	H_{21} 自然环境	0.5679	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_{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_{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_3 开发价值	0.1373	H_{31} 区位设施条件	0.5834	H_{311} 交通条件	0.3442
					H_{312} 食宿条件	0.0988
					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_{32} 建设条件	0.4166	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。

$$D^{(S)}=\begin{bmatrix} d_{1111}^{(S)} & d_{1112}^{(S)} & \dots & d_{111p}^{(S)} \\ d_{1121}^{(S)} & d_{1122}^{(S)} & \dots & d_{112p}^{(S)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{ijm_{ij}1}^{(S)} & d_{ijm_{ij}2}^{(S)} & \dots & d_{ijm_{ij}p}^{(S)} \end{bmatrix}(H_{111},H_{112},\dots,H_{ijm_{ij}})^{\mathrm{T}}$$

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:

$$f_1=\begin{cases}\dfrac{1}{5}d_{ijkp}^{(S)},d_{ijkp}^{(S)}\in[0,5]\\ 1,d_{ijkp}^{(S)}\in[5,\infty)\\ 0,d_{ijkp}^{(S)}\notin[0,\infty]\end{cases}$$

$$f_2=\begin{cases}\dfrac{1}{4}d_{ijkp}^{(S)},d_{ijkp}^{(S)}\in[0,4]\\ -\dfrac{1}{4}d_{ijkp}^{(S)}+2,d_{ijkp}^{(S)}\in[4,8]\\ 0,d_{ijkp}^{(S)}\notin[0,8]\end{cases}$$

$$f_3=\begin{cases}\dfrac{1}{3}d_{ijkp}^{(S)},d_{ijkp}^{(S)}\in[0,3]\\ -\dfrac{1}{3}d_{ijkp}^{(S)}+2,d_{ijkp}^{(S)}\in[3,6]\\ 0,d_{ijkp}^{(S)}\notin[0,6]\end{cases}$$

$$f_4=\begin{cases}\dfrac{1}{2}d_{ijkp}^{(S)},d_{ijkp}^{(S)}\in[0,2]\\ -\dfrac{1}{2}d_{ijkp}^{(S)}+2,d_{ijkp}^{(S)}\in[2,4]\\ 0,d_{ijkp}^{(S)}\notin[0,4]\end{cases}$$

$$f_5=\begin{cases}1,d_{ijkp}^{(S)}\in[0,1]\\ -d_{ijkp}^{(S)}+2,d_{ijkp}^{(S)}\in[1,2]\\ 0,d_{ijkp}^{(S)}\notin[0,2]\end{cases}$$

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

$$o_{ijke}^{(S)}=\sum_{p=1}^{5}f_e(d_{ijkp}^{(S)})$$

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 $u_{ijke}^{(S)}=o_{ijke}^{(S)}/\sum_{e=1}^{5}o_{ijke}^{(S)}(e=1,2,3,4,5)$ 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 $H_{11j}(j=1,2,3)$,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 评价对象综合评价值计算及排序

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 $W^{(n)}=B^{(n)}C^{\mathrm{T}}$。故宁波 4 个森林公园康养潜力综合评价值如下：

$$W^{(\text{四明山})}=B^{(1)}\times C^{\mathrm{T}}=(0.4093,0.3717,0.2101,0.0089,0)(5,4,3,2,1)^{\mathrm{T}}=4.1814$$

$$W^{(\text{溪口})}=B^{(1)}\times C^{\mathrm{T}}=(0.4062,0.3791,0.2124,0.0024,0)(5,4,3,2,1)^{\mathrm{T}}=4.1894$$

$$W^{(\text{天童})}=B^{(1)}\times C^{\mathrm{T}}=(0.3852,0.3829,0.2271,0.0047,0)(5,4,3,2,1)^{\mathrm{T}}=4.1483$$

$$W^{(\text{双峰})}=B^{(1)}\times C^{\mathrm{T}}=(0.3880,0.3752,0.2251,0.0116,0)(5,4,3,2,1)^{\mathrm{T}}=4.1393$$

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值均大于等于 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。研究结果表明，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] 李祇辉. 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] 胡笙煌. 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. 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,最后降至为 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:

$$R = \sum_i R_i = \sum_i N_{li} R_{0i} \eta_i \varepsilon_i \tag{1}$$

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/(m^2·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:

$$\varepsilon = \begin{cases} 0 & K < K_0, K > (K_0 + K_D) \\ \sin \dfrac{K - K_0}{K_D} & K_0 \leqslant K \leqslant (K_0 + K_D) \end{cases} \tag{2}$$

式中:K_0 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:

$$\eta_i = \left\{ \exp\left(\frac{cT_1(T - T_S)}{T_S T} \right) \right\} / \left\{ 1 + \exp\left(\frac{cT_2(T - T_M)}{T_S T} \right) \right\} \times \left(\frac{\beta c T_1}{\sqrt{1 + \beta^2}} \right) \tag{3}$$

式中:T 为植物表面温度;温度 T_M = 314 K;参数 β = 0.002 7;cT_1 = 1.066 J/mol;cT_2 = 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-苎烯、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-苎烯、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-苎烯、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)。

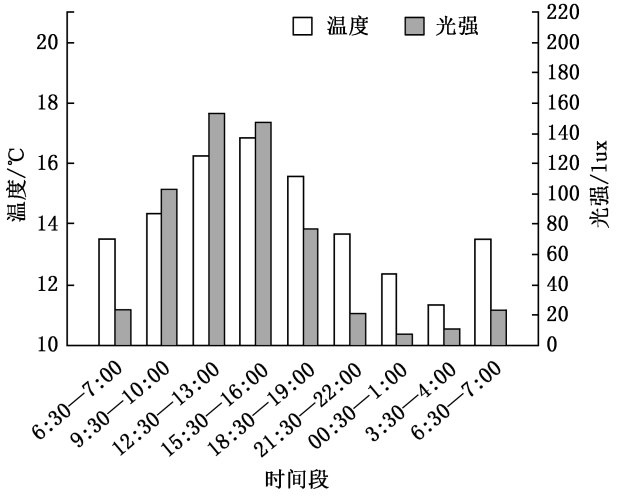


图 1　春季 4 月不同时间段光强和温度数据

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)。

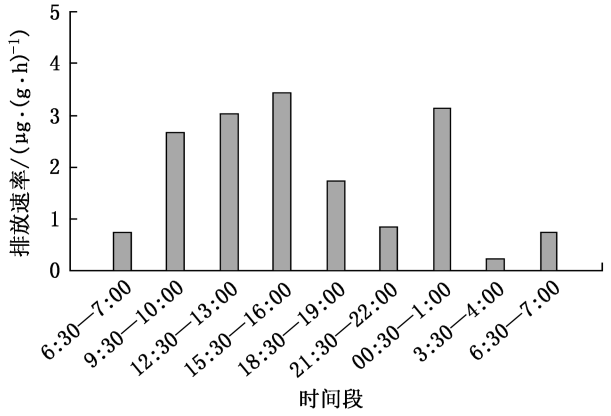


图 2　不同时间段受光强和温度影响的松树 NMHC 排放速率

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。

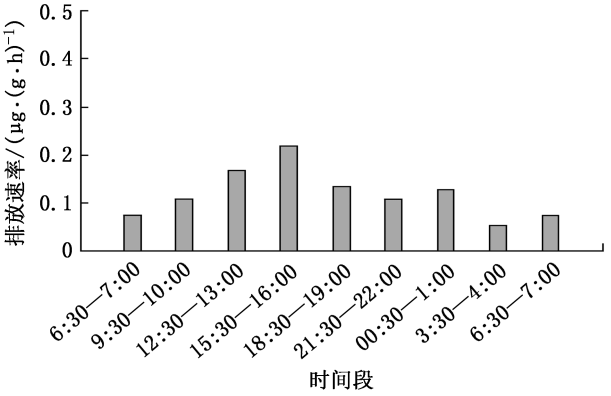


图 3　不同时间段受光强和温度影响的柏树 NMHC 排放速率

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 0~0.5μg/(g·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。

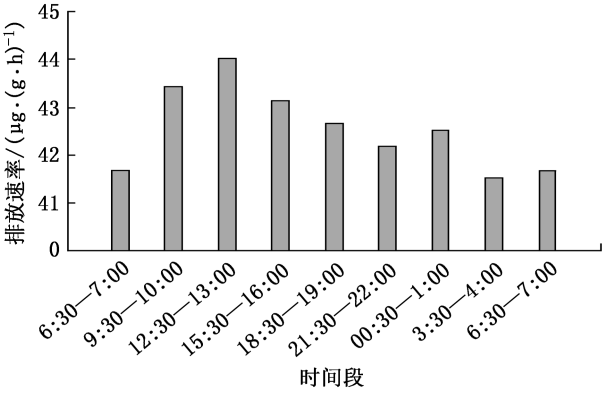


图 4　不同时间段受光强和温度影响的杨树 NMHC 排放速率

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41~45μg/(g·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。

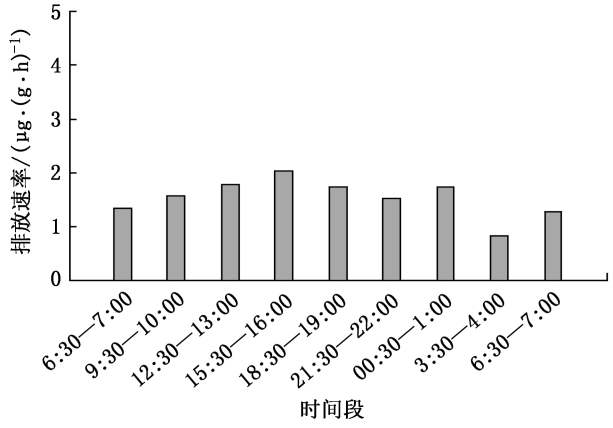


图5　不同时间段受光强和温度影响的槐树NMHC排放速率

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1~3μg/(g·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:

$$\mathrm{OFP}=\sum_i \frac{[\mathrm{NMHC}]_i \cdot M_i \cdot \mathrm{MIR}_i}{M_{O_3}} \qquad (4)$$

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;$[\mathrm{NMHC}]_i$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。

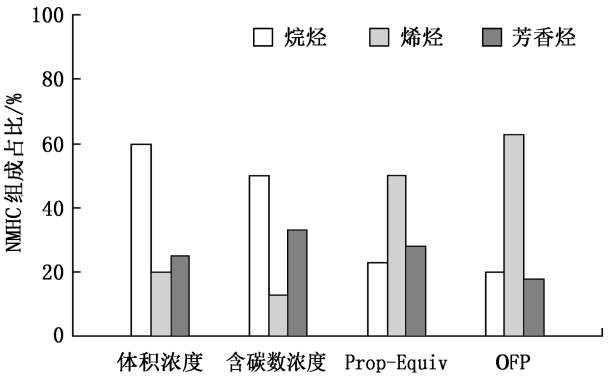


图6　NMHC组成占比与臭氧生成潜势贡献率和Pro-Equiv浓度关系

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。

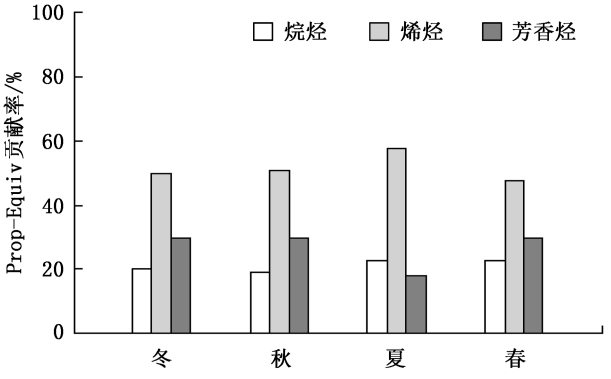


图7　不同季节Prop-Equiv贡献率

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。

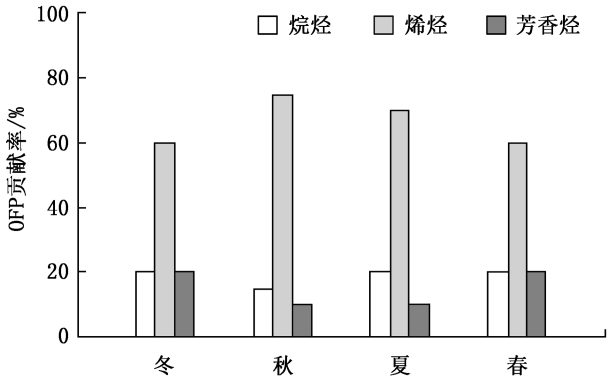


图 8　不同季节的 OFP 贡献率

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。

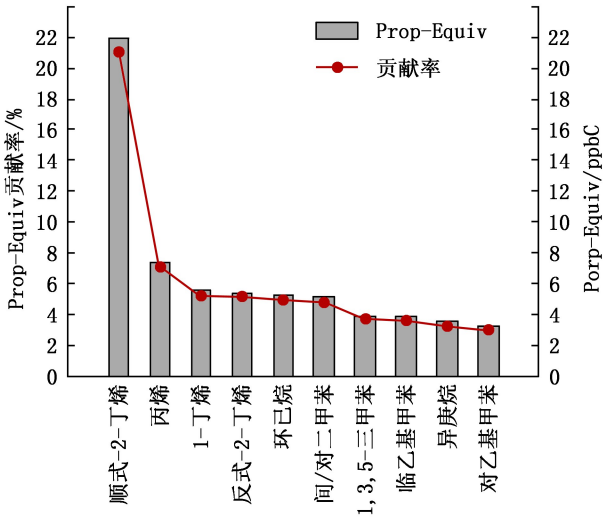


图 9　Prop-Equiv 及其贡献率排名

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。

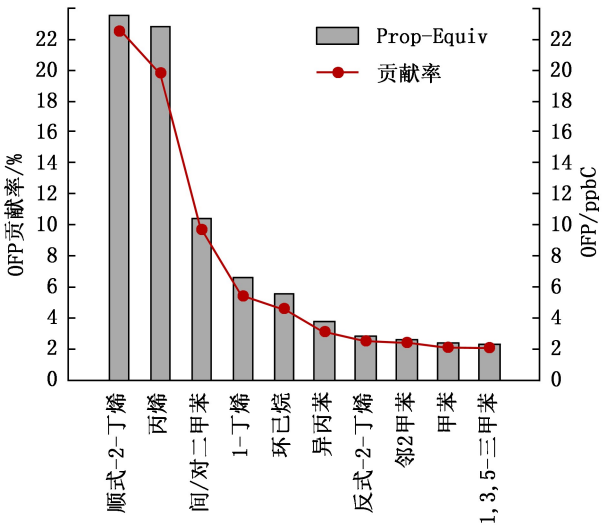


图 10　OFP 及其贡献率排名

Fig. 10　Ranking of contribution rate of OFP

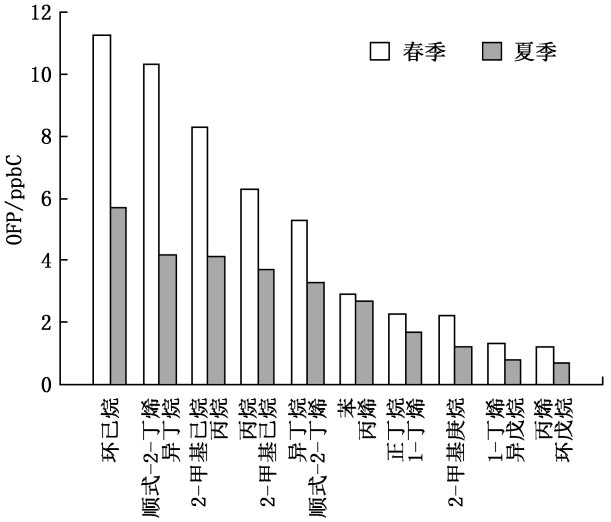


图 11　春季和夏季 OFP 排名

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。

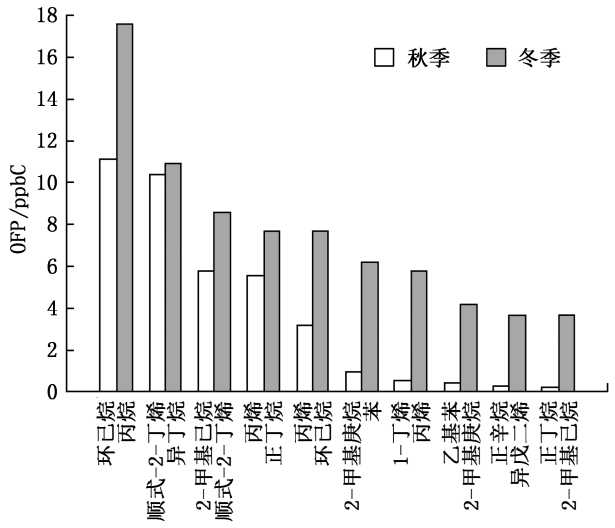


图 12 秋季和冬季 OFP 排名

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_yO_4/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。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控伯数字连续编写，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：hm^2、 m^2、dm^2、cm^2；体积单位：m^3、 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，均应使用阿控伯数字；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码对应一致。著录格式如下：①期刊：[序号] 作者（3人以上须满足3人后加等）。篇名 [J] .刊名，年，卷（期）；起止页码. ②图书：[序号] 作者. 书名[M].出版地：出版单位，出版年：起止页码. ③论文集： [序号] 作者，篇名 [C] // 编著者. 论文集名. 出版地：出版单位，出版年：起止页码. ④电子文献： [序号] 主要责任者. 电子文献题名 [电子文献及载体类型标识]. 电子文献的出处或可获得地址，发表日期 / 引用日期（任选）参考文献类型代码分别为：普通图书 [M]、会议录 [C] 、汇编 [G] 、报纸 [N]、期刊 [J]、学位论文 [D]、报告 [R]、标准 [S]、专利 [P]、数据库 [DB]、计算机程序 [CP]、电子公告 [EB]。电子文献载体类型标志如下：磁带 [MT]、磁盘 [DK]、光盘 [CD]、联机网络 [OL]。对于专著、论文集中析出的文献，其文献类型标识采用“ [C] // ” ，对于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，并付给作者稿酬。具体数额以本刊所发通知为准。来稿所在当期期刊出版后，本刊将寄赠作者2册期刊。对具创新性、高质量稿件，优先安排发表，并根据创新性水平减、免审稿费和版面费，稿酬从优。

4）文稿的文责由作者自负，署名作者的人数和顺序由作者自定。本刊已许可中国学术期刊（光盘版）电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。 作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。本刊同时加入了万方、维普等多家数据库，作者稿件一经录用，将同时被上述数据库收录，如作者不同意收录，请在投稿时提出声明，否则将视为同意收录。

5）本刊编辑部保留对来稿进行必要的文字修改、删节的权利，如作者不允许修改，请在来稿中注明。

- 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

ISSN 1671-3168