

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



林业调查规划

第49卷 第2期  
Vol.49 No.2

二〇二四年三月

第49卷 第2期  
Vol.49 No.2

2024 2



云南省林业调查规划院 主办



# 《林业调查规划》编辑委员会

**顾问** 唐守正 孙汉董 刘国强 郭辉军 胥 辉 李凤日 张铁明

**主编** 胡宗华

**常务副主编** 华朝朗

**副主编** 许易琦 余昌元

**编委** (按姓氏笔画排序)

马国强	国家林业和草原局西南调查规划院	张大才	西南林业大学
王有兵	云南省林业调查规划院	张志明	云南大学
王得军	国家林业和草原局西北调查规划院	张忠涛	国家林业和草原局产业发展规划院
艾建林	云南省林业调查规划院	陈文红	云南省林业调查规划院
龙廷位	云南省林业调查规划院	武瑞东	云南大学
冯 源	云南省林业和草原科学院	林 辉	国家林业和草原局华东调查规划院
刘 扬	西南林业大学	林寿明	广东省林业调查规划院
刘扬晶	国家林业和草原局中南调查规划院	欧光龙	西南林业大学
安 科	云南省林业调查规划院	岳彩荣	西南林业大学
许易真	黑龙江省林业和草原调查规划设计院	郑进烜	云南省林业调查规划院
负新华	云南省林业和草原科学院	赵书学	云南省林业调查规划院
李 嵘	中国科学院昆明植物研究所	秋新选	云南省林业调查规划院
李元杰	云南省林业调查规划院	徐吉洪	云南省林业调查规划院
李敏敏	云南省林业调查规划院	唐雪琼	西南林业大学
杨 东	云南省林业调查规划院	陶 晶	云南省林业调查规划院
杨士剑	云南师范大学	曹顺伟	云南省林业调查规划院
杨国斌	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
杨忠兴	云南省林业调查规划院	温庆忠	云南省林业调查规划院
吴 飞	中国科学院昆明动物研究所	赖兴会	云南省林业调查规划院
吴富勤	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
余志飞	云南省林业调查规划院	廖聪宇	云南省林业调查规划院
角媛梅	云南师范大学	谭运洪	中国科学院西双版纳热带植物园
邹光放	云南省林业调查规划院	魏雪峰	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		

## 《林业调查规划》编辑部成员

许易琦 刘平书 陈 旭 杨焱熔 张瑞君 董 磊



# 林业调查规划

第 49 卷 第 2 期

(总第 260 期)

2024 年 3 月

## 目次

### ●森林经理

- 基于 1990-2020 年综合土地利用动态变化的巩义市城市边缘区空间研究…………… 黄懿,杨若楠,冯艳(6)
- 香格里拉市高山松林碳储量空间分异研究  
…………… 徐婷婷,施凯泽,卢腾飞,郎晓雪,罗胤,冷鸿天,李泽,黄运荣(13)
- 内蒙古大兴安岭森林火险等级预报模型研究…………… 杨淑香,吴宏伟,董越,李洪峰,包兴华(19)
- 基于 GIS 的三门峡市公园可达性分析…………… 张榕楠,杨芳绒,杨俊,杨澜(25)
- 基于特征融合图像分割算法的生态廊道提取…………… 葛军阳,张宝铮(33)

### ●自然保护地

- 2010-2020 年海南省五大自然保护地空气负氧离子浓度与环境因素评价  
…………… 李欣起,陈乔春,李逸轩,刘司琪,王韵欣,王克廷,肖莎(39)
- 南太行自然保护地空间分布格局及交叉重叠关系研究…………… 栾春风,时兆慧(44)
- 近 30 年西藏色林错国家级自然保护区湖泊演化研究…………… 吕俊娥,马露,高会军,谢昆军(51)
- 郑州北龙湖湿地公园花境景观综合评价…………… 化晨肖,雷天,黄宾芯,冯青梅,王鹏飞(66)

### ●生态保护修复

- 森林旅游景区绿道施工过程的生态环境污染及治理策略…………… 舒建锋(76)
- 重庆市级重大项目菖蒲盖景区农旅融合亚高山草场修复与养护…………… 胡齐攀,刘美玲,易小林(80)
- 云南省岩溶地区石漠化耕地现状及治理策略…………… 彭正武,袁启慧,谢燕梅,余正才,毛凯东(85)

### ●生态系统

- 基于最小累计阻力模型的卢氏县土地生态适宜性评价…………… 赵润哲,苏维,李彦克(90)
- 基于 GIS 和 AHP 的洛阳市龙门风景名胜生态敏感性评价…………… 闫莹玉,孙林林,高健康,卫红(97)

### ●森林土壤

- 普文试验林场森林土壤养分状况研究…………… 张传光,沈艳,龚纯伟,毕波,负新华(111)



基于高通量测序技术的大连童牛岭风景区土壤真菌群落特征研究

..... 郝然,赵雨晨,尚佳航,杨红,孙晓东,李琳琳,吕国忠(124)

## ● 动植物

云南省蕨类植物两个新纪录属——燕尾蕨属和黑心蕨属

..... 喻智勇,陈文红,王玉琴,周建和,李建红,潘杨杨,张良(140)

关坪亚洲象食物源基地内亚洲象活动特点及与地区水热条件变化关系研究

..... 张静玲,则得,曹志伟,杨帆,邓云(145)

伊犁吐尔根农场沟不同地形对新疆野杏分布特征的影响 ..... 谭志祺,陈晨,石仁娜·加汗,刘蕊(151)

中国鸟类新纪录文献撰写规范研究..... 杨露,姚思倩,莫正仙,王荣兴(157)

2017—2020年思茅区亚洲象肇事及补偿情况调查 ..... 金瑜,王娟,李起(168)

郑州市野生鸟类资源研究

..... 刘冰许,赵洪涛,赵文珍,翟运力,白小军,许智新,刘继华,计燕,刘振华,徐蕾,张婷凤(176)

谷城县古树资源状况与分布特征研究 ..... 钟昌龙,陈益娴,蔡京勇,邹敏,徐华丽,汪洋(184)

## ● 森林培育

基于最大熵模型的气候变化情景下澳洲坚果潜在适宜生境研究 ..... 李章贵,阮方佑,张学全(191)

澳洲坚果实生苗根系及叶片对比研究 ..... 郝佳波,尹加笔,陆斌(198)

基于 ArcGIS 和 MaxEnt 的槐气候适宜性和潜在分布研究

..... 臧慧锋,景鹏飞,张智超,廖伟雄,申晓晨,赵佳文,李苏霞(202)

## ● 园林绿化

基于 CiteSpace 的我国城市公共空间活力研究进展 ..... 胡俊强,燕亚飞(207)

红色文化传承视角下的哈尔滨纪念性景观优化 ..... 郭丽娟,巢震豪(214)

城市公园游客满意度的研究进展 ..... 王琦,燕亚飞,韩一峰(219)

## ● 其他

观光木人工林木材热处理材色变化研究 ..... 韦鹏飞,吴敏,李鑫,刘衡,符韵林(225)

春花烂漫三月天——云南普洱茶山 ..... 张正友摄(封面)



## Contents

### ●Forest Management

- Space of Urban Fringe Areas in Gongyi City Based on Dynamic Changes of Comprehensive Land Use from 1990 to 2020  
..... HUANG Yi, YANG Ruonan, FENG Yan(6)
- Spatial Differentiation of Carbon Storage for *Pinus densata* in Shangri-La City  
..... XU Tingting, SHI Kaize, LU Tengfei, LANG Xiaoxue, LUO Yin, LENG Hongtian, LI Ze, HUANG Yunrong(13)
- Prediction Model of Forest Fire Risk Level in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia  
..... YANG Shuxiang, WU Hongwei, DONG Yue, LI Hongfeng, BAO Xinghua(19)
- Accessibility Analysis of Sanmenxia Park Based on GIS ..... ZHANG Rongnan, YANG Fangrong, YANG Jun, YANG Lan(25)
- Extraction of Ecological Corridor Based on Feature Fusion Image Segmentation Algorithm  
..... GE Junyang, ZHANG Baozheng(33)

### ●Natural Protected Areas

- Evaluation of Negative Oxygen Ion Concentration and Environmental Factors in Five Natural Protected Areas of Hainan Province  
from 2010 to 2020 ..... LI Xinqi, CHEN Qiaochun, LI Yixuan, LIU Siqi, WANG Yunxin, WANG Keting, XIAO Sha(39)
- Spatial Distribution Pattern and Cross-Overlapping Relationship of Natural Protected Areas in South Taihang Mountains  
..... LUAN Chunfeng, SHI Zhaohui(44)
- Lake Evolution in Selincuo Lake National Nature Reserve in Recent 30 Years  
..... LYU Jun'e, MA Lu, GAO Huijun, XIE Kunjun(51)
- Comprehensive Evaluation of Flower Border Landscape of Beilonghu Wetland Park in Zhengzhou City  
..... HUA Chenxiao, LEI Tian, HUANG Binxin, FENG Qingmei, WANG Pengfei(66)

### ●Ecological Protection and Restoration

- Ecological Environment Pollution and Control Strategies of Greenway Construction in Forest Tourism Scenic Spot  
..... SHU Jianfeng(76)
- Restoration and Maintenance of Changpugai Agro-tourism Integrated Sub-alpine Grassland  
..... HU Qipan, LIU Meiling, YI Xiaolin(80)
- Current Situation and Control Strategies of Rocky Desertification Cultivated Land in Karst Areas of Yunnan Province  
..... PENG Zhengwu, YUAN Qihui, XIE Yanmei, YU Zhengcai, MAO Kaidong(85)

### ●Ecosystem

- Evaluation of Land Ecological Suitability in Lushi County Based on Minimum Cumulative Resistance Model  
..... ZHAO Runzhe, SU Wei, LI Yanke(90)



Ecological Sensitivity Evaluation of Longmen Scenic Area in Luoyang City Based on GIS and AHP

..... YAN Yingyu, SUN Linlin, GAO Jiankang, WEI Hong(97)

### ●Forest Soil

Nutrient Status of Forest Soil in Puwen Experimental Forest Farm

..... ZHANG Chuanguang, SHEN Yan, GONG Chunwei, BI Bo, YUN Xinhua(111)

Characteristics of Soil Fungal Community in Tongniuling Scenic Spot of Dalian Based on High-throughput Sequencing Technology

..... HAO Ran, ZHAO Yuchen, SHANG Jiahang, YANG Hong, SUN Xiaodong, LI Linlin, LYU Guozhong(124)

### ●Plant and Animal

Two Newly Recorded Genera in Yunnan Province—*Cheiropleuria* (Dipteridaceae) and *Doryopteris* (Pteridaceae)

..... YU Zhiyong, CHEN Wenhong, WANG Yuqin, ZHOU Jianhe, LI Jianhong, PAN Yangyang, ZHANG Liang(140)

Activity Characteristics of Asian Elephants in Guanping Asian Elephant Food Source Base and Its Relationship with Changes of

Regional Hydrothermal Conditions ..... ZHANG Jingling, ZE De, CAO Zhiwei, YANG Fan, DENG Yun(145)

Influence of Different Terrains on Distribution Characteristics of *Prunus armeniaca* in Tuergen Farm Basin of Ili Prefecture

..... TAN Zhiqi, CHEN Chen, Shirena · JIAHAN, LIU Rui(151)

Suggestions for Writing Article of New Birds Record in China

..... YANG Lu, YAO Siqian, MO Zhengxian, WANG Rongxing(157)

Accidents and Compensation Caused by Asian Elephant in Simao District from 2017 to 2020

..... JIN Yu, WANG Juan, LI Qi(168)

Investigation and Research on Wild Bird Resources in Zhengzhou City ..... LIU Bingxu, ZHAO Hongtao,

ZHAO Wenzhen, ZHAI Yunli, BAI Xiaojun, XU Zhixin, LIU Jihua, JI Yan, LIU Zhenhua, XU Lei, ZHANG Tingfeng (176)

Status and Distribution Characteristics of Old Tree Resources in Gucheng County

..... ZHONG Changlong, CHEN Yixian, CAI Jingyong, ZOU Min, XU Huali, WANG Yang(184)

### ●Forest Cultivation

Potential Suitable Habitats for *Macadamia integrifolia* under Climate Change Scenarios Based on Maximum Entropy Model

..... LI Zhanggui, RUAN Fangyou, ZHANG Xuequan(191)

Comparative Study on Root System and Leaf Blade of *Macadamia integrifolia* Seedlings ..... HAO Jiabo, YIN Jiabi, LU Bin(198)

Climate Suitability and Potential Distribution of *Sophora japonica* L. Based on ArcGIS and MaxEnt Model

..... ZANG Huifeng, JING Pengfei, ZHANG Zhichao, LIAO Weixiong, SHEN Xiaochen, ZHAO Jiawen, LI Suxia(202)

### ●Landscape Greening

Research Progress of Urban Public Spatial Vitality in China Based on CiteSpace ..... HU Junqiang, YAN Yafei(207)

Optimization of Memorial Landscape in Harbin from Perspective of Red Culture Inheritance

..... GUO Lijuan, CHAO Zhenhao(214)

Research Progress on Satisfaction of Urban Parks ..... WANG Qi, YAN Yafei, HAN Yifeng(219)

### ●Other Column

Color Change of Heat-treated Wood in *Tsoonpiodendron Odorum* Wood Plantation

..... WEI Pengfei, WU Min, LI Xin, LIU Heng, FU Yunlin(225)

Blooming Flowers in March—Pu'er Tea Mountain in Yunnan ..... Photographed by ZHANG Zhengyou(Front Cover)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.002

## 基于 1990—2020 年综合土地利用动态变化的 巩义市城市边缘区空间研究

黄懿<sup>1</sup>, 杨若楠<sup>2</sup>, 冯艳<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学, 河南 郑州 450002; 2. 河南省城乡规划设计研究总院股份有限公司, 河南 郑州 450044)

**摘要:**以郑州市下辖且接壤的巩义市为研究对象,以 1990 年和 2020 年两期 TM/OLI 影像和统计年鉴数据为依据,使用 1 km×1 km 网格划分样区并提取各样区的综合土地利用动态数值,借助数学模型分析确定城市边缘区范围,分析巩义市近 30 年来城市边缘区用地变化特征及扩展机制。结果表明,自然条件是用地扩张的基础因素,政策与经济是边缘区外扩的核心驱动力,交通对扩张具有指向性作用;边缘区内的土地变化主要表现为建设用地急剧增加、农业用地锐减,同时受距离和开发时序影响,用地类型交错复杂,破碎化特征明显。

**关键词:**城市边缘区;遥感影像;综合土地利用动态度;土地扩展机制

中图分类号:TU982;O186.14 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0006-07

引文格式:黄懿,杨若楠,冯艳. 基于 1990—2020 年综合土地利用动态变化的巩义市城市边缘区空间研究[J]. 林业调查规划,2024,49(2):6-12. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.002

HUANG Yi, YANG Ruonan, FENG Yan. Space of Urban Fringe Areas in Gongyi City Based on Dynamic Changes of Comprehensive Land Use from 1990 to 2020[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 6-12. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.002

## Space of Urban Fringe Areas in Gongyi City Based on Dynamic Changes of Comprehensive Land Use from 1990 to 2020

HUANG Yi<sup>1</sup>, YANG Ruonan<sup>2</sup>, FENG Yan<sup>1</sup>

(1. Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Henan Urban and Rural Planning and Design Research Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450044, China)

**Abstract:** Based on the TM/OLI images and statistical yearbook data in 1990 and 2020, this paper used the 1 km×1 km grid to divide the sample areas and extract the comprehensive land use dynamic values of each area, and determined the scope of urban fringe areas with the help of mathematical model analysis, and then analyzed the land use change characteristics and expansion mechanism of urban fringe areas in Gongyi City in the past 30 years. The results showed that natural conditions were the basic factors for land use expansion, policies and economy were the core driving forces for the expansion of fringe areas, and transportation had a directive role in the expansion; the land change in the fringe area was mainly characterized by a sharp increase in construction land and a sharp decrease in agricultural land, as well as by the influence of distance and devel-

收稿日期:2022-09-08.

基金项目:河南沿黄流域文化景观高质量发展适应性研究(212400410023);2022年河南省兴文工程文化研究专项、河南村落发展史研究(2022XWH036);2022年河南省住房城乡建设科技计划项目(HNJS-2022-R1).

第一作者:黄懿(1997-),男,浙江湖州人,硕士.研究方向为城乡历史与遗产保护. Email:1906630362@qq.com

责任作者:冯艳(1980-),女,河南焦作人,硕士,副教授.主要从事风景园林与乡村景观研究. Email:76694596@qq.com



opment time sequence, with interlocking and complex land types and obvious fragmentation characteristics.

**Key words:** urban fringe areas; remote sensing images; comprehensive land use dynamics; land expansion mechanism

中国的现代化是在全球化影响下伴随着工业化和城市化双重作用的结果。改革开放 40 多年来,我国城镇化进入城市群和都市圈时代,成为支撑经济增长的主阵地、主平台。2018 年我国城镇化率达 59.58%, 预计至 2030 年我国城镇化率将达 70%, 2050 年将达到 80% 左右(《城市蓝皮书:中国城市发展报告 No. 12》)。城市作为高密度和高效运行空间,在城镇化的过程中以快速扩张的方式容纳了大量的人口,且相当部分城市的人口增长和用地规模增长发生在大城市边缘区,即城市和乡村之间的过渡区域<sup>[1]</sup>。2022 年 5 月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于推进以县城为重要载体的城镇化建设的意见》,推进以县城为重要载体的城镇化建设,加快发展大城市周边县城,支持位于城市群和都市圈范围内的县城融入邻近大城市建设发展。这意味着我国主要城镇化途径的改变,也意味着大城市与周边地级市、周边县城之间的用地将面临前所未有的变化,地级市或县城边缘区的发展将成为矛盾集中的焦点。

我国对城市边缘区的研究最早开始于 20 世纪 80 年代,学者引入城市边缘区概念<sup>[2]</sup>。由于学科架构和研究内容的差异,不同学科对城市边缘区的界定方法也各有不同。截至目前,城市边缘区的界定方法较多,准确划定城市边缘区空间范围一直是城市边缘区研究的出发点与要点。随着地理信息技术的发展和数学模型的应用,学者对城市边缘区的研究由依靠经验、主观判断的定性分析法,逐步向不依托测度、指标的定量分析法发展,目前识别边缘区方法主要分为综合分析法、阈值法和突变检测法 3 种<sup>[3]</sup>。综合分析法是通过区域内土地利用、人口、经济等特征表现进行界定,例如:刘星南等<sup>[4]</sup>基于人口、社会经济等多源数据判定广州市城市边缘区;顾朝林等<sup>[5]</sup>依据人口密度的特性,计算人口密度梯度率划分出城市边缘区范围。阈值法是通过距离、密度、紊乱度等测度进行值域范围划分确定边缘区范围,例如:陈连生等<sup>[6]</sup>以 TM 影像作为信息源,基于信息熵原理分析景观紊乱度熵值变化范围划定北京市边缘区内外边界;琚青青等<sup>[7]</sup>选用不透水面指数评价土地利用程度,运用最大熵阈值法进行图像分割界定海口市城市边缘区内外边界。突变检测法通过计算指标值,选取各方向随距离变化的突变值作为边缘区边

界点,依次连接从而确定内外边界位置,例如:钱志华等<sup>[8]</sup>借助遥感影像,利用取窗口序列法计算各方向随距离衰减的突变值划定西安市城市边缘区;熊念<sup>[9]</sup>采用滑动  $t$  检验突变方法检测 360 条梯度夜间灯光序列上的突变点,提取武汉市城市边缘区的内外边界。对城市边缘区范围的准确划定有利于从更深层次认识城市发展规律,进而合理控制城市蔓延,促进土地利用更科学高效。基于边缘区土地利用变化特征,提取反映距离与土地利用变化速率的转折点,界定城市边缘区范围。相较于定性法,此方法研究城市边缘区范围受主观影响小、对城乡边缘区的识别效率较高并且利于结果的纵向对比。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

巩义市地处河南省中部(图 1),位于嵩山北麓,地处黄河南岸平原与丘陵的过渡地带,西北为邙岭,中间为丘陵,东南为山地,地势东南高、西南低,境内有黄河、伊洛河、米河。巩义原称巩县,1991 年经国务院审批撤县设市,改称巩义市,行政区划上隶属郑州市管辖。作为“郑洛工业走廊”的核心城市,西距洛阳 76 km,东距郑州 82 km。行政区面积约为 1 041 km<sup>2</sup>,辖区内有 15 个乡镇、5 个街道办,常住人口 78.5 万人。

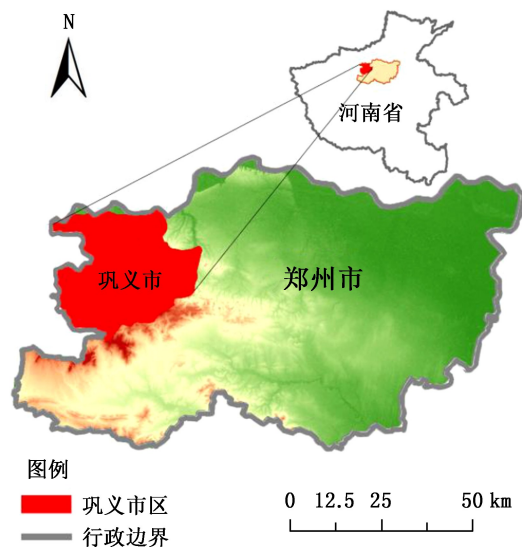


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the research area

改革开放以来,巩义市乡镇企业型经济崛起,自下而上的农村工业化进程发展迅速,成为 20 世纪 90 年代中西部唯一的百强县。在郑州国家中心城市建设进程中,巩义积极与郑州全面展开产业协作、交通和基础设施互联互通、生态环境治理、文化旅游体系共建等方面的合作。同时巩义市位于郑州大都市区 50~70 km 范围的专业化、特色化产业协同圈层,自撤县设市以来,依托制造业基础及生态文化资源优势,戮力打造特色高端制造和大健康与文旅休闲基地,已成为郑州市大都市区的新兴增长中心及郑洛发展轴的重要支点。

综上所述,巩义市是内陆大城市下辖且接壤的率先脱颖而出的县级城市,地理位置交通条件优越,地貌类型自然资源丰富、社会经济发展类型繁多,作为研究城镇化影响下的城市边缘区变化及特征的区域,具有一定的代表性。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 数据来源

Landsat 数据是研究城乡土地利用、进行动态监测的理想数据源之一<sup>[10]</sup>。研究主要数据来源如下:

1)采用地理空间云数据服务平台提供的巩义市 1990 年 Landsat 5 TM 多光谱影像和 2020 年 Landsat 8 OLI 多光谱影像图作为基础数据,轨道号 123-124/46,图像云覆盖率为 0,空间分辨率为 30 m。

2)从巩义市政府门户网站下载巩义市行政区划图、主要交通道路网图。

3)巩义市统计年鉴数据(1990、2020 年)。

#### 1.2.2 数据处理

Landsat 数据在获取过程中,常因受遥感平台、传感器、波谱以及外界自然和人为因素的干扰和限制,产生不可避免的误差,从而影响图像分析的准确度与精度。因此在对研究区遥感影像分析前利用 ENVI 软件进行相关的影像处理<sup>[11]</sup>。

1)研究区裁剪:Landsat 遥感影像以条带号区分,裁剪出研究区范围是为了后续土地类型的监督分类工作。

2)辐射定标:卫星平台上的传感器自身存在误差与其自身的响应特性有关,辐射定标是将传感器的数字量化值转化成绝对亮度值。

3)大气校正:地物反射的光线会受大气吸收、散射的影响致使辐射失真、对比度和分辨率下降,大气校正的目的是减少以上影响因素的干扰,获得研究区真实地表反射状况<sup>[12]</sup>。

4)土地利用监督分类:建设用地的变化深刻影

响城市的空间结构,因此从建设用地变化的角度研究城市边缘区,使用监督分类法对研究区遥感影像的土地类型进行识别与分类,根据影像展现的地物特征将土地类型分为 5 类:林地、耕地、建设用地、水域、未利用地,同时根据对应的不同年份卫星影像与遥感影像进行比对,更加准确、真实地确定同一类型的土地,进而利于软件对不同土地类型进行最大程度的区分。经过以上步骤,分别得到两个年份的土地利用分类图(图 2)。

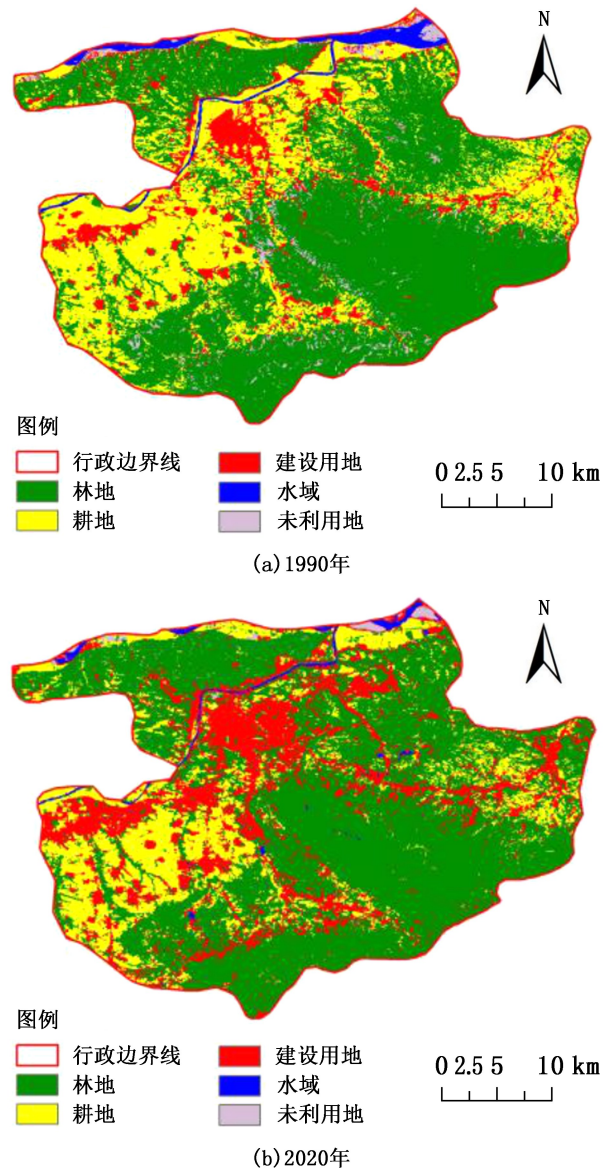


图 2 巩义市土地利用分类  
Fig. 2 Classification of land use in Gongyi City

## 2 城市边缘区识别

### 2.1 边缘区判定思路

将处理得到的两个年份土地利用分类图及用地



类型数据作为基础数据,同时将研究区 1990 年城市核心区巩义市新华路街道(34°45′15.85″ N,112°59′17.05″ E)作为中心起始点<sup>[13]</sup>,对研究区进行正方形网格划分,从中心起始点以 10° 等圆心角依次向外放射 36 条剖面线,如图 3 所示。

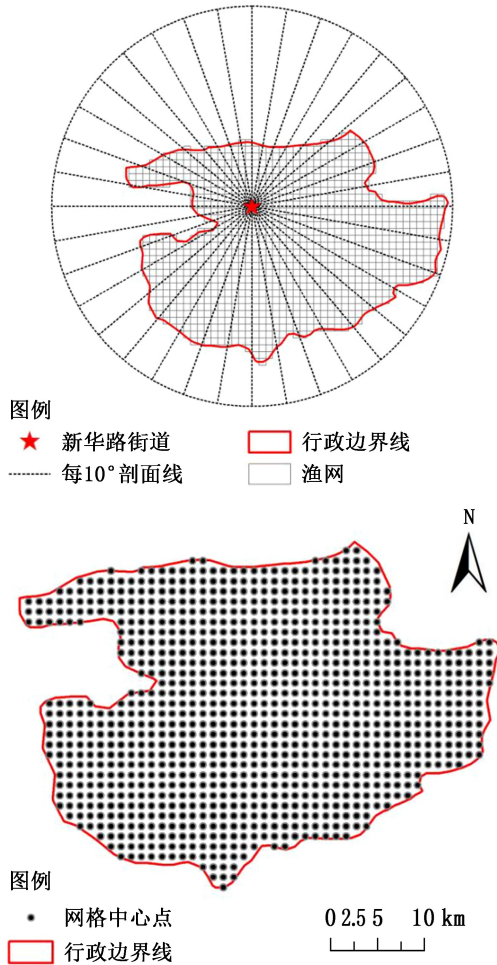


图 3 研究区土地利用变化采样网格划分及网格中心点示意  
Fig. 3 Grid division and grid center point of land use change sampling in the research area

依据动态度公式计算单个网格样区的土地利用动态度,并赋值于网格中心点。提取每条剖面线经过每个网格的土地动态度数值,将网格中心点距离中心起始点的距离作为横坐标,再将网格的土地动态度数值作为纵坐标,从而绘制出不同方向剖面线土地利用动态变化折线图。城市建成区内部土地性质变化不大,反映在折线图上的折线斜率较小且平缓,城市边缘区的土地性质变化明显,局部可能发生剧变,折线陡增、陡减易出现骤变状况,至边缘区外缘地带折线斜率又降至低水平<sup>[14]</sup>。根据上述判断记录

各折线图的斜率突变点的空间地理坐标,距中心起始点较近的转折点为内边界点,较远的转折点为外边界点,分别将内外转折点依次相连,形成研究区城市边缘区的内边界和外边界,即得城市边缘区范围。

### 2.2 综合土地利用动态度

综合土地利用动态度着重反映了某个时间段内土地利用类型的转化过程,并非简单的土地变化结果,计算研究区范围内的综合土地利用动态度能反映区域内土地利用变化的剧烈程度。因此,选用综合土地利用动态度模型来反映土地利用变化速率情况,计算公式如下:

$$LC = \left( \sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j} / 2 \sum_{i=1}^n LU_i \right) \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中:LC 为综合土地利用动态度;LU<sub>i</sub> 为研究初期 i 类土地面积;LU<sub>i-j</sub> 为 T 时间段内 i 类土地变为 j 类土地的面积;T 为研究时段长度,其中 i ≠ j。

通过网格法划分的土地单元格是判别土地利用动态度的基本单元,为提高研究精度,需选择合适的单元格尺度。巩义市作为区县级城市,区域研究范围较小,因此以 1 km × 1 km 为基本判别单元,借助“渔网”工具将巩义市共划分为 991 个判别单元。将得到的 1990 年和 2020 年土地利用现状图进行矢栅转换,将数据叠加处理,提取网格的土地信息,按公式计算得到每个网格的综合土地利用动态度,并将其分为 3 类,结果如图 4 所示。

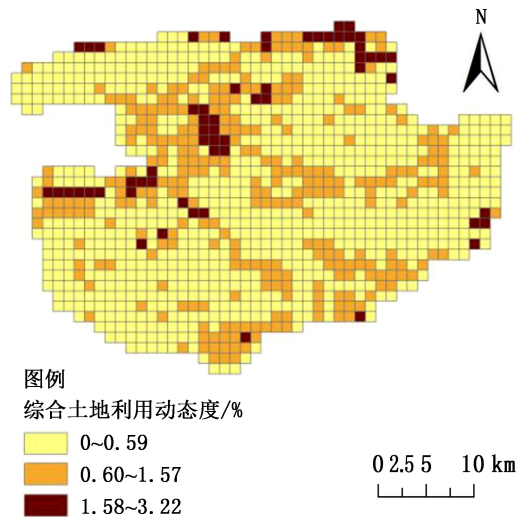


图 4 1990—2020 年综合土地利用动态度  
Fig. 4 Comprehensive land use dynamics from 1990 to 2020

将研究区内网格图层数据表中的综合土地利用动态度数值在 GIS 中利用“空间连接”赋值到网格

中心点,再将网格中心点和中心起始点分别投影,通过“点距离”获得各网格中心点到中心起始点的距离数据。划分的 36 条剖面线以正北方向为 0°的剖面线为第一条剖面线,顺时针依次命名,将每一条剖面线与网格相交,得到每条线经过的网格。每条线上网格数据按距离城市核心距离排序并作为折线图的 X 轴,其对应的综合土地利用动态度作为 Y 轴,分别绘制出不同方向土地利用动态度变化折线图,结果如图 5 所示。

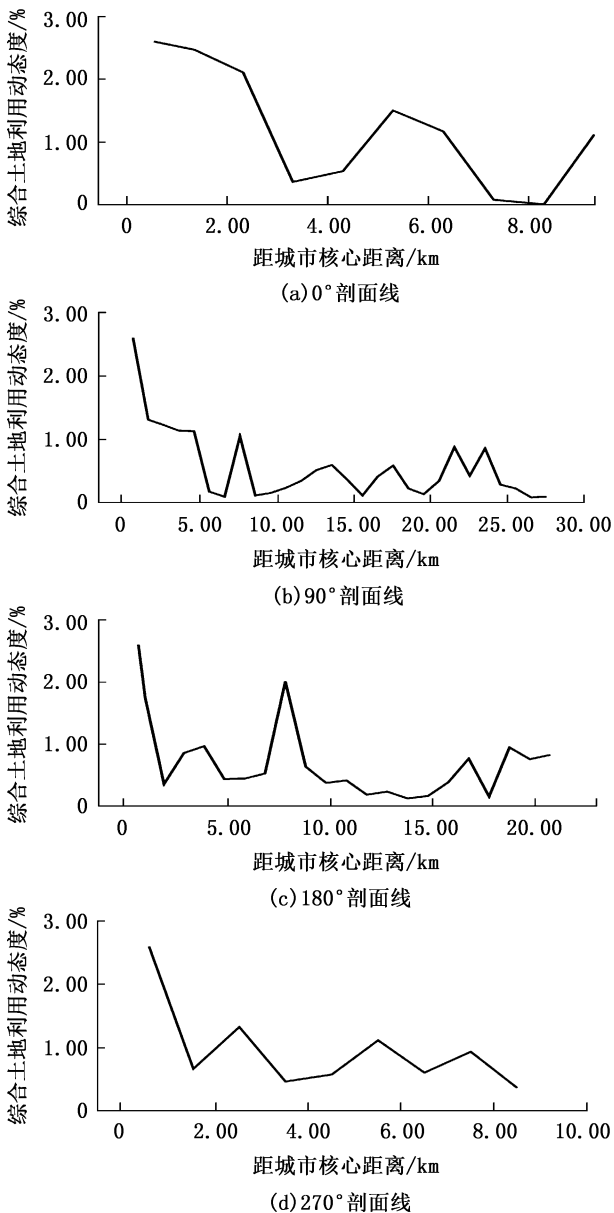


图 5 综合土地利用动态度变化

Fig. 5 Changes of comprehensive land use dynamics

记录各方向的综合土地利用动态度变化折线图中折线斜率较大线段上的转折点,局部转折点不易

区分,可用邻近转折点的数值做参照,进而确定边缘区边界点的位置,最后将距离较小一组的边缘区边界点依次连接作为城市边缘区的内边界,将距离较大一组的边缘区边界点依次连接作为城市边缘区的外边界,内外边界之间的区域即为城市边缘区,结果如图 6 所示。

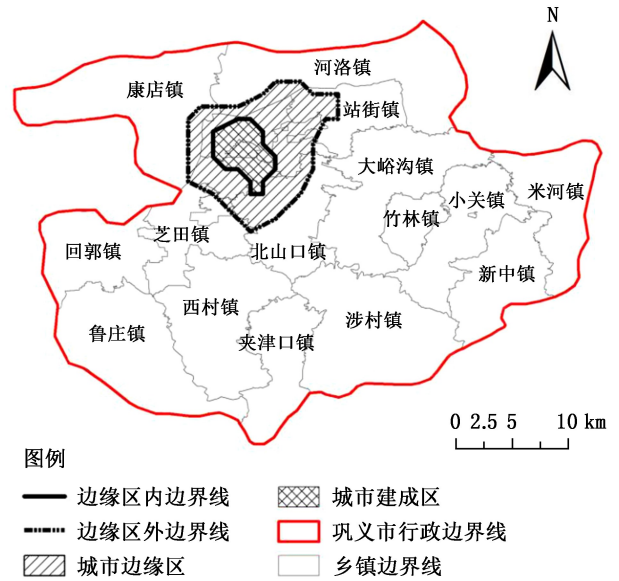


图 6 1990—2020 年巩义城市边缘区范围

Fig. 6 Scope of urban fringe area in Gongyi City from 1990 to 2020

### 3 城市边缘区分析

#### 3.1 边缘区用地变化分析

##### 3.1.1 边缘区用地变化

1) 用地范围变化:随着城镇化水平大幅提升,城市建成区不断向外扩张,由原来以新华路街道为中心的老城区,逐步拓展到东至豫联产业集聚区、郑西高铁和焦桐高速,西至康店民营产业园,南至玛罗河和国道 310,北至邙岭山脊线,城市建成区面积约 200 km<sup>2</sup>。

2) 用地面积变化:1990—2020 年,巩义市城市边缘区总面积达 74.6 km<sup>2</sup>,占全市土地总面积 7.2%。其中,在城市边缘区内,建设用地面积不断攀升,由 1990 年的 14.78 km<sup>2</sup> 升至 2020 年的 34.78 km<sup>2</sup>,建设用地面积增加了 20 km<sup>2</sup>,年均土地利用变化率为 4.5%。耕地面积由 1990 年的 39.90 km<sup>2</sup> 降至 2020 年的 8.89 km<sup>2</sup>,耕地面积减少了 31.01 km<sup>2</sup>,年均土地利用变化率为 11.6%(表 1)。

3) 土地类型变化:在土地用途的管制下,土地类型也发生巨大转变,不仅有农村用地类型向城市



表 1 巩义城市边缘区内土地利用变化

Tab. 1 Land use changes of the urban fringe area in Gongyi City km<sup>2</sup>

年份	林地	耕地	建设用地	水域	其他用地
1990	17.03	39.90	14.78	2.70	0.22
2020	28.95	8.89	34.78	1.67	0.34

用地类型的转化,也有农村用地类型之间的转化以及城市用地类型之间的转化,例如:随着基础设施不断完善,原本老城周边的工业用地向外迁移,形成了兼具旅游、居住、工业、综合服务等非农功能的新城区;康店镇民营产业园由农村集体用地在产业集聚的过程中逐渐纳入城市建设用地中。各类建设用地受城市核心区距离的远近及开发建设时间顺序的影响,在城市边缘区内出现不同的布局特征,随着距离的增加,工业用地、城市居民点用地、农村居民点用地、其他建设用地之间相互交错,使得城市边缘区形成了复杂的用地形态(图 7)。

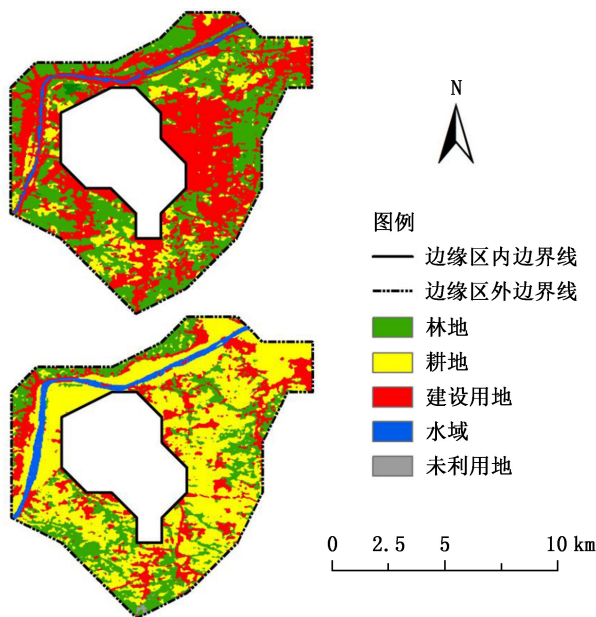


图 7 边缘区 1990、2020 年土地利用示意图

Fig. 7 Diagram of land use of the urban fringe area in 1990 and 2020

### 3.1.2 边缘区土地扩展特征

城市发展经历了孕育、扩张、稳定 3 个阶段,城市综合发展也由简单向复杂演化,表现的城市边缘区空间扩展形态有“理性外延式扩展”“轴向线性式扩展”“组团跳跃式扩展”3 种。

1) 老城区东部、东南、东北方向形成连片的新

区表现为“理性外延式扩展”。扩展状况表现为早期呈高速扩展的趋势且在原有的空间基础上逐步向外平铺蔓延、集中连片。

2) 在伊洛河西侧、北侧构建的伊洛河新兴产业带表现为“轴向线性式扩展”。在老城区正西、正北方向存在自然地貌阻隔,政策导向和趋于完善的城市道路网,建设用地再次由沿河流、铁路公路等线性要素扩展并向两侧外延,逐步纳入城市边缘区中,扩展呈中速轴向线性扩展的趋势。

3) 回郭镇铝工业园、豫联工业园等工业产业园区的建成表现为“组团跳跃式扩展”。建设用地扩展较为缓慢,受地貌等因素影响或在距离城市中心区较远的地方集聚成团,跳跃式发展形成一定规模。

## 3.2 边缘区扩展机制

### 3.2.1 自然因素

地形、地貌、水文等自然条件作为用地扩张的基础决定了城市建设用地扩展的方向<sup>[15]</sup>。原老城区东侧、东南侧地势平坦且能集中连片的大量农用地逐渐转化为建设用地,城市的行政中心和经济中心逐步东移,城乡界面外移最为明显,至站街镇南部浅山丘陵和北山口镇黄土陵区,建设用地逐渐呈斑块状,因此边缘区向东、东南扩张主要为外延式。老城区西部和北部伊洛河流经的带状平原区,直接影响建设用地扩张,然而伊洛河西侧却形成了集聚产业的康店民营工业园,边缘区界面再次向外扩张。

### 3.2.2 政策与经济因素

政策与经济是用地扩展的核心驱动力。从巩义市统计年鉴数据可知:1990 年三产结构为 7.5 : 61.7 : 25.2,至 2020 年三产结构为 1.5 : 58.1 : 40.4。巩义市对第三产业精明拔擢,在新城区充分发挥区位、文化资源丰富的优势,逐步形成政务商务、体育商贸、东部生活、工业产业功能区。坚定不移地实施“工业立市”战略并加快推进产业升级转型,完成新旧动能的转换是巩义市长期、长远发展的关键所在。民营经济在巩义市经济结构中占比较重,乡镇企业在向市场化经济过渡中,政府给予其政策引导与倾斜,鼓励与支持农村剩余劳动力就地就业,离土不离乡、进厂不进城。从镇、村书记抓乡镇企业,集体建设用地上乡镇企业迅猛发展,再到政企分离,乡镇企业改制成为民营经济逐步向工业园、开发区集中。由于资本、土地、劳动力等生产要素市场化同步进行,老城区周边先后出现以斑块型建设用地为主要特征的开发区和工业园区,在巩义市这片沃土上回郭镇铝工业园、豫联工业园、康店民营工业园、北山

口耐火材料工业园等逐步建成。当城市建成区边界外延达到一定程度,城乡界面扩张减速,城区周边城镇的斑块建设用地也逐渐并入城市建成区。

### 3.2.3 交通因素

在用地扩展中,交通是用地扩展的“筋脉”,交通基础设施的建设可以提高资源配置效率,引导城市各类要素蔓延和集聚,对城市扩张具有显著的指向性。目前巩义市在公路规划上形成连霍高速、郑洛第二高速、焦桐高速、连霍—郑洛联络线的高速公路网和 G310、G207、S312、S314、S315、S234、S235 等干线及一般公路网。将巩义市城市边缘区空间分布图等比例与主要交通道路网图叠加比较发现:巩义市“一带三廊,一城两翼,四心双轴”空间结构中“一带”正是位于城市边缘区内伊洛河西侧的 S312 省道穿针引线所形成的伊洛河新兴产业带;“两翼”是连霍高速与焦桐高速交汇段东南侧的豫联产业集聚区以及 G310 国道和永安路交汇的芝田经济技术开发区。同时区域主要交通干线附近的建设用地均明显增加,由此可见,优越的交通条件在城市的发展和扩张中有至关重要的引导作用。巩义市计划“一环多射、七横八纵”的交通设施格局将会成为城市空间扩展的新轴线,促使社会经济行为在土地空间上连片成面,从而进一步改变城市边缘区的外部格局。

## 4 结 论

城市边缘区的提取是研究城市空间结构的重要课题,在归纳现有城市边缘区研究基础上,以土地利用变化为切入点,划分城市边缘区并剖析边缘区扩张模式及扩张因素。引入综合土地利用动态度公式对一定时间段内土地利用结构组成和时空格局进行定量分析,通过把握微观单元空间的土地利用变化规律揭示了研究区内土地变化的总体特征。尽管划定过程存在主观判断,但从指标选取、识别效率及结果对比出发,提取边缘区的方法是可行可信的。

从边缘区的划定结果可以发现,在巩义市城市边缘区内,建设用地集中化和破碎化并存,建设用地扩张具有明显的方向性,城市边缘区在不同的驱动机制作用下呈现不同的扩张模式。总体而言,巩义市城市边缘区扩张模式复杂,稳定外延的区域减少,线性及斑块化发展趋势增强,在多种驱动机制作用下,城市边缘区内功能在土地集中与重组下不断优化,基本形成东部和东南以旅游、居住、工业、综合服务为主,西部、北部和南部兼具现代农业、文化旅游、新兴产业的城市发展格局。

从城市边缘区的研究结果来看,巩义市的发展符合“经济繁荣、城乡和谐、特色彰显、文化底蕴深厚、生态环境优良的现代化区域中心城市”的发展目标和发展规律。随着城市基础设施完善、国土空间评价监督体系不断增强,城市边缘区扩展速度减缓,边缘区周边的乡镇单元受辐射作用增强,当下乡村振兴战略任重道远,对城乡建设用地的发展提出更高的要求<sup>[16]</sup>。对于如何从空间变化、驱动机制和发展模式等方面探寻协调合理的城乡空间发展格局有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 杨宇振. 资本空间化[M]. 南京:东南大学出版社,2016.
- [2] 荣玥芳,郭思维,张云峰. 城市边缘区研究综述[J]. 城市规划学刊,2011(4):93-100.
- [3] 戴俊杰,董婧雯,杨晟,等. 基于空间突变特征的城市边缘区提取方法[J]. 地球信息科学学报,2021,23(8):21.
- [4] 刘星南,吴志峰,骆仁波,等. 基于多源数据和深度学习的城市边缘区判定[J]. 地理研究,2020(2):14.
- [5] 顾朝林,陈田,丁金宏. 中国大城市边缘区特性研究[J]. 地理学报,1993,60(4):317-328.
- [6] 程连生,赵红英. 北京城市边缘带探讨[J]. 北京师范大学学报,1995,31(1):128-129.
- [7] 琚青青,尹菡恠,李微,等. 海口市城市边缘区空间范围的识别研究[J]. 海南大学学报(自然科学版),2019(2):180-185.
- [8] 钱紫华,陈晓健. 西安城市边缘区空间扩展研究[J]. 人文地理,2005,20(3):5.
- [9] 熊念. 武汉市城市边缘区识别及动态分析[D]. 武汉:武汉大学,2018.
- [10] 张振龙,李少星,张敏. 南京市 1988—2007 年城市扩展空间要素分析[J]. 城市问题,2007(9):25-31.
- [11] 彭笃明. 基于 RS 和 GIS 的城市边缘区土地利用动态遥感监测研究——以广州市番禺区为例[D]. 烟台:鲁东大学,2008.
- [12] 陈华胜. 基于辐射传输模型的机载高光谱遥感图像大气校正研究[D]. 南京:南京理工大学.
- [13] 乔家君,马玉玲. 基于信息熵的城乡界面时空演化与分异——以河南省巩义市为例[J]. 经济地理,2016(11):7.
- [14] 周浩,雷国平,张红梅,等. 土地利用空间关联下城乡结合部边界界定方法研究简[J]. 中国土地科学,2016,30(6):81-88.
- [15] 刘戎. 基于土地利用的城市边缘区界定及其空间扩展分析研究[D]. 西安:西北大学,2017.
- [16] 高宁. 城市边缘区城乡建设用地扩展研究[D]. 济南:山东建筑大学,2018.

责任编辑:杨焱焱

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.003

## 香格里拉市高山松林碳储量空间分异研究

徐婷婷, 施凯泽, 卢腾飞, 郎晓雪, 罗胤, 冷鸿天, 李泽, 黄运荣

(云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

**摘要:**以香格里拉市高山松林为研究对象,构建高山松单木碳储量模型,结合森林资源二类调查数据推算香格里拉市高山松林的碳储量和碳密度,以 DEM 为数据源,对研究区高山松林碳储量和碳密度的空间分布特征进行分析。研究表明,高山松单木碳储量模型以幂函数模型精度最高,决定系数  $R^2=0.989$ ,均方误差  $MSE=259.43$ ,可用于进行高山松林碳储量估测;在空间分布上,研究区高山松碳储量集中分布于海拔  $>2\,500\sim 4\,000\text{ m}$  地段,在海拔  $>2\,000\sim 2\,500\text{ m}$  地段碳储量密度最大,为  $40.80\text{ t/hm}^2$ ;高山松林碳储量从平坡到险坡的分布呈先增大后减小的趋势,其中,在陡坡上分布最多,在平坡上分布最少;高山松林碳密度随坡度的增大呈先增大后减小的趋势,其中高山松林在急坡上的碳密度最大,为  $35.94\text{ t/hm}^2$ ,在平坡上的碳密度最小,为  $30.85\text{ t/hm}^2$ ;高山松林碳储量在平地上分布极少,在阴坡、半阴坡、半阳坡、阳坡上的分布差异不大,呈先增大后减小的趋势,其中,在半阳坡上的分布最多,在阴坡上的分布最少,高山松林碳密度大小在各坡向上相差不大,在半阳坡上最大,为  $34.40\text{ t/hm}^2$ ,在平地上最小,为  $32.20\text{ t/hm}^2$ 。

**关键词:**高山松林;碳储量;碳密度;空间分异;香格里拉市

中图分类号:S791.2594;S718.556 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0013-06

引文格式:徐婷婷,施凯泽,卢腾飞,等.香格里拉市高山松林碳储量空间分异研究[J].林业调查规划,2024,49(2):13-18,24. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.003

XU Tingting, SHI Kaize, LU Tengfei, et al. Spatial Differentiation of Carbon Storage for *Pinus densata* in Shangri-La City [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 13-18, 24. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.003

## Spatial Differentiation of Carbon Storage for *Pinus densata* in Shangri-La City

XU Tingting, SHI Kaize, LU Tengfei, LANG Xiaoxue, LUO Yin,

LENG Hongtian, LI Ze, HUANG Yunrong

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

**Abstract:** The *Pinus densata* forest in Shangri-La was researched to establish a carbon storage estimation model, the carbon storage and carbon density were calculated using forest resource inventory data, and the digital elevation model (DEM) data was used as the information source to analyze the spatial differentiation characteristics of *Pinus densata* carbon storage and carbon density. The study results showed that the power function model had the highest accuracy, with a determination coefficient ( $R^2$ ) of 0.989 and a

收稿日期:2022-07-12.

基金项目:云南省科技厅 2023 年第二批科技成果转化专项资金(530000231100001753720).

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:黄运荣(1973-),男,云南宜良人,高级工程师.主要从事林业调查规划、碳汇计量监测、林草碳汇研究等工作.

Email:467338394@qq.com



mean square error (MSE) of 259.43, the model could be used to estimate *Pinus densata* carbon storage; in spatial distribution, *Pinus densata* forest carbon storage mainly distributed at altitude of >2 500–4 000 m, carbon density was the largest at an altitude of >2 000–2 500 m, was 40.80 t/hm<sup>2</sup>; from flat slope to risk slope, the distribution of *Pinus densata* forest carbon storage showed a trend of increase then decrease, most distribution on steep slope, least distribution on flat slope; with the slope increase, *Pinus densata* forest carbon density showed a trend of increase then decrease, *Pinus densata* forest carbon density on the steep slope was the largest, was 35.94 t/hm<sup>2</sup>, while carbon density on the flat slope was the smallest, was 30.85 t/hm<sup>2</sup>; few carbon storage distributed on flat land, with little difference in distribution on shaded slopes, half shaded slopes, half sunny slopes and sunny slopes, showing a trend of increase then decrease. The distribution was most on half sunny slopes and least on shady slopes. The carbon density of *Pinus densata* forests was not significantly different on each slope, with the largest being 34.40 t/hm<sup>2</sup> on half sunny slopes and the smallest being 32.20 t/hm<sup>2</sup> on flat land.

**Key words:** *Pinus densata* forest; carbon storage; carbon density; spatial differentiation; Shangri-La City

森林生态系统是陆地生态系统中非常重要的碳库,也是所有生态系统中碳储量最大、碳密度最高的生态系统。森林碳密度采用森林碳储量除以其所占的面积求得,森林碳增汇是碳减缓的一个重要手段,地位非常突出,森林碳储量和碳密度的研究是林学研究领域的基础,森林碳密度的大小不仅可以体现出森林的经营管理水平,还可为全球森林碳汇研究做出重要贡献。森林碳密度空间分布研究主要是研究不同海拔段、坡度和坡向上森林碳储量和碳密度的分布情况,找出造成这种空间分布差异的主要环境因素,对影响森林碳密度空间分布差异的环境因素进行分析并给出合理解释。

高山松 (*Pinus densata*) 起源于第三纪云南松 (*P. yunnanensis*) 和油松 (*P. tabulaeformis*) 的天然杂交种,高山松是分布在我国西部高山地区的一种特有树种,主要分布在青海南部高山地带、四川西部、云南西北部和西藏东南部<sup>[1]</sup>。高山松是一种喜光深根性树种,喜光特性在幼树阶段特别明显,在幼树阶段生长比较迅速,其具有耐旱、耐寒、耐贫瘠特性,适应能力很强,上至森林下至干旱河谷均有分布<sup>[2]</sup>。高山松林常呈纯林分布,主要生长在阳坡、海拔 2 600~3 500 m 的河流两岸等地<sup>[3-5]</sup>。最近几年来,国内大量学者先后对高山松展开了一系列研究,取得了一定成果。但其研究主要集中在对其更新评价<sup>[6]</sup>、林分直径结构<sup>[7]</sup>、苗木培育<sup>[8]</sup>、天然更新特性<sup>[9]</sup>、火烧迹地更新<sup>[2]</sup>和地形条件对其天然更新的影响<sup>[10]</sup>等方面,高山松林碳密度与环境因子的关系有待进一步研究。

## 1 研究区概况

香格里拉市位于云南省迪庆藏族自治州,地处云南省西北部、迪庆州东北部,地理坐标为 92°~104°E、27°~36°N。东部与四川省的木里、稻城两县接壤,东南部、南部与云南省丽江市玉龙县相对,西部以金沙江为界与德钦、维西两县隔江相望,北部与四川省乡城、得荣两县接壤。金沙江从东、西、南 3 方位环绕香格里拉市。香格里拉市位于四川和云南两省交接地带<sup>[11]</sup>,南北长 218 km,东西宽 88 km,全县总面积 1 141 739 hm<sup>2</sup>。

## 2 数据调查与采集

在研究区内选择无断梢或分叉、生长正常且能代表整个林分的高山松标准样木,每个径阶至少选择 3 株。样木选取完成后,测量样木基径  $D_0$  和胸径  $D$  后伐倒,样木伐倒后用皮尺精确测量每一株树的树高  $H$ 。基本数据测量完成后,树干部分以 2 m 为一段进行分割,分别测量两端的直径和长度,在每段的近基部端截取 3 cm 厚的圆盘,分别对树干和树皮取样,用于求算基本密度并套算材积。分为 3 部分进行树冠测量,树冠分为上、中、下 3 层,分别称其总鲜重并分层各取一个标准枝,分别称取标准枝的总鲜重和去叶后的枝鲜重并分别取样。样木的果全部摘取称其鲜重并取样。把所取的样品在当天及时称量鲜重,将称过鲜重的样品放入烘箱内至于 105℃ 下烘至恒重,称量烘干后的干物质重,用鲜重和干重数据分别计算出各部位和各器官的含水率。本研究依据国内外大部分研究人员采用的含碳率 0.5 系数计算高山松的碳储量<sup>[12-13]</sup>。

### 3 研究方法

#### 3.1 高山松单木碳储量模型的构建

##### 3.1.1 基础模型选择

以往研究生物量模型的种类很多,有 Richards 方程、幂函数和 Korf 等<sup>[14-16]</sup>,但在大量的生物量研究中,幂函数在生物量建模拟合过程中最容易收敛,与其它模型相比模拟效果较好<sup>[17-18]</sup>。

模型的构建在 Spss 10.2 统计软件中进行。以幂函数为高山松单木碳储量模型的基本形式,将高山松的树高( $H$ )、胸径(DBH)以及胸径的平方与树高的乘积( $DBH^2H$ )等作为高山松单木碳储量模型的自变量,构建单木水平下高山松与树高、胸径的碳储量模型。碳储量模型的基本公式为:

$$T = a \cdot H^b \quad (1)$$

$$T = a \cdot DBH^b \quad (2)$$

$$T = a \cdot (DBH^2H)^b \quad (3)$$

$$T = a \cdot DBH^b \cdot H^c \quad (4)$$

式中: $T$ 为碳储量(kg);DBH为胸径(cm); $H$ 为树高(m); $a$ 、 $b$ 、 $c$ 为参数。

##### 3.1.2 模型评价与检验

模型的评价是模型建立的一个重要过程,本研究采用决定系数(determination coefficient)和均方差(mean square error)两个参数作为基本模型选型的参考指标。

###### 1) 决定系数( $R^2$ )

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

式中: $y_i$ 为实际观测值; $\hat{y}_i$ 为模型预估值; $\bar{y}$ 为样本平均数。

###### 2) 平均残差平方和(MSE)

$$MSE = \frac{SSE}{df} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1} \quad (6)$$

式中: $y_i$ 为实际观测值; $\hat{y}_i$ 为模型预估值; $n$ 为样本单元数。

###### 3) 预估模型的建立

预估模型的建立必须通过模型检验进行评价来确定最优模型。在此次研究中用总相对误差( $R_s$ )、平均相对误差( $E_1$ )、绝对平均相对误差( $E_2$ )、预估精度( $P$ )4个值来对高山松单木碳储量模型进行比较并评价模型的预测能力<sup>[19]</sup>。具体公式为:

总体相对误差( $R_s$ )

$$R_s = \frac{\sum y_i - \sum \hat{y}_i}{\sum \hat{y}_i} \quad (7)$$

平均相对误差( $E_1$ )

$$E_1 = \frac{1}{n} \left( \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right) \times 100\% \quad (8)$$

绝对平均相对误差( $E_2$ )

$$E_2 = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right| \times 100\% \quad (9)$$

预估精度( $P$ )

$$P = \left( 1 - \frac{t_a \sqrt{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}}{\hat{y}_i (N \times (N - T))} \right) \times 100\% \quad (10)$$

式中: $y_i$ 为实测值; $\hat{y}_i$ 为估计值; $N$ 为检验样本的样本; $t_a$ 为置信水平 $\alpha=0.05$ 时的 $t$ 分布值; $T$ 为模型中参数个数; $\bar{y}_i$ 为估计值的平均数, $\bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum \hat{y}_i$ 。

#### 3.2 高山松林碳储量与碳密度计算

以高山松单木碳储量乘以小班内高山松的株数可计算出每个小班内高山松林总碳储量,总碳储量除以小班面积得到每个小班的高山松林碳密度,具体计算公式为:

$$T_{\text{总}} = T \times N \quad (11)$$

$$CD = T_{\text{总}} / M \quad (12)$$

式中: $T_{\text{总}}$ 为高山松林总碳储量; $N$ 为高山松株数; $M$ 为小班面积;CD为高山松林碳密度。

#### 3.3 高山松林碳储量和碳密度空间分布分析

##### 3.3.1 地形因子分级及专题图的绘制

高山松林碳密度的空间分异主要表现为海拔、坡度和坡向对其的影响。基于 ArcGIS 软件在 DEM 数据图层上分别提取研究区的坡度图层和坡向图层,根据 DEM 数据最大值和最小值,以 500 m 为一个梯度将研究区海拔分为 5 个梯度等级(2 000 m 以下, >2 000~2 500 m, >2 500~3 000 m, >3 000~3 500 m, >3 500~4 000 m, 4 000 m 以上),按坡度大小分为平坡(<5°)、缓坡(>5°~15°)、斜坡(>15°~25°)、陡坡(>25°~35°)、急坡(>35°~45°)和险坡(>45°)6 个坡度等级,按方位角分为 5 个坡向:平地、阴坡(北坡、东北坡)、半阴坡(东坡、西北坡)、半阳坡(西坡、东南坡)和阳坡(南坡、西南坡),具体分级见图 1。

##### 3.3.2 碳密度图的绘制

利用估算出的香格里拉市高山松林碳密度数据建立数据库,在 ArcGIS 系统中将高山松林的碳密度进行分级并制作高山松林碳密度图。

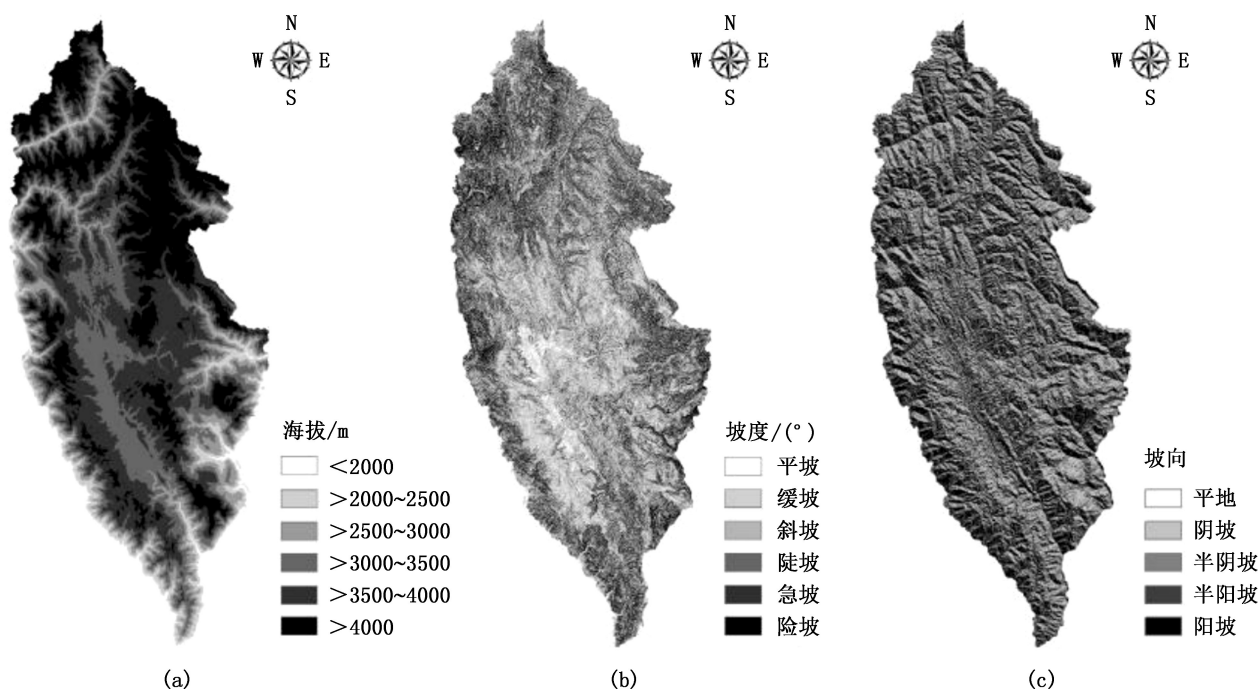


图 1 地形因子分级

Fig. 1 Topographical factors classification

### 3.3.3 碳储量及碳密度估算

在 ArcGIS 系统中,分别用海拔等级图、坡度等级图、坡向等级图和高山松林碳密度图进行叠加,应用统计软件计算出不同海拔梯度、坡度和坡向的高山松林碳储量和碳密度。

## 4 结果分析

### 4.1 高山松单木碳储量模型的建立

#### 4.1.1 模型的拟合与检验

结合前人研究成果,高山松单木碳储量(本研究只考虑地上部分)模型采用当前精度较高的幂函数模型,数据整理采用 Excel 软件完成,具体模型的构建采用 SPSS 10.2 统计软件实现,建模结果如表 1 所示。

表 1 高山松单木碳储量模型构建

Tab. 1 Construction of single tree carbon storage model for *Pinus densata*

模型	样本容量	模型参数估计值			$R^2$	MSE
		$a$	$b$	$c$		
$T = a \cdot H^b$	82	0.040	2.805	—	0.911	2140.559
$T = a \cdot DBH^b$	82	0.048	2.336	—	0.973	661.245
$T = a \cdot (DBH^2 H)^b$	82	89.109	0.851	—	0.989	259.430
$T = a \cdot DBH^b \cdot H^c$	82	0.034	1.623	0.952	0.989	258.062

以决定系数 ( $R^2$ ) 和均方误差 (MSE) 作为模型选取指标,即选择决定系数最大、均方误差最小的模型作为高山松碳储量的基础模型,公式为:

$$T = 0.034 \times DBH^{1.623} \times H^{0.952} \quad (13)$$

式中: $T$  为高山松碳储量 (kg);  $DBH$  为胸径 (cm);  $H$  为树高 (m)。

#### 4.1.2 模型评价

模型的总体相对误差  $R_s = -0.144$ , 平均相对误差  $E_1 = -7.288$ , 绝对平均相对误差  $E_2 = 7.288$ , 估计精度  $P = 93.9\%$ , 以  $R_s$ 、 $E_1$ 、 $E_2$  和  $P$  这 4 个检验参数对高山松单木模型进行评价。由以上结果可以看出模型的精度较高,模型可以用来进行高山松林碳储量的估测。

### 4.2 高山松林碳储量空间分布研究

#### 4.2.1 高山松林碳储量的垂直分布

随海拔的升高,高山松林碳储量呈先增大后减小的趋势,高山松林碳储量主要分布在海拔  $>3\,000 \sim 3\,500\text{ m}$  地段,占总碳储量的 60.99%,其次为海拔  $>3\,500 \sim 4\,000\text{ m}$ 、 $>2\,500 \sim 3\,000\text{ m}$  地段,分别占总碳储量的 28.05% 和 10.40%,在海拔  $>2\,000 \sim 2\,500\text{ m}$  和海拔  $4\,000\text{ m}$  以上地段高山松林碳储量分布极少,仅占总碳储量的 0.14% 和 0.41%,在海拔  $2\,000\text{ m}$  以下地段无高山松林碳储量分布。在海拔梯度变化上,高山松林碳储量的这种变化趋势与高山松林的



面积分布有着非常密切的关系,高山松林在海拔>3 000~3 500 m 地段分布面积最大,占高山松林总面积的 61.26%,其次为海拔>3 500~4 000 m、>2 500~3 000 m,分别占总面积的 28.53%和 9.69%,在海拔>2 000~2 500 m 和海拔 4 000 m 以上地段高山松林分布极少,仅占总面积的 0.12%和 0.40%,在海拔 2 000 m 以下地段无高山松林面积分布。高山松林碳储量随海拔梯度变化情况与高山松林面积分布情况呈同样的规律。在海拔 2 000 m 以下地段无高山松林分布,在海拔 2 000 m 以上地段,高山松林碳密度呈先减小后增大趋势,高山松林的碳密度在海拔>2 000~2 500 m 地段最大,为 40.80 t/hm<sup>2</sup>,在海拔>3 500~4 000 m 地段最小,为 33.69 t/hm<sup>2</sup>(表 2)。

表 2 高山松林碳密度随海拔变化趋势

Tab. 2 Variation trend of *Pinus densata* forest carbon density with altitude

海拔/m	面积/hm <sup>2</sup>	碳储量/t	碳密度/(t·hm <sup>-2</sup> )
<2000	0	0	0
>2000~2500	198	8078	40.80
>2500~3000	16505	607219	36.79
>3000~3500	104355	3559549	34.11
>3500~4000	48597	1637233	33.69
>4000	688	23908	34.75

#### 4.2.2 高山松林碳储量在不同坡度级的分布

高山松林碳储量在坡度级的变化呈先增大后减小的趋势,从平坡上升到陡坡,高山松林的碳储量随坡度的增大而不断增大,从陡坡上升到险坡,碳储量随坡度的增大而不断减小。在不同坡度级高山松林碳储量不同,不同的坡度级碳储量由大到小排序为:陡坡>斜坡>急坡>缓坡>险坡>平坡,分别占高山松林总碳储量的 32.83%、28.64%、17.20%、16.72%、3.68%、1.91%;随坡度的不断变化,高山松林分布面积由大到小排序为:陡坡>斜坡>缓坡>急坡>险坡>平坡,分别占高山松林分布总面积的 30.94%、29.11%、17.75%、16.40%、3.68%、2.13%。从平坡到险坡,高山松林平均碳密度呈先增大后减小的趋势。随坡度的增大,6 个坡度级的平均碳密度分别为 30.85 t/hm<sup>2</sup>、32.28 t/hm<sup>2</sup>、33.71 t/hm<sup>2</sup>、35.25 t/hm<sup>2</sup>、35.94 t/hm<sup>2</sup>、34.30 t/hm<sup>2</sup>,高山松林碳密度在平坡最小,为 30.85 t/hm<sup>2</sup>,在急坡最大,为 35.94 t/hm<sup>2</sup>(表 3)。

表 3 高山松林碳密度随坡度变化趋势

Tab. 3 Variation trend of *Pinus densata* forest carbon density with slope

坡度	面积/hm <sup>2</sup>	碳储量/t	碳密度/(t·hm <sup>-2</sup> )
平坡	3622	111739	30.85
缓坡	30235	975986	32.28
斜坡	49583	1671443	33.71
陡坡	52701	1857710	35.25
急坡	27937	1004056	35.94
险坡	6265	214952	34.30

#### 4.2.3 高山松林碳储量在不同坡向上的分布

高山松林在 5 个不同坡向上的碳储量由大至小排序为:半阳坡>阳坡>半阴坡>阴坡>平地,分别占高山松林总碳储量的 26.64%、25.63%、24.48%、23.10%、0.14%。高山松林碳储量分布主要与高山松林在不同坡向上的分布面积有关,高山松林在不同坡向上的面积分布由大至小排序为半阳坡>阳坡>半阴坡>阴坡>平地,分别占总面积的 26.53%、25.70%、24.40%、23.21%、0.15%,各坡向上高山松林碳储量与各坡向上高山松林面积的分布一致。高山松林碳密度大小在各坡向上相差不大,平地、阴坡、半阴坡、半阳坡、阳坡的碳密度分别为 32.20 t/hm<sup>2</sup>、34.09 t/hm<sup>2</sup>、34.37 t/hm<sup>2</sup>、34.40 t/hm<sup>2</sup>、34.17 t/hm<sup>2</sup>,在 5 个坡向上,高山松林碳密度在半阳坡上最大,为 34.40 t/hm<sup>2</sup>,在平地上最小,为 32.20 t/hm<sup>2</sup>(表 4)。

表 4 高山松林碳密度随坡向变化趋势

Tab. 4 Variation trend of *Pinus densata* forest carbon density with aspect

坡向	面积/hm <sup>2</sup>	碳储量/t	碳密度/(t·hm <sup>-2</sup> )
平地	261	8404	32.20
阴坡	39543	1348021	34.09
半阴坡	41571	1428795	34.37
半阳坡	45195	1554708	34.40
阳坡	43773	1495723	34.17

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

1) 利用实测的高山松林生物量数据和含碳率数据,采用拟合精度较高的幂函数模型,将基本测树因子(树高、胸径、胸径平方与树高的乘积)作为模型自变量,构建高山松单木碳储量估测模型。选择决

定系数( $R^2 = 0.989$ )最大、均方误差( $MSE = 259.430$ )最小的模型作为高山松单木碳储量估测模型,模型的具体形式为:

$$T = 0.034 \times DBH^{1.623} \times H^{0.952} \quad (14)$$

2) 高山松林主要集中分布于海拔>3 000~3 500 m 地段,其次为海拔>3 500~4 000 m 和>2 500~3 000 m 地段,这 3 个海拔地段的碳储量分别占总碳储量的 60.99%、28.05%和 10.40%,在海拔>2 000~2 500 m 和海拔 4 000 m 以上地段高山松林分布极少,在海拔 2 000 m 以下地段无高山松林分布;在海拔 2 000 m 以上地段,高山松林碳密度呈先减小后增大的趋势,高山松林碳密度在海拔>2 000~2 500 m 地段最大,为 40.80 t/hm<sup>2</sup>,在海拔 3 500~4 000 m 地段最小,为 33.69 t/hm<sup>2</sup>。

3) 高山松林碳储量从平坡到险坡的分布呈先增大后减小的趋势,其中,在陡坡上分布最多,在平坡上分布最少;高山松林碳密度随坡度的增大呈先增大后减小的趋势,其中高山松林在急坡上的碳密度最大,为 35.94 t/hm<sup>2</sup>,在平坡上最小,为 30.85 t/hm<sup>2</sup>。

4) 高山松林碳储量在平地上分布极少,在阴坡、半阴坡、半阳坡、阳坡上的分布差异不大,呈先增大后减小的趋势,其中,在半阳坡上的分布最多,在阴坡上的分布最少;高山松林碳密度大小在各坡向上相差不大,其中在半阳坡上高山松林碳密度最大,为 34.40 t/hm<sup>2</sup>,在平地上最小,为 32.20 t/hm<sup>2</sup>。

## 5.2 讨论

1) 在本研究中,高山松林主要分布在海拔>3 000~3 500 m、海拔>3 500~4 000 m 和海拔>2 500~3 000 m 这三个地段,在海拔>2 000~2 500 m、4 000 m 以上这两个地段分布极小,在海拔小于 2 000 m 的地段无高山松林分布,说明高山松林分布受海拔范围的影响,在高山松林人工种植时选择适宜高山松林生长的海拔地段极为重要。在海拔 2 000 m 以上地段,高山松林碳密度呈先减小后增大的趋势,高山松林碳密度在海拔>2 000~2 500 m 地段最大,为 40.80 t/hm<sup>2</sup>,在>3 500~4 000 m 地段最小,为 33.69 t/hm<sup>2</sup>。这与国内外“森林植被碳密度随海拔的升高而降低”的结论基本一致<sup>[20]</sup>,在本研究中,海拔 4 000 m 以上地段的高山松林碳密度比海拔>3 500~4 000 m 地段的稍大,分析原因认为,虽然高山松林在海拔 4 000 m 以上分布极少,但分布较集中。

2) 在本研究中,高山松林碳储量在陡坡上分布比例最大,高山松林碳密度随坡度的增大呈先增大后减小的趋势,在急坡上最大,分析原因认为,随坡

度的增大,高山松林受人为干扰会逐渐减小,平坡上受人为干扰较大,因此碳密度相对较低,随坡度的不断增大,人为活动相对减少,受人为干扰程度和可能性也逐渐减小,因此碳密度逐渐增大,坡度较高地段水土流失较严重,土壤比较贫瘠,因此,在坡度较大地段高山松林碳密度并不是很大。

3) 在本研究中,高山松林碳储量在各坡向上的分布都比较均匀,与杨晓菲<sup>[21]</sup>的研究中森林碳储量的分布在各坡向上差异不明显的结论一致,赵文洁<sup>[22]</sup>在对落叶松林的研究中显示,落叶松的碳密度在各坡向上的分布规律为:阳坡>无坡向>半阴坡>半阳坡>阴坡,而在本研究中,高山松林碳密度在各坡向上相差不大,说明在本研区中坡向对高山松林的生长影响不大。

## 参考文献:

- [1] 毛建丰,李悦,刘玉军,等. 高山松种实性状与生殖适应性[J]. 植物生态学报,2007,31(2):291-299.
- [2] 王玉涛. 川西高山松林火烧迹地天然更新研究[D]. 北京:北京林业大学,2005.
- [3] 吴中伦. 中国森林第 2 卷:针叶林[M]. 北京:中国林业出版社,1996:950-957.
- [4] 杨玉波,李承彪. 四川森林[M]. 北京:中国林业出版社,1992:435-447.
- [5] 韩荣沛. 试谈雅江林区的高山松经营[J]. 四川林勘设计,1993(4):21-25.
- [6] 吴明山,许彦红,王俊峰,等. 因子分析在林地更新评价中的应用:以香格里拉高山松为例[J]. 西南林业大学学报,2011,31(6):36-39.
- [7] 左政,许彦红,朱霖,等. 香格里拉高山松林分直径结构分析[J]. 西南林业大学学报,2011,31(2):29-32.
- [8] 何飞飞,李永梅,李翠萍. 滇西北生态公益林区高山松容器育苗基质配方研究[J]. 湖南农业大学学报,2008,34(6):631-634.
- [9] 杨冬. 高山松天然更新特性[J]. 林业科技,2005,30(6):15-17.
- [10] 张昆林,钟蓉军. 地形条件对高山松天然更新和生长的影响[J]. 林业科技,2000,25(1):22-23.
- [11] 胡宗华,张正全. 云南省香格里拉市森林资源规划设计调查报告[R]. 云南:云南省林业调查规划院大理分院,2007:13-15.
- [12] HOUGHTON R A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850-1990[J]. Tellus Series B-Chemical & Physical Meteorology,2002,51(2):298-313.

(下转第 24 页)



doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.004

## 内蒙古大兴安岭森林火险等级预报模型研究

杨淑香<sup>1</sup>, 吴宏伟<sup>1</sup>, 董越<sup>1</sup>, 李洪峰<sup>2</sup>, 包兴华<sup>1</sup>

(1. 呼伦贝尔市气象局, 内蒙古 海拉尔 020018; 2. 根河市根森公司森调队, 内蒙古 根河 022350)

**摘要:**为提高森林火险等级预报的准确率和及时率,减少森林资源损失。以内蒙古大兴安岭地区为研究区域,利用遥感 MODIS-NDVI 数据反演可燃物的湿度指数,以气象指数、植被指数、闪电指数、湿度指数共同计算得出森林火险指数,以火险指数作为内蒙古大兴安岭地区森林火险等级预报模型的量化指标,并对火险等级进行分级,获得内蒙古大兴安岭森林火险等级预报方法。该方法结合当地的实际情况,将闪电指数引入到预报模型中,并实现了定量化估测。同时,以近几年发生在该地区重特大森林火灾为例,对该预报模型进行了验证。该方法可较好地对内蒙古大兴安岭地区森林火险等级进行定量化预报。

**关键词:**森林可燃物;MODIS-NDVI 数据;含水率;火险等级;预报模型;大兴安岭

中图分类号:S762.31;S711 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0019-06

引文格式:杨淑香,吴宏伟,董越,等. 内蒙古大兴安岭森林火险等级预报模型研究[J]. 林业调查规划,2024,49(2):19-24. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.004

YANG Shuxiang, WU Hongwei, DONG Yue, et al. Prediction Model of Forest Fire Risk Level in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 19-24. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.004

## Prediction Model of Forest Fire Risk Level in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia

YANG Shuxiang<sup>1</sup>, WU Hongwei<sup>1</sup>, DONG Yue<sup>1</sup>, LI Hongfeng<sup>2</sup>, BAO Xinghua<sup>1</sup>

(1. Hulunbuir Meteorological Bureau, Hailar, Inner Mongolia 020018, China;  
2. Gensen Company Forest Investigation Team, Genhe, Inner Mongolia 022350, China)

**Abstract:** In order to improve the accuracy and timeliness of forest fire risk level prediction and reduce forest resource loss, the Greater Khingan Mountains region of Inner Mongolia was researched. The humidity index of combustibles was inverted using MODIS-NDVI remote sensing data, and the forest fire risk index was calculated using meteorological index, vegetation index, lightning index and humidity index. The fire risk index was used as the quantitative indicator of the forest fire risk level prediction model in the Greater Khingan Mountains region of Inner Mongolia, to classify the fire risk level and obtain a forest fire risk level prediction method. This method combined the local actual situation and introduced the lightning index into the prediction model, achieving quantitative estimation. At the same time, the prediction mod-

收稿日期:2022-09-21.

基金项目:内蒙古自治区气象局科技创新项目(nmqkjc202305);呼伦贝尔市气象局科技创新项目(hlbeqx202017).

第一作者:杨淑香(1980-),女,内蒙古根河人,硕士,高级工程师.主要从事森林防火气象服务. Email: yangshuxiang0312@163.com

责任作者:包兴华(1981-),男,内蒙古通辽人,高级工程师.主要从事人工影响天气方面研究.

el was validated using the example of major forest fires occurred in recent years. This method could quantitatively predict the forest fire risk level in the Greater Khingan Mountains region of Inner Mongolia.

**Key words:** forest combustibles; MODIS-NDVI data; moisture content; fire risk level; prediction model; Greater Khingan Mountains

内蒙古大兴安岭林区位于内蒙古东北部,是我国面积最大的国有林区,在维护生态平衡和生态安全方面,担负着十分艰巨的历史责任。目前,森林火灾的发生严重威胁着森林资源,特别是在内蒙古东北部,干旱时有发生,雷击极易导致重、特大森林火灾的发生。探讨森林火灾的易发程度、发展趋势及变化规律,对森林资源的可持续发展、维护生态平衡和生态安全具有重要意义。

一般来说,林火预报是在天气预报的基础上进行推算,气象要素预报的准确性直接影响森林火险预报的准确性。但林火预报不单只依赖于气象,还与地形、地貌、可燃物的类型和干湿程度以及火源等有关。近年来,随着科学技术的发展,许多国家将 GIS 技术和遥感技术应用于森林火险等级预报中。PALTRIDGE<sup>[1]</sup>首先尝试利用 NOAA-AVHRR 图像数据对草原干燥度及潜在火险进行了监测和评估。LOPEZ<sup>[2]</sup>利用遥感数据和气象数据建立了潜在火险指数 FPI (fire potential index) 指数,预判森林火险等级。VIEGAS 等<sup>[3]</sup>利用卫星红外遥感技术监测森林火灾中林地火烧强度的不同。田晓瑞等<sup>[4]</sup>利用 Keetch-Byram 干旱指数预报森林火灾。覃先林<sup>[5]</sup>利用遥感与 GIS 技术计算了火险指数,并划分了火险等级。周建国等<sup>[6-10]</sup>利用 RS 结合 GIS 技术进行森林火险的预测预报和火灾监测研究。但在定量化预报森林火险等级中鲜有运用闪电指标的,在前人研究的基础上<sup>[11-20]</sup>,利用实时的 MODIS 数据获取森林可燃物湿度和长势作为背景数据库,结合实时闪电资料对火险指数进行分级,可以提供及时、精准的监测预报预警产品,为森林防扑火工作提供决策参考。

## 1 研究区概况

研究区域位于内蒙古大兴安岭林区,地处内蒙古东北部,跨呼伦贝尔、兴安盟 9 个盟市,森林覆盖率 78.39%,主要林型有兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 林、白桦 (*Betula platyphylla*) 林、樟子松 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) 林、蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 林。海拔 250~1 745 m。气候特征属于寒温带大陆

性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨。年均温  $-3.5^{\circ}\text{C}$ ,年降水量 300~450 mm。大兴安岭地区是我国森林火灾的高发区,且平均每年受害面积占比 50% 以上。由于内蒙古东部地势平缓,林草相连,春、夏季干旱,大风天气多,可燃物水分迅速降低,极易引燃,加之地处偏远,交通不便,一旦发生火情,发现难、扑救难、反应迟缓,常造成重、特大森林火灾的发生。

## 2 数据采集及处理

### 2.1 野外数据采集

分别在大兴安岭林区选取根河、牙克石、图里河、鄂伦春、博克图、小二沟 6 个地点为采样点,在春、夏、秋季各采样 1 次,每次 3 个点。2004—2021 年,采样点数共计 540 个,实验中去除了有云层覆盖样点数,最终用于可燃物湿度指数 (FMC) 反演的样本数为 457 个。采样一般选择晴朗无云或少云的天气进行,每个样本的位置用 GPS 定位。样本包括  $1\text{ m}^2$  内的所有地上生物量,在  $80^{\circ}\text{C}$  恒温下烘干 3 d。可燃物湿度指数 (FMC) 为水分 (鲜重减去干重) 和鲜重的比值,公式为:

$$\text{FMC} = (\text{FW} - \text{DW}) / \text{FW} \times 100\% \quad (1)$$

式中:FW 为野外测量的鲜重;DW 为烘干后的干重。

### 2.2 数据来源

用于森林火险预报的数据资料包括闪电分布数据、植被分布数据和气象数据。闪电分布数据由过去 24 h 发生闪电的具体位置构成。植被分布数据来自中国 500 M NDVI 16 天合成产品 MODNDID,即基于中分辨率成像光谱仪的归一化植被指数 (MODIS-NDVI) 数据,时间分辨率为天,空间分辨率为 500 m。本文选取与地面采样时间为同一天且云覆盖率在 10% 以下的遥感产品,每幅影像的反射率数据集中提供了 1~7 波段的反射率、质量评估等级、观测范围、观测数等。气象资料为预报时间段内智能网格预报中的要素预报,包括风速、温度、相对湿度、连续无降水日数。

### 2.3 卫星数据及其处理

Terra/Aqua MODIS 数据资料较完整,时间序列较长,且每天有两颗星同时覆盖大兴安岭地区,均在

正午时间,便于进行植被监测和可燃物湿度估算。从地理空间数据云网站上获取 MOD/MYD09GA 地表反射率产品。

### 3 研究方法

目前,内蒙古大兴安岭地区的火险等级预报采用国标森林火险气象等级(GB/T 36743—2018)的指标,包括风速、温度、相对湿度和连续无降水日数,经过常年的监测和对比发现火险等级普遍偏低,与当地的火险形势不符。

对比分析历史森林火灾发生情况,上世纪的重、特大森林火灾一般由人为因素导致,随着宣传和管控力度的加大,近年来发生的森林火灾多半由雷击引发,雷击火灾不仅跟降水等气象条件相关,还与地表可燃物的构成和干湿程度相关。由于地表可燃物的分布状况目前还没有准确的实验数据,因此本研究采用遥感图像反演可燃物湿度。

利用 MODIS-NDVI 数据获取地面可燃物的长势和湿度,并在地理信息系统技术支持下,结合闪电分布、森林分布、气象数据,分别计算可燃物湿度指数和背景综合指数,以及火险指数,最后进行分级处理,获得内蒙古东北部森林火险等级分布。

#### 3.1 可燃物湿度指数(FMC)

可燃物湿度指可燃物的含水率,先下载对应地面采样日期的MYD09GA地表反射率产品,利用 ArcGIS 读取地面采样点对应第 2 和第 7 通道的反射率值进行估算<sup>[21]</sup>。所得回归方程为:

$$FMC = 19.577 + 0.105 \times \rho_2 - 0.123 \times \rho_7 \quad (2)$$

式中: $\rho_2$ 为第 2 通道反射率; $\rho_7$ 为第 7 通道反射率。

#### 3.2 背景综合指数(BCI)

背景综合指数由闪电分布指数、植被分布指数和气象指数构成,公式为:

$$BCI = (LDI + VDI + MI) / 3 \quad (3)$$

式中:LDI 为闪电分布指数;VDI 为植被分布指数;MI 为气象指数。

闪电分布指数由闪电定位仪监测过去 24 h 闪电实时发生情况,当有闪电发生时,以闪电为中心的半径 0.5 km 内赋值为 1,其余地区为 0。植被指数采用 MODIS-NDVI 指数代替。气象指数由未来 24 h 的预报,当日 14:00 的风速、气温、相对湿度,过去 24 h 的降水、雪深数据构成,在 ArcGIS 中分别进行空间定位、插值和归一化处理,最后获取空间分辨率为 1 km<sup>2</sup> 的气象要素图。

#### 3.3 火险指数(FFDI)

火险指数是火险发生程度的具体衡量指标,是由可燃物湿度指数和背景综合指数构成的函数。火险指数计算公式为:

$$FFDI = \{(1 - FMC) \times FIW + BCI\} / 2 \quad (4)$$

式中:FMC 为可燃物湿度指数;BCI 为背景综合指数;FIW 为权重指数。

#### 3.4 森林火险指数分级

参照林业行业标准及相关研究确定的森林火险指数分级标准<sup>[22]</sup>,将火险指数由低到高分 5 个等级,并对其危险性和可燃性进行了描述。具体指标见表 1。

表 1 火险指数分级及描述

Tab. 1 Classification and description of fire risk index

火险等级	危险程度	火险指数/%	可燃性	蔓延性
1 级	没有危险	0~25	不能燃烧	不能蔓延
2 级	低度危险	25~50	难以燃烧	难以蔓延
3 级	中度危险	50~75	轻易燃烧	轻易蔓延
4 级	高度危险	75~90	容易燃烧	容易蔓延
5 级	极度危险	>90	极易燃烧	极易蔓延

### 4 结果与分析

本研究对内蒙古东北部森林火险等级进行预报,2021 年 4 月 15 日和 2021 年 4 月 17 日的森林火险等级预报图如图 1 所示。

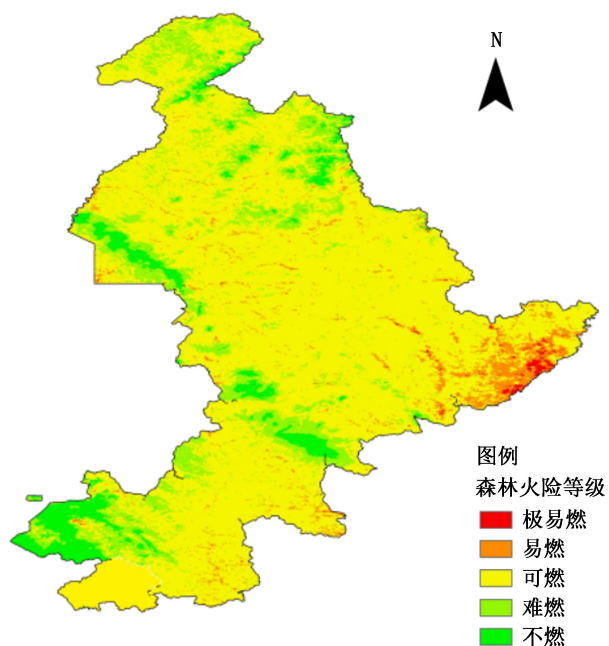
由图 1 可知,2021 年入春以来降水偏少,温度偏高,林区大部分地区出现阶段性干旱,进入 4 月份后风力加大,致使林区火险气象等级偏高,4 月 16 日林区普降小到中雨,除林区东部局部地区外,其余绝大部分地区火险等级明显下降。

选取近几年发生在内蒙古大兴安岭地区的重、特大森林火灾典型案例,采用典型抽样和火点监测结果相结合的方法,对森林火险指数分级标准及预报结果进行验证。

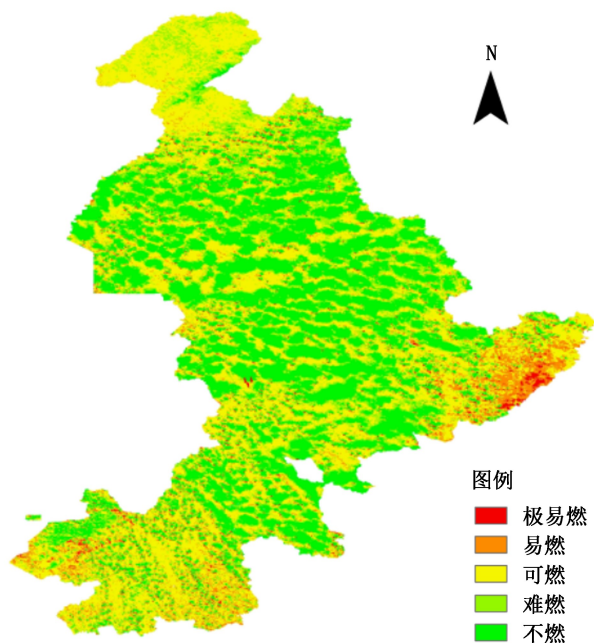
#### 4.1 多发性雷击火验证

2019 年 6 月下旬内蒙古东北部出现气温异常偏高现象,尤其是额尔古纳市、根河市北部,气温较常年偏高 1.6~2.4℃,降水量较常年偏少 70%~80%,且出现了特大干旱现象,地面可燃物含水率特低,对森林防灭火工作造成非常大的压力。7 月中旬相继出现 10 多起雷击火灾。内蒙古大兴安岭东北部 2019 年 7 月 10 日火险气象等级预报以及 2019 年 7 月 11 日—12 日雷击火点位置见图 2,图 3。





(a)4月15日



(b)4月17日

图 1 内蒙古大兴安岭东北部森林火险气象等级预报

Fig. 1 Meteorological prediction of forest fire risk in the northeast Greater Khinghan Mountains of Inner Mongolia

从图 2 可以看出,林区北部大部分地区以火险等级 2 级为主,局部为火险等级 2~3 级,其中在永安山、满归、阿龙山、汗马出现了火险等级 5 级。对比分析实际的雷击火点位置(图 3),与图 2 森林火险气象等级预报图基本吻合,在预报森林火险气象

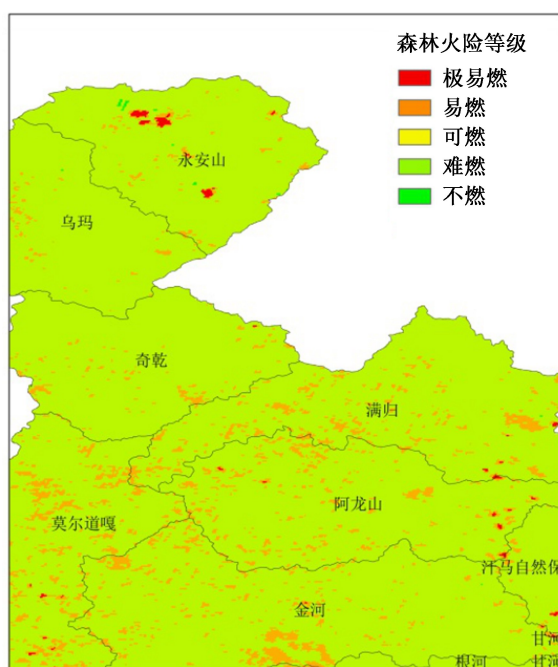


图 2 内蒙古大兴安岭东北部 2019 年 7 月 10 日火险气象等级预报

Fig. 2 Meteorological prediction of forest fire risk in the northeast Greater Khinghan Mountains of Inner Mongolia on July 10, 2019

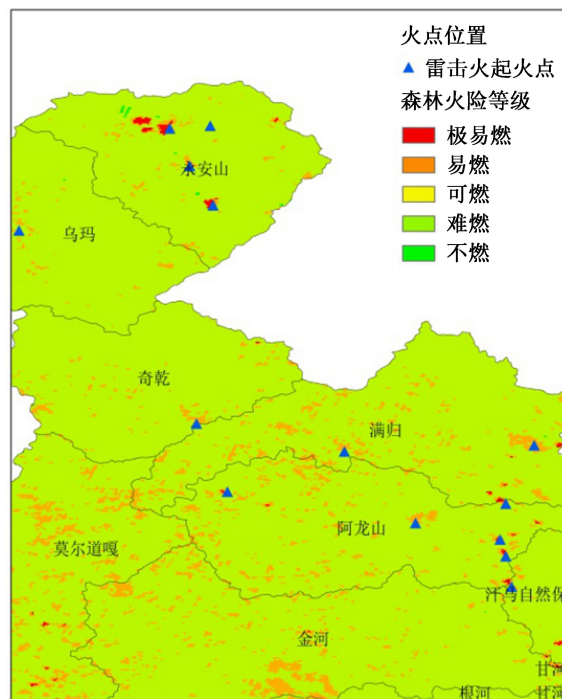


图 3 内蒙古大兴安岭东北部 2019 年 7 月 11—12 日雷击火点位置

Fig. 3 Location of lightning fire in the northeast Greater Khinghan Mountains of Inner Mongolia from July 11 to July 12, 2019

等级为 5 级的位置,出现了雷击火 6 起。结果表明本文采用的森林火险指数计算方法及定量划分指标与实际森林火险等级基本相符。火险指数对于森林火灾的发生意义重大,从而可用该指数作为内蒙古东北部林区森林火险气象等级预报的定量指标。

#### 4.2 典型重、特大火灾验证

选取 2016—2019 年发生在内蒙古大兴安岭地区的重、特大火灾 9 起,对文火险指数进行计算。内蒙古大兴安岭东北部重、特大森林火灾发生前一天的火险指数、可燃物湿度指数、背景综合指数统计见表 2。

表 2 内蒙古大兴安岭东北部典型重特大森林火灾发生前一天的火险指数

Tab. 2 Fire risk index of typical major forest fire in the northeast Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia on the day before the fire occurred

森林火灾 起火地点	起火时间 (年-月-日)	中心经度	中心纬度	可燃物湿度 指数(FMC)	背景综合 指数(BCI)	火险指数 (FFDI)	火险等级
金河	2016-05-18	121°16'52"	51°07'47"	53.60	75.37	64.48	3 级
阿尔山	2016-05-30	119°39'49"	47°07'30"	55.71	62.91	59.30	3 级
毕拉河	2017-05-02	122°58'20"	49°27'49"	37.39	88.49	87.94	4 级
北部原始林	2017-04-30	120°17'09"	52°38'38"	45.70	88.92	77.31	4 级
北部原始林	2017-06-25	120°20'00"	52°53'07"	47.05	61.24	59.14	3 级
满归	2017-07-06	122°40'10"	52°08'56"	31.85	76.91	69.38	3 级
汗马	2018-06-01	122°38'27"	51°40'41"	42.91	67.37	55.14	3 级
北部原始林	2018-06-02	121°25'30"	52°19'48"	36.65	61.27	58.96	3 级
金河秀山	2019-06-19	121°17'35"	51°53'40"	36.25	85.74	75.99	4 级

由表 2 可知,火灾发生区域前一天的火险等级均在 3 级及 3 级以上,尤其是毕拉河火灾发生的前一天,火险指数为 87.94,接近火险等级 5 级,属于极易燃烧、极易蔓延等级,这与事实上发生在毕拉河火灾的真实情况相符。毕拉河火灾是近年来发生在内蒙古大兴安岭地区的一次特别重大森林火灾,损毁森林面积达 1.14 万  $\text{hm}^2$ 。同时可燃物湿度指数和背景综合指数两者对总的火险指数具有一定影响力,这也说明了发生森林火灾时,不仅外界的气象条件有一定的决定作用,可燃物本身的湿度也是导致森林火灾发生的重要因素。

## 5 结 论

利用 MODIS-NDVI 数据产品获取森林可燃物的湿度因子,并在地理信息系统技术的支持下,结合气象指数、植被指数和闪电分布指数,提出了适应于内蒙古东北部的森林火险等级的定量计算方法和分级方法,并依据此火险指数对该区域进行火险等级预报。从近年来发生的重特大森林火灾和多发性雷击火的检验结果可知,森林火险指数等级预报方法与选择的重特大森林火灾实际发生过程基本一致,表明本文的方法切实可行。

森林火灾的预报预警工作是一项非常复杂和漫长的工作,涉及多学科、多因素的综合研判<sup>[23-25]</sup>。在本研究的基础上,还需对影响森林火险等级预报的其他因子进行研究,以修正和补充量化的划分指标和分级标准,以提高森林火险等级的预报准确率和实效性。另外,对于大尺度的火险等级预报结论还需进一步进行探讨。

## 参考文献:

- [1] PALTRIDGE G W, BARBER J. Monitoring grassland dryness and fire potential in Australia with NOAA—AVHRR data [J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 25(3): 381-394.
- [2] LOPEZ S, GONZALES-ALONSO F, LLOP R, et al. An evaluation of the utility of images for monitoring forest fire risk in Spain [J]. International Journal of Remote Sensing, 1991(12): 1841-1951.
- [3] VIEGAS D X, VIEGAS M T, FERREIRA A D. Moisture content of fine forest fuels and fire [J]. International Journal of Wildland Fire, 1992(2): 69-87.
- [4] 田晓瑞,舒立福,王明玉,等. 利用 Keetch-Byram 干旱指数预测森林火险 [J]. 火灾科学, 2003(12): 151-155.
- [5] 覃先林. 遥感和地理信息系统技术相结合的林火预警方法的研究 [D]. 北京:中国林业科学院, 2005.

- [6] 周建国. 基于 GS 和 GIS 的森林火险等级预报研究[D]. 长沙:中南大学,2009.
- [7] 王艳霞,周汝良,丁琨,等. 基于地表有效保水量的森林火险天气等级预报[J]. 东北林业大学学报,2014(3):60-64.
- [8] 郭彦茹,王凯松,张艳,等. 基于森林火险指数的森林火险实时预警系统[J]. 中国农业气象,2014,35(4):457-462.
- [9] 张伟,王峰,郭艳芬,等. 基于 Logistic 回归的森林火险天气等级模型[J]. 东北林业大学学报,2013(12):121-122,131.
- [10] 杨建卫,赵凯,李晓峰,等. 林下枯枝落叶层双频段微波辐射衰减特性研究与分析[J]. 遥感技术与应用,2017,32(2):255-261.
- [11] 张增信,闵俊杰,闫少锋,等. 苏南丘陵森林枯落物含水量及其影响因素分析[J]. 水土保持通报,2011,31(1):6-10.
- [12] 谢宇希,胡海清,杨曦光,等. 基于实测光谱的大兴安岭地区典型森林枯落物含水率估测模型[J]. 生态学杂志,2017,36(11):3321-3328.
- [13] 王婕. 安宁地区主要树种死可燃物含水率及火险等级研究[D]. 北京:北京林业大学,2018.
- [14] 张烨方,冯真祯,王颖波,等. 基于 GIS 的网格化雷电灾害风险评估模型及其应用[J]. 气象科技,2016,44(1):142-147.
- [15] 刘振波,张丽丽,葛云健,等. 基于环境卫星数据的森林叶面积指数遥感反演与验证——以大兴安岭加格达奇林区为例[J]. 林业工程学报,2015,29(4):126-130.
- [16] 杨淑香,包兴华,吴宏伟,等. 雷击火起火原因及预测预报研究综述[J]. 森林防火,2020(4):28-31.
- [17] 张恒,张鑫,赵鹏武,等. 内蒙古森林草原雷击火灾时空分布特征[J]. 东北林业大学学报,2020(12):46-51.
- [18] 赵鹏武,武峻毅,张恒. 基于聚类分析法的我国森林火险等级区划研究[J]. 林业工程学报,2021,6(3):142-148.
- [19] 赵鹏,刘琳. 基于气象和时空因子的森林火险等级预测[J]. 林业工程学报,2018,3(3):102-110.
- [20] 覃先林,张子辉,李增元,等. 国家级森林火险等级预报方法研究[J]. 遥感技术与应用,2008,23(5):500-505.
- [21] 赵鲁强,杨晓丹,梁莉,等. 森林火险气象等级:GB/T 36743—2018[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
- [22] 王超,高红真,程顺,等. 塞罕坝林区森林可燃物含水率及火险预报[J]. 林业工程学报,2009,23(3):59-61.
- [23] 彭欢,史明昌,孙瑜,等. 基于 Logistic 的大兴安岭雷击火预测模型[J]. 东北林业大学学报,2014(7):166-169.
- [24] 陈妮娜,张玉书,张硕,等. 2004—2013 年辽宁省主要气象灾害分布及预警服务分析[J]. 自然灾害学报,2017,26(3):176-184.

责任编辑:陈旭

(上接第 18 页)

- [13] 刘国华,傅伯杰,方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. 生态学报,2000,20(5):733-740.
- [14] BAILEY R L, WARE K D. Compatible basal-area growth and yield model for thinned and unthinned stands[J]. Canadian Journal of Forest Research,2011,13(4):563-571.
- [15] SULLIVAN A D, CLUTTER J L. A simultaneous growth and yield model for loblolly pine[J]. Forest Science, 1972,18(1):76-86.
- [16] CANDY S G. Growth and yield models for *Pinus radiata* in Tasmania[J]. New Zealand Journal of Forestry Science, 1989,19(1):112-133.
- [17] 李江,邱琼,朱宏涛,等. 思茅松中幼龄人工林的生物量碳密度及其动态变化[J]. 中国水土保持科学,2011,9(2):106-111.
- [18] 朱丽梅,胥辉. 思茅松单木生物量模型研究[J]. 林业科技,2009,34(3):19-23.
- [19] 胥辉,张会儒. 林木生物量模型研究[M]. 昆明:云南科技出版社,2002.
- [20] 王绍强,周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算[J]. 地理研究,1999,18(4):349-356.
- [21] 杨晓菲,鲁绍伟,饶良懿,等. 中国森林生态系统碳储量及其影响因素研究进展[J]. 西北林学院学报,2011,26(3):73-78.
- [22] 赵文洁,李凤日,庄宸,等. 大兴安岭地区落叶松林碳密度空间分布[J]. 东北林业大学学报,2014,42(6):1-5.

责任编辑:许易琦



doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.005

## 基于 GIS 的三门峡市公园可达性分析

张榕楠<sup>1</sup>, 杨芳绒<sup>1</sup>, 杨俊<sup>1</sup>, 杨澜<sup>2</sup>

(1. 河南农业大学 风景园林与艺术学院, 河南 郑州 450002; 2. 太原理工大学 艺术学院, 山西 晋中 030600)

**摘要:** 基于 GIS 技术, 以三门峡市中心城区城市公园为例, 利用网络分析法定量评价步行、非机动车、机动车 3 种交通方式下的公园可达性, 并结合可达面积与人口分析比较研究区、各行政区、各行政街道间的差异。结果表明, 研究区内公园分布不均, 湖滨区公园多、陕州区公园少; 研究区公园绿地非机动车和机动车方式下的可达性较好; 步行方式下的可达性较差, 只有不到 36.11% 居民可步行 30 min 内到达相近公园; 湖滨区公园绿地可达性要好于陕州区; 前进街道、涧河街道、湖滨街道公园的可达性最佳, 会兴街道、张湾乡公园的可达性最差。

**关键词:** 风景园林; 公园绿地; 可达性; GIS; 三门峡市

中图分类号: S759.91; P208 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0025-08

引文格式: 张榕楠, 杨芳绒, 杨俊, 等. 基于 GIS 的三门峡市公园可达性分析[J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 25-32.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.005

ZHANG Rongnan, YANG Fangrong, YANG Jun, et al. Accessibility Analysis of Sanmenxia Park Based on GIS[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 25-32. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.005

## Accessibility Analysis of Sanmenxia Park Based on GIS

ZHANG Rongnan<sup>1</sup>, YANG Fangrong<sup>1</sup>, YANG Jun<sup>1</sup>, YANG Lan<sup>2</sup>

(1. College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. College of Art, Taiyuan University of Technology, Jinzhong, Shanxi 030600, China)

**Abstract:** Based on GIS platform, this paper selected the urban park in the central area of Sanmenxia to quantitatively evaluate the park accessibility under three modes of transportation walking, non-motor vehicle and motor vehicle by using network analysis method, and compare the differences among the study area, administrative districts and administrative streets in combination with accessible area and population analysis. The results showed that the parks in the study area were unevenly distributed, with more parks in Hubin District and less parks in Shanzhou district; the accessibility of non-motor vehicles and motor vehicles in the park green space was good; walking accessibility was poor, and less than 36.11% of residents could walk for 30 minutes to reach the nearby park; the accessibility of park green space in Hubin District was better than that in Shanzhou District; Qianjin Street, Jianhe Street and Hubin Street had the best accessibility, while Huixing Street and Zhangwanxiang Park had the worst accessibility.

**Key words:** landscape architecture; park green space; accessibility; GIS; Sanmenxia City

收稿日期: 2022-11-03.

基金项目: 河南省科技智库项目(HNKJZK-2020-01C).

第一作者: 张榕楠(1998-), 男, 河南灵宝人, 硕士研究生. 研究方向为风景园林规划设计. Email: 434630351@qq.com

责任作者: 杨芳绒(1963-), 女, 河南灵宝人, 教授, 博士生导师. 主要从事风景园林规划与设计研究. Email: z15516918691@163.com

城市公园绿地作为一种公共附属物品,对居民的身心健康、社会的进步、生态的可持续发展起着至关重要的作用,因此也是衡量城市公共资源分配的关键指标<sup>[1-3]</sup>。随着居民对公园需求的提高,城市公园的休闲娱乐功能越来越受到关注,并且居民期望可更加方便快捷地到达公园<sup>[4-5]</sup>。公园绿地可达性的提出可客观地反映居民享用绿地资源的公平性,也是评价居民城市生活满意度的重要环节<sup>[6]</sup>。

可达性(accessibility)概念最先由 HANSEN W G 提出,用来表达交通网络中任意两点之间互相反映几率的大小<sup>[7-8]</sup>。国内俞孔坚于 1999 年提出城市绿地可达性实际上反映了景观对某种水平运动过程的景观阻力,即在城市空间中的任意一点,到达某一绿地景点的难易程度<sup>[9]</sup>。公园可达性即是在此基础上的拓展和延伸,反映居民到达城市公园的便捷性<sup>[10]</sup>。目前对于城市绿地公园可达性研究主要分为定性研究和定量分析。定性研究人为主观因素较强,而定量分析是依据客观数据,加以分析得出结论,可靠性较高<sup>[11]</sup>。在定量分析中,常用到缓冲区法、成本加权距离法、网络分析法等, NICHOLLS S 较早将网络分析法与城市绿地可达性相结合计算研究<sup>[12]</sup>,李小马等<sup>[13]</sup>评价了沈阳市城市公园可达性,是国内较早运用网络分析法计算公园可达性的学者之一。严军等<sup>[14]</sup>将缓冲区法、成本加权距离法、网络分析法 3 种计算方法通过客观数据进行实际对比,证明了网络分析法是在一定数据试验下误差最小、最贴合实际的城市公园可达性研究方法。

三门峡市在 2009 年、2010 年分别被授予“国家园林城市”和“国家森林城市”称号,表明三门峡市在城市生态文明建设过程中成效显著。以三门峡市中心城区的城市公园绿地系统为研究对象,运用网络分析法计算三门峡市中心城区城市公园绿地可达性,合理评价其城市绿地规划系统,旨在为今后三门峡市以及其他城市的绿地系统研究和建设提供有益借鉴。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

三门峡市地处河南、山西、陕西三省交界处的河南省西部。三门峡市下辖湖滨区、陕州区 2 个市辖区,灵宝市、义马市 2 个县级市,卢氏县、渑池县 2 个县。中心主城区位于湖滨区和陕州区。

研究区范围位于三门峡市中心主城区,由湖滨区西部、陕州区西北部的 6 个街道、1 个经济开发区

和 1 个乡组成(图 1)。研究区总面积约 54.2 km<sup>2</sup>,包含湖滨区和陕州区的部分地区,还包含车站街道、前进街道、湖滨街道、涧河街道的全部区域以及崖底街道、会兴街道、河南三门峡经济开发区、张湾乡的部分区域,总人口 23.97 万人,研究区人口密度约为 4 423 人/km<sup>2</sup>。

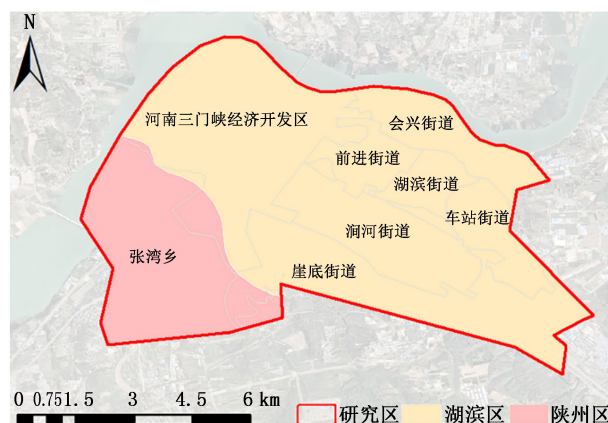


图 1 研究区内行政区划范围

Fig.1 Scope of administrative regions within the study area

### 1.2 研究对象

根据《城市绿地分类标准》(CJJT 85—2017),将整个研究区域内的公园绿地进行分类,选取综合公园和专类公园作为主要研究对象,并且根据公园总体设施齐全情况、是否具备服务能力、可承受服务范围能力(大于 5 hm<sup>2</sup>)等,最终将人民公园(18.8 hm<sup>2</sup>)、虢国公园(18 hm<sup>2</sup>)、陕州公园(118 hm<sup>2</sup>)、庙底沟遗址公园(45 hm<sup>2</sup>)、运动公园(5.6 hm<sup>2</sup>)共 5 个城市公园确定为研究对象,总面积 205.4 hm<sup>2</sup>,占整个研究区比例为 3.79%。

### 1.3 数据来源

本研究所采用数据来自三门峡市 Google 20 级卫星图、三门峡市行政区划图、三门峡市 OSM 道路数据、百度地图 2010 年全国第六次人口普查三门峡市各街道人口数据等。参照《城市绿地分类标准》(CJJT 85—2017)、《三门峡市城市总体规划(2013—2030)》等。

### 1.4 研究方法

#### 1.4.1 网络分析法

网络分析指针对现实生活中的地理网络之间关系的模型化,其用到的理论基础是图论和运筹学<sup>[15]</sup>。网络分析真实地模拟了从居住区出发前往公园绿地的过程<sup>[17-18]</sup>,一个基础的网络结构包括中心、链、节点、阻力等 4 个元素<sup>[10]</sup>,本研究中,公园绿

地的出入口即表示中心;城市中的交通网络即表示链;道路的交叉口即表示节点;居民在交通道路上花费的时间即表示阻力。

1.4.2 建立公园数据库

在 ArcGIS 软件内建立公园数据库,包含公园的名称、面积、类型、出入口位置等信息。将公园出入口设置为中心,认为到达公园的出入口即表示进入该公园绿地。

1.4.3 建立道路数据库

在三门峡市公园附近收集问卷调查 100 余份,内容主要包括愿意以何种交通方式到达公园以及可接受到达公园在路上所花费的时间(图 2)。

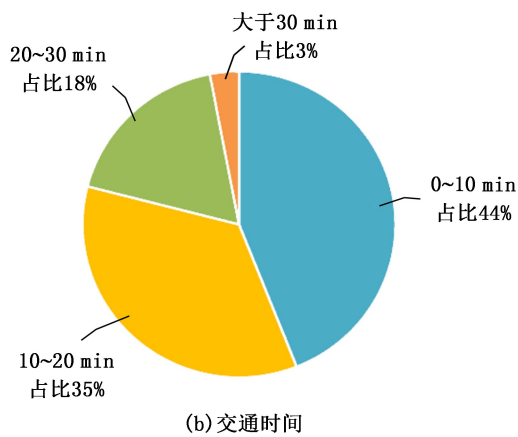
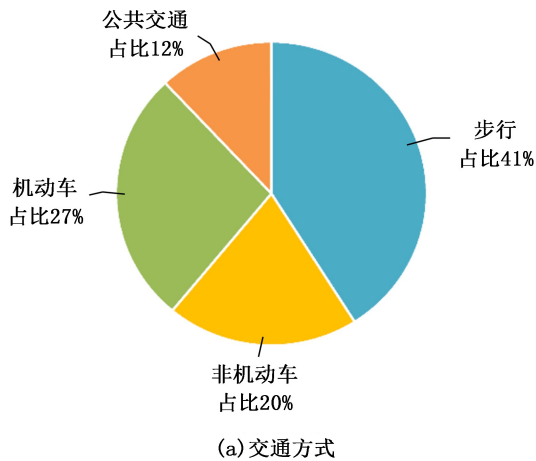


图 2 问卷调查结果

Fig. 2 Questionnaire survey results

结果表明大多数居民愿意在 10 min 之内步行前往周边公园,在交通方式的选择方面,中老年人和学生更倾向于步行和公共交通;年轻人则更倾向于机动车和非机动车,部分年轻人会考虑到目的地是否方便停放机动车从而选择步行或非机动车;乘坐公共交通的不方便性可能成为最少选择的原因之一。

将得到的三门峡市 OSM 道路数据进行筛选,筛选出一级道路、二级道路、三级道路、其他道路,将这些道路进行拓扑建立道路矢量数据库(图 3)。按照问卷调查结果选择步行、机动车、非机动车 3 种出行方式(表 1)。

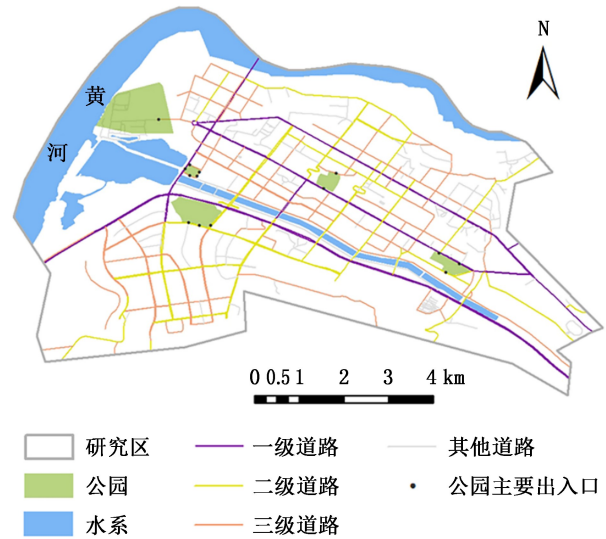


图 3 三门峡市研究区城市路网及公园分布

Fig. 3 Urban road network and park distribution in the study area

表 1 三门峡市研究区不同交通方式行驶速度

Tab. 1 Driving speed of different traffic modes in the study area

交通方式	m/min		
	一级道路	二级道路	三级道路和其他道路
步行	60	60	60
非机动车	250	250	250
机动车	1000	667	500

步行速度依据不同年龄段居民的平均速度设置为 60 m/min,非机动车速度设置为 250 m/min,机动车速度基于前人经验<sup>[16]</sup>依据不同道路等级分别设置速度:一级道路为 1 000 m/min,二级道路为 667 m/min,三级道路及其他路为 500 m/min;在每一个路口添加等待时间为 0.5 min。

1.4.4 建立人口数据库

根据 2010 年全国第六次人口普查各街道人口数据,结合各街道行政面积计算人口密度(表 2),并生成人口密度分布图(图 4)。人口密度计算公式<sup>[19-20]</sup>为:

$$\text{街道人口密度} = \frac{\text{人口总数}}{\text{街道总面积}} \quad (1)$$



表 2 三门峡市研究区行政街道基本情况

Tab. 2 Basic information of administrative streets in the study area

行政街道	面积 /km <sup>2</sup>	人口数量 /人	人口密度 / (人·km <sup>-2</sup> )
前进街道	4.20	39378	9376
涧河街道	7.70	75496	9804
湖滨街道	2.20	34686	15766
车站街道	4.60	45105	9805
崖底街道(部分区域)	11.67	16054	1376
会兴街道(部分区域)	4.51	2715	602
河南三门峡经济开发区(部分区域)	7.65	21800	2850
张湾乡(部分区域)	11.67	4477	384

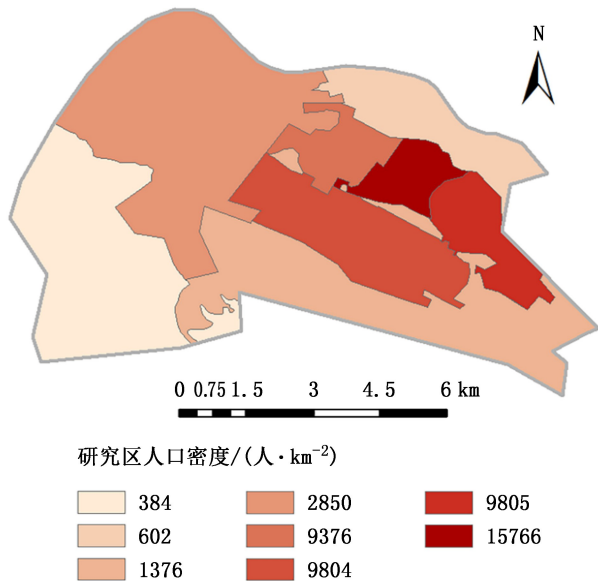


图 4 三门峡市研究区人口密度分布

Fig. 4 Population density distribution in the study area

从图 4 可看出,研究区内人口多分布在中东部,人口密度最大的湖滨街道达到 15 766 人/km<sup>2</sup>,人口密度最小的是西南部的张湾乡,为 384 人/km<sup>2</sup>。

### 1.4.5 公园可达面积及人口计算

在 ArcGIS 10.3 中,运用 Network Analysis 工具计算公园服务区范围,分别设置 3 种出行方式的时间阈值为 10、20、30 min,之后计算出以每个公园入口为中心,不同出行方式及不同时间阈值下网络道路服务范围。按照下列公式求出公园可达面积比及人口比:

$$\text{研究区内公园可达面积比} = \frac{\text{研究区公园可达面积}}{\text{研究区总面积}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{研究区内公园可达人口比} = \frac{\text{研究区公园可达人口}}{\text{研究区总人口}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{行政区公园可达面积比} = \frac{\text{行政区公园可达面积}}{\text{行政区总面积}} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{行政区公园可达人口比} = \frac{\text{行政区公园可达人口}}{\text{行政区总人口}} \times 100\% \quad (5)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 公园空间分布情况

在选取的 5 个公园中,综合公园为人民公园(18.8 hm<sup>2</sup>)、虢国公园(18 hm<sup>2</sup>),专类公园为陕州公园(118 hm<sup>2</sup>)、庙底沟遗址公园(45 hm<sup>2</sup>)、运动公园(5.6 hm<sup>2</sup>)。选取公园主要分布在湖滨区内,服务范围涵盖了湖滨区的大部分地区、陕州区的小部分地区,根据《三门峡市城市总体规划》内容,中心城区兴建逐渐向陕州区靠拢即高铁站南片区,区域内有公园正在兴建或服务设施不完善,故不参与研究。

### 2.2 公园可达性

#### 2.2.1 不同交通方式下公园可达性对比

不同交通方式下公园可达性分析见图 5~图 7。

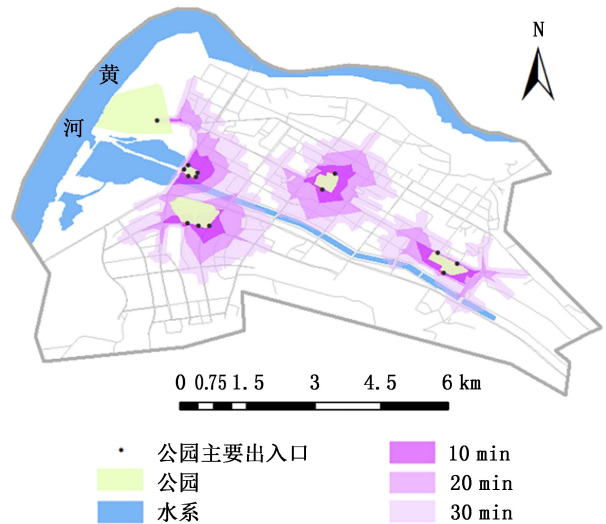


图 5 步行方式下公园可达性分析

Fig. 5 Park accessibility under walking mode

从图 5 可看出,随着步行时间的增长,公园可达面积范围逐步增加,通过计算在步行 30 min 内,公园可达面积比最大只有 21.55%(表 3),服务人口比为 36.11%(表 4),这表明仅有不到四成的居民可以步行 30 min 内前往公园。并且三门峡市涧河将研究区分为两部分,公园多位于涧河北岸,公园服务范围也涵盖北岸较多,由于涧河的阻拦,南岸居民步行

相对不易到达北岸的公园。

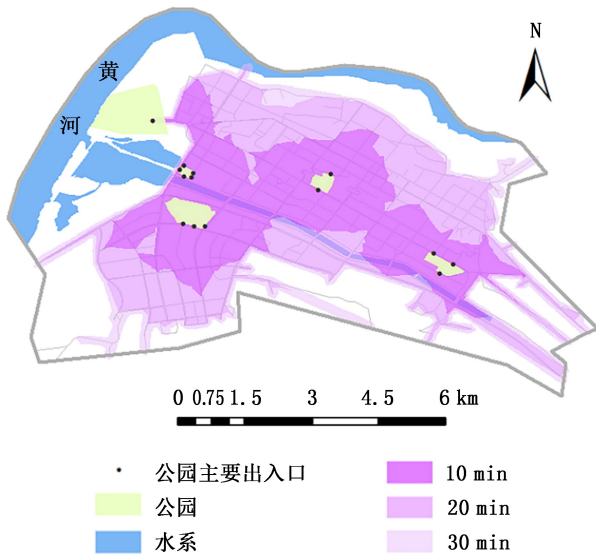


图 6 非机动车方式下公园可达性分析

Fig. 6 Park accessibility under non motor vehicle mode

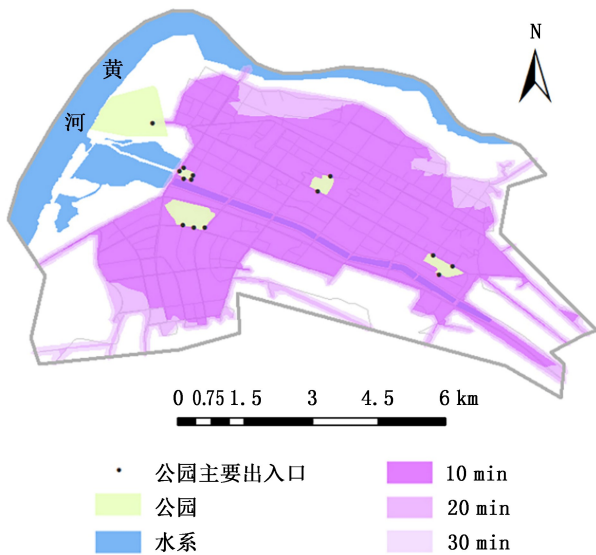


图 7 机动车方式下公园可达性分析

Fig. 7 Park accessibility under motor vehicle mode

表 3 三门峡市研究区内公园可达面积比

Tab. 3 Accessible area ratio of parks in the study area %

交通方式	10 min	20 min	30 min
步行	2.84	9.24	21.55
非机动车	25.25	46.47	56.29
机动车	42.77	51.39	61.70

表 4 三门峡市研究区内公园可达人口比

Tab. 4 Accessible population ratio of parks in the study area %

交通方式	10 min	20 min	30 min
步行	5.16	15.08	36.11
非机动车	44.58	80.20	85.34
机动车	72.61	81.74	86.48

从图 6~图 7 可以看出,非机动车和机动车可达性要高于步行,在行驶 30 min 内已可到达研究区内大部分居住区,虽然可达面积比分别为 56.29%、61.7%,但可达人口比达 85.34%、86.48%。原因在于研究区内除居住区外,水系、农田占据较大的比重。

在增长趋势方面,公园可达面积比和可达人口比随出行时间增长而逐步增长(图 8)。

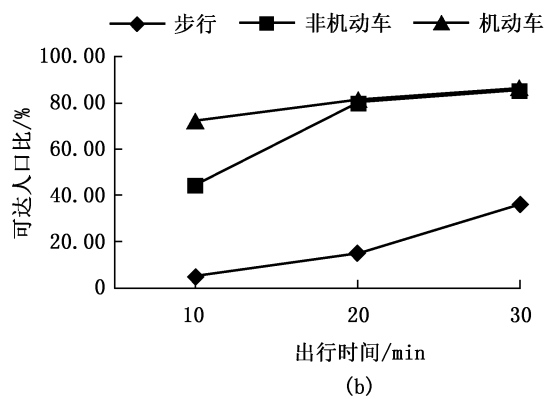
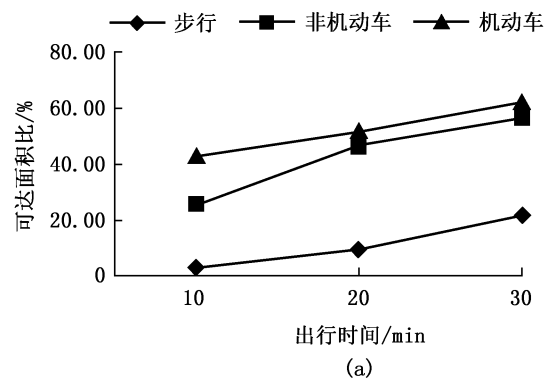


图 8 三门峡市研究区内城市公园可达面积比和人口比增长情况

Fig. 8 Ratio of accessible area and population growth of urban parks in the study area

由图 8 可知,步行方式下出行时间每隔 10 min 可达面积比和人口比增长较为稳定,而非机动车与

机动车方式下出行时间在 0~10 min、10~20 min 可达面积比和人口比增长较快,20 min 以后增长较慢。原因在于当非机动车和机动车行驶 20 min 时几乎覆盖了大部分居住区,可达人口比达 80% 以上,公园服务范围无法覆盖的空白区域,一部分是被水系、

农田等其他用地所占据,另一部分是由于交通路网不完善所造成。

### 2.2.2 不同行政区公园可达性对比

三门峡市不同行政区公园可达面积比和可达人口比统计见图 9。

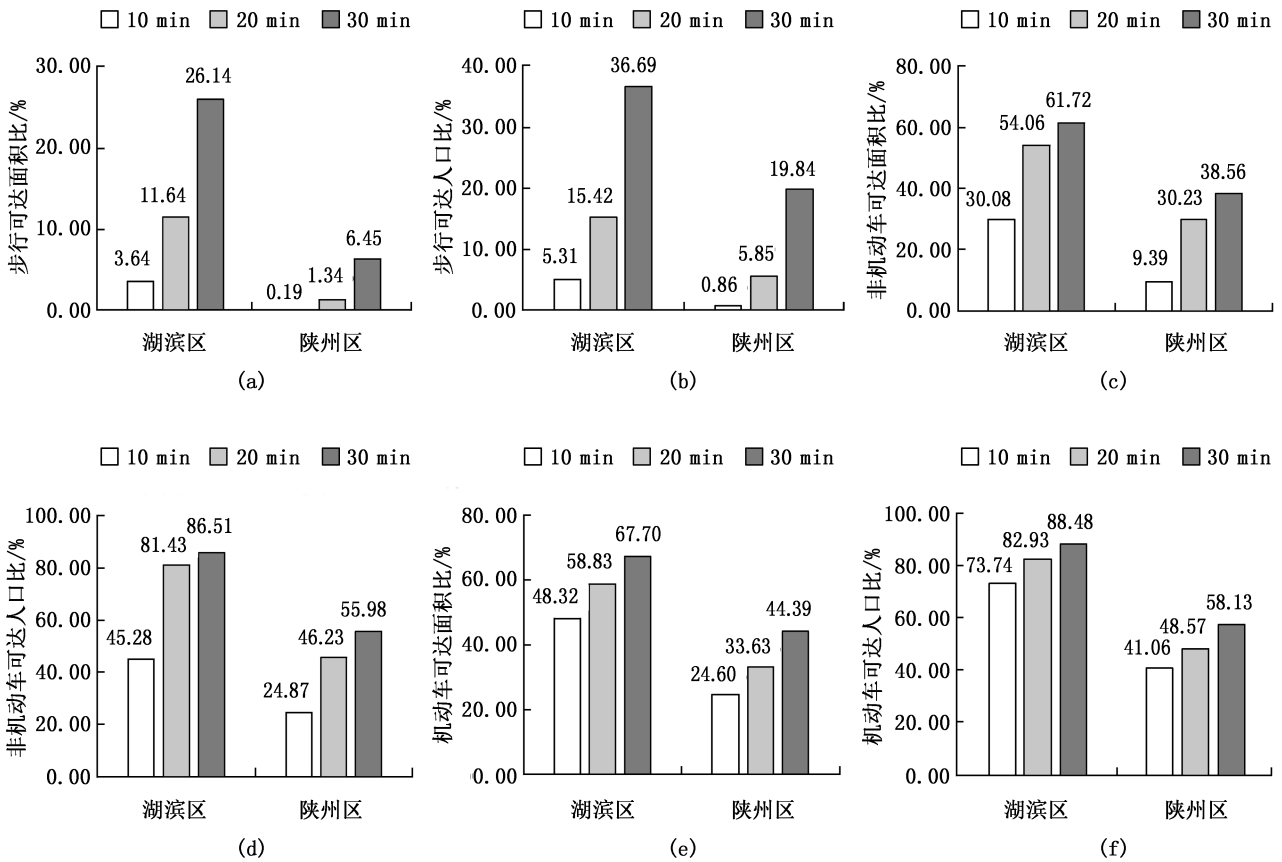


图 9 三门峡市不同行政区可达面积比与人口比

Fig. 9 Ratio of accessible area and population in different administrative regions

从图 9 可以看出,湖滨区公园可达性要明显优于陕州区。无论是何种交通方式,湖滨区的公园可达面积比及人口比均高于陕州区,尤其是在步行 30 min 时,陕州区公园可达面积比只有 6.45%,可达人口比 19.84%,这说明陕州区居民很少利用步行方式到达公园绿地,原因在于陕州区内道路基础设施建立不完善,并且公园绿地也多位于湖滨区。在非机动车方式下,陕州区公园可达性显著提高出行时间 0~20 min,公园可达面积比为 30.23%、可达人口比为 46.23%;出行时间 20~30 min,公园可达面积比为 38.56%、可达人口比为 55.98%。机动车方式下,出行时间 0~20 min 陕州区公园可达面积比为 33.63%、可达人口比为 48.57%;出行时间 20~30 min,公园可达面积比为 44.39%、可达人口比为 58.13%。

由于湖滨区为三门峡市老城区,道路设施建设较为完善,区域中部街道人口密度较大,因此公园可达性较好。步行方式下,出行时间 30 min 内湖滨区公园可达面积比为 26.14%、可达人口比为 36.69%。非机动车方式下,出行时间 0~20 min,公园可达面积比为 54.06%、可达人口比为 81.43%;出行时间 20~30 min,公园可达面积比为 61.72%、可达人口比为 86.51%。机动车方式下,出行时间 0~20 min,陕州区公园可达面积比为 58.83%、可达人口比为 82.93%;出行时间 20~30 min,公园可达面积比为 67.70%、可达人口比为 88.48%。

### 2.2.3 不同行政街道公园可达性对比

三门峡市不同行政街道公园可达面积比统计见图 10。



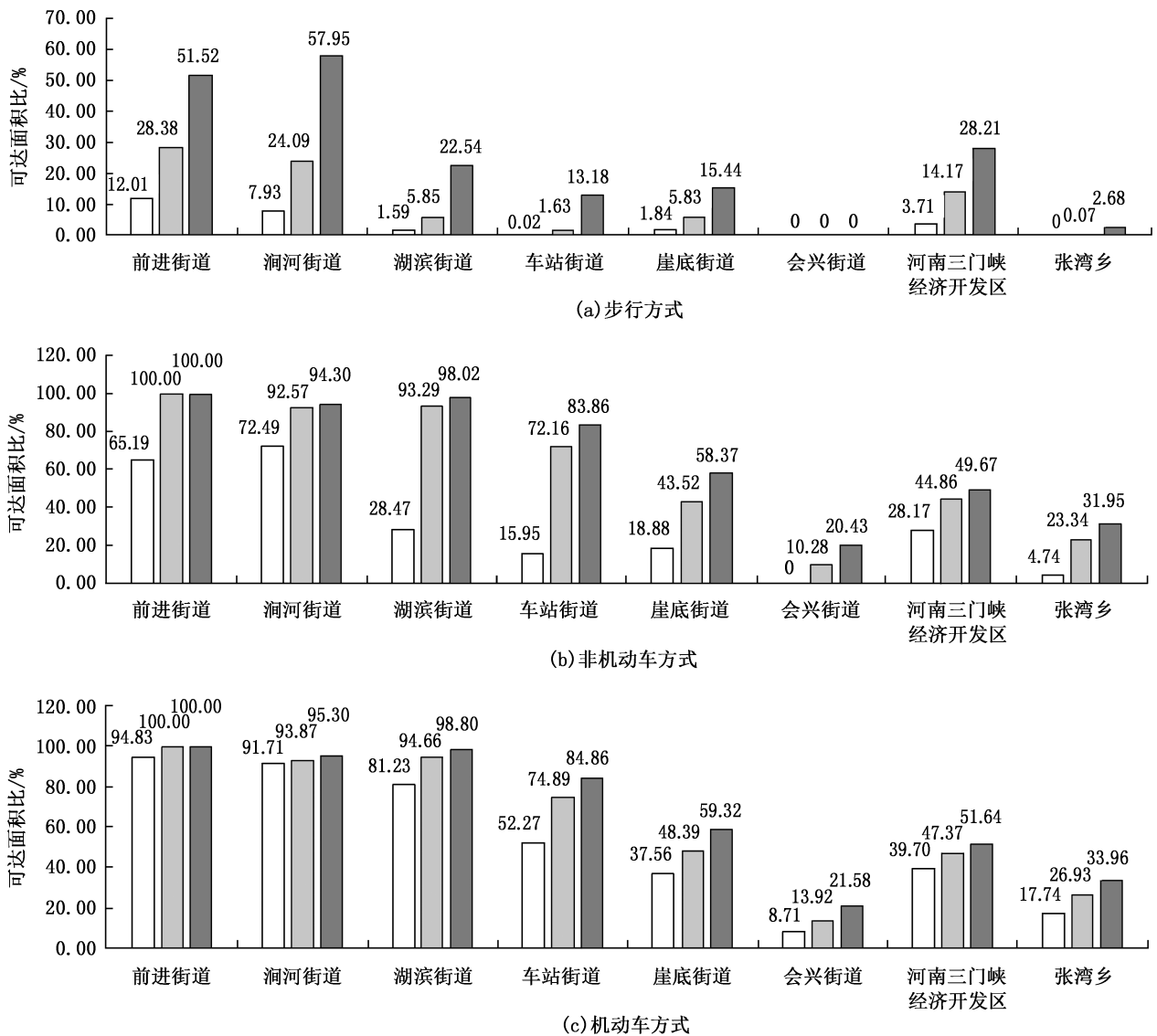


图 10 三门峡市不同行政街道公园可达面积比

Fig. 10 Accessible area ratio of parks in different administrative streets

从图 10 可以看出,前进街道、涧河街道、湖滨街道公园可达性最好,非机动车或者机动车方式下,在出行时间 20 min 内,公园可达面积几乎可以覆盖整个街道;但是步行 30 min 内,湖滨街道公园可达面积比不及另外两个街道,原因在于涧河街道被涧河所分割,公园多集中在北岸,南岸居民步行不易到达北岸。车站街道、崖底街道、河南三门峡经济开发区公园可达性较好,除步行外,非机动车和机动车方式下,30 min 内均可到达附近公园。会兴街道、张湾乡公园可达性最差,步行 30 min 内几乎无法到达附近公园,非机动车与机动车方式下,在出行时间 30 min 内,公园面积可达比也只有 20%~30%,原因在于会兴街道与张湾乡分别位于研究区的东北方与西南

方,距离中部公园较远,并且部分地区存在道路网空白,导致公园可达区域无法覆盖。

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

通过网络分析法对三门峡中心城区公园可达性进行研究,计算步行、非机动车、机动车 3 种出行模式下 2 个综合公园(人民公园、虢国公园)、3 个专类公园(陕州公园、运动公园、庙底沟遗址公园)可达性,结果表明,研究区内公园绿地分布不均,根据《三门峡市城市总体规划(2013—2030)》内容中心城区规划范围包括湖滨城区、商务中心区、高铁站南片区和陕县(陕州区)城区等,目前来看公园绿地建

设较慢,园内基础设施可承受服务范围较小;研究区内公园绿地可达性就交通方式而言,机动车和非机动车方式下公园可达性较好,在出行时间 30 min 内,几乎覆盖了所有居住区,步行可达性较差,只有不到一半居民利用步行方式 30 min 到达附近公园,居民只能采用其他交通方式到达较远公园,方便性大幅降低。此外城市仍有部分道路交通不够完善,从而影响公园绿地的可达性;湖滨区公园绿地可达性要优于陕州区,前进街道、涧河街道、湖滨街道公园可达性最好,会兴街道、张湾乡公园可达性最差。

### 3.2 相关建议

1) 优化三门峡市中心城区绿地结构。加快中心城区建设的同时,也要满足居民对于周边公园绿地的需求,增大居民对公园绿地的选择范围;维护老城区公园基础设施,防止公园荒废,做到“公园尽其用”。

2) 完善交通网络。目前仍有部分地区存在道路覆盖空白的问题,这与交通网络不完善有一定关系,因此在以后交通规划方面要避免出现“断头路”,建议增加慢行道以提高居民步行到达公园的可能性。

3) 增设公园入口。要依据路网情况适当增设公园入口,以提高居民到达公园的效率。

研究过程中还存在一些不足之处。受数据来源限制,计算默认人口是均匀分布的,但非机动车和机动车方式下 30 min 内公园可达性分析图覆盖了大部分居住区,说明公园可达性实际上要优于计算出来的数值;在公园选取方面,仅考虑公园设施较好、服务能力较大的综合公园和专类公园,一些服务能力较小的公园并未涉及,整体上将低估了三门峡市中心城区公园服务能力。今后会针对不足深入研究和探讨,以期三门峡市或相似城市的研究和建设提供科学依据。

### 参考文献:

- [1] WU J Y, FENG Z, PENG Y S, et al. Neglected green street landscapes: A re-evaluation method of green justice [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019(41): 344-353.
- [2] KONG F H, YIN H W, NAKAGOSHI N. Using GIS and landscape metrics in the hedonic price modeling of the amenity value of urban green space: A case study in Jinan City, China [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 79(3-4): 240-252.
- [3] 陆敏, 顾雪芝, 姜辽. 居民城市公园游憩涉入与地方依恋——以江苏省常州市红梅公园为例 [J]. *地域研究与开发*, 2014, 33(2): 122-129.
- [4] 何盼, 陈蔚镇, 程强, 等. 国内外城市绿地空间正义研究进展 [J]. *中国园林*, 2019, 35(5): 28-33.
- [5] 刘常富, 李小马, 韩东. 城市公园可达性研究——方法与关键问题 [J]. *生态学报*, 2010, 30(19): 5381-5390.
- [6] 李俊英, 施拓, 闫红伟, 等. 基于可达性的沈阳市城市绿地景观格局优化 [J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(3): 285-290.
- [7] HANSEN W G. How accessibility shapes land use [J]. *Journal of the American Planning Association*, 1959, 25(2): 73-76.
- [8] 谢焕景, 梁萍, 沈钦炜, 等. 基于 GIS 的太原市景观格局与可达性分析 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2019, 41(11): 132-140.
- [9] 俞孔坚, 段铁武, 李迪华, 等. 景观可达性作为衡量城市绿地系统功能指标的评价方法与案例 [J]. *城市规划*, 1999(8): 7-10, 42, 63.
- [10] 陈蕾, 段渊古. 基于网络分析法的宝鸡城市公园可达性研究 [J]. *西北林学院学报*, 2021, 36(1): 250-256.
- [11] 贺晓辉. 基于 GIS 的呼和浩特市城市公园绿地可达性的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [12] NICHOLLS S. Measuring the accessibility and equity of public parks: A case study using GIS [J]. *Managing Leisure*, 2001, 6(4): 201-219.
- [13] 李小马, 刘常富. 基于网络分析的沈阳城市公园可达性和服务 [J]. *生态学报*, 2009, 29(3): 1554-1562.
- [14] 严军, 姚家元, 王雪童. 基于 GIS 的大丰市城市公园绿地可达性研究 [J]. *西南林业大学学报*, 2015, 35(6): 78-84.
- [15] 卢宁, 李俊英, 闫红伟, 等. 城市公园绿地可达性分析——以沈阳市铁西区为例 [J]. *应用生态学报*, 2014, 25(10): 2951-2958.
- [16] 马琳, 陆玉麒. 基于路网结构的城市绿地景观可达性研究——以南京市主城区公园绿地为例 [J]. *中国园林*, 2011, 27(7): 92-96.
- [17] 张金光, 赵兵. 基于可达性的城市公园选址及布局优化研究 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2018, 42(6): 151-158.
- [18] 秦华, 高骆秋. 基于 GIS-网络分析的山地城市公园空间可达性研究 [J]. *中国园林*, 2012, 28(5): 47-50.
- [19] 陈明, 戴菲. 基于 GIS 江汉区城市公园绿地服务范围及优化布局研究 [J]. *中国城市林业*, 2017, 15(3): 16-20.
- [20] 周廷刚, 郭达志. 基于 GIS 的城市绿地景观引力场研究——以宁波市为例 [J]. *生态学报*, 2004(6): 1157-1163.

责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.006

## 基于特征融合图像分割算法的生态廊道提取

葛军阳, 张宝铮

(长沙市规划勘测设计研究院, 湖南 长沙 410007)

**摘要:**为提取最短路径生态廊道且兼顾多种生物的迁徙可行性,提出基于特征融合图像分割算法的生态廊道提取方法。融合颜色特征与纹理特征得到生态廊道的感兴趣区域,构建卷积神经网络模型,将研究区景观分为林地、耕地、草地、水域等类型,据此构建路径栅格图;利用二维信息素更新策略、动态启发因子信息素因子策略改进传统蚁群算法,以栅格图为对象使用改进蚁群算法规划最短的生态廊道路径。结果表明,该方法图像分割  $F$  值在 0.954~0.984 之间,波动性小;提取的生态廊道路径相对较短、拐点较少,起始点与终点之间更容易实现物质流动。

**关键词:**特征融合;图像分割;卷积神经网络;蚁群算法;信息素;生态廊道提取

中图分类号:S718.55;TU986.45;TP753 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0033-06

引文格式:葛军阳,张宝铮.基于特征融合图像分割算法的生态廊道提取[J].林业调查规划,2024,49(2):33-38.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.006

GE Junyang, ZHANG Baozheng. Extraction of Ecological Corridor Based on Feature Fusion Image Segmentation Algorithm [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 33-38. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.006

## Extraction of Ecological Corridor Based on Feature Fusion Image Segmentation Algorithm

GE Junyang, ZHANG Baozheng

(Changsha Planning & Design Survey Research Institute, Changsha 410007, China)

**Abstract:** In order to extract the shortest path ecological corridor and take into account the migration feasibility of various organisms, an ecological corridor extraction method based on feature fusion image segmentation algorithm was proposed. Color features and texture features were integrated to obtain the area of interest of the ecological corridor, the convolutional neural network model was built to divide the landscape of the study area into forest land, cultivated land, grassland, water and other types, and a path grid map accordingly was constructed; the two-dimensional pheromone update strategy and the dynamic heuristic factor pheromone factor strategy were used to improve the traditional ant colony algorithm, the improved ant colony algorithm was used to plan the shortest ecological corridor path based on a grid graph. The experimental results showed that the image segmentation  $F$  value of the modified method was between 0.954 and 0.984, and the fluctuation was small; the extracted ecological corridor path was relatively short, with fewer inflection points, making it easier to realize material flow between the starting point and the end point.

**Key words:** feature fusion; image segmentation; convolutional neural network; ant colony algorithm; pheromone; extraction of ecological corridor

收稿日期:2022-08-23.

第一作者:葛军阳(1981-),男,湖南邵阳人,正高级工程师.主要从事国土空间规划、生态保护修复方面工作.

责任作者:张宝铮(1982-),男,河北承德人,硕士,高级工程师.主要从事国土空间规划、村庄规划、城市设计方面工作.



物种生存与繁衍需要良好的栖息环境,栖息地之间畅通的迁徙与运动有利于维持生物多样性、保护自然生态系统<sup>[1]</sup>。城市扩张、土地利用、城市规划等因素作用下生物栖息地的破碎化、岛屿化趋势显著,导致生态区域格局发生变化,物种生存繁衍受到严重阻碍<sup>[2]</sup>。生态廊道构建营造了差异性栖息地之间交流的途径,促进了食物交换、物种迁徙等生物多样性措施的实施<sup>[3]</sup>。对此,本文研究了一种贴近生物多样性保护策略的生态廊道提取方法,将特征融合图像分割算法与蚁群算法结合,前者负责划分生态研究区的景观用地类型,后者负责规划最优路径,最终得到兼顾林地、园地、耕地、水域物种迁徙运动的生态廊道提取结果。

### 1 研究方法

本研究进行生态廊道提取的思路为:结合特征融合方法与图像分割算法,分类研究区域的景观用地类型,构建高精度的栅格地图;以栅格地图为基础,使用改进的蚁群算法,对最短生态廊道路径实施寻优。

#### 1.1 基于特征融合与图像分割算法的生态区域分类

##### 1.1.1 基于颜色特征与纹理特征的感兴趣区域提取

融合颜色于纹理特征得到生态研究区的感兴趣区域,进而划分生态区域的类型,包括园地、耕地、草地、林地、水域等类型。

利用目标区域的颜色特征与纹理特征提取感兴趣区域,定义一个像素  $\gamma$ , 一个超像素区域  $R_i$ , 且  $\gamma \in I$ ,  $i \in \{1, \dots, r\}$ ; 那么  $\gamma^{RGB} = \{\gamma^r, \gamma^g, \gamma^b\}$  则表示该像素的颜色特征, 公式(1)为 RGB 颜色均值的计算方法:

$$R_i^{RGB} = \sum_{\gamma \in R_i} \frac{\gamma^{RGB}}{|R_i|} \quad (1)$$

除 RGB 颜色特征以外, 研究使用 HSV 颜色特征作为信息补充, 以直观充分表达生态廊道提取结果。第一步, 实现 RGB 空间向 HSV 空间的转换<sup>[4]</sup>; 第二步, 求取各像素的 HSV 颜色特征, 定义为  $\gamma^{HSV} = \{\gamma^h, \gamma^s, \gamma^v\}$ 。借助以上信息求取超像素块的 HSV 颜色均值:

$$R_i^{HSV} = \sum_{\gamma \in R_i} \frac{\gamma^{HSV}}{|R_i|} \quad (2)$$

基于 Gabor 小波提取研究区域图像的 Gabor 纹理特征, 公式(3)为小波函数表达式:

$$g(p, q) = \frac{1}{2\pi(\sigma_p^2, \sigma_q^2)} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{p^2}{\sigma_p^2} + \frac{q^2}{\sigma_q^2} \right) + 2\pi j W_\gamma \right] \quad (3)$$

接下来构造滤波器, 所需的母小波如公式(3)所示, 基于尺度变换与旋转操作构造出滤波器<sup>[5]</sup>, 其形式见公式(4):

$$o_{mm} = a^{-m} o(p', q') \quad (4)$$

公式(4)描述的滤波器具有差异性的方向信息与尺度信息, 其中  $p' = a^{-m}(p \cos \theta + \beta \sin \theta)$ ,  $q' = p^{-m}(-a \sin \theta + q \cos \theta)$ , 差异性方向用  $\theta$  表示。生态研究区的纹理图像通过滤波器对图像的滤波操作获取, 公式(5)为纹理图像的表达式:

$$GFI_{mn} = \iint I(p, q) o_{mn}(u - p, v - q) dpdq \quad (5)$$

像素  $\gamma$  的 Gabor 纹理特征用  $p^{\text{gabor}}$  描述, 通过为滤波器设置角度信息即可得到。同理, 超像素区域的纹理均值计算方法如公式(6)所示:

$$R_i^{\text{gabor}} = \sum_{\gamma \in R_i} \frac{\gamma^{\text{gabor}}}{|R_i|} \quad (6)$$

生态研究区图像的纹理特征与颜色特征提取后, 为其构建各自的邻接矩阵, 以解决不同量纲无法同条件计算的难题, 并由此得到颜色特征与纹理特征各自的聚类标签。最后, 使用聚类算法, 对颜色特征标签邻接矩阵和纹理特征标签邻接矩阵实施聚类融合。

##### 1.1.2 卷积神经网络图像分割模型

构建改进 R-FCN 模型来快速识别生态研究区中各部分的用地类型<sup>[6]</sup>。卷积神经网络利用融合后的特征生成特征图, 作为图像分割的基础实现图像目标区域的分类, 得到用地类型分类结果, 进而构建生态廊道提取的栅格地图。图 1 为构建的 R-FCN 模型结构。

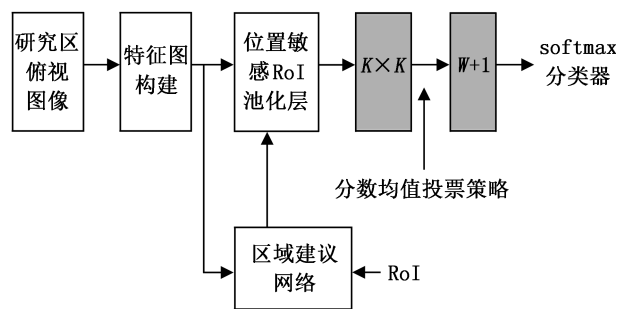


图 1 R-FCN 模型结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of R-FCN model structure

分析图 1 可知, 残差网络、区域建议网络是 R-FCN 网络的关键结构, 特征提取由残差网络实现, 感兴趣区域 (RoI) 构建由区域建议网络完成。图

中,生态区域用地类别数量与模型锚点数分别使用  $W, K$  描述。R-FCN 网络实现目标区域图像分类;首先,输入图像通过一个全卷积网络,然后设计一个特殊的卷积位于末位卷积层后面,以获取位置敏感得分图,此时区域建议网络的输入则为全卷积网络的最后一个卷积层的输出<sup>[7]</sup>,由此区域建议网络生成感兴趣区域;其次,前面生成的得分图和感兴趣区域将作为输入经过位置敏感 RoI 池化层,其输出的信息则为生态区域用地的类别。

R-FCN 模型分割生态区域图像过程中,位置敏感 RoI 池化层是图像分类的关键,其本质是卷积层,该层是共享卷积层末位网络内连接的卷积层,和卷积层一致的是感受域相同<sup>[8]</sup>,即高度( $H$ )与宽度( $W$ )相同,但通道数量有所差别。分割后的生态区域用地类别应为  $W+1$  个,其中 1 代表的是背景类别, $K \times K$  表示各类别得分图的数量。

为实现各 RoI 内编码位置信息的目标,以一个网格为介质将各 RoI 分成  $K \times K$  个矩形区域。 $K^2$  个得分图组成了末端卷积层,所以相对第  $i$  行、第  $j$  列矩形单元,得分图计算方法如下:

$$g_w(i, j | \Theta) = \sum_{(x, y) \in b(i, j)} z_{i, j, w} / n \quad (7)$$

式中:第  $w$  类别第  $(i, j)$  块的池化相应用  $g_w(i, j | \Theta)$  描述, $K^2(C+1)$  维得分图输出用  $z_{i, j, c}$  表示;网络模型中全部可学习参数和图块像素总数量分别采用  $\Theta, n$  表示, $(x_0, y_0)$  表示左上角坐标。

对于感兴趣区域, $K^2$  位置敏感分数需实施投票,使用分数均值投票法为各感兴趣区域生成向量<sup>[9]</sup>,方法见公式(8):

$$g_w(\Theta) = \sum_{i, j} g_w(i, j | \Theta) \quad (8)$$

式中:各类别得分均值用  $g_w(\Theta)$  描述。在此基础上,各生态区域用地类别概率使用 softmax 分类函数求取,模型训练评估交叉熵损失、推断阶段排序感兴趣区域均用到类别概率<sup>[10]</sup>,通过公式(9)求取:

$$s_w(\Theta) = e^{g_w(\Theta)} / \sum_{w'=0}^w e^{g_{w'}(\Theta)} \quad (9)$$

## 1.2 基于改进蚁群算法的最短路径提取

蚁群算法目前在商旅路径规划中取得了较好的成绩,为此使用改进的蚁群算法对生物迁徙的路径

实施寻优,以仿生进化的方式获得最短路径。

生态景观中生态廊道空间的划分受诸多因素干扰,以土地利用类型为主要因素构建生物迁徙运动的最短路径,随土地利用类型的不同,生物由出发地到目的地之间的运动能量消耗则存在差异<sup>[11-12]</sup>。用前述方法获得生态区域用地的类别即可获得生态区域中各分子区域的能量差别,并赋予不同颜色的方格,由此根据能量差别构建最短路径寻优的栅格地图。

### 1.2.1 改进蚁群算法

改进蚁群算法包含两个显著特征,一是使用动态信息素因子与启发函数因子,二是应用二维信息素更新策略。

#### 1) 二维信息素更新策略

传统蚁群算法的信息素是一维的,仅考虑了路径长度对信息素累加的影响;本研究以节省生物迁徙的能量为目标,以消耗较少的能量为约束,将能量消耗作为变量添加到信息素更新策略中<sup>[13]</sup>。所以,此处应用二维信息素更新策略,包括路径最短约束、能量消耗最少约束两个维度,此时信息素更新表达式为:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \times \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} \quad (10)$$

$$\Delta\tau_{ij} = \begin{cases} I \left( \rho_1 \frac{1}{L_k(t)} + \rho_2 \frac{1}{G_k(t)} \right) & \text{蚂蚁 } k \text{ 经过 } i, j \\ 0 & \text{蚂蚁 } k \text{ 不经过 } i, j \end{cases} \quad (11)$$

式中:蚂蚁  $k$  在  $t$  时刻经过路径长度总和用  $L_k(t)$  表示;额外消耗的能量和单只蚂蚁携带的信息素强度用  $G_k(t), I$  描述。

#### 2) 动态信息素因子与启发函数因子

采用动态赋值法确定信息素因子  $\mu$  与启发函数因子  $\eta$ ,令其随着迭代而适时变化,这种科学的信息素更新策略可以避免蚁群算法陷入局部最优<sup>[14-15]</sup>。采用如公式(12)与公式(13)所示的余弦函数与正弦函数赋值法:

$$\mu(N) = A \cdot \cos\left(\frac{N \cdot \pi}{2 \cdot N_{\max}}\right) + B \quad (12)$$

$$\eta(N) = C \cdot \sin\left(\frac{N \cdot \pi}{2 \cdot N_{\max}}\right) + D \quad (13)$$

式中:此刻迭代次数以及迭代次数总和分别为  $N, N_{\max}$ 。基于公式(14)描述优化的概率转移:

$$P_{\mu, \mu+1}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{\mu, \mu+1}(k)]^{\mu(N)} \cdot [H(i_\mu, j_\mu, k_\mu)]^{\eta(N)}}{\sum [\tau_{\mu, \mu+1}(k)]^{\mu(N)} \cdot [H(i_\mu, j_\mu, k_\mu)]^{\eta(N)}}, P_{\mu+1} \in R(P_\mu) \\ 0, \text{否则} \end{cases} \quad (14)$$

### 1.2.2 基于改进蚁群算法的生态廊道提取

基于改进蚁群算法寻优生态廊道路径的过程如下:

Step 1:构建初始信息素矩阵并输入,确定生态廊道路径寻优的起始点与终点,设置算法相关参数,初始化信息素浓度、禁忌表,设置蚁群规模与迭代次数等信息。运算期间定义全部位置原始信息素一致。

Step 2:选定起始点下一步达到的节点,达到各节点的概率可依据各节点信息素计算得到,下一个节点的起始点基于轮盘算法获取,方法如公式(15)所示:

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\mu \cdot [\vartheta_{ij}]^\eta}{\sum_{l \in \xi_k} [\tau_{il}(t)]^\mu \cdot [\vartheta_{il}]^\eta} \quad j \in \xi_k \quad (15)$$

式中:节点*i*与节点*j*的启发因子和信息素因子分别用 $\vartheta_{ij}$ 、 $\tau_{ij}(t)$ 表示,二者对应的权重用 $\beta$ 和 $\alpha$ 描述,蚂蚁下一步能够选取的节点集合用 $\xi_k$ 表示。

Step 3:更新路径及关键参数,路程长度、蚂蚁经过路径消耗的能量参数。

Step 4:循环操作 Step 2 与 Step 3,没有新的路径生成或者蚂蚁到达终点时停止。

Step 5:某个蚂蚁迭代结束之前循环操作 Step 2~Step 4。

Step 6:信息素更新。使用多维信息素更新策略,不更新未到达蚂蚁的信息素。

Step 7:循环操作 Step 2~Step 6,迭代终止的前提是第*n*代蚂蚁结束。

## 2 实验与分析

为了验证本文提出的生态廊道提取设计方法的有效性与其优越性,借助 MATLAB 平台展开仿真实验。实验思路如下:选择某生态区域作为仿真研究对象,采集该区域的俯视图像作为图像分割与类型识别的样本,然后进行栅格地图构建,由前述改进的蚁群算法提取最优生态廊道路径。为明确本文方法的优势,引入基于蚁群算法的生态廊道提取方法(方法 1)、基于栅格数据的生态廊道提取方法(方法 2)进行同步对比测试。

### 2.1 生态区用地分割效果

图 2 为采集的研究区园地原始图像,其周围分布着道路、空地和广场,图像中树枝部分混淆在空地,容易对图像分割造成影响。3 种方法分割图像的效果如图 3 所示。



图 2 研究区园地原始图像

Fig. 2 Original image of the research area

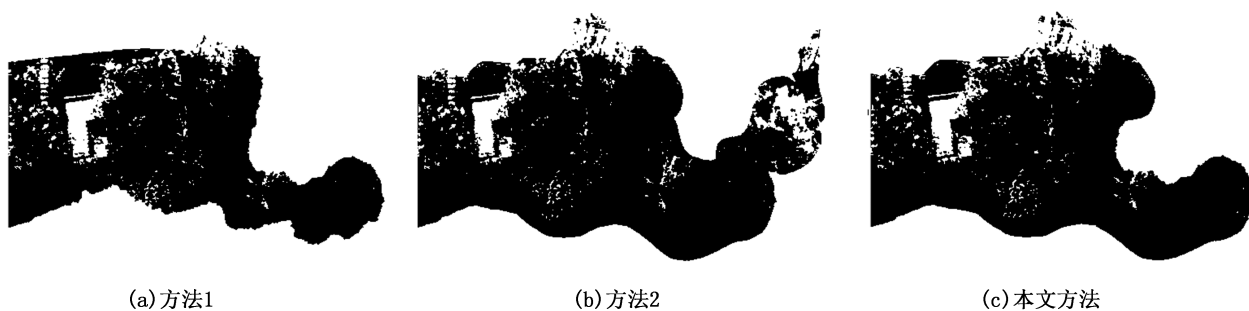


图 3 图像分割效果

Fig. 3 Image segmentation effect

对比原图可知,方法 1 的分割结果不够精确,识别区域比实际区域小,没有将园地中的所有植物区域全部提取出来,分割结果不理想;方法 2 分割结果相对于方法 1 比较全面,但是将树枝部分误识别为

园地区域,道路也列入园区域内,虽然识别内容较多但是精准度不够。相对而言,本文方法分割结果既没有将树枝、道路等事物误识别为园地,也没有显著的漏识别区域,分割结果较为全面、精准,较为理



想,可以作为生态区景观类型识别的数据。

在大量图像样本支持下开展了进一步的图像分割测试,统计 3 种方法进行图像分割的  $F$ -measure 指标 ( $F$ ) (数值越高证明图像分割效果越好),部分结果如表 1 所示。

表 1  $F$ -measure 指标统计  
Tab. 1  $F$ -measure indicator statistics

图像序号	本文方法	方法 1	方法 2
Image 1	0.968	0.915	0.974
Image 2	0.954	0.924	0.857
Image 3	0.984	0.901	0.894
Image 4	0.957	0.812	0.916
Image 5	0.983	0.905	0.946
Image 6	0.972	0.907	0.841
Image 7	0.965	0.924	0.862
Image 8	0.983	0.842	0.842

分析表 1 可知,本文方法进行图像分割的  $F$  值为 0.954~0.984,且  $F$  值波动性小、较为稳定,说明在大量样本测试下本文方法同样展现了理想的图像分割效果。方法 1 的最小  $F$  值为 0.812,最大  $F$  值为 0.924;方法 2 的  $F$  值随着实验进行逐渐降低,说明该方法不适合处理较大规模样本的分割问题,随着测试时长的增加其性能表现下降。

### 2.2 生态廊道提取结果

本文方法使用生态区图像分割结果将其转化为生态廊道提取的栅格地图,如图 4 所示。

使用 3 种方法对研究区生态廊道进行提取,结果如图 5 所示。

分析图 5 可知,本文方法提取的生态廊道路径相对较短,拐点较少。生态廊道最短路径识别距离越短,说明起始点与终点之间更容易实现物质与能量的交换、流动,易于生物进行迁徙与物质交换,对于生态廊道稳定性构建具有积极作用;同时,本文方法提取的生态廊道更多地经过了林地、耕地、水域附近,尽可能将绿色生态区域的生物容纳到生态廊道构建中来,考虑了陆地生物、水域生物迁徙的便利性,为更多类型的生物提供运动场所,符合生物多样性保护的生态环保策略。方法 1 提取的生态廊道经过的耕地、园地区域较多,通过了一个水域区,可能考虑到了生物迁徙运动中的能量消耗,但是涉及的生态类型区域较少、物种区域较少,且没有考虑路径

起始点

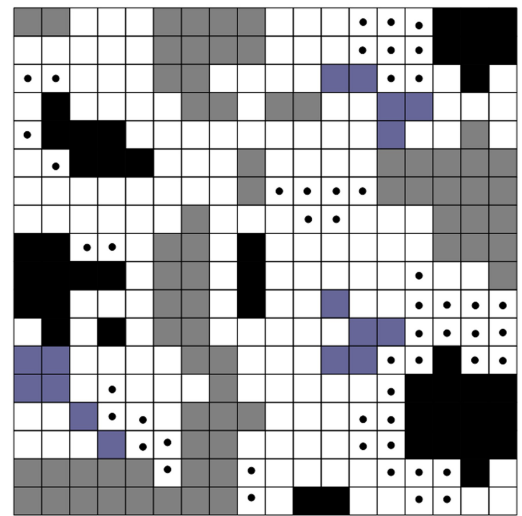


图 4 生态廊道提取栅格地图

Fig. 4 Extracting grid maps of ecological corridor

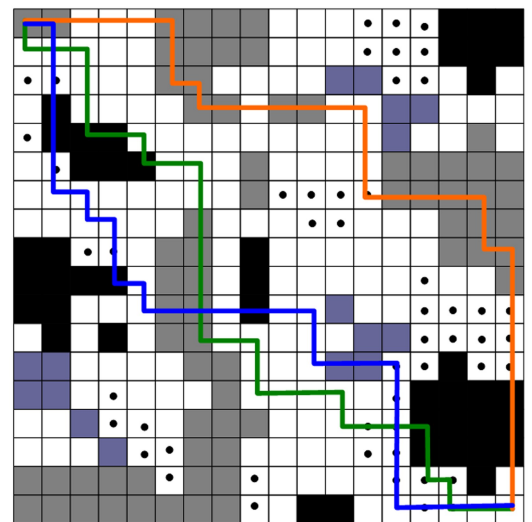


图 5 生态廊道提取结果

Fig. 5 Extraction results of ecological corridor

长短的问题,较多的路径拐点导致生物迁徙消耗的能量较多,物质交换的可行性降低。方法 2 提取的生态廊道考虑了林地和园地生物多样性问题,忽略了水域生物迁徙的便利性,相比本文方法提取结果存在一定的落后性。

本文方法之所以获得理想的生态廊道提取结果,原因如下:(1)使用改进的卷积神经网络模型 R-FCN 模型提取研究区各部分特征。R-FCN 模型的位置敏感 RoI 池化层是图像分类的关键,相当于一个卷积层,经过位置敏感 RoI 池化层的处理精准识别出各区域的用地类型,将其分类为园地、林地、耕地、水域、草地几个部分,进而构建了精准的路径识别栅格地图,提高了生态廊道提取的综合性能,使其更加符合生物迁徙、物质交换的生态需求。(2)应用善于解决商旅路径规划问题的蚁群算法进行生态廊道路径寻优,使用二维信息素更新策略,考虑了路径最短约束、能量消耗最少两个关键维度,而传统蚁群算法仅考虑了前者;使用余弦函数与正弦函数赋值法构造动态变化的启发因子与信息素因子,令其随着迭代而适时变化,这种科学的信息素更新策略可以避免蚁群算法陷入局部最优。

### 3 结 论

本文提出一种基于特征融合图像分割算法的生态廊道提取方法,将生态廊道提取分为生态区景观用地类型识别与最短路径规划两个方面。生态区景观用地类型识别由特征融合图像分割算法实现,最短路径规划由改进的蚁群算法完成。在测试中,本文方法展现了理想的生态廊道提取效果,能够兼顾路径长度、能量消耗等多种因素,将林地、耕地、草地、水域等多元化景观区的生物迁徙问题考虑在内,切实保障了生物活动、生物能量交换的便利性,满足了生态廊道规划的需求。

### 参考文献:

- [1] 韦宝婧,苏杰,胡希军,等. 基于“HY-LM”的生态廊道与生态节点综合识别研究[J]. 生态学报,2022,42(7): 2995-3009.
- [2] 吴健生,马洪坤,彭建. 基于“功能节点—关键廊道”的城市生态安全格局构建——以深圳市为例[J]. 地理科学进展,2018,37(12):1663-1671.
- [3] 张盼月,丁依冉,蔡雅静,等. 河流生态廊道提取方法研究及其应用思路[J]. 生态学报,2022,42(5):2010-2021.
- [4] 赵希,于二元. 基于谱聚类与多信息特征融合的图像分割算法[J]. 软件导刊,2020,19(5):221-224.
- [5] 李林杉,胡琳,杨玉洁,等. 紧支撑正交复小波滤波器的参数化[J]. 应用数学,2020,33(3):728-732.
- [6] 黄英来,刘亚檀,任洪娥. 基于全卷积神经网络的林木图像分割[J]. 计算机工程与应用,2019,55(4):219-224.
- [7] 王森,伍星,张印辉,等. 基于全卷积神经网络和结构化森林的结构体裂纹分割方法[J]. 仪器仪表学报,2020,41(8):170-179.
- [8] 黄龙,杨媛,王庆军,等. 结合全卷积神经网络的室内场景分割[J]. 中国图象图形学报,2019,24(1):64-72.
- [9] 冯家文,张立民,邓向阳. 基于多源融合 FCN 的图像分割[J]. 计算机应用研究,2018,35(9):2877-2880.
- [10] 刘万军,董利兵,曲海成. 改进 R-FCN 模型的小尺度行人检测[J]. 中国图象图形学报,2021,26(10):2400-2410.
- [11] 薛永才,古姝祺,张均富. 初始信息素不均匀分布的蚁群算法[J]. 西华大学学报(自然科学版),2022,41(3):8-14.
- [12] 舒红,封硕,谢步庆. 轮式机器人路径规划的改进蚁群算法[J]. 制造业自动化,2020,42(1):64-69.
- [13] 刘泽,金世俊,王庆. 基于改进蚁群算法的移动机器人二维路径规划[J]. 传感器与微系统,2020,39(10):149-152.
- [14] 余顺坤,闫泓序. 基于确定性因子的启发式属性值约简模型[J]. 计算机应用,2022,42(2):469-474.
- [15] 马小铭,靳伍银. 基于改进蚁群算法的多目标路径规划研究[J]. 计算技术与自动化,2020,39(4):100-105.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.007

## 2010—2020 年海南省五大自然保护地空气负氧离子浓度 与环境因素评价

李欣起, 陈乔春, 李逸轩, 刘司琪, 王韵欣, 王克廷, 肖莎

(海南医学院公共卫生学院/海南医学院 Heinz Mehlhorn 院士工作站, 海南 海口 571199)

**摘要:**为探讨海南省五大自然保护地负氧离子浓度与环境因素的相关性,为我国热带地区森林公园的开发利用提供理论参考,利用海南省生态环境厅及各市县空气质量公报数据,分析 2010—2020 年间负氧离子浓度与其所在市县的空气质量变化情况,并进行相关性分析。结果表明,其间年均负氧离子浓度呈上升趋势,空气污染物 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 等指标总体呈下降趋势;五指山国家级自然保护区负氧离子浓度与 SO<sub>2</sub> 呈现正相关( $P < 0.01$ );五大自然保护地空气中负氧离子浓度整体水平较高,空气质量等级达到一级;负氧离子浓度总体呈现出夏秋季高、春冬季低的季节特征。

**关键词:**森林公园;负氧离子浓度;空气质量;空气污染物;海南

中图分类号:S759.9;S718.557;O613.3;O646.1 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0039-05

引文格式:李欣起,陈乔春,李逸轩,等.2010—2020 年海南省五大自然保护地空气负氧离子浓度与环境因素评价[J].林业调查规划,2024,49(2):39-43. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.007

LI Xinqi, CHEN Qiaochun, LI Yixuan, et al. Evaluation of Negative Oxygen Ion Concentration and Environmental Factors in Five Natural Protected Areas of Hainan Province from 2010 to 2020[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 39-43. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.007

### Evaluation of Negative Oxygen Ion Concentration and Environmental Factors in Five Natural Protected Areas of Hainan Province from 2010 to 2020

LI Xinqi, CHEN Qiaochun, LI Yixuan, LIU Siqi, WANG Yunxin, WANG Keting, XIAO Sha  
(School of Public Health, Heinz Mehlhorn Academician Workstation, Hainan Medical University, Haikou 571199, China)

**Abstract:** This study was to explore the correlation between negative oxygen ion concentration and environmental factors in five major natural protected areas in Hainan Province, and provide theoretical references for the development and utilization of forest parks in tropical areas in China. The data from the Department of Ecology and Environment of Hainan Province and the environmental quality bulletins of municipal and county governments was used to analyze the changes of negative oxygen ion concentrations in

收稿日期:2022-11-01;修回日期:2022-11-14;二次修回日期:2022-11-29.

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 82060603);海南省自然科学基金高层次人才项目(No. 820RC648);海南省大学生校级创新创业项目(X202111810101).

第一作者:李欣起(2000-),女,吉林人.研究方向为预防医学.

责任作者:肖莎(1986-),女,湖北荆州人,教授.研究方向为环境与健康. Email:xiaosha4226@126.com



the five major forest parks and the air quality of the cities and counties in which the parks were located from 2010 to 2020. Correlation analysis was conducted. The results showed that the annual average negative oxygen ion concentration showed an increasing trend, and the air pollutants  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO and other indicators showed a general decreasing trend. The concentration of negative oxygen ions in Wuzhishan National Nature Reserve was positively correlated with  $SO_2$  ( $P < 0.01$ ). The overall level of negative oxygen ion concentration in the five major forest parks was good, and the air quality reached the first level. The overall negative oxygen ion concentration showed the seasonal characteristics of high in summer and autumn and low in spring and winter.

**Key words:** forest park; negative oxygen ion concentration; air quality; air pollutants; Hainan

近年来,随着全球经济的快速发展和城市化进程的不断推进,自然生态环境遭到不同程度的破坏,促使人们对居住环境越来越重视。大气负氧离子(negative air ions, NAIs)是指大气中的氧分子与自由电子结合而形成的带负电荷的氧气离子,无色无味,又称为小粒径负离子<sup>[1]</sup>。NAIs可有效降低颗粒物的浓度,尤其是 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ ,从而改善空气质量<sup>[2]</sup>,其在森林、瀑布、海滩等大气中含量较高,可达 $0.5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$ 个/ $cm^3$ <sup>[3]</sup>。

海南省地处亚热带,是我国唯一具有鲜明热带特色的省份。全岛年平均气温 $22.3 \sim 26.4^\circ C$ ,温差和气压差较小。海岸线长达1500 km,拥有独特的热带气候和优质的森林、滨海、土壤等自然资源,享有“天然氧吧、天然长寿岛”等美誉。

本项目利用海南省生态环境厅及各市政府环境质量公报数据,对海南省五大自然保护地(霸王岭国家森林公园、尖峰岭国家森林公园、五指山国家级自然保护区、七仙岭温泉国家森林公园、铜鼓岭国家级自然保护区)2010—2020年间的负氧离子浓度与其所在市县的空气质量进行相关性分析,为我国热带地区森林公园的开发利用提供理论参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

霸王岭国家森林公园位于昌江黎族自治县东南部,面积 $8\,444.3\text{ hm}^2$ ,森林覆盖率97.3%;尖峰岭国家森林公园位于乐东县,面积 $20\,000\text{ hm}^2$ ,森林覆盖率96%;五指山国家级自然保护区位于五指山市,面积 $8\,012\text{ hm}^2$ ,森林覆盖率86.44%;七仙岭温泉国家森林公园位于保亭黎族苗族自治县什聘村,面积 $2\,200\text{ hm}^2$ ,森林覆盖率80%以上;铜鼓岭国家级自然保护区位于文昌市东郊,面积 $4\,400\text{ hm}^2$ 。

### 1.2 数据收集

#### 1.2.1 负氧离子浓度数据

利用海南省生态环境厅环境状况公报数据(<http://hnmsthb.hainan.gov.cn/xxgk/0200/0202/hjzl/hjzkgb/>),收集2010—2020年间五大自然保护地的负氧离子浓度。

#### 1.2.2 环境因素数据

利用海南省各市县环保局公开数据,收集2010—2020年五大自然保护地所在地区(昌江县、乐东县、五指山市、保亭县、文昌市)相应的空气污染物和气象因素数据,包括细颗粒物( $PM_{2.5}$ )、可吸入颗粒物( $PM_{10}$ )、臭氧( $O_3$ )、二氧化硫( $SO_2$ )、二氧化氮( $NO_2$ )、一氧化碳(CO)、平均温度、相对湿度、降水量、风力级别和平均气压。

#### 1.3 空气质量评价

根据国家森林公园负氧离子等级评价标准进行空气质量评价(表1)。

表1 负氧离子与空气质量的对应标准

Tab. 1 Corresponding standards of negative oxygen ions and air quality

空气质量等级	负氧离子浓度/(个· $cm^{-3}$ )	空气清新程度
一级	$\geq 2100$	特别清新
二级	$1800 \sim < 2100$	非常清新
三级	$1200 \sim < 1800$	清新
四级	$900 \sim < 1200$	较清新
五级	$500 \sim < 900$	一般
六级	$< 500$	不清新

#### 1.4 统计与分析

采用Excel 2010、Spss 20.0等软件进行统计分析。采用Pearson相关性分析负氧离子与环境因素的关联,数据以平均 $\pm$ 标准差表示。当 $P < 0.05$ 时,认为差异具有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 负氧离子浓度等级评价

根据国家森林公园负氧离子等级评价标准,海南省五大自然保护地在2010—2020年间空气负氧离子浓度均大于2 100个/cm<sup>3</sup>,空气质量等级均为一级,空气特别清新,对人体健康非常有利,属于具有保健功能的级别。

### 2.2 负氧离子浓度时间分布特征

#### 2.2.1 年分布特征

2010—2020年间,五大自然保护地负氧离子年均值随着时间的推移逐渐增高(图1)。2010年铜鼓岭自然保护区负氧离子浓度是10年间五大自然保护地负氧离子年均值最低值(2 122个/cm<sup>3</sup>);2019年霸王岭森林公园负氧离子浓度是10年间五大自然保护地负氧离子年均最高值(17 320个/cm<sup>3</sup>)。

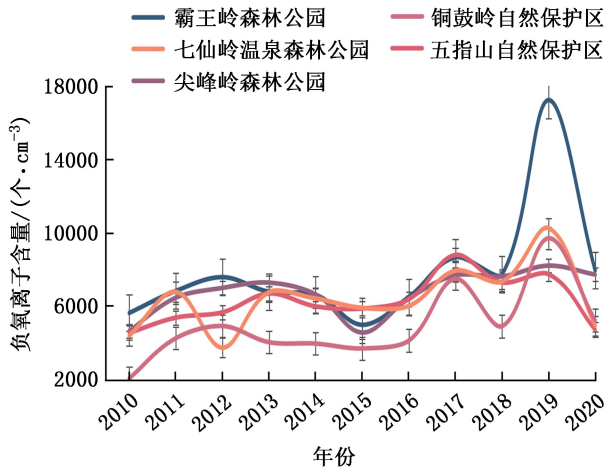


图1 2010—2020年五大自然保护地年均负氧离子含量

Fig.1 Annual average negative oxygen ion content in the five major natural protected areas from 2010 to 2020

#### 2.2.2 五大自然保护地负氧离子浓度季节分布特征

铜鼓岭自然保护区4个季度负氧离子均值均低于其他公园负氧离子均值,而其他公园的4个季度均值相差较小(图2)。尖峰岭森林公园在第三季度的负氧离子均值达到最高,为7 270.33个/cm<sup>3</sup>;铜鼓岭自然保护区在第三季度的负氧离子均值达到最高,为4 404.167个/cm<sup>3</sup>。

#### 2.3 空气污染物浓度时间分布特征

2016—2020年间,五大自然保护地PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO的浓度年均值随着时间的推移呈下降

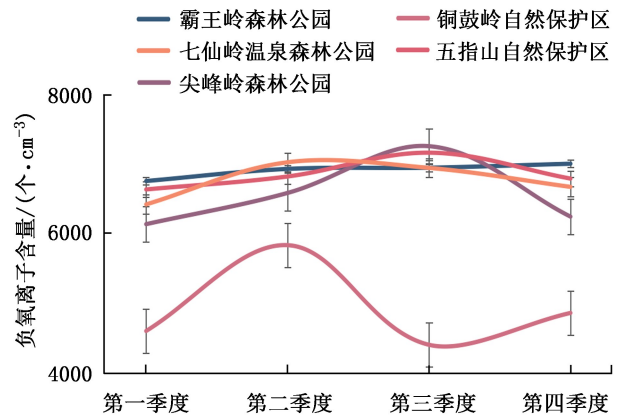


图2 2016—2020年五大自然保护地季度平均负氧离子含量

Fig.2 Quarterly average negative oxygen ion content in the five major natural protected areas forest parks from 2016 to 2020

趋势(图3)。尖峰岭森林公园和五指山自然保护区的O<sub>3</sub>浓度年均值,随着时间的推移呈下降趋势,然而其他3个森林公园O<sub>3</sub>呈上升趋势,且2018年铜鼓岭自然保护区的O<sub>3</sub>浓度年均值高达131 μg/m<sup>3</sup>,达不到国家二级标准。

#### 2.4 负氧离子浓度与环境因素的相关性

五指山自然保护区负氧离子浓度与SO<sub>2</sub>的相关系数为0.975,表明其负氧离子浓度与SO<sub>2</sub>呈现正相关( $P < 0.01$ )。其他4个自然保护区负氧离子浓度与环境因素相关性不显著( $P > 0.05$ )(表2)。

## 3 结论与讨论

经过分析,海南省五大自然保护地在2010—2020年间空气负氧离子浓度均大于2 100个/cm<sup>3</sup>,整体水平较好,空气质量等级均为一级。

既往研究报道,空气中负氧离子的含量在低于20个/cm<sup>3</sup>时,人体就会感到困乏和头晕脑胀;当空气中的负氧离子含量在1 000~10 000个/cm<sup>3</sup>时,人就会感到舒适,心情也非常安定,有心旷神怡之感;当空气中的负氧离子含量在10 000个/cm<sup>3</sup>以上时,人就会感到非常精神,心情非常的舒适愉快;而当空气中的负氧离子含量高达10万个/cm<sup>3</sup>以上时,负氧离子不仅能让人感到舒服,还能起到消除疲劳、止喘、镇静和调节神经等强体健身和治病的效果<sup>[4-5]</sup>。刘秀萍等<sup>[6]</sup>研究结果发现,负氧离子浓度在一定的范围内越高,人们的舒适度也越高。因此,空气中负氧离子的含量不仅影响着空气质量,而且负氧离子含量高的环境具有一定的医疗保健作用,因此常被称为“空气维生素”<sup>[7-12]</sup>。

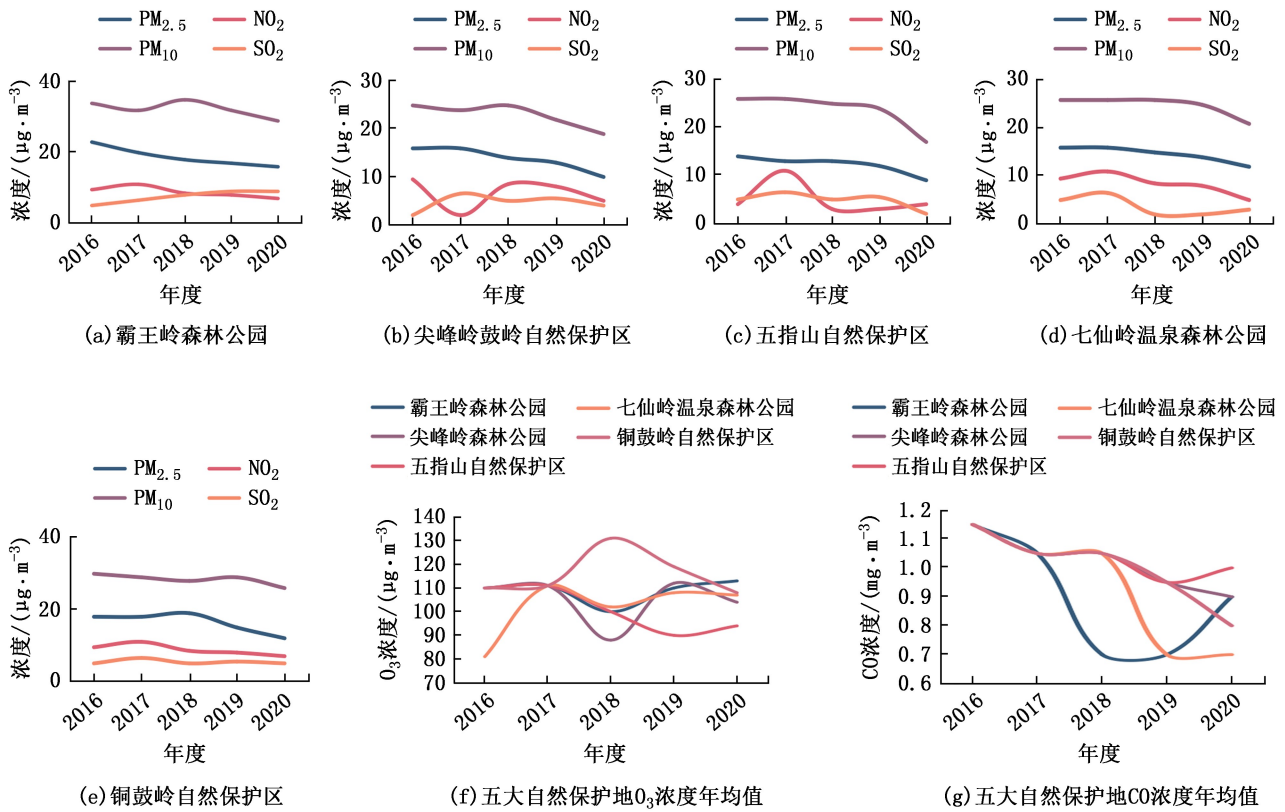


图 3 五大自然保护地不同污染物浓度

Fig. 3 Concentration of pollutants in the five major natural protected areas

表 2 五大自然保护地负氧离子浓度与环境因素的相关性

Tab. 2 Correlation between negative oxygen ion concentration and environmental factors in the five major natural protected areas

自然保护区		PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	CO	AQI
霸王岭	<i>r</i>	-0.500	-0.564	-0.200	0.616	0.308	-0.462	-0.600
	<i>P</i>	0.391	0.322	0.747	0.269	0.614	0.434	0.285
尖峰岭	<i>r</i>	-0.718	-0.872	-0.600	0.500	0.500	-0.872	-0.500
	<i>P</i>	0.172	0.054	0.285	0.391	0.391	0.054	0.391
五指山	<i>r</i>	0.205	0.462	0.105	0.975 **	0.300	-0.103	0
	<i>P</i>	0.741	0.434	0.866	0.005	0.624	0.870	1.000
七仙岭	<i>r</i>	0.205	0.224	0.300	-0.205	0.600	-0.158	0.400
	<i>P</i>	0.741	0.718	0.624	0.741	0.285	0.800	0.505
铜鼓岭	<i>r</i>	-0.462	-0.154	-0.200	0.783	0.200	-0.616	-0.500
	<i>P</i>	0.434	0.805	0.747	0.118	0.747	0.269	0.391

注：“\*”表示  $P < 0.05$ ，“\*\*”表示  $P < 0.01$ 。

五大保护地负氧离子浓度总体呈现出夏秋季高、春冬季低的季节特征,这与彭春梅等<sup>[13]</sup>、李江荣等<sup>[14]</sup>的研究结果一致,但与何博翰等<sup>[15]</sup>的春夏高、秋冬低的结论不尽相同。其原因可能是夏季植被生长茂盛、降水相对较多、空气湿度相对较大,空气负氧离子浓度明显高于其他季节,空气相对清洁。冬季

负离子最低,这与冬季植被稀疏、降水较少,雾霾天气较多等有较大关系<sup>[16]</sup>。崔虎亮等<sup>[17]</sup>对太岳山区不同森林的研究表明,空气温度和相对湿度对负氧离子浓度存在正向影响,对 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 存在一定的负向影响。2016—2020 年间五大自然保护地 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 的浓度年均值总体上呈



逐年下降趋势,这与白鑫等<sup>[18]</sup>、李斌等<sup>[19]</sup>研究结果基本一致。原因可能是我国大气污染治理力度不断加强,构建了科学系统的大气污染防治体系,全国环境空气质量总体得到改善。

研究发现,五指山自然保护区负氧离子浓度与SO<sub>2</sub>呈正相关,而其他四处保护地负氧离子浓度尚未发现与空气污染物有明显的相关关系。但也有研究与笔者的结论不一致<sup>[20-21]</sup>;Zhang等<sup>[22]</sup>研究认为,北戴河不同森林生态群落的负氧离子浓度变化与SO<sub>2</sub>浓度呈中度负相关。笔者的研究与李少宁等<sup>[23]</sup>的研究结论在负氧离子浓度与NO<sub>2</sub>方面相同,均未表现出相关性。

#### 4 结 语

影响负氧离子浓度的因素十分复杂,且因为地域、时间的不同,各影响因子间所占的比重关系也各不相同。目前负氧离子的测试设备各不相同,评价方法也不够完善,所以急需形成一套较为完善的研究体系,以便能对负氧离子进行更为系统的研究与分析。

#### 参考文献:

- [1] LAZA V. The environment and gaseous ions [J]. Cent Eur J Occup Environ Med, 2000(6):3-10.
- [2] JIANG S Y, MA A L, SRINIVASAN RAMACHANDRAN. Negative air ions and their effects on human health and air quality improvement [J]. Int J Mol Sci, 2018, 19:2966.
- [3] LIN H F, LIN J M. Generation and Determination of Negative Air Ions [J]. J Anal Test, 2017, 1(1):1-6.
- [4] 戴俊,谢美兰,戴华林. 邵阳市负氧离子浓度变化与气象要素相关分析[J]. 科技风, 2019(13):115-116.
- [5] 饶秀俊. 南平市延平区九峰山城市森林公园负氧离子调查研究[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2021, 34(1):22-25.
- [6] 刘秀萍,李新宇,赵松婷,等. 北京市广阳谷城市森林公园康养环境监测评价[J]. 北京农学院学报, 2022, 37(3):79-87.
- [7] 司宝华,吴晓丽. 银川市览山公园空气负氧离子浓度研究[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(12):127-128, 135.
- [8] 马芙蓉,张一舟. 昆明市城区不同区域环境空气负氧离子浓度变化特征分析[J]. 林业调查规划, 2019, 44(3):30-34, 162.
- [9] 张楠,魏俊涛,李军. 我国负氧离子分布与气象因素关系的研究进展[C]//第35届中国气象学会年会 S11 城市气象与环境——第七届城市气象论坛, 2018:529-533.
- [10] 陈兵红,应俊辉,靳全锋. 丽水市空气负氧离子分布特征及影响因素[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(8):1444-1448.
- [11] 朱舒欣,崔杰,刘起雨,等. 石门国家森林公园负氧离子浓度等级评价及其与环境因素的相关性分析[J]. 林业与环境科学, 2019, 35(5):14-22.
- [12] 连人豪,钱银兰,张华,等. 石门国家森林公园不同杉木群落类型空气负离子浓度变化特征[J]. 林业与环境科学, 2022, 38(3):140-147.
- [13] 彭春梅,谢东海,王旭,等. 海口火山口国家地质公园空气负氧离子及影响因素研究[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2020, 38(1):95-104.
- [14] 李江荣,高郟,陈康,等. 藏东南急尖长苞冷杉林空气负离子浓度特征及其与气象因子的关系[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(10):77-82, 103.
- [15] 何博翰,颜昭潮,向昆仑,等. 龙门县负氧离子浓度的分布特征[J]. 广东气象, 2022, 44(3):54-56.
- [16] 贺江华. 天际岭国家森林公园空气负离子及其影响因素研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2014.
- [17] 崔虎亮,李仲昊,曹如姬. 太岳山区不同森林康养村落空气负离子浓度及气象因素的关系[J]. 西部林业科学, 2022, 51(2):27-34.
- [18] 白鑫,刘婉清,马文迪,等. 2016—2020年乌海空气污染特征及其气象条件分析[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(27):82-85, 89.
- [19] 李斌,王志刚,王敏玲,等. 2016—2020年烟台市大气PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>时空分布特征及协同控制探讨[C]//中国环境科学学会2021年科学技术年会论文集(一), 2021:304-309.
- [20] 高郟. 藏东南典型森林生态系统空气负离子时空特征研究[D]. 拉萨:西藏大学, 2020.
- [21] 高瑶瑶. 江西大岗山林区小气候和空气质量变化特征及影响因子研究[D]. 南昌:江西农业大学, 2019.
- [22] ZHANG X, CAO J, ZHANG S. Distribution characteristics of air anions in beidaihe in different ecological environments[J]. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2018, 6(5):133-150.
- [23] 李少宁,李媛,赵旭,等. 北京西山国家森林公园空气负离子与大气污染物关系研究[J]. 西南农业学报, 2021, 34(10):2269-2273.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.008

## 南太行自然保护地空间分布格局及交叉重叠关系研究

栾春风, 时兆慧

(郑州大学 建筑学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:**以南太行地区 5 种类型 99 处国家级和省级自然保护地为研究对象, 运用最邻近点指数、地理集中指数和核密度分析法并借助 GIS 的空间分析功能, 对南太行自然保护地的空间分布特征以及交叉重叠情况进行定性和定量分析。结果表明, 南太行自然保护地森林公园的数量最多, 自然保护区面积最大, 长治市内的保护地分布数量最多, 整体呈集聚的空间分布类型; 其保护地按照密度值可分为 3 档, 大多为点状分布, 高密度区主要呈带状和团块状分布在南太行东部地带及部分南部地区; 99 处保护地中存在 27 处交叉重叠, 风景名胜区交地质公园是最多的重叠类型。

**关键词:** 空间分布; 交叉重叠; 整合优化; 南太行自然保护地

中图分类号: S759.9; O186.14; TU982 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0044-07

引文格式: 栾春风, 时兆慧. 南太行自然保护地空间分布格局及交叉重叠关系研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 44-50. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.008

LUAN Chunfeng, SHI Zhaohui. Spatial Distribution Pattern and Cross-Overlapping Relationship of Natural Protected Areas in South Taihang Mountains[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 44-50. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.008

### Spatial Distribution Pattern and Cross-Overlapping Relationship of Natural Protected Areas in South Taihang Mountains

LUAN Chunfeng, SHI Zhaohui

(School of Architecture, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** This paper studied the 5 types of 99 national and provincial natural protected areas in south Taihang Mountains, used the methods of nearest neighbor index, geographic concentration index, kernel density analysis, and the spatial analysis function of GIS to analyze the natural protected areas of south Taihang Mountains. Qualitative and quantitative analysis of the spatial distribution characteristics and cross-overlapping situation of natural protected areas were carried out. The results showed that the number of forest parks was the highest, the area of nature reserves was the largest, and the distribution number of protected areas in Changzhi City was the highest, and the overall spatial distribution of protected areas in south Taihang Mountains showed agglomeration; the protected areas could be divided into three grades according to the density value, most of which were distributed in a dotted pattern, and the high-density areas were mainly distributed in bands and clusters in the eastern part of south Taihang Mountains

收稿日期: 2022-09-26.

基金项目: 河南省科技攻关项目(242102320309, 242102320240); 2023 年河南兴文化工程文化研究专项(2023XWH269); 2023 年郑州大学研究生课程思政示范课程; 2023 年度河南省本科高校研究性教学改革研究与实践项目.

第一作者: 栾春风(1974-), 女, 河南周口人, 博士, 副教授. 主要研究方向为城乡生态规划. Email: 1060955087@qq.com

and some southern areas; 27 of the 99 protected areas overlapped, and the scenic spots and geoparks were the most overlapping types.

**Key words:** spatial distribution; cross-overlapping; integration and optimization; natural protected areas in south Taihang Mountains

1956年,我国在广东建立了第一个自然保护区,经过多年的努力与发展,如今已建立了类型和功能丰富多样的自然保护区超 1.18 万个,面积超 180 万 $\text{km}^2$ ,保护面积约占我国陆域面积的 18%,形成了涵盖类型多、覆盖面广的保护框架体系<sup>[1-2]</sup>。建立良好高效的自然保护区体系对我国生物多样性的保护以及国家生态安全的保障均至关重要<sup>[3]</sup>,然而,我国自然保护区体系的建立还存在保护地之间交叉重叠、多头管理、开发不当、管理无序等问题<sup>[4-6]</sup>。为防止此类问题影响自然保护区的建设与发展,2019年6月,中共中央办公厅、国务院办公厅颁布了《关于建立以国家公园为主体的自然保护区体系的指导意见》(以下简称《指导意见》),提出对原有保护地按照新的自然保护区体系进行整合优化,标志着我国自然保护区体系进入了全面深化改革的新阶段<sup>[7]</sup>。

对自然保护区的空间分布格局以及不同类型自然保护区相互之间的空间关系进行分析,能有效梳理自然保护区现存问题,推动自然保护区的整合优化<sup>[8-9]</sup>。近年来,我国许多学者从不同视角、不同区域对自然保护区的空间格局特征以及空间关系进行了大量研究。从研究对象上来说,既包括单一的保护地类型,也包含多类型的保护地研究。如周婷等<sup>[10]</sup>从时间和空间两个视角分析国家湿地公园的空间分布特征及其与城市区位的关系。陈冰等<sup>[11]</sup>分析云南省国家级自然保护区与其他类型自然保护区之间的空间分布和管理权属关系。从研究尺度上来看,主要涉及全国、省级以及市级范围。如王诗童等<sup>[12]</sup>采用定性定量相结合的方法,分析辽宁省 235 处自然保护区的空间分布格局及重叠情况。冯达等<sup>[13]</sup>对北京市 81 处自然保护区进行研究,分析保护区的空间分布格局以及保护地之间的交叉重叠特征。而以某个区域为研究范围的整体研究较少,特别是对南太行区域的自然保护区研究尚未发现。在研究方法上,多采用最邻近点指数、不平衡指数、地理集中度、核密度分析等方法对研究区展开分析。南太行地区拥有着独特的生态景观与丰富多彩

的旅游资源的生态景观与丰富多彩,是我国中部地区重要的生态屏障,是黄河重点生态区的重要组成部分,更是构筑国家生态安全战略格局的关键节点<sup>[14]</sup>。因此,选取南太行区域国家级和省级自然保护区共 99 处,包含自然保护区、风景名胜区、森林公园、地质公园、湿地公园 5 种主要类型,运用最邻近点指数、地理集中度分析和核密度分析等方法,定性和定量地对南太行地区的空间分布特征及重叠情况进行研究分析,旨在为南太行地区的自然保护区体系建设与整合优化提供科学参考。

## 1 研究区与数据来源

### 1.1 研究区概况

太行山绵延超 400 km,是我国东部地区的重要山脉和地理分界线以及华北平原的生态屏障。尤其是南太行地区,自然生态环境良好、区位优势,在太行山地区中处于引领地位。南太行范围涉及河南、山西两省,根据国家发展改革委、文化和旅游部联合印发的《太行山旅游业发展规划(2020—2035年)》,南太行地区的范围包括河南省安阳市的安阳县、林州市,鹤壁市的鹤山区、淇滨区、淇县,新乡市的卫辉市、辉县市,焦作市的修武县、博爱县、沁阳市,济源市以及山西省晋城市的城区、沁水县、阳城县、陵川县、高平市、泽州县,长治市的潞州区、潞城区、屯留区、上党区、武乡县、沁县、襄垣县、黎城县、平顺县、长子县、壶关县等 28 个县(市、区)。南太行地区总面积约为 3.19 万 $\text{km}^2$ ,2020 年总人口约为 1 069.73 万人,其跨黄河和海河两大流域,地势总体上呈现北高南低的样貌,具有鲜明的地域特征,生物资源丰富,是国家生态功能区的优先保护区域(图 1)。

### 1.2 数据来源及处理

收集南太行地区范围内国家级、省级 5 类自然保护区 99 处,各类自然保护区名录来源于河南省林业局、山西省林业和草原局以及其他相关官方网站、政策文件、报告等信息。借助批量工具网中的高德地理编码(<https://www.piliang.tech/geocoding-amap>),获取各级各类自然保护区的地理坐标信息,然后导入到 ArcGIS 10.2 软件中,将 99 处自然保护区抽象为点状要素,建立自然保护区空间数据库,再借助 ArcGIS 对其进行相关处理。



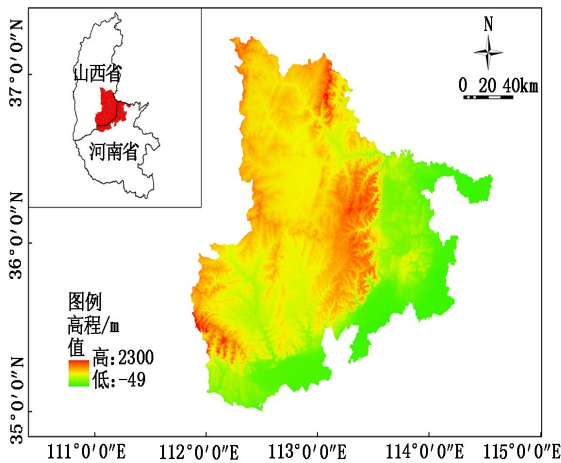


图 1 南太行区位

Fig. 1 Location of south Taihang Mountains

## 2 研究方法

### 2.1 最邻近点指数

最邻近点指数 (nearest neighbor index) 指实际最邻近距离与理论最邻近距离之比,能测度点要素在地理空间中的相互邻近程度,以此来判别地理要素在空间中的分布类型<sup>[15-17]</sup>。将南太行地区内的自然保护地抽象为点状要素,其空间结构一般有 3 种形式,分别为集聚、均匀和随机<sup>[18]</sup>。用最邻近点指数  $R$  来测度南太行地区自然保护地的分布类型,其计算公式为:

$$R = \frac{\bar{r}_1}{\bar{r}_g} = 2\sqrt{D} \quad (1)$$

式中:  $\bar{r}$  为南太行地区自然保护地点要素分布的平均实际最邻近距离;  $\bar{r}_g$  为平均理论最邻近距离,  $D$  为点密度。当  $R=1$  时,自然保护地空间分布为随机类型;当  $R<1$  时,自然保护地空间分布呈集聚趋势;当  $R>1$  时,自然保护地趋向于均匀分布。

### 2.2 地理集中指数

地理集中指数 (geographic concentration index) 是用来研究地理要素在一定区域内集中程度的重要指标,以南太行地区范围内的 7 个市 (包含 28 个县、市、区) 为地理单元,用地理集中指数 ( $G$ ) 来衡量南太行地区各级各类自然保护地分布的集中程度,其计算公式<sup>[19]</sup> 为:

$$G = 100 \times \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{T}\right)^2} \quad (2)$$

式中:  $G$  为南太行各类型自然保护地的地理集中指数,且  $G$  值为 0~100,  $G$  值越大则自然保护地的分布就越集中,反之则越分散;  $n$  为南太行范围内的地市

数量,取值为 7;  $x_i$  表示第  $i$  个市所拥有的自然保护地个数;  $T$  为南太行地区所拥有的自然保护地总数。

为了方便比较,同时计算了假设各类自然保护地平均分布在 7 个市时的地理集中指数 ( $\bar{G}$ ),其计算公式<sup>[20]</sup> 为:

$$\bar{G} = 100 \times \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{n}\right)^2} \quad (3)$$

式中:  $\bar{G}$  为南太行地区保护地的平均地理集中指数;  $n$  为南太行范围内的地市数量,取值为 7。

### 2.3 核密度分析

核密度分析 (kernel density estimation) 能通过离散测量值在连续区域中的分布情况较为直观地揭示地理要素分布的特征<sup>[21]</sup>。借助 ArcGIS 10.2 软件对南太行地区的自然保护地进行核密度分析,将自然保护地抽象为点要素,点越密集则表示该区域内地理事件发生的概率越高,也就是区域内自然保护地分布密度越大、越集中。

## 3 结果与分析

### 3.1 空间分布格局特征

#### 3.1.1 自然保护地数量及面积

南太行地区自然保护地在其所属范围内的 7 个地市均有分布,其分布情况及面积如表 1 所示,空间分布情况如图 2 所示。

表 1 南太行各类自然保护地数量及面积

Tab. 1 Number and area of natural protected

areas in south Taihang Mountains 处

自然保护地类型	安阳市	鹤壁市	新乡市	焦作市	济源市	晋城市	长治市	合计数量	合计面积 /km <sup>2</sup>
自然保护区	1	0	0	0	2	5	2	10	3358.14
风景名胜区	1	1	1	4	2	4	10	23	1791.23
地质公园	2	0	2	2	1	4	3	14	1606.61
森林公园	4	6	4	2	1	8	11	36	1301.13
湿地公园	3	3	1	1	1	2	5	16	179.65
总计	11	10	8	9	7	23	31	99	8236.76

在自然保护地类型上,森林公园的数量最多,占南太行自然保护地总数的 36.36%;其次是风景名胜区,占 23.23%;自然保护区的数量最少,占 10.10%。但在面积上,自然保护区面积最大,占南太行自然保护地总面积的 40.77%;湿地公园的面积最小,仅占 2.18%。在自然保护地的区域分布



图 2 南太行自然保护区空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of natural protected areas in south Taihang Mountains

上,长治市内自然保护区数量最多,占南太行保护地总数的 31.31%;其次是晋城市,占 23.23%;保护地数量最少的是济源市,仅占 7.07%。

南太行地区国家级自然保护区数量约占总数的 33.33%,面积占保护地总面积的 49.67%,可见南太行范围内国家级与省级自然保护区的数量相差较大,但是面积相当(表 2)。

表 2 南太行各级自然保护区数量及面积

Tab. 1 Number and area of natural protected areas at all levels in south Taihang Mountains

级别	自然保护区	风景名胜区	地质公园	森林公园	湿地公园	总计	面积 /km <sup>2</sup>
国家级	4	5	7	11	6	33	4090.88
省级	6	18	7	25	10	66	4145.88
合计	10	23	14	36	16	99	8236.76

南太行地区涉及河南和山西两个省份,其中河南省自然保护区总数为 345 处,山西省自然保护区总数为 274 处,两省保护地总量为 619 处,南太行地区的保护地总数占这两个省份的 15.99%,占比较小。

### 3.1.2 自然保护区分布格局

借助 ArcGIS 10.2,并根据公式(1)计算南太行地区各类型自然保护区的最邻近点指数,根据公式(2)和(3)计算其地理集中指数以及各地市自然保护区的平均地理集中指数,结果如表 3 所示,可以用来判断南太行自然保护区在各个地市分布的均衡程度。

表 3 南太行自然保护区空间分布特征参数

Tab. 3 Spatial distribution characteristics parameters of natural protected areas in south Taihang Mountains

自然保护区类型	平均最邻近距离 /km	期望最邻近距离 /km	最邻近点指数 R	地理集中指数 G
自然保护区	27.893	28.224	0.988	58.310
风景名胜区	22.746	18.610	1.222	51.260
地质公园	36.888	23.853	1.546	44.032
森林公园	18.486	14.875	1.243	44.618
湿地公园	34.027	22.313	1.525	44.194
总体	7.048	8.970	0.786	44.087

根据表 3 可知,南太行地区自然保护区总体的最邻近点指数  $R=0.786 < 1$ ,表明南太行自然保护区的空间类型在整体上呈现集聚分布的特点。但是不同类型的保护地最邻近点指数存在着一定差异,且与总体的最邻近点指数差异较大,主要表现为:自然保护区的最邻近点指数  $R=0.988 \approx 1$ ,表明自然保护区的空间分布类型呈随机分布的特点;风景名胜区的、地质公园、森林公园、湿地公园的最邻近点指数为 1.222~1.546,其 R 值均大于 1,所以这 4 类保护地均呈离散分布的特点,且离散程度为风景名胜区 < 森林公园 < 湿地公园 < 地质公园。

利用地理集中指数可以研究南太行各类型自然保护区在空间分布上的均衡性情况。南太行保护区的总体地理集中指数 G 为 44.087,根据公式(3),假设南太行的 99 处自然保护区平均分布在其范围内的 7 个市中,则可以计算出各市的自然保护区平均地理集中指数  $\bar{G}$  为 37.796,即南太行自然保护区实际地理集中指数大于平均地理集中指数,说明南太行自然保护区整体呈集中分布的格局。南太行自然保护区、风景名胜区、地质公园、森林公园和湿地公园的地理集中指数分别为 58.310、51.260、44.032、44.618、44.194,数据显示各类自然保护区的地理集中指数均大于平均地理集中指数,表明南太行的 5 类自然保护区均呈集中分布的特点,其中自然保护区的集中程度最高,风景名胜区次之,地质公园的集

中程度最低。

为更加直观清晰地测度南太行自然保护地在城市范围内的分布密度,对南太行 99 处自然保护地数据进行核密度分析,并得到南太行地区自然保护地空间分布密度情况如图 3 所示。

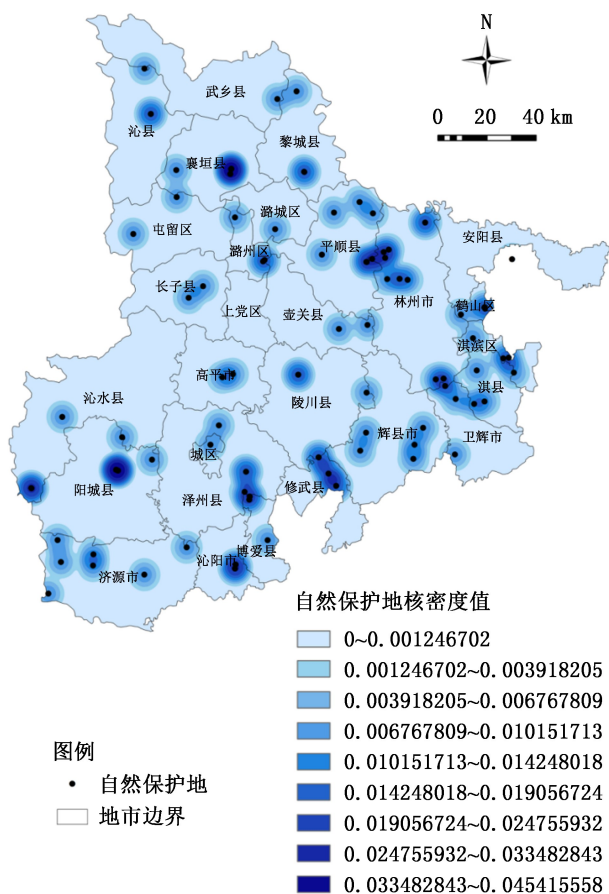


图 3 南太行自然保护地空间分布密度

Fig. 3 Spatial distribution density of natural protected areas in south Taihang Mountains

由图 3 可知,南太行保护地的密度区主要呈现为点状分布特征,少量为带状和团块状的分布格局,大多数地域的核密度均集中在 0~0.001 246 702,核密度较小。南太行地区不同区域的自然保护地密度分布情况可分为 3 档:第 1 档的核密度值较高,包括鹤壁市的鹤山区、淇滨区、淇县,新乡市的卫辉市和辉县市,安阳市的林州市,焦作市的修武县,长治市的平顺县 8 个区域,这些地区拥有得天独厚的自然生态环境,适合自然保护地的发展;第 2 档的核密度中等,主要包括焦作市的博爱县、沁阳市,济源市,晋城市的阳城县、城区、泽州县、陵川县、高平市,长治市的长子县、潞州区、潞城区、襄垣县、壶关县 13 个

区域;第 3 档的核密度较低,包括安阳市安阳县,晋城市沁水县,长治市屯留区、上党区、武乡县、黎城县、沁县 7 个区域,主要为零散点状分布。鹤壁市、新乡卫辉市的北部、安阳林州市的西部、长治平顺县的东部和北部、焦作修武县的东部、晋城泽州县的东南部核密度最高,主要呈现带状及团块状分布;而长治市的上党区核密度最低,其范围内没有自然保护地的分布。总体上,南太行自然保护地的核密度分布还是以点状分布为主,高密度区主要呈现带状和团块状分布在南太行的东部地带及部分南部地区,而南太行的西部自然保护地总体分布密度较低。保护地的分布密度不仅受到自身自然地理条件的影响,也跟当地的社会经济条件息息相关。

### 3.2 重叠自然保护地分布特征

对南太行的自然保护地进行叠置分析,在 99 处自然保护地中,存在空间交叉重叠情况的保护地共有 27 处,重叠率约为 27.3%,具体重叠情况如表 4 所示。

表 4 南太行自然保护地交叉重叠情况

Tab. 4 Intersection and overlap of natural protected areas in south Taihang Mountains

自然保护地名称	交叉保护地名称	交叉重叠类型
历山国家级自然保护区	历山省级地质公园	保护区交地质公园
林州万宝山自然保护区	林州万宝山省级地质公园	保护区交地质公园
太行山猕猴国家级自然保护区	王屋山国家级风景名胜	保护区交风景名胜
	王屋山国家地质公园	保护区交地质公园
	云台山国家级风景名胜	保护区交风景名胜
	云台山国家森林公园	保护区交森林公园
	云台山国家地质公园	保护区交地质公园
	五龙口风景名胜	保护区交风景名胜
王屋山国家级风景名胜	王屋山国家地质公园	风景名胜区交地质公园
林虑山国家级风景名胜	红旗渠-林虑山国家地质公园	风景名胜区交地质公园
云台山国家级风景名胜	云台山国家森林公园	风景名胜区交森林公园
	云台山国家地质公园	风景名胜区交地质公园



续表 4

自然保护地名称	交叉保护地名称	交叉重叠类型
神农山国家级风景名胜	沁阳神农山省级地质	风景名胜区交
云梦山风景名胜区	云梦山国家森林公园	地质公园
太行水乡风景名胜	太行水乡省级湿地公	风景名胜区交
老顶山风景名胜区	老顶山国家级森林	地质公园
黄崖洞风景名胜区	黄崖洞国家级森林	风景名胜区交
神龙湾-天脊山风景	天脊山国家地质公园	风景名胜区交
精卫湖-白松林风景	长子精卫湖国家湿地	地质公园
仙堂山风景名胜区	仙堂山国家级森林	风景名胜区交
	仙堂山省级地质公园	风景名胜区交
珺山风景名胜区	珺山省级森林公园	地质公园
王莽岭风景名胜区	王莽岭国家地质公园	风景名胜区交
云台山国家地质公	云台山国家森林公园	地质公园交森
壶关太行山大峡谷	太行峡谷国家级森林	林公园
跑马岭省级地质公	卫辉跑马岭省级森林	地质公园交森
仙堂山省级地质公	仙堂山国家级森林	林公园

从南太行各个区域的分布来看,7 个地市均有交叉重叠的现象发生,其中:焦作市和长治市交叉重叠的保护地数量最多,均为 8 处,占全部交叉重叠数量的 29.6%;其次是济源市,有 4 处交叉重叠的保护地,占 14.8%;晋城市和安阳市分别存在 3 处和 2 处保护地交叉重叠现象;鹤壁市和新乡市自然保护地的交叉重叠数量最少,仅有 1 处,占 3.7%。

南太行保护地的交叉重叠类型共有 7 种,其中:出现交叉重叠次数最多的类型是风景名胜区交地质公园,占交叉重叠类型总数的 25.9%;其次是风景名胜区交森林公园,占 22.2%;风景名胜区交湿地公园数量为 2 次,占比为 7.4%;最少的是保护区交森林公园,仅占交叉重叠类型总数的 3.7%。南太行地区相同类的自然保护地之间不存在交叉重叠类型,如自然保护区之间不存在交叉重叠,仅存在于自

然保护区与各类自然公园以及自然公园相互之间的交叉重叠(表 5)。

表 5 南太行各类自然保护地交叉重叠次数统计

Tab. 4 Overlapping frequency of natural protected areas in south Taihang Mountains 次

保护地类型	自然保护区	风景名胜	地质公园	森林公园	湿地公园
自然保护区		3	4	1	
风景名胜区			7	6	2
地质公园				4	
森林公园					
湿地公园					

#### 4 结论与讨论

厘清自然保护地的空间分布格局特征和不同类型自然保护地之间的空间关系,有利于推动自然保护地整合优化工作的顺利完成,也是建立以国家公园为主体的自然保护地体系的重要基础<sup>[22-23]</sup>。以南太行地区 5 类 99 处自然保护地为研究对象,采用最邻近点指数、地理集中指数和核密度分析的方法,对南太行自然保护地的空间分布格局和交叉重叠特征进行了综合分析。

1)从保护地类型上来看,森林公园数量最多,自然保护区面积最大但数量最少,湿地公园的面积最小;从保护地级别来看,国家级自然保护地数量少于省级,但两者面积相当;从保护地的区域分布上来看,山西省长治市内自然保护地数量最多,河南省济源市保护地数量最少。

2)从保护地的分布类型来看,南太行自然保护地整体的空间分布类型呈集聚分布的特点,具体来看,自然保护区的空间分布类型呈随机分布,风景名胜区、地质公园、森林公园和湿地公园的空间分布类型均属于离散分布,且地质公园的离散程度最大,风景名胜区的离散程度最小。

3)从保护地分布的均衡性来看,南太行保护地整体上呈集中分布的特点,且自然保护区、风景名胜区、地质公园、森林公园和湿地公园在南太行的 7 个地市内均呈集中分布的特点,其中自然保护区的集中程度最高,风景名胜区次之,地质公园的集中程度最低。

4)南太行保护地的密度区主要呈点状分布的特征,少量为带状和团块状的分布格局。按照核密度值可将南太行地区不同市的自然保护地密度分布

情况分为 3 档。总体上,南太行自然保护地的高密度区分布在其东部地带及部分南部地区,主要呈带状和团块状,而其西部自然保护地的总体分布密度较低。

5)南太行 99 处自然保护地中存在 27 处交叉重叠,重叠率为 27.3%。从重叠的区域来看,南太行范围内的 7 个地市均存在交叉重叠现象,且焦作市和长治市重叠的保护地数量最多,鹤壁和新乡的重叠数量最少;南太行保护地的交叉重叠类型共有 7 种,其中,风景名胜区交地质公园是最多的重叠类型;南太行保护地的交叉重叠类型仅存在于自然保护区与各类自然公园以及自然公园相互之间的交叉重叠,不存在于相同类的自然保护地之间。

基于上述研究结果,对于南太行自然保护地的建设发展提出 3 点建议。

1)各地市要遵循《指导意见》的会议精神,厘清重叠保护地的自然生态类型、环境等,明确其发展定位与目标,进一步整合优化南太行范围内的自然保护地空间布局,构建合理明确的自然保护地体系。

2)对于一些相邻相连的自然保护地,可考虑归并整合。自然保护地的建设不应受行政区划的影响,要打破行政区划的界限,对于一些生态类型相似、地理单元相邻的保护地,可根据自然保护地分类体系对其进行重新架构。

3)充分利用《太行山旅游业发展规划(2020—2035 年)》的契机,以此作为自然保护地体系建设的推动力,借机提升南太行整体的竞争力,以此来发展风景名胜区、森林公园、湿地公园、地质公园等,提升其旅游知名度和地区经济实力,实现保护和发展两手抓。

## 参考文献:

- [1] 李春良. 深入贯彻落实习近平生态文明思想建立具有中国特色的自然保护地体系[J]. 旗帜,2019(8):37-38.
- [2] 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(3):8-13.
- [3] 欧阳志云,杜傲,徐卫华. 中国自然保护地体系分类研究[J]. 生态学报,2020,40(20):7207-7215.
- [4] 束晨阳. 论中国的国家公园与保护地体系建设问题[J]. 中国园林,2016,32(7):19-24.
- [5] 陈耀华,焦梦菲. 我国自然保护地分类研究综述与思考[J]. 规划师,2020,36(15):5-12.
- [6] 赵炳鉴,任军,万军. 国土空间规划背景下自然保护地体系整合优化初探[J]. 国土资源情报,2020,237(9):16-22.
- [7] 唐小平,蒋亚芳,刘增力,等. 中国自然保护地体系的顶

层设计[J]. 林业资源管理,2019(3):1-7.

- [8] 马童慧,吕偲,雷光春. 中国自然保护地空间重叠分析与保护地体系优化整合对策[J]. 生物多样性,2019,27(7):758-771.
- [9] 潘竟虎,徐柏翠. 中国国家级自然保护地的空间分布特征与可达性[J]. 长江流域资源与环境,2018,27(2):353-362.
- [10] 周婷,牛安逸,马姣娇,等. 国家湿地公园时空格局特征[J]. 自然资源学报,2019,34(1):26-39.
- [11] 陈冰,朱彦鹏,罗建武,等. 云南省国家级自然保护区与其他类型保护地关系分析[J]. 生态经济,2015,31(12):129-135.
- [12] 王诗童,王锐锋,黄治昊,等. 辽宁省自然保护地空间分布格局与重叠现状分析[J]. 北京林业大学学报,2021,43(11):89-98.
- [13] 冯达,胡理乐,陈建成. 北京市自然保护地空间分布格局与交叉重叠特征[J]. 生态学杂志,2020,39(10):3421-3429.
- [14] 白世强,强真. 废弃露天矿山生态修复的问题与对策——以河南省南太行地区为例[J]. 中国国土资源经济,2022,35(7):36-41.
- [15] CLARK P J, EVANS F C. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations [J]. Ecology,1954,35(4):445-453.
- [16] EBDON D. On the underestimation inherent in the commonly used formula[J]. Area,1976,8(3):165-169.
- [17] 樊晶,杨志刚,郭盛才,等. 广东省自然保护地空间分布特征研究[J]. 林业与环境科学,2021,37(6):111-117.
- [18] 李伯华,尹莎,刘沛林,等. 湖南省传统村落空间分布特征及影响因素分析[J]. 经济地理,2015,35(2):189-194.
- [19] 张卓然,唐晓岚,贾艳艳. 保护地空间分布特征与影响因素分析——以长江中下游为例[J]. 安徽农业大学学报,2017,44(3):439-447.
- [20] 樊涵,王晓娟,杨朝辉,等. 遵义市 4 种主要自然保护地空间分布特征及其影响因素研究[J]. 生态与农村环境学报,2020,36(3):334-341.
- [21] 石秀雄,杨广斌,李蔓,等. 贵州省国家级自然保护地空间格局特征分析[J]. 水土保持研究,2021,28(6):323-329.
- [22] 靳川平,刘晓曼,王雪峰,等. 长江经济带自然保护地边界重叠关系及整合对策分析[J]. 生态学报,2020,40(20):7323-7334.
- [23] 李永进,汤玉喜,黎蕾,等. 湖南省自然保护地空间分布特征及其重叠关系分析[J]. 生态与农村环境学报,2021,37(12):1540-1547.

责任编辑:杨竣熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.009

## 近 30 年西藏色林错国家级自然保护区湖泊演化研究

吕俊娥<sup>1</sup>, 马露<sup>1</sup>, 高会军<sup>1</sup>, 谢昆军<sup>2</sup>

(1. 中国煤炭地质总局航测遥感局, 陕西 西安 710199; 2. 西藏自治区那曲市林业和草原局, 西藏 那曲 852078)

**摘要:**根据 1990、2000、2010 和 2020 年卫星遥感资料和近 30 年气温、降水量和蒸发量等气候资料分析研究藏北高原色林错国家级自然保护区湖泊演化。结果表明,保护区湖泊数量呈增多—减少—增多的趋势,湖泊面积呈扩张—加速扩张—扩张减缓的阶段性增长趋势。近 30 年湖泊总面积扩大 88 676.49 hm<sup>2</sup>,其中,1990—2000 年、2000—2010 年和 2010—2020 年面积分别增长 23 897.12、57 176.60 和 7 602.77 hm<sup>2</sup>,增长幅度分别为 5.63%、12.75% 和 1.50%。通过对保护区 1 000 hm<sup>2</sup> 以上湖泊面积分析,西区湖泊以色林错、仁错面积变化率较大,东区湖泊以错愕、乃日平错以及蓬错变化显著。近 30 年色林错保护区气候为气温升高、降水量增多和蒸发量减少,气候呈现出暖湿化发展趋势。冰川萎缩速率、降水量和蒸发量变化与色林错保护区湖泊阶段性变化规律相关性高。

**关键词:**湖泊面积;遥感监测;气候因素;色林错国家级自然保护区

中图分类号:S759.9;P931.7 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0051-07

引文格式:吕俊娥,马露,高会军,等.近 30 年西藏色林错国家级自然保护区湖泊演化研究[J].林业调查规划,2024,49(2):106-112.51-57. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.009

LYU Jun'e, MA Lu, GAO Huijun, et al. Lake Evolution in Selincuo Lake National Nature Reserve in Recent 30 Years [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 106-112. 51-57. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.009

## Lake Evolution in Selincuo Lake National Nature Reserve in Recent 30 Years

LYU Jun'e<sup>1</sup>, MA Lu<sup>1</sup>, GAO Huijun<sup>1</sup>, XIE Kunjun<sup>2</sup>

(1. China Coal Aerial Photogrammetry and Remote Sensing Group Co., Ltd., Xi'an 710199, China;  
2. Nagchu Bureau of Forest and Grassland, Nagchu, Xizang 852078, China)

**Abstract:** Based on satellite remote sensing data from 1990, 2000, 2010 and 2020, as well as climate data such as temperature, precipitation and evaporation in recent 30 years, this paper investigated the evolution of lakes in Selincuo Lake National Nature Reserve. The results showed that the number of lakes in Selincuo Lake National Nature Reserve showed a trend of increasing, decreasing and increasing, and the area of lakes showed a phased increase trend of expansion, accelerating expansion and slowing down. In recent 30 years, the total area of lakes had expanded by 88 676.49 hm<sup>2</sup>, among which, the area increased by 23 897.12 hm<sup>2</sup>, 57 176.60 hm<sup>2</sup> and 7 602.77 hm<sup>2</sup>, respectively, with growth rates of 5.63%, 12.75% and 1.50% in the periods from 1990 to 2000, from 2000 to 2010, and from 2010 to 2020. The analysis of the lake area above 1 000 hm<sup>2</sup> in Selincuo Lake National Nature Reserve showed that the areas change rate of Selincuo and Rencuo in the western region was large, while those of Qu'e, Nairipingcuo and Pengcuo in the eastern region were significant. In recent 30 years, the climate of Selincuo Lake Na-

收稿日期:2022-10-12.

第一作者:吕俊娥(1983-),女,陕西宝鸡人,硕士,高级工程师.主要从事遥感与生态环境研究. Email:280998828@qq.com



tional Nature Reserve was characterized by the increase of temperature and precipitation, and the decrease of evaporation, showing a trend of warm and humid development. The changes of glacier shrinking rate, precipitation and evaporation were highly correlated with the periodic changes of lakes in Selincuo Lake National Nature Reserve.

**Key words:** lake area; remote sensing monitoring; climate factors; Selincuo Lake National Nature Reserve

青藏高原分布着海拔最高、数量最多、面积最大的湖泊群,1 km<sup>2</sup> 以上湖泊数量 1 055 个,面积 41 831.7 km<sup>2</sup>,占全国湖泊数量和总面积的 39.2%和 51.4%<sup>[1-2]</sup>。青藏高原湖泊群是中国乃至东亚大河的源头,被称为“亚洲水塔”<sup>[3]</sup>。青藏高原湖泊的扩张与收缩对气候变化的响应具有重要意义<sup>[4-6]</sup>。西藏色林错国家级自然保护区(以下简称“色林错保护区”)位于藏北高原,其东区为外流水系,怒江源头的那曲河及其主要支流发源或流经地;西区为西藏湖泊最为密集的南羌塘湖盆区,基底海拔约 4 500 m。色林错保护区具有丰富的湿地和野生动植物资源,为高原候鸟最大的繁殖地之一和藏羚、西藏野驴等珍稀野生动物栖息和繁殖区。据研究资料,全世界黑颈鹤种群总数的 90% 以上栖息于中国,其中 80% 以上的黑颈鹤越冬与繁殖地均集中于西藏自治区,而西藏色林错保护区是黑颈鹤最主要的繁殖地,其主要为高原湿地生态系统的湖泊湿地,每年夏季约数千对黑颈鹤在色林错保护区繁殖。

当前全球变暖日益显著,导致近 30 年来气候环境发生重大变化,出现冰川加速消融、湖泊水位上升,大风、沙尘暴日数减少,植被有所改善等现象<sup>[7]</sup>。青藏高原湖泊变化受人类活动直接影响较小,高原湖泊变化对气候变化、冰川积雪消融、极端气象和生态安全具有重要的科学价值,青藏高原湖泊变化及其对气候的影响受到广泛关注<sup>[8]</sup>,国内外学者对青藏高原湖泊变化开展研究<sup>[9-17]</sup>。2000—2010 年,除藏南外,青藏高原其余地区湖泊全部扩张,其中以色林错扩张最为显著<sup>[18-19]</sup>。色林错保护区湖泊水位上涨引起沼泽湿地湖泊化,对候鸟栖息以及繁殖带来影响,另外给当地逐水草而居的牧民造成巨大的经济损失。利用卫星遥感资料和气象资料对色林错保护区湖泊变化和湖水上涨原因进行分析,对保护区合理规划、动植物保护以及黑颈鹤栖息地环境变迁具有重要意义。

## 1 研究区概况

色林错保护区位于西藏自治区西北部的藏北高原,地理坐标为东经 87°41′~91°50′、北纬 30°10′~

32°10′,分东、西两个区,总面积 18 936.3 km<sup>2</sup>,隶属于那曲市的色尼区、申扎县、尼玛县、班戈县、安多县和双湖县。色林错保护区始建于 1993 年,2003 年晋升为国家级自然保护区,2017 年被列入中国国际重要湿地(图 1)。

## 2 数据处理与分析

### 2.1 数据来源

研究区底图为全国第三次国土调查成果,遥感数据主要以陆地资源卫星 Landsat 7 TM、Landsat-5 TM 和 Landsat 8 OLI\_TRIS 遥感影像数据为主。陆地卫星遥感数据从中国科学院计算机网络中心地理空间数据云网站下载。卫星遥感资料获取时间为 6—10 月云量小于 5% 的资料。遥感数据投影为 CGCS2000\_3\_Degree\_GK\_Zone\_29,输出格式为 img。保护区周边有气象观测站 4 个,分别为申扎站(88°38′E、30°57′N,海拔 4 672 m)、班戈站(90°01′E、31°23′N,海拔 4 700 m)、安多站(91°06′E、32°21′N,海拔 4 800 m)和那曲站(92°04′E、31°29′N,海拔 4 507 m),气象数据为气象站 1990—2020 年均气温、年均降水量。

### 2.2 处理方法

首先在 ENVI 图像处理软件下,对遥感影像进行辐射定标、大气校正、影像融合、波段合成、影像匀色和图像镶嵌。TM 遥感影像波段选择 753 假彩色合成,Landsat 8 遥感影像波段选择 754 彩色合成,其色彩丰富,湖泊水体在假彩色合成影像中表现为蓝黑色。其次对合成的遥感影像进行几何校正,利用全国第三次国土调查成果最为校正底图对卫星遥感影像图进行校正,图像误差控制在一个像元。最后,利用 ArcGIS 软件对 1990、2000、2010、2020 年 4 期湖泊进行数字化提取,得到保护区不同年份湖泊水体分布矢量,计算其面积及开展空间变化特征分析。

## 3 湖泊变化分析

利用 1990、2000、2010 和 2020 年 4 个时期的遥感影像数据,对色林错保护区近 30 年大于 8 hm<sup>2</sup> 的湖泊数量进行统计分析(表 1)。

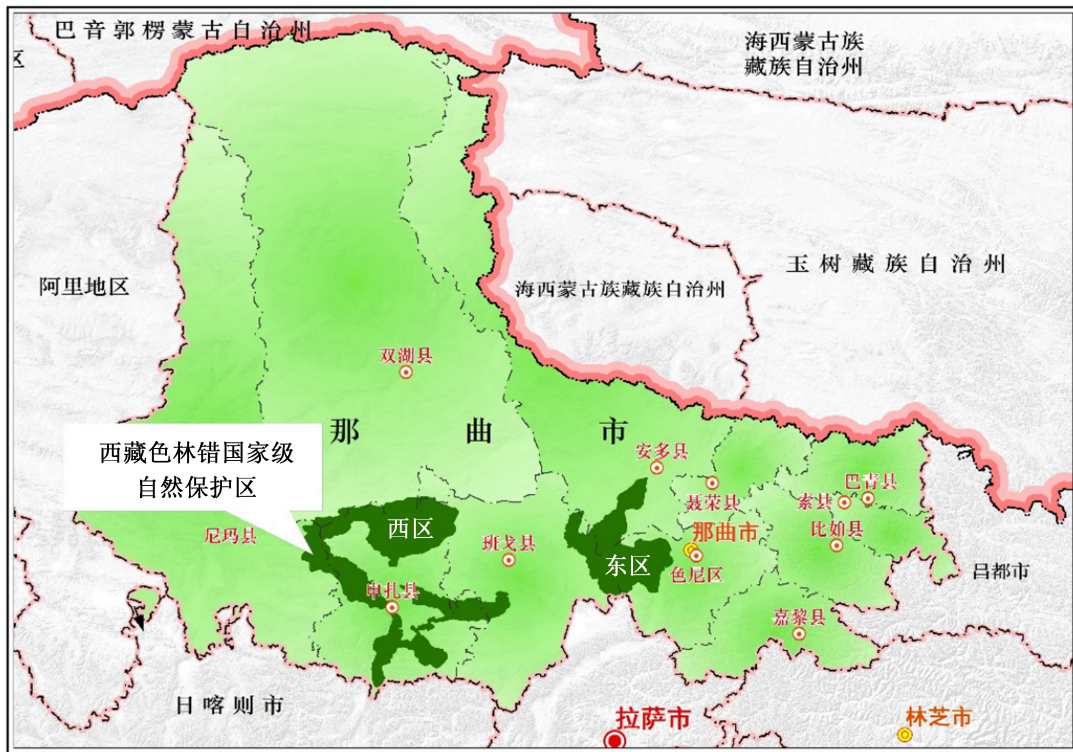


图 1 色林错保护区位置

Fig. 1 Location of Selincuo Lake National Nature Reserve

表 1 色林错保护区湖泊数量统计

Tab. 1 Statistics of lakes number in Selincuo Lake National Nature Reserve

年份	≥1000 hm <sup>2</sup>	500~< 1000 hm <sup>2</sup>	100~< 500 hm <sup>2</sup>	50~< 100 hm <sup>2</sup>	8~< 50 hm <sup>2</sup>	合计
1990	24	2	14	14	40	95
2000	24	4	19	24	87	159
2010	23	4	15	20	52	115
2020	23	4	20	21	60	129

色林错保护区 1990 年湖泊总数 95 个,2000 年 159 个,2010 年 115 个,2020 年 129 个,色林错保护区近 30 年湖泊数量总体呈增多—减少—增多的趋势。大于 1 000 hm<sup>2</sup> 湖泊数量减少 1 个,主要原因为色林错湖扩张与西南部的雅根错连通。大于 500 hm<sup>2</sup> 湖泊数量相对稳定,主要为构造成因湖泊,小于 500 hm<sup>2</sup> 湖泊数量波动与总体趋势一致,受季节性影响较大。

1990—2020 年色林错湖面总体扩大 88 676. 49 hm<sup>2</sup>,增长幅度为 20. 89%。其中,1990—2000 年湖面面积从 430 459. 99 hm<sup>2</sup> 增加至 458 157. 00 hm<sup>2</sup>,面积增长了 23 897. 12 hm<sup>2</sup>,增长幅度 5. 63%。2000—2010 年湖面面积从 458 157. 00 hm<sup>2</sup> 快速增加至

514 412. 90 hm<sup>2</sup>,面积增长了 57 176. 60 hm<sup>2</sup>,增长幅度高达 12. 75%,增长速率明显加剧。2010—2020 年湖面面积从 514 412. 90 hm<sup>2</sup> 增加至 523 267. 72 hm<sup>2</sup>,面积增长了 7 602. 77 hm<sup>2</sup>,增长幅度 1. 50%,增长速率减缓。从湖泊类型来看,以永久性咸水湖面积变幅最大,占变化总面积的 86. 61%,季节性湖泊变幅较小(表 2,图 2)。

表 2 色林错保护区湖泊面积统计

Tab. 2 Statistics of lakes area in Selincuo

湖泊类型	1990 年	2000 年	2010 年	2020 年
季节性淡水湖	109. 61	2227. 57	1145. 57	603. 73
季节性咸水湖	113. 78	421. 52	139. 80	423. 31
永久性淡水湖	208509. 97	217116. 30	220823. 80	220131. 54
永久性咸水湖	221726. 63	238391. 70	292303. 80	302109. 14
总计	430459. 99	458157. 00	514412. 90	523267. 72

通过近 30 年色林错保护区 1 000 hm<sup>2</sup> 以上湖泊面积分析,色林错保护区内湖泊除崩错和雅根错外,面积全部呈扩张趋势。从湖泊面积变化分析:面积变化率大于 30%的湖泊有色林错、仁错、乃日平错和



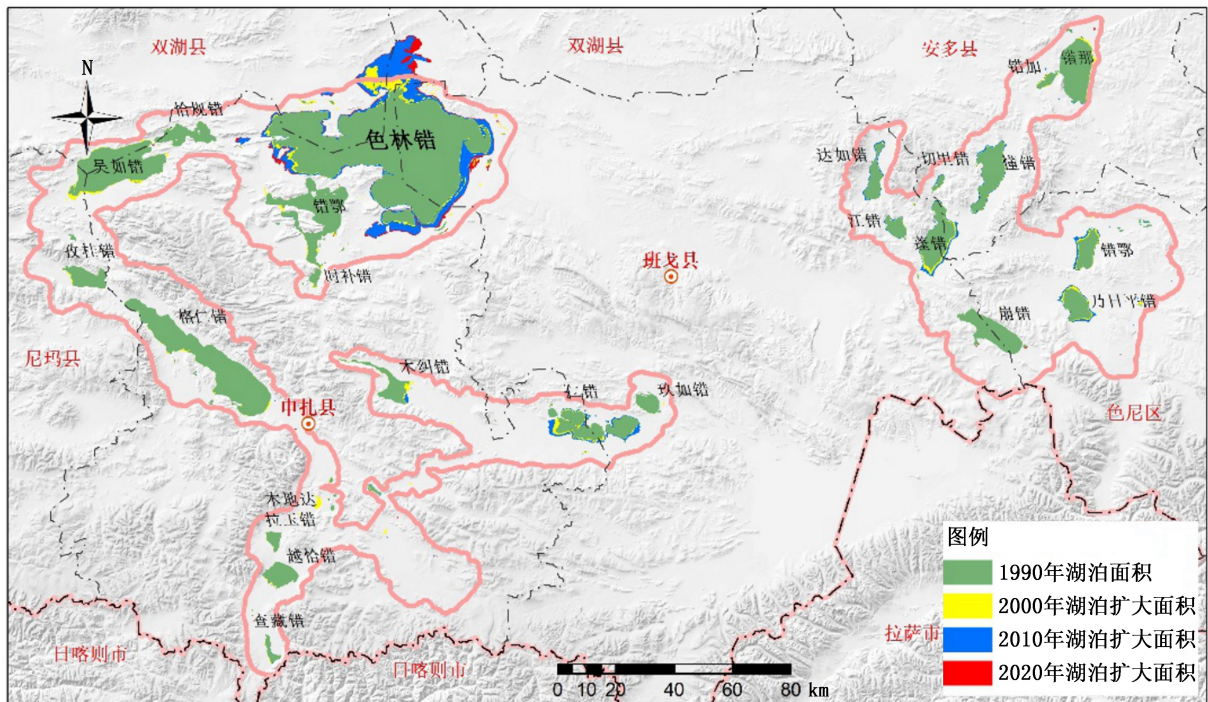


图 2 不同年份色林错保护区湖泊变化

Fig. 2 Changes of lakes in Selincuo Lake National Nature Reserve in different years

错鄂(西区)4个,以色林错面积变化最为显著。面积变化率 10%~30%的湖泊有木纠错、切里错、错加、懂错、蓬错、达如错和江错 7个;变化率小于 10%的湖泊有 12个。从分布区域看:西区主要以色林错面积变化为主,其他湖泊面积变化较小;东区除崩错外湖泊面积变化率较大。从年代分析看:1990—2000年,除崩错外全部呈扩张趋势;2000—2010年,错鄂(西区)、时补错、恰规错、吴如错和孜桂错 5个湖泊呈萎缩状态,格仁错、越恰错、玖如错和崩错 4个湖泊呈稳定状态,其他呈扩张趋势;2010—2020年,格仁错、木地达拉玉错、越恰错等 12个湖泊处于稳定状态,恰规错、吴如错、仁错等 7个湖泊处于萎缩状态,仅色林错、错鄂(西区)、时补错和孜桂错呈扩张趋势(表 3)。

### 4 气候因素分析

#### 4.1 年均降水量变化

色林错保护区年均降水量 1990—2020 年变化波动较大,其中 2015 年降水量最低,2008 年最高,2015 年比多年平均降水量少 172.02 mm,2008 年比多年平均降水量多 128.30 mm。除 2015 年和 2008 年最高和最低极端降水量,1990—2020 年降水量呈增加趋势,平均每 10 年上升 16.70 mm(图 3)。

#### 4.2 年均蒸发量变化

色林错保护区近 30 年年均蒸发量呈下降趋势,年均蒸发量 1997 年因极端低温,地表被积雪覆盖,蒸发量最低,比多年平均值低 240.54 mm,1998、1999 年蒸发量在 1997 年大雪之后增加,但 2000 年后显著减少。蒸发量平均每 10 年减少 94.31 mm,2000 年以后达到每 10 年减少 141.46 mm(图 4)。

#### 4.3 年均气温变化

色林错保护区近 30 年年均温总体呈显著上升趋势,与全球气温变暖趋势一致。1997 年出现极端低温,比多年平均气温值低 2.35℃,在 1997 年大降温之后的 1999 年气温明显回升。总体上,色林错保护区 1990—2020 年年平均气温呈明显升高趋势,平均每 10 年升高 0.36℃(图 5)。

### 5 湖泊变化原因分析

#### 5.1 温度上升引起的冰川萎缩、冰雪融水

在近 50 年气候变化背景下,青藏高原升温幅度为全球平均值的两倍<sup>[20-21]</sup>。色林错保护区 1990—2020 年平均气温呈明显增加趋势,平均每 10 年增加近 0.36℃,与全球变暖趋势一致。色林错保护区西区入湖较大河流有扎根藏布、所加藏布、波曲藏布、阿里藏布等;东区入湖河流主要包括那曲、母各曲等。



表 3 色林错保护区 1 000 hm<sup>2</sup> 以上湖泊面积统计

Tab. 3 Statistics of lakes with an area of over 1 000 hm<sup>2</sup> in Selincuo Lake National Nature Reserve hm<sup>2</sup>

分区	湖泊名称	1990 年	2000 年	2010 年	2020 年	变化面积	变化率/%
西区	色林错	170543.41	181443.80	233321.24	241966.21	71422.80	41.88
	雅根错	3862.57	4452.22	/	/	/	
	错鄂	26767.41	27407.14	27135.39	27273.01	505.60	1.89
	时补错	1460.52	1538.30	1315.84	1483.93	23.41	1.60
	恰规错	8990.76	9080.40	9027.15	9011.50	20.74	0.23
	吴如错	34760.37	36635.42	35717.16	35701.30	940.93	2.71
	孜桂错	7349.11	7552.50	7260.81	7424.03	74.92	1.02
	格仁错	47692.42	48441.11	48441.11	48441.11	748.69	1.57
	木地达拉玉错	2364.59	2405.48	2423.51	2423.51	58.92	2.49
	越恰错	6886.36	7006.65	7006.65	7006.65	120.29	1.75
	查藏错	1841.61	1966.37	2004.70	2004.70	163.09	8.86
	木纠错	7132.75	7862.21	8216.81	8216.81	1084.06	15.20
	仁错	15089.69	17301.54	21086.80	20019.19	4929.50	32.67
	玖如错	4154.44	4182.08	4182.08	4182.08	27.64	0.67
东区	切里错	1078.02	1132.67	1288.83	1215.53	137.51	12.76
	错那	18497.18	19073.72	19186.97	19050.44	553.26	2.99
	错加	1813.64	2031.79	2058.75	2058.75	245.11	13.51
	懂错	13322.57	13922.63	15071.67	15071.67	1749.10	13.13
	蓬错	13868.24	15548.69	17708.86	17708.86	3840.62	27.69
	达如错	5917.21	6136.82	7097.05	7097.05	1179.84	19.94
	江错	3692.92	3824.64	4095.63	4087.45	394.53	10.68
	崩错	14201.36	14201.36	14201.36	14201.36	0	0
	乃日平错	6980.10	8046.10	9284.42	9090.42	2110.32	30.23
	错鄂	6263.79	7234.52	8471.97	8471.97	2208.18	35.25

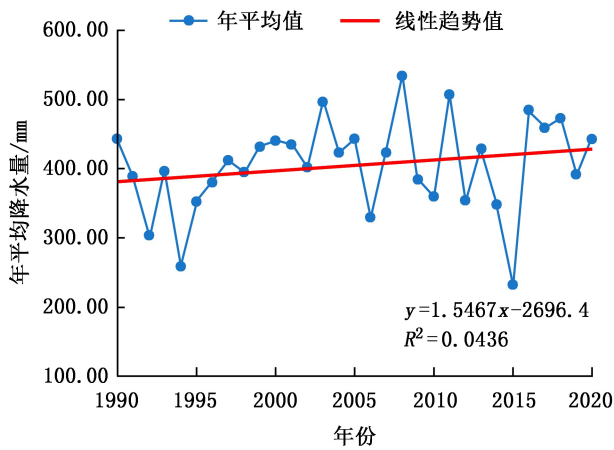


图 3 色林错保护区周边 4 个气象站  
降水量年际变化曲线

Fig. 3 Variation trend of annual precipitation around Selincuo Lake National Nature Reserve

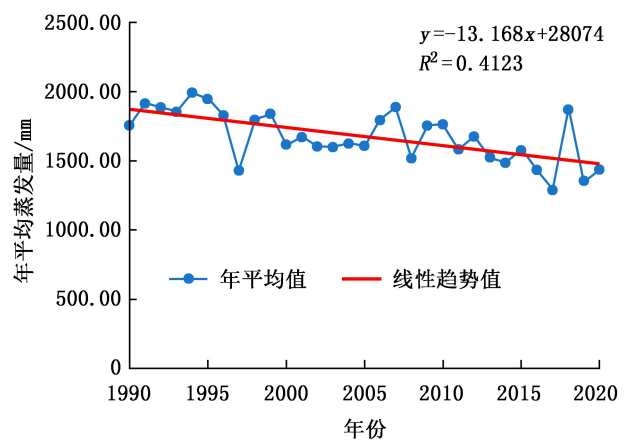


图 4 色林错保护区周边 4 个气象站  
蒸发量年际变化曲线

Fig. 4 Variation trend of annual evaporation around Selincuo Lake National Nature Reserve

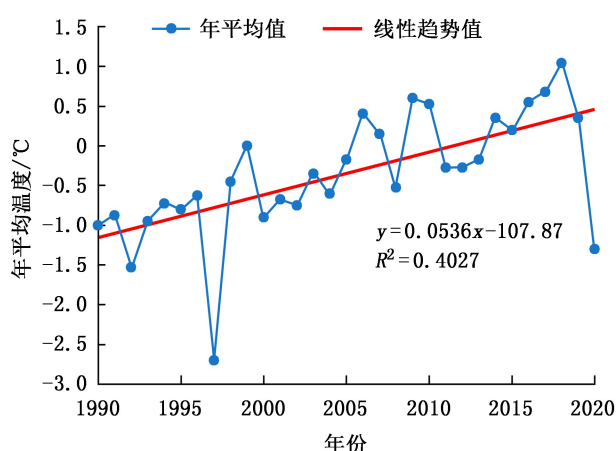


图 5 色林错保护区周边 4 个气象站  
气温年际变化曲线

Fig. 5 Variation trend of annual temperature around  
Selincuo Lake National Nature Reserve

色林错保护区最大的河流扎加藏布发源于唐古拉山脉的格拉丹东冰川(长江发源地之一,海拔 6 621 m),年平均流量约  $26.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 。扎根藏布发源于冈底斯山脉拔布日(山)北麓的甲岗和杰岗雪山,河道串连的较大湖泊有格仁错(湖面积  $48\,441.11 \text{ hm}^2$ )和吴如错(湖面积  $35\,701.3 \text{ hm}^2$ )。阿里藏布发源于康巴多钦山北麓,河长约 65 km,汇入错鄂的西南岸。波曲藏布发源于郎钦山南麓,河长 85 km,入湖处河宽仅 10 m,水量较小。据冰川消融相关研究<sup>[22-23]</sup>,格拉丹东冰川 1992—2009 年面积减少  $66.68 \text{ km}^2$ (减少率为 7.37%),其中 1992—1999 年、1999—2006 年和 2006—2009 年这 3 个阶段分别减少  $19.90 \text{ km}^2$ 、 $39.95 \text{ km}^2$  和  $6.83 \text{ km}^2$ ,冰川处于连续退缩状态。色林错保护区湖泊处于色林错流域的最下游,湖泊扩张期滞后于冰川退缩期,色林错保护区近 30 年湖泊面积持续扩张,其中 1990—2000 年湖泊扩张速率 5.63%,2000—2010 年湖泊扩张速率急剧增加至 12.75%,与格拉丹东冰川退缩变化规律一致。因此,温度上升引起的冰川退缩成为色林错保护区湖泊面积扩张的重要因素,其中色林错、错鄂(西区)、时补错和孜桂错受冰川补给明显。

## 5.2 降水量的增加和蒸发量的减少

国家气象中心数据显示,青藏高原 1981—2020 年降水量呈增加趋势,平均每 10 年增加 14 mm。青藏高原百年气候经历了 4 个阶段:20 世纪初至 20 年代初为冷期,20 年代至 60 年代初为暖期,60 年代中至 80 年代初气候转冷,80 年代以来高原各地先后进入一个气温持续偏高时期;高原气温变化的阶

段性与北半球基本一致,冷、暖气候期对应弱、强的高原季风活动<sup>[24]</sup>。从色林错保护区周边 4 个气象站点的降水分析看,近 30 年平均每 10 年上升 16.70 mm,高于青藏高原 1981 年以来的平均值。近 30 年蒸发量平均每 10 年减少 94.31 mm,2000 年以后达到每 10 年减少 141.46 mm。色林错保护区强高原季风活动引起降水量增高,蒸发量减少,成为保护区湖泊面积增加最直接的影响,其中,色林错保护区的仁错、乃日平错、木纠错、切里错、错加、懂错、蓬错、达如错和江错气候变化明显。

从上述分析得出,影响保护区湖泊面积变化的直接因素为温度上升引起的冰雪融水、降水量增加,间接因素为湖滨区地形、湖泊大小以及地质构造等。保护区内咸水湖有明显的向心状水系,扎根藏布等河流注入,色林错为区域汇水中心,近 30 年成为扩张面积最大的西藏第一大湖。保护区崩错湖受两侧山地地貌的限制近 30 年未扩张。保护区周边冈底斯山脉的甲岗和杰岗雪山,温度上升引起雪山融水注入格仁错、吴如错等湖泊。从湖泊面积和气候变化的关系来看,1990—2000 年、2000—2010 年以及 2010—2020 年湖泊变化趋势与气候 3 个阶段变化趋势高度一致。比如在 1997 年平均温度低,降雨量较大,蒸发量小,1990—2000 年湖泊面积增加  $27\,697.05 \text{ hm}^2$ ;2008 年降水量近 30 年极大年,2000—2010 年湖泊面积增加了  $56\,255.89 \text{ hm}^2$ ,增加显著;2015 年降水量近 30 年极少年,2010—2020 年湖泊扩张趋势减缓,湖泊面积增加  $8\,854.79 \text{ hm}^2$ 。可见,色林错保护区湖泊面积变化与藏北高原气候变化敏感。藏北高原色林错保护区是黑颈鹤的主要繁殖地,主要集中在色林错、格仁错和木纠错,每年夏季约数千对黑颈鹤在此繁殖。除此之外,越恰错、错鄂、崩错、蓬错等也存在种群数量较大的繁殖群。近 30 年色林错保护区湖泊呈增大趋势,导致沼泽湿地的湖泊化问题,伴随着湖泊面积的持续增大,威胁黑颈鹤栖息地环境,在后续的保护区管理中加强黑颈鹤数量的动态监测。湖泊面积的扩张淹没生长在低湖岸带茂盛的牧场草地,影响湖区附近牧民放牧。

## 6 结 论

1) 基于 1990、2000、2010 和 2020 年的遥感影像,获取西藏色林错国家级自然保护区 4 期大于  $8 \text{ hm}^2$  的湖泊,近 30 年湖泊数量呈现增多—减少—增多的趋势,其中,1990 年湖泊总数 95 个,2000 年 159 个,2010 年 115 个,2020 年 129 个。1990—2020 年色林

错保护区湖面总面积扩大 88 676.49 hm<sup>2</sup>,增幅为 20.89%。1990—2000 年面积增长了 23 897.12 hm<sup>2</sup>,增幅 5.63%;2000—2010 年面积增长了 57 176.60 hm<sup>2</sup>,增幅高达 12.75%;2010—2020 年面积增长 7 602.77 hm<sup>2</sup>,增幅 1.50%,湖泊面积总体扩张,近 30 年呈现扩张—加速扩张—扩张减缓的趋势。

2)对色林错保护区 1 000 hm<sup>2</sup> 以上湖泊面积分析,从分布区域看:色林错保护区湖泊面积西区主要以色林错面积变化为主,其他湖泊面积变化较小;东区除崩错外湖泊面积变化率较大。从年代分析看:2000 年之前湖泊全部呈扩张趋势,2000—2010 年湖泊扩张趋势减缓,2010 年后仅色林错、错鄂、时补错和孜规错呈扩张趋势,其他湖泊呈萎缩和稳定状态。

3)根据色林错保护区周边 4 个气象站的气候要素分析,近 30 年色林错保护区气候呈现暖湿化发展趋势。通过相关文献对色林错最大入湖河流扎加藏布发源的格拉丹东冰川变化分析,在全球变暖的背景下,冰川萎缩的速率、降水量和蒸发量变化与色林错保护区湖泊阶段性变化规律相关性高。其中,色林错、错鄂(西区)、时补错和孜桂错受冰川补给明显,仁错、乃日平错、木纠错、切里错、错加、懂错、蓬错、达如错和江错受降水量控制明显。

## 参考文献:

- [1] 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京:科学出版社,1998:7.
- [2] 杨桂山,马荣华,张路,等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略[J]. 湖泊科学,2010,22(6):799-810.
- [3] 张国庆. 青藏高原湖泊变化遥感监测及其对气候变化的相应研究进展[J]. 地理科学进展,2018,37(2):214-223.
- [4] DU Y, XUE H P, WU S J, et al. Lake area changes in the middle Yangtze region of China over the 20th century[J]. Journal of Environmental Management, 2011, 92(4):1248-1255.
- [5] FENG M, SEXTON J O, CHANNAN S, et al. A global high-resolution (30-m) inland water body dataset for 2000: first results of a topographic-spectral classification algorithm [J]. International Journal of Digital Earth, 2016, 9(2):113-133.
- [6] CARROLL M L, TOWNSHEND J R, DIMICELI C M, et al. A new global raster water mask at 250 m resolution[J]. International Journal of Digital Earth, 2009, 2(4):291-308.
- [7] 施雅风. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估[M]. 北京:气象出版社,2003:1-3.
- [8] 李炳元. 青藏高原大湖期[J]. 地理学报,2000,55(2):174-182.
- [9] 程梦鸽,庞晓峰. 基于 Landsat-8 遥感影像的色林错 2014—2018 年变化研究[J]. 陕西广播电视大学学报, 2021, 23(2):91-96.
- [10] 闫立娟,齐文. 青藏高原湖泊遥感信息提取及湖面动态变化趋势研究[J]. 地理学报,2006,61(5):510-518.
- [11] 杨珂含,姚方方,董迪,等. 青藏高原湖泊面积动态监测[J]. 地球信息科学学报,2017,19(7):972-982.
- [12] 王琼,王君波,郭俊钰,等. 基于支持向量机的色林错湖冰提取及时空分布[J]. 载人航天,2019,25(6):789-798.
- [13] 万玮,肖鹏峰,冯学智,等. 近 30 年来青藏高原羌塘地区东南部湖泊变化遥感分析[J]. 湖泊科学,2010,22(6):874-881.
- [14] 朱立平,谢曼平,吴艳红. 西藏纳木错 1971—2004 年湖泊面积变化及其原因的定量分析[J]. 科学通报, 2010, 55(18):1789-1798.
- [15] 董斯扬,薛娴,尤全刚,等. 近 40 年青藏高原湖泊面积变化遥感分析[J]. 湖泊科学,2014,26(4):535-544.
- [16] 边多,杨志刚,李林,等. 近 30 年来西藏那曲地区湖泊变化对气候波动的响应[J]. 地理学报,61(5):510-518.
- [17] 邵兆刚,朱大岗,孟宪刚,等. 青藏高原近 25 年来主要湖泊变迁的特征[J]. 地质通报,2007,26(12):1634-1645.
- [18] 闫立娟,郑绵平,魏乐军. 近 40 年来青藏高原湖泊变迁及其对气候变化的响应[J]. 地学前缘,23(4):310-323.
- [19] 葛宗侠,宗嘎. 关于那曲地区西部部分湖泊水位上涨初步调查情况及思考[J]. 西藏科技,2005(4):14-18.
- [20] 施雅风,刘时银,上官冬辉,等. 近 30a 青藏高原气候与冰川变化中的两种特殊现象[J]. 气候变化研究进展,2006,2(4):154-160.
- [21] 宋玉芝,德吉玉珍. 近 30 年色林错湖面变化特征及其对气候变化的响应[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版),2023,15(1):24-33.
- [22] 周文明,李志伟,李佳,等. 1992—2009 年格拉丹东冰川及冰前湖面积变化的遥感研究[J]. 中南大学学报(自然科学版),2014,45(10):3505-3512.
- [23] 孟恺,石许华,王二七. 青藏高原中部色林错湖泊近 10 年来湖面急剧上涨与冰川消融[J]. 科学通报, 2012, 57(7):571-579.
- [24] 郑度,林振耀,张雪芹. 青藏高原与全球环境变化研究进展[J]. 地学前缘,2002,9(1):95-102.

责任编辑:杨焱焱



doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.011

## 郑州北龙湖湿地公园花境景观综合评价

化晨肖<sup>1</sup>, 雷天<sup>1</sup>, 黄宾芯<sup>2</sup>, 冯青梅<sup>1</sup>, 王鹏飞<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学 风景园林与艺术学院, 河南 郑州 450002; 2. 林州建筑职业技术学院, 河南 林州 456500)

**摘要:**为构建适宜郑州地区的花境景观评价体系,探索郑州地区优秀花境营建模式,以郑州北龙湖湿地公园内 54 个花境景观为研究对象,采用层次分析法,从生态性、观赏性、主观感知和经济性 4 个方面构建花境评价指标体系,提出 14 个花境景观综合评价指标。研究表明,54 个花境样地中共有植物 320 种,涉及 80 科;4 个评价准则所占权重从高至低依次为生态性(0.343 2)>主观感知(0.280 2)>观赏性(0.277 4)>经济性(0.099 1);公园花境总体质量较好,共有 5 个花境景观的建设水平处于 I 级。探索了 5 个 I 级花境景观构建模式并给出优化意见。

**关键词:**花境景观;综合评价;层次分析法;植物配置模式;郑州北龙湖湿地公园

中图分类号:S759.91;Q178.5;P901 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0066-10

引文格式:化晨肖,雷天,黄宾芯,等.郑州北龙湖湿地公园花境景观综合评价[J].林业调查规划,2024,49(2):66-75.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.011

HUA Chenxiao, LEI Tian, HUANG Binxin, et al. Comprehensive Evaluation of Flower Border Landscape of Beilonghu Wetland Park in Zhengzhou City[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 66-75. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.011

## Comprehensive Evaluation of Flower Border Landscape of Beilonghu Wetland Park in Zhengzhou City

HUA Chenxiao<sup>1</sup>, LEI Tian<sup>1</sup>, HUANG Binxin<sup>2</sup>, FENG Qingmei<sup>1</sup>, WANG Pengfei<sup>1</sup>

(1. College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Linzhou College of Architectural Technology, Linzhou, Henan 456500, China)

**Abstract:** In order to construct a suitable flower border landscape evaluation system and explore the construction mode of excellent flower border landscape in Zhengzhou, 54 flower border landscapes in the Beilonghu Wetland Park were taken as the research object. The analytic hierarchy process was used to construct a flower border landscape evaluation index system from 4 aspects of ecology, ornamentation, subjective perception and economy, and 14 comprehensive evaluation indicator were proposed. The results showed that there were 320 species of plants in 54 flower plots, involving 80 families; the weights of the 4 evaluation criteria were ecology (0.343 2) > subjective perception (0.280 2) > ornamentation (0.277 4) > economy (0.099 1); the overall quality of the park flower border landscape was good, and the construction level of 5 flower border landscapes was at level I. The landscape construction mode of 5 flower landscapes was explored to put forward optimization opinions.

收稿日期:2022-08-09;修回日期:2022-10-09;二次修回日期:2022-10-12.

第一作者:化晨肖(1998-),女,河南周口人,硕士研究生.研究方向为风景园林规划设计.Email:1710487290@qq.com

责任作者:王鹏飞(1964-),男,河南信阳人,教授,博士生导师.主要从事风景园林规划设计研究.Email:188792041@qq.com

**Key words:** flower border landscape; comprehensive evaluation; analytic hierarchy method; plant configuration mode; Beilonghu Wetland Park in Zhengzhou City

花境是一种蕴含高度美学特性与审美价值的植物造景形式<sup>[1]</sup>,利用不同种类的植物进行组合配置,模仿自然野生花卉的生长姿态,营建出层次丰富多样的景观空间<sup>[2]</sup>,并具备独特的生态功能,能较好地满足人们的视觉感受,广泛应用于园林造景中<sup>[3-5]</sup>。李昭毅率先提出免维护式花境,通过探索植物生长特性,尝试使用同种抗性不同观赏特性植物,营造四季可赏的花境景观,并构建评价体系筛选免维护式花境植物<sup>[6]</sup>。郑国栋通过对北京市四季青镇花境景观的研究分析,采用层次分析法(AHP)构建花境景观模糊评价模型,包含了生态美、形式美、时空美、意境美 4 方面因素,并计算了 22 个样地的综合评价指数<sup>[7]</sup>。毛泽霞构建了生态、时空、形式 3 方面的南昌市花境景观评价体系<sup>[8]</sup>。储显调查了合肥城区 30 个花境样地,通过层次分析法构建了基本结构、观赏性、生态性 3 方面的花境评价模型,对合肥市花境进行公众评价<sup>[9]</sup>。AHP 法作为定性定量相结合的客观评价方法,常用于各类景观评价<sup>[10]</sup>,基于前人理论,该研究运用层次分析法(AHP)对郑州北龙湖湿地公园内 54 个花境景观进行系统评价与分析,为当地花境景观建设提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象

北龙湖湿地公园是坐落于郑州市东北部的人工湿地,占地约 16.4 hm<sup>2</sup>,内含丰富的植物群落。研究选取的 54 个花境样地均位于湿地公园粉黛园内,占地约 1.8 hm<sup>2</sup>,初为 2021 年河南省园林绿化花境竞赛作品,竞赛活动结束后作品被保留作为公园内长效花境供游人观赏。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 评价模型构建

在充分借鉴前人研究成果的基础上<sup>[11-12]</sup>,综合考虑花境景观特点,结合现场踏查与征询专家意见,从生态性、观赏性、主观感知、经济性 4 个方面共选取 14 项评价因子,建立目标层(A)、准则层(B)以及指标层(C)在内的花境景观综合质量评价模型。生态性(B<sub>1</sub>)由物种丰富度、植被类型多样性、生境适应性和乡土植物占比 4 个指标因子组成;观赏性(B<sub>2</sub>)由平面构图、立面景观层次、空间序列变化、植

物组合的观赏性、植物色彩应用和植物景观季相变化 6 个指标因子组成;主观感知(B<sub>3</sub>)由景观亲和感和景观意境美 2 个指标因子组成;经济性(B<sub>4</sub>)由建设、改造成本和养护管理组成(表 1)。

表 1 花境景观评价体系

Tab. 1 Flower border landscape evaluation system

目标层	准则层	指标层	指标描述
花境景观综合质量(A)	生态性(B <sub>1</sub> )	物种丰富度(C <sub>1</sub> )	花境样地内的植物种类与数量
		植被类型多样性(C <sub>2</sub> )	植物常绿、落叶属性等生活类型是否多样
		生境适应性(C <sub>3</sub> )	根据样地植物的生长状况打分
		乡土植物占比(C <sub>4</sub> )	样地中乡土植物数量在总植物数量中的占比
	观赏性(B <sub>2</sub> )	平面构图(C <sub>5</sub> )	包含边界轮廓和内部植物配置方式在内的花境平面构图形式
		立面景观层次(C <sub>6</sub> )	花境垂直方向景观以及前景、中景、背景层次分明、富于变化
		空间序列变化(C <sub>7</sub> )	花境景观有丰富的景深或步移景异的变化
		植物组合的观赏性(C <sub>8</sub> )	植物形态反映出的群体性观赏价值
		植物色彩应用(C <sub>9</sub> )	花境色彩搭配整体上和諧统一,富有美感
		植物景观季相变化(C <sub>10</sub> )	花境随季节变化而展现别样的景观效果
主观感知(B <sub>3</sub> )	景观亲和感(C <sub>11</sub> )	花境景观带给人的互动性与心理体验	
	景观意境美(C <sub>12</sub> )	花境造景设计切题,充分体现设计立意,展现植物景观所能营造的意境	
经济性(B <sub>4</sub> )	建设、改造成本(C <sub>13</sub> )	花境景观建设所需成本及后续替换植物等所消耗的费用	
	养护管理(C <sub>14</sub> )	植物生长是否需精细管理	

#### 1.2.2 评价指标权重确定

基于构建的评价模型,咨询 10 位风景园林专家,采用 1~9 标度法两两比较评价因子,创建判断矩阵模型<sup>[13]</sup>,再通过 Yaahp 11.0 软件对各层次因子的单排序权重值和 CR(一致性比率)进行计算,最后运用公式(1)和公式(2)做一致性检验,若得出

CR<0.1,代表一致性检验通过,否则重新计算直至通过<sup>[14-15]</sup>。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

$$CI = \lambda_{\max} - \frac{n}{n-1} \quad (2)$$

式中:CR为随机一致性比率;CI为一致性指标;RI为随机一致性指标均值;n为判断矩阵阶数; $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵的最大特征根。

### 1.2.3 综合评价指数计算与评价等级划分

采用现场调查法对花境样地进行调查记录和拍摄,为保证样地照片的客观性,选择同一人在同等天气条件下,在距样地8~10m处于3个角度进行取景,从中选用最佳照片<sup>[16]</sup>。共邀请100人(50名市民、40名风景园林专业学生和10名专家)对54个花境景观进行评分,采用照片评分与现场评分相结合<sup>[17]</sup>的评分方式。采用模糊评价法<sup>[18-19]</sup>将各项指标因子的评价程度划分为5个层次,评价人员依据这5个层次进行评分,5个评分标准分别为“很好(10)”“较好(8)”“一般(6)”“较差(4)”“很差(2)”<sup>[20]</sup>。另外物种丰富度( $C_1$ )、植被类型多样性( $C_2$ )等定量指标的分值由Simpson指数<sup>[21]</sup>计算得出(公式3),计算结果乘以10以确保定量与定性指标量纲一致。

$$S = 1 - \sum_{i=1}^s \left( \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \right) \quad (3)$$

式中:S为总物种数, $n_i$ 为第*i*种植物的个体数,N为样方内所有植物株数。

采用加权平均法计算回收的评价问卷<sup>[22]</sup>,最终得分为各项指标因子的平均得分,最后结合各指标因子权重值得出各样地的综合评分。公式为:

$$S = \sum_{i=1}^n Y_i W_i \quad (4)$$

式中:S为花境样地的综合评分; $W_i$ 为第*i*项指标因子的权重值; $Y_i$ 为第*i*项指标的平均得分。

各花境样地综合评价指数( $C_{CEI}$ )具体计算公式为:

$$C_{CEI} = \frac{S}{S_0} \times 100\% \quad (5)$$

式中:S为花境样地的综合评分; $S_0$ 为花境样地的理想评分,即各指标因子最高分与其权重值的乘积。

最终根据所得综合评价指数划分花境样地的评价等级(表2)。

表 2 景观综合评价分级标准

Tab. 2 Comprehensive evaluation and grading criteria for landscapes

综合评价指数/%	等级	含义
0~40	IV	较差
>40~60	III	一般
>60~80	II	良
>80~100	I	优

## 2 结果与分析

### 2.1 花境植物应用

通过对54个花境景观进行现场调查,花境内植物种类有320种,共80个科,其中多年生花卉占比最高,共154种,占全部花境植物种类的48.13%,使用频率最高的有松果菊、美女樱、石竹等;1~2年生花卉观赏期短且维护成本高,应用较少,共32种,占比约10.00%,主要有羽扇豆、鼠尾草、黑心菊、百日草等;小乔木在花境配置中常作为配景与点缀出现,占比最少,共21种,占比约6.56%,主要有油松、金丝桃、紫薇、鸡爪槭等;灌木72种,占比约22.50%,主要有龟甲冬青、金叶绣线菊、红花檵木等;观赏草41种,占比约12.81%,有苔草、狼尾草、日本血草等(图1)。

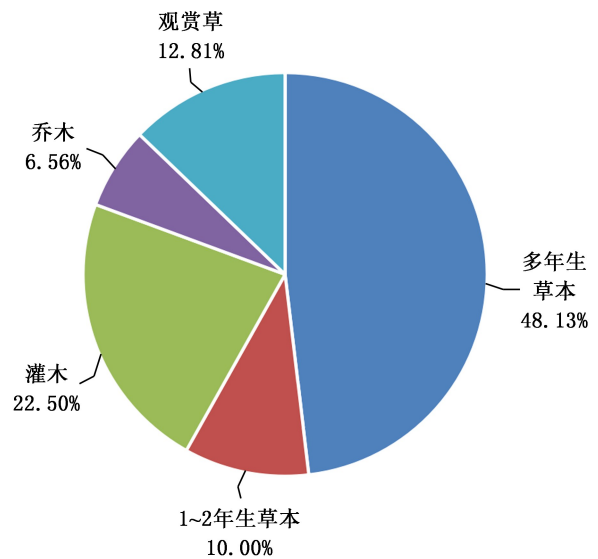


图 1 花境植物类型占比

Fig. 1 Proportion of flower border plant types

### 2.2 花境景观评价

#### 2.2.1 评价指标权重分析

由层次分析法可得出花境景观各评价指标的权



重值、总权重值及排列次序(表 3)。

表 3 花境景观评价指标权重  
Tab. 3 Weights of flower border landscape evaluation indicators

目标层	准则层	权重	指标层	总权重	总排序
花境景观综合质量(A)	生态性(B <sub>1</sub> )	0.3432	物种丰富度(C <sub>1</sub> )	0.0649	6
			植被类型多样性(C <sub>2</sub> )	0.0538	9
			生境适应性(C <sub>3</sub> )	0.1563	1
			乡土植物占比(C <sub>4</sub> )	0.0679	4
	观赏性(B <sub>2</sub> )	0.2774	平面构图(C <sub>5</sub> )	0.0181	14
			立面景观层次(C <sub>6</sub> )	0.0471	11
			空间序列变化(C <sub>7</sub> )	0.0309	13
			植物组合的观赏性(C <sub>8</sub> )	0.0654	5
			植物色彩应用(C <sub>9</sub> )	0.0489	10
			植物景观季相变化(C <sub>10</sub> )	0.0624	7
	主观感知(B <sub>3</sub> )	0.2802	景观亲和感(C <sub>11</sub> )	0.1399	3
			景观意境美(C <sub>12</sub> )	0.1462	2
	经济性(B <sub>4</sub> )	0.0991	建设、改造成本(C <sub>13</sub> )	0.0393	12
			养护管理(C <sub>14</sub> )	0.0589	8

准则层中权重值最高的是生态性(0.343 2),其次是主观感知(0.280 2)与观赏性(0.277 4),权重值最低的是经济性(0.099 1)。可知生态性是花境景观评价中最重要的因素,主观感知与观赏性的重要程度次之,经济性的重要性较其他因素最弱,说明花境植物群落对生态环境的作用以及花境植物之间的生态作用越来越被重视,这与植物景观设计越来越注重生态建设的理论相一致。游客在游览时则更加注重个人的主观体验与花境的直观效果,因此主观感知与花境的观赏性也极为重要。指标层中权重最大的是生境适应性(0.156 3),其次是景观意境美(0.146 2)与景观亲和感(0.139 9),权重最小的是平面构图(0.018 1),表明生境适应性是影响花境景观的重要因子,花境景观营造时应首先考虑植物是否适宜当地的生境条件。

### 2.2.2 花境景观综合评价和等级分析

基于调查问卷,对各花境样地的综合评价得分进行计算,得出 54 个花境的综合评价指数,并根据指数划分其评价等级(表 4)。

54 个花境的综合评价指数在 0.510 9~0.842 1 范围,均值为 0.714 9,反映出北龙湖湿地公园内花

表 4 综合评价结果

Tab. 4 Results of the comprehensive evaluation

花境样地编号	综合评价指数/%	评价等级	花境样地编号	综合评价指数/%	评价等级
1	70.80	II	28	59.52	III
2	72.49	II	29	74.97	II
3	79.23	I	30	62.69	II
4	72.42	II	31	80.89	I
5	65.01	II	32	65.25	II
6	72.25	II	33	51.09	III
7	69.75	II	34	66.21	II
8	83.20	I	35	71.87	II
9	76.99	II	36	71.80	II
10	70.82	II	37	68.61	II
11	71.75	II	38	74.50	II
12	84.21	I	39	66.46	II
13	70.91	II	40	73.69	II
14	74.74	II	41	66.56	II
15	63.35	II	42	74.23	II
16	75.75	II	43	74.05	II
17	76.05	II	44	70.94	II
18	78.24	II	45	81.37	I
19	74.07	II	46	74.71	II
20	75.09	II	47	72.83	II
21	70.70	II	48	68.46	II
22	69.75	II	49	79.84	I
23	67.09	II	50	63.78	II
24	55.20	III	51	69.56	II
25	70.24	II	52	70.62	II
26	81.11	I	53	69.88	II
27	73.33	II	54	70.88	II

境的整体水平较好。第 8、12、26、31、45 号花境样地评价等级为 I 级; II 级的花境共有 46 个,占比最高; III 级的花境最少,仅 3 个。进一步分析可以看出,评价等级高的花境整体表现为物种丰富度高、生长质量好、景观层次多变、色彩丰富、能进入观赏、富有意境等。

### 2.3 优秀花境景观构建模式分析

通过对花境景观的调查及其各项影响因子的综合评价,筛选并分析 5 个 I 级花境景观植物配置模式(表 5)。在此基础上,总结遴选出 50 种适宜郑州地区的花境植物材料(表 6),以期供园林绿化工作者参考利用。

表 5 优秀花境植物配置模式

Tab. 5 Excellent mode of flower border plant configuration

样地编号	植物配置模式	植被类型	植物种类
12 号	草坪绿地-观叶观花草本-观赏草-常绿乔灌木-高大常绿乔木、竹	多年生花卉 13 种	银叶菊( <i>Jacobaea maritima</i> (L.) Pels & Meijden)、玉簪( <i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.)、松果菊( <i>Echinacea purpurea</i> (Linn.) Moench)、毛地黄钟柳( <i>Penstemon digitalis</i> )、竹(Bambusoideae)、火把莲( <i>Kniphofia waria</i> (L.) Oken)、假龙头( <i>Physostegia virginiana</i> Benth.)、金叶石菖蒲( <i>Acorus tatarinowii</i> )、繁星花( <i>Pentas lanceolata</i> (Forsk.) K. Schum.)、长春花( <i>Catharanthus roseus</i> (L.) G. Don)、佩兰( <i>Eupatorium fortunei</i> Turcz.)、山桃草( <i>Gauralindheimeri</i> Engelm. et Gray)、八宝景天( <i>Hylotelephium erythrostictum</i> (Miq.) H. Ohba)
		1 年生花卉 3 种	鼠尾草( <i>Salvia japonica</i> Thunb.)、百日草( <i>Zinnia elegans</i> Jacq.)、凤仙花( <i>Impatiens balsamina</i> L.)
		观赏草 5 种	苔草( <i>Carex hirta</i> Linn.)、矾根( <i>Heuchera micrantha</i> Douglas ex Lindl.)、银边麦冬( <i>Ophiopogon jaburan</i> Argenitevittatus)、佛甲草( <i>Sedum lineare</i> Thunb.)、蒲苇( <i>Cortaderia selloana</i> (Schult.) Aschers. et Graebn.)
		灌木 1 种	黄杨( <i>Buxus sinica</i> (Rehder & E. H. Wilson) M. Cheng)
		乔木 2 种	雪松( <i>Cedrus deodara</i> (Roxb.) G. Don)、油松( <i>Pinus tabuliformis</i> Carr.)
45 号	常绿地被-观花观叶地被-池水景观-花灌木-观赏草景墙	多年生花卉 27 种	落新妇( <i>Astilbe chinensis</i> (Maxim.) Franch. et Savat.)、玉簪、夏枯草( <i>Prunella vulgaris</i> L.)、蓝刺头( <i>Echinops sphaerocephalus</i> L.)、凤尾蕨( <i>Achillea filipendulina</i> Lam.)、蛇鞭菊( <i>Liatris spicata</i> (L.) Willd.)、水果蓝( <i>Teucrium fruticans</i> L.)、绵毛水苏( <i>Stachys lanata</i> Jacq.)、高山紫菀( <i>Aster alpinus</i> L.)、珠蓍( <i>Achillea ptarmica</i> L.)、蓝盆花( <i>Scabiosa comosa</i> Fisch. ex Roem. et Schult.)、木茼蒿( <i>Argyranthemum frutescens</i> (L.) Sch.-Bip)、簇茎石竹( <i>Dianthus repens</i> Willd.)、大麻叶泽兰( <i>Eupatorium cannabinum</i> L.)、紫娇花( <i>Tulbaghia violacea</i> )、抱茎金光菊( <i>Rudbeckia amplexicaulis</i> Vahl.)、樱桃鼠尾草( <i>Salvia greggii</i> )、锦葵( <i>Malva sinensis</i> Cavan.)、滨菊( <i>Malva sinensis</i> Cavan.)、聚花风铃草( <i>Campanula glomerata</i> L.)、六倍利( <i>Lobelia erinus</i> Thunb.)、美女樱( <i>Glandularia × hybrida</i> (Groenland & Rümpler) G. L. Nesom & Pruski)、马鞭草( <i>Verbena officinalis</i> L.)、银蒿( <i>Artemisia austriaca</i> Jacq.)、金光菊( <i>Rudbeckia laciniata</i> L.)、千叶蓍( <i>Achillea millefolium</i> )、火星花( <i>Crococsmia crocosmiflora</i> N. E. Br.)
		1~2 年生花卉 4 种	月见草( <i>Oenothera biennis</i> L.)、美国薄荷( <i>Monarda didyma</i> L.)、婆婆纳( <i>Veronica polita</i> )、银丝毛蕊花( <i>Verbascum thapsus</i> L.)
		观赏草 7 种	金边麦冬( <i>Liriope spicata</i> var. <i>variegata</i> )、紫叶象草( <i>Pennisetum purpureum</i> Schum.)、朝雾草( <i>Artemisia schmidtianai</i> )、矾根、木贼( <i>Equisetum hyemale</i> L.)、细画眉草( <i>Eragrostiella lolioides</i> (Hand.-Mazz.) Keng f.)、蓝羊茅( <i>Festuca glauca</i> Vill.)
		灌木 7 种	金叶女贞( <i>Ligustrum vicaryi</i> )、绣球( <i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.)、彩叶杞柳( <i>Salix integra</i> 'Hakuro Nishiki')、大花水杨梅( <i>Geum triflorum</i> )、空心木( <i>Leycesteria formosa</i> Wall.)、金叶莢( <i>Caryopteris × clandonensis</i> 'Worcester Gold')、花叶锦带( <i>Weigela florida</i> 'Variegata')
8 号	佛甲草、麦冬地被-观花观叶草本-常绿及落叶花灌木-色叶乔木	多年生花卉 11 种	喷雪花( <i>Spiraea thunbergii</i> )、美人蕉( <i>Canna indica</i> L.)、山桃草、滨菊( <i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.)、银叶菊( <i>Jacobaea maritima</i> (L.) Pels & Meijden)、玉簪、墨西哥鼠尾草( <i>Salvia leucantha</i> )、象耳芋( <i>Colocasia gigantea</i> (Blume) Hook. f.)、松果菊、分药花( <i>Perovskia abrotanoides</i> Karel.)、百子莲( <i>Agapanthus africanus</i> (L.) Hoffmanns.)
		1 年生花卉 1 种	向日葵( <i>Helianthus annuus</i> L.)
		观赏草 5 种	金边麦冬、木贼、针茅( <i>Stipa capillata</i> L.)、小兔子狼尾草( <i>Pennisetum alopecuroides</i> cv. 'Little Bunny')、佛甲草
		灌木 6 种	金叶女贞、穗花牡荆( <i>Vitex agnus-castus</i> Linn.)、绣球、川滇蜡树( <i>Ligustrum delavayanum</i> Har)、辉煌女贞( <i>Ligustrum lucidum</i> 'Excelsum Superbum')、朱蕉( <i>Cordyline fruticosa</i> (L.) A. Cheval)
		乔木 3 种	红枫( <i>Acer palmatum</i> 'Atropurpureum')、羽毛枫( <i>Acer palmatum</i> 'Atropurpureum')、鸡爪槭( <i>Acer palmatum</i> Thunb.)
26 号	常绿地被-观花观叶草本-花灌木与置石-小乔木与构筑物	多年生花卉 8 种	禾叶大戟( <i>Euphorbia graminea</i> Jacq.)、山桃草、金鱼草( <i>Antirrhinum majus</i> L.)、天人菊( <i>Gaillardia pulchella</i> Foug.)、芙蓉菊( <i>Crossostephium chinense</i> (L.) Makino)、大滨菊( <i>Leucanthemum maximum</i> (Ramoed) DC.)、美人蕉、松果菊
		1~2 年生花卉 3 种	鼠尾草、千穗谷( <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.)、金鸡菊( <i>Coreopsis basalis</i> )
		观赏草 2 种	细茎针茅( <i>Stipa tenuissima</i> )、蓝羊茅

续表 5

样地编号	植物配置模式	植被类型	植物种类
31 号	低矮观叶观花草本-较高多年生花卉与观赏草-花灌木-小乔木	灌木 7 种	石楠( <i>Photinia serratifolia</i> (Desfontaines) Kalkman)、月季( <i>Rosa chinensis</i> Jacq.)、粗榧( <i>Cephalotaxus sinensis</i> (Rehd. et Wils.) Li)、连翘( <i>Forsythia suspensa</i> )、结香( <i>Edgeworthia chrysantha</i> Lindl.)、丝兰( <i>Yucca smalliana</i> Fern.)、绣球
		乔木 3 种	红枫、河南桧( <i>Sabina chinensis</i> L.)、鸡爪槭
		多年生花卉 19 种	繁星花( <i>Pentas lanceolata</i> (Forsk.) K. Schum.)、蛇鞭菊、紫娇花、荆芥( <i>Nepeta cataria</i> L.)、松果菊、美女樱、柳叶白菟( <i>Aster ericoides</i> )、玉簪、花叶玉蝉花( <i>Iris ensata</i> Thunb.)、火把莲( <i>Kniphofia uaria</i> (L.) Oken)、绵毛水苏( <i>Stachys lanata</i> Jacq.)、金光菊、百子莲、千屈菜( <i>Lythrum salicaria</i> L.)、蒲棒菊( <i>Rudbeckia maxima</i> )、柳叶马鞭草( <i>Verbena bonariensis</i> L.)、荷兰菊( <i>Symphotrichum novi-belgii</i> (L.) G. L. Nesom)、美人蕉、大花萱草( <i>Heemerocallis hybrida</i> Bergmans)
		1~2 年生花卉 4 种	鼠尾草、银叶婆婆纳( <i>Veronica linariifolia</i> )、狐尾蓼( <i>Polygonum alopecuroides</i> Turcz. ex Besser)、婆婆纳
		观赏草 6 种	蓝滨麦( <i>Leymus arenarius</i> )、筋骨草( <i>Ajuga ciliata</i> Bunge.)、矮蒲苇( <i>Cortaderia selloana</i> 'Pumila')、苔草( <i>Carex hirta</i> Linn.)、金叶石菖蒲( <i>Acorus gramineus</i> 'Ogan')、重金属柳枝稷( <i>Panicum virgatum</i> )
		灌木 9 种	地中海荚迷( <i>Viburnum tinus</i> )、穗花牡荆( <i>Vitex agnus-castus</i> Linn.)、粉花绣线菊( <i>Spiraea japonica</i> L. f.)、黄金枸骨( <i>Ilex x attenuata</i> 'Sunny Foster')、月季、胡颓子( <i>Elaeagnus pungens</i> Thunb.)、北美香柏( <i>Thuja occidentalis</i> Linn.)、郁香忍冬( <i>Lonicera fragrantissima</i> Lindl. et Paxt.)、蓝湖柏( <i>Boulevard cypress</i> )
		乔木 3 种	垂枝羽毛枫( <i>Acer palmatum</i> cv. <i>dissectum</i> )、圆柏( <i>Juniperus chinensis</i> L.)、日本红枫( <i>Acer palmatum</i> Thunb.)

表 6 郑州地区花境植物推荐名录

Tab. 6 Recommended list of flower border plants in Zhengzhou

序号	植物名称	科	属	生活型	花期	花色/叶色
1	木贼	木贼科	木贼属	多年生草本	6—10 月	常绿
2	油松	松科	松属	常绿乔木	5 月	常绿
3	石竹 <i>Dianthus chinensis</i> L.	石竹科	石竹属	多年生草本	5—6 月	花紫红、粉红、鲜红或白色
4	地肤 <i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.	藜科	地肤属	一年生草本	3—11 月	秋叶红色
5	八宝景天 <i>Hylotelephium erythrostictum</i> (Miq.) H. Ohba	景天科	八宝属	多年生草本	8—10 月	花白色或粉红色
6	佛甲草	景天科	景天属	多年生草本	4—5 月	花黄色、叶黄绿色
7	绣球	虎耳草科	绣球属	落叶灌木	6—8 月	花粉红、淡蓝或白色
8	矾根	虎耳草科	矾根属	多年生草本	4—6 月	常绿
9	月季	蔷薇科	蔷薇属	常绿灌木	4—10 月	花红、粉、白、黄色
10	绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i> L.	蔷薇科	绣线菊属	落叶灌木	6—8 月	花粉红色
11	羽毛枫	槭树科	槭属	落叶乔木	5 月	秋叶深黄至橙红色
12	日本红枫	槭树科	槭属	落叶乔木	5 月	春夏秋叶红色
13	鸡爪槭	槭树科	槭属	落叶乔木	5 月	秋叶红色
14	凤仙花	凤仙花科	凤仙花属	一年生草本	7—10 月	花粉红、白或紫色
15	金边黄杨 <i>Euonymus japonicus</i> 'Aureo-marginatus'	卫矛科	卫矛属	常绿灌木	3—6 月	常绿
16	山桃草	柳叶菜科	山桃草属	多年生草本	5—8 月	花白色略带粉红
17	金叶女贞	木犀科	女贞属	落叶灌木	5—6 月	花银白色、叶金黄色
18	繁星花	茜草科	五星花属	多年生草本	3—10 月	花粉红、绯红、桃红、白色
19	马鞭草	马鞭草科	马鞭草属	多年生草本	6—10 月	花蓝紫色
20	穗花牡荆	马鞭草科	牡荆属	落叶灌木	7—8 月	花蓝紫色
21	美女樱	马鞭草科	美女樱属	多年生草本	5—11 月	花粉红、白、红或蓝色



续表 6

序号	植物名称	科	属	生活型	花期	花色/叶色
22	墨西哥鼠尾草	唇形科	鼠尾草属	多年生草本	8—10月	花蓝紫色
23	五彩苏 <i>Coleus scutellarioides</i>	唇形科	鞘蕊花属	多年生草本	7月	叶暗红、紫、黄及绿色
24	夏枯草	唇形科	夏枯草属	多年生草本	4—6月	花浅紫色
25	华北香薷 <i>Elsholtzia stauntonii</i> Benth.	唇形科	香薷属	一年生草本	8—10月	花紫红色
26	毛地黄钓钟柳 <i>Penstemon digitalis</i>	玄参科	钓钟柳属	多年生草本	5—10月	花白、粉、蓝紫色
27	松果菊	菊科	松果菊属	多年生草本	6—9月	花红、紫红或粉红色
28	滨菊 <i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	菊科	滨菊属	多年生草本	6—7月	花白、黄色
29	蛇鞭菊	菊科	蛇鞭菊属	多年生草本	7—8月	花红紫色
30	银叶菊 <i>Jacobaea maritima</i> (L.) Pelsers & Meijden	菊科	千里光属	多年生草本	6—9月	花黄色、叶银白色
31	金鸡菊	菊科	金鸡菊属	一年生草本	7—9月	花黄色
32	向日葵	菊科	向日葵属	一年生草本	7—8月	花黄色、棕或紫色
33	天人菊 <i>Gaillardia pulchella</i> Foug.	菊科	天人菊属	一年生草本	6—8月	花黄色、基部紫红色
34	木茼蒿 <i>Argyranthemum frutescens</i> (L.) Sch. -Bip	菊科	木茼蒿属	落叶灌木	2—10月	花白、黄、粉色
35	大花萱草	百合科	萱草属	多年生草本	5—10月	花黄色、橙红或紫色
36	玉簪	百合科	玉簪属	多年生草本	8—10月	花白色
37	火把莲	百合科	火把莲属	多年生草本	6—10月	花橘红色
38	朱蕉 <i>Cordyline fruticosa</i> (L.) A. Cheval	百合科	朱蕉属	常绿灌木	11月—次年3月	花淡红、青紫至黄色
39	金边麦冬	百合科	山麦冬属	多年生草本	6—9月	花红紫色
40	紫娇花	石蒜科	紫娇花属	多年生草本	5—7月	花紫粉色
41	百子莲	石蒜科	百子莲属	多年生草本	7—9月	花亮蓝色
42	火星花	鸢尾科	雄黄兰属	多年生草本	6—8月	花橙红色、黄色
43	针茅 <i>Stipa capillata</i> L.	禾本科	针茅属	多年生草本	4—11月	叶黄或灰白色
44	蓝羊茅	禾本科	羊茅属	多年生草本	4—6月、9—11月	叶蓝色
45	蒲苇	禾本科	蒲苇属	多年生草本	8月—次年春	花银白色至粉红色
46	白茅 <i>Imperata cylindrica</i> (L.) Beauv.	禾本科	白茅属	多年生草本	4—6月	花白色
47	狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i> (L.) Spreng.	禾本科	狼尾草属	多年生草本	6—10月	花淡绿色或紫色
48	金叶石菖蒲	天南星科	菖蒲属	多年生草本	4—5月	叶常绿
49	苔草	莎草科	薹草属	多年生草本	6—11月	叶绿或黄棕色
50	美人蕉	美人蕉科	美人蕉属	多年生草本	3—12月	花红、粉、黄色

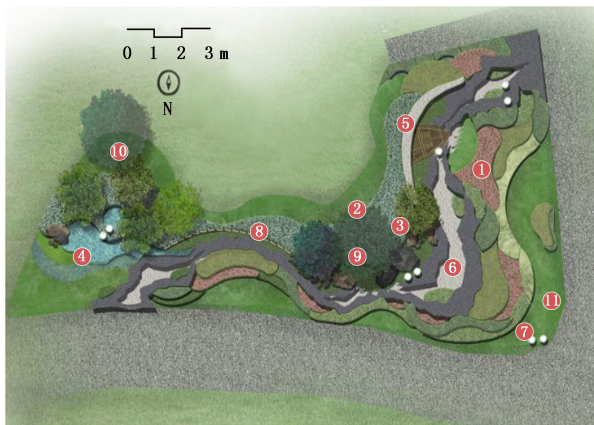
### 2.3.1 12号样地

12号样地名为“诗经淇河,多彩鹤城”,占地120 m<sup>2</sup>。设计源于“仙鹤栖于南山峭壁”传说,以太行山、淇水的地理基底取势。花境前景由自然式带状色块与草坪组成,中层景观主要是花灌木结合景石、仙鹤等小品搭配稍高花卉,前景与中景之间用旱溪景观衔接,最后以油松与翠竹形成花境的常绿背景。景观内设雾森系统,喷洒云雾营造飘渺朦胧效

果(图2)。

### 2.3.2 45号样地

45号样地以“红色记忆”为主题,采用红色飘带形钢构架景观小品,内绑扎100只随风而动的风车。整个花境以蓝紫色花卉和常绿植物为主导,前景以自然式池水景观为主,用红棕色火山石模仿自然泥土地,水池周围种植湿生植物搭配景石,营造生态型花境景观。另一侧种植多年生花卉搭配小灌木丰富



- ① 生境花洲
- ② 缤纷花带
- ③ “鹤栖南山”组石
- ④ “淇水源头”花境
- ⑤ “倚山泛舟”小品
- ⑥ 白沙早溪
- ⑦ 仙鹤小品
- ⑧ “诗经”景墙
- ⑨ 造型油松
- ⑩ 水杉
- ⑪ 草坪

图 2 12 号样地现状及平面图

Fig. 2 Current status and plan of Sample 12

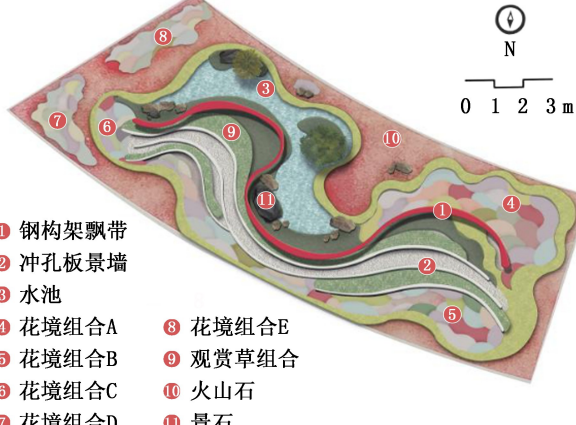
立面层次景观,远景部分利用白色冲孔板景墙作背景,配以观赏草与亮色花卉,打造天然的立体画卷(图 3)。

2.3.3 8 号样地

8 号样地名为“书简新故城”,用白色书简作为花境背景,上刻杜甫诗句、康百万庄园家训讲述城市的厚重文化。花境中央用黑白两色卵石小路分割成两个部分,两端花境均做微地形处理,配植色彩多样的花草灌木。选用色叶乔木为上层植物构成花境景观的骨架;较高的花灌木与花卉作为中层植物丰富花境的立面景观层次;下层植物选用色彩明快的低矮草本花卉形成花境的前景,使整个花境色彩更加多样(图 4)。

2.3.4 26 号样地

26 号样地“淇水流觞”占地 170 m<sup>2</sup>,以淇河的河流形态作为花境内道路布局,黑白卵石铺路,代表着



- ① 钢构架飘带
- ② 冲孔板景墙
- ③ 水池
- ④ 花境组合A
- ⑤ 花境组合B
- ⑥ 花境组合C
- ⑦ 花境组合D
- ⑧ 花境组合E
- ⑨ 观赏草组合
- ⑩ 火山石
- ⑪ 景石

图 3 45 号样地现状及平面图

Fig. 3 Current status and plan of Sample 45



图 4 8 号样地现状及平面图

Fig. 4 Current status and plan of Sample 8



当地最初以煤、盐作为支柱产业,将花境划分为“源”“兴”“畅”3个区域,整体以红色飘带形式的藤编造型将3个部分串联起来,象征红色精神的纽带。花境共运用植物23种,以乔灌木为骨架,以多年生花卉为主要植物构成花境的前景,以色彩靓丽的1~2年生花卉以及观赏草作为花境的点缀,打造具有本地特色的生态型混合长效花境(图5)。



图 5 26 号样地现状及平面图

Fig. 5 Current status and plan of Sample 26

### 2.3.5 31 号样地

31号样地“大河安澜”方案总体布局以“九曲黄河”为中心,模仿山环水绕的迂回曲折和大河两岸丰富的植物配置,表现自然山水生态。花境共运用植物41种,整体花期连续,花色多样。小乔木形成花境的主要景观骨架,填充色彩丰富、花期持久的花灌木和线条柔软的观赏草作为花境的中上层景观。前景植物多为多年生观花观叶植物,点缀少量1~2年生时令花卉(图6)。

## 3 优化建议

### 3.1 强化对植物生态习性的了解

植物的健康生长是花境景观展现良好景观效果

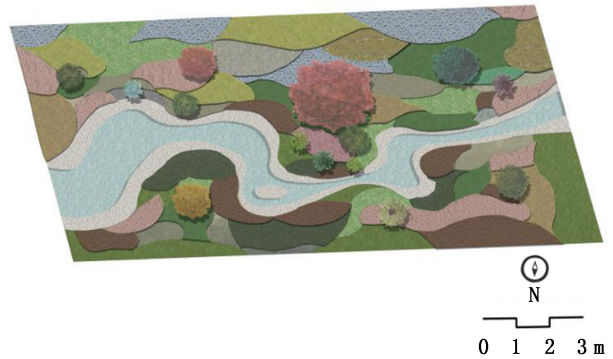


图 6 31 号样地现状及平面图

Fig. 6 Current status and plan of Sample 31

的前提,在花境建植中,设计师需加强对植物生长特性的了解,把设计重点趋向于植物的生长质量以及对立地环境的适应性,顺应原有场地的自然条件,合理确定乔、灌、草等多类植物的搭配比例,以建植更具适应性的花境景观。

### 3.2 增加观赏草的应用,适度引进乡土野生花卉

观赏草作为新型花境植物材料,具有自然飘逸的独特美感,能弥补北方冬季景观的不足,具很大的开发潜力。一些乡土野生花卉如紫花地丁,具有自播繁衍能力强、抗逆性强等特点,与抗性强的多年生花卉与观赏草混植于花境中,共同进化演变,有利于形成良性的生态循环系统,创造一次种植多年观赏的长效性景观。

### 3.3 增设景观小品

对旱溪、景墙、景石、水景、雾森等造型新颖多变的景观元素,如运用得当,与植物景观相得益彰,能起到画龙点睛的作用,极大地增加花境的趣味性与观赏性。

### 3.4 重视人们的主观体验

花境造景的首要目的是为游人服务,人们在花境中的良好体验感尤为重要。另外,花境景观也是社会文化的一种体现,人们可以从景观中感受到设



计师表达的文化内涵及时代精神。因此,在花境建植时,不仅要借鉴古人先贤的造景意境手法,更要结合当今的时代精神和大众审美意向与特征,创造能够进入或近距离观赏的花境景观,适当选用芳香植物,吸引人们驻足停留与花境互动,给游人以深刻的游览印象和新奇的视觉感受。

#### 4 结 语

AHP 法常被应用于各类景观评价中,但针对城市花境景观的评价研究仍较缺乏<sup>[23]</sup>。采用层次分析法对郑州北龙湖湿地公园内 54 个花境案例进行实证研究,得出影响花境景观最主要的因素是生态性,其次是主观感知。前人研究结果多是以观赏性为影响花境景观最主要因素,但花境景观的生态性直接影响花境植物的生长状况与花境景观长期效果,而花境景观服务于游客,游客对花境的主观体验则直接影响花境建设成败,不能单纯以观赏性为主。分析了 5 个优秀花境景观的营建模式并给出优化建议,据此总结了适宜郑州地区使用的花境植物材料,希望对河南省乃至全国其他地区的花境景观营建提供借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 孙筱祥. 园林艺术及园林设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [2] 舒婷婷,陈夕雨,胡永红. 辰山花环,四季乐章——上海辰山植物园大尺度花境的探索[J]. 中国园林,2015,31(7):52-58.
- [3] 徐冬梅,周立勋. 花境在我国应用中存在的若干问题探析[J]. 北方园艺,2003(4):10-11.
- [4] 刘莉. 沪杭地区长效型花境设计研究[D]. 杭州:浙江大学,2019.
- [5] 刘丹丹. 中外园林花境营造比较与发展趋势研究[D]. 杭州:浙江大学,2016.
- [6] 李昭毅. 免维护花境植物配置模式研究[D]. 福州:福建农林大学,2017.
- [7] 郑国栋. 花境植物景观综合评价体系研究与应用[D]. 南京:南京林业大学,2008.
- [8] 毛泽霞. 南昌市花境植物应用与景观评价[D]. 南昌:江西农业大学,2012.
- [9] 储显. 城市中花境运用及其景观结构的公众评价[D]. 合肥:安徽农业大学,2018.
- [10] 孙利强,李倩倩,袁德强,等. 基于 AHP 法的郑州市 9 个公园冬季植物景观评价[J]. 湖南农业科学,2020(4):43-46.
- [11] 叶彬彬. 多年生植物材料的筛选与可持续花境景观的营造[D]. 北京:中国林业科学研究院,2016.
- [12] 黄广远,徐程扬,朱解放,等. 基于层次分析法和逼近理想解排序法的高校校园绿地景观评价[J]. 东北林业大学学报,2012,40(9):113-115.
- [13] 黄东兵,覃俏梅,苏伟业,等. 广州发展公园花境植物综合评价[J]. 林业与环境科学,2020,36(2):72-83.
- [14] AKBAR K F,HALE W H G,HEADLEY A D. Assessment of scenic beauty of the roadside vegetation in northern England[J]. Landscape & Urban Planning,2003,63(3):139-144.
- [15] 许树柏. 实用决策方法——层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社,1988.
- [16] 沈雯,李凯,王秀荣. 层次分析法与美景度评价法在植物景观评价中的综合运用[J]. 北方园艺,2018(11):110-117.
- [17] 崔莺文,田如男. 南京市道路花境植物应用调查与分析[J]. 安徽农业大学学报,2019,46(6):974-980.
- [18] 赵文清,贾慧敏,钱周信. 多因子分层模糊评价法的算法设计探讨——模糊综合评价方法在旅游资源评价中的应用[J]. 数学的实践与认识,2008(7):8-14.
- [19] 康秀琴. 基于 AHP 法的桂林市 8 个公园绿地植物景观评价[J]. 西北林学院学报,2018,33(6):273-278.
- [20] 刘瑞雪,彭媛媛. 基于层次分析法的城市滨海绿地植物景观评价[J]. 西北林学院学报,2017,32(4):288-293.
- [21] 王嘉楠,储显,刘慧,等. 城市花境景观特征及其公众评价[J]. 中国园林,2020,36(3):126-129.
- [22] 刘杰,李景奇. 基于 SBE 法与 AHP 法的商业街植物景观营造评价研究——以武汉楚河汉街为例[C]//中国风景园林学会 2019 年会论文集(上册). 中国风景园林学会,2019:567-573.
- [23] 马欢欢. “慢景观”阻力测度评价研究[D]. 南京:南京师范大学,2019.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.012

## 森林旅游景区绿道施工过程的生态环境污染及治理策略

舒建锋

(桐庐县文化旅游投资集团有限公司,浙江 桐庐 311501)

**摘要:**分析森林旅游景区绿道施工过程中产生的生态环境污染问题,包括大气污染、排水污染、水土流失、固体废物污染,对这些污染的影响因素及产生原因进行分析,对不同环境影响因素有针对性地提出具体治理策略,提高规划部门的环境保护意识,构建森林旅游景区现场施工环境保护体系,如设置围栏,道路硬化,土方湿化处理,清洗运输车辆,集中处理建筑垃圾等,最大程度地降低森林旅游景区绿道施工过程中的环境污染程度,有效改善当地生态环境。

**关键词:**森林旅游景区;绿道施工;环境污染;治理策略

中图分类号:S788.2;X171.5 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0076-04

引文格式:舒建锋.森林旅游景区绿道施工过程的生态环境污染及治理策略[J].林业调查规划,2024,49(2):76-79,110.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.012

SHU Jianfeng. Ecological Environment Pollution and Control Strategies of Greenway Construction in Forest Tourism Scenic Spot[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 76-79, 110. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.012

## Ecological Environment Pollution and Control Strategies of Greenway Construction in Forest Tourism Scenic Spot

SHU Jianfeng

(Tonglu Cultural Tourism Investment Group Co., Ltd., Tonglu, Zhejiang 311501, China)

**Abstract:** In this paper, the ecological environment pollution caused by the construction of greenway in forest tourism scenic spot was analyzed, including air pollution, drainage pollution, soil erosion and solid waste pollution. The influencing factors and causes of these pollution were analyzed, and specific measures were proposed for different environmental factors to improve the environmental protection awareness of planning departments. The on-site construction environmental protection system in forest tourism scenic spots was constructed, such as setting up fences, road hardening, soil humidification treatment, cleaning transportation vehicles, and centralized treatment of construction waste, to minimize the environmental pollution of greenways construction in forest tourism scenic spots and effectively improve the local ecological environment.

**Key words:** forest tourism scenic spots; greenway construction; environmental pollution; control strategy

对旅游城市来说,森林旅游资源是城市旅游文化资产的重要组成部分<sup>[1]</sup>,森林旅游景区的基础设

施建设不仅可加大生态环境保护力度,还能进一步优化资源配置<sup>[2]</sup>,也可提高旅游城市的景观美化作

收稿日期:2022-08-17.

基金项目:浙江省自然科学基金(202010548745).

第一作者:舒建锋(1981-),男,浙江常山人,高级工程师.研究方向为土木工程施工管理. Email: gm001312@163.com

用。为进一步优化旅游资源,森林旅游景区的基础设施建设在持续进行,在森林旅游景区绿道施工过程中不可避免地会出现环境污染问题,施工产生的污染势必会改变当地环境质量,影响居民日常生活。

森林旅游景区的相关施工过程中,因临时搭建大型机械而产生固体废物污染,现场排水以及货物搬运等会出现大量的废水、粉尘,造成大气污染、排水污染、水土流失等问题<sup>[3]</sup>,这些环境污染问题将直接影响景区居民的正常生活。森林旅游景区绿道施工带来的环境污染是降低当地生态环境质量的主要原因之一,这种非正常的环境污染对当地生态环境的破坏十分巨大。为了贯彻环境保护理念,在施工的同时需要重视环境污染因素分析,及时有效解决环境污染问题,保护森林景区的生态环境。

对森林旅游景区绿道施工中出现的污染问题和相关影响因素进行分析,根据环境污染因素采取相应治理措施,以此提升旅游城市生态环境质量,实现城市特色旅游资源与环境融合共生的发展理念。

## 1 森林旅游景区绿道施工过程中的环境污染影响因素

森林旅游景区中的施工项目较多,因此产生的环境污染影响因素也较多,根据不同项目施工过程中可能产生的环境污染得出不同的环境影响因素。

### 1.1 大气污染

森林旅游景区绿道施工过程中会利用大型机械拆除部分建筑,对部分不易拆除的建筑会使用爆破手段进行拆除,这一过程会生成浓度较大的炮烟,炮烟中含有大量的有毒气体以及灰尘等。这些物质需要经过化学反应、生物活动和物理沉降等方式的循环才可以从大气中排除,否则会一直滞留在大气中,造成大气污染。森林旅游景区绿道施工中的水泥喷射、混凝土搅拌以及机械运输等工作也会产生大量粉尘,机械等设施的长时间运作会生成大量有害尾气。因此,无论是炮烟、无机粉尘或是尾气都极易扩散到大气层中且不易消除,均会产生大气污染,影响森林旅游景区区域土壤、大气以及居民生活环境<sup>[4]</sup>。以杭州某景区施工一周内的统计结果为例进行分析(图 1)。

从图 1 的统计中可以看出,随着施工过程的深入,景区空气污染情况逐渐加剧。说明施工过程严重影响周边空气质量。

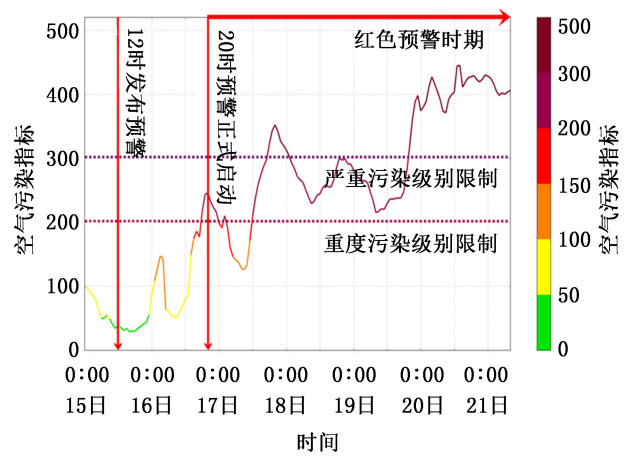


图 1 景区绿道施工期间空气污染情况统计

Fig. 1 Air pollution of greenways construction in scenic spots

### 1.2 排水污染

在森林旅游景区绿道施工选择物料过程中,会在施工注浆浆液中添加部分化学试剂,挖掘机等大型机械在规划落实过程中会出现漏油情况,以上现象会导致掺杂了化学试剂的液体流到景区水源中,进而污染城市水资源。另外,由于森林旅游景区周边人员的生活基地环境较为简陋,不能做到对大量的生活废水进行集中处理,生活废水会直接渗入地下水,造成排水污染<sup>[5]</sup>。

景区绿道施工期间的水质并不是由一个指标来判别的,而是多个指标综合考量的结果,按照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750—2006)规定,检测项目主要包括四大类,即微生物指标、感官性状和一般化学指标、毒理指标和非常规指标(表 1)。

表 1 景区绿道施工过程中的水质检测指标

Tab. 1 Water quality testing indicators of greenways construction in scenic spots

检测项目	数量/项	具体指标
微生物指标	3	总大肠菌群数、耐热大肠菌群、菌落总数
感官性状和一般化学指标	6	色度、浑浊度、嗅和味、铁、锰、总硬度
毒理指标	3	砷、氟化物、硝酸盐
非常规指标	1	氨氮

### 1.3 水土流失

在森林旅游景区绿道施工实际操作过程中,通过占地和挖方的方式完成选址施工,此操作会加重



旅游景区地表水土流失<sup>[6]</sup>。若长此以往不及时治理,会因水土流失问题以及自然环境等多种因素影响,导致土地表面疏松,降低抗蚀性。同时还会对已建设好的森林旅游景区路段邻近植被产生影响,从而加重水土流失。

#### 1.4 固体废物污染

森林旅游景区绿道施工过程中,受环境交通不利的限制,工程量较大且工期较长,在落实过程中所使用的原材料会产生一定的建筑垃圾等固体废物,如水泥石以及脚手架等。森林旅游景区的交通不够便利,施工过程中会发生突发事件,如大量水泥石灰由于长时间未使用导致失效无法继续使用,或建设完成的围挡不合格需要重新施工等均会产生大量固体废弃物。但目前针对森林景区绿道施工的固体废弃物无较为规范的处理程序和规则,仅将其视为一般建筑垃圾进行简单处理,森林旅游景区绿道施工完工后,大量的块状固体废渣和废弃物未得到及时有效处理,经长时间停滞被藏埋于地下,直接对景区产生污染<sup>[7-8]</sup>。

经以上分析得出森林旅游景区绿道施工现场环境污染因素及污染程度如表 2 所示。

表 2 森林旅游景区绿道施工现场环境污染因素及污染程度

Tab. 2 Environmental pollution factors and degree on-site construction of greenways in forest tourism scenic spots

污染因素	污染程度/%
大气污染	30
排水污染	10
水土流失	10
固体废物污染	10

## 2 环境污染具体治理策略

在落实森林旅游景区绿道施工环保措施过程中,高效的环境管理策略可使生态环境污染得到一定程度的缓解。

规划部门提高环境保护意识,对工作人员进行环境保护规则的培训,加深其环境保护理念。基于 ISO14001 环境管理体系标准构建森林旅游景区现场施工环境保护体系,执行相关程序文件以及关于施工时的环境保护指导书,对森林旅游景区的绿色通道建设进行环保管理。加强环保监督和监管,成

立环保工作组。在以上管理策略的基础上针对不同环境污染因素采取相应措施进行治理。

### 2.1 大气污染治理

大气物质反应污染是对环境造成影响范围最大、危害程度最深的污染之一,在实际污染治理过程中需根据国内相关法令准确执行“6 个 100%”的污染治理方案。

#### 2.1.1 保证森林景区绿道施工建筑周围存在 100% 的围挡

100%的围挡可有效隔离森林旅游景区现场与外界环境,将全部规划现场利用围挡进行包围,尽可能地避免森林旅游景区对外部环境的影响。在统一围挡标准下将森林旅游景区现场的土方和石方等建筑废物进行围挡,其中要求堆放的高度和宽度必须小于围挡高度和宽度。所有森林旅游景区材料必须搁置在围挡内,完成围挡后利用毡布等覆盖原材料并对其进行固定处理,避免现场出现粉尘污染。表 3 是实施围挡后景区不同区域粉尘浓度监控结果。

表 3 采取隔离措施后的粉尘浓度变化

Tab. 3 Changes of dust concentration after implementing isolation measures  $\text{mg}/\text{m}^3$

检测项目	时间点	区域 A	区域 B	区域 C	区域 D	区域 E
粉尘浓度	时间 点 1	4.2±	4.3±	4.60±	6.0±	5.4±
		0.39	0.42	0.48	0.68	0.72
	时间 点 2	4.0±	4.5±	4.3±	9.1±	9.0±
		0.47	0.48	0.45	0.62	0.52
	时间 点 3	4.2±	4.8±	4.0±	8.3±	6.3±
		0.48	0.40	0.40	0.18	0.28

从表 3 可以看出,粉尘浓度无明显波动,隔挡效果明显有效。

#### 2.1.2 保证土地裸土 100%湿润

森林旅游景区绿道施工过程中,为了降低空气污染,采用挖沟覆盖的方法。对道路开挖面、土方、砂石等暴露部位采用遮阳网 100%覆盖。采用抑尘机洒水水覆盖裸露土壤,以洒水方式抑制炮烟、灰尘等大气污染物的产生,保持土地裸土湿润。

#### 2.1.3 保证道路 100%硬化

森林旅游景区绿道施工现场会有大量大型车辆频繁进出,如果道路未完全硬化,特别是天气恶劣时,大型车辆扬起的沙土会直接污染城市空气,“6 个 100%策略”中针对道路 100%硬化的要求是最严

格的。此外,在森林旅游景区绿道施工过程中,对原材料加工场地以及工作人员生活区域内的场地均要进行地面临时硬化处理,最大程度地保障出现大风时施工场地内不出现扬尘污染空气。

#### 2.1.4 保证运输车辆进出得到 100%清洗

森林旅游景区绿道施工现场车辆的主要作用是运输树木以及相关建筑材料,这些原材料均带有土渣和水泥等,车辆的行驶速度以及天气问题均会影响灰尘的扬尘严重程度。发生扬尘现象时灰尘会直接落在车辆周围,为了降低对外部环境的污染,在车辆进出景区建筑工地时要对车辆进行全身冲洗,保证车辆全身无灰尘以及污染物后才允许车辆进出森林旅游景区绿道施工场地。

#### 2.1.5 保证工地作业 100%土方湿化处理

在夏季以及大风季节天气下作业会导致尘土污染加剧,正常施工时也不可能避免出现粉尘污染。降低粉尘污染的有效措施就是在森林旅游景区绿道施工前对容易出现粉尘污染的原材料进行湿化处理,有效降低施工过程中空气中的粉尘量,必要时可根据森林旅游景区绿道施工需求对场地实施雾炮降尘处理。

#### 2.1.6 保证全部大型运输设备 100%密封运输

大型运输设备运输的材料也是出现粉尘污染的主要原因,对运输砂石等车辆实施密闭运输,尽可能地降低粉尘污染。

1) 根据以往经验可知,森林旅游景区绿道施工现场组织规范的秩序会对规划带来事半功倍的效果。科学研究施工的顺序和材料使用数量可减少土方运输次数,进而减少大气污染。提前布置施工区域,定制合理的弃土运输路线,缩短运输车的运输距离,降低大气污染。

2) 确定森林旅游景区绿道施工现场运输路线,安排工作人员不定时对路面进行洒水除尘处理。

3) 将所有可能产生大气污染的土方进行覆盖和固定,对森林旅游景区绿道施工场地的水泥管以及搅拌机 etc 设立除尘器,对其定期喷淋降低粉尘扩散。

4) 严格管控运输车辆,控制车辆尾气排放放在要求范围内。

5) 绿化带周围使用密目安全网,防止灰尘扩散到外部环境。

6) 实时更新建筑工艺和技术,进而减少森林旅游景区绿道施工工期,对施工中的机械设备进行定期维修和保修,减少机械排出的烟气中的颗粒物。

## 2.2 废水污染治理

1) 将森林旅游景区绿道施工和生活废水排放到沉淀池,经沉淀后排到城市污水管,禁止直接排放到城市地下水管道以及周围河流或湖泊。

2) 加强运输车辆管理,严禁将燃油机械设备的机油和润滑油等易污染水资源的液体排入水体,将其集中处理。图 2 为采取相关措施后景区绿道施工过程中水质变化趋势,以发光杆菌复苏进行描述。

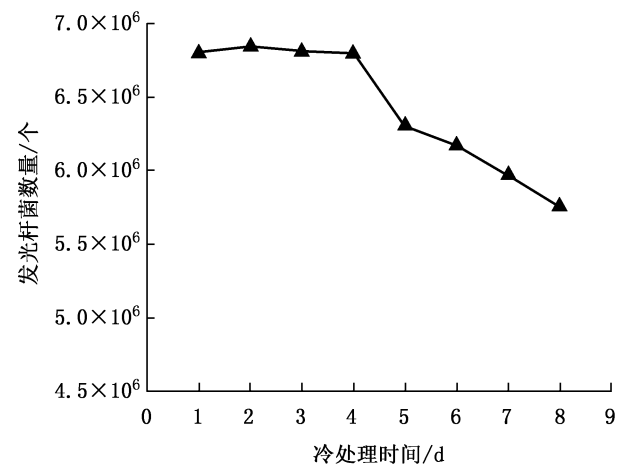


图 2 明亮发光杆菌水质检测趋势

Fig. 2 Water quality testing of *Photobacterium phosphoreum*

## 2.3 水土流失治理

1) 在森林旅游景区绿道施工过程中,减少土地坡面径流量,抬高侵蚀基准面,有效减缓径流速度,提升土壤抗蚀性。

2) 加大水土流失监督管理力度,依法防治水土流失,降低水质污染程度。

## 2.4 固体废物污染治理

森林旅游景区绿道施工不可避免地会产生大量城市垃圾,处置不当会由于雨水冲洗等原因流入附近的河流和地下水,造成水污染,对其治理如下。

1) 规范垃圾处理规则,集中倾倒建筑垃圾,森林旅游景区绿道施工完工后需还原地貌,带走所有建筑垃圾并对其进行集中处理。

2) 针对不同建筑垃圾进行分类处理,不随地遗弃任何固体废物,造成生态环境污染。

## 3 结束语

森林景区绿道施工工程与传统城市建筑施工过程不同,是造成景区环境污染的主要原因之一,这种

(下转第 110 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.013

## 重庆市级重大项目菖蒲盖景区农旅融合亚高山草场修复与养护

胡齐攀<sup>1</sup>,刘美玲<sup>2</sup>,易小林<sup>2</sup>

(1. 酉阳县菖蒲旅游开发有限责任公司,重庆酉阳 409800; 2. 西南大学园艺园林学院,重庆北碚 400715)

**摘要:**介绍重庆市酉阳县菖蒲盖亚高山草场概况,以及草场存在的水土流失、植被退化、景观效果不佳等问题。藉此提出清杂、整地、灌溉排水、土壤改造、植草等对草场加以生态修复的技术措施,以及相应的草场维护和景观养护措施。通过实施生态修复,认为初步取得了预期效果。

**关键词:**亚高山草场修复;养护;草场景观;整地;植草;菖蒲盖景区

中图分类号:S812.6 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0080-05

引文格式:胡齐攀,刘美玲,易小林.重庆市级重大项目菖蒲盖景区农旅融合亚高山草场修复与养护[J].林业调查规划,2024,49(2):80-84. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.013

HU Qipan, LIU Meiling, YI Xiaolin. Restoration and Maintenance of Changpugai Agro-tourism Integrated Sub-alpine Grassland[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 80-84. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.013

### Restoration and Maintenance of Changpugai Agro-tourism Integrated Sub-alpine Grassland

HU Qipan<sup>1</sup>, LIU Meiling<sup>2</sup>, YI Xiaolin<sup>2</sup>

(1. Youyang Changpugai Tourism Development Co., Ltd., Youyang, Chongqing 409800, China;  
2. College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Beibei, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** The overview of the Changpugai sub-alpine grassland in Youyang County, Chongqing was introduced, and the problems of soil erosion, vegetation degradation, and poor landscape effect in the grassland were analyzed. Therefore, this paper proposed technical measures for ecological restoration of grasslands, such as clearing impurities, land preparation, irrigation and drainage, soil improvement, and grass planting, as well as corresponding grassland and landscape maintenance measure. Through the implementation of ecological restoration, the expected results have been achieved initially.

**Key words:** restoration of subalpine grasslands; maintenance; grassland landscape; land preparation; grass planting; Changpugai Scenic Area

酉阳菖蒲盖景区是重庆市级重大项目,农旅融合示范点。酉阳县菖蒲盖乡村景观资源丰富,拥有较大面积亚高山草场资源。随着农旅融合政策的实施推进,草场作为农业中重要的生产资料和旅游业中重要的旅游资源,在乡村振兴中扮演了重要角色,

促进了生产、生态、文化和旅游等方面发展。本文试分析菖蒲盖景区草场修复前的问题,结合后期草场修复和养护实际措施,探讨亚高山草场在农旅融合背景下修复和养护的做法,为后续相似案例提供借鉴。

收稿日期:2021-10-13.

第一作者:胡齐攀(1986-),男,重庆酉阳人,工程师。主要从事园林绿化施工养护方面的工作。

责任作者:刘美玲(1997-),女,贵州六盘水人,硕士研究生。主要研究方向为乡村植物景观。Email:1404253856@qq.com



酉阳菖蒲盖景区位于重庆市酉阳县双泉乡与花田乡之间的菖蒲盖山脉,海拔 1 300~1 500 m,整体地势较高,两侧较低,西侧高程逐渐降低,东侧临崖,相对高差约 200~300 m。拥有草场面积约 153 hm<sup>2</sup>。景区内农业发展以畜牧业和种植业为主,草场动植物资源、天象景观资源丰富,生态环境良好,具备较大旅游开发价值。需要修复和养护的草场区域在驹驰坝、池坪坝、啄啄岩,草场坡度约 10°~20°。

## 1 相关概念

草场,是指以草本及木本饲用植物为主,用于畜牧业生产的草地类型。草地包含草原、草场、草甸等植被类型<sup>[1]</sup>。草地作为中性词,在实践中广泛应用,并与草坡、草山、草滩、草场等地方性名词混用。为保持研究一致性,本文统一用草场来涵盖“草地”“草原”。结合菖蒲盖景区实际情况,本文将草场定义为:主要生长草本植物或含有灌木和稀疏树木,供牲畜和野生动物采食和栖居的土地,通常是畜牧业重要的生产基地,同时包含有多种资源,如旅游、景观、狩猎、水产和林产等。

亚高山,按照海拔和相对高度划分,其海拔 1 000~3 500 m,相对高度 500~1 000 m<sup>[2]</sup>。武陵山脉海拔多在 1 000~2 100 m 范围内,因此属于亚高山。

综上所述,本文中的亚高山草场指武陵山区海拔 1 000~2 100 m 范围内以草本植物为主,兼有灌木丛和稀疏树木,为畜牧提供采食和栖息场所,同时包含多种农旅资源的地区。酉阳县菖蒲盖景区草场即为其中代表。

## 2 草场存在的问题与修复措施

修复前草场存在的问题主要有水土流失、植被退化等造成的草场退化问题<sup>[3-4]</sup>;传统放牧方式和放牧结构造成的草场浪费和利用频度、强度失控导致畜牧能力降低的问题<sup>[5]</sup>;施工和水土流失导致草场景观效果差的问题。

菖蒲盖景区规划中,以驹驰坝(50.7 hm<sup>2</sup>)、池坪坝(13.3 hm<sup>2</sup>)、啄啄岩(20 hm<sup>2</sup>)、龙洞坪(7.3 hm<sup>2</sup>)、盖阳坪(10 hm<sup>2</sup>)等 7 处共计 101.3 hm<sup>2</sup> 草场为基础进行草场修复设计和实践,形成了驹驰坝观赏型草场、多花草场、放牧草场等重要景观草场。针对不同退化程度和不同功用的草场类型,修复主要从以下几个方面入手:清杂、整地、给排水灌溉、土壤改造、复种。

### 2.1 驹驰坝观赏型草场

#### 2.1.1 清杂整地

清杂整地主要涉及到场地清杂和场地坡度设计、场地挖填方处理。

首先,为方便草场后续施工,需要在施工前对草场进行清杂,清除场地内部表面原有的杂灌木、石砾等杂物,并需要根据场地内不同土层厚度、植被等情况,采取不同的清杂方式。对于土层较厚、保水能力较好的区域,先采用农药灭草,再进行割除,这样可减小农药对地下水的污染;对于土层较薄的区域,采用机械或人工清除,减小对土层土壤的影响;对杂草较多、土石混杂的区域,采取刈割与农药喷洒相结合的办法清除杂草灌。

其次,由于草场处于山地,且因其观赏性较佳,会承载较多的游客数量,需要对坡度较大的区域进行挖填方处理,将坡度控制在 15°以下(图 1)。驹驰坝地形改造设计挖填方量计算采用等高线法,以驹驰坝 1:500 测绘地形图为依据,沿挖填方区域内的计曲线取断面(S),计曲线之间的高差(2.5 m)即为等高差 h(限于篇幅,挖填方量计算及结果此处略)。

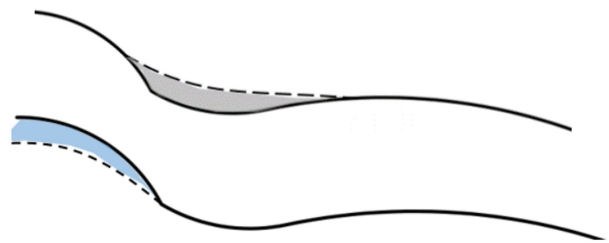


图 1 坡度优化方式示意

Fig. 1 Schematic diagram of slope optimization method

#### 2.1.2 给排水灌溉设计

驹驰坝观赏型草场需要设计专门的排洪灌溉管道以保证草场的给排水平衡。驹驰坝草场的空间格局特征为林—草—村—溪的景观格局,可利用垂直空间以林养草,修筑高位蓄水池,保护现有湿地水塘等。给排水灌溉系统主要包括两方面内容:蓄水系统和灌溉排水系统。

蓄水系统以现有蓄水池、湿地水塘为基础,通过对场地用水需求进行分析,以高位蓄水池为基础,适当新修和完善原有蓄水池以满足用水需求。施工材料宜选用石材,以防止渗漏等问题。灌溉排水系统应该分级布置,沿场地汇水线布置,满足灌溉与排涝要求。在主要排水给水管道处应该以满足快速给水、排水为主,采用沟渠硬化的方式,可加上顶盖以

提高美观性。排洪暗沟尽量保留原有排水沟区域,对其进行修缮,以减小工程量。新建排洪暗沟按照汇水线进行修筑。汇水区域设置沉沙凼,沉沙凼宽于排洪暗沟,根据建设条件不同,规格设为 0.4 m×0.6 m 或 0.8 m×1 m。

### 2.1.3 播种植草

草场播种前应当作好坪床准备工作,包括坪床的翻整、清除杂物、清除杂草、土壤的施肥改良和细平整等步骤。(1)场地再次清杂。全面检查并清除地块内的石块和其他垃圾,清除杂草及其地下根。(2)翻耕。土壤翻整深度在 20 cm,厚不足 20 cm 的地方要补充土壤。结合翻耕将地块内的新生杂草连根铲除。翻耕后把土壤整平,耙松,敲细。(3)施基肥。土壤若是贫瘠的红黄壤,则需施入腐熟的有机肥,如畜肥或泥炭,使表层 15 cm 内的土壤有机物含量达到体积的 2% 左右。播种前按照 30 g/m<sup>2</sup> 全面施复合肥基肥。

#### 1) 草种选择

草种上选择较耐践踏的品种。驹驰坝草场草种均采用进口中高档草坪型耐湿热、耐干旱、耐瘠薄品种,主要为美国蓝标高羊茅‘火凤凰’,早熟禾‘蓝宝石 3 号’,多年生黑麦草‘雄鹰’。同时,要将选择的草种进行试种,待符合当地情况之后再推广开。黑麦草前期相较于早熟禾、高羊茅生长较快,可以防止雨水冲刷带走其他草种。后期高羊茅耐寒耐旱,生长情况优于黑麦草,此时黑麦草依然可以作为地被(表 1)。

表 1 观赏型草场选用品种习性

Tab. 1 Selecting varieties in ornamental grasslands

种名	科属	习性
高羊茅 <i>Festuca elata</i> Keng ex E. Alexeev	禾本科 羊茅亚属	不耐高温,喜光,耐半荫, 耐酸,耐瘠薄,抗病性强
多年生黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	禾本科 黑麦草属	不耐荫,能耐湿,不耐旱
早熟禾 <i>Poa annua</i> L.	禾本科 早熟禾属	喜光,耐瘠薄,不耐水湿

#### 2) 播种量

播种量如表 2 所示。

#### 3) 播种方法

播种前将地块内的杂草、杂石等清除干净。将土壤敲碎,耙平整,施基肥(30 g/m<sup>2</sup> 复合肥)。再将播种地划分成 10 m×10 m 的方格网,每个方格网称

表 2 观赏型草场播种量

Tab. 2 Sowing amount in ornamental grasslands

类型	坡度 / (°)	土壤情况	草种选择	播种量 / (g·m <sup>-2</sup> )	混播比例
I 类地	≤15	土壤肥沃 湿润地块	高羊茅	35	高羊茅 70%, 早熟禾 20%, 多年生黑麦 草 10%
			早熟禾	12	
			多年生 黑麦草	25	
II 类地	>15	土壤干旱 瘠薄	高羊茅	40	同上
			早熟禾	15	
			多年生 黑麦草	30	

取相应的播种量,将种子混合均匀,然后均分成 2 份,选择无风的天气,分别从两个相互垂直的方格网边方向将种子分 2 次均匀撒播到方格网内。播种后用耙子轻耙土表,然后用碾子碾压,使种子混于土壤中并与土壤充分接触。播种深度不要超过 1 cm,否则导致不能出芽。最后覆盖无纺布(坡度 ≤15°)或遮阳网(坡度 >15°),浇透水。

### 2.2 多花草场

多花草场主要具有观赏、展示功能,特点是色彩艳丽、季相变化丰富、花期长<sup>[6]</sup>。菖蒲盖景区内,多花草场因公路施工,被用作施工场地或建筑垃圾堆放、填埋地,导致生态群落破坏、土壤裸露问题。对于这类草场,采取人工修复措施,使其复绿。一共分为 22 个地块,地块总面积 34 万 m<sup>2</sup>;人工清杂面积 2.6 万 m<sup>2</sup>,机械清杂面积 31.3 万 m<sup>2</sup>;翻耕除草面积 11.9 万 m<sup>2</sup>。

#### 1) 草种与花种选择

要求耐湿热、耐干旱、耐瘠薄品种。选用多年生“野花组合”系列景观花种,混色(表 3),各品种习性见表 4。

表 3 多花草场“野花组合”

Tab. 3 “Wild flower combinations” in floriferous grassland

组合类型	草种及播种比例
组合 A	40% 金光菊+30% 松果菊+20% 蛇目菊
组合 B	30% 蛇目菊+30% 高杆天人菊+40% 大滨菊
组合 C	50% 矢车菊+30% 多年生虞美人+20% 花环菊
组合 D	30% 宿根花菱草+20% 白晶菊+10% 黄晶菊+40% 矢车菊
组合 E	50% 假龙头+50% 蛇鞭菊
组合 F	100% 小丽花

表 4 多花草场选用花卉习性

Tab. 4 Selecting varieties in floriferous grasslands

序号	种名	科属	习性
1	金光菊 <i>Rudbeckia laciniata</i> L	菊科 金光菊属	适应性强,耐寒又耐旱,对土壤要求不严,但忌水湿
2	松果菊 <i>Echinacea purpurea</i> (Linn.) Moench	菊科 松果菊属	性强健,耐寒,耐干旱
3	蛇目菊 <i>Sanvitalia procumbens</i> Lam	菊科 蛇目菊属	喜阳光充足,耐寒力强;耐干旱,耐瘠薄,不择土壤
4	高杆天人菊 <i>Gaillardia pulchella</i> Foug.	菊科 天人菊属	耐干旱,并且耐炎热,喜欢高温,但是不耐寒,喜欢光照
5	大滨菊 <i>Leucanthemum maximum</i> (Ramood) DC.	菊科 滨菊属	性喜阳光,不择土壤
6	矢车菊 <i>Leucanthemum maximum</i> (Ramood) DC.	菊科 矢车菊属	适应性较强,喜欢阳光充足,不耐阴湿
7	虞美人 <i>Papaver rhoeas</i> L.	罂粟科 罂粟属	喜光和通风良好的地方,耐寒,不耐湿、热
8	花环菊 <i>Chrysanthemum carinatum</i>	菊科 茼蒿属	喜夏季凉爽,不耐寒
9	宿根花菱草 <i>Eschscholtzia californica</i> Cham.	罂粟科 花菱草属	较耐寒,喜冷凉干燥气候
10	白晶菊 <i>Chrysanthemum paludosum</i>	菊科 茼蒿属	较耐寒,不耐高温,耐半荫,适宜生长在疏松肥沃排水性好的壤土中
11	黄晶菊 <i>Chrysanthemum multicaule</i>	菊科 茼蒿菊属	耐寒性强,开花早,花期长,花繁色艳
12	假龙头 <i>Physostegia virginiana</i>	唇形科 假龙头花属	性喜温暖,喜光,较耐寒,耐旱,耐肥
13	蛇鞭菊 <i>Liatris spicata</i> (L.) Willd.	菊科 蛇鞭菊属	耐寒,耐水湿,耐贫瘠
14	小丽花 <i>Dahlia pinnate</i> cv.	菊科 大丽花属	性喜阳光,宜温和气候,不耐寒,不耐热

2) 播种量

播种量如表 5,表 6 所示。

3) 播种方法

播种方法和播种深度与驹驰坝草场相同。

2.3 放牧草场

此类草场条件好,多数坡度 15° 以下,土层较厚。但因杂草入侵、载畜量下降等原因,需要对其进行修复。放牧草场共分为 4 个地块,总面积 21.7 hm<sup>2</sup>;

表 5 多花草场 I、II、III 类地播种量

Tab. 5 Sowing amount for Class I, II and III in floriferous grassland

类型	坡度 / (°)	土壤情况	草种	播种量 / (g · m <sup>-2</sup> )	混播比例
I 类地	≤15	肥沃湿润	高羊茅	35	高羊茅 70%, 早熟禾 20%, 多年生黑麦草 10%
			早熟禾	12	
			多年生黑麦草	25	
II 类地	≥15	干旱瘠薄	高羊茅	40	同 I 类地
			早熟禾	15	
			多年生黑麦草	30	
III 类地		林荫地	高羊茅	35	III 类地早熟禾 30%,高羊茅 60%,多年生黑麦草 10%
			早熟禾	15	
			多年生黑麦草	25	

表 6 多花草场 IV、V 类地播种量

Tab. 6 Sowing amount for Class IV and V in floriferous grassland

类型 (野花组合)	草种	播种量 / (g · m <sup>-2</sup> )
IV 类地	金光菊	1.0
	松果菊	3.0
	蛇目菊	1.0
	高杆天人菊	3.0
	大滨菊	2.5
	矢车菊	4.0
V 类地	花环菊	3.5
	宿根花菱草	3.0
	晶菊	2.0
	假龙头	2.5
	蛇鞭菊	3.5
	小丽花	5.0
	多年生虞美人	1.0

人工清杂面积 0.21 hm<sup>2</sup>,机械清杂 21 hm<sup>2</sup>;翻耕除草面积 10.4 hm<sup>2</sup>。

1) 播种量

I 类地、II 类地播种量如表 7, IV 类、V 类地野花组合播种量同多花草场 IV 类、V 类地播种量。

2) 播种方法

播种方法和播种深度与驹驰坝草场相同。



表 7 放牧草场 I、II 类地播种量

Tab. 7 Sowing amount of Class I and II in grazing grasslands

类型	坡度 / (°)	土壤情况	草种选择	播种量 / (g · m <sup>-2</sup> )	混播比例
I 类地	≤15	肥沃湿润	高羊茅	25	高羊茅 50%, 早熟禾 15%, 多年生黑麦草 10%, 鸭茅 15%, 白三叶 12%
			早熟禾	17	
			多年生黑麦草	30	
			鸭茅	13	
			白三叶	8	
II 类地	>15	干旱瘠薄	高羊茅	50	
			早熟禾	5	
			多年生黑麦草	30	
			鸭茅	15	
			白三叶	15	

### 3 草场景观养护

建植完成后,设置围栏、警戒线等暂时封闭草场区域,以免游客、村民、牲畜等进入草场造成破坏。

1) 播种后至出苗前加强土壤虫害的防治。

2) 出苗后,幼草根系较弱,应多次少量地浇水。随着根系的扩展逐渐减少浇水次数,增加每次的浇水用量。浇水应考虑到当时的降雨情况、土壤类型和水分蒸发情况。待牧草基本出苗以后去除覆盖物。在后期养护过程中,由于当地早晚温差大,晚上会形成自然露水,可极大地减少人为浇水灌溉的次数,降低维护成本。

3) 出苗 20 天后可以第一次追肥。根据长势情况,用复合肥或者尿素按照 10 g/m<sup>2</sup> 均匀撒施。施肥后如未逢降雨应浇水。苗期牧草稀疏,势必会催生一批杂草幼苗,应予以人工及早拔除。若出现较大面积的秃斑,则需要再进行补种。

4) 牧草长到一定的高度,全部均匀密生后,方可开始修剪。修剪应遵循“1/3 法则”,即每次修剪的部分不能超过叶片自然高度(修剪前的高度)的 1/3,直至牧草完全覆盖床面成坪为止<sup>[7]</sup>。

5) 多花草场组合系列无需修剪。

6) 适时调整载畜。对放牧草场应考虑其合理的载畜量,根据施工和建成投入使用后的实际情况,

对草场畜牧能力进行适时调整。对放牧区实行禁牧、轮牧或休牧制度<sup>[8]</sup>。

7) 对于混播草场,则需要针对不同月份采取不同养护手段。3 月份时做好清园工作,保养好机械;4—9 月份时注意浇水,防止病虫害,施肥,合理安排修剪次数;10 月份时除了注意之前的工作,还需浇灌防冻水,方便牧草越冬<sup>[9-10]</sup>。

### 4 结 语

对菖蒲盖景区内不同的草场类型提出不同的修复和养护措施,解决酉阳县亚高山草场出现的天然草场退化、水土流失、畜牧能力差等问题,景观效果也得到极大改观。但由于景区正在分期建设,一部分草场修复和养护成果得到很好的体现,另一部分修复和养护工作还在进行中,有待后期观察。同时,由于草场完成修复和养护的时间较为短暂,已采取的养护手段只适合几年之内使用,后期的养护措施还需要相应调整完善。

### 参考文献:

- [1] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [2] 王明业, 朱国金. 中国的山地[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1988: 2-3.
- [3] 昂毛, 施宝顺. 兴海县退化草地现状及治理对策[J]. 青海草业, 2000(4): 21-22, 31.
- [4] 郭振瀚. 草原生态环境保护与建设的问题及其优化措施[J]. 农业工程技术, 2021, 41(2): 59-60.
- [5] 唐芳林, 宋中山, 孙暖, 等. 关于国有草场建设的思考[J]. 草地学报, 2021, 29(5): 861-865.
- [6] 徐新洲. 缀花草坪景观营造研究——以上海滨江森林公园为例[C]//中国风景园林学会 2011 年会论文集(下册). 北京: 中国建筑工业出版社, 2011: 29-32.
- [7] 井志芹. 草坪养护管理技术[J]. 现代农村科技, 2010(4): 26.
- [8] 邢秀芹, 许忠军, 张为华. 白城市草原生态环境综合调控措施[J]. 白城师范学院学报, 2018, 32(12): 1-3.
- [9] 岳超. 混播草坪(早熟禾、紫羊茅、黑麦草)三至五月养护月历[N]. 中国花卉报. 2021-5-20(003).
- [10] 岳超. 混播草坪(早熟禾、紫羊茅、黑麦草)六至十月养护月历[N]. 中国花卉报. 2021-6-10(005).

责任编辑: 刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.014

## 云南省岩溶地区石漠化耕地现状及治理策略

彭正武,袁启慧,谢燕梅,余正才,毛凯东

(云南省林业调查规划院昆明分院,云南 昆明 650200)

**摘要:**云南省石漠化土地面积 212.85 万  $\text{hm}^2$ , 占岩溶土地面积的 19.81%, 其中石漠化耕地面积 46.36 万  $\text{hm}^2$ , 占石漠化土地面积的 21.78%, 石漠化耕地以轻度石漠化和中度石漠化土地为主, 集中分布在人口稠密、经济欠发达地区。目前云南省石漠化治理存在着投资标准低, 投入不足, 治理需求大, 成果巩固压力大, 管理体制不顺, 地方配套资金筹措困难等问题。藉此, 提出遵循水土保持原则, 因地制宜, 改善农业条件, 大力发展林禽林下经济模式, 持续推进石漠化综合治理工程, 节约集约用地, 严把耕地红线关, 降低石漠化区域耕地承载压力, 遏制石漠化耕地发生等治理策略。

**关键词:**石漠化耕地; 综合治理; 林下经济; 云南省岩溶地区

中图分类号: P931.5; F301.21 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0085-05

引文格式: 彭正武, 袁启慧, 谢燕梅, 等. 云南省岩溶地区石漠化耕地现状及治理策略[J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 85-89. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.014

PENG Zhengwu, YUAN Qihui, XIE Yanmei, et al. Current Situation and Control Strategies of Rocky Desertification Cultivated Land in Karst Areas of Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 85-89. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.014

## Current Situation and Control Strategies of Rocky Desertification Cultivated Land in Karst Areas of Yunnan Province

PENG Zhengwu, YUAN Qihui, XIE Yanmei, YU Zhengcai, MAO Kaidong

(Kunming Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650200, China)

**Abstract:** The area of rocky desertification land in Yunnan Province is 2.1285 million  $\text{hm}^2$ , accounting for 19.81% of the karst land area. And the area of rocky desertification cultivated land is 463600  $\text{hm}^2$ , accounting for 21.78% of the rocky desertification land area. The rocky desertification cultivated land is mainly composed of mild and moderate rocky desertification land, concentrated in densely populated and economically underdeveloped areas. At present, the treatment of rocky desertification in Yunnan Province exists some problems, such as low investment standards, insufficient investment, high demand for treatment, pressure to consolidate achievements, unfavorable management system, and difficulties in raising local supporting funds. Therefore, this paper proposed to follow the principles of soil and water conservation, adapt to local conditions, improve agricultural conditions, vigorously develop the understory economy of forests and poultry, promote the comprehensive management project of rocky desertification, save and intensively use land, strictly control the red line of cultivated land, reduce the carrying pressure of

收稿日期: 2022-12-11.

基金项目: 云南省科技厅 2023 年第二批科技成果转化专项资金(530000231100001753720).

第一作者: 彭正武(1980-), 男, 云南昆明人, 工程师. 主要从事林业调查规划工作. Email: 496694377@qq.com

责任作者: 袁启慧(1993-), 女, 云南临沧人, 工程师. 主要从事林业调查规划工作. Email: 1765416509@qq.com

cultivated land in rocky desertification areas, and curb the occurrence of rocky desertification.

**Key words:** rocky desertification cultivated land; comprehensive governance; underforest economy; karst areas in Yunnan Province

石漠化耕地是石漠化土地范围内的一种土地退化现象。岩溶地区广泛分布的碳酸盐岩具有易溶蚀,成土慢,易流失的特点,造成这一地区的生态环境极为脆弱,破坏易,恢复难。石漠化耕地作为石漠化地区农户的重要生产资料,频繁的农作导致土壤流失严重,致使石漠化耕地治理难度远超石漠化林地和草地。耕地的严重石漠化,不仅加剧了水土流失,恶化生态环境,引发自然灾害,压缩人民群众的生存与发展空间,也严重制约地区经济社会的可持续发展,对区域国土生态安全和生态文明建设构成严重威胁。

## 1 云南省石漠化现状

根据《云南省岩溶地区第四次石漠化调查报告》(2022年9月),目前云南省已纳入石漠化调查的县(市、区)数量为88个,涉及全省15个州(市),岩溶地区监测面积1 074.72万 $\text{hm}^2$ 。在岩溶土地中:石漠化土地面积212.85万 $\text{hm}^2$ ,占岩溶土地面积的19.81%;潜在石漠化土地面积342.97万 $\text{hm}^2$ ,占31.91%;非石漠化土地面积518.90万 $\text{hm}^2$ ,占48.28%<sup>[1]</sup>(表1)。

表1 云南省岩溶土地面积统计

Tab. 1 Statistics of karst land area in Yunnan Province

石漠化状况	面积/万 $\text{hm}^2$	占比/%
岩溶土地	1074.72	100.00
石漠化土地	212.85	19.81
潜在石漠化土地	342.97	31.91
非石漠化土地	518.90	48.28

### 1.1 石漠化耕地面积与分布

根据云南省第四次石漠化调查统计结果<sup>[1]</sup>,岩溶地区调查范围总面积1 074.72万 $\text{hm}^2$ ,其中石漠化耕地面积46.36万 $\text{hm}^2$ ,占石漠化土地面积(212.85万 $\text{hm}^2$ )的21.78%。

云南省是岩溶地区石漠化耕地分布较广泛省份之一,石漠化耕地主要涉及除德宏州外的其他15个州(市)。从石漠化土地空间分布来看,石漠化耕地虽分布广泛,但规模相对集中,主要集中在滇东

南地区的文山州和红河州,滇东地区的昭通市和曲靖市,这4个州(市)的石漠化耕地面积达34.92万 $\text{hm}^2$ ,占全省石漠化耕地面积的75.32%(表2)。

表2 石漠化耕地面积按州市统计

Tab. 2 Area of rocky desertification cultivated land by state and city

统计单位	石漠化耕地面积/万 $\text{hm}^2$	占比/%
昆明市	2.38	5.13
曲靖市	4.99	10.76
玉溪市	1.20	2.59
保山市	0.87	1.88
昭通市	7.06	15.23
丽江市	0.58	1.25
普洱市	0.43	0.93
临沧市	4.52	9.75
楚雄州	0.00	0.00
红河州	5.55	11.97
文山州	17.32	37.36
西双版纳州	0.00	0.00
大理州	0.02	0.04
怒江州	1.12	2.42
迪庆州	0.32	0.69

### 1.2 石漠化耕地面积按石漠化程度统计

云南省石漠化耕地中,轻度石漠化面积10.72万 $\text{hm}^2$ ,占石漠化耕地面积的23.12%;中度石漠化面积31.62万 $\text{hm}^2$ ,占68.22%;重度石漠化面积3.82万 $\text{hm}^2$ ,占8.23%;极重度石漠化面积0.20万 $\text{hm}^2$ ,占0.43%。云南省石漠化耕地以轻度和中度石漠化土地为主,占石漠化耕地面积的91.34%;重度和极重度集中分布在滇东南地区的文山州和红河州,滇东地区的昭通市和曲靖市(表3)。

### 1.3 石漠化耕地面积按坡度级统计

云南省石漠化耕地面积按坡度级划分:I级平坡( $<5^\circ$ )0.34万 $\text{hm}^2$ ,占石漠化耕地总面积的0.74%;II级平缓坡( $>5^\circ \sim 10^\circ$ )3.55万 $\text{hm}^2$ ,占7.65%;III级中缓坡( $>10^\circ \sim 14^\circ$ )13.80万 $\text{hm}^2$ ,占29.77%;IV级斜坡( $>15^\circ \sim 24^\circ$ )19.10万 $\text{hm}^2$ ,占41.20%;V级陡坡( $>25^\circ \sim 34^\circ$ )7.65万 $\text{hm}^2$ ,占16.49%;VI级急坡



(>35°~44°)1.72 万hm<sup>2</sup>,占 3.70%;Ⅶ级险坡(≥45°)0.20 万hm<sup>2</sup>,占 0.43%(表 4)。

表 3 石漠化耕地面积按石漠化程度统计

Tab. 3 Area of rocky desertification cultivated land by the degree of rocky desertification

石漠化程度	面积/万hm <sup>2</sup>	占比/%
轻度	10.72	23.12
中度	31.62	68.22
重度	3.82	8.23
极重度	0.20	0.43
合计	46.36	100.00

表 4 石漠化耕地面积按坡度级统计

Tab. 4 Area statistics of rocky desertification cultivated land by slope levels

坡度级	面积/万hm <sup>2</sup>	占比/%
I级	0.34	0.74
II级	3.55	7.65
III级	13.80	29.77
IV级	19.10	41.20
V级	7.65	16.49
VI级	1.72	3.70
VII级	0.20	0.43
合计	46.36	100.00

#### 1.4 石漠化耕地面积按土层厚度统计

云南省石漠化耕地面积中,土层厚度为中厚层面积 15.20 万hm<sup>2</sup>,占石漠化耕地总面积的 32.79%;薄层面积 20.88 万hm<sup>2</sup>,占 45.05%;较薄层面积 8.34 万hm<sup>2</sup>,占 17.99%;极薄层面积 1.93 万hm<sup>2</sup>,占 4.17%(表 5)。

表 5 石漠化耕地面积按土层厚度统计

Tab. 5 Area statistics of rocky desertification cultivated land by soil layer thickness

土层厚度	面积/万hm <sup>2</sup>	占比/%
中厚层	15.21	32.79
薄层	20.88	45.05
较薄层	8.34	17.99
极薄层	1.93	4.17
合计	46.36	100.00

#### 1.5 石漠化耕地动态变化分析

根据云南省第四次石漠化调查<sup>[1]</sup>统计结果与云南省第三次石漠化调查结果同比口径(云南省第三次石漠化调查的 65 个县域,不包含第四次石漠化调查新增的 23 个石漠化调查县域)相比,本期石漠化耕地减少 19.75 万hm<sup>2</sup>,减少幅度为 24.74%,年均减幅为 6.41%。其中:轻度石漠化耕地增加 0.35 万hm<sup>2</sup>;中度石漠化耕地减少 17.92 万hm<sup>2</sup>;重度石漠化耕地减少 2.08 万hm<sup>2</sup>;极重度石漠化耕地减少 0.10 万hm<sup>2</sup>(表 6)。

表 6 石漠化耕地动态变化

Tab. 6 Dynamic changes of rocky desertification cultivated land

调查期	面积/万hm <sup>2</sup>
第三次	61.58
第四次	41.83
减幅	19.75
变动率/%	32.07

石漠化耕地减少面积中,因国土三调地类调查标准变化,由原来的耕地细化为种植园用地 3.79 万hm<sup>2</sup>;通过退耕还林还草工程及巩固退耕还林成果专项工程等林草措施,有 1.47 万hm<sup>2</sup>石漠化耕地演变为林地;通过坡改梯、小型水利水保等工程措施,有 0.27 万hm<sup>2</sup>石漠化耕地演变为非石漠化耕地;通过保护性耕作、间作等农业技术措施,有 1.12 万hm<sup>2</sup>石漠化耕地演变为非石漠化耕地;通过石漠化综合治理等工程措施,有 13.10 万hm<sup>2</sup>石漠化耕地演变为非石漠化耕地。

## 2 石漠化治理面临的问题

云南省石漠化耕地集中分布在人口稠密、经济欠发达地区。从云南省第四次石漠化调查结果看,全省石漠化耕地面积比第三次石漠化监测有所减少,但石漠化耕地面积依然较大,特别是在当前石漠化地区经济相对落后、人口压力大、不合理人为活动时有发生的情况下,生态保护及石漠化地区生态修复意识较薄弱,防治任务仍然紧迫和艰巨。

### 2.1 投资标准低,投入不足

云南省山高坡陡,山区面积占全省总面积的 94%,石漠化治理区域自然条件极差,地处偏僻,交通、水电等基础设施条件差,大部分地区建设材料需

二次搬运。随着物价上涨,建筑“三材”价格和工人工资普遍升高,导致工程建设成本增高、难度加大。目前,国家石漠化综合治理工程按岩溶面积国家补助治理资金为 25 万元/km<sup>2</sup>,但较实际治理需求资金仍偏低,普遍存在项目资金缺口大,一定程度上影响了治理效果。

## 2.2 治理范围小,治理需求较大

云南省有 122 个县开展了石漠化监测,但 2012—2015 年只有岩溶面积超过国土面积 30% 的 65 个县实施了石漠化综合治理工程,还有 57 个县尚未启动实施,“十三五”期间国家又调整了云南省石漠化治理重点县范围,缩减到 45 个。同时,已实施综合治理工程的重点县由于资金投入量少且分散在各领域,治理规模与实际需要间的差距较大,治理进度缓慢。

## 2.3 成果巩固压力大

局部地区气候极为复杂,旱涝、冰冻灾害频发,且首次投入标准低,加之后续资金补充困难,一些地方存在治而不管的现象,治理成效不高,加大了石漠化耕地治理成果巩固难度。

## 2.4 管理体制不顺

国家和省、州市石漠化综合治理领导小组办公室设在发展改革部门。云南省昭通、曲靖市等一些综合治理重点县发展改革部门将工程建设项目、资金直接下到乡镇政府组织实施,仅把县级林草、水利、农业等职能部门列为技术支撑单位,未充分发挥县级有关职能部门的作用,加之县级林草、农业等职能部门缺少工作经费,工程管理不到位,影响了建设成效。

## 2.5 地方配套资金筹措困难

近年来,由于地方财政紧张,生态保护与修复只能依靠中央资金,配套资金比例逐步减少,地方配套资金比例逐年增大,地方政府财政压力大,配套资金不到位,导致项目实施过程中作业设计、监理、管理及相关经费开支困难,影响项目建设进度。

# 3 石漠化耕地治理策略

## 3.1 遵循水土保持原则,因地制宜

要坚持以水土流失综合治理为核心,以提高水土资源的永续利用率为目的,将石漠化治理与退耕还林还草、水土保持、人畜饮水、乡村振兴等生态工程有机地结合起来加以综合防治。

## 3.2 改善农业条件

通过坡耕地综合整治,加强水利水保设施建设,

改造中低产田(地),提高农田保水保土保肥能力和综合生产能力。

## 3.2.1 坡耕地综合整治

统筹利用水土资源,针对人多地少矛盾突出的村寨周边,选择近村、近路、近水、坡度平缓、土壤较厚、水土资源相对均衡、石漠化程度较轻的地块实施以坡改梯为重点的坡耕地综合整治,提高耕地生产能力。

## 3.2.2 小型水利水保设施建设

针对地表水漏失严重、蓄水条件差、灌溉水资源难以保证的中低产耕地以及经果林,依法依规合理配套建设引水渠、排涝渠、拦沙谷坊坝、沉沙池、蓄水池等小型水利水保设施,拦截水土,提高水资源供给能力,改善农业生产条件。实施保护性耕作,以石坎坡改梯为主,辅之以配水、配路,减少水土流失,增加土被覆盖率,提高农业生产率;对于侵蚀严重的沟箐实施谷坊、拦砂坝,提高侵蚀基准面,减小重力侵蚀,把已流失的土壤尽量留在中上游;对于坡面较长的石漠化山坡实施横向截排水沟,人为减小坡长,减小汇流面积,降低雨水水流对地表土壤的携带能力,减少水土流失损失。

## 3.3 大力发展林禽林下经济模式

林下经济是推动森林与人类和谐发展的重要途径。以土地资源为依托,充分利用林下生态空间养殖一定数量的家禽,使林牧业优势互补,林禽模式作为林下经济的生产经营模式之一,能充分发挥土地资源空间资源优势。

根据不同区域的生态环境、石漠化状况及程度,合理确定最适宜的养殖及畜牧强度(生态承载力),林禽养殖可以很好地实现林地生产的自我循环、资源共享,有效改善生态环境的目标。科学统筹规划,结合区域自然资源,因地制宜地发展林下经济。将林下经济发展与农业结构调整以及畜牧业发展有机结合。在考虑市场发展的基础上,根据实际情况,适宜种植则种植,适宜养殖则养殖,做好中长期发展规划,通过多元化的方式促进林下经济发展。在政府以及行业协会的引导下,发展“基地+农户”的产业模式,有效带动周边地区林下经济发展,实现规模化发展。

## 3.4 持续推进石漠化综合治理工程

推广“西畴三光模式”“蒙自西北勒模式”等成功治理模式。探索不同地区、不同类型石漠化防治政策机制、技术模式、产业发展和管理体制,继续打

造石漠化综合治理示范区,推广治理技术和治理模式。因地制宜地发展特色产业,引导石漠化地区群众大力种植核桃、油橄榄、澳洲坚果、苹果等特色经济林。木本油料产业已成为部分山区群众发展致富的“绿色银行”,积极发展林下种养业、生态旅游业,有效推进项目区农业产业结构调整,持续推动后续产业发展,着力促进生态价值向经济价值转换,增加项目区百姓收入,最大限度地让群众得到实惠。

通过实施砌引水渠、沟道整治、开设田间道路等系统工程,改善农业基础设施,使岩溶地区“山、水、林、田、湖、草、沙”得以系统治理,对促进当地经济发展、改善人民生活,维护社会稳定具有重要作用。通过工程实施,促进粮食增产,农民增收,推动产业结构调整,使当地优势产业得以发展,有效改善农民生存环境和生产生活条件,有效提高干部群众的生态环境保护意识,对营造良好的生态环境、投资环境、发展环境,推动乡村振兴起到有效的促进作用,实现项目区生态环境和经济的可持续发展,维护社会的和谐稳定。

### 3.5 保护和改良基本农田

优化种植结构,发展高原特色生态农业,重点发展生态种植业,实施保护性耕作,推行无公害、绿色种植,坚持产业生态引领,在生态保护中提升农产品质量。大力开展农产品产地污染防治,加强对农产品产地周边污染源监管。强化农业投入品管理,健全化肥、农药销售登记备案制度,禁止将有毒、有害废物用于肥料或造田。推广绿色植保技术,科学合理使用高效、低毒、低残留农药和先进施药机械,建立多元化、社会化病虫害防治专业服务组织,大力推进专业化统防统治。保护梯田赖以生存的生态环境,对梯田区域内的现有植被和自然生态系统严加保护,划定区域森林面积最低“红线”,只增不减;加强对河道、沟渠、坝塘等水利设施的保护,保持梯田的自然灌溉体系、灌溉形式。保护好有价值 and 意义的少数民族地区梯田等传统耕作方式,使传统耕作技术得以传承和发扬,使梯田生生不息,可持续发展。

### 3.6 节约集约用地,严把耕地红线关,在保数量的基础上提质量

强化耕地数量、质量、生态“三位一体”,促进节约集约用地,守护好耕地红线。在保数量的基础上提质量,通过土地平整、土壤改良、建设水利设施、农田输配电建设等手段综合施策,通过建设高标准农

田赋予土地更丰盈、更持续的生命力。

### 3.7 降低石漠化区域耕地承载压力,遏制耕地石漠化发生

石漠化地区生态环境恶化,直接威胁着人类的生产生活,政府应通过推进新型农村城镇化建设,提高城镇化率。调整项目区农业产业结构,使项目区更多的劳动力从事第三产业,增加农民经济收入,促进农村经济发展。积极引导、有组织地输送农村剩余劳力到大城市和沿海发达地区务工,减轻石漠化区域耕地承载压力,遏制区域石漠化耕地发生。

## 4 结 语

党中央、国务院高度重视耕地保护工作,习近平总书记多次作出重要指示批示,强调耕地保护是关乎 14 亿人吃饭的大事,容不得半点闪失。各级政府要深刻认识严格耕地保护的极端重要性,切实把思想和行动统一到党中央、国务院决策部署上来,认真履职尽责,采取有效措施,强化监督管理,坚守耕地红线,持续有力推进石漠化耕地的综合治理。

云南省委、省政府高度重视石漠化土地的综合治理,把石漠化综合治理作为构建西南生态安全屏障的重大措施,争当全国生态建设排头兵,相关部门合力推进,社会各界共同参与,强有力地推进云南省石漠化土地的综合治理。

## 参考文献:

- [1] 吴宁,李世成,任晓东,等. 云南石漠化[M]. 北京:中国林业出版社,2020.
- [2] 云南省林业和草原局. 云南省岩溶地区第四次石漠化调查报告[R]. 2022.
- [3] 云南省林业厅. 云南省岩溶地区非重点县石漠化监测报告[R]. 2015.
- [4] 云南省林业和草原局. 云南省(岩溶地区)石漠化状况公报[R]. 2023.
- [5] 李乡旺,陆素娟,王妍. 云南省石漠化综合治理区域划分[M]. 北京:科学出版社,2018.
- [6] 赖兴会. 云南石漠化土地的分区及其绿化造林树(草)种选择[J]. 林业调查规划,2002,27(S):109-111.
- [7] 温庆忠,肖丰,罗亚妮. 气候因素对云南石漠化治理的影响与对策[J]. 林业调查规划,2014,39(5):61-64.
- [8] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 高标准农田建设通则(GB/T 30600—2022)[S]. 2022.

责任编辑:许易琦



doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.015

## 基于最小累计阻力模型的卢氏县土地生态适宜性评价

赵润哲, 苏维, 李彦克

(河南科技大学 园艺与植物保护学院, 河南 洛阳 471000)

**摘要:**按用途可将城市土地景观划分为生态用地和建设用地两部分,这两部分用地扩张可以看作是此消彼长的动态过程。采用 ArcGIS 软件模拟土地扩张运动,构建以两个过程最小累计阻力差值模型为基础的城市土地适宜性评价机制。以河南省三门峡市卢氏县为例,选取建设用地和生态用地作为土地扩张源,分别从土地固有生态属性因子、外延生态属性因子两个因子,8 个方面建立阻力评价体系。评价结果表明,适宜生态保护用地扩张面积为 932.14 km<sup>2</sup>,占县域面积的 23.28%;适宜建设用地扩张面积为 3 071.87 km<sup>2</sup>,占县域面积的 76.72%。运用最小累计阻力差值模型将卢氏县划分为生态开发不困难、一般困难、较困难、困难 4 个区域,各区域面积分别为 176.18、755.96、811.61、2 260.26 km<sup>2</sup>,分别占县域面积的 4.40%、18.88%、20.27%、56.45%。适于建设用地开发的难易程度分区与适宜生态保护用地相反。

**关键词:**生态适宜性;最小累计阻力模型;生态扩张用地;建设扩张用地

中图分类号:S718.557;Q142.9;S711 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0090-07

引文格式:赵润哲,苏维,李彦克.基于最小累计阻力模型的卢氏县土地生态适宜性评价[J].林业调查规划,2024,49(2):90-96. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.015

ZHAO Runzhe, SU Wei, LI Yanke. Evaluation of Land Ecological Suitability in Lushi County Based on Minimum Cumulative Resistance Model[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 90-96. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.015

## Evaluation of Land Ecological Suitability in Lushi County Based on Minimum Cumulative Resistance Model

ZHAO Runzhe, SU Wei, LI Yanke

(College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China)

**Abstract:** The urban land landscape can be divided into two parts of ecological land and construction land. The expansion of these two parts can be regarded as a dynamic process. ArcGIS software was used to simulate the land expansion movement, and the urban land suitability evaluation mechanism based on the minimum cumulative resistance difference model of the two processes was constructed. The case of Lushi County, Sanmenxia City, Henan Province was studied. The construction land and ecological land were selected as the source of land expansion, and the resistance factor system was established from eight aspects of land inherent ecological attribute factor and extension ecological attribute factor. The evaluation results showed that the expansion area of suitable ecological protection land was 932.14 km<sup>2</sup>, accounting for 23.28%; the expansion area of suitable construction land was 3 071.87 km<sup>2</sup>, accounting for 76.72%.

收稿日期:2022-09-28.

基金项目:河南科技大学博士启动资金(13480061).

第一作者:赵润哲(1997-),男,河南禹州人,硕士研究生.研究方向为风景园林规划与设计.

责任作者:苏维(1979-),男,陕西汉中人,讲师.研究方向为风景园林设计、城市园林生态功能.

The minimum cumulative resistance difference mode divided Lushi County into four areas of not difficult, generally difficult, relatively difficult, and difficult for ecological development, with the areas of 176.18, 755.96, 811.61, and 2 260.26 km<sup>2</sup>, accounting for 4.40%, 18.88%, 20.27% and 56.45% of the county area, respectively. The difficulty level zoning suitable for construction land development was opposite to that suitable for ecological protection land.

**Key words:** ecological suitability; minimum cumulative resistance model; ecological expansion land; construction expansion land

黄河流域生态保护一直以来都是学者们研究的重点,如何在生态保护的基础上实现高质量发展,是近些年来热点话题。2019年,黄河流域生态保护和区域高质量发展议题正式成为重大国家战略<sup>[1]</sup>,依托于该战略的实施,将有效转变区域发展不均衡和以牺牲生态环境为代价的发展模式,进一步推动区域协调发展新格局的形成。

洛河是黄河的重要支流,也是卢氏县水文资源的重要组成部分,黄河流域生态保护和区域高质量发展战略的实施对卢氏县高质量发展和生态保护将产生重大影响。土地利用作为生态保护和建设发展最基本的一环,对其进行合理规划,维系人类与自然之间供给与索取的平衡关系,意义重大。随着城市化进程的不断推进,现阶段的生态用地被蚕食,如果这种态势一直延续下去,大量的生态用地将面临消失,而生态用地作为森林、河流、农田等的载体,其面积的减少将对城市的可持续发展产生不利影响。优化土地配置,协调建设与发展之间的关系成为当下研究热点。近年来,ArcGIS软件在国土空间优化方面得到广泛应用,同时为土地适宜性评价提供了新思路。贺丹等<sup>[2]</sup>利用ArcGIS软件构建生态阻力面模型,研究了三亚市景观格局。贺莹等<sup>[3]</sup>基于GIS提取榆中县生态廊道和生态缓冲区,对县域空间结构进行优化分析。王权等<sup>[4]</sup>通过ArcGIS软件结合景观生态安全指数,对槽谷区景观格局演变展开研究,提出环境友好型土地利用组合模式。

基于ArcGIS平台,国土空间分析方法可归纳为地图叠加法和逻辑规则组合法两种。地图叠加法是一种将多种单因素地图经历重叠、加权叠加和生态因子组合3个阶段融合成为综合因素的一种方法。如匡丽花等<sup>[5]</sup>通过地形、景观类型、土壤、坡度、交通、生态保护区等几个要素的加权叠加对鄱阳县进行了城市土地适宜性评价。崔勇等<sup>[6]</sup>通过ArcGIS软件的空间分析技术将各评价指标进行空间叠加,得到北京市怀柔区基本农田建设适宜评价等级。陈汉松等<sup>[7]</sup>以坡度、海拔、气温、土壤、灌溉条件、交通

条件为参评因子对福州市晋安区土地资源进行评价。逻辑规则组合法的运用,避免了地图叠加法评价指标权重难以确定的问题,该方法通过研究影响因子之间的关系,运用逻辑准则来建立适宜性分析模型,并以此判别土地生态适宜性。如刘毅等<sup>[8]</sup>根据生态保护原则和土地开发适宜度,将城市生态主要功能区划为禁止、限制、优化和重点开发区。

本文以卢氏县为例,基于ArcGIS软件模拟土地景观运动过程,运用地图叠加法综合考虑各阻力因子运动,通过对土地生态价值和社会经济价值的逻辑规则组合来判断阻力因子之间的内在联系,进一步构建卢氏县土地利用最小累计阻力模型,开展土地适宜性评价,为进一步深入研究城市土地生态适宜性提供思路。

## 1 研究区概况

卢氏县位于河南省三门峡市西南方,地理坐标为33°33′~34°23′N、110°35′~111°22′E,西南与陕西省的洛南、丹凤、商南三县接壤,县城距三门峡市135 km,县境东西宽约72 km,南北长约92 km,总面积4 004 km<sup>2</sup>。西汉武帝元鼎四年(公元前113年)建县,是全国重点生态功能保护区,是河南省人口密度最小、平均海拔最高的省级生态县。

## 2 研究方法

### 2.1 最小累计阻力模型概述

1992年,最小累计阻力模型由knaapen提出<sup>[9]</sup>,主要用来研究生物扩张过程中所遭受的阻力大小,国内俞孔坚等<sup>[10]</sup>通过对生态安全格局的研究,综合考虑源、距离和景观界面特征3方面,将最小阻力模型修改为下式:

$$MCR = f \min \sum_{j=n}^{i=m} D_{ij} \times R_i \quad (1)$$

式中:MCR为最小累积阻力值; $D_{ij}$ 为物种从“源” $j$ 到景观单元 $i$ 的空间距离; $R_i$ 为异质景观单元 $i$ 对物

种迁徙运动的阻力系数;  $\Sigma$  为物种从“源” $j$  在阻力因子影响下运动到景观单元  $i$  所穿越的所有单元距离的累积;  $F$  为任一点的最小累计阻力与其到达“源”地的总间距和土壤景观固有特征之间的正相关函数,  $\min$  为评价单元对不同的“源”的累积阻力取最小值。

最小累计阻力模型较多运用于生物迁移扩散方面的研究, 基于景观单元的异质性和生物迁移的影响不同, 生物在异质景观运动过程中所遭受到的阻力不是简单的叠加, 最小累计阻力模型反映的是累计综合阻力的大小。将该模型引入到土地生态适宜性评价研究, 目的是模拟土壤水平运动过程中, 从所选中的“源”地经运动后到达目的单位的过程中要克服的阻碍。一般来说, “源”地的阻碍可以忽略不计, 通过对比“源”地到达任一单位所克服的阻力大小来反映两地之间的连通性, 进而确定土地在扩张运动中对异质土地景观单元的生态适宜程度。

### 2.2 模型假设与理论分析

将卢氏县土地用途划分为两大类, 适合生态扩张用地和适合城乡建设扩张用地。自然保护区、湿地、森林公园等作为城市重点保护区域, 具有十分重要的生态价值, 因此将此类用地作为生态扩张用地, 城市和乡村建设用地是人口密度最大区域, 人类活动对土地利用产生最直接、最主要的影响, 因此将此类用地作为建设扩张用地。

生态用地的扩张受阻力因子的约束, 反之, 建设用地的扩张受阻力因子的刺激和推进, 同一土地上的不同阻力因子对不同的扩张过程起着约束或刺激的反作用。由于阻力因子的异质性, 土地在水平运动过程中所要克服的阻力不一<sup>[11]</sup>。

生态效益实现的根本在于要保证生态用地面积, 同理, 社会效益的实现要以城镇建设用地为基础, 这两类用地面积是此消彼长的互补关系, 联系密切。

### 2.3 参数选择

#### 2.3.1 数据源

以卢氏县林业局提供的 2019 年数据为研究基础, 包括“林地一张图”数据库、国土三调数据以及重点保护区域等矢量数据, 地理空间数据云网站获取的 DEM 数据(1:30 000)。

#### 2.3.2 过程源的确定

源是能够促进生态过程发展的要素, 文中主要涉及生态源和建设源。

生态源为生物多样性丰富且具有较高生态价值的区域, 对于卢氏县主要指塔子山省级森林自然公

园、洛河省级湿地公园、玉皇山省级地质公园、大鲵自然保护区、玉皇山国家森林公园等。

建设源是适宜建设用地扩张的源地, 该源地应是城市人口密度最大区域, 卢氏县建设源主要是城市中心和聚集村落, 包括建制镇和村庄用地。

#### 2.3.3 阻力面的确定

为使生态源和建设源在景观水平运动过程中达到同一标准, 应统一其阻力评价体系。适宜生态用地扩张的区域一定不适合建设用地扩张, 两种用地的扩张所受到的阻碍是相反的。本文从固有生态属性因子(高程、景观类型、土壤类型、坡度)和外延生态属性因子(距国道、省道、高速、城镇距离, 生态保护区)2 个因子 8 个方面建立阻力评价体系。在评价单元因子阻力时, 根据阻力能力大小将阻力划分为 5 个等级(以 1、2、3、4、5 表示), 8 个阻力因素方面的权重邀请专家评分赋值, 结合层次分析法确定(表 1)。

表 1 阻力因子权重

Tab. 1 Resistance factor weight

阻力因子	权重	阻力因子	权重
高程	0.1239	距国道距离	0.0601
景观类型	0.0649	距省道距离	0.0794
土壤类型	0.0375	距城镇距离	0.2670
坡度	0.1423	生态保护区	0.2250

生态属性因子及生态保护用地扩张阻力赋值见表 2。

在阻力因子赋值方面, 黄大全等<sup>[12]</sup>认为高速公路两侧 30~50 m 的缓冲区对建筑有较大限制, 在缺乏出口的地方, 土地开发价值低; 同理, 距离城市中心越近, 人类活动越密集, 其发展区位条件越好。因此将高速公路两侧 30 m 内的缓冲区阻力值设定为 5(不适宜建设用地扩张), 30~50 m 的缓冲区阻力值设定为 4。

卢氏县生态源地向四周扩张时会受到不同阻力因子的影响, 根据卢氏县高程、土地利用类型、主要道路、生态保护区等矢量数据, 利用 ArcGIS 10.7 软件计算其影响程度和范围(图 1), 建设用地扩张时各阻力因子赋值和分级图与之相反。

### 2.4 模型理论分析

生态源、建设源地在不同阻力因子的阻碍下运动, 其运动阻力大小的确定通过 ArcGIS 10.7 中的成本距离功能实现, 计算两个过程在扩张运动中的



表 2 最小累计阻力模型生态属性因子及阻力赋值

Tab. 2 Ecological attribute factors and resistance assignment of minimum cumulative resistance model

一级指标	二级指标	生态保护用地扩张阻力值				
		1	2	3	4	5
固有生态属性因子	高程/m	484~800	≥800~1100	≥1100~1400	≥1400~1700	≥1700~2050
	景观类型	乔木林、灌木林、水域、疏林地	宜林地、未成林地、毁林开荒地、竹林、耕地	无立木林地、林业辅助生产用地、牧草地、苗圃地	宜林沙荒地、宜林荒山荒地、未利用地、火烧迹地、采伐迹地	建设用地
	土地类型	潮土	黄棕壤、棕壤	黄褐土、褐土	—	—
	坡度/(°)	0~8	≥8~15	≥15~25	≥25~35	≥35
外延生态属性因子	距国道距离/km	≥12	≥8~12	≥4~8	≥2~4	0~2
	距高速距离/km	0~0.03, ≥10	>0.03~0.05, ≥5~10	≥2~5	≥1~2	0.05~1
	距城镇距离/km	≥20	≥15~20	≥10~15	≥5~10	0~5
	生态保护区	自然与文化遗产保护区、风景旅游区、湿地保护区	基本农田保护区	—	—	其他区域

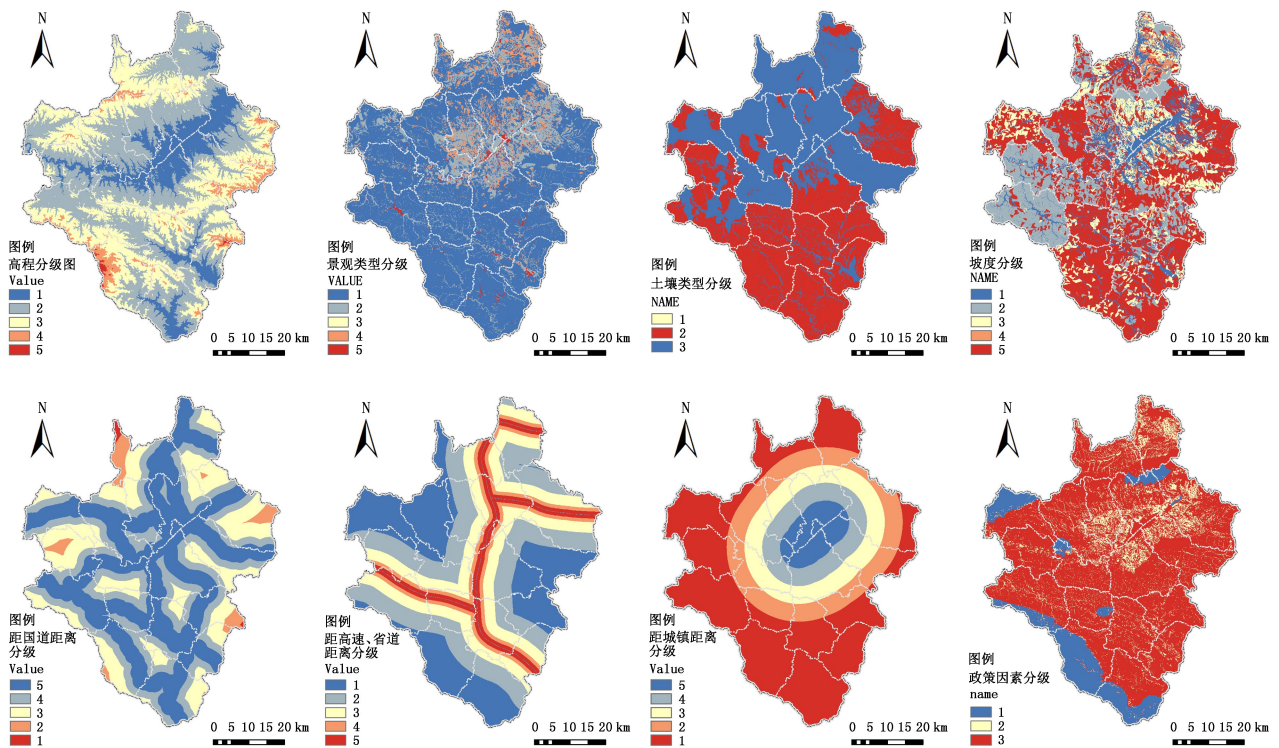


图 1 卢氏县各阻力因子生态保护用地扩张空间分布及分级

Fig. 1 Spatial distribution and classification of ecological protection land expansion of each resistance factor in Lushi County

阻力面,结合各阻力因子阻碍程度的不同权重,得出源地扩张最小累计阻力面。生态保护用地扩张最小累计阻力面以  $MCR_{生态用地}$  表示,建设用地扩张最小累计阻力面以  $MCR_{建设用地}$  表示。根据上述分析方法,利用优化后的最小累计阻力模型公式构建城市土地生态适宜性,公式为:

$$MCR_{差值} = MCR_{生态用地} - MCR_{建设用地} \quad (2)$$

对于县域中的某块区域,当生态用地最小累计阻力面值大于建设用地最小累计阻力面值时,即公式大于 0 时,应被划分为适宜生态用地扩张用地,当公式小于 0 时,则应划分为适宜建设用地扩张用地,当二者相等时,即公式等于 0 时,为两种不同用地性质的分界线<sup>[13]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 最小累计阻力表面的计算

利用 ArcGIS 10.7 的成本距离功能,结合确定

的卢氏县生态源、建设源矢量图和阻力因子数据,模拟源地扩张过程,计算最小累计阻力表面。卢氏县生态保护用地扩张最小累计阻力面如图 2(卢氏县建设用地扩张最小累计阻力面的计算与其一致)。

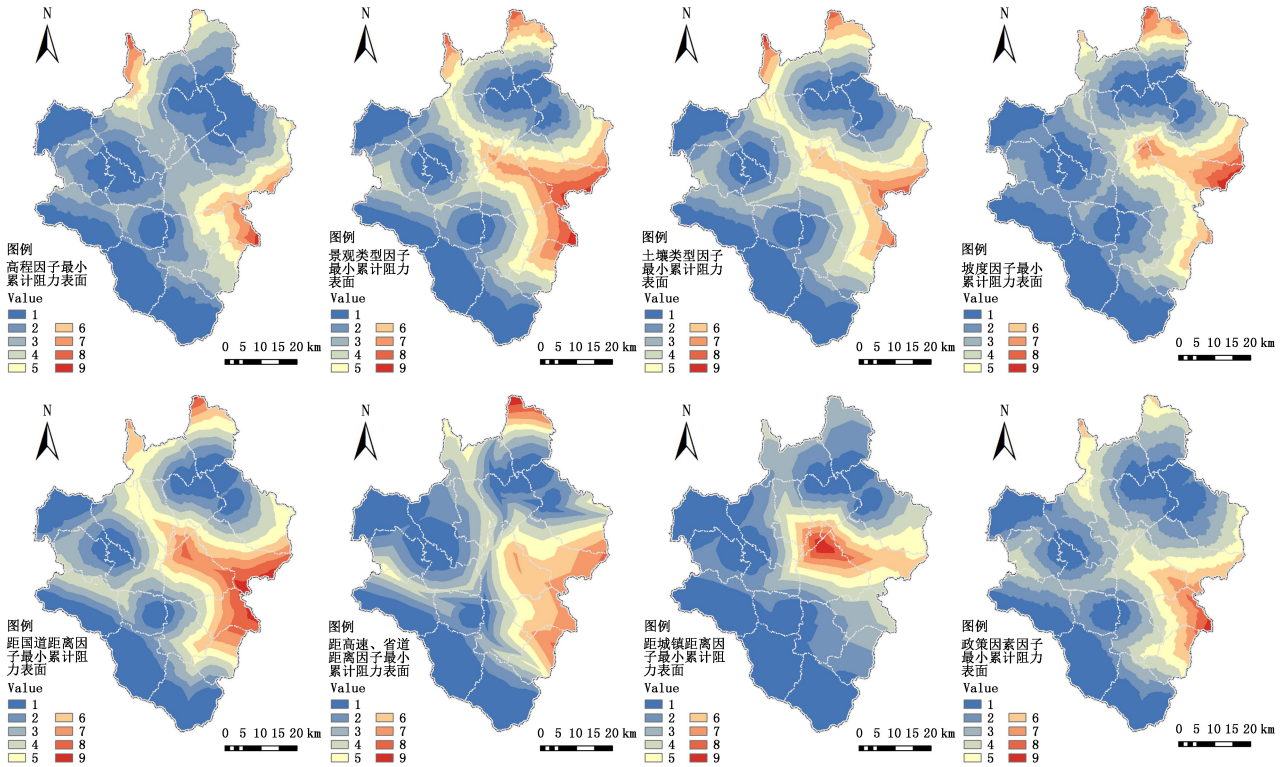


图 2 卢氏县生态保护用地扩张空间分布及分级

Fig. 2 Spatial distribution and classification of ecological protection land expansion in Lushi County

根据 ArcGIS 10.7 栅格计算器,将各阻力面通过表 1 的阻力因子权重进行赋值计算,求得两个过程的阻力面如图 3,图 4 所示,即  $MCR_{生态用地}$ 、 $MCR_{建设用地}$ 。

最小累计阻力差值表面通过定义的最小累计阻力模型差值公式计算,计算结果如图 5。

#### 3.2 分区参考点的确定

最小累计阻力差值表面不同的阻力值点对应不同的栅格数目,将此对应关系通过 ArcGIS 10.7 数据统计功能做成折线图(图 6),阻力值大于 0 部分,表示该区域适宜建设用地扩张,同样的,阻力值小于 0 的部分,适宜生态用地扩张。

从图 6 可以看出,在 A 点( $MCR$  差值=-12 375. 83)和 B 点( $MCR$  差值=8 103. 68)两点前后折线斜率发生突变,说明这两点两侧的差异较大,应确定为分区参考点。

卢氏县土地生态用地和建设用地开发难易程度分区区间详见表 3。

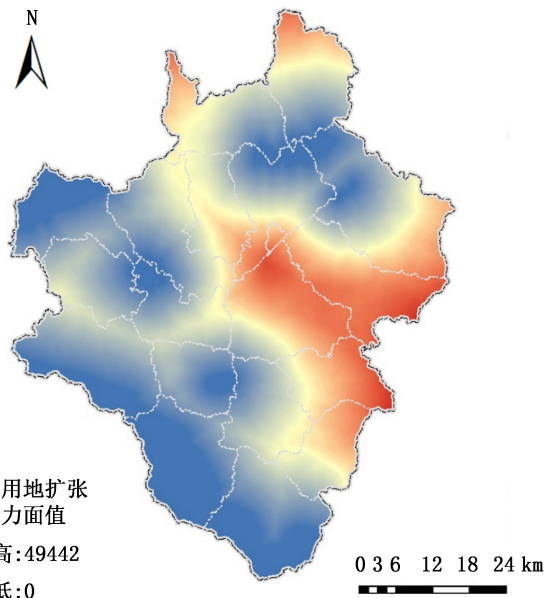


图 3 生态源扩张最小累计阻力表面

Fig. 3 Ecological source expansion minimum cumulative resistance surface

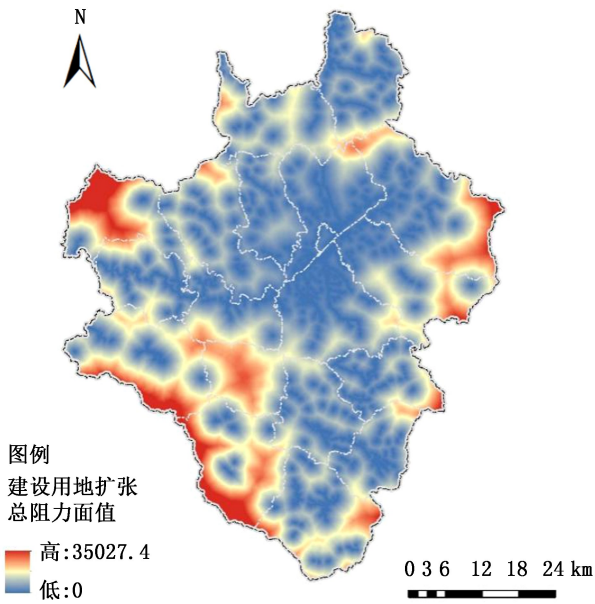


图 4 建设源扩张最小累计阻力表面

Fig. 4 Construction source expansion minimum cumulative resistance surface

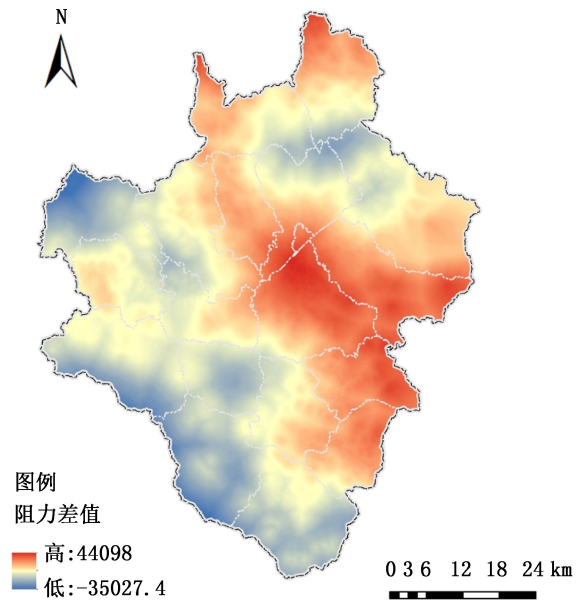


图 5 最小累计阻力差值表面

Fig. 5 Minimum cumulative resistance difference surface

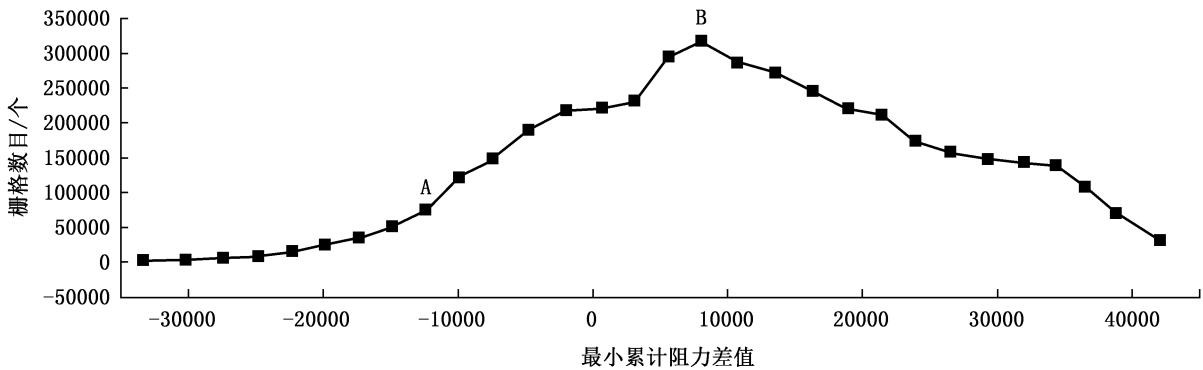


图 6 最小累计阻力差值各阻力值点与栅格数目关系

Fig. 6 Relationship between grid number and resistance value points of minimum cumulative resistance difference

表 3 卢氏县土地开发适宜性分区断点区间

Tab. 3 Breakpoint interval of land development suitability zoning in Lushi County

项目	开发难易程度		阻力值断点区间
	生态用地	建设用地	
适宜生态保护用地扩张	不困难	困难	[-35027.40, -12375.83]
	一般困难	较困难	[-12375.83, 0]
适宜建设用地扩张	较困难	一般困难	[0, 8103.68]
	困难	不困难	[8103.68, 44098.0]

### 3.3 生态适宜性分区结果

利用 ArcGIS 10.7 软件中的重分类功能, 以上述

确定的断点为基础, 对最小累计阻力差值表面重新分区, 得到卢氏县土地开发适宜性分区结果(图 7)。

适宜生态保护用地扩张面积为 932.14 km<sup>2</sup>, 主要位于县域的西南方向和东北方向, 这里是卢氏县旅游资源和林业资源占据的主要区域, 占县域面积的 23.28%; 适宜建设用地扩张面积为 3 071.87 km<sup>2</sup>, 主要位于卢氏县中部区域, 由中心城区向外辐射, 占县域面积的 76.72%。对生态用地的开发, 开发难易程度由不困难至困难分为 4 个等级, 面积分别为 176.18、755.96、811.61、2 260.26 km<sup>2</sup>, 分别占县域面积的 4.40%、18.88%、20.27%、56.45%。适宜建设用地开发的难易程度分区与适宜生态保护用地相反。



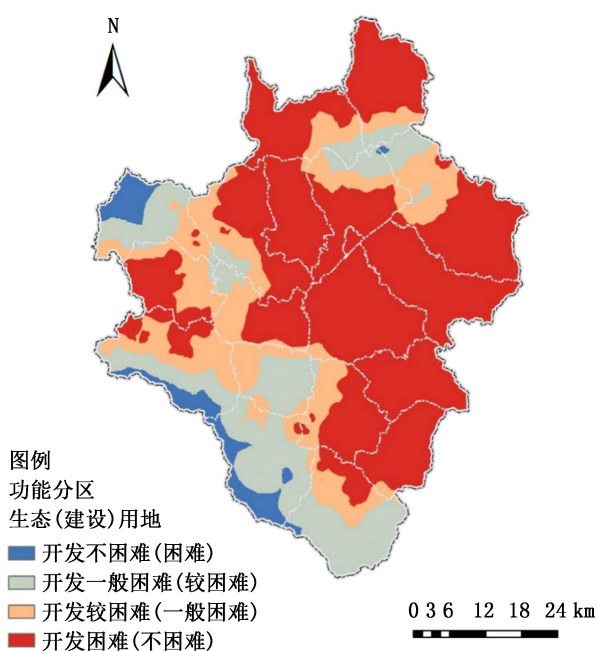


图 7 卢氏县生态用地(建设用地)开发难易程度分区

Fig. 7 Zoning of ecological land (construction land) development difficulty in Lushi County

#### 4 结论与讨论

1) 城市规划过程中,以景观过程模型为基础的生态适宜性评价,在分析城市景观生态过程和景观布局关系等方面日益受到人们重视。本文选取卢氏县生态保护用地和建设用地两个土地扩张源地,综合考虑阻力因子的影响,利用 ArcGIS 10.7 软件构建卢氏县源地扩张最小累积阻力模型,进一步利用最小累积阻力差值表面进行适宜性分区,明确了卢氏县土地适宜性评价流程,进一步丰富了生态适宜性评价研究工作。

2) 从卢氏县的分区结果可以看出,适合生态保护用地扩张的面积占县域面积的 23.28%,主要位于卢氏县西南方及东北方,以自然生态保护区为圆心向四周扩散,形成包围卢氏县主要城区的绿色屏障,与县城旅游规划的一个主中心(卢氏县城)、两个副中心(位于东北部的管道口副中心和位于南部的关川副中心)的现规划目标一致。此外,与国内一些较著名的宜居城市相比,卢氏县生态建设扩张用地偏少,这是由于县域生态用地分布不均、体量较小而导致生态用地扩张潜力不足所致。

3) 最小累积阻力差值法除了阻力因子赋权重需要人为确定,其他步骤均通过 ArcGIS 10.7 计算

完成,相较具有较强人为主观因素的规则组合法和地图叠加法,最小累积阻力差值法更好地保证了评价结果的客观性。研究表明,该土地适宜性评价方法切实可行,可为城市用地规划发展提供借鉴,但阻力影响因素的选择难免有遗漏,有些受限主观因素,且模型是建立在几个前提上完成的。模型的广泛应用还有待学者进一步探索。

#### 参考文献:

- [1] 金凤君. 黄河流域生态保护与高质量发展的协调推进策略[J]. 改革, 2019(11): 33-39.
- [2] 贺丹, 陈彩虹, 余济云, 等. 基于生态阻力面综合构建法的三亚市景观格局分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(6): 83-88.
- [3] 贺莹, 陈英, 谢保鹏, 等. 榆中县生态安全格局识别与优化[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(2): 211-220.
- [4] 王权, 唐芳, 李阳兵, 等. 岩溶地区景观格局演变及其生态安全的时空分异——以贵州省东北部槽谷为例[J]. 生态学报, 2021, 41(18): 7273-7291.
- [5] 匡丽花, 叶英聪, 赵小敏. 基于最小累积阻力模型的土地生态适宜性评价——以鄱阳县为例[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(4): 903-910.
- [6] 崔勇, 刘志伟. 基于 GIS 的北京市怀柔区高标准基本农田建设适宜性评价研究[J]. 中国土地科学, 2014, 28(9): 76-81, 94, 97.
- [7] 陈松林, 刘强, 余珊, 等. 福州市晋安区土地适宜性评价[J]. 地球信息科学, 2002(1): 61-65.
- [8] 刘毅, 李天威, 陈吉宁, 等. 生态适宜的城市发展空间分析方法与案例研究[J]. 中国环境科学, 2007(1): 34-38.
- [9] KAAAPEN J P, SCHEFFER M, HARMS B. Estimating habitat isolation in landscape planning[J]. Landscape and Urban Planning, 1992, 23(1): 1-16.
- [10] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报, 1999(1): 10-17.
- [11] 金妍, 车越, 杨凯. 基于最小累积阻力模型的江南水乡村河网分区保护研究[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(1): 8-14.
- [12] 黄大全, 张文新, 梁进社, 等. 三明市建设用地开发适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(S1): 202-207, 256.
- [13] 刘孝富, 舒俭民, 张林波. 最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用——以厦门为例[J]. 生态学报, 2010, 30(2): 421-428.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.016

## 基于 GIS 和 AHP 的洛阳市龙门风景名胜区生态敏感性评价

闫莹玉, 孙林林, 高健康, 卫红

(河南农业大学 风景园林与艺术学院, 河南 郑州 450000)

**摘要:**随着旅游业的快速发展以及风景区的无节制开发,风景区生态环境遭到严重威胁。以洛阳市龙门风景名胜区为例,选取 9 个生态敏感性因子,利用 GIS 法和 AHP 法,进行生态敏感性单因子等分析。结果表明,龙门风景名胜区整体生态敏感性中,不敏感区面积为 462.29 hm<sup>2</sup>,占比 14.58%;低敏感区面积为 921.23 hm<sup>2</sup>,占比 29.05%;中敏感区面积为 787.69 hm<sup>2</sup>,占比 24.84%;高敏感区面积为 635.74 hm<sup>2</sup>,占比 20.05%;极敏感区面积为 363.86 hm<sup>2</sup>,占比 11.48%,高敏感性和极敏感性区占比较高。通过量化分析,得出区域各因子对生态敏感性影响等级,并在生态敏感性评价的基础上,探讨风景名胜区可持续发展思路。

**关键词:**GIS; AHP; 龙门风景名胜区; 生态敏感性; 洛阳市

中图分类号:S718.557;S759.92;P208 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0097-06

引文格式:闫莹玉,孙林林,高健康,等.基于 GIS 和 AHP 的洛阳市龙门风景名胜区生态敏感性评价[J].林业调查规划,2024,49(2):97-102,197. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.016

YAN Yingyu, SUN Linlin, GAO Jiankang, et al. Ecological Sensitivity Evaluation of Longmen Scenic Area in Luoyang City Based on GIS and AHP[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 97-102, 197. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.016

### Ecological Sensitivity Evaluation of Longmen Scenic Area in Luoyang City Based on GIS and AHP

YAN Yingyu, SUN Linlin, GAO Jiankang, WEI Hong

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

**Abstract:** With the rapid development of tourism and the unrestrained development of scenic area, the ecological environment of scenic area has been seriously threatened. Longmen Scenic Area of Luoyang City was studied, and 9 ecological sensitivity factors were selected to carry out ecological sensitivity single factor analysis and the comprehensive analysis by using GIS and AHP method. The results showed that the area of insensitive area was 462.29 hm<sup>2</sup>, accounting for 14.58% of the overall ecological sensitivity; the area of low sensitive area was 921.23 hm<sup>2</sup>, accounting for 29.05%; the area of intermediate sensitive area was 787.69 hm<sup>2</sup>, accounting for 24.84%; the area of highly sensitive area was 635.74 hm<sup>2</sup>, accounting for 20.05%; the area of extremely sensitive area was 363.86 hm<sup>2</sup>, accounting for 11.48%, among which high sensitivity and extreme sensitivity accounted for more. The classification of regional ecological sensitivity was obtained by quantitative analysis, and the sustainable development ideas of scenic area were explored based on ecological sensitivity evaluation.

**Key words:** GIS; AHP; Longmen Scenic Area; ecological sensitivity assessment; Luoyang City

收稿日期:2022-10-24.

基金项目:河南沿黄流域文化景观高质量发展适应性研究(212400410023).

第一作者:闫莹玉(1995-),女,河南禹州人,硕士.研究方向为城乡规划学. Email:987864883@qq.com

责任作者:卫红(1972-),女,河南沁阳人,副教授.研究方向为城乡规划学. Email:614285065@qq.com

生态敏感性是指生态系统对人类活动和自然环境变化的敏感性反映程度,一般指区域生态环境问题发生的可能性以及恢复速度<sup>[1-7]</sup>。目前,国内外越来越关注生态敏感性的分析和研究,并取得了很大的进展。但是对于风景名胜区,尤其是人文景观丰富的风景名胜区生态敏感性研究较少。近年来,关于龙门风景名胜区的研究日益增多,陈少乐等<sup>[8]</sup>探究了龙门风景名胜区周边区域规划路径;张丹<sup>[9]</sup>研究了黄河文化在龙门风景名胜区景观设计中的应用;张有才等<sup>[10]</sup>基于生态发展理念研究了龙门山生态保护与利用规划,探讨了如何将生态低碳理念量化、法则化,最终落实到城市规划的编制中。之前的研究主要集中在路径规划、景观设计、生态规划等方面,主要使用传统方法,很少使用新型技术,如对于 GIS 的运用,缺少对龙门风景名胜区生态敏感性的综合分析。考虑到这一点,本研究中提出利用 GIS 空间分析技术综合分析龙门风景名胜区生态敏感性,明确风景名胜区生态环境敏感性等级与空间分布规律,为龙门风景名胜区的可持续发展提供科学依据。

## 1 研究区概况

龙门风景名胜区属于国家级风景名胜区,位于河南省洛阳市南部,距离市区 13 km,占地面积约 3 170.82 hm<sup>2</sup>。风景区内地形多样,植被茂盛,森林覆盖率高达 63%。龙门风景名胜区包括龙门山与

伊河河谷地带,该区域自然资源丰富,历史文化悠久,文化景观与自然景观融为一体,以石窟为特色,主要功能为保护世界文化遗产和观光旅游。近年来,随着旅游业的迅猛发展,龙门风景名胜区的旅游人数激增,生态环境问题日益突出,景区的环境承载力遭到破坏。因此,通过对风景区生态基础进行分析评价,为风景区生态环境保护规划提供科学、系统指导十分迫切。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据获取与处理

以龙门风景名胜区 30 m 数字高程数据 (DEM) 和 2021 年 2 月 25 日 Landat 8 遥感影像为基础数据,土地利用类型数据来自于 GlobleLand 30 全球地表覆盖数据。利用 ArcGIS 10.6 软件提取 DEM 数据中的水资源分布数据。利用 ENVI 对 RS 数据进行处理,得到植被 NDVI 相关数据。

### 2.2 评价因子选择及赋值

依据龙门风景名胜区的实际情况,选取 9 个指标层:高程、坡度、坡向、水体缓冲区、土地利用类型、道路交通、植被 NDVI、自然景观资源、人文景观资源,作为生态敏感性分析评价因子,建立关于龙门风景名胜区的生态敏感性评价指标体系。将这些单因子按照对生态敏感性产生影响的可能性大小,进行等级划分,具体为不敏感、低敏感、中敏感、高敏感、极敏感,并依次对应赋值 1、2、3、4、5 分(表 1)。

表 1 龙门风景名胜区单因子对生态敏感性影响等级标准

Tab. 1 Classification standard of single factor ecological sensitivity of Longmen Scenic Area

准则层	生态因子(指标层)	等级				
		不敏感	低敏感	中敏感	高敏感	极敏感
地形地貌	高程/m	<150	150~200	200~250	250~300	>300
	坡度/(°)	<15	15~30	30~45	45~60	60~90
	坡向	正南	东南、西南、平地	正东、正西	西北、东北	正北
自然条件	水体缓冲区/m	>500	200~500	100~200	50~100	<50
人类活动	土地利用类型	裸地	建设用地	耕地	草地、林地、灌木地	湿地、水体
	道路缓冲区/m	>500	200~500	100~200	50~100	<50
植被条件	植被 NDVI	<0.1	0.1~0.3	0.3~0.5	0.5~0.7	0.7~1.0
景观资源	自然景观资源/个	>500	200~500	100~200	50~100	<50
	人文景观资源/个	>500	200~500	100~200	50~100	<50



### 2.3 评价因子权重确定

采用 AHP 层次分析法构建指标体系,目标层为生态敏感性,指标层为 9 个生态敏感性因子,根据数

据资料、专家意见和作者经验,按 9 分制对各因子量化赋值,构建 9×9 的判断矩阵。根据矩阵计算得出各敏感性因子在生态敏感性中的权重(表 2)。

表 2 龙门风景名胜区单因子生态敏感性权重

Tab. 2 Weight of single factor ecological sensitivity of Longmen Scenic Area

因子	高程	坡度	坡向	水体缓冲区	土地利用类型	道路缓冲区	植被 NDVI	自然景观资源	人文景观资源	权重值
高程	1.0	0.250	0.5	2.000	0.500	0.200	0.250	0.5	0.5	1.0
坡度	4.0	1.000	2.0	3.000	2.000	0.200	0.500	3.0	2.0	4.0
坡向	2.0	0.500	1.0	0.500	0.250	0.167	0.333	2.0	2.0	2.0
水体缓冲区	0.5	0.333	2.0	1.000	0.750	0.200	0.250	3.0	2.0	0.5
土地利用类型	2.0	0.500	4.0	0.333	1.000	0.250	0.333	3.0	2.0	2.0
道路缓冲区	5.0	5.000	6.0	5.000	4.000	1.000	2.000	2.0	2.0	5.0
植被 NDVI	4.0	2.000	3.0	4.000	3.000	0.500	1.000	5.0	2.0	4.0
自然景观资源	2.0	0.333	0.5	0.333	0.333	0.500	0.200	1.0	0.5	2.0
人文景观资源	2.0	0.500	0.5	0.500	0.500	0.500	0.500	2.0	1.0	2.0

## 3 结果与分析

### 3.1 单因子生态敏感性分析

#### 3.1.1 高程

高程是影响龙门风景名胜区生态敏感性的重要影响因子,海拔高度对气温、降水和植被分布有极大影响,形成不同的生态环境。各单因子对生态敏感性影响等级不同,具体见表 3 和图 1。

结果表明,高程高的地方生态敏感性更强。不敏感区面积最大,为 1 177.27 hm<sup>2</sup>,占比 37.13%;极敏感区主要位于山顶区域,面积最小,为 31.62 hm<sup>2</sup>,占比 1.00%;低敏感区、中敏感区、高敏感区分别占比 24.68%、25.66%、11.53%(表 3)。景区内高程整体以不敏感性、低敏感性和中敏感性等级为主,说明大部分区域适合游客游览和休憩(图 1)。

表 3 龙门风景名胜区不同单因子生态敏感性影响等级面积及占比

Tab. 3 Summary of area and proportion of single factor ecological sensitivity classification in Longmen Scenic Area

生态因子	不敏感区		低敏感区		中敏感区		高敏感区		极敏感区	
	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%
高程	1177.27	37.13	782.59	24.68	813.69	25.66	356.64	11.53	31.62	1.00
坡度	242.27	7.64	698.84	22.04	948.05	29.90	1051.82	33.17	229.83	7.25
坡向	439.41	13.86	775.29	24.45	665.73	21.00	780.80	24.62	509.59	16.07
水体缓冲区	2447.50	77.19	358.76	11.31	121.65	3.84	59.14	1.87	183.77	5.80
土地利用类型	159.98	5.05	912.29	28.77	1470.83	46.39	421.86	13.30	205.87	6.49
道路缓冲区	176.97	5.58	610.96	19.27	618.40	19.50	648.35	20.45	1116.14	35.20
植被 NDVI	85.78	2.71	461.18	14.54	733.49	23.13	1568.72	49.47	321.66	10.14
自然景观资源	2807.83	88.55	294.23	9.28	48.86	1.54	15.06	0.47	4.84	0.15
人文景观资源	2090.36	65.92	800.39	25.24	166.12	5.24	74.50	2.35	39.45	1.24

#### 3.1.2 坡度

越陡峭的山体,生态环境越脆弱,就越容易引发各类自然灾害,从坡度可以知道一个区域的陡缓和平

缓情况。结果表明,坡度越陡,生态敏感性越高。其中,高敏感区面积最大,为 1 051.82 hm<sup>2</sup>,占比 33.17%;极敏感区面积最小,为 229.83 hm<sup>2</sup>,占比 7.25%;不

敏感区、低敏感区、中敏感区分别占比 7.64%、22.04%、29.09% (表 3)。龙门风景名胜区的坡度生

态敏感性整体以中敏感性、高敏感性等级为主,但要注意对极敏感区的保护,防止发生水体污染 (图 1)。

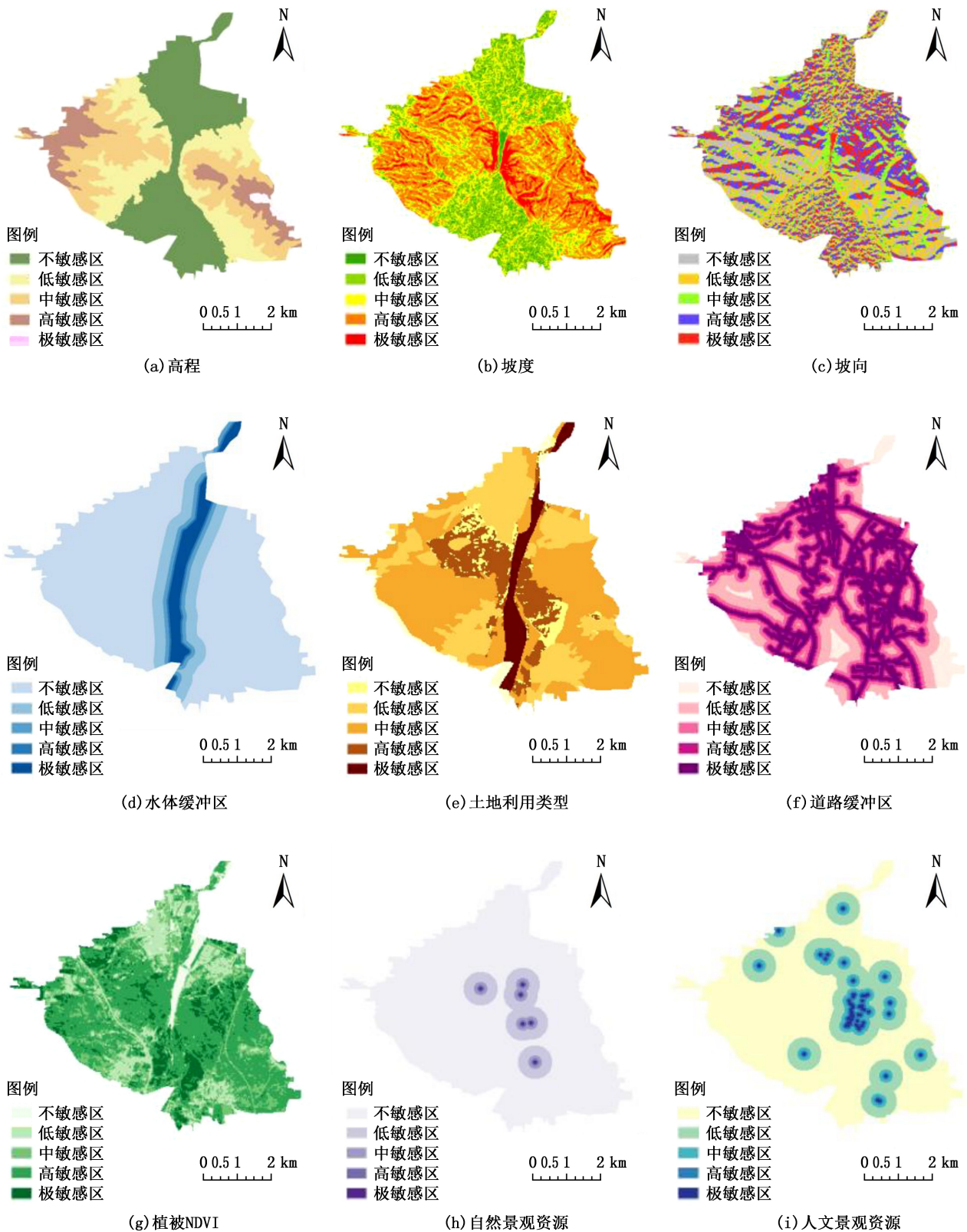


图 1 龙门风景名胜区不同单因子影响生态敏感性分析

Fig. 1 Analysis of single factor ecological sensitivity of Longmen Scenic Area

### 3.1.3 坡向

结果表明,低敏感区、高敏感区面积最大,分别为 775.29、780.80  $\text{hm}^2$ ,占比 24.45%、24.62%;不敏感区面积最小,为 439.41  $\text{hm}^2$ ,占比 13.86%;中敏感区、极敏感区分别占比 21.00%、16.07%(表 3)。龙门风景区坡向敏感性整体以低敏感性、高敏感性等级为主,东北、西北坡向生态低敏感区所占比例最大,有利于景区内的生态环境保护和资源开发。

### 3.1.4 水体缓冲区

景区动植物的生长非常依赖水体环境,根据景区内水体的流量、分布、流向等因素,将伊河水体缓冲区分为 5 个等级。越靠近水域,生态敏感性越高。其中不敏感区面积最大,为 2 447.50  $\text{hm}^2$ ,占比 77.19%;高敏感区面积最小,为 59.14  $\text{hm}^2$ ,占比 1.87%;低敏感区、中敏感区、极敏感区分别占比 11.31%、3.84%、5.80%(表 3)。不敏感区远大于极敏感区和高敏感区。龙门风景名胜区内需要建立生态缓冲区,加强环境保护,减少各类活动对水体的破坏(图 1)。

### 3.1.5 土地利用类型

根据土地利用现状,划分土地利用类型。结果表明,中敏感区面积最大,为 1 470.83  $\text{hm}^2$ ,占比 46.39%;不敏感区面积最小,为 159.98  $\text{hm}^2$ ,占比 5.05%;低敏感区、高敏感区、极敏感区分别占比 28.77%、13.30%、6.94%(表 3)。龙门风景名胜区的土地利用类型的生态敏感性整体以中敏感性等级为主,耕地所占面积最大。水体、植被的敏感性最高,未来需加强对此类用地的保护和规划,合理利用和开发各种土地利用类型,有利于实现景区的可持续发展(图 1)。

### 3.1.6 道路缓冲区

交通是风景区观光必不可少的基础设施,若交通污染十分严重,对景区的环境将造成极大的破坏。根据龙门风景区内的交通状况,划分道路缓冲区为 5 个等级。越靠近道路,生态敏感性越低,越易受到干扰。极敏感区所占面积最大,为 1 116.14  $\text{hm}^2$ ,占比 35.20%(表 3),应合理规划风景区内的参观游览路线,减少人类活动对生态的干扰,加强对环境的保护(图 1)。

### 3.1.7 植被 NDVI

根据收集的数据和调查可知龙门风景名胜区的植被覆盖率达 77%,植物种类十分丰富。结果表明,高敏感区面积为 1 568.72  $\text{hm}^2$ ,占比 49.47%,所

占比例最大;不敏感区占比最小,为 2.71%;低敏感、中敏感、极敏感区面积分别为 461.18、733.49、321.66  $\text{hm}^2$ ,占比 14.54%、23.13%、10.14%(表 3)。龙门风景名胜区的植被覆盖率较高,整体生态敏感性也较高(图 1)。

### 3.1.8 景观资源

景观资源分为自然景观资源和人文景观资源。基于 POI 数据,将景观资源敏感性划分为 5 个等级。离景点越近,生态敏感性越高。其中不敏感区面积最大,说明景区内自然、人文景观资源极度集中,主要分布在石窟、香山寺、白居易墓园等地。作为风景区的主要吸引点,景观资源是吸引游客前来参观、游览的重要因素,丰富的人文景观资源对于龙门风景区十分重要,要加强对现有景观资源的保护(图 1,表 3)。

## 3.2 生态敏感性综合分析

将 9 个单因子敏感性数据结果代入生态敏感性综合指数公式,得到龙门风景名胜区的生态敏感性综合评价结果,将综合评价值划分为 5 个区间:1.6~2.4、2.4~2.7、2.7~3.1、3.1~3.4、3.4~4.3,综合分析龙门风景区生态敏感性(图 2)。龙门风景区生态敏感性综合评价结果见表 4。

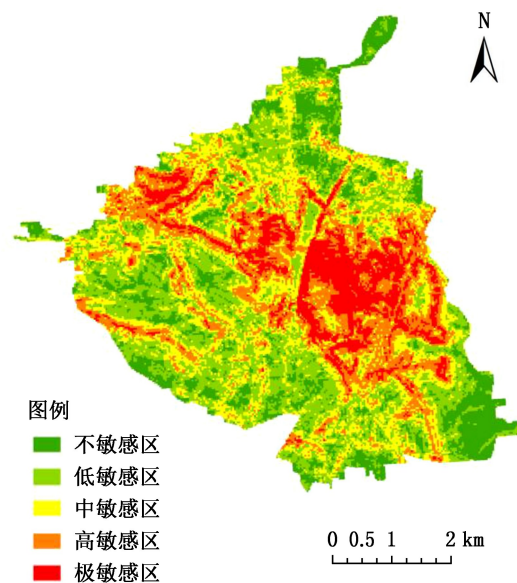


图 2 龙门风景区生态敏感性综合分析

Fig. 2 Comprehensive analysis of ecological sensitivity of Longmen Scenic Area

### 3.2.1 不敏感区

不敏感区面积为 462.29  $\text{hm}^2$ ,占比 14.58%,主



表 4 龙门风景名胜区生态敏感性综合评价结果  
Tab. 4 Comprehensive evaluation results of ecological sensitivity of Longmen Scenic Area

生态敏感性等级	综合评价值区间	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%
不敏感区	1.6~2.4	462.29	14.58
低敏感区	2.4~2.7	921.23	29.05
中敏感区	2.7~3.1	787.69	24.84
高敏感区	3.1~3.4	635.74	20.05
极敏感区	3.4~4.3	363.86	11.48

要分布在景区北部、西南部、东南部,地势平坦,以耕地和建设用地为主。这类区域生态敏感性低,抗外界干扰能力强,可进行开发建设。

### 3.2.2 低敏感区

低敏感区面积最大,为 921.23 hm<sup>2</sup>,占比 29.05%,主要分布在植被较多的地方,比较适合生活和耕作,该区域环境良好,具有一定抗干扰能力。

### 3.2.3 中敏感区

中敏感区面积为 787.69 hm<sup>2</sup>,占比 24.84%,主要分布在景区东部,主要坡向偏北,植被覆盖率较高,基本生态环境稳定。

### 3.2.4 高敏感区

高敏感区面积为 635.74 hm<sup>2</sup>,占比 20.05%,主要分布在景点附近,开发建设较多,景观资源较密集,生态敏感性高,生态环境易遭受破坏。

### 3.2.5 极敏感区

极敏感区面积为 363.86 hm<sup>2</sup>,占比 11.48%,主要分布在景点附近,这类区域生态环境极其脆弱,且龙门风景名胜区人流量极大、景观资源较为集中,生态环境极易受到人为活动的干扰。

## 4 龙门山风景名胜区生态保护对策

本研究全面细致地考虑了与龙门风景名胜区生态敏感性密切相关的因子,利用 GIS 等软件得到了关于生态敏感性的分布规律,有利于风景名胜区的进一步保护和开发。

### 4.1 不敏感区

龙门风景名胜区不敏感区主要分布在村庄所在位置,包括东、西草店村、郭寨村、龙门村等,这些地区人口密度较大,生态环境较差,景观资源极少,植被类型单一,生态敏感性低,抗干扰能力强,是景区内开发建设的主要位置。在规划中要遵守可持续发

展原则,注重环境保护、生态修复,可适度发展商业,为景点提供商业旅游服务,缓解景点压力。注重人口管控,考虑居住人口对风景区的影响,明确景区人口控制原则。

### 4.2 低敏感区

龙门风景名胜区低敏感区主要分布在村落外围,分布范围广,面积最大。这些地方植被较少,人口较少,生态环境较为稳定,对外界干扰的适应性较强,作为不敏感区和中敏感区的过渡地带,开发建设对此区域的影响较小。应对该区域生态环境进行统筹规划,调整产业发展结构,注重协调经济发展和环境保护,实现可持续发展。

### 4.3 中敏感区

龙门风景名胜区中敏感区主要位于高敏感区外围缓冲地带,坡度较高,分布有林业和种植业,此区域应尽量减少人类活动,并适当控制开发力度,减少生态破坏,并及时修复生态环境。

### 4.4 高敏感区

龙门风景名胜区高敏感区主要分布在景点周围区域,此区域高程较低,坡度较陡,景观资源较多,植被覆盖率较低,水体环境较好,对人类活动的抗干扰能力不强。此区域的规划应尽可能以保护和修复为重点,加强水土保持,维护生物多样性及该区域的生态完整。加强宣传和管理,提高游客在参观、游览时保护环境意识。

### 4.5 极敏感区

龙门风景名胜区极敏感区主要分布在景点区域,景点分布在伊河两岸,有较多的游客游览观赏,对景点和伊河影响极大。伊河作为水源保护地,禁止开发。此区域需要严格保护生态环境和资源,对游客数量进行严格控制,加宽游览路线与伊河、景点的距离,建立绿化隔离带,减少人类活动影响,既能满足游览观光的需求,也要保护水体环境。

## 5 结 论

植被、道路、坡度、景观资源是影响生态敏感性的主要因子;龙门风景名胜区整体生态敏感性以低敏感性、中敏感性区域为主,主要分布在景区及周边村落;通过对各敏感性进行量化分析,得到生态敏感性评价结果,为龙门风景名胜区未来的开发建设提供了科学依据;基于生态敏感性提出各敏感性区域的保护策略,有利于龙门风景名胜区实现可持续发展。(下转第 197 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.018

## 普文试验林场森林土壤养分状况研究

张传光<sup>1,3,4</sup>, 沈艳<sup>1,4</sup>, 龚纯伟<sup>2</sup>, 毕波<sup>1</sup>, 负新华<sup>1</sup>

(1. 云南省林业和草原科学院, 云南 昆明 650201; 2. 昆明理工大学津桥学院, 云南 昆明 650106;  
3. 国家林业局云南珍稀濒危森林植物保护和繁育重点实验室/云南省森林植物培育与开发利用重点实验室,  
云南 昆明 650201; 4. 云南滇中高原森林生态系统国家定位观测研究站, 云南 昆明 650201)

**摘要:** 为了解普文试验林场土壤养分状况, 通过土壤类型调查和基本理化性质测定, 采用修正的内梅罗综合指数法对土壤进行肥力评价。结果表明, 普文试验林场土壤为紫色砂岩上发育的赤红壤, 土壤 pH 值总体属于酸性水平且随土层加深酸性减弱。A 层 SOM 含量高, 随土层加深呈高—中—低明显变化。N 含量水平高, 随土层加深含量下降, 但仍能达到中等及以上水平。土壤 P 素十分缺乏, 区域内各土层 AP 大部分处于较缺乏水平, 少部分区域极度缺乏。土壤 K 素较丰富, 且随土层加深有升高趋势, 可被植物利用的 AK 仅少部分区域处于丰富水平, 大部分处于较缺水平。中量元素中 AS 基本与同区域农田土壤中含量处于同一水平, EMg 含量较低, ECa 十分缺乏。微量元素基本与同区域农田土壤中含量处于同一水平或略高。受生物富集过程影响, 土壤养分表现出较明显的“表聚性”, 大部分区域土壤肥力等级为中等肥沃, 少数为贫瘠水平, 土壤养分含量呈现出随海拔升高而下降的变化趋势。

**关键词:** 森林土壤; 土壤养分; 土壤肥力评价; 内梅罗综合指数法; 普文试验林场

中图分类号: S714.8 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0111-13

引文格式: 张传光, 沈艳, 龚纯伟, 等. 普文试验林场森林土壤养分状况研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 111-123.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.018

ZHANG Chuanguang, SHEN Yan, GONG Chunwei, et al. Nutrient Status of Forest Soil in Puwen Experimental Forest Farm[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 111-123. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.018

## Nutrient Status of Forest Soil in Puwen Experimental Forest Farm

ZHANG Chuanguang<sup>1,3,4</sup>, SHEN Yan<sup>1,4</sup>, GONG Chunwei<sup>2</sup>, BI Bo<sup>1</sup>, YUN Xinhua<sup>1</sup>

(1. Yunnan Academy of Forestry and Grassland, Kunming 650201, China; 2. Kunming University of Science and Technology Oxbridge College, Kunming 650106, China; 3. Yunnan Key Laboratory of Silviculture and Forest Resources Development/Key Laboratory of Rare and Endangered Forest Plant, National Forestry and Grassland Administration, Kunming 650201, China; 4. National Positioning Observation and Research Station of Central Yunnan Plateau Forest Ecosystem, Kunming 650201, China)

**Abstract:** In order to understand the soil nutrient status of Puwen Experimental Forest Farm, soil types was identified base on the investigation, physical and chemical properties was measured and Nemerow index method was used to evaluate soil fertility. The results showed that the soil in the forest farm was

收稿日期: 2023-03-26.

项目来源: 云南省林业和草原科学院热带林业研究所管辖范围科考项目.

第一作者: 张传光(1985-), 男, 湖南岳阳人, 副研究员, 博士. 主要从事土壤生态与生物多样性保护研究. Email: zhangchuanguang@yafg.ac.cn

责任作者: 负新华(1966-), 男, 陕西蒲城人, 高级工程师. 主要从事森林土壤研究. Email: yunxinhua@yafg.ac.cn

latosolic red soil developed from purple sandstone. The soil pH was generally acidic, and the acidity decreased with the deepening of the soil. SOM content in the A-layer was high, and the content showed a significant change of high—medium—low with the deepening of the soil. N content was high, and the content decreased with the deepening of the soil, but could also reach the medium and above level. P content was very deficient, most of the AP in each soil layer was at a relatively low level, and a few of region were extremely deficient. K content was abundant, and increased with the deepening of soil layer, AK which could be used by plants were at a rich level only in a few areas, and most at a deficient level. AS was basically at the same level as that in farmland soil in the same area, EMg was low, and ECa was very lacking. The content of trace elements was basically at the same level or slightly higher than that in farmland soil in the same area. The soil nutrients showed obvious “surface aggregation” under the influence of biological enrichment process, soil fertility level in most areas were medium fertile, and a few were poor, the soil nutrient content showed a decreasing trend with the increase of altitude.

**Key words:** forest soil; soil nutrient; evaluation of soil fertility; Nemerow index method; Puwen Experimental Forest Farm

森林土壤作为森林生态过程的载体和森林植物生长的基质,是衡量森林生态功能恢复和维持的重要指标,能够为植物长期提供水分和养分,直接影响森林的健康生长和分布状况<sup>[1-2]</sup>。土壤肥力是土壤的基本属性和本质特征,是土壤物理、化学和生物学性质的综合反映,能为植物生长提供必要的物质养分和机械支撑,直接影响林地生产力<sup>[3]</sup>。普文试验林场是云南省林业科学院热带林研究所在西双版纳景洪县设立的试验研究性林场,建场后一直致力于热带树种的收集、保护及栽培技术的试验研究<sup>[4]</sup>,为我国林业发展做出了杰出贡献。因此,开展土壤调查及肥力研究,摸清林场土壤本底信息,不仅能够改善林木的稳定性,促进林场可持续发展,也是提升森林质量的重要环节。由于土壤受植被、地形、成土母质、土壤质地、林地经营管理策略等多个因素的影响<sup>[5-6]</sup>,土壤养分含量在空间上可能会存在差异,对其进行客观评价极为困难。修正的内梅罗指数法因其在计算综合肥力系数时不仅可以消除量纲的影响,还强调最小值的影响,能更加客观地评价土壤质量,还能反映生态学中限制植物生长最小因子定律,综合考虑各指标,对揭示土壤养分情况具有重要意义<sup>[7]</sup>。目前,对农业用地土壤养分及肥力综合评价已逐渐全面<sup>[8-10]</sup>,而针对森林土壤养分含量的研究较为少见,尤其是对普文林场土壤调查及肥力综合评价尚未见报道。因此,本研究以普文试验林场土壤为研究对象,通过土壤类型调查、主要养分指标对比分析和土壤肥力评价,可为森林的健康管理、科学利用林地资源、合理经营森林及防止林地土壤退化等提供重要的基础数据。

## 1 研究区概况

普文试验林场坐落于西双版纳州景洪市普文镇东南方,位于东经 106°6',北纬 22°25',北距普洱市 55 km,南距景洪市 110 km,距国道 213 线 5 km,素有“版纳北大门”之称。景洪市属横断山系尾端的无量山脉,按云南省地貌区划属滇南边沿低中山丘陵区。地势北高南低,澜沧江及支流切割其间,把地形分割得十分破碎、复杂,垂直变化较大。最高点在西部的路南山主峰南勒角梅,海拔 2 196.6 m,最低点在东南部南阿河汇入澜沧江处,海拔 485 m,一般海拔在 1 000~1 500 m 范围。普文镇国土面积 554 km<sup>2</sup>,中间是长形坝子,坝子长 20 km,宽 1.9 km,面积 38 km<sup>2</sup>,最高海拔 1 797.3 m(菠萝大山),最低海拔(普文河出境处)772 m。普文林场地势大致为西南高东北低,最高海拔 1 341 m,最低海拔(普文河边)840 m,林场北部以普文河为界。普文试验林场地处北热带与南亚热带交界处,年均温 20.2℃,历年最高温 39℃,年均降雨量 1 675.6 mm,全年日照时间 1 990 h,基本常年无霜,冬无严寒,夏无酷暑,夏长冬短,盛行东南风。

景洪市土壤多样,成土母质复杂。地带性土壤有砖红壤、赤红壤、红壤。坝区土壤以近代河流冲积形成的砂泥土为主,山区土壤则以紫红色砂页岩及部分千枚岩、石灰岩风化而成。景洪市属北缘热带、南亚热带气候,土壤母质风化强烈,生物循环旺盛,有机质分解迅速,土壤具有土层深厚、质地较粘、呈酸性、有机质积累较多等特性。境内岩石分布以澜沧江为界,江东部以中生界的红色河湖碎屑岩为主,



江西则以花岗岩及各种砂岩、变质岩等分布较为普遍。从上游的小橄榄坝到下游的大橄榄坝,澜沧江沿岸为狭窄的变质岩带。

## 2 材料与方 法

### 2.1 土壤样品采集及测定方法

普文试验林场采样点基本信息详见表 1,采用均匀布点法,每平方公里布设 1 个采样点(图 1),在采样点挖土壤剖面,按土壤发生层分层采集土盒样本和土袋样本,根据土盒样本评比结果确定土壤类型。土袋样本经自然风干、研磨、去杂、过 2 mm 筛后用于土壤理化性质分析。

表 1 采样点基本信息

Tab. 1 Basic information of sampling points

编号	经度/(°)	纬度/(°)	海拔/m
PW01	101.067435	22.412929	1037
PW02	101.073421	22.411614	1150
PW03	101.071547	22.403674	1210
PW04	101.083066	22.438411	822
PW05	101.084013	22.428667	876
PW06	101.080734	22.417135	1031
PW07	101.082788	22.406035	978
PW08	101.092370	22.422074	855
PW09	101.092399	22.412594	856
PW10	101.102379	22.417044	848

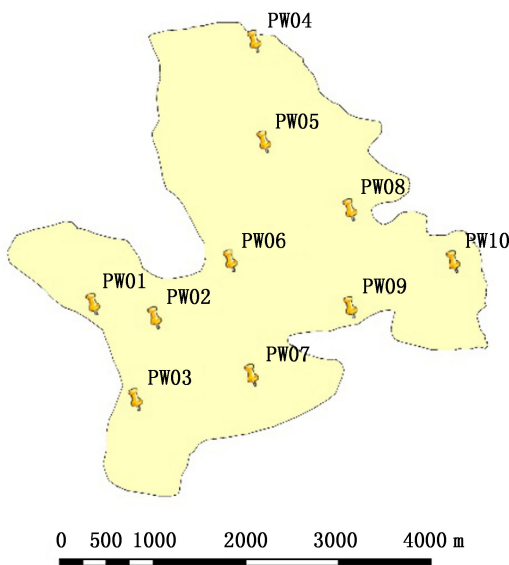


图 1 普文试验林场土壤采样点分布

Fig. 1 Distribution of soil sampling points in Puwen Experimental Forest Farm

### 2.2 土壤理化指标测定及数据处理

pH 参照 NY/T 1377—2007 测定,有机质(SOM)参照 NY/T 1121.6—2006 测定,全氮(TN)参照 NY/T 1121.24—2012 测定,全磷(TP)参照 LY/T 1232—2015 测定,全钾(TK)参照 LY/T 1234—2015 测定,水解性氮(HN)参照 LY/T 1228—2015 测定,有效磷(AP)参照 NY/T 1121.7—2014 测定,速效钾(AK)参照 NY/T 889—2004 测定,有效硫(AS)参照 NY/T 1121.14—2023 测定,交换性钙(EGCa)、镁(EMg)参照 NY/T 1121.13—2006 测定,有效铁(AFe)、有效锰 AMn、有效铜(ACu)、有效锌(AZn)参照 NY/T 890—2004 测定,有效硼(AB)参照 NY/T 1121.8—2006 测定。

采用 Excel 2019 进行土壤养分含量数据处理并求算平均数、变异系数及肥力综合指数;采用 IBM SPSS Statistics 22 进行单因素方差(One-way ANOVA)分析,配合 Duncan 新复极差法(LSR)检验处理间的差异显著性;采用 Origin 2022 绘制养分指标和分布频率柱状图;采用 ArcGIS 10.8 绘制土壤养分分布图。

### 2.3 土壤质量综合评价

#### 2.3.1 土壤养分的丰瘠评价

结合全国第二次土壤普查分级标准(表 2)对普文试验林场的土壤有机质、全氮、水解性氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾进行丰瘠程度评价<sup>[11]</sup>。pH 参照杨皓等(2015)<sup>[12]</sup>的分级标准:pH<4.5 为强酸性,4.5~5.5 为酸性,5.5~6.5 为弱酸性,6.5~7.5 为中性,>7.5 为强碱性。

#### 2.3.2 土壤肥力指数评价

采用改进后的内梅罗综合指数法进行综合评价<sup>[13]</sup>,选取 pH、SOM、TN、TP、TK、HN、AP、AK 8 个指标作为参比项综合反映土壤肥力状况。首先对上述参数进行标准化处理,以消除各参数间量纲的差别。计算公式为:

$$P_i = \frac{C_i}{X_a} \quad C_i \leq X_a (P_i \leq 1) \quad (1)$$

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

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

$$P_i = 3 \quad C_i > X_p \quad (4)$$

式中: $P_i$  为分肥力指数; $C_i$  为某一参数的测定值; $X_a$ 、 $X_c$ 、 $X_p$  为内梅罗分级指标,参考全国第二次土壤养分分级标准来确定各样地土壤属性的分级标准(表 3)<sup>[14]</sup>。土壤 pH 的非量化参数标准为:当  $5.5 \leq \text{pH} \leq 6.5$  时, $P_i = 3$ ;当  $4.5 \leq \text{pH} \leq 5.4$  和  $6.6 \leq \text{pH} \leq 7.5$  时, $P_i = 2$ ;当  $\text{pH} < 4.5$  或  $> 7.5$  时, $P_i = 1$ 。

表 2 土壤养分含量分级标准

Tab. 2 Classification standards of soil nutrient contents

级别	SOM /(g · kg <sup>-1</sup> )	TN /(g · kg <sup>-1</sup> )	TP /(g · kg <sup>-1</sup> )	TK /(g · kg <sup>-1</sup> )	HN /(mg · kg <sup>-1</sup> )	AP /(mg · kg <sup>-1</sup> )	AK /(mg · kg <sup>-1</sup> )	丰瘠程度
1	>40	>2	>1	>25	>150	>40	>200	丰富
2	30~40	1.50~2	0.8~1	20~25	120~150	20~40	150~200	较丰富
3	20~30	1~1.5	0.6~0.8	15~20	90~120	10~20	100~150	中等
4	10~20	0.75~1	0.4~0.6	10~15	60~90	5~10	50~100	较缺
5	6~10	0.5~0.75	0.2~0.4	5~10	30~60	3~5	30~50	缺
6	<6	<0.5	<0.2	<5	<30	<3	<30	极缺

表 3 土壤各属性分级标准值

Tab. 3 Classification standards of soil properties

土壤指标	内梅罗分级值		
	X <sub>a</sub>	X <sub>c</sub>	X <sub>p</sub>
SOM/(g · kg <sup>-1</sup> )	10.00	30.00	40.00
TN/(g · kg <sup>-1</sup> )	0.75	1.00	1.50
TP/(g · kg <sup>-1</sup> )	0.20	0.40	0.60
TK/(g · kg <sup>-1</sup> )	2.00	5.00	10.00
HN/(mg · kg <sup>-1</sup> )	120.00	180.00	200.00
AP/(mg · kg <sup>-1</sup> )	10.00	20.00	40.00
AK/(mg · kg <sup>-1</sup> )	50.00	100.00	200.00

采用内梅罗综合指数法对作物土壤进行肥力综合分析,计算公式为:

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

式中: $P$  为土壤肥力综合指数; $P_{i_{平均}}$  为各属性分肥力指数的平均值; $P_{i_{最小}}$  为各属性分肥力指数的最小值; $n$  为本次肥力综合评价的指标数。

根据  $P$  值差异,把土壤肥力等级划分为 4 级, $P \geq 2.70$  时,肥力等级 I 级(很肥沃); $2.70 > P \geq 1.80$  时,肥力等级 II 级(肥沃); $1.80 > P \geq 0.90$  时,肥力等级 III 级(中等); $P < 0.90$  时,肥力等级 IV 级(贫瘠)<sup>[7]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土壤类型

普文试验林场土壤为紫色砂岩上发育的赤红壤,低山及缓丘区域土层较厚,均在 1 m 以上,有的达 5 m 以上,陡坡区域土壤流失较严重,母质堆积,土层较薄(<0.5 m),为初育赤红壤(图 2)。

#### 3.2 土壤 pH 值及 SOM 含量

普文试验林场各采样点土壤 pH 范围为 3.86~

5.49,均值为 4.63,变异系数为 0.06,属于弱变异性。从分布频率来看,所有采样点土壤呈强酸性和酸性,分别占 24.32%和 75.68%。A 层因强烈淋溶显强酸性,pH 值随着土层加深酸性减弱,总体而言,从 A 层至 B 层 pH 值上升较多,B 层至 BC 层变化不大。在空间分布上土壤 pH 值总体差异不大,表现为中间高周边少部分区域稍低(图 3)。

林场各采样点土壤 SOM 含量范围为 6.75~44.20 g/kg,均值为 18.16 g/kg,变异系数为 0.53,属于中等变异(图 4)。

从土壤 SOM 分布频率来看,所有采样点无极缺水平,SOM 缺乏、较缺、中等、较丰富和丰富的土壤分别占 18.92%、37.84%、24.32%、13.51%和 5.41%,总体属于较缺水平(表 4)。

随着土层加深,SOM 含量逐渐下降,A 层 SOM 丰富,按全国第二次土壤普查及相关标准,部分区域达到丰富水平(>4%),AB 层处于中等水平(1%~3%),B 层以下处于较缺或缺乏水平。在空间分布上,A 层、B 层土壤 SOM 均从北部低海拔区域逐渐向东部和南部高海拔区域递减(图 4)。

#### 3.3 土壤大量营养元素含量

土壤 TN 含量范围为 0.34~2.16 g/kg,均值为 0.93 g/kg,变异系数为 0.41,属于中等变异。从分布频率来看,所有采样点无极缺水平,TN 缺乏、较缺、中等、较丰富和丰富的土壤分别占 12.70%、13.51%、24.32%、27.03%和 32.43%,总体属于较丰富水平。土壤 HN 含量范围为 36.68~217.75 mg/kg,均值为 97.54 mg/kg,变异系数为 0.50,属于中等变异。从分布频率来看,所有采样点无极缺和较丰富水平,TN 缺乏、较缺、中等和丰富的土壤分别占 27.03%、21.62%、29.73%和 21.62%,总体属于中等水平。从均值上看,土壤氮含量与 SOM 呈正相关,亦表现出基本相同的变异趋势,大部分区域 A 层 TN 含量

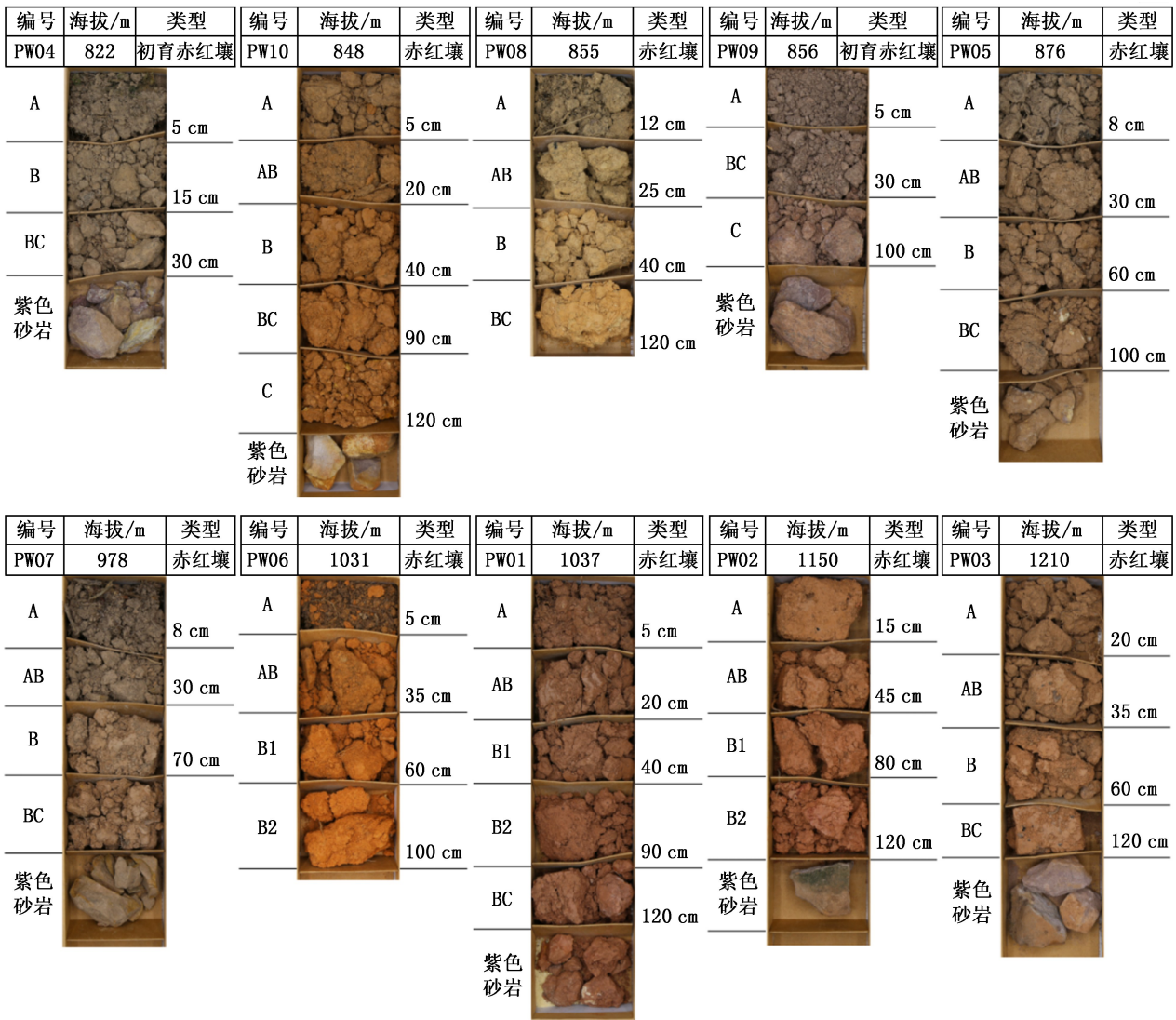
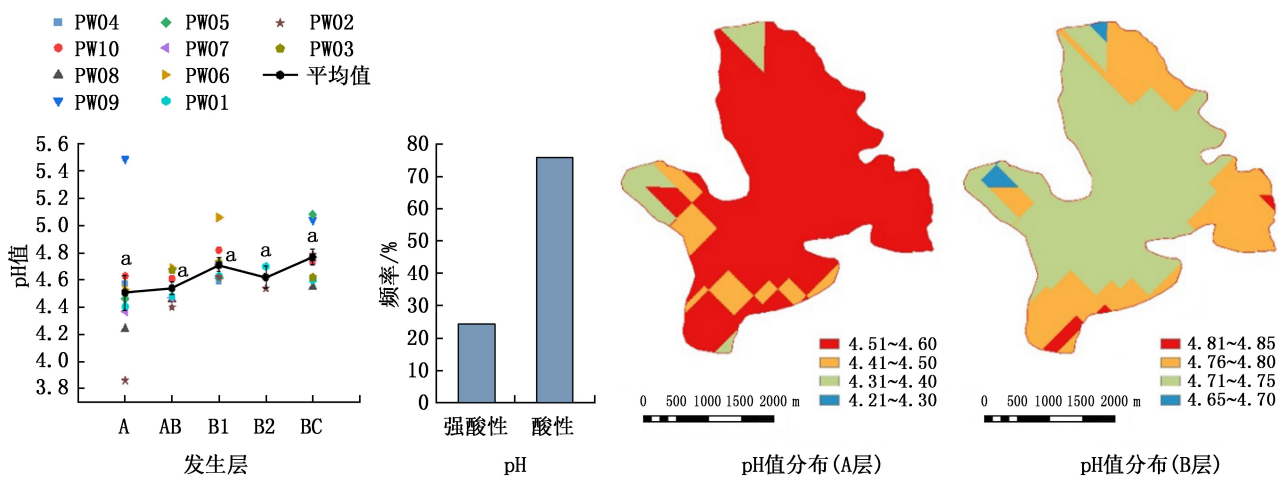


图 2 普文试验林场土壤剖面土盒样本

Fig. 2 Soil box samples of soil profile in Puwen Experimental Forest Farm



注: 变异系数(CV);  $CV \geq 1.00$  为强变异性,  $0.10 < CV < 1.00$  为中等变异性,  $CV \leq 0.1$  为弱变异性(下同)。

图 3 土壤 pH 值、分布频率以及在 A 层和 B 层分布

Fig. 3 Soil pH value, distribution frequency, and the distribution in layers A and B



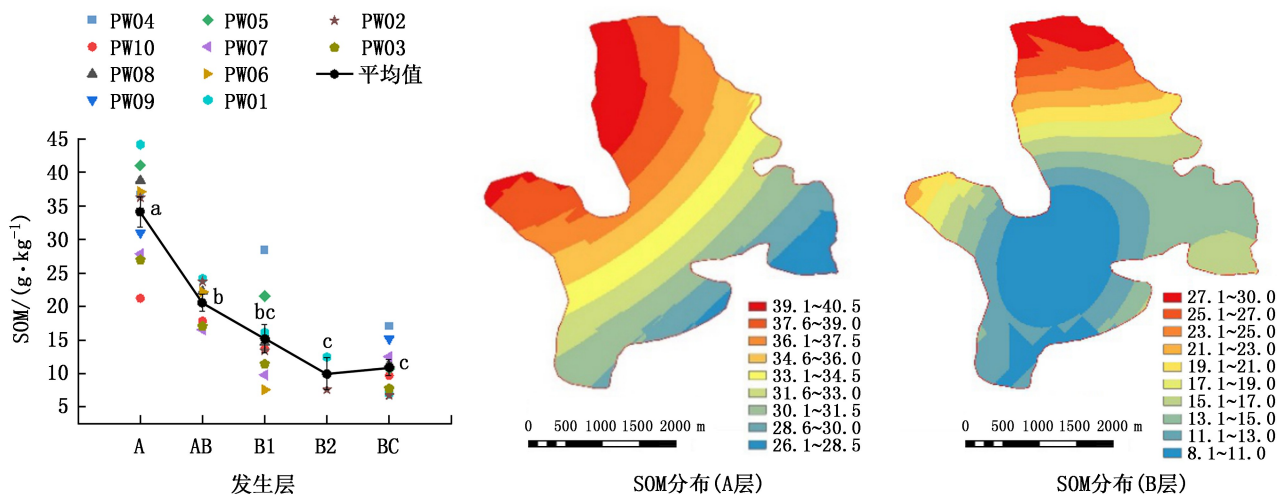


图 4 土壤有机质含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 4 Content of soil organic matter and the distribution in layers A and B

达到丰富 (>0.2%) 或较丰富水平 (0.15%~0.2%)、HN 含量也达到丰富 (>150 mg/kg) 或较丰富水平

表 4 普文试验林场土壤养分分布频率

Tab. 4 Distribution frequency of soil nutrients in Puwen Experimental Forest Farm %

养分	极缺	缺乏	较缺	中等	较丰富	丰富
SOM/(g·kg <sup>-1</sup> )	—	18.92	37.84	24.32	13.51	5.41
TN/(g·kg <sup>-1</sup> )	—	2.70	13.51	24.32	27.03	32.43
TP/(g·kg <sup>-1</sup> )	13.51	78.38	8.11	—	—	—
TK/(g·kg <sup>-1</sup> )	8.11	16.22	40.54	18.92	13.51	2.70
HN/(mg·kg <sup>-1</sup> )	—	27.03	21.62	29.73	—	21.62
AP/(mg·kg <sup>-1</sup> )	5.41	37.84	51.35	5.41	—	—
AK/(mg·kg <sup>-1</sup> )	5.41	32.43	43.24	10.81	—	8.11

(120~150 mg/kg), AB 层 TN 含量处于中等水平 (0.07%~0.15%)、HN 含量处于中等水平 (60~120 mg/kg), 大部分区域 B 层及以下也能达到中等水平。在空间分布上, 土壤 TN 和 HN 总体变化趋势一致, 其中 A 层呈现出从北部低海拔区域向东部和南部高海拔区域递减趋势, B 层则呈现出从中心向周围辐射递增趋势 (图 5, 图 6, 表 4)。

土壤 TP 含量范围为 0.08~0.55 g/kg, 均值为 0.27 g/kg, 变异系数为 0.33, 属于中等变异。从分布频率来看 (表 4), 所有采样点无中等、较丰富和丰富水平, TP 极缺、缺乏和较缺的土壤分别占 13.51%、78.38% 和 8.11%, 总体属于缺乏水平 (图 7)。

AP 含量范围为 2.47~10.34 mg/kg, 均值为 5.58 mg/kg, 变异系数为 0.33, 属于中等变异。从频率分布

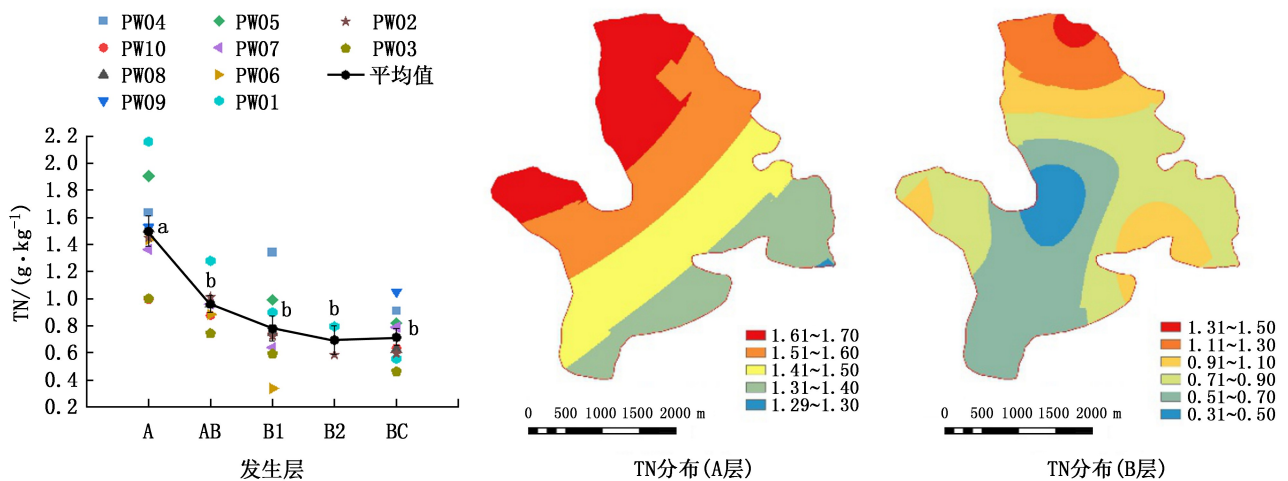


图 5 土壤 TN 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 5 Content of TN and the distribution in layers A and B

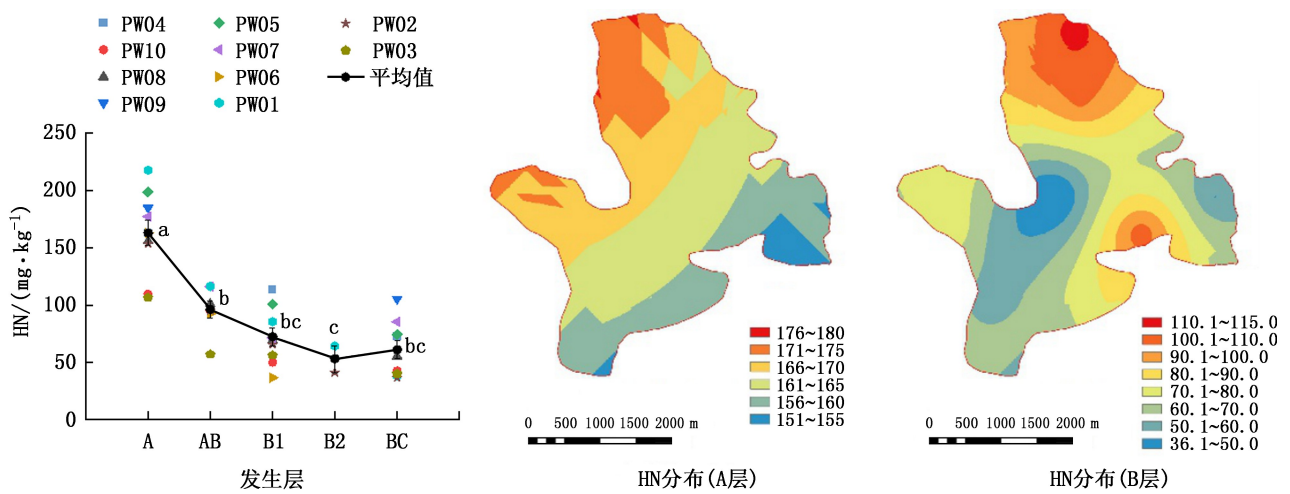


图 6 土壤 HN 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 6 Content of HN and the distribution in layers A and B

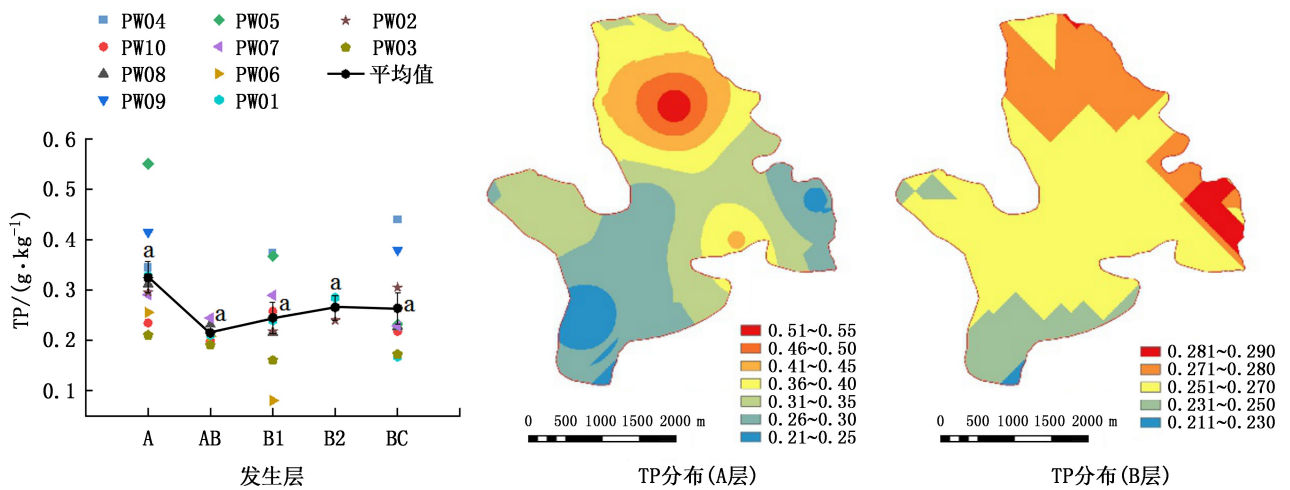


图 7 土壤 TP 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 7 Content of TP and the distribution in layers A and B

来看(表 4),所有采样点无较丰富和丰富水平,AP 极缺、缺乏、较缺和中等 的土壤分别占 5.41%、37.84%、51.35%和 5.41%,总体属于较缺水平。普文 试验林场土壤十分缺磷,TP 含量在各土层中的变化 不大,AP 含量在 A 层处于较缺水平(5~10 mg/kg), 且随着土层加深而下降,B 层及以下均大部分处于 缺乏水平(3~5 mg/kg)。在空间分布上,A 层、B 层 含量均呈现出由北部低海拔区域向四周辐射递减的 变化趋势(图 7,图 8,表 4)。

土壤 TK 含量范围为 2.90~28.80 g/kg,均值为 13.62 g/kg,变异系数为 0.40,属于中等变异。从分布 频率来看,TK 极缺、缺乏、较缺、中等、较丰富和丰 富的土壤分别占 8.11%、16.22%、40.54%、18.92%、 13.51%和 2.70%,总体属于较缺水平。AK 含量范围

为 12.50~502.50 mg/kg,均值为 85.88 mg/kg,变异系 数为 1.10,属于强变异性。从分布频率来看,所有采 样点无较丰富水平,AK 极缺、缺乏、较缺、中等和丰 富的土壤分别占 5.41%、32.43%、43.24%、10.81%和 8.11%,总体属于较缺水平。受成土母质影响,土壤 钾元素较丰富,加之 pH 影响 9 号点初育土 AK 含量 达 502.5 mg/kg,总体而言土壤中钾元素含量随着土 层加深有升高趋势,但可被植物利用的 AK 表现出 完成相反的趋势,少部分区域 A 层 AK 处于丰富水 平(>200 mg/kg),大部分处于较缺水平(50~100 mg/kg),B 层较 A 层下降明显,但较 BC 层差异不 大,B 层和 BC 层均处于缺乏水平(30~50 mg/kg)。 在空间分布上,A 层、B 层含量均分布较均匀,仅周边 部分区域有较明显的高低变化(图 9,图 10,表 4)。

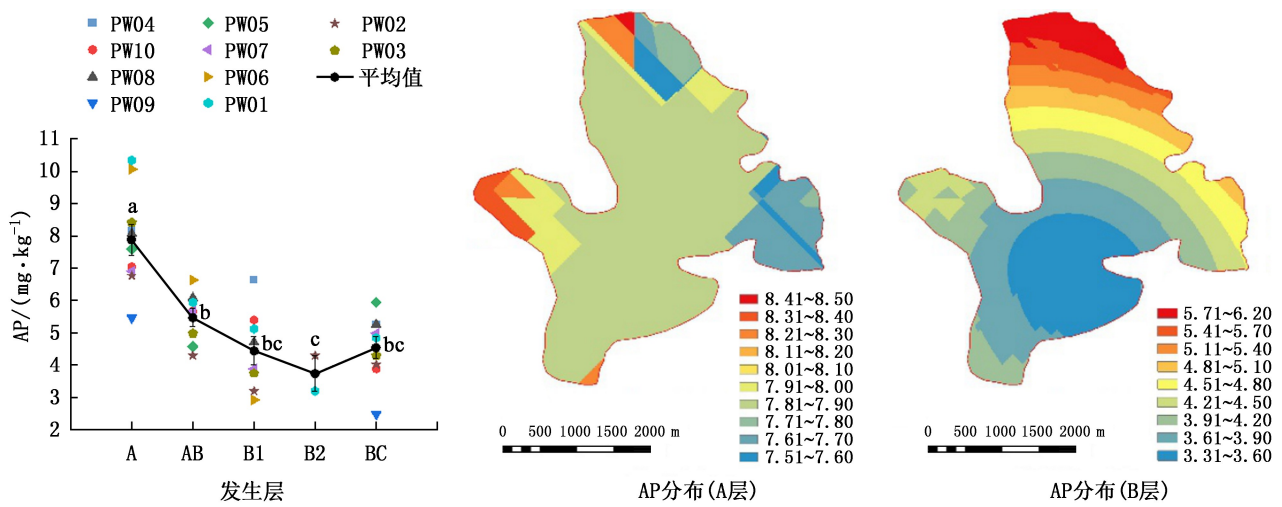


图 8 土壤 AP 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 8 Content of AP and the distribution in layers A and B

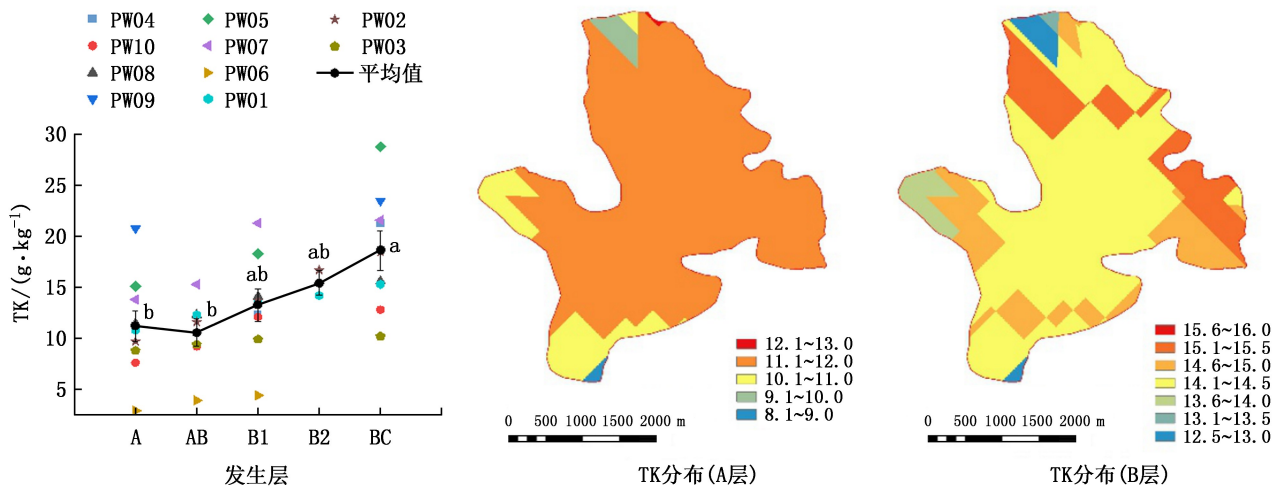


图 9 土壤 TK 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 9 Content of TK and the distribution in layers A and B

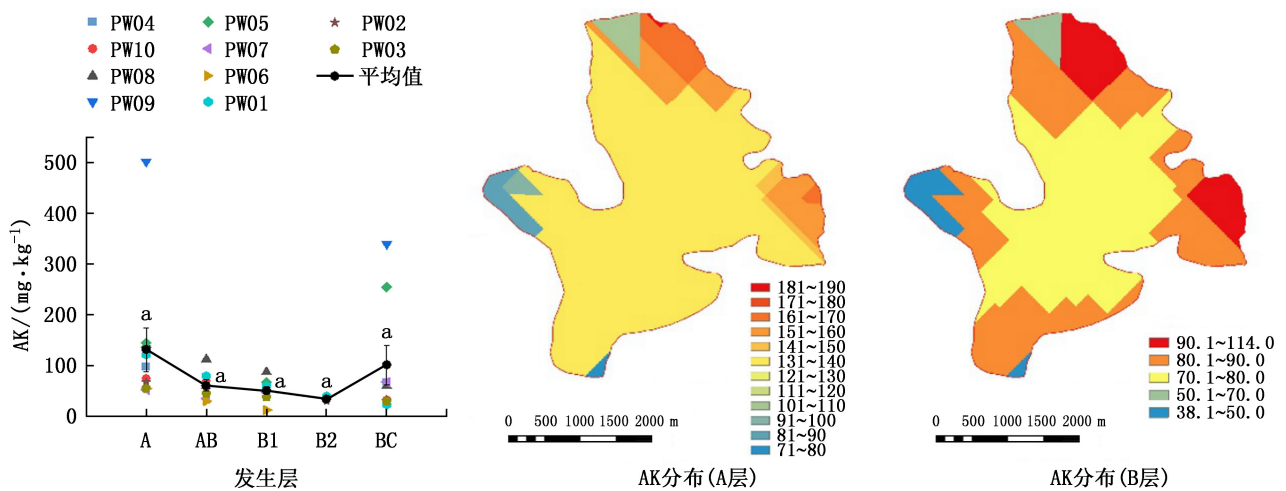


图 10 土壤 AK 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 10 Content of AK and the distribution in layers A and B



### 3.4 土壤中量营养元素含量

普文试验林场森林土壤 ECa、EMg 含量低,AS 含量为中等水平。土壤 ECa 含量范围为 11.65~229.68 mg/kg,均值为 79.30 mg/kg,变异系数为 0.69,属于中等变异(图 11);土壤 EMg 含量范围为 16.80~153.48 mg/kg,均值为 37.62 mg/kg,变异系数为 0.83,属于中等变异(图 12);土壤 AS 含量范

围为 10.02~30.71 mg/kg,均值为 16.16 mg/kg,变异系数为 0.29,属于中等变异(图 13)。在空间分布上,A 层、B 层 ECa、EMg 含量均呈现出由北部低海拔区域向南部高海拔区域递减的变化趋势;A 层大部分区域 AS 变化不大,B 层则呈现出从中心向周围逐渐递减的趋势(图 11~图 13,表 4)。

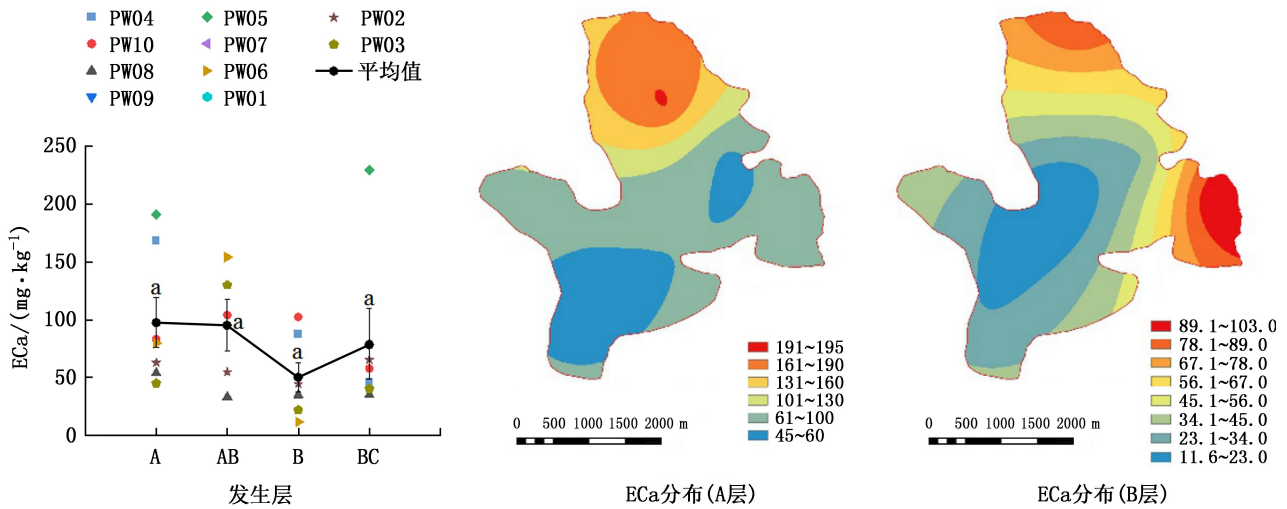


图 11 土壤 ECa 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 11 Content of ECa and the distribution in layers A and B

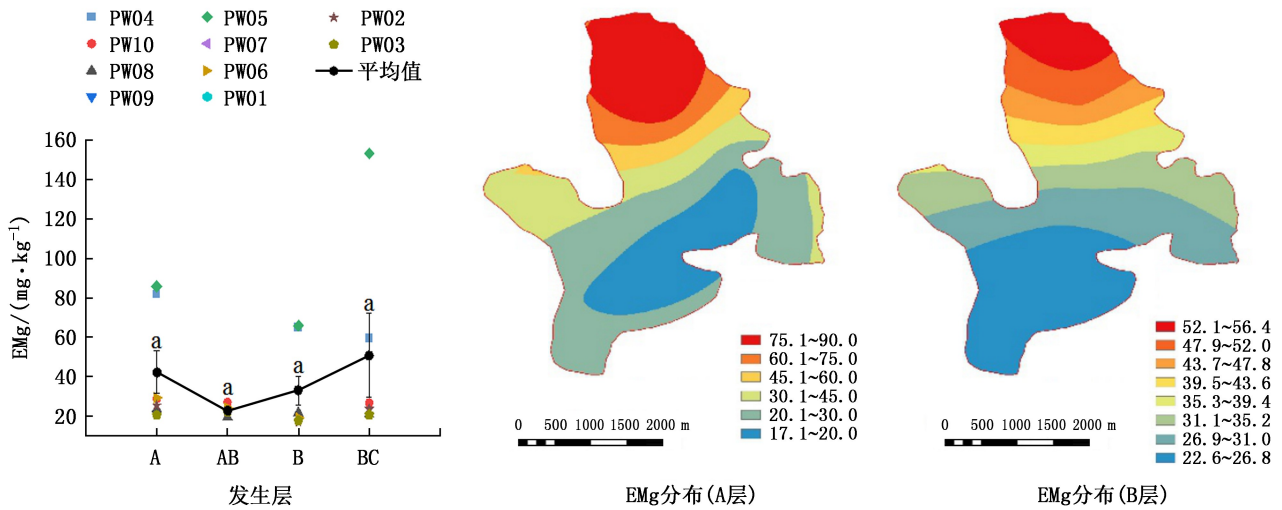


图 12 土壤 EMg 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 12 Content of EMg and the distribution in layers A and B

### 3.5 土壤微量营养元素含量

普文试验林场土壤 AFe 含量范围为 4.79~88.89 mg/kg,均值为 40.11 mg/kg,变异系数为 0.71,属于中等变异;土壤 AMn 含量范围为 0.51~43.94 mg/kg,均值为 6.78 mg/kg,变异系数为 1.65,

属于高变异性;土壤 ACu 含量范围为 0.10~1.33 mg/kg,均值为 0.36 mg/kg,变异系数为 0.87,属于中等变异;土壤 AZn 含量范围为 0.10~2.39 mg/kg,均值为 0.61 mg/kg,变异系数为 0.74,属于中等变异;土壤 AB 含量范围为 0.16~0.72 mg/kg,均值为

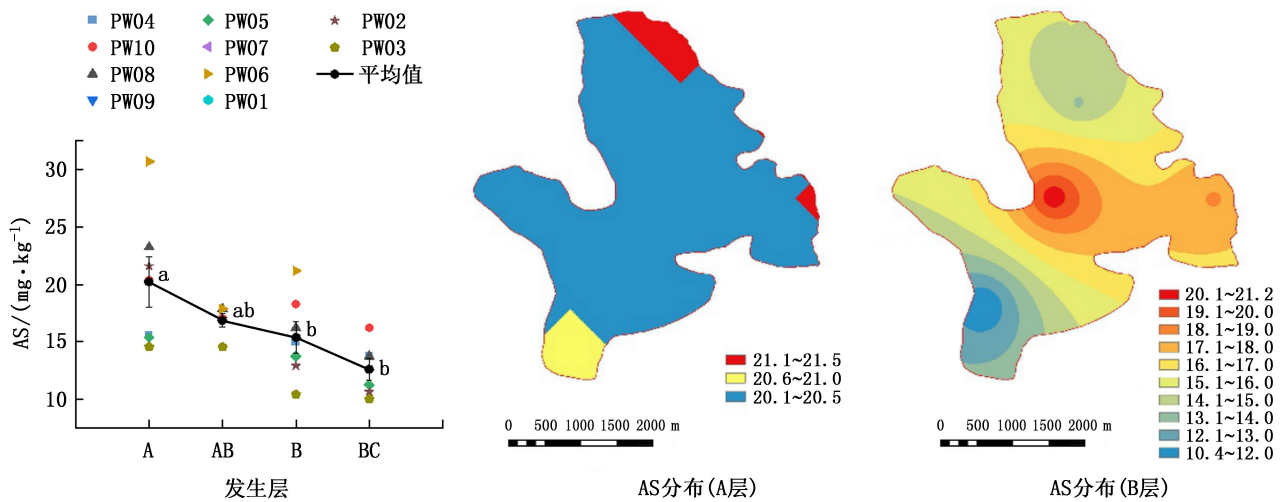


图 13 土壤 AS 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 13 Content of AS and the distribution in layers A and B

0.43 mg/kg, 变异系数为 0.40, 属于中等变异。从均值上看, AFe、AMn、AZn 含量表现出基本相同的分布特征, 随着土层加深而降低, 说明其含量受成土过程影响强烈, 表层 AFe、AMn 含量基本与同区域农田土壤含量相当, AZn 含量稍低。ACu 含量受土壤发育程度影响较大, 初育赤红壤含量较高, 但不同土

层深度变化不明显, 大部分区域 AB 含量在 B 层有明显下降, 然后随着土层加深维持在一个较稳定的水平, 森林土壤 ACu、AB 基本与同区域农田土壤含量处于同一水平。在空间分布上, A 层、B 层含量均呈现出由北向南随着海拔的升高而逐渐辐射递减的变化趋势(图 14~图 18)。

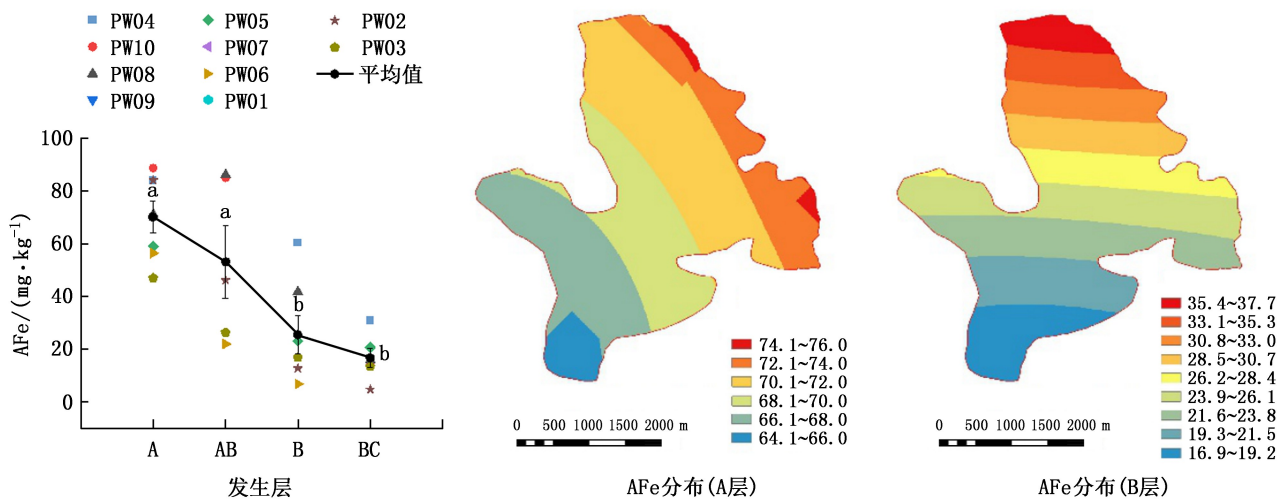


图 14 土壤 AFe 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 14 Content of AFe and the distribution in layers A and B

### 3.6 土壤肥力综合评价

土壤肥力综合分析结果表明, 普文试验林场各采样点土壤肥力等级多数为 III 级中等肥沃水平, 少数为 IV 级贫瘠水平, 其中 09 号采样点土壤肥力综合指数最高, 为 1.29, 03 号采样点土壤肥力综合指数最低, 为 0.79(表 5)。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

#### 4.1.1 土壤类型及 pH 值

土壤 pH 是重要的化学性质指标, 与土壤类型、土壤质地等密切相关, 极大地影响着土壤养分的有效性和植被的营养状态<sup>[15]</sup>。通过调查发现, 普文试

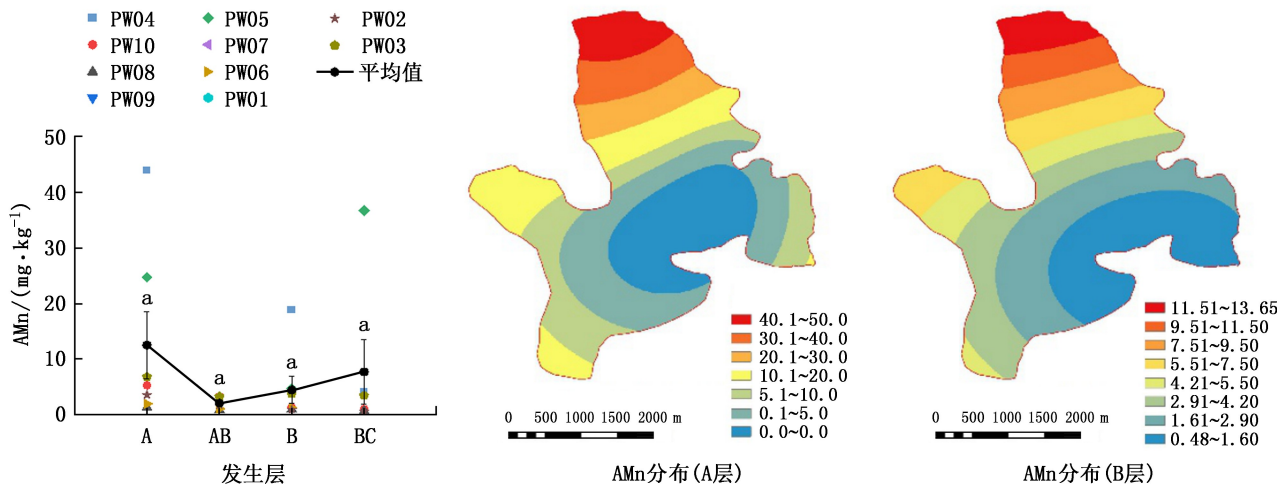


图 15 土壤 AMn 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 15 Content of AMn and the distribution in layers A and B

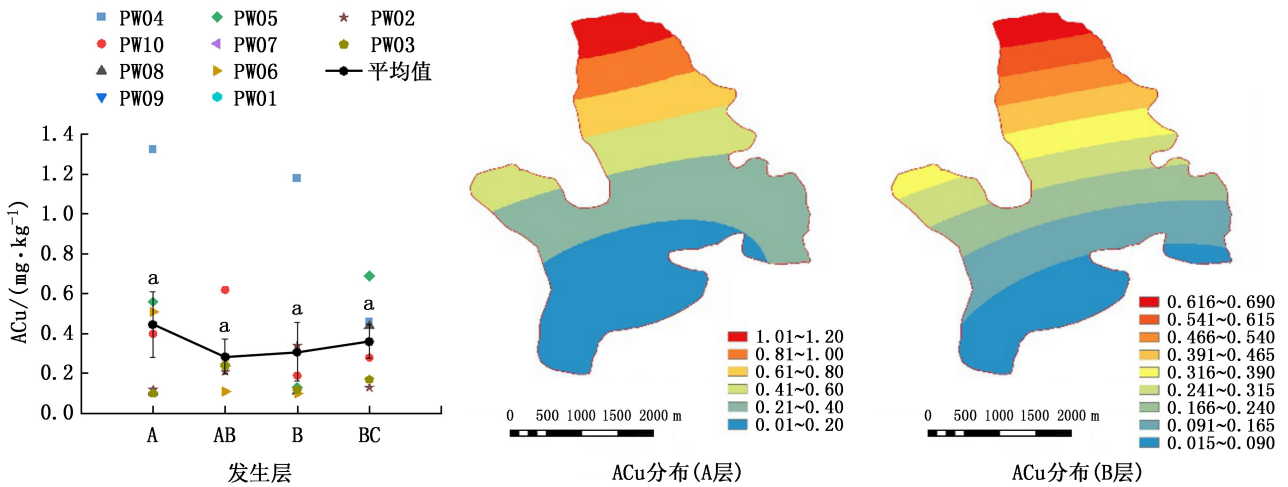


图 16 土壤 ACu 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 16 Content of ACu and the distribution in layers A and B

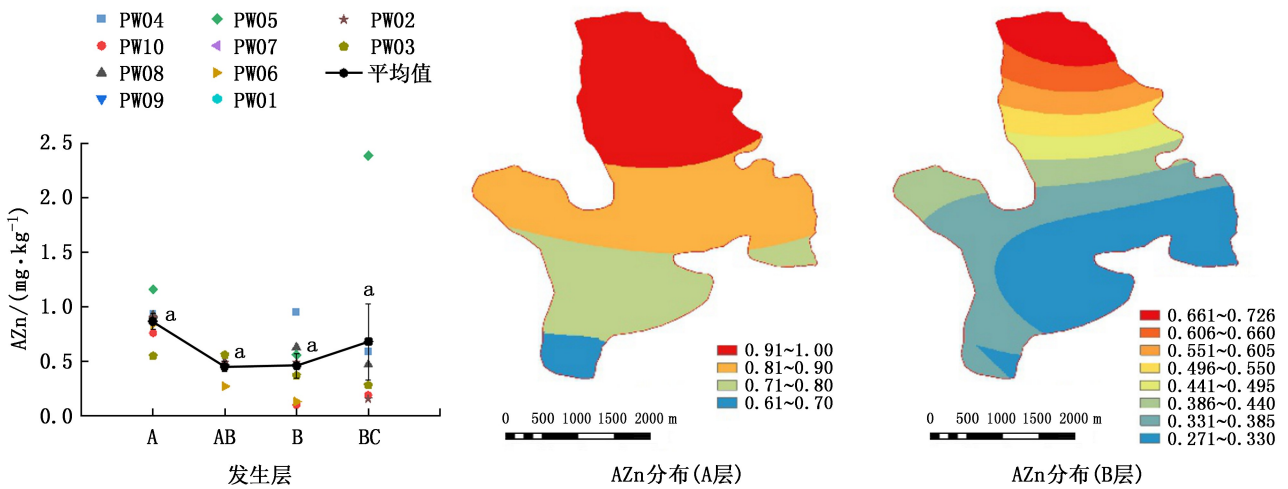


图 17 土壤 AZn 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 17 Content of AZn and the distribution in layers A and B



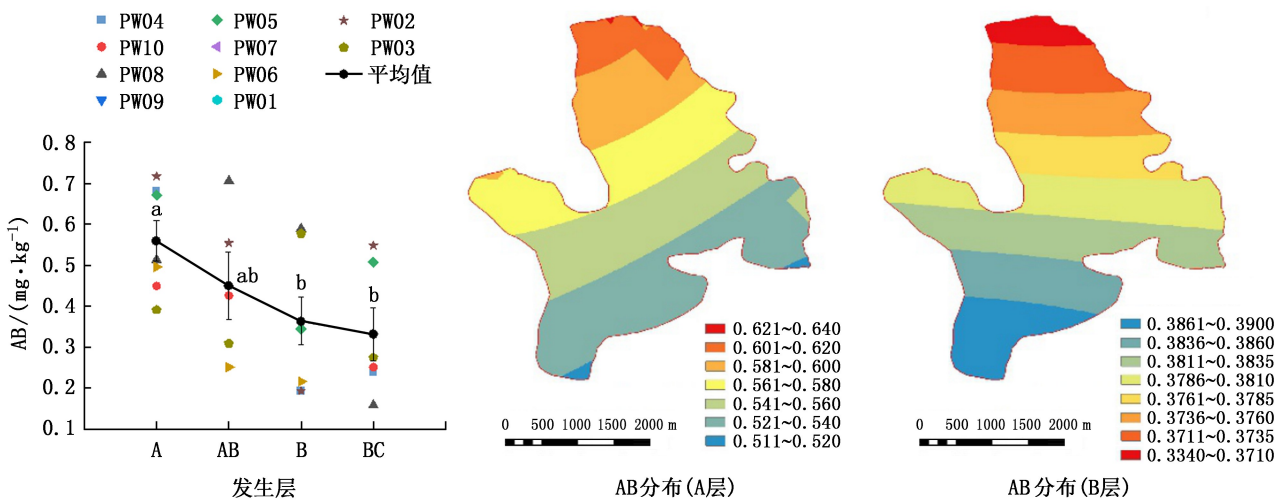


图 18 土壤 AB 含量及其在 A 层和 B 层分布

Fig. 18 Content of AB and the distribution in layers A and B

表 5 土壤肥力综合指数及评价等级

Tab. 5 Comprehensive index and evaluation grade of soil fertility

编号	$P_i$								$P$	等级
	PH	SOM	TN	TP	TK	HN	AP	AK		
PW01	2.00	1.54	2.27	1.23	3.00	0.87	0.59	1.30	1.06	III
PW02	1.00	1.38	1.49	1.28	3.00	0.65	0.45	0.88	0.83	IV
PW03	1.29	1.29	0.93	0.92	2.92	0.54	0.54	0.84	0.79	IV
PW04	2.00	1.87	2.40	1.93	3.00	0.97	0.67	1.52	1.19	III
PW05	2.00	1.72	2.48	1.92	3.00	1.08	0.60	2.56	1.24	III
PW06	2.00	1.62	1.54	0.91	1.58	0.81	0.65	0.65	0.86	IV
PW07	2.00	1.33	1.75	1.32	3.00	0.94	0.54	1.01	0.98	III
PW08	1.00	1.59	1.85	1.24	3.00	0.79	0.60	2.00	1.00	III
PW09	2.00	1.65	2.58	1.99	3.00	1.42	0.40	3.00	1.26	III
PW10	2.00	1.28	1.25	1.14	3.00	0.62	0.55	1.14	0.91	III

注： $P \geq 2.70$  时，肥力等级 I 级（很肥沃）； $1.80 \leq P < 2.7$  时，肥力等级 II 级（肥沃）； $0.90 \leq P < 1.80$  时，肥力等级 III 级（中等）； $P < 0.90$  时，肥力等级 IV 级（贫瘠）。

验林场各采样点土壤是由紫色母质砂岩上发育的赤红壤，pH 值为 3.86~5.49，总体差异不大，呈酸性，在空间上表现为中间高周边少部分区域稍低。一方面，研究区高温多雨环境加速了矿物风化，脱硅富铁铝过程中盐基离子大量淋失使赤红壤本身呈酸性<sup>[16]</sup>，另一方面，森林凋落物中含有大量的木质素、单宁等物质，其分解过程产生的酸性物质的释放会导致土壤酸化<sup>[17]</sup>。各采样点土层从 A 层至 B 层 pH 值上升明显，B 层至 BC 层变化不大，这是由于 A 层淋溶强烈，pH 值随着土层加深酸性减弱，这与秦文

静等<sup>[7]</sup>研究得出的土层深度会对林下土壤 pH 值产生一定影响的结果一致。

#### 4.1.2 土壤养分垂直变化

研究发现，普文试验林场各采样点不同土层土壤养分存在显著性差异，随着土壤深度的增加，土壤养分含量逐渐降低，表现出明显的“表聚性”，与生物富集过程密切相关<sup>[18-19]</sup>。其中，SOM 是土壤中各营养元素的主要来源，是影响林分土壤养分与肥力的关键因子<sup>[20]</sup>，林下枯落物为 SOM 提供了充足来源，使土壤 A 层 SOM 含量明显高于 B 层且随土层的增加而减小，这与吴昊等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。土壤 N 绝大多数是贮藏在 SOM 中的有机态化合物，土层亦表现出基本相同的变化趋势，大部分区域 A 层 TN 和 HN 含量均达到丰富或较丰富水平，AB 层和大部分区域 B 层及以下 TN 和 HN 含量也能达到中等水平，这与 Taylo 等<sup>[22]</sup>提出的土壤 N 与 SOM 二者呈正相关性的研究结果一致，普文试验林场土壤 TN 和 HN 含量整体处于较丰富和中等偏上水平，说明土壤氮含量较为丰富。受成土母质影响，普文试验林场土壤磷素十分缺乏，是热带亚热带地区森林土壤中的主要限制元素<sup>[23-24]</sup>，而钾素较丰富，其含量随着土层加深有升高趋势，但可被植物利用的速效钾表现出完全相反的趋势，少部分区域 A 层 AK 处于丰富水平，大部分处于较缺水平。ECa、EMg 含量低，AS 含量为中等水平，且随着土壤的发育中量元素含量时空上都有进一步降低的趋势，因此呈现出初育赤红壤中量元素含量较高、表层（A 层和 AB 层）ECa 和 AS 含量较高的状况。AFe、AMn、AZn 含量表现出基本相同的分布特征，随着土层加深而降

低,说明其含量受成土过程影响强烈,土壤表层 AFe、AMn 含量基本与同区域农田土壤含量相当, AZn 含量稍低。ACu 含量受土壤发育程度影响较大,初育赤红壤含量较高,但不同土层深度变化不明显,大部分区域 AB 含量在 B 层有明显下降,然后随着土层加深维持在一个较稳定的水平。

#### 4.1.3 土壤养分水平变化

在空间上,普文试验林场大部分区域土壤养分含量具有显著的差异性,特别是矿质有效养分会随水迁移,随着时间的变化呈现出从北部低海拔区域逐渐向南部高海拔区域递减的趋势。北部低海拔区域开发利用强度大,外源物质的加入使南部低海拔区域的土壤养分进一步增加,一些区域甚至可以接近肥沃水平。高海拔区域属原始次生林,人为干扰少,土壤养分主要源于生物富集,加之热区的强淋溶作用使矿质养分向下或向低海拔迁移,因此高海拔区域的土壤肥力仅能维持在一个动态的较低水平。

#### 4.2 结论

1) 普文试验林场土壤为紫色砂岩上发育的赤红壤,总体呈酸性,且随着土层加深酸性减弱。

2) 受生物富集过程影响,土壤养分含量表现出明显的“表聚性”。

3) 土壤养分含量呈现出随海拔升高而下降的变化趋势。

4) 大部分区域土壤肥力等级为 III 级中等肥沃水平,少部分为 IV 级贫瘠水平。

#### 参考文献:

- [1] 袁勇,李小英. 森林类型自然保护区土壤养分综述[J]. 中国农学通报,2016,32(5):75-82.
- [2] 陈人豪,韦建杏,田乐宇,等. 海南省枫木实验林场树木园土壤养分评价[J]. 热带林业,2022,50(4):62-66.
- [3] 冯雨星,白立强,赵晓娥,等. 渭北黄土高原东部尧山林场主要人工林土壤肥力综合评价[J]. 陕西林业科技,2023,51(1):18-24.
- [4] 王达明. 西双版纳普文林场热带雨林恢复的实践[J]. 西部林业科学,2010,39(4):34-38.
- [5] 郑妍,江瑶,孙冬晓,等. 华南沿海地区林地土壤养分空间异质性研究[J]. 林业与环境科学,2020,36(6):110-114.
- [6] LI L H, YUAN C L, WU M, et al. Spatial patterns of soil organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium in a subtropical forest and its implication for forest management[J]. Journal of Resources and Ecology,2022,13(3):417-427.
- [7] 秦文静,李小英,许彦红,等. 滇中地区典型公益林林分土壤养分及肥力研究[J]. 西部林业科学,2022,51(2):145-154.
- [8] 谢国源,王昆鹏,汤杨,等. 优化施肥对水稻养分吸收及土壤肥力变化的影响[J]. 广东化工,2024,51(3):49-52.
- [9] 汪宗兰,王春霞,马建江,等. 库尔勒香梨园土壤肥力空间变异特征与综合评价分析[J]. 节水灌溉,2024(3):83-90,98.
- [10] 蔡超,卢燕回,张介培. 广西贺州市喀斯特植烟区域土壤肥力评价[J]. 低碳世界,2024,14(1):193-195.
- [11] 高郟,李江荣,卢杰,等. 色季拉山急尖长苞冷杉林不同坡向土壤养分及肥力研究[J]. 生态学报,2020,40(4):1331-1341.
- [12] 杨皓,胡继伟,黄先飞,等. 喀斯特地区金刺梨种植基地土壤肥力研究[J]. 水土保持研究,2015,22(3):50-55.
- [13] 简尊吉,倪妍妍,徐瑾,等. 中国马尾松林土壤肥力特征[J]. 生态学报,2021,41(13):5279-5288.
- [14] 陈会玲,胡建文,勾蒙蒙,等. 湖北秭归柑橘园土壤养分特征和肥力评价[J]. 陆地生态系统与保护学报,2022,2(4):21-31.
- [15] 和丽萍,李贵祥,柴勇,等. 滇西北亚高山典型退化次生林土壤肥力状况特征研究[J]. 广东农业科学,2020,47(6):47-55.
- [16] 何增丽,谭莎,谭健彬,等. 广东云勇林场林地表层土壤养分空间特征[J]. 林业与环境科学,2022,38(5):139-143.
- [17] 樊星火,葛红艳,张参参,等. 江西省生态公益林典型林分土壤肥力状况研究[J]. 北京林业大学学报,2018,40(11):84-92.
- [18] 李默然,杨武. 贵州黔东南主要森林类型林下土壤肥力对比[J]. 安徽农学通报,2023,29(18):47-52.
- [19] 陆湘云,刘奎,陈凯,等. 3个木兰科树种对杉木人工林土壤肥力改良效果的初步评价[J]. 西部林业科学,2020,49(3):29-35.
- [20] 庞一凡,曹小玉,李际平,等. 福寿林场4种典型林分的土壤肥力分析及综合评价[J]. 西部林业科学,2021,50(6):53-60,75.
- [21] 吴昊. 秦岭山地松栎混交林土壤养分空间变异及其与地形因子的关系[J]. 自然资源学报,2015,30(5):858-869.
- [22] TAYLOR M D, LOCASCIO S J. Blossom-end rot: A calcium deficiency[J]. Journal of Plant Nutrition, 2004, 27(1):123-139.
- [23] VITOUSEK P M, PORDER S, HOULTON B Z, et al. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions[J]. Ecological Applications, 2010, 20(1):5-15.
- [24] 谭琳,苏宇乔,张卫强,等. 新丰江水库库区水源林土壤养分及肥力特征[J]. 林业与环境科学,2022,38(3):53-62.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.019

## 基于高通量测序技术的大连童牛岭风景区 土壤真菌群落特征研究

郝然<sup>1,2</sup>, 赵雨晨<sup>3</sup>, 尚佳航<sup>2</sup>, 杨红<sup>1</sup>, 孙晓东<sup>1</sup>, 李琳琳<sup>1</sup>, 吕国忠<sup>1</sup>

(1. 大连民族大学 环境与资源学院, 辽宁 大连 116600; 2. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055;  
3. 三峡大学 艺术学院, 湖北 宜昌 443002)

**摘要:** 为了解大连市童牛岭风景区土壤真菌多样性及其功能区的变化趋势, 采用多点取样法, 在景区几个代表性功能区收集土壤样品, 利用高通量测序技术对土壤真菌进行检测。结果表明, 此次分析土壤真菌包括9个门, 33个纲, 82个目, 170个科, 312个属, 407个种。景区土壤真菌多样性在多种因素的综合影响下, 不同功能区之间均表现出明显的差异, 总的趋势是人流量较少区域最高, 路旁草地次之。

**关键词:** 真菌多样性; 群落结构; 高通量测序; FUNGuild 功能预测; 童牛岭风景区; 大连

中图分类号: S714.5 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0124-08

引文格式: 郝然, 赵雨晨, 尚佳航, 等. 基于高通量测序技术的大连童牛岭风景区土壤真菌群落特征研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 124-131. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.019

HAO Ran, ZHAO Yuchen, SHANG Jiahang, et al. Characteristics of Soil Fungal Community in Tongniuling Scenic Spot of Dalian Based on High-throughput Sequencing Technology[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 124-131. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.019

## Characteristics of Soil Fungal Community in Tongniuling Scenic Spot of Dalian Based on High-throughput Sequencing Technology

HAO Ran<sup>1,2</sup>, ZHAO Yuchen<sup>1</sup>, SHANG Jiahang<sup>3</sup>, YANG Hong<sup>2</sup>, SUN Xiaodong<sup>1</sup>, LI Linlin<sup>1</sup>, LYU Guozhong<sup>1</sup>

(1. College of Environment and Bioresources, Dalian Minzu University, Dalian, Liaoning 116600, China; 2. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;  
3. School of Arts, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002 China)

**Abstract:** The aim of this study was to understand the variation trend of soil fungal diversity and functional areas in Tongniuling Scenic Spot of Dalian City. Multi-point sampling method was used to collect soil samples from several representative functional areas of the scenic spot, and high-throughput sequencing technology was used to detect soil fungi. The results showed that the soil fungi included 407 species, 312 genera, 170 families, 82 orders, 33 classes and 9 phyla. Under the comprehensive influence of various factors, the diversity of soil fungi in scenic areas showed significant differences among different functional areas, and the general trend was the highest in areas with less human flow, followed by roadside grassland.

**Key words:** fungal diversity; community structure; high-throughput sequencing; FUNGuild function prediction; Tongniuling Scenic Spot; Dalian

收稿日期: 2022-08-06.

基金项目: 大连民族大学 2022 年研究生创新项目.

第一作者: 郝然(1996-), 男, 陕西渭南人, 博士研究生. 研究方向为土壤真菌生态. Email: 1223669627@qq.com

责任作者: 吕国忠(1964-), 男, 辽宁铁岭人, 教授. 研究方向为真菌分类与真菌资源利用. Email: lvgz@dlmu.edu.cn



土壤真菌是自然生态系统的重要组成部分<sup>[1]</sup>,尤其在物质与能量循环、生物多样性、生态环境的维持与恢复等方面起着十分重要的作用<sup>[2-3]</sup>。土壤真菌中存在着大量有益种类,已在食用和药用等方面得到了开发和应用,表现出巨大的应用潜力<sup>[4]</sup>。由于受到土壤环境、植被状况以及人类活动等因素的影响,不同条件下的土壤真菌种群数量变化存在较大差异<sup>[5]</sup>。

土壤是生态环境中重要的组成部分<sup>[6]</sup>,为自然和人工生态系统中的天然林、人造林、草地等植被的生存提供生境<sup>[7]</sup>。目前,随着我国生态文明城市建设的快速发展,在城区或郊区依靠自然或人工森林而建设各类风景区的热潮方兴未艾<sup>[8]</sup>。具有自然属性和人为属性是此类风景区的重要特点<sup>[9]</sup>。一方面,景区植被繁茂,自然风景保护完善,环境优美;另一方面,风景区受到人为改造,有明显的空间异质性,且周围城市建设较成熟,受人为活动干扰显著<sup>[10]</sup>。因此,景区生态环境是典型的自然和人工复合生态系统<sup>[11]</sup>。

大连经济技术开发区童牛岭风景区位于开发区东部偏南,山海相依,北侧紧挨闹市区,南侧则是广阔的大海,是区域标志性、生态型景区,是满足市民休息游憩需求、改善城市生态情况、美化城市环境的重要载体。进行土壤生物资源调查具有重要的意义<sup>[12]</sup>,因为了解土壤真菌结构组成和变化规律是保护和利用该类资源的基础。另外,开展风景区生态环境中土壤真菌资源的调查,既有利于环境资源的研究,也为景区的开发、保护和利用提供科学支撑,为社会提供更加完备的服务。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

童牛岭风景区位于大连经济技术开发区,地理坐标 121.774°~121.799°E,39.027°~39.044°N。景区占地面积约为 8.3 km<sup>2</sup>,主峰镜石峰海拔 173 m。整座景区南临黄海,北眺大黑山,属于典型的北温带湿润半湿润季风气候,四季分明,气候温和,夏无酷暑,冬无严寒,降水集中,季风明显。该地区年均气温 10.5℃,年平均降水量 517.8~550.3 mm,年无霜期 90~100 d,土壤为森林暗棕壤<sup>[13]</sup>。树木以槐、柞居多,松树次之。

### 1.2 采样布点

2022 年 6 月在童牛岭景区内进行土壤样品采集(图 1),确定面积为 5 m×5 m 的采样点,去除表面覆盖物 5 cm 后利用“五点法”采集目标区域内土样

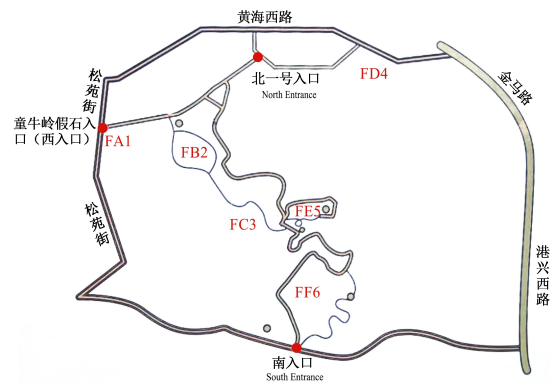


图 1 土壤样品采集点分布

Fig. 1 Distribution of soil sample collection points

后充分混合。将落叶、细根、石粒等杂物从土壤样品中挑出后过 4 mm 尼龙筛。共计 6 份土样,保存在大连民族大学环境与资源学院真菌分类研究室,保存温度-80℃,用于土壤微生物测定(表 1)。

表 1 土壤样品采集点基本情况

Tab. 1 General situation of soil sample collection points

采集点	坐标	土壤类型	海拔 /m	植被	特点
FA1	121.775°E 39.041°N	棕色森林土	17.5	槐、松树	松苑街与东山路交汇,景区西入口
FB2	121.780°E 39.039°N	棕色森林土	55.9	松树	景区湖泊周围
FC3	121.781°E 39.035°N	棕色森林土	88.4	槐、松树	自然程度高,未开发,人流量低
FD4	121.789°E 39.042°N	棕色森林土	48.7	柞、松树	近居民区,交通不便,人流量较低
FE5	121.786°E 39.035°N	棕色森林土	123.4	槐树	景区山峰顶点,公路旁,人流量较高
FF6	121.785°E 39.029°N	棕色森林土	62.7	松树	位于迎风坡,开发程度低,人行道附近

### 1.3 土壤总 DNA 的提取

使用 TGuide S96 磁性土壤/粪便 DNA 试剂盒 (Tiangen Biotech (Beijing) Co., Ltd.) 提取土壤样本总 DNA,每个样本设置 3 个重复,以稀释后的样本总 DNA 为模板,使用针对 ITS1 的标准特异引物 ITS1F (CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA) ITS2 (GCT-GCGTTCTTCATCGATGC) 进行扩增。PCR 反应体系 (25 μL): 2×PCRMix 10 μL,上、下游引物各 1 μL,模板 3 μL,补足 ddH<sub>2</sub>O 至 25 μL。PCR 反应条件:95℃ 5 min;95℃ 30 s,50℃ 30 s,72℃ 40 s,25 个循环;72℃ 7 min。用 1.8% 的琼脂糖凝胶电泳检测后,将属于同一个样本的 5 个 PCR 产物混合均匀为 1 个

样品后,送至青岛百迈客生物信息科技有限公司进行高通量测序。

### 1.4 生物信息学分析

数据预处理去除 barcode 和引物后,利用 FLASH、QIIME、MOTHUR 等软件获得有效数据,以 0.97 的相似度划分 OTU 并选取代表序列,同时对 OTUs 代表序列进行物种注释与统计。使用 SPSS 26.0 进行数据分析,利用 C 语言进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤样品测序结果及取样深度验证

对收集的土壤样品 DNA 进行 Illumina Novaseq 高通量测序,将高通量测序得到的原始数据进行整理、过滤、分析后,从 6 个样品中共获得了 462 086 条有效序列,平均为 322 bp。具体到样品,每个样品至少产生 64 140 条 Clean Reads。在平均产生 77 014 条 Clean Reads 的基础上,对样本进行聚类 and 注释,共得到 1 374 个 ASVs (amplicon sequence variants, 扩增子序列变体)(图 2)。

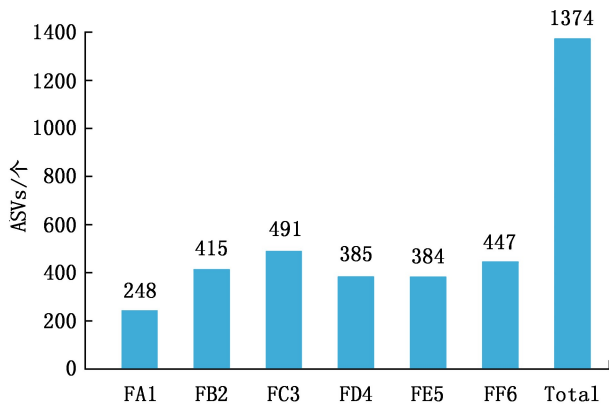


图 2 各样品 ASVs 分布

Fig. 2 ASVs distribution of each sample

由图 2 可以看出,样地 FA1 的 ASVs 数值较其他 5 个样地差距较大。样品中真菌归属于 9 个门, 33 个纲, 82 个目, 170 个科, 312 个属, 407 个种(表 2)。

6 个群落森林土壤样品的真菌 OTU 数目组成的相似性通过 Venn 图(图 3)能够直观地对比。如图所示,在 97% 的相似水平上,样地土壤真菌共同的 OTU 仅为 19 个,约占 2.21%;FF6 特有 OTU 数目最多,为 187 个,约占 21.77%;FA1 特有 OTU 数目最少,为 47 个,约占 5.47%。6 个土壤样品真菌的 OTU 存在较大差异。

表 2 样品各等级物种统计

Tab. 2 Statistics of sample species at different levels

样地	界	门	纲	目	科	属	种
FA1	1	7	19	39	76	116	129
FB2	1	9	25	58	113	165	188
FC3	1	9	25	60	120	195	222
FD4	1	8	25	55	102	154	183
FE5	1	7	27	60	108	167	183
FF6	1	7	22	49	103	178	206
合计	1	9	33	82	170	312	407

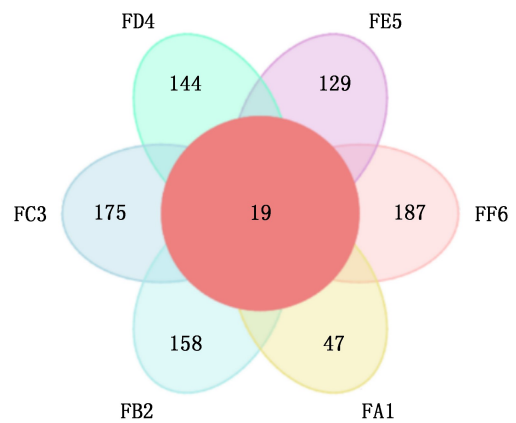


图 3 土壤样品 Venn

Fig. 3 Venn map of soil samples

### 2.2 丰富度和多样性指数分析

稀释曲线显示,随着测序样本数量的增加,Alpha 多样性变化逐渐滞缓,达到足够的数量后,曲线逐渐趋于平缓(图 4),因此,测序深度能够覆盖土壤样品中的所有真菌。

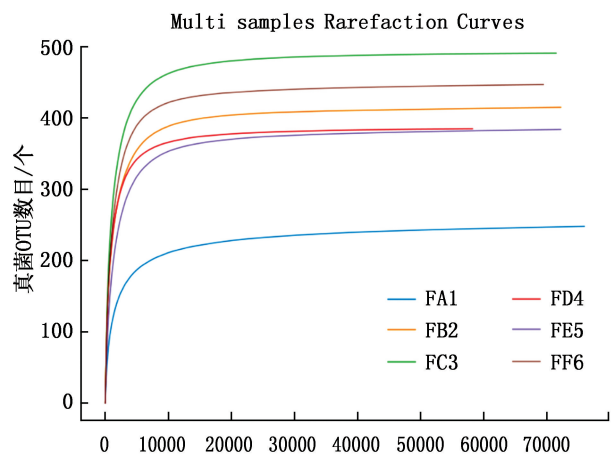


图 4 土壤样品的稀释曲线

Fig. 4 Dilution curve of soil samples

如图 4 所示,6 个样点土壤样品的稀释曲线均趋向平缓,但几乎饱和,表明测试样品采样合理,测试数据量合理,能够真实地反映 6 个样点土壤样本的真菌群落,但可能还有一些并未被发现的少量菌群。6 个样点土壤测序的覆盖度指数最低为 0.999

8,说明供试土壤样品的真实情况能够被测序结果精准地反映出来(表 3)。Simpson 指数、Shannon 指数和 Chao1 指数中,FC3 样点均为最高,说明该样点的土壤真菌的物种数量、群落复杂程度和信息量最高。

表 3 Alpha 多样性指数统计  
Tab. 3 Alpha diversity index statistics

样地	特征	ACE	Chao1	Simpson	Shannon	PD whole tree	覆盖率
FA1	248	253.8165	261.20	0.7552	3.8845	50.5692	0.9998
FB2	415	417.3945	429.00	0.9790	6.9331	79.7669	0.9999
FC3	491	491.9423	492.20	0.9857	7.3728	90.2338	0.9999
FD4	385	386.2165	386.50	0.9839	7.0189	70.7905	0.9999
FE5	384	386.9977	388.60	0.8483	4.9055	81.1074	0.9999
FF6	447	450.2415	452.25	0.9778	6.8722	86.7323	0.9999

Rank-abundance 曲线(图 5)用来解释样品多样性的丰富度和均匀度,曲线越宽,表明物种结构越丰富,曲线越平缓,表明物种结构越均匀。对比不同的样品发现,样点 FC3 的真菌丰富度和均匀度明显高于其他土壤样品,而样点 FA1 的丰富度和均匀度明显低于其他样品。

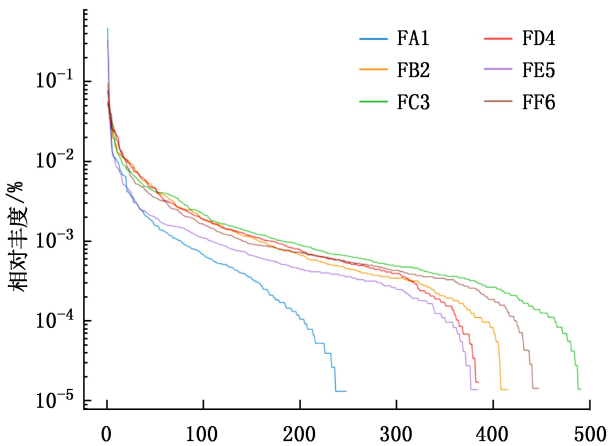


图 5 Rank-Abundance 曲线  
Fig. 5 Rank-Abundance graph

### 2.3 土壤真菌热图分析

通过对各样点土壤真菌的相关性热图(图 6)分析发现,不同样点间存在较大差异:样点 FB2 与 FC3 间的相似性较高,而样点 FA1 与 FE5 间的相似性较低。主成分分析(principal coordinates analysis, PCoA)结果(图 7)表明,不同产地间土壤真菌群落的组成

存在显著差异。

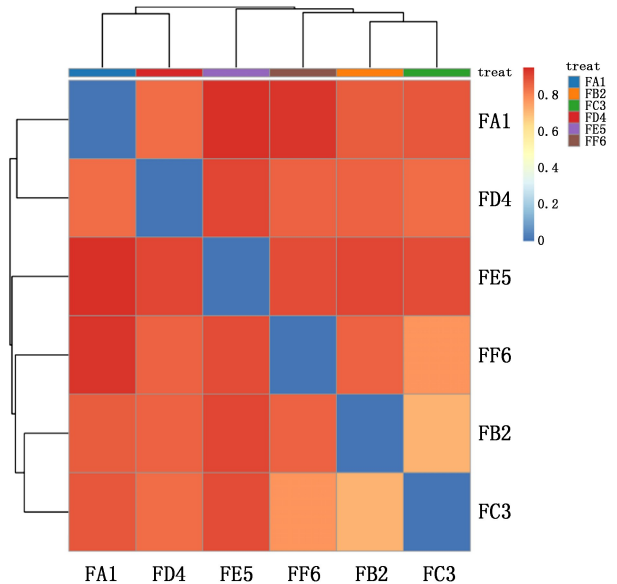


图 6 不同土壤样品间的关系  
Fig. 6 Relationship of different soil samples

### 2.4 真菌群落结构组成与分析

#### 2.4.1 门水平上的多样性

通过对测序结果的 OTU 注释分析,发现它们属于 9 门、33 纲、82 目、170 科、312 属、407 种真菌。在门水平上的物种分布(图 8),以子囊菌门(Ascomycota)、担子菌门(Basidiomycota)、被孢霉门(Mortierellomycota)、壶菌门(Chytridiomycota)、球囊菌门(Glomeromycota)、罗兹菌门(Rozellomycota)、梳霉门



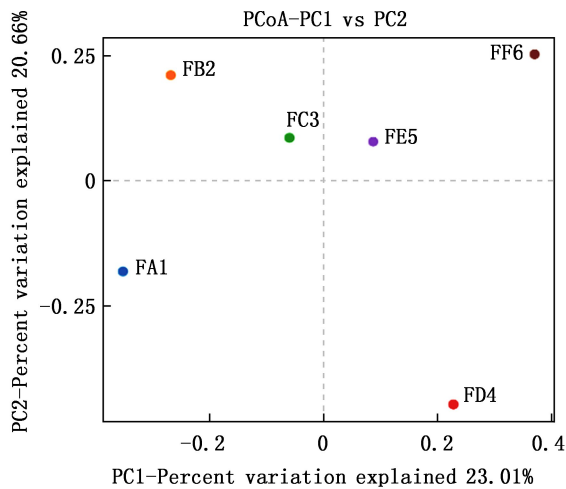


图 7 不同土壤样品间的主成分分析

Fig. 7 PCA of different soil samples

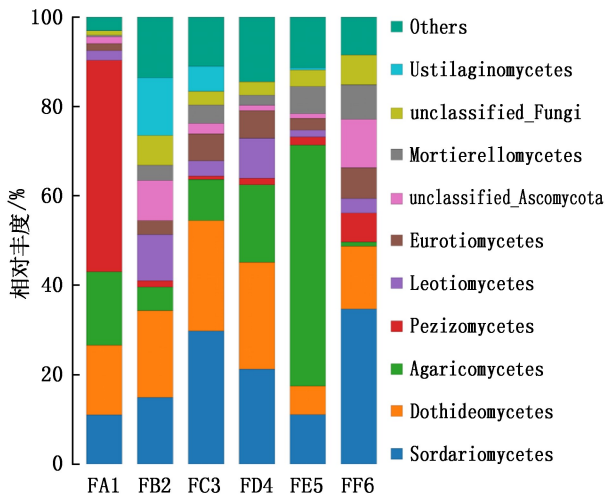


图 8 真菌在门水平的物种分布

Fig. 8 Species distribution of fungi at phylum level

(Kickxellomycota)、油壶菌门(Olpidiomycota)为 6 个样地的共同优势菌门。其中,子囊菌门在除 FE5 外的其他样品中相对丰度最高,为 27.1%~79.4%;而担子菌门的相对丰度在不同样品中差异较大,为 3.4%~60.5%,在 FE5 相对丰度最高,为 60.5%,是 FF6 的 17.79 倍,FB2 的 3.36 倍。另外,各样品中均包含一定比例的未知菌门。

### 2.4.2 纲水平上的多样性

在纲水平上,粪壳菌纲(Sordariomycetes)、座囊菌纲(Dothideomycetes)、伞菌纲(Agaricomycetes)、盘菌纲(Pezizomycetes)、锤舌菌纲(Leotiomycetes)、散囊菌纲(Eurotiomycetes)、被孢霉纲(Mortierellomycetes)、黑粉菌纲(Ustilaginomycetes)为土壤真菌的优势菌纲(图 9)。其中,盘菌纲在 FA1 的相对丰度

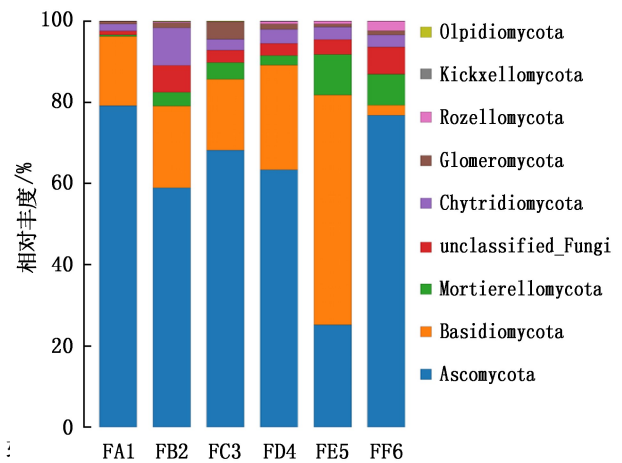


图 9 真菌在纲水平的物种分布

Fig. 9 Species distribution of fungi at class level

对丰度较高,分别为 31.26%和 34.6%;伞菌纲在样点 FE5 的相对丰度较高,为 53.65%。

### 2.4.3 目水平上的多样性

在目水平上,格孢腔菌目(Pleosporales)、肉座菌目(Hypocreales)、伞菌目(Agaricales)、盘菌目(Pezizales)、红菇目(Russulales)、柔膜菌目(Helotiales)、被孢霉目(Mortierellales)、粪壳菌目(Sordariales)为优势菌目(图 10)。其中,格孢腔菌目在样点 FC3 和 FD4 的占比分别为 18.67%和 19.25%;肉座菌目在样点 FF6 的占比为 24.18%;伞菌目在样点 FE5 的占比为 56.64%;盘菌目和红菇目在样点 FA1 占比分别为 47.92%和 14.30%。

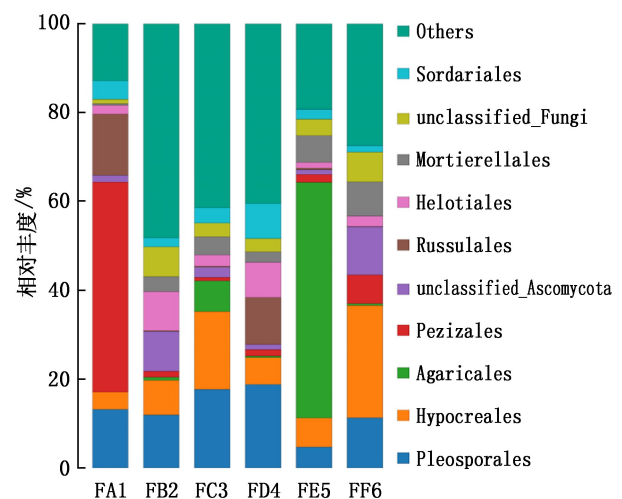


图 10 真菌在目水平的物种分布

Fig. 10 Species distribution of fungi at order level

### 2.4.4 科水平上的多样性

在科水平上,火丝菌科(Pyronemataceae)、鬼伞

科 (Psathyrellaceae)、赤壳科 (Nectriaceae)、隔孢伏革菌科 (Peniophoraceae)、被孢霉科 (Mortierellaceae)、枝孢科 (Cladosporiaceae)、黑粉菌科 (Ustilaginaceae) 为优势菌科 (图 11)。其中,火丝菌科在样点 FA1 的相对丰度较高,为 48.37%;鬼伞科在样点 FE5 的相对丰度较高,为 52.37%;赤壳科在样点 FF6 的相对丰度较高,为 21.62%;隔孢伏革菌科在样点 FA1 和 FD4 的相对丰度较高,分别为 13.27% 和 12.83%;被孢霉科在样点 FF6 的相对丰度较高,为 6.59%。

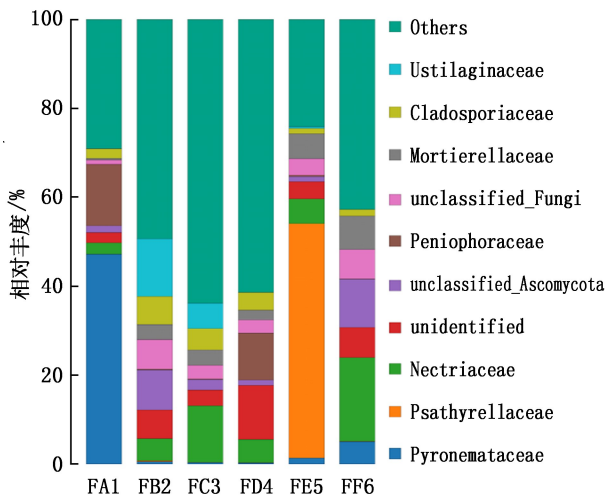


图 11 真菌在科水平的物种分布

Fig. 11 Species distribution of fungi at family level

#### 2.4.5 属水平上的多样性

在属水平上,小脆柄菇属 (*Psathyrella*)、地孔菌属 (*Geopora*)、镰孢菌属 (*Fusarium*)、刺孢菌属 (*Subulicystidium*)、被孢霉属 (*Mortierella*)、枝孢菌属 (*Cladosporium*)、黑粉菌属 (*Ustilago*) 为优势菌属 (图 12)。其中,小脆柄菇属在样点 FE5 的相对丰度较高,为 52.36%;地孔菌属在样点 FA1 的相对丰度较高,为 46.37%;镰孢菌属在样点 FC3 和 FF6 的相对丰度较高,分别为 11.51% 和 12.47%;*Subulicystidium* 在样点 FA1 的相对丰度较高,为 13.68%;黑粉菌属在样品 FB2 的相对丰度较高,为 9.27%。

#### 2.5 FUNGuild 功能预测结果

FUNGuild (fungi functional guild) 是指通过微生物生态 guild 对真菌群落进行分类分析<sup>[14]</sup>。FUNGuild 真菌功能预测是基于目前已发表的文献或权威网站数据,根据营养方式的不同,将真菌分为病理营养型 (pathotroph)、共生营养型 (symbiotroph)、腐生营养型 (saprotroph),这 3 种营养类型真菌对宿主细胞进行不同的干扰使其破损。根据 3 种营养方式,又将

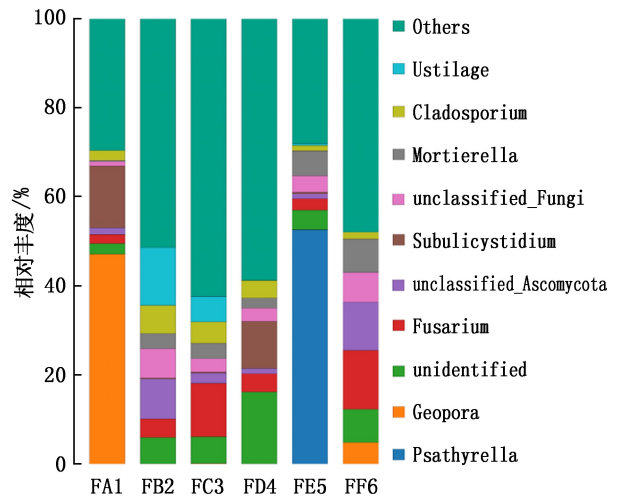


图 12 真菌在属水平的物种分布

Fig. 12 Species distribution of fungi at genus level

其进一步划分为 15 个 guilds:丛枝菌根真菌 (arbuscular mycorrhizal fungi)、杜鹃花类菌根真菌 (ericoid mycorrhizal fungi)、外生菌根真菌 (ectomycorrhizal fungi)、动物病原菌 (animal pathogens)、植物病原菌 (plant pathogens)、地衣寄生真菌 (lichenicolous fungi)、地衣寄生真菌 (mycoparasites)、地衣共生真菌 (lichenized fungi)、叶内生真菌 (foliar endophytes)、未定义根内生真菌 (undefined rootendophytes)、未定义腐生真菌 (undefined saprotrophs) 和木质腐生真菌 (woodsaprotrophs),以及 3 类形态特殊的真菌:酵母菌 (yeast)、兼性酵母菌 (facultative yeast) 和仅生成菌丝体的类型 (thallus)<sup>[15]</sup>。经过生物信息学的手段,将真菌物种分类与 guild 功能分类联系起来,使得能够对真菌进行功能分类<sup>[16]</sup>。

使用 FUNGuild 对童牛岭土壤真菌群落进行功能分析预测,未定义腐生菌在各样点中占比均较高,其中最高的是 FC4,为 51.48%。而植物腐生菌功能群在土壤中所占比例最高的是 FB2,为 62.9%,最低的是 FA1,为 9.2%,表明植物腐生型功能群在植被旺盛的组织中占比较高。土壤中,其他营养类型如动物病原型在样点 FE5 占比达到 81.73%、动物病原菌—粪肥腐生营养型—腐生真菌—植物腐生营养型—木质腐生营养型 (animal pathogen—dung saprotroph—endophyte—plant saprotroph—soil saprotroph—wood saprotroph) 和腐生真菌—地衣寄生虫—植物病原菌—未定义腐生菌 (endophyte—lichen parasite—plant pathogen—undefined saprotroph) 在样点 FD4,外生菌根型 (ectomycorrhizal) 在样点 FF6,丛枝菌根型 (arbuscular mycorrhizal) 在样点 FC3 的土中占比超过 10% (图 13)。



图 13 FUNGuild 功能预测  
Fig. 13 FUNGuild functions prediction

如图 13 所示,对各样品中超过 1% 的菌群进行了详细的物种生态功能预测分类,除未定义真菌 (unassigned) 占一定比例外,从童牛岭土壤真菌鉴定出的主要生态功能菌为是植物病原菌和动物病原菌。各土壤样品中无其他类型的功能菌群占比超过 10%。这些相关土壤真菌的生理生态功能有待进一步深入研究。

### 3 讨 论

利用高通量测序技术可以对土壤真菌菌落信息进行精确、系统、全面的分析<sup>[17]</sup>。通过利用高通量测序技术对童牛岭风景区样品真菌群落多样性进行分析,共得到 1 374 个 OTUs,获得真菌菌落 9 门、33 纲、82 目、170 科、312 属、407 种,以赤壳科、火丝菌科、黑粉菌科和鬼伞科等为主。对风景区不同位点(人为干扰程度不同)的土壤真菌进行了分析,结果表明,不同位点土壤真菌的群落结构和多样性存在差异,共有的 OTUs 仅 19 个,群落丰富度和多样性总体趋势表现为位点 FC3>FD4>FB2>FF6>FE5>FA1;在群落组成上,除位点 FE5 的优势菌门为担子菌门外,其余优势菌门均为子囊菌门。位点 FC3 和 FD4 的土壤真菌群落较为接近,说明不同位点土壤真菌群落多样性存在着较大差异,与 YU 等<sup>[18]</sup>研究一致。FA1 样品的香农指数、辛普森指数、Chaol 指数和 ACE 指数普遍较低,表明 FA1 样品真菌群落少。FC3 与 FF6 样品香浓指数、辛普森指数相对应

较高,说明这两份土壤样品中真菌群落较多。研究发现,受到人为干扰比较严重区域菌落多样性较低,例如交通主干道、靠近居民区的区域 (FA1、FD4)。由于城市建设等使得景区裸地面积扩大,土壤板结,加之园林绿化建设活动,在一定程度上影响了土壤真菌的分布和生长,这也与孙其远<sup>[19]</sup>的研究结果相同。而 FC3 土壤样品的菌落多样性明显高于其他区域,也与其自然程度高,未开发,受人为干扰影响小相关,这与于天赫等<sup>[20]</sup>研究结果相一致。另一方面,不同地域的真菌优势群落存在差异,这是因为生态因子的变化及人类活动行为导致部分真菌的生长繁殖受到限制,对真菌菌落有一定改变<sup>[21]</sup>。测序结果表明,童牛岭风景区不同位点土壤真菌的群落组成和多样性有一定区别,然而在优势菌群上差异并不明显,这或许与地表植物在生长过程中与土壤真菌的相互影响密不可分<sup>[22]</sup>,此类真菌有着分布广泛、环境耐受性强等特征<sup>[23-30]</sup>。

良好的生态环境,是鱼逐水草而居,鸟择良木而栖。生态环境是人类赖以生存最为根本的前提条件。因此,良好的生境在城市建设的进程中是无法忽视的。童牛岭风景区在大连城市发展中改善城市生态环境能起到重要的作用。风景区一方面成为城市绿化的主要组成部分,另一方面又是城市生态系统中最重要组成部分,是具备森林生态系统和城市公园双重功能的设施。而研究土壤真菌结构构成和变化规律是保护和综合利用此类资源的前提。



因为此次实验研究仅是探索性的,得出的结论也是初步的,还需要更为严谨的取样计划与深入全面的分析,才会有更为严谨的真菌群落稳定性的相关结论。

### 参考文献:

- [1] 张露琪,张志明,张丽梅,等. 典型农田退耕后土壤真菌与细菌群落的演替[J]. 生态学报,2019,39(8):2715-2722.
- [2] JEAN C. RODRIGUEZ-RAMOS, CALE J A, CAHILL J F, et al. Changes in soil fungal community composition depend on functional group and forest disturbance type [J]. *New Phytologist*, 2021; 229(2): 656-658.
- [3] JEEWON R, HYDE K D. Detection and diversity of fungi from environmental samples: traditional versus molecular approaches [J]. *Soil Biology*, 2007(11): 1-15.
- [4] 赵吉,廖仰南. 羊草草原分解者亚系统的特性及作用 [J]. 生态学报, 1995(4): 359-364.
- [5] 姚贤民,吕国忠,杨红,等. 长白山森林土壤真菌区系研究 [J]. 菌物研究, 2007(1): 43-46.
- [6] KENNEDY A C, SMITH K L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils [J]. *Plant and Soil*, 1995, 170: 78-86.
- [7] 胡斌. 陕西省咸阳地区林木 VA 菌根真菌资源调查 [J]. 陕西林业科技, 2006(2): 37-39.
- [8] ALELE P O, SHEIL D, SURGET-GROBA Y, et al. How does conversion of natural tropical rainforest ecosystems affect soil bacterial and fungal communities in the Nile River Watershed of Uganda [J]. *PLoS ONE*, 2014, 9(8): e104818.
- [9] 樊颖. 长沙市浏阳河末段滨水景观设计研究 [J]. 西北农林科技大学, 2016(11): 58.
- [10] 任尧. 城市开放性公园绿地的环境评价对其价值延续的指导性探究——以重庆中央公园为例 [J]. 中国园林, 2021, 37(S1): 129-133.
- [11] 鲁小波,陈晓颖,马斌斌,等. 自然保护区生态旅游健康度的概念辨析与评价体系构建 [J]. 林业调查规划, 2014, 39(4): 46-50, 64.
- [12] 陈泽鑫,曹帅婷. 土壤真菌在森林生态系统功能调控中的作用与意义 [J]. 科学技术创新, 2020(12): 3.
- [13] ZHENG Y, PULAK MAITRA, GAN H Y, et al. Soil fungal diversity and community assembly: affected by island size or type? [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2021, 97(5): 62.
- [14] ZHANG J, ZHANG H W, LI X Y, et al. Research advances in soil fungal diversity and molecular ecology [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004(10): 1958-1962.
- [15] 陈美良. 金县志 [M]. 大连:大连出版社, 2005.
- [16] FUNGuild: An open annotation tool for parsing fungal community datasets by ecological guild [J]. *Fungal Ecology*, 2016, 20(1): 241-248.
- [17] LEFF J W, LYNCH R C, KANE N C, et al. Plant domestication and the assembly of bacterial and fungal communities associated with strains of the common sunflower, *Helianthus annuus* [J]. *New Phytologist*, 2016, 214(1): 412-423.
- [18] YU F, LIN J, XIE D, et al. Soil properties and heavy metal concentrations affect the composition and diversity of the diazotrophs communities associated with different land use types in a mining area [J]. *Applied Soil Ecology*, 2020, 155: 103669.
- [19] WU Q F, HOU L J, HE L M, et al. High throughput sequencing analysis of microbial diversity in rhizosphere and non rhizosphere soil of *Artemisia argyi* [J]. *J. Henan Agric. Univ.*, 2021, 55(5): 928-935.
- [20] 于天赫,张乃莉,于爽,等. 北京城市公园常见乔木土壤真菌群落特征及影响因素 [J]. 生态学报, 2021, 41(5): 1835-1845.
- [21] 翁志强,许钰滢,吕正阳,等. 巨菌草根际土壤微生物群落代谢功能多样性分析 [J]. 广东农业科学, 2021, 48(4): 62-68.
- [22] 王海斌,陈晓婷,丁力,等. 连作茶树根际土壤自毒潜力、酶活性及微生物群落功能多样性分析 [J]. 热带作物学报, 2018, 39(5): 852-857.
- [23] 陈冉,刘志强,王丹丹. 基于高通量测序比较不同产地药用银杏根际土壤微生物多样性 [J]. 药物生物技术, 2021, 28(2): 117-122.
- [24] KOLARÍKOVÁ Z, KOHOUT P, KRÜGER C, et al. Root-associated fungal communities along a primary succession on a mine spoil: Distinct ecological guilds assemble differently [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2017, 113: 143-152.
- [25] 程立君,王磊,吴银梅,等. 高通量测序技术分析光叶珙桐根际土壤微生物多样性 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(1): 43-49.
- [26] 郑雪芳,苏远科,刘波,等. 不同海拔茶树根系土壤微生物群落多样性分析 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 866-871.
- [27] 李鑫,刘怡. 晋东南 3 种道地药材植物根际真菌群落特性 [J]. 生态环境学报, 2019, 28(7): 1388-1393.
- [28] SHEN C C, SHI Y, NI Y Y, et al. Dramatic increases of soil microbial functional gene diversity at the treeline ecotone of Changbai Mountain [J]. *Front Microbiol.*, 2016, 7: 1184.
- [29] 褚海燕,冯毛毛,柳旭,等. 土壤微生物生物地理学:国内进展与国际前沿 [J]. 土壤学报, 2020, 57(3): 515-529.
- [30] ZHANG Y G, LIU X, CONG J, et al. The microbially mediated soil organic carbon loss under degenerative succession in an alpine meadow [J]. *Molecular Ecology*, 2017, 26(14): 3676-3686.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.021

## 云南省蕨类植物两个新纪录属——燕尾蕨属和黑心蕨属

喻智勇<sup>1</sup>, 陈文红<sup>2</sup>, 王玉琴<sup>1</sup>, 周建和<sup>1</sup>, 李建红<sup>1</sup>, 潘杨杨<sup>3</sup>, 张良<sup>2</sup>

(1. 金平分水岭国家级自然保护区管护局, 云南 金平 661599; 2. 中国科学院昆明植物研究所, 云南 昆明 650201;  
3. 红河学院 生物科学与农学学院, 云南 蒙自 661199)

**摘要:**在金平分水岭国家级自然保护区第二次综合科学考察期间, 采集到蕨类植物双扇蕨科 (Dipteridaceae) 物种全缘燕尾蕨 *Cheiropleuria integrifolia* (D. C. Eaton ex Hook.) M. Kato 和凤尾蕨科 (Pteridaceae) 物种黑心蕨 *Doryopteris concolor* (Langsd. & Fisch.) Kuhn。文献考证表明, 两个物种所在的燕尾蕨属 (*Cheiropleuria* C. Presl) 和黑心蕨属 (*Doryopteris* J. Sm.) 均为云南省新纪录属。凭证标本存放于中国科学院昆明植物研究所标本馆 (KUN)。

**关键词:** 蕨类植物; 燕尾蕨属; 黑心蕨属; 新纪录属; 金平分水岭国家级自然保护区; 云南省

中图分类号: S682.35 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0140-05

引文格式: 喻智勇, 陈文红, 王玉琴, 等. 云南省蕨类植物两个新纪录属——燕尾蕨属和黑心蕨属 [J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 140-144. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.021

YU Zhiyong, CHEN Wenhong, WANG Yuqin, et al. Two Newly Recorded Genera in Yunnan Province——*Cheiropleuria* (Dipteridaceae) and *Doryopteris* (Pteridaceae) [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 140-144. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.021

## Two Newly Recorded Genera in Yunnan Province——*Cheiropleuria* (Dipteridaceae) and *Doryopteris* (Pteridaceae)

YU Zhiyong<sup>1</sup>, CHEN Wenhong<sup>2</sup>, WANG Yuqin<sup>1</sup>, ZHOU Jianhe<sup>1</sup>, LI Jianhong<sup>1</sup>,  
PAN Yangyang<sup>3</sup>, ZHANG Liang<sup>2</sup>

(1. Jinping Administration of Fenshuiling National Nature Reserve, Jinping, Yunnan 661599, China;  
2. Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, China;  
3. College of Biological & Agricultural Sciences, Honghe University, Mengzi, Yunnan 661199, China)

**Abstract:** The second integrated scientific survey on Fenshuiling National Nature Reserve in 2021 collected two fern species, *Cheiropleuria integrifolia* (D. C. Eaton ex Hook.) M. Kato (Dipteridaceae) and *Doryopteris concolor* (Langsd. & Fisch.) Kuhn (Pteridaceae). The further literature reviews showed that the two genera *Cheiropleuria* C. Presl and *Doryopteris* J. Sm. were new to Yunnan province. The voucher specimens were deposited in the Herbarium of Kunming Institute of Botany (KUN).

**Key words:** ferns; *Cheiropleuria* (Dipteridaceae); *Doryopteris* (Pteridaceae); newly recorded genera; Jinping Fenshuiling National Nature Reserve; Yunnan Province

收稿日期: 2023-12-20.

基金项目: 金平分水岭国家级自然保护区第二次综合科学考察项目; 云南省基础研究专项重大项目 (202101BC070002); 云南省自然生态监测网络 (2022-YN-06).

第一作者: 喻智勇 (1976-), 男, 云南金平人, 高级工程师. 主要研究方向为植物分类. Email: 782545984@qq.com

责任作者: 张良 (1985-), 男, 四川彭州人, 副研究员. 主要研究方向为植物分类. Email: zhangliang@mail.kib.ac.cn

蕨类植物(Pteridophytes)是维管植物的重要组成部分,其多样性状况在一定程度上反映了整个研究区的植物多样性状况。云南省是我国蕨类植物多样性最高的省份,也是蕨类植物多样性研究比较彻底的一个地区<sup>[1-4]</sup>。近年来蕨类植物新种在云南陆续被发现<sup>[5-9]</sup>,与之相比,新纪录物种却鲜有报道<sup>[10]</sup>。位于云南东南部的金平分水岭国家级自然保护区(以下简称“保护区”)是云南省 21 个国家级自然保护区之一,保护区蕨类植物丰富,已有报道共记录了保护区蕨类植物 30 科 98 属 340 种<sup>[11]</sup>。2018 年以来,持续对保护区的蕨类植物开展考察,目前已记录到该区蕨类植物 34 科 102 属 372 种。在 2021 年 4 月开展的金平分水岭国家级自然保护区第二次综合科学考察期间,考察队员在保护区发现了形态独特的两种蕨类植物,即燕尾蕨和黑心蕨。经查阅相关文献<sup>[1-4,11-13]</sup>,确定燕尾蕨和黑心蕨为云南省新纪录种,而两物种所属的燕尾蕨属 *Cheiropleuria* C. Presl 和黑心蕨属 *Doryopteris* J. Sm. 为云南的新纪录属。与我国很多自然保护区所面临的情况一样,金平分水岭国家级自然保护区低海拔区域遭破坏严重,生境极度破碎化。而燕尾蕨和黑心蕨均发现于低海拔残存的植被群落中。

## 1 燕尾蕨属

*Cheiropleuria* C. Presl, Epimel. Bot. 189 (1851).

傅书遐,中国蕨类植物志属 148. f. 81. 1954; Ching in Acta Phytotax. Sin. 16(3): 16. 1978; Wu et Ching, Fern Fam. et Gen. China 485. t. 5-186. 1991.

Type: *Cheiropleuria bicuspis* (Blume) C. Presl

燕尾蕨属曾被归入单属科燕尾蕨科中<sup>[14-15]</sup>,现普遍处理为双扇蕨科成员<sup>[16]</sup>,与双扇蕨属 *Dipteris* 亲缘关系最近。燕尾蕨属共有 3 个种<sup>[17]</sup>,分布于马来西亚至中国南部和日本南部,为典型的热带亚洲分布属。中国有 2 个种,即全缘燕尾蕨和燕尾蕨。此前报道分布于我国四川、贵州、广西、广东、海南和台湾等地区,据地方植物志记载<sup>[13,18-19]</sup>,浙江和湖南也有分布。其中燕尾蕨为燕尾蕨属的模式种,其模式标本采自印度尼西亚的爪哇岛。而全缘燕尾蕨的模式标本采自日本琉球群岛,该种在金平分水岭国家级自然保护区的新发现,为该属植物向喜马拉雅山地区扩展的新边缘。对高温高湿条件的依赖限制了该属植物向高纬度地区的扩散。而同科的双扇蕨属有 9 个种,云南有 2 个种,即中华双扇蕨 *Dipteris chinensis* Christ 和喜马拉雅双扇蕨 *Dipteris wallichii*

(R. Br.) T. Moore<sup>[10]</sup>。中华双扇蕨在金平分水岭国家级自然保护区较为常见。

### 1.1 全缘燕尾蕨

*Cheiropleuria integrifolia* (D. C. Eaton ex Hook.)

M. Kato, Y. Yatabe, Sahashi & N. Murak., Blumea 46 (3): 522 (2001).

傅书遐,中国蕨类植物志属 148. f. 81. 1954; Ching, Ic. Fil. Sin. 1: pl. 50. 1930 et in W. Y. Chun et al., Fl. Hainan, 1: 168. f. 77. 1964; Ic. Corm. Sin. 1: 249. f. 498. 1972; De Vol et C. M. Kuo in H. L. Li et al., Fl. Taiwan 1: 163. Pl. 55. 1974 et Fl. Taiwan 2nd ed. 1: 467. pl. 181. 1994; Z. F. Zhang et S. Y. Zhang, Fl. Zhejiang 1: 296. f. 1-307. 1992.

≡ *Acrostichum bicuspe* (Blume) Hooker var. *integrifolia* D. C. Eaton ex Hooker, Sp. Fil. 5: 272. 1864; *Cheiropleuria bicuspis* (Blume) C. Presl var. *integrifolia* (D. C. Eaton ex Hooker) D. C. Eaton ex Matsumura & Hayata.

Type: C. Wright #s. n.; Ryukyu, Japan (holotype: K?, unseen; isotype: GH, GH00342375!)

全缘燕尾蕨在我国大陆的标本常被鉴定为燕尾蕨 *Cheiropleuria bicuspis* (Blume) C. Presl。依据 KATO 等<sup>[17]</sup>、严岳鸿等<sup>[20]</sup>的观点,将金平分水岭国家级自然保护区的标本鉴定为全缘燕尾蕨。

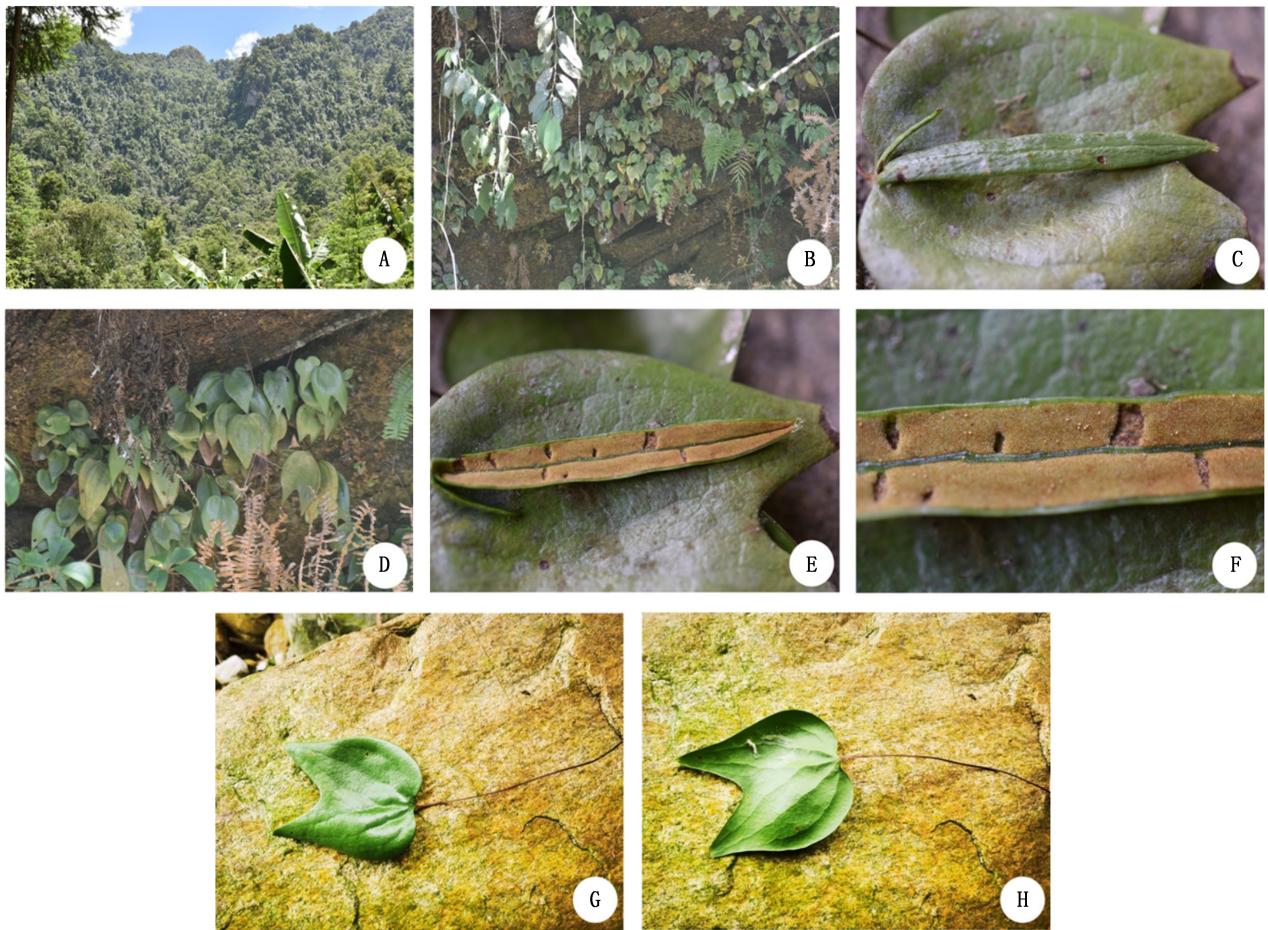
该种在云南省分布于金平县勐桥乡勐坪村瓦窑河,海拔 1 000 m,附生于阴暗避雨的石缝及石壁上(图 1)。凭证标本:喻智勇等 2022-003(KUN)。

全缘燕尾蕨在国内分布于四川(合江)、贵州(荔波)、湖南(宜章莽山)、浙江(平阳、苍南)、广西、广东、海南和台湾;在国外分布于巴布亚新几内亚、印度尼西亚、马来西亚、泰国、越南和日本南部。

### 1.2 野外现状

尽管全缘燕尾蕨已在我国 8 个省级行政区有分布报道,但野外分布点极少。如在四川的分布仅基于 1977 年在合江采集的一份存于成都生物研究所标本馆的标本(CDBI0005301!)。浙江则把该种纳入省级重点保护植物管理。在云南,目前仅在金平分水岭国家级自然保护区一山地雨林河岸陡峭的石壁上发现一个居群,约 70 个植株,长势良好。全缘燕尾蕨在金平分水岭国家级自然保护区的生境不易受到人为活动的干扰和破坏。该种的伴生植物乔木层有赤杨叶 *Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino、山黄麻 *Trema tomentosa* (Roxb.) H. Hara、鸡毛松 *Dacrycarpus imbricatus* var. *patulus* de Laub. 等;灌木





注:A:植被群落;B & D:生境;C、E、F:能育叶;G & H:不育叶

图 1 金平分水岭国家级自然保护区的全缘燕尾蕨

Fig. 1 *Cheiropleuria integrifolia* in Jinping Fenshuiling National Nature Reserve

层有展毛野牡丹 *Melastoma normale* D. Don、尖子木 *Oxyspora paniculata* (D. Don) DC. 等;草本层有乌毛蕨 *Blechnum orientale* L.、芒萁 *Dicranopteris pedata* (Houtt.) Nakaike 等。

## 2 黑心蕨属

*Doryopteris* J. Sm., J. Bot. (Hooker) 3:404 (1841), nom. cons.

Cop. Gen. Fil. 71. 1947.

Type: *Doryopteris concolor* (Langsd. & Fisch.) Kuhn

我国仅产于云南南部的戟叶黑心蕨 *Calciphilopteris ludens* (Wall. ex Hook.) Yesilyurt & H. Schneid. 曾广泛采用的学名为 *Doryopteris ludens* (Wall. ex Hook.) J. Sm.。Yesilyurt and Schneider<sup>[21]</sup> 基于形态和分子证据发表了戟叶黑心蕨属 *Calciphilopteris* Yesilyurt & H. Schneid., 属的模式种为戟叶黑心蕨。这样的变化使得黑心蕨属仅黑心蕨 *Doryopteris concolor*

(Langsd. & Fisch.) Kuhn 一种分布于我国的广西、广东、台湾和海南<sup>[1]</sup> (图 2)。黑心蕨属植物全球分布,其模式种黑心蕨的模式标本采自法属波利尼西亚的马克萨斯群岛。黑心蕨喜生于低纬度的低海拔地区。此次黑心蕨在金平分水岭国家级自然保护区的新发现是该属植物在我国分布的最西界。

### 2.1 黑心蕨

*Doryopteris concolor* (Langsd. & Fisch.) Kuhn, Re-isen Ost Afr. [Decken] 3 (3, Bot.):19 (1879).

Diels in Engl. u. Prantl, Nat. Pflanzenfam. 1 (4): 269. 1899; C. Chr. Ind. Fil. 243. 1906; Tard. -Blot et C. Chr. in Fl. Indo-Chine 7(2):178. 1940; Tryon, in Contr. Gray Herb. Harvard Univ. No. 143. 52. p1. 7, f. B. 1-6, 傅书遐, 中国主要植物图说 蕨类植物门 81. 1957; Ic. Corm. Sin. 1:160. f. 320. 1972; Shieh in H. L. Li et al., Fl. Taiwan II:268. Pl. 101. 1975; Y. L. Chang et al., Sporae Pterid. Sin. 163. f 51a et t. 32, f. 26, 27. 1976; Edie,

Ferns Hong Kong 242. 1978.

≡ *Pteris concolor* Langsd. & Fisch. Ic. Fil. 19, t. 21. 1810.

≡ *Allosorus concolor* O. Ktze. Rev. Gen. Fl. 12: 806. 1881.

≡ *Cheilanthes concolor* (Langsd. & Fisch.) Schelpe & N. C. Anthony, Contr. Bolus Herb. 10:155 (1982).

≡ *Pellaea concolor* (Langsd. & Fisch.) Baker in Fl. Bras. 1 (2): 396. 1870; Bedd. Handb. Ferns Brit.

Ind. 100. f. 52. 1883.

Type: Langsdorff #6; Nuku Hiva, Marquesas Islands (holotype: LE, LE00000031!; isotype: BM, BM000036318).

黑心蕨在云南省分布于金平县马鞍底乡拉灯河电站附近,海拔 480 m,附生于向阳的石壁上(图 2)。凭证标本:张良等 EJP-219(KUN)。黑心蕨分布于热带或亚热带低海拔地区,该种在金平分水岭国家级自然保护区的分布为我国分布的最西界。



注: A: 生境; B: 植株; C: 叶片正面; D: 叶片背面; E: 拳卷叶; F: 带孢子囊群的干叶片; G: 根状茎

图 2 金平分水岭国家级自然保护区的黑心蕨

Fig. 2 *Doryopteris concolor* in Jinping Fenshuiling National Nature Reserve

黑心蕨在国内分布于广西、广东、台湾和海南。也分布于亚洲的印度、马来西亚、斯里兰卡、越南等国,以及非洲、大洋洲、中美洲和南美洲的部分国家。

## 2.2 野外现状

目前仅在金平分水岭国家级自然保护区低海拔一溪沟出口处的巨大石壁上发现一个居群,约有 60 个植株,长势旺盛。发现地点位于一电站附近,周围植被得到了较好保护,不会因农业活动带来破坏。该种的伴生蕨类植物有柔软石韦 *Pyrrosia porosa* (C. Presl) Hovenkamp、卷柏属 1 种 *Selaginella* sp.、柔软

耳蕨 *Polystichum lentum* (D. Don) T. Moore 等。

致谢:金平分水岭国家级自然保护区管护局的梁宗利参与野外调查工作,上海辰山科学研究中心杜诚博士和中国科学院昆明植物研究所司马伟妮女士查阅文献,以及红河学院左亚婷同学编辑图片。该工作得到了金平分水岭国家级自然保护区第二次综合科学考察项目、云南省基础研究专项重大项目(202101BC070002)以及云南省自然生态监测网络(2022-YN-06)的支持。在此一并感谢!



## 参考文献:

- [1] WU Z Y, RAVEN P H, HONG D Y. Flora of China, vol. 2-3, Lycopodiaceae through Polypodiaceae [M]. Beijing & St. Louis: Science Press & Missouri Botanical Garden Press, 2013: 959.
- [2] 高正文, 孙航. 云南省生物物种名录[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2017: 145-148.
- [3] 《云南植物志》编辑委员会, 云南植物志(第 20 卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 1-785.
- [4] 《云南植物志》编辑委员会, 云南植物志(第 21 卷: 蕨类植物)[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 1-477.
- [5] LIANG Z L, SHUI Y M, CHEN W H, et al. *Leptochilus gracilis* (Polypodiaceae), a new fern species from southeastern Yunnan, China based on morphological and molecular evidence[J]. Phytotaxa, 2020, 468(1): 112-120.
- [6] HAN M Q, LIU Y, ZHANG L B. Eight new species of *Polystichum* (subg. *Haplopolystichum*; Dryopteridaceae) from limestone caves in Guangdong and Yunnan, China, with reference to species diversity in the karst terrains at high elevations in subtropical areas[J]. Phytotaxa, 2018, 365(2): 145-168.
- [7] ZHOU X M, HE Z R, ZHANG L, et al. *Selaginella chuweimingii* (Selaginellaceae) sp. nov. from Yunnan, China [J]. Phytotaxa, 2015, 231(3): 283-288.
- [8] XU K W, JIANG L, LIAO W B, et al. *Asplenium simaoense* (Aspleniaceae), a new fern species from Yunnan, China, based on morphological and molecular data[J]. Systematic Botany, 2019, 44(3): 494-500.
- [9] LIANG Z L, YU Z Y, CHEN W H, et al. *Polystichum jinpingense* (subg. *Haplopolystichum*; Dryopteridaceae), a new fern from southeastern Yunnan, China [J]. Phytotaxa, 2022, 539(1): 69-73.
- [10] 陆树刚, 田治蛟. 云南双扇蕨科植物的分类订正研究[J]. 植物科学学报, 2011, 29(4): 432-434.
- [11] 马文章, 喻智勇. 金平分水岭大型真菌、苔藓和蕨类植物多样性[M]. 昆明: 云南人民出版社, 2020: 156-236.
- [12] 严岳鸿, 张宪春, 周喜乐, 等. 中国生物物种名录(第一卷: 植物. 蕨类植物)[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 1-277.
- [13] 《浙江植物志(新编)》编辑委员会, 浙江植物志: 新编(第一卷)[S]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2021: 1-522.
- [14] 秦仁昌. 中国蕨类植物科属系统排列和历史来源[J]. 植物分类学报, 1978, 16(3): 1-19.
- [15] KRAMER K U, GREEN P S. The families and genera of vascular plants; volume 1. pteridophytes and gymnosperms [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1990: 69.
- [16] PPG I. A community-derived classification for extant lycophytes and ferns[J]. Journal of Systematics and Evolution, 2016, 54(6): 563-603.
- [17] KATO M, YATABE Y, SAHASHI N, et al. Taxonomic studies of *Cheiropleuria* (Dipteridaceae). Blumea: Biodiversity [J]. Evolution and Biogeography of Plants, 2001, 46(3): 513-525.
- [18] 湖南植物志委员会. 湖南植物志(第 1 卷)[M]. 长沙: 湖南科技出版社, 2004: 408.
- [19] 浙江植物志委员会. 浙江植物志(第 1 卷)[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1993: 296-297.
- [20] 严岳鸿, 苑虎, 何祖霞, 等. 中国燕尾蕨属(*Cheiropleuria* C. Presl)植物修订[J]. 武汉植物学研究, 2010, 28(5): 550-553.
- [21] YESILYURT J C, SCHNEIDER H. The new fern genus *Calciophilopteris* (Pteridaceae) [J]. Phytotaxa, 2010, 7(1): 52-59.

责任编辑: 许易琦



doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.022

## 关坪亚洲象食物源基地内亚洲象活动特点及 与地区水热条件变化关系研究

张静玲<sup>1</sup>, 则得<sup>1</sup>, 曹志伟<sup>1</sup>, 杨帆<sup>1</sup>, 邓云<sup>2,3</sup>

(1. 西双版纳国家级自然保护区管护局勐养管护所, 云南 景洪 666100; 2. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303; 3. 云南西双版纳森林生态系统国家野外科学观测研究站, 云南 勐腊 666303)

**摘要:** 通过对比 2005—2012 年间关坪亚洲象食物源基地的亚洲象活动记录和同期气象观测数据, 对食物源基地中亚洲象活动规律与当地降雨、温度变化间的关系进行分析。结果显示, 进入食物源基地的亚洲象数量与年份增加呈正相关关系 ( $r_s=0.643$ ), 食物源基地正吸引越来越多的亚洲象来此觅食; 进入基地的亚洲象活动次数随年降雨量的降低而增加, 主要是因为亚洲象独立个体活动次数的增加。气候变化对亚洲象活动规律有潜在影响, 建议未来在当地开展更加深入的气候和森林物候监测, 以更合理地解释当地亚洲象的活动规律和行为改变。

**关键词:** 亚洲象活动; 气候变化; Spearman 秩相关系数; 食物源基地

中图分类号: Q949.845 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0145-06

**引文格式:** 张静玲, 则得, 曹志伟, 等. 关坪亚洲象食物源基地内亚洲象活动特点及与地区水热条件变化关系研究 [J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 145-150. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.022

ZHANG Jingling, ZE De, CAO Zhiwei, et al. Activity Characteristics of Asian Elephants in Guanping Asian Elephant Food Source Base and Its Relationship with Changes of Regional Hydrothermal Conditions [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 145-150. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.022

## Activity Characteristics of Asian Elephants in Guanping Asian Elephant Food Source Base and Its Relationship with Changes of Regional Hydrothermal Conditions

ZHANG Jingling<sup>1</sup>, ZE De<sup>1</sup>, CAO Zhiwei<sup>1</sup>, YANG Fan<sup>1</sup>, DENG Yun<sup>2,3</sup>

(1. Mengyang Administration of Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666100, China;  
2. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303, China;  
3. National Forest Ecosystem Research Station at Xishuangbanna, Mengla, Yunnan 666303, China)

**Abstract:** By comparing the activity records of Asian elephants in Guanping Asian Elephant Food Source Base from 2005 to 2012 and meteorological observation data during the same period, this paper analyzed the relationship between the activity patterns of Asian elephants and changes of rainfall and temperature. The results showed that the number of Asian elephants entering the food source base was positively correlated with the increase in years ( $r_s=0.643$ ), and more Asian elephants were attracted to the food source

收稿日期: 2022-10-24.

基金项目: 国家野外台站专项运行经费.

第一作者: 张静玲 (1986-), 女, 云南景洪人, 工程师. 主要从事自然保护区建设与管理. Email: 283522834@qq.com

责任作者: 则得 (1985-), 男, 云南景洪人, 工程师. 主要从事自然保护区建设与管理. Email: 516677342@qq.com

base; the number of Asian elephants entering the base increased with the decrease in annual rainfall, mainly due to the increase in the number of independent Asian elephant activities. Climate change had a potential impact on the activity patterns of Asian elephants. This paper recommended to conduct more in-depth climate and forest phenological monitoring in the future to better explain the activity patterns and behavioral changes of Asian elephants in the local area.

**Key words:** Asian elephant activity; climate change; Spearman's rank correlation coefficient; food source base

亚洲象 (*Elephas maximus*) 是现存最大的陆生哺乳动物之一, 被世界自然保护联盟 (IUCN) 列为濒危物种<sup>[1]</sup>、被《濒危野生动植物物种国际贸易公约》(CITES) 列为附录 I 物种<sup>[2]</sup>, 在中国则被列为国家一级重点保护动物<sup>[3]</sup>。由于亚洲象的生存需要大量的物质资源支持, 其活动影响当地森林和附近地区的植物物种更新、动物物种共存等关系, 其存在甚至成为当地民族重要的文化象征, 因此, 亚洲象被认为是地区生物多样性保护工作中的关键物种<sup>[4-5]</sup>。全球现存野生亚洲象 38 500~52 500 头<sup>[1]</sup>, 其中中国约有野生亚洲象 165~213 头, 零星分布在云南南部的西双版纳、普洱、临沧等地<sup>[6]</sup>, 基本均处于澜沧江流域范围内, 生存状况受到当地破碎生境的严重影响<sup>[7]</sup>。中国是野生亚洲象分布的北缘地区, 能否留住野生亚洲象这一热带生物遗传资源, 不仅关乎亚洲象的长期生存, 也已成为亚洲象分布区是否继续向南退缩、中国自然保护成效是否显著的重要标志之一<sup>[8]</sup>。

生境破碎化、自然资源不足和气候条件导致的食物短缺被认为是导致象群迁徙的主要原因<sup>[9]</sup>。勐养地区作为我国亚洲象分布的主要区域之一, 长期生活有野生亚洲象 100~125 头<sup>[10-11]</sup>, 约占全国亚洲象总数的 50%。但近年来随着当地种植用地扩张, 亚洲象的适宜栖息地面积正日趋减少, 公路建设又阻断了亚洲象的正常迁移路线<sup>[12]</sup>, 导致亚洲象时常离开保护区进行活动, 家域范围改变的同时也对保护区外村寨的正常生产生活造成威胁, 不利于当地保护工作的开展。目前, 当地正亟需探索恰当办法将亚洲象活动控制在保护区周围的合适范围, 以便于保护区对该物种的严格保护和对肇事损失的控制, 在当地有限的环境和社会条件下更加有效地留住亚洲象这一濒危物种。

气候变化同样也是影响全球野生动物保护的重要方面<sup>[13]</sup>。作为大型的食草动物, 亚洲象具有较大的家域范围, 并会在家域内沿特定路线不断觅食, 而食物和水源则是影响亚洲象具体活动路线的主要因素<sup>[9]</sup>。已有研究表明, 气候变化尤其是干旱会导致

饮用水源和食物减少, 进而增加象的死亡率<sup>[14]</sup>, 而西双版纳地区的气候近年来也正悄然发生改变, 呈现气温升高而降雨量下降的趋势<sup>[15]</sup>。在此气候背景下, 西双版纳热带季节雨林中的物种组成和群落结构虽暂无明显变化<sup>[16]</sup>, 但冠层光合速率、树木生长量和死亡率均对近年的干旱事件表现敏感<sup>[17]</sup>, 亚洲象活动也在干旱年份表现异常<sup>[12]</sup>, 但其与当地气候变化间的具体关系目前尚缺乏进一步研究。

关坪食物源基地地处勐养保护区东片和西片的连接中心, 是东、西两片亚洲象交流和活动的核心地带。自 2005 年起, 西双版纳国家级自然保护区管护局开始尝试在此建设亚洲象食物源基地, 种植亚洲象的喜食植物供其取食<sup>[18]</sup>, 至今已积累了大量的观测数据。以西双版纳勐养子保护区关坪食物源基地 2009—2012 年的监测数据为基础, 结合已有文献中 2005—2008 年的监测结果<sup>[18]</sup>, 对食物源基地中亚象活动规律与当地降雨、温度变化间的关系进行探讨, 以期能更加全面地了解当地亚洲象活动规律, 为相关保护政策的制定和调整提供参考依据。

## 1 研究区与方法

### 1.1 亚洲象活动监测

亚洲象活动监测主要依托西双版纳国家级自然保护区勐养管护所关坪亚洲象食物源基地开展。关坪亚洲象食物源基地 (22°13'N, 100°54'E) 位于云南省景洪市大渡岗乡, 海拔 840 m, 处于西双版纳国家级自然保护区勐养子保护区境内。该子保护区总面积 997.6 km<sup>2</sup>, 属澜沧江水系, 以山地为主, 海拔 550~1 600 m, 有季节性雨林、山地雨林、季雨林、季风常绿阔叶林、竹林、思茅松林等多种植被类型<sup>[19]</sup>。子保护区内长期生活有野生亚洲象 100~125 头<sup>[10-11]</sup>, 约占全国亚洲象总数的 50%。

2005 年食物源基地开始在附近种植玉米 (*Zea mays*)、面积 10 hm<sup>2</sup>, 甘蔗 (*Saccharum sinensis*)、面积 7 hm<sup>2</sup>, 芭蕉 (*Musa acuminata*)、面积 2 hm<sup>2</sup>, 王草 (*Pennisetum purpureum*)、面积 1 hm<sup>2</sup> (2007 年种植)

等亚洲象喜食植物供其取食,种植物种和面积在研究开展期间无较大变化。食物源基地内建有固定房屋供工作人员全天驻守,能够对进入食物源基地的亚洲象活动情况进行连续地观测和记录。

使用月活动频度(frequency by month,  $F_m$ )分析亚洲象在关坪食物源基地的月活动强度和季节差异:

$$F_m = (A_i/A) \times 100 \quad (1)$$

式中: $F_m$  为亚洲象在第  $i$  月的活动频度; $A_i$  为在  $i$  月内亚洲象的发现次数。

### 1.2 气候本底监测

使用云南西双版纳森林生态系统国家野外科学观测研究站园部气象场观测的降雨和温度数据作为当地气候本底。该气象场(21°55'N, 101°16'E)位于云南省勐腊县勐仑镇,海拔 565 m,与关坪食物源基地同属西双版纳地区。其所隶属的云南西双版纳森林生态系统国家野外科学观测研究站始建于 1959 年,1988 年加入中国生态系统研究网络(CERN),1999 年进入国家野外科学观测研究站(试点站),2006 年正式进入国家野外科学观测研究站,所有观测工作遵从 CERN 网络的统一规范。相对该地区的其他气象场,该气象场地处国家 5A 级景区深处,周围地区城市化进程相对缓慢,观测结果受城市扩张导致的热岛效应影响较少,更能反映西双版纳保护区周围气候本底的长期自然变化。

西双版纳地区属热带季风气候,一年中大气降水变化显著<sup>[20]</sup>。研究将每年 5—10 月定义为雨季,1—4 月和 11—12 月定义为旱季,以此标准对旱季和雨季的温度、湿度特点及对亚洲象活动的影响进行讨论。

### 1.3 数据处理分析

研究中 2005—2008 年间亚洲象活动数据引自郭贤明等<sup>[18]</sup>文献结果,2009—2012 年间亚洲象活动数据为后期的实际监测数据。数据分析时,使用 Spearman 秩相关系数(Spearman's rank correlation coefficient,  $r_s$ )对原始变量间的相关关系进行非参数检验,使用成对样本  $t$  检验对两两变量间的显著性关系进行检验,使用逐步线性回归针对年份、降雨和温度 3 个因素筛选最优模型,以此对亚洲象活动的影响进行探讨。数据统计及计算主要使用 R 3.4.0 完成。

## 2 结果分析

### 2.1 亚洲象活动频度与数量

2005—2012 年间,关坪亚洲象食物源基地共观测到亚洲象活动 133 次,其中象群(群象)活动 107

次,单独个体(独象)活动 26 次。亚洲象进入食物源基地次数随年份增加在独象水平上呈弱正相关( $r_s = 0.300$ ),在群象水平上相关关系进一步减弱( $r_s = 0.095$ ),年份推移对亚洲象进入食物源基地的活动次数影响并不明显(表 1)。

表 1 2005—2012 年间关坪食物源基地亚洲象活动次数与数量

Tab. 1 Frequency and quantity of Asian elephant activities in Guanping Food Source Base from 2005 to 2012

年份	独象活动 次数/次	群象活动 次数/次	合计次数 /次	总数量 /(头次)
2005	4	13	17	58
2006	2	14	16	59
2007	2	19	21	132
2008	2	4	6	50
2009	5	10	15	66
2010	4	20	24	183
2011	4	11	15	128
2012	3	16	19	138
合计	26	107	133	814
平均值±标准差	3±1	13±5	17±5	102±50

研究中也发现,虽然亚洲象进入食物源基地的次数与年份之间相关关系较弱,但进入食物源基地的数量(头次)却与年份间有相对明显的正相关关系( $r_s = 0.643$ )。进入食物源基地觅食的亚洲象数量有随年份推移而逐渐增加的趋势,尽管这种线性趋势可能还并不十分显著( $r^2 = 0.3988, F = 3.98, P = 0.09$ )(图 1)。



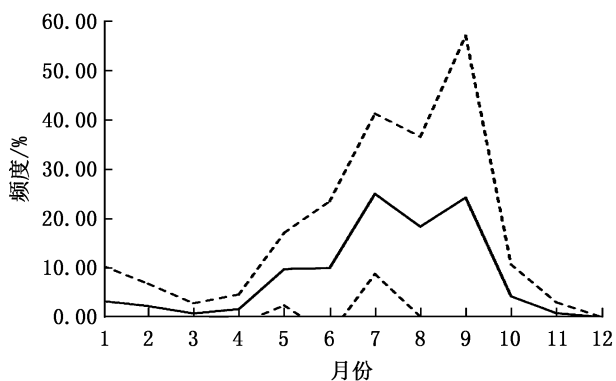
注:图中实线为观测数据,虚线为线性拟合曲线,其中年份为自变量( $x$ ),亚洲象数量为因变量( $y$ )。

图 1 进入关坪食物源基地的亚洲象数量与年份间关系  
Fig. 1 Relationship between quantity and years of Asian elephants entering Guanping Food Source Base



### 2.2 亚洲象活动的季节规律

关坪食物源基地附近亚洲象活动多集中在每年雨季的 7、8、9 月,其平均值±标准差分别为(24.98±16.24)%、(16.31±18.21)%、(24.22±32.79)%,雨季活动频度多年平均值±标准差为(91.37±9.89)%,显著高于旱季的(8.63±9.89)%( $t = 11.828, P < 0.01$ ,成对样本  $t$  检验结果)(图 2)。



注:图中实线为 2005—2012 年间亚洲象活动月频度平均值,虚线为其标准差范围。

图 2 关坪食物源基地内亚洲象活动月频度

Fig. 2 Monthly frequency of Asian elephant activities in Guanping Food Source Base

### 2.3 当地气候变化规律

2005—2012 年间,当地年降雨量为(1 433.8±180.3) mm,其中最大值出现在 2008 年,达 1 801.1 mm,而最小值出现于 2009 年,仅 1 186.3 mm(图 3)。

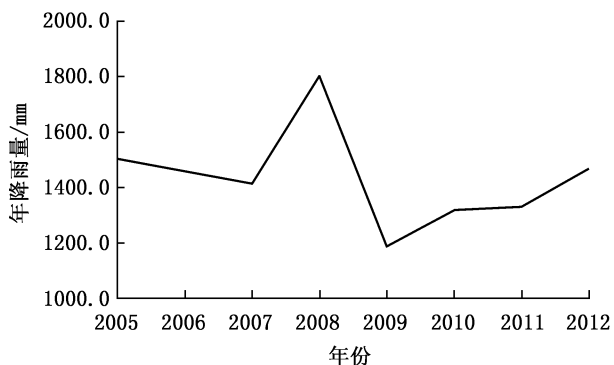


图 3 2005—2012 年间当地年降雨量变化

Fig. 3 Annual average rainfall variation in the local area from 2005 to 2010

雨季降雨在全年降雨中占比较大,达(83.12±5.80)%,而旱季降雨仅占全年降雨的(16.88±

5.80)%,雨季降雨显著高于旱季( $t = 16.142, P < 0.01$ ,成对样本  $t$  检验结果)。Spearman 相关性检验结果表明,降雨量与年份间呈中等程度的负相关( $r_s = -0.357$ ),近年来降雨量有一定的下降趋势。这种负相关更多表现为雨季降雨量与年份间的负相关( $r_s = -0.381$ ),而旱季降雨量随年份的变化可能并不明显( $r_s = 0.071$ )。

2005—2012 年间,当地年均温为(22.1±0.3)℃,极值分别出现于 2007 年(最小值,21.6℃)和 2010 年(最大值,22.5℃)(图 4)。

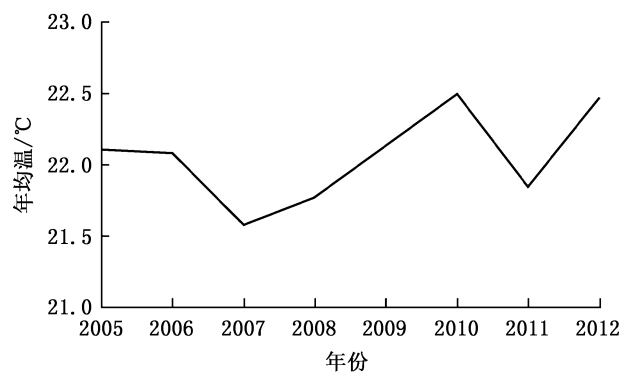


图 4 2005—2010 年间当地年均温变化

Fig. 4 Annual average air temperature variation in the local area from 2005 to 2010

雨季温度为(25.0±0.3)℃,旱季温度为(19.2±0.4)℃,雨季温度显著高于旱季( $t = 43.555, P < 0.01$ ,成对样本  $t$  检验结果)。年均温与年份增加有一定的正相关关系( $r_s = 0.334$ ),而雨季温度变化与年份增加间的相关关系( $r_s = 0.479$ )要强于旱季( $r_s = 0.229$ )。

### 2.4 亚洲象活动与气候因子关系

将食物源基地的亚洲象活动次数作为因变量,年份、年合计降雨量和年均温 3 个因素作为自变量进行逐步回归时(表 2),

逐步回归的最优模型中气温要素基本都被淘汰,对于亚洲象活动次数和独象活动次数而言,降雨量可能是主要的影响因子,而年份则对进入关坪食物源基地的亚洲象数量有影响。值得注意的是,即使是最适模型,方程的显著性也较低,群象活动与降水量的模型  $P$  值仅有 0.221 3,此模型统计学意义较小。而当将旱季和雨季分别考虑时,甚至所有因子均不能进入最优模型(数据未列出)。这可能与观测年份偏短,数据仍然不够充实有关。

表 2 亚洲象活动与年份、降雨量和气温因子逐步回归结果  
Tab. 2 Stepwise regression results of Asian elephant activity with year, rainfall and temperature factors

因变量	亚洲象总活动次数	独象活动次数	群象活动次数	总数量
截距	-2.210-16	-2.170-16	-1.381-16	-8.883-17
斜率-年份	/	/	/	6.315-01.
斜率-降雨量	-6.257-01.	-6.911-01.	-4.868-01	/
斜率-气温	/	/	/	/
$r^2$	0.3915	0.4776	0.2369	0.3988
$F$	3.861	5.485	1.863	3.980
$P$	0.09704	0.05769	0.2213	0.09308

注:所有数据统计前经过标准化处理;显著性标识“.”表示  $0.05 \leq P < 0.01$ 。

### 3 讨 论

#### 3.1 食物源基地建设时间对亚洲象活动的影响

食物源基地建设的初衷在于通过在保护区的实验区内种植亚洲象喜食植物,吸引亚洲象返回保护区深处<sup>[18]</sup>。研究结果发现,进入关坪食物源基地觅食的部分亚洲象数量呈随年份推移而增加的趋势,这表明食物源基地确实对附近活动的亚洲象有一定的吸引作用,越来越多的亚洲象开始接受食物源基地的存在,并愿意进入其内进行取食。

但研究中也发现,亚洲象进入食物源基地的次数并未表现出随年份推移而增加的趋势,仅独象的进入次数与年份推移有一定相关,这可能与亚洲象的本身习性有关。由于亚洲象通常的家域范围可达  $50 \sim 150 \text{ km}^2$ <sup>[21]</sup> 或  $250 \sim 1000 \text{ km}^2$ <sup>[9,22-23]</sup>,为维持其庞大体型的生存需要,亚洲象需要在其家域内沿一定路线往复活动进行觅食。亚洲象主要在雨季 7—9 月在关坪附近觅食,在当地的活动时间有限,而象群之间又经常可能发生分合<sup>[9]</sup>,因此象群的数量并非一直保持稳定,进入次数与个体数量间可能会存在差异。

#### 3.2 气候变化对亚洲象活动的影响

极端气候事件被认为是种群数量波动的重要驱动力之一<sup>[24]</sup>,一般而言,相对较大的群体有利于避敌,但同时也会导致群体消耗的资源增加;当环境压力变大时,群体中的一些个体会趋向于迁出以探索新的生存空间,并减小群体的生存压力<sup>[25]</sup>。亚洲象的野外种群通常以两类社会组成形式存在,一类是以成年雌性个体为中心的成员相对稳定的象群,通常个体组成数量为 5~20 头;另一类是四处游荡的成年雄

性个体,通常独立或以临时小群体的形式存在<sup>[22,26-28]</sup>。西双版纳地处热带北缘,当地森林尤其是热带雨林对水分和温度等环境变化尤其敏感<sup>[29]</sup>,而林内的植物物候发生变化时,则有可能导致亚洲象的野生食物源数量和质量发生改变,种群存活的环境压力加大,迁出群体进行独立活动的个体数量可能增加。

研究发现,相对于年份和温度,降雨量似乎对关坪食物源基地亚洲象活动次数影响更为明显,主要表现为降雨量减少时独象活动增加,这与上述分析结果相一致。受全球气候变化大背景的影响,西双版纳地区近年来连续受到极端天气事件扰动,研究数据收集过程中 2009—2010 年曾发生秋冬春连续干旱事件<sup>[30]</sup>,连续时间尺度上的研究也发现西双版纳地区 45 年来气温正逐渐升高,而降雨量却呈下降趋势<sup>[15]</sup>。由于地区水热格局变化有可能导致森林生态系统结构和功能发生不可逆改变<sup>[31]</sup>,因此,当地在亚洲象保护过程中,有必要加强对亚洲象活动区域的气候和森林物候方面监测,以便更加科学合理地制定符合当地实际环境条件的亚洲象保护政策。

### 4 结 论

通过多年的不懈努力,关坪亚洲象食物源基地正开始逐渐吸引更多的当地野生亚洲象进入并取食,这有助于在当地留住亚洲象这一重要的旗舰物种,有利于相关保护工作的集中开展。但另一方面,亚洲象活动似乎也受到当地降雨量变化的影响,在降雨量较少的年份,会有相对更多的亚洲象独立个体进入食物源基地觅食,这可能与降雨减少后导致的植物物候变化有关,但具体结果仍需进一步观测和研究。受全球气候变化大背景和极端天气事件的影响,有必要加强对当地亚洲象分布区的气候和森林物候的监测工作,以更好地对亚洲象这一珍贵的野生动物资源进行保护。

**致谢:**本研究开展期间得到西双版纳国家级自然保护区管护局勐养管护所关坪管护站和中国科学院西双版纳热带植物园云南西双版纳森林生态系统国家野外科学观测研究站的大力协助,在此一并致谢。

#### 参考文献:

- [1] IUCN. IUCN red list of threatened species[EB/OL]. (2022-07-21). <http://www.iucnredlist.org/details/7140/0>.

- [2] CITES. CITES species database[DB/OL]. (2019-11-26). <http://www.cites.org/cn/citesgy/fl/201911/wo202302275168321261812.pdf>.
- [3] 汪松,解焱. 中国物种红色名录(第2卷):脊椎动物(下册)[M]. 北京:高等教育出版社,2009.
- [4] JOHNSINGH A J T, JOSHUA J. Conserving Rajaji and Corbett national parks—The elephant as a flagship species[J]. *Oryx*, 1994, 28(2): 135-140.
- [5] SUKUMAR R. The living elephants: Evolutionary ecology, behaviour and conservation[M]. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- [6] ZHANG L, MA L, FENG L. New challenges facing traditional nature reserves: Asian elephant (*Elephas maximus*) conservation in China[J]. *Integrative Zoology*, 2006, 1(4): 179-187.
- [7] 陈明勇. 中国亚洲象保护廊道研究[M]. 昆明:云南科学技术出版社,2010.
- [8] 吴兆录. 西双版纳国家级自然保护区管理成效评价[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [9] SUKUMAR R. A brief review of the status, distribution and biology of wild Asian elephants *Elephas maximus*[J]. *International Zoo Yearbook*, 2006, 40: 1-8.
- [10] 杨正斌,陈明勇,董永华,等. 西双版纳国家级自然保护区勐养子保护区亚洲象生境现状分析[J]. *林业调查规划*, 2006, 31(3): 49-51.
- [11] 林柳,冯利民,赵建伟,等. 在西双版纳国家级自然保护区用3S技术规划亚洲象生态走廊带初探[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 42(4): 405-409.
- [12] 何馨成. 近50年西双版纳人象关系演变研究[D]. 昆明:云南大学,2013.
- [13] THUILLER W, BROENNIMANN O, HUGHES G, et al. Vulnerability of African mammals to anthropogenic climate change under conservative land transformation assumptions[J]. *Global Change Biology*, 2006, 12(3): 424-440.
- [14] WATO Y A, HEITKONIG I M A, VAN WIEREN S E, et al. Prolonged drought results in starvation of African elephant (*Loxodonta africana*)[J]. *Biological Conservation*, 2016, 203: 89-96.
- [15] 喻彦,蒙桂云,张利才. 西双版纳地区近45年来气候变化特征[J]. *气象科技*, 2008, 36(4): 410-413.
- [16] 胡跃华,曹敏,林露湘. 西双版纳热带季节雨林的树种组成和群落结构动态(1993-2007)[J]. *生态学报*, 2010, 30(3): 1-9.
- [17] TAN Z H, CAO M, YU G R, et al. High sensitivity of a tropical rainforest to water variability: Evidence from 10 years of inventory and eddy flux data[J]. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2013, 118(16): 9393-9400.
- [18] 郭贤明,何馨成,王兰新,等. 西双版纳亚洲象食物源基地对缓解人象冲突的效应[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(12): 3133-3137.
- [19] 徐永椿,姜汉侨,全复. 西双版纳自然保护区综合考察报告集[M]. 昆明:云南科技出版社,1987.
- [20] 王馨,张一平. 西双版纳勐仑地区降雨特征及变化趋势分析[J]. *热带气象学报*, 2005, 21(6): 658-664.
- [21] FERNANDO P, LANDE R. Molecular genetic and behavioral analysis of social organization in the Asian elephant (*Elephas maximus*)[J]. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 48(1): 84-91.
- [22] BASKARAN N, BALASUBRAMANIAM M, SWAMINATHAN S, et al. Home range of elephants in the Nilgiri Biosphere Reserve, South India[C]//DANIEL J C, DATYE H S. A week with elephants: Proceedings of the international seminar on the conservation of Asian elephant. New Delhi: Bombay Natural History Society and Oxford University Press, 1995.
- [23] WILLIAMS A C, JOHNSINGH A J T, KRAUSMAN P R. Elephant-human conflicts in Rajaji National Park, north-western India[J]. *Wildlife Society Bulletin*, 2001, 29(4): 1097-1104.
- [24] PARMESAN C. Climate and species' range[J]. *Nature*, 1996, 382(6594): 765-766.
- [25] 孙儒泳,李庆芬,牛翠娟,等. 基础生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [26] MCKAY G M. Behavior and ecology of the Asiatic elephant in southeastern Ceylon[J]. *Smithsonian Contributions to Zoology*, 1973, 125: 1-113.
- [27] KURT F. Remarks on the social structure and ecology of the Ceylon elephant in the Yala National Park[C]//GIEST V, WALTHER F. The behaviour of ungulates and its relation to management. Morges: IUCN, 1974.
- [28] SUKUMAR R. The Asian elephant: Ecology and management[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [29] ZHU H. Ecological and biogeographical studies on the tropical rain forest of south Yunnan, SW China with a special reference to its relation with rain forests of tropical Asia[J]. *Journal of Biogeography*, 1997, 24(5): 647-662.
- [30] 陈瑶. 西双版纳2009/2010年秋冬春连旱对橡胶生产的影响[J]. *热带农业科技*, 2010, 33(2): 43-46.
- [31] ZHOU G Y, CHANG H P, LI Y L, et al. A climate change-induced threat to the ecological resilience of a subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest in Southern China[J]. *Global Change Biology*, 2013, 19(4): 1197-1210.

责任编辑:杨焱熔



doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.023

## 伊犁吐尔根农场沟不同地形对新疆野杏分布特征的影响

谭志祺<sup>1</sup>, 陈晨<sup>1,2</sup>, 石仁娜·加汗<sup>1,2</sup>, 刘蕊<sup>1,2</sup>

(1. 伊犁师范大学资源与环境学院, 新疆伊宁 835000; 2. 伊犁师范大学资源与生态研究所, 新疆伊宁 835000)

**摘要:**采用 2019 年 WorldView-3 卫星遥感影像与 SRTM 数字高程模型 (DEM) 数据, 通过遥感面向对象提取、地理信息系统数字地形分析等, 研究新疆伊犁吐尔根农场沟流域新疆野杏 (*Prunus armeniaca*) 的生长分布特征。结果表明, 新疆野杏主要分布于吐尔根农场沟流域上游海拔 1 000~1 900 m 的山地坡面, 分布面积 2.57 km<sup>2</sup>, 覆盖率为 2.58%; 新疆野杏垂直地带性空间分布特征明显, 其分布面积、覆盖率均随海拔升高呈先增大后减小趋势, 在海拔 1 300~1 400 m 出现最大值; 新疆野杏分布面积西风迎风阳坡大于背风阴坡, 15°~35°坡大于其他更缓和更陡坡, 覆盖率西风迎风阴坡高于背风阳坡、陡坡高于缓坡; 随海拔升高, 同一海拔内不同坡向、坡度上新疆野杏覆盖率的差异均呈先减小后增大趋势, 海拔 1 300 m 附近各坡向、各坡度间新疆野杏分布差异最小, 相对最适宜其生存。

**关键词:**新疆野杏; 地形因子; 遥感; DEM; 伊犁吐尔根农场沟

中图分类号: S718.511; S662.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0151-06

引文格式: 谭志祺, 陈晨, 石仁娜·加汗, 等. 伊犁吐尔根农场沟不同地形对新疆野杏分布特征的影响[J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 151-156, 162. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.023

TAN Zhiqi, CHEN Chen, Shirena · JIAHAN, et al. Influence of Different Terrains on Distribution Characteristics of *Prunus armeniaca* in Tuergen Farm Basin of Ili Prefecture[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 151-156, 162. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.023

## Influence of Different Terrains on Distribution Characteristics of *Prunus armeniaca* in Tuergen Farm Basin of Ili Prefecture

TAN Zhiqi<sup>1</sup>, CHEN Chen<sup>1,2</sup>, Shirena · JIAHAN<sup>1,2</sup>, LIU Rui<sup>1,2</sup>

(1. School of Resources and Environment, Yili Normal University, Yining, Xinjiang 835000, China;  
2. Institute of Resources and Ecology, Yili Normal University, Yining, Xinjiang 835000, China)

**Abstract:** Using the 2019 WorldView-3 satellite remote sensing image and SRTM DEM data, the spatial distribution characteristics of *Prunus armeniaca* in Tuergen Farm Basin of Ili Prefecture, Xinjiang were studied through object-oriented extraction of remote sensing and digital terrain analysis of geographic information system. The results showed that *Prunus armeniaca* was mainly distributed on mountain slopes with an altitude of 1 000-1 900 m in the upper reaches of the basin, with an area of 2.57 km<sup>2</sup> and a coverage rate of 2.58%; the vertical zonal spatial distribution characteristics of *Prunus armeniaca* were obvious, the area and coverage rate first increased and then decreased with the elevation, and the maximum value was at 1 300-1 400 m; the area of *Prunus armeniaca* was larger on westerly and windward sunny slopes than on

收稿日期: 2022-09-02.

基金项目: 伊犁师范大学植物生态学重点学科科研项目 (YLUPE201803).

第一作者: 谭志祺 (2000-), 男, 河北秦皇岛人. 主要从事遥感与地理信息系统应用研究. Email: 1051751914@qq.com

责任作者: 陈晨 (1989-), 男, 新疆伊宁人, 副教授. 主要从事林草资源研究. Email: 365734043@qq.com

leeward shady slopes, and larger on slopes of  $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$  than on both steeper slopes and gentler slopes, while the coverage rate of *Prunus armeniaca* was higher on westerly and windward shady slopes than on leeward sunny slopes, and higher on steeper slopes than on gentler slopes; with the increase of altitude, the difference of *Prunus armeniaca* coverage across different slope directions and gradients at the same altitude decreased initially and then increased. The distribution difference of *Prunus armeniaca* in different slope directions and gradients near 1 300 m was the smallest, which was relatively the most suitable for *Prunus armeniaca*.

**Key words:** *Prunus armeniaca*; topographic factor; remote sensing; digital elevation model; Tuergen Farm Basin of Ili Prefecture

新疆野杏 (*Prunus armeniaca*) 是蔷薇科杏属植物,是栽培杏的祖先<sup>[1]</sup>。新疆伊犁河谷山区光照充足,热量丰富,空气干燥,降水量充沛,黄土堆积物较厚,十分利于野杏生长<sup>[2]</sup>,因此不同于其他位于温带大陆性干旱区由草原带向上直接过渡为针叶林带、不存在落叶阔叶林带的通常情况,新疆野杏分布广泛,数量丰富<sup>[3]</sup>。新疆野杏对维持区域生态系统平衡和生物物种多样性具有重要意义<sup>[4]</sup>,近年来伊犁地区野杏花期旅游热度日益增长,野杏资源也成为当地经济由传统农牧向生态旅游产业拓展的一大动力。然而,过去相当长一段时期内对新疆野杏保护不够、开发不当,使其遭受严重盗砍滥伐、过度放牧垦田、粗放旅游开发等人类活动破坏,目前新疆野杏种群健康状况中等偏下<sup>[5]</sup>,整体上种群更新障碍显著<sup>[6-7]</sup>,加之区域气候、水文环境正在发生深刻变化,水土流失、病虫害等自然灾害均可能加剧野杏资源的损失<sup>[8]</sup>,因此有必要对新疆野杏进行持续的全面调查研究。

相关学者虽对伊犁地区新疆野杏做过部分实地调查、抽样研究,但以小流域为研究区全面理清新疆野杏具体面积量与覆盖率并分析其空间分布特征与规律的研究至今仍相对缺乏,而这些信息对科学保护与合理开发新疆野杏资源极其重要。地形因子和植被分布状况密切相关,将坡度、海拔、坡向等地形因子和新疆野杏林作为整体加以系统研究,深入分析地形因子与新疆野杏林间存在的关系,这对于区域野杏林资源的科学保护和合理开发具有重要作用。

因此,本研究基于遥感和地理信息系统方法,研究吐尔根农场沟流域新疆野杏的空间分布特征,以期新疆野杏资源管理与利用提供相关参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

吐尔根农场沟流域位于新疆伊犁哈萨克自治州新源县吐尔根乡东南部,地处天山西段南麓的伊犁

河上游巩乃斯河支流,海拔约为 894~2 119 m。流域多年均温为 8.4℃,多年平均降水量为 514.9 mm,主要集中于 3—8 月份,占全年降水量的 63.5%,属温带大陆性半干旱气候<sup>[9]</sup>。

### 1.2 数据来源

#### 1.2.1 卫星遥感影像

选择 2019 年 6—9 月即植物叶片生长稳定期的 WorldView-3 商业遥感卫星影像数据,确保无云层遮挡、地物清晰,将空间分辨率约 0.6 m 的全色波段与 1.2 m 多光谱波段色彩融合,得到空间分辨率约为 0.6 m 的影像,以标准真彩色显示,用于提取新疆野杏林矢量数据。

#### 1.2.2 数字高程模型

获取地理空间数据云平台网站 (<http://www.gscloud.cn>) 发布的 SRTM 数字高程模型 (DEM) 数据,空间分辨率为 90 m,UTM 投影坐标,用于流域划分、提取海拔、坡度、坡向、山体阴影等信息。

### 1.3 研究方法

运用 ArcSWAT 软件工具对 SRTM DEM 数据进行流域分析,从中提取出吐尔根农场沟流域、河流等矢量数据。利用 ENVI 软件对遥感影像进行基于样本的面向对象提取,经多次实验,调整确定分割阈值为 40,合并阈值 90。根据实地调查经验,以判别细致、特征全面的原则选取各类地物样本,提取出新疆野杏林矢量数据。为保证提取精度,利用 ArcGIS 软件进行人工目视辨别校正,完善新疆野杏林矢量数据及相关属性数据。对研究区内每一幅影像中的新疆野杏林进行提取后,合并后生成研究区内全部新疆野杏林矢量数据。运用 ArcGIS 软件将新疆野杏林矢量数据与海拔、坡向、坡度 3 类地形因子数据叠加相交分析,进而统计新疆野杏林在不同地形上的分布特征。

## 2 结果与分析

### 2.1 流域内新疆野杏生长分布总体特征

经统计,吐尔根农场沟流域内新疆野杏主要呈

点片状分布于北部, 新疆野杏总面积约 2.57 km<sup>2</sup>, 土地面积约 99.65 km<sup>2</sup>, 覆盖率约为 2.58%。

### 2.2 不同海拔新疆野杏的分布特征

海拔是对山地区域物质能量分配影响程度较大的地形因子, 以间距 100 m 划分研究区海拔区间, 对新疆野杏面积进行统计 (图 1), 吐尔根农场沟流域内新疆野杏集中分布在中山带下部海拔 1 000~1 900 m 范围内。

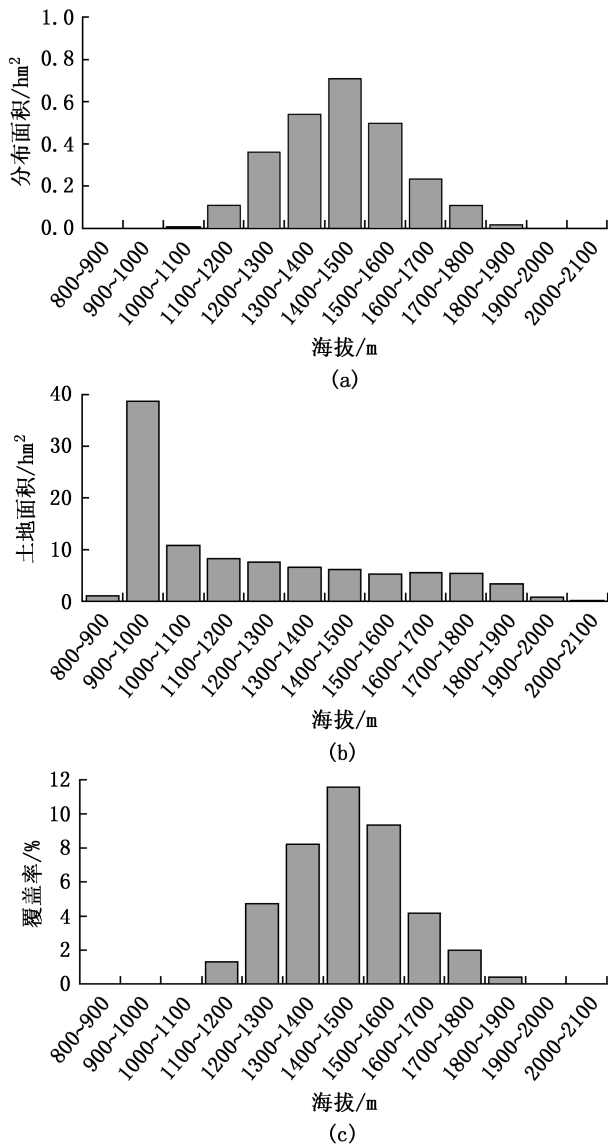


图 1 不同海拔新疆野杏分布面积、土地面积及覆盖率  
Fig. 1 Distribution area, land area, and coverage rate of *Prunus armeniaca* at different altitudes

由图 1 可知, 新疆野杏分布面积、覆盖率在不同海拔区间存在明显差异, 均随海拔升高而先增大后减小, 在海拔 1 400~1 500 m 范围内达到最大值, 体现出海拔对新疆野杏分布的影响显著, 新疆野杏分布具有垂直地带性特征。

### 2.3 不同海拔各坡向新疆野杏的分布特征

坡向作为重要的地形因素显著影响着山地植物的分布。经统计, 所有海拔新疆野杏分布面积均为阳坡大于阴坡、西风迎风坡大于背风坡, 尤其以西风迎风阳坡分布面积最大 (图 2)。

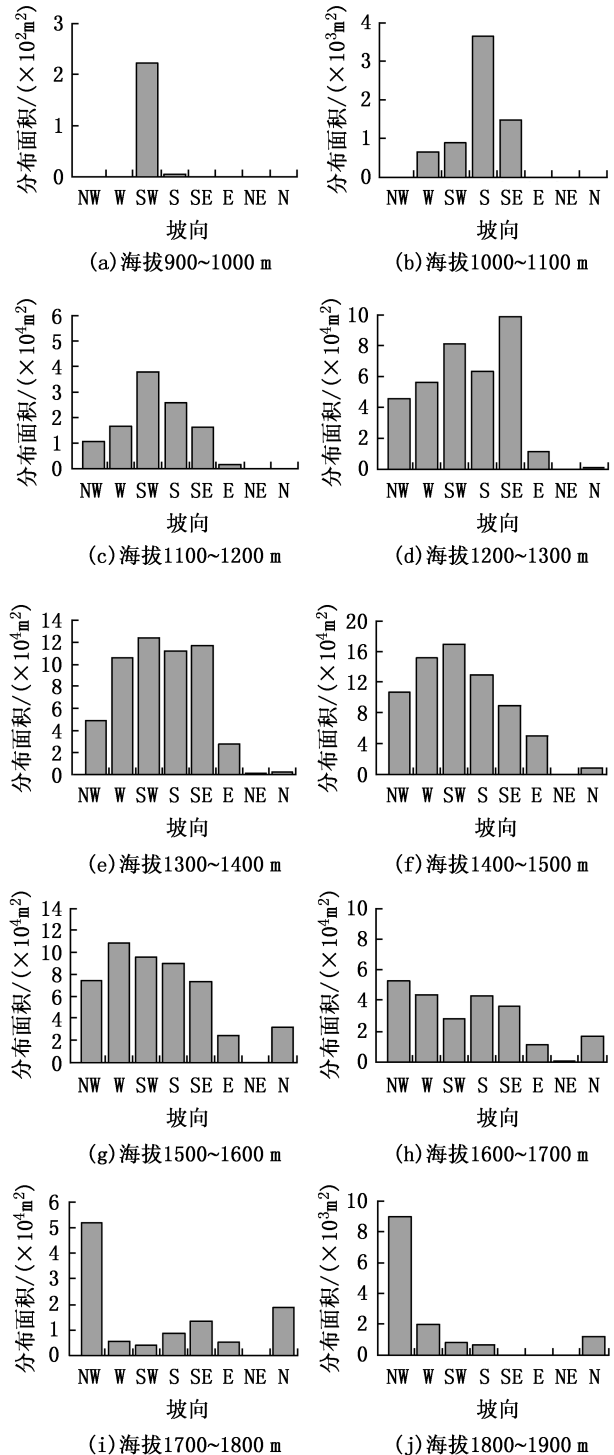


图 2 不同海拔各坡向新疆野杏分布面积  
Fig. 2 Distribution area of *Prunus armeniaca* at different slope directions and elevations



不同海拔西风迎风坡新疆野杏覆盖率均高于西风背风坡(图 3)。海拔升高到 1 400 m 阴坡新疆野杏覆盖率开始稳定超过阳坡,且随海拔升高阴坡和阳坡野杏覆盖率差距进一步增大。

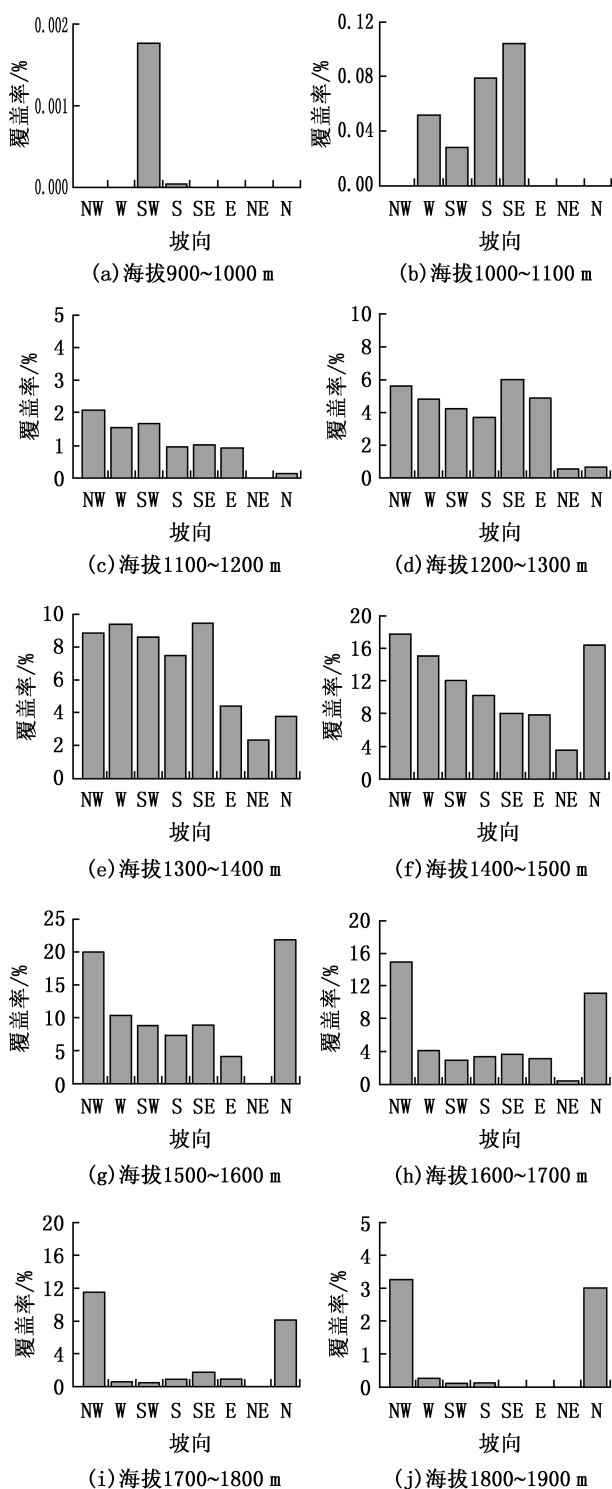


图 3 不同海拔各坡向新疆野杏覆盖率  
Fig. 3 Coverage rate of *Prunus armeniaca* at different slope directions and elevations

同一海拔梯度内不同坡向间新疆野杏生境适宜性差异均呈随海拔升高先减小、后增大的趋势(图 4)。海拔 1 300~1 400 m 各坡向新疆野杏生境适宜性差异最小。

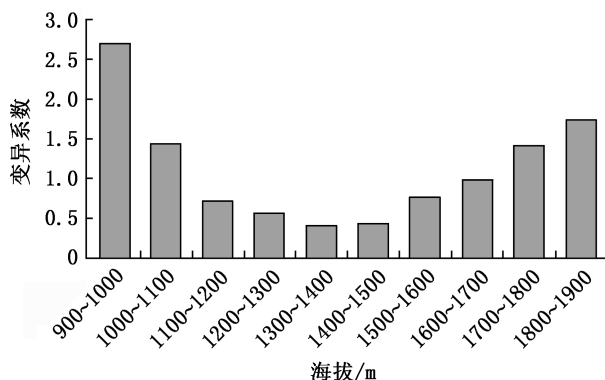


图 4 不同海拔各坡向新疆野杏覆盖率变异系数  
Fig. 4 Variation coefficient of coverage rate of *Prunus armeniaca* at different slope directions and elevations

## 2.4 不同海拔各坡度新疆野杏的分布特征

坡度变化可导致群落中光照、温度及土壤水分的变化,从而影响植物生长分布。虽然空间分辨率 90 m 的 SRTM DEM 数据难以提取出该流域坡度  $\geq 45^\circ$  的土地,实际测量中坡度  $\geq 45^\circ$  的土地在坡度分析时均相应地就近并入坡度较低的相邻区间,但各坡度新疆野杏生长分布的总体特征仍能有所体现。

不同海拔区间各坡度新疆野杏分布面积总体均随坡度增陡而先增多后减少(图 5)。随着海拔升高,新疆野杏分布面积出现峰值的坡度区间先陡增后减缓。

不同海拔区间各坡度新疆野杏覆盖率总体均随坡度增加而增大(图 6)。随着海拔升高,新疆野杏覆盖率出现峰值的坡度区间先陡增后减缓。不同海拔中,新疆野杏覆盖率最高的坡度区间以最陡的  $35^\circ \sim 45^\circ$  分布最多,其后依次下降为  $25^\circ \sim 35^\circ$ 、 $15^\circ \sim 25^\circ$ 、 $5^\circ \sim 15^\circ$ 。

同一海拔梯度内不同坡度间新疆野杏生境适宜性差异均呈随海拔升高先减小后增大的趋势(图 7)。海拔 1 200~1 300 m 各坡向新疆野杏生境适宜性差异最小。

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

#### 3.1.1 影响不同海拔新疆野杏分布特征的因素

伊犁河谷封闭、半封闭山间谷地内海拔约 1 000~

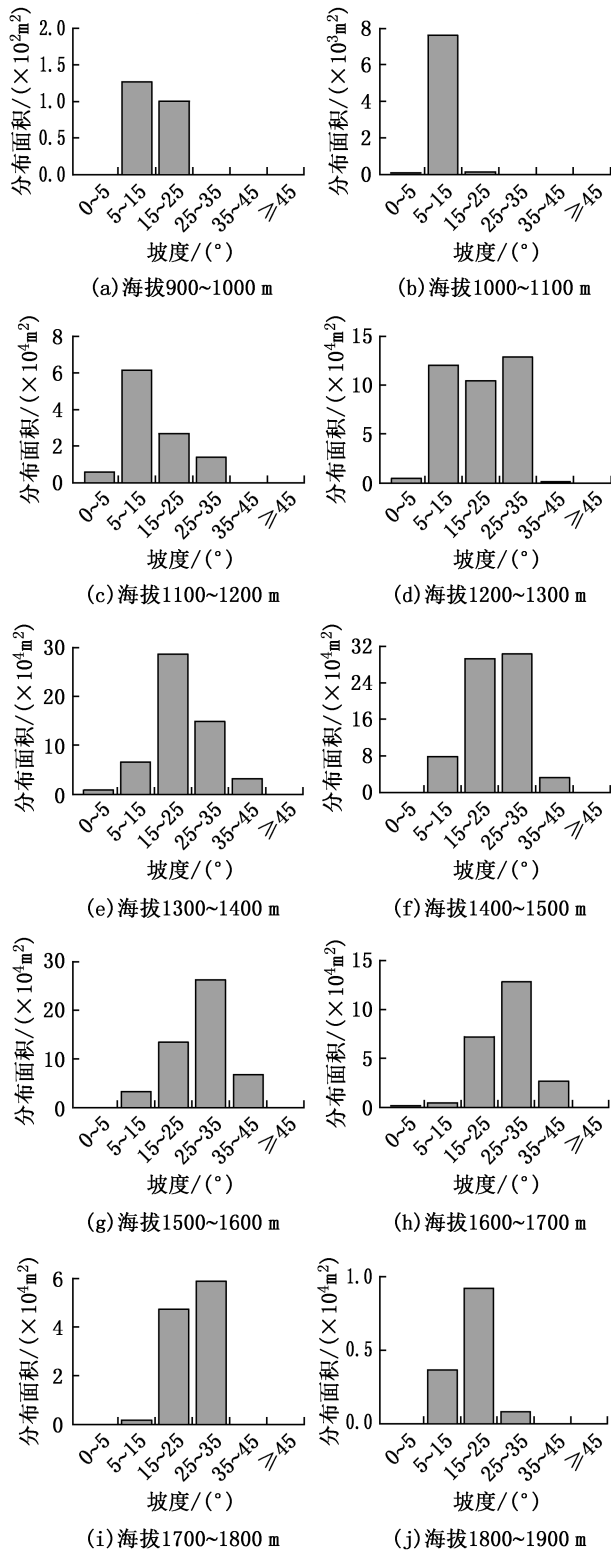


图 5 不同海拔各坡度新疆野杏分布面积  
 Fig. 5 Distribution area of *Prunus armeniaca* at different slopes and elevations

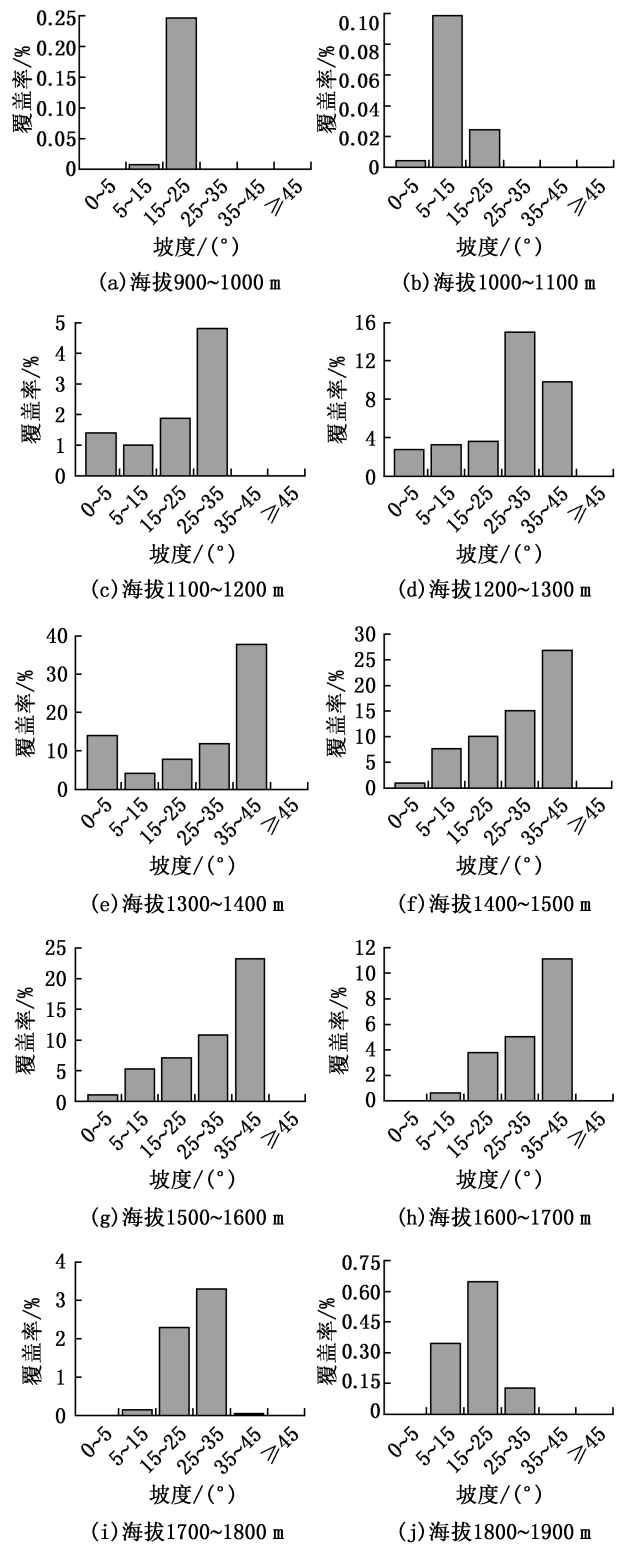


图 6 不同海拔各坡度新疆野杏覆盖率  
 Fig. 6 Coverage rate of *Prunus armeniaca* at different slopes and elevations

2 000 m 为冬季逆温层范围<sup>[10]</sup>,吐尔根农场沟流域新疆野杏林主要生长在 1 000~1 900 m 的山体坡面,与冬季逆温层高度一致。主要是因为冬季气温随海

拔升高而升高或保持稳定的逆温效应明显且持续时间长的区域,为新疆野杏提供了适宜生存的环境,使其更能安全越冬。同时,新疆野杏分布的海拔范围

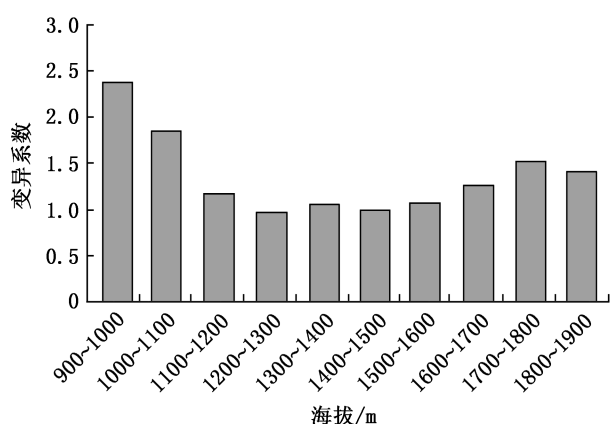


图 7 不同海拔各坡度新疆野杏覆盖率变异系数

Fig. 7 Variation coefficient of coverage rate of *Prunus armeniaca* at different slopes and elevations

也是西风暖湿气流地形降水随海拔升高而递增的地带<sup>[11]</sup>。

吐尔根农场沟流域内新疆野杏垂直地带性空间分布特征明显。随海拔升高,新疆野杏分布面积、覆盖率均呈现出先递增后递减的趋势,并在海拔 1 400~1 500 m 出现最大值。新疆野杏分布面积、覆盖率随海拔升高均呈先增大后减小的趋势,与新疆野杏其他部分特征相似,如新疆野杏花期冻害率<sup>[12]</sup>、种子总数及各状态种子数<sup>[13]</sup>均随海拔升高呈先增加后减少趋势,开花物候与花器官<sup>[14]</sup>、果实和种子性状<sup>[15]</sup>的差异对海拔梯度的变化响应显著,均反映出新疆野杏为适应环境变化而做出相应调整。

不同海拔内各坡向、坡度新疆野杏覆盖率的差异,均随海拔升高呈先减小后增大的趋势,海拔 1 300 m 附近各坡向、坡度间的新疆野杏分布差异最小,这也反映出中山带下部中段相对更适合新疆野杏的生长,这与褚佳瑶等<sup>[16]</sup>调查分析得出天山野果林中新疆野杏最能安全生长的海拔地带在 1 200~1 299 m 的结论十分接近。

### 3.1.2 影响不同坡向新疆野杏分布特征的因素

受自然环境综合影响,新疆野杏分布面积西风迎风阳坡大于背风阴坡,覆盖率西风迎风阴坡高于背风阳坡。海拔越高,新疆野杏越趋向生长发育于西风迎风阴坡地带。

虽然新疆野杏喜光照充足及温暖湿润的气候,但总体上位于半干旱区的伊犁河谷,适宜的地形降水、光照对新疆野杏分布至关重要<sup>[17]</sup>。吐尔根农场沟流域位于阿吾拉勒山南麓,土地面积西风迎风阳坡大于背风阴坡,因此总体上新疆野杏分布面积西

风迎风阳坡大于背风阴坡,新疆野杏覆盖率西风迎风阴坡大于背风阳坡。

### 3.1.3 影响不同坡度新疆野杏分布特征的因素

吐尔根农场沟流域内不同海拔中坡度从缓到陡,新疆野杏的覆盖率逐渐增大。这与张新时<sup>[1]</sup>实地调查结果一致,即新疆野杏很少分布于平缓的前山带和山体,而主要分布于地形起伏和切割的山脊、凸坡坡地上部、稍凹台地和河谷阶地上。坡度越陡,越不易受到人类活动干扰,同时也反映出新疆野杏适应性与抗逆性强<sup>[18]</sup>,当山地坡度增大,光照、温度、土壤水分等开始不适宜其他阔叶落叶植物生长时,而新疆野杏能较好地适应部分地形环境。

### 3.2 结论

使用高空间分辨率卫星遥感影像与数字高程模型数据,通过遥感影像解译、数字地形分析和空间分析等地理信息技术,能探究流域尺度上新疆野杏的空间分布特征。

吐尔根农场沟流域内 2.57 km<sup>2</sup> 分布有新疆野杏,覆盖率为 2.58%,主要分布于流域上游海拔 1 000~1 900 m 的山地坡面。新疆野杏分布面积、覆盖率均明显呈随海拔升高先增大后减小的分布特征,同一海拔内不同坡向、坡度上新疆野杏覆盖率的差异也随海拔升高先减小后增大,在海拔 1 300~1 400 m 新疆野杏分布面积和覆盖率均达最大值,各坡向间、坡度间新疆野杏覆盖率差异最小,此外新疆野杏覆盖率西风迎风阴坡高于背风阳坡、陡坡高于缓坡,共同体现了不同地形对流域内新疆野杏分布特征的影响。

### 参考文献:

- [1] 张新时. 伊犁野果林的生态地理特征和群落学问题[J]. 植物学报, 1973(2): 239-253.
- [2] 林培钧, 林德佩, 王磊. 新疆果树的野生近缘植物[J]. 八一农学院学报, 1984(4): 25-32.
- [3] 刘兴诗, 林培钧, 钟骏平. 伊犁野果林生境分析和发生探讨[J]. 干旱区研究, 1993(3): 28-33.
- [4] 李国强, 赵永生, 白玲, 等. 新疆伊犁山区的野生果树种质资源[J]. 新疆农业科学, 1994(4): 176-178.
- [5] 杨其享, 刘立强, 秦伟, 等. 新疆野杏种群结构特征与健康评价[J]. 生态学杂志, 2022, 41(1): 9-17.
- [6] 石荡, 郭传超, 蒋南林, 等. 新疆野杏天然更新幼株的个体特征及空间分布格局[J]. 植物生态学报, 2023, 47(4): 515-529.
- [7] 蒋南林, 刘立强, 李雯雯, 等. 放牧对新疆野杏种群天然更新的影响[J]. 森林与环境学报, 2023, 43(5): 507-515.

(下转第 162 页)



doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.024

## 中国鸟类新纪录文献撰写规范研究

杨露<sup>1,2,3</sup>, 姚思倩<sup>1,2,3</sup>, 莫正仙<sup>1,2,3</sup>, 王荣兴<sup>1,2,3</sup>

- (1. 大理大学 东喜玛拉雅研究院, 云南 大理 671003;  
2. 中国三江并流区域生物多样性协同创新中心, 云南 大理 671003;  
3. 大理大学 三江并流区域生物多样性保护与利用省创新团队, 云南 大理 671003)

**摘要:**采用文献检索的方法,收集并分析近 10 年来国内鸟类物种新纪录文献的主要发表期刊和发表时间,通过检索的查准率和查全率研判文献存在的问题,提出规范建议。结果发现,鸟类新纪录文献存在查全率偏低(70.47%),地域级别含糊,无关键词,刊发时滞逐年增长等问题。基于此,提出新纪录文献撰写建议;规范题目,包括明确鸟种名和新纪录行政区域界线,建议为“地域范围+新纪录行政级别+鸟类新纪录——鸟名(拉丁名)”;增加关键词;通过增加专刊、专栏或者网络独立发布以缩短刊发时滞。

**关键词:**中国鸟类;新纪录文献;撰写规范;物种编目

中图分类号:S718.63;G254.31 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0157-06

引文格式:杨露,姚思倩,莫正仙,等.中国鸟类新纪录文献撰写规范研究[J].林业调查规划,2024,49(2):157-162.  
doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.024

YANG Lu, YAO Siqian, MO Zhengxian, et al. Suggestions for Writing Article of New Birds Record in China[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 157-162. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.024

### Suggestions for Writing Article of New Birds Record in China

YANG Lu<sup>1,2,3</sup>, YAO Siqian<sup>1,2,3</sup>, MO Zhengxian<sup>1,2,3</sup>, WANG Rongxing<sup>1,2,3</sup>

- (1. Institute of Eastern-Himalaya Biodiversity Research, Dali University, Dali, Yunnan 671003, China;  
2. Collaborative Innovation Center for Biodiversity and Conservation in the Three Parallel Rivers Region of China, Dali, Yunnan 671003, China; 3. Provincial Innovation Team of Biodiversity Conservation and Utility of the Three Parallel Rivers Region, Dali University, Dali, Yunnan 671003, China)

**Abstract:** This paper collected and analyzed the main journals and publication dates about new records of bird species in China in the past 10 years by using the method of literature search, and identified the problems based on the accuracy and recall of the search. The results showed that the recall ratio was low (70.47%), the geographical level was ambiguous, there were no keywords, and the publication days increased year by year. Therefore, this paper put forward the following suggestions for writing article of new records, such as standardized topics, including clearing bird species names and the administrative region level of the new record, adding keywords, and shortening the publication days by increasing special journal, column or online independent publication.

收稿日期:2022-09-14.

基金项目:大理大学博士科研启动项目(KYBS201701);云南省科技厅地方高校联合专项青年项目(202001BA070001-123).

第一作者:杨露(2003-),女,云南宣威人.主要从事水鸟生态学研究. Email:2834047991@qq.com

责任作者:王荣兴(1984-),男,云南宣威人,博士,副研究员.主要从事鸟类生态学研究. Email:wangrx@eastern-himalaya.cn

**Key words:** birds in China; new record literature; writing suggestions; species cataloging

生物物种编目是生物多样性保护和管理的基礎,物种新纪录文献在物种编目中发挥着重要作用。近年来,随着鸟类学研究群体的增长及公民科学的蓬勃发展,越来越多的鸟类新纪录文献得予发表,为国家及各地的鸟类物种编目作出了积极贡献。然而,目前尚无关于鸟类新纪录的撰写规范,这给物种编目工作带来诸多困难。为了提高物种编目工作效率,积极发挥新纪录文献作用,有必要对鸟类新纪录文献的撰写进行规范。

## 1 研究意义

生物多样性是人类赖以生存和发展的基础,是生态文明建设和民族永续发展的保障<sup>[1]</sup>。中国在动物、植物、微生物等方面均具有丰富的多样性<sup>[2]</sup>。目前,人类对物种分布认识不完整,成为阻碍生物多样性研究和保护的因素之一<sup>[3]</sup>。因此,摸清生物物种本底、及时更新物种名录,对生物多样性研究、保护与利用具有十分重要的作用<sup>[4]</sup>。

鸟类具有分布范围广、扩散能力强、迁徙距离远等特点,受限于人力和物力,在较大时间和空间尺度上较难进行监测。近年来,随着鸟类学研究群体的增长及公民科学的蓬勃发展,越来越多的鸟类新纪录文献得予发表<sup>[5-6]</sup>。鸟类新纪录数据信息量丰富、空间范围跨度大,可为物种名录的更新提供本底资料<sup>[7]</sup>。《中国鸟类分类与分布名录》3个版本<sup>[8-10]</sup>引用来源于中文期刊中以鸟类新纪录独立发表的文献分别为9条、90条和142条,分别占中文参考文献的13.63%、38.30%和40.57%。鸟类名录具有很强的时效性,需及时整合新纪录,调整濒危、重点保护鸟类等<sup>[11-12]</sup>。在全国尺度上,如郑光美院士主编的《中国鸟类分类与分布名录》3个版本的更新<sup>[8-10]</sup>;在地方尺度上,如云南省鸟类名录的更新<sup>[13-16]</sup>,江西省鸟类名录的更新<sup>[17]</sup>,陕西省重点濒危鸟类的调整<sup>[18]</sup>等。此外,及时掌握鸟类资源现状和动态,有利于积累中国鸟类本底资料,分析鸟类物种多样性、时空分布格局等<sup>[3]</sup>,以利于更好地开展鸟类研究、保护和管理工

作。随着新技术在鸟类学研究领域的应用,如对鸣声、分子、行为和演化历史等综合证据的分析,许多鸟类物种的分类地位发生了变化<sup>[3,19]</sup>。气候变化及人类活动等原因也导致一些鸟类在远离其正常分布

区外的地点被发现和记录,及时对这些发生变动的鸟类进行系统整理有助于了解鸟类现状<sup>[20-21]</sup>。科研工作者、观鸟爱好者及保护区管理者积极在全球范围内开展鸟类多样性及分布调查,为物种名录编撰提供了大量基础数据<sup>[5,22]</sup>。但目前公开发表的数据存在许多问题,如多为一些会议摘要或在区域资源调查中简单地列出名录,资料零碎,且部分新纪录缺乏详细的论证,不易被学术界认同和传承<sup>[19]</sup>。有些新纪录由于未规范写作而较难被检索到,增加了名录编撰工作者收集完整数据的难度。因此,对新纪录的写作需设计一套较为规范的模板,充分发挥新纪录文献的作用。

文献检索主要是基于对元数据的统一检索<sup>[23]</sup>。元数据是关于原始数据的信息,例如某篇文献的题名、作者、摘要等信息是关于该文献的元数据。元数据作为科技文献常用的检索途径,其信息必须全面和准确<sup>[24]</sup>。目前尚未提出一套针对新纪录文献的写作规范。为了有利于读者高效检索鸟类新纪录文献和编撰鸟类名录,有必要分析现阶段鸟类新纪录文章撰写中存在的问题,并对鸟类新纪录文本写作进行规范。因此,本文旨在整理近10年来中国鸟类新纪录文献,分析目前鸟类新纪录文献的撰写情况,以查全率和查准率来衡量被检索到的概率,并有针对性地提出撰写规范建议,以期发挥新纪录文献的作用,提高物种编目工作效率。

## 2 研究方法

### 2.1 检索效率评价

#### 2.1.1 检索方法

中国知网收录了国内许多重要期刊,涉及自然科学、生物科学、农学等各个领域<sup>[25]</sup>,具有丰富的数据和较高的可信度。本文限定检索时间为2011年1月1日—2021年12月20日,在中国知网的主题检索中以篇名为“新纪录”or“新记录”or“发现”and主题“鸟类”、同义词扩展进行检索;在专业检索中用TI=(‘新记录’+‘新纪录’+‘发现’)AND SU=(‘鸟类’)、同义词扩展进行检索,合并两种检索结果,并剔除无关文献,整理分析鸟类新纪录的重要信息(包含修订时间、发表时间、种名、发现时间、发现地点、数量、鸟类新纪录级别等)。

#### 2.1.2 查全率/查准率计算

查全率和查准率作为判断检索效果好坏的两个

常用指标,展示系统的“过滤能力”,即让相关文献“通过”,并“阻止”无关文献。本文用查全率和查准率来衡量目前新纪录文献存在的撰写问题<sup>[26]</sup>,并有针对性地提出撰写规范建议。查全率( $R$ )和查准率( $P$ )计算公式为:

$$R = (\text{检出相关文献量} / \text{检索系统中相关文献总量}) \times 100\%$$

$$P = (\text{检出相关文献量} / \text{检出文献总量}) \times 100\%$$

因发表新纪录的期刊较多,不易确定检索系统中的相关文献总量,因此只计算上述主题检索和专业检索的查准率。另外,选择发表新纪录的主要期刊,通过人工阅读筛选的方法,确定各期刊新纪录的发量,并以此作为“检索系统中相关文献总量”,继而进行查全率和查准率计算。

### 2.2 核心词分析

核心词是物种编目的关键信息,主要包括新纪录地域范围(如行政级别),物种名,发现时间等。本文在相关新纪录文献中统计新纪录地域级别(如:国家级、省级等)及核心词(如:新纪录、发现等)在“篇文摘”(标题、关键词、摘要)中出现的篇数并计算其占比。

### 2.3 年发文章量和刊发时间计算

年发文章量可反映鸟类新纪录的发现趋势,待刊时间或刊发时滞(从修订日期至刊发日期的天数)可反映期刊对新纪录文献刊发速度的态度。本文对具有完整稿件处理信息(包括修订日期和发表日期)的主要鸟类新纪录发表期刊的年发文章量和待刊时间进行统计。

## 3 结果分析

### 3.1 发表鸟类新纪录的期刊及检索效率

两种方式共检索 401 篇相关文献,104 篇不相关文献。发表新纪录的期刊约 67 家(图 1)。

检索方式的查准率为 79.41%,通过限定主要期刊的方式可提高检索的查准率,但查全率偏低,为 70.47%(表 1)。

### 3.2 核心词检索效果

#### 3.2.1 新纪录地域范围呈现情况

新纪录在“篇文摘”中出现的概率较低,地域范围含糊。主要期刊鸟类新纪录的发文章量共计 386 篇,其中省级新纪录占比最高,未写明新纪录级别的占比次之。省级行政区部分区域、保护区等新纪录行政界限范围混乱(图 2)。在上述行政地域范围中,标题中明确表示的有 177 篇,占比 45.85%;正文

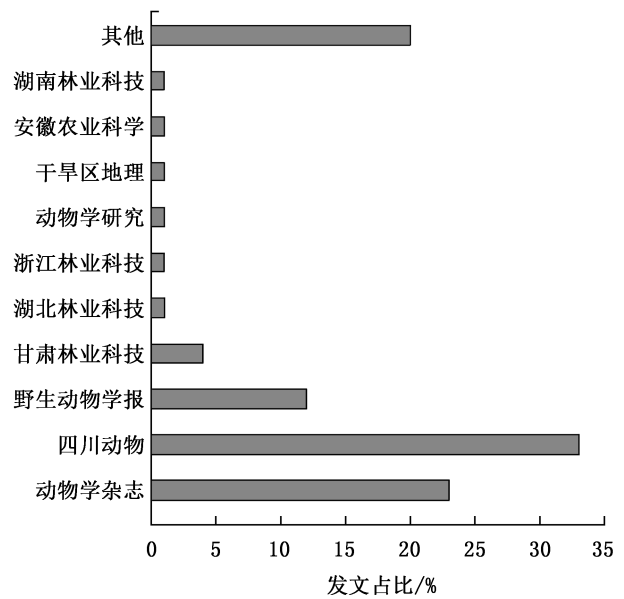


图 1 鸟类新纪录文献发表期刊及发文章占比

Fig. 1 Proportion of published literature and journals of new bird records

表 1 鸟类新纪录文献检索效果

Tab. 1 Literature retrieval effect of new bird records

检索指标	相关文献	不相关文献	漏检文献	查全率 /%	查准率 /%
全部来源	401	104	—	—	79.41
主要期刊	272	16	114	70.47	94.44

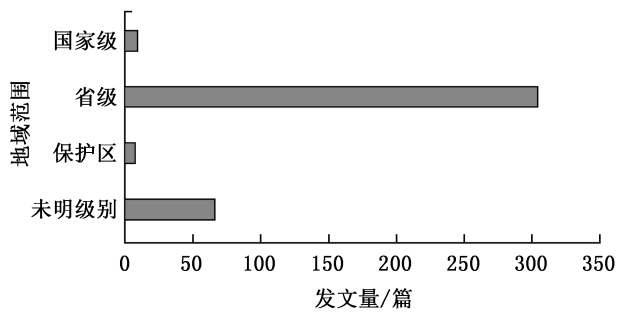


图 2 不同地域级别新纪录文献量

Fig. 2 Literature volume of new bird records at different geographical levels

中明确表示的有 130 篇,占比 33.68%;摘要或关键词中明确表示的有 13 篇,占比 3.37%。

#### 3.2.2 “新纪录”及同义词呈现情况

“新纪录”及同义词使用无统一性。在主要期刊的 386 篇文献中,标题核心词为“发现”的占比最高,占比 51.55%;无摘要的占比 76.94%;无关键词的占比 83.68%(表 2)。



表 2 核心词汇在“篇文摘”中的占比  
Tab. 2 Proportion of core words in title,  
keyword and abstract %

核心词	标题占比	摘要占比	关键词占比
“新纪录”	36.53	11.66	11.40
“新记录”	11.92	3.89	2.33
“发现”	51.55	3.63	0.26

### 3.3 年发文章量和刊发时滞

在发表鸟类新纪录的主要期刊中,选择记录了文献的修订日期(修回日期)和出版日期的期刊,分析其年发文章量和刊发时滞。自 2010 年开始陆续有鸟类新纪录文章被期刊接受和发表,且呈逐年上升趋势,但文章自接受至刊发的时间(刊发时滞)逐年升高(图 3,图 4)。

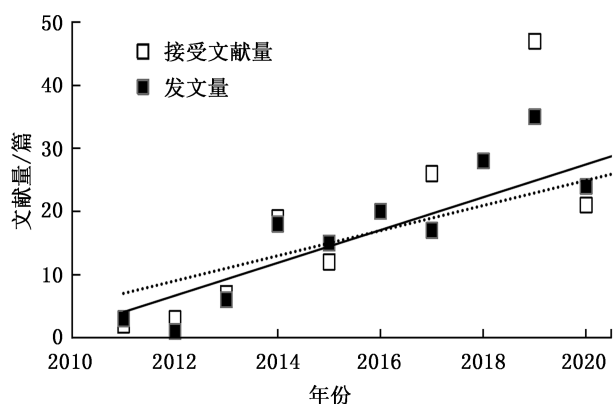


图 3 主要期刊历年接受鸟类新纪录文献量及发文章量

Fig. 3 Annual literature and publication volume of new bird records in major journals

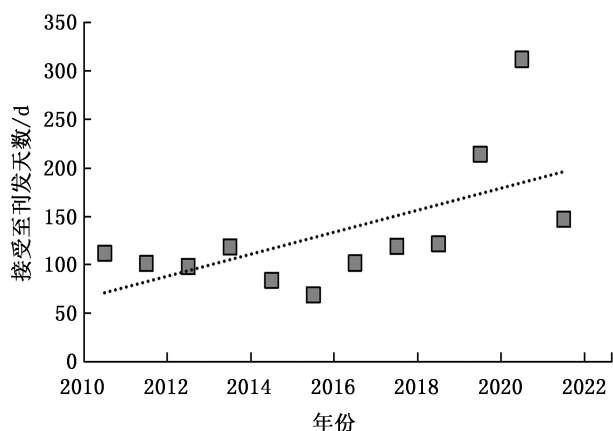


图 4 主要期刊历年鸟类新纪录文献刊发时滞

Fig. 4 Publication time of new bird records in major journals over the years

## 4 讨论与建议

### 4.1 检索效果

从整体看,不限来源主题检索的查准率偏低,主要期刊的查全率偏低,可能原因如下。

#### 4.1.1 标题核心词混乱

标题起着帮助文献追踪检索、吸引读者注意的作用。分析文献的标题发现,标题核心词不统一,不利于读者检索。标题中出现“新纪录”“新记录”“发现”等核心词,其中“发现”占比最高,但其指向性不强,增加了非鸟类新纪录及与鸟类新发现无关的文献检索数量。如曾菊平等<sup>[27]</sup>“发现濒危金斑喙凤蝶寄主植物——南方广布种深山含笑”、居卫东等<sup>[28]</sup>“江苏如东沿海发现黑嘴鸥新繁殖地”等。

#### 4.1.2 摘要、关键词等检索信息缺失

一些文献是按照“信息栏目”处理,未按照规范文章的标准处理。3 本期刊新纪录文献中有 76.94% 未设置摘要、83.68% 未设置关键词,不利于读者检索,全文中“发现、新纪录、新记录、新分布种”等词汇出现频率低,大部分文献中只出现一次。在两种不同的检索方式中,部分期刊相较于其他主要期刊漏检文献偏多,相互对比分析其原因可能也是因标题不统一且缺少摘要、关键词等有助于检索的重要信息。

### 4.2 文体内容存在的问题

#### 4.2.1 新纪录地域级别混乱

省级以下新纪录级别混乱,且有 17.10% 的新纪录文献未写明新纪录的级别,此信息的缺失不利于新纪录鸟类地域级别的确定,对观鸟爱好者等确认是否属于该区域鸟类新纪录造成障碍,同时也给相关区域物种名录编撰工作带来额外的时间成本。

#### 4.2.2 新纪录文献内容零乱

各篇文献所涉及的新纪录信息大不相同,在查阅新纪录文献、整理鸟类名录时需花费较多的时间阅读,且部分文献主要新纪录信息需补充完善(如鸟类的外貌、行为等)。

#### 4.2.3 新纪录文献刊发时滞长,信息传递不及时

期刊存在新纪录鸟类文献的修订日期与刊发日期间隔时间久,刊发时滞呈逐年上升趋势,导致新纪录信息传递滞后,可能会造成文献重复发表等问题。如黄腹山雀(*Pardaliparus venustulus*)<sup>[29-30]</sup>、黑喉潜鸟(*Gavia arctica*)<sup>[31-32]</sup>和白颊黑雁(*Branta leucopsis*)<sup>[33-34]</sup>分别作为吉林省、陕西省和东北地区的鸟类分布新纪录被不同作者于同年发表。

### 4.3 新纪录文献撰写规范建议

针对以上鸟类新纪录文献撰写方面存在的问题,提出如下优化建议。

#### 4.3.1 标题

“新纪录”和“新记录”两个词语在意思、词性、使用方面有所不同。新纪录通常用作名词,指在一定时期、一定范围内记载下来的纪录;新记录通常作动词,指把所见、所闻、所思、所想等通过一定的手段保留下来<sup>[35]</sup>。本文建议用名词表示,且以郑作新院士诸多文献中常用的“新纪录”作为规范。如,郑作新等于1957年以“中国鸟类的新纪录”为题发表的文章<sup>[36]</sup>。另外,建议鸟类新纪录的文献标题统一为“地域范围+新纪录行政级别+鸟类新纪录——鸟名(拉丁名)”的模式,如云南省省级鸟类新纪录——物种名(拉丁名),表示此鸟种为云南省省级鸟类新纪录;云南省XX市市级鸟类新纪录——物种名(拉丁名),表示此鸟种仅为云南省XX州(市)的鸟类新纪录;云南省XX市XX县级鸟类新纪录——物种名(拉丁名),表示此鸟种仅为云南省XX县(市、区)的鸟类新纪录。以此标题模式发表,可极大提高物种名录编撰效率。

#### 4.3.2 摘要、关键词

摘要是从正文中提炼出来的、语义能完整概括文献主旨的紧缩性短文,不阅读文献的全文就能获得必要信息<sup>[37]</sup>。关键词是为了文献标引工作,用以表示全文主要内容信息款目的单词或术语<sup>[38]</sup>。关键词和摘要与论文内容具有强相关性,对提取论文的主要内容也具有强烈的提示作用<sup>[39]</sup>。摘要和关键词的主要功能是为科技情报人员和计算机检索提供方便,为读者了解论文的主要内容提供信息<sup>[40]</sup>。鸟类新纪录文献规范补充摘要、关键词等信息,更有利于读者提高文献检索速度和准确率,获取文章主要信息。

#### 4.3.3 内容

内容首段描写新纪录鸟类的发现过程,包括时间、详细地点、数量、查证过程;其次描写新纪录鸟类的特点,包括目、科、种、亚种、新纪录级别、同记录鸟、生境、形态特征、行为、食性、保护等级。最后描写新纪录鸟类的分布、可能出现的原因和可能的居留型等,方便读者快速阅读到所需信息。此外,参考最新的分类学研究成果、该地区的鸟类鉴定手册等书籍以确保对鸟类描述信息的详细准确,或者尽可能提供新纪录鸟类照片、录像、鸣声等可证实的证据,更有利于后期重新证实,获得认可<sup>[41]</sup>。

#### 4.3.4 信息传递

新纪录文献具有较强的时效性,建议新纪录文献的作者及时投稿、及时按审稿意见修改定稿。此外,应综合考虑不同栏目文献审核的时效性,加快对“信息栏目”文献的审核,快速向读者传递鸟类新纪录信息,避免新纪录文献的重复发表。对此,可建立专门用于新纪录发表的期刊或者数据库;各期刊也可脱离印刷版,针对鸟类新纪录信息进行网络及时发布,提高时效性。

### 参考文献:

- [1] 冯晓娟,米湘成,肖治术,等. 中国生物多样性监测与研究网络建设及进展[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(12):1389-1398.
- [2] RICHARD W. LEWTHWAITE, 邹发生. 广东省的鸟类及考察历程[J]. 动物学杂志, 2015, 50(4):499-517.
- [3] 阙品甲,朱磊,张俊,等. 四川省鸟类名录的修订与更新[J]. 四川动物, 2020, 39(3):332-360.
- [4] 马克平. 中国生物多样性编目取得重要进展[J]. 生物多样性, 2015, 23(2):137-138.
- [5] GREENWOOD J J D. Citizens, science and bird conservation[J]. Journal of Ornithology, 2007, 148(1):77-124.
- [6] HOCHACHKA W M, FINK D, HUTCHINSON R A, et al. Data-intensive science Applied to Broad-scale Citizen Science[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2012, 27(2):130-137.
- [7] 邢晓莹,李翔,李枫,等. 近27年黑龙江省鸟种变化的初步修订[J]. 生态学杂志, 2017, 36(10):2787-2794.
- [8] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录[M]. 北京:科学出版社, 2005:1-426.
- [9] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录(第二版)[M]. 北京:科学出版社, 2011:1-456.
- [10] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录(第三版)[M]. 北京:科学出版社, 2017:1-492.
- [11] 郑光美. 建议对重点保护鸟类名录进行调整[J]. 大自然, 1998(5):4-5.
- [12] 程松林,毛夷仙,袁荣斌. 江西省鸟类资源的变动与保护管理建议[J]. 野生动物, 2011, 32(3):167-170.
- [13] 杨岚,文贤继,韩联宪,等. 云南鸟类志:上卷(非雀形目)[M]. 昆明:云南科技出版社, 1995:1-634.
- [14] 杨岚,文贤继,杨晓君. 云南鸟类志:下卷(雀形目)[M]. 昆明:云南科技出版社, 2004:1-867.
- [15] 杨晓君,吴飞,王荣兴,等. 鸟类[M]//孙航,高正文. 云南省生物物种名录(2016年版). 昆明:云南科技出版社, 2016:559-582.
- [16] 杨晓君. 云南鸟类物种多样性现状[M]//王紫江,黄海魁,杨晓君. 保护鸟类 人鸟和谐. 北京:中国林业

- 出版社,2009:1-9.
- [17] 曾南京,俞长好,刘观华,等. 江西省鸟类种类统计与多样性分析[J]. 湿地科学与管理,2018,14(2):50-60.
- [18] 徐勇,郭琳. 陕西省重点濒危鸟类发现和保护区研究及展望[J]. 绿色科技,2020(20):58-60.
- [19] 白利宾,杨向明. 山西省鸟类新发现及名录调整浅议[J]. 山西林业,2021(S1):28-29.
- [20] 刘阳,危骞,董路,等. 近年来中国鸟类野外新纪录的解析[J]. 动物学杂志,2013,48(5):750-758.
- [21] 平晓鸽,曾岩. 《国家重点保护野生动物名录》所列物种命名变化及其对野生生物保护的影响[J]. 中国科学:生命科学,2020,50(1):33-43.
- [22] 王勇,张正旺,郑光美,等. 鸟类学研究:过去二十年的回顾和对未来发展的建议[J]. 生物多样性,2012,20(2):119-137.
- [23] 刘顺利,岳秀丽,肖颖,等. 科技文献建设与高效检索利用[J]. 科技管理研究,2011,31(13):173-175.
- [24] 张瑞麟,范敏. 科技期刊文献检索与论文标题、摘要和关键词中物种拉丁学名的书写规范[J]. 农业图书情报学报,2013,25(4):140-142.
- [25] 李建秀. 国内三大期刊全文数据库信息检索之比较研究[J]. 软件工程师,2013(10):46-49.
- [26] 王小利,曹导叶,王杉. 科技查新中查全率与查准率的辨析[J]. 科技情报开发与经济,2010,20(14):139-140,212.
- [27] 曾菊平,林宝珠,朱祥福,等. 发现濒危金斑喙凤蝶寄主植物——南方广布种深山含笑[J]. 江西农业大学学报,2014,36(3):550-555.
- [28] 居卫东,陆琴. 江苏如东沿海发现黑嘴鸥新繁殖地[J]. 野生动物学报,2014,35(1):115-117.
- [29] 张冬娜,孙鹏,王波,等. 吉林省鸟类新纪录——黄腹山雀[J]. 吉林林业科技,2012,41(6):33-48.
- [30] 王翌,李天松,徐境羚,等. 吉林省鸟类新纪录——黄腹山雀[J]. 东北林业大学学报,2012,40(7):148-149.
- [31] 张雪静,陈建鹏,廖小青,等. 陕西西安渭河流域发现黑喉潜鸟[J]. 野生动物学报,2018,39(2):457-458.
- [32] 王靖,罗磊. 陕西省鸟类新纪录——黑喉潜鸟[J]. 四川动物,2018,37(2):138.
- [33] 朱井丽,孙雪莹,张旭民,等. 吉林首次发现白颊黑雁[J]. 野生动物学报,2018,39(4):1001-1002.
- [34] 张科,李连山,王深红,等. 吉林向海发现白颊黑雁[J]. 动物学杂志,2019,54(1):144.
- [35] 浙江大学学报编辑部. “记录”与“纪录”的区别[J]. 浙江大学学报(理学版),2016,43(3):344.
- [36] 郑作新,潘清华,唐瑞昌. 中国鸟类的新纪录[J]. 动物学报,1957(1):34-46,101-102.
- [37] 冯文敏. 学术论文摘要与关键词规范化浅析[J]. 武警学院学报,2011,27(3):93-96.
- [38] 李艳霞. 浅谈论文中的题名、中英文摘要和关键词在检索中的作用[J]. 内蒙古科技与经济,2010(15):100-101.
- [39] 刘家益,李颀瑶,张智雄,等. 关键词和被引次数对科技论文自动摘要效果影响研究[J]. 情报学报,2017,36(11):1165-1174.
- [40] 王振德. 学术论文摘要写作中常见问题与写作建议[J]. 新闻研究导刊,2020,11(12):193-194.
- [41] 陈水华,黄秦,范忠勇,等. 浙江鸟类名录更新(英文)[J]. Chinese Birds,2012,3(2):118-136.

责任编辑:许易琦

(上接第 156 页)

- [8] 阎国荣,许正. 天山野生果树主要病害及其分布[J]. 干旱区研究,2001(2):47-49.
- [9] 肉孜买买提·阿不来提,穆振侠. 新疆伊犁地区巩乃斯河流域 1972—2015 年气温及降水时间序列的变化特征及趋势分析[J]. 地下水,2018,40(6):162-165.
- [10] 顾鹤寿. 伊犁逆温层的植物资源[J]. 植物资源与环境,1993(2):12-15.
- [11] 侯博,许正. 天山野果林的发生、演变与气候因素的关系[J]. 西北植物学报,2005,25(11):128-133.
- [12] 侯冬花,萨拉木·艾尼瓦尔,海利力·库尔班,等. 伊犁不同类型野生杏花花期冻害及座果率研究[J]. 新疆农业科学,2007,44(2):122-125.
- [13] 张渊. 新疆野杏种子散布与萌发特性研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2017:40-41.
- [14] 郭传超,周伟权,石荡,等. 新疆野杏开花物候与花器官对海拔的响应[J]. 生态学报,2023,43(2):789-797.
- [15] 郭传超,廖康,石荡,等. 新疆野杏果实和种子性状与海拔的关系[J]. 果树学报,2023,40(2):316-326.
- [16] 褚佳瑶,冯琳骄,杨亚飞,等. 天山野果林野杏种群受损现状[J]. 经济林研究,2022,40(4):267-274.
- [17] 白志强,毛培利,刘华,等. 天山西部野杏光合作用日变化特征与其生理生态因子的关系[J]. 西北植物学报,2012,32(11):2321-2327.
- [18] 王磊,崔大方,林培钧,等. 新疆野生杏的种下类型[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版),1997(3):31-36.

责任编辑:陈旭



doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.026

## 2017—2020年思茅区亚洲象肇事及补偿情况调查

金瑜<sup>1</sup>,王娟<sup>2</sup>,李起<sup>3</sup>

(1. 普洱市思茅区林业和草原局,云南 思茅 665000; 2. 西南林业大学,云南 昆明 650224;  
3. 景洪市橄榄坝农场社区管理委员会综合服务中心,云南 景洪 666100)

**摘要:**对思茅区亚洲象肇事情况进行调查,并分析思茅区土地利用类型情况及其对亚洲象肇事活动的影响。结果表明:2009年以来思茅区亚洲象数量呈稳定快速增长趋势,肇事数量和造成的损失也呈增长态势,2017—2020年共造成经济损失2400.10万元,人员伤亡4人,分布范围和受损户数扩大;亚洲象对农作物损害程度不同,其肇事频率与季节性食物变化密切相关,月损失呈先波动增长后降低的趋势;土地利用格局是其种群扩散分布的重要基础。建议采取建设生态廊道提高亚洲象栖息地连通度,建设食源基地与完善象损赔偿机制,强化亚洲象预警系统等对策缓解人象冲突。

**关键词:**亚洲象;肇事损失;人象冲突;土地利用格局

中图分类号:Q949.845 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0168-08

引文格式:金瑜,王娟,李起. 2017—2020年思茅区亚洲象肇事及补偿情况调查[J]. 林业调查规划,2024,49(2): 168-175. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.026

JIN Yu, WANG Juan, LI Qi. Accidents and Compensation Caused by Asian Elephant in Simao District from 2017 to 2020 [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 168-175. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.026

## Accidents and Compensation Caused by Asian Elephant in Simao District from 2017 to 2020

JIN Yu<sup>1</sup>, WANG Juan<sup>2</sup>, LI Qi<sup>3</sup>

(1. Simao Bureau of Forestry and Grassland, Simao, Yunnan 665000, China; 2. Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 3. Comprehensive Service Center of Ganlanba Farm Community Management Committee, Jinghong, Yunnan 666100, China)

**Abstract:** The situation of Asian elephant accidents in Simao District was investigated, and the land use types and their impact on Asian elephant accident activities were analyzed. The results indicated that since 2009, the number of Asian elephants in Simao District showed a stable and rapid growth trend, while the number of accidents and losses caused also showed an increasing trend, and from 2017 to 2020, about 24 million yuan in economic losses were caused to the public, with 4 casualties, the distribution range and number of damaged households were expanded; Asian elephants caused varying degrees of damage to crops, and the frequency of accidents was closely related to seasonal food changes, the monthly loss increased firstly and then decreased; the land use pattern was an important foundation for the

收稿日期:2022-08-15.

第一作者:金瑜(1987-),女,云南墨江人,硕士,工程师.研究方向为森林资源保护与利用、生物多样性保护与利用.

Email:1171742501@qq.com

责任作者:王娟(1965-),女,云南昆明人,教授,博士生导师.研究方向为生物多样性保护与利用.

dispersal and distribution of the Asian elephant population. This paper suggested to alleviate the human-elephant conflict by building ecological corridors to improve the connectivity of Asian elephant habitat, building food source bases, improving the compensation mechanism for elephant damage, and strengthening the early warning system for Asian elephant.

**Key words:** Asian elephant; damage caused by accident; human-elephant conflict; land use pattern

云南省普洱市思茅区是我国亚洲象分布的重点区域之一,思茅区亚洲象种群数量从 1995 年 5 头<sup>[1-2]</sup>增长至 2020 年 119 头,种群数量呈不断增长趋势。近十余年随着思茅区人口增长和经济社会发展,人们对生产资料的需求随之增加,为了满足生产生活的基本条件,不断扩大生产和建设用地,天然林面积不断减少和破碎化,致使适宜亚洲象生存的栖息地不断减少和岛屿化,大象的天然食物如粽叶芦、芦竹、竹子、构树等植物资源的面积也不断减少,加上亚洲象食量巨大<sup>[2]</sup>,天然食物已经无法满足其需求量,因此亚洲象经常到人类活动区取食水稻、玉米、芭蕉、香蕉等农作物,引发了人象冲突。亚洲象栖息地丧失以及天然食物减少是人象冲突最主要的原因<sup>[3]</sup>。近年来思茅区人象矛盾越来越突出,主要矛盾体现在人象争夺生存空间和食物,1999 年以来,人象冲突导致思茅区村民 10 死 10 伤,其中重伤 8 人。选取 2017—2020 年为研究时段,重点分析思茅区亚洲象肇事损害作物种类、肇事村寨、肇事时间等特征,探索有效的缓解对策,为减缓人象矛盾冲突提供科学的意见和建议。

## 1 研究区概况

思茅区位于云南省普洱市南部,是普洱市政治、经济、文化中心,地理坐标为北纬 22°27′~23°06′,东经 100°19′~101°27′,地处横断山脉无量山南部,土地总面积 387 744 hm<sup>2</sup>,全区森林覆盖率高达 72.64%。气候类型属南亚热带高原性季风气候,年均温 19.4℃,年均降雨量 1 340.9 mm,降雨主要集中在 5—10 月,约占全年降雨量的 87.8%;11 月至次年 4 月降雨较少,为干燥少雨的旱季。植被类型主要有思茅松林、红木荷—刺栲林、麻栎林等。全区下辖 1 个街道 6 个乡镇,共有 56 个村民委员会,17 个社区居民委员会。

## 2 研究方法

### 2.1 象损调查

聘请亚洲象定损员对每个肇事点进行实地调

查,对受损地块进行面积测量或数量清点,不宜清点数量的玉米、水稻、麦子、蔬菜等按每亩平均产量进行推算;将调查结果登记在册,登记内容主要包括调查时间、象损地点、受损种类、受损面积或数量、受损作物生长期等。

### 2.2 访问调查

选择六顺镇、倚象镇、云仙乡、思茅港镇部分亚洲象活动较频繁的村寨进行访问调查。调查对象主要为亚洲象跟踪员、亚洲象定损员、林业员,重点了解亚洲象活动规律、取食习性、当地居民对亚洲象损害农作物的态度和以往防范亚洲象采用的方法措施及效果,了解群众对保护亚洲象的观点和看法。

### 2.3 数据整理

数据由太平洋保险公司思茅分公司和中国人寿财产保险股份有限公司思茅分公司提供,根据 2017—2020 年的亚洲象肇事损失理赔明细,结合亚洲象定损清单上记录的相关信息,用 Excel 整理分析思茅区亚洲象肇事损害的作物种类及数量、不同区域和不同时间段的肇事损失、人员伤亡情况等数据。利用 ArcGIS 分析思茅区 2009—2019 年土地利用类型变化情况及其对亚洲象肇事活动的影响。

## 3 结果与分析

### 3.1 思茅区亚洲象数量变化特征

通过查阅文献资料和同步追踪监测数据显示,思茅区亚洲象种群数量呈增长趋势。1995 年 1 个种群 5 头亚洲象从西双版纳州迁入思茅区南屏镇,至 2020 年增加到 4 个种群 119 头,除云仙乡外其余种群数量明显增长。其中 2009—2020 年亚洲象种群数量呈稳定快速增长趋势,主要原因为相邻的江城和西双版纳州象群迁入倚象镇、六顺镇和思茅港镇,以及亚洲象的自然繁衍促使数量增加,2017—2020 年初步统计六顺镇、倚象镇和思茅港镇 3 个象群年均新生象 2 头。而云仙乡种群几乎处于地理隔离状态,除六顺镇的独象偶尔会在云仙乡和六顺镇来回活动外,常年仅有本地 4 头象群活动,种群数量稳定(表 1)。

表 1 1995—2020 年思茅区常驻亚洲象统计  
Tab. 1 Statistics of resident Asian elephants in Simao District from 1995 to 2020

年份	倚象镇	六顺镇	南屏镇	思茅港	云仙乡	合计
1995			5			5
1996					4	4
2003					5	5
2004					5	5
2005					4	4
2006		12			4	16
2007		13			4	17
2008		13			4	17
2009		13			4	17
2010		14		14	4	32
2011		14		16	3	33
2012	7	18		17	3	45
2013	7	18		17	3	45
2014	21	18		17	3	59
2015	21	18		22	3	64
2016	21	18		22	3	64
2017	21	18		22	3	64
2018	24	45		23	4	96
2019	44	45		26	4	119
2020	44	45		26	4	119

注:按常驻地分类统计,南屏镇有亚洲象活动取食,但不常驻,因此未显示。

### 3.2 思茅区土地利用格局变化

2009—2019 年思茅区各类土地利用类型中林地面积最大,其次是种植园地和耕地,林地面积减少向其他地类转化,而草地向林地转化也较明显。林地从 2 960. 01 km<sup>2</sup> 减少至 2 863. 35 km<sup>2</sup>,其中林地向种植园地转化最明显,转化了 211. 01 km<sup>2</sup>,其次是向建设用地、水域和耕地转化,主要原因为 2005—2007 年茶叶和咖啡市场价格较好,大面积林地陆续被开垦种植茶叶、咖啡,除此外还有思茅区城乡扩建、工业园区建设和道路交通扩建等项目建设,以及为了满足城乡居民饮用水和其他用水思茅区新建了多个大中型水库,大面积林地被征占用致使林地面积减少;草地面积从 134. 04 km<sup>2</sup> 减少到 33. 79 km<sup>2</sup>,主要向林地转化了 93. 44 km<sup>2</sup>,其主要原因为思茅区气候湿润,各类植被生长速度快,草地、荒地等还林速度较迅速,还部分草地种植思茅松、桉树、竹子等。思茅区最主要的土地变化形式为以咖啡和茶叶为主的经济林种植及其他地类扩张导致毁林(表 2)。

综上所述,2009—2019 年思茅区林地面积减少,不断转化为其他地类,种植园地扩张显著,建设用地、水域和耕地面积增加也比较明显,导致适宜亚洲象的生境不断减少和破碎化,天然食源不断减少,致使亚洲象为满足食物需求不得不扩大觅食活动范围,肇事损失激增。

### 3.3 思茅区亚洲象肇事现状

#### 3.3.1 亚洲象肇事特征

统计数据显示,每年思茅区野生动物肇事频繁,其中最严重的是亚洲象肇事损失,占整个野生动物

表 2 2009—2019 年思茅区土地利用转移矩阵  
Tab. 2 Land use transfer matrix of Simao District from 2009 to 2019

2009 年	2019 年									总计
	林地	种植园地	耕地	草地	建设用地	水域	湿地	特殊用地	其他土地	
林地	2609.68	211.01	34.63	7.97	46.28	44.14	4.85	0.36	1.09	2960.01
种植园地	73.01	270.31	23.61	4.49	16.27	6.90	0.31	0.41	0.84	396.15
耕地	71.23	57.39	115.27	0.37	12.54	11.59	1.00	0.17	0.87	270.43
草地	93.44	8.30	5.02	18.60	1.88	6.19	0.52	0	0.09	134.04
建设用地	12.07	4.35	3.91	1.35	51.47	1.14	0.02	0.98	0.56	75.85
水域	2.48	0.91	1.48	0.71	3.20	22.87	0.32	0.27	0.10	32.34
湿地	0.44	0.02	0.22	0.11	0.04	3.87	0.29		0	4.99
特殊用地	0.21	0.03	0.03	0.11	0.62	0.08		0.90	0.01	1.99
其他土地	0.79	0.27	0.07	0.08	0.19	0.15			0.09	1.64
总计	2863.35	552.59	184.24	33.79	132.49	96.93	7.31	3.09	3.65	3877.44



肇事赔偿金额的 80% 以上,野猪占 10.9%,野牛、蛇、熊等肇事较少。2017—2020 年亚洲象肇事事件呈增加态势,4 年间 46 个村寨累计受损户数从 3 594 户增至 4 071 户(表 3)。

表 3 2017—2020 年各乡镇受损户数情况

Tab. 3 Number of damaged households in townships from 2017 to 2020

行政区	2017 年		2018 年		2019 年		2020 年	
	村寨数 / 个	户数 / 户	村寨数 / 个	户数 / 户	村寨数 / 个	户数 / 户	村寨数 / 个	户数 / 户
六顺镇	6	1061	6	1026	5	972	6	964
龙潭乡	3	50			3	14		
南屏镇	5	148	5	160	3	71	6	320
思茅港镇	5	1271	3	940	2	712	2	747
倚象镇	2	306	3	392	4	707	9	1096
云仙乡	8	758	3	690	3	766	7	941
思茅镇	0	0	0	0	0	0	1	3
合计	29	3594	20	3208	20	3242	31	4071

由表 3 可知,六顺镇、思茅港镇、云仙乡因象群数量较多且稳定和长期活动,受损户数较多但呈下降趋势,从 2017 年受损 19 个村寨 3 090 户减少至 2020 年 15 个村寨 2 652 户,这可能与思茅区六顺镇亚洲象食物源基地建设有密切关系,食物源基地为亚洲象提供了数量充足、营养丰富的食物,每年都吸引了六顺镇和思茅港的象群来园内取食,数量最多时一天内监测到 89 头亚洲象取食活动,减少了亚洲象在农地或村寨的活动频率;此外还与土地利用格局发生变化有一定的关系,亚洲象活动区原本耕种农作物的土地弃耕或种植桉树、思茅松等用材树种。而倚象镇和南屏镇从受损 7 个村寨 454 户激增至 2020 年 15 个村寨 1 416 户,这与从西双版纳州景洪市迁入倚象镇的 17 头“断鼻家族”活动密切相关,新象群迁入后在倚象镇和南屏镇往返,导致大寨村、半坡村等 7 个历年来未曾发现亚洲象踪迹的村寨遭到损失,仅该象群 2020 年的肇事受损户数记录便达 336 户,导致受灾人数和范围不断扩大,对当地居民的生产生活造成严重影响,人象矛盾冲突愈演愈烈。

### 3.3.2 受损乡镇亚洲象肇事特征

#### 1) 受损乡镇赔偿统计分析

2017—2020 年亚洲象在思茅区各乡镇均造成不同程度的损失,其中六顺镇各年度损失均最严重,

赔偿金额累计达 1 047.23 万元,占全区总损失金额的 43.6%,随后依次是思茅港镇累计赔偿 508.91 万元,占 21.2%,倚象镇 375.67 万元,占 15.7%,云仙乡 295.51 万元,占 12.3%,其他乡镇损失较少(表 4)。

由表 3 和表 4 可知,亚洲象肇事赔偿金额与受损户数不成正相关,虽然六顺镇、思茅港镇受损户数呈下降趋势,但赔偿金额呈上下波动趋势。这与市场价的波动密切相关,2017—2019 年市场标准价相同赔偿总金额波动较小,而 2020 年市场标准价提高致使赔偿总金额激增;还与肇事面积、受损数量、肇事强度等有较大关系;此外与亚洲象定损员工作方式和态度也有一定关系,肇事发生时间与定损时间间隔太长影响定损准确度,定损员工作认真与否也影响定损准确度,这些因素均影响赔偿金额的核定。

亚洲象在各乡镇肇事伤人事件发生率降低。2017 年六顺镇和思茅港镇共发生 2 起伤人事件,2018 年全区未发生伤人事件,2019 年倚象镇发生 1 起伤人事件,2020 年南屏镇发生 1 起致死事件,云仙乡、龙潭乡和思茅镇期间未发生伤人事件,这主要与亚洲象预警系统的应用和肇事赔偿标准的提高密切相关,近几年预警平台的使用效果比较显著,减少了人象正面冲突的频率;此外赔偿金额的提高让群众基本生活有了一定的保障,为了生活同亚洲象抢夺作物事件减少,人象正面冲突减少。

#### 2) 肇事事件中农作物的损失统计分析

思茅区种植了大量的思茅松、桉树等用材林和咖啡、茶叶等经济林,导致栖息地减少和破碎化,无法再为亚洲象提供充足的食源植物,大象只能进入农田和经济林觅食<sup>[4]</sup>。与天然食物相比,玉米、水稻、芭蕉等农作物不仅更容易取食且具有丰富的营养物质<sup>[5]</sup>,由于长期取食农作物,取食习性发生了一定改变<sup>[2,6]</sup>,因此尽管部分地区可为亚洲象提供充足的天然食源<sup>[7]</sup>,但其仍要到人类生产活动区取食农作物甚至在农地定居,如六顺镇的“小黑皮”和“断牙”两头公象每年至少 8 个月以上时间定居在六顺镇南邦河村大河边小组家旁边的农田取食农作物,正午天气炎热时到鱼塘里戏水,夜晚到村寨走村串户,即使大河边小组村寨四周有大面积食源丰富的天然林,亚洲象也很少到林内取食活动,对周边村寨造成严重的损失。

亚洲象肇事乡镇不同农作物受损情况有所差别,其中玉米、稻谷、咖啡、牲畜和其他经济损失在六顺镇最严重,冬瓜、豆子、橡胶、甘蔗和果树损失在思

表 4 2017—2020 年思茅区各乡镇亚洲象肇事损失情况

Tab. 4 Damage of Asian elephant accidents in townships of Simao District from 2017 to 2020

行政区	年份	损失金额/万元													
		稻谷	玉米	冬瓜	豆子	橡胶	咖啡	芭蕉	茶叶	甘蔗	果树	其他损失	牲畜	人员伤亡	赔偿金额
六顺镇	2017	37.01	117.51	0	0	0.41	39.36	18.67	5.06	6.21	0.32	14.64	0.48	0.30	239.97
	2018	24.75	119.79	0	0	0.30	26.70	14.26	8.69	0	7.98	42.71	0.03	0	245.21
	2019	23.15	122.34	0	0	0.13	7.17	6.82	3.75	0.51	2.98	38.04	0.73	0	205.62
	2020	34.35	187.45	0	0.14	0.09	14.13	9.34	7.48	0.76	9.44	92.86	0.39	0	356.43
南屏镇	2017	1.22	2.29	0	0	0	9.99	9.41	0.24	1.45	0.07	1.53	0	0	26.20
	2018	0.50	1.23	0	0	0	6.64	2.36	1.52	0	0.59	7.64	0	0	20.48
	2019	0.18	0.54	0	0	0	1.77	0.45	0.15	0	0.04	3.29	0	0	6.42
	2020	0	16.01	0	0	0	8.34	6.92	6.12	0	1.76	14.55	0.57	60.00	114.27
思茅港镇	2017	17.86	83.12	0.03	0.84	2.07	12.15	26.63	4.30	13.43	0.19	2.97	0	0.69	164.28
	2018	0.01	64.40	0.96	3.34	12.21	4.73	10.34	0	2.23	9.22	20.60	0	0	128.04
	2019	0.59	52.91	0.55	2.06	5.81	2.05	9.48	0	2.45	4.74	16.14	0	0	96.78
	2020	0	51.20	0.55	4.35	3.84	1.76	14.63	0	0	13.79	29.69	0	0	119.81
倚象镇	2017	2.10	5.07	0	0	0.18	4.30	13.57	16.61	0	0.38	18.13	0.17	0	60.51
	2018	0.03	11.45	0	0	0.07	2.44	12.02	12.22	0	2.14	18.53	0	0	58.90
	2019	1.42	29.72	0	0.03	0.22	4.31	15.70	18.23	0	5.01	14.52	0.80	0.39	90.35
	2020	1.52	47.56	0	0	0.01	1.74	24.91	31.84	0.06	11.93	46.20	0.14	0	165.91
云仙乡	2017	8.08	26.82	0	0	0.10	4.91	5.70	1.15	1.17	0.20	5.24	0.12	0	53.49
	2018	9.93	28.17	0	0.17	0.08	4.33	8.21	0.45	0.04	1.20	22.35	0	0	74.93
	2019	8.61	35.81	0	0.09	0.14	2.35	3.03	1.45	1.22	1.61	6.82	0	0	61.13
	2020	15.91	43.91	0	0.22	0.06	3.70	6.56	0.99	0.66	7.16	26.74	0.05	0	105.96
龙潭乡	2017	0	3.86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.86
	2019	0.25	0.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.93
思茅镇	2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.62	0	0	0.62
合计		187.47	1051.84	2.09	11.24	25.72	162.87	219.01	120.25	30.19	80.75	443.81	3.48	61.38	2400.10

茅港镇最严重,芭蕉(香蕉)和茶叶损失在倚象镇最严重,而南屏镇的咖啡、芭蕉和其他损失以及云仙乡的稻谷、玉米、咖啡、芭蕉和其他损失也较严重,龙潭乡和思茅镇各类损失均最小,其主要与亚洲象种群数量及各乡镇的农作物种植情况密切相关。

村寨间由于气候条件和立地条件的差异性农作物种植种类不同,因此亚洲象对不同农作物损害程度不同(表 5)。

调查数据显示,稻谷在官房村、炮掌山村、挖令村、团结村损失较严重,金额超过 20 万元,这些村寨除稻谷种植面积较大外,适宜种植稻谷的区域不仅水源充沛而且四周有一定面积的天然林,是亚洲象栖息的最佳场所,而官房村因水田大多分布在林间

沟谷及村寨旁河流沿线且较分散,常年有二三十头亚洲象活动,致使稻谷损失严重,累计赔偿金额达 53.03 万元,占稻谷总损失的 28.3%;玉米在各类农作物中损失最严重,累计达 1 051.84 万元,占总损失金额的 43.8%,其中橄榄坝村、团结村、南邦河村、官房村、炮掌山村、纳吉村较严重,损失金额超过 50 万元,由于这些村寨处于相对偏远的山区,村寨附近及山地均种植玉米来饲养牲畜,种植面积大、分布范围广,是亚洲象取食活动的重点区域,其中橄榄坝村位于江边,地势较平坦,玉米种植面积较大,受损也最严重,累计达 218.89 万元,占玉米总损失的 20.8%;橡胶主要分布在橄榄坝村,亚洲象虽然不取食橡胶但由于橡胶林主要分布在耕地与林地之间,

表 5 2017—2020 年重点村寨主要农作物受损情况  
Tab. 5 Damage of main crops in key villages from 2017 to 2020

乡镇	村	作物损失金额/万元									
		稻谷	玉米	冬瓜	豆子	橡胶	咖啡	芭蕉(香蕉)	茶叶	甘蔗	果树
六顺镇	官房村	53.03	95.61	0	0	0.01	21.01	18.81	4.28	0.09	1.40
	那棵落村	0.02	9.16	0	0	0	0.85	0.62	1.09	0	0.10
	南邦河村	8.93	185.41	0	0	0.91	28.57	16.47	12.02	4.90	16.74
	炮掌山村	36.38	60.65	0	0	0.01	4.94	4.27	0.02	1.36	1.06
	团结村	20.91	195.59	0	0	0	31.44	6.15	6.51	0.98	0.85
南屏镇	曼歇坝村	0.66	2.08	0	0	0	15.91	15.04	1.88	0.85	1.52
	南岛河村	0.57	0.83	0	0	0	4.88	1.04	0.44	0.60	0.44
	整碗村	0.17	2.39	0	0	0	0.28	1.85	4.22	0	0.29
倚象镇	半坡村	0.32	7.76	0	0	0	0.13	0.72	3.86	0.06	2.78
	蚌弄村	2.31	17.33	0	0	0	1.28	6.41	4.73	0	3.18
	纳吉村	2.41	50.93	0	0	0.48	11.18	57.64	68.72	0	13.46
	鱼塘村	0.02	10.92	0	0.03	0	0	0.17	0.10	0	0
思茅港镇	橄榄坝村	17.16	218.89	1.81	10.18	23.93	16.54	58.44	3.59	15.59	27.70
	那澜村	0.54	13.50	0.28	0.42	0	4.13	2.67	0.71	2.52	0.23
云仙乡	坝塘村	11.43	38.56	0	0.15	0.14	3.82	8.58	2.41	0.90	4.26
	黄竹林村	0	5.21	0	0.05	0	0.21	1.80	0	0.14	1.12
	骂木村	5.52	43.64	0	0.09	0.04	4.63	2.58	1.41	1.45	1.86
	挖令村	25.50	40.34	0	0.19	0.19	5.99	10.30	0.22	0.61	2.94

大象在林地、橡胶、耕地间来回穿梭时导致橡胶树折断或踩踏致死,损失累计达 23.93 万元,占橡胶总损失的 93.1%;咖啡在团结村、南邦河村、官房村损失超过 20 万元,咖啡是这些村寨的主要经济来源,不仅种植面积大,而且象群数量较多,几乎全年均有亚洲象活动,亚洲象虽然取食少量咖啡果实但主要是在咖啡园玩耍或觅食踩踏造成损失,其中团结村最严重,累计达 31.44 万元,占咖啡总损失的 19.3%;芭蕉(香蕉)主要在橄榄坝村和纳吉村江边大规模成片种植,其他村寨主要在房前屋后或田间地头零星种植,亚洲象喜食芭蕉(香蕉)芯和果实,致使大面积芭蕉(香蕉)严重受损,橄榄坝村和纳吉村损失金额分别累计达 58.44 万元和 57.64 万元,分别占芭蕉(香蕉)总损失的 26.7%和 26.3%;茶叶在纳吉村种植较广泛,村寨周边及地势较缓的山地种植了大面积茶叶,部分茶叶地中还套种了玉米、蔬菜、芒果及零星的芭蕉(香蕉),亚洲象虽不取食茶叶但在取食套种植物或玩耍过程由于踩踏等致损,仅纳吉村损失达 68.72 万元,占茶叶总损失的 57.1%;甘蔗主

要分布在气候炎热的橄榄坝村,亚洲象喜食甘蔗,主要通过取食造成损失,损失累计达 15.59 万元,占甘蔗总损失的 51.6%;果树主要在橄榄坝村、南邦河村、纳吉村损失较严重,金额超过 13 万元,这些村寨大量种植了芒果、桔子、火龙果等水果,亚洲象在取食水果过程中造成树枝折断、果树脱落甚至毁掉整株果树,或者果园觅食玩耍时损害果树,其中橄榄坝村由于种植了大面积坚果、芒果、菠萝蜜等损失较严重,达 27.7 万元,占果树总损失的 34.1%。

### 3.3.3 亚洲象肇事月损失情况分析

2017—2020 年思茅区亚洲象肇事损失总体呈先波动增长后降低的趋势,1—11 月波动增长,其中 6—7 月增长速度最快,8 月达到峰值 378.91 万元,7—11 月损失较严重,累计损失达 1 589.05 万元,占总损失的 66.1%;11—12 月迅速降低,这种变化与种群数量及食源植物的季节性变化有密切关系(图 1)。

6—11 月农作物和天然食源丰富,亚洲象除取食造成损失外,在觅食过程中还毁坏了大量农作物,造成巨大损失(图 2)。



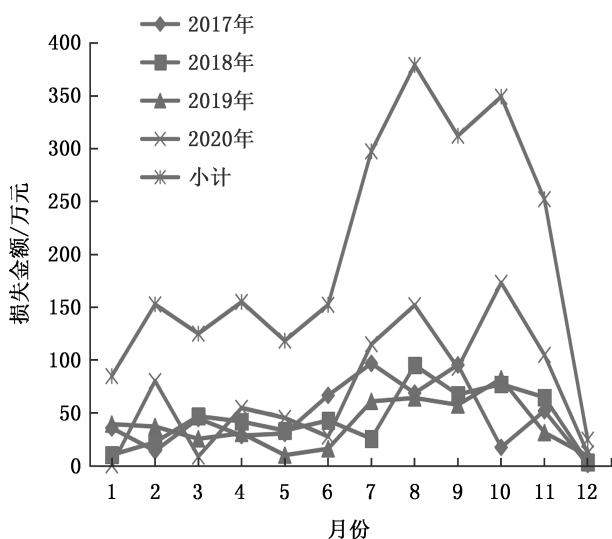


图 1 2017—2020 年亚洲象肇事损失各年度月情况分析

Fig. 1 Annual and monthly analysis of Asian elephant accidents damage from 2017 to 2020

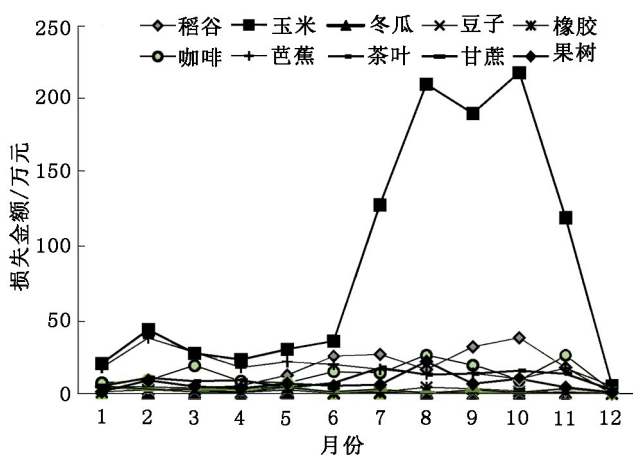


图 2 思茅区各类农作物月损失情况分析

Fig. 2 Analysis of monthly loss of various crops in Simao District

随着稻谷和玉米作物逐渐成熟,亚洲象取食频率增加致使损失呈增长态势,期间稻谷和玉米损失分别累计达 156.54 万元和 902.12 万元,占其损失总额的 83.5%和 85.8%,10 月受损均达到峰值。此外随着大象到农地取食稻谷和玉米频率增加,大象在茶叶、咖啡、橡胶等种植园地往返穿梭频率也逐渐增加,致使其损失也呈增长态势;咖啡和茶叶在 6—11 月损失较严重,分别占咖啡和茶叶总损失的 67.5%和 60.7%,咖啡在 11 月果实成熟期损失达到峰值,茶叶在 7 月出芽高峰期损失达到峰值;橡胶在 8 月损失达到峰值;果树在 2—10 月损失均较严重,8 月损失达到峰值。

1—5 月和 12 月农作物以及天然食源相对短缺,芭蕉(香蕉)、甘蔗、蔬菜以及家中存粮成为亚洲象的主要食源,由于农作物等面积、数量减少,肇事损失发生率也随着降低。其中冬瓜和豆子损失主要集中在 1—5 月;芭蕉(香蕉)和甘蔗在 1—7 月损失较严重,2 月达到峰值;甘蔗在 1 月成熟期损失最严重。

## 4 结论与对策

### 4.1 结论

研究表明,2009—2020 年思茅区亚洲象种群数量呈稳定快速增长趋势,其中 2017—2020 年数量增加最多,共增加了 47 头,思茅区土地利用格局是其种群扩散分布的重要基础,随着亚洲象的数量激增,亚洲象肇事数量和损失也呈增长态势。2009—2019 年林地面积减少,向其他地类转化,种植园地面积扩张迅速,导致亚洲象生境破碎化严重,致使亚洲象分布范围呈逐步扩大趋势;2017—2020 年有 7 个乡镇 46 个村寨累计 14 115 户受到亚洲象不同程度的损害,共造成群众经济损失 2 400.10 万元,人员伤亡 4 人(1 人死亡 3 人受伤),实际赔偿 2 400.10 万元,赔偿率为 100%,其中六顺镇是全区肇事次数最多、损失最严重的乡镇,共造成群众经济损失 1 047.23 万元,人员受伤 1 人,赔偿 1 047.23 万元,占总赔偿金额的 43.6%,随后依次是思茅港镇占 21.2%、倚象镇占 15.7%、云仙乡占 12.3%,南屏镇、龙潭乡和思茅镇损失较少。营养丰富的农作物逐渐成为亚洲象的主要食物来源,其中玉米损失最严重,赔偿金额累计达 1 051.84 万元,占总赔偿金额的 43.8%;亚洲象肇事的乡镇不同农作物受损情况有所差别,其中六顺镇玉米、稻谷、咖啡、牲畜和其他经济损失几乎各年度均最严重。

亚洲象肇事随季节性食物变化而变化,亚洲象肇事月损失总体呈 1—11 月波动增长、11—12 月迅速降低的趋势,其中 6—7 月增长速度最快,7—11 月损失最严重,累计达 1 589.05 万元,占总损失的 66.1%。6—11 月农作物和天然食源丰富,随着稻谷和玉米作物的逐渐成熟,亚洲象取食频率增加,致使损失呈增长态势,因亚洲象除取食稻谷、玉米等外,在觅食往返穿梭过程中对茶叶、咖啡、橡胶等其他农作物植株进行踩踏、折断、拔根等伤害,从而造成巨大的损失。1—5 月和 12 月农作物以及天然食源相对短缺,芭蕉(香蕉)、甘蔗、蔬菜以及家中存粮成为亚洲象的主要食源,由于农作物等面积、数量减

少,肇事事件相对较少。

#### 4.2 对策

1) 加快生态廊道建设,提高适宜栖息地间的连通度。在亚洲象经常通行的“象道”建立一定面积的生态廊道,提高栖息地间的连通度,减少栖息地“岛屿化”,有效缓解亚洲象在迁移和活动过程中对农作物、房屋等的损毁及与人类的空间交集。

2) 进行合理的土地利用规划,改善栖息地生境,有效降低人象空间重叠区。调整种植结构,在村寨周围种植非亚洲象食源作物如茶叶、咖啡等,减少亚洲象进入村寨觅食活动次数。修复生境较差的栖息地,种植亚洲象喜食的天然植物丰富食源,种植要规避农作物等与人类生产活动相似的物种。在亚洲象经常活动的区域实施退耕还林还草政策,为亚洲象营造良好的栖息场所,减少亚洲象外出活动频率,有效降低亚洲象肇事次数。有研究表明,低强度用火可以改善森林环境,增强森林内生物多样性<sup>[8-10]</sup>,促进树木和草本植物快速生长,亚洲象路过人工林,在有芦竹等食物的时候也会停下来取食,在大面积集中连片的人工林鼓励低强度计划性用火以增加食物源,从而减少肇事频率。

3) 加强亚洲象食物源基地建设,扩大现有食物源基地面积,增加食物源基地数量。在亚洲象活动频繁且种群数量较多的区域实施近自然食物源基地建设,为亚洲象营造食源充足且种类丰富的栖息场所,建设人工硝塘和戏水池,保证活动区水源充足,尽可能吸引亚洲象在食物源基地活动,从而减少人象活动空间的重叠区。

4) 完善象损赔偿机制,正确引导群众加强亚洲象保护意识。思茅区自2011年开始实施野生动物肇事公众责任保险<sup>[11]</sup>,提高保险金额能有效缓解人象冲突,亚洲象损毁农作物赔偿金额应与市场价格相符,保障群众的生活来源。经过访问调查大部分群众表示:如果赔偿价格和市场价格相同,农作物受损就权当种给大象取食,来年还愿意耕种;但如果赔偿金额和市场价格相差太大,宁可荒废也不再种植,没有收成还要倒贴人力和财力,以免造成更大的经

济损失。政府应加强涉象区群众的关注度,加强监管亚洲象肇事理赔工作,保障受灾群众的生活来源与及时的心理安抚,加强宣传和正确引导群众提高对亚洲象的保护意识和自身防范意识。

5) 扩大亚洲象预警信息系统使用范围,减少人员伤亡。尽量将亚洲象分布区域的群众纳入亚洲象预警系统,让每人都能够接收到预警信息。在村寨四周及亚洲象经常出入的地方安装摄像头,运用无人机等技术辅助监测,提高监测效率,及时掌握亚洲象动态,在第一时间通过预警平台通知区域内群众,以便提前做好防范准备,有效减少人员伤亡。

#### 参考文献:

- [1] 冯利民,张立. 云南西双版纳尚勇保护区亚洲象对栖息地的选择[J]. 兽类学报, 2005, 25(3): 229-236.
- [2] 靳莉. 中国亚洲象肇事原因和对策研究[J]. 野生动物, 2008, 29(4): 220-223.
- [3] 孙国政,张光元,杨子诚,等. 人象冲突缓解工程研究进展与方向[J]. 林业建设, 2019, 210(6): 1-5.
- [4] 邵日派,金吉辉,李忠文,等. 云南太阳河自然保护区亚洲象现状调查[J]. 林业建设, 2019(6): 55-61.
- [5] 陈颖,孙亚宽,曹静瑄,等. 亚洲象保护的机遇和挑战[J]. 林业建设, 2019(6): 11-22.
- [6] 陈明勇,吴兆录,董永华,等. 中国亚洲象研究[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [7] STOLDT M, GTTERT T, MANN C, et al. Transfrontier conservation areas and human-wildlife conflict[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 4.
- [8] 郑焕能. 火在森林生态系统平衡中的影响[J]. 东北林业大学学报, 1990, 18(1): 8-12.
- [9] 牛树奎,严承高. 林火对生物多样性的影响[C]//中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性研究进展——首届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 104-108.
- [10] 尚文艳,吴刚,付晓,等. 陆地植物群落物种多样性维持机制[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 573-578.
- [11] 余玲江,谭爱军. 普洱市思茅区亚洲象肇事原因和对策分析[J]. 东北林业科技, 2015, 217(2): 74-78.

责任编辑: 杨焱焱

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.027

## 郑州市野生鸟类资源研究

刘冰许<sup>1</sup>, 赵洪涛<sup>2</sup>, 赵文珍<sup>3</sup>, 翟运力<sup>4</sup>, 白小军<sup>5</sup>, 许智新<sup>6</sup>, 刘继华<sup>1</sup>, 计燕<sup>7</sup>, 刘振华<sup>8</sup>,  
徐蕾<sup>9</sup>, 张婷凤<sup>10</sup>

- (1. 郑州市动物园(郑州市犬只收容站), 河南 郑州 450008; 2. 平顶山市园林绿化中心, 河南 平顶山 467000;  
3. 郑州市城区河道管理处, 河南 郑州 450008; 4. 洛宁县下峪镇农业服务中心, 河南 洛宁 471700; 5. 宜阳县林业  
技术指导站, 河南 宜阳 471600; 6. 固始县林业技术推广站, 河南 固始 465200; 7. 郑州市人民公园, 河南  
郑州 450000; 8. 太康县林业局, 河南 太康 461400; 9. 洛阳市牡丹产业发展中心, 河南 洛阳 471000;  
10. 河南省自然博物馆, 河南 郑州 450000)

**摘要:**对2014—2019年河南省郑州市鸟类物种多样性、区系分布及生境状况进行调查,共记录到鸟类16目52科304种,包括外来鸟类12目16科40种,其中山地鸟类最多,有197种,河道与水田相似性最大(0.71),共有鸟类78种。东洋界鸟类46种(15.13%),古北界鸟类155种(50.99%),广布种103种(33.88%);留鸟90种(29.61%),夏候鸟59种(19.41%),冬候鸟71种(23.36%),旅鸟84种(27.63%);国家一级重点保护鸟类17种,外来种3种,国家二级重点保护鸟类47种,外来种7种,省级重点保护鸟类21种,CITES鸟类列入附录I的物种有7种,外来种8种,极危(CR)级别鸟类3种,濒危(EN)等级鸟类4种,易危(VU)等级鸟类8种,近危等级鸟类4种,中日协定保护鸟类147种,中澳协定保护鸟类40种。结果表明,郑州市鸟类整体表现南北混杂,显示出由古北界向东洋界过渡而以古北界成分占优势的特征。在生境分析中表现出除雀形目鸟类外,水鸟占比很大,在鸟类保护过程中应加大对水体资源的保护。

**关键词:** 鸟类资源; 物种多样性; 居留型; 区系成分; 保护等级; 郑州市

中图分类号: S718.63 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0176-08

引文格式: 刘冰许, 赵洪涛, 赵文珍, 等. 郑州市野生鸟类资源研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 176-183, 213.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.027

LIU Bingxu, ZHAO Hongtao, ZHAO Wenzhen, et al. Investigation and Research on Wild Bird Resources in Zhengzhou City[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 176-183, 213. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.027

## Investigation and Research on Wild Bird Resources in Zhengzhou City

LIU Bingxu<sup>1</sup>, ZHAO Hongtao<sup>2</sup>, ZHAO Wenzhen<sup>3</sup>, ZHAI Yunli<sup>4</sup>, BAI Xiaojun<sup>5</sup>,  
XU Zhixin<sup>6</sup>, LIU Jihua<sup>1</sup>, JI Yan<sup>7</sup>, LIU Zhenhua<sup>8</sup>, XU Lei<sup>9</sup>, ZHANG Tingfeng<sup>10</sup>

- (1. Zhengzhou Zoo (Zhengzhou Dog Shelter), Zhengzhou 450008, China; 2. Pingdingshan Landscape Greening Center, Pingdingshan, Henan 467000, China; 3. Zhengzhou Urban River Management Office, Zhengzhou 450008, China;  
4. Agricultural Service Center of Xiayu Town, Luoning, Henan 471700, China; 5. Yiyang County Forestry Technical Guidance Station, Yiyang, Henan 471600, China; 6. Gushi County Forestry Technology Promotion Station, Gushi, Henan 465200, China; 7. Zhengzhou People's Park, Zhengzhou 450000, China; 8. Taikang County Forestry Bureau, Taikang, Henan 461400, China; 9. Luoyang Peony Industry Development Center, Luoyang, 471000, China;  
10. Henan Natural History Museum, Zhengzhou 450000, China)

收稿日期: 2022-08-05; 修回日期: 2022-09-14.

项目来源: 郑州市林业局生物多样性资源普查及规划编制项目.

第一作者: 刘冰许(1969-), 男, 陕西周至人, 教授. 主要从事野生动物保护等方面的工作. Email: 1067573282@qq.com

责任作者: 赵洪涛(1970-), 男, 河南平顶山人, 高级工程师. 从事园林绿化等方面的工作. Email: 907348626@qq.com



**Abstract:** This study investigated the biodiversity, faunal distribution and habitat of birds in Zhengzhou City, Henan Province from 2014 to 2019. A total of 304 species in 52 families of 16 orders were recorded, including 40 species of exotic birds in 16 families and 12 orders. Among them, mountain birds were the most (197 species), rivers and paddy fields were the most similar (0.71), with 78 species of birds. There were 46 species (15.13%) of Oriental birds, 155 species (50.99%) of Palaearctic birds and 103 species (33.88%) of widespread species, and 90 species (29.61%) of resident birds, 59 species (19.41%) of summer migratory birds, 71 species (23.36%) of winter migratory birds and 84 species (27.63%) of migratory birds. The bird resources had 17 species of national first-level key protected birds, with 3 exotic species, 47 species of national second-level key protected birds, with 7 exotic species, and 21 species of provincial key protected birds. 7 species of birds and 8 exotic species were listed in Appendix I of CITES. Critically endangered (CR), endangered (EN), vulnerable (VU), and near threatened (NT) levels were 3, 4, 8 and 4 species, respectively. 147 species were on the list of the China-Japan Agreement on the Protection of Birds, and 40 species were on the list of the China-Australia Agreement on the Protection of Birds. The results showed that the birds in Zhengzhou City were mixed in the north and south as a whole, showing a transition from the Palaearctic realm to the Oriental realm, with the Palaearctic component dominating. In the habitat analysis, water birds accounted for a large proportion of all birds except Passeriformes, indicating that more investment should be made in protecting water resources in the process of bird protection.

**Key words:** bird resources; species diversity; residence type; faunal components; protection level; Zhengzhou City

生物多样性为人类提供包括生存环境、维持生态系统稳定、微环境调节等生存基础,是自然环境稳定发展的保障<sup>[1-2]</sup>。鸟类作为生态系统中对生态环境变化相对敏感,且分布范围较广的生物,也是生态系统中最活跃的生物之一<sup>[3]</sup>,对鸟类生物多样性的定期观测常作为环境质量监测评价、生物多样性衡量的指标之一<sup>[4-5]</sup>。鸟类资源多样性调查是在一定区域内对鸟类资源的定期调查,通过获取生态系统的格局与质量、物种组成与分布以及环境要素等方面的数据,掌握鸟类资源生物多样性变化趋势,由于鸟类在不同生境中群体类型不同,不同生境为鸟类直接或间接提供栖息地和食物来源,生境的变化会导致鸟类多样性的变化<sup>[6]</sup>。鸟类作为城市野生动物,与人类共同生存于城市生态环境中,不依赖人类而自己获取食物,与人类活动有着密不可分的关系<sup>[7-9]</sup>。随着经济发展,频繁的人类活动和生态环境的变化,使鸟类种类和数量发生变化<sup>[10]</sup>,城市建设与生态环境的矛盾日益明显。

关于郑州市境内鸟类观测记录,1980年由河南师范大学生物系观测全河南省境内鸟类记录155种<sup>[11]</sup>,1996年初步摸清了河南省暨郑州市野生动物资源的分布和种类,记录鸟类385种<sup>[12]</sup>。近年来,郑州市不断加大生态文明建设,野生动物保护力

度不断加大,法律法规不断完善,建立了郑州黄河湿地自然保护区,黄河湿地国家公园。目前郑州市鸟类资源相较于20世纪90年代的野生动物资源状况,分布和保护均发生了较大变化,非常有必要开展详细的调查工作。因此,开展一系列野生动物监测研究工作,调查郑州市区域范围内的鸟类资源生物物种种类和数量,摸清郑州市鸟类资源现状,分析鸟类资源分布的生态环境以及影响鸟类资源的因子,揭示环境、自然资源和人为因素的相互作用<sup>[4]</sup>。掌握郑州市鸟类资源种群数量、分布、管理、生境保护及受威胁现状,运用科学的方法,有针对性地提出鸟类保护策略,为建设郑州市生态文明城市、生态园林城市以及郑州市城市与生态环境保护协同发展提供基础资料和政策依据。

## 1 研究区域概况

郑州市地处秦岭东段余脉、中国第二级地貌台阶与第三级地貌台阶的交接过渡地带,地理位置为 $112^{\circ}42' \sim 114^{\circ}14' E$ ,  $34^{\circ}16' \sim 34^{\circ}58' N$ ,地势为西南高、东北低,呈阶梯状下降,现辖6区5市1县,市境内有大小河流124条,流域面积较大的河流有29条,全市总面积 $7\,446.2\text{ km}^2$ ,市区面积 $1\,010\text{ km}^2$ ,中

心城区建成区面积 549.33 km<sup>2</sup>, 市域城市建成区面积 830.97 km<sup>2</sup>, 城镇化率 72.2%。属北温带大陆性季风气候, 春夏秋冬四季分明, 年均温 15.6℃; 8 月最热月均温 25.9℃; 1 月最冷月均温 2.15℃。年均降雨量 542.15 mm, 无霜期 209 d。全年日照时间约 1 869.7 h。在植物区系划分上属暖温带落叶阔叶林植被型, 植物资源以嵩山植物和黄河湿地植物为典型。郑州市共有树种 78 科、250 多属、400 多种, 国家重点保护野生植物有银杏、野大豆、野莲 3 科, 另有多种河南省重点保护野生植物。在动物地理学上位于古北界与东洋界交汇处, 据 20 世纪 90 年代全国第一次野生动物资源调查数据, 郑州市境内有国家级重点保护野生动物 46 种, 其中国家一级重点保护动物 9 种, 省级重点保护动物 19 种, 国家保护的有益的或有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物共计 206 种(不含昆虫纲), 其中鸟类 169 种<sup>[4]</sup>, 独特的地理特征与气候类型为鸟类的生存和迁徙提供了适宜的生存环境。

## 2 研究方法

### 2.1 调查内容和对象

全面调查郑州市区域范围内的鸟类资源, 调查内容包括郑州市范围内所有鸟类种群数量、分布现状、栖息地及保护现状等。

### 2.2 调查范围

郑州市域 7 446.2 km<sup>2</sup> 范围, 调查范围涉及郑州主城区的金水区、惠济区、管城区、郑州高新技术开发区、郑州东区、郑州经济技术开发区以及荥阳市、巩义市、新密市、登封市、中牟县、上街区、航空港区, 区域面积 7 446.2 km<sup>2</sup>。重点调查山区、平原湿地、黄河湿地等。

### 2.3 调查方法

#### 2.3.1 总体和抽样设计

基于系统抽样方法, 应用 GIS 技术, 以 1/25 万或大于 1/25 万的电子地形图为基础进行区划; 以单元格 1:5 万的地形图和遥感卫星影像为基础, 依照海拔和栖息地类型变化情况, 并充分利用第一次全国陆生野生动物资源调查成果、森林资源一类、二类调查成果。抽样包括郑州市区域(7 446.2 km<sup>2</sup>) 全部范围, 抽取 10% 的样区作为调查样区, 设置 7 个 10 km×10 km 的调查样区, 抽样总面积 700 km<sup>2</sup>, 作为常规调查样区。对于不再抽样的郑州市平原地区以及市区范围, 采取随机设置样区的调查方法, 设置

了 52 个调查样区。全部 7 个抽样样区涵盖了郑州市的登封市、新密市、荥阳市、二七区、巩义市、中原区、惠济区的山区地带, 52 个样区涵盖了郑州市区、中牟县、新密市、新郑市、荥阳市、巩义市、登封市的平原水网地区。基本达到了调查全覆盖。具体抽样和 52 个样区设置见表 1。

表 1 郑州市鸟类资源调查样区  
Tab. 1 List of sample areas for bird resource survey in Zhengzhou City

序号	调查样区	序号	调查样区
1	郑州市森林公园	27	郑州花园口南裹头
2	郑州市北龙湖	28	郑州花园口中牟黄河湿地
3	郑州市魏河	29	中牟县狼城岗
4	郑州市动物园	30	中牟县雁鸣湖
5	郑州市东风渠	31	郑州市孔河
6	郑州市金水河	32	荥阳市洞林湖
7	郑州市纬一路	33	荥阳市三仙庙水库
8	郑州市碧沙岗公园	34	荥阳市河王水库
9	郑州植物园	35	荥阳市植物园
10	郑州市西流湖公园	36	新郑市潮河
11	郑州市树木园	37	新郑市双泊河
12	中牟县牟山湿地公园	38	新郑市具茨山森林公园
13	中牟县贾鲁河	39	新秘书青河水库
14	中牟县森林公园	40	新密市温庄水库
15	中牟县林场	41	新密市李湾水库
16	荥阳市索河	42	巩义市坞罗水库
17	荥阳市唐岗水库	43	巩义市黄河湿地保护区
18	荥阳市	44	巩义市伊洛河
19	郑州市龙子湖	45	登封市白沙水库
20	郑州象湖湿地公园	46	登封市纸坊水库
21	郑州市绿博园	47	登封市颍河隐士沟水库
22	郑州市园博园	48	荥阳市丁店水库
23	郑州市蝶湖	49	中牟县象湖贾鲁河
24	郑州市双鹤湖	50	郑州市尖刚水库
25	郑州市须河	51	郑州市常庄水库
26	郑州黄河湿地公园	52	郑州市南龙湖

#### 2.3.2 调查时间

于 2014 年 1 月 1 日—2019 年 2 月 28 日, 在鸟类繁殖期和越冬期分别进行鸟类数量调查。繁殖期为每年的 3—7 月, 越冬期为 11 月至翌年 2 月, 为此, 鸟类调查时间设定为 5—7 月和 11 月至翌年 1

月,于晴朗、风力不大(三级以下风力)的天气条件下的清晨或傍晚鸟类活动高峰期进行。

## 2.4 种类与数量调查方法

### 2.4.1 样线法

在样区内,依照海拔、栖息地类型变化及可行性布设样线,每个样区布设 10 条样线,样线长 3~5 km。考虑到野生动物栖息地类型、活动范围、生态习性设置样线<sup>[13-14]</sup>,沿样线正常速度行走,结合特征判断鸟类种类。

### 2.4.2 样点法

对小型鸟类或无法布设样线的区域使用样点法进行调查;对集群繁殖或栖息的鸟类采用直接计数法进行调查。在抽取的调查样区中按 1% 抽样强度设计调查样点,每个样区内选择两条样线设置鸟类调查样点,每条样线设置 15 个调查样点,则每个样区内设置调查样点 30 个。共设置鸟类调查样点 210 个。样点半径 25 m,样点间隔 200 m 以上。

### 2.4.3 同步调查法

在相同的时间同步开始调查,这样可以防止鸟类飞行重复记录,使鸟类资源调查结果更准确。

### 2.4.4 专项调查法

针对某种鸟类开展的调查方法,一般针对重点调查的鸟类采取这种方法。本次调查针对大鸨、大天鹅、小天鹅采取专项调查法。

### 2.4.5 统计方法

首先获取专业的野生动物迁地保护机构、野生动物保护部门、野生动物救护部门、野生动物司法鉴定机构等统计救护保护、饲养展出的鸟类种类和数量。本次主要包括郑州市动物园、郑州市生态鸟语林、郑州市野生动物救护站、河南省野生动物救护中心、河南省林业司法鉴定中心等机构的统计数据。

## 2.5 鸟类受威胁状况调查

进行种群及栖息地调查时,记录各调查样区鸟类及栖息地受到的主要威胁、受干扰状况及程度。根据样区调查情况,结合资料查阅、调查访问,对调查单元内的鸟类及栖息地受到的主要威胁、受干扰状况进行评估,记录各调查单元鸟类受到的主要威胁及保护现状。威胁及干扰程度分为强、中、弱。

## 2.6 统计方法

除该调查区域的数据记载,还参考近年来在郑州市及郊区的调查数据。对于鸟类摄影爱好者拍摄到的稀有鸟种,通过谨慎求证后予以采纳。

1) 丰富度:采用不同种鸟类种群数量占鸟类总数的百分比( $P$ )来定义多度等级,观察到的鸟类数

量占总数量 10% 以上的为优势种,1%~10% 为常见种,0.1% 以下为稀有种。

2) 相似性分析:

$$I = 2C / (A + B) \quad (1)$$

式中: $A$ 、 $B$  分别为两个群落中的种数; $C$  为两个群落中共有的种数。

3) 物种多样性 G-F 指数:物种多样性指数( $D_{G-F}$ )由科的物种多样性( $D_F$ )和属的物种多样性( $D_G$ )标准化获得。

4)  $D_F$  指数:

$$D_{Fk} = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$D_F = \sum_{k=1}^m D_{Fk} \quad (3)$$

式中: $D_{Fk}$  为特定科( $K$ )中的 F 指数; $P_i = S_{ki} / S_k$ ,  $S_k$  为  $k$  科中的鸟类物种数; $S_{ki}$  为  $k$  科  $i$  属中的物种数; $n$  为  $k$  科中属的个数; $m$  为科的个数。

$$D_G = - \sum_{j=1}^p D_j = - \sum_{j=1}^p q_j \ln q_j \quad (4)$$

式中: $q_j = S_j / S$ ,  $S_j$  为  $j$  属中的鸟类物种数; $S$  为鸟类物种数; $p$  为鸟类属的个数。

5) 物种多样性 G-F 指数  $D_{G-F}$ :

$$D_{G-F} = 1 - \frac{D_G}{D_F} \quad (5)$$

## 3 结果与分析

### 3.1 鸟类资源状况

#### 3.1.1 鸟类物种多样性

通过以上统计方法,整理 2014 年 2 月—2019 年 2 月的观察记录,分类参照《中国鸟类图鉴》<sup>[15]</sup>,记录到本研究区域内共有鸟类 304 种,隶属 16 目 52 科,其中雀形目鸟类 138 种,占鸟类总数的 44.95%,非雀形目鸟类 169 种,占 55.05%;在非雀形目中,雁形目鸟类种类最多,有 33 种,占鸟类总数的 10.75%,其次为鸽形目鸟类,有 28 种,占 9.12%;隼形目鸟类 22 种,占 7.17%;鹳形目鸟类 16 种,占 5.21%;鹤形目鸟类 15 种,占 4.89%(表 2)。

#### 3.1.2 居留类型与变化分析

研究区域内鸟类按居留型划分,共有留鸟 90 种,占鸟类总数的 29.61%。鸟类组成特点是候鸟(冬候鸟、夏候鸟、旅鸟)占比较大(70.39%),留鸟占比较小(29.61%)。在留鸟中雀形目鸟类 50 种,非雀形目鸟类 40 种。在非雀形目鸟类中隼形目鸟类最多,为 8 种,其次是鸽形目、鸱形目、鸺形目各 5



表 2 郑州市鸟类组成

Tab. 2 Composition of birds in Zhengzhou City

目	科	种	占比/%
鸬鹚目 Colymbiformes	1	2	0.66
鹈形目 Pelecaniformes	2	2	0.66
鸬形目 Ciconiiformes	3	16	5.26
雁形目 Anseriformes	1	33	10.86
隼形目 Falconiformes	2	21	6.91
鸡形目 Galliformes	1	5	1.64
鹤形目 Gruiformes	4	15	4.93
鸽形目 Charadriiformes	6	28	9.21
鸥形目 Lariformes	1	8	2.63
鸽形目 Columbiformes	1	5	1.64
鹃形目 Cuculiformes	1	10	3.29
鸱形目 Strigiformes	1	9	2.96
佛法僧目 Coraciiformes	4	7	2.30
鸢形目 Piciformes	1	6	1.97
雀形目 Passeriformes	22	136	44.74
雨燕目 Apodiformes	1	1	0.33
合计	52	304	100.00

种,鸡形目和佛法僧目各 4 种,鸬形目 3 种,雁形目 2 种,鸬鹚目、鹤形目、鸽形目和鹃形目各 1 种。

夏候鸟 59 种,占鸟类总数的 19.41%,包括雀形目 21 种,雨燕目 1 种,鹃形目 10 种,鸬形目 9 种,鸽形目与鹤形目分别为 5 种,隼形目、鸱形目、佛法僧目、鸥形目各 2 种,鹈形目 1 种。

冬候鸟 71 种,占鸟类总数的 23.36%,其中雀形目鸟类 19 种,非雀形目鸟类 52 种。在非雀形目鸟类中大雁形目 25 种,鹤形目及隼形目鸟类各 6 种,鸽形目、鸥形目鸟类各 4 种,鸬形目 3 种,鸱形目 2 种,鸬鹚目和鸡形目各 1 种。

旅鸟有 84 种,占鸟类总数的 27.63%,雀形目 46 种,非雀形目鸟类有 38 种。在非雀形目鸟类中鸽形目 18 种,隼形目鸟类 6 种,雁形目 5 种,鹤形目鸟类 3 种,鸥形目 2 种,鹈形目、鸬形目、佛法僧目、鸢形目各 1 种。

### 3.1.3 区系成分分析

郑州市及市郊(中牟市、新郑市、新密市、荥阳市、登封市)在动物地理区划上隶属古北界华北区,鸟类区系成分组成中,古北种 155 种,占比 50.99%,东洋种 46 种,占比 15.13%,广布种 103 种,占比 33.88%。

### 3.1.4 鸟类物种多样性分析

在调研的鸟类数量等级分析中,优势种鸟类 17 种,占鸟类总数的 5.59%,在优势种中,有灰椋鸟

(*Sturnus cineraceus*)、达乌里寒鸦(*Corvus dauricus*)、喜鹊(*Pica pica*)、灰喜鹊(*Cyanopica cyana*)等留鸟。也有夏季繁殖的池鹭(*Ardeola bacchus*)和越冬的灰鹤(*Grus grus*)、灰雁(*Anser anser*)等,种群数量超越其他鸟类成为本研究区域优势种。常见种 133 种,占比 43.75%。常见鸟种包括 59 种水鸟。稀有种 154 种,占比 50.66%。依照前述公式得到郑州市鸟类多样性分析  $D_F$ 、 $D_G$ 、 $D_{F-G}$  值分别为 36.479、4.880 和 0.866,表明科属间的多样性较丰富,从科和属的角度体现郑州市鸟类物种多样性处于较高水平。

### 3.1.5 4 种生境鸟类分布状况分析

根据地形地貌、植被类型、人为干扰程度的不同,郑州市及郊县形成 4 类各具特色的鸟类群落,山地容纳鸟类 197 种,占比 40.29%;河道容纳鸟类 139 种,占比 28.43%;滩地容纳鸟类 73 种,占比 14.93%;水田容纳鸟类 80 种,占比 16.36%。

调查区域内有众多河道、滩涂、水田以及山地,4 种生境紧密相邻。SABO<sup>[16]</sup>的研究结果表明,两种生境的相似性系数低于 0.6 时,可以看成两种生境不相似。对 4 种生境鸟类组成的相似性进行分析,结果表明,河道与水田的鸟类相似性为 0.71,相似性最高,共有鸟种 78 种,河道与山地相似性最低,相似性为 0.24,共有物种 40 种。另外,河道与滩地的鸟类相似性为 0.51,有共同鸟类物种 54 种。水田与滩地的鸟类相似性为 0.56,有共同鸟类物种 43 种。滩地与山地的鸟类相似性为 0.4,有共同鸟类物种 54 种。水田与山地的鸟类相似性为 0.27,有共同鸟类物种 38 种。

### 3.2 鸟类保护等级

研究区域内共栖息鸟类 304 种,包括河南省级保护鸟种、国家级重点保护鸟类、世界自然保护联盟制定的濒危物种红色名录(IUCN)<sup>[17]</sup>和濒危野生动植物物种国际贸易公约(CITES)附录 I 和附录 II 的鸟类物种。

#### 3.2.1 省级与国家级重点保护鸟类

研究区域内共记录省级重点保护鸟类 21 种,占鸟类种数的 6.91%;国家级重点保护鸟类 64 种,占 21.05%;其中国家一级重点保护鸟类 17 种,占 5.59%,国家二级重点保护鸟类 47 种,占 15.45%,其他保护等级鸟类物种数量 219 种,占比最高,达 72.04%。

#### 3.2.2 世界自然保护联盟(IUCN)红色名录鸟类

根据 2019 年 IUCN 制定的濒危物种红色名录,该研究区域内共有 15 种受威胁鸟类,其中极危

(CR)级别 3 种,包括白鹤、青头潜鸭、黄胸鹀,濒危(EN)鸟类有 4 种,包括东方白鹳、卷羽鹁鹑、猎隼、中华秋沙鸭;易危(VU)鸟类 8 种,包括鸿雁、小白额雁、花脸鸭、大鸨、白枕鹤、白头鹤、玉带海雕、丹顶鹤;近危(NT)鸟类 4 种,分别为秃鹫、乌雕、小太平鸟、震旦鸦雀。

3.2.3 《濒危野生动植物物种国际贸易公约》(CITES) 鸟类

研究区域内列入 CITES 附录 I 的鸟类有 7 种,分别为卷羽鹁鹑、白鹤、白头鹤、花脸鸭、游隼、丹顶鹤、白枕鹤;列入附录 II 鸟类有 27 种,包括黑鹳、白琵鹭、秃鹫、鸮、黑鸢等。

3.2.4 中国特有种

依据中国鸟类分布与分类名录<sup>[18]</sup>,我国共有特有种 76 种,调查发现研究区域有雀形目的山噪鹛(*Garrulax davidi*)、橙翅噪鹛(*Trochalopteron elliotii*)、黄腹山雀(*Parus venustulus*)和鸡形目的红腹锦鸡(*Chrysolophus pictus*)共 4 种中国特有种鸟类。其中山噪鹛、橙翅噪鹛和黄腹山雀在郑州市均为常见种,属留鸟。郑州市与河南省及全国珍稀濒危鸟类资源比较分析见图 1。

3.3 郑州市外来鸟类资源

3.3.1 外来鸟类目、科、种组成

依据《中国鸟类分类与分布名录》分类系统,记录到郑州市外来鸟类共 40 种,隶属 12 目 16 科(表 3)。其中,鸡形目鸟类最多,其次是鸮形目(Psittaciformes)和雀形目,分别为 10、8、4 种,该 3 个目鸟类之和占比高达 55%。外来鸟类主要来自鸟市非法贩卖,供人类观赏,说明该 3 个目鸟类不仅外型美观,而且种类及数量庞大,体现了鸟类群落的组成特点,即从种类组成上分析,该 3 个目鸟类占据很大优势。

3.3.2 外来鸟类珍稀濒危程度分析

1) 国家保护鸟类物种

研究区域内统计到的外来鸟类有 40 种,其中国家级重点保护鸟类 10 种,占比 25%。在国家级重点保护鸟类中,国家一级重点保护鸟类 3 种,占比 7.5%,国家二级重点保护鸟类 7 种,占比 17.5%。其他保护等级鸟类 30 种,占比 75%。

2) 《濒危野生动植物物种国际贸易公约》(CITES) 鸟类

研究区域内的外来鸟类列入附录 I 的物种有 8 种,列入附录 II 的物种有 13 种(表 4)。

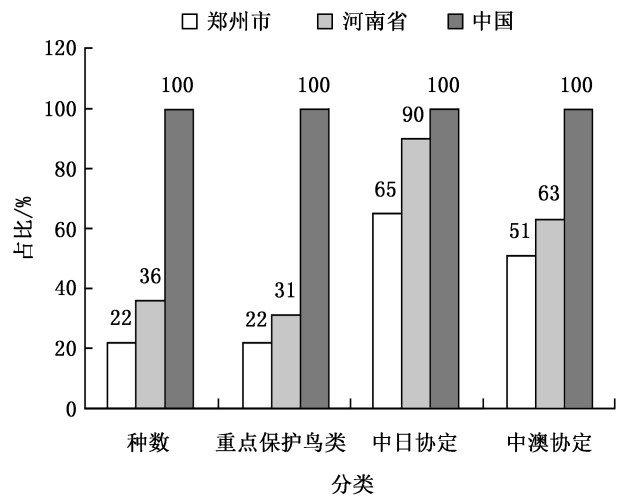


图 1 郑州市与河南省及全国的珍稀鸟类比较

Fig. 1 Comparison of rare birds in Zhengzhou City and Henan Province and the whole country

表 3 郑州市外来鸟类目、科、种组成

Tab. 3 Analysis of order, family and species of exotic birds in Zhengzhou City

目	科	种	占比/%
鸮形目	1	2	5.0
鹤形目	1	2	5.0
火烈鸟目 Phoenicopteriformes	1	1	2.5
鸡形目	2	10	25.0
雁形目	1	3	7.5
企鹅目 Sphenisciformes	1	1	2.5
犀鸟目 Bucerotiformes	1	1	2.5
鸢形目	1	4	10.0
鸵鸟目 Struthioniformes	1	1	2.5
鹤鸵目 Casuariiformes	1	1	2.5
鸮形目	1	8	20.0
雀形目	4	6	15.0
总计	16	40	100.0

表 4 郑州市外来鸟类 IUCN 鸟类名录

Tab. 4 IUCN list of exotic birds in Zhengzhou City

濒危等级	数量	种名
附录 I	8	朱鹮、褐马鸡、白马鸡、洪氏环企鹅、双角犀鸟、非洲鸵鸟、琉璃金刚鹦鹉、红绿金刚鹦鹉
附录 II	14	美洲红鹮、黑冠鹤、灰冠鹤、大红鹮、绿孔雀、黑颈天鹅、红嘴巨嘴鸟、凹嘴巨嘴鸟、鞭笞巨嘴鸟、淡黄喉巨嘴鸟、蓝头鹦鹉、红肩金刚鹦鹉、葵花鹦鹉、鸮哥

## 4 结论与讨论

### 4.1 鸟类组成

定期更新与修订物种数据不仅是自然保护区的职责<sup>[19]</sup>,任何一个地区都应有计划及时监测更新物种变化趋势。此次鸟类资源调查研究为郑州市生物资源提供了基础资料,为制定城市与鸟类和谐共存策略提供参考<sup>[20]</sup>。调查结果,郑州市有鸟类 16 目 52 科 304 种,其中外来鸟类 40 种,记录到雀形目的山噪鹛、橙翅噪鹛和黄腹山雀与鸡形目的红腹锦鸡共 4 种中国特有种鸟类,省级重点保护鸟类 21 种,国家一级重点保护鸟类 17 种,外来种 3 种;国家二级重点保护鸟类 47 种,外来种 7 种。监测到《濒危野生动植物物种国际贸易公约》(CITES)鸟类列入附录 I 的鸟类物种有 7 种,外来种 8 种;列入附录 II 的鸟类物种 27 种,外来种 14 种。根据 2019 年 IUCN 制定的濒危物种红色名录,该研究区域内极危(CR)级别鸟类 3 种,濒危(EN)等级鸟类 4 种,易危(VU)等级鸟类 8 种,近危等级鸟类 4 种。在处于受威胁的 15 种鸟类中,青头潜鸭、鸿雁、小白额雁、花脸鸭、黄胸鹀 5 种在 2021 年前未列入我国国家级重点保护鸟类,2021 年后被列入国家重点保护一级和二级保护野生动物。在雁鸣湖湿地发现了目前河南省首次最大的白琵鹭(*Platalea leucorodia*)种群,48 只白琵鹭种群在此地栖息越冬。另外,中日协定保护鸟类 147 种,中澳协定保护鸟类 40 种。与河南省及全国相比,无论从鸟类种类、数量,还是珍稀保护鸟类保护等级,郑州市鸟类数据在河南省乃至全国均占据相当比重。

### 4.2 鸟类生境、区系与居留型

邬建国等<sup>[21-22]</sup>认为,鸟类生物多样的空间分布与生境状况及其变化程度密切相关。调查中发现,仅雀形目占比达 44.95%。蒋志刚<sup>[23]</sup>指出生境植被类群为雀形目鸟类提供隐蔽场所,随着自然保护决策的实施,环境的提升或许是雀形目种类占比如此之大的原因之一。同时也发现隼形目鸟类种类虽多,但个体数量少,湿地鸟类占比较多,这种情况体现了湿地鸟类群落的组成特点,即从种类组成上分析,水鸟占据很大优势,也与郑州地区水系发达、滩涂湿地较多相匹配,关于隼形目鸟类种类多但数量少的原因及解决方式还需进一步探索。

本研究区域内,鸟类区系组成成分白头鹎(*Pycnonotus sinensis*)、八哥(*Acridotheres cristatellus*)、珠颈斑鸠(*Streptopelia chinensis*)等已发展成为优势种。

古北界鸟类物种远超过东洋界物种,呈现出古北种>广布种>东洋种的特点,同时有些东洋界鸟类已成为当地的留鸟,分布既表现出区系特征和地理区划一致的特点,同时又表现出东洋界鸟类有向距离较近区域扩散的现象,整体表现南北混杂<sup>[24]</sup>,显示出由古北界向东洋界过渡而以古北界成分占优势的特征<sup>[25-26]</sup>。

在鸟类的居留型组成研究中发现,鸟类组成显现出候鸟(冬候鸟、夏候鸟、旅鸟)占比较大,留鸟占比较小的特点。从居留类型看,留鸟约占 1/3 的比重。其中雀形目鸟类 50 种,非雀形目鸟类 40 种。夏候鸟 59 种,包括雀形目鸟类 21 种,非雀形目鸟类 38 种;冬候鸟 71 种,其中雀形目鸟类 19 种,非雀形目鸟类 52 种。除雀形目外,水鸟组成占比很大。其中冬候鸟种类庞大的组成特点是由于当地特殊环境所致,黄河湿地保护区处于河南中东部、黄河中下游分界线在保护区范围内。当地气候环境与地貌适于雁形目和鹤形目等鸟类栖息,加之黄河两岸的传统作物为雁鸭类提供食物,全段黄河水面及滩涂每年容纳数以千计的雁鸭类。

从鸟类的居留类型分析,旅鸟有 84 种,占比 27.63%,其中水鸟占比 42.86%。每年数十亿的鸟类通过季节性迁徙穿越大陆到越冬地繁殖<sup>[27]</sup>,由于保护区地处水鸟迁徙的东亚—澳大利亚迁徙通道,冬春季河道宽阔,水流缓慢,河道上有众多面积大小不等的夹心滩和嫩滩涂,鸕鹚类、鹭类等旅鸟大多利用河道周边的栖息地作为停歇地和中继站<sup>[28]</sup>,也是雁鸭类等冬候鸟的重要越冬地,同时也容纳了众多繁殖的夏候鸟和留鸟,因此,湿地保护区对于鸟类保护意义重大。本次调研的鸟类数量等级分析中,优势种鸟类 17 种,常见种鸟类 133 种,稀有种鸟类 154 种,稀有种多为该研究区域鸟类群落的一个特征。稀有种多由候鸟组成,该现象侧面反映了该调查区域内的生态环境良好,容纳量大,是许多鸟类迁徙途中的中继站。

4 种生境鸟类分布状况相似性分析结果,山地鸟类种类的容纳量最大,其次是河道鸟类种群,滩地作为河道和山地的过渡地带,不仅能容纳大鸨(*Otis tarda*)、灰鹤(*Grus grus*)等珍稀越冬水鸟,还能容纳越冬的豆雁和东方鸨(*Charadrius veredus*)、普通燕鸨(*Glareola maldivarum*)等迁徙的鸕鹚类鸟类,山地鸟类种群数量较少。

### 4.3 面临的威胁

鸟类对植物种子传播和食虫鸟类在生态系统中



具有重要作用<sup>[29]</sup>,尚晓彤<sup>[30]</sup>等人指出,对受威胁鸟类应根据其分布域和生活史进行针对性保护,维持生态系统的稳定。20 世纪 90 年代末以来,由于郑州市郊区的工业、农业、水利、城镇化巨大建设工程进行得如火如荼,发生了 10 多次崖沙燕(*Riparia riparia*)栖息地被破坏导致其无法栖息繁育的生态事件。郑州市黄河湿地保护区是全国鸟类迁徙的主要湿地,珍稀鸟类大鸨种群达 60 多只,灰鹤种群最高达 2 000 多只。针对大鸨和灰鹤,黄河滩涂是其传统越冬区域,在郑州黄河湿地自然保护区,由于滩涂变农田导致栖息地的丧失成为鸟类栖息最大威胁因素,其次是农田耕种中喷洒农药及捕猎者用毒药捕猎引起的中毒、盗猎等威胁因素。

## 5 建议与展望

调查研究发现,郑州市鸟类资源 304 种,是河南省鸟类资源最为丰富的地区之一。针对大鸨和灰鹤的保护,建议首先划出缓冲区,给予大鸨和灰鹤足够的栖息空间。其次建议安置专门人员在大鸨和灰鹤集中区域定时巡逻,了解其种群数量、威胁因素等,随时清除威胁隐患,并做好鸟类中毒受伤后的保护救护工作。通过冬季补食等措施保证大鸨和灰鹤越冬栖息地的食物需要。

随着城镇化和工业化进程的加快,生物多样性保护与开发利用的矛盾突出。生物多样性是人类赖以生存的条件。为实现城市与生物多样性协同发展,首先要对区域内的生物资源有清晰的认识,为此需要做到:

### 5.1 建立长效的郑州市鸟类资源调查网络和机制

建立郑州市鸟类资源调查长效机制,把鸟类资源调查作为常态化工作坚持下去,培训专业监测人员,组织专门监测队伍,提高监测水平,每年发布郑州市鸟类资源调查年报。通过对重要生物类群和生态系统开展常态化观测,掌握生物多样性动态变化趋势,为郑州市鸟类资源保护管理提供技术支撑。

### 5.2 加强湿地保护

目前郑州市绝大多数鸟类分布栖息在郑州市湿地中,加强郑州市湿地保护刻不容缓,尤其是对郑州市城区建成湿地的野生动物保护工作要补足功课,对于郊县的水库、河流、湖泊等湿地要加强保护。

### 5.3 完善生物多样性观测数据的集成和成果发布机制

通过对郑州市鸟类资源调查数据与其他领域数据的融合,开展大数据深入分析,建立郑州市鸟类资

源调查信息发布工作机制,推动将规范化的物种观测数据列入环境监测指标数据,作为经济社会发展的核心数据之一,为制定城市发展策略提供参考。

## 参考文献:

- [1] 宋延龄,杨亲二,黄永青. 物种多样性研究与保护[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1998:1-4.
- [2] 环境保护部. 中国生物多样性保护战略与行动计划(2011—2030年)[J]. 天津水产,2014(1):46-49.
- [3] 周博,冯来坤,侯建华,等. 雄安新区鸟类资源及其多样性[J]. 动物学杂志,2018,53(4):528-538.
- [4] 崔鹏,徐海根,丁晖,等. 我国鸟类监测的现状、问题与对策[J]. 生态与农村环境学报,2013,29(3):403-408.
- [5] HUDSON M A R, FRANCIS C M, CAMPBELL K J, et al. The role of the North American Breeding Bird survey in conservation[J]. The Condor: Ornithological Applications, 2017, 119(3):526-545.
- [6] OLIVIER P I, VAN AARDE R J. The response of bird feeding guilds to forest fragmentation reveals conservation strategies for a critically endangered African eco-region[J]. Biotropica, 2017, 49(2):268-278.
- [7] 刘义,李永杰,贾琦,等. 河南省新乡市高校校园喜鹊的巢址选择研究[J]. 野生动物学报,2019,40(1):103-108.
- [8] 杨晓波,吴庆书. 城市生态学(第二版)[M]. 北京:科学出版社,2010:172-173.
- [9] 王彦平. 鸟类对城市化的适应性研究[D]. 杭州:浙江大学,2003.
- [10] 臧春鑫,蔡蕾,李佳琦,等. 《中国生物多样性红色名录》的制定及其对生物多样性保护的意义[J]. 生物多样性,2018,24(5):610-614.
- [11] 河南省地方史志编委会. 河南省志:动物志[M]. 郑州:河南人民出版社,1992.
- [12] 甘雨,方保华. 河南省野生动植物调查与保护[M]. 郑州:黄河水利出版社,2004.
- [13] 徐海根,崔鹏,朱筱佳,等. 全国鸟类多样性观测网络(China BON-Birds)建设进展[J]. 生态与农村环境学报,2018,34(1):1-11.
- [14] 李益得,刘平原,龚润胜,等. 湖南娄底市城区公园绿地鸟类物种多样性及保护对策[J]. 应用生态学报,2013,24(8):2333-2338.
- [15] 钱燕文. 中国鸟类图鉴(第一版)[M]. 郑州:河南科技出版社,1995.
- [16] SABO S R. Niche and habitat relations in subalpine bird communities of the White Mountains of New Hampshire[J]. Ecological Monographs, 1980, 50(2):241-259.
- [17] IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species[EB/OL]. Version 2017. <https://www.Iucnredlist.org>.

(下转第 213 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.028

## 谷城县古树资源状况与分布特征研究

钟昌龙, 陈益娴, 蔡京勇, 邹敏, 徐华丽, 汪洋

(湖北生态工程职业技术学院, 湖北 武汉 430200)

**摘要:** 系统分析湖北省谷城县古树树种组成、分布特征以及影响古树生长的环境因子, 并应用访谈法、文献追踪法、实地勘测法和类比推断法对谷城县古树进行调查, 对古树的物种组成、分布以及生长状况, 以及基于 DEM 坐标网格法对古树空间分布进行分析。结果表明, 全县调查到存活古树共 1 275 株, 隶属于 26 科 41 属 51 种。其中一级、二级和三级古树分别为 99 株、102 株和 1 074 株; 正常生长古树 1 247 株, 衰弱古树 26 株, 濒危古树 2 株。基于 DEM 经纬度 ( $0.05^{\circ}$ ) 和投影 ( $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ ) 网格数据分析, 古树均呈聚集分布; 古树在中、低海拔分布集中; 海拔与古树生长势间呈显著正相关; 环境因子和植物病虫害是影响谷城县古树生长的关键因子。谷城县古树空间和海拔高聚集度区域的人类活动最为频繁, 建议地方林业部门根据现有古树资源分布特点及生物危害现状, 科学制定古树保护规划和管护措施。

**关键词:** 古树; 资源状况; 分布特征; 谷城县

中图分类号: TU986.36 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0184-07

引文格式: 钟昌龙, 陈益娴, 蔡京勇, 等. 谷城县古树资源状况与分布特征研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 184-190.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.028

ZHONG Changlong, CHEN Yixian, CAI Jingyong, et al. Status and Distribution Characteristics of Old Tree Resources in Gucheng County [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 184-190. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.028

## Status and Distribution Characteristics of Old Tree Resources in Gucheng County

ZHONG Changlong, CHEN Yixian, CAI Jingyong, ZOU Min, XU Huali, WANG Yang

(Hubei Ecology Polytechnic College, Wuhan 430200, China)

**Abstract:** The systematic analysis of plant taxonomy of the old tree resources, distribution characteristics, and environmental factors affecting the growth of ancient trees in Gucheng County was conducted. The survey of old trees in Gucheng County was carried out using the interview method, literature tracking method, field survey method, and analogical extrapolation method to analyze the species composition, distribution, and growth potential of the old trees, as well as the DEM coordinate grid method to analyze the spatial distribution pattern of the old trees. The results showed that 1 275 surviving old trees were surveyed in the county, belonging to 51 species and 41 genera in 26 families, including 99 Grade One, 102 Grade Two, and 1 074 Grade Three old trees, respectively, and 1 247 normal old trees, 26 weakened old

收稿日期: 2022-09-05.

基金项目: 湖北省教育厅科研指导项目 (B2021511).

第一作者: 钟昌龙 (1980-), 男, 湖北武汉人, 副教授. 主要从事园林技术与职业教育管理工作. Email: 67322082@qq.com

责任作者: 汪洋 (1968-), 男, 湖北武汉人, 教授. 主要从事植物生态与近自然林业工作. Email: 13296698026@163.com

trees, and 2 endangered ones. All old trees were in clumped distribution based on the data analyses of latitude and longitude DEM grid ( $0.05^\circ$ ) and projected grid ( $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ ); the old trees were concentrated at middle and low elevations; elevations were significantly correlated with the growth potential of the old trees; environmental factors and plant pests and diseases were key factors affecting the growth of the old trees in Gucheng County. According to the distribution characteristics of the existing old tree resources and the current situation of biological hazards, this paper suggested that the local forestry department developed protection plans and scientific management measures for the old trees.

**Key words:** old tree; resource situation; distribution characteristics; Gucheng County

古树指自然进程中保存下来的树龄 100 a 以上的树木<sup>[1]</sup>,是大自然馈赠人类的重要遗产。古树不仅可为研究其所处区域的自然地理变迁、植物多样性保护、植被区系及其演化等提供重要信息<sup>[2]</sup>,更与人类社会的持续发展息息相关<sup>[3]</sup>,因而具有重要的历史、文化和景观价值特征<sup>[4]</sup>。

发达国家较早开展了古树数据的标准化采集、建档以及数据库建设<sup>[5]</sup>工作。在我国生态文明新形势下,古树名木的科研、科普、历史、人文和旅游价值日益为社会所关注<sup>[6-7]</sup>。近年来,国内已制定《古树名木普查技术规范》<sup>[8]</sup>《古树名木鉴定规范》<sup>[9]</sup>等相关技术标准,古树数据收集和数据库建设也得到迅速发展<sup>[4]</sup>。全国各省市全力推进古树名木的保护与研究<sup>[10]</sup>,基于古树资源调查,国内学者从生态<sup>[11]</sup>、遗传<sup>[12]</sup>、空间分布和资源保护<sup>[5,13]</sup>等方面对古树进行了广泛研究,已取得较大进展。由于地域、环境、文化和公民保护意识的差异性,不同地理区域古树的系统化研究应尊重自然、适地适种。

湖北省谷城县具有丰富的古树资源。在目前生境退化、人为干扰变强、土地利用类型变化的压力下,古树的生存环境和保护也面临着重大挑战。自 2013 年以来,湖北省已在全省启动多轮古树资源调查,并取得大量基础性数据,但仍较为粗浅。基于谷城县古树资源实地调研与分年复查结果,对谷城县古树的物种组成、生长及数量特征、空间分布以及对环境的响应等方面进行系统分析,旨在为谷城县古树数据库建设和制定科学保护管理措施提供参考。

## 1 研究区概况

谷城县(东经  $111^\circ 07' \sim 111^\circ 52'$ ,北纬  $30^\circ 53' \sim 32^\circ 29'$ )位于鄂西北山区,属秦岭、大巴山东延余脉与江汉平原接壤地带,主要山脉线走向受地质构造控制,呈近东西向展布;南靠高山、北滨汉水。整体

地势由南西向北东降低,呈向北东方向开口的“C”型地势,形成南西、中部、北东 3 级阶梯地貌特征。南北最大纵距 66 km,东西最大横距 69 km,总面积  $254\,097.32\text{ km}^2$ ,林地总面积  $177\,351.87\text{ km}^2$ ,占国土面积的 69.8%。西南部赵湾乡青龙山为县内最高点,海拔 1 584 m,东南部茨河镇九道湾为最低点,海拔 71 m,相对高差 1 513 m。谷城气候属北亚热带季风气候,年均温  $16.0^\circ\text{C}$ ,无霜期 234 d,年均降水量  $934.5\text{ mm}$ <sup>[14]</sup>;地质结构为武当变质岩和石灰岩,土壤为黄棕壤。

谷城森林植被属北亚热带落叶阔叶林,植被带属常绿和落叶阔叶混交林向常绿林的过渡地带。壳斗科(Fagaceae)植物构成区域典型的地带性植被,阔叶树以槲栎(*Quercus aliena*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、板栗(*Castanea mollissima*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)等为常见。针叶树以马尾松(*Pinus massoniana*)和湿地松(*Pinus elliotti*)为主。灌木林及竹林分布较多,物种多样性丰富。

## 2 调查及研究方法

### 2.1 调查方法

2013 年,在湖北生态工程职业技术学院与谷城林业部门的支持下,依据《湖北省古树名木资源普查工作方案》和《湖北省古树名木资源普查操作细则》,以县域内乡、镇和国家森林公园为单元,综合应用访谈法、文献法、现场勘测法,依据文献档案和不同林木植物学特征,分别对每株古树的地理坐标、立地条件、树种、树龄、胸径、树高、重要特征、生长势和保护措施进行调查记录。在此基础上,于 2018 年对全县古树进行复查和补录。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 分布图构建

根据调查数据,在 ArcMap 10.8 上利用 shape 文



件,基于 0.05°×0.05°的经纬网格<sup>[15]</sup>和 5 km×5 km 投影网格分别生成谷城县乡、镇和国家森林公园古树的 DEM 分布图。网格区域内含有古树的网格作为一个研究单元。不含古树的网格,如其地图面积大于(或等于)网格面积一半,则该网格作为一个研究单元,否则不计入研究单元<sup>[13,16]</sup>。

2.2.2 古树分布格局

采用扩散系数(C)、负二项参数(K)、Cassie 指数(C<sub>a</sub>)、平均拥挤度(m\*)、聚块性指数(m\*/m),丛生指数(I)和 Morisita 扩散型指数(I<sub>s</sub>)进行古树分布格局与聚集强度的判定<sup>[17]</sup>。

2.2.3 影响古树生长的环境因子

数据统计中,将海拔、坡度取正值计算;依据郑江坤等<sup>[18]</sup>提出的坡向和坡位分级方法,将古树所在坡向进行分级并赋值;根据古树生长势从濒危到优秀依次赋值为 1~4 分,赋值越大表示生长势越高;将对古树生长有影响的环境状况依次赋值为 1~3 分,赋值越大表示环境状况对古树的生长越有利。采用一维比较法对所有赋值进行标准化处理,得到 0.1~1 的无量纲值,以直接反映各因子本质特征。

2.2.4 数据分析方法

应用 Excel 软件对数据进行统计分析,应用 ArcMap 10.8 生成 DEM 网格数据并作图,应用 SPSS 22 进行 Pearson 相关分析,应用 Origin 2021 对古树海拔分布进行回归拟合分析并作图。

3 结果与分析

3.1 古树树种分类

在谷城县调查到古树共 1 275 株,隶属于 26 科 41 属 51 种。其中被子植物 23 科 34 属 44 种,裸子植物 3 科 7 属 7 种(表 1)。

壳斗科古树共 4 属 9 种,783 株,占全部古树数量的 61.4%,其中麻栎 577 株,占全部古树数量的 45.25%;榿栎 162 株,占全部古树数量的 12.71%。其次较大的科有豆科(Leguminosae),含 2 属 3 种共 91 株,占全部古树数量的 7.45%。柏科、银杏科、松科和漆树科等古树数量较多,其数量分别占全部古树数量的 5.57%、4.47%、4.23%和 4.0%。仅存 1 株的古树有 16 科 17 属 17 种。属于国家二级保护的野生植物有银杏和润楠。

3.2 古树区域分布及生长状况

谷城县古树保护等级及数量分布见表 2。

表 1 谷城县古树分类统计  
Tab. 1 Taxonomic statistics of the old trees in Gucheng County

序号	种	科	属	株数/株
1	柏木 <i>Cupressus funebris</i>	柏科	柏木属	14
2	侧柏 <i>Platyclusus orientalis</i>	Cupressaceae	侧柏属	3
3	刺柏 <i>Juniperus formosana</i>		刺柏属	53
4	翠柏 <i>Calocedrus macrolepis</i>		翠柏属	1
5	乌柏 <i>Sapium sebiferum</i>	大戟科 Euphorbiaceae	乌柏属	2
6	冬青 <i>Ilex purpurea</i>	冬青科 Aquifoliaceae	冬青属	13
7	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	豆科 Fabaceae	槐属	4
8	国槐 <i>Sophora japonica</i>			19
9	皂荚 <i>Gleditsia sinensis</i>		皂荚属	72
10	枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	胡桃科 Juglandaceae	枫杨属	65
11	核桃 <i>Juglans regia</i>		胡桃属	1
12	鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	桦木科 Betulaceae	鹅耳枥属	1
13	黄杨 <i>Buxus sinica</i>	黄杨科 Buxaceae	黄杨属	1
14	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	金缕梅科 Hamamelidaceae	枫香属	11
15	榿栎	壳斗科	栎属	162
16	麻栎			577
17	栓皮栎			4
18	岩栎 <i>Quercus acrodonta</i>			1
19	板栗		栗属	13
20	青冈		青冈属	4
21	黄毛青冈 <i>Cyclobalanopsis delavayi</i>			9
22	柯 <i>Lithocarpus glaber</i>		石栎属	1
23	杏叶柯 <i>Lithocarpus amygdalifolius</i>			12
24	桂花 <i>Osmanthus fragrans</i>	木樨科 Oleaceae	木犀属	13
25	女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>		女贞属	3
26	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	漆树科 Anacardiaceae	黄连木属	50
27	漆树 <i>Toxicodendron verniciflum</i>		漆属	1
28	三角枫 <i>Acer buergerianum</i>	槭树科 Aceraceae	槭属	2
29	紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	千屈菜科 Lythraceae	紫薇属	1
30	木瓜 <i>Chaenomeles sinensis</i>	蔷薇科 Rosaceae	木瓜属	1
31	石楠 <i>Photinia serrulata</i>		石楠属	2
32	珂楠树 <i>Meliosma beaniana</i>	清风藤科 Sabiaceae	泡花树属	1

续表 1

序号	种	科	属	株数/株
33	桑树 <i>Morus alba</i>	桑科 Moraceae	桑属	2
34	柿 <i>Diospyros kaki</i>	柿科 Ebenaceae	柿属	1
35	枳椇 <i>Hovenia acerba</i>	鼠李科 Rhamnaceae	枳椇属	1
36	马尾松	松科 Pinaceae	松属	50
37	油松 <i>Pinus tabuliformis</i>			1
38	银杉 <i>Cathaya argyrophylla</i>		银杉属	3
39	火绳树 <i>Eriolaena speclabilis</i>	梧桐科 Sterculiaceae	火绳树属	1
40	刺楸 <i>Kalopanax pictum</i>	五加科 Araliaceae	刺楸属	2
41	旱柳 <i>Salix matsudana</i>	杨柳科 Salicaceae	柳属	1
42	银叶柳 <i>Salix chienii</i> Cheng			1
43	银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	银杏科 Ginkgoaceae	银杏属	57
44	青檀 <i>Pteroceltis tatarinowii</i>	榆科 Ulmaceae	青檀属	5
45	榔榆 <i>Ulmus parvifolia</i>		榆属	4
46	榆树 <i>Ulmus pumila</i>			1
47	利川楠 <i>Phoebe lichuanensis</i>	樟科 Lauraceae	润楠属	1
48	润楠 <i>Phoebe nanmu</i>			20
49	香叶树 <i>Lindera communis</i>		山胡椒属	3
50	樟 <i>Cinnamomum camphora</i>		樟属	3
51	楸树 <i>Catalpa bungei</i>	紫葳科 Bignoniaceae	梓属	1

谷城县共有一级古树 99 株,二级古树 102 株,三级古树 1 074 株。紫金镇古树数量最多,为 507 株,占全县调查古树数量的 39.76%,其中三级古树数量在同级别中也最多,为 471 株,一、二级古树分别为 15 株和 21 株。五山镇古树数量居第二位,为 277 株,一级、二级古树数量最多,分别为 27 株和 30 株,三级古树为 220 株;城关镇古树数量仅 5 株,为全县各乡镇最少。整体而言,谷城县三级古树为 1 074 株(占比 84.24%),一级和二级古树分别为 99 株(占比 7.76%)和 102 株(占比 8.00%)。显然,谷城县一级、二级古树数量明显太少。

古树生长势及分布状况见表 3。

谷城县乡、镇和国营林场共 11 个调查单元全部存活古树植株 1 275 株,其中濒危、衰弱、正常和优良古树分别有 2、26、616、631 株。2 株濒危古树分别在冷集镇和紫金镇;26 株生长衰弱古树中,冷集镇 10 株,南河镇 13 株。全县古树生长以优良和正常植株为主,生长状况整体较为理想。

### 3.3 古树空间分布格局

#### 3.3.1 古树数量分布格局

基于 DEM 坐标网格,谷城县地理坐标和网格坐标古树数量分布见图 1。地理经纬坐标网格(0.05°)下,全县共有 116 个网格单元参与统计(图 1(a)),每个网格平均面积为 26.426 m<sup>2</sup>。网格内古树分布数量为 0~318 株,网格平均分布 10.99 株。22 个网

表 2 谷城县古树保护等级及数量分布

Tab. 2 Grade distribution of protected old trees in Gucheng County

保护等级	株数/株											总计/株
	城关镇	茨河镇	冷集镇	庙滩镇	南河镇	盛康镇	石花镇	五山镇	薤山林场	赵湾乡	紫金镇	
一级	2	12	0	7	1	6	19	27	8	2	15	99
二级	0	6	12	4	9	4	15	30	0	1	21	102
三级	3	40	23	17	22	28	61	220	14	175	471	1074
总计	5	58	35	28	32	38	95	277	22	178	507	1275

表 3 谷城县古树生长势及数量分布

Tab. 3 Growth potential and distribution locations of old trees in Gucheng County

生长势	株数/株											总计/株
	城关镇	茨河镇	冷集镇	庙滩镇	南河镇	盛康镇	石花镇	五山镇	薤山林场	赵湾乡	紫金镇	
濒危株	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2
衰弱株	0	0	10	2	13	0	0	0	0	0	1	26
正常株	5	0	2	4	1	0	70	150	1	178	205	616
优良株	0	58	22	22	18	38	25	127	21	0	300	631
总计	5	58	35	28	32	38	95	277	22	178	507	1275

格内古树分布数量为 0 株, 占全部网格的 18.97%; 分布 1~10 株古树的网格共 70 个, 占总网格数的 60.34%; 分布 11 株以上古树的网格共 24 个, 占总网格数量的 80.17%。投影坐标网格如图 1(b) 所示, 每个网格平均面积为 25.0 km<sup>2</sup>, 共统计 124 个网格单元。网格内古树分布数量为 0~266 株, 网格平均分布 10.28 株。20 个网格内古树分布数量为 0

株, 占全部网格的 16.13%; 分布 1~10 株古树的网格共 81 个, 共 308 株古树; 分布 11 株以上古树的网格共 23 个, 数量为 967 株, 占总网格数量的 75.84%。两种分布网格统计结果均表明, 谷城县古树分布集中。全县地理海拔为西南高, 东北低; 古树空间分布数量为西南多于东北, 即较高海拔分布数量多于低海拔区域, 说明较高海拔地势有利于古树的保存。

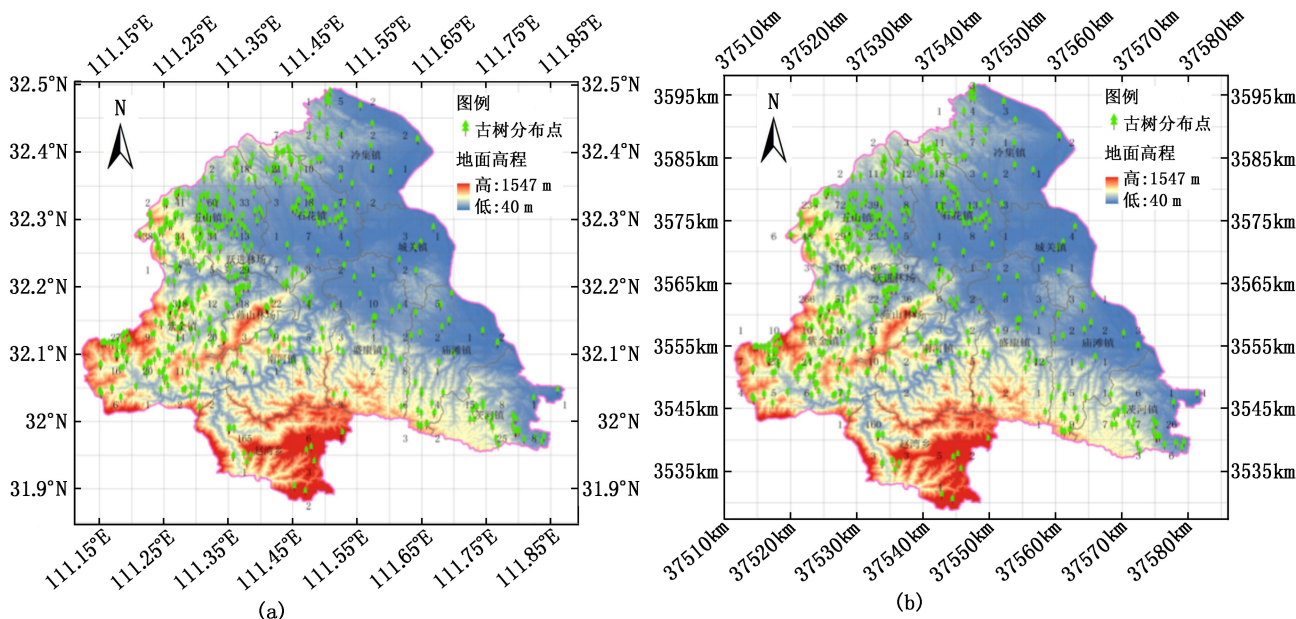


图 1 基于 DEM 的谷城古树网格分布

Fig. 1 Distribution grids of the old trees in Gucheng County based on DEM

### 3.3.2 古树水平分布格局

基于不同 DEM 网格, 在地理经纬坐标网格 (0.05°) 取样时,  $C = 104.302 > 1$ , 负二项参数  $K = 0.106 < 8$ ; Cassie 指数  $C_a = 9.398 > 0$ ; Morisita 指数  $I_8 = 9.324 > 1$ ; 平均拥挤度  $m^* = 114.294$ , 表明平均每个个体有多个在同单位的其他个体数, 其拥挤程度很高; 聚块性指数  $m^*/m > 1$ 。网格坐标系下谷城县古树呈聚集分布。以 5 km×5 km 投影坐标取样时,  $C = 82.174 > 1$ ; 负二项参数  $K = 0.127 < 8$ ; Cassie 指数  $C_a = 7.894 > 0$ ; Morisita 指数  $I_8 = 7.836 > 1$ ; 平均拥挤度  $m^* = 91.456$ , 表明古树拥挤程度很高; 聚块性指数  $m^*/m = 8.89$ , 聚集的斑块性很大。不同面积网格分析表明, 谷城县古树在取样面积增大时, 聚集程度略有减小, 说明古树在较大尺度上存在随机分布的可能性。

### 3.3.3 古树海拔分布格局

谷城县调查到古树的最低海拔为 60.0 m, 位于石花镇, 最高海拔 1 145.0 m, 位于赵湾乡。全县古树平均分布海拔 435.8 m。参照温度与海拔变化规

律, 以 166.7 m 为步长进行统计, 共 7 个海拔分级。应用 Levenberg-Marquardt 优化算法迭代, 筛选出最佳模型 Bihill, 并以此拟合谷城县不同海拔古树分布。Bihill 模型公式为:

$$y = \frac{467.58}{\left[1 + \left(\frac{128.11}{x}\right)^{0.62}\right] \left[1 + \left(\frac{x}{771.60}\right)^{11.06}\right]} \quad (1)$$

式中:  $R^2 = 0.659$ ;  $x$  为海拔;  $y$  为不同海拔古树分布数量。

古树分布数量较多且集中的前 3 个海拔中值为 643.5、310.1、143.4 m, 对应古树数量分别为 435 株 (34.1%), 388 株 (30.4%) 和 220 株 (17.3%)。其它海拔段共计 153 株 (18.0%)。海拔中值 643.5 m 以上古树分布数量逐渐减小; 1 000 m 以上海拔仅调查到 2 株古树。谷城县古树以中低海拔为主要分布段 (图 2)。

### 3.4 环境对古树生长的影响

对不同环境因子赋值并标准化处理, 进行 Pearson 相关性分析 (表 4)。



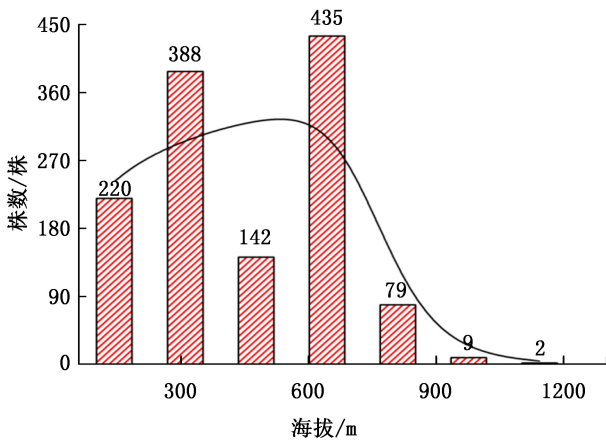


图 2 谷城县古树分布海拔

Fig. 2 Distribution of the old trees at different elevations in Gucheng County

表 4 古树生长势与环境因子相关性

Tab. 4 Correlation between growth potential of the old trees and the environment factors

因子	海拔	坡向	坡度	坡位	生长势
坡向	-0.347 **				
坡度	0.474 **	-0.295 **			
坡位	0.108 **	0.169 **	0.017		
生长势	0.147 **	-0.043	-0.044	-0.006	
生长环境	0.049	-0.014	-0.007	0.000	0.883 **

注:\*\*表示在 0.01 水平差异显著。

古树生长势与海拔间呈显著正相关( $R=0.147$ ,  $P<0.01$ ),与古树生长环境间呈极显著正相关( $R=0.883$ ,  $P<0.01$ ),与坡向、坡度和坡位间相关性不显著,说明古树生长环境对古树生长势有明显的促进作用。

## 4 讨论与结论

### 4.1 古树树种组成

谷城县属北亚热带季风气候区,丰富的古树资源一定程度上体现了其良好的环境条件。全县 51 种古树隶属 26 科 41 属,壳斗科树种是谷城县落叶阔叶林的主要树种。阔叶古树数量最多为麻栎,其次为榿栎。柏科和松科植物为谷城县针阔混交林优势树种,其物种数量较为丰富。国家级保护树种以及经济价值较高的珍贵树种,如润楠有 20 株,数量较多;银杏有 57 株。优良的古树资源条件为遗传育种资源利用与创新提供了物质条件<sup>[19]</sup>。

### 4.2 区域分布及生长状况

谷城县古树集中分布在丘陵地段。此次调查到海拔最高的古树位于全县地理海拔最高的赵湾乡(1 145 m)低山地段,然而研究还发现赵湾乡古树分布的平均海拔为 325.4 m。西部紫金山和五山镇的丘陵段,古树数量最多,其平均分布海拔分别为 557.1 m 和 446.1 m。谷城古树集中分布的海拔区域也是该县人类活动最为频繁的区域,其数量分布与生长状况在很大程度上受人类活动强度的影响,这与其他地区古树研究结论一致<sup>[5,16]</sup>。由于地方林业部门对古树采取了保护措施,这些乡镇的古树均生长良好。而处于较低海拔的南河镇,40.6% 古树生长出现衰弱;位于北部的冷集镇,平均海拔 247.7 m,28.6% 古树生长出现衰弱,1 株处于濒危状况,可能与自然环境的过渡利用或与地方对古树保护力度弱有关。

### 4.3 空间分布与古树生长环境

DEM 网格直观体现了古树分布的空间格局。本研究中,地理坐标和投影坐标模式下,谷城县古树聚集程度均较高,主要集中在紫金山、五山镇和赵湾乡。全县古树分布的平均海拔为 435.8 m,低于古树数量最多的海拔(643.5 m),高于数量较为集中的两个海拔(310.1 m 和 143.4 m),表明古树主要以丘陵山地为天然屏障,良好的生长环境和相对较高的海拔构成了古树的自然环境。虽然这些区域人为活动较为频繁,但人文活动及文化风俗对古树的重要保护作用却不可忽视<sup>[16]</sup>。将 DEM 坐标网格应用于对古树资源空间分布格局研究,是古树资源分布系统性研究的基础,也是一个地区古树数据标准化、建档以及数据库建设的重要起点<sup>[5]</sup>,方法的应用可为古树资源保护研究提供强有力的技术支撑。

### 4.4 古树保护与建议

与其他低山丘陵县市相比,谷城县具有古树数量多,遗传种质资源丰富的特点<sup>[5]</sup>。然而调查中发现 18.9% 古树生长环境不佳,病虫害是主要因素。鉴于谷城县古树分布、生长势和环境影响等特征,古树保护应建立古树动态监测,以现有古树调查成果为依托,利用基于 GIS 的古树名木巡护 APP<sup>[20]</sup>,实时观测古树的生长环境和生存情况<sup>[7]</sup>;古树保护应涵盖古树的地理信息、生长环境、生长状况、病虫害防治管理等方面;县、乡(镇)林业部门可利用多种媒体渠道普及传播古树保护的生态意义、相关政策和法规,培养民众将古树保护与生态环境意识<sup>[21]</sup>、道德规范与舆论监督结合;利用先进科技手段对濒

危和衰弱的古树进行复壮,保护并利用珍贵古树遗传资源,服务自然生态并造福人类。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国建设部. 城市古树名木保护管理办法 [DB/OL]. [2022-05-08]. [http://www.mohurd.gov.cn/fjms/fjmszcfb/200611/t20061101\\_157014.html](http://www.mohurd.gov.cn/fjms/fjmszcfb/200611/t20061101_157014.html).
- [2] ZHANG H, LAI P Y, JIM C Y. Species diversity and spatial pattern of old and precious trees in Macau [J]. *Landscape & Urban Planning*, 2017(162):56-67.
- [3] 楼涛,赵明水,杨淑贞,等. 天目山国家级自然保护区古树名木资源[J]. *浙江农林大学学报*, 2004, 21(3):269-274.
- [4] 李记,徐爱俊. 古树名木旅游最优路线设计与实现[J]. *浙江农林大学学报*, 2018, 35(1):153-160.
- [5] 汪洋,李国秀,匡敏,等. 远安县古树资源状况与分布特征[J]. *湖南生态科学学报*, 2021, 8(1):40-48.
- [6] 陈秋菊,郭盛才,陈盼. 广东省古树名木资源现状及分布研究[J]. *林业调查规划*, 2019, 44(5):172-175, 180.
- [7] 刘纯远. 湖南省沅陵县古树名木生存状态调查研究[J]. *湖南生态科学学报*, 2017, 4(2):48-51.
- [8] 国家林业局. 古树名木普查技术规范:LY/T 2738—2016[S]. 北京:中国标准出版社, 2016.
- [9] 全国绿化委员会办公室. 古树名木鉴定规范:LY/T 2737—2016[S]. 北京:中国标准出版社, 2016.
- [10] 仇建习,吕贤良,吴彬. 莲都区古树名木资源现状分析与评价[J]. *福建林业科技*, 2019, 46(3):123-129.
- [11] 肖正利,敬顺华,梁国章,等. 远安大堰自然保护区马尾松天然种群分布格局[J]. *湖南生态科学报*, 2019, 6(2):20-26.
- [12] 雷阿娜,李煜,李周岐,等. 黄帝手植柏 DNA 指纹图谱的构建[J]. *森林与环境学报*, 2019, 39(3):310-314.
- [13] 黄应锋,孙冰,廖绍波,等. 深圳市古树资源特征与分布格局[J]. *植物资源与环境学报*, 2015, 24(2):104-111.
- [14] 高彬,郭再华,杜爽爽,等. 基于 GIS 的谷城县耕地地力评价[J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(17):4099-4102.
- [15] SU Z Y, CHEN B G, CHANG Y, et al. Environmental correlates of distribution of the 25 broad-leaved tree species indigenous to Guangdong Province, China [J]. *Journal of Forestry Research*, 2004, 6(4):23-28.
- [16] 吕浩荣,刘颂颂,叶永昌,等. 东莞市古树名木数量特征及分布格局[J]. *华南农业大学学报*, 2008, 29(4):54-69.
- [17] 兰国玉,雷瑞德. 植物种群空间分布格局研究方法概述[J]. *西北林学院学报* 2003, 18(2):17-21.
- [18] 袁继池,邱军,蔡京勇,等. 红椿天然群落  $\alpha$  多样性与环境因子的关系[J]. *森林与环境学报*, 2017, 37(1):16-21.
- [19] 李明,黄木生,苏烁烁,等. 福建杉木王种质资源的遗传多样性[J]. *森林与环境学报*, 2016, 36(3):312-318.
- [20] 韩坤一,王诗丰,林观勇,等. 浙江青田县古树名木资源变化原因与保护情况分析[J]. *浙江林业科技*, 2019, 39(2):103-109.
- [21] 徐高福,郑慧,余梅生,等. 千岛湖国家森林公园古树名木资源特征及保护策略研究[J]. *林业调查规划*, 2019, 44(1):94-101.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.029

## 基于最大熵模型的气候变化情景下澳洲坚果 潜在适宜生境研究

李章贵, 阮方佑, 张学全

(云南省林业调查规划院昆明分院, 云南 昆明 650200)

**摘要:** 为了研究气候变化情景下澳洲坚果在云南省的潜在适宜生境, 采用当前和未来 2050 年 RCP45 气候变化情景下的 19 个生物气候因子及最大熵模型 MaxEnt 进行澳洲坚果生境模型构建, 并进行适宜生境等级划分及空间变化特点分析。结果表明, 2050 年 RCP45 气候变化情景下 3 个等级的适宜生境大体上仍然保持与当前相似的空间分布格局, 即高度适宜生境主要分布在云南西南部和南部, 中、低度适宜生境分布在高度适宜生境区以北及以东区域。未来气候变化引起高度和中度适宜生境面积小幅度缩减 (5.6% 和 2.4%), 低度适宜生境面积增加 22.5%。气候变化同时引起高度适宜生境景观格局破碎化。未来气候变化引起的澳洲坚果在云南高、中度适宜种植区总面积略有缩减, 虽幅度不大, 但空间分布上发生位移, 且呈现破碎化趋势, 产业规划时应考虑产业生命周期内气候变化造成对适宜生境迁移的影响。

**关键词:** 澳洲坚果; 适宜生境; 最大熵模型; 生物气候因子; 气候变化

中图分类号: S664; Q142.8; S711 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0191-07

引文格式: 李章贵, 阮方佑, 张学全. 基于最大熵模型的气候变化情景下澳洲坚果潜在适宜生境研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 191-197. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.029

LI Zhanggui, RUAN Fangyou, ZHANG Xuequan. Potential Suitable Habitats for *Macadamia integrifolia* under Climate Change Scenarios Based on Maximum Entropy Model[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 191-197.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.029

### Potential Suitable Habitats for *Macadamia integrifolia* under Climate Change Scenarios Based on Maximum Entropy Model

LI Zhanggui, RUAN Fangyou, ZHANG Xuequan

(Kunming Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650200, China)

**Abstract:** In order to study potential suitable habitats for *Macadamia integrifolia* under climate change scenarios in Yunnan province, the habitat model for *Macadamia integrifolia* was constructed using 19 bioclimatic factors and the maximum entropy model MaxEnt under current and future RCP45 climate change scenarios in 2050. Suitable habitat levels were divided and spatial change characteristics were analyzed. The results showed that the three levels of suitable habitats under RCP45 climate scenario in 2050 remained similar to the pattern of current situation, with highly suitable habitats mainly distributed in the southwest

收稿日期: 2022-10-12.

基金项目: 云南省科技厅 2023 年第二批科技成果转化专项资金 (530000231100001753720).

第一作者: 李章贵 (1972-), 男, 云南昭通人, 正高级工程师. 从事森林和草原资源监测、森林经营和森林生态研究工作.

Email: 396903698@qq.com

责任作者: 阮方佑 (1970-), 男, 云南陆良人, 正高级工程师. 从事林业和草原调查规划工作. Email: 893211885@qq.com



and south Yunnan, and medium and lowly suitable habitats distributed in the north and east of the highly suitable area. The climate change in the future would lead to a slight reduction in the area of highly and medium suitable habitats (5.6% and 2.4% respectively) and an increase of 22.5% in the area of lowly suitable habitats. Compared to the current situation, the landscape pattern of highly suitable habitats would be fragmented under RCP45 climate scenario in 2050. Although the total area of highly and medium habitats for *Macadamia integrifolia* in Yunnan Province was decreased slightly due to climate change in the future, the geographical shift and fragmentation of habitats could be also predicted. The impact of climate change on suitable habitat during life cycles of *Macadamia integrifolia* should be considered in planning.

**Key words:** *Macadamia integrifolia*; suitable habitats; maximum entropy model; bioclimatic factor; climate change

澳洲坚果(*Macadamia integrifolia*)原产于澳洲,系山龙眼科(Proteaceae)澳洲坚果属(*Macadamia*)多年生常绿乔木,原产于澳大利亚东南部亚热带雨林中<sup>[1]</sup>。美国自 19 世纪末期开始种植,主要种植区为夏威夷和加利福尼亚州,在非洲和南美洲也有部分产区。澳洲坚果是一种广受欢迎的坚果,由于其单不饱和脂肪酸(MUFA)含量较高,对降低血浆胆固醇水平和降低心血管疾病风险有积极作用<sup>[2]</sup>,因此具有良好的市场前景。我国澳洲坚果种植面积已达 20 万 $\text{hm}^2$ ,成为世界最大的种植国<sup>[3]</sup>,其中云南省种植面积占全国种植总面积的 93%,占全球种植总面积的 56%,产量和产值均居全国之首。澳洲坚果作为云南省及其他地区重要的经济林产业,在产业规划时不仅需要考虑当前适宜该经济林木生长的气候、土壤等环境因素,也需要从气候变化的长远角度出发,考虑规模化发展经济林在其生长、收获周期内气候变化带来的影响。本研究基于当前和未来 2050 年 RCP45 气候变化情景预测了全球澳洲坚果适宜生境的空间变化趋势,并重点关注我国云南省澳洲坚果适宜生境的空间变化特点,研究结果对我国及云南省澳洲坚果种植产业规划提供可靠的科学依据。

根据云南省第四次森林资源规划设计调查(调查时间 2015—2016 年)结果显示,澳洲坚果种植小班主要分布在临沧市、德宏景颇族自治州、西双版纳傣族自治州、普洱市和保山市,分别占全省种植总面积的 42.5%、22.9%、15.4%、10.1%和 9.0%。植物的地理分布与气候、土壤等因素紧密相关。其中,气候对植被的地理分布起着制约作用,植被类型反映气候特点。气候决定植被的分布主要体现在两个方面:气候的热量条件是植物生命活动的基础和能量来源,气候的水分条件是植物生理活动的源泉和构成植物的基本成分<sup>[4]</sup>。采用气候因子系统分析和

预测植物当前和未来潜在地理空间分布范围,对于科学开展经济作物产业规划,制定长期、合理的发展政策具有重要的理论和现实意义。

气候变化对植物和植被分布的影响及后者对前者的响应受到国内外众多学者的关注,利用未来气候情景模拟气候变化情景下植物物种地理空间分布模式,是分析气候变化对物种分布影响的一种重要手段和方法,该方法通常通过“3S”技术(地理信息系统 GIS、全球定位系统 GPS 和遥感 RS)来实现。GIS 为物种空间分布数据和气候因子空间数据的处理和储存提供了便捷工具;GPS 的空间定位功能实现了物种分布与其他生物气候因子空间数据位置的准确对接;RS 为生物气候因子提供重要的数据来源(如土地利用变化图层)。

最大熵(MaxEnt)模型是一种通用的机器学习方法,其基于最大熵理论,结合生态环境因子来估计目标概率分布<sup>[5]</sup>,适合根据物种存在的地理位置对其地理分布进行预测,该模型在动植物物种、外来入侵物种的生境模拟方面有较广泛的应用<sup>[6-9]</sup>。最大熵模型在同等条件下对物种潜在分布模拟的精度高于其它生态位模型,尤其是其可以预测物种存在的概率,而不仅是判断存在与否,且具有只需要较小样本的物种分布数据即可得到较好的模拟效果等优点<sup>[5,10]</sup>。

## 1 数据收集与处理

### 1.1 澳洲坚果地理分布数据收集与处理

通过两种途径收集澳洲坚果的地理分布数据:(1)通过全球生物多样性信息平台 GBIF(<https://www.gbif.org/>)获取澳洲坚果在全球的种植分布点。为了避免模型模拟的过度拟合,采用缓冲区分析法对这些地理分布点进行筛选,使分布点之间的

距离大于 1 km, 筛选后获得的地理分布点为 410 个, 主要分布在大洋洲(澳大利亚 338、新西兰 10)、南美洲(巴西 18、哥斯达黎加 9、哥伦比亚 4、洪都拉斯 1、秘鲁 1)、北美洲(美国 12、萨尔瓦多 4、墨西哥 4、危地马拉 1)、非洲(埃及 3、马拉维 1)和亚洲(泰国 1、马来西亚 2、中国台湾 1); (2) 根据云南省森林资源规划设计调查数据(2016 年)优势树种为澳洲坚果的小班随机生成的分布点。为了得到与地理环境类型面积相匹配的澳洲坚果分布点, 首先对澳洲坚果小班的海拔范围进行统计, 澳洲坚果种植的海拔范围主要为 600~1 800 m, 其中分布于海拔 1 000~1 200 m 的种植面积占比最高, 为 36.8%, 其次是分布于海拔 1 200~1 400 m, 占比 23.9%, 分布于海拔 800~1 000 m 的种植面积占比 22.0%, 即位于 800~1 400 m 海拔范围的澳洲坚果种植面积占总种植面积的 82.7%。按海拔范围占比来配置选取的分布点, 设置分布点之间的最小距离为 1 km, 共生成分布点 263 个点。通过两种数据源共获取澳洲坚果地理分布点 673 个。澳洲坚果地理分布点的物种名称、经度和纬度按三列存储为 .csv 格式文件, 用于 MaxEnt 软件的生境模拟。

### 1.2 气候因子数据收集与处理

重点关注在当前和未来气候条件下澳洲坚果的适宜生境分布变化, 因此, 在影响物种地理分布的环境因素(地理位置、海拔、气候、土壤等)中, 仅考虑变化较大的生物气候因素。本文采用世界气候数据库(<http://www.worldclim.org>)的生物气候因子数据, 空间分辨率为 30 弧秒(1 km), 该数据集包括 19 个生物气候因子, 分别为年均温(bio1)、温度平均日较差(bio2)、等温性(bio3)、温度季节性(bio4)、最暖月最高温(bio5)、最冷月最低温(bio6)、温度年变化范围(bio7)、最湿季均温(bio8)、最干季均温(bio9)、最暖季均温(bio10)、最冷季均温(bio11)、年降水量(bio12)、最湿月降水量(bio13)、最干月降水量(bio14)、降水季节性(变异系数)(bio15)、最湿季降水量(bio16)、最干季降水量(bio17)、最暖季降水量(bio18)、最冷季降水量(bio19)。这些因子比较全面地反映了平均温度、极端温度及其年内变异幅度以及降水的季节性分布、极端水分条件和水热同步程度。选择 2050 年 RCP45 气候情景下的生物气候因子进行未来生物预测。从 <http://www.Divagis.org/Data> 下载全球国家行政区划矢量地图; 从国家基础地理信息网站(<http://www.ngcc.cn/>)下载 1:400 万中国行政区划矢量地图; 从地理空间

数据云(<http://www.gscloud.cn/>)下载空间分辨率为 30 m 的数字高程模型(DEM)。

## 2 研究方法

### 2.1 生物气候因子筛选

首先采用当前生物气候因子推算澳洲坚果的生境分布范围, 在此过程中采用 MaxEnt 软件刀切法(jackknife test)检测各因子对模型预测的贡献, 选择贡献率较大的重要因子, 采用 SPSS 软件进行 Pearson 相关性分析, 去除与其相关性强的因子(相关系数  $\geq 0.8$ ), 得到参与模型构建的 10 个关键因子。

### 2.2 生境预测模型构建

采用最大熵模型 MaxEnt 进行澳洲坚果当前和未来生境的预测。设置澳洲坚果分布点, 随机选取 75% 为建立模型的训练数据集, 其余 25% 作为预测结果的验证数据, 添加上述筛选出的 10 个关键生物气候因子建立预测模型。AUC 值是 MaxEnt 模型生成的可以指示模型预测效果的指标, 其取值范围为 0~1, AUC 值越接近 1, 表明预测效果越好, 一般来说, AUC 值为 0.9~1.0 的预测结果为极好, 0.8~0.9 为好, 0.7~0.8 为一般, <0.6 为差<sup>[11]</sup>。

### 2.3 澳洲坚果适宜生境等级划分

MaxEnt 模型输出的结果为物种的存在概率<sup>[5]</sup>, 值范围为 0~1, 越接近 1, 物种存在的概率越大。将 MaxEnt 模型输出结果的 ASC II 格式文件采用 ArcGIS 转为 tif 栅格数据格式, 根据当前和未来气候情景下澳洲坚果适宜生境的概率范围, 结合自然断点法, 将适生区划分为 4 个等级: 存在概率 <0.05 为非适生区; 0.05  $\leq$  存在概率 <0.20 为低适生区; 0.20  $\leq$  存在概率 <0.40 为中适生区; 存在概率 >0.40 为高适生区。采用 ArcGIS 的 ArcToolbox 中的 Reclassify 对各等级适生区进行重分类, 用迭加分析工具按行政范围对各等级适生区进行提取, 获得各行政范围的澳洲坚果适生区分布栅格图层; 采用 Spatial Analyst Tools 的分区的 Zonal Statistics 工具, 计算重点区域当前和未来适宜生境的平均海拔。

## 3 结果与分析

### 3.1 主导生物气候因子和预测模型结果评价

很多情况下, 每个环境变量对物种分布的决定作用有较大差异, 因此, 筛选出对生境预测结果贡献较大的环境变量可以减少参与模型运算的数据量,

同时提高预测精度。采用 MaxEnt 模型的刀切法衡量每个生物气候因子对预测结果的贡献率,其中 bio18(最暖季降水量)、bio03(等温性)和 bio11(最冷季均温)为贡献率最高的 3 个因子,贡献率分别为 39.4%、26.1% 和 11.3%,3 个因子累计贡献率为 76.8%。通过因子间的相关性分析,最后筛选出 bio1、bio2、bio3、bio4、bio5、bio11、bio12、bio14、bio18 和 bio19 共 10 个关键因子,其累积贡献百分率达 98.1%。

采用 MaxEnt 模型预测结果的曲线下面积(area under curve, AUC)评价预测的可靠性,本研究获得的 AUC 值为 0.977,预测结果极好。

### 3.2 气候变化情景下全球澳洲坚果的适宜生境变化

澳洲坚果原产于低海拔的亚热带雨林,后经品

种培育和引种,逐渐适应高海拔、降水充沛的山区。MaxEnt 模型得到的结果显示,在当前及 2050 年 RCP45 气候变化情景下,澳洲坚果的适宜生境在全球的分布范围非常狭窄,集中分布在中南半岛北部、澳大利亚东部、南美洲东南部、非洲大陆南部及马达加斯加东部等热带和亚热带地区。其中高度适宜生长区仅分布于中南半岛北部、澳洲坚果发源地澳大利亚东南部、巴西东南部、南非东南部和马达加斯加东部,位于中南半岛北部的适宜生境是全球面积最大的高度适宜生长区。2050 年 RCP45 气候变化情景下,这一分布格局在空间上未发生明显变化,但高度、中度和低度适宜生境面积均有大幅度缩减。主要分布区国家的各等级适生区面积如表 1 所示。

表 1 当前和 2050 年 RCP45 气候变化情景下澳洲坚果高、中度适宜生境主要分布区面积  
Tab.1 Main distribution areas of highly and medium suitable habitats for *Macadamia integrifolia* under current and future RCP45 climate change scenarios in 2050

区域		高度适宜生境/km <sup>2</sup>			中度适宜生境/km <sup>2</sup>		
洲	国家	当前	2050 年 RCP45 情景	变化值	当前	2050 年 RCP45 情景	变化值
亚洲	中国	159732	153216	-6516	133951	135602	+1651
	老挝	46797	26521	-20276	48325	30008	-18317
	缅甸	40786	32104	-8682	72829	55534	-17296
	印度	39460	23285	-16174	50371	26646	-23725
	越南	38633	15752	-22881	41676	27580	-14095
大洋洲	澳大利亚	138029	96564	-41465	156673	239609	+82937
	新西兰	12	2514	+2502	19972	58648	+38675
南美洲	巴西	128793	37508	-91285	609239	383448	-225791
	阿根廷	796	29	-767	368063	14905	-353157
非洲	南非	23127	19994	-3133	71376	87216	+15841
	马达加斯加	27874	3956	-23919	88026	64088	-23938
其他国家小计		54012	30034	-23978	497233	256865	-240368
全球合计		698052	441478	-256574	2157733	1380149	-777584

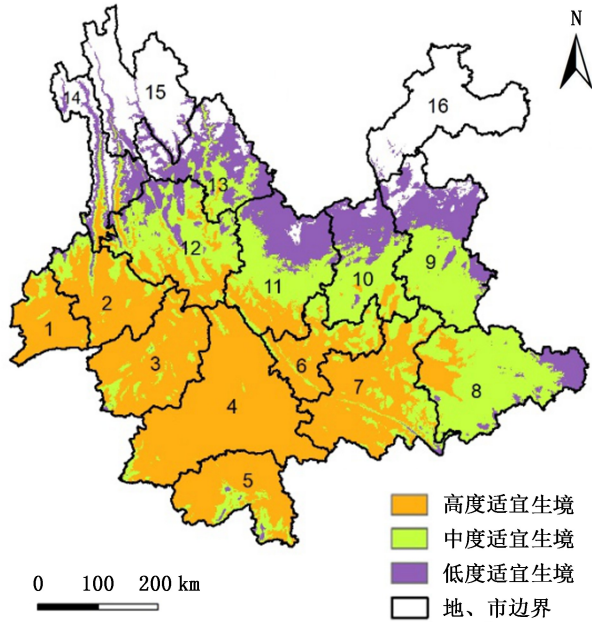
分布在这 11 个国家的高度适宜生境占全球总量的 92.2%。2050 年 RCP45 气候变化情景下,全球范围的澳洲坚果高、中、低适宜生境分别减少 36.8%、36.0% 和 32.8%,其中高度适宜生境面积减少幅度最大区域为南美洲,其次为亚洲和大洋洲,如巴西高度适宜生境减少 91 285 km<sup>2</sup>,占全球高度适宜生境缩减面积的 35.6%。这一趋势伴随着个别国家或地区的适宜生境出现小面积增长情况,如新西兰高度适宜生境增加及澳大利亚大面积高度适宜生境转变为中度适宜生境。

### 3.3 云南省澳洲坚果适宜种植区的空间分布及变化特点

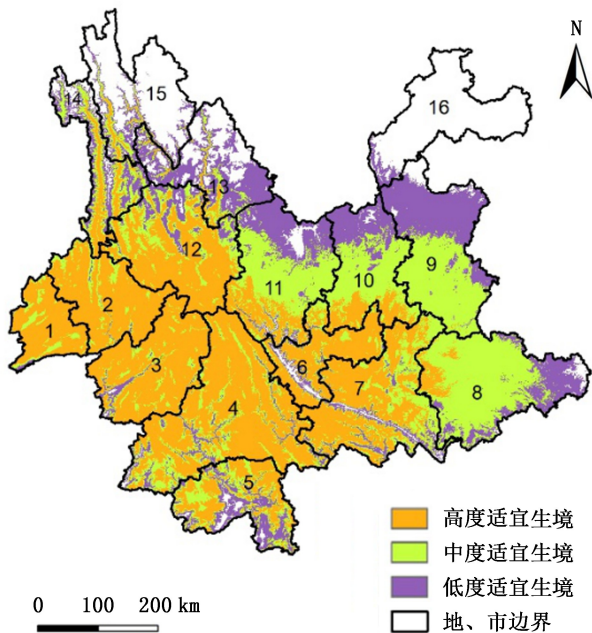
云南作为我国澳洲坚果产业发展的重点省份,研究重点关注该省的澳洲坚果适宜生境变化。当前气候条件下,澳洲坚果的高度适宜生境主要大面积连片分布在云南西南部和南部,该区域多雨湿润、热量充足,气温年较差较小,一般在 10.5℃ 以下<sup>[12]</sup>。云南省降水的空间分布特点为自南向北逐渐减少,年均温自南向北随纬度增加和海拔增高而降低,澳洲坚果的高度适宜生境分布区与该省水分及热量条



件较好的区域在空间上高度吻合;中度和低度适宜生境区依次分布在高度适宜生境区以东、以北的外围地区,大致呈环状分布格局(图 1)。



(a) 当前气候条件下



(b) 2050年RCP45气候变化情景下

注:1. 德宏;2. 保山;3. 临沧;4. 普洱;5. 西双版纳;6. 玉溪;7. 红河;8. 文山;9. 曲靖;10. 昆明;11. 楚雄;12. 大理;13. 丽江;14. 怒江;15. 迪庆;16. 昭通。

图 1 云南省不同等级澳洲坚果适宜生境分布  
Fig. 1 Distribution of suitable habitat levels for *Macadamia integrifolia* in Yunnan Province

中度和低度适宜生境区的水分和热量条件较高度适宜生境区差。高度适宜生境区大面积集中分布区包括德宏、保山、临沧、普洱、玉溪、红河、西双版纳共 7 个地州,另外在怒江、大理、楚雄、昆明 4 个地州的南部和文山西部也有小面积零星分布。2050 年 RCP45 气候变化情景下,3 个等级的适宜生境分布大体上仍然保持与当前分布相似的空间格式,即高度适宜生境分布仍以滇西南和滇南为主,向滇西北略有扩张,滇南地区有所缩减;中、低度适宜生境仍分布在高度适宜生境区以北及以东区域。与当前情况相比,未来高度适宜生境呈破碎化,当前西南部和南部大面积连片分布的高度适宜生境随气候变化转变为连片面积较小、斑块更多的景观格局。

当前气候条件下,云南省澳洲坚果的高度、中度和低度适宜生境面积分别为 157 876 km<sup>2</sup>、109 563 km<sup>2</sup> 和 57 569 km<sup>2</sup>,2050 年 RCP45 气候变化情景下这 3 类生境面积分别为 149 085 km<sup>2</sup>、106 967 km<sup>2</sup>、70 532 km<sup>2</sup>。总体而言,高度适宜生境区面积减少 8 791 km<sup>2</sup>(-5.6%),中度适宜生境区减少 2 596 km<sup>2</sup>(-2.4%),低度适宜生境区增加 12 963 km<sup>2</sup>(+22.5%),整体变化为高、中度适宜生境轻微减少,低度适宜生境区面积大量增加。在气候变化条件下,原高度适宜生境范围向北部及西北部三江并流河谷地区扩张,这部分扩张的高度适宜生境主要由原来的中、低度适宜生境转变而来,如大理、怒江、丽江(表 2)。

高度和中度适宜生境区向中、低适宜生境区转变,主要出现在云南南部和中东部,如普洱、红河、西双版纳、玉溪、曲靖和文山,尤其是海拔较低区域(如西双版纳的景洪和勐腊)以及热量较丰富的河谷地区(如元江河谷一带),局部地区的中、低适宜生境区甚至转变为非适宜生境区。此外,云南中北部原非适宜生境区有一部分转变为低适宜生境区(曲靖北部),迪庆州 3 个等级的适宜生境面积均呈增长态势。

#### 4 讨 论

采用最大熵模型模拟当前和 2050 年 RCP45 气候变化情景下全球范围内澳洲坚果的适宜生境,从模型模拟的主要评价指标 AUC (AUC = 0.977) 来看,模拟结果非常好。全球的预测结果中,大洋洲的澳大利亚、亚洲的中国、老挝、缅甸、印度、越南和非洲的南非、马达加斯加有面积较大的高度适宜生境区,除澳大利亚为原生区外,这些地区已成功引种澳

表 2 云南省各地州澳洲坚果不同等级适宜生境面积

Tab. 2 Area of suitable habitat levels for *Macadamia integrifolia* in various regions of Yunnan Province

地州	高度适宜生境/km <sup>2</sup>			中度适宜生境/km <sup>2</sup>			低度适宜生境/km <sup>2</sup>		
	当前	2050 年 RCP45 情景	变化率 /%	当前	2050 年 RCP45 情景	变化率 /%	当前	2050 年 RCP45 情景	变化率 /%
德宏	10125	9333	-7.8	969	1604	+65.5	66	214	+227.4
保山	14895	16411	+10.2	3619	2412	-33.4	618	310	-49.9
临沧	21326	19937	-6.5	2096	2515	+20.0	70	925	+1217.8
普洱	42499	32031	-24.6	1267	8454	+567.1	25	2944	+11696.9
玉溪	10185	10197	+0.1	4706	2650	-43.7	9	1313	+15200.0
红河	23478	18807	-19.9	8008	9174	+14.6	423	3209	+659.0
西双版纳	15375	7441	-51.6	3081	5339	+73.3	370	5052	+1263.6
大理	7654	18041	+135.7	16306	6711	-58.8	4558	3612	-20.8
怒江	1228	3422	+178.6	2114	4239	+100.5	5282	4902	-7.2
丽江	328	1203	+267.4	5513	2289	-58.5	10248	10134	-1.1
楚雄	5495	5025	-8.5	12390	13782	+11.2	10236	8395	-18.0
昆明	1082	4159	+284.5	11867	10806	-8.9	7654	5877	-23.2
曲靖	85	66	-22.9	14274	14389	+0.8	11064	12990	+17.4
文山	4121	2051	-50.2	22946	20941	-8.7	4053	7228	+78.3
迪庆		959		405	1660	+310.2	2895	3429	+18.4
合计	157876	149085	-5.6	109563	106967	-2.4	57569	70532	+22.5

洲坚果<sup>[13-15]</sup>,进一步验证了模拟结果较好。模型模拟的云南省高度适宜种植区与当前省内澳洲坚果集中种植区域一致。气候是影响澳洲坚果种植适宜性的主要环境因子,13~30℃月均温、660~3300mm年降雨量的环境较适宜澳洲坚果的生长<sup>[16]</sup>,Maxent模型筛选出的气候因子起着主导作用,最关键的3个气候因子bio18(最暖季降水量)、bio03(等温性)和bio11(最冷季均温)反映了澳洲坚果适宜生长环境倾向于雨热同期、较低气温年较差及较高最冷季均温区域,同样地,在未来气候变化影响下,关键因子对澳洲坚果的适宜值范围在空间分布上发生变化,是引起高、中度适宜生境面积变化和空间上发生位移以及原有适宜生境破碎化的主要原因。最大熵模型模拟物种的生态位,选择的环境因子对模型模拟效果有直接影响,采用的与生态位相关的因子越全面,模拟的结果越好。澳洲坚果除对温度较为苛刻外,日照时间、土壤类型、太阳辐射量等因子对其也有一定影响,在当前使用的模型中,如果能加入这些环境因子,则可提高模型模拟的准确性,如何获取当前和未来气候变化情景下这些因子的空间数据,值得进一步探讨。

物种分布点对模型模拟精度也有一定影响,本研究的物种分布点来源于森林资源规划设计调查数据和GBIF平台,来源于森林资源规划设计调查数据的分布点位于云南省境内,对不同海拔带按比例选取;来源于GBIF平台的分布点依赖于已上传至该平台的数据;研究中对获取的物种分布点采用空间间距进行了筛选,避免了因分布点空间聚集造成的模型过度拟合,改进了模拟精度。

## 5 结 论

澳洲坚果在我国的种植区主要分布于云南、广西、贵州和四川<sup>[17]</sup>,与国内其他种植区相比,云南具有热量资源丰富、远离台风影响的优势,且山区可开发种植的面积较大。未来气候变化引起澳洲坚果在云南的高、中度生境适宜种植区总面积略有缩减,但幅度不大,但空间分布上发生位移,且呈破碎化趋势,产业规划时应考虑产业生命周期内气候变化造成的适宜生境迁移的影响。

尽管澳洲坚果在原生地以外引种获得了成功,其对气候条件等环境因素仍然有较严格的要求,在澳洲坚果的经济生命周期内,要获得高产量、高质量

的回报,需要同时考虑当前和未来环境因素的变化幅度和空间位移。

### 参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志·第二十四卷[M]. 北京:科学出版社,1988:112-114.
- [2] SÁEZ A, MONTOYA S, CABRERA-GONZÁLEZ J, et al. Characterization and lipid profile of Macadamia nuts (*Macadamia integrifolia* and *Macadamia tetraphyllia*) [J]. Journal of Engineering and Applied Sciences, 2014, 4(9): 33-39.
- [3] 涂行浩,郑海彬,梁晓雯,等. 澳洲坚果及其果仁油品质研究[Z]. 西安:全国热带作物学术年会,2019.
- [4] 方精云. 我国森林植被带的生态气候学分析[J]. 生态学报,1991(4):377-387.
- [5] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. Ecological Modelling, 2006, 190(3-4): 231-259.
- [6] 张颖,李君,林蔚,等. 基于最大熵生态位元模型的入侵杂草春飞蓬在中国潜在分布区的预测[J]. 应用生态学报,2011,22(11):2970-2976.
- [7] 王娟娟,曹博,白成科,等. 基于 Maxent 和 ArcGIS 预测川贝母潜在分布及适宜性评价[J]. 植物研究,2014,34(5):642-649.
- [8] 李昂. 应用 ArcGIS 软件和最大熵模型分析樟子松潜在分布及其气候适宜性[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [9] 周海涛. 基于 MAXENT 模型的扎龙湿地丹顶鹤栖息地适宜性评价[D]. 哈尔滨:哈尔滨师范大学,2016.
- [10] 戚鹏程. 基于 GIS 的陇西黄土高原落叶阔叶林潜在分布及潜在净初级生产力的模拟研究[D]. 兰州:兰州大学,2009.
- [11] 王茹琳,李庆,封传红,等. 基于 MaxEnt 的西藏飞蝗在中国的适生区预测[J]. 生态学报,2017,37(24):8556-8566.
- [12] 王宇. 云南山地气候[M]. 昆明:云南科技出版社,2006:210-211.
- [13] 郑树芳,覃振师,韦持章,等. 越南澳洲坚果种植发展概况与建议[J]. 南方园艺,2012,23(1):19-20.
- [14] 王伟,田荣荣,那立妍,等. 基于 MaxEnt 生态软件划分澳洲坚果的潜在地理适生区[J]. 林业科学研究,2017,30(3):444-449.
- [15] 贺熙勇,倪书邦. 世界澳洲坚果种质资源与育种概况[J]. 中国南方果树,2008(2):34-38.
- [16] 王文林,谭秋锦,陈海生. 广西澳洲坚果产业现状·优势与发展对策[J]. 安徽农业科学,2018,46(35):199-201.
- [17] 贺熙勇,陶亮,柳颀,等. 我国澳洲坚果产业概况及发展趋势[J]. 热带农业科技,2015,38(3):12-16,19.

责任编辑:许易琦

(上接第 102 页)

### 参考文献:

- [1] 岳佳颖,卢骄阳,范琳子,等. 基于 GIS 的泰山风景名胜区生态敏感性评价及保护研究[J]. 江西科学,2022,40(1):117-124.
- [2] 徐晓伟. 镜泊湖风景名胜区生态敏感性分析及可持续发展研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2012.
- [3] 李霞,林丽丽,吴元晶,等. GIS 支持下旅游小镇生态敏感性评价——以福建省湖坑镇为例[J]. 中国城市林业,2019,17(6):63-69.
- [4] 胡和兵,林逢春,姚志强. 基于 GIS 的池州市生态敏感性分析[J]. 资源开发与市场,2007(10):885-887,929.
- [5] 王浩程,王琳,卫宝立. 基于 GIS 的特色小镇生态敏感性研究——以山东营丘镇为例[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2019,49(8):100-107.
- [6] 王思维,高亚楠,梁爽,等. 基于 GIS 的青城山-都江堰风景名胜区生态敏感性评价[J]. 工程技术研究,2020,5(2):243-244.
- [7] 朱霞,郑越. 山岳型风景名胜区生态敏感性评价及保护对策研究——以武汉市木兰山风景名胜区规划为例[J]. 华中建筑,2021,39(2):80-85.
- [8] 陈少乐,刘阳,冯小刚. “文化+”:世界文化遗产周边区域规划路径探究——以龙门石窟东北片区概念规划为例[C]//共享与品质——2018 中国城市规划年会论文集(09 城市文化遗产保护). 北京:中国建筑工业出版社,2018:811-820.
- [9] 张丹. 黄河文化在风景名胜区景观设计中的应用——以洛阳龙门石窟为例[J]. 绿色科技,2021,23(7):38-40.
- [10] 张有才,李矿辉. 基于生态低碳发展理念指导下的城市边缘区规划研究——以洛阳市龙门山生态保护与利用规划为例[J]. 华中建筑,2015,33(8):127-131.

责任编辑:陈旭



doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.030

## 澳洲坚果实生苗根系及叶片对比研究

郝佳波<sup>1</sup>, 尹加笔<sup>2</sup>, 陆斌<sup>1</sup>

(1. 云南省林业和草原科学院, 云南昆明 650201; 2. 德宏州林草种苗管理和质量监督检验站, 云南芒市 678400)

**摘要:**对比来自不同母本的澳洲坚果半同胞子代实生苗根系和叶片的差异,对2个产地3个母本品种共4个处理的36株实生苗进行扫描测量。结果显示,芒市试验地培育的母本品种‘OC’的实生苗根系最强,各品种间差异不显著;芒市试验地培育的母本品种‘344’的实生苗叶片最小,且与其他品种相比差异显著。

**关键词:**植物图像分析系统;澳洲坚果;实生苗;品种选育;生物性状

中图分类号:S644;S723.11 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0198-04

引文格式:郝佳波,尹加笔,陆斌. 澳洲坚果实生苗根系及叶片对比研究[J]. 林业调查规划,2024,49(2):198-201.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.030

HAO Jiabo, YIN Jiabi, LU Bin. Comparative Study on Root System and Leaf Blade of *Macadamia integrifolia* Seedlings [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 198-201. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.030

## Comparative Study on Root System and Leaf Blade of *Macadamia integrifolia* Seedlings

HAO Jiabo<sup>1</sup>, YIN Jiabi<sup>2</sup>, LU Bin<sup>1</sup>

(1. Yunnan Academy of Forestry and Grassland, Kunming 650201, China; 2. Dehong Station of Forest and Grass Seedling Management and Quality Supervision, Mangshi, Yunnan 678400, China)

**Abstract:** In order to compare the root system and leaf blade differences of half-sib progeny seedlings from different female varieties of *Macadamia integrifolia*, 36 seedlings of 4 treatments from 3 female varieties and 2 nursery sites were scanned and observed. The results showed that the root system of the female parent from ‘OC’ was the strongest in Mangshi, and there was no significant difference among different treatments. The leave blade of seedlings from Mangshi ‘344’ were the smallest, and were significantly different from other treatments.

**Key words:** plant image analysis system; *Macadamia integrifolia*; seedlings; breeding of varieties; biological traits

澳洲坚果(*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche)又名夏威夷果,是山龙眼科(Proteaceae)澳洲坚果属(*Macadamia* F. Muell.)的常绿乔木,原产于澳大利亚。澳洲坚果经济价值很高,素来享有“干果

之王”的誉称<sup>[1-2]</sup>。在我国云南、广东、广西、贵州、四川和台湾等地均有栽培,多见于植物园或农场<sup>[3-4]</sup>。

植物根系是吸收水分和养分的关键器官,其根系的根尖数、表面积等性状可反映植物对水分和养

收稿日期:2022-09-08.

基金项目:中央财政林业科技推广示范资金项目(云[2020]TG19).

第一作者:郝佳波(1981-),男,云南昆明人,硕士,助理研究员.主要从事经济林育种和栽培相关研究. Email:jj2000ms@163.com

责任作者:陆斌(1966-),男,云南昆明人,硕士,研究员.主要从事经济林育种与栽培相关研究. Email:kmlubin@163.com

分的吸收状况<sup>[5-6]</sup>。植物叶片大小等性状在不同品种间常存在显著差异,是品种鉴定的重要依据之一<sup>[7-8]</sup>。

目前针对澳洲坚果的研究很多<sup>[9-11]</sup>,但关于来自不同母本品种的同胞子代实生苗进行根系和叶片对比研究尚未见报道。因此,对来自 3 个不同母本品种的澳洲坚果同胞子代实生苗进行根系和叶片的对比研究,以期为澳洲坚果的良种选育提供基础数据并奠定理论基础。

## 1 试验地概况

试验地分别位于云南省德宏州芒市和昆明市。

芒市试验地位于德宏州野生动物保护拯救中心的苗圃内,地理坐标为东经 98°28',北纬 24°22',海拔 970 m。属亚热带季风气候,其特点是夏无酷热,冬无严寒,雨量丰沛,多年均温 19.5℃,最热月(6 月)均温 24.1℃,最冷月(1 月)均温 12.3℃,极端最高温 36.2℃(1960 年 4 月 29 日),极端最低温 -0.6℃(1963 年 1 月 5 日),年积温 7 170℃,无霜期 315 d。年均降雨量 1 654.6 mm,年日照时数 2 252.9 h。

昆明市试验地位于昆明树木园的苗圃内,地理坐标为东经 102°44',北纬 25°8',海拔 1 900 m。属亚热带季风气候,年均均温 14.9℃,极端最高温 31.5℃,极端最低温 -7.8℃。年均降雨量约为 1 000.5 mm,月最大降雨量 208.3 mm,日最大降雨量 153.3 mm,降雨主要集中在 5—9 月。年日照时数 2 327.5 h。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 试验材料

芒市试验地内于 2021 年 10 月中分别采用澳洲坚果品种‘OC’、‘344’和‘H2’种子进行育苗,并于翌年 3 月中在昆明市试验地内采用品种‘H2’种子进行育苗。翌年 8 月初分别得到来自 3 个母本品种共 4 个处理的同胞子代实生苗若干。

### 2.2 试验方法

在两个试验地内,随机分别选择长势中等的各处理实生苗 3 株,重复 3 次,共 36 株澳洲坚果实生苗,对植株高度进行测量,并在洗净根系后采用万深 LA-S 系列植物图像分析系统扫描其根系,同时每株实生苗随机选择 3 片叶片进行扫描。

### 2.3 统计分析

采用 Excel 和 SPSS 软件对采集到的数据进行分析和作图,统计方法包括描述统计和多重比较(Duncan 法),并对分析结果的意义进行探讨。

## 3 结果与分析

### 3.1 植株高度

澳洲坚果实生苗植株高度指标测量结果见表 1 和图 1。

表 1 澳洲坚果不同品种植株相关指标测量结果  
Tab. 1 Indicators measurement results of different varieties of *Macadamia integrifolia*

部位	指标	品种‘H2’ (昆明)	品种‘OC’	品种‘344’	品种‘H2’ (芒市)
植株	高度/cm	23.67± 7.09a	32.00± 3.61a	23.67± 3.06a	27.67± 9.29a
	表面积 /mm <sup>2</sup>	177.90± 82.83a	1006.27± 443.05a	953.99± 476.66a	725.64± 675.32a
根系	体积 /mm <sup>3</sup>	9.24± 4.31a	142.82± 88.00a	158.56± 116.40a	91.47± 112.41a
	根尖数	1334.67± 581.51a	3514.33± 124.73b	2899.67± 872.19b	2381.00± 753.81ab
叶片	长/mm	141.01± 28.39b	147.27± 28.90b	112.28± 11.28a	143.85± 11.28b
	宽/mm	36.02± 7.22bc	32.50± 7.54ab	28.76± 2.24a	40.30± 4.66c
	长宽比	3.93± 0.39a	4.70± 1.21b	3.90± 0.30a	3.61± 0.52a
	面积 /mm <sup>2</sup>	2691.61± 1185.85ab	2735.20± 921.78ab	2011.83± 328.14a	3455.73± 625.51b
叶绿素 参考值	2.83± 0.60b	2.56± 0.35b	1.98± 0.30a	2.50± 0.36b	

注:多重比较中不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

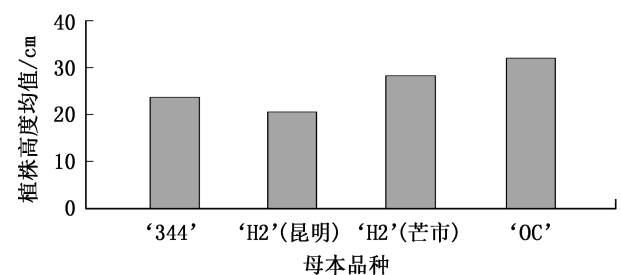


图 1 澳洲坚果不同品种植株高度统计  
Fig. 1 Plant height of different varieties of *Macadamia integrifolia*

由表 1 和图 1 可以看出,植株高度方面,实生苗株高由大至小依次是品种‘OC’>‘H2’(芒市)>‘344’=‘H2’(昆明)。株高平均值最大的是品种‘OC’,较株高最小的品种‘344’和‘H2’(昆明)高 35.19%。4 个品种间差异均不显著,说明各品种间差异较大,大于各品种间的差异。

### 3.2 根系

澳洲坚果根系指标测量结果见表 1 及图 2~图 4。

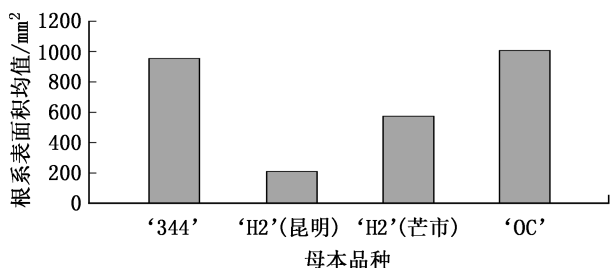


图 2 澳洲坚果不同品种根系表面积统计  
Fig. 2 Root surface area of different varieties of *Macadamia integrifolia*

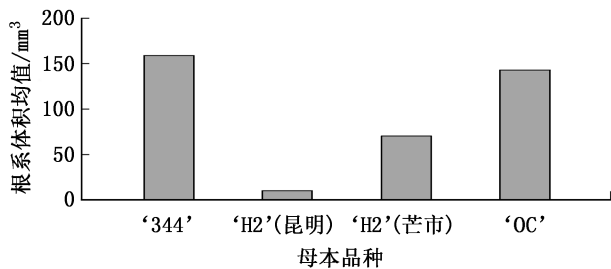


图 3 澳洲坚果不同品种根系体积统计  
Fig. 3 Root volume of different varieties of *Macadamia integrifolia*

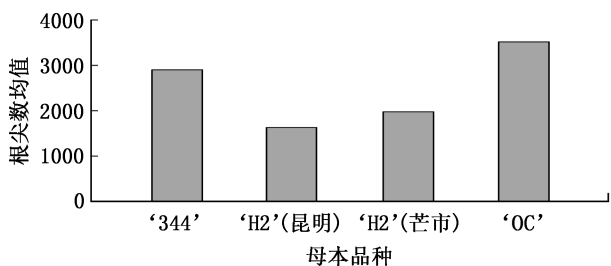


图 4 澳洲坚果不同品种根尖数统计  
Fig. 4 Root tips of different varieties of *Macadamia integrifolia*

澳洲坚果实生苗根系表面积由大至小依次是品种‘OC’>‘344’>‘H2’(芒市)>‘H2’(昆明)。根系表面积均值最大的是品种‘OC’,较均值最小的品种‘H2’(昆明)高 4.66 倍。4 个品种间差异均不显著,说明各品种内差异较大,大于各品种间的差异。

澳洲坚果实生苗根系体积由大至小依次是品种‘344’>‘OC’>‘H2’(芒市)>‘H2’(昆明)。根系体积均值最大的是品种‘344’,较均值最小的品种‘H2’(昆明)高 16.16 倍。4 个品种间差异均不显著,说明各品种内差异较大,大于各品种间的差异。

澳洲坚果实生苗根系根尖数由大至小依次是‘OC’>‘344’>‘H2’(芒市)>‘H2’(昆明)。根系根尖数均值最大的是品种‘OC’,较最小的品种‘H2’(昆明)高 47.60%。品种‘H2’(昆明)与‘OC’、‘344’间差异显著,其余品种间差异均不显著。

### 3.3 叶片

澳洲坚果叶片相关指标测量结果见表 1 及图 5~图 9。

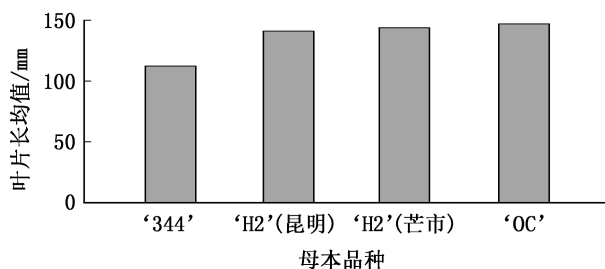


图 5 澳洲坚果不同品种叶片长统计  
Fig. 5 Leaf length of different varieties of *Macadamia integrifolia*

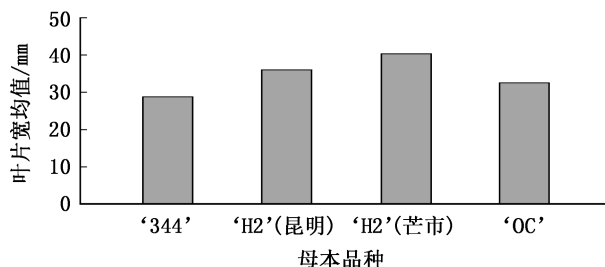


图 6 澳洲坚果不同品种叶片宽统计  
Fig. 6 Leaf width of different varieties of *Macadamia integrifolia*

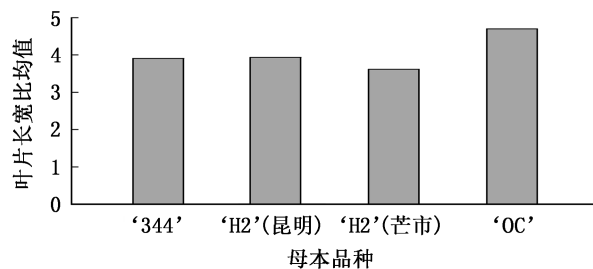


图 7 澳洲坚果不同品种叶片长宽比统计  
Fig. 7 Leaf aspect ratio of different varieties of *Macadamia integrifolia*

澳洲坚果实生苗叶片长均值由大至小依次是品种‘OC’>‘H2’(芒市)>‘H2’(昆明)>‘344’。叶片长均值最大的是品种‘OC’,较均值最小的品种‘344’高 31.16%。品种‘344’与其他品种间均差异显著,其他品种间差异均不显著。



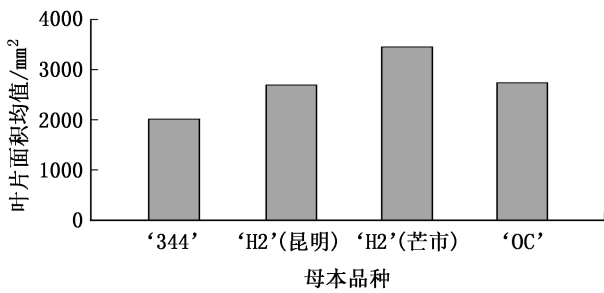


图 8 澳洲坚果不同品种叶片面积统计

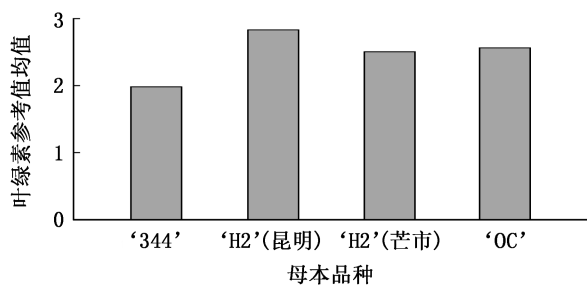
Fig. 8 Leaf area of different varieties of *Macadamia integrifolia*

图 9 澳洲坚果不同品种叶绿素参考值统计

Fig. 9 Chlorophyll reference values of different varieties of *Macadamia integrifolia*

澳洲坚果实生苗叶片宽均值由大至小依次是‘H2’(芒市) > ‘H2’(昆明) > ‘OC’ > ‘344’。叶片宽均值最大的是品种‘H2’(芒市), 较均值最小的品种‘344’高 40.13%。品种‘344’与‘H2’(昆明)、‘H2’(芒市)间差异显著, 品种‘H2’(芒市)与‘OC’间差异显著, 其他品种间差异均不显著。

澳洲坚果实生苗叶片长宽比均值由大至小依次是‘OC’ > ‘H2’(昆明) > ‘344’ > ‘H2’(芒市)。叶片长宽比均值最大的‘OC’, 较均值最小的品种‘H2’(芒市)高 30.19%。品种‘OC’与其他品种间均差异显著, 其他品种间差异均不显著。

澳洲坚果实生苗叶片面积均值由大至小依次是‘H2’(芒市) > ‘OC’ > ‘H2’(昆明) > ‘344’。叶片面积均值最大的是品种‘H2’(芒市), 较均值最小的品种‘344’高 71.81%。品种‘344’与‘H2’(芒市)间差异显著, 其他品种间差异均不显著。

澳洲坚果实生苗叶片叶绿素参考值均值由大至小依次是‘H2’(昆明) > ‘OC’ > ‘H2’(芒市) > ‘344’。叶片叶绿素参考值均值最大的是品种‘H2’(昆明), 较均值最小的品种‘344’高 42.93%。品种‘344’与其他处理间均差异显著, 其他品种间差异均不显著。

## 4 结 论

综合根系方面的结果来看, 芒市试验地培育的母本品种‘OC’的实生苗根系最强, 可考虑从中选育砧木良种。此外, 在芒市试验地培育的实生苗因当地气候适合, 可采用秋播(10月)的方式育苗, 至翌年8月其幼苗的生长时间更长, 因此根系也更加发达, 芒市较昆明更适宜澳洲坚果的生长。澳洲坚果实生苗各品种间差异不显著, 说明品种内差异较大, 大于品种间的差异, 因此今后应尽可能从无性系中选育澳洲坚果砧木品种。

综合叶片方面的结果来看, 芒市试验地培育的母本品种‘344’的实生苗叶片最小, 且与其他品种间差异显著。此外, 昆明试验地培育的母本品种‘H2’与芒市试验地培育的母本品种‘H2’的实生苗间差异不显著, 说明澳洲坚果不同品种的同胞子代实生苗叶片相关性状受环境的影响较小, 其表型较稳定, 表明叶片性状可作为澳洲坚果部分品种区分的指标。

## 参考文献:

- [1] 张永坤, 牛毅, 贺熙勇, 等. 勐海县澳洲坚果产业发展状况与对策分析[J]. 林业调查规划, 2017(5): 168-171.
- [2] 王文林, 陆超忠, 曾辉, 等. 我国澳洲坚果的研究及发展[J]. 中国热带农业, 2008(3): 24-25.
- [3] 杨彪. 澳洲坚果在云南热区的开发前景[J]. 林业调查规划, 1997(4): 44-46.
- [4] HARDNER C M, PEACE C, LOWE A J, et al. Genetic resources and domestication of macadamia[J]. Horticultural Reviews, 2009(35): 1-125.
- [5] 黄咏明, 吴黎明, 宋放, 等. 根系修剪和接种丛枝菌根真菌对实生苗根系形态的影响[J]. 中国南方果树, 2019, 48(2): 5-10.
- [6] 董云萍, 朱华康, 赵青云, 等. 间作对咖啡和澳洲坚果根系形态、分布及养分累积的影响[J]. 热带作物学报, 2021, 42(2): 405-413.
- [7] 杨为海, 曾利珍, 曾辉, 等. 澳洲坚果种质资源叶片形态性状观测分析[J]. 热带作物学报, 2020, 41(1): 69-76.
- [8] 钟秋珍, 林旗华, 张泽煌, 等. 不同杨桃品种叶片的对比研究[J]. 中国南方果树, 2020, 49(3): 53-55.
- [9] 焦云, 邹明宏, 曾辉, 等. 澳洲坚果营养特性及营养诊断研究进展[J]. 广东农业科学, 2009(1): 33-34.
- [10] 项亚男. 澳洲坚果形态解剖学及产业研究进展[J]. 南方农业, 2021, 15(26): 151-152.
- [11] 奚志芳. 澳洲坚果应用的研究进展[J]. 食品安全导刊, 2021(24): 142-143.

责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.031

## 基于 ArcGIS 和 MaxEnt 的槐气候适宜性和潜在分布研究

臧慧锋<sup>1</sup>, 景鹏飞<sup>2</sup>, 张智超<sup>1</sup>, 廖伟雄<sup>1</sup>, 申晓晨<sup>2</sup>, 赵佳文<sup>3</sup>, 李苏霞<sup>4</sup>

(1. 山西省夏县气象局, 山西 运城 044000; 2. 运城市农业农村局, 山西 运城 044000;  
3. 山西省垣曲县气象局, 山西 运城 044000; 4. 山西省芮城县气象局, 山西 运城 044000)

**摘要:**利用地理信息系统软件 ArcGIS 和最大熵模型 MaxEnt, 依据收集到的槐分布数据, 结合环境因子, 对影响槐的关键气候因子及适生等级进行分析。结果表明, 影响槐分布的关键气候因子分别是最冷月最低温 (Bio6)、年降水量 (Bio12)、4 月最低温 ( $T_{\min}4$ ); 最适宜槐生长的基本生态位参数为最冷月最低温在  $-11.1 \sim 12.7^{\circ}\text{C}$ , 年降水量在  $480.0 \sim 2455.0 \text{ mm}$ , 4 月最低温在  $4.3 \sim 21.1^{\circ}\text{C}$ 。槐在全国范围内的中适生及以上区域主要集中在华东、华中全境以及东北、华北、西北、西南和华南的部分区域。本研究预测的结果与槐实际资源分布区域基本吻合, 可为槐种质资源收集与种植规划布局提供参考依据。

**关键词:**槐; 最大熵模型; ArcGIS; 潜在分布; 环境因子

中图分类号: S792.26; S718.512; Q142.9 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0202-05

引文格式: 臧慧锋, 景鹏飞, 张智超, 等. 基于 ArcGIS 和 MaxEnt 的槐气候适宜性和潜在分布研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 202-206. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.031

ZANG Huifeng, JING Pengfei, ZHANG Zhichao, et al. Climate Suitability and Potential Distribution of *Sophora japonica* L. Based on ArcGIS and MaxEnt Model[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 202-206. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.031

### Climate Suitability and Potential Distribution of *Sophora japonica* L. Based on ArcGIS and MaxEnt Model

ZANG Huifeng<sup>1</sup>, JING Pengfei<sup>2</sup>, ZHANG Zhichao<sup>1</sup>, LIAO Weixiong<sup>1</sup>,  
SHEN Xiaochen<sup>2</sup>, ZHAO Jiawen<sup>3</sup>, LI Suxia<sup>4</sup>

(1. Xiaxian Meteorological Bureau, Yuncheng, Shanxi 044400, China; 2. Yuncheng Agricultural and Rural Bureau, Yuncheng, Shanxi 044000, China; 3. Yuanqu Meteorological Bureau, Yuncheng, Shanxi 044000, China;  
4. Ruicheng Meteorological Bureau, Yuncheng, Shanxi 044000, China)

**Abstract:** Based on the collected distribution data of wild *Sophora japonica* L., combined with the environmental factor, the ecological suitability and potential distribution of *Sophora japonica* L. was studied by using the MaxEnt model and ArcGIS software. The results showed that the key climate factors affecting the distribution of *Sophora japonica* L. were the lowest temperature in the coldest month (Bio6), annual precipitation (Bio12), and the lowest temperature in April ( $T_{\min}4$ ); the ecological niche parameters for *Sophora japonica* L. were that the lowest temperature in the coldest month was  $-11.1 \sim 12.7^{\circ}\text{C}$ , the average annual precipitation was  $480.0 \sim 2455.0 \text{ mm}$ , and the lowest temperature in April was  $4.3 \sim 21.1^{\circ}\text{C}$ .

收稿日期: 2023-07-18.

基金项目: 山西省气象局科学技术研究项目 (SXKMSQH20226322).

第一作者: 臧慧锋 (1991-), 男, 山西临猗人, 高级工程师. 主要从事植物生物气象学方面研究. Email: 1016377630@qq.com

*Sophora japonica* L. in China was mainly concentrated throughout east and central China, as well as in parts of northeast, north, northwest, southwest and south China. The predicted results were basically consistent with the actual distribution of *Sophora japonica* L., which could provide a reference basis for the resources protection, germplasm collections and reasonable development and utilization of wild *Sophora japonica* L..

**Key words:** *Sophora japonica* L.; MaxEnt model; ArcGIS; potential distribution; environmental factor

气候是指一个地区大气的多年平均状况,主要的气候要素包括光照、气温和降水等,其对生态系统、生物多样性以及动植物分布的影响复杂<sup>[1-2]</sup>。槐(*Sophora japonica* L.)为豆科槐属的落叶乔木,其花蕾及花经干燥处理后被称为槐米。槐米具有显著的抗氧化、抗肿瘤、抗炎等作用,用于治疗便血、痔血、血痢、崩漏、吐血、衄血、肝热目赤、头痛眩晕<sup>[3-5]</sup>,是传统的大宗中草药。药材生产和其他作物的生产一样,易受气候条件的影响,不同气候在一定程度上制约产量。因此,研究槐的气候适宜性及其潜在分布区域具有重要意义。

最大熵理论(the principle of maximum entropy, MaxEnt)是一种基于有限的已知信息对未知分布进行无偏推断的预测方法,MaxEnt 优势是在物种实际分布数据不全的条件下,仍能得到较满意的结果<sup>[6-9]</sup>。近年来,基于最大熵模型的物种潜在适生区分布预测研究已在入侵植物的入侵风险评估<sup>[10-11]</sup>、粮食作物生产规划<sup>[12-13]</sup>、植物病虫害预测<sup>[14]</sup>以及濒危动物保护<sup>[15-17]</sup>等方面得到应用。

地理信息系统(geographical information system, GIS)是一种管理和分析空间数据的技术,通过采集、管理、处理和分析相关空间数据,以达到解决复杂的管理和规划问题的目的<sup>[18-19]</sup>。目前,GIS 已被广泛应用于城乡规划、地质研究、防灾减灾以及电气设施等领域<sup>[20-22]</sup>。

本研究通过收集槐的分布点,结合环境因素,利用最大熵模型及地理信息系统进一步研究影响槐分布的主要环境因子并预测其的潜在分布,为槐的种质资源调查提供一定理论依据,以期达到趋利避害,科学规划种植,确保药材槐米稳产、高产。

## 1 数据收集

### 1.1 地理分布数据

本研究中槐的地理分布数据收集有 3 种途径:中国数字植物标本馆(<http://www.cvh.ac.cn/>);全球生物多样性信息数据库(<http://www.gbif.org/>);

中国国家标本资源平台(<http://www.nsii.org.cn/2017/home.php>)。由于部分标本原始采集信息中未记录准确的经纬度,本文利用详细的采集地点在谷歌地球或百度地图上查找并确定相应的经纬度。经过对搜集到的记录点鉴别和剔除,得到 304 个分布点。将收集到的槐实际分布点信息按物种名称以及分布点经度、纬度顺序录入到 Excel,同时根据 MaxEnt 软件要求,储存成后缀名为 .csv 格式的文件。

中国矢量地图在国家基础地理信息中心(<http://ngcc.sbsm.gov.cn/>)下载获得。

### 1.2 环境变量

本研究气候数据来源于世界气候数据库(<http://www.worldclim.org>),精度 30 弧秒,共 6 类,即地形因子:海拔(Alt);生物气候因子:年均温(Bio1)、昼夜温差月均值(Bio2)、等温性(Bio3)、温度季节性变化的标准差(Bio4)、最暖月最高温(Bio5)、最冷月最低温(Bio6)、年均温变化范围(Bio7)、最湿季度均温(Bio8)、最干季度均温(Bio9)、最暖季度均温(Bio10)、最冷季度均温(Bio11)、年均降水量(Bio12)、最湿月降水量(Bio13)、最干月降水量(Bio14)、降水量变异系数(Bio15)、最湿季度降水量(Bio16)、最干季度降水量(Bio17)、最暖季度降水量(Bio18)、最冷季度降水量(Bio19);单月因子:1~12 月最高温度( $T_{\max}1 \sim T_{\max}12$ );1~12 月均温( $T_{\text{mean}}1 \sim T_{\text{mean}}12$ );1~12 月最低温度( $T_{\min}1 \sim T_{\min}12$ );1~12 月降水量(Prec1~Prec12)。

## 2 研究方法

### 2.1 数据处理

为防止模型出现过拟合,利用 ArcGIS 10.2 相关性矩阵分析,去除 Pearson 相关系数  $\geq 0.8$  的环境因子,最终筛选出 9 个环境因子。应用 MaxEnt 3.4.1 软件,导入 304 条实际分布数据和 9 个环境因子,参数设置为测试集为实际分布点的 25%,训练集为实际分布点的 75%,采用刀切法(jackknife)评价各环境因子所占权重。



## 2.2 模型精确度验证

受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic, ROC)是根据一系列不同的二分类方式,以真阳性率为纵坐标,假阳性率为横坐标绘制的曲线,旨在反映出模型敏感性和特异性连续变量。AUC 值为 ROC 曲线下面积,是衡量模型预测精确度的指标,其值范围一般在[0,1],值越接近于 1,表示准确度越好。当 AUC 值在 0.6~0.8 时,表示模型预测结果一般;当 AUC 值在 0.8~0.9 时,表示模型预测效果好;当 AUC 值大于 0.9 时,表示模型预测效果非常好,可认为其较为准确地反应出该物种的潜在分布<sup>[23-25]</sup>。

## 2.3 适宜性分布区划

将 MaxEnt 运算结果 asc 文件带入 ArcGIS 10.2 中,转换为栅格格式,同时加载中国行政区域地图,对栅格格式结果进行分析。本研究将槐的适生等级分为 4 级,阈值分别为 0.1、0.3 和 0.6,适生值<0.1 为非适生区(unsuitable area),适生值 0.1~0.3 为边缘适生区(marginal area),适生值 0.3~0.6 为中适生区(suitable area),适生值≥0.6 为高适生区(high suitable area)。将生成的栅格数据文件进行重分类,计算不同等级适生区面积,得到槐的适生区划。

## 3 结果与分析

### 3.1 环境因子贡献率分析

环境变量对 MaxEnt 模型构建的贡献率如表 1 所示。

表 1 环境变量对 MaxEnt 模型构建的贡献率

Tab.1 Contribution rate of environmental variables to MaxEnt model construction

序号	环境因子	贡献率/%
1	Bio6/°C	39.5
2	Bio12/mm	33.4
3	$T_{\min}4/°C$	11.4
4	Alt/m	4.1
5	Bio5/°C	3.7
6	Prec1/mm	3.1
7	$T_{\max}3/°C$	2.8
8	Bio1/°C	1.6
9	Prec7/mm	0.5

根据表 1 得出,Bio6 和 Bio12 贡献率最高,贡献

率分别为 39.5%和 33.4%,其次为  $T_{\min}4$ ,贡献率为 11.4%,以上 3 项要素累计贡献率达 84.3%,说明最冷月份最低温度、年降水量和 4 月最低温度是影响槐分布的重要环境变量。

### 3.2 单一环境变量重要性分析

采用刀切法分析单一环境变量的重要程度,如图 1 所示。

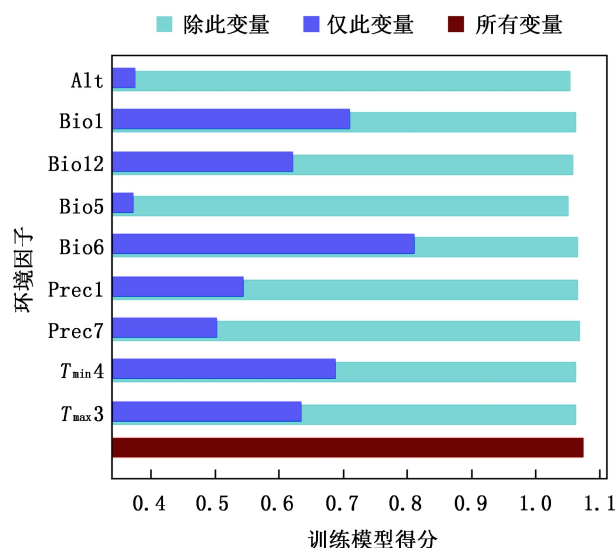


图 1 刀切法环境变量重要性分析

Fig.1 Jackknife test of environmental variables importance

从图 1 可知,Bio6、Bio1、 $T_{\min}4$ 、 $T_{\max}3$  以及 Bio12 为槐的生长提供了较大的增益,说明最冷月最低温度、年均温、4 月最低温度、3 月最高温度以及年降水量对槐的分布起主导作用;而影响最小的环境变量是 Alt 和 Bio5,说明海拔和最热月份最高温度对槐分布的影响作用不明显。

### 3.3 主要环境变量的响应分析

槐的分布和主要环境变量之间存在较强的响应关系(表 2)。

由表 2 可以看出,槐的适宜生态位参数为:1 月份最低温度范围-11.1~12.7°C,年降水量 480.0~2 455.0 mm,4 月份最低温度 4.3~21.1°C。

### 3.4 槐的潜在分布分析

利用 ArcGIS 空间分析工具,经图层叠加以及数据重分类分析,得到槐在中国的适生等级分布情况。结果表明,槐在全国范围内的中适生及以上区域主要集中在华东、华中全境以及东北、华北、西北、西南和华南的部分区域。高适生区几乎覆盖安徽、江苏、

浙江、江西、上海等省市全境,以及陕西、河南、山东、湖北、重庆、贵州、湖南、福建、北京等省市的大部分

表 2 主要环境变量统计

Tab. 2 Main environmental variables

关键环境因子	中适生区		高适生区	
	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差
Bio6/°C	-14.80~15.70	0.82±7.15	-11.10~12.70	1.67±4.21
Bio12/mm	241.00~3373.00	1038.73±436.57	480.00~2455.00	1190.17±408.30
T <sub>min</sub> 4/°C	1.90~22.30	12.10±4.60	4.30~21.10	12.76±2.91
Alt/m	-263.00~3567.00	804.66±778.82	-112.00~2829.00	494.53±498.73
Bio5/°C	22.60~37.50	32.04±3.38	25.90~38.70	33.86±2.36
Prec1/mm	0.00~89.00	18.31±16.72	0.00~89.00	32.58±22.62
T <sub>max</sub> 3/°C	5.60~32.10	17.42±5.00	8.90~28.40	16.37±2.65
Bio1/°C	8.20~26.60	17.08±4.15	9.90~25.70	17.73±2.78
Prec7/mm	34.00~830.00	197.04±74.67	74.00~612.00	185.49±43.24

地区,同时河北、山西、甘肃、四川、广东、广西等省份也有分布。根据 MaxEnt 的分析结果,槐不同适生等级面积统计如表 3 所示。

表 3 槐不同适生等级面积

Tab. 3 Different suitable areas for *Sophora japonica* L. in China

区域	面积/万 km <sup>2</sup>	占比/%
非适生区	594.00	61.87
边缘适生区	76.72	7.99
中适生区	138.47	14.42
高适生区	151.84	15.82

由表 3 可知,中适生区面积 138.47 万 km<sup>2</sup>,占全国比例 14.42%;高适生区面积 151.84 万 km<sup>2</sup>,占比 15.82%。

### 3.5 预测结果评价

经受试者工作 ROC 曲线检验结果如图 2 所示。

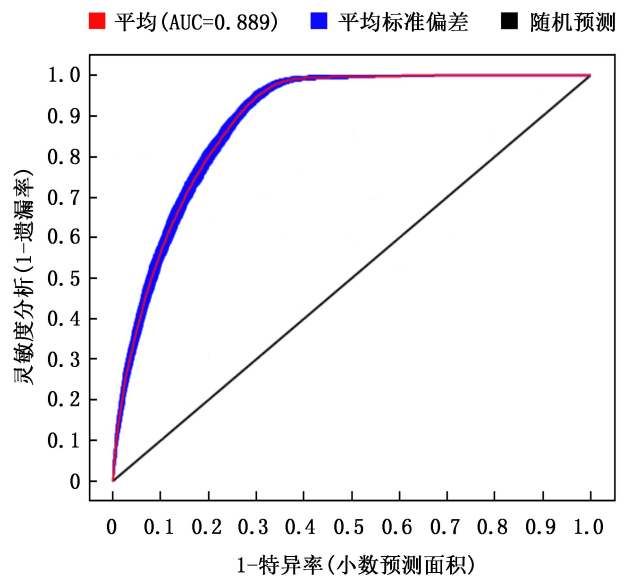


图 2 ROC 曲线

Fig. 2 ROC curve

由图 2 可知,MaxEnt 模型预测的 AUC 值为 0.889,接近于 0.9,说明此次模型预测效果好。

## 4 结 论

本研究使用 AUC 值对模型预测结果进行评估,结果表明 MaxEnt 模型对槐潜在分布区的预测效果好。槐资源在我国藏量十分丰富,潜在分布要远大于其目前的实际分布,高适生区主要集中在华东、华中全境以及东北、华北、西北、西南和华南的部分区域,预测结果与槐主要产地<sup>[26]</sup>相吻合,进一步证明了此次预测结果的准确性。槐生长适宜生态位区间为 1 月份最低温 -11.1~12.7°C,年降水量 480.0~2455.0 mm,4 月份最低温 4.3~21.1°C。

本研究预测的是历史自然气候条件下槐的分布,未考虑到不断扩大的人类活动范围以及社会的城镇化发展等人为因素。因此,预测所得槐的潜在分布区在一些城镇化进程较快的地区会出现些许偏差。本研究中采集了大量的槐分布数据,考虑到绝大多数环境因子,利用 ArcGIS 和 MaxEnt 模型相结合,从理论上对槐气候适宜性和潜在分布进行分析,可为槐种质资源收集提供参考依据,也可为槐生长关键节点的管理提供技术指导理论依据。

## 参考文献:

[1] 张伟,夏锐,曾冠中,等. 湖北宜城陆地生态系统碳储量特征及影响因素[J]. 环境科学与技术,2022,45(12): 194-203.  
 [2] 张爱平,王毅,熊勤犁,等. 末次间冰期以来 3 种云杉属

- 植物的历史分布变迁及避难所[J]. 应用生态学报, 2018, 29(7): 2411-2421.
- [3] 李秋红, 栾仲秋, 王继坤. 中药槐米的化学成分、炮制研究及药理作用研究进展[J]. 中医药学报, 2017, 45(3): 112-116.
- [4] 胡心茹, 李甜雨, 陈奕江, 等. 槐米中芦丁的含量测定及其稳定性研究[J]. 海峡药学, 2020, 32(8): 29-32.
- [5] 张恒, 张洪. 槐米中芦丁的提取工艺研究[J]. 世界中医药, 2016, 11(4): 722-724.
- [6] 何淑婷, 白碧玉, 但佳惠, 等. 基于 MaxEnt 的南丹参在中国的潜在分布区预测及适生性分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(8): 2311-2314.
- [7] 孙卓, 黄禹然, 高翔, 等. 基于最大熵模型对长角血蜱在中国潜在分布特征的研究[J]. 动物医学进展, 2022, 43(10): 60-66.
- [8] 高浩翔, 申立泉, 刘瑞, 等. 基于最大熵模型的野生马麝夏季生境适宜性研究[J]. 生态学报, 2023, 43(1): 441-448.
- [9] 万广珍, 申亮, 郭延秀, 等. 基于最大熵模型预测未来气候变化背景下连翘的潜在地理分布[J]. 中国中医药信息杂志, 2021, 28(12): 1-6.
- [10] 张杰, 张昉, 李敏, 等. 3 种茄科入侵植物在我国的潜在地理分布及气候适生性分析[J]. 南方农业学报, 2019, 50(1): 81-89.
- [11] 刘金雪. 气候变化对外来入侵植物互花米草潜在分布区的影响[D]. 南京: 南京师范大学, 2016.
- [12] 吕彤, 郭倩, 丁永霞, 等. 气候变化下中国小麦与玉米适生区研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2022, 58(5): 588-599.
- [13] 沈国强. 适应气候变化的农作物分布格局研究[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2017.
- [14] 马望, 房磊, 方国飞, 等. 基于最大熵模型的神农架林区华山松大小蠹灾害遥感监测[J]. 生态学杂志, 2016, 35(8): 2122-2131.
- [15] 塔旗, 李言阔, 范文青, 等. 基于最大熵生态位模型的中华穿山甲潜在适宜生境预测[J]. 生态学报, 2021, 41(24): 9941-9952.
- [16] 颜懋瑶, 彭晓昶, 代光辉, 等. 寄主植物与环境因子相互作用对达摩麝凤蝶潜在分布的影响[J]. 西部林业科学, 2021, 50(1): 118-123, 131.
- [17] 罗玫, 王昊, 吕植. 使用大熊猫数据评估 Biomod2 和 MaxEnt 分布预测模型的表现[J]. 应用生态学报, 2017, 28(12): 4001-4006.
- [18] 景鹏飞. 丹参组药用植物资源调查和多样性评价研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2013.
- [19] 刘欣. 基于 GARP 和 MAXENT 的空心莲子草在中国的入侵风险预测[D]. 济南: 山东师范大学, 2012.
- [20] 黄煜, 谢婉丽, 刘琦琦, 等. 基于 GIS 与 MaxEnt 模型的滑坡易发性评价——以铜川市中部城区为例[J]. 西北地质, 2023, 56(1): 266-275.
- [21] 王兴华, 王彦峰, 雷翔胜, 等. 电气设备在 BIM 与 GIS 中的几何与语义一致性[J]. 南方电网技术, 2022, 16(12): 29-37.
- [22] 郑德凤, 高敏, 李钰, 等. 基于 GIS 的大连市暴雨洪涝灾害综合风险评估[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(3): 1-8, 22.
- [23] 柳鑫, 杨艳芳, 宋红萍, 等. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 的黄连生长适宜性区划研究[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(17): 3186-3193.
- [24] 杨启杰, 李睿. 桫欏的潜在适生区及其变化[J]. 应用生态学报, 2021, 32(2): 538-548.
- [25] 王健, 张永萍, 孙庆文, 等. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 的黄花白及生长适宜性区划研究[J]. 中国野生植物资源, 2021, 40(9): 86-90.
- [26] 谭均, 李隆云, 王计瑞, 等. 不同产地槐米的质量综合评价研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(12): 2166-2174, 2202.

责任编辑: 陈旭



doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.032

## 基于 CiteSpace 的我国城市公共空间活力研究进展

胡俊强, 燕亚飞

(河南科技大学 园艺与植物保护学院, 河南 洛阳 471000)

**摘要:**城市公共空间是城中居民进行公共交往活动的重要场所,空间活力研究对未来城市的发展具有重大意义,收集中国知网 1997—2021 年间 456 篇国内城市公共空间活力相关的研究文献,利用 CiteSpace 软件绘制知识图谱,从发文作者、发文机构、关键词等方面,对国内城市空间活力的研究现状进行可视化分析。研究结果显示,城市活力、活力营造、活力测度是当前城市空间活力研究领域的热点;空间活力研究尺度由宏观转向微观,研究方法由定性转向定量研究;在研究尺度方面,逐渐由早期的宏观视角转向中微观视角,对空间活力的研究更偏向具体细节的考究,更关注其本身的物质环境;活力的测评方法仍需继续完善,空间营造策略方面要继续深化相关研究。

**关键词:**空间活力;城市空间;CiteSpace;文献综述;知识图谱

中图分类号:K915;O186.14;TU311.56 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0207-07

引文格式:胡俊强,燕亚飞. 基于 CiteSpace 的我国城市公共空间活力研究进展[J]. 林业调查规划,2024,49(2): 207-213. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.032

HU Junqiang, YAN Yafei. Research Progress of Urban Public Spatial Vitality in China Based on CiteSpace[J]. Forest Inventory and Planning,2024,49(2):207-213. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.032

## Research Progress of Urban Public Spatial Vitality in China Based on CiteSpace

HU Junqiang, YAN Yafei

(College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China)

**Abstract:** Urban public space is an important place for urban residents to conduct public communication activities. The study of spatial vitality is of great significance to the development of future cities. Based on the 456 domestic urban public spatial vitality research documents collected by CNKI from 1997 to 2021, CiteSpace software was used to draw a knowledge map, the current research status of domestic urban spatial vitality was visually analyzed from the perspective of the author, the institution and the keywords. The research results showed that urban vitality, vitality construction, and vitality measurement were currently hotspots in the field of urban spatial vitality research; the scale of spatial vitality research shifted from macro to micro, and research methods shifted from qualitative to quantitative; the study scale gradually shifted from an early macro perspective to micro perspective, the research focused more on specific details and the own material environment; the evaluation methods for vitality should be further improved, and related research on spatial creation strategies should be further deepened.

收稿日期:2021-10-19.

第一作者:胡俊强(1995-),女,河南确山人,硕士研究生.研究方向为风景园林规划与设计. Email:2402168630@qq.com

责任作者:燕亚飞(1977-),女,河南温县人,博士,讲师.研究方向为风景园林学及园林建筑设计. Email:gigi0924@163.com

**Key words:** spatial vitality; urban space; CiteSpace; literature review; knowledge map

城市公共空间是人居环境空间的重要组成部分,是以人为因素为主导的物质实体场所<sup>[1]</sup>,也是城中居民进行各种社交活动的开放性场所,能在一定程度上反映一座城市的精神面貌和品位气息,同时也具备休憩性功能,是城市活力的体现。“活力”一词最早出现在生物学里,本意是指生物体维持自身生存的能力<sup>[2]</sup>。而“城市空间活力”这个概念最早出现在城市规划领域,国内外不同学者对其有不同的定义,总结其本质发现空间活力主要围绕人、行为活动以及活动的物质空间 3 个基本要素,即人是空间活力的核心,可以从人的行为活动这些表象来判断空间的活力程度<sup>[3]</sup>。然而相关调查表明,由于当前城市化快速发展,城市公共空间并未以理想状态存在,大多出现人与空间互动不足等问题,造成城市公共空间缺乏活力和吸引力,从而使得众多公共空间逐渐变得没有人情味和生活气息。加之“城市公园”理念的提出,如何更好地组织和利用公共空间以使其成为城市所需的积极空间<sup>[4]</sup>,让城市充满活力,提高城中居民对生活的满意度,是当代城市空间研究必须面对的问题。

## 1 研究方法及数据采集

### 1.1 研究方法

CiteSpace 是美国雷德赛尔大学信息科学与技术学院的陈超美博士与大连理工大学 WISE 实验室联合开发的科学文献分析工具,其功能丰富,操作简单,尤其在处理大量文献数据方面更具显著优势,因此成为近年来研究者广泛使用的文献计量分析工具<sup>[5]</sup>。利用该工具可以有效对某一科学领域的文献数据进行科学计量分析,探测该学术领域的研究热点、研究作者合作态势等。

本文利用 CiteSpace 软件,通过绘制关键词共现图谱,对城市公共空间领域的研究热点进行分析,并通过时区图对研究热点的演化过程及近期出现的新兴主题等信息进行解析,另外通过关键词聚类对研究内容的情况进行归纳总结,以此对未来城市空间规划设计及其空间品质的提升提供有效的理论支撑。

### 1.2 数据来源

为保证研究分析的权威性和真实性,从覆盖文献最全的中国知网选取样本数据,并且经过篇名、主

题词、关键词等多种检索方式的对比后,且尽可能确保有关空间活力领域文献覆盖的全面性,最终选择主题词的检索方式。

以“城市公共空间”“城市活力”“空间活力”“景观活力”为主题词进行检索,设置起始时间为 1997 年 1 月 1 日—2021 年 1 月 1 日,在 CNKI 数据库中共检索到 765 篇文章,人工去除会议论文、报纸、专利、标题等,有效数据 456 条。

## 2 文献特征分析

### 2.1 发文作者分析

分析作者合作网络有利于探查城市公共空间活力研究领域核心作者的合作关系及紧密程度。将数据导入 CiteSpace,以作者 (author) 为节点构建作者合作网络。运行软件,得到一个节点数 ( $N$ ) 为 265,连线数 ( $E$ ) 为 134,网络密度 (density) 为 0.003 8 的作者合作网络图谱 (图 1)。其中连线粗细表示相关作者合作关系的强弱,节点圆圈大小表征发文量多少。

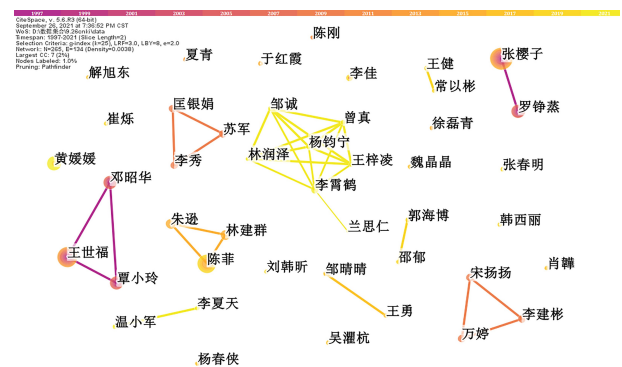


图 1 作者合作关系共现图谱

Fig. 1 Co-occurrence map of author cooperation

由图 1 可知,城市公共空间领域研究整体呈现小聚集、大分散的合作网络特征,形成了 5 个相对明显的研究团体,其中最大的是以李霄鹤、王梓凌、杨钧宁、曾真等人组成的学术团体。此外还有一些孤立点散落图中,建议这部分作者应尝试与其他团体建立合作,整合各自资源,共同推进城市公共空间领域的研究发展。

### 2.2 发文机构分析

以机构 (institution) 为节点构建作者合作网络。





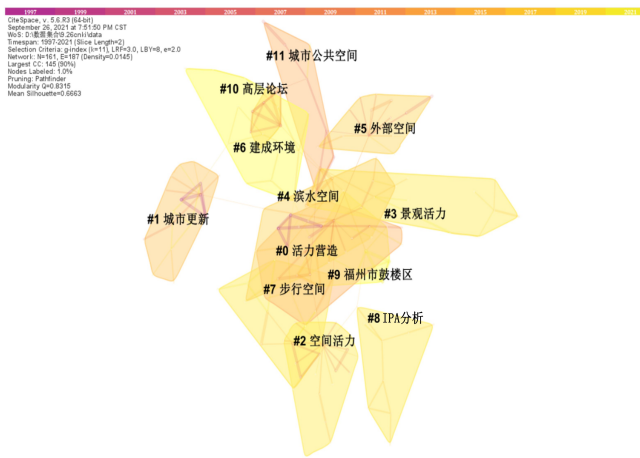


图 3 研究内容关键词共现聚类图谱

Fig. 3 Keyword co-occurrence clustering map

间可达性的影响;植物是园林景观的生命,因此其在空间环境中有着举足轻重的作用,也是影响空间活力的重要原因之一。在生理方面,浓郁高大的植被可以遮荫避阳,营造舒适的小气候,此外一些特殊植被还具备辽养保健功能,因此近年来康养景观研究也深受关注。许晓雪等<sup>[10]</sup>通过调研提出空间场所的绿视率、季相变化、植被层次、围合程度与人群密度和活动的多样性密切相关。综上,各学者对于活力的影响因素具有一定共识,且影响因素主要来源于两部分:建成环境,即空间场所的环境质量、基础设施、文化内涵、社会管理等环境特征;空间使用人群,即人群活动喜好、驻留时间、心理感受等行为特征。此外,相关文献研究表明,目前关于同一影响因素对不同形态、不同功能的空间影响程度是否一样并未做出太多的讨论。

### 3.1.2 城市公共空间活力的研究方法

早期,关于空间活力的研究多以定性研究为主,主要是在特定的空间范围内通过问卷调研、活动标注、行为记录等方式收集相关信息,进而对某一空间特征、活力程度进行总结归纳、提出建议。如郭薇薇<sup>[11]</sup>以老人日常行为轨迹为切入点,提炼老人群体在行为轨迹中的环境影响元素,总结环境元素对老年人户外活动的影响程度,提出适老化环境元素配置模式;王菁等<sup>[12]</sup>通过问卷调查等方式总结得出滨水空间的活力程度与可达性、水体清洁度、景观美感度等相关。但是这些调研方法仅适用于场地较小的公共空间,对于较大空间的研究具有一定局限性。

随着科技的进步及其大数据的开放普及,研究学者相继利用定位系统、社交媒体、手机信令等新兴方式去搜集空间场所内的人群活动特征,这也有效

弥补了传统调研方式的弊端,如大众点评、微博签到等社交媒体可便捷精准地获取使用者的基本属性、情感体验等动态数据信息,以此来反映场地的活力程度<sup>[13]</sup>;手机信令、定位导航可定位记录人的行为轨迹和时空信息;遥感、数字地图等地理信息技术可有效地反映场地的人文、自然、环境等信息。陈名娇<sup>[14]</sup>利用新浪微博 POI 数据和签到数据,分析不同区位的居民在不同类型活动中的时空特征和差异,并对其影响因素进行研究。吴志强院士等<sup>[15]</sup>基于百度热力地图数据,以人群集聚度、离散度为指标分析上海中心城区的活力情况,对不同区位的活力进行对比,从动态的视角研究了城市活力与城市空间的关系。对于后期的数据处理,常用的方法有相关性分析法、语义分析法、层次分析法、主成分分析法。徐磊青<sup>[16]</sup>以空间内使用人群满意度为切入点,建立空间活力与建成环境的回归方程、探寻二者之间的关系。汪海等<sup>[17]</sup>运用层次分析法从宏观角度出发,基于社会、文化、经济、感官 4 个方面建立公共空间活力评价体系。

综上,城市空间活力的研究方法逐渐从定性研究转向定量研究,数据采集来源从由传统的静态数据转向时空动态数据的研究。量化研究不仅可验证经验和传统的理论,也可为空间活力营造策略提供有力的证据<sup>[18]</sup>。与此同时,虽然科技发展下的新技术方法可提升公共空间活力量化研究的精准度和科学性,但其对人群心理变化研究方面存在一定限制,依然需要调查问卷和现场访谈的方式进行研究,因此应将传统的调研方式与新型技术手段进行有效的结合,采用定性结合定量的研究方法,既能同时发挥定性研究对空间评价的主观感知特性,又能将评价结果通过定量的方式确立,增强空间活力研究的可实践性。

### 3.1.3 城市公共空间活力的营造策略

以空间活力的影响因素为依据,提出相应的营造策略,通过文献研究整理归纳总结两种营造途径。

#### 1) 规划设计

(1) 提升交通的可达性,便捷的交通是公共空间聚集人群、激发活力的基础。金岩<sup>[19]</sup>认为密集的道路网络、不适宜的道路尺度和封闭社区是堵塞城市交通、影响街道活力的主要原因,因此疏导车流、引导步行交通是提升街道活力的关键;何宽等<sup>[20]</sup>从使用者的角度出发,指出空间断裂是滨水空间活力衰败的主要原因,建议从视线和路径两个方面提升空间的开放性以此来吸引人群,提升空间活力。

(2)增加空间功能混合程度。夏青等<sup>[21]</sup>通过研究诺丁汉历史街区公共空间活力复兴案例,发现丰富空间功能和业态、鼓励沿街零售商业是该地区活力复兴的关键。(3)打造特色的公共空间环境。尤其是对于历史街区来讲,恢复其原本的风貌是活力营造的关键因素,沈丹等<sup>[22]</sup>从物质环境出发,提出重构景观元素和传统的建筑符号是历史街区活力复兴的重要因素;钟行明<sup>[23]</sup>则认为过分注重物质环境,忽视文化内涵的设计方式是历史街区活力衰败的主要问题,应从打造特色空间风貌和恢复街区社会网络两方面同时入手提升空间活力。

2)政策支持鼓励

公共空间活力的营造,离不开政府的政策支持。王吉勇<sup>[24]</sup>认为政府应采用自下而上的城市管理机制,鼓励市民参与城市公共空间的建设管理,从而提高公众的兴趣,有利于空间活力的提升。如政府可制定相关的奖罚制度,以便有效地维护公共空间的公共设施,保证公共空间基础设施的完整性。

3.2 研究热点分析

3.2.1 关键词共现

高频关键词可反映出研究热点,多个关键词同时出现被称为关键词共现,对关键词共现产生的中心性进行分析,可以说明关键词对研究发展所起的控制作用,进而预判研究热点<sup>[25]</sup>。本文将下载数据导入 CiteSpace 5.6. R3,以关键词(keyword)为节点构建共现网络,时间跨度为 1997—2021 年,时间间隔(time slices)设置为 2。选择 k 指数阈值算法,系数 k 设置为 25,运行软件,得到一个节点数(N)为 289,连线数(E)为 361,网络密度(density)为 0.008 7 的关键词共现网络图谱(图 4)。

每个节点表示一个对应的关键词,包围节点的圆圈大小,表征对应的关键词频次高低,圆圈外围紫红色圆环厚度表征该节点中心性高低,节点与节点间的连线粗细,表征节点间的联系强度高低。通常,一个关键词的频次越高,表示其相关研究越多,由图 4 和表可知该领域出现的高频关键词为空间活力、城市活力、空间句法、滨水空间等;在 CiteSpace 中,中介中心性超过 0.1 的节点称为关键节点,其重要程度较高。提取中介中心性排名前 10 的高频关键词(表 1),可将其归纳为 3 种类型:城市空间活力的相关理论、城市空间活力的影响因素、城市空间活力的研究方法。

表 1 1997—2021 年城市公共空间活力研究发文高频、高中介中心性关键词

Tab. 1 Keywords of high frequency and high betweenness centrality on publications of urban public space vitality from 1997 to 2021

序号	出现频次/次	首次出现年份	关键词	序号	中介中心性	首次出现年份	关键词
1	76	2006	活力	1	0.80	2006	公共空间
2	69	2006	公共空间	2	0.46	2006	活力
3	62	2006	空间活力	3	0.42	2005	城市公共空间
4	59	1997	城市活力	4	0.38	1997	环境行为学
5	30	2014	空间句法	5	0.37	2008	历史街区
6	26	1997	滨水空间	6	0.30	2006	空间活力
7	24	2005	城市公共空间	7	0.29	2008	城市公共空间活力
8	18	2009	公共空间活力	8	0.29	2010	人的需求
9	15	1997	环境行为学	9	0.28	2007	城市设计
10	13	2017	活力评价	10	0.28	2012	层次分析法

3.2.2 时区图

基于关键词共现,构建时区图(timezone),时间跨度 1997—2021 年,切片为 2,即每 2 年作为一个时区,通过该图可反映出该研究领域不同时间段研究前沿的知识更新及其相互影响<sup>[26]</sup>,结合相关文献,将我国城市空间活力的研究分为 3 个阶段(图 5)。

1)起步阶段(1997—2006 年):此阶段多以设计师实践经验为基础而进行的公共空间活力营造策略研究,对城市空间活力概念、内涵等研究还处于认识摸索阶段。

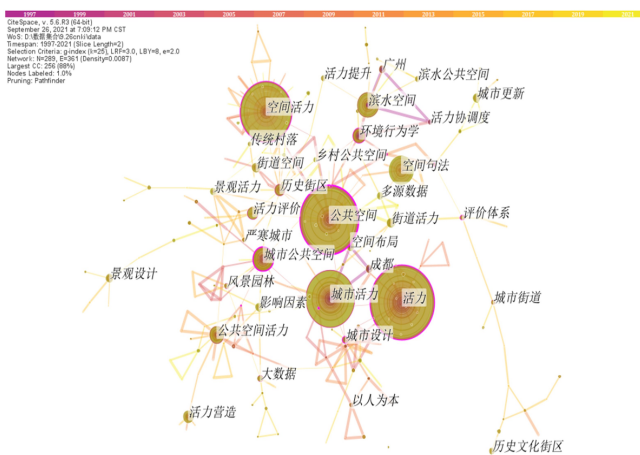


图 4 研究热点关键词共现图谱

Fig. 4 Research hotspot keyword co-occurrence map



图 5 关键词共现时区图谱

Fig. 5 Keyword co-occurrence timezone map

2) 发展中期(2007—2016年):随着我国进入“十二五”阶段,城市发展模式发生转变,该领域的研究热度也随之上升,逐渐加强对空间活力理论研究和活力影响因素的探索,对相关概念也有了较为精准的定义;在该阶段的后期,随着城市功能的日益丰富,研究空间类型逐渐趋向多样化,如历史遗产保护区、工业遗产区等。

3) 近期发展(2017—2021年):科学技术的进步使得研究方式发生极大变化,由传统的定性研究转向定量研究。此外,数据分析方法也发生了改变,空间句法、数据可视等成为当前的热门分析方法,利用新数据和突破性的技术手段多维度地探索城市活力变化成为未来需要深入研究的一个方向。

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

公园城市理念提出后,城市建设也逐渐从外延式的扩张向内涵式发展转变,城市各类公共空间也更加注重活力的激发和提升,提升城市空间活力所承载的意义也已从规划设计层面上升到城市自身的发展需要,国内近30年来的城市公共空间活力的分析展现如下特点。

1) 近年来,大数据时代的到来给城市公共空间活力的研究带来新契机,利用新型技术全面多维度地探寻城市空间活力的变化已成当前一大研究趋势。

2) 城市空间活力的研究视角和方法趋向多元化,研究方法逐渐从定性研究转向定性加定量结合的方式,采集获得的数据也由传统的静态数据转向具有时空特征的动态数据。

3) 城市空间活力的影响因子也从单因子转向多因子的研究,但目前许多学者对空间活力的研究

具有地域性特点,不具备普遍性。

### 4.2 展望

1) 随着各学科不断地进步发展,未来城市空间活力领域的研究要以多学科交叉融合为突破口,增强跨学科、跨专业、跨院校的交流合作,应用城市规划学、风景园林学、环境心理学、行为学、植物学等多学科理论,共同开展城市空间活力研究。

2) 针对目前较为完善的空间活力评价体系,应将其反馈信息应用到新的空间设计中,结合循证设计和定量研究的方法,提高不同公共空间类型的空间活力。

3) 在研究对象的选择方面,要更加关注一些中小城市中的失落空间及其城郊公共空间等。

4) 空间的文化属性是居民对空间认同的重要来源之一,而我国又是历史悠久的文化大国,因此在今后研究中,要利用其自身优势深度挖掘空间的历史文脉,从文化传承的视角切入,探寻社会关系、意识形态对空间活力的影响程度。

5) 尽管利用大数据研究城市空间活力已成为新趋势,但是其与实际调研会有一定的偏差,因此在未来研究中要将传统调研方式和大数据调研方式进行结合,采用定性加定量的研究方式,优势互补,以便为空间活力研究提供针对性的理论依据。

### 参考文献:

- [1] 向苏娜. 基于“PSPL 调研法”的传统村落公共空间活力评价研究[D]. 株洲:湖南工业大学,2018.
- [2] 蒋涤非. 城市形态活力论[M]. 南京:东南大学出版社,2007.
- [3] 李圣岚,张春英,李倩,等. 城市公共空间活力研究进展[J]. 四川建筑,2021,41(1):20-23.
- [4] 聂晓嘉,张轶超,周卫,等. 城市空间活力研究现状与趋势——基于中英文文献的比较分析[J]. 西南大学学报(自然科学版),2021,43(3):147-155.
- [5] 李杰,陈超美. CiteSpace:科技文本挖掘及可视化[M]. 北京:首都经济贸易大学出版社,2016:2-3.
- [6] 徐磊青,刘宁,孙澄宇. 广场尺度与空间品质——广场面积、高宽比与空间偏好和意象关系的虚拟研究[J]. 建筑学报,2012(2):74-78.
- [7] 张海畅,彭晓烈. 塑造活力街区——沈阳中街商业步行街人性化研究分析[J]. 现代城市研究,2008(12):29-37.
- [8] 龚颖. 城市公共空间活力研究[D]. 北京:中国地质大学,2009.
- [9] 叶宇,张昭希,张啸虎,等. 人本尺度的街道空间品质测度——结合街景数据和新分析技术的大规模、高精度评价框架[J]. 国际城市规划,2019,34(1):18-27.



- [10] 刘瑞雪,许晓雪. 城市公园植物景观空间活力及环境因素影响研究[J]. 中国园林,2018,34(S2):160-164.
- [11] 郭薇薇. 基于老年人行为轨迹的社区户外环境适老化设计研究[D]. 杭州:浙江工商大学,2017.
- [12] 王菁,王雪松,覃琳,等. 基于 SD 法的重庆滨水空间活力评价研究[J]. 重庆建筑,2019,18(1):28-31.
- [13] 高旻,洪杰. 新数据环境下的城市公共空间综合质量评价体系研究[J]. 苏州科技大学学报(工程技术版),2020,33(2):65-71.
- [14] 陈名娇. 基于微博数据的深圳市居民生活空间研究[D]. 深圳:深圳大学,2017.
- [15] 吴志强,叶锺楠. 基于百度地图热力图的城市空间结构研究——以上海中心城区为例[J]. 城市规划,2016,40(4):33-40.
- [16] 徐磊青. 广场的空间认知与满意度研究[J]. 同济大学学报(自然科学版),2006(2):181-185.
- [17] 汪海,蒋涤非. 城市公共空间活力评价体系研究[J]. 铁道科学与工程学报,2012,9(1):56-60.
- [18] 阿龙多琪,马航,杨彪. 2000 年以来我国公共空间活力研究进展[J]. 现代城市研究,2020(10):123-130.
- [19] 金岩. 回归街道生活的步行社区街道设计策略[J]. 中国园林,2013,29(5):66-69.
- [20] 何宽,苏志远. 创造富有活力的城市中心区滨水空间:上海船厂地区滨江大平台规划设计[J]. 城市规划学刊,2008(S1):159-163.
- [21] 夏青,高畅,李津莉,等. 英国诺丁汉历史地段公共空间活力营造及其启示[J]. 规划师,2012,28(5):114-119.
- [22] 武联,沈丹. 历史街区的有机更新与活力复兴研究——以青海同仁民主上街历史街区保护规划为例[J]. 城市发展研究,2007(2):110-114.
- [23] 钟行明. 历史文化街区的活力复兴:以济南芙蓉街历史文化街区为例[J]. 现代城市研究,2011,26(1):44-48.
- [24] 王吉勇. 共同城市:深圳移民城市的空间转型与城市治理探索[J]. 规划师,2016,32(11):33-38.
- [25] 顾至欣,张青萍. 近 20 年国内苏州古典园林研究现状及趋势——基于 CNKI 的文献计量分析[J]. 中国园林,2018,34(12):73-77.
- [26] 吴迎霞,徐鹏,张林,等. 基于知识图谱的中国湿地保护研究可视化分析[J]. 湿地科学与管理,2020,16(3):47-52.

责任编辑:陈旭

(上接第 183 页)

- [18] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录(第二版)[M]. 北京:科学出版社,2011.
- [19] 肖治术. 红外相机技术促进我国自然保护区野生动物资源编目调查[J]. 兽类学报,2016,36(3):270-271.
- [20] 吴金亮,杨士剑. 天池自然保护区鸟类调查报告[J]. 云南师范大学学报(自然科学版),1991(3):74-82.
- [21] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级(2版)[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
- [22] 常素慧. 黄泥河自然保护区景观异质性与鸟类多样性分析[D]. 长春:吉林农业大学,2013:35-39.
- [23] 蒋志刚. 动物行为原理与物种保护方法[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [24] 李朝晖,华春,虞蔚岩,等. 江西大鄱山夏季鸟类群落多样性研究[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(10):1180-1185.
- [25] 陈领. 古北和东洋界在我国东部的精确划界——据两栖动物[J]. 动物学研究,2004,25(5):369-377.
- [26] 王松,杨笑,焦润杰,等. 安徽三汊河国家湿地公园鸟类多样性及群落结构特征[J]. 淮北师范大学学报(自然科学版),2018,39(1):48-54.
- [27] VANDB M, HORTON K G. A continental system for forecasting Bird migration[J]. Science, 2018, 361(6407):1115-1118.
- [28] 丁玉华,吴汉鼎,李尧,等. 走进南黄海湿地[M]. 南京:南京师范大学出版社,2008.
- [29] 郑光美. 鸟类学(第2版)[M]. 北京:北京师范大学出版社,2012.
- [30] 尚晓彤,罗春平,李斌,等. 四川王朗国家级自然保护区鸟类多样性与区系组成[J]. 四川动物,2020,39(1):93-106.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.033

## 红色文化传承视角下的哈尔滨纪念性景观优化

郭丽娟, 巢震豪

(黑龙江工程学院 土木与建筑工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150050)

**摘要:**从红色文化传承角度出发,以哈尔滨红色纪念性景观为研究对象,梳理国内外红色纪念性景观研究现状,总结哈尔滨红色文化的内涵与外延,分析哈尔滨红色纪念性景观的发展脉络与实例,指出现存的主要问题。深入融合宏观的城市文脉、生态修复、文化塑造、精神传承,以及微观的景观塑造,精细化创造“冬季友好”的寒地红色纪念性景观,从六个方面有针对性地提出了提升改造留住红色记忆、均衡发展丰富红色景观、丰富载体表达红色文化、“五感”体验感知红色文化、重塑寒地气候红色空间、数字化建设再深红色传承等景观优化策略。

**关键词:**红色文化传承;纪念性景观;景观优化;哈尔滨市

中图分类号:K201;G0;P901 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0214-05

引文格式:郭丽娟,巢震豪.红色文化传承视角下的哈尔滨纪念性景观优化[J].林业调查规划,2024,49(2):214-218.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.033

GUO Lijuan, CHAO Zhenhao. Optimization of Memorial Landscape in Harbin from Perspective of Red Culture Inheritance [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 214-218. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.033

## Optimization of Memorial Landscape in Harbin from Perspective of Red Culture Inheritance

GUO Lijuan, CHAO Zhenhao

(College of Civil and Architecture Engineering, Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China)

**Abstract:** The red memorial landscapes in Harbin were studied from the perspective of inheriting red culture in this paper. By combing red memorial landscape research status at home and abroad, this paper summarized the connotation and extension of red culture, analyzed the development context and examples of red memorial landscape, and pointed out the main existing problems of red memorial landscape in Harbin. Deep integration of macro urban context, ecological restoration, cultural shaping, spiritual inheritance, and micro landscape shaping was to refined the creation of “winter friendly” cold red memorial landscape. Targeted landscape optimization strategies were proposed from six aspects, including upgrading and retaining red memory, promoting balanced development of red landscapes, enriching carriers to express red culture, experiencing red culture with “five senses”, reshaping red spaces in cold climates, and inheriting deep red through digital construction.

**Key words:** red culture inheritance; memorial landscape; landscape optimization; Harbin

收稿日期:2022-10-12.

基金项目:黑龙江省艺术科学规划项目(2022B053);哈尔滨市社科联研究课题(2022HSKY019);黑龙江省教育厅基础科研经费项目(2018CX03);中国高等教育学会2023年度高等教育科学研究规划课题(23PXZ0409);黑龙江省高等教育教学改革研究项目(SJGY20220518).

第一作者:郭丽娟(1981-),女,辽宁锦西人,博士,硕士生导师,教授.从事园林规划设计教学与科研工作.

弘扬红色文化是新时期对广大人民群众提出的新要求。党的十九大以来,红色文化在各地社会发展和文化繁荣中逐渐彰显其纪念、宣传、教化、资政的软实力。形式多样、内容丰富的红色纪念性景观,是开展红色教育的广阔天地,是伟大革命精神的延续,是党建党史学习的新场所和平台。红色纪念性景观是连接历史—现在—未来的重要桥梁,身临其中可以缅怀先烈、衔接历史、展望未来。哈尔滨市是中国共产党解放的第一座大城市<sup>[1]</sup>,是纪念性景观十分丰富的城市,这些珍贵的物质资源蕴含了光荣的革命传统和先进的红色精神。新时代,理清哈尔滨红色纪念性景观现状及存在问题,提出有针对性的景观优化策略,以期促进红色纪念性景观的提升发展,继承和发扬革命城市精神,彰显城市特色与辨识度,推动红色文化旅游发展,为其他城市建设红色纪念性景观提供有价值的参考。

## 1 相关概念

### 1.1 红色文化

红色文化是特定时期产生的一种文化,它具有革命性、凝聚性和导向性。红色文化是党领导人民在长期斗争实践中形成的革命精神,如延安精神、井冈山精神、长征精神等,是对过去战争历史的深度总结,是我国民族精神的升华,是宝贵的精神财富<sup>[2]</sup>。

### 1.2 红色纪念性景观

纪念性景观包括纪念性公园或广场、纪念馆、遗址故居、陵园墓园等,可以分为4种类型:一是遗址遗迹、旧址等,如古田会议遗址、遵义会议遗址等。二是革命故居和旧居,如孙中山故居、张自忠将军旧居等。三是陵园、墓园,如歌乐山烈士陵园、东北烈士陵园。四是纪念建筑物或景观,如重庆解放碑、青岛五四广场等。

红色纪念性景观是能够传播红色文化的场所,是回顾革命事迹、传承革命精神、展现革命历史的场所,可以组织开展革命先烈缅怀、参观游览的空间环境,以红色文化资源为主,通过游览设施、服务和活动的多种组合来提高红色纪念性景观的吸引力,是区域红色旅游发展的重要载体。它不仅深化红色文化记忆,还能振奋国民精神,让中国文化勃发新生机,成为文化自信的坚固底色<sup>[3]</sup>。

## 2 红色纪念性景观研究现状

### 2.1 国内研究现状

红色文化研究成为近些年学者们研究的热点问

题。杨昌鸣等人发表的《基于文化景观感知的分散型红色文化景观保护规划》中,首次提出了红色景观的概念<sup>[4]</sup>。在纪念性景观方面,刘滨谊通过对目前国内外纪念性景观案例的解构分析,结合心理学、美学,对纪念性景观的内涵给予解释,并作出了系统的概括<sup>[5]</sup>。此外,孟萌讨论了中西方纪念性景观的异同,指出中国纪念性景观存在的不足<sup>[6]</sup>。石景琨提出了可以从场景的角度来打造纪念性景观<sup>[7]</sup>。王莹指出了当前红色纪念性景观存在的问题,分析了“红色记忆”景观节点设计<sup>[8]</sup>。

从研究实例来看,国内的很多红色纪念性景观<sup>[9-10]</sup>,如重庆解放碑、南京雨花台烈士陵园等,都以多种方式讲述革命历史故事,结合地域特色或地标建筑来展现红色文化和红色精神。在红色景观表现上,采用传统与现代结合的手法,在总体布局、与周围环境的关系、建筑形式展示、建筑材质选择、景观表达手法上,充分融合红色文化精髓,营造了浓厚的红色文化氛围<sup>[11]</sup>。

### 2.2 国外研究现状

“红色纪念性景观”是中国独创的。在国外,基本没有“红色文化”这样的概念。但是国外也有很多类似纪念性质的建筑或景观,是国家政党领导下的各族人民反抗压迫、建设国家的历史产物,具有鲜明的特色。

在国外的纪念性公园的实践中,欧美国家处于领先地位,关于战争题材的纪念性景观较多。美国战争性题材的纪念性景观通过体现战争产生的灾难,表达对战争中牺牲的英雄的敬意,给人留下深刻印象。如坐落于美国新奥尔良市的国立二战博物馆,馆内拥有大量的口述历史和影音资料。参观者可以在不同的场景听到参战士兵的口述,可以看到当时战争场景的纪录片。展厅按照战役发展过程布置,如在北非战斗时,场景就是沙漠一隅,在意大利战斗,场景就是一座被炸毁的教堂。对于俄国的纪念性景观,主要通过纪念碑、纪念性公园、城市广场、陵园墓园、名人故居等方式表现,尤其是城市广场布置独具特色,其巨大的尺度、高超的艺术表现力和鲜明主题让人记忆犹新。

法国诺曼底卡昂和平纪念馆是欧洲最著名的二战博物馆,总面积为1.7万m<sup>2</sup>,其中常规展厅5800m<sup>2</sup>。另外,还有一处景色优美的欧洲解放公园,展厅主体建筑为白色,分为3个部分,分别是和平厅、二战厅和冷战厅。纪念馆里馆藏资源丰富,展现手法多样,有大量的实物、图文资料,包含20000多册文字资



料、1 000 多份影音资料,从多个角度展现诺曼底登陆战役。馆内还配有多媒体检索设备,通过设备可了解战争背景、武器装备、兵力组成等信息,提高参观者的直观感受,更好地了解战役的细节。再如位于美国首都华盛顿的越战纪念碑,是著名的纪念性景观,主体就是黑色花岗岩材质的 V 字型碑体,上面镌刻着在越南战争中阵亡的 57 000 多名美国士兵和将领的姓名(以阵亡的时间为序)。V 型纪念碑一边指向华盛顿,另一边指向林肯纪念馆,像一道无法愈合的伤疤,给人以深思,时刻提醒着人类反思战争和坚持和平。

从文献资料来看,关于红色纪念性景观的研究多集中在陕西、江西等地,对东北地区研究较少。哈尔滨具有悠久的历史、灿烂的文化和光荣的革命传统,革命志士叱咤风云,龙江人民不屈不挠,共产党人更是生命不息、战斗不止,革命之心坚如磐石。但哈尔滨红色纪念性景观并不尽如人意,且近几年才逐渐受到关注,有些破损严重,缺乏创新性、缺乏体验元素,历史文化融合稍微差强人意等问题,需要系统地加以研究,以推动红色文化在哈尔滨的发展。

### 3 哈尔滨红色纪念性景观研究

哈尔滨历史悠久,有着深厚的红色文化底蕴。哈尔滨是马列主义思想传入中国的第一站,是中国共产党领导中国人民艰苦抗战的最前线,是土地改革和剿匪文化的发源地,是解放战争的策源地之一。中东铁路被称为“红色丝路”,“七三一”是日本法西斯毁灭人类的罪证。这座城市在特殊的历史时期涌现了无数的抗日英雄,流传着许许多多的抗日传奇。

#### 3.1 红色纪念性景观分析

哈尔滨红色纪念性景观分布广泛,类型多样(图 1)。

从图 1 可知,红色纪念性景观起点为中东铁路公园,高潮为东北抗联纪念园,尾声为防洪纪念塔,续曲为中央大街。在东北人民革命斗争中,哈尔滨涌现出一大批革命英雄,成就了今天的纪念性园林景观如东北抗联纪念博物馆及烈士纪念馆、烈士陵园、侵华日军第 731 部队遗址及罪证陈列馆、兆麟公园等。新中国成立以后,哈尔滨发展三大动力,弘扬大庆精神、铁人精神、北大荒精神和东北抗联精神,城市建设快速发展,成为新兴的工业城市。改革开放以来,通过工业转型、旧厂改造、城市更新等一系列措施,使得城市景观得以不断更新,推动了红色纪念性景观的建设。



图 1 哈尔滨红色纪念性景观脉络与实例

Fig. 1 Context and examples of red memorial landscape in Harbin

#### 3.2 红色纪念性景观实例

以哈尔滨烈士陵园为例,详细分析哈尔滨纪念

性景观特色。烈士陵园位于哈尔滨市香坊区体育街 1 号,占地面积 4.2 hm<sup>2</sup>,始建于 1948 年。园内共安葬了 241 位不同时期为国捐躯的革命烈士。陵园内主要设碑林墙、烈士英名录碑、纪念铜塑、纪念馆、浮雕群和骨灰安放堂等。

从陵园南门进入,道路两旁有 100 m 长的宣传浮雕墙—碑林墙。园内景观节点排列整齐、清晰,以烈士陵园为重中之重。每个主要的烈士墓都会有自己的区域,且墓体被抬高,广场、墓台和周围的植物围合形成了宁静而神圣的空间。每个主墓广场都安装了自动解说机,当游客进入这个区域时,伴随着悠扬的声音,可进一步了解烈士的英勇历史事迹,给人留下深刻印象。

该陵园的植物主要以常绿树为主,主调树种是樟子松,通过常绿树来体现园区内 241 名革命先烈精神长青。陵园的总体布局是规则形式的,简洁明了的道路连接着革命先烈的陵墓。每位烈士的墓碑背后,都详细记录了他们的生平事迹,并配以感应式语音识别。进入烈士陵园,肃穆庄严感油然而生。

### 3.3 红色纪念性景观存在问题

从问卷调查和实地调研中发现,哈尔滨红色纪念性景观存在问题主要有:红色纪念性景观发展不够均衡,景观建设方式单一,缺乏创新;景观载体表达不够丰富,形式单一,功能不够完善;红色纪念性景观空间氛围营造不足,有待加强;红色景观数字化建设落后等问题。如哈尔滨烈士陵园,目前的规划设计只采用常见的景观建设方式,缺乏创新,功能不完善;空间相对简单,除了学校组织的教学任务和清明祭祀活动外,其他时间仅有少量居民参观。

## 4 景观优化

### 4.1 提升改造,留住红色记忆

哈尔滨的红色纪念性景观如太阳岛风景区的东北抗日联军纪念地、中东铁路公园和兆麟公园,整体景观设计优美,但景区存在植被覆盖率不高,空地、地面裸露等情况也多有发生。因此,在景区改造提升过程中,应体现植物景观与自然和城市历史文脉的联系,突出地域特色,针对寒地气候、红色文化表达灵活搭配不同的植物。根据空间的历史特征和环境文脉的特点,搭配合理植物景观,体现空间特色,为城市红色景观增添魅力。

### 4.2 均衡发展丰富红色景观

对于哈尔滨的红色纪念性景观,有的景点地理位置好,游览的市民多,有的位置不突出,出行不便,

使用起来不方便。整体来看,应注重红色纪念性景观均衡发展,打造红色景点游览线路,将红色景点联动,通过路牌、路标和红色站点等形式加强红色景点之间的联系,使景点之间相互呼应,更加方便市民和游客游览,打造红色品牌印象。如哈尔滨中东铁路公园和太阳岛风景区,各自风景优美,都位于松花江畔,但景点间的联系少,没有更好地产生景点呼应。两景区可利用自身临近、来往便捷的天然优势,加强合作,打造红色景观链接点。

另一方面,受位置和周边环境因素的限制,大多数红色纪念性景观只关注室内景观而忽略了外部景观及周围环境景观。文化氛围和景观空间能为游客提供更好的观赏体验,景观效果的优劣是最直观的,室内外景观布置水平的好坏对游客心理影响很大。故在提升室内空间红色景观布置的同时,应加强外部空间景观营造,逐步缩小室内外空间的景观效果差距,使内部空间和外部空间均衡发展,成为特色鲜明的红色纪念性景观,让参观者可以感受到与其他园林景观的区别。

### 4.3 丰富载体表达红色文化

文化需要通过载体来表达,载体的种类和形式的多寡是文化表达程度的反映。常见景观载体形式为园林构筑物、景观小品、道路铺装、园林植物、园林水景等。在红色纪念性景观中,有着特定的红色历史、红色背景和红色事件,包含的历史事件和文化精神较多,应重点关注景观载体对红色文化和历史事件的展现,着重表达并深度挖掘自身的红色资源。如在红色纪念性景观中,不应单单从一个写实的人物雕像或是一块景观置石来表达,因为这些单一的景观载体很难深度表达红色历史和文化精髓。雕塑和置石可以在园林景观中作为主景,体现红色景观的纪念性功能,但单一载体让游人把握不住红色文化的核心意义,对红色文化的历史更是知之甚少。面对红色纪念性景观表达载体单一的问题,应根据红色纪念性景观中的红色文化精神,综合利用景观小品、活动设施和植物搭配的多种载体形式来表达纪念意义,表现红色文化元素。如哈尔滨烈士陵园,可以增添一些表达革命精神文化元素的景观小品,材质可以选择厚重的花岗岩,适当增加一些小的规则式水景,以烘托纪念氛围,强化人们对烈士精神的敬仰之情,提高红色纪念性景观对普通公众的吸引力。

### 4.4 “五感”体验感知红色文化

人类的“五感”是接收外界信息的便捷方式,也



是人们与外界事物互动的媒介。体验感是游客在游玩或旅游时更看重的一点,体验的不足会使景点索然无味。红色纪念性景观主要以纪念性红色文化为主,重视五种感官的体验,意在增强红色文化的表现力。可以借鉴并运用“五感”在景观中的优秀实践,提高游客对红色景观的全方位感知,以更好地了解红色景观。红色景区可以从视觉、听觉、触觉等方面与观众进行互动,利用写实雕塑、抽象雕塑或是浮雕文化墙等突出红色文化的视觉效果。听觉方面主要是来自景区的红歌播放、视频播放、语音讲解等,室内场景的声音回放可以在设定的时间还原旧址的声音,增强游客对空间的直观认识与感知。比如侵华日军七三一部队遗址及罪证陈列馆,在视觉和听觉上的体验都很强烈,让游客感受到不同于其他红色景观的直观感觉。对于红色纪念性景观,触觉体验主要以景观小品、植物材料、地面材料质感等为主来体现红色主题,给人留下深刻印象。

#### 4.5 重塑寒地气候红色空间

在“冬季友好”“城市双修”政策的背景下,寒地红色纪念性景观空间营造应更加注重营造和谐环境<sup>[12]</sup>。在树种选择上,要采用适合于寒地气候的当地乡土树种。在寒地红色纪念性景观建设方面,应主要避免产生空旷感,提高游人的获得感。在交通线路的组织上,寒地城市要注意气候特点,营造“温暖空间”,确定分布区域和人行通道,组织内部导向,建设连续、舒适的步行空间;立足于哈尔滨特殊的寒地气候,在整体布局、空间环境、要素布置和风土人情上,重点通过对红色纪念性景观的精细化设计,塑造浓厚红色文化氛围,激发传承红色精神新的生命力。

#### 4.6 数字化建设再深红色传承

创建数字平台,更直观地统计红色纪念性景观的实时状态。打造虚拟环境,实现现在与历史的跨时空对话。完善数字遗产建设,搭建与红色文化景观对接的大数据可视化平台。用数字化手段提升红色文化知名度,延续和传承红色文化,更深层次地传承城市的红色精神。同时,在红色文化遗产保护中,要准确地还原历史真实性、完整性,不夸大、不遗漏,准确把握红色文化的历史发展脉络,保持景观表现的真实性和完整性。

## 5 结 语

新时代,如何让更多人传承红色基因,传承精神

血脉,坚守初心使命,开启新时代,踏上新征程,是一个重要课题。红色纪念性景观所代表的战争历史和战争人物取材于真实的历史故事,通过雕塑、纪念广场和纪念馆等方式述说着革命故事,故事的根源被记载在历史的长河中,再次印证了其载体的真实性。表达红色文化和红色精神,既要结合鲜明的标志性建筑与自身地域文化特色,又要采用现代与传统相结合的设计表达方式,既要从景观空间布局和周边的建筑环境设计,也要在各种建筑材料、元素造型和色彩搭配中,运用独特的建筑语言和景观表现手法,将红色文化的精髓融入景观设计中,营造浓厚的红色纪念性环境氛围。笔者在深入调研哈尔滨红色纪念性景观基础上,从6个方面提出红色纪念性景观优化措施,以期为哈尔滨落实“城市双修”战略、打造城市特色名片、传承中国人的红色精神提供保障。

#### 参考文献:

- [1] 张隽. 哈尔滨纪念性建筑外环境研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2011.
- [2] 杨兴山. 基于红色文化视角的红色旅游价值研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2014.
- [3] 付强. 红色文化在南昌现代园林景观中的应用研究[D]. 南昌:江西农业大学,2019.
- [4] 杨昌鸣,赵真,成帅. 基于文化景观感知的分散型红色文化景观保护规划——以江西原中共闽浙赣省委机关旧址为例[J]. 中国园林,2011,27(4):21-25.
- [5] 刘滨谊,李开然. 纪念性景观的基本图式母题[J]. 中国园林,2003(5):20-23.
- [6] 孟萌. 中西纪念性景观比较初探[D]. 北京:北京林业大学,2005.
- [7] 石景琨,殷青. 纪念性建筑的场景表达[J]. 低温建筑技术,2007(4):23-25.
- [8] 王莹. 红色文化传承视域下纪念性景观建筑设计的研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版),2018,34(1):35-36.
- [9] 卢喆. 红色文化视角下城市纪念性景观空间的嬗变分析——以泰州市陈毅粟裕雕塑广场为例[J]. 现代园艺,2022,45(12):41-43.
- [10] 宋忆萌. 红色纪念性景观空间设计中的叙事性表达——以南京雨花台烈士陵园为例[J]. 山东艺术学院学报,2021(4):67-70.
- [11] 杨蕾. 红色旅游背景下广州红色文化景观的保护和利用研究[D]. 广州:华南理工大学,2013.
- [12] 冷红,袁青,郭恩章. 基于“冬季友好”的宜居寒地城市设计策略研究[J]. 建筑学报,2007(9):18-22.

责任编辑:刘平书



doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.034

## 城市公园游客满意度的研究进展

王琦<sup>1</sup>, 燕亚飞<sup>1</sup>, 韩一峰<sup>2</sup>

(1. 河南科技大学, 河南 洛阳 471000; 2. 河南农业大学, 河南 郑州 450002)

**摘要:**随着城市人口剧增, 我国的城市公园建设正从“增量发展”向“存量优化”发展。城市公园游客满意度的研究能够量化游憩者的需求和喜好, 能够在满足物质需求的同时达到精神层面的有效递进, 因此进行相关研究十分必要。文章在梳理现有理论、文献的基础上, 分析认为, 城市公园满意度的研究主要集中在研究方法、满意度影响因素以及不同年龄段人群满意度差异 3 个方面; 在“公园服务”与“使用需求”两个层面, 民众对公园的绿地环境以及可达程度有较高需求, 不同年龄段的使用者对不同的游憩项目感兴趣。

**关键词:**城市公园; 游客满意度; 年龄段; 公园服务; 使用需求

中图分类号: G246; S731.2; F316.23 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)02-0219-06

引文格式: 王琦, 燕亚飞, 韩一峰. 城市公园游客满意度的研究进展[J]. 林业调查规划, 2024, 49(2): 219-224.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.034

WANG Qi, YAN Yafei, HAN Yifeng. Research Progress on Satisfaction of Urban Parks[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 219-224. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.034

## Research Progress on Satisfaction of Urban Parks

WANG Qi<sup>1</sup>, YAN Yafei<sup>1</sup>, HAN Yifeng<sup>2</sup>

(1. Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China;  
2. Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** With the sharp increase of urban population in China, the construction of urban parks is shifting from “incremental development” to “stock optimization”. The study of satisfaction with urban parks can quantify the needs and preferences of residents, and achieve an effective progression of spiritual level while satisfying material needs. Therefore, research on urban park satisfaction is necessary. Based on the existing theories and literature, this paper analyzed three aspects of urban park satisfaction, including research methods, factors affecting satisfaction, and differences in satisfaction with urban parks among different age groups; the factors influencing satisfaction were analyzed at the levels of “park services” and “demand for use”, and the factors influencing residents’ satisfaction with urban parks included the green environment and accessibility of parks. Different age groups of users were interested in different recreational activities.

**Key words:** urban parks; satisfaction; age groups; park services; demand for use

随着中国经济的快速发展, 我国经济由粗放型增长转向了集约型增长, 在快速扩张的同时, 城市公

园建设也由增量发展到存量优化转变<sup>[1]</sup>, 更加注重居民对城市公园的使用体验。如何改进公园设施配

收稿日期: 2022-09-01.

第一作者: 王琦 (1996-), 女, 河南新乡人, 硕士研究生. 研究方向为风景园林规划与设计. Email: 1276760690@qq.com

责任作者: 燕亚飞 (1977-), 女, 河南孟州人, 博士, 讲师. 研究方向为风景园林学、园林建筑设计. Email: gigi0924@163.com

置,提高游憩质量,优化公园环境,更高效地满足人们的物质和精神需求,是当前城市公园所面临的挑战<sup>[2]</sup>。

城市公园能够给人们带来生态、社交、休憩、娱乐与健身等多方面的功能,同时能够提高居民的生活满足感<sup>[3]</sup>。现有多种量化研究主要集中在城市公园游客满意度的影响因素与满意度的影响指标方面:早在 1978 年,国外学者 PIZAM<sup>[4]</sup> 提出满意度是游客期望值与体验值相比较的结果;同时, BEARD<sup>[5]</sup> 认为,游客满意度是游客对景点综合性评价得出的直观数值,针对旅游地的景观环境、公共设施、娱乐项目和管理服务等方面满足游客活动需求程度的量化体现。国内对于游客满意度研究相对落后。岳怀仁<sup>[6]</sup> 在 1998 年首次研究游客满意度,提出了满意度的物质、精神到社会 3 个递进情感层次。相关研究文献较少,研究内容零散,在时间、空间和物质、精神层面研究不够均衡<sup>[7]</sup>。为切实提高居民对城市公园的使用效益,改善人居环境,提高城市服务质量,城市公园游客满意度的研究具有重大意义。

## 1 满意度测评的研究方法

游客满意度是衡量城市公园设计规划及建设满足民生需求的重要指标。满意度评价可以综合反映城市公园现状和游客需求方向,改进公园管理服务内容和方式。灰色关联分析法、模糊综合评价法以及 IPA 分析法是当前进行满意度测评的常用方法<sup>[8]</sup>。

### 1.1 灰色关联分析法

灰色关联分析法是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度,从而找出各因子之间的影响关系及影响行为的主要因子,是衡量因素间关联程度的一种重要方法<sup>[9]</sup>。作为一种对系统动态发展态势进行量化分析的方法,在游客满意度测评中得以广泛应用:杜小培<sup>[10]</sup>、王明康<sup>[11]</sup> 运用灰色关联分析法对影响公园游客满意度各项因子进行了分析,明确了游客满意度现状及其后续发展的优势与不足,提出改善市场竞争力的举措建议;钱亚林等<sup>[12]</sup> 研究低碳旅游景区,通过灰色关联分析法确定了自然类风景区有明显的天然优势,人文类风景区发展低碳需要相应的技术加强。虽然使用灰色关联分析法进行计算能得出有效结论,但缺乏对研究机制的内在关联性和方式的合理性判断。

### 1.2 模糊评价法

游客满意度在广义上是游憩者主观意愿所表达的认知情感,是模糊化的概念。处理公园服务质量、

绿化环境、设施质量等模糊化概念最好的工具是模糊数学<sup>[13]</sup>,引入隶属度理论把定性评价转化为定量评价<sup>[14]</sup>。陈巧林<sup>[15]</sup> 采用模糊评价法对怀化通道景区内六要素进行计算,得出直观的量化游客满意度评价指标。张鑫等<sup>[16]</sup> 采用层次—模糊评价法对天竺山景区游客满意度构建六大准则层,认为景区风光和基础设施最符合游客期待值。相关研究表明,模糊评价法对于处理复杂问题具有优势,能够直观地得出结论,但要注意研究过程中专家的主观因素可以引起结果的不确定性。

### 1.3 IPA 分析法

所谓 IPA 分析法 (importance—performance analysis),即重要性—表现分析法,是将游客满意度看成是产品期待值和产品表现值的对比函数,并通过重要性—表现性的比较得出游客满意程度<sup>[17]</sup>。公园生态环境、公共管理、公共服务是影响游客实际体验满意度的三大主导因素,其中生态环境因素是影响游客满意度的最关键因素<sup>[18]</sup>。相关研究还表明,空气质量、景观绿化、园区铺装、公共安全<sup>[19]</sup>、服务设施<sup>[20]</sup> 等都是影响游客满意度的重要因素,其中对老年人影响最大的是空气质量。利用 IPA 分析法可以充分了解城市公园各环境要素对市民感知重要性及满意度的影响状况,各环境要素在 4 象限的位置分布可以为城市公园更新改造提供方向,有利于提升市民休闲游憩体验<sup>[21]</sup>。

由于游客满意度评价是模糊而复杂的研究,单一测评方法的结论不足以产生令人信服结论。测评方法的选择方面,定性和定量相结合是满意度研究发展的必然趋势。在未来,空间信息技术也是研究满意度的必要选择。游客满意度由于其多样性和复杂性,目前尚未形成统一的测评体系。

## 2 城市公园游客满意度影响因素研究

城市公园满意度是民众对城市公园满意程度的定量表述,如 LLOYD 等<sup>[22]</sup> 研究表明,对公园满意度影响较大的一项是绿地植被,公园空间绿视率为 30%~60% 时更为大众偏好。从国内外众多学者对城市公园满意度研究发现,居民对城市公园的评价角度是多元多维的。调查研究分为总体满意度和分项满意度,现有对城市公园满意度的研究主要表现在两个方面:(1) 基于“使用需求”层面,多面向使用者的心理发展和行为喜好,一般采用问卷调查、访谈以及实地观察记录等社会调查方法获取使用者主观评价因素数据,分析不同人群、不同文化程度以及收入的

游客对城市公园需求特征;(2)基于“公园服务”层面,面向公园的物质空间、服务半径以及可达性,对城市规划、交通路网、城市人口分布、区域位置等方面客观因素进行分析,研究城市公园的服务水平(表 1)。

表 1 两种研究视角下影响城市公园游客满意度的主要因素及结论

Tab. 1 Main factors and conclusions influencing the satisfaction with urban parks from two research perspectives

研究视角	主要影响因素	主要观点和结论
使用需求 (物质需求、精神需求、社会需求)	旅游景观、基础设施、旅游环境和社会服务	人们到城市公园游憩的主要目的是满足情感效用感知,包括幸福感、放松感和充实感等 <sup>[69]</sup> 。外部景观效果、植物绿化、基础设施维护、活动类型丰富度、安全性、总体噪音水平均会对公众满意度产生较大影响,对居民身心健康产生恢复效应
	水面视域、公园环境、噪声水平、广场人均密度、标识牌、园路平整程度 <sup>[62]</sup>	
	游憩环境、活动场地与设施水平 <sup>[63]</sup>	
	景观效果、生态环境、活动场地与设施 <sup>[64]</sup>	
	环境卫生、设施维护、外部环境 <sup>[65]</sup>	
	使用者的健康状况、景观体验需求、游憩行为 <sup>[66-67]</sup>	
公园服务	情感效用、景观环境、可达程度、设施服务、安全保障 <sup>[68]</sup>	可达性和公平性系列指标表征和测度城市公园空间布局的合理程度。基于 GIS 的城市公园绿地服务范围分析及布局优化研究,能够指导如何新增公园绿地,优化公园绿地的空间布局,从而增加居民的满意度,提高城市生活品质
	自然景观、交通路线、可达程度和职业收入 <sup>[70]</sup>	
	服务半径、人均占有量 <sup>[71]</sup>	
	公园空间分布的可达性和公平性 <sup>[72]</sup>	
	人口空间分布、道路网络、服务半径 <sup>[73]</sup>	

国内 2003 年之前,从社会经济、企业竞争方面研究与公园满意度的关系。研究发现,游憩者满意度是游客的需求得到相应的满足后得到的愉悦,游客满意度可以增加城市旅游行业效益,增强竞争力<sup>[23-24]</sup>。

从 2004 年开始,我国有关公园满意度的研究趋于公园分项的研究,多从景观环境、公共设施、游憩项目、活动场地、服务质量、便利程度这 6 个主要影响因子出发<sup>[25-27]</sup>。KIRA<sup>[28]</sup>针对广州公园的研究发

现,不同年龄段使用人群对公园活动的使用需求不同,因此对游憩活动的满意度差异较大,同时发现游客对公园的总体满意度受这 6 个因子的影响较大。除了上述 6 个因子外,公共厕所、安全性、风格传承、儿童游戏设施、建筑与小品等影响因素也至关重要<sup>[29-31]</sup>。在归纳总结现有研究成果的基础上,建立了一个公共满意度四级评价标准<sup>[32]</sup>,使公园景观满意度研究有了进一步成果。

在 2015 年之后,有关城市公园游客满意度的研究有了更多元的因素。国内学者对服务半径、公园绿地布局、公园景观空间研究发现,城市公园空间环境的主要两个方面是公园的物质空间和行为空间。

### 3 不同年龄段人群满意度

城市公园使用人群广泛,随民众生活质量提高,需求量增大,体验感要求升高。调查发现,不同层次人群对公园环境舒适度要求不同,比如青年人群希望公园增加一些私密设施,中年人群更喜欢一些运动设施,偏向于广场开阔区域,而儿童心性活泼,活力旺盛,更偏向于绿地空间。不同使用人群需求结构不同,因此,分析影响不同年龄段居民对城市公园使用满意度的主要因素,从而促进现有城市公园为居民提供更高质量的精准服务,是提升公园服务质量、构建高效绿地空间的重要手段<sup>[33]</sup>。

#### 3.1 儿童

“儿童友好城市”概念是在 1996 年联合国第二届人居大会上提出,旨在营造儿童健康成长的社会环境和物质环境<sup>[34]</sup>。相关研究指出,城市公园等生态环境对儿童身心健康发展具有积极作用,加强儿童户外运动活力能够减轻儿童学习心理负担<sup>[35]</sup>。目前,从儿童角度出发的公园满意度研究相对较少。既往评价研究发现,公园的可达性、游憩性、整体环境和基础设施等方面<sup>[36-38]</sup>会影响儿童对城市公园的满意度。另外,奇特有趣的园林景观小品、亲水设施以及色相植物也能极大地满足儿童对城市公园的期待值。LOUKAITOU-SIDERIS 等<sup>[39]</sup>发现,吸引青少年和儿童去公园最重要因素,是有趣的娱乐设施和集体运动项目、良好的景观环境、积极的设施维护 and 环境卫生整洁。此后,VEITCH 等<sup>[40]</sup>研究发现,吸引儿童的大多是大型滑梯、溜冰场、涂鸦墙、秋千等带有运动属性的娱乐活动。

除此之外,随着越来越多的儿童公园投入建设,儿童公园设计研究也逐渐丰富。当前我国儿童公园在设计层面仍不完善,完整的研究体系尚未形成,大



部分研究停留于造景效果、无动力游乐设施或主题空间等方面的设计<sup>[41]</sup>。管理疏忽是城市公园包括儿童主题公园中存在的最大威胁,儿童公园存在的诸多安全隐患是家长与儿童最为关注的<sup>[42]</sup>。

### 3.2 青年

公园的私密性带来的安全感和舒适感是青年人群的强烈需求。青年人的活动范围广泛,对活动空间没有特定的要求,能够有效利用现有的空间条件。近年来,学者对青年行为需求的研究结论大同小异。青年对城市公园的行为需求主要体现在 8 个层面:自我认知、交往沟通、空间距离、组织活动、景观环境、自我实现、社会保障和政策支持等<sup>[43-45]</sup>。相关研究通过对青年人群的心理和行为特征分析,从活动空间的感知性、差异性、可达性和参与性等方面研究青年人活动空间的发展机制,并提出活动空间的组织应保持整体性模式、适宜的规模,以及各级单位的有效支持<sup>[46]</sup>。有研究通过探索青少年身心发展规律、学习认知、性格特征与城市公园景观设计的关系,倡导为支持促进青年积极的行为设立“青年社区”,建立符合青年行为特征的活动空间,并提出相关环境景观设计原则<sup>[47]</sup>。调查访问 12~19 岁的青少年发现,这类群体自我表现欲强、喜欢参加集体活动、注重隐私和个人空间,并且大多数会有破坏性冲动,对城市公园的理解和使用具有模糊性、边界不清晰、时间固化性、形式多样性等特点<sup>[48]</sup>。

### 3.3 中年

中年人是社会各个层面的中流砥柱,往往面临多重压力,职业压力和生活压力是中年人劳累的主要原因,同时健康、婚姻状况、子女关系以及社会关系都影响中年人的生活满意度<sup>[49]</sup>。近年来,各地城市、社区服务管理部门都在采取相应措施增加人们的幸福感,通过增加城市公园的规模、提升服务设施质量以及空间的规划以有效改善中年人焦虑情绪。以中年人群为主的各种广场舞,以及假日休闲娱乐、大型活动等遍布于城市公园广场,在社会交际活动中人们通过交流得到愉悦<sup>[50]</sup>。有关对纽约展望公园的研究发现,体育锻炼是中年人使用公园的重要动机<sup>[51]</sup>。

### 3.4 老年

老年人身体各项机能逐年下降,老年人身心健康早已成为全球面临的公共卫生和社会问题<sup>[52]</sup>。“适老化”在 2003 年以后被逐渐关注,但研究偏于单一。从 2015 年至今,适老化的研究走向多元,内容丰富,主要包括公共设施、绿地景观<sup>[53]</sup>、住宅环

境、休憩空间等<sup>[54]</sup>。为满足老年人活动需要,城市绿地建设应多元化来满足“适老化”。

老年人出行频率低,外出多以步行或自行车代步等非机动方式,日常活动最高频要属散步。根据老年人的散步行为特征,城市公园为满足老年人需求应增加自然要素和特色自然景观空间。环形园路和距离标识等规划得当可以增加老年人步行行为<sup>[55]</sup>。结合 GIS 软件和高斯两步移动搜索法,从公园可达性以及公园布局等方面对公园满意度进行评价,发现老年人活动范围以就近为主,一般集中在离居住地 0.5~1.0 km 或 10~15 min 步程的范围<sup>[56-57]</sup>。有研究者从老年人心理需求出发,分析老年人的交往行为特征以及对公园空间使用特征,认为空间的舒适度、安全感和场域感是影响老年人活动的主要因素<sup>[58-59]</sup>。除了上述从老年人身心健康角度的研究外,还有人从设计者本身角度出发,分析城市公园内老年人服务设施的优劣,并提出相应的优化设计策略和建议<sup>[60]</sup>;以及基于行为时态观察法,对城市公园内老年人四季行为进行追踪调查,总结出四季不同气候影响下老年人行为活动特征,并针对北方城市公园提出相应优化策略<sup>[61]</sup>。

## 4 结 语

城市公园不仅可满足人们社会休闲娱乐活动需要,也是现代城市精神文明的重要载体。同时,城市公园是城市景观、城市生态系统的重要组成部分,具有文明、经济、生态等多重功能。新时代下为了促进城市公园的健康发展,有必要重新考量和界定城市公园的主要功能和设计特征。城市公园满意度的调查研究是相对较为复杂的需要跨学科、全方位的研究,其中包含旅游学、管理学、社会学、环境心理学等学科内容,本次研究对以上方面涉及较少,所探讨问题与所得结论还不全面,需要进一步进行探究加以完善,以最大化地利用公共资源,实现城市公园的社会价值,提高居民的休闲生活质量,提升整个城市的形象。

## 参考文献:

- [1] 代琦. 存量优化背景下的上海城市公园设施设置导向研究[J]. 中国园林, 2016, 32(12): 103-106.
- [2] 刘颂, 杨莹, 贾虎, 等. 基于多源数据的上海城市公园使用满意度关键影响因素[J]. 中国城市林业, 2020, 18(2): 55-60.
- [3] LOUKAITOU-SIDERIS A, SIDERIS A. What brings chil-

- dren to the park? analysis and measurement of the variables affecting children's use of parks[J]. Journal of the American Planning Association, 2009, 76(1): 89-107.
- [4] PIZAM A. Tourism's impacts: the social costs to the destination community's perceived by its residents[J]. Journal of Travel Research, 1978, 16(4): 8-12.
- [5] BEARD J G, RAGHEB M G. Measuring leisure satisfaction[J]. Journal of Leisure Research, 1979, 12: 20-33.
- [6] 岳怀仁. 风景旅游区经营与管理[M]. 昆明: 云南大学出版社, 1998: 122.
- [7] 王敏, 王茜. 基于 Q 方法的的城市公园生态服务使用者感知研究: 以上海黄兴公园为例[J]. 中国园林, 2016, 32(12): 97-102.
- [8] 程乾, 苏飞. 游客满意度测评研究进展[J]. 浙江工商大学学报, 2012(6): 48-55.
- [9] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.
- [10] 杜小培. 青海坎布拉国家地质公园国内游客满意度测评研究[D]. 西宁: 青海师范大学, 2016.
- [11] 王明康. 济南市泉水景区游客满意度测评研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2014.
- [12] 钱亚林, 李东和, 刘燕桃, 等. 低碳旅游景区的游客满意度研究——基于灰色关联分析[J]. 资源开发与市场, 2013, 29(11): 1189-1191, 1181.
- [13] CLAES FORNELL. A national customer satisfaction barometer: The Swedish experience[J]. Journal of Marketing, 1992, 56(1): 6-21.
- [14] 南剑飞. 旅游景区游客满意度模糊综合评判方法刍议[J]. 社会科学家, 2008(2): 92-94.
- [15] 陈巧林. 旅游目的地游客满意度研究——以湖南怀化市通道侗族自治县为例[J]. 云南地理环境研究, 2009, 21(3): 97-101.
- [16] 张鑫, 杨艳艳, 杜丽燕, 等. 天柱山景区游客满意度模糊综合评价研究[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(8): 2132-2136.
- [17] MARTILLA J A, JAMES J C. Importance performance analysis[J]. Journal of Marketing, 1977, 41(1): 77-79.
- [18] 董楠, 张春晖. 全域旅游背景下免费森林公园游客满意度研究——以陕西王顺山国家森林公园为例[J]. 旅游学刊, 2019, 34(6): 109-123.
- [19] 李潇, 廖忠英, 周璐, 等. 城市滨江公园夜间活动空间的游客行为特征及满意度研究——以福州市闽江公园南园为例[J]. 福建农林大学学报(哲学社会科学版), 2018, 21(4): 89-94.
- [20] 陈晨, 熊驰雁, 肖雨璇, 等. 基于 IPA 方法的南昌市城市公园老年人休闲满意度评价研究[J]. 江西科学, 2021, 39(4): 762-768.
- [21] 彭英, 王敏. 基于 IPA 分析法的老城区综合公园使用者主观评价研究——以宁国市宁阳公园为例[J]. 中国城市林业, 2016, 14(6): 39-42.
- [22] LLOYD K, BURDEN J, KIEWA J. Young girls and urban parks: Planning for transition through adolescence[J]. Journal of Park & Recreation Administration, 2008, 26(3): 21-38.
- [23] 陈淑君, 赵毅. 对旅游服务满意度的思考[J]. 西南师范大学学报: 人文社会科学版, 2003, 29(1): 115-119.
- [24] 李智虎. 谈旅游景区游客服务满意度的提升[J]. 企业活力, 2003(4): 39-41.
- [25] 万绪才, 丁敏, 宋平. 南京市国内游客满意度评估及其区域差异性研究[J]. 经济师, 2004(1): 246-247.
- [26] 黄观志, 杨风影. 旅游景区游客满意度测评体系研究[J]. 旅游学刊, 2005, 20(1): 27-30.
- [27] 肖星, 杜坤. 城市公园游憩者满意度研究: 以广州为例[J]. 人文地理, 2011, 26(1): 129-133.
- [28] KIRA K. 'The only place to go and be in the city': Women talk about exercise, being outdoors, and the meanings of a large urban park[J]. Health and Place, 2006, 12(4): 631-643.
- [29] 古旭, 郭雪艳, 杨晓东, 等. 上海市免费公园职能提升与多元化服务管理途径[J]. 生态科学, 2014, 33(3): 580-585.
- [30] 姚雪松, 冷红. 基于结构方程模型的公园游憩空间满意度研究: 以长春市为例[J]. 建筑学报, 2017(S1): 32-37.
- [31] 赵杨, 李雄, 赵思融. 基于互联网数据的公园使用者满意度多指标综合评价集成: 以上海襄阳公园为例[J]. 中国城市林业, 2019, 17(2): 60-65.
- [32] 辛琛, 李文英. 渭河公园的公众满意度分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(3): 1574-1576.
- [33] 马玉荃. 面向居民的公共绿地服务水平评价方法: 对 1982 年和 2015 年上海市内环内情况的比较[J]. 上海城市规划, 2017(3): 121-128.
- [34] 沈瑶, 刘赛, 云华杰, 等. “育儿友好”视角下城市竞争力提升启示: 以日本流山市为例[J]. 城市发展研究, 2020, 27(4): 72-81.
- [35] 曲琛, 韩西丽. 城市邻里环境在儿童户外体力活动方面的可供性研究——以北京市燕东社区为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2015, 51(3): 531-538.
- [36] 邢权兴, 孙虎, 管滨, 等. 基于模糊综合评价法的西安市免费公园游客满意度评价[J]. 资源科学, 2014, 36(8): 1645-1651.
- [37] 韩凝玉, 张哲. 城市公共园林环境空间的初步研究: 以西安为例[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2015, 45(5): 831-836.
- [38] 邓晔也, 王春连. 城市湿地公园使用者评价的影响因素及其行为偏好: 以宜昌运河公园为例[J]. 生态学

- 报,2019,39(16):5988-6000.
- [39] LOUKAITOU-SIDERIS A, SIDERIS A. What brings children to the park? Analysis and measurement of the variables affecting children's use of parks [J]. Journal of the American Planning Association, 2010, 76(1): 89-107.
- [40] VEITCH J, SALMON J, DEFORCHE B, et al. Park attributes that encourage park visitation among adolescents: A conjoint analysis [J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 161: 52-58.
- [41] 胡仲月. 基于儿童身心健康需求的儿童公园设计方法初探[D]. 雅安:四川农业大学, 2014.
- [42] 蒯亚运. 基于行为心理学的儿童公园设计研究[D]. 南昌:江西农业大学, 2014.
- [43] 黄雪梅. 重庆市青少年户外运动需求现状与特征分析[D]. 重庆:重庆体育学院, 2012.
- [44] 曾钰琪, 王顺美. 都市青少年自然经验发展特质之多个案研究[J]. 环境教育研究, 2013, 10(1): 65-98.
- [45] 林岳新, 杨小松. 青少年需求现状的调查与研究[J]. 广东青年职业学院学报, 2014, 28: 31-37.
- [46] 黎帮华. 青少年校外活动场所空间组织研究[D]. 重庆:西南大学, 2006.
- [47] 林梓. 基于青少年心理行为的环境景观设计研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2006.
- [48] 张旻. 现代城市公园中青少年活动场所规划设计研究[D]. 桂林:桂林工学院, 2008.
- [49] 张伟, 刘俊腾. 中年人生活满意度及其影响因素分析[J]. 西安石油大学学报(社会科学版), 2019, 28(4): 55-59, 84.
- [50] 丁鼎, 席鸿, 薛小杰. 环境行为学导向下城市景观园林调查研究——以西安环城西苑为例[J]. 林业调查规划, 2017, 42(4): 130-135, 162.
- [51] 郑凌予, 蒲海霞, 江泽平. 基于绿视率的城市公园空间满意度调查研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(4): 199-204.
- [52] 李先凤. 老年人心理护理[J]. 饮食保健, 2015(8): 141-142.
- [53] 包宗华. 美国住房的“适老”改造[J]. 中国住宅设施, 2003(4): 45, 43.
- [54] 白雪锋, 郑婕, 周成玲, 等. 基于 Citespace 知识图谱的中国适老化研究历程与趋势分析[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(20): 4561-4566.
- [55] 翟宇佳. 促进老年人散步行为的城市公园设计特征研究基于内容分析法初探[J]. 风景园林, 2016(7): 121-128.
- [56] QNINN A. Healthy aging in cities [J]. Journal of Urban Health, 2008, 85(2): 151-153.
- [57] 姚雪松, 冷红, 魏冶, 等. 基于老年人活动需求的城市公园供给评价——以长春市主城区为例[J]. 经济地理, 2015, 35(11): 218-224.
- [58] 董贺轩, 潘欢欢. 城市社区大型公共空间老龄健康活动及其空间使用研究——基于武汉“吹笛”公园的实证探索[J]. 中国园林, 2017, 33(2): 27-33.
- [59] 谭少华, 何琪潇, 陈璐瑶, 等. 城市公园环境对老年人日常交往活动的影响研究[J]. 中国园林, 2020, 36(4): 44-48.
- [60] 王山杉. 北京市城市公园老年人服务设施设计研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2014.
- [61] 曲艺, 张然, 刘畅, 等. 北方城市开放性公园空间适老化设计策略研究——基于沈阳百鸟公园老年人四季行为时态调查[J]. 建筑学报, 2018(2): 106-111.
- [62] 翟宇佳, 吴承照. 城市公园总体满意度主要影响因素识别——基于不同年龄组使用者的分析[J]. 风景园林, 2021, 28(5): 57-62.
- [63] 刘颂, 杨莹, 贾虎, 等. 基于多源数据的上海城市公园使用满意度关键影响因素[J]. 中国城市林业, 2020, 18(2): 51-56.
- [64] 刘瑞雪, 孙毅翀. 基于网络点评数据的城市公园公众满意度及其影响因素研究[J]. 地域研究与开发, 2021, 40(4): 63-68.
- [65] 荣伟, 王淑贤, 李莉. 城市公园公共服务市民满意度及影响因素分析——以乌鲁木齐市为例[J]. 中国园林, 2017, 33(5): 101-105.
- [66] 陈箴, 孟钰. 面向公众健康的城市公园景观体验及游憩行为研究[J]. 风景园林, 2020, 27(9): 50-56.
- [67] 彭慧蕴, 谭少华. 城市公园绿地健康影响机制的概念框架构建[C]//2018 中国城市规划年会论文集. 2018: 1-11.
- [68] 王雅云. 城市公园居民游憩满意度及其影响因素分析[J]. 安徽建筑大学学报, 2021, 29(3): 120-126.
- [69] 张省, 周燕, 杨倩. 城市综合公园居民游憩满意度影响因素分析——以深圳市综合公园为例[J]. 风景园林, 2021, 28(3): 82-87.
- [70] 耿献辉, 王晓晴, 孙乔圣. 生态观光旅游: 游客满意度及重游意愿——基于苏州未来农林大世界的调查分析[J]. 生态经济, 2010(6): 119-123.
- [71] 李华. 城市生态游憩空间服务功能评价与优化对策[J]. 城市规划, 2015, 39(8): 63-69.
- [72] 王杰. 城市公园绿地空间布局公平性评价研究[D]. 重庆:重庆大学, 2017.
- [73] 赵兵, 李露露, 曹林. 基于 GIS 的城市公园绿地服务范围分析及布局优化研究——以花桥国际商务城为例[J]. 中国园林, 2015, 31(6): 95-99.

责任编辑: 刘平书



doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.035

## 观光木人工林木材热处理材色变化研究

韦鹏飞<sup>1</sup>, 吴敏<sup>1</sup>, 李鑫<sup>2</sup>, 刘衡<sup>2</sup>, 符韵林<sup>2</sup>

(1. 广西壮族自治区南宁树木园, 广西南宁 530031; 2. 广西大学林学院, 广西南宁 530004)

**摘要:**为探究观光木木材在高温处理下木材材色变化,对 0.4 mm、0.6 mm、1.6 mm 厚观光木薄木及观光木板材进行热处理,用色差计测定处理前后木材的明度指数( $L^*$ )、红绿指数( $a^*$ )、黄蓝指数( $b^*$ ),计算出色饱和度差( $\Delta C^*$ )、色相差( $\Delta H^*$ )和总体色差( $\Delta E^*$ )。结果表明,观光木薄木经干燥处理颜色变化不大,可通过干燥处理烘干观光木薄木的同时保证薄木的颜色特性;观光木板材经高温压缩密实化后材色变化明显,170°C 热处理 45 min 时色饱和度差( $\Delta C^*$ )为 3.02,总体色差( $\Delta E^*$ )为 5.47,总色相差( $\Delta H^*$ )为 7.71,经济价值最高。

**关键词:**观光木;木材热处理;材色;高温压缩密实化;色饱和度差;总体色差;总色相差

中图分类号:[S784] 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0225-06

引文格式:韦鹏飞,吴敏,李鑫,等. 观光木人工林木材热处理材色变化研究[J]. 林业调查规划,2024,49(2):225-230.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.035

WEI Pengfei, WU Min, LI Xin, et al. Color Change of Heat-treated Wood in *Tsoonpiodendron odorum* Wood Plantation [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 225-230. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.02.035

## Color Change of Heat-treated Wood in *Tsoonpiodendron odorum* Wood Plantation

WEI Pengfei<sup>1</sup>, WU Min<sup>1</sup>, LI Xin<sup>2</sup>, LIU Heng<sup>2</sup>, FU Yunlin<sup>2</sup>

(1. Nanning Arboretum of Guangxi, Nanning 530031, China; 2. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** In order to explore the color change of *Tsoonpiodendron odorum* wood under high temperature treatment, this study carried out heat treatment on 0.4 mm, 0.6 mm, 1.6 mm thick *Tsoonpiodendron odorum* wood veneer and wood plate, used the colorimeter to measure the lightness index ( $L^*$ ), red-green index ( $a^*$ ), yellow-blue index ( $b^*$ ) of the wood before and after treatment, and calculate the color saturation difference ( $\Delta C^*$ ), hue angle difference ( $\Delta H^*$ ) and total color difference ( $\Delta E^*$ ). The results showed that the color of *Tsoonpiodendron odorum* wood veneer had little change after drying, and the color characteristics of the veneer could be guaranteed by drying; after high-temperature compression and densification, the color of *Tsoonpiodendron odorum* wood plate changed significantly, the color saturation difference ( $\Delta C^*$ ) was 3.02, the total color difference ( $\Delta E^*$ ) was 5.47, the hue angle difference ( $\Delta H^*$ ) was 7.71 when heat treated at 170°C for 45 minutes, and the highest economic value was the highest.

**Key words:** *Tsoonpiodendron odorum*; heat-treated wood; wood color; high-temperature compression and densification; color saturation difference; total color difference; hue angle difference

收稿日期:2022-09-28.

基金项目:南宁树木园优质用材树种科研项目(BB33600114);广西林业科技推广项目(gl2019kt02).

第一作者:韦鹏飞(1987-),男,广西柳州人,工程师.研究方向为营造林管理.

责任作者:符韵林(1977-),男,广西博白人,教授.研究方向为木材科学.

观光木 (*Tsoonioidendron odorum*) 又名香花木、香花楠, 为木兰科 (*Magnoliceae*) 观光木属 (*Tsoonioidendron*) 常绿大乔木, 主要分布在我国福建、海南、广东、广西、江西南部、云南东南部等地<sup>[1-2]</sup>。观光木树形优美, 树干通直, 是城市绿化和园林观赏的理想树种<sup>[3]</sup>; 且其木材纹理美观, 结构细密, 加工性能好, 可应用于高档家具、乐器等<sup>[4]</sup>; 此外, 观光木的树皮、枝条等部位的某种化学成分具有抗癌疗效<sup>[5]</sup>, 叶和果实含有 3, 5, 6, 7, 8, 3', 4'-七甲氧基黄酮、三叶豆苷等黄酮类化合物, 并具有一定的抗氧化能力<sup>[6-7]</sup>。2010 年, 广西壮族自治区林业厅将观光木列为广西区重点发展的珍贵乡土树种<sup>[8]</sup>, 具有良好的发展前景。目前, 关于观光木的研究主要集中于生理生态<sup>[9-11]</sup>、人工繁育<sup>[12-13]</sup>、物理力学性能<sup>[8]</sup>以及化学成分<sup>[6-7, 14]</sup>等方面, 这些研究极大地促进了观光木的保护与开发利用, 但观光木木材热处理材色变化的研究鲜见报道。本文通过对观光木不同厚度薄木及板材热处理后木材材色的变化研究, 探究其变化规律, 以期对观光木木材的高效利用提供理论基础和参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样木采集

观光木试材采集于广西壮族自治区南宁市良凤江国家森林公园试验林区, 选取 6 株生长正常, 发育良好的样木进行采集。

### 1.2 试样处理

通过刨切的方式处理样木, 分别制备厚度为 0.4、0.6 和 1.6 mm 的薄木, 薄木切割完成后统一裁截成长 200 mm、宽 100 mm 的矩形样品。薄木选取光滑的一面, 将长边向内 25 mm、宽边向内 35 mm 的交界处作为测量点, 做好标记。

锯切样木, 制备长 300 mm, 自然宽, 厚度为 20 mm 的木块。将木块长边向内 50 mm、宽边向内 100 mm 的交界处作为测量点。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 薄木热处理

薄木热处理温度设置为 60、80、100、120℃, 热处理时间设置为 0.5、1、1.5、2 h。

#### 1.3.2 实木热处理

实木通过物理加热压缩进行实验, 热处理温度设置为 170、175、180℃, 3 个温度所对应的压缩率分别为 5%、10%、15%, 加热压缩时间分别为 15、30、45 min。

### 1.3.3 颜色测定

采用便携式分光测色仪 (CM-2300d) 对试样所标记的测量点进行颜色数据测量并记录数据 ( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ )。通过记录基本颜色变量  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  (1976 年), 通过标准色度学系统模型对观光木薄木和实木颜色进行表征<sup>[15]</sup>。这个模型的优点在于其比较适合在色差变化较小的实验下进行实验分析, 因该模型对明度指数和色品指数等级划分合理, 有着合适的级差, 因而色差分辨能力较好, 适合观光木材在不同温度下的变色分析<sup>[16]</sup>。数据中,  $L^*$  为明度指数,  $a^*$  为红绿色品指数,  $b^*$  为黄蓝色品指数。

薄木样品在同一面有 4 个固定的测量点, 实木每个面有 4 个测量点, 对两面均进行测量, 每个试件为 8 个测量点。在进行热处理前对所制作样品的固定点进行测量, 然后按照温度和时间设定对试件进行热处理。热处理完成后对同一位置进行测量。利用两次测量记录数据 (均未出现异常数据) 计算每个试件的平均值。计算出热处理前后的明度差 ( $\Delta L^*$ )、红绿指数差 ( $\Delta a^*$ ) 和黄蓝指数差 ( $\Delta b^*$ )。通过表色系统公式, 利用所得的明度差 ( $\Delta L^*$ ) 和色品指数差 ( $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ ) 计算出色饱和度差 ( $\Delta C^*$ )、色相差 ( $\Delta H^*$ ) 和总体色差 ( $\Delta E^*$ )。最后, 将色饱和度差、色相差和总体色差作为木材热处理实验中颜色分析的主要指标, 利用这三者的数值对热处理后的木材进行分析判断<sup>[32]</sup>。

色饱和度差表示热处理前后木材的光泽程度, 即木材是变鲜亮还是暗沉, 正值表示变得鲜亮, 负值表示变得暗沉; 色相差表示热处理前后木材的色相差别, 数值越大则表示处理前后木材的色相差别越大; 总体色差表示热处理前后木材的颜色差别, 数值越大表示颜色变化越大。这些数值的计算公式为:

$$\Delta C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} - [(a_0^*)^2 + (b_0^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

式中:  $\Delta C^*$  为色饱和度差;  $a_0^*$  为热处理前试样的红绿色品指数;  $b_0^*$  为热处理前试样的黄蓝色品指数;  $a^*$  为热处理后试样的红绿色品指数;  $b^*$  为热处理后试样的黄蓝色品指数。

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

式中:  $\Delta E^*$  为热处理前后试样的总体色差;  $\Delta L^*$  为热处理前后试样的明度指数差;  $\Delta a^*$  为热处理前后试样的红绿色品指数差;  $\Delta b^*$  为热处理前后试样的黄蓝色品指数差。

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 + (\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*)^2]^{1/2} \quad (3)$$

式中:  $\Delta H^*$  为色相差;  $\Delta E^*$  为热处理前后试样的总

体色差; $\Delta L^*$  为热处理前后试样的明度指数差; $\Delta C^*$  为色饱和度差。

色差的具体表现见表 1。

表 1 色差值与人视觉感觉关系  
Tab. 1 Relationship between color difference and visual perception

色差 ( $\Delta E^*$ )	人的视觉感觉
$0 < \Delta E^* \leq 0.5$	痕迹
$0.5 < \Delta E^* \leq 1.5$	轻微
$1.5 < \Delta E^* \leq 3.0$	可察觉
$3.0 < \Delta E^* \leq 6.0$	可识别
$6.0 < \Delta E^* \leq 12.0$	大
$-\Delta E^* > 12.0$	非常大

注: $\Delta E^* = 3$  是肉眼可分辨的极限值<sup>[17]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 干燥过程中观光木薄木的表面视觉特性变化

#### 2.1.1 薄木干燥热处理后色饱和度差

不同厚度薄木热处理后色饱和度差变化见图 1 所示。

由图 1 可知,经 60、80、100、120℃ 4 种温度热处理,3 个厚度(0.4、0.6、1.6 mm)薄木色饱和度差变化规律有较大差异。经过 60℃ 热处理后,0.4 mm 和 1.6 mm 厚度薄木与热处理前相比色泽变暗,但前后色泽变化不大。0.6 mm 厚度薄木则是经过 1 h 和 1.5 h 热处理后较之前色泽变暗,而 0.5 h 和 2 h 热处理使 0.6 mm 厚度薄木变得光亮。

经 80℃ 热处理后,0.4 mm 和 0.6 mm 厚度薄木虽然变化情况不同,但变化趋势相似,0.4 mm 和 0.6 mm 厚度薄木数值均在热处理 1 h 时达到高峰,即在 80℃ 热处理下烘干 1 h 能使这两个厚度的薄木的光泽更亮,而更长时间的热处理会使这两个厚度的薄木色饱和度差下降,甚至在 2 h 热处理后色饱和度差变为负值,即色泽比之前变暗;1.6 mm 厚度薄木随热处理时间的增加色饱和和差逐渐增大,在热处理 2 h 后色泽较之前要光亮,在 2 h 之前均较热处理前暗沉。总体来说,80℃ 热处理下该厚度薄木色泽变化并不明显。

经 100℃ 热处理后,0.4 mm 和 0.6 mm 厚度薄木变化趋势较为相似,且变化差别不大。其中 0.4 mm 厚度薄木色度差为正数,较之前变得光亮,而 0.6 mm 厚度薄木基本上色度差为负数,稍微变得暗沉;1.6 mm 厚度薄木基本上为正数,较热处理之前

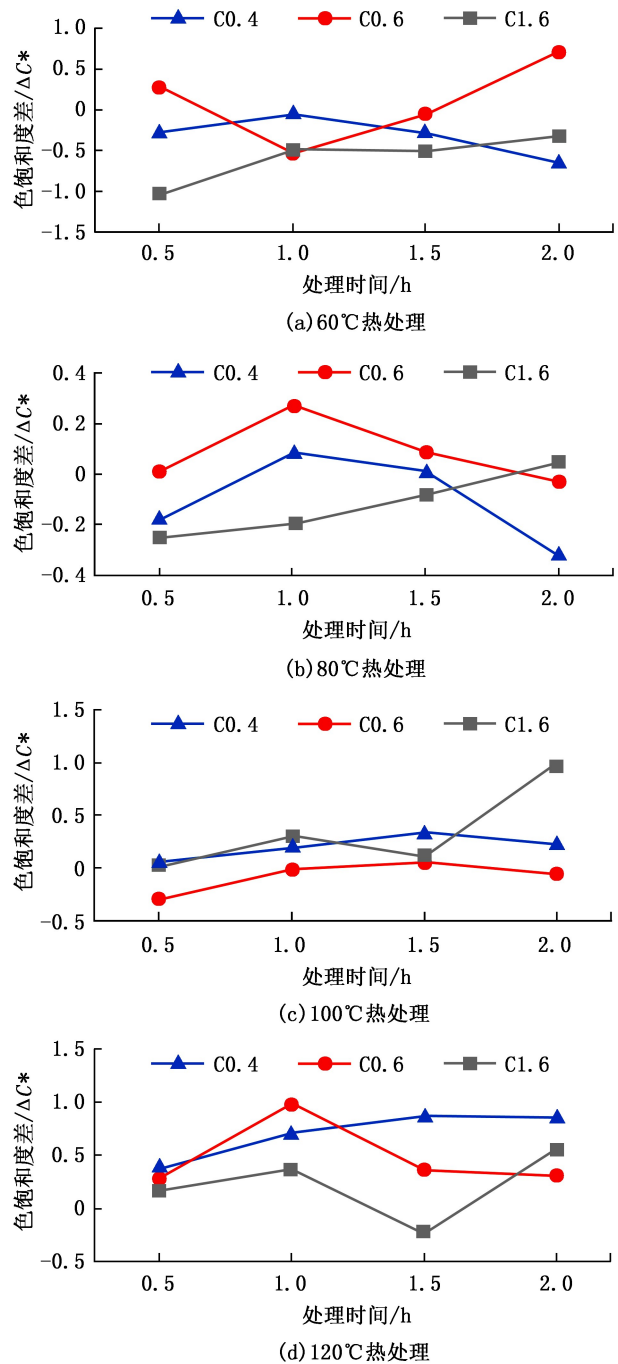


图 1 不同厚度薄木热处理后色饱和度差变化  
Fig. 1 Changes of color saturation difference of wood veneer with different thicknesses after heat treatment

光泽更亮,且在处理 2 h 后色饱和度差  $\Delta C^*$  升高到较高数值,光泽较之前有较大提升。

经 120℃ 热处理后,总体上色饱和度差均为正数,即比处理前光泽度更加光亮。0.4 mm 厚度薄木在经过 1 h 热处理后,色饱和和差变化趋势变得平缓,保持在一个较稳定的数值,后续的热处理也未发生较大变化,在这个温度下热处理 0.4 mm 厚度薄木



能维持较好的光泽且变得更光亮;0.6 mm 和 1.6 mm 厚度薄木在 120℃ 热处理下色饱和差在 1.5 h 前的变化趋势较为相同,均在热处理 1 h 时色饱和度差达到峰值然后下降,不同的是在处理 2 h 时 1.6 mm 厚度薄木的色饱和差再次升高,而 0.6 mm 厚度薄木则保持着与之前相似的色饱和差。

### 2.1.2 薄木干燥热处理后总体色差

不同厚度薄木热处理后总体色差变化见图 2 所示。

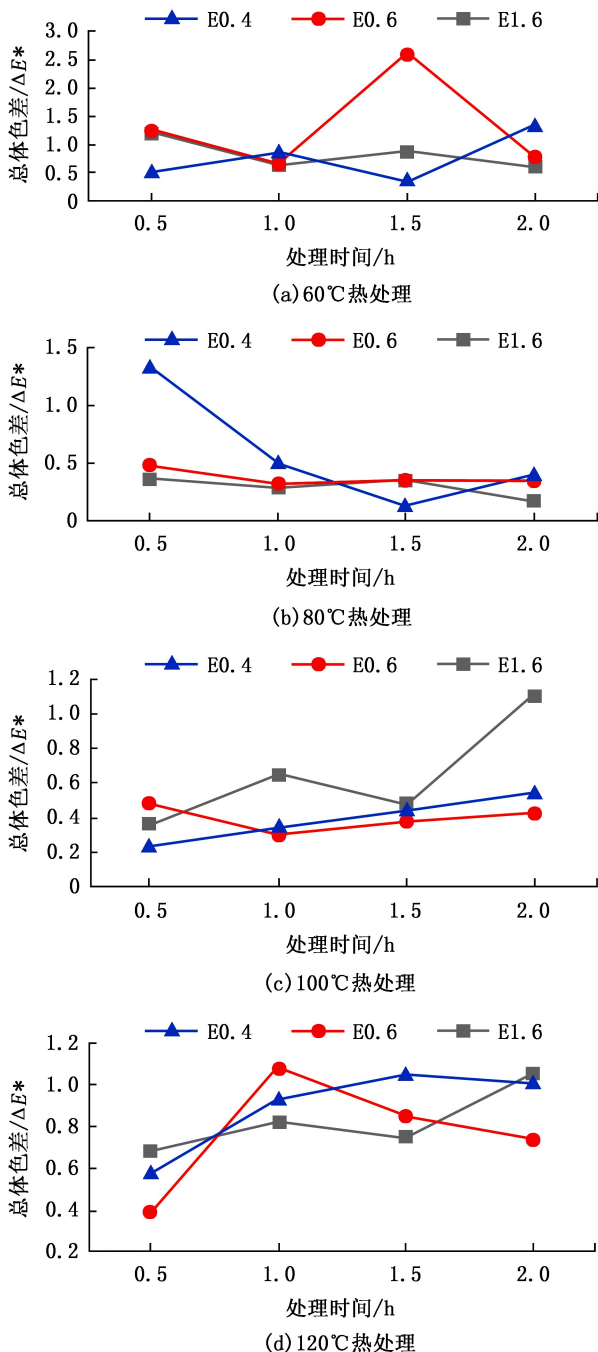


图 2 不同厚度薄木热处理后总体色差变化

Fig. 2 Changes of total color difference of wood veneer with different thicknesses after heat treatment

由图 2 可知,经 60、80、100、120℃ 4 种温度热处理,3 个厚度薄木总体色差变化规律有较大差异,但颜色变化均未达到人肉眼可分辨的极限值。经过 60℃ 热处理后可以发现,0.6 mm 厚度薄木在热处理 1.5 h 后颜色变化最大,达到  $\Delta E^* = 2.62$ ,其他处理的总体色差均在 0.5 ~ 1.5 范围,较处理前无太明显变化。

经 80℃ 热处理后,3 个厚度的薄木的总体色差随热处理的时间增加而减小。0.4 mm 厚度薄木在热处理时间为 0.5 h 时总色差变化最大;0.6 mm 和 1.6 mm 厚度薄木的总体色差变化较小。

经 100℃ 热处理后,薄木总体色差随时间的增加总体呈上升趋势,其中 1.6 mm 厚度薄木处理 2 h 时总体色差最大,达到  $\Delta E^* = 1.13$ 。0.4 mm 和 0.6 mm 厚度薄木的总体色差变化较小。

经 120℃ 热处理后,薄木总体色差随时间的增加总体呈上升趋势。0.4 mm 和 0.6 mm 厚度薄木热处理 1 h 时总体色差大幅上升,随处理时间增加,0.4 mm 厚度薄木总体色差增长趋势放缓,而 0.6 mm 厚度薄木总体色差则开始下降。1.6 mm 厚度薄木经过 2 h 热处理后总体色差达到最大值。

### 2.1.3 薄木干燥热处理后总色相差

不同厚度薄木热处理后总色相差变化见图 3 所示。

由图 3 可知,经 60℃ 热处理后,3 个厚度薄木在处理中色相差值均起伏不定,0.6 mm 厚度薄木在干燥加热处理 1.5 h 时色相差最大,其他处理时间和其他厚度薄木总色相差均未超过 2。

经 80℃ 热处理后,总色相差总体呈下降趋势,即随处理时间的增加,薄木的色相较处理前变化更小,3 个厚度薄木色相变化最大的是热处理 0.5 h 时。

经 100℃ 热处理后,0.4 mm 和 0.6 mm 厚度薄木在处理时间区间 1~2 h 中随处理时间增加总色相差增加,1.6 mm 厚度薄木则呈波动增加。

经 120℃ 热处理后,0.4 mm 和 1.6 mm 厚度薄木总色相差随处理时间的增加大致呈上升趋势,0.6 mm 厚度薄木在热处理 1 h 时为最大总色相差。

## 2.2 高温压缩密实化对观光木表面视觉特性的影响

### 2.2.1 实木高温压缩密实化后色饱和度差

经高温压缩密实化处理后的实木色饱和度差变化见图 4。

由图 4 可知,3 个温度下总共 9 种不同处理均使木块较处理前色泽更亮,但明亮的程度有所不同。木块在 170℃ 高温压缩热处理下色饱和度差呈线性上升趋势,在 15 min 处理时间下色饱和度差为最小

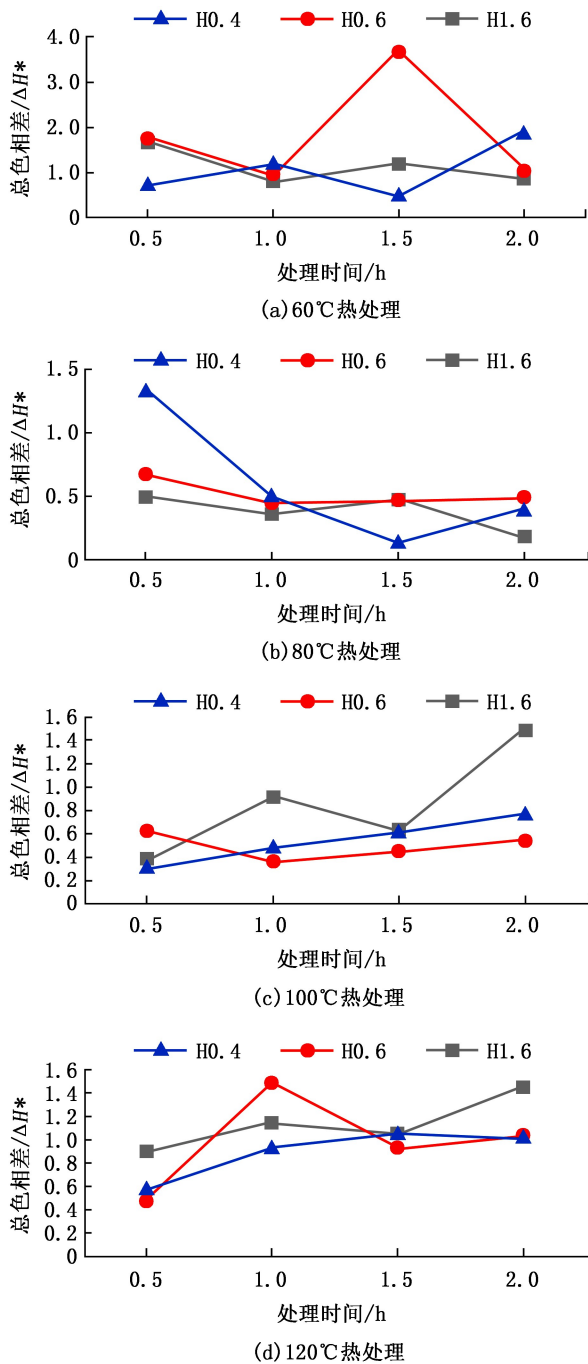


图 3 不同厚度薄木热处理后总色相差变化  
 Fig. 3 Changes of hue angle difference of wood veneer with different thicknesses after heat treatment

值,在高温压缩密实化 45 min 时达到最大值,且若延长处理时间色饱和度差有可能会继续升高;木块在 175°C 高温压缩热处理下 3 个时间段的处理色饱和和差变化不太明显,在处理时间为 30 min 时色饱和和差为最大值,  $\Delta C^* = 1.93$ ;木块在 180°C 高温压缩热处理中,色饱和度差随热处理时间的增加呈下降趋势,在处理时间为 15 min 时色饱和度差最大。

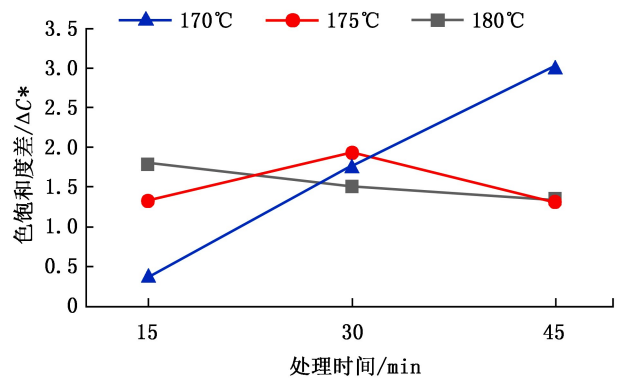


图 4 高温压缩热处理后木块色饱和度差变化  
 Fig. 4 Color saturation difference of wood plate after heat treatment

### 2.2.2 实木高温压缩密实化后总体色差

高温压缩热处理后木块总体色差变化见图 5。

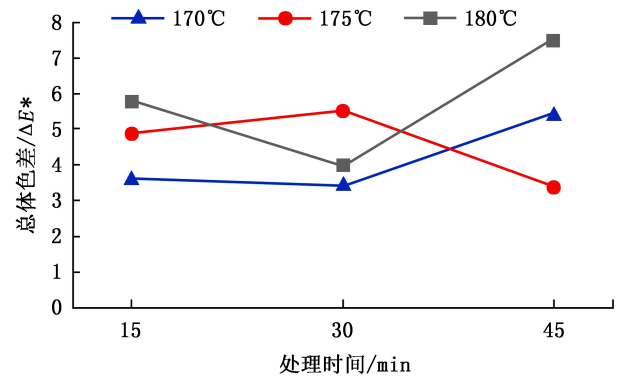


图 5 高温压缩热处理后木块总体色差变化  
 Fig. 5 Total color difference of wood plate after high-temperature compression heat treatment

由图 5 可知,在 3 个不同温度且 3 个不同热处理时间的高温压缩密实化处理后,木块总体色差均在 3 以上。由表 1 可知,木块经高温压缩密实化处理后颜色均发生可以用肉眼察觉的变化。木块在 170°C 热处理中,15 min 和 30 min 的总体色差变化不大,略微变小,而在经过 45 min 高温压缩密实化处理后色差变化较大,发生了比较明显的颜色变化;木块在 175°C 高温压缩密实化处理下,在 30 min 的处理时间时总体色差最大,即颜色变化最明显;木块在 180°C 高温压缩密实化处理下,实木总体色差在热处理 30 min 时为最小值,在热处理 45 min 时为最大值,颜色变化最明显。

### 2.2.3 实木高温压缩密实化后总色相差

实木在 3 个不同温度且 3 个不同热处理时间的

高温压缩密实化处理总体色相差见图 6。

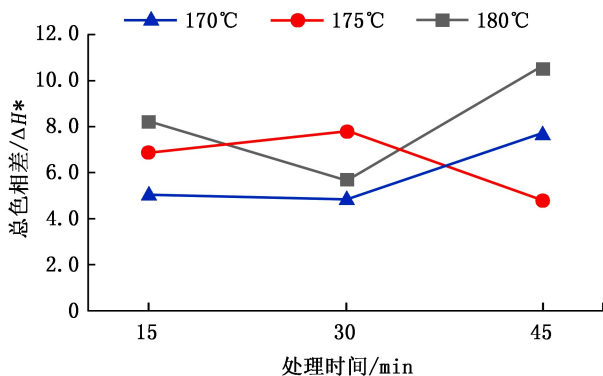


图 6 高温压缩热处理后木块总色相差变化

Fig. 6 Hue angle difference of wood plate after high-temperature compression heat treatment

由图 6 可以看出,木块在 3 个不同温度且 3 个不同热处理时间的高温压缩密实化处理总体色相差均变化较大。总体色相差最小值为 4.75,最大值为 10.68。在 170℃ 高温压缩密实化处理中,热处理 15 min 和 30 min 的实木色相差变化不大,两个处理的实木色相变化相当,热处理 45 min 的实木色相差最大;在 175℃ 高温压缩密实化处理中,热处理 30 min 时总色相差最大,热处理 45 min 时总色相差最小;在 180℃ 高温压缩密实化处理中,首先是热处理 15 min 时色相差为一个较高值,在处理 30 min 时,总色相差变为该处理温度下的最小值,在热处理 45 min 时总色相差提升到该处理的最大值。

### 3 结论与讨论

在 60、80、100、120℃ 的处理中,观光木薄木的色饱和度差( $\Delta C^*$ )、总体色差( $\Delta E^*$ )、总色相差( $\Delta H^*$ )并未发生太明显变化。说明观光木薄木在生材加工时可以在烘干干燥时保持木材本身材色。

在观光木实木的高温压缩密实化处理中,木块的各项颜色数据变化较为明显。实木的色饱和度差均为正值,即在高温压缩密实化处理下实木的色泽较原来更明亮;总色差的数据表明,在高温压缩密实化处理下,实木颜色均发生了人的肉眼能直接观察到的变化,且总色相差值较大,处理前后实木板材的色相变化也较大,说明高温压缩密实化对实木板材的颜色影响较为明显。

在 3 个温度(170、175、180℃)的高温压缩密实化处理中,170℃ 热处理 45 min 时色饱和度差( $\Delta C$

\*)为 3.02,总体色差( $\Delta E^*$ )为 5.47,总色相差( $\Delta H^*$ )为 7.71,处理效果最好。在对实木进行高温压缩密实化后压缩表面会变得光滑,增加其美观度。

### 参考文献:

- [1] 杜铃,周菊珍,蓝田,等. 观光木的采种育苗技术[J]. 广西林业科学,2001(2):101.
- [2] 郭承则. 珍稀濒危树种观光木的引种研究[J]. 湖南林业科技,1996(3):67-68,61.
- [3] 吴建民,田俊华. 春季盆花叶子变黄的原因及补救措施[J]. 林业实用技术,2004(2):1.
- [4] 莫凡,易冠明,戴文君,等. 观光木人工林胸径树高模型及林木分化的研究[J]. 西北林学院学报,2018,33(3):5.
- [5] 宋晓凯. 观光木化学成分及抗癌活性的研究[D]. 沈阳:沈阳药科大学,2001.
- [6] 罗佳,马若克,符韵林,等. 观光木果实黄酮类成分的初步鉴定及抗氧化活性分析[J]. 森林工程,2021,37(6):53-61.
- [7] 罗佳,马若克,符韵林,等. 观光木叶黄酮类物质纯化、化学成分及抗氧化活性研究[J]. 江西农业学报,2021,33(11):131-137.
- [8] 韦鹏练,黄腾华,符韵林. 观光木人工林木材物理力学性质的研究[J]. 西北林学院学报,2014,29(6):5.
- [9] 孙谷畴,赵平,曾小平,等. 不同光强下焕镛木和观光木的光合参数变化[J]. 植物生态学报,2002(3):355-362.
- [10] 谢安德,王凌晖,潘启龙,等. 盐分胁迫对观光木幼苗生长及生理特性的影响[J]. 西北林学院学报,2012,27(2):22-25,92.
- [11] 段左俊,陈飞飞,梁居红,等. 观光木的种子发芽试验研究[J]. 热带林业,2018,46(3):4.
- [12] 唐新瑶,亢亚超,梁喜献,等. 氮磷钾配比施肥对观光木幼苗生理与光合特性的影响[J]. 西北林学院学报,2022(4):37-42.
- [13] 郭承则. 珍稀濒危树种观光木的引种研究[J]. 湖南林业科技,1996(3):67-68,61.
- [14] 罗佳,梁志斌,马若克,等. 观光木叶挥发油化学成分分析[J]. 广西林业科学,2021,50(5):594-599.
- [15] 孔繁旭,邵海龙,王艳伟. 热处理后 3 种实木地暖地板用材颜色的变化[J]. 安徽农业科学,2019,47(18):191-193,203.
- [16] 马伟,强添纲,郭明辉. 高温热处理对落叶松仿珍贵木材颜色变化的影响[J]. 东北林业大学学报,2016,44(12):37-41.
- [17] 张壁光. 木材科学与技术研究进展[M]. 北京:中国环境科学出版社,2004:157.

责任编辑:许易琦



# 《林业调查规划》征稿简则

《林业调查规划》是由云南省林业和草原局主管,云南省林业调查规划院主办的国内外公开发行的林业科技类专业学术期刊,被多家期刊数据库全文收录,为中国科技核心期刊、中国林业核心期刊,荣获首届《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊奖,连续两届荣获“云南省优秀期刊奖”,2022 年荣获“西牛计划”之优秀中文科技期刊奖。本刊报道林草行业相关理论和应用研究成果,设置有森林经理(含资源监测、管理等)、森林培育、生态保护修复、林草碳汇、自然保护区、生态系统(含森林、草原、湿地、景观)、动植物(含古树名木)、森林土壤、林草灾害(含林火、病虫害、外来物种)、林草产业、智慧林草(信息化)、生态旅游与森林康养、园林绿化等栏目。接收并刊发反映现代林草领域发展方向的优秀论文。

## 1 来稿要求

**1.1 文章内容与字数:**要求文稿真实、准确地反映当前林草领域科研新成果,内容具有先进性、科学性、实用性。来稿字数以 5 000~15 000 字为宜(含图表)。如为基金项目,请注明项目名称和编号。

**1.2 文题:**文题要言简意赅,以不超过 20 字为宜。

**1.3 署名:**第一作者应是稿件的执笔人和修改人,作者之间用逗号“,”隔开。

**1.4 单位:**要写全称,并注明所在省(区)、市(县)和邮编。

**1.5 摘要和关键词:**摘要内容应完整准确概括论文的实质性内容,包括研究目的、方法、结果和结论等要素,并具有独立性和自明性,不加注释和评论,字数控制在 300 字以内。关键词应选择紧扣文章主题、反映文章内容的单词、词组或术语 3~8 个,中间用分号“;”隔开。

**1.6 正文:**正文中的各层次标题用阿拉伯数字连续编写,如 1;1.1;1.1.1;2;2.1……,顶格书写,层次划分不超过 3 级。

**1.7 图和表:**应有自明性,切忌与文字表述重复。插图要求用计算机绘制,图序和图题应标在图的下方;表格采用三线表设计,表中参数应标明量和单位符号。

**1.8 量、单位和符号:**请使用法定计量单位,量名称及符号、单位、数字等应符合国家标准,书写要规范,外文字母和符号必须注明大小写、正斜体及上下角标。例如:长度单位:km、m、cm、mm;面积单位:hm<sup>2</sup>、m<sup>2</sup>、dm<sup>2</sup>、cm<sup>2</sup>;体积单位:m<sup>3</sup>、L、mL;质量单位:t、kg、g、mg;时间单位:a、d、h、min、s。

**1.9 数字的写法:**凡是可以使用阿拉伯数字且很得体的地方,均应使用阿拉伯数字;公历世纪、年代、年、月、日均用阿拉伯数字。

**1.10 参考文献:**只列出作者直接阅读过并已公开发表的主要文献,未发表的著作、论文集、内部资料不列入参考文献范围。采用顺序编码制,即按文中出现的顺序连续编号,并用阿拉伯数字加方括号标于文中适当位置的右上角,并与文末参考文献序号对应一致。著录格式如下:①期刊:[序号]作者(3 人以上须满足 3 人后加逗号和“等”)。篇名[J].刊名,年,卷(期):起止页码。②图书:[序号]作者。书名[M].出版地:出版单位,出版年:起止页码。③论文集:[序号]作者。论文集名[C].出版地:出版单位,出版年:起止页码。④电子文献:[序号]主要责任者。电子文献题名[电子文献及载体类型标识]。发表日期/引用日期(任选)。电子文献的出处或可获得地址。参考文献类型代码分别为:普通图书[M]、会议录[C]、汇编[G]、报纸[N]、期刊[J]、学位论文[D]、报告[R]、标准[S]、专利[P]、数据库[DB]、计算机程序[CP]、电子公告[EB]、联机网络[OL]。对于专著、论文集析出的文献,其文献类型标识采用“[C]//”,对于图书中析出的文献采用“[M]//”,对于其他未说明文献类型的标识采用[Z]。每一参考文献条目的最后均以“.”结束。

## 2 投稿与稿件处理

1) 投稿前,请认真阅读本刊征稿简则中的各项说明,投稿邮箱:ynfip@vip.163.com,联系电话:0871-63318347。

2) 本刊实行严格的审稿制度,稿件送相关专家审阅,并由编委会讨论定稿。来稿请勿一稿多投。编辑部收稿后将在 15 个工作日内通知作者审稿结果。

3) 来稿一经刊用,根据论文所占版面情况收取论文发表费,并付给作者稿酬。来稿所在当期期刊出版后,本刊将寄赠作者 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)发表费,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。本刊同时加入了多家期刊数据库,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3月 第49卷 第2期

## Forest Inventory and Planning

（Bimonthly, Started in 1976）

Vol.49 No.2 March 2024

主管单位	云南省林业和草原局	Administrated by	Yunnan Forestry and Grassland Administration
主办单位	云南省林业调查规划院	Sponsored by	Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning
主 编	胡宗华	Editor in Chief	HU Zonghua
编辑出版	《林业调查规划》编辑部	Edited & Published by	Editorial Department of Forest Inventory and Planning
地 址	昆明市人民东路289号	Address	No. 289 East Renmin Road, Kunming, China
邮 编	650051	Post Code	650051
电 话	0871-63318347, 63332538	Telephone	0871- 63318347, 63332538
Email	ynfip@vip.163.com	Email	ynfip@vip.163.com
印 装	昆明锦润印刷有限公司	Printed by	Kunming JINRUN Printing Co.,Ltd.
订 购	全国各地邮政局	Distributed by	All Local Post Offices in China

刊号: ISSN 1671-3168  
CN 53-1172/S

国内定价: 20.00元 (全年 120.00元)

广告经营许可证号: 5300004000093  
邮发代号: 64-100

