中国科技核心期刊
中国林业核心期刊

ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

林业调查规划

FOREST INVENTORY AND PLANNING

第48卷 第5期
Vol.48 No.5

2023 5

云南省林业调查规划院 主办

林业调查规划
第48卷 第5期 Vol.48 No.5
二〇二三年九月

《林业调查规划》编辑委员会

顾　　问　唐守正　孙汉董　刘国强　郭辉军　胥　辉　李凤日　张铁明

主　　编　胡宗华

常务副主编　华朝朗

副 主 编　许易琦　余昌元

编　　委　（按姓氏笔画排序）

马国强　国家林业和草原局西南调查规划院
王有兵　云南省林业调查规划院
王德军　国家林业和草原局西北调查规划院
艾建林　云南省林业调查规划院
龙廷位　云南省林业调查规划院
冯　源　云南省林业和草原科学院
刘　扬　西南林业大学
刘扬晶　国家林业和草原局中南调查规划院
安　科　云南省林业调查规划院
许易真　黑龙江省林业和草原调查规划设计院
贠新华　云南省林业和草原科学院
李　嵘　中国科学院昆明植物研究所
李元杰　云南省林业调查规划院
李敏敏　云南省林业调查规划院
杨　东　云南省林业调查规划院
杨士剑　云南师范大学
杨国斌　云南省林业调查规划院
杨忠兴　云南省林业调查规划院
吴　飞　中国科学院昆明动物研究所
吴富勤　云南省林业调查规划院
余志飞　云南省林业调查规划院
角媛梅　云南师范大学
邹光敞　云南省林业调查规划院
张　文　四川省林业和草原调查规划院
张大才　西南林业大学
张志明　云南大学
张忠涛　国家林业和草原局产业发展规划院
陈文红　云南省林业调查规划院
武瑞东　云南大学
林　辉　国家林业和草原局华东调查规划院
林寿明　广东省林业调查规划院
欧光龙　西南林业大学
岳彩荣　西南林业大学
郑进烜　云南省林业调查规划院
赵书学　云南省林业调查规划院
秋新选　云南省林业调查规划院
徐吉洪　云南省林业调查规划院
唐雪琼　西南林业大学
陶　晶　云南省林业调查规划院
曹顺伟　云南省林业调查规划院
曾伟生　国家林业和草原局林草调查规划院
温庆忠　云南省林业调查规划院
赖兴会　云南省林业调查规划院
廖声熙　中国林业科学研究院高原林业研究所
廖聪宇　云南省林业调查规划院
谭运洪　中国科学院西双版纳热带植物园
魏雪峰　云南省林业调查规划院

《林业调查规划》编辑部成员

许易琦　刘平书　陈　旭　杨煖熔　张瑞君　董　磊

林 业 调 查 规 划

第 48 卷　第 5 期　　(总第 257 期)　　2023 年 9 月

目　　次

●森林经理

基于 GIS 的武安市古树名木空间分布及影响因素研究…… 沈媛婷, 李良涛(1)

云南省云南松林碳储量变化趋势研究 …… 王海波,黄运荣,施凯泽,施俊美(8)

广西壮族自治区草原综合植被盖度监测研究 …… 江锦烽,杨承伶,陈国平,龙佳峰,苏树祥,黄文(15)

龙胜县森林火险等级区划 …… 文 娟,张 伟,王秋华,黄淑莹,莫奇京,阳文程,胡嘉春(20)

●智慧林草

北京市不同功能分区的乔木林储碳功能对比研究…… 韩 艺,张 峰(26)

基于 GIS 的城市公园可达性研究 …… 王 铭,杨芳绒,杨 俊,王 柳(32)

ArcGIS Data Reviewer 在林业矢量数据质量管理中的应用…… 段晓飞(37)

●生态系统

国内外城市河岸带近自然植物群落构建研究评述 …… 王 睿,朱 玲,胡振国(44)

2000-2018 年云南省易门县植被指数时空动态变化及影响因素分析

…… 李晓娜,邓忠坚 ,王秋华,张卓亚,王玉和(49)

人类活动干扰下云南油杉群落物种组成及多样性研究 …… 李 雯,乔 璐,李潇晗,刘 平,唐宗英(56)

清水河水库工程影响区生态系统服务价值评价…… 马士龙,段 妍,孟繁斌(61)

郑州市数码公园不同植物群落对 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的影响研究…… 王柄权,赵佳伦,孙晓燕,张 凌(70)

●自然保护地

陕西汉中朱鹮国家级自然保护区空间优化研究 …… 王腾飞,王国峰,王亚萍,雷雅凯(83)

双柏县自然保护地整合优化分析

…… 李 晋,杨忠兴,徐吉洪,华朝朗,陶 晶,晁增华,罗怀秀,俞 瑶,龚纯伟(92)

五莲峰市级自然保护区种子植物区系研究 …… 赵金发,刘 娟,陈 峦,张永洪,汤明华(98)

郑州北龙湖湿地公园花境植物应用研究 …… 雷 天,王 霄,尤 其,聂雅心,王鹏飞(104)

甘肃连城国家级自然保护区天保工程二期效益综合评价

…… 蔡万旭,李文涛,瞿学方,蒋长生,李小刚,杜小发(109)

新生桥国家森林公园种子植物多样性及区系特征研究 …… 崔茂欢,胡昌平,梁建忠,杨建军(115)

云南铜壁关省级自然保护区药用植物资源多样性研究

…… 杨维雄,徐钡昌,尹建华,李红萍,李素会,顾淑丽(121)

永善县五莲峰市级自然保护区生态质量评价 …… 汤明华,刘 娟,李 勇,赵金发(126)

●动植物

沿纬度梯度的 3 个热带森林动态监测样地的兽类和鸟类红外相机监测
…… 张 兰,和雪莲,Supparat Tongkok,袁盛东,刘 峰,Anuttara Nathalang,Warren Y. Brockelman,闫兴富,林露湘(131)
生态伦理视域下的野生动物保护 …… 董前程,王慧芬(139)
基于生态位模型的云南野生茶树适宜性分析与评价…… 宋永全,王文权,周 杭,孙在红(146)
基于红外相机的大果红杉物候及观赏特征研究
…… 提 布,斯那此里,杨建强,张鹏万,江次农布,木艳春,马运军,和雁楠,斯那劳丁,史 岩,和春菊(152)

●生态旅游与森林康养

西双版纳自然教育资源现状调查研究 …… 宋志勇,万正林,王云飞,文芒才,杨 南(157)
基于国内外国家公园差异的生态旅游可持续发展策略研究 …… 张思嘉,刘宇翔(162)
"桃源"空间营造探析 …… 刘美玲,易小林(167)
基于 TACSI-IPA 评价的洛阳银滩农业观光园景观优化策略研究 …… 张 震,燕亚飞,李东升(176)

●林草产业

临沧主栽核桃品种坚果特性及营养成分评价
…… 杨玉春,唐永奉,张晓丽,郑晟靖,王红颜,石定宏,罗国发(181)
森林资源富集区魔芋产业与林下经济协同发展机制研究 …… 薛焕霞,张依梦(185)

●园林绿化

基于 SBE 法的园林景观植物颜色配置研究 …… 邱 雯,唐必成,黄梓良(192)
福建省屋顶绿化现状调查与分析 …… 李甜甜,朱云君,王睿昕,杨松敏,吴美强,李房英,彭东辉(196)
基于改进目标进化算法的城市园林 GIS 数据均衡化技术研究 …… 朱海苍,康 骏,杨志伟(201)
城市公园植物群落特征及空间量化评价研究 …… 孙宁宇,唐世斌(207)

●其他

粮食安全背景下实现食品与生态安全的法律路径 …… 郑慧妮(212)
呼和浩特市近 60 年生长季地温变化特征分析…… 李寅龙,刘星岑,刘晓敏,塞 丫,王志楠(218)
模拟酸雨对广西 4 个树种苗木生长的影响研究 …… 周顺福,李春叶(225)

昆明近郊湿地秋色 …… 屈燕摄(封面)

[期刊基本参数] CN 53-1172/S * 1976 * b * A4 * 230 * zh * P * 20.00 * 600 * 37 * 2023-09 * n

Forest Inventory and Planning

Vol. 48 No. 5 (Sum No. 257) Sep. 2023

Contents

●Forest Management

Spatial Distribution and Influencing Factors of Ancient and Heritage Trees in Wu'an City Based on GIS
…… SHEN Yuanting, LI Liangtao(1)

Dynamic Changes of Carbon Storage in *Pinus yunnanensis* Forest in Yunnan Province
…… WANG Haibo, HUANG Yunrong, SHI Kaize, SHI Junmei(8)

Monitoring of Comprehensive Vegetation Coverage of Grassland in Guangxi
…… JIANG Jinfeng, YANG Chengling, CHEN Guoping, LONG Jiafeng, SU Shuxiang, HUANG Wen(15)

Forest Fire Risk Classification in Longsheng County
…… WEN Juan, ZHANG Wei, WANG Qiuhua, HUANG Shuying, MO Qijing, YANG Wencheng, HU Jiachun(20)

●Intelligent Forestry and Grassland

Comparison of Carbon Storage Function of Arbor Forests in Different Urban Functional Zones of Beijing
…… HAN Yi, ZHANG Feng(26)

Accessibility of Urban Parks Based on GIS …… WANG Ming, YANG Fangrong, YANG Jun, WANG Liu(32)

Application of ArcGIS Data Reviewer in Quality Management of Forestry Vector Data …… DUAN Xiaofei(37)

●Ecosystem

Review on Construction of Near-Natural Plant Communities in Urban Riparian Zones at Home and Abroad
…… WANG Rui, ZHU Ling, HU Zhenguo(44)

Spatiotemporal Dynamic Changes and Impact Factors of Vegetation Index in Yimen County of Yunnan Province from 2000 to 2018 …… LI Xiaona, DEND Zhongjian, WANG Qiuhua, ZHANG Zhuoya, WANG Yuhe(49)

Species Composition and Diversity Analysis of *Keteleeria evelyniana* Community Under Human Disturbance
…… LI Wen, QIAO Lu, LI Xiaohan, LIU Ping, TANG Zongying(56)

Evaluation of Ecosystem Service Value in Qingshuihe Reservoir Impact Area
…… MA Shilong, DUAN Yan, MENG Fanbin (61)

Influence of Different Plant Communities on $PM_{2.5}$ and PM_{10} Concentrations in Zhengzhou Digital Park
…… WANG Bingquan, ZHAO Jialun, SUN Xiaoyan, ZHANG Ling(70)

●Natural Protected Areas

Spatial Optimization of Shaanxi Hanzhong Crested Ibis National Nature Reserve
…… WANG Tengfei, WANG Guofeng, WANG Yaping, LEI Yakai(83)

Integration and Optimization of Natural Protected Areas in Shuangbai County
…… LI Jin, YANG Zhongxing, XU Jihong, HUA Chaolang, TAO Jing, CHAO Zenghua, LUO Huaixiu, YU Yao, GONG Chunwei(92)

Flora of Seed Plants in Wulianfeng Municipal Nature Reserve
…… ZHAO Jinfa, LIU Juan, CHEN Luan, ZHANG Yonghong, TANG Minghua(98)

Application of Flower Border Plants in Beilonghu Wetland Park of Zhengzhou
…… LEI Tian, WANG Xiao, YOU Qi, NIE Yaxin, WANG Pengfei(104)

Benefits Comprehensive Evaluation of the Second Phase of Natural Forest Protection Project in Liancheng National Nature Reserve of Gansu Province
…… CAI Wanxu, LI Wentao, QU Xuefang, JIANG Changsheng, LI Xiaogang, DU Xiaofa(109)

Diversity and Floristic Characteristics of Seed Plants in Xinshengqiao National Forest Park
…… CUI Maohuan, HU Changping, LIANG Jianzhong, YANG Jianjun(115)
Diversity of Medicinal Plants Resources in Tongbiguan Provincial Nature Reserve of Yunnan
…… YANG Weixiong, XU Beichang, YIN Jianhua, LI Hongping, LI Suhui, GU Shuli(121)
Ecological Quality Evaluation of Wulianfeng Municipal Nature Reserve in Yongshan County
…… TANG Minghua, LIU Juan, LI Yong, ZHAO Jinfa(126)

●Plant and Animal

Camera-trapping Survey of Mammals and Birds on Three Tropical Forest Dynamic Plots Along Latitudinal Gradient
…… ZHANG Lan, HE Xuelian, TONGKOK Supparat, YUAN Shengdong, LIU Feng, NATHALANG Anuttara, BROCKELMAN Warren Y, YAN Xingfu, LIN Luxiang(131)
Wildlife Protection from Perspective of Ecological Ethics …… DONG Qiancheng, WANG Huifen(139)
Suitability Analysis and Evaluation of Wild *Camellia sinensis* in Yunnan Based on Niche Model
…… SONG Yongquan, WANG Wenquan, ZHOU Hang, SUN Zaihong(146)
Phenological and Ornamental Characteristics of *Larix potaninii* var. *australis* Based on Infrared Cameras
…… Tibu, Sina Cili, YANG Jianqiang, ZHANG Pengwan, Jiangci Nongbu, MU Yanchun, MA Yunjun, HE Yannan, Sina Laoding, SHI Yan, HE Chunju(152)

●Ecotourism and Forest Therapy

Investigation on Current Situation of Natural Education Resources in Xishuangbanna
…… SONG Zhiyong, WAN Zhenglin, WANG Yunfei, WEN Mangcai, YANG Nan(157)
Sustainable Development Strategy of Ecotourism Based on Differences between Domestic and Foreign National Parks
…… ZHANG Sijia, LIU Yuxiang(162)
Space Construction of "Peach Garden" …… LIU Meiling, YI Xiaolin(167)
Landscape Optimization Strategy of Luoyang Yintan Agricultural Sightseeing Park Based on TACSI-IPA Evaluation
…… ZHANG Zhen, YAN Yafei, LI Dongsheng (176)

●Forest and Grassland Industry

Evaluation of Nut Characteristics and Nutrient Component of Main Walnut Varieties in Lincang
…… YANG Yuchun, TANG Yongfeng, ZHANG Xiaoli, ZHENG Shengjing, WANG Hongyan, SHI Dinghong, LUO Guofa(181)
Synergistic Development Mechanism of Konjac Industry and Non-timber Forest-based Economy in Forest Resource-enriched Areas …… XUE Huanxia, ZHANG Yimeng(185)

●Landscape Greening

Color Allocation of Landscape Plants Based on SBE Method …… QIU Wen, TANG Bicheng, HUANG Ziliang(192)
Investigation and Analysis of Roof Greening Status in Fujian Province
…… LI Tiantian, ZHU Yunjun, WANG Ruixin, YANG Songmin, WU Meiqiang, LI Fangying, PENG Donghui(196)
Data Equalization Technology of Urban Landscape GIS Based on Improved Objective Evolutionary Algorithm
…… ZHU Haicang, KANG Jun, YANG Zhiwei(201)
Plant Community Characteristics and Spatial Quantitative Evaluation of Urban Parks …… SUN Ningyu, TANG Shibin(207)

●Other Column

Legal Path to Realize Food and Ecological Security in Context of Grain Security …… ZHENG Huini(212)
Change Characteristics of Soil Temperature during Growing Season in Hohhot City in Recent 60 Years
…… LI Yinlong, LIU Xingcen, LIU Xiaomin, Saiya, WANG Zhinan(218)
Effect of Simulated Acid Rain on Growth of Four Species Seedlings in Guangxi …… ZHOU Shunfu, LI Chunye(225)

Autumn Scenery of Wetland in Outskirts of Kunming …… Photographed by QU Yan(Front Cover)

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 001

基于 GIS 的武安市古树名木空间分布及影响因素研究

沈媛婷,李良涛
(河北工程大学 园林与生态工程学院,河北 邯郸 056021)

摘要:为进一步掌握河北省武安市古树资源以及影响古树名木分布的主要因素,对武安地区古树名木资源进行分析。以武安市 1 364 株古树名木为试材,运用 ArcGIS 进行空间分布类型等可视化分析,结合周边环境因素对武安市古树名木进行空间分布特征及影响因素研究。结果表明,武安市古树名木呈集聚状态。古树名木生长与道路交通情况和距水源距离两因素间呈显著相关性,共同决定着武安市古树名木的空间分布特征。以期为全市古树名木保护、建设生态园林城市提供决策参考。

关键词:古树名木;空间分布;GIS;自然因素;社会因素;武安市

中图分类号:TU986. 36;P208 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0001-07

引文格式:沈媛婷,李良涛. 基于 GIS 的武安市古树名木空间分布及影响因素研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):1-7. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 001

SHEN Yuanting, LI Liangtao. Spatial Distribution and Influencing Factors of Ancient and Heritage Trees in Wu′an City Based on GIS[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):1-7. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 001

Spatial Distribution and Influencing Factors of Ancient and Heritage Trees in Wu′an City Based on GIS

SHEN Yuanting, LI Liangtao
(College of Landscape and Ecological Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056021, China)

Abstract: The ancient and heritage tree resources in Wu′an City of Hebei Province were analyzed to further grasp the resources status and the main factors affecting the distribution of ancient and heritage trees. Taking 1 364 ancient and heritage trees in Wu′an City as test materials, the spatial distribution types and visualization analysis were carried out by using ArcGIS. Combined with the surrounding environmental factors, the spatial distribution characteristics and influencing factors of ancient and heritage trees were analyzed. The results showed that the ancient and heritage trees in Wu′an City were concentrated. The growth of ancient and heritage trees was significantly correlated with two factors of road traffic conditions and distance from water sources, which together determined the spatial distribution characteristics of ancient and heritage trees in Wu′an City. The results were to provide decision-making reference for the protection and construction of ecological garden cities with ancient and heritage trees throughout the city.

Key words: ancient and heritage trees; spatial distribution; GIS; natural factors; social factors; Wu′an City

收稿日期:2022-03-30.

基金项目:河北省科技计划项目河北省重要乡土树种种质资源创制与利用(6226309D);武安青崖寨国家级自然保护区建设项目(20180702).

第一作者:沈媛婷(1998-),女,浙江嘉兴人,硕士研究生. 研究方向为农艺与种业园艺. Email:694973101@qq. com

责任作者:李良涛(1978-),男,河北邯郸人,博士,副教授. 主要从事景观生态与规划研究. Email:liliangtao@hebeu. edu. cn

古树名木是自然与历史留给现代人类不可再生的宝贵遗产。现阶段,随着经济和科技的快速发展,生态环境问题日益突出,其中不乏出现许多古树名木受损问题。近年来关于古树名木的保护与管理越来越受到政府与社会的关注。对古树名木资源的研究最早可以追溯到上世纪,杭州最早提出古树名木标准,同时期上海也开始对市域内古树名木进行摸底调查[1]。上世纪末到本世纪初,全国的古树名木研究取得一定成绩。

现阶段我国对古树名木资源的研究已有60多年,在古树名木资源调查[2-4]、检测与复壮技术[5-6]、价值与评价[7]、信息化管理[8]等方面已取得显著成果。同时,也有不少学者结合ArcGIS对古树名木进行研究,刘益曦等[9]基于GIS对温州古树名木资源空间分布特征进行分析;周天鸿等[10]利用GIS探究上海古树名木与城市生态网络的空间关系。众多学者研究认为,不同环境因子对古树名木的生长和分布将产生不同影响,张涛等[11]分析了园林中影响古树名木正常生长的特殊原因。李程等[12]以浙江省古樟树为例,研究其与坡度、坡向、坡位、海拔、土壤厚度等5个环境因子的关系;LIU等[13]探究降水与人口密度对中国古树名木多样性与密度格局的影响;ZHANG等[14]研究城市结构和历史对香港古树名木分布与生长的影响,JIN[15]研究道路施工和建筑活动对香港古树名木死亡率的影响;靳思佳等[16]以上海松江区为例,研究古树名木与城市结构关系。

随着现代科学技术的进步与生产力的发展,传统的古树名木管养维护模式不再适应现在城市的发展[17],因此近年来基于ArcGIS的古树资源保护与应用研究逐渐增多。但是基于ArcGIS的古树资源空间数据与影响因素分析较为欠缺。因此,结合周边自然环境、社会经济环境利用GIS对武安市古树名木进行分析,实现影响因素可视化分析,为古树名木的保护与管理提供决策指导,也为古树名木的相关研究提供借鉴。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区域

武安市是隶属于河北省邯郸市的县级市,位于河北省南端,总面积为1 806 km^2。西北部和西南以山区为主;中西部为低山丘陵区,间有小平原;中东部为武安平地,属于山地丘陵地带。武安市文化历史悠久,具有“千年古县”的称号,拥有大量古树名木资源,现存古树数量为邯郸各县区最多[18]。通过大量调查,以各乡镇为研究单元,对武安市古树空间分布特征及其影响因素进行分析。

1.2 研究数据

通过实地调查获得武安市古树名木相关数据,包括武安市古树名木编号、树龄、经纬度等相关基础数据。为确保数据的准确性,于2021年6月再一次对武安市每株古树名木以及每个古树群进行逐一记录和测量。基于ArcGIS的武安市空间数据来源于武安市林业局提供的最新武安市林业二类矢量数据库。另外,各乡镇的常住人口等相关数据来源于当地的年度统计年鉴。通过ArcGIS软件,导入武安市古树名木经纬度得出武安市古树名木空间分布矢量点数据,并将古树名木相关基础数据导入,得到武安市古树名木矢量数据库。

1.3 研究方法

利用ArcGIS软件进行最邻近距离[19]、泰森多边形[20]和核密度的分析[21],得出武安市古树名木空间分布模式,宏观探究武安市古树名木空间分布格局。利用SPSS软件分析影响因素与古树名木分布情况的相关性。利用ArcGIS软件对武安市古树名木分布及相关因素进行空间自相关分析,得出全局自相关以及局部自相关情况,运用全局自相关分析检验相关因子是否存在较大关联,判断其空间分布情况是否存在集聚现象,并通过局部自相关分析进一步识别聚类特征,实现武安市古树名木空间分布格局相关因素的量化分析。

2 结果与分析

2.1 武安市古树名木资源现状

武安市共有古树名木1 364株,其中,散生古树名木477株,古树群2个共887株,隶属于12科、22属、28种(表1)。

在植物分类方面,武安市古树名木的科、种组成较为集中,其中漆树科(Anacardiaceae)树种数量最多,有810株,占种数的59.38%。武安市古树名木以乡土树种为主,株数超过50株的树种有侧柏(127株)、槐(270株)、板栗(71株)、黄连木(810株),分别占全部古树名木的9.31%、19.79%、5.21%、59.38%。其余古树大多以单株、双株存在。根据《中国珍稀濒危植物图鉴》[22],武安市的古树中属于国家二级保护植物的有胡桃4株,占总株数的0.29%。武安市

表 1　武安市古树名木统计

Tab. 1　Statistics of ancient and heritage trees in Wu'an City

科名	属名	种名	数量/株	占比/%
柏科 Cupressaceae	柏木属 *Cupressus*	柏木 *Cupressus funebris*	19	1. 39
	侧柏属 *Platycladus*	侧柏 *Platycladus orientalis*	127	9. 31
豆科 Fabaceae	合欢属 *Albizia*	合欢 *Albizia julibrissin*	3	0. 22
	槐属 *Styphnolobium*	槐 *Styphnolobium japonicum*	270	19. 79
		刺槐 *Robinia pseudoacacia*	1	0. 07
	皂荚属 *Gleditsia*	皂荚 *Gleditsia sinensis*	9	0. 66
胡桃 Juglandaceae	胡桃属 *Juglans*	胡桃 *Juglans regia*	4	0. 29
壳斗科 Fagaceae	栎属 *Quercus*	槲栎 *Quercus aliena*	2	0. 15
		栓皮栎 *Quercus variabilis*	8	0. 57
	栗属 *Castanea*	板栗 *Castanea mollissima*	71	5. 21
漆树科 Anacardiaceae	黄连木属 *Pistacia*	黄连木 *Pistacia chinensis*	810	59. 38
	漆属 *Toxicodendron*	漆 *Toxicodendron vernicifluum*	1	0. 07
蔷薇科 Rosaceae	山楂属 *Crataegus*	山楂 *Crataegus pinnatifida*	2	0. 15
	榅桲属 *Cydonia*	榅桲 *Cydonia oblonga*	1	0. 07
	杏属 *Armeniaca*	杏 *Armeniaca vulgaris*	1	0. 07
	花楸属 *Sorbus*	花楸树 *Sorbus pohuashanensis*	1	0. 07
桑科 Moraceae	桑属 *Morus*	桑 *Morus alba*	6	0. 44
柿科 Ebenaceae	柿属 *Diospyros*	柿 *Diospyros kaki*	1	0. 07
		君迁子 *Diospyros lotus*	1	0. 07
鼠李科 Rhamnaceae	枣属 *Ziziphus*	枣树 *Ziziphus jujuba*	4	0. 29
松科 Pinaceae	雪松属 *Cedrus*	雪松 *Cedrus deodara* Don	1	0. 07
	松属 *Pinus*	油松 *Pinus tabuliformis*	3	0. 22
杨柳科 Salicaceae	柳属 *Salix*	垂柳 *Salix babylonica*	6	0. 44
	杨属 *Populus*	毛白杨 *Populus tomentosa*	1	0. 07
		胡杨 *Populus euphratica*	4	0. 29
榆科 Ulmaceae	榉属 *Zelkova*	大果榉 *Zelkova sinica*	5	0. 37
	榆属 *Ulmus*	榆树 *Ulmus pumila*	2	0. 15

现存古树栽植年代跨度较大,最年长的栎树位于武安市活水镇前仙灵,树龄约 1 500 a。树龄 300 a 以下的古树名木众多,后备资源丰富。

2. 2　武安市古树名木空间分布特征

2. 2. 1　古树名木空间分布类型

为探究武安市古树名木空间分布类型,通常使用最邻近指数[19]进行分析,公式为:

$$R = \frac{r}{r_E} \tag{1}$$

$$r_E = \frac{1}{2\sqrt{\frac{r}{S}}} \tag{2}$$

式中:r_E 为理论最邻近距离;r 为实际最邻近距离;S 为区域面积。

当 $R=1$ 时,古树名木呈随机型分布;当 $R>1$ 时,古树名木呈均匀型分布;当 $R<1$ 时,古树名木呈凝聚型分布[19]。先将获取到的古树名木点集数据进行投影转换,利用 ArcGIS 空间统计工具计算得出最邻近指数 R 为 0. 208 5<1,且 Z 和 P 值分别为 -55. 92(<-2. 58)和 0,说明古树名木在空间上总体呈凝聚型分布。为验证此结果,引入泰森多边形模型以及变异系数(C_V),公式为:

$$C_V = \frac{R}{\bar{S}} \times 100\% \tag{3}$$

式中:R 为泰森多边形面积标准差;$\bar{S}$ 为泰森多边形面积平均值。

$C_V<33\%$,$33\% \leqslant C_V \leqslant 33\%$,$C_V>64\%$ 分别表示点集呈均匀、随机、集聚分布,在 ArcGIS 中,泰森多边形是由连接两个相邻点段的垂直平分线组成的一组连续多边形,其面积变异系数能衡量凸多边形面积的变化程度,从而宏观地评估古树的分布类型及空间格局[20]。以古树名木所在的地理坐标作为点

状数据在 ArcGIS 中通过泰森多边形分析进行空间可视化表达,同时得出武安市古树名木空间聚集特征。

通过 ArcGIS 中泰森多边形分析工具对武安市古树名木集聚程度进行测算,结合空间分布类型划分依据,得出武安市古树名木泰森多边形模型如图 1 所示。

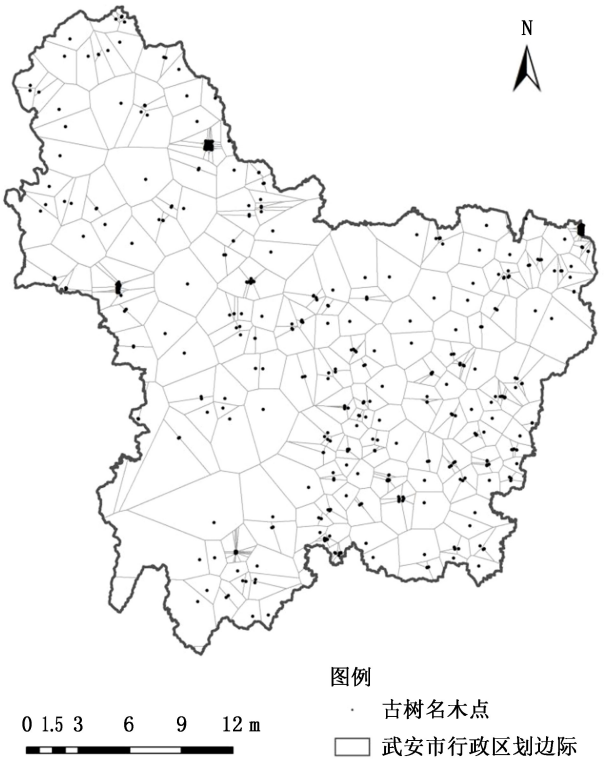


图 1　武安市古树名木泰森多边形模型

Fig. 1　Tyson polygon model of ancient and heritage trees in Wu′an City

通过计算得出变异系数 C_V 为 1.18(>0.64),属于强变异类型,聚集型分布,与最邻近指数得到的结果一致,验证了该地区古树名木空间分布类型总体呈凝聚型分布。从行政区域角度分析,古树名木分布数量最多的是马家庄乡,有 814 株,占比 59.77%;活水乡有 107 株,占比 7.86%;邑城镇有 85 株,占比 6.24%。三者均远离城镇,外界人为干扰少;其中活水乡位于青崖寨自然保护区,开发程度低,野生系数较高,易于古树名木的保护。

2.2.2 核密度

已知武安市古树名木呈现较强的空间集聚性,为探求其分布热点,通过 ArcGIS 空间分析工具集合进行核密度估算,可清晰地反映古树名木分布的聚集和分散程度,区域地理事件越密集,发生概率越高,反之亦然[21],直观分析古树名木在市域范围内的分布状况。武安市空间密度分布见图 2。

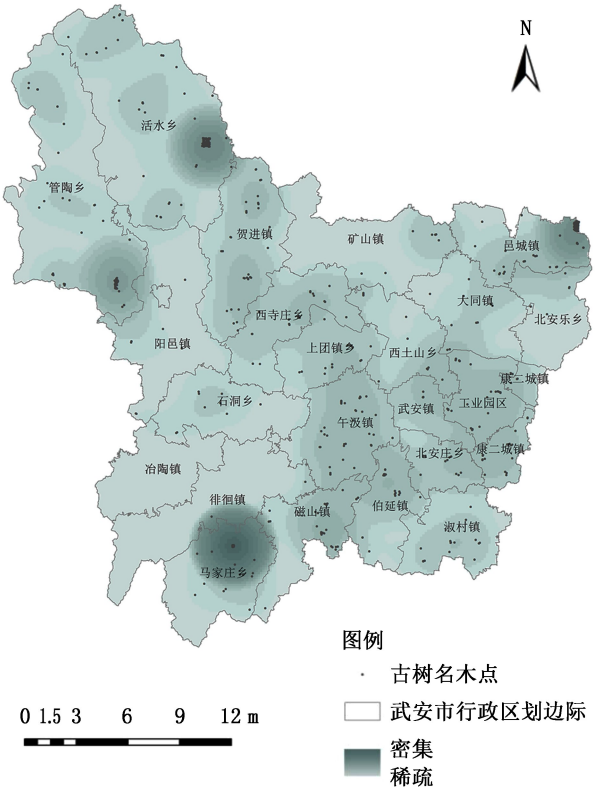


图 2　武安市古树名木核密度分析

Fig. 2　Nuclear density analysis of ancient and heritage trees in Wu′an City

结果显示,古树名木在空间上分布为 4 个高密度圈,分别是马家庄乡北区(主要包括韩马等)、活水乡东南区(主要包括前仙灵、牛心山、马店头等)、管陶乡东南区(主要包括小店、梁沟、马渠水等)和邑城镇西南区(主要包括东阳预案、赵店等)。古树高密度区域主要分布于远离城市中心,生态环境优越处,如活水乡、管陶乡位于青崖寨自然保护区内,植被类型多样,具有完整的森林生态系统,远离建筑密集的城市中心,为古树名木提供优越的生境。此外,活水乡、管陶乡以及马家庄乡密集区均属于山地地形,良好的生态环境为保护古树名木奠定了基础,近几年武安市颁布的封山育林、防火禁林政策也有利于古树名木的保护。

2.3 武安市古树名木空间分布特征影响因素

2.3.1 相关因素分析

根据武安市古树名木空间分布格局,武安市古

树名木呈现较强的空间集聚性,这是诸多因素等经过复杂的相互作用而形成的最终结果,如海拔、坡度、坡向等自然因素和当地乡镇人口、经济发展水平、距离城市中心距离、道路密度等社会因素。结合实际情况,依据相关数据的典型性、数据可获得性以及可操作性原则,从地形、人口、交通情况和地域区位 4 个方面对影响武安市古树名木分布特征的因素进行分析。运用回归分析法判断各因素与古树名木数量的相关关系,在此基础上,运用空间自变量法,对影响武安市古树名木空间分布特征的相关因素进行定量分析。

在研究过程中,运用高程 DEM 数据表示地形,乡镇规模的人口密度表示区域人口密度,市政规模的道路网密度表示区域交通水平,乡镇中心与核心城市之间的距离表示乡镇区域位置。收集武安市古树名木数字高程 DEM 栅格数据、常住人口数据、路网分布矢量线数据、水系分布矢量面数据和空间分布矢量点数据,运用 ArcGIS 软件相关工具,构建武安市古树名木及相关矢量数据库。

以乡镇单元为尺度,对古树名木数量与人口密度、路网密度、距城市距离等相关因素进行相关分析。由于 DEM 数据在空间上呈现连续性,故选择在全市尺度上进行相关性分析,利用武安市不同高程、坡度、坡向、距离水系距离对应不同数量的古树名木,进行相关性判断(表 2)。

表 2　武安市古树名木与各相关因素回归分析结果

Tab. 2　Regression analysis results of ancient and heritage trees and related factors in Wu′an City

影响因子	相关系数	*P* 值
人口	-0.156	0.476
乡镇面积	0.118	0.590
道路密度	-0.426	0.043**
距城市距离	-0.082	0.896
海拔	-0.209	0.736
坡向	0.277	0.723
坡度	-0.026	0.974
距水源距离	-0.559	0.030**

注:** 表示 0.05 水平差异显著。

由表 2 可知,武安市古树名木与两种因素存在相关关系,与道路密度和距水源距离存在负相关关系,说明道路密度越小、交通不便利、距离水源越近的地区更利于古树名木的生长发育。

2.3.2 全局自相关分析

利用 ArcGIS 中空间自相关工具,对各数据的空间分布进行全局自相关处理,以确定影响武安市古树名木空间分布的相关因子是否具有空间集聚特征。结果显示,武安市道路分布图和水系密度分布图的 Moran′s I 指数分别为 0.295 和 0.217,均大于 0,表明武安市道路密度与水系密度呈现不同程度的空间自相关关系,均具有空间集聚特征。但从乡镇古树名木数据的空间关联性来看,全局 Moran′s I 指数为-0.025,*Z* 统计值为 0.55,通过显著性检验(*P* 值为 0.578),说明武安市乡镇古树名木未呈现显著的空间自相关,具有随机性分布的特征,这也意味着近邻城镇古树名木不具有空间依赖性和溢出效应。为进一步了解相关因子的聚集特征,分析相关因子对古树名木空间分布的影响,利用 ArcGIS 中聚类和异常值分析工具处理相关因子的局部自相关。

2.3.3 局部自相关分析

1)水系资源的正向影响

水分是植物生长必需的环境因子,距离水源更近的区域易于促进树木的生长以及形成古树名木,相反,距离水源较远的区域,将对古树名木的形成造成一定阻碍,在微观和宏观尺度上影响着古树名木的空间布局。运用 ArcGIS 软件,统计古树名木距水源距离发现,距离水源 500 m 以下的古树名木有 1 058 株,占比 77.570%,距离水源 500~1 500 m 的古树名木有 272 株,占比 19.94%,而距离水源 1 500 m 以上的古树名木仅有 34 株,占比 2.49%,说明距离水源越近,越易于古树名木生长(图 3)。

从武安市古树名木距水源距离分布的局部自相关测度结果可知,不同类型聚类形成了不同程度的集聚区,有 757 株古树属于无集聚类型;313 株古树名木属于 High-High 集聚类型,表示其距离水源远且周边古树名木也距离水源远的古树名木集聚区;264 株古树名木位于 Low-Low 集聚区,表示其距离水源近且周边古树名木也距离水源近的古树名木集聚区;19 株古树名木位于 Low-High 集聚区,表示其距离水源近的古树名木与距离水源远的古树名木集聚区,这些古树名木具有一定优势,而周边古树名木距离水源较远,其优势递减;11 株古树名木位于 High-Low 集聚区,表示这些古树名木距离水源较远,而周边古树名木距离水源较近,其优势递增。绝大多数古树名木集聚特征与水源有着密切关系。

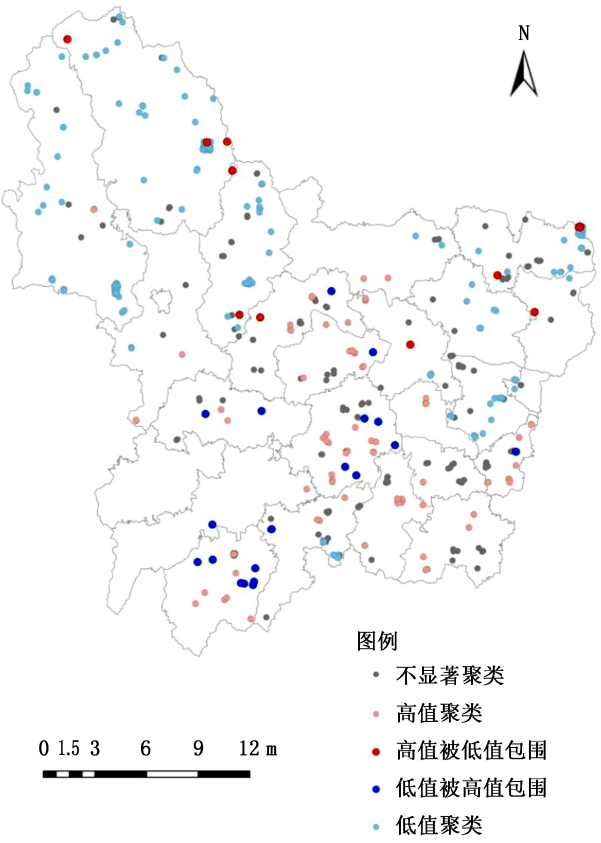


图3　武安市古树名木距水源距离局部自相关分析

Fig. 3　Local autocorrelation analysis of the distance between ancient and heritage trees and water source in Wu′an City

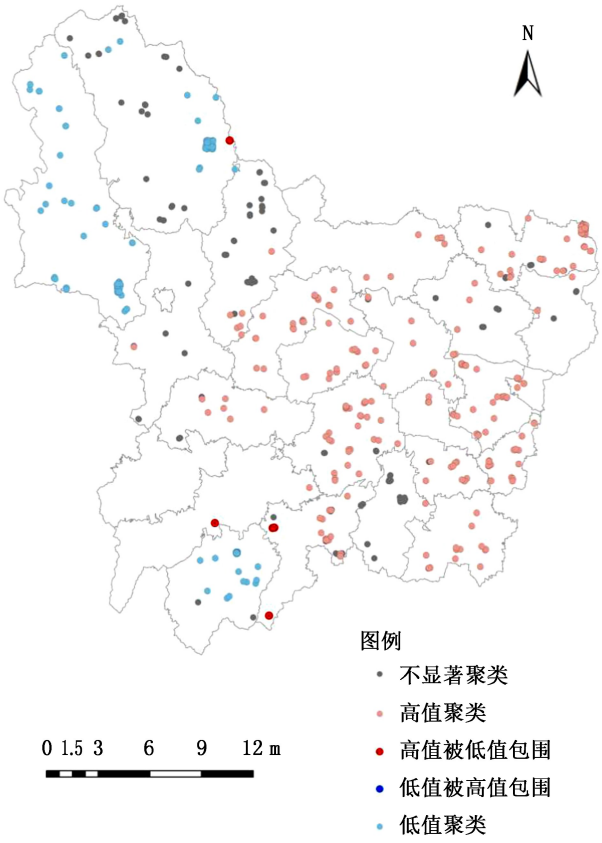


图4　武安市古树名木道路密度局部自相关分析

Fig. 4　Local autocorrelation analysis of road density of ancient and heritage trees in Wu′an City

2)道路密度的负向影响

随着现阶段城镇建设的不断发展,工业用地和建设用地的增多导致原有地形地貌的改变,抢占了原有古树名木的生长环境,直接或间接对古树名木造成一定损害。而在开发程度低、交通不便的偏远山区或农村地区,大量古树名木受人类干扰低,易于保护。交通情况在一定程度上将影响古树名木的空间布局和格局。在对武安市古树名木道路密度分布进行局部自相关分析前,根据数据可获得性以及代表性,选取乡镇规模的道路密度代表该区域的交通情况(图4)。

结果表明,古树名木集聚特征非常显著,以Low-Low聚类型为主,有959株古树名木位于Low-Low聚类区,表示道路密度低且周边道路密度也低的古树名木集聚区,主要集中在活水乡、管陶乡和马家庄乡;267株古树名木位于High-High聚类区,表示道路密度高且周边道路密度也高的古树名木集聚区;133株古树名木属于无集聚类型;仅有5株古树名木属于High-Low聚类区,表示道路密度高但周边道路密度低的集聚区。Low-Low聚类型几乎包含了大部分古树名木,说明道路密度越低,交通越不发达越有利于古树名木的生长,古树名木的保存受到道路发展的阻碍,道路密度的增多对古树名木空间集聚具有负面影响。

3 结　论

古树名木作为自然界馈赠于人类的宝贵财富,客观反映了社会与自然发展的印记,保存与承载了丰富的历史与文化内涵。研究武安市古树名木空间分布及其影响因素,不仅有利于武安市古树名木的保存与管理,同时也有利于建设生态园林城市,营造和谐的人居环境。

1)武安市古树名木属于强变异类型,聚集型分布,从行政区域角度分析,古树名木分布最多的是马家庄乡,其次为活水乡。

2)武安市乡镇间古树名木分布未呈现显著的全局空间自相关性。

3)在古树名木生长过程中,并非单一的因子对其产生影响,常是多个影响因子综合对古树名木生长状况产生作用。武安市古树名木空间分布受道路交通情况、距水源距离等客观因素的影响,相关因素经过错综复杂的相互作用,共同决定着武安市古树名木的空间分布格局。

总体分析来看,人类活动在不断地影响着古树名木的生长。现阶段城市化的不断发展导致硬质铺装增多,水文水质的改变导致古树名木的生存环境不断恶化,从而呈现出道路密度低、近水源处的区域成为古树名木的高度集聚区。因此,武安市政府在后续城市扩张与发展规划中,应进一步对呈点状分布的古树名木预留面状保护区域,进行合理规划。如对古树名木划定一定面积的保护范围,在该保护范围内减少人为干扰活动,同时确保古树名木对于水源的需求。

利用相关性分析、空间自相关分析等综合研究了武安市古树名木空间分布及其影响因素,但是研究数据繁多,不同种类古树名木的影响因子不同,因此得出的影响因素较少,而且古树名木的环境因子、生长指数等数据不够完善。在未来研究中应增加影响古树名木分布状况的多年多次数据,同时结合古树名木的空间位置信息数据,运用 ArcGIS 对某单一树种进行空间分布及影响因素分析,将得出更加合理、科学的古树名木空间分布特征与影响因素间的关系,对于研究某地区古树名木分布状况与环境因子的关系更具有借鉴意义。

参考文献:

[1] 段一凡. 我国古树研究文献分析[J]. 林业科技情报,2010,42(3):8-11.

[2] 周寒青. 上海古树名木资源调查现状及保护研究[D]. 天津:天津大学,2017.

[3] 杨秀秀,吴永华,田青,等. 兰州市古树名木资源特征及其时空分布特征[J]. 草原与草坪,2021,41(6):37-45.

[4] 张伟,封晓然,尚丽晨,等. 河北省古树名木资源现状分析与保护对策研究[J]. 河北林业科技,2020(2):46-49.

[5] XU P F,GUANG C,ZHANG H J,et al. Application of non-destructive testing technologies in preserving historic trees and ancient timber structures in China[J]. Forests,2021(21):4-14.

[6] 邓建辉. 古树名木的养护复壮措施——以永泰嵩口古榕树养护复壮为例[J]. 福建林业,2020(3):44-48.

[7] 冷清清. 古树名木健康评估系统研究与开发[D]. 泰安:山东农业大学,2021.

[8] 丁向鹏. 基于移动终端的古树名木信息采集与公众服务系统研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2017.

[9] 刘益曦,胡春,朱圣潮,等. 基于 GIS 的温州古树资源空间分布特征分析[J]. 中国园林,2019,35(5):107-111.

[10] 周天鸿,王云才. 上海古树名木及古树后续资源与城市生态网络的空间关系[J]. 中国城市林业,2020,18(6):37-42,48.

[11] 张涛,简玉云. 探析园林中古树名木的保护与管理[J]. 北方园艺,2008(9):142-144.

[12] 李程,罗鹏,邓秀秀,等. 古树名木生长状况与环境因子关系研究——以浙江省古樟树为例[J]. 中南林业科技大学学报,2015,35(11):86-93.

[13] LIU J J,LINDENMAYER B D,YANG W,et al. Diversity and density patterns of large old trees in China[J]. Science of the Total Environment,2018(655):255-262.

[14] ZHANG H,LAI P Y,JIM C Y. Species diversity and spatial pattern of old and precious trees in Macau[J]. Landscape and Urban Planning,2017(162):56-67.

[15] JIM C Y. Monitoring the performance and decline of heritage trees in urban Hong Kong[J]. Journal of Environmental Management,2005,72(2):161-172.

[16] 靳思佳,孙超,车生泉. 古树名木与城市结构关系研究——以上海市松江区为例[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2012,30(2):17-23.

[17] 钱江波,于炜,刘锦. 杭州市古树名木信息系统的设计与开发[J]. 北方园艺,2013(20):197-200.

[18] 李腾. 河北省城镇古树名木资源调查分析[D]. 保定:河北农业大学,2015.

[19] 王铁,郜鹏飞. 山东省国家级乡村旅游地空间分异特征及影响因素[J]. 经济地理,2016,36(11):161-168.

[20] 康璟瑶,章锦河,胡欢,等. 中国传统村落空间分布特征分析[J]. 地理科学进展,2016,35(7):839-850.

[21] 韦玉春,陈锁忠. 地理建模原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2005:261-301.

[22] 金效华. 中国珍稀濒危植物图鉴[J]. 生物多样性,2014,22(1):112.

责任编辑:陈旭

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 002

云南省云南松林碳储量变化趋势研究

王海波[1],黄运荣[1],施凯泽[1],施俊美[2]
(1. 云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051; 2. 云南省林业调查规划院大理分院,云南 大理 671000)

摘要:基于云南省 1978—2017 年 8 次森林资源清查数据,采用云南省林业调查规划院调查构建的云南松生物量与蓄积量模型和碳系数相关研究成果,计算各清查年度云南松林生物量、碳储量和碳密度,分析云南省 39 年来云南松林碳储量、碳密度变化趋势。结果表明,云南松龄组、起源等结构上的变化引起碳储量和碳密度有增有减、有升有降,生物量和碳储量总体呈增加趋势,碳密度呈上升趋势。

关键词:云南松林;生物量;碳储量;碳密度;变化趋势

中图分类号:S791. 257;S718. 556 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0008-07

引文格式:王海波,黄运荣,施凯泽,等. 云南省云南松林碳储量变化趋势研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):8-14. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 002

WANG Haibo, HUANG Yunrong, SHI Kaize, et al. Dynamic Changes of Carbon Storage in *Pinus yunnanensis* Forest in Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):8-14. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 002

Dynamic Changes of Carbon Storage in *Pinus yunnanensis* Forest in Yunnan Province

WANG Haibo[1], HUANG Yunrong[1], SHI Kaize[1], SHI Junmei[2]
(1. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China;
2. Dali Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Dali, Yunnan 671000, China)

Abstract: Based on the data of eight forest resource inventories in Yunnan Province from 1978 to 2017, the biomass and stock model of *Pinus yunnanensis* and the relevant research results of carbon coefficient established by Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning were used to calculate the biomass, carbon storage and carbon density of *Pinus yunnanensis* in each inventory year, and analyze the changes of carbon storage and carbon density in the past 39 years. The results showed that the structural changes of *Pinus yunnanensis* age group and origin caused the increase and decrease of carbon storage and carbon density, but the overall change trend of biomass and carbon storage was increase, and the carbon density showed an upward trend.

Key words: *Pinus yunnanensis* forest; biomass; carbon storage; carbon density; dynamic change

云南松(*Pinus yunnanensis*),松科松属常绿乔木。树皮褐灰色,深裂成不规则较厚的鳞状块脱落;枝条每年生长 1 轮,针叶通常 3 针一束,柔软,稍下垂,常在枝上寄存 3 a;球果圆锥状卵圆形,熟后种鳞张开,球果成熟后第二年脱落。云南松分布较广,主要分布于我国西南地区,云南省分布东至富宁,南至

收稿日期:2022-06-28;**修回日期**:2022-07-04.

第一作者:王海波(1984-),男,山东青岛人,工程师. 长期从事林业调查规划和森林资源监测工作.
责任作者:施俊美(1969-),女,云南鹤庆人,正高级工程师. 长期从事林业调查规划工作.

蒙自及普洱,西至腾冲,北至香格里拉以北,其中以金沙江中游、南盘江中下游及沅江上游最为密集,垂直分布海拔 1 000~2 800(3 000)m。云南松木材可供建筑、家具和木纤维原料等用,树干可割取树脂,松根可培养茯苓,树皮可提栲胶,种子可榨油。

森林碳汇是指森林植物吸收大气中的 CO_2 并将其固定在植被或土壤中,从而减少该气体在大气中的浓度。森林生态系统碳储量的研究是碳循环研究中的重要部分,森林碳汇是我国应对气候变化的重要举措。因此,根据森林资源动态变化,分析研究森林碳储量变化,可为政府及时掌握碳汇成效提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

云南省云南松林资源数据来源于云南省 8 次森林资源清查成果。云南松林面积、蓄积分龄组按起源变化情况见表 1。

表 1　云南松林面积、蓄积分龄组按起源统计

Tab. 1　Statistics of area and stock in different age groups of *Pinus yunnanensis* forests by origin

年度	起源	幼龄林		中龄林		近熟林		成熟林		过熟林		合计	
		面积/万 hm^2	蓄积/万 m^3	面积/万 hm^2	蓄积/万 m^3	面积/万 hm^2	蓄积/万 m^3	面积/万 hm^2	蓄积/万 m^3	面积/万 hm^2	蓄积/万 m^3	面积/万 hm^2	蓄积/万 m^3
1978	人工	12.45	136.05	3.49	160.32							15.94	296.37
	天然	124.53	3113.20	130.50	9082.73			75.21	9602.49			330.24	21798.42
	计	136.98	3249.25	133.99	9243.05			75.21	9602.49			346.18	22094.79
1987	人工	9.11	169.69	2.88	89.48	1.92	99.84					13.91	359.01
	天然	91.17	2058.75	64.77	4262.81	34.55	2762.26	34.55	4060.11	18.71	3951.29	243.75	17095.22
	计	100.28	2228.44	67.65	4352.29	36.47	2862.10	34.55	4060.11	18.71	3951.29	257.66	17454.23
1992	人工	11.04	201.46	5.28	265.94	0.96	67.11	0.48	38.52			17.76	573.03
	天然	85.89	2026.97	57.10	3992.55	35.99	3510.57	23.51	2582.81	14.40	3444.37	216.89	15557.27
	计	96.93	2228.43	62.38	4258.49	36.95	3577.68	23.99	2621.33	14.40	3444.37	234.65	16130.30
1997	人工	12.48	147.05	6.72	316.12	2.40	139.09	1.44	104.75			23.04	707.01
	天然	130.49	3097.58	90.17	5370.33	50.36	4447.01	34.99	3510.10	15.81	3152.14	321.82	19577.16
	计	142.97	3244.63	96.89	5686.45	52.76	4586.10	36.43	3614.85	15.81	3152.14	344.86	20284.17
2002	人工	16.80	272.83	5.28	295.51	2.88	279.76	0.48	44.64			25.44	892.74
	天然	137.73	4114.28	83.49	5060.40	40.31	3739.67	26.86	3340.34	12.48	2875.83	300.87	19130.52
	计	154.53	4387.11	88.77	5355.91	43.19	4019.43	27.34	3384.98	12.48	2875.83	326.31	20023.26
2007	人工	11.04	266.01	6.72	311.28	2.88	359.32	1.92	184.62			22.56	1121.23
	天然	94.53	3254.62	88.77	6191.14	45.12	4291.41	32.15	4300.40	9.11	2224.97	269.68	20262.54
	计	105.57	3520.63	95.49	6502.42	48.00	4650.73	34.07	4485.02	9.11	2224.97	292.24	21383.77
2012	人工	5.76	122.16	10.08	520.59	2.88	248.66	2.88	350.49	0.48	52.07	22.08	1293.97
	天然	60.95	2250.61	107.97	7866.76	62.87	5692.44	38.87	5410.57	10.07	2329.10	280.73	23549.48
	计	66.71	2372.77	118.05	8387.35	65.75	5941.10	41.75	5761.06	10.55	2381.17	302.81	24843.45
2017	人工	3.84	113.41	10.56	664.62	3.36	293.87	4.32	572.82	0.48	56.54	22.56	1701.26
	天然	43.19	1838.81	95.50	7566.53	67.66	6966.85	43.18	5927.52	11.03	2642.01	260.56	24941.72
	计	47.03	1952.22	106.06	8231.15	71.02	7260.72	47.50	6500.34	11.51	2698.55	283.12	26642.98

1.2 研究方法

基于云南省云南松林 8 次森林资源清查数据,采用云南省林业调查规划院完成的《云南省 7 个主要树种碳汇计量标准建立研究》中公布的云南松林生物量与蓄积量模型和含碳系数,按清查年度计算统计云南省云南松林(含地上、地下)生物量、碳储量和碳密度,分析 39 年来云南省云南松林碳储量动态变化情况。计算公式为:

$$W = M \times \mathrm{BEF} \times D \quad (1)$$

$$W_{地下} = f \times W_{地上} \quad (2)$$

$$C = W \times \mathrm{CF} \quad (3)$$

$$\mathrm{SOC} = C \div A \quad (4)$$

式中：W 为生物量；$W_{地下}$ 为地下生物量；$W_{地上}$ 为地上生物量；M 为蓄积量；C 为碳储量；A 为面积；SOC 为碳密度；BEF 为云南松林生物量扩展因子（取值 1.619 3）；D 为木材基本密度（取值 0.483）；f 为根茎比（取值 0.146）；CF 为碳含率（取值 0.511）。

2 结果与分析

2.1 不同年度云南松林碳储量及动态变化

经计算，云南省云南松林碳储量及动态变化情况见表 2。

从表 2 看出，截至 2017 年，云南省云南松林碳储量为 12 202.89 万 t，碳密度为 43.10 t/hm^2。与 1978 年相比，碳储量增加 2 083.14 万 t，碳密度增加 13.87 t/hm^2。不同清查年度云南松林碳储量、碳密度变化情况见图 1。

表 2 云南省云南松林碳储量及动态变化

Tab. 2 Dynamic changes of carbon storage of *Pinus yunnanensis* forests in Yunnan

年度	生物量/万 t	碳储量/万 t	碳密度/(t·hm^{-2})
1978	19803.82	10119.75	29.23
1987	15644.43	7994.30	31.03
1992	14457.78	7387.92	31.48
1997	18180.94	9290.46	26.94
2002	17947.08	9170.96	28.11
2007	19166.52	9794.09	33.51
2012	22267.47	11378.68	37.58
2017	23880.41	12202.89	43.10

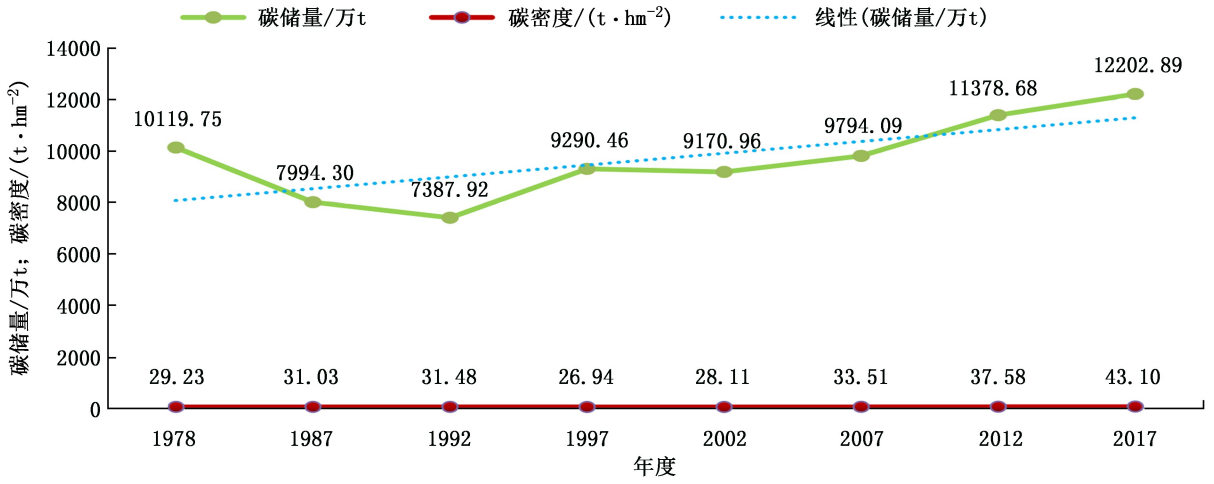


图 1 不同年度碳储量、碳密度变化

Fig. 1 Changes of carbon storage and carbon density in different years

从图 1 看出，1978—2017 年的 39 年间，云南省云南松林碳储量、碳密度总体呈增长趋势。期间，1978—1992 年的 14 年间，碳储量急剧减少，但碳密度稳中有升，反映出云南松林蓄积量减少程度明显高于面积减少程度，主要原因是过度消耗大径级材所致；1992—2002 年 10 年间，受 1992 年新技术标准规定有林地郁闭度降低为≥0.2 及 2002 年新技术标准规定优势树种划分中将单一树种断面积达不到 65%的划为针叶混、针阔混的影响，碳储量呈先增后减态势，碳密度呈先减后增态势；2002—2017 年 15 年间，受长江流域防护林建设工程、天然林保护工程、重点生态工程、退耕还林工程、野生动植物保护与自然保护区建设工程、速生丰产林基地建设工程等六大工程影响，碳储量、碳密度呈稳定增长趋势。

2.2 不同龄组云南松林碳储量及动态变化

经计算，各监测年度不同龄组云南松林碳储量动态变化见表 3，表 4。

从表 3 可看出，截至 2017 年，云南省云南松林不同龄组碳储量情况，与 1978 年相比，2017 年幼龄林碳储量减少 594.06 万 t，碳密度增加 8.15 t/hm^2；中龄林碳储量减少 463.47 万 t，碳密度增加 3.95 t/hm^2；近熟林碳储量增加 2 014.63 万 t，碳密度增加

表 3　云南省云南松林不同龄组碳储量动态变化

Tab. 3　Dynamic changes of carbon storage in different age groups of *Pinus yunnanensis* forests in Yunnan

年度	幼龄林			中龄林			近熟林			成熟林			过熟林		
	生物量/万t	碳储量/万t	碳密度/(t·hm^{-2})	生物量/万t	碳储量/万t	碳密度/(t·hm^{-2})	生物量/万t	碳储量/万t	碳密度/(t·hm^{-2})	生物量/万t	碳储量/万t	碳密度/(t·hm^{-2})	生物量/万t	碳储量/万t	碳密度/(t·hm^{-2})
1978	2912.34	1488.21	10.86	8284.65	4233.46	31.60				8606.82	4398.09	58.48			
1987	1997.38	1020.66	10.18	3901.01	1993.42	29.47	2565.33	1310.89	35.94	3639.12	1859.59	53.82	3541.59	1809.75	96.73
1992	1997.37	1020.65	10.53	3816.93	1950.45	31.27	3206.72	1638.63	44.35	2349.53	1200.61	50.05	3087.23	1577.57	109.55
1997	2908.20	1486.09	10.39	5096.83	2604.48	26.88	4110.58	2100.50	39.81	3240.03	1655.66	45.45	2825.30	1443.73	91.32
2002	3932.22	2009.36	13.00	4800.56	2453.09	27.63	3602.66	1840.96	42.62	3034.00	1550.37	56.71	2577.64	1317.17	105.54
2007	3155.58	1612.50	15.27	5828.20	2978.21	31.19	4168.50	2130.11	44.38	4019.98	2054.21	60.29	1994.27	1019.07	111.86
2012	2126.74	1086.76	16.29	7517.68	3841.53	32.54	5325.08	2721.11	41.39	5163.71	2638.65	63.20	2134.27	1090.61	103.38
2017	1749.80	894.15	19.01	7377.68	3769.99	35.55	6507.87	3325.52	46.83	5826.33	2977.26	62.68	2418.74	1235.98	107.38

表 4　云南省云南松林不同龄组碳储量占比

Tab. 4　Proportion of carbon storage in different age groups of *Pinus yunnanensis* forests in Yunnan　%

年度	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
1978	15	42	0	43	0
1987	13	25	16	23	23
1992	14	26	22	16	21
1997	16	28	23	18	16
2002	22	27	20	17	14
2007	16	30	22	21	10
2012	10	34	24	23	10
2017	7	31	27	24	10
均值	14	30	19	23	13

10.89 t/hm^2(与 1987 年相比,因 1978 年调查时未细分近熟林);成熟林碳储量减少 1 420.83 万t,碳密度增加 4.2 t/hm^2;过熟林碳储量减少 573.77 万t,碳密度增加 10.65 t/hm^2(与 1987 年相比)。

从表 4 看出,云南省云南松林碳储量主要集中在中龄林和成熟林。云南松林不同龄组碳储量、碳密度变化情况见图 2~图 6。

从图 2 看出,1978—1987 年的 9 年间,云南省云南松幼龄林碳储量急剧减少,但碳密度基本稳定,反映出蓄积量、面积消减基本同步;1987—2002 年的 15 年间,碳储量、碳密度呈量、质同增态势,反映出 1987 年森林采伐限额编制出台后幼龄林资源得到大力保护,森林质量稳步提升;2002—2017 年的 15 年间,碳储量呈减少趋势,但碳密度呈上升趋势,反映出幼龄林抚育等措施对森林固碳能力的重大影响。总体来看,39 年间云南松幼龄林碳储量变化趋势为稳中有降,碳密度变化趋势为稳步增大。

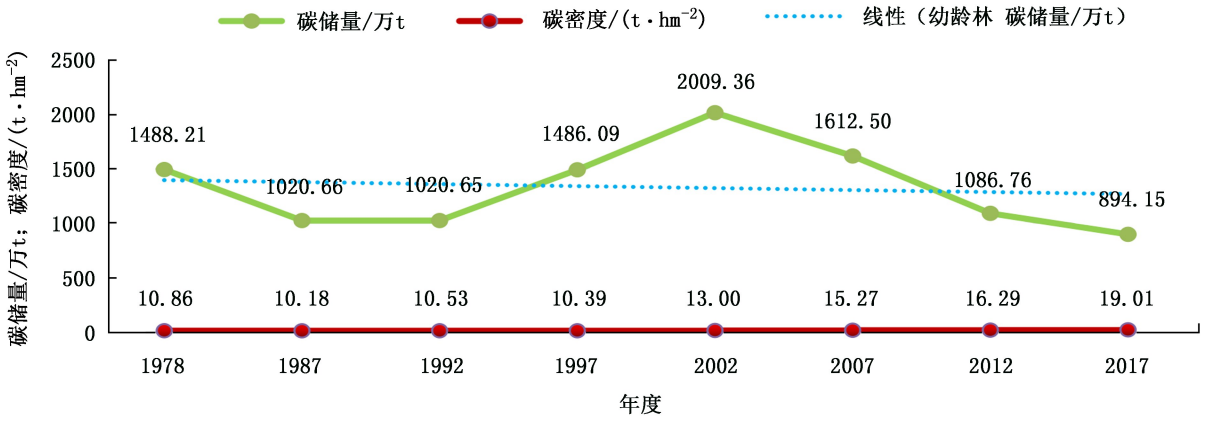


图 2　幼龄林碳储量、碳密度变化

Fig. 2　Changes of carbon storage and carbon density in young forests

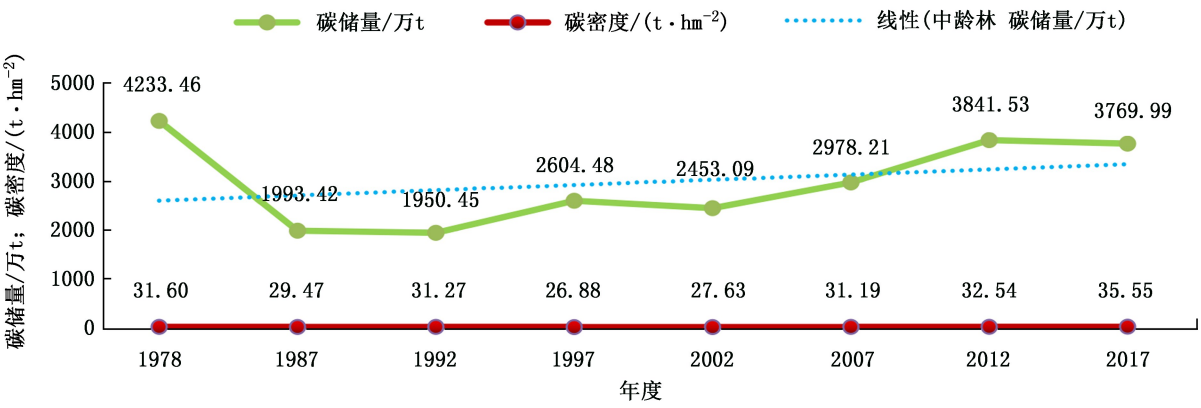


图 3　中龄林碳储量、碳密度变化

Fig. 3　Changes of carbon storage and carbon density in middle-aged forests

从图 3 看出，因初查时未细分近熟林，云南省云南松中龄林碳储量 1978 年达到峰值，之后的 1987—2017 年间，碳储量总体变化趋势为稳步增加，碳密度变化趋势为稳中略升。

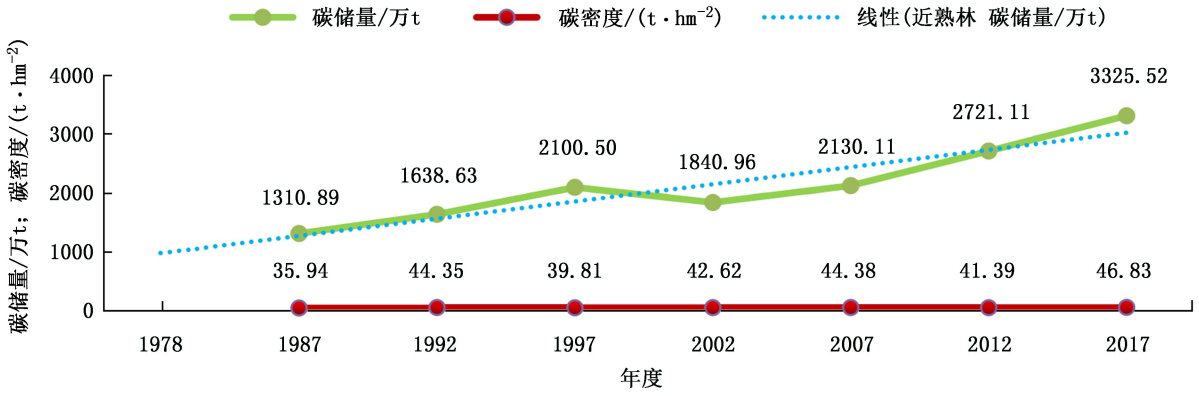


图 4　近熟林碳储量、碳密度变化

Fig. 4　Changes of carbon storage and carbon density in near mature forests

从图 4 看出，1987—2017 年间，受采伐限额编制、六大工程影响，30 年来云南省云南松近熟林碳储量呈大幅度增加趋势，碳密度呈小幅提升趋势。

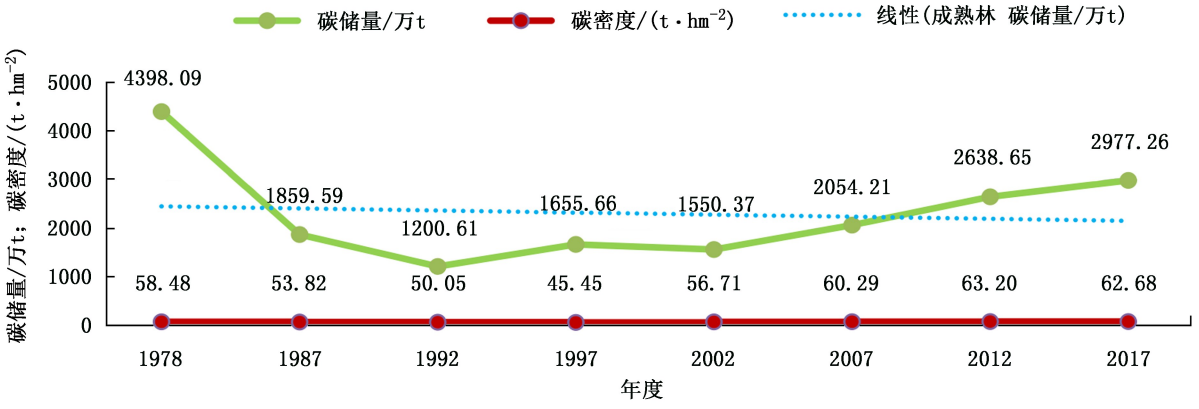


图 5　成熟林碳储量、碳密度变化

Fig. 5　Changes of carbon storage and density in mature forests

从图 5 看出,1978—1992 年 14 年间,云南省云南松成熟林碳储量大幅度减少,碳密度不断降低,反映出期间云南松林消耗量大;1992—2017 年 25 年间,受采伐限额编制、六大工程影响,碳储量、碳密度均呈总体上升趋势。

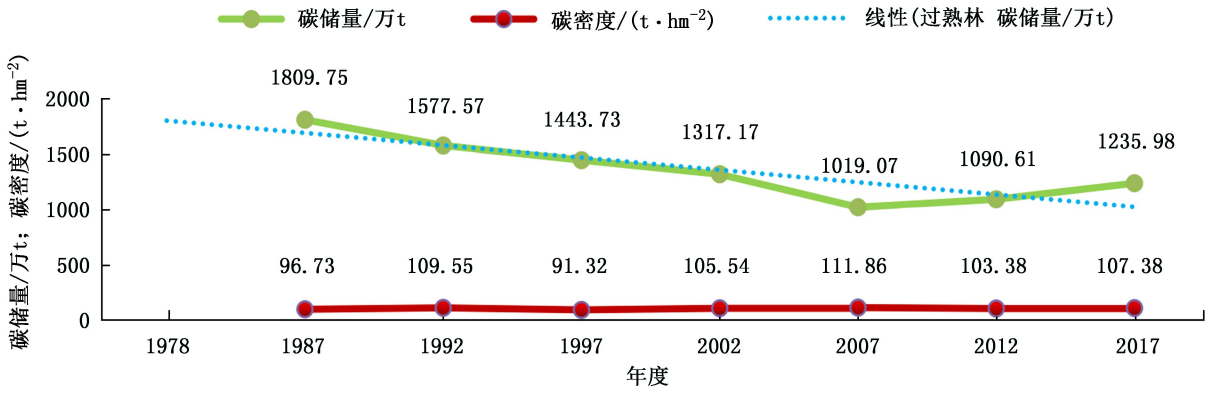


图 6　过熟林碳储量、碳密度变化

Fig. 6　Changes of carbon storage and carbon density in overmature forests

从图 6 看出,1987—2017 年 30 年间,按森林经理需要,云南省云南松林过熟林碳储量总体变化趋势为减少,碳密度总体变化趋势趋于稳定。

2.3 不同起源云南松林碳储量及动态变化原因分析

经计算,各清查年度不同起源云南松林碳储量及碳密度见表 5。

表 5　云南省云南松林不同起源碳储量动态变化

Tab. 5　Dynamic changes of carbon storage of *Pinus yunnanensis* forests from different origins in Yunnan

年度	人工				天然			
	生物量/万t	碳储量/万t	碳密度/(t·hm⁻²)	碳储量占比/%	生物量/万t	碳储量/万t	碳密度/(t·hm⁻²)	碳储量占比/%
1978	265.64	135.74	8.52	1	19538.18	9984.01	30.23	99
1987	321.78	164.43	11.82	2	15322.65	7829.87	32.12	98
1992	513.61	262.46	14.78	4	13944.16	7125.47	32.85	96
1997	633.70	323.82	14.05	3	17547.24	8966.64	27.86	97
2002	800.17	408.89	16.07	4	17146.91	8762.07	29.12	96
2007	1004.97	513.54	22.76	5	18161.55	9280.55	34.41	95
2012	1159.8	592.66	26.84	5	21107.67	10786.02	38.42	95
2017	1524.86	779.20	34.54	6	22355.56	11423.69	43.84	94

从表 5 看出,截至 2017 年,云南省云南松人工林碳储量为 779.20 万t,碳密度为 34.54 t/hm^2;天然林碳储量为 11 423.69 万t,碳密度为 43.84 t/hm^2;与 1978 年相比,人工林碳储量增加 643.46 万t,碳密度增加 26.02 t/hm^2;天然林碳储量增加 1 439.68 万t,碳密度增加 13.61 t/hm^2;云南松碳汇能力主要集中在天然林,各清查年度天然林碳储量占比均超 90%,但随着云南松人工种植面积、管护措施的不断提高,人工林碳储量占比正逐年递增。云南松林不同起源碳储量、碳密度变化见图 7,图 8。

从图 7 看出,1978—2017 年 30 年间,云南省云南松人工林碳储量总体呈大幅增加趋势,碳密度总体变化趋势为稳步上升,反映出云南省云南松人工种植面积逐年递增,人工林管护技术措施逐年提高,促成人工林碳汇能力不断提高。

从图 8 看出,1978—1992 年 14 年间,云南省天然云南松林消耗巨大,致使碳储量明显减少,但同期碳密度略有上升,反映出主要消耗大径级材。图 5、图 6 同期变化情况即充分证明;1992—2017 年 25 年间,天然林碳储量总体变化趋势稳步增加,碳密度

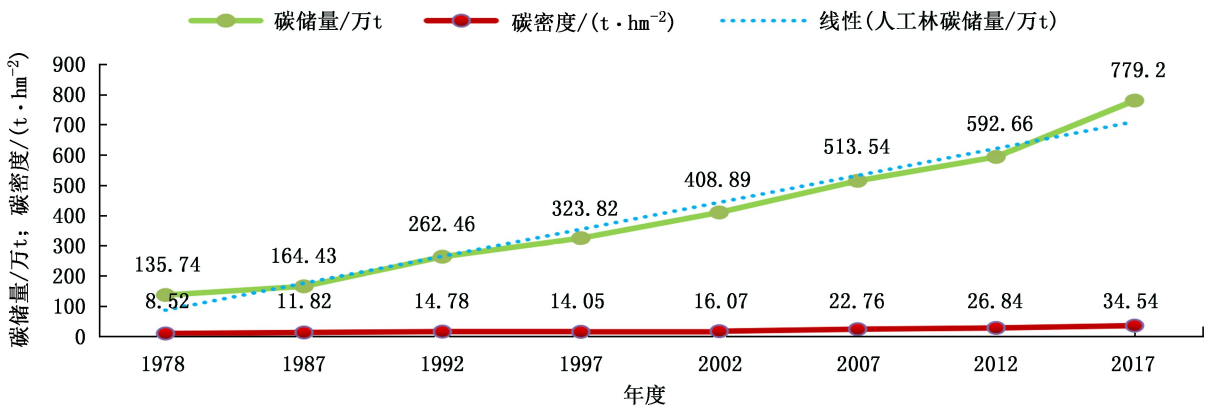


图 7 人工林碳储量、碳密度动态变化

Fig. 7 Dynamic changes of carbon storage and carbon density in artificial forests

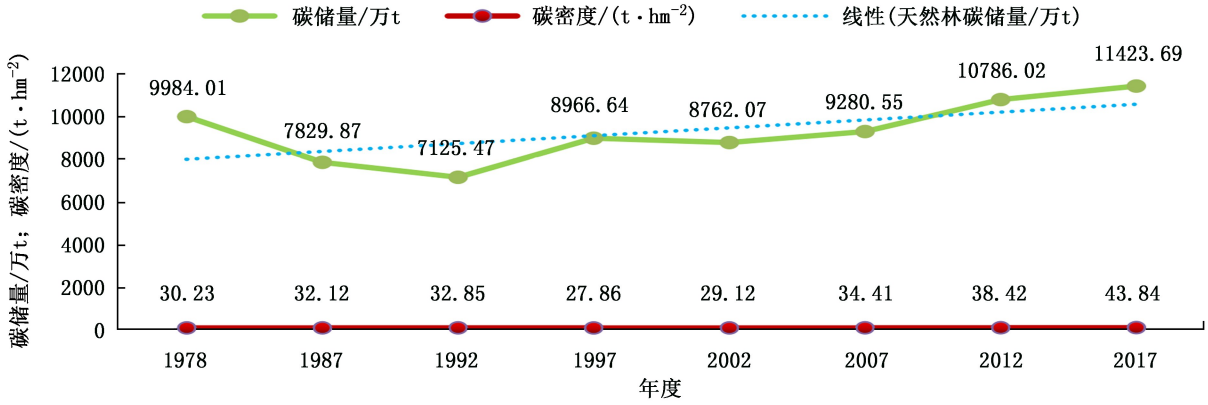


图 8 天然林碳储量、碳密度动态变化

Fig. 8 Dynamic changes of carbon storage and carbon density in natural forests

总体变化趋势小幅增大，充分反映了六大林业工程对森林质量的重要影响，尤其是天然林保护工程的实施，明显提高了天然林质量。

3 结论与讨论

生物量和碳储量与蓄积量成正比，二者随蓄积量的变化而变化；碳密度随龄级增加而升高。39 年来，云南省云南松林碳储量、碳密度在龄组上的变化趋势为：中龄林、成熟林、近熟林碳储量和碳密度逐年上升，三龄级碳储量占比达 70% 以上；在起源结构上的变化趋势为：人工林、天然林碳储量和碳密度均呈上升趋势，天然林碳储量占比达 90% 以上，人工林碳储量占比呈逐年增加趋势，主要是近年来人工林种植面积逐年递增、管护措施逐年完善。造成碳储量和碳密度增减、升降的原因很多，既有主观的生产经营活动、技术标准变化等原因，也有客观的自然灾害等原因。本文仅对云南省云南松林碳储量和碳密度 39 年来的变化趋势作了初步研究，不同调查时段产生变化的原因不尽相同，有待进一步深入研究。

参考文献：

[1] 云南省林业调查规划院，云南省林业厅，国家林业局中南森林资源监测中心，等 . 云南省森林资源清查报告[R]. 1978-2017.

[2] 国家林业局林业碳汇计量监测中心，国家林业局调查规划设计院 . 全国林业碳汇计量和监测技术指南[S]. 2010.

[3] 施化云 . 云南省森林碳储量时空变化研究[M]. 昆明：云南科技出版社，2018.

[4] 赵元藩，艾建林，温庆忠 . 云南省森林资源监测研究[M]. 昆明：云南科技出版社，2012.

[5] 欧光龙，胥辉 . 环境灵敏的思茅松天然林生物量模型构建[M]. 北京：科学出版社，2015.

[6] 龙廷位，施俊美 . 云南省思茅松林碳储量动态变化研究[J]. 林业调查规划，2019，44(4)：7-13.

责任编辑：许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.003

广西壮族自治区草原综合植被盖度监测研究

江锦烽,杨承伶,陈国平,龙佳峰,苏树祥,黄 文
(广西壮族自治区林业勘测设计院,广西 南宁 530011)

摘要:通过草原综合植被盖度监测,主要调查草原样地基本特征、地理位置(经纬度)、主要植物种类、样地综合植被盖度等要素,综合测算广西草原综合植被盖度。结果表明,本次调查广西共布设监测样地 812 个,测算出草原综合植被盖度为 82.76%,较 2019 年提高 0.93%,其中,热性草丛类、热性灌草丛类、暖性灌草丛类植物的综合植被盖度分别为 84.11%、82.88%、89.00%。同时对关系草原综合植被盖度变化原因及存在问题进行分析,提出相关建议,以期为广西全面建成小康社会统计监测指标体系和广西绿色发展指标体系提供重要基础指标数据。

关键词:草原;综合植被盖度;样地布设;广西

中图分类号:S812;Q948.156 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0015-05

引文格式:江锦烽,杨承伶,陈国平,等. 广西壮族自治区草原综合植被盖度监测研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):15-19,25. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.003

JIANG Jinfeng, YANG Chengling, CHEN Guoping, et al. Monitoring of Comprehensive Vegetation Coverage of Grassland in Guangxi[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):15-19,25. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.003

Monitoring of Comprehensive Vegetation Coverage of Grassland in Guangxi

JIANG Jinfeng, YANG Chengling, CHEN Guoping, LONG Jiafeng, SU Shuxiang, HUANG Wen
(Guangxi Forest Inventory and Planning Institute, Nanning 530011, China)

Abstract: By monitoring the comprehensive vegetation coverage of grasslands, this paper mainly investigated the basic characteristics, geographical location (latitude and longitude), main plant species, and comprehensive vegetation coverage of grassland sample plots, and calculated the comprehensive vegetation coverage of grasslands in Guangxi. The results showed that a total of 812 monitoring plots were set up in Guangxi during this survey, and the comprehensive vegetation coverage of grasslands was 82.76%, an increase of 0.93% compared to 2019, among which, the comprehensive vegetation coverage of thermal grassland, thermal shrub grassland, and warm shrub grassland plants was 84.11%, 82.88%, and 89.00%, respectively. At the same time, this paper analyzed the change reasons and existing problems in comprehensive vegetation coverage of grasslands, and proposed relevant suggestions, in order to provide important basic indicator data for the comprehensive construction of a moderately prosperous society statistical monitoring indicator system and the green development indicator system in Guangxi.

Key words: grassland; comprehensive vegetation coverage; layout of sample plots; Guangxi

收稿日期:2022-03-22.

第一作者:江锦烽(1976-),男,广西藤县人,高级工程师. 主要从事林业调查规划设计、森林资源监测工作.

责任作者:杨承伶(1979-),男,广西河池人,高级工程师. 主要从事森林资源调查、监测以及林业工程规划工作.

草原综合植被盖度指某一区域各主要草地类型的植被盖度与其所占面积比重的加权平均值,其主要定量反映大尺度范围内草原的生态质量状况,直观表现较大区域内草原植被的疏密程度,是反映草原生态状况的一个重要生态指标,是开展生态文明建设目标评价的重要指标之一[2-4]。

1 研究区概况

广西位于东经 104°26′~112°04′,北纬 20°54′~26°24′之间。南临北部湾,与海南省隔海相望,东靠广东,东北连接湖南,西北连接贵州,西面对接云南,西南与越南相毗邻。陆域土地总面积 23.67 万km^2。

广西属云贵高原向东南沿海丘陵过渡地带,地势概貌为西北高,东南低,四周山地环绕,呈盆地状。广西具有山地多,平原少的特点,地貌以中山、低山和石山为主。另外,广西石灰岩地层面积占总面积的 37.8%。

广西属于亚热带季风气候区,具有气候温暖,水热条件充沛,日照丰富,冬短夏长的特点。年均温 20.7℃,最热月 7 月均温 23~29℃;最冷月 1 月均温 6~14℃。年日照时数 1 519 h,年均降水量 1 543 mm。

森林土壤有 12 个土类。北部地区土壤按海拔从低到高垂直分布依次是红壤、山地红壤、山地黄壤、山地黄棕壤、山地矮林草甸土,而南部地区土壤依次为赤红壤(或砖红壤)、山地赤红壤、山地黄壤。

境内植被南亚热带与中亚热带性质明显,但受人为活动的干扰,地带性植被存留已很少。现有植被绝大部分以各类次生性植被为主,主要有沟谷雨林、季雨林、常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、热性针阔混交林、针叶林、温性针阔混交林、竹林、灌丛和灌草丛等。

2 监测范围和规模

2.1 监测范围

广西草原综合植被盖度监测只涉及《第三次全国国土调查技术规程》(TD/T 1055—2019)中所定义的草地。即:指生长草本植物为主的土地,包括天然牧草地,指以天然草本植物为主,用于放牧或割草的草地,包括实施禁牧措施的草地,不包括沼泽草地;人工牧草地,指人工种植牧草的草地;其他草地,指树木郁闭度<0.1,表层为土质,不用于放牧的草地。

2.2 监测规模

监测草地斑块共 319 240 块,总面积为 28.22 万hm^2,大部分草地斑块面积较小。其中斑块面积小于 6.67 hm^2 的草地共 313 109 块,占总块数的 98.08%,合计面积 14.21 万 hm^2,占总面积的 50.37%;斑块面积 6.67~66.67 hm^2 的草地共 5 800 块,占总块数的 1.82%,合计面积 9.50 万hm^2,占总面积的 33.68%;斑块面积大于 66.67 hm^2 的草地共 331 块,仅占总块数的 0.10%,合计面积 4.50 万 hm^2,占总面积的 15.95%。草地斑块面积最大为 1 026.67 hm^2。草地斑块面积分布情况详见表 1。

表 1 广西草地规模分布

Tab. 1 Scale distribution of grassland in Guangxi

面积区间/hm^2	块数/块	占比/%	面积/万hm^2	占比/%
<6.67	313109	98.08	14.21	50.37
6.67~13.33	3305	1.04	3.04	10.77
13.33~33.33	1925	0.60	3.87	13.72
33.33~66.67	570	0.18	2.59	9.19
66.67~333.33	313	0.10	3.63	12.86
333.33~666.67	16	0.01	0.76	2.70
>666.67	2	<0.01	0.18	0.62

3 监测样地布设与调查方法

3.1 样地布设

在典型的相应群落地段选择样地。要求生境条件、植物群落种类组成与结构、利用方式以及强度等具有相对一致性,样地间应有异质性,所选样地可控制的最大范围内具有同质性条件的地貌、植被等(即地貌以及植被生长状况应相似)[5]。草原植被样地控制面积大于(含)100 hm^2,在此范围内布设样条与样方。

3.1.1 样地布设原则

1)样地类型应体现典型环境、植被特征[6],并具有发育完整的植被系统,且有代表性。

2)需重点考虑草地类型的优势种、建群种在种类及数量方面的变化趋势及规律[7]。

3)不同草原类型分布在山地垂直带上时,要相对一致地在每一个垂直分布带的坡位、坡度、坡向、中部进行布设[7]。

4)隐域性草原,选择环境条件相对均匀一致的位置;斑块状草原植被,适当增加样地数和减小样地面积[7]。

5)利用方式、强度不同的草原[7],应尽可能地全面反映各利用状况的草原植被,分别布设样地[6]。

6)草原保护建设工程的效益监测,工程区内、外样地需同时进行监测,其他条件尤其是原生植被类型、地貌及土壤要保持一致[6]。

7)草原的培育措施或利用方式有变化时,需及时选择新、旧对照样地进行比较,监测其变化造成的影响[6]。

8)过渡带内原则上不允许布设样地。

3.1.2 类型划分

参照《广西草原类型与生态质量等级划分细则》,广西草原类型划分为暖性草丛类、暖性灌草丛类、热性草丛类、热性灌草丛类。根据现地调查情况,按广西草地类型划分代码表进行分类并记录样地调查表,不符合广西草地类型划分代码表所列草原类型的,根据样地所处海拔、温度、湿度、水分条件、植物分布、植物种类等情况,按中国草地类型分类系统对草原类型进行预判并记录,不能现场预判的,按草原型的命名规则进行记录。

3.1.3 布设方法

1)解译标志建立

以草地历史调查数据为参考资料,建立各草地类型在不同数据源遥感图像中的解译标志[8-10]。

2)草地类型预判

根据高分辨率遥感影像,结合遥感解译标志,采用人机互动的方法,对国土三调草地斑块进行类型预判。

3)草地信息统计

根据草地预判结果,统计各草地类型数量、面积空间分布等方面信息。

4)样地布设

根据草地统计信息,确定各草地类型样地布设数量;以草地预判数据及高空间分辨率遥感影像[11-13]为依据,综合草地空间分布、类型、交通等方面情况逐个布设样地。

5)样地检查与调整

安排内业人员依据高空间分辨率遥感影像对样地逐个进行核查;核查完成后,由外业工作人员进一步核查、调整,并对有调整的样地进行备注。外业人员核查、调整后,交予广西自治区林业局草地监理中心,由草地监理中心组织专家审查,并提出意见;内业人员根据专家意见进行调整、修改,直到符合要求。

3.1.4 布设结果

总布设样地共 812 个,样地分布见表 2。

表 2　广西壮族自治区草原综合植被盖度监测样地分布

Tab. 2　Monitoring plots distribution of comprehensive vegetation coverage of grassland in Guangxi

地区	数量/个	地区	数量/个
南宁市	66	贵港市	46
柳州市	65	玉林市	49
桂林市	133	百色市	76
梧州市	23	贺州市	25
北海市	9	河池市	122
防城港市	44	来宾市	50
钦州市	39	崇左市	65

3.2 调查方法

样方是代表样地信息特征的基本采样单元,用于获取样地的基本信息。

3.2.1 样方布设原则

1)在样地内布设样方。

2)在样地内任意位置布设第 1 个样方后,在兼顾代表性及随机性的前提下,任意方向样方间距离不小于 250 m,依次布设第 2、3 个等[14]。同一样方不同重复间的间隔小于 250 m[15]。

3)若有障碍,如围栏、河流或建筑物等,可在附近具有代表性且与原定点的环境状况、利用方式及草原类型基本相同的位置采样[14]。

4)为了获取最接近真实的生物量,尽可能选择样地内未利用的区域作为测产样方[14]。

3.2.2 样方种类

1)草本、半灌木以及矮小灌木草原样方

对只有矮小灌木、半灌木、草本植物的样地,样方面积为 1 m^2;若植物分布较稀疏,呈斑块状,样方面积为 2~4 m^2。矮小灌木、半灌木、草本的高度为半灌木以及矮小灌木高度在 50 cm 以下(不能形成大株丛)、草本高度在 80 cm 以下[5]。

2)灌木以及高大草本植物草原样方

样地内有较为均匀分布或数量较多的高大草本植物以及灌木,样方面积为 100 m^2[5]。高大草本、灌木高度分别在 80 cm 以上和 50 cm 以上。这些植物一般是较坚硬,家畜不能直接食用枝条的大株丛。若灌木、高大草本零星、稀疏分布,无高大草本、灌木层,则忽略不计,调查草本、半灌木以及矮小灌木即可[5]。

3.2.3 样方形状

对于高大草本类以及灌木类植物的平坦草原,采用正方形样方(10 m×10 m)调查。高大草本类以

及灌木类山坡地草原的植物,采用正方形样方(10 m × 10 m)或长方形样方(20 m × 5 m)[5]调查,沿坡纵向布设。

3.2.4 样方数量

正常情况下,一个样地内布设不少于 3 个样方。对于生态变异、面积大、地形复杂的样地需设多个样方。灌木以及高大草本类植物的草原,样地内只设置一个 100 m^2 的样方,不重复调查[15]。

3.2.5 调查内容

通过地面调查获取样地基本特征、地理位置(经纬度)、主要植物种类、样地综合植被盖度等要素。

1)样地基本特征

样地号、地点、草地类型、地貌、土壤特征、地表特征、裸地面积比例等信息。

2)样方调查

样方编号、面积、定位、植被盖度测定、草群平均高度、主要植物种名等信息。

3.2.6 监测时间

在草原植被生长盛期(7—9 月)开展植被盖度监测,为保证监测结果具有较好的可比性,每年监测时间[16]应尽量相同。

4 植被盖度测定方法

4.1 样方植被盖度

样方植被盖度指样方内各种植物投影覆盖地表面积的百分数。植被盖度测量采用目测法或样线针刺法。(1)目测法:目测并估计样方内所有植物垂直投影的面积;(2)样线针刺法:选择 50 m 或 30 m 刻度皮尺,每隔一定距离用探针垂直向下刺,若有植物,记做“1”,无则记做“0”,同时计算其出现频率,即植被盖度[5]。

4.2 样地植被盖度

测算草原综合植被盖度时需获得样地植被盖度,样地植被盖度在样方植被盖度测定基础上计算获得,不需现地记录,用于测算草原综合植被盖度。主要分两种情况进行计算,公式分别为:

中小草本及小半灌木植物样地盖度 = 该样地内所有样方植被盖度的算术平均值 − 样地裸地面积比例 − 岩石裸露率 (1)

灌木及高大草本植物样地盖度 = 100 m^2 灌木及高大草本样方植被盖度 − 样地裸地面积比例 − 岩石裸露率 (2)

4.3 草原综合植被盖度

广西全区市及市级以下行政区域草原综合植被盖度参照《草原综合植被盖度监测技术规程(试行)》进行测算[16]。计算公式分别为:

$$G = \sum_{k=1}^{N} (G_k \cdot I_k) \tag{3}$$

$$G_k = \sum_{j=1}^{n} (G_j \cdot I_j) \tag{4}$$

$$I_k = M_k / (M_1 + M_2 + \cdots + M_N) \tag{5}$$

$$I_j = m_j / (m_1 + m_2 + \cdots + m_n) \tag{6}$$

式中:G 为广西全区草原综合植被盖度;G_k 为某市综合植被盖度;G_j 为某市不同类型草原综合植被盖度;I_k 为某市综合植被盖度的权重;I_j 为某市某类型草原综合植被盖度的权重;k 为某市的序号;N 为参与计算市的总数;M_k 为某市的天然草原面积;M_j 为某市某类型天然草原面积;n 为参与计算草原类型的总数[16]。

5 监测结果与分析

5.1 监测结果

广西全区草原综合植被盖度为 82.76%。其中,热性草丛类植被面积最大,样地布设数量为 264 个,综合植被盖度为 84.11%;热性灌草丛类植被布设样地最多,为 547 个,样地综合植被盖度为 82.88%,表明热性草丛类草原综合植被盖度高于热性灌草丛类。暖性灌草丛类草地面积较小,仅布设 1 个样地,综合植被盖度为 89.00%;暖性草丛类草地面积为 26.67 hm^2,未布设样地(表 3)。

表 3 广西各草地类型综合植被盖度

Tab. 3 Comprehensive vegetation coverage of various grassland types in Guangxi

草地类型	面积 /hm^2	样地数 /个	综合植被盖度 /%
全区	28.22×10^4	812	82.76
暖性草丛类	26.67	0	0
暖性灌草丛类	340.00	1	89.00
热性草丛类	18.07×10^4	264	84.11
热性灌草丛类	10.11×10^4	547	82.88

在各地市对比中,南宁市、柳州市、桂林市、梧州市、防城港市、玉林市等地区综合植被盖度高于全区草原综合植被盖度,主要原因在于桂北、桂东北、桂南水热条件较好,适宜草原植被生长。北海市、钦州市、贵港市、百色市、贺州市、河池市、来宾市、崇左市

等地区综合植被盖度低于全区草原综合植被盖度,主要原因在于桂西、桂西北等地区气候条件较差、土地石漠化以及沿海地区土壤沙化,导致草原植被生长较差。

5.2 草原综合植被盖度动态变化及原因分析

2020 年调查发现广西草原综合植被盖度为 82.76%,与 2019 年相比,提高了 0.93%。南宁市、柳州市、梧州市、北海市、防城港市、贵港市、玉林市、河池市、来宾市的草原综合植被盖度出现不同程度提高,玉林市提高幅度最大,达 4.29%;其次是北海市和柳州市,提升幅度分别为 3.72%和 3.51%。桂林市、钦州市、百色市、贺州市和崇左市的草原综合植被盖度出现不同幅度下降;崇左市降幅最大,为 2.89%,钦州市降幅次之,为 2.80%。广西各市草原综合植被盖度变化情况详见表 4。

表 4　2017—2020 年广西草原综合植被盖度动态变化

Tab. 4　Dynamic changes in comprehensive vegetation coverage of grasslands in Guangxi from 2017 to 2020　%

地区	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
全区	81.33	81.64	81.83	82.76
南宁市	81.46	84.85	84.88	84.93
柳州市	83.82	81.21	81.28	84.79
桂林市	84.65	86.92	87.01	85.97
梧州市	81.49	82.03	82.16	85.23
北海市	67.60	76.04	76.22	79.94
防城港市	81.50	83.91	84.08	84.19
钦州市	82.64	83.38	83.51	80.71
贵港市	81.09	78.91	79.49	80.92
玉林市	81.78	83.98	84.11	88.40
百色市	79.94	79.77	80.26	80.05
贺州市	82.50	82.03	82.11	81.53
河池市	80.32	79.17	79.30	81.70
来宾市	81.50	80.23	80.34	80.89
崇左市	78.66	83.78	83.87	80.98

草原综合植被盖度发生变化的主要原因为:

(1)基础数据来源不同。2017—2019 年草原综合植被盖度监测基于第二次全国国土调查数据成果以及 2018 年土地利用现状数据。2020 年的监测基于第三次全国国土调查初步成果,图斑区划精度显著高于第二次全国国土调查,草地面积和图斑位置变化大。其中 2018 年土地利用现状中草地面积为 110.29 万hm^2,而第三次全国国土调查初步成果中草地面积仅为 28.22 万hm^2,减少 82.08 万hm^2,各市县草地面积明显减少。

(2)监测样地数量增加,监测精度提高。2017—2019 年草原综合植被盖度监测样地布设数量为 300 个,约 3 666.67 hm^2 草地布设一个样地。而本次监测样地布设 812 个,约 346.67 hm^2 布设一个监测样地,监测精度远高于 2017—2019 年。

6 存在问题与相关建议

6.1 存在问题

1)广西草原资源比较分散,外业调查难度大。草地斑块面积普遍较小,而且分散。广西全区草地斑块面积小于 6.67 hm^2 的块数占总块数的 98.08%;而斑块面积大于 66.67 hm^2 的草地块数仅占总块数的 0.10%。另外,由于草地斑块分散,部分草地位置偏远,导致外业调查难度大,消耗时间长。

2)部分县区草原面积小,无法通过县级权重赋值测算。广西各县草原面积较小,部分草原面积较小的县区未设置样地或设置少量的样地,因此市级草原综合植被盖度测算无法通过县级进行权重赋值测算。本次草原综合植被盖度测算以市为行政单位,对各市的草原按类型进行权重赋值测算,进而测算全区草原综合植被盖度。

3)部分草原斑块现状改变,需另设样地。实地调查发现,部分草原斑块已种植桉树、油茶等树种,或被开发用于光伏和风能发电站,导致无法进行监测样地调查。

6.2 建议

1)本次调查的基础数据和样地布设基于国土三调初始数据,与最终数据可能有所误差。建议国土三调最终数据公布后,结合本次监测结果,优化监测点的布设,进一步提高植被盖度的监测质量。

2)系统总结调查中存在的技术问题,尤其是植被识别、盖度测定等主要内容,通过理论学习和实践运用,进一步提高草原监测技术和水平。

参考文献:

[1] 广西壮族自治区林业勘测设计院 . 2020 年度广西草原综合植被盖度监测报告[R]. 2020.

(下转第 25 页)

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 004

龙胜县森林火险等级区划

文 娟[1],张 伟[2],王秋华[3],黄淑莹[2],莫奇京[1],阳文程[4],胡嘉春[4]
(1. 广西壮族自治区森林资源与生态环境监测中心,广西 南宁 530028; 2. 广西壮族自治区林业勘测设计院,广西 南宁 530011;3. 西南林业大学 土木工程学院/云南省森林灾害预警与控制重点实验室,云南 昆明 650224; 4. 龙胜各族自治县林业局,广西 龙胜 541700)

摘要:以广西龙胜县为研究区,调查分析该县森林火险状况及影响要素,结合森林资源载量及森林防火实际,选取树种(组)燃烧类型、人口密度、气象因子、火灾次数等 11 项主要林火影响因子,综合运用层次分析法(AHP)、聚类分析法及 ArcGIS 空间分析法,区划森林火险等级。结果表明,各村(分场)可区划为Ⅰ(高火险区)、Ⅱ(中火险区)、Ⅲ(低火险区)3 个火险等级;Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级火险区面积分别占研究区总面积的 35. 47%、38. 33%、26. 20%。高火险区主要分布在东部和南部,中火险区集中于西部和北部,低火险区分散在高、中火险区之间。区划结果有利于总结、突出研究区森林火情特点和重点。

关键词:森林火险;火险等级区划;火险因子;龙胜县

中图分类号:S762. 31 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0020-06

引文格式:文娟,张伟,王秋华,等. 龙胜县森林火险等级区划[J]. 林业调查规划,2023,48(5):20-25. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 004

WEN Juan, ZHANG Wei, WANG Qiuhua, et al. Forest Fire Risk Classification in Longsheng County[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):20-25. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 004

Forest Fire Risk Classification in Longsheng County

WEN Juan[1], ZHANG Wei[2], WANG Qiuhua[3], HUANG Shuying[2], MO Qijing[1], YANG Wencheng[4], HU Jiachun[4]
(1. Guangxi Forest Resources and Environment Monitoring Center, Nanning 530028, China; 2. Guangxi Forest Inventory and Planning Institute, Nanning 530011, China; 3. Yunnan Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control, School of Civil Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 4. Longsheng Bureau of Forestry, Longsheng, Guangxi 541700, China)

Abstract: The forest fire risk situation and influencing factors in Longsheng County of Guangxi were investigated and analyzed. Based on the forest resource carrying capacity and actual forest fire prevention, 11 main forest fire influencing factors were selected, including tree species (groups) combustion type, population density, meteorological factors, and fire frequency. The analytic hierarchy process (AHP), cluster analysis, and ArcGIS spatial analysis were comprehensively used to classify the forest fire risk level. The results showed that all forest zones from different villages (forest farm branches) could be divid-

收稿日期:2022-04-01.
基金项目:广西林业厅林业科技青年基金项目(桂林科研 2016 第 22 号);广西林业科技项目(桂林科研[2015]第 32 号).
第一作者:文娟(1984-),女,广西全州人,硕士,高级工程师. 研究方向为森林资源调查与生态环境监测工作. Email:190612637@163. com
责任作者:张伟(1979-),男,广西贵港人,硕士,正高级工程师. 主要从事森林资源调查与生态环境监测工作.

ed into three fire risk levels: I (high fire risk area), II (medium fire risk area), and III (low fire risk area); the areas of Level I, II, and III fire danger zones accounted for 35.47%, 38.33%, and 26.20% of the total research area, respectively. High risk areas were mainly distributed in the east and south, medium risk areas were concentrated in the west and north, and low risk areas were scattered between high and medium risk areas. The zoning results were conducive to summarizing and highlighting the characteristics and key points of forest fire in the research area.

Key words: forest fire; forest fire risk zoning; fire risk factor; Longsheng County

森林火险区划以综合分析致火因子为基础,将研究区进行火险等级区划,为科学部署防火力量,提高防火工作综合水平奠定基础[1-2]。国内外学者做了大量的森林火险区划研究工作,森林资源、路网密度、火源类型、可燃物种类、气候气象等因子是当前世界各国学者研究森林火险的主要对象[3-12]。国外以美国、加拿大、澳大利亚等国处于世界领先水平[13]。20 世纪 50—60 年代,借鉴加拿大、美国等国的先进方法,中国的森林防火预测研究工作进入起步阶段,国家林业部于 1992 年发布的林业行业标准《全国森林火险区划等级》标志着中国森林火险研究水平上升到新的高度,但张景群认为此标准适用于省级以上大区域的森林火险区划,对指导县级、森林公园、林场等小尺度区域的区划工作意义不大[14-15]。目前,国内外以县级作为森林火险区划对象的研究还较少[16-18]。

2014 年,龙胜县按照广西自治区防火处关于推行全区森林火险区划细分细化的要求,开展了县级森林火险区划。本研究以龙胜县森林资源数据为基础,选取并收集该县 2009—2013 年期间(区划期)森林火灾次数、气象因子、人口密度等林火影响因子资料,以 ArcGIS 为依托,结合层次分析、聚类分析等方法,于 2016 年完成县级森林火险等级区划研究,为县域尺度上的森林火险区划提供参考,为推进县级森林防火精细化管理提供依据,并对比区划期(2009—2013 年)与对比期(2014—2020 年)森林火灾次数,验证火险区划结果的实用性。

1 研究区概况

龙胜县地处广西壮族自治区东北部,桂林市西北部,位于北纬 25°29′21″~26°12′10″,东经 109°43′28″~110°21′14″。全县行政区面积 2 450 km^2,总人口 17.34 万,其中:农村人口、少数民族人口分别占总人口的 63.0%、75% 以上[19]。县域内平均海拔 700 m 以上的山地占全县土地面积的 47.3%。最高海拔 1 940 m,最低海拔 163 m。地理上属亚热带季风气候,年均温 18℃,历年最高年均气温 18.7℃,历年最低年均气温 17.3℃,极端最高温 39.5℃,极端最低温-4.8℃,年均降雨量 1 544 mm[20]。

全县林地面积 207 251.9 hm^2,其中:有林地 170 593.0 hm^2,占林地面积的 82.3%;灌木林地 21 188.8 hm^2,占 10.2%;未成林造林地 8 552.4 hm^2,占 4.1%,森林覆盖率 75.2%。全县各区划单元森林蓄积量占比超过 55% 的树种组分别为杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、软阔类、硬阔类。按照《全国森林火险区划等级》LY/T 1063—2008 标准,依据树种组的蓄积比例及优势树种(组)的燃烧难易程度划分树种(组)燃烧类型,并规定杉木、软阔、硬阔类属于可燃类,因此,龙胜县的树种(组)燃烧类型均划为可燃类。

龙胜县森林覆盖率在广西名列前茅,其森林资源丰富,其中花坪国家级自然保护区主要以珍稀孑遗树种银杉(*Cathaya argyrophylla*)和典型常绿阔叶林为主,其中银杉有“植物熊猫”美誉,是我国植物学家继水杉之后发现的第二种植物活化石,具有高保护价值。境内少数民族聚居,刀耕火种、居住木楼、林田相连等林情、火情特点,提高了区域内森林火灾发生的风险,增加了森林火灾蔓延的危险性以及对人民生命财产的破坏性。

研究期(2009—2020 年)内,全县共发生森林火灾 54 次,年均 4.5 次,其中 2009—2013 年为火险区划期;2014—2020 年为火险区划结果对比期。火灾发生原因全部为人为因素,发生时间主要在春、秋两季,受害森林全部为人工林。防火期为 9 月至翌年 5 月,期间气候干旱,清明节祭祀、造林整地、农作物收割等人为活动频繁,属森林火灾多发时段。

2 研究方法

2.1 最小区划单元

为保证森林火险区划与行政区划、林业区划相

衔接,保障每个区划单元森林火险防控责任到人,本研究以村作为区划基本单位,研究区域内的林场、自然保护区、森林公园分别以分场(工区)、管理站(所)、园区(片区)或所在村为区划基本单元。

2.2 因子选取

气候、地形、地物类型和人类活动等是影响森林火险的主要因子[21],应根据森林火险区划对象的林火特点和可获取的有效数据,灵活选取合理的因子进行森林火险区划[17]。《全国森林火险区划等级》LY/T 1063—2008 行业标准选取的森林火险因子为树种(组)燃烧类型、人口密度、防火期月平均降水量、平均气温、平均风速、路网密度。本研究综合分析龙胜县的林情、火情,结合火险因子采集数据的可获取性和完整性,在行业标准的基础上补充增加了相对湿度、距用火及迷信习惯地距离(应用 ArcGIS 软件测算各区划单元林地边缘与周边农田、采伐迹地、坟地等生产用火、迷信用火频繁区域最近距离)、重要保护目标、平均海拔和历年火灾等因子进行研究。参照《全国森林火险区划等级》、专家和研究区森林防火工作人员意见,采用层次分析法(AHP)赋予各因子权重[22](表 1)。

2.3 森林火险等级评价

以龙胜县林业局会同气象局、统计局、交通局等部门提供的森林资源数据和森林火险因子数据为基础,应用数理统计法计算各区划单元的森林火险因子权值之和及三项综合得分值。

将最小区划单元的各项火险因子的实际数值与表 1 中的级距对应,并把相应的权值累加,得出该区划单元的权值之和,即:森林火险因子权值之和=火险因子 A 权值+B 权值+C 权值+D 权值+E 权值+F 权值+G 权值+H 权值+I 权值+J 权值+k 权值。

为衔接国家森林火险等级,本研究参照《全国森林火险区划等级》LY/T 1063—2008 行业标准,将研究区的森林火险等级分为 3 级,即Ⅰ级高危险区、Ⅱ级中危险区、Ⅲ级低危险区,应用聚类分析法确定综合得分值的阀值(表 2)。根据各区划单元 3 项综合得分值,对照表 2 中的标准分值,取其中对应值高的火险等级作为区划单元初步的森林火险等级。运用 ArcGIS 软件的图库关联、空间分析功能,分析初步的森林火险等级分布情况,结合龙胜县森林资源分布特点、森林火灾发生时空规律、森林防火工作经验、重点保护目标分布、当地用火及迷信习惯等情况,同时征询林火专家及森林防火工作人员意见,确定各区划单元的最终火险等级。

表 1 火险因子及其类别权重

Tab. 1 Fire risk factors and category weights

火险因子	类别	权重
A. 树种(组)燃烧类型	难燃类	0.04
	可燃类	0.10
	易燃类	0.20
B. 人口密度/(人·hm^{-2})	≤0.6	0.03
	0.7~1.3	0.14
	≥1.4	0.12
C. 防火期月平均降水量/mm	≥53	0.04
	52.9~24.6	0.11
	≤24.5	0.23
D. 防火期月均相对湿度/%	≥75	0.02
	75~55	0.04
	≤55	0.08
E. 防火期月平均气温/℃	≤7.5	0.03
	7.6~14.0	0.15
	≥14.1	0.19
F. 防火期月平均风速/(m·s^{-1})	≤1.7	0.02
	1.8~2.6	0.09
	≥2.7	0.16
G. 阻隔网密度/(m·hm^{-2})	≤1.5	0.04
	1.6~2.5	0.08
	≥2.6	0.05
H. 距用火及迷信习惯地(坟地、炭窑、农田、甘蔗地、采伐迹地、拟整地造林地、庙宇等地)距离/m	0~5	0.08
	5~20	0.04
	≥20	0.02
I. 距重要保护目标(主要指保护区、油库、国境线、高速路两侧、名胜风景区、森林公园、名胜古迹和革命纪念地等)距离/km	0~5	0.08
	5~20	0.04
	≥20	0.02
J. 平均海拔/m	≥1000	0.02
	500~1000	0.04
	≤500	0.08
K. 历年火灾/次	0~5	0.02
	5~10	0.04
	≥10	0.08

3 结果与分析

3.1 区划结果总体分析

应用森林火险评价方法,计算并确定龙胜县各区划单元的最终火险等级。区划结果为,全县Ⅰ级、

表 2　森林火险等级阈值

Tab. 2　Forest fire risk level threshold

火险等级		综合得分值(权值之和×森林资源数量)	标准分值
Ⅰ	森林火灾危险性大	综合得分值 A = 权值之和×有林地、灌木林地与未成林地之和(hm^2)	>1551
		综合得分值 B = 权值之和×活立木总蓄积量(m^3)	>67433
		综合得分值 C = 权值之和×YGW%	>62.99
Ⅱ	森林火灾危险性中	综合得分值 A = 权值之和×有林地、灌木林地与未成林地之和(hm^2)	1239~1551
		综合得分值 B = 权值之和×活立木总蓄积量(m^3)	58485~67433
		综合得分值 C = 权值之和×YGW%	59.87~62.99
Ⅲ	森林火灾危险性小	综合得分值 A = 权值之和×有林地、灌木林地与未成林地之和(hm^2)	<1239
		综合得分值 B = 权值之和×活立木总蓄积量(m^3)	<58485
		综合得分值 C = 权值之和×YGW%	<59.87

说明:YGW%为有林地、灌木林地和未成林造林地与该地区总面积之比。

Ⅱ级、Ⅲ级火险区面积分别占全县土地总面积的35.47%、38.33%、26.20%,分别涉及基本区划单元46、46、39 个。中、高级火险区面积高达 73.80%,说明龙胜县森林火险风险较大,森林防火任务重。因此,针对不同火险区进行分区施策、因害设防,对提高森林防火监测效率和综合扑救能力具有现实指导意义。火险等级分布情况如图 1 所示。

3.2 区划结果布局分析

研究区内的中、高级火险区面积高达 73.80%,树种(组)燃烧类型全部为可燃类,存在火灾发生后易蔓延的风险;研究期内,引发森林火灾的火源全部为人为火源,其中炼山造林、农事用火等生产性火源,祭祀用火、电线短路等非生产性火源,以及外省烧入火源等(以下简称“三类火源”)引起的火灾次数分别占火灾总次数的 64.8%、31.5%、3.7%。总体布局为东南部高于西北部。

高火险区主要分布在东部和南部,区域内分布有花坪、猫儿山国家级自然保护区,龙胜温泉国家森林公园,建新省级保护区及龙脊风景名胜区等 5 处

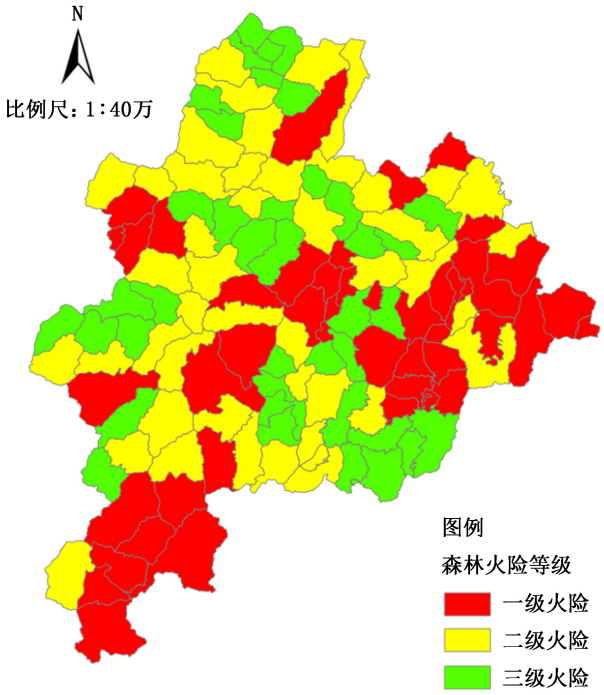


图 1　研究区森林火险等级

Fig. 1　Forest fire risk level in the research area

重要目标,部分保护区与景区、村庄边界相连,兼具森林资源丰富、保护价值高、人为活动活跃、火险隐患大、森林资源保护责任重的特点,全县 30%以上森林和活立木蓄积集中分布在该区。研究期内,该区共发生森林火灾 23 次,由生产性、非生产性、外省烧入“三类火源”引起的火灾次数分别占区域火灾总次数的 56.5%、34.8%、8.7%;其中区划期火灾次数 14 次,由“三类火源”引起的火灾次数分别占区域火灾总数的 64.3%、28.6%、7.1%;对比期火灾次数 9 次,“三类火源”引发火灾次数占比分别为 44.4%、44.4%、11.2%。高火险区人为火源类型最丰富,主要有炼山造林、农事用火、祭祀用火、未成年玩火、痴呆玩火、野外生活用火、纵火、电线短路等类型。

中火险区主要分布于西部和北部,并且大部分与高火险区接壤。研究期内,该区共发生森林火灾 22 次,“三类火源”引发火灾次数占比分别为 81.8%、18.2%、0.0%;其中区划期火灾次数 14 次,“三类火源”引发火灾次数占比分别为 92.9%、7.1%、0.0%;对比期火灾次数 8 次,“三类火源”引发火灾次数占比分别为 62.5%、37.5%、0.0%。火源类型相较高火险区要少一些,主要是炼山造林、农事用火、祭祀用火、电线短路等类型。

低火险区分散在中、高火险区之间,该区森林资

源相对较少,人口密度较低。研究期内,该区共发生森林火灾9次,“三类火源”引发火灾次数占比分别为44.4%、55.6%、0.0%;其中区划期火灾次数6次,“三类火源”引发火灾次数占比分别为33.3%、66.7%、0.0%;对比期火灾次数3次,“三类火源”引发火灾次数占比分别为66.7%、33.3%、0.0%。火源类型最少,主要是农事用火、人为玩火、电线短路等类型。

3.3 区划期和对比期火灾情况分析

高、中、低火险区研究期(2009—2020年)内的森林火灾次数分别为23次(年均1.9次),22次(年均1.8次),9次(年均0.8次),其中:区划期分别为14次(年均2.8次),14次(年均2.8次),6次(年均1.2次);对比期分别为9次(年均1.3次),8次(年均1.1次),3次(年均0.4次)。经对比分析各火险区的区划期和对比期森林火灾次数得知,森林火灾主要发生在高火险区,其次是中火险区,低火险区最少,说明各火险区充分反映了区域特点,其火险等级与实际森林火灾风险相对应,火险区划结果符合当地林情火情。同时,从区划对比期开始,各火险区森林火灾次数呈逐年下降趋势,年均火灾次数也明显下降,说明火险等级区划结果在森林防火工作中的应用效果,提升了龙胜县森林防火成效和质量。研究期内各火险区年度森林火灾情况详见表3。

表3 各年度森林火灾次数

Tab.3 Number of forest fires per year 次

火险等级	年发生次数	年均次数	区划期							对比期							
			小计	年均次数	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	小计	年均次数	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
Ⅰ 高火险区	23	1.9	14	2.8	2	3	4	3	2	9	1.3	1	2	3	2		1	0
Ⅱ 中火险区	22	1.8	14	2.8	5	3	2	1	3	8	1.1	5	1		1	1		0
Ⅲ 低火险区	9	0.8	6	1.2	2	1	2	1		3	0.4	2		1				0
合计	54	4.5	34	6.8	9	7	8	5	5	20	2.9	8	3	4	3	1	1	0

4 结论与建议

本研究基于龙胜县森林资源、森林火灾、气象数据等资料,综合应用层次分析、聚类分析和ArcGIS空间分析法,将研究区分为Ⅰ级(高火险区)、Ⅱ级(中火险区)、Ⅲ级(低火险区)3个火险等级,面积分别占研究区总面积的35.47%、38.33%、26.20%。高火险区主要分布在研究区的东部和南部,中火险区比较集中于西部和北部,低火险区分散在高、中火险区之间。区划结果有利于总结、突出研究区森林火情特点和重点。县森林防火部门将火险区划结果应用到实际工作中,以村为最小基本单元开展针对性的森林防火工作,实行分类指导,分区施策,结合各火险区特点和需求制定防火制度,因地制宜地加强基础设施布设,合理配置人员和设备,森林防火监测预报、指挥调度、扑救效率等综合能力得到很大提升,主要体现在分区施策后森林火灾主要发生在高、中火险区,对比期年均森林火灾次数比区划期减少36.5%,火灾次数在对比期呈逐年下降趋势,说明火险等级区划结果符合实际情况,火险等级区划对推行精细化森林防火工作起到了良好的指导作用,在防控森林火灾、保护森林资源、维护森林生物多样性等方面发挥了积极效果。但各区划单元火险等级不会永久固定不变,县域规划、土地开发利用、种植结构调整、保护区移民搬迁等情况将促使各基本区划单元的森林面积、树种结构、人口密度、路网密度等因子发生变化,导致森林火灾发生风险随之变化,使现有森林火险区划等级不能适应变化后的林情火情。今后森林火险等级应结合县域规划、土地开发、林地保护利用等项目的规划时间、内容进行调整、变更,以便使区划结果与时俱进、动态管理,适应森林防火工作需要。

参考文献:

[1] 姚树人,文定元. 森林消防管理学[M]. 北京:中国林业出版社,2002.

[2] 刘祖军. 基于3S技术森林火险区划研究[D]. 福州:福建农林大学,2008.

[3] CHUVIECO E, CONGALTON R G. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping[J]. Remote Sensing of Environment, 1989,29(2):147-159.

[4] JASWAL R K, MUKHERJEE S, RAJU K D, et al. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2002, 4(1): 1-10.
[5] GHOBADI G J, GHOLIZADEH B, DASHLIBURUN O M. Forest fire risk zone mapping from geographic information system in northern forests of iran[J]. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 2012, 4(12): 818-824.
[6] ERTEN E, KURGUN V, MUSAOGLU N. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS a case study [C]//XXth International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress. Maslak Istanbul: ISPRS, 2004.
[7] 吴超,徐伟恒,黄邵东,等. 林火监测中遥感应用的研究现状[J]. 西南林业大学学报(自然科学版),2020,40(3):172-179.
[8] 邓欧,李亦秋,冯仲科,等. 基于空间 Logistic 的黑龙江省林火风险模型与火险区划[J]. 农业工程学报,2012,28(8):200-204.
[9] 胡海清. 我国森林燃烧性研究综述[J]. 森林防火,1986(2):4-5.
[10] FLANNIGAN M D, WOTTON B M. A Study of interpolation methods for forest fire danger rating in Canada[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1989, 19(8): 1059-1066.
[11] MARTELL D L. A Markov chang model of a forest tire danger rating index[J]. Proceedings of the 10th Conference on Fire and Forest Meteorology, 1989: 225-231.
[12] WILLIAM R F. Evaluating the adequacy of a fire-danger rating network[J]. Forest Science (American), 1984, 30(4): 1045-1058.
[13] 王露秋. 基于 GIS 技术的洪雅县森林火险等级区划[D]. 成都:四川农业大学,2018.
[14] 张景群. 对森林火险区划"标准"的商榷[J]. 森林防火,1994,19(1):4-6.
[15] 张景群,王得祥,刘强,等. 镇坪县森林火险区划的研究[J]. 西北林学院学报,1994,9(1):27-33.
[16] 范阔,谢士琴,陈玥璐,等. 河北省围场县森林火险区划研究[J]. 西北林学院学报,2018,33(4):162-163.
[17] 苗庆林,田晓瑞,陈立光. 基于层次分析法的森林火险区划——以徂徕山林场为例[J]. 火灾科学,2013,22(3):113-117.
[18] 赵鹏武,葛晨赫,王嘉夫,等. 内蒙古大兴安岭森林火险等级评价与区划研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学),2020,40(6):1-8.
[19] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2021.
[20] 龙胜县志编纂委员会. 龙胜县志[M]. 上海:汉语大词典出版社,1992.
[21] 王伟. 基于森林火险指数的森林火险区划研究[J]. 林业资源管理,2015(4):80-82.
[22] 翟洪波,刘德晶,韩彦君,等. 全国森林火险区划等级:LY/T 1063—2008[S]. 北京: 中国标准出版社,2008.

责任编辑: 许易琦

(上接第 19 页)

[2] 胡璐,董峻. 草原综合植被盖度增加几何?[J]. 中国生态文明,2018(1):88.
[3] 姜亮亮,马林. 草原监测工作现状及发展对策探讨[J]. 大连民族大学学报,2018(4):319-322,337.
[4] 刘加文.《草原法》修订实施十年来成效斐然[J]. 中国畜牧业,2013(6):62-64.
[5] 冯立涛. 新疆草原监测方法研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2011.
[6] 草原资源与生态监测技术规程:NY/T 1233—2006[S]. 北京:中华人民共和国农业部,2006.
[7] 张希永. 天然草原监测技术要点[J]. 农村科技,2012(11):54-55.
[8] 章超斌,李建龙,张颖,等. 基于 RGB 模式的一种草地盖度定量快速测定方法研究[J]. 草业学报,2013,22(4):220-226.
[9] 章文波,符素华,刘宝元. 目估法测量植被覆盖度的精度分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2001,37(3):402-408.
[10] 陈祖刚,巴图娜存,徐芝英,等. 基于数码相机的草地植被盖度测量方法对比研究[J]. 草业学报,2014(6):20-26.
[11] 郝欣宇. 浅析卫星遥感影像在林业建设中的应用[J]. 科学技术创新,2020(7):139-140.
[12] 林辉. GIS 在林业资源管理中的应用[J]. 林业调查规划,2000(1):20-21.
[13] 闫瑞华. 基于 3S 技术的草原资源监管系统应用实践[J]. 电子技术与软件工程,2021(14):195-196.
[14] 杨培林. 草原普查中地面调查的方法和有关专业词汇的界定[J]. 甘肃农业,2016(11):21-23,28.
[15] 白雪萍. 草地动态监测需要掌握的基础知识[J]. 新疆畜牧业,2012(6):54-56.
[16] 鲁岩,唐川江,张绪校,等. 四川省草原生产力及保护工程效益监测[J]. 草学,2019,3(246):63-68.

责任编辑: 陈旭

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 005

北京市不同功能分区的乔木林储碳功能对比研究

韩 艺,张 峰
(北京市林业碳汇与国际合作事务中心,北京 100029)

摘要:基于北京市第七次至第九次(2004—2018 年)森林资源连续清查数据,采用生物量扩展因子法,评估北京市乔木林的碳储量与碳密度在不同城市功能分区的分布与变化情况。结果表明,在 3 个清查期内,北京市的乔木林总碳储量分别为 5. 74、6. 72 和 10. 45 Mt,其中幼龄林和中龄林占比最高,两者占到同期总碳储量的 60. 88%、64. 12%和 59. 62%。在区域分布上,生态涵养发展区乔木林的碳储量占比最高,3 期分别达到 64. 01%、59. 86%和 63. 64%,其次为城市发展新区,占比分别为 23. 53%、30. 39%和 26. 67%。全市乔木林碳密度在 3 个清查期分别为 11. 38、11. 23 和 14. 19 t/hm^2。分区碳密度大小依次为首都功能核心区>城市功能拓展区>城市发展新区>全市平均值>生态涵养发展区。北京市乔木林的碳汇能力总体呈增长趋势,但中龄、幼龄林占比高,碳储量重点分布区的碳密度偏低,应持续开展森林精细化抚育管理,尤其是要加强生态涵养发展区乔木林的提质增效,有效增加乔木林资源的整体碳汇功能。

关键词:碳储量;碳密度;生物量扩展因子;功能分区;北京市

中图分类号:S718. 556;S751. 1 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0026-06

引文格式:韩艺,张峰. 北京市不同功能分区的乔木林储碳功能对比研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):26-31. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 005

HAN Yi, ZHANG Feng. Comparison of Carbon Storage Function of Arbor Forests in Different Urban Functional Zones of Beijing[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):26-31. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 005

Comparison of Carbon Storage Function of Arbor Forests in Different Urban Functional Zones of Beijing

HAN Yi, ZHANG Feng
(Beijing Forestry Carbon and International Cooperation Center, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on the forest inventory data of Beijing from the seventh to ninth times (2004—2018), the biomass expansion factor method was used to evaluate the distribution and change of carbon storage and carbon density of arbor forests in different urban functional zones in Beijing. The results showed that during three forest inventory periods, the arbor forest carbon storage in Beijing was 5. 74, 6. 72 and 10. 45 Mt, the young and middle age forests accounted for 60. 88%, 64. 12% and 59. 62% of the total carbon storage in the same period. In terms of regional distribution, the ecological conservation development area accounted for the highest proportion of the total carbon storage, reached 64. 01%, 59. 86% and 63. 64%, followed by the urban development area, accounting for 23. 53%, 30. 39% and 26. 67%, respec-

收稿日期:2022-04-02.
基金项目:中国工程院咨询研究项目(2018-ZD-13-03);中国工程院生态文明建设若干战略问题研究咨询项目(2014HXFWLXY008).
第一作者:韩艺(1988-),女,辽宁盖市人,硕士,工程师. 研究方向为林业碳汇. Email:1050337014@ qq. com
责任作者:张峰(1984-),男,山西运城人,硕士,高级工程师. 从事林业碳汇政策与资源计量监测方面的研究. Email:zhangf@ bfdic. com

tively. The average carbon density of arbor forest in Beijing was 11.38, 11.23 and 14.19 t/hm^2 in the three inventory periods. The order of carbon density of different functional zones was capital functional core area > urban functional expansion area > new urban development area > average level of the city > ecological conservation development area. In conclusion, the carbon sink capacity of arbor forest in Beijing showed an increasing trend, but the proportion of the young forest and the middle age forest was relatively high, and the carbon density in the key distribution areas was still low. Therefore, forest refined management should be carried out continuously, especially to enhance the quality and efficiency of arbor forest in ecological conservation development area, and effectively increase the overall carbon sink ability of arbor forest resources.

Key words: carbon storage; carbon density; biomass expansion factor; functional zone; Beijing

森林碳汇功能已成为国际公认的减缓气候变化的有效手段[1]。在国家碳达峰、碳中和的背景下,对区域内森林碳储量和碳密度进行测算,是了解森林资源固碳能力和区域碳收支情况的科学依据,是高质量开展森林可持续经营管理,统筹区域碳中和路径的重要参考[2]。乔木林是森林资源生物量的主体,也是森林碳汇的最主要来源[3]。目前国内外学者在进行森林碳储量和碳密度研究时,主要基于乔木林资源开展,采用的方法主要包括生物量转换因子连续函数法、生物量异速生长方程法和生物量扩展因子法[4-17]。其中,生物量转换因子连续函数法有较明确的参数,可在一定程度上反映碳储量随林龄的变化,但单位面积蓄积量对碳储量的影响较大,对较小的使用范围(比如省级)可能并不适用;生物量异速生长方程法是一种更为精准、详细的方法,但其使用模型的精度和适用范围对计算结果的影响较大[18];在省级温室气体清单编制过程中,我国纳入了土地利用变化和林业的部分,并主要应用生物量扩展因子法对区域森林资源的碳储量和碳密度进行测算[19]。

利用北京市第七次至第九次(2004—2018 年)森林资源连续清查数据,采用生物量扩展因子法,对北京市及首都功能核心区(含东城、西城 2 个区),城市功能拓展区(含朝阳、海淀、石景山、丰台 4 个区),城市发展新区(含大兴、通州、顺义、昌平 4 个区),生态涵养发展区(含门头沟、房山、平谷、怀柔、密云、延庆 6 个区)的乔木林碳储量、碳密度在 2004—2018 年的动态变化进行估算和对比分析,旨在为北京森林碳汇功能的分区精细化管理和高质量提升,以及全市碳达峰碳中和工作的区域统筹提供理论依据和数据支持。

1 研究区概况

北京市位于东经 115.7°~117.4°,北纬 39.4°~41.6°,地处华北平原的北部,东面与天津市毗连,其余均与河北省相邻,是全国的政治、文化中心,是世界著名古都和现代化国际城市。行政辖区总面积为 16 410.54 km^2。地势西北高、东南低,西部、北部和东北部三面环山,东南部是一片缓缓向渤海倾斜的平原,平均海拔 43.5 m。北京气候属暖温带半湿润半干旱季风气候,1 月份均温约为 4.7℃,7 月份均温约为 26.27℃,年均降水量约为 600 mm,全年无霜期 180~200 d,年均日照时数 2 000~2 800 h。土壤多属褐土、棕壤、潮土。地带性植被类型是暖温带落叶阔叶林并间有温性针叶林的分布,有林地主要分布在西北部以及西南部山区。截至 2020 年底,北京市森林覆盖率为 44.4%,乔木林蓄积量为 2 520.67 万m^3[20]。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究数据来源于北京市第七次至第九次(2004—2018 年)森林资源连续清查数据,复查年份分别为 2006、2011 和 2016 年,包括各乔木林类型的龄级、面积、蓄积量以及在 16 个市辖区的分布等信息。本研究将树种(组)划分为油松(*Pinus tabulaeformis*)、落叶松(*Larix* spp.)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、桦木(*Betula* spp.)、栎树(*Quercus* spp.)、杨树(*Populus* spp.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)和其他阔叶树。

2.2 乔木林碳储量和碳密度估算

乔木林碳储量(C_t)采用 IPCC《2006 年国家温室气体清单编制指南》的生物量扩展因子法进行计算[19]。计算公式为:

$$C = V \times WD \times BEF \times (1 + RSR) \times CF \quad (1)$$

式中:V 为乔木林的蓄积量(m^3);WD 为乔木树种的木材密度(t/m^3);BEF 为乔木树种的生物量扩展因子,无量纲;RSR 为乔木树种的根茎比,无量纲;CF

为乔木树种的含碳率(%)。

参数运用国家林业局发布的《造林项目碳汇计量监测指南》[21],北京市地方标准《林业碳汇计量监测技术规程》[22]和李宸宇等[23]研究成果中蓄积量与碳储量的转换参数(表1)。

表1　北京市主要乔木林类型的碳储量转换参数

Tab. 1　Carbon storage conversion coefficient of main arbor forest types in Beijing

森林类型	WD/(t·m^{-3})	BEF	RSR	CF
油松	0.360	1.589	0.251	0.521
落叶松	0.490	1.416	0.212	0.521
侧柏	0.478	1.732	0.220	0.510
桦木	0.541	1.424	0.248	0.491
栎树	0.676	1.355	0.292	0.500
刺槐	0.441	1.386	0.257	0.501
杨树	0.378	1.446	0.227	0.496
其他阔叶树	0.513	1.547	0.319	0.495

乔木林碳密度(Cd,t/hm^2)的计算公式为:

$$Cd = C/S \quad (2)$$

式中:C为乔木林碳储量(t);S为乔木林面积(hm^2)。

3　结果分析

3.1　不同功能分区乔木林碳储量和碳密度

北京市乔木林碳储量在2004—2018年的3个清查期内分别为5.74、6.72和10.45 Mt,碳密度分别为11.38、11.23和14.19 t/hm^2,均呈现增长趋势。北京市不同功能分区乔木林碳储量和碳密度因各自资源分布特点与功能定位的不同,存在一定差异(表2)。

在3个森林资源清查期内,生态涵养发展区的乔木林碳储量占全市乔木林总碳储量的比例明显高于其他功能分区,分别达到64.01%、59.86%和63.64%;其次为城市发展新区,3个清查期内占全市总碳储量的比例分别为23.53%、30.39%和26.67%;首都功能核心区在第七次、第八次森林资源清查中并未统计乔木林蓄积量,但依据第九次清查数据的计算结果可以看出,其碳储量在全市总碳储量中的占比最低,当期仅为0.18%。在碳储量变化趋势方面,城市功能拓展区、城市发展新区和生态涵养发展区均呈现增长趋势,其中生态涵养发展区的增长最为明显,2009—2013年和2014—2018年分别较上期增长0.35、2.63 Mt,其次为城市发展新区,2009—2013年和2014—2018年分别较上期增长0.69、0.74 Mt。在碳密度方面,首都功能核心区在2014—2018年达到41.30 t/hm^2,明显高于全市同期平均水平(14.19 t/hm^2);城市功能拓展区和城市发展新区在3个清查期内碳密度也均高于全市同期平均水平,而生态涵养发展区在3个清查期内碳密度则均低于全市同期平均水平,说明该区在优化乔木林分结构,提升林分质量,增加碳汇功能方面潜力较大。在碳密度变化趋势方面,城市功能拓展区、城市发展新区和生态涵养发展区均呈现增长趋势,其中城市功能拓展区的增长最为明显,2009—2013年和2014—2018年分别较上期增长3.55、7.38 t/hm^2,说明该区乔木林整体质量优于其他功能区,其林木管理经验可供其他区参考借鉴。

表2　2004—2018年北京市不同功能区乔木林碳储量及碳密度

Tab. 2　Carbon storage and carbon density of arbor forest in different functional areas from 2004 to 2018 in Beijing

功能分区	清查期	面积/hm^2	碳储量/Mt	碳储量占比/%	碳密度/(t·hm^{-2})
首都功能核心区	2004—2008	984.14	—	—	—
	2009—2013	984.14	—	—	—
	2014—2018	452.33	0.02	0.18	41.30
城市功能拓展区	2004—2008	29145.29	0.52	8.98	17.68
	2009—2013	30835.50	0.65	9.75	21.24
	2014—2018	34695.99	0.99	9.51	28.62
城市发展新区	2004—2008	79854.77	1.35	23.53	16.91
	2009—2013	113182.44	2.04	30.39	18.04
	2014—2018	140185.61	2.79	26.67	19.87
生态涵养发展区	2004—2008	394359.28	3.67	64.01	9.32
	2009—2013	453052.33	4.02	59.86	8.88
	2014—2018	560959.64	6.65	63.64	11.85
北京市	2004—2008	504343.48	5.74	—	11.38
	2009—2013	598054.41	6.72	—	11.23
	2014—2018	736293.58	10.45	—	14.19

3.2　不同乔木林类型的碳储量、碳密度与区域分布

北京市不同的乔木林类型的碳储量和碳密度存在差异(表3)。

表 3　2004—2018 年北京市不同乔木林类型的碳储量及碳密度

Tab. 3　Carbon storage and carbon density of different arbor forest types from 2004 to 2018 in Beijing

乔木林类型	清查期	面积/hm^2	碳储量/Mt	碳储量占比/%	碳密度/(t·hm^{-2})
油松	2004—2008	84249.51	0.80	13.97	9.48
	2009—2013	96520.33	0.70	10.38	7.23
	2014—2018	108037.65	1.19	11.38	11.00
落叶松	2004—2008	10152.43	0.22	3.89	21.98
	2009—2013	9626.09	0.19	2.86	19.93
	2014—2018	8314.36	0.13	1.24	15.63
侧柏	2004—2008	116373.08	0.45	7.76	3.83
	2009—2013	153877.37	0.68	10.15	4.43
	2014—2018	148502.41	0.93	8.93	6.28
栎树	2004—2008	124364.15	1.10	19.14	8.83
	2009—2013	130771.36	1.27	18.94	9.73
	2014—2018	144112.02	2.21	21.19	15.36
桦木	2004—2008	12011.43	0.30	5.16	24.65
	2009—2013	9803.17	0.27	4.00	27.41
	2014—2018	18846.37	0.37	3.57	19.79
刺槐	2004—2008	18406.13	0.13	2.22	6.93
	2009—2013	23547.75	0.18	2.71	7.74
	2014—2018	27897.77	0.42	4.05	15.18
杨树	2004—2008	76955.03	2.10	36.64	27.33
	2009—2013	68760.44	2.43	36.20	35.36
	2014—2018	64171.16	2.62	25.06	40.80
其他阔叶树	2004—2008	61531.72	0.64	11.23	10.48
	2009—2013	105147.90	0.99	14.76	9.43
	2014—2018	216411.84	2.57	24.57	11.86

在 3 个清查期内乔木林总碳储量中,阔叶类乔木林的占比均高于针叶类乔木林,分别达到 74.39%、76.61%和 78.45%。在阔叶类乔木林中,杨树的碳储量占乔木林总碳储量的比例最高,3 期分别达到 36.64%、36.20%和 25.06%,其次为栎树,分别达到 19.14%、18.94%和 21.19%。在针叶类乔木林中,油松的碳储量占乔木林总碳储量的比例最高,3 期分别达到 13.97%、10.38%和 11.38%。3 个清查期内,各乔木林类型的碳密度除落叶松和桦木外,均呈现增长趋势。

为比较不同乔木林类型在北京市 4 个功能分区内碳储量分布的情况,本研究对 2014—2018 年森林资源清查期内的情况进行了分区估算比较(图 1)。

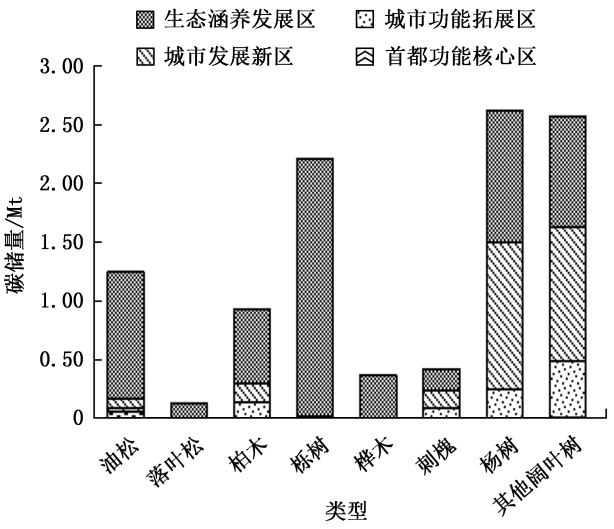


图 1　2014—2018 年北京市各乔木林类型在不同功能分区的碳储量分布

Fig. 1　Carbon storage distribution of arbor forest types in different functional zones from 2014 to 2018 in Beijing

图 1 结果表明,北京市针叶类乔木林碳储量均大量分布于生态涵养发展区,油松达 90.68%,落叶松达 99.95%,侧柏也达到 67.89%。阔叶类乔木林中栎树和桦木的碳储量也主要分布在生态涵养发展区,占比分别达到 99.28%和 99.96%,而刺槐、杨树和其他阔叶树的碳储量则在城市功能拓展区、城市发展新区和生态涵养发展区有较为均匀的分布。各区应结合本区内发挥碳汇功能的主要树种分布情况,有针对性地开展乔木林增汇经营抚育。

3.3　不同龄组乔木林类型的碳储量、碳密度与区域分布

2004—2018 年北京市乔木林不同龄组的碳储量和碳密度的情况如图 2 所示。

在 3 个清查期内,幼龄林和中龄林占总碳储量的比例最高,两者相加分别占到同期乔木林总碳储量的 60.88%、64.12%和 59.62%。3 个清查期内,除过熟林外,其他龄组的碳储量均呈现持续增长趋势。在碳密度方面,除幼龄林外,其他龄组的碳密度均高于同期全市乔木林平均碳密度,且碳密度除成熟林有波动外,其他龄组均呈现持续增长趋势,由此可以预测北京市乔木林的碳汇功能在未来林龄结构趋于合理后,还有较大的提升空间。

为比较北京市 4 个功能分区内不同龄组乔木林的碳储量与碳密度,本研究对 2014—2018 年森林资源清查期内的具体情况进行了分区估算比较(图 3,图 4)。

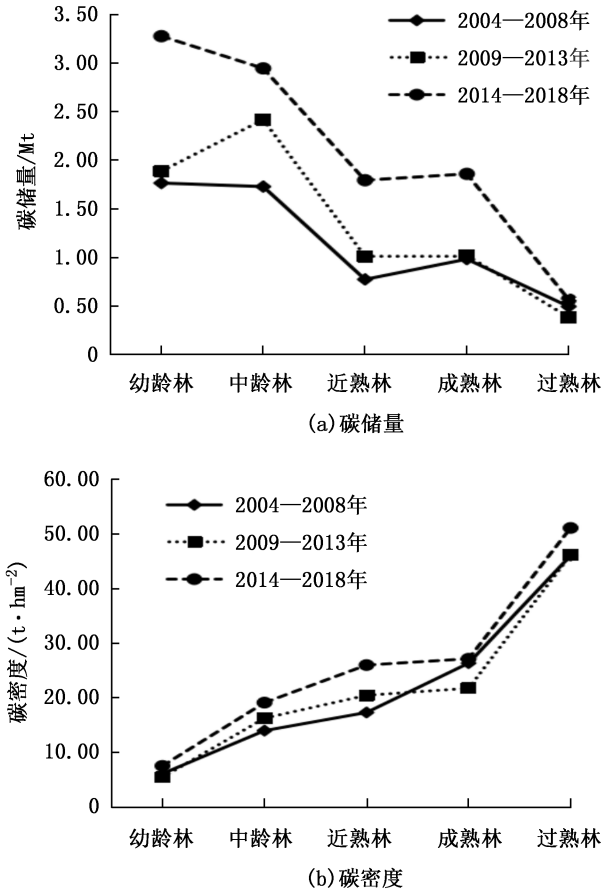


图 2 2004—2018 年北京市不同龄组乔木林碳储量和碳密度变化

Fig. 2 Changes of carbon storage and carbon density in different age groups of arbor forest from 2004 to 2018 in Beijing

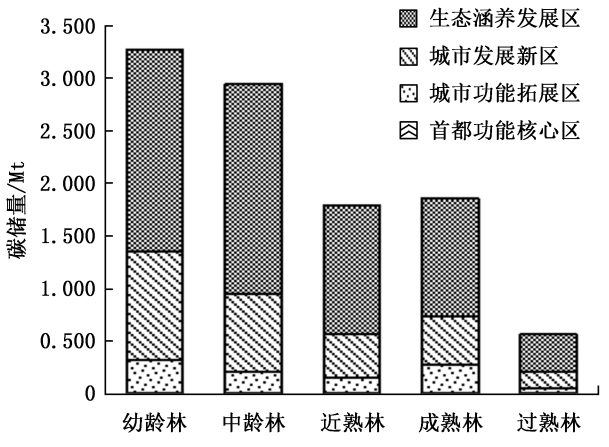


图 3 2014—2018 年北京市各龄组乔木林在不同功能分区的碳储量分布

Fig. 3 Carbon storage distribution of different age groups of arbor forest in different functional zones from 2014 to 2018 in Beijing

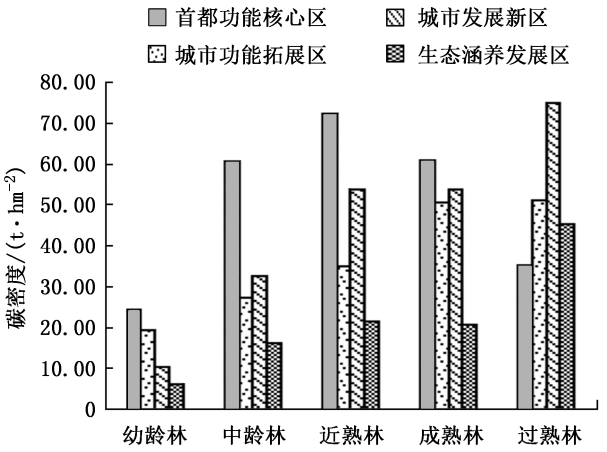


图 4 2014—2018 年北京市各龄组乔木林在不同功能分区的碳密度

Fig. 4 Carbon density of different age groups of arbor forest in different functional zones from 2014 to 2018 in Beijing

图 3 结果表明,各龄组中乔木林碳储量分布于生态涵养发展区的占比最大,均达到 58%以上,其次占比大小顺序依次为城市发展新区、城市功能拓展区和首都功能核心区。在碳密度方面(图 4),除过熟林外,其他龄组中生态涵养发展区的碳密度均最低,并且其幼龄林的碳密度仅为 6.08 t/hm^2,明显低于全市同期平均碳密度 14.19 t/hm^2,说明生态涵养发展区幼龄林的精细化管护还有待加强。

4 结论与讨论

北京市乔木林碳储量在 2004—2018 年 3 个清查期内分别为 5.74、6.72 和 10.45 Mt,碳密度分别为 11.38、11.23 和 14.19 t/hm^2,均呈现增长趋势,说明北京市乔木林资源整体发育是正向的,碳汇功能仍有增长的潜力和空间。本研究估算出北京市 2009—2013 年乔木林的总碳储量为 6.72 Mt,与李宸宇等[23] 利用 IPCC-生物量法估算的同期结果 6.41 Mt 接近,结果的差异主要由于两者研究时所选择的生物量扩展因子参数的个别差异引起;该期全市乔木林的平均碳密度为 11.23 t/hm^2,明显低于张煜星等[24] 估算的同期全国森林碳密度 44.30 t/hm^2,说明北京市乔木林资源的整体质量和碳汇能力还不高。造成上述情况的原因主要有两个方面,(1)由于北京市乔木林中中龄、幼龄林占比高,以 2014—2018 年为例,中龄、幼龄林面积占到全市乔木林总面积的 79.85%,而其碳储量占到全市乔木林总碳储量的 59.61%;(2)由于北京市乔木林资源的整体

质量还较低,同样以 2014—2018 年为例,北京市乔木林单位面积蓄积量为 34.23 m^3/hm^2,而中国森林资源平均单位面积蓄积量为 73.56 m^3/hm^2[25],两者相差超 1 倍。在 3 个森林资源清查期内,生态涵养发展区的乔木林碳储量均占到全市乔木林总碳储量的 59%以上,但碳密度则均低于全市同期平均水平,因此北京市在未来应重点加强生态涵养发展区乔木林的提质增效,充分挖掘该区的碳汇潜力。

在 3 个清查期内乔木林总碳储量中,阔叶类乔木林的占比均高于针叶类乔木林,针叶类乔木林的碳储量则集中分布于生态涵养发展区,其中油松、落叶松占比超 90%。各乔木林类型的碳密度除落叶松和桦木外,均呈现增长趋势,其中栎树的增长最为明显,2014—2018 年较 2009—2013 年增长 57.86%,是北京市可以重点推广和加强抚育的高碳汇树种。

在 3 个清查期内,幼龄林和中龄林占全市总碳储量的比例最高,但碳密度较低,尤其是幼龄林的 3 期碳密度均低于全市平均水平。在区域分布特点上,各龄组中碳储量分布依次为生态涵养发展区、城市发展新区、城市功能拓展区和首都功能核心区。因此生态涵养发展区的幼龄林和中龄林应作为提质增效的着重点,同时统筹其他各功能区的林分抚育管理,促进林分年龄结构趋于合理,从而使乔木林资源的整体碳储量和碳密度均能持续增长,为首都碳中和工作的统筹推进提供更加稳定的生态碳汇支撑。

参考文献:

[1] FAO. Global forest resources assessment 2020: Guidelines and specifications[J]. Rome:FRA Working Paper,2018.

[2] 方精云. 碳中和的生态学透视[J]. 植物生态学报,2021,45(11):1173-1176.

[3] ZENG W S. Developing tree biomass models for eight major tree species in China[C]//Biomass Volume Estimation and Valorization for Energy. InTech Europe:Rijeka,Croatia,2017:1-21.

[4] FANG J Y,CHEN A P,PENG C H,et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J]. Science,2011,292(5525):2320-2322.

[5] DIXON R K,SOLOMON A M,BROWN S,et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems[J]. Science,1994,263(8144):185-190.

[6] GUO Z D,HU H F,LI P,et al. Spatio-temporal changes in biomass carbon sinks in China's forests from 1977 to 2008[J]. Science China Life Sciences,2013,56(7):661-671.

[7] PAN Y D,BIRDSEY R A,FANG J Y,et a. A large and persistent carbon sink in the world's forests[J]. Science,2011,333(6045):988-993.

[8] MAGNUSSEN S,KÖHL M,OLSCHOFSKY K. Error propagation in stock-difference and gain-loss estimates of a forest biomass carbon balance[J]. European Journal of Forest Research,2014,133(6):1137-1155.

[9] 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.

[10] 李奇,朱建华,冯源,等. 中国森林乔木林碳储量及其固碳潜力预测[J]. 气候变化研究进展,2018,14(3):287-294.

[11] 李海奎,雷渊才,曾伟生. 基于森林资源清查资料的中国森林植被碳储量[J]. 林业科学,2011,47(7):7-12.

[12] 黄从德,张健,杨万勤,等. 四川省及重庆地区森林植被碳储量动态[J]. 生态学报,2008,28(3):966-975.

[13] 马琪,刘康,张慧. 陕西省森林植被碳储量及其空间分布[J]. 资源科学,2012,34(9):1781-1789.

[14] 葛立雯,潘刚,任德智,等. 西藏林芝地区森林碳储量碳密度及其分布[J]. 应用生态学报,2013,24(2):319-325.

[15] 陆君,刘亚风,齐珂,等. 福州市森林碳储量定量估算及其对土地利用变化的响应[J]. 生态学报,2016,36(17):5411-5420.

[16] 刘领,王艳芳,悦飞雪,等. 基于森林资源清查资料的河南省森林植被碳储量动态变化[J]. 生态学报,2019,39(3):864-873.

[17] 陈科屹,刘润华,张博,等. 武汉市环城林带森林碳储量及其动态变化[J]. 水土保持研究,2021,28(2):54-66.

[18] 李海奎,赵鹏祥,雷渊才,等. 基于森林清查资料的乔木林生物量估算方法的比较[J]. 林业科学,2012,48(5):44-52.

[19] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories[M]. Japan: The Institute for Global Environmental Strategies,2006.

[20] 北京市园林绿化局(首都绿化委员会办公室). 北京市园林绿化局"十三五"时期工作总结及 2020 年工作计划[EB/OL]. [2021-02-09]. https://yllhj.beijing.gov.cn/zwgk/ghxx/jhzj/202102/t20210218_2283202.shtml.

[21] 国家林业局. 造林项目碳汇计量与监测指南[M]. 北京:中国林业出版社,2008.

[22] 北京市园林绿化局. 林业碳汇计量监测技术规程:DB11/T 953—2013[S]. 2013.

[23] 李宸宇,朱建华,张峰,等. 基于 NbS 的北京市乔木林固碳能力分析[J]. 北京林业大学学报,2021,43(6):13-22.

[24] 张煜星,王雪军,蒲莹,等. 1949—2018 年中国森林资源碳储量变化研究[J]. 北京林业大学学报,2021,43(5):1-14.

[25] 张颖,李晓格,温亚利,等. 碳达峰碳中和背景下中国森林碳汇潜力分析研究[J]. 北京林业大学学报,2022,44(1):38-47.

责任编辑:陈旭

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 006

基于 GIS 的城市公园可达性研究

——以安阳市为例

王 铭[1],杨芳绒[1],杨 俊[1],王 柳[2]
(1. 河南农业大学 风景园林与艺术学院,河南 郑州 450000; 2. 开封文化艺术职业学院,河南 开封 475000)

摘要:城市的快速发展导致城市公园资源紧张,公园的不公平性日益突出。以安阳市为例,运用网络分析法,结合城市交通网络、公园数据等,对步行、自行车、电动车 3 种出行方式下城市公园的服务范围以及不同行政区的公园可达性进行分析对比。结果显示,研究区内公园布局不均,仅文峰区就占有全市 53. 93%的公园资源,公园集中分布在经济发达区域。研究区内公园可达性较差,步行方式下,5 min 内公园的服务面积比为 1. 02%,自行车方式下 5 min 内公园的服务面积比为 5. 02%,电动车方式下 5 min 内公园的服务面积比为 13. 03%。各行政区公园可达性存在较大差距,其中龙安区公园可达性最差。

关键词:城市公园;可达性;ArcGIS;网络分析法;步行方式;骑行方式;安阳市

中图分类号:G246;P208 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0032-05

引文格式:王铭,杨芳绒,杨俊,等. 基于 GIS 的城市公园可达性研究——以安阳市为例[J]. 林业调查规划,2023,48(5):32-36,184. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 006

WANG Ming, YANG Fangrong, YANG Jun, et al. Accessibility of Urban Parks Based on GIS——A Case Study of Anyang City[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):32-36,184. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 006

Accessibility of Urban Parks Based on GIS

——A Case Study of Anyang City

WANG Ming[1], YANG Fangrong[1], YANG Jun[1], WANG Liu[2]
(1. College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450000, China;
2. Kaifeng Vocational College of Culture and Arts, Kaifeng, Henan 475000, China)

Abstract: The rapid development of the city leads to the shortage of urban park resources, and the unfairness of the park is increasingly prominent. Taking Anyang City as an example, using network analysis method, combined with urban traffic network and park data, this paper analyzed and compared the service scope of urban parks with three modes of travel, namely walking, bicycle and electric vehicle, and the accessibility of parks in different administrative regions. The results showed that the park layout in the study area was uneven; Wenfeng District alone occupied 53. 93% of urban park resource in the city, parks were concentrated in the economically developed areas; the accessibility of parks in the study area was poor. The service area ratio of parks within 5 minutes was 1. 02% by walking mode, 5. 02% by bicy-

收稿日期:2022-03-21.
项目基金:国家自然科学基金项目(31600568);河南省科技智库立项(HNKJZK-2020-01C).
第一作者:王铭(1998-),男,河南新郑人,硕士研究生. 研究方向为风景园林规划设计.
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.

cle mode and 13.03% by electric vehicle mode. There was a big gap in the accessibility of parks in different administrative regions, among which the accessibility of parks in Long'an District was the worst.

Key words: urban park; accessibility; ArcGIS; network analysis; walking mode; bicycle mode; Anyang City

城市绿地系统包括城市内的各种城市绿化,城市公园是其中发挥最大社会和生态效益且与市民生活联系最为紧密的组分[1],并且直接影响居民生活水平和城市环境质量[2]。以往国内对城市公园的评价手段更依赖于问卷调查,评价指标更侧重于人均绿地面积等硬性指标,未从居民的使用角度和空间层次来评价公园布局的合理性,同时忽略了城市公园作为公共服务资源的社会公平性[3]。

GIS 等空间评价工具的出现解决了在空间层次上评价城市公园空间分布的难题,同时城市公园的可达性分析在评价城市公园的社会公平性方面得到有效应用[3]。可达性是指使用某种指定的交通工具从某一目标区域到达活动地点的便利程度[8]。目前应用于城市公园可达性研究的方法主要有统计指标法、最小距离法、引力模型法和旅行费用法 4 种。其中旅行费用法又包括费用加权距离法、简单缓冲区法和网络分析法 3 类[8]。网络分析法是基于现实的城市道路系统、公园位置,能够较为真实地模拟居民前往公园的实际过程,并充分考虑到路途中的阻力情况,得以广泛应用[3]。

1 研究区概况

安阳市简称殷,中国八大古都之一。具有 3 300 多年的建城史,500 年建都史,是早期华夏文明的中心之一,见证若干政权的兴衰。新中国成立以来,安阳市大力发展工业,取得不菲成果,但造成了严重污染。21 世纪以来,安阳市积极推进工业转型,提高城市环境质量,改善居民生活水平,成果显著,并被评选为国家园林城市。

安阳市位于河南省北部,地处山西、河北、河南三省交汇处,总面积约 7 413 km^2,下辖 4 个市辖区、4 个县、1 个县级市。其地势东低西高。东部属黄淮海平原,西部系太行山山脉,地形丰富多样。安阳市位于半湿润地区,属暖温带大陆性季风气候,四季分明、雨热同期。研究范围为安阳市市辖区,由文峰区、北关区、殷都区和龙安区组成,总面积约 656 km^2。

2 研究方法

2.1 研究对象

根据公园建成情况,选取研究区内具备游憩、娱乐功能的城市公园 37 个[11]。结合《城市绿地分类标准(CJJ/T 85—2017)》对其进行分类。共分为综合公园、社区公园、专类公园以及游园 4 类(表 1)。各类城市公园分布情况见图 1。

表 1　安阳市城市公园现状

Tab. 1　Current status of urban parks in Anyang City

类型	数量/个	名称
综合公园	9	洹园、人民公园、易园等
社区公园	10	法治文化公园、开发区社区公园、第二社区公园等
专类公园	13	双阳园、双虹园、观澜园、漳德游园等
游园	5	钢花路游园、梅东路游园等

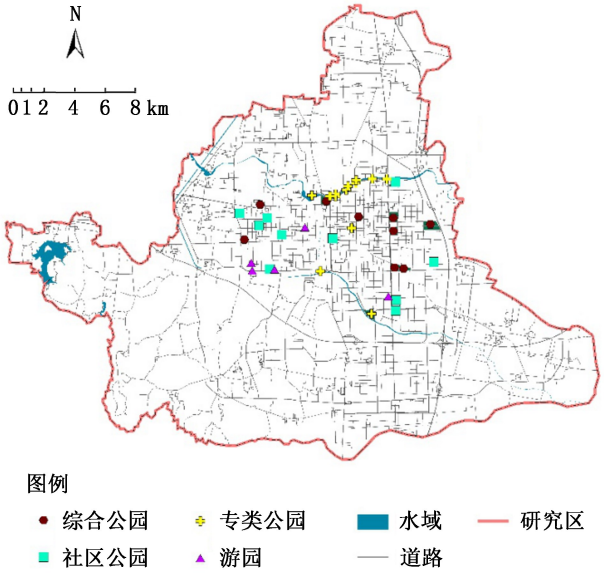


图 1　安阳市城市公园分布

Fig. 1　Distribution of urban parks in Anyang City

2.2 数据来源

城市交通数据和公园数据参照《安阳市城市总体规划(2010—2020)》、Open Street Map 矢量数据、高德地图及百度地图,并结合现场调研确认。

2.3 研究方法

2.3.1 网络分析法

网络分析法是以现实的城市道路系统为基础,

结合实际公园出入口位置,模拟市民前往公园的实际过程,对城市公园的可达性进行评价。一个基本的网络包括中心、链接、节点和阻力[12]。本研究中,中心为公园的实际出入口;链接为现实的城市道路系统;节点为城市道路交点;阻力为不同出行方式在道路上所花费的时间[9]。

2.3.2 矢量数据库的建立及相关指标的赋值

矢量数据库包括道路数据库以及公园数据库。建立道路数据库即以 Open Street Map 矢量数据为基础,利用 QGIS 软件进行爬取[13]。结合高精度卫星地图、高德地图、街景地图、现场调研等多种方式进行校正,得到最贴近安阳市城市道路的矢量文件,并进行拓扑检查。

建立公园数据库,则是新建公园入口点文件以及公园投影面文件。点文件包括公园入口位置、公园名称、公园类型等信息,面文件包括公园面积等信息。

经观察,伴随着共享单车和共享电动车的发展,以及客观上城市公园较少设置机动车停车位、城市内交通拥挤等情况,市民前往公园时采取的交通方式主要有步行和骑行(自行车和电动车)两类。故研究选取了步行、自行车和电动车 3 种出行方式。且在步行情况下考虑综合公园、社区公园、专类公园、游园的服务范围,骑行(自行车和电动车)情况下仅考虑综合公园的服务范围。其中步行速度设为 60 m/min,自行车速度设为 250 m/min,电动车速度设为 500 m/min。在道路交汇点设置 20 s 的等待时间[14]。

2.3.3 城市公园可达性分析

在 ArcGIS 中新建文件地理数据库、要素数据集,将城市道路矢量数据导入要素数据集中。在要素数据集中新建网络数据集,利用网络分析工具新建服务区。载入城市公园入口点文件并将其作为设施点进行加载。参考前人研究结果,将步行时间阈值设为 5、10、20 min 3 个等级,骑行时间阈值设为 5、10、20、30 min 4 个等级[14]。分别生成不同出行方式、不同时间阈值下的城市公园的服务面积图。

2.3.4 相关指标的计算方法

服务面积比=服务面积/研究区总面积×100%[3] (1)

公园面积比=公园面积/公园总面积×100%(2)

公园占行政区面积比=公园面积/行政区面积×100% (3)

3 结果与分析

3.1 安阳市城市公园总体特征

查阅 2020 年《安阳市政府工作报告》可知,城区绿化覆盖率达 41.6%。结合高精度卫星地图 GIS,共提取研究区城市公园面积 417.6 hm^2,占研究区面积的 0.64%。在公园分布方面,各行政区的公园分布数量极不均衡,仅文峰区的城市公园面积就达 225.2 hm^2,占总公园面积的 53.93%。此外,北关区、殷都区以及龙安区的公园面积及其占比虽差距不大,但龙安区的公园面积占行政区面积占比仅为 0.64%(表 2)。

表 2 研究区各行政区相关指标

Tab. 2 Related indexes of each administrative region in the study area

行政区	面积/hm^2	城镇人口/万人	综合公园个数/个	其余公园个数/个	公园面积/hm^2	公园面积比/%	公园占行政区面积比例/%
文峰区	11880	49	5	7	225.2	53.93	1.90
北关区	10101	30	1	10	62.8	15.04	0.62
殷都区	6950	71	2	3	68.2	16.33	0.98
龙安区	36650	29	1	8	61.4	14.70	0.17
总计	65581	179	9	28	417.6	100.00	0.64

3.2 城市公园可达性分析

3.2.1 步行方式下城市公园可达性

步行方式是市民出行的最佳选择,其可达性能直接体现城市公园的可达性与公平性,研究结果具有较大的参考价值。通过 GIS 网络分析工具生成的城市公园步行方式下 5、10、20 min 的服务面积,结果表明,在时间为 5 min 时,城市公园的服务面积比仅为 1.02%;在时间为 10 min 时,服务面积比仅为 3.16%;但时间为 20 min 时,服务面积比达 9.74%。说明城市公园的服务范围与出行时间呈线性递增关系,随着出行时间的增加,城市公园的服务范围也呈上升趋势。但即使出行时间达到 20 min,城市公园的服务范围仍有较大不足,仅能满足研究区内小部分市民的使用以及存在大量的服务盲区,说明步行方式下公园的可达性较差(图 2)。

3.2.2 骑行方式下城市公园可达性

研究结果表明,骑行(自行车、电动车)方式下城市公园的服务范围相较于步行方式具有较大提高。

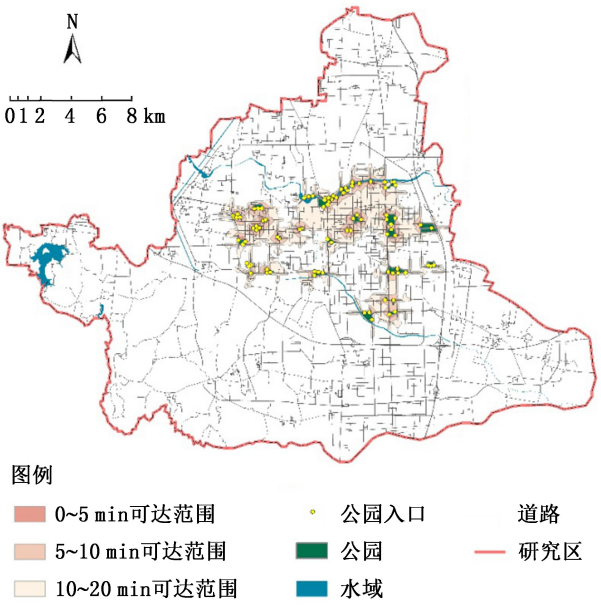


图 2　步行方式下城市公园服务范围

Fig. 2　Service scope of urban parks by walking

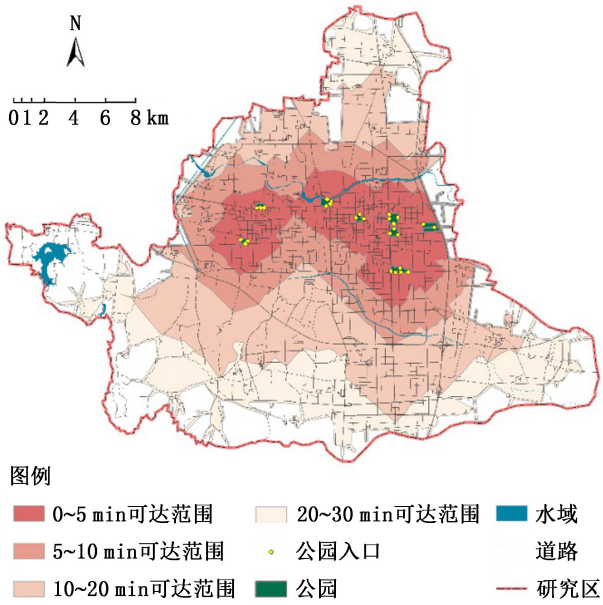


图 4　电动车方式下城市公园服务范围

Fig. 4　Service scope of urban parks by electric vehicle

出行时间为 5 min 时,自行车方式下,城市公园的服务面积比为 5.02%;电动车方式下,服务面积比达 13.03%;出行时间为 30 min 时,自行车方式下,城市公园的服务面积比达 38.77%;电动车方式下,服务范围更是达到了 75.94%。说明在 30 min 内,城市公园的服务范围虽然不能覆盖全市,但已能满足城市内大部分市民的游玩需求(图 3,图 4,图 5,表 3)。

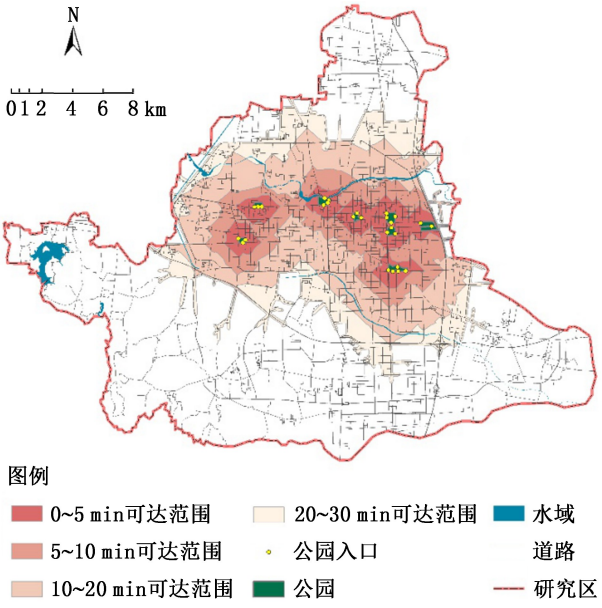


图 3　自行车方式下城市公园服务范围

Fig. 3　Service scope of urban parks by bicycle

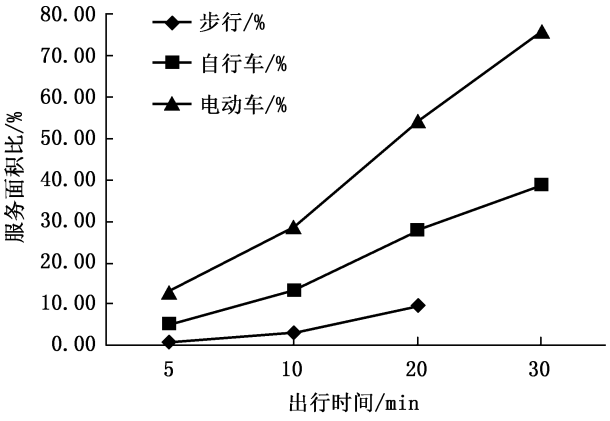


图 5　3 种出行方式服务面积比增长趋势

Fig. 5　Growth trend of service area ratio of the three travel modes

表 3　3 种出行方式下城市公园服务面积比

Tab. 3　Ratio of urban park service area by three travel modes

出行方式	出行时间/min			
	5	10	20	30
步行	1.02	3.16	9.74	
自行车	5.02	13.06	27.93	38.77
电动车	13.03	28.66	54.42	75.94

3.3 不同行政区城市公园可达性分析比较

根据步行以及骑行出行方式下各行政区城市公

园的服务面积比可知,龙安区的城市公园可达性与其他 3 个区存在明显差距。在步行方式下,时间达到 15 min 时,龙安区城市公园的服务面积比仅为 5.34%,而殷都区已达到 15.21%(表 4);自行车方式下,时间达到 30 min 时,龙安区城市公园的服务面积比仅为 21.13%,而殷都区已达到 80.49%(表 5);电动车方式下,时间达到 30 min 时,龙安区城市公园的服务面积为 68.15%,而殷都区为 88.63%(表 6)。这与安阳市城市发展现状有关,主要原因为龙安区发展较晚,原为安阳市的郊区,在 2003 年安阳市调整区划时才组建为龙安区。龙安区开发时间较短,造成龙安区城市公园的规模、数量与其他 3 区存在较大不足,其城市交通网络也不够完善。

表 4 步行方式下各行政区服务面积比

Tab. 4 Service area ratio of each administrative region by walking

出行时间/min	服务面积比/%			
	文峰区	北关区	殷都区	龙安区
5	1.32	1.35	1.54	0.54
10	4.18	4.06	4.45	1.71
15	11.97	13.01	15.21	5.34

表 5 自行车方式下各行政区服务面积比

Tab. 5 Service area ratio of each administrative region by bicycle

出行时间/min	服务面积比/%			
	文峰区	北关区	殷都区	龙安区
5	8.76	4.58	8.45	1.54
10	19.19	13.84	24.73	5.13
20	34.14	29.97	57.76	14.51
30	44.73	43.70	80.49	21.13

表 6 电动车方式下各行政区服务面积比

Tab. 6 Service area ratio of each administrative region by electric vehicle

出行时间/min	服务面积比/%			
	文峰区	北关区	殷都区	龙安区
5	19.07	13.84	24.58	5.17
10	33.91	29.34	57.30	16.80
20	60.71	51.61	85.87	42.43
30	83.33	73.36	88.63	68.15

文峰区公园数量 12 个,公园面积占行政区面积比达 1.9%,在 4 个行政区中占有明显优势,但其城市公园的可达性却未领先。主要原因是城市交通网络的不完善以及新开发区发展滞后。在其东南部存在大量尚未开发完全的“城市边缘区”,其交通以及景观环境方面均有较大提升空间。殷都区城市公园的规模、数量均不如文峰区和北关区,但其城市公园的可达性却略占优势,主要原因为殷都区面积较小,文峰区以及北关区城市公园的分布大多在行政区的交界处,导致文峰区以及北关区城市公园的服务范围能够辐射到殷都区。

4 结论与讨论

通过网络分析法对安阳市辖区现有城市公园可达性进行较为系统分析,旨为后续安阳市城市绿地系统规划提供理论依据。研究结果表明,安阳市城市公园的数量、分布以及可达性存在明显不足。

4.1 城市公园分布不均

从行政区角度观察,城市公园大多集中在文峰区、北关区等老城区。而龙安区等成立稍晚的行政区,城市公园在数量以及面积上均与老城区存在较大差异。从整体角度分析,城市公园大多集中在人口密集、经济发达地带,即中华路、人民大道、文昌大道附近,而城市新开发地区、经济较为落后地区却鲜有公园存在。综上所述,龙安区以及“城市边缘区”应成为重点改善区。有关部门在制定相关规划时应将目光着重放在该区域。

4.2 基础设施建设落后

城市公园的可达性与公园分布以及城市交通网络紧密相关。研究结果表明,路网密度低的区域与公园可达性较低的区域基本重叠,因此,应完善交通网络,增强道路的完整性,减少断头路的存在,并加强居民区与公园绿地之间的道路连接。其次,在城市新开发区域部分存在有市民居住但尚无城市公园的情况,因此,需加强新城区公园绿地建设。

4.3 其他未考虑因素

该研究中并未模拟人口因素,主要考虑到全国第七次人口普查数据尚未详细公布。而城市发展日新月异,全国第六次人口普查数据已不适用于当前情况。同时,研究并未对其它出行方式如机动车、公交车等进行调查研究,这对研究结果有一定影响,有待进一步研究。

(下转第 184 页)

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 007

ArcGIS Data Reviewer 在林业矢量数据质量管理中的应用

段晓飞
(文山市林业技术推广站,云南 文山 660099)

摘要:介绍 ArcGIS Data Reviewer 基本功能和特性,对其应用于林业地理信息矢量数据质量检查,如图斑重复、重叠,图斑间有间隙、多部件、狭长面、急锐角化、漏绘等空间关系,以及属性字段之间的逻辑性检查等的方法和步骤,举例进行了详细叙述,可为该软件模块的使用提供参考。

关键词:ArcGIS Data Reviewer;矢量数据;质量管理;逻辑性检查;空间关系检查

中图分类号:P208;F316. 23 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0037-07

引文格式:段晓飞. ArcGIS Data Reviewer 在林业矢量数据质量管理中的应用[J]. 林业调查规划,2023,48(5):37-43. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 007

DUAN Xiaofei. Application of ArcGIS Data Reviewer in Quality Management of Forestry Vector Data[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):37-43. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 007

Application of ArcGIS Data Reviewer in Quality Management of Forestry Vector Data

DUAN Xiaofei
(Wenshan Forestry Technology Promotion Station, Wenshan, Yunnan 660099, China)

Abstract: This paper introduced the basic functions and features of ArcGIS Data Reviewer, studied its application in the quality inspection of forestry geographic information vector data, such as repeated and overlapping patterns, and spatial relationships of gaps between patterns, multiple components, narrow and long surfaces, sharp corners and missed plots, and described the methods and steps for checking the logic between attribute fields in detail with examples, to provide reference for the use of this software module.

Key words: ArcGIS Data Reviewer; vector data; quality management; logic check; spatial relationship check

ArcGIS Data Reviewer 是 ArcGIS 的一个扩展模块,提供用于自动或半自动高效实现矢量数据质量检查过程的完整系统,以快速改善数据的真实性、完整性。

对数据成果的质量管理主要包括矢量数据空间关系检查、矢量数据属性逻辑性检查。

矢量数据空间关系检查包含图斑之间出现多部件、重复、重叠、间隙、狭长面、急锐角化、漏绘等。

矢量数据属性逻辑性检查包含属性字段之间的逻辑性检查。

矢量数据空间关系检查中的漏绘检查,须通过半自动检查即人机交互进行检查,其它检查和矢量数据属性逻辑性检查可通过自动化方式进行。

1 自动数据检查

1.1 矢量数据空间关系检查

矢量数据空间关系检查是修正数据在矢量化过

收稿日期:2022-03-19.
第一作者:段晓飞(1971-),男,云南昆明人,高级工程师. 从事林业技术工作.

程中可能产生的一些错误,如图斑合并、分割等出现的问题。空间关系检查主要有以下几个检查内容(表 1)。

表 1 矢量数据空间关系检查类型

Tab. 1 Check types of vector data spatial relationship

类型	校验标题	注释	严重性等级	厚度比率	最小角度
多部件线	多部件线	多部件线	1		
多部件面	多部件面	多部件面	1		
重复几何	要素重复	要素重复	1		
几何重叠	要素重叠	要素重叠	1		
狭长面重叠/间隙	狭长面重叠/间隙	狭长面重叠/间隙	1	0.03 以下	
狭长面	狭长面	狭长面	1	0.1 以下	
急锐角化	急锐角化	急锐角化	1		15°以下

校验标题:标题名称要简短、明了。

注释:用于提供有关写入 Reviewer 表的要素的更具体描述,并将注释复制到 Reviewer 表中的“注释”字段。注释要简短、明了。

严重性等级:用于指示校验结果在质量保证、质量控制过程方面的重要程度。数字越小,校验结果的优先级越高。矢量数据出现空间关系错误,势必影响数据的准确性和真实性,因此严重性等级须设为 1 级。

狭长面重叠/间隙:厚度比率建议设为 0.03 以下。

狭长面:厚度比率建议设为 0.1 以下。

最小角度:建议设为 15°以下。

1.2 矢量数据属性逻辑性检查

矢量数据属性逻辑检查主要是通过结构化查询语言(SQL)对字段属性之间的逻辑进行检查。如:地类代码、树种代码是否正确;地类为乔木林,树种不是乔木林树种;地类为疏林地,郁闭度却大于 0.2 等。具体检查内容及逻辑关系检查见表 2。

1.3 数据成果检查

Data Reviewer 提供了多种质量控制管理规则,有重复几何校验、要素重叠校验、面校验、表校验等 11 个大项,43 个小项。使用这些校验可以执行几何和属性验证,确保数据的准确性。

Data Reviewer 可将校验配置为每次运行一个,也可使用批处理作业来配置和存储多个校验。

表 2 属性逻辑关系

Tab. 2 Attribute logical relationship

地类	起源	林组	郁闭度	树种	胸径	每公顷蓄积	每公顷株数
乔木林地	必须填	必须填	≥0.2	乔木树种	必须填	必须填	必须填
竹林地	必须填	必须填	≥0.2	竹林			必须填
疏林地	必须填		<0.2	乔木树种	必须填	必须填	必须填
灌木林地	必须填		≥40	灌木树种			
未成林造林地	必须填			必须填树种			必须填
苗圃地							
无立木林地							
宜林地							
非林地							

根据林业生产的目的和需求定义质量控制管理规则,对入库的矢量数据进行检查。数据成果的验证过程分为两类,单项检查和批量检查。

1.3.1 单项检查

1)打开 Data Reviewer 工具条,点击“会话管理器”图标,弹出“Reviewer 会话管理器”窗口,点击“浏览”,在打开的“Reviewer 工作空间”窗口中,选择一个放置“Reviewer 工作空间”的目录。点击“新建文件地理数据库”图标,创建一个“数据库”,比如 Reviewer. gdb 数据库。

2)点击“添加”按钮,弹出“Data Reviewer”对话框,点击“是”,打开“启用 Data Reviewer”窗口,根据检查数据的坐标系为“Reviewer. gdb”数据库选择相同坐标系,“配置关键字”项选择默认为 DEFAULTS 关键字,然后“确定”,创建好“Reviewer 工作空间”。

3)在“Reviewer 会话管理器”窗口中,“会话”项,点击“新建”按钮,在“名称”框中修改会话名称,比如命名为“练 1”。点击“启动会话”按钮,则按钮变为“结束会话”。关闭“Reviewer 会话管理器”窗口。

4) 在 Data Reviewer 工具条“选择数据校验规则”下拉列表中,选择“要素重叠校验”中的“狭长面重叠/间隙校验”。

5)打开“狭长面重叠/间隙校验属性”对话框,在校验标题框中输入“狭长面重叠或间隙”;“要素类 1”选择数据“练习 2”;“要素类 2”同样选择“练

习 2";"搜索目标"选择"查找空隙和重叠";"厚度比率"设为 0.03;"注释框"输入"狭长面重叠或间隙";"严重性"设为 1,确定。

6)单击 Data Reviewer 工具条上的"运行数据校验"按钮。在"要验证的要素"对话框中选择"整个数据库",确定。

7)在"狭长面重叠/间隙校验"对话框中提示找到 8 条记录,确定。

8)在"编辑器"工具条上打开"开始编辑",然后在"浏览要素"窗口中点击"浏览下一个要素"按钮,根据"描述"框中的提示,查看并修改要素。

重复上述 3~8 步骤,设置多部件面、要素重复、要素重叠、狭长面、急锐角化等规则检查。

1.3.2 批量检查

批处理作业可视为质量控制模型,即一种封装和分布质量控制与验证信息的方法。根据开展工作的目的,提前定义好规则。质量控制管理规则后缀名为 .RBJ 文件,统一把工作数据和 RBJ 规则文件发送给操作人员。在进行验证时可以选择全部或部分运行几项校验。

在批处理作业管理器中配置批处理校验时,可以根据校验目的分为多个组,用来验证不同的条件。可同时包含矢量数据空间关系校验组、矢量数据属性逻辑校验组。

1.3.3 创建校验规则

1)空间关系校验规则

单击 Data Reviewer 工具条上的"Reviewer 批处理作业管理器"按钮。打开"Reviewer 批处理作业管理器"窗口,在"批处理作业内容"框空白处右键"新建组"。

在组名上右键选择"重命名组",重命名为空间关系检查。

右键"空间关系检查"选择"添加校验规则"—"面校验"—"狭长面校验"(图 1)。

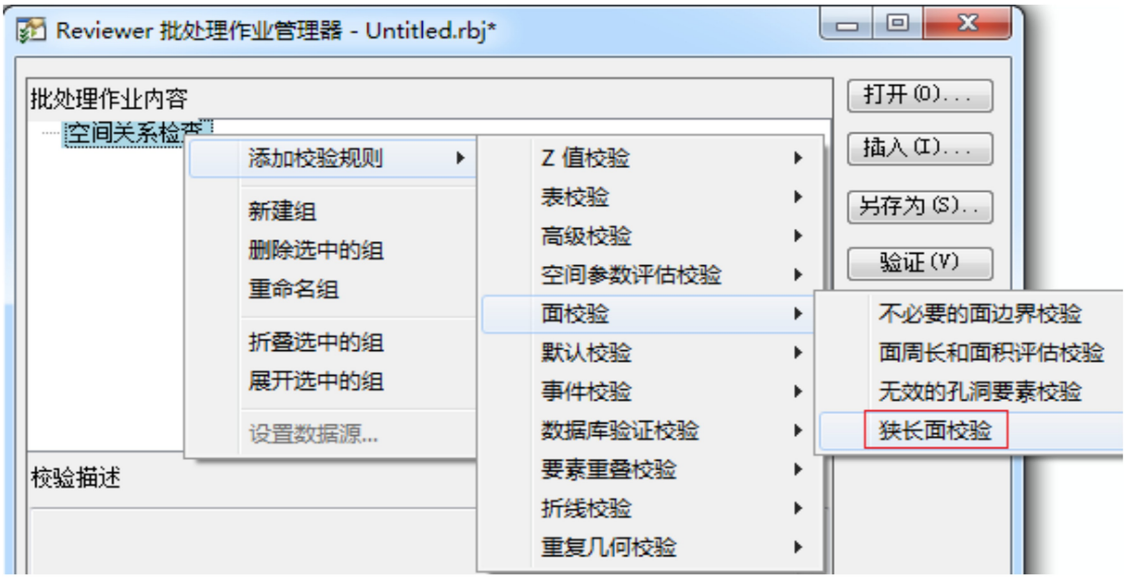


图 1　空间关系检查界面

Fig. 1　Spatial relationship check interface

输入"校验标题"名称;点击"要素类"下拉箭头,选择数据;厚度比率设为 0.1 以下;输入"注释";"严重性"等级设为 1,确定。

重复以上步骤,创建其他校验。

2)属性逻辑校验规则

重复"空间关系校验规则"的 1、2 步骤,创建"属性逻辑检查"组。

右键"属性逻辑检查"选择"添加校验规则"—"表校验"—"SQL 查询校验"(图 2)。

在弹出的"SQL 查询校验 Properties"窗口中,"校验标题"输入"地类代码不对","要素类"选择"练习 2"。打开"SQL"查询窗口,在"Where 子句"框中输入"DI_LEI NOT IN ('0120','0150','0180','0210','0220','0230','0240','0250','0254','0111','0113','0131','0132','0141','0142','0161','0162','0171','0172','0173','0254','1631','1632','1633','1634','1635')","注释"中输入"地类代码不对",严重性等级设为 1 级(图 3)。

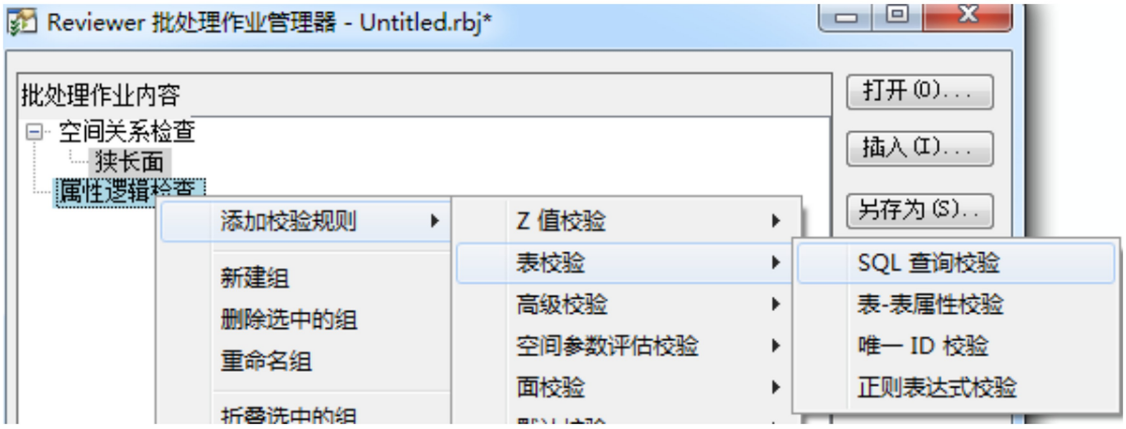


图 2 属性逻辑检查界面

Fig. 2 Attribute logic check interface

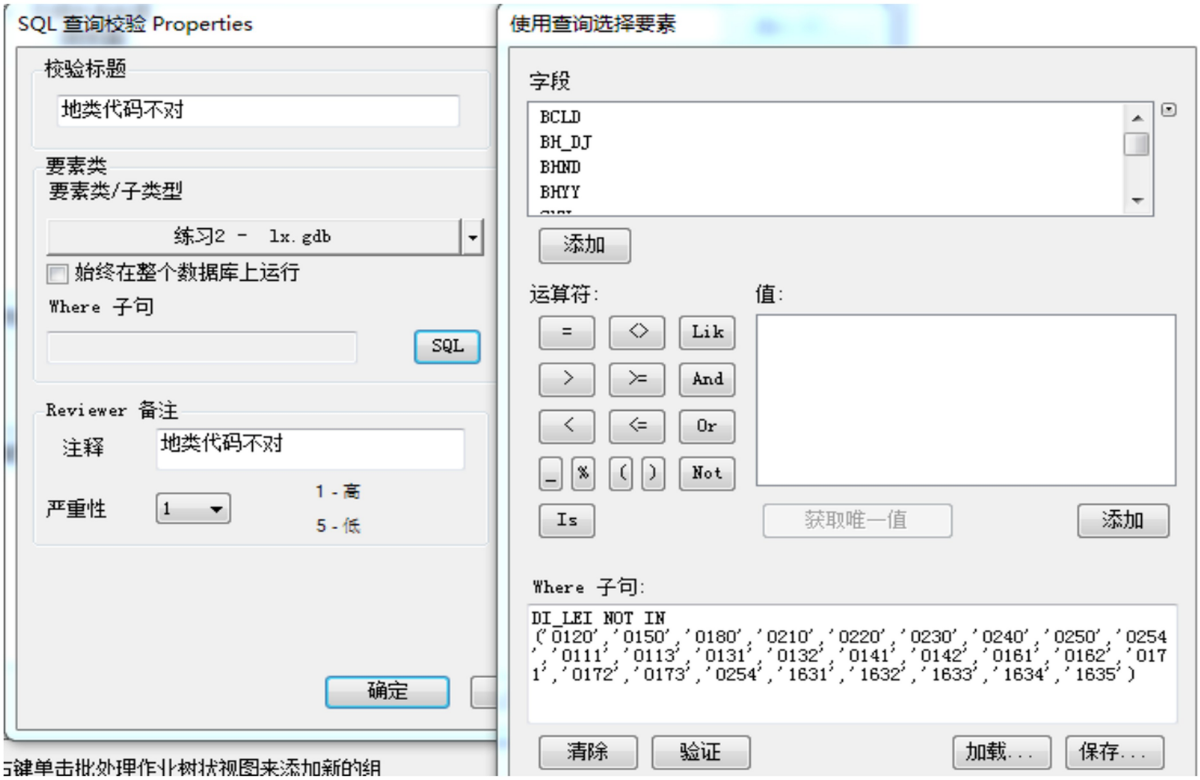


图 3 地类代码检查界面

Fig. 3 Land type code inspection interface

重复 2、3 步骤,依次添加其它校验规则。最后如图 4 所示。

把创建好的“质量控制检查规则”保存为“项目名+质量控制检查规则”。

至此,批处理作业检查规则已创建完成。批处理作业检查规则可根据项目的目的增减调整校验。

3)数据验证

打开“Reviewer 会话管理器”窗口,“Reviewer 工作空间”选择单项检查时创建的“Reviewer. gdb”数据库,“会话”项新建一个会话,命名为“练习 2”,启动会话。

打开“Reviewer 批处理作业管理器”窗口,加载建好的“质量控制检查规则”。

在检查同一项目不同的数据时(如不同乡镇),分别在不同组上右键“设置数据源”。在弹出的“设置数据源”窗口中,逐一选中“源”,更改数据源,另

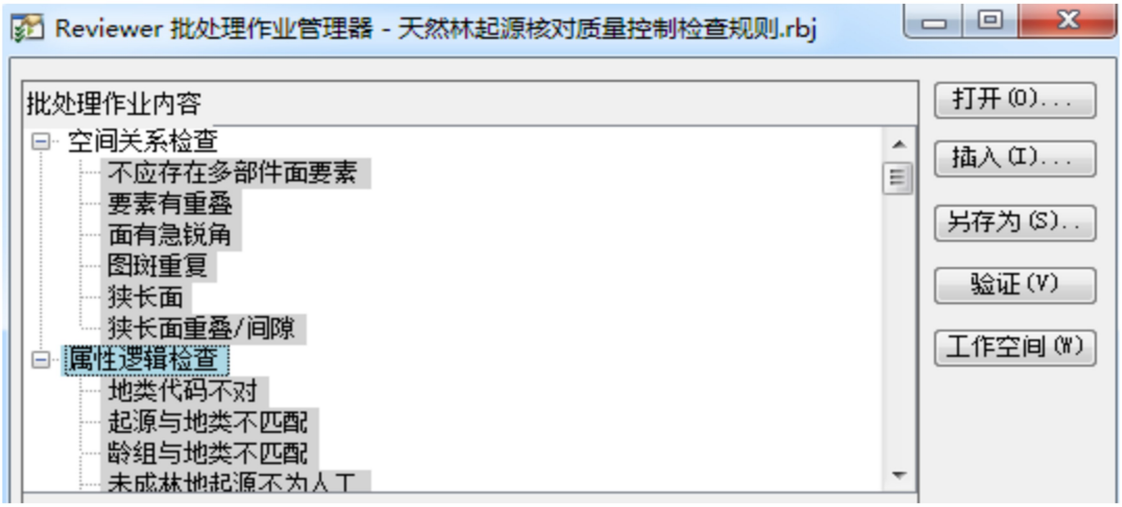


图 4　检验规则界面

Fig. 4　Inspection rules interface

存为“乡镇名+质量控制检查规则”。

点击 Reviewer 工具条上的“Reviewer 批处理验证”按钮,在弹出的“批量验证”窗口,“要验证的要素”项选择整个数据库,点击“从文件添加”加载定义的质量检查规则(图 5),运行。运行结束,弹出“表编写器”框,提示记录错误数量。

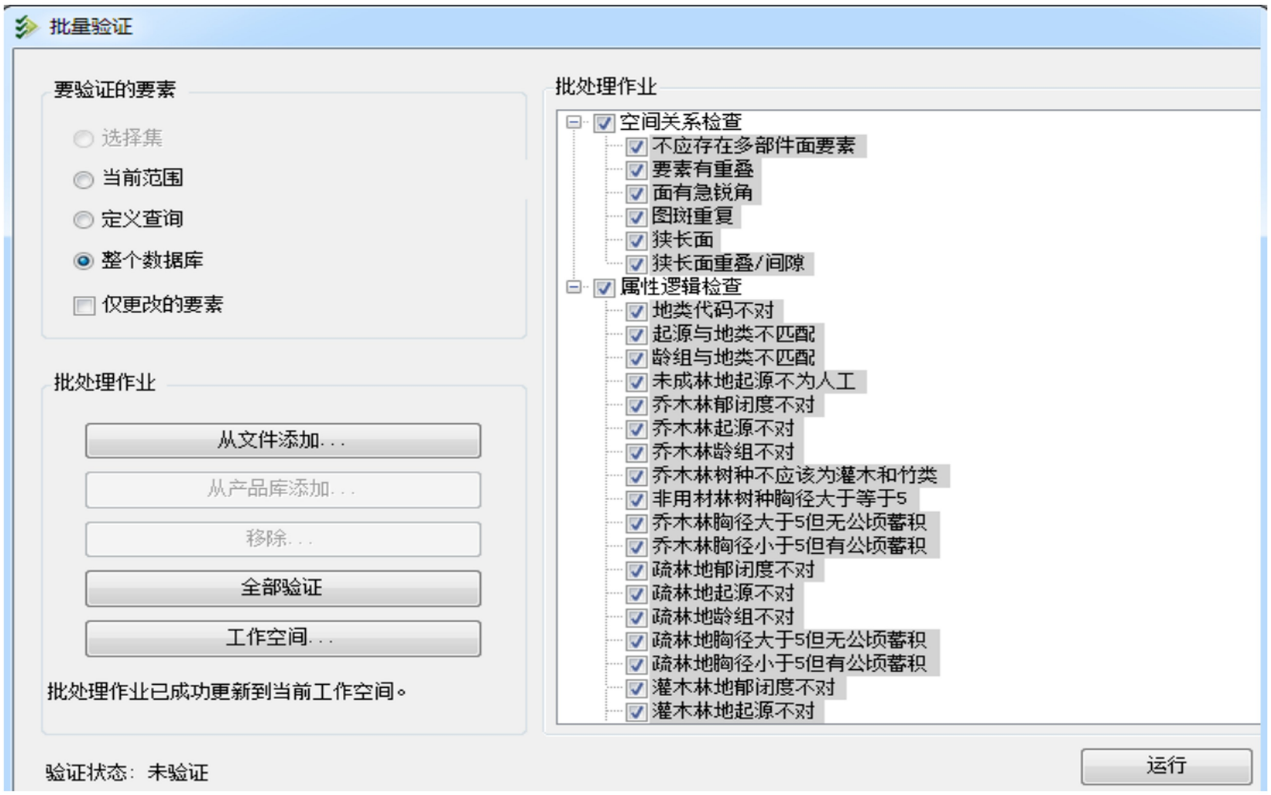


图 5　批量检查界面

Fig. 5　Batch inspection interface

点击 Reviewer 工具条上的“Reviewer 表”按钮,在打开的“Reviewer 表”中,根据“检查标题”或“检查注释”的提示批量选中记录,在行上击右键,在弹出的提示框中单击“选择要素几何”。

在编辑器中选择“开始编辑”,打开属性表,然后根据“检查标题”提示修改字段值。修改好后,在“Reviewer 表”选中的行上击右键,单击“输入校正状态”(图 6)。

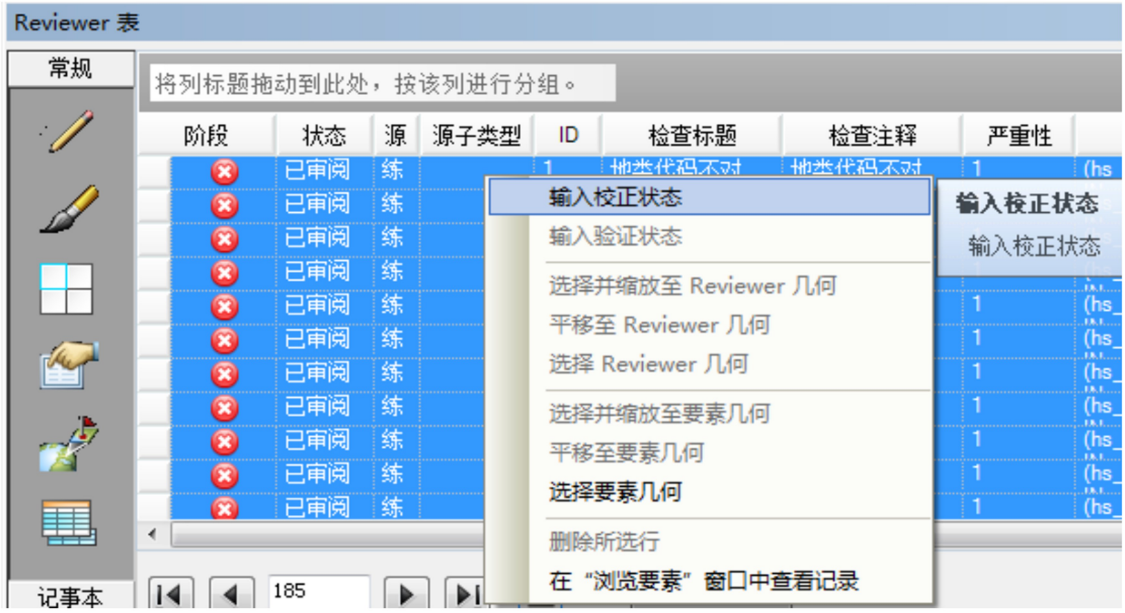


图 6 校验界面 1

Fig. 6 Verification interface 1

在弹出的“更新结果”对话框中,“更新状态”选择“已解决”,“校正注释”选择“按照指导”,确定。此时“阶段”列的图标变为绿色。再根据“检查标题”或“检查注释”修改属性表字段值(图 7)。

图 7 校验界面 2

Fig. 7 Verification interface 2

全部修改好后,在“Reviewer 会话管理器”窗口单击“结束会话”,再新建一个会话,再次校验,直到提示没有错误为止。

2 半自动数据检查

采用自动校验的方法并不能把数据中的所有错误都检测出来,这时就需进行人机交互即半自动检

查方式来评估数据质量,如图斑漏绘以及自动检查方式可能未检测到的其他问题等。

在 ArcMap 中,Data Reviewer 提供了对数据进行目视检查的工具。利用这些工具可以选择和浏览要素、将现有要素作为错误提交或标记缺失要素。

数据检查员在对数据与影像数据进行目视检查时,发现图斑漏绘,按下列方法进行标记,然后把检查过的数据提交内业人员补绘。

1)单击 Reviewer 工具条上的“标记缺失的要素”图标,在漏绘处单击,弹出“标记缺失要素的详细信息”对话框。“要素类/子类型”项选择“练”要素,“输入检查状态”选择“添加”,“注释”输入“漏绘图斑”,“严重性”等级选择 1 级,确定。

2)内业人员在接收到返回数据后,打开相应的“会话”,点击“Reviewer 表”的“符号化 Reviewer 要素记录”图标。在显示出漏绘的地方补绘图斑(图 8 中标记处)。

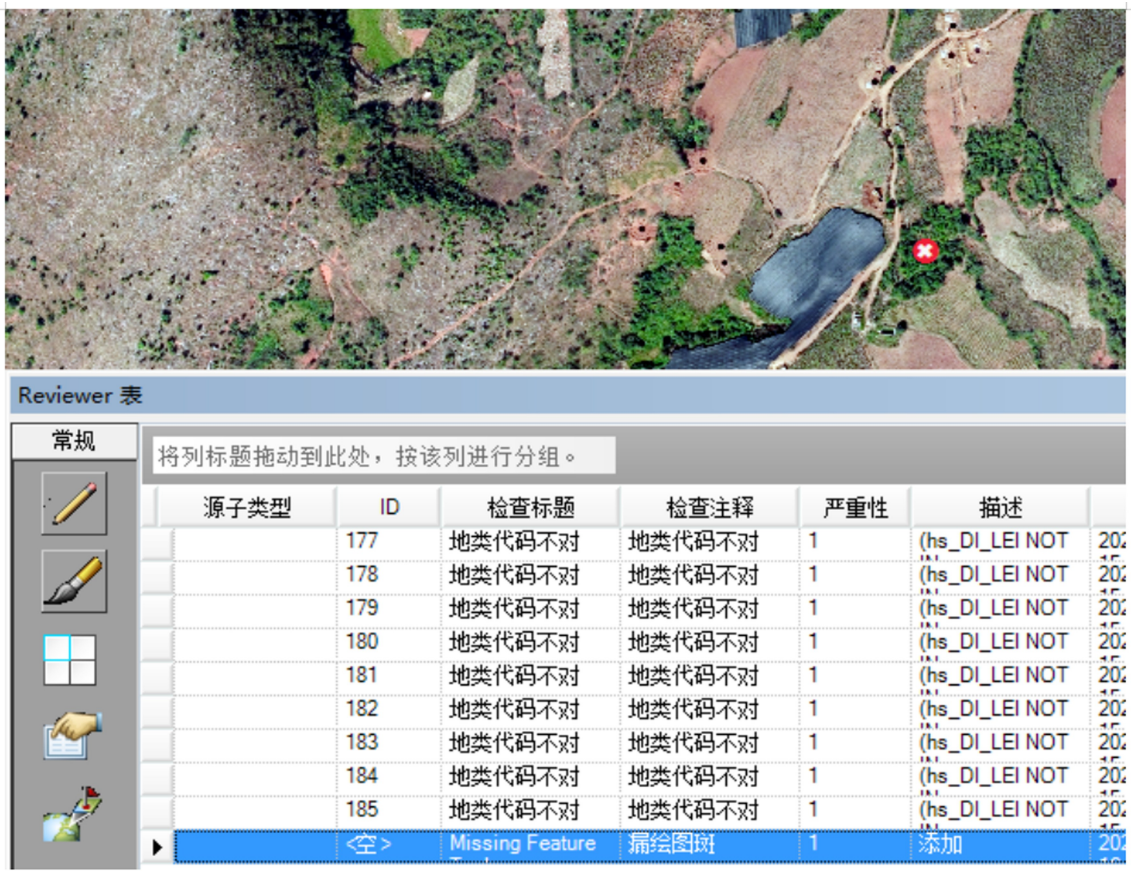


图 8　补绘图斑界面

Fig. 8　Supplementary drawing spots

3 结　语

利用 ArcGIS Data Reviewer 扩展模块可以实现高效一致的数据检查,保障数据成果的准确性、真实性,生成数据质量报告,对保障林业建设相关数据质量有重要的现实意义。

参考文献:

[1] ArcGIS Data Reviewer 帮助教程[Z]. 2022.

[2] 陈旭伟,祝昕刚. ArcGIS Data Reviewer 在高标准基本农田数据库质检中的开发与应用[J]. 建设科技,2016(14):118-120.

[3] 王家峰. Data Reviewer 在第三次全国国土调查数据质检中的应用[J]. 测绘技术装备,2020,22(4):71-74.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.008

国内外城市河岸带近自然植物群落构建研究评述

王 睿[1],朱 玲[2],胡振国[1]
(1. 沈阳建筑大学 建筑与规划学院,辽宁 沈阳 110168; 2. 天津大学 建筑学院,天津 300392)

摘要:城市河岸带是城市最具生态效能和活力的空间,创造近自然植物群落能够提高城市的生物多样性,形成万物共生的可持续生态景观。国内外相关研究学者在积极探寻城市河岸带植物群落构建的方法和标准,但这方面的综述文章寥寥无几。在 web of science 和中国知网数据库中查新国内外相关文献 50 余篇,评述了国内外城市河岸带植物群落构建现状以及近自然植物群落构建途径两方面研究进展,以期梳理整合城市河岸带植物群落构建现状与趋势,拓宽城市河岸带植物群落新视野,为城市河岸带植物群落构建研究的体系框架提供研究思路。

关键词:城市河岸带;近自然植物群落;生物多样性

中图分类号:P737.1;P96;Q948.2 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0044-05

引文格式:王睿,朱玲,胡振国. 国内外城市河岸带近自然植物群落构建研究评述[J]. 林业调查规划,2023,48(5):44-48. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.008

WANG Rui, ZHU Ling, HU Zhenguo. Review on Construction of Near-Natural Plant Communities in Urban Riparian Zones at Home and Abroad[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):44-48. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.008

Review on Construction of Near-Natural Plant Communities in Urban Riparian Zones at Home and Abroad

WANG Rui[1], ZHU Ling[2], HU Zhenguo[1]
(1. College of Architecture and Planning, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China;
2. College of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300392, China)

Abstract: Urban riparian zone is the most ecologically efficient and dynamic space in a city. Creating a near-natural plant community space can improve urban biodiversity and form a sustainable ecological landscape of symbiosis. Domestic and foreign scholars are actively exploring methods and standards for constructing plant communities in urban riparian zones, but there are few review articles in this regard. More than 50 relevant domestic and foreign literature were searched in the web of science and CNKI databases, and research progress in the construction of urban riparian plant communities at home and abroad, as well as approaches to the construction of near-natural plant communities, was reviewed, to sort out and integrate the current situation and trends of urban riparian plant community construction, broaden the new perspective of urban riparian plant communities, and provide research ideas for the systematic framework of urban riparian plant community construction research.

收稿日期:2022-03-25.
基金项目:国家自然科学基金"基于微域分异的城市滨河缓冲带景观空间体系构建机制研究——以辽河流域(辽宁段)为例"(52078307).
第一作者:王睿(1989-),女,辽宁沈阳人,博士研究生. 研究方向为城市景观规划与设计、植物群落生态种植设计与实践. Email:775224938@qq.com
责任作者:胡振国(1974-),男,辽宁沈阳人,副教授. 研究方向为城乡规划、空间品质提升与活力营造. Email:20150263@qq.com

Key words: urban riparian zone; near-natural plant community; biological diversity

党的十八大以来,我国生态文明建设推向新高度。河流呈线性流经城市,与城市中土地开发利用形式以及使用方式的关系最为密切,是城市中开发建设重点投入的区域。河岸带是高低水位之间的河床及高水位之上直至河水影响完全消失为止的地带,是陆地生态系统和水生生态系统的生态过渡区[1]。文中城市河岸带是在城市范围内的河水与陆地相互交界的两边,至河水影响消失为止的区域[2]。在生态文明建设的时代目标与价值取向下,城市河岸带可持续的植物景观能够解决人与自然和谐发展问题,自上而下促进人与自然共生的城市生态景观新格局。而在快速城市化的进程中,我国城市河岸带现状自然植物群落残留斑块较少且较为破碎,现状植被反自然的人工植被园林消耗了大量的城市资源和维护成本,极大地影响到城市的可持续发展[3]。如早期大树、巨木移栽,大面积草坪建设[4];林带、片林则以种植大树大苗、建设成段成片苗圃式纯林为主,其人工化程度高,造成建设成本居高不下,也给后期养护带来巨大压力[5]。城市脆弱的生境生态恢复需要利用自然过程而非技术工程来重建稳定生境[6]。从可持续发展理念出发,亟需找到建设成本低、后期少管护或接近零管护的城市绿化模式[7]。城市河岸带植物群落构建视角逐步由单一目标的景观美学设计视角,向多目标的生态系统综合服务视角转化,其植物群落构建方法与策略也在不断完善和验证,以近自然植物群落为主题的城市河岸带植物群落构建途径在风景园林领域备受关注。

近自然植物群落是指通过研究分析某地区自然群落的基本类型、层次结构,进而借鉴、模拟形成的人工植物群落[8]。国际上,近自然植物群落研究最早可追溯到 1869 年 Gayer 提出的近自然林业理论[9]。其后,Tüxen 提出了“潜在植被理论”[10]。20 世纪 70 年代,日本生态学家宫胁昭提出植物群落的新演替理论和潜在植被理论,其核心思想是通过人类的影响可以缩短植被从裸地演替到近自然森林的时间。以此为基础,Miyawaki 提出环境保护林营建方法,也称为宫胁造林法,即选择当地乡土树种,通过模拟自然群落结构,建造以地带性森林类型为目标、群落结构完整、物种多样性丰富、生物量高、趋于稳定状态、后期完全遵循自然循环规律的“少人工管理型”森林,目前已在日本、中国、泰国等诸多国家几百个案例中取得成功[11]。近 20 年来,中国诸多学者相继开展了近自然植物群落构建理论与实践应用[12]。近自然植被的恢复和营建应以当地潜自然植被为蓝图,以协调人地关系为核心,模拟自然群落结构[13],关键在于自然群落蓝本与近自然人工植物群落两类生境的相似性以及植物群落对于生境要素具有较强的适应性。本研究从城市河岸带植被构建,以及近自然植物群落构建两个方面进行总结论述。

1 国内外城市河岸带植物群落构建研究

1.1 国外城市河岸带植物群落构建研究

国际上,城市河岸带植被构建研究主要包括植物景观空间分类、识别及规划等方面内容,运用地理信息空间分析技术进行参数化评估和构建。Thomas Crow 等通过对芝加哥以西的德斯普兰斯畔和 Berwyn 河两个城市河流缓冲带建筑结构、木本植被、地块大小和形状进行居民调查和对比评估,提出居民对更加多样化的城市景观更加满意[14]。Guida-Johnson 等使用次级数据库、地理信息系统和多变量分析工具,提出了一个规划城乡梯度河岸恢复的景观设计框架,考虑社会环境和生态两方面的整治目标[15]。Szajda 基于东欧奥得河沿线的 8 个参数进行评估得到开发模型,通过模型构成分类的客观工具,并结合案例的分类值将城市滨江廊道景观分为 5 类景观值,以支持景观空间的规划决策[16]。

1.2 我国城市河岸带植物群落构建研究

我国城市河岸带植被构建研究主要注重城市河岸带的植被缓冲带现状植物群落结构特征以及植物种类多样性选择、植物群落空间形态设计等方面内容[17-19]。颜兵文等依据河岸植被缓冲带规划及重建原理,进行了长株潭湘江河岸带植被缓冲带典型区段的划分[20]。刘滨谊等基于初步测试数据,研究了滨水带坡面形式、植被空间结构、乔木覆盖郁闭度、沿河灌木高度 4 个要素的空间布局形态对于滨水带环境小气候影响的环境物理规律[21]。随着领域专家对城市河岸带在城市生态系统中功能作用的深入探究,城市河岸带植物群落构建被赋予了更重要的理念和思路。我国达良俊在 Miyawai 潜自然植被和新演替理论研究基础上,总结为近自然型恢复理论,并提出了”近自然森林”的概念以及”近自然型”城市河流水系恢复和水景观建设理念[22]。朱玲等从生态系统服务视角出发,探讨了生态系统服务理论

在城市滨河缓冲带植物群落生态修复与重建的多类服务协同模式以及近自然植物多样性选择策略[23]。

2 国内外近自然植物群落构建研究

2.1 近自然植物群落构建方法研究

近自然植物群落构建的主要矛盾在于城市森林自身的近自然形式与其较高城市化程度的外围环境的适应[24]。现阶段,近自然植物群落构建方法研究主要包括了关键要素因子分析、提取、评价、机制等方面内容。国际上,詹姆斯·希契莫夫等通过对相似生境的野生草本植物资源的广泛调查,即运用永久样方调查法收集数据,调查生境的土壤类型、种数、株数、Shannon-Wiener 多样性指数等指标,通过重要值计算分析原生草本植物群落的建群种、优势种和伴生种类[25]。宫胁昭在城市近自然森林群落构建研究和实践中,调查了日本的潜在植被,并绘制了全国区域内的潜在植被图,为城市近自然植物物种选择、植物群落模式提供了基础数据[26-28]。

我国运用近自然园林经营相关理念,在近自然植物群落构建研究中进行了对典型植物群落特征调查以及模拟景观设计方法探究。袁嘉等以野花草甸景观为例,提出了主动利用景观生态流、拟自然设计与最小限度干预进行城市植被再野化基本技术范式的关键流程[29]。汪辉等提出了以植物群落为单元的城市森林生态公园植被规划策略[30]。房味味通过提炼自然群落花相类型和不同亚层物种的茎叶形态特征[31],分析种数、重要值、Shannon-Wiener 多样性指数、Gleason 丰富度指数等因子,提出不同层次适宜配置的种类,运用“盒子”模型法模拟自然群落[32]。任斌斌等采用数量分类与环境排序的生态学方法,对北京鹫峰低海拔森林植物群落特征与环境影响要素进行研究[33]。董丽等试借用生态学自然度观点及其等级分化的应用方法,选用植物生态学中郁闭度、胸径级、物种多样性、乡土树种及自我更新树种多度为参数,对近自然园林植物群落质量进行综合量化评价。冯彩云在此基础上,参考宫胁昭造林法、近自然林业和近自然河溪管理等相关方法,补充修正了相关评价指标,从自然度和景观美学指数两个方面构建了近自然园林绿地植物群落的评价指标体系[34]。

2.2 近自然植物群落模式研究

我国在近自然植物群落构建模式研究方面取得了一定的研究成果。对于城市森林植物群落,南鹏辉等认为自然界的地形各式各样,要模拟相似地形下的植物组成[35]。据调查,北京地区的群落乔灌草比例在 1∶6∶20∶29 时最接近于自然原生林[36]。达良俊等在将森林引进城市,借鉴当地近自然植物群落选择乡土物种,形成上海市绿地乔灌搭配的植物群落配置模式[37]。曾晓阳以成都青城山顶级群落为参考体系,探究了成都市城市森林近自然植物群落配置的多种优化模式[38]。卢山等调查分析宁波地区与泸州地区群落的组成和结构,归纳了中亚热带城市近自然人工植物群落的特征与空间布局模式[39]。胡海辉对群落的乔灌木种类组成、乔木密度、郁闭度及叶面积指数等指标进行了调查,提出了寒地城市的绿化模拟策略[40]。近年来,草本植物群落逐渐成为城市生态系统的重要组成部分,就草本植物群落而言,对其种植组合模式取得了量化研究成果。美国生态种植专家克劳迪娅·韦斯特(Claudia West)研究将低矮禾本科耐阴草本和匍匐类草本植物作为覆盖层,有效防控杂草的同时提高了生物多样性[41]。Ahmad 通过草本植物群落构建研究,提出了 40%春天开花的低矮种类、40%春夏开花的中等高度种类、20%夏秋开花的高大种类构成的植物群落花期更持久[42]。朱玲等通过对自然草本植物群落的模拟和设计提炼,根据生态功能层和美学层的特征参考,提出了 4 种种植组合模式[43]。据调查,华北地区典型野生草甸群落按照株高顺序可分成 3 个亚层,植物种数比例约为第一亚层∶第二亚层∶第三亚层=2∶5∶3,株数在各亚层的分布比例约为 4∶10∶5[44]。草本植物群落中的植物可以大致分为 5 大类别,分别是骨架植物、早花植物、晚花植物、明星植物和自播繁衍植物,骨架植物所占比重最大[45]。春季开花的种类株高最低,秋季开花的种类处于最上层,可以实现观赏期的延续及空间生态位的合理分配[46]。

3 研究评述与思考

3.1 城市河岸带植物群落的构建

1)国外较早地运用模型参数进行滨河缓冲带植物群落景观空间的评估,利用高分辨率的遥感数据得到景观-地理制图单元,并开始了以地理逻辑为目标的植物群落构建机制新探索,为深入探讨城市河岸带植物群落构建方法提供理论依据。

2)我国已开始提出城市河岸带植物群落构建的近自然森林相关理念,但目前城市河岸带植物群落构建研究多止于河岸植被缓冲带区域范畴,且侧重在微观尺度下单种植物种类的生长适宜性及其与

生境的关系研究,需要将其拓展到整个城市河岸带绿色空间,通过对植物群落构建机制和方法的探索,增强河岸带绿地生物多样性和可持续性。

3.2 近自然植物群落构建途径

1)国际上,城市近自然植物群落景观营造理念取得了广泛认可和推广,但目前多止于自然或半自然群落的结构和组成的调查与分析,以及在理论层面的群落模式提出,对影响群落形成、存在和稳定发展的地理环境要素涉及甚少,同时缺少自然群落向城市绿地中应用的转化原理和构建机制的探究。

2)我国对近自然植物群落评价指标体系的建立进行了初步研究,且指标参数的选择和具体操作方法各自有所不同,需要在此基础上进一步论证和探究更为准确科学的近自然植物群落量化指标体系,以指导各典型地域特征区域的城市河岸带植物群落的构建。

3)此外,我国近自然植物群落模式研究侧重在北京、上海、成都等城市,东北地区近自然植物群落模式指标尚不明确。未来城市森林的构建需要以功能性和生物多样性为趋势,以地理逻辑为指导,探究以植物群落为单元的近自然植物群落构建方法及模式,至上而下推动城市植物景观向稳定、可持续的顶级森林群落正向演替。

4 结　语

城市河岸带作为城市国土空间重要的生态廊道,在生态系统服务中扮演着重要角色。近自然植物群落在提高植物群落科学性、艺术性以及展现地域特色等方面具有重要意义[47],对于促进群落稳定、激活生态系统内部调控机制以及丰富绿地生物多样性等方面作用显著[48],是近年来城市绿地植物景观设计领域的研究热点,也是解决目前城市河岸带绿地植物群落构建现存问题和主要矛盾的重要途径[49]。

通过对国内外近 20 年来城市河岸带植物群落构建相关文献查新和梳理,提出了城市河岸带植物群落现状问题和未来发展趋势。以植物群落为单元的设计方法正在逐步成为城市河岸带可持续植物群落设计与建植的重要方法,但多数成果止于城市河岸带草本植物群落景观设计与建植研究、种间关系机制研究等方面。在城市河岸带植物群落设计与建植、植物群落构建机制、植物群落功能性系统等方面的研究刚刚起步,需要在生态学、地理学中进一步寻求新的研究方法,探究城市河岸带绿地中近自然植物群落的构建机制、模式与方法。尤其是我国具有明显地域特征和自然资源的植物区系地带,如川西高原,内蒙、华北、东北平原等地域,通过对原生顶级植物群落物种组成、群落结构以及群落形成机制的探究,演绎城市河岸带绿地可应用的植物群落模式量化指标,形成稳定的、可持续的、具有地域特征的“生命地标”。

参考文献:

[1] 刘伟毅. 城市滨水缓冲区划定及其空间调控策略研究[D]. 武汉:华中科技大学,2016.

[2] 余俏. 山地城市河岸绿色空间规划研究[D]. 重庆:重庆大学,2019.

[3] 朱玲,王睿. 健康城市背景下的新自然主义生态种植疗愈功能框架研究[J]. 西部人居环境学刊,2021,36(2):29-35.

[4] 陈克霞,吕晨,达良俊. 城市森林建设中存在问题剖析及建议[J]. 中国城市林业,2004,2(4):48-51.

[5] 达良俊,方和俊,李艳艳. 上海中心城区绿地植物群落多样性诊断和协调性评价[J]. 中国园林,2008,24(3):87-90.

[6] 王睿,朱文莉,朱玲. 基于草本植物景观的城市脆弱生境修复自然途径[C]//中国风景园林学会. 中国风景园林学会 2020 年年会论文集(下册). 中国建筑工业出版社,2020(6):346-351.

[7] 薛艳杰. 上海城市绿化评价指标体系构建探讨[J]. 现代城市研究,2010(3):47-51.

[8] 殷丽峰,李薇,任斌斌. 北京城市绿道植物多样性及其群落特征[J]. 西部林业科学,2021,50(2):28-34.

[9] 许新桥. 西方近自然林业理论研究及其应用问题探讨[D]. 北京:中国林业科学研究院,2007.

[10] MIYAWAKI A. Green Environments and vegetation Science Chinjuno-mori to World forests[M]. Tokyo:NTT Publisher, 1997:239-240.

[11] MEGURO S, MIYAWAKI A. Growth behavior of tree species and the ecological characters of lowland tropical rain forestsin Southeast Asia[J]. Hikobia, 2001(13):363-372.

[12] 达良俊. 基于本土生物多样性恢复的近自然城市生命地标构建理念及其在上海的实践[J]. 中国园林,2021,37(5):20-24.

[13] 杨阳,王晶懋. 西北半干旱城市绿地近自然人工植物群落构建研究[J]. 西北林学院学报,2018,33(1):274-280.

[14] CROW T, BROWN T, YOUNG R D. The Riverside and Berwyn experience: Contrasts in landscape structure, perceptions of the urban landscape, and their effects on people[J]. Landscape and Urban Planning, 2006(75):282-299.

[15] GUIDA-JOHNSON B,ZULETA G A. Riparian rehabilitation planning in an urban - rural gradient: Integrating social needs and ecological conditions [J]. Ambio,2017:45-56.
[16] ORZECHOWSKA - SZAJDA I D. Classification model of urban riverside landscape using the oder river as an example[J]. Polish Journal of Environmental Studies, 2020 (29):205-215.
[17] 袁兴中,杜春兰,袁嘉,等. 自然与人的协同共生之舞——三峡库区汉丰湖消落带生态系统设计与生态实践[J]. 国际城市规划,2019,34(3):37-44.
[18] 姜乖妮,张坦. 基于"城市双修"理念的城市滨水空间设计策略——以张家口市清水河滨水空间为例[J]. 城市问题,2018(3):42-47.
[19] 冯沁薇,郝培尧,董丽,等. 基于栖息地的城市湿地公园生物多样性特征与指标研究[J]. 风景园林,2019,26(1):37-41.
[20] 颜兵文,彭重华,胡希军. 河岸植被缓冲带规划及重建研究——以长株潭湘江河岸带为例[J]. 西南林学院学报,2008(1):57-60.
[21] 刘滨谊,林俊. 城市滨水带环境小气候与空间断面关系研究——以上海苏州河滨水带为例[J]. 风景园林,2015(6):46-54.
[22] 达良俊. 城市生态系统近自然型恢复的理论与实践[J]. 长江流域资源与环境,2008,12 (2):169.
[23] 朱玲,王睿,魏宜,等. 生态系统服务视角下的城市滨河缓冲带生态修复策略研究[J]. 景观设计,2020(6):4-11.
[24] 蒋敏. 城市湿地公园功能区划分和景观区设计研究[D]. 广州:广州大学,2010.
[25] HICHMOUGH J. Exotic plants and plantings in the sustainable,designed urban landscape [J]. Landscape and Urban Planning,2011,100:380-382.
[26] 陈伟峰,达良俊,陈克霞,等. "宫胁生态造林法"在上海外环环城绿带建设中的应用[J]. 中国城市林业,2004(5):21-23.
[27] MIYAWAKI A. Creative ecology:restoration of native forests by native trees [J]. Plant Biotechnology, 1999, 16 (1):15-25.
[28] MIYAWAKI A,GOLLEY F B. Forest reconstruction as ecological engineering[J]. Ecological Engineering,1993(2) 333-345.
[29] 袁嘉,游奉溢,侯春丽,等. 基于植被再野化的城市荒野生境重建——以野花草甸为例[J]. 景观设计学,2021,9(1):26-39.
[30] 汪辉,吕康芝. 以群落为单元的城市森林生态公园植被规划[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2012,36(2):137-141.
[31] 蒋亚蓉,袁涛,刘雪. 内蒙古桦木沟国家森林公园自然草甸群落对人工构建野花组合的启示[J]. 中国园林,2016,32(12):38-41.
[32] 房味味. 基于北京周边典型草甸群落调查的野花组合构建[D]. 北京:北京林业大学,2016.
[33] 任斌斌,商茹,李芳,等. 北京城市绿地近自然植物群落构建[J]. 生态学杂志,2019,38(10):2911-2917.
[34] 冯彩云. 近自然园林的研究及其植物群落评价指标体系的构建[D]. 北京:中国林业科学研究院,2014.
[35] 南鹏辉,苏宝玲. 沈阳市半自然植物群落结构特征研究[J]. 林业资源管理,2016(6):71-76,81.
[36] 岳永杰,余新晓,牛丽丽,等. 北京雾灵山植物群落结构及物种多样性特征[J]. 北京林业大学学报,2008,30(增刊2):165-170.
[37] 沈烈英,韩玉洁. 运用近自然林业经营思想构建上海城市森林体系宫胁法则[J]. 南京林业大学学报,2007(1),93-97.
[38] 曾晓阳. 成都市城市森林的近自然植物群落配置模式研究[D]. 成都:四川农业大学,2009.
[39] 卢山,陈波,敬婧,等. 中亚热带城市近自然人工植物群落构建研究[J]. 中国园林,2015,31(6):85-89.
[40] 胡海辉,徐苏宁. 黑龙江自然植物群落调查与寒地城市绿化模拟策略[J]. 中国园林,2013,29(8):104-108.
[41] RAINER T,WEST C. Planting in a post-wild world[M]. Portland:Timber Press,2015.
[42] AKLEH A. Germination and emergence of understorey and tall canopy forbs used in naturalistic sowing mixes:A comparison of performance in vitro the field[J]. Seed Science and Technology,2007,35(3):624-637.
[43] 朱玲,刘一达,王睿,等. 新自然主义种植理念下的草本植物群落空间研究[J]. 风景园林,2020,27(2):72-76.
[44] 房味味,袁涛,付桂荣. 自然草甸群落对人工构建野花组合的启示[J]. 中国园林,2015(7):59-63.
[45] HICHMOUGH J,DUNNETT N. The Dynamic Landscape: Design, Ecology and Management of Naturalistic Urban Planting[M]. UK:Spon Press,2004.
[46] HICHMOUGH J. New approaches to ecologically based, designed urban plant communities in Britain: do these have any relevance in the United States[J]. Cities and the Environment,2008,1(2):10-15.
[47] 苏雪痕. 园林植物应用的进展及存在问题[J]. 广东园林,2006(5):1-4.
[48] MIYAWAKI A. Restoration of urban green environments based on the theories of vegetation ecology[J]. Ecological Engineering,1998,11(1-4):157-165.
[49] 杨玉萍,周志翔. 城市近自然园林的理论基础与营建方法[J]. 生态学杂志,2009,28(3):516-522.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.009

2000—2018 年云南省易门县植被指数时空动态变化及影响因素分析

李晓娜[1],邓忠坚[2],王秋华[3],张卓亚[1],王玉和[4]
(1. 西南林业大学 地理与生态旅游学院,国家林业和草原局西南生态文明研究中心,云南 昆明 650224;
2. 西南林业大学 生物多样性保护学院,云南 昆明 650224; 3. 西南林业大学 土木工程学院,云南 昆明 650224;
4. 云南省林业调查规划院生态分院,云南 昆明 650002)

摘要:基于 Landsat 系列数据,将 RS 与 GIS 相结合,分析易门县 2000—2018 年间归一化植被指数(NDVI)时空变化特征,并探讨其影响因素。结果表明,2000—2018 年间研究区 NDVI 值随时间呈波动变化趋势(0.547~0.614),2000—2009 年呈增长趋势,2010 年陡降,2010—2018 年持续增长,高植被覆盖度(0.500 ≤ NDVI 值 < 0.700)区域占优势(占比 33.83%~46.41%);县域内 NDVI 值与地形因子显著相关($P<0.05$),随海拔的升高而显著增长,随坡度变化呈先增长后降低的趋势,不同坡向间 NDVI 值差异显著($P<0.05$),阴坡最大,阳坡最小;各乡镇间 NDVI 值差异较大,十街彝族乡 NDVI 值最小为 0.517,六街街道最大为 0.629;NDVI 的年际变化受人类活动和气候等因素的共同影响,其与人口数量相关性最大,其次是 GDP,年降水量影响最小。

关键词:NDVI;时空动态;影响因素;易门县

中图分类号:Q948.156 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0049-07

引文格式:李晓娜,邓忠坚 ,王秋华,等 . 2000—2018 年云南省易门县植被指数时空动态变化及影响因素分析[J]. 林业调查规划,2023,48(5):49-55,103. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.009

LI Xiaona, DEND Zhongjian, WANG Qiuhua, et al. Spatiotemporal Dynamic Changes and Impact Factors of Vegetation Index in Yimen County of Yunnan Province from 2000 to 2018[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):49-55,103. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.009

Spatiotemporal Dynamic Changes and Impact Factors of Vegetation Index in Yimen County of Yunnan Province from 2000 to 2018

LI Xiaona[1], DEND Zhongjian[2], WANG Qiuhua[3], ZHANG Zhuoya[1], WANG Yuhe[4]
(1. College of Geography and Ecotourism, Southwest Forestry University, Southwest Research Center for Eco-civilization, National Forestry and Grassland Administration, Kunming 650224, China; 2. College of Biodiversity Conservation, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 3. College of Civil Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 4. Ecology Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650002, China)

Abstract: Based on the Landsat data, RS and GIS were used to analyze the spatiotemporal variation characteristics of the normalized vegetation index (NDVI) in Yimen County from 2000 to 2018, and the impact factors were explored. The results showed that NDVI (0.547-0.614) was fluctuated with time

收稿日期:2022-03-28.
基金项目:国家自然科学基金(31901322,32160376);云南省农业联合基金(2017FG001-075);西南林业大学校级科研启动基金.
第一作者:李晓娜(1985-),女,河南清丰人,博士,助理研究员. 研究方向为生态系统管理与环境监测. Email:xiaonali_20060429@163.com
责任作者:王玉和(1984-),女,云南昭通人,硕士,工程师. 研究方向为林业调查规划与政策研究. Email:273091745@qq.com

from 2000 to 2018, it was increased from 2000 to 2009 and from 2010 to 2018, only was sharply decreased in 2010, and the study area was dominated by high vegetation coverage area ($0.500 \leqslant NDVI < 0.700$), which covered 33.83%-46.41%; NDVI was correlated with topographic factors ($P<0.05$), it was obviously increased with elevation and was firstly increased then decreased with slope, and the differences of NDVI values were significant between different slope aspects ($P<0.05$), with the maximum on the shaded slope and the minimum on the sunny slope; NDVI was varied among each town, the minimum NDVI was 0.517 in Shijie, and the maximum was 0.629 in Liujie; NDVI was affected by human activities and climate factors, the maximum related factor was the population, the second was GDP, and the minimum was annual precipitation.

Key words: NDVI; spatiotemporal dynamics; impact factors; Yimen County

植被是地表覆盖的最主要成分,在生态系统中起着主导作用,是联结土壤、大气和水分的自然“纽带”,在调节气候和保持水土等方面均发挥着重要作用,在全球环境变化研究中充当着重要的指示作用[1-3]。植被指数反映了植被在可见光、近红外波段反射与土壤背景间的差别,是指示植物空间分布和生长状况的重要遥感参数之一[4]。在多种植被指数中,归一化植被指数(NDVI)可有效地反映作物生长和养分信息,通常用于监测植被生长,是植被覆盖和土地利用变化的最佳指示因子[3-10]。方精云等[3]分析了 1982—1999 年中国地区 NDVI 的变化,表明研究期间我国植被活动增强,其主要影响因素是温度升高和夏季降水量增加。徐兴奎等[7]分析了中国西北地区地表植被覆盖特征的时空变化,结果表明 19 世纪 80 年代初期到 1994 年,研究区地表植被增加,1994—2000 年地表植被覆盖面积退化,其主要原因是气候干旱和人为活动。邢学刚等[11]通过分析青海高寒草甸退化演替植被指数,表明具有较高分辨率的 Sentinel-2 和 Landsat 的 NDVI 对高寒草甸退化演替过程更加敏感,能够更准确评估高寒草甸退化程度。张露洋等[12]研究表明耕地 NDVI 的变化对气候因子的响应具有时滞性,水田的 NDVI 变化较旱地敏感,温度的影响程度高于降水;高萌萌等[13]研究表明降水、气温、土壤湿度和人类活动是影响内蒙古西辽河平原 2000—2019 年 NDVI 值的主要因素。植被指数是环境监测的重要组成部分,分析植被指数的时空变化是进行生态环境评价的基础。有研究表明,人类活动对植被的退化则具有决定性的影响[14]。利用 Landsat 系列数据,将 RS 与 GIS 相结合分析 2000—2018 年云南省易门县植被指数的时空动态变化,并探讨人类活动和气候因素的影响,可为评价易门县森林资源和生态环境变化提供依据。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

易门县位于云南省玉溪市西北,滇中西部,地理坐标为北纬 24°27′~24°57′,东经 101°54′~102°18′,县城位于龙泉镇。截至 2021 年 8 月,县内总人口 151 671 人,少数民族占 33.7%,城镇化率 50%,森林覆盖率 65.4%。县域东西横距 44 km,南北纵距 57 km,总面积 1 571 km。东、北、西三面高山屏立,中部是溶蚀性盆地,东南面为中山河谷地带。研究区属于中亚热带季风气候,立体气候显著,干湿季节明显(图 1)。植被类型主要包括半湿润常绿阔叶林、干热河谷植被、翠柏林、华山松林和川西栎矮林。易门的华山松林是滇中地区长势良好的森林,主要分布在 2 300 m 以上的石灰岩山地,是当地木材和松子的主要产地。

1.2 数据来源

所采用数据包括 Landsat 系列数据、地形数据、乡级行政区划数据以及 GDP、人口数量、年均温和年降水量等数据,采用 GDP 和人口数量衡量人为活动的影响,年均温和年降水量代表气候因素的变化。Landsat 数据和 DEM 数据均下载自地理空间数据云(https://www.gscloud.cn/)。DEM 数据为空间分辨率为 30 m 的 SRTM3 数据,利用 ArcGIS 10.2 中的空间分析功能生成坡度、坡向数据,并进行坡度、坡向和高程分级。GDP、人口数量、年均温和年降水量来自于易门县统计年鉴。

为了更准确科学地进行 NDVI 时空动态分析,结合研究区气候,选择每年 2 月左右的云量小于 1% 的遥感数据进行下载,因 2001、2004、2011 年和 2013 年均无适合月份的数据,2000—2018 年数据仅有 2000、2003、2007、2009、2010、2014、2016 年和 2018 年共 8 期数据。所获得数据年份和日期分别见表 1。

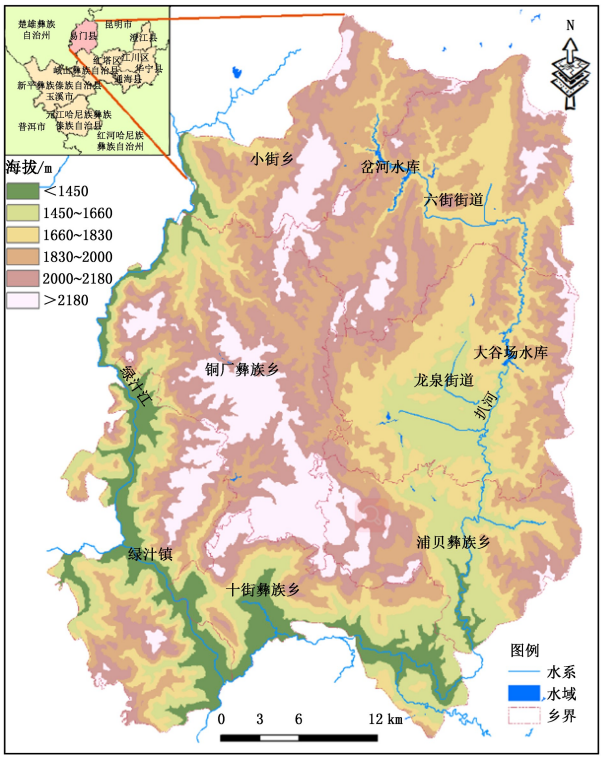


图 1　易门县地理位置和海拔分布

Fig. 1　Location and elevation of Yimen County

表 1　易门县 2000—2018 年遥感影像日期

Tab. 1　Date of remote sensing image of Yimen County from 2000 to 2018

编号	年份	日期(月-日)	编号	年份	日期(月-日)
1	2000	02-19	5	2010	02-14
2	2003	02-19	6	2014	02-25
3	2007	02-22	7	2016	02-15
4	2009	02-11	8	2018	02-20

2　研究方法

2.1　NDVI 计算

运用 ENVI 5.2 在对影像数据进行辐射定标、大气校正和几何纠正的基础上,计算研究区 NDVI 值,其公式为:

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R) \quad (1)$$

式中:NIR 表示地物在近红外波段的反射率;R 表示地物红光波段的反射率[15]。NDVI 值是从-1 到 1 之间的连续实数,负值表示地面有云、水、雪等对可见光高反射的物体,0 表示地面覆盖类型为岩石或裸土等,正值表示地面覆盖类型为植被。正值越大,覆盖度越大。

结合易门县植被分布特点,根据县域内 NDVI 值,分为 6 类(图 2),即 NDVI 值为-1.00~0.00 表示无植被覆盖,NDVI 值为 0~0.15 表示低植被覆盖,NDVI 值为 0.15~0.30 表示中低植被覆盖,NDVI 值为 0.30~0.50 表示中植被覆盖,NDVI 值为 0.50~0.70 表示高植被覆盖,NDVI 值为 0.70~1.00 表示全植被覆盖。

2.2　地形分析

根据易门县地形特征,基于 ArcGIS 10.7,采用自然断点法(natural breaks)将研究区海拔高程(1 036~2 608 m)划分为 6 个等级,即:<1 450 m、1 450~1 660 m、1 660~1 830 m、1 830~2 000 m、2 000~2 180 m 和>2 180 m(图 1),分区统计每个海拔区间的 NDVI 值。根据国家森林资源调查技术规程中林地坡度、坡向等级划分标准,将坡向分为阳坡(135°~225°)、阴坡(315°~360°和 0°~45°)、半阳坡(90°~135°和 225°~270°)、半阴坡(45°~90°和 270°~315°),将坡度划分为平坡(0°~5°)、缓坡(6°~15°)、斜坡(16°~25°)、陡坡(26°~35°)、急坡(36°~45°)和险坡(>46°)共 6 个等级,对每个坡度级和坡向的 NDVI 值进行统计。

2.3　各乡镇 NDVI 值分析

利用 ArcGIS 10.7 空间统计分析功能,对易门县 7 个乡镇和街道(六街街道、绿汁镇、浦贝彝族乡、铜厂彝族乡、小街乡、十街彝族乡和龙泉街道)的 NDVI 值进行统计分析。

2.4　统计分析方法

采用 LSD 两两比较不同海拔、坡度和坡向以及各乡镇 NDVI 值的差异性,采用 Pearson 相关系数分析县域 NDVI 值与 GDP、人口数量、年均温和年降水量的相关性。

3　结果与分析

3.1　易门县域内 NDVI 值年际变化及其影响因素分析

3.1.1　NDVI 值年际变化

研究区 2000—2018 年春季 NDVI 平均值表明,研究区年均 NDVI 值在 0.547~0.614 之间波动(图 3(a)),2009 年 NDVI 值最高为 0.614,2014 年最低为 0.547。2000—2009 年间 NDVI 值呈线性增长趋势;2009—2014 年间 NDVI 值呈线性减小趋势,2014—2018 年间 NDVI 值又呈线性增长趋势,2018 年 NDVI 值增长到 0.606。

研究期间,易门县域内大部分区域的 NDVI 值高于 0.5,不同植被覆盖度面积占比(占研究区土地面积的比例)变化差异较大(图 3)。县域内无植被

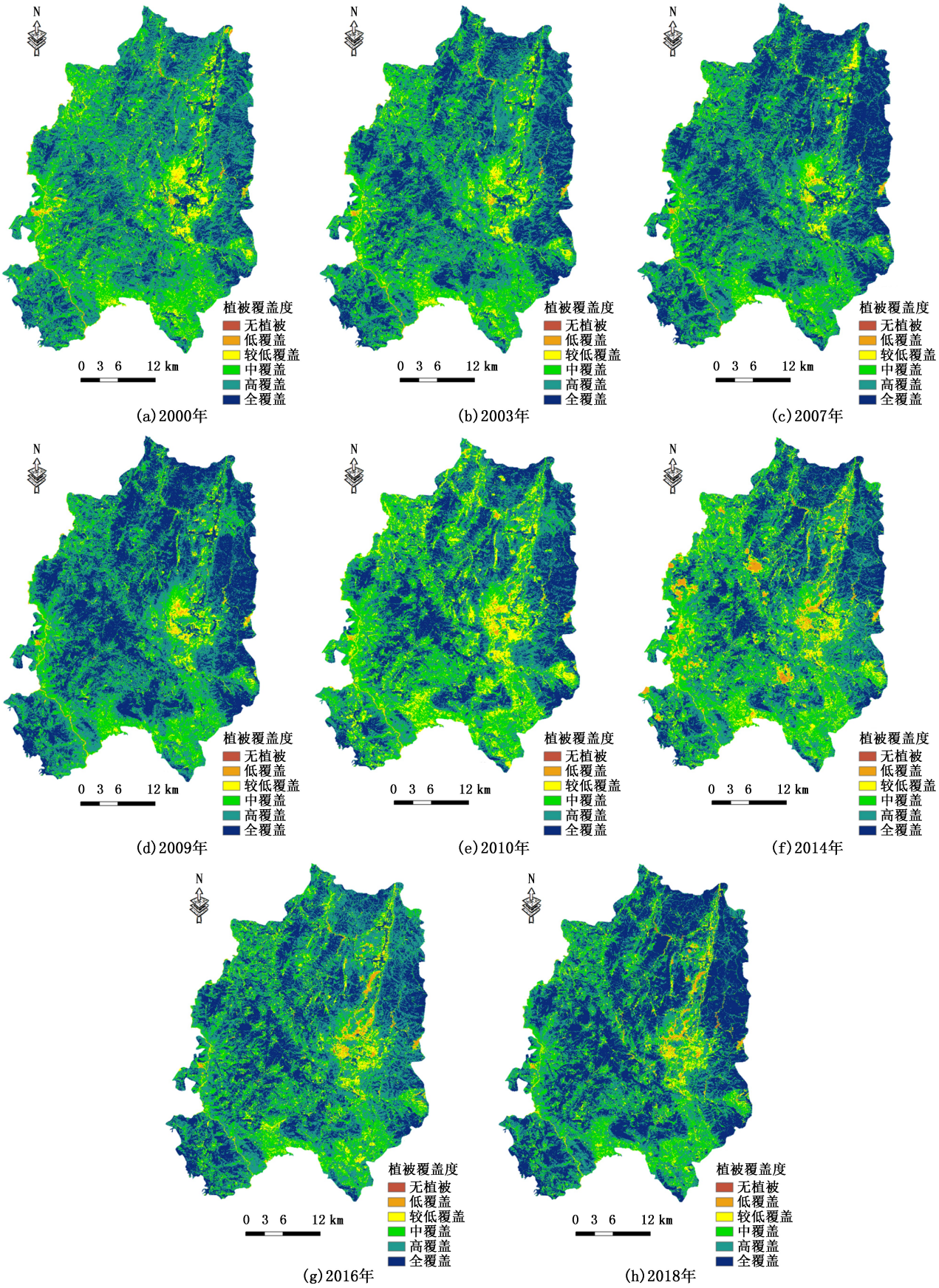


图 2　2000—2018 年不同类型植被覆盖度空间分布

Tab. 2　Spatial pattern of vegetation coverage from 2000 to 2018

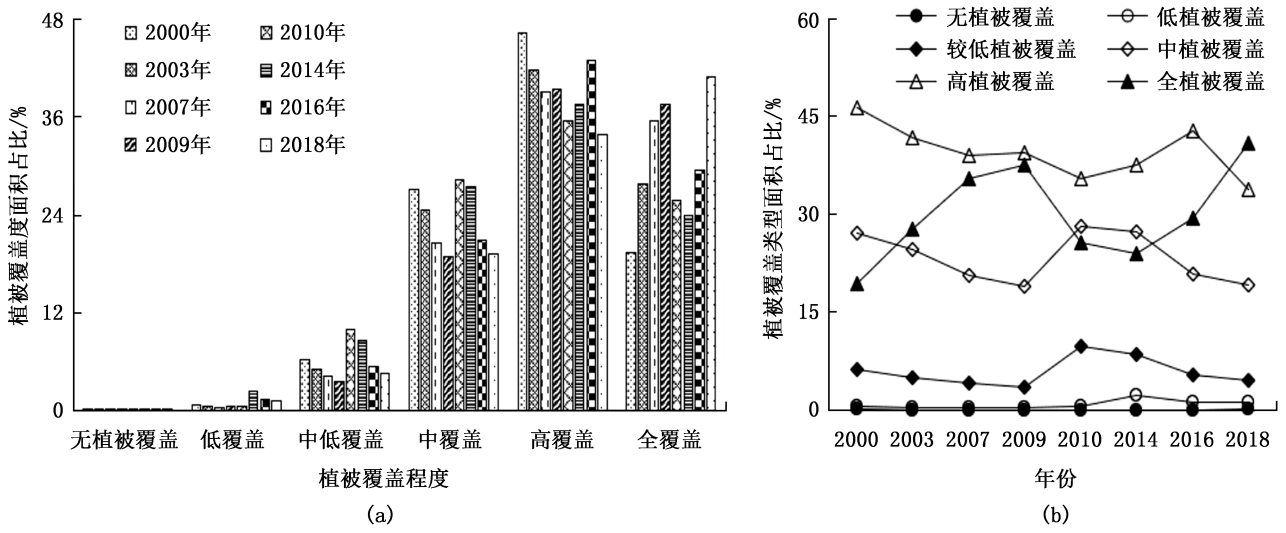


图 3　易门县 2000—2018 年 NDVI 值年际变化趋势

Fig. 3　Annual change of NDVI in Yimen County from 2000 to 2018

覆盖区域的面积占比在 0.03%~0.17%之间波动,以 2010 年为拐点,由 2000 年的 0.14%降至 2010 年的 0.03%,而后线性增长至 2018 年的 0.17%;低植被覆盖度面积占比呈波动增长趋势,2000—2007 年由 0.65%降至 0.40%,随后增长,2014 年达到最大值(2.33%),而 2016 和 2018 年又降至 1.29%;中低覆盖度面积占比(3.50%~9.91%)呈先降低后增长趋势,2000—2009 年由 2000 年的 6.27%将至 2009 年的 3.50%,2010 年达到最大值为 9.91%,之后线性降低至 2018 年的 4.54%;不同年份中植被覆盖面积占比的变化范围为 18.92%~28.26%,以 2010 年为拐点,2000—2009 年和 2010—2018 年均呈降低趋势;2000—2018 年高覆盖面积占比呈波动变化趋势,2000—2016 年均达最大值,且在 35%以上,其中 2000 年最高为 46.41%,仅 2018 年为 33.83%;全覆盖植被区域面积占比在 2000—2009 年间呈增长趋势,由 19.33%增长到 37.55%,2010—2016 年呈先降低后增长趋势(23.93%~29.45%),2018 年达到最大值为 41.00%。

3.1.2 气候和人为活动等对 NDVI 值的影响

采用 Pearson 相关性分析,量化 2000—2018 年易门县域 NDVI 值与 GDP、人口总数、年均温和年降水量的关系。结果表明,NDVI 值与各因子的相关程度依次为人口总数(0.598)>GDP(0.249)>年均温(0.185)>年降水量(0.171),P 值分别为 0.118、0.552、0.660、0.685,相关性均不显著($P>0.05$)。

3.2 NDVI 值随地形因子的变化

研究区 NDVI 值随海拔、坡度和坡向的变化有较大差异(表 2,图 4)。

表 2　不同海拔、坡度、坡向对 NDVI 值的影响

Tab. 2　Impact of different elevation, slope and aspect on NDVI Values

海拔/m	NDVI 值	坡度	NDVI 值	坡向	NDVI 值
<1450	0.461 ± 0.027a	平坡	0.497 ± 0.034a	阳坡	0.546 + 0.026a
1450~1660	0.484 ± 0.028b	缓坡	0.562 ± 0.027b	半阳坡	0.564 + 0.026b
1660~1830	0.560 ± 0.026c	斜坡	0.619 ± 0.027c	半阴坡	0.606 + 0.026c
1830~2000	0.619 ± 0.029d	陡坡	0.622 ± 0.028c	阴坡	0.633 + 0.026d
2000-2180	0.647 ± 0.028e	急坡	0.560 ± 0.028b		
>2180	0.649 ± 0.025e	险坡	0.557 ± 0.031b		

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

NDVI 值随海拔的升高而有较大幅度增长(表 2,图 4(a))。LSD 检验表明,海拔低于 2 000 m 时,随海拔升高,不同海拔梯度的 NDVI 值显著增长($P<0.05$),而海拔高于 2 000 m 时两个海拔梯度间(2 000、2 180 m)的 NDVI 值无显著差异($P>0.05$),但均显著高于低于 2 000 m 的 4 个海拔梯度 NDVI 值。不同海拔梯度 NDVI 值随时间变化有差异,海拔低于 1 450 m 的区域,其 NDVI 值均不足 0.500,随时间变化呈先降低后增长而后又降低的趋势,2010 年最低为 0.418,2016 年最高为 0.496。海拔范围在

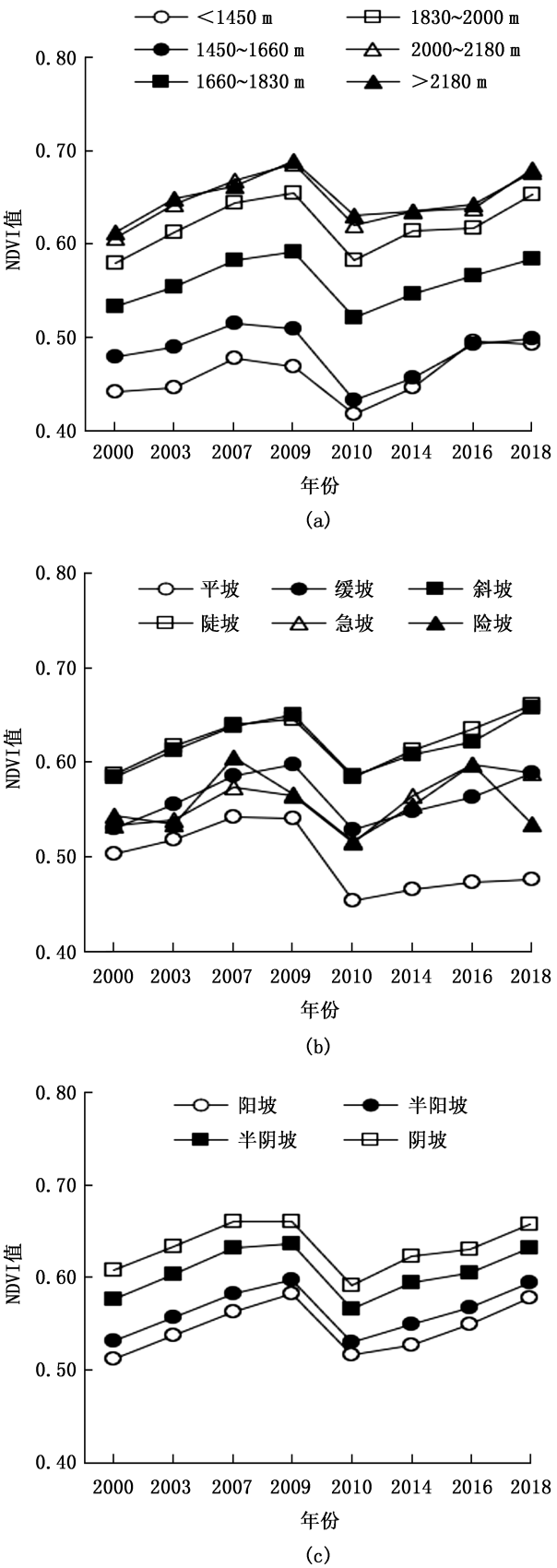


图 4 不同海拔、坡度和坡向 NDVI 值随时间的变化

Fig. 4 NDVI changes of different elevation, slope and aspect

1 450~1 660 m 的区域,其 NDVI 值随时间变化表现为 2000—2007 年 NDVI 值增长,2007—2010 年 NDVI 值降低,2010—2018 年再增长;海拔范围在 1 660~1 830 m(0.521~0.592)、1 830~2 000 m(0.579~0.653)、2 000~2 180 m(0.620~0.685)与>2 180 m(0.612~0.677)这 4 个海拔梯度的 NDVI 值随时间变化相似,均表现为先增长后降低又增长的波动增长趋势。

研究区 NDVI 随坡度变化较复杂(表 2,图 4(b))。平坡的 NDVI 值(0.454~0.542)最低,显著低于其他 5 个坡度($P<0.05$),缓坡(0.528~0.598)、急坡(0.515~0.597)和险坡(0.516~0.606)3 个坡度间的 NDVI 值无显著差异($P>0.05$),显著高于平坡,明显低于斜坡(0.583~0.657)和陡坡(0.583~0.660),斜坡与陡坡间 NDVI 值无显著差异,但显著高于其他 4 个坡度。研究期间,不同坡向随时间变化有差异(图 4(b)),平坡呈波动降低趋势,2000—2009 年 NDVI 值由 0.504 增长至 0.540,2010 年降至 0.454,而 2010—2018 年线性增长至 0.476;缓坡、斜坡和陡坡变化趋势相似,均为 2000—2009 年呈线性增长趋势,2010 年降低至最小值,而后 2010—2018 年又线性增长至最大值;急坡呈波动增长,险坡呈波动降低趋势,但急坡和险坡的变化趋势相似,均表现为 NDVI 值 2000—2007 年增长,2007—2010 年降低,2010—2016 年增长,而 2018 年又降低。

研究区 NDVI 值随坡向的变化表明不同坡向的 NDVI 值有显著差异($P<0.05$)(表 2,图 4(c))。不同坡向对 NDVI 值影响程度依次为阴坡(0.591~0.660)>半阴坡(0.567~0.637)>半阳坡(0.531~0.598)>阳坡(0.512~0.582)。不同坡向 NDVI 值随时间变化相似,均表现为以 2010 年为拐点,2000—2009 年线性增长,2009—2010 年降低,2010—2018 年线性增长。

3.3 各乡镇 NDVI 值变化

各乡镇间 NDVI 值均有差异。龙泉街道、浦贝彝族乡和十街彝族乡不同年份的 NDVI 值均不足 0.600(表 3)。十街彝族乡的 NDVI 值最小,显著低于其他 6 个乡镇(街道),其次是龙泉街道的 NDVI 值最小,明显低于六街街道、铜厂彝族乡、小街乡,稍高于绿汁镇和浦贝彝族乡,仅显著高于十街彝族乡,而龙泉街道、绿汁镇和浦贝彝族乡三者间无显著差异;六街街道的 NDVI 值最大,显著高于铜厂彝族乡除外的其他 5 个乡镇(街道),其他乡镇间 NDVI 值均差异显著。

表 3　各乡镇 NDVI 值

Tab. 3　NDVI value for each town in Yimen

编号	乡镇(街道)	NDVI 值
1	龙泉街道	0.566 ± 0.023b
2	六街街道	0.629 ± 0.028de
3	绿汁镇	0.571 ± 0.038b
4	十街彝族乡	0.517 ± 0.029a
5	浦贝彝族乡	0.558 ± 0.033b
6	铜厂彝族乡	0.611 ± 0.037d
7	小街乡	0.591 ± 0.036c

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

各乡镇 NDVI 值随时间变化均表现为波动增长趋势,但稍有差异,龙泉街道、绿汁镇、浦贝彝族乡和铜厂彝族乡 NDVI 值表现为 2000—2009 年线性增长,2009—2014 年降低, 2014—2018 年增长,六街街道、小街乡和十街彝族乡 NDVI 值 2000—2009 年线性增长,2009—2010 年降低, 2010—2018 年增长。

4 结论与讨论

植被生长受地形、温度、降水和人类活动等因素的影响。县域 NDVI 值(0.547~0.614)随时间呈波动变化趋势,2000—2009 年线性增长,2010 年陡降,2010—2018 年又线性增长,最小值出现在 2010 年,最大值在 2009 年。县域面积 88%以上的区域中植被覆盖度(NDVI 值 ≥ 0.500)及其以上,各类型覆盖度面积相比,无植被覆盖区域(包括水域)的面积占比不足 0.2%,高植被覆盖度的面积占比(33.83%~46.41%)占相对优势。不同植被覆盖程度随时间变化表现为低植被覆盖、较低植被覆盖、中植被覆盖和高植被覆盖的区域变化相似,面积占比均呈降低趋势,仅全植被覆盖区域面积占比与县域 NDVI 值随时间变化趋势相似,2010 年以后持续增长,其原因可能是研究区近年来实施了大规模的退耕还林。

NDVI 值受地形、气候、人类活动和政策等因素的共同影响。受研究区面积和数据可获取性限制,本研究仅分析了 NDVI 值与 GDP、人口数量、年均温和年降水量间的关系。结果显示,县域 NDVI 值与人口、GDP、年均温和年降水量均有相关性,其中与人口数量的相关性最大,其次是 GDP,侧面反映了人类活动是影响县域 NDVI 值变化的重要因素[15]。研究区 NDVI 值与年均温和降水量的相关性较低,原因可能是气候因素对植被生长具有滞后性[12,16-17]。

研究区 NDVI 值的变化与地形因素密切相关。县域内 NDVI 值随海拔梯度(海拔<2 000 m)变化而显著增长,海拔高于 2 000 m 区域 NDVI 值差异不显著。海拔低于 1 830 m 区域不同海拔梯度的 NDVI 值均不足 0.600,这可能是此范围内人为活动较多造成的。不同坡度相比,平坡的 NDVI 值最低,缓坡、急坡和险坡的 NDVI 值无显著差异,斜坡和陡坡的 NDVI 值明显高于其他坡向,原因可能是易门县人为活动大多集中在平坡和缓坡,而急坡和险坡因地形因素导致植被生长状况较差;不同坡向 NDVI 值差异显著,阳坡的 NDVI 值最小,阴坡的 NDVI 值最大,这可能因为阳坡大多灌木类植物受水分因素限制,且农作物大多种植在阳坡,而阴坡和半阴坡因其较好的水分条件更适于自然植被生长。

各乡镇 NDVI 值相比,六街街道 NDVI 值最大,十街彝族乡 NDVI 值最小,各乡镇 NDVI 值的变化间接反映了各乡镇的自然环境状况和经济发展状况。如十街彝族乡的 NDVI 值显著低于其他 6 个乡镇,可能是因其位于亚热带低热河谷地带,农作物种植范围较广造成的。

NDVI 是植被生长和环境变化的主要监测指标之一,基于 Landsat 系列遥感数据,分析长时间序列县域植被指数的变化并探讨其影响因素,可为研究区制定科学合理的森林资源保护和开发利用措施,实现社会经济生态可持续发展提供积极的参考。

参考文献:

[1] SENAY G B,ELLIOTT R L. Combining AVHRR-NDVI and landuse data to describe temporal and spatial dynamics of vegetation[J]. Forest Ecology & Management,2000, 128(1-2):83-91.

[2] 朴世龙,方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化[J]. 第四纪研究,2001,21(4):294-302.

[3] 方精云,朴世龙,贺金生,等. 近 20 年来中国植被活动在增强[J]. 中国科学(C 辑),2003,33(6):554-565.

[4] 郭铌. 植被指数及其研究进展[J]. 干旱气象,2003,21(4):71-75.

[5] 李月臣,宫鹏,刘春霞,等. 北方 13 省 1982-1999 年植被变化及其与气候因子的关系[J]. 资源科学,2006,28(2):109-117.

[6] 邓朝平,郭铌,王介民,等. 近 20 余年来西北地区植被变化特征分析[J]. 冰川冻土,2006,28(5):686-693.

[7] 徐兴奎,陈红,张凤. 中国西北地区地表植被覆盖特征的时空变化及影响因子分析[J]. 环境科学,2007,28(1):41-47.

(下转第 103 页)

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 010

人类活动干扰下云南油杉群落物种组成及多样性研究

李 雯,乔 璐,李潇晗,刘 平,唐宗英
(云南林业职业技术学院 生态环境工程学院,云南 昆明 650224)

摘要:对长期处于人类活动干扰下的云南油杉群落进行定位观测调查,分析其群落物种组成和结构特征。研究共调查到 9 种植物,101 株个体,隶属 8 科 9 属;群落的乔木层以云南油杉为优势种,灌木层以铁仔为优势种,草本层以紫茎泽兰和芒草为优势种。乔木层中树种的高度级主要集中在 10~<15 m,1~<5 m 高度级中仅发现幼苗 3 株,皆为云南油杉。DBH 为 8~<20 cm 径级的株数占乔木层总株数的 60. 29%,云南油杉群落结构相对稳定,处于近熟林和成熟林阶段。研究结果表明,人类活动干扰影响了群落的林下更新,同时导致伴生种和偶见种显著减少。

关键词:人类活动干扰;云南油杉;群落结构;物种组成;多样性

中图分类号:S791. 15;S718. 542;Q16 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0056-05

引文格式:李雯,乔璐,李潇晗,等. 人类活动干扰下云南油杉群落物种组成及多样性研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):56-60. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 010

LI Wen, QIAO Lu, LI Xiaohan, et al. Species Composition and Diversity Analysis of *Keteleeria evelyniana* Community Under Human Disturbance[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):56-60. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 010

Species Composition and Diversity Analysis of *Keteleeria evelyniana* Community Under Human Disturbance

LI Wen, QIAO Lu, LI Xiaohan, LIU Ping, TANG Zongying
(School of Ecological and Environmental Engineering, Yunnan Forestry Technological College, Kunming 650224, China)

Abstract: *Keteleeria evelyniana* community under frequent human activities was investigated and species composition and structure of community were analyzed. 9 species and 101 individuals were found in selected plots which were from 8 families and 9 genera. *K. evelyniana* was the dominant species of arbor layer, whereas *M. africana* dominated in shrub layer and *E. coelestinum* and *A. hispidus* in herb layer as well. Heights of trees were mainly distributed at 10-<15 m class. Only 3 seedlings were found at 1-<5 m class, which all belonged to *K. evelyniana*. DBH of 60. 29% tree individuals had the range of 8-<20 cm. *K. evelyniana* community was at near mature or mature stage and with a quite stable structure. The results showed that human disturbance affected community's regeneration, at the same time, disturbance also leaded to a marked decrease in associated and occasional species.

Key words: human disturbance; *Keteleeria evelyniana*; community structure; species composition; diversity

收稿日期:2022-04-19.
基金项目:云南林业职业技术学院科研项目(KT(YB)201926).
第一作者:李雯(1988-),女,云南临沧人,硕士,讲师. 研究方向为森林生态学. Email:2643357810@ qq. com
责任作者:乔璐(1979-),女,河北邢台人,博士,副教授. 研究方向为生态学. Email:qiaoqiaotantan@ 163. com

生物群落是在特定空间或生境下,具有一定的生物种类组成及其与环境之间彼此影响、相互作用,具有一定的外貌和结构及特定功能的生物集合体[1]。生物群落变化一般包括物种组成、物种生态位及建群种的动态变化,人类活动对这些进程均造成显著影响,相关研究广泛[2]。学者们不仅探讨人类活动对陆地生态系统的影响[3],还研究对近海生态系统[4]和湿地生态系统的影响[5]。人类活动对草本植物[6-7]、木本植物[8-9]、动物种群[10-12]以及微生物群落的影响[13-15]均在研究之列。人类活动的因素包括旅游活动[16-17]、放牧活动[18-19]和环境污染等[20]。

学校实训林场是教学实习和科学研究的重要场所,频繁的人类活动是该区域的重要特征之一,人类活动对林场的生物群落造成了显著影响。这些影响的特征、程度仍有待进一步分析,并在此基础上提出合理有效的干预措施。在实训林场内选取云南油杉群落开展样地调查,对物种组成及多样性进行分析,从而合理评估人类活动的影响,以期为群落的恢复和可持续利用提供参考依据。

1 研究地概况

研究地位于云南省昆明市东北郊金殿区域云南林业职业技术学院实训林场,占地面积 27 hm^2,地理坐标为 102°77′E,25°10′N,海拔 2 032 m。属于亚热带季风气候,干湿季分明,区域年均降水量 923 mm,年均最高温 25℃,最低温 4℃。据统计,金殿区域内常见野生植物共有 162 科 923 种,基本反映了滇中地区植物区系组成[21]。云南油杉(*Keteleeria evelyniana*)为松科(Pinaceae)油杉属(*Keteleeria*)常绿乔木,是滇中高原半湿润常绿阔叶林的类型之一,同时也是滇中高原森林生态系统的重要组成部分[22]。滇中地区大面积成片且生长较好的云南油杉林主要集中在安宁温泉、昆明西山及金殿等风景林区[23]。选取林场内云南油杉群落开展调查,分析人类活动干扰对群落结构及物种组成的影响。

2 研究方法

2.1 样地设置

在对实训林场进行多次实地勘查的基础上,选取林场内云南油杉群落典型地段开展样地调查。受群落总体面积及空间分布状况所限,设置了 4 个 10 m×10 m 乔木层样方、5 个 5 m×5 m 灌木层样方,灌木层样方下设 5 个 1 m×1 m 草本层样方。

2.2 植被调查方法

参照《森林生态系统长期定位观测方法》(LY/T 1952—2011)[24],乔木层调查树种名称、树高、胸径、枝下高和冠幅;灌木层调查植物名称、株数或丛数、盖度、高度、基径和多度;草本层调查植物名称、株数或丛数、盖度、高度。同时对地形地貌、土壤特征等群落基本情况进行记录。

2.3 物种多样性测度

采用α多样性测度指标统计植物多样性,包括丰富度 Margalef 指数(E),多样性 Shannon-Wiener 指数(H'),优势度 Simpson 指数(D)和均匀度 Pielou 指数(J)。各指数计算公式如下[25]:

$$E = (S - 1)/(\ln N) \tag{1}$$

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \ln P_i \tag{2}$$

$$D = 1 - \sum_{i=1}^{s} P_i^2 \tag{3}$$

$$J = \left(-\sum_{i=1}^{s} P_i \ln P_i\right)/\ln S \tag{4}$$

式中:S 为调查样地物种数;N 为样地所有物种个体总和;P_i 为 i 物种个体数占所有物种个体数比例,即:$P_i = n_i/N$。

2.4 群落特征值计算

群落各项特征值的计算公式如下[26]:

$$\mathrm{RD} = \left(D_i \Big/ \sum_{i=1}^{s} D_i\right) \times 100 \tag{5}$$

$$\mathrm{RM} = \left(M_i \Big/ \sum_{i=1}^{s} M_i\right) \times 100 \tag{6}$$

$$\mathrm{RF} = \left(F_i \Big/ \sum_{i=1}^{s} F_i\right) \times 100 \tag{7}$$

$$\mathrm{IV} = (\mathrm{RD} + \mathrm{RM} + \mathrm{RF})/3 \tag{8}$$

式中:RD 为相对密度;RM 为相对显著度;RF 为相对频度;IV 为种的重要值;D_i 为 i 物种个体数与样地面积之比;M_i 为 i 物种胸高断面积与样地面积之比;F_i 为 i 物种在样地出现的样方数占所有样方数比例。

2.5 高度级及胸径级划分

根据样地调查结果,将群落中乔木层所有树种划分 4 个高度级:1~<5,5~<10,10~<15,≥15 m;将 DBH 划分为 8 个径级:4~<8,8~<12,12~<16,16~<20,20~<24,24~<28,28~<32,32~<36 cm。

2.6 数据处理

采用 Excel 软件进行数据整理、分析和制图。

3 结果与分析

3.1 物种多样性特征

在调查样方中共记录到 9 种植物,101 株个体,隶属 8 科 9 属(表 1)。

表 1 群落物种组成

Tab. 1 Species of community

物种	株数/株	科	属
云南油杉 *Keteleeria evelyniana*	62	松科 Pinaceae	油杉属 *Keteleeria* Carr.
云南松 *Pinus yunnanensis*	3	松科 Pinaceae	松属 *Pinus* L.
栓皮栎 *Quercus variabilis*	3	壳斗科 Fagaceae	栎属 *Quercus* Linn.
铁仔 *Myrsine africana*	22	紫金牛科 Myrsinacae	铁仔属 *Myrsine* Linn
杜英 *Elaeocarpus decipiens*	2	杜英科 Elaeocarpaceae	杜英属 *Elaeocarpus* L.
油茶 *Camellia oleifera*	1	山茶科 Theaceae	山茶属 *Camellia* L.
土牛膝 *Achyranthes aspera*	4	藜科 Chenopodlaceae	牛膝属 *Achyranthes* L.
紫茎泽兰 *Eupatorium coelestinum*	2	菊科 Compositae	泽兰属 *Eupatorium* L.
荩草 *Arthraxon hispidus*	2	禾本科 Gramineae	荩草属 *Arthraxon* Beauv

乔木层中有云南油杉、云南松和栓皮栎,分别隶属 2 科 3 属;灌木层中有铁仔,同时伴生有杜英、油茶及云南油杉的幼苗,分别隶属 4 科 4 属;草本层中有紫茎泽兰、土牛膝和荩草,分别隶属 3 科 3 属。与金殿区域自然中心人类活动干扰较少的云南油杉群落[27]多样性指数相比(表 2),实训林场云南油杉群落的物种丰富度、多样性、优势度和均匀度分别低 7.59、1.22、0.28、0.01。说明人类活动干扰降低了实训林场云南油杉群落的生物多样性。

表 2 多样性指数比较

Tab. 2 Diversity index

群落	Margalef 指数 (E)	Shannon-Wiener 指数 (H')	Simpson 指数 (D)	Pielou 指数 (J)
实训林场云南油杉群落	1.73	1.25	0.58	0.57
自然中心云南油杉群落	9.32	2.47	0.86	0.58

注:自然中心云南油杉群落数据来自参考文献[27]。

3.2 物种组成特征

物种组成是决定群落性质的重要因素,也是鉴别不同群落类型的基本特征。本研究中云南油杉的相对密度、相对显著度、相对频度和重要值最大(表 3),在乔木层中占绝对优势。种的重要值可以反映群落组成优势成分和区系表征成分[28],云南油杉的重要值为 59.08,属于群落的建群种;云南松和栓皮栎仅有少量分布,为乔木层伴生种。灌木层中铁仔的相对密度、相对频度和重要值最大,为灌木层优势种,杜英和油茶为偶见种。草本层中紫茎泽兰和荩草的重要值均为 3.87,土牛膝虽然密度大,但相对频度低,重要值仅为 2.92,说明草本层中仍然以紫茎泽兰和荩草为优势种。

表 3 植物种类的特征值

Tab. 3 Species eigenvalues of communities

种	密度/(株·hm^{-2})	胸高断面积/(m^2·hm^{-2})	相对密度(RD)	相对显著度(RM)	相对频度(RF)	重要值(IV)
云南油杉	1550	1.546	61.39	91.76	24.10	59.08
云南松	75	0.101	2.97	5.99	12.05	7.00
栓皮栎	75	0.018	2.97	1.07	6.02	3.35
铁仔	550	0.008	21.78	0.46	24.10	15.45
杜英	50	0.009	1.98	0.52	4.82	2.44
油茶	25	0.003	0.99	0.20	4.82	2.00
土牛膝	100	-	3.96	-	4.82	2.92
紫茎泽兰	50	-	1.98	-	9.64	3.87
荩草	50	-	1.98	-	9.64	3.87
小计	2525	1.685	100.00	100.00	100.00	100.00

3.3 群落结构分析

3.3.1 垂直结构

云南油杉在 4 个高度级中均有分布,具有比较完整的年龄梯度(图 1),其中≥15 m 林冠层共 4 株个体,均为云南油杉;10~15 m 高度级有 44 株个体;5~10 m 高度级有 11 株个体。云南松及栓皮栎仅分别出现在 10~15 m 和 5~10 m 高度级中,每个高度级分别有 3 株个体。以 5 m 以下为标准划分下木层,1~5 m 高度级中仅发现云南油杉幼苗 3 株。研究结果表明,目前云南油杉在群落中属于建群种,但下木层中云南油杉幼苗数量稀少,云南松和栓皮栎没有幼苗,这可能会导致群落更新受到影响。

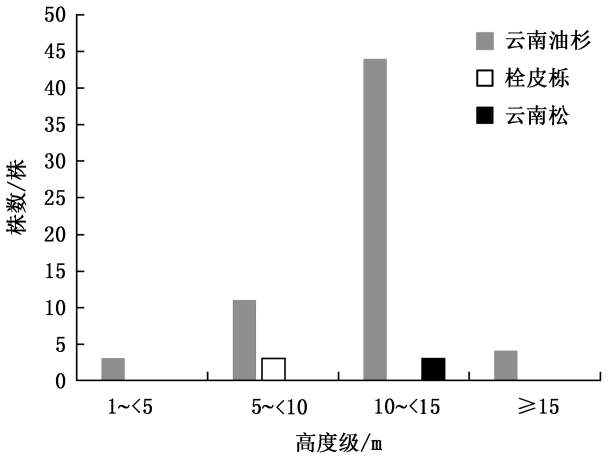


图 1　乔木层树种各高度级组成

Fig. 1　Height classes of arbor layer

3.3.2 径级结构

群落中乔木层树种的 DBH 为 5.4~34.2 cm,其中 DBH 为 8~<12、12~<16、16~<20 cm 3 个径级的株数占总株数的 60.29%(图 2)。

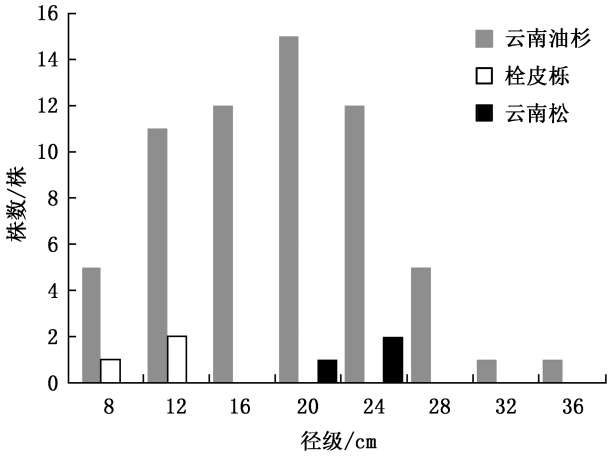


图 2　乔木层树种径级分布

Fig. 2　DBH classes of arbor layer

云南油杉在多个径级中均有分布,其中 DBH≥28 cm 的个体有 2 株。栓皮栎和云南松仅分别出现在 2 个径级中。可以看出,云南油杉林处于近熟林至成熟林阶段,对群落的结构与环境起主导作用。

4 结　论

人类活动干扰下实训林场内云南油杉群落样地共调查到 9 种植物,101 株个体,隶属 8 科 9 属。物种组成分析显示,群落乔木层以云南油杉为优势种,灌木层以铁仔为优势种,草本层以紫茎泽兰和苔草为优势种,研究结果与滇中地区其他云南油杉群落相似[23,29]。但与金殿片区自然中心内云南油杉群落[27]相比,物种显著减少,后者共调查到种子植物 70 种,隶属 38 科 63 属。与本研究中的实训林场相比,自然中心人为活动干扰极少,从而可以维持较多的物种。

对自然中心云南油杉林的研究[30]表明,乔、灌、草不同层次出现多种伴生种和偶见种,如乔木层中出现了少量松科(Pinaceae)华山松(*Pinus armandii*),豆科(Fabaceae)山合欢(*Albizia kalkora*)和壳斗科(Fagaceae)麻栎(*Quercus acutissima*);灌木层中可见杜鹃花科(Ericaceae)绣叶杜鹃(*Rhododendron siderophyllum*),蔷薇科(Rosaceae)西南樱桃(*Cerasus duclouxii*),木兰科(Magnoliaceae)云南含笑(*Michelia yunnanensis*)等,偶见茜草科(Rubiaceae)光叶野丁香(*Leptodermis pilosa* var. *glabrescens*),蔷薇科(Rosaceae)红梅消(*Rubus parvifolius*)等;草本层中紫草科(Boraginaceae)滇紫草(*Onosma paniculatum*),菊科(Asteraceae)鱼眼草(*Dichrocephala integrifolia*)、杜蒿(*Artemisia japonica*),百合科(Liliaceae)卷叶黄精(*Polygonatum cirrhifolium*)等偶有出现。然而本研究中的偶见种和伴生种共计仅 5 种,这表明人类活动干扰可能对伴生种或偶见种影响显著,对优势种的影响相对较弱。

从群落结构来看,云南油杉作为群落的建群种目前处于近熟林和成熟林阶段,且云南油杉是 K 对策生物种群个体基本能达到自然寿命[27,31]。研究结果表明,现阶段云南油杉群落结构相对稳定,人类活动干扰主要影响了群落的林下更新以及灌木层和草本层的多样性。

基于云南油杉群落林下更新困难,建议实训林场通过适当补植幼苗和土壤培肥等措施促进群落更新。由于群落中偶见种及伴生种在强干扰下急剧减少,可根据同区域该群落物种组成,通过人工栽培的方式,增加物种多样性,提高群落稳定性。与此同时,群落演替规律须在更长的时间尺度进行观察研究,建议在实训林场设置长期定位观测样地,并结合智慧林场的建设,布设物联网感知设备,开展便捷高效的长期定位研究。

参考文献:

[1] 李博,杨持,林鹏. 生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2005.

[2] 邓涛. 东亚植物区系的起源与进化——来自若干类群的证据[D]. 昆明:云南大学,2015.
[3] 桂娟,王旭峰,李宗省,等. 典型冰冻圈地区植被变化对人类活动的响应研究——以祁连山为例[J]. 冰川冻土,2019,41(5):1235-1243.
[4] 吕永龙,苑晶晶,李奇锋,等. 陆源人类活动对近海生态系统的影响[J]. 生态学报,2016,36(5):1183-1192.
[5] 陈波,陈文瑾,罗毓彬,等. 间歇性湿地研究进展[J]. 湿地科学与管理,2022,18(1):64-68.
[6] 张晶,左小安. 沙质草地植物功能性状对放牧、增水、氮添加及其耦合效应的响应机制[J]. 生态学报,2021,41(18):7153-7168.
[7] 王新源,马仲武,王小军,等. 不同沙化阶段高寒草甸植物群落与表土环境因子的关系[J]. 生态学报,2020,40(19):6850-6813.
[8] 张如松,吴宁,安科,等. 滇中半湿润常绿阔叶林群落类型演替的植物多样性调查与保护[J]. 林业调查规划,2018,43(1):34-38.
[9] 赵冬林,张哲,张小安. 云南九龙山自然保护区水青冈群落物种多样性及群落特征[J]. 林业调查规划,2020,45(3):47-53.
[10] 李玉杰,张晋东. 人类活动干扰对隐翅虫物种多样性的影响[J]. 安徽农业科学,2015,43(21):121-124.
[11] 郭建忠,陈作志,许友伟,等. 人类活动对大亚湾海域鱼类群落多样性及其演替的影响[J]. 中国水产科学,2018,25(3):595-607.
[12] 康祖杰,贺春容,康艺馨,等. 湖南夹山国家森林公园鸟类群落结构与物种多样性[J]. 林业调查规划,2021,46(3):184-190.
[13] 刘洋,陈永娟,王晓燕,等. 人类活动对河流沉积物中反硝化厌氧甲烷氧化菌群落特征影响[J]. 环境科学,2018,39(8):3677-3688.
[14] 蒋永光,石良. 人类活动对深地微生物的影响[J]. 科学通报,2018,63(36):3920-3931.
[15] 刘园园,陈光杰,施海彬,等. 星云湖硅藻群落响应近现代人类活动与气候变化的过程[J]. 生态学报,2016,36(10):3064-3075.
[16] 李志美,海棠,陈杨,等. 旅游干扰对羊草草甸植物多样性的影响[J]. 草原与草业,2021,33(4):27-31.
[17] 牛莉芹. 人类干扰对五台山森林群落结构的影响[J]. 应用与环境生物学报,2019,25(2):300-312.
[18] 牛钰杰,杨思维,花立民,等. 放牧强度与季节因子变化对高寒甸植物群落组成的影响[J]. 草原与草坪,2020,40(6):16-24.
[19] 杨晨晨,陈宽,周延林,等. 放牧对锡林郭勒草甸草原群落特征及生产力的影响[J]. 中国草地学报,2021,43(5):58-67.
[20] 彭玮萍,曾伟民. 紫金山铜矿酸性矿山废水微生物群落多样性[J]. 微生物学通报,2020,47(9):2887-2896.
[21] 西南林学院,云南省林业厅. 云南树木图志[M]. 昆明:云南科技出版社,1990.
[22] 牟凤娟,戴兴芬,李双智,等. 油杉属植物研究动态[J]. 西部林业科学,2012,41(6):92-99.
[23] 许彦红,李小英,左政,等. 滇中地区滇油杉混交林空间结构分析[J]. 西南林业大学学报,2011,31(6):40-45.
[24] 国家林业局. 森林生态系统长期定位观测方法:LY/T 1952—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
[25] 马克平,刘玉明. 生物多样性的测度方法 I:α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性,1994,2(4):231-239.
[26] 陈金磊,方晰,辜翔. 中亚热带 2 种森林群落组成、结构及区系特征[J]. 林业科学,2019,55(2):159-173.
[27] 关品高. 金殿滇油杉群落物种组成、生态位及滇油杉种群动态分析[J]. 西部林业科学,2016,45(6):25-33.
[28] 赵丽娟,项文化,李家湘,等. 中亚热带石栎—青冈群落物种组成、结构及区系特征[J]. 林业科学,2013,49(12):10-17.
[29] 李小双,赵安娜,党承林,等. 昆明西山云南油杉针阔叶混交林的群落结构及其更新特征研究[J]. 云南大学学报(自然科学版),2013,35(4):549-557.
[30] 舒树淼,赵洋毅,关平高. 滇中高原滇油杉群落多样性分析及种群时序预测[J]. 林业资源管理,2015,4(2):82-89.
[31] 刘觉醒,袁丽萍,史庆伟,等. 昆明西山云南油杉人工林生长规律的研究[J]. 内蒙古林业调查设计,2016,39(6):31-35.

责任编辑:杨焌焓

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 011

清水河水库工程影响区生态系统服务价值评价

马士龙[1],段 妍[1],孟繁斌[2]
(1. 中水北方勘测设计研究有限责任公司,天津 300222; 2. 水利部水利水电规划设计总院,北京 100120)

摘要:以云南省文山州清水河水库为例,对其环境影响区域内土地利用变化进行分析,全面预测研究区生态系统服务价值和变化情况。结果表明:清水河水库实施后,研究区内土地利用类型并未发生显著变化,旱地依旧是主要的土地利用类型,生态系统总体格局并未发生改变;研究期间虽然生态系统服务总价值呈上升趋势,但工程建设对多数生态系统功能价值会有一定的负面影响,因此在生产建设和管理中,要加强林地保护,尽量降低生态系统的损失;清水河水库下闸蓄水后,水域生态系统服务价值的变化将会对研究区生态系统服务总价值将产生较大影响;研究区内生态系统服务之间存在显著的协同关系。

关键词:土地利用变化;生态系统服务;敏感性分析;权衡与协同;清水河水库工程

中图分类号:S718. 557;TV697. 25 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0061-09

引文格式:马士龙,段妍,孟繁斌. 清水河水库工程影响区生态系统服务价值评价[J]. 林业调查规划,2023,48(5):61-69. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 011

MA Shilong, DUAN Yan, MENG Fanbin. Evaluation of Ecosystem Service Value in Qingshuihe Reservoir Impact Area[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):61-69. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 011

Evaluation of Ecosystem Service Value in Qingshuihe Reservoir Impact Area

MA Shilong[1], DUAN Yan[1], MENG Fanbin[2]
(1. China Water Resources Beifang Investigation, Design & Research Co., Ltd, Tianjin 300222, China;
2. General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design, Beijing 100120, China)

Abstract: This paper analyzed the land use changes in the environmental impact area of Qingshuihe Reservoir in Wenshan Prefecture, Yunnan Province, and comprehensively predicted the value and changes of ecosystem services in the study area. The results found that the type of land use in research area was as same as before, and dry farm was still the major type, and the overall ecosystem pattern was not changed; the ecosystem service value increased after reservoir construction, however, some ecosystem function values were impacted by negative effect, which was necessary to strengthen forest land protection and minimize ecosystem losses as much as possible; water ecosystem service value would be impact the whole value after reservoir construction; there was significant synergy relationships among multiple ecosystem services in research area.

Key words: land use change; ecosystem service; sensitivity analysis; trade-off and synergy; Qingshuihe reservoir project

收稿日期:2022-03-17;**修回日期**:2022-10-12.

第一作者:马士龙(1980-),男,河北唐山人,高级工程师. 主要从事水土保持与生态环境规划设计工作.

生态系统服务价值是生态功能区划、生态环境保护、生态补偿决策和环境经济核算的重要依据和基础[1-4]。根据 2005 年联合国组织发布的“千年生态系统测评”(MA)报告,生态系统与生态过程所形成的人类赖以生存的自然环境条件与效用可分为支持功能、供给功能、调节功能和文化功能[5]。随着社会的不断发展,生态系统不断受到侵占,提高生态系统服务供给、保护生态系统,成为目前全球面临的一个共同挑战[6],关于生态系统服务价值的评价也成为当前科学研究的热点。目前大多数国内学者在 Costanza[7] 提出的生态系统服务价值核算理论上,结合谢高地等[8-9]创建的中国生态系统服务价值当量因子表,通过研究土地利用类型的变化,进而对不同生态系统服务价值进行评价[10-11],但是研究范围多集中于全国[6]、区域[12-16]、流域[17-18]以及单个生态系统[8]等宏观尺度,对于生产建设项目影响区生态系统服务价值研究甚少。

水库工程作为保障人民生命财产安全,提供清洁可再生能源,发展流域和区域经济的重要举措,一直以来都是国家基础设施建设的重要组成部分。水库工程一般具有规模大、工期长、投资高、技术复杂、影响面广等特点,工程建设对工程征占地范围内以及建设影响区域的生态系统将产生巨大影响,直接关系到当地国民经济的发展,其生态系统服务价值评价对现实工作具有十分重要的指导作用,更能准确分析工程建设引起的效益和损失,为国家在决策过程中提供参考和依据,引导投资的有效性和针对性。针对水库工程,基于工程环境影响评价范围内土地利用转移矩阵,参考谢高地等提出的改进单位面积价值当量因子[19],对工程区内土地类型变化情况和生态系统服务价值变化情况进行分析和预测评价,以期为水利水电工程环境影响损益分析和生态补偿标准的确定提供支撑和借鉴,更好地开发和利用水资源,保护生态环境服务。

1 工程及研究区概况

研究区范围主要根据工程环境影响评价报告中陆生生态影响评价范围确定,陆生生态影响评价范围需充分考虑生态完整性、区域敏感目标,并需涵盖水利枢纽工程的直接和间接影响区域。工程陆生生态评价范围为:清水河水库库尾(古登寨)上游 1 km 至清水河坝址以下 2 km 河段两岸第一重山脊线以内,砚山、丘北、珠琳方向输水管线两侧 500 m 范围及沿线施工区,以及 5 个移民安置点占地范围和 7 个调蓄水库库周 500 m 范围。研究区地处云贵高原南部,山峦起伏,形成壮观的高原中山—低山丘陵地形。研究区出露地层主要为古生界石炭系与二叠系、中生界三叠系地层。主要土壤类型为红壤、赤红壤和水稻土 3 类。研究区自然植被垂直分布带不明显,大片次生云南松林和云南松与栎类、旱冬瓜混交林组成了典型的高原云南植被类型,植物种类较为丰富。气候类型属亚热带季风气候,雨水充沛,雨量集中,干湿季节分明。根据丘北气象站资料统计,研究区多年平均降水量 1 151 mm,多年平均气温 16.3℃。年无霜期 275 d,多年平均水面蒸发量 1 034 mm(E601),多年平均相对湿度 78%,多年平均风速 2.1 m/s,最大风速 20 m/s。

清水河水利枢纽工程位于云南省文山州北部,水库坝址位于清水江支流南丘河上,在丘北县天星乡平老村上游约 700 m,地理坐标为 104°22′30″E,23°54′26″N,库区及枢纽建设区涉及丘北县、广南县和砚山县。清水河水利枢纽工程总库容为 1.264 亿 m^3,电站共 3 台机组,总装机容量为 7.0 MW,多年平均发电量为 2 187 万 kW·h。输水线路水平投影干线总长 130.21 km,全线设 12 座泵站。利用已建的干龙潭等 7 座水库进行调节,以削减管道流量,并作为生活和工业事故备用工程。根据施工安排,本工程 2024 年水库下闸蓄水。工程总投资 499 099 万元,工程静态总投资为 495 974 万元,建设期融资利息 3 125 万元。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

对清水河水库陆生生态影响范围进行调查,通过收集评价范围内 2017 年卫星影像数据(Landsat TM/ETM/OLI 影像,分辨率 30 m),室内解译判读研究区植被覆盖及土地利用类型,并现场核实判读的正误率,获得研究区土地利用数据。研究区总面积为 21 117.77 hm^2,土地利用类型根据现场调查并参考谢高地等[19]生态系统分类可细分为针叶林地、灌木林地、灌草丛、水田、旱地、水体和建筑 7 类。旱地是研究区内分布面积最大的土地利用类型;针叶林地次之,其他依次为灌木林地、灌草丛、水田、建筑和水体等。依据水库淹没影响情况以及工程布置,最终确定水库下闸蓄水后(2024 年)土地利用类型变化情况。社会经济数据主要涉及研究区域的耕地产值,其数据主要来源于当地各个县的统计资料。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用转移矩阵

土地转移矩阵法是一种数学过程,脱胎于生态学中马尔可夫链。利用土地利用转移矩阵能详细地分析研究区内各用地类型变化的方向与土地利用变化的数量结构特征[20-21],其优点是能同时表示某种土地利用类型的储存量和流动量,准确描述各种土地利用类型之间的相互转换情况,为定量分析土地利用转变提供基础数据。土地利用转移矩阵在土地利用变化研究中应用广泛,可以反映出研究区域土地类型的具体流向与各种土地利用类型的转入与转出面积。具体数学表达形式为:

$$S_{ij}=\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中:S_{ij} 代表研究初期(2017 年)土地利用类型 i 向研究末期(2024 年)土地利用类型 j 的转变量;S_{ii} 代表土地利用类型 i 保持不变的量;n 代表土地利用类型数。

2.2.2 生态系统服务价值

目前,关于生态系统服务价值估算可以大致分为基于单位服务功能价格方法(功能价值法)[22-25]和基于单位面积价值当量因子法(当量因子法)[6,8,19]两类。功能价值法是基于不同生态系统所提供的服务功能及其功能单价进行计算,其输入参数较多,计算过程也较复杂,而且功能单价的确定标准难以统一,造成其估算结果差异较大。当量因子法是基于谢高地等[9]提出的生态系统服务价值当量因子表,结合当量因子的经济价值(1 个生态服务价值当量因子的经济价值量等于当年研究区平均粮食单产市场价值的 1/7)计算生态系统服务价值系数。相对于功能价值法而言,当量因子法具有方法简单、数据直观、计算便捷等优点,应用较广泛。基于谢高地等通过改进提出的“单位面积生态系统服务价值当量因子”[19],结合研究区实际情况计算生态系统服务价值系数,并应用 Costanza 等制定的生态系统服务价值模型,最终对研究区内生态系统服务价值进行评估。

1)生态系统服务价值当量因子

研究区内涉及 5 个一级生态系统类型和 7 个二级生态系统,对应单位面积生态系统服务价值当量分别确定本区域内各个生态系统服务价值当量因子[19]。Costanza 等认为建设用地生态系统服务价值为 0,实际上建设用地通过影响其他因素也具有一定的生态服务功能,因此研究将建设用地等同于裸地确定其当量因子。

2)生态系统服务价值系数

研究区涉及云南省文山州丘北县、广南县和砚山县,根据市场调查,各县统计文献及《云南省国土资源厅关于公告实施<云南省十五个州(市)征地补偿标准>(修订)的通知》,研究区种植农作物主要为水稻和玉米,经济作物主要为三七、辣椒和烟草。丘北县耕地统一产值 20 910 元/hm^2,砚山县 23 715 元/hm^2,广南县 15 210 元/hm^2,计算研究区单位面积当量因子的经济价值可取 2 849 元/hm^2,进而得到生态系统服务价值系数(表 1)。

表 1　研究区生态系统服务价值系数

Tab. 1　Value coefficient of ecosystem services in the research area　　元/(hm^2 · a)

生态系统服务		农田		林地		草地	水域	建设用地
		旱地	水田	针叶	灌木	灌草丛	水系	建筑
供给服务	粮食生产	2421.59	3874.54	626.76	541.30	1082.59	2279.14	0
	原料生产	1139.57	256.40	1481.44	1225.04	1595.40	655.25	0
	水资源供给	56.98	−7492.68	769.21	626.76	883.17	23617.62	0
调节服务	气体调节	1908.78	3162.31	4843.18	4016.99	5612.39	2193.68	56.98
	气候调节	1025.61	1623.89	14444.07	12050.97	14842.92	6524.05	0
	净化环境	284.89	484.32	4244.90	3646.63	4900.16	15811.55	284.89
	水文调节	769.21	7749.09	9515.42	9543.91	10882.91	291274.46	85.47
支持服务	土壤保持	2934.40	28.49	5868.79	4900.16	6837.43	2649.50	56.98
	维持养分循环	341.87	541.30	455.83	370.36	512.81	199.43	0
	生物多样性	370.36	598.28	5355.99	4472.82	6210.66	7264.77	56.98
文化服务	美学景观	170.94	256.40	2336.12	1965.76	2734.97	5384.48	28.49

3)生态系统服务价值模型

利用 Costanza 等学者提出的生态系统服务价值分析模型计算研究区生态系统服务价值(ESV),其公式为:

$$ESV = \sum_{i=1}^{n} (A_i \times VC_i) \quad (2)$$

$$ESV_f = \sum_{f=1}^{m} (A_{fi} \times VC_{fi}) \quad (3)$$

式中:ESV 为研究区生态系统服务总价值;A_i 为 i 类土地利用类型面积;VC_i 为 i 类土地利用类型生态系统服务价值系数;ESV_f 为 i 类土地利用类型 f 类生态系统服务价值;A_{fi} 为 f 类生态系统功能 i 类土地利用类型面积;VC_{fi} 为 f 类生态系统功能 i 类土地利用类型生态系统服务价值系数;n 为土地类型数量;m 为生态系统类型数量。

2.2.3 生态系统服务价值敏感性

由于采用生物群系替代土地利用类型具有不确定性,为验证研究区生态系统服务价值系数(VC)的精确性以及生态系统服务价值(ESV)对其依赖程度。借助经济学中弹性理论,采用敏感性系数(CS)来分析研究区生态系统服务价值对生态系统服务价值系数的敏感程度,其公式[26-27]为:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i)/ESV_i}{(VC_{fi} - VC_{fi})/VC_{fi}} \right| \quad (4)$$

式中:CS 为敏感性指数;ESV 为生态系统服务总价值;VC 为生态系统服务价值系数;i 和 j 分别代表初始价值和生态系统服务价值系数调整后的价值;f 为某种生态系统功能。

生态系统服务价值敏感性指数计算方法为将各类生态系统服务价值系数上下变动 50%,用于验证生态系统服务总价值敏感性指数的变化情况:CS > 1,说明某种土地利用类型的 ESV 有弹性,生态系统服务价值系数准确度较低,其变化将会引起研究区 ESV 发生变化,CS 越大,则生态系统服务价值系数准确度对 ESV 影响程度越大;CS < 1,说明 ESV 缺乏弹性,研究结果具有稳健性,生态系统服务价值系数的准确性较高,对生态系统服务价值的估算越准确。

2.2.4 生态系统服务权衡与协同

采用相关分析法分析 2017—2024 年研究区内各个生态系统服务功能的权衡和协同关系,如果相关系数为正值且通过 0.05 水平的显著性检验,则表示生态系统服务功能之间为协同关系,反之,当相关系数为负值且通过 0.05 水平的显著性检验,则表示生态系统服务功能之间为权衡关系[28-30]。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

3.1.1 土地利用结构

研究区总面积为 21 117.77 hm^2,土地利用类型主要包括针叶林地、灌木林地、灌草丛、水田、旱地、水体和建筑 7 类。研究区 2017—2024 年土地利用类型并未发生显著变化,旱地依旧是主要的土地利用类型,生态系统总体格局并未发生改变,但是水体和建筑面积相对于工程施工前有所增加,这与工程施工后水库的蓄水、水利枢纽建设、移民安置点以及输水线路泵站等建筑物有关(图 1)。

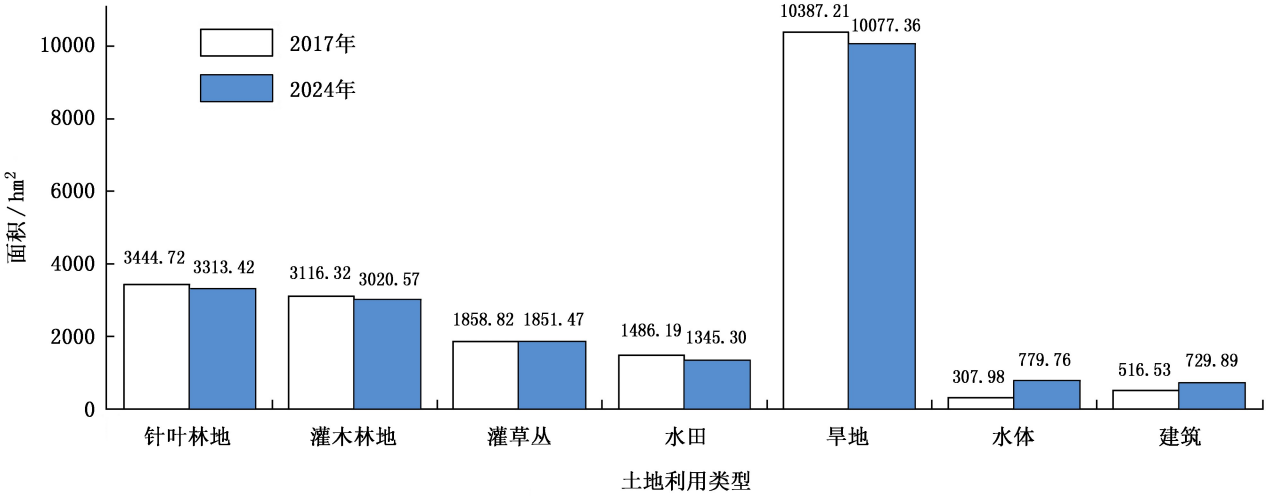


图 1 工程建设前后研究区土地类型

Fig. 1 Land types in the research area before and after project construction

3.1.2 土地利用变化程度

根据土地利用转移矩阵可以看出(表 2),工程建设过程中研究区各土地利用类型间均出现了不同程度的相互转化,主要是从旱地、水田和针叶林地向水体和建筑转移。旱地总失去量 309.85 hm^2,其中转为水体 175.11 hm^2,转为建筑 134.74 hm^2;水田总失去量 140.89 hm^2,其中转为水体 122.52 hm^2,转为建筑 18.37 hm^2;针叶林地总失去量 131.30 hm^2,其中转为水体 84.14 hm^2,转为建筑 47.16 hm^2。这主要因为水田和旱地主要分布在清水河两岸,水库蓄水淹没造成这部分土地永久转移为水体,而建筑物为避免大量开挖回填,一般会选择较为平坦区域布置,造成旱地被永久征收占用。另外,通过土地利用转移矩阵还可以看出,研究区水体表现为净转入特征,建筑为转入与转出相交叉特征,其余土地类型为净转出特征。

表 2　研究区土地利用类型转移矩阵

Tab. 2　Transfer matrix of land use types in the research area　　hm^2

土地利用类型		2024 年							合计	失去量
		针叶林地	灌木林地	灌草丛	水田	旱地	水体	建筑		
2017 年	针叶林地	3313.42					84.14	47.16	3444.72	131.30
	灌木林地		3020.57				52.22	43.53	3116.32	95.75
	灌草丛			1851.47			7.35		1858.82	7.35
	水田				1345.30		122.52	18.37	1486.19	140.89
	旱地					10077.36	175.11	134.74	10387.21	309.85
	水体						307.98		307.98	
	建筑						30.44	486.09	516.53	30.44
合计		3313.42	3020.57	1851.47	1345.30	10077.36	779.76	729.89	21117.77	715.58
获得量							471.78	243.80	715.58	

分析水库下闸蓄水后(2024 年)研究区土地变化程度可以看出,与 2017 年相比,研究区内水体面积变化最剧烈,其面积增加 471.78 hm^2,增长率为 153.18%;其次为建筑,其面积增加 213.36 hm^2,增长率为 41.31%;其余土地类型均为减少趋势,但减少的数量有限,对整个研究区生态系统并未构成较大影响(图 2)。

3.2 生态系统服务价值分析

根据研究区土地利用类型以及生态系统服务价值模型可以计算出清水河水库 2017—2024 年生态系统服务价值总价值及其变化情况。从土地利用类型和生态系统功能类型两方面对研究区生态系统服务总价值进行分析。

3.2.1 土地利用类型

研究区 2017—2024 年生态系统服务总价值为增长趋势,增长量为 15 272.75 万元,增长率为 23.24%。2017 年研究区生态系统服务总价值为 65 709.09 万元,其价值结构排序为林地(46.74%)>农田(20.57%)>水域(16.77%)>草地(15.87%)>建设用地(0.05%);2024 年水库下闸蓄水后,研究区生

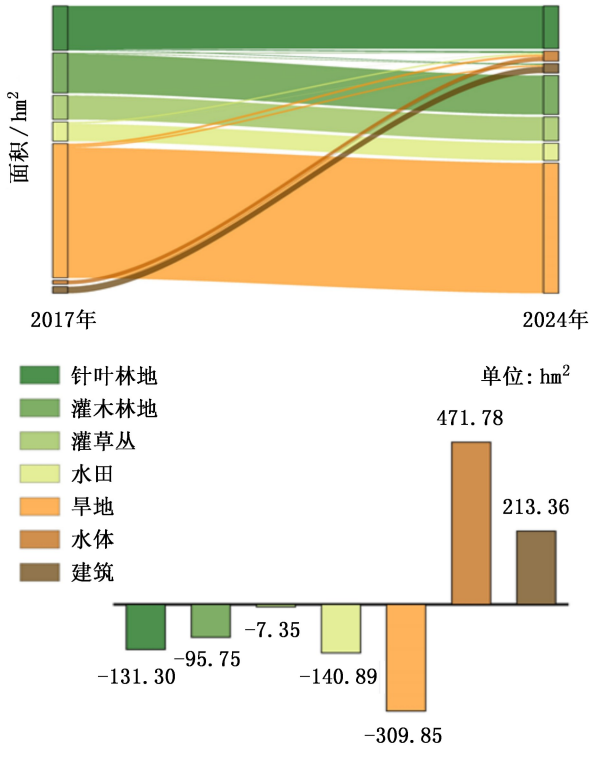


图 2　研究区土地变化程度

Fig. 2　Degree of land change in the research area

态系统服务总价值为 80 981. 84 万元,其价值结构排序为林地(36. 60%) > 水域(34. 46%) > 农田(16. 06%) > 草地(12. 83%) > 建设用地(0. 05%)(表 3)。

表 3 研究区不同土地类型生态系统服务价值

Tab. 3 Ecosystem services value of different land types in the research area

生态系统分类		2017 年		2024 年		2017—2024 年	
一级生态系统	二级生态系统	ESV/万元	贡献率/%	ESV/万元	贡献率/%	ESV/万元	变化率/%
农田	旱地	11866. 87	18. 06	11512. 86	14. 22	-354. 01	-2. 98
	水田	1647. 10	2. 51	1490. 94	1. 84	-156. 16	-9. 48
林地	针叶林地	17203. 96	26. 18	16548. 22	20. 43	-655. 74	-3. 81
	灌木林地	13512. 90	20. 56	13097. 73	16. 17	-415. 17	-3. 07
草地	灌草丛	10427. 38	15. 87	10386. 14	12. 83	-41. 24	-0. 40
水域	水系	11021. 46	16. 77	27904. 36	34. 46	16882. 90	153. 18
建设用地	建筑	29. 42	0. 05	41. 59	0. 05	12. 17	41. 37
合计		65709. 09	100. 00	80981. 84	100. 00	15272. 75	23. 24

虽然水库工程建设造成水域和建设用地面积扩大,林地和农田面积减少,但是研究区林地生态系统服务价值仍占有相当重要的地位,所以在工程建设和管理中,要加强林地保护,维持生态系统平衡。

3. 2. 2 生态系统功能类型

2017—2024 年研究区各项生态系统功能服务价值贡献率均不同程度降低,只有水资源供给功能和水文调节功能有所增加,这是由水库蓄水引起水域面积增加所致(图 3,表 4)。

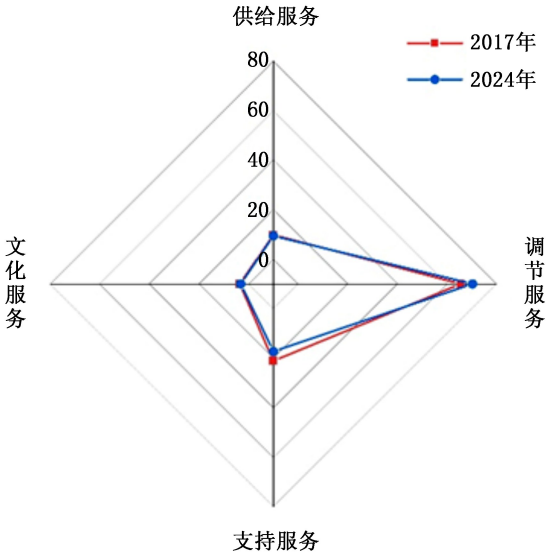


图 3 研究区不同生态系统功能服务价值贡献率

Fig. 3 Contribution rate of different ecosystem services value in the research area

表 4 研究区不同生态系统功能服务价值

Tab. 4 Different ecosystem services value in the research area

生态系统功能		2017 年		2024 年		贡献率变化/%
		ESV/万元	贡献率/%	ESV/万元	贡献率/%	
供给服务	粮食生产	3747. 30	5. 70	3710. 99	4. 58	-1. 12
	原料生产	2430. 68	3. 70	2390. 31	2. 95	-0. 75
	水资源供给	297. 47	0. 45	1498. 75	1. 85	1. 40
	小计	6475. 45	9. 85	7600. 05	9. 38	-0. 47
调节服务	气体调节	6486. 73	9. 87	6381. 58	7. 88	-1. 99
	气候调节	12997. 99	19. 78	12935. 18	15. 97	-3. 81
	净化环境	4379. 20	6. 66	5021. 33	6. 20	-0. 46
	水文调节	19201. 15	29. 22	32587. 44	40. 24	11. 02
	小计	43065. 07	65. 53	56925. 53	70. 29	4. 76
支持服务	土壤保持	7956. 63	12. 11	7862. 51	9. 71	-2. 40
	维持养分循环	809. 47	1. 23	790. 75	0. 98	-0. 25
	生物多样性	5093. 74	7. 75	5300. 07	6. 54	-1. 21
	小计	13859. 84	21. 09	13953. 33	17. 23	-3. 86
文化服务	美学景观	2308. 73	3. 53	2502. 93	3. 10	-0. 43
合计		65709. 09	100. 00	80981. 84	100. 00	

水库工程项目实施可能会引起某些生态系统功能价值提升,但是对多数生态系统功能价值会有一定的负面影响,因此在水库工程项目前期策划和实施过程中,应充分论证,加强生态保护,尽量降低对生态系统的损失。

3.3 敏感性分析

2017—2024 年研究区生态系统服务价值(ESV)对各项生态系统服务价值系数(VC)敏感性指数均小于 1,表明研究区内生态系统服务价值评估结果具有稳健性,各项生态系统服务价值系数(VC)的准确性较高。工程实施后,研究区各土地利用类型敏感性指数排序为:水域 > 林地 > 农田 > 草地 > 建设用地,说明生态系统服务价值(ESV)对各项生态系统服务价值系数(VC)依赖程度逐渐降低(表 5)。

表 5　研究区生态系统服务价值敏感性

Tab. 5　Sensitivity of ecosystem service value in the research area

生态系统分类		2017 年	2024 年
一级生态系统	二级生态系统		
农田	旱地	0. 0993	0. 0765
	水田	0. 0127	0. 0093
林地	针叶林地	0. 1506	0. 1138
	灌木林地	0. 1146	0. 0880
草地	灌草丛	0. 0862	0. 0685
水域	水系	0. 0915	0. 2081
建设用地	建筑	0. 0002	0. 0003

3.4 权衡与协同关系

通过相关分析可以发现研究区内生态系统功能之间具有显著的协同关系,在显著水平(5%)检验下,协同关系在研究区处于主导地位(图 4)。

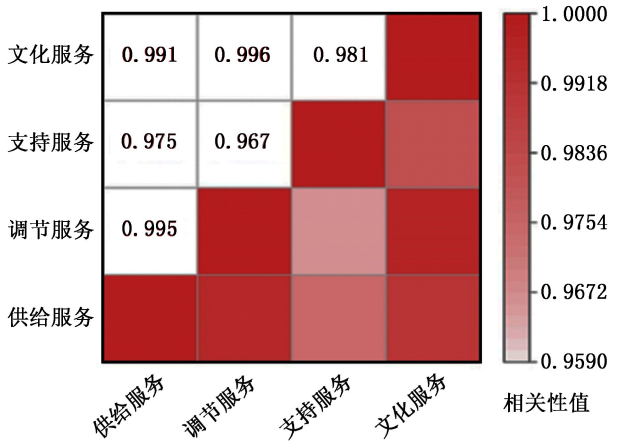


图 4　研究区生态系统一级功能相关性

Fig. 4　Correlation of ecosystem primary functions in the research area

根据相关系数可以看出不同的生态系统服务功能之间相关程度有所不同(表 6,图 5),粮食生产与气体调节、维持养分循环相关紧密;原料生产与气体调节、土壤保持、维持养分循环相关紧密;水资源供给与气体调节、土壤保持、维持养分循环相关较弱;气体调节仅与水资源供给相关较弱;气候调节与粮食生产、原料生产、维持养分循环相关较弱;净化环

表 6　研究区生态系统二级功能相关系数

Tab. 6　Correlation coefficient of ecosystem secondary functions in the research area

生态系统功能	A	B	C	D	E	F	G	H	I	G	K
A	1										
B	0. 873	1									
C	0. 831	0. 808	1								
D	0. 904	0. 921	0. 893	1							
E	0. 715	0. 809	0. 908	0. 931	1						
F	0. 849	0. 807	0. 995	0. 920	0. 928	1					
G	0. 860	0. 793	0. 995	0. 905	0. 901	0. 998	1				
H	0. 832	0. 979	0. 872	0. 949	0. 907	0. 874	0. 854	1			
I	0. 965	0. 926	0. 791	0. 956	0. 783	0. 821	0. 816	0. 895	1		
G	0. 821	0. 819	0. 985	0. 937	0. 963	0. 994	0. 985	0. 896	0. 822	1	
K	0. 840	0. 813	0. 993	0. 927	0. 941	0. 999	0. 995	0. 883	0. 822	0. 998	1

注:A ~ K 分别代表粮食生产、原料生产、水资源供给、气体调节、气候调节、净化环境、水文调节、土壤保持、维持养分循环、生物多样性和美学景观等生态功能。下同。

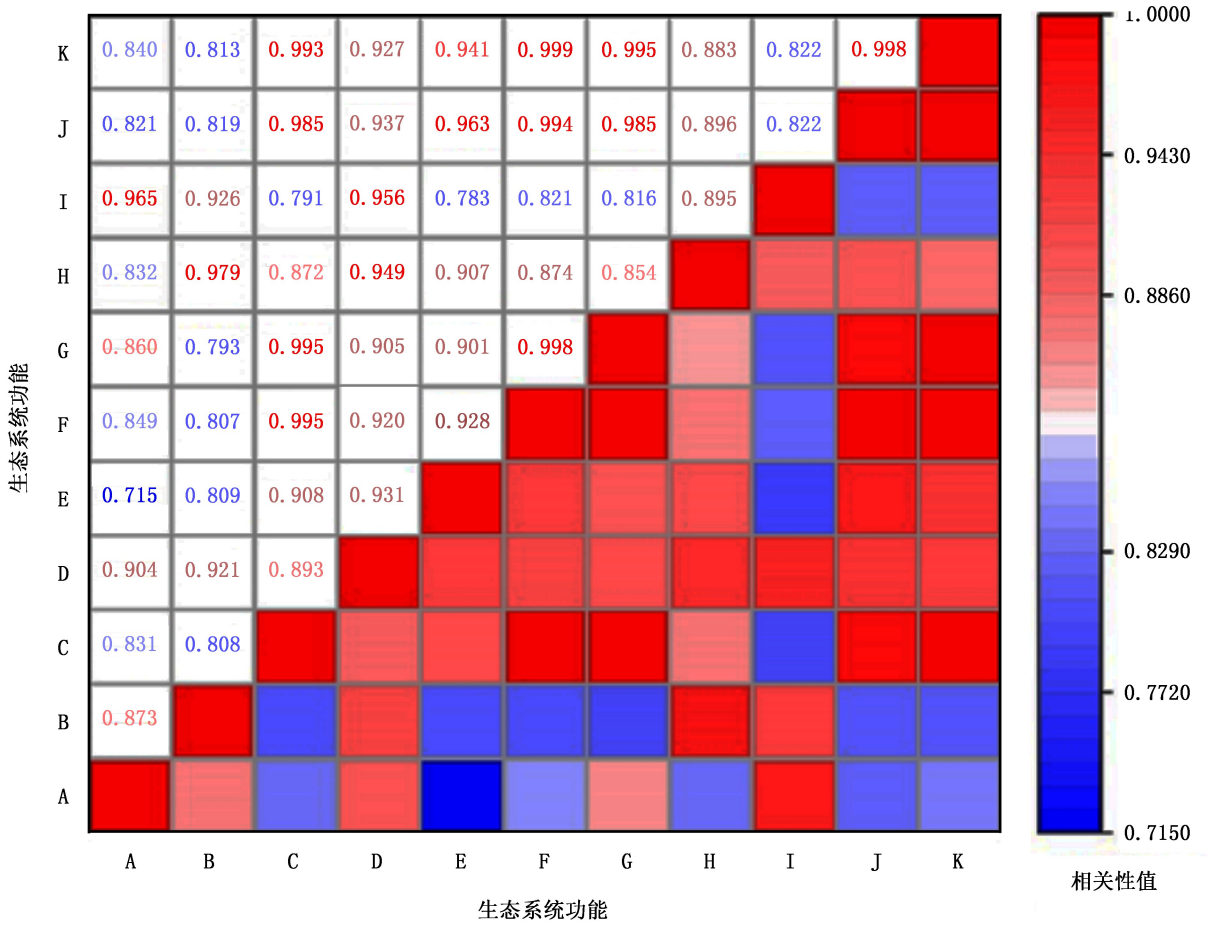


图 5　研究区生态系统二级功能相关性

Fig. 5　Correlation of ecosystem secondary functions in the research area

境与粮食生产、原料生产、土壤保持、维持养分循环相关较弱;水文调节与粮食生产、原料生产、土壤保持、维持养分循环相关较弱;土壤保持与原料生产、气体调节、气候调节相关紧密;维持养分循环与粮食生产、原料生产、气体调节相关紧密;生物多样性和美学景观与粮食生产、原料生产、土壤保持、维持养分循环相关较弱。

4　结论与讨论

1)清水河水库实施后,研究区内土地利用类型并未发生显著变化,旱地依旧是主要的土地利用类型,生态系统总体格局并未发生改变。

2)水库工程建设造成水域和建设用地面积扩大,其他土地利用类型减少,但是研究区生态系统服务总价值呈上升趋势。研究期间林地生态系统服务价值占有相当重要的地位,水资源供给功能和水文调节功能价值有所提高,但工程建设对多数生态系统功能价值会有一定的负面影响,因此在生产建设和管理中,要加强林地保护,尽量降低生态系统的损失,维持生态系统平衡。

3)研究期内生态系统服务价值(ESV)对各项生态系统服务价值系数(VC)敏感性指数均小于 1,表明研究区内生态系统服务价值评估结果具有稳健性。清水河水库下闸蓄水后,敏感性指数排序为:水域 > 林地 > 农田 > 草地 > 建设用地,因此水域生态系统服务价值的变化将会对研究区生态系统服务总价值产生较大影响。

4)研究区内各种生态服务功能之间存在显著的协同关系,但不同生态系统功能之间相关程度有所差异。

生态系统服务价值受多种因素的影响,本研究得出的结果虽然具有一定的参考价值,但是在将来水库施工过程中生态系统会处于一个动态变化中,各种因素也会发生动态变化,对最后的分析结果造成一定的影响,后续将会考虑其他影响生态系统服务价值的因素,以便使估算结果更加准确。

参考文献:

[1] DAILY G C. The value of nature and the nature of value [J]. Science, 2000, 289(5478):395-396.

[2] EGOH B, ROUGET M, REYERS B, et al. Integrating ecosystem services into conservation assessment: A review[J]. Ecological Economics, 2007, 63:714-721.

[3] LAUTENBACH S, KUGEL C, LAUSCH A, et al. Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data[J]. Ecological Indicators, 2011, 11: 676-687.

[4] WAINGER L A, KING D M, MACK R N, et al. Can the concept of ecosystem services be practically applied to improve natural resource management decisions? [J]. Ecological Economics, 2010, 69:978-987.

[5] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Synthesis[M]. Washington, DC: Island Press, 2005.

[6] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学,2015,37(9):1740-1746.

[7] COSTANZA R, DARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630):253-260.

[8] 谢高地,肖玉,甄霖,等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(3):10-13.

[9] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2003,18(2):189-195.

[10] 刘春腊,刘卫东,徐美. 基于生态价值当量的中国省域生态补偿额度研究[J]. 资源科学,2014,36(1):148-155.

[11] 张乐勤,荣慧芳,曹先河. 两种森林生态系统价值评估方法实证评述[J]. 水土保持通报,2011,31(1):169-174.

[12] 于媛,李明玉,韩旭龙,等. 边境地区景观格局演变及生态系统服务价值响应[J]. 水土保持研究,2021,28(1):315-322.

[13] 董会忠,姚孟超. 成渝经济区土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 水土保持通报,2020,40(1):213-220.

[14] 汤姚楠,王佳,周伟奇. 城市生态系统服务价值评估方法体系探索[J]. 林业经济,2020,3(4):27-38.

[15] 张辰,易扬,孙浩. 典型山区土地利用及生态系统服务价值变化[J]. 亚热带水土保持,2020,32(4):9-18.

[16] 吴健生,岳新欣,秦维. 基于生态系统服务价值重构的生态安全格局构建[J]. 地理研究,2017,36(3):429-440.

[17] 周子靖,姜文达,史作琦,等. 东南沿海土地利用转型的生态服务价值研究[J]. 水土保持通报,2020,40(2):308-316.

[18] 黄艳霞,梁志鑫,王玉杰,等. 生态服务价值当量法的适用性研究[J]. 中国水土保持,2020(1):43-47.

[19] 谢高地,张彩霞,张雷明,等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.

[20] 肖红克,李洪忠,王莉,等. 粤港澳大湾区土地利用及生态系统服务价值的变化[J]. 水土保持研究,2020,27(1):290-297.

[21] 周增荣,黄金良,周培. 土地利用系统转移分析方法及其应用[J]. 亚热带资源与环境学报,2012,7(4):28-38.

[22] 赵同谦,欧阳志云,王效科,等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 自然资源学报,2003,18(4):443-452.

[23] 赵同谦,欧阳志云,贾良清,等. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价[J]. 生态学报,2004,24(6):1101-1110.

[24] 王景升,李文华,任青山,等. 西藏森林生态系统服务价值[J]. 自然资源学报,2007,22(5):831-841.

[25] 王兵,鲁绍伟. 中国经济林生态系统服务价值评估[J]. 应用生态学报,2009,20(2):417-425.

[26] 林静雅,朱颖. 基于 Costanza 模型的苏州湿地生态服务价值评估[J]. 中国城市林业,2019,17(1):47-51.

[27] 刘玉卿,彭俊,宋晓谕. 张掖市甘临高地区生态系统服务价值变化及其敏感性分析[J]. 西北师范大学学报(自然科学版),2014,50(3):106-111.

[28] 刘海,武靖,陈晓玲. 丹江口水源区生态系统服务时空变化及权衡协同关系[J]. 生态学报,2018,38(13):4609-4624.

[29] JOPKE C, KREYLING J, MAES J, et al. Interactions among ecosystem services across Europe: Bagplots and cumulative correlation coefficients reveal synergies, trade-offs, and regional patterns[J]. Ecological Indicators, 2015, 49: 46-52.

[30] 郑德凤,郝帅,吕乐婷,等. 三江源国家公园生态系统服务时空变化及权衡协同关系[J]. 地理研究,2020,39(1):64-78.

责任编辑: 杨竣焓

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.012

郑州市数码公园不同植物群落对 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的影响研究

王柄权,赵佳伦,孙晓燕,张 凌
(河南农业大学 风景园林与艺术学院,河南 郑州 450000)

摘要:以郑州市数码公园为例,研究不同植物群落对大气颗粒物污染的影响。2020 年 4 月—2021 年 3 月,监测郑州市数码公园内不同植物群落结构(乔灌草、乔草、乔灌、灌草、草坪)在春夏秋冬四季的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度以及温度、湿度和风速等气象因子,分析不同植物群落 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度的变化规律,并研究其与气象因子的相关性。研究结果表明,不同样地内 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度日变化基本一致,呈早高晚低趋势。不同样地内 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度均表现为秋冬季高,春夏季低;$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度高低依次为草坪和广场样地>灌草和乔草结构样地>乔灌草和乔灌结构样地;复合群落结构绿地对颗粒物滞尘能力大于单一群落结构。乔灌草、乔灌结构样地对 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的阻滞率较高。$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度与温度、相对湿度、风速等气象因子间呈不同相关性,$PM_{2.5}$ 浓度与各气象因子的相关性高于 PM_{10} 浓度。由于数码公园为紧邻城市道路的开放公园,适宜种植郁闭度较高、以常绿树种为主的植物群落类型。

关键词:城市公园;植物群落;$PM_{2.5}$;PM_{10};大气颗粒物浓度;气象因子;郑州

中图分类号:S718.54;TU834.6;TU986.5 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0070-13

引文格式:王柄权,赵佳伦,孙晓燕,等. 郑州市数码公园不同植物群落对 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的影响研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):70-82. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.013

WANG Bingquan, ZHAO Jialun, SUN Xiaoyan, et al. Influence of Different Plant Communities on $PM_{2.5}$ and PM_{10} Concentrations in Zhengzhou Digital Park[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):70-82. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.012

Influence of Different Plant Communities on $PM_{2.5}$ and PM_{10} Concentrations in Zhengzhou Digital Park

WANG Bingquan, ZHAO Jialun, SUN Xiaoyan, ZHANG Ling
(College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: This paper investigated the influence of different plant communities on atmospheric particulate matter pollution based on the case of Zhengzhou Digital Park. From April 2020 to March 2021, $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations and meteorological factors such as temperature, humidity, and wind speed, were monitored for different plant communities (arbor-shrub-herb, arbor-herb, arbor-shrub, shrub-herb and lawn) in Zhengzhou Digital Park in the four seasons. The variation patterns of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in different plant communities were analyzed, and their correlation with meteorological factors

收稿日期:2022-03-19.

第一作者:王柄权(1998-),男,河南郑州人,硕士研究生. 研究方向为风景园林规划设计与植物应用. Email:451002962@qq.com

责任作者:张凌(1978-),女,河南开封人,博士,副教授. 研究方向为风景园林规划设计与风景园林历史理论. Email:yuanlinzhangling@henau.edu.cn

was studied. The research results indicated that the daily changes of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in different areas were basically consistent, showing a trend of high in the morning and low in the evening. The concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in different areas were high in autumn and winter, and low in spring and summer; the concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} were in the order of lawn and square plots > shrub-herb and arbor-herb plots > arbor-shrub-herb and arbor-shrub plots; the ability of composite community green space to retain particulate matter dust was stronger than that of single community. The arbor-shrub-herb and arbor-shrub plots had higher resistance to $PM_{2.5}$ and PM_{10}. The concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} had different correlation with meteorological factors such as temperature, relative humidity, and wind speed. The correlation between $PM_{2.5}$ concentration and meteorological factors was higher than that of PM_{10} concentration. The Digital Park was an open park adjacent to urban roads and suitable for planting plant communities with high canopy density and evergreen tree species.

Key words: urban park; plant community; $PM_{2.5}$; PM_{10}; concentration of atmospheric particulate matter; meteorological factor; Zhengzhou

近年来,大气颗粒物仍是世界许多城市大气环境污染的主要污染物[1-3],根据中国环境监测总站“全国城市空气质量实施发布平台”发布的数据,河南省一直是中国空气污染最严重的地区之一,2019 年全国 337 个地级市及以上城市中,180 个城市环境空气污染超标,占比 53.4%,郑州市空气质量排在后 20 名[4]。根据河南省环境监测中心发布的环境质量报告显示,近年来大气颗粒物仍是郑州市大气环境污染的首要污染物[5]。

植物可有效阻滞和吸收空气颗粒物,因此可通过合理增加城市绿化达到净化空气效果[6]。目前,植物对空气颗粒物浓度的影响研究主要集中在植物个体、植物群落、绿地斑块等方面[7-10],多选择单一季节进行分析[11-14],缺少一年四季持续的研究数据。本研究从郑州市数码公园选取 6 个监测样地,监测其 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度及气象因子,分析不同植物群落、环境因子等与 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度变化的关系,比较不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度变化情况及其阻滞颗粒物的能力,筛选有效阻滞颗粒物的植物配置模式,为改善城市环境空气质量提供理论和实践依据。

1 研究区域概况和研究方法

1.1 研究区域概况

研究区域数码公园位于郑州市东北部的金水区,金水区东临中牟县,南连管城回族区、二七区,西接中原区,北靠惠济区。地理位置为东经 113°40′~113°47′,北纬 30°50′~34°57′。辖区东西最长距离 22.9 km,南北最长距离 17.2 km,总面积 135.3 km^2。

金水区地处北温带和亚热带气候过渡带,四季分明,日照时间长,自然降水偏少。春旱多风;夏季炎热多雨,水热同期;秋凉清爽,日照充足;冬季干燥,风多雪少。年均温 14.8℃,降雨量 586.1 mm,日照时数 2 052.6 h。研究区域范围及监测点位置见图 1。

图 1　郑州金水区数码公园范围及监测点布设
Fig. 1　Scope and monitoring points layout of Digital Park in Jinshui District

研究区域内共选取 6 个监测样地,样地调查时采用标准样地法,通过现场调研,在具有典型代表性的植物群落中,选择生长状况良好的植物群落,包括乔灌草结构、乔草结构、乔灌结构、灌草结构、草坪结构、硬质广场(共 6 个类型,其中硬质广场为对照组),标记方式为数码公园乔灌草样方 1 标为 S1 样方,依此类推(表 1)。路琛等[15]选取不同植被结构

校园绿地，进行其与空气颗粒物浓度响研究，选取样地面积在0.3~2.4 hm^2，经研究得出植被面积对空气颗粒物浓度影响不显著。因此本实验在选取样方时，样方周围是绿地还是道路对实验结果影响不大。本实验选取每个样方为20 m×10 m，不同植物群落情况具体见表1和图2。

表1　监测样地内植物群落情况

Tab. 1　Status of plant communities in sample plots

监测样地群落结构	编号	植物配置模式	郁闭度/%				植物盖度
			春季	夏季	秋季	冬季	
乔灌草	S1	乔木：女贞(*Ligustrum lucidum*)、楝(*Melia azedarach*) 灌木：月季(*Rosa chinensis*)、小叶黄杨(*Buxus sinica* var. *parvifolia*)、紫荆(*Cercis chinensis*)、紫薇(*Lagerstroemia indica*)、海桐(*Pittosporum tobira*)、南天竹(*Nandina domestica*) 草本：沿阶草(*Ophiopogon bodinieri*)	60	65	60	58	0.7
乔草	S2	乔木：国槐(*Styphnolobium japonicum*)、桂花(*Osmanthus fragrans*) 草本：地毯草(*Axonopus compressus*)	57	60	36	30	0.5
乔灌	S3	乔木：悬铃木(*Platanus acerifolia*)、龙爪槐(*Sophora japonica* var. *japonica* f. *pendula*)、白皮松(*Pinus bungeana*) 灌木：小叶黄杨	30	34	31	25	0.8
灌草	S4	灌木：大叶黄杨(*Buxus megistophylla*)、紫薇、银薇(*Lagerstroemia indica* f. *alba*)、南天竹(*Nandina domestica*)、红叶石楠(*Photinia*×*fraseri*) 草本：狗牙根(*Cynodon dactylon*)	—	—	—	—	0.4
草坪	S5	草本：狗牙根	—	—	—	—	0.5
硬质广场(对照)	S6	—	—	—	—	—	—

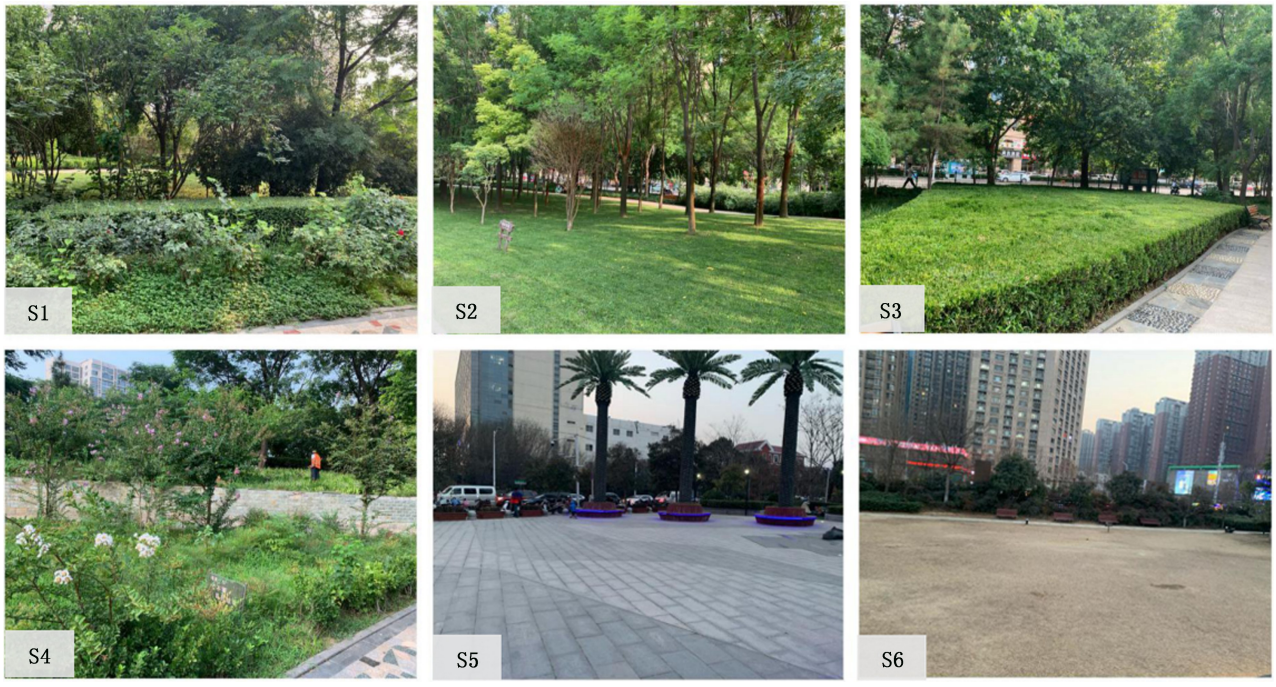


图2　郑州数码公园不同监测样地植物群落情况

Fig. 2　Monitoring sample plots of plant communities in Digital Park

1.2 研究方法

在天气晴朗微风条件下，2020年5月至2021年3月，每月3 d，对数码公园不同监测样地内$PM_{2.5}$、PM_{10}浓度、气象因子进行监测(8：00—18：00)，每

隔 2 h 监测一次。本研究中 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12—次年 2 月为冬季。$PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度监测采用英国 Turnkey 仪器公司生产的 Dustmate 粉尘监测仪,每 2 h 的整点同步测定各监测样地人体呼吸高度 1.5 m 处 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 浓度,每个时间点在东西南北 4 个方向测取 4 次。阻滞能力用阻滞率 P_n 来表示,其能直接反应各监测样地的颗粒净化效益,计算公式为:

$$P_n = (C_o - C_n)/C_o \quad (1)$$

式中:C_o 为对照点处空气颗粒物质量浓度;C_n 为公园内不同监测点空气颗粒物质量浓度。

采用美国产 Kestrel 4500 手持自动气象仪,测定各监测样地气温、相对湿度、风速等气象因子,每次在整点前后 10 min 内完成并在东西南北 4 个方向进行 4 次重复,测定高度为 1.5 m。

实验数据导出后,采用 Excel 软件进行统计运算并整合数据,计算日、月、季平均 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度;运用 ORIGIN 绘制 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度日变化及季节变化曲线;运用 SPSS 进行不同植物群落 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度的多重比较及方差分析,以及气象因子与 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度的相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度日变化

测定不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度日变化,见图 3。

如图 3 所示,春夏秋冬 4 个季节数码公园中不同植物群落内 $PM_{2.5}$ 浓度日变化均呈现早高晚低的特征。春季一般为早晨 8∶00 时 $PM_{2.5}$ 浓度最高,下午 16∶00 时浓度最低;而 PM_{10} 则为早晨 10∶00—12∶00 时浓度最高,下午 16∶00 时浓度最低;夏季各样地的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度变化趋势基本相似,均呈 L 型变化,显示为早高晚低;秋季各样地内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度最大值为早晨 10∶00 时,最小值为下午 16∶00—18∶00 时;冬季各监测各样地 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度日变化情况与春夏秋季变化趋势均不相同,$PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度均在早晨 8∶00 或 10∶00 时达最大值,在下午 14∶00 或 16∶00 时最低,且冬季各样地 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 浓度明显高于其他 3 个季节。不同季节中 S5 和 S6 样地 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度明显高于其他 4 个样地,这是由于 S6 样地为广场区域,人流量较大,造成颗粒物浓度明显大于其他场地;同样 S5 为单一草坪结构,颗粒物浓度较高,但春季回暖,植物复苏,长势良好,草坪也具有一定滞沉能力,因此浓度略低于广场区域。

2.2 不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度季节变化

测定不同样地内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度季节变化,见图 4。

如图 4 所示,各样地 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度高低依次为冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季,具有明显的差异性,且冬季的标准差较大,说明冬季空气颗粒物浓度不稳定,这与冬季供暖、燃煤量增加以及冬季植物叶片脱落有关。

2.2.1 春季不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度差异性分析

对数码公园不同样地 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度进行单因素方差分析,得出 $PM_{2.5}$ 的 F 值为 6.419,$P < 0.05$。从总的浓度变化来看,春季数码公园不同样地间 $PM_{2.5}$ 浓度存在显著差异(图 5)。

由图 5 可知,S1、S2、S3、S4 样地间无显著差异,与 S5、S6 样地间存在显著差异。PM_{10} 的 F 值为 9.286,$P < 0.05$,其差异性与 $PM_{2.5}$ 方差检验结果相似。

综合以上结果,样地 S1 为 $PM_{2.5}$ 浓度最低的样地,该样地植物群落为乔灌草结构,半闭合阔叶多层结构,最下层密被沿阶草,灌木层植物层次丰富,郁闭度也相对较高为 60%;S3 样地为 PM_{10} 浓度最低的样地,且 $PM_{2.5}$ 浓度较 S1 样地也相差无几,该样地为针阔叶混交林多层结构,郁闭度为 32%,下层密被小叶黄杨,林下植物盖度较高,虽郁闭度不高,但针阔叶混交林阻滞颗粒物的能力较强,因此使得颗粒物浓度降低;S5 和 S6 样地颗粒物浓度较高,因为数码公园广场位于公园主入口,紧邻道路,人车流量大,且公园几处高大的模型树无滞尘作用;草坪区域紧邻儿童游乐区,草坪单一且面积过大。

2.2.2 夏季不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度差异性分析

数码公园不同样地夏季 $PM_{2.5}$ 浓度经单因素方差分析可知 F 值为 4.527,P 值为 0.047 < 0.05;PM_{10} 浓度的 F 值为 4.697,P 值为 0.043 < 0.05(图 6)。

如图 6 所示,夏季数码公园不同样地间 $PM_{2.5}$ 浓度存在显著差异,S1 与 S5 样地差异性最大;不同样地间 PM_{10} 浓度也存在显著差异。夏季不同样地 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 浓度高低依次为 S5 > S6 > S4 > S2 > S3 > S1。

春季 $PM_{2.5}$ 浓度最低为 S1 样地,PM_{10} 浓度最低为 S3 样地,与夏季相似,但夏季 S1 样地的滞尘能力强于春季,因为夏季植物生长茂盛,叶片滞尘能力增强。

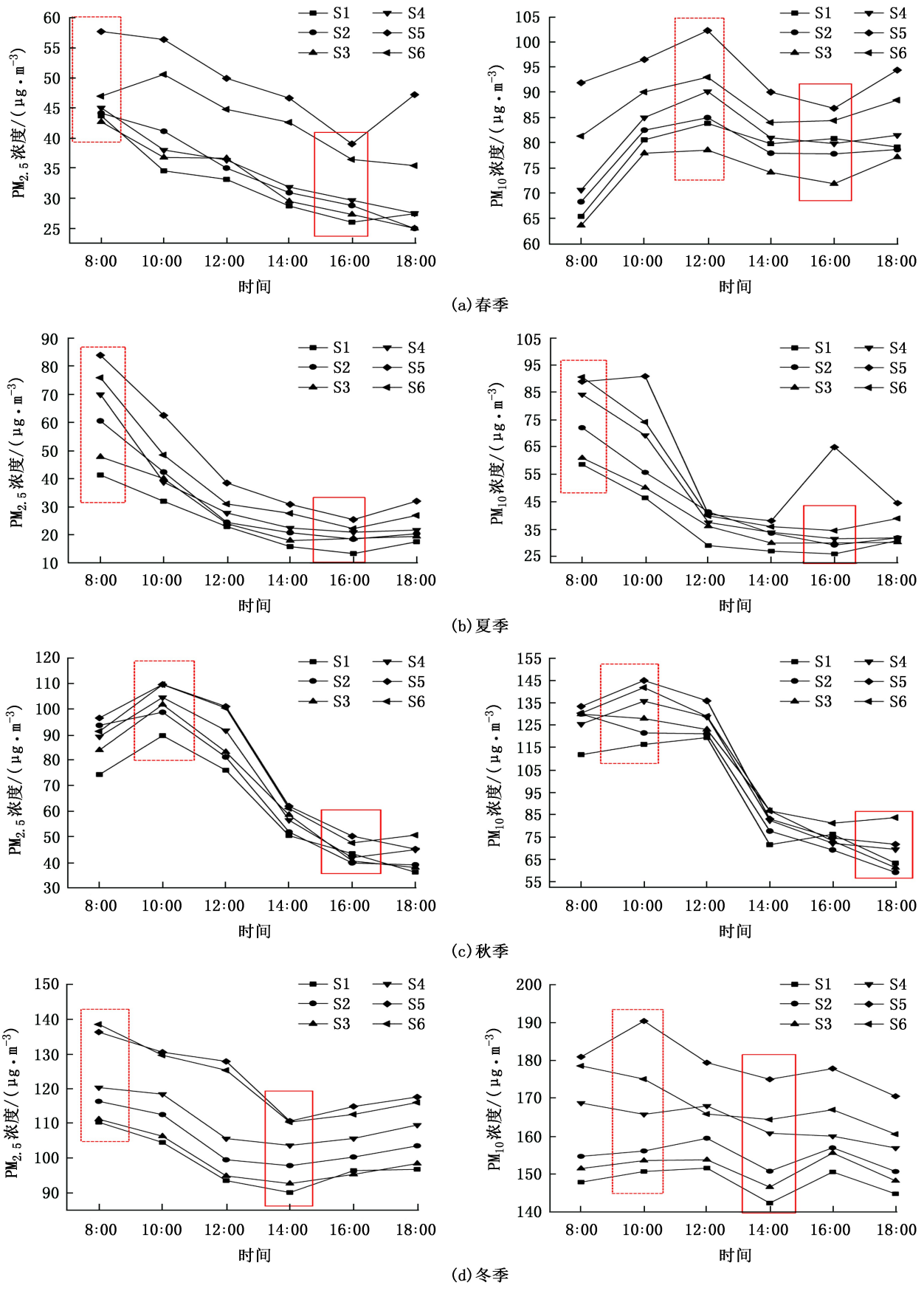


图 3　不同季节不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度日变化

Fig. 3　Daily variation of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in different plant communities in different seasons

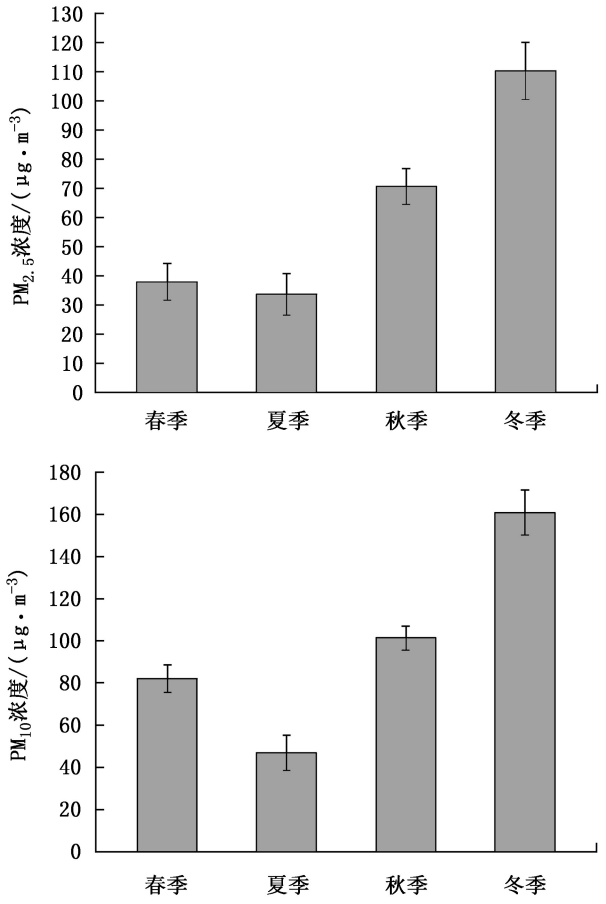
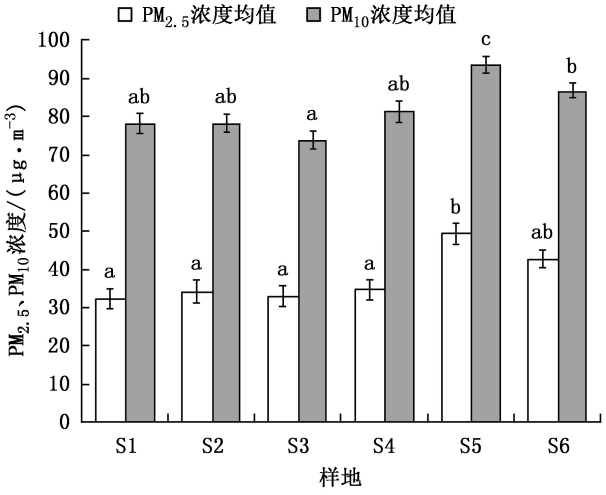


图 4　郑州数码公园不同样地内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度季节变化

Fig. 4　Seasonal variation of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in different areas



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

图 5　郑州数码公园春季不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度方差分析与多重比较

Fig. 5　Variance analysis and multiple comparisons of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in different plant communities in spring

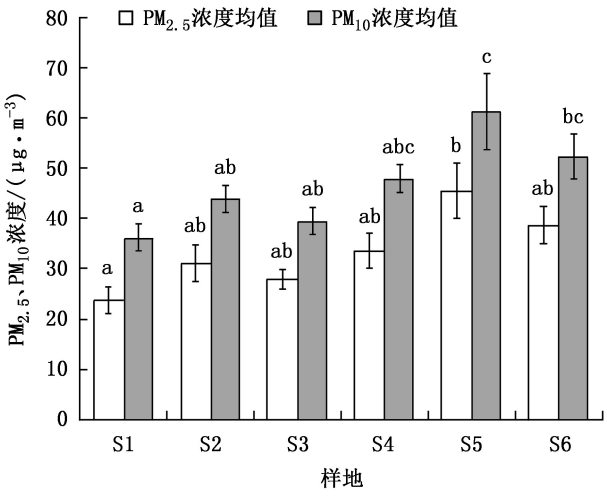


图 6　郑州数码公园夏季不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度方差分析与多重比较

Fig. 6　Variance analysis and multiple comparisons of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in different plant communities in summer

2.2.3 秋季不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度差异性分析

数码公园不同样地秋季 $PM_{2.5}$ 浓度经单因素方差分析可知 F 值为 3.348,P 值为 0.016 < 0.05;PM_{10} 浓度的 F 值为 2.802,P 值为 0.034 < 0.05(图 7)。

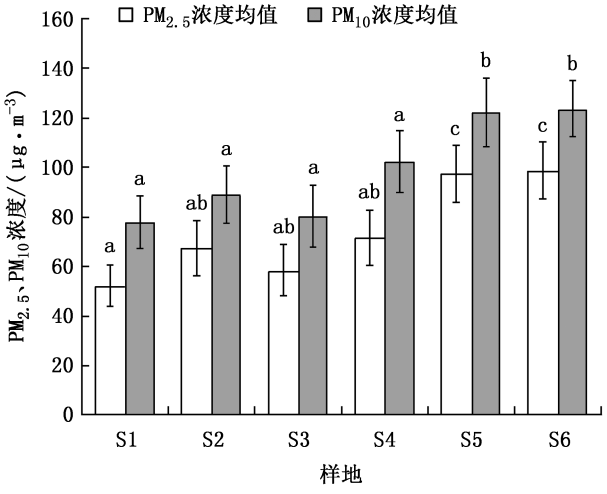


图 7　郑州数码公园秋季不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度方差分析与多重比较

Fig. 7　Variance analysis and multiple comparisons of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in different plant communities in autumn

如图 7 所示,秋季依然为 S1 与 S5、S6 样地间差异最大;秋季不同样地 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度高低依次为

S6 > S5 > S4 > S2 > S3 > S1。

结果表明 S1 样地浓度最低,与春夏季基本相同,但春夏季均为 S5 样地的颗粒物浓度最高,而秋季则为 S6 样地,这是由于秋季植物会出现季相变化,该样地草坪在秋季变得干枯,因此滞尘效果减弱。

2.2.4 冬季不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度差异性分析

数码公园不同样地冬季 $PM_{2.5}$ 浓度经单因素方差分析可知 F 值为 9.383,P 值 < 0.05;PM_{10} 浓度的 F 值为 32.350,P 值 < 0.05(图 8)。

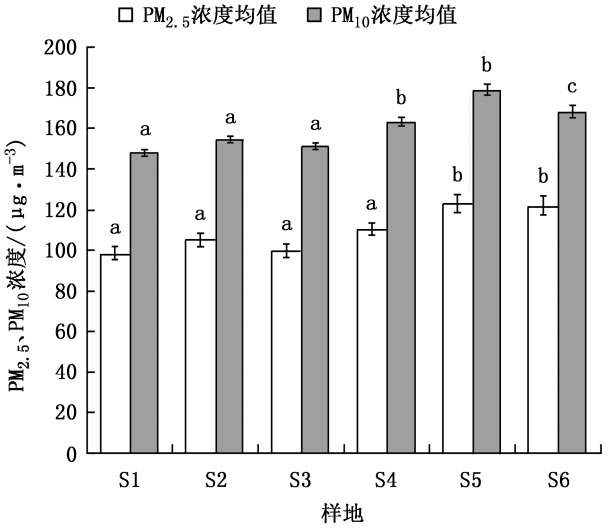


图 8　郑州数码公园冬季不同植物群落内 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度方差分析与多重比较

Fig. 8　Variance analysis and multiple comparisons of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in different plant communities in winter

如图 8 所示,冬季不同样地间 $PM_{2.5}$ 浓度和 PM_{10} 无显著差异,冬季不同样地 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度高低依次为 S5 > S6 > S4 > S2 > S3 > S1。

从上述结果可得出四季均为 S1 样地 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度最低。但整体上冬季颗粒物浓度明显高于其他季节,这是由于冬季易出现雾霾天气,逆温层也频繁出现,空气颗粒物不易扩散,植物开始进入休眠阶段,导致颗粒物浓度增高。

2.3 不同植物群落阻滞 $PM_{2.5}$、PM_{10} 能力分析

2.3.1 不同植物群落阻滞 $PM_{2.5}$ 的能力分析

根据研究方法中阻滞率计算公式得出不同样地对 $PM_{2.5}$ 污染物的阻滞率(图 9)。

如图 9 所示,不同样地中乔灌草结构的阻滞率最高,灌草和草坪结构最低,且乔灌草、乔草、乔灌、灌草、草坪结构对 $PM_{2.5}$ 的阻滞率分别为 33.13%、22.25%、27.12%、16.47%、3.57%。植物群落的郁闭度和林下覆盖率是影响植物群落阻滞大气颗粒物能力高低的重要因素之一,郁闭度在 80%左右表现出较好的阻滞作用,增加林下植物数量或盖度能更好地阻滞大气颗粒物[14]。S1 和 S3 样地郁闭度和植物盖度均较高,因为常绿树种较多,春夏秋冬季郁闭度均较高且变化不大,因此这两个样地对 $PM_{2.5}$ 阻滞率较高。

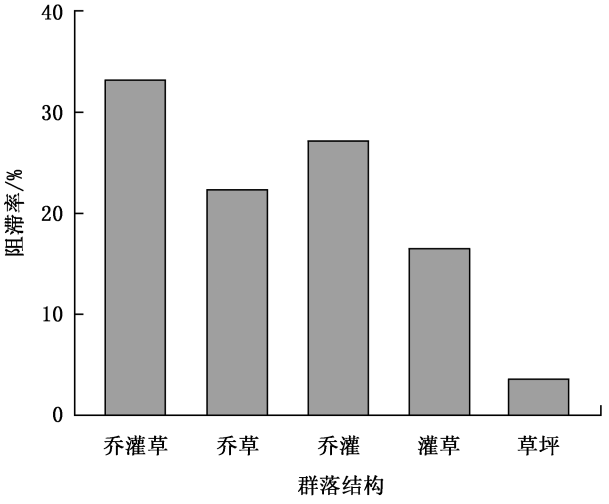


图 9　不同植物群落对 $PM_{2.5}$ 阻滞情况

Fig. 9　Retention of different plant communities to $PM_{2.5}$

2.3.2 不同植物群落阻滞 PM_{10} 的能力分析

数码公园不同植物群落对 PM_{10} 的阻滞率具体见图 10。

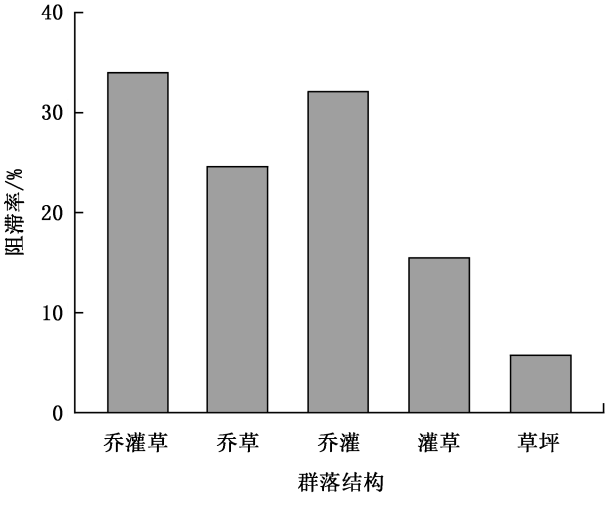


图 10　不同植物群落对 PM_{10} 阻滞情况

Fig. 10　Retention of different plant communities to PM_{10}

如图 10 所示,不同植物群落对 PM_{10} 的阻滞情况与不同样地对 $PM_{2.5}$ 阻滞情况相同。乔灌草、乔草、乔灌、灌草、草坪结构对 PM_{10} 的阻滞率分别为 33.98%、24.59%、32.10%、15.47%、5.775%。其中乔灌草、乔灌结构的阻滞率较高。

因此根据不同样地对 $PM_{2.5}$、PM_{10} 阻滞的整体情况,说明复合群落结构的绿地对 $PM_{2.5}$、PM_{10} 阻滞率大于单一结构群落结构的绿地。

2.4 $PM_{2.5}$、PM_{10} 与部分气象因子的相关性分析

2.4.1 温度与 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度的相关性分析

不同季节数码公园不同样地 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度与温度相关关系分析见图 11。

如图 11 所示,春季温度会持续上升至 16∶00 时后有微弱下降。$PM_{2.5}$ 浓度则持续下降直到 16∶00 时达到最低值后趋于稳定。而 PM_{10} 浓度变化趋势与温度变化无明显相关关系。春季温度与 $PM_{2.5}$ 浓度呈负相关关系($P<0.01$),线性拟合方程为 $y=1.706\ 7x+75.882$,决定系数(R^2)为 0.183。

夏季温度较高,且波动较大。$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度均随温度的升高而降低。夏季温度与 $PM_{2.5}$ 浓度呈负相关关系($P<0.01$),线性拟合方程为 $y=-4.644\ 8x+80.4$,决定系数(R^2)为 0.121,温度与 PM_{10} 浓度同样呈负相关关系($P=0.008<0.01$),线性拟合方程为 $y=-4.943\ 3x+207$,决定系数(R^2)为 0.06,拟合程度较弱。由于夏季处于高温、高湿状态,$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度受多种因素影响,导致拟合数据离散程度高。

秋季 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度先升高后降低,随后再次微弱上升后趋于稳定。对秋季 $PM_{2.5}$ 浓度与温度数据进行线性回归分析后发现,温度与 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度均呈负相关关系($P<0.01$),$PM_{2.5}$ 线性回归方程为 $y=-4.088\ 2x+144.14$,决定系数(R^2)为 0.243 6,PM_{10} 线性回归方程式为 $y=-2.845\ 1x+147.18$,决定系数(R^2)为 0.137 8。综合来看 $PM_{2.5}$ 浓度与温度的拟合度要高于 PM_{10} 浓度。

冬季温度先升高后降低。$PM_{2.5}$ 浓度则先降低后升高,对冬季 $PM_{2.5}$ 浓度与温度数据进行线性拟合后发现,温度与 $PM_{2.5}$ 浓度呈负相关关系($P<0.01$),线性回归方程为 $y=-5.031\ 1x+126.83$,决定系数(R^2)为 0.216 4。而 PM_{10} 浓度与温度间无明显相关性($P=0.063>0.01$)。此变化可能与冬季供暖、燃煤量增加有关。

综合以上结果可得出,在春夏秋冬季 $PM_{2.5}$ 浓度与温度均呈负相关,而仅在夏秋季 PM_{10} 浓度与温度呈负相关,春冬季无相关性,且 $PM_{2.5}$ 浓度与温度的相关性要高于 PM_{10} 浓度。

2.4.2 相对湿度与 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度的相关性分析

不同季节数码公园不同样地 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度与相对湿度相关关系分析见图 12。

如图 12 所示,春季相对湿度会从 87%下降至约 28%。$PM_{2.5}$ 浓度一直处于下降状态,最终达 27 μg/m^3;而 PM_{10} 浓度变化无规律。春季 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度与相对湿度的线性回归分析可知,$PM_{2.5}$ 浓度与相对湿度间呈显著正相关($P<0.01$),线性回归方程为 $y=0.789\ 9x+14.222$,决定系数(R^2)为 0.207;PM_{10} 浓度则与相对湿度间无相关性($P=0.829>0.01$)。

夏季相对湿度先降至 58%后再升至 63.2%。$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度变化趋势与相对湿度变化基本一致,先大幅下降后保持平稳。$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度与相对湿度间呈显著正相关,$PM_{2.5}$ 浓度与相对湿度的线性回归方程为 $y=0.612\ 4x-2.755\ 8$,决定系数(R^2)为 0.121 1($P<0.01$);PM_{10} 浓度与相对湿度的线性回归方程为 $y=0.978\ 5x-8.397\ 5$,决定系数(R^2)为 0.142 5($P<0.01$)。

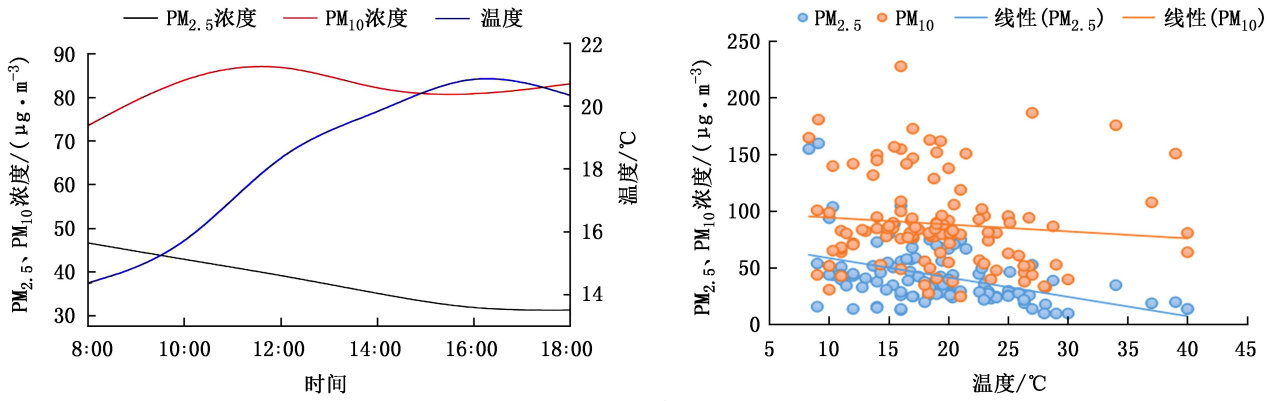
秋季相对湿度变化与 $PM_{2.5}$ 浓度、PM_{10} 浓度"波谷"出现时间大约有 1 h 时间差,并且相对湿度开始上升时,$PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 浓度开始处于平稳。秋季相对湿度与 $PM_{2.5}$ 浓度间呈正相关关系($P<0.01$),线性拟合方程为 $y=0.888\ 2x+14.742$,决定系数(R^2)为 0.177;与 PM_{10} 间相关性不强($P=0.027<0.05$),其线性拟合方程为 $y=0.362x+70.939$,决定系数(R^2)为 0.034 8,拟合度较低。

冬季相对湿度先降低后升高。$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度变化也出现同样趋势。冬季相对湿度与 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度间呈正相关关系($P<0.01$),$PM_{2.5}$ 与相对湿度的线性拟合方程为 $y=2.043\ 1x+11.59$,决定系数(R^2)为 0.406 9;PM_{10} 与相对湿度的线性拟合方程为 $y=1.519\ 2x+85.963$,决定系数(R^2)为 0.165。$PM_{2.5}$ 浓度与相对湿度的拟合度更高。

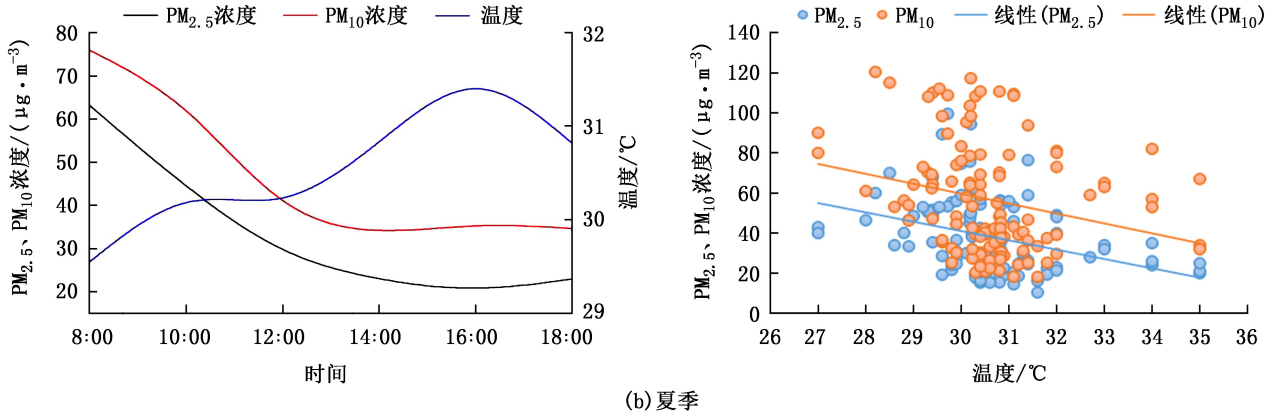
综合上述结果,春夏秋冬 4 个季节的 $PM_{2.5}$ 浓度与相对湿度间均呈显著正相关,而仅在夏季和冬季 PM_{10} 浓度与相对湿度间呈显著正相关,在春秋季两者间无相关性。

2.4.3 风速与 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度的相关性分析

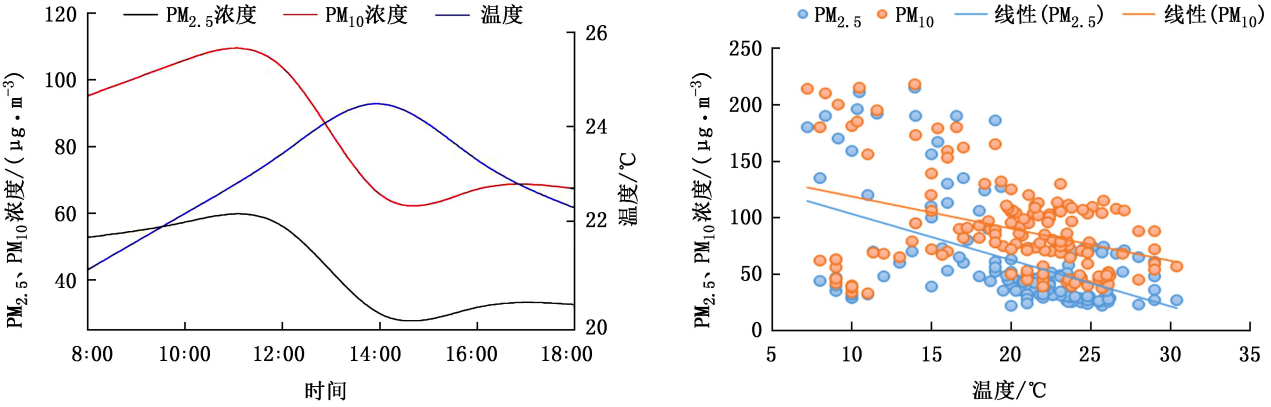
不同季节数码公园不同样地 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度与风速的相关关系分析见图 13。



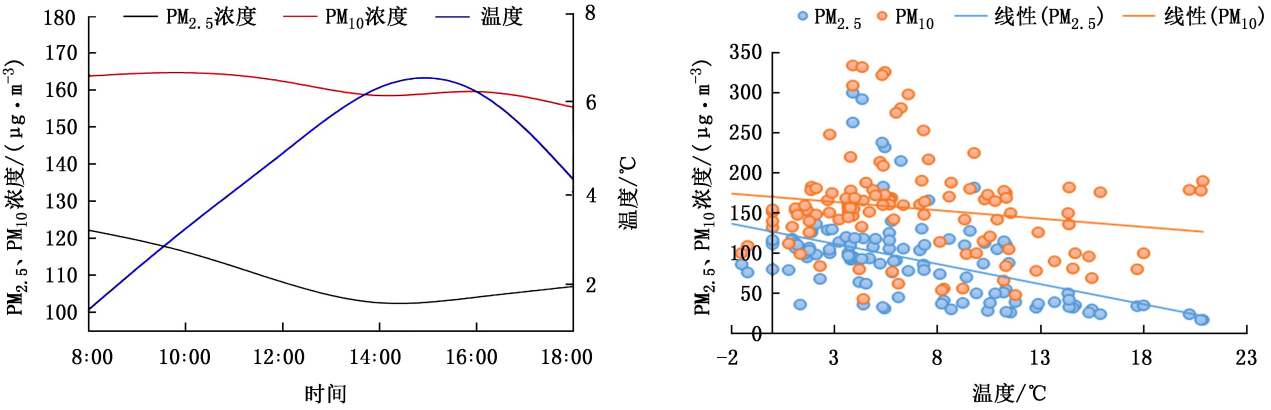
(a)春季



(b)夏季



(c)秋季



(d)冬季

图 11　不同季节数码公园 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度与温度相关性分析

Fig. 11　Correlation analysis of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations and temperature in different seasons

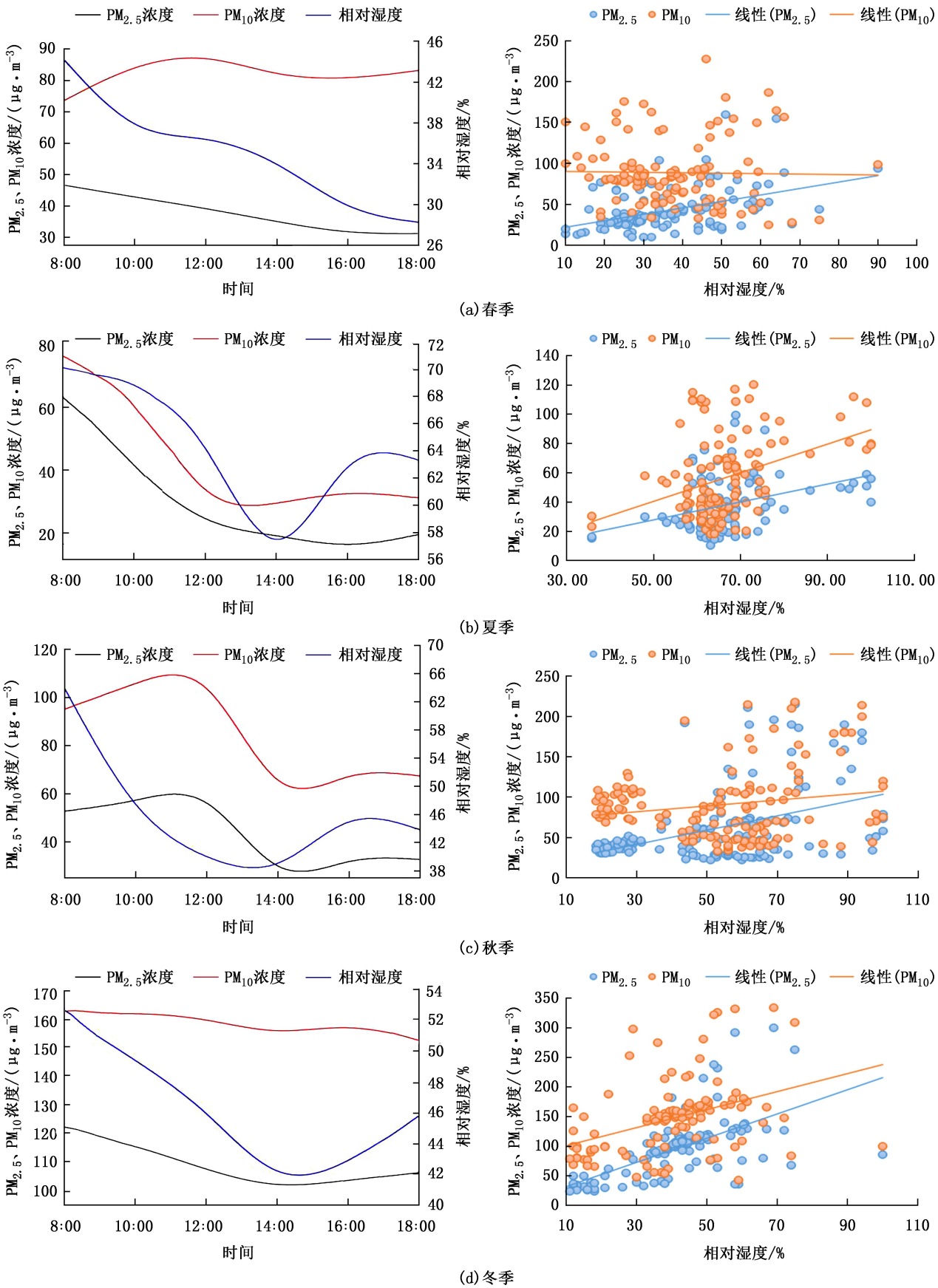
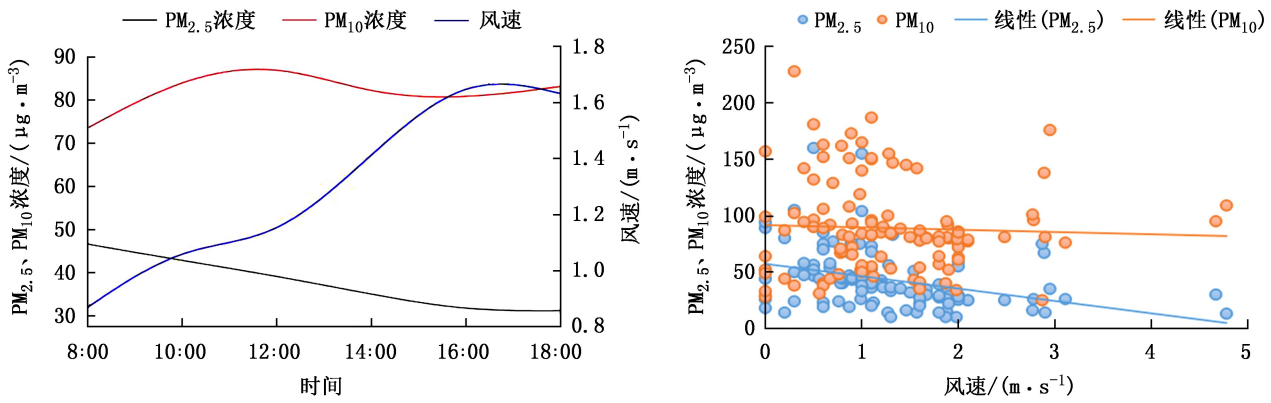
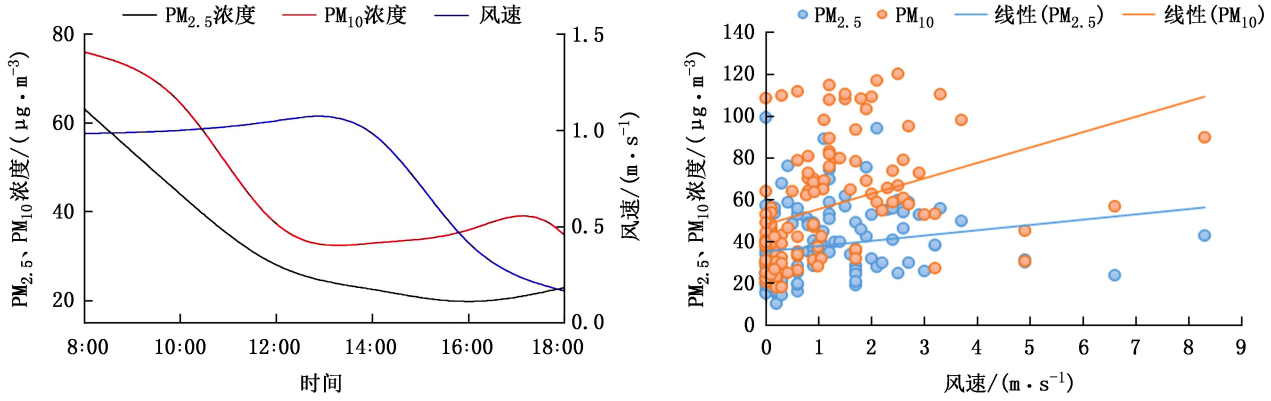


图 12　不同季节数码公园 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度与湿度相关性分析

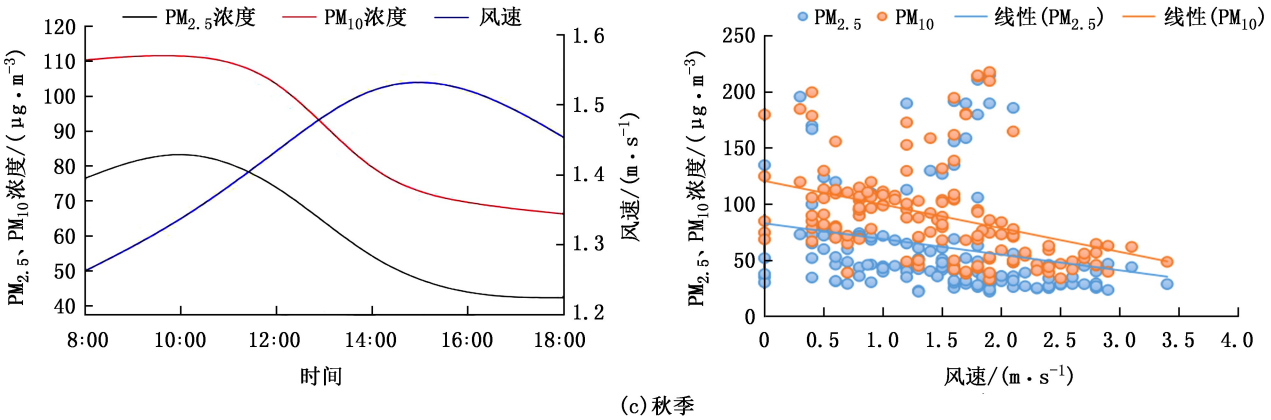
Fig. 12　Correlation analysis of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations and humidity in different seasons



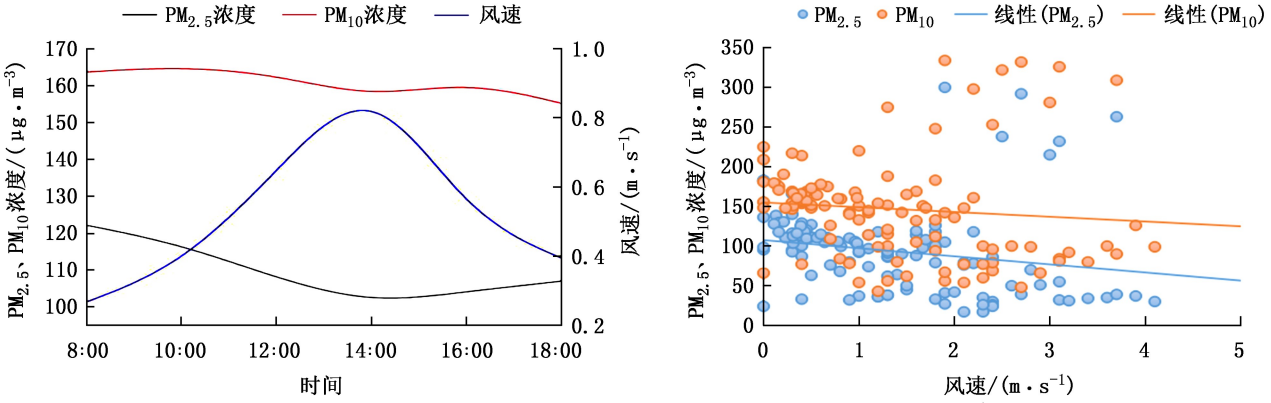
(a)春季



(b)夏季



(c)秋季



(d)冬季

图 13　冬季数码公园 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度与风速相关性分析

Fig. 13　Correlation analysis of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations and wind speed in winter

如图 13 所示,春季风速变化趋势为先增大后减小。期间 $PM_{2.5}$ 浓度下降较快,而 PM_{10} 浓度变化不随风速的变化而变化。$PM_{2.5}$ 浓度与风速间呈负相关($P<0.01$),PM_{10} 浓度与风速间无相关性($P=0.645>0.05$);$PM_{2.5}$ 浓度与风速的线性拟合方程为 $y=-10.978x+57.277$,决定系数(R^2)为 0.129,$PM_{2.5}$ 浓度与风速的线性拟合方程为 $y=-2.035\ 4x+91.576$,决定系数(R^2)为 0.001 9。

夏季风速多处于 0~1 m/s,与春季不同,夏季 $PM_{2.5}$ 浓度与风速间呈正相关($P=0.041<0.05$),PM_{10} 浓度与风速间同样呈正相关($P<0.05$)。$PM_{2.5}$ 浓度与风速的拟合方程为 $y=2.535\ 1x+35.346$,决定系数(R^2)为 0.035 9,拟合程度较弱,PM_{10} 浓度与风速的线性拟合方程为 $y=7.372\ 9x+48.204$,决定系数(R^2)为 0.132 5。夏季风速较小,持续时间短,且植被茂盛,使得颗粒物难以扩散,导致 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度增大。

秋季风速与 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度变化趋势相反。$PM_{2.5}$ 浓度与风速间呈负相关($P=0.007<0.05$)。$PM_{2.5}$ 浓度与风速的线性拟合方程为 $y=-13.967x+82.95$,决定系数(R^2)为 0.051 4,PM_{10} 浓度与风速间也呈负相关($P<0.05$),PM_{10} 浓度与风速的线性拟合方程为 $y=-21.081x+120.77$,决定系数(R^2)为 0.136 7。

冬季风速先增大后减小。$PM_{2.5}$ 浓度在持续下降后趋于平稳,但相较于秋季变化幅度不大;PM_{10} 浓度在一天中的变化幅度较小,与风速间无相关性。$PM_{2.5}$ 浓度与风速间呈负相关($P<0.05$),线性拟合方程为 $y=-10.207x+107.5$,决定系数(R^2)为 0.052,线性拟合度弱;PM_{10} 与风速间无相关性,线性拟合方程为 $y=-5.992\ 5x+154.95$,决定系数(R^2)为 0.013,拟合度弱。

综合以上结果,$PM_{2.5}$ 浓度在春秋冬季与风速间呈负相关,在夏季与风速间呈正相关,在夏季 PM_{10} 浓度与风速间呈正相关,在秋季与风速间呈负相关,其他季节无相关性。

3 结论与讨论

3.1 不同植物群落内 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的时间变化

本研究得出 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度日变化一般呈现早高晚低的特征,这与多数学者的研究相似[8,16-18]。造成 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度日变化的主要原因是夜晚低气温易产生逆温层,空气颗粒物 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 在底层沉淀聚集,导致观测初始的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度较高;太阳升起后,地温逐渐升高,形成暖气团,携带细颗粒物逐渐上升到高度 1.5 m 以上,因此不同样地 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度变化总体呈下降趋势[19]。

季节变化中,不同样地 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度均表现为秋冬季高、春夏季低,与一些研究[5,16-17,20]得出的结果夏秋季低、春冬季高略有不同。造成变化不同的原因可能是 2020 年初疫情较为严重,人车限制流动,1—3 月期间公园人车流动相比平时大幅减少,本研究监测是从 2020 年 4 月开始,4、5 月各功能区人车流动不大,使得在此期间环境中颗粒物浓度受影响程度较小,春季不同样地 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度较低;秋季植物开始落叶,植物的滞尘能力下降,冬季空气对流能力减弱,不利于颗粒物扩散,并且受植物落叶以及生长缓慢的影响,使得植物叶片吸附空气颗粒物的能力下降,所以秋冬季 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度最高[15]。

不同季节不同植物群落内 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度存在显著差异,其中广场样地(S6)的 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度与其他样地相比差异最显著。研究表明增加林下植物的数量或盖度可以更好的消减空气颗粒物,增加植物群落的种植密度和郁闭度可以调节其滞尘能力[7]。

3.2 不同植物群落阻滞 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的能力分析

通过对各功能区植物群落对 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度阻滞能力的分析,发现改善空气颗粒物浓度和居民舒适度,要合理设计休憩区域的遮阴空间,合理搭配落叶乔木和常绿乔木的比例,建议在休息区或污染较重的区域多种植乔灌草结构植被,且要有一定数量的常绿乔木,以此来保证秋冬季植物群落的滞尘能力。张琳等[21]对郑州城市园林植物群落物种多样性进行研究,同样提出要注意丰富植物群落垂直结构层次的建议。在有限的条件内也可选择灌草结构植被,但要注意灌草结构的植物盖度,尽量保证较高的植物盖度;在绿地建设中,多层结构的绿地要优于单层结构的绿地,草坪结构作为最后的选择。不同植物具有不同的阻滞效率,也会影响其对颗粒物的阻滞作用[22],杜万光[7]从不同尺度研究了北京公园绿地颗粒物变化特征,得出不同种类植物个体滞尘具有明显差异性,而具有最强颗粒物滞留能力的植物不一定在植物群落阻滞率最高,这是由许多因素引起的,如植物群落的种植密度、群落结构等。因此后期要多从植物群落或绿地斑块等方面综合进行研究。

3.3 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度与气象因子的相关性分析

$PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度与气象因子间有显著相关关系,但均存在一定阈值。本研究得出温度与颗粒物浓度间呈负相关,与王誉洁等[8]研究结果基本一

致,主要原因是受太阳辐射的影响,气温升高,颗粒物随着空气对流向上扩散,进而使得 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度降低。有学者在研究中发现,温度过高时颗粒物浓度与温度呈正相关关系[23],与本研究结果有所不同,这是由于高温会使植物发生剧烈光化学反应,使 $PM_{2.5}$ 浓度上升。有学者研究得出,降雨天气会使相对湿度升高,能有效去除污染颗粒物[24]。而本研究是在一些限制条件下进行的,选取晴朗天气进行监测,相对湿度升高会聚集更多污染颗粒物[25],因此得出颗粒物浓度与相对湿度呈正相关关系。本研究中风速在春秋冬季与 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度呈负相关关系,而在夏季呈正相关关系,风速要达到一定阈值且保持一段时间才能有效降低 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度[8],而夏季风速小,持续时间短,植物群落内颗粒物很难在短时间内被清除,可能使内部颗粒物堆积,导致颗粒物浓度增高。春秋冬季风速较大,尤其秋冬季节风速增大,利于颗粒物扩散。

数码公园内影响 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度监测的因素较多,除受自然因素和人为因素影响外,还与环境内部的布局、水体、建筑的容积率等有密切关系。此外,本研究仅监测人体呼吸高度 1.5 m 处的 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度,今后可增加不同高度下各监测点的颗粒物浓度,在测量时间和仪器的限制下,研究还存在一些不足。关于人车流量、微生物等对 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度的影响有待进一步研究。

参考文献:

[1] ZANOBETTI A,SCHWARTZ J. The effect of fine and coarse particulate air pollution on mortality: A national analysis [J]. Environ Health Perspect,2009,117(6):898-903.

[2] TALLIS M,TAYLOR G,SINNETT D,et al. Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London,under current and future environments[J]. Landscape & Urban Planning,2011,103(2):129-138.

[3] 包红光. 城市公园绿地内空气颗粒物浓度时空变化规律[D]. 北京:中国林业科学研究院,2016.

[4] 中国环境监测总站,中华人民共和国生态环境部. 2019 年中国生态环境状况公报[R]. 北京:生态环境部,2019.

[5] 王翠连,张军,郑瑶,等. 郑州城区 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 质量浓度变化特征及其对气象因子的响应[J]. 环境保护科学,2019,45(6):76-83.

[6] 赵晨曦,王玉杰,王云琦,等. 细颗粒物 $PM_{2.5}$ 与植被关系的研究综述[J]. 生态学杂志,2013,32(8):2203-2210.

[7] 杜万光. 不同尺度下北京公园绿地颗粒物变化特征及影响因子研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2017.

[8] 王誉洁. 居住区绿地内空气 $PM_{2.5}$ 浓度的动态变化及影响因素[D]. 杭州:浙江农林大学,2019.

[9] 胡泽威. 浙江农林大学校园不同空间绿地植物群落 $PM_{2.5}$ 浓度变化特征[D]. 杭州:浙江农林大学,2019.

[10] 贾雨龙. 北京市四种道路防护林内 $PM_{2.5}$ 浓度变化规律研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2014.

[11] 王晓磊,王成,古琳,等. 春季不同天气城市街头绿地内 $PM_{2.5}$ 浓度分布特征研究[J]. 生态环境学报,2014(6):972-978.

[12] 王誉洁,黄天丽,孙丰宾,等. 冬季居住区不同功能绿地 $PM_{2.5}$ 浓度变化及其与气象因子的关系[J]. 西北林学院学报,2019,34(4):239-245.

[13] 刘宇,黄旭,偶春,等. 夏季不同结构绿地空气 $PM_{2.5}$ 浓度与气候因子关系[J]. 西北林学院学报,2015,30(5):241-245.

[14] 杨貌,张志强,陈立欣,等. 春季城区道路不同绿地配置模式对大气颗粒物的削减作用[J]. 生态学报,2016,36(7):2076-2083.

[15] 路琛,张祥,邱玲,等. 不同植被结构校园绿地对空气颗粒物浓度影响研究[J]. 中国园林,2020,36(8):113-118.

[16] 张羽,张振明,杨汀昱,等. 近地表不同下垫面大气颗粒物浓度变化特征[C]//《环境工程》2019 年全国学术年会论文集(下册). 北京:工业建筑杂志社有限公司,2019:5.

[17] 依再提古丽·外力,王明力,杨建军,等. 2015—2018 年乌鲁木齐市 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 时空分布特征[J]. 环境科学研究,2020,33(8):1749-1757.

[18] 张建设,冯万富,史晓海,等. 不同绿地结构对 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的消减作用[J]. 江苏农业科学,2019,47(21):302-304.

[19] 戴菲,陈明,朱晟伟,等. 街区尺度不同绿化覆盖率对 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 的消减研究——以武汉主城区为例[J]. 中国园林,2018(3):105-110.

[20] 马格,田国行,李永华,等. 郑州市气象因子对大气颗粒物浓度的影响研究[J]. 气象与环境科学,2018,41(3):29-38.

[21] 张琳,孟亚南,王佩佩,等. 郑州城市园林植物群落物种多样性研究[J]. 林业资源管理,2017(6):72-76.

[22] 鲁敏,李英杰. 部分园林植物对大气污染物吸收净化能力的研究[J]. 山东建筑工程学院学报,2002(2):45-49.

[23] 曾凡. 武汉市光谷局域地区环境空气中颗粒物分布特征研究[D]. 武汉:华中科技大学,2011.

[24] 吴志萍. 城市不同类型绿地空气颗粒物浓度变化规律的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2007.

[25] 古孜扎尔·米吉提. 乌鲁木齐冬季南部大气 $PM_{2.5}$ 化学组成特征及来源分析[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2014.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.013

陕西汉中朱鹮国家级自然保护区空间优化研究

王腾飞[1],王国峰[2],王亚萍[1],雷雅凯[1]
(1. 河南农业大学 风景园林与艺术学院,河南 郑州 450002;
2. 国家林业和草原局西北调查规划设计院,陕西 西安 710041)

摘要:以陕西汉中朱鹮国家级自然保护区为例,基于 2020 年 1 m 分辨率土地利用数据,对主要矛盾问题地类的斑块规模(大小)和景观人工干扰强度指数的空间分布进行分析。研究表明,保护区主要矛盾问题地类耕地、建设用地、交通用地主要分布在实验区;保护区整体景观人工干扰强度较低,高强度干扰主要在实验区南部地势平缓处,低强度干扰主要在核心区和缓冲区北部地势陡高处,高、中高、中、中低和低强度干扰在研究区的占比分别为 9.31%、8.74%、11.16%、17.11%和 53.68%;保护区中部即核心区和缓冲区南部及实验区北部景观破碎化程度较大,中强度干扰围绕中高强度干扰呈环状分布且有扩散趋势。建议减少规模较小的建设用地和耕地斑块数量,提升中部景观连通度,加强南部耕地保护质量,严格管控中高强度以上干扰区;对部分已成为朱鹮生境组成部分的耕地和居民点不宜强制调出和退出,可实行分区和分级管控,探索引入自然、科普教育和研学等低强度公益活动,带动周边社区经济。

关键词:空间优化;斑块规模;景观人工干扰强度;景观破碎化;景观连通性;陕西汉中朱鹮国家级自然保护区

中图分类号:S759.9;O186.14;X36 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0083-09

引文格式:王腾飞,王国峰,王亚萍,等. 陕西汉中朱鹮国家级自然保护区空间优化研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):83-91. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.013

WANG Tengfei, WANG Guofeng, WANG Yaping, et al. Spatial Optimization of Shaanxi Hanzhong Crested Ibis National Nature Reserve[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):83-91. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.013

Spatial Optimization of Shaanxi Hanzhong Crested Ibis National Nature Reserve

WANG Tengfei[1], WANG Guofeng[2], WANG Yaping[1], LEI Yakai[1]
(1. College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;
2. Northwest Survey Planning and Design Institute, National Forestry and Grassland Administration, Xi'an 710041, China)

Abstract: This study analyzed the spatial distribution of patch dimension and landscape artificial disturbance intensity index of Shaanxi Hanzhong Crested Ibis National Nature Reserve based on 1-meter resolution land use data in 2020. The results showed that the main contradiction problems of the reserve inclu-

收稿日期:2022-04-21.
基金项目:国家自然科学基金项目(31600579);河南省国际合作项目(HNGD2021035);河南省高等学校青年骨干教师资助项目(2020GGJS049).
第一作者:王腾飞(1995-),男,河南林州人,硕士研究生. 研究方向为风景园林与自然保护地规划设计. Email:wwwtf837@163.com
责任作者:雷雅凯(1985-),男,河南平顶山人,副教授. 研究方向为风景园林规划与公共健康、自然保护地规划设计实践与理论研究、国土空间规划设计与理论研究. Email:lykfjyl@163.com

ding cultivated land, construction land, and transportation land, were mainly distributed in the experimental area; the artificial disturbance intensity of the whole landscape was low, and the high intensity disturbance was mainly in the gentle area in the south of the experiment area, while the low intensity disturbance was mainly in the steep area in the north of the core area and buffer zone, and the proportion of high, medium-high, medium-low and low-intensity disturbance in the study area was 9.31%, 8.74%, 11.16%, 17.11% and 53.68%, respectively; the landscape fragmentation degree was large in the central part of the reserve, namely the core area, the southern buffer area and the northern part of the experimental area, with moderate to high intensity interference distributed in a circular pattern and showing a diffusion trend. This paper suggested to reduce the number of small construction land and cultivated land patches, improve the connectivity of landscape in central area, strengthen the protection quality of cultivated land in southern area, and strictly control the interference areas with medium and high intensity. Some cultivated land and residential areas, which had become part of the habitat of crested ibis, should not be forcibly transferred or withdrawn. Zoning and hierarchical management and control could be implemented, and low-intensity public welfare activities such as nature, popular science education and research could be explored to promote the surrounding rural economy.

Key words: spatial optimization; patch dimension; landscape artificial disturbance intensity; landscape fragmentation; landscape connectivity; Shaanxi Hanzhong Crested Ibis National Nature Reserve

全球生物多样性丧失的总体趋势尚未得到有效遏制,生物多样性保护的形势依然严峻[1-2],在各国生物多样性保护实践中,建立自然保护地是最为有效的方式[3-4]。中国付出了巨大努力建设自然保护地来保护生物多样性避遭更多严峻威胁[5],2019 年 6 月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》,提出要建立以国家公园为主体、自然保护区为基础、各类自然公园为补充的自然保护地体系[6];2020 年 3 月,自然资源部、国家林业和草原局印发《关于做好自然保护区范围及功能分区优化调整前期有关工作的函》,正式启动了自然保护地整合优化工作,表明中国正在快速推进自然保护地体系重构[7]。自然保护区是中国自然保护地的主体组成部分[8],但其内部历史遗留问题较多,原住居民生产与生活涉及面广,影响大且最为突出[9],其中国家级自然保护区中以居民点和农业用地为主的人类活动约占人类活动总数的 78%和人类活动总面积的 89%[10]。研究表明,中国有 1/3 的土地在生物多样性保护与人类活动之间面临高度冲突风险[11],一些重要生态系统存在不同程度的破坏和丧失[12]。因此,对于自然保护区的土地利用及人类活动的研究非常有必要,对生物多样性保护、人与自然和谐发展十分重要。然而,大多学者的研究内容主要集中在保护空缺[13]、空间分布和重叠特征分析[14-15]等方面,对自然保护地体系建设提供边界整合优化建议,对自然保护地保护与发展的矛盾冲突问题及解决对策研究需要进一步加强。

人类活动对自然生态系统的干扰具有两面性,一方面可以维持生态系统的稳定性,另一方面也会改变生态系统的格局,生态环境中最脆弱的地区往往是人类活动强度最大的区域[16-17]。就自然保护区而言,可以认为人为干扰越少,强度越低,其保护状态越好[18-19]。人工景观表征了人类活动对自然环境的改造,是保护区生态环境评估的重要因素[20],有学者通过陆地表层人类活动强度算法模型[21]研究长江流域自然保护地空间分布与人类活动强度的关系,为不同人类活动强度带上的自然保护地提供保护建议[22],或通过人类干扰程度的空间分布及动态变化,为生物多样性保护优先区提供规划、监管和保护工作[23];也有学者结合景观类型的分布、面积大小以及对生态系统的影响程度,对研究区不同景观类型赋予相应的人为干扰指数,探讨人为干扰强度与景观格局的响应,研究表明,人为干扰是秦岭地区景观格局变化过程的关键影响因素,其强度越大,景观格局脆弱度、破碎度和斑块密度也越大,对区域自然环境的影响逐渐增加,以此对区域生态资源的保护与管理提出建议[24-25]。本研究通过景观资源环境影响因子并参考已有研究成果[26-29],构建景观人工干扰强度指数模型,识别和量化区域

景观受人类活动影响的干扰程度。

陕西汉中朱鹮国家级自然保护区(以下简称“研究区”或“保护区”)主要保护朱鹮(*Nipponia nippon*)及其栖息地。朱鹮偏好在人为活动频繁但干扰强度低、水田面积较大、植被覆盖度低的水田中觅食[30],是一种非常依赖农村生产资料而生存的鸟类[31]。随着社会经济和人口的发展,人类经济活动干扰的增强破坏了朱鹮栖息环境和觅食地[32],其内部空间急需优化以协调经济和人口发展与朱鹮栖息地保护在土地利用上的矛盾。因此,本研究选择朱鹮国家级自然保护区为研究对象,首先通过土地利用解译分析人类活动斑块分布现状,掌握其数量和面积特征;其次量化人类活动干扰强度区域,识别人与自然管控空间,最后提出主要人类活动斑块退出及边界和功能分区优化调整的空间管控建议和策略。

1 研究区概况

研究区总面积 3.75 万 hm^2,分为核心区(东、西两处)、缓冲区和实验区,位于中国陕西省汉水之滨的汉中,地处秦岭南坡中段的中低山地区,跨越洋县和城固县,主体在洋县境内。范围为东经 107°21′~107°44′,北纬 33°08′~33°35′,属于北亚热带向暖温带过渡的半湿润气候,年日照、年均温和年降水在不同地貌单元略有差异。地貌受湑水、溢水和党水河等多条河流的纵向切割,全境地势呈东北高陡、南部低缓和中部低平的地势特点,植被类型以暖温带落叶阔叶林、北亚热带常绿阔叶林和落叶阔叶林为主,植物随海拔变化呈明显的垂直梯度分布。研究区及周边区域涉及 43 个乡(镇)246 个行政村,共有人口 34.52 万人,其中 108 个行政村有 89 个居民点在研究区内,共有居民 7.76 万人,居民收入主要来自种植农作物、养殖、旅游服务和外出打工[33]。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

研究中采用的影像数据为 2020 年 6 月 8 日夏季 Landsat 8 OLI-TIRS 图像(轨道:128/37),精度为 30 m;2020 年 Google Earth 遥感影像(GeoEye 公司的 GeoEye-1 卫星)和天地图影像数据(资源三号测绘卫星),精度为 1 m。数字高程模型为 Google Earth 采用的 SRTM 数据,其采样间距为 7.85 m。道路和居民点数据来源于全国地理信息资源目录服务系统,其他数据来源于资料搜集、现场调查和相关部门提供。

首先在 ENVI 5.3 中将 Landsat 8 OLI-TIRS 遥感影像数据辐射定标、大气校正、裁剪、拼接和纠偏等处理后进行最大似然法分类,然后依据《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)、实地调研情况、ENVI 5.3 解译结果和研究需要,将土地利用/景观用地分为建设用地、林地、草地、裸地、滩涂、耕地、交通用地和水体 8 类,最后在 eCognition 9.0 软件中对 1 m 分辨率天地图影像进行监督分类和目视解译,提取土地利用矢量数据。为研究需要,在 ArcGIS 10.2 中使用消除工具,消除面积小于 50 m^2 的斑块。

2.2 景观斑块规模(大小)等级划分

斑块规模(大小)直接影响、甚至控制系统单元的抗干扰过程及产出功能[34],景观类型面积和斑块数量等景观特征单元指数能够定量地反映景观类型之间的变化[35]。有研究表明,大型绿地斑块不仅决定了绿地空间的总体变化趋势,也对整体绿地空间连接度起到决定性作用[36],并且区域内面积越大的斑块重要性指数值越高,也与其位置等因素相关[31]。因此,为研究需要,按照斑块面积大小和相关文献参考[36-37],将建设用地、耕地和交通用地等干扰性景观斑块划分为 8 个规模等级(表 1),分析不同景观斑块规模等级的空间分布差异。

表 1　建设用地、交通用地和耕地景观斑块规模等级划分

Tab. 1　Scale grades of construction land, transportation land and cultivated land landscape patch　m^2

景观类型	斑块规模等级							
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ
建设用地	≤1000	1000~2500	2500~5000	5000~10000	10000~30000	30000~50000	50000~100000	>100000
交通用地	≤1500	1500~4000	4000~7000	7000~15000	15000~25000	25000~50000	50000~150000	>150000
耕地	≤5000	5000~10000	10000~25000	25000~30000	30000~50000	50000~100000	100000~1000000	>1000000

2.3 景观人工干扰强度指数模型

自然和人工因素共同影响自然保护区景观环境,相比自然因素在长时空尺度内的作用,人工因素在短时空尺度内的作用更为明显。因此,人类活动

干扰较多的耕地、村镇建设用地和交通用地等土地利用空间变化是景观环境变化的主导因素，景观环境的自然特征与人工化特征空间呈此消彼长趋势。采用景观人工干扰强度指数来分析自然保护区人为活动的影响情况。计算公式为：

$$LHAI = \sum_{i=1}^{n} S_i \times \frac{R_i}{S} \quad (1)$$

式中：LHAI 为景观人工干扰强度指数；n 为研究区内景观类型数量；S_i 为第 i 种景观类型的面积；R_i 为第 i 种景观类型的影响因子；S 为各景观类型面积之和。

根据研究区现状和研究目的，结合相关论文研究成果[26-29,38]，确定研究区景观资源环境影响因子（表 2）。景观人工干扰强度指数通过 100 m×100 m 的评价单元计算，并以研究区环境特点和土地利用格局进行普通克里格插值，运用 ArcGIS 10.2 软件的自然断点法将景观人工干扰强度划分为高强度、中高强度、中强度、中低强度和低强度 5 个等级。

表 2 景观资源环境影响因子

Tab. 2 Environmental impact factors of landscape resources

景观类型	景观资源环境影响状况	影响因子
耕地	受人类活动影响大，部分可逆，对资源环境影响较大	0.70
林地	对资源环境影响较小，有生态维护调节作用	0.10
草地	对资源环境影响较小，有生态维护调节作用	0.20
滩涂	对资源环境影响较小，有生态维护调节作用	0.30
水体	河流受人类活动影响较小，对资源环境影响较小；部分坑塘、水库受人类活动影响明显，对资源环境影响较大	0.40
建设用地	受人类活动影响大，大多不可逆，对资源环境影响大	0.95
交通用地	受人类活动影响显著，大多不可逆，对资源环境影响大	1.00
裸地	受人类活动影响大，部分可逆，对资源环境影响较大	0.75

3 结果与分析

3.1 主要土地利用矛盾问题分析

研究区内存在与保护目标不相符的土地利用类型，主要矛盾问题地类耕地、建设用地和交通用地分布较广泛，主要在研究区主体南部集中分布，中部分散分布；核心区和缓冲区均有人类生产、开垦等生活活动，人类活动频繁且范围较大，核心区和缓冲区南部与实验区北部破碎化分布的耕地、建设用地是矛盾冲突集中区域，这与当地自然保护区的管控和生物多样性保护产生较大冲突（图 1）。

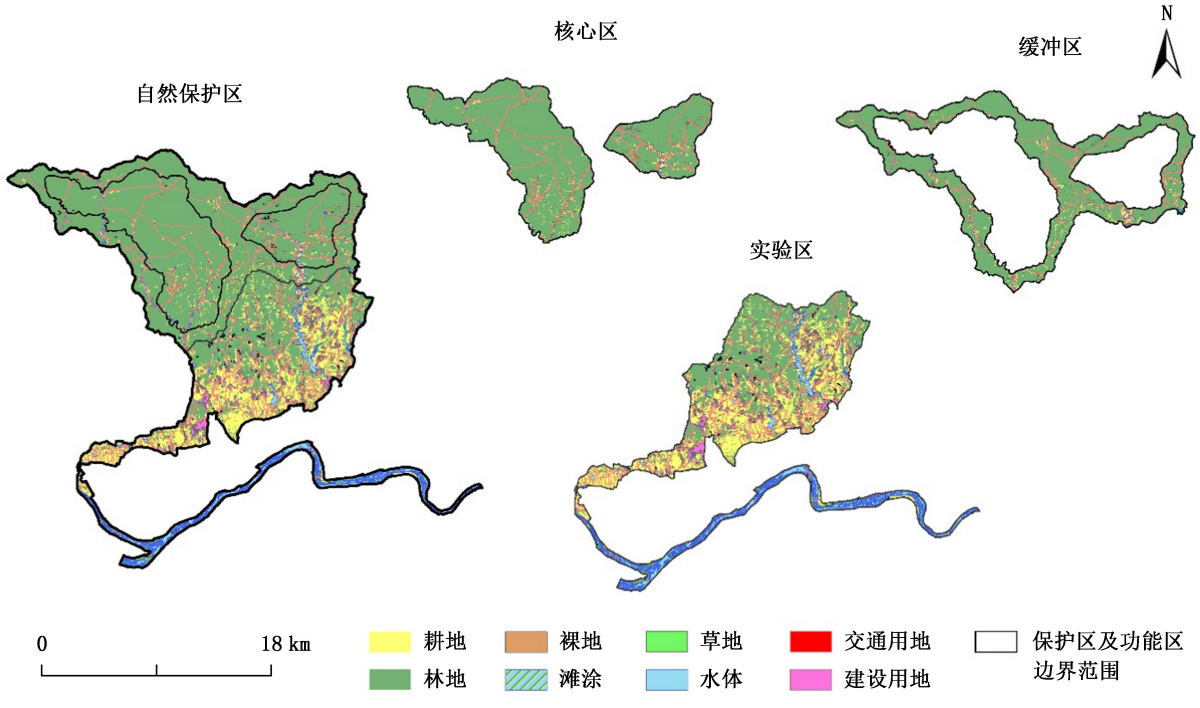


图 1 景观用地分类

Fig. 1 Classification of landscape lands

研究区涉及耕地、建设用地和交通用地的面积为 6 466.32、870.15、397.72 hm^2,分别占研究区总面积的 17.22%、2.32%和 1.06%。建设用地斑块数量较多,景观破碎度最大,耕地景观破碎度不大的原因是其斑块平均面积较大(表 3)。

表 3　保护区景观类型统计

Tab. 3　Statistics of landscape types in the reserve

景观类型	斑块面积 CA /hm^2	占比 /%	斑块数 NP /个	占比 /%	景观破碎度 CI /(个·hm^{-2})	斑块平均面积 MPS /hm^2
耕地	6466.32	17.22	2742	21.18	0.4240	2.3582
林地	27161.87	72.34	4195	32.40	0.1544	6.4748
草地	337.77	0.90	370	2.89	1.0954	0.9129
裸地	135.30	0.36	185	1.44	1.3673	0.7314
滩涂	755.95	2.01	879	6.87	1.1628	0.8600
水体	1424.32	3.79	968	7.56	0.6796	1.4714
交通用地	397.72	1.06	188	1.45	0.4727	2.1155
建设用地	870.15	2.32	3419	26.41	3.9292	0.2545

耕地、建设用地和交通用地等干扰性景观大部分在实验区,耕地面积最大,其次为建设用地,核心区和缓冲区的交通用地面积大于建设用地,而实验区则相反。表明实验区的矛盾问题状况大于其他功能分区,且干扰性景观类型和面积与功能分区的管控要求有较大关系(表 4)。

表 4　功能分区景观类型统计

Tab. 4　Statistics of landscape types in functional zones

景观类型	核心区		缓冲区		实验区	
	面积 /hm^2	占比 /%	面积 /hm^2	占比 /%	面积 /hm^2	占比 /%
耕地	408.55	3.57	448.32	4.54	5609.45	34.55
林地	10787.97	94.39	9169.70	92.78	7204.20	44.37
草地	50.99	0.45	45.64	0.46	241.15	1.49
滩涂	7.47	0.07	16.01	0.16	732.47	4.51
水体	44.30	0.39	61.89	0.63	1318.13	8.12
交通用地	76.24	0.67	77.00	0.78	244.48	1.51
建设用地	39.77	0.35	55.78	0.56	774.60	4.77
裸地	13.31	0.12	8.64	0.09	113.35	0.70
总计	11428.59	/	9882.98	/	16237.83	/

3.2 干扰性景观类型斑块规模分析

耕地、建设用地和交通用地斑块规模等级的分布格局为Ⅰ级斑块数量最多,其次是Ⅱ级斑块;从面积分布来看,少数Ⅶ级和Ⅷ级斑块占优势地位,即斑块数量占比较少的Ⅶ级、Ⅷ级斑块的面积占比较大(表 5)。

表 5　保护区不同斑块规模等级下耕地、建设用地和交通用地数量

Tab. 5　Quantity of cultivated land ,construction land and transportation land at different patch scale levels in the reserve

用地类型		斑块规模等级							
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ
耕地	数量/个	1502	413	375	66	145	101	135	5
	占比/%	54.78	15.06	13.68	2.41	5.29	3.68	4.92	0.18
	面积/hm^2	283.93	296.47	604.18	180.73	569.96	710.33	3126.92	693.80
	占比/%	4.39	4.58	9.34	2.79	8.81	10.99	48.36	10.73
建设用地	数量/个	2449	557	182	108	79	18	19	7
	占比/%	71.63	16.29	5.32	3.16	2.31	0.53	0.56	0.20
	面积/hm^2	100.31	87.08	63.71	74.65	133.87	66.68	130.03	213.81
	占比/%	11.53	10.01	7.32	8.58	15.38	7.66	14.94	24.57
交通用地	数量/个	98	36	19	16	8	4	5	2
	占比/%	52.13	19.15	10.11	8.51	4.26	2.13	2.66	1.06
	面积/hm^2	5.18	8.75	10.25	16.31	16.10	13.30	49.28	278.55
	占比/%	1.30	2.20	2.58	4.10	4.05	3.35	12.39	70.04

随着耕地、建设用地和交通用地斑块规模等级的增大，斑块数量占比成反比减小，斑块面积占比总体呈曲折上升趋势，其中耕地在斑块规模等级Ⅲ和Ⅴ之间相交，且与Ⅳ最接近，建设用地在斑块规模等级Ⅱ和Ⅲ之间相交，且与Ⅲ最接近，交通用地在规模等级Ⅳ和Ⅵ之间相交，且与Ⅴ最接近，表明斑块面积小于 30 000 m^2 的耕地、斑块面积小于 5 000 m^2 的建设用地和斑块面积小于 50 000 m^2 的交通用地，其斑块总数量占比较大，但总面积占比较小，是影响研究区以及耕地、建设用地、交通用地等干扰性景观类型分布破碎化较大的因素（图 2）。

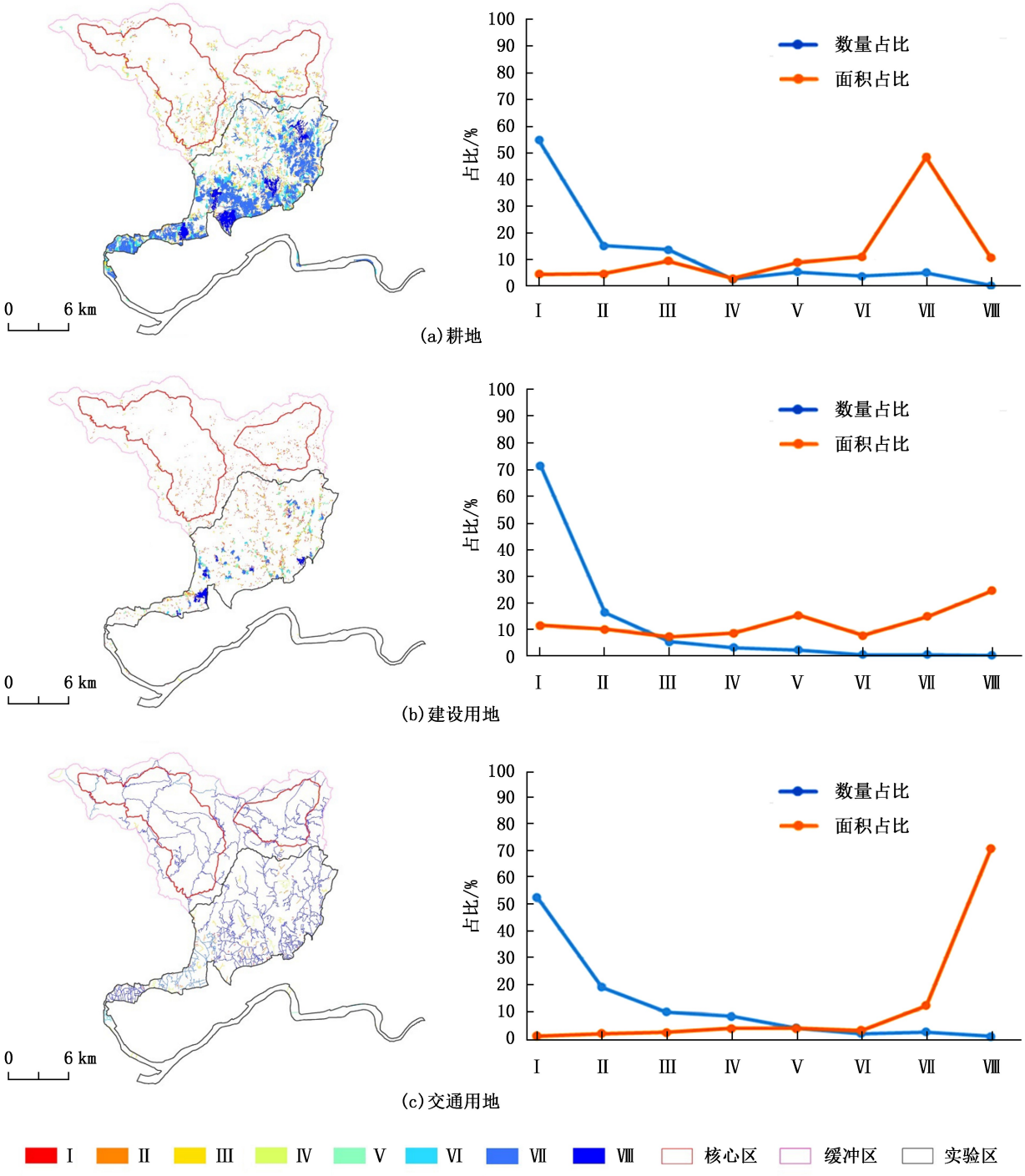


图 2　景观斑块规模等级空间分布及不同斑块规模等级的数量与面积占比变化关系

Fig. 2　Spatial distribution of landscape patch size grades and the relationship between the proportion of quantity and area of different patch size grades

从图 2 斑块规模等级空间分布可以看出,斑块面积小于 25 000 m^2 的耕地和斑块面积小于 5 000 m^2 的建设用地在研究区分布广泛;斑块面积大于 30 000 m^2 的耕地和斑块面积大于 10 000 m^2 的建设用地主要分布在实验区主体南部和东南部;交通用地在实验区南部的分布密度大于其他两个功能分区,其中斑块面积小于 50 000 m^2 的交通用地主要在实验区。表明分区管控有较大成效,核心区和缓冲区的人类活动未形成较大规模,但斑块数量较多、规模较小的耕地和建设用地影响了研究区中部连通度,造成较大景观破碎化,人类活动有从实验区向缓冲区和核心区移动的趋势,因此可退出及着重管控核心区和缓冲区南部及实验区北部斑块规模较小且分布破碎化的耕地和建设用地,同时减少交通用地规模和数量。

3.3 景观人工干扰强度分析

研究区整体景观人工干扰强度较低,高强度和中高强度干扰主要分布在南部地势平缓处,约占研究区总面积的 18.05%,低强度干扰主要分布在北部地势陡高处,约占研究区总面积的 53.68%。研究区中部即核心区和缓冲区南部以及实验区北部的景观人工干扰分布较为破碎化,大部分是中强度和中低强度干扰,部分中强度干扰围绕中高强度干扰呈环状分布,汉江河流段主要为中强度干扰,表明研究区景观人工干扰强度空间格局受地形地貌、景观类型和人类活动的综合影响,且中部人工干扰有扩散的趋势。3 个功能分区中,实验区高强度和中高强度干扰占比分别为 21.50% 和 19.33%,远大于其他两个区,核心区内无高强度干扰(图 3,表 6)。

综合以上分析结果表明,耕地、建设用地、交通用地的斑块规模、空间分布和集聚程度影响景观人工干扰强度。

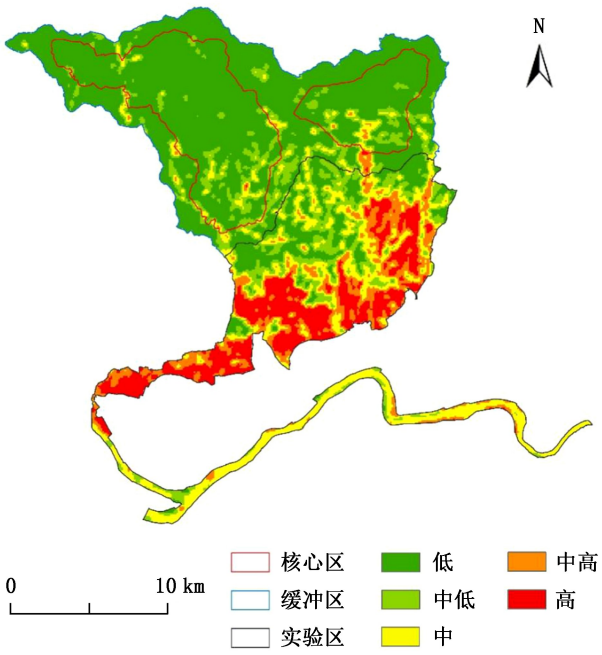


图 3　景观人工干扰强度指数分布

Fig. 3　Distribution of landscape artificial disturbance intensity index

表 6　景观人工干扰强度指数分区占比

Tab. 6　Regional proportion of landscape artificial disturbance intensity index　%

分区	低强度区	中低强度区	中强度区	中高强度区	高强度区
核心区	83.45	12.66	3.44	0.45	0.00
缓冲区	79.97	14.29	4.75	0.95	0.05
实验区	16.71	21.96	20.49	19.33	21.50
研究区	53.68	17.11	11.16	8.74	9.31

4 结论与建议

4.1 结论

通过土地利用/景观用地解译分析研究区现状土地利用矛盾问题,分析耕地、建设用地和交通用地景观斑块规模的空间分布,利用景观人工干扰强度指数模型识别人类活动对自然的干扰强度及区域。

1)朱鹮国家级自然保护区主要矛盾问题地类为耕地、建设用地和交通用地,且分布广泛,面积分别为 6 466.32、870.15、397.72 hm^2,占比分别为 17.22%、2.32% 和 1.06%。

2)朱鹮国家级自然保护区内斑块规模较大的建设用地和耕地主要分布在实验区,交通用地在实验区的分布密度大于其他功能分区;中部即核心区和缓冲区南部以及实验区北部,建设用地和耕地的景观斑块规模较小,数量较多,破碎化程度较大,且中部的中强度景观人工干扰围绕中高强度干扰呈环状分布,有扩散趋势。

3)朱鹮国家级自然保护区整体景观人工干扰强度较低,高、中高、中、中低和低强度干扰在研究区的占比分别为 9.31%、8.74%、11.16%、17.11% 和 53.68%;低强度干扰主要分布在北部地势陡高处,高强度干扰主要分布在实验区南部地势平缓处,核心区无高强度干扰;景观人工干扰强度的大小、空间

分布与耕地、建设用地、交通用地等干扰性景观斑块的规模、空间分布和聚集度有关。

4.2 建议

1)减少建设用地和耕地的景观斑块数量,降低整体景观人工干扰强度和分布范围。研究发现,朱鹮国家级自然保护区景观人工干扰强度的大小、空间分布与耕地、建设用地、交通用地的景观斑块规模、分布位置、聚集度有关。结合功能分区不同的管控要求[6-7],建议有序退出核心区、缓冲区内斑块面积小于 2 500 m^2 的建设用地和斑块面积小于 30 000 m^2 的耕地以及实验区内斑块面积小于 1 000 m^2 的建设用地和斑块面积小于 10 000 m^2 的耕地,实行退耕还林还湖还草工程,分区分类开展受损自然生态系统修复的同时保障当地居民的权益。

2)提高南部耕地保护质量,禁止建设用地和交通用地无限制扩张,加强管控南部高强度景观人工干扰。朱鹮保护区南部即实验区南部的耕地集中连片分布,规模较大的建设用地主要在实验区,随着建设用地和交通用地的发展,耕地破碎化程度加剧,景观人工干扰高强度和中高强度聚集分布。建议调出距离边界较近的建设用地和耕地,主要为下溢水村、纸坊街道、路家坡、屈家湾、上溢水村和周家坎村等斑块面积大于 10 000 m^2 的建设用地以及潘湾村、邓家村、张杨村等斑块面积小于 1 000 m^2 的建设用地聚集区域。

3)降低中部景观破碎化程度,加强连通性,防止中部景观人工干扰强度进一步扩大。朱鹮国家级自然保护区主体中部景观破碎化程度较大,建设用地和耕地的斑块规模较小,数量较多,交通用地密度较大,景观人工干扰强度较高且有扩大趋势。建议核心区和缓冲区中高强度以上景观人工干扰区域的建设用地和耕地在退出的情况下转为核心保护区,反之则转为一般控制区。

4)对于远离朱鹮国家级自然保护区边界区域的部分已成为朱鹮生境组成部分的耕地和居民点,不宜强制调出和退出。高强度干扰主要在实验区南部,核心区无高强度干扰,缓冲区有较多集中连片的低强度干扰区,建议实行管控分区和功能分区相结合的二级分区模式[39],核心区和缓冲区中低强度以下景观人工干扰区域转为核心保护区;核心区和缓冲区的中高强度以上景观人工干扰区域内的建设用地和耕地较为聚集且不宜退出的,如核心区的孟浴村、刘庄村、余家沟、桂峰村和铜车坝水电站以及缓冲区的马坪村、马家岭、宋家沟和沐浴沟等区域转为一般控制区。可深入研究朱鹮对于耕地和低密度居民点的依赖程度,兼顾主要保护对象朱鹮特殊性,探索保护与利用的合理机制,探索引入自然教育、科普教育、生态教育和研学等低强度活动类型。

参考文献:

[1] 中华人民共和国环境保护部. 中国履行《生物多样性公约》第五次国家报告[R]. 北京:中国环境出版社,2014: 2-16.

[2] 庄国泰,沈海滨. 生物多样性保护面临的新问题和新挑战[J]. 世界环境,2013(4):16-21.

[3] HANSEN A J,DEFRIES R. Ecological mechanisms linking protected areas to surrounding lands[J]. Ecological Applications,2007,17(4):974-988.

[4] WANG W,XIN L,DU J,et al. Evaluating conservation effectiveness of protected areas: Advances and new perspectives[J]. Biodiversity Science,2016,24(10):1177.

[5] XU H,TANG X,LIU J,et al. China's progress toward the significant reduction of the rate of biodiversity loss[J]. Bio Science,2009,59(10):843-852.

[6] 中共中央办公厅,国务院办公厅. 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》[Z]. 中华人民共和国国务院公报,2019(19):16-21.

[7] 自然资源部,国家林业和草原局. 关于做好自然保护区范围及功能分区优化调整前期有关工作的函[EB/OL]. (2020-02-10)[2020-02-10]. http://www.china-npa.org/info/2835.jspx.

[8] LI J,WANG W,AXMACHER J C,et al. Streamlining China's protected areas[J]. Science,2016,351(6278):1160.

[9] 邱胜荣,唐小平. 中国自然保护区历史遗留问题成因及其疏解途径研究[J]. 世界林业研究,2020,33(4):94-98.

[10] 环境保护部. 环境保护部通报国家级自然保护区人类活动遥感监测情况[EB/OL]. https:/www.cenews.com.cn/environment/wxgc/zcxw/201702/t20170213_821137.html.

[11] PENG Q,YANG R,CAO Y,et al. One-third of lands face high conflict risk between biodiversity conservation and human activities in China[J]. Journal of Environmental Management,2021,299:113449.

[12] XU W,FAN X,MA J,et al. Hidden loss of wetlands in China[J]. Current Biology,2019,29(18):3065-3071.

[13] 周语夏,刘海龙,赵智聪,等. 秦巴山脉国家公园与自然保护地空间体系研究[J]. 中国工程科学,2020,22(1):86-95.

[14] 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.
[15] 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.
[16] LIANG F C,LIU L Q. Quantitative analysis of human disturbance intensity of landscape patterns and preliminary optimization of ecological function regions:A case of minqing county in fujian province[J]. Resources Science,2011,33(6):1138-1144.
[17] 王成. 从自然干扰看人类干扰的合理性[J]. 吉林林学院学报,1998,14(4):39-43.
[18] 郭子良,崔国发,王小平,等. 内蒙古阿鲁科尔沁国家级自然保护区景观动态及保护成效[J]. 应用生态学报,2017,28(8):2649-2656.
[19] 赵智聪,钟乐,杨锐. 试论生态文明新时代自然保护区之基础性地位[J]. 中国园林,2020,36(8):6-13.
[20] 刘方正,张鹏,张玉波,等. 基于人工地物时空变化的自然保护区空间近邻效应评估——以沙坡头国家级自然保护区为例[J]. 生物多样性,2017,25(10):1105-1113.
[21] 徐勇,孙晓一,汤青. 陆地表层人类活动强度:概念、方法及应用[J]. 地理学报,2015,70(7):1068-1079.
[22] 贾艳艳,唐晓岚,张卓然. 长江中下游流域自然保护地空间分布及其与人类活动强度关系研究[J]. 世界地理研究,2020,29(4):845-855.
[23] 刘慧明,刘晓曼,李静,等. 生物多样性保护优先区人类干扰遥感监测与评价方法[J]. 地球信息科学学报,2016,18(8):1103-1109.
[24] 郭少壮,白红英,孟清,等. 1980—2015 年秦岭地区景观格局变化及其对人为干扰的响应[J]. 应用生态学报,2018,29(12):4080-4088.
[25] 潘晨,周立志,王晓辉,等. 人类活动对升金湖国家级自然保护区景观格局的影响[J]. 生态科学,2021,40(2):116-124.
[26] 田鹏,李加林,姜忆湄,等. 海湾景观生态脆弱性及其对人类活动的响应——以东海区为例[J]. 生态学报,2019,39(4):1463-1474.
[27] 刘永超,李加林,袁麒翔,等. 人类活动对港湾岸线及景观变迁影响的比较研究——以中国象山港与美国坦帕湾为例[J]. 地理学报,2016,71(1):86-103.
[28] 崔王平,阳兵,睿康,等. 基于梯度分析的重庆市主城区城市扩展的景观生态效应[J]. 生态学杂志,2017,36(1):205-215.
[29] 陈喜东,石培基,岳晓新,等. 河谷盆地型城市景观格局演变及其生态效应[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2020,56(2):205-210,218.
[30] 宋虓. 野生朱鹮种群的觅食地选择研究[D]. 北京:北京林业大学,2012.
[31] 刘冬平,王超,庆保平,等. 朱鹮保护 30 年——基于社区的极小种群野生动物保护典范[J]. 四川动物,2014,33(4):612-619.
[32] 李保国,杨兴中,王开锋,等. 朱鹮在陕西地理分布的变迁[J]. 生态学杂志,1992(5):52-57,60.
[33] 陈娟. 陕西朱鹮自然保护区居民对朱鹮保护及其旅游业的态度研究[J]. 科技风,2012(15):193.
[34] 钱乐祥,李爽,李红伟,等. 伊洛河流域森林景观要素斑块特征分析——以河南省洛宁县为例[J]. 中国生态农业学报,2003(3):28-30.
[35] 陈爱莲,朱博勤,陈利顶,等. 双台河口湿地景观及生态干扰度的动态变化[J]. 应用生态学报,2010,21(5):1120-1128.
[36] 穆博,李华威,AUDREY L,等. 基于遥感和图论的绿地空间演变和连通性研究——以郑州为例[J]. 生态学报,2017,37(14):4883-4895.
[37] 齐珂,樊正球. 基于图论的景观连接度量化方法应用研究——以福建省闽清县自然森林为例[J]. 生态学报,2016,36(23):7580-7593.
[38] 冯志贤,张继贤,侯伟,等. 基于地表覆盖分类的生态环境人为干扰度分析——以北京市为例[J]. 生态学杂志,2017,36(2):508-516.
[39] 孙鸿雁,余莉,蔡芳,等. 论国家公园的“管控—功能”二级分区[J]. 林业建设,2019(3):1-6.

责任编辑:许易琦

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 014

双柏县自然保护地整合优化分析

李 晋[1],杨忠兴[1],徐吉洪[1],华朝朗[1],陶 晶[1],晁增华[1],罗怀秀[1],俞 瑶[1],龚纯伟[2]
(1. 云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051; 2. 昆明理工大学津桥学院,云南 昆明 650106)

摘要:分析云南省双柏县自然保护地存在的历史遗留矛盾冲突问题,提出了自然保护地整合优化思路,调整自然保护地保护范围,大幅减少了自然保护地历史遗留矛盾冲突涉及的土地及人口等问题,完善了自然保护地空间布局。

关键词:自然保护地整合优化;自然保护区;森林公园;湿地公园;矛盾冲突面积;双柏县

中图分类号:S759. 9;X36 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0092-06

引文格式:李晋,杨忠兴,徐吉洪,等. 双柏县自然保护地整合优化分析[J]. 林业调查规划,2023,48(5):92-97. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 014

LI Jin, YANG Zhongxing, XU Jihong, et al. Integration and Optimization of Natural Protected Areas in Shuangbai County [J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):92-97. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 014

Integration and Optimization of Natural Protected Areas in Shuangbai County

LI Jin[1], YANG Zhongxing[1], XU Jihong[1], HUA Chaolang[1], TAO Jing[1], CHAO Zenghua[1], LUO Huaixiu[1], YU Yao[1], GONG Chunwei[2]
(1. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China;
2. Kunming University of Science and Technology Oxbridge College, Kunming 650106, China)

Abstract: This paper analyzed the historical conflicts of natural protected areas in Shuangbai County of Yunnan Province, and proposed the idea of integrating and optimizing the natural protected areas, to adjust the protection scope of natural protected areas, significantly reduce the land and population issues involved in historical conflicts and improve the spatial layout of natural protected areas.

Key words: integration and optimization of natural protected areas; nature reserve; forest park; wetland park; area of conflicts; Shuangbai County

建立以国家公园为主体的自然保护地体系,是贯彻习近平生态文明思想的重大举措,是党的十九大提出的重大改革任务。自然保护地整合优化,是推进构建以国家公园为主体的自然保护地体系的重要步骤,是解决保护地存在问题和矛盾冲突、提升自然保护地管理水平的重要手段。根据《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》(中办发〔2019〕42 号)[1]、《自然资源部 国家林业和草原局关于做好自然保护区范围及功能分区优化调整前期有关工作的函》(自然资函〔2020〕71

收稿日期:2022-02-09;**修回日期**:2022-02-10;**二次修改日期**:2022-03-08.
第一作者:李晋(1985-),女,山西长治人,工程师. 主要从事林业调查规划、自然保护地研究监测及规划工作. Email:953383565@ qq. com
责任作者:徐吉洪(1978-),男,云南马龙人,高级工程师. 主要从事林业调查规划、自然保护地研究监测及规划工作. Email:23213076@ qq. com

号)[2]的有关精神和要求,云南省于 2020 年启动自然保护地整合优化工作。本文针对双柏县现有自然保护地进行整合,优化自然保护地边界范围和管控区划,对有序解决双柏县自然保护地历史遗留问题,逐步完善自然保护地空间布局有积极意义。

1 双柏县自然保护地现状

双柏县位于云南省楚雄彝族自治州东南部,地跨东经 101°03′~102°02′,北纬 24°13′~24°55′,国土面积 389 234 hm^2。双柏县现有各级各类自然保护地 6 处,批复面积(含交叉重叠)累计 39 566.13 hm^2,占比为 10.16%。根据《自然资源部办公厅 国家林业和草原局办公室关于自然保护地整合优化有关事项的通知》(自然资办发〔2020〕42 号)[3],《国家林业和草原局自然保护地司关于加强和规范自然保护地整合优化预案数据上报工作的函(林保区便函〔2020〕14 号)》[4],双柏白竹山—鄂嘉省级风景名胜区、双柏查姆湖国家级水利风景区不纳入本次自然保护地整合优化。双柏县参与整合优化的自然保护地 4 个,批复面积 29 006.13 hm^2,矢量面积 28 722.9 hm^2。4 个自然保护地在范围上无交叉重叠。

双柏县自然保护地详细情况见表 1。双柏县自然保护地现状分布情况见图 1。

表 1　双柏县自然保护地详细情况

Tab. 1　Current status of natural protected areas in Shuangbai County

保护地名称	保护地类型	级别	批复面积/hm^2	矢量面积/hm^2	类型和主要保护对象
云南哀牢山国家级自然保护区(双柏片区)	自然保护区	国家级	10204.00	10031.35	属野生生物类别野生动物类型自然保护区。主要保护对象:西黑冠长臂猿、印支灰叶猴、黑颈长尾雉、喜马拉雅红豆杉、长蕊木兰、水青树为代表的珍稀濒危野生动植物物种及其栖息地,以及我国亚热带地区面积最大的中山湿性常绿阔叶林生态系统
双柏恐龙河州级自然保护区	自然保护区	州级	10391.00	10368.04	属野生生物类别野生动物类型保护区。主要保护对象:绿孔雀、黑颈长尾雉等珍稀濒危野生动植物及其栖息地;滇南苏铁、千果榄仁等珍稀濒危野生植物;云南省内纬度最北的热带季雨林,也是楚雄州唯一的热带季雨林,低海拔沟谷分布的以千果榄仁、八宝树为建群种的热带季雨林;元江中上游重要水源涵养地
双柏白竹山州级自然保护区	自然保护区	州级	8394.00	8313.19	属森林生态系统类型保护区。主要保护对象:中山湿性常绿阔叶林、半湿润常绿阔叶林、暖温性针叶林森林生态系统及珍稀濒危野生动植物。同时,保护区森林生态系统稳定,水源涵养功能强大,为元江上游水土保持提供重要的生态功能
南安省级森林公园	森林公园	省级	17.13	10.32	城镇风景林,主要为柏树、桉树、黑荆树等人工林
合计			29006.13	28722.90	

2 整合优化数据准备和工作步骤

2.1 资料收集

收集双柏县纳入整合优化的 4 处自然保护地的相关资料,包括:保护地申请、批准建立、晋升及调整自然保护地的系列文件,自然保护地科学考察报告、自然保护地总体规划、国土三调矢量界线,生态保护红线矢量界线,重要生态系统调查数据资料,全省最新野生动植物资源调查报告及相关数据库及矢量数据,林地一张图最新资料,湿地资源调查数据等。

2.2 调查评估

调查全县纳入整合优化的 4 处自然保护地的类型、数量、边界、功能区划、面积、分布、主要保护对象、人类活动等情况,基础设施、管理机构、人员队伍等建设管理现状,以及历史遗留、现实矛盾冲突等问题。根据《云南省自然保护地调查评估技术规范》[5],综合评估自然保护地自然性、资源价值、边界合理性、建设管理状况。

2.3 空缺分析

根据《云南省自然保护地空缺分析技术指南》[6]的有关要求,通过历史资料收集和数字高程模型

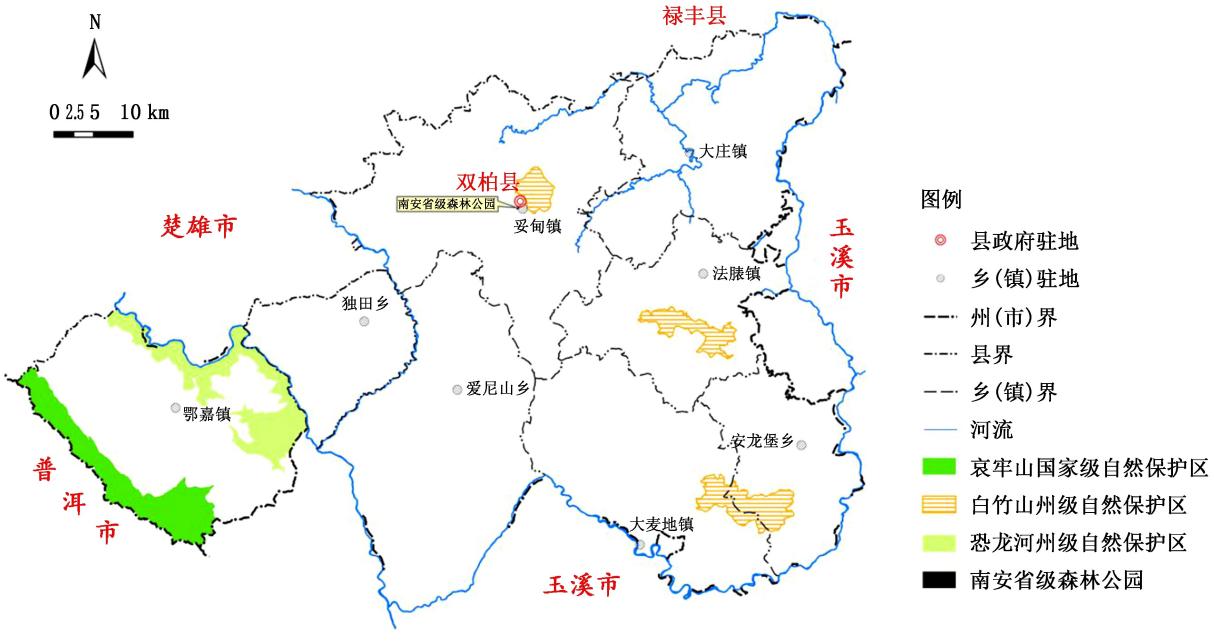


图 1 双柏县自然保护地现状分布

Fig. 1 Current distribution of natural protected areas in Shuangbai County

(DEM)分析等,获取需要分析的森林生态系统、湿地生态系统、草原生态系统、保护物种及其生境(栖息地)、生态公益林、干热河谷、自然景观和土地利用等数据。对保护空缺区域进行分析,在空间布局上初步确定拟调入保护地地块。

2.4 整合优化

2.4.1 空间整合优化

从归并相连相邻、优化空间布局、细化边界范围 3 个方面,划入与调出相结合,将突出的历史遗留问题和现实矛盾冲突区域调出自然保护地;将重要生态系统、重要物种栖息地(生境)、生态功能重要、生态系统脆弱、生态价值高的保护空缺区域补充纳入自然保护地管理,提出自然保护地空间布局方案。

2.4.2 类型和级别确定

双柏县自然保护地空间布局方案形成后,根据相应的规则,参考《云南省自然保护地整合优化技术指南》[7]附录 D 确定的分类分级条件,将其确定为自然保护区、自然公园(类别),明确自然保护区和自然公园的级别为国家级和省级。

2.4.3 功能分区完善

在双柏县现有自然保护地基础上,原则上将原核心区、缓冲区转换为核心保护区,将原实验区转换为一般控制区,优化功能分区界线。确定新纳入和新设立自然保护地的功能分区。

3 矛盾冲突和历史遗留问题分析

双柏县现有保护地内存在集体人工商品林、村庄、基本农田、耕地、城镇建成区等众多问题,所涉及的面积情况详见表 2。

3.1 集体人工商品林

纳入整合优化的 4 处自然保护地内除哀牢山保护区、南安森林公园外,均分布有集体人工商品林,总面积 252.88 hm^2。白竹山州级自然保护区内集体人工商品林面积为 233.52 hm^2,占比较大。根据自然保护地内林木禁止采伐的有关规定,目前已经成熟的人工林不能采伐利用,因此矛盾问题突出。

3.2 村庄和居民

纳入整合优化的 4 处自然保护地内除南安森林公园外,均有村庄、原住居民分布。保护地内的村庄建设用地面积 27.13 hm^2。自然保护地内村寨多且分散,居住总人口 1 028 人。自然保护地内人为活动频繁,影响保护地管理有效性。

3.3 永久基本农田和一般耕地

纳入整合优化的 4 处自然保护地内除南安森林公园外,均涉及永久基本农田和一般耕地,其中永久基本农田面积 502.40 hm^2、一般耕地面积 417.42 hm^2。总体上,双柏恐龙河州级自然保护区、双柏白竹山州级自然保护区内的基本农田及一般耕地面积占比较大,林农矛盾突出,管理难度大。

表 2　双柏县自然保护地存在的矛盾冲突和历史遗留问题涉及的土地面积

Tab. 2　Area involved in historical conflicts of natural protected areas in Shuangbai County

保护地名称	人口/人	核心区缓冲区人口/人	人工集体商品林/hm²	村庄建设用地/hm²	永久基本农田/hm²	城镇建成区/hm²	一般耕地/hm²	矿业权/hm²	基础设施/hm²	权属争议/hm²	其他情况/hm²
哀牢山国家级自然保护区(双柏片区)				0. 34			4. 52		3. 03	15. 07	
双柏恐龙河州级自然保护区	283	91	19. 36	14. 14	245. 39		262. 83	37. 38	49. 26		
双柏白竹山州级自然保护区	745		233. 52	12. 65	257. 01	0. 23	150. 07		59. 25		
南安省级森林公园									1. 11		9. 21
合计	1028	91	252. 88	27. 13	502. 40	0. 23	417. 42	37. 38	112. 65	15. 07	9. 21

注:其他情况主要指国有人工商品林、农户借山造林、自主造林等,大部分是保护地成立前营造的。

3.4 城镇建成区

纳入整合优化的 4 处自然保护地,涉及城镇建成区的自然保护地仅 1 个,为双柏白竹山州级自然保护区,城镇建成区总面积 0. 23 hm^2。

3.5 矿业权

经与国土部门的矿业权分布图叠加分析,纳入整合优化的 4 处自然保护地中,仅恐龙河州级自然保护区涉及矿业权,面积 37. 38 hm^2。

3.6 开发区

经调查,纳入整合优化的 4 处自然保护地不涉及开发区建设。

4 整合优化策略及结果

参与整合优化的自然保护地 4 个,批复面积 29 006. 13 hm^2,矢量面积 28 722. 9 hm^2。

自然保护地整合优化过程中,调出保护地内人口分布集中,集体人工商品林、基本农田、一般耕地面积分布较大和保护价值较低区域。将保护地外重要生态系统、重要物种栖息地(生境)、生态功能重要、生态系统脆弱、生态价值高等区域纳入自然保护地,与现有自然保护地部分区域整合优化,形成新的自然保护地空间布局。

1)将哀牢山国家级自然保护区周边的常绿阔叶林保护空缺区域纳入保护地,整合为哀牢山国家级自然保护区(双柏片区)。

2)将双柏恐龙河州级自然保护区周边热带落叶季雨林、绿孔雀分布区等保护空缺区域,与双柏恐龙河州级自然保护区整合,并晋升为双柏恐龙河省级自然保护区。

3)将双柏白竹山州级自然保护区石碑山片区周边半湿性常绿阔叶林保护空缺区域纳入保护地,与双柏白竹山州级自然保护区整合,并晋升为双柏白竹山省级森林自然公园。

4)将九天湿地区域和周边的湿地、国有林、公益林等区域整合,新建双柏九天省级湿地自然公园。

5)拟撤销南安省级森林公园。森林公园内森林起源全部为人工林,无重要保护价值。通过评估,矛盾问题评估等级为Ⅰ级,矛盾冲突较大。另资源价值评价得分 23 分,小于 40 分,除脆弱性外其它评价指标均为Ⅲ级,且无明确保护对象、无重要保护价值。因此,已不适合再继续作为自然保护地。撤销南安森林公园符合自然资函〔2020〕71 号的相关规定。

按国家林业和草原局 2020 年 12 月审核封库的数据,双柏县整合优化后自然保护地 4 个,分别为云南哀牢山国家级自然保护区(双柏片区)、双柏恐龙河省级自然保护区、双柏白竹山省级森林自然公园、双柏九天省级湿地自然公园。保护地总面积 39 906. 90 hm^2,占国土面积的 10. 25%(表 3)。整合优化后自然保护地分布情况见图 2。

与整合优化前相比,自然保护地的数量保持 4 个不变,总面积比批复面积增加 10 900. 77 hm^2,增幅为 37. 58%。其中:自然保护区比批复面积减少 1 144. 24 hm^2,减少了 3. 95%;自然公园比批复面积增加 12 045. 01 hm^2,增幅为 70 315. 29%。

通过本次整合优化,问题地块面积由 1 374. 37 hm^2 减少为 559. 66 hm^2,减少 59. 27%;自然保护地内人口由 1 028 人减少为 90 人,91. 25%的人口调出自然保护地。整合优化前后矛盾冲突涉及土地面积等变化情况详见表 4。

整合优化完成后,纳入自然保护地重要生态系统、生态保护重点区域和敏感区域面积有较大幅度增加。总体上看,整合优化后,自然保护地内湿地面

表 3 双柏县自然公园整合优化前后面积对照

Tab. 3 Comparison of natural park before and after integration and optimization in Shuangbai County hm^2

优化调整前				优化调整后		
类型	自然保护地名称	批复面积	矢量面积	类型	自然保护地名称	面积
自然保护区	云南哀牢山国家级自然保护区(双柏片区)	10204.00	10031.35	自然保护区	云南哀牢山国家级自然保护区(双柏片区)	10311.18
	双柏恐龙河州级自然保护区	10391.00	10368.04		双柏恐龙河省级自然保护区	17533.58
	双柏白竹山州级自然保护区	8394.00	8313.19	自然公园	双柏白竹山省级森林自然公园	8761.87
自然公园	南安省级森林公园	17.13	10.32		双柏九天省级湿地自然公园	3300.27
	合计	29006.13	28722.90		合计	39906.90

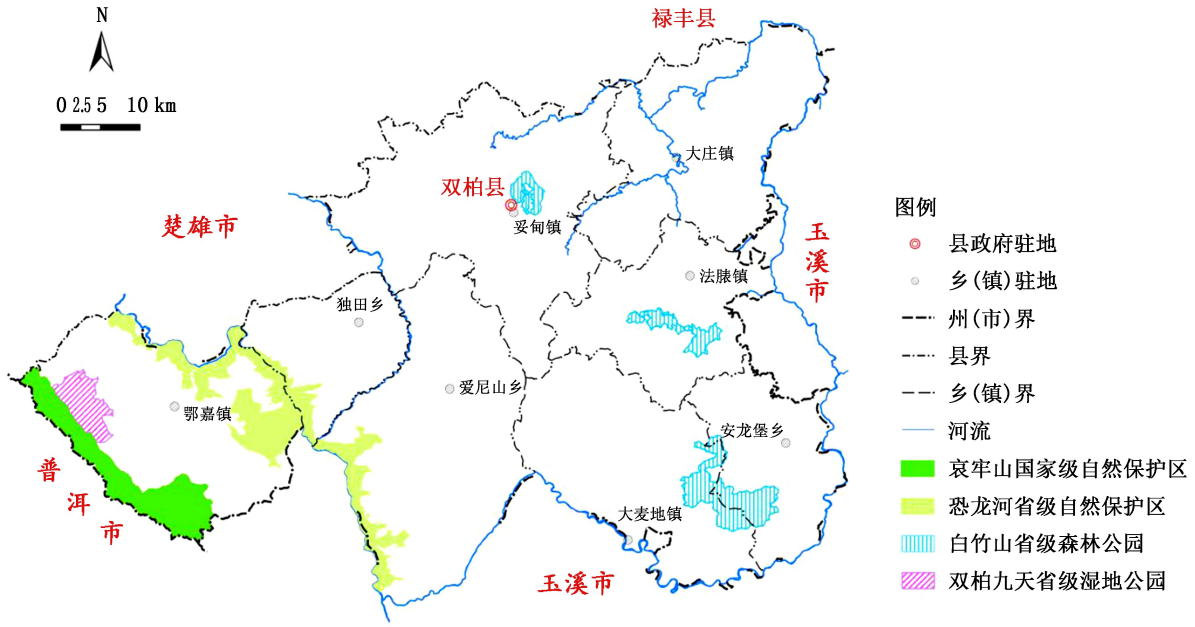


图 2 双柏县整合优化后自然保护地分布

Fig. 2 Distribution of natural protected areas after integration and optimization in Shuangbai County

表 4 双柏县自然保护地整合优化前后矛盾冲突涉及土地面积及人口变化

Tab. 4 Land and population changes involved in historical conflicts before and after integration and optimization of natural protected areas in Shuangbai County

	人口/人	核心区缓冲区人口/人	问题地块/hm^2	人工集体商品林/hm^2	村庄/hm^2	永久基本农田/hm^2	城镇建成区/hm^2	一般耕地/hm^2	矿业权/hm^2	基础设施/hm^2	权属争议/hm^2	其他问题/hm^2
整合前	1028	91	1374.37	252.88	27.13	502.4	0.23	417.42	37.38	112.65	15.07	9.21
整合后	90		559.66	77.39	6.89	123.8		242.18		109.40		
调出数量	938	91	814.71	175.49	20.24	378.6	0.23	175.24	37.38	3.25	15.07	9.21
调出数量占比/%	91.25	100.00	59.27	69.40	74.60	75.36	100.00	41.98	100.00	2.89	100.00	100.00

积由 607.52 hm^2 增加到 742.89 hm^2,增幅 22.28%;国有林地面积由 24 220.79 hm^2 增加到 31 807.56 hm^2,增幅 31.32%;公益林面积由 29 911.64 hm^2 增加到 36 557.99 hm^2,增幅 22.22%(表 5)。

表 5　整合优化前后保护地内生态保护重点区域面积变化

Tab. 5　Changes of key ecological protection areas in the protected area before and after integration and optimization　　hm^2

	林地	湿地	草地	国有林地	公益林	生态红线
调整前	31129. 13	607. 52	417. 37	24220. 79	29911. 64	30369. 43
调整后	38421. 76	742. 89	581. 71	31807. 56	36557. 99	36618. 91
面积增加	7292. 63	135. 37	164. 34	7586. 77	6646. 35	6249. 48
面积增幅/%	23. 43	22. 28	39. 38	31. 32	22. 22	20. 58

5 成效及建议

1)整合优化后,双柏县自然保护地范围涵盖了县内全部的重要生态系统类型。其中:亚热带常绿阔叶林生态系统、落叶阔叶林生态系统和暖温性针叶林生态系统主要分布于哀牢山国家级自然保护区、双柏白竹山省级森林自然公园;热带季雨林生态系统(落叶季雨林)和干热河谷生态系统主要分布于双柏恐龙河省级自然保护区;湿地生态系统(人工库塘和天然沼泽)则主要分布于双柏九天省级湿地自然公园内。

2)整合优化完成后,双柏县自然保护地范围涵盖了县内重要物种的栖息地,特别是双柏恐龙河省级自然保护区,整合优化后的面积增加了 7 142. 58 hm^2,增加的面积主要是以千果榄仁、八宝树为标志种的热带季雨林及干热河谷植被,该区域也是绿孔雀的主要分布区和重要的栖息地。同时,将保护空缺区域纳入到保护地范围,对加强生态环境和生物多样性保护具有积极影响。将与哀牢山国家级自然保护区相连的九天湿地纳入保护地范围,不仅把县域内最重要的沼泽湿地生态系统纳入保护地范围,也增加了西黑冠长臂猿、蜂猴等重要物种的栖息环境。

3)整合优化调出了自然保护地内分布大量的集体人工商品林、永久基本农田、耕地、生物多样性保护价值不大的区域,不仅有利于历史遗留问题的解决,而且有利于促进自然保护和地方社会经济的协调发展。

4)提升恐龙河自然保护区级别。恐龙河州级自然保护区的主要保护对象是国家一级保护动物绿孔雀、黑颈长尾雉、滇南苏铁及其原生栖息地,目前记录到保护区内的绿孔雀和黑颈长尾雉的种群数量在全省乃至全国的自然保护区中都是最大的,对这一旗舰物种的保护意义重大。另外,保护区低海拔河谷分布有以千果榄仁、八宝树为建群种的热带季雨林,是除滇西铜壁关自然保护区外,云南纬度最北的热带季雨林,也是楚雄州唯一的热带季雨林。因此,该保护区的重要性非常突出。本次整合优化将恐龙河州级自然保护区晋升为省级自然保护区,下一步可将其晋升为国家级自然保护区,或纳入规划中的哀牢山—无量山国家公园范围,实现对哀牢山区域的完整保护。

参考文献:

[1] 中共中央办公厅,国务院办公厅. 关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系指导意见[Z]. 2019.

[2] 自然资源部,国家林业和草原局. 关于做好自然保护区范围及功能分区优化调整前期有关工作的函[Z]. 2020.

[3] 自然资源部办公厅,国家林业和草原局. 关于自然保护地整合优化有关事项的通知[Z]. 2020.

[4] 国家林业和草原局. 关于加强和规范自然保护地整合优化预案数据上报工作的函[Z]. 2020.

[5] 云南省林业和草原局,云南省林业调查规划院. 云南省自然保护地调查评估技术规范[S]. 2020.

[6] 云南省林业和草原局,云南省林业调查规划院. 云南省自然保护地空缺分析技术指南[S]. 2020.

[7] 云南省林业和草原局,云南省林业调查规划院. 云南省自然保护地整合优化技术指南[S]. 2020.

责任编辑:刘平书

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 015

五莲峰市级自然保护区种子植物区系研究

赵金发[1],刘 娟[2],陈 峦[3],张永洪[4],汤明华[1]
(1. 云南省林业调查规划院 生态分院,云南 昆明 650031; 2. 云南林业职业技术学院 经济管理学院,
云南 昆明 650224;3. 永善县林业和草原局,云南 永善 657300; 4. 云南师范大学,云南 昆明 650031)

摘要:选择样线和样地调查法对五莲峰自然保护区进行系统的标本采集和考察,从科、属、种方面对保护区种子植物区系特征进行研究。结果表明,保护区植物种类丰富,共记录有维管束植物 138 科、435 属、814 种;保护区地处云南高原的北部,北邻四川盆地,东临华中植物区系,气候类型总体上或大部分处于亚热带的北缘,植物区系性质由亚热带逐渐过渡到温带;植物区系具有明显的温带性质,同时也表现出与云南热带植物区系的过渡性。另外,大量华中地区常见植物区系成分的出现,表明其在区系起源上与云南其他地区的不同,与华中植物区系间具有较为紧密的联系。

关键词:种子植物;植物区系;五莲峰自然保护区;滇东北

中图分类号:S759. 9;Q948. 5 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0098-06

引文格式:赵金发,刘娟,陈峦,等. 五莲峰市级自然保护区种子植物区系研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):98-103. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 015

ZHAO Jinfa, LIU Juan, CHEN Luan, et al. Flora of Seed Plants in Wulianfeng Municipal Nature Reserve[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):103-108. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 015

Flora of Seed Plants in Wulianfeng Municipal Nature Reserve

ZHAO Jinfa[1], LIU Juan[2], CHEN Luan[3], ZHANG Yonghong[4], TANG Minghua[1]
(1. Ecology Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650031, China;
2. School of Economics and Management, Yunnan Forestry Vocational and Technical College, Kunming 650224, China;
3. Yongshan Bureau of Forestry and Grassland, Yongshan, Yunnan 657300, China;
4. Yunnan Normal University, Kunming 650031, China)

Abstract: The sampling lines and plot survey methods were used to carry out the systematic specimen collection and investigation on Wulianfeng Nature Reserve, and study the floristic characteristics of seed plants in the reserve from the perspectives of families, genera, and species. The results showed that the reserve had a rich variety of plant species, with a total of 814 species of vascular plants in 435 genera and 138 families; the reserve was located in the northern part of Yunnan plateau, adjacent to the Sichuan basin to the north and the Central China flora to the east; the climate types were generally or mostly located on the northern edge of the subtropical zone, and the nature of the flora was gradually transitioning from the subtropical zone to the temperate zone; the flora had obvious temperate characteristics and also exhibited transitional characteristics with the tropical flora of Yunnan. In addition, the emergence of a large

收稿日期:2022-03-31;**修回日期**:2022-05-30;**修回日期**:2022-08-02.

第一作者:赵金发(1983-),男,云南建水人,硕士,高级工程师. 主要从事林业调查规划和生物多样性保护研究工作. Email:623680768@qq. com

责任作者:汤明华(1981-),男,云南会泽人,硕士,高级工程师. 主要从事森林资源规划设计调查工作. Email:530490253@qq. com

number of common flora components in Central China indicated that the reserve differed from other regions in Yunnan in terms of flora origin and had a close connection with the Central China flora.

Key words: seed plants; flora; Wulianfeng Nature Reserve; northeastern Yunnan

植物区系指的是在某个区域(时期、植被和分类群)里全部植物种类的统称,也是植物科、属和种的自然综合体[1]。植物区系也反映了一个区域的植物多样性[2]。五莲峰自然保护区是四川盆地向云贵高原的过渡地带,属亚热带湿润季风气候区,气候湿润,海拔高差近 2 000 m,复杂的地理环境孕育了丰富的野生植物资源,是滇东北植物种类荟萃之地。五莲峰自然保护区位于乌蒙山脉西北面的金沙江东岸,于 2003 年经昭通市人民政府批准成立,是以保护以林麝(*Moschus berezovskii*)、贵州疣螈(*Tylototriton kweichowensis*)、中华斑羚(*Naemorhedus griseus*)、藏酋猴(*Macaca thibetana*)、珙桐(*Davidia involucrata*)、水青树(*Tetracentron sinense*)等为代表的珍稀濒危野生动植物资源及其栖息地为主的森林生态系统类型的中型自然保护区。

1 研究区概况

永善县五莲峰市级自然保护区(以下简称保护区)地处云南昭通市,属五莲峰山系,地理坐标介于东经 103°31′28″~103°55′29″,北纬 27°57′25″~28°13′52″之间。保护区属中低山深谷区,海拔范围 934~2 130 m,该地区属亚热带湿润季风气候区,多年平均气温 16.5℃,最冷月 1 月均温 6.9℃,最热月 7 月均温 24.9℃,年积温 5 395.8℃,年无霜期 320~340 d,年平均降雨量为 1 077 mm。保护区内出露的地层以古生界和中生界为主;主要出露沉积岩,有零星岩浆岩及变质岩分布;土壤可分为赤红壤、红壤、黄红壤、黄壤、暗黄棕壤和酸性紫色土 6 个土类。永善县境内河流均属金沙江水系。保护区内的河流多为季节性河流,流程短小,流域面积也小,最终都汇入金沙江。

该保护区类型为自然生态系统类的森林生态系统类型自然保护区,保护区总面积 18 705.73 hm^2,其中:核心区面积 6 681.68 hm^2,缓冲区面积 5 331.07 hm^2,实验区面积 6 692.98 hm^2。保护区内记录有野生维管植物 138 科、435 属、814 种;记录有陆栖脊椎动物 25 目、70 科、217 种。保护区植被类型多样,以常绿阔叶林,常绿、落叶阔叶混交林,暖性针叶林,温性针叶林和草甸为主要植被类型。

2 研究方法

野外调查采用典型样线和样地调查法相结合,于 2019 年 7—8 月在保护区进行实地调查,系统地采集植物标本和考察。根据《云南植物志》《中国植物志》[3]等专著,参考相关文献对标本进行鉴定,结合查阅相关保护区的历史资料,整理出该保护区的植物名录,进而对该地区种子植物区系进行分析。区系类型划分根据李锡文[4]、吴征镒[5]对我国种子植物科、属分布类型的划定方法确定。保护区植被分类的原则、单位和系统主要按《中国植被》[6]和《云南植被》[7]植被分类的原则和系统划分。

3 结果与分析

3.1 维管植物物种多样性

五莲峰自然保护区内记录有野生维管植物 138 科、435 属、814 种(表 1)。其中:蕨类植物 15 科、27 属、43 种;种子植物 123 科、408 属、771 种。种子植物中,裸子植物 3 科、4 属、4 种;被子植物 120 科、404 属、767 种。被子植物中,双子叶植物 104 科、344 属、684 种;单子叶植物 16 科、60 属、83 种。

表 1　五莲峰自然保护区维管植物科、属、种的数量统计

Tab. 1　Quantitative statistics of vascular plant families, genera, and species in Wulianfeng Nature Reserve

植物类群			科数	属数	种数
蕨类植物			15	27	43
种子植物	裸子植物		3	4	4
	被子植物	双子叶植物	104	344	684
		单子叶植物	16	60	83
被子植物小计			120	404	767
种子植物小计			123	408	771
维管植物			138	435	814

3.2 维管植物科的统计分析

保护区共记载维管束植物 138 科。以科为单位,包含属的数量最多的是菊科(Compositae),占维管束植物属数的 7.82%。10 种以上的科共计有 21 科,占保护区维管束植物总科数的 15.22%,包含

222 属和 454 种,分别占保护区总属数的 51.03%,总种数的 55.77%,是构成保护区维管束植物区系的主体。科的分布型以世界广布型科为主,其中含 50 种以上的科有菊科(Compositae)、蔷薇科(Rosaceae),含有 30 种以上的科有禾本科(Poaceae),含 10~30 种的科有 18 科,含 2~9 种的科有 77 科,含 1 种的有 40 科(表 2)。

表 2 五莲峰自然保护区维管束植物数量级统计

Tab. 2 Statistics of vascular plants by quantity grading in Wulianfeng Nature Reserve

数量	科名(属数、种数)
31 种以上的科	菊科 Compositae(37/62),蔷薇科 Poaceae(21/66),禾本科 Poaceae(27/35)
10~30 种的科	樟科 Lauraceae(8/20),毛茛科 Ranunculaceae(11/20),虎耳草科 Saxifragaceae(10/23),蓼科 Polygonaceae(3/17),山茶科 Theaceae(4/12),大戟科 Euphorbiaceae(8/11),蝶形花科 Papilionaceae(20/26),壳斗科 Fagaceae(6/14),荨麻科 Urticaceae(9/19),伞形科 Umbelliferae(8/13),杜鹃花科 Ericaceae(4/14),茜草科 Rubiaceae(7/14),忍冬科 Caprifoliaceae(3/14),玄参科 Scrophulariaceae(5/14),唇形科 Labiatae(15/27),百合科 Liliaceae(10/11),石竹科 Caryophyllaceae(5/10),报春花科 Primulaceae(1/10)
2~9 种的科	杉科 Taxodiaceae(2/2),木兰科 Magnoliaceae (1/2),猕猴桃科 Actinidiaceae(1/6),五味子科 Schisandraceae(1/2),小檗科 Berberidaceae(2/2), 木通科 Lardizabalaceae(3/4),防己科 Menispermaceae(2/2),罂粟科 Papaveraceae(2/3),十字花科 Cruciferae(2/6),堇菜科 Violaceae(1/2),藜科 Chenopodiaceae(2/2),苋科 Amaranthaceae(4/5),牻牛儿苗科 Geraniaceae(1/2),凤仙花科 Balsaminaceae (1/7),柳叶菜科 Onagraceae(1/4),海桐花科 Pittosporaceae(1/2),葫芦科 Cucurbitaceae(3/3),野牡丹科 Melastomataceae(4/4),金丝桃科 Hypericaceae(1/5),杜英科 Elaeocarpaceae(2/2),锦葵科 Malvaceae(2/3),苏木科 Caesalpiniaceae(1/2),旌节花科 Stachyuraceae(1/2),黄杨科 Buxaceae(2/2),杨柳科 Salicaceae(2/5),桦木科 Betulaceae(3/7),榆科 Ulmaceae(2/2),桑科 Moraceae(4/6),冬青科 Aquifoliaceae(1/8),卫矛科 Celastraceae(1/7),鼠李科 Rhamnaceae (2/5),胡颓子科 Elaeagnaceae(2/4),葡萄科 Vitaceae(3/6),芸香科 Rutaceae(4/5),楝科 Meliaceae(2/3),槭树科 Aceraceae(1/4),清风藤科 Sabiaceae(2/5),省沽油科 Staphyleaceae(2/2),漆树科 Anacardiaceae (3/7),胡桃科 Juglandaceae(2/2),山茱萸科 Cornaceae(4/8),桃叶珊瑚科 Aucubaceae(1/3),五加科 Araliaceae(8/9),天胡荽科 Hydrocotylaceae(1/2),越橘科 Vacciniaceae(1/2),紫金牛科 Myrsinaceae(2/3),安息香科 Styracaceae(2/3),山矾科 Symplocaceae(1/7),醉鱼草科 Buddlejaceae(1/5),木犀科 Oleaceae(3/8),夹竹桃科 Apocynaceae(2/3),萝摩科 Asclepiadaceae(3/6),败酱科 Valerianaceae(2/2),龙胆科 Gentianaceae(5/8),桔梗科 Campanulaceae (5/5),半边莲科 Lobeliaceae(2/3),紫草科 Boraginaceae(3/7)/茄科 Solanaceae(3/4),旋花科 Convolvulaceae (2/2),爵床科 Acanthaceae(2/2),马鞭草科 Verbenaceae(4/7),鸭跖草科 Commelinaceae(1/2),天门冬科 Asparagaceae(2/2),菝葜科 Smilacaceae(1/4),鸢尾科 Iridaceae (2/2),薯蓣科 Dioscoreaceae(1/4),兰科 Orchidaceae(7/9),灯心草科 Juncaceae(1/2),莎草科 Cyperaceae(2/6),石杉科 Huperziaceae(1/2),石松科 Lycopodiaceae(1/2),碗蕨科 Dennstaedtiaceae (1/2),蕨科 Pteridiaceae(2/2),蹄盖蕨科 Athyriaceae (5/8),金星蕨科 Thelypteridaceae(2/2),鳞毛蕨科 Dryopteridaceae(4/9),水龙骨科 Polypodiaceae(4/9)
1 种的科	松科 Pinaceae,红豆杉科 Taxaceae,水青树科 Tetracentraceae,领春木科 Eupteleaceae,马兜铃科 Aristolochiaceae,三白草科 Saururaceae,景天科 Crassulaceae,酢浆草科 Oxalidaceae,千屈菜科 Lythraceae,紫茉莉 Nyctaginaceae,马桑科 Coriariaceae,梧桐科 Sterculiaceae,金缕梅科 Hamamelidaceae,杨梅科 Myricaceae,桑寄生科 Loranthaceae,蛇菰科 Balanophoraceae,无患子科 Sapindaceae,七叶树科 Hippocastanaceae,青荚叶科 Helwingiaceae,八角枫科 Alangiaceae,珙桐科 Davidiaceae,鞘柄木科 Toricelliaceae,岩梅科 Diapensiaceae,柿树科 Ebenaceae,川续断科 Dipsacaceae,车前科 Plantaginaceae,苦苣苔科 Gesneriaceae,泽泻科 Alismataceae,芭蕉科 Musaceae,美人蕉科 Cannaceae,天南星科 Araceae,浮萍科 Lemnaceae,棕榈科 Palmae,卷柏科 Selaginellaceae,膜蕨科 Hymenophyllaceae,铁线蕨科 Adiantaceae,裸子蕨科 Hemionitidaceae,球子蕨科 Onocleaceae,柄盖蕨 Peranemaceae,三叉蕨科 Aspidiaceae

3.3 种子植物科的区系特征

根据吴征镒等对世界种子植物科分布区类型划分,保护区种子植物 123 科可分为 11 种类型(表 3)。其中,世界广布的科有 39 个,占该区总科数的 31.71%;泛热带分布的科有 33 个,占总科数的 26.83%,是保护区内除世界广布科外最多的类型。

东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布类型有 12 个科,占总科数的 9.76%。

旧世界热带分布仅有天门冬科(Asparagaceae)和八角枫科(Alangiaceae)2 科。

热带亚洲至热带非洲分布包括杜鹃花科(Ericaceae)和芭蕉科(Musaceae)。

热带亚洲(即热带东南亚至印度—马来,太平洋诸岛)分布的只有清风藤科(Sabiaceae)。

北温带分布的类型含 21 个科的,占总科数的 17.07%。

东亚及北美间断分布有 3 科,包括三白草科(Saururaceae)、木兰科(Magnoliacea)、五味子科(Schisandraceae)。

欧亚和南非(有时也在澳大利亚)间断分布只有川续断科(Dipsacaceae)。

表 3　保护区种子植物区系科属的分布区类型

Tab. 3　Areal types of families and genera of seed plants in the reserve

科的分布区类型	科数	占总科数/%	属数	占总属数/%
1 世界广布	39	31.71	36	8.82
2 泛热带	33	26.83	72	17.65
3 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断	12	9.76	7	1.72
4 旧世界热带	2	1.63	18	4.41
5 热带亚洲至热带大洋洲分布	–	–	10	2.45
6 热带亚洲至热带非洲	2	1.63	15	3.68
7 热带亚洲(即热带东南亚至印度—马来,太平洋诸岛)	1	0.81	37	9.07
热带分布科合计(2~7)	50	40.65	159	38.97
8 北温带	21	17.07	97	23.77
9 东亚及北美间断	3	2.44	21	5.15
10 旧世界温带分布及其变型	–	–	23	5.64
11 温带亚洲分布	–	–	4	0.98
12 地中海、西亚至中亚分布及其变型	–	–	1	0.25
13 中亚分布	–	–	1	0.25
14 东亚	8	6.5	55	13.48
15 欧亚和南非(有时也在澳大利亚)间断	1	0.81	–	–
温带分布科合计(8~15)	33	26.83	202	49.51
16 中国特有分布	1	0.81	11	2.70
合计	123		408	

东亚分布的科有 8 科,包括领春木科(Eupteleaceae)、旌节花科(Stachyuraceae)、青荚叶科(Helwingiaceae)、海桐花科(Pittosporaceae)、桃叶珊瑚科(Aucubaceae)、猕猴桃科(Actinidiaceae)、鞘柄木科(Toricelliaceae)、水青树科(Tetracentraceae),占总数的 6.50%。

中国特有科仅珙桐科(Davidiaceae)。

3.4 种子植物属的统计分析

保护区共有种子植物 408 属。在本地区仅出现一种的单种属有 256 属,占保护区内全部属数的 62.75%,其所包含的物种数占本地全部种子植物数量的 33.20%。出现 2~5 种的少型属有 131 属,占全部属数的 32.11%,所含种数为 350 种,占保护区内的种子植物总物种数的 45.40%。出现 6~10 种的中等属有 18 属,占全部属数的 4.41%,所含种数为 133 种,占保护区内的种子植物总物种数的 17.25%。10 种以上的属仅有 2 属。本地区出现 1~5 种的单种属或少型属构成了本地区植物区系多样性的主体成分。属内的物种数量排名前 10 位的属(表 4)中,北温带分布及其变型的属分布数量最多,反映了在当地植物区系中,北温带成份起着重要的作用。

表 4　属内物种数排名前 10 的属

Tab. 4　Top 10 genera in terms of species

属名	属内种数	属分布区类型
悬钩子属 *Rubus*	14	8~4
蓼属 *Polygonum*	12	1
珍珠菜属 *Lysimachia*	10	1
杜鹃属 *Rhododendron*	10	8
绣球属 *Hydrangea*	10	9
冬青属 *Ilex*	8	2
木姜子属 *Litsea*	8	7
荚蒾属 *Viburnum*	8	8
铁线莲属 *Clematis*	7	1
凤仙花属 *Impatiens*	7	2
卫矛属 *Euonymus*	7	2
山矾属 *Symplocos*	7	2
楼梯草属 *Elatostema*	7	4
栒子属 *Cotoneaster*	7	8
花楸属 *Sorbus*	7	8

3.5 种子植物属的区系特征

按照吴征镒对中国种子植物属的分布类型的划分标准[5],保护区的 408 属种子植物可分为 15 个分布类型及 18 个变型(表 3)。其中,世界广布属 36 属,热带性质分布共 159 属,温带性质分布 202 属,中国特有 11 属,分别占总属数的 38.97%、49.51% 和 2.70%。

世界分布有 36 属,该分布类型的植物以草本为主,少有灌木或乔木,其中很多常见于路边、荒坡、草丛。同时,其中一些属,如银莲花属(*Anemone*)、龙胆属(*Gentiana*)、老鹳草属(*Geranium*)的物种是林下灌木层、草本层的重要组成物种。

热带分布的 6 种类型在保护区都有存在,共 159 属,占该地区非世界属数的 42.74%。其中泛热带分布及其变型分布较多,有 72 属;其次是热带亚洲分布及其变型,有 37 属;旧世界热带分布及其变

型分别有 18 属;热带亚洲至热带非洲分布及其变型有 15 属;热带亚洲至热带大洋洲分布及其变型有 10 属;热带亚洲和热带美洲间断分布有 7 属。部分木本植物属是保护区植被的重要群落组成物种,如厚皮香属(*Ternstroemia*)、鹅掌柴属(*Schefflera*)、赛楠属(*Nothaphoebe*)、楠属(*Phoebe*)、山矾属、木姜子属(*Litsea*)、润楠属(*Machilus*)、慈竹属(*Sinocalamus*)、山茶属(*Camellia*)、木荷属(*Schima*)、方竹属(*Chimonobambusa*)、木姜子属(*Litsea*)、樟属(*Cinnamomum*)、柃属(*Eurya*),其中方竹属植物是当地植被灌木层植被的优势物种。在群落草本植物组成中,猕猴桃属(*Siegesbeckia*)、凤仙花属、楼梯草属(*Elatostema*)、石椒草属(*Boenninghausenia*)、楮头红属(*Sarcopyramis*)、冷水花属(*Pilea*)、求米草属(*Oplismenus*)的物种是草本层的重要组成部分。崖爬藤属(*Tetrastigma*)、常春藤属(*Hedera*)、绞股兰属(*Gynostemma*)是保护区内藤本植物物种的重要组成部分。

北温带分布及其变型共有 97 属,包括北温带和南温带(全温带)间断有 24 属、欧亚和南美温带间断分布和地中海区、东亚、新西兰和墨西哥间断各 1 属。北温带分布各属在该地区的植被组成中起着最为重要的作用。其中水青冈属(*Fagus*)、桦木属(*Betula*)、栎属(*Quercus*)、槭属(*Acer*)、桤木属(*Alnus*)、核桃属(*Juglans*)、七叶树属(*Aesculus*)是本区域森林植被的建群种或重要伴生树种,也分布于我国西南至东北地区,是构成阔叶林的主要树种。

东亚和北美洲间断分布及其变型共有 21 属,占该地区非世界属数的 5.65%。常见木本类型有栲属(*Castanopsis*)、柯属(*Lithocarpus*),其中栲属植物峨眉栲(*Castanopsis platyacantha*)是保护区内常绿阔叶林的重要组成树种;灯台树属(*Bothrocaryum*)、木兰属(*Magnolia*)、十大功劳属(*Mahonia*)、绣球属(*Hydrangea*)、楤木属(*Aralia*)、石楠属(*Photinia*)、漆属(*Toxicodendron*)等是常见的乔木二层及灌木层常见种类。灌草层及层间植物种类包括落新妇属(*Astilbe*)、黄水枝属(*Tiarella*)、山蚂蝗属(*Podocarpium*)、人参属(*Panax*)、珍珠花属(*Lyonia*)、万寿竹属(*Disporum*)、鹿药属(*Smilacina*)、龙头草属(*Meehania*)、珍珠梅属(*Sorbaria*)、山蚂蝗属(*Desmodium*)、胡枝子属(*Lespedeza*)、五味子属(*Schisandra*)等属物种。这反映出本地区植物区系与北美植物区系之间存在着一定的联系。

旧世界温带分布及其变型共计 23 属,占本区非世界广布属的 6.18%。主要是灌木、草本层的组成物种。

温带亚洲分布共有 3 属,包括杭子梢属(*Campylotropis*)、马兰属(*Kalimeris*)、附地菜属(*Trigonotis*),其中附地菜属在云南省西北部及青藏高原等地高山草甸是常见的草地群落组成物种,但在保护区内仅偶见分布于林缘空地。杭子梢属、马兰属是当地林缘及向阳地段常见植物。

地中海、西亚至中亚分布仅记录清香木(*Pistacia weinmannifolia*)一种。该属植物在中国分布很广,北自黄河流域,南至两广及西南各省均有。清香木在云南中部至西北部广泛分布,是一类石灰岩山地常见灌木。中亚至喜马拉雅和我国西南分布类型仅记录了角蒿属(*Incarvillea*)1 种。由此可以看出,保护区植物区系和地中海区及中亚的植物区系联系十分微弱。

东亚分布及其变型包括东亚(东喜马拉雅—日本)55 属,中国—东喜马拉雅(SH)16 属及中国—日本(SJ)7 属,共占 14.78%,其总属数(55 属)略少于北温带分布及其变型及泛热带分布及其变型。在本分布类型的一些代表属,如水青树属(*Tetracentron*)、猫儿屎属(*Decaisnea*)、领春木属(*Euptelea*)、棣棠花属(*Kerria*)、旌节花属(*Stachyurus*)、猕猴桃属(*Actinidia*)、八月瓜属(*Holboellia*)、刚竹属(*Phyllostachys*)的物种,在华中地区很多都是当地植被的重要组成物种或常见物种,这反映了保护区植物区系与华中植物区系间具有较为紧密的联系。

中国特有分布属共有 11 属,占本地区总属数的 2.96%,占比较高。杉木(*Pinus yunnanensis*)、珙桐均是当地森林植被的建群物种或重要组成部分。本分布类型多数属都是单型属或少型属,如珙桐属(*Davidia*)、杉木属(*Cunninghamia*)、茶条木属(*Delavaya*)、异野芝麻属(*Heterolamium*)。

4 结 论

1)保护区植物种类较丰富,地理成分多样复杂

保护区所在区域的植物区系分区属“东亚植物区(East Asiatic Kingdom)”,“中国—日本森林植物亚区(Sino-Himalayan Forest Subkingdom)的华中区系”,“滇东北小区”。保护区地处云南高原的北部,北邻四川盆地,东临华中植物区系,气候类型总体上或大部分处于亚热带的北缘,植物区系性质由亚热带逐渐过渡到温带。保护区植物种类较丰富,共有种子植物 123 科、408 属、771 种,地理成分多样复

杂。根据吴征镒的研究[5](1991),我国种子植物属一级区系的地理成分共有 15 种类型和 31 种变型,本保护区种子植物属共包括了 15 个分布类型及 18 个变型[8]。

2)植物区系具有明显的过渡性质

本地区种子植物中,具有热带性质的属 159 属,占保护区总属数(不包括世界分布属)的 42.74%;有温带性质的属 202 属,占保护区属数(不包括世界分布属)的 54.30%。植物区系具有明显的温带性质,同时也表现出与云南热带植物区系的过渡性。大量华中常见植物区系成分的出现表明其在区系起源上与云南其他地区不同,与华中植物区系间具有较为紧密的联系,具有一定的特殊性。

3)与华中植物区系联系紧密

保护区内种子植物在属的分布特点上,东亚分布及其变型共 55 属,其中东亚(东喜马拉雅—日本)分布类型共 32 属,中国—东喜马拉雅(SH)分布有 16 属,中国—日本(SJ)分布有 7 属,共占保护区所有属的 13.48%,其总属数(55 属)仅次于北温带分布及其变型(97 属)与泛热带分布及其变型(72 属)。在本分布类型的一些代表属,如水青树属、领春木属、猫儿屎属、旌节花属、青荚叶属、猕猴桃属、八月瓜属、刚竹属的物种,在华中地区很多都是当地植被的重要建群物种或常见物种,这反映了保护区植物区系与华中植物区系间具有较为紧密的联系。

4)具有丰富的特有性

保护区内种子植物分布有筇竹属、珙桐属、杉木属等中国特有属共 11 属,占本地区总属数的 2.70%,占比较高,反映了保护区在植物区系上的特有性。筇竹是保护区内灌木层优势植物之一,杉木、珙桐均是当地森林植被的建群物种或重要组成部分。

参考文献:

[1] 吴征镒,周浙昆,孙航,等. 种子植物分布区类型及其起源和分化[M]. 昆明:云南科技出版社,2006:1-45.

[2] 宋敏丽,王慧玲,李砧. 历山自然保护区蔷薇科植物区系分析[J]. 中国野生植物资源,2010,29(3):25-28.

[3] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1961-2002.

[4] 李锡文. 中国种子植物区系统计分析[J]. 云南植物研究,1996,18(4):363-384.

[5] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究,1991(增刊Ⅳ):1-139.

[6] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京:科学出版社,1980.

[7] 吴征镒,朱彦丞. 云南植被[M]. 北京:科学出版社,1987.

[8] 云南省林业调查规划院生态分院,云南师范大学,西南林业大学. 昭通市永善五连峰市级自然保护区科学考察报告[R]. 2019.

责任编辑:刘平书

(上接第 55 页)

[8] 崔林丽,史军,杨引明,等. 中国东部植被 NDVI 对气候和降水的响应特征[J]. 地理学报,2009,64(7):850-860.

[9] 万雪. 基于 NDVI 城镇土地利用变化检测探讨[J]. 地理空间信息,2009,7(4):111-113.

[10] 杨延征,赵鹏祥,郝红科,等. 基于 SPOT-VGT NDVI 的陕北植被覆盖时空变化[J]. 应用生态学报,2012,23(7):1897-1903.

[11] 邢学刚,颜长珍,逯军峰,等. 青海高寒草甸退化演替中的植被指数[J]. 中国沙漠,2021,41(3):203-213.

[12] 张露洋,雷国平,郭一洋,等. 三江平原耕地归一化植被指数对气候因子的时滞响应[J]. 土壤学报,2021,58(2):526-536.

[13] 高萌萌,刘琼,王轶,等. 内蒙古西辽河平原植被指数时空变化及其影响因素研究[J]. 水文地质工程地质,2022,49(1):175-182.

[14] 孙艳玲,郭鹏,延晓冬,等. 内蒙古植被覆盖变化及其与气候、人类活动的关系[J]. 自然资源学报,2010,25(3):407-414.

[15] 田庆久,闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展,1998,13(4):327-333.

[16] 刘世梁,田韫钰,尹艺洁,等. 云南省植被 NDVI 时间变化特征及其对干旱的响应[J]. 生态学报,2016,36(15):4699-4707.

[17] 安冠霖,郭晋平. 文峪河流域土地利用/覆被变化及其驱动力分析[J]. 林业调查规划,2020,45(3):24-30,37.

责任编辑:陈旭

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 016

郑州北龙湖湿地公园花境植物应用研究

雷 天,王 霄,尤 其,聂雅心,王鹏飞
(河南农业大学 风景园林与艺术学院,河南 郑州 450002)

摘要:随着园林绿化的快速发展,花境园在园林中的应用越来越广泛。以北龙湖湿地公园 54 个花境园为研究对象,对该区域花境植物种类、使用频次、应用情况以及花境色彩等方面进行研究。研究表明,花镜植物共 80 科、213 属、320 种,优势科为菊科、禾本科、唇形科、蔷薇科、百合科、马鞭草科、玄参科;花镜园中使用植物主要以多年生草本为主,其次是灌木,使用频次较高的植物为亮晶女贞和松果菊;花镜整体以紫色系植物居多,其次是黄色系、红色系植物。结合北龙湖花境植物的分析研究,对花境植物优化配置以及花境材料的选择提出相关参考。

关键词:花境;花境植物;优势树;使用频次;植物色彩;郑州市

中图分类号:Q178. 5;S759. 91;TU986. 48;S718. 521. 2 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0104-05
引文格式:雷天,王霄,尤其,等. 郑州北龙湖湿地公园花境植物应用研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):104-108. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 016
LEI Tian, WANG Xiao, YOU Qi, et al. Application of Flower Border Plants in Beilonghu Wetland Park of Zhengzhou[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):104-108. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 016

Application of Flower Border Plants in Beilonghu Wetland Park of Zhengzhou

LEI Tian, WANG Xiao, YOU Qi, NIE Yaxin, WANG Pengfei
(College of Landscape Architecture and Arts, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: With the rapid development of landscaping, the application of flower border in gardens is more and more extensive. This paper studied the species, frequency, application status, and color of plants in 54 flower border gardens of Beilonghu Wetland Park. The results showed that there were a total of 320 species of flower border plants belonging 213 genera and 80 families, with the dominant families Asteraceae, Gramineae, Labiatae, Rosaceae, Liliaceae, Verbenaceae, and Scrophulariaceae; the plants used in the flower border garden were mainly perennial herbs, followed by shrubs, and the plants with higher frequency were *Ligustrum quihoui* 'Lemon Light' and *Echinacea purpurea*; the flower border was mostly purple plants, followed by yellow and red plants. Based on the analysis and research of flower border plants in Beilonghu Wetland Park, relevant references were proposed for optimizing the configuration of flower border plants and selecting flower border materials.

Key words: flower border; flower border plant; dominant tree; application frequency; plant color; Zhengzhou City

收稿日期:2022-03-02.
基金项目:河南省科学技术公关项目(112102110027).
第一作者:雷天(1997-),男,河南信阳人,硕士研究生. 研究方向为风景园林规划设计. Email:2082533275@qq. com
责任作者:王鹏飞(1964-),男,河南信阳人,教授,博士生导师. 主要从事园林规划设计等工作. Email:188792041@qq. com

花境作为园林中一种特殊的种植形式,是通过模拟林缘地带多种野生花卉自然生长的状态[1],经过艺术造景设计,选择以观花为主的植物材料进行自然式混合带状种植,从而营造一种自然、和谐的花卉景观[2]。花境最早起源于欧洲,具有造型多样、色彩丰富的特点[3],现已广泛运用于园林造景中,但在花境植物的选取和运用时仍存在一些问题,从而影响花境景观效果以及后期维护。国内一些学者也开始对花境植物进行研究,如周艳[4]对华南地区的花镜植物资源进行筛选并采用层次分析法(AHP)进行综合评价,从而筛选出适合华南地区的优良花境植物;贾志伟[5]通过对北京地区花境材料的调查研究,筛选出适合北京地区的优良花境植物;许改平[6]通过对杭州地区的花境植物选择以及应用形式的分析,为花境景观的营造提供参考。本研究以郑州北龙湖 54 个花境中的花境植物为研究对象,对北龙湖花境植物及应用形式进行调查研究,以期筛选出使用频率高、景观效果好的花镜植物,为后期花境植物优化配置提供参考。

1 研究区域及对象

北龙湖湿地公园位于郑州市郑东新区,地理坐标为 113°43′01″E,34°49′26″N,是依龙湖而建的人工湿地公园,也是郑东新区生态水系工程的重要组成部分[7]。研究区域位于北龙湖湿地公园粉黛园内,占地面积 18 000 m^2。2021 年河南省园林绿化花境竞赛活动在北龙湖湿地公园开幕,活动围绕建党 100 周年,以“迎百年华诞、展生态花韵”为主题,充分融合地域特色同时符合新时代园林绿化事业发展要求,共设计 54 个花境园。

2021 年 6—7 月采取实地调查的方法,通过对北龙湖 54 个花境园的调查,记录花境植物种类和应用形式并拍照,调查结束后,整理收集的花境植物信息,统计花境植物种类,并对花境植物的生长习性以及应用进行分析。

2 结果与分析

2.1 北龙湖花境植物科属种组成

经实地调查,共采集花境植物 80 科、213 属、320 种(表 1),其中优势种为菊科 33 属的 48 种,占比 14.9%,禾本科 21 属的 30 种,占比 9.3%,同时还有唇形科 15 属的 29 种,蔷薇科 8 属的 16 种,百合科 8 属的 14 种,马鞭草科 7 属的 12 种,玄参科 5 属的 10 种等(图 1)。

表 1　北龙湖湿地公园花境植物科属种统计

Tab. 1　List of species, genera and families of flower border plants in Beilonghu Wetland Park

序号	科	属数/个	种数/种	序号	科	属数/个	种数/种	序号	科	属数/个	种数/种
1	菊科 Asteraceae	33	48	18	莎草科 Cyperaceae	3	3	35	酢浆草科 Oxalidaceae	1	2
2	禾本科 Gramineae	21	30	19	苋科 Amaranthaceae	3	3	36	秋海棠科 Begoniaceae	1	2
3	唇形科 Labiatae	15	29	20	锦葵科 Malvaceae	2	3	37	夹竹桃科 Apocynaceae	2	2
4	蔷薇科 Rosaceae	8	16	21	冬青科 Aquifoliaceae	1	3	38	伞形科 Apiaceae	2	2
5	百合科 Liliaceae	8	14	22	小檗科 Berberidaceae	2	3	39	卫矛科 Celastraceae	1	2
6	马鞭草科 Verbenaceae	7	12	23	千屈菜科 Lythraceae	2	3	40	木樨科 Oleaceae	2	2
7	玄参科 Scrophulariaceae	5	10	24	大戟科 Euphorbiaceae	3	3	41	豆科 Fabaceae	1	1
8	忍冬科 Caprifoliaceae	6	10	25	蓼科 Polygonaceae	3	4	42	美人蕉科 Cannaceae	1	1
9	槭树科 Aceraceae	2	9	26	爵床科 Acanthaceae	3	3	43	金缕梅 Hamamelidaceae	1	1
10	鸢尾科 Iridaceae	4	8	27	茜草科 Rubiaceae	2	2	44	兰科 Orchidaceae	1	1
11	木犀科 Oleaceae	2	7	28	天南星科 Araceae	2	2	45	灯芯草科 Juncaceae	1	1
12	景天科 Crassulaceae	3	7	29	松科 Pinales	2	2	46	白花菜科 Capparidaceae	1	1
13	石竹科 Caryophyllaceae	2	6	30	毛茛科 Ranunculaceae	2	2	47	车前科 Plantaginaceae	1	1
14	虎耳草科 Saxifragaceae	3	5	31	凤仙花科 Balsaminaceae	1	2	48	石榴科 Punicaceae	1	1
15	石蒜科 Amaryllidaceae	3	4	32	茄科 Solanaceae	1	2	49	龙舌兰科 Agavoideae	1	1
16	桔梗科 Campanulaceae	4	4	33	白花丹 Plumbaginaceae	2	2	50	五加科 Araliaceae	1	1
17	柳叶菜科 Onagraceae	2	4	34	木贼科 Equisetaceae	1	2	51	牻牛儿苗科 Geraniaceae	1	1

续表 1

序号	科	属数/个	种数/种	序号	科	属数/个	种数/种	序号	科	属数/个	种数/种
52	藜科 Chenopodiaceae	1	1	62	藤黄科 Guttiferae	1	1	72	水龙骨科 Polypodiaceae	1	1
53	杨柳科 Salicaceae	1	1	63	川续断科 Dipsacaceae	1	1	73	蓝雪科 Plumbaginaceae	1	1
54	杜鹃花科 Ericaceae	1	1	64	胡颓子科 Elaeagnaceae	1	1	74	云实科 Caesalpiniaceae	1	1
55	莲科 Nelumbonaceae	1	1	65	堇菜科 Violaceae	1	1	75	旋花科 Convolvulaceae	1	1
56	草海桐科 Goodeniaceae	1	1	66	马齿苋科 Portulacaceae	1	2	76	山茶科 Theaceae	1	1
57	萝藦科 Asclepiadaceae	1	1	67	天门冬科 Asparagaceae	1	1	77	三白草科 Saururaceae	1	1
58	花荵科 Polemoniaceae	1	1	68	海桐科 Pittosporaceae	1	1	78	紫茉莉科 Nyctaginaceae	1	1
59	芭蕉科 Musaceae	1	1	69	鸭跖草科 Commelinaceae	1	1	79	苏铁科 Cycadaceae	1	1
60	鼠李科 Rhamnaceae	1	1	70	紫草科 Boraginaceae	1	1	80	报春花科 Primulaceae	1	1
61	柏科 Cupressaceae	1	1	71	鼠刺科 Iteaceae	1	1				

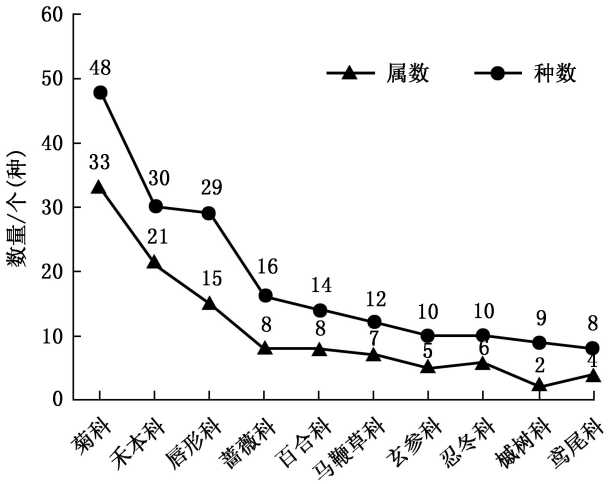


图 1 北龙湖湿地公园花境植物优势科属种组成

Fig. 1 Composition of dominant species and family of flower border plants in Beilonghu Wetland Park

2.2 北龙湖花境植物使用频次分析

通过统计整理 54 个花境园中植物种类,结果表明花境园中使用频次较高的植物为亮晶女贞和松果菊,有超过 60%花境园使用,剩余 8 种植物也有超 38%花境园应用,具体使用频次见表 2。

根据对花境植物的类型进行分析,发现花境植物在使用时,主要以多年生草本为主,占总量的 58%,其次是灌木,占比 20%,乔木则最少(图 2)。

根据使用频次对使用最多的前 50 种花境植物进行整理,具体的植物特征及应用情况见表 3。

2.3 北龙湖花境植物色彩分析

花境的色彩主要通过植物的花、叶、果、茎干等部位的颜色来体现[8],通过对北龙湖花境园进行实地调查,对花境的色彩进行分析(图 3)。

表 2 北龙湖湿地公园主要花境植物使用频次

Tab. 2 Use frequency of flower border plants in Beilonghu Wetland Park

花境植物	使用频次	占比/%	花境植物	使用频次	占比/%
亮晶女贞	36	14	绣球	24	9
松果菊	34	13	佛甲草	22	8
玉簪	32	12	美女樱	22	8
鼠尾草	25	10	山桃草	22	8
繁星花	25	10	美人蕉	21	8

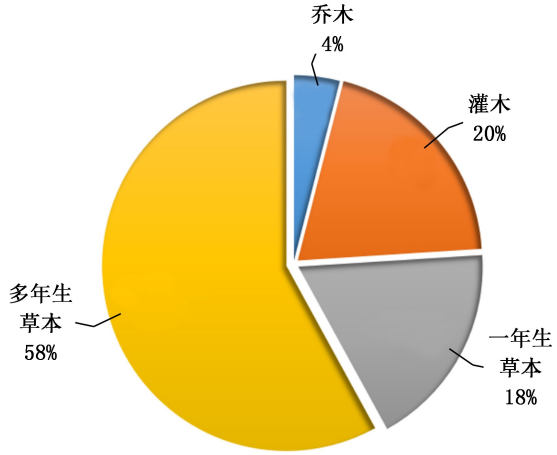


图 2 北龙湖花境植物类型组成

Fig. 2 Types of flower border plants in Beilonghu Wetland Park

北龙湖花境整体以紫色系植物居多,其次是黄色系、红色系植物。结合使用频次以及现状可知,紫色系植物主要以花色为主,如鼠尾草、繁星花、紫娇花、香彩雀、柳叶马鞭草等紫花植物,紫叶植物红花

表 3　北龙湖湿地公园花境植物特征及应用

Tab. 3　Characteristics and application of flower border plants in Beilonghu Wetland Park

序号	种名及拉丁学名	特征	物候期	使用频次
1	亮晶女贞 *Ligustrum quihoui* 'Lemon Light'	半常绿灌木	1—12 月	36
2	松果菊 *Echinacea purpurea*	多年生草本	6—7 月	34
3	玉簪 *Hosta plantaginea*	多年生宿根草本	—	32
4	鼠尾草 *Salvia japonica*	一年生草本	6—9 月	25
5	繁星花 *Pentas lanceolata*	灌木	3—10 月	25
6	绣球 *Hydrangea macrophylla*	灌木	6—8 月	24
7	佛甲草 *Sedum lineare*	多年生草本	4—5 月	22
8	美女樱 *Verbena hybrida* Voss	一年生草花	5—11 月	22
9	山桃草 *Gaura lindheimeri*	多年生宿根草本	5—8 月	22
10	美人蕉 *Canna indica*	多年生草本	6—10 月	21
11	红枫 *Acer palmatum*	落叶小乔木	—	20
12	大花滨菊 *Chrysanthemum maximum*	多年生宿根草本	6—7 月	19
13	矾根 *Heuchera micrantha*	多年生草本	4—6 月	19
14	红花檵木 *Loropetalum chinense*	常绿灌木或小乔木	4—5 月	18
15	紫娇花 *Tulbaghia violacea*	多年生草本	6—8 月	17
16	向日葵 *Helianthus annuus*	一年生高大草本	7—9 月	17
17	金鸡菊 *Coreopsis basalis*	一年生或二年生草本	7—9 月	17
18	蓝羊茅 *Festuca glauca*	常绿草本植物	—	16
19	百子莲 *Agapanthus africanus*	多年生常绿草本花卉	7—8 月	16
20	苔草 *Carex tristachya*	多年生草本	—	16
21	金叶石菖蒲 *Acorus gramineus*	多年生常绿草本	4—5 月	16
22	朱蕉 *Cordyline fruticosa*	灌木	1—3 月、11—12 月	16
23	银叶菊 *Jacobaea maritima*	一年生草本	6—9 月	16
24	芙蓉菊 *Crossostephium chinense*	灌木	1—12 月	16
25	火星花 *Crocosmia crocosmiflora*	多年生草本	6—8 月	14
26	彩叶草 *Coleus scutellarioides*	草本	7 月	13
27	香彩雀 *Angelonia angustifolia*	多年生草本	—	13

续表 3

序号	种名及拉丁学名	特征	物候期	使用频次
28	蛇鞭菊 *Liatris spicata*	多年生草本	7—8 月	12
29	金边麦冬 *Liriope spicata* var. *variegata*	多年生草本	6—9 月	12
30	石竹 *Dianthus chinensis* L.	多年生草本	5—6 月	12
31	天人菊 *Gaillardia pulchella*	一年生草本	6—8 月	12
32	火把莲 *Kniphofia uvaria*	多年生草本	6—10 月	11
33	大花萱草 *Hemerocallis hybrida*	多年生宿根草本	5—10 月	11
34	马鞭草 *Verbena officinalis* L.	多年生直立草本	6—10 月	9
35	针茅 *Stipa tenuissima*	多年生常绿草本	6—9 月	9
36	黑松 *Pinus thunbergii*	常绿乔木	4—5 月	9
37	毛地黄钓钟柳 *Penstemon digitalis*	多年生草本	5—10 月	9
38	滨菊 *Chrysanthemum maximum*	多年生宿根草本	6—7 月	8
39	金光菊 *Rudbeckia hirta*	多年生草本	7—10 月	8
40	小兔子狼尾草 *Pennisetum alopecuroides*	多年生草本	8 月	8
41	矮蒲苇 *Cortaderia selloana*	多年生草本	9—10 月	7
42	柳叶马鞭草 *Verbena bonariensis* L.	多年生直立草本植物	5—9 月	7
43	千日红 *Gomphrena globosa*	一年生直立草本	6—9 月	7
44	月季 *Rosa chinensis* Jacq.	落叶灌木	1—12 月	6
45	千穗谷 *Amaranthus hypochondriacus*	一年生草本	—	6
46	木槿 *Hibiscus syriacus*	落叶灌木	7—10 月	6
47	翠竹 *Sasa pygmaea* (Miq.) E.-G. Camus	小型灌木状竹类植物	—	6
48	八宝景天 *Hylotelephium erythrostictum*	多年生肉质草本植物	7—10 月	6
49	蓝花丹 *Ruellia brittoniana*	常绿柔弱半灌木	7—8 月	6
50	花叶玉蝉花 *Iris ensata* Thunb.	多年生草本	6—7 月	5

檵木也使用较多;黄色系植物主要以黄色植株为主,其中亮晶女贞、佛甲草常为黄绿色,在花境中色彩明艳,给人带来明显的视觉冲击[9],景观效果良好,同时黄色系植物中也有花色为黄色的,如大花滨菊、金鸡菊、芙蓉菊、金光菊等;红色系植物花镜主要是叶色、花色为红色,红叶以红枫、彩叶草为代表,红色叶

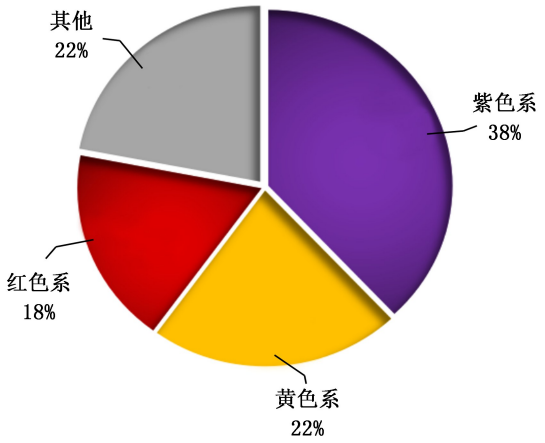


图 3 北龙湖湿地公园花境主要色系统计

Fig. 3 Main color systems of flower border plants in Beilonghu Wetland Park

色在绿色的衬托下格外显眼,红花植物有松果菊、美女樱、朱蕉等;白色系植物以玉簪、绣球等为代表。

3 结 论

在调查中发现,此次花境设计中增加了对花境新品种的使用,如对亮晶女贞的广泛运用,但花境新品种可使用种类仍不够丰富。部分花境园借助了不同的配景材料来增添花境园的氛围,但仍有部分园存在缺乏意境、地域特色等问题,同时部分花境园植物搭配缺乏对后期养护的考虑。

3.1 加强对花境植物新品种的使用

新品种亮晶女贞,是利用小叶女贞树桩木本嫁接而成,较常绿的小叶女贞,其在色彩上更偏向黄色,且生长较缓,利于管护,叶片薄小使修剪造型也较为精致,是较为火热的花境植物新品种。在选取花境植物时,应加强对新品种的使用与推广,为花境的植物配置提供新选择,从而增加花境植物景观的观赏性。

3.2 加强对花境配景材料的运用

花境主要靠各种花境植物营造,也需要花境配景材料的衬托。如利用铁轨等铁路标识物来展现当地的历史风貌;采用石笼与锈板刻字组合的园林小品,增加花境的观赏性;长管状红飘带融入花境设计中,不仅成为花境的中心,也突出了花境园的中心思想;以砖瓦、磨盘做园路更有乡土特色。花境中的主体构筑物,在花境植物的映衬下,更能展现花境的主题。不同材料的使用,使花境更具特色,让人产生记忆点,不同地域的材料在花镜中运用,也更能展现地域文化。因此,在花境设计时,应加强对花境配景材料的运用。

3.3 优化花境植物配置

北龙湖花境植物在选取时,多以多年生草本植物为主,小灌木与一年生草本植物为辅。多年生草本植物生活期较长,其花境景观效果的持久性也较一年生草本植物好[10],在管护方面多年生草本植物也易于一年生草本植物,一年生草本植物落败将导致花境景观效果变差。同时在花境植物选择方面,多选择花期较长的植物,如美女樱、繁星花等植物,花期长达 7 个多月,且植物观赏性也较好,或选择叶色长期保有靓丽色彩的,如亮晶女贞,叶常黄绿色,较普遍的绿色更具观赏性,还有多色的彩叶草,不同色彩增加了花境的色彩基调[11]。

花境植物配置应综合考虑植物的生长期、形态特征、花色、花期等因素,采取灌木与草本结合,不同色彩的搭配组合,适地选取适合花境植物,优化花境植物配置等措施,以更好地突出花境的主题,提升花境景观的品质。

参考文献:

[1] 唐黎标. 园林花境植物营造技术[J]. 林业与生态,2020(3):38-39.
[2] 李倩,刘韶华. 花镜植物材料的选择与配置[J]. 现代园艺,2019(15):134-135.
[3] 蔡增增. 花镜种植在园林工程施工中应用的探讨[J]. 现代园艺,2012(12):71.
[4] 周艳,宁祖林,廖景平. 华南地区花镜植物资源筛选评价及应用研究[J]. 热带亚热带植物学报,2020,28(6):557-564.
[5] 贾志伟. 北京地区地域特色花镜发展与应用[J]. 现代园艺,2021,44(7):158-162.
[6] 许改平. 杭州地区花镜植物种类及应用形式分析[J]. 现代园艺,2021,44(6):125-127.
[7] 高辉巧,牛光辉. 郑州市郑东新区生态湿地规划及生物多样性保护研究[J]. 华北水利水电学院学报,2008,29(5):79-82.
[8] 慎海霞. 花镜景观设计中色彩学运用的探讨[J]. 花卉,2019(14):97-98.
[9] 赖静文. 花镜景观设计中色彩学运用的探讨[J]. 居舍,2018(7):91.
[10] 夏宜平,苏扬,李白云. 次第花开香如故——英国草本花境的自然式可持续景观[J]. 中国花卉园艺,2016(13):30-32.
[11] 周文祥. 花境素材的色彩搭配分析[J]. 花卉,2017(4):17-18.

责任编辑:陈旭

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 017

甘肃连城国家级自然保护区天保工程二期效益综合评价

蔡万旭,李文涛,瞿学方,蒋长生,李小刚,杜小发
(甘肃连城国家级自然保护区管理局,甘肃 兰州 730300)

摘要:选取甘肃连城国家级自然保护区为研究对象,通过调查了解保护区天然林资源保护工程二期实施情况,从生态、经济和社会效益 3 个层面选取 15 个评价指标,建立评价指标体系,采用层次分析法(AHP)对甘肃连城国家级自然保护区天然林资源保护工程二期效益进行综合评价。结果表明,在综合评价中权重值表现为:生态效益>社会效益>经济效益,而在 15 个评价指标中,森林覆盖率权重值最大,生物多样性和森林蓄积量权重值略次之;职工年收入增长率、自然资源开发程度、社会知名度权重值最小,对综合评价的影响较小;三大效益评价值相差较大,生态效益评价结果为一级,经济效益评价结果为四级,社会效益评价结果为一级。评价结果表明,甘肃连城国家级自然保护区天保工程效益综合评价结果为一级,保护区天保工程实施成效显著。

关键词:天保工程;层次分析法;效益综合评价;甘肃连城国家级自然保护区

中图分类号:S759. 9;S774;F224. 5 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0109-06

引文格式:蔡万旭,李文涛,瞿学方,等. 甘肃连城国家级自然保护区天保工程二期效益综合评价[J]. 林业调查规划,2023,48(5):109-114. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 017

CAI Wanxu, LI Wentao, QU Xuefang, et al. Benefits Comprehensive Evaluation of the Second Phase of Natural Forest Protection Project in Liancheng National Nature Reserve of Gansu Province[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):109-114. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 017

Benefits Comprehensive Evaluation of the Second Phase of Natural Forest Protection Project in Liancheng National Nature Reserve of Gansu Province

CAI Wanxu, LI Wentao, QU Xuefang, JIANG Changsheng, LI Xiaogang, DU Xiaofa
(Administration of Liancheng National Nature Reserve, Lanzhou 730300, China)

Abstract: This paper investigated the implementation of the second phase of the natural forest protection project in Liancheng National Nature Reserve of Gansu Province, selected 15 evaluation indicators from three levels of ecological, economic, and social benefits, established an evaluation index system, and used analytic hierarchy process (AHP) to comprehensively evaluate the benefits of the second phase of the natural forest protection project in the reserve. The results showed that in the comprehensive evaluation, the weight values were as follows: ecological benefits>social benefits>economic benefits. Among the 15 evaluation indicators, the weight value of forest coverage was the highest, followed slightly by the weight values of biodiversity and forest volume; the weight values of the annual income growth rate of employees, the degree of natural resource development, and the weight value of social awareness were the smallest, which

收稿日期:2022-03-19;**修回日期**:2022-04-29.

第一作者:蔡万旭(1990-),男,甘肃武威人,硕士,工程师. 研究方向为森林资源调查、天然林保护.

责任作者:瞿学方(1965-),男,甘肃皋兰人,高级工程师. 研究方向为森林资源调查、规划、监测,营造林设计.

had the small impact on comprehensive evaluation; the differences in the evaluation values of the three major benefits were significant, and the evaluation results of ecological benefit was Level 1, the economic benefit was Level 4, and the social benefit was Level 1. The evaluation results indicated that the comprehensive evaluation of the benefits of the natural forest protection project in the Liancheng National Nature Reserve was Level 1, and the implementation of the project in the reserve had achieved significant results.

Key words: natural forest protection project; analytic hierarchy process; comprehensive evaluation of benefits; Liancheng National Nature Reserve of Gansu Province

“天保工程”是天然林资源保护工程的简称,为1998 年特大洪灾后国家实施的重点林业工程,同时也是全世界最大的禁伐工程。该工程从前期减少对天然林商业性采伐,到后期全面停止对天然林的采伐,是一个阶段性的跨越,在此过程中逐步实现了天然林的休养生息和恢复,缓解了一个时期内天然林资源锐减和生态系统结构趋于单一化的窘境,实现了森林资源的稳步增长,促进了林分机构多元化,保护了生态系统多样性,降低了生态环境持续恶化的风险。同时在林区体制机制改革、改善生产生活条件、解决富余人员就业方面进行了不断探索,取得了显著成效[1-2]。

天保工程实施以来,学者专家采用多种评价方法从不同角度对其各阶段所带来的生态、经济和社会效益进行了全面评价,马威等[3]通过对天保工程实施后呼伦贝尔市地方林业综合效益进行评价,发现该工程实施后天然林综合评价指数均较高,在一定程度上保护了该区天然林资源;国政等[4]通过对天保工程实施 10 年来西南地区天然林生态效益进行评价,发现该工程实施后西南地区水源涵养、土壤保育、生物多样性保护等方面得到大幅改善,综合生态效益和生态功能得到明显提升;朱震锋等[5]通过对天保工程实施后黑龙江部分国有林场生态效益进行评价,发现该工程实施后林业资源和生态效益得到大幅提升,然而增量水平不稳,对林区生态增效影响较大。连城自然保护区天保工程实施已有 20 年(2001—2020 年)时间,但关于天保工程效益评价相关研究较少。因而,为进一步强化天保工程实施目标任务,分析工程实施过程中存在的问题,总结成功经验,需对工程实施过程中的生态、经济和社会效益进行综合评价,为下一步天然林修复方案计划提供合理化建议。

1 天保工程实施现状

甘肃连城国家级自然保护区(以下简称“保护区”)位于兰州市永登县,该区分布着兰州市最大的国有天然林区,是黄河上游地区重要的生态屏障。保护区总面积 4.79 万hm^2,天保工程二期实施范围与一期相同,森林管护任务 2.66 万hm^2,占保护区总面积的 55.45%。天保工程二期实施过程中建立了管理局、保护站、管护点三级森林管护体系,各项规章制度体系完成改善,基础设施及生产生活条件得到改善,森林管护队伍稳定,工资逐年提高,“五险”得到保障,封山禁牧政策基本落实到位,生态旅游产业得到发展,居民收入连年提高,居民参与度较高,森林资源得到有效保护,森林覆盖率和蓄积量增加,动植物种群逐步扩大,生物多样性丰富。

2 研究方法

2.1 数据收集

参考《连城自然保护区志》[6]《天然林资源保护工程二期甘肃连城国家级自然保护区实施方案》及相关论文等文献资料,访谈保护区内居民、游客以及护林员、管理人员、技术人员等天保工程参与人员,将获取的资料数据作为综合评分评价的基本数据。

2.2 评价指标体系的建立

以连城自然保护区天保工程二期实施方案为基础,围绕工程建设目标和任务,结合保护区工程区实际情况,参考《天然林资源保护工程社会经济效益监测与评价指标(LY/T 1756—2008)》《森林生态系统服务功能评估规范(LY/T 1721—2008)》以及其他地区天保工程实施效果评价的相关指标[2,7],从生态效益、经济效益、社会效益出发,设定以天保工程综合效益为目标层 A,生态效益(B1)、经济效益(B2)、社会效益(B3)为二级层次指标,15 个具体评价指标为三级指标的评价体系(图 1)。

2.3 判断矩阵的构建

根据图 1 所示的评价体系,利用层次分析法[8],邀请参与天保工程保护的管理人员、技术人员、管护人员,采用迈实层次分析软件对各评价因子相对重要性进行评价。

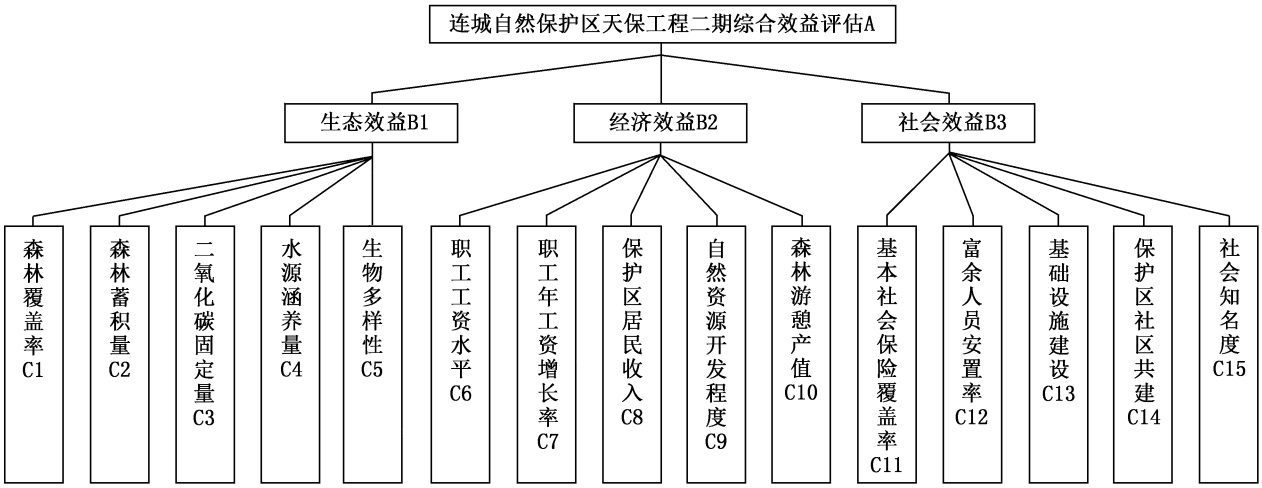


图 1　连城自然保护区天保工程二期效益综合评价体系

Fig. 1　Comprehensive evaluation system of the benefits of the second phase of the natural forest protection project in Liancheng National Nature Reserve

2.4 指标权重的确定

根据已构建的判断矩阵,利用 AHP 层次分析法软件计算各指标的权重,得出各指标对目标层的单排序结果(表 1)。

2.5 评价指标评分标准的制定

根据连城自然保护区天保工程实施实际情况,参考相关文献评价指标评分标准[9-10],制定保护区评价指标的评分标准:总分为 10 分,分为 3 个等级:好(7~10 分);较好(4~6 分);差(0~3 分)。

2.6 综合评价值的确定

将各评价因子的权重值和得分代入数学模型,最终得出连城自然保护区天保工程综合评价值,其基本数学模型为:

$$E = \sum_{i=1}^{n} Q_i P_i \qquad (1)$$

式中:E 为综合性评估结果值;n 为评价因子的数目;Q_i 为第 i 个评价因子的权重;P_i 为第 i 个评价因子的评价分数。

2.7 综合评价值的分级标准

参照有关综合评价值的分级标准[11],结合保护区现状,确定保护区综合评价分级标准,范围为 0~10 分,总分 7.5~10 分为一级,总分 6~7.5 分为二级;总分 4.5~6 分为三级;总分 0~4.5 分为四级。

3 结果与分析

3.1 各指标权重分析

连城自然保护区天保工程二期效益综合评价体系中三大效益权重分别为 0.643 8(B1)、0.122 0(B2)、

表 1　甘肃连城国家级自然保护区天保工程效益综合评价体系的评价因子权重

Tab. 1　Evaluation factor weights of comprehensive evaluation system of the benefits of the natural forest protection project in Liancheng National Nature Reserve

目标层	子目标层	权重	准则层	权重	一致性检验
连城自然保护区天保工程二期效益综合评价 A	生态效益 B1	0.6438	森林覆盖率 C1	0.3727	生态效益 B1:λ_{max}=5.1043;CR=0.0233;CI=0.0261
			森林蓄积量 C2	0.2141	
			CO_2 固定量 C3	0.0731	
			水源涵养量 C4	0.1134	
			生物多样性 C5	0.2268	
	经济效益 B2	0.1220	职工工资水平 C6	0.1541	经济效益 B2:λ_{max}=5.0552;CR=0.0123;CI=0.0138
			职工年工资增长率 C7	0.0514	
			保护区居民收入 C8	0.1421	
			自然资源开发程度 C9	0.3840	
			森林游憩产值 C10	0.2684	
	社会效益 B3	0.2297	基本社会保险覆盖率 C11	0.3150	社会效益 B3:λ_{max}=5.0080;CR=0.0018;CI=0.00200
			富余人员安置率 C12	0.3150	
			基础设施建设 C13	0.1506	
			保护区社区共建 C14	0.1506	
			社会知名度 C15	0.0689	

0.299 7(B3),其权重的大小表现为生态效益(B1)>社会效益(B3)>经济效益(B2),且生态效益(B1)高于经济效益(B2)和社会效益(B3)之和,可见,生态效益(B1)在二级层次评价指标中的地位尤为重要。天保工程的实施旨在减少天然林商业性采伐,减少商品木材产量,促进森林植被恢复,使森林覆盖率大幅增加,提高生物多样性,改善区域生态,安置富余人员,维护林区稳定,三大效益所占权重在一定程度上也符合天保工程实施的目的。

从天保工程二期效益综合评价指标层次总排序结果(表 2)可以看出,在选取的 15 个评价指标中,森林覆盖率(C1)所占权重最大,生物多样性(C5)和森林蓄积量(C2)次之。森林覆盖率和森林蓄积量是反映一个国家或地区森林资源总规模和水平的重要指标,森林面积的增加不仅可以提高森林覆盖率,同时会增加森林蓄积。生物多样性是生物及其与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和,是多种多样活的有机体(动物、植物、微生物)有规律地结合所构成的稳定的生态综合体,体现了生物之间及环境之间的复杂关系,又体现了生物资源的丰富性。在所有指标中职工年收入增长率(C7)、社会知名度(C15)、居民收入水平(C8)权重占据最后三位,分别为 0.006 3、0.015 8、0.017 2,权重均小于 0.02,由此也可判断此 3 项指标对综合评价影响较小。

表 2 甘肃连城国家级自然保护区天保工程二期效益综合评价指标层次总排序

Tab. 2 Overall ranking of comprehensive evaluation indicators of the benefits of the second phase of the natural forest protection project in Liancheng National Nature Reserve

准则层	目标层			C 层次总排序	位次
	B1	B2	B3		
C1	0.3727			0.2417	1
C2	0.2141			0.1388	3
C3	0.0731			0.0474	7
C4	0.1134			0.0735	4
C5	0.2268			0.1470	2
C6		0.1541		0.0188	12
C7		0.0514		0.0063	15
C8		0.1421		0.0173	13
C9		0.3840		0.0469	8
C10		0.2684		0.0327	11
C11			0.3150	0.0723	5(1)
C12			0.3150	0.0723	5(2)
C13			0.1506	0.0346	9(1)
C14			0.1506	0.0346	9(2)
C15			0.0689	0.0158	14

3.2 天保工程二期效益综合评价

结合连城自然保护区天保工程实施的实际情况,按照评价指标评分标准对各指标进行评分(表 3),连城国家级自然保护区天保工程二期效益综合评价得分为 7.658 9,评价结果为一级,说明连城自然保护区天保工程实施成效显著。就各效益分别进行得分计算,其评价结果各有差异(表 4),其中生态效益得分 7.927 7 分,评价结果为一级;经济效益得分 4.438 8 分,评价为四级;社会效益得分 8.081 6 分,评价结果为一级。

3.2.1 生态效益评价

从实际打分看,生态效益评价指标得分均较高,均在 7 分以上,生态效益指标总得分为 7.927 7,评价结果为一级,可见保护区天保工程生态效益显著。森林是以木本植物为主体的生物群落,是集中的乔木与其他植物、动物、微生物和土壤之间相互依存相互制约,并与环境相互影响,从而形成的一个生态系统总体。因此,森林覆盖率、森林蓄积量是评价区域森林资源总规模和水平的重要指标。保护区天保二期工程在一期的基础上加强了森林资源保护,减少了人类活动对森林生态系统的扰动,且通过公益林建设使森林面积大幅提升,退化的森林植被逐步得到恢复,森林蓄积量和覆盖率显著提高,有效改善了森林景观格局和区域生态环境,降低了生物、火灾、气候等林业灾害的发生频次,森林固碳释氧、水源涵养、防风固沙、水土保持作用显著,林内生境和生物栖息地环境进一步改善。

保护区成立以来与高校合作,通过专项调查、固定样线巡护、红外相机监测等调查方式对保护区常见植物、药用植物、兰科植物、鸟类、真菌等进行调查,出版了甘肃连城国家级自然保护区生物多样性系列丛书《森林植物图谱》《鸟类图谱》《大型真菌图鉴》《兰科植物多样性与保护》。在监测调查中桃儿七、甘肃贝母、虫草、甘草、山西杓兰、褐花杓兰等重点野生保护植物以及梅花鹿、豺、黑鹳、鸨、马麝等重点保护野生动物均有发现。丰富多样的森林资源本底数据,不仅体现了保护区生物实验室作用,而且也为资源的开发利用提供了数据支撑。

表 3　甘肃连城国家级自然保护区天保工程二期效益综合评价得分

Tab. 3　Comprehensive evaluation score of the benefits of the second phase of the natural forest protection project in Liancheng National Nature Reserve

评价因子				评价	实际得分	评分值
目标层	子目标层	准则层	权重			
天保工程二期效益综合评价 A	生态效益 B1	森林覆盖率 C1	0.2417	天保工程二期完成公益林建设 1866.67 hm^2,森林覆盖率相比一期增加了 0.78 个百分点	8	1.9336
		森林蓄积量 C2	0.1388	活立木蓄积量由 $2.71\times10^6m^3$ 增加到 $3.08\times10^6m^3$,增加了 $0.37\times10^6m^3$	8	1.1104
		CO_2 固定量 C3	0.0474	CO_2 固定量用活立木蓄积量量化,1 m^3 活立木年均吸收 0.546 t CO_2[12]。经计算,天保工程二期末森林蓄积量为 $3.08\times10^6m^3$,森林 CO_2 固定量为 403395 t,相比一期工程森林固碳能力明显增强	7	0.3318
		水源涵养量 C4	0.0735	保护区森林茂密,涵养水源作用明显,年至少补给大通河 $1.25\times10^8m^3$ 的水量[6]	8	0.5880
		生物多样性 C5	0.147	森林生态系统主要以天然青扦林的保护为主。保护区自然资源丰富,地质构造复杂,水资源丰富,地貌类型复杂多样,动植物种类丰富,景观组成多样	8	1.1760
	经济效益 B2	职工工资水平 C7	0.0188	职工工资达到当地职工平均工资水平及以上	7	0.1316
		职工年收入增长率 C8	0.0063	单位职工年平均工资比上年提高 5%及以上	6	0.0378
		林农收入 C9	0.0173	保护区居民收入逐年增加,已达到永登县农村居民平均收入水平	5	0.0865
		自然资源开发程度 C10	0.0469	自然资源开发利用程度较低,林下经济未得到有效发展,林产品开发程度不高	4	0.1876
		森林游憩产值 C11	0.0327	保护区吐鲁沟森林公园年接待游客约 5 万人,年均收入约 120 万元。同时,保护区原住居民也在进行农家院和生态旅游经营,但参与人数较少,规模不大	3	0.0981
	社会效益 B3	基本社会保险覆盖率 C12	0.0723	保护区职工“五险”参保率达 100%	10	0.7230
		富余人员安置率 C13	0.0723	在职职工全部得到安置	10	0.7230
		基础设施建设 C14	0.0346	天保二期工程实施以来新建管护点 4 个,累加建筑面积 565 m^2。建成视频监控 16 个。从根本上改善了职工生产生活条件	5	0.1730
		社区共建 C15	0.0346	林区群众参与度较高,各村都成立有义务扑救队,群众爱林、护林积极性较高。保护区技术人员对居民进行育苗、中药材种植等技术推广培训	5	0.1730
		社会知名度 C15	0.0158	在保护区周边及兰州市范围内有一定的知名度	4	0.0632
综合得分				7.5366		

表 4　甘肃连城国家级自然保护区天保工程二期效益综合评价评分结果

Tab. 4　Comprehensive evaluation results of the benefits of the second phase of the natural forest protection project in Liancheng National Nature Reserve

项目	得分	等次
生态效益	7.9277	一级
经济效益	4.4388	四级
社会效益	8.0816	一级
综合得分	7.5366	一级

3.2.2 经济效益评价

通过三大效益权重和综合得分发现,经济效益指标均不显著,实际得分较其它效益指标得分并不高,其综合得分仅为 4.438 8,评价结果为四级。根据《森林法》和天保工程实施的相关规定,保护区全面禁伐,因此无木材产量。由于受地理位置、交通、文化等因素的影响,保护区生态旅游发展并不理想,吐鲁沟森林公园旅游季相对较短,接待游客数量较少,依托旅游业存在的其他服务行业数量少,规模小,经营时间短,未能很好地创造经济价值。经济效益指标中占权重较大的自然资源开发利用指标实际

得分并不高,是由于文化、技术、资金以及相关政策等方面制约了保护区自然资源的开发利用,致使资源开发程度不高,如真菌资源、植物资源、动物资源开发利用程度较弱,林区仅在竹林沟、天王沟有部分农户种植猪苓、羌活、云杉、圆柏等苗木和药材,大部分居民仍以粮食种植和养殖业为生。

3.2.3 社会效益评价

天保工程实施的一个重要目的就是安置富余人员,维持林区稳定。三大效益权重分析发现,社会效益权重为 0.299 7,不足生态效益权重的 50%。单独对三大效益综合得分分析发现,社会效益综合得分为 8.081 6,超过了权重最高的生态效益综合得分,由此,在天保工程实施过程中社会效益较为突出。天保工程实施以来,在天保专项资金的支持下,富余劳动力再就业问题得到大幅改善,职工“五险”全额缴纳,养老、医疗得到保障,工资逐年提高,职工积极性大幅提升。在资金的大力支持下,保护区对管护站点危房进行了重建,基础设施趋于完善,职工生活水平大幅提升,职工完成了从林木生产者到生态建设者的角色转变。通过森林管护、公益林建设增加社区居民收入,并为林区群众提供大量二次就业机会。保护区逐步实施社区共建,结合精准扶贫工作,吸纳当地居民为生态护林员,各村组成立的义务扑救队也对保护区的护林防火起到很大作用。同时,保护区技术人员引导居民进行育苗、中药材种植等,积极进行技术推广,为促进地区经济发展贡献力量。

4 结论与讨论

根据专家打分,由层次分析法计算出三大效益的权重可以看出,生态效益最大,经济效益最小。其权重值大小关系基本与天保工程实施的目标值或侧重点相符,在三大效益中生态效益对综合评价的影响最大,经济效益的影响最小。这与张铭轩等[13]对天保工程二期伊春市实施的研究相一致,表明天保工程的实施使天然林综合效益得到显著提升,对区域生态环境可持续发展起到极大的促进作用,同时为后期林业发展奠定了基础。从所有评价指标权重结果看:森林覆盖率、生物多样性保护、森林蓄积量 3 个指标的权重值明显高于其他指标权重值,说明它们是综合评价的重要指标,而职工年收入增长率(C7)、社会知名度(C15)、居民收入水平(C9)权重值最小,说明其对综合评价的影响较小。根据综合评价结果,连城自然保护区天保工程综合效益评价结果为一级,说明保护区天保工程实施效益明显,虽然其经济效益评价一般,但社会效益和生态效益较高。

虽然天保工程的实施给保护区和当地居民带来了很多益处,综合效益显著,但保护区经济效益一般,在生态效益和社会效益都显著的情况下,如何提高经济效益,如何正确处理自然资源的保护、开发与利用之间的关系,是保护区需进一步研究的课题。虽然保护区在封山禁牧方面做了大量工作,积极鼓励当地农牧户减少牲畜数量,或将牲畜由散养改为圈养,但保护区原住居民内含有的部分纯牧民仍在保护区内放牧。如何提高资源的开发利用,提高经济效益,拓宽收入渠道,巩固目前取得的成果是保护区需要解决的问题。

参考文献:

[1] 周少舟. 天然林资源保护工程效益评价[D]. 北京:中国林业科学研究院,2008.

[2] 李名扬. 黑龙江省国有林区天保工程实施效果评价及后续政策研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2020.

[3] 马威,董希斌,毛波. 呼伦贝尔市地方林业天然林资源保护工程实施效果的评价[J]. 东北林业大学学报,2015,43(6):139-142,148.

[4] 国政,聂华,臧润国,等. 西南地区天然林保护工程生态效益评价[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2011,32(2):65-72.

[5] 朱震锋,贾君,曹玉昆,等. 生态增量维度天然林资源保护工程效益评价研究[J]. 林业经济问题,2020,40(6):563-571.

[6]《甘肃连城国家级自然保护区志》编委会. 甘肃连城国家级自然保护区志[M]. 兰州:甘肃文化出版社,2017.

[7] 杜文华,田新会. 甘肃省天然林资源保护工程效益评价[J]. 甘肃农业大学学报,2023,2(38):238-242.

[8]《运筹学》教材编写组. 运筹学[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

[9] 马剑英,孙学刚,贾戎. 兰州地区森林公园质量综合定量评价[J]. 甘肃农业大学学报,2002,2(3):189-194.

[10] 强晓鸣. 陕西牛背梁国家级自然保护区生态旅游资源与评价[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2006.

[11] 刘文兰,孙学刚,满自红,等. 甘肃连城国家级自然保护区景观资源定量评价[J]. 甘肃农业大学学报,2009,44(4):92-98.

[12] 巴音巴特·达拉. 新疆天池自然保护区天然林保护工程实施效益评价研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2017.

[13] 张铭轩,秦利. 伊春市天保二期工程政策实施绩效评价指标体系研究[J]. 安徽农业科学,2021,49(16):144-148.

责任编辑:许易琦

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 018

新生桥国家森林公园种子植物多样性及区系特征研究

崔茂欢,胡昌平,梁建忠,杨建军
(云南省林业调查规划院大理分院,云南 大理 671000)

摘要:通过野外调查和查阅文献资料,获取新生桥国家森林公园植物资源信息,从植物种类、区系等方面对森林公园植物多样性进行分析。结果表明,森林公园共记录种子植物 115 科 417 属 734 种,其中裸子植物 5 科 10 属 11 种,被子植物 110 科 407 属 723 种。种子植物科的组成以小科(55 科,占 47. 8%)和极小科(31 科,占 27. 0%)为主,科内种的组成以中等科(238 种,占 32. 4%)和小科(182 种,占 24. 8%)为主;属的组成以小属(132 属,占 31. 6%)和极小属(272 属,占 62. 5%)为主,属内种的组成以小属(325 种,占 48. 0%)和极小属(272 种,占 37. 1%)为主;优势科 7 科,优势属 22 属;在属级和种级水平植物区系上,温带分布均占有绝对优势;有 3 个中国特有属,265 种中国特有种;有国家一级重点保护野生植物 1 种,国家二级重点保护野生植物 5 种。

关键词:种子植物;植物多样性;区系特征;新生桥国家森林公园

中图分类号:S759. 9;S718. 521. 2;Q16;Q948. 5 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0115-06

引文格式:崔茂欢,胡昌平,梁建忠,等. 新生桥国家森林公园种子植物多样性及区系特征研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):115-120. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 018

CUI Maohuan, HU Changping, LIANG Jianzhong, et al. Diversity and Floristic Characteristics of Seed Plants in Xinshengqiao National Forest Park[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):115-120. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 018

Diversity and Floristic Characteristics of Seed Plants in Xinshengqiao National Forest Park

CUI Maohuan, HU Changping, LIANG Jianzhong, YANG Jianjun
(Dali Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Dali, Yunnan 671000, China)

Abstract: Plant resource information of Xinshengqiao National Forest Park was obtained by field investigation and literature review, plant diversity was analyzed from plant species and flora. The results showed that there were 734 species of seed plants belonging to 417 genera and 115 families, including 11 species of gymnosperms belonging to 10 genera and 5 families, and 723 species of angiosperms belonging to 407 genera and 110 families. The families of seed plants were mainly small families (55 families, accounting for 47. 8%) and extremely small families (31 families, accounting for 27. 0%), and the species in the families were mainly middle families (238 species, accounting for 32. 4%) and small families (182 species, accounting for 24. 8%); the genera were mainly composed of small genera (132 genera, accounting for 31. 6%) and extremely small genera (272 genera, accounting for 62. 5%), and the species were

收稿日期:2022-04-27;**修回日期**:2022-09-14.

第一作者:崔茂欢(1980-),男,云南宣威人,高级工程师. 从事林业调查规划、生物多样性保护和自然保护地研究工作. Email:cmh2006@163. com

责任作者:胡昌平(1970-),男,云南宣威人,高级工程师. 从事林业调查规划、生物多样性保护和自然保护地研究工作.

mainly composed of small genera (325 species, accounting for 48.0%) and extremely small genera (272 species, accounting for 37.1%); there were 7 dominant families and 22 dominant genera; in the flora of genus and species level, the temperate distribution was absolutely dominant; there were 3 Chinese endemic genera and 265 Chinese endemic species; there were 1 species of national first level key protected wild plants and 5 species of national second level key protected wild plants.

Key words: seed plant; plant diversity; floristic characteristics; Xinshengqiao National Forest Park

新生桥国家森林公园(以下简称"森林公园")位于云南省怒江州兰坪县境内,2001 年由原国家林业局批准建立,总面积 2 616.0 hm^2。2018 年,为做好森林公园总体规划,笔者对森林公园内植物、植被、动物等资源进行了专项调查。基于野外调查和查阅文献资料,对植物种类、植物区系及保护植物种类等内容进行分析,以期为森林公园植物保护提供参考。

1 研究区概况

新生桥国家森林公园是以保护云南松林(Form. *Pinus yunnanensis*)森林生态系统和以须弥红豆杉(*Taxus wallichiana*)、黑颈长尾雉(*Syrmaticus humiae*)等为代表的珍稀濒危野生动植物资源为主,融自然保护、自然科普教育、森林观光与体验、森林养生、民族文化体验、休闲度假于一体的城郊型森林公园[1]。森林公园由兰坪县新生桥国有林场管理。

森林公园位于青藏高原东南缘横断山脉云岭山系中部,地理坐标为东经 99°19′47″~99°22′23″,北纬 26°27′02″~26°32′55″。最高海拔 2 920 m,最低海拔 2 440 m。受高原季风气候影响,森林公园气候四季不分明,干湿季分明。年均温 10.7~11.3℃,最冷月均温 3.3℃,最热月均温 17.8℃,降雨量 980~1 000 mm,相对湿度 75%。金坪河从森林公园内穿过,园内有中型水库一座(丰坪水库),水域面积 114.9 hm^2,总库容 3 230.7 万m^3,水系属澜沧江水系。主要植被类型为暖性针叶林,零星分布有常绿阔叶林、硬叶常绿阔叶林、落叶阔叶林等植被。土壤有红壤、黄棕壤和棕壤 3 种亚类。

2 研究方法

2018 年 8—9 月,采用线路调查法对森林公园内不同区域不同海拔段种子植物资源进行初步调查,参照《云南植物志》[2]《云南种子植物名录》[3]等,对所采集标本进行鉴定,结合查阅文献资料,获取森林公园植物资源信息。对森林公园内种子植物科、属数量进行统计分析,并对种子植物属、种分布区类型及国家重点保护野生植物种类进行分析。

3 结果与分析

3.1 植物组成

通过野外调查和查阅文献资料,森林公园内共记录有种子植物 734 种,隶属于 115 科 417 属。其中裸子植物 5 科 10 属 11 种,被子植物 110 科 407 属 723 种。

3.1.1 科的组成

以科内属数为依据,将森林公园种子植物 115 科分为 4 种类型:多属科(>10 属)、中等属科(6~10 属)、寡属科(2~5 属)和单属科(1 属)。森林公园内多属科 6 个,占总科数的 5.2%,包含 142 属,占总属数的 34.1%;中等属科 12 个,占总科数的 10.4%,包含 89 属,占总属数的 21.3%;寡属科 48 个,占总科数的 41.7%,包含 137 属,占总属数的 32.9%;单属科 49 个,占总科数的 42.6%,包含 49 属,占总属数的 11.8%(表 1)。森林公园种子植物科的组成以寡属科和单属科为主,科内属的组成以多属科和寡属科为主(表 2)。

表 1 森林公园种子植物科内属的组成

Tab. 1 Composition of genera in seed plants families in forest park

类型	科内属的组成
多属科(>10 属)	菊科 41 属、禾本科 31 属、蝶形花科 20 属、蔷薇科 20 属、唇形科 16 属、兰科 14 属,共 6 科 142 属
中等属科(6~10 属)	毛茛科 10 属、伞形科 9 属、玄参科 9 属、荨麻科 9 属、百合科 8 属、杜鹃花科 7 属、五加科 7 属、虎耳草科 6 属、蓼科 6 属、忍冬科 6 属、莎草科 6 属、石竹科 6 属,共 12 科 89 属
寡属科(2~5 属)	十字花科、松科、鸭跖草科、桔梗科 4 科各 5 属,芸香科、锦葵科、龙胆科、茶科、茜草科等 8 科各 4 属,八仙花科、败酱科、大戟科、景天科、爵床科等 13 科各 3 属,报春花科、边莲科、川续断科、灯心草科、红豆杉科等 23 科各 2 属,共 48 科 137 属
单属科(1 属)	车前科、凤仙花科、金丝桃科、旌节花科、三尖杉科等 49 科各 1 属,共 49 科 49 属
合计	115 科 417 属

表 2　森林公园种子植物科内属的数量组成

Tab. 2　Quantitative composition of genera in seed plants families in forest park

类型	科内属数	科数	占比/%	属数	占比/%
多属科	>10	6	5.2	142	34.1
中等科	6~10	12	10.4	89	21.3
寡属科	2~5	48	41.7	137	32.9
单属科	1	49	42.6	49	11.8
合计		115	100.0	417	100.0

以科内种数为依据,将森林公园种子植物 115 科分为 5 种类型:大科(>50 种)、较大科(21~50 种)、中等科(6~20 种)、小科(2~5 种)和极小科(1 种)。森林公园大科 2 个,占总科数的 1.7%,包含 132 种,占总种数的 18.0%;较大科 5 个,占总科数的 4.4%,包含 151 种,占总种数的 20.6%;中等科 22 个,占总科数的 19.1%,包含 238 种,占总种数的 32.4%;小科 55 个,占总科数的 47.8%,包含 182 种,占总种数的 24.8%;极小科 31 个,占总科数的 27.0%,包含 31 种,占总种数的 4.2%(表 3)。森林公园种子植物科的组成以小科和极小科为主,科内种的组成以中等科和小科为主(表 4)。

表 3　森林公园种子植物科内种的组成

Tab. 3　Composition of species in seed plants families in forest park

类型	科内种的组成
大科(>50 种)	菊科 77 种、蔷薇科 55 种,共 2 科 132 种
较大科(21~50 种)	禾本科 42 种、蝶形花科 30 种、毛茛科 29 种、唇形科 28 种、蓼科 22 种,共 5 科 151 种
中等科(6~20 种)	兰科 18 种、杜鹃花科 18 种、龙胆科 16 种、玄参科 15 种、壳斗科 13 种、石竹科 13 种、忍冬科 12 种、桔梗科 12 种、莎草科 12 种、荨麻科 12 种、伞形科 11 种、百合科 11 种、虎耳草科 10 种、五加科 9 种、茜草科 9 种、小檗科 8 种、松科 6 种、十字花科 8 种、槭树科 7 种、萝摩科 6 种、柳叶菜科 6 种、八仙花科 6 种,共 22 科 238 种
小科(2~5 种)	茶科、大戟科、灯心草科、景天科、葡萄科等 12 科各 5 种,报春花科、锦葵科、爵床科、马钱科、漆树科等 10 科各 4 种,败酱科、川续断科、胡颓子科、藜科、凤仙花科等 16 科各 3 种,红豆杉科、葫芦科、桦木科、鹿蹄草科、五味子科等 17 科各 2 种,共 55 科 182 种
极小科(1 种)	车前科、马兜铃科、柽柳科、猕猴桃科、延龄草科等 31 科各 1 种,共 31 科 31 种
合计	115 科 734 种

表 4　森林公园种子植物科内种的数量组成

Tab. 4　Quantitative composition of species in seed plants families in forest park

类型	科内种数	科数	占比/%	种数	占比/%
大科	>50	2	1.7	132	18.0
较大科	21~50	5	4.4	151	20.6
中等科	6~20	22	19.1	238	32.4
小科	2~5	55	47.8	182	24.8
极小科	1	31	27.0	31	4.2
合计		115	100.0	734	100.0

森林公园种子植物共 115 科,将含 20 种及以上的科定为优势科,共 7 科,占总科数的 6.1%。这些科包含 144 属,占全部属数的 34.5%;含有 283 种,占全部种数的 38.6%(表 5)。7 个优势科种子植物在森林公园内得到了比较充分的发展,是森林公园种子植物区系的主体。

表 5　森林公园种子植物优势科组成

Tab. 5　Dominant families of seed plants in forest park

序号	科名	属数	种数
1	菊科	41	77
2	蔷薇科	20	55
3	禾本科	31	42
4	蝶形花科	20	30
5	毛茛科	10	29
6	唇形科	16	28
7	蓼科	6	22
合计		144	283

森林公园部分科所含的属数、种数虽然较少,但其为森林公园植被的优势种,如松科、壳斗科等科的种类,对森林公园植物区系的形成和发展具有重要意义。

3.1.2 属的组成

以属内种数为依据,将森林公园种子植物 417 属划分为 5 种类型:大属(>20 种)、较大属(10~20 种)、中等属(6~9 种)、小属(2~5 种)和极小属(1 种)。森林公园无大属植物,较大属 4 个,占总属数的 1.0%,包含 48 种,占总种数的 6.5%;中等属 9 个,占总属数的 2.2%,包含 62 种,占总种数的 8.4%;小属 132 个,占总属数的 31.6%,包含 352 种,占总种数的 48.0%;极小属 272 个,占总属数的 62.5%,包含 272 种,占总种数的 37.1%。森林公园

种子植物属的组成和属内种的组成均以小属和极小属为主(表 6,表 7)。

表 6 森林公园种子植物属内种的组成

Tab. 6 Composition of species in seed plants genera in forest park

类型	属内种的组成
大属(>20 种)	
较大属(10~20 种)	蓼属 15 种、悬钩子属 12 种、栎属 11 种、杜鹃花属 10 种,共 4 属 48 种
中等属(6~9 种)	铁线莲属 9 种、龙胆属 8 种、槭属 7 种、蔷薇属 7 种、薹草属 7 种、马先蒿属 6 种、兔儿风属 6 种、委陵菜属 6 种、香需属 6 种,共 9 属 62 种
小属(2~5 种)	荚蒾属、堇菜属、山蚂蝗属、小檗属、绣线菊属等 9 属各 5 种,翠雀属、冬青属、画眉草属、卫矛属、碎米芥属等 17 属各 4 种,菝葜属、白珠属、楤木属、灯心草属、凤仙花属等 27 属各 3 种,白酒草属、报春花属、柴胡属、稠李属、独蒜兰属等 79 属各 2 种,共 132 属 352 种
极小属(1 种)	八角属、白及属、百合属、冷杉属、云杉属等 272 属各 1 种,共 272 属 272 种
合计	417 属 734 种

表 7 森林公园种子植物属内种的数量组成

Tab. 7 Quantitative composition of species in seed plants genera in forest park

类型	属内种数	属数	占比/%	种数	占比/%
大属	>20	0	0	0	0
较大属	10~20	4	1.0	48	6.5
中等属	6~9	9	2.2	62	8.4
小属	2~5	132	31.6	352	48.0
极小属	1	272	65.2	272	37.1
合计		417	100.0	734	100.0

森林公园内共记录种子植物 417 属,将含 5 种及以上的属定为优势属,共 22 属,占总属数的 5.3%,分属 16 个科。这 22 个属共包含 155 种植物,占全部种数的 21.1%(表 8)。包含种数最多的是蓼属,其次是悬钩子属、栎属、杜鹃属,均为典型北温带分布的大属或全球广布的大属。

3.2 植物区系特征

3.2.1 属的区系成分

根据吴征镒等[4-5]对属分布区类型的划分原则,将森林公园 417 属种子植物划分为 15 个分布类型(表 9)。

表 8 森林公园种子植物优势属组成

Tab. 8 Dominant genera of seed plants in forest park

序号	属名	所属科	种数
1	蓼属	蓼科	15
2	悬钩子属	蔷薇科	12
3	栎属	壳斗科	11
4	杜鹃属	杜鹃花科	10
5	铁线莲属	毛茛科	9
6	龙胆属	龙胆科	8
7	蔷薇属	蔷薇科	7
8	薹草属	莎草科	7
9	槭属	槭树科	7
10	香需属	唇形科	6
11	马先蒿属	玄参科	6
12	兔儿风属	菊科	6
13	委陵菜属	蔷薇科	6
14	堇菜属	堇菜科	5
15	蝇子草属	石竹科	5
16	栒子属	蔷薇科	5
17	山蚂蝗属	蝶形花科	5
18	荚蒾属	忍冬科	5
19	獐牙菜属	龙胆科	5
20	紫菀属	菊科	5
21	小檗属	小檗科	5
22	绣线菊属	蔷薇科	5
合计		16	155

森林公园种子植物 417 属划分为 15 个类型,表明森林公园植物区系在属级水平上的多样性和地理成分的复杂性,以及同世界其它地区植物区系的广泛联系。森林公园有热带性质的属(分布型 2~7)128 个,占总属数的 30.7%;有温带性质的属(分布型 8~15)234 个,占 56.1%。很多温带成分在森林公园得到较好发展,其属的区系属于温带性质。森林公园所有属的分布类型中,居前三位的为北温带分布(110 属,占 26.4%)、泛热带分布(66 属,占 15.8%)、东亚分布(46 属,占 11.0%),仍以温带性质属占绝对优势,表明其种子植物区系与温带植物区系具有极其密切的联系,并带有鲜明的东亚植物区系烙印。这一结果与尹志坚等[6]对横断山地区植物属的区系研究结果一致。

3.2.2 种的区系成分

属一级水平上的统计分析具有其固有的局限性,

表 9　森林公园种子植物属的分布区类型

Tab. 9　Areal-types of seed plant genera in forest park

分布区类型	属数	占比/%
1 世界广布	55	13.2
2 泛热带分布	66	15.8
3 热带亚洲及热带美洲间断分布	10	2.4
4 旧世界热带分布	17	4.1
5 热带亚洲至热带大洋洲分布	8	1.9
6 热带亚洲至热带非洲分布	10	2.4
7 热带亚洲分布	17	4.1
热带分布属合计(2~7)	128	30.7
8 北温带分布	110	26.4
9 东亚和北美间断分布	29	7.0
10 旧世界温带分布	38	9.1
11 温带亚洲分布	3	0.7
12 地中海、西亚、中亚分布	3	0.7
13 中亚分布	2	0.5
14 东亚分布	46	11.0
15 中国特有分布	3	0.7
温带分布属合计(8~15)	234	56.1
合计	417	100.0

尚不能完全反映具体区系的本来面貌[7]。“若以属的分布区类型来评估某一较小区域区系的地带性质时,如应用不当,可能会导致错误的结论”[8-9]。而进行种的分布区类型研究,可以进一步直接确定某区域具体植物区系的地带性质及其组成成分的地理起源[10]。

根据吴征镒的中国种子植物属的分布区类型的概念及范围,并参考李锡文[11]、彭华[12]对种的分布区类型的划分原则,将森林公园种子植物划分为 13 个类型(表 10)。

森林公园 734 种种子植物可划分为 13 个类型,表明森林公园植物区系在种一级水平上的地理成分较为复杂,来源十分广泛。森林公园有热带性质的种(分布型 2~7)165 种,占总种数的 22.5%;有温带性质的种(分布型 8~15)558 种,占 76.0%。与属的区系统计相比,热带成分占比减少了 8.2%,而温带成分占比增加了 19.9%。充分表明森林公园植物区系为典型的温带性质,同时也深受热带植物区系的影响。这一结果与尹志坚等[6]对横断山地区植物种的区系研究结果一致。

表 10　森林公园种子植物种的分布区类型

Tab. 10　Areal-types of seed plant species in forest park

分布区类型	种数	占比/%
1 世界广布	11	1.5
2 泛热带分布	17	2.3
3 热带亚洲至热带美洲间断分布	8	1.1
4 旧世界热带分布	6	0.8
5 热带亚洲至热带大洋洲分布	11	1.5
6 热带亚洲至热带非洲分布	10	1.4
7 热带亚洲分布	113	15.4
8 北温带分布	27	3.7
9 东亚和北美间断分布	3	0.4
10 旧世界温带分布	23	3.1
11 温带亚洲分布	19	2.6
14 东亚分布	221	30.1
15 中国特有分布	265	36.1
合计	734	100.0

3.2.3 特有成分

1)属一级中国特有

森林公园有 3 个中国特有属,分别为杉木属、双盾木属和车前紫草属,占总属数的 0.7%。从属一级水平看,特有现象不突出。

2)种一级中国特有

森林公园有 265 种中国特有种,占总种数的 36.1%,是森林公园种一级占比最大的分布类型,是森林公园种子植物区系的主体。参考李锡文[11]、彭华[12]对中国特有种分布亚型的划分原则,结合森林公园实际情况,将森林公园中国特有种类型划分为与兰坪共有、与云南其他地区共有和与中国其他地区共有 3 种亚型。

与兰坪共有特有种 2 种,分别为兰坪胡颓子(*Elaeagnus lanpingensis*)和兰坪玉山竹(*Yushania puberula*)。此类型是森林公园及其所在的兰坪县狭域特有种,具有重要的潜在保护价值,从保护生物学的角度更应该关注这些狭域特有种。

与云南其他地区共有特有种 35 种,此类型是森林公园分布的云南特有种。以苍山乌头(*Aconitum contortum*)、黄背栎(*Quercus pannosa*)、兰坪槭(*Acer lanpingense*)、密枝杜鹃(*Rhododendron fastigiatum*)、云南过路黄(*Lysimachia albescens*)等为代表。

与中国其他地区共有特有种 228 种,以云南黄

果冷杉(*Abies ernestii* var. *salouenensis*)、云南榧树(*Torreya yunnanensi*)、云南松、西康玉兰(*Magnolia wilsonii*)和滇藏羊茅(*Festuca vierhapperi*)等为代表。

3.3 珍稀、濒危植物

依据《国家重点保护野生植物名录》[13],森林公园分布有国家重点保护野生植物 6 种,其中国家一级重点保护野生植物有须弥红豆杉 1 种,国家二级重点保护野生植物有云南榧树、西康玉兰、白及(*Bletilla striata*)、云南红景天(*Rhodiola yunnanensis*)、滇重楼(*Paris polyphylla* var. *yunnanensis*)5 种。

4 结论与讨论

1)森林公园共有种子植物 734 种,隶属 115 科 417 属。有国家重点保护野生植物 6 种,植物多样性丰富,具有较高的保护价值。

2)以科内属数为依据,森林公园种子植物科的组成以寡属科和单属科为主,科内属的组成以多属科和寡属科为主;以科内种数为依据,森林公园种子植物科的组成以小科和极小科为主,科内种的组成以中等科和小科为主;属的组成和属内种的组成均以小属和极小属为主。

3)综合属、种级水平的统计分析,森林公园的植物区系主要由中国特有成分、东亚成分及北温带成分组成,这三大成分构成了森林公园种子植物区系的主体。热带性质的属占比 30.7%,温带性质的属占比 56.1%;热带性质的种占比 22.5%,温带性质的种占比 76.0%,温带性质的种占比远远超过热带性质的种。森林公园种子植物区系为典型的温带性质。

5 保护管理建议

1)加大对森林公园分布的国家重点保护野生植物的保护力度,并开展长期监测研究和人工培育增繁工作。

2)对 265 种中国特有种进行分级保护,重点保护与兰坪共有的狭域特有种,其次为与云南其他地区共有的云南特有种,最后为与中国其他地区共有的特有种。

3)森林公园管理部门要依托植物物种多样性和区系复杂性,积极开展科学研究和科学普及工作,提高其科研能力和公园知名度,增强公众生态保护意识。

参考文献:

[1] 梁建忠,崔茂欢. 新生桥国家森林公园风景资源评价及保护对策[J]. 绿色科技,2022,24(3):57-61.
[2] 吴征镒. 云南植物志[M]. 北京:科学出版社,2006.
[3] 中国科学院昆明植物研究所. 云南种子植物名录[M]. 昆明:云南人民出版社,1984.
[4] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究,1991,13(增刊 4):1-139.
[5] 吴征镒,周浙昆,孙航,等. 种子植物的分布区类型及其起源和分化[M]. 昆明:云南科技出版社,2006.
[6] 尹志坚,彭华. 大理苍山种子植物区系的研究[J]. 植物分类与资源学报,2015,37(3):233-245.
[7] 恩德. 永德大雪山种子植物研究[D]. 昆明:中国科学院昆明植物研究所,2006.
[8] 汤彦承. 中国植物区系与其他地区区系的联系及其在世界区系中的地位和作用[J]. 云南植物研究,2000,22(1):1-26.
[9] 李嵘,刀志灵,纪运恒,等. 高黎贡山北段东西坡种子植物区系的比较研究[J]. 云南植物研究,2008,30(2):129-138.
[10] 猫玉白. 云南大理苍山蕨类植物区系地理研究[D]. 昆明:云南大学,2013.
[11] 李锡文. 中国种子植物区系统计分析[J]. 云南植物研究,1996,18(4):363-384.
[12] 彭华. 滇中南无量山地区的种子植物[M]. 昆明:云南科技出版社,1998.
[13] 国家林业和草原局,农业农村部公告(2021 年第 15 号). 国家重点保护野生植物名录[EB/OL]. (2021-09-07). https://www.forestry.gov.cn/c/www/gkbmgz/300099.jhtml.

责任编辑:许易琦

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 019

云南铜壁关省级自然保护区药用植物资源多样性研究

杨维雄,徐钡昌,尹建华,李红萍,李素会,顾淑丽
(昆明市海口林场,云南 昆明 650114)

摘要:以云南铜壁关省级自然保护区 2009—2010 年最新一次科学考察报告为基础,分析药用植物资源的多样性。结果表明,保护区有药用植物 73 科 169 属 220 种,其中单种科和单种属占优势,单种科占总科数的 50. 68%,单种属占总属数的 79. 88%;保护区大多数药用植物海拔分布高差为 400 m 以下,占药用植物种数的 75. 45%;保护区药用植物生活型以草本为主,主要药用部位为全草和根;保护区药用植物中有许多珍稀濒危植物种,还有一部分属于德宏州景颇族传统药用植物。

关键词:药用植物资源;多样性;种类;分布;云南铜壁关省级自然保护区

中图分类号:S759. 9;S759. 82;Q16 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0121-05

引文格式:杨维雄,徐钡昌,尹建华,等. 云南铜壁关省级自然保护区药用植物资源多样性研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):121-125. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 019

YANG Weixiong, XU Beichang, YIN Jianhua, et al. Diversity of Medicinal Plants Resources in Tongbiguan Provincial Nature Reserve of Yunnan[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):121-125. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 019

Diversity of Medicinal Plants Resources in Tongbiguan Provincial Nature Reserve of Yunnan

YANG Weixiong, XU Beichang, YIN Jianhua, LI Hongping, LI Suhui, GU Shuli
(Haikou Forest Farm, Kunming 650114, China)

Abstract: Based on the latest scientific investigation report from 2009 to 2010 in Tongbiguan Provincial Nature Reserve of Yunnan, the diversity of medicinal plant resources was analyzed. The results showed that there were 220 species, 169 genera and 73 families of medicinal plants in Tongbiguan Nature Reserve, and monotypic family and monotypic genus in these medicinal plants were dominated, monotypic family were accounting for 50. 68% of the total families, monotypic genus were accounting for 79. 88% of the total genera; the distribution of most medicinal plants had the altitude difference of 400 meters or less, accounting for 75. 45% of all medicinal plants; the main life form of medicinal plants was herb and the main medicinal parts were whole plant and root; there were a lot of endangered medicinal plant resources in Tongbiguan Reserve, and a part of medicinal plants belonged to traditional medicinal plants among Jingpo minority in Dehong Prefecture.

Key words: medicinal plant resources; diversity; species; distribution; Tongbiguan Provincial Nature Reserve

收稿日期:2022-04-05;**修回日期**:2022-04-29.
基金项目:中央财政林业科技推广项目(〔2022〕TG09).
第一作者:杨维雄(1971-),男,云南昆明人,工程师. 研究方向为森林培育等. Email:3391594493@ qq. com
责任作者:顾淑丽(1970-),女,云南昆明人,高级工程师. 研究方向为森林培育. Email:1300296146@ qq. com

云南铜壁关省级自然保护区有着极其丰富和独特的植物资源。据记载,保护区有野生高等植物333 科 1 628 属 4 951 种,许多植物蕴藏着重要的药用价值,其中有些是当地群众常用的传统草药,有些属于珍稀濒危药用植物。摸清保护区药用植物资源的详细情况,有利于实现对这部分药用植物资源的合理开发利用和保护。但目前对保护区内药用植物资源的调查研究鲜有报道,本文旨在通过对保护区药用植物资源进行调查分析,探究保护区药用植物资源多样性,为开展药用植物资源的开发利用和保护提供可靠的科学依据。

1 研究对象

云南铜壁关省级自然保护区地处北纬 23°54′30″~25°20′24″,东经 97°31′40″~98°06′36″,位于云南省西南部的德宏傣族景颇族自治州境内,地跨盈江县、瑞丽市和陇川县,由大娘山、铜壁关、陇把、户永山、植物园和南畹河 6 个片区组成,总面积为 51 650.5 hm^2[1-3]。保护区系云南高黎贡山南部支尖高山向西南延伸的余脉,地势东北高、西南低,山体海拔介于 210~3 404.6 m,温度和降水变化明显,从而形成了多层次的生物气候类型[3-5]。保护区有着极其丰富和独特的生物多样性资源,记载有野生高等植物 333 科 1 628 属 4 951 种,其中珍稀濒危植物有 387 种[6]。区内植被以阿萨姆娑罗双、东京龙脑香等高大乔木为特征,因此是保护以阿萨姆娑罗双等为标志的热带雨林和热带珍稀动植物及其生境为主要目的的热带雨林生态系统类型的自然保护区[5]。

2 数据来源及研究方法

研究数据来源于 2009—2010 年铜壁关保护区科学考察数据药用植物资源部分,依据《中国植物志》[7]、《中华人民共和国药典》(2020 年版一部)[8]等工具书及相关文献资料,从植物资源药用部位、生活型、珍稀濒危情况、传统药用植物类型等方面对药用植物资源名录进行整理分析。

3 结果与分析

3.1 保护区药用植物种类

铜壁关自然保护区(以下多简称“保护区”)药用植物资源有 73 科 169 属 220 种,占德宏州药用植物种数(317 种)的 69.40%,云南省药用植物种数(2 041 种)的 10.78%[9],其中蕨类植物 5 科 5 属 5 种,被子植物 68 科 164 属 215 种。

保护区药用植物单种科有 37 科,占总科数的 50.68%;37 种,占总种数的 16.82%。寡种科(含 2~5 种的科)有 22 科,占总科数的 30.14%;66 种,占总种数的 30.00%。中等科(含 6~10 种的科)有 12 科,占总科数的 16.44%;88 种,占总种数的 40.00%。较大的科(含 11~20 种的科)有 2 科,占总科数的 2.74%;29 种,占总种数的 13.18%。优势科为唇形科和菊科(表 1)。

表 1 铜壁关自然保护区药用植物各类科所含种数

Tab. 1 Number of species in various families of medicinal plants in Tongbiguan Nature Reserve

不同种数的科	科数	占比/%	各类科举例	总种数	占比/%
单种科(1 种)	37	50.68	苋科(Amaranthaceae)、虎耳草科(Saxifragaceae)、伞形科(Apiaceae)等	37	16.82
寡种科(2~5 种)	22	30.14	蔷薇科(Rosaceae)、胡椒科(Piperaceae)、桔梗科(Campanulaceae)等	66	30.00
中等科(6~10 种)	12	16.44	葫芦科(Cucurbitaceae)、姜科(Zingiberaceae)、龙胆科(Gentianaceae)等	88	40.00
较大的科(11~20 种)	2	2.74	唇形科(Lamiaceae)、菊科(Asteraceae)	29	13.18

保护区药用植物单种属有 135 属,占总属数的 79.88%;135 种,占总种数的 61.36%。寡种属(含 2~5 种的属)有 34 属,占总属数的 20.12%;85 种,占总种数的 38.64%(表 2)。

表 2 铜壁关自然保护区药用植物各类属所含种数

Tab. 2 Number of species in various genera of medicinal plants in Tongbiguan Nature Reserve

不同种数的属	属数	占比/%	各类属举例	总种数	占比/%
单种属(1 种)	135	79.88	车前属(*Plantago* L.)、草珊瑚属(*Sarcandra* Gardner)、决明属(*Senna* Mill.)等	135	61.36
寡种属(2~5 种)	34	20.12	胡椒属(*Piper* L.)、蓼蓄属(*Polygonum* L.)、铁线莲属(*Clematis* L.)等	85	38.64

3.2 药用植物分布

保护区药用植物的分布按海拔高度有所不同。

根据植物分布海拔高差的不同,可将植物分为分布广泛型(高差 700 m 以上)、分布较广泛型(高差 400~700 m)、分布稀少型(高差 400 m 及以下)3 类[10-11]。

分布广泛型植物有 14 科 15 属 15 种,占药用植物科、属、种总数的 19.18%、8.88%、6.82%,代表植物有网脉唐松草(*Thalictrum reticulatum* Franch.)、溪畔落新妇(*Astilbe rivularis* Buch. -Ham. ex D. Don)、猪殃殃(*Galium spurium* L.)、岩芋(*Remusatia vivipara* (Lodd.) Schott)、万寿竹(*Disporum cantoniense* (Lour.) Merr.)等。

分布较广泛型植物有 26 科 36 属 39 种,占药用植物科、属、种总数的 35.62%、21.30%、17.73%,代表植物有四方蒿(*Elsholtzia blanda* Benth.)、香薷(*Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Hyland.)、过路黄(*Lysimachia christiniae* Hance)、糯米团(*Gonostegia hirta* (Bl.) Miq.)、滇黄精(*Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl.)等。

分布稀少型植物有 65 科 136 属 166 种,占药用植物科、属、种总数的 89.04%、80.47%、75.45%,代表植物有牛膝(*Achyranthes bidentata* Blume)、积雪草(*Centella asiatica* (L.) Urban)、川续断(*Dipsacus asper* Wallich ex Candolle)、天名精(*Carpesium abrotanoides* L.)、郁金(*Curcuma aromatica* Salisb.)等。

3.3 药用植物药用部位

根据药用植物入药部位的分类标准[10,12],铜壁关自然保护区的药用植物(有些植物多个部位可入药)可分为 12 类(表 3)。其中,利用全草类、根类、茎类和叶类的药用植物最多,分别占药用植物种数的 44.09%、38.18%、19.09%和 16.82%;利用根茎、果、种子和花作为入药部位的植物次之,分别占药用植物种数的 7.73%、7.73%、4.09%和 2.73%;利用种仁、孢子、果皮和树皮作为入药部位的极少,占比不足 1%。

铜壁关自然保护区药用植物中以全草类占比最大,其种数占整个保护区药用植物种数的 44.09%,代表种类主要有拔毒散(*Sida szechuensis* Matsuda)、夏枯草(*Prunella vulgaris* L.)、千里光(*Senecio scandens* Buch.-Ham. ex D. Don)、爵床(*Justicia procumbens* Linnaeus)、云南兔儿风(*Ainsliaea yunnanensis* Franch.)等。根类药用植物主要有牛膝(*Achyranthes bidentata* Blume)、川续断、郁金、大百部(*Stemona tuberosa* Lour.)、地胆草(*Elephantopus scaber* L.)等。茎类药用植物主要有黄金凤(*Impatiens siculifer* Hook. f.)、密花豆(*Spatholobus suberectus* Dunn)、岩芋、钩藤(*Uncaria rhynchophylla* (Miq.) Miq. ex Havil.)、绣球藤(*Clematis montana* Buch.-Ham. ex DC.)等。根茎类药用植物主要有华山姜(*Alpinia oblongifolia* Hayata)、黑籽重楼(*Paris thibetica* Franchet)、奇异南星(*Arisaema decipiens* Schott)、仙茅(*Curculigo orchioides* Gaertn.)等。叶类药用植物主要有剑叶龙血树(*Dracaena cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen)、藤金合欢(*Acacia concinna* (Willd.) DC.)、刺通草(*Trevesia palmata* (Roxb.) Vis.)等。花类药用植物主要有淡红忍冬(*Lonicera acuminata* Wall.)、锈毛忍冬(*Lonicera ferruginea* Rehd.)、异毛大花忍冬(*Lonicera macrantha* (D. Don) Spreng.)等。果类药用植物主要有喀西茄(*Solanum aculeatissimum* Jacquin)、川楝(*Melia toosendan* Sieb. et Zucc.)、大花五味子(*Schisandra grandiflora* (Wall.) Hook. f. et Thoms.)等。种子类药用植物主要有大花菟丝子(*Cuscuta reflexa* Roxb.)、牵牛(*Ipomoea nil* (Linnaeus) Roth)、滇藏五味子(*Schisandra neglecta* A. C. Smith)等。种仁类药用植物仅有油渣果(*Hodgsonia heteroclita* (Roxb.) Hook. f. et Thomson)1 种。孢子类药用植物有石松(*Lycopodium japonicum* Thunb. ex Murray)、海金沙(*Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.)2 种。果皮类药用植物仅有油渣果 1 种。树皮类药用植物有头状四照花(*Cornus capitata* Wallich)、猪肚木(*Canthium horridum* Bl. Bijdr.)2 种。

表 3　铜壁关自然保护区不同药用部位的植物种数

Tab. 3　Number of plant species with different organs used as medicinal materials in Tongbiguan Nature Reserve

药用部位	科		属		种	
	数量	占比/%	数量	占比/%	数量	占比/%
全草	44	60.27	80	47.34	97	44.09
根	41	56.16	72	42.60	84	38.18
茎	27	36.99	38	22.49	42	19.09
根茎	10	13.70	16	9.47	17	7.73
叶	24	32.88	35	20.71	37	16.82
花	4	5.48	4	2.37	6	2.73
果	11	15.07	14	8.28	17	7.73
种子	6	8.22	7	4.14	9	4.09
种仁	1	1.37	1	0.59	1	0.45
孢子	2	2.74	2	1.18	2	0.91
果皮	1	1.37	1	0.59	1	0.45
树皮	2	2.74	2	1.18	2	0.91

3.4 药用植物生活型

保护区药用植物的生活型具有多样性,根据统计,可分为乔木、灌木或乔木、灌木、亚灌木、草本或亚灌木、一年生草本、多年生草本等 11 种类型(表 4)。其中,多年生草本和藤本占比最大,分别占铜壁关药用植物种数的 37.27% 和 21.36%。多年生草本类药用植物代表种类主要有牛膝、积雪草、夏枯草等。藤本类药用植物代表种类主要有大花五味子、绞股蓝(*Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino)、栝楼(*Trichosanthes kirilowii* Maxim.)等。乔木类药用植物代表种类主要有云南红豆杉(*Taxus yunnanensis* W. C. Cheng & L. K. Fu)、印度血桐(*Macaranga indica* Wight)、剑叶龙血树(*Dracaena cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen)等。灌木或乔木类药用植物代表种类主要有滇丁香(*Luculia pinceana* Hooker)、中缅八角(*Illicium burmanicum* Wils.)、楤木(*Aralia elata* (Miq.) Seem.)等。灌木类药用植物代表种类主要有峨眉十大功劳(*Mahonia polyodonta* Fedde)、野牡丹(*Melastoma malabathricum* Linnaeus)、常山(*Dichroa febrifuga* Lour.)等。亚灌木类药用植物代表种类主要有光茎胡椒(*Piper glabricaule* C. DC.)、海南草珊瑚(*Sarcandra glabra* subsp. *brachystachys* (Blume) Verdcourt)、拔毒散(*Sida szechuensis* Matsuda)等。草本或亚灌木类药用植物代表种类主要有牛尾草(*Isodon ternifolius* (D. Don) Kudo)、小驳骨(*Justicia gendarussa* N. L. Burman)、接骨草(*Sambucus javanica* Blume)等。一年生草本类药用植物代表种类主要有黄金凤、豨莶(*Sigesbeckia orientalis* Linnaeus)、龙葵(*Solanum nigrum* L.)等。寄生草本类药用植物代表种类主要有大花菟丝子(*Cuscuta reflexa* Roxb.)。直立草本类药用植物代表种类主要有赭头红(*Sarcopyramis napalensis* Wallich)、香薷、刺蕊草(*Pogostemon glaber* Benth.)等。蕨类药用植物代表种类主要有芒萁(*Dicranopteris pedata* (Houttuyn) Nakaike)、海金沙、骨碎补(*Davallia tric-homanoides* Blume)等。

3.5 珍稀濒危药用植物

据统计,保护区共有珍稀濒危药用植物 16 科 22 属 23 种。按珍稀濒危程度划分:近危类有 10 科 11 属 11 种,代表种类主要有箭根薯(*Tacca chantrieri* Andre)、滇水金凤(*Impatiens uliginosa* Franch.)、骨碎补等;易危类有 8 科 9 属 9 种,代表种类主要有滇南天门冬(*Asparagus subscandens* Wang et S. C. Chen)、剑叶龙血树(*Dracaena cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen)、偏花马兜铃(*Aristolochia obliqua* S. M. Hwang)等;濒危类有 3 科 3 属 3 种,主要有黑毛石斛(*Dendrobium williamsonii* Day et Rchb. F.)、革叶马兜铃(*Aristolochia scytophylla* S. M. Hwang et D. L. Chen)、喙花姜(*Rhynchanthus beesianus* W. W. Smith)。此外,按保护等级划分,保护区药用植物中,有国家一级保护植物黑毛石斛(*Dendrobium williamsonii* Day et Rchb. F.);国家二级保护植物黑籽重楼(*Paris thibetica* Franchet)、金荞麦(*Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara)、麦穗石豆兰(*Bulbophyllum orientale* Seidenf.)、二叶石豆兰(*Bulbophyllum shanicum* King et Prantl.)、剑叶龙血树;云南省一级重点保护树种云南红豆杉。

表 4 铜壁关自然保护区药用植物生活型

Tab. 4 Life form of medicinal plants in Tongbiguan Nature Reserve

生活类型	科	占比/%	属	占比/%	种	占比/%
乔木	13	17.81	17	10.06	18	8.18
灌木或乔木	8	10.96	8	4.73	9	4.09
灌木	12	16.44	18	10.65	19	8.64
亚灌木	5	6.85	5	2.96	5	2.27
草本或亚灌木	4	5.48	4	2.37	5	2.27
一年生草本	12	16.44	16	9.47	19	8.64
多年生草本	35	47.95	69	40.83	82	37.27
寄生草本	1	1.37	1	0.59	1	0.45
直立草本	5	6.85	7	4.14	10	4.55
藤本	21	28.77	31	18.34	47	21.36
蕨类	5	6.85	5	2.96	5	2.27

3.6 传统药用植物

根据田先娇等[13]对德宏州景颇族传统药用植物民族植物学研究的结果,保护区中共有 18 科 24 属 24 种药用植物属于传统药用植物,占保护区药用植物种数的 10.91%。主要代表种类有网脉唐松草(*Thalictrum reticulatum* Franch.)、荷莲豆草(*Drymaria cordata* (Linnaeus) Willdenow ex Schultes)、积雪草、川续断、金荞麦、千里光等。

4 结论与讨论

通过分析铜壁关自然保护区药用植物的种类、分类构成、分布、药用部位、生活型、珍稀濒危情况和德宏州传统药用植物种类、数量,得出以下结论:

1)保护区药用植物种类多样性高,共有 73 科 169 属 220 种,占德宏州药用植物种数的 69.40%,由此可见铜壁关蕴藏着丰富的药用植物资源。但其中单种科和单种属的植物占了很大部分(单种科植物占总科数的 50.68%,单种属植物占总属数的 79.88%),对这部分药用植物需采取措施加以保护,防止因乱采滥伐造成整个科、属药用植物在保护区内的灭绝,降低保护区药用植物的多样性。

2)保护区药用植物海拔分布范围较窄,多数为高差 400 m 及以下的分布稀少型,占药用植物种数的 75.45%。

3)保护区药用植物的药用部位以全草和根占主要优势。以全草、根入药对植物种群和生境的影响比以其他部位入药的更大,因此,采集和利用全草类、根类药用植物时,要充分考虑对这类植物种群和生境的保护,确保资源的可持续利用[14]。

4)保护区药用植物生活型以草本为主,木本为辅,多年生草本药用植物占保护区药用植物种数的 37.27%。草本药用植物具有生活周期短、自然更新恢复快、数量多等特点[14-15],有利于铜壁关药用植物的更新、保护和利用。

5)保护区药用植物中有许多珍稀濒危药用植物资源,其中有些还是国家一级、二级保护植物和云南省一级重点保护树种。针对这部分药用植物,要根据国家现有的野生濒危植物保护相关法律法规制定相应保护政策法规。另外,保护区药用植物中有一部分属于德宏州景颇族传统药用植物,对这部分药用植物要遵循“保护为主,开发为辅”的原则合理地开发和利用,以提高地区经济效益,减少资源浪费。

参考文献:

[1] 张卓亚,杨欣. 铜壁关自然保护区不同森林生态系统碳储量及碳密度评估[J]. 林业调查规划,2017,42(5):20-24.

[2] 张卓亚,杨欣,赵士勋. 铜壁关保护区森林生态系统服务价值评价研究[J]. 西部林业科学,2017,46(3):121-124.

[3] 杨明伟,邢德选,张定灿,等. 云南铜壁关自然保护区森林生态系统服务功能价值评估[J]. 林业调查规划,2021,46(5):51-58.

[4] 魏礼,赵瑞琳. 铜壁关自然保护区大型真菌多样性研究[J]. 现代农业科技,2015(10):170-175.

[5] 肖之强,马晨晨,代俊,等. 铜壁关自然保护区藤本植物多样性研究[J]. 热带亚热带植物学报,2016,24(4):437-443.

[6] 钱强,杨从宽,张友兵,等. 铜壁关自然保护区珍稀濒危植物海拔梯度分布格局[J]. 西南林学院学报,2012,32(2):43-48.

[7] 中国科学院《中国植物志》编写委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1978.

[8] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 2020 年版一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020.

[9] 杜莹. 云南省药用植物资源分区及开发的初步研究[D]. 昆明:云南师范大学,2014.

[10] 刘冠,王诚吉. 五鹿山国家级自然保护区药用植物多样性研究[J]. 林业调查规划,2019,44(3):90-96.

[11] 王强,徐国钧. 道地药材图典[M]. 福州:福建科学技术出版社,2003.

[12] 周繇,刘利,张明杰,等. 长白山国家级自然保护区药用植物资源及其多样性研究[J]. 林业科学,2005(6):60-67.

[13] 田先娇,党菱婧,梁建平,等. 德宏州景颇族传统药用植物民族植物学研究[J]. 中国野生植物资源,2021,40(8):70-78.

[14] 魏俊,郑维超,杨陈,等. 唐家河国家级自然保护区药用植物资源及多样性特征分析[J]. 西北植物学报,2019,39(7):1307-1315.

[15] 王戈,唐源盛,喻晓钢,等. 四川九顶山自然保护区药用植物资源及多样性特征分析[J]. 四川林业科技,2020,41(2):58-63.

责任编辑:刘平书

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 020

永善县五莲峰市级自然保护区生态质量评价

汤明华[1],刘 娟[2],李 勇[3],赵金发[1]
(1. 云南省林业调查规划院生态分院,云南 昆明 650031; 2. 云南林业职业技术学院 经济管理学院,
云南 昆明 650224;3. 永善县国有林场,云南 永善 657300)

摘要:选用生物多样性、典型性、稀有性等指标对永善县五莲峰市级自然保护区生态质量进行评价研究。结果显示,保护区的综合评价分值为 72,评价等级为Ⅱ级,其生态质量较好。根据单项评价结果,保护区生物多样性、典型性、自然性和面积适应性得分较高,稀有性、脆弱性和人为活动得分较低。根据评价结果,分析保护区目前存在的问题,提出遵循自然规律,科学合理规划,理顺管理体制,兼顾保护与可持续发展相结合等建议。

关键词:生态质量评价;植被类型;生物多样性;永善县五莲峰市级自然保护区

中图分类号:S759. 9;S718. 557 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0126-05

引文格式:汤明华,刘娟,李勇,等. 永善县五莲峰市级自然保护区生态质量评价[J]. 林业调查规划,2023,48(5):126-130,206. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 020

TANG Minghua, LIU Juan, LI Yong, et al. Ecological Quality Evaluation of Wulianfeng Municipal Nature Reserve in Yongshan County[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):126-130,206. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 020

Ecological Quality Evaluation of Wulianfeng Municipal Nature Reserve in Yongshan County

TANG Minghua[1], LIU Juan[2], LI Yong[3], ZHAO Jinfa[1]
(1. Ecology Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650031, China;
2. School of Economics and Management, Yunnan Forestry Vocational and Technical College, Kunming 650224, China;
3. Yongshan State-owned Forest Farm, Yongshan, Yunnan 657300, China)

Abstract: The indicators such as biodiversity, typicality and rarity were used to valuate and study the ecological quality of Wulianfeng Municipal Nature Reserve in Yongshan County. The results showed that the comprehensive evaluation score of the nature reserve was 72, with an evaluation level of II, indicating good ecological quality. According to the individual evaluation results, the scores of biodiversity, typicality, naturalness, and area adaptability were higher, while the scores of rarity, vulnerability, and human activities were lower. Based on the evaluation results, this paper analyzed the current problems in the nature reserve, proposed suggestions such as following natural laws, scientifically and reasonably planning, streamlining management systems, and balancing protection with sustainable development.

Key words: ecological quality evaluation; vegetation type; biodiversity; Wulianfeng Municipal Nature Reserve in Yongshan County

收稿日期:2022-03-02;**修回日期**:2022-05-30;**二次修回日期**:2022-08-02.
第一作者:汤明华(1981-),男,云南会泽人,硕士,高级工程师. 主要从事森林资源规划设计调查工作. Email:530490253@qq. com
责任作者:赵金发(1983-),男,云南建水人,硕士,高级工程师. 主要从事林业调查规划和生物多样性保护研究工作. Email:623680768@qq. com

自然保护区的生态评价是其综合评价的主体,不仅评价保护区目前的管理状况及保护效能,同时又预警未来保护区自然环境的变化[1]。20 世纪 80 年代后期,云南省保护区建设发展迅速,截至 2020 年 12 月底,全省已建各种类型、不同级别的自然保护区 166 处,总面积 287.09 万hm^2,占全省土地总面积的 7.49%[2]。通过对永善县五莲峰市级自然保护区开展生态质量评价,为保护区管护部门提升保护管理能力和维护区域生物多样性提供重要的理论基础。

1 研究区概况

永善县五莲峰市级自然保护区(以下简称"保护区")位于乌蒙山脉西北面的金沙江东岸,属五莲峰山系,是四川盆地向云贵高原的过渡地带。地理坐标为东经 103°31′28″~103°55′29″,北纬 27°57′25″~28°13′52″。2002 年经永善县人民政府批准成立永善县五莲峰县级自然保护区,2003 年经昭通市人民政府批准晋升为市级自然保护区。保护区为自然生态系统类的森林生态系统类型,其总面积 18 705.73 hm^2,其中:核心区面积 6 681.68 hm^2,缓冲区面积 5 331.07 hm^2,实验区面积 6 692.98 hm^2。主要保护对象为典型的中山湿润常绿阔叶林、山地常绿、落叶阔叶混交林及分布其间的珍稀保护动植物物种。

保护区属中低山深谷区,海拔为 934~2 130 m,属亚热带湿润季风气候区,多年均温 16.5℃,最冷 1 月均温 6.9℃,最热 7 月均温 24.9℃,年积温 5 395.8℃,年无霜期 320~340 d,年均降雨量为 1 077 mm。保护区内出露的地层以古生界和中生界为主;主要出露沉积岩,有零星岩浆岩及变质岩分布;土壤可分为赤红壤、红壤、黄红壤、黄壤、暗黄棕壤和酸性紫色土 6 个土类。永善县境内河流均属金沙江水系,保护区内多为季节性河流,流程短小,流域面积也较小,最终均汇入金沙江。

2 研究方法与评价体系构建

根据《自然保护区生态质量评价技术规程》(LY/T 1831—2009)指标体系,在分析、综合目前国内外有关自然保护区生态评价研究成果的基础上,开展自然保护区实地调查与资料收集,结合自然保护区建设规范化管理要求,客观、系统、连续、定量与定性地对保护区生态质量进行评价[3]。通过筛选整合,保护区域分析评价指标分为 7 个一级指标及 15 个二级指标,满分 100 分,根据赋分标准,确定分值,评定等级分为 5 级(表 1)。

表 1　自然保护区生态质量评价

Tab. 1　Ecological quality evaluation of the nature reserve

评定等级	分值区间/分	质量评价
Ⅰ级	86~100	自然生态质量好
Ⅱ级	71~85	自然生态质量较好
Ⅲ级	51~70	自然生态质量一般
Ⅳ级	36~50	自然生态质量较差
Ⅴ级	≤35	自然生态质量差

3 研究结果与分析

3.1 生物多样性

3.1.1 物种多样性

保护区所在区域的植物区系分区属"东亚植物区""中国—日本森林植物亚区的华中区系""滇东北小区",植物物种丰富,保护区内记录有野生维管植物 138 科 435 属 814 种。其中:蕨类植物 15 科 27 属 43 种,种子植物 123 科 408 属 771 种,分别占昭通北部地区种子植物的 77.36%、63.75%、41.36%,物种相对丰度为丰。种子植物中,裸子植物 3 科 4 属 4 种,被子植物 120 科 404 属 767 种。被子植物中,双子叶植物 104 科 344 属 684 种,单子叶植物 16 科 60 属 83 种。分布陆栖脊椎动物 25 目 70 科 217 种,物种丰度为丰。其中:鸟纲 13 目 34 科 134 种,哺乳纲 8 目 22 科 44 种,爬行纲 2 目 6 科 21 种,两栖纲 2 目 8 科 18 种[4]。

3.1.2 生态系统多样性

保护区自然植被划分为 5 个植被型、5 个植被亚型、6 个群系、8 个群落(表 2)。

保护区丰富的地貌形成了多样性的生境类型,根据 IUCN 对生态系统的划分,保护区拥有 IUCN/SSC 森林、灌丛、草地、湿地、岩石区 5 个一级生境类型、10 个生态系统,分别是沟谷湿地、阔叶林、针叶林、针阔混交林、阔叶灌丛、山地草甸、人工针叶林、人工阔叶林、一年一熟作物组合型和果园生态系统,反映出生态系统类型多样。

3.2 典型性

保护区是中国动物地理区划中西南区和华中区的分布地带,地理位置特殊,位于四川盆地向青藏高原、云贵高原过渡地带,是长江南岸森林动物走廊带的瓶颈地带,东、西、南、北动物交汇,从动物区系成

表 2 保护区内植被类型分类系统

Tab. 2 Classification of vegetation types in the nature reserve

I. 常绿阔叶林
(I). 中山湿性常绿阔叶林
一. 石栎、栲类林
(一). 峨眉栲林(Form. *Castanoopsis platycantha*)
1. 峨眉栲、华木荷群落(*Castanopsis platycantha*, *Schima sinensis* Comm.)
2. 峨眉栲、筇竹群落(*Castanopsis platycantha*, *Qiongzhuea tumidinoda* Comm.)
3. 峨眉栲、珙桐群落群落(*Castanopsis platycantha*, *Davidia involucrata* Comm.)
II. 常绿、落叶阔叶混交林
(I). 山地常绿、落叶阔叶混交林
一. 水青冈常绿阔叶混交林
(二). 水青冈林(Form. *Fagus longipetiolata*)
1. 水青冈、峨眉栲群落(*Fagus longipetiolata*, *Castanopsis platycantha* Comm.)
III. 暖性针叶林
(I). 暖温性针叶林
(一). 杉木林(Form. *Cunninghamia lanceolata*)
1. 杉木群落(*Cunninghamia lanceolata* Comm.)
(二). 柳杉林(Form. *Cryptomeria fortunei*)
1. 柳杉群落(*Cryptomeria fortunei* Comm.)
IV. 温性针叶林
(I). 寒温性针叶林
一. 落叶松林
(一). 日本落叶松林(Form. *Larix kaempferi*)
1. 日本落叶松群落(*Larix kaempferi* Comm.)
V. 草甸
(I). 寒温草甸
一. 禾草草甸
(一). 羊茅草甸(Form. *Festuca ovina*)
1. 羊茅、毛秆野古草(*Festuca ovina*, *Arundinella hirta* Comm.)

分看既有云南高原的物种成分,还有四川西部的物种成分,尤其是四川西部的物种成分在地理分布上与金沙江南岸形成了孤立的区系,与四川西部的相应物种之间相互隔离而成为不同的地理居群。该地区维管植物种类丰富,成分复杂,植物区系具有深刻的古热带植物区系的历史背景,而现代植物区系总体上已经是东亚植物区系中的华中植物区系性质。吴征镒院士以东亚植物区系中有上百个特有属和科的特点,提出喜马拉雅—中国南部至日本为一个区别于古北界和东洋界的新界,即东亚植物界,滇东北地区隶属于这一新界中的中国—日本亚界。保护区分布的植被类型应属于我国东部亚热带常绿阔叶林类型,其水平地带性植被是湿性常绿阔叶林,群落物种组成丰富多样,区系成分复杂,群落结构完整,特征典型。因此,保护区对保护以峨眉栲、水青冈、木荷等主要树种为代表的湿性常绿阔叶林这一典型植被类型具有重要意义。

3.3 脆弱性

保护区虽然还拥有保存较好的森林,但由于面积小,周围几乎开发殆尽,保护区成为一个“孤岛”,加上保护区内人员活动频繁,不能满足部分动物对大生境的需要,显现出脆弱性,如豹猫(*Prionailurus bengalersis*)和林麝(*Moschus berezovskii*)等 8 种哺乳动物已经濒危。保护区森林小生境的多样性导致群落物种组成的复杂性和生态类型的多样性,这是群落稳定性的一种表征,可一旦森林植被被破坏,这种小生境就会消失,特别是植被破坏后很容易形成水土流失。再加上雨量大,降水集中,一旦破坏很难恢复。总体而言,保护区森林生态系统具有较强的生命力,却也有其脆弱性和难以恢复的特性。

3.4 稀有性

实地考察中发现,保护区分布国家重点野生保护植物 4 种,其中:国家一级重点保护野生植物 1 种,国家二级重点保护野生植物 3 种(表 3)。

表 3 保护区国家重点保护野生植物

Tab. 3 National key protected plants in Wulianfeng Municipal Nature Reserve

科名	种名	保护级别
蓝果树科 Nyssaceae	珙桐 *Davidia involucrata*	国家一级
昆栏树科 Trochodendraceae	水青树 *Tetracentron sinense*	国家二级
楝科 Meliaceae	红椿 *Toona ciliata*	国家二级
猕猴桃科 Actinidiaceae	中华猕猴桃 *Actinidia chinensis*	国家二级

保护区有国家重点野生保护动物 15 种(表 4),其中:国家一级重点保护野生动物 1 种,国家二级重点保护野生动物 14 种。

保护区动物有 14 种列入 CITES 贸易公约,其中:附录Ⅰ为 3 种,附录Ⅱ为 11 种,3 种列入中国濒危动物红皮书和中国物种红色名录,省级保护动物 2 种,中国特有物种 25 种(表 5)。保护区保护对象及其生境具有较强的稀有性。

3.5 自然性

由于历史原因,保护区周边许多地方已经过度

表 4　保护区国家重点保护野生动物

Tab. 4　National key protected animals in Wulianfeng Municipal Nature Reserve

目	物种	保护级别
偶蹄 Artiodactyla	林麝 *Moschus berezovskii*	国家一级
	中华斑羚 *Naemorhedus griseus*	国家二级
灵长目 Primates	藏酋猴 *Macaca thibetana*	国家二级
食肉目 Carnivora	黑熊 *Selenarctos thibetanus*	国家二级
	青鼬 *Martes flavigula*	国家二级
隼形目 Falconiformes	红隼 *Falco tinnunculus*	国家二级
	普通鵟 *Buteo buteo*	国家二级
	鹊鹞 *Circus melanoleucos*	国家二级
	松雀鹰 *Accipiter virgatus*	国家二级
鸡形目 Galliformes	白鹇 *Lophura nycthemera*	国家二级
	白腹锦鸡 *Chrysolophus amherstiae*	国家二级
	红腹角雉 *Tragopan temminckii*	国家二级
鸮形目 Strigiformes	斑头鸺鹠 *Glaucidium cuculoides*	国家二级
	灰林鸮 *Strix aluco*	国家二级
有尾目 Caudata	贵州疣螈 *Tylototriton kweichowensis*	国家二级

表 5　保护区各类珍稀濒危动物物种种数

Tab. 5　Number of rare and endangered animal species in Wulianfeng Municipal Nature Reserve　　种

类群名称	国家重点保护		贸易公约(CITES)			中国濒危动物红皮书和中国物种红色名录(IUCN)			省级保护动物	中国特有
	一级	二级	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	极危	濒危	易危		
哺乳类	1	4	3	3				3	1	4
鸟类		9		8						7
两栖爬行类		1							1	14
合计	1	14	3	11				3	2	25

注:CITES 附录为 2017 版。

开发,生态系统已受到很大程度的破坏,但保护区内仍然保持着原始性,是永善县境内保存较完好的绿洲。保护区植被属“亚热带常绿阔叶林区域”,其地带性植被主要为栲类木荷林,森林上层树种以栲属和木荷属占优势,其次是石栎属和青冈属。保护区内湿性常绿阔叶林等主要植被类型保存完整,原始性强。所以,保护区主要保护对象分布区和核心保护区地段保存完好,其自然生态系统受人类影响的程度较轻。

3.6 面积适宜性

按《自然保护区类型与级别划分原则》(GB/T 14529—1993)的标准划分[5],保护区为森林生态系统类型中的中型自然保护区。保护区面积大小与有效保护生态系统密切相关。保护区总面积为 18 705.73 hm^2,其中:核心区面积 6 681.68 hm^2,占保护区总面积的 35.72%;缓冲区面积 5 331.07 hm^2,占保护区总面积的 28.50%。核心区、缓冲区比例合适,能维持生态系统的结构和功能,能有效地保护森林植被和珍稀野生动植物的原生地、栖息地和繁殖地,因此面积大小适宜。

3.7 人为活动强度

3.7.1 资源开发利用状况

保护区有少量建设用地约 66 hm^2,在现有建设用地中,道路面积占比最大。由于历史原因,区内原有 8 个自然村、51 户、154 人,其中:核心区 5 人,缓冲区 94 人,实验区 55 人。8 个村庄所在地势平缓,周围均有小片耕地,村民农业生产生活较多。近年来,在政府积极帮助下,已有部分村民迁出保护区居住,其中:已搬迁 27 人,计划搬迁 47 人。保护区内无采石采砂活动,无工矿用地,无能源设施;区内有少量群众居住和驴友自发登山行为,以及少量采集中药材和竹笋活动。另有少量其他如输电线路、引水管道等公共基础设施从中穿过。这些活动多集中在缓冲区和实验区范围内,资源开发利用状况弱。

3.7.2 周边地区开发状况

保护区周边有大量村庄环绕,人口密度大,人畜活动较频繁,且林地和耕地相互交错。保护区由 3 个不相连的“岛状”片区构成,中间无生物走廊带连接。保护区周边分布有云荞电站、顺河梯级水电站、云荞水库及蒿枝坝水库等水利设施,但保护区毗邻云南乌蒙山国家级自然保护区和小岩方市级自然保护区,周边开发状况总体一般。

4 评价结果

根据保护区的生态特征和保护现状,对各项指标打分,评价结果见表 6。

保护区生物多样性丰富、典型性强、物种稀有性较强、自然性较好、面积适宜,属于中型自然保护区,生态脆弱性较强,保护区和周边地区资源开发状况强度较大,保护区自然生态质量评价总分为 72 分,

表 6 保护区生态质量评价结果

Tab. 6 Ecological quality evaluation of Wulianfeng Municipal Nature Reserve

一级指标	二级指标	评价等级与分值					一级指标得分	一级指标得分占比/%
		分值	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ		
生物多样性	物种多度	6		4.5			12.0	75.00
	物种相对丰度	5		3.5				
	生态系统类型多样性	5	4					
典型性	典型性	16	12				12.0	75.00
稀有性	保护物种稀有性	4			2.0		6.5	65.00
	物种濒危程度	4		3.0				
	物种地区分布	2		1.5				
自然性	生境状况	9		6.5			12.0	75.00
	自然度	7		5.5				
面积适宜性	核心区和缓冲区面积	7	7				8.5	85.00
	总面积大小	3			1.5			
脆弱性	生态系统稳定性	8		5.0			11.0	68.75
	生态系统恢复程度	8	6					
人为活动强度	资源开发利用状况	10	7				10.0	62.50
	周边地区开发状况	6		3.0				
合计		100					72.0	72.00

评价等级为Ⅱ级,自然生态质量较好。说明保护区 20 年的建设与发展,其生态保护取得一定成效,但离理想保护状态的要求还有一定的差距。

从单项评价结果来看,生物多样性、典型性、自然性和面积适应性得分较高,稀有性、脆弱性和人为活动强度得分较低,显示出保护区森林生态系统整体保存完好,但部分地区人为活动较为频繁,导致物种稀有程度不高,给森林生态系统带来了一定的破坏和干扰,应引起林草部门的充分重视。

5 保护管理建议

5.1 遵循自然规律,科学合理规划

保护区由 3 个不相连的“岛状”片区组成,各个片区因基础设施建设加剧了保护区破碎化和岛屿化,一定程度上威胁了生态系统的完整性。因此,应与相邻保护区相互协作,进行科学合理规划,最大限度保护生态系统完整性,切实保护生物多样性。

5.2 理顺管理体制,提高管理水平

保护区建立以来,没有建全相应的管理机构,由永善县国有林场(2017 年机构改革后加挂永善县自然保护区管护局)负责管理。保护区基础设施十分落后,缺乏保护管理、防火、科研、宣传等基本设施设备。人员编制少,管理人员严重不足,缺乏交通、办公等必要设备。因此,保护区管理机构能力极其薄弱,目前的管理工作基本局限于保护区的日常巡护、防火宣传等看护水平,而科学研究、生态监测、宣传教育、信息管理、合作交流、村组共管等工作几乎没有能力开展。现行机构、人员配置、基础设施和管理方式远不能适应自然保护区现代管理要求,尚未形成一套行之有效的管理体系。

5.3 兼顾保护与可持续发展相结合

保护区周边社区人口多,经济基础薄弱,周边社区部分群众的集体林地出于保护需要划入了保护区,加剧了保护区和社区的矛盾。应积极探索更加科学合理的社区管理模式,缓和保护区和社区之间的矛盾。当地政府应以国家实施乡村振兴为契机,合理规划产业,适度开发生态旅游和发展多种经营,带动周边社区经济发展和环境保护的持续、协调发展,摆脱当地“靠山吃山”的局面,减少对森林资源破坏。

5.4 加强保护管理工作

建立健全保护区管理机构,完善管理措施,落实必要的管理人员和管护经费;进一步加强机构能力建设,充实基层管理站所人员,合理配置专业人员结构,加强人员技能培训,提高保护管理水平。对公众进行经常性的保护环境和野生动物的宣传教育,提高周边村民的环境保护意识,引导村民参与保护区管理活动。加强巡护管理,及时发现和制止保护区内的各种违法活动。另外,必须要注重科研与监测工作,切实提高保护管理的规范性、科学性和有效性。

5.5 加大对保护区及周边社区的扶持力度

保护区周边地区仍有一定数量的村落和人口,对保护区局部区域的资源可能还存在部分依赖。当地政府和农业、林草、交通、教育、水利、电力、通信、扶贫等部门应加大对周边社区的扶持力度,给予倾斜性的资金和政策支持,引导农民合理调整产业结构,注重特色产业培植,推动和加快经济社会发展,提高农民收入,切实减轻社区对保护区自然环境和资源的依赖和压力。

(下转第 206 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.021

沿纬度梯度的 3 个热带森林动态监测样地的兽类和鸟类红外相机监测

张 兰[1,2],和雪莲[2,3],Supparat Tongkok[2,4],袁盛东[2,3],刘 峰[5],Anuttara Nathalang[6],Warren Y. Brockelman[6],闫兴富[1],林露湘[2,3]

(1. 北方民族大学 生物科学与工程学院/黄河流域农牧交错区生态保护国家民委重点实验室,宁夏 银川 750021; 2. 中国科学院西双版纳热带植物园热带森林生态学重点实验室,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; 4. 中国科学院大学,北京 100049; 5. 纳板河流域国家级自然保护区管理局,云南 景洪 666100; 6. 泰国国家生物技术发展署,国家生物数据库,泰国 巴吞他尼府 12120)

摘要:2017 年 6 月至 9 月和 2018 年 5 月至 9 月,利用红外相机分别对位于西双版纳的纳板河流域国家级自然保护区、西双版纳国家级自然保护区和泰国 Khao Yai 国家公园的三个热带森林动态监测样地的地面活动兽类和鸟类进行了监测。每个样地分别布设 49 台红外相机,共拍摄到 66 种野生动物,包括 6 目 13 科 24 种兽类,7 目 15 科 41 种鸟类以及 1 种两栖类。监测结果在一定程度上反映了保护区内野生动物种类,可为基于动态监测样地的生态学和保护生物学研究提供参考。

关键词:森林动态监测样地;红外相机监测;大中型兽类;地栖鸟类;生物多样性;热带森林;西双版纳

中图分类号:S718.65;S718.63;TB866 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0131-08

引文格式:张兰,和雪莲,Supparat Tongkok,等. 沿纬度梯度的 3 个热带森林动态监测样地的兽类和鸟类红外相机监测[J]. 林业调查规划,2023,48(5):131-138. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.021

ZHANG Lan, HE Xuelian, TONGKOK Supparat, et al. Camera-trapping Survey of Mammals and Birds on Three Tropical Forest Dynamic Plots Along Latitudinal Gradient[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):131-138. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.021

Camera-trapping Survey of Mammals and Birds on Three Tropical Forest Dynamic Plots Along Latitudinal Gradient

ZHANG Lan[1,2], HE Xuelian[2,3], TONGKOK Supparat[2,4], YUAN Shengdong[2,3], LIU Feng[5], NATHALANG Anuttara[6], BROCKELMAN Warren Y[6], YAN Xingfu[1], LIN Luxiang[2,3]

(1. College of Biological Science and Engineering/Key Laboratory of Ecological Protection of Agro-pastoral Ecotones in the Yellow River Basin, National Ethnic Affairs Commission of the People's Republic of China, North Minzu University, Yinchuan 750021, China; 2. Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciencess, Mengla, Yunnan 666303, China; 3. National Forest Ecosystem Research Station at Xishuangbanna, Mengla, Yunnan 666303, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 5. Administration Bureau of Naban River Watershed National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666100, China; 6. National Biobank of Thailand, National Science and Technology Development Agency, Pathum Thani 12120, Thailand)

收稿日期:2022-04-13.

基金项目:中国科学院西双版纳热带植物园"十三五"期间"一三五"专项重大突破(017XTBG-T01);云南省应用基础研究专项面上项目(202001AT070111).

第一作者:张兰(1996-),女,宁夏西吉人,硕士研究生. 主要从事群落生态学方面研究. Email:zhanglan@xtbg.ac.cn

责任作者:和雪莲(1985-),女,云南丽江人,助理研究员. 研究方向为群落生态学、鸟类学. Email:hexuelian@xtbg.ac.cn

Abstract: Infrared cameras were used to monitor the ground-dwelling mammals and birds in three tropical forest dynamic monitoring plots located in Naban River Basin National Nature Reserve, Xishuangbanna National Nature Reserve and Khao Yai National Park in Thailand from June to September 2017 or from May to September 2018. Forty-nine infrared cameras were deployed within and around each plot, identifying a total of 66 species of wild animals, including 24 mammal species belonging to 13 families and 6 orders, 41 bird species belonging to 15 families and 7 orders, and 1 species of amphibian. The monitoring results reflected wild animal species in the reserve to a certain extent, and provided a basis for ecological and conservation biology research based on dynamic monitoring plots.

Key words: forest dynamic monitoring plots; camera-trapping survey; large and medium-sized mammals; ground-dwelling birds; biodiversity; tropical forest; Xishuangbanna

森林动态监测样地是生物多样性长期监测与研究的重要平台[1]。国际上森林生物多样性监测网络以全球森林生物多样性监测网络(Forest Global Earth Observatory, CTFS/ForestGEO, https://forestgeo.si.edu/)为代表。中国森林生物多样性监测网络(Chinese Forest Biodiversity Monitoring Network, CForBio)以 CTFS/ForestGEO 的监测规范和标准,目前已经共建有 24 个不同森林类型的大型森林动态监测样地。野生动物多样性是森林生态系统的重要监测内容。红外相机监测技术与传统技术相比,最大的优点是减少了对观测对象的干扰,目前已经广泛应用于野生动物多样性监测[2]。国内森林动态监测样地的兽类和地面活动鸟类红外相机监测报道从 2014 年开始出现[3-5]。

热带森林仅占地球陆地面积的 14%,却是超过半数的全球陆地脊椎动物的栖息地,其中包括 63%的兽类和 72%的鸟类[6-7]。兽类和鸟类在森林生态系统中承担着重要的生态学功能,如传粉、种子扩散、食草及捕食等。同时,森林生态系统中的野生动物,特别是大中型兽类,是生境退化和丧失的重要指示物种[8]。为了解中国西南—中南半岛热带森林的野生动物多样性资源现状,为生物多样性监测与保护提供科学依据,对 3 个沿纬度梯度分布的热带森林动态监测样地进行大中型兽类和地面活动鸟类的红外相机监测(图 1)。西双版纳纳板河热带季节雨林 20 hm^2 动态监测样地(纳板河样地)和西双版纳补蚌热带季节雨林 20 hm^2 动态监测样地(补蚌样地)位于云南省西双版纳傣族自治州,均为 CForBio 样地,补蚌样地在 2008 年加入 CTFS/ForestGEO。泰国 Mo Singto 热带湿性季节性常绿林 30.5 hm^2 动态监测样地(Mo Singto 样地)位于泰国中部 Khao Yai 国家公园,为 CTFS/ForestGEO 样地。

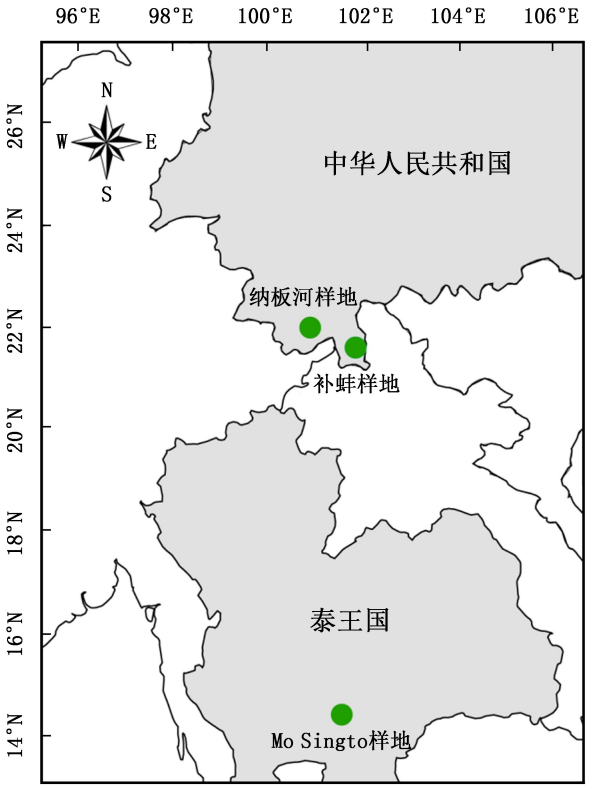


图 1 纳板河、补蚌及 Mo Singto 热带森林动态监测样地的分布

Fig. 1 Distribution of Nabanhe, Bubeng and Mo Singto tropical forest dynamic plots

1 研究方法

1.1 研究地概况

西双版纳气候类型属于热带季风气候,雨季和旱季交替明显,年均温 15.1~21.7℃,年降雨量 1 193~2 491 mm[9]。西双版纳纳板河热带季节雨林 20 hm^2 动态监测样地(纳板河样地)于 2016—2017 年间在纳板河流域国家级自然保护区内建立,位于勐海县勐宋乡糯有村,原点位置为 22°14′N, 100°

36′E,海拔 821.4~1 043 m。样地内最优势树种为无患子科(Sapindaceae)的番龙眼(*Pometia pinnata*)[10]。西双版纳补蚌热带季节雨林 20 hm^2 动态监测样地(补蚌样地)于 2007 年在西双版纳国家级自然保护区内建立,位于勐腊县补蚌村,样地位置 21°36′42″~21°36′58″N,101°34′26″~101°34′47″E,海拔 709.27~869.14 m。样地内优势树种为龙脑香科(Dipterocarpaceae)的望天树(*Parashorea chinensis*)[11]。张明霞等[12](2014)对补蚌样地进行过野生动物红外相机监测,记录了小鼷鹿(*Tragulus* sp.)、北豚尾猴(*Macaca leonine*)、灰孔雀雉(*Polyplectron bicalcaratum*)等国家重点保护动物。

泰国 Mo Singto 热带湿性季节性常绿林 30.5 hm^2 动态监测样地(Mo Singto 样地)建于 1981 年,位于泰国中部 Khao Yai 国家公园,原点位于 14°15′36″N,101°13′12″E,样地海拔 725~815 m,年均温 22.4℃,年均降雨量 2 073 mm,降雨主要集中在 5—10 月[13]。Mo Singto 样地区域记录有亚洲象(*Elephas maximus*)、黑熊(*Ursus thibetanus*)、马来熊(*Helarctos malayanus*)、五种灵猫科(Viverridae)物种等活动[13]。

1.2 数据收集

2017 年 6 月 8 日至 9 月 15 日、2018 年 5 月 25 日至 9 月 5 日和 2018 年 5 月 7 日至 8 月 17 日(每个位点至少拍摄 3 个月)分别对纳板河样地、补蚌样地及 Mo Singto 样地布设红外相机(相机型号为 Ltl ACORN 6210MC、6511MC 或 6511MG)。相机布设参照 CTFS-ForestGEO 对森林样地红外相机兽类监测技术的标准[14]。该标准以样地为中心,在 1 km^2 范围内布设 49 或者 50 个相机位点,每个位点间隔 140~145 m。对于本研究中 3 个近似正方形的样地,采取 7×7 网格布设 49 个相机位点。但是由于样地外围部分区域植被稀疏,靠近小径或者无法到达等原因,相机布设无法做到严格的 7×7 网格。本研究共计布设 147 个相机位点,相邻相机位点间距 130~155 m。相机设置在距离地面 0.5~1.2 m 的树干上,不设置诱饵。对每个相机进行编号,设置正确的日期、时间及拍摄参数(中等灵敏度,连拍 3 张)。

1.3 数据分析

对红外相机拍到的照片进行鉴定。纳板河样地和补蚌样地物种鉴定参考《中国兽类野外手册》[15]和《中国鸟类野外手册》[16];Mo Singto 样地物种鉴定参考《Birds of Thailand》[17]和《A Guide to the Mammals of Southeast Asia》[18]。物种分类体系及中文名按照《中国哺乳动物多样性(第 2 版)》[19]和《中国鸟类分类与分布名录(第二版)》[20]。物种保护等级参照《国家重点保护野生动物名录》(http://www.forestry.gov.cn)、世界自然保护联盟(IUCN)濒危物种红色名录(http://www.iucnredlist.org/),濒危野生动植物种国际贸易公约(CITES)附录以 CITES 官方网站(https://www.cites.org/)为准。

单台红外相机在野外正常工作 24 h 记为 1 个有效工作日,同一相机在 30 min 内拍摄的同一种动物的连续照片作为 1 次独立有效照片(independent image)[21]。利用相对丰富度指数(relative abundance index, RAI)作为评估物种种群相对数量的指标[22-23],其中 RAI =(独立有效照片数/总有效相机工作日)×100。最后再分别统计所有工作的相机每增加一个有效工作日累计拍摄到的物种数,用 R 软件 Vegan 包绘制物种累计曲线[24]。

2 结果与分析

2.1 物种组成

3 个样地共计回收 135 台相机数据,累计工作 12 889 个相机日,共获得野生动物照片 23 220 张。由于快速移动、体型较小,或在夜间活动的物种难以准确鉴别,在啮齿目(Rodentia)中仅对豪猪科(Hystricidae)进行鉴定。除去无法鉴定到物种的照片,获得独立有效照片共 3 166 张。共拍摄到 66 种野生动物,包括 24 种兽类(隶属于 6 目 13 科),41 种鸟类(隶属于 7 目 15 科)以及 1 种两栖类。3 个样地总相对多度指数最高的是野猪(*Sus scrofa*),为 4.96,赤麂(*Muntiacus vaginalis*)和北豚尾猴(*Macaca leonine*)次之。总相对多度指数最高的前三种鸟类依次是戴氏火背鹇(*Lophura diardi*)、白鹇(*Lophura nycthemera*)和原鸡(*Gallus gallus*),其余物种总相对多度指数值除小鼷鹿(*Tragulus* sp.)(1.91)外都在 1 以下(0.01~0.62)(表 1)。总计 19 个物种在 3 个样地仅有 1 张独立有效照片,其中 15 种为鸟类。

纳板河和补蚌样地记录的国家一级保护动物有 5 种,分别为缟灵猫(*Chrotogale owstoni*)、北豚尾猴、小齿狸(*Arctogalidia trivirgata*)、小鼷鹿和灰孔雀雉(*Polyplectron bicalcaratum*)。属于国家二级保护动物的有 15 种,包括 4 种兽类和 11 种鸟类。3 个样地被 IUCN 红色名录评为濒危(EN)级别的物种有缟灵猫、豺(*Cuon alpinus*)和亚洲象(*Elephas maximus*)3 种,易危(VU)级别的物种有 7 种,分别为北豚尾猴、猪獾(*Arctonyx collaris*)、黑熊(*Ursus thibetanus*)、

表 1 纳板河、补蚌及 Mo Singto 热带森林动态监测样地红外相机记录的兽类和鸟类物种名录

Tab. 1 List of mammal and bird species recorded by camera traps in Nabanhe, Bubeng and Mo Singto tropical forest dynamic plots

物种	国家保护级别	IUCN 红色名录	CITES	相对多度指数（位点数）			总相对多度指数
				纳板河	补蚌	Mo Singto	
哺乳纲 Mammalia							
一、攀鼩目 Scandentia							
（一）树鼩科 Tupaiidae							
1. 北树鼩 *Tupaia belangeri*		LC	APP. Ⅱ	—	0.30（6）	0.38（2）	0.23
二、灵长目 Primates							
（二）猴科 Cercopithecidae							
2. 北豚尾猴 *Macaca leonina*	一级	VU	APP. Ⅱ	2.58（30）	0.83（16）	8.15（45）	3.90
3. 猕猴 *Macaca mulatta*	二级	LC	APP. Ⅱ	0.12（3）	—	—	0.04
三、食肉目 Carnivora							
（三）犬科 Canidae							
4. 亚洲胡狼 *Canis aureus*	二级*	LC	APP. Ⅲ	—	—	0.02（1）	0.01
5. 豺 *Cuon alpinus*	一级*	EN	APP. Ⅱ	—	—	0.02（1）	0.01
（四）熊科 Ursidae							
6. 黑熊 *Ursus thibetanus*	二级*	VU	APP. 一	—	—	0.36（9）	0.12
7. 马来熊 *Helarctos malayanus*	一级*	VU	APP. Ⅰ	—	—	0.09（4）	0.03
（五）鼬科 Mustelidae							
8. 黄喉貂 *Martes flavigula*	二级	LC	APP. Ⅲ	0.02（1）	0.02（1）	0.02（1）	0.02
9. 鼬獾 *Melogale moschata*		LC		0.05（1）	0.23（5）	—	0.09
10. 猪獾 *Arctonyx collaris*		VU		0.02（1）	—	—	0.01
（六）灵猫科 Viverridae							
11. 大灵猫 *Viverra zibetha*	一级*	LC	APP. Ⅲ	—	—	0.81（22）	0.28
12. 椰子猫 *Paradoxurus hermaphroditus*	二级	LC	APP. Ⅲ	0.02（1）	0.05（2）	0.16（6）	0.08
13. 果子狸 *Paguma larvata*		LC	APP. Ⅲ	0.68（17）	0.71（16）	—	0.46
14. 熊狸 *Arctictis binturong*	一级*	VU	APP. Ⅲ	—	—	0.07（3）	0.02

续表 1

物种	国家保护级别	IUCN 红色名录	CITES	相对多度指数（位点数）			总相对多度指数
				纳板河	补蚌	Mo Singto	
15. 小齿狸 *Arctogalidia trivirgata*	一级	LC		—	0.09（4）	0.25（10）	0.12
16. 缟灵猫 *Chrotogale owstoni*	一级	EN		—	0.18（6）	—	0.06
（七）獴科 Herpestidae							
17. 食蟹獴 *Herpestes urva*		LC	APP. Ⅲ	0.10（3）	0.34（10）	0.16（7）	0.20
（八）猫科 Felidae							
18. 豹猫 *Prionailurus bengalensis*	二级	LC	APP. Ⅱ	0.54（17）	0.34（10）	0.59（18）	0.49
四、长鼻目 Proboscidea							
（九）象科 Elephantidae							
19. 亚洲象 *Elephas maximus*	一级*	EN	APP. Ⅰ	—	—	0.07（3）	0.02
五、偶蹄目 Artiodactyla							
（十）猪科 Suidae							
20. 野猪 *Sus scrofa*		LC		3.87（25）	9.28（41）	1.72（24）	4.96
（十一）鼷鹿科 Tragulidae							
21. 小鼷鹿 *Tragulus* sp.	一级	DD		—	4.34（27）	1.29（12）	1.91
（十二）鹿科 Cervidae							
22. 赤麂 *Muntiacus vaginalis*		LC		1.22（17）	3.01（37）	7.52（42）	3.99
23. 水鹿 *Cervus equinus*	二级*	VU		—	—	1.60（20）	0.55
六、啮齿目 Rodentia							
（十三）豪猪科 Hystricidae							
24. 中国豪猪 *Hystrix hodgsoni*		LC		—	0.18（4）	0.47（7）	0.22
鸟纲 AVES							
七、鸡形目 Galliformes							
（十四）雉科 Phasianidae							
25. 褐胸山鹧鸪 *Arborophila brunneopectus*	二级	LC		0.44（11）	0.02（1）	—	0.15
26. 绿脚山鹧鸪 *Arborophila chloropus*	二级*	LC		—	—	0.61（7）	0.21
27. 原鸡 *Gallus gallus*	二级	LC		0.17（5）	0.99（15）	1.78（26）	1.00
28. 白鹇 *Lophura nycthemera*	二级	LC		1.44（24）	0.83（17）	1.85（28）	1.37

续表 1

物种	国家保护级别	IUCN 红色名录	CITES	相对多度指数(位点数)			总相对多度指数
				纳板河	补蚌	Mo Singto	
29. 戴氏火背鹛 *Lophura diardi*		LC		—	—	5.33 (39)	1.83
30. 灰孔雀雉 *Polyplectron bicalcaratum*	一级	LC	APP. Ⅱ	—	0.02 (1)	—	0.01
八、鸽形目 Columbiformes							
(十五)鸠鸽科 Columbidae							
31. 绿翅金鸠 *Chalcophaps indica*		LC		0.54 (3)	0.28 (4)	0.5 (4)	0.43
九、鹃形目 Cuculiformes							
(十六)杜鹃科 Cuculidae							
32. 瑞氏红嘴地鹃 *Carpococcyx renauldi*		VU		—	—	1.81 (22)	0.62
十、鸮形目 Strigiformes							
(十七)鸱鸮科 Strigidae							
33. 斑头鸺鹠 *Glaucidium cuculoides*	二级	LC		0.10 (4)	—	—	0.03
十一、犀鸟目 Bucerotiformes							
(十八)犀鸟科 Bucerotidae							
34. 冠斑犀鸟 *Anthracoceros albirostris*	一级*	LC	APP. Ⅱ	—	—	0.02 (1)	0.01
十二、鴷形目 Piciformes							
(十九)拟鴷科 Capitonidae							
35. 大拟啄木鸟 *Megalaima virens*		LC		0.02 (1)	—	—	0.01
36. 蓝喉拟啄木鸟 *Megalaima asiatica*		LC		0.02 (1)	—	—	0.01
(二十)啄木鸟科 Picidae							
37. 大黄冠啄木鸟 *Picus flavinucha*	二级	LC		0.02 (1)	—	—	0.01
38. 花腹绿啄木鸟 *Picus vittatus*		LC		—	—	0.05 (2)	0.02
39. 黄嘴栗啄木鸟 *Blythipicus pyrrhotis*		LC		0.02 (1)	—	—	0.01
十三、雀形目 Passeriformes							
(二十一)阔嘴鸟科 Eurylaimidae							
40. 长尾阔嘴鸟 *Psarisomus dalhousiae*	二级	LC		0.02 (1)	—	—	0.01

续表 1

物种	国家保护级别	IUCN 红色名录	CITES	相对多度指数(位点数)			总相对多度指数
				纳板河	补蚌	Mo Singto	
41. 银胸丝冠鸟 *Serilophus lunatus*	二级	LC		0.02 (1)	—	—	0.01
(二十二)八色鸫科 Pittidae							
42. 双辫八色鸫 *Pitta phayrei*	二级	LC		0.12 (1)	—	—	0.04
43. 蓝八色鸫 *Hydrornis cyaneus*	二级	LC		—	0.02 (1)	0.02 (1)	0.02
44. 绿胸八色鸫 *Pitta sordida*	二级	LC		—	0.02 (1)	—	0.01
(二十三)鹎科 Pycnonotidae							
45. 白喉冠鹎 *Alophoixus pallidus*		LC		0.34 (11)	—	—	0.11
(二十四)鸦科 Corvidae							
46. 蓝绿鹊 *Cissa chinensis*	二级	LC		0.02 (1)	0.02 (1)	—	0.02
(二十五)鸫科 Turdidae							
47. 白腰鹊 *Copsychus malabaricus*		LC		0.24 (5)	—	—	0.08
48. 白尾地鸫 *Cinclidium leucurum*		LC		0.05 (2)	—	—	0.02
49. 白额燕尾 *Enicurus leschenaulti*		LC		0.15 (3)	—	—	0.05
50. 橙头地鸫 *Zoothera citrina*		LC		0.15 (3)	0.02 (1)	—	0.05
51. 灰背鸫 *Turdus hortulorum*		LC		0.07 (3)	—	—	0.02
52. 灰翅鸫 *Turdus boulboul*		LC		0.02 (1)	—	—	0.01
53. 乌鸫 *Turdus merula*		LC		0.02 (1)	—	—	0.01
(二十六)鹟科 Muscicapidae							
54. 山蓝仙鹟 *Cyornis banyumas*		LC		0.17 (4)	0.05 (2)	—	0.07
(二十七)扇尾鹟科 Rhipiduridae							
55. 白喉扇尾鹟 *Rhipidura albicollis*		LC		0.05 (2)	—	—	0.02
(二十八)画眉科 Timaliidae							
56. 白冠噪鹛 *Garrulax leucolophus*		LC		—	0.09 (4)	0.27 (11)	0.12
57. 小黑领噪鹛 *Garrulax monileger*		LC		0.02 (1)	—	—	0.01

续表 1

物种	国家保护级别	IUCN 红色名录	CITES	相对多度指数（位点数）			总相对多度指数
				纳板河	补蚌	Mo Singto	
58. 黑领噪鹛 *Garrulax pectoralis*		LC		0.29（7）	0.02（1）	—	0.10
59. 黑喉噪鹛 *Garrulax chinensis*	二级*	LC		—	—	0.02（1）	0.01
60. 棕胸幽鹛 *Pellorneum tickelli*		LC		—	0.09（3）	—	0.03
61. 棕头幽鹛 *Pellorneum ruficeps*		LC		0.02（1）	0.41（5）	—	0.15
62. 灰头钩嘴鹛 *Pomatorhinus schisticeps*		LC		—	—	0.07（2）	0.02
63. 棕颈钩嘴鹛 *Pomatorhinus ruficollis*		LC		0.12（5）	—	—	0.04
64. 褐胁雀鹛 *Alcippe dubia*		LC		—	0.02（1）	—	0.01
65. 褐脸雀鹛 *Alcippe poioicephala*		LC		0.02（1）	—	—	0.01

注：* 表示该物种为国家重点保护动物（中国）但仅在 Mo Singto 样地中被记录；DD、LC、VU 和 EN 分别为 IUCN 红色名录中的数据缺乏、无危、易危和濒危；APP. Ⅰ代表 CITES 附录Ⅰ，APP. Ⅱ代表附录Ⅱ，APP. Ⅲ代表附录Ⅲ。

马来熊（*Helarctos malayanus*）、熊狸（*Arctictis binturong*）、水鹿（*Rusa equinus*）和瑞氏红嘴地鹃（*Carpococcyx renauldi*）。黑熊、马来熊和亚洲象被列入 CITES 附录Ⅰ；北豚尾猴、猕猴（*Macaca mulatta*）、豹猫（*Prionailurus bengalensis*）、豺、北树鼩（*Tupaia belangeri*）、巨蜥、灰孔雀雉和冠斑犀鸟（*Anthracoceros albirostris*）被列入 CITES 附录Ⅱ；亚洲胡狼（*Canis aureus*）等 7 个物种被列入 CITES 附录 III。

纳板河样地：7 台相机丢失或者损坏，最终获得 42 台相机数据，累计 4 106 个有效相机工作日，获得可鉴定到物种的独立有效照片 573 张，兽类 11 种，鸟类 28 种。相对多度指数最高的前三种兽类依次为野猪、北豚尾猴、赤鹿。相对多度指数最高的前三种鸟类依次为白鹇、绿翅金鸠（*Chalcophaps indica*）、褐胸山鹧鸪（*Arborophila brunneopectus*）。拍摄位点数前三的物种为北豚尾猴（30）、野猪（25）、白鹇（24）。仅在纳板河样地拍摄到的兽类有猕猴和猪獾。

补蚌样地：4 台相机丢失或者损坏，最终获得 45 台相机数据，累计 4 355 个有效工作日，获得可鉴定到物种的独立有效照片 994 张，兽类 14 种，鸟类 15 种。相对多度指数最高的前 3 种兽类依次为野猪、小鼷鹿、赤鹿。相对多度指数最高的前 3 种鸟类依次为原鸡、白鹇、棕头幽鹛（*Pellorneum ruficeps*）。拍摄位点数前三的物种为野猪（41）、赤鹿（37）和小鼷鹿（27）。仅在补蚌样地拍摄到的兽类为缟灵猫[25]。

Mo Singto 样地：1 台相机丢失，最终获得 48 台相机数据，累计 4 428 个有效相机工作日，获得可鉴定到物种的独立有效照片 1 599 张，兽类 19 种，鸟类 12 种，两栖类 1 种。相对多度指数最高的前 3 种兽类依次为北豚尾猴、赤鹿、野猪。相对多度指数最高的前三种鸟类依次为戴氏火背鹛、白鹇、瑞氏红嘴地鹃。拍摄位点数前三的物种为北豚尾猴（45）、赤鹿（42）和戴氏火背鹛（39）。仅在 Mo Singto 样地拍摄到的兽类有 8 种，包括亚洲胡狼、豺、黑熊、马来熊、大灵猫（*Viverra zibetha*）、熊狸（*Arctictis binturong*）、亚洲象和水鹿。

2.2 物种累积曲线

物种累积曲线（图 2）显示，纳板河样地和 Mo Singtio 样地的兽类累积物种数分别在 40 和 50 个工作日后趋于平稳，补蚌样地则在 60 个工作日后才达到饱和。补蚌和 Mo Singto 样地的鸟类累积物种数在 50 个工作日后保持稳定，而纳板河样地鸟类累积物种数在调查结束几天之前（97 个工作日）还在增加。整体来看，红外相机对这 3 个样地内的兽类物种监测较为充分，但对地面活动鸟类物种可能仍需延长监测时间。

3 结论与讨论

根据《西双版纳动物志》[26]，西双版纳地区共记录兽类 108 种、鸟类 455 种，本研究在纳板河和补蚌样地共记录兽类 16 种，鸟类 34 种，仅分别占该地区记录总数的 14.81% 和 7.47%。这个结果主要是由于本文研究区域仅在两个大样地周边 2 km^2 范围内。同时，大部分研究也证明，红外相机监测适用于大中型地栖兽类和鸟类，但对于体型较小或非地栖的兽类和鸟类则不是一种有效的调查方法[27]。张明霞等[12]（2014）对补蚌样地及周边 40 hm^2 范围进行了红外相机监测，共记录不包括啮齿目松鼠科（Sciuridae）物种的 8 种地栖大中型兽类。本研究中，除了水鹿未记录到，其他 7 种均被记录，另外新

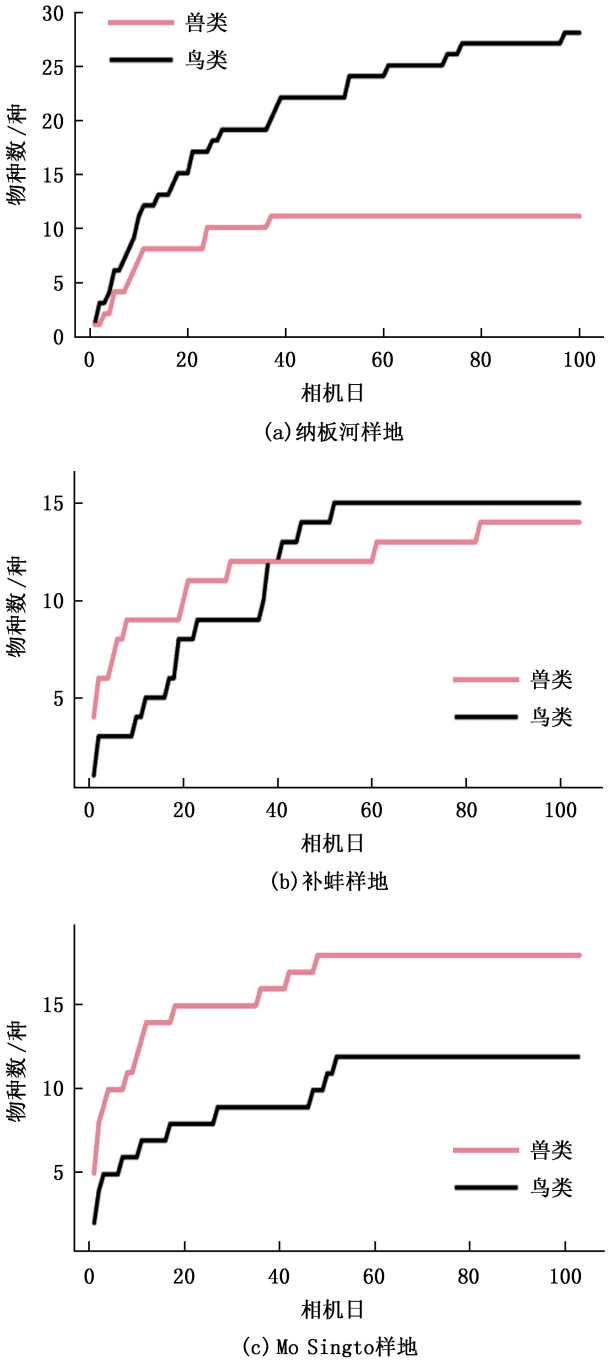


图 2　纳板河、补蚌及 Mo Singto 热带森林动态监测样地红外相机监测物种累积曲线

Fig. 2　Species accumulation curves by camera trapping survey in Nabanhe, Bubeng and Mo Singto tropical forest dynamic plots

纪录物种有鼬獾、黄喉貂、小齿狸 、椰子猫、缟灵猫、北树鼩等 6 种。Mo Singto 样地周边通过人工观测记录树栖或地栖大中型兽类共计 36 种[28],此次利用红外相机共记录 19 种,占 53%,另外新纪录亚洲胡狼和北树鼩。本研究再次证明了红外相机监测技术在地栖大中型兽类监测上的优势,但是,全面获得动态监测样地的兽类和鸟类物种组成信息还需要结合其他调查方法,如监测小型哺乳类的笼捕法、非地栖性鸟类人工观测法等。因此,为保证区域尺度长期监测野生动物数据的可比性,无论在国内或国际生物多样性监测网络,目前更推荐采用公里网格标准对地栖大中型兽类进行监测[29]。

本研究获得 15 种食肉目兽类,其中体重大于 15 kg 的为豺、黑熊和马来熊(体重数据来源于 https://animaldiversity.org),这 3 种大型食肉目物种仅在 Mo Singto 样地被记录到。作为食物链结构顶级消费者,大型食肉目物种通过直接或者间接的影响,对生物多样性和生态系统功能具有促进作用[30]。本研究中,位于西双版纳的两个样地周边森林记录的兽类物种数比泰国 Mo Singto 样地少,而且没有大型食肉目物种记录,暗示西双版纳地区热带森林在面对气候变化、人类活动等干扰下可能表现出较弱的生态恢复力。由于橡胶树(*Hevea brasiliensis*)种植,西双版纳地区的森林覆盖度从 20 世纪 70 年代末的 70%下降到 2018 年 52%[31]。纳板河样地和补蚌样地周边的森林呈现人类活动影响下的片段化。本研究记录到补蚌样地周边有携带枪支的猎人活动,这可能是野生动物,特别是大中型地栖兽类物种比泰国样地少的原因之一。需要加强保护区的监管和宣传力度,提高当地居民保护自然的意识。

4 结　语

本研究利用红外相机调查了沿纬度梯度的 3 个热带森林动态监测样地区域兽类和鸟类,能初步反映各样地所在区域现存的地栖大中型兽类和鸟类,同时对比了 3 个样地的部分物种组成差异。研究结果显示了红外相机在地栖大中型兽类监测上的优势。建议在后续调查工作中,扩大监测区域,并结合传统兽类和鸟类调查方法,获得动态监测样地更全面的野生动物本底数据。同时,结合动态监测样地内树种功能性状、植被结构、地形等信息,在红外相机技术的辅助下,开展野生动物栖息地选择、动植物互作等研究。另外,可针对部分具有代表性的珍稀濒危种和特有种,如北豚尾猴、小鼷鹿等,深入研究其种群分布范围、行为节律等生态学问题。

参考文献:

[1] 马克平 . 中国生物多样性监测网络建设:从 CForBio 到 Sino BON[J]. 生物多样性,2015,23(1):1-2.

[2] 肖治术. 我国森林动态监测样地的野生动物红外相机监测[J]. 生物多样性,2014,22(6):808-809.
[3] SI X F, KAYS R, DING P. How long is enough to detect terrestrial animals? Estimating the minimum trapping effort on camera traps[J]. PeerJ,2014,2(1):374.
[4] 李欣海,朴正吉,武耀祥,等. 长白山森林动态监测样地鸟兽的红外相机初步监测[J]. 生物多样性,2014,22(6):810-812.
[5] 莫锦华,姬云瑞,许涵,等. 海南尖峰岭国家级自然保护区森林动态监测样地鸟类和兽类多样性[J]. 生物多样性,2021,29(6):819-824.
[6] DINERSTEIN E, OLSON D, JOSHI A, et al. An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm[J]. BioScience,2017,67(6):534-545.
[7] PILLAY R, VENTER M, ARAGON-OSEJO J, et al. Tropical forests are home to over half of the world's vertebrate species[J]. Frontiers in Ecology and the Environment,2022,20(1):10-15.
[8] CHEYNE S M, SASTRAMIDJAJA W J, RAYADIN Y, et al. Mammalian communities as indicators of disturbance across Indonesian Borneo[J]. Global Ecology and Conservation,2016,7:157-173.
[9] 朱华,王洪,李保贵,等. 西双版纳森林植被研究[J]. 植物科学学报,2015,33(5):641-726.
[10] 施国杉,刘峰,陈典,等. 云南纳板河热带季节雨林 20 hm^2 动态监测样地的树种组成与群落分类[J]. 生物多样性,2021,29(1):10-20.
[11] 兰国玉,胡跃华,曹敏,等. 西双版纳热带森林动态监测样地——树种组成与空间分布格局[J]. 植物生态学报,2008,32(2):287-298.
[12] 张明霞,曹林,权锐昌,等. 利用红外相机监测西双版纳森林动态样地的野生动物多样性[J]. 生物多样性,2014,22(6):830-832.
[13] BROCKELMAN W Y, NATHALANG A, MAXWELL J F. Mo singto forest dynamics plot: flora and ecology[Z]. Pathum Thani, National Science and Technology Development Agency, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, and Department of parks, Wildlife and Plant Conservation,2017.
[14] JANSEN P A, FORRRETER T D, MCSHEA W J. Protocol for cameratrap surveys of mammals at CTFS-ForestGEO sites[Z]. Smithsonian Tropical Research Institute, Ancon, 2014.
[15] ANDREW T S, 解焱. 中国兽类野外手册[M]. 长沙:湖南教育出版社,2009.
[16] 约翰·马敬能,卡伦·菲利普斯,何芬. 中国鸟类野外手册[M]. 长沙:湖南教育出版社,2000.
[17] ROBSON C. A field guide to the birds of Thailand[M]. London: Bloomsbury Publishing,2002.
[18] FRANCIS C M. A guide to the mammals of southeast Asia [M]. Princeton and Oxford: Princeton University Press, 2008.
[19] 蒋志刚,刘少英,吴毅,等. 中国哺乳动物多样性(第 2 版)[J]. 生物多样性,2017,25(8):886-895.
[20] 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.
[21] O'CONNELL A F, NICHOLS J D, KARANTH K U. Camera traps in animal ecology: Methods and analyses[M]. New York: Springer,2011.
[22] KAWANISHI K, SAHAK A M, SUNQUIST M. Preliminary analysis on abundance of large mammals at Sungai Relau, Taman Negara[J]. Journal of Wildlife and Parks (Malaysia),1999,17:62-82.
[23] AZLAN J M, SHARMA D S K. The diversity and activity patterns of wild felids in a secondary forest in Peninsular Malaysia[J]. Oryx,2006,40(1):36-41.
[24] OKSANEN J, BLANCHET F G, FRIENDLY M, et al. vegan: Community ecology package[EB/OL]. (2022-02-10). https://CRAN. R-project. org/package=vegan.
[25] TONGKOK S, 袁盛东, ALCANTARA M J M, 等. 云南西双版纳发现缟灵猫[J]. 动物学杂志,2019,54(4):603-604.
[26] 杨德华. 西双版纳动物志[M]. 昆明:云南大学出版社,1993.
[27] 李晟,王大军,卜红亮,等. 四川省老河沟自然保护区兽类多样性红外相机调查[J]. 兽类学报,2016,36(3):282-291.
[28] BROCKELMAN W Y, NATHALANG A, GALE G A. The Mo Singto forest dynamics plot, Khao Yai National Park, Thailand[J]. Natural History Bulletin of the Siam Society, 2011,57:35-56.
[29] 肖治术,李欣海,姜广顺. 红外相机技术在我国野生动物监测研究中的应用[J]. 生物多样性,2014,22(6):683-684.
[30] RIPPLE W J, WIRSING A J, BESCHTA R L, et al. Can restoring wolves aid in lynx recovery?[J]. Wildlife Society Bulletin,2011,35(4):514-518.
[31] ZHANG J Q, CORLETT R T, ZHAI D. After the rubber boom: good news and bad news for biodiversity in Xishuangbanna, Yunnan, China[J]. Regional Environmental Change,2019,19(6):1713-1724.

责任编辑: 刘平书

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 022

生态伦理视域下的野生动物保护

董前程[1],王慧芬[2]
(1. 海南师范大学 教师教育学院/海南省生态文明研究中心/海南省生态文明与陆海统筹发展重点实验室,海南 海口 571158; 2. 海南师范大学 马克思主义学院,海南 海口 571158)

摘要:党的十八大以来,以习近平同志为核心的党中央高度重视生态文明建设,包括对野生动物的保护工作。但是,对野生动物的保护过程中依然存在一些问题,比如栖息地受到破坏和侵犯,野生动物资源被过度利用,环境污染影响到它们的生存繁衍等,由此也阻碍了人类社会的可持续发展。人们在探讨其背后的原因时,应该从生态伦理的视域进一步思考人与野生动物的关系以及人与自然的关系,坚持基于生态平等的生态和谐原则,基于生态自由的生态公正原则,基于生态良知的生态制度化原则,研究野生动物保护的策略,以道德的软约束和法律的硬制约共同指导人们的行为,更好地实现人与自然和谐共生。

关键词:生态伦理;野生动物保护;人与自然;天一合一;生态文明建设

中图分类号:S718. 6;Q958. 1 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0139-07

引文格式:董前程,王慧芬. 生态伦理视域下的野生动物保护[J]. 林业调查规划,2023,48(5):139-145,161.
doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 022

DONG Qiancheng, WANG Huifen. Wildlife Protection from Perspective of Ecological Ethics[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):139-145,161. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 022

Wildlife Protection from Perspective of Ecological Ethics

DONG Qiancheng[1], WANG Huifen[2]
(1. College of Teacher Education/Hainan Ecological Civilization Research Center/Hainan Key Laboratory of Ecological Civilization and Land Sea Integrated Development, Hainan Normal University, Haikou 571158, China;
2. School of Marxism, Hainan Normal University, Haikou 571158, China)

Abstract: Since the 18th National Congress of the CPC, great importance has been attached to the construction of ecological civilization, including the protection of wildlife. However, there are still some problems in the process of protecting wildlife, such as habitat destruction and infringement, excessive utilization of wildlife resources, and environmental pollution affecting their survival and reproduction, which also hinders the sustainable development of society. The relationship between humans and wildlife, as well as the relationship between humans and nature should be further studied from the perspective of ecological ethics. By adhering to the principles of ecological harmony based on ecological equality, ecological justice based on ecological freedom, and ecological institutionalization based on ecological con-

收稿日期:2022-03-23.
基金项目:海南省哲学社会科学重点研究基地资助课题(HNSK(JD)22-26);海南省高校教育教学改革研究项目(Hnjg2022-36);教育部人文社会科学研究项目(21YJC710056)阶段性成果.
第一作者:董前程(1982-),男,湖北黄冈人,博士,副教授,硕士生导师. 主要研究方向为生态文明理论与实践、思想政治教育研究.
责任作者:王慧芬(1995-),女,山西太原人,硕士研究生. 主要研究方向为马克思主义理论.

science, this paper studied strategies for wildlife protection, and used moral soft constraints and legal hard constraints to jointly guide people's behavior and better achieve harmonious coexistence between human and nature.

Key words: ecological ethics; wildlife protection; human and nature; harmony between nature and human; ecological civilization construction

党的十八大以来,国家愈发重视生态文明建设,要求我们在新时代发展的当下,重新审视人与自然之间的关系,这不仅关系着国家的繁荣昌盛,更是关系着人民的生存发展。正如习近平总书记在庆祝中国共产党成立 100 周年大会上强调:“坚持人与自然和谐共生,协同推进人民富裕、国家强盛、中国美丽”[1]。野生动物作为自然生态系统中重要的组成部分,他们的生存环境和人类的繁衍生息有着密切的联系,只有让他们生存于和谐协调的自然环境中,使生态系统保持稳定,人类才能可持续地发展下去。因此,必须要重视对野生动物的保护,从人类自身的行为规范、道德准则出发,维护好生态的平衡,以使我们共同生存于一个和谐的环境中,拥有一个积极健康的生活。基于此,从生态伦理的角度进一步思考野生动物保护的问题,使人们树立正确的生态伦理观念,提高内在自觉性,将道德关怀的范围拓展至包括野生动物在内的自然生态系统,以推动具有特色的生态之美中国梦的实现,从而实现人与自然的永续发展。

1 当前野生动物保护存在的问题及伦理困境

人与野生动物之间的关系是人与自然之间关系的一种表现形式,随着社会的不断进步发展,人类愈发认识到对于野生动物保护的重要性:它们不仅是人类的伙伴,更是人类可持续发展极为重要的生态资本。当前,社会形势的发展变化较快,这意味着对于野生动物的保护既有了更高的要求,也有了更多的责任。尽管国家对于保护野生动物的重视程度逐渐提高,但是对于野生动物的保护依然存在着一些问题。

1.1 当前野生动物保护存在的问题及原因

1.1.1 当前野生动物保护存在的问题

1)野生动物的栖息地受到侵犯

我国幅员辽阔,地大物博,地形地势气候状况复杂多样,蕴藏着丰富的野生动物资源,也提供着支撑它们繁衍栖息的物质条件。然而,随着人类活动的影响,野生动物的生存发展空间不断地受到挤压,它们的繁衍、迁移、扩散等都受到了制约。人们在满足自己的生存条件之后更加过分地追求经济发展,对自然环境的保护缺少了人文关怀,比如大量地砍伐森林、开垦土地、破坏草原、污染水域等,使得动物的自然栖息地遭到毁坏,这也让野生动物的数量锐减,甚至有的种类已经灭绝。当然,这不是一个人或者一个国家的事,而是需要全人类共同重视。2020 年世界自然基金会的一份报告显示,不管是哺乳动物、鸟类、鱼类,还是两栖动物、爬行动物的种群数量都在减少,“全球野生动物数量在不到 50 年的时间内锐减了 2/3 以上,并且这种‘灾难性的下降趋势’没有减缓迹象”[2]。现在,随着国家不断重视生态环境的建设,野生动物保护也受到重视,自然保护区的建立、退耕还林等生态工程的实施都让野生动物的栖息地情况有所改善,但是保护区的建设、管理仍存在着一定问题。如何让野生动物有栖息地健康生存,并与人类保持和谐的状态,是人们需要思考的重要问题。

2)野生动物资源被过度利用

地球这个生态系统中,除了人类,还有着其它的动植物的存在,而且它们有着自己独特的价值,如果一旦受到破坏,就会使生态系统失去原有的平衡,最后就会给地球上的所有生物包括人类自己带来难以预料的甚至毁灭性的灾难。但因为有着不菲的经济价值,人们大量捕杀、售卖野生动物,尤其是珍稀、濒危的物种,以此来获取高额的利润。由于人类的过度捕猎杀害,致使世界上诸多动物被灭绝,比如阿特拉斯棕熊、北美白狼、澳巨兔袋狸、海雀、爪哇虎、长江白鲟等。虽然我国越来越重视野生动物保护,严厉打击非法捕杀和交易野生动物的行为,但是依然还有人铤而走险:2021 年 8 月,浙江省安文派出所抓获了两名抓捕野生石蛙的嫌疑人,共收缴野生石蛙 60 余只[3]。这样的行为必须全面禁止,才能使野生动物得到有效保护。

3)环境污染影响野生动物的生存繁衍

随着工业革命的快速发展,人口数量急剧膨胀,经济也在快速发展。与此同时,野生动物的种类和数量也在大幅度下降,也就是由于人类活动的干扰,

森林、草地、湿地遭到毁坏、丧失,工业化、城市化的发展,使得林草地减少,破坏或者改变了野生动物的栖息地,加上过度利用野生动物资源,从而使得生物多样性受到了威胁。另外,生物多样性丧失的原因还包括气候的变化、环境的污染,而这与人为的破坏生态环境是分不开的。环境的污染会对野生动物在自然界的分布产生影响,核污染还会使物种变异;同时,环境污染会造成野生动物各种疾病产生,使得生存繁殖受到不利的影响,甚至有灭绝的风险。野生动物的栖息地减少、环境的污染还会使得近交的现象突显、抵抗能力下降以及环境适应能力减弱,从而造成遗传多样性的丧失、物种多样性的下降。

1.1.2 当前野生动物保护存在问题的原因

1)公民对于野生动物保护的意识还需提高

人是自然界的产物,通过劳动实践“作用于他身外的自然并改变自然时,也就同时改变他自身的自然。他使自身的自然中蕴藏着的潜力发挥出来,并且使这种力的活动受他自己控制”[4],也就是与自然相互作用、相互生成,不仅使自然物发生了变化,而且还要实现自己的目的,这也强调了人的主动性。野生动物作为自然界中宝贵的一员,我们不仅要在思想上认识到它们的重要性,更要在实际中做到,而这个保护不能从人类自身利益出发,而要从野生动物的健康生存出发,“只有当人们出于对野生生物的善的考虑和关怀行动或不行动时,才真正表现出了对自然的尊重”[5]。但是就目前情况而言,仍然有许多人缺乏保护的意识,比如责任意识、参与意识、法律意识等,他们认为野生动物似乎与自己的生活没有太大的联系,不用刻意去端正自己理念,或者说为了自己的利益而私自喂养、买卖杀害;又或者是认识上有偏差,认为保护野生动物就是将其圈养起来,而未曾想到如此会使他们失去原有的天性自由以及生存能力下降,这也恰恰违背了人们保护的初心。

2)关于野生动物的监测管理体系建设还需加强

我们共同生存于这个世界,每个物种存在都有它独特的意义,在这个相互依存又相互制约的生物链条中,如果某些物种死亡或者绝迹,带来的后果只会是一系列的连锁反应。野生动物是生态系统中重要的组成部分,带给人类的福祉不仅仅是其生物价值,还有着更多的社会价值,人类应该积极保护它们,而在这个过程中,对于野生动物的监测管理就显得尤为重要。通过对野生动物的监测,包括物种监测、种群监测、基因监测等,了解其栖息地的环境,强化疫源疫病预警体系,从而更好地对野生动物进行科学管理与保护。但是,当前对于野生动物的监测管理体系还不够完善,比如政府的资金投入不足,缺乏高水平的专业人才,基础设施不健全,监测预警能力有待提升等。

3)关于野生动物保护的法律机制尚需完善

亚里士多德曾说过,“法律就是秩序,有好的法律才有好的秩序”。随着社会的发展,我国对于野生动物的保护也愈发重视,相关的法律法规也在不断地修订与完善,尤其是新冠肺炎疫情的爆发,使得国家对于野生动物的重视程度更是加强。但是,现行的法律制度包括执行力度依然存在一些不足。比如在《中华人民共和国野生动物保护法》中有着明确规定,“本法规定保护的野生动物,是指珍贵、濒危的陆生、水生野生动物和有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物”[6],并且在真正执行过程中主要是按照国家重点保护野生动物名录来进行管理,这样可能就会遗漏一些具有潜在的公共健康风险的物种,失去对一些相对普通的野生动物以及人工饲养的动物的必要保护,无法对他们进行严格管控。除了法律制度以及相关具体规定的完善,在监督执行上也有待加强,比如“林业和草原部门的监管资源相对有限,而市场监管部门要负责的监管事项众多,野生动物交易相对分散、隐蔽,很难进入监管部门执法的优先顺序”[7],所以多部门齐抓共管、形成合力,才能更加有效地保护野生动物资源。

1.2 当前野生动物保护的伦理困境

1.2.1 “以人类为中心”的思想困境

人类是地球生物的重要主体,但这并不意味着人类是高于一切的生物,有站在制高点去评判其他事物的权利,而生活中却依然有许多人没有正确看待人与野生动物或者说人与自然的关系,看不到人对于自然的依赖性以及自然对于人类活动的限制性。人类和野生动物都是属于自然生态系统中的一部分,我们不能把野生动物仅仅作为一种为人类服务的对象或满足人类需求的资源。从古至今,我们历来崇尚天人合一,也在不断强调“取之以时、取之有度”,正如习近平总书记所说:“人类应该以自然为根,尊重自然、顺应自然、保护自然”[8],不断地追求人与自然和谐共生,当然这包含着对于野生动物的保护,而在这个过程中,需要摆正人与自然、人与野生动物之间的关系,重新认识它们对于人类的价值和意义。当前我们强调以人为本,以实现人的全面发展为目标,也就是发展经济、保护环境都是民生所需,都是为了满足人类的生存生活需求、发展享受

需求,但是不能以危害野生动物的生存需要为前提,否则危及的是整个生命共同体,包括人类自己。

1.2.2 人类保护野生动物的道德责任困境

每一种生物都是大自然中美丽的精灵,与我们同处于一片蓝天下,领略着独特的自然之美,而野生动物的野性之美、神奇之美、奔放之美,也让人们领略到了自然生命之美。它们作为生态食物链其中的一环,发挥着重要作用,如果失去了任何一个部分,不仅会使人类失去发现它们独特美的可能性,还会使食物链的运转受到影响,生态平衡的状态遭到破坏,进而使得地球生态的屏障受到损害,人类的生命安全受到威胁。但是在现实生活中,人与野生动物的关系依然处于紧张的状态,这种不文明的行为需要我们从伦理道德的角度进一步去思考,需要认识到野生动物不是人类的附属品,也不是人类获取利益的工具,它们有平等生存的权利。“为了人类的利益,哪怕是想象中的利益而伤害动物的身体、限制他们的自由或者夺去他们的生命,从来都不是理所当然的”[9]。人们应该秉持着尊重生命的原则尊重野生动物,避免对它们进行无谓的伤害,尊重它们的生活习性,不过多地干涉它们的自由,并且对于濒危、珍稀的野生动物,更应该用理性和道德约束自己的行为,在尊重双方利益的前提下,更多地保护这些物种,就像施韦泽所呼吁的“把爱的原则扩展到动物”[10]。但现在仍然有许多人缺乏野生动物保护的伦理意识,或者缺乏一定的自律和自觉,意识不到自己的道德责任,这是我们应关注的现实问题。

1.2.3 野生动物保护的法律与伦理困境

野生动物保护不仅是一个道德伦理问题,还是一个法律问题。道德是人们自觉遵守的规则,当人们的行为已经无法被道德所约束,就需要用法律来稳定社会的秩序,以刚性的法律规则来支撑生态伦理道德的实现,正如博登海默所说:“这些道德原则的约束力的增强,是通过将它转化为法律规则来实现的”[11]。在野生动物保护的过程中,需要法律的力量来保障与强化,这就要求在法律的内容中要体现生态伦理价值,进而追寻人与野生动物和谐共生的状态。而在我国当前法律中,倾向的更多是重点保护物种,而没有扩展到野生动物所有的种群,这样会导致未受法律保护的野生动物遭遇杀害及至种群减少,不利于生态安全以及生态圈的平衡。同时,在动物福利方面,应构建更加完善的机制,比如关注野生动物的健康,加强对栖息地的保护,重视对野生动物的疾病监测和治疗等,保障它们的权利,尊重并认可野生动物的价值,使更多的野生动物获得保护,也让人类保护野生动物成为一种全民自觉的行动,从而达到生态和谐平衡稳定的状态。

2 生态伦理视域下野生动物保护的原则

在生态圈这一个特殊的生命体中,各种生物、物质不断进行着交互作用,共同维护着世界的平衡,而在人与自然相处的过程中,野生动物也是维护二者关系的重要纽带。正因为它们有着重要的内在价值,如何看待人与野生动物的关系以及保护野生动物需要遵循怎样的生态伦理原则,进而使人类能够自觉控制自己的行为,对他们赋予道德责任,这也是我们要考虑的问题。

2.1 基于生态平等的生态和谐原则

在美国海洋生物学家蕾切尔·卡逊的《寂静的春天》(1962)一书中,就深刻地描绘了化学农药导致的环境污染、生态破坏会给人类来带来生命的威胁。这本书在当时受到了许多人的质疑与攻击,但是随着工业文明的快速发展,引发了一系列生态问题,比如环境污染、资源短缺、生态失衡等,而在当前也在不断给人类带来灾难,这让我们不由得感叹卡逊的高瞻远瞩,是她让人们开始关注环境问题,乃至引发了全世界的环保事业。人类与动植物共同生存于地球这一家园,是一个不可分割的统一整体。虽然万物存在的理由各不相同,但是我们一同享有平等生存的权利。正如马克思所言:“自然界,就它本身不是人的身体而言,是人的无机的身体”[12],也就是说,人类应该把自然生存环境看做自己生命的一部分,不能只有“控制自然”或者“改造自然”的思想,因为对于自然如果只有征服占有,那么地球万物的生存都会遭到破坏。

生态问题不仅是科技问题,还是伦理道德问题。虽然现在是科技的世界,人们也在不断追求着更加富裕的生活,但这并不意味着人类可以用科技来征服自然,不能以生态危机的出现为代价而发展经济,而应该从意识上就要认识到人与万物是平等的。只有人与自然和谐相处,做到尊重自然、保护自然,自然回馈给我们的才会更多。“不管一个存在物的本性如何,平等原则都要求我们把它的苦乐看得和其他存在物的苦乐同样重要”[13]。野生动物是自然中的一员,人类作为保护野生动物的主体,应该承担起相应的道德责任,从它们的角度来思考,保障它们的生存权利,将道德关怀扩展至包括野生动物在内的整个自然界,才能构建和谐统一的生态和谐社会。

2.2 基于生态自由的生态公正原则

“历史本身是自然史的一个现实部分,即自然界生成为人这一过程的一个现实部分”[14]。人是自然界长期进化的产物,自然提供人类以生存发展资料,人类又通过实践给自然打上了社会的烙印。由此可见,人与自然彼此相互依存又相互制约,是一种“对象性关系”。而在这个过程中,合理地调节人与自然之间的物质变换,实现可持续的发展,也就是在追求生态自由的实现。在当前的社会中,过度强调个人利益,过分看重个人价值,以至更多地把自然当做物品来征服和占有,无情地滥用有限的自然资源,破坏生态系统,结果引发了各种生态问题,并且他们认为只要不做出伤害,也就不必施以关怀。必须对这种原子式自由的思想进行反思与摒弃,代之以人与自然和谐相处、实现和解,获得整体性协调发展的生态自由。

因此,必须理性地反思人与自然的整体统一关系,深刻地认识并遵循生态规律,保护环境、维护生物多样性,尊重万物的本性,让其自主地生存。正如汤姆·雷根所言:“动物权利的真实含义都要求放空笼子,而不是扩大笼子”[9],当然这要以不危及人类的生命以及不破坏生态系统的发展为前提。通过互相依靠、互相制衡,让人和其它生物都实现相对的自由,并在获得权益的同时承担相应的义务,实现生态公正。对待野生动物,必须秉持生态公正的原则。野生动物资源是有限的,它们包容人类破坏的能力也是有限的,因为个人的私欲而对野生动物进行杀害,这样的行为需要从思想上进行彻底改变。人与野生动物平等地存在于一个生命共同体中,学会尊重它们的生命是最基本的道德。而在保护野生动物时,需要跳出单纯的、仅仅是基于经济利用的立场给予其道德关怀,要充分尊重野生动物的个性自由,意识到人与野生动物的平等公正性,用道德来约束自己的行为并承担自己所需要承担的责任义务,“摆脱自己的偏见,抛弃我们对其他生命的疏远性,与我们周围的生命休戚与共”[10],而不仅仅只是想到获取利益。只有这样,才能维护生态系统的稳定,保证人类的可持续发展,实现人与自然和谐共生,让万物实现生态自由。

2.3 基于生态良知的生态制度化原则

制度是基于人的需要而产生的,是人们进行社会活动必须要共同遵守的行为标准与准则。随着人类物欲的不断膨胀,人类更加无限度地征服、改造自然,使得自然资源越来越匮乏,生态环境更加恶化,造成了自然生态的整体失衡。因此,要改变生态危机不断加重的状况,不仅需要人类理性、真诚地自我反省,加强道德自律以提高生态环保的意识,还需要将生态伦理制度化,包括生态伦理自身的制度化以及将生态伦理渗入到法律法规中,遵循制度化的原则,推进人与自然和谐相处状态的实现。野生动物在生态食物链中有它独特的地位和作用,如果它们遭遇灭绝,那么生态系统也会遭到极大的破坏,若是再想修复的话就会付出更多的代价,也会面临更大的难度,或者说根本无法恢复如初。

从经济发展的过程来看,人类总是不断地向自然界获取资源来满足自己无限的欲望,而不仅仅是满足自己的真实需要,正如里查德·威尔金森回顾人类经济发展的历史时所说:“就其广义的生态学内容而言,经济发展的过程就是日益彻底地利用自然环境的手段的发展过程”[15]。正因为人们向自然索取的要多于回馈给自然的,所以应该承担起保护的责任,坚持生态制度化原则,充分唤醒人类的生态良知,让每个人都能逐渐意识到人与自然的共生关系,进而自觉自愿地保护自然,并使之成为自己内心的道德自律,也使生态伦理在法律的保障中更加有效地实现。对待野生动物也是如此,在关于野生动物保护的法律法规中体现生态伦理,肯定野生动物的价值,逐渐升华人类对它们的情感。只有使道德规范真正内化于心,才能对野生动物、对自然中的任何生物自觉地产生生态良知,以使“所有其他人和其他生命均能照此生活的方式生活”[15]。

3 生态伦理视域下野生动物保护的策略

随着科学技术水平的日益提高,人类似乎忘记了对自然的依赖感,但是不断出现的生态问题却在时刻提醒着我们,人与自然是生命共同体,两者必须保持平衡和谐的关系。在地球这个生物圈中,万物都是有生命的,每个生命物种都应该被珍惜。野生动物作为人类天然宝贵的财富,应该以理解、尊重、爱心来关爱保护它们,把道德对象的范围延展至野生动物。为此,我们应该研究一些保护野生动物的策略,以保护生态系统的完整性,促进人类社会的可持续发展。

3.1 强化公民保护野生动物的意识,树立人与自然和谐相处的生态伦理观

对于许多人来说,生态危机这个话题似乎离自己的生活不太远,但也不太近,在国家的高度重视及强力支持下,我国更加重视生态文明建设,并且不断

取得实效性的成果,使得人们对“生态”这个词耳熟能详,也为强化人们的野生动物保护意识提供了条件。当前世界变得日益脆弱,全球性的生态危机频发:全球变暖、土地荒漠化、能源危机、水资源危机、生物多样性减少等,最直接的原因是资本全球性的扩张。在工业化进程不断加速的过程中,人们享受着工业文明带来的财富与利益,却也在承受着生态平衡受损、环境日益恶化、病毒传播肆虐等带来的痛苦。在当前的时代背景下,全世界人民应该群策群力,树立人与自然和谐共生的生态文明观,在保证整体的生态系统平衡的前提下,合理地利用并补偿自然,从价值观上转变,才能实现可持续发展之道。

野生动物是维持食物链的关键物种,它们维护着生态系统的动态平衡。因此,在这个完整的生态系统中,人类与野生动物应该一直保持友好的邻里关系。它们对与人类的生存发展一直有着重大的意义,不仅在早期给人们提供基本的生存资源,而且在当下,野生动物养殖、旅游观赏、医药制造等许多产业都显示出野生动物对于人类的重要性。当前我国对于野生动物的重视程度日益提高,但是仍然有部分人会做出对野生动物不利的事,比如在 2021 年 9 月 23 日,西安市野生动植物保护管理站工作人员发现,有两位老人在对绣眼、朱雀、红尾水鸲、黄喉鹀 4 种 30 余只野生鸟类进行买卖。对他们进行相关法律的宣讲后,他们认识到了自己的错误并积极进行了改正[16]。因此,公民保护野生动物的意识必须强化。对此,需加强关于野生动物保护的宣传力度以及生态伦理知识的普及力度,从而引导人们树立正确的生态伦理观,完善生态道德,用道德的力量让人们发自内心地尊重并保护野生动物,让人们意识到人类自己不能凌驾于野生动物之上,更不能凌驾于自然之上,要对所有生命心怀善念,这才是人类应该遵守的道德准则。正如施韦泽所主张的:“善的本质是保存生命,促进生命,使生命达到其最高度的发展。恶的本质是毁灭生命,损害生命,阻碍生命的发展”[10]。人与野生动物是相互依存的,人与自然也是共生共存的,只有在尊重自然规律的基础上合理地利用野生动物资源,尊重它们的自由天性,拯救更多濒危的、珍稀的野生动物,不断改善共同的生存环境,才能逐渐缓解人类与野生动物之间的冲突,还生态以和谐稳定。

3.2 完善动物权利与福利

伦理是规范人们行为的道德准则,也就是人类在进行与生态有关的活动时应该遵循一定的伦理原则,包括合理地利用自然资源、保护生物物种、维持生物多样性、保护生态平衡等。“从道德上说,我们永远都不能仅仅因为在总体上个人或社会能从动物身上获利,就剥夺任何动物的生命,侵犯和伤害它们的身体,或限制它们的自由”[17]。人类与野生动物的关系,从对猛兽具有恐惧、膜拜的心理到肆意宰杀、虐待野生动物并妄图征服它们的心理,再到人类意识逐渐觉醒,认识到需要承担善待、保护野生动物的责任以及有着法律法规的加持,这个关系逐渐缓和。但是,因为经济、文化、社会等原因,并没有让所有民众完全具备对于野生动物、对于自然树立应有的伦理道德观,所以捕杀、买卖、非法食用野生动物的现象依然屡见不鲜。如今,在这个倡导生态文明的时代,要用和谐发展的理念去看待人与野生动物的关系:它们和人类一样,都拥有生存与发展的权利,只有善待它们,善待自然界中的所有生物,给予它们爱的人文关怀,完善动物福利,才能达到真正和谐稳定的状态。

人与自然是生命共同体,在这个共同体中,每一个生命都值得尊重,对待野生动物也一样,应带着一种关怀的心态,给予它们尊重与保护。人类来自于自然,受自然规律的制约,如果只考虑自己的经济利益,从而造成生态环境恶化,野生动物也遭遇它们不应该遭受的痛苦,这是不公平的,也是不道德的。虽然野生动物不能和人完全等同,正如我们有选举投票权,并不意味着它们同样也要有,但是因为生活在一个共同体中,都享有生存的权利,也有向往自由的权利,我们应该秉持尊重生命的原则抑制内心的贪欲,承认它们的权利并保障它们的福利,保证野生动物可以得到健康的食物以及良好的栖息环境,并且尊重它们表达天性的自由,减少它们身体上和心理上的伤痛。同时也应认识到,对野生动物给予道德关怀,并不是只针对某个个体,而要从整体生态系统的稳定与和谐来看待与思考,就像罗尔斯顿表述的:“对物种的义务绝不等于对一个类别或范畴的义务,不是对一个众多有感觉生物之利益之集合的义务,而是对一个生命种系的义务”[18]。当前,在推进 2030 年可持续发展目标实现的进程中,完善动物权利与福利,加强对野生动物保护的知识传播,提升公民的社会责任感,才能不断实现人类与自然的和谐共生。

3.3 完善野生动物保护法律体系,建立野生动物保护生态补偿制度

当前,环境污染严重、气候变化加剧、生物多样

性减少等生态问题日益严峻,对人类的可持续发展也构成了威胁,所以生态保护已经成为全球共同关注的问题。建设绿色家园也是全球人民共同的夙愿,而我国力图走出一条有特色的生态治理道路,用中国行动展现我们的力量和决心,为全球生态治理贡献自己的能量。野生动物作为大自然独特的产物,它们的毁灭会造成一系列的连锁反应,以致产生严重的后果,破坏生物链的完整与和谐,因此应加强保护野生动物的意识与行动,为此必然离不开法律的支撑。作为积极践行生物多样性保护的国家,我国在野生动植物保护方面也在不断取得显著成效,在各种法律法规、规划方案的支持下,“中国 90%的植被类型和陆地生态系统、65%的高等植物群落、85%的重点保护野生动物种群已得到有效保护。大熊猫、朱鹮、苏铁、珙桐等珍稀濒危物种种群实现恢复性增长。藏羚羊野外种群数量从 20 世纪 90 年代的 6 万~7 万只增长到现在的 30 万~40 万只”[19],但是野生动物保护的生态伦理意识还未深入全民之心,伤害野生动物的现象时有发生,在法律制度方面还有待完善。

关于野生动物保护涉及的法律,最核心的是《中华人民共和国野生动物保护法》以及相关的法律条例。2020 年 2 月 24 日通过的《全国人民代表大会常务委员会关于全面禁止非法野生动物交易、革除滥食野生动物陋习、切实保障人民群众生命健康安全的决定》,也对之前的法律作了补充。其次,是地方层面的法律法规以及与野生动物相关的法律法规。此外,还有一些政策性文件及加入的一些国际公约,比如《中国生物多样性保护战略与行动计划》(2011—2030 年)、《生物多样性公约》《濒危野生动植物种国际贸易公约》等,都是为了保护生物多样性,促进生物资源可持续发展。当前,野生动物的保护已经上升到生态安全、生物安全、公共健康安全、国家安全,所以在修订《野生动物保护法》时应体现更深层的立法理念,并与《传染病防治法》《动物防疫法》等相关法律实现有效衔接,在监管体制、执法机制、法律责任等方面也应作出更严格的规定。对于野生动物的保护不仅要关注对它们伤害的减少,还要关注保护它们应得到的生态补偿。建立完善的野生动物保护生态补偿制度,丰富野生动物生态补偿方式、建立激励机制、提高福利待遇,给予受损者充分的补偿,有利于缓解人与野生动物之间的矛盾,实现人与自然和谐共生的现代化。

4 结　语

“如果有一天,所有的野生动植物都因失去生存的空间而消亡,那么这一天,也就是人类的末日”[20],对于这样的警告,我们必须予以重视。从古至今,人类在推动社会迅速向前发展的同时,一系列的生态危机也随之而来,在妄图征服自然的过程中,却在不断遭受自然反噬给人类的苦楚。在这个人类命运共同体的时代,倡导生态和谐稳定已经成为全人类共同的追寻。在习近平生态文明思想的指引下,各项政策方案积极出台,我国生态文明建设不断开创着新局面,而关于野生动物保护的工作也在不断取得新成效,但是环境破坏、资源枯竭、疾病增多、生物多样性减少、生态系统失衡等问题仍然不断出现,这就意味着我们应该更深刻地思考人与自然的关系,包括人与野生动物的关系。在昆明召开的《生物多样性公约》第十五次缔约方大会,就是共商全球生物多样性保护新方略,以建设万物和谐的美丽世界。野生动物作为美丽世界中不可或缺的一部分,除了它们本身就是重要的自然资源之外,与人类的可持续发展也是息息相关的,因此,每个人都应该树立保护野生动物的生态伦理意识,给予野生动物道德关怀,从内心深处尊重、爱护它们,坚持生态正义,以“确保自然界中每个物种的权利和生态自由”[21],推动人与野生动物、人与自然、人与社会和谐关系的建立,共同绘就人与自然和谐共生的炫彩画卷,让下一个春天不再寂静。

参考文献:

[1] 习近平. 在庆祝中国共产党成立 100 周年大会上的讲话[N]. 人民日报,2021-07-02(002).

[2] 世界自然基金会. 近 50 年来全球野生动物数量锐减逾三分之二[EB/OL]. (2020-09-10)[2022-01-07]. https://www.thepaper.cn/newsDetail forward 9113787.

[3] 敢顶风作案,非法捕猎野生动物?抓![EB/OL]. (2021-08-30)[2022-01-07]. https://mp.weixin.qq.com/s/8OVM6szRuY7de6EQ7YPnIQ.

[4] 马克思恩格斯选集(第 2 卷)[M]. 北京:人民出版社,2012:169.

[5] 保罗·泰勒. 尊重自然:一种环境伦理学理论[M]. 雷毅,译. 北京:首都师范大学出版社,2010:52.

[6] 中华人民共和国野生动物保护法[M]. 北京:中国法制出版社,2018.

(下转第 161 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.023

基于生态位模型的云南省野生茶树适宜性分析与评价

宋永全[1],王文权[2],周 杭[2],孙在红[1]
(1. 云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051; 2. 西南林业大学 林学院,云南 昆明 650224)

摘要:基于野生茶树已知分布点和环境因子,利用生态位模型(MaxEnt)研究野生茶树在云南省的生态适宜性。结果表明,模型预测效果良好(AUC 值为 0.868),古茶树在云南省的高适生、适生、非适生区面积占比分别为 4.28%、8.97%和 86.75%。其中适生区主要分布在普洱市、保山市、红河州及临沧市等地区。最冷季降水量、气温季节性变动系数、海拔及最暖季降水量对古茶树的分布影响较大,其累计贡献率近 80%。研究结果可为云南省野生茶树资源调查与保护提供科学依据。

关键词:野生茶树;生态适宜性;MaxEnt 模型;云南省;降水量

中图分类号:S751.1;Q142.9;S718.5 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0146-06

引文格式:宋永全,王文权,周杭,等. 基于生态位模型的云南省野生茶树适宜性分析与评价[J]. 林业调查规划,2023,48(5):146-151. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.023

SONG Yongquan, WANG Wenquan, ZHOU Hang, et al. Suitability Analysis and Evaluation of Wild *Camellia sinensis* in Yunnan Based on Niche Model[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(5): 146-151. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.027

Suitability Analysis and Evaluation of Wild *Camellia sinensis* in Yunnan Based on Niche Model

SONG Yongquan[1], WANG Wenquan[2], ZHOU Hang[2], SUN Zaihong[1]
(1. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China;
2. College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: Based on the known distribution points of wild *Camellia sinensis* and environmental factors, an niche model (MaxEnt) was used to study the ecological suitability of *Camellia sinensis* in Yunnan Province. The results showed that the model predicted well (AUC value of 0.868), and the area shares of *Camellia sinensis* in highly suitable, suitable and non-suitable areas in Yunnan Province were 4.28%, 8.97% and 86.75%, respectively. Among them, the suitable areas were mainly distributed in Pu'er, Baoshan, Honghe and Lincang. The precipitation of coldest quarter, temperature seasonality, altitude and precipitation of warmest quarter had a greater influence on the distribution of *Camellia sinensis*, with a percent cumulative contribution of nearly 80%. The results could provide a scientific basis for the investigation and protection of wild *Camellia sinensis* resources in Yunnan Province.

Key words: wild *Camellia sinensis*; ecological suitability; MaxEnt model; Yunnan Province; precipitation

收稿日期:2022-12-08;**修回日期**:2023-02-15.

第一作者:宋永全(1974-),男,云南陆良人,高级工程师. 主要从事森林资源监测、森林可持续经营、古茶树等方面研究工作.
责任作者:孙在红(1968-),女,四川西昌人,副研究馆员. 主要从事古茶树专项研究、专业技术人员管理等工作.

茶树(*Camellia sinensis*),属山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia* L.),古茶树通常指处于自然生长状态下且树龄在百年至数百年以上的茶树资源[1]。在植物学分类上云南的古茶树一般为野生型的大理茶(*C. taliensis*)、厚轴茶(*C. crassicolumna*)、大厂茶(*C. tachangensis* Zhang)等茶组的植物。这些古茶树通过自然繁衍组成相对集中的居群,占据一定空间,并在林相构成中形成一定群居优势(无法构成群落)。经过多年普查发现,古茶树在分布上呈现带状和块状的特点,无量山、哀牢山的古茶树居群基本呈带状分布,且多在海拔 2 100~2 700 m 的原始天然阔叶林中;少部分居群则在海拔 886~1 780 m 的常绿阔叶林中呈块状分布,极少数分布在针阔混交林中。近年来,由于野外自然生存环境的破坏、人们过度采摘利用以及科学的保护措施不足,大量古茶树资源的自然居群受到严重威胁,储量逐年减少,保护压力增大[2]。此外,现存古茶树居群多生长于深山密林中,交通极为不便,现场资料的采集工作较难进行,导致部分尚未探明的古茶树资源情况不清,给古茶树资源的保护、研究、开发和利用等工作带来诸多困难。因此,对古茶树居群进行适宜性分析不仅有利于对分布于深山中还未发现的野生茶树居群调查提供参考,同时也能对野生茶树资源保护、利用、引种选址提供一定理论依据。

生态位模型即物种分布模型(species distribution models,SDM),是基于数学算法关联物种分布信息与环境变量,对研究区域内研究对象的分布概率进行计算的数学工具[3],常作为评价物种适生范围及生态适宜性的重要手段。随着生态位理论与 GIS 技术的发展,物种分布模型已在生态学和自然保护等领域发挥了愈加重要的作用。晁碧霄等[4]应用生态位模型研究了广东省红树林的生境适宜性,分析了影响红树林分布的关键环境变量,识别了广东省的红树林保护与修复空缺区域。王奕晨等[5]利用生态位模型预测了福寿螺在中国的潜在适生区,预测 AUC 值为 0.9,达到较好的预测结果。张雪可等[6]基于生态位模型研究了影响湖北黄精生态适宜性的主导环境因子,结果显示了较高的准确度和可靠性。

目前有关古茶树的研究主要集中在生物特征[7]、群落演替[8]、遗传多样性[9]以及资源保护[10]等方面,对古茶树居群的分布预测及环境适宜性的研究较少,尤其是基于生态位模型的适宜性评价未有涉及。基于生态位模型对云南野生茶树的适宜性进行分析,研究古茶树居群的潜在适生区,并探究影响古茶树分布的主导环境因子及与环境特征的响应关系,具有一定创新性和实用性。

1 研究区概况

云南省位于北纬 20°8′32″~29°15′8″,东经 97°31′39″~106°11′47″,属青藏高原的南延部分,山地面积约占全省总面积的 88.6%,为我国山地面积最多的省份之一。高黎贡山、怒山、云岭等南北纵列,金沙江、元江、李仙江、澜沧江、怒江等成帚状排列;东部属云贵高原,地形波状起伏;南部为中、低山宽谷盆地区。云南季风气候极明显,共有北热带、南亚热带、中亚热带、北亚热带、南温带、中温带和高原气候区 7 个气候类型,大部分地区均具有冬暖夏凉、四季如春的气候特征。由于气候和地貌特征的复杂多样,造成了物种分布格局差异较大。

2 材料与方法

2.1 研究数据

2.1.1 地理分布数据

通过查阅专著及相关文献等古茶树分布资料,收集野生茶树分布具体地理坐标共 212 条[11]。为避免集群效应产生的误差,应保证每一个最小栅格(30″×30″)内只有 1 条样本记录作为有效分布点[12],据此原则,删除无效和重复的分布记录,最终保留 152 条有效分布数据。

2.1.2 环境数据

气候数据来源于世界气候数据网站(https://www.worldclim.org),其中包括常规的 19 个反映温度和降水量的生物气候变量(bioclimatic variables)。这些气候因子间常具有一定相关性,同时运用于模型建模将导致结果产生过度拟合,影响预测精度[13]。为避免因子间相关性带来的影响,使用 SPSS 19.0 软件对 19 个生物气候因子进行 Pearson 相关性分析,当两个因子存在显著性相关($R>0.8$)时,剔除其中一个贡献率较低的因子,最终保留 9 个因子参与建模,分别为 bio2、bio4、bio6、bio9、bio14、bio15、bio18、bio19 以及 alt(表 1)。

2.2 研究方法

MaxEnt 模型作为物种分布模型之一,具有对数据需求较低,且预测结果准确、稳定性好的优点而被

表 1 环境变量

Tab. 1 Environmental variables

变量	中文描述	英文描述	单位
alt	海拔	altitude	m
bio2	均温日较差	mean diurnal range (mean of monthly)	℃
bio4	气温季节性变动系数	temperature seasonality (standard deviation×100)	—
bio6	最冷月份最低温	min temperature of coldest month	℃
bio9	最干季度均温	mean temperature of driest quarter	℃
bio14	最干月份降水量	precipitation of driest month	mm
bio15	降水量季节性变化	precipitation seasonality (coefficient of variation)	mm
bio18	最暖季度降水量	precipitation of warmest quarter	mm
bio19	最冷季度降水量	precipitation of coldest quarter	mm

广泛使用,成为分析物种适生区域的首选模型[14]。原理是根据已知物种分布点所对应的环境变量建立熵值最大的分布函数,进而计算物种在研究区域内的适生概率[15]。

在 MaxEnt 模型中分别导入古茶树分布数据及筛选后的 9 个环境数据,勾选“make pictures of predictions”功能,设置 25%的分布点作为测试集(testing data),75%的分布点作为训练集(training data),重复建模 10 次。使用软件自带的 ROC 曲线(receiver operating characteristic curve)检验来评估 MaxEnt 模型的预测精度,通常以 ROC 曲线下的面积 AUC(area under curve)值的大小判断模型性能。理论上,AUC 值的范围在 0 到 1 之间,值越接近 1,则表明模型的预测效果越好,模型在预测物种适生区时能更准确地反应适生范围[16]。MaxEnt 默认的输出结果范围为 0~1,反映了物种在该栅格上的分布概率。为更加明确地区划适生等级,利用 ArcGIS 软件对结果进行可视化表达和重分类处理,将存在概率 $P \geqslant 0.8$ 的地区划分为高适生区,$P \geqslant 0.5$ 的地区划分为适生区[17]。

3 结果与分析

3.1 模型评价

模型的 ROC 曲线检验结果显示,AUC 值为 0.868,标准差为 0.028(图 1)。

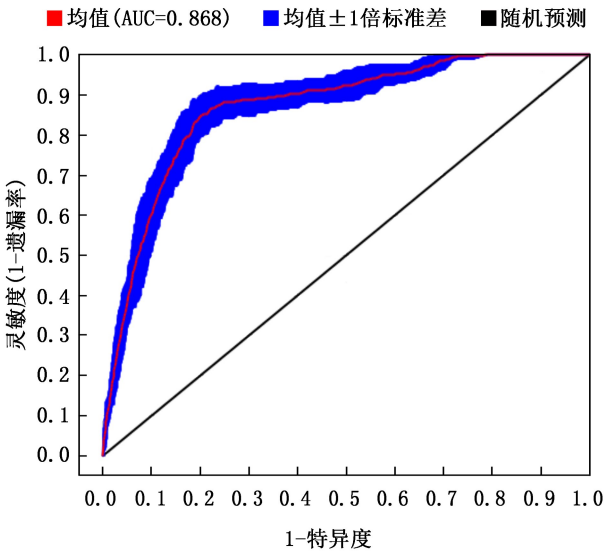


图 1 ROC 曲线

Fig. 1 ROC curve

从图 1 可知,AUC 值大于 0.8,表明预测结果较好,模拟预测的准确性高,该模型对古茶树在云南省的潜在适生区的预测结果可信,预测适生区范围与实际分布点的重合度较高。

3.2 古茶树适生区及适生等级划分

古茶树的潜在适生区在云南省的分布如图 2 所示。

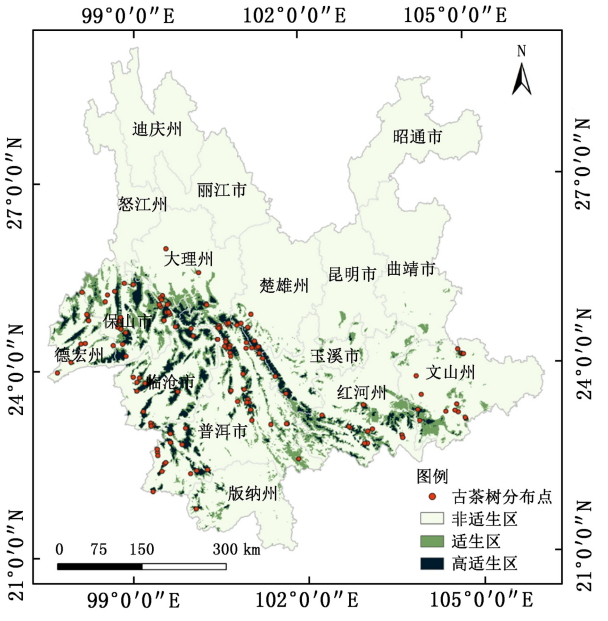


图 2 云南省古茶树潜在适生区分布

Fig. 2 Potential suitable habitats of *Camellia sinensis* in Yunnan Province

总体来看,古茶树在云南省的适生区较为狭窄,且相对分散地分布于各个州市,生境破碎化严重。

其中,高适生区面积为 16 812 km^2,占比 4.28%;中适生区面积为 25 241 km^2,占比 8.97%;非适生区面积为 340 978 km^2,占比 86.75%。古茶树的适生区大体分布于云南省西南、西和南部地区,包括德宏州、保山市、大理州、临沧市、普洱市、西双版纳州、红河州以及文山州。高适生区分布于适生区较为集中的部分地区,多位于适生区的中心区域。而非适生区主要囊括云南省大部分地区,尤其是云南东北、北以及西北等地区,这些区域古茶树的适生性较低,不适合其分布。

按云南省的州市行政区划分适生区,统计得到古茶树适生区面积(图 3)。

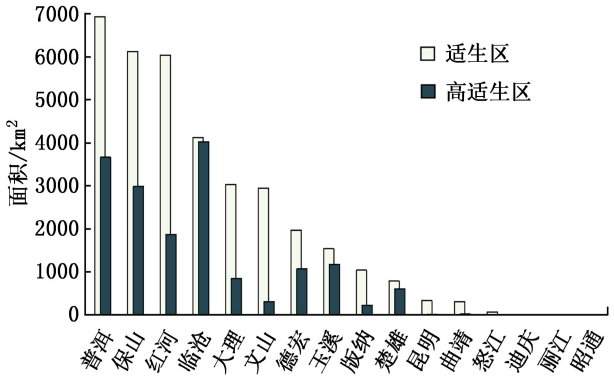


图 3　云南省古茶树适生区面积统计

Fig. 3　Statistics of suitable area of *Camellia sinensis* in Yunnan Province

普洱市、保山市、红河州、临沧市和大理州依次分布最大面积的适生区,分别为 6 931、6 124、6 037、4 121、3 032 km^2。高适生区面积排名几乎与适生区的相同,较为明显的区别为临沧市包含了最大面积的高适生区,达 4 030 km^2,说明该地是最适宜古茶树分布的州市。

3.3　古茶树主导环境因子

根据环境变量的贡献率,bio19、bio4、alt 和 bio18 的贡献率最高,均超过 10%,并且 4 个变量的累计贡献率近 80%,说明 4 个变量对古茶树的适生性有重要的贡献。此外,另外重要性指标置换重要性同样也表明了 4 个变量具有较高的重要程度(bio19 为 11.5%,bio4 为 21.6%、alt 为 12.7%、bio18 为 17.3%),具体见表 2。

表 2　古茶树环境变量贡献率

Tab. 2　Contribution rate of environmental variables for *Camellia sinensis*　%

环境变量	贡献率	累积贡献率	置换重要值
bio19	32.9	32.9	11.5
bio4	19.7	52.6	21.6
alt	13.7	66.3	12.7
bio18	12.0	78.3	17.3
bio6	7.3	85.6	7.4
bio15	6.7	92.3	11.5
bio9	4.1	96.4	13.3
bio2	2.6	99.0	3.2
bio14	1.0	100.0	1.4

刀切法分析结果显示,单独使用 bio19 和 bio4 两个变量的正规化增益明显高于其他变量,说明这两个变量包含了最多的预测信息并具有较强的预测能力;另外,不使用变量 bio18 所得到的正规化增益下降最明显,说明该变量具有更多的其他变量所没有的未知信息(图 4)。

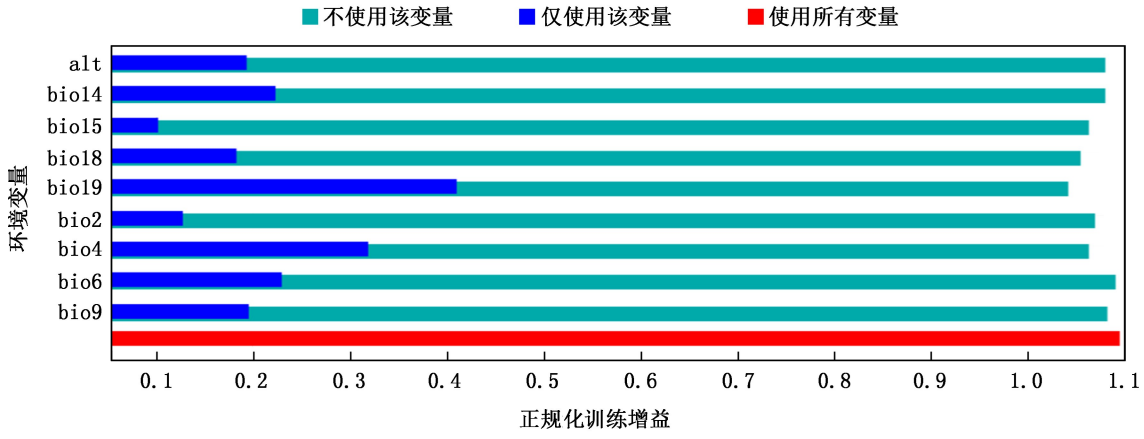


图 4　古茶树刀切法检验结果

Fig. 4　Result of Jackknife test for *Camellia sinensis*

综合变量重要性分析与刀切法分析结果可知，bio19、bio4、alt 和 bio18 为古茶树的主导环境因子，对古茶树的分布和适生区划分较为重要。而 bio2 和 bio14 显示了最低的累积贡献率与置换重要性，因此对古茶树的分布影响可能不大。

变量响应曲线分析显示单独使用一个变量时，改变变量的大小所引起预测概率变化的情况。一般认为当变量的某个区间使得预测概率(即纵坐标)大于 0.5 时，则具有该区间值的环境变量适合古茶树的生长(图 5)。

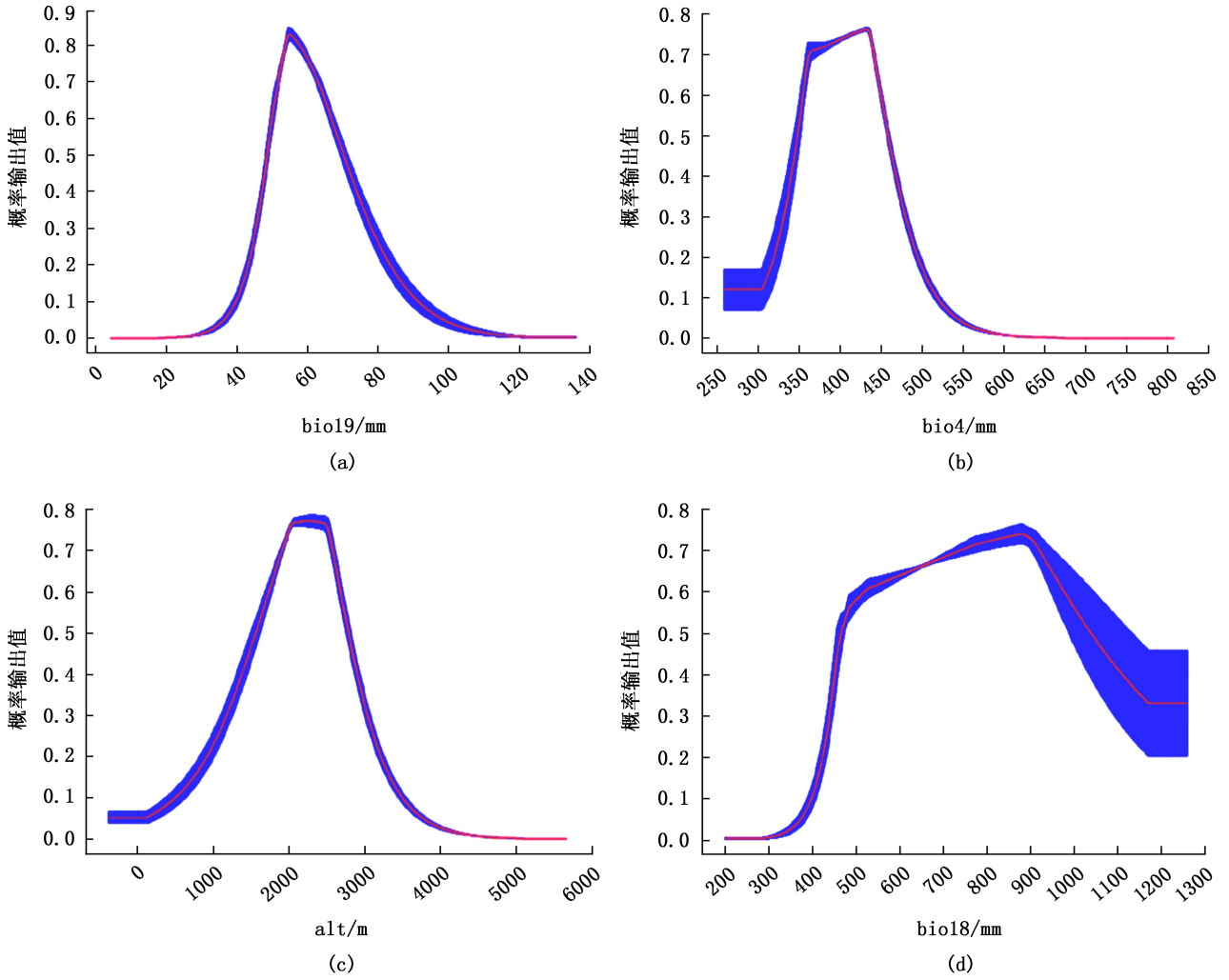


图 5 古茶树主导环境因子响应曲线

Fig. 5 Response curves of environmental variables for *Camellia sinensis*

结果表明，当 bio19 为 48～70 mm，bio4 为 350～458，alt 为 1 500～2 700 m，bio18 为 455～1 050 mm 时，为古茶树的最适生长范围。4 个主导环境因子的响应曲线均呈钟形，显示古茶树在生长时极端的环境条件(极高或极低)均不适合其生长，环境变量必须稳定在固定范围内。这进一步说明了古茶树资源的适生环境较为苛刻，适宜生境稀少。

4 讨论与结论

研究结果表明，影响古茶树分布最重要的环境因子包括夏冬季节的降水量、海拔以及气温季节性变动系数。通常古茶树生长期的降水量要达到 100 mm 以上，年降水量达到 1 000 mm 以上，才能维持其稳定生长[18]。本研究结果显示古茶树的生长特别依赖于降水量的情况。海拔作为另一个重要环境因子，通过间接影响温度、光照强度、人为活动等因素来主导着古茶树的分布。有研究表明海拔 1 500～2 000 m 的中高山地带极适宜茶树生长[19]。通过海拔因子响应曲线可知，古茶树的海拔最适范围包括 1 500～2 000 m 区间，并在 2 000～2 700 m 区间也表

现出较高的适生性。因此古茶树的最适海拔范围可能较以往的研究结果更广。适宜的海拔有利于野生茶树的生理代谢及光合产物淀粉或糖分积累(海拔 2 200 m 最佳),可见海拔可影响古茶树的分布、生长及口感等方面[20]。在本研究中温度对古茶树分布影响较小,可能由于古茶树具有一定的抗寒能力,对极端温度的差异有部分适应性。何雨芩等[21]应用 GIS 技术对云南省茶树种植气候适宜性进行区划,认为云南省茶树种植的适宜度由南向北逐渐递减,最适宜地区主要分布在版纳、普洱、临沧、德宏四市,本研究的预测结果与之基本一致。在玉溪、楚雄等地也发现了小部分的古茶树适生区,但在近年野外调查中,暂未发现这些地方有古茶树分布,原因可能为其他未知的因素(如土壤情况、当地政策、土地使用情况)导致了当地出现了分布空缺。

由于之前的研究未证实影响古茶树分布的主导因素,研究仅考虑了适宜性分析中常用的生物气候变量而忽略了土壤特征、人为影响等因素对古茶树分布的影响。尽管如此,模型仍表现出较高的预测准确性。在后续研究中为更加精准地构建潜在适生区,应充分考虑更多影响物种分布的变量,以减小模型不确定性。

以野生茶树居群为研究对象,利用最大熵生态位模型(MaxEnt)对野生茶树群落在云南省的生态适宜性进行预测和验证,明确影响野生茶树生长和分布的主要环境因子,并划分野生茶树的生态适生区。结果表明,模型预测结果良好(AUC 值为 0.868),野生茶树适生区较为分散,破碎化严重,主要位于普洱市、保山市、红河州和临沧市等地。另外,影响古茶树分布的主导环境因子为最冷季度降水量、气温季节性变动系数、海拔及最暖季度降水量。研究结果为尚未探明的野生茶树居群提供了首选踏查地点,并为古茶树的资源保护与合理利用提供了科学依据。

参考文献:

[1] 虞富莲. 中国古茶树[M]. 昆明:云南科技出版社,2016.

[2] 吕海涛. 普洱茶古茶树光谱特征识别及其资源分布影响因子研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2020.

[3] ELITH J,LEATHWICK J R. Species distribution models:Ecological explanation and prediction across space and time [J]. Annual Review of Ecology Evolution & Systematics,2009,40(1):677-697.

[4] 晁碧霄,胡文佳,陈彬,等. 基于 Maxent 模型的广东省红树林潜在适生区和保护空缺分析[J]. 生态学杂志,2020,39(11):3785-3794.

[5] 王奕晨,郑鹏,潘文斌. 运用 GARP 生态位模型预测福寿螺在中国的潜在适生区[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2018,47(1):21-25.

[6] 张雪可,张虹,章鹏飞,等. 湖北黄精潜在分布区预测及生态适宜性研究[J]. 中国农业科技导报,2021,23(8):185-192.

[7] 马玲,蒋会兵,何青元,等. 云南文山州古茶树资源调查和分析[J]. 西南农业学报,2017,30(8):1732-1738.

[8] 柴勇,朱华,孟广涛,等. 云南哀牢山古茶树群落优势树种的种群结构与分布格局[J]. 林业科学研究,2011,24(3):277-284.

[9] 刘青,赵德刚,赵懿琛. 古茶树种质资源遗传多样性 ISSR 分析[J]. 种子,2021,40(5):7-14.

[10] 曾煜,陈悦. 云南古茶树资源保护的地方立法与制度的完善[J]. 西南林业大学学报(社会科学),2020,4(4):18-23.

[11] 黄炳生. 云南省古茶树资源概况[M]. 昆明:云南美术出版社,2016.

[12] 李垚,张兴旺,方炎明. 气候变暖对中国栓皮栎地理分布格局影响的预测[J]. 应用生态学报,2014,25(12):3381-3389.

[13] 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):195-201.

[14] 王文权,张玉霄. 气候变化情景下流苏香竹潜在分布区预测[J]. 世界竹通讯,2021,19(6):21-30.

[15] 王雷宏,杨俊仙,徐小牛. 基于 MaxEnt 分析金钱松适生的生物气候特征[J]. 林业科学,2015,51(1):127-131.

[16] 顾蔚,郭彦龙,卫海燕,等. 气候变化下桃儿七潜在地理分布的预测[J]. 植物生态学报,2014,38(3):249-261.

[17] 陈禹衡,吕一维,殷晓洁. 气候变化下西南地区 12 种常见针叶树种适宜分布区预测[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(6):113-120.

[18] 高敏,罗庆仙,罗琦. 基于 GIS 的普洱市古茶树气候适应性分析[J]. 中国茶叶,2010,32(7):16-18.

[19] 虞富莲. 昌宁的古茶树资源[J]. 中国茶叶,2006(6):10-11.

[20] 王菲,王志超,程小毛,等. 千家寨野生古茶树对不同海拔的生理响应[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2021,36(3):500-506.

[21] 何雨芩,张茂松,黄成兵,等. 基于 GIS 的云南省茶树种植气候适宜性区划[J]. 安徽农业科学,2015,43(25):218-221.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.024

基于红外相机的大果红杉物候及观赏特征研究

提 布[1],斯那此里[2],杨建强[2],张鹏万[1],江次农布[2],木艳春[1],马运军[1],和雁楠[2],
斯那劳丁[2],史 岩[1],和春菊[2]
(1. 白马雪山国家级自然保护区曲宗贡生态定位监测站,云南 德钦 674599;
2. 白马雪山国家级自然保护区德钦分局曲宗贡管理所,云南 德钦 674599)

摘要:以云南白马雪山国家级自然保护区曲宗贡区域大果红杉观赏季观赏特征为目标,采用红外相机进行大果红杉物候监测,通过与固定样地结合数据分析,了解观赏特征变化规律。结果表明,大果红杉叶各阶段的物候变化与海拔、温度、湿度、株密度等有直接关系,海拔越高,大果红杉叶变色时间越早,落叶期越短;气温越高、降雨量越少,叶变色时间越晚;株密度对叶变色期影响不显著,但对落叶期影响明显,株密度与落叶期长呈正相关关系。

关键词:白马雪山;大果红杉;红外线相机;物候变化;观赏季

中图分类号:S685.14;TB866 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0152-05

引文格式:提布,斯那此里,杨建强,等. 基于红外相机的大果红杉物候及观赏特征研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):152-156. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.024

Tibu, Sina Cili, YANG Jianqiang, et al. Phenological and Ornamental Characteristics of *Larix potaninii* var. *australis* Based on Infrared Cameras[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(5): 152-156. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.024

Phenological and Ornamental Characteristics of *Larix potaninii* var. *australis* Based on Infrared Cameras

Tibu[1], Sina Cili[2], YANG Jianqiang[2], ZHANG Pengwan[1], Jiangci Nongbu[2], MU Yanchun[1], MA Yunjun[1], HE Yannan[2], Sina Laoding[2], SHI Yan[1], HE Chunju[2]
(1. Quzonggong Ecological Monitoring Station of Baima Snow Mountain National Nature Reserve, Deqen, Yunnan 674599, China; 2. Quzonggong Administration of Deqen Branch of Baima Snow Mountain National Nature Reserve, Deqen, Yunnan 674599, China)

Abstract: To research the ornamental characteristics of *Larix potaninii* var. *australis* in Quzonggong area of Baima Snow Mountain National Nature Reserve in Yunnan, infrared cameras were used for the phenological monitoring of *Larix potaninii* var. *australis*, the changes of ornamental characteristics were studied by combining data analysis with fixed plots. The results showed that the phenological changes of the leaves of *Larix potaninii* var. *australis* were directly related to altitude, temperature, humidity and plant density, and the higher the altitude, the earlier the leaf discoloration time and the shorter the defoliation period; the higher the temperature and the less rainfall, the later the leaf discoloration time; the effect of plant density on the leaf color change period was not significant, but the effect on the defoliation period

收稿日期:2023-02-16.

第一作者:提布(1972-),男,云南德钦人,高级工程师. 主要从事自然保护区建设与管理方面的工作. Email:1043641332@qq.com

was significant, and the plant density was positively correlated with the defoliation period.

Key words: Baima Snow Mountain; *Larix potaninii* var. *australis*; infrared camera; phenological change; ornamental season

大果红杉(*Larix potaninii* var. *australis* A. Henry ex Hand. -Mazz.)为红杉变种,属松科落叶松属,是横断山区亚高山寒温性针叶林落叶树种,产于我国四川西南部、西藏东南部及云南西北部海拔 2 700~4 000 m 高山地带,常呈纯林或与云冷杉、黄背栎、方枝柏等组成混交林,为滇西北针叶分布海拔最高的类群。

目前,大果红杉研究主要集中于径向生长、更新方式、分布格局及其保护价值、气候变化的响应等领域,物候监测领域尚未见报道。大果红杉作为迪庆州重要的季色叶植物,秋冬季不同的形态和色彩构成,与山体、冰雪等组成多样化景观,是迪庆州重要的生态景观资源,其生态旅游价值尚未开发,基于特定物种观赏季物候数据分析有利于预报该物种最佳观赏期,同时对区域科普宣传、生态旅游将产生示范性作用。

1 研究区域概况

曲宗贡为第四纪冰川时期由冰川漂移堆积物形成的冰石河遗迹,位于云南白马雪山国家级自然保护区北部,设立有云南海拔最高的科研工作站所,辖区最高海拔主峰扎拉雀尼海拔 5 429 m(扎拉雀尼主峰),最低海拔为 3 800 m,是保护区最大的河流——珠巴洛河发源地。区域季风气候突出,干湿季分明,长冬无夏,春秋相连。年均温 3.2℃,最高温 19.5℃,极端最低温-32.1℃,无霜期 82 d(德钦县气象局资料,2012 年);辖区范围内分布有针阔混交林、亚高山暗针叶林带、高山灌丛草甸带、流石滩稀疏植被寒漠带 4 种生态类型。对区域地标植物进行物候观测并做出简单分析,掌握大果红杉观赏季物候规律及重要影响因子,为保护区生态旅游提供科学依据,也为探索红外线相机物候观测监测体系打下一定基础,提高自然保护区对物种的有效保护及其生物多样性的区域性保护功能。

2 红外相机物候观测方法

2.1 观测期与监测目标

以大果红杉全年为物候观测期,以观赏季大果红杉叶变色始期至落叶期为主要监测目标。

2.2 监测时间

监测采用红外相机定时间隔功能,采集 7:00—19:00 数据,设置 2 h 间隔自动采集并保存目标物种相关信息。

2.3 红外相机设置

红外相机在植物物候监测中,需要做好有关模式的设置,采用间隔控制功能,优化电池损耗,协调监测中断问题;设置不同布设距离,包括目标物种特写、近景、中景及目标群落远景信息,考虑影响红外相机的相关因素,如方位、顺逆光、枝条晃动、障碍物等,保障监测信息持续性和合格性。拍摄模式为定时照片拍摄,连续拍摄 2 张,分辨率设为最高(尺寸 4 608×2 592)。

2.4 监测位点选择

2.4.1 红外相机布设

监测样方的选择需考虑植被类型、海拔梯度和人类活动干扰等影响因子,选取大果红杉富集,具有代表性,较易观察的 3 个海拔梯度区域。每个区域安置 2 台红外线相机进行监测,阳坡、阴坡进行同海拔对比(表 1)。

表 1　红外线相机监测位点

Tab. 1　Infrared camera monitoring points

红外线相机编号	地理坐标	海拔/m	坡位	坡向
DGHS001 DGHS002	28°20′03″N,99°02′41″E	3849	山谷	无坡向
DGHS003 DGHS004	28°21′06″N,99°02′11″E	4063	下坡位	阴坡
DGHS005 DGHS006	28°21′13″N,99°02′29″E	4310	上坡位	阳坡

2.4.2 红外相机监测情况

2020 年 7 月至 2022 年 12 月布设红外线相机进行监测,3 块样地各布设 2 台,共布设相机 6 台(表 2)。3 年监测天数合计 914 d,收集到监测照片共计 10 270 张,其中有效照片 8 823 张,照片有效率为 85.9%。

2.4.3 固定样地设置

以红外相机布设位点为坐标,设置 3 块 30 m×30 m 的固定监测样地(图 1)。样地确定后,利用界桩对样地四角进行永久标记,对样地进行统一编号,建立样地调查档案,以便于每年的复测,掌握更科学的数据。

表 2 红外相机物候监测情况

Tab. 2 Phenological monitoring of infrared cameras

年度	红外相机/台	拍摄照片/张	有效拍摄照片/张	照片有效率/%
2020	6	2070	1306	63.0
2021	6	4290	3805	88.7
2022	6	3910	3712	94.9

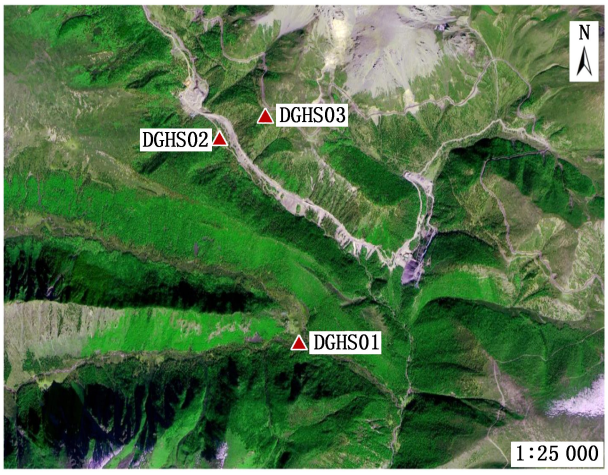


图 1 曲宗贡大果红杉样地位点

Fig. 1 Sample sites of *Larix potaninii* var. *australis* in Quzonggong area

2.5 监测植株选择

选择无病虫害、高度适宜、遮蔽少的健康植株进行物候观测。对选定的植株先用 GPS 对其进行定位,然后对所有监测植株进行编号。

2.6 监测项目标准

选取目标物种的叶变色期和落叶末期作为观测时段。从不同海拔、坡向采用红外线相机进行监测;设置目标物种样地,监测植株盖度、密度、基盖度、频度等。

3 监测结果

3.1 大果红杉物候及观赏季特征

2020—2022 年曲宗贡区域大果红杉物候及观赏季特征统计见表 3~表 5。

由表 3~表 5 可知,1 号样地海拔 3 849 m,2 号样地海拔 4 063 m,3 号样地海拔 4 310 m。1、2 号样地海拔落差 214 m,2、3 号样地海拔落差 247 m。1~3 号样地叶变色期分别在 10 月 5 日左右、10 月 4 日左右、10 月 1 日左右,叶变色始期相差约 4 d,说明海拔越高,叶变色始期越早,此外 1、2 号样地与 3 号样地相比,整株变微黄色时间晚 3.3 d,整株变金黄色时间晚 4.3 d,整株变暗黄色时间晚 3.7 d,海拔高度对大果红杉观赏季物候影响较为明显。1、2 号样地与 3 号样地相比,整株出新芽时间早 4 d,出新枝时间早 9.3 d,完全展叶时间早 13.3 d,说明海拔越低,大果红杉萌动期与展叶期越早。

3.2 大果红杉样地监测记录

对不同样地大果红杉乔木株密度、基盖度等进行监测(表 6)。

表 3 2020 年大果红杉样地物候观测记录

Tab. 3 Phenological observation records of *Larix potaninii* var. *australis* in 2020

样地编号	海拔/m	坡位	观测时段(月-日)							
			叶变色始期	叶微黄期	叶金黄期	叶暗黄期	完全落叶期	新芽期	新枝期	完全展叶期
DGHS001	3879	山谷	10-05	10-11	10-21	10-29	11-29	04-28	05-29	06-06
DGHS002	4062	下坡位	10-07	10-12	10-22	10-31	11-30	04-25	06-01	06-10
DGHS003	4310	上坡位	10-01	10-08	10-19	10-27	11-22	05-02	06-09	06-20

表 4 2021 年大果红杉样地物候观测记录

Tab. 4 Phenological observation records of *Larix potaninii* var. *australis* in 2021

样地编号	海拔/m	坡位	观测时段(月-日)							
			叶变色始期	叶微黄期	叶金黄期	叶暗黄期	完全落叶期	新芽期	新枝期	完全展叶期
DGHS001	3879	山谷	10-02	10-10	10-25	11-05	11-25	04-25	05-28	06-05
DGHS002	4062	下坡位	10-03	10-10	10-28	11-06	12-01	04-20	05-28	06-07
DGHS003	4310	上坡位	09-27	10-07	10-21	11-01	11-16	04-29	06-05	06-15

表 5　2022 年大果红杉样地物候观测记录

Tab. 5　Phenological observation records of *Larix potaninii* var. *australis* in 2022

样地编号	海拔/m	坡位	观测时段(月-日)							
			叶变色始期	叶微黄期	叶金黄期	叶暗黄期	完全落叶期	新芽期	新枝期	完全展叶期
DGHD001	3879	山谷	10-06	10-15	10-26	11-01	11-26	04-24	05-30	06-08
DGHS002	4062	下坡位	10-06	10-14	10-24	11-02	11-29	04-19	05-29	06-11
DGHS003	4310	上坡位	10-03	10-11	10-20	10-28	11-18	04-28	06-08	06-24

表 6　大果红杉乔木监测统计

Tab. 6　Monitoring statistics of *Larix potaninii* var. *australis*

样地编号	树种	株数/株	平均树高/m	平均胸径/cm	断面积之和/m^2	株密度/(株·m^{-2})	基盖度/%
DGHS001	大果红杉	37	9.56	17.35	0.8748	0.0411	9.7255
	高山柏	7	6.16	11.50	0.0727	0.0077	0.8084
DGHS002	大果红杉	37	11.00	25.81	1.9366	0.0415	21.7287
	栎叶杜鹃	2	3.10	5.30	0.0044	0.0022	0.0495
	方枝柏	2	3.85	6.69	0.0070	0.0022	0.0788
DGHS003	大果红杉	55	6.72	14.60	0.9203	0.0721	12.0582
	方枝柏	3	2.73	5.80	0.0079	0.0039	0.1038
	栎叶杜鹃	2	3.20	7.90	0.0098	0.0026	0.1284

在温度、湿度相似的前提下,通过分析表 3~表 6,对比 3 块样地植物群落监测数据,1、2 号样地植株密度相对较高,3 号样地植株密度最低。1 号样地大果红杉叶变色期为 28 d,落叶期为 25 d,2 号样地大果红杉叶变色期为 28 d,落叶期为 27 d,3 号样地大果红杉叶变色期为 29 d,落叶期为 21 d。大果红杉株密度对变色期影响不显著,但对落叶期影响显著。

3.3　大果红杉样地温度、湿度监测

2020—2022 年曲宗贡区域不同时段温度、湿度变化情况统计见图 2,表 7。

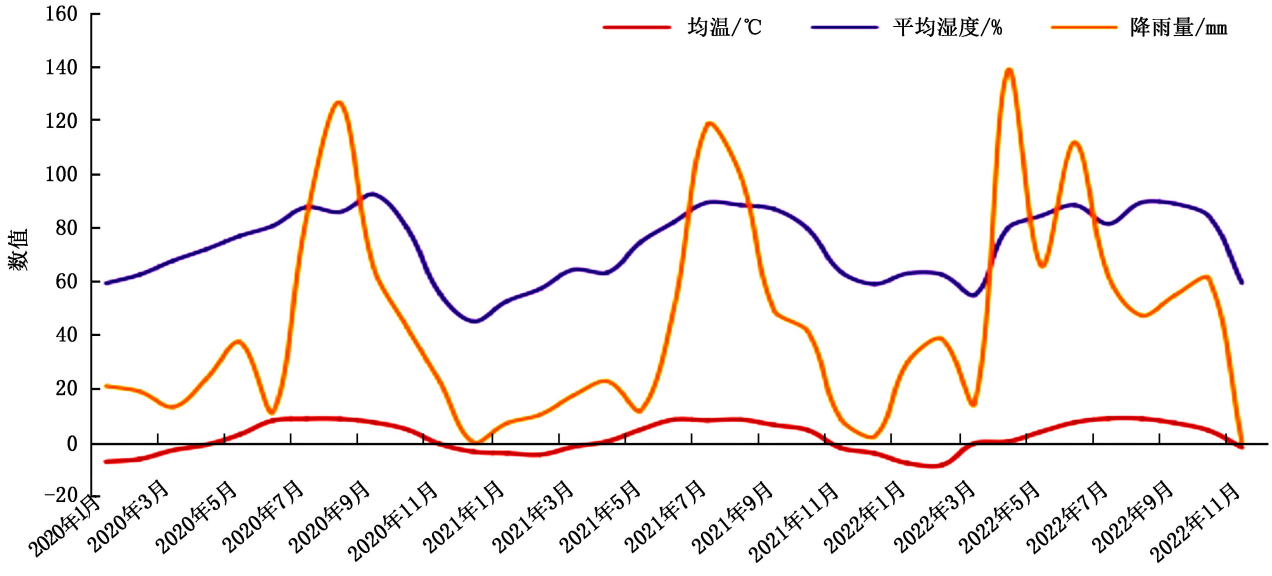


图 2　2020 年 1 月—2022 年 11 月曲宗贡区域各时段均温、平均湿度、降雨量统计

Fig. 2　Statistics of average temperature, average annual humidity, and rainfall for each period from January 2020 to November 2022

表 7 2020—2022 年曲宗贡区域温度、湿度统计

Tab. 7 Statistics of temperature and humidity in Quzonggong area from 2020 to 2022

年份	年均温/℃	年均湿度/%	年均降雨量/mm
2020	2. 13	72. 8	38. 9
2021	1. 70	76. 0	56. 7
2022	2. 15	72. 0	36. 5

由图 2,表 7 可知,气温越高,湿度就越低,降雨量越少,大果红杉叶变色始期越晚。1 号与 2 号样地海拔落差 214 m,但 2 号样地位于下坡位背风处,在海拔不同的前提下,两块样地温度、湿度接近,物候变化规律相似。而 3 号与 1 号样地海拔相差 461 m,并且位于上坡位迎风处,温度、湿度差异明显,叶变色始期早于 1、2 号样地,平均 3. 3 d,说明温度、湿度是影响大果红杉物候规律的重要因素之一。

4 结论与相关建议

4.1 结论

白马雪山曲宗贡区域大果红杉叶各阶段的物候变化与海拔、温度和湿度、株密度等有直接关系,海拔越高,大果红杉叶变色时间越早,与低海拔叶变色始期相差约 4 d。落叶期平均 24 d,海拔越高落叶期越短,高海拔地区落叶期长主要受降雪因素影响。气温越高、降雨量越少,大果红杉叶变色时间越晚,相反变快;株密度越高,大果红杉落叶期越长,株密度与落叶期呈正相关。

白马雪山曲宗贡区域大果红杉叶变色到完全落叶的一个周期平均约 53 d,叶变色期(开始变色、微黄、金黄、暗黄)持续约 28 d。叶开始变色到叶微黄色平均约需 7. 5 d,叶微黄色至金黄色平均约需 12 d,叶金黄色至暗黄色平均约需 9 d,叶暗黄色至完全落叶平均约需 24 d,叶落叶期至萌动期平均约需 152 d,萌动期至展叶期平均约需 10. 4 d。

通过分析红外线相机监测数据发现,曲宗贡区域影响大果红杉落叶快慢的因素依次为受风、降雪、海拔、地势、坡向、周围植被。海拔越高,大果红杉落叶越早,其中风是落叶加快的最主要因素,其次是降雪,融化的冰雪加速了叶的脱落,平缓地势落叶相对较慢,阳坡较阴坡落叶早,植株密度越高区域落叶相对较慢,主要是因为植株密度高会阻挡减弱风的力量。

通过红外线相机物候观测可以获得大果红杉物候规律变化,进而提供有针对性、精细化的预报服务。白马雪山曲宗贡区域相对海拔较低区域大果红杉最佳观赏期为 10 月 24 日至 11 月 2 日,平均为 9 d;海拔较高区域为 10 月 20 日至 10 月 28 日,平均为 8 d。若变色期遇到突然下雪降温,大果红杉最佳观赏期整体将提前 3~5 d。

4.2 相关建议

1)工作人员首次使用红外线相机进行植物物候监测,忽略了对大果红杉开花、结果等重要因素的监测,导致大果红杉物候监测内容不够全面,并且还缺乏对监测数据的分析经验,分析数据不够全面、细致。因此,今后要全面掌握使用红外线相机监测各种植物物候的技术手段,为白马雪山保护区加强资源管护和合理利用奠定基础。

2)白马雪山曲宗贡区域具有完整的高海拔生态系统,分布着大面积原始落叶针叶林,是该保护区暗针叶林分布的上限,但该区域的植被生境十分脆弱,一旦遭到破坏,生态恢复特别困难。因此,应加大对白马雪山曲宗贡区域以暗针叶林为主的生物多样性、保护区面积最大的高山复合体生态系统和区域内最大河流珠巴洛河源头的保护力度。

3)白马雪山保护区要利用丰富多彩的观赏植物资源,根据最佳观赏时间段,划定特定区域,科学规划可持续发展的生态旅游线路,发展生态旅游和科普教育活动,提高生态效益、经济效益和社会效益。公众和社区群众可在体验活动中学习环保知识,提高保护意识,从而提高全民对生态环境的保护意识。

参考文献:

[1] 张慧,付培立,林友兴,等. 滇西北白马雪山长苞冷杉和大果红杉年内径向生长动态及其对环境因子的响应[J]. 应用生态学报,2022,33(11):2881-2888.

[2] 叶联发. 中甸大果红杉更新初探[J]. 云南林业调查规划,1987(4):40.

[3] 张菊梅,范泽鑫,付培立,等. 普达措国家公园四种针叶树径向生长对气候因子的响应[J]. 应用生态学报,2021,32(10):3548-3556.

[4] 袁凤军,余昌元. 哈巴雪山保护区大果红杉林的分布格局及其保护价值[J]. 林业调查规划,2013,38(2):65-68.

[5] 杨沛芳,赵卫东,格玛江初,等. 白马雪山自然保护区曲宗贡区域野生观赏植物资源调查研究[J]. 林业调查规划,2017,42(4):91-98.

责任编辑:陈旭

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 025

西双版纳自然教育资源现状调查研究

宋志勇[1],万正林[2],王云飞[3],文芒才[4],杨 南[5]
(1. 云南西双版纳国家级自然保护区科学研究所,云南 景洪 666100; 2. 云南西双版纳国家级自然保护区勐仑管护所,云南 勐腊 666307;3. 云南西双版纳国家级自然保护区曼稿管护所,云南 勐海 666200; 4. 西双版纳州亚洲象保护管理中心,云南 景洪 666100;5. 云南西双版纳国家级自然保护区管护局,云南 景洪 666100)

摘要:从自然教育硬件资源和软件环境等方面进行调查研究,对自然教育要素进行深入分析,结果认为,西双版纳有丰富的自然和人文资源,能为自然教育活动开展提供多样的教学素材和研习平台,十分适合开展自然教育活动。西双版纳州计划 2025 年之前打造 5 个自然教育示范基地,为自然教育提供更加丰富多彩的资源。

关键词:自然教育;硬件资源;软件资源;西双版纳;生态文明建设

中图分类号:S718. 55;G40;S757. 2 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0157-05

引文格式:宋志勇,万正林,王云飞,等. 西双版纳自然教育资源现状调查研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):157-161. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 025

SONG Zhiyong, WAN Zhenglin, WANG Yunfei, et al. Investigation on Current Situation of Natural Education Resources in Xishuangbanna[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):157-161. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 025

Investigation on Current Situation of Natural Education Resources in Xishuangbanna

SONG Zhiyong[1], WAN Zhenglin[2], WANG Yunfei[3], WEN Mangcai[4], YANG Nan[5]
(1. Research Institute of Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666100, China;
2. Menglun Administration of Xishuangbanna National Nature Reserve, Mengla, Yunnan 666307, China;
3. Mangao Administration of Xishuangbanna National Nature Reserve, Menghai, Yunnan 666200, China;
4. Xishuangbanna Asian Elephant Conservation and Management Center, Jinghong, Yunnan 666100, China;
5. Administration of Yunnan Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666100, China)

Abstract: This paper investigated and studied the hardware resources and software environment of natural education in Xishuangbanna, and conducted an in-depth analysis on the elements of natural education. The results showed that the natural and cultural resources were abundant, providing a variety of teaching materials and study platforms for the development of natural education activities, which were very suitable for carrying out natural education activities. Five natural education demonstration bases are planned to build in Xishuangbanna Dai Autonomous Prefecture by 2025, which will provide more diverse resources for natural education.

Key words: natural education; hardware resources; software environment; Xishuangbanna; ecological civilization construction

收稿日期:2022-02-07;**修回日期**:2022-09-08.

第一作者:宋志勇(1979-),男,云南保山人,正高级工程师. 主要从事自然保护地保护和管理工作. Email:551992760@qq. com
责任作者:杨南(1983-),女,云南景洪人,高级工程师. 主要从事自然保护地保护和管理工作. Email:76186233@qq. com

教育是关系国计民生的大事,国内有很多关于自然教育的培训讲座、工作坊以及论坛。目前全国有很多与大自然相关的教育活动,比如营地教育、生命教育、森林教育、环保教育、野外教育等,不仅教育领域,而且体育、生物、林业、农业、旅游、环保等领域的人士也参与进来。这些概念都是相互交叉、互有你我、殊途同归的,只是不同人士从不同视角解读的含义有一些差异,我们需要了解这些概念的核心内涵是什么。国外对自然教育的理解倾向于环境保护方面,比如北美环境教育学会执行董事认为自然教育是环境教育的一部分[1]。自然教育是指大自然中的教育,即以大自然为载体实现孩子全面发展的教育,而不仅仅是自然特色主题、体验自然、认识自然或保护自然的教育[2]。从国内实际情况看,某些与大自然相关的教育形式与之较为接近。其中一种称为自然游,即孩子在户外大自然玩耍,感受自然的美好,父母参与孩子的活动,全家人一起完成某个任务,例如春秋游或周末亲子游;另一种称为自然科普,即孩子在户外认识自然,包括动物、植物、景观等各种自然界的事物,培养环保意识,例如公园或景区里设置的户外科普课堂。

《道德经》已经提到“人法地,地法天,天法道,道法自然”,中国上下五千年的历史文化成就,无不跟自然教育有关。鲁迅先生在《从百草园到三味书屋》中,曾经有一段描写童年的精彩片段:“不必说碧绿的菜畦,光滑的石井栏,高大的皂荚树,紫红的桑葚;也不必说鸣蝉在树叶里长吟,肥胖的黄蜂伏在菜花上……。”这段童年的经历让无数人回味无穷,很多人就是在这种自然环境中成长的。2012 年,教育部在《3~6 岁儿童学习与发展指南》中明确提出,孩子每天在户外活动时间不少于两小时,多与大自然接触。自然教育兴许也是将孩子从手机刷屏、电脑游戏中解脱出来的方式之一。

当前国内自然教育大致有安吉游戏、营地教育、夏令营、研学旅行、自然体验、环境教育、生命教育、华德福学校等几种模式。西双版纳丰富的自然、人文资源和景观能为自然教育活动开展提供多样的教学素材和研习平台,因此十分有必要针对现有自然教育资源进行研究分析。

1 研究地概况

西双版纳傣族自治州辖一市两县、31 个乡镇和 1 个街道办事处。地处北纬 21°08′~22°36′、东经 99°56′~101°50′之间,国土面积 1.91 万km^2。东南与老挝相连,西南与缅甸接壤,国境线长 966.3 km。系澜沧江下游,北回归线以南,亚洲大陆向东南亚半岛过渡地带。总的地势北高南低。州内最高点为勐海县勐宋乡的桦竹梁子,海拔 2 429.5 m,最低点是勐腊县南腊河与澜沧江交汇入口处,海拔 477 m[3]。全州森林面积 151.66 万hm^2,占全州土地总面积的 79.29%。自然保护区总面积为 40.39 万hm^2,占全州土地总面积的 21.15%,国家级自然保护区 26.8 万hm^2,森林覆盖率 80.79%,天然林覆盖率 54.9%。

西双版纳国家级自然保护区(人与生物圈自然保护区网络成员)、风景名胜区、森林公园,如中科院西双版纳热带植物园(5A 级景区)、中国医科院药物研究所(南药园)、云南省热带作物研究所(花卉园)、云南省农科院茶叶研究所(茶马古道)等为自然教育提供了鲜活的教育素材和研习平台。州府所在地景洪荣膺国家级园林城市、国家森林城市、全国文明城市等称号,目前仍在为创建全国民族团结示范区、国家卫生城市而努力。勐海被誉为中国普洱茶第一县。勐腊县是古六大茶山(贡茶)主要分布区,同时也是中国望天树(*Parashorea chinensis*)主要分布区。

2 自然教育硬件资源

2.1 室内环境

西双版纳自然教育室内环境主要由各类博物馆和展厅构成(表 1)。西双版纳民族博物馆主要展示西双版纳自然生态、人文生态和资源保护区等内容,野象谷亚洲象(*Elephas maximus* Linnaeus)博物馆主要展示亚洲象科普知识、亚洲象骨胳标本、剥制标本,中科院西双版纳热带植物园博物馆主要展示西双版纳丰富的植物资源,望天树景区热带雨林风情体验馆主要展示望天树、鼷鹿等珍稀野生动植物资源,茶马古道景区茶文化展示区主要展示西双版纳茶文化,西定布朗族博物馆主要展现布族服饰、饮食、宗教信仰等民族风情,迷曼—自然研习所昆虫标本室主要展现昆虫标本制做及昆虫识别。

2.2 社区周边环境

以西双版纳社区为主题的典型自然教育地橄榄坝傣族园、打洛勐景来、勐养曼掌等主要以展示傣族原生态建筑、饮食、农耕等文化为主,基诺山寨主要展现基诺族从原始社会过渡到社会主义社会的历史巨变以及基诺族村落风貌,曼飞龙村主要展示傣陶制做过程。

表 1　西双版自然教育硬/软件资源概况

Tab. 1　Overview of hardware/software resources of natural education in Xishuangbanna

自然教育资源名称	环境类型	教学素材	生态旅游资源类别	级别	指导老师	教材
云南西双版纳国家级自然保护区	户外	自然科学	a,b,c,d	国家级	●	●
纳板河流域国家级自然保护区	户外	自然科学	a,b,c,d	国家级	●	●
布龙州级自然保护区	户外	自然科学	a,b,c,d	州级	●	●
易武州级自然保护区	户外	自然科学	a,b,c,d	州级	●	●
景洪县级自然保护区	户外	自然科学	a,b,c,d	县级	●	●
勐海县级自然保护区	户外	自然科学	a,b,c,d	县级	●	●
勐腊县级自然保护区	户外	自然科学	a,b,c,d	县级	●	○
中科院西双版纳热带植物园	户外	自然科学	a,b,c,d	AAAAA	●	●
西双版纳热带花卉园	户外	自然科学	c	AAAA	●	●
西双版纳茶马古道景区	室内	自然科学	c	AAAA	●	●
野象谷景区	室内	自然科学	c	AAAA	●	●
西双版纳民族博物馆	室内	人文知识	f	AAAA	●	●
勐泐大佛寺	室内	人文知识	f	AAAA	●	●
望天树景区	户外	自然科学	c	AAAA	●	●
原始森林公园景区	户外	自然科学	c	AAAA	●	●
傣族园景区	户外	自然科学	b,f	AAAA	●	●
融创西双版纳乐园	户外	自然科学	f	AAAA	●	●
曼听公园	户外	自然科学	c,f	AAAA	●	●
勐泐文化园	户外	自然科学	c,e,f	AAAA	●	●
勐远仙景景区	户外	自然科学	a,c	AAAA	●	●
告庄西双景景区	户外	人文知识	f	AAAA	●	●
基诺山寨景区	户外	自然科学	f	AAA	●	●
雨林谷景区	户外	自然科学	c	AAA	●	●
勐景来景区	户外	自然科学	f	AAA	●	●
曼龙勒野趣营地	户外	自然科学	b,c		●	○
古六大茶山	户外	自然科学	a,c,d		●	○
西双版纳南药园	户外	自然科学	c	AAA	●	●
迷曼—自然研习所	户外	自然科学	d,f		●	●

注:生态旅游资源类别:a 为地文景观,b 为水域风光,c 为生物景观,d 为气候景观,e 为遗址遗迹,f 为建筑与设施;指导老师或教材:有●,无○。

2.3 森林景观

自然保护区是森林生态系统的精华所在,西双版纳州内有各类自然保护区 7 个,总面积约 40 万hm^2,其中:西双版纳国家级自然保护区被联合国教科文组织(UNESCO)接纳为“人与生物圈”(MAB)自然保护区网络成员,同时也被授予全国科普教育示范基地和云南省科普教育基地,东北林业大学、云南大学、云南师范大学、西南林业大学教学实习基地,国家级大学生野外实践基地。此外,还有纳板河流域国家级自然保护区、西双版纳布龙州级自然保护区、西双版纳易武州级自然保护区、景洪县级自然保护、勐海县级自然保护区、勐腊县级自然保护区,连同州内各风景名胜区和森林公园,一并可为自然教育开展提供平台和素材。

2.4 人工园区景观

中国科学院西双版纳热带植物园可谓园林游憩精品区域,其中有稀有濒危植物迁地保护区、热带雨林景区、咖啡品种园、百竹园、南药园、百香园、藤本园、龙血树园、百果园、民族森林文化园、柚子区、香蕉品种园、热带混农林模式展示区、裸子植物区、名人名树园等 30 个园区。此外,还有西双版纳南药园、西双版纳热带作物研究所花卉园、西双版纳热带风情园等园林游憩区,都是开展自然教育极好的去处。

2.5 城市公共环境

告庄西双景主要展示东南亚傣泰民族风情,滨江公园展示典型的热带河谷地带园林园艺景观,泼水广场、勐泐文化广场、民族风情园等也都自带特点。

2.6 动物

全州动物群有 10 余门类,其中脊椎动物 762 种,无脊椎动物 3 000 余种。有鸟类 469 种[4],鱼类 100 余种,两栖类 38 种,爬行类 60 种,哺乳类 130 种,昆虫 2 448 种[5]。典型代表如:亚洲象、鼷鹿(*Tragulus kanchil*)、绿孔雀(*Pavo muticus*)、冠斑犀鸟(*Anthracoceros coronatus*)、红梅花雀(*Amandava amandava*)、金裳凤蝶(*Troides aeacus*)等。

2.7 植物

西双版纳国家级自然保护区有维管束植物 214 科,2 779 种,被子植物 167 科,2 504 种;裸子植物 6 科,14 种;蕨类植物 41 科,261 种[6]。

2.8 景观

热带雨林景观,如望天树景区;热带沟谷雨林,如雨林谷景区;喀斯特地貌,如绿石林景区的石灰山季雨林。

3 自然教育软件环境

目前,西双版纳国家级自然保护区、中科院西双版纳热带植物园等机构都有充足的专业技术人员,像野象谷、傣族园等景区也有导游可以承担自然教育指导教师或讲解员的角色,而迷曼—自然研习所则提供专职的自然教育服务。

4 自然教育要素

4.1 时间

教学活动需要一定的时间和周期,可以每周一次,或每月一次,也可以持续几天或若干天。

4.2 环境

教学场地主要是户外原生态自然环境或人工自然环境,具有一定的可控风险,教学人员应提前做好场地的布置和准备,对风险进行评估。

4.3 内容

教学内容与国家教育部门的大纲保持一致,涵盖多领域、多学科,内容的主题保持一定的延续性。自然教育相关专著教材主要有:自然观察手册[7],如《识象》《西双版纳鸟类多样性》[4]《西双版纳的兰科植物多样性和保护》[8];声像类教材,如《跨境绿色生态长廊》《西双版纳亚洲象的家园》《与象为邻》;单页类宣传资料,如西双版纳国家重点保护鸟类、保护雨林里的精灵—白颊长臂猿、猴科动物保护西双版纳在行动、鼷鹿保护行动、印度野牛(*Bos gaurus*)宣传画、亚洲象保护西双版纳在行动。

4.4 形式

教学活动围绕某个主题和需要解决的问题展开,以受众为主导,孩子们通过自主探索、体验、反思、分享进行。例如,西双版纳国家级自然保护区每年都举办夏(冬)令营活动,结合《识象》教材进校园,采取理论联系实际的方式,让师生们到野象经常出没地、亚洲象繁育基地及亚洲象博物馆深入了解亚洲象相关知识。通过参观及近距离观察亚洲象,更深入地了解亚洲象在我国的分布、栖息环境、特征及生活习性,从而使课本所学的知识与实际有机结合,让同学们知道保护亚洲象这一旗舰动物,一定程度上就是保护其周围的生态系统,从而以实际行动参与到亚洲象等野生动物保护的行动中来。

国际爱护动物基金会(IFAW)、美国大自然保护协会(TNC)、阿拉善 SEE 西南项目中心等环保组织,也会与社区中小学合作开展保护野生动物为主题的自然教育活动。而迷曼—自然研习所则以徒步观察、标本展示及知识体系课堂,从昆虫、植物、植被、鸟类等方面帮助城市中有自然缺失症的儿童及青少年建立与自然的连结与探索;对西双版纳在地民族文化进行深挖,对外展示匠人作品与本土文化,交流互通;和无数小家庭共同向内探索,为其提供优质生活方式的多种可能,关联未来社会对人本的需求,尽可能地带给受众更全面的成长体验与思考。环境教育鼓励培养每一个人的环保意识,包括生态环境的保护和野生动植物资源的保护等。

4.5 受众及流程

学员的年龄段既可以相同也可不同,一般幼儿园和小学的孩子不安排在同一个班里进行,老师与学员人数保持 1∶4 到 1∶6。带班老师要经过专业培训,成为孩子们的辅助支持者、引领者、指导者。如果针对成人或学者的教学活动,可按照集中说明、游戏唤醒、集中讨论、自探索、集中分享、反思内化的顺序开展。老师讲课时间一般不超过总时长的一半。

4.6 引导

引导受众需要家长、指导老师与孩子交流与互动。自然环境比较开放,让受众既遵守安全规则又可以自主探索,从而实现教育价值。

5 自然教育前景展望

自然教育本身不是一个新鲜事物,在西方发达国家已经有多年的历史。我国幅员辽阔,多山、多丘陵,有大量天然林地,为自然教育的开展创造了良好客观条件[9]。西双版纳国家级自然保护区管护局充分利用保护区自然资源,积极作为,依托景区设施,按照相关自然教育基地建设标准,编制完善规划设计,注重自然教育人才培养,推进自然教育示范基地建设工作。目前,西双版纳国家级自然保护区自然教育野象谷基地正在有序建设中。预计 2025 年西双版纳州将建成 5 个自然教育示范基地。此外,西双版纳国家级自然保护区管护局科普宣教科、中科院西双版纳热带植物园环境教育中心能为自然教育提供对接窗口。可借助教育、宣传、文化等部门,进一步将西双版纳丰富的自然教育资源转化为智力成果,服务全国自然教育工作,助推生态文明建设。

参考文献:

[1] 严格,李柯. 自然教育的概念探讨[J]. 现代教育管理,2018(5):194.
[2] 骆桦,黄向. 自然教育理论与实践[M]. 长春:东北师范大学出版社,2020:6.
[3] 杨松海. 西双版纳州傣族自治州林业志[M]. 昆明:云南民族出版社,2011:61-62.
[4] 罗爱东,陈明勇,董永华. 西双版纳鸟类多样性[M]. 昆明:云南美术出版社,2014:4.
[5] 国家林业局昆明勘察设计院. 西双版纳国家级自然保护区总体规划(2005—2015)[Z]. 2018.
[6] 王战强,贠新华,黄建国,等. 西双版纳国家级自然保护区[M]. 昆明:云南教育出版社,2006:1.
[7] 沈庆仲,郭贤明,罗爱东,等. 西双版纳热带雨林国家公园自然观察手册[M]. 昆明:云南出版集团,2014.
[8] 高江云,刘强,余东莉. 西双版纳的兰科植物多样性和保护[M]. 北京:中国林业出版社,2014.
[9] 魏艳红,姜薇,刘婷,等. 英国 EEI 森林学校模式及其对我国幼儿教育的启示[J]. 教育探索,2009,2(14):142-143.

责任编辑:刘平书

(上接第 145 页)

[7] 张璁. 强化法律责任 保护野生动物[N]. 人民日报,2020-02-20(19).
[8] 习近平. 在领导人气候峰会上的讲话:共同构建人与自然生命共同体[N]. 人民日报,2021-04-23(01).
[9] 汤姆·雷根. 打开牢笼:面对动物权利的挑战[M]. 莽萍,马天杰,译. 北京:中国政法大学出版社,2005:12-13,167.
[10] 阿尔贝特·施韦泽. 敬畏生命:五十年来的基本论述[M]. 陈泽环,译. 上海:上海人民出版社,2017:16,77.
[11] E·博登海默. 法理学——法哲学及其方法[M]. 邓正来,姬敬武,译. 北京:华夏出版社,1987:361.
[12] 费里德里希·恩格斯,卡尔·马克思. 马克思恩格斯选集(第 1 卷)[M]. 北京:人民出版社,2012:55.
[13] 彼得·辛格. 所有的动物都是平等的[J]. 哲学译丛,1994(5):25-32.
[14] 费里德里希·恩格斯,卡尔·马克思. 马克思恩格斯文集(第 1 卷)[M]. 北京:人民出版社,2009:193.
[15] 唐代兴. 生境伦理的制度规训[M]. 上海:上海三联书店,2014:206,300.
[16] 龚伟芳. 保护野生动物 维护生态和谐[N]. 西安日报,2021-09-26(004).
[17] 汤姆·雷根,卡尔·科亨. 动物权利论争[M]. 杨通进,译. 北京:中国政法大学出版社,2005:148.
[18] 霍尔姆斯·罗尔斯顿. 哲学走向荒野[M]. 刘耳,叶平,译. 长春:吉林人民出版社,2000:388-389.
[19] 严冰. 中国野生动植物保护成效显著[N]. 人民日报海外版,2021-04-09(02).
[20] 贾放. 报应——人与自然的失衡[M]. 北京:中国林业出版社,1999:138.
[21] 董前程. 中国特色社会主义生态文明理论的伦理意蕴[J]. 南京师范大学学报(社会科学版),2019(6):83-92.

责任编辑:刘平书

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 026

基于国内外国家公园差异的生态旅游可持续发展策略研究

张思嘉,刘宇翔
(西昌学院 旅游与城乡规划学院,四川 西昌 615000)

摘要:对国外国家公园生态旅游发展特点进行总结,分析我国国家公园开展生态旅游的优势。对照国内外国家公园生态旅游发展的差异,结合国内国家公园建设背景,提出了坚持资源保护与合理开发相结合、完善资源指标和社会指标协调发展、制定和完善我国生态法律体系、加强社区参与和健康可增长的资金运转机制、深化国家公园生态旅游的科教元素等一系列生态旅游可持续发展策略。

关键词:国家公园;发展差异;生态旅游;可持续发展

中图分类号:S788. 2;S759. 91;F316. 23 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0162-05

引文格式:张思嘉,刘宇翔. 基于国内外国家公园差异的生态旅游可持续发展策略研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):162-166,175. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 026

ZHANG Sijia, LIU Yuxiang. Sustainable Development Strategy of Ecotourism Based on Differences between Domestic and Foreign National Parks[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):162-166,175. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 026

Sustainable Development Strategy of Ecotourism Based on Differences between Domestic and Foreign National Parks

ZHANG Sijia, LIU Yuxiang
(College of Tourism and Urban-Rural Planning, Xichang University, Xichang, Sichuan 615000, China)

Abstract: This paper summarized the characteristics of ecotourism development in foreign national parks and analyzed the advantages of ecotourism development in domestic national parks. According to the differences of ecotourism development in national parks at home and abroad, combined with the background of national park construction in China, this paper put forward a series of strategies for sustainable development of ecotourism, such as the combination of resource protection and rational development, the improvement of coordinated development of resource indicators and social indicators, the formulation and improvement of ecological legal system, the strengthening of community participation and the healthy and sustainable fund operation mechanism, and the deepening of scientific and educational elements of ecotourism in national parks.

Key words: national park; development differences; ecotourism; sustainable development

在全球范围内,国家公园已成为备受关注的环保领域,其宗旨在于促进可持续发展和生态文明建设。在全球范围内兴起的“生态旅游”热潮中,我国国家公园也成为发展生态旅游热点区域之一。通过

收稿日期:2022-04-18.
资助项目:四川省社会科学重点研究基地国家公园中心项目(GJGY2021-YB001).
第一作者:张思嘉(2003-),女,湖北襄阳人. 研究方向为旅游管理. Email:2143821925@qq. com
责任作者:刘宇翔(1980-),女,四川西昌人,副教授. 研究方向为生态旅游、乡村旅游.

对比国内外国家公园的差异,借鉴国外国家公园生态旅游的特点,并以我国国家公园的优势为支撑,进行策略性研究,旨在打造一个具有中国化、时代化和世界兼容性的国家公园,目前中国国家公园的建设已经取得了积极进展。2022 年 11 月 8 日,国家林草局连同财政部、自然资源部和生态环境部于 2022 年 11 月 8 日发布了《国家公园空间布局方案》,其中选定了 49 个自然保护区作为国家公园候选区,范围覆盖各类天然生境,如树木丛生的地区或广袤无垠的大片土地等各种类型的环境元素,也包含拥有丰富自然景色风貌或珍稀动植物种类的地区,涉及 700 多个现有自然保护地、10 个世界自然遗产、2 个世界文化和自然双遗产以及 19 个世界人与生物圈保护区;并明确将以“生态优先”为原则,通过完善管理体制机制、加强法制建设、强化公众参与、优化空间配置等措施推动国家公园健康快速发展。相比于国外国家公园百年的建设历程和发展数量,我国在设立国家公园方面较为迟缓,直至 2021 年才正式设立了首批国家公园。国外国家公园在景点名片建设、法治文化发展和社区共管等方面取得了显著成效,我国应借鉴国外国家公园建设和管理先进经验,充分发挥本土优势,积极推进国家公园的发展,从而促进生态旅游的健康可持续发展。

1 国外国家公园生态旅游发展特点

1.1 特有的景观名片

国家公园,作为一个备受瞩目的旅游胜地,以其独有的自然景观和丰富的生物多样性吸引着来自世界各地的游客,这些特性决定了其是从事自然教育、休闲娱乐、科学研究和生态旅游等活动的理想场所。世界各地的国家公园皆有其独特之处和悠久历史渊源。例如冰岛的瓦特纳冰川国家公园,以其独特的自然景观小冰川、火山、峡谷、森林和大瀑布群,成为冰岛最大的国家公园之一,因此这片土地也被当地人尊称为“冰与火之地”。湖区国家公园,作为英国最大的国家公园,以其壮丽的湖泊、高山和国家自然保护区而著称,被誉为英格兰最美丽的地区之一,同时也是英国备受欢迎的度假胜地之一。比亚沃耶扎国家森林公园坐落在俄罗斯联邦欧洲森林地区,这里为原始森林,动植物资源丰富,是当地得天独厚的自然宝藏,不仅拥有世界少有的热带雨林,而且还是世界上最主要的野生动物生境之一。劳特布龙嫩山谷国家公园位于瑞士阿尔卑斯山脉隐秘山谷中,是瑞士最大的国家级自然保护区,因瀑布景观壮观而闻名遐迩。位于希腊爱琴海塞尔迈湾北岸的奥林匹斯山国家公园,蕴含着丰富多彩的生物多样性和文化遗产,是不可多得的自然宝库。这些国家公园无不拥有其特有的景点名片,凭借得天独厚的生态优势吸引着大批游客与自然爱好者去探寻。

1.2 法制建设健全

国外国家公园法制建设相对健全。以美国黄石国家公园为例,作为世界上第一个国家公园在法律制度建设上比较完善。黄石国家公园的管理主要参照美国《国家公园服务局管理条例》,其体系涵盖了公园系统规划、土地用途管理、自然资源利用管理、人文资源管理、教育科学研究项目、公园绿地使用、公园设施运营及为游客提供服务管理等 10 个部分。这些法规对公园管理中可能出现的突发状况及对应解决措施作了详细规定。从立法权看,只有联邦立法和行政机构能够制定与国家公园相关的各类法律、规章和政策,而其他州的法律并不能作为管理国家公园的根本准则[2]。此外,各国公园保护的侧重点有所不同,如加拿大班夫国家公园管理模式可分为政府保护管理、共同保护管理、私人保护管理、土著社区管理 4 种类型[3]。这类国家公园在管理保护、工作重心等方面通常以自然区域特征为依据,以生态代表性为原则来规划区域顶层发展,更具科学性[3]。为了确保生态环境自然保护区域的管理得到更好的保障和执行,一些早期设立的国家公园已经开始关于立法研究与实施的工作,如加拿大的相关法规明确“全面保护猎物、鱼类或野生鸟类”的要求。尽管保护性机制后来才建立,但加拿大的保护法中保护的色彩非常浓厚[4]。加拿大国家公园从成立之日开始便得到政府保护并有一整套法律保护措施。早在 1885 年加拿大联邦政府制定的《落基山公园法案》就已经起到了规范国家公园生态保护建设的关键作用。20 世纪初期加拿大颁布《国家公园法案》,1988 年修订法律条例。该议案对国家公园的地位、内涵、设立目的、建立程序、管理措施等各方面事项均进行了明确规定[3]。由此可见,国外国家公园立法较早,建设进程逐渐完善,有效地促进了生态旅游在国家公园中可持续性发展。

1.3 实行共管机制,引导社区参与

国外国家公园能给地方社区创造可观的财富。例如,美国国家公园规划截至 2019 年共接待世界范围内约 3 亿人次,并且可为本地社区带来约 210 亿

美元的运营收入,还能每年为社区居民创造至少 34 万个就业岗位。所以,对国家公园原住居民安置而言,搬迁并非唯一保护方式。可以利用原住民对当地自然保护区的了解,由当地政府或相关部门聘用,并培训其相关的讲解知识及应急技能,以参与国家公园的生态旅游开发。在美国国家公园的发展历史中,印第安人的迁移问题曾经受到普遍重视。一些学者认为"印第安人迁移政策的根源是美国想要创造无人居住的荒芜之地"。但正如加拿大班夫国家公园案例所示,原住民迁移政策旨在保护野生动物、规范野外狩猎、开发旅游目的地以及对土著民的文化征服,并非要营造自然保护区无人居住荒原景观。加拿大国家公园开发过程中,原住民是吸引游客至国家公园的重要资源。通过建立原住民小镇,既能给游客一个休憩场所,也能给国家公园增添特有的人文色彩。于是,1930 年后加拿大其他国家公园也相继于自然保护区中新建了不少城镇,如班夫国家公园等。城镇常住人口由 1887 年的 650 人发展到 1911 年的 2 000 人[4]。建设国家公园的核心目标是为动植物建立良好的生态保护区,而不是把其改造成荒野。加拿大政府在 1850 年签订的《鲁滨逊条约》中,除声明保护本地居民私有财产不受侵犯之外,对土著居民狩猎、捕鱼等权利也有明文规定[5]。因此国家公园要以社会利益群体为共建共管伙伴,统筹政府、国家公园、社区间合作管理机制,引导社区居民共同参与国家公园开发与建设,使其由传统资源利用者变为资源守护者、文化传播者。通过与原住民合作,保护其权益和文化,以及在国家公园内建立原住民居住地,更好地实现公园的可持续发展,并为游客提供独特的体验。

1.4 自然教育解说系统完善

国家公园是最优质的生态产品、天然的自然课堂、充满魅力的生态体验胜地。美、日等国已采用国家公园结合科学教育的方式进行较多环境教育、生态体验项目。美国国家公园以建设完备的环境教育体系和设计多样丰富的生态体验项目为手段,使大众全面了解国家公园涉及的自然生态与历史文化等,认识到国家公园对自然生态系统、历史文化资源等保护的重要性[6]。"少年护林员计划"[2]是一个适合于 4 岁以上青少年的具体案例,通过使用活动手册来教授关于国家公园自然景观、地热地质特征、野生动植物及火源生态学的相关信息,同时也会授予相应徽章作为奖励[7]。在日本西表石垣国立公园中,同样实行了一系列类似的生态教育活动,例如与公园联合的"自然教育计划"等,旨在加深游客对其特有物种西表猫的了解,以此来促进游客积极参与到保护这种动植物及其栖息地的工作中。这个项目包含了一些针对小学生的专门课程,用于提高其环保观念和科学素养[8]。这些生态体验项目使大众既能欣赏到自然之美,又能通过科教结合等形式使参与主体在生态旅游过程中掌握生态知识,增强环境保护意识。

2 国内国家公园生态旅游开展优势

2.1 "一园一法"的法律机制提供有力的法律保障

《国家公园法》是由全国人大常委会制定,而其所在地的地方人民代表大会也相应地发布了相关的实施条例。这种方式形成统一事权,分级管理,由中央管理为主,各地区根据自身的实际情况来设定具体的规则和完善各种管理措施。这从本质上构建了一个全面且精确的国家公园"一园一法"的法律框架,无论是中央还是地方均遵循这一原则。"一园一法"机制的优势:(1)规定国家公园的边界、禁止破坏性开发、限制污染等,从而保护公园内的生物多样性和自然景观,维护生态系统的稳定性;(2)建立权责清晰的管理体系,明确公园管理者的职责和权力,确保公园的合理利用和可持续发展;(3)兼顾各方利益,法律能够给公众提供参与公园管理和决策的机会,维护公众权益,同时法律还可规定经营者与游客之间的权利与义务,以保证其在享用旅游资源时不会损害生态环境及公园。

2.2 兼具精神文化价值和教育美育功能

国家公园作为自然保护区,承载着宝贵的自然资源和生态系统。公园内的多样性生物群落、珍稀濒危物种以及自然景观均展示了地球上丰富多样的生命形式。自然资源本身是文化传承中的一项重要内容,同中华民族的历史、传统习俗及精神信仰息息相关。公园内不仅有着独特的自然景观,也包含着丰富的地质、生物、社会等方面知识。国家公园可以通过多种教育活动和信息展示,向公众传授关于自然环境、生物多样性、环境保护等方面的知识。公园的参观者可以通过观察、学习和互动,增进对自然的认识和了解,培养环境意识和保护意识。国家公园兼具精神文化价值和教育美育功能,所以打造国家公园既是生态建设也是文化建设的需要,其不仅向人们展示了自然的美丽和奇迹,也是教育和激发人

们保护环境的重要途径。在国家公园的建设和管理中,共同呵护自然、传承文化、推动可持续发展。

2.3 资源类型丰富,地形地貌多样

中国孕育着多样而独特的生态系统,既有丰富的海陆资源,也有多样的地形地貌特征和四季气候类型。作为世界上生物多样性最丰富的国家之一,中国的国家公园具有丰富生态资源。如地处内陆高原生态系统的云南普达措国家公园,既有暗针叶林植被的原生森林,也有沼泽和亚高山草甸及高原湖泊。自然保护区中的地形地势、湖沼盛泽、林间草地、山涧溪流、国家保护动物等生态资源保存完好。神农架国家公园拥有亚热带泥炭藓型湿地森林生态系统和北亚热带森林湿地生态系统,是世界生物活化石聚集地和古老、珍稀特有物种避难所,素有“大地之肾”“大地之肺”的美誉。祁连山国家公园作为一个国家级自然保护区,对保护珍稀特有动植物、建立西部山地的生态屏障以及保护水源区起着决定性影响,其是典型的温带荒漠草原、寒温带山地针叶林和高寒草甸复合生态系统的象征。国家公园在保护生态安全屏障、核心水源区以及野生动植物等方面具有不可忽视的作用。丰富的资源类型和多样的地形地貌为国家公园生态旅游开展提供了有利的客观条件。

2.4 跨区域、跨部门协调机制完善

由于我国过去的自然保护地系统发展计划缺失,引发了一系列如重复设立、多个主体监管、边界划分及责任分配模糊等问题,使得保护与发展的冲突变得尤为显著,进而严重影响到整体保护效果[11]。为解决这些问题,各地区的国家公园试点区域均成立了国家公园管理机构,推动了自然保护区的机构合并和人力的优化配置,并完成对自然资源所有权范围的确立和注册手续,基本实现了由单一部门来承担整个国家的公园管理工作。全国共有 10 个试点区域采用了中央直接管辖、中央联合地方治理、完全由地方管理 3 种不同管理方式[10]。在推进国家公园社会化管理改革过程中,必须继续深化实现央地一体化共建与协同配套发展,以构建一种能使法律制度管理框架合理、财政支持充足、先进人才技术支撑以及社区和谐共生的管理运作协调体系。如东北虎豹栖息地国际巡游者竞技赛就是东北虎豹国家公园管理局与 WWF(世界自然基金会)合作举办的。东北虎豹国家公园建设作为国家跨境与跨界经济合作的重要借鉴与经验,起到了一定的示范或引领辐射作用。

3 基于差异化的我国国家公园生态旅游发展策略

3.1 文旅融合:推动旅游产业供给侧结构性改革

作为自然保护的主要载体,国家公园拥有丰富的自然景观和人文资源,能为生态旅游带来独特的感受和价值。国家公园建设和发展可以通过整合资源、优化产业布局、提升服务品质等措施,推动旅游产业从供给侧进行结构性改革。

3.1.1 优化资源配置

通过合理的规划和使用,国家公园实现了旅游资源的优化配置,提升了资源的全面运用效率,并整合和保护了众多自然景观和人文资源。

3.1.2 提升服务品质

国家公园以提升服务品质和旅游体验为重点,推动旅游产业向高质量方向发展。为满足游客对高质量服务和个性化需求,提供更加丰富多元的旅行产品及服务。

3.1.3 促进产业升级

国家公园的发展将带动相关产业链的升级和转型。旅游产业将从传统的低附加值产业向具有高附加值和创新能力的产业转变,推动整个供应链的优化和升级。

3.1.4 加强规划和管理

国家公园的建设和发展需要科学的规划和有效的管理。通过强化管理机制、健全规划体系、保护自然环境和文化遗产等措施,实现旅游产业有序发展。这一系列措施能够促进旅游产业的升级和转型,提升整体的供给质量和竞争力,推动国家公园生态旅游的可持续发展。

3.2 协调发展:完善资源指标与社会指标的平衡发展

在国家公园开发中,研究人员经常关注旅游环境容量(TECC)及其相关研究,以确保旅游的可持续发展。TECC 又称旅游环境承载力(tourism environmental control),是指单位时间内某一旅游地维持一定的游客使用水平,但不影响游客体验和破坏环境的利用强度[11]。因此,为避免旅游业像早期工业化阶段那样经历“先破后立”的过程,公园管理局制定了“游客体验和资源保护”策略,简称 VERP[12]。VERP 的核心内容包括资源指标和社会指标[12]。资源指标是指旅游者在游览过程中如生态足迹和碳足迹等对于自然资源的影响程度。这些指标要求游客在生态旅游过程中不对公园的保护物种和生态过

程造成压力。为了实现这一目标,确保资源指标在合理范围内,需要严格限制游客活动的数量、时间和范围。社会指标是指旅游者对当地社区的支持程度、文化遗产的保护等社会影响。在游客参与过程中,应注重尊重和保护当地社区利益,避免破坏当地文化遗产。通过 VERP 的实施,游客对自然资源和社会产生的正面、负面效应可以得到监控和控制。因此,要让资源指标控制在合理范围内,实现生态旅游可持续发展,游客在开展生态旅游体验过程中,一定要严格按照规定的限定区域组织开展体验旅游活动。

3.3 制度建设:构建与完善我国的生态旅游法律体系

建立国家公园相关法律制度,使生态旅游有法可依、有章可循,才能实现生态旅游的可持续发展。我国国家公园的自然属性决定了国家公园法将与我国自然保护地、自然遗产等法律相关联,还涵盖《中华人民共和国自然保护区条例》《中华人民共和国森林法》《风景名胜区条例》等多部环境单行法和其他许多地方性法律法规等[9]。国家公园在我国属于一种新型的生态自然保护区类型,这些试点的建设过程中存在着一定不足,导致现有体系不能完全满足对国家公园全面有效的保障需求。故而必须从全国层面上加强这方面的法治工作并逐步推进各项配套措施以促进该项事业的健康持续发展。在执法方面,应建立监督执法小队,引导规范旅游活动和旅游者行为,为游客提供更好的旅游体验,同时保护自然资源和生态系统的完整性。因此,无论是政府、公园管理机构,还是广大游客、相关利益方,均应在共同维护国家公园生态平衡的同时,做到有法可依、有章可循。

3.4 社区参与:推动资金健康运转与社区参与互动

在生态旅游过程中,本地社区不仅充当了热情的支持者,也可能成为隐性的破坏者,缺乏其主动投入的活动必然会以失败告终。社区的介入程度对于生态旅游企业的环境发展有着一定的推进与监管效果。而生态旅游社区居民的参与行为主要表现在参与生态旅游的教育培训、生态旅游的决策、生态旅游的环境保护和生态旅游的利益分享[13]。由于我国国家公园管理体制是中央主管、地方辅管,所以国家和政府应承担一笔资金支出,同时也可以建立多元化的资金来源[14]。国家公园生态旅游并不单纯以营利为目的,主要是本着绿色健康旅游的理念,让民众更多地了解生态系统,树立起保护环境的意识。因此,为获得健康可增长的资金运转机制,在不破坏自然生态环境的情况下可设计健康绿色可持续性发展的盈利项目。例如,将旅游者在自然保护区中捡到的落叶落花进行压花艺术制作,而其只需支付制作时的工具费用即可。这样合理的资金收费运作方式不仅极大改善了资金收支运转的体系,也能使资金持续良性地增长,并且符合生态旅游可持续性发展理念。

3.5 科教融合:深度发展国家公园的生态旅游,增加科教元素

作为一个综合性的旅游目的地,国家公园融合了各种元素如科考、教学与娱乐等功能。在严格保护生态环境的同时,也肩负着提升百姓生活水平的重任。在国家“双减政策”方针指导下,国家公园的生态旅游将成为青少年最佳的第二课堂[15]。这不仅仅是对传统教导模式的一种复归,更能使其有机会亲身实践并在其中获得知识,同时也促进了青少年道德修养、智力及体魄的健康发展。通过文化的传播来推进自然资源的管理利用是生态旅游的目标之一,需要构建一套符合中国特色且完整的生态文化和管理体制机制。此外,在科学教育方面,游客可以参与自然科学实验互动和交流,使实验室的研究突破教室的限制,并融入到自然环境之中。深入挖掘自然界丰富的科学要素,开展研学旅行活动,实现人文+研学、历史+研学、美育+研学、科教+研学等一系列有针对性和吸引力的探究式旅程,引导大众走进自然,把科普教育的理念悄然渗透给每个人。在自然保护区中,最好的生态系统、最独特的自然景观、最精华的自然遗产均被纳入了国家公园范畴,让更多人接触到大自然这个天然的教育基地进而增强自身的环境意识以及感知的深度、广度。

参考文献:

[1] 李晓晴. 国家公园建设,明确时间表路线图[N]. 人民日报,2023-01-10(14).

[2] 胡涛. 自然保护区如何强化法制建设? 以美国黄石国家公园为例[J]. 中国生态文明,2019(2):54-55.

[3] 柏子. 去坦桑尼亚看动物[J]. 中国新时代,2009(10):116-119.

[4] 西奥多·宾尼玛,梅拉妮·涅米,李鸿美. “让改变从现在开始”:荒野、资源保护与加拿大班夫国家公园土著民族迁移政策[J]. 鄱阳湖学刊,2016(5):109-124,128.

(下转第 175 页)

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 027

“桃源”空间营造探析

——以酉阳桃花源 AAAAA 景区为例

刘美玲,易小林
(西南大学 园艺园林学院,重庆 400715)

摘要:以重庆酉阳桃花源景区中世外桃源核心节点为研究对象,探讨其桃源思想。结合图示语言对桃花源空间整体布局、游览路线、空间层次、空间序列营造进行分析。阐述其“巧于因借”的自然整体布局,曲折变化的空间游览路线,开—合—开的行走流线,“放—收—放”的空间形态,“明—暗—明”交替的空间明暗变化,并详细阐释起段的“曲径”入口、承段的山洞空间、转段的田园村舍空间、合段的山林空间营造手法以及以形传意的植物空间营造手法。

关键词:桃源思想;空间布局;游览路线;空间序列;植物景观;营造手段

中图分类号:TU986 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0167-09

引文格式:刘美玲,易小林. “桃源”空间营造探析——以酉阳桃花源 AAAAA 景区为例[J]. 林业调查规划,2023,48(5):167-175. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 027

LIU Meiling, YI Xiaolin. Space Construction of “Peach Garden”——A Case Study of Peach Garden AAAAA Scenic Spot in Youyang[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):167-175. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 027

Space Construction of “Peach Garden”

——A Case Study of Peach Garden AAAAA Scenic Spot in Youyang

LIU Meiling, YI Xiaolin
(College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: With the core node of Xanadu in Chongqing Youyang Peach Garden Scenic Spot as the research object, this paper discussed its Peach Garden thought, overall spatial layout, tour route, spatial level, and spatial sequence construction by using graphical language, elaborated its natural overall layout of “ingenious borrowing”, tortuous spatial tourist routes, walking streamline of opening—closing—opening, spatial form of “releasing—retrieving—releasing”, spatial alternating changes of “light—dark—light”, analyzed the construction method of the “winding path” entrance in the starting section, the cave space in the connecting section, the rural cottage space in the transition section, the mountain forest space in the combination section and the plant space.

Key words: Peach Garden thought; spatial layout; tourist route; spatial sequence; plant landscape; construction method

收稿日期:2022-04-14.

第一作者:刘美玲(1997-),女,贵州六盘水人,硕士研究生. 研究方向为风景园林规划设计.

责任作者:易小林(1975-),男,四川成都人,副教授. 研究方向为风景园林规划设计.

1 “桃源”思想及其对园林的影响

1.1 “桃源”思想

“桃源”思想：自东晋诗人陶渊明《桃花源记》产生之后，“桃源”就成为避世之地、理想之邦。桃源思想传达的是一种“傲然自足，抱朴含真”的哲学观念和社会理想，表达对没有纷争、自由平等、宁静安乐社会的渴望，流露了摆脱社会重压的隐趣[1]，因而历代世人都在向往这个理想社会。桃花源对文学作品、戏曲、园林创作、建筑设计等都产生了巨大影响。自晋代至今，以《桃花源记》为蓝本衍生的诗词中，以桃源为题的诗词共有 437 首，例如唐朝王维《桃源行》等。唐代开始，画家对桃源的关注逐渐增多，历朝历代桃源图作品共计 82 幅，例如明仇英绘的《桃源图》等，国内现有以“桃花源”为名的园林作品多达 14 处。这些不断涌现的创作都在阐述着不同时代不同人对桃源思想的追求。

1.2 桃源思想对园林景观的影响

江南园林空间营造手法很像《桃花源记》中空间营造手法[2]。彭一刚在《古典园林空间分析》中提到，留园的入口空间从客观效果来看确实很像《桃花源记》中的“林尽水源……豁然开朗”的描写。陆龟蒙早发苏州园林的桃源之思，其歌咏苏州桃花坞的诗作，表达了对桃花源的向往。以顾瑛、杨维桢为元末代表的“玉山雅集”诗人，为调和内心复杂的仕隐矛盾，效仿陶渊明，栖心桃花源。明代苏州园林中的桃源之思更为普遍，拙政园一代园主王心一的《归田园居记》，抒写了执著的桃源渴望。杨绍云在震泽构筑的园林“桃源洞”、沈有光营筑的“复古桃源”、常熟虞山的桃源小隐等古典园林都留下了真切而浓重的“桃源之思”。不仅如此，现存《桃源图》题材的画作，其 2/3 以上画家都活动在江南，这为苏州园林浓重的桃源之思提供了有力旁证[3]。圆明园中武陵春色和缘溪行的空间意境表达更是体现了桃源思想对中国古典园林的影响[4]。现代的“桃源”思想直接引导了湖南常德桃花源、重庆酉阳桃花源、庐山桃花源等景区建设，间接指导许多中式房地产、美丽乡村建设。

1.3 酉阳 5A 级桃花源景区的桃源思想

“世界上有两个桃花源，一个在您心中，一个在重庆酉阳。”重庆酉阳桃花源是桃源思想景观的实地再现，并于 2012 年成为所有桃源景区中首个 5A 级景区。经国内外专家、学者从多方面进行考证，结合历史资料记载得出，重庆酉阳 5A 级桃花源景区，其形与陶渊明《桃花源记》所记酷似。其环境仿佛与世隔绝。因此，清《酉阳州志》称此洞“与陶渊明桃花源者毫厘不爽”，其研究价值可见一斑。原中共中央政治局常委、全国人大委员长李鹏亲笔题词“中国酉阳桃花源风景区”。“隐隐飞桥隔野烟，石矶西畔问渔船。桃花尽日随流水，洞在清溪何处边”。恬淡闲静的田园生活，男耕女织的祥和，和着鸡鸣狗吠与孩提欢乐声的微风，陶公祠内陶翁在书房写《桃花源记》的场景，如此种种将重庆酉阳桃花源隐逸避世的思想营造得恰到好处，在现有桃源景观中极具代表性。故本文以重庆酉阳桃花源景区中的核心节点世外桃源作为研究对象，进一步挖掘桃源写意空间营造手法，为其他园林建设提供参考。

2 酉阳桃花源 5A 景区概况

中国重庆酉阳桃花源国家 5A 级旅游景区，地处重庆市东南部武陵山腹地，由世外桃源、太古洞、酉州古城、桃花源国家森林公园、桃花源广场、桃花源风情小镇、二酉山世外桃源文化主题公园和梦幻桃源实景剧八大部分组成，景区总面积 50 km^2。本文主要选择世外桃源文化主题公园作为研究对象（下文用桃花源指代）。桃花源核心节点原本为 3 亿年前左右由自然之力形成的一个天坑，占地 22.8 km^2，周边都是山体洞穴，整体来说是两座山中间夹着的狭长山谷，进出都为山体洞穴（图 1），透露着与世隔绝的空间体验，从外部看很难被发现。世外桃源主要由桃源入口、山洞、美池、问津亭、潜村、桃林酒坊、桃源居、避秦庄、陶公祠、五柳廊、农事坊等景点构成（图 2）。其集秦晋历史文化、土家民俗文化、自然生态文化、天坑溶洞地下河共生岩溶地质奇观于一体。先后被评为中国十佳最具魅力旅游景区，中国旅行口碑榜最具网络人气景区。

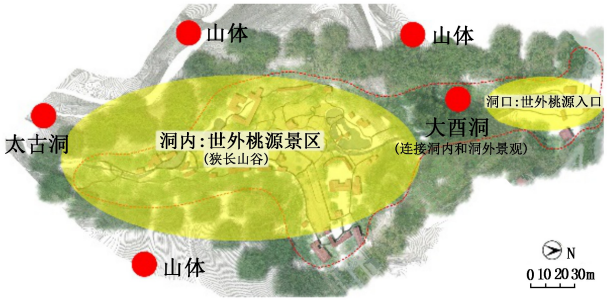


图 1 桃花源山体环境

Fig. 1 Mountain environment of Peach Garden

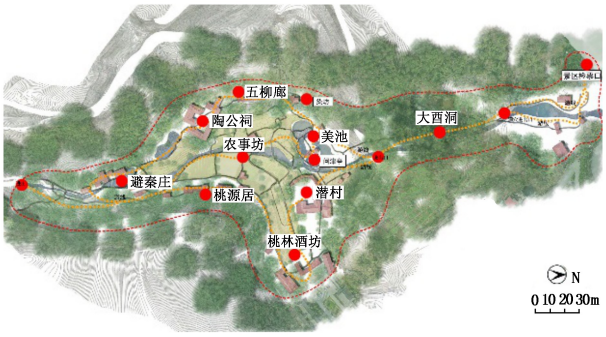


图 2　桃花源平面图

Fig. 2　Plan view of Peach Garden

3 酉阳桃花源空间分析

3.1 空间组织

园林空间布局指对园林空间的功能需求进行分析,确定相应的领域,将不同领域相互组合起来形成完整的空间体系[5]。重庆酉阳桃花源地处武陵山脉,分析其空间整体布局,可将其总结为“巧于因借”的自然整体布局。“巧于因借”需了解场地,《园冶》云:“园地惟山林最胜,有高有凹……自成天然之趣,不烦人事之工。”于山地营造园林地理位置极佳,桃花源在充分尊重并巧妙因应和借助其山地特色、独特的避世空间感、园内景物(空间本身)、季节气象(借时),突出桃源隐世的意境。“因”就要充分因顺、借助自然环境原有的“高下”“端正”等形态来营造园林景观[6]。桃花源顺应其场地的地形和山势高低进行自然整体布局,以山峦为主要结构,水源植被为基础,山水映衬,择平地建屋,岛上建亭,将建筑群体、道路空间作为骨架,形成溪水连接全园,林田相依的自由式山水建筑布局模式(图 3),组成 了桃源入口、山洞、美池、问津亭、潜村、桃林酒坊、桃源居、避秦庄、陶公祠、五柳廊、农事坊等景点,形成 3 种景观,分别是美池为主的山水景观、潜村和农事

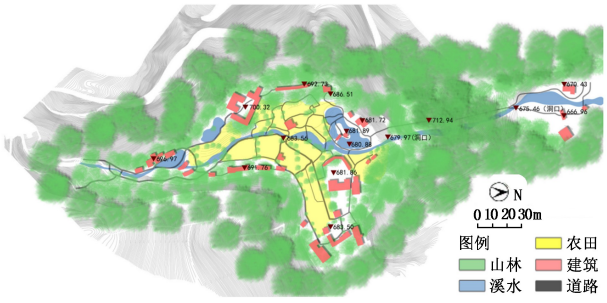


图 3　自由式山水建筑布局

Fig. 3　Freestyle landscape architecture layout

坊为主的田园景观、陶公祠染房为主的山林景观(图 4)。不同的景观类型丰富了桃花源写意式自然山水园的意境。同时对不同节点的细化使桃源空间呈现出灵活的片段性小布局,却又不乏空间流动性和整体感。

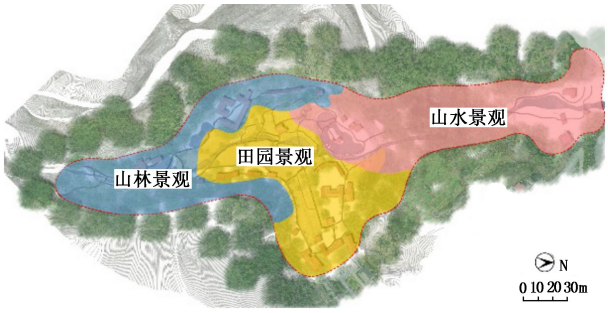


图 4　3 种主要景观

Fig. 4　Three main landscapes

3.2 游览路线

对空间意境的营造,首先体现在游览路线的设置。游览路线决定了人感受空间的方式、角度和游览顺序,通过延长行进过程,延伸游赏时间,增加视觉观赏景观范围,从而扩大游赏体验的空间感[7]。桃花源面积较大,以动观为主,静观为辅。动观需要较长的游览路线,故桃花源中的曲径、曲桥、曲廊等延长了游览时长,营造了曲折不尽、步移景异的景观效果和运动空间体验。同时给游人提供了很多驻足点,增加了静观,如:静坐问津亭,可观四面景。动静结合,增加了桃花源游览路线的趣味。根据游览时长和景观节点的重要性,可将桃花源的游览路线分为全程路线和半程路线,路径均途经:美池—潜村—桃林酒坊—桃源居—避秦庄—陶公祠—五柳廊—农事坊等景点(图 5)。

从图 5 可以看出,这些路线具有往复、迂回、循环和不定等特点。相比半程路线,全程路线感受空间的方式、角度以及游览的顺序更加多样化,带来的情绪变化也胜过半程路线,半程路线重在让游人了解和初步感受桃源的世外隐逸之感,但不论从那一条路线来观赏,都能通过行进路径上的层次节奏变化增加空间景观丰富性,加大景观深度,使视觉空间有无尽的延伸感。山洞到田园空间的明暗、大小对比,平地和山林的高低对比,问津亭景色虚实的变化等则通过视线的缩放、明暗的对比和虚实的结合放大心理空间。桃源曲径连接着桃源重要节点空间,使游览路线中的节点能够前后相互呼应,避免了空间

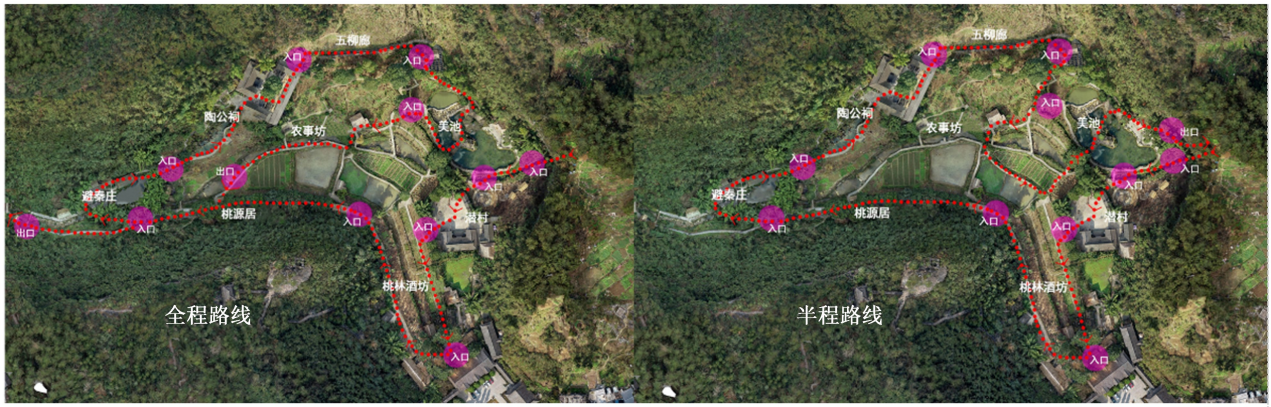


图 5　全程游览路线和半程游览路线

Fig. 5　Full tour route and half tour route

片段式布局造成的景观序列散漫无序。沿《桃花源记》行进路线可将桃花源分为入口空间、山洞空间、田园空间、山林空间(图 6)。

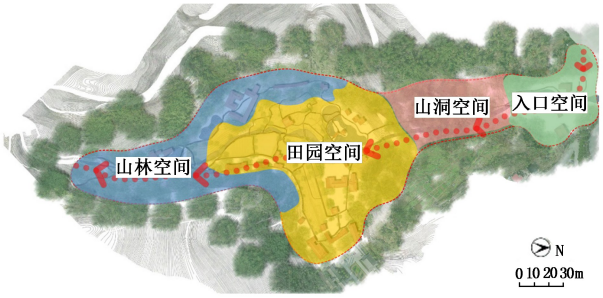


图 6　桃花源空间分布

Fig. 6　Spatial distribution of Peach Garden

3.3 空间层次

桃花源开放、朦胧美的入口,局促、光线阴暗、静谧的山洞空间,开朗平旷热闹的田园屋舍,组织了“开—合—开”的行走流线,形成了“一放一收一放”的空间形态(图 7),凸显了“明—暗—明”交替的空间明暗变化。桃花源中拥有多个小景点,各空间通过营造手法相互渗透、交融,洞内每个小景点单独形成一个“小桃源”,小景点的入口相当于小桃源的“洞口”,每个小景点内的建筑则构成桃花源的第三层“小桃源”,建筑的门担当“洞口”角色,建筑内部不同的生活场景、物品陈列别有洞天,因此形成了桃花源中园式的 3 个空间层次(图 8):大桃源——小桃源(重要节点)——建筑桃源。

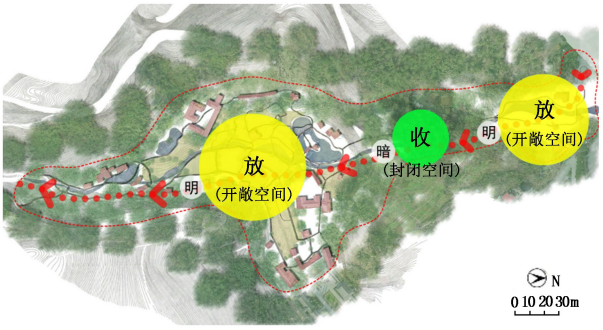


图 7　桃花源空间形态

Fig. 7　Spatial form of Peach Garden

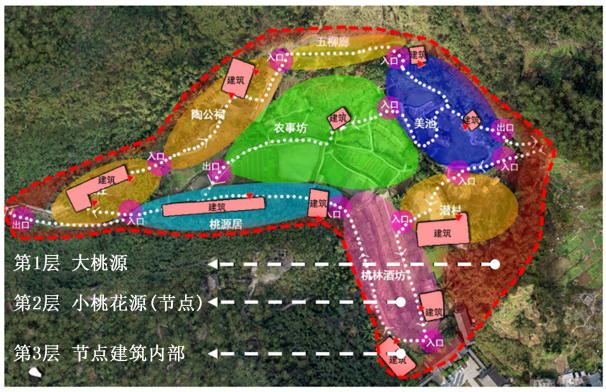


图 8　桃花源空间层次

Fig. 8　Spatial hierarchy of Peach Garden

3.4 空间序列

空间和时间通过曲折、遮露交融在一起,形成了空间序列。“空间序列组织是关系到园的整体结构和布局的全局性问题”,古典园林中常将空间序列归纳为开始段—引导段—高潮段—尾声段 4 个段落[8],桃源也可借用。桃花源的场景根据渔人出入桃花源的故事情节发展布置空间的“起”“承”“转”“合”[9]。桃花源景观空间序列特点:以美池和潜村构成的中部田园空间为中心,其他乡居建筑院落围

绕分布在中心景观四周,通过桃源入口溪水和山洞将游人引导至美池和潜村构成的田园景观空间,然后再由美池和潜村到达其他各景点。由于美池和潜村的地理位置比较适中,又连接着各景点,并与周边景色形成对比,故此作为全园景观的重点,在整个空间序列中占居特殊地位,形成整个序列的高潮。陶公祠等山林空间则作为中心部分空间的扩展和延伸,是整个空间序列的尾声(图 9)。

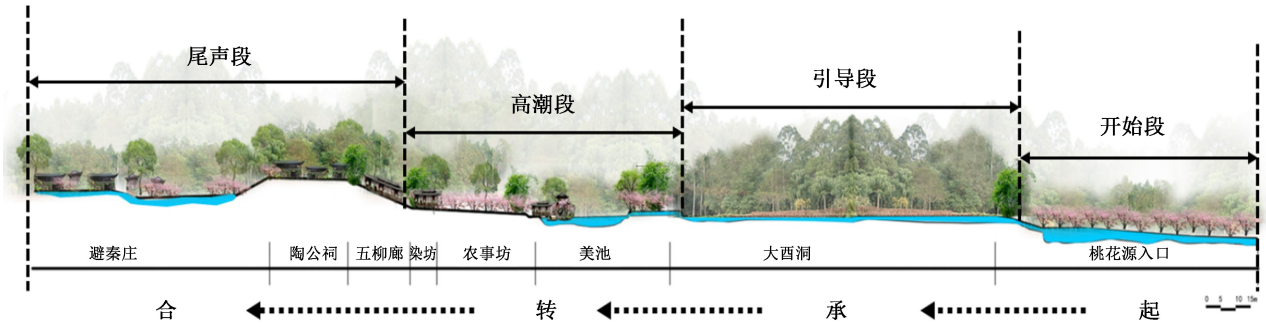


图 9　桃花源空间序列

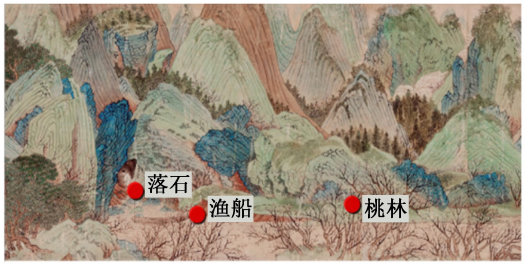
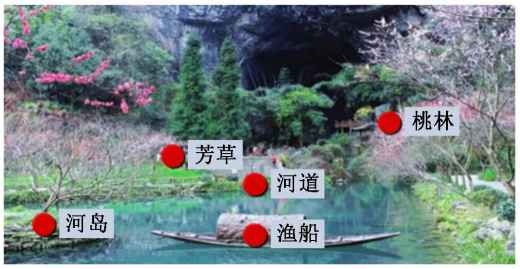
Fig. 9　Spatial sequence of Peach Garden

3.4.1 起——“山穷水复疑无路”的“曲径”入口空间

“缘溪行,忘路之远近。忽逢桃花林,夹岸数百步,中无杂树,芳草鲜美,落英缤纷。渔人甚异之。复前行,欲穷其林。”此为《桃花源记》入口,对应酉阳桃花源入口空间实景,为全园空间序列开始段。入口空间的变幻是桃花源神秘感和隐世感氛围营造的第一步,故营造桃源意境需对其进行入口空间处理。对比诗画(图)和实景,得出桃源入口空间意境构成的主要景观要素为:曲径(河道)、桃林、芳草、河岛、渔船(表 1)。空间的曲折,不仅是激发游兴的需要,也是含蓄景象、深化意境的需要。路途曲折营造了一种与世隔绝不易被发现的神秘感(图 10),“折”造就了很多小空间,产生“藏”和“露”的景象,避免了开门见山的景致,步移景异,延长了游览时间,故游人在行走中可以走走停停,时而观赏、时而思考,使有限的物理空间转化为无限延长的时间空间。

表 1　桃花源景观意境构成要素

Tab. 1　Elements of landscape artistic in Peach Garden

绘画作品和实景	景观意境构成要素
仇英《桃源图卷》  实景图  	曲径(河道)、桃林、芳草、河岛、渔船

“园必隔,水必曲。水曲因岸,水隔因堤,因势利导,自成佳趣。”桃花源入口溪水从太古洞流出,因水岸曲折,因河岛分隔。植物将源头“藏”起来,使人无法将水面看全,给人无穷无尽的感觉,从而增加空间的纵深感(图 10)。曲水无色,却因天光山色而色丰。渔船,给静止的水面增加了几分动感,同时也增加了空间的故事和意境。

图 10　曲折的道路和水面(藏露)

Fig. 10　Winding road and water surface (cover and reveal)

“夹岸数百步”揭露了桃林的规模和种植方式,在空间上“藏”住了水,同时也激发游人心理感知变化。两岸桃花群植,远观见绿茵衬繁花,其景自出,充分吸引游人的好奇心和兴趣。桃林和落花,亦其他对景物产生遮挡作用,适当地露和透,增加了景深效果。在周围景、雾、水流等映衬下产生朦胧美,虚实相生,丰富了游人心理感受,再次将空间感知转化为空间意境。由此,入口空间的“藏”“露”更加精彩。

3.4.2　承——“千呼万唤始出来,犹抱琵琶半遮面”的山洞空间

“林尽水源,便得一山,山有小口,仿佛若有光。便舍船,从口入。初极狭,才通人。复行数十步,豁然开朗。”为桃花源山洞空间。山,直白式的高耸而无意境,在桃源山谷云雾的遮挡下产生迷远和高远之境。山高,形成“山抑”,与行人在体量和高度上有着强烈的对比,使人产生对自然的敬畏之心。山洞是进入桃花源内部的要道,具有连接和分割的作用。在此处充当的是田园空间的“大门”。结合诗词和实景,其景观要素可总结为:山、洞口、植景、溪水。山洞的藏为后面田园空间的露作了极好的铺垫,起到欲扬先抑和承上启下的效果。桃花源狭长的山洞将空间分隔,形成洞里、洞外景观,产生层次变化和空间秩序。酉阳桃花源在洞口的青青翠竹和其他植景不完全遮挡下,有藏有漏,虚实结合,具有引导和暗示作用(图 11)。

图 11　山洞空间入口——藏露

Fig. 11　Cave space entrance——cover and reveal

洞内,溪水仍然继续引导游人前行。洞的出口起到很好的框景作用(图 12),具有一定的通透性,使人的视线从山洞空间穿透至良田美池桑竹处,起到合理的情绪引导作用、方向引导和暗示作用,使两个空间相互渗透、流通。

图 12　山洞空间出口——框景

Fig. 12　Cave space exit——frame View

3.4.3　转——“柳暗花明又一村”的田园村舍空间

在中国文化中,“桃花源”被视为理想的景观[10],很大程度受田园村舍意象影响。“土地平旷,屋舍俨然,有良田美池桑竹之属。阡陌交通,鸡犬相闻。其中往来种作,男女衣着,悉如外人。黄发垂髫并怡然自乐。”为田园村舍空间。前半句由远至近,交代了村庄及其周围环境,充分展示了人与自然之和谐[11]。田园空间和山洞空间相互转换和衬托,在尺

度上形成“以小见大”的效果。田园的村舍空间主要包含美池和潜村两部分。美池以主题建筑问津亭作为主要观赏点(图 13),远借山为背景,借临近柳树、竹、桃树衬景,湖水倒影,利用借景,对景的手法将美池之景聚焦于问津亭,起到点景和引景作用。亭子四面透空,将八方景色尽收其中,亭、石、水、桥等相互因借,显得优美协调。

图 13　问津亭

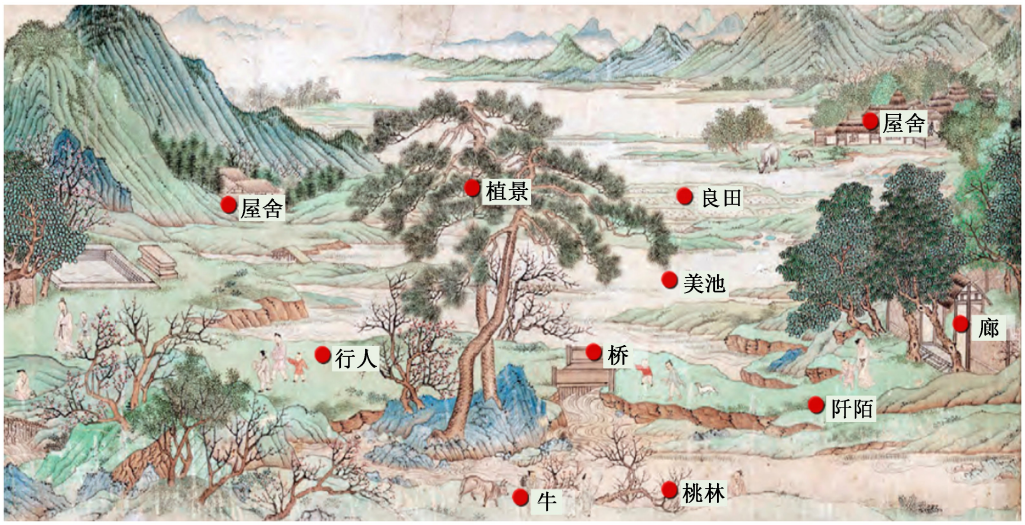
Fig. 13　Wenjin Pavilion

潜村——另一个“桃花源”。建筑部分修建于地势平坦的地方,极具秦晋时代感,采用内向型空间布局,建筑围合的空间构成园中园。文化表演处具有桃花源文化、土苗文化、非遗绝技等节目形式于一体的演出时常能见。建筑之外是肥沃的土地、规划整齐的良田,良田分旱田和水田,旱田种植旱作蔬菜,水田种植荷花,在一旁修亭以观荷。

不同性质的田地分布体现了自然山水园中因地制宜的农田布局。良田中尺度适宜的“阡陌”,交通顺畅,桃树萦绕,野花盛开,鸡犬自由觅食,体现了人们追求诗意田园的艺术美,很好地诠释了“因田园之地,制野趣之宜”的造景理念[12]。田间的耕作方式表现了桃源的农耕文化。农耕活动作为村民生存的主要条件[13],对桃花源理想人居空间意境起到提升作用,同时使古代农耕文化更为丰富。老人,小孩自在生活,过着美好、恬静、温馨融洽的生活,桃源隐世意境在此提升。因而形成了田园村舍空间的生产生活景观要素:屋舍、阡陌、亭、桥、廊、美池、良田(水田和旱田)、桑竹(副业)、家畜、人环境景观要素:植景(表 2)。

表 2　桃花源田园空间景观要素

Tab. 2　Landscape elements of rural space in Peach Garden

仇英《桃源图卷》	田园空间景观要素
	生产生活景观要素:屋舍、阡陌、亭、桥、廊、美池、良田(水田和旱田)、桑竹(副业)、家畜、人 环境景观要素:植景

3.4.4　合——“但闻人语响”的山林空间

酉阳桃花源是壶中天地,被山体包围。山林之美,美在自然。山林空间是整个空间序列的合段,也是尾声段。空间静谧、精致怡情小型化是山林空间最大的特点,犹如王维所写“空山不见人,但闻人语响”。该空间主要包含了陶公祠,染房和避秦庄等村舍。这些节点沿山势高差修建,将建筑隐藏在山林中,利用地形高差变化、植物种植和武陵山区自然的云雾在视线上形成遮蔽,使游人只能见到建筑局部或只有走进去才能见全貌,产生“雾里看花”和

“未见其人先闻其声”的效果,起到点景作用。山林空间不断变化的竖向高差也使景色步移景异(表 3)。

表 3 山林空间营造手法

Tab. 3 Techniques for creating mountain-forest space

手法	具体表现	实景图(来自网络)
地形高差变化	利用山林本身的高差变化优势对游人视线形成动态遮挡	
植物种植	植物大多配合地形种植,平地引导,坡地遮挡	
自然景象	武陵山区多云雾,利用自然云雾对建筑和植物形成视线遮挡	

4 植物的形意

写意植物,对“桃源”意境起到画龙点睛之笔。桃花源中桃树、松树、翠竹、芭蕉等写意植物以其折斜式或仙逸式的形态向世人传达着想要避世和对理想景观追求的意图,以形传意在空间意境营造上起到了重要作用。桃花在民间象征幸福、交好运;翠柳依依,表示惜别及报春;桑和梓表示家乡等[14]。野花则丰富田园野趣。这些植物的运用表现了桃花源景区宣扬魏晋陶公文化的目的性,也启发了人们对美好生活的向往[15]。园中植物景观特点见表 4。

写意植物空间意境营造离不开天时变化。景象的天时变化会增加植景的感染力。光线、风沙、云雾、雨雪季节变化等,犹如摄影滤镜,随时间变化会带给空间不同的情感和意境感知。掌握对时间的经营,可以将这些自然的、偶尔的天时季相变化全部融入空间,从而使空间景象更加浓郁,意境更具天然、清新、质朴。季节叠加会增加园林景观的感受量,同时也使特定时间的意境最大化,如桃林,季节明确为春季,春季桃花盛开之时才是世外桃源的意象意境最大化之时。在植物空间营造中,天时毕竟存在不确定性,无法控制,但可人为控制一些意境产生的必要要素,如酉阳桃花源,在溪岸设置了喷雾装置,人工控制“雾”,产生朦朦胧胧,捉摸不透的景象。通过“藏”“露”借景,对景、框景、虚实等造景手法使人产生联想,由物到景到境,以此扩大了植景空间的“仙”意。

表 4 桃花源植物景观特点

Tab. 4 Characteristics of plant landscape in Peach Garden

周边关系	山为体,树为灵/生机,水为魂,雾为境
代表品种	桃、柳、松、竹、枫、桑、梓、芭蕉、野花草(苔藓、菊)
写意形式	折斜/探水式(仙逸式、逃逸式)
意境	疏影横斜水清浅,暗香浮动月黄昏
风格	仙—野—逸

5 结　语

以重庆酉阳桃花源景区世外桃源节点为研究对象,通过解读桃源思想,结合图示语言对桃花源空间整体布局、空间游览路线、空间层次、空间序列进行分析,得出其“巧于因借”的自然整体布局,曲折变化的空间游览路线,开—合—开的行走流线,“放—收—放”的空间形态,“明—暗—明”交替的空间明暗变化,起段“山穷水复疑无路”的“曲径”入口营造手法,承段“千呼万唤始出来,犹抱琵琶半遮面”的山洞空间营造手法,转段“柳暗花明又一村”的田园村舍空间营造手法,合段“但闻人语响”的山林空间营造手法,以形传意的植物空间营造手法。桃花源是避世的场所,是历史的沉淀、文化的滋养和艺术的再现,是个人情感和人生感悟的表达。“桃花源”是不可或缺的治愈系,每个人精神上都需要一座“桃花源”,因此,通过景观的方式将“桃花源”再现,使桃源“阅读者”产生精神共鸣需要进一步研究。

参考文献:

[1] 刘中文. 异化的乌托邦——唐人“桃花源”题咏的承与变[J]. 学术交流,2006(6):145-150.

[2] 孙筱祥. 生境·画境·意境——文人写意山水园林的艺术境界及其表现手法[J]. 风景园林,2013,107(6):26-33.

[3] 刘中文. 苏州古典园林的桃源之思[J]. 苏州教育学院学报,2020,37(4):8-17.

[4] 辛俊婕,魏菲宇,郭奕瑶. “桃源”意象在古典园林中的空间表达探究——以“武陵春色”和“缘溪行”为例[J]. 古建园林技术,2021(1):73-78.

[5] 殷锐. 苏州古典园林空间构成研究[D]. 苏州:苏州科技大学,2019.

[6] 曾繁仁. 虽由人作,宛自天开——山水写意园林之美学理念及其当代价值[J]. 文艺研究,2018,317(7):107-116.

[7] 边青. 江南园林造景的写意设计研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2014.

[8] 彭一刚. 中国古典园林分析[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1986.

[9] 崔陇鹏,胡平,张涛. 基于图式语言的清同治《桃源洞全图》文化景观空间营造研究[J]. 中国园林,2020,36(12):129-134.

[10] 俞孔坚. 从“桃花源”看社会形态与景观韧性[J]. 景观设计学,2019,7(3):6-7.

[11] 胡武生. “桃花源”之园林思想及其影响[Z]. 传媒与艺术研究,2019:68-73.

[12] 章婷婷,李沛,朱建宁. 基于园记文献的徽州乡村园林植景营造研究[J]. 中国园林,2020,36(12):106-111.

[13] 孙皓,李梦颖. 明仇英绘《桃花源图》的逸境栖居理想空间模式解析[J]. 中外建筑,2021,237(1):104-107.

[14] 苏雪痕. 植物造景[M]. 北京:中国林业出版社,1994:26.

[15] 陈洪山. 魏晋士人园林营造理念在现代景观设计中的应用研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2020.

责任编辑:许易琦

(上接第 166 页)

[5] MORRIS A. The treaties of Canada with the Indians of Manitoba and the north-west territories, territories, including the negotiations on which they were based, and other information relating thereto[M]. Toronto: Belfords, Clarke & Co., 1880.

[6] 张琳,李丽娟,詹晨. 美国国家公园环境教育成功经验及其对我国的启示[J]. 世界林业研究,2021,34(5):103-109.

[7] National Park Service. Things to do[EB/OL]. (2021-11-01)[2021-12-21]. https://www.nps.gov/index.htm.

[8] 郑文娟,李想. 日本国家公园体制发展、规划、管理及启示[J]. 东北亚经济研究,2018,2(3):100-111.

[9] 黄宝荣,马永欢,黄凯,等. 推动以国家公园为主体的自然保护地体系改革的思考[J]. 中国科学院院刊,2018,33(12):1342-1351.

[10] 臧振华,张多,王楠,等. 中国首批国家公园体制试点的经验与成效、问题与建议[J]. 生态学报,2020,40(24):8839-8850.

[11] 符霞. 国外旅游环境容量理论的发展历程[J]. 四川林勘设计,2006(2):9-14.

[12] 谢艺文. 美国国家公园的发展历程及对我国旅游发展的启示探讨[J]. 现代商贸工业,2019(3):110-112.

[13] 卢小丽. 生态旅游社区居民旅游影响感知与参与行为研究[D]. 大连:大连理工大学,2006.

[14] 吴妍,刘紫微,陆怡帆,等. 美国国家公园环境教育规划与管理现状研究及其对中国的启示[J]. 中国园林,2020,36(1):102-107.

[15] 金娇,田佳妮. 可持续发展视域下国家公园开发生态旅游项目策略分析[J]. 南方农业,2021,15(36):11-13.

责任编辑:杨竣焓

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 028

基于 TACSI-IPA 评价的洛阳银滩农业观光园景观优化策略研究

张 震[1,2],燕亚飞[1,3],李东升[1,3]
(1. 河南科技大学,河南 洛阳 471000; 2. 广东理工学院,广东 肇庆 526100;
3. 洛阳市生态景观设计重点实验室,河南 洛阳 471000)

摘要:以银滩农业观光园为例,使用改进后的 TACSI 模型与 IPA 分析法结合,构建改进模型进行问卷调查,对游客反馈数据进行描述性统计、因子分析、相关性分析和 IPA 分析等。研究结果显示,游客对园区现状并不满意,来园游客以中青年为主,大学生较多,人群对新鲜事物接受程度较高,来园区的主要目的为娱乐和集会活动。结合实际,以“乡土”“田园”为设计理念,从多角度对园区景观提出优化策略。

关键词:TACSI 模型;IPA 分析;景观提升;银滩农业观光园

中图分类号:TU986. 5;P901 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0176-05

引文格式:张震,燕亚飞,李东升. 基于 TACSI-IPA 评价的洛阳银滩农业观光园景观优化策略研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):176-180. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 028

ZHANG Zhen, YAN Yafei, LI Dongsheng. Landscape Optimization Strategy of Luoyang Yintan Agricultural Sightseeing Park Based on TACSI-IPA Evaluation[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(5): 176-180. doi: 10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 028

Landscape Optimization Strategy of Luoyang Yintan Agricultural Sightseeing Park Based on TACSI-IPA Evaluation

ZHANG Zhen[1,2], YAN Yafei[1,3], LI Dongsheng[1,3]
(1. Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China;
2. Guangdong Technology College, Zhaoqing, Guangdong 526100, China;
3. Luoyang Key Laboratory of Ecological Landscape Design, Luoyang, Henan 471000, China)

Abstract: Taking Yintan Agricultural Sightseeing Park as an example, this paper used an improved TACSI model combined with IPA analysis to construct an improved model for questionnaire survey, and conducted descriptive statistics, factor analysis, correlation analysis, and IPA analysis on tourist feedback data. The research results showed that tourists were not satisfied with the current situation of the park, and the majority of tourists to the park were young and middle-aged, with a higher number of college students, who had a high acceptance of new things, and the main purpose of coming to the park was entertainment and gathering activities. Based on the actual situation, with the design concept of “rural” and

收稿日期:2022-03-30.
基金项目:河南科技大学 2019 年研究生教学改革研究基金项目(2019YJG-004);2021 年河南省专业学位研究生精品教学案例项目(风景园林).
第一作者:张震(1994-),男,河南焦作人,硕士研究生. 研究方向为风景园林规划与设计. Email:254277330@ 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建筑设计. Email:gigi0924@ 163. com

"pastoral", this paper proposed optimization strategies for the park landscape from multiple perspectives.

Key words: TACSI model; IPA analysis; landscape improvement; Yintan Agricultural Sightseeing Park

随着城市化进程的加快,物质生活水平逐渐提高,城市中人们面临的生活压力逐渐加大,既不愿舍弃现有条件,又向往归隐田园,体验像"桃花源记"般悠然自得的生活,农业观光园的兴起正好弥补了这一遗憾[1],但我国农业观光园发展起步较晚,且建设水平不均,现阶段的发展并不尽如人意,不仅没有对区域经济起到积极作用,反而由于运营不善,功能匮乏,同质化严重,文化内涵空洞等原因,越来越多的园区面临倒闭,因此园区设计应满足游客的需求。研究表明,游客在进行游览活动时,会对旅游地提前有一个心理预期,这种预期会在游客进行旅游活动后进行作用或对比,从而影响实际旅游感受[2]。而不同的旅游动机也会对旅游预期有一定的影响,从而影响整体的旅游感受[3]。因此以游客视角对农业观光园进行研究,不仅有利于农业观光园的建设和改进,吸引更多的游客,更为农村和农业发展转型提供了良好契机,为乡村振兴的落地添砖加瓦[4]。

洛阳银滩农业观光园占地面积 1.1 hm^2,核心区面积 0.4 hm^2,是一个集综合种植养殖、旅游观光、休闲度假为一体的生态园区。园区于 2014 年建设运营至今,其发展已无法满足现在需求。随着景观破败和功能匮乏,游客逐渐减少,而园区所承载的农业产业也由于各种因素影响走向没落,因此对园区景观提升设计,以期为洛阳农旅融合示范区的建设取得良好成效。

1 相关理论概述

1.1 农业观光园概念

农业观光园的相关称谓较多,如休闲农场、观光果园、农业产业园、农业示范区等。国内学者常用"农业旅游"或"乡村旅游"等概念进行阐述,其相关研究均集中在对概念的细分界定上,虽然对农业观光园的称谓或者描述不同,但是其所包含的内容本质是相同的。于兰岭[5]将前人的研究归纳总结为:农业与旅游相结合,农业产业为基础,以旅游为发展途径,运用园林、建筑、美术等艺术形式,形成集农业生产、旅游观光、科普教育、娱乐游玩、度假养生与科技示范等为一体的综合性园区。

1.2 旅游景区顾客满意度指数(TACSI)模型

TACSI 模型[6]是汪侠教授在 ACSI 模型的基础上结合我国国情改进而来,其是一个具有因果关系的结构方程模型,包括 7 个潜变量和 23 个观测变量,各潜变量之间存在着 11 种正负相关关系。模型中观测变量对顾客满意度的影响是显著的,测量模型具有较高的目标可靠性;相比于 ACSI 模型,TACSI 模型具有更强的解释能力和合理性。

1.3 IPA 分析法

IPA 分析法[7]在时代的不断发展过程中已经应用于各行各业,用以不断提高服务质量与顾客满意度。这一分析方法有助于从业者理解顾客满意度并明确服务质量应优先改进的领域,方法简单实用,分析结果直观,被公认为测量休闲活动与服务的理想工具。

由于传统 IPA 分析法的局限,国内外学者对 IPA 分析法进行优化[8],并且出现 IPA 的一些衍生版本或搭配其他分析方法组合使用。

2 研究方法

2.1 构建改进 TACSI 模型

TACSI 模型变量较多,在实际使用中存在较多的局限与困难,基于使用有效原则,以 TACSI 为基础,借鉴何琼峰文化遗产景区游客满意度影响因素概念模型和其他游客满意指数模型[9-10],结合银滩农业观光园现况,构建改进型 TACSI 模型。TACSI 模型中的景区形象不能完整代表游客游览的心理状态,故使用游客旅游动机对此项进行替换。而感知价值与游客、游客满意度之间只存在一种正相关性且含义相似,为简化模型,将两项合并为游客满意度。而游客抱怨或控诉与游客忠诚行为之间均属于其在游览景区后的行为范畴,考虑模型中的相互关系,也将其合并为游后意愿。

基于上述分析,结合研究目的,构建改进 TACSI 模型见图 1。

2.2 问卷内容及量表设计

2.2.1 问卷内容

问卷内容共分为两部分:银滩农业观光园游客的基本信息,包括性别、年龄、职业、出游方式等;基于改进后 TACSI 模型,对其 5 个变量进行相关题目设计。

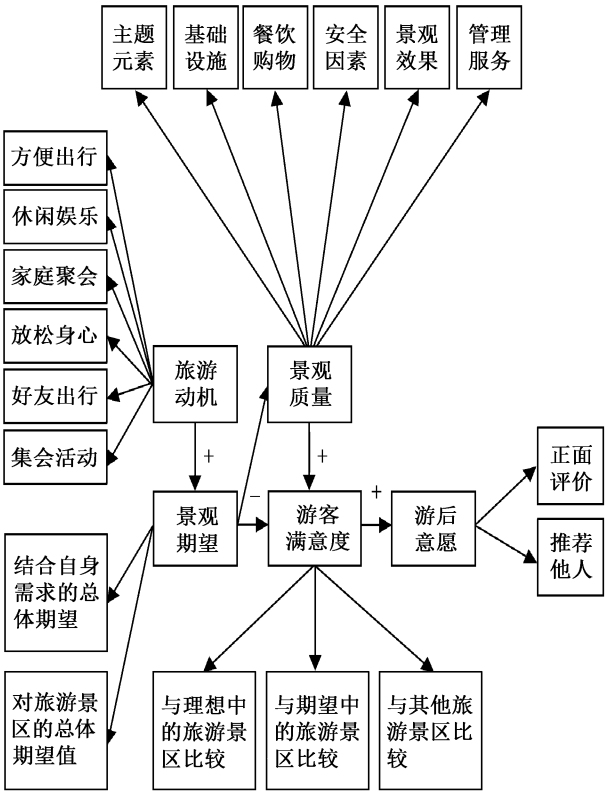


图 1 改进后 TACSI 模型

Fig. 1 Improved TACSI model

2.2.2 量表设计

将 IPA 分析法同改进后的 TACSI 模型结合,将 IPA 分析法的重要性变量同改进后的 TACSI 模型中景观预期变量归为同一维度,将 IPA 分析的满意度变量同改进后 TACSI 模型中景观质量变量归为同一维度,这样能快捷准确得出游客对于银滩农业观光园的客观评价。对改进后 TACSI 模型中 5 个变量使用李克特五点度量法进行数据收集。

2.3 调研方法

2.3.1 现场调研及问卷发放

在银滩农业观光园场地现状调研中,对场地自然要素、物质人文要素与非物质人文要素进行调查记录,并对经过游览活动园区的使用者进行问卷调查,尽可能覆盖到各个性别、年龄段,确保数据完整,无明显偏向。

2.3.2 数据分析

将访谈和问卷数据导入 Excel 和 SPSS 26 分析软件中,对游客基本信息进行描述性统计分析。对改进后 TACSI 模型变量通过因子分析、相关性分析等方法实证农业观光园游客满意度模型,运用 IPA 分析法对其进行补充解释,最终发现问题,得出结论。

3 结果与分析

3.1 信度分析

将调研数据汇总导入 Excel 整理,然后导入 SPSS 26 进行数据分析,对改进后 TACSI 模型中的 5 个变量进行信度分析,得到其标准化后的 Cronbach α 值分别为 0.954、0.965、0.969、0.939、0.877,可以看出各项值均大于 0.7,Cronbach α 检验系数的取值为范围为 0.7~1,数值越大,说明信度越好,可以进行下一部分的分析研究。

3.2 受访游客人口学特征

研究时间为 2021 年 7—9 月,共 232 人参与调查,其中男性 115 人、女性 117,男女人数较为接近,说明调查问卷覆盖性较好。调研数据表明,受访者中 21~30 岁人群的基数最多(占 42.2%);拥有大学学历的游客人数最多(占 46.5%);学生群体是园区游览的主力军(占 18.9%);来园频率统计中,多数人很少到访(占 36.2%);园区的主要宣传渠道是好友推荐(占 43.1%);来园游客主要出游方式为驾车(占 36.2%);受访者在对园区景点项目偏好的投票中,银滩荷花池得票数最多,为 119 票。

3.3 调查问卷描述性统计

对改进后 TACSI 模型的 5 个变量数据进行统计:旅游动机变量均值最高的因子是休闲娱乐(3.66),其次是集会活动(3.56);景观期望变量中均值最高的因子是娱乐设施(3.98),其次是道路铺装(3.89);景观质量变量中均值最高的因子是压力舒缓(2.42),其次是标识系统(2.37);游客满意度变量均值最高的因子是与预期相比的满意度(3.5),其次是游览后的满意度(2.95);游后意愿变量中均值最高的因子是会重游此地(2.59),其次是会提供正面评价(2.49)。

3.4 相关性分析

3.4.1 效度检验

根据探索因子分析的结果可以看出,KMO 检验系数结果为 0.931,其系数的取值范围为 0~1,越接近 1 说明问卷的效度越好。

3.4.2 因子分析

将改进后 TACSI 模型中 5 个变量数据导入 SPSS 26,采用主成分分析法,基于特征值大于 1,得出公因子有 5 个,其主成分的初始特征值为 22.501、3.382、2.912、1.542、1.303,累计方差贡献率为 75.202%。分析可得,5 个因子之间具有明显联系,可进行下一步相关性分析。

3.4.3 相关性分析

相关性分析为改进后 TACSI 模型验证的必要环节,对不同变量进行相关性分析,探索变量之间存在的相互关系。将各维度数据导入 SPSS 26 中进行双变量相关性分析,采用皮尔逊相关系数,验证理论模型中各个变量关系是否成立(表 1)。

表 1　各变量之间相关性分析

Tab. 1　Correlation analysis between variables

变量	旅游动机	景观期望	景观质量	游客满意度	游后行为
旅游动机	1	0.515 **	−0.560 **	−0.560 **	−0.556 **
		0	0	0	0
景观期望	0.515 **	1	−0.750 **	−0.630 **	−0.603 **
	0		0	0	0
景观质量	−0.560 **	−0.750 **	1	0.598 **	0.622 **
	0	0		0	0
游客满意度	−0.560 **	−0.630 **	0.598 **	1	0.567 **
	0	0	0		0
游后行为	−0.556 **	−0.603 **	0.622 **	0.567 **	1
	0	0	0	0	

注:** 在 0.01 级别(双尾),相关性显著。

由表 1 可知,旅游动机、景观期望、景观质量、游客满意度、游后意愿之间的相关性符合改进 TACSI 模型中的关系。

3.5 IPA 分析

将景观期望(重要性)中的 15 个选项与景观质量(满意度)中的 15 个选项进行 IPA 重要性—满意度分析,将景观期望(重要性)设定为 X 轴,景观质量(满意度)设定为 Y 轴,XY 轴坐标点采用平均值(图 2)。

3.6 研究结果

基于数据分析和问卷调查结果,采用描述性分析与统计性分析可得,使用者对园区现状并不满意,来园游客以中青年为主,大学生较多,人群对新鲜事物接受程度较高,游客来园区的主要目的为娱乐和集会活动。而调查结果说明,园区形象不足、基础设施老旧,场地空旷变化少,现有娱乐设施少不能满足游客需求,未开发项目较多售票贵,且节日活动不足,规模不够大等。

对改进 TACSI 模型中景观预期与景观质量两个变量的 IPA 分析发现,购物环境、道路铺装、娱乐设施、公共设施亟需进行加强改进。节日活动、餐饮设施、植物丰富与照明设施也存在缺陷,可以作为次要改进项目。

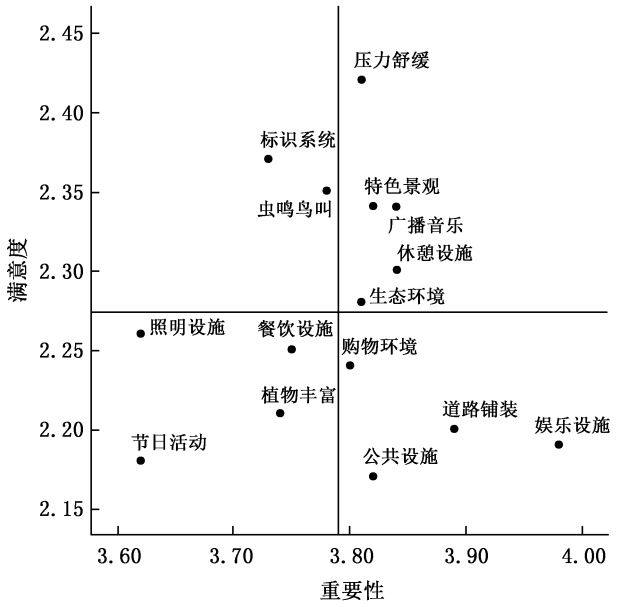


图 2　IPA 象限分布图

Fig. 2　IPA quadrant distribution

4 景观提升策略

4.1 设计理念

提升策略从“乡土”“田园”的设计手法和理念角度出发[11],适应生态环境,借鉴和延续地域传统,创新景观设计。对当地生活空间和生活方式的延续,能够体现地域特色,强调地方材料和传统技术的传承和沿用,注重与当地自然生态环境有机结合,最终建成集地域性、继承性、互动性和多样性为一体的农业观光园景观。

4.2 具体策略

将文学艺术、信仰文化、民俗风情、历史背景等乡土人文要素和水文特征、植物特征、气候特征和地貌特征自然要素融入到景观提升设计中。通过借鉴传统符号和乡土色彩来营造田园特色,将乡土人文活动的载入、场所空间的重构和民俗观念的体现进行意境营造。重塑精神之美、人文之美、艺术之美和自然之美。

4.2.1 景区形象和功能

基于改进后 TACSI 模型分析结果,对入口建筑与游客服务中心等老旧建筑进行更新设计;对场地娱乐、科普教育、餐饮购物等功能进行完善和补充。对废弃的建筑或场地进行开发利用,将不同功能空间合并设计,对公共设施更新完善:购物环境与餐饮

环境合并,并提供多样的组合搭配,结合野炊烹饪等活动。整体设计要主题鲜明、绿色有机,构建园区品牌、扩大影响力,最终构成闭环[12]。

4.2.2 针对人群

不同区域的功能不同,因此游客会产生不同的游览体验,需求也不尽相同。基于改进后 TACSI 模型的分析结果,对场地功能进行完善和补充。加强对年轻人群和亲子人群的娱乐活动设计,基于场地现状,更新娱乐设施满足年轻人的需求,对亲子人群设计研学方面的配套设施,白天组织活动,夜晚可以设计篝火晚会等。

4.2.3 主题强化

基于场地自然资源、交通现状和已建成项目,从宏观角度确定场地区域的功能主题,对区域资源进行重新整合。银滩农业观光园包含荷花、水稻、油菜花等三大片区,核心区包含钓鱼、游览、研学等设施,对功能区设计配套相关设施,并通过声、光、电等科技对主题氛围进行强化[13]。

4.2.4 专项设计

生态环境是自然景观最具竞争力的部分,也是农业观光园的核心,因此要格外注重对场地生态环境的保护与修复[14]。农田要注意对土壤和植物资源的保护,滨水区域要注意对水资源与水生物的保护。在设计中应有机结合场地生态资源,有效利用,营造良好的景观格局,维护生态平衡。

4.2.5 文化延续

洛阳历史悠久,而农业观光园是农耕文化的载体,不同的植物蕴含着丰富的文化内涵。在景观设计中要充分考虑对历史文化元素的利用与设计,并与场地相互结合,增加场地人文属性[15]。对园区标识形象进行凝练提升,设计创意景观小品,引入农耕文化、历史人文、特色产业中的荷花、水稻、油菜花图案和色彩等元素,在道路铺装、石雕砖雕、景墙小品、构筑物造型等方面对场地进行烘托,在景墙、建筑设计以及颜色上对历史文化进行表达,对游客起到科普宣传作用,既美化环境,又突出主题。

4.2.6 主题产业

作为主打招牌,农业种植上可以选用超长花期的新荷花品种,普通荷花花期一般为 3 个月内,而新品种荷花的花期为 6—11 月,可达 5 个月以上,还有较高的莲藕产量。观赏型荷花花色丰富,花瓣有单瓣、多瓣、重瓣多样。水稻和油菜花可以引种彩色水稻与彩色油菜花,观赏期更长达 3 个月,并且产量更高。

5 结 语

农业观光园的发展是一件利国利民的好事,因为田园生活承载了较多人的儿时记忆和理想追求,而农业观光园则将其整合到一起,对农业观光园进行景观提升,有利于园区所在乡镇、村庄的经济效益提高和知名度提升,旅游加农业的组合,也让人们“望得见山,看得见水,记得住乡愁”。

参考文献:

[1] 舒伯阳 . 中国观光农业旅游的现状分析与前景展望[J]. 旅游学刊,1997(5):40-42.
[2] 董观志,杨凤影 . 旅游景区游客满意度测评体系研究[J]. 旅游学刊,2005(1):27-30.
[3] 邱扶东 . 旅游动机及其影响因素研究[J]. 心理科学,1996(6):367-369.
[4] 李祥菲 . 基于游客满意度的合肥休闲农业园景观提升研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2017
[5] 于兰岭 . 农业观光园景观资源评价与景观营造研究[D]. 泰安:山东农业大学,2016.
[6] 汪侠,顾朝林,梅虎 . 旅游景区顾客的满意度指数模型[J]. 地理学报,2005(5):807-816.
[7] O′LEARY J T, LEE G. Importance-performance analysis[M]. Switzerland:Springer International Publishing,2016.
[8] 陈旭 . IPA 分析法的修正及其在游客满意度研究的应用[J]. 旅游学刊,2013,28(11):59-66.
[9] 何琼峰 . 基于扎根理论的文化遗产景区游客满意度影响因素研究——以大众点评网北京 5A 景区的游客评论为例[J]. 经济地理,2014,34(1):168-173,139.
[10] 刘新燕,刘雁妮,杨智,等 . 构建新型顾客满意度指数模型——基于 SCSB、ACSI、ECSI 的分析[J]. 南开管理评论,2003(6):52-56.
[11] 张晋石 . 乡村景观在风景园林规划与设计中的意义[D]. 北京:北京林业大学,2006.
[12] 姚化化 . 地域文化视角下景区视觉形象识别系统的构建[J]. 包装工程,2018,39(4):54-58.
[13] 湛木兰 . 创意农业观光园景观规划设计研究[D]. 南京:南京林业大学,2012.
[14] 赵志刚,谢小立,陈安磊,等 . 生态型农业观光园规划设计[J]. 北方园艺,2011(11):199-202.
[15] 朱爱华 . 农耕文化在农业观光园景观设计中的应用探索[J]. 工程建设与设计,2022(3):76-78.

责任编辑:杨竣焓

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 029

临沧主栽核桃品种坚果特性及营养成分评价

杨玉春[1],唐永奉[1],张晓丽[1],郑晟靖[2],王红颜[1],石定宏[1],罗国发[1]
(1. 临沧市林业科学院,云南 临沧 677000; 2. 红河州林业和草原局,云南 红河 651400)

摘要:为全面综合评价临沧主栽核桃品种资源,以 3 个核桃品种坚果作为试验材料,分别对果实形态性状及蛋白质、脂肪酸、矿物元素含量等进行检测分析。结果表明,不同核桃品种间品质存在差异,3 个品种在坚果纵径、横径、棱径、仁重、粒重、壳厚、出仁率方面差异显著,而核桃内含物蛋白质、脂肪酸、矿质含量差异不显著。综合评价结果表明,品质较好的品种有临宝核桃、漾濞泡核桃。

关键词:核桃;果实形态;营养成分;坚果特性;临沧

中图分类号:S792. 13;TS201. 4 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0181-04

引文格式:杨玉春,唐永奉,张晓丽,等. 临沧主栽核桃品种坚果特性及营养成分评价[J]. 林业调查规划,2023,48(5):181-184. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 029

YANG Yuchun, TANG Yongfeng, ZHANG Xiaoli, et al. Evaluation of Nut Characteristics and Nutrient Component of Main Walnut Varieties in Lincang[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):181-184. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 029

Evaluation of Nut Characteristics and Nutrient Component of Main Walnut Varieties in Lincang

YANG Yuchun[1], TANG Yongfeng[1], ZHANG Xiaoli[1], ZHENG Shengjing[2], WANG Hongyan[1], SHI Dinghong[1], LUO Guofa[1]
(1. Lincang Academy of Forestry, Lincang, Yunnan 677000, China;
2. Honghe Bureau of Forestry and Grassland, Honghe, Yunnan 651400, China)

Abstract: In order to comprehensively evaluate the resources of the main walnut varieties in Lincang, three walnut varieties were used as experimental materials to detect and analyze the fruit morphological traits, contents pf protein, fatty acid and mineral element. The results showed that there were differences in quality among three walnut varieties, and the differences were significant in nut longitudinal diameter, transverse diameter, edge diameter, kernel weight, grain weight, shell thickness and kernel yield, while the differences were not significant in protein, fatty acid, and mineral content; the comprehensive evaluation results indicated that the varieties with better quality were Linbao walnut and Yangbi bubble walnut.

Key words: walnut; fruit morphology; nutrient component; nut characteristics; Lincang

核桃为胡核桃科胡桃属落叶乔木,是重要的木本油料树种之一。核桃产业是临沧重要的富民产业、生态产业、优势产业,截止 2021 年,临沧核桃产量和面积居云南省各州(市)前列。近年来核桃“供

收稿日期:2023-01-19;**修回日期**:2023-02-23.
基金项目:云南省技术创新人才培养对象项目(2018CX363SQ);临沧市林业科学院核桃产业技术市创新团队项目(202204AC100001-TD03).
第一作者:杨玉春(1972-),男,云南凤庆人,本科,高级工程师. 主要从事林业科技推广工作. Email:3152402846@qq. com
责任作者:罗国发(1978-),男,云南凤庆人,本科,高级工程师. 主要从事林业科技推广工作. Email:1179014810@qq. com

大于求”的格局逐渐显现,良种化率低、标准化程度低、深加工领域薄弱等问题影响核桃销售,不同品种核桃果实品质存在差异,为此选择品质优良的核桃品种尤为关键。核桃品种优良的重要评价内容包括坚果大小、单果重、仁重、壳厚、出仁率、蛋白质、粗脂肪含量等。通过研究临沧主栽品种间坚果品质的差异,了解不同核桃品种特性,为合理利用核桃资源、良种培育、加工利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

依据临沧核桃栽培种植区域,在临沧市凤庆县选择产量及经济性状较好,树龄 20 a 的 3 个泡核桃植株(临宝、漾濞、细香)进行测定,分别编号为 1 号、2 号、3 号。核桃成熟时在不同方位采集鲜核桃 50 kg,果实样品自然风干,分包储存,编号备用。

1.2 试验方法

1.2.1 果实形态指标测定

果实横径、纵径采用游标卡尺(精度 0.01 mm)进行测定,果重量及仁重采用天平进行测定。

1.2.2 果实出仁率测定

取 1 kg 果实为一组,剥前、剥后分别用天平称重,取平均值。出仁率(P)计算公式为:

$$P = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中:m_1 表示剥前果实重量;m_2 表示剥后果实重量。

1.2.3 脂肪酸及微量元素测定方法

蛋白质含量测定参照国家标准食品中蛋白质的测定(GB 5009.5—2016)。采用 Foss 凯氏定氮仪测定脂肪酸含量。微量元素含量测定参照国家标准食品中多元素的测定(GB 5009.268—2016)。

调查结果及考种数据采用 Microsoft Excel 2007 以及 SPSS 22 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种果实形态性状差异

测定不同品种果实形态性状(表 1)。

表 1 不同核桃品种果实形态性状差异

Tab. 1 Differences in fruit morphological traits of different walnut varieties

品种编号	纵径/mm	横径/mm	棱径/mm	壳厚/mm	粒数/(粒·kg^{-1})	粒重/g	仁重/g	出仁率/%
1 号	47.92±0.11c	45.52±0.12c	36.99±0.12c	1.10±0.03c	71.50±1.58a	19.66±0.50a	10.05±0.36c	53.62±0.16a
2 号	38.54±3.85b	37.14±0.09b	31.31±0.09b	1.12±0.04c	83.60±1.43b	13.43±0.30b	7.38±0.38b	55.13±0.83b
3 号	23.68±2.37b	26.66±0.18c	23.46±0.40c	1.02±0.04a	121.00±1.43b	11.15±0.57c	6.02±0.16c	54.47±0.85b
平均值	36.71	29.77	30.58	1.08	92.03	14.74	7.53	54.41

注:同列不同字母表示在 0.05 水平差异显著。

由表 1 分析得出,3 个品种核桃果实纵径变化范围 23.68~47.92 mm,平均值 36.71 mm,横径变化范围 26.66~45.52 mm,平均值 29.77 mm,3 号品种的果实横径、纵径最小,外果皮最薄;1 号品种的果实纵径、横径、棱径均最大,外果皮最厚。从干果果实质量方面来看,3 个品种间差异较大,粒重变化范围 11.15~19.66 g,3 号品种最轻,平均值仅为 14.74 g;仁重 6.02~10.05 g,平均值为 7.53 g;出仁率变化范围为 53.62%~55.13%,平均出仁率为 54.41%,2 号品种出仁率最高,平均值为 55.13%。方差分析结果见表 2。

表 2 结果显示,3 个核桃品种果实的纵径、横径、棱径、壳厚、粒数、粒重、仁重、出仁率间差异极显著($P<0.01$)。综合比较结果可知,3 个核桃品种中 1、2 号品种优于 3 号品种。

2.2 不同核桃品种主要营养成分及矿质元素含量差异

测定不同核桃品种主要营养成分及矿质元素含量(表 3)。

由表 3 可知,3 个核桃品种的蛋白质含量在 15.58%~17.82%,粗脂肪含量 52.50%~56.70%,均达到核桃品种特级标准。不同品种间蛋白质变异系数为 5.54%,粗脂肪变异系数为 3.20%。不同品种蛋白质含量高低依次为 2 号(17.82%)>1 号(16.48%)>3 号(15.58%),粗脂肪含量高低依次为 1 号(56.70%)>2 号(55.40%)>3 号(52.50%)。矿质元素方面,2 号漾濞泡核桃的铁、锌、钙、锰含量均最高,分别为 6.45、23.12、965.41、88.84 mg/100 g。1

表 2　不同核桃品种果实形态性状方差分析

Tab. 2　Analysis of variance in fruit morphological traits of different walnut varieties

性状	差异来源	平方和	df	均方	*F*	*P*	性状	差异来源	平方和	df	均方	*F*	*P*
纵径	组间	29.8100	2	14.9100	526.40	0.0000	粒数	组间	13318.0000	2	6659.0000	2952.00	0.0000
	组内	0.7645	27	0.0283				组内	60.9000	27	2.2560		
	总数	30.5800	29					总数	13379.0000	29			
横径	组间	17.9400	2	8.9270	422.00	0.0000	粒重	组间	387.8000	2	193.9000	873.30	0.0000
	组内	0.5738	27	0.0213				组内	5.9960	27	0.2221		
	总数	18.5100	29					总数	393.8000	29			
棱径	组间	9.2320	2	4.6160	59.27	0.0000	仁重	组间	84.0800	2	42.0400	427.60	0.0000
	组内	2.1030	27	0.0779				组内	2.6550	27	0.0983		
	总数	11.3300	29					总数	86.7300	29			
壳厚	组间	0.0407	2	0.0203	16.28	0.0000	出仁率	组间	11.5700	2	5.7850	10.77	0.0004
	组内	0.0377	27	0.0012				组内	14.5000	27	0.5372		
	总数	0.0744	29					总数	26.0700	29			

注:$P<0.01$ 表示差异极显著。

表 3　不同核桃品种主要营养成分及矿质元素含量差异比较

Tab. 3　Comparison of main nutrient components and mineral element content among different walnut varieties

项目	蛋白质含量/%	粗脂肪含量/%	含量/(mg·100^{-1}·g^{-1})							
			铁(Fe)	钾(K)	锌(Zn)	钙(Ca)	锰(Mn)	钠(Na)	铜(Cu)	镁(Mg)
1 号	16.48	56.70	6.21	611.43	21.50	760.35	29.71	3.09	12.49	0.056
2 号	17.82	55.40	6.45	526.55	23.12	965.41	88.84	2.32	13.25	0.032
3 号	15.58	52.50	5.79	365.43	19.61	657.23	73.23	3.06	13.54	0.043
平均值	16.63	54.87	6.15	501.14	21.43	794.33	63.93	2.82	13.09	0.040
变异系数/%	5.54	3.20	4.44	20.36	6.70	16.31	39.14	12.61	3.38	22.460
变异幅度/%	15.48~7.82	52.5~56.7	5.79~6.45	365.43~611.43	19.61~23.12	657.23~965.41	29.71~88.84	2.32~3.09	12.49~13.54	0.032~0.056

号临宝核桃所含钾、钠、镁含量均最高,分别为 611.43、3.09、0.056 mg/100 g。通过比较发现,3 个品种间矿质元素铁、锌、钙、锰含量有差异,钠、铜、镁含量差异较小。不同核桃品种矿质元素差异与品种基因、生长环境、后期栽培管理有直接关系,尤其在果实快速生长期,养分、光合作用对核桃矿质元素积累尤为重要。

2.3 综合评价

对 3 个不同核桃品种所有指标进行综合评价打分,排名第一得 7 分,排名第二得 5 分,排名第三得 3 分,综合指标分数最高表明其品质越好,由此判断核桃品质的优良,具体见表 4。

由表 4 可知,1 号临宝核桃综合分值最高达 89 分,品质优良,2 号漾濞泡核桃综合分值为 84 分,品质良好,3 号细香核桃综合分值仅 66 分,品质较差。

3 结　论

不同核桃品种均有其优势,仅从某一项品质的优劣判断品种的优良,则具有一定片面性。本研究从坚果纵径、横径、棱径、单果质量、蛋白质含量、粗脂肪含量、碳水化合物含量、矿质元素含量等品质指标对临沧主栽品种优良性进行比较分析。结果表明,不同核桃品种间在坚果粒重、仁重、出仁率方面存在一定差异,但在蛋白质、粗脂肪、矿质元素含量方面差异不明显。3 个品种各指标变异系数说明品种的一致性,但 3 个品种在粒重、仁重、出仁率方面变异较大,说明同一品种受海拔、水分、土壤、温度、光照、管理水平等影响发生变化,出现坚果大小不一

表 4 不同核桃品种各指标综合评分

Tab. 4 Comprehensive evaluation of various indicators for different walnut varieties 分

品种编号	三径	壳厚	粒数	粒重	仁重	出仁率	蛋白质含量	粗脂肪含量	铁含量	钾含量	锌含量	钙含量	锰含量	钠含量	铜含量	镁含量	综合评分
1 号	7	5	7	7	7	3	5	7	5	7	5	5	3	7	2	7	89
2 号	5	3	5	5	5	5	7	5	7	5	7	7	7	3	5	3	84
3 号	3	7	3	3	3	7	3	3	3	3	3	3	5	5	7	5	66

致,品质参差不齐的现象。

通过对临沧 3 个主栽核桃品种的综合评价,临宝核桃、漾濞泡核桃得分较高,说明品质较好。临沧核桃种植面积大,部分地块需进行品种改良,在兼顾产量和品质的基础上,应采取提质增效技术措施,并根据不同市场需求选择适合推广的优良品种。

参考文献:

[1] 裴东,鲁新政. 中国核桃种质资源[M]. 北京:中国林业出版社,2011.

[2] 刘娇,范志远,贠新华,等. 云南主栽核桃品种坚果品质比较及综合评价[J]. 西南林业大学学报,2018(5):97-102.

[3] 苏为耿,蒲成伟,阚欢,等. 云南 6 种核桃栽培品种果实特性与营养成分分析[J]. 粮食与油脂,2018,31(4):68-71.

[4] 全新,郭志民,王少明,等. 不同核桃果实形态特征及脂肪酸组分分析[J]. 湖南林业科技,2020,47(6):7-14.

[5] 邓真华,杜贤明,彭晓虹,等. 不同果桑品种品质分析与综合评价[J]. 中国南方果树,2017,46(4):141-144.

[6] 宋岩,王小红,张锐,等. 新疆核桃品种间品质差异比较[J]. 中国粮油学报,2019,34(8):91-97.

责任编辑:陈旭

(上接第 36 页)

参考文献:

[1] 肖华斌,袁奇峰,徐会军. 基于可达性和服务面积的公园绿地空间分布研究[J]. 规划师,2009,25(2):83-88.

[2] 熊慧锦,沈钦炜,魏凌伟,等. 基于网络分析的南昌市公园绿地可达性[J]. 中国城市林业,2021,19(1):89-94.

[3] 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.

[4] 郭松,范泽源,何家琪,等. 基于网络分析法的南宁西乡塘区公园可达性[J]. 中国园林,2019,35(1):68-72.

[5] 屠星月,黄甘霖,邬建国. 城市绿地可达性和居民福祉关系研究综述[J]. 生态学报,2019,39(2):421-431.

[6] 何格,肖扬,吴蓉,等. 社会公平视角下广州市城市公园可达性研究[J]. 风景园林,2020,27(1):90-96.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 刘世伟. 基于网络分析的公共服务设施评价与规划对策[J]. 山西建筑,2021,47(21):31-34.

[13] 牛爽,汤晓敏. 高密度城区公园绿地配置公平性测度研究——以上海黄浦区为例[J]. 中国园林,2021,37(10):100-105.

[14] 黄思颖,徐伟振,傅伟聪,等. 城市公园绿地可达性及其提升策略研究[J]. 林业经济问题,2022,42(1):89-96.

[15] 樊亚明,田丽莹,郑文俊. 基于空间句法的桂林市公园绿地可达性评价与优化[J]. 桂林理工大学学报,2022,42(3):774-782.

[16] 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.

[17] 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.

责任编辑:许易琦

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 030

森林资源富集区魔芋产业与林下经济协同发展机制研究

——以安康市为例

薛焕霞,张依梦
(安康学院 陕南生态经济研究中心,陕西 安康 725000)

摘要:安康市地处秦巴山区森林资源富集区,依托优势资源发展林下魔芋产业是提升林下经济和保护生态环境的新出路。以安康市为例,选取 2010—2021 年全市林业经济增加值及魔芋产业产值等数据,采用实地调研法和数据分析法,分别从魔芋产值产量、种植面积、产业优势等方面对魔芋产业和林下经济发展现状进行分析,并构建魔芋产业与林下经济协同互动发展机理及路径,依据资源禀赋理论,提出充分利用当地森林资源优势和富硒特色产业政策扶持,创造魔芋产业原生态种植条件和环境,扩大林下魔芋种植基地,引进专业技术人才,提高林下种植人员专业素养,科学开展林下魔芋种植技术等对策,共同促进魔芋产业与林下经济协同互赢高质量发展。

关键词:魔芋产业;林下经济;林芋种植;协同发展机制;森林资源富集区

中图分类号:S632. 9;F416. 88;S753. 536 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0185-07

引文格式:薛焕霞,张依梦. 森林资源富集区魔芋产业与林下经济协同发展机制研究——以安康市为例[J]. 林业调查规划,2023,48(5):185-191. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 030

XUE Huanxia,ZHANG Yimeng. Synergistic Development Mechanism of Konjac Industry and Non-timber Forest-based Economy in Forest Resource-enriched Areas——A Case Study of Ankang City[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):185-191. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 030

Synergistic Development Mechanism of Konjac Industry and Non-timber Forest-based Economy in Forest Resource-enriched Areas

——A Case Study of Ankang City

XUE Huanxia, ZHANG Yimeng
(Shaannan Eco-economy Research Center, Ankang University, Ankang, Shaanxi 725000, China)

Abstract: Ankang City is located in the forest resource-enriched area of Qinba Mountains. Relying on the advantageous resources, developing the under-forest konjac industry is a new way to enhance the non-timber forest-based economy and protect the ecological environment. The paper selected the data of forestry economic added value and the output value of the konjac industry from 2010 to 2021 in Ankang City, and adopted the method of field research and data analysis to analyze the status of konjac industry and non-timber forest-based economy from the aspects of konjac output value, planting area, and industrial advantages. The synergistic development mechanism and path of konjac industry and non-timber forest-

收稿日期:2022-04-27.

基金项目:陕西省教育厅项目"陕南县域经济高质量发展影响机制与对策研究"(22JK0005);陕西省大学生创新创业训练项目"新发展理念下陕南县域经济高质量发展影响机制与提升路径研究"(202211397026).

第一作者:薛焕霞(1987-),女,陕西榆林人,硕士,讲师. 主要从事区域经济、产业经济发展研究. Email:1468624498@ qq. com

based economy were constructed. Based on the theory of resource endowment, this paper proposed to make full use of local forestry resource advantages and selenium-rich characteristic industrial policy support, create original ecological planting conditions for konjac industry, expand the under-forest konjac planting base, introduce professional and technical personnel, improve the professional quality of planters, and scientifically develop under-forest konjac planting technology, to jointly promote the synergistic and high-quality development of the konjac industry and the non-timber forest-based economy.

Key words: konjac industry; non-timber forest-based economy; under-forest konjac planting; synergy mechanism; forest resource-enriched areas

自国家落实退耕还林政策以来,科学发展林下经济成为增加林农收入、促进生态建设、调整林业产业结构的重要突破口。2019 年新修订的《森林法》中明确指出在符合规定的前提下可以利用公益林林地资源和森林景观资源适度开展林下经济、森林旅游等[1],以国家立法的形式充分肯定了新时期林下经济发展的重要地位[2]。我国森林资源储备富裕,魔芋种植历史长久,充分利用资源优势大力促进产业、经济、生态和谐发展,是新时代巩固生态文明建设和加快经济提质增效高质量发展的重要目标。在促进产业大力发展的同时,生态文明和环境保护成为当今热点,如何在生态功能脆弱区和连片特困区通过促进产业发展提高经济质量,是秦巴山区亟需解决的问题。

1 林业经济概况

安康市位于陕西省东南部,地处北纬 31°42′~33°50′,东经 108°01′~110°12′[3], 南依巴山,北靠秦岭,河谷盆地(安康盆地)居中,市辖 1 区、8 县、1 县级市[4-5]。全市常住人口 2 493 436 人,国土总面积 23 529 km^2,其中山地、丘陵面积分别占 92.5%和 5.7%,林业用地面积 191.91 万hm^2,占全市国土面积的 81.6%,成功创建国家级森林城市 1 个,省级森林城市 8 个,全市森林覆盖率 68%。2021 年全市实现生产总值 1 209.49 亿元,同比增长 7.5%。其中,第一、二、三产业生产总值分别为 164.34、513.53、531.62 亿元,同比增长率分别为 6.0%、7.6%、7.9%。全市森林蓄积量累计 7 714.00 万m^3,有国家级和省级自然保护区 3 个,面积 48 526.67 hm^2,占国土面积的 2.1%。全年各类林产品产量达 44.44 万 t,实现林业综合产值 212.04 亿元,已累计培育省级林业龙头企业 24 个、市级林业龙头企业 68 个,建设林业示范园区 438 个,创建山林经济发展示范县 10 个、山林经济扶贫示范点 1 369 个,累计发展特色经济林 61.8 万hm^2。

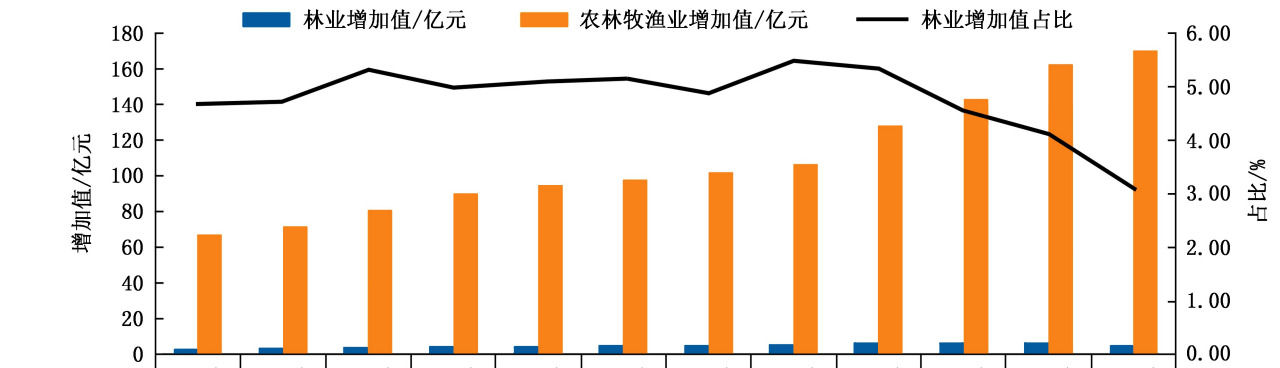
截至 2019 年底,安康市林下种植面积达 9.53 万hm^2,林下经济产值 65 亿元,占全省林下经济产值的 1/3。其中,林下种植药材 3.93 万hm^2、林下魔芋 2 万hm^2、林下蔬菜 2 万hm^2,林下养殖林禽、林畜等 2 000 万头(只、羽),发展食用菌 2 144 万袋。截至 2022 年初,建设特色经济林 61.69 万hm^2,建成林业园区 188 个,其中市级林业示范园区 164 个,成功创建省级林业龙头企业 24 个、市级林业龙头企业 68 个,创建国家级林下经济示范基地 8 个、省级 21 个、市级 30 个;石泉县、镇坪县成功创建首批陕西省森林旅游示范县。安康市属于森林资源富集区,依托森林资源禀赋和特色产业优势大力发展林下产业已成为乡村振兴时期安康经济发展和生态保护的重要途径之一。

图 1 为 2010—2021 年安康市林业增加值及占农林牧渔业增加值的比重。

从图 1 可知,近年来林业增加值逐年上升,占比约 5%,但增长速度缓慢,占比和增长率均不稳定,疫情爆发以来呈显著下降趋势,安康市森林资源富集,目前仍有 191.91 万hm^2 林地和 20.00 万hm^2 退耕还林地,但森林资源未充分发挥其经济效益,在生态保护和经济下行时期,安康市应充分发挥森林资源和特色产业优势,大力发展林下产业,延伸产业链,提高资源利用率,同步实现人文、生态、经济和谐发展。

2 魔芋产业发展现状及成效

安康市属亚热带大陆性季风气候,全年四季分明,雨量充沛,无霜期长,优越的地理和气候条件使安康市成为我国魔芋四大优势种植区之一,全市富硒资源丰富,富硒地层最厚,海拔 170~2 965 m 地区是全国最大的富硒区,魔芋对土壤中的硒元素具有较好的吸收能力,政府将富硒魔芋产业作为特色产



	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
林业增加值/亿元	3.14	3.40	4.30	4.51	4.83	5.06	4.99	5.85	6.84	6.51	6.70	5.26
农林牧渔业增加值/亿元	67.07	72.01	80.95	90.57	94.92	98.03	102.12	106.69	128.24	142.92	162.89	170.37
林业增加值占比/%	4.68	4.72	5.31	4.98	5.09	5.16	4.88	5.49	5.33	4.55	4.11	3.09

图 1　2010—2021 年安康市林业增加值及占比

Fig. 1　Added value and proportion of forestry in Ankang City from 2010 to 2021

业和支柱产业之一[6],并出台一系列魔芋产业扶持政策,多方位推广产业发展。目前安康市魔芋产量和面积全省第一,占全国的 1/5;深加工产品全省第一,占全国的 1/3;加工能力全省第一,占全国的 1/10。安康富硒魔芋已成为全市第一、全省除苹果外第二大出口创汇农产品;全市电商平台十大品牌之首就是魔芋,成效非常显著,被誉为“中国魔芋产业发展第一市”。

魔芋产业不仅是安康市的传统产业、特色产业,也是优势产业、富民产业[7],更是朝阳产业、健康产业、生态产业,政府部门陆续出台《关于大力发展魔芋产业的意见》等各项扶持政策,推动魔芋产业发展。魔芋种植区域由原来岚皋县“一枝独秀”到目前全市 10 县区“全面开花”,种植模式由原来的房前屋后零散种植,逐步发展为大田种植和林间套种模式,销路由以前的自给自足到目前的畅销海内外市场。近年来通过与科研院所合力,成立了全国唯一的中国富硒产业研究院、中国魔芋产业研究院,成功培育出“秦魔 1 号”“安魔 128”等新品种,很好地解决了魔芋种芋繁育难题;通过持续抓“千村千园”措施,已累计建设魔芋“一镇一业”重点镇 31 个、“一村一品”重点村 127 个,创建魔芋种芋示范园 92 个[8],魔芋产业园区 110 个,种植面积突破 4 万hm^2;培育魔芋加工企业 40 家,产业合作社 160 个,职业农民 853 人,成立家庭农场 600 个。截至 2021 年底,全市魔芋种植面积突破 4 万hm^2(表 1),产量高达 72 万 t,分别较上年同期增长 9.47%和 16.13%,综合产值超过 100 亿元;预计到 2025 年全市魔芋种植面积将达 6.67 万hm^2 以上,产量将突破 100 万 t,实现综合产值 200 亿元。岚皋县、汉滨区和紫阳县被先后授予“全国十大魔芋产业重点县”[8]。岚皋县被誉为“中国魔芋之乡”,是魔芋产业发展的重点县,岚皋魔芋基地成功入选全国首批 100 个“三品一标”基地。2020 年统筹 1 500 余万元项目资金支持魔芋产业发展,县财政为芋农缴纳自然灾害保险达 60 余万元,奖补贴息 500 万元,有效激发了魔芋产业发展新动能,2020 年全县魔芋种植面积突破 6 667 hm^2,年产量 11 万 t,培育加工企业 5 家,县级以上魔芋园区 19 个,建成魔芋种芋示范园 10 个,实现

表 1　2012—2021 年安康市魔芋种植面积及产量

Tab. 1　Planting area and output of konjac in Ankang City from 2012 to 2021

时间	面积/hm^2	面积增长率/%	产量/万 t	产量增长率/%
2012 年	8000	30.00	18.00	25.60
2013 年	10667	33.33	22.00	22.22
2014 年	14200	33.30	26.00	18.18
2015 年	17333	22.07	30.00	15.38
2016 年	20400	17.69	35.00	16.67
2017 年	23733	16.34	38.00	8.57
2018 年	27000	13.76	43.00	13.16
2019 年	33007	22.24	54.16	25.95
2020 年	36667	11.09	62.00	14.48
2021 年	40140	9.47	70.00	12.90

农业产值 13.5 亿元,芋农人均增收 3 020 元,全县有 2 668 户贫困户 8 559 人依靠魔芋产业实现了脱贫致富奔小康。魔芋产业成为群众脱贫致富奔小康的好路子,也进一步夯实了乡村振兴产业基础。

从表 1 中可以看出,2012—2021 年以来,安康市魔芋产业种植面积和总产量整体呈上升趋势,魔芋产业发展成效显著。但魔芋种植面积增长率和产量增长率基本呈下降趋势。可见,魔芋产业发展虽取得一定成效,但资源优势未充分发挥,未来发展尚存在很大潜力和空间。

3 魔芋产业发展优势及困境

3.1 魔芋产业发展优势

3.1.1 资源禀赋优势突出

安康市 10 县区均是魔芋生长的最佳适生区、最佳生长区,而且安康市全国最大的天然富硒区,魔芋均生长在富硒带上,这是发展魔芋的先天优势,是其他地方不可比拟、不可复制的独特优势。目前全国 14 个魔芋产业重点基地县中,安康就有 7 个县,在全国 10 个魔芋产业重点基地县中安康市就占 3 个。加之全市有 185.8 万hm^2 林地,20 万hm^2 退耕还林地,大力发展林下魔芋的空间广阔、潜力巨大、优势明显。同时,全市还有几万公顷的桑林,蚕桑产业是当地的传统产业、优势产业,陕西是“丝绸之路起点”,石泉县是“鎏金铜蚕故乡”,在保护好这些桑资源的同时利用好大面积的桑园林下资源,统筹发展蚕桑产业与魔芋产业。天赋安康的资源优势、空间发展优势、富硒特色优势、森林富集优势,为安康市做大做强安康魔芋产业赋予了无可比拟的独特优势。

3.1.2 产业发展前景广阔

习总书记来陕西考察时提出,要扎实推进特色现代农业建设,魔芋产业是安康市的特色产业,必须发挥资源优势,发展这个特色产业。按照习近平总书记在全国两会上提出的“利用好富硒这一宝贵资源,把它变为富硒产业”指示要求。伟大的无产阶级革命家习仲勋曾题词“发展魔芋产业、促进西部开发”[9],对发展魔芋产业寄予厚望。中共中央政治局常委汪洋在武汉第十一届农交会上视察安康魔芋发展时要求大力发展魔芋产业,助力脱贫攻坚。农业农村部部长亲临安康市考察调研并要求大力发展魔芋产业;在 2020 年杨凌农高会上赵省长在安康市展馆最关注的也是魔芋,要求大力发展林下魔芋。

3.1.3 政府政策大力扶持

近年来,全市按照“做大基地、做响品牌、做强企业、做优产品”的总体思路,全力推进魔芋种源建设、基地建设、主体培育、品牌打造和科技创新“五大工程”,着力打造安康魔芋省级特色农产品优势区、国家级产业集群和国家地理标志保护农产品等,积极争取省级特色产业专项资金。先后出台了《安康市“十四五”富硒产业发展规划》《安康魔芋产业发展实施方案》等文件[10],开展院地校企合作,加大科技试验示范力度,加强市场主体培育,全市“十四五”规划中提到建设优质种源基地、标准化种植基地和特色产业园区,力争到 2025 年魔芋种植面积达到 6 万hm^2 以上。

3.1.4 产业发展机遇良好

魔芋产业是陕南三市的重点产业,“十三五”期间被纳入陕西省规划和“3 + X”现代特色农业建设布局,政府把魔芋产业作为安康市农业五大特色产业之一,制定了多项政策措施支持,为安康魔芋代言,并在全国“两会”期间大力推介。“十四五”期间的机遇会更大更多,还有国家优势产业集群、特色产品优势区。魔芋产业即符合安康市产业发展实际,又是产业链条最长、市场前景最广、市场风险最低的优质特色产业,发展魔芋产业更是贯彻落实“十四五”期间健康中国建设的具体体现。抓住“十四五”时间段和发展生态经济、振兴乡村的重大历史机遇,贯彻落实好习总书记“绿水青山就是金山银山”和“人不负青山、青山定不负人”重要指示,为加快做大做强安康魔芋产业提供良机。

3.2 魔芋产业发展困境

3.2.1 种植基地规模受限,产业发展不平衡

安康全市均为魔芋种植适宜区和优势区,但目前各县区情况不一,有的抓得快、有的抓得慢,有的发展快、有的在退步。比如,岚皋、汉滨两县区在稳步推进,旬阳、白河、宁陕三县区发展比较快,镇坪、平利两县区虽然发展比较慢,但潜力大,目前退步的是紫阳和汉阴两县区,但汉阴出口量却是最大的,主要是种源基地未跟上。安康地区四面环山,沟壑较多,可耕种土地资源稀缺,魔芋基地建设土地受限。

3.2.2 种植条件和技术落后,良种繁育不足

由于本地种芋数量有限,一些地方到云南等外省调运种芋,同时地方良种繁育水平不高,种芋主要为当地种植千余年的花魔芋农家种[11],且以大田种植居多,种芋品质劣、种性差,抗性弱、产量低且不稳定。种芋繁殖系数低,繁殖周期长,繁殖数量少,种芋不足的状况影响到魔芋产业快速发展。

3.2.3 产业现代化水平低,龙头企业带动弱

目前魔芋园区企业层次较低,龙头少、带动力弱,产业产品科技含量不高,附加值低,相较于日本开发的 240 多种产品和循环利用水平差距还很大。市场营销力度也不够大,近年来市级层面力度大,但县区不均衡,只有少数县和部分企业在积极推进,国内国际市场开拓空间潜力十分巨大。品牌建设力度还不大,进展缓慢,富硒魔芋区域公用品牌还未完成注册,企业和产品品牌还不多。

3.2.4 产业投融资机制不健全,重大项目落实难

魔芋企业融资难、融资贵的问题十分突出,特别是魔芋收购时节融资问题更为凸显,同时产业项目资金整合聚焦力度还有待进一步加大。

3.2.5 专业人才队伍严重匮乏,产业科技含量低

行政队伍基本都是原安康农校毕业的,现有技术队伍逐渐老化、年龄普遍偏大,经营队伍主体都是农民企业家,管理水平、经营水平、技术水平较低。

4 魔芋产业与林下经济协同发展效应及机制

4.1 林芋种植对魔芋的作用

4.1.1 林芋种植复原魔芋种性

魔芋起源于热带森林,具有喜温暖、怕高温,喜阴凉、怕强光,喜潮湿、忌水渍等生理特性。近年来,魔芋由以前的田坎零散种植不断发展为连片种植、园区种植、规模化种植、种芋商品芋混栽,种植环境发生变化,导致魔芋种性退化,病害频繁,产量偏低。虽然在大田栽培中,研究实验魔芋与玉米套种取得了一定成绩,但农户的科技意识和技术水平落后,玉米种植密度稀疏不一,间距不等,播种偏早,影响了魔芋的健康生长。采取魔芋林下种植,将魔芋牛蒡根、小球茎和一定规格的魔芋种栽种在林下[12],实现了从林中来,到林中去的“原生态种植”[13],创新、优化魔芋种植和生长环境,减少病原微生物寄生条件,复原了魔芋原生态环境,实现了林芋间作种植、立体循环发展的双赢模式,有效提高了林地生产效益,克服了芋粮争地矛盾。

4.1.2 林芋种植有效减少病害

魔芋适宜于乔木林生长,尤其适宜于刺槐林、混交林、漆树林、杉树林等林种间作,此类林木能为魔芋创造原生态生长环境,林下魔芋机械损伤小,种芋当年就地越冬,减少搬运储藏等工序,节省人力、物力、财力,规避了种芋带菌传病风险,调查研究发现,与大田种植相比,林下魔芋生长状况相对较好,林下种植的魔芋平均病株率较大田魔芋降低 81.57%,平均产量提高 30.91%,效果明显[14]。

4.1.3 林芋种植抑菌固氮促进魔芋高效生长

在众多林地中,刺槐林根系分泌物较多,土壤微生物菌群丰富,不仅能有效抑制魔芋软腐病菌侵害,还能疏松和熟化土壤,刺激魔芋良性生长,这种林下原生态种植较好地解决了大田连作魔芋病害的难题。另外,刺槐属豆科植物,侧根中的根瘤菌丰富,根瘤菌豆科植物共生固氮体系对农业可持续发展至关重要[15]。根瘤菌强大的固氮能力可提高土壤肥力,为魔芋生长提供必要的氮肥和养分,代替化学肥料,产出有机魔芋,加之林下的适宜温湿度和光照条件,可延长魔芋生长期,使魔芋产量提高 9.85% ~ 32.76%,魔芋长势良好[14]。

4.2 林芋种植对林木的作用

4.2.1 保护水土,绿化林地

安康市肩负“一江清水供北京”的使命,全市有 185.8 万hm^2 林地,20 万hm^2 退耕还林地,退耕还林后幼林的覆盖面积较小,固水保土能力较差,林芋种植提高和扩大了绿植覆盖面,安康市雨季降水较多,尤其夏季降水量较大,此时正值魔芋生长旺季,魔芋的地下根系可以保护和防止水土流失。

4.2.2 抑制杂草,减少森林管护成本

安康市属于森林密集区,森林管护成本较高,实现魔芋林下种植后,在魔芋出苗前要对土地进行整理、杀虫、消毒、改良、除草等工作,既能提高魔芋出苗率,又能除掉林中杂草,管护林木和土地;魔芋出苗后快速生长,覆盖林下地面,亦可抑制杂草生长,提高养分和水分,促进魔芋和林木生长;魔芋成熟后,残枝落叶可转化为有机肥料,增强土壤肥力。芋农在管理魔芋的同时也管好了林地,减少了森林管护成本,变林地为“聚宝盆”,变青山为“金山”[16],有效解决退耕还林的后续增收和林地管护问题,实现互利共生双赢效果。

4.2.3 林芋种植延伸生态康养

乡村要振兴,产业做支撑,生态康养成为全市乃至全国重点产业链,如雨后春笋正如火如荼地发展,安康市被称作秦巴明珠,是陕西的后花园,更是生态文明宜居城市和旅游观光城市,旅游资源丰富。魔芋枝叶如伞,花朵独特美丽,可将其作为生态旅游的观赏植物,发展观光农业,使魔芋产业与生态旅游融合发展。魔芋食品营养价值丰富,具有医疗保健、美容养颜、化痰消肿、净化血液、降糖降脂、抑菌抗炎、改善肠道、补硒加钙、排毒通便、减肥瘦身等医疗保健功效[11],可与康养产业相结合,发展生态康养产

业。在发展旅游和康养的同时,让游客赏魔芋园,品魔芋菜,购魔芋货,扩大魔芋销路和影响力,普及和提高魔芋作为医食同源新型食品在国内外的知名度,实现最优生态效益和经济效益。

乡村要振兴,产业须兴旺,大力推广魔芋林下种植,最大化利用林下资源,提高林地利用率,增加林下经济效益,带动林果业可持续高质量发展,拓宽林区林农、芋农收入途径,同时能充分调动广大群众护林、营林、造林的积极性和主动性[17],实现魔芋产业与林下经济循环互利发展。魔芋产业与林下经济协同发展路径见图 2。

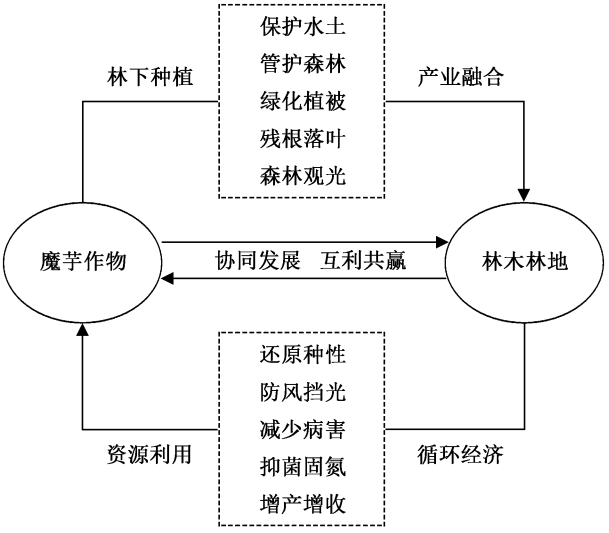


图 2 魔芋产业与林下经济协同发展路径

Fig. 2 Synergistic development path of the konjac industry and the non-timber forest-based economy

5 魔芋产业与林下经济协同发展路径选择

5.1 加强组织领导,落实魔芋产业项目策划

安康市森林资源丰富,可耕种土地稀缺,发展林下魔芋既能增强魔芋抗性,提高魔芋品质和产量,又能充分利用森林资源,提高林下经济效益,实现资源循环利用和产业可持续发展。政府部门应稳步推进魔芋产业各项政策,抓紧研究制定魔芋产业发展专项规划,制定林下魔芋中长期发展规划,研究出台魔芋产业发展意见和五年行动计划,建立健全魔芋产业发展工作机制,全产业链策划和落实魔芋产业发展项目,鼓励企业和芋农在保护生态环境和生态文明建设前提下,科学整合林地资源,高效推进林下种植,助推魔芋产业高质量发展。

5.2 整合涉农资金,加大金融扶持力度

产业发展离不开资金支持,魔芋企业融资难、融资贵的问题十分突出,各级政府部门需进一步整合涉农资金,抓紧研究制定务实管用的魔芋产业扶持奖励办法和补贴政策,捆绑整合项目资金大力支持魔芋产业发展,各相关部门要持续加大对口向上争取力度,力争更多的大项目、大资金落地安康。各金融部门和金融机构要结合安康魔芋产业发展特点和企业发展需要,抓紧制定出台更有针对性的支持政策和金融产品,切实解决好企业周转资金不足等融资难题。各保险公司要积极推进农业政策保险拓展延伸,加快实现魔芋产业保险全覆盖。各部门要继续为全市魔芋产业尤其是林下魔芋持续健康高质量发展出谋划策。

5.3 做实抓好林下立体循环,发挥资源多重效益

魔芋产业与林下经济互利共生效果显著,应充分利用好现有的 13.3 万 hm^2 核桃基地、185.8 万 hm^2 林地和 20 万 hm^2 退耕还林地以及桑园,力争“十四五”期间再发展林下魔芋 6.67 万 hm^2,进一步放大和提升退耕还林还产业的效用,做足做好做实林下经济。同时,不断加大产品研发和循环开发力度,支持龙头企业大力开展魔芋加工工艺和魔芋废弃物资源化利用,通过魔芋立体种植、加工技术改进、灰分开发利用、富硒饲料利用,把魔芋生产中产生的各类副产品、剩余物充分利用起来,聚力推进魔芋资源利用、产品开发、产业园区的循环化。此外,还应全力推进一二三产业融合发展,积极引导二三产业向农业产业的重点镇村、重点园区集中,推进产业深度融合,促进森林旅游、休闲农业、体验农业、数字农业和生态康养产业综合发展,打造现代农业和林业发展新业态,培育农林业增长增效新引擎。

5.4 科学选林选地选种,高效种植林下魔芋

林下种植魔芋的选地、选林、选种、栽培至关重要。选地要选择缓坡林地、土层肥厚、向阳的地块,以确保地块不渍水、土壤肥力良好,种子能安全越冬[13]。魔芋喜温不耐晒,对湿度和光照要求严格,要选择合适的树种和合理荫蔽度,疏林、疏枝量过多会造成荫蔽度过小,不利于遮阴,易发生病害;疏林、疏枝量过少,造成荫蔽度过大,林内光照强度弱、光照时间短、魔芋光合作用产物少、块茎膨大率低、造成产量水平不高[12],因此,以小叶、枝条横生、稀疏适中的豆科植物林地树种为宜,可以在杉木、漆树、杜仲、核桃和其他混交林等乔木阔叶林下种植,在李子树等水果树下也能种植[17],林木过高要适当去除部分枝条,使林下魔芋能接受到阳光。槐树林地块为林下种植魔芋最佳树种,刺槐林土壤具有健康有

益的微生物区系,土壤有机质含量高,根部寄生有大量的根瘤菌,固氮抑菌可减少魔芋病害,改良土壤肥力和养分,促进魔芋健康高产增收健康发展。

林下种植魔芋的种芋应选择表面光滑、无损伤、芽眼明显、芋龄较小、块茎膨大率高、上端口凹陷口平、单个重量不超过 200 g 的对抗白绢病与软腐病最强的种芋为最佳,大小 150~300 g 的魔芋球茎适宜商品芋生产种植[18]。目前经过几年试验得到最好证明的安魔 128 品种,耐高温、不倒秆、不生病,产出的魔芋出粉量比老品种的花魔芋更高,质量更好,花魔芋 1 kg 魔芋大概能磨出魔芋豆腐 2~3 kg,而安魔 128 品种魔芋 1 kg 可以制作出 4~5 kg 的魔芋豆腐,能增加魔芋产值和附加值。林地本就杂草丛生,林芋种植除了常规的整地、播种、起垄、病害预防外,重点是科学除草、及时除草。播种前要提前清理杂草,保证下种时地块无杂草;魔芋苗破土前 10~15 d 内要及时完成出苗立桩前的二次除草;成长后期要随时防止杂草与魔芋争水争肥,用药剂除草的时间把握要及时准确到位,保证防治效果,降低种植管护成本,提高林芋品质和产量。

5.5 加大科技支撑力度,培养魔芋产业高技术专业人才

完善林下魔芋种植技术服务机制,统筹全市魔芋技术专家,引进高层次专业人才,成立专业技术试验研究小组,开展校企院所合作,研究魔芋林下栽培技术、病害防治技术,开展疏林整地、病虫妨害、良种选育、科学除草、种芋贮存等技术支持和专业培训,提高林下魔芋现代化种植技术,提升魔芋种植人员专业素养,建立“企业 + 农户 + 专家 + X”的经营模式,发挥引领示范标杆作用,完善林下魔芋种植示范基地,提高林下种植技术,创新魔芋种植技巧和模式,促进安康市林下魔芋健康高质量发展。

6 结　论

安康市森林资源储备丰富,富硒资源得天独厚,魔芋产业优势不可复制,产业发展特色独一无二,生态文明建设走在全省前列,肩负“一江清水供北京”之使命。乡村要振兴,产业须兴旺,秉持地方产业之特色,依托地方资源之优势,大力推广魔芋林下种植,最大化利用林下土地,提高林地资源利用率,增加林下经济效益,带动林果业可持续高质量发展,拓宽林农、芋农收入途径和渠道,不仅能高效发展产业经济和林下经济,更能充分调动广大群众营林、造林、守林、护林和生态文明建设的积极性和主动性,共同促进人文、产业、生态、经济的协同互利发展。

参考文献:

[1] 徐高福. 特别生态功能区建设背景下的千岛湖公益林补偿问题探析[J]. 防护林科技,2021(6):79-81,87.

[2] 卢宏亮,李国源,朱震锋,等. 重点国有林区林下经济竞争力评价研究[J]. 林业经济问题,2021,41(4):361-368.

[3] 贺海霞,龚正杰,桑广书. 安康市土地利用/覆盖变化的驱动因素分析[J]. 云南地理环境研究,2014,26(1):48-54.

[4] 安康市人民政府网. 安康市行政区划[EB/OL]. (2021-09-07)[2022-04-02]. http://www.ankang.gov.cn/Node-3109.html.

[5] 陕西省人民政府. 国务院同意我省撤销旬阳县设立县级旬阳市[EB/OL]. (2021-02-07)[2021-02-18]. http://www.shaanxi.gov.cn/xw/sxyw/202102/t20210207_2152367_wap.html.

[6] 李缘,张婷. 安康市富硒魔芋发展优势及营销策略分析[J]. 农业科技与信息,2020(5):72-73,78.

[7] 王罡,王伟,尤丽. 对安康市魔芋产业发展的思考[J]. 现代农业科技,2021(18):247-248,251.

[8] 李冀安,李兆鹏. 安康魔芋获全国十佳蔬菜地标品牌[N]. 陕西农村报,2021-02-19(7).

[9] 卢俊. 陕西省魔芋产业化有感[C]//中国园艺学会魔芋协会第六届会员大会暨科技交流会论文集. 2016:164-167.

[10] 郝瑞,邹荣. 安康:优质粮食工程助力“富硒”产业腾飞[N]. 粮油市场报,2021-11-20(A02).

[11] 薛焕霞. 安康市富硒魔芋产业转型发展路径及策略[J]. 农业工程,2021,11(1):127-131.

[12] 刘立友,黄天才. 林下种植魔芋的优势与种植方法[J]. 湖北植保,2017(3):56,18.

[13] 王晓兵,余西亮. 岚皋县魔芋林下种植模式研究[J]. 现代农业科技,2012(2):134-135.

[14] 崔鸣. 魔芋林下种植实践与认识[J]. 陕西农业科学,2012,58(3):157-159.

[15] 焦健,田长富. 根瘤菌共生固氮能力的进化模式[J]. 微生物学通报,2019,46(2):388-397.

[16] 崔鸣. 安康市魔芋种植模式形成与发展研究[J]. 陕西农业科学,2017,63(2):81-84.

[17] 颜硕滨. 林下魔芋种植技术[J]. 新农民,2020(33):50.

[18] 程海刚,郭艳萍,刘晓婷. 关中西部林下魔芋高产栽培技术[J]. 西北园艺(综合),2020(1):12-14.

责任编辑:许易琦

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 031

基于 SBE 法的园林景观植物颜色配置研究

邱 雯,唐必成,黄梓良
(福建林业职业技术学院,福建 南平 353000)

摘要:采用美景度评价法(SBE 法)评价福州主城区公园自然环境园林景观植物颜色配置质量,揭示其景观植物颜色配置机理,计算获得美景度高的秋季植物单株植物颜色特征数据。研究结果显示,秋季植物景观中,落叶乔木类植物颜色配置最受大众欢迎,藤本植物类颜色配置最不受大众喜爱,其 SBE 值排序为落叶乔木类>常绿灌木类>常绿乔木类>落叶灌木类>多年生草本及地被类>藤本植物类。

关键词:美景度评价法;园林景观;植物颜色配置;福州主城区公园

中图分类号:TU986. 34 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0192-05

引文格式:邱雯,唐必成,黄梓良. 基于 SBE 法的园林景观植物颜色配置研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):192-195,200. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 031

QIU Wen, TANG Bicheng, HUANG Ziliang. Color Allocation of Landscape Plants Based on SBE Method[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):192-195,200. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 031

Color Allocation of Landscape Plants Based on SBE Method

QIU Wen, TANG Bicheng, HUANG Ziliang
(Fujian Forestry Vocational & Technical College, Nanping, Fujian 353000, China)

Abstract: The beauty evaluation method (SBE) was used to evaluate the quality of plant color configuration in main urban park natural environment of Fuzhou, reveal the mechanism of plant color configuration, and calculate the color characteristic data of individual plant with high beauty in autumn. The research results showed that in autumn plant landscapes, the color configuration of deciduous arbors was the most popular among the public, while the color configuration of vine plants was the least popular. The SBE value ranking was deciduous arbors > evergreen shrubs > evergreen arbors > deciduous shrubs > perennial herbs and ground cover > vine plants.

Key words: beauty evaluation method; landscape; plant color configuration; main urban park of Fuzhou

园林绿地景观建设的主体通过植物景观颜色配置实现,然而是否美观决定了景观质量的高低,也在很大程度上取决于单株植物颜色特征。植物颜色配置是园林植物景观的重要观赏数据,和谐、美观的颜色搭配,直接影响景观质量。Kim 等[1]提出的跟踪算法比较新颖,其后续帧的跟踪精度可以明显获得提高,目标的初始配置数据能够自动修改,跟踪数值获得更精准的结果。Sabzi 等[2]提出一种新的基于计算机视觉的专家系统,用于识别马铃薯植物和 3 种不同的杂草,以进行定点喷洒,提取了每个对象中

收稿日期:2022-03-23.
基金项目:福建省林业厅科研项目(闽林科〔2014〕2 号);2021 福建省教育厅中青年教师教育科研项目(JAT210769).
第一作者:邱雯(1989-),女,福建南平人,硕士,讲师. 主要从事园林规划设计、康复性景观规划研究. Email:qiuwen1989@ 126. com

60 个纹理特征和 126 个颜色特征。Kashian 等[3]使用定量分析构建新的种植配置,以更好地模拟自然火灾后再生的空间模式,从景观格局分析中计算指标,使用中性建模方法开发原型种植配置,量化野火后再生的空间模式可能会为中性景观模型提供信息。庄经纬等[4]着重于花卉边框的视觉属性对审美偏好和情感感知的影响,采用人脸识别测量法获取情感感知,采用问卷调查法测量审美偏好,通过城市植被景观的有效设计提高花境的审美品质,促进公众情绪健康。王阳[5]提出了一种基于多种群协同进化粒子群径向基函数神经网络算法的园林规划设计研究,有效地对城市规划设计进行评估,并根据分析结果提出相应的调整方案,更符合城市规划的实际需要。Mouta 等[6]通过随机森林(RF)模型和地图探索驱动景观因素的水平丰度,预测 RF 模型强调气候的主要作用,景观组成和配置,作为解释物种丰度的最重要驱动因素景观水平。魏和一等[7]研究采用地理信息系统(GIS)作为技术平台,结合日照模拟与评价模型,景观植物数据库针对特定地理位置的不同太阳辐射水平自动检索和匹配景观植物。

因此,通过梳理国内外文献资料,园林景观在质量评价方面取得了不少成果,初步获取了相关数据,然而综合运用多学科方法对植物景观质量进行量化评价确鲜有报道,促进学科发展需要开展更多有效的工作来验证。针对基于 SBE 法的园林景观植物颜色配置研究,结合福州主城区公园自然环境园林单株植物颜色特征数据 SBE 法美景度高的秋季植物,对景观质量进行评价具有重要研究价值。

1 研究区域概况

福州地貌属典型的河口盆地,盆地四周被群山峻岭所环抱,其海拔多为 600~1 000 m。东有鼓山,西有旗山,南有五虎山,北有莲花峰。境内地势自西向东倾斜。全市总面积 12 154 km^2,其中市区总面积 1 786 km^2。福州属典型的亚热带季风气候,气温适宜,温暖湿润,四季常青,阳光充足,雨量充沛,霜少无雪,夏长冬短,无霜期达 326 d。年均日照时数为 1 700~1 980 h;年均降水量为 900~2 100 mm。

2 评价对象、标准及方法

2.1 评价对象

通过植物颜色配置评价风景质量的媒介,利用照片和幻灯片对福州主城区公园自然环境园林单株植物进行数据对比分析,晴天 10∶00—15∶00 进行取景拍摄工作,尽量保证评价照片拍摄的一致性原则,与现场进行验证评价操作无显著的数据差异[8]。最大限度地减少人为产生误差,尽量使拍摄的图片趋于一致,具备选择景深的数值、拍摄高度和光照强度等方面参数,以 15 m 内能够观赏全景为数值标准。考虑到福州主城区公园自然环境园林单株植物颜色变化非常迅速,时间跨度不超过半个月,要在集中的时间内完成所有的室外调查。拍摄相机采用索尼(SONY)Alpha7RIV 全画幅微单数码相机,约 6 100 万像素,记录园林单株植物颜色的位置和面积。以单株植物颜色配置作为评价对象进行计算,评价对象单株植物如表 1 所示。

表 1　评价对象单株植物

Tab. 1　Individual plant of the evaluation object

序号	分类	植物名称
1	落叶乔木、常绿乔木	落叶乔木包括玉兰、银杏、象牙红、垂柳、皂角、红叶李等 常绿乔木包括棕榈、杨梅、雪松、白兰、琵琶、南洋杉等
2	落叶灌木、常绿灌木	落叶灌木包括木芙蓉、小蜡、蜡梅、双荚决明等 常绿灌木包括棕竹、红千层、杜鹃、茶梅、红背桂、栀子等
3	多年生草本及地被	竹子、一叶兰、金心吊兰、旱伞草、芭蕉、结缕草等
4	藤本植物	云南黄素馨、九重葛

2.2 评价标准

选择学生为主要测评者进行本次打分工作,同时组织园林景观植物颜色配置专家进行专业评价,共 50 名评价人员,其中有景观专业 5 名专家、35 名研究生,非景观专业 10 名研究生。通过幻灯片对单株植物颜色配置采用 SBE 法进行美景度打分[9]。对展示的单株植物颜色进行评判,评价人员按 10 分制对幻灯片进行计算,每张幻灯片播放时间 6 s,评价人员通过幻灯片文件来进行评价,电脑放映用样本照片制成,评分等级可以采用优(9~10 分)、良(7~8 分)、中(5~6 分)、差(3~4 分)、较差(1~2 分)5 个等级,衡量标准结合 10 分制 SBE 法进行美景度评价,单株植物颜色配置 SBE 评价法评分标准如表 2 所示。

表 2 单株植物颜色配置 SBE 评价法评分标准

Tab. 2 SBE evaluation criteria for color configuration of individual plant

分值/分	评分标准
优(9~10)	使人产生舒适愉快的感觉,叶色色相、明度、饱和度适中
良(7~8)	较易使人产生舒适愉快的感觉,叶色色相、明度、饱和度较好
中(5~6)	感染力一般,叶色色相、明度、饱和度一般
差(3~4)	基本无感染力,叶色色相、明度、饱和度较差
较差(1~2)	通过叶色使人产生枯燥乏味的感觉

2.3 评价方法

针对所有受测者、受测物的认知程度,假设评价标准呈正态分布函数,选定每一受测物的平均计算 Z 值,用以调整 SBE 法度量的起始点作为“基准线”受测物[10-11]。选择照片 Z_4 为基准线植物颜色设 SBE 值为 0 时的参数配置,选择照片 A_2 为基准线测试中单株植物颜色配置,原始 SBE 值计算获得各受测物的颜色,平均 z 值与“基准线”的平均 z 值,各个受测物计算得出的数值相减后乘 100,美景度评价 SBE 法计算公式为[12-14]:

$$M_{zi} = \frac{1}{m-1} \times \sum_{k=2}^{m} f(\mathrm{CP}_{ik}) \quad (1)$$

式中:$f(\mathrm{CP}_{ik})$ 为正态函数累计计算的分布频率;CP_{ik} 为给予受测物 i 的观察者评价数值为 k 或高于 k 的频率计算模式;M_{zi} 为平均 z 值受测物 i 的颜色配置。

采用 10 分制进行 SBE 法园林景观植物颜色配置打分,评价值的等级数值为 m,其计算公式为[15-17]:

$$\mathrm{SBE}_i = (M_{zi} - \mathrm{BMM}_z) \times 100 \quad (2)$$

式中:基准线(baseline)BMM_z 为平均 z 值;受测物 SBE_i 为原始 SBE 法的计算数值。

2.4 单株植物颜色配置实验结果分析

通过单株植物颜色配置进行相关性分析,单株植物颜色评价结果利用 SPSS 统计,结合 SBE 法计算得出美景度评价结果见表 3~表 8。

通过上表可以看出,得分最高的落叶乔木类植物 X_1 红叶李,深红色,SBE 值为 13.45 分;得分最高的常绿乔木类植物 Y_1 南洋杉,中绿色,SBE 值为 8.68 分;得分最高的落叶灌木类植物 Z_1 木芙蓉,中绿色,SBE 值为 6.21 分;得分最高的常绿灌木类植物 M_1 红背桂,深绿色、中红色,SBE 值为 9.29 分;得

表 3 落叶乔木类 SBE 值排名结果

Tab. 3 Ranking results of SBE values for deciduous arbors

排名	编号	色调	植物名称	SBE 值/分
1	X_1	深红色	红叶李	13.45
2	X_2	浅绿色、中黄色	玉兰	9.64
3	X_3	中黄色	银杏	8.65
4	X_4	中绿色	垂柳	4.25
5	X_5	灰绿色	象牙红	3.76
6	X_6	中绿色	皂角	-0.71

表 4 常绿乔木类 SBE 值排名结果

Tab. 4 Ranking results of SBE values for evergreen arbors

排名	编号	色调	植物名称	SBE 值/分
1	Y_1	中绿色	南洋杉	8.68
2	Y_2	中绿色	白兰	4.92
3	Y_3	蓝绿色、中黄色、深绿色	琵琶	4.75
4	Y_4	深绿色	杨梅	-5.53
5	Y_5	深绿色	雪松	-7.71
6	Y_6	深绿色	棕榈	-8.42

表 5 落叶灌木类 SBE 值排名结果

Tab. 5 Ranking results of SBE values for deciduous shrubs

排名	编号	色调	植物名称	SBE 值/分
1	Z_1	中绿色	木芙蓉	6.21
2	Z_2	中绿色、中黄色	蜡梅	3.19
3	Z_3	中绿色	小蜡	-1.22
4	Z_4	深绿色	双荚决明	-2.38

表 6 常绿灌木类 SBE 值排名结果

Tab. 6 Ranking results of SBE values for evergreen shrubs

排名	编号	色调	植物名称	SBE 值/分
1	M_1	深绿色、中红色	红背桂	9.29
2	M_2	浅黄色	栀子	5.65
3	M_3	深绿色	茶梅	1.45
4	M_4	中绿色	红千层	-1.07
5	M_5	深绿色	棕竹	-4.83
6	M_6	深绿色	杜鹃	-4.89

表 7　多年生草本及地被类 SBE 值排名结果

Tab. 7　Ranking results of SBE values for perennial herbs and ground cover

排名	编号	色调	植物名称	SBE 值/分
1	P_1	黄绿色、深绿色	金心吊兰	5. 32
2	P_2	中绿色	芭蕉	3. 86
3	P_3	深绿色	旱伞草	3. 03
4	P_4	深绿色	竹子	2. 09
5	P_5	中绿色	结缕草	1. 84
6	P_6	深绿色	一叶兰	0. 28

表 8　藤本植物类 SBE 值排名结果

Tab. 8　Ranking results of SBE values for vine plants

排名	编号	色调	植物名称	SBE 值/分
1	Q_1	深绿色	九重葛	4. 05
2	Q_2	中绿色	云南黄素馨	1. 00

分最高的多年生草本及地被类植物 P_1 金心吊兰,黄绿色、深绿色,SBE 值为 5. 32 分;得分最高的藤本植物类植物 Q_1 九重葛,深绿色,SBE 值为 4. 05 分。

因此,通过 SBE 法计算的分数高低来看,秋季植物景观中落叶乔木类植物 X_1 的颜色配置大众满意度最高,藤本植物类 Q_1 的颜色配置大众满意度最低,比较 6 类植物色彩的 SBE 平均值如表 9 所示。

表 9　6 类植物色彩的 SBE 平均值比较

Tab. 9　Comparison of SBE average values for 6 plant types

分类	数量/株	SBE 值/分		
		最大值	最小值	平均值
落叶乔木类	6	13. 45	-0. 71	6. 51
常绿乔木类	6	8. 68	-8. 42	-0. 55
落叶灌木类	4	6. 21	-2. 38	1. 45
常绿灌木类	6	9. 29	-4. 89	0. 93
多年生草本及地被类	6	5. 32	0. 28	2. 74
藤本植物类	2	4. 05	1. 00	2. 53

从表 9 可以看出,秋季植物景观中落叶乔木类植物颜色配置最受大众欢迎,常绿灌木类颜色配置次之,藤本植物类颜色配置最不受大众喜爱。从 SBE 值的最大值和平均值两个角度分析,福州主城区公园自然环境园林景观秋季植物均是落叶乔木类植物的分值最高,常绿乔木类颜色配置的平均分值最小,落叶灌木类植物颜色配置比常绿灌木类植物颜色配置的平均分值高。

3 结　论

通过 SBE 法的美景度评价获得大众对植物颜色配置满意度排序,对单株植物颜色配置进行评价,落叶乔木类得分最高植物 X_1 的 SBE 值为 13. 45 分;常绿乔木类得分最高植物 Y_1 的 SBE 值为 8. 68 分;落叶灌木类得分最高植物 Z_1 的 SBE 值为 6. 21 分;常绿灌木类得分最高植物 M_1 的 SBE 值为 9. 29 分;多年生草本及地被类得分最高植物 P_1 的 SBE 值为 5. 32 分,藤本植物类得分最高植物 Q_1 的 SBE 值为 4. 05 分,其排序结果为落叶乔木类 > 常绿灌木类 > 常绿乔木类 > 落叶灌木类 > 多年生草本及地被类 > 藤本植物类。

参考文献:

[1] KIM G,KWON J. Robust visual tracking with adaptive initial configuration andlikelihood landscape analysis [J]. IET Computer Vision,2018,13(1):1-7.

[2] SABZI S,ABBASPOUR-GILANDEH Y,GARCÍA-MATEOS G. A fast and accurate expert system for weed identification in potato crops using metaheuristic algorithms[J]. Computers in Industry,2018(98):80-89.

[3] KASHIAN D M,SOSIN J R,HUBER P W,et al. A neutral modeling approach for designing spatially heterogeneous jack pine plantations in northern Lower Michigan, USA [J]. Landscape Ecology,2017,32(6):1117-1131.

[4] ZHUANG J,QIAO L,ZHANG X,et al. Effects of visual attributes of flower borders in urban vegetation landscapes on aesthetic preference and emotional perception[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2021,18(17):9318.

[5] WANG Y. Landscape planning and image analysis basedon multipopulation coevolution particle swarm radial basis function neural network algorithm[J]. Computational Intelligence and Neuroscience,2021:1-11.

[6] MOUTA N,SILVA R,PAIS S,et al. The best of two worlds′——Combining cassifier fusion and ecological models to map and explain landscape invasion by an alien shrub[J]. Remote Sensing,2021,13(16):3287.

[7] WEI H Y,HUANG Z D. From experience-oriented to quantity-based:A method for landscape plant selection and configuration in urban built-up areas[J]. Journal of Sustainable Forestry,2015,34(8):698-719.

(下转第 200 页)

S( ]doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 032

福建省屋顶绿化现状调查与分析

李甜甜[1],朱云君[1],王睿昕[1],杨松敏[1],吴美强[2],李房英[1],彭东辉[1]
(1. 福建农林大学 园林学院,福建 福州 350002; 2. 福州乐亿生态科技股份有限公司,福建 福州 350000)

摘要:采用分区抽样的方式,对福建省 7 个城市主城区的屋顶绿化应用现状进行实地调查,详细记录应用结构、植物种类及其生长状况等内容。调查结果表明,7 个城市的屋顶绿化常用绿化模式主要为花园式、果蔬式、简易地毯式 3 种;统计所应用的植物种类达 298 种,隶属于 94 科、180 属。同时,存在着缺乏统一规划与设计、管理粗放等问题,提出制定统一的标准规范、筛选适宜植物进行专业的栽植与养护、加强各级林业和市政园林部门对屋顶绿化的技术指导和服务等对策建议。

关键词:屋顶绿化;植物种类;应用频度;福建省

中图分类号:S731. 5 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0196-05

引文格式:李甜甜,朱云君,王睿昕,等. 福建省屋顶绿化现状调查与分析[J]. 林业调查规划,2023,48(5):196-200. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 032

LI Tiantian, ZHU Yunjun, WANG Ruixin, et al. Investigation and Analysis of Roof Greening Status in Fujian Province [J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):196-200. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 032

Investigation and Analysis of Roof Greening Status in Fujian Province

LI Tiantian[1], ZHU Yunjun[1], WANG Ruixin[1], YANG Songmin[1], WU Meiqiang[2], LI Fangying[1], PENG Donghui[1]
(1. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Fuzhou Leyi Ecological Technology Co., Ltd., Fuzhou 350000, China)

Abstract: Via the method of district sample, a field investigation was conducted on the application status of roof greening in the main urban areas of 7 cities in Fujian Province, with detailed records of its application structure, plant species, and growth status. The results showed that 3 roof greening patterns were frequently used in 7 cities which were garden pattern, vegetable pattern, carpet pattern; there were 298 species of plants in the statistics, belonging to 180 genera and 94 families. Meanwhile, for problems such as a lack of unified planning and design, extensive management and so on, suggestions were proposed to formulate unified standards and specifications, screen suitable plants for professional planting and maintenance, and strengthen technical guidance and services for roof greening by forestry and municipal landscaping departments at all levels.

Key words: roof greening; plant species; application frequency; Fujian Province

收稿日期:2022-03-22.
基金项目:福建省高校产学研合作项目(KJB21007A).
第一作者:李甜甜(1998-),女,河南周口人,硕士. 研究方向为园林植物与应用研究. Email:liyushenglitt@163. com
责任作者:彭东辉(1975-),男,福建宁德人,博士,教授. 研究方向为园林植物与应用研究. Email:fjpdh@126. com

随着城市化发展,城市建成区面积不断扩大,绿地不断被挤压,传统的城市绿化方式无法继续满足生态城市发展的需要,城市热岛效应、空气污染、内涝等“城市病”逐年凸显。因此,为推进城市生态环境建设和改革发展,积极探讨更加适合现代城市的绿化方式,突破城市绿化瓶颈,建设满足人民对生态环境要求的绿色城市显得尤为重要[1]。立体绿化具有免去高额拆迁费用、经济快捷地增加城市绿量、优化城市环境等优势,备受关注,被认为是未来减缓城市热岛效应与建筑节能的一种新发展前景[2-4]。因此,近些年福建省发布并制定了《城市垂直绿化技术规范》《福建省实施城市立体绿化暂行办法》等标准,以推进城市垂直绿化、立体绿化工作[5]。屋顶绿化是近年来各城市进行立体绿化建设的主要应用形式之一,福州、厦门等城市纷纷响应号召,积极开展屋顶绿化方面的工作,但目前实际应用效果仍少有报道。通过对福建省屋顶绿化现状进行实地调查,并分析其优势与不足之处,以期为未来福建省屋顶绿化的全面建设提供参考。

1 调查区域与研究方法

1.1 福建省自然概况

福建省地处中国东南沿海,位于北纬 23°31′~28°18′,东经 115°50′~120°43′。气候属于亚热带海洋性季风气候,温暖湿润。福建省雨量充沛,光照充足,年均温 17~21℃,年均雨量 1 400~2 000 mm;夏季均温 33~37℃,年相对湿度约 77%。境内森林植被种类繁多,中部及西北部植被多为常绿阔叶林,东南部为季风常绿阔叶林[6]。福建省分布有高等植物 4 703 种,约占全国的 14.3%。截至 2019 年,福建省城市建成区绿化覆盖率为 44.5%,城市绿地面积 7.39 万hm^2,公园面积 1.59 万hm^2,人均公园绿地面积 15.03 m^2/人。

1.2 调查范围

以福州市(鼓楼区、晋安区、台江区、仓山区)、厦门市(思明区、湖里区、集美区、海沧区)、莆田市(荔城区、城厢区)、泉州市(鲤城区、丰泽区)、漳州市(芗城区、龙文区)、三明市(三元区)、龙岩市(新罗区)等 7 个城市的主城区为调查对象,调查建筑类型主要分为居住建筑、公共建筑,每个市辖区共布设调查样点 40 个,共 640 个。

1.3 研究方法

采用分区抽样的方式,对各城市的屋顶绿化应用现状进行实地调查,内容主要包括建筑类型、绿化类型、植物种类、冠幅及株数等,并进行拍照记录。采用群落调查法进行植物评价,根据群落调查法中相对多度、相对频度和相对盖度的综合性计算结果将植物列为优势种[7]。

选取 Patrick 丰富性指数(R)、Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 指数(H)、Pielou 均匀度指数(J)作为福建省 7 个城市屋顶绿化植物种类多样性的分析指标,公式分别为:

$$R = S \tag{1}$$

$$H = -\sum (P_i \ln P_i) \tag{2}$$

$$J = H/\ln S \tag{3}$$

式中:S 为物种总数;P_i 为第 i 种植物的个体数与全部物种的个体总数的比值[8]。

2 结果与分析

2.1 屋顶绿化应用现状

2.1.1 分布情况

随机分布的 640 个调查点共有屋顶绿化 333 处,占比 52.0%(表 1)。

表 1　福建省屋顶绿化应用现状

Tab. 1　Application status of roof greening in Fujian Province

城市	调查点/个	绿化点/个	应用率/%	公共建筑		居住建筑	
				绿化点/个	占比/%	绿化点/个	占比/%
福州	160	88	55.0	40	45.5	48	54.5
厦门	160	71	44.4	44	62.0	27	38.0
泉州	80	49	61.2	6	12.2	43	87.8
莆田	80	33	41.2	22	66.7	11	33.3
漳州	80	23	28.7	7	30.4	16	69.6
三明	40	36	90.0	2	5.6	34	94.4
龙岩	40	33	82.5	7	21.2	26	78.8
共计	640	333	52.0	128	38.4	205	61.6

由表 1 可以看出,在不同城市中,屋顶绿化应用占所调查点的比例最高的为三明市,占比 90.0%;漳州最低,占比仅 28.7%。在不同建筑类型方面,居住建筑的屋顶绿化则占所调查总数的 61.6%。

2.1.2 应用形式

不同类型屋顶绿化应用情况统计见表 2。

表 2 福建省不同类型屋顶绿化应用现状

Tab. 2 Application status of different types of roof greening in Fujian Province

城市	花园式数量	应用频度	果蔬式数量	应用频度	地毯式数量	应用频度	未知类型数量
福州	56	0.636	12	0.164	5	0.454	15
厦门	30	0.422	32	0.438	9	0.500	0
泉州	41	0.836	8	0.109	0	0	0
三明	22	0.564	5	0.068	2	0.111	7
莆田	24	0.727	7	0.095	2	0.111	0
龙岩	21	0.636	4	0.054	0	0	8
漳州	18	0.782	5	0.068	0	0	0
共计	212	0.636	73	0.219	30	0.054	333

注:未知指由于某些屋顶绿化点属于私人财产或因为不便拍照的原因导致无法得知是何种类型。

由表 2 可知,不同类型的屋顶绿化形式,其应用频度由大到小依次为花园式(0.636)>果蔬式(0.219)>地毯式(0.054),其原因可能是花园式屋顶绿化相比其他类型具有更高的参与性、变化性和观赏性,从而更被人们接受和应用。在不同城市中,泉州市的花园式屋顶绿化应用频度最高,达 0.836;漳州市和莆田市次之,分别为 0.782 和 0.727。

2.2 植物分析

2.2.1 植物生活型分析

依据调查结果整理统计,植物种类共达 298 种,隶属于 94 科、180 属。其中,乔木类共计 123 种,占总数的 41.3%;而灌木类植物与草本植物分别共计 61 种与 107 种,占比 20.5%、35.9%;竹类植物仅 7 种,占比 2.35%。常绿类 131 种,占比 44.0%;落叶类 53 种,占比 17.8%;草本多年生有 87 种,占比 29.1%,1 年和 2 年生共 20 种,占比 6.71%;攀援植物有 27 种,占比 9.1%;观秋色叶有 43 种,占比 14.4%;常年彩色叶有 21 种,占比 7.05%。根据以上数据的分析,常绿植物居多,而落叶植物较少。

2.2.2 植物优势科、属、种分析

福建省屋顶绿化植物种类中优势科、属统计分别见表 3,表 4。

在 94 科、180 属、298 种屋顶绿化植物中,以科所含的属数统计,豆科(Fabaceae)、棕榈科(Arecaceae)为优势科(10 属及以上);以科所含的种数统计,含优势种的科则有 4 科,分别是桑科(Moraceae)、豆科、天门冬科(Asparagaceae)及棕榈科(10 种及以上)。4 科共有植物 55 种,占全部植物的 18.4%。

表 3 福建省屋顶绿化植物种类中优势科统计

Tab. 3 Statistical results of dominant families of roof greening plants in Fujian Province

科	属/个	种/个	占比/%	
			属	种
豆科	13	13	7.22	4.36
棕榈科	10	12	10.60	4.02
天门冬科	7	13	7.45	4.36
桑科	4	17	4.25	5.70

表 4 福建省屋顶绿化植物种类中优势属统计

Tab. 4 Statistical results of dominant genera of roof greening plants in Fujian Province

属	种/个	占比/%	属	种/个	占比/%
榕属	13	4.36	刚竹属	4	1.34
柑橘属	6	2.01	樟属	4	1.34
木槿属	5	1.68	龙血树属	4	1.34
南鹅掌柴属	5	1.68			

以属所含的种数统计,优势属则有榕属(*Ficus*)、柑橘属(*Citrus*)、木槿属(*Hibiscus*)、南鹅掌柴属(*Schefflera*)、刚竹属(*Phyllostachys*)、樟属(*Cinnamomum*)、龙血树属(*Dracaena*)等 7 个(4 种及以上);7 属共占总属数的 3.33%,共有植物 41 种,占比 13.7%。其中,桑科榕属共有植物 13 种。桑科的植物种类应用虽多,但是属数却较少,仅有榕属为优势属。

根据群落调查法,发现榕树(*Ficus microcarpa*)相对多度为 5.79,三角梅(*Bougainvillea glabra* Choisy)相对频度为 12.43,翠芦莉(*Ruellia simplex* C. Wright)相对盖度为 2.65,分别为乔本、灌木和草本类的优势种,是相对多度、相对频度与相对盖度综合性计算结果最高的植物;三角梅与其他乔木、灌木及草本类的优势种计算差值较大,由此可见,三角梅在福建省屋顶绿化应用中的受欢迎程度(图 1)。

2.2.3 植物多样性分析

福建省不同城市中屋顶绿化植物应用变化情况见图 2。

由图 2 可以看出,各城市屋顶绿化植物应用丰富性的排序为福州市 > 厦门市 > 莆田市 > 泉州市 > 龙岩市 > 三明市 > 漳州市。其中,福州市屋顶绿化应用的植物数量最多,Patrick 丰富性指数最高;漳州市最少,Patrick 丰富性指数则最低。从 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数来看,莆田市均最

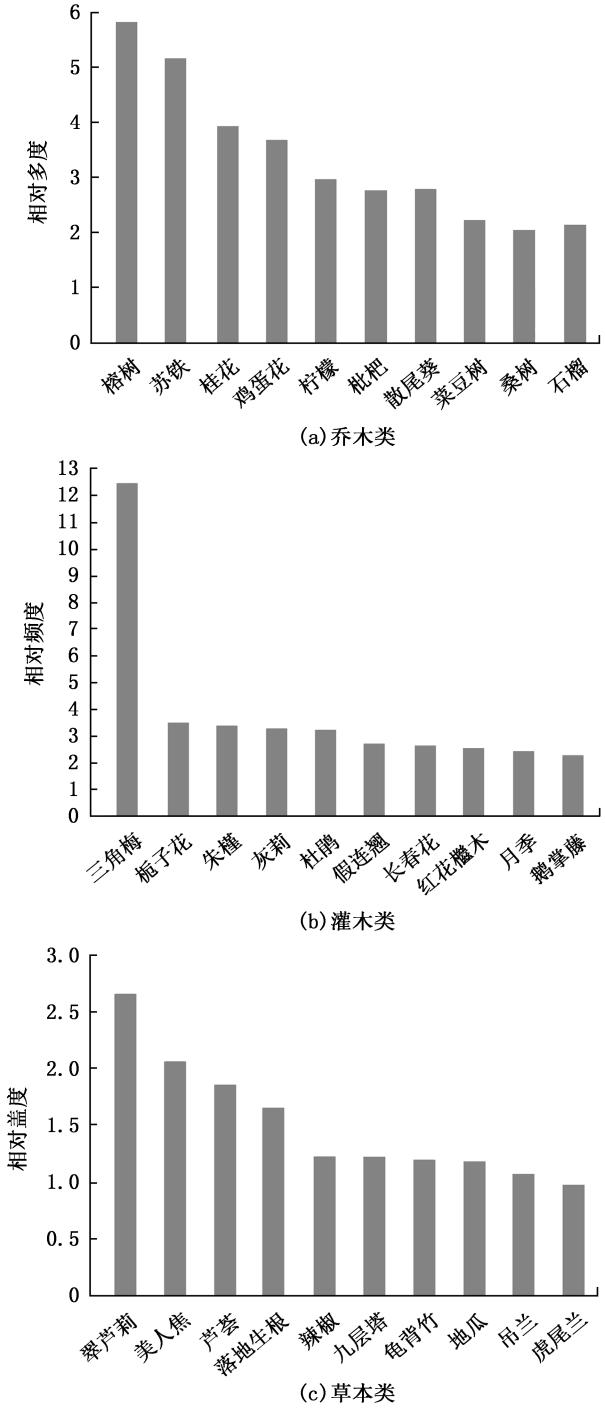


图 1　乔灌草类相对多度、相对频度与相对盖度综合性计算结果排名前 10 位植物

Fig. 1　Top 10 plants of relative abundance, frequency, and coverage of arbors, shrubs, and herbs

高,说明莆田市屋顶绿化植物应用的物种在数量上较为接近,差异较小。

3 存在问题与建议

通过对福建省几个城市主城区的屋顶绿化应用现状的调查,发现不同城市间存在一些共性问题,即缺乏统一的规划设计与管理养护。

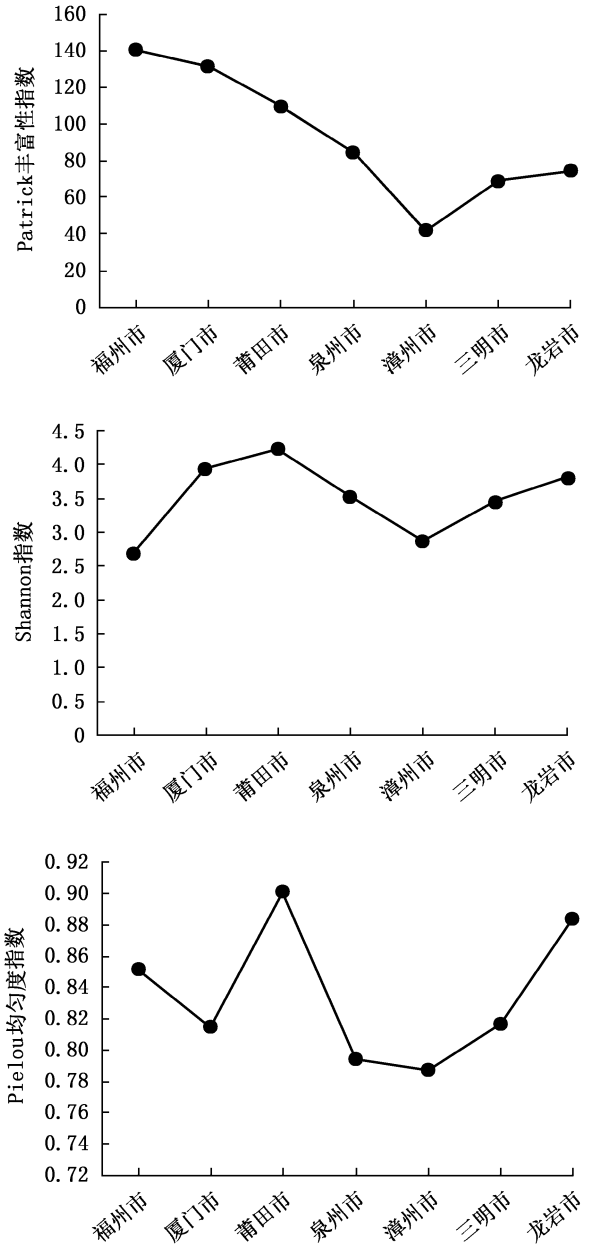


图 2　福建省不同城市中屋顶绿化植物应用变化

Fig. 2　Application changes of roof greening plants in different cities of Fujian Province

1)任意散落的屋顶绿化景观,需统一的标准规范设计和专业人员的维护管理。各地园林绿化行政主管部门应协同有关部门编制有关屋顶绿化设计、养护、景观评价等方面的规范标准,从行业标准的高度来科学合理地规划、建设和管理屋顶绿化景观[9]。

2)屋顶环境条件恶劣,对植物生长不利,不能最大程度地发挥植物景观的表现效果。因此,需筛

选适宜的植物进行专业的栽植与养护。全面系统地梳理养护流程,减少不必要的金钱和时间投入,巩固提高绿化景观效果,方便各个屋顶绿化工程的横向比较及改进,使得养护效果长效化、常态化[5]。

3)各级林业和市政园林部门要做好屋顶绿化的技术指导和服务工作。从调查结果来看,屋顶绿化大多位于居住建筑上。仅就居民区而言,旧居民区的建筑物密集,公共绿化用地较少,绝大部分屋顶景观是由居民自发性的进行设计与管理,绿化点较零散且破碎。因此,相关部门应分区块进行调查与记录并通过举办屋顶绿化咨询、免费发放相关小册子和种植资料等,向大众普及和宣传科学的屋顶植物栽种与养护知识,以形成规范性、科学性、美观性的屋顶景观。

4 小 结

大力发展屋顶绿化,是今后立体绿化的一个重要发展方向。未来福建省将根据不同场地的地理条件及实际需求,综合考虑经济、空间、资源成本等多重元素,制定科学成熟的屋顶绿化方案,以推动福建省屋顶绿化的全面发展[9]。在调查过程中发现了一些优秀的屋顶绿化案例,如福州闽江公园管理处、三明梅园国际酒店化、莆田飞旋新天第小区、厦门国际会议中心、龙岩水韵华都小区等,但其也多是因为商业环境需求而进行的建设管理,仍缺乏整体规模表现效果优秀的屋顶绿化景观斑块。因此,福建省仍需继续积极且深入地开展各地方的屋顶绿化工作,合理设计并处理好屋顶绿化与建筑在实施过程中各环节的配合工作,才能形成景观效果良好的生态屋顶群。

参考文献:

[1] 李翰书,杨志恒,宋良红,等. 郑州市垂直绿化植物的应用调查[J]. 贵州农业科学,2020,48(7):78-81.

[2] 黄瑞,董靓,吴林梅. 基于地理信息技术的成都市屋顶绿化现状调查与分析[J]. 中国园林,2015,31(1):79-82.

[3] THOMPSON J W,SORVIG K. Sustainable landscape construction:A guide to green building outdoors[M]. Washington:Island Press,2000.

[4] LOH S. Living walls-a way to green the built environment [J]. Environment Design Guide,2008(26):1-7.

[5] 翁佳华,梁静. 福建省城市立体绿化标准化现状及发展建议[J]. 质量技术监督研究,2018(5):8-11.

[6] 许贤书. 福建省园林绿化树种区域规划与应用研究[D]. 福州:福建农林大学,2011.

[7] 郑开宇,方永红,魏蓉,等. 广州地区花园式屋顶绿化植物调查分析[J]. 现代园艺,2021,44(10):170-171.

[8] 许彬,张金屯,杨洪晓,等. 百花山植物群落物种多样性研究[J]. 植物研究,2007,115(1):112-118.

[9] 庄晨辉,张惠光,林建丽,等. 福建省城市立体绿化研究[J]. 华东森林经理,2011,25(1):42-46.

责任编辑:陈旭

(上接第 195 页)

[8] 刘健行,彭特,刘华,等. 基于公众感知的乌龙江东岸江滨复合型绿地景观视觉评价[J]. 西北林学院学报,2021,36(2):258-265.

[9] 刘艺平,赵佳伦,李晓敏,等. 基于 AHP 法和 SBE 法的郑州龙子湖公园植物群落景观综合评价[J]. 西北林学院学报,2021,36(2):250-257.

[10] 王晓玥,高欣怡,梁漪薇,等. 基于 SBE 分析法对滨水植物景观的量化研究——以南京滨水公园为例[J]. 中国园林,2020,36(5):122-126.

[11] 杨书豪,谷晓萍,陈珂,等. 国内景观评价中 SBE 方法的研究现状及趋势[J]. 西部林业科学,2019,48(3):148-156.

[12] 税寒秋,尹若西,尹蓝静,等. 基于美景度评价的多肉植物室外景观评价模型构建[J]. 四川大学学报(自然科学版),2019,56(1):182-188.

[13] 段敏杰,王月容,谢军飞,等. 基于美景度评价法的北京城市公园植物景观美学质量评价[J]. 科学技术与工程,2018,18(26):45-52.

[14] 赵秋月,刘健,余坤勇,等. 基于 SBE 法和植物组合色彩量化分析的公园植物配置研究[J]. 西北林学院学报,2018,33(5):245-251.

[15] 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.

[16] 杨阳,唐晓岚,谢楠. 基于公众感知的牛首山风景区人工林植物景观视觉评价[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2018,49(2):199-207.

[17] 王美婷,孙冰,陈雷,等. 广州市典型性城市公园植物景观美景度研究[J]. 浙江农林大学学报,2017,34(3):501-510.

责任编辑:杨竣焓

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 033

基于改进目标进化算法的城市园林 GIS 数据均衡化技术研究

朱海苍,康 骏,杨志伟
(中煤科工重庆设计研究院(集团)有限公司,重庆 渝中 400016)

摘要:传统城市园林 GIS 数据均衡化处理技术忽略了对调整参数的全面寻优,导致部分数据仍存在不均衡问题。为此,提出基于改进目标进化算法的城市园林 GIS 数据均衡化技术。针对城市园林 GIS 数据,结合 SMOTE 算法与遗传算法,形成一种新的改进目标进化算法——GSA 算法,对 GIS 数据完成二次采样,通过鸡群算法求解目标函数最优解,以此得到多个最优调整参数,使图像灰度分布更加均匀,实现城市园林 GIS 数据均衡化处理。实验结果表明,与传统技术相比,改进目标进化算法的 GIS 数据均衡化效果更好,证明该技术具有理想应用性能。

关键词:改进目标进化算法;城市园林;GIS 数据;均衡化技术;GSA 算法;鸡群算法

中图分类号:S731. 2;P208;S711 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0201-06

引文格式:朱海苍,康骏,杨志伟. 基于改进目标进化算法的城市园林 GIS 数据均衡化技术研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):201-206. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 033

ZHU Haicang, KANG Jun, YANG Zhiwei. Data Equalization Technology of Urban Landscape GIS Based on Improved Objective Evolutionary Algorithm[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(5): 201-206. doi: 10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 033

Data Equalization Technology of Urban Landscape GIS Based on Improved Objective Evolutionary Algorithm

ZHU Haicang, KANG Jun, YANG Zhiwei
(CCTEG Chongqing Engineering (GROUP) Co., Ltd., Chongqing 400016, China)

Abstract: The traditional urban landscape GIS data equalization processing technology ignores the comprehensive optimization of the adjustment parameters, which leads to the imbalance of some data. Therefore, a data equalization technology of urban landscape GIS based on improved objective evolutionary algorithm was proposed. A new objective evolutionary algorithm——GSA algorithm was formed by combining SMOTE algorithm and genetic algorithm for urban landscape GIS data. The secondary sampling on GIS data was completed, and the optimal solution of the objective function was solved through chicken swarm algorithm to get more optimal adjustment of parameters, making the image gray scale distribution more uniform and realizing the city garden equalization processing of GIS data. The experimental results showed that compared with the traditional technique, the GIS data equalization effect of the proposed technique was better, which proved that the proposed technique had ideal application performance.

Key words: improved objective evolutionary algorithm; urban landscape; GIS data; equalization technology; GSA algorithm; chicken swarm algorithm

收稿日期:2022-04-18.

第一作者:朱海苍(1982-),男,四川大竹人,硕士,高级工程师. 从事建筑技术和信息技术管理工作.

责任作者:杨志伟(1993-),男,甘肃人,硕士,助理工程师. 从事城市规划及建筑设计研究.

随着社会经济的发展,城市化进程不断加快,城市人口不断增多,因此导致了一系列城市污染问题,如雾霾、热岛效应、水污染等。为缓解城市污染问题,城市园林建设必不可少,不仅如此,园林建设可美化城市环境,为人们提供休闲娱乐场所。为更好地建设城市园林,需要通过 GIS 实时获取城市园林 GIS 数据[1]。GIS 数据,即空间地理数据。通过城市园林 GIS 数据可明确园林建设范围、园林植物种类、园林时空变化规律等。然而,GIS 采集到的数据受各种因素的影响,经常导致数据不均衡,直接影响到数据分析的准确性和效率性[2]。

为优化 GIS 数据的均衡化处理效果,相关领域学者已取得了一些较好的研究成果。曹鹏,李博,栗伟等人提出一种基于 K 近邻和粒子群优化的不均衡数据处理算法,该方法通过优化算法来求解以不均衡数据分类评价准则作为目标的函数,从而得到最优的重采样倍率,以此实现数据均衡化。赵伟则针对遥感图像 GIS 数据,利用一种新型的启发式算法对图像进行均衡化增强处理,使处理后的图像灰度分布更加均匀,提高了图像的对比度和图像细节程度。余发军,刘义才利用改进的粒子群算法设计了一类新颖的灰度图像增强方法,实现了在直方图均衡化的基础上进一步改进图像质量,平衡图像灰度系数。

虽然目前该领域的研究成果有很多,但这些研究均只针对一种类型的 GIS 数据进行研究,具有一定的局限性。本文在前人研究的基础上,利用两种改进目标进化算法,分别对 GIS 数据和 GIS 图像进行均衡化处理,以提高后期 GIS 数据利用率,提高 GIS 数据分析质量,为城市园林建设提供可靠依据。

1 城市园林 GIS 数据重采样

在城市园林 GIS 数据类型后期分析过程中,需保证各类样本数量之间保持在同一水平上才能使分析结果满足要求。然而,实际情况下城市园林 GIS 数据样本类型很难保持均衡。数据均衡化是指增加少数类样本或者减少多数类样本,使不同类型数据样本数量大致相同[3]。由上述描述可知,GIS 数据均衡化问题即解决数据样本的不平衡问题,而样本的不平衡问题的最有效解决方式就是重采样,采用的方法包括决策树、支持向量机(Support Vector Machine,SVM)、k 近邻(k-Nearest Neighbor,k-NN)等,但这些方法在不断产生新的 GIS 样本数据过程中并不能改变原有样本分布的外围轮廓特征,这就意味着对分类问题中分类边界的影响比较小[4]。基于上述传统方法存在的问题,本研究将 SMOTE 算法与遗传算法结合在一起,形成一种新的改进目标进化算法,对城市园林 GIS 数据类型的数据进行均衡化处理。

1.1 SMOTE 算法

SMOTE 算法,英文全称 Synthetic Minority Oversampling Technique,中文为基于人工合成样本的过采样算法[5]。该算法具体过程如下:

步骤 1:假设有一个少数类 GIS 数据样本 Smin,通过 K-最近邻算法在数据集中搜索其到全体样本集中最近的另外 k 个样本。K-最近邻算法基本流程如下:

step1:输入 GIS 数据样本集;

step2:对 GIS 数据样本进行去噪、清洗、降维等预处理;

step3:从 GIS 数据样本集中随机选取一个测试样本点;

step4:计算测试样本点到 GIS 数据样本集中其他每个样本点的距离。计算公式有 3 种:

1)欧式距离:

$$D(x,y)=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)^2} \tag{1}$$

2)曼哈顿距离:

$$D(x,y)=\sum_{i=1}^{n}|x_i-y_i| \tag{2}$$

3)闵可夫斯基距离:

$$D(x,y)=\sqrt[p]{\sum_{i=1}^{n}|x_i-y_i|^p} \tag{3}$$

式中:x 和 y 为两个 n 维向量。

step5:根据计算出来的距离,按照从小到大的顺序进行排序;

step6:选择出距离测试样本点最近的 k 个点,即得到 k 个样本;

step7:根据少数服从多数的原则,完成样本分类。

步骤 2:根据样本分类结果,确定 GIS 数据样本集中各类别数据样本的不平衡比例。

步骤 3:根据不平衡比例设置一个少类样本的采样倍率。

步骤 4:从少数样本集中循环选择样本,记为 x_i。

步骤 5:对 x_i 的 k 个最近邻中的每一个样本按照下述公式构建新的样本。

$$x_{new} = x_i + \text{rand}(0,1) \cdot (x_{old} - x_i) \quad (4)$$

式中:rand(0,1)为(0,1)的随机常数。

步骤 6:将新样本与原有少数样本进行混合,生成新的样本,使样本数量与 GIS 数据集中其它样本数量相同[6]。

1.2 遗传算法

遗传算法[8-9]是在达尔文进化论的基础上衍生出来的一种算法,优者胜利、劣者淘汰,最终留下来的都是优秀的基因,因此,遗传算法也可以说是目标进化算法[7]。该进化算法基本流程如图 1 所示。

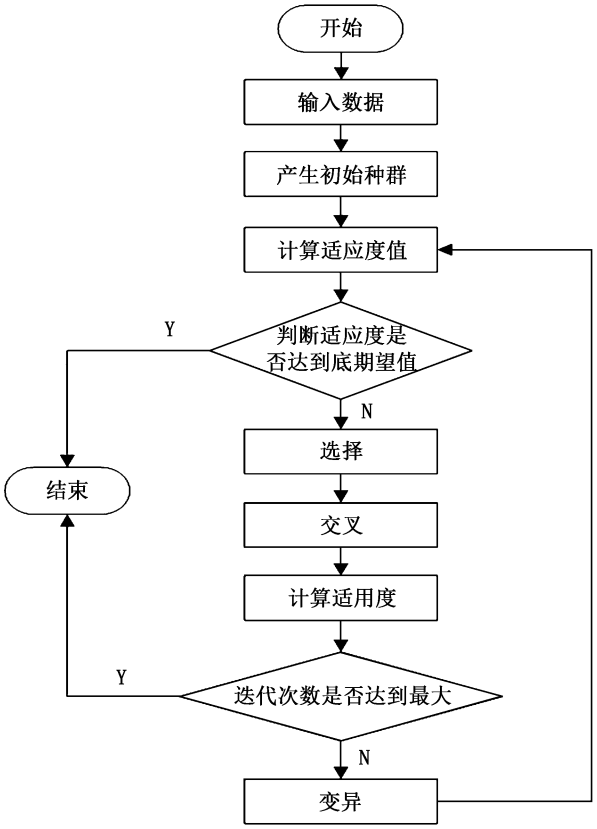


图 1　遗传算法基本流程

Fig. 1　Basic flow of genetic algorithm

1.3 基于 GSA 算法的 GIS 图像重采样

基于上述研究的两种单一算法,在本章节将两种算法集合在一起,构成改进的目标进化算法——GSA 算法。该算法对不平衡 GIS 数据样本进行均衡化的具体过程如下:

步骤 1:输入原始 GIS 数据样本,并设置合成新样本的数量以及循环变量。

步骤 2:对 GIS 数据样本进行预处理。

步骤 3:判断循环变量是否等于合成新样本的数量? 若等于,则结束操作,否则,则进行如下操作:

Step1:进行遗传算法中的选择操作,选中待重构的少数类样本;

Step2:从待重构的少数类样本邻域中随机选择一个近邻样本;

Step3:判断近邻样本与待重构的少数类样本是否属于同一类别? 若属于同一类别,则利用交叉算子合成新样本,否则利用变异算子合成新样本。

步骤 4:保存合成的新样本,并标记为少数类。

步骤 5:重复执行上述步骤,直至循环变量等于合成新样本的数量,算法结束,得到若干个新样本。

步骤 6:将合成的新样本添加到原始 GIS 数据样本中,得到均衡化后的 GIS 数据集。

2 基于鸡群算法的城市园林 GIS 数据均衡化的实现

在采集过程中,GIS 图像受到光线、自然天气以及采集设备本身的影响,图像像素分布并不均衡,严重影响到后续图像识别的准确性和效率,因此需要对 GIS 图像进行均衡化处理,使增强后的图像灰度分布更加均匀[10]。在此采用鸡群算法进行城市园林 GIS 图像均衡化处理,其基本原理框架如图 2 所示。

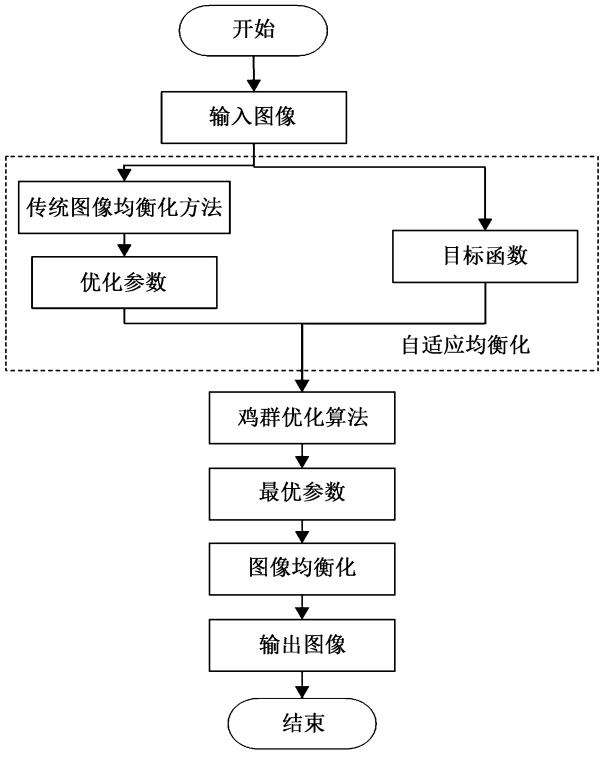


图 2　基于鸡群算法的城市园林 GIS 图像均衡化处理

Fig. 2　Image equalization of urban landscape GIS based on chicken swarm algorithm

2.1 GIS 图像均衡化的目标函数

GIS 图像均衡化的目标函数是一个以图像灰度信息熵为目标的方程,公式表达式为:

$$S = -\sum_{i=0}^{l-1} p_e(i) lb[p_e(i)] \tag{5}$$

式中:$p_e(i)$为像素值为 i 的概率;lb 为图像的灰度级数目,取值为 256[11]。

2.2 鸡群算法求解目标函数

鸡群算法是改进目标进化算法中的一种。利用该算法对上述公式进行求解,具体过程如下:

步骤 1:输入原始 GIS 图像。

步骤 2:颜色空间转换,即 RGB 空间与 YUV 空间之间的转换[12]。转换公式为:

$$\begin{cases} Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ U = 0.147R + 0.289G + 0.436B \\ V = 0.615R + 0.515G + 0.100B \end{cases} \tag{6}$$

$$\begin{cases} R = Y + 1.14V \\ G = Y - 0.39U - 0.58V \\ B = Y + 2.03U \end{cases} \tag{7}$$

步骤 3:利用不同尺度的高斯函数滤波器对 GIS 图像进行滤波,去除噪声,公式表达式为:

$$R(x,y) = \sum_{i=1}^{N} w_i \{\log I(x,y) - \log[f_i(x,y) \cdot I(x,y)]\} \tag{8}$$

式中:$f_i(x,y)$为不同尺度的高斯函数滤波器;N 为高斯核的个数;w_i 为对应的权重;$R(x,y)$为滤波后的图像[13-14]。

步骤 4:对滤波后的 GIS 图像进行 Tetrolet 变换[15],得到高频分量系数。

步骤 5:参数设置,包括鸡群的规模、维度[16]。

步骤 6:计算初始化鸡群的位置,计算公式为:

$$x_{ij} = \text{rand}(p_j - L_j) + L_j \tag{9}$$

式中:p_j、L_j 分别为个体所处位置在第 j 维空间取值的最大值和最小值;x_{ij} 为第 i 个个体在第 j 维空间的取值;rand 为 0 到 1 之间的随机数[17]。

步骤 7:基于上述步骤,对高频分量系数进行非线性处理,公式表达式为:

$$\widetilde{Q}_k^l(i) = \begin{cases} 0, Q_k^l(i) < T_k^l \\ f[\overline{Q}_k^l(i)] \geqslant T_k^l \end{cases} \tag{10}$$

式中:$\widetilde{Q}_k^l(i)$ 为非线性处理后的高频子带系数;T_k^l 为第 l 个尺度上第 k 分量中选取的阈值[18];l 为尺度;k 为高频子带索引。

步骤 8:利用 Tetrolet 进行重构[19]。

步骤 9:Gamma 校正,校正公式为:

$$R'(x,y) = [R(x,y)]^{\frac{1}{r}} \tag{11}$$

式中:$R'(x,y)$为校正后的图像;r 为校正参数,大于 0。

步骤 10:计算种群位置的适应度值[20]。

步骤 11:基于上一步骤结果划分种群中个体种类。

步骤 12:位置更新[21],更新公式如(9)、(12)和(13)。

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) \cdot [1 + \text{Randn}(0,d)] \tag{12}$$

式中:Randn(0,e)是均值为 0、标准差为 d 的随机数。

步骤 13:个体适应值更新。

步骤 14:是否满足子群的种类更新代数?满足,则更新子群个体成员之间的关系;否则,则回到步骤 10。

步骤 15:是否满足最大迭代次数?若不满足,则继续迭代。若满足,则输出最优参数,包括非线性调整强度系数 k、非线性调整系数 a 和非线性调整偏移系数 b,并通过下述公式进行非线性调整[22]。

$$f(x) = k\text{sgn}(x) \frac{1}{1 + e^{-ax}} + b \tag{13}$$

式中:x 为高频子带系数;sgn(x)为系数的符号。

步骤 16:图像重构。

步骤 17:Gamma 校正[23],得到均衡化的 GIS 图像。

3 仿真实验分析

为验证所研究的基于改进目标进化算法的城市园林 GIS 数据均衡化技术的有效性,在 MATLAB 2017 b 平台上进行仿真测试。测试包括 GIS 数据测试和 GIS 图像测试两部分。

3.1 实验准备

3.1.1 实验数据

实验所需要的 GIS 数据如表 1 所示。

表 1 GIS 实验数据

Tab. 1 Experimental data of GIS

GIS 数据样本	样本数量	特征数目	少数类	多数类
样本 1	1665	3	69	656
样本 2	5469	9	354	6565
样本 3	4365	7	284	5422
样本 4	6146	8	401	5781
样本 5	4652	5	350	3548
样本 6	534	3	52	554

3.1.2 参数设置

GSA 算法参数设置见表 2。

表 2　GSA 算法参数设置

Tab. 2　GSA algorithm parameters

名称	参数	名称	参数
种群大小	8.00	最大终止代数	30.00
交叉概率	0.85	终止遗传代数	100.00
变异概率	0.10	近邻样本数量	7.00

3.1.3 实验图像

试验图像如图 3 所示。

图 3　实验 GIS 图像

Fig. 3　Experimental GIS images

3.2 不同技术的应用性能测试

鸡群算法参数设置见表 3。

表 3　鸡群算法参数设置

Tab. 3　Parameters of chicken swarm algorithm

名称	参数	名称	参数
鸡群大小	10.00	阈值系数	0.50
公鸡的比例	0.15	子群更新代数	5.00
母鸡的比例	0.70	最大进化代数	50.00
小鸡的母鸡比例	0.50	高斯函数滤波器尺度	250/80/20
维数	4.00		

GIS 图像均衡化评价指标包括熵(E)、标准差(Std)、均亮度(ML)3 个。计算公式为:

1)信息熵(E)

$$E = -\sum_{m=0}^{L-1} T(m)\log_2 T(m) \tag{14}$$

2)标准差(Std)

$$\mathrm{Std} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^{L}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}[f^l(i,j) - \bar{f}^l]}{\mathrm{LMN}}} \tag{15}$$

3)均亮度(ML)

$$\mathrm{ML} = \frac{\sum_{l=1}^{L}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} f^l(i,j)}{\mathrm{LMN}} \tag{16}$$

式中:$T(m)$是指灰度级 m 在整幅图像灰度值中出现的概率;M、N 为影像的行列像素数;L 表示灰度级范围;f^l 为(i,j)位置处的灰度值;$\bar{f}^l$ 为灰度平均值。

信息熵越大,标准差越小,均亮度越大,像素分布越均匀,均衡化效果越好。

相同仿真条件下,利用引言中提到的赵伟法,王旖旎法对 GIS 图像进行均衡化处理,统计信息熵(E)、标准差(Std)、均亮度(ML)3 个指标,不同技术下各项指标统计结果如表 4 所示。

表 4　不同技术下信息熵、标准差、均亮度统计

Tab. 4　Statistical results of information entropy, standard deviation and average brightness

技术	信息熵(E)	标准差(Std)	均亮度(ML)
改进目标进化算法	4.658	36.31	154.290
K 近邻和粒子群优化算法	3.859	55.15	130.460
改进量子进化算法	3.968	51.95	149.251

从表 4 可以看出,采用改进目标进化算法,信息熵更大、标准差更小、均亮度更大,由此说明基于改进目标进化算法的城市园林 GIS 图像均衡化在技术上是有效的。

4 结　论

为更好地掌握城市园林时空变化情况,GIS 技术被广泛应用,因此产生了很多 GIS 数据。为此,本研究进行基于改进目标进化算法的城市园林 GIS 数据均衡化技术研究。该研究通过仿真测试,证明了本方法无论在 GIS 数据还是 GIS 图像处理上均得到良好的均衡效果,且与其他方法相比表现更为优秀,证明了改进目标进化算法的有效性。

参考文献：

[1] 李发明,李娜,王婷婷,等. 基于 BD-GIS 耦合模型的北京奥林匹克森林公园景观优化策略研究[J]. 中国园林,2020,36(1):65-69.

[2] 刘慧民,宫思羽,邹铁安,等. 基于 GIS 技术规划城市节水型绿地系统的研究[J]. 农业工程学报,2019,35(6):287-295.

[3] 钟昌康. 基于 K 近邻和粒子群优化的特征选择算法[J]. 现代计算机,2020(9):21-24.

[4] 余发军,刘义才. 基于改进量子进化算法的稀疏特征提取方法[J]. 北京理工大学学报,2020,40(5):56-62.

[5] 李国和,张腾,吴卫江,等. 面向机器学习的训练数据集均衡化方法[J]. 计算机工程与设计,2019,40(3):812-818.

[6] 张宗堂,王森,孙世林. 一种针对不平衡数据分类的集成学习算法[J]. 山东大学学报（工学版),2019,49(4):32-37.

[7] 向伟,王新维. 基于多类邻域三支决策模型的不平衡数据分类[J]. 计算机科学,2020,47(5):111-117.

[8] 苏俊宁,叶东毅. 基于样本密度峰值的不平衡数据欠抽样方法[J]. 计算机应用,2020,40(1):83-89.

[9] 张忠林,曹婷婷. 基于重采样与特征选择的不均衡数据分类算法[J]. 小型微型计算机系统,2020,41(6):209-215.

[10] 徐玲玲,迟冬祥. 面向不平衡数据集的机器学习分类策略[J]. 计算机工程与应用,2020,56(24):18-33.

[11] 赵春丽,董静薇,徐博,等. 融合直方图均衡化与同态滤波的雾天图像增强算法研究[J]. 哈尔滨理工大学学报,2019,24(6):97-101.

[12] 赵爱玲,张鹏程,杨一鸣,等. 改进的直方图均衡化与双边滤波的 X 射线图像对比度增强算法[J]. 中北大学学报(自然科学版),2020,41(6):90-96.

[13] 林昌,陈武,周海峰. 基于全局亮度自适应均衡化的海上图像带色彩恢复的多尺度 Retinex 算法[J]. 科学技术与工程,2020,20(33):209-214.

[14] 王小春,葛雨凡,杨晨箫,等. 基于多尺度几何分解的光照不均图像增强方法[J]. 数学的实践与认识,2019,49(21):151-158.

[15] LV M. Agricultural climate change and multilingual GIS database translation system based on embedded database and artificial intelligence[J]. Arabian Journal of Geosciences,2021,14(11):1-20.

[16] 车森,杨辉,葛磊,等. 一种面向在线地图叠加的 GIS 数据几何校正方法[J]. 测绘科学技术学报,2020,37(4):95-98,107.

[17] 魏芬娟,陈崇成,叶晓燕,等. 森林资源调查与督查的移动 GIS 研发及应用[J]. 计算机工程与应用,2020,56(6):237-244.

[18] 董秀军,许强,佘金星,等. 九寨沟核心景区多源遥感数据地质灾害解译初探[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2020,45(3):119-128.

[19] JAKOVLJEVIC G,GOVEDARICA M,ALVAREZ-TABOADA F. Waterbody mapping: a comparison of remotely sensed and GIS open data sources[J]. International Journal of Remote Sensing,2019,40(7-8):2936-2964.

[20] ASHTEKAR A S,MOHAMMED-ASLAM M A,MOOSVI A R. Utility of normalized difference water index and GIS for mapping surface water dynamics in sub-upper krishna basin[J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing,2019,47(8):1431-1442.

[21] 夏小科,贾庆仁,杨泉,等. 一种面向三维 WebGIS 的空间数据加载优化方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2020,45(12):172-179.

[22] MOHAMED S A. Application of satellite image processing and GIS-Spatial modeling for mapping urban areas prone to flash floods in Qena governorate,Egypt[J]. Journal of African Earth Sciences,2019,158:1-103507.

[23] 史北祥,杨俊宴. 基于 GIS 平台的大尺度空间形态分析方法——以特大城市中心区高度、密度和强度为例[J]. 国际城市规划,2019,34(2):111-117.

责任编辑：许易琦

(上接第 130 页)

参考文献：

[1] 克德尔汗,吴金莲. 新疆夏尔希里自然保护区生态质量评价研究[J]. 新疆环境保护,2008,30(1):25-28.

[2] 赵金发,张宓,郑进烜,等. 云南省自然保护地建设发展研究[J]. 林业调查规划,2020,45(3):69-75.

[3] 国家林业局. 自然保护区自然生态质量评价技术规程:LY/T 1813-2009[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[4] 云南省林业调查规划院生态分院. 永善县五莲峰市级自然保护区总体规划(2021—2030 年)[Z]. 2021.

[5] 国家环境保护局,国家技术监督局. 自然保护区类型与级别划分原则:GB/T 14529—93[S]. 北京:中国标准出版社,1994.

责任编辑：杨竣焓

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.034

城市公园植物群落特征及空间量化评价研究

——以青岛滨海为例

孙宁宇[1,2],唐世斌[1]

(1. 广西大学 林学院,广西 南宁 530004; 2. 莱西市住房和城乡建设局,山东 青岛 266600)

摘要:为了研究城市公园绿化的质量和水平,以青岛滨海为调查对象,对其各公园的植物群落特征和空间量化情况进行评价研究。结果表明,青岛滨海地区各城市公园中植物群落主要由乔木和灌木等小规格植物组成,空间量化分布较单一;大部分植物的胸径小于 35 cm,植物胸径与冠幅和树高之间基本成正相关关系,不同植物群落冠层结构的空隙度和叶面积指数均存在一定差异性;植物群落配置可分为单排、双排及多排 3 种模式,不同模式下的植物生长存在差异性。

关键词:植物群落;空间量化;空隙度;叶面积指数;配置模式;城市公园;青岛滨海

中图分类号:TU986.51;S718.542;S718.557 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0207-05

引文格式:孙宁宇,唐世斌. 城市公园植物群落特征及空间量化评价研究——以青岛滨海为例[J]. 林业调查规划,2023,48(5):207-211,217. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.034

SUN Ningyu, TANG Shibin. Plant Community Characteristics and Spatial Quantitative Evaluation of Urban Parks——A Case Study of Qingdao Coastal Area[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):207-211,217. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.034

Plant Community Characteristics and Spatial Quantitative Evaluation of Urban Parks

——A Case Study of Qingdao Coastal Area

SUN Ningyu[1,2], TANG Shibin[1]

(1. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China;
2. Laixi Bureau of Housing and Urban-Rural Development, Qingdao, Shandong 266600, China)

Abstract: In order to study the quality and level of urban park greening, the plant community characteristics and spatial quantification in each park of Qingdao coastal area were evaluated. The results showed that the plant communities in urban parks were mainly composed of small trees such as arbors and shrubs, and the spatial quantitative distribution was relatively single; the DBH of most plants was less than 35 cm, and there was a positive correlation between DBH and crown width and tree height, and there were some differences in porosity and leaf area index among different plant communities; plant community configuration could be divided into three modes of single row, double row and multi row, and the growth of tree species under different modes was also different.

Key words: plant community; spatial quantification; porosity; leaf area index; configuration mode; urban park; Qingdao coastal area

收稿日期:2022-04-13.

第一作者:孙宁宇(1996-),男,山东淄博人,助理工程师. 主要研究方向为风景园林.

责任作者:唐世斌(1963-),男,重庆梁平人,硕士,副教授,硕士生导师. 研究方向为风景园林建筑工程与规划设计.

近几年,随着城市化进程的加快,城市公园成为人们主要的休闲活动场所。公园绿化质量和水平的高低,不仅关系到人们的直观感受,同时也对其自身发展的生态效益、景观效益和社会效益具有很大影响[1]。城市公园绿化质量和水平的提高离不开对植物群落特征及其空间分布研究。通过研究所在地植物群落特征和空间分布状况,有助于对当地绿植种类的确定,有助于美化城市环境,提高人居环境质量,促进城市发展[2]。

国内外对城市公园植物群落方面的研究较多,其中一方面主要是针对许多景观,通过对植物群落特点和空间量化进行讨论,从而进一步总结出适合当地景观发展的植物群落分布结构,提高景观的土地利用率[3]。另一方面是通过研究当地土壤、空气及水分等影响植被生长的因素,结合当地植被生长状况,对适宜当地种植的植物提出规划[4]。国内外对植物群落的研究,不论是对当地景观设计方面还是城市绿化建设方面均具较高的参考价值[5]。

本研究在以往对城市公园植物群落相关研究的基础上选取青岛滨海地区为研究对象,对其各景观植被进行研究,进一步分析其植物群落特征和空间量化情况,为城市公园绿化质量和水平的进一步提高提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 调查对象

研究调查对象为青岛滨海绿地植物群落中的不同样本树种。

1.2 实验方法

1.2.1 调查取样

以样方调查法为主,在典型取样法的基础上获取 41 个样地。对每个样地通过随机采样的方式进行乔木或灌木样方设置[6]。在尽可能地包含更多植物观测对象的前提下,利用皮卷尺划分出面积约 400 m^2 的样方。测量误差尽量小于 0.02,以此保证样方的代表性和有效性[7]。利用卷尺和皮尺对样方内植物观测对象的品种、高度、冠幅、胸径,盖度及健康状况进行数据采集,同时对各景观植物群落的数量进行数据统计[8]。

1.2.2 数据的计算分析

通常,树冠交接下的植物群落最占据空间用以自身生长。然而在现实中,植物群落冠层结构相互叠加反而会对其生长起积极作用[9]。经调查发现,植物群落空间经常存在重叠[10]。因此,按照样本植物大小和树冠的作用范围,采取竞争指数(Cl)、植物自身发展状况和植物群落叠加系数作为讨论和分析植物群落的量化指标[11],计算公式为:

$$K(\%) = \frac{S_1}{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{CSA}_i} \times 100\% = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{CSA}_i - S_2}{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{CSA}_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中:K 为树冠叠加系数;CSA_i 为第 i 颗树种的树冠表面积;S_1 为树冠总重叠面积;S_2 为树冠投影面积[12]。

邻体竞争采用 Hegyi 所提出的竞争指数来评价,利用样本数量为中心 3.05 m 半径范围内的植物个体来控制邻体位置,表达式为:

$$\mathrm{Cl} = \sum_{j=1}^{n} \frac{d_j}{d_i} / L_{ij} \quad (2)$$

式中:Cl 为竞争指数;d_j 为对象木胸径;d_i 为竞争木胸径;L_{ij} 为对象木和竞争木之间的距离[13]。

2 结果与分析

2.1 植物群落空间量化分析

对植物应用分类的调查统计结果,青岛滨海各景观植物种类分布如图 1 所示,各景观植物生活型分布如图 2 所示。

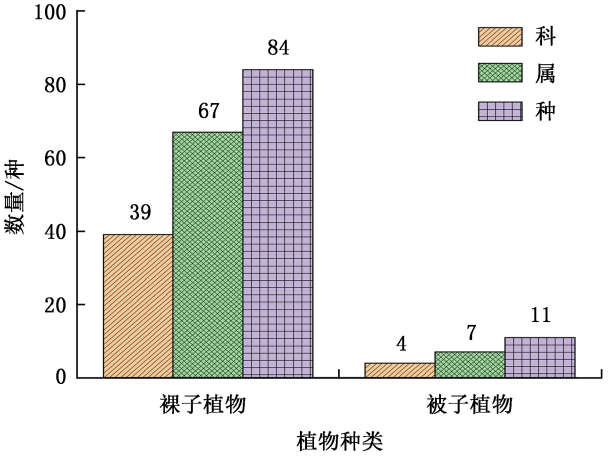


图 1 青岛滨海各景观植物种类分布

Fig. 1 Distribution of plant species in Qingdao coastal landscapes

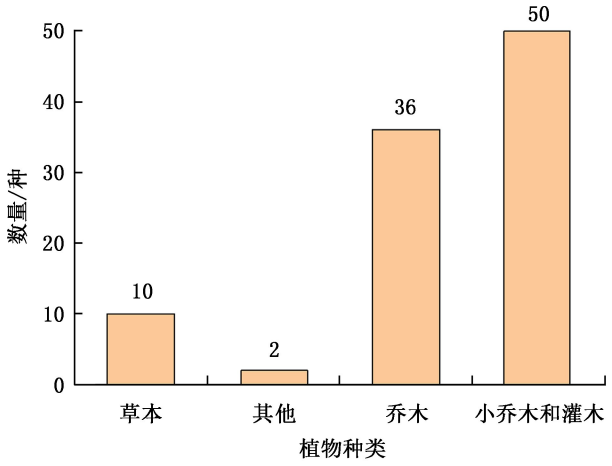


图 2　青岛滨海各景观植物生活型分布

Fig. 2　Life form distribution of plants in Qingdao coastal landscapes

从图 1、图 2 可以看出,青岛滨海植物群落中主要由裸子植物和被子植物组成,不同科、属、种下的裸子植物和被子植物数量相差巨大,裸子植物普遍存在;在植物群落的生活型方面,青岛滨海绿地植物由乔木、小乔木、灌木和其他植物种类组成,其中乔木和灌木占比较大,成为青岛滨海绿地植物群落的主要组成部分。

2.2 植物群落不同个体生长特征分析

据调查统计,部分样本植物的胸径梯度组成如图 3 所示。

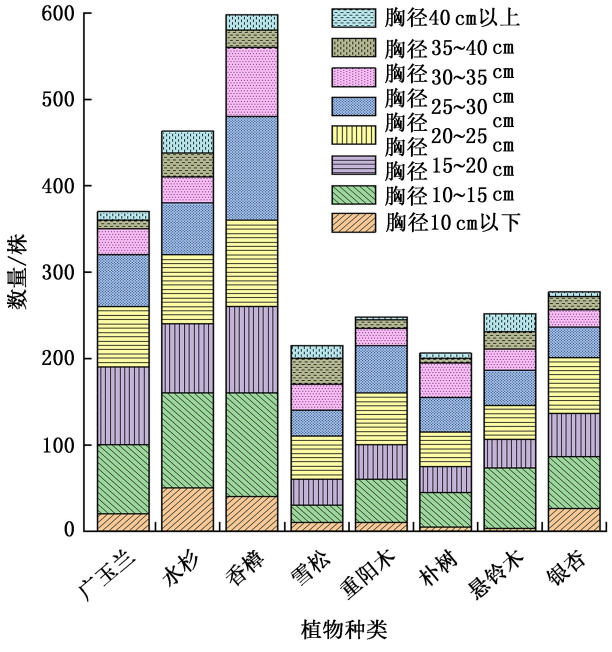


图 3　部分样本植物的胸径梯度分布

Fig. 3　DBH gradient distribution of some sample tree species

从图 3 可以看出,青岛滨海植物群落中,小品种植物数目最多,而且大部分树种的胸径在 35 cm 以下。

2.2.1 植物冠幅尺度分析

样本植物的冠幅和胸径计算公式为:

$$CW = aD + b \quad (3)$$

式中:CW 为冠幅;D 为胸径;a、b 为方程系数。

建立模型得到表 1,通过线性回归方程对样本植物的胸径和冠幅相关数据进行拟合,得到部分样本植物的冠幅与胸径的变化趋势如图 4 所示。其中冠幅的大小与植物水平方向生长有关。由胸径与冠幅的关系模型分析,a 值代表回归直线的斜率[14]。

表 1　部分样本植物的胸径(D)和冠幅(CW)关系模型的建立

Tab. 1　Relationship model between DBH (D) and crown width (CW) of some sample tree species

树种	数量/株	胸径(D)/cm		冠幅(CW)/m		方程系数	
		最小值	最大值	最小值	最大值	a	b
香樟	705	8.3	46.1	2.4	16.4	0.3064	0.2227
水杉	552	8.0	48.2	2.2	6.8	0.0915	1.6884
重阳木	316	8.4	41.3	2.0	13.4	0.2733	0.3187
广玉兰	459	8.2	49.0	4.5	15.2	0.1692	3.6436

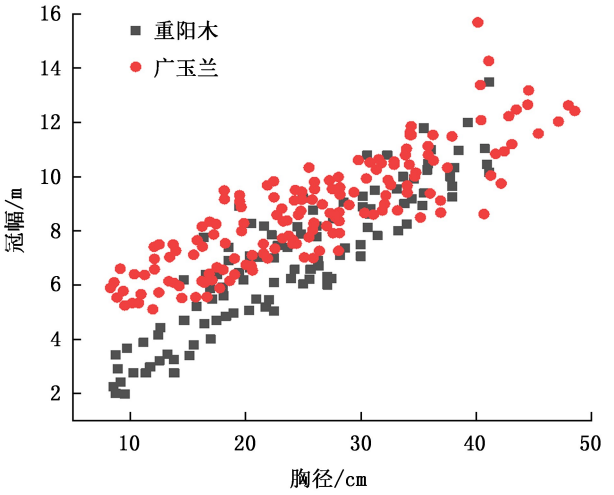


图 4　部分样本植物胸径(D)和冠幅(CW)散点分布

Fig. 4　Scatter distribution of DBH (D) and crown width (CW) of some sample tree species

通过表 1、图 4 可以看出,胸径值越大,冠幅值也变得越大,说明胸径值和冠幅值呈正相关关系,且相关系数数值均高于 0.7。因此可认为,样本植物胸径值和冠幅值之间的线性拟合存在较高精度。

2.2.2 植物树高尺度分析

样本植物的胸径和树高计算公式为：

$$H = aD^b \quad (4)$$

式中：H 为树高；D 为胸径；a、b 为方程系数。

建立模型得到表 2，通过线性回归方程对样本植物的胸径和冠幅相关数据进行拟合分析，得到的部分样本植物的胸径与树高的分布关系如图 5、图 6 所示。

表 2 部分样本植物的胸径(D)与树高(H)关系模型的建立

Tab. 2 Relationship model between DBH (D) and tree height (H) of some sample tree species

树种	树高(H)/m		方程系数	
	最小值	最大值	a	b
香樟	5.0	9.8	1.9739	0.4623
水杉	6.8	14.2	1.9938	0.5793
重阳木	5.6	11.9	1.6506	0.5646
广玉兰	5.0	13.6	0.7403	0.8409

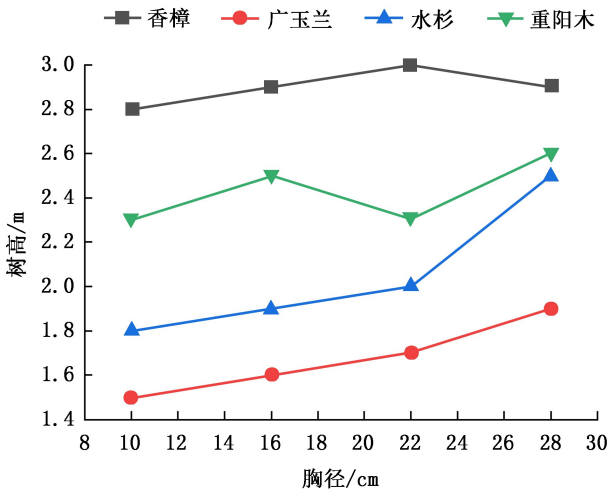


图 5 部分样本植物胸径(D)与树高(H)的关系

Fig. 5 Relationship between DBH (D) and tree height (H) of some sample tree species

由表 2、图 5 和图 6 可知，胸径值越大，树高值也越大，说明样本植物的胸径值和树高值呈正相关关系，且回归系数值大于 0.942。因此，可认为样本植物胸径值与树高值之间的线性拟合存在较高精度。同时，将胸径值引进已建立的回归方程中得出树高的预估值，再对树高实际值和预估值进行方差检验。结果表明，样本植物实际树高值与预估值之

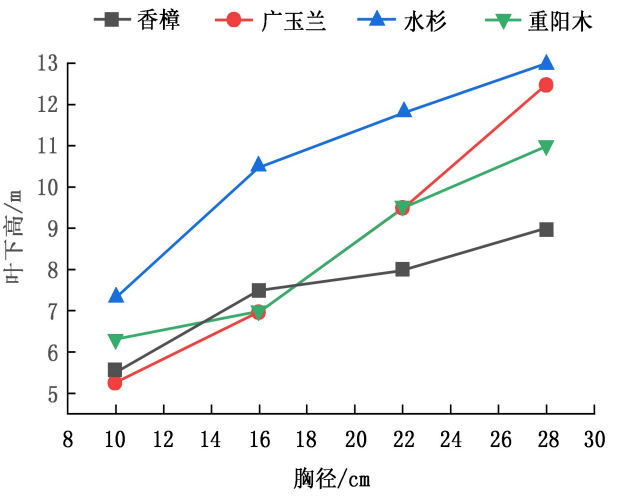


图 6 部分样本植物胸径(D)与叶下高的关系

Fig. 6 Relationship between DBH (D) and under leaf height of some sample tree species

间相差 0.05 左右，差异不明显。因此可认为，对于树高值采用回归方程能够很好地实施预估。

2.3 植物群落结构特征分析

2.3.1 植物群落冠层结构的空隙度

通过选取统一径级的植物群落为参考标准，得出部分植物群落冠层结构的空隙度如图 7 所示。

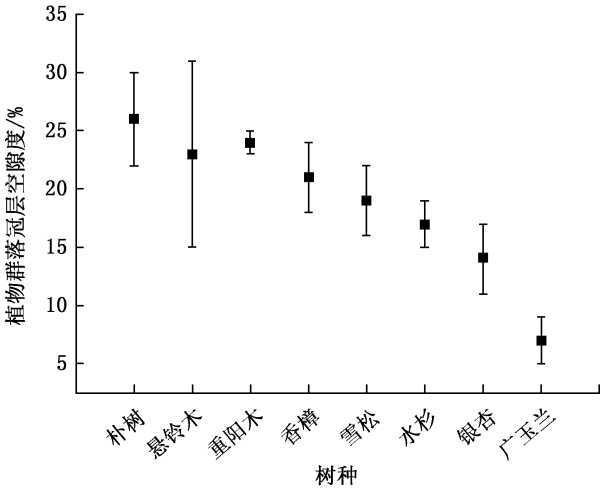


图 7 部分植物群落冠层结构的空隙度

Fig. 7 Porosity of some plant communities

图 7 表明，不同植物群落冠层结构的空隙度的差异性较大，说明青岛滨海当地植物群落不同层级结构上的光获取量存在较大差异。

2.3.2 植物群落叶面积指数

选取统一径级的植物群落为参考标准，得到部分植物群落类型的叶面积指数如图 8 所示。

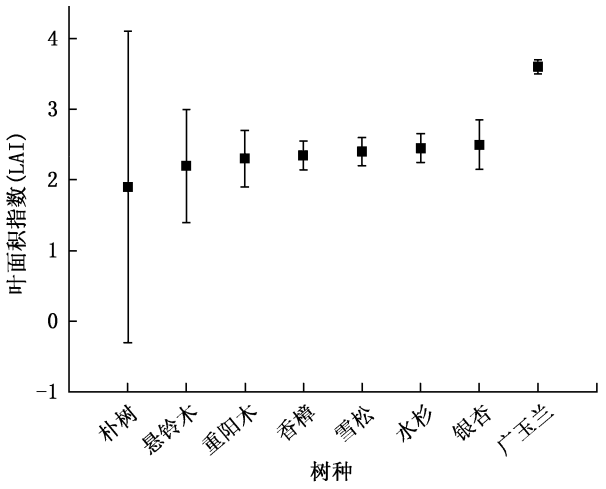


图 8　部分植物群落的叶面积指数

Fig. 8　Leaf area index of some plant communities

由图 8 可知,植物群落叶面积指数总体分布于区间[1.50~3.65]。其中常绿植物群落分布于区间[1.83~3.65];落叶植物群落分布于区间[1.50~3.53]。由此可见,在叶面积指数方面,常绿植物群落的叶面积略高于落叶植物群落。

2.3.3 植物群落空间分布

通过调查分析,青岛滨海植物群落空间配置分为 3 种模式,分别为单排模式、双排模式和多排模式。

1)单排模式

单排模式被发现于线性或带状绿地植被中。对单排模式结构进行研究发现,单排植物群落结构的出现与乔木+灌木的叠加分布和前后分布存在很大联系[15],乔木层的枝下高决定了对灌木品种的选取。对香樟林木进行研究表明,香樟树木的树冠状态与冠幅内部有明显差距,调查发现,相邻的香樟树木水平距离过小,水平冠幅无法正常伸张,从而引起冠幅过度紧闭。然而,因树冠层级数量划分不均匀,垂直冠幅虽然正常发展,但大部分会因偏冠而影响树木垂直生长,从而导致垂直冠幅大于理想冠幅。另外,单排模式下的香樟树冠会由于相邻树木的距离太小而显得过于单一,无层次感。

2)双排模式

平行或叠加的两排乔木其空间分布采用的是双排模式结构。研究发现,双排模式结构总是容易受到水平和垂直两个方向的植物影响,经常会出现树冠叠加和树冠偏移等现象。此外,研究香樟群落时发现,双排模式中的叠加结构相较于平行结构有更充足的生长环境。

3)多排模式

多排模式多发现于林带、绿化植物群落和景区。研究表明,多排模式的植物群落中,树木的水平冠幅因相邻树木间的距离受到限制,冠幅大小增幅相对稳定,且两侧树木和中间树木的差异性较大。这是因为最外侧树木的垂直冠幅无法向中间树木伸展,只能不断向两边伸展,从而导致树冠偏移程度较大,甚至使树木体态发生严重变形。而处于中间区域的树木因两侧有树木阻止其进一步生长,树冠比较整齐,树干也比较笔直。然而,由于两侧树木阻挡自身接受光照,中部树木的枝下高较高。

3 结论与讨论

以青岛滨海为例,对其各大公园植物群落的胸径、冠幅及树高等方面特征和其空间量化分布进行调查研究。结果表明:(1)青岛滨海绿地植物群落主要由乔木和灌木这类小规格的树种组成,在空间分布上略显单一;(2)青岛滨海绿地植物群落中各树种在胸径、冠幅和树高等方面均存在一定差异性,且胸径在一定程度上与冠幅和树高基本可以认为是呈正相关关系;(3)青岛滨海绿地植物群落的各树种之间的冠层结构空隙度和叶面积指数也有较大差异性;(4)青岛滨海绿地的植物群落空间配置分为 3 种模式,每种模型下的树种生长存在一定差异。研究的不足之处在于只对青岛滨海绿地植物群落的较少特征进行研究,且结果只展示了部分样本植物的关系变化。后续将对植物群落其余方面特征进行研究,同时对相关结果进行完善补充。

参考文献:

[1] 李世颖,袁霖,杨学成. 广州城市公园中水生植物景观群落的特征和营造[J]. 广东林业科技,2020,36(2):112-121.

[2] 胡海辉,刘帅,张思琪. 城市公园植物群落小气候效应及人体热舒适度——以哈尔滨三座公园为例[J]. 科学技术与工程,2021,21(23):8.

[3] 宋晨晨,刘时彦,赵娟娟,等. 基于功能特征的城市植物群落生态功能评价[J]. 生态学杂志,2020,34(2):12.

[4] 宋育红,张杭颖,邢建宏. 福建省多花黄精天然群落结构及物种多样性分析[J]. 三明学院学报,2020,37(6):7.

[5] COELHO C G,DALVI L P,MARAL T,et al. Genetic parameters estimation in common bean under weed plant competition[J]. Revista Ceres,2021,68(4):333-342.

(下转第 217 页)

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 035

粮食安全背景下实现食品与生态安全的法律路径

郑慧妮
(河海大学,江苏 南京 211100)

摘要:粮食问题是影响国计民生的要务,粮食安全更是占据重要战略地位,关系到国家的经济发展、社会进步。改革开放以来,粮食供给压力逐渐因迅猛发展的“石油农业”而有所缓解,带来的却是农业面源污染和食品安全事故系统性爆发。耕地被污染破坏,“农药”“激素”等看得见的食品安全问题与“转基因”等看不见的食品安全风险并存,严重危害生态环境与人体系统,亟需通过制定《农药管理法》《转基因食品安全法》等法律法规来进行管制。文章有针对性地对现行法律中存在的立法、监管、责任、防治机制等问题进行构建与完善。针对耕地保护法律对策进行研究,加强粮食农药污染防控的法律应对并找到适合我国转基因食品安全的的立法模式,从而实现粮食安全、生态安全、食品安全的协同可持续发展。

关键词:粮食安全;食品安全;生态安全;农药污染;转基因;法律制度

中图分类号:TS201. 6;X826;D901 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0212-06

引文格式:郑慧妮. 粮食安全背景下实现食品与生态安全的法律路径[J]. 林业调查规划,2023,48(5):212-217. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 035

ZHENG Huini. Legal Path to Realize Food and Ecological Security in Context of Grain Security[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):212-217. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 035

Legal Path to Realize Food and Ecological Security in Context of Grain Security

ZHENG Huini
(Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: The grain issue is an important task affecting the national economy and people's livelihood, and grain security occupies an important strategic position, which is related to the country's economic development and social progress. Since the reform and opening up, the pressure on grain supply has gradually been alleviated by the rapid development of “petroleum agriculture”, but it has brought about a systematic outbreak of agricultural non-point source pollution and food security accidents. Cultivated land is polluted and destroyed, and visible food security issues such as “pesticides” and “hormones” coexist with invisible food safety risks such as “genetically modified”, which seriously endanger the ecological environment and human systems, and urgently need to be controlled through the formulation of *Pesticide Management Law* and *Genetically Modified Food security Law*. This paper constructed and improved the legislation, supervision, responsibility, prevention and control mechanisms in current laws, conducted research on legal measures for cultivated land protection, strengthened the legal response to grain pesti-

收稿日期:2022-03-08.

第一作者:郑慧妮(1995-),女,广东江门人,硕士研究生. 研究方向为民商法学. Email:948985120@ qq. com

cide pollution prevention and control, and found a legislative model suitable for the safety of genetically modified food in China, in order to achieve coordinated and sustainable development of grain security, ecological security, and food security.

Key words: grain secuity; food security; ecological security; pesticide pollution; genetically modified; legal system

当今时代各国依赖性逐渐增强,保障国家粮食乃全球化时代各国之大事,任何事情都可能演变为经济政治问题,保障粮食安全中国不能置身事外。中国的粮食安全以改革开放这个重要分水岭进行划分,改革开放后,我国与其他国家的联系密切加强,科学技术也不断得到进步,实现了粮食供需紧张平衡。90 年代中期以来供求关系由长期短缺变为相对过剩;如今新冠疫情下粮食供需格局又发生了变动。粮食始终很难达到一个供大于求的平衡状态,于是长期以来为了加大粮食产量,维持供需平衡,利益链条上的商户为了减少成本,在利益驱使下,通过垦殖耕地、化肥、农药、激素等共同化学作用造成了农业面源污染,一方面造成环境生态破坏,另一方面食品污染间接地对人体系统造成不可逆的伤害。粮食安全转化为生态安全与食品安全只能成为无奈之选。亟需通过构建法律体系,完善法律制度来进行优化。

1 粮食数量安全与食品质量安全之间的悖论关系

1.1 粮食安全与耕地数量和质量的关系

食品的原料离不开粮食,粮食的生产离不开耕地。粮食的生产能力主要由两个因素决定,一方面是耕地数量,另一方面是耕地质量。据中国科学院国情分析研究小组计算[1],目前北京、上海和天津三大城市人均粮食需求量达 483 kg。假设 2030 年我国总人口数达到 14.5 亿,对粮食的总需求就会达到 7 亿 t。根据中国土地的人口承载潜力研究结论,我国粮食很难保障自给自足,农业科学家袁隆平也曾预测“一旦我们自己生产的粮食连温饱都达到不了,需要大量依靠进口,可能会有人“乘人之危”。”如此之大粮食之需求,我国越来越少的耕地根本无法满足,加之耕地重金属污染日益严重,工业化进程的加快,许多非农建设挤占了耕地,且挤占的耕地大多是熟化度好,产出率高的城郊菜地,剩下的劣质耕地经过再次开垦,耕地质量呈整体下降趋势。其次,有机肥逐渐被化肥所取代,造成肥份比例失调与营养流失,再加之高强度的耕作必然导致耕地质量下降。最后,耕地财产权利制度不完善,管理不到位[2]。由于看不到耕地长期的盈利预期,越来越多的农民收入大多用来农村盖房,农村房地无法买卖与流转,农民向更高的产业转型,导致农村劳动力流失,耕地被掠夺式利用和随意式丢弃。对耕地的不间断与大规模的耕作,会导致土壤肥力下降,进一步引起水土流失和土地荒漠化。水土流失导致土壤里的化肥、农药会进入江河湖海,农业用水水质被严重污染,再用污水灌溉农田,土壤中重金属逐渐积累。据调查显示,曾有 6.7 万hm^2 耕地盐碱化。农业用水污染最重要的影响是食品质量安全得不到保障。用污染的水灌溉农田,使病原体等通过粮食、蔬菜、鱼等食物链迁移到人体内,对人体造成慢性伤害[3]。

1.2 粮食安全背景下看得见的食品问题之石油农业

1.2.1 农药化肥给粮食作物带来的危害

长期以来,石油农业对农业生态系统造成根本性的损害,因其将原本应该依靠太阳能的农业转变为依靠化学矿物的农业,打破了农业生态系统本身的平衡状态。中国是世界上最大的化肥使用国和农药使用国,石油农业中农药是对粮食农作物的顶级杀手。经农药处理过而被挽回拯救的粮食每年数不尽数,农药本身的作用是对病虫害的防治杀毒作用,对于缓解粮食供需矛盾也起到了至关重要的作用。物极必反,随着近年来农村劳动力的流失和全球气候变暖,冬季气温上升导致害虫增加等原因,农药的使用量也在不断增加,农药使用越多,害虫的抗药性越强,加之农民对农药的使用知识缺乏,往往会滥用农药,大规模地使用,不加以节制,或将高剧毒农药用在普通的农作物上。粮食在加工、包装、运输、储存、销售环节都有可能被农药污染,其中农作物种植过程是农药污染最严重的环节,具有特定的成因和机制[4]。种植粮食时农药直接喷洒在粮食农作物上,大面积的喷洒除了粮食作物吸收外,掉落在土壤等周边的农药不仅会对环境造成伤害,粮食作物通过根茎吸收土壤中的农药成分,间接地造成双重污染。肥料是作物的“粮食”,施肥可为作物提供足够

的养分从而提高单产。化肥是保障粮食安全的重要因素,化肥本身无毒素,科学施肥无论对农业生产还是人们的饮食都是有益无害的。

1.2.2 科技进步之动植物激素的应用

除化肥农药对食品安全造成的伤害外,科技进步带来了动植物激素的使用,随着“瘦肉精”“植物生长剂、催熟剂、保鲜剂”等的应用,“表面上”保护了食物品质,实质上正在摧毁着当代人的身体健康系统,是一种“慢性鸦片”。由于一直处于粮食安全压力背景下,“化肥、农药、各类激素”的使用成为无奈之选,“适量”更是难以做到,关键是利益链条上的获益者根本不可能为了大众的食品安全而放弃这来之极易的利益。粮食安全背景下的食品安全问题任重道远。

1.3 粮食安全背景下看不见的食品风险之转基因–饥饿问题救星的美丽误会

大家常常听到转基因,认为其是绿色的,对人身体无影响,但专家也并未说其无负影响,或许其实质是非安全的,因为十几年来尚未发现转基因对人体的危害,但一旦发生危险,这种危害将是不可逆转的。转基因是科学技术的进步,转基因是以不同的方式将各种外源基因插入生物体内,原有基因插入新的基因,插入基因的效应无法完全预测,因此长期服用转基因食品对普通大众的消极影响尚不能预测。转基因技术始于 20 世纪 70 年代初,也就是说,转基因技术的效果目前只在一代人身上有了映射,对子孙后代的影响是捉摸不定的。即使转基因食品无任何生理危害,正常人还会倾向于选择非转基因食品。1998 年,苏格兰食品学家普滋泰教授声称,用转基因土豆喂幼鼠后,其生长发育受阻,内脏免疫系统受到破坏[5]。小动物会受到转基因的伤害,人类会怎样? 当今世界农业科学技术相互竞争,中国作为人多地少的大国,要想保障粮食可持续安全,发展自主产权的转基因技术成为必须的选择。但转基因会造成基因改造,基因改造会导致生物多样性的丧失,生物多样性是品种改良的基础,丧失生物多样性,农民和科学家很难利用不同的物种和基因资源来应对复杂多变的自然环境,防止不可预测的自然灾害,因此,转基因是粮食安全的挑战。

2 粮食安全与生态安全问题

2.1 生态环境对粮食安全的作用机理

保障良好的生态环境是粮食安全的基础。粮食生产和储存均会受到自然因素的影响,气候、水资源、能源、土壤、耕地等均会影响粮食的质量和产量。生态环境的自净能力是有限的,生态环境破坏程度一旦越过临界点,粮食生产和人类其他活动就会受到大自然的报复[6]。随着粮食安全阶段性地发生变化,石油农业向可持续生态农业转变成为必然。王奇等(2013)认为,生态环境与粮食安全之间存在着冲突,数据分析发现,为了保障 2020 年的粮食安全,在现有生产技术不变的条件下耕地施肥量需达到 407.8 kg/hm^2,即使采用测土配方施肥技术也需要施肥 346.6 kg/hm^2,两者均高于环境安全阈值,即我国 2020 年的粮食安全和水环境安全将难以兼得[7]。随着工业化和城镇化成为大势所趋,其典型特征是占用农业用地,对自然生态环境资源进行掠夺式开发,消耗自然资源,排放废气、废水等污染物,严重造成生态环境恶化。生态环境的恶化对粮食作物的产量和质量均造成极大伤害。首先,制约了粮食产量的增加,工业化进程的加快,生态环境的破坏造成水资源与耕地资源的严重污染与失衡,加之我国人口持续增长与耕地面积的不断减少之间的矛盾,粮食产量受到约束。生态环境的恶化导致自然灾害带来的旱灾、水灾、害虫灾等对农业生产也产生不可逆的影响。其次,制约了粮食品质的提升,食品以粮食为原材料,粮食质量受到影响,食品的质量安全也得不到保障。如上述提到农业污染造成土壤中的重金属含量超标,污水灌溉农田,通过食品进入人体内,造成慢性疾病等。

2.2 生态环境污染造成的食品安全问题

生态视角下中国粮食安全面临的主要问题还是食品安全问题。环境污染和食用动植物是造成人类疾病特别是传染性疾病的两大原因,如 2019 年底一直持续至今的新冠病毒感染就离不开因乱捕滥食野生动物这一大原因;禽流感是人类常见疾病,其是由环境污染引起食品安全问题的鲜活例子。因此,控制环境污染、控制食品安全与控制人类疾病密切相关。食品的安全性受环境因素的影响很大。而人与环境关系密切,人类每天需要阳光、新鲜空气、水、食物来维持人体的成长和遗传。人与环境之间的能量传播和交换也需要依靠食物来维持平衡。环境的污染有一个过程,往往由质变到量变,也就是说环境通过大自然的作用自身往往具有自净能力,然而人类过度开发自然资源,破坏生态环境,使大自然不负重荷。党的十九大明确指出“坚持实施大气污染防治行动,打赢蓝天保卫战。”可见水污染和大气污染始终是我国未来防治污染的重点[8]。

2.2.1 生态环境污染之大气污染

由于煤燃料的开始使用,大气污染成为常态。主要来源是煤炭、石油等化石燃料和工业生产。大气污染物对农作物的危害种类也多为二氧化硫、氮氧化物、氯气、氯化氢、汽车尾气、粉尘等。动植物长期暴露在被污染的空气中,可导致发育不良或感染疾病甚至死亡,而人类食物大多来自动植物,这直接影响食品的安全性。以氟化物为例,大气中氟化物对食品的污染主要有生活燃煤污染型和工业生产污染型,在一些寒冷潮湿地区,为了去除湿气,保持温暖,烤火与煤火供给不息,农作物受氟化物的影响,使食品的食用安全性受到影响,被氟化物污染的动植物再次进入食物链,再进入人体内,这本身也是一种食品质量安全的威胁。还有一种人们耳熟能祥的污染物:“酸雨”。首先,酸雨含汞量高,鱼类生活在含汞量超标的淡水湖,通过食物链给人类食品安全带来风险。其次,酸雨流进土壤,使土壤中重金属含量超标,再次酸雨通过食物链传播到粮食蔬菜中,给食品安全带来潜在影响。

2.2.2 生态环境污染之水污染

水是万物之源。我国人多地少,南北水资源分配供需矛盾突出,本身的水资源匮乏加之粮食作物生长对水资源需求的增大,在此基础上的水体污染必然会对粮食作物的产量与质量造成危害。有机和无机化学污染比较常见,可以是化学工业,农业农药,除草剂等。大部分的有机化学物质均带有毒性,一旦流入河流或湖泊中就会污染或毒化水生生物,破坏生态系统。这些有机化学物质在水生物中积累,使被有机化学物质污染的水得不到净化,用污染化学物质的水体灌溉农田,生产出的粮食经过加工成为食品,对人体造成伤害;工业的开采和冶炼过程造成重金属污染,产生工业肥料及电池化学药品等生活垃圾;使用含重金属的水体灌溉农作物,重金属通过水生植物进入食物链,通过鱼类等水产品进入人体。认真解决水污染问题,实现人水的和谐发展,对保证我国食物安全具有重要意义。

3 粮食安全、生态安全、食品安全三者协同发展的法律对策

3.1 耕地质量保护的法律对策研究

耕地的质与量直接关系到粮食等农作物的生产,也是人类、动植物等生存的基础。“质”的方面主要问题是由于农业污染和酸雨等造成的耕地重金属污染超标;“量”的减少主要源于农地弃耕现象越来越普遍,与城镇其他产业相比农业收入过低,“农民增产不增收”,农民不愿意在家种地,导致农地撂荒。故应把耕地保护系列问题纳入法治轨道,以填补法律空白,完善法制建设。耕地质量普遍下降的原因及相应对策主要有以下几方面。

1)耕地的群体大多是农民,农民与耕地的关系密切,农民由于文化程度普遍偏低,不了解土壤中重金属超标等会造成伤害,故应加强农民对耕地重金属污染相关知识的教育,增强其耕地环保意识,此外,应积极培育公益组织,完善耕地环境公益诉讼主体资格问题。因为在诉讼案件中,耕地污染诉讼主体资格要求与案件具有直接的利害关系,但因农村耕地环境公益诉讼制度严格缺乏,广大农民参与环境保护的热情被大大削减。

2)立法先行,制定耕地污染防治立法,我国未出台关于耕地重金属污染的相关法律法规,原因是耕地重金属污染较为隐蔽,只是环境危害的一个很小方面,人们对此不会主动预见,对这方面的立法就显得尤为被动,于是构建耕地污染防治法律体系变得十分重要。

3)制定严格责任机制。严格追究耕地污染法律责任,可借鉴民法对法律责任的要求,谁污染,谁负责,加大污染惩罚力度,严重时环境污染犯罪可入刑,在刑法中确立“土壤污染罪”“耕地重金属污染罪”等,真正起到对违法者警示与打击作用。

4)提高监管水平。耕地污染防治的监管难度不小,土壤中重金属污染具有繁杂性,且耕地具有自净性,人力方面的监管难度有目共睹。故对耕地重金属污染防治需要多部门相互配合,做到职责清晰,更要发挥社会监管作用,加强监管的普遍化与严格化。

3.2 粮食农药等污染防控的法律应对

3.2.1 农药污染法律不足之处

目前大量关于农业、农药方面的法律法规已出台,专门针对农药污染防控的立法有《农药管理条例》这一行政法规,其法律位阶较低,无法扮演《农药管理法》的角色。《农业法》《农产品质量安全法》也对粮食农药污染防控问题有相应的规定,但大多也只是一些原则性的规定,缺乏可操作性,难于有效具体地执行。如《农产品质量安全法》第 25 条,要求生产者合理使用农药等农业投入品,但该规定无详细解释,也无明确相应的法律责任,实践中很难执行[9]。《农药管理条例》再次修订,对假劣农药的惩

罚力度大幅度增加,对新旧法如何适用,《立法法》规定“法不溯及既往”,《刑法》从保护人权的角度规定了“从旧兼从轻”,代表新的条例中更重的惩罚力度不适用新发生的违法行为。笔者认为不能一味地适用旧法,应分阶段适用,选择“从旧兼有利”原则。虽新修订后的法规对惩罚力度有所加大,但对于有关相关责任并未明确对生态环境造成损害的后果与惩罚,生态损害较为隐蔽,短期内无法肉眼察觉,故对当事人并未产生威慑力,对生态环境也未给予本质上的弥补。

3.2.2 农药污染防控的法律应对措施

1)立法先行,应完善农药污染法律体系,在《条例》的基础上制定《农药管理法》,以其为核心,对农药使用的登记、生产、经营、安全使用、污染防治作更具体的规定。

2)建立农药环境影响评价制度,由环保部门根据农药试验结果,对农药可能造成的生态环境影响进行全面评估。

3)改革农药污染监督管理机制,明确赋予环境行政管理部门在防治农药污染中的地位。

4)明晰农药污染的法律责任。法律责任是权利和义务的最后保障。(1)针对修订后的惩罚范围作进一步扩展,不仅要处罚污染违法对农作物粮食等造成的伤害,还要明确对生态环境造成损害的后果与惩罚。(2)对处罚对象资格进行拓展,对企业直接负责人也要进行罚款,采取双罚制;处罚额度在已有的基础上有所提高,发挥处罚的威慑力;处罚方式扩展可以为财产罚,也可以为资格罚。(3)完善农药污染民事与刑事法律体系,当污染程度超过民事处罚限度,可将其列入刑事犯罪,以“破坏环境资源保护罪”定罪。(4)认定时采取主客观相统一的方式,由于使用农药的大多数都是农民,文化程度偏低,农民自己也是农药的受害者,有时并未意识到自己滥用农药,对于不知情,不知道自己使用的是剧毒、禁用农药,造成粮食作物污染破坏的情况可以从轻处罚;对于主观恶性,故意使用过量农药或不匹配农药导致作物遭受破坏的应从重追究责任。如此处罚,对于农民本身也形成了很好的保护机制。针对《农产品质量安全法》第 25 条的“合理使用”,法律应对此作出详细解释,提高法律的可操作性,有助于明确法律责任,便于执行。

3.3 适合我国的转基因食品安全立法模式

3.3.1 我国转基因立法目前存在的问题

针对转基因存在的潜在生态、政治风险,其安全性应通过法律加以保障。目前针对转基因食品的立法屈指可数,面对关乎人类及子孙后代健康的大事,却做不到有法可依。问题之一即转基因科学是及其专业化的产物,针对现有关于转基因规制的法律法规来解读,可以看出立法者呕心沥血地制定出一系列制度设计来保证转基因食品安全,但却忽视了及其重要的一点,转基因的受众群体是普通老百姓,面对如此晦涩难懂的科学术语条文,大众无法欣然接受。问题二乃是立法条文偏重对事前的监督而忽视了事后的救济,截至目前,转基因食品从未发生过危险,一旦发生危险只会无法可依,消费者权益得不到保障,正如“没有惩罚的教育是虚伪的教育,不重视事后救济的法律也是不可能获得尊重的法律[10]。

3.3.2 我国转基因立法的完善

根据转基因食品目前存在的问题,立法可从以下几个方面入手来完善相关制度。

1)制定更高层次的《转基因食品安全法》,相关配套法律法规才有迹可循。在这部最高层次的法律中明确我国对转基因食品产生与进口的态度,制定我国对转基因食品的原则。目前美国是转基因产品出口大国,占领着市场与份额,我国无论是生物技术还是科技均落后于美国,需要依靠转基因大国的技术和产品,美国对转基因食品态度采取“在没有明确态度有证据证明转基因食品有危险,在成分、营养价值和致敏性方面与同类传统食品未存在差异的情况下,反推其是安全的。”我国在立法上对转基因食品应采取目前国际上相对谨慎一些的“风险预防原则”,假定任何未得到科学的安全性证明的转基因食品均可能存在着风险,在此基础上制定相关的具体制度[11]。

2)明确不同机构和部门的职能。转基因食品安全关系到国民健康,是国计民生大事,不容小觑,绝不能由地方行使立法权。

3)由于转基因食品关乎公众健康,故应构建公民监督管道,加强公众参与力度,使转基因食品安全信息变得公开和透明,引入转基因专家论坛、座谈会等,让公众对转基因食品有更进一步的了解,这对我国保障粮食安全具有进步性意义。

4)完善转基因食品生产流通过程的相关制度。如对生产者资格的把关、完善生产许可证制度、过程的把关、过程监控制度、对消费者的知情权负责、食品标识制度、对食品安全事后的预防与补救、食品安全保险制度与司法救济制度等。通过明确转基因食品惩罚性赔偿制度与力度,使转基因食品在每一个

环节都能确保相对安全,是保障我国粮食安全的重要一环。

4 结　语

放眼全世界,粮食危机从未消失,贫富差距问题似乎从未被解决。粮食安全关系全人类命运,中国不能独善其身,参与世界粮食安全管理,有利于推动构建人类命运共同体。粮食安全向左看是食品安全,向右看是生态安全,二者处于同一条坐标轴上,并且相互作用。打破粮食安全与食品安全之间的悖论关系,降低农药等对农业生态环境的伤害,实现粮食的绿色生产,是实现粮食可持续生产的必经之路。通过对粮食安全与食品、生态安全之间的相互作用关系及其存在的问题进行分析,认为针对耕地保护、农药污染防治、转基因立法模式方面的法律制度还需进一步构建与完善,粮食、食品、生态与大众生活密切相关,或许今后的相关法律法规应贯彻"以人为本"的立法理念,更加关注消费者群体的需求,有关部门和人员更应重点解决粮食安全问题这个源头,为食品安全与生态安全未雨绸缪,为我国整体大环境的优化提供保证。

参考文献:

[1] 中国科学院国情分析研究小组. 农业与发展[J]. 资源节约与综合利用,2000(3):3-5.
[2] 余振国,胡小平. 我国粮食安全与耕地的数量和质量关系研究[J]. 地理与地理信息科学 2003,19(3):45-49.
[3] 迟凤玲. 浅淡水污染对我国食物安全的影响及解决对策[J]. 中国食物与营养,2006(5):14-16.
[4] 邢鸿飞,吕汉东. 我国粮食农药污染防控的法律应对[J]. 食品安全质量检测学报,2021,12(10):4263-4268.
[5] 张文. 转基因食品安全法律规制研究[D]. 无锡:江南大学,2009.
[6] 罗春. 论农业生态环境质量现状与改善对策[J]. 环境研究与监测,2008(4):59-60.
[7] 王奇,詹贤达,王会. 我国粮食安全与水环境安全之间的关系初探——基于粮食产量与化肥施用的定量关系[J]. 中国农业资源与区划,2013(1):81-86.
[8] 李涌平. 从环境改变和食品安全谈健康[J]. 人口与发展,2018,24(1):13-17.
[9] 高丽华,岳文俊. 农业清洁生产的法律问题研究[J]. 安徽农业科学,2020,48(13):248-250,267.
[10] 李响. 中国转基因食品立法的困境与出路[J]. 华南师范大学学报(社会科学版),2015(1):139-144,191.
[11] 杨新莹. 我国转基因食品安全立法模式探讨[J]. 贵州农业科学,2011,39(10):192-196.
[12] 王琦,何瑞珍. 郑州市县域土地可持续利用健康性评价[J]. 林业调查规划,2021,46(5):7-14.
[13] 高维全. 陆良县种子植物资源调查与分析[J]. 林业调查规划,2022,46(5):7-14.

责任编辑:许易琦

(上接第 211 页)

[6] CROCCO C D. Setting up an arabidopsis LED culture module that simulates plant neighbor proximity[J]. Methods in Molecular Biology (Clifton, N. J.),2021,2297(25):1-6.
[7] 刘佳,赵春仙,董金义. 青岛市新老城区滨海植物景观比较分析[J]. 山东林业科技,2016,46(1):47-51.
[8] OHTSUKA T, TOMOTSUNE M, ANDO M, et al. Effects of the application of biochar to plant growth and net primary production in an oak forest[J]. forests,2021,12(2):4-5.
[9] URBAN R. Forest service (USFS) update current data on urban ecosystems (Crown width models for woody plant species growing in urban areas of the U. S)[J]. Energy & Ecology,2020,23(3):88-89.
[10] JAMES A, DAVID J, JASON G. Crown width models for woody plant species growing in urban areas of the U. S. [J]. Urban Ecosystems,2020,23(4):78-79.
[11] 赵保国,朱江,艾训儒,等. 水杉原生种群胸径树高与树冠的通径分析[J]. 东北林业大学学报,2021,49(10):16-20.
[12] 朱晋梅,朱光玉,易烜,等. 湖南省栎类次生林冠幅—胸径模型模拟研究[J]. 湖南林业科技,2021,48(3):46-51.
[13] 郝建,贾宏炎,杨保国,等. 柚木冠幅与树高、胸径的回归分析[J]. 西北林学院学报,2019,34(3):144-148.
[14] NING L, ZHAO Y, QIANG Z, et al. Numerical study on windbreaks with different porosity in photovoltaic power plants[J]. Energy Procedia,2019,158(54):45-65.
[15] JENNY N, MICHELLE B, MALIN C, et al. Mercury accumulation in leaves of different plant types——The significance of tissue age and specific leaf area[J]. Biogeosciences,2021,18(23):22-24.

责任编辑:许易琦

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 036

呼和浩特市近 60 年生长季地温变化特征分析

李寅龙[1],刘星岑[2],刘晓敏[2],塞 丫[2],王志楠[2]
(1. 内蒙古蒙草土壤科技有限责任公司,内蒙古 呼和浩特 010070; 2. 呼和浩特市气象局,内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要:为研究气候变化对呼和浩特市生长季地温的影响,使用呼和浩特市 6 个国家气象观测站 1961—2020 年 5~80 cm 土壤不同土层逐月平均温度资料,运用气候倾向率、小波分析、Mann-Kendall 检验等统计方法,分析该地区 60 年地温变化特征。结果表明,呼和浩特市生长季平均地温呈显著升高趋势,增幅为 0. 21~0. 59℃/10 a。不同土层平均地温的年际变化特征也呈上升趋势,经历了“冷—暖”的演变过程。20 世纪 60、70 年代为冷期,80 年代冷暖交替,90 年代至 21 世纪初期为暖期。地温变化普遍具有 5~10 a 周期。5~80 cm 土层平均地温分别在 1990、1986、1986、1988、1998、2005 年发生突变,20 cm 土层平均地温对气候变暖的响应更敏感。

关键词:地温;气候倾向率;小波分析;Mann-Kendall 检验;突变;呼和浩特市

中图分类号:P423. 3;P193 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0218-07

引文格式:李寅龙,刘星岑,刘晓敏,等. 呼和浩特市近 60 年生长季地温变化特征分析[J]. 林业调查规划,2023,48(5):218-224. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 036

LI Yinlong, LIU Xingcen, LIU Xiaomin, et al. Change Characteristics of Soil Temperature during Growing Season in Hohhot City in Recent 60 Years[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):218-224. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 036

Change Characteristics of Soil Temperature during Growing Season in Hohhot City in Recent 60 Years

LI Yinlong[1], LIU Xingcen[2], LIU Xiaomin[2], Saiya[2], WANG Zhinan[2]
(1. Inner Mongolia Mengcao Soil Technology Co., Ltd, Hohhot 010070, China;
2. Hohhot Meteorological Bureau, Hohhot 010020, China)

Abstract: To study the impact of climate change on the soil temperature during the growing season in Hohhot City, monthly average temperature data of different soil layers of 5-80 cm at six national meteorological stations from 1961 to 2020 were used to analyze the characteristics of soil temperature changes in the region over the past 60 years based on statistical methods such as climate tendency rate, wavelet analysis and Mann-Kendall test. The results showed that the average soil temperature during the growing season in Hohhot City was a significant upward trend, with an increase of 0. 21-0. 59℃/10 a. The interannual variation characteristics of average soil temperature in different layers also showed an upward trend, experiencing a “cold-warm” evolution process. The 1960s and 1970s were cold periods, the 1980s alternated between cold and warm periods, and the 1990s to the early 21st century were warm periods. The variation of soil temperature generally had a period of 5-10 years. The average soil temperature of the 5-80 cm layer had abrupt changes in 1990, 1986, 1986, 1988, 1998 and 2005, respectively. The average

收稿日期:2022-03-17.
基金项目:内蒙古科技重大专项项目(2020ZD0020);国家能源科技创新项目(CSIEKJ200700396).
第一作者:李寅龙(1985-),男,山西大同人,硕士,工程师. 主要从事生态修复方面研究.
责任作者:刘星岑(1988-),女,内蒙古呼和浩特人,硕士,工程师. 主要从事农业气象方面研究. Email:yingzhilianyu@ 163. com

soil temperature of the 20 cm layer was more sensitive to the response to climate warming.

Key words: soil temperature; climate tendency rate; wavelet analysis; Mann-Kendall test; abrupt change; Hohhot City

当前,全球气候以变暖为主要变化趋势,根据 IPCC 第五次评估报告,1880—2012 年全球平均地表温度升高了 0.85℃[1]。气温变化主导着土壤温度产生主要变化[2],从根本上来说,种子萌发、植物生长和农作物产量变化,主要由土壤温度决定,而气候变化对土壤温度最直接的反应是影响了土壤的热状态变化。因此研究地温的变化特征有助于揭示地温对农业生产和生态环境产生的影响[5-6]。

近年来,地温变化越来越受到科学界的关注,国内外许多学者对地温的应用、分布规律及变化进行了深入的研究[7-11]。前苏联、瑞士以及美国的学者研究发现地温呈上升趋势[12-16],地温的变化与气温有较一致的同步性。而国内的主要研究发现中国年平均地温的年代际变化分 3 个阶段推进,分别为地温下降阶段、相对气候冷期和 20 世纪 90 年代后期升温[17]。研究者同样也发现在中国大部分地区各层地温随气温升高呈升温趋势[18-24]。诸多研究表明,在气候变暖的背景下,地温增温显著,由于研究时间尺度和所用方法不同,得出的地温变化存在差异。

呼和浩特市地处中国北部,属典型的蒙古高原中温带大陆性季风气候,日照充足,雨热同季,降雨主要集中在夏季,以玉米、马铃薯为主要农作物。目前,针对呼和浩特市的降水、气温等变化特征已有一些分析研究,但是系统研究土壤温度变化的成果甚少,特别是耕作层土壤地温的研究。因此研究呼和浩特地区近 60 年生长季地温变化趋势、周期变化规律和突变年份等特征,不仅对了解呼和浩特市未来气候变化趋势具有重要意义,也为指导该地区农业生产和结构调整提供决策依据。

1 研究区域与研究方法

研究数据来源于呼和浩特市呼和浩特、武川县、土默特左旗、托克托县、和林格尔县、清水河县 6 个国家气象观测站 1961—2020 年 4—9 月的逐月气象资料,包括 4—9 月 5、10、15、20、40、80 cm 土层深度平均地温和平均气温。月、年距平采用 1981—2020 年 40 年整编的平均值作为标准进行计算,分析地温的年际变化趋势。地温周期采用小波分析进行研究,利用 Mann-Kendall 非参数检验法分析突变特征(显著性水平取 $\alpha=0.05$)。

气候异常是气候要素的距平达到一定数量级的气候状况。采用《全国气候影响评价》标准[25]评价地温,利用平均地温距平(P)与标准差(Q)比值来判断地温是否异常,当 $P/Q\leqslant -2$ 时异常偏低,$P/Q\geqslant 2$ 时异常偏高,并根据这一标准分析异常特征。

2 结果与分析

2.1 浅层地温的变化特征

2.1.1 浅层地温的气候倾向率

呼和浩特地区浅层地温的气候倾向率统计见表 1。

表 1　呼和浩特地区浅层地温气候倾向率统计

Tab. 1　Climate tendency rate of shallow soil temperature in Hohhot

土层深度/cm	气候倾向率/(℃ · 10^{-1} · a^{-1})						
	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	平均值
5	0.54	0.39	0.33	0.29	0.28	0.27	0.35
10	0.54	0.40	0.33	0.28	0.27	0.25	0.35
15	0.56	0.42	0.34	0.29	0.27	0.25	0.35
20	0.59	0.47	0.39	0.33	0.32	0.29	0.40
40	0.54	0.43	0.40	0.35	0.31	0.22	0.38
80	0.43	0.47	0.38	0.36	0.29	0.21	0.36
平均值	0.54	0.43	0.36	0.32	0.29	0.25	0.36

注:表中各数据均达显著水平($P<0.05$)。下同。

由表 1 可知,呼和浩特地区 1961—2020 年生长季各月不同土层温度均呈升高趋势,增幅为 0.21~0.59℃/10 a,其中,土层深度 20 cm 增温幅度最大,为 0.29~0.59℃/10 a。土层深度 5、10、15 cm 增温幅度较为一致,增温幅度也最小,4—9 月月均气候倾向率均为 0.35℃/10 a。不同土层月平均地温的气候倾向率变化趋势不同,7 月随着土层深度增加,地温增温幅度变大;其余月份则随着土层深度增加,地温变幅呈先增加后减小的变化趋势,其中 6 月的拐点出现在 40 cm 土层深度,其余月份拐点出现在 20 cm 土层深度。不同土层地温均是 4 月增幅最大,9 月增幅最小。

呼和浩特地区 1961—2020 年生长季不同土层平均地温均表现为显著升高趋势,平均每 10 a 升高 0.25~0.54℃,其中,土层深度 20 cm 地温增幅最大;各月不同土层地温增幅不同,4 月、9 月以土层深

度 80 cm 地温增幅最小,5 月、6 月以土层深度 5 cm 地温增幅最小,7 月、8 月以土层深度 10 cm 地温增幅最小。6 个站点不同土层的气候倾向率统计见表 2。各站点不同土层地温的气候倾向率均呈上升趋势,但增温幅度相差较大,增幅最大的是呼和浩特站,最小的是托克托县站。

2.1.2 生长季不同土层地温的年代变化特征

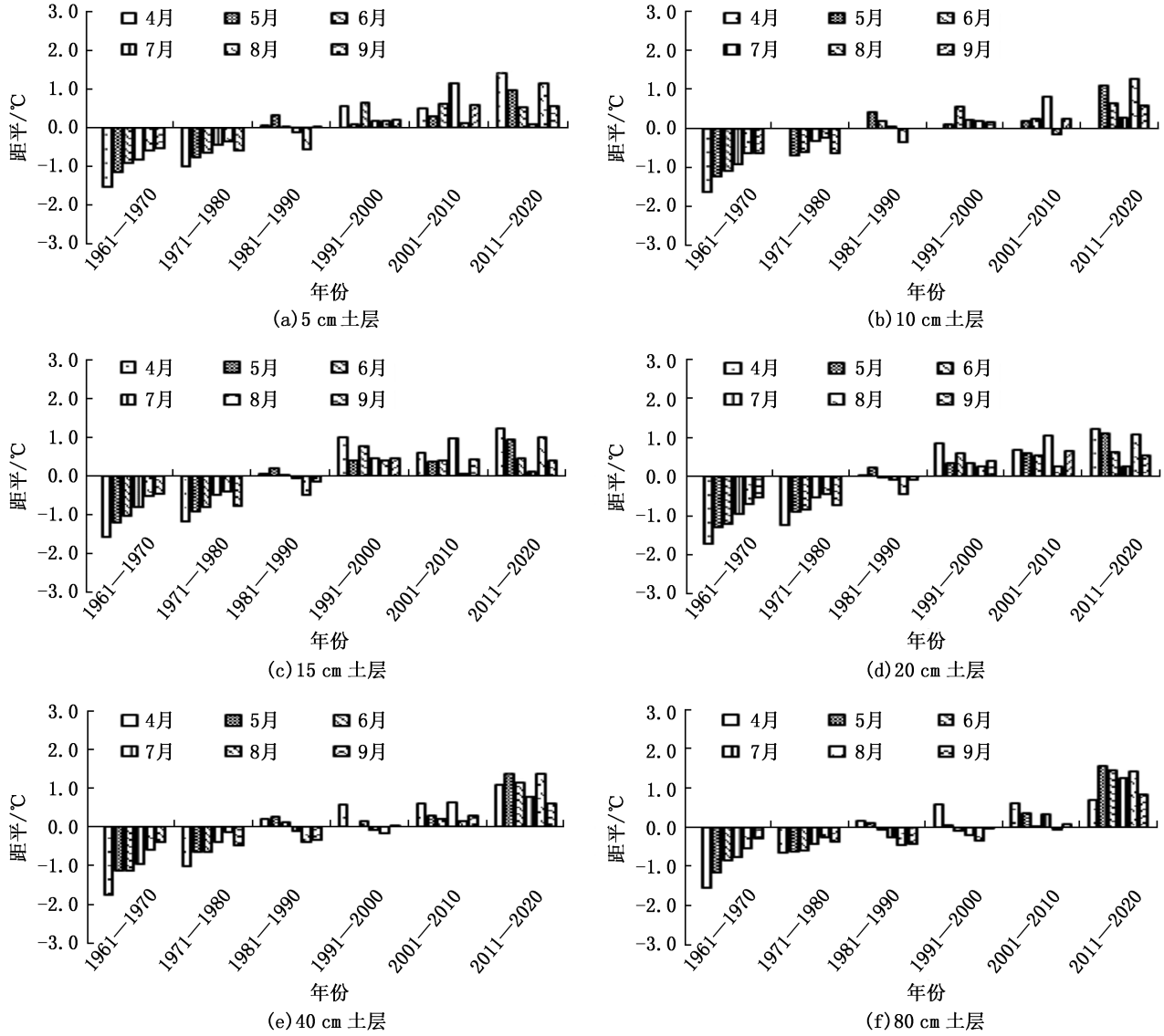
呼和浩特地区生长季不同土层平均温度呈上升趋势,且经历了“冷—暖”的历史演变过程,见图 1。

从图 1 可知,5、10、15、20 cm 土层的地温变化趋势较为一致,均是 20 世纪 60、70 年代为负距平,为冷期;80 年代冷暖交替;90 年代至 21 世纪初期为正距平,为暖期。距平最低值出现在 20 世纪 60 年代 4 月,最高值出现在 21 世纪初期 4 月。

表 2　6 个站点不同土层地温的气候倾向率统计

Tab. 2　Climate tendency rate of soil temperature in different layers at six stations

土层深度/cm	气候倾向率/(℃ · 10^{-1} · a^{-1})					
	武川县	土默特左旗	托克托县	和林格尔县	清水河县	呼和浩特
5	0.36	0.39	0.17	0.35	0.28	0.54
10	0.33	0.36	0.22	0.44	0.23	0.50
15	0.30	0.50	0.22	0.45	0.13	0.52
20	0.29	0.45	0.20	0.46	0.34	0.67
40	0.35	0.32	0.08	0.47	0.15	0.73
80	0.33	0.28	0.06	0.46	0.10	0.90
平均值	0.33	0.38	0.16	0.44	0.21	0.64



(a)5 cm 土层　(b)10 cm 土层

(c)15 cm 土层　(d)20 cm 土层

(e)40 cm 土层　(f)80 cm 土层

图 1　呼和浩特地区生长季浅层地温年代变化

Fig. 1　Chronological variation of shallow soil temperature in Hohhot during growing season

40 cm、80 cm 土层与 5~20 cm 土层相比地温变化略有差别,表现为 20 世纪 60、70 年代为负距平,为冷期;80、90 年代冷暖交替;21 世纪初期年代为正距平,为暖期。距平最低值出现在 20 世纪 60 年代 4 月,最高值出现在 21 世纪初期 5 月。总体来说,生长季不同土层土壤平均温度呈现逐年波动上升趋势,期间出现冷暖交替的阶段特征,4 月距平变化最明显,9 月变化最小。

2.2 地温的周期及突变特征

2.2.1 周期变化特征

地温的变化也表现出明显的周期特征,小波分析的实部图见图 2。

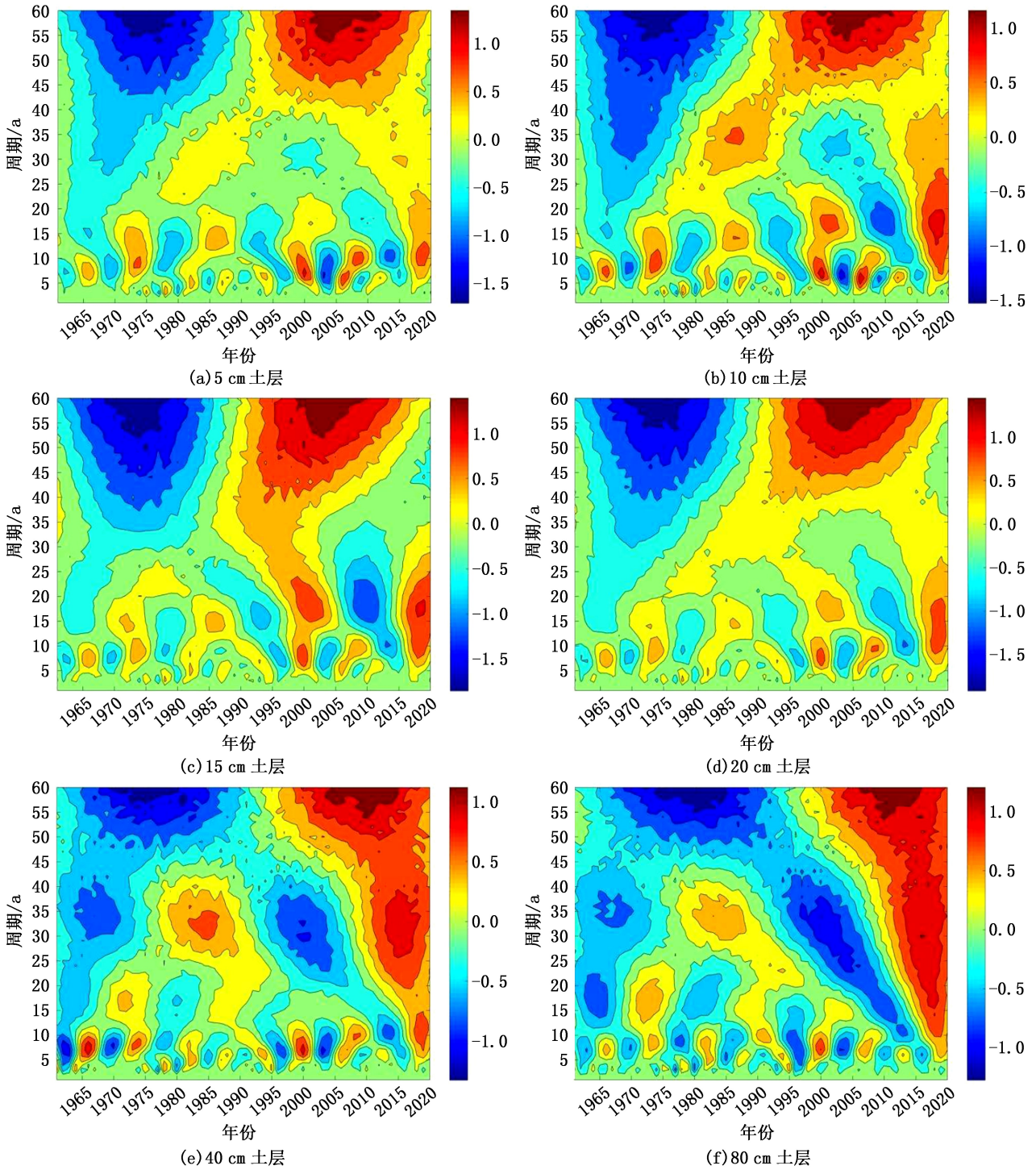


图 2　呼和浩特地区平均 5~80 cm 土层的地温小波变换实部

Fig. 2　Wavelet transform real part of 5-80 cm layer soil temperature in Hohhot

从图 2 可知,呼和浩特地区 5 cm 土层的地温存在 5~13 a 周期特征,震荡周期稳定,且在 60 a 中始终存在。10 cm 土层的地温存在 3~5 a、7~17 a 周期,其中 7~17 a 的震荡周期稳定,主要在 20 世纪 70 年代中期到 21 世纪初比较明显。15 cm 土层的地温存在 5~10 a、15~25 a 周期变化。20 cm 土层的地温存在 5~10 a、13~20 a 周期变化。40 cm 土层的地温存在 5~10 a、30~40 a 周期特征,其中 5~10 a 的震荡周期稳定,且在 60 a 中始终存在。80 cm 土层的地温存在 5~10 a、15~20 a 周期特征,其中 5~10 a 的震荡周期稳定,且在 60 a 中始终存在,15~20 a 的震荡周期稳定,主要出现在 20 世纪 60 年代到 90 年代中期。5~80 cm 土层的浅层地温低频振荡周期的振幅较小,15~80 cm 土层的地温高频振荡周期的振幅较大。

2.2.2 突变特征

通过对呼和浩特地区不同土层土壤温度进行 Mann-Kendall 突变检验,结果见图 3。

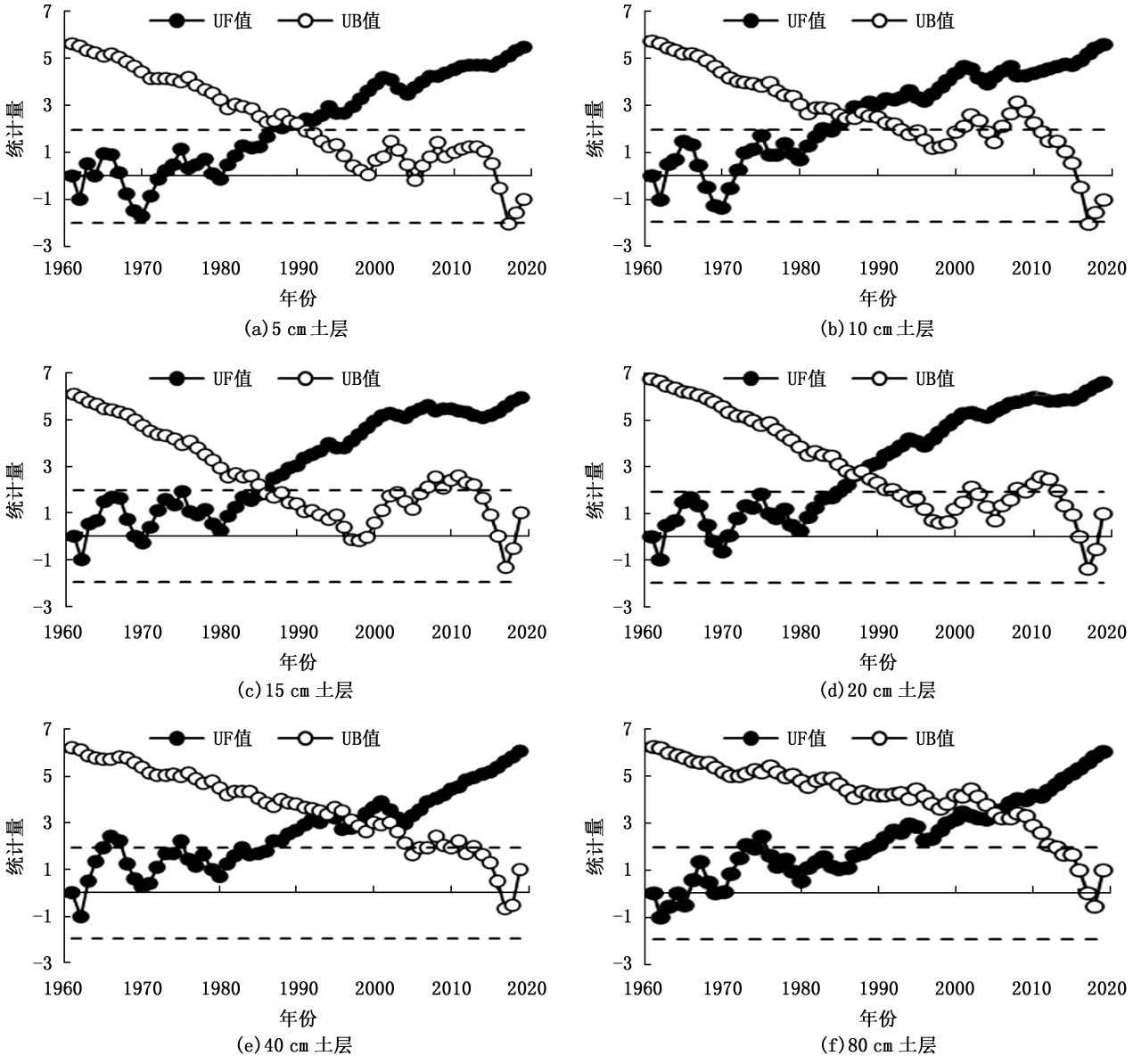


图 3 呼和浩特地区不同深度浅层土壤温度 Mann-Kendall 突变检验

Fig. 3 Mann-Kendall mutation test of soil temperature in different depths in Hohhot

从图 3 可知,整个生长季 5~80 cm 土层平均地温分别在 1990、1986、1986、1988、1998、2005 年发生突变;从月份来看,8 月不同土层突变点发生在 21 世纪初,其余月份多集中在 20 世纪 80、90 年代。整

体来看,近 60 年呼和浩特市生长季土层温度,除 5 cm 土层外,10~80 cm 不同土层温度发生突变的时间总体呈现随土层深度的加深而逐渐推迟的特点,这主要与土壤温度对气候变暖的响应随土层深度的加深趋于滞后有关。

2.2.3 浅层地温的异常特征

对地温进行气候异常性分析,结果显示地温变化也表现出异常特征(表 3)。

表 3　1961—2020 年呼和浩特地区地温异常年份

Tab. 3　Years of abnormal soil temperature in Hohhot from 1961 to 2020

月份	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	40 cm	80 cm
4 月	1962,1980(-)	1962(-)	1962,1980(-)	1962(-)	1996(-)	1996(-)
5 月	1962(-)	—	2018(+) 1962(-)	2018(+) 1962(-)	—	—
6 月	—	1969(-)	—	—	2005(+)	—
7 月	—	2010,2017(+) 1969(-)	1969(-)	—	2010(+) 2003(-)	—
8 月	2007(+) 1968,1969(-)	2016,2018(+) 1968,1969,1976(-)	1999,2016,2018(+) 1968(-)	2016,2018(+) 1962,1968,1969,1976(-)	—	2018,2019(+)
9 月	1967(-)	2017(+)	2017(+) 1967(-)	2017(+) 1967(-)	2017(+)	—
生长季	—	—	—	—	—	—

注:(-)表示地温异常偏低,(+)表示地温异常偏高,—表示地温无异常。

由表 3 可知,20 世纪 60、70、80 年代及 40 cm 土层的 2003 年 7 月均表现为地温异常偏低年份,地温异常偏高年份出现在 20 世纪 90 年代及 21 世纪初。4 月地温异常偏低年份出现在 20 世纪 60、80、90 年代,其他时间段无异常偏高年份。5 月 10、40、80 cm 土层地温无异常年份出现,其余土层地温异常偏低年份出现在 20 世纪 60 年代,地温异常偏高年份出现于 21 世纪初。6 月 60 年代在 10 cm 土层出现地温异常偏低,21 世纪初在 40 cm 土层出现地温异常偏高,其余土层地温无异常年份出现。7 月 5、20、80 cm 土层地温无异常年份,21 世纪初在 10、40 cm 土层地温出现异常偏高,异常偏低年份出现在 60 年代及 21 世纪初。8 月 40 cm 土层地温无异常年份出现,其余土层地温异常偏低年份出现在 60、70 年代,异常偏高年份出现在 90 年代及 21 世纪初。9 月 80 cm 土层地温无异常年份出现,其余土层地温异常偏低年份集中出现在 60 年代,地温异常偏高年份出现在 2017 年。生长季平均地温无异常年份。

3 结论与讨论

3.1 结论

1)呼和浩特地区平均地温呈升高趋势,增幅为 0.21~0.59℃/10 a,其中,土层深度 20 cm 增温幅度最大。不同土层深度的月平均地温同样呈增温趋势,4 月增幅最大,9 月份增幅最小。

2)呼和浩特地区 5~80 cm 土层的平均地温均经历了“冷—暖”的历史演变过程。5~20 cm 土层 20 世纪 60、70 年代为冷期,80 年代冷暖交替,90 年代至 21 世纪初期为暖期;40、80 cm 土层 20 世纪 60、70 年代为冷期,80、90 年代冷暖交替,21 世纪初期年代为暖期。

3)呼和浩特地区地温变化普遍具有 5~10 a 周期。5~80 cm 土层地温在 1990、1986、1986、1988、1998、2005 年发生突变。地温异常特征表现为异常偏低年份出现在 20 世纪 60、70、80 年代,地温异常偏高年份出现在 20 世纪 90 年代及 21 世纪初。

3.2 讨论

研究结果表明呼和浩特地区 5~20 cm 浅层土壤平均温度呈上升趋势,并且经历了“冷—暖”的历史演变过程,这与诸多研究者对浅层地温变化趋势的分析和论证相一致。造成浅层地温上升的原因很多,其中最主要的因素是气温上升,这也是对全球气候变暖的最直接响应。40~80 cm 深层土壤的平均温度同样也呈现增温趋势,但是增幅小于浅层地温,且增温的时间上也滞后于浅层地温。这主要是由于热量从土壤表层传到深层需要一定时间,同时热量在通过土层时要被土壤吸收掉一部分。而该研究结果与程磊教授实验室[26]提出的深层土壤对气候变

化响应存在滞后效应一致,主要是由于全球气候系统处于动态变化中,同时受土壤热传导率及土壤厚度等影响,导致底层土壤温度变化相对于表层土壤存在滞后效应。

研究发现呼和浩特地区20 cm浅层地温对气候变化响应要比其他土层更加敏感,说明20 cm土层在浅层中更具代表意义,这与强玉柱等[5]的研究结果相类似,但在大多数研究中尚未出现相似结果。这可能是因为20 cm土层正好位于深层和浅层土壤之间。在以后的研究中,应针对该层进行重点分析,以期能更清楚地找出其中原理。

参考文献:

[1] 李莹,高歌,宋连春. IPCC第五次评估报告对气候变化风险及风险管理的新认知[J]. 气候变化研究进展,2014,10(4):261-265.

[2] 王晨晨,王珍,张新杰,等. 增温对荒漠草原植物群落组成及物种多样性的影响[J]. 生态环境学报,2014,23(1):43-49.

[3] LIU Y G,WANG,N L,WANG L G,et al. Variation of cloud amount over China and the relationship with ENSO from 1951 to 2014[J]. International of Journal of Climatology,2016(36):2931-2941.

[4] 裴洪芹,孙成武,吴凌志. 近48年临沂浅层地温的变化特征[J]. 中国农业气象,2009,30(增1):38-41.

[5] 陈超,周广胜. 1961-2010年阿拉善左旗气温和地温的变化特征分析[J]. 自然资源学报,2014,29(1):91-103.

[6] 强玉柱,蒲金涌,刘扬,等. 天水市50年浅层地温变化特征分析[J]. 中国农学通报,2013,29(35):317-322.

[7] 杜军,李春,廖健,等. 近45年拉萨浅层地温对气候变化的响应[J]. 气象,2007,33(10):61-68.

[8] 张菲,邢小霞,李仁杰,等. 利用地温构建菏泽牡丹花期预测模型[J]. 中国农业气象,2008,29(1):87-89.

[9] 李栋梁,钟海玲,吴青柏,等. 青藏高原年地表温度的变化分析[J]. 高原气象,2005,24(3):291-298.

[10] 宋同清,肖润林,彭晚霞,等. 白三叶草间作对亚热带丘陵茶园地温及生产的影响[J]. 中国农业气象,2007,28(1):45-48.

[11] 曹兴,魏文寿,陈荣毅,等. 古尔班通古特沙漠腹地秋季浅层地温特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2010,4(2):26-31.

[12] GILICHINSKY D A,BARRY R G,BYKHOVETS S S,et al. A century of temperature observations of soil climate: Methods of analysis and long-termtrends[C]//Proceedings of the Seventh International Conference on Permafrost. Canada:Yellowknife,1998:313-317.

[13] HAEBERLI W,HOCLZLE M,KELLER F. Monitoring the long-term revolution of mountain permafrost in the Swiss Alps[C]//Proceedings of Sixth International Conference on Permafrost. Guangzhou:South China University of Technology Press,1993:214-219.

[14] 任兆鹏,卢宇坤,谢丰. 东北半干旱地区夏季能量水分传输过程分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2020,14(3):122-130.

[15] OSTERKAMP T E,ROMANOVSKY V E. Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska[J]. Permafrost and Periglacial Processes,1999,10(1):17-37.

[16] HU Q,FENG S. A daily soil temperature dataset and soil temperature climatology of the contiguous United States[J]. Journal of Applied Meteorology,2003(42):1139-1156.

[17] 陆晓波,徐海明,孙丞虎,等. 中国近50 a地温变化特征[J]. 南京气象学报,2006,29(5):706-712.

[18] 李栋梁,柳苗,钟海玲,等. 青藏铁路沿线地面气温和地温的年际变化趋势及与地形的关系[J]. 高原气象,2005,24(5):694-699.

[19] 胡军,杜军,边多,等. 西藏地温的年际和年代变化[J]. 地理学报,2007,62(9):925-934.

[20] 孙丽,李志江,李岚,等. 1959—2008年辽宁省浅层地温变化趋势分析[J]. 安徽农业科学,2010,38(23):12869-12870.

[21] 张翠华,张文煜,郭立平. 河北石家庄浅层地温变化特征[J]. 干旱气象2013,31(4):78-81.

[22] 杨平,陈少华,顾欣. 近50年黔东南浅层地温时空变化特征分析[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2012,37(11):54-58.

[23] 周绍毅,劳炜,苏志,等. 1961-2010年广西浅层地温变化特征[J]. 西南农业学报,2012,25(4):1372-1375.

[24] 李焕,王欢,吐尔逊,等. 新疆阿勒泰地区近50 a暖季浅层地温变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2015,9(4):37-42.

[25] 陈红. 全国气候影响评价[M]. 北京:气象出版社,2001.

[26] 深层土壤对气候变化响应或存滞效应[J]. 浙江气象,2018,39(2):49.

责任编辑:陈旭

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 037

模拟酸雨对广西 4 个树种苗木生长的影响研究

周顺福,李春叶
(云南省林业调查规划院大理分院,云南 大理 671000)

摘要:采用盆栽试验,设置 4 个水平(pH3. 0、pH4. 0、pH5. 0、pH5. 6)、一个对照(pH6. 0),共 5 种处理,测定 4 个树种在不同 pH 值酸雨处理下其苗高、地径和生物量变化情况,分析不同 pH 值及处理方式的酸雨对广西地区速生及珍贵树种幼苗生长的影响。研究结果表明,随酸雨 pH 值的降低,4 个树种的苗高相对生长量和地径相对生长量总体均呈下降趋势;巨尾桉 9 号在模拟酸雨 pH3. 0 时,其地上生物量显著大于对照,在 pH5. 0 时,其地下生物量、总生物量略大于对照,在 pH5. 6 时,其根冠比最大;格木在模拟酸雨 pH5. 6 时,其苗高相对生长量显著大于对照,根冠较对照大;降香黄檀在模拟酸雨 pH5. 0 时,其苗高相对生长量显著高于对照,根冠比最大;在不同浓度酸雨处理下,土沉香各生长指标均显著小于对照。

关键词:模拟酸雨;苗木生长;酸雨浓度;pH 值;根冠比;广西

中图分类号:X517;S723. 13 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)05-0225-06

引文格式:周顺福,李春叶. 模拟酸雨对广西 4 个树种苗木生长的影响研究[J]. 林业调查规划,2023,48(5):225-230. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 037

ZHOU Shunfu, LI Chunye. Effect of Simulated Acid Rain on Growth of Four Species Seedlings in Guangxi///[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(5):225-230. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 05. 037

Effect of Simulated Acid Rain on Growth of Four Species Seedlings in Guangxi

ZHOU Shunfu, LI Chunye
(Dali Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Dali, Yunnan 671000, China)

Abstract: Based on a pot experiment, four different pH solutions (pH3. 0, pH4. 0, pH5. 0, pH5. 6) and a control (pH6. 0) with five treatment methods were used to determine the changes in seedling height, ground diameter, and biomass of four tree species, and analyze the effects of acid rain with different pH values and treatment methods on the growth of fast-growing and precious tree species in Guangxi. The results showed that with the decrease of acid rain pH, the relative growth of seedling height and ground diameter of the four tree species were all decreased; the simulated acid rain in pH3. 0, the above ground biomass of *E. grandis* × *E. urophylla* No. 9 was significantly higher than that in the control, in pH5. 0, the under ground biomass and total biomass were slightly higher than that in the control, in pH5. 6, the root shoot ratio was the highest; the simulated acid rain in pH5. 6, the relative growth yield and root shoot ratio of *Erythrophleum fordii* Oliv were significantly higher than that in the control; the simulated acid rain in

收稿日期:2022-04-01.
基金项目:广西自然科学基金“速生桉人工纯林及混交林凋落叶分解对酸沉降的缓冲机制研究”(2015GXNSFAA139081).
第一作者:周顺福(1989-),男,云南会泽人,硕士,工程师. 主要从事林草资源调查规划工作. Email:770216795@qq. com
责任作者:李春叶(1989-),女,云南巍山人,硕士,工程师. 主要从事林草资源调查规划工作. Email:553876350@qq. com

pH5.0, the relative growth yield of *Dalbergia odorifera* T. Chen were significantly higher than that in the control, and the root shoot ratio was the highest; in different concentrations of acid rain treatment, each growth index of *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg were significantly lower than that in the control.

Key words: simulated acid rain; seedling growth; acid rain concentration; pH value; root shoot ratio; Guangxi

酸雨(acid rain)是 pH 小于 5.6 的大气降水的总称,包括各种酸性的雨、雾、雪、霜等形式,在科学上常称为酸沉降(acid deposition)[1],伴随着人口的急剧增长和工业化迅速发展,酸雨和环境酸化问题一直呈发展趋势,影响地域逐渐扩大。我国是继欧洲、北美之后在世界上出现的第三大酸雨片区,酸雨区覆盖面积已占我国国土面积的 40%左右[2],主要分布在长江以南,恰好与酸性土壤分布区重合,并且有由北向南逐渐加重趋势,其中西南、华南地区较为突出。

广西地处华南,且山地和盆地较多,纬度较低,属亚热带湿润气候,受气候、逆流层等影响频率较高,大气污染物扩散能力较差,导致其酸雨灾害严重,广西的 11 个地市、33 个县(市)已被列入酸雨控制区,广西是对酸沉降最为脆弱和酸污染较为严重地区之一[3-4]。桉树是桃金娘科(Myrtaceae)桉属(*Eucalyptus*)植物的统称,原产于澳大利亚及其周围岛屿,世界三大造林树种(松、桉、杨)之一,具有速生、丰产、优质、适应性强、用途广泛等特点,在世界各地(主要在热带和亚热带地区)得到大力发展。目前,我国桉树人工林面积已达 300 多万hm^2,仅次于印度和巴西,居世界第三位,主要分布在广东、广西、海南、云南、福建等地[5-6]。珍贵树种是我国特产稀有或濒于灭绝的树种以及目前虽有一定数量,但也逐渐减少的优良树种的统称,具有材质好、用途广等优点,且具有艺术收藏等价值[7]。酸雨可影响植物正常代谢过程,导致植物体内一系列生理生化过程失调,对高大林木也不例外,因此,对广西几种树种进行酸雨适应机制方面的研究很有必要,研究结果可为酸雨影响下广西几个树种的生长预测提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验地点和材料

试验地位于广西南宁市广西大学林学院苗圃(22°51′20″N,108°17′14″E)。该地区属亚热带季风气候,年均温 21.6℃,极端最高温 40℃,≥10℃年积温 7 200℃,年均降水量 1 304.2 mm,平均相对湿度 79%,降雨多集中在 5—9 月。

试验用的 4 个树种为巨尾桉 9 号(*E. grandis*×*E. urophylla* No. 9)、格木(*Erythrophleum fordii* Oliv)、降香黄檀(*Dalbergia odorifera* T. Chen)、土沉香(*Aquilaria sinensis*(Lour.)Gilg)幼苗。

实验苗木:巨尾桉 9 号为 3 月生组培苗,其他均为 2 年生实生苗。苗木 2015 年 2 月初移栽到高 10 cm、直径 8 cm 的塑料盆中,每盆装土,采用黄心土和河沙按 1∶1 混合而成的土壤(pH4.90)进行栽培,开始进行抚育缓苗期间用普通自来水喷施。

1.2 试验设计

模拟酸雨按照广西酸雨化学成分 SO_4^{2-} 与 NO_3^- 离子浓度比 7∶1 配制,采用 95%~98%的浓硫酸和 65%~68%的浓硝酸按体积比 4.8∶1 配置酸雨母液,试验设 4 个水平(pH4.0、pH3.0、pH5.0、pH5.6),一个对照(pH6.0),每组 12 个重复,共计需 5×4×12=240 个样本(5 个水平,4 种树种,每个水平每种树种 12 株)。试验于 2015 年 3 月 10 日—4 月 20 日在广西大学苗圃进行。模拟酸雨的喷洒采用喷雾法,用喷雾器喷洒不同 pH 值的模拟酸雨,喷洒频率为每隔 7 d 喷 1 次,共喷洒 4 次,每次均喷至叶片滴液为度,喷淋时间一般在下午 4∶00—6∶00 进行。试验结束后测定相关指标。

1.3 指标测定方法

1.3.1 土壤 pH 值的测定

采用电位法测定土壤 pH 值。称取通过 2 mm 筛孔的风干土样 10 g 于 50 mL 烧杯中,加入 25 mL 1.0 mol/L 氯化钾溶液,用玻璃棒剧烈搅动 1~2 min,静置 30 min,然后将玻璃电极和甘汞电极插入浸出液中,用 pH 计测定土壤 pH 值。

1.3.2 生长指标的测定

在第 0 d、40 d 分别采用卷尺、游标卡尺对各处理组的 5 株苗木的苗高、地径进行测量。

苗高相对生长量计算公式为:

$$RGY_H = (H_1 - H_0)/H_0 \quad (1)$$

地径相对生长量计算公式为:

$$RGY_D = (D_1 - D_0)/D_0 \quad (2)$$

试验结束后,采用平均标准木法进行苗木生物量测定,于 105℃杀青后在 80℃的烘箱中 48 h 烘至恒重,然后称量根、茎、叶各部分干重,根据各部分生物量进一步计算生物量分配相关参数:

1)地上生物量=叶生物量+茎生物量

2)地下生物量=根生物量

3)总生物量=地上生物量+地下生物量

4)地上生物量比=地上生物量/总生物量

5)地下生物量比=地下生物量/总生物量

6)根冠比=根生物量/地上生物量

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel、SPSS 21.0 等软件进行统计分析,方差分析及多重比较采用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 模拟酸雨处理下各培养基质 pH 值变化

试验结果,不同树种各处理基质的 pH 值均随模拟酸雨 pH 值的下降而下降,各对照组基质 pH 值最高(表 1)。

表 1　各处理基质的 pH 值

Tab. 1　pH value of each treated matrix

处理	巨尾桉 9 号	格木	降香黄檀	土沉香
pH3.0	3.11	3.10	3.16	3.15
pH4.0	4.19	4.22	4.23	4.16
pH5.0	4.54	4.58	4.57	4.52
pH5.6	4.78	4.82	4.80	4.87
CK	4.90	4.85	4.88	4.91

2.2 模拟酸雨对 4 个树种苗木生长的影响

2.2.1 苗高生长量

不同 pH 值的酸雨对巨尾桉 9 号、格木、土沉香苗高相对生长量的影响呈一致的规律性,其大小顺序均为 pH5.6>pH5.0>pH4.0>pH3.0,而降香黄檀苗高相对生长量大小顺序为 pH5.0>pH5.6>pH4.0>pH3.0(表 2)。

同一 pH 值的酸雨对 4 个树种的苗高相对生长量的影响不尽相同,pH3.0、pH5.0、pH5.6 酸雨处理下各树种苗高相对生长量大小顺序均为:巨尾桉 9 号>土沉香>降香黄檀>格木;而 pH4.0 酸雨处理下各树种苗高相对生长量大小顺序为:巨尾桉 9 号>土沉香>格木>降香黄檀。

表 2　模拟酸雨对 4 个树种苗木苗高相对生长量的影响

Tab. 2　Effect of simulated acid rain on seeding relative growth yield of four tree species seeding　%

处理	巨尾桉 9 号	格木	降香黄檀	土沉香
pH3.0	7.30±0.03Ae	2.58±0.04Dd	2.78±0.09Cd	5.54±0.05Be
pH4.0	7.71±0.03Ad	3.35±0.05Cc	3.33±0.12Cc	7.17±0.03Bd
pH5.0	7.84±0.04Ac	3.76±0.04Db	4.84±0.05Ca	7.58±0.05Bc
pH5.6	7.92±0.03Bb	3.91±0.04Da	4.3±0.04Cb	9.00±0.10Ab
CK	8.43±0.04Ba	3.81±0.03Db	4.2±0.05Cb	9.72±0.05Aa

注:表中数据为相对生长量。同一列小写字母相同表示同一树种不同处理间差异不显著,字母不同表示同一树种不同处理间差异显著;同一行大写字母相同表示不同树种同一处理间无显著差异,字母不同表示同一处理不同树种间差异显著($P<0.05$)(下同)。

4 个树种的苗高相对生长量随酸雨 pH 值的降低总体呈下降趋势。pH3.0 时,巨尾桉 9 号、格木、降香黄檀、土沉香的苗高相对生长量分别较对照组降低了 13.40%、32.28%、33.81%、43.00%,巨尾桉 9 号苗高相对生长量对酸雨的反应敏感性较低;随酸雨 pH 值的降低,巨尾桉 9 号、格木、土沉香的苗高相对生长量均呈逐渐下降趋势,而降香黄檀呈先上升后下降趋势。pH5.0 时,降香黄檀苗高相对生长量(4.84%)显著高于对照,pH5.6 时,格木苗高相对生长量达到最大,为 3.91%,与对照间存在显著差异;在不同浓度酸雨处理下,巨尾桉 9 号、土沉香苗高相对生长量均显著小于对照。同一处理浓度下,不同树种间的苗高相对生长量均存在显著差异。

2.2.2 地径生长量

不同 pH 值的酸雨处理下,格木、降香黄檀、土沉香的地径相对生长量变化规律相一致,其大小均为 pH5.6>pH5.0>pH4.0>pH3.0,而巨尾桉 9 号地径相对生长量大小顺序为 pH5.0>pH5.6>pH4.0>pH3.0(表 3)。

同一 pH 值的酸雨对 4 个树种的地径相对生长量的影响相同,pH3.0、pH4.0、pH5.0、pH5.6 酸雨处理下各树种地径相对生长量大小顺序均为:巨尾桉 9 号>土沉香>降香黄檀>格木。

4 个树种的地径相对生长量随酸雨 pH 值的降低总体呈下降趋势。pH3.0 时,巨尾桉 9 号、格木、降香黄檀、土沉香的地径相对生长量分别较对照组

表 3 模拟酸雨对 4 个树种苗木地径相对生长量的影响

Tab. 3 Effect of simulated acid rain on ground diameter relative growth yield of four tree species seeding %

处理	巨尾桉 9 号	格木	降香黄檀	土沉香
pH3. 0	27. 69± 0. 43Ad	5. 19± 0. 04De	11. 53± 0. 09Ce	16. 44± 0. 06Be
pH4. 0	27. 50± 0. 46Ad	7. 32± 0. 03Dd	12. 23± 0. 09Cd	18. 06± 0. 09Bd
pH5. 0	31. 84± 0. 09Ab	8. 83± 0. 05Dc	13. 14± 0. 08Cc	21. 43± 0. 39Bc
pH5. 6	30. 93± 0. 83Ac	9. 59± 0. 09Db	15. 41± 0. 23Cb	23. 05± 0. 13Bb
CK	36. 36± 0. 13Aa	10. 13± 0. 11Da	16. 41± 0. 08Ca	25. 14± 0. 17Ba

降低了 23. 84%、48. 77%、29. 74%、34. 61%;随酸雨 pH 值的降低,格木、降香黄檀、土沉香 3 个树种的地径相对生长量均呈逐渐下降趋势,而巨尾桉 9 号的地径生长量呈上升—下降—上升趋势。pH5. 0 时,巨尾桉 9 号地径相对生长量显著高于对照及其他处理,为 31. 84%;而在不同浓度酸雨处理下,格木、降香黄檀、土沉香地径相对生长量均显著小于对照;同一处理浓度下,不同树种间的地径相对生长量均存在显著差异。

2. 3 模拟酸雨对 4 个树种苗木生物量的影响

2. 3. 1 地上生物量

不同 pH 值的酸雨处理下,巨尾桉 9 号、格木的地上生物量变化规律相一致,其生物量大小顺序均为 pH3. 0 > pH5. 0 > pH4. 0 > pH5. 6,而降香黄檀地上生物量大小顺序为 pH5. 6 > pH3. 0 > pH4. 0 > pH5. 0,土沉香地上生物量大小顺序为 pH5. 6 > pH5. 0 > pH4. 0 > pH3. 0(表 4)。

表 4 模拟酸雨对 4 个树种苗木地上生物量的影响

Tab. 4 Effect of simulated acid rain on above ground biomass of four tree species seeding g/株

处理	巨尾桉 9 号	格木	降香黄檀	土沉香
pH3. 0	3. 70± 0. 40Ba	2. 93± 0. 15Ca	5. 48± 0. 419Ab	0. 65± 0. 02De
pH4. 0	3. 30± 0. 03Bab	2. 53± 0. 17Ca	5. 60± 0. 49Ab	0. 71± 0. 02Dd
pH5. 0	3. 54± 0. 25Ba	2. 67± 0. 37Ca	5. 45± 0. 18Ab	0. 84± 0. 03Dc
pH5. 6	3. 03± 0. 13Bb	2. 45± 0. 29Ca	6. 59± 0. 26Aa	0. 91± 0. 01Db
CK	3. 65± 0. 14Ba	2. 89± 0. 32Ca	6. 55± 0. 46Aa	1. 08± 0. 03Da

同一 pH 值的酸雨对 4 个树种的地上生物量的影响相同,pH3. 0、pH4. 0、pH5. 0、pH5. 6 酸雨处理下各树种地上生物量大小顺序均为:降香黄檀 > 巨尾桉 9 号 > 格木 > 土沉香。

pH3. 0 时,巨尾桉 9 号地上生物量达到最大,为 3. 70 g/株,与对照间差异不显著,但与 pH5. 6 时的地上生物量存在显著差异;pH3. 0 时,格木地上生物量最大,为 2. 93 g/株,与其他处理间差异不显著;pH5. 6 时,降香黄檀地上生物量最大,为 6. 59 g/株,略小于对照,但显著大于其他处理;土沉香各浓度酸雨处理下的地上生物量均显著小于对照,且随 pH 值的降低,其地上生物量也不断降低,且降幅较稳定。随 pH 值的降低,巨尾桉 9 号、降香黄檀与格木地上生物量的变化趋势相一致,均为上升—下降—上升,巨尾桉 9 号和格木变化幅度较小,而降香黄檀在 pH5. 6 与 pH5. 0 间降幅较大,而后在 pH5. 0 与 pH4. 0、pH4. 0 与 pH3. 0 间的变化幅度均较小。

2. 3. 2 地下生物量

不同 pH 的酸雨处理下,巨尾桉 9 号、格木、降香黄檀、土沉香地下生物量变化规律均不同,巨尾桉 9 号地下生物量大小顺序为 pH5. 0 > pH5. 6 > pH4. 0 > pH3. 0,格木:pH5. 6 = pH3. 0 > pH4. 0 > pH5. 0,降香黄檀:pH5. 6 > pH5. 0 > pH3. 0 > pH4. 0,土沉香:pH5. 6 > pH5. 0 = pH4. 0 > pH3. 0(表 5)。

表 5 模拟酸雨对 4 个树种苗木地下生物量的影响

Tab. 5 Effect of simulated acid rain on under ground biomass of four tree species seeding g/株

处理	巨尾桉 9 号	格木	降香黄檀	土沉香
pH3. 0	0. 71± 0. 07Ba	0. 74± 0. 06Ba	3. 31± 0. 29Ab	0. 25± 0. 01Cb
pH4. 0	0. 75± 0. 08Ba	0. 72± 0. 10Ba	3. 28± 0. 09Ab	0. 26± 0. 06Cb
pH5. 0	0. 92± 0. 24Ba	0. 61± 0. 05Ca	3. 71± 0. 09Aab	0. 26± 0. 04Db
pH5. 6	0. 82± 0. 04Ba	0. 74± 0. 12Ba	3. 80± 0. 14Aa	0. 29± 0. 06Cb
CK	0. 80± 0. 13Ba	0. 86± 0. 13Ba	3. 96± 0. 41Aa	0. 42± 0. 04Ba

同一 pH 值的酸雨对 4 个树种的地下生物量的影响不尽相同,pH3. 0 酸雨处理下各树种地下生物量大小顺序均为:降香黄檀 > 格木 > 巨尾桉 9 号 > 土沉香,pH4. 0、pH5. 0、pH5. 6 酸雨处理下各树种地下

生物量大小顺序均为:降香黄檀 > 巨尾桉 9 号 > 格木 > 土沉香。

pH5.0 时,巨尾桉 9 号地下生物量达到最大,为 0.92 g/株,与对照间差异不显著;格木、降香黄檀、土沉香不同酸度酸雨处理下的地下生物量均较对照小;同一 pH 值的酸雨下,降香黄檀地下生物量显著高于其他树种,pH5.6 时的地下生物量略小于对照,显著大于 pH4.0、pH3.0 时的地下生物量;模拟酸雨处理下,土沉香地下生物量均显著小于对照,且不同酸度酸雨处理下地下生物量变化幅度较小;巨尾桉 9 号与格木地下生物量在不同酸度酸雨下变化不明显。

2.3.3 总生物量

不同 pH 值的酸雨处理下,巨尾桉 9 号、格木、降香黄檀、土沉香总生物量变化规律不尽相同,巨尾桉 9 号总生物量大小顺序为 pH5.0 > pH3.0 > pH4.0 > pH5.6,格木:pH3.0 > pH5.0 > pH4.0 > pH5.6,降香黄檀、土沉香的变化规律一致,为:pH5.6 > pH5.0 > pH4.0 > pH3.0(表 6)。

表 6　模拟酸雨对 4 个树种苗木总生物量的影响

Tab.6　Effect of simulated acid rain on total biomass of four tree species seeding　　g/株

处理	巨尾桉 9 号	格木	降香黄檀	土沉香
pH3.0	4.40± 0.47Ba	3.67± 0.18Ca	8.79± 0.21Ab	0.90± 0.01Dd
pH4.0	4.05± 0.06Ba	3.25± 0.27Ca	8.88± 0.48Ab	0.97± 0.07Dd
pH5.0	4.46± 0.49Ba	3.27± 0.38Ca	9.16± 0.18Ab	1.10± 0.02Dc
pH5.6	3.85± 0.10Ba	3.19± 0.33Ca	10.39± 0.36Aa	1.20± 0.05Db
CK	4.45± 0.26Ba	3.76± 0.11Ba	10.52± 0.86Aa	1.51± 0.04Ca

同一 pH 值的酸雨对 4 个树种的总生物量的影响相同,pH3.0、pH4.0、pH5.0、pH5.6 酸雨处理下各树种总生物量大小顺序均为:降香黄檀 > 巨尾桉 9 号 > 格木 > 土沉香。

pH5.0 时,巨尾桉 9 号总生物量达到最大,为 4.46 g/株,与对照及其他处理间的差异均不显著;格木、降香黄檀、土沉香不同酸度酸雨处理下的总生物量均较对照小;同一 pH 值的酸雨下,降香黄檀总生物量显著高于其他树种,pH5.6 时的总生物量较对照稍小,但显著大于 pH5.0、pH4.0、pH3.0 时的总生物量;模拟酸雨处理下,土沉香总生物量均显著小于对照,模拟酸雨 pH 值较高时,其总生物量变化幅度较明显,而在模拟酸雨 pH 值较低(pH4.0、pH3.0)时其变化幅度较小;巨尾桉 9 号与格木总生物量在不同酸度酸雨下变化不明显。

2.3.4 根冠比

不同 pH 值的酸雨处理下,巨尾桉 9 号根冠比大小顺序为 pH5.6 > pH5.0 > pH4.0 > pH3.0,格木:pH5.6 > pH4.0 > pH3.0 > pH5.0,降香黄檀:pH5.0 > pH3.0 > pH4.0 > pH5.6,土沉香:pH3.0 > pH4.0 > pH5.0 = pH5.6(表 7)。

表 7　模拟酸雨对 4 个树种苗木根冠比的影响

Tab.7　Effect of simulated acid rain on root shoot ratio of four tree species seeding

处理	巨尾桉 9 号	格木	降香黄檀	土沉香
pH3.0	0.19± 0.01Cb	0.25± 0.02Ca	0.61± 0.10Aa	0.38± 0.03Ba
pH4.0	0.23± 0.03Cab	0.28± 0.02BCa	0.59± 0.06Aa	0.36± 0.09Ba
pH5.0	0.26± 0.05Ba	0.23± 0.04Ba	0.68± 0.04Aa	0.31± 0.06Ba
pH5.6	0.27± 0.02Ba	0.31± 0.06Ba	0.58± 0.02Aa	0.31± 0.08Ba
CK	0.22± 0.03Cab	0.30± 0.08BCa	0.60± 0.02Aa	0.38± 0.05Ba

同一 pH 值的酸雨对 4 个树种的根冠比的影响也不尽相同,pH3.0、pH4.0、pH5.6 酸雨处理下各树种根冠比大小顺序为:降香黄檀 > 土沉香 > 格木 > 巨尾桉 9 号;而 pH5.0 酸雨处理下各树种根冠比大小顺序为:降香黄檀 > 土沉香 > 巨尾桉 9 号 > 格木。

pH5.6 时,巨尾桉 9 号根冠比最大,为 0.27,除与 pH3.0 间存在显著差异外,其与对照及其他处理间的差异均不显著;pH5.6 时,格木根冠比(0.31)较对照大,与对照及其他各处理间差异不明显;降香黄檀与土沉香的根冠比分别在 pH5.0、pH3.0 时达到最大,且在模拟酸雨不同浓度处理下变化不大。

3 讨　论

酸雨会影响植物种子萌发和幼苗生长。黄建昌研究了酸雨对 6 种园林植物的影响发现,酸雨对园林植物新梢生长有不同程度的抑制作用,酸雨的酸度越大,对园林植物的伤害越大[8]。酸雨可抑制植物营养生长,甚至对植物叶片造成急性伤害,高浓度

酸雨胁迫下可能会引起植物生物量的降低,根部受害较严重[9]。本研究中,4 个树种的苗高相对生长量和地径相对生长量随酸雨 pH 值的降低总体呈下降趋势。类似的研究结果在很多物种中得到证实,例如:秃瓣杜英(*Elaeocarpus glabripetalus*)[10],扶桑(*Hibiscus rosasinensis* L.)、海棠花(*Malus spectabilis* (Ait.) Borkh.)、细叶榕(*Ficus micorcarpa* L. f.)、灰莉(*Fagraea ceilanica* Thunb.)、福建茶(*Carmona microphylla* L.)和九里香(*Murraya exotica* L.)[11],女贞(*Ligustrum lucidum*)[12]。

酸雨会影响生物量及其分配。酸雨属于环境因素改变的其中一种,环境因素的改变会影响森林生物量和生产力,进而会改变生态系统的结构来影响其他功能[13]。本研究中,随 pH 值的降低,地上生物量、地下生物量和总生物量表现为降低趋势,而巨尾桉 9 号和格木生物量积累不受 pH 值影响。根冠比除巨尾桉 9 号外均不受 pH 值影响。且在各个 pH 值梯度下表现出种间差异。说明酸雨对幼苗生物量积累表现出种间差异。影响幼苗生长的原因可能是酸雨直接作用叶片后,会破坏细胞超微结构和植物膜结构,改变酶活性,降低叶绿素含量,最终导致光合作用能力下降,抑制植物生长[14]。

4 结 论

4 个树种的苗高相对生长量和地径相对生长量随酸雨 pH 值的降低总体均呈下降趋势,而生物量的变化较大。巨尾桉 9 号在模拟酸雨 pH3.0 时,苗高相对生长量、地径相对生长量分别比对照组降低 13.40%、23.84%,地上生物量为 3.70 g/株,显著大于对照,pH5.0 时,其地下生物量、总生物量略大于对照,pH5.6 时,其根冠比最大,巨尾桉 9 号苗高相对生长量、地径相对生长量及地上生物量、地下生物量、总生物量、根冠比等生长指标在不同酸度酸雨下变化不明显。格木在模拟酸雨 pH5.6 时,苗高相对生长量显著大于对照,且根冠比较对照大,其地上生物量、地下生物量、总生物量在不同酸度酸雨下变化不明显。降香黄檀在模拟酸雨 pH5.0 时,苗高相对生长量显著高于对照,根冠比最大,但在不同浓度下其地径生长量、地下生物量、总生物量均较对照小,地上生物量在轻度酸雨下降幅较大,随其 pH 值的下降,变化幅度减小。在不同浓度酸雨处理下,土沉香苗高相对生长量、地径相对生长量、地上生物量、地下生物量、总生物量、根冠比均显著小于对照。

可见,模拟不同浓度酸雨对巨尾桉 9 号及格木生长的影响不大,在轻度酸雨下还可促进巨尾桉 9 号生物量的积累,促进格木和降香黄檀苗高生长,增大其根冠比;土沉香生长受酸雨影响较大,在轻度酸雨下便对其造成显著影响。

参考文献:

[1] 冯宗炜. 中国酸雨对陆地生态系统的影响和防治对策[J]. 中国工程科学,2000(9):5-11.

[2] 吴丹,王式功,尚可政. 中国酸雨研究综述[J]. 干旱气象,2006(2):70-77.

[3] 程爱珍,韦华红. 广西酸雨时空分布和季节变化特征分析[J]. 安徽农业科学,2010(9):4683-4685.

[4] 覃东才. 广西酸雨污染及变化趋势[J]. 中小企业科技,2007(10):274-275.

[5] 林婷. 桉树人工林的生态效应研究[J]. 林业勘察设计,2012(1):16-20.

[6] 刘苇,余雪标. 桉树人工林林下间作绿肥对土壤的改良效应研究[J]. 热带林业,2008(2):16-20.

[7] 鲁美娟. 模拟酸雨对浙江省 3 种重要树种幼苗生长与光合生理的影响[D]. 重庆:西南大学,2010.

[8] 黄建昌,肖艳. 模拟酸雨对 6 种园林植物的影响[J]. 西南农业大学学报,2002(4):360-362.

[9] LEE J J,WEBER D E. The effect of simulated acid rain on seedling emergence and growth of eleven woody species [J]. Forest Science,1979,25(3):393-398.

[10] 殷秀敏,余树全,江洪,等. 酸雨胁迫对秃瓣杜英幼苗叶片叶绿素荧光特性和生长的影响[J]. 应用生态学报,2010(6):1374-1380.

[11] 蔡如,黄建昌,肖艳. 模拟酸雨对 6 种园林植物生长和生理反应的影响[J]. 仲恺农业技术学院学报,2002(3):28-32.

[12] 樊后保,臧润国,KOSUKE W. 女贞种子和幼苗对模拟酸雨的反应[J]. 林业科学,2000(6):90-94.

[13] 张治军. 重庆酸雨区马尾松生物量和根系空间分布特征研究[D]. 保定:河北农业大学,2006.

[14] WANG R,REHMAN S U,LIANG X,et al. Effects of simulated acid rain on the allelopathic potential of invasive weed Wedelia trilobata[J]. Allelopathy Journal,2012,30(1):23-32.

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、自然保护地、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^2、m^2、dm^2、cm^2；体积单位：m^3、L、mL；质量单位：t、kg、g、mg；时间单位：a、d、h、min、s。

1.9 数字的写法：凡是可以使用阿拉伯数字且很得体的地方，均应使用阿拉伯数字；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码对应一致。著录格式如下：①**期刊**：[序号]作者（3人以上须满足3人后加逗号和“等”）. 篇名[J]. 刊名，年，卷（期）：起止页码.②**图书**：[序号]作者. 书名[M]. 出版地：出版单位，出版年：起止页码.③**论文集**：[序号]作者. 论文集名[C]. 出版地：出版单位，出版年：起止页码.④**电子文献**：[序号]主要责任者. 电子文献题名[电子文献及载体类型标识]. 发表日期/引用日期（任选）. 电子文献的出处或可获得地址. **参考文献类型代码分别为**：普通图书[M]、会议录[C]、汇编[G]、报纸[N]、期刊[J]、学位论文[D]、报告[R]、标准[S]、专利[P]、数据库[DB]、计算机程序[CP]、电子公告[EB]、联机网络[OL]。对于专著、论文集中析出的文献，其文献类型标识采用“[C]//”，对于图书中析出的文献采用“[M]//”，对于其他未说明文献类型的标识采用[Z]。每一参考文献条目的最后均以“.”结束。

2 投稿与稿件处理

1）投稿前，请认真阅读本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 年被评为云南省优秀期刊
- 2012 年被评为云南省优秀期刊
- 2022 年被评为“西牛计划”之优秀中文科技期刊
- 2023 年被评为云南省“金茶花奖”之优秀期刊

林 业 调 查 规 划
LINYE DIAOCHA GUIHUA
（双月刊，1976年创刊）
2023 年 9 月 第 48 卷 第 5 期

Forest Inventory and Planning
（Bimonthly，Started in 1976）
Vol.48 No. 5 Sep. 2023

主管单位	云南林业和草原局	**Administrated by**	Yunnan Forestry and Grassland Administration
主办单位	云南省林业调查规划院	**Sponsored by**	Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning,
主　　编	胡宗华	**Editor in chief**	HU Zonghua
编辑出版	《林业调查规划》编辑部	**Edited & Published by**	Editorial Department of Forest Inventory and Planning
地　　址	昆明市人民东路289号	**Address**	289 East Renmin Road, Kunming,China
邮　　编	650051	**Post Code**	650051
电　　话	0871-63318347，63332538	**Telephone**	0871- 63318347，63332538
Email	ynfip@vip.163.com	**Email**	ynfip@vip.163.com
印　　装	昆明锦润印刷有限公司	**Printed by**	Kunming JINRUN Printing Co.,Ltd.
订　　购	全国各地邮政局	**Distributed by**	All Local Post Offices in Chin

刊号：ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

国内定价：20.00 元（全年 120.00 元）

广告经营许可证号：5300004000093
邮发代号：64-100

ISSN 1671-3168