

中国科技核心期刊
中国林业核心期刊

ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

林业调查规划

FOREST INVENTORY AND PLANNING



第49卷 第4期
Vol.49 No.4

2024 4



云南省林业调查规划院 主办

林业调查规划

第49卷 第4期
Vol.49 No.4

二〇二四年七月

《林业调查规划》编辑委员会

顾问 唐守正 孙汉董 刘国强 郭辉军 胥 辉 李凤日 张铁明

主编 胡宗华

常务副主编 华朝朗

副主编 许易琦 余昌元

编委 (按姓氏笔画排序)

马国强 国家林业和草原局西南调查规划院

王有兵 云南省林业调查规划院

王得军 国家林业和草原局西北调查规划院

艾建林 云南省林业调查规划院

龙廷位 云南省林业调查规划院

冯 源 云南省林业和草原科学院

刘 扬 西南林业大学

刘扬晶 国家林业和草原局中南调查规划院

安 科 云南省林业调查规划院

许易真 黑龙江省林业和草原调查规划设计院

负新华 云南省林业和草原科学院

李 嵘 中国科学院昆明植物研究所

李元杰 云南省林业调查规划院

李敏敏 云南省林业调查规划院

杨 东 云南省林业调查规划院

杨士剑 云南师范大学

杨国斌 云南省林业调查规划院

杨忠兴 云南省林业调查规划院

吴 飞 中国科学院昆明动物研究所

吴富勤 云南省林业调查规划院

余志飞 云南省林业调查规划院

角媛梅 云南师范大学

邹光啟 云南省林业调查规划院

张 文 四川省林业和草原调查规划院

张大才 西南林业大学

张志明 云南大学

张忠涛 国家林业和草原局产业发展规划院

陈文红 云南省林业调查规划院

武瑞东 云南大学

林 辉 国家林业和草原局华东调查规划院

林寿明 广东省林业调查规划院

欧光龙 西南林业大学

岳彩荣 西南林业大学

郑进烜 云南省林业调查规划院

赵书学 云南省林业调查规划院

秋新选 云南省林业调查规划院

徐吉洪 云南省林业调查规划院

唐雪琼 西南林业大学

陶 晶 云南省林业调查规划院

曹顺伟 云南省林业调查规划院

曾伟生 国家林业和草原局林草调查规划院

温庆忠 云南省林业调查规划院

赖兴会 云南省林业调查规划院

廖声熙 中国林业科学研究院高原林业研究所

廖聪宇 云南省林业调查规划院

谭运洪 中国科学院西双版纳热带植物园

魏雪峰 云南省林业调查规划院

《林业调查规划》编辑部成员

许易琦 刘平书 陈 旭 杨焱熔 张瑞君 董 磊

林业调查规划

第 49 卷 第 4 期

(总第 262 期)

2024 年 7 月

目 次

● 森林经理

广西速丰桉二元立木材积模型研建 徐庆玲, 郭道峰, 韦秋生, 黎庆华, 罗霸, 莫焕雄, 覃孙慧(1)

2022 年广西林草湿地图斑监测底图处理方法 梁艳芬(7)

云南省华山松二元立木材积模型研建 罗胤, 林国刘, 宋永俊, 施凯泽, 徐婷婷(12)

● 森林培育

施氮水平对美国红枫实生苗生长及叶色变化的影响 卜会荣, 纪志荣, 郭伟, 高兵, 高慧峰(29)

● 林草碳汇

河南省 2040 年土地利用格局及有机碳储量预测研究 胡国宝, 乔栋, 张楚磊, 李晓林, 田耀武(35)

基于 InVEST 模型的河池市森林碳储量估测研究 梁民, 陈秀庭, 徐庆玲, 曾春阳, 刘峰(43)

● 自然保护地

城市自然保护地监测路径研究 郑坤, 罗婷文(58)

● 生态保护修复

土地利用变化背景下植被大气 $PM_{2.5}$ 去除能力动态评估

..... 邱颖颖, 董雯, 许菲菲, 陈莉娟, 金筱艾, 任远, 王彬, 陈健, 周天煊(70)

● 生态系统

城市森林公园土地利用变化对生态系统服务价值的影响 孙文, 孟陈, 张凯旋(96)

西双版纳尚勇热带季节雨林物种组成及其与环境因子关系

..... 李有寿, 邓志云, 彭倩, 李帅锋, 郎学东, 黄小波, 唐荣, 张锐, 郭贤明, 苏建荣(106)

腾冲市沙坝国有林场森林生态文化服务产品价值实现探究 邢晓琳, 姚能昌, 杨倩, 刘娟, 马裕霞, 徐昀(112)

● 资源管理

湖北省森林资源蓄积量年度监测存在的问题及优化思路 曹爱平, 冯顺柏, 黄光体, 潘自辉, 杨安, 肖正利(116)

云南省沼泽湿地资源动态变化分析 刘茜,李玲芬,吴富勤,廖聪宇,董磊,秦燕(123)

云南省古树名木资源调查分析 唐文静,刘鹏程,徐伦先(129)

巍山青华绿孔雀省级自然保护区药用植物资源多样性研究

..... 杨淑娇,王有兵,胡昌平,姜健发,杨建军,李茂松,李婵瑾,陈雁,张志鑫(135)

RTK 在全国林草生态综合监测森林样地调查中的应用 高林,樊骥善,汤明华(141)

● 动植物

德宏州油茶优良品种选育 万文,卢靖,杨丽梅,梁晓碧(159)

基于生态产品价值实现机制的古树名木价值评估 杨乔媚,陈静,冯月妮(170)

● 林草灾害(含林火、病虫害、外来物种)

基于 GIS 的天水市麦积区洪涝灾害风险区划研究 梁晓波,杨小莉,安斌,李映春(175)

● 智慧林草

基于多尺度特征融合的地理测绘影像目标检测 李睿,李亚洲,赵建文,周卫波(188)

广东省林业数据资源综合管理与信息服务能力提升研究

..... 孟先进,秦琳,薛亚东,黄宁辉,张水花,陈鑫(195)

面向河道带状地形测量的航空摄影测量影像细节增强技术研究 何旭东,赵洪鹏(201)

● 森林土壤

太原市滨河东路绿地土壤养分分布及肥力质量评价 赵心语,王春玲,陈小平,王婷婷,胡杰(207)

● 园林绿化

基于不同视角的遗址公园景观感知研究 宋诗轩,滕维超(219)

● 其他

溶胶—凝胶法改良杉木人工林木材研究 陈奎,刘衡,涂东东,符韵林(226)

云南玉龙雪山脚下的玉液湖 张正友摄(封面)

Contents

●Forest Management

Binary Volume Model for Fast-Growing and High-Yield *Eucalyptus* in Guangxi

..... XU Qingling, GUO Daofeng, WEI Qiusheng, LI Qinghua, LUO Ba, MO Huanxiong, QIN Sunhui(1)

Monitoring Base Map Processing Method of Forest, Grassland and Wetland Patch of Guangxi in 2022 LIANG Yanfen(7)

Binary Standing Volume Model for *Pinus amandii* in Yunnan Province

..... LUO Yin, LIN Guoliu, SONG Yongjun, SHI Kaize, XU Tingting(12)

●Forest Cultivation

Effect of Nitrogen Application on Growth and Leaf Color Changes of *Acer rubrum* Seedlings

..... BU Huirong, JI Zhirong, GUO Wei, GAO Bing, GAO Huifeng(29)

●Forest and Grassland Carbon Sequestration

Prediction of Land Use Pattern and Organic Carbon Stock in Henan Province in 2040

..... HU Guobao, QIAO Dong, ZHANG Chulei, LI Xiaolin, TIAN Yaowu(35)

Estimation of Forest Carbon Stock in Hechi City Based on InVEST Model

..... LIANG Min, CHEN Xiuting, XU Qingling, ZENG Chunyang, LIU Feng(43)

●Natural Protected Areas

Monitoring Path of Urban Natural Protected Areas ZHENG Kun, LUO Tingwen(58)

●Ecological Protection and Restoration

Dynamic Assessment of Atmospheric PM_{2.5} Removal Capacity of Vegetation in the Context of Land Use Change

..... QIU Yingying, DONG Wen, XU Feifei, CHEN Lijuan, JIN Xiaoai, REN Yuan, WANG Bin, CHEN Jian, ZHOU Tianhuan(70)

●Ecosystem

Impact of Land Use Change on Ecosystem Services in Urban Forest Park SUN Wen, MENG Chen, ZHANG Kaixuan(96)

Species Composition and Its Relationship with Environmental Factors in Seasonal Tropical Rainforest in Shangyong of

Xishuangbanna LI Youshou, DENG Zhiyun,

PENG Qian, LI Shuaifeng, LANG Xuedong, HUANG Xiaobo, TANG Rong, ZHANG Rui, GUO Xianming, SU Jianrong(106)

Value Realization of Forest Ecological and Cultural Service Products in Shaba State-owned Forest Farm of Tengchong City

..... XING Xiaolin, YAO Nengchang, YANG Qian, LIU Juan, MA Yuxia, XU Yun(112)

●Resource Management

Problems and Optimization Ideas of Annual Monitoring of Forest Resources Stock in Hubei Province

..... CAO Aiping, FENG Shunbai, HUANG Guangti, PAN Zihui, YANG An, XIAO Zhengli(116)

Dynamic Changes of Marsh Wetland Resources in Yunnan Province

..... LIU Qian, LI Lingfen, WU Fuqin, LIAO Congyu, DONG Lei, QIN Yan(123)

Investigation and Analysis of Current Situation of Ancient and Famous Tree Resources in Yunnan Province

..... TANG Wenjing, LIU Pengcheng, XU Lunxian(129)

Diversity Analysis of Medicinal Plant Resources in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve in Weishan ... YANG Shujiao,

WANG Youbing, HU Changping, JIANG Jianfa, YANG Jianjun, LI Maosong, LI Chanjin, CHEN Yan, ZHANG Zhixin(135)

Application of RTK in National Forest and Grass Ecological Comprehensive Monitoring Forest Sample Survey

..... GAO Lin, FAN Jishan, TANG Minghua(141)

●Plant and Animal

Breeding Selection of *Camellia oleifera* Excellent Varieties in Dehong Prefecture

..... WAN Wen, LU Jing, YANG Limei, LIANG Xiaobi(159)

Value Appraisal of Ancient and Famous Trees Based on Value Realizing Mechanism of Ecological Products

..... YANG Qiaomei, CHEN Jing, FENG Yueni(170)

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

Flood Disaster Risk Zoning in Maiji District of Tianshui City Based on GIS

..... LIANG Xiaobo, YANG Xiaoli, AN Bin, LI Yingchun(175)

●Intelligent Forestry and Grassland

Target Detection of Geographic Mapping Image Based on Multi-scale Feature Fusion

..... LI Rui, LI Yazhou, ZHAO Jianwen, ZHOU Weibo(188)

Comprehensive Management of Forestry Data Resources and Improvement of Information Service Capability in Guangdong Province

..... MENG Xianjin, QIN Lin, XUE Yadong, HUANG Ninghui, ZHANG Shuihua, CHEN Xin(195)

Detail Enhancement Technology of Aerial Photogrammetric Image for River Band Topographic Survey

..... HE Xudong, ZHAO Hongpeng(201)

●Forest Soil

Soil Nutrient Distribution and Fertility Quality Evaluation of Binhe East Road Greenbelt in Taiyuan

..... ZHAO Xinyu, WANG Chunling, CHEN Xiaoping, WANG Tingting, HU Jie(207)

●Landscape Greening

Landscape Perception of Site Parks Based on Different Perspectives SONG Shixuan, TENG Weichao(219)

●Other Column

Improvement of *Cunninghamia lanceolata* Plantation Wood by Sol-Gel CHEN Kui, LIU Heng, TU Dongdong, FU Yunlin(226)

Yuye Lake at the Foot of Yulong Snow Mountain in Yunnan Province Photographed by ZHANG Zhengyou(Front Cover)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.001

广西速丰桉二元立木材积模型研建

徐庆玲¹, 郭道峰¹, 韦秋生², 黎庆华², 罗霸², 莫焕雄³, 覃孙慧⁴

(1. 广西壮族自治区林业勘测设计院, 广西南宁 530011; 2. 广西柳州市柳江区自然资源局, 广西柳州 545100;
3. 广西梧州市长洲区林业局, 广西梧州 543003; 4. 广西柳州市鹿寨县林业局, 广西柳州 545600)

摘要:在广西速丰桉 6 个区域设置 276 块标准地, 按径阶采集 539 株样木, 选取山本式固定参数模型和山本式可变参数模型分别构建速丰桉二元材积模型, 通过比较参数变动系数并综合修正决定系数、总相对误差、平均系统误差、平均百分标准误差及预估精度等指标, 确定 $V=0.000\ 043\ 54 \times D^{1.718\ 74} \times H^{1.197\ 27}$ 为最佳的二元材积模型。同时, 对模型进行不同树种、区域、胸径、树高分段及独立样本检验, 结果表明, 模型各项精度均达到编制二元材积模型的精度要求, 可广泛应用于广西速丰桉伐区设计调查和其他生产经营活动。

关键词:速丰桉; 二元材积模型; 山本式固定参数模型; 独立样本检验; 胸高形数

中图分类号: S758.62; S792.39 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0001-06

引文格式: 徐庆玲, 郭道峰, 韦秋生, 等. 广西速丰桉二元立木材积模型研建[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 1-6, 153. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.001

XU Qingling, GUO Daofeng, WEI Qiusheng, et al. Binary Volume Model for Fast-Growing and High-Yield *Eucalyptus* in Guangxi[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 1-6, 153. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.001

Binary Volume Model for Fast-Growing and High-Yield *Eucalyptus* in Guangxi

XU Qingling¹, GUO Daofeng¹, WEI Qiusheng², LI Qinghua², LUO Ba²,
MO Huanxiong³, QIN Sunhui⁴

(1. Guangxi Forest Survey and Design Institute, Nanning 530011, China; 2. Natural Resources Bureau of Liuzhou District, Liuzhou, Guangxi 545100, China; 3. Forestry Bureau of Changzhou District, Wuzhou, Guangxi 543003, China;
4. Forestry Bureau of Luzhai County, Liuzhou, Guangxi 545600, China)

Abstract: In this study, 276 standard plots were set up in 6 areas of fast-growing and high-yield *Eucalyptus* forest in Guangxi, and 539 sample trees were collected by diameter class. The Yamamoto-Kazuhide models with fixed and variable parameters were used to construct the binary volume model. By comparing the parameter variation coefficient and integrating correction coefficients such as determination coefficient, total relative error, mean systematic error, mean percentage standard error, and estimation accuracy, the best binary volume model was $V=0.000\ 043\ 54 \times D^{1.718\ 74} \times H^{1.197\ 27}$. The model was tested by species, different regions, different diameter classes, tree height classes, and independent sample tests. The results showed that the accuracy of the model met the requirements for developing binary volume models and could be widely applied to the design and investigation of logging areas and other production

收稿日期: 2023-04-03; 修回日期: 2023-05-18.

基金项目: 广西林业科研项目(桂林科研[2016]31号, 桂林科研[2016]24号, 桂林科研[2015]15号).

第一作者: 徐庆玲(1983-), 男, 湖北大冶人, 硕士, 高级工程师. 主要从事森林资源规划设计调查、林业数表和林业碳汇研究.

责任作者: 郭道峰(1992-), 男, 广西凤山人, 本科, 工程师. 主要从事森林资源调查、林业规划设计研究.

and management activities in fast-growing and high-yield *Eucalyptus* forests in Guangxi.

Key words: fast-growing and high-yield *Eucalyptus*; binary volume model; Yamamoto-Kazuhide model with fixed parameters; independent sample testing; breast-height form factor

速丰桉是广西的主要用材树种,具有生长快和木材产量高的特点。其种植面积仅占我国森林面积的 2%,生产木材占全国木材总产量的 25%,丰富的木材资源为保障国家木材战略储备安全做出突出贡献,是我国引种最为成功的用材树种之一^[1]。根据 2022 年广西森林资源管理“一张图”年度更新成果,速丰桉面积达 324.67 万 hm²,蓄积量 27 720.35 万 m³,分别占广西乔木林面积、蓄积的 28.68%、26.98%。二元材积表是重要的林业基础数表,对于森林蓄积的准确计量和森林质量的评价具有重要意义^[2]。目前国内学者对速丰桉二元材积模型研究相对较少,韦文长等^[3]以巨尾桉为样本,应用 SPSS 软件进行非线性回归分析,以 Levenberg-Maquardt 迭代法对多个二元材积方程进行拟合并求解各方程参数,结果显示迈耶式为最佳二元材积方程。岑巨延^[4]以广西速丰桉 156 块样地的 305 株伐倒木数据为基础,优化模型结构,研究建立速丰桉人工林二元立木材积动态模型,经模型自检,各项精度满足林业数表建模要求。广西研制的速丰桉二元材积表是 2005 年编制的《广西速丰桉数表》,使用年限已超 2 个经营

周期,随着营造林技术的提高,速丰桉的产量也在提高,继续沿用可能产生较大误差,需重新编制速丰桉二元材积表。研究以单株速丰桉立木为对象,建立胸径、树高与立木主干材积的关系,研建速丰桉胸径树高二元材积模型,并以此为基础,编制适用于广西速丰桉森林资源调查的二元材积表,为准确计算森林蓄积量和评价森林质量提供理论依据。

1 研究区概况

根据速丰桉生长气候、土壤和地理位置等立地因素的差异,将样本采集区域划分为沿海区、桂南区、桂西区、桂中区、桂东区和桂北区 6 个区域^[5]。沿海区涉及防城港市防城区、合浦县等 3 个县;桂南区涉及横州市、龙州县、隆安县等 8 个县和 2 个国有林场;桂西区涉及德保县、田林县和西林县等 4 个县;桂中区涉及柳城县、鹿寨县和武宣县等 4 个县;桂东区涉及贺州市八步区、苍梧县和岑溪市等 8 个县;桂北区涉及河池市金城江区、灵川县和罗城县等 6 个县。各产区分布和自然地理概况详见表 1。

表 1 研究区自然地理概况

Tab. 1 Overview of natural geography in the research area

产区	地理位置	采样地	土壤类型	年均温/℃	年均降水量/mm
桂北区	25°37'~24°22' N 107°1'~110°47' E	河池市金城江区、灵川县、罗城县、南丹县、全州县、融水县	黄壤、黄红壤、赤红壤	17.4~20.4	1284.3~1926.0
桂东区	24°16'~22°27' N 109°41'~112°03' E	贺州市八步区、苍梧县、岑溪市、桂平市、平乐县、平南县、容县、钟山县	赤红壤、紫色土、赤红壤、红壤	19.9~22.6	1355.0~2100.0
桂南区	23°25'~22°08' N 106°33'11"~109°51' E	南宁市兴宁区、横州市、龙州县、隆安县、宁明县、浦北县、上思县、贵港市覃塘区、高峰林场、七坡林场	赤红壤、红壤石灰土	18.2~28.1	1028.8~1950.0
桂西区	24°41'~23°01' N 104°29'~106°56' E	德保县、田林县、西林县、百色市右江区	黄壤、石灰土、赤红壤、红壤	19.1~22.1	1115.0~1600.0
桂中区	24°51'~23°19' N 108°36'~110°12' E	柳城县、鹿寨县、武宣县、象州县	石灰土、红壤、赤红壤	20.2~21.7	1291.7~1750.0
沿海区	22°07'~20°36' N 107°28'~109°46' E	防城港市防城区、合浦县、钦州市钦南区	砖红壤、赤红壤	21.2~23.3	1600.0~2213.3

2 研究方法

2.1 样本采集方法

确定取样范围首先按胸径分为 6、9、12、15、18、

21、24、27、30 cm 共 9 个取样点,然后在每个取样点位取样时尽可能按确定的大、中、小高径比分别选取样木,要求每个胸径取样点取样量为 45 株(大、中、

小高径比取样点各取样 15 株)^[6],考虑到在广西沿海、南部、西部、中部、东部、北部各区域均有一定代表性的样本,按上述取样点实际调查共取得样木 539 株,剔除其中数据异常的样木 16 株后,剩余的 523 株样木数据全部作为建模样本,另外还采集了 383 株不在取样点位上的样木作为模型的检验样本(表 2)。

表 2 速丰桉建模样本取样点及其取样范围

Tab. 2 Sampling points and ranges for modeling fast-growing and high-yield *Eucalyptus*

取样 径阶 /cm	小高径比		中高径比		大高径比		总株 数 /株
	取样范围	株数 /株	取样范围	株数 /株	取样范围	株数 /株	
6	1.16~1.45	11	1.46~1.75	29	1.76~2.05	12	52
9	1.06~1.35	31	1.36~1.65	28	1.66~1.95	33	92
12	0.96~1.35	27	1.36~1.55	30	1.56~1.85	28	85
15	0.91~1.25	28	1.26~1.45	24	1.46~1.80	27	79
18	0.91~1.20	29	1.21~1.35	24	1.36~1.70	26	79
21	0.89~1.10	16	1.11~1.25	25	1.26~1.50	17	58
24	0.80~1.05	9	1.06~1.20	10	1.21~1.50	11	30
27	0.80~1.05	5	1.06~1.20	6	1.21~1.50	8	19
30	0.65~0.94	9	0.95~1.20	9	1.21~1.40	11	29
合计		165		185		173	523

2.2 建模方法

二元材积函数模型是以胸径、树高为自变量,立

木主干材积为因变量的关系式。目前国内二元材积数学模型多达 15 个^[7-10]。广西速丰桉二元立木材积模型使用年限超过 2 个经营周期,需对现行二元材积模型进行检验修订。研究首先利用 523 株样木数据对广西现行二元材积模型进行适应性检验,然后选取常用山本式固定参数模型(1)和山本式可变参数模型(2)进行二元材积模型拟合,为消除二元立木材积模型中可能存在的异方差影响,以加权函数最小二乘法求解各模型参数,模型为:

$$V = c_0 \times D^{c_1} \times H^{c_2} \tag{1}$$

$$V = c_0 \times D^{(c_1 - c_2(D+H))} \times H^{(c_3 + c_4(D+H))} \tag{2}$$

式中:V 为带皮材积;D 为平均胸径;H 为平均树高;c₀~c₄ 为模型参数。

2.3 评价指标

以总相对误差(TRE)、平均百分标准误差(MPSE)、平均系统误差(ASE)、预估精度(P)、修正决定系数(R²)及参数变动系数等精度指标评价模型的优劣^[11-12]。

3 结果与分析

3.1 现行二元材积模型适应性检验

利用建模样本数据检验现行使用材积表^[4],其模型为:

$$V = 0.000109154 \times D^{(1.87892 - 0.00569186 \times (D+H))} \times H^{(0.652598 + 0.00784754 \times (D+H))} \tag{3}$$

现行二元材积模型检验结果见表 3~4。

表 3 现行二元材积模型分树种及分产区检验结果

Tab. 3 Analysis results of the current binary volume model by tree species and production regions %

检验指标	整体	分树种			分产区				
		尾叶桉	巨尾桉	沿海区	桂南区	桂西区	桂中区	桂东区	桂北区
TRE	-3.98	-3.33	-4.10	3.68	-6.53	-3.73	-0.73	-2.86	-0.88
ASE	-1.95	-3.32	-1.67	0.98	-2.88	-3.16	-1.40	-1.93	-1.51
MPSE	6.66	6.70	5.45	5.86	5.51	4.69	4.32	4.27	4.21
P	98.80	97.92	98.63	96.90	97.68	97.49	98.57	98.43	98.98

表 4 现行二元材积模型分段检验结果

Tab. 4 Analysis results of the current binary volume model by segments %

检验指标	胸径分段/cm				树高分段/m				
	5~10.9	11~14.9	15~19.9	≥20	5~10.9	11~14.9	15~19.9	20~24.9	≥25
TRE	-2.32	-0.63	-1.50	-6.38	-4.06	-0.43	-0.82	-1.67	-6.57
ASE	-2.53	-0.64	-1.28	-4.36	-4.25	-0.55	-1.09	-1.57	-4.50
MPSE	7.43	3.31	4.31	6.26	6.16	4.47	3.91	4.17	6.43
P	98.75	99.23	99.20	97.72	97.80	98.79	99.15	99.11	97.65

从检验结果看,现行二元材积模型整体和分树种 TRE、ASE 绝对值小于 5%,MPSE 小于 10%,*P* 值大于 98%,基本满足二元材积模型精度要求。但在不同胸径、树高分段检验中有 3 个分段样本 TRE 超 5%,分别是桂南区样本为 6.53%,胸径≥20 cm 样本为 6.38%,树高≥25 m 样本为 6.57%,说明现行使用的二元材积模型对桂南区样本和胸径或树高较大样本的适应性较差,主要原因是 2005 年研建二元材积模型时,实际速丰桉林分的大径级样本极少,收集到的大径级样本数量较少且不具代表性。随着速丰桉林分的品种改良、种植范围扩大、林分特点的变化,若仍使用原来的二元材积模型,对某些样本(如胸径或树高较大的样本)材积测算将产生较大的偏差。

3.2 干形差异性分析

干形分析的指标是胸高形数,对调查样本数据分尾叶桉、巨尾桉和分区域进行分析,计算各径阶平均树高、平均胸径、胸高形数值及偏差值,结果见表 5~6。

表 5 不同样木树种各径级胸高形数

Tab. 5 Breast-height form factors of different diameter classes and tree species

径阶 /cm	径阶平均树高/m	尾叶桉	巨尾桉	相对偏差 /%
6	9.2	0.54	0.54	-0.18
9	9.8	0.49	0.51	-2.97
12	14.2	0.47	0.49	-2.49
15	17.5	0.46	0.47	-2.15
18	19.8	0.45	0.46	-2.22
21	22.8	0.44	0.45	-2.27
24	25.1	0.43	0.44	-2.09
27	29.0	0.42	0.42	-1.66
30	34.5	0.41	0.42	-1.68

从表 5 可以看出,尾叶桉和巨尾桉理论胸高形数在各径级上的差异有所不同,但误差均小于 3%,说明尾叶桉和巨尾桉的干形相似,差异不显著,可将两个树种作为同一个建模单元研制二元材积模型。

表 6 不同区域样木胸高形数

Tab. 6 Breast-height form factors of *Eucalyptus* trees in different regions

区域	6 cm		9 cm		12 cm		15 cm		18 cm		21 cm		24 cm		27 cm		30 cm		平均	
	数值	偏差 /%	数值	偏差 /%	数值	偏差 /%	数值	偏差 /%	数值	偏差 /%	数值	偏差 /%	数值	偏差 /%	数值	偏差 /%	数值	偏差 /%	数值	偏差 /%
沿海区	0.53	-3.23	0.51	0.93	0.49	1.79	0.47	0.83	0.47	3.85	0.48	6.82	0.50	6.65	0.46	4.13			0.49	2.89
桂南区	0.56	1.91	0.51	1.20	0.49	0.45	0.47	1.57	0.46	0.87	0.43	-2.36	0.44	-1.05	0.43	-0.91	0.42	0.32	0.47	-1.64
桂西区	0.56	1.67	0.49	-2.91	0.48	-0.28	0.47	0.30	0.44	-3.86	0.44	-1.30	0.42	-4.36					0.48	-0.19
桂中区	0.55	-0.35	0.50	-1.43	0.48	-0.33	0.47	-0.22	0.46	0.77	0.45	2.02			0.48	5.48			0.48	0.41
桂东区	0.55	-0.20	0.51	0.39	0.48	0.17	0.46	-1.20	0.45	-1.89	0.45	0.60	0.44	0.66	0.41	-4.21	0.40	-4.30	0.48	0.55
桂北区	0.55	-0.43	0.51	0.21	0.48	-0.97	0.47	-0.36	0.46	0.58	0.45	1.60	0.47	4.66					0.48	0.06
整体	0.55		0.51		0.48		0.47		0.46		0.44		0.44		0.44		0.42		0.48	

从表 6 可以看出,不同区域的样木胸高形数与整体样木胸高形数相比,各区域胸高形数平均值与整体的胸高形数平均值偏差为 0.06%~2.89%;各区域不同径阶胸高形数平均值与整体的相应径阶胸高形数平均值偏差幅度为 0.17%~6.82%,除极个别外绝大部分偏差小于 5%。说明沿海区、桂南区、桂西区、桂中区、桂东区、桂北区 6 个区域速丰桉的胸高形数差异不显著,可将 6 个区域速丰桉作为同一个建模单元研制二元材积模型。

3.3 模型拟合结果

山本式固定参数模型和山本式可变参数模型拟

合结果见表 7。

从表 7 可见,山本式固定参数模型和山本式可变参数模型的 R^2 均大于 0.9, TRE、ASE 小于 1%, MPSE 小于 5%,*P* 值大于 99%,拟合效果较好,两个模型精度均达到了编制二元材积模型的精度要求^[13],但山本式可变参数模型中有 3 个参数变动系数超过 50%,说明模型不够稳定,在某些林木的材积估测上可能会产生较大偏差;山本式固定参数模型各变动参数均小于 20%,说明该模型相对较稳定。综合各模型精度指标情况,确定山本式固定参数模型作为速丰桉二元材积表。

表 7 二元材积模型拟合结果及检验指标

Tab. 7 Fitting results and testing indicators of the binary volume model

模型	c_0 值	变动系数 /%	c_1 值	变动系数 /%	c_2 值	变动系数 /%	c_3 值	变动系数 /%	c_4 值	变动系数 /%	R^2	TRE /%	ASE /%	MPSE /%	P /%
山本式固定参数模型	0.00004354	11.360	1.71874	2.550	1.197270	4.310					0.99	0.04	0.67	4.81	99.43
山本式可变参数模型	0.00006400	83.125	1.91649	10.663	0.004296	87.291	0.85970	34.499	0.004709	84.986	0.99	0.29	0.58	4.31	99.44

3.4 二元材积模型检验

3.4.1 山本式固定参数模型分树种、分产区、分段检验

山本式固定参数模型分树种、分产区和不同胸径、树高分段检验结果见表 8~9。

从表 8 和表 9 可以看出,山本式固定参数模型

在不同树种(尾叶桉和巨尾桉)和不同产区(沿海区、桂南区、桂西区、桂中区、桂东区和桂北区)以及不同胸径分段、树高分段的 TRE、ASE 绝对值均不超 5%,MPSE 均小于 9%, P 值达 97% 以上,拟合效果很好,达到编制二元材积模型精度要求,说明山本式固定参数模型在适用性方面表现良好。

表 8 山本式固定参数模型分树种及分产区检验结果

Tab. 8 Testing results of Yamamoto-Kazuhide model with fixed parameters by tree species and production regions

检验指标	分树种		分产区					
	尾叶桉	巨尾桉	沿海区	桂南区	桂西区	桂中区	桂东区	桂北区
TRE	-0.88	0.21	4.81	-0.14	-2.03	0.66	-0.97	0.55
ASE	-0.73	0.96	3.33	0.76	-0.64	0.37	0.25	0.79
MPSE	6.06	4.56	4.99	4.62	5.71	4.56	4.46	5.17
P	98.21	99.41	97.02	99.13	97.88	98.32	98.78	98.81

表 9 山本式固定参数模型分段检验结果

Tab. 9 Testing results of Yamamoto-Kazuhide model with fixed parameters by segments

检验指标	胸径分段/cm				树高分段/m				
	5~10.9	11~14.9	15~19.9	≥20	5~10.9	11~14.9	15~19.9	20~24.9	≥25
TRE	0.73	0.18	-0.42	0.29	4.87	3.76	0.59	-0.73	0.07
ASE	2.41	0.49	-0.20	0.43	4.69	3.55	-0.05	-0.96	0.01
MPSE	6.85	3.92	4.29	4.44	8.16	6.01	4.27	4.21	4.36
P	98.49	99.17	99.24	99.02	96.82	98.27	99.09	99.14	99.02

3.4.2 山本式固定参数模型残差分析

速丰桉主干材积山本式固定参数模型残差随胸径、树高分布见图 1。

图 1 显示山本式固定参数模型材积残差在胸径和树高上的分布上下对称、随机性表现良好,且残差分布表现相似,说明模型的材积估计值在胸径、树高各分段均不会出现明显的系统偏差。

3.4.3 独立样本检验

为检验模型的使用精度,单独组织 2 套检验样本,其中一套取自与建模样木不同的胸径取样点,共组织样木 30 株,分布于 17、19、20、22、26 cm 共 5 个径级;另一套检验样本取自广西国有高峰林场和七坡林场大径材速丰桉成熟林标准地调查数据,共 22 株样木,分布于 24、26、28、30、34、36、38 cm 共 7 个径

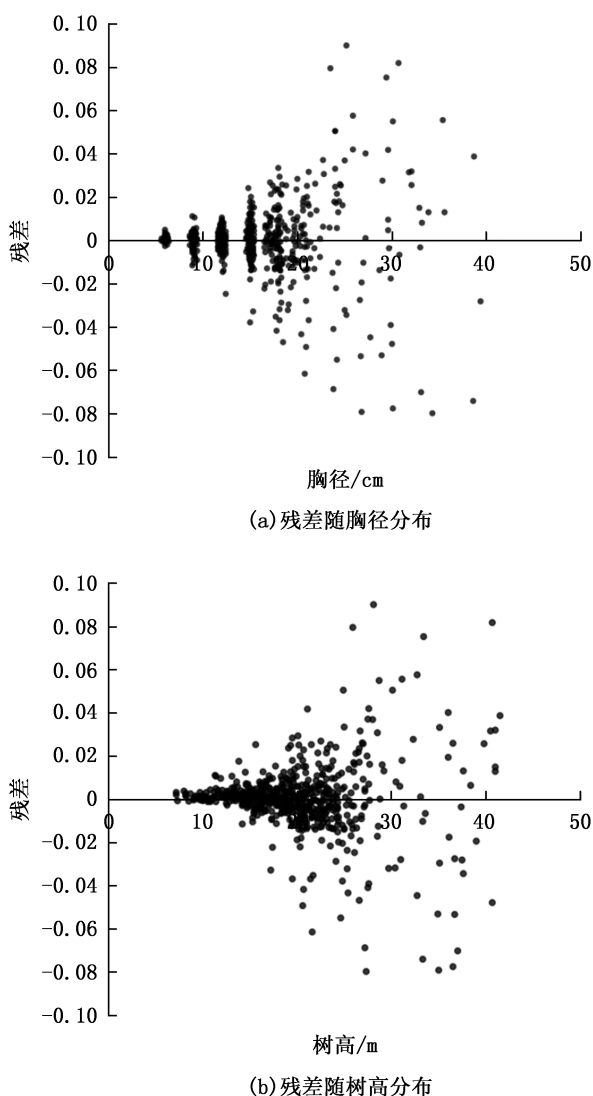


图 1 速丰桉主干材积山本式模型残差随胸径及树高分布
 Fig. 1 Distribution of residuals by DBH and tree height in Yamamoto-Kazuhide model with fixed parameters

阶中。山本式固定参数模型在 2 套检验样本的 TRE、ASE 绝对值均小于 2%，MPSE 均小于 4%，P 值均达到了 97.5% 以上(表 10)。

表 10 二元材积模型使用精度检验结果
 Tab. 10 Accuracy evaluation results of the binary volume model %

检验指标	检验样本(一)	检验样本(二)
TRE	0.47	-1.87
ASE	0.40	-1.86
MPSE	3.66	3.99
P	97.80	97.78

4 结论与讨论

1) 通过 523 株样木数据对广西现行二元材积模型进行适应性检验,结果表明,2005 年编制的现行二元立木材积模型在不同胸径、树高分段检验中有 3 个分段样本 TRE 超 5%,对桂南区样本和胸径或树高较大样本的适应性较差,若仍使用原来的二元材积模型,对某些样木(如胸径或树高较大的样木)的材积测算将产生较大偏差,研建更为精确的二元材积模型非常有必要。

2) 利用干形分析速丰桉不同树种(尾叶桉和巨尾桉)以及不同区域(沿海区、桂南区、桂西区、桂中区、桂东区和桂北区)的胸高形数,结果显示,其差异均不显著,说明可以不分树种和产区作为一个整体单位研建二元立木材积模型。

3) 通过建模样本分别研建山本式固定参数模型和山本式可变参数模型,两个模型各项精度均满足编制二元立木材积表的精度要求,但山本式可变参数模型 3 个参数变动系数超过 50%,模型不够稳定。而山本式固定参数模型的参数变动系数均不超过 20%,模型稳定,可以作为广西速丰桉二元立木材积模型。此参数模型为 $V=0.00004354 \times D^{1.71874} \times H^{1.19727}$ 。对山本式固定参数模型进行不同树种、产区、胸径和树高分段及独立样本检验,模型 TRE、ASE 绝对值均不超 5%,MPSE 均小于 9%,P 值超 97%,达到编制二元立木材积表的精度要求,模型的推广应用对快速准确计量桉树蓄积具有重要意义。

4) 样本选择在编制林业数表过程中及其重要,建模的样本必须具有充分的代表性,其胸径和树高的范围尽可能宽泛,构建的模型才具有广泛适用性^[14]。研究采用的速丰桉胸径范围为 5.6~39.4 cm,树高范围为 7.2~41.5 m,样本树高和胸径在上述范围之内可以使用山本式固定参数模型,不在此范围内时能否适用该模型还需要论证。

5) 在不增加外业调查每木检测树高以及内业为每个林分实际测绘树高曲线的工作量前提下,为更好地利用二元立木材积模型计算林分蓄积,有必要研制合适的高精度相对树高曲线模型,构建适应的二元立木材积模型^[15],以提高二元材积模型在生产实践中的实用性。

参考文献:

[1] 杨章旗. 广西桉树人工林引种发展历程与可持续发展研究[J]. 广西科学, 2019, 26(4): 355-361.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.002

2022 年广西林草湿地图斑监测底图处理方法

梁艳芬

(广西南宁林业勘测设计院有限公司, 广西 南宁 530001)

摘要: 森林、草原、湿地图斑监测底图的完善是 2022 年森林、草原、湿地图斑监测工作的基础和前提。针对国家下发的监测底图存在的共性问题 and 广西地方管理的需要, 提出监测底图处理思路 and 手段。根据广西 2022 年林草湿地图斑监测工作操作细则要求, 基于 ArcEngine 二次开发技术开发辅助处理插件, 实现不同调查单位监测底图统一处理。

关键词: 林草湿监测; 监测底图; 地类代码转换; ArcEngine 二次开发; 字段属性补充

中图分类号: S758.5; S758.61 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0007-05

引文格式: 梁艳芬. 2022 年广西林草湿地图斑监测底图处理方法[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 7-11.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.002

LIANG Yanfen. Monitoring Base Map Processing Method of Forest, Grassland and Wetland Patch of Guangxi in 2022[J].

Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 7-11. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.002

Monitoring Base Map Processing Method of Forest, Grassland and Wetland Patch of Guangxi in 2022

LIANG Yanfen

(Nanning Forestry Survey and Design Institute Co., Ltd., Nanning 530001, China)

Abstract: The improvement of the base map of forest, grassland and wetland is the basis and premise of forest, grassland and wetland patch monitoring in 2022. The ideas and methods for processing monitoring base maps were proposed in response to common issues and local management needs of Guangxi in the national monitoring base maps. According to the operational rules for monitoring forest, grassland and wetland patch in Guangxi in 2022, the auxiliary processing plugin was developed based on ArcEngine secondary development technology, in order to achieve unified processing of monitoring base maps for different survey units.

Key words: monitoring of forest, grassland and wetland; monitoring base map; land type code conversion; ArcEngine secondary development; field attribute supplementation

为积极构建全国林地“一张图”、调查监测“一盘棋”、森林资源“一套数”为基础的一体化监测体系, 2014 年起全国开始分批次开展各省全域范围内林地变更调查工作^[1]。2018 年, 国家林业和草原局印发了《关于开展 2019 年森林督查暨森林资源管理

“一张图”年度更新工作的通知》。自此, 全国的林地“一张图”经完善后转变为全国森林资源管理“一张图”, 林地年度变更工作演化为森林资源管理“一张图”年度更新工作。2021 年, 为贯彻落实习近平生态文明思想, 统筹推进山水林田湖草沙一体化保

收稿日期: 2022-11-15; 修回日期: 2023-06-15.

第一作者: 梁艳芬(1983-), 女, 广西南宁人, 高级工程师. 研究方向为林业调查规划设计、森林资源监测和 3S 技术在林业中的应用.

Email: 771587324@qq.com

护和修复,按照《自然资源调查监测体系构建总体方案》的框架要求,国家林业和草原局印发了《关于开展国家林草生态综合监测评价工作的通知》,并于 2021 年 6 月 7 日正式召开启动会,全面启动林草生态综合监测评价工作,标志着今后全国的森林资源管理“一张图”将更新纳入国家林草生态综合监测评价工作。同时,全国也第一次开展森林、草原、湿地数据与第三次全国土地调查数据融合(简称“2021 年林草湿数据与三调数据对接融合”,下同)。

2022 年,根据《深化党和国家机构改革方案》和自然资源部、国家林业和草原局“三定”规定,为做好森林、草原、湿地调查监测工作,自然资源部、国家林业和草原局共同印发《自然资源部 国家林业和草原局关于共同做好森林、草原、湿地调查监测工作的意见》,要求两部门协同推进,共同做好森林、草原、湿地调查监测工作。至此,原来森林资源管理“一张图”、林草生态综合监测工作正式纳入全国森林、草原、湿地调查监测体系,原来的“一张图”工作将更新为“森林、草原、湿地图斑监测”(简称“林草湿图斑监测”)工作。

综上,2021 年以前林地或森林资源管理“一张图”的更新工作使用的工作底图均为上年度“一张图”年度更新成果,但 2022 年林草湿图斑监测工作使用的底图是以 2021 年度国土变更调查成果为基础,结合 2021 年林草湿数据与三调数据对接融合成果制作而成,由国家统一下发。

由于调查体系框架、技术标准等不同,2022 年林草湿图斑监测底图和历年的森林资源管理“一张图”工作底图相比,数据库出现较多的新特点、新问题需要统一补充和完善。

笔者以广西 2022 年林草湿图斑监测工作为例,对在工作开展过程中遇到的有关问题及处理办法做初步探索,以供林业规划设计调查工作者参考。

1 监测底图特点

1.1 底图来源不同

2016—2021 年的森林资源管理“一张图”年度更新工作均以上年度的成果为基础进行更新,但 2022 年林草湿图斑监测底图是以 2021 年度国土变更调查成果为基础,结合 2021 年林草湿数据与三调数据对接融合而成,底图来源不同。

1.2 分类标准不同

历年的森林资源管理“一张图”年度更新工作中,对于“地类”分类均以传统的林业土地分类系统

为准^[2-3]。2021 年林草湿数据与三调数据对接融合成果中的“地类”字段,依然沿用传统的林业土地分类系统,但增加了全国第三次国土调查工作分类体系的“细化地类”字段。2022 年林草湿图斑监测底图中的“地类”转抄 2021 年林草湿数据与三调数据对接融合成果中的细化地类,但根据广西 2022 年林草湿图斑监测工作操作细则^[4](以下简称“操作细则”),本次监测“地类”的分类标准已不再使用传统的林业土地分类系统,也不是全国第三次国土调查分类标准,而是采用《国土空间调查监测、规划和用途管制用地用海分类指南(试行)》(以下简称《用地用海分类指南》)的分类标准。

2 监测底图存在问题

2.1 地类代码不符合操作细则要求

2022 年林草湿图斑监测底图数据库中的“地类”字段是转抄 2021 年林草湿数据与三调数据对接融合成果中的“细化地类”,代码以全国第三次国土调查工作分类为标准,不符合操作细则的要求。

2.2 公益林范围不一致

2022 年林草湿图斑监测底图中的公益林范围以林草湿数据与三调数据对接融合成果中的公益林范围为准进行衔接,但这个公益林范围并非 2021 年最终确认上报的公益林成果。因此,在 2022 年林草湿图斑监测底图制作过程中衔接进去的公益林范围,与 2021 年最终上报的公益林^[5]范围不一致。

2.3 缺乏核实落界天然商品林相关字段

根据《广西壮族自治区林业局办公室关于做好 2022 年公益林天然林管理有关工作的通知》(桂林办资字[2022]11 号),2022 年林草湿图斑监测工作要求同步核实、衔接落界天然商品林,但下发的监测底图缺乏相关字段,不能满足天然林管理需求。

2.4 属性字段不能满足地方实际管理需求

下发的监测底图属性数据库是自然资源部、国家林业和草原局根据 2022 年林草湿图斑监测工作需要统一制定的标准库,数据库共计 120 个字段,但具体到省、市、县时,这些原有字段还不能满足各地实际管理的需要。

监测底图存在部分问题如图 1 所示。

3 处理办法

3.1 处理思路

3.1.1 代码转换

由于分类标准的不同,下发的监测底图中部分

di_lei	you_shi_sz	pingjun_sg	sen_lin_lb
0304			4
0304			4
0304		树高等相关字段	4
0304		属性不完整	4
030200	680000		4
030405			4
030200	680000		4
0304			4
030100	590000		4
030100	590000		4
030100	590000		4
030100	551000		4
030302	990000		4
0304			4
030302	714000		4
030100	590000		4
030100	590000		4
030302	714000		4
030302	714000		4
030100	590000		4
030100	590000		4

图 1 监测底图处理前部分字段属性情况

Fig. 1 Monitoring base map and attributes of partial field before processing

字段代码和广西操作细则中代码要求不一致,需要进行代码转换。

1) 地类代码转换

下发的监测底图中,地类分类以全国第三次国土调查工作分类为标准,根据广西 2022 年林草湿地图斑监测操作细则,地类采用《用地用海分类指南》的分类标准,因此地类代码需要转换。具体地类代码转换情况详见表 1。

表 1 地类代码转换

Tab. 1 Land type code conversion

序号	转换前	转换后
1	030403(封育地)	030406(其他林地)
2	030404(苗圃地)	030403(苗圃地)
3	030405(采伐迹地)	030404(采伐迹地)
4	030406(火烧迹地)	030405(火烧迹地)
5	0304(其他林地)	030406(其他林地)

2) 森林类别代码转换

下发的监测底图中,森林类别代码和历年代码不同,其中代码“1、2、3”均属于重点公益林地;代码“4”均属于商品林地。但根据 2022 年林草湿地图斑监测操作细则要求,重点公益林地、重点商品林地、一般商品林地的森林类别代码应该分别为“11、21、22”,因此森林类别代码需要转换。同时,需要结合林草湿数据与三调数据对接融合成果,区分工作底图的重点商品林地和一般商品林地。

3.1.2 建立标准库

根据广西林草湿资源特色和管理需求,在满足

自然资源部、国家林业和草原局制定的属性字段前提下,为了更特色、更精准、高质量服务地方政府具体管理,结合森林、草原、湿地资源特点和管理需要,建立 2022 年林草湿地图斑监测标准库(以下简称广西标准库),共计 170 个字段。

将下发的监测底图经过地类和森林类别代码转换后,导入建立的标准库。

3.1.3 相关字段属性补充和处理

由于下发的监测底图来源不同,同时相比于下发监测底图,标准库增加了 50 个字段,因此,数据库中存在较多字段及属性需要统一补充和处理。

基于转换地类和森林类别代码后导入标准库的数据,参考 2022 年林草湿地图斑监测操作细则中林草湿资源现状数据库结构,从 2021 年林草湿数据与三调数据对接融合成果中的“F_LD_县代码_Now_2021”图层读取相关字段属性,补充完善监测底图相关属性因子(表 2)。

表 2 字段属性补充和处理

Tab. 2 Field attribute supplementation and processing

字段名	中文名	处理方法
XIANG_C	乡(名称)	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
CUN_C	村(名称)	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
LINCHANG_C	林场/自然保护区(名称)	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
FEN_CHANG	分场/管理站	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
FENCHANG_C	分场/管理站(名称)	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
GONG_QU	工区	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
GY_LINBAN	国有林班	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
GY_XIAOBAN	国有小班	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
PINGJUN_NL	平均年龄	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
PINGJUN_DM	每公顷断面积	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
SSLX	散生四旁类型	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
SSZYSZ	散生/四旁主要树种	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
SSZS	散生/四旁总株数	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
SSPJXJ	散生/四旁平均胸径	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
BSSZ	伴生树种名称	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取

续表 2

字段名	中文名	处理方法
BSSZQY	伴生树种起源	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
BSSZNL	伴生树种年龄	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
BSSZSG	伴生树种平均树高	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
BSSZPJXJ	伴生树种平均胸径	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
BSSZGQDM	伴生树种公顷断面面积	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
BSSZGQZS	伴生树种公顷株数	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
SLXJ	森林蓄积	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
YSSZXJ	优势树种蓄积	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
BSSZXJ	伴生树种蓄积	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
SSXJ	散生四旁蓄积	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
QUNLUO_JG	群落结构	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
LINCENG_JG	林层结构	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
SZJG_LX	树种结构类型	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取

续表 2

字段名	中文名	处理方法
GYL_QLR	公益林权利人	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
JYDW	经营管理单位	从“F_LD_县代码_Now_2021”图层中“GYL_JYDW”字段获取
GH_XY	管护协议	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
TRL_FW	是否天然商品林核实落界范围	从 F_LD_县代码_Now_2021 获取
YSSZGQXJ	优势树种公顷蓄积	在“F_LD_县代码_Now_2021”图层计算后再获取
BSSZGQXJ	伴生树种公顷蓄积	在“F_LD_县代码_Now_2021”图层计算后再获取

3.1.4 核对和衔接公益林

以调查单位 2021 年最终上报的公益林范围为依据,核对监测底图的国家级公益林范围,并衔接自治区级公益林范围及其相关属性,在不增加新的细碎图斑(面积小于 400 m²)的情况之下,使监测底图的公益林范围与“调查单位 2021 年最终上报的公益林”相应范围基本一致。同时,结合调查单位国家级公益林优化成果^[6]、最新获批的公益林动态调整成果、林业经营档案资料,更新优化监测底图的公益林范围(图 2)。

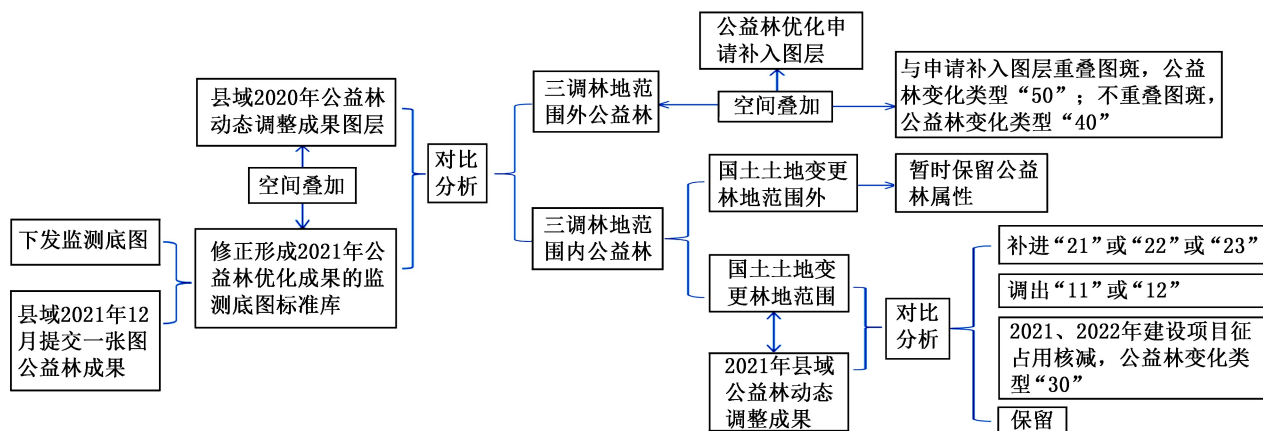


图 2 公益林监测流程

Fig. 2 Public welfare forest monitoring process

3.1.5 衔接核实落界天然商品林

以调查单位核实落界天然商品林图层^[7]为依据,核对监测底图的核实落界天然商品林范围,并完善核实落界天然商品林相关字段(是否天然商品林核实落界范围、经营管理单位)。

3.2 处理手段

在国家统一下发监测底图和广西标准库基础

上,结合调查单位 2021 年林草湿数据与三调数据对接融合成果、2021 年最终上报的公益林等相关成果,根据 2022 年林草湿图斑监测操作细则,将上述解决思路和 ArcEngine 二次开发技术相结合,开发监测底图处理系统,即可实现工作的批量处理:(1)地类、森林类别代码进行批量转换和相关字段的批量补充和完善;(2)与 2021 年最终上报的公益林图

层空间比较后进行公益林擦除或补进图层,为监测底图的公益林范围更新提供依据,并读取、完善公益林相关属性因子;(3)完成核实落界天然商品林范围衔接和相关字段的读取;(4)完成相关关键环节图层自动备份和相关字段备份工作,以备不时之需。具体步骤详见图 3。

4 处理结果

通过 ArcEngine 二次开发插件^[8]之监测底图处理系统对监测底图进行处理,地类、森林类别代码即可按操作细则要求完成转换,补充完善相关字段属性,同时完成公益林、核实落界天然商品林相关专题成果的衔接,并按地方要求增加相应字段,完善相关属性因

- 1. 设置GDB路径
- 2. 导入图层数据
- 3. 标准库地类备份
- 4. 细化地类转用地用海地类、森林类别代码转换
- 5. 森林类别属性读取
- 6. 读取F_LD_县代码_Now_2021相关属性
- 7. 形成公益林补进、调出图层
- 8. 公益林属性转录到监测底图
- 9. 三调林地内公益林图层生成
- 10. 天然林属性转录
- 11. 国土地类转用地用海地类

图 3 ArcEngine 二次开发插件之监测底图处理流程

Fig. 3 Monitoring base map processing for ArcEngine secondary development plugins

子。处理后的底图数据库部分字段情况如图 4 所示。

XIANG_C	CUN_C	DI_LEI	SEN_LIN_LB	JYDW	TRL_FW	PINGJUN_SG	LIN_YE_TU	LIN_CHANG	LINCHANG_C
硕龙镇	岩应村委	030301	22	451424	1	1.3			
硕龙镇	岩应村委	030301	22	451424	1	2.2			
雷平镇	安平村委	030200	22	451424	1	10.4			
雷平镇	后益村委	030301	22	451424	1	1.5			
雷平镇	后益村委	030100	22	451424	1	12.9	RS4516		恩城国家级自然保
雷平镇	后益村委	030100	22	451424	1	13.1	RS4516		恩城国家级自然保
雷平镇	安平村委	030100	22	451424	1	13.1			
雷平镇	安平村委	030100	22	451424	1	9.6			
雷平镇	安平村委	030100	22	451424	1	6.9			
雷平镇	安平村委	030301	22	451424	1	1.5			
雷平镇	安平村委	030100	22	451424	1	13.1			
雷平镇	安平村委	030100	22	451424	1	13.1			
雷平镇	安平村委	030301	22	451424	1	1.5			
雷平镇	安民村委	030301	22	451424	1	1.5			
雷平镇	安民村委	030301	22	451424	1	1.5	RS4516		恩城国家级自然保
雷平镇	安民村委	030100	22	451424	1	12.9	RS4516		恩城国家级自然保
雷平镇	安民村委	030301	22	451424	1	1.5	RS4516		恩城国家级自然保
雷平镇	安民村委	030100	22	451424	1	12.9	RS4516		恩城国家级自然保
雷平镇	安民村委	030301	22	451424	1	1.5	RS4516		恩城国家级自然保
雷平镇	那岸村委	030100	22	451424	1	16.8	RP4534		下雷自治区级自然
雷平镇	那岸村委	030100	22	451424	1	16.8	RP4534		下雷自治区级自然
雷平镇	那岸村委	030100	22	451424	1	16.8	RP4534		下雷自治区级自然
雷平镇	那岸村委	030301	22	451424	1	1.5			
雷平镇	那岸村委	030100	22	451424	1	16.8	RP4534		下雷自治区级自然
雷平镇	那岸村委	030301	22	451424	1	1.5			
雷平镇	那岸村委	030100	22	451424	1	16.8	RP4534		下雷自治区级自然

图 4 监测底图数据库部分字段情况界面

Fig. 4 Interface for some fields of monitoring base map

5 结 论

监测底图是开展 2022 年林草湿地图斑监测的基础,因此,结合广西 2022 年林草湿地图斑监测操作细则的要求,对监测底图做统一处理尤为必要,是开展林草湿地图斑监测工作先决条件。

本文在分析监测底图的特点、存在问题的基础上,就监测底图的统一处理提出处理思路,同时提出基于 ArcEngine 二次开发技术开发监测底图处理系统作为处理的手段,以期为林草湿地图斑监测乃至现代林业调查规划设计工作提供参考案例。

参考文献:

[1] 邱尧荣. 林地保护利用规划理论与实践[M]. 北京:中国林业出版社,2022:8-9.

[2] 国家林业局. 林地分类标准:LY/T 1812—2009[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[3] 国家林业和草原局. 林地分类标准:LY/T 1812—2021[S]. 北京:中国标准出版社,2021.

[4] 广西壮族自治区林业局. 广西 2022 年森林、草原、湿地调查监测操作细则[Z]. 2022.

[5] 广西壮族自治区林业局. 关于更新林草湿地图斑监测底图中公益林数据的通知[Z]. 2022.

[6] 国家林业和草原局. 国家林草生态综合监测评价工作领导小组办公室关于印发 2022 年全国林草生态综合监测补充技术规定的通知[Z]. 2022.

[7] 广西壮族自治区林业局. 关于做好 2022 年公益林天然林管理有关工作的通知[Z]. 2022.

[8] 金靖. 基于 ArcGIS Engine 的地理信息系统二次开发原理和方法[J]. 测绘与空间地理信息,2012(3):46-49.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.003

云南省华山松二元立木材积模型研建

罗胤, 林国刘, 宋永俊, 施凯泽, 徐婷婷
(云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要:选取 10 个华山松二元立木材积备选模型, 将建模数据带入备选模型进行计算, 得出备选模型参数估计值。基于参数估计值, 将建模样本中胸径、树高分别代入 10 个备选模型中求算单株二元理论材积, 利用单株二元理论材积与实测材积进行拟合分析, 得出离差平方和(SSR)、相关系数(R^2)、总相对误差(RS)、相对误差平均值(REA)、相对误差绝对平均值(REAA)和预估精度 6 个评价指标。评价指标对比分析结果表明:模型 $V = c_0 D^{c_1} H^{c_2}$ 各项指标明显优于其他模型, 对该模型进行残差检验、F 检验分析, 各项指标均达到相关技术标准规定。综合分析, 可以选用模型 $V = 0.000\ 071\ 074\ 4 \times D^{1.852\ 583} \times H^{0.975\ 667}$ 作为华山松人工林二元立木材积表编制及森林蓄积量调查模型; 选用模型 $V = 0.000\ 089\ 111\ 4 \times D^{1.838\ 706} \times H^{0.891\ 723}$ 作为华山松天然林二元立木材积表编制及森林蓄积量调查模型。
关键词:华山松; 二元立木材积模型; 适用性检验; 林业数表编制; 云南省

中图分类号: S758.62; S791.241 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0012-07

引文格式: 罗胤, 林国刘, 宋永俊, 等. 云南省华山松二元立木材积模型研建[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 12-18. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.003

LUO Yin, LIN Guoliu, SONG Yongjun, et al. Binary Standing Volume Model for *Pinus amandii* in Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 12-18. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.003

Binary Standing Volume Model for *Pinus amandii* in Yunnan Province

LUO Yin, LIN Guoliu, SONG Yongjun, SHI Kaize, XU Tingting
(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: Ten binary standing timber volume candidate models for *Pinus amandii* were selected, and the modeling data was input into the candidate models to calculate the estimated parameters of the candidate models. Based on parameter estimation values, the DBH and tree height in the modeling samples were respectively substituted into 10 candidate models to calculate the binary theoretical volume of the single plant. The binary theoretical volume of single plant was fitted and analyzed with the measured volume to obtain six evaluation indicators, including sum of squares for regression (SSR), correlation coefficient (R^2), total relative error (RS), mean relative error (REA), absolute mean relative error (REAA), and estimation accuracy. The comparative analysis of evaluation indicators showed that the model $V = c_0 D^{c_1} H^{c_2}$ had significantly better indicators than other models. Residual tests and F-tests were conducted on the model, and all indicators met the relevant technical standards. Based on comprehensive analysis, the

收稿日期: 2023-04-17; 修回日期: 2023-12-25.

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

第一作者: 罗胤(1995-), 男, 云南昭通人, 工程师. 从事林草调查规划工作.

责任作者: 林国刘(1984-), 男, 云南腾冲人, 高级工程师. 从事林草调查规划工作.

model $V=0.000\ 071\ 074\ 4\times D^{1.852\ 583}\times H^{0.975\ 667}$ could be selected as the binary timber volume table compilation and forest volume investigation model for *Pinus amandii* plantation; the model $V=0.000\ 089\ 111\ 4\times D^{1.838\ 706}\times H^{0.891\ 723}$ could be selected as the binary standing timber volume table compilation and forest volume investigation model for *Pinus amandii* natural forests.

Key words: *Pinus amandii*; binary standing timber volume model; applicability testing; compilation of forestry data table; Yunnan Province

衡量森林资源数量,目前采用的主要指标是森林面积和森林蓄积^[1]。二元立木材积表是指以林木胸径、树高为自变量,立木材积为因变量建立的函数关系^[2],是重要的森林蓄积调查数表。19世纪初,国外学者开始对立木材积表进行研究,20世纪50年代,我国学者在对立木材积表研究的基础上先后编制了我国主要树种的一元、二元立木材积表,曾伟生^[3-6]、程文生^[7]等对林业数表模型及检验作了进一步研究。迄今为止,在我国森林资源调查中仍采用通过野外数据采集,利用编制好的材积表来确定林分蓄积量,这在很大程度上有效减少了野外调查工作量,提高了工作效率。

云南省现行华山松(*Pinus amandii*)二元立木材积表是基于20世纪50—70年代调查采集的华山松林分、林木样本编制,于1984年批准使用,至今已沿用了38年,从上世纪80年代至今,华山松经营方式与30多年前编表时相比已发生很大变化,原有的华山松二元立木材积表已不适用于目前对于森林蓄积量调查的需要。因此,为提高华山松蓄积估算、碳汇计量精度,推进云南省林业数表标准化、系列化和规范化建设,编制华山松二元立木材积表势在必行。

1 研究区域概况

云南省地处中国西南边陲,位于东经 $97^{\circ}31' \sim 106^{\circ}11'$,北纬 $21^{\circ}8' \sim 29^{\circ}15'$,北回归线横贯云南省南部,属低纬度内陆地区。全省国土总面积 39.41 万 km^2 ,辖16个州(市)、129个县(市、区)。全省地势呈西北高、东南低,自北向南呈阶梯状逐级下降。年均温 17.6°C ,最热月(7月)均温 $19 \sim 22^{\circ}\text{C}$,最冷月(1月)均温 $6 \sim 8^{\circ}\text{C}$,年温差 $10 \sim 12^{\circ}\text{C}$ 。云南省降水在季节和地域上的分配极不均匀。干湿季节分明,雨季(雨季)为5~10月,集中了85%的降雨量;干季(旱季)为11月至次年4月,降水量仅占全年的15%^[8]。

华山松是全省主要乔木树种之一,分布于全省16个州(市)100余个县(市区)。根据云南省2020年森林资源主要指标监测结果,全省森林面积

$2\ 493.581$ 万 hm^2 ,森林覆盖率65.04%,活立木蓄积量 20.8963 亿 m^3 ,森林蓄积 20.675 亿 m^3 。乔木林是森林资源的主体,全省乔木林面积 $2\ 218.183$ 万 hm^2 ,占全省森林面积的88.96%,蓄积 20.675 亿 m^3 。乔木林中,优势树种为华山松的森林面积 78.1715 万 hm^2 ,蓄积 0.6328 亿 m^3 ,分别占乔木林面积和蓄积的3.52%和3.06%^[9]。

2 数据与方法

2.1 数据收集

根据华山松在云南省的分布状况,以土壤类型、土壤厚度、坡向、坡位、郁闭度、龄组六大因子组合,在全省华山松分布范围内按各县区资源、权重比例,典型布设了940块标准地,其中起源为天然的标准地440块,共分350种立地林分组合类型;起源为人工的标准地500块,共分420种立地林分组合类型。根据华山松标准地调查情况,在每块标准地选取1~3株生长良好、无分叉、无病虫害、未断梢、具有完整树冠的华山松作为样本。

根据华山松生长特性及林分胸径大小确定径阶距。径阶距取2 cm或4 cm,共划分径阶15个,即2 cm、4 cm、6 cm、8 cm、10 cm、12 cm、14 cm、16 cm、18 cm、20 cm、24 cm、28 cm、32 cm、36 cm、 ≥ 40 cm。按照以2 cm为径阶距时,每个径阶样本不少于40株,以4 cm为径阶距时,每个径阶样本不少于50株,且检验样本数量不少于编表样本数量的1/3的原则。本次华山松共采集样本1 780株,其中人工890株,天然890株(表1)。

2.2 数据处理

2.2.1 确定异常数据

1) 采用散点图法确定异常数据

根据样本测定结果,在直角坐标系中分别绘制胸径与材积、树高与材积、树高与胸径散点图。观察各样本数据在各直角坐标系中的分布状况,如某一个样本偏离其他样本,或少数样本偏离其他绝大多数样本时,则该样本或少数样本为异常样本。

表 1 华山松林分径阶标准地、样本数量布局

Tab. 1 Standard plot and sample size layout of *Pinus amandii* by diameter class

径阶 /cm	天然林标准地 /块	人工林标准地 /块	天然林样本 /株	人工林样本 /株
2	20	20	30	30
4	20	20	55	55
6	30	35	55	55
8	30	35	55	55
10	30	35	55	55
12	30	35	55	55
14	30	35	55	55
16	30	35	55	55
18	30	35	55	55
20	30	35	67	67
24	30	35	67	67
28	30	35	67	67
32	30	35	67	67
36	30	35	67	67
≥40	40	40	85	85
合计	440	500	890	890

2) 采用三倍标准差法确定异常数据

以径阶为单位,先计算各径阶的材积、胸径、树高三者的平均值和标准差,再计算各径阶各样本材积、胸径、树高与相应平均高的差值。当某样本的材积、胸径、树高三因素中任意因素的差值大于相应的三倍标准差时,则视该样本为异常样本。

2.2.2 剔除异常数据

1) 对各异常数据进行检查,分析原因,是否错测、误测或记载错误,还是确实异常等,根据检查结果予以剔除。

2) 对于错测、误测的样本进行改正,无法改正的予以剔除。

3) 当某数据在两种异常数据确定方法中均显示为异常时,予以剔除。

4) 对其它异常数据进行详细分析,并采取慎重原则尽量予以保留。

5) 对强影响点予以剔除。

2.2.3 有效样本

1) 当异常数据剔除数量小于样本总数的 5% 时,样本有效。

2) 当异常数据剔除数量等于或大于样本总数的 5% 时,样本无效。应补充采集样本,或重新采集

样本,直至样本有效。

在我国森林资源调查中,林木检尺起测胸径为 5 cm,本次建模编表样本规定最小径阶为 4 cm。为保持模型的真实性和客观存在的异常,此次剔除人工林华山松异常值 5 株、天然林华山松异常值 8 株。对处理后的数据按照胸径及树高级排序随机分为建模样本和适用性检验样本(表 2)。

表 2 华山松林分径阶建模及检验样本数量布局

Tab. 2 Modeling and testing sample size of *Pinus amandii* by diameter class

径阶 /cm	人工林建模样本 /株	人工林检验样本 /株	天然林建模样本 /株	天然林检验样本 /株
4	16	3	18	5
6	47	13	40	14
8	48	16	46	15
10	41	14	40	14
12	49	17	42	13
14	42	13	40	14
16	45	15	44	14
18	41	14	40	14
20	44	15	48	15
24	59	19	55	20
28	45	16	53	17
32	54	17	54	17
36	48	16	47	17
≥40	66	22	72	24
合计	645	210	639	213

2.3 研究方法

研究对象为华山松二元立木材积表模型的建立,在云南省内设置 940 块标准地进行调查(其中:人工林 500 块,天然林 450 块),采集样本 1 780 株,在收集整理调查采集数据的基础上,根据前人研究结果,对多个二元材积备选模型参数进行拟合,评价指标采用离差平方和(SSR)、相关系数(R^2)、总相对误差(RS)、相对误差平均值(REA)、相对误差绝对平均值(REAA)和预估精度对模型的优劣进行模型拟合优选,从而得出最优模型。

2.3.1 编表单元划分

因华山松人工林和天然林经营措施不同,导致林木在干形特征上存在显著差异。分别计算人工林华山松和天然林华山松胸高形数 f_{13} ,再计算其两者总相对误差(RS)(表 3)。结果显示,在 14 个径级

中,有 10 个径级相对误差大于 ±3%,说明两种起源的华山松林木干形存在显著差异。参照云南省现行华山松二元立木材积表划分的编表单元,保证模型的

使用精度,将华山松分成人工林华山松和天然林华山松两个编表单元。

2.3.2 模型选择

参考相关二元材积模型研究成果,选择以下 10 个最为常用且相对较好的备选模型进行比较分析。

$$V = c_0 D^{c_1} H^{c_2} \tag{1}$$

$$V = c_0 + c_1 D^2 H \tag{2}$$

$$V = c_0 D^2 + c_1 D^2 H \tag{3}$$

$$V = c_0 + c_1 D^2 + c_2 D^2 H \tag{4}$$

$$V = c_0 + c_1 H + c_2 D^2 H \tag{5}$$

$$V = c_0 + c_1 H + c_2 D^2 \tag{6}$$

$$V = c_0 + c_1 D^2 + c_2 H + c_3 H D^2 \tag{7}$$

$$V = C_0 D^{(C_1+C_2(D+H))} H^{C_3} \tag{8}$$

$$V = C_0 D^{C_1} H^{(C_2+C_3(D+H))} \tag{9}$$

$$V = C_0 D^{(C_1+C_2(D+H))} H^{(C_3+C_4(D+H))} \tag{10}$$

式中:V 为材积(m³);D 为胸径(cm);H 为树高(m);c₁、c₂、c₃、c₄ 为模型参数。

2.3.3 模型拟合

利用表 2 华山松林分径阶样本建模及检验数量布局中建模数据进行模型拟合,将建模数据带入 10 个备选模型中进行建模,用权函数 $W = \frac{1}{10\,000 \times D^2 H}$ 来消除异方差,通过软件计算,得出备选模型参数估计值(表 4)。

表 3 不同起源华山松各径级胸高形数对比

Tab.3 Comparison of breast-height form factor of *Pinus amandii* with different diameter classes and origins

径级/cm	径级平均高/m	胸高形数平均值		总相对误差(RS)
		华山松人工林	华山松天然林	
4	3.28	0.92	0.89	2.76
6	4.44	0.75	0.85	-11.49
8	5.49	0.74	0.71	3.18
10	6.41	0.65	0.66	-1.85
12	8.26	0.62	0.59	5.05
14	9.38	0.59	0.59	0.34
16	11.33	0.57	0.54	4.09
18	13.34	0.55	0.53	3.60
20	14.19	0.55	0.52	5.86
24	15.27	0.51	0.51	-0.04
28	16.53	0.52	0.49	5.94
32	17.48	0.50	0.48	4.38
36	19.40	0.50	0.48	3.01
40	21.07	0.49	0.45	7.65

表 4 华山松二元立木材积编表备选模型参数估计值

Tab.4 Parameter estimation values of the alternative model for the binary standing timber volume table of *Pinus amandii*

编表单元	建模方案	参数估计值				
		C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
华山松人工林	(1)	0.0000710744	1.8525830000	0.9756670000		
	(2)	0.0044428100	0.0000391919			
	(3)	0.0000887018	0.0000346112			
	(4)	0.0019553600	0.0000650965	0.0000357548		
	(5)	-0.0022847100	0.0015748100	0.0000378883		
	(6)	-0.0178074000	-0.0005656880	0.0006965160		
	(7)	-0.0024093200	0.0000365317	0.0012772100	0.0000362058	
	(8)	0.0001408470	1.5873440000	0.0024568400	0.9146280000	
	(9)	0.0001400080	1.5929900000	0.0024384900	0.9111070000	
	(10)	0.0000953539	1.7857540000	0.0001062110	0.9088410000	0.0007175450
华山松天然林	(1)	0.0000891114	1.8387060000	0.8917230000		
	(2)	0.0037996100	0.0000392346			
	(3)	0.0001034230	0.0000326472			

续表 4

编表单元	建模方案	参数估计值				
		C_0	C_1	C_2	C_3	C_4
	(4)	0.0013049900	0.0000809035	0.0000339838		
	(5)	-0.0008932480	0.0012906300	0.0000373528		
	(6)	-0.0164053000	0.0013705700	0.0005346090		
	(7)	-0.0017092800	0.0000614301	0.0009941190	0.0000337984	
	(8)	0.0001163070	1.7343000000	0.0010696200	0.8642820000	
	(9)	0.0001127410	1.7812340000	0.8255790000	0.0011379100	
	(10)	0.0001162850	1.7349120000	0.0010542400	0.8636410000	0.0000176600

3 结果与分析

3.1 模型拟合结果分析

基于参数估计值,将建模样本中胸径、树高分别代入 10 个备选模型中,求出单株二元理论材积,

利用单株二元理论材积与实测材积差值,计算离差平方和(SSR)、相关系数(R^2)、总相对误差(RS)、相对误差平均值(REA)、相对误差绝对平均值(REAA)和预估精度 6 个评价指标(表 5)。

表 5 华山松备选模型评价指标

Tab. 5 Evaluation indicators of the alternative model for *Pinus amandii*

编表单元	建模方案	评价指标					
		离差平方和(SSR)	相关系数(R^2)	总相对误差(RS)	相对误差平均值(REA)	相对误差绝对平均值(REAA)	预估精度/%
华山松人工林	(1)	2.2322	0.9854	0.0002	3.0602	9.7755	98.1202
	(2)	2.4710	0.9838	-0.0010	2.3460	10.6888	98.0237
	(3)	2.3769	0.9844	-0.0009	2.9607	9.6508	98.0617
	(4)	2.3624	0.9845	-0.0009	0.8822	9.1971	98.0661
	(5)	2.2961	0.9850	-0.0010	0.6787	9.7171	98.0934
	(6)	14.9422	0.9022	7.2955	-9.7779	123.0130	95.1364
	(7)	2.2756	0.9851	-0.0009	0.2625	9.2093	98.1005
	(8)	4.5420	0.9703	-4.6509	-1.1128	8.8595	97.3164
	(9)	4.4203	0.9711	-4.4476	-1.2004	8.7047	97.3526
	(10)	2.2407	0.9853	0.0015	1.0608	8.7332	98.1137
华山松天然林	(1)	2.2837	0.9827	1.6141	2.0040	9.8912	98.0469
	(2)	4.2252	0.9680	-4.8108	0.5944	11.2884	97.3454
	(3)	2.7652	0.9791	-2.1746	1.1754	9.7900	97.8525
	(4)	2.9257	0.9778	-2.6280	-0.0491	9.6803	97.7893
	(5)	3.1081	0.9765	-2.9432	-0.1194	10.5152	97.7214
	(6)	21.0543	0.8405	23.5738	-11.6162	49.0699	94.0696
	(7)	2.5892	0.9804	-1.6807	-0.3266	9.5965	97.9187
	(8)	2.4440	0.9815	-0.8302	0.3465	9.4859	97.9779
	(9)	2.3627	0.9821	-0.4838	0.4705	9.4169	98.0118
	(10)	2.4431	0.9815	-0.8253	0.3486	9.4847	97.9767

由表 5 可以看出,人工林华山松备选模型中离差平方和最小的是模型(1),相关系数最大的是模型

(1),总相对误差绝对值最小的是模型(1),相对误差平均值最小的是模型(7),相对误差绝对平均值

最小的是模型(8),预估精度最大的是模型(1)。天然林华山松备选模型中离差平方和最小的是模型(1),相关系数最大的是模型(1),总相对误差绝对值最小的是模型(9),相对误差平均值最小的是模型(4),相对误差绝对平均值最小的是模型(9),预估精度最大的是模型(1)。因此,人工林华山松和天然林华山松中备选模型(1)总体上优于其他模型,且模型各项指标符合《二元立木材积表编制技术规程》(LY/T 2102—2013)各项规定。

3.2 模型检验分析

虽在备选模型各项评价指标综合比较中模型(1)优于其它模型,但仍需进一步检验。

3.2.1 残差检验分析

模型(1)胸径、树高残差分布情况见图 1~图 2。

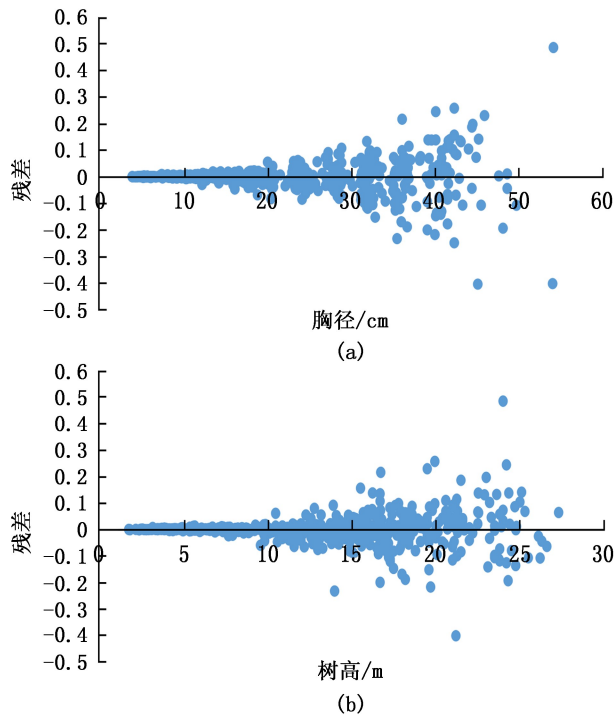


图 1 华山松人工林模型(1)残差分布
Fig. 1 Residual distribution of Model (1) for *Pinus amandii* plantation

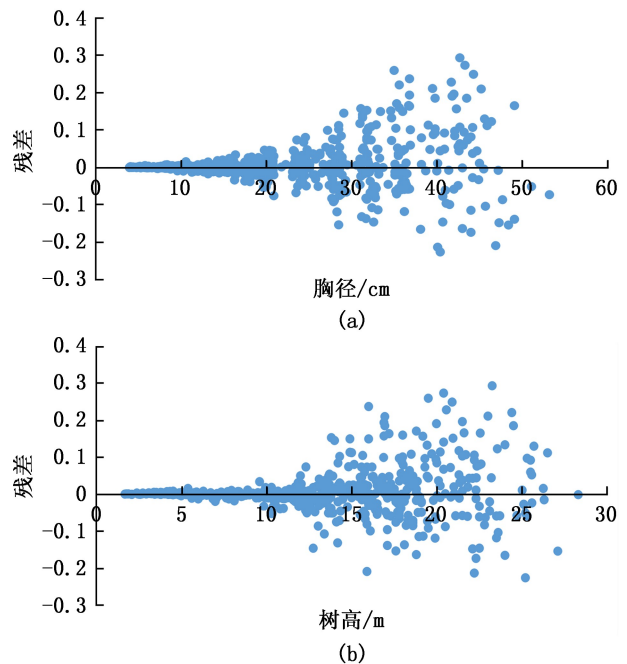


图 2 华山松天然林模型(1)残差分布
Fig. 2 Residual distribution of Model (1) for *Pinus amandii* natural forests

从图 1~图 2 可以看出,人工和天然林华山松模型(1)的残差均随胸径和树高的不同在零值上下均匀分布,符合《二元立木材积表编制技术规程》(LY/T 2102—2013)相关规定,因此模型(1)可选。

3.2.2 适用性检验分析

将检验样本数据带入选取的最优模型(1)中进行模型的适用性检验,进一步验证模型精度及适用性(表 6)。

由表 6 可以看出,人工林华山松适用性检验总相对误差绝对值为 0.706 5%,小于 3%,相对误差平均值为 2.634 3%,小于 10%,相对误差绝对平均值为 9.908 3%,小于 10%, F 统计量为 1.725 1,小于 F 临界值。天然林华山松适用性检验总相对误差绝对值为 1.059 7%,小于 3%,相对误差平均值为 1.782 8%,小于 10%,相对误差绝对平均值为 9.856 2%,小于

表 6 华山松检验样本检验指标
Tab. 6 Sample testing indicators for *Pinus amandii*

编表单元	建模方案	适用性检验						
		总相对误差 (RS)	相对误差平均值 (REA)	相对误差绝对平均值 (REAA)	F 统计量	F 临界值	F 检验	检验结论
华山松人工林	(1)	0.7065	2.6343	9.9083	1.7251	3.0393	差异不显著	适用
华山松天然林	(1)	1.0597	1.7828	9.8562	1.4060	3.0387	差异不显著	适用

10%, F 统计量为 1.406 0, 小于 F 临界值。综上所述, 模型(1)各项指标符合《二元立木材积表编制技术规程》(LY/T 2102—2013)各项规定, 因此模型(1)通过适用性检验, 估算精度高, 误差小, 可作为华山松二元立木材积模型。

3.2.3 现行二元立木材积模型适用性检验

现行模型是指云南省 1984 年批准的华山松人工、天然林二元立木材积表模型。

人工林华山松现行模型为:

$$V=0.000\ 073\ 535\ 02\times D^{2.001\ 569\ 4}\times H^{0.788\ 883\ 5}$$

天然林华山松现行模型为:

$$V=0.000\ 059\ 973\ 839\times D^{1.833\ 431\ 2}\times H^{1.029\ 531\ 5}$$

通过采用将本次全部样本数据带入云南省现行华山松二元立木材积方程进行适用性检验, 进一步验证现行模型的精度及适用性, 得出华山松现行模型适用性检验指标(表 7)。

表 7 华山松现行二元立木材积模型检验结果

Tab. 7 Testing results of the current binary standing timber volume model for *Pinus amandii*

编表单元	适用性检验						
	总相对误差 (RS)	相对误差平均值 (REA)	相对误差绝对平均值 (REAA)	F 统计量	F 临界值	F 检验	检验结论
华山松人工林	-0.7929	1.5492	10.0183	1.5508	3.0385	差异不显著	不适用
华山松天然林	3.0650	11.0148	14.9048	18.6131	3.0387	差异显著	不适用

由表 7 可以看出, 人工林华山松现行模型虽 F 检验差异不显著, 但相对误差绝对平均值为 10.018 3%, 大于 10%, 已不符合《二元立木材积表编制技术规程》(LY/T 2102—2013) 相关规定。天然林华山松现行模型总相对误差绝对值为 3.065 0%, 大于 3%, 相对误差平均值为 11.014 8%, 大于 10%, 相对误差绝对平均值为 14.904 8%, 大于 10%, F 统计量为 18.613 1, 大于 F 临界值, 已不符合《二元立木材积表编制技术规程》(LY/T 2102—2013) 相关规定。因此, 现行华山松二元立木材积模型已不适用, 亟需新的材积模型代替。

4 结论与讨论

通过对现行模型检验, 现行华山松二元立木材积模型已不能适应目前华山松林业数表编制及森林蓄积量调查的需要, 亟需新的材积模型代替。云南省 1984 年批准的华山松人工、天然林二元立木材积表因时间久远已不适用于当前林分调查。

通过对常用且相对较好的 10 个备选模型拟合比较分析, 模型(1)各项指标明显优于其他模型。通过对模型(1)进行残差、适用性检验分析, 各项指标均达到相关技术标准规定。因此, 可以选用模型(1)作为华山松二元立木材积表编制及森林蓄积量调查模型。

本研究所设置的标准地及采集的样本均在云南

省范围内, 因此, 本研究提出的华山松二元立木材积模型适用范围原则上不超出云南省; 因采集样本胸径最大为 66 cm, 因此, 该模型原则上适用于胸径为 4~66 cm 范围的华山松林木。

参考文献:

- [1] 雷家富. 中国森林资源[M]. 北京: 中国林业出版社, 2015.
- [2] 国家林业局. 二元立木材积表编制技术规程: LY/T 2102—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [3] 曾伟生. 再论加权最小二乘法中权函数的选择[J]. 中南林业调查规划, 1998, 17(3): 9-11.
- [4] 曾伟生, 骆期邦. 论林业数表模型的研建方法[J]. 中南林业调查规划, 2001, 20(2): 1-4.
- [5] 曾伟生. 二元立木材积方程的检验与更新方法探讨[J]. 中南林业调查规划, 2010, 29(3): 1-5.
- [6] 曾伟生. 我国主要树种二元立木材积表的检验[J]. 林业资源管理, 2018(5): 37-43.
- [7] 程文生, 冯仲科, 于景鑫. 中国主要树种通用二元材积模型与推导形数模型研究[J]. 农业机械学报, 2017, 48(3): 245-252.
- [8] 杨建林, 赵增昆. 云南年鉴(2021年)[M]. 昆明: 云南年鉴社, 2021: 23-25.
- [9] 吴彦奎. 云南省森林资源年度监测(2017—2020年)[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2021.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.006

施氮水平对美国红枫实生苗生长及叶色变化的影响

卜会荣, 纪志荣, 郭伟, 高兵, 高慧峰

(榆林市榆阳区牛家梁林场, 陕西 榆林 719000)

摘要:以当年生美国红枫扦插苗为试验材料进行盆栽,采用单因素试验,即在保持每盆 P_2O_5 (4 g) 和 K_2O (8 g) 含量不变的基础上,设置 5 个氮肥施入量,研究不同施氮量对美国红枫幼苗生长和叶色表达的影响。结果表明,美国红枫幼苗的生长和干物质积累均随着施氮量的增加呈先升高后降低趋势,并以每盆施氮量为 12 g 处理效果最佳,以每盆 10 g 处理次之,两者对美国红枫幼苗株高、地径、幼苗干重和鲜重、根茎比、生理指标的影响均未达显著水平。美国红枫幼苗叶片总叶绿素含量以施氮量每盆 12 g 处理最高,但花色素苷含量以施氮量每盆 10 g 处理最高,叶片变色快,持续时间长并且观赏特性提高。由此可见,适当降低施氮水平,有利于提高美国红枫叶片变色,试验条件下以施氮量每盆 10 g 的处理观赏效果最佳,可在生产中应用推广。

关键词:施氮水平;美国红枫;叶色变化;花色素苷;幼苗生长

中图分类号:S723.13;S753.532;S792.35 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)04-0029-06

引文格式:卜会荣,纪志荣,郭伟,等.施氮水平对美国红枫实生苗生长及叶色变化的影响[J].林业调查规划,2024,49(4):29-34. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.006

BU Huirong, JI Zhirong, GUO Wei, et al. Effect of Nitrogen Application on Growth and Leaf Color Changes of *Acer rubrum* Seedlings[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 29-34. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.006

Effect of Nitrogen Application on Growth and Leaf Color Changes of *Acer rubrum* Seedlings

BU Huirong, JI Zhirong, GUO Wei, GAO Bing, GAO Huifeng

(Niujieliang Forest Farm of Yuyang District, Yulin, Shaanxi 719000, China)

Abstract: A single factor experiment was used to study the effects of different nitrogen applications on the growth and leaf color changes of *Acer rubrum* seedlings by using the annual *Acer rubrum* cuttings as the experimental material for potted cultivation. The experiment set up five nitrogen fertilizer applications based on keeping the P_2O_5 (4 g) and K_2O (8 g) content unchanged in each pot. The results showed that the growth and dry matter accumulation of *Acer rubrum* seedlings showed a trend of first increasing and then decreasing with the increase of nitrogen application. The best effect was achieved with a nitrogen applications of 12 g per pot, followed by a treatment of 10 g per pot. The effects of both treatments on the height, diameter, dry and fresh weights, root stem ratio, and physiological indicators of *Acer rubrum* seedlings did not reach a significant level. The total chlorophyll content in the leaves of *Acer rubrum* seedlings was highest in the nitrogen applications of 12 g per pot, but the anthocyanin content was highest in

收稿日期:2023-03-01.

第一作者:卜会荣(1978-),男,陕西榆林人,高级工程师.主要从事林业技术推广和新品种引进方面工作.

the nitrogen application rate of 10 g per pot. The leaves changed color quickly, lasted for a long time, and had high ornamental characteristics. In conclusion, appropriately reducing the nitrogen applications was beneficial for improving the discoloration of *Acer rubrum* leaves, and the optimal ornamental effect was achieved with a nitrogen applications of 10 g per pot under experimental conditions, which could be applied and promoted in production.

Key words: nitrogen application; *Acer rubrum*; leaf color change; anthocyanin; seedling growth

随着我国城镇化的发展,园林绿化植物品种日益丰富,彩叶植物作为园林绿化的重要组成部分,以其优越的观赏性越来越受到人们的欢迎^[1]。美国红枫因其秋季色彩夺目、树冠整洁、观赏期长被广泛应用于城市绿化,是理想珍稀树种之一^[2],也是唯一可以用作行道树的彩叶树种,对丰富我国绿化植物资源、改善园林绿化结构具有十分重要的意义^[3-4]。目前,美国红枫在我国许多城市和地区均有种植,但因各地气候和环境条件的差异,植株叶色差异明显。近年来,陕西榆林市开始引进美国红枫作为景观树种,但榆林地区海拔和纬度相对较高,导致美国红枫生长缓慢,叶片颜色偏暗,直接影响其观赏价值和景观效果。秋季美国红枫呈色是由体内的花色素苷决定的,温度、光照、土壤矿质元素含量均可通过影响色素合成途径中关键酶的活性大小,直接调节各类色素之间的组成和比例,从而改变叶片中花色素苷的含量,引起叶色的变化^[5-6]。大量研究表明,土壤矿质元素含量对植物生长和体内色素含量影响较大,氮肥是土壤矿质元素的重要组成部分,也是植物生长发育必不可少的物质基础和结构基础,增施氮肥能明显促进植物的生长发育^[7-8]。胡静静等^[9]研究发现施肥量与花色素苷的合成呈显著的正相关作用,但也有学者认为适度的缺氮有利于植物体内花色素苷的合成。结合前期试验情况,研究了 5 个施氮水平对美国红枫生长和花色素苷含量的影响,以期筛选出最佳的氮肥施肥水平,为美国红枫在陕西榆林地区的种植管理和推广应用提供科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验地位于榆林市榆阳区牛家梁林场,该地位于陕西省北部,是典型的大陆性边缘季风气候,四季冷暖分明。日较差大,无霜期短,年均温 10℃,年均降水量约 400 mm,无霜期约 150 d。春季干旱多风,

回温明显,变化不稳定,常伴有春寒霜冻;夏季炎热,伏旱频繁,降雨多集中在 7 月,多雷阵雨,常伴有大风和冰雹;秋季天气偏凉,晴时天高气爽,风和日丽,降雨稍多,霜降较早;冬季干燥寒冷,冰封期长。冬春长,夏秋短,雨热基本同期。

1.2 试验材料

供试品种为美国红枫的代表品种‘秋天烈火’;供试苗木为 1 年生扦插苗;以当地的沙丘地风沙土作为试验用土。试验采用野外盆栽方式,花盆规格为 28 cm(口径)×28 cm(高),并带有底部托盘。氮肥采用尿素;磷肥和钾肥采用过磷酸钙和硫酸钾。

1.3 试验设计

采用单因素试验设计,磷肥、钾肥在保持 P_2O_5 (每盆 4 g)和 K_2O (每盆 8 g)含量不变的基础上,设置 5 个氮肥水平,即每盆 5 g(T1)、8 g(T2)、10 g(T3)、12 g(T4)、15 g(T5),每个处理种植 30 盆,重复 3 次。

试验于 2022 年 4 月 20 日选择株高和地径相近的 1 a 生扦插苗移栽至花盆,每个花盆种植 1 株。磷肥、钾肥总肥量的 50%在移植前与土壤充分混合均匀后装入花盆,剩余总肥量的 50%在 7 月 20 日施入。氮肥均按照总施肥量 30%、40%、30%的比例于 2022 年 6 月 10 日、7 月 10 日和 8 月 10 日加水溶解后施入,其他管理相同^[10]。

1.4 测定项目

1.4.1 生长指标测定

在美国红枫 1 a 生扦插苗移栽时(4 月 20 日),测定幼苗株高和地径并记录。移栽后,每个处理选择连续的 10 株幼苗每隔 10 d,即分别于 5 月 20 日、6 月 20 日、7 月 20 日、8 月 20 日、9 月 20 日、10 月 20 日、11 月 20 日测定株高、地径,观察美国红枫幼苗株高、地径的动态变化。

1.4.2 幼苗叶片生理指标和色素含量测定

于 10 月 20 日(美国红枫幼苗正株叶片已经全部转色)在植株上、中、下 3 个部分各取 3 片叶用于

测定叶绿素和花色素苷含量。采用丙酮提取法测定叶绿素含量;采用 1% 盐酸—甲醇浸提法测定花色素苷含量^[11];采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白的含量;采用蒽酮比色法测定可溶性糖的测定;采用硫代巴比妥酸测定丙二醛含量;采用磺基水杨酸法测定脯氨酸含量。

1.4.3 幼苗生物量测定

11 月 20 日,每个处理选择 3 株美国红枫幼苗,尽量保持根系的完整性,叶片基本脱落,摘取尚未脱落的叶片后,将幼苗按照地上部分和地下部分称重后进行烘干。先置于 105℃ 烘箱中杀青 30 min,然后将温度调至 70℃ 烘干至恒重,分别测定地上部分和地下部分的干重。

1.5 统计与分析

采用 Excel 软件进行数据统计和图像处理,采用 DPS 7.05 软件进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 施氮量对美国红枫幼苗株高和地径生长的影响

不同处理对美国红枫株高的影响见图 1。

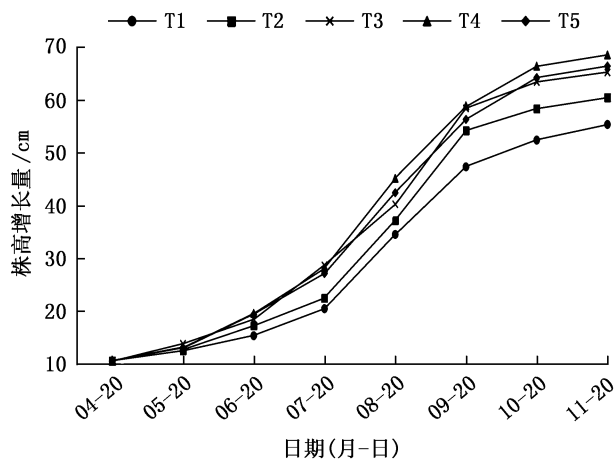


图 1 不同处理对美国红枫株高增长量的影响
Fig. 1 Effect of different treatments on height growth of *Acer rubrum*

由图 1 可知,美国红枫株高随着时间呈“S”型增长趋势,其中 6 月 20 日至 10 月 20 日是幼苗的快速生长期,该阶段 T1、T2、T3、T4 和 T5 处理株高增长量分别达 37.08、41.13、44.98、46.87、44.88 cm,并以 T1 处理株高增长量最小,显著低于 T2、T3、T4 和 T5 处理,而 T2、T3、T4 和 T5 处理间差异未达显著水平。10 月 20 日至 11 月 20 日,不同处理对美

国红枫株高影响差异不显著。在 11 月 20 日(试验结束时)测得不同处理美国红枫株高依次为 T4>T5>T3>T2>T1,其中 T4 处理株高较 T1 处理增长了 23.81%,差异达显著水平,但与 T2、T3、T5 处理相比,差异未达显著水平。不同处理对美国红枫地径的影响见图 2。

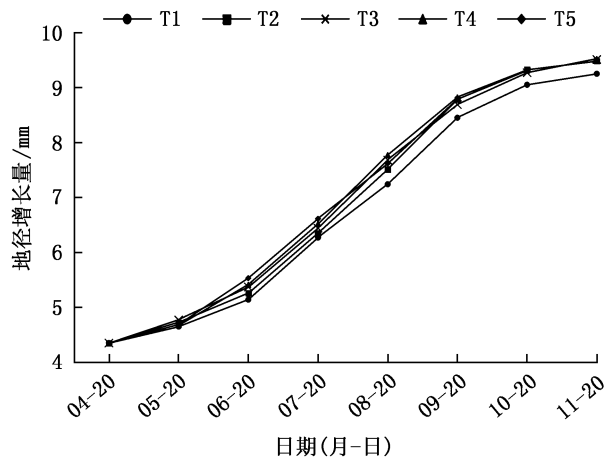


图 2 不同处理对美国红枫地径增长量的影响
Fig. 2 Effect of different treatments on ground diameter growth of *Acer rubrum*

由图 2 可知,美国红枫的地径也随着时间呈“S”型增长趋势,5 月 20 日至 9 月 20 日是美国红枫地径的快速生长阶段,T1、T2、T3、T4 和 T5 处理地径的增长量分别达 3.80、4.06、3.92、4.14、4.10 mm。在 11 月 20 日(试验结束时)测得美国红枫地径大小依次为 T4>T3>T5>T2>T1,但不同处理间差异均未达显著水平。

2.2 施氮量对美国红枫幼苗生物量的影响

不同处理对美国红枫幼苗干重、鲜重的影响见表 1。

表 1 不同处理对美国红枫幼苗干重、鲜重的影响
Tab. 1 Effect of different treatments on dry and fresh weights of *Acer rubrum*

处理编号	茎秆鲜重 /g	茎秆干重 /g	根鲜重 /g	根干重 /g	根茎比
T1	13.54b	7.83b	20.38a	10.45c	1.33b
T2	14.62b	8.24ab	22.45a	11.48abc	1.39ab
T3	16.45a	8.87a	24.15a	12.67ab	1.43ab
T4	16.92a	9.02a	24.89a	13.37a	1.48a
T5	16.88a	8.74a	23.86a	12.75ab	1.46a

注:不同小写字母表示在 P<0.05 水平差异显著。下同。

由表 1 可知,美国红枫茎秆的干重、鲜重均随着施氮量的增加呈先升高后降低趋势,并以 T4 处理达到最大值。其中,T4 处理茎秆的鲜重分别较 T1、T2 处理升高 24.93%、15.73%,差异达显著水平,但与 T3、T5 处理相比差异不显著。T4 处理茎秆干重较 T1 处理升高 15.20%,差异达显著水平;但与 T2、T3 和 T5 处理相比,差异未达显著水平。

从根系干重、鲜重来看,不同施氮量对美国红枫幼苗根系鲜重的影响不显著,但对根系干重的影响较大。不同施氮量美国红枫幼苗根系干重大小依次为 T4>T5>T3>T2>T1,其中 T3、T4 和 T5 处理间根系干重差异未达显著水平。与 T1 处理相比,T3、T4 和 T5 处理根系干重分别升高 21.24%、27.94%、22.01%,差异均达显著水平;与 T2 处理相比,T3、T4 和 T5 处理根系干重虽略有升高,但差异未达显著水平。

美国红枫根茎比随着施氮量的增加呈先增加后降低趋势,以 T4 处理的根茎比最大,T5 处理次之,两者之间的差异未达到显著水平;两者与 T2、T3 处理相比,差异也未达到显著水平;但与 T1 处理相比,T4、T5 处理根茎比分别提高 11.06%、9.31%,差异达到显著水平。

由此可见,适当增施氮肥有助于增加美国红枫幼苗干物质量,提高根茎比。试验条件下以 T4 处理效果最佳。

2.3 施氮量对美国红枫幼苗生理指标的影响

不同处理对美国红枫幼苗生理指标的影响见表 2。

表 2 不同处理对美国红枫幼苗生理指标的影响

Tab. 2 Effect of different treatments on physiological indicators of *Acer rubrum*

处理编号	脯氨酸含量/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$)	丙二醛含量/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$)	可溶性糖含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	可溶性蛋白含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
T1	3.82b	2.85ab	6.98b	0.94b
T2	3.71b	2.40b	8.08a	1.16a
T3	4.67ab	2.20b	8.56a	1.20a
T4	5.57a	2.05b	9.11a	1.27a
T5	3.17b	3.25a	8.27a	1.16a

由表 2 可知,不同施氮量对美国红枫幼苗脯氨酸和丙二醛含量影响较大。美国红枫幼苗脯氨酸含量以 T4 处理最高,与 T1、T2 和 T5 处理相比,差异

达显著水平;其次是 T3 处理,但与 T1、T2 和 T5 处理相比,差异未达显著水平。美国红枫幼苗丙二醛含量以 T5 处理最高,显著高于 T2、T3 和 T4 处理,但与 T1 处理间差异未达显著水平。美国红枫幼苗的可溶性糖和可溶性蛋白含量以 T1 处理最低。与 T2、T3、T4 与 T5 处理相比,T1 处理可溶性糖含量分别降低 15.80%、22.61%、30.45%、18.55%,可溶性蛋白含量降低 23.15%、26.96%、35.08%、22.58%,差异均达显著水平。T2、T3、T4 与 T5 处理间美国红枫幼苗可溶性糖、可溶性蛋白含量差异不显著。

由此可见,施氮量对美国红枫幼苗各生理指标的影响较大,低氮肥量不利于幼苗可溶性蛋白、可溶性糖的积累,实验条件下以 T4 处理最佳,T3 处理次之。

2.4 施氮量对美国红枫幼苗色素含量的影响(曲线)

不同处理对美国红枫叶绿素含量的影响见图 3。

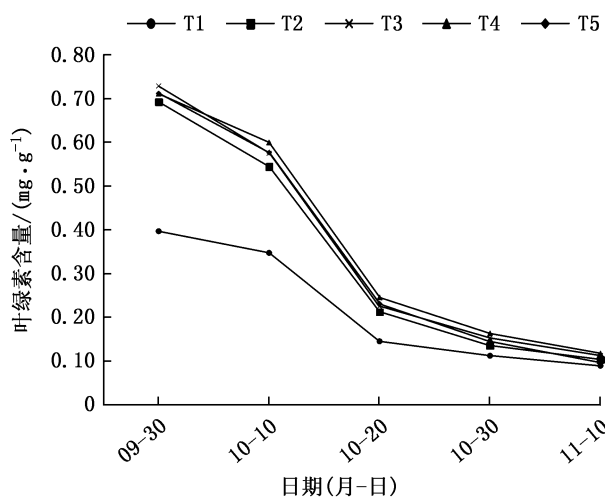


图 3 不同处理对美国红枫叶绿素含量的影响

Fig. 3 Effect of different treatments on chlorophyll content of *Acer rubrum*

由图 3 可知,不同施氮量美国红枫幼苗叶片在 10 月 20 日前显绿色,高氮肥量植株叶绿素含量显著高于低氮肥水平。10 月 20 日后,随着温度的降低,美国红枫幼苗叶片中叶绿素合成受阻,叶绿素含量均呈急剧下降趋势。

不同处理对美国红枫叶绿素 a 与叶绿素 b 含量比值(叶绿素 a/b 比值)的影响见图 4。

由图 4 可知,在 9 月 30 日测得美国红枫幼苗的叶绿素 a/b 比值以 T4 处理最大,表明 T4 处理对美国红枫幼苗光能利用能力影响最大,随着施肥量的降低,叶绿素 a/b 比值明显降低,表明幼苗的光能利

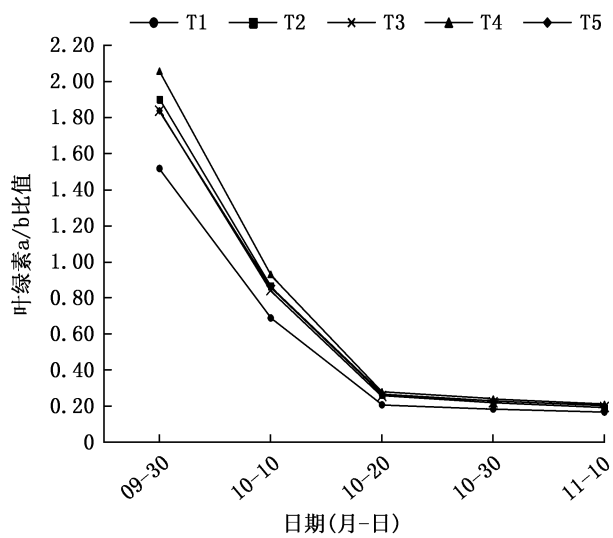


图 4 不同处理对美国红枫叶绿素 a/b 比值的影响
Fig. 4 Effect of different treatments on chlorophyll a/b of *Acer rubrum*

用能力下降。随着时间的推延,叶绿素 a/b 比值迅速降低,在 10 月 20 日降到最小,并趋于稳定,也表明此时美国红枫幼苗叶绿素含量极低,光能利用能力较弱。

不同处理对美国红枫花色素苷含量的影响见图 5。

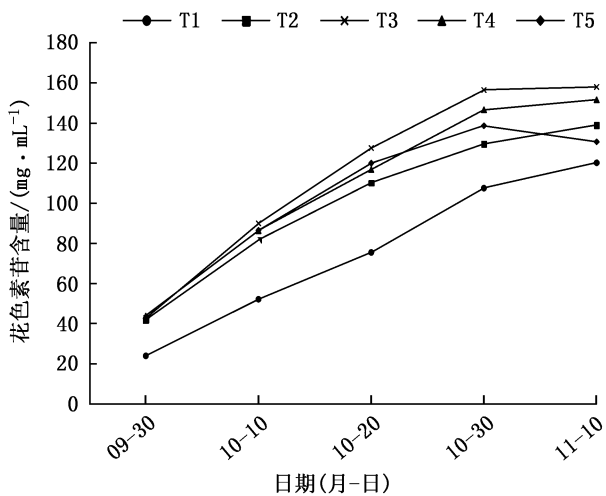


图 5 不同处理对美国红枫花色素苷含量的影响
Fig. 5 Effect of different treatments on anthocyanin content of *Acer rubrum*

由图 5 可知,不同施氮量对美国红枫幼苗叶片花色素苷含量的影响较大,并以 T3 处理的花色素苷含量最高。在 10 月 30 日,不同处理幼苗花色素苷含量高低依次为 T3>T4>T5>T2>T1,随后 T3、T4 处理的花色素苷含量相对平稳,而 T5 处理的花色素苷

含量呈降低趋势,T1、T2 处理的花色素苷含量呈缓慢升高趋势。这说明适当降低氮肥量有利于增加幼苗叶片中花色素苷含量,但施氮量过低却易造成花色素苷含量的降低。

不同处理对美国红枫花色素苷相对含量与总叶绿素含量比值影响见图 6。

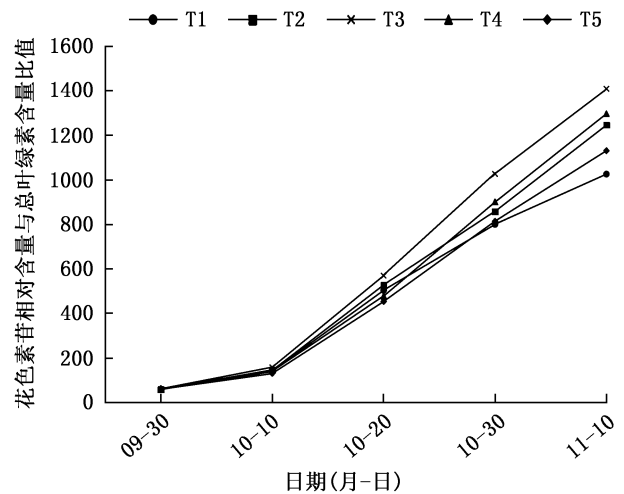


图 6 不同处理对美国红枫花色素苷相对含量与总叶绿素含量比值的影响

Fig. 6 Effect of different treatments on the ratio of anthocyanin relative content to total chlorophyll content of *Acer rubrum*

由图 6 可知,不同施氮量美国红枫幼苗花色素苷相对含量与总叶绿素含量的比值呈上升趋势,该数值可用来描述植株叶色的变化。在 10 月 10 日前,不同处理花色素苷相对含量与总叶绿素含量比值差异不显著,10 月 10 日后,随着花色素苷相对含量的升高和总叶绿素含量的降低,不同处理的花色素苷相对含量与总叶绿素含量比值差异越来越大。在 11 月 10 日,各处理花色素苷相对含量与总叶绿素含量比值大小依次为 T3>T4>T2>T5>T1,说明 T3 处理的叶片成色效果最佳,随着氮肥施入量的增加,该比值降低,影响叶片变色。

3 讨论与结论

氮素是植物生长发育的生命元素,氮素缺乏是限制植物生长和产量的首要因素。试验研究结果表明,随着施氮量的增加美国红枫幼苗的株高和地径均呈“S”型曲线变化,说明高水平氮素处理对幼苗生长具有显著促进作用,可使美国红枫幼苗植株较高、茎秆粗壮、长势较强,这与李孟浩等的研究结果

相似^[12]。当氮肥使用量达到一定水平时,增施氮肥对美国红枫幼苗生长的促进作用不显著,反而表现出不同程度的抑制作用,这是因为过量地施用氮肥,会降低植株对磷、钾以及微量元素的吸收,从而影响植株的生长。试验以 T4 处理,即每盆施氮量达到 12 g 为最优施肥量,有助于提高美国红枫幼苗长势。

根冠比是指植物地下部分与地上部分鲜质量或干质量的比值,其大小反映了植株地下部分与地上部分生长状况的相关性,可作为施肥是否合理的一个重要指标。根据相关研究结果,根冠比越大,说明植株长势越好,越有利于植株生长^[13]。本研究结果表明美国红枫的根茎比随着施氮量的增加呈先升高后降低趋势,以 T4 处理的根茎比最大,T5 处理次之,两者之间的差异未达显著水平;两者与 T2、T3 处理相比差异也未达显著水平,造成这一结果原因可能是盆栽的栽培方式限制植物根系生长,导致不同施肥处理间根茎比差异不显著。

叶绿素是绿色植物光合作用的主要场所,叶绿素 a、叶绿素 b 含量的高低直接影响光合作用的速率和光合产物的形成。本试验结果表明当植物缺氮时,美国红枫幼苗内总叶绿素含量和叶绿素 a/b 比值降低,影响叶片的光合效能。入秋后,随着叶绿素的降解,美国红枫幼苗叶片开始合成花色素苷,张金政等^[14]认为花色素苷相对含量与总叶绿素含量的比值大小决定叶片呈色,比值越大,叶片颜色越红,反之则偏绿。本试验研究结果表明,适量减少氮肥施入量有助于花色素苷的合成,低氮水平下叶片中叶绿素含量较高,花色素苷含量合成较慢,叶片变色较晚,叶片花色素苷相对含量与总叶绿素含量的比值相对较小,叶片呈色不理想。

综上所述,氮施肥量为每盆 12 g 时,美国红枫幼苗植株长势最旺,该处理为最适宜美国红枫幼苗生长的施肥处理;氮施肥量为每盆 10 g 时,美国红枫植株叶片呈鲜红色,观赏性最强,最有利于延长美国红枫幼苗变色期。本研究仅考虑了施氮量对美国红枫幼苗生长和延长叶片变色的影响,氮肥与磷钾

肥不同配比施用效果尚待进一步研究。

参考文献:

- [1] 王丽. 浅谈园林植物季相变化对园林空间的影响[J]. 黑龙江科技信息, 2013(6): 206.
- [2] 谢璞,曾虹. 美国红枫引种栽培初报[J]. 四川林业科技, 2016, 37(3): 142-144.
- [3] 赵文玲. 美国红枫‘秋火焰’引种及栽培技术探析[J]. 防护林科技, 2021(6): 62-63.
- [4] 齐雪燕,郭小丽,韩明家. 美国红枫优良品种引种试验[J]. 林业科技通讯, 2017(8): 63-66.
- [5] 王莹,李敏,谈峰,等. 紫叶紫薇新品系叶色变化理化因素研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 150-153.
- [6] 唐生森,陈虎,覃永康,等. 枫香秋季变色期叶色变化及其生理基础[J]. 广西植物, 2021, 41(12): 2061-2068.
- [7] 郭卫珍,张亚利,王荷,等. 5 个山茶品种的叶色变化及相关生理研究[J]. 浙江农林大学学报, 2015, 32(5): 729-735.
- [8] 习金根,陈河龙,谭施北,等. 不同施氮水平对剑麻生长的影响[J]. 广东农业科学, 2013, 40(9): 62-64.
- [9] 黄晓丽,葛根塔娜,梅梅,等. 生物炭对美国红枫幼苗生长及叶色变化的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2017, 48(5): 530-536.
- [10] 张亮. 不同肥料对美国红枫幼苗的栽培影响[J]. 中国农业信息, 2016(6): 107-108.
- [11] 邹奇. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 李孟浩,李倩倩,刘朋召,等. 不同施氮水平下小麦/玉米套作群体产量和水氮利用[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(4): 106-115.
- [13] 陆秀君,葛根塔娜,梅梅,等. N、P、K 配比施肥对美国红枫幼苗生长及叶色变化的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2015(5): 9-15.
- [14] 张金政,刘岳路,李晓东,等. 过量施氮对嵌合体‘金旗’玉簪叶色、氮代谢关键酶活性及叶绿体超微结构的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(5): 93-101.

责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.007

河南省 2040 年土地利用格局及有机碳储量预测研究

胡国宝, 乔栋, 张楚磊, 李晓林, 田耀武

(河南科技大学 园艺与植物保护学院, 河南 洛阳 471000)

摘要: 基于河南省 2000、2020 年土地利用数据以及社会、气象数据, 采用 PLUS 模型模拟河南省 2040 年不同发展情景下的土地利用及有机碳分布格局。模拟结果显示, 河南省 2040 年 3 种情景下的有机碳储量分别为 $1\,206.98 \times 10^6$ t (自然发展情景)、 $1\,211.98 \times 10^6$ t (耕地保护情景)、 $1\,212.20 \times 10^6$ t (生态保护情景), 表明林地数量的提高对河南省有机碳储量的提升具有积极作用。河南省有机碳呈明显的区域性分布特征, 总体表现为西部较高, 南部次之, 东部和北部表现出一定的中等水平分布特征。

关键词: 土地利用格局; 有机碳储量; 预测; PLUS 模型

中图分类号: S718.556; F301.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0035-08

引文格式: 胡国宝, 乔栋, 张楚磊, 等. 河南省 2040 年土地利用格局及有机碳储量预测研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 35-42. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.007

HU Guobao, QIAO Dong, ZHANG Chulei, et al. Prediction of Land Use Pattern and Organic Carbon Stock in Henan Province in 2040[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 35-42. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.007

Prediction of Land Use Pattern and Organic Carbon Stock in Henan Province in 2040

HU Guobao, QIAO Dong, ZHANG Chulei, LI Xiaolin, TIAN Yaowu

(College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

Abstract: Based on the land use data of Henan Province in 2000 and 2020, as well as social and meteorological data, the land use and organic carbon distribution patterns of Henan Province in 2040 under different development scenarios were simulated. The simulation results showed that the organic carbon stocks in Henan Province in 2040 under three development scenarios would reach $1\,206.98 \times 10^6$ t (natural development scenario), $1\,211.98 \times 10^6$ t (cropland protection scenario) and $1\,212.20 \times 10^6$ t (ecological protection scenario), indicating that the increase in the amount of forest land in Henan Province had a positive effect on the enhancement of organic carbon stocks in Henan Province. The organic carbon in Henan Province showed obvious regional distribution characteristics, generally showing higher in the west, followed by the south, while the east and north showed some middle level distribution characteristics.

Key words: land use pattern; organic carbon stock; prediction; PLUS model

收稿日期: 2023-04-05.

基金项目: 国家自然科学基金(32271848).

第一作者: 胡国宝(1998-), 男, 河南南阳人, 硕士研究生. 主要从事森林生态方面的研究. Email: 916836136hgb2013@gmail.com

责任作者: 田耀武(1975-), 男, 河南禹州人, 博士. 主要从事生态学方面的研究.

2021 年底全球 197 个国家达成了《格拉斯哥气候公约》,此次协议重要目的之一就是“让 1.5℃ 的承诺活下来”。气候模型预测结果显示,此项协定需要与低碳排放相关的高效且可持续政策来参与才有可能实现^[1]。中国在 2020 年联合国大会上宣布了“双碳”目标,即在 2030 年实现碳达峰、2060 年实现碳中和。

陆地碳库主要包括植被碳库、土壤碳库和凋落物碳库 3 部分^[2]。土壤是陆地生态系统中最大的碳库,也是陆地碳库的重要组成部分,包括有机碳库和无机碳库。据统计,全球约有 1 395~2 200 Pg 有机碳存在于土壤,500 600 Pg 存在于植被^[3],大气碳库中有机碳含量约为 750 Pg^[4-5]。土壤碳库 0.1% 的变化将会导致二氧化碳浓度百万分之一的变化。近百年来,土地利用程度发生剧烈变化,进而影响全球碳循环过程。土壤有机碳库的储量、分布及其变化是土壤碳循环研究的核心内容,准确估算有机碳储量和掌握有机碳动态变化,对掌握全球碳循环具有重要意义。

InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)模型是基于 GIS 应用平台,由美国斯坦福大学、世界自然基金会(WWF)和大自然保护协会(TNC)联合开发的生态系统服务功能评估模型^[6]。是当前进行大区域生态系统碳储量估算应用最为广泛的模型之一,刘冠等^[7]基于 InVEST 模型和 GIS,研究了陕西省延安南部麻塔流域 1999—2016 年土地结构改造过程中区域碳储量变化,结果表明:林草植被建设和经济果林建设两者均有利于增强麻塔流域景观固碳能力。何涛^[8]等运用 InVEST 模型对浙江省庆元县 2009 年碳储量进行了估算,为区域生态系统碳库管理提供了科学依据。

PLUS(patch-generating land use simulation)模型^[9]是由中国地质大学(武汉)高性能空间计算智能实验室研发,以栅格数据为基础对斑块级土地利用变化进行模拟,是基于土地扩张分析策略(LEAS)的规则挖掘框架和基于多类型随机种子(CARS)的模型。Liang 等^[9]基于 PLUS 模型对武汉市土地扩张驱动因素进行评估,使用不同优化场景对 2035 年武汉市土地利用动态进行预测,帮助政策制定者探讨未来土地利用动态,从而为未来实现更可持续的土地利用模式提供指导。蒋小芳等^[10]以黑河流域中游甘临高地区为研究区,对比 PLUS、FLUS、CLUE-S 模型模拟土地利用效果,得出 PLUS 模型拟合效果最优。

PLUS 模型和 InVEST 模型对于大尺度的土地利用动态预测和碳储量计量研究表现出良好的适用性,众多学者采用 PLUS 模型协同 InVEST 模型取得了较多研究成果,李俊^[11]等运用 PLUS 模型结合 InVEST 模型预测了昆明市未来不同情景下土地利用及碳储量时空变化特征,为昆明市优化生态服务与可持续性发展提供科学依据;张鹏等^[12]基于 PLUS 和 InVEST 模型分析邯郸市近 20 年土地利用格局及碳储量分布,并探讨生态保护政策下未来 10 年土地利用变化趋势,为增加城市碳汇和实现城市可持续发展提供参考依据;以上研究均表明 PLUS 和 InVEST 模型能够较好地运用到我国生态系统有机碳库研究中。

土地利用变化是全球碳储量变化的重要驱动因素^[13],约占工业革命以来人类活动造成的全球碳储量变化的 1/3^[14]。由于陆地生态系统对大气变化的敏感性,因此,对土地利用变化与碳储量之间的相互作用进行深入评估对土地管理者和决策者制定适当的土地规划战略至关重要。

1 研究区概况

河南省地处我国中原地区,因地处我国“母亲河”黄河以南而得名,是中华文化发源地,简称“豫”。地势南高北低,西高东低,全省界于北纬 31°23′~36°22′,东经 110°21′~116°39′,东临山东、安徽,北接河北、山西,西连陕西,南抵湖北。河南省全省总面积达 16.7×10⁴ km²,东西最大距离约 580 km,南北最大距离约 530 km,占中国国土总面积的 1.7%。其气候为典型温带季风气候与亚热带季风气候,全年四季分明,夏季最高温超 35℃,冬季最低温低至零下 10℃。全省地势西高东低,在河南省南、西、北三面由大别山脉、伏牛山脉、太行山脉紧紧包围,最高海拔超 2 000 m,全省地貌类型众多,以平原居多,山地、丘陵次之。河南省有 30 个自然保护区,森林覆盖率 24.53%,森林资源丰富。

2 数据与方法

2.1 数据来源

研究所用主要数据均来自于权威公开或互联网专业数据库,通过有偿、免费或协议方式获得。从中国科学院资源环境数据中心(<http://www.resdc.cn/>)获取 2000 年、2020 年土地利用、人口密度、GDP、年均

温、年均降水、高程、坡度数据,并提取研究区数据。从 Open StreetMap (<https://www.openstreetmap.org>) 获取距铁路和公路距离,并提取研究区数据。

碳密度数据基于已有文献结合研究区实际情况修正得到,地上碳密度数据参考了研究区域同为河南省的碳密度数据^[15]和 2010 年中国陆地生态系统地上碳密度数据集^[16],土壤碳密度主要参考了朱文博^[17]、赫晓慧^[15]的研究和 2010 年中国陆地生态系统土壤 0~100 cm 碳密度数据集^[16],地下碳密度数据参考了黄玫等^[18]根茎比系数获得(表 1)。

表 1 不同土地利用类型的碳密度数据

Tab. 1 Carbon density data for different land-use types

类型	C_{i_above} /($t \cdot hm^{-2}$)	C_{i_below} /($t \cdot hm^{-2}$)	C_{i_soil} /($t \cdot hm^{-2}$)
耕地	4.53	0.906	70.00
林地	18.01	3.602	67.75
草地	2.80	0.560	42.87
水域	3.20	0.640	33.12
建设用地	0	0	60.00
未利用地	0	0	53.30

2.2 未来土地利用格局模拟

PLUS 是基于现有土地利用类型来模拟未来土地利用/覆被变化的模型,集成了基于土地扩张分析策略 LEAS(land expansion analysis strategy)模型的规则挖掘框架和基于多类型随机斑块种子的 CA 模型 CARS(CA based on multiplerandom seeds)^[19],该模型首先对两个时期的土地利用数据进行叠加,从后期的土地利用数据中提取变化状态的图像元素,表示各土地利用类型的变化面积,然后利用 RF(random forest)算法探索各土地利用类型与多种驱动因子之间的关系,得到各土地利用类型的变化规律,即各土地利用类型的发展潜力^[20],由于受发展潜力限制,PLUS 模型将自动生成模拟斑块。

以往的研究表明^[21-23],PLUS 模型能够将各种空间因素的影响与地理单元动态结合,以模拟土地利用变化,从而获得高精度、高准确性的土地利用空间分布。根据河南省 2000 年和 2020 年历史土地利用数据,利用 8 个驱动因子(图 1)进行模拟,得到 2020 年土地利用类型,与 2020 年的实际数据作对比评估 PLUS 模型的模拟精度,用 Kappa 系数和整体精度作评价指标,如果精度足够高,可以用来预测未来几年河南省土地利用变化趋势,通过设置地类

间不同情景下的成本矩阵(表 2)与邻域因子权重模拟得到 2040 年不同情景下的土地利用格局。

2.3 多情景设定

2.3.1 自然发展情景

自然发展情景基于 2000—2020 年土地利用变化规律,按照目前的城市化发展模式,不设置各类用地之间的转换概率,以及未涉及政府和市场干预的变化情景。以 20 年为间隔,运用 PLUS 模型中的 MarkovChain 预测 2040 年自然增长情景下的土地利用需求,是其他情景模拟的基础^[24]。

2.3.2 耕地保护情景

基本农田质量和数量关系到国家粮食安全^[25],因而土地利用变化模拟需要在基准情景下加入耕地保护的观念。对城市群的耕地进行保护,严格控制基本农田转为其他类型用地,以防止城市化进程中基本农田被其他用地侵占,从而控制基本农田总量,为城市群在保护基本农田的前提下进行未来土地利用规划提供参考。本文设定耕地保护情景,通过减缓耕地向其他地类的转移速率及抑制建设用地的扩张速度来保护耕地。将耕地向建设用地转移的概率减少 60%,以 20 年为间隔,预测 2040 年研究区耕地保护情景下的土地利用格局。

2.3.3 生态保护情景

考虑到河南省正努力打造构建“一带三屏三廊多点”生态保护格局。一带:即黄河生态带,是中下游重要的生物多样性保护带、受水区饮用水源;三屏:即南太行山生态屏障、伏牛山生态屏障和桐柏一大别山生态屏障,是全省重要水源涵养区、生物多样性保护区域;三廊:即南水北调中线总干渠生态廊道、隋唐大运河及明清黄河故道生态廊道和淮河生态廊道;多点:即各种点状分布的保护地,包括自然保护区、各类自然公园、水产种质资源保护区、风景名胜保护区、饮用水源保护区等。因此,在制定该情景下的土地利用限制区时,在水域的基础上增加河南省内各自然保护区,同时该情景下的转移成本矩阵的林地、草地不转移为其他用地,设为 0;除建设用地外,其他地类均可转换为林地和草地,将林地、草地向建设用地的转移概率降低 60%,耕地向建设用地的转移概率降低 30%,同时将耕地、草地向林地的转移概率提高 30%,以 20 年为间隔,预测 2040 年生态保护情景下的土地利用格局。

2.4 碳储量的计量

InVEST 模型是当前进行大区域生态系统碳储

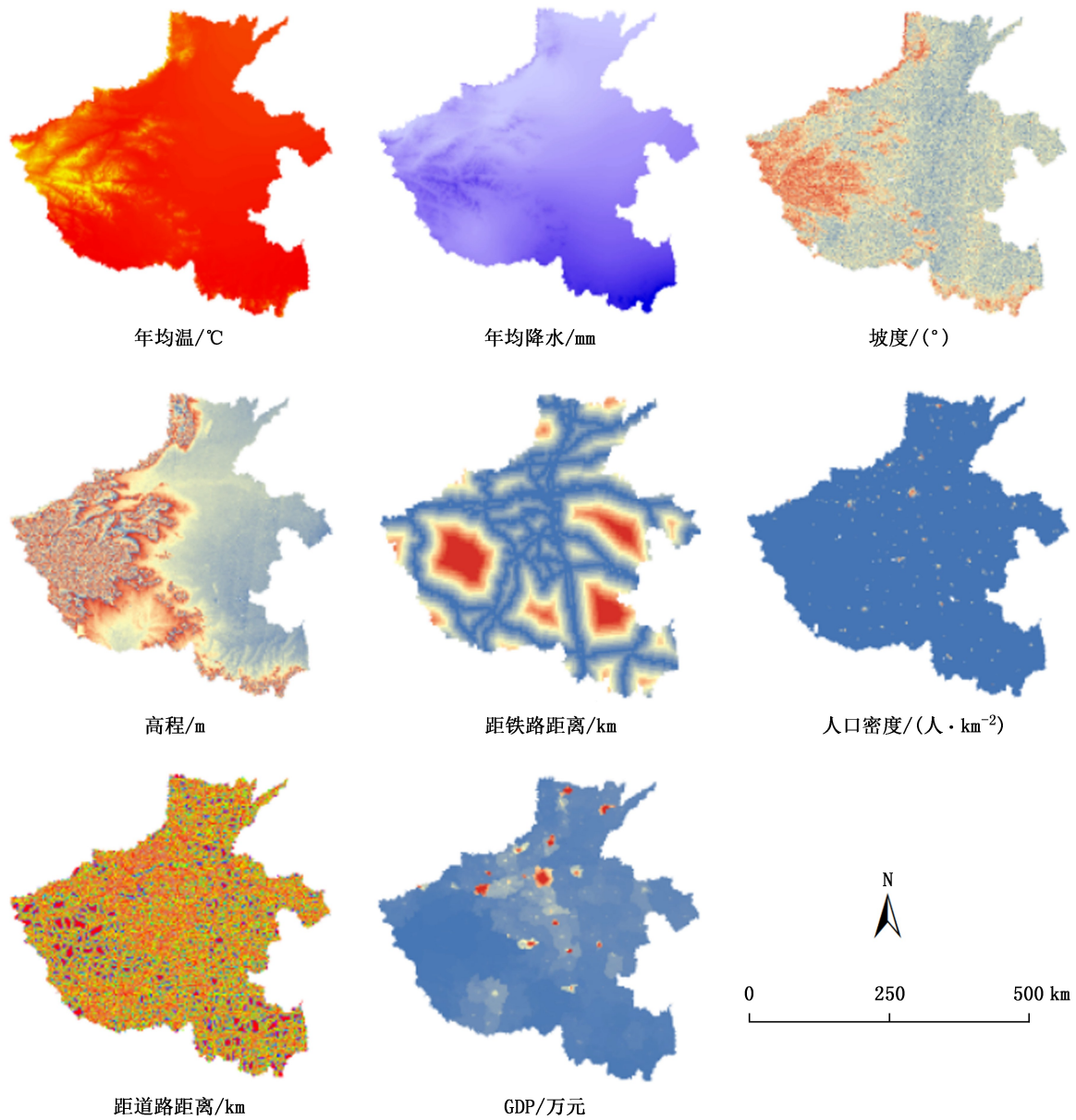


图 1 应用于预测的驱动因子
Fig. 1 Driver factors applied to prediction

表 2 2020—2040 年 3 种情景模拟成本矩阵

Tab. 2 Simulation cost matrices under three scenarios from 2020 to 2040

土地利用类型	自然发展情景						耕地保护情景						生态保护情景					
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
林地	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
草地	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0
水域	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
建设用地	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
未利用地	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

注:0 表示不允许转换,1 表示允许转换。

量估算应用最为广泛的模型之一,该模型碳储存模块根据土地利用类型的分类情况分别对不同类 4 个碳库的平均碳密度进行统计,再根据各地类面积与其碳密度的乘积求和,可获得研究区总碳储量。计算公式为:

$$C_{i_tot} = C_{i_above} + C_{i_below} + C_{i_soil} + C_{i_dead} \quad (1)$$

式中: C_{i_total} 为总碳储量(t/hm^2); C_{i_above} 为地上部分碳储量(t/hm^2); C_{i_below} 为地下部分碳储量(t/hm^2); C_{i_soil} 为土壤碳储量(t/hm^2); C_{i_dead} 为死亡有机碳储量(t/hm^2)。由于死亡有机质碳储量含量低且数据难以获取^[26],本研究中不予考虑。

3 结果与分析

3.1 模拟精度校验

利用 PLUS 模型中的 Validation 模块所提供的 Kappa 系数指标来检验模型模拟精度。模拟结果, Kappa 系数为 0.81,总体精度为 89%,河南省用地模拟效果理想,模型精度较高,满足了研究要求,表明 PLUS 模型可用于河南省土地利用预测。

3.2 土地利用格局模拟

利用 2000 年与 2020 年的土地利用数据模拟 2040 年的土地利用格局(图 2,表 3)。结果表明,在不同情景下,土地利用需求及分布具有较大差异。

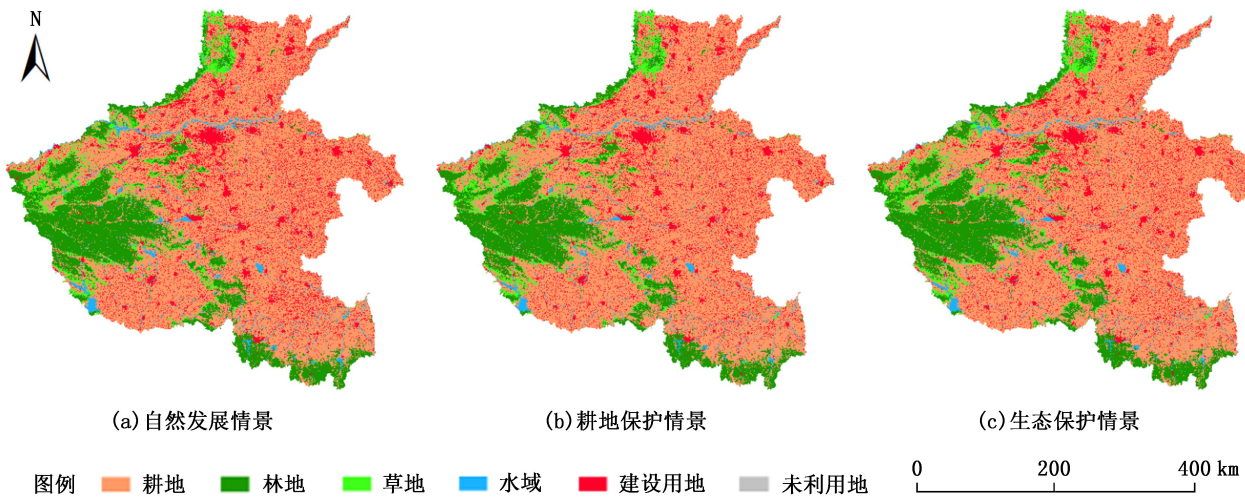


图 2 2040 年 3 种情景下土地利用空间分布

Fig. 2 Spatial distribution simulation of land use under three scenarios in 2040

表 3 2040 年 3 种情景下土地利用格局及较 2020 年变化率

Tab. 3 Area and change rate of each land use type under three scenarios in 2040

土地利用类型	2020 年 土地 现状 /万hm ²	2040 年土地面积/万hm ²			较 2020 年变化率/%		
		自然 发展 情景	耕地 保护 情景	生态 保护 情景	自然 发展 情景 变化 率	耕地 保护 情景 变化 率	生态 保护 情景 变化 率
耕地	1037.95	1006.90	1041.79	1035.16	-3.08	0.37	-0.27
林地	270.85	271.59	268.54	272.71	0.28	-0.86	0.68
草地	88.57	83.38	86.64	86.84	-6.23	-2.23	-2.00
水域	41.40	45.73	41.57	41.37	9.49	0.42	-0.07
建设用地	217.16	248.52	217.58	220.04	12.62	0.19	1.31
未利用地	0.32	0.29	0.31	0.31	-10.87	-3.39	-2.17

3.2.1 自然发展情景

在自然发展情景下,不考虑政策因素影响,只考虑自然与人文共同作用的土地利用格局。如表 3 所示,基于黄河流域生态保护前提,设定河南省内所有水域为限制区,该情景下,耕地面积为 1 006.90 万 hm^2 ,与 2020 年相比,减幅为 3.08%,草地、未利用地均发生了不同程度减少,幅度分别为 6.23%、10.87%,而林地与建设用地情况相反,林地有小幅度的增长,增幅为 0.28%,而建设用地扩张最为明显,增幅达 12.62%。

从图 2 可以看出,建设用地的增长仍集中在城镇周边,主要来源为城市周边的其他地类向建设用地转化,主要占用耕地与草地,如果不加以限制,生态环境与粮食安全将受威胁。

3.2.2 耕地保护情景

在耕地保护情景下,如表 3 所示,在设定情景模

拟成本矩阵时严格限制耕地向其他地类转换,该情景下,耕地面积为 1 041.79 万 hm^2 ,与 2020 年相比,耕地面积增加了 0.37%,可知该情景下耕地保护取得一定成效。与自然发展情景相比,耕地面积增加 34.9 万 hm^2 ,表明在未来的土地利用过程中落实耕地保护,严格管控其他地类占用耕地,能切实保护耕地,进而保障粮食安全。至 2040 年,林地、草地、与未利用地均有一定程度下降,而建设用地的扩张与自然发展情景差异明显,仅为 0.19%,相较于自然发展情景,建设用地减少 30.9 万 hm^2 ,表明在耕地保

护政策驱动下,主要由耕地转化而来的建设用地扩张趋势会受限制。从各地类空间分布上看,建设用地的扩张仍集中在城镇周围,耕地增加的区域零散分布。

3.2.3 生态保护情景

在生态保护情景下,考虑到河南省正努力打造构建“一带三屏三廊多点”生态保护格局^[27],因此,生态保护情景下的限制区与自然发展和耕地保护情景不同,设定河南省内自然保护区为生态保护情景下的限制发展区(图 3)。

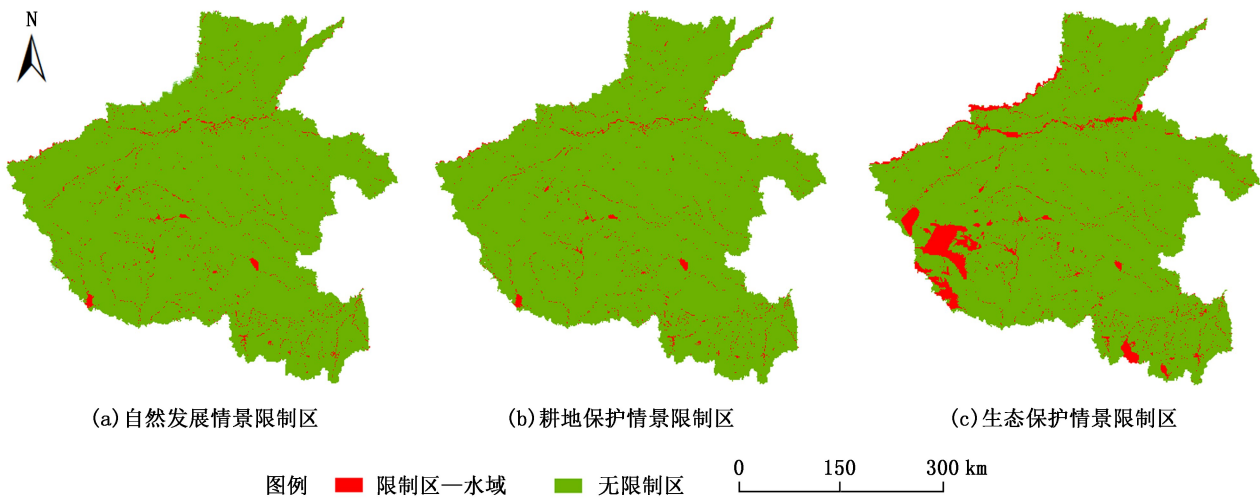


图 3 3 种预测情景下的限制区分布

Fig. 3 Distribution of restriction zones under three prediction scenarios

生态保护情景与自然发展情景的土地利用类似,相较于 2020 年,耕地、草地、未利用地均有小幅度减少,减幅分别为 0.27%、2.00%、2.17%,水域减幅最小,为 0.07%。相比 2020 年,林地面积为 272.71 万 hm^2 ,增长了 1.86 万 hm^2 ,呈小幅度增长趋势,涨幅为 0.68%,建设用地仍在扩张,但扩张率得到大限度抑制,由自然发展情景的 12.62% 下降至 1.31%。

3.3 多情景下河南省有机碳储量变化

河南省不同情景下的土地利用格局有明显差异,有机碳储量也有显著差异(表 4)。

河南省 2020 年、2040 年(自然发展情景)的碳储量分别为 $1\,211.86 \times 10^6 \text{ t}$, $1\,206.98 \times 10^6 \text{ t}$,呈下降趋势,在自然发展情景下河南省生态系统有机碳储量减少了 $4.88 \times 10^6 \text{ t}$,减幅为 0.41%,耕地保护情景下,碳储量预测为 $1\,211.98 \times 10^6 \text{ t}$,较 2020 年增加了 $1.20 \times 10^5 \text{ t}$,主要得益于耕地保护情景下严格的限制,

表 4 2040 年 3 种情景下有机碳储量与变化量

Tab. 4 Organic carbon stock and change under three scenarios in 2040 10^6 t

土地利用类型	2020 年现状	2040 年有机碳储量			较 2020 年变化量		
		自然发展情景	耕地保护情景	生态保护情景	自然发展情景变化量	耕地保护情景变化量	生态保护情景变化量
耕地	783.06	759.56	785.88	780.88	-23.50	2.83	-2.18
林地	242.07	242.70	239.97	243.70	0.63	-2.10	1.63
草地	40.95	38.55	40.05	40.15	-2.41	-0.90	-0.81
水域	15.31	16.90	15.37	15.29	1.60	0.06	-0.02
建设用地	130.30	149.11	130.55	132.02	18.81	0.24	1.72
未利用地	0.17	0.15	0.16	0.17	-0.02	-0.01	-0.01
有机碳储量	1211.86	1206.98	1211.98	1212.20	-4.88	0.12	0.34

使耕地难以向其他地类转化,而在自然发展情景下,耕地主要转化为碳密度较低的建设用地(图4),因此,在耕地保护情景下,碳储量相较于2020年以及2040年(自然发展情景)得到提升。生态保护情景

下,得益于有着较高碳密度的林地面积的增加,碳储量预测为 $1\,212.20 \times 10^6$ t,较2020年以及预测的2040年自然发展情景和耕地保护情景积累的有机碳储量分别增加了 0.34×10^6 t、 5.22×10^6 t和 0.22×10^6 t。

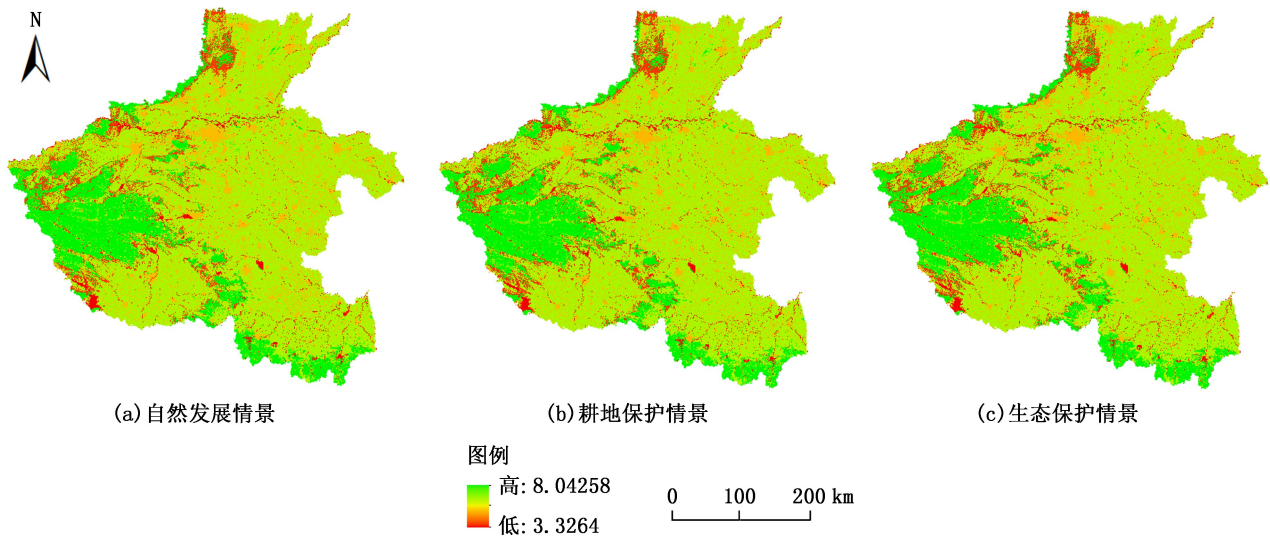


图4 2040年3种情景下的生态系统有机碳分布

Fig. 4 Distribution of organic carbon under three scenarios in 2040

2020—2040年自然发展情景下,河南省碳储量损失最多,推测主要原因是城镇的快速发展,庞大的建设用地需求未受到任何限制地侵蚀城镇边缘的其他地类而得到满足,因此,2020—2040年自然发展情景下,碳储量变化主要集中在河南省中部地区的城镇边缘;2020—2040年耕地保护情景下,河南省有机碳储量较2020年得到轻微提升。在耕地保护情景下,城镇周边的耕地转化受到极大约束,城镇发展新增用地来源从主要来源于城镇周边耕地的转化转向主要来源于未利用地的转化,保护耕地的同时,土地利用率也得到提升。2020—2040年生态保护情景下,河南省有机碳储量得到明显提升,增加了 3.41×10^5 t,碳储量变化较大区域与林地、耕地、建设用地分布一致,分别减少了 2.18×10^6 t,增加了 1.63×10^6 t和 1.72×10^6 t。在生态保护情景下,耕地向其它地类的转化不再受到约束,城镇发展过程中新增建设用地主要来源重新回到耕地,耕地面积的大量减少伴随着建设用地面积的陡增。即使建设用地有着较低的有机碳密度,随着面积的不断增大,其所储存的有机碳总量变化也愈加显著。在生态保护情景下,其他地类向林地转化的概率增大,且受制于以河南省内自然保护区范围制定的不可发生地类转化的限制区。因此,在2040年生态保护情景下林地面积的

增加,有机碳储量变化与林地面积增加一致。2040年耕地保护情景与生态保护情景相较于自然发展情景下的有机碳储量得到提升。碳储量的变化主要发生在河南省中部地区和西部地区,中部地区分布着河南省中原城市群,且中原城市群经济发展较河南省其他地市有着领先优势,西部地区主要包括伏牛山脉,土地利用现状以林地为主。综上可得,河南省土地利用类型与碳储量变化具有高度一致性。

4 结论与讨论

河南省2040年3种发展情景下的有机碳储量分别为 $1\,206.98 \times 10^6$ t(自然发展情景)、 $1\,211.98 \times 10^6$ t(耕地保护情景)、 $1\,212.20 \times 10^6$ t(生态保护情景),建设用地的增长均集中在城镇周边,其他类型的土地利用变化零散分布。有机碳分布呈明显的区域性分布特征,总体上以西部较高,南部次之,东部和北部表现出一定的中等水平分布特征。

运用模型对大尺度的土地利用预测有着先天的优势,本研究采用耦合InVEST和PLUS模型对未来土地利用变化、有机碳储量格局进行模拟,在一定程度上能说明土地利用以及有机碳储量变化趋势。但土地利用变化受社会经济、气候和各种环境因子的

影响,是一个相对复杂的过程。虽然本文模拟结果精度也满足预测要求,但在进行未来土地利用变化模拟时未综合考虑生态保护红线以及城市开发边界等政策性因子的影响,因此结果存在一定局限性。其次,在进行有机碳储量计量过程中,除林地外其他地类的碳密度均来源于前人研究成果,未考虑到不同地类碳密度年际变化,忽略了植被类型以及植物生长对碳密度的影响。

参考文献:

- [1] TOLLEFSON J. The 2 C dream [J]. *Nature*, 2015, 527 (7579): 436.
- [2] 吴乐知. 土壤有机碳储量的估算研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2010(25): 13780-13781.
- [3] WANG M, GUO X, ZHANG S, et al. Global soil profiles indicate depth-dependent soil carbon losses under a warmer climate[J]. *Nature Communications*, 2022, 13(1): 5514.
- [4] 苑韶峰, 杨丽霞. 土壤有机碳库及其模型研究进展[J]. *土壤通报*, 2010(3): 738-743.
- [5] 苏永中, 赵哈林. 土壤有机碳储量、影响因素及其环境效应的研究进展[J]. *中国沙漠*, 2002, 22(3): 220-228.
- [6] MOREIRA M, FONSECA C, VERGÍLIO M, et al. Spatial assessment of habitat conservation status in a Macaronesian island based on the InVEST model: A case study of Pico Island (Azores, Portugal) [J]. *Land Use Policy*, 2018, 78: 637-649.
- [7] 刘冠, 李国庆, 李洁, 等. 基于 InVEST 模型的 1999—2016 年麻塔流域碳储量变化及空间格局研究[J]. *干旱区研究*, 2021, 38(1): 267-274.
- [8] 何涛, 孙玉军. 基于 InVEST 模型的森林碳储量动态监测[J]. *浙江农林大学学报*, 2016, 33(3): 7.
- [9] LIANG X, GUAN Q, CLARKE K C, et al. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2021, 85: 101569.
- [10] 蒋小芳, 段翰晨, 廖杰, 等. 基于 PLUS-SD 耦合模型的黑河流域中游甘临高地区土地利用研究[J]. *干旱区研究*, 2022, 39(4): 1246-1258.
- [11] 李俊, 杨德宏, 吴锋振, 等. 基于 PLUS 与 InVEST 模型的昆明市土地利用变化动态模拟与碳储量评估[J]. *水土保持通报*, 2023, 43(1): 378-387.
- [12] 张鹏, 李良涛, 苏玉姣, 等. 基于 PLUS 和 InVEST 模型的邯郸市碳储量空间分布特征研究[J]. *水土保持通报*, 2023, 43(3): 1-11.
- [13] PENMAN J, GYTARSKI M, HIRAISHI T, et al. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry[Z]. 2003.
- [14] HOUGHTON R A, HOUSE J I, PONGRATZ J, et al. Carbon emissions from land use and land-cover change[J]. *Biogeosciences*, 2012, 9(12): 5125-5142.
- [15] 赫晓慧, 徐雅婷, 范学峰, 等. 中原城市群区域碳储量的时空变化和预测研究[J]. *中国环境科学*, 2022, 42(6): 2965-2976.
- [16] 徐丽, 何念鹏, 于贵瑞. 2010 年中国陆地生态系统碳密度数据集[J]. *中国科学数据(中英文网络版)*, 2019, 4(1): 90-96.
- [17] 朱文博, 张静静, 崔耀平, 等. 基于土地利用变化情景的生态系统碳储量评估——以太行山淇河流域为例[J]. *地理学报*, 2019, 74(3): 446-459.
- [18] 黄玫, 季劲钧, 曹明奎, 等. 中国区域植被地上与地下生物量模拟[J]. *生态学报*, 2006(12): 4156-4163.
- [19] LI C, WU Y, GAO B, et al. Multi-scenario simulation of ecosystem service value for optimization of land use in the Sichuan-Yunnan ecological barrier, China[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 132: 108328.
- [20] GUAN Q. Understanding spatio-temporal patterns of land use/land cover change under urbanization in Wuhan, China, 2000-2019[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13.
- [21] 王佳楠, 张志. 基于 Markov-PLUS 模型的柴北缘土地利用变化及模拟分析[J]. *西北林学院学报*, 2022, 37(3): 139-179.
- [22] 李琛, 高彬嫔, 吴映梅, 等. 基于 PLUS 模型的山区城镇景观生态风险动态模拟[J]. *浙江农林大学学报*, 2022, 39(1): 84-94.
- [23] LIN Z, PENG S. Comparison of multimodel simulations of land use and land cover change considering integrated constraints—A case study of the Fuxian Lake basin[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 142: 109254.
- [24] 陈理庭, 蔡海生, 张婷, 等. 基于 Markov-PLUS 模型的饶河流域土地利用多情景模拟分析[J]. *生态学报*, 2022, 42(10): 3947-3958.
- [25] 孙宇. 西南丘陵区高标准基本农田建设区域划定与建设模式研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [26] 张燕, 师学义, 唐倩. 不同土地利用情景下汾河上游地区碳储量评估[J]. *生态学报*, 2021, 41(1): 360-373.
- [27] 河南省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要[N]. 2021-04-15.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.008

基于 InVEST 模型的河池市森林碳储量估测研究

梁民, 陈秀庭, 徐庆玲, 曾春阳, 刘峰
(广西壮族自治区林业勘测设计院, 广西南宁 530011)

摘要: 为了探明河池市碳储量变化情况并快速评估分级, 以 2010 年、2020 年土地利用数据为数据源, 研究基于 InVEST 模型的河池市森林碳储量估测模型的构建及其空间分布。结果表明, 河池市 2010 和 2020 年碳储量分别为 219.1×10^6 t 和 234.8×10^6 t, 呈增长趋势, 碳储量在空间分布上表现为北部、中部及南部较高, 西北部和东部较低的空间特征; 河池市固碳能力与土地利用类型变化密切相关, 林地对河池市碳储量增加贡献最大。根据河池市碳储量空间分布对全市碳储量的重要程度进行分级, 更为直观地展现全市碳储量在区位上的重要程度。

关键词: 森林碳储量; 碳密度; 土地利用类型; InVEST 模型; 河池市

中图分类号: S718.556; S711 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0043-08

引文格式: 梁民, 陈秀庭, 徐庆玲, 等. 基于 InVEST 模型的河池市森林碳储量估测研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 43-50. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.008

LIANG Min, CHEN Xiuting, XU Qingling, et al. Estimation of Forest Carbon Stock in Hechi City Based on InVEST model [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 43-50. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.008

Estimation of Forest Carbon Stock in Hechi City Based on InVEST Model

LIANG Min, CHEN Xiuting, XU Qingling, ZENG Chunyang, LIU Feng
(Guangxi Institute of Forest Inventory and Planning, Nanning 530011, China)

Abstract: In order to explore the carbon stock changes in Hechi City and quickly assess the grading, this paper studied the construction of the forest carbon stock estimation model and its spatial distribution in Hechi City based on the InVEST model, using the land use data of 2010 and 2020 as the data source. The results showed that the carbon stock in Hechi City in 2010 and 2020 was 219.1×10^6 t and 234.8×10^6 t, respectively, with an increasing trend. The spatial distribution of carbon stock showed the spatial characteristics of higher in the north, central and south, and lower in the northwest and east. The carbon sequestration capacity was closely related to changes in land use types, and forest land contributed the most to the increase of carbon stock in Hechi City. The importance of carbon stock in Hechi City was graded according to the spatial distribution, which more intuitively showed the location importance of carbon stock.

Key words: forest carbon stock; carbon density; land use type; InVEST model; Hechi City

全球气候变化给人类社会和生态系统带来了巨大挑战^[1]。林业在应对气候变化方面发挥着关键

作用, 被视为一种低成本和经济可行的应对气候变化的有效措施^[2]。通过植树造林和加强森林经营,

收稿日期: 2023-08-15.

基金项目: 广西林业科技推广示范项目(2023GXJK34).

第一作者: 梁民(1987-), 男, 广西博白人, 工程师. 主要从事林业调查规划设计工作.

责任作者: 陈秀庭(1977-), 男, 广西临桂人, 硕士, 高级工程师. 主要从事森林资源保护和培育研究工作.

可增加森林碳汇,即吸收二氧化碳,并减少碳排放,森林是地球上最大的陆地碳储库之一,其能够吸收大量的二氧化碳,有助于减缓全球气候变化;此外,保护森林能够减少森林砍伐导致的碳排放,并维护生态系统的完整性^[3-4]。林业在应对气候变化中的重要性受到国际社会的广泛关注,并将其纳入了国际进程^[5]。因此,对森林碳储量进行全面评估和明确森林在应对气候变化中的作用非常重要,对生态环境保护 and 可持续发展具有指导意义。

森林碳储量的估测分析对于森林碳汇的科学经营和管理具有重要意义,从土地利用变化角度研究河池市森林碳储量变化和空间分布,能够为该地区的森林经营和管护提供科学依据。

近年来,针对各类生态系统的碳储量变化及其影响因素展开的大量研究,从全球水平到国家水平,再到区域和样地水平,从政策保护到工程影响等不同的范围尺度以及不同的研究角度出发,为生态系统保护、碳减排和可持续发展提供了重要参考^[6-7]。如李雷达^[8]等对湖南省进行了省区级的碳储量估算;李远^[9]、张修玉^[10]等也提供了大量西双版纳和珠江流域碳储量数据;邓元杰等^[11]、魏亚伟等^[12]、姚平等^[13]对中国东北和西南黄土高原碳储量变化进行了研究,为农田林草植被恢复和天然林保护政策提供了理论依据。但这些研究缺乏较详细的土地利用转换分析以及碳储量变化的动态评估,因此,有必要从不同角度分析土地利用转换及评估碳储量变

化情况。

在众多生态系统服务模型中,InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)模型被广泛用于测量生态系统中的碳储量和表示其空间分布。InVEST 模型将生态系统的碳储量划分为 4 个碳库,输入土地利用类型和不同土地利用类型下的碳密度数据,以此估算并绘制研究区域总碳储量^[14]。InVEST 模型具有应用成本较低、评估精度较高、空间分析功能较完善等特点^[15]。

本研究基于 InVEST 模型,通过模拟和比较 2010—2020 年碳储量变化及分布,结合土地利用数据动态估测河池市森林碳储量,分析河池市各区域森林碳储量情况,有望为河池市森林资源可持续发展提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

河池市地处广西区西北部、云贵高原南缘,国土总面积约 33 500 km²,地理坐标为 106°34′~109°09′E、23°41′~25°37′N,东西长 228 km,南北宽 260 km。河池市山多地少,岩溶广布,主要为喀斯特地貌,地势西北高东南低。主要气候类型属亚热带季风气候区,年均温 16.9~21.5℃,年均降雨量 1 200~1 600 mm,雨热充足。森林资源丰富,截至 2021 年底,全市森林面积 1 198.34 万 hm²,森林覆盖率 71.54% (图 1)。

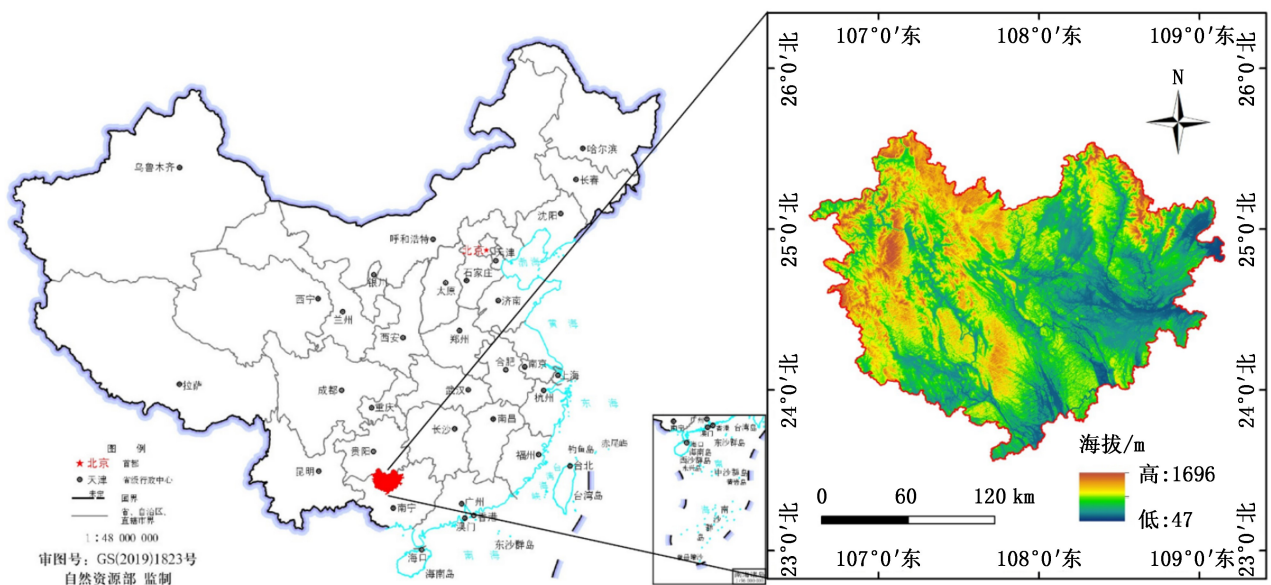


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

河池市是广西林业大市,全市生态公益林面积、森林面积、活立木蓄积量、森林覆盖率分列全区第一、第二、第三和第五位,属于广西珠江流域治理再造林林业碳汇项目的实施范围。近年来,随着河池市城市化进程的加快,加大了土地利用和开发力度,对生态系统的固碳能力构成严重威胁。因此,对河池市森林碳储量和碳储功能进行评估,并根据评估结果制定适合该地区的森林保护策略,对河池市的林业可持续发展尤为重要。

1.2 数据源

河池市森林碳储量估测需要用到的数据类型包括基础数据、森林资源调查数据和碳密度数据,各种数据类型见表 1。

表 1 数据类型及来源
Tab. 1 Data type and sources

数据类型	数据名称	数据年份	数据来源	备注
基础数据	行政边界	2013	国家地球系统科学数据中心 (http://www.geodata.cn/)	矢量数据
	土地利用	2010 2020	GlobeLand 30 全球地表覆盖数据 (http://www.Globallandcover.com)	分辨率 30 m
森林资源调查数据	森林资源二类调查数据	2009		二调数据每 10 年更新一次,本研究选择最接近 2010 年的一期数据
	森林资源“一张图”数据	2020		矢量数据
碳密度数据	地上碳密度		LY/T 2988—2018 森林生态系统碳储量计量指南,张凯琪 ^[16] , IPCC ^[17]	
	地下碳密度			
	土壤碳密度			
	死亡有机物碳密度			

1.2.1 土地利用数据

土地利用数据来源于国家基础地理信息中心联合多家科研院所研制的地表覆盖数据(GlobeLand 30)。该数据使用空间分辨率为 30 m×30 m 的多光谱影像,主要涵盖了六大土地利用类型:建设用地、林地、水域、湿地、耕地和草地。数据的获取主要依赖于美国陆地卫星(Landsat)和中国环境与防灾卫星(HJ-1)的多光谱影像,同时也使用了分辨率为 16 m 的

GF-1 多光谱影像,通过解译图像来获得详细的土地利用信息。选取 2010 年和 2020 年两期土地利用数据(图 2),通过边界数据掩膜提取河池市两期土地利用数据。此外,结合河池市森林资源二类调查数据(2009 年)和森林资源“一张图”数据(2020 年)将土地利用数据中的林地细分为乔木林地、竹林地、疏林地、灌木林地和其他林地。

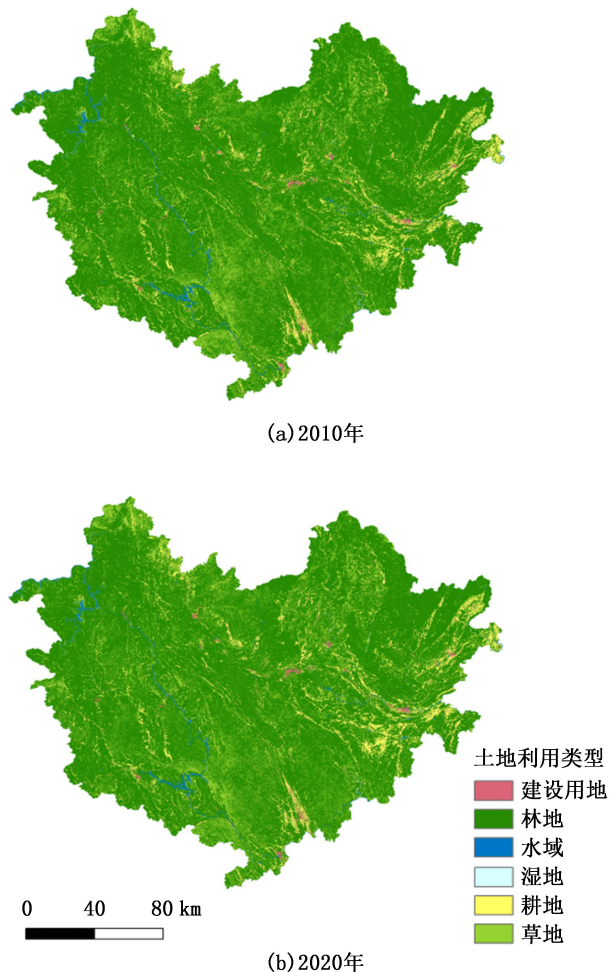


图 2 2010—2020 年河池市土地利用类型空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of land use in Hechi City from 2010 to 2020

1.2.2 碳密度数据

InVEST 模型中所需要的碳密度数据包含 4 个基本碳库,即地上生物量、地下生物量、土壤碳库和死亡有机物碳库。其中,地上生物量包括树皮、树干、树枝、树叶等植物部分的碳含量;地下生物量指地下植物根系部分;土壤碳库通常指有机土壤中的碳含量;死亡有机物碳库包括凋落物、枯枝落叶以及已死亡立木中的有机碳含量^[18]。为确保数据的一

致性和准确性,碳密度数据尽可能选自发表于广西地区的研究成果^[19-25]。利用森林资源二类调查数据和河池市森林资源“一张图”数据,结合 IPCC 森林碳储量的计算方法同时叠加土地利用数据,获得河池市不同土地利用类型碳密度数据(表 2)。

表 2 2010—2020 年河池市不同土地利用类型碳密度
Tab.2 Carbon intensity of different land use types in Hechi City from 2010 to 2020 t/hm²

土地利用类型	地上碳密度	地下碳密度	枯落物、枯死木碳密度	土壤碳密度
林地				
乔木林地	48.35	14.20	4.30	36.70
竹林地	10.65	10.65	—	1.90
疏林地	19.95	10.65	—	1.35
灌木林地	31.40	10.65	—	5.10
其他林地	—	—	—	31.90
非林地				
耕地	13.49	2.68	47.40	1.00
草地	3.01	13.53	60.00	1.00
水域	2.80	2.40	—	—
建设用地	11.45	0.93	1.00	—
湿地	37.00	11.80	55.50	3.00

1.3 研究方法

1.3.1 碳储量估算

InVEST 模型是由斯坦福大学、大自然保护协会(TNC)和世界自然基金会(WWF)联合开发的一套模型系统,旨在评估生态系统服务功能、经济价值,并为生态系统管理和决策提供支持。其中的碳储存模型可用于森林碳储量的估测^[23-24]。且 InVEST 模型具有需求数据少、定量化评估精度高、运行速度快、评估过程和结果空间表达明晰的特点,广泛应用于碳储量评估^[26]。该模型的碳储存模块将陆地生态系统的碳储量分为 4 个主要碳库:地上生物量(包括储存在地上植物材料中的碳)、地下生物量(活体植物根中的碳)、土壤碳库(矿质土壤中的有机碳)和死亡有机物碳库(凋落和已死亡树木中的碳)。通过对不同土地利用类型的 4 个碳库进行合并,可得出该区域总碳储量。其计算公式为:

$$c_x = \sum_{j=1}^J A_{xj} (C_{aj} + C_{bj} + C_{sj} + C_{dj}) \quad (1)$$

式中: c_x 为区域 x 的碳储量(t); A_{xj} 为区域 x 内土地覆盖类型 j 的面积; C_{aj} 、 C_{bj} 、 C_{sj} 、 C_{dj} 分别为土地覆盖类型的地上、地下、土壤和死亡有机物碳密度(t/hm²)。

为了在空间上更明确地分析河池市森林碳储量变化,使用 5 种变化类型定义碳储量空间变化值;分别为显著增加、少量增加、基本不变、少量减少和显著减少。考虑到两个年度之间的时间接近,将变化幅度超过 10% 的定义为显著变化,变化幅度为 5%~10% 的定义为轻微变化,而变化幅度为 0~5% 的定义为基本不变。

1.3.2 土地利用转移矩阵

通过土地利用转移矩阵的计算,可从土地利用变化的角度分析河池市森林碳储量变化规律,以进一步研究土地转换对碳储量变化的影响。土地利用转移矩阵可用于直观地反映不同地类、森林类别和林分起源在不同年份之间的土地类别变化以及发生变化的位置和面积^[27]。土地利用转移矩阵的数学形式为:

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{in} & S_{2n} & \cdots & S_{nn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中: S 为土地利用类型面积; n 为转移前后的土地利用类型; i 、 j ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$)

1.3.3 碳储量重要性分级

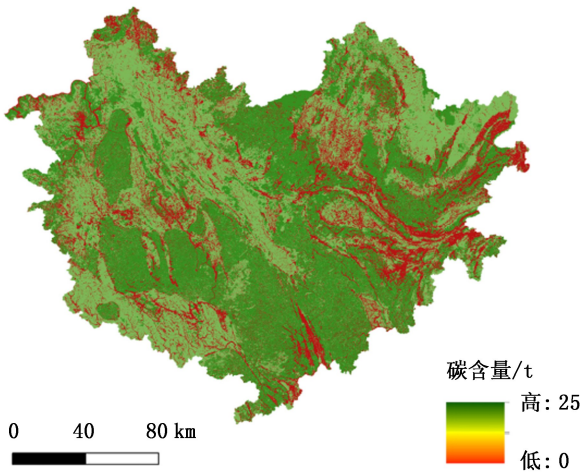
准确了解研究区森林碳储量分布情况能够为河池市森林生态系统的保护和管理提供数据支撑。为了对河池市不同区域森林分等级地制定科学的经营管理措施,对森林碳储量估测结果依据其碳储量的贡献程度,采用自然断点分级法将全市划分为极重要区、重要区和一般区 3 种区划等级。极重要区碳密度区间为 87.16~235.20 t/hm²,重要区为 15.32~87.16 t/hm²,一般区为 0~15.32 t/hm²。保护程度依次为极重要区、重要区和一般区,为了不断地维持生态系统碳平衡,保证森林碳汇功能,对极重要区进行最优先保护。

2 结果与分析

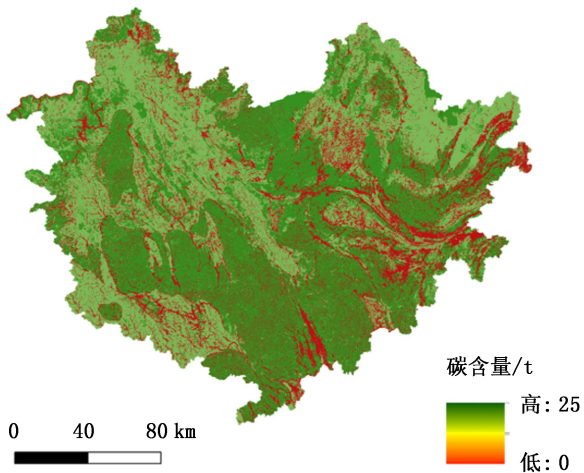
2.1 2010—2020 年河池市碳储量变化分析

通过 InVEST 模型获取河池市 2010—2020 年总碳储量和平均碳密度。河池市 2010 和 2020 年的总碳储量分别为 219.1×10⁶ t 和 234.8×10⁶ t,平均碳密度分别为 87.1 t/hm² 和 92.0 t/hm²,整体呈增长趋势。2020 年碳储量和碳密度相较于 2010 年分别增长 7.2% 和 5.6%。

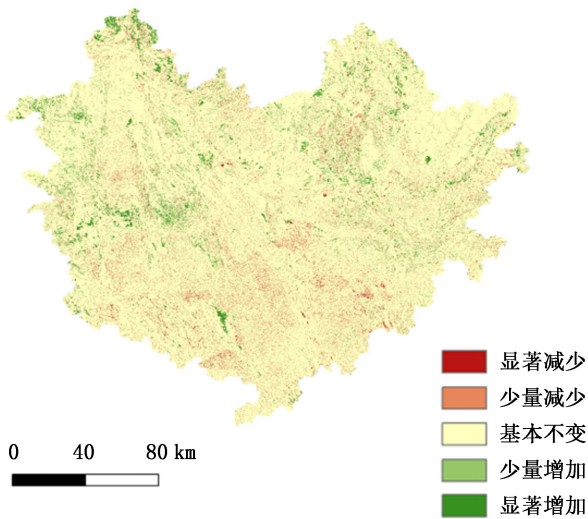
关于碳储量的空间分布和变化(图 3),2010 年和 2020 年河池市碳储量呈北部、中部及南部较高,



(a) 2010年碳储量空间分布



(b) 2020年碳储量空间分布



(c) 2010—2020年碳储量空间变化

图 3 2010—2020 年河池市碳储量空间分布及变化

Fig. 3 Spatial distribution and change of carbon stock in Hechi City from 2010 to 2020

西北部和东部较低的空间分布趋势。高值碳储量主要分布在海拔较低区域,与 DEM(图 1)分布有相似性。根据河池市碳储量空间分布现状,可总结出两个特点:(1)碳储量值较高区域均为林地,表明森林具有较强的固碳能力;(2)低海拔的森林固碳能力普遍增强,其原因是低海拔地区的水热条件好,森林生长力更强,生长速度快,储碳固碳能力更强。研究结果显示:森林通常具有较高的固碳能力,碳密度高达 104.9 t/hm^2 ;分布在城市、农村和山区的非林地部分碳储量通常较低,呈点状、片状或带状分布。2010—2020 年碳储量空间变化表明,10 年间河池市碳储量空间变化呈明显的区域差异,碳储量呈增加趋势的区域面积为 $852\,318.0 \text{ hm}^2$,占区域总面积的 25.4%,主要分布于西北部和西部,中部也有少量零散分布;碳储量呈减少趋势的区域面积为 $710\,514.8 \text{ hm}^2$,占区域总面积的 21.2%,呈片状和点状分布,中部和东南部地区碳储量减少显著。

2.2 2010—2020 年土地类型转变对森林碳储量及其变化的影响

河池市碳储量估测结果显示,森林在储存和固碳方面起主要作用。为了研究不同土地利用类型的固碳能力,在土地利用类型转移矩阵分析时,将耕地、草地、湿地、水域和建设用地 5 种土地类型合并为非林地进行讨论,而林地通过叠加森林资源数据后分成 5 种林地地类,即乔木林地、竹林地、疏林地、灌木林地、其他林地(图 4)。

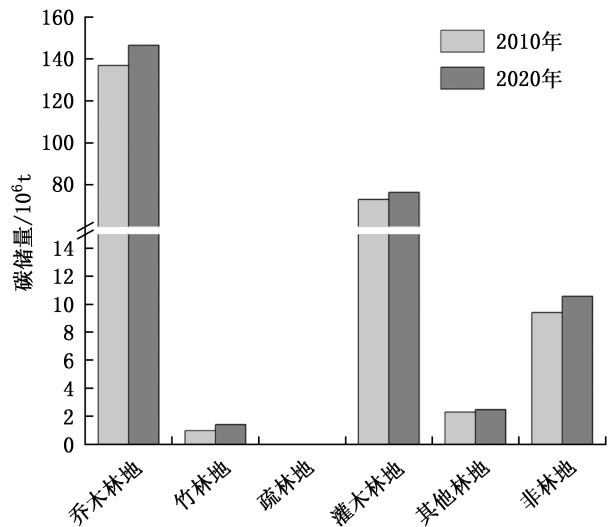


图 4 2010—2020 年河池市不同土地利用类型碳储量变化

Fig. 4 Changes in carbon stock of different land use types in Hechi City from 2010 to 2020

由图 4 可知,碳储量在不同土地利用类型之间有很大差异。在林地中,乔木林地的固碳能力最为突出,其在 2010 年和 2020 年的碳储量分别达 136.1×10^6 t 和 147.6×10^6 t, 占有林地固碳总量的 61.56% 和 62.86%, 是河池市最重要的碳库;其次是灌木林地,2010 和 2020 年碳储量达 72.9×10^6 t 和 75.4×10^6 t, 占 32.97% 和 32.11%;竹林地、疏林地、其他林地和非林地的固碳能力较弱。

土地利用类型转移矩阵结果(表 3)显示,2010—2020 年河池市乔木林地、疏林地、灌木林地和非林地面积分别增长 11 623.77、3.47、623 025.26、76 572.80 hm^2 ,灌木林地增长较多,主要由于其他林地通过自然转化形成。竹林地与其他林地面积分别减少 4 416.62、706 808.68 hm^2 ,其他林地面积减少较多,主要转化为乔木林地、灌木林地和非林地。

表 3 2010—2020 年河池市土地类型转移矩阵

Tab. 3 Land type transfer matrix in Hechi City from 2010 to 2020

 hm^2

土地类型	乔木林地	竹林地	疏林地	灌木林地	其他林地	非林地	转出合计
乔木林地	1129793.63	510.21	6.55	21913.43	21031.75	54072.16	1227327.74
竹林地	473.21	16758.77	0.02	1638.73	108.52	4295.53	23274.77
疏林地	2.99	0.00	91.12	0.79	5.58	1.84	102.31
灌木林地	27274.45	213.78	0.81	3307.23	105273.99	102783.98	238854.23
其他林地	28458.77	357.42	0.56	787833.50	31834.28	50366.23	898850.75
非林地	52948.47	1017.99	6.72	47185.81	33787.94	489782.29	624729.22
转入合计	1238951.51	18858.16	105.78	861879.49	192042.06	701302.02	3013139.03
面积变化	11623.77	-4416.62	3.47	623025.26	-706808.68	76572.80	—

结合图 4 和表 3 可以发现,2010—2020 年间乔木林地转入率为 8.81%,其面积在持续稳定增长,碳储量也保持着相同的生长趋势。灌木林地面积增长率最大,但其碳储量增长属于小幅度上升,说明灌木林地的碳储能力低于乔木林地。随着非林地面积的变化,其碳储量发生了增长,说明非林地中的湿地同样也有一定的碳储能力。总体来说,乔木林地、灌木林地、非林地的面积变化趋势与碳储量变化趋势相似,即面积增长的同时碳储量也在增长;而竹林地、疏林地和其他林地面积变化趋势与碳储量变化趋势相反。

2.3 2010—2020 年碳储量重要性分级

不同区域的碳储量体现出不同的重要性,按重要程度划分为极重要区、重要区和一般区 3 个层次;河池市碳储量重要性分级结果如图 5 所示。

分析图 5 可知,河池市碳储量极重要区分布于南部、中西部和北部,2010 和 2020 年极重要区面积为 464 370.3 hm^2 和 514 017.9 hm^2 , 占全市总面积的 13.55% 和 15.00%,西北部碳储量极重要区有少量增加。碳储量重要区主要分布于东北部、西北部和东南部,2010 和 2020 年重要区面积分别为 482 722.0 hm^2 和 444 156.1 hm^2 , 覆盖了市域面积的 14.08% 和 12.96%。碳储量一般区主要位于中部市中心区,同

时也零散分布于全市其他地区。2010 和 2020 年一般区面积分别为 2 479 817.0 hm^2 和 2 468 735.3 hm^2 , 占全市面积的 72.36% 和 72.04%。碳储量一般区占比最大,但分布相对分散,呈扩张趋势。

3 讨 论

3.1 河池市碳储量变化分析

对河池市碳储量变化分析表明,河池市 2010—2020 年碳储量总体呈增加趋势。在此期间,不同土地利用类型面积均发生了变化,而其固碳能力存在明显差异,因此对碳储量分布产生影响。大面积高碳密度土地利用类型,尤其是灌木林地的增加,导致植被中的地上和地下碳储量随之增加,从而使河池市森林固碳能力显著提升。在土地利用类型方面,林地主要分布在南部、中西部和北部地区,非林地主要分布在中部市区,这对碳储量的空间分布产生了显著影响,碳储量高值区所占区域几乎均为林地,北部和中南部的一些区域随着碳储量密度的增加具有通过保护进一步发展成为富碳区的优势。另外,中部地区由于密集的人为活动和城市发展,导致河池市中部城市地区的碳储量局部下降,但通过其他措施使碳储量呈整体增加趋势。

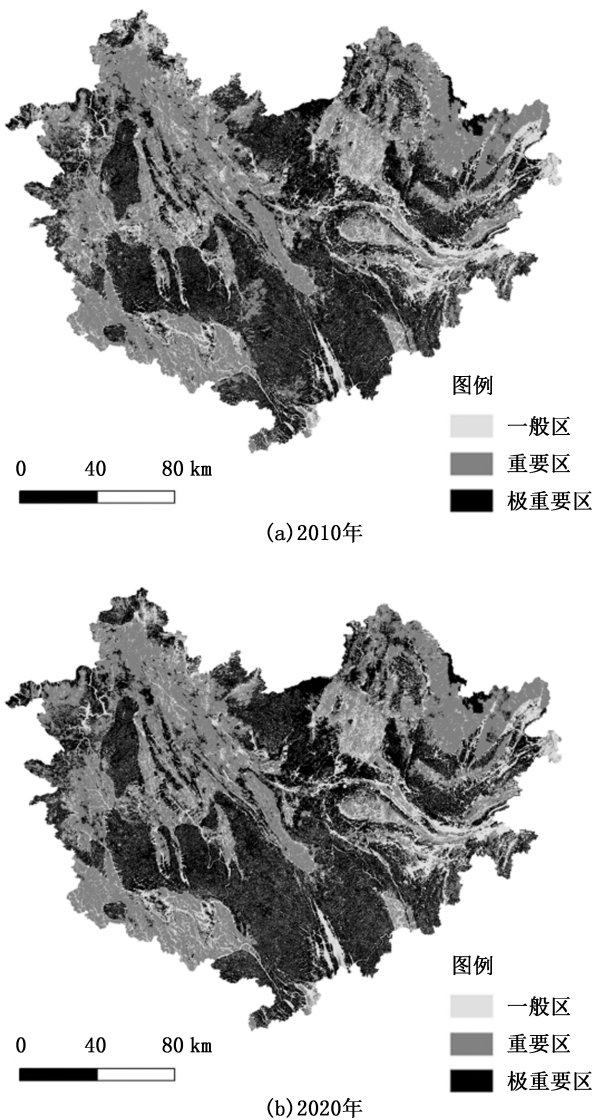


图5 2010—2020年河池市碳储量重要性分级

Fig. 5 Importance classification of carbon stock in Hechi City from 2010 to 2020

3.2 优先保护区域划定

对碳储量的时空特征关系与土地利用变化关系的定性分析,将为河池市碳储量研究的全面概述提供理论帮助,并为河池市制定更有针对性的保护措施提供指导意见。从碳储量重要性评估结果中可以看出,林地碳储量增量远大于非林地的损失量,林地是碳储量极重要区和重要区的主要碳库具备显著的固碳潜力。碳储量一般区主要由非林地组成,然而由于非林地的碳密度相对较低且扩张速度较快,导致其难以成为高质量碳库。在保护碳储量极重要区的基础上,应合理规划重要区和一般区的组成比例,这需要结合城市发展趋势、人口增长和经济因素等综合考虑,以科学的方式决定不同重要性区域分布,

不仅可以满足有效保护碳汇资源的需要,也为控制建设和开发、平衡森林保护和经济可持续发展提供科学依据。

3.3 不足与展望

采用 InVEST 模型,旨在为河池市森林资源可持续发展找到更加科学和系统的方法。在众多生态系统服务模型中,InVEST 模型因其具有简单、高效的特点以及准确性受到广泛应用。但 InVEST 模型也存在一定的局限性。首先,部分参数数据(如四大碳库中不同土地利用类型的碳密度)采用了文献分析和经验公式,因研究者的理解差异或不同地区碳密度水平不同,以及参数选择的不一,评价结果具有不确定性;其次,InVEST 模型简化了碳储量计算,将实际中随环境和时间而损失的碳储量忽略不计,因此在之后的研究中还需对碳密度进行持续监测,以对碳密度值的合理性进行验证。此外,河池市地形地貌较为复杂,喀斯特地貌广布,本研究侧重土地利用类型变化对森林碳储量分布的影响,并未展开对复杂地形地貌进行分区碳储量估测研究以及分植被类型研究,对碳储量的估算结果造成一定的影响。在今后的研究中将逐步评估不同地貌和植被类型的碳储量,并通过实地勘查收集各地区最新碳密度数据,以进一步提升碳储量估测的精确性。

4 结论

1)河池市碳储量整体偏高,空间分布特征显著,北部、中部及南部地区碳储量普遍偏高。2010—2020年,区域碳储量呈整体增长趋势。

2)河池市固碳能力与土地利用类型变化密切相关,林地对河池市碳储量增加贡献最大。

3)2020年碳储量极重要区占全市面积的15.00%,其土地利用类型绝大部分是林地。作为河池市的核心碳库,应将其划定为优先保护区域,对其区域范围内的林地资源进行重点保护。

参考文献:

- [1] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390.
- [2] 张华明, 元鹏飞, 洽双. 中国城市人口规模、产业集聚与碳排放[J]. *中国环境科学*, 2021, 41(5): 2459-2470.
- [3] PIAO S, FANG J, CIAIS P, et al. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China[J]. *Nature*, 2009, 458(7241): 1009-1013.

- [4] SCHIMEL D S, HOUSE J I, HIBBARD K A, et al. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems[J]. *Nature*, 2001, 414(6860): 169–172.
- [5] COSTANZA R, DE GROOT R, SUTTON P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152–158.
- [6] 方精云, 于贵瑞, 任小波, 等. 中国陆地生态系统固碳效应——中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”之生态系统固碳任务群研究进展[J]. *中国科学院院刊*, 2015, 30(6): 848–857, 875.
- [7] PIYATHILAKE I, UDAYAKUMARA E P N, RANAWEERA L V, et al. Modeling predictive assessment of carbon storage using InVEST model in Uva province, Sri Lanka[J]. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2021, 3: 1–11.
- [8] 李雷达, 方晰, 李斌, 等. 湖南省 2014 年森林植被碳储量、碳密度及其区域空间分布格局[J]. *中南林业科技大学学报*, 2017, 37(1): 69–77.
- [9] 李远, 张修玉, 许振成, 等. 西双版纳森林植被碳储量特征[J]. *中国环境科学*, 2013, 33(S1): 7–12.
- [10] 张修玉, 许振成, 曾凡棠, 等. 珠江三角洲森林生态系统碳密度分配及其储量动态特征[J]. *中国环境科学*, 2011, 31(S1): 69–77.
- [11] 邓元杰, 姚顺波, 侯孟阳, 等. 退耕还林还草工程对生态系统碳储存服务的影响——以黄土高原丘陵沟壑区子长县为例[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(4): 826–844.
- [12] 魏亚伟, 周旺明, 于大炮, 等. 我国东北天然林保护工程区森林植被的碳储量[J]. *生态学报*, 2014, 34(20): 5696–5705.
- [13] 姚平, 陈先刚, 周永锋, 等. 西南地区退耕还林工程主要林分 50 年碳汇潜力[J]. *生态学报*, 2014, 34(11): 3025–3037.
- [14] NELSON E, MENDOZA G, REGETZ J, et al. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4–11.
- [15] LIU X P, LIANG X, LI X, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 168: 94–116.
- [16] 张凯琪, 陈建军, 侯建坤, 等. 耦合 InVEST 与 GeoSOS-FLUS 模型的桂林市碳储量可持续发展研究[J]. *中国环境科学*, 2022, 42(6): 2799–2809.
- [17] STOCKER T F, QIN D, PLATTNER G K, et al. IPCC Climate change 2013: the physical science basis. contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[J]. *Computational Geometry*, 2013, 18(2): 95–123.
- [18] LIU Q, YANG D D, CAO L, et al. Assessment and prediction of carbon storage based on land use/land cover dynamics in the tropics: A case study of Hainan Island, China[J]. *Land*, 2022, 11(2): 244.
- [19] 陈曦. 广西土壤有机碳储量估算及与全国部分省区的比较研究[J]. *地理科学*, 2014, 34(10): 1247–1253.
- [20] 吴佩君, 刘小平, 黎夏, 等. 基于 InVEST 模型和元胞自动机的城市扩张对陆地生态系统碳储量影响评估——以广东省为例[J]. *地理与地理信息科学*, 2016, 32(5): 22–28, 36, 2.
- [21] 荣检. 基于 InVEST 模型的广西西江流域生态系统产水与固碳服务功能研究[D]. 南宁: 广西师范学院, 2017.
- [22] 包玉斌, 李婷, 柳辉, 等. 基于 InVEST 模型的陕北黄土高原水源涵养功能时空变化[J]. *地理研究*, 2016, 35(4): 664–676.
- [23] 涂宏涛, 周红斌, 马国强, 等. 基于第九次森林资源清查的云南森林碳储量特征研究[J]. *西北林学院学报*, 2023, 38(3): 185–193.
- [24] 李姣, 汪杰, 李朗, 等. 洞庭湖生态经济区土地利用变化对碳储量的影响[J]. *生态学杂志*, 2022, 41(6): 1156–1165.
- [25] 孙天成, 马梓程, 黄赞慧, 等. 基于碳储存变化的海岸带生态系统修复策略——以海南岛东南海岸带为例[J]. *热带地理*, 2023, 43(3): 443–458.
- [26] 邹文涛, 何友均, 叶兵, 等. 基于 InVEST 模型的森林生态系统服务功能评估研究进展[J]. *世界林业研究*, 2020, 33(4): 19–24.
- [27] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. *地理学报*, 2003(5): 643–650.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.010

城市自然保护地监测路径研究

郑坤^{1,2}, 罗婷文^{1,2}

(1. 自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室, 广东 深圳 518034;
2. 深圳市规划和自然资源数据管理中心, 广东 深圳 518034)

摘要: 监测能有效了解自然保护地保护现状和趋势, 助力保护地管理决策。在梳理自然保护地监测现状的基础上, 分析城市自然保护地监测的必要性, 并结合城市特征分析城市自然保护地面临的空间结构复杂、人类活动干扰频繁、监测内容繁杂、数据集成存在短板等监测困境。在此基础上, 基于自然资源清查、时空大数据、分类分区、公众参与等视角提出城市自然保护地监测路径。

关键词: 城市自然保护地; 监测路径; 资源清查; 城市管理

中图分类号: S759.9; S758.5 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0058-05

引文格式: 郑坤, 罗婷文. 城市自然保护地监测路径研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 58-62, 69. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.010

ZHENG Kun, LUO Tingwen. Monitoring Path of Urban Natural Protected Areas[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 58-62, 69. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.010

Monitoring Path of Urban Natural Protected Areas

ZHENG Kun^{1,2}, LUO Tingwen^{1,2}

(1. Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Natural Resources, Shenzhen, Guangdong 518034, China; 2. Shenzhen Municipal Planning and Natural Resources Data Management Center, Shenzhen, Guangdong 518034, China)

Abstract: Monitoring can effectively understand the status and trend of natural protected areas and help the management of protected areas. By sorting out the monitoring status of natural protected areas, this paper analyzed the necessity of monitoring urban natural protected areas, and combined urban characteristics to analyze the monitoring difficulties such as complex spatial structure, frequent interference from human activities, complicated monitoring content, and shortcomings in data integration. Based on the perspective of natural resource inventory, spatio-temporal big data, classification and zoning, public participation, the monitoring path of urban natural protected areas was considered.

Key words: urban natural protected areas; monitoring path; resource inventory; urban management

自然保护地是由各级政府依法划定或确认, 对重要的自然生态系统、自然遗迹、自然景观及其所承载的自然资源、生态功能和文化价值实施长期保护

的陆域或海域^[1]。截至 2019 年底, 我国各类自然保护地已达 1.18 万个, 总面积超过 1.7 亿 hm^2 ^[2]。《2021 年中国生态环境状况公报》数据显示, 全国各级各

收稿日期: 2023-02-23; 修回日期: 2023-03-31.

第一作者: 郑坤(1993-), 女, 四川剑阁人, 硕士, 工程师. 主要从事自然资源管理、自然生态保护研究. Email: 1343445837@qq.com

责任作者: 罗婷文(1980-), 女, 湖南衡南人, 博士, 教授级高工. 主要研究方向为土地利用与管理. Email: 6451368@qq.com

类自然保护地总面积约占全国陆域国土面积的18%^[3]。监测作为量化生态变化、分析变化原因以及界定变化范围的重要手段^[4],可以帮助管理者有效了解自然保护地资源现状和变化趋势,辅助管理决策^[5-6],助力自然保护地保护^[7]。2020年,自然资源部印发了《自然资源调查监测体系构建总体方案》,明确指出要对生态功能重要地区和国家公园为主体的自然保护地进行重点区域监测,为政府科学决策和精准管理提供准确的信息服务。城市作为地球表层被人类改造最深刻的区域,由于距离人类活动区域近、受人类生产生活影响大,有必要研究城市自然保护地监测路径。

1 自然保护地监测现状

1.1 建立监测体系,监测重点各异

随着《建立国家公园体制总体方案》《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》(以下简称“《意见》”)等文件的出台,各类型自然保护地整合优化的基本思路得以确立,我国自然保护地监测进入新发展阶段^[8]。监测内容关注自然资源的同时,也关注生态状况、人类活动、干扰影响,逐步形成涵盖“山水林田湖草沙海”的全要素监测体系。然而,由于保护对象和管理目标不同,不同类型自然保护地的监测重点存在明显差异。自然保护区侧重对自然及人为原因引起的环境及保护对象变化的监测,主要针对生物多样性和人类活动^[9],如陆域自然保护区监测内容集中在植被覆盖、土地覆被、重要动植物及其生境(栖息地)。风景名胜区主要进行以生态环境、游客数量为主的资源价值监测、展示监测、环境监测和威胁因素监测^[10]。地质公园则重点对地质遗迹周边环境变化、地质遗迹宣传及保护设施(工程)状况和人类活动干扰进行监测。

1.2 监测技术多元,实现融合应用

在监测技术方面,通过卫星遥感、无人机监测、地面调查等多样化的技术手段,建立“空天地”一体化的自然保护地监测技术体系,实现数据获取、信息传输、数据储存、分析评估、数据服务。其中,采用航空或者卫星遥感实现对广阔地域、复杂环境的实时监测,获得调查监测数据的途径、内容、时效性和经济性等均得到优化和提升。江东等^[11]针对灵武白芨滩自然保护区常见的6种人类活动干扰类型,选取多种影像进行人类活动干扰信息识别。卢学理等^[12]对海南大田自然保护区的坡鹿栖息地植被覆盖情况进行监测,发现保护区周边地区植被覆盖率

下降是垦荒和采伐等人为干扰所致。无人机遥感影像具有获取速度快、应用周期短、清晰度高、受自然环境约束小、运行和维护成本低等特点^[13],为自然保护地调查监测提供了全新的视角和方案,特别是用于自然保护地的动植物调查监测、生态系统监测,实现特定物种的识别与分类。杨龙等^[14]通过冠层轮廓、纹理、颜色等信息以及目标个体的GPS实地位置,成功分辨出16种亚热带物种。

1.3 监测数据庞杂,尚未统一管理

由于监测重点和监测技术各异,导致多类型自然保护地面临监测数据来源不同、类型多样的困境,并且由于不同类型自然保护地对监测数据的管理与利用方式各异,为自然保护地监测体系一体化建设和融合发展带来挑战。如建立的国家森林资源智慧管理平台,监测数据主要汇交于国垂省垂系统,在应用时数据接入、融合应用存在困难。如三江源国家公园建立了星空地一体化生态监测数据平台,东北虎豹国家公园构建了生物多样性的监测网络,武夷山国家公园建设“智慧云图”,世遗丹霞山野生动物智能监测系统,黄河三角洲国家级自然保护区打造智慧监控系统等,自然保护地已有丰富的监测数据基础,但是各保护地自行开展建设规划,监测标准、监测手段各异,致使自然保护地监测数据管理方面仍然存在信息化程度偏低、关联性不足等问题。

2 城市自然保护地监测必要性分析

《意见》将自然保护地按生态价值和保护强度高依次分为国家公园、自然保护区、自然公园3类,其中自然公园包括森林公园、地质公园、海洋公园、湿地公园等。城市自然保护地即位于城市规划区的自然保护地,包含空间范围涉及城市规划区的国家公园、自然保护区以及各类自然公园。虽然建立自然保护地的首要目标是保护生态系统的完整性和原真性,但是城市的游憩体验、科研教育、社区发展等功能也得到普遍认同,城市自然保护地管理具有多元性^[15],有必要探析城市自然保护地监测。

1)城市自然保护地监测是自然资源管理的关键环节。在城市区域,大部分土地资源用作城市规划建设,商业服务业、交通运输、公用设施以及公共管理与公共服务用地替代了耕地、园地和林地,河湖等湿地资源岸线由高楼大厦、交通路网环绕,城市自然资源面貌发生翻天覆地的变化。而城市里零星分布的自然保护区、森林公园、湿地公园等自然保护地,是现存为数不多的城市自然资源集中分布和典

型区域。城市自然保护区监测可及时掌握该区域自然资源及其影响因素的变化情况,是支撑自然资源管理的重要环节。

2)城市自然保护区监测是城市管理的重要内容。当前,城市功能日益丰富,成为满足人们对美好生活向往的重要载体,对城市管理者而言,不仅要建好一座城,更要管好一座城^[16]。城市里的自然保护区不仅提供物种保育、水源涵养、防风固沙、土壤保持、固碳释氧、生物多样性保护等生态服务功能,更为城市居民提供难得的游憩场所、科教场所,具有社会、经济等综合价值。无论从生态安全、居民生活幸福感,还是城市软实力来看,城市自然保护区是城市管理的重要内容,而监测是助力管理的有效手段。

3)城市自然保护区监测具有研究与实施的可行性。相较于一般自然保护区,城市自然保护区面临的保护对象更多、应对的管理情形更复杂,城市自然保护区监测成果可有力支撑自然资源管理与城市发展建设,研究的现实意义突出。另外,由于城市区域人力、科技、资金等资源高度集中,监测设施设备以及现代技术应用的可达性更高,特别是在数字政府、智慧城市建设的形势下,城市自然保护区监测可行性更高且有重要的试点示范意义。

3 城市自然保护区监测困境

3.1 空间结构复杂

由于空间用地压力,生态控制线内城市自然保护区空间不断破碎,与城市空间交错分布,城市自然保护区空间结构复杂。一方面,道路、桥梁、管道等城市设施使得自然保护区空间结构更破碎、更复杂,自然保护区核心区与城市道路紧邻、管控区与建成区交错时有存在。另一方面,城市功能的多样化使得城市空间功能复杂化。在有限的城市空间中,自然保护区的多数区域人类可达度高,相应配套的公共服务设施使得自然保护区内部的功能分区更加复杂。城市自然保护区监测面临着地上、地面、地下更复杂的空间环境,监测压力增大。

3.2 人类活动干扰频繁

随着城镇化率的提高,城市建设与人类活动的增多,自然保护区受到的干扰更为频繁。如基础设施建设扩大保护区破碎度,景观营造特别是外来物种影响自然保护区生境,旅游行为增加保护区管护压力,道路交通噪声、高层建筑和光污染等对鸟类等野生动物的影响逐渐凸显等^[17]。由于自然保护区与城市的特殊空间分布,城市化进程中的生态环境

压力也将直接影响自然保护区监测,水环境、土壤环境、大气环境等生态功能退化,将进一步加大自然保护区监测压力。

3.3 监测内容繁杂

受城市建设和人类活动影响,城市自然保护区监测内容更为繁杂,除关注自然资源、生态状况、人类活动外,更要关注干扰影响。一方面,高强度的城市建设和人类活动,使得废弃物和污染物的排放总量更多、排放结构更复杂,自然保护区生态环境要素监测压力相应增加。另一方面,城市景观建设引入外来的园林植物,外来物种生长速度较快,可能威胁原生树种的生境^[18],自然保护区生境监测压力增大。另外,由于自然保护区休闲服务等社会功能,区域内旅游等休憩行为增加人类干扰影响的监测压力。

3.4 监测数据难集成

随着社会发展,自然保护区监测要素持续增多,从原来的局部问题、单一要素甚至要素的一部分问题,变成综合问题或多领域交叉的问题。城市自然保护区涵盖多个类型,因管理需求带来的不同标准的自然保护区分差导致部分开发利用无法体现在统计中,造成自然保护区自然资源监测监管存在偏差,降低监测数据集成处理成效。

4 城市自然保护区监测路径

城市区域内以提供游憩功能的公共开放空间为主,从自然保护区监测现状和城市发展趋势来看,提出城市自然保护区全面监测、及时监测、精准监测的目标。其中,全面监测指全覆盖、多类型的监测,既要涵盖各类自然保护区、森林公园、地质公园、风景名胜、湿地公园等保护区,也要涵盖自然保护区自然资源、生态状况、人类活动、干扰影响等各种保护管理要素内容的监测。及时监测指及时发现自然保护区管控要素的动态变化,及时响应保护管理的支撑支持。精准监测指面向各类型自然保护区和具体的监测指标,能够运用技术手段实现监测信息的及时获取、处理、分析、应用,进而精准地支撑自然生态保护工作。为此,提出 4 条城市自然保护区监测路径。

4.1 基于自然资源清查划定保护与管理基线

为保护自然生态系统免受损害,自然保护区管理者必须明确自然资源在各类自然保护区内的类型、分布、状态等基本信息,收集信息的过程即为自然资源清查。资源清查是自然保护区监测的基础,通过清查得到的资源底数是自然保护区监测的基线状况。具体来看,自然保护区资源清查对象主要为

自然保护地及其周边区域(如行政边界、流域或其他边界)内重要的自然资源,根据具体管理目标也涵盖历史、游憩等文化资源。根据自然资源清查以及自然保护地管理目标应注重两个方面:尽可能获取多种资源的状态信息,包括但不限于水、气、土等环境状况以及森林、湿地、野生动植物等自然资源信息;充分立足自然生态系统保护需求,建立相应的描述指标体系,如体现自然保护地内土地、水、森林、矿产、湿地等自然资源以及生物多样性、生态服务功能、生态修复等生态状况指标,表征持续利用、生态体验、公众参与、巡护管护等人类活动以及生物干扰、极端气候、疫源疫病等干扰影响指标。

4.2 基于时空大数据的城市自然保护地监测

该路径主要着力解决的问题包含:响应城市自然保护地监测系统不适应性,将自然保护地管理与城市建设发展、自然资源统一管理相结合,实现全面、系统的自然保护地监测;响应监测差距以及空间结构复杂现状,结合城市区域实际,整体提升城市内部自然保护地监测水平;响应人类干扰频繁、空间结构复杂等精细化管理需求,应对城市复杂、多元化的自然保护地监测监控场景;面向数字城市建设等信息化建设新机遇、新形势,提升监测技术能力、增强监测数据应用服务能力。

4.2.1 坚持系统理念,推进全面监测

把自然保护地监测融入城市建设和自然资源统一管理,把自然保护地要素监测和空间管控统筹考虑,实现自然保护地全面监测。通过立体组织结构,表达自然保护地监测要素之间及其与人类社会要素在空间上的整体联系,将自然保护地监测融入“山水林田湖草沙海”“城市—人口—经济—环境—生态”等全方位监测体系。构建城市自然保护地监测网络,建立自然保护地调查监测数据库,集成管理各项调查监测成果;开展自然保护地监测分析评价,依托国土空间等基础信息平台,推动调查监测成果共享应用。

4.2.2 加强数据支撑,推进科学监测

为提升城市自然保护地全周期、全流程监测水平,以数据为切入点,基于自然保护地规划计划、建设新增、动态变化等全生命周期,构建数据采集、信息传输、统计分析、发布共享、建库归档及风险应急的全流程监测体系,深度建立与自然生态保护业务管理数据的关联、实现数据的深层次融合。同时,依托城市时空数据平台海量的数据资源,对大数据量级别、高信息含量的信息数据进行集成和挖掘,推进

自然保护地监测向智能化、智慧化转型升级。另外,对现有自然保护地监测数据进行标准化改造,建立自然保护地监测监管的时空数据信息一张图底板。

4.2.3 加大技术创新,推进智慧监测

将自然保护地监测融入智慧城市建设,支撑监测数据的全流程、全生命周期获取及管理应用,探究应用新技术、新方法、新手段,构建特色“城市自然保护地”监测网络^[19],打造“城市数字自然保护地”。强调通过监测信息的统筹、关联与共享,实现监测连续性与无缝隙性。在科学分析全程追溯、动态记录与过程留痕数据的基础上,通过全面感知、自动预警、风险预测等实现预防性监测。

4.2.4 构建标准体系,推进规范监测

标准体系是考虑城市自然保护地的统一监测以及监测成果的综合应用,在监测体系设计、监测过程把控、监测数据融合、监测信息服务等全流程构建标准体系。结合自然保护地分级分类监测体系,就自然保护地监测技术、监测指标、数据管理、共享应用等具体监测工作内容,建立全空间、可扩展的自然保护地信息要素描述框架和数据标准。

4.2.5 加强协助协调,推进融合应用

1) 面向城市发展特色,有针对性地开展自然保护地监测关键技术攻关,探索建立高时效、全覆盖、一体化的二三维自然保护地数据管理应用体系。

2) 统筹自然生态保护监测技术能力,积极对接现有先进的自然保护地监测技术力量,支撑自然保护地动态监测和评估。

3) 优化基础自然保护地监测数据与自然保护地保护管理业务耦合机制,为自然保护地自然资源调查监测、开发利用、生态修复等提供更加及时、有效的数据服务。

4.3 基于分类分区的城市自然保护地监测

基于自然保护地体系的分级分类管理思路,根据自然保护地空间特征、管理重点要素以及城市建设动态要求,对自然保护地监测具体指标内容进行分类动态跟踪和评价分析。将自然保护地按照“保护地类型、地理空间分布、管控要素特征、风险隐患、服务功能”等依据进行细化,构建城市特征的全要素、全流程、全覆盖自然保护地分层分类体系。

4.3.1 系统探索城市自然保护地监测分类分区

城市自然保护地监测分类分区要统筹陆海全域、功能分区、管理分级,将自然保护地分类分级管理与生态管控线、生态“双评价”整体把控,划定城市自然保护地监测分区,分区设计监测方案。融合

城市建设与自然保护地监测需求及关键点,梳理城市自然保护地监测管控情形,分类设计监测方案。其中,管控要素更关注人类活动干扰、建设活动影响等,流程涵盖自然保护地本地调查、开发利用、评价评估等多个环节。

4.3.2 城市自然保护地监测分类探索

基于资源的要素特征,面向重点资源进行监测分类。(1)面向珍稀濒危动植物资源的监测。对不同保护等级的珍稀、濒危自然保护地资源进行跟踪监测,掌握自然资源及其周边生长环境的变化情况,更好地支撑保护管理。(2)面向城市特色自然保护地的监测。如沿海城市的潮间带、红树林,山区城市的典型森林,河湖城市的重点湿地等特色保护地进行特别保护与重点监测,针对性地增加监测频次。(3)面向不同空间分布的自然保护地监测。根据城市建设和人类活动干扰频繁程度,面向自然保护地的重点管控区、一般管控区开展分类监测,运用新技术提升监测数据精度,支撑数据精细化、智慧化应用服务。

4.3.3 城市自然保护地监测分区探索

因城市管理需要,在有限的城市空间范围内,不同的要素管理部门赋予空间不同的管控要求,除生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界 3 条控制线的划定外,还有城市紫线、黄线、绿线等管控线,故通过聚合手段划定自然保护地监测分区。如对自然保护区、风景名胜区、地质公园、森林公园等生态敏感区域,对保护地管控分区进行综合、系统监测。对风景名胜区、湿地公园、森林公园等人类活动频繁区域,重点监测人类活动状况及其变化趋势,重点评价人类活动对自然保护地管控要素的影响。特别是各类建设项目实施区域,以项目为重点,就选址范围内及周边自然保护地保护要素在监测项目实施前、实施后质量的生长健康进行动态监测。特别是地下轨道交通、地下管网等涉及地下空间的项目实施区域,重点对地下空间层进行资源及相关环境要素的监测评估。

4.4 基于公众参与的城市自然保护地监测

保护与建设并重,将多元主体的价值观念融入城市自然保护地监测体系中,增强多元主体的相互合作与相互约束,提升居民对自然保护地监测的支持及参与,积极营造全民参与的社会氛围,增强监测的持续力。如借助城市自然教育基础和优势,以寓教于乐的生态宣传与教育形式,打造自然保护地监测参与宣传新常态。借鉴欧洲国家经验向广大公众交流城市自然保护地的价值、利益和目标,引导、鼓

励公众积极、科学地参与自然保护地监测。

5 结论与展望

由于距离城市近,与居民生产、生活关联度高,城市自然保护地相对于纯粹的自然保护地来说,更加重要的任务是以城市复合生态系统的理念保护城市居民赖以生存的生态环境空间,维持城市区域的健康发展。考虑城市自然保护地对城市生态安全、城市居民健康的重要意义,下一步,将更加注重城市自然保护地与城市的合理干扰互动,在监测设计方面进行更多思考与探索。

参考文献:

- [1] 新华社. 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》[EB/OL]. (2019-06-26). http://www.gov.cn/zhengce/2019-06/26/content_5403497.htm.
- [2] 北京头条. 生态环境部:我国各类自然保护地已达 1.18 万个占国土陆地面积 18%[EB/OL]. (2021-07-07). <https://m.gmw.cn/baijia/2021-07/07/1302392394.html>.
- [3] 生态环境部. 2021 年中国生态环境状况公报[EB/OL]. (2022-05-26). <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202205/P020220608338202870777.pdf>.
- [4] 解焱,马敬能,干晓静,等. 自然保护地监测规划操作指南[Z]. 国际自然保护地联盟,2018.
- [5] FANCY S G, GROSS J E, CARTER S L. Monitoring the condition of natural resources in US national parks[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, 151(1/4): 161-174.
- [6] DANIELSEN F, JENSEN A E, ALVIOLA P A, et al. Does monitoring matter? A quantitative assessment of management decisions from locally-based monitoring of protected areas[J]. *Biodiversity & Conservation*, 2005, 14(11): 2633-2652.
- [7] 米湘成. 生物多样性监测与研究是国家公园保护的基础[J]. *生物多样性*, 2019, 27(1): 1-4.
- [8] 焦雯珺,刘显洋,何思源,等. 基于多类型自然保护地整合优化的国家公园综合监测体系构建[J]. *生态学报*, 2022, 42(14): 5825-5837.
- [9] 环境保护部南京环境科学研究所. 自然保护区监测、评估和优化布局技术研究[M]. 北京:中国环境出版社,2013.
- [10] 李如生. 风景名胜区保护性开发的机制与评价模型研究[D]. 长春:东北师范大学,2011.
- [11] 江东,阎晓曦,付晶莹. 人类活动信息多尺度遥感影像提取的适用性比较:以灵武白芨滩自然保护区为例[J]. *资源科学*, 2016, 38(8): 1409-1422.

(下转第 69 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.012

土地利用变化背景下植被大气 PM_{2.5} 去除能力动态评估

邱颖颖¹, 董雯¹, 许菲菲¹, 陈莉娟², 金筱艾¹, 任远¹, 王彬¹, 陈健¹, 周天焕³

(1. 浙江农林大学 亚热带森林国家重点实验室, 浙江 杭州 311300; 2. 景宁县生态林业发展中心, 浙江 丽水 323000; 3. 浙江省森林资源监测中心, 浙江 杭州 310020)

摘要: 为了加深对土地利用变化背景下植被大气净化功能的量理解, 回顾分析 2000—2020 年丽水市土地利用变化趋势, 利用干沉降模型评估植被对 PM_{2.5} 去除能力的动态变化; 利用地理加权回归模型分析植被对 PM_{2.5} 去除能力变化的主要驱动因素, 并基于此利用 PLUS 模型在空间上预测未来不同管理情景下 2030 年土地利用格局及植被 PM_{2.5} 去除能力。结果表明, 2000—2020 年土地利用变化的主要类型是由社会经济因素所驱动的建设用地对林地的侵占; 在城市化和大气污染治理的共同作用下, 2020 年丽水地区植被大气 PM_{2.5} 干沉降速率相比 2000 年下降了 3.0%, 干沉降通量由 2000 年的 0.36 g/(m²·a) 下降至 2020 年的 0.26 g/(m²·a); 自然环境因素对植被大气 PM_{2.5} 去除能力的空间分异规律解释能力最强; 自然发展情景下, 2030 年植被大气 PM_{2.5} 去除能力相比 2020 年继续下降了 1.6%, 而生态保护情景则增加了 1.3%。2000—2020 年, 丽水市的耕地、林地和草地面积呈缩减趋势, 水域及建设用地面积有所扩张, 主要受到社会经济因素的推动; 植被大气 PM_{2.5} 干沉降去除能力不断下降, 其空间分异主要与自然环境因素有关; 在未来情景中, 按照现有发展模式植被大气 PM_{2.5} 干沉降去除能力将继续下降, 而生态发展情景下干沉降去除能力将有所提高。

关键词: 土地利用格局; 植被 PM_{2.5} 去除能力; PLUS 模型; 干沉降模型; 生态系统服务

中图分类号: TU834.62; X821 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0070-09

引文格式: 邱颖颖, 董雯, 许菲菲, 等. 土地利用变化背景下植被大气 PM_{2.5} 去除能力动态评估[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 70-78. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.012

QIU Yingying, DONG Wen, XU Feifei, et al. Dynamic Assessment of Atmospheric PM_{2.5} Removal Capacity of Vegetation in the Context of Land Use Change[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 70-78. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.012

Dynamic Assessment of Atmospheric PM_{2.5} Removal Capacity of Vegetation in the Context of Land Use Change

QIU Yingying¹, DONG Wen¹, XU Feifei¹, CHEN Lijuan², JIN Xiaoi¹, REN Yuan¹,
WANG Bin¹, CHEN Jian¹, ZHOU Tianhuan³

(1. State Key Laboratory of Subtropical Forest, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Hangzhou 311300, China;
2. Jingning County Ecological Forestry Development Center, Lishui, Zhejiang 323000, China;
3. Zhejiang Forest Resources Monitoring Center, Hangzhou 310020, China)

Abstract: To deepen the quantitative understanding of the air purification function of vegetation in the context of land use change, this study reviewed the trends of land use change in Lishui City from 2000 to

收稿日期: 2024-05-07; 修回日期: 2024-05-29.

基金项目: 浙江新苗计划(2023R412057); 全域森林康养试点县康养监测体系研究项目(YXHC2023(CS)-001).

第一作者: 邱颖颖(2000-), 女, 浙江衢州人, 硕士研究生. 研究方向为城市生态学. Email: 1207967464@qq.com

责任作者: 周天焕(1982-), 男, 浙江丽水人, 高级工程师. 从事林业调查规划设计研究.

2020, assessed the dynamic changes of vegetation's ability to remove PM_{2.5} by using a dry deposition model. Additionally, the study used a geographically weighted regression model to analyze the primary drivers of land use changes and utilized the PLUS model to spatially predict the land use patterns and vegetation PM_{2.5} removal capabilities under different management scenarios by 2030. The results showed that the primary type of land use change from 2000 to 2020 was the encroachment of construction land on forest areas driven by socio-economic factors; under the joint influence of urbanization and air pollution control, the dry deposition rate of atmospheric PM_{2.5} by vegetation in Lishui area decreased by 3.0% in 2020 compared to 2000, and the dry deposition flux decreased from 0.36 g/(m²·a) in 2000 to 0.26 g/(m²·a) in 2020; natural environmental factors had the strongest explanatory power for the spatial variation in the PM_{2.5} removal capacity of vegetation; under a natural development scenario, the PM_{2.5} removal capacity of vegetation by 2030 would continue to decline by 1.6% compared to 2020, while an ecological protection scenario would see an increase of 1.3%. In summary, from 2000 to 2020, the area of cultivated land, forest land and grassland in Lishui City showed a shrinking trend, and the area of water and construction land expanded, which was mainly driven by socio-economic factors; the dry deposition removal capacity of vegetation for atmospheric PM_{2.5} continued to decline, and its spatial differentiation was mainly related to natural environmental factors; in the future scenario, under the current development model, the dry deposition removal capacity of vegetation for atmospheric PM_{2.5} would continue to decline, while the dry deposition removal capacity would increase under the eco-development scenario.

Key words: land use pattern; PM_{2.5} removal capacity of vegetation; PLUS model; dry deposition model; ecosystem services

随着全球工业化发展和城市化进程的加快,土地利用结构发生了重大改变,例如大面积的建设用地扩张、森林、草地和湿地的减少等^[1-2]。这些变化直接影响着大气污染物的排放、扩散、转化和去除过程,从而对空气质量产生了显著影响^[3-5]。细颗粒物(PM_{2.5})是当前对空气质量和人体健康危害最大的一类污染物,在全球范围内每年导致数百万人过早死亡^[6-9]。我国同样面临严重的雾霾问题,如何在损害经济社会发展的前提下缓解PM_{2.5}污染成为我国实现可持续发展和国民健康水平改善的重大挑战。

植被利用大气污染物的干沉降机制去除PM_{2.5}被视为一种“基于自然的解决方案”^[10-11]。由于植被冠层具有较大的吸收表面积及独特的生物和理化特性,其能显著提升地表的干沉降通量,从而有效净化大气^[12]。PM_{2.5}可溶于叶片的蜡质层,也可以沉积在叶片表面,随后通过雨水冲刷被去除^[13-14]。研究表明,PM_{2.5}干沉降速率通常与风速和摩擦速度正相关,与大气稳定性、温度和相对湿度负相关^[12,15]。具有较粗糙表面、明显褶皱、凹槽和较大气孔的叶片往往具有更强的滞尘能力,因粗糙的表面结构增加了颗粒物沉积的可能性,同时减少了其被风吹起再

悬浮的机会^[16]。通常情况下,乔木比灌丛和草地更能有效去除空气中的颗粒物^[17-19];阔叶树由于具有更大的吸收表面积,从而表现出比针叶树更高的颗粒物干沉降能力^[12,20]。

近年来,植被对PM_{2.5}干沉降去除能力已成为国内外研究热点。现有研究主要采用实验测定或干沉降模型进行量化评估^[21-26]。实验研究为理解树种间滞尘能力差异及机制提供了重要基础数据,但受到实验时间、采样频率和降水过程的限制,无法反映城市森林长时间序列的干沉降去除能力。干沉降模型充分考虑了大气理化状态、气象因素和污染物浓度对PM_{2.5}干沉降过程的影响,因而可在较大时空尺度上量化陆地表面的沉降通量^[27-30]。然而,现有干沉降数值模拟研究聚焦于现状评估,很少考虑由于土地利用变化导致的植被PM_{2.5}去除能力的时空变化。土地利用方式的改变会直接影响植被覆盖度以及植被类型的种类与多样性,因此,合理的土地利用规划和管理对于维护和提高植被对PM_{2.5}干沉降去除能力至关重要。

丽水市是长三角地区重要的生态屏障,提供了各种必不可少的生态服务功能。近年来城市化进程的加快使该地区的景观格局发生了显著变化^[31]。

本研究旨在:(1)分析 2000—2020 年丽水市土地利用时空变化规律,从自然环境及社会经济角度分析背后的驱动机制,预测不同情景下土地利用空间格局;(2)分析土地利用变化导致的植被 $PM_{2.5}$ 干沉降能力的变化规律;(3)探讨不同土地管理情景下 2030 年植被 $PM_{2.5}$ 干沉降能力的空间分异,为丽水市国土空间规划和生态安全维护提供科学依据。此外,本研究也可为其他地区的可持续发展模式建设提供有益参考,助力我国实现可持续发展和提高国民健康水平等目标。

1 研究区域概况与数据来源

1.1 研究区域概况

丽水市(118°41'~120°26'E,27°25'~28°57'N)位于浙江省西南部,年均温度 17.8℃,年均降水 1 568.4 mm,年均日照时数 1 676.6 h,属中亚热带季风气候区,四季分明,雨量充沛。地貌以山地、丘陵为主,地势由西南向东北倾斜,是浙江省森林面积、蓄积最大的设区市,有“浙南林海”之称。

1.2 数据来源

采用 2000、2005、2010、2015 和 2020 年 5 个时期的土地利用数据,分析丽水市 2000—2020 年土地利用变化情况,利用 ArcGIS 进行遥感影像处理,提取了耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 类土地利用类型。为评估影响土地利用变化以及污染物去除的自然环境因素,选取年均温、年均相对湿度、年均降水、潜在蒸散量、数字高程模型(DEM)、坡度和坡向等自然环境因素。此外,本研究还考察了可能影响土地利用变化的社会经济因素,包括夜间光照指数、国内生产总值(GDP)、人口密度、距铁路的距离及距道路的距离(表 1)。

2 研究方法

2.1 土地利用时空变化格局分析

研究土地利用时空变化格局对于优化土地资源配、促进可持续发展具有重要意义^[32]。采用土地利用动态度反映丽水市土地利用类型的变化速率^[33],公式为:

$$K = \frac{(S_b - S_a)}{S_a} \times t^{-1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: S_b 为研究末期该土地利用类型的面积; S_a 为研究初期该土地利用类型的面积; t 为时间间隔。 K

表 1 用于土地利用驱动力分析的数据信息

Tab. 1 Data information for land use driver analysis

数据分类	数据名称	数据来源
自然环境因素	土地利用数据	中国科学院地理科学与资源研究所(http://www.resdc.cn)
	年均温度	中国气象数据网(http://data.cma.cn)
	年均降水	
	年均相对湿度	
	潜在蒸散量	国家青藏高原科学数据中心(https://data.tpdc.ac.cn)
	DEM	GEBCO(https://www.gebco.net)
社会经济因素	坡度	
	坡向	
	夜间光照指数	国家地球系统科学数据中心(https://www.geodata.cn)
	GDP	
	人口密度数据	
	铁路及道路数据	街道地图(OSM, https://openmaptiles.org)

则为该土地利用类型的动态度,若 $K > 0$,则表明该土地利用类型面积增加,反之为减少。 $|K|$ 越大,说明其扩张(缩减)速度越快。

2.2 基于 PLUS 模型的土地利用格局预测

土地利用格局决定了区域碳储存能力,基于斑块生成土地利用变化模拟(patch-generating land use simulation, PLUS)揭示潜在的驱动因素及其对土地利用变化的不同贡献,预测多情景下的土地利用空间格局。该模型主要包括土地扩张策略分析模块与基于多类随机斑块种子的元胞自动机模型,已有许多研究学者应用该模型较好地模拟出不同地区土地利用状况^[34-35]。

利用 2000 年与 2010 年的土地利用数据预测 2020 年丽水市土地利用格局以获得该模型的适用性,模拟结果, Kappa 系数为 0.84,具有极高一致性,可用此模型来预测未来土地利用格局。本研究设定了两种情景:自然发展情景与生态保护情景。前者的转移矩阵中各类土地均可相互转化,后者不允许排序由前向后转换:林地、草地、耕地、水域和建设用地。

2.3 基于地理加权回归的植被大气 $PM_{2.5}$ 去除能力驱动力分析

地理加权回归(GWR)是在最小二乘法的基础上将数据空间位置信息嵌入到空间回归模型中,解决了因地理位置变化而引起的变量间关系或结构变化问题,可根据不同的地理空间划分单元得到局部

回归系数,能有效反映驱动因子在不同区域的空间异质性及在作用方向和强度上的差异^[36-37]。公式为:

$$y_i = \beta_0(\mu_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i) + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中: u_j 和 v_j 为 j 位置的坐标; $\beta_0(u_j, v_j)$ 为位置 j 的截断; $\beta_i(u_j, v_j)$ 为独立变量 x_i 的局部估计系数。

2.4 基于干沉降模型的植被大气 PM_{2.5} 去除能力估算

采用 ISC3 模型的干沉降算法,结合土地利用、气象和环境监测数据,计算 PM_{2.5} 在不同植被类型上的干沉降通量^[36]。干沉降通量 $F_d(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ 的计算公式为:

$$F_d = C \times V_d \quad (3)$$

式中: C 为大气 PM_{2.5} 浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$); V_d 为植被 PM_{2.5} 干沉降速度(m/s)。

V_d 的计算公式为:

$$V_d = (R_a + R_p + R_a R_p R_g)^{-1} + V_g \quad (4)$$

式中: R_a 为空气动力学阻力(s/m); R_p 为包围冠层的准层流亚层中颗粒沉积阻力(s/m); V_g 为重力沉降速度(m/s)。

不同植被类型(林地、灌木、草地)的特征变量以及 R_a 、 R_p 、 V_g 的具体计算公式参考 ISC3 干沉降算法^[38]。丽水市主要森林类型包括常绿阔叶林、马尾松林和杉木林,采用三者单位面积干沉降能力的面积加权平均值作为林地特征值。此外,来自空气质量监测站和气象站的 PM_{2.5} 污染物浓度、风速、降水、太阳辐射、气温、相对湿度数据也被用来计算 PM_{2.5} 的干沉降通量。由于缺乏不同情景下 PM_{2.5} 浓度的预测数据且近年来丽水市 PM_{2.5} 浓度趋于稳定,本文假设 2020 年后 PM_{2.5} 浓度维持不变。

3 结果与分析

3.1 2000—2020 年土地利用变化及其驱动力分析

丽水市土地利用以林地和耕地为主,2020 年两地类面积约占土地总面积的 94.8%。林地广布,耕地主要集中在东部莲都区与西部松阳县平原;水体与山脉走向平行,主要分布在中部及西南部;建筑用地的扩张主要在地势较为平坦地区。2000—2020 年间,草地与耕地的转出变化幅度较大,分别达 44.6% 和 6.5%;林地的转出变化率仅为 2.1%,但实际转出面积最大。随着城市化进程的不断加快,建设用地面积大幅度增加,增加了 4.1 倍,土地利用变化的主要类型是林地和耕地向建设用地的转化(图 1)。

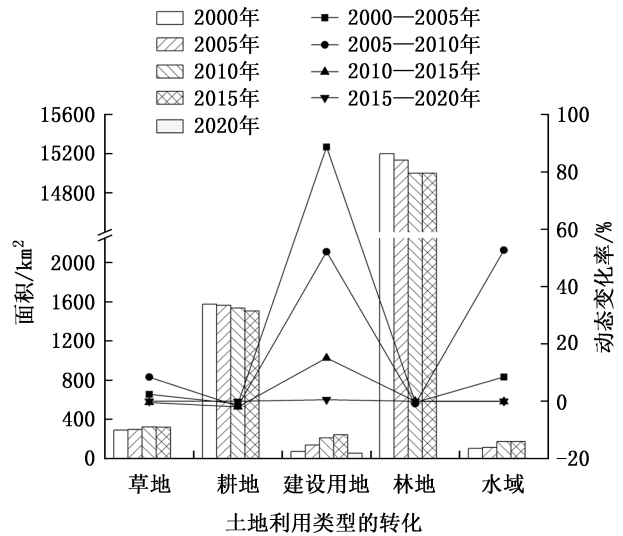


图 1 2000—2020 年各土地利用类型面积变化及土地动态变化

Fig. 1 Area changes and land dynamics of different land use types from 2000 to 2020

过去 20 年间,土地利用时空格局受到各种复杂和相互关联因素的影响(图 2)。建设用地的扩张主要由社会经济因素驱动,较显著的影响因素包括夜间灯光指数、人口密度和 GDP;耕地、林地与草地主要与年均降水、湿度、人口密度和 GDP 有关;水域面积变化与 GDP、年均温和 DEM 等因素的相关性较强。总体而言,社会经济因素是本地区土地利用变化的主导因素。

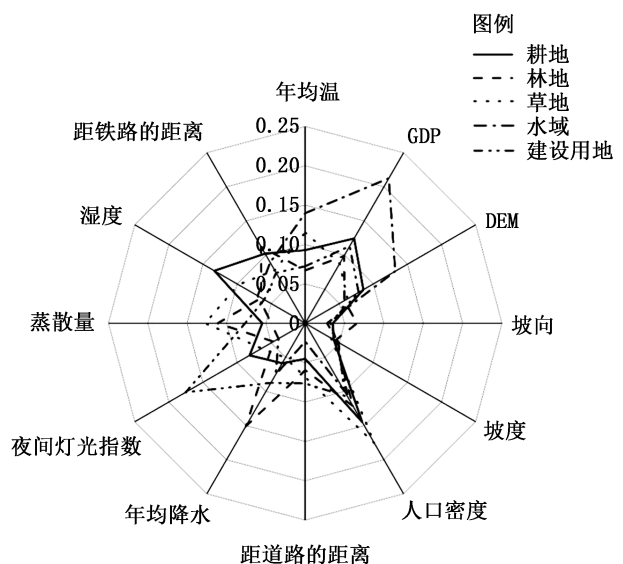


图 2 1990—2020 年各影响因素对土地利用变化的贡献
Fig. 2 Comparison of the contribution of various influencing factors to land use change from 1990 to 2020

3.2 植被大气 PM_{2.5} 干沉降去除能力的时空变化及驱动力分析

由于建设用地逐渐蚕食森林资源,在过去 20 年间丽水市植被大气 PM_{2.5} 干沉降速率呈持续下降趋势,由 2000 年的 0.133 cm/s 下降至 2020 年的 0.129 cm/s,降幅为 3.0%。

干沉降通量受到干沉降速率和大气 PM_{2.5} 浓度两者的共同影响。大气 PM_{2.5} 浓度经历了先上升后下降的过程:早期由于社会经济的快速发展和大气污染排放的增加,导致 PM_{2.5} 浓度上升;2013 年以来,随着《大气污染防治行动计划》和《打赢蓝天保卫战三年行动计划》等项目的相继实施,丽水市空气质量开始逐步提升。相应的丽水市植被大气 PM_{2.5} 干沉降去除通量也呈先增后减趋势,由 2000

年的 0.36 g/(m²·a) 增加到 2010 年的 0.41 g/(m²·a),随后 2020 年降至 0.26 g/(m²·a)。

地理加权回归结果表明,各驱动因子对丽水市植被大气 PM_{2.5} 干沉降去除能力的影响存在明显的空间异质性,不同区域的作用强度有所不同。研究区域内,干沉降去除能力与年均蒸散量和坡度始终呈正相关,其中年均蒸散量在景宁畲族自治县、庆元县以及青田县的系数较高,坡度对植被大气 PM_{2.5} 干沉降去除的影响强度由丽水市西北部向东南部地区递减;其他因素对干沉降去除能力的影响存在正负两种效应(图 3)。

3.3 不同背景下的土地利用格局预测

未来不同情景下土地利用转移矩阵见表 2 和表 3。

表 2 自然发展情景下丽水市土地利用转移矩阵

Tab. 2 Matrix of land use transfers in Lishui City under the natural development scenario

土地利用类型	各土地利用类型面积/km ²						总计
	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地	
草地	301.47	0.06	1.99	23.97	0.57	0	328.05
耕地	0.55	1466.82	19.74	2.48	1.43	0	1491.01
建设用地	0.24	0.05	373.24	4.26	0.13	0	377.91
林地	77.14	2.07	70.10	14589.85	135.32	1.11	14875.60
水域	0.07	0.06	3.75	4.14	166.55	0	174.58
未利用地	0.14	0	0.11	1.08	0.08	10.22	11.63

表 3 生态保护情景下丽水市土地利用转移矩阵

Tab. 3 Matrix of land use transfers in Lishui City under the ecological protection scenario

土地利用类型	各土地利用类型面积/km ²						总计
	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地	
草地	290.86	0	0	37.19	0	0	328.05
耕地	0.76	1467.92	0	22.33	0	0	1491.01
建设用地	0.79	0.50	365.90	10.40	0.32	0	377.91
林地	0	0	0	14875.60	0	0	14875.60
水域	0.13	0.62	0	4.94	168.89	0	174.58
未利用地	0.05	0.01	0	0.22	0.02	11.33	11.63
总计	292.59	1469.05	365.90	14950.68	169.23	11.33	17258.78

表 2,表 3 转移矩阵显示,不同情景下 2030 年所有土地利用类型的面积均发生一定程度的改变,林地、建设用地以转入为主,草地、耕地以转出为主。在自然发展情景中,林地面积增加了 2.0%,主要在莲都区的南部和青田县的东南部,增加部分主要为

草地与建设用地所转入,占总转入率的 26.7% 和 24.5%;建筑面积则增加了 1.2%,主要在莲都区与龙泉市;草地、建设用地的增加部分主要为林地所转入,占总转入率的 90.2% 和 91.2%;而耕地的增加部分主要为建设用地所转入,占总转入率的 81.6%。

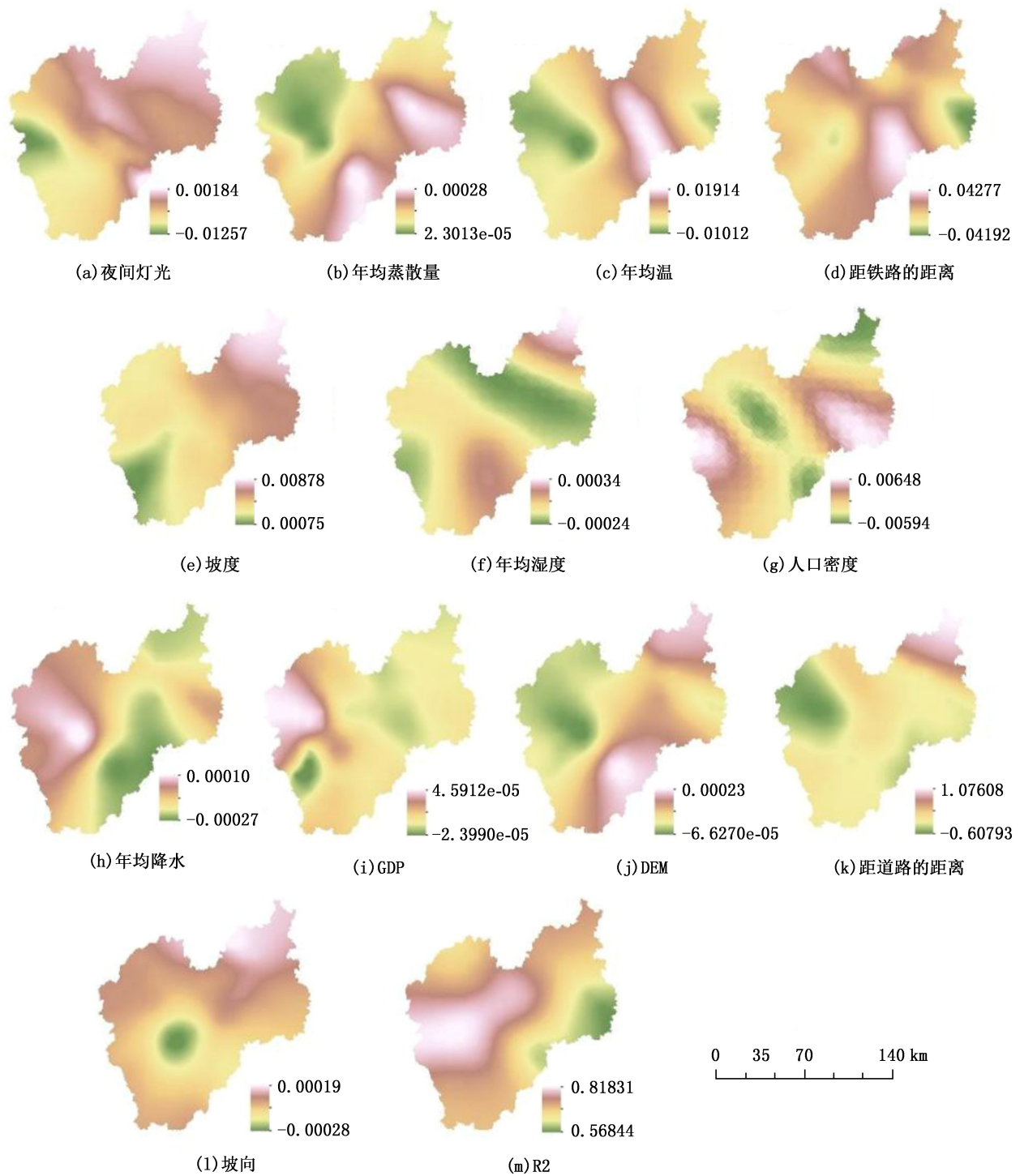


图 3 丽水市植被大气 PM_{2.5} 干沉降去除能力受主要驱动因子作用的空间分异
Fig. 3 Spatial differentiation of atmospheric PM_{2.5} dry deposition removal capacity of vegetation in Lishui City by main driving factors

在生态发展情景中,主要为林地的增长与耕地的减少。其中,林地的增长主要发生于莲都、缙云、青田、云和以及景宁畲族自治县等县(区),林地增加部分主要从耕地和草地的一部分转入,占总转入率的 29.7%和 49.5%。

3.4 不同发展背景下 2030 年植被大气 PM_{2.5} 干沉降去除评估

在自然发展情景下预测 2030 年植被大气 PM_{2.5} 干沉降去除速率为 0.127 cm/s,干沉降去除通量为 0.254 g/(m²·a),均比 2020 年下降了 1.6%。在生

态保护情景下预测 2030 年植被大气 $PM_{2.5}$ 干沉降去除速率为 0.131 cm/s , 植被大气 $PM_{2.5}$ 干沉降去除通量为 $0.261 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 均比 2020 年提升了

1.3%(图 4,表 4)。由于本研究未考虑不同情境下大气 $PM_{2.5}$ 的浓度变化,干沉降能力变化受土地利用变化所主导。

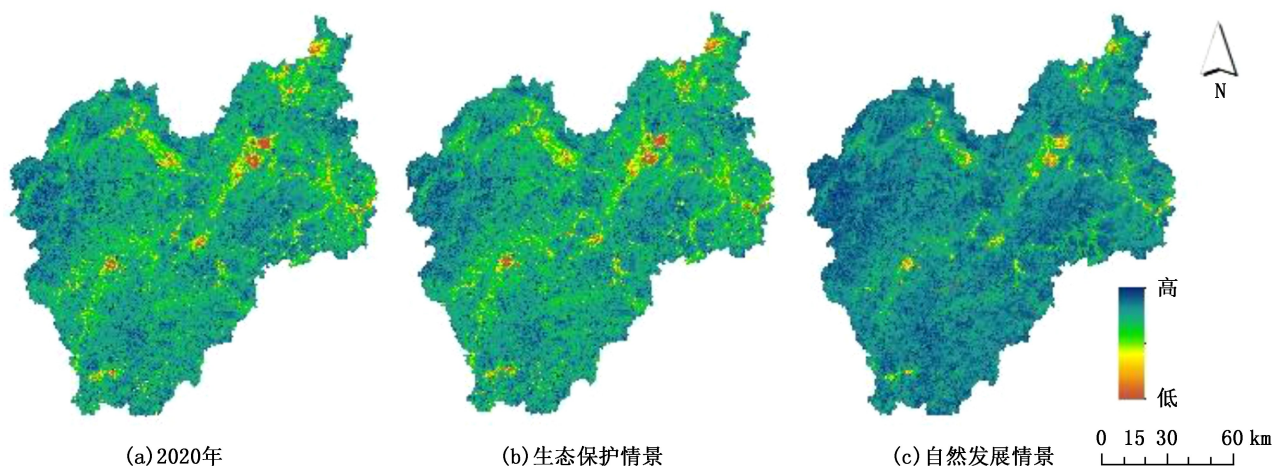


图 4 2030 年丽水市不同情境下干沉降空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of dry deposition in different scenarios in Lishui City by 2030

表 4 大气 $PM_{2.5}$ 浓度、植被 $PM_{2.5}$ 干沉降速率和通量的动态变化

Tab. 4 Dynamics of atmospheric $PM_{2.5}$ concentration, vegetation $PM_{2.5}$ dry deposition velocity and flux

年份	年均 $PM_{2.5}$ 浓度 C $/(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$	干沉降速率 V_d $/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	干沉降通量 F_d $/(\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$
2000	26.8	0.133	0.356
2010	31.5	0.131	0.413
2020	19.1	0.129	0.258
2030-自然发展情景	19.1	0.127	0.254
2030-生态保护情景	19.1	0.131	0.261

4 讨 论

研究期间,丽水市经历了显著的土地利用结构转变,特别是林地和耕地向建设用地的转化,以及草地面积的减少。这种转变与城市化进程加快、人口增长和社会经济发展紧密相关。建设用地的大幅度增加,尤其是城市扩张和基础设施建设,对生态环境和空气质量构成了挑战。

无论是从干沉降速率还是通量的角度分析,2000—2020 年间,随着城市化的快速推进,丽水市植被大气 $PM_{2.5}$ 干沉降能力均有所下降。鉴于该地区广袤的森林资源,这一下降趋势削弱了丽水市作为天然生态屏障的作用。若未来 10 年继续沿用现

行发展模式,森林面积的缩减将进一步降低丽水市植被空气净化作用。而一个重视生态保育的土地管理模式,通过增加植被覆盖,有助于维持乃至增强丽水市大气净化功能,尽管这可能会对城市扩展造成一定限制。此外,植被 $PM_{2.5}$ 干沉降去除能力与多种环境因素之间的空间异质性表明,不同区域受到的影响因素和作用强度存在差异。这要求在土地利用规划和环境管理中采取差异化策略,针对不同区域的特定条件制定相应的管理措施。

在城市化区域内,加强园林绿化建设是补偿野外森林减少导致 $PM_{2.5}$ 干沉降能力下降的有效途径,同时绿地还能为城市居民提供其他多样化的生态系统服务。此外,采用干沉降模型分析表明,本地地区的常绿阔叶林在 $PM_{2.5}$ 去除效能上相较于马尾松林和杉木林单位面积具有更优异的性能。因此,优化森林植被种类构成对提升植被大气净化功能具有重要的潜力。

本研究的结论主要基于历史遥感数据的模拟分析,具备一定程度的科学性和合理性。然而,由于一些关键驱动因子的数据分辨率较低以及模型的某些参数未经本地化校准,也未考虑研究区内永久基本农田的保护区域,计算结果可能存在误差。另外,假定未来大气 $PM_{2.5}$ 浓度保持不变,这对干沉降通量的预测也增加了不确定性。这些局限性需要通过后续研究来进一步解决和完善。

5 结 论

2000—2020年,丽水市土地利用结构经历了显著变化。在这一时期,耕地、林地和草地面积呈缩减趋势,与此同时,水域及建设用地面积有所扩张。这些变化主要受社会经济因素的推动,其中城市化和工业化进程对土地需求的增长起到了关键作用。

随着自然植被覆盖的减少,植被对大气中PM_{2.5}颗粒物的干沉降去除能力也遭受了削弱。这种去除能力的降低不仅与植被覆盖度的减少有关,还与自然环境因素的空间分异密切相关,包括地形、气候和土壤条件等,这些因素共同决定了植被的分布和生长状况。

在未来的发展情景预测中,如果继续沿用当前的发展模式,植被的PM_{2.5}干沉降去除能力可能会面临进一步下降。然而,在采取生态发展模式的情景下,通过保护和恢复植被,有望提升其对PM_{2.5}的去除能力,从而有助于改善空气质量,促进生态系统的健康发展。

综上所述,丽水市未来土地利用规划和生态环境保护策略需要综合考虑社会经济发展需求与自然环境的承载能力,以实现可持续发展目标。

参考文献:

- [1] HOUGHTON R A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000[J]. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 2016, 55(2): 378–390.
- [2] MOLOTOKS A, STEHFEST E, DOELMAN J, et al. Global projections of future cropland expansion to 2050 and direct impacts on biodiversity and carbon storage [J]. *Global Change Biology*, 2018, 24(12): 5895–5908.
- [3] FINDELL K L, BERG A, GENTINE P, et al. The impact of anthropogenic land use and land cover change on regional climate extremes[J]. *Nat Commun*, 2017(8): 1–10.
- [4] LIU S, SAHU S K, ZHANG S, et al. Impact of climate-driven land-use change on O₃ and PM pollution by driving BVOC emissions in China in 2050[J]. *Atmosphere*, 2022, 13: 1–17.
- [5] ZOU B, XU S, STERNBERG T, et al. Effect of land use and cover change on air quality in urban sprawl[J]. *Sustainability*, 2016, 8(7): 1–14.
- [6] LIVESLEY S J, MCPHERSON, et al. The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale[J]. *J Environ Qual*, 2016, 45(1): 119–24.
- [7] WHO. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide[R]. Geneva: WHO, 2006.
- [8] GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: A systematic analysis for the global burden of disease study 2019[J]. *Lancet*, 2020, 396: 1223–1249.
- [9] 韩士杰, 王佳, 燕启社, 等. 2014—2016年间郑州市控制PM₁₀和PM_{2.5}污染的健康效益评估[J]. *环境科学*, 2019, 4(6): 2565–2571.
- [10] LI L, LEI Y, WU S, et al. The health economic loss of fine particulate matter PM_{2.5} in Beijing [J]. *J Clean Prod*, 2017, 161: 1153–1161.
- [11] PACE R, RUDIGER GROTE. Deposition and resuspension mechanisms into and from tree canopies: A study modeling particle removal of conifers and broadleaves in different cities[J]. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2020, 3: 1–12.
- [12] HESHMATOL V S, JUYBARI M M, DAEI A, et al. The effectiveness of urban trees in reducing airborne particulate matter by dry deposition in Tehran, Iran[J]. *Environmental Monitoring And Assessment*, 2021, 193(12): 1–14.
- [13] BARWIS Y, KUMA P. Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: A practical review for appropriate plant species selection[J]. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 2020, 3(12): 1–19.
- [14] DIENER A, MUDU P. How can vegetation protect us from air pollution? A critical review on green spaces' mitigation abilities for air-borne particles from a public health perspective—with implications for urban planning[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 796: 1–18.
- [15] GONG C, XIAN C, WU T, et al. Role of urban vegetation in air phytoremediation: differences between scientific research and environmental management perspectives[J]. *Npj Urban Sustainability*, 2023, 3(1): 1–24.
- [16] SARA JANHALL. Review on urban vegetation and particle air pollution—Deposition and dispersion [J]. *Atmospheric Environment*, 2015, 105: 130–137.
- [17] CORADA K, WOODWARD H, ALARAJ H, et al. A systematic review of the leaf traits considered to contribute to removal of airborne particulate matter pollution in urban areas—ScienceDirect [J]. *Environmental Pollution*, 2020, 269: 1–13.
- [18] BOLUND P, HUNHAMMA S. Ecosystem services in urban areas [J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(2): 293–301.
- [19] ROUPSARD P, AMIWLH M, MARO D, et al. Measurement in a wind tunnel of dry deposition velocities of submicron aerosol with associated turbulence onto rough and smooth

- urban surfaces[J]. *Journal of Aerosol Science*, 2013, 55: 19–24.
- [20] CHAUDHUR S, KUMAR A. Urban greenery for air pollution control: a meta-analysis of current practice, progress, and challenges[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2022, 194(3): 1–30.
- [21] CHE H, LIN Y, CHIUE P. High-resolution spatial analysis for the air quality regulation service from urban vegetation: A case study of Taipei City. *Sustain*[J]. *Cities Soc*, 2022, 83: 1–11.
- [22] 朱治林, 孙晓敏, 于贵瑞, 等. 陆地生态系统臭氧通量观测和气孔吸收估算研究进展[J]. *生态学报*, 2014, 34(21): 6029–6038.
- [23] 徐静馨, 郑有飞, 赵辉, 等. 陆地生态系统臭氧干沉降的观测和模拟研究进展[J]. *生态毒理学报*, 2017, 12(6): 57–68.
- [24] NOWAK D J, CRAN D E, STEVEN J C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2006, 4: 115–123.
- [25] SELMI W W, CHRISTIANE R, EMMANUE B, et al. Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 17: 192–201.
- [26] KONG Q, ZHANG J, CHEN S, et al. Effects of periodic drought with severe exhaust exposure on particle retention capacity and physiological responses of *Photinia × fraseri* Dress[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2022, 241: 1–13.
- [27] CALFAPIETR C, MORAN A, SGRIGN G, et al. Removal of ozone by urban and peri-urban forests: evidence from laboratory, field, and modeling approaches[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2016, 45(1): 224–233.
- [28] WYAT A N, SERGEY F K, HAVALA H, et al. Description and evaluation of the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system version 5.1[J]. *Geoscientific Model Development*, 2017, 10: 1703–1732.
- [29] WONG A Y H, GEDDES J A, TAI A P K, et al. Importance of dry deposition parameterization choice in global simulations of surface ozone[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2019, 19(22): 14365–14385.
- [30] FITZKY A C, HANS S, KARL T, et al. The interplay between ozone and urban vegetation—BVOC emissions, ozone deposition, and tree ecophysiology[J]. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2019, 2: 1–50.
- [31] 官王飞, 徐建恩, 叶珊, 等. 丽水市“十三五”期间林木采伐现状分析[J]. *福建林业科技*, 2022, 49(3): 111–115.
- [32] 赵哲远, 马奇, 华元春, 等. 浙江省 1996—2005 年土地利用变化分析[J]. *中国土地科学*, 2009, 23(11): 55–60, 54.
- [33] 周佳佳, 刘宇, 奉莉君, 等. 土地利用变化背景下浙中地区生态系统碳储量变化模拟与影响因素分析[J]. *环境科学*, 2024(网络首发): 1–21.
- [34] 卢宾宾, 葛咏, 秦昆, 等. 地理加权回归分析技术综述[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2020, 45(9): 1356–1366.
- [35] 黄木易, 岳文泽, 方斌, 等. 1970—2015 年大别山区生态服务价值尺度响应特征及地理探测机制[J]. *地理学报*, 2019, 74(9): 1904–1920.
- [36] 王佳, 钱雨果, 韩立建, 等. 基于 GWR 模型的土地覆盖与地表温度的关系——以京津唐城市群为例[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(7): 2128–2136.
- [37] 张明羽, 张正勇, 刘琳, 等. 中国天山山体效应评估及空间分异归因[J]. *地理学报*, 2023, 78(5): 1254–1270.
- [38] WESELY M L, DOSKE P V, SHANNON J D. Deposition parameterizations for the Industrial Source Complex (ISC3) model[J]. *Environmental Science*, 2002, 6: 1–128.

责任编辑: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.015

城市森林公园土地利用变化对生态系统服务价值的影响

孙文^{1,2}, 孟陈³, 张凯旋⁴

(1. 上海市林业总站, 上海 200072; 2. 国家林业和草原局上海城市森林生态系统国家定位观测研究站, 上海 200240;
3. 华东师范大学生态与环境科学学院, 上海 200241; 4. 上海商学院旅游管理系, 上海 201400)

摘要:以上海海湾国家森林公园为例,采用土地动态和景观格局分析,运用生态系统服务价值当量法,定量地分析 2000—2018 年土地利用变化特征,同时对景观格局的演变和生态系统服务价值进行评估研究,探讨土地利用变化、景观格局和生态系统服务价值三者之间的关联性。结果表明,研究区在 2000—2018 年土地利用类型发生快速变化,植被、道路、农田 3 种景观类型的面积波动较大,林地和道路快速增加,农田快速减少,呈现“两多一少”的变化趋势,占优势的景观基质由农田斑块类型转变为林地斑块类型;研究区的景观类型从开始的破碎化、不均匀的状态逐步向均衡化发展;总 ESV 从 2000 年的 8 659.51 万元增加到 2018 年的 13 412.42 万元,增加了 54.89%,其中水体和植被是提供生态系统服务价值的主要地类,调节服务价值量相对于其他三项服务类型处于明显较高的水平;斑块数量的不断增加,林地和水体等优势景观类型面积的增加,景观类型形状多样化、均衡化使研究区的生态系统服务价值不断增加,生态系统服务价值变化强度和土地利用强度之间存在较强的正相关关系。

关键词:城市森林公园;土地利用;景观格局;生态系统服务价值;上海海湾国家森林公园

中图分类号:S718.557;S759.91 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)04-0096-10

引文格式:孙文,孟陈,张凯旋.城市森林公园土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].林业调查规划,2024,49(4):96-105. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.015

SUN Wen, MENG Chen, ZHANG Kaixuan. Impact of Land Use Change on Ecosystem Services in Urban Forest Park[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4):96-105. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.015

Impact of Land Use Change on Ecosystem Services in Urban Forest Park

SUN Wen^{1,2}, MENG Chen³, ZHANG Kaixuan⁴

(1. Shanghai Forest Station, Shanghai 200072, China; 2. Shanghai Urban Forest Ecosystem Research Station, National Forestry and Grassland Administration, Shanghai 200240, China;
3. School of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China;
4. Department of Tourism Management, Shanghai Business School, Shanghai 201400, China)

Abstract: The characteristics of land use change in Shanghai Bay National Forest Park from 2000 to 2018 were quantitatively analyzed by using the land dynamics and landscape pattern analysis, and the ecosystem service value equivalent method. The evolution of the landscape pattern and the ecosystem service value were evaluated, and the correlation between land use change, landscape pattern and ecosystem service value was discussed. The results showed that the land use types in the study area changed rapidly

收稿日期:2023-02-06.

基金项目:上海市社科规划项目(2019BGL017);上海市科学技术委员会社会发展科技领域项目(19DZ1203803).

第一作者:孙文(1988-),男,四川南充人,硕士,高级工程师.研究方向为生态监测与评价. Email:sunwen@linye.sh.cn

责任作者:张凯旋(1980-),男,内蒙古赤峰人,博士,教授.研究方向为城市景观游憩. Email:zhangkx99@126.com

from 2000 to 2018, with significant fluctuations in the area of vegetation, roads, and farmland. Forest land and roads increased rapidly, while farmland decreased rapidly, showing a trend of “two more and one less”. The dominant landscape matrix shifted from farmland patch type to forest patch type. The landscape types gradually developed from fragmented and uneven state to balanced state. The total ESV increased from 86.595 1 million yuan in 2000 to 13.412 42 million yuan in 2018, with an increase of 54.89%. Water bodies and vegetation were the main land types providing ecosystem service value, and the value of regulating service value was at a significantly higher level compared with the other three service types. The increasing number of patches, the increasing area of dominant landscape types such as forest land and water body, the diversification and equalization of landscape types made the value of ecosystem services in the study area increase continuously. There was a strong positive correlation between the intensity of changes in ecosystem service value and the intensity of land use.

Key words: urban forest park; land use; landscape pattern; ecosystem services; Shanghai Bay National Forest Park

生态系统服务是人类从自然或人工生态系统中所获得的惠益,包括供给服务(如提供食物、饮用水等产品)、调节服务(如控制降水量和大气污染物含量)、文化服务(如美学和文化教育)以及支持服务(如维持生态平衡和生物多样性)四大服务类型^[1-2]。对于生态系统服务进行量化即评估生态系统服务价值(ecosystem service value, ESV),可以更好地理解生态系统保护和利用之间的关系,并可以根据服务价值评估结果确定生态系统不同服务类型的重要性,进而指导自然资源保护和利用规划^[3]。土地利用的变化强烈影响着生态系统服务价值的波动。土地利用类型的变化直接导致区域景观格局的改变,而区域景观格局的改变影响了生态系统内部的物质循环和能量流动,这必然导致区域内生态系统服务价值的变化^[4-5]。

城市森林是城市重要的绿色基础设施和市民休闲游憩目的地。随着城市化进程的加快,人们对户外绿色游憩资源的需求日益增长,森林系统提供的服务功能及其服务价值都在发生变化。为了更好地明晰和把握土地利用、景观格局及生态系统服务价值三者之间的作用过程和内在关系,更好地发挥城市森林生态系统的服务功能水平,开展土地利用变化分析和森林生态系统服务功能价值评估,并探析驱动因素,具有重要的理论和现实意义。

近年来,在生态系统服务价值评估及其对土地利用变化响应方面的研究,主要基于区域或流域大尺度^[6-8]和城市中小尺度^[9-10]开展,而针对城市公园小尺度的研究较少。目前开展的城市森林生态系统服务价值的研究主要是从测算方法的角度进行^[11-13],

尚未深入探析服务价值与土地利用的耦合关系。本研究以上海海湾国家森林公园为研究对象,采用土地动态和景观格局分析,运用生态系统服务价值当量法,分析2000—2018年土地利用动态特征、景观格局、生态系统服务价值的变化特征,并探析土地利用变化、景观格局和生态系统服务价值三者之间的相关性,以期城市森林公园的可持续经营和功能优化提升提供科学依据^[14]。

1 研究区概况

上海海湾国家森林公园位于上海市奉贤区海湾镇,距市中心人民广场44 km。规划总面积1 077 hm²,一期建设面积565 hm²。公园于1999年开始创建,2004年获批为国家森林公园,是以多样的树种资源为基础,以发挥森林的绿肺功能、维护区域生态平衡、保护生物多样性,集生态保护、游憩休闲、森林康养、科学研究、研学自然功能于一体的大型人工城郊森林公园(以下一般简称公园)。公园内主要植被为常绿针叶林、针阔叶混交林、常绿落叶阔叶混交林和竹林等^[15-17]。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源及处理

本研究的影像数据主要为上海市测绘院2000年(分辨率2 m)、2006年(分辨率1.19 m)、2012年(分辨率0.25 m)和2018年(分辨率0.5 m)的航空遥感影像数据。采用目视解译法,将公园分为林地、道路、农田、活动场地、景观设施、管理设施和水体等

7 种景观类型(图 1),结合野外实地考察和其他相关辅助资料验证,解译精度达 98% 以上。在景观格局动态分析中,将景观类型数据转成 1 m×1 m 像元的栅格文件进行分析^[18]。

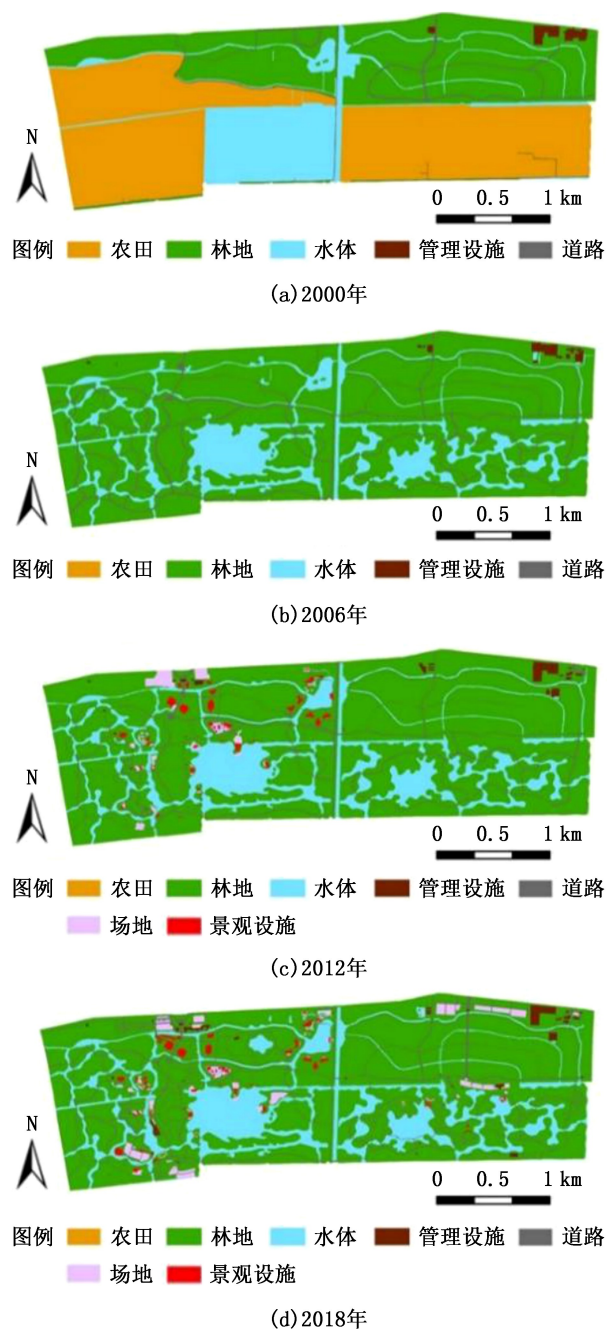


图 1 研究区 4 个年份的景观类型分布
Fig. 1 Landscape type distribution of the study area in four years

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用类型动态特征

为全面揭示研究区的 7 种景观类型在 2000—

2018 年间动态变化特征,参照以往研究,采用单一景观类型动态度、景观类型综合动态度和景观类型转移矩阵^[19-21] 3 个指标来分析公园 2000—2006 年、2006—2012 年、2012—2018 年 3 个不同研究时段的景观类型动态变化特征,并揭示变化的速率和强度。

2.2.2 景观指数选取

景观指数的选择是否合适是景观格局分析的关键。一般来说,景观指数的选取要满足能够全面反映景观类型的特征,指数所表示的景观特征不能重复等条件^[22-24]。为了能够反映本公园景观格局特征,参考以往相关研究中选择的指标,最终本研究选取斑块数量(NP)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)、蔓延度(CONTAG)、聚集度指数(AI)等 5 个景观水平指数和斑块密度(PD)、边缘密度(ED)、平均斑块面积(AREA_MN)、最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)等 5 个景观类型水平指数,可以较好地反映研究区域内景观类型面积、密度、边缘、形状、多样性、聚散性等特点。

2.2.3 生态系统服务价值研究方法

利用上海市林业总站编写的《上海市森林生态系统服务功能评估报告》评估结果,分别取 2000 年、2006 年、2012 年、2018 年全市森林生态系统服务价值,结合全市森林面积,得出单位面积森林生态系统服务价值。根据公园的林地面积,得出相应年份的生态系统服务价值量。根据谢高地等在 2015 年修正的中国生态系统服务价值当量表^[25],结合公园当前的实际情况,得出修正后的价值当量(表 1),计算出生态系统服务价值。

3 结果与分析

3.1 上海海湾国家森林公园景观类型动态变化

从该公园景观类型的面积变化可知(图 2),研究期间水体和道路面积呈逐步增加的趋势。其中,2000 年水体和道路面积分别为 94.06 hm² 和 11.91 hm², 占总面积比例为 16.64% 和 2.11%;2018 年的面积分别为 110.54 hm² 和 30.36 hm², 占总面积比例为 19.56% 和 5.37%。农田面积仅在 2000 年公园建立之初出现,面积 262.74 hm², 占总面积比例 46.49%, 为 2000 年所有景观类型面积占比最高,可见该公园是以农田为基底逐步改造形成森林公园的。随着森林公园的建设,农田这种最初占主导地位的景观类型很快退出。林地面积从最初 2000 年的 192.26 hm² 增加到 2018 年的 400.04 hm², 从 2006 年开始逐步成为研究区占主要优势的景观类型。道路面积由

表 1 单位面积的生态系统服务价值当量

Tab. 1 Equivalent value of ecosystem services per unit area

景观类型		水体	农田	林地	道路	管理设施	景观设施	活动场地
供给服务	食物生产	0.80	1.36	0.29	0	0	0	0
	原料生产	0.23	0.09	0.66	0	0	0	0
	水资源供给	8.29	-2.63	0.34	0	0	0	0
调节服务	气体调节	0.77	1.11	2.17	-0.20	-0.10	-0.2	-0.20
	气候调节	2.29	0.57	6.50	-0.02	-0.01	-0.1	-0.08
	净化环境	5.55	0.17	1.93	-0.20	-0.10	-0.5	-0.50
	水文调节	102.24	2.72	4.74	-0.10	-0.10	-0.1	-0.10
支持服务	土壤保持	0.93	0.01	2.65	0.80	0.80	0.8	0.80
	维持养分循环	0.07	0.19	0.20	0	0	0	0
	生物多样性	2.55	0.21	2.41	-0.02	-0.02	-0.1	-0.05
文化服务	美学景观	0.89	0.09	1.06	0.10	0.20	0.5	0.30
总计		124.61	3.89	22.95	0.36	0.67	0.3	0.17

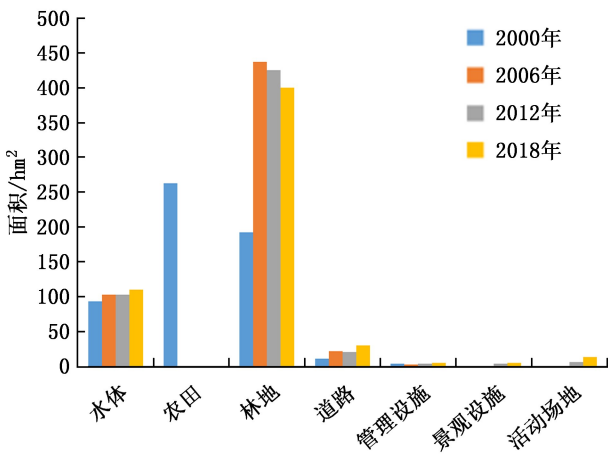


图 2 研究区 2000—2018 年景观类型面积变化

Fig. 2 Changes in the area of landscape types in the study area from 2000 to 2018

2000 年的 11.91 hm² 增加到 30.36 hm², 面积占比由 2.11% 增至 5.37%。管理设施面积呈先减少后增加的趋势, 总体上增加了 0.87 hm²。景观设施和活动场地从 2012 年开始出现, 面积从 2012 年的 4.80 hm²、6.72 hm² 增加到 2018 年的 5.46 hm² 和 13.73 hm²。

不同景观类型的单一动态度变化趋势不一致。2000—2006 年公园的水体、林地和道路单一动态度值为正数, 农田和管理设施的单一动态度值为负数。其中, 林地的单一动态度最大, 达 21.20%, 表明林地在这一阶段的变化最为明显; 水体、管理设施的单一动态度在 5% 以下, 说明这两种景观类型变化波动较小。2006—2012 年, 除了管理设施, 其余的单一动态度值都为负数。管理设施在这个期间的

单一动态度为所有景观类型中的最大值, 也仅为 4.44%, 波动较小。水体、林地和道路的单一动态度值不足 1%。2012—2018 年, 景观类型的单一动态度值除了林地外其余都是正数, 其中活动场地的单一动态度最大, 为 17.41%, 波动较大。除此之外, 其他景观类型的单一动态度值都小于 10%。在 2000—2018 年整个研究时段内, 林地和道路的单一动态度呈明显上升趋势, 说明其变化强度在增加; 水体和管理设施的单一动态度均在 5% 之内, 变化不明显。从景观类型综合动态度来看, 3 个时段的态度均在 15% 以上, 说明 3 个时段整个研究区的土地利用呈快速变化状态, 其中 2006—2012 年的综合动态度为 15.24%; 2000—2006 年和 2012—2018 年的综合动态度均超过 20%, 2000—2006 年的综合动态度高达 42.35% (表 2)。

从公园 2000—2018 年景观类型动态变化来看, 18 年间景观类型的面积变化明显, 新旧景观类型更替, 其中林地、道路、农田 3 种景观类型动态变化较大, 呈现“两多一少”的变化趋势, 林地和道路快速增加, 农田快速减少, 占优势的景观基质由农田斑块类型转变为林地斑块类型。表明随着研究区绿化和造林种植强度逐步增强, 区域从一个以农田为主的农场逐步变成以林地为主的森林公园。

3.2 景观类型转换轨迹

2000—2006 年, 公园各种非林地景观的主要转出类型为农田, 区域内所有农田都转出成为其他景观类型 (表 3)。林地增加的主要来源是农田的转换, 农田转换为林地的面积为 199.47 hm²。另外, 分

表 2 研究区不同时段景观类型动态度

Tab. 2 Dynamic degree of landscape types in the study area in different periods

景观类型	单一动态度/%				综合动态度/%			
	2000	2006	2012	2000	2000	2006	2012	
	—	—	—	—	—	—	—	
水体	1.66	-0.10	1.25	2.92				
农田	-16.67	/	/	-16.67				
林地	21.20	-0.43	-1.00	18.01				
道路	13.51	-0.36	7.31	25.82				
管理设施	-3.35	4.44	3.31	3.54	42.35	15.24	24.95	
景观设施	/	/	2.27	/				
活动场地	/	/	17.41	/				

表 3 研究区 2000—2006 年景观类型转移矩阵

Tab. 3 Landscape type transfer matrix of the study area from 2000 to 2006 hm^2

2000—2006 年	水体	林地	道路	管理设施	2000 年
水体	49.04	42.85	2.16	0.00	94.06
农田	50.76	199.47	12.51	0.00	262.74
林地	3.11	185.87	2.63	0.65	192.26
道路	0.23	7.40	4.19	0.09	11.91
管理设施	0.29	1.22	0.06	2.55	4.13
2006 年	103.43	436.81	21.56	3.30	565.09

别有 50.76 hm^2 和 12.51 hm^2 的农田转换为水体和道路,水体转换为林地的面积为 42.85 hm^2 。2006—2012 年间,增加了景观设施类型,其由水体、林地和道路 3 种景观类型转移而来(表 4)。林地增加的主要来源是水体和道路的转换,水体转换林地为 7.71 hm^2 ,道路转换林地为 8.43 hm^2 。2012—2018 年间,各种非林地景观的主要转出类型大部分为林地,林地仍较为稳定,这一阶段林地增加的主要来源是道路的转换,道路、水体、场地转换为林地的面积分别为 6.04 hm^2 、3.30 hm^2 、1.83 hm^2 (表 5)。

3.3 景观格局时空演变

本研究的景观格局分析主要从类型和景观水平两个尺度进行分析,包含景观破碎化程度、景观多样性水平、优势度、聚散性等方面。

表 4 研究区 2006—2012 年景观类型转移矩阵

Tab. 4 Landscape type transfer matrix of the study area from 2006 to 2012 hm^2

2006—2012 年	水体	林地	道路	管理设施	景观设施	活动场地	2006 年
水体	94.51	7.71	0.38	0.29	0.15	0.39	103.43
林地	8.16	408.45	7.77	1.66	4.56	6.24	436.84
道路	0.15	8.43	12.71	0.09	0.10	0.09	21.56
管理设施	0.00	0.92	0.24	2.13	0.00	0.00	3.30
2012 年	102.82	425.51	21.10	4.17	4.80	6.72	565.09

表 5 研究区 2012—2018 年景观类型转移矩阵

Tab. 5 Landscape type transfer matrix of the study area from 2012 to 2018 hm^2

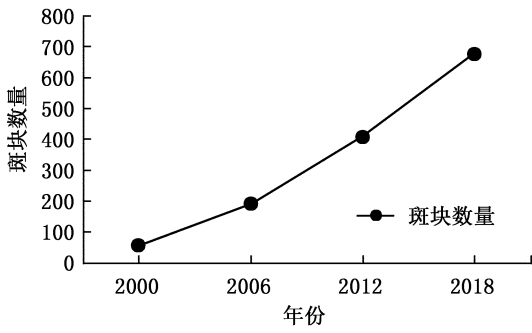
2012—2018 年	水体	林地	道路	管理设施	景观设施	活动场地	2012 年
水体	98.82	3.30	0.41	0.00	0.15	0.14	102.82
林地	11.23	387.58	14.78	1.70	1.30	8.93	425.51
道路	0.23	6.04	14.14	0.08	0.08	0.54	21.10
管理设施	0.19	0.76	0.03	2.93	0.00	0.27	4.17
景观设施	0.05	0.53	0.13	0.27	3.51	0.31	4.80
活动场地	0.03	1.83	0.88	0.02	0.41	3.54	6.72
2018 年	110.54	400.04	30.36	5.00	5.46	13.73	565.09

3.3.1 景观水平分析

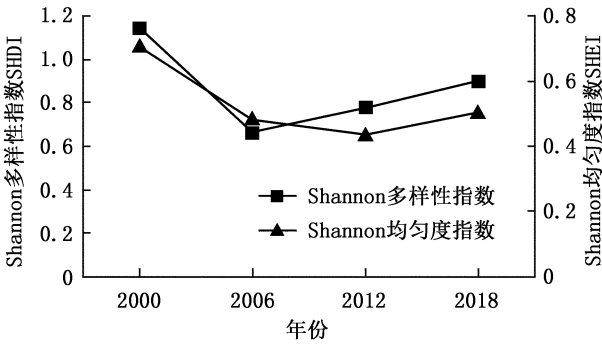
该公园斑块数量在 2000—2018 年呈不断上升趋势,聚合度指数呈较为稳定状态,2000—2018 年略有下降(图 3);蔓延度在 2000—2012 年呈现上升状态,在 2018 年出现下降,说明研究区景观斑块在 2000—2018 年间破碎化程度变小,聚集性保持稳中有升的状态。香农均匀度指数和香农多样性指数这两个多样性指数在研究期内都表现出先降后升的趋势,说明研究区域经过 10 年左右的建设期,从开始的破碎化、不均匀的状态逐步向多样均衡化发展。

3.3.2 景观类型水平分析

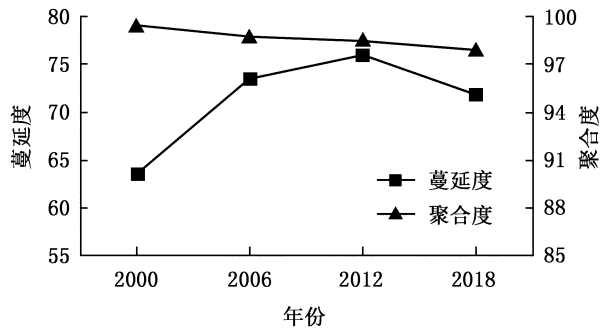
通过分析不同地类斑块的景观指数(图 4),斑块密度和平均斑块面积不仅反映景观的异质性,还与破碎度有一定的正相关性。



(a)



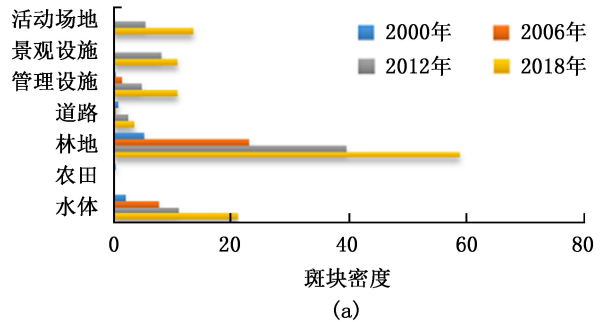
(b)



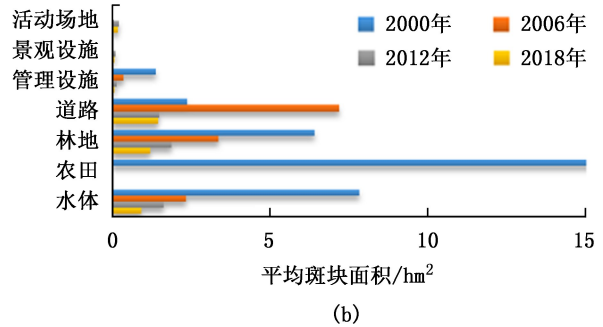
(c)

图 3 2000—2018 年研究区景观水平景观指数变化
 Fig. 3 Changes of index in landscape level of the study area from 2000 to 2018

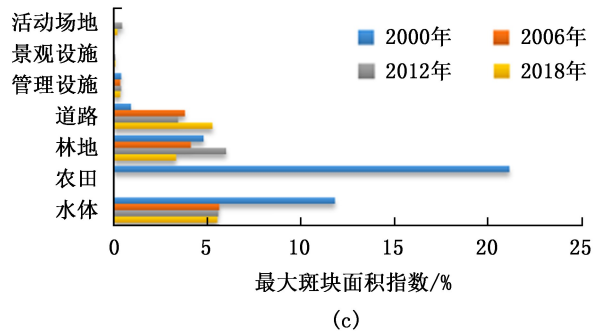
从图 4 可以看出,除农田类型外,公园不同景观类型的斑块密度在 2000—2018 年间都在不断变大,其中农田和林地的斑块密度在 2000—2018 年间波动最大;平均斑块面积在研究期内呈不断变小的趋势。斑块密度和平均斑块面积跟区域的破碎化程度呈一定正相关性,能够反映区域景观类型的异质性。造成公园 18 年间破碎度剧烈变化的主要原因是在此期间公园都处在建设阶段,大规模的绿化和造林工程导致农田破坏,斑块破碎化明显,后期随着绿化和造林工程的不断减少、公园配套设施逐步修建完善,使得破碎化程度有所减缓。景观形状指数呈现不断上升趋势,说明除农田外的景观类型呈增加



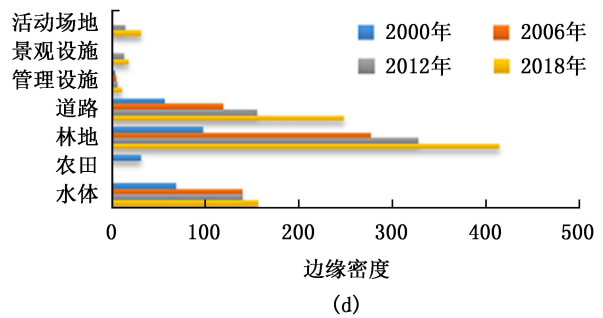
(a)



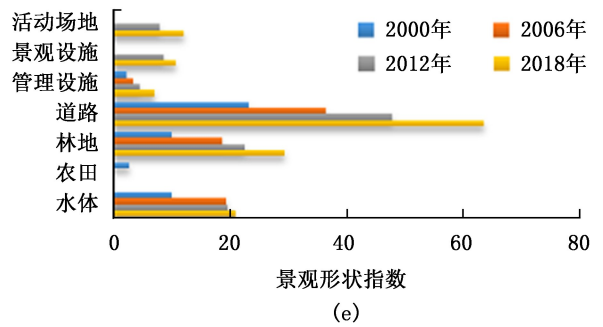
(b)



(c)



(d)



(e)

图 4 2000—2018 年研究区景观类型水平景观指数变化
 Fig. 4 Changes of index in the level of landscape type of the study area from 2000 to 2018

趋势,景观类型的外形逐渐复杂化。最大斑块指数显示水体景观在公园内占有极大的优势度,这与公园建设注重引水入园有关。2000—2018年,公园内各景观类型的边缘密度呈不断变大的趋势,说明随着景观类型的不断增加,与其周围相临近景观类型的接触面也有所增加。

3.4 生态系统服务价值及其动态变化

通过计算得知,该公园不同景观类型的生态系统服务价值存在明显差异性(图5)。2000年,公园所有景观类型生态系统服务价值总量8 659.51万元(表6),其中水体生态系统服务价值量5 913.83万元,占比68.29%;林地生态系统服务价值量2 226.42万元,占比25.71%;农田生态系统服务价值量515.70万元,占比5.96%;管理设施和道路生态系统服务价值量都较小。2006年,公园所有景观类型生态系统服务价值总量9 217.95万元,同比增长6.45%。其中水体生态系统服务价值量5 182.67万元,同比下降12.36%,占比56.22%;林地生态系统服务价值量为4 031.28万元,同比上升81.07%,占比43.73%。2012年,公园所有景观类型生态系统服务价值总量11 933.19万元,其中水体生态系统服务价值量6 767.94万元,同比上升30.59%,占比

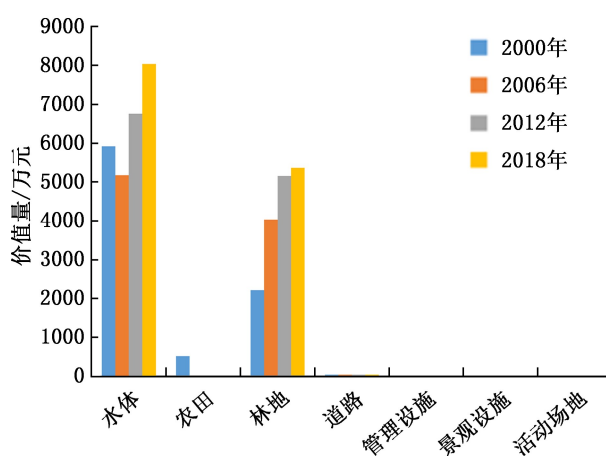


图5 2000—2018年研究区景观类型生态系统服务价值量变化

Fig. 5 Changes in ecosystem service value of landscape types in the study area from 2000 to 2018

56.72%;林地生态系统服务价值量5 158.40万元,同比上升27.96%,占比43.23%。2018年,公园所有景观类型生态系统服务价值总量13 412.42万元,其中水体生态系统服务价值量8 041.72万元,同比上升18.82%,占比59.96%;林地生态系统服务价值量5 360.04万元,同比上升3.91%,占比39.96%。

表6 2012—2018年研究区生态系统服务价值

Tab. 6 Ecosystem service value of the study area from 2012 to 2018

年份	项目	水体	农田	林地	道路	管理设施	景观设施	活动场地	总计
2000年	价值量/万元	5913.83	515.70	2226.42	2.16	1.39	0.00	0.00	8659.51
	比例/%	68.29	5.96	25.71	0.02	0.02	0.00	0.00	100.00
2006年	价值量/万元	5182.67	0.00	4031.28	3.12	0.89	0.00	0.00	9217.95
	比例/%	56.22	0.00	43.73	0.03	0.01	0.00	0.00	100.00
2012年	价值量/万元	6767.94	0.00	5158.40	4.01	1.48	0.76	0.60	11933.19
	比例/%	56.72	0.00	43.23	0.03	0.01	0.01	0.01	100.00
2018年	价值量/万元	8041.72	0.00	5360.04	6.38	1.96	0.96	1.36	13412.42
	比例/%	59.96	0.00	39.96	0.05	0.01	0.01	0.01	100.00
2000—2018年	价值量变化/万元	2127.89	-515.70	3133.62	4.22	0.56	0.96	1.36	4752.90

从生态系统服务类型来看,2000、2006、2012、2018年,公园4个时期的调节服务价值量相对于其他3项服务类型处于明显较高的水平,其中水体的调节服务价值量尤为突出,这与它具有较强的水文调节特点相关。水体的供给服务功能相对于其他景观类型也较为明显,主要是因为水体具有水资源供给的功能。林地的调节服务功能随着时间推移,吸收污染物、调节小气候、水文调节、净化大气环境等

调节能力逐渐凸显并保持较高水平。道路、管理设施、景观设施和活动场地等四种景观类型的生态系统服务类型价值量都处于较低水平(图6)。

总体来看,2000—2018年,期间公园所有景观类型生态系统服务价值总量增加了4 752.90万元,其中林地景观类型贡献率最大。8年间,植被生态系统服务价值总量增加了3 133.62万元,占65.93%;水体景观类型贡献率次之,8年间增加了2 127.89万元,占44.77%。

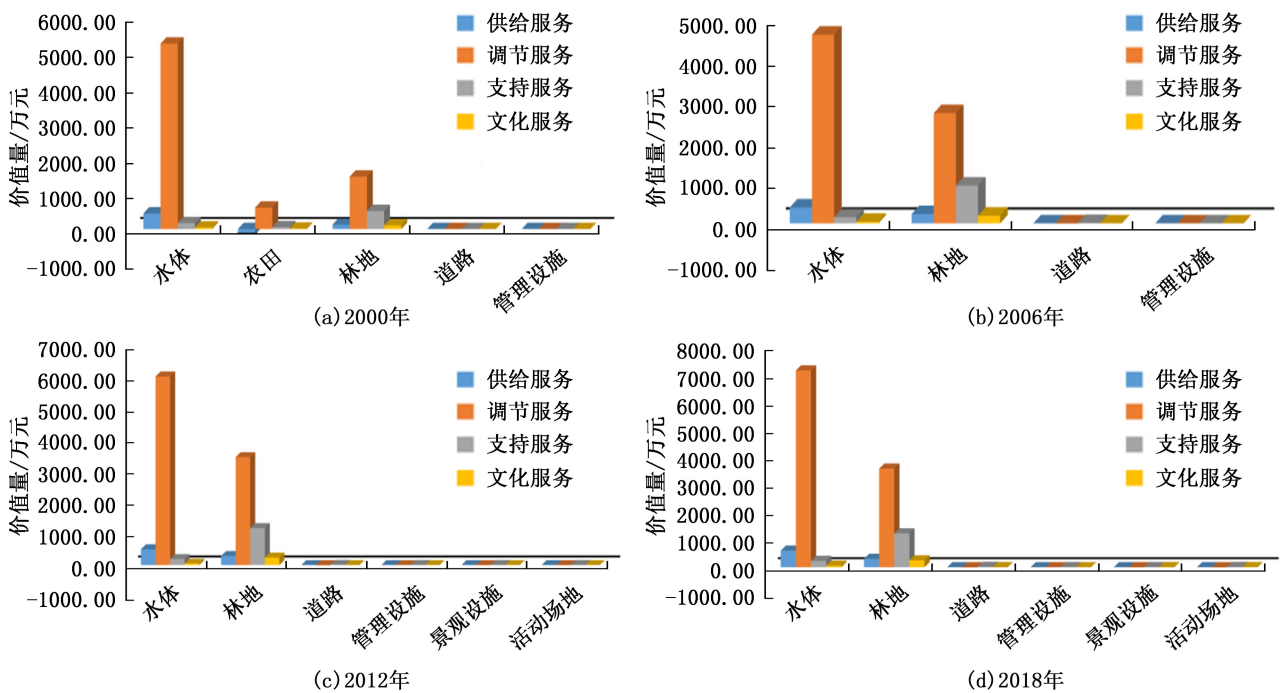


图 6 2000—2018 年研究区景观类型生态系统服务类型价值量变化

Fig. 6 Changes in the value of landscape ecosystem services in the study area from 2000 to 2018

3.5 土地利用动态特征与景观指数、生态系统服务价值之间的关系

景观格局指数与生态系统服务价值之间存在一定的相关性,其中总 ESV 与 NP、PD、ED、LPI、LSI、

CONTAG、AI 呈正相关,与 AREA_MN、SHEI、SHDI、AI 呈负相关(表 7)。根据表 7 的相关性分析,选择与生态系统服务一级类型高度相关的景观格局指数进行多元回归分析($P < 0.01, P < 0.05$)(表 8)。

表 7 景观格局指数与生态系统服务价值的相关性

Tab. 7 Correlation analysis between landscape pattern index and ecosystem service value

服务类型	NP	PD	AREA_MN	ED	LPI	LSI	SHDI	SHEI	CONTAG	AI
供给服务	0.963 *	0.446 *	-0.281	0.476 *	0.177	0.083	-0.482	-0.789	0.747	-0.984 *
调节服务	0.971 *	0.429	-0.069	0.464 *	0.366	0.035	-0.087	-0.490	0.443	-0.882
支持服务	0.934	0.871 **	-0.077	0.839 **	0.133	0.121	-0.534	-0.835	0.800	-0.969 *
文化服务	0.942	0.874 **	-0.079	0.840 **	0.147	0.116	-0.511	-0.820	0.784	-0.969 *
总服务	0.984 *	0.540 *	-0.092	0.566 **	0.343	0.056	-0.207	-0.591	0.546	-0.926

注:** 0.01 水平上显著相关;* 0.05 水平上达到显著。

从表 8 可以看出,总服务和 4 种一级类型服务与相应的景观指标显著相关。相对于其他景观指数,PD、ED、AI 这 3 个景观指数对支持服务和文化服务的影响更大,总服务与 ED 显著正相关。四种服务类型中的支持服务和文化服务与各景观指数相关性较强,说明随着斑块数量不断增加,林地和水体等优势景观类型面积的增加,景观类型形状多样化、斑块聚集度稳中有升、破碎化程度降低、均衡化,研究区域的生态系统服务功能尤其是生物多样性、美学景观等生态系统支持和服务功能更加凸显。为了

进一步了解土地利用动态对生态系统价值的直接影响,对公园 3 个不同时间段的不同景观类型生态系统服务价值变化强度和土地利用变化强度进行线性回归分析(图 7),从中可以看出土地利用变化强度与生态系统服务变化强度明显线性正相关。

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究分析了上海海湾国家森林公园的土地类

表 8 景观格局指数与生态系统服务价值的回归分析

Tab. 8 Regression analysis of landscape pattern index and ecosystem service value

服务类型	线性回归方程	R ²	显著性
供给服务	-2382.002 - 16.819AREA_MN + 24.616AI + 57.852LPI	0.790	0.000
调节服务	-28514.439 - 168.515AREA_MN + 294.468AI + 673.706LPI	0.760	0.000
支持服务	10530.445 - 105.752AI - 208871.935NP + 1180387.960PD + 6.137ED - 41.976LSI	0.989	0.000
文化服务	1698.077 - 17.024AI - 39178.177NP + 221405.870PD + 1.147ED - 7.385LSI	0.989	0.000
总服务	-36302.015 + 376.260AI + 793.319LPI - 203.052AREA_MN	0.777	0.000

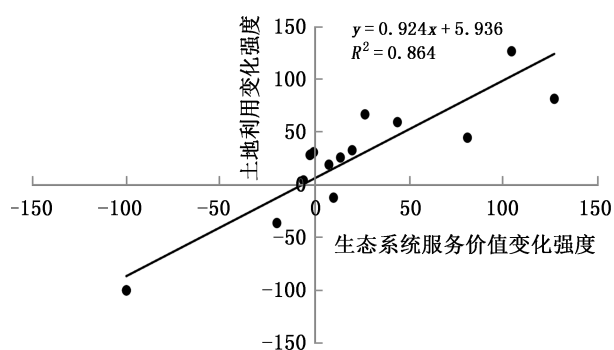


图 7 生态系统服务价值变化强度与土地利用变化强度的线性关系

Fig. 7 Linear relationship between the change intensity of ecosystem service value and land use change intensity

型利用演变过程,基于当量因子法和结合实地情况修正了生态系统服务价值当量,通过相关分析和回归分析法揭示了土地利用动态变化、景观格局演变与生态系统服务价值之间的相关程度,得出以下结论:

1) 经过近 20 年的建设,该公园土地利用发生快速变化,林地、道路、农田 3 种景观类型的面积波动较大,呈现“两多一少”的变化趋势,林地和道路快速增加,农田快速减少,占优势的景观基质由农田斑块类型转变为林地斑块类型。非林地景观的主要转出类型为植被。林地的主要来源是道路和水体。最稳定的景观斑块类型为林地斑块,其保持自身不变的比例均在 90% 以上。公园景观类型的斑块数量和密度不断增加,斑块的聚集度和多样性保持稳中有升的趋势,景观形状指数和边缘密度也在不断

增加,整个公园的景观类型从开始的破碎化、不均匀的状态逐步向均衡化发展。

2) 该公园的生态系统服务价值量从 2000 年的 8 659.51 万元增加到 2018 年的 13 412.42 万元,增加了 54.89%,其中水体和林地是提供生态系统服务价值的主体,共占森林公园总生态系统服务价值的 90% 以上。六成以上的贡献来自林地景观类型,2018 年公园林地景观类型生态系统服务价值量占当年全市森林生态系统服务价值量的 0.56%。调节服务价值量相对于其他三项服务类型处于明显较高的水平。

3) 2000—2018 年间,斑块数量不断增加,林地和水体等优势景观类型面积增加,景观类型形状多样化、均衡化,促使公园的 ESV 不断增加。ESV 变化强度和土地利用变化强度之间存在较强的正相关关系。

4.2 讨论与建议

1) 合理规划园区布局

经过 20 多年的建设,上海海湾国家森林公园从一个以农田为主的农场区域逐步变成以林地为主的森林公园,这与上海郊野森林大多是通过农田流转和绿化造林的方式进行建设的模式相同^[17-18]。目前该公园开始向着微地形造景、人性化游憩设施升级改造等多样化方向发展,斑块数量和密度不断增加,斑块的聚集度和多样性保持稳中有升的趋势,景观形状指数和边缘密度也在不断增加,景观类型呈现出稳定的发展态势。随着生态文明的不断发展,公园应更加注重园区的均衡布局,提升景观设施和活动场所的人性化和便利性,成为城市居民的休闲好去处和城市的绿色生态屏障。

2) 注意协调保护和利用间的矛盾

生态系统服务价值是人类从生态系统获得服务的货币化体现,不仅可以帮助人们科学地理解生态系统目前的现状,还可以通过对比分析指导制定更加适合本区域的发展利用规划^[3]。赵芳芳等对天山大峡谷国家森林公园 1990—2018 年的生态系统服务价值研究发现,由于没有保护好区域的林地资源,反而建造了过多的草地和居民点,导致整个研究区域的生态系统服务价值量不断减少,其生态环境受到严峻挑战^[26]。上海海湾国家森林公园要吸取类似的教训,在规划利用空间发生变化时,要考虑其对生态系统服务功能的改变,科学权衡土地利用类型变化对生态环境的影响,做到保护和利用协调发展^[27]。

3) 构建人与自然和谐的生态系统

目前该公园发展到一个新的阶段。为了更好地提升公园的生态系统服务功能,除了需要对自然资源、建筑设施、游客活动等进行科学合理的规划管理外,公园还需要继续通过绿化和造林项目提高植被覆盖率,提升植被景观类型的优势地位,同时保护水体等自然资源,科学进行公园开发。此外,在满足工作人员和游客便利性的基础上,需控制管理设施、景观设施和活动场地等人工建筑设施的数量,使自然生态系统和人工生态系统处在平衡协调的状态,才能更好地为游客提供服务。

参考文献:

- [1] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(15): 253-260.
- [2] 李锋, 王如松. 城市绿色空间生态服务功能研究进展[J]. *应用生态学报*, 2004(3): 527-531.
- [3] ERICH TASSER, UTA SCHIRPKE, BRENDA MARIA ZODERER, et al. Towards an integrative assessment of land-use type values from the perspective of ecosystem services[J]. *Ecosystem Services*, 2020, 42(C).
- [4] HAN X J, YU J L, SHI L N, et al. Spatiotemporal evolution of ecosystem service values in an area dominated by vegetation restoration: Quantification and mechanisms[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 131.
- [5] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展[J]. *地理科学进展*, 2014, 33(4): 441-446.
- [6] 王颖慧, 丁建丽, 李晓航, 等. 伊犁河流域 LUCC 对生态系统服务价值的影响——基于强度分析模型[J]. *生态学报*, 2022(8): 1-13.
- [7] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应[J]. *生态学报*, 2013, 33(8): 2565-2576.
- [8] 朱治州, 钟业喜. 长江三角洲城市群土地利用及其生态系统服务价值时空演变研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(7): 1520-1530.
- [9] 张骞, 高明, 杨乐, 等. 1988—2013 年重庆市主城九区生态用地空间结构及其生态系统服务价值变化[J]. *生态学报*, 2017, 37(2): 566-575.
- [10] 杨宗之, 李亚丽. 基于 LUCC 的南昌市生态资产价值演变及生态经济协调性研究[J]. *生态经济*, 2022, 38(3): 182-187.
- [11] 韩玉洁, 孙文, 张文文. 基于分布式测算方法的上海城市森林生态系统服务功能评估[J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2019(2): 147-155.
- [12] 孙文. 上海东平国家森林公园森林生态系统服务功能特点及价值评估[J]. *现代园艺*, 2021, 44(13): 31-33, 36.
- [13] 刘兴沼, 林丽丽, 董建文, 等. 国家森林公园生态系统服务评估——以福州国家森林公园为例[J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2019, 37(5): 596-603.
- [14] 杨强强, 徐光来, 李爱娟, 等. 青弋江流域生态系统服务评估与权衡研究[J]. *生态学报*, 2021, 41(23): 9315-9327.
- [15] 国家林业和草原局调查规划设计院. 上海海湾国家森林公园总体规划(2019—2028年)[Z]. 2020
- [16] 魏万亮, 汪结明, 李瑞雪. 城市生态(绿地)景观地域特征表达研究——以上海海湾国家森林公园为例[J]. *中国园艺文摘*, 2014, 30(12): 113-115.
- [17] 商侃侃, 郑思俊, 张庆费. 上海海湾国家森林公园 1 hm² 样地群落结构特征及其动态监测意义[J]. *生态与农村环境学报*, 2013, 29(3): 316-321.
- [18] 张凯旋, 施佳颖, 孟陈. 2000—2018 年上海顾村郊野森林公园景观格局演变及其影响因素研究[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2020, 40(3): 139-147.
- [19] 吴琳娜, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. *地理学报*, 2014, 69(1): 54-63.
- [20] 刘纪远, dls. iogac. on, 布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究——基于卫星遥感数据[J]. *第四纪研究*, 2000(3): 229-239.
- [21] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010—2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. *地理学报*, 2018, 73(5): 789-802.
- [22] 布仁仓, 胡远满, 常禹, 等. 景观指数之间的相关分析[J]. *生态学报*, 2005(10): 2764-2775.
- [23] 阳文锐. 北京城市景观格局时空变化及驱动力[J]. *生态学报*, 2015, 35(13): 4357-4366.
- [24] 张月, 张飞, 王娟, 等. 近 40 年艾比湖湿地自然保护区生态干扰度时空动态及景观格局变化[J]. *生态学报*, 2017, 37(21): 7082-7097.
- [25] 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.
- [26] 赵芳芳, 孙桂丽, 吉小敏, 等. 天山大峡谷国家森林公园土地利用变化及生态系统服务价值研究[J]. *江西师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 45(3): 255-261.
- [27] SUN C, MA Y G, GONG L. Response of ecosystem service value to land use/cover change in the northern slope economic belt of the Tianshan Mountains, Xinjiang, China[J]. *Journal of Arid Land*, 2021, 13(10): 1026-1040.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.016

西双版纳尚勇热带季节雨林物种组成及其与环境因子关系

李有寿¹, 邓志云¹, 彭倩¹, 李帅锋², 郎学东², 黄小波², 唐荣²,
张锐², 郭贤明³, 苏建荣²

(1. 西双版纳国家级自然保护区管护局 尚勇管护所, 云南 勐腊 666300; 2. 中国林业科学研究院高原林业研究所, 云南 昆明 650224; 3. 西双版纳国家级自然保护区管护局 科学研究所, 云南 景洪 666100)

摘要:西双版纳热带雨林群落结构复杂, 物种组成丰富, 是生物多样性维持机制研究的天然试验平台。基于西双版纳国家级自然保护区尚勇片区 1 hm² 热带季节雨林动态监测样地, 分析了该群落的物种组成、物种丰富度及重要值特征, 揭示影响群落物种组成的环境因子差异。结果表明, 热带季节雨林样地中发现胸径 ≥ 1 cm 的木本植物共计 2 677 株, 属于 65 科 225 种; 乔木、灌木和藤本植物分别有 150、16、59 种, 物种数量随样方数量累计呈较快增长趋势。千果榄仁、思茅崖豆和木奶果是样地内重要值排前 3 位的物种, 累计重要值为 22.17%, 优势种分布不明显。木本植物丰富度与土壤 pH、速效磷含量间呈显著或极显著的负相关; 热带季节雨林的物种分布与土壤 pH、速效磷含量、全氮含量及毛管持水量等 4 个环境因子间存在密切关系, 其中, 土壤 pH、速效磷含量和毛管持水量对物种分布具有积极影响, 而土壤全氮含量对物种分布具有消极影响。

关键词:木本植物; 物种丰富度; 重要值; 土壤理化性质; 冗余分析; Pearson 相关分析

中图分类号: S718.56; X83 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0106-06

引文格式: 李有寿, 邓志云, 彭倩, 等. 西双版纳尚勇热带季节雨林物种组成及其与环境因子关系[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 106-111. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.016

LI Youshou, DENG Zhiyun, PENG Qian, et al. Species Composition and Its Relationship with Environmental Factors in Seasonal Tropical Rainforest in Shangyong of Xishuangbanna[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 106-111. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.016

Species Composition and Its Relationship with Environmental Factors in Seasonal Tropical Rainforest in Shangyong of Xishuangbanna

LI Youshou¹, DENG Zhiyun¹, PENG Qian¹, LI Shuaifeng², LANG Xuedong², HUANG Xiaobo²,
TANG Rong², ZHANG Rui², GUO Xianming³, SU Jianrong²

(1. Shangyong Administration of Xishuangbanna National Nature Reserve, Mengla, Yunnan 666300, China;
2. Institute of Highland Forest Science, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China;
3. Research Institute of Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666100, China)

Abstract: The tropical rainforest community in Xishuangbanna has a complex structure and rich species

收稿日期: 2023-01-03; 修回日期: 2023-02-09.

基金项目: 中国林业科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(CAFYBB2020ZA002, CAFYBB2021ZA002); 云南省科技人才与平台计划(202105AC16036).

第一作者: 李有寿(1984-), 男, 云南勐腊人, 工程师. 研究方向为自然保护区建设与管理. Email: 584663761@qq.com

责任编辑: 苏建荣(1970-), 男, 云南永胜人, 博士, 研究员, 博士生导师. 研究方向为生物多样性维持机制与生态系统功能驱动机制. Email: jianrong@vip.sina.com

composition, which is the natural study platform for biodiversity maintenance mechanism. Based on a dynamic monitoring sample plot of 1 hm² seasonal tropical rainforest in Shangyong area of Xishuangbanna National Nature Reserve, the species composition, species richness, and important value characteristics of the community were analyzed, revealing differences in environmental factors affecting the species composition of the community. The results showed that there were a total of 2 677 woody plants with a diameter at breast height ≥ 1 cm, belonging to 225 species and 65 families; there were 150 species of arbors, 16 species of shrubs and 59 species of vines, and the number of species increased rapidly with the cumulative number of plots. *Terminalia myriocarpa*, *Millettia leptobotrya* and *Baccaurea ramiflora* were most dominant species in the plot with 22.17% of cumulative importance value, which suggested that no significant dominant species were found in this community. The species richness of woody plant had significant or extremely significant negative correlation with soil pH and available phosphorus. The species distribution of seasonal tropical rainforest had close relationship with four environmental factors, including soil pH, available phosphorus content, total nitrogen content, and capillary water capacity. Soil pH, available phosphorus content and capillary water capacity had a positive impact, while soil total nitrogen had a negative impact on species distribution.

Key words: woody plants; species richness; important values; soil physical and chemical properties; redundancy analysis; Pearson correlation analysis

西双版纳热带雨林是公认的中国生物多样性最丰富的生态系统之一^[1-3],也是我国热带森林的主要分布区域之一,该区域的热带雨林是热带植被向亚热带植被过渡的一种特殊植被类型,受局域生境影响,群落结构和物种组成十分复杂,具有丰富的生物多样性^[4-5],西双版纳热带雨林可分为低丘雨林和沟谷雨林两个类型,其中沟谷雨林最有代表性^[6],在水分、热量和分布海拔方面均达到极限条件的热带雨林类型,属于纬向地带性植被^[5]。受橡胶林种植等人类活动影响,该地区热带雨林面积大幅下降,目前,完整的热带雨林多数分布在西双版纳国家级自然保护区及其他保护地中。近年来,在全球气候变化影响下,西双版纳热带雨林生态系统功能受到严重威胁^[7],而对热带雨林群落结构和多样性的研究是认识其生态功能及其可持续经营的基础^[8],因此亟待开展热带雨林生物多样性维持机制和群落构建方面研究。

森林群落是在植物与环境相互作用下形成的,同时伴随着群落构建和土壤养分循环和物种多样性等因素的变化^[9],植物群落和环境因子关系是地植物学研究领域重要研究方向之一^[10]。环境因子是影响物种分布并影响物种多样性形成机制的重要因素^[11-12],热带雨林的土壤属性是影响植物组成的重要因子^[13-16],因此应开展环境因子对西双版纳热带雨林物种组成影响研究。通过对西双版纳国家级自然保护区管护局尚勇片区分布的热带季节雨林开展植物多样性、物种组成及其与环境因子关系的研究,

为我国热带雨林的保护与修复以及天然林的可持续经营管理提供科学依据。

1 研究区域概况

研究区域位于云南省西双版纳国家级自然保护区尚勇片区,地处北回归线以南的热带北缘。低中山浅切割地貌,为横断山系南段无量山脉和怒山山脉余脉的山原和山地。终年受西南季风影响,属热带季风气候,旱、雨两季分明,年均温 21℃,年均降雨量 1 540 mm,降水充沛^[17]。该区域海拔 750~1 100 m 的箐沟内还分布有保存完整的千果榄仁、番龙眼林,是热带季节雨林的典型性类型^[1]。该群落以千果榄仁(*Terminalia myriocarpa*)和番龙眼(*Pometia pinnata*)为乔木上层的指示物种;藤本植物有贵州香花藤(*Aganosma navaillei*)、易武崖爬藤(*Tetrastigma yiwuense*)、微花藤(*Iodes cirrhosa*)、毛瓜馥木(*Fissistigma maclurei*)、锥头麻(*Poikilospermum suaveolens*)、长节珠(*Parameria laevigata*)、二籽扁蒴藤(*Pristimera arborea*)、槁藤(*Entada phaseoloides*)、牛眼马钱(*Strychnos angustiflora*)、柠檬清风藤(*Sabia limoniacea*)、羊角拗(*Strophanthus divaricatus*)、异形南五味子(*Kadsura heteroclita*)、刺果藤(*Byttneria aspera*)、藤金合欢(*Acacia sinuata*)等树种;灌木植物有火焰花(*Phlogacanthus curviflorus*)、红紫麻(*Oreocnide rubescens*)、黄木巴戟(*Morinda angustifolia*)、棒果榕(*Ficus subincisa*)、羊角拗(*Strophanthus divaricatus*)、腋球苕麻(*Boehmeria*

malabarica)、毛杜茎山 (*Maesa permollis*)、腺萼木 (*Mycetia glandulosa*) 等; 草本植物有柃叶 (*Phrynium capitatum*)、圆苞金足草 (*Goldfussia pentstemonoides*)、菜蕨 (*Diplazium esculentum*)、华南实蕨 (*Bolbitis subcordata*)、大羽新月蕨 (*Pronephrium nudatum*)、匍匐球子草 (*Peliosanthes sinica*)、翠云草 (*Selaginella uncinata*) 等, 草本植物区系属于马来西亚区系的一部分^[18]。

2 研究方法

2.1 样地调查

2021 年 3 月在尚勇片区大水塘附近建立 100 m×100 m 的森林动态监测样地 1 块, 样地海拔 795 m, 坡向为东北, 下坡, 在箐沟平缓处一侧, 土壤为砖红壤, 土层厚 1 m 以上, 土壤 pH 为 5.28, 土壤有机质含量为 (27.73±8.72) g/kg, 全氮含量为 (1.53±0.52) g/kg, 水解性氮含量为 (432.9±355.16) mg/kg, 全磷含量为 (0.12±0.02) g/kg, 速效磷含量为 (1.47±0.27) mg/kg。将其分为 25 个 20 m×20 m 的样方, 对每个样方内所有胸径大于 1 cm 的木本植物油漆标记和加挂铝牌标记后每木检尺, 记录其胸径、树高、坐标等数据。

2.2 土壤样品采样与分析

在 20 m×20 m 样方调查的同时, 为筛选出有效代表群落最丰富的土壤养分, 以左下角为起点沿对角线选择 3 个点, 分别取 0~20 cm 土层的土样混合后, 带回实验室进行土壤 pH、有机碳、全氮、全磷、水解性氮和速效磷等成分的理化性质测定; 同时用环刀和铝盒分别取 3 个样品带回实验室, 采用烘干法和浸水法测定土壤的自然含水量、容重、毛管孔隙度和总孔隙度等指标。土壤有机碳含量采用重铬酸钾容量法 (GB 9834—88) 进行测定, 全氮含量采用凯氏定氮法 (GB 7173—87) 进行测定, 全磷含量采用氢氧化钠碱熔—钼锑抗比色法 (GB 9837—88) 进行测定, 水解性氮含量采用碱解—扩散法进行测定, 速效磷含量采用盐酸和硫酸溶液浸提法进行测定, 土壤 pH 采用 pH 酸度计 (Thermo orion-868) 进行测定。

2.3 数据分析

木本植物多样性包括乔木、灌木和藤本物种丰富度。相对频度的总样方为 25 个 (20 m×20 m)。相对多度 (RD)、相对频度 (RF)、相对优势度 (RP)、物种重要值 (IV) 公式分别为:

$$RD = (\text{该物种个体数} / \text{全部物种个体数}) \times 100 \quad (1)$$

$$RF = (\text{该物种频度} / \text{所有物种频度之和}) \times 100 \quad (2)$$

$$RP = (\text{某个物种所有个体的胸高断面积之和} / \text{样方内所有物种个体数胸高断面积的总和}) \times 100 \quad (3)$$

$$IV = (\text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对优势度}) / 3 \quad (4)$$

采用 Pearson 相关分析法分析木本植物多样性、土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、土壤含水量、土壤 pH、有机碳、全氮、全磷、水解性氮及速效磷之间的相互关系。采用冗余分析法分析环境因子、木本植物多样性与群落物种组成的关系。

3 结果与分析

3.1 物种组成

西双版纳国家自然保护区尚勇片区分布的热带季节雨林 1 hm² 样地内胸径 ≥ 1 cm 的木本植物共计 2 677 株, 属于 65 科 154 属 225 种, 其中乔木 1 823 株 150 种, 灌木 418 株 16 种, 藤本 436 株 59 种 (表 1), 物种数量随样方数量累积呈增加趋势。

表 1 热带季节雨林样地不同生活型林分特征
(均值 ± 标准差)

Tab. 1 Characteristics of different life forms of forest stands in seasonal tropical rainforest plots
(mean value ± standard deviation)

类型	物种丰富度	林分密度 (株·hm ⁻²)	胸径/cm	树高/m
乔木	150	1823	14.41 ± 17.51	9.42 ± 5.55
灌木	16	418	3.72 ± 3.02	4.14 ± 2.55
藤本	59	436	3.96 ± 1.75	14.58 ± 4.12
木本植物	225	2677	10.91 ± 15.17	10.40 ± 5.78

样地内主要组成科包括豆科 (8 属 15 种)、大戟科 (14 属 14 种)、桑科 (4 属 14 种)、樟科 (8 属 14 种)、番荔枝科 (8 属 12 种)、茜草科 (8 属 10 种); 主要组成属为榕属 *Ficus* (10 种)、欐木属 *Dysoxylum* (6 种)、藤黄属 *Garcinia* (5 种)。热带分布科有 52 个, 温带分布科有 3 个, 分别占总科数的 80% 和 4.62%; 热带分布属有 143 个, 温带分布属有 10 个, 分别占总属数的 92.86% 和 6.49%, 样地植物区系热带成分突出。分析木本植物的重要值, 结果见表 2。

从表 2 可知, 样地内千果榄仁的重要值最大, 达 9.35%, 其次是思茅崖豆 (8.74%)、木奶果 (4.04%)、腋球苾麻 (3.7%) 和大叶木兰 (3.58%), 其他物种的重要值均在 3% 以下。样地内重要值最大的树种优势地位并不突出, 千果榄仁和番龙眼可以群落分类的指示物种。

表2 热带季节雨林样地主要物种重要值
Tab. 2 Importance value of main species in
seasonal tropical rainforest plots %

物种	相对 优势度	相对 多度	相对 频度	重要 值
千果榄仁	27.19	0.30	0.57	9.35
思茅崖豆 <i>Millettia leptobotrya</i>	7.81	16.25	2.29	8.78
木奶果 <i>Baccaurea ramiflora</i>	5.06	4.78	2.29	4.04
腋球苎麻	0.45	9.38	1.26	3.70
大叶木兰 <i>Magnolia henryi</i>	3.40	4.59	2.75	3.58
披针叶楠 <i>Phoebe lanceolata</i>	1.28	5.45	2.06	2.93
红紫麻	1.40	3.25	2.17	2.27
大参 <i>Macropanax oreophilus</i>	1.47	2.84	2.40	2.24
短序厚壳桂 <i>Cryptocarya brachythyrsa</i>	3.19	1.31	1.03	1.84
长柄油丹 <i>Alseodaphne petiolaris</i>	2.09	1.76	1.60	1.82
青藤公 <i>Ficus langkokensis</i>	2.36	1.20	1.03	1.53
劲直刺桐 <i>Erythrina strica</i>	3.98	0.11	0.23	1.44
假山萝 <i>Harpullia cupanoides</i>	1.78	1.23	1.26	1.42
火烧花 <i>Mayodendron igneum</i>	2.16	1.16	0.80	1.37
阔叶风车子 <i>Combretum latifolium</i>	0.21	1.64	1.95	1.27
毛红椿 <i>Toona ciliata</i> var. <i>pubescens</i>	2.67	0.26	0.57	1.17
耳叶柯 <i>Lithocarpus grandifolius</i>	1.94	0.64	0.92	1.16
贵州香花藤	0.09	1.64	1.72	1.15
腺叶暗罗 <i>Polyalthia simiarum</i>	1.48	0.71	1.14	1.11
云树 <i>Garcinia cowa</i>	0.88	0.82	1.37	1.03
普文楠 <i>Phoebe puvenensis</i>	0.82	0.97	1.26	1.02
山地五月茶 <i>Antidesma montanum</i>	0.19	1.46	1.37	1.01
其他 203 种	28.11	38.26	67.96	44.77

3.2 物种组成与环境因子关系

热带季节雨林样地木本植物丰富度和土壤理化性质的相关性分析结果见表3。

从表3可知,样地内木本植物丰富度与毛管孔隙度、土壤速效磷含量间呈极显著或显著负相关;土壤pH与土壤速效磷含量间呈极显著的正相关,而土壤速效磷含量与土壤有机碳含量、全氮含量、土壤含水量及总孔隙度间呈显著正相关,与土壤容重间呈显著负相关;土壤全氮含量与有机碳含量、土壤含水量、总孔隙度间存在极显著或显著正相关,与土壤容重间呈极显著的负相关;毛管孔隙度与土壤含水量间呈显著正相关。冗余分析法分析可以反映群落物种组成与环境因子的信息(图1)。

结合解释变量前向选择进一步分析,第一轴的土壤pH和速效磷是影响群落物种组成的重要因子;第二轴全氮和毛管孔隙度是影响群落物种组成的重要因子。

4 讨论与结论

通过对西双版纳尚勇片区热带季节雨林物种组成及多样性分析,结果表明尚勇热带季节雨林物种组成复杂,物种多样性丰富,集中分布在海拔750m的潮湿沟谷及山坡下部,大戟科、桑科、樟科、番荔枝科为样地的优势科,热带分布科突出,如肉豆蔻科、使君子科和番荔枝科,千果榄仁优势地位明显,是热带季节雨林的标志物种。尽管千果榄仁和番龙眼是常见的冠层树种,也是热带季节雨林标志物种,对维持热带雨林生态系统结构和功能具有重要作用^[6,19],但其生态习性则有较大差异,番龙眼在热带雨林中的指示作用要高于千果榄仁,先锋树种和顶级树种是热带森林中存在的两组极端物种^[20],其中番龙眼属于耐阴性的顶级树种,在低光环境条件下可长期存活且能缓慢生长^[21],具有很强的更新能力;千果榄仁则是一种速生树种^[22],在样地内具有较大的胸径,多为大树,在热带雨林中更新能力相对较弱,干扰产生的林窗可能是其种群更新主要驱动。

本研究发现热带季节雨林样地内具有丰富的大型木本藤本和维管植物,木本藤本有59种;板根和茎花现象是热带雨林主要标志^[6],木奶果作为样地中的典型茎花植物,重要值排第三。样地内分布有木本植物225种,具有较高的单位面积种数,高于西双版纳勐腊县补蚌村20hm²动态监测样地(468种,216.5种/hm²)^[2,23]、纳板河热带季节雨林20hm²^[19]和普洱太阳河30hm²动态监测样地每公顷种数^[24],但是低于马来西亚劳越(Sarawak)同样面积的典型东南亚低地热带雨林样地^[5],这与尚勇片区所处地理区域有很大关系,该区域的热带季节雨林分布在中国和老挝的国境线附近,是云南省的最南端,水分、热量条件更为优越,分布海拔也相对较低,更适应东南亚类型的热带雨林发育^[5]。

本研究发现土壤pH、速效磷、全氮及毛管孔隙度是影响热带季节雨林物种组成的重要因子,其中速效磷和毛管孔隙度还影响木本植物丰富度的变化趋势。研究表明,土壤因子是影响植被分布格局的重要因素^[9,15,20],土壤磷的可利用性和排水性能是影响热带雨林植物组成的重要因素^[14],磷的可利用性是热带地区植物生长的主要限制因子,本研究发

表 3 热带季节雨林样方木本植物丰富度和土壤理化性质的相关分析

Tab. 3 Correlation analysis on woody species richness and soil physicochemical property in seasonal tropical rainforest plots

类型	pH	土壤有机碳	土壤全氮	土壤全磷	土壤水解性氮	土壤速效磷	土壤含水量	土壤容重	土壤总孔隙度	土壤毛管孔隙度
土壤有机碳	0.220									
土壤全氮	0.280	0.560 **								
土壤全磷	0.049	-0.150	0.170							
土壤水解性氮	0.051	0.054	0.031	-0.420 *						
土壤速效磷	0.690 **	0.490 *	0.410 *	-0.190	0.170					
土壤含水量	0.320	0.300	0.440 *	0.070	-0.019	0.430 *				
土壤容重	-0.057	-0.410 *	-0.590 **	-0.180	0.061	-0.410 *	-0.63 **			
土壤总孔隙度	0.054	0.410	0.590 **	0.180	-0.063	0.410 *	0.630 **	-1.000 **		
土壤毛管孔隙度	0.210	0.060	-0.320	-0.110	0.040	0.065	0.400 *	0.340	-0.330	
木本植物丰富度	-0.390	0.050	0.300	0.110	-0.039	-0.410 *	-0.220	-0.220	0.220	-0.600 *

注:表中数字为相关系数,*表示 $P < 0.05$ 水平差异显著;**表示 $P < 0.01$ 水平差异极显著。

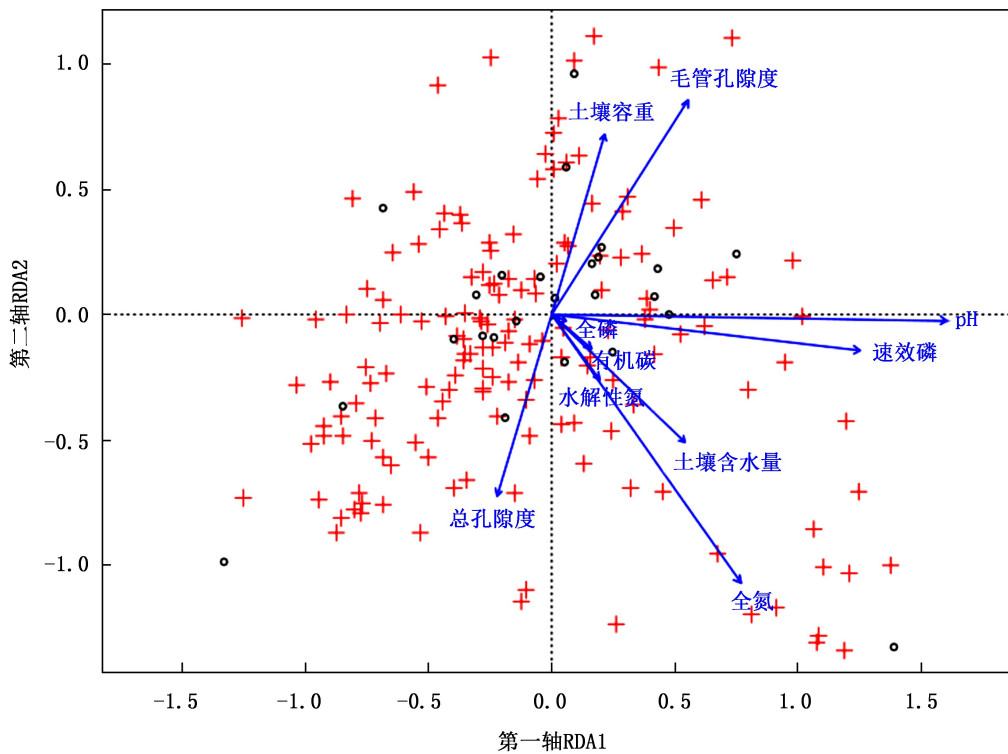


图 1 热带季节雨林样地环境因子的 RDA 二维排序

Fig. 1 Two-dimensional redundancy analysis ordination of environmental factors in seasonal tropical rainforest plots

现木本植物丰富度随土壤速效磷含量的增加呈减小趋势,但土壤速效磷含量增加而稀有物种表现为聚集分布^[2],较高的土壤速效磷含量有利于物种的定居与更新,但并不表现为更多物种丰富度。与之相对应的是热带雨林土壤氮含量丰富,豆科植物在尚勇片区的热带季节雨林中占有较大优势,种类和数

量众多,尤其是思茅崖豆,重要值排第 2 位,是乔木下层的优势物种,豆科植物能通过根系(固氮菌)释放含氮分泌物到土壤中,有利于物种更新,但在热带雨林中,不同豆科树木的氮需求和生物固氮能力有较大差异,豆科植物常表现为“利己主义”,并不利于邻体植物的存活,豆科植物提供土壤氮是其植物

残体回归实现的^[16],这可能是本研究中土壤全氮含量增加导致物种组成减少的主要原因。毛管孔隙度反映出土壤的有效持水性能,影响物种潜在分布^[12],土壤水分的可利用性是植物定居和生长的必要条件,毛管孔隙中的水分可长期保持在土壤中^[25],充沛的水分条件使得沟谷的土壤通透性变得更差,而热带季节雨林物种最丰富的区域在沟谷,特殊的水热条件和地形使得一些物种分布与毛管孔隙度间有积极的关系。土壤 pH 是植被区系分化的重要响应因子之一,酸性土壤可限制植物叶片磷的传输和吸收^[26],较低的土壤 pH 会限制许多物种在热带雨林中的存活。

参考文献:

- [1] ZHANG J H, CAO M. Tropical forest vegetation of Xishuangbanna, SW China and its secondary changes, with special reference to some problems in local nature conservation [J]. *Biological Conservation*, 1995(73):229-238.
- [2] 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.
- [3] 兰国玉,朱华,曹敏. 西双版纳热带季节雨林树种的区系组成成分分析[J]. *西北林学院学报*, 2013, 28(1):33-38.
- [4] 朱华. 论滇南西双版纳的森林植被分类[J]. *云南植物研究*, 2007, 29(4):377-387.
- [5] 朱华. 云南热带雨林:特征、生物地理起源与演化[J]. *热带亚热带植物学报*, 2022, 30(4):575-591.
- [6] 朱华,王洪,李保贵,等. 西双版纳热带季节雨林的研究[J]. *广西植物*, 1998, 18(4):370-383.
- [7] 王连晓,史正涛,刘新有,等. 西双版纳不同植被类型土壤物理性质差异分析[J]. *资源开发与市场*, 2016, 32(8):960-964.
- [8] 臧润国,杨彦承,蒋有绪. 海南岛霸王岭热带山地雨林群落结构及树种多样性特征的研究[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(3):270-275.
- [9] 周晓雷,武利玉,赵安,等. 裕河次生乔木群落分类及其物种多样性与土壤理化性质的关系[J]. *中南林业科技大学学报*, 2022, 42(2):1-9.
- [10] 李帅锋,苏建荣,刘万德,等. 云南省思茅松林群落数量分类及物种多样性与自然环境的关联[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(12):3152-3159.
- [11] 许涵,李意德,骆土寿,等. 海南尖峰岭不同热带雨林类型与物种多样性变化关联的环境因子[J]. *植物生态学报*, 2013, 37(1):26-36.
- [12] MATHYS A, COOPS N C, WARING R H. Soil water availability effects on the distribution of 20 tree species in western North America [J]. *Forest Ecology and Management*, 2014(313):144-152.
- [13] JOSE S, GILLESPIE A R, GEORGE S J, et al. Vegetation responses along edge-to-interior gradients in a high altitude tropical forest in peninsular India [J]. *Forest Ecology and Management*, 1996(87):51-62.
- [14] SOLLINS P. Factors influencing species composition in tropical lowland rain forest: Does soil matter? [J]. *Ecology*, 1998, 79(1):23-30.
- [15] LAWRENCE D, SUMA V, MOGEA J P. Changes in species composition with repeated shifting cultivation: Limited role of soil nutrients [J]. *Ecological Applications*, 2005, 15(6):1952-1967.
- [16] XU H, DETTO M, FANG S Q, et al. Soil nitrogen concentration mediates the relationship between leguminous trees and neighbor diversity in tropical forests [J]. *Community Biology*, 2020(3):317.
- [17] 张高磊,杜凡,王欢,等. 西双版纳山地雨林乔木层树种 20 年动态研究[J]. *生态学报*, 2015, 35(12):4053-4062.
- [18] 陈征,朱华. 西双版纳热带雨林草本植物区系初步分析[J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(1):11-15.
- [19] 施国杉,刘峰,陈典,等. 云南纳板河热带季节雨林 20 ha 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.
- [20] 曹敏,付先惠,杨一光,等. 热带森林中的斑块动态与物种多样性维持[J]. *生物多样性*, 2000, 82(2):172-179.
- [21] 于洋,曹敏,郑丽,等. 光对热带雨林树种绒毛番龙眼种子萌发及其幼苗早期建立的影响[J]. *植物生态学报*, 2007, 31(6):1028-1036.
- [22] 卢靖,周长富,徐保燕,等. 千果榄仁育苗试验初报[J]. *西部林业科学*, 2010, 39(1):81-85.
- [23] 张容,董廷发,邓晓保,等. 西双版纳 20 公顷样地热带森林植被数量分类与排序[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(2):247-352.
- [24] 李帅锋,郎学东,黄小波,等. 云南普洱 30 hm² 季风常绿阔叶林动态监测样地群丛数量分类[J]. *植物生态学报*, 2020, 44(3):236-247.
- [25] 胡晓聪,黄乾亮,金亮. 西双版纳热带山地雨林枯落物及其土壤水文功能[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(1):55-63.
- [26] JIANG Y, ZANG Y G, LU X H, et al. Effects of soil and microclimatic conditions on the community-level plant functional traits across different tropical forest types [J]. *Plant and Soil*, 2015(390):351-367.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.017

腾冲市沙坝国有林场森林生态文化服务产品价值实现探究

邢晓琳,姚能昌,杨倩,刘娟,马裕霞,徐昀

(云南省林业调查规划院,云南昆明650051)

摘要:国有林场是探索实践生态产品价值实现的主战场之一。研究国有林场生态产品价值实现路径、模式,对促进国有林场将生态优势转化为经济优势、深化国有林场改革,促进社会经济绿色高质量发展具有重要意义。通过对腾冲市沙坝国有林场森林生态文化服务产品价值实现现状、困境进行分析,提出建立健全森林生态产品价值评估体系,完善并落实用地保障政策,挖掘自身特色,强化品牌打造宣传,加强专业人才培养等建议。

关键词:森林生态文化服务产品;生态产品价值评估;腾冲红花油茶;森林生态旅游;森林康养;自然教育;沙坝国有林场

中图分类号:S757.9;S718.56 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)04-0112-04

引文格式:邢晓琳,姚能昌,杨倩,等.腾冲市沙坝国有林场森林生态文化服务产品价值实现探究[J].林业调查规划,2024,49(4):112-115,122. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.017

XING Xiaolin, YAO Nengchang, YANG Qian, et al. Value Realization of Forest Ecological and Cultural Service Products in Shaba State-owned Forest Farm of Tengchong City[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 112-115, 122.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.017

Value Realization of Forest Ecological and Cultural Service Products in Shaba State-owned Forest Farm of Tengchong City

XING Xiaolin, YAO Nengchang, YANG Qian, LIU Juan, MA Yuxia, XU Yun

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

Abstract: State-owned forest farms are one of the main battlefields for exploring and practicing the value realization of ecological products. Researching on the route and mode of realizing value of ecological products in state-owned forest farms is of great significance to promote the transformation of ecological advantages into economic advantages of forest farms, deepen the reform of state-owned forest farms, and promote green and high-quality social and economic development. Through the analysis of the current situation and dilemma of the value realization of forest ecological and cultural service products in Shaba State-owned Forest Farm of Tengchong City, this paper suggested to establish and improve the value assessment system of forest ecological products, improve and implement land use guarantee policies, explore the own characteristics and intensify brand building and publicity, and strengthen the training of professional personnel.

Key words: forest ecological and cultural service products; ecological product value assessment; *Camellia reticulata*; forest ecotourism; forest therapy; nature education; Shaba State-owned Forest Farm

收稿日期:2023-04-26;修回日期:2023-07-25.

基金项目:云南省自然资源厅云南省全民所有自然资源资产所有权委托代理机制试点项目(2022111008).

第一作者:邢晓琳(1991-),女,云南保山人,工程师.从事林业调查规划工作.

责任作者:姚能昌(1974-),男,云南大理人,正高级工程师.从事林业调查规划工作.

建立健全生态产品价值实现机制是深入贯彻习近平生态文明思想以及践行“绿水青山就是金山银山”理念的重要举措。2021年,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》,将生态产品价值实现机制从地方试点探索上升为国家层面的重要任务^[1],生态产品价值实现路径、模式成为当前研究的焦点。因拥有丰富而优质的森林资源这一优势,促使国有林场成为探索实践生态产品价值实现的主战场之一。研究国有林场生态产品价值实现路径、模式,对促进林场将生态优势转化为经济优势、深化国有林场改革,促进社会经济绿色高质量发展具有重要意义。

森林生态产品是生态产品种类之一。目前,国内对森林生态产品定义及分类没有统一标准。参考国务院发展研究中心“生态产品价值实现的路径、机制与模式研究”课题组对生态产品的定义,本研究将森林生态产品定义为良好的森林生态系统以可持续的方式直接或间接满足人类生产、生活需求的物质产品和服务产品的总称^[2]。根据森林生态系统服务特征,可将森林生态产品分为森林生态物质供给产品、森林生态调节服务产品、森林生态文化服务产品等^[3]。本文以腾冲市沙坝国有林场为研究对象,探讨其森林生态文化服务产品价值实现现状、困境及建议,以期对国有林场森林生态产品价值实现的实践探索提供参考。

1 沙坝国有林场概况

沙坝国有林场位于云南省腾冲市境内,距市区11 km,地理位置为东经98°31'24"~98°34'24",北纬24°47'05"~24°56'40"。经营面积7 773 hm²,设有关坡、叫鸡山、清水沟、山箐、速庆、盈河、陡山、护江林、尖山等9个营林区。该林场始建于1959年,是腾冲市建场时间最早的一个林场。建场初期因以营造腾冲红花油茶为主,故被命名为“红花油茶林场”,2018年3月才更名为“沙坝国有林场”,属全额拨款一类事业单位。林场林业用地面积7 713 hm²,乔木林单位面积蓄积量127.83 m³/hm²。林场分布有5种森林植被类型:以云南松林、华山松林为主的暖性针叶林,以青冈、栲属、石栎属等为主的常绿阔叶林,以桉木林为主的落叶阔叶林,还有暖性灌丛和以秃杉林、杉木林、红花油茶林为主的人工植被。目前,沙坝国有林场(以下简称沙坝林场)以开展森林经营、林木良种选育、特色苗木培育等工作为主,在加强森林生态保护的前提下,培育了腾冲红花油茶、森

林生态旅游、森林康养、林木种苗、林下种植等产业。林场建设的46 hm²腾冲红花油茶种质资源库,被国家林草局列为第二批国家林木种质资源库,也是云南省8个林木种质资源库之一。

2 生态文化服务产品类型

目前,政府文件对森林生态文化服务产品没有官方定义,《林地(森林)资源生态产品价值核算技术规程》(T/CREVA 4101—2022)中,将森林生态文化服务产品定义为“人类从森林生态系统获得的森林康养、科研教育等各种文化服务”。沙坝林场具有优美的森林景观资源和独具特色的文化资源,这些资源发挥着重要的游憩、康养和美学功能,具有较高的审美价值、游憩价值和科研价值,是林场重要的森林生态文化服务产品。

2.1 优美的森林景观资源

2.1.1 地文、水文景观资源

沙坝林场地处云南高原滇西峡谷区,横断山脉高黎贡山西南端,各营林区均属中山丘陵地貌,地势平缓。林场内有山峰名为代家风口,海拔2 335 m。登至最高点,可观林场森林秀色,举目远眺可见巍峨的高黎贡山。沙坝国有林场范围内有老象路河和沙河从山间缓缓而下,流水潺潺,成为林场的风景动脉,蜿蜒流经村庄,最后汇入大盈江。其中老象路河发源于林场,全长8.5 km;沙河发源于腾越镇玉璧村,流经沙坝林场,全长13.1 km。河水清澈见底,碧水与绿树相映成趣,形成山、水、林相依的和谐美景。

2.1.2 森林植物景观资源

具有开发利用潜力的植物景观资源集中分布于山箐营林区和陡山营林区,该区域还是来凤山国家森林公园的组成部分,拥有集中连片的万亩红花油茶林和天然常绿阔叶林、遒劲苍翠的秃杉林。其中,腾冲红花油茶是云南特有种,也是云南山茶原始种,被列为全国油茶优良品种之一^[4]。每年11月至次年5月,是腾冲红花油茶的花期,盛开之时花朵大而花色艳丽,花形多样,极具观赏价值^[5]。林场内现有腾冲红花油茶1 493 hm²,其中集中连片的约有667 hm²,是目前全国唯一保存面积最大的腾冲红花油茶人工种植基地。天然常绿阔叶林是亚热带地区最具代表性的森林类型^[6],其外貌四季常绿,林内负氧离子含量高,空气清新、沁人心脾。秃杉林是中国稀有的森林景观类型。秃杉属国家一级保护植物,有林中“活化石”之称^[7],树干通直,四季常青,极具保护价值及观赏价值。

2.1.3 动物景观资源

沙坝林场良好的森林生态环境为野生动物生存和繁衍提供了较好的栖息环境,有鹧鸪、山斑鸠、大山雀、大斑啄木鸟等多种鸟类,隐花纹松鼠、野猪、果子狸、赤鹿等多种兽类,银环蛇、黑眉锦蛇、多疣壁虎等爬行动物,虎纹蛙、泽陆蛙等两栖动物。这些野生动物或栖于枝头、溪流,或出没于森林、草丛,给林场增添了蓬勃生机和诗情画意。

2.2 独具特色的文化资源

2.2.1 腾冲红花油茶文化

腾冲红花油茶有文字记载的人工栽培历史距今 1 300 多年。其茶油营养价值高,被誉为“东方橄榄油”,至今在腾冲乡村仍有许多传统工艺的土法榨油作坊,村民自产自销。同时,腾冲红花油茶油还具有药用价值,可预防和治疗心脏病^[8]。因其具多种功效而广受腾冲人民乃至云南人民的喜爱,至今,仍有树龄超过 300 年的古树留存。2013 年,受原国家质检总局批准,“腾冲红花油茶油”被列为国家地理标志保护产品^[4];2022 年,腾冲市林业和草原技术推广站创建“腾冲红花油茶油”区域公用品牌,并入选云南省“绿色云品”品牌目录。由此,腾冲红花油茶油已成为腾冲特产之一,腾冲红花油茶文化也成为当地独具地域特色的文化之一,林场内的红花油茶种植基地应是传播此文化的最好载体。

2.2.2 石斛文化

铁皮石斛在限定使用范围和剂量内可作为药食两用的中药,具有益胃生津、滋阴清热功效,被国际药用植物界称为“药界大熊猫”,早在秦汉时期,其功效就被《神农本草经》记载^[9]。随着大健康产业的发展,老百姓对其愈发喜爱,现铁皮石斛已名列“十大云药”之中。再加之石斛花具有优美的花型、花色,别具观赏价值,观赏石斛、研究石斛、科普石斛、品尝石斛成为石斛文化传播的重要途径。为促进森林生态旅游、森林康养产业发展,与林场开展合作经营的云南斛健庄园生物科技有限公司打造了林场的石斛文化。

3 森林生态文化服务产品价值实现现状

3.1 合作经营打通生态产业化途径,促进森林生态文化服务产品价值实现

沙坝国有林场与云南斛健庄园生物科技有限公司(以下简称“斛健庄园公司”)签订合作协议,通过生态产业化途径,依托林场内优美的森林生态景观资源、独特的文化资源开展森林生态旅游、森林康养

产业,促进森林生态文化服务产品价值实现。

斛健庄园公司成立于 2014 年 3 月,注册资本 1 500 万元,是由腾冲市人民政府招商引资进入。林场将山箐营林区 267 hm² 林地及森林环境提供给公司,让公司按照国家相关法律法规及林业政策,在不对森林资源造成不良影响的前提下,发展森林生态旅游和森林康养产业,建设森林康养旅游基地(以下简称“基地”)。合作期间,公司每年支付一定金额收益给林场。基地由公司自主经营,自负盈亏、独立核算。基地在进行 133 hm² 林下仿野生石斛种植的基础上,利用林场内优美的森林景观资源,开展以石斛为核心的生态观光、科普教育、徒步养生等一系列的森林生态旅游、森林康养经营活动,并以此为平台,推广石斛产品,科普石斛文化。近三年,基地接待旅游人数均达 1 万人次以上,森林生态旅游收入分别为 104 万元、92 万元、85 万元。

3.2 打造国家森林康养试点基地、非公党建主题公园,提升森林生态文化服务产品价值

基地注重推进现代农业和旅游业深度融合,2016 年,被保山市农业产业化领导小组认定为“保山市现代农业庄园”。并且积极探索红色教育与生态文明教育、自然教育相结合的体验形式,于 2018 年将基地打造为“非公党建主题公园”,被腾冲市政府选为“腾冲市党员实训基地”“腾冲市干部教育培训学院现场教学点”,现已累计开展现场教学 100 余次。经多年建设,基地凭借自身优势,于 2019 年被中国林业产业联合会列为国家森林康养试点基地。近三年,基地森林康养年收入均超 40 万元,最高时达到 65 万元。

4 森林生态文化服务产品价值实现困境

4.1 森林生态产品价值核算体系不健全

森林生态文化服务产品价值核算是森林生态文化服务产品价值实现的基础。因林场尚未开展森林生态文化服务产品价值评估,导致斛健庄园公司支付给林场的合作收益定价并不能充分、准确反映其价值,导致合作收益定价偏低。目前,国家或云南省对森林生态产品价值评估没有制定发布统一标准、规程规范或指南,尚缺乏统一及市场普遍认可的评估体系及方法,价值核算统一的调查统计体系和数据监测采集体系也还未建立,导致森林生态产品价值难以进行准确核算,阻碍了其价值实现。

4.2 现有公共基础设施及旅游服务设施品质不高且经营受限

目前,开展森林生态旅游、森林康养产业的水、

电、路、通讯等基础设施已基本建设完成,但只有1日游接待设施,森林生态旅游和森林康养相关住宿、娱乐、康养、健身等服务设施还不具备。内部森林步道品质低,里程短,阻碍了森林生态旅游和森林康养产业发展。2019年,为促进森林生态旅游和森林康养经营活动得到高品质长足发展,斛健庄园公司编制了《云南斛健庄园森林康养基地规划方案》,对游客服务中心、树屋酒店、石斛科普展示中心等旅游服务设施建设进行了规划。但国家及云南省没有对森林康养基地旅游服务设施及公共基础设施建设出台具体的用地保障政策,没有明确林地利用强度,导致森林康养基地后续旅游服务设施建设停滞,森林生态旅游和森林康养经营活动受到限制。

4.3 森林生态文化服务产品开发和传播度有待提升

腾冲红花油茶林及其文化是沙坝林场最具特色的森林生态文化服务产品,但林场目前针对腾冲红花油茶所开发的森林生态旅游或森林康养项目较少。林场虽处于大滇西旅游环线中的腾冲市,但仅被本地居民熟知,外地游客极少前来游览。因极少借助互联网、电视等传播媒介来做宣传与推广,更没有将“腾冲红花油茶油”这一区域公用品牌广泛对外宣传,导致林场知名度低,森林生态文化服务产品价值得不到充分转化。

4.4 森林生态旅游和森林康养专业人才匮乏、服务质量不高

与东部发达省份相比,云南省社会经济发展水平不够高,且腾冲市位于滇西边境欠发达地区,对人才的吸引和培养能力不足,基地缺乏森林生态旅游和森林康养产业经营管理、市场营销的专业人才,在市场培育、开发、宣传促销方面管理不到位。另外,缺少专业服务人才,现场讲解人员、接待人员多为当地居民,不具备专业知识,无法专业解说生态知识和生态文化相关内涵,导致服务水平较低,影响游客体验,自然教育、生态文明宣教成效有待提升。

5 促进生态文化服务产品价值实现建议

5.1 建立健全价值评估体系,为森林生态产品有偿使用提供定价依据

建议国家层面加快研究制定森林生态产品价值核算统一评价体系及计算方法规程规范或指南。在此基础上,省级层面因地制宜制定出台价值核算地方标准,并探索建立符合本地区实际的统一调查统计体系和数据监测采集体系,以利于评估结果得到市场普遍认可,促进林场等单位在开展森林生态产

品价值实现实践时有定价依据。

5.2 完善并落实用地保障政策,促进公共基础设施和旅游服务设施合法合规建设

《中华人民共和国森林法》和《关于促进森林康养产业发展的意见》(林改发〔2019〕20号)允许在公益林中开展森林生态旅游及森林康养,但对林地利用强度至今没有明确规定。建议相关政府部门加快完善并落实用地保障政策,明确森林旅游和森林康养产业开发强度,研究制定在公益林内开展森林生态旅游和森林康养活动的林地利用指南或规范,并积极将国有林场森林生态旅游、森林康养产业发展用地纳入国土空间规划、林地保护利用、土地利用年度计划统筹安排。建议放宽国有林场存量建设用地出租政策,允许国有林场经批准后,利用存量建设用地自建或者租赁给第三方建设发展森林旅游、森林康养必要的基础设施。

5.3 注重挖掘自身特色,加强森林生态文化服务产品品牌打造宣传

腾冲地处大滇西旅游环线重要节点,在云南省发展全域旅游的背景下,沙坝林场发展森林生态旅游和森林康养具有区位优势。在开展森林生态旅游和森林康养时,要因地制宜,挖掘自身最具特色的腾冲红花油茶景观资源及文化,在保护好现有森林景观资源的前提下,打造具有标签化的森林生态文化服务产品。大力培育以腾冲红花油茶为主题的自然教育、文化创意、生态研学等关联产业,推广腾冲红花油茶品牌,促进林场森林生态文化产品从同类型产品中脱颖而出。为吸引大众眼球,可利用抖音、小红书、微信公众号等推介平台,创新新媒体营销、节事营销等营销手段,拓展宣传途径,不断提升知名度。

5.4 加强专业人才培养,提高管理与服务水平

健全完善奖励、减税、补贴等优惠政策,提高专业人才福利待遇,促进森林生态旅游、森林康养管理和营销专业人才引进。建立与省内外职业院校、高等学校、科研院所等的战略合作交流机制,定期邀请专业教师到基地或者外派相关人员接受专业化培训,不断提升相关领域服务水平与业务能力。另外,要建立健全游客意见反馈机制,畅通游客反馈渠道,认真听取采纳游客合理化意见建议,结合游客满意度调查,分析管理服务存在的问题,及时采取有效措施加以改进,不断提升基地综合管理服务水平,从而不断提升生态文化服务产品价值实现水平。

(下转第122页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.018

湖北省森林资源蓄积量年度监测存在的问题及优化思路

曹爱平,冯顺柏,黄光体,潘自辉,杨安,肖正利

(湖北省林业调查规划院,湖北 武汉 430079)

摘要:结合湖北省森林资源监测发展历程,总结 2013—2023 年森林资源动态监测体系、蓄积量样地调查监测方法、监测技术、监测内容以及新技术、新设备应用等方面的经验。对不同时期调查数据进行对比分析,归纳不同阶段、不同调查方式蓄积量监测的区别以及监测体系存在的内容与指标单一,调查精度不高,基础数表不完备等问题。提出运用新思路、新技术、新设备来提升信息化程度,包括持续优化监测体系,利用雷达技术开展蓄积量反演,开展智能树种识别研究等蓄积量年度监测优化思路。

关键词:森林资源;蓄积量年度监测;优化思路;雷达技术;智能树种识别;湖北省

中图分类号:S758.51 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)04-0116-07

引文格式:曹爱平,冯顺柏,黄光体,等.湖北省森林资源蓄积量年度监测存在的问题及优化思路[J].林业调查规划,2024,49(4):116-122. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.018

CAO Aiping, FENG Shunbai, HUANG Guangti, et al. Problems and Optimization Ideas of Annual Monitoring of Forest Resources Stock in Hubei Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 116-122. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.018

Problems and Optimization Ideas of Annual Monitoring of Forest Resources Stock in Hubei Province

CAO Aiping, FENG Shunbai, HUANG Guangti, PAN Zihui, YANG An, XIAO Zhengli

(Hubei Forestry Survey and Planning Institute, Wuhan 430079, China)

Abstract: Combined with the development process of forest resources in Hubei Province, this paper summarized the experience of dynamic monitoring system of forest resources, sampling survey and monitoring methods, monitoring technology, monitoring content, and application of new technologies and new equipment from 2013 to 2023. By comparing and analyzing survey data from different periods, this paper studied the differences and problems of stock monitoring in different stages and survey methods, such as single content and indicators, low survey accuracy, and incomplete basic data tables, and proposed the use of new ideas, technologies, and equipment to enhance the level of informatization, including continuous optimization of monitoring systems, use of radar technology for stock inversion, and research on intelligent tree species identification to optimize annual stock monitoring.

Key words: forest resources; annual monitoring of stock; optimization ideas; radar technology; intelligent tree species identification; Hubei Province

收稿日期:2024-01-15;修回日期:2024-03-22.

基金项目:2023 年度省级森林资源监测项目(HBLG-2023-026).

第一作者:曹爱平(1966-),男,湖北鄂州人,高级工程师.主要从事森林资源动态监测、林业规划等工作.

责任作者:冯顺柏(1975-),男,湖北阳新人,高级工程师.主要从事森林资源调查、林业规划与工程项目编制. Email:443056409@qq.com

森林资源监测是林业建设的一项重要基础性工作,是国情调查的重要组成部分、制定林业政策和科学决策的重要依据、可持续发展的战略要求,是建立绿色 GDP 核算体系的重要基础、评价林业工程建设成效和提升林业经营管理水平的重要措施,更是建设现代林业、促进科学发展的重要保障^[1]。森林蓄积量监测调查是鉴定森林数量的主要指标,是林分调查主要目的之一,标志着林地生产力的高低及经营措施效果,为森林经营和采伐利用提供重要数量依据^[2]。该指标在政府目标考核中得到运用。

2010 年以来,国家有关部门出台了《国家“十二五”规划〈纲要〉实施考核评价办法》《绿色发展指标体系》《生态文明建设考核目标体系》《省委办公厅、省政府办公厅关于调整优化县(市、区)“三农”发展综合考评指标体系的通知》,强化政府部门保护发展林草资源的主体责任和主导作用,满足各级政府年度目标考核对林地面积、森林面积、森林覆盖率和森林蓄积量等指标数据的需求,已成为林业建设与管理长期性中心工作^[3]。

湖北省于 2013 年启动实施全省范围森林蓄积量动态监测工作,通过蓄积量监测调查,查清全省和各市(州)、县(市、区)森林蓄积的数量、质量,掌握年度消长动态变化,产出年度森林蓄积现状指标及年度变化量,为制定和调整森林资源监督管理和生态系统保护修复方针政策,支撑碳达峰、碳中和战略、省委省政府重点工作涉林指标与林长制督查考核等提供了科学依据。延续多年的调查监测,蓄积量监测体系经历了多次优化调整,监测体系不断完善,科技含量不断提高。但由于山区、丘陵、平原不同地域资源的差异,受抽样样地数量、抽样方法的局限,调查监测结果依然存在不足之处,需要优化和改进。分析总结历来森林蓄积量年度监测体系、技术以及存在的问题,探讨优化对策,在现有监测体系基础上,结合新形势、新数据、新技术进行体系优化,提高监测体系的科学性、准确性,为今后森林蓄积量年度监测提供参考。

1 森林资源动态监测蓄积量监测方法及发展概况

1.1 蓄积量监测调查历程

湖北省于 2013 年启动森林资源动态监测至今已连续开展了 10 年,对监测方法与技术路线进行了数年研究与实践,积累了大量经验,经历 3 个阶段的

监测技术变革,方法不断改进优化,技术不断创新,借助科技手段推进智能化发展,传统的人力调查在大幅减少,工作效率不断提升,促进了动态监测发展。

第一阶段,2013 年度监测体系。技术思路采用分层抽样布点、角规控制调查+样带调查,在全省森林资源二类调查小班数据库进行林地更新后的“一张图”基础上,通过样地调查和推算,获得全省森林资源二类调查以来至本次调查时森林蓄积量增长情况,抽取的小班、布设的调查样点将作为全省蓄积量变化监测的固定监测单元,后期每年进行复位调查,从而建立森林蓄积量年度监测体系,实现年度出数目的。

第二阶段,2016 年度监测体系。按省、市、县分级负责的森林、湿地资源动态监测体系,对区域范围的林地面积、森林面积、林木蓄积量、森林质量、湿地面积、湿地保护状况及其变化量进行监测,是对现有监测体系的扩展和延伸。针对森林蓄积量监测,全省系统布设固定监测角规+样带样地,每年复位调查,关联生长率模型,结合档案资料,包括采伐数据库,灾害、毁林等资料消长变化,统计分析森林蓄积量及变化量。

第三阶段,2022 年度监测体系。以县为总体,机械布点,角规或样带调查,产出县级森林蓄积。以国家森林资源连续清查理论体系为基础,采用机械布点+分层抽样验证,采用固定与辅助加密样地调查,森林抽样技术^[4-5]、遥感判读样地变化^[6]、大数据技术^[7]、激光雷达森林资源调查监测^[8]、模型技术、数据耦合^[9],开发了湖北省森林资源调查监测系统,包含桌面端数据库管理系统、外业采集系统、计算系统,运用模型更新相结合的方式进行森林资源调查监测,在获取森林蓄积量数据上力求提高调查监测数据的准确性、时效性和空间优势性,达到节省人力、物力、财力的目的。

1.2 蓄积量监测体系与方法体系

1.2.1 蓄积量监测体系

湖北省针对蓄积量出数的调查监测体系有 3 类,第一类,国家森林资源清查,在统一时间内,查清全省森林资源宏观现状及其消长变化规律;第二类,森林资源规划设计调查,每 10 年进行一次,细化调查到小班山头地块,出数到村级以上行政区域;第三类,年度森林资源专项调查,包括森林资源与生态状况监测、森林蓄积量监测出数以及区域专题调查,根据林业和生态建设需要,产出服务于政策和生产应

用的信息。

1.2.2 蓄积量年度监测方法体系

森林蓄积量年度调查监测方法与技术起初以国家森林资源连续清查体系为依托,逐步完善地方森林资源监测体系,在历年积累的经验、技术成果上不断创新突破,对调查标准进行改进和更新,扩展调查内容,提高监测技术手段,运用遥感与地面样地调查相结合、森林抽样调查技术,开发软件系统,优化监测体系。传统的方法是通过系统抽样方法实现森林资源样点实测法来核算森林面积、蓄积量。技术手段上以互联网信息化平台,运用遥感与地面样地调查相结合、森林抽样调查技术、“3S 技术”(地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)、遥感(RS)、物联网(IOT)、实时动态测量(RTK),开发森林蓄积量调查监测任务管理系统、数据采集系统、计算系统,集任务管理、智能定位、数据录入、自动计算、逻辑检查、质量控制于一体,由平板电脑实地采集数据同步网页端向智能化及精细化方向深入,满足了当前调查监测的需求。

关于其他方法有基于“3S”的森林资源蓄积量监测方法、多元线性模型估测郁闭度、决策树模型、CART 决策树模型、最小二乘估计、岭估计、稳健估计和神经网络方法^[10-14],从森林覆盖面上核算森林面积和森林蓄积量,采用地面样点上森林资源面积、蓄积量信息校验森林覆盖面上森林资源信息;利用地面实测蓄积量进行回归估计,通过模型对森林蓄积量反演,应用的回归模型有多元线性逐步回归法、BP 神经网络和随机森林回归等^[12],每种方法均有其适用条件。

目前世界上大多国家采用森林抽样技术与遥感相结合方法^[15-16],解决森林资源调查任务重、劳动强度大、时间长等问题,提高森林调查精度、质量、调查工作效率,减少人力、物力、财力的耗费。鉴于湖北省实际综合考虑,提出优化方案,结合地面森林资源样点上(地面)、面上(遥感)森林资源信息,建立森林资源动态监测联合遥感反演模型;在尺度上,从单木尺度、样地尺度到区域尺度,最终形成完整的森林资源动态监测技术体系。技术路线如图 1 所示。

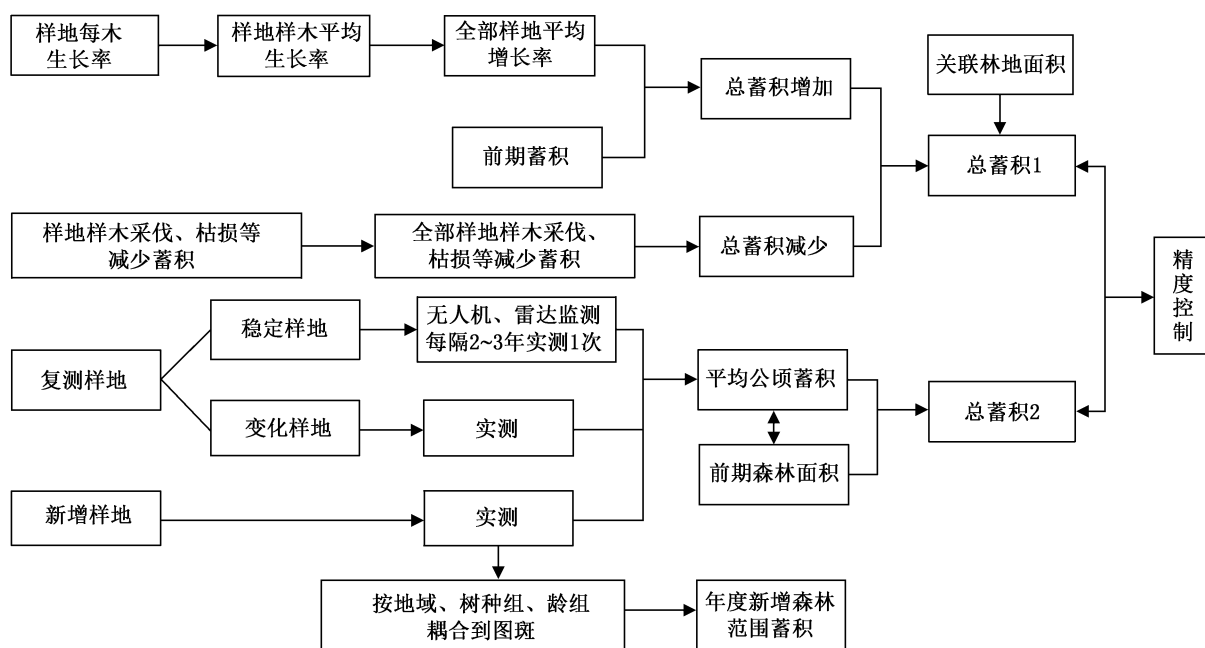


图 1 样地监测方法优化流程

Fig. 1 Optimization process of sampling monitoring method

1.3 蓄积量监测体系的演变

2013—2021 年间,分别按树种组、龄级类统计分层抽样,以县为单位,在林地“一张图”数据库基础上,剔除林种为经济林或优势树种为毛竹的小班后作为基础数据库进行抽样。全省布设样地总数为

3 025 个,不同年度略有调整。2022 年在原有调查基础上进行优化,采用系统等距抽样调查。以全省林草生态综合监测图斑监测数据为基础,以县为抽样总体,在乔木林范围内,系统等距布设蓄积量监测固定样地,开展控制检尺,产出县级蓄积量。统计分

析全省各县市森林资源种类、数量、质量、结构、分布以及年度消长动态变化,产出森林蓄积量年度调查监测数据库。将森林面积或森林覆盖率较小的单位作为联合总体进行抽样控制,按照可靠性 95%,山区精度 85%,平原和城区精度 80% 以上的要求,增加 15% 的保险系数,平原县(市、区)不低于 30 个有效样地、山区县(市、区)不低于 50 个有效样地,全省共布设样地 6 513 个。2023 年根据 2022 年湖北省森林蓄积量调查监测数据、优化样地布设方案,对乔木林样地达不到精度要求的单位加密布设蓄积量监测固定样地,同时将落入图斑监测新增乔木林范围的样地作为增设样地开展控制检尺,产出县级森林蓄积量,全省共布设县级样地 6 779 个。蓄积量样地实测调查方法采用点抽样(角规抽样)和样地的形状抽样^[17],即:以角规测树估计林分单位面积上的断面积^[17-18];带状样地调查使用的样地形状为长方形、正方形,面积>400 m² 的带状样地采用抽取样木的测树方法,计算公顷蓄积量,每个抽样点代表 1 hm² 蓄积量。对山区悬崖不可达样地采用遥感判读方法,关联森林资源规划设计调查数据库,采用 K-近邻算法、克里金插值法、随机森林^[19]、平均值法等算法,按缺失数据填充方法处理。

2 森林蓄积量年度监测存在的问题

2.1 监测体系现状问题

当前,森林资源监测信息化的相关技术在不断进步,监测能力仍不能满足新形势林业发展和资源评价需要。由于森林资源清查和森林资源规划设计调查系统存在成果时效性差、与林业发展和生态建设的要求不相适应等问题,年度监测事业发展具有很大空间。目前主要存在经费投入不足,技术标准不够统一规范,新技术应用不充分等问题,GIS 技术、网络技术、遥感技术的应用、内业数据处理手段、软件辅助系统等融合发展需要进一步发展提升^[20]。森林资源监测地面人工调查任务量重,费时费力,信息处理能力相对落后,森林资源监测仍面临诸多困难和技术瓶颈,需要不断创新和发展。

2.2 监测内容与指标单一

目前,全省森林资源监测对象主要是森林资源面积、蓄积量及森林资源结构动态变化,监测因子较少,对生物量、碳储量等未进行监测计算。根据《“十四五”林业草原保护发展规划纲要》,构建综合监测体系,落实《自然资源调查监测体系构建总体

方案》,建立国家地方一体化管理的林草综合监测制度和“天空地网”一体化技术体系,健全监测评价标准规范,整合开展森林、草原、湿地、荒漠化、沙化、石漠化综合监测。因此,与时俱进,森林资源监测内容逐步要趋于向综合化发展^[21]。

2.3 调查精度不高

2.3.1 不同的抽样体系产生的结果有差异和误差

各类调查监测采用的技术方法、标准有所不同,结果有所差异。

以表 1 为例,2020 年森林资源动态监测调查,全省平均公顷蓄积量 72.9 m³,2021 年全国林草监测调查,全省平均公顷蓄积量 61.5 m³,2022 年全省动态监测调查,全省平均公顷蓄积量 80.5 m³,考虑年度增长因素,不同的抽样体系调查结果差异依然较大。通过 2020—2022 年数据比较,存在部分县(市、区)数据差异较大现象。

表 1 不同抽样方法的结果比较

Tab. 1 Results comparison of different sampling methods

监测年度	抽样方法	样地数量 / 个	样地类型	公顷蓄积量 / m ³	估测蓄积量 / m ³
2020 年	分层抽样	3030	角规	72.9	5.60×10 ⁸
2021 年	典型抽样	5820	样方	61.5	4.83×10 ⁸
2022 年	系统抽样	6513	角规	80.5	6.33×10 ⁸

数据误差来源可分为业务技术和质量监管两个层面,技术原因表现为森林资源调查监测方法获取数据本身存在一定差异,抽样技术本身存在一定误差;调查质量监管主要源于外业调查人为因素误差。需要寻求消除或缩小森林资源调查监测数据差异和实现数据融合的技术方法和途径。

2.3.2 调查监测点数量偏少导致精度难以提高

由于年度调查监测受时间、资金、人员等条件限制,县级样地调查工作量不能太大,抽样数量受限。需要用最少的样地达到最优的精度要求。受抽样数量限制,目前精度按山区 85%、平原 80% 进行控制,精度偏低。由于数量偏少,监测样点难以覆盖所有林分类型,部分单位的调查点只涉及到部分树种或某几个径阶,影响监测结果的准确性^[22]。

以表 2 为例分析,通过测算,样地数量、精度、变异系数之间存在一定的关系,样地数量取决于样本之间变异程度的大小和抽样精度与可靠性的高低。变异系数越大,森林资源分布分异程度越大,样点的分

表 2 不同抽样精度需要的单元最小抽样样本量
测算参数与精度

Tab. 2 Calculation parameters and accuracy of minimum
sample size for different sampling accuracy

置信度 /%	可靠性	精度 /%	变异 系数 (C.V)	保险 系数 /%	抽样 数量 /个	抽样 间距 /km
95	1.96	>80	<0.4	>15	>38	<5.1
95	1.96	>85	<0.4	>15	>68	<3.8
95	1.96	>90	<0.4	>15	>152	<2.5
95	1.96	>95	<0.4	>15	>609	<1.3
95	1.96	>96	<0.4	>15	>3803	<0.5

注:计算以单元面积 10 万 hm^2 为例,依据抽样调查原理分析计算。

散程度也越大,抽样点密度很大,样点需要增加,抽样间距需要更小;变异系数决定抽样距离,样点密度、数量随精度提高需增加;抽样间距减小,样点密集度增加,精度随之提高;数据误差与可靠性相关,可靠性越低,误差越大^[4,23]。

理想的抽样方式:抽样精度 90%~96%,抽样间距(2.5~1) km,样点布设数据、工作量较合理。全省抽样精度 96% 临界线,每增加 1 个百分点精度,样点数量成几何倍数增长,间距成倍降低。县级单位要达到 90% 以上的精度,抽样数量最低需达到 152 个,是精度为 80% 的 4 倍,是精度为 85% 的 2.2 倍。

2.3.3 角规样点的不稳定性影响连续性

目前全省的监测样点中 97% 为角规样点,人工地面实测调查过程中,进界木、漏测木、采伐木、枯死木存在不可预见变化,影响成果数据误差,也存在因整个样地采伐而地类发生变化,造成无效样地,单个样地误差变化率为 2%~100%。湖北省区域不同树种生长量差异很大,每年的森林蓄积量容易出现不稳定的增减,如何保证数据时效性和稳定性是一个难点问题。

2.3.4 人为因素干扰影响调查监测结果

由于蓄积量指标数据与政府目标考核息息相关,考核性的干预和外业人为调查因素误差导致结果的误差。典型分层抽样通过选取县域中具有代表性的树种组、龄组等类型小班,测算增长率和蓄积量,可体现县域资源特点。但分层抽样容易受人为选择的影响,选择地点受主观影响大。很多单位布设的调查点选择距离道路近、生长状况明显优于其它林分的地段,导致监测蓄积量高于真实值。机械抽样能够避免人为因素的干扰,2022 年全面推广

RTK 测量后,提高精度为 1 m,人为因素大幅减少,但由于调查人员的技术水平差距等原因,依然存在一定的误差。

2.4 基础数表不完备

森林资源监测是一项复杂的系统工程,必须具备相关的技术基础,需要基础数表、模型技术支持。资源动态监测的最终目标是将总量数据逐级落实到乡镇、村和图斑,从而实现蓄积量数据的点面耦合^[9],实现资源数据的动态更新。在将县级蓄积量耦合至县级综合监测森林图斑的过程中,需要运用生长率表、出材率表以及森林树种的生物量、生产力和森林碳储量等计量数表,目前基础数表不完备,数据耦合难度大。

2.5 调查队伍技术水平不齐,基层林业监测机构不健全

森林蓄积量外业调查工作量大,地类区域涉及危险且情况复杂多变,调查内容多、技术性强、标准高。森林资源监测组织体系主要由省、地、县三级组成,省级森林资源监测体系起到基础和支撑作用,森林资源蓄积量调查监测工作主要在基层。地方机构改革后,基层监测机构职能不健全,基础资料薄弱,无高度统一的森林资源和生态状况监测机构,专业技术人员老化与缺乏,监测手段落后,野外调查装备简陋、仪器设备老化,生态监测设施设备缺乏,高新技术应用水平低,信息综合处理能力弱,影响到整个监测事业的发展。

3 蓄积量年度监测优化思路

3.1 持续优化监测体系

3.1.1 加密样地数量

采取动态加密布设样地,加密样地数量以此提高抽样精度。升级调查装备,充分利用无人机、雷达技术,辅助措施上获取最新卫星遥感数据和基础地理信息数据判别样地变化情况,对于稳定样地可每隔 2~3 年调查一次,对变化样地进行实测。通过这种方式,在外业调查工作量不显著增加的情况下,调查样地数量可以提高约 2~3 倍,满足县级单位抽样精度达到 90% 以上的要求。

3.1.2 优化模型算法

充分利用现有成果数据,研究建立主要优势树种(组)的单木、林分生长率等模型。探索利用可变参数模型、分段建模、混合模型、非线性度量误差等方法等进行建模。在各种类型的生长率模型完备的情况下,同时兼顾森林资源各类消盈余,通过生长率

模型进行推算,提高精度,减少外业工作量。监测结果与国家动态监测数据衔接,具备时效性和连续可比性,国家—省—市—县四级衔接,形成一套数据。

3.1.3 拓展调查内容

从单一森林资源监测向森林资源与生态状况综合监测转变,增加生态监测因子,将森林生物量、森林生态功能等级、森林植物多样性、森林自然度和森林健康度等纳入监测,进一步创新综合监测理念,拓展监测内容,实现由单一化向多元化发展。

3.1.4 完善监测体系

加快建立自然资源统一调查、评价、监测制度,健全森林资源监测体系。加强地方森林资源监测体系建设,要明确地方森林资源监测机构,配备监测人员,落实专业技术人员,省级机构加大对本监测区地方森林资源监测力量的技术指导和培训力度。注重新技术、新设备、智能设备的推广应用,提高监测技术手段与信息化程度。

3.2 利用雷达技术开展蓄积量反演

近年来,通过与相关单位合作,开展利用雷达技术进行森林蓄积量监测和反演研究。通过建立蓄积量与激光雷达变量之间的多元线性回归模型,对机载雷达点云数据提取的森林参数特征变量使用逐步回归方法进行变量筛选,比较其与对应的样地或小班公顷蓄积量之间的相关性大小,最终针对不同研究区分别选择相关性较大且关系显著的36个激光雷达特征变量,并分别参与模型构建。整体上共划分3个尺度构建模型,分别为:基于有激光雷达数据的所有样地或小班构建一个适用于全湖北省的蓄积量预测模型;对于阔叶林、针叶林和针阔混交林分别构建一个适合的蓄积量预测模型;针对划分的大别山桐柏山丘陵低山植被区、鄂西北山地丘陵植被区、鄂东南低山丘陵植被区、江汉平原湖泊植被区和鄂西南山地植被区这5个植被区分别构建一个适用的蓄积量预测模型^[24]。利用筛选的最优特征结合3种机器学习算法进行蓄积量反演建模,取得了阶段性成果。借助激光点云数据可实现对森林大面积的实时观测,使森林蓄积量的快速估测成为可能,但依然存在蓄积模拟精度不高,树种识别难度大,识别率不高等困难。

3.3 开展智能树种识别研究

2023年以来,与华中农业大学合作开展智能树种识别和蓄积量测定研究。利用无人机激光雷达数据提取树高及植被特征参数,通过对点云数据的加工处理(点云过滤、分类处理),纹理特征灰度共生

矩阵统计,利用参数评价得出反映植被群落、树种尺度上的差异变化特征参数,利用树种识别结果,建立森林蓄积量反演模型。本研究在湖北省神农架林区、荆州市、九畹溪、太子山林场、虎爪山林场、大冶市、新洲市、黄冈市和松滋市采集机载激光雷达数据,并相应地进行野外调查,对机载激光雷达数据进行去噪、滤波、点云归一化等预处理,提取数字高程模型(DEM)、数字地表模型(DSM)以及冠层高度模型(CHM),提取101个特征变量,根据皮尔逊相关性分析筛选建模变量,构建机载激光雷达数据的林分蓄积量估测模型。通过分析研究,建立了智能树种识别算法,识别率得到提高。由于野外树种的多样性和生长环境的复杂性,树种识别依然存在一定的数据局限性。结果显示,针叶树种比阔叶树种表现出更好的分类效果,阔叶树种之间容易发生严重的混淆现象,如青冈栎(*Quercus glauca*)用户精度(UA)仅为33.33%,容易与曼青冈(*Quercus oxyodon*)、锐齿槲栎(*Quercus aliena* var. *acutiserrata*)等发生混淆。

3.4 监测技术方法展望

新技术应用是提高监测体系建设水平的关键因素,随着经济社会发展,科学技术日新月异,新技术、新手段、新方法为监测体系发展带来机遇,将森林监测手段创新提上了重要日程,在实验技术和各种监测技术的实践总结基础上,以遥感技术(RS)、地理信息系统技术(GIS)和卫星导航系统(GNSS)、平板电脑软件系统支撑一体化数据信息化采集软件系统、整合信息资源,建立综合监测信息管理平台,融合抽样技术、数学模型技术、反演模型、数据耦合。加快运用5G、云计算、大数据、物联网、遥感、人工智能、三维仿真、区块链等新一代信息技术等多学科融为一体的交叉学科,在信息采集、信息管理、数据处理等方面由软件平台搭建完成,数据由单一、分散方式向技术集成方向发展,提高了数据采集与处理效率,提高了监测精度和效率。

参考文献:

- [1] 曾伟生. 森林资源调查监测数据的确定性和时效性探讨[J]. 中南林业调查规划, 2023, 42(2): 1-6.
- [2] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [3] 李智华, 胡云云, 闫生义. 全国森林资源年度监测评价重庆试点技术总结与思考[J]. 林业勘查设计, 2023, 52(3): 25-29.
- [4] 宋新民, 李金良. 抽样调查技术(2版)[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.

- [5] 李明阳, 营利荣. 森林资源调查空间抽样与数据分析 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.
- [6] LILLESAND T M, KIEFER R W, CHIPMAN J W. 遥感与图像解译: 第 7 版 [M]. 彭望球, 余先川, 贺辉, 等, 译. 修订版. 北京: 电子工业出版社, 2023.
- [7] 刘泽栋. 大数据时代地理信息系统在森林资源监测管理中的应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2022(9): 3.
- [8] 杜志, 陈振雄, 刘紫薇. 激光雷达森林资源调查监测应用研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2023.
- [9] 曾伟生. 森林资源调查监测中的数据耦合方法研究 [J]. 林业资源管理, 2022(2): 61-66.
- [10] 魏安世. 基于“3S”的森林资源与生态状况年度监测技术研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [11] 吴达胜. 人工神经网络在森林资源动态监测中的应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [12] 李子朝, 毕守东, 崔玉环, 等. 耦合多种特征的森林蓄积量反演方法比较——以雅鲁藏布江流域森林为例 [J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(10): 3263-3268.
- [13] 李崇贵, 赵宪文, 李春干. 森林蓄积量遥感估测理论与实现 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [14] 刘琼阁, 彭道黎, 涂云燕. 基于偏最小二乘回归的森林蓄积量遥感估测 [J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(2): 5.
- [15] 陆元昌. 森林与湿地资源综合监测指标和技术体系 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [16] 邓成, 梁志斌. 国内外森林资源调查对比分析 [J]. 林业资源管理, 2012(5): 12-17.
- [17] KANGAS A, MALTAMO M. 森林资源调查: 方法与应用 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [18] 魏占才. 森林调查技术 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [19] 刘菲, 李明阳, 刘雅楠, 等. 森林资源抽样调查缺失数据填充方法 [J]. 林业资源管理, 2018(6): 130-137.
- [20] 曾伟生, 易善军, 蒲莹. 森林资源调查监测年度数据产出方法研究 [J]. 中南林业调查规划, 2022, 41(3): 1-6, 11.
- [21] 陶吉兴, 季碧勇, 张国江, 等. 浙江省森林资源一体化监测体系探索与设计 [J]. 林业资源管理, 2016(3): 28-34.
- [22] 陶吉兴, 谢秉楼, 季碧勇, 等. 浙江省森林蓄积年生长量精准监测时空误差校正 [J]. 林业资源管理, 2022(2): 32-38.
- [23] 冯士雍. 抽样调查理论与方法 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1998.
- [24] 郭胜华, 管兰华, 董梅. 湖北乡土树种资源及其开发利用对策 [J]. 湖北林业科技, 2022, 51(6): 70-73.

责任编辑: 许易琦

校 对: 许易琦, 董磊

(上接第 115 页)

参考文献:

- [1] 孙博文. 建立健全生态产品价值实现机制的瓶颈制约与策略选择 [J]. 改革, 2022(5): 34-51.
- [2] “生态产品价值实现的路径、机制与模式研究”课题组. 生态产品价值实现路径、机制与模式 [M]. 北京: 中国发展出版社, 2019.
- [3] 宋昌素, 林亦晴, 欧阳志云. 生态系统生产总值 (GEP) 核算研究——以浙江省丽水市为例 [J]. 环境与可持续发展, 2020(6): 80-85.
- [4] 朱秋蓉, 石卓功. 腾冲红花油茶种质资源与研究现状 [J]. 安徽农业科学, 2020(10): 12-15.
- [5] 谢胤, 曹永庆, 任华东, 等. 腾冲红花油茶农业系统保护与发展规划 [J]. 林业调查规划, 2017(5): 64-72.
- [6] 王伯蒸. 植物群落学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1987.
- [7] 刘佩云. 秃杉人工林立地指数的研究 [J]. 林业科技, 2011(6): 16-18.
- [8] 辛桐. 云南山茶花多样性的人文因素及遗传背景 [D]. 北京: 中央民族大学, 2015.
- [9] 邵尉. 铁皮石斛含量检测及其茎、叶、花多糖和黄酮类成分抗氧化活性研究 [D]. 济南: 山东中医药大学, 2018.

责任编辑: 刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.019

云南省沼泽湿地资源动态变化分析

刘茜¹,李玲芬²,吴富勤¹,廖聪宇¹,董磊¹,秦燕¹

(1. 云南省林业调查规划院,云南昆明 650051; 2. 云南省湿地保护管理办公室,云南昆明 650224)

摘要:以云南省湿地资源监测数据为基础,利用动态度、相对变化率模型,系统地分析2001—2021年间云南省沼泽湿地面积、空间分布特征及其影响因素。研究表明,2012年较2001年云南省沼泽湿地面积迅速增加,增量为2.83万 hm^2 ;2012—2021年间云南省沼泽湿地面积呈波动型增加趋势,增量为8366.84万 hm^2 ,但各沼泽湿地型的变化趋势存在差异,其中草本沼泽面积增加4309.58 hm^2 ,灌丛沼泽增加1099.80 hm^2 ,森林沼泽增加4179.52 hm^2 ,淡水泉增加1.83 hm^2 ,沼泽化草甸减少1223.89 hm^2 ;空间分布方面,滇西滇西北横断山脉高原湿地区、滇中和滇东高原湖盆湿地区、滇南中山山原河流湖泊湿地区在此时期沼泽湿地面积均呈增加趋势,滇东北中山深切割河流高原沼泽草甸湿地区、滇东南岩溶山原湖泊河流湿地区以及滇西南中低山宽谷河流湖泊湿地区在此时期沼泽湿地面积均呈减少趋势,各湿地区变化趋势具有差异性。沼泽湿地资源变化原因主要与人为因素及自然因素有关。

关键词:沼泽湿地;资源动态变化;空间分布特征;动态度;相对变化率;云南省

中图分类号:P941.78;S718.5 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)04-0123-06

引文格式:刘茜,李玲芬,吴富勤,等.云南省沼泽湿地资源动态变化分析[J].林业调查规划,2024,49(4):123-128. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.019

LIU Qian, LI Lingfen, WU Fuqin, et al. Dynamic Changes of Marsh Wetland Resources in Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 123-128. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.019

Dynamic Changes of Marsh Wetland Resources in Yunnan Province

LIU Qian¹, LI Lingfen², WU Fuqin¹, LIAO Congyu¹, DONG Lei¹, QIN Yan¹

(1. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China;
2. Yunnan Administration of Wetland Protection and Management, Kunming 650224, China)

Abstract: Based on the monitoring data of wetland resources in Yunnan Province, the dynamic degree and relative change rate model was used to systematically analyze the area, spatial distribution characteristics and influencing factors of marsh wetlands in Yunnan Province from 2001 to 2021. The results showed that compared with 2001, the marsh area increased rapidly in 2012, with an increment of 28 300 hm^2 ; from 2012 to 2021, the area of marsh wetland showed a trend of fluctuating increase, with an increment of 83. 668 4 million hm^2 . However, the variation trend of marsh wetland types was different. The area of herb marsh increased by 4 309. 58 hm^2 , shrub marsh by 1 099. 80 hm^2 and forest marsh by 4 179. 52 hm^2 , fresh water spring increased by 1. 83 hm^2 , and swamp meadow decreased by 1 223. 89 hm^2 ; in terms of spatial distribution, the wetland area of Hengduan Mountains plateau in western and northwestern

收稿日期:2023-02-22.

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

第一作者:刘茜(1990-),女,云南丽江人,硕士,工程师.主要从事湿地保护和自然保护地研究监测工作. Email:873183472@qq.com

责任作者:吴富勤(1986-),男,云南保山人,博士,高级工程师.主要从事湿地保护与恢复、林业调查规划工作. Email:fqwu1986@163.com

Yunnan, the wet area of lake basin in central and eastern Yunnan plateau, and the wet area of river and lake in moderately high mountain in southern Yunnan all showed an increasing trend during this period. During this period, the wetland area in northeast Yunnan, the karst mountain lake and river wet area in southeast Yunnan, and the middle and low mountain and wide valley river and lake wet area in southwest Yunnan all showed a decreasing trend, and the variation trend was different among the wet areas. The change of wetland resources was mainly related to human factors and natural factors.

Key words: marsh wetlands; dynamic changes of resources; spatial distribution characteristics; dynamic degree; relative rate of change; Yunnan Province

湿地是多种野生动植物最宝贵的生存栖息地之一,具有巨大的环境调节功能和生态环境效益,有“地球之肾”之称^[1]。沼泽湿地约占全球自然湿地面积的 85%,作为湿地的重要组成类型,除蕴含丰富的水资源和野生动植物资源外,在气候调节、洪水调蓄、污染物质降解、生物多样性保护等方面均发挥着重要作用,蕴藏着巨大的生态价值^[2]。随着社会经济发展和以往人类对沼泽湿地的开发利用,目前沼泽湿地资源总体仍处于不断减少的进程中,保证人类生存和社会发展的生态系统服务功能也处于受损或衰退状态。因此,开展沼泽湿地资源长期监测,分析研究沼泽湿地动态变化规律,对沼泽湿地保护管理具有重要意义。

以云南省为研究区,获取 2001—2021 年间 4 个时期的沼泽湿地资源数据,对沼泽湿地面积、类型以及空间分布等进行对比分析研究,并探讨沼泽湿地变化原因,旨在为加强对沼泽湿地资源的监管,制定沼泽湿地保护修复政策提供科学参考。

1 研究区概况

云南省地处青藏高原区、东亚季风区和东南亚热带季风区亚洲三大自然地理区域的结合部位,地理位置特殊,自然条件复杂,区域特征差异极大,云南省湿地共分为 4 个湿地类 14 个湿地型,主要以金沙江、怒江、珠江、澜沧江等六大水系和抚仙湖、洱海、滇池、程海等九大高原湖泊为主,湿地总面积 56.35 万 hm^2 ,在我国高原湿地中具有典型性和代表意义,是全球生物多样性保护的热点区域,是迁徙候鸟的越冬栖息地或迁徙途中重要的停歇地,更是维护国家西南生态安全屏障不可或缺的组成部分^[3]。

云南省温热多雨有利于沼泽湿地形成,而地形陡峻又不利于沼泽湿地发育,总体上仍属于沼泽湿地资源较少的省份,分布有草本沼泽、灌丛沼泽、森林沼泽、沼泽化草甸、淡水泉,其中沼泽化草甸面积

最大,主要分布于滇西北的迪庆州、丽江市和滇东北的昭通市的高山和亚高山残存的高原面上,但湿地斑块面积小而分散,多呈小片状分布,水源补给方式较为单一,极易受到气候变暖、干旱等自然因素的影响而萎缩甚至消失。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

利用云南省 2001 年、2012 年、2017 年、2021 年 4 个时期的沼泽湿地监测数据。2001 年数据由云南省第一次湿地资源调查即云南省湿地资源普查工作获取;2012 年数据由云南省第二次湿地资源调查即全省湿地资源调查工作获取;2014 年起,在全省第二次湿地资源调查成果基础上,云南省率先启动开展湿地资源年度监测工作,至 2021 年此项工作已连续开展了 8 年,每年的监测数据及时提交县域经济发展分类考核等各项考核考评,引导各地开展湿地保护与恢复。因此,2017 年、2021 年数据由湿地资源年度监测数据库获取。

2.2 研究方法

2.2.1 动态度

为分析沼泽湿地的变化强度与规律,同时了解研究区内沼泽湿地变化的时间特征,引入动态度模型,以分析沼泽湿地在不同时期的动态变化^[4]。动态度模型公式为:

$$d = \frac{P_b - P_a}{P_a t} \times 100\% \quad (1)$$

式中: t 为两期监测数据的相隔时间(a); P_a 、 P_b 分别为研究期起始和结束的沼泽湿地面积。

$d > 0$ 表示监测时间内沼泽湿地面积增加, $d < 0$ 表示监测时间内沼泽湿地面积减少, d 的绝对值越大表示面积变化程度越大。

2.2.2 相对变化率

为分析研究区内不同沼泽湿地型变化差异,引

入相对变化率模型,以分析不同沼泽湿地在不同时期的动态变化^[5],相对变化率模型为:

$$r = \frac{\frac{X_a - X_b}{X_a}}{\frac{P_a - P_b}{P_a}} \quad (2)$$

式中: X_a 、 X_b 分别为某一沼泽湿地型在研究期起始和结束时的面积; P_a 、 P_b 见动态度模型。

当 $r > 0$ 时,说明该沼泽湿地型具有与沼泽湿地

相同的变化趋势,当 $r < 0$ 时,说明该沼泽湿地型具有与沼泽湿地相反的变化趋势;当 r 绝对值 > 1 时,说明该沼泽湿地型变化强度大于沼泽湿地整体变化强度,当 r 绝对值 < 1 时则反之。

3 结果与分析

3.1 沼泽湿地面积动态变化特征

根据动态度公式计算云南省不同时期沼泽湿地动态度(表 1)。

表 1 2001—2021 年云南省沼泽湿地面积及动态度

Tab. 1 Areas and dynamic degree of marsh wetlands in Yunnan Province from 2001 to 2021

沼泽湿地类型	面积/hm ²				动态度/%				
	2001 年	2012 年	2017 年	2021 年	2001—2012 年	2012—2017 年	2017—2021 年	2001—2021 年	2012—2021 年
沼泽湿地	3950.00	32212.10	35618.07	40578.94	10.53	0.67	0.61	18.96	2.06

从表 1 可以看出,2001—2012 年沼泽湿地总面积迅速增加,2012—2021 年沼泽湿地总面积呈波动型增加趋势。

根据数据来源,将 2001 年与 2012 年数据进行对比,即第一次与第二次全省湿地资源调查结果相比较,可以看出第二次全省湿地资源调查较第一次调查沼泽湿地增加了 2.83 万 hm²,其中单个面积在 100 hm² 及以上的沼泽湿地斑块增加 1.25 万 hm²,动态度达 10.53%,说明沼泽湿地面积变化程度较大。

2014 年起,云南省开展了以全省第二次湿地资源调查成果为基础的湿地资源年度监测工作,至 2017 年全省沼泽湿地面积较第二次湿地资源调查增加了 3 405.97 hm²,动态度为 0.67%;至 2021 年全省沼泽湿地面积又增加了 4 960.87 hm²,变化率为 0.61%,2012—2021 年 10 年间总体面积变化程度较小。

3.2 沼泽湿地类型动态变化特征

对比云南省不同时期各沼泽湿地型面积可以看出,2001—2012 年草本沼泽面积增加 4 173.92 hm²,灌丛沼泽增加 2 517.04 hm²,森林沼泽增加 1 878.79 hm²,沼泽化草甸增加 19 633.13 hm²,淡水泉增加 58.22 hm²;2012—2021 年草本沼泽面积增加 4 309.58 hm²,灌丛沼泽增加 1 099.80 hm²,森林沼泽增加 4 179.52 hm²,淡水泉增加 1.83 hm²,沼泽化草甸减少 1 223.89 hm²(图 1)。

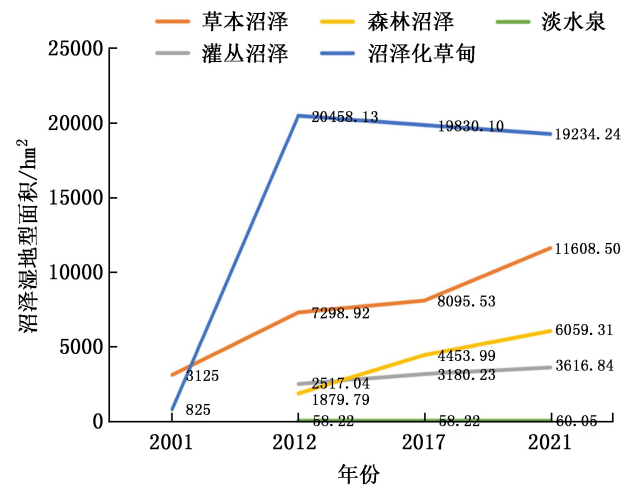


图 1 云南省不同时期各沼泽湿地型面积变化

Fig. 1 Areas of various marsh wetland types in Yunnan Province at different periods

根据动态度及相对变化率公式计算云南省各沼泽湿地型的动态度和相对变化率(表 2)。

从表 2 可以看出,2001—2012 年间,因第一次湿地资源仅调查单个面积在 100 hm² 及以上的草本沼泽及沼泽化草甸,因此对比 2012 年相对变化率,二者均为正值,说明其与沼泽湿地整体变化趋势相同,即逐年增加,草本沼泽相对变化率绝对值小于 1,说明其变化强度比沼泽湿地整体变化强度小,沼泽化草甸相对变化率绝对值大于 1,说明其变化强度大于此时期内沼泽湿地整体变化强度。

表 2 2001—2021 年云南省各沼泽湿地型动态度及相对变化率

Tab. 2 Dynamic degree and relative change rate of various marsh wetland types in Yunnan Province from 2001 to 2021

沼泽湿地类型	动态度/%					相对变化率/%				
	2001—2012 年	2012—2017 年	2017—2021 年	2001—2021 年	2012—2021 年	2001—2012 年	2012—2017 年	2017—2021 年	2001—2021 年	2012—2021 年
草本沼泽	6.86	0.69	1.51	15.35	3.71	0.19	1.03	3.12	0.29	2.27
灌丛沼泽		1.46	0.60		3.04		2.49	0.99		1.68
森林沼泽		4.05	1.32		6.90		12.95	2.59		8.56
沼泽化草甸	11.52	-0.22	-0.15	20.10	-0.64	3.33	-0.29	-0.22	2.41	-0.23
淡水泉		0	0.15		0.30		0	0.23		0.12

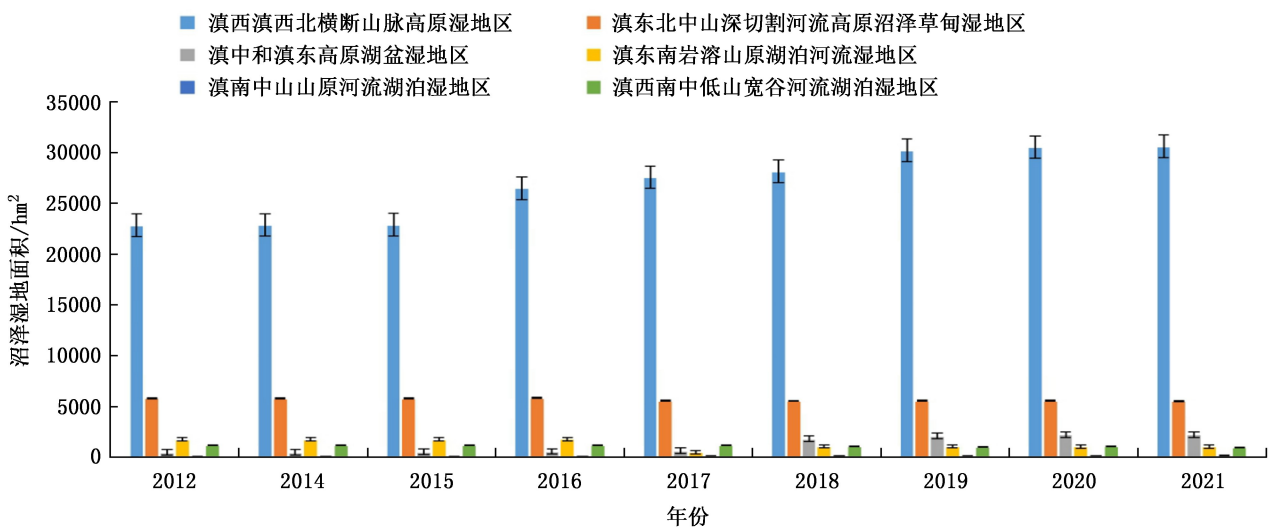
2012—2017 年间,草本沼泽、灌丛沼泽、森林沼泽的动态度、相对变化率均为正值,呈增加趋势,相对变化率绝对值均大于 1,说明在此期间尤其是森林沼泽变化强度大于沼泽湿地整体变化强度;沼泽化草甸面积动态度为负值,呈减少趋势,相对变化率也为负值,绝对值小于 1,说明其具有与沼泽湿地总体相反的变化趋势,但变化强度较沼泽湿地整体小;淡水泉无变化。

2017—2021 年间,草本沼泽及森林沼泽动态度、相对变化率均为正值,且相对绝对值均大于 1,说明在此期间其变化强度大于沼泽湿地整体变化强度;灌丛沼泽动态度、相对变化率均为正值,呈逐年增加趋势,但相对变化率绝对值小于 1,说明其增加强度小于沼泽湿地整体变化强度;沼泽化草甸动态度为负值,呈逐年下降趋势,相对变化率也为负值,绝对值小于 1,说明其变化强度较沼泽湿地整体小;淡水泉动态

度、相对变化率均为正值,呈增加趋势,相对变化率为负值,说明其增加强度小于沼泽湿地整体变化强度。

3.3 沼泽湿地空间分布变化特征

根据云南省湿地类型与分布特点,考虑到不同区域明显的自然特征,尤其是与湿地形成有关的地质地貌和水文特性、湿地生态结构与功能、湿地保护与合理利用途径的相似性、流域的连续性,将全省湿地划分为 6 个湿地区: I. 滇西滇西北横断山脉高原湿地区; II. 滇东北中山深切切割河流高原沼泽草甸湿地区; III. 滇中和滇东高原湖盆湿地区; IV. 滇东南岩溶山原湖泊河流湿地区; V. 滇南中山山原河流湖泊湿地区; VI. 滇西南中低山宽谷河流湖泊湿地区。根据数据来源,由于多种因素导致第一次全省湿地资源调查中沼泽湿地空间分布数据统计相对不全面,因此,仅统计出以上六大湿地区 2012—2021 年沼泽湿地面积变化情况(图 2)。



注:2013 年数据同 2012 年。

图 2 云南省 6 个湿地区沼泽湿地面积变化

Fig. 2 Areas of marsh wetlands in six wet areas of Yunnan Province

根据公式计算出云南省6个湿地区沼泽湿地的动态度(表3)。

表3 云南省6个湿地区不同时期(2012—2021)沼泽湿地动态度

Tab.3 Dynamic degree of marsh wetlands in six wet areas of Yunnan Province at different periods (from 2012 to 2021)

湿地区	动态度/%		
	2012—2017年	2017—2021年	2012—2021年
滇西滇西北横断山脉高原湿地区	1.0269	0.4958	1.2667
滇东北中山深切割河流高原沼泽草甸湿地区	-0.2602	-0.0281	-0.2461
滇中和滇东高原湖盆湿地区	1.4895	3.5659	3.9219
滇东南岩溶山原湖泊河流湿地区	-15.0708	2.6314	-3.3182
滇南中山山原河流湖泊湿地区	1.2385	1.1554	1.9490
滇西南中低山宽谷河流湖泊湿地区	0.0710	-1.2052	-1.1317

从表3可以看出,2012—2021年10年间滇西滇西北横断山脉高原湿地区、滇中和滇东高原湖盆湿地区、滇南中山山原河流湖泊湿地区动态率均为正值,说明以上湿地区在该时期沼泽湿地面积均呈增加趋势,以动态度绝对值看来,滇中和滇东高原湖盆湿地区增加程度最高,其次是滇南中山山原河流湖泊湿地区、滇西滇西北横断山脉高原湿地区;而滇东北中山深切割河流高原沼泽草甸湿地区、滇东南岩溶山原湖泊河流湿地区以及滇西南中低山宽谷河流湖泊湿地区动态率均为负值,说明以上湿地区在该时期沼泽湿地面积均呈减少趋势,以动态度绝对值来看,滇东南岩溶山原湖泊河流湿地区减少趋势最大,其次为滇西南中低山宽谷河流湖泊湿地区、滇东北中山深切割河流高原沼泽草甸湿地区。

4 讨论与结论

4.1 讨论

4.1.1 沼泽湿地面积与类型变化分析

根据结果与分析,云南省2001—2012年沼泽湿地总面积迅速增加,增加原因主要为调查技术规程和详细程度的差异^[6]。首先,第二次湿地资源调查

起调面积由第一次湿地资源调查起调面积的100 hm²变为8 hm²,同时由于交通条件的持续发展与便利,使云南滇西北、滇东北分布较多的沼泽湿地资源得以调查统计;其次,第二次湿地资源调查在第一次的基础上增加了灌丛沼泽、森林沼泽、淡水泉等湿地类型的调查统计,因此导致沼泽湿地资源总体面积进一步增加。

云南省2012—2021年沼泽湿地总面积呈波动型增加趋势,主要原因为:自2014年起,在全省第二次湿地资源调查成果基础上,云南省持续开展湿地资源年度监测工作,每年的资源调查技术规程基本一致,监测数据及时提交县域经济发展分类考核等各项考核考评,因此,在连续监测过程中,资源面积的增加应为资源调查的精细化与保护管理成效的体现。同时可以看出,云南省沼泽湿地面积不断增加,尤其是草本沼泽、森林沼泽在2018年以后增加较为明显,分析原因主要为:“十三五”起全省持续加强保护地、重要湿地保护和退化湿地恢复工作,以流域为尺度,强化湿地汇水面山生态保护修复,因此沼泽湿地面积持续增加,整体生态功能和质量得到稳步提升。如滇池在该时期开展了推进滇池防浪堤拆除以及湖滨“四退三还一护”生态建设等工作,滇池湖滨带得以修复或重建,湖滨带沼泽湿地及其生物多样性和自然生态系统逐渐恢复。

自第二次湿地资源调查始,云南省沼泽化草甸呈逐年下降趋势,地类变化为耕地、牧草地、林地、建设用地等非湿地地类,或变化为水库、水电站淹没区等人工湿地地类。分析其原因,首先,云南省在此时期受干旱等自然因素影响,地表和地下水位下降导致沼泽化草甸退化;其次,由于区域经济发展及人口增长,过度放牧、围垦、泥炭开采、不恰当的引排水、工程建设等人为干扰因素均导致了沼泽化草甸受损或退化。但自2017年起减少趋势减缓,这也与云南省进一步加大湿地保护管理工作力度有关。

4.1.2 沼泽湿地空间分布变化分析

滇西滇西北横断山脉高原湿地区行政区域包括大理白族自治州、迪庆藏族自治州、丽江市、怒江傈僳族自治州。2012—2021年间,沼泽湿地面积逐步增加,但2017—2021年间较2012—2017年间增加趋势减缓,主要原因可能为该区域本身就为沼泽湿地主要分布区域,此时期不断精细化的调查关注到了更多的沼泽湿地资源;同时,此时期云南省大力开展湿地修复工作,尤其是重要湿地、湿地类型的自然

保护区实施退耕还湿、退牧还湿、退塘还湿等项目,是该区域沼泽湿地面积不断增加的主要原因之一。

滇东北中山深切割河流高原沼泽草甸湿地区行政区域包括昭通市及曲靖市。2012—2021 年间,沼泽湿地面积逐渐减少,但 2017—2021 年间较 2012—2017 年间减少趋势减缓,主要原因可能为该区域降雨量偏少,气温偏高,干旱突出,导致该湿地区沼泽湿地逐渐退化或受损;同时,由于该湿地区人口密度较大,人为干扰较为频繁,围垦、旅游导致该区沼泽湿地面积减少。

滇中和滇东高原湖盆湿地区行政区域包括昆明市、楚雄彝族自治州及玉溪市。2012—2021 年间,沼泽湿地面积逐步增加,且 2017—2021 年间较 2012—2017 年间增加趋势较大,主要原因可能为在此时期云南省全力推进湿地保护与修复以及实施“湖泊革命”攻坚战,该区分布有滇池、抚仙湖、星云湖、杞麓湖 4 个高原湖泊,因此,该区域湖滨带沼泽湿地得以大面积修复或恢复。

滇东南岩溶山原湖泊河流湿地区行政区域包括红河哈尼族彝族自治州及文山壮族苗族自治州。2012—2017 年间,沼泽湿地面积大幅下降,2017—2021 年间又逐步增加,主要原因可能为 2013 年起该区域受干旱等自然因素影响,尤其是石屏异龙湖周边沼泽湿地大面积萎缩,之后云南石屏异龙湖开展了综合治理工程,自 2017 年起实现了稳定补水,沼泽湿地得到逐步恢复。

滇南中山山原河流湖泊湿地区行政区域包括普洱市及临沧市。2012—2021 年间,沼泽湿地面积逐步少量增加,主要原因应为此时期不断精细化的调查关注到了更多的沼泽湿地资源。

滇西南中低山宽谷河流湖泊湿地区行政区域包括德宏傣族景颇族自治州及保山市。2012—2021 年间,此湿地区沼泽湿地面积总体呈减少趋势,从行政区域来看,德宏州沼泽湿地面积不断减少,而保山市则不断增加,主要原因可能为德宏州大盈江建设水电站时淹没区面积增加,导致沼泽湿地面积减少。

4.2 结论

根据以上结果分析,2001—2012 年即第一次与第二次湿地资源调查相较,云南省沼泽湿地总面积迅速增加;2012—2021 年云南省开展湿地资源年度监测期间,沼泽湿地总面积呈波动型增加趋势,各沼泽湿地型的变化趋势不一致。在空间分布方面,以不同湿地类型与分布特点划分的 6 个湿地区,其中滇西滇西北横断山脉高原湿地区、滇中和滇东高原湖盆湿地区、滇南中山山原河流湖泊湿地区沼泽湿地面积均呈增加趋势;滇东北中山深切割河流高原沼泽草甸湿地区、滇东南岩溶山原湖泊河流湿地区以及滇西南中低山宽谷河流湖泊湿地区沼泽湿地面积均呈减少趋势,各湿地区变化趋势也具有差异性。沼泽湿地资源变化原因主要与人为因素和自然因素有关,如 2001—2012 年间变化特征主要受调查监测技术规程及详细程度的差异影响,而 2012—2021 年间变化特征则主要受保护管理、人为干扰以及气候变化等自然因素影响。

参考文献:

- [1] 李杰玲,马琼芳,燕红,等. 1950—2015 年吉林省西部地区湿地动态变化研究[J]. 生态科学,2020,39(6):60-68.
- [2] 许凤娇,周德民,张翼然,等. 中国湖泊、沼泽湿地的空间分布特征及其变化[J]. 生态学杂志,2014,33(6):1606-1614.
- [3] 温庆忠,华朝朗,彭华,等. 中国湿地资源(云南卷)[M]. 北京:中国林业出版社,2015.
- [4] 刘吉平,高佳,董春月. 1954—2015 年三江平原沼泽湿地变化的区域分异及影响因素[J]. 生态学报,2019,39(13):4821-4831.
- [5] 杨永兴,黄锡畴,王世岩,等. 西辽河平原东部沼泽发育与中全新世早期以来古环境演变[J]. 地理科学,2001,21(3):242-249.
- [6] 宋永全. 云南省第一、二次全省湿地资源调查结果比较研究[J]. 云南地理环境研究,2013,25(6):22-26.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.020

云南省古树名木资源调查分析

唐文静, 刘鹏程, 徐伦先

(云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要:根据 2017—2019 年最近一期云南省古树名木普查结果, 全省古树名木总株数为 1 038 015 株。其中, 单株古树 75 636 株(包括 445 株既是古树又是名木古树), 占全省总株数的 7.29%; 古树群 2 109 个 962 262 株, 占全省总株数的 92.70%; 名木 117 株, 占全省总株数的 0.01%。古树(不包括名木)1 037 898 株中, 一级古树 592 163 株, 二级古树 279 815 株, 三级古树 165 920 株。

关键词:古树名木; 古树群; 单株古树; 古茶树; 云南省

中图分类号: TU986.36; S757.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0129-06

引文格式: 唐文静, 刘鹏程, 徐伦先. 云南省古树名木资源调查分析[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 129-134.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.020

TANG Wenjing, LIU Pengcheng, XU Lunxian. Investigation and Analysis of Current Situation of Ancient and Famous Tree Resources in Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 129-134. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.020

Investigation and Analysis of Current Situation of Ancient and Famous Tree Resources in Yunnan Province

TANG Wenjing, LIU Pengcheng, XU Lunxian

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

Abstract: According to the latest survey of ancient and famous trees in Yunnan Province from 2017 to 2019, the total number of ancient and famous trees in Yunnan was 1 038 015. There were 75 636 single ancient tree (including 445 also belonging to ancient and famous trees), accounting for 7.29% of the total number, 2 109 ancient tree groups with 962 262 trees, accounting for 92.70% of the total number, and 117 famous trees, accounting for 0.01% of the total number. Among the 1 037 898 ancient trees (excluding famous trees), there were 592 163 first-class ancient trees, 279 815 second-class ancient trees, and 165 920 third-class ancient trees.

Key words: ancient and famous trees; ancient tree groups; single ancient tree; ancient tea trees; Yunnan Province

古树名木是林木资源中的瑰宝, 客观记录和生动反映了社会历史的发展和自然的变迁, 承载了中华民族悠久的历史 and 灿烂的文化, 是自然界的璀璨明珠^[1]。古树名木常与寺庙宗教和历史名人名胜

古迹相联系, 蕴藏着丰富的政治、历史、人文资源, 具有极高的历史价值^[2]、社会价值、经济价值、科研价值、生态价值、观赏价值和科普价值, 也是文化传承、生态文明、旅游资源的重要组成部分。

收稿日期: 2023-01-12; 修回日期: 2023-02-21.

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

第一作者: 唐文静(1989-), 女, 云南大理人, 硕士, 工程师. 从事林业调查规划工作.

责任作者: 刘鹏程(1974-), 男, 云南昆明人, 工程师. 从事林业调查规划工作.

1 自然地理位置概况

云南地处中国西南边陲,位于东经 97°31'39"~106°11'47"和北纬 21°08'32"~29°15'08"之间,北回归线横贯本省南部。全省国土总面积 38.34 万 km²,占全国陆地总面积的 4.1%,居全国第 8 位。

云南地处北半球低纬度高原地带,境内高山耸立,峡谷深切,地势险峻^[3],江河纵横,高原湖泊星罗棋布。最高点为梅里雪山卡瓦格博峰,海拔高达 6 740 m,最低点为南溪河与红河交汇处,海拔仅 76 m。辽阔的地域,特殊的地理位置,复杂的地形地貌,独特多样的气候环境,孕育了云南丰富的生物多样性^[3]。云南国土面积仅占全国的 4.1%,各类群生物物种数接近或超过全国的一半,囊括了地球上除海洋和沙漠外的所有生态系统类型。

群芳荟萃的云南素有“植物王国”之誉,孕育着丰富的古树名木资源,古树文化源远流长。云南各少数民族拥有保护古树、保护环境的优良传统,在自然与人文历史交融中孕育和保存了大量的古树名木。这些珍稀的古树名木是云南各族人民的宝贵财富,保护和保存好这些名木古树^[3],对普及林业科学知识,促进人与自然和谐发展,传承历史文化,推进生态文明建设,打造云南世界一流“三张牌”,建设美丽云南具有重要的意义。

2 古树名木普查技术规范简述

2.1 普查依据

2017 年古树名木普查依据为:

《全国绿化委员会关于开展全国古树名木资源普查的通知》全绿字〔2017〕2 号;

《全国绿化委员会关于进一步加强古树名木保护管理的意见》全绿字〔2016〕1 号;

国家林业局《古树名木鉴定规范(LY/T 2737—2016)》;

国家林业局《古树名木普查技术规范(LY/T 2738—2016)》;

云南省绿化委员会《古树名木资源普查工作实施方案》(2017 年)。

2.2 古树名木界定标准

1) 古树:指树龄在 100 年以上的树木,包括单株古树和古树群。

2) 名木:指具有重要历史、文化、观赏与科学价值或具有重要纪念意义的树木。名木不受树龄限

制,不分级。凡符合下列条件之一的树木属于名木范畴:

国家领袖人物、外国元首或著名政治人物所植;国内外著名历史文化名人、知名科学家所植或咏题;分布在名胜古迹、历史园林、宗教场所、名人故居等,与著名历史文化名人或重大历史事件有关;列入世界自然遗产或世界文化遗产保护的标志性树木;树木分类中作为模式标本来源的具有重要科学价值的树木;其他具有重要历史、文化、观赏和科学价值或具有重要纪念意义的树木。

2.3 古树名木等级划分

古树分为三级:树龄在 500 年(含 500 年)以上的为一级古树;树龄在 300~<500 年的为二级古树;树龄在 100~<300 年的为三级古树。

2.4 普查范围

本次普查范围为全省除国有林区原始林分和自然保护区以外的所有古树名木。对虽已纳入自然保护区或原始林区但又作为“景区”的有价值的古树,以及符合《通知》附件 1《古树名木鉴定规范》第四条“古树名木分级和名木范畴”的,均为普查对象。

2.5 普查内容

1) 古树名木空间位置及管理属性,包括县、乡、村及坐标等具体位置和权属、管理单位及责任人等管理属性;

2) 古树名木树种、树龄、胸围、树高、冠幅、海拔及立地条件等,并现场拍照;

3) 古树名木资源数量、种类和分布的总体情况与动态;

4) 古树名木保护级别、生长环境、生长势、生长状态、保护及管养状况;

5) 收集整理古树名木相关的生态、历史、文化、故事、观赏和科学价值等资料。

2.6 普查方法

以全省各县(市、区)为基本普查建档单位,逐树进行普查。利用 1:1 万地形图和林业基本图、GPS 定位仪、数码相机等工具进行数据获取、标本采集、调查表填写等。

2.7 质量要求

由各州市绿化委员会办公室组织人员组成质量检查组,随机提取 10% 外业调查的株树,进行现场检查各项调查因子是否正确,发现问题责令予以整改。省绿化委员会办公室在州市抽查的基础上,组织相关人员进行抽查。

3 云南省古树名木历年调查情况

云南省古树名木资源的分布与数量,一直被各级政府和林业部门等有关单位高度重视,曾开展多次考察和调查,一定程度反映了古树名木的基本情况,但由于时间、人力、物力及调查设备、调查范围、调查深度、工作要求等因素的影响,缺乏全面、系统的资源数据。另外,前期建立的古树名木档案主要是文书档案,包括古树名木每木调查表、古树名木录、古树名木图册等^[4],没有建立资源数据库。通过2017年普查,建立了古树名木数据库,对加强古树名木保护,弘扬先进生态文化,推进生态文明和美丽中国建设等提供了重要的数据资源。

3.1 1989年调查

此次历经4年调查,共调查2000多株古树名木的树高、胸径、基径、年龄及有关文字记载、口头传说等,拍摄照片5000多张,采集树木标本700多份,最终筛选出分别属于77科、178属、338个树种的1604株名木名树。于1995年出版了《云南古树名木》一书,收录的古树均为单株树木,树龄在百年以上,且具有一定的文化和科学价值。各县基本摸清本地古树名木资源,确定重点保护对象,建立档

案,采取了必要的保护措施。在此基础上,部分州(市)县进一步健全了古树名木保护管理的有关法律、法规和规定。

3.2 2012年调研

2012年,对全省的古树名木进行了更全面的调查。结果显示,云南省古树名木总数1732772株(本次普查包括保护区和国有林),其中国家一级古树153862株,占8.9%;二级古树419200株,占24.2%;三级古树1133718株,占65.4%;名木25992株,占1.5%;树龄90~100年的后备资源130631株。全省挂牌的名木古树16821株,仅占总数的1.0%^[5]。

3.3 2017年调查

3.3.1 各类型、等级古树名木

本次古树名木普查时间持续近3年(2017—2020)。结果显示,云南省古树名木总株数为1038015株,其中:单株古树75636株(包括445株既是古树又是名木古树),占全省总株数的7.29%;古树群2109个,962262株,占全省总株数的92.70%;名木117株,占全省总株数的0.01%。古树(不包括名木)1037898株按等级分:一级592163株,占总株数的57.05%;二级279815株,占总株数的26.96%;三级165920株,占总株数的15.99%(表1,表2)。

表1 各州市古树名木按类型统计

Tab. 1 Statistics of ancient and famous trees in prefectures and cities by type

州市	单株古树		古树群		名木		合计	
	株数	百分比/%	株数	百分比/%	株数	百分比/%	株数	百分比/%
昆明	22104	37.45	36892	62.50	30	0.05	59026	5.69
曲靖	2107	43.42	2746	6.58			4853	0.47
玉溪	13077	59.51	8896	40.48	1	0.01	21974	2.12
保山	5204	56.21	4059	43.79	6	0.06	9269	0.89
昭通	1428	31.52	3103	68.48			4531	0.44
丽江	387	31.72	832	68.20	1	0.08	1220	0.12
普洱	11154	1.25	880624	98.75	3	0.00	891781	85.91
临沧	1673	96.04	69	3.96			1742	0.17
楚雄	3870	89.98	431	10.02			4301	0.41
红河	812	29.21	1967	70.75	1	0.04	2780	0.27
文山	3194	30.79	7177	69.20	1	0.01	10372	1.00
版纳	1875	97.05	215	9.98	64	2.97	2154	0.21
大理	4489	29.19	10887	70.81			15376	1.48
德宏	3308	60.97	2108	38.85	10	0.18	5426	0.52
怒江	492	24.26	1536	75.74			2028	0.20
迪庆	462	39.09	720	60.91			1182	0.11
合计	75636	7.29	962262	92.70	117	0.01	1038015	100.00

表 2 各州市古树按等级统计

Tab. 2 Statistics of ancient trees in prefectures and cities by level

州市	一级古树		二级古树		三级古树		合计 株
	株数	百分比 /%	株数	百分比 /%	株数	百分比 /%	
昆明	22104	2.24	2284	3.87	55393	93.89	58996
曲靖	177	3.65	773	15.93	3903	80.42	4853
玉溪	472	2.15	3408	15.51	18093	82.34	21973
保山	219	2.36	729	7.87	8315	89.77	9263
昭通	191	4.22	257	5.67	4083	90.11	4531
丽江	55	4.51	467	38.31	697	57.18	1219
普洱	587611	65.89	264490	29.66	39677	4.45	891778
临沧	142	8.15	386	22.16	1214	69.69	1742
楚雄	143	3.32	689	16.02	3469	80.66	4301
红河	86	3.09	768	27.64	1925	69.27	2779
文山	1112	10.72	2946	28.41	6313	60.87	10371
版纳	40	1.91	87	4.16	1963	91.92	2090
大理	463	3.01	1450	9.43	13463	87.56	15376
德宏	36	0.66	266	4.91	5114	94.42	5416
怒江	26	1.28	580	28.60	1422	70.12	2028
迪庆	71	6.01	235	19.88	876	74.11	1182
合计	592163	57.05	279815	26.96	165920	15.99	1037898

表 3 古树名木树种株数统计

Tab. 3 Number statistics of ancient and famous tree species

种名	单株 /株	比例 /%	古树群 /株	比例 /%	总计 /株	比例 /%
普洱茶	151	0.20	874887	90.92	875038	84.30
黄连木	11813	15.59	4154	0.43	15967	1.54
黄背栎	3901	5.15	8169	0.85	12070	1.16
刺叶高山栎	197	0.26	10107	1.05	10304	0.99
高山榕	6379	8.42	2954	0.31	9333	0.90
罗浮栲	3	0.00	7618	0.79	7621	0.73
云南油杉	508	0.67	5782	0.60	6290	0.61
麻栎	3998	5.28	2141	0.22	6139	0.59
枹果	3375	4.46	1747	0.18	5122	0.49
黄葛树	3246	4.28	451	0.05	3697	0.36
清香木	2451	3.24	1204	0.13	3655	0.35
酸豆	2673	3.53	957	0.10	3630	0.35
滇合欢	256	0.34	2900	0.30	3156	0.30
泡核桃	1288	1.70	1865	0.19	3153	0.30
榉树	847	1.12	2264	0.24	3111	0.30
榕树	2515	3.32	469	0.05	2984	0.29
翠柏	146	0.19	2806	0.29	2952	0.28
高山栲	444	0.59	2507	0.26	2951	0.28
侧柏	1154	1.52	1743	0.18	2897	0.28
四蕊朴	2181	2.88	549	0.06	2730	0.26
其他树种	28227	37.26	26988	2.80	55215	5.32
总计	75753		962262		1038015	

3.3.2 古树名木树种组成

全省古树名木共 759 种 1 038 015 株,隶属 101 科 311 属。其中,双子叶植物 89 科 276 属 683 种、单子叶植物 2 科 5 属 7 种,裸子植物 9 科 28 属 67 种,蕨类植物 1 科 2 属 2 种。株数超过 2 700 株的有 20 个种,分别为:山茶科 Theaceae 的普洱茶 *Camellia sinensis* var. *assamica*, 875 038 株,占总株数的 84.30%,株数最多。其中:单株 151 株,占单株株数的 0.20%;古树群 874 887 株,占古树群株数的 90.92%,详见表 3。

1) 单株古树资源

全省单株古树共 732 种 75 636 株,隶属 101 科 298 属。其中,双子叶植物 89 科 264 属 660 种、单子叶植物 2 科 5 属 7 种,裸子植物 9 科 27 属 63 种,蕨类植物 1 科 2 属 2 种。其中:一级古树 3 162 株,占单株古树株数的 4.18%;二级 10 073 株,占 13.32%;三级 62 401 株,占 82.50%。

单株古树中,所有权为国有的 5 637 株,集体 63 365 株,个人 6 579 株,其他 55 株,分别占单株古

树总株数的 7.45%、83.78%、8.70% 和 0.07%。生长场所为城区的 4 943 株,占 6.54%;生长场所为乡村的 70 693 株,占 93.46%。

平均树龄 200 年,其中:一级古树 600 年,二级古树 350 年,三级古树 150 年。平均胸径 103 cm,其中:一级古树 175 cm,二级古树 136 cm,三级古树 95 cm。平均树高 18 m,其中:一级古树 22 m;二级古树 20 m;三级古树 17 m。平均冠幅 13 m,其中:一级古树 20 m;二级古树 17 m;三级古树 12 m。分布海拔 500 m 以下的 2 934 株、500~<1 000 m 的 10 903 株、1 000~<1 500 m 的 13 122 株、1 500~<2 000 m 的 38 246 株、2 000~<2 500 m 的 9 752 株、2 500~<3 000 m 的 620 株、3 000 m 以上的 59 株,分别占单株古树总株数的 3.88%、14.42%、17.35%、50.57%、12.89%、0.82% 和 0.08%。生长环境好的 43 282 株、中 29 894 株、差 2 460 株,分别占 57.23%、39.52% 和 3.25%。

古树生长状态正常 70 170 株、衰弱 4 740 株、濒危 712 株、死亡 14 株,分别占 92.77%、6.27%、0.94% 和 0.02%。

2) 古树群资源

全省古树群优势树种共 198 种 962 262 株,隶属于 56 科 119 属。其中,双子叶植物 49 科 101 属 172 种、单子叶植物 1 科 1 属 1 种,裸子植物 6 科 17 属 26 种。全省古树群 2 109 群 962 262 株,其中:一级 76 群 589 001 株,二级 247 群 269 742 株,三级 1 786 群 103 519 株。

古树群中,平均胸径 100 cm 以下的 1 364 群 952 021 株,分别占古树群及株数的 64.68% 和 98.70%;100~<300 cm 的 691 群 10 006 株,分别占 32.76% 和 1.04%;300~<500 cm 的 50 群 18 株,分别占 2.37% 和 0.02%;500 cm 以上的 4 群 137 株,分别占 0.19% 和 0.14%。

古树群平均高 10 m 以下的 138 群 875 850 株,分别占古树群的 6.54% 和 91.02%;10~<20 m 的 991 群 51 931 株,分别占 46.99% 和 5.40%;20~<30 m 的 805 群 31 342 株,分别占 38.17% 和 3.26%;30~<40 m 的 164 群 2 993 株,分别占 7.78% 和 0.31%;40 m 以上的 11 群 146 株,分别占 0.52% 和 0.02%。

古树群中,分布海拔 500 m 以下的 48 群 2 792 株,分别占古树群的 2.28% 和 0.29%;500~<1 000 m 的 439 群 4 204 株,分别占 20.82% 和 0.44%;1 000~<1 500 m 的 602 群 385 499 株,分别占 28.54% 和 40.06%;1 500~<2 000 m 的 621 群 522 699 株,分别占 29.45% 和 54.32%;2 000~<2 500 m 的 332 群 27 114 株,分别占 15.74% 和 2.82%;2 500~<3 000 m 的 56 群 18 282 株,分别占 2.66% 和 1.90%;3 000 m 以上的 11 群 1 672 株,分别占 0.52% 和 0.17%。

3) 名木资源

全省名木共 55 种 117 株,隶属于 28 科 42 属。其中:双子叶植物 22 科 36 属 46 种,单子叶植物 1 科 1 属 1 种,裸子植物 5 科 5 属 8 种。分布于 9 个州市,其中:昆明市 30 株,占全省名木总株数的 25.64%;玉溪市、丽江市、红河州和文山州各 1 株,各占 0.85%;保山市 6 株,占 5.13%;普洱市 3 株,占 2.56%;版纳州 64 株,占 54.70%;德宏州 10 株,占 8.55%。

名木生长场所为城区的 39 株,乡村的 78 株,分别占名木株数的 33.33% 和 66.67%。所有权为国

6.84% 和 2.56%。胸径 100 cm 以下的 106 株、100~<300 cm 的 11 株,分别占 90.60% 和 9.40%。树高 10 m 以下的 50 株、10~<20 m 的 46 株、20~<30 m 的 17 株、30~<40 m 的 4 株,分别占 42.74%、39.32%、14.53% 和 3.42%。冠幅 10 m 以下的 88 株、10~<30 m 的 29 株,分别占 75.21% 和 24.79%。生长环境好的 114 株、中 3 株,分别占 97.44% 和 2.56%。生长状态正常 116 株、衰弱 1 株,分别占 99.15% 和 0.85%。

4 古树名木资源特点

4.1 物种多样

根据本次调查,云南省共有古树名木 101 科 311 属 759 种,占云南省高等植物总数的 3.92%。其中种数超过 10 种的科有木兰科 9 属 31 种、樟科 Lauraceae 9 属 43 种、山茶科 3 属 12 种、杜英科 Elaeocarpaceae 2 属 13 种、梧桐科 Sterculiaceae 6 属 10 种、大戟科 9 属 13 种、蔷薇科 Rosaceae 17 属 43 种、苏木科 11 属 15 种、含羞草科 Mimosaceae 6 属 14 种、蝶形花科 12 属 25 种、杨柳科 Salicaceae 2 属 13 种、壳斗科 6 属 61 种、榆科 Umaceae 5 属 18 种、桑科 6 属 54 种、冬青科 Aquifoliaceae 1 属 13 种、楝科 11 属 19 种、无患子科 Sapindaceae 7 属 10 种、槭树科 1 属 12 种、漆树科 8 属 13 种、胡桃科 7 属 11 种、木犀科 6 属 16 种、紫葳科 7 属 13 种、松科 Pinaceae 8 属 25 种、柏科 Cupressaceae 7 属 17 种。

4.2 近半为国家级保护物种

云南省共分布有国家级保护植物 146 种,其中国家一级 38 种,二级 108 种。云南省 759 种古树名木中,有国家级重点保护植物 69 种,占云南省分布的国家重点保护植物(146 种)的 47.26%。其中国家一级 14 种,二级 55 种。云南省级保护植物共 218 种。759 种古树名木中有云南省级保护植物 10 种,全部为三级保护,占总数的 4.59%。

4.3 极小种群物种和特有古树种较多

云南省极小种群物种共 101 种。759 种古树名木中,有极小物种 20 种,占总数的 32.26%;中国特有植物 63 种,云南特有植物 21 种。

5 历次普查数据变化情况及原因

5.1 数量变化

2012 年全省古树名木普查总数是 1 732 772 株;2017 年调查结果显示,全省古树名木总株数为

1 038 015 株。两次普查数据差距较大的原因是:上期普查范围括自然保护区,范围较大,涉及古树资源广阔,且未区分单株古树和古树群;本期范围不包括国有林区原始林分和自然保护区,且 3 株以上古树以群落为单位进行普查。

5.2 生长势变化

生长势较 2012 年普查大体一致,全省共计 14 株死亡,濒危株 712 株,病弱株 4 711 株,其余长势均良好。究其原因是各级政府部门重视,各涉林单位加大保护力度,人民生活水平提高,生态保护意识增强。

5.3 分布变化

云南省单株古树 75 636 株,其中生长在乡村的总计有 70 693 株,生长在城市的有 4 943 株。乡村古树居多,主要是因为乡村地域较城市广阔,且位于乡村的古树名木在近几十年社会的高速发展中相较城市更易保留下来。

5.4 普洱茶古茶树占比较高

全省古树名木共 759 种 1 038 015 株,隶属 101 科 311 属。其中山茶科的普洱茶 875 038 株,占总株数的 84.30%,株数最多。其中:单株 151 株,古树群 874 887 株。其主要原因是在本次普查中,普查范围为全省除国有林区原始林分和自然保护区以外的所有古树名木,普洱茶刚好属于此范围;普洱茶有较高的经济价值,各级政府部门、集体、个人都高度重视,使得对古茶树保护力度大;其余科属古树分布较广,地方政府和群众对古树的值、作用和保护的意缺乏足够的认识,影响了古树名木保护工作的有序开展。

6 建 议

1) 开展古树名木的日常保护与抢救复壮工作

积极推进编制保护规划、强化保护措施、健全保护法规、完善保护政策等工作,推动对古树名木进行地方立法保护。利用普查结果,确定管护单位、管护人员,落实管护责任,加强日常管护工作。对生长状况不佳的古树名木开展抢救复壮。开展对古树的生

理生态学、抗衰老、抗病虫害、复壮、树龄测定等方面的科学研究,以更好地促进保护。

2) 积极推进古树名木认养和挂牌

鼓励社会各界认养古树名木,大力宣传古树名木文化。通过开展古树名木认养,进一步提高社会各界保护古树、爱护古树的意识,实现古树保护管理社会化,切实保护古树资源。根据普查成果,积极开展古树名木成果公布和挂牌保护管理工作。

3) 完善古树名木管理系统和档案管理

不断完善古树名木管理系统,收集古树名木的文字、影像等档案资料,完成相关资料的整理、归档工作,健全古树管理制度。

7 结 论

2017—2020 年古树名木普查工作准备时间充分,专业性较强,国家林业局规划设计院、省林业调查规划院技术指导组对各州(市)、县进行了技术培训和巡回指导,技术要求严格规范,使调查遗漏更少、更准确、更细致。通过本次调查,建立了全国古树名木管理信息系统,使各级管理单位可随时随地进行数据查看、更新管理;并生成古树二维码,一经挂牌,人民群众可随时查看古树信息,对古树名木的宣传、保护起到积极作用。

参考文献:

- [1] 朱晓丹,赵丽霞,张炜. 保护云南古树名木的意义及管理措施[J]. 中国林业,2011(3):60.
- [2] 杨贵新,廖礼英. 留住绿色忆乡愁—隆回县崇木幽古树公园建设侧记[J]. 林业与生态,2021(6):15-16.
- [3] 高正文. 开创地方立法先河 保护我国生物多样性宝库——《云南省生物多样性保护条例》解析[J]. 环境保护,2018,46(23):12-15.
- [4] 全国绿化委员会. 全国古树名木保护现状与对策[Z]. 2005.
- [5] 史梅. 云南省古树名木保护情况调研报告[J]. 云南林业,2013,34(1):52-53.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.021

巍山青华绿孔雀省级自然保护区药用植物资源多样性研究

杨淑娇¹, 王有兵¹, 胡昌平¹, 姜健发¹, 杨建军¹, 李茂松², 李婵瑾², 陈雁², 张志鑫²

(1. 云南省林业调查规划院大理分院, 云南 大理 671000; 2. 大理州科学技术成果促进转化中心, 云南 大理 671000)

摘要:为初步掌握巍山青华绿孔雀省级自然保护区药用植物资源概况,通过样线调查、物种鉴定和查阅资料,对保护区内药用植物资源进行了调查和分析。结果显示,保护区药用植物有 123 科 351 属 442 种,被子植物种数最多,生活型以草本占优势。在科、属构成上分布较分散,含 1 个种的科和属占绝对优势。保护区药用植物属于热带性质分布的属占优势,其次是温带性质分布的属。保护区药用植物保护价值较高,包含 4 种国家二级重点保护野生植物、13 种中国珍稀濒危保护植物以及 2 种中国特有植物。以全草和根及根茎入药的植物较多,药用植物功能多样,以清热解毒药和祛风湿药为主。以期为药用植物资源保护和开发利用提供建议和参考。

关键词:药用植物;物种多样性;巍山青华绿孔雀省级自然保护区;分布类型;药用部位;药用功效

中图分类号:S759.9;S759.82;Q16 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)04-0135-06

引文格式:杨淑娇,王有兵,胡昌平,等.巍山青华绿孔雀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,2024,49(4):135-140. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.021

YANG Shujiao, WANG Youbing, HU Changping, et al. Diversity Analysis of Medicinal Plant Resources in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve in Weishan[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4):135-140. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.021

Diversity Analysis of Medicinal Plant Resources in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve in Weishan

YANG Shujiao¹, WANG Youbing¹, HU Changping¹, JIANG Jianfa¹, YANG Jianjun¹
LI Maosong², LI Chanjin², CHEN Yan², ZHANG Zhixin²

(1. Dali Branch, Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Dali, Yunnan 671000, China;

2. Dali Science and Technology Achievement Transformation Center, Dali, Yunnan 671000, China)

Abstract: In order to understand the general situation of medicinal plant resources in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve in Weishan, the medicinal plant resources were investigated and analyzed by means of line transects, species identification and information query. The results showed that there were 442 species of medicinal plant belonging to 351 genera and 123 families in the reserve, with the highest number of angiosperms and the dominate life form of herbaceous. The constitution of families and genus of medicinal plant were relatively dispersive, and the families and genus that only contained one species dominated the absolute advantage in the reserve. The floristic characteristics of the genera of medicinal plant in

收稿日期:2023-03-19;修回日期:2023-04-19.

基金项目:大理白族自治州植物名录编撰项目(20232904D040001);云南省基础研究专项重大项目(202101BC070002);云南省科技厅 2023 年第二批科技成果转化专项资金(530000231100001753720).

第一作者:杨淑娇(1992-),女,云南大理人,硕士,工程师.研究方向为林业草原调查规划. Email:1483071362@qq.com

责任作者:王有兵(1986-),男,云南弥勒人,硕士,工程师.研究方向为林业资源调查、保护地监测及林木遗传育种. Email:1789908001@qq.com

the reserve were mainly tropical genera, followed by temperate genera. The medicinal plants in the reserve had high protection value, including 4 species of national second level key protected wild plants, 13 species of rare and endangered protected plants in China, and 2 species of endemic plants in China. The analysis of medicinal parts showed that whole herbs and roots were the most commonly used parts. The medicinal efficacy of medicinal plant in the reserve was diversified, dominated by medicinal plants of heat-clearing and wind-dispelling. The research results aimed to provide suggestions and references for the protection and development of medicinal plant resources.

Key words: medicinal plants; species diversity; Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve; areal-type; medicinal parts; medicinal efficacy

药用植物资源是自然界中对人类有直接或间接医疗作用和保健护理功能的植物资源^[1-2]。作为传统中医药的基础资源以及制药工业和保健行业的重要原材料^[3-4],一直以来药用植物资源在医药行业发挥着不可估量的作用。如今在崇尚自然养生,传统与现代医学逐渐整合的趋势下,作为天然药物的中草药备受关注,药用植物资源的地位和需求也越来越高^[5]。但长期以来,药用植物存在“重开发,轻保护”的问题,掠夺式开采导致许多野生药用植物日益减少,甚至一些珍稀濒危药用植物正面临灭绝的风险^[5]。对于药用植物资源的保护和重视,我国早在 20 世纪 80 年代就已经开始,但由于人为滥采乱挖严重以及欠缺科学的管理方法,药用植物资源的保护任重道远^[6]。自然保护区的建立有效地控制了人为干扰对药用植物资源的影响,在药用植物资源保护中发挥着重要作用^[1,4],但由于保护区药用植物资源本底不清,许多保护区未能很好地发挥其对药用植物资源的保护功能。

云南素有“植物王国、药物王国”的美誉,据调查云南省有 6 157 种药用植物^[5,7],天然药用植物资源居全国首位^[8],大理州药用植物资源也十分丰富,约有 736 种^[9]。巍山青华绿孔雀省级自然保护区是我国唯一以绿孔雀为单一保护对象的自然保护区,区内植物资源丰富,孕育着多样的药用植物资源,保护区的建立间接为区内药用植物资源提供了保护。但由于未系统调查保护区内药用植物资源,资源本底不清,此次对保护区内药用植物资源多样性进行调查分析,以期后续保护和开发利用提供依据。

1 研究区概况

巍山青华绿孔雀省级自然保护区(以下简称“绿孔雀保护区”)位于云南省大理白族自治州巍山

县青华乡,地理坐标为东经 100°11'29"~100°14'15",北纬 24°58'43"~25°00'43",总面积 1 000 hm²。绿孔雀保护区位于澜沧江支流黑惠江下游,地势北高南低,最高海拔 2 010 m,最低海拔 1 240 m,年降水量偏少,年均温为 16~20℃,气候类型属亚热带北部高原季风气候^[10]。植被类型有暖性针叶林、常绿阔叶林和稀树灌木草丛 3 种,土壤以红壤为主,同时存在少量黄红壤、褐色赤红壤和紫色土^[10]。

2 调查研究方法

2.1 数据来源

为获得绿孔雀保护区药用植物资源数据,于 2021 年 1 月至 2022 年 12 月采用样线调查法对植物资源进行全面调查,并通过《中国植物志》^[11]和《云南植物志》^[12]等对植物种类进行鉴定,整理了绿孔雀保护区植物名录。

2.2 资料查阅及整理

基于绿孔雀保护区植物名录,查阅《中华人民共和国药典》^[13]《全国中草药汇编》^[14-15]《云南中草药》^[16]《大理中药资源志》^[17]和《中药学》^[18]等文献资料,整理出药用植物名录,并统计其科及属构成、生活型、药用部位、功效等相关信息。参照吴征镒^[19-20]、李锡文^[21]、彭华等^[22]对中国种子植物属分布区类型的划分标准,分析保护区药用植物属的分布区类型。查阅《国家重点保护野生植物名录》(2021 年第 15 号)^[23]及《中国珍稀濒危保护植物名录》^[24]《中国生物多样性红色名录(高等植物卷)》^[25]《濒危动植物种国际贸易公约(CITES)附录》(2013 版)^[26]等资料,统计珍稀濒危药用植物资源。

3 结果与分析

3.1 绿孔雀保护区药用植物种类组成

绿孔雀自然保护区内共调查到维管植物 126 科

431 属 616 种,其中药用植物有 123 科 351 属 442 种,分别占绿孔雀保护区维管植物科、属、种总数的 97.6%、81.4%和 71.78%。绿孔雀保护区总面积 1 000 hm²,仅占大理州面积的 0.03%,云南省面积的 0.03‰,但其药用植物种数占大理州药用植物种数的 60.05%,占云南省药用植物种数的 7.18%,药用植物资源十分丰富。

绿孔雀保护区药用植物种类及生活型划分如表 1 所示。

表 1 巍山青华绿孔雀自然保护区药用植物分类
Tab. 1 Classification of medicinal plants in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve

生活型	被子植物			裸子植物			蕨类植物		
	科数	属数	种数	科数	属数	种数	科数	属数	种数
木本植物	57	113	140	2	2	3	0	0	0
草本植物	67	207	250	0	0	0	9	14	15
藤本植物	16	25	32	0	0	0	1	1	1
寄生植物	1	1	1	0	0	0	0	0	0

药用植物可分为 3 类,其中被子植物种数最多,有 423 种,占比 95.7%;蕨类植物次之,有 16 种,占比 3.6%;裸子植物相对较少,有 3 种,占比 0.7%。药用植物按生活型划分可分为 4 类,其中草本植物种数最多,有 265 种,占比 60.0%;木本植物次之,有 143 种,占比 32.3%;藤本植物有 33 种,占比 7.5%;寄生植物仅有 1 种,占比 0.2%。

3.2 绿孔雀保护区药用植物科及属构成

通过对绿孔雀保护区药用植物资源进行科级水平的多样性分析,结果如表 2 所示。

结果表明,只含 1 种药用植物的科有 59 科,占总科数的 48.0%;含 2~4 种药用植物的科有 38 科,占总科数的 30.9%;含 5~10 种药用植物的科有 19 科,占总科数的 15.4%;含 11~15 种药用植物的科有 3 科,占总科数的 2.4%;含 16~20 种药用植物的科有 1 科,即唇形科,占总科数的 0.8%;含 21 种以上药用植物的科有 3 科,仅占总科数的 2.4%,但包含了 102 种药用植物,占总种数的 23.1%,分别为菊科(44 种)、豆科(33 种)和禾本科(25 种)。

通过对绿孔雀保护区药用植物资源进行属级水平的多样性分析,结果见表 3。

结果表明,只含 1 种药用植物的属有 290 属,占总属数的 82.6%;含 2~4 种药用植物的属有 60 属,

表 2 巍山青华绿孔雀自然保护区药用植物不同科所含种数统计

Tab. 2 Number of species in different families of medicinal plants in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve

类别	科数 / 个	占比 / %	代表科	种数合计 / 种	占比 / %
1 种	59	48.0	榆科 Ulmaceae、芭蕉科 Musaceae、百合科 Liliaceae、菖蒲科 Acoraceae、大麻科 Cannabaceae	59	13.3
2~4 种	38	30.9	蒺藜科 Smilacaceae、车前科 Plantaginaceae、姜科 Zingiberaceae、景天科 Crassulaceae、楝科 Meliaceae	101	22.9
5~10 种	19	15.4	报春花科 Primulaceae、大戟科 Euphorbiaceae、兰科 Orchidaceae、毛茛科 Ranunculaceae、茜草科 Rubiaceae	124	28.1
11~15 种	3	2.4	锦葵科 Malvaceae、蔷薇科 Rosaceae、荨麻科 Urticaceae	40	9.0
16~20 种	1	0.8	唇形科 Lamiaceae	16	3.6
21 种以上	3	2.4	菊科 Asteraceae、豆科 Fabaceae、禾本科 Poaceae	102	23.1

表 3 巍山青华绿孔雀自然保护区药用植物不同属所含种数统计

Tab. 3 Number of species in different genera of medicinal plants in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve

类别	属数 / 个	占比 / %	代表属	种数合计 / 种	占比 / %
1 种	290	82.6	百日菊属 <i>Zinnia</i> 、半夏属 <i>Pinellia</i> 、薄荷属 <i>Mentha</i> 、报春花属 <i>Primula</i> 、苍耳属 <i>Xanthium</i>	290	65.6
2~4 种	60	17.1	蒺藜属 <i>Smilax</i> 、白酒草属 <i>Eschenbachia</i> 、半边莲属 <i>Lobelia</i> 、黄精属 <i>Polygonatum</i> 、还阳参属 <i>Crepis</i>	147	33.3
5~10 种	1	0.3	苧麻属 <i>Boehmeria</i>	5	1.1

占总属数的 17.1%;含 5~10 种药用植物的属仅有 1 属,占总属数的 0.3%。此外,少种属(含 1~4 种)所占比例最大,占总属数的 99.7%,其所含种数占药用植物总种数的 98.9%。

3.3 绿孔雀保护区药用植物分布区类型

根据吴征镒等对中国种子植物属的分布区类型

的划分标准,绿孔雀保护区药用种子植物 336 属可划分为 14 个分布区类型及 6 个变型(表 4)。

表 4 巍山青华绿孔雀自然保护区药用种子植物属的分布区类型

Tab. 4 Areal-types of medicinal plants in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve

分布区类型	属数/个	占比/%
1 世界分布	39	11.6
2 泛热带分布及其变型	81	24.1
3 热带亚洲及热带美洲间断分布及其变型	18	5.4
4 旧世界热带分布及其变型	23	6.8
5 热带亚洲至热带大洋洲分布及其变型	19	5.7
6 热带亚洲至热带非洲分布及其变型	15	4.5
7 热带亚洲分布及其变型	10	3.0
7-1 爪哇(或苏门达腊)、喜马拉雅间断或星散至华南、西南	9	2.7
7-2 热带印度至华南(尤其云南南部)	1	0.3
7-3 缅甸、泰国至华西南	1	0.3
7-4 越南(或中南半岛)至华南(或西南)	1	0.3
8 北温带分布及其变型	51	15.2
9 东亚和北美间断分布及其变型	10	3.0
10 旧世界温带分布及其变型	25	7.4
11 温带亚洲分布及其变型	3	0.9
12 地中海、西亚、中亚分布及其变型	6	1.8
14 东亚分布及其变型	12	3.6
14-1 中国—喜马拉雅	7	2.1
14-2 中国—日本	3	0.9
15 中国特有分布	2	0.6

从表 4 可知,除属于世界分布类型的 39 属外,所含属居前 3 位的分别是泛热带分布(81 属,占比 24.1%)、北温带分布(51 属,占比 15.2%)和旧世界温带分布(25 属,占比 7.4%)。总的来看,绿孔雀保护区药用种子植物中属于热带性质的属(类型 2~7 及其变型)有 178 属,占药用种子植物总属数的 53.0%;属于温带性质的属(类型 8~15 及其变型)有 119 属,占药用种子植物总属数的 35.4%。此外,药用种子植物中属于中国特有分布类型的有 2 属,分别为喜树属和牛筋条属。

3.4 绿孔雀保护区珍稀濒危药用植物

绿孔雀保护区珍稀濒危药用植物多样性分析见表 5。

调查发现绿孔雀保护区药用植物中列入《国家重点保护野生植物名录》有 4 种,保护级别均为国家二级;列入《濒危动植物种国际贸易公约(CITES)附录》有 9 种;列入《中国珍稀濒危保护植物名录》有 13 种,其中近危有 6 种、易危有 4 种、濒危有 3 种。此外,药用植物中有 2 种中国特有植物,即喜树和牛筋条。

3.5 绿孔雀保护区药用植物药用部位

药用植物存在同一植物不同部位均可入药的情况,如余甘子(*Phyllanthus emblica*)的果实、根和叶均可入药,在统计时多个部位均可入药的种类在不同药用部位植物中均进行分析(表 6)。

由表 6 可知,将绿孔雀保护区药用植物的药用部位分为 8 类进行统计,其中以全草类、根及根茎类作为药用部位的种类最多,分别占比 47.3%、39.4%;以叶类、果实及种子类作为药用部位的种类也较常见,分别占比 19.5%、13.1%;以花类、茎木类、皮类和

表 5 巍山青华绿孔雀自然保护区珍稀濒危药用植物统计

Tab. 5 Rare and endangered medicinal plants in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve

类型	级别	种数/种	种名
国家重点保护野生植物	二级	4	红椿 <i>Toona ciliata</i> 、春兰 <i>Cymbidium goeringii</i> 、细茎石斛 <i>Dendrobium moniliforme</i> 、七叶一枝花 <i>Paris polyphylla</i>
CITES	二级	9	春兰、虎头兰 <i>Cymbidium hookerianum</i> 、扇唇舌喙兰 <i>Hemipilia flabellata</i> 、华白及 <i>Bletilla sinensis</i> 、细茎石斛、霸王鞭 <i>Euphorbia royleana</i> 、见血青 <i>Liparis nervosa</i> 、龙头兰 <i>Pecteilis susannae</i> 、鹅毛玉凤花 <i>Habenaria dentata</i>
中国珍稀濒危保护植物	近危	6	小报春 <i>Primula forbesii</i> 、骨碎补 <i>Davallia trichomanoides</i> 、黑珠芽薯蓣 <i>Dioscorea melanophyma</i> 、黏山药 <i>Dioscorea hemsleyi</i> 、毛发唐松草 <i>Thalictrum trichopus</i> 、扇唇舌喙兰
	易危	4	泡核桃 <i>Juglans sigillata</i> 、红椿、春兰、槲木 <i>Aralia elata</i>
	濒危	3	秧青 <i>Dalbergia assamica</i> 、虎头兰、华白及
中国特有植物	—	2	喜树 <i>Camptotheca acuminata</i> 、牛筋条 <i>Dichotomanthes tristanii</i> carpa

表6 巍山青华绿孔雀自然保护区药用植物不同药用部位统计

Tab. 6 Statistics of different medicinal parts of medicinal plants in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve

序号	药用部位	种数/种	占比/%	具体部位(种数)
1	全草类	209	47.3	全草(183种)、全株(23种)、地上部分(3种)
2	根及根茎类	174	39.4	根及根茎(154种)、块根(7种)、块茎(11种)、鳞茎(1种)、假鳞茎(1种)
3	果实及种子类	58	13.1	果实(38种)、种子(18种)、种仁(1种)、籽(1种)
4	叶类	86	19.5	叶片(75种)、茎叶(7种)、枝叶(2种)、芽(1种)、珠芽(1种)
5	花类	33	7.5	花(29种)、花蕾(1种)、花粉(3种)
6	茎木类	30	6.8	茎(24种)、藤茎(2种)、心材(1种)、枝(2种)、秆(1种)
7	皮类	38	8.6	树皮(26种)、茎皮(3种)、根皮(7种)、皮(1种)、果皮(1种)
8	其他类	2	0.5	孢子(1种)、果上腺体粉末(1种)

注:某些药用植物有多种入药部位,部分药用植物物种重复统计。

其他类作为药用部位的种类相对较少。

3.6 绿孔雀保护区药用植物功效

在药用功效统计中,存在部分药用植物有多种

功效的情况,如益母草(*Leonurus japonicus*)既属于清热解毒药,又属于活血化瘀药,对于这部分药用植物在不同功效类型中均进行统计(表7)。

表7 巍山青华绿孔雀自然保护区药用植物功效统计

Tab. 7 Statistics of efficacy of medicinal plants in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve

功效类型	种数/种	占比/%	种名
清热解毒药	202	45.7	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i> 、夏枯草 <i>Prunella vulgaris</i> 、千里光 <i>Senecio scandens</i>
止咳平喘药	56	12.7	余甘子 <i>Phyllanthus emblica</i> 、苈草 <i>Arthraxon hispidus</i> 、显脉羊耳菊 <i>Duhaldia nervosa</i>
活血化瘀药	66	14.9	牛膝 <i>Achyranthes bidentata</i> 、红花 <i>Carthamus tinctorius</i> 、一品红 <i>Euphorbia pulcherrima</i>
祛风除湿药	89	20.1	大叶千斤拔 <i>Flemingia macrophylla</i> 、牛筋条、长托菝葜 <i>Smilax ferox</i>
利水渗湿药	31	7.0	疏花车前 <i>Plantago asiatica</i> 、蜀罂粟 <i>Argemone mexicana</i> 、榆树 <i>Ulmus pumila</i>
解表药	30	6.8	野拔子 <i>Elsholtzia rugulosa</i> 、西南笏子梢 <i>Campylotropis delavayi</i> 、戟叶酸模 <i>Rumex hastatus</i>
理气药	28	6.3	茴香 <i>Foeniculum vulgare</i> 、香附子 <i>Cyperus rotundus</i> 、野丁香 <i>Leptodermis potaninii</i>
止血药	32	7.2	龙牙草 <i>Agrimonia pilosa</i> 、宽叶母草 <i>Lindernia nummularifolia</i> 、野燕麦 <i>Avena fatua</i>
补虚药	24	5.4	轮叶黄精 <i>Polygonatum verticillatum</i> 、滇黄精 <i>Polygonatum kingianum</i> 、仙茅 <i>Curculigo orchioides</i>
驱虫药	12	2.7	白香薷 <i>Elsholtzia winitiana</i> 、皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i> 、银木荷 <i>Schima argentea</i>
收涩药	10	2.3	毛叶黄杞 <i>Engelhardia spicata</i> 、云南杨梅 <i>Morella nana</i> 、楹树 <i>Albizia chinensis</i>

注:某些药用植物的功效类型多样,部分药用植物重复统计。

由表7可知,绿孔雀保护区药用植物按功效分为清热解毒药、止咳平喘药、活血化瘀药和祛风除湿药等11种类型。其中占比最大的是清热解毒药,占比45.7%;其次为祛风除湿药,占比20.1%;活血化瘀药、止咳平喘药分别占比14.9%、12.7%。

4 讨论与结论

本次调查研究表明,绿孔雀保护区药用植物资源丰富,有123科351属442种,其中以被子植物种数最多,生活型以草本占优势。在科、属构成上分布较分散,含1个种的科和属占绝对优势,表明绿孔雀

保护区药用植物在种类组成方面具有较高的多样性^[27]。药用植物以热带性质分布的属为主,其次是温带性质分布的属,这与绿孔雀保护区处于澜沧江一级支流黑惠江河谷地带,海拔较低,有利于热带性质植物的生长有关,又因其地处滇西地区,纬度较高,不少温带性质植物得以繁衍。在绿孔雀保护区药用植物中有4种国家二级重点保护野生植物,13种中国珍稀濒危保护植物,以及2种中国特有植物,保护价值较高。以全草和根及根茎入药的植物较多,盲目采挖对这些药用植物的影响较大,易遭到破坏甚至绝迹^[4]。药用植物功能多样,以清热解毒药

和祛风湿药占优势。总的来说,绿孔雀保护区药用植物在种类、生活型、科及属构成、分布区类型、珍稀濒危植物等级、药用部位和功效等方面均体现出明显的多样性,不仅具有较高的保护价值,还具有较大的开发潜力。

建立自然保护区能有效控制人为干扰对区内药用植物资源的影响,但保护区的存在也间接限制了周边居民的发展,一定程度上削减了当地居民的经济收入^[28],因此在保护资源的同时,也要兼顾当地的经济的发展,在充分调查保护区药用植物资源多样性的基础上,平衡好资源保护和利用之间的关系。因此,依据此次调查结果,针对绿孔雀自然保护区药用植物资源的保护和开发利用,应加强保护,绿孔雀保护区管理部门应制定药用植物资源及其生境保护管理规定,并加强巡护,严厉打击破坏保护区药用植物资源的违法行为;加大宣传,通过科普等方式宣传药用植物资源保护的重要性,提高人们的保护意识;科学开采、高效利用,药用部位是地上部分的要留根,地下部分的要留种,减少滥采滥挖,实现药用资源持续再生;合理开发,充分利用当地环境优势,探索野生药用植物人工栽培技术,在满足资源需求,减少野生资源破坏的同时,也可增加保护区农民收入。

参考文献:

- [1] 高伦伦,杨华军,刘贵周,等. 无量山国家级自然保护区药用维管植物资源多样性研究[J]. 植物科学学报, 2018, 36(2): 203-210.
- [2] 郭巧生. 药用植物资源学[M]. 北京:高等教育出版社, 2007.
- [3] 杨建美,袁瑞雪,冶艳. 药用植物资源多样性研究进展[J]. 园艺与种苗, 2022, 42(11): 51-53.
- [4] 李海涛,管燕红,张丽霞,等. 元江自然保护区药用植物多样性研究[J]. 中药材, 2010, 33(4): 514-516.
- [5] 张金渝,金航,王波,等. 云南药用植物资源的保护与可持续利用[J]. 西南农业学报, 2006(19): 514-518.
- [6] 张诚程,陈婷欢,蒋源,等. 大围山国家森林公园药用植物资源调查与分析[J]. 湖南林业科技, 2023, 50(1): 15-23.
- [7] 戚淑威,杨少华,杨继承,等. 云南兰坪县药用植物资源调查研究[J]. 中国野生植物资源, 2021, 40(11): 74-80.
- [8] 辛文锋,张文生,王维生,等. 云南省大中药产业发展制约因素与对策浅析[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(10): 1509-1512.
- [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] 李斌强,李鹏映,杨家伟,等. 运用红外相机调查云南巍山青华绿孔雀自然保护区的鸟兽多样性[J]. 生物多样性, 2018, 26(12): 1343-1347.
- [11] 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, 1979.
- [12] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志(第十三卷)[M]. 北京:科学出版社, 2004.
- [13] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[S]. 北京:中国医药科技出版社, 2015.
- [14] 谢宗万. 全国中草药汇编(上册)[M]. 北京:人民卫生出版社, 1996.
- [15] 谢宗万. 全国中草药汇编(下册)[M]. 北京:人民卫生出版社, 1996.
- [16] 云南省卫生局革命委员会. 云南中草药[M]. 昆明:云南人民出版社, 1971.
- [17] 大理白族自治州人民政府. 大理中药资源志[M]. 昆明:云南民族出版社, 1991.
- [18] 钟贛生. 中药学[M]. 北京:中国中医药出版社, 2012.
- [19] 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.
- [20] 吴征镒. “中国种子植物属的分布区类型”的增订和勘误[J]. 云南植物研究, 1993(增刊IV): 141-178.
- [21] 李锡文. 云南高原地区种子植物区系[J]. 云南植物研究, 1995, 17(1): 1-14.
- [22] 彭华. 滇中南无量山种子植物[M]. 昆明:云南科技出版社, 1998.
- [23] 国家林业和草原局-农业农村部. 国家重点保护野生植物名录[Z]. 2021.
- [24] 中国科学院植物研究所. 中国珍稀濒危保护植物名录[DB/OL]. (2021-09-07). <http://www.iplant.cn/rep/protlist>.
- [25] 中国科学院植物研究所. 中国生物多样性红色名录(高等植物卷)[DB/OL]. (2023-02-11). <http://www.iplant.cn/rep/protlist/7>.
- [26] 中国科学院植物研究所. 濒危动植物种国际贸易公约(CITES)附录(2013版)[DB/OL]. (2023-02-11). <http://www.iplant.cn/rep/protlist/7>.
- [27] 申仕康,吴富勤,张爱丽,等. 云南省腾冲县药用维管植物资源与多样性[J]. 植物科学学报, 2014, 32(3): 289-296.
- [28] 王丽达. 生物多样性保护与社区发展——以云南省南涧无量山自然保护区周边社区为例[J]. 云南环境科学, 2003(3): 31-33.

责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.022

RTK 在全国林草生态综合监测森林样地调查中的应用

高林, 樊骥善, 汤明华

(云南省林业调查规划院生态分院, 云南 昆明 650031)

摘要: RTK 定位技术是目前使用最为广泛的高精度定位技术, 应用 RTK 技术, 通过硬件主机、手簿、平板电脑、测量软件、CORS 通信技术与全国林草生态综合监测外业采集系统有机结合, 能相互补充, 快速精准测量定位样地和样木。文中阐述 RTK 系统组成、测量定位基本原理、工作模式及其与林草生态综合监测 APP 的关联应用, 包括 CORS 账号的应用、Hi Survey 软件的应用、RTK 连接平板电脑后对样地和样本的定位。该技术提高了定位精度, 使森林样地监测信息更加精准可靠。

关键词: RTK; 森林样地调查; 样地样木定位; CORS 账号; Hi Survey; 全国林草生态综合监测

中图分类号: P227; S757.21; X835 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0141-06

引文格式: 高林, 樊骥善, 汤明华. RTK 在全国林草生态综合监测森林样地调查中的应用[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 141-146. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.022

GAO Lin, FAN Jishan, TANG Minghua. Application of RTK in National Forest and Grass Ecological Comprehensive Monitoring Forest Sample Survey[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 141-146. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.022

Application of RTK in National Forest and Grass Ecological Comprehensive Monitoring Forest Sample Survey

GAO Lin, FAN Jishan, TANG Minghua

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

Abstract: RTK positioning technology is currently the most widely used high-precision positioning technology. By applying RTK technology and organically combining hardware host, notebook, tablet computer, measurement software, CORS communication technology with the national forest and grass ecological comprehensive monitoring field collection system, the sample plot and sample wood could be quickly and accurately measured and located. This paper elaborated the composition of the RTK system, basic principles of measurement and positioning, working modes, and the related applications with the comprehensive monitoring APP, including the application of CORS account, Hi Survey software, and RTK's positioning of sample plot and sample wood after connecting to tablet computer. This technology improved positioning accuracy and made forest sample monitoring information more accurate and reliable.

Key words: RTK; forest sample survey; positioning of sample plot and sample wood; CORS account; Hi Survey software; national forest and grass ecological comprehensive monitoring

随着卫星定位技术的快速发展, 人们对快速高精度位置信息的需求也日益强烈。而目前使用最为

广泛的高精度定位技术就是 RTK (实时动态定位: Real-Time Kinematic), RTK 技术的关键在于使用了

收稿日期: 2022-10-08; 修回日期: 2023-08-11.

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

第一作者: 高林 (1972-), 男, 云南宣威人, 工程师. 主要从事森林规划设计调查工作. Email: 1186902887@qq.com

责任作者: 汤明华 (1981-), 男, 云南会泽人, 硕士, 高级工程师. 主要从事森林规划设计调查工作. Email: 530490253@qq.com

GPS 的载波相位观测量的实时差分 GPS(GPS-RTK) 测量技术,并利用参考站与移动站之间观测误差的空间相关性,通过差分方式除去移动站观测数据中的大部分误差,从而实现高精度(分米甚至厘米级和毫米级)定位^[1]。为了保证得到满意的定位精度,传统的单机 RTK 作业距离非常有限,原来的手持 GPS 设备定位精度仅能达到 10 m 级或米级定位。为克服传统 RTK 技术缺陷,在 20 世纪 90 年代中期,人们提出了网络 RTK 技术。在网络 RTK 技术中,线性衰减的单点 GPS 误差模型被区域型的 GPS 网络误差模型所取代,即用多个参考站组成的 GPS 网络来估计一个地区的 GPS 误差模型,并为网络覆盖地区的用户提供校正数据。而用户收到的也不是某个实际参考站的观测数据,而是一个虚拟参考站的数据,是与距离自己位置较近的某个参考网格的校正数据,因此,网络 RTK 技术又被称为虚拟参考站技术(Virtual Reference)。

1 RTK 技术样地测量、定位的基本原理

1.1 RTK 系统组成

RTK 系统组成有 3 部分:(1)卫星信号接收系统,必须有 2 台以上的 GPS 接收机设在基准站和移动站上,当基准站在同一时间为多个用户服务时,需选择双频 GPS 接收机,从而确保其采样率与移动站采样率达到一致。(2)数据传输系统,数据传输系统主要是通过基准站的数据发射装置与移动站数据接收装置相结合而成,是 RTK 技术中的重要设备。(3)软件解算系统,软件解算系统能有效地确保 RTK 系统测量结果的正确性^[1]。

1.2 RTK 系统测量定位基本原理

RTK 测量利用载波相位差分 GPS 技术进行实时定位,差分 GPS 技术利用了基准站与流动站之间空间的相关性进行差分改正,从而将定位误差缩小。标准的差分 GPS 原理是将基准站架设在高精度的已知控制点上,通过基准站单点定位确定测站位置坐标,然后通过实时定位测得的坐标与控制点坐标进行比对,从而确定基准站上的定位误差。但在实际生产中,为了提高测量效率,基准站通常也可以架设在未知点上。

GPS 系统定位采用 WGS-84 坐标系,是一个地心坐标系,所有的 GPS 定位测得的坐标均是基于该坐标系的坐标。换言之,GPS 只能识别 WGS-84 坐标。但在实际应用中,用户基于定位精度、坐标保密、控制变形等原因往往会建立其他坐标系统。这样就

涉及到坐标系统之间的相互转换,这就是为何几乎所有的 GPS 解算软件中都有坐标系统转换程序。

我国使用的平面坐标系统主要有北京 54 坐标系统、西安 80 坐标系统和国家 2000 坐标系统,这三者之间的本质区别在于采用了不同的椭球基准。高程坐标系统主要有 1956 黄海高程基准和 1985 国家高程基准两个系统组成。RTK 测量过程中坐标系统的转换分为平面转换和高程转换两个方面。

移动站在接收来自基准站的数据时,同步观测采集 GNSS 卫星载波相位数据,通过系统内差分处理求解载波相位整周模糊度,根据移动站和基准站的相关性得出移动站的平面坐标 x 、 y 和高程 h ^[2]。

1.3 RTK 系统工作模式

RTK 系统的测绘仪器配套模式一般有基准站+移动站,RTK+CORS 账号两种模式。其中 RTK 基准站配套移动站需要两台仪器,RTK 配套 CORS 账号只需要一台移动站即可。本次外业调查采用的工作模式,网络 RTK 模式里的 CORS 账号可以是省 CORS,也可以是千寻 CORS,但省 CORS 的地域限制太强,这里的 CORS 账号是千寻 CORS 账号或移动 CORS 账号,CORS 账号必需通过各公司开发的软件设置才能使用。

第一种工作模式:测绘精度要求高,所处的测量环境比较恶劣,采用 1+1 的模式(基准站+移动站=毫米级定位),这种模式信号比较稳定,受外界干扰小,但所需附件较多,并且携带不方便,对流动性大的工作不适宜,但不需进行测绘工作时,仪器闲置折旧,算是间接性的浪费。所需硬件和配件为主机、小天线、手薄、手薄托架、脚架、电台、外挂天线、电瓶和碳纤杆等,所需软件为手薄上的软件、CAD 软件。

第二种工作模式:RTK+CORS 账号模式(移动站+CORS 账号(虚拟参考站)=厘米级定位),也就是专业所称的“网络 RTK”,这种模式只需要一台仪器,一定程度上能减轻外业工作人员的负重,且 CORS 账号即买即用,可以根据工作时间的长短选用不同服务期限的账号,5G 网络的覆盖面大,信号强,这种工作模式对外业人员的诱惑力较大。

2022 年全国森林资源综合监测外业调查,云南省采用第二种工作模式结合全国森林资源综合监测外业采集系统 APP 作业,所需硬件和配件(中海达 RTK 和华为平板电脑为主)为平板电脑、主机、小天线、手薄、手薄托架和碳纤杆等,所需软件为手薄上的 Hi Survey 软件(需在平板电脑下载安装 Hi Survey 软件)、CORS 账号、4G/5G SIM 卡。

2 RTK 系统与林草生态综合监测 APP 的关联应用

森林样地外业调查涉及到的软件有 Hi Survey、CORS 账号、4G/5G SIM 卡,均需在外业中应用、设置和使用。

2.1 CORS 账号的应用

目前国内有 5 种 CORS 账号,分别为千寻 CORS 账号、中国移动 CORS 账号、六分 CORS 账号、北斗 CORS 账号和讯腾 CORS 账号。以千寻 CORS 账号设置方法为例,其余大同小异。

1)准备工作:一台移动站、一个千寻 CORS 账号和一张 SIM 流量卡。

2)移动站(手簿)网络连接 CORS:设置移动站(手簿)网络模式,放入流量卡,使移动站主机设备正常连接网络;打开手簿上的 Hi-Survey 软件,进入[设备]→[设备连接]→[蓝牙主机号],设备连接成功后返回[设备]→[移动站]→[数据链]→[选择内置网络或手簿差分]→[截止高度角据实填写]→[移动站选择 CORS]→[IP 根据账号获取]→[端口选择 8003]→[源节点选择设置获取 RTCM32_GGB]→[用户名根据账号获取]→[密码根据账号获取],设置完成后在手簿右上角移动站状态显示固定,设置完成可以作业。

3)创建项目设置参数:进入[项目]→[项目信息]→[创建项目完成后],返回[项目]→[项目设置]→[坐标系统]→[投影选择高斯三(六)度带]→[项目信息]→[中央子午线点击获取得到当地数据]→其余不动,如需加带号(云南省 17 和 18 度带)点击获取,设置完成后点击保存,再次回到[基准面]→[源椭球选择 WGS84]→[目标椭球选择 CGCS2000],设置完成后点击保存。

移动站设置连接 CORS 账号成功后,手簿(平板电脑)上会出现单点解、差分解、浮动解和固定解 4 个信号显示状态,当出现单点解时,RTK 在工作时移动站和虚拟参考站(CORS)相互不能联系,只有移动站在工作,一般精度不高,与传统手持 GPS 采集的数据误差相似。差分解时有信号,但由于各种原因,如卫星数量太少或移动站位置太偏或者是 CORS 信号覆盖强度不够,导致交汇数据精确度非常低,一般偏差有几米。浮点解精度相对高一些,有时也勉强达到 10 cm 以内的精度。固定解是最精确的数据,精度一般在 3~5 cm,基本上可以作为图根点使用,也可以直接用于测量中的各种放样。根据森林

资源综合监测外业数据采集对 RTK 精度的要求,在外业调查中,尽量把调查精度提高,如只达到单点解和差分解,需辅以其它说明,有条件时需现地校正。

2.2 Hi Survey 软件的应用

Hi Survey 主界面菜单结构及涉及的主要内容详见表 1。

表 1 Hi Survey 主界面菜单结构及涉及的主要内容
Tab. 1 Menu structure of Hi Survey main interface and main content involved

主要菜单	二级菜单	林草生态综合监测外业调查涉及的主要内容
项目	项目信息、项目设置、坐标系统、参数计算、点数据、影像图库、数据交换、文件传输、图例编码、点校验	项目信息:创建项目名称 项目设置:对项目数据进行管理 坐标系统:对投影(获取当地中央子午线),基准面(设置目标椭球)进行设置 点数据:查找采集的坐标点或输入的坐标点 数据交换:导入导出项目数据
设备	设备连接、基准站、移动站、演示模式、辅助功能、静态采集、测距仪、SIM 卡充值	设备连接:对主机(移动站)蓝牙机身号进行连接 移动站:对相关数据链、截止高度角、服务器、IP、端口、源节点、用户名、密码进行设置和选择
测量	碎部测量、图根测量、影像测量、AR 测量、点放样、线放样、面放样、CAD 放样、道路放样、横断面采集、电力勘测、杆塔放样等	碎部测量:对 NEZ 数据进行采集,采集完成后命名保存 点放样:对样地西南角、西北角、东北角和东南角进行寻找和定位,选中要导航到的样地角点,放样该点,手簿就会显示移动站距离目标角点的距离和方位,按照所指示的方向前进,即能成功到达目标角点 线放样:找到定位西南角后,向北(横坐标)加 28.28 m,向东(纵坐标)加 28.28 m,用手簿进行线放样,寻找其余各角,固定解时对新设样地可以不架罗盘直接放样定位样地
工具	角度换算、距离换算、坐标换算、面积计算、间接测量、土方计算、点线关系、缓曲计算等	坐标换算:主要是源椭球和目标椭球的转换 其余工具:可以调出进行使用

Hi Survey 软件主要安装在主机手簿上应用,同时也需安装在平板电脑上进行应用,使主机(移动站)与手簿和平板电脑自由连接,主机在与手簿连接时需断开平板电脑连接,反过来主机在与平板电脑连接时也需断开手簿连接。Hi Survey 软件可以使主机(移动站)与手簿和平板电脑三者自由衔接,在测量中进行放样和定位。

3 RTK 在全国林草生态综合监测数据采集系统中的应用



全国林草生态综合监测数据采集系统利用安卓平板电脑,拷贝桌面端分发的样地分布数据,加载高分遥感影像或扫描地形图,借助卫星动态导航定位快速进行样地(木)定位和复位、航迹采集、实地拍摄照片。在现地数字化采集蓄积量调查因子。在采集调查数据时,系统自动进行各种逻辑检查和计算工作。极大地降低了野外调查劳动强度,确保调查成果质量。导航或寻找到样地后打开采集系统里的样地号进入系统操作^[3-4]。

3.1 准备工作

在平板电脑上安装综合监测 APP,Hi Survey 软件,安装完成后对平板电脑进行设置,进入设置菜单→关于平板电脑→版本号(进行 5~6 次点击,直到出现【你已处于开发者模式,无需进行此操作】),然后返回设置菜单→开发者选项→USB 调试→选择模拟位置信息应用,这样就激活了平板电脑与 RTK

关联的关系。

3.2 进入综合监测 APP 后连接 GPS 设备源

1) 在综合监测主页面,点击图标,弹出设置界面,找到 GPS 设备源,选择 RTK【本次调查选择通用(中海达/南方 RTK)】,进入连接界面,点击“蓝牙连接”,进入连接设备界面,点击右上角“搜索”^[3-4],选择搜索到的对应的 RTK 设备名,点击配对,一台平板电脑只能连接一台 RTK,目前软件里 GPS 设备源有 6 家公司:分别是中海达/南方 RTK、展讯 RTK、中海达 RTK、合众思壮 RTK、千寻位置 RTK 和 华测 RTK。

2) 配对成功后,点击“返回”,回到连接界面,这时界面上多了一个 COSR 站连接,点击进去,输入 IP、端口、CORS 站的账号密码后,自动获取基站号,点击登录,即可登录 COSR 站。


目前综合监测 APP 系统里有 16 个菜单,涉及到 RTK 在系统中的应用共有 4 个菜单,分别是:样地特征、样地因子、样木位置和每木检尺(图 1)。



图 1 综合监测 APP 系统里的 16 个菜单

Fig. 1 16 orders in comprehensive monitoring APP system

3.3 RTK 连接平板电脑后对样地的定位

综合监测 APP 在线登录或离线登录成功后,通过平板电脑设备 GPS,选择样地号,进入样地导航,到达样地,找到西南角(可根据样地定位物后方交汇或者西南角原定位石(木桩)等确定,点击进入样地特征菜单下的样地角点→添加行→角点名称→西南角→点击定位按钮,弹出窗口,点击右下角的“添加”,系统自动添加 10 个定位坐标,点击“确定”,系统自动

计算出坐标平均值,填入横纵坐标,其余的西北角、东北角和东南角通过罗盘测距,手簿放样寻找到定位点后可以采用西南角定位方法确定 X 和 Y 坐标值。


另外在样地因子调查记录表中,点击“5. GPS 纵坐标后的转按钮”,可把在样地特征下的样地角点西南角坐标直接同步过来,点击“6. GPS 横坐标后的定位按钮”,也可直接定位西南角坐标,但两个菜单下采集的数据需一致(图 2,图 3)。



图 2 样地因子调查记录表中的定位

Fig. 2 Positioning in the factor survey record form of the sample plot

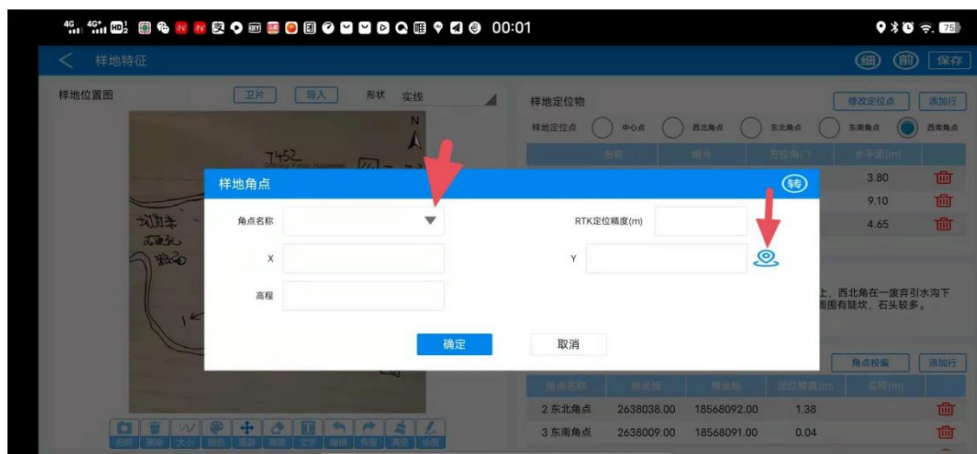


图 3 样地特征里的定位

Fig. 3 Positioning in sample plot features

3.4 RTK 连接平板电脑后对样木的定位

确定样地范围后,在样地里以四角为定位点进行样木定位,一般选择接近样木的角点来进行定位精度更高,通常情况下只要一个角点定位后,也可以通过这个角点来完成每木定位,但有些样木定位精度稍微差一些。

在每木检尺界面下定位样木操作流程:进入每木检尺菜单→选择样木号→确定定位点(西南角、西北角、东北角和东南角)→选择定位样木→点击定位按钮,弹出窗口,点击右下角的“添加”,系统自动添加 10 个定位坐标,点击“确定”,系统自动计算出坐标平均值、方位角和水平距,再次点击样木界面的确定,通过以上操作在样木位置图上就可以看到样木的位置(图 4)。

在样木位置示意图界面下,可以通过 RTK 主机在样地里的图标显示来判断样木定位的位置是否正确或是否需要校正,如果需要定位和校正,可以通过样木位置示意图里的几个工具条来实现校正(图 5)。

- 1) 通过工具条 \oplus 符号在样木位置图上添加样木,根据确定的样木位置自动计算出方位角和水平距。
- 2) 通过工具条 \blacktriangleleft 符号在样木位置图上选择样木,编辑样木的每一步操作需先选中样木。
- 3) 通过工具条 hand 符号在样木位置图上移动样木,如果需要大幅度移动样木,用该工具条相当方便。
- 4) 通过工具条 \odot 符号在样木位置图上向左、向右、向上、向下移动选中样木位置,一般用于微调样木位置。



图 4 样木定位

Fig. 4 Positioning of sample wood



图 5 样木位置示意图工具条

Fig. 5 Schematic diagram of sample wood position tool strip

4 结 语

RTK 测量技术在近几年林草生态综合监测中得到广泛应用,极大地推动了传统森林资源连续清查工作向现代化、精准化和高效化转变,极大地提高了工作效率,提高了定位精度,改变了使用传统 GPS 定位的森林资源复查和样地样木复位方式,使林草生态监测信息更加精准可靠。

参考文献:

[1] 张冠军,张志刚,于华. GPS RTK 测量技术实用手册

[M]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.

[2] 徐彦田,程鹏飞,秘金钟,等. GNSS 网络 RTK 技术原理与工程应用[M]. 北京:国防工业出版社,2021.
 [3] 西安瑞特森信息科技有限公司. 国家林草生态综合监测外业采集系统用户手册[Z]. 2021:2-73.
 [4] 国家林草湿调查监测领导小组办公室. 2022 年全国森林草原湿地调查监测操作手册(试行)[Z]. 2022.
 [5] 云南省林业和草原局. 2022 年全国森林、草原、湿地调查监测云南省森林样地调查操作细则[Z]. 2022.

责任编辑:许易琦

校 对:许易琦,董磊

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.025

德宏州油茶优良品种选育

万文, 卢靖, 杨丽梅, 梁晓碧

(德宏州野生动物收容救护中心, 云南 芒市 678400)

摘要:以德宏州芒市五岔路乡油茶基地的 6 个油茶品种果实为试验材料, 测定其经济性状、加工性能及脂肪酸组成和含量, 与德林油 4 号进行比较, 采用模糊综合评判法, 以果形指数、单果重、果皮厚、鲜出籽率、干籽含油率、鲜果含油率和硬脂酸、棕榈酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生稀酸含量等为评价因素, 综合分析并排序。结果表明, 果实形态方面, 3、4、5 号油茶品种均优于德林油 4 号, 6 个油茶品种单果重均大于德林油 4 号; 出籽率方面, 2 号油茶品种高于德林油 4 号; 3、4、5 号油茶品种干籽含油率和鲜果含油率均高于德林油 4 号; 6 个油茶品种茶油不饱和脂肪酸含量均大于德林油 4 号。综合评价结果, 4、3、5 号油茶品种各项指标均高于德林油 4 号, 可作为下一步油茶良种选育目标。

关键词:油茶; 良种选育; 综合评价; 德宏州

中图分类号: S722.33; S794.4 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0159-05

引文格式: 万文, 卢靖, 杨丽梅, 等. 德宏州油茶优良品种选育[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 159-163.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.025

WAN Wen, LU Jing, YANG Limei, et al. Breeding Selection of *Camellia oleifera* Excellent Varieties in Dehong Prefecture [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 159-163. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.025

Breeding Selection of *Camellia oleifera* Excellent Varieties in Dehong Prefecture

WAN Wen, LU Jing, YANG Limei, LIANG Xiaobi

(Dehong Wildlife Rescue Center, Mangshi, Yunnan 678400, China)

Abstract: The fruits of six *Camellia oleifera* varieties from the base in Wuchalu Township, Mang City, Dehong Prefecture, were used as experimental materials to analysis their economic properties, processing performance and fatty acid composition and content. Compared with Delinyou 4, the fruit shape index, single fruit weight, peel thickness, fresh seed rate, dry seed oil rate, fresh fruit oil rate, stearic acid, palmitic acid acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, and peanut dilute acid content were used as evaluation factors for comprehensive analysis and ranking by using fuzzy comprehensive evaluation method. The results showed that in terms of fruit morphology, varieties 3, 4, and 5 were superior to Delinyou 4, and the single fruit weight of all six varieties was greater than Delinyou 4; the seed yield of variety 2, the oil content of dry seeds and fresh fruits of varieties 3, 4 and 5, and the content of unsaturated fat acid in the six varieties were all higher than that of Delinyou 4. According to the comprehensive evaluation re-

收稿日期: 2023-09-07.

第一作者: 万文(1987-), 女, 云南芒市人, 工程师. 从事林木良种繁育工作. Email: 2275047476@qq.com

责任作者: 卢靖(1974-), 男, 湖北阳新人, 正高级工程师. 从事森林培育等林业科研工作. Email: huibeilujing@126.com

sults, the various indicators of *Camellia oleifera* varieties 3, 4 and 5 were better than Delinyou 4, which could be used as the next target for the breeding selection of *Camellia oleifera* excellent varieties.

Key words: *Camellia oleifera*; breeding selection of excellent varieties; comprehensive evaluation; Dehong Prefecture

油茶(*Camellia oleifera* Abel.)为山茶科山茶属多年生植物,原产中国,是世界四大木本油料树种之一,在我国栽培历史逾 2000 年,目前世界上将其作为食用油料树种栽培的只有中国^[1]。德宏油茶栽培历史悠久,早在上世纪 80 年代就引进种植,截至 2022 年底,全州油茶保存面积约 0.67 万 hm^2 ,总产量为 315 万 kg ,综合产值 8 120 万元。由于人们对其价值认识不够,基本处于粗放管理、自生自灭状态,因而造成目前油茶树资源匮乏、品种单一、单产低、品质差、良种繁育和栽培技术落后、产业化程度低等现状^[2]。茶油是一种优质食用油,其不饱和脂肪酸含量丰富,高达 90%,其中单不饱和脂肪酸含量超过 75%,且不易在空气中被氧化,易为人体吸收利用,具有抗血管硬化和降血脂、血压的功效,有益于人体健康。油茶因其茶果油质佳、功能特性好、经济效益高等优点,有着广阔的发展前景^[3]。

目前,我国对于油茶的研究主要集中在种植管理和茶油的化学组分方面^[4-6],湖南、浙江、广西等省在油茶良种选育方面开展了大量研究^[7-11]。2009 年以来德宏州把发展油茶作为一项增加农民收入和经济发展的重点工作来抓,实施了国家油茶示范基地建设、省级油茶基地建设等项目,采取多项措施,以项目建设推动油茶产业发展。目前有云南省认定油茶良种 6 个,省级审定油茶良种 1 个(德林油 4 号),油茶良种紧缺,限制了德宏州油茶产业的进一步发展。本文拟通过对德宏州芒市地区产量高且稳定的 6 个油茶品的调查分析,与德林油 4 号进行综合比较,为合理开发利用油茶物种资源和良种选育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地选择德宏州芒市五岔路乡 2012 年种植的茶油基地,该基地少部分林农种植的茶油经济表现良好,最高产量达 19.5 t/hm^2 ,年产值达 7.5 万元/ hm^2 ,基地产生大量的变异树种,油茶树表现出明显的优劣差异。试验选择树形好、产量高、大小年不明显的 6 个油茶品种,分别为 1、2、3、4、5、6 号油

茶,待果实成熟时,每个品种选择 1 株表现平均,基本能体现该品种特点的样树随机采摘部分果实,每个油茶品种样树随机采集 1 000 g 以上果实,用保鲜袋装好封实待检。

1.2 试验地概况

芒市地处低纬高原,云南省西部,德宏州东南部,位于东经 $98^{\circ}01' \sim 98^{\circ}44'$,北纬 $24^{\circ}05' \sim 24^{\circ}39'$ 。年均温 19.6°C ,最热月(6 月)均温 24.1°C ,最冷月(1 月)均温 12.3°C ,极端最低温 -0.6°C ,年积温 $7\ 170^{\circ}\text{C}$ 。年均降水量 1 654.6 mm ,雨季(5—10 月)降水量占全年降水量的 89%。日照时数 2 252.9 h ,蒸发量 1 723.6 mm ,无霜期 315 d 。

1.3 检测内容与方法

样品送至湖南省林业科学院国家油茶工程中心进行检测。工程中心依据相关标准进行检测,检测指标主要包括:果高、果径、单果重、果皮厚、鲜出籽率、干籽含油率、鲜果含油率、棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生稀酸等脂肪酸的组成和含量。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2007 数据处理软件对测定数据进行处理,采用模糊综合评价法对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 检测结果

6 个油茶品种检测结果见表 1。

从表 1 可以看出,从果实形态方面比较,3、4、5 号油茶品种均优于德林油 4 号;6 个油茶品种单果重均大于德林油 4 号;从出籽率比较,2 号油茶品种高于德林油 4 号;3、4、5 号油茶品种干籽含油率和鲜果含油率均高于德林油 4 号;6 个油茶品种茶油不饱和脂肪酸含量均大于德林油 4 号。

2.2 结果分析

2.2.1 数值转换

果形指数(shape index)是指果实纵径与横径的比值。果形指数是某些商品果实的质量指标之一。为了便于统计分析,把 6 个油茶品种与德林油 4 号的果高与果径数值转化为果形指数(表 2)。

表 1 6 个油茶品种检测结果
Tab. 1 Test results of six *Camellia oleifera* varieties

检测指标	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	德林油 4 号
果高/mm	43.530	42.260	47.650	41.360	31.900	40.530	37.090
果径/mm	43.790	46.790	48.590	44.330	38.550	41.180	33.360
单果重/g	42.970	46.120	57.000	43.390	24.400	34.080	21.370
果皮厚/mm	4.720	4.150	4.370	3.240	3.250	4.450	4.030
鲜出籽/%	41.620	47.040	39.410	42.210	41.440	39.960	43.000
干籽含油率/%	21.920	25.650	34.410	32.060	34.700	28.930	31.050
鲜果含油率/%	3.700	6.200	7.600	7.100	8.700	5.300	6.900
棕榈酸 C16:(0)/%	9.625	7.696	9.365	9.891	7.725	9.603	8.540
硬脂酸 C18:(0)/%	1.025	2.114	0.826	0.895	1.651	0.906	1.850
油酸 C18:(1)/%	74.199	80.511	78.963	77.271	80.688	76.534	76.120
亚油酸 C18:(2)/%	13.981	8.775	9.982	11.016	9.128	11.961	11.410
亚麻酸 C18:(3)/%	1.097	0.864	0.801	0.858	0.774	0.921	1.190
花生烯酸 C20:(1)/%	0.072	0.041	0.061	0.069	0.055	0.075	0.072

表 2 果高与果径数值转换为果形指数

Tab. 2 Fruit shape index for the conversion of fruit height and fruit diameter values

指标	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	德林油 4 号
果高/mm	43.53	42.26	47.65	41.36	31.90	40.53	37.09
果径/mm	43.79	46.79	48.59	44.33	38.55	41.18	33.36
果形指数	0.99	0.90	0.98	0.93	0.82	0.98	0.89

2.2.2 评价因素选择

油茶经济性状、加工性能及茶油果油品质是油茶优树筛选、良种选育的重要参考指标,作为第一级评价因素。在油茶经济性状中,果形指数、单果重、果皮厚度是重要影响因子,作为第二级评价因素;在油茶茶果加工性能中,鲜出籽率、干籽含油率和鲜果含油率是关键影响因子,作为第二级评价因素;在油茶果油品质中,棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生稀酸是主要影响因子,作为第二级评价因素。采用第二级评价因素评价,评价因素最优值为 1。所有的二级评价因素中,果形指数、单果重、鲜出籽率、干籽含油率、鲜果含油率、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生稀酸是正向评价因素,因果皮薄是选择育种的重要指标、棕榈酸不利于人体吸收等原因,因此把果皮厚度和棕榈酸含量作为反向评价因素。

正向评价因素计算公式为:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (1)$$

反向评价因素计算公式为:

$$r_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (2)$$

式中: r_{ij} 为评判模糊矩阵 R ; X_{ij} 为各项指标含量。

2.2.3 各评价因素评判

采用模糊评价法对 6 个油茶品种及德林油 4 号的二级评价因素优劣程度进行评判,由 7 个油茶品种检测原始数据(表 1,表 2)处理得到评判模糊矩阵(表 3)。

2.2.4 油茶评价因素权重分配

以油茶种植加工、茶油品质分析和良种选育生产实践经验为基础,根据各评价因素的地位和重要性赋以权重值(表 4)。

表 3 油茶品种各评价因素评价价值(模糊矩阵 R)Tab. 3 Evaluation factors values of *Camellia oleifera* varieties (fuzzy matrix R)

指标	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	德林油 4 号
果形指数	1.00	0.47	0.94	0.65	0	0.94	0.41
单果重/g	0.61	0.69	1.00	0.62	0.09	0.36	0
果皮厚/mm	0	0.39	0.24	1.00	0.99	0.18	0.47
鲜出籽/%	0.29	1.00	0	0.37	0.27	0.07	0.47
干籽含油率/%	0	0.29	0.98	0.79	1.00	0.55	0.71
鲜果含油率/%	0	0.50	0.78	0.68	1.00	0.32	0.64
棕榈酸 C16:(0)/%	0.88	0	0.76	1.00	0.01	0.87	0.38
硬脂酸 C18:(0)/%	0.85	0	1.00	0.95	0.36	0.94	0.20
油酸 C18:(1)/%	0	0.97	0.73	0.47	1.00	0.36	0.30
亚油酸 C18:(2)/%	1.00	0	0.23	0.43	0.07	0.61	0.51
亚麻酸 C18:(3)/%	0.78	0.22	0.06	0.20	0	0.35	1.00
花生烯酸 C20:(1)/%	0.91	0	0.59	0.82	0.41	1.00	0.91

表 4 油茶品种评价因素权重值

Tab. 4 Evaluation factors weight values of *Camellia oleifera* varieties

I 级 R(I)	权重(A)	II 级 R(II)	权重(A)
经济性状	0.15	果形指数	0.05
		单果重	0.03
		果皮厚	0.07
加工性能	0.37	鲜出籽率	0.10
		干籽含油率	0.12
		鲜果含油率	0.15
茶油品质	0.48	棕榈酸 C16:(0)	0.06
		硬脂酸 C18:(0)	0.06
		油酸 C18:(1)	0.12
		亚油酸 C18:(2)	0.10
		亚麻酸 C18:(3)	0.08
		花生烯酸 C20:(1)	0.06

2.2.5 油茶品种综合评价

根据模糊矩阵乘法(加权计算)原理,将权重与模糊矩阵合成,应用公式为: $B = A \times R$,求得模糊综合评判集(B 为综合评判值, R 为评判模糊矩阵, A 为评判权重值),得到各油茶品种综合评价结果(表 5)。

通常综合评价值越大,油茶品种的综合品质就越好。依据表 5 的综合评价结果可知,4 号油茶品种综合评价值最高,2 号油茶品种综合评价值最低;与德林油 4 号相比,4、3、5 号油茶品种综合评价值

均高于德林油 4 号,其中 4 号油茶品种高出德林油 4 号 18.3%,3 号油茶品种高出 8.7%,5 号油茶品种高出 0.9%,综合考虑所有因素,4、3、5 号油茶品种可作为下一步油茶良种选育目标。

3 讨论与结论

油茶是一种多功能树种,作为世界四大木本油料植物之一,其主要应用于油料作物种植。对于果农来说,油茶产量是最高目标,其次是鲜出籽率;对于收购商来讲,油茶果的经济性状显得比较重要,果要大且均匀、果皮要薄;加工企业注重鲜果出油率或干籽出油率、油茶的脂肪酸组成;对于育种选育工作者来看,最好能找到各种评价因素均佳的品种,否则,选择综合结果最好的作为选种目标,其次是根据选育目标筛选对应评价因素好的品种。

对采自德宏州芒市五岔路乡种植的 6 个油茶品种样品进行检测发现,与德林油 4 号相比,6 个油茶品种在某些油茶评价指标上均高于德林油 4 号,也有些评价因素低于德林油 4 号,采用模糊综合评判分析法,对 7 个油茶品种的果形指数、单果重、果皮厚度、鲜出籽率、干籽含油率、鲜果含油率、硬脂酸、棕榈酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生烯酸等二级评价因素进行综合分析并排序,4、3、5 号油茶品种综合评价值均高于德林油 4 号,4 号油茶品种最高,其次为 3 号和 5 号油茶品种,为德宏州下一步油茶良种选育提供参考和借鉴。

表5 油茶品种加权综合评价值

Tab.5 Weighted comprehensive evaluation values of *Camellia oleifera* varieties

指标	1号	2号	3号	4号	5号	6号	德林油4号
果形指数	0.0500	0.0235	0.0470	0.0325	0	0.0470	0.0205
单果重/g	0.0183	0.0207	0.0300	0.0186	0.0027	0.0108	0
果皮厚/mm	0	0.0273	0.0168	0.0700	0.0693	0.0126	0.0329
鲜出籽/%	0.0290	0.1000	0	0.0370	0.0270	0.0070	0.0470
干籽含油率/%	0	0.0348	0.1176	0.0948	0.1200	0.0660	0.0852
鲜果含油率/%	0	0.0750	0.1170	0.1020	0.1500	0.0480	0.0960
棕榈酸 C16:(0)/%	0.0528	0	0.0456	0.0600	0.0006	0.0522	0.0228
硬脂酸 C18:(0)/%	0.0510	0	0.0600	0.0570	0.0216	0.0564	0.0120
油酸 C18:(1)/%	0	0.1164	0.0876	0.0564	0.1200	0.0432	0.0360
亚油酸 C18:(2)/%	0.1000	0	0.0230	0.0430	0.0070	0.0610	0.0510
亚麻酸 C18:(3)/%	0.0624	0.0176	0.0048	0.0160	0	0.0280	0.0800
花生烯酸 C20:(1)/%	0.0546	0	0.0354	0.0492	0.0246	0.0600	0.0546
合计	0.4181	0.4153	0.5848	0.6365	0.5428	0.4922	0.5380

参考文献:

- [1] 周莉君,刘静,王艳芹,等. 12株油茶种仁含油率及脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂,2017,42(5):132-135.
- [2] 尹加笔,和润喜. 德宏州油茶良种丰产栽培技术[M]. 昆明:云南科技出版社,2017:1-25.
- [3] 徐德兵,陈福,张林涛,等. 云南高原山地油茶籽油脂脂肪酸组成及品质分析[J]. 西部林业科学,2021,50(1):112-117.
- [4] 王碧芳,邹锋,袁德义,等. 海南油茶优良单株果实经济性状综合评价与筛选[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2016,45(2):156-161.
- [5] 晏巢,姚小华,殷恒福,等. 油茶果实生长发育动态和木质素积累规律[J]. 江西农业大学学报,2020,42(4):788-801.
- [6] 何方,何柏,李忠海,等. 茶油产品品质等级标准制订说明[J]. 经济林研究,2004,22(4):105-108.
- [7] 张乃燕,黄开顺,覃毓,等. 主要地理气候因子对油茶籽油脂脂肪酸组成的影响[J]. 中国油脂,2013,38(11):78-80.
- [8] 陈永忠,王湘南,彭邵锋,等. 植物生长调节剂对油茶果实含油率的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2007,27(1):25-29.
- [9] 王湘南,陈永忠,伍利奇,等. 油茶种子含油率和脂肪酸组成研究[J]. 中南林业科技大学学报,2008,28(3):11-17.
- [10] 王渊,谭晓风,谢鹏,等. 油茶优良无性系的理化性质及脂肪酸的分析[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(6):70-74.
- [11] 姚小华,王亚萍,王开良,等. 地理经纬度对油茶籽中脂肪及脂肪酸组成的影响[J]. 中国油脂,2011,36(4):31-34.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.027

基于生态产品价值实现机制的古树名木价值评估

——以青海省名木“将军树”为例

杨乔媚, 陈静, 冯月妮

(西安绿环林业技术服务有限责任公司, 陕西 西安 710048)

摘要: 基于生态产品概念内涵和生态产品价值实现机制, 采用基本价值法、价值调整系数法, 结合条件价值法、程式专家法等方法, 以青海省名木“将军树”为例, 对古树名木生态产品价值进行评估。结果表明, 将军树基本价值 5 216 元, 调整价值 1 314 573 元, 综合价值 1 332 473 元, 损失价值 13 325 元, 实存价值 1 319 148 元。针对将军树保护管理存在的问题, 及古树名木生态产品价值实现模式路径进行探讨, 认为不同生态产品价值实现路径有差异化, 模式有多样性, 生态资源类公共性生态产品对应政府主导路径, 服务功能类准公共性生态产品对应政府—市场混合路径, 经济产品类经营性生态产品对应市场路径, 在具体实践中应针对性配合使用多种机制模式, 以有序推进生态产品价值有效实现。

关键词: 生态产品; 价值实现机制; 古树名木; 价值评估

中图分类号: TU986.36; F316.23 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0170-05

引文格式: 杨乔媚, 陈静, 冯月妮. 基于生态产品价值实现机制的古树名木价值评估——以青海省名木“将军树”为例[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 170-174. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.027

YANG Qiaomei, CHEN Jing, FENG Yueni. Value Appraisal of Ancient and Famous Trees Based on Value Realizing Mechanism of Ecological Products——A Case Study of General Tree in Qinghai Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 170-174. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.027

Value Appraisal of Ancient and Famous Trees Based on Value Realizing Mechanism of Ecological Products

——A Case Study of General Tree in Qinghai Province

YANG Qiaomei, CHEN Jing, FENG Yueni

(Xi'an Lvhuan Forestry Technology Service Co. Ltd., Xi'an 710048, China)

Abstract: Based on the concept of ecological products and ecological products value realization mechanism, the basic value method, value adjustment coefficient method, conditional value method and program expert method were used to evaluate the ecological products value of ancient and famous trees taking famous General Tree in Qinghai Province as the case. The results showed that the basic value of General Tree was 5 216 yuan, the adjusted value was 1 314 573 yuan, and the comprehensive value was 1 332 473 yuan, the loss value was 13 325 yuan, and the actual value was 1 319 148 yuan. At the same time, aiming at the problems existing in the protection and management of General Tree, the realization modes and paths of ancient and famous trees ecological product value were discussed. This paper proposed that the value re-

收稿日期: 2023-02-09.

基金项目: 青海省林业和草原局资助(青海省第二次古树名木资源专项调查 QLJC2021-BZ03).

第一作者: 杨乔媚(1985-), 女, 陕西咸阳市人, 硕士, 工程师. 主要从事林业调查规划工作. Email: 260845250@qq.com

责任作者: 陈静(1987-), 女, 陕西府谷人, 高级工程师. 研究方向为林业调查及规划设计. Email: 836533200@qq.com

alization paths of different ecological products were differentiated and diverse, public ecological products of ecological resources corresponded to the government-led path, quasi-public ecological products of the service function category corresponded to the government and market mixed path, and commercial ecological products of economic products corresponded to the market path. In specific practice, multiple mechanism models should be used to promote the effective realization of ecological product value.

Key words: ecological products; value realizing mechanism; ancient and famous tree; value appraisal

生态产品又称绿色产品,成为继农业产品、工业产品、服务业产品后人类命运共同体生存发展必需的第四类产品,2010年首次出现在政府文件《国务院关于印发全国主体功能区划的通知》(国发〔2010〕46号)中,定义为维系生态安全、保障生态调节功能、提供良好人居环境的自然要素,包括清新的空气、清洁的水源和宜人的气候等^[1]。经过多年理论研究和实践探索,学术界对于生态产品概念内涵和外延分类认识仍不统一,普遍认可定义为:生态系统生物生产和人类社会生产共同作用提供给人类社会使用和消费的终端产品或服务,包括提供物质原料和精神文化服务、保障人居环境、维系生态安全等人类福祉或惠益,依自然性、稀缺性、时空性特点分为公共性、准公共性、经营性生态产品3类^[2]。2012年,党的十八大报告中要求“增强生态产品生产能力”,2015年,“十三五”规划明确“为人民提供更多优质生态产品”。

生态产品价值实现指综合运用政府主导、市场运作、社会参与、科技支撑等手段调节生态产品供给中利益相关方的环境、经济利益分配关系的制度安排,让潜在的隐性价值在市场上得到显性化,前提是价值核算结果可重复、可比较、可推广^[3]。随着生态文明建设深入推进,生态产品及其价值实现理念演变成贯穿习近平生态文明思想的核心主线,是“绿水青山就是金山银山”理论的物质载体和实践抓手^[4]。2016年,《国家生态文明试验区(福建)实施方案》开启了生态产品价值实现先行区试点工作;2017年,党的十九大报告中要求“提供更多优质生态产品以满足人民日益增长的优美生态环境需要”;2018年,习总书记在深入推动长江经济带发展座谈会上,强调开展生态产品价值实现机制和路径要求试点;2021年,《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》(国务院公报,2021年第14号)要求积极探索生态产品价值实现体制机制和路径模式;2022年,“十四五”规划要求“建立生态产品价值实现机制”^[5]。

古树指树龄大于100a的树木,名木是具有重要历史、文化、观赏、科研价值和重要纪念意义的树木。有的名木虽然没有古树树龄大,但也见证和记

录了历史进程和社会发展^[6]。经过长期自然选择而适应生长环境的古树名木被誉为“活化石”“绿色文物”,是区域历史文化、气候变迁、植被演替、生态景观的见证名片,其综合价值包括显著实物形式的使用价值(直接使用价值、间接使用价值、选择价值)和无显著实物形式的非使用价值(遗产价值、存在价值)^[7]。对古树名木生态产品价值研究,一类方法是采用程式专家法、灰色关联分析法、条件价值法、模糊综合法等研究其某一方面价值,另一类方法是采用价值调整系数法,结合条件价值法、德尔菲法等研究其综合价值^[8]。然而,有着多元价值性、特定时机性、生命期限性、随机动态性的古树名木却是不可再生的、无法复制替代的珍稀资源;受人为、自然因素交互影响,古树名木衰老死亡、数量减少现象时有发生。因此,开展古树名木生态产品价值核算及其价值实现机制和路径研究,对于有效保护管理古树名木意义重大。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

格尔木市地处青藏高原腹地,位于青海省柴达木盆地西南部,北纬35°11′~37°48′,东经91°43′~95°51′间(不含代管的唐古拉山镇),海拔2625~3350m,青藏、青新、敦格3条公路干线交汇在此。自边缘到中心,高山、戈壁、风蚀丘陵、平原、盐湖依次呈同心圆状分布;典型高原大陆性气候,冬季、夏季年均气温分别为-6.5、17.5℃;雨热同季,降水量较少,由东向西逐渐递减,年均风速2.4m/s。

1.2 评估对象

“将军树”是1954年由被誉为“青藏公路之父”和“格尔木市奠基人”的开国少将慕生忠亲手种植的一棵青杨(*Populus cathayana*),2010年被认定为青海省名木,位于格尔木市将军楼公园(以将军生前居住工作的青藏公路建设指挥部旧址(将军楼)为主题的公园)。2013年将军楼被公布为全国重点文物保护单位。2021年8月,对将军树进行了测量,树高18m、胸围182cm、平均冠幅12m^[9]。20世纪50年代初,慕生忠率领筑路大军用热血和生

命、用勤劳和智慧培育的“慕生忠开路精神”成为“新青海精神”重要组成部分。在创造线路长、海拔高、速度快记录同时,以惊人毅力和勇气战胜了各种难以想象的限难险阻,用心血和汗水谱写了人类公路发展史上的辉煌篇章,与青藏铁路精神组成“两路精神”,并孕育和传承“老西藏精神”,2021年9月纳入第一批中国共产党人精神谱系。

1.3 评估方法

1.3.1 基本价值

树木基本价值为树木的树种价值

$$V = B \times C \times Y \quad (1)$$

式中: V 为树木基本价值; B 为同类树种主要规格苗木胸高断面单价; C 为树木胸高断面面积; Y 为树木价值系数。

1.3.2 价值调整系数

设定不同类别调整系数进行树木价值调整。以能够量化为标准选择评价因子,如胸围、树高、冠幅等。对于不能量化的因子,先定性后再分级赋值,转换为可量化计算。

不同类别价值调整系数取值标准分别为:

生长势调整系数(a),正常株 1.0、衰弱株 0.8、濒危株 0.6、死亡株 0.2;

级别调整系数(b),一级古树 3.0、二级古树 2.0、三级古树 1.0,青海名木参照一级古树;

生长场所调整系数(c),远郊 1.5、近郊 2.0、城区 2.5、城内 3.0、自然保护地 3.5;

历史见证调整系数(d),国家级、省级、市级、县级文物保护单位分别为 5.0、4.0、3.0、2.0,否 1.0;

宗教民俗调整系数(e),很多 3.0、多 2.5、较多 2.0、一般 1.5、无 1.0;

景观美学调整系数(f),综合奇特、优美、吸引力等姿态美指标,花期和果期长短、叶色、季相变化等色彩美指标,意境程度等意境美指标,很好 2.0、较好 1.5、一般 1.0;

树龄调整系数(g),树龄 ≥ 100 a, $1.0 + \text{树龄} / 1000$;树龄 < 100 a, 1.0;

生物多样性调整系数(h),珍稀树种 3.0、乡土+天然树种 2.5、乡土+栽培树种 2.0、外来+天然树种 1.5、外来+栽培树种 1.0;

生物量调整系数(i),树高、冠幅 ≥ 30 m,胸围 ≥ 5 m, 2.0; $25 \text{ m} \leq \text{树高、冠幅} < 30 \text{ m}$, $4 \text{ m} \leq \text{胸围} < 5 \text{ m}$, 1.8; $20 \text{ m} \leq \text{树高、冠幅} < 25 \text{ m}$, $3 \text{ m} \leq \text{胸围} < 4 \text{ m}$, 1.6; $15 \text{ m} \leq \text{树高、冠幅} < 20 \text{ m}$, $2 \text{ m} \leq \text{胸围} < 3 \text{ m}$, 1.4; $10 \text{ m} \leq \text{树高、冠幅} < 15 \text{ m}$, $1 \text{ m} \leq \text{胸围} < 2 \text{ m}$, 1.2; 树高、冠幅 $< 10 \text{ m}$, 胸围 $< 1 \text{ m}$, $1.0^{[10-14]}$ 。

1.3.3 综合价值

树木综合价值是全部价值之和,树木历史、文化、生态、景观等存在价值的综合反映^[15]。

$$P = V \times a \times b \times c \times d \times e \times f \times g \times h \times I + T \quad (2)$$

式中: P 为树木综合价值; V 为树木基本价值; T 为树木日常养护管理实际投入。

1.3.4 损失价值

树木损失价值指因自然或人为因素直接或间接造成树冠、树干、根系等部位局部或全部损伤而导致的价值降低(公式 3)。通过现地目测法判断树木价值损失比例(表 1),各局部损失价值降低比例之和最高上限 100.00%^[16]。

$$L = P \times R \quad (3)$$

式中: L 为树木损失价值; P 为树木综合价值; R 为树木价值降低比例。

表 1 树木局部损伤程度与其价值损失比例

Tab. 1 Comparison of local damage degree and value loss ratio of trees

类别	价值降低比例/%				
	≤ 20	$>20 \sim 30$	$>30 \sim 40$	$>40 \sim 50$	>50
受伤树干皮层占树干周长的百分数	20	40	80	90	100
受伤根系占全部根系的百分数	30	40	80	90	100
受伤主枝占整个树冠的百分数	20	40	80	90	100

1.3.5 实存价值

树木实存价值指综合价值减去损失价值后剩余的实际存在价值量。

$$W = P - L \quad (4)$$

式中: W 为树木实存价值; P 为综合木价值; L 为损失价值。

2 结果与分析

2.1 基本价值

根据 2021 年青海省林业和草原局推荐的春季造林绿化苗木市场指导价,青杨苗木市场价 1.59 元/cm(折换成胸围)。参照常见杨树价值系数,确定同为北方树种的青杨价值系数为 18^[17-18]。通过公式 1 计算,将军树基本价值 5 216 元。

2.2 综合价值

基于不同类别价值调整系数(表 2),通过公式 2 计算,将军树调整价值 1 314 573 元。自 1996 年 9 月 10 日《全国绿化委员会办公室关于加强保护古树

表2 不同类别将军树价值调整系数

Tab. 2 Value adjustment coefficient for different types of General Tree

系数类别	特征描述	调整系数
a	正常株	1.0
b	名木	3.0
c	将军楼公园	3.5
d	国家级文物保护单位	5.0
e	无宗教民俗	1.0
f	很好	2.0
g	67 a	1.0
h	乡土+栽培	2.0
i	树高 18 m、胸围 182 cm、冠幅 12 m	1.2

名木工作的实施方案的通知》(全绿字[1996]7号)下发起,从养护将军树当年至今累计实际投入 17 900 元,则将军树综合价值 1 332 473 元。

2.3 损失价值

将军树树干皮层、全部根系没有受伤,仅树冠下部北面主枝受轻微病虫害影响,R 为 1.00%,通过公式 3 计算,将军树损失价值 13 325 元。

2.4 实存价值

通过公式 4 计算,将军树实存价值 1 319 148 元。

3 结论与讨论

将军树基本价值 5 216 元,调整价值 1 314 573 元,综合价值 1 332 473 元,损失价值 13 325 元,实存价值 1 319 148 元。

目前国内关于单株名木价值研究较少,对于将军树遗产、存在、选择价值等无显著实物形式的不可量化的非使用价值评估,参照了古树价值评估先定性、再分级、后赋值、转量化方法。王碧云评估福州国家森林公园千年古榕文化价值为 19 011.38 万元,其中:社会价值 18 900.00 万元、历史价值 99.00 万元、经济价值仅 12.38 万元^[11]。董冬研究九华山风景区 1 400 a 凤凰松景观价值,各准则层中美学价值权重(0.490 7)最大(姿态指标占优),资源价值权重(0.312 3)次之(传说趣闻指标占优)^[12]。李记研究金华市福民山 1 500 a 樟树综合价值,各指标层中历史文化价值权重(0.484 8)最大,经济价值权重(0.030 3)最小^[13]。王继程评估北京市天坛公园 500 a 松柏综合价值为 510.21 万元,各指标层中历史见证价值权重(0.530 5)最大,经济价值权重(0.058 5)最小^[14]。农蕙瑗研究崇左市古树名木综合价值,各准则层中社会价值权重最大(0.496 6),经济价值权

重(0.076 2)最小^[15]。杨娱评估北京市北海公园 800 a 遮荫侯综合价值为 413.58 万元,历史文化、景观、生态价值比 12:3:1^[19]。

将军树价值评估结果与大多数学者对古树价值认知相同,体现历史见证价值是古树名木价值的核心所在。然而,受主观认知差异性限制,非量化指标分级赋值是否科学合理还需探究,如历史见证系数差别可否设置为 0.2、0.5 或其他,景观美学系数多基于主观直觉判断,还需细化。同时,受技术人才缺失、监测经费不足等因素影响,不能实现对将军树及其生长环境周期性监测,不能反映其日常生理生化动态变化。为有效保护管理将军树,应健全保护管理机构,加强技术人员培训,提高保护管理投资,建立异常情况报告机制,强化养护复壮管理。

人类社会实现可持续发展必须维持一定的自然资源存量与流量,以保障自然环境及其生态系统所提供的支持、供给、调节、文化功能服务的可持续性。生态产品是自然资源存量生产出的流量产品,价值实现存在主体多元性、内容复杂性、权力多向性、路径差异化、模式丰富性,是一个涉及多学科、宽领域、深层次的交叉或边缘理论的技术难题和学术前沿^[20-21]。

3.1 建立生态产品价值评价机制

绿色是生态产品价值形态的共同底色和核心标识,尊重自然、顺应自然,以保障自然生态系统休养生息为基础,推进自然资源确权登记及生态产品信息普查。构建行政区域生态产品总值和特定地域生态产品价值评价体系,确立反映生态产品保护和开发成本价值核算方法,纳入国民经济核算体系,有效解决“难度量、难核算、难抵押、难交易、难变现”问题,推动价值核算“进决策、进规划、进项目、进绩效”,发挥“指挥棒”作用^[22]。着眼于修复“小生态”、服务于形成“大生态”,在“算出来、转出去、可持续”中建立生态环境保护者受益、使用者付费、破坏者赔偿的利益导向机制和风险分担机制,提升保护修复生态环境的思想自觉和行动自觉。

3.2 拓展生态产品价值实现模式

不断丰富生态产品价值实现路径,在抓难点、补短板、通堵点基础上,以体制机制改革创新为核心,破解现行制度框架下的深层次瓶颈制约,适时立改废释。公共性生态产品具有非排他性和非竞争性、外部性特点,易导致公地悲剧、囚徒困境、集体行动困难或搭便车现象,对应政府主导路径,如生态保护补偿、生态载体溢价等,可采用“征收税费+生态补偿”“明晰产权+权益交易”等机制。如青海省发布文件(青

财农字[2020]364号),首次拨付专款267万元用于全省564株古树名木养护复壮,已连续拨付3年。准公共性生态产品涉及主体众多,协商寻求利益最大公约数,对应政府—市场混合路径,如生态权益交易、资源配额交易等,可采取“政府指导+公众参与”“政府授权+市场许可经营”等机制,如发掘涵养水源、保育土壤、固碳释氧等服务功能经营性红利形式实现价值。经营性生态产品生产和消费对象明确,对应市场路径,如生态产业开发、森林游憩等,可采用“生态认证+市场交易”“区域公用品牌+特色产业品牌+企业专属品牌”等机制。例如,贵德县党校梨园分布148株128~500a古梨树,一般梨树结果寿命仅数十年,但梨园历经百年沧桑的古梨树依旧开花结果,堪称世界果树栽培史奇迹。依托城市化进程中仅剩的成片遗存,近年启动“黄河文化旅游节”,欣赏满城梨花似堆雪美景的同时,领略梨园文化、黄河文化、水车文化及丝路文化真谛,实现经济果园向生态文化园转型,成为申报历史文化名城的璀璨亮点。

有为政府、有效市场在生态产品价值实现中发挥着主导作用,但是不同模式有各自适用性和局限性,在局部领域存在政府和市场“双重失灵”区间,个体间自发通过原始“物物交换”形式实现共赢,以生产要素参与分配的社会主导模式作为有效补充。因此,为推进生态产品价值有效实现,具体实践中应针对性地配合使用多种机制模式^[23-25]。

3.3 促进生态产品价值实现增值

各级党委和政府拿出抓铁有痕、踏石留印劲头,构建生态产品价值实现推进机制,顶层设计、分类施策、示范推广,明确时间表、路线图,推动价值有效转化。加大绿色金融支持力度,推行经营准入制度、社区参与机制,依托优美自然风光和历史文化遗存等,打造生态旅游与康养休闲融合发展模式,将各类生态产品纳入培育和保护环境品牌范围,提升生态产品溢价,促进生态产品增值。通过新闻媒体和互联网等渠道,加大各类生态产品宣传推介力度,让绿水青山颜值更高、金山银山成色更足。

参考文献:

- [1] 曾贤刚,虞慧怡,谢芳.生态产品的概念、分类及其市场化供给机制[J].中国人口·资源与环境,2014,24(7):12-17.
- [2] 张林波,虞慧怡,郝超志,等.生态产品概念再定义及其内涵辨析[J].环境科学研究,2021,34(3):654-660.
- [3] 石敏俊.生态产品价值实现的理论内涵和经济学机制[N].北京:光明日报,2020-08-25(011).
- [4] 沈实.习近平绿色金融思想研究[D].大连:东北财经大学,2017.
- [5] 高晓龙,林亦晴,徐卫华,等.生态产品价值实现研究进展[J].生态学报,2020,40(1):28-37.
- [6] 邹嫦,康秀琴,罗开文.广西北海市古树名木资源特征分析[J].林业资源管理,2017(3):128-132.
- [7] 唐小平,黄桂林,徐明.青海省生态系统服务价值评估研究[M].北京:中国林业出版社,2016.
- [8] 孙超,车生泉.古树名木景观价值评价——程式专家法研究[J].上海交通大学学报(农业科学版),2010,28(3):209-217.
- [9] 青海省林业和草原局.全国第二次古树名木资源普查青海成果报告[R].2020.
- [10] 国家林业局.古树名木普查技术规范:LY/T 2738—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [11] 王碧云,修新田,兰思仁.古树名木文化价值货币化评估[J].林业经济问题,2016,36(6):565-570.
- [12] 董冬.九华山风景区古树名木景观美学评价与保护价值评估[D].武汉:华中农业大学,2011.
- [13] 李记.古树名木价值评价及其公共服务平台研究[D].杭州:浙江农林大学,2017.
- [14] 王继程.古树名木综合价值评价研究[D].南京:南京农业大学,2011.
- [15] 农蕙媛.崇左市古树名木资源调查与综合价值评价[D].南宁:广西大学,2018.
- [16] 米锋,李吉跃.森林资源损失计量研究[M].北京:中国环境科学出版社,2007.
- [17] 北京市质量技术监督局.古树名木评价标准:DB11/T 478—2007[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [18] 山西省质量技术监督局.古树名木评价技术规范:DB14/T 1200—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [19] 杨娱,田明华,秦国伟,等.城市古树名木综合价值货币化评估研究——以北京市古树“遮荫侯”为例[J].干旱区资源与环境,2019,33(6):185-191.
- [20] 马建堂.生态产品价值实现路径、机制与模式[M].北京:中国发展出版社,2019.
- [21] 刘江宜,牟德刚.生态产品价值及实现机制研究进展[J].生态经济,2020,36(10):207-212.
- [22] 高晓龙,程会强,郑华,等.生态产品价值实现的政策工具探究[J].生态学报,2019,39(23):8746-8754.
- [23] 叶有华,肖冰,冯宏娟,等.乡村振兴视域下的生态产品价值实现模式路径研究[J].生态环境学报,2022,31(2):421-428.
- [24] 臧振华,徐卫华,欧阳志云.国家公园体制试点区生态产品价值实现探索[J].生物多样性,2021,29(3):275-277.
- [25] 张林波,虞慧怡,郝超志,等.国内外生态产品价值实现的实践模式与路径[J].环境科学研究,2021,34(6):1407-1416.

责任编辑:刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.028

基于 GIS 的天水市麦积区洪涝灾害风险区划研究

梁晓波¹, 杨小莉¹, 安斌¹, 李映春²

(1. 天水市麦积区气象局, 甘肃 天水 741020; 2. 天水市气象局, 甘肃 天水 741000)

摘要:利用麦积区气象灾害风险普查数据,结合降水记录及气象灾情数据、地理空间数据、社会经济数据,选取暴雨灾害致灾因子的危险性、孕灾环境的敏感性、承灾体的脆弱性和防灾减灾能力 4 个因子进行麦积区洪涝灾害风险区划研究。研究表明,1965—2020 年麦积区雨水活动主要集中在 6~8 月,年降水量 500.2 mm,降水时段集中且强度较大。统计数据显示,麦积区的山洪灾害主要由暴雨和强雷雨引起,当降水量超过 20 mm 或者 8 h 内一般性降水量超过 30 mm 时,麦积区可能会出现严重洪涝灾害。麦积区洪涝灾害降雨影响因子的地域分布十分规律,由西北向东南依次增多。麦积区洪涝灾害的地形影响因子显示,北部边界地区的洪涝灾害敏感性最高,中部及南部河谷次之,西部较低,而中、东部林区最低。麦积区洪涝灾害高、次高风险区主要集中在北部边界河流主干道及中部农、林业主要产区,中、次低、低风险区主要集中在北部高海拔区及东南部林区。提出加大防洪工程建设,提高水工基建质量,全面细致地排查灾害风险隐患等防灾减灾对策。

关键词:洪涝灾害;风险区划;危险性;敏感性;脆弱性;防灾减灾能力;天水市麦积区

中图分类号:S761.1;P208 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)04-0175-08

引文格式:梁晓波,杨小莉,安斌,等.基于 GIS 的天水市麦积区洪涝灾害风险区划研究[J].林业调查规划,2024,49(4):175-182. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.028

LIANG Xiaobo, YANG Xiaoli, AN Bin, et al. Flood Disaster Risk Zoning in Maiji District of Tianshui City Based on GIS [J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 175-182. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.028

Flood Disaster Risk Zoning in Maiji District of Tianshui City Based on GIS

LIANG Xiaobo¹, YANG Xiaoli¹, AN Bin¹, LI Yingchun²

(1. Maiji District Meteorological Bureau, Tianshui, Gansu 741020, China;

2. Tianshui Meteorological Bureau, Tianshui, Gansu 741000, China)

Abstract: Based on the general survey data of meteorological disaster risk in Maiji District, combined with precipitation records and meteorological disaster data, geographical spatial data, and socio-economic data, the four factors including the risk of rainstorm disaster causing factors, the sensitivity of disaster pregnant environment, the vulnerability of disaster bearing bodies, and the ability of disaster prevention and reduction, were selected to carry out the research on flood disaster risk zoning in Maiji District. The research showed that from 1965 to 2020, rainwater activity in Maiji District was mainly concentrated from June to August, with an annual precipitation of 500.2 mm. The precipitation period was concentrated and intense. Statistics showed that mountain torrents in Maiji District were mainly caused by rainstorm and

收稿日期:2023-03-06.

基金项目:甘肃省气象局气象科研项目(人才专项)(2122rczx-县局业务技术带头人-03).

第一作者:梁晓波(1990-),男,甘肃定西人,工程师.研究方向为县级综合气象业务.

责任作者:杨小莉(1993-),女,甘肃会宁人,工程师.研究方向为县级综合气象业务.

heavy thunderstorm. When the precipitation exceeded 20 mm or the general precipitation exceeded 30 mm within 8 hours, serious floods may occur in Maiji District. The regional distribution of rainfall influencing factors for flood disasters in Maiji District was very regular, increasing from northwest to southeast. The terrain impact factors of flood disasters showed that the sensitivity of flood disasters was highest in the northern border area, followed by the central and southern river valleys, lower in the western region, and lowest in the central and eastern forest areas. The high and sub-high risk areas of flood disasters in Maiji District were mainly concentrated in the main rivers along the northern border and the main agricultural and forestry production areas in the central region. The medium, sub-low, and low risk areas were mainly concentrated in the high-altitude areas in the north and the forest areas in the southeast. This paper proposed to increase the construction of flood control projects, improve the quality of hydraulic infrastructure, and comprehensively and meticulously investigate disaster risks and hidden dangers in disaster prevention and reduction measures.

Key words: flood disasters; risk zoning; risk; sensitivity; vulnerability; disaster prevention and reduction capabilities; Maiji District of Tianshui City

气象灾害风险是指可能导致严重后果的自然因素,包括气候变化、地质灾害和人为活动。其可能会对人类社会造成巨大损失,并且可能持续数十年甚至数百年^[1]。因此,必须采取有效措施来防范气象灾害风险,以确保人类社会的安全和稳定。灾害系统理论认为,灾害是由多种因素共同作用的结果,其中危害性是前提,易损性是基础,而风险则是最终的后果^[2]。气象灾害风险可通过评估气象灾害的危险性和承灾体的潜在易损性来衡量。

1 研究区概况

天水市麦积区位于甘肃省东部,东西总长度约 123 km,南北向幅度最宽处达 50 余 km,最窄处不足 5 km,土地总面积 3 480 km²,辖 11 个镇、6 个乡、3 个街道办事处,总人口 60 万人。麦积区位于黄河流域和长江流域两大流域交汇处,属于大陆半湿润季风气候,处于渭河上游,植物稀疏,地势支离破碎,以黄绵土组成的沟道比较大,自然资源状况复杂多变,受雨水多发及其活动的干扰,山洪灾害频繁出现,给山丘区的基础建设带来毁灭性打击,对人民安全形成巨大危害,因此,防灾减灾工作已成为当前面临的重要挑战。

近年来国内外研究表明,利用数学建模的方法,可有效提高气象自然灾害风险区划的准确性和精细度^[3]。本研究项目以灾害风险为出发点,综合考虑降水和地形因素,运用 ArcGIS 软件分析降水和地形因素对洪涝灾害风险的影响,并从雨水洪涝致灾因子的危害性、孕灾环境条件的敏感度、承灾体的薄弱

性和防灾减灾技术能力四大主要方面进行麦积区洪涝灾害风险区划研究,以期更好地预警和评估气象灾害风险,同时为应对麦积区雨水洪涝灾害提供科学依据和技术支持。

2 材料与方法

2.1 数据来源

1) 降水资料。包括麦积区基本气象站和区域站的气象数据,通过查阅麦积站历年地面观测月报数据及区域站的自动观测记录,收集降水信息。

2) 麦积区气象局、自然资源局、水务局、统计局等部门提供的气象洪涝灾情数据、地理环境空间数据以及社会经济状况,如人口、GDP 等,为项目研究提供了宝贵的参考资料,以便更好地了解当地自然和社会经济状况。

2.2 研究方法

通过对气象与气候学、农业气象学、地质学、减灾学和自然灾害风险管理等理论的研究,采取数字化分析技术,如风险指数法、层级评分法和加权综合评分法,以雨水威胁致灾要素的危害性、孕灾条件的敏感度、承灾体的薄弱性和气象减灾能力为基础,通过 GIS 技术,对麦积区洪水和山洪灾害危险进行分析和评估,并制定出气象洪涝灾害风险区划图。在第一阶段,通过研究年均暴雨日数和月均降雨量来评估致灾要素的危害性。同时考虑地形和河网密度,以了解自然环境对洪涝灾害的影响。此外,考虑人口密度、GDP 和耕地面积,以评估承灾体的脆弱性。最后,通过麦积区防灾减灾工程和非工程措施来

评估麦积区防灾减灾能力。在第二阶段,根据雨水洪涝致灾因子的危害性、孕灾环境条件的敏感度、承灾体的薄弱性和防灾减灾技术能力四大主要方面设定权重系数,通过专家全面评估,制定麦积区洪涝灾害影响综合评估区划图。研究技术流程如图 1 所示。

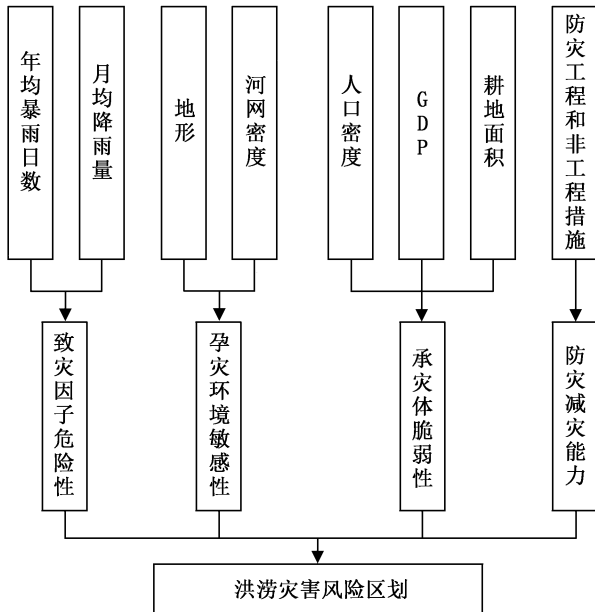


图 1 麦积区洪涝灾害风险区划技术流程

Fig. 1 Technical process of flood risk zoning in Maiji District

3 结果与分析

3.1 致灾因子危险性分析及区划

麦积区洪涝灾害危险性主要考虑两个因素:月均降水量和年暴雨日数^[4]。利用麦积区气象灾害风险普查数据,通过对 1965—2020 年降水记录进行统计得出:麦积区暴雨主要集中于 6—8 月(图 2),每年出现 2~3 次(图 3)。在 2013 年 6 月 20 日,麦积本站出现了 140.4 mm 的暴雨,仙人崖站出现了 263.6 mm 的暴雨,这是有气象记录以来最大的一次暴雨。

根据麦积基本气象站和各区域气象站的历年暴雨、强雷雨等资料,得出麦积区暴雨危险性等级分布(图 4)。

麦积区年均降水量 500.2 mm,过程降水产生的时段比较集中,强度较大。统计数据显示,麦积区的山洪灾害主要由暴雨和强雷雨引起。当雷雨天气的降水量超过 20 mm(持续时间通常为 2 h 以内)或 8 h 内一般性降水量超过 30 mm 时,麦积区就有可能出现严重的洪涝灾害。

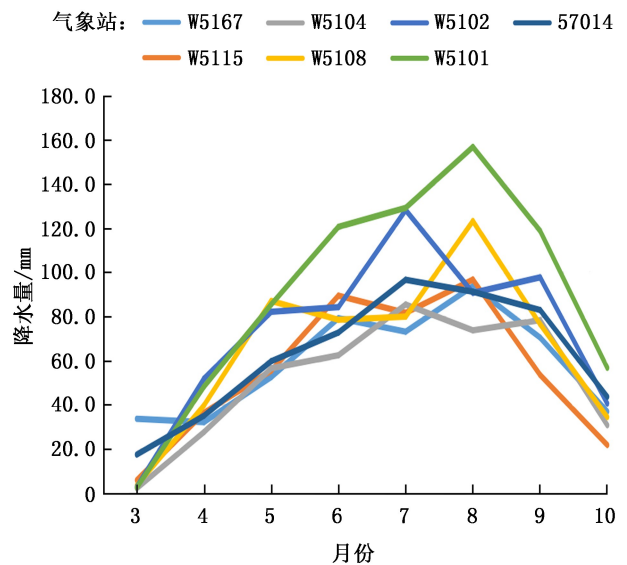


图 2 麦积区本站及部分区域气象站多年 3~10 月月均降水量统计

Fig. 2 Statistics of multi-year average precipitation from March to October at Maiji District station and some regional meteorological stations

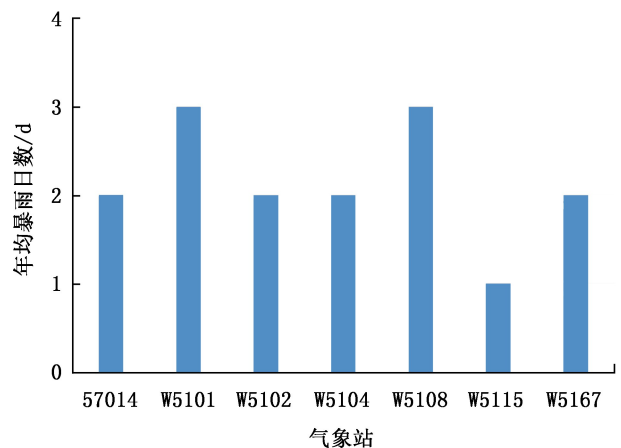


图 3 麦积区本站及部分区域气象站年均暴雨日数

Fig. 3 Annual average rainstorm days at Maiji District station and some regional meteorological stations

3.2 孕灾环境敏感性分析及区划

洪水灾害发生特点表明,地质因素对其敏感性有重要影响^[5-6](图 5,图 6)。

通常认为,地势对山洪的产生有重要作用,表现在高程和坡度方面。随着地势高度越高,坡度越增大,越容易导致水灾和山洪的发生。而水系的影响则首先取决于河网密度,河网越稠密,相距江河、湿地、大型水库等水体越近,越容易受到洪涝灾害的影响^[7]。

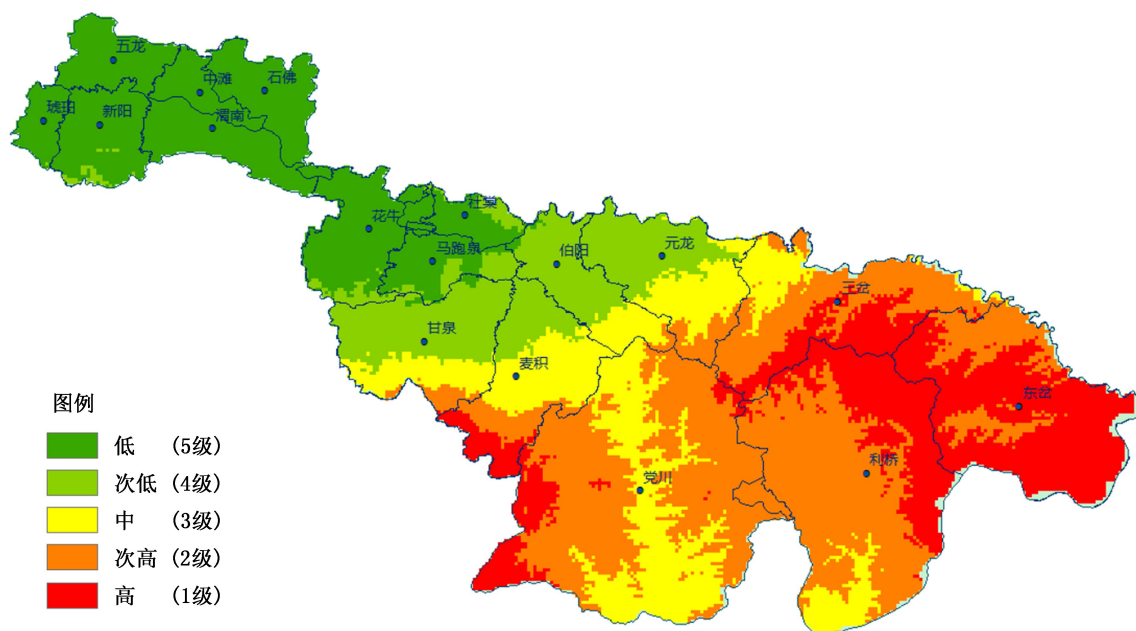


图 4 麦积区暴雨危险性等级分布

Fig. 4 Risk level distribution of rainstorm in Maiji District

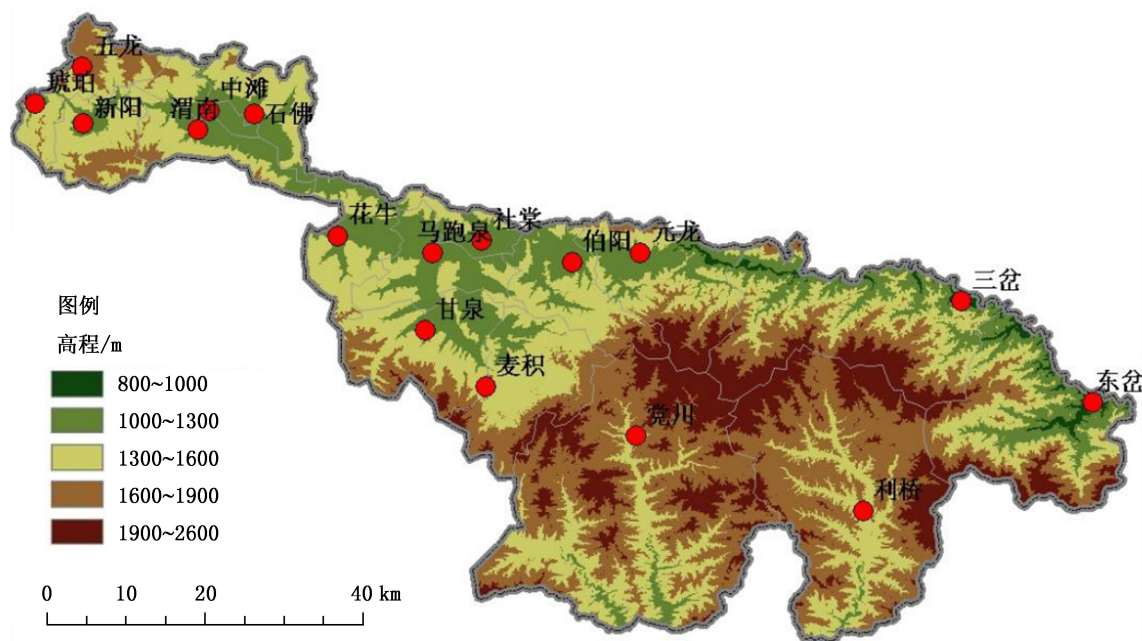


图 5 麦积区地形高程

Fig. 5 Terrain elevation in Maiji District

由图 5 可知,麦积区北部边界高程低,坡度大;东南部高程较高,多山岭河谷;西部、中部地区高程较低,坡度较缓。

由图 6 可知,麦积区河流密布,较大的干流主要分布在中部地区,沿北部边界流出麦积区;西北部有数条较大的河流及水库,东南部为分布在山岭中的细密水网。

通过将地形高程和河网密度进行归一化,结

合专家评分和综合权重加权平均,可计算出各网点对灾害环境的敏感度^[8]。利用自然断点分类法将麦积区洪涝灾害环境敏感性划分为 5 个等级(图 7)。

麦积区洪涝灾害环境敏感性较高地区主要散布于北部边界地区,次高敏感性区则集中于中部和南部河谷,中度敏感性区散布于中西部,低敏感区则散布在中、东部林区。

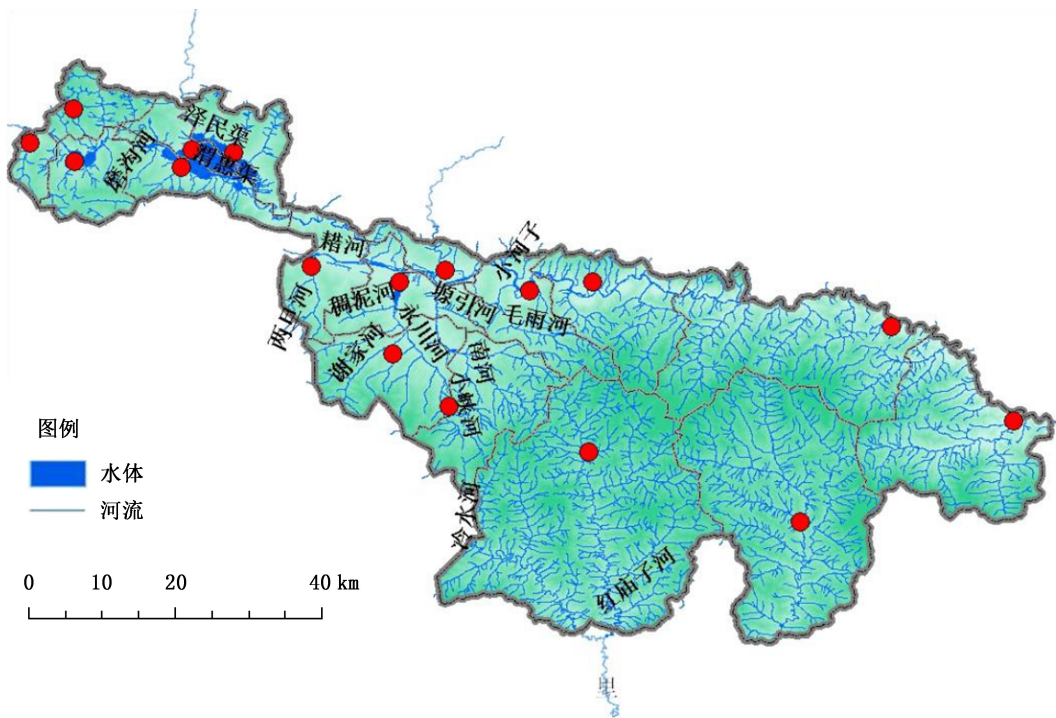


图 6 麦积区河网分布

Fig. 6 Distribution of river networks in Maiji District

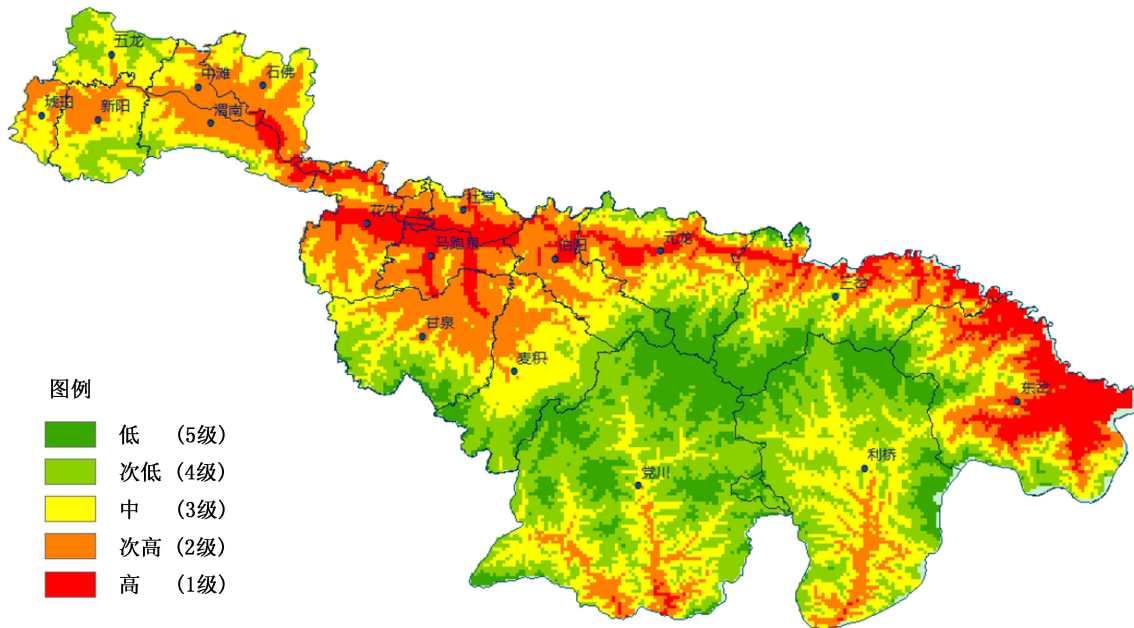


图 7 麦积区洪涝灾害环境敏感性分布

Fig. 7 Distribution of environmental sensitivity of flood disasters in Maiji District

3.3 承灾体脆弱性分析及区划

在给定的危险区域内,承灾体的脆弱性是指由于潜在气象危险因素而导致的损失程度,这种程度取决于人口密度、经济密度和耕地比重^[9]。一般来说,承灾体的脆弱性越低,气象灾害的损失就越小,风险也就越低,反之亦然。评估麦积区人口和社会

经济财产的脆弱性是一项重要工作,旨在分析各种受影响因素对气象灾害的承受能力,以便更好地预测可能造成的损失和灾害。

在麦积区,通过分析各乡镇耕地面积比重、人口和 GDP 来评估洪涝灾害的脆弱性。使用 GIS 技术将这些数据空间化,并考虑其权重。由于每个承灾

体对气象灾害的影响不同,因此,在计算综合脆弱性时需要考虑其权重。根据专家打分,分别赋予以下权重(表 1)。

表 1 不同要素承灾体脆弱性权重

Tab. 1 Weight of vulnerability of disaster bearing bodies with different elements

承灾体	脆弱性权重
人口	0.4
GDP	0.2
耕种比	0.4

根据加权综合法,求得各乡镇承灾体的脆弱性(图 8)。

麦积区中部偏北、北部地区为较大面积的川地,城区位于此地,人口集中,是 GDP 较高区域,且有较大面积的耕地。因此,五龙镇、中滩镇、渭南镇、石佛镇、花牛镇、马跑泉镇为承灾体脆弱性高区域;中部地区是主要的经济林区,主要种植苹果、葡萄、大樱桃、花椒等经济作物,洪涝灾害影响相对较小,人口密度较低,为承灾体脆弱性次高、中区域;东南部地区为原始林区,人口密度很低,GDP 贡献较少,为承灾体脆弱性次低、低区域。

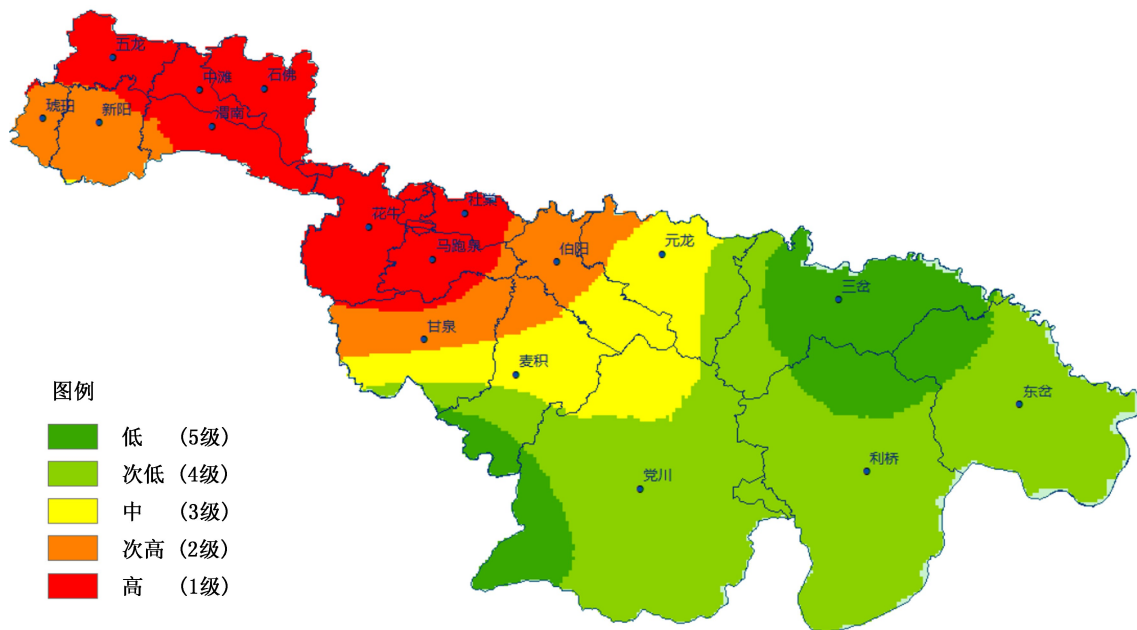


图 8 麦积区承灾体脆弱性分布

Fig. 8 Distribution of vulnerability of disaster bearing bodies in Maiji District

3.4 防灾减灾能力分析

天气防灾减灾能力是指一个地区在遭受天气自然灾害时,其应对能力和恢复速度。这些功能主要取决于应急管理能力和抗灾资源准备情况。天气防灾减灾能力对城市和农村在天气自然灾害中承受经济破坏程度有很大作用,如果天气防灾减灾能力较高,则这些区域所受到的经济破坏就会小。研究表明,政府在天气防洪减灾技术领域的投入越多,其气象灾害风险也就越小。由于麦积区整体发展水平偏低,仅小部分城市地区防灾能力较强,但依然很难满足防灾减灾需求。

4 麦积区洪涝灾害综合风险区划与分析

根据致灾因素的危害性、孕灾环境的敏感度、受

灾体的脆弱性以及防灾减灾能力,构建一个灾害风险指标评价模式,以便更好地预测灾害发生的可能性:

$$DRI = (H^{W_h})(E^{W_e})(V^{W_v})(R^{W_r})[0.1(1-a)R + a] \quad (1)$$

$$\begin{cases} H = \sum W_{hk} X_{hk} \\ E = \sum W_{ek} X_{ek} \\ V = \sum W_{vk} X_{vk} \\ R = \sum W_{rk} X_{rk} \end{cases} \quad (2)$$

式中: DRI 为洪涝灾害风险指数, H、E、V、R 分别为致灾因子的危害性、孕灾环境条件的敏感性、承灾体的脆弱性以及灾害防御能力指数; W_h 、 W_e 、 W_v 、 W_r 分别为上述各指数的权重,在本区划中,根据征求专家建议,将其依次赋值 0.4、0.2、0.2 和 0.2; $X_{(\cdot),k}$ 为技术

指标 k 测量后的值; $W_{(·),k}$ 为技术指标 k 的权重,它们共同决定了洪水灾害的发生概率和程度,表明各致灾因素在识别气象自然灾害风险情况方面的相对重要性; a 为一个常量,用来衡量防灾减灾能力关于降低总体 DRI 的影响。考虑到麦积区实际情况,征求专家建议,将 a 设置为 0.8。

针对上述 4 个方面的内容,采用加权分析法与层次分析法进行分析,得到麦积区各乡镇暴雨洪涝综合风险排名(表 2)。

依据表 2 编制麦积区洪涝灾害综合风险区划图(图 9)。

5 防灾减灾对策

为了有效防范和减轻洪涝灾害的影响,高风险区应加大防洪工程建设,提升水工基建质量,使其与国民经济相协调,降低大雨洪涝灾害的发生几率。为此,应采取综合治理措施,修筑堤坝、整治河道,并合理采用蓄水、排水、滞洪和分流等工程措施。为了确保人民安全,应强化防汛应急避险工作,特别是对聚居在低洼地带、存有危险性住房等危险区的群体,应尽快采取有效措施转移到安全区域;中、次低、低风险区应密切关注雨水预报预警,及早采取有效预防措施,仔细检测防汛工程建设,出现问题隐患迅速整治,并要求城市排水系统做好排空预防措施,以避免城市内涝灾害的发生。

表 2 麦积区各乡镇暴雨洪涝综合风险排名

Tab. 2 Comprehensive risk ranking of rainstorm and flood in towns and villages in Maiji District

行政区域	1 级 占比 /%	2 级 占比 /%	3 级 占比 /%	4 级 占比 /%	5 级 占比 /%	风险系数	排名
社棠镇	90.8	9.2	0	0	0	0.39	1
元龙镇	65.1	34.9	0	0	0	0.36	2
马跑泉镇	65.1	34.9	0	0	0	0.36	3
花牛镇	34.7	52.1	13.2	0	0	0.31	4
甘泉镇	6.0	93.8	0.2	0	0	0.29	5
石佛镇	2.9	92.2	4.9	0	0	0.28	6
伯阳镇	0.2	65.7	34.0	0.1	0	0.25	7
三岔镇	0.3	55.2	44.5	0	0	0.24	8
东岔镇	1.4	29.1	61.6	7.9	0	0.21	9
麦积镇	0	17.3	77.6	5.1	0	0.20	10
新阳镇	0	4.3	95.7	0	0	0.19	11
中滩镇	0	0	100.0	0	0	0.19	12
渭南镇	0	1.2	80.0	18.8	0	0.17	13
琥珀镇	0	0	35.8	48.9	15.3	0.12	14
五龙镇	0	0	30.3	59.2	10.5	0.11	15
党川镇	0	0	0	80.4	19.6	0.08	16
利桥镇	0	0	0	36.5	63.5	0.06	17

各镇、街道及有关部门、单位应高度警惕,密切监测,全面细致地排查各种自然灾害危险和危害隐

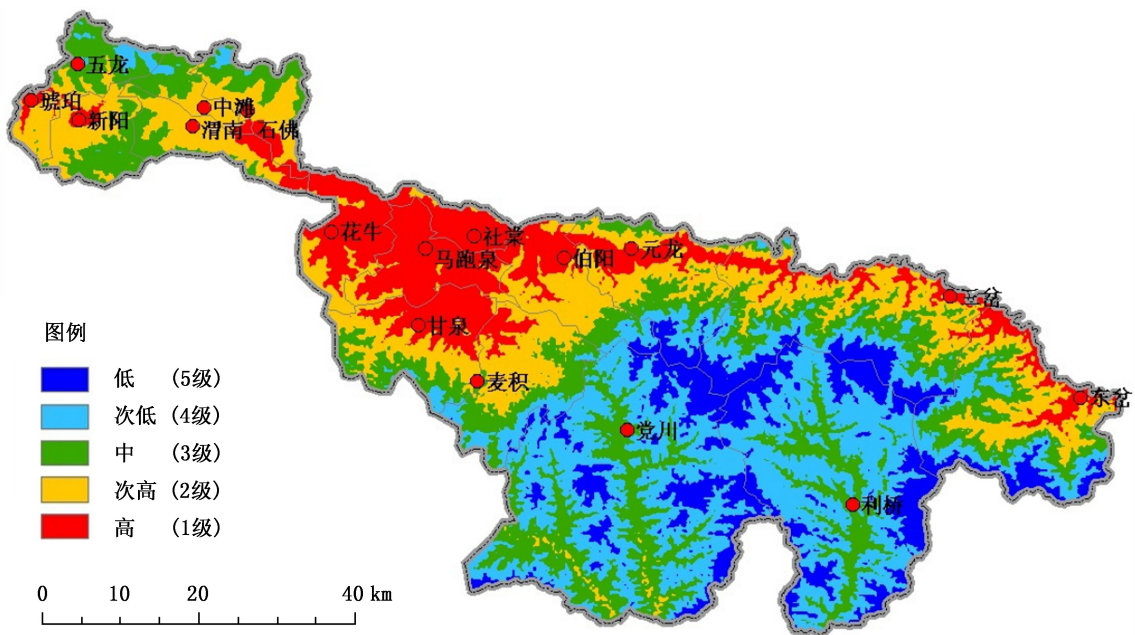


图 9 麦积区洪涝灾害综合风险区划

Fig. 9 Comprehensive risk zoning of flood disasters in Maiji District

患,对出现的危险问题要及时采取相应对策加以整顿,并严格执行。及时消除安全隐患需加强堤防、水库、排洪管网、地质灾害点、工矿企业矿井、尾矿库等风险隐患点的排查清理,保证不留死角、不留盲区;同时要加强城市防洪排涝、重大项目建设工地和直管公房等重点区域安全隐患的排查,确保安全生产。为了保证城市安全,政府部门应加强对低洼地区和洪道险段的监测,并落实应急预防措施。同时,还应加强对公路基础设施、危桥险段和涉水涉河项目的检查力度,以保证道路交通安全和河道行洪畅通。此外,应加强对中小学校和幼儿园、商贸流通、卫生机构、旅游景点、燃气管道、电力及通讯线路等领域的隐患排查,以保证不出任何问题。为了更好地监测和预报灾害天气和汛情,政府部门应与气象部门建立会商制度,及时发布预警信息,保证信息覆盖到每一个角落,不留任何空白或死角。努力做到预警信息发送到每一户人家,实现预警范围的全面覆盖。要广泛宣传防汛知识,从速从快、客观准确、精准科学宣传报道汛情灾情,积极关注、回应群众关切的问题和诉求,切实为人民群众提供有效的信息服务。进一步充实完善全区防洪预案,细化完善转移路线、避险地点、生活保障等各项内容,做到详细具体、便于操作,确保一旦发生灾情能够快速妥善处置。应提前制定有效的防控措施,确保出现险情时能及时合理地转移群众。此外,还应强化应急队伍建设,主动参加紧急演习,提升防灾治灾反应能力。要认真整理筹备好防汛抢险资金和建筑材料,确保物品品质,并努力做到堆放合理、调度灵活。为保证在发生险情时能够及时有效地采取应对措施,要积极强化与驻区军事、消防部队及社区救援力量的沟通联系,组织落实抢险知识宣传,始终保持高度警惕,严格执行汛期 24 h 值班制度和主要领导带班制度,强化防汛减灾督导检查,并严密监视雨情汛情,及时预警预报,第一时间做好紧急处理和信息报送等工作,以保证能够及时有效地采取应对措施,有效防止气象灾害的发生。应强化紧急处理和抢险救灾意识,保证气象灾害导致的经济损失降至最低,尽可能地减少气象灾害带来的影响。

6 结论与讨论

1) 麦积区洪涝灾害降雨影响因子地域分布十

分规律,由西北向东南依次增多;五龙镇、琥珀镇最少,东岔镇、利桥镇、党川镇东南部最多。

2) 麦积区洪涝灾害的地形影响因子显示,麦积区北部边界地区的洪涝灾害敏感性最高,中部及南部河谷次之,西部较低,而中、东部林区最低。

3) 麦积区洪涝灾害综合风险区划表明,麦积区洪涝灾害高、次高风险区主要集中在北部边界河流主干道及中部农、林业主产区;中、次低、低风险区主要集中在北部高海拔区及东南部林区。

4) 由于洪涝灾害的复杂性,影响因素众多,全面准确地定量分析洪灾风险存在一定困难。本研究仅选取其中几个因素进行探究,因此,建立的评估模型和风险区划的准确性有待进一步探究。

参考文献:

- [1] 周成虎,万庆,黄诗峰,等. 基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J]. 地理学报,2000,55(1):10.
- [2] 苗爱梅,王洪霞,逯张禹. 基于 GIS 的山西省冰雹灾害风险区划研究[C]//第 34 届中国气象学会年会 S5 应对气候变化,低碳发展与生态文明建设论文集. 中国气象学会,2017.
- [3] 扈海波,张艳莉. 暴雨灾害人员损失风险快速预评估模型[J]. 灾害学,2014,29(1):30-36.
- [4] 苏军锋,肖志强,魏邦宪,等. 基于 GIS 的甘肃省陇南市暴雨灾害风险区划[J]. 干旱气象,2012,30(4):650-655.
- [5] 扈海波,轩春怡,诸立尚. 北京地区城市暴雨积涝灾害风险预评估[J]. 应用气象学报,2013,24(1):99-108.
- [6] 苗爱梅,王洪霞,逯张禹. 基于 GIS 的山西省暴雪灾害风险区划研究[J]. 中国农学通报,2016,32(20):133-140.
- [7] 黄慧琳,缪启龙,潘文卓,等. 杭州市高温致灾因子危险性风险区划[J]. 气象与减灾研究,2012,35(2):51-56.
- [8] 唐为安,田红,杨元建,等. 基于 GIS 的低温冷冻灾害风险区划研究——以安徽省为例[J]. 地理科学,2012,32(3):356-361.
- [9] 周秉荣,李凤霞,申双和,等. 青海高原雪灾预警模型与 GIS 空间分析技术应用[J]. 应用气象学报,2007,18(3):373-379.

责任编辑:许易琦

校 对:许易琦,董磊

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.030

基于多尺度特征融合的地理测绘影像目标检测

李睿, 李亚洲, 赵建文, 周卫波

(国网山东省电力公司建设公司, 山东 济南 250000)

摘要: 为了提高对地理测绘目标的检测准确度, 设计了基于多尺度特征融合的地理测绘影像目标检测方法。初步提取地理测绘遥感影像的边缘信息, 并计算其边缘密度与边缘分布情况, 通过增强边缘信息实现对遥感影像的预处理, 得到更明确的影像边缘信息; 利用梯度采样法建立下降金字塔影像, 并融合多尺度特征, 为后续的目标提取提供更准确、特征更明显的信息; 根据特征融合结果, 采用深度卷积网络实现对地理测绘影像目标的有效检测。结果表明, 应用该方法, 检测结果的准确率、召回率和 F_1 分数数值均较高, 检测耗时也维持在较低的数值范围, 该方法可明显提高目标检测效果。

关键词: 目标检测; 地理测绘影像; 边缘信息; 多尺度特征; 深度卷积网络; 检测耗时

中图分类号: S237; TP753 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0188-07

引文格式: 李睿, 李亚洲, 赵建文, 等. 基于多尺度特征融合的地理测绘影像目标检测[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 188-194. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.030

LI Rui, LI Yazhou, ZHAO Jianwen, et al. Target Detection of Geographic Mapping Image Based on Multi-scale Feature Fusion[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 188-194. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.030

Target Detection of Geographic Mapping Image Based on Multi-scale Feature Fusion

LI Rui, LI Yazhou, ZHAO Jianwen, ZHOU Weibo

(State Grid Shandong Electric Power Construction Company, Jinan 250000, China)

Abstract: In order to improve the detection accuracy of geographic mapping targets, a target detection method of geographic mapping images based on multi-scale feature fusion was designed. The edge information of the remote sensing image of geographical mapping was preliminarily extracted, and its edge density and edge distribution were calculated. Through enhancing the edge information, the remote sensing image was preprocessed to obtain more clear image edge information. Gradient sampling method was used to establish the descending pyramid image to provide more accurate and distinct information for subsequent target extraction by integrating multi-scale feature. According to the feature fusion results, the deep convolution network was used to effectively detect the geographic mapping image objects. The experimental results showed that the accuracy, recall and F_1 score of the detection results were high after the application of this method, and the detection time was also maintained in a lower numerical range, indicating that the method significantly improved the detection effect for targets.

Key words: target detection; geographic mapping image; edge information; multi-scale feature; deep convolution network; detection time

收稿日期: 2023-01-29.

基金项目: 山东省电力公司科技项目(520632220002).

第一作者: 李睿(1988-), 男, 山东潍坊人, 硕士, 高级工程师. 研究方向为电力工程建设与管理.

在遥感测绘工作中,遥感影像目标检测是一项重要分支,其在军事侦察、土地资源考察、地质勘测等领域有较为广泛的应用,可为相关领域的决策提供可靠依据。通过检测遥感影像目标能实现地物场景感知、地物测量等目的。

当前,在遥感测绘影像目标检测方面已有较多学者开展了相关研究。如文献[1]中结合 RPN 网络与 SSD 算法针对遥感影像目标实施检测。其将 Faster R-CNN 中的 RPN 与 SSD 算法相结合,优化了 SSD 单阶段算法精度低的问题,也避免了 Faster R-CNN 运算速度慢的问题,在加入特征金字塔结构后利用了多个卷积层融合低、高层目标特征信息。文献[2]中设计了基于全局关系注意力引导场景约束的高分辨率遥感影像目标检测方法,该方法向特征融合检测器中加入全局关系注意力学习全局场景特征,以学到的全局场景特征为约束条件,利用方向响应卷积模块和多尺度特征模块完成目标检测。然而,上述两种方法缺少对原始遥感影像的处理,影像本身的质量对目标检测准确性的影响较大。文献[3]中以 Faster R-CNN 网络为基础,建立 Faster R-CNN 网络并配置学习目标特征,针对遥感影像中的特定目标展开识别,可用于实现目标检测,然而,由于遥感测绘环境的变化导致背景信息较为复杂,该方法未能高效处理影像中的信息特征,导致该方法的检测效率有待加强。

基于上述分析,本研究充分应用多尺度特征融合结果,设计了一种新的地理测绘影像目标检测方法,从优化目标检测准确性和检测效率两个方面展开研究。该方法首先提取地理测绘遥感影像的边缘信息,并通过增强边缘信息完成对遥感影像的预处理。然后在建立下降金字塔影像的基础上,融合影像的多尺度多特征,根据特征融合结果,采用深度卷积网络实现对地理测绘影像目标的有效检测。其中,提取边缘信息的目的是为了得到更明确的影像边缘信息,为后续的特征融合提供基础。而多尺度特征融合的目的:在建立下降金字塔影像的基础上,通过分析不同尺度上的影像特征,为后续的目标提取提供更准确、特征更明显的可用信息,从而提高目标检测准确性。

1 地理测绘影像预处理

1.1 影像边缘提取

遥感测绘影像边缘是指影像中像素灰度变化不

均匀的像素集合,是影像本身具有的重要特征。为此,本研究在检测地理测绘影像中的目标信息前,通过预处理的方式提取影像边缘信息,计算边缘密度与边缘分布情况。

提取影像边缘信息步骤:

步骤 1:受复杂的遥感环境影响,影像中不可避免地会存在噪声。噪声信息主要集中于高频信号处,特别是影像的边缘处,从而对最终的目标检测效果造成负面影响。因此,首先利用高斯滤波方法剔除影像中的噪声信息:

$$H(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

式中: $H(x, y)$ 为高斯函数; σ 为平滑参数。

步骤 2:对像素点进行梯度计算,计算公式为:

$$\varphi(x, y) = \sqrt{(f(x, y+1) - f(x, y))^2 + (f(x+1, y) - f(x, y))^2} \quad (2)$$

式中: f 为梯度方向。

步骤 3:为确定更精确、更清晰的边缘信息,对上述步骤中得到的边缘进行非最大抑制。首先比较不同梯度方向上边缘点的大小,保留更大梯度的边缘点。然后采用非极大值抑制算法,对其他梯度方向上的边缘信息进行抑制,将梯度变化最大区域中的边缘信息作为最终提取结果。

1.2 边缘密度与边缘分布计算

基于边缘提取结果,计算影像的边缘密度和边缘分布情况^[4-6]:

$$d_e = n_e / n_w \quad (3)$$

$$d_s = \min(n_i) / \text{Mean}(n_i), i = 1, 2, 3, 4 \quad (4)$$

式中: n_e 为边缘点集合中的信息量; n_w 为像素总数,二者相比得出边缘密度 d_e ; $\text{Mean}(n_i)$ 为每个象限平均所包含的边缘点; $\min(n_i)$ 为 4 个象限中所含边缘点的最小数目(图 1)。

此特征充分考虑了影像边缘分布特点,进一步提取和增强了边缘检测算子所提出的边缘信息,能更明确地指明影像边缘信息。

2 多尺度多特征融合

在预处理影像的基础上,利用梯度采样法建立下降金字塔影像,对其中的多尺度特征实施融合处理,为后续的目标提取提供更准确、特征更明显的可用信息。

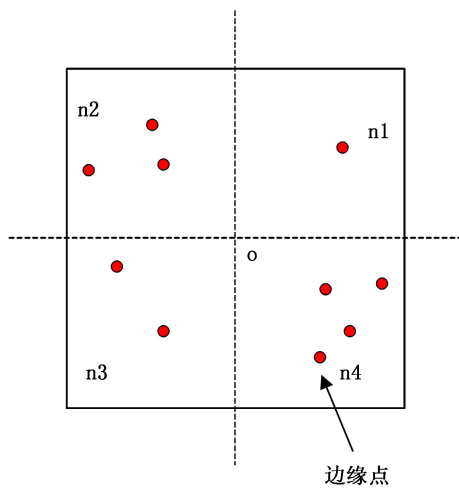


图 1 象限中边缘点分布

Fig. 1 Distribution of edge points in the quadrant

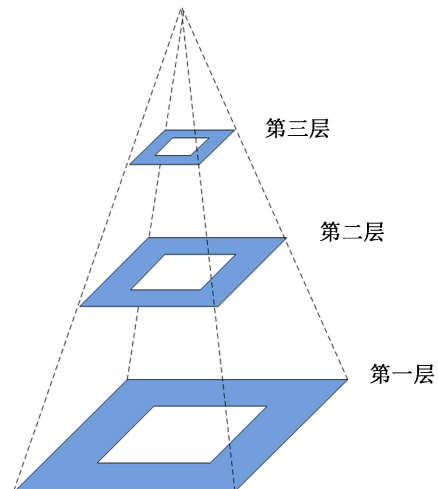


图 2 金字塔检测结构

Fig. 2 Pyramid detection structure

在地理测绘影像中,由于森林、湿地、草地、道路、建筑物等目标物的范围、形状、方位存在不同,彼此间可能存在遮挡、覆盖等复杂情况,增大了信息自动提取过程的困难程度。为解决这一问题,引入构造影像金字塔方法。影像金字塔的底端是高分辨率的原始影像,采用梯度采样法逐层降低分辨率,形成一连串的金字塔形的影像,故称金字塔影像^[7-9]。层次越高,影像的尺寸越小,分辨率越低。影像金字塔的建立一般分为两步:

步骤 1:用低通滤波对影像展开平滑处理;

步骤 2:对平滑影像取样,利用高斯卷积核对高分辨率的原始影像进行下采样,得到分辨率逐渐下降的序列影像。 $\{M_L, M_{L-1}, \dots, M_0\}$ 组成的影像金字塔的表达公式为:

$$G_{(n+1)}(i, j) = \sum_{m=-2}^{m=2} \sum_{n=-2}^{n=2} W(m, n) G_n(2i - m, 2j - n) \quad (5)$$

式中: $G_{(n+1)}(i, j)$ 为第 n 层金字塔的灰度值。

用卷积方法提取影像中的偶数行和列,对影像进行迭代,建立下降金字塔结构(图 2)。

由于在地理测绘影像中的森林、湿地、草地、道路等目标物范围较大,易出现边界模糊的问题,影响后续的特征融合效果。因此,在常规金字塔检测模型的基础上设计了双向金字塔融合结构,通过双向增强处理,保证对地理测绘影像中小尺度目标物特征的识别精准度,同时也提升了对大尺度目标物特征的识别精确度。金字塔语义信息双向融合过程如图 3 所示。

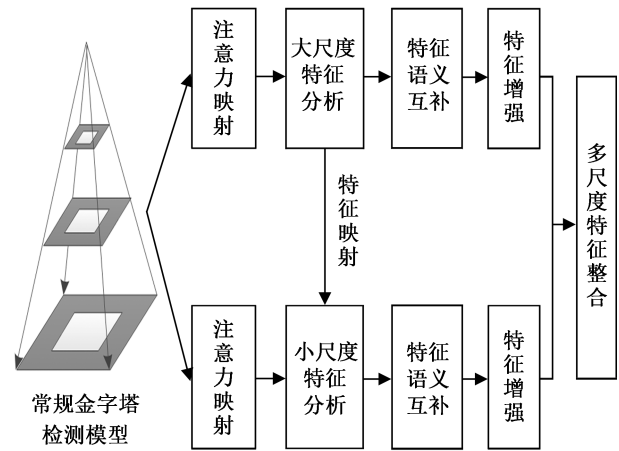


图 3 金字塔双向融合过程

Fig. 3 Pyramid two-way fusion process

在图 3 中,在提取地理测绘影像不同尺度特征的基础上,将尺度特征输入到双向金字塔结构中,得到多尺度特征的互补语义信息,这一过程可以使不同尺度特征更加细节化,从而得到一系列显著性影像图,再通过融合处理得到最终的多尺度多特征融合结果。

由于金字塔影像每层的分辨率减少了一半,因此,同样大小的滑动窗口在每层中的实际图形面积是前一层滑动窗口的两倍^[10-11],从而根据有效性公式得到影像的有效分辨率:

$$l_0 = \frac{\min}{RP} + [\log_2^{(\max/\min)}] \quad (6)$$

式中: $\log_2^{(\max/\min)}$ 为底层影像中滑动窗口面积;RP 为影像分辨率。

利用像差方法生成高分辨率影像,其计算公式为:

$$f(i, j + v) = [f(i, j + 1) - f(i, j)] \times v + f(i, j) \quad (7)$$

式中: $(i, j + v)$ 为像素点。

按照上面的步骤得到一系列显著性图,根据公式(8)得到最终显著性图,将其作为地理测绘影像的特征信息融合结果:

$$F(x, y) = \frac{\sum_{l=1}^N c_l(x_i, y)}{N} \quad (8)$$

式中: N 为融合序列; $c_l(x_i, y)$ 为影像特征参数。

综上所述,通过计算边缘密度与边缘分布实现了对地理测绘影像的预处理,从而使影像中的边缘信息更明确。在此基础上,对影像信息展开多尺度多特征融合,为后续的目标提取奠定基础。

3 检测地理测绘影像中的目标信息

通过计算边缘密度与边缘分布实现了对遥感影像的预处理,由此得到更明确的影像边缘信息。然后对影像信息展开多尺度多特征融合处理。经过融合处理的影像信息更精确、更丰富,可为后续的目标提取提供更准确、特征更明显的信息^[12]。

通过深度卷积网络实现遥感影像目标信息的提取。深度卷积网络的基本结构如图 4 所示。

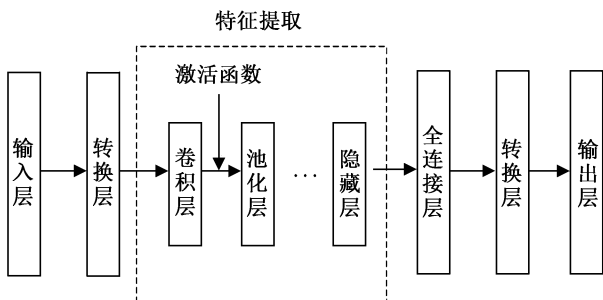


图 4 深度卷积网络基本结构

Fig. 4 Basic structure of deep convolution network

图 4 中包括输入层、转换层、卷积层、池化层、隐藏层、全连接层以及输出层 6 个层级。本研究设置了 3 个标准卷积层、2 个重叠池化层、2 个全连接层。转换层输出特征映射转换结果后,在标准卷积中利用激活函数得到特征映射结构:

$$\begin{cases} y_j^m = f(s_j^m) \\ s_j^m = x_j^m \otimes \omega_j^m + b_j^m \end{cases} \quad (9)$$

式中: ω_j^m 、 y_j^m 分别为第 m 个卷积层中第 j 个卷积核的权值和特征映射结果; s_j^m 为净激活量; x_j^m 为特征

映射转换结果; b_j^m 为偏置量; $f(\cdot)$ 为非线性激活函数, \otimes 为卷积运算。

在下级采样层中聚合处理上层特征,从而得到新的特征量,并通过降维处理的方式提高特征量的信噪比。对输入特征的下采样提取结果为:

$$z_j^m = \omega_j^m \times \text{down}(y_j^m) + b_j^m \quad (10)$$

式中: $\text{down}(\cdot)$ 为下采样函数。

将特征图转化为特征序列,再通过加权求和和非线性激活函数运算,得到深度卷积网络全连接层的输出结果:

$$z^m = \omega^m z_j^m + b_j^m \quad (11)$$

式中: ω^m 为全连接层的权重。

为提高对遥感影像目标信息的检测效果,以 Sigmoid 函数作为激活函数。Sigmoid 函数具有单调递增和反函数单调递增特性,能将变量映射到 0~1 的范围。

利用深度卷积网络遥感影像目标信息提取步骤如图 5 所示。

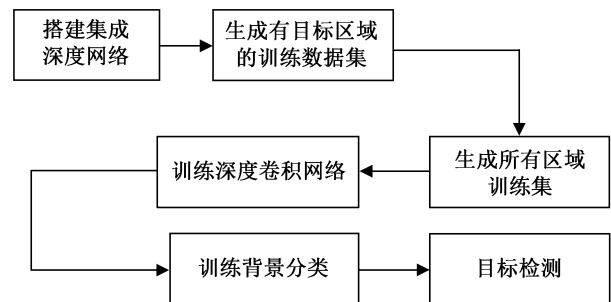


图 5 目标信息提取步骤

Fig. 5 Target information extraction steps

步骤一:在遥感影像上产生目标区域的训练数据集,对被标记的目标区域进行切割和增强,并相应地处理目标类别和帧,作为训练数据集^[13],其增强处理参数为:

$$z_c = F_{sq}(u_c) = \frac{L}{H \times W} \sum_H^{i=1} \sum_W^{j=1} \quad (12)$$

式中: $H \times W$ 为空间压缩维度; $\sum_H^{i=1}$ 为影像增强参数;

$\sum_W^{j=1}$ 为影像训练次数; L 为交叉熵损失函数。

步骤二:在训练深度卷积融合网络后输入训练数据集,从而去除部分背景分类子网。

步骤三:对影像实施切割处理,然后将其输入至深度卷积网络中:

$$L(\{p_i\}|\{t_i\}) = \frac{1}{N_{\text{cls}}} \sum_i L_{\text{cls}}(p_i, p_i^*) + L_{\text{reg}}(t_i, t_i^*) \quad (13)$$

式中: i 为引用切割框的坐标; p_i^* 为参照系目标概率; t_i^* 为回归损失; L_{reg} 为切割参数; $\frac{1}{N_{\text{cls}}}$ 为平衡参数。

步骤四:通过对网络输出目标候选框的筛选,明确候选框的所属类别,然后将候选框与类别标签作为训练数据,对背景分类子网展开训练,得到目标候选框和实际候选框^[14]。在这一过程中,在深度卷积网络中设置了多个特征分类器,通过分数信息实施对特征信息的加权求和处理。所构建的分类器由两个模块构成,分别为 Inception-ResNet 模块和残差模块。其中:

1) Inception-ResNet 模块能够实现最优稀疏结构单元的搜索,并快速扩充激活函数间的节点,从而形成新的卷积结构,可以对不同尺度的影像特征实施快速分类。

2) 残差模块以减缓深度卷积网络的退化速度,优化网络训练效果。同时,残差模块可以将上一层网络的输出结果与历史数据叠加在一起,将叠加结果作为下一层网络的输入信息,从而降低训练误差。

步骤五:将处于目标区域中的数据作为“+”值,将处于非目标区域中的数据作为“-”值,通过迭代训练形成一个完整的深度卷积融合网络。

步骤六:通过对被测影像进行目标检测和分割^[15],然后在深度卷积网络中经迭代学习和卷积处理得到最终的检测结果。

步骤七:不断重复上述过程,最终实现对地理测绘影像目标的有效检测。

4 实验与结果分析

为验证上述设计的基于多尺度特征融合的地理测绘影像目标检测方法的有效性,设计如下实验及分析过程。

实验所用的影像如图 6 所示。

上述实验影像检测过程较难的原因是影像中建筑物群较为密集,建筑的朝向基本为不规则形式,很难把建筑分成规则形状,给建筑物形状的划分带来很大困难。

4.1 纵向对比检验

利用本文采用的方法提取上述影像中的建筑物信息,并纵向分析该方法的应用效果。

利用高斯滤波方法剔除影像中的噪声信息,得到纯净的遥感影像如图 7(a) 所示。提取梯度变化最

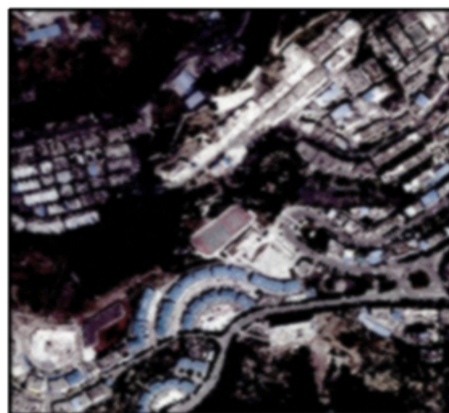


图 6 实验影像

Fig. 6 Experimental image

大区域的边缘信息,提取前后的结果如图 7(b) 所示。在此基础上,在平滑处理影像后,通过下采样得到分辨率逐渐下降的序列影像和金字塔模型,并融合影像中的多尺度特征,如图 7(c) 所示。最后,利用像差方法生成高分辨率影像显著性图,其中的检测目标用方框框出,如图 7(d) 所示。

对比观察图 7(a) 和图 6 可以看出,相比于原始影像,经本文采用的方法处理后的影像整体更加清晰,能够有效表现出边缘信息,可观性更强。观察图 7(b) 和图 7(c) 可知,经过边缘提取,影像中的建筑物目标更加明显,而遮挡物、树木、道路等物体的特征表现较弱。观察图 7(d) 可知,尽管影像中部分建筑物受到植物遮挡,但本文方法受其影响较小,能够有效、准确提取影像中的建筑物目标信息。上述过程初步证明了本文采用的方法的有效性。

4.2 横向对比检验

在上述研究的基础上,为避免实验结果的单一性,将本文采用的方法与参考文献[1]中的结合 RPN 网络与 SSD 算法的遥感影像目标检测算法、参考文献[2]中的基于全局关系注意力引导场景约束的高分辨率遥感影像目标检测方法进行性能对比。

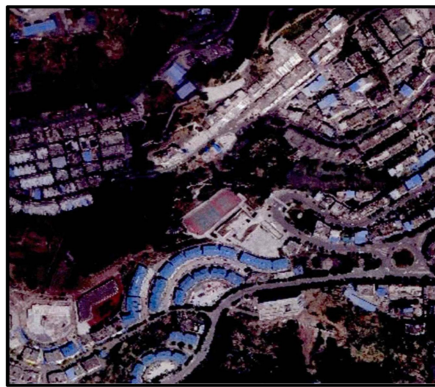
4.2.1 目标检测准确率、召回率、 F_1 分数 (F_1 Score) 对比

目标检测准确率是指检测结果中正确的个数与检测结果数据的比值,其计算公式为:

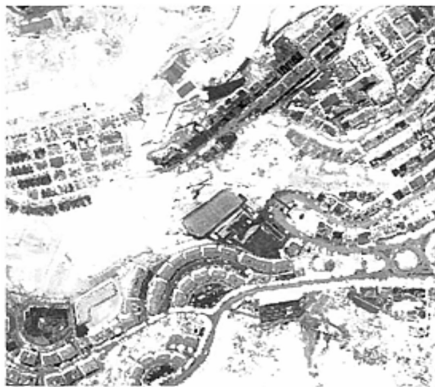
$$A = \frac{TP}{TP + FP} \quad (14)$$

式中: TP 为正确检测出的目标建筑物数量; FP 为目标误检数量(包括未检测到的目标数量)。

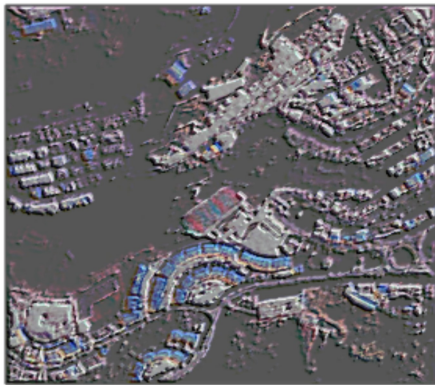
目标检测召回率是指检测出的目标建筑物数量与影像中有关目标总数的比率,其计算公式为:



(a) 去噪后的实验影像



(b) 实验影像边缘提取结果



(c) 实验影像特征融合结果



(d) 影像中建筑物目标提取结果

图 7 实验影像处理结果

Fig. 7 Experimental image processing results

$$B = \frac{TH}{IH} \tag{15}$$

式中:TH 为检测出的目标建筑物数量;IH 为影像中有关目标总数; F_1 分数 (F_1 score) 是统计学中用来衡量模型精度的一种指标,其同时兼顾了准确率和召回率。 F_1 分数值越高,代表检测方法的精度越高,其计算公式为:

$$F_1 = \frac{2 \times A \times B}{A + B} \tag{16}$$

在实验影像中设置 20 个检测目标点,利用不同方法对这些检测点进行目标提取,以此来检测不同方法的准确率、召回率和 F_1 分数。3 项指标的相关数据如表 1 所示。

表 1 指标数据统计

Tab. 1 Statistics of index data

方法	分析次数/次	准确率/%	召回率/%	F_1 分数
文献[1] 方法	2	64.56	87.46	0.7428
	4	70.37	87.71	0.7808
	6	71.18	89.42	0.7926
	8	70.69	89.21	0.7887
	10	71.80	89.27	0.7958
文献[2] 方法	2	63.63	63.28	0.6345
	4	65.58	83.12	0.7331
	6	65.85	85.42	0.7436
	8	65.96	85.55	0.7449
	10	66.14	85.45	0.7456
本文采用 的方法	2	94.95	99.64	0.9723
	4	95.64	98.54	0.9706
	6	95.89	97.60	0.9673
	8	95.98	97.17	0.9657
	10	96.96	96.34	0.9664

根据表 1 中的数据可以看出,本文采用的方法的检测准确率、召回率、 F_1 分数始终高于两种传统方法,说明该方法不仅能够准确检测出地理测绘影像中的目标信息,且检测精度也更高。产生上述结果的原因在于该方法在目标检测时兼顾了亮度、边缘信息、结构等多种特征,通过多尺度多特征融合处理的形式,为后续的目标识别检测提供了更准确、特征更明显的依据。

4.2.2 检测耗时对比

统计不同方法的检测耗时,结果如图 8 所示。

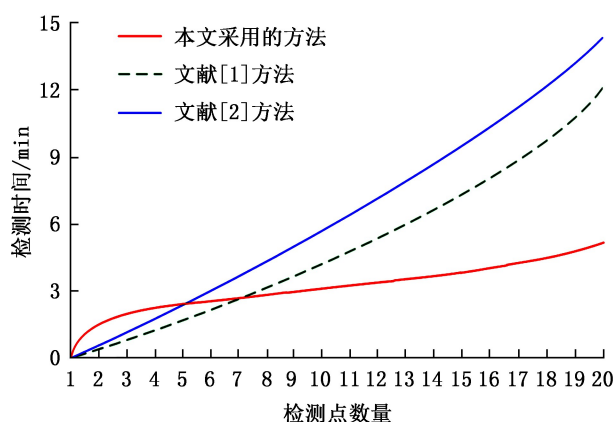


图 8 检测耗时对比

Fig. 8 Comparison of detection time

通过对比图 8 发现,3 种方法的检测耗时均呈不断上升趋势。本文采用方法在融合影像中的多尺度特征前提取了影像边缘信息,并计算其边缘密度与边缘分布情况,通过这种形式的预处理得到了更明确的影像边缘信息。因此,在前期,本文采用的方法的检测耗时略高于两种传统方法。但预处理过程是在一段时间内即可完成而非贯穿整个检测过程,因此,在后期,利用更明确的影像边缘信息可以快速实现多尺度多特征融合处理,从而从根本上缩短了后期检测过程的复杂程度及其耗时。因此,在后期,本文采用的方法的检测耗时曲线位于两种传统方法耗时曲线之下,整体呈检测耗时先快速增加再缓慢增加的趋势。

5 结论与讨论

提高检测精度、检测效率对于遥感影像目标检测工作具有重要意义,不仅可以提高检测效果,还能提高军事侦察、土地资源考察、地质勘测质量。为此,本研究设计了基于多尺度特征融合的地理测绘影像目标检测方法。该方法从检测准确性和检测效率两方向展开优化设计。在检测影像中的目标时,兼顾了亮度、边缘、结构等多种特征,通过多尺度多特征融合处理形式,为后续的目标识别检测提供了更准确、特征更明显的依据,从而提高了检测准确性。同时,该方法在融合影像多尺度特征前提取了边缘信息,根据边缘密度与边缘分布情况得到更明确的边缘信息,从而缩短了整体的检测耗时。

在实验部分,在初步验证的基础上,以目标检测准确度和检测耗时为指标设计了对比实验,突出了该方法的有效性。尽管该方法取得了一定成效,但

由于研究时间等条件限制,其尚存在一定的提升空间。该方法对一些边缘模糊与背景对比度不强的目标信息存在漏检现象,导致检测精度尚有进一步提升的空间,有待于在后续研究中进一步完善。

参考文献:

- [1] 成喆,吕京国,白颖奇,等. 结合 RPN 网络与 SSD 算法的遥感影像目标检测算法[J]. 测绘科学,2021,46(4): 75-82,99.
- [2] 张菁,吴鑫嘉,赵晓蕾,等. 全局关系注意力引导场景约束的高分辨率遥感影像目标检测[J]. 电子与信息学报,2022,44(8):2924-2931.
- [3] 王井利,阎鑫. 基于 Faster R-CNN 的高分二号遥感影像特定目标识别[J]. 中国科技论文,2019,14(9):985-990.
- [4] 刘芳,吴志威,杨安喆,等. 基于多尺度特征融合的自适应无人机目标检测[J]. 光学学报,2020,40(10):127-136.
- [5] 王振力,滕藤,王群,等. 遥感影像 K-最近邻图目标分类改进算法的研究[J]. 地理空间信息,2021,19(2): 33-35,6.
- [6] 徐俊峰,张保明,余东行,等. 多特征融合的高分辨率遥感影像飞机目标变化检测[J]. 遥感学报,2020,24(1): 37-52.
- [7] 张维,陈报章,赵亮. 可视化遥感图像坐标位置距离远程测量仿真[J]. 计算机仿真,2020,37(4):424-427,450.
- [8] 张守东,杨明,胡太. 基于多特征融合的显著性目标检测算法[J]. 计算机科学与探索,2019,13(5):834-845.
- [9] 盛雷,卫志华,张鹏宇. 基于多源特征后融合的分层目标检测算法[J]. 计算机科学,2019,46(2):249-254.
- [10] 王俊强,李建胜,周学文,等. 改进的 SSD 算法及其对遥感影像小目标检测性能的分析[J]. 光学学报,2019,39(6):373-382.
- [11] 姚群力,胡显,雷宏. 基于多尺度融合特征卷积神经网络的遥感图像飞机目标检测[J]. 测绘学报,2019,48(10):1266-1274.
- [12] 何冰,李旺民,丁建勋. 自然资源测绘地理信息服务平台关键技术研究[J]. 地理空间信息,2021,19(6): 29-31,4.
- [13] 陈颖,李绩鹏,陈恒实. 灰度二次校正改进空间变换网络的遥感图像配准[J]. 中国科技论文,2020,15(8): 966-972.
- [14] 包本刚. 融合多特征的目标检测与跟踪方法[J]. 电子测量与仪器学报,2019,33(9):93-99.
- [15] 冯发杰,吏军平,丁亚洲,等. 基于多尺度视觉特征组合的高分遥感影像目标检测[J]. 应用科学学报,2018,36(3):471-484.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.031

广东省林业数据资源综合管理与信息服务能力提升研究

孟先进, 秦琳, 薛亚东, 黄宁辉, 张水花, 陈鑫

(广东省林业调查规划院, 广东 广州 500510)

摘要: 通过解析广东省林业资源数据组成特点和管理功能的需求, 确定了广东省林业数据资源综合管理与信息服务系统的建设内容, 设计了系统总体架构, 并对全省林业资源数据的建库, 数据管理、数据分发与共享, 数据二维及三维展示等关键技术开展研究, 整合了广东省林业资源数据, 构建了综合数据资源池, 极大地提升了全省林业信息资源的利用效率、数据资源管理与信息服务能力。

关键词: 广东省; 林业数据; 综合管理; 信息服务; 管理信息系统

中图分类号: TP311.13; C931.6 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0195-06

引文格式: 孟先进, 秦琳, 薛亚东, 等. 广东省林业数据资源综合管理与信息服务能力提升研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 195-200. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.031

MENG Xianjin, QIN Lin, XUE Yadong, et al. Comprehensive Management of Forestry Data Resources and Improvement of Information Service Capability in Guangdong Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 195-200.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.031

Comprehensive Management of Forestry Data Resources and Improvement of Information Service Capability in Guangdong Province

MENG Xianjin, QIN Lin, XUE Yadong, HUANG Ninghui, ZHANG Shuihua, CHEN Xin

(Guangdong Forestry Survey and Planning Institute, Guangzhou 500510, China)

Abstract: This paper introduced the construction contents of forestry data comprehensive management and information service system, and designed the overall system architecture by analyzing the composition characteristics and functional requirements of forestry resource data in Guangdong Province. The research was conducted on key technologies such as database construction, data management, data distribution and sharing, as well as two-dimensional and three-dimensional display of forestry resource data. The forestry resource data in Guangdong Province was integrated and the comprehensive data resource pool was constructed, greatly improving the utilization efficiency, data resource management and information service capabilities of forestry information resources in Guangdong Province.

Key words: Guangdong Province; forestry data; comprehensive management; information service; management information systems

广东省在森林资源调查、监测等业务开展中, 积累了大量的各类林业专题矢量数据、多源多尺度的遥感影像数据和档案资料数据等。面对多源异构的

林业资源数据, 若不整合治理易形成信息孤岛, 需要提升现有数据资源综合管理与信息服务能力^[1-3]。为有效解决数据处理、管理与共享的难题, 须从数据

收稿日期: 2023-02-10.

第一作者: 孟先进(1979-), 男, 湖北宜城人, 高级工程师. 长期从事森林资源动态监测. Email: 727642504@qq.com

自动快速处理和高效规范管理入手,整合广东省林业资源数据,构建综合数据资源池^[4-6]。

在广东省已有的林业数据资源与服务能力的基础上,探讨对已有数据进行治理,并汇聚卫星遥感应用技术力量,建设集数据接收、数据入库、数据查询、数据统计、数据下载和影像加工为一体的数据综合管理与分析系统,以及集服务发布、二维及三维展示为一体的数据分发服务与展示系统,以提升全省林业数据资源的综合管理能力与信息服务能力^[7-9],满足全省林业系统在数据管理、处理、检索、分析、分发、发布和展示等方面的需求,同时为其他业务系统提供数据支撑。

1 建设内容

从构建数据综合管理与分析系统、综合管理数据库、数据分发服务与展示系统 3 个方面开展项目建设。

1.1 数据综合管理与分析系统

实现对矢量图斑数据、原始影像数据、成果影像数据、档案资料数据等多源异构数据的统一管理;建设集正射校正、影像融合、匀光匀色自动批量化处理能力的影像数据生产;在 B/S 模式下提供个性化的查询、展示、订阅、分析服务应用能力。

1.2 综合管理数据库

实现矢量数据、影像数据、档案资料数据等相关数据的一体化存储管理。

1.3 数据分发服务与展示系统

实现矢量数据与影像数据发布为标准 OGC 服务的能力,同时支持第三方系统平台对已发布服务的调用,形成数据二维及三维一体化集成展示窗口。

2 系统架构设计

采用多层结构进行设计,分为基础设施层、数据支撑层、服务层和用户层。基础设施层是支撑系统运行的基础软件、硬件设备、网络资源及虚拟化资源;数据支撑层实现矢量图斑数据、原始影像数据、成果影像数据、档案资料数据等各类数据资源的集中管理;服务层提供数据预处理功能、数据入库及管理功能、多源数据资源的综合管理功能;用户层根据不同用户群体的系统使用需求,进行功能、权限分配及管理。系统架构设计如图 1 所示。

3 系统功能设计

根据系统开发流程和功能需求分析的结果,本项目设置有 5 个子系统,分别为综合管理子系统、影

像处理子系统、共享分发子系统、服务发布子系统和二维及三维展示子系统。

3.1 综合管理子系统

综合管理子系统实现对其他单位推送和获取的遥感数据进行接收和入库管理,具备数据预处理、自动识别等处理能力,同时支持矢量图斑数据、原始影像数据、成果影像数据、档案资料数据等的统一存储与管理,提供数据建模配置、自动接收入库、数据维护、数据查询、数据统计和数据下载等功能。该子系统可通过动态扩展的数据建模机制创建不同数据资源模型,满足不同数据接收入库场景的需求,实现不同来源数据的综合管理。

综合管理子系统主要包括数据预处理模块、数据入库模块、资源管理模块、数据查询浏览模块、数据提取模块、数据管理维护模块。

3.2 影像处理子系统

影像处理子系统主要实现遥感影像自动处理,系统通过调度引擎实现任务调度、计算资源分配和负载均衡,并采用分布式并行处理技术以及先进的自动化处理算法实现遥感影像自动化、并行化的快速处理,既能支持应急模式下的自动快速影像处理,也能支持常规模式下的影像产品制作。该子系统支持遥感影像从空三定位到影像分幅成图的全过程自动化处理为正射影像数据产品、融合及镶嵌产品、匀光匀色产品、镶嵌产品、标准分幅产品、DSM/DEM 产品等各类产品。

影像处理子系统主要包括几何精处理模块、自动 DSM/DEM 生产模块、自动 DOM 生产模块、影像质检模块、交互式编辑模块、配套工具箱模块。

3.3 共享分发子系统

共享分发子系统采用跨终端应用集成技术,结合多源遥感数据差异化应用场景,提供个性化服务应用能力,实现在 B/S 模式下,为广东省林业系统用户提供各类数据的查询、展示、订阅、分析应用等服务。

共享分发子系统主要包括服务门户模块、查询浏览模块、订单管理模块、个人中心模块、统计分析模块、系统管理模块。

3.4 服务发布子系统

服务发布子系统具备矢量数据、栅格数据、瓦片集发布能力,可将矢量数据与影像数据发布成标准 OGC 服务,支持切片发布和免切片发布,同时支持第三方系统平台对已发布服务的调用。

服务发布子系统主要包括资源管理模块、服务发布模块、服务配置模块、系统管理模块。

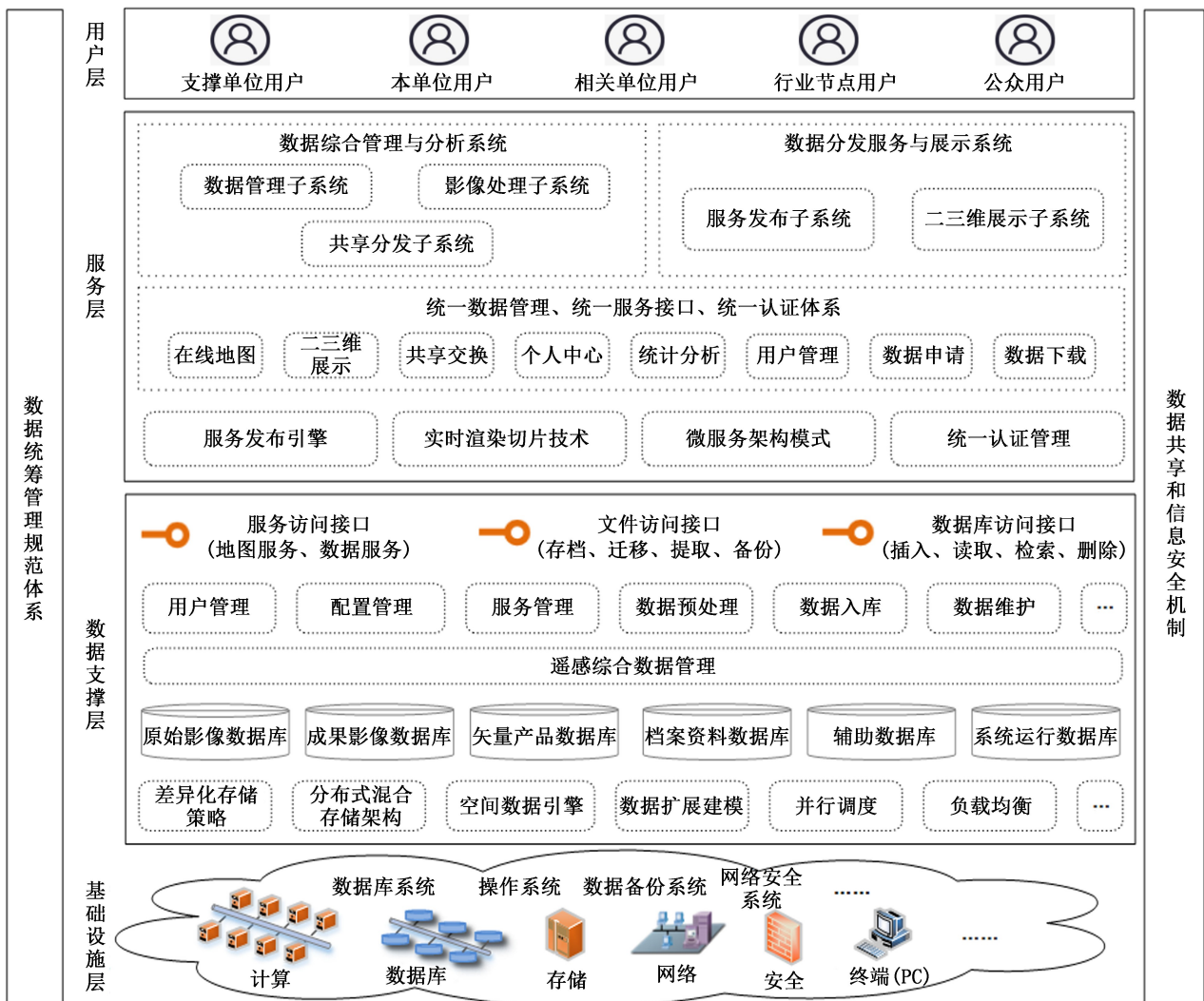


图 1 广东省林业数据资源管理与信息服务系统架构设计

Fig. 1 System architecture design of forestry data comprehensive management and information service system in Guangdong Province

3.5 二维及三维展示子系统

二维及三维展示子系统实现数据二维及三维一体化集成展示窗口,通过已发布数据服务的调用,可将多数据图层叠加展示在二维或三维地图底图上进行地图漫游,并实现图层管理、多数据分屏比对、卷帘浏览、多时相浏览等操作。

二维及三维展示子系统主要包括地图漫游模块、服务调用模块、图层叠加模块、图层管理模块、分屏比对模块、卷帘浏览模块、多时相浏览模块。

4 综合数据库设计

4.1 技术路线

综合数据库包含的数据类型、数据格式多样,数据库设计必须考虑数据规范问题,将多源异构数据

按照统一的标准规范进行集成并录入到数据库中^[3,5-6]。完整的综合数据库建设应包含从数据库设计、建库与入库到数据库运行维护整个流程,其中主要分为 3 个部分:数据库的设计与建库、各类数据入库、数据库优化与维护。综合数据库建设具体技术路线如图 2 所示。

4.2 数据存储架构设计

综合数据库存储架构采用关系型数据库 PostgreSQL、非关系型数据库 MongoDB、分布式存储的混合存储架构模式,存储管理各类数据资源。数据存储架构设计如图 3 所示。

4.3 数据管理模式设计

整个数据库采用大型空间数据库引擎、关系型数据库表和文件编目相结合的方式实现数据的存储,针对不同的数据类型和应用特点采用不同的存储模式。

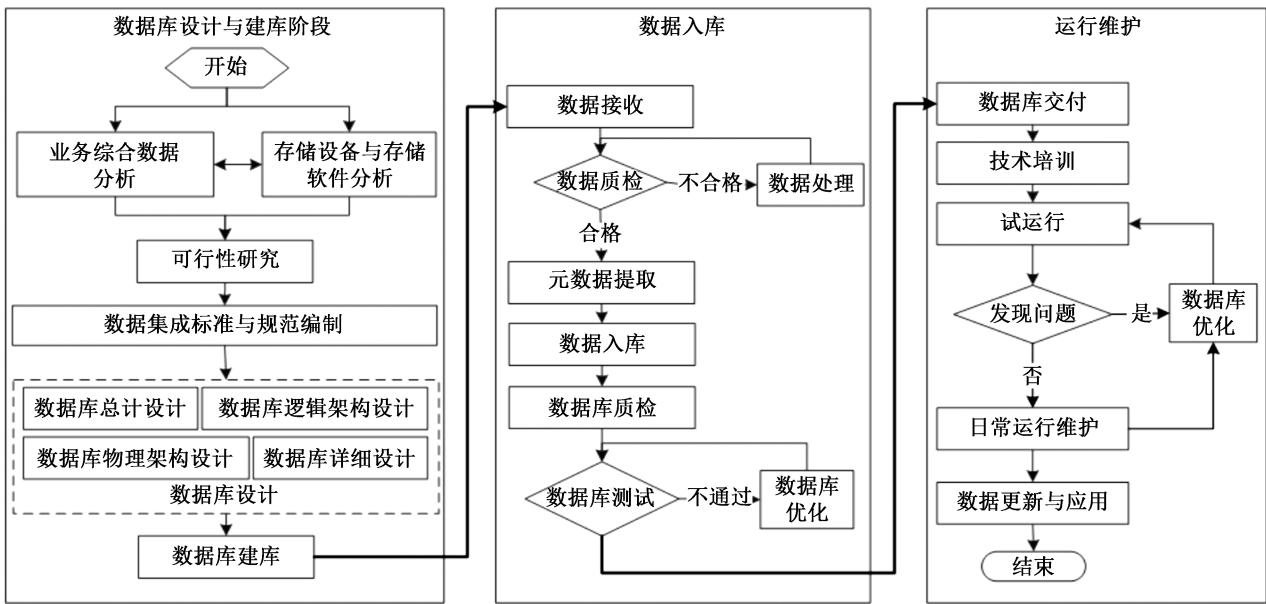


图 2 综合数据库建设技术路线

Fig. 2 Technical roadmap of comprehensive database construction

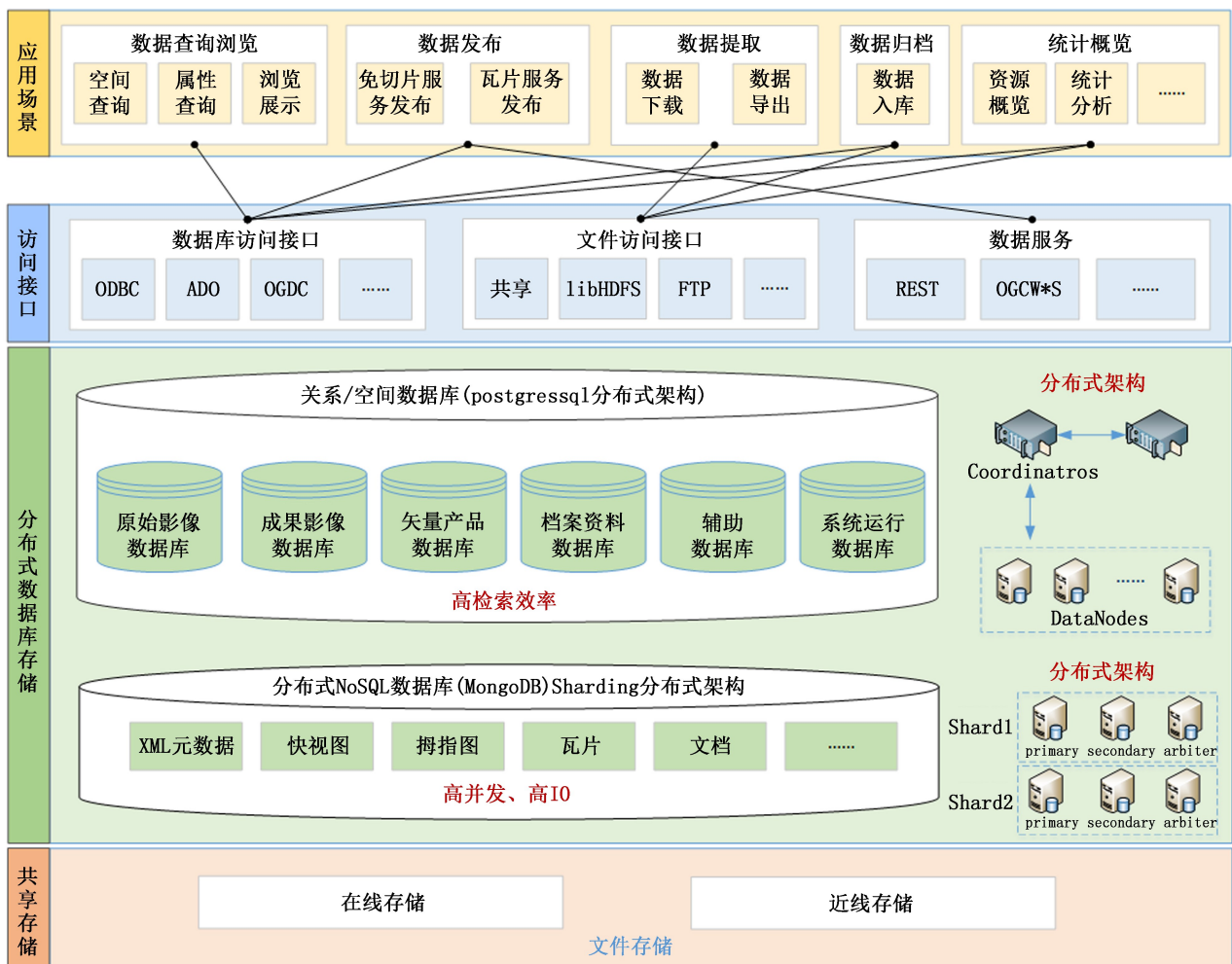


图 3 数据存储架构设计

Fig. 3 Design diagram of data storage architecture

(1)结构化数据、元数据直接存储于关系型数据库中;(2)矢量空间数据、更新频率小且常用的栅格空间数据采用空间数据库引擎 PostGIS 进行管理,存储在关系型数据库中;(3)遥感影像数据、非结构化数据采用编目方式进行存储和管理。

5 系统主要功能的实现

5.1 综合管理子系统的实现与应用

该子系统支持影像数据、矢量数据、文档资料等

数据资源的统一存储与管理,已涵盖广东省卫星中心推送的每月快纠影像产品、2 m 分辨率的广东省一版图、0.5 m 分辨率的广东省一版图等遥感数据,广东省林草湿调查、监测等相关的 12 个大类 27 个小类的矢量数据,以及标准规范、操作规范等文档资料的入库管理。同时以接口服务方式,为服务发布子系统、数据共享分发子系统提供数据接口能力。综合管理子系统主界面如图 4 所示。

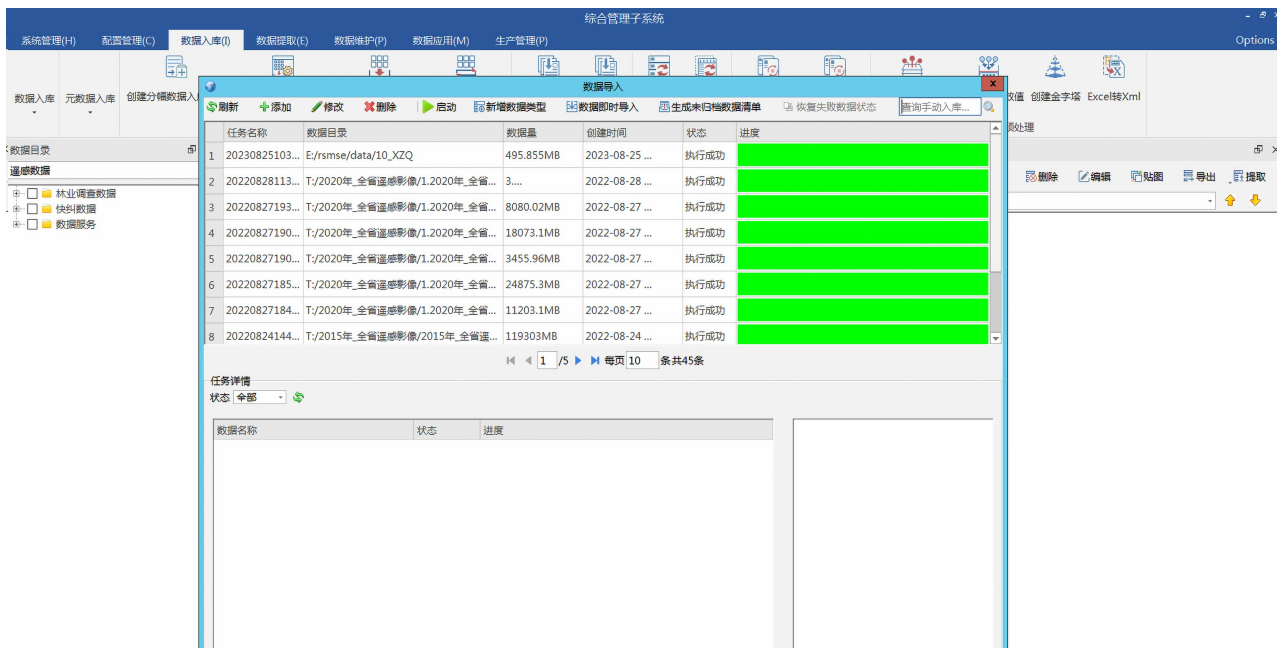


图 4 综合管理子系统界面

Fig. 4 Interface of integrated management subsystem

5.2 服务发布子系统的实现与应用

提供影像、矢量、地形、倾斜摄影的数据发布以及服务监控管理能力。已完成 12.5 m 分辨率的广东省 DEM 数据三维地形服务、每年 0.5 m 分辨率的广东省一版图的镶嵌数据集服务发布、每季度 2 m 分辨率的广东省一版图的镶嵌数据集服务发布、广东省林草湿相关的 12 个大类 27 个小类矢量图层数据切片和矢量服务发布工作,目前服务运行状态良好。服务发布子系统界面如图 5 所示。

5.3 共享分发子系统的实现与应用

提供数据在线查询检索、数据浏览展示、数据申请审批、在线数据下载等能力。目前系统已部署运行,各级用户通过登录账户,选择不同的空间范围和卫星载荷、数据采集时间、云量等信息,查询所需的数据资源。通过提交订单申请,由管理员进行审批后进

行下载使用。共享分发子系统界面如图 6 所示。

6 结 论

通过整合广东省林业资源数据,构建综合数据资源池,极大地提升了信息资源的利用效率和林业数据资源综合管理与信息服务能力,有效地促进了行业信息的综合应用,为广东林业信息化发展打下了坚实的基础。该项目实现了系统设计中所描述的所有功能,混合的数据存储架构,根据数据资源情况,采用关系型数据库、NoSQL 数据库、共享存储等多种数据存储方式;灵活的数据资源扩展建模,支持不同数据源的数据模型动态扩展,支撑多源异构数据的入库管理;高效的矢量瓦片渲染,基于矢量的化简、抽稀策略实现矢量瓦片切片,基于动态渲染处理实现千万级矢量数据的快速渲染展示。



图 5 服务发布子系统界面

Fig. 5 Interface of service publishing subsystem

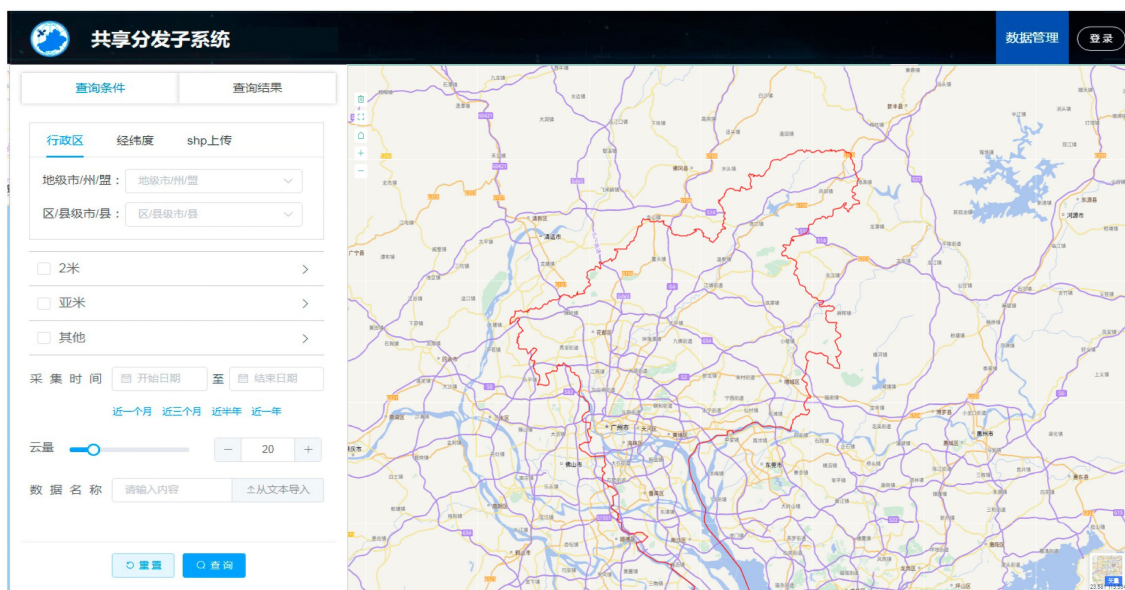


图 6 共享分发子系统界面

Fig. 6 Interface of shared distribution subsystem

参考文献:

[1] 卢鹏,肖玲,甘桂春,等. 贵州省林业资源综合监测评价与决策管理信息系统的设计与实现[J]. 林业资源管理,2017(2):119-125.

[2] 肖胜. 省级林业数据中心建设及信息服务的研究——以福建省数字林业项目为例[J]. 林业资源管理,2006(5):72-74.

[3] 刘羿,刘安兴,张国江. 森林资源数据更新研究[J]. 林业资源管理,2006(2):66-70,91.

[4] 孙海宁,孙海艳. 北京市古树名木管理信息系统的开发与应用[J]. 林业资源管理,2020(2):162-166.

[5] 黄宁辉. 基于 GIS 的广东省古树名木信息管理系统的设计与应用[J]. 林业调查规划,2012,37(3):110-112.

[6] 马勇,黄华,曹琼,等. 昆明市林业信息化建设现状与思考[J]. 林业调查规划,2006,31(2):67-69.

[7] 余茂源. 智慧林业的关键技术及其应用策略研究[J]. 林业调查规划,2017,42(5):122-123.

[8] 高金萍,高显连,于慧娜. 基于东北森林资源二类调查成果和树种专项采集数据的森林场景仿真和技术实现[J]. 林业资源管理,2019(1):94-100.

[9] 黄心渊,王海. “数字林业”及其技术与发展[J]. 北京林业大学学报,2006,28(6):143-147.

责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.032

面向河道带状地形测量的航空摄影测量影像细节增强技术研究

何旭东¹, 赵洪鹏²

(1. 青海浩纬测绘有限公司, 青海 西宁 810000; 2. 青海省地质测绘地理信息院//青海省高原测绘地理信息新技术重点实验室, 青海 西宁 810000)

摘要: 航空摄影曝光延迟对测量影像造成误差干扰, 导致影像对比度和清晰度不高, 为解决这一问题, 提出了基于子层分割和透射率去雾的影像细节增强处理技术。充分考虑加入一体化监测中与航空摄影测量时间呈线性关系的系统误差, 采用动态差分后处理技术解决曝光延迟和信号中断造成的误差干扰问题。对影像各个灰度区域进行子层分割处理, 将子层区域占全局直方图的比例反映到灰度级的横坐标上, 对影像对比度进行增强处理。构建大气传输模型, 计算无雾影像局部影像块内通道暗原色, 结合航拍影像局部透射率计算结果, 对影像清晰度进行增强处理。实验结果表明, 该技术最大像素值为 1 000 PX, 出现在中间区域, 影像细节增强效果与理想增强效果一致, 能够有效增强影像细节。

关键词: 航空摄影; 测量影像; 影像细节增强技术; 动态差分后处理技术; 子层分割技术; 透射率去雾技术

中图分类号: S771.54; TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3168(2024)04-0201-06

引文格式: 何旭东, 赵洪鹏. 面向河道带状地形测量的航空摄影测量影像细节增强技术研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 201-206. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.032

HE Xudong, ZHAO Hongpeng. Detail Enhancement Technology of Aerial Photogrammetric Image for River Band Topographic Survey[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 201-206. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.032

Detail Enhancement Technology of Aerial Photogrammetric Image for River Band Topographic Survey

HE Xudong¹, ZHAO Hongpeng²

(1. Qinghai Haowei Surveying and Mapping Co., Ltd., Xining 810000, China; 2. Qinghai Geological Mapping and Geographic Information Institute/Qinghai Provincial Key Laboratory of New Geographic Information Technology for Plateau Surveying and Mapping, Xining 810000, China)

Abstract: Aerial photography exposure delay causes error interference to the measured image, resulting in low image contrast and clarity. To solve this problem, the image detail enhancement technology based on sub-layer segmentation and transmittance defogging was proposed. By fully considering the system error that was linear with the aerial photogrammetry time in the integrated monitoring, the dynamic differential post-processing technology was adopted to solve the error interference caused by exposure delay and signal interruption. Sub-level segmentation was carried out for each gray area of the image, and the proportion of the sub-level area in the global histogram was reflected on the abscissa of the gray level to enhance the image

收稿日期: 2023-03-01.

第一作者: 何旭东(1986-), 男, 甘肃天水人, 工程师. 主要研究方向为大地测量、工程测量、不动产测绘、遥感应用、航空摄影测量、地理信息等.

责任作者: 赵洪鹏(1986-), 男(藏族), 青海乐都人, 工程师. 主要研究方向为大地测量、工程测量、不动产测绘、遥感应用、地理信息等.

contrast. The atmospheric transmission model was built to calculate the dark primary color of the channel in the local image block of the fog-free image, and enhance the image definition in combination with the local transmittance calculation results of the aerial image. According to the experimental results, the maximum pixel value of this technology was 1 000 PX, which appeared in the middle region. The image detail enhancement effect was consistent with the ideal enhancement effect, and could effectively enhance the image details.

Key words: aerial photography; measurement images; image detail enhancement technology; dynamic differential post-processing technology; sub-level segmentation technology; transmittance defogging technology

河道不仅是生态系统中的一个重要组成部分,同时也是一个重要的水利工程。由于人们对环境保护的重视,综合整治河道已成为社会普遍关心的问题。传统的测量技术难以完全获取河道详细的带状地形信息,给后期的治理工作造成了一定的难度。航空摄影测量是低海拔地区遥感影像采集的一种新技术,具有成本低、灵活性强、工作速度快等特点,已成为测绘过程的一种主要方法。通过对高精度影像数据的采集,建立了数字正射影像图和三维立体图形,并进行了数值模拟,为河道带状地形测量提供准确数据支撑。带状地形河道多为条形地带,周边植被茂密,裸露地面少,在工程实践中很难设置构筑物 and 数目均达到要求的地面像控点,造成测量准确率不高,从而制约了对河流湖泊的有效利用。针对上述情形,需要增强影像细节。文献[1]提出了基于暗通道先验的增强技术,为了提高去雾的输出影像品质,利用增强大气透射率图层对比度的办法,结合自反差或自适应色彩强化影像处理技术,提高了输出图像的亮度。但单一的图层去雾处理会造成影像灰度级合并,使部分细节丢失;文献[2]提出了基于改进 YOLOv4 的目标检测方法,在原有的特征抽取网络中加入了注意机理,能够有效提高对有用信息的专注程度,从而增强通道之间的注意力,由此改进网络结构,更好地探测小尺度目标。但该方法对于对比度较低的影像无法达到良好的处理效果。为了增强图像细节信息,提出了面向河道带状地形测量的航空摄影测量影像细节增强技术,该技术通过子层分割方法增强影像对比度,通过透射率去雾方法增强影像清晰度。

1 结合动态差分后处理的高精度辅助测量

航空摄影时通常使用无人机作为摄影装置,其具有体积小、方便携带的特点,装置有一套完整的导航式监控系统,但未安装曝光同步设备^[3],所以,采用集成监控技术对摄像机的曝光时间会产生一定的

影响,导致数据采集效果较差,因此,需要进行影像控制测量辅助空三解算。目前,无人机采用实时动态载波相位差分模组,差分数据精度可达毫米,精度高,可在不受控制的情况下在平坦地区实现非可控点采集,但不能很好地适应河道带状地形。通过改善摄像机曝光时间,既能提高空三解算精度,又能减少外业像控点数量^[4]。

充分考虑加入一体化监测中与航空摄影测量时间呈线性关系的系统误差,通过公式(1)进行动态差分后处理,其中影像外方位元素坐标可表示为:

$$\begin{bmatrix} X_a \\ Y_a \\ Z_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_e - \left(E \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_e + \begin{bmatrix} \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_X \\ \phi_Y \\ \phi_Z \end{bmatrix} \times (t - t_0) \right) \quad (1)$$

式中: (X_a, Y_a, Z_a) 为影像实际曝光时刻下的投影中心坐标; (X, Y, Z) 为像素点在辅助中心坐标系下的坐标; (x, y, z) 为天线相位中心坐标; $(\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z)$ 为线性偏移误差固定数值; (ϕ_X, ϕ_Y, ϕ_Z) 为线性偏移误差随时间变化数值; e 为处理误差; E 为正交变换矩阵^[5]。

假设辅助空中三角测量坐标为 (X_b, Y_b, Z_b) , 那么动态差分后处理可用公式(2)来表示:

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = E^T \left| \begin{bmatrix} X_a \\ Y_a \\ Z_a \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} \right| \quad (2)$$

式中: T 为处理周期。

经过动态差分后处理获取处理后的测量坐标,采用一套参考流动站接收机,通过动态差分后处理获得测量坐标。对综合监测系统中各个卫星的载波相位进行实时观察,形成一套虚拟的载波相位观测测量,并对接收机进行毫米级的三维坐标判定,与参考站的坐标相结合,从而确定无人机流动站的三维坐标,使用动态差分后处理技术示意图如图 1 所示。

采用动态差分后处理技术实现了无人机的实时动态载波相位差分模组的高精度数据,降低了由于曝光延时、信号中断等原因引起的错误干扰,提高了

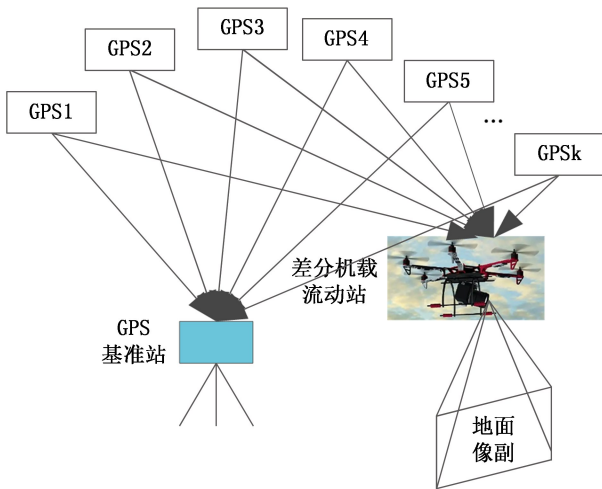


图 1 无人机动态差分后处理技术示意图

Fig. 1 Schematic diagram of dynamic differential post-processing technology for drones

空三解算的准确率,确保了航空摄影测量精度达到测绘要求^[6-8]。

2 基于子层分割和透射率去雾的影像细节增强处理

使用无人机航拍过于依赖气象条件,因而其影像品质受到外界干扰,在雾雨天气中大气悬浮颗粒会将物体的反射光散射到地面,而周围的光又会被感测器吸收,因而导致影像清晰度和对比度降低,从而严重影响到影像后续处理进程。因此,设计一种针对航空影像细节的增强方法就显得特别重要。

2.1 基于子层分割的影像对比度增强处理

通过对航空摄影各个灰度区域细节的强化,使图像中各灰度区域具有高质量信息,并根据像素的灰色信息进行直方图的分割。理论上,影像分块数越多,细节增强效果越好。为了提高影像整体反差,将影像划分为 4 个子区,扩大了具有高灰度概率密度的灰度值变化范围,减小了低灰度概率密度的灰度值变化范围,提高了整体影像对比度^[9]。

将各子层次的灰度级范围平均划分成 4 个子层次,若某个子层次中的灰度值累计概率密度比较大,那么调整此区域中灰度值变化范围可很好地增大影像对比度,公式为:

$$\delta_i = \sum_{j=r_i}^{r_i} m(f_j) \quad (3)$$

式中: $m(f_j)$ 为影像中 j 个灰度级为 f 的像素数量; r_i 为 i 个子层^[10]。

通过计算图像对比度,对灰度范围进行拉伸和压缩处理^[11]。其子层区在整体上的比率可以用公式(4)来表示:

$$P_i = \frac{\delta_i}{n} \quad (4)$$

式中: n 为影像中所有像素总量。

将其反映到灰度级的横坐标上,可表示为:

$$x_i = L \times P_i \quad (5)$$

式中: L 为灰度最大值。

区域大小与初始区域大小呈正比例关系,当某个区域中有高灰度概率密度时,则该区域的灰度值较大,表明子层灰度范围区域已被拉伸^[12]。

在影像柱状图中,有一小块的像素灰度在柱形图的两端,与其余的像素值相隔较远,而在柱状图的分割中,若把这一小块区域划分为一个子层,那么会使其它区域的扩展性受到一定影响,且在分层之后影像的对比度也未能得到很好地改善^[13]。因此,为了提高影像分割效率,需要设定一个窗口,剔除亮度低于最低阈值或高于最高阈值的影像,从而增强影像对比度。

2.2 基于透射率去雾的影像清晰度增强处理

在影像去雾过程中,采用一种大气传播模式,主要包括衰减项和大气光两个部分,其中衰减项表示河道反射光线经过大气传播后的直接衰减,大气光表示传播过程中大气光对影像传感器的影响,该模型可表示为:

$$I(x) = F(x)\alpha + \beta \cdot (1 - \alpha) \quad (6)$$

式中: $F(x)$ 为不受雾干扰的影像; α 为光线在大气中的透射率; β 为大气光^[14]。

在无雾影像的局部影像块内存在某些像素,其颜色空间的通道灰度值较低,即暗原色,表示公式为:

$$F_{\text{dark}}(x) = \min_{y \in \mu(x)} (F_o(y)) \quad (7)$$

式中: F_o 为影像中某个颜色通道; $\mu(x)$ 为像素 x 内的局部影像块总数; y 为某个局部影像块^[15]。假定整个影像的大气光和透射率均为一个固定数值,而影像的局部面积则是最小的,当公式(6)两侧均取最小值时,则可得出:

$$\min_{y \in \mu(x)} \left(\min \frac{I(x)}{\alpha} \right) = \beta \min_{y \in \mu(x)} \left(\min \frac{I(x)}{\alpha} \right) + 1 - \alpha \quad (8)$$

根据暗原色先验理论,存在: $F_{\text{dark}}(x) = 0$,将该公式代入(8),可得到航拍影像局部透射率为:

$$\alpha' = 1 - \min_{y \in \mu(x)} \left(\min \frac{I(x)}{\alpha} \right) \quad (9)$$

结合该计算结果,可得到清晰的影像,公式为:

$$F(x) = \frac{I(x) - \beta}{\max(\alpha, \alpha_0)} + \beta \quad (10)$$

式中： α_0 为透射率阈值。

通过计算影像中最明亮的像素，可获得去雾后的清晰影像。

3 实例分析

为了分析面向河道带状地形测量的航空摄影测量影像细节增强技术研究的合理性，使用 DJI Phantom 4 RTK 多旋翼无人驾驶飞机，与中海达后差分组件集成配套模块，其测量结果精度满足 1:500 地形图航空测量标准。通过双备系统实现实时差动后处理，不受通信链路和网络的制约，使得测量工作更加灵活、有效。

3.1 研究区

以某一河道整治项目为例，该项目为某省桥段河道治理工程，勘察和测绘面积为 3 km²，河道总长 3.5 km，河道两旁植物稀少，测区的正射影像如图 2 所示。



图 2 测区正射影像

Fig. 2 Orthophoto image of the survey area

利用无人机摄像头的透镜畸变校正控制飞行高度，执行合理的航路计划，提高无人机航测精度，为河道治理工程的开展提供可靠依据。

3.2 控制点布设

将快速拼接后的正射影像通过查看软件打开，根据 1:1 000 地图航空摄影测量技术要求，在平高控制点周围布置 6~8 个平面点；高程点宜在全野外布置，其范围一般为 2~4 条。同时，综合地面分辨率、测区地形特征和图幅分布等因素，针对实际条件选取最佳实现方式进行外业像控布置(图 3)。

该项目采用了 InphoApplication 模组进行数据处理，满足了低空航空摄影测量的外业技术要求，获取了现场实际数据收集。

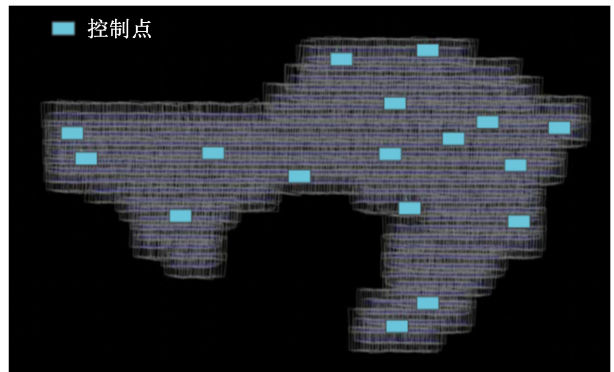


图 3 控制点布设示意图

Fig. 3 Schematic diagram of control point layout

3.3 实验数据采集

采用 DJI Phantom 4 RTK 多旋翼无人驾驶飞机，利用飞行管家软件，将获取的数据导入该软件后生成飞行航线，整个飞行时间为 80 min。全过程数据采集过程如图 4 所示。

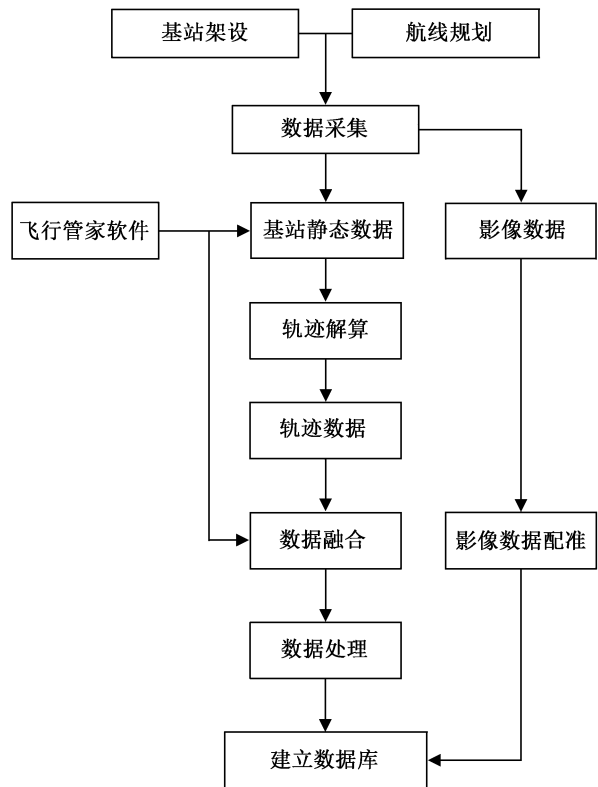


图 4 实验数据采集技术路线

Fig. 4 Technical roadmap of experimental data collection

根据河道长、宽的作业环境，合理安排无人机飞行路线，此次无人机采样间隔为 1 m/s。从图 3 所示控制点中随意选取 1 点，采集的数据经机载激光雷

达测量系统处理后得到激光点云数据影像(图 5)。

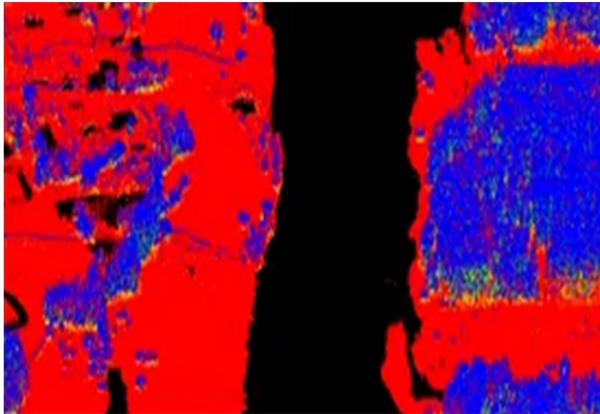


图 5 激光点云数据影像

Fig. 5 Laser point cloud data image

通过空三加密机建模输出测区理想影像细节增强效果图(图 6)。



图 6 理想影像细节增强效果图

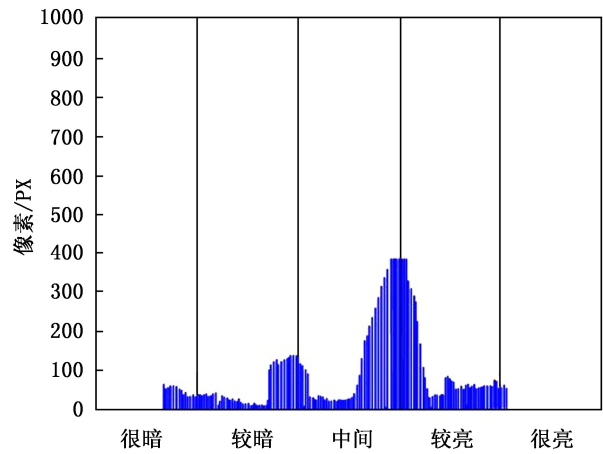
Fig. 6 Ideal image detail enhancement effect

将图 6 所示从影像中截取的图片作为目标图进行实验对比分析。

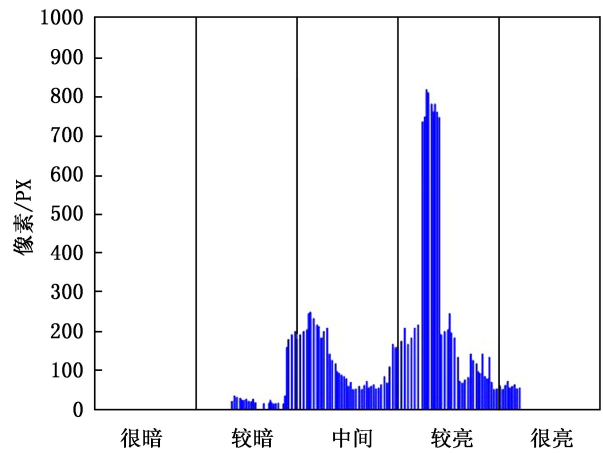
3.4 实验结果与分析

使用基于暗通道先验的图像去雾方法、基于改进 YOLOv4 的目标检测方法和基于子层分割和透射率去雾的细节增强技术,不同方法亮度直方图对比结果如图 7 所示。

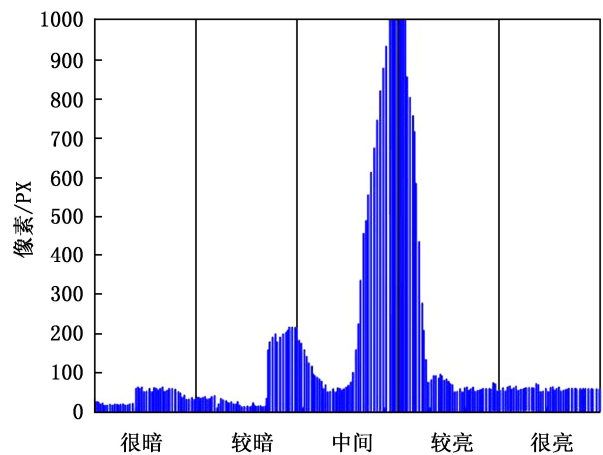
由图 7 可知,使用基于暗通道先验的增强技术、基于改进 YOLOv4 的目标检测方法像素最大值分别出现在中间偏右和较亮区域,这两个区域影像调整区域像素多,导致影像模糊不清晰。使用基于子层分割和透射率去雾的细节增强技术像素最大值出现在中间,该区域影像调整区域像素多,影像清晰。



(a) 基于暗通道先验的增强技术



(b) 基于改进YOLOv4的目标检测方法



(c) 基于子层分割和透射率去雾的细节增强技术

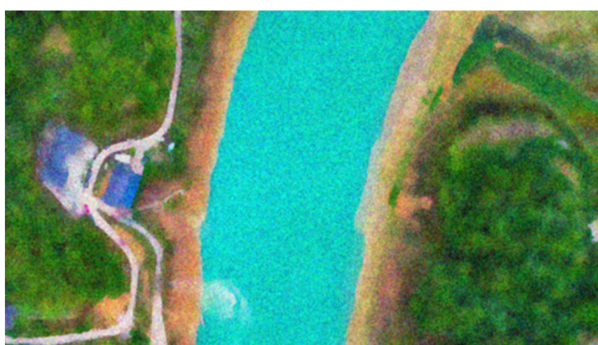
图 7 不同方法影像亮度直方图对比分析

Fig. 7 Comparative analysis of image brightness histograms using different methods

为了进一步验证所研究技术是否起到有效增强细节的效果,不同方法影像细节增强效果对比结果如图 8 所示。



(a) 基于暗通道先验的增强技术



(b) 基于改进YOLOv4的目标检测方法



(c) 基于子层分割和透射率去雾的细节增强技术

图 8 不同方法影像细节增强效果对比分析

Fig. 8 Comparative analysis of image detail enhancement effects using different methods

由图 8 可知,使用基于暗通道先验的增强技术、基于改进 YOLOv4 的目标检测方法无法有效增强激光电源数据影像,增强的影像存在杂色干扰,且部分细节模糊。使用本研究的基于子层分割和透射率去雾的细节增强技术,影像细节增强效果与理想增强效果一致。

4 结 论

为了解决常规方法无法有效进行影像细节增强处理的问题,结合子层分割和透射率去雾技术进行影像细节增强处理,得出如下结论:

1) 使用动态差分后处理技术可解决曝光延迟和信号中断造成的误差干扰问题。

2) 使用子层分割技术可解决航空摄影测量影像对比度低的问题。

3) 使用透射率去雾技术可解决航空摄影测量影像清晰度低的问题。

参考文献:

- [1] 李力,胡潇,彭军. 基于暗通道先验的航拍图像去雾效果优化[J]. 国土资源遥感,2021,33(1):108-114.
- [2] 王浩雪,曹杰,邱诚,等. 基于改进 YOLOv4 的航拍图像多目标检测方法[J]. 电光与控制,2022,29(5):23-27.
- [3] 杨胜天,王鹏飞,王娟,等. 结合无人机航空摄影测量的河道流量估算[J]. 遥感学报,2021,25(6):1284-1293.
- [4] 王延寿. 无人机航空摄影技术在三维边坡建模中的应用[J]. 遥感信息,2022,37(5):51-55.
- [5] 张永军,万一,史文中,等. 多源卫星影像的摄影测量遥感智能处理技术框架与初步实践[J]. 测绘学报,2021,50(8):1068-1083.
- [6] 李亚东,曹明兰,李长青,等. PPK 技术在无人机森林航空摄影测量中的应用[J]. 中南林业科技大学学报,2021,41(7):20-25.
- [7] 卓广平,张俊花. 基于几何约束与局部描述的航空影像直线匹配[J]. 测绘通报,2022,540(3):60-64.
- [8] 刘伟玉,万一,张永军,等. 基于相位均匀卷积的 LiDAR 深度图与航空影像高效匹配方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2022,47(8):1309-1317.
- [9] 董旭彬,赵清华. 改进 Mask R-CNN 在航空影像目标检测的研究应用[J]. 计算机工程与应用,2021,57(8):133-144.
- [10] 李赛,尹球,胡勇,等. 基于 SPHP 的推扫式高光谱航空影像拼接[J]. 红外与毫米波学报,2021,40(1):64-73.
- [11] 杨佳宾,范大昭,杨幸彬,等. 面向倾斜摄影的深度学习航空影像匹配方法[J]. 地球信息科学学报,2021,23(10):1823-1837.
- [12] 王慧,王利勇,闫科,等. 无序航空遥感影像的三维地形重建[J]. 测绘科学技术学报,2021,38(1):33-38.
- [13] 蒯宇,王彪,吴艳兰,等. 基于多尺度特征感知网络的城市植被无人机遥感分类[J]. 地球信息科学学报,2022,24(5):962-980.
- [14] 黄波,姜晓璐. 增强型空间像元分解时空遥感影像融合算法[J]. 遥感学报,2021,25(1):241-250.
- [15] 保盈,王雷光,郭梦晓,等. Worldview 3 全色与短波红外影像两步式融合框架[J]. 计算机工程与应用,2021,57(11):193-201.

责任编辑:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.033

太原市滨河东路绿地土壤养分分布及肥力质量评价

赵心语,王春玲,陈小平,王婷婷,胡杰

(山西农业大学 城乡建设学院,山西 太谷 030801)

摘要:滨河东路是太原市纵贯南北的城市主干道,其路侧林带是城市绿化植物生长的重要基础,也是水陆生态系统之间的重要过渡区。为了解太原市滨河东路绿地土壤的肥力质量和养分特征,对其路侧绿地进行实地调查采样,对比分析 pH、电导率、总氮、总磷、有机质、硝氮、铵氮等土壤理化指标,并运用熵权法对土壤肥力质量进行评价。结果表明,太原市滨河东路绿地土壤整体为碱性,属于非盐化土,有机质、总氮、总磷含量均为高级水平,铵氮、硝氮含量为低级水平。pH、电导率为低程度变异,其他土壤理化指标均为中、高程度变异,存在着明显的空间变异性;从沿道路方向的空间分布来看,总氮、硝氮、有机质含量变化幅度较大,总磷、铵氮含量及电导率的变化较为平缓,硝氮、总氮、总磷含量在 B 样区均较高,C 样区有机质含量显著高于其他样区,F 样区铵氮含量较高;从垂直道路方向的空间分布来看,随着距道路距离的增大,硝氮、总氮、总磷含量均呈先上升后降低的趋势,有机质含量、电导率呈增大的趋势,铵氮含量呈先增大后减小再增大的趋势。各理化指标的高值均出现在距道路 20~40 m 的断面。土壤综合肥力质量的平均值为 0.239,土壤肥力质量整体较低,随着与道路距离的增大,进入自然保护区之后,呈上升趋势。总体来看,研究样地肥力质量整体较差,受人为因素影响大,滨河东路绿地不同区域土壤养分间的差异可为土壤改良提供数据支撑,因地制宜地对路侧绿地土壤的养分调控进行精准管理。

关键词:土壤养分;肥力质量;空间分布;熵权法;滨河绿地;太原市

中图分类号:S714.2;S714.8 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)04-0207-08

引文格式:赵心语,王春玲,陈小平,等.太原市滨河东路绿地土壤养分分布及肥力质量评价[J].林业调查规划,2024,49(4):207-214. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.033

ZHAO Xinyu, WANG Chunling, CHEN Xiaoping, et al. Soil Nutrient Distribution and Fertility Quality Evaluation of Binhe East Road Greenbelt in Taiyuan[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 207-214. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.033

Soil Nutrient Distribution and Fertility Quality Evaluation of Binhe East Road Greenbelt in Taiyuan

ZHAO Xinyu, WANG Chunling, CHEN Xiaoping, WANG Tingting, HU Jie

(College of Urban and Rural Construction, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China)

Abstract: Binhe East Road is the main urban road running through the north and south of Taiyuan. Its roadside green space is an important foundation for the growth of urban greening plants, and also an important transition zone between water and land ecosystems. In order to understand the soil fertility quality

收稿日期:2023-02-20.

基金项目:国家自然科学基金项目(NO.32001369).

第一作者:赵心语(1998-),女,山西原平人,硕士研究生.研究方向为景观生态修复. Email:zhaoxy0108@126.com

责任作者:王春玲(1984-),女,山西忻州人,副教授.主要从事湿地、湖泊生态系统与环境方面研究. Email:wclb6501@126.com

and nutrient characteristics of the green belt of Binhe East Road in Taiyuan city, field investigation and sampling were carried out on the green belt of the road side, and soil physical and chemical indexes such as pH, electrical conductivity, total nitrogen, total phosphorus, organic matter, nitrate and ammonia nitrogen were compared and analyzed, and the soil fertility quality was evaluated by entropy weight method. The results showed that the soil of Binhe East Road in Taiyuan was alkaline and non-salinized. The organic matter, total nitrogen and total phosphorus were all at high level, while ammonia and nitrate nitrogen were at low level. pH and electrical conductivity showed low variation, while other soil physical and chemical indexes showed medium high variation with obvious spatial variability. In terms of the spatial distribution along the road direction, the variation range of total nitrogen, nitrate nitrogen and organic matter was large, while the variation of total phosphorus, ammonia nitrogen and electrical conductivity was relatively gentle. The contents of nitrate nitrogen, total nitrogen and total phosphorus were higher in sample B, organic matter content in sample C was significantly higher than other sample areas, and ammonia nitrogen content in sample F was higher. In terms of the spatial distribution of vertical road direction, with the increase of the distance from the road, nitrate, total nitrogen and total phosphorus increased first and then decreased, organic matter and electrical conductivity increased, and ammonia nitrogen increased first, then decreased and then increased. On the whole, the high values of physical and chemical indexes were all in the section 20–40 m away from the road. The average value of the comprehensive soil fertility quality was 0.239. The overall soil fertility quality was relatively low. With the increase of the distance from the road, the soil fertility quality showed an upward trend after entering the natural area. On the whole, the fertility quality of the study sample land was poor and was greatly affected by human factors. The differences of soil nutrients in different areas of Binhe East Road green land could provide data support for soil improvement and carry out precise management of soil nutrients regulation in green land along the road according to local conditions.

Key words: soil nutrient; fertility quality; spatial distribution; entropy weight method; riverside green space; Taiyuan City

随着城市化进程逐渐加快,工业活动、交通运输以及大量的建筑垃圾堆积等问题使得城市土壤环境质量每况愈下。交通污染是城市绿地土壤环境质量的主要影响因素之一^[1-2]。道路绿化作为城市林带的主体部分,凭借着其可观的生物量、巨大的根系吸收,在一定程度上可修复城市污染的土壤,同时还兼具经济、环保等优点。土壤是绿化植物生长的重要基础,其养分含量对植物的数量和质量有着重要的影响^[3],探索土壤养分特征是植物保护和后期维护的重要依据。国内外关于土壤养分的研究已有大量报道,主要集中于土壤养分对农作物产量、品质的影响^[4-6]、森林土壤的演变、凋落物的养分以及土壤养分的动态变化^[7-9]。目前对于山西省土壤养分的研究工作主要针对农田^[10-11]、森林^[12-13]等,而对于城市土壤养分的研究较少,滨河道路绿地土壤养分的相关研究基本还处于空白状态。滨河道路绿地是该区域水陆生态系统之间进行物质输送、信息交换、能量循环的重要过渡区,既是河流的天然保护屏障和

河流向陆地延伸的过渡带,也是土壤养分累积、输送和再生的重要场所,对土壤养分的循环过程有着显著的影响^[14-15]。因此,研究滨河道路绿地土壤养分特征尤为重要。滨河道路是太原市纵贯南北的城市主干道,路侧分布着居民区、商业区、工业区等市民活动的主要区域,频繁的交通运输和人类生产生活是影响城市土壤肥力质量的主要因素。以滨河东路绿地为研究对象,通过研究其土壤养分特征,揭示道路沿线土壤的空间异质性和肥力质量水平,可为植物生长和提高城市土壤质量提供科学依据,以期为该区域土壤养分调控和管理提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

太原市位于山西省中部,矿产资源丰富,煤矿储量达 176.7 亿 t^[16],铁矿储量居第 2 位,约 6.7 亿 t。太原市南部为汾河河谷平原,整体地势北高南低,属

于温带半干旱季风性气候,昼夜温差大,年降水量约420 mm,海拔约800 m,由冲积平原和冲洪积倾斜平原组成,太原市城区位于河谷平原^[17-18]。

研究区位于太原市汾河东岸的滨河东路,已建成道路全长超33 km,是太原市纵贯南北的城市主干道,是太原市的景观大道。滨河路绿化总面积超600万m²,路侧防护林以自然式设计为主,以高大的落叶乔木新疆杨为背景林;中景林以栎树、银杏、五角枫等落叶乔木为主,间隔种植油松、刺柏、白皮松;小乔木白杜、山楂、山桃等,以及珍珠梅、丁香、天目琼花、榆叶梅等灌木组合,采用铺地柏、黄杨、卫矛、花卉包边^[19],土壤类型主要为褐土和草甸土。研究区的景观治理时间较早,生态治理成效较为显著,已具备景区欣赏功能,整体呈人造景观半自然化状态^[20]。

1.2 采样点布设

在滨河东路的道路绿地沿线布点采样,北起柴村桥,南至通达桥,总长超25 km,布点范围为距滨河东路道路边缘40 m以内的道路绿地。依据植被配置模式、道路长度共布设9个样区,由北至南分别为样区A~I,依据距道路边缘0~10 m、10~20 m、20~30 m、30~40 m的距离布设4条平行样带,分别编号为S1、S2、S3、S4,共36个样方,每个样方内设3个采样点(图1)。

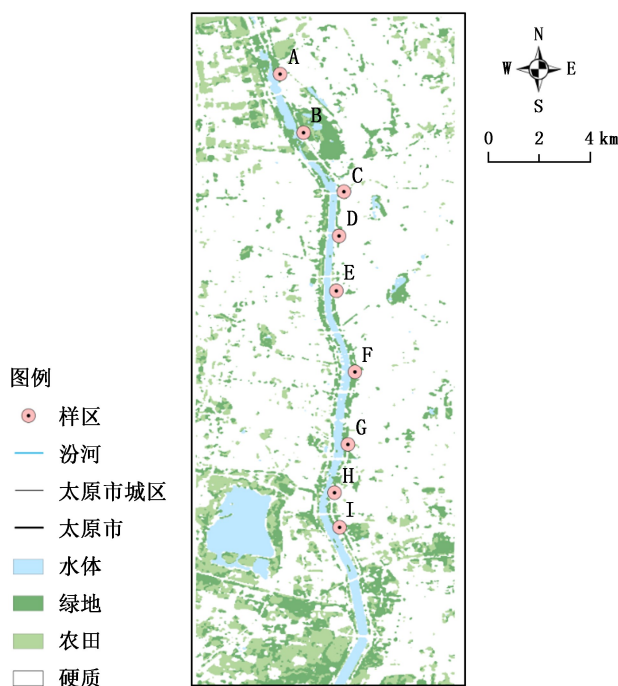


图1 研究区采样点分布

Fig. 1 Sampling distribution in the study area

1.3 土壤样品的采集

2021年9月中旬在太原市滨河东路的绿地采集表层土样。采集土样时,先用GPS定位,去除表层3 mm左右草根浮土,然后采集表层0~20 cm土样,记录周边环境。每个土样由附近3个点混合而成,共108个土壤样品。每份混合土样不少于1 kg,装入聚乙烯密封袋,贴上标签,注明编号、日期等。采集的土样自然风干后,去除植物残渣、砾石、碎片等垃圾,装入密封袋进行测定。

1.4 样品测定

将带回实验室的样品,自然风干后进行研磨,过10目土壤筛,取部分样品分类编号后备测pH、电导率、铵氮含量;继续研磨过100目土壤筛后备测总氮、总磷、有机质、硝氮含量。每个指标测定重复3次,取平均值作为测定值。土壤pH值采用玻璃电极法进行测定;电导率采用电极法进行测定;有机质含量采用德国耶拿multi C/N仪进行固体TOC分析(直接法)测定,所测结果为有机碳含量,TOC乘以1.724即为有机质含量^[21];总氮、总磷、硝氮、铵氮含量采用SMARCHEM 450全自动间断化学分析仪进行测定。

1.5 评价方法

采用熵权法进行土壤肥力质量评价,计算过程参考刘钊的算法^[22]。

1.6 数据处理与分析

采用ArcMap 10.6软件绘制样区布设图,采用SPSS 26.0软件对土壤理化指标进行统计和分析,采用Origin 2018软件统计养分含量分布和质量评价结果。

2 结果与分析

2.1 土壤理化指标的描述统计分析

滨河东路土壤理化指标含量特征统计见表1。

研究区土壤pH均值为8.52,说明土壤pH整体呈现碱性,变幅为7.91~9.07,变异系数为0.03,为低强度变异。电导率均值为140.89 $\mu\text{S}/\text{cm}$,说明研究区属于非盐化土(电导率 $<500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ^[23]),变幅在107.05~191.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 范围,变异系数为0.14,为低强度变异。有机质含量均值为56.59 g/kg,根据土壤养分分级标准(表2),属于极高水平,变幅为16.00~361.50 g/kg,变异系数为1.17,为高强度变异。

研究区总氮含量均值较高,为1224.84 mg/kg,属于高级水平,变幅为266.33~2758.57 mg/kg,变异系数为0.49,为高强度变异。总磷含量均值为

表 1 太原市滨河东路土壤理化指标描述统计分析

Tab. 1 Descriptive statistics of soil physical and chemical indexes of Binhe East Road in Taiyuan

项目	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数
pH	9.07	7.91	8.52	0.29	0.03
电导率 /($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	191.50	107.05	140.89	20.35	0.14
总氮含量 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	2758.57	266.33	1224.84	602.82	0.49
总磷含量 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1733.33	487.33	715.74	220.55	0.31
有机质含量 /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	361.50	16.00	56.59	66.22	1.17
铵氮含量 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	21.94	3.22	11.19	4.02	0.36
硝氮含量 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	50.54	6.24	19.07	10.82	0.57

表 2 全国第二次土壤养分普查分级标准

Tab. 2 Classification standard of the second national soil nutrient survey

级别	总氮含量 /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总磷含量 /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有机质含量 /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	铵氮含量 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	硝氮含量 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
极高(一级)	>2.00	>1.0	>40	>150	>150
很高(二级)	1.50~2.00	0.8~1.0	30~40	120~150	120~150
高(三级)	1.00~1.50	0.6~0.8	20~30	90~120	90~120
中(四级)	0.75~1.00	0.4~0.6	10~20	60~90	60~90
低(五级)	0.50~0.75	0.2~0.4	6~10	30~60	30~60
很低(六级)	<0.50	<0.2	<6	<30	<30

715.74 mg/kg,处于高级水平,变幅为 487.33~1 733.33 mg/kg,变异系数为 0.31,为中强度变异。铵氮、硝氮含量很低,均值分别为 11.19、19.07 mg/kg,均处于低级水平,变幅分别为 3.22~21.94 mg/kg、6.24~50.54 mg/kg,变异系数分别为 0.36、0.57,均为高强度变异。

2.2 土壤养分含量的空间分异特征

2.2.1 滨河东路沿道路方向土壤不同养分含量分布

太原市滨河东路沿道路方向的土壤养分含量分布情况见图 2。

整体来看,6 种养分含量分布具有一定的规律性和相似性。总氮、硝氮、有机质含量变化幅度较大,总磷、铵氮含量及电导率的变化较为平缓;总氮和硝氮含量整体呈现中间高两端低的趋势,高值均

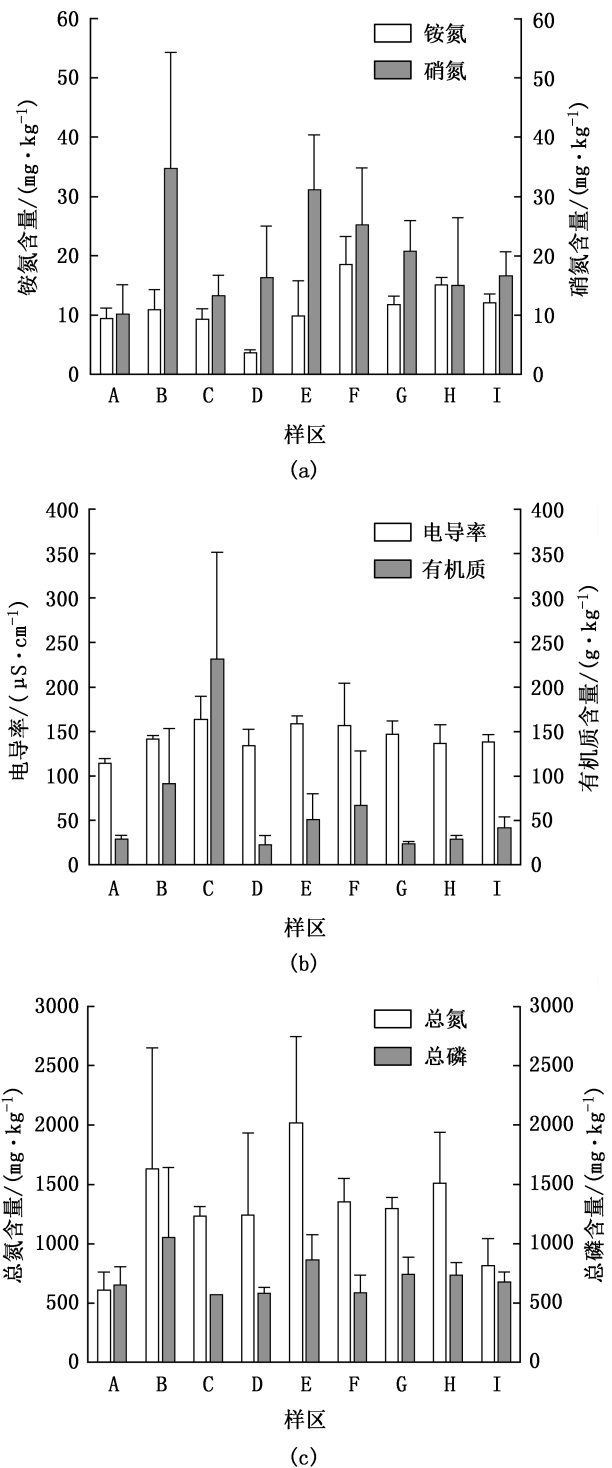


图 2 太原市滨河东路沿道路方向土壤不同养分含量分布

Fig. 2 Distribution of soil nutrient content along the Binhe East Road in Taiyuan

出现在 B、E 两个样区,最高值分别为 2 018.57、34.80 mg/kg,最低值均出现在 A 样区,分别为 612.00、10.19 mg/kg;有机质含量最高值出现在 C 样区,为 231.67 mg/kg,最低值出现在 D 样区,为 23.00 mg/kg;

总磷含量最高值在 B 样区,为 1 056. 33 mg/kg,最低值位于 C 样区,为 568. 33 mg/kg;铵氮含量最高值在 F 样区,为 18. 57 mg/kg,最低值在 D 样区,为 3. 74 mg/kg;电导率最高值在 C 样区,为 163. 82 $\mu\text{S}/\text{cm}$,最低值在 A 样区,为 114. 95 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

2. 2. 2 滨河东路垂直道路方向土壤不同养分含量分布

太原市滨河东路垂直道路方向土壤养分含量分布见图 3。

整体来看,随着与道路距离的变化,总磷、铵氮、硝氮含量及电导率的变化平缓,总氮、有机质含量变化较明显;硝氮、总氮、总磷含量均呈现先上升后降低的趋势,且最高值均出现在距道路 20~30 m 的断面;有机质含量、电导率呈现随着与道路距离的增大,含量也增大的趋势,最高值均出现在距道路 30~40 m 的断面;铵氮含量呈现先增大后减小再增大的趋势,最高值出现在 10~20 m 的断面。综合来看,养分含量高值均出现在距道路 20~40 m 的断面。

2. 3 土壤理化指标相关性分析

太原市滨河东路土壤理化指标相关系数统计见表 3。

pH 与电导率、总氮及硝氮含量间呈极显著负相关关系,与总磷、有机质、铵氮含量间无显著相关性;电导率与硝氮、总氮含量间呈极显著正相关关系,与有机质、铵氮、总磷含量间无显著相关性;总氮与总磷、硝氮含量间呈极显著正相关关系,与有机质、铵氮含量间呈显著正相关关系;总磷与有机质含量间呈极显著正相关关系,与铵氮、硝氮含量间呈显著正相关关系;有机质、铵氮、硝氮三者间无显著相关性。

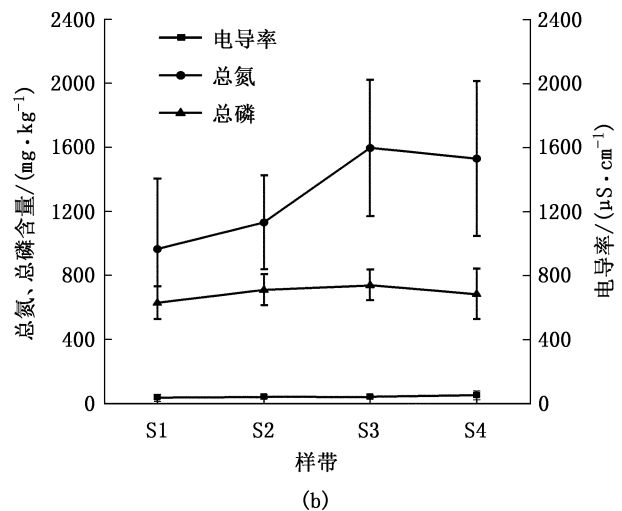
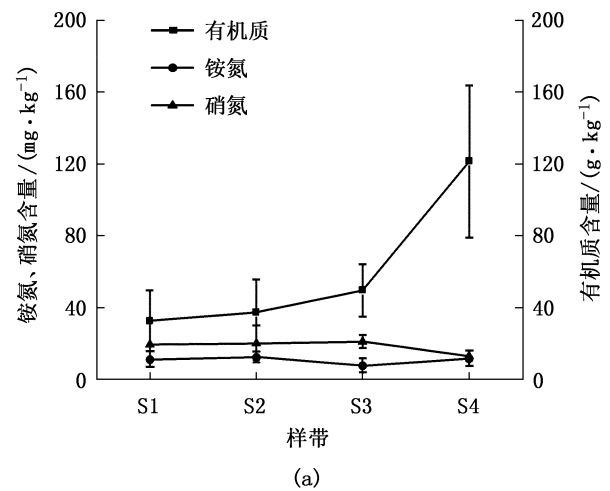


图 3 太原市滨河东路垂直道路方向土壤不同养分含量分布

Fig. 3 Distribution of soil nutrient content in the vertical direction of Binhe East Road in Taiyuan

表 3 太原市滨河东路土壤理化指标相关系数统计

Tab. 3 Correlation coefficient statistics of soil physical and chemical indexes of Binhe East Road in Taiyuan

项目	pH	电导率	总氮	总磷	有机质	铵氮	硝氮
pH	1. 000						
电导率	-0. 638 **	1. 000					
总氮	-0. 656 **	0. 468 **	1. 000				
总磷	-0. 199	0. 134	0. 596 **	1. 000			
有机质	-0. 025	0. 242	0. 415 *	0. 431 **	1. 000		
铵氮	-0. 145	0. 017	0. 369 *	0. 360 *	0. 183	1. 000	
硝氮	-0. 464 **	0. 564 **	0. 583 **	0. 393 *	0. 267	0. 186	1. 000

注:**表示在 0.01 水平上显著相关,*表示在 0.05 水平上显著相关。

2. 4 土壤综合肥力质量评价

通过熵权法计算土壤各个理化指标的权重值,

研究区土壤理化指标中有有机质、硝氮、总磷所占权重较大,分别为 34. 80%、16. 52%、15. 90%;总氮、电导

率所占权重次之,分别为 9.37%、9.14%;铵氮、pH 所占权重最小,分别为 7.71%、6.56%。根据熵权法计算结果,分别求取 4 个断面的平均值进行土壤综合质量评价(图 4)。

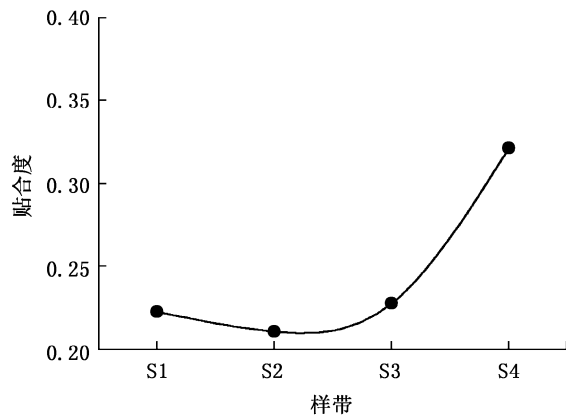


图 4 太原市滨河东路土壤黏合度分布

Fig. 4 Distribution of soil adhesion of Binhe East Road in Taiyuan City

研究区土壤养分黏合度(C_i)的平均值为 0.239,土壤肥力质量水平较低。随着与道路距离的增大, C_i 值总体呈上升趋势,在距道路 30~40 m 的断面达到最大值,为 0.321。表明随着自然化程度的提高,土壤理化性质随之稳定,土壤肥力质量相对路侧有着明显的提升。

3 讨论与结论

3.1 土壤不同养分含量分布特征

土壤中储存着大量的碳、氮、磷等养分,可直接影响植物的生长和植物群落的组成,并决定生态系统的结构和功能。结果表明,太原市滨河东路绿地土壤养分含量仍有较大的提升空间,施肥比例和结构有待调整。样地土壤养分含量变异程度由大到小依次为有机质>硝氮>总氮>铵氮>总磷>电导率>pH,除 pH 呈弱变异外,样地中其他养分含量均为中高度程度变异,存在着明显的空间变异性,影响土壤养分含量空间变异的因素分为内因和外因,内因如母质、地形、气候、植被等可使土壤性质具有较强的空间相关性,外因如人为干扰等可降低其相关性^[24]。这表明样地土壤受人为扰动较大,分析其原因是人为施肥的不科学性,且紧邻居住区和交通干道,绿地的可达性较强,受到生产生活的影响。

从土壤养分含量来看,太原市滨河东路绿地土

壤有机质、总磷和铵氮含量均值分别为 56.59 g/kg、715.74 mg/kg、11.19 mg/kg,均高于宋丽^[25]研究的太原市城市公园绿地土壤有机质和总磷养分水平。总氮含量均值为 1 224.84 mg/kg,属于高等养分水平,且高于闫丽娟^[26]研究的太原市高等城市化水平区域绿地土壤总氮养分水平(很低),说明研究区土壤养分水平良好。硝氮、总氮、总磷含量在 B 样区均较高,B 样区紧邻太原市森林公园,物种丰富,植物群落结构复杂,整体呈人造景观半自然化状态,因此土壤养分含量较高。有机质含量高值区位于 C 样区,且显著高于其他样区,土壤有机质的归还主要是地面凋落物和动植物残体的分解,土壤表层是土壤与植物地上部分接触的部位,C 样区位于汾河公园,植物种类丰富,枯枝落叶、动植物残体和动物粪便分解后的养分全聚集于此,促进表层土壤有机质含量增加。同时,太原市属于暖温带落叶阔叶林区,根据 Jackson 等^[27]的研究结果,温带落叶林的根系有 60%以上分布于表层,样区也分布有许多浅根系植物,如刺槐、侧柏、火炬、山桃等,其可让根系的分泌物增多,使更多的营养物质聚集在表层,从而提高表层土壤有机质含量,因此研究区有机质含量水平良好。总氮、硝氮含量在 E 样区也较高,并且该样区的 3 个样方含量均较高,说明该区域总氮含量较高可能是因为人工干预较大,人为施加氮肥增加了表层土壤总氮含量。9 个样区的铵氮含量差异不显著,且铵氮、硝氮含量均处于很低水平,说明人为施肥存在一定不科学性。整体来看,B、C 样区分别紧邻太原市森林公园和汾河公园,绿地养护措施较好,养分含量非常高,因此均值受到这些区域极端高值的影响,使得样地养分平均水平较高,但区域分布不均衡,仍有一些区域养分水平较差。

3.2 不同土壤养分间的关系

从土壤理化指标相关性分析来看,总氮与有机质含量间呈显著正相关,这是因为土壤中的氮约 90%为有机态,有机氮不能被植物直接吸收,通常以有机物残体和腐殖质的形式存在于土壤中,有机质的积累与分解会直接影响氮素在土壤中的储存和转化,对氮素含量起着主导作用,并且氮素是土壤有机质矿化后的产物,所以土壤有机质含量丰富的区域一般氮素含量也高,因此二者具有显著正相关关系^[28],而硝氮、铵氮是植物、土壤和肥料中未与碳结合的主要无机氮,较易矿化和容易被植物所吸收^[29],占总氮含量不到 10%,因此与有机质含量间无明显的相关关系。土壤总磷包括无机磷和有机

磷,在大多数土壤中,无机磷占主导地位,占土壤磷库的60%~80%,包括矿物磷、吸附磷等,有机磷约占20%~40%,主要来源于有机肥与生物残体,存在于有机物中^[30],因此其含量与土壤有机质含量间呈极显著正相关关系。综合来看,土壤中氮、磷、有机质含量均与地面植物凋落物和动植物残体的分解有关,因此三者间呈现不同程度的正相关关系。按照《中国土壤》中pH的分级方法,将土壤pH分为5级,一般植物正常生长的土壤pH范围是6.5~7.5,研究样地pH均值为8.52,而样地pH值过高,使植物所需养分元素的生物有效性发生变化,从而导致植株某些元素营养失调^[31-33]。结合pH与各养分间全部是负相关的关系,这与宋丽^[25]研究的太原市城市公园绿地土壤理化性质的研究结果一致,其中pH与电导率、总氮、硝氮间呈极显著负相关关系,可认为由于样地pH较高,植物生长在非正常的环境,导致大量植物生长较差,土壤中微小生物的成长环境遭到了不同程度的破坏,因此极大程度上降低了有机质的分解速度,也降低了土壤营养元素的含量,干扰了植物正常生长^[34],导致pH与其他各养分间呈负相关关系。电导率可反映土壤含盐量,研究结果表明其与总氮、硝氮含量间呈极显著正相关关系,这是因为研究样地为非盐化土,植物在低盐土壤中生长良好^[35],使归还土壤的凋落物较高,为土壤有机氮积累增加了新的来源^[36]。

3.3 土壤综合肥力质量评价

土壤的发育过程不仅受母质、气候、地形、植被等自然因素的影响,还与人类活动和土地利用有关^[37]。结果表明决定土壤肥力质量的主要是有机质、磷素以及易被植物所吸收的氮。土壤养分贴合度(C_i)主要分布在0.066~0.619,整体质量不高,由于易被植物吸收的铵氮、硝氮含量极低,同时所占权重较大,使得样地总体肥力质量较差。除此之外,研究区域紧邻太原市交通干线,受到交通运输活动所产生的元素积累影响,紧邻道路的绿地土壤肥力质量较差,这与Kuklova等的研究结果相似^[24];且部分路段紧邻居民小区,人行踩踏、城市垃圾堆积、长期土壤侵蚀等共同影响样地整体养分水平。据对研究样地植物配置的调查来看,随着与道路距离的增大,植物群落趋于稳定,乔木和灌木长势更好,更多的凋落物进入土壤中,被微生物分解并累积,增加了土壤中有机质含量,微生物大量繁殖,使土壤中磷素、氮素积累^[38],导致随着与道路距离的增大,土壤肥力质量随之提高。杨树生长快速,可改良土壤肥

力和生产力,而研究样地背景林以高大的新疆杨为主,使得距道路30~40m的断面土壤肥力质量较高^[39]。由于受人类活动影响较大,生物圈循环受到影响,使得靠近道路的区域一部分指标规律性不强,因此,土壤养分含量的空间差异性主要体现在自然状态下距道路10~40m的区域,土壤肥力质量呈上升趋势。后续可通过增绿施肥、及时清理城市垃圾等管理措施提高太原市滨河东路绿地土壤肥力质量。

参考文献:

- [1] HAMODA M F, AL-JARALLA R, AL-MAHAMEL S. Assessment of air pollutants emissions due to traffic in two residential areas in Kuwait[J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2022, 19(2): 807-816.
- [2] WANG Q, ZHANG Q, WANG X C, et al. Size distributions and heavy metal pollution of urban road-deposited sediments (RDS) related to traffic types[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(27): 34199-34210.
- [3] JONES S L, FRENCH K. Soil nutrients differentially influence root colonisation patterns of AMF and DSE in Australian plant species[J]. *Symbiosis*, 2021, 83(2): 209-223.
- [4] 梁秋萍, 严学迎. 基于熵权TOPSIS法的不同品种甜樱桃营养品质综合评价[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(16): 59-64.
- [5] ZHOU B, CHEN Y Y, ZENG L T, et al. Soil nutrient deficiency decreases the postharvest quality-related metabolite contents of tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) leaves[J]. *Food Chemistry*, 2022(377): 132003.
- [6] RODRIGUEZ-ORTIZ J C, DIAZ-FLORES P E, ZAVALA-SIERRA D, et al. Organic vs. conventional fertilization: Soil nutrient availability, production, and quality of tomato fruit[J]. *Water, Air, Soil Pollution*, 2022, 233(3): 87-100.
- [7] 罗钰颖, 朱玉婷, 唐青, 等. 哀牢山不同海拔表层土壤理化性质变化规律研究[J]. *西部林业科学*, 2020(1): 140-148.
- [8] 张珊, 田晓娟, 顾振东, 等. 甘肃亚高山不同海拔梯度云杉人工林土壤理化性质研究[J]. *甘肃农业大学学报*, 2021, 56(6): 111-118.
- [9] ZHANG W, GAO D X, CHEN Z X, et al. Substrate quality and soil environmental conditions predict litter decomposition and drive soil nutrient dynamics following afforestation on the Loess Plateau of China[J]. *Geoderma*, 2018(325): 152-161.
- [10] ELLEN D, KAREN V, BART N, et al. Litter quality and the law of the most limiting: Opportunities for restoring nutrient cycles in acidified forest soils[J]. *Science of the Total Environment*, 2020(699): 134383.

- [11] 杨海波,王媛,聂磊云,等. 晋南黄土残塬沟壑区梨园土壤养分评价——以山西隰县为例[J]. 中国农学通报,2018,34(22):89-96.
- [12] 郭银花,赵洪涛,高雨,等. 山西太岳山油松林无机氮添加对土壤微生物养分限制类型的影响[J]. 应用与环境生物学报,2022,28(1):137-144.
- [13] 张家喜,李伟. 二郎山西坡华山松林土壤养分状况研究[J]. 农业与技术,2019,39(15):10-11.
- [14] WANG H, CHANG H, WALKER T R, et al. Characterization and risk assessment of metals in surface sediments and riparian zone soils of Liaohe River, China[J]. Applied Geochemistry, 2021(134):105104.
- [15] HALE R, REICH P, DANIEL T, et al. Scales that matter: Guiding effective monitoring of soil properties in restored riparian zones[J]. Geoderma, 2014(228):173-181.
- [16] 胡杰,赵心语,王婷婷,等. 太原市汾河河岸带土壤重金属分布特征、评价与来源解析[J]. 环境科学,2022,43(5):2500-2509.
- [17] 刘广敏,杨秀云,甄志磊,等. 太原汾河公园水质现状评价[J]. 林业调查规划,2020,45(4):109-113.
- [18] 滑小赞,程滨,赵瑞芬,等. 太原市农田土壤养分和重金属累积特征及相关性分析[J]. 山西农业科学,2019,47(6):1027-1033.
- [19] 宋仁杰. 太原市滨河路园林景观解析[J]. 居业,2019(5):52-53.
- [20] 弓慧琼. 太原市汾河湿地鸟类多样性及其生境改造初探[D]. 太原:山西大学,2020.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京:中国农业出版社,2013:70-76.
- [22] 刘钊,韩磊,王丹月,等. 陕北黄土高原煤矿区土壤理化性质及质量评价[J]. 煤炭学报,2021,46(5):1555-1564.
- [23] 韩金旭,谷晓伟,程春晓,等. 不同土质灌区土壤盐分与物理特性空间变异规律及协同关系研究[J]. 中国农村水利水电,2020(10):148-152,158.
- [24] KUKLOVA M, KUKLA J, HNILICKOVA H, et al. Spatial variability of nutrients in soils and plants of forest ecosystems located near the highway[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2020,192(8):534-545.
- [25] 宋丽. 太原市城市公园绿地土壤理化性质的研究[D]. 太原:山西农业大学,2020.
- [26] 闫丽娟. 太原市城市绿地土壤养分分布特征研究[D]. 太原:山西农业大学,2019.
- [27] JACKSON R B, MOONEY H A, SCHULZE E D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1997, 94(14):7362-7366.
- [28] GUO Y F, YAO Y F, QIN F C, et al. Analysis of soil organic matter and soil total nitrogen condition under different vegetation patterns of Huanghuadianzi small watershed[J]. Advanced Materials Research, 2013(807-809):1839-1842.
- [29] 白岗栓,周楠,邵发琦,等. 自然生草对渭北旱塬苹果园土壤氮及果实品质的影响[J]. 农业工程学报,2021,37(10):100-109.
- [30] 刘瑾,杨建军. 近三十年农田土壤磷分子形态的研究进展[J]. 土壤学报,2021,58(3):558-567.
- [31] 唐琨,朱伟文,周文新,等. 土壤 pH 对植物生长发育影响的研究进展[J]. 作物研究,2013,27(2):207-212.
- [32] ANGELICA M M, ANJA M, UTE H, et al. Microbial community composition and glyphosate degraders of two soils under the influence of temperature, total organic carbon and pH[J]. Environmental Pollution, 2022(297):118790.
- [33] MCGEE C F, CLIPSON N, DOYLE E. Exploring the influence of raising soil pH on the ecotoxicological effects of silver nanoparticles and micron particles on soil microbial communities[J]. Water, Air, Soil Pollution, 2020, 231(4):1-8.
- [34] 赵彦坤,张文胜,王幼宁,等. 高 pH 对植物生长发育的影响及其分子生物学研究进展[J]. 中国生态农业学报,2008(3):783-787.
- [35] LEI G Q, ZENG W Z, JIANG Y H, et al. Sensitivity analysis of the SWAP(Soil-Water-Atmosphere-Plant) model under different nitrogen applications and root distributions in saline soils[J]. Pedosphere, 2021,31(5):807-821.
- [36] 孙瀚,屈杰,王晓雯,等. 黄河三角洲盐渍土有机氮组成及氮有效性对土壤含盐量的响应[J]. 中国生态农业学报(中英文),2021,29(8):1397-1404.
- [37] YAN W D, CHEN X Y, PENG Y Y, et al. Response of soil respiration to nitrogen addition in two subtropical forest types[J]. Pedosphere, 2020,30(4):478-486.
- [38] DEBASIS M, RITTICK M, BAHMAN K, et al. Actinobacteria-enhanced plant growth, nutrient acquisition, and crop protection: Advances in soil, plant, and microbial multifactorial interactions[J]. Pedosphere, 2022,32(1):149-170.
- [39] ZHANG J, ZHAO Y S, XIN Y. Changes in and evaluation of surface soil quality in *Populus xiaohei* shelterbelts in midwestern Heilongjiang province, China[J]. Journal of Forestry Research, 2021,32(3):1221-1233.

责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.035

基于不同视角的遗址公园景观感知研究

——以汉长安城未央宫国家考古遗址公园为例

宋诗轩,滕维超

(广西大学 林学院,广西 南宁 530004)

摘要:遗址公园是指具有珍贵的文化遗产价值的保护性区域。以汉长安城未央宫国家考古遗址公园为例,采用问卷调查、访谈等方法对公园的景观感知进行调研分析。结果表明:公园游客对自然景观、文化历史、遗址保护景观有着强烈的景观感知和认同,而对公园使用功能、风格、格局变化的景观感知度较差。针对以上问题,提出提高遗址公园游览过程中对场所感知认同,促进遗址公园中景观保护和发展等建议,实现遗址保护和文化遗产相互融合。

关键词:遗址公园;文化遗产;景观感知;场地发展

中图分类号:TU986.5;P901 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)04-0219-07

引文格式:宋诗轩,滕维超.基于不同视角的遗址公园景观感知研究——以汉长安城未央宫国家考古遗址公园为例[J].林业调查规划,2024,49(4):219-225. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.035

SONG Shixuan, TENG Weichao. Landscape Perception of Site Parks Based on Different Perspectives——A Case Study of Weiyang Palace in Chang'an City of the Western Han Dynasty National Archaeological Site Park[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 219-225. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.035

Landscape Perception of Site Parks Based on Different Perspectives

——A Case Study of Weiyang Palace in Chang'an City of the
Western Han Dynasty National Archaeological Site Park

SONG Shixuan, TENG Weichao

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

Abstract: Site park refers to a protected area with precious cultural heritage value. The landscape perception of the park was investigated and analyzed using methods such as questionnaire surveys and interviews based on the case of Weiyang Palace in Chang'an City of the Western Han Dynasty National Archaeological Site Park. The results showed that park tourists had a strong perception and identification with natural landscapes, cultural history, and heritage protection landscape, but poor landscape perception for the use function, style, and pattern change in the park. In response to the above issues, the paper proposed suggestions to improve the perception and recognition of the site during visiting the site

收稿日期:2023-03-06;修回日期:2023-04-24.

项目基金:广西城市绿地生态系统服务价值评估相关参数体系研究与开发(20200321).

第一作者:宋诗轩(1995-),女,陕西西安人,硕士研究生.主要从事园林植物栽培与绿地养护管理技术研究.

责任作者:滕维超(1984-),男,广西南宁人,博士,博士生导师.主要从事植物栽培方向教学与研究.

park, promote the protection and development of the landscape, and realize the integration of site protection and cultural inheritance.

Key words: site park; cultural heritage; landscape perception; site development

2010年公布的《国家考古遗址公园管理办法(试行)》将“国家考古遗址公园”定义为:以重要遗址及其背景环境为主体,具有科研、教育、游憩等功能,在遗址保护和展示方面具有全国性示范意义的特定空间。

根据上述定义,通过调查研究重新定位汉长安城未央宫国家考古遗址公园在城市绿地中的角色,并选取群众使用频繁、感知度较高的区域作为研究对象,以提高遗址公园使用者对场所感知的认同,促进遗址公园中景观保护和发展策略,为下一步遗址公园旅游和文化融合提供借鉴。

1 研究场地

1.1 场地概况

汉长安城未央宫遗址位于陕西省西安市未央区汉长安城遗址西南部的西安门里,总占地面积 8.58 km²,其中有重要遗址保护区 3.2 km²,西邻皂河,北邻渭河。1961年3月4日,汉长安城遗址被国务院公布为首批全国重点文物保护单位。2014年6月22日,汉长安城未央宫遗址被联合国教科文组织列入世界文化遗产名录,2017年成功入选国家考古遗址公园名录^[1-2]。

汉长安城未央宫国家考古遗址公园的规划设计是以遗址保护和展示为首要目的,结合尊重历史、保护、传承、创新的理念^[3],用汉文化串联,以游客需求为导向的综合性城市绿地。植物配置既有突出遗址保护与展示功能,又有城市公园植物种植的一般功能^[4]。

园中除对遗址保护外,保留原有基本农田、耕地。因此在设计规划时考虑到田园牧歌的景观设计。园区西侧以遗址保护为主要场所,东侧以耕地保护为主,规划种植西瓜、玉米等农作物,实现基本农田和文化遗址建设景观的相辅相成(图1)。

1.2 研究选点

为提高研究的针对性和有效性,选取的景观场所特征为:具有明显的历史文化价值和地域特色景观价值^[5];调查人群适配度高,有游客、附近居民、本地村民的综合性场所;场所空间、使用功能、景观风貌发生一定变化,能覆盖不同变化度的景观场所^[6]。



图1 汉长安城未央宫国家考古遗址公园范围与区域划分
Fig.1 Scope and regional division of Weiyang Palace in Chang'an City of the Western Han Dynasty National Archaeological Site Park

通过查阅资料文献并结合实际场地调研走访,选取园中具有代表性的广场空间、遗址空间、农田景观作为调研对象。选取的景点呈现不同的景观特征:游客参观点、居民固定点、村民聚集处,其景观具有典型性。选取遗址、广场、农业3类6个典型景观场所作为研究对象(图2),分别是遗址空间:明渠遗址、汉长安城城墙;广场空间:前殿广场、南宫门;农田景观:农田景观区域1、农田景观区域2。

2 调查方式

经相关研究表明,对景观感知的影响因素包含使用频率、使用动机、游览参与度3个方面^[7]。研究对象的景观开发对于原本周边环境与空间格局产生巨大改变,因此在调查过程中需考虑原住民、本地居民和游客的不同景观环境使用和环境参与度。

2.1 问卷调查

考虑到地域文化和区域生活习惯,问卷调查内容设计包括参与人员的基本信息、景观评价表、景观补充评价3个部分。重点为景观评价表,其中分为



图 2 汉长安城未央宫国家考古遗址公园调研选点
 Fig. 2 Site selection of Weiyang Palace in Chang'an City of the Western Han Dynasty National Archaeological Site Park

“景观特征感知”和“景观依恋感知”两个部分,景观特征感知主要包括地域特征、历史特征、文化特征、美学特征 4 个方面;景观依恋感知主要包括景观使用功能与景观感受评价两方面。两个部分共 14 道题目(表 1)。调查表分为 5 个等级,从“非常不满意”到“满意”。

表 1 景观感知调查题目设计
 Tab. 1 Landscape perception survey topic design

类别		题目
景观特征感知	地域特征	1. 体现突出当地地域文化特征
	历史特征	2. 体现突出历史底蕴特征
	文化特征	3. 体现突出丰富的文化特征
	美学特征	4. 体现突出风景美学特征
景观依恋感知	景观使用功能	1. 这里是活动的最佳地点
		2. 公园交通是否便利
		3. 组织活动是具有特色的
		4. 会一直选择在这里活动
		5. 这里有让我活动满意的地方
景观感受评价		6. 这里的景观体现出文化价值
		7. 这里的景观活动能满足我的喜好
		8. 植物景观具有观赏价值
		9. 景观风格整体感受
		10. 舍不得离开这里

调查时间为 2022 年 12 月 19 日—12 月 25 日、2023 年 1 月 24 日—2 月 1 日。公园内部主要分为文物景观区和农田区域,采用分区域随机发放问卷调查。共发放村民问卷 110 份,收回 107 份,有效问卷 100 份(表 2)。

表 2 村民基本信息情况
 Tab. 2 Basic information of villagers

变量	分类	人数/人	占比/%
性别	男	52	52
	女	48	48
年龄	<20 岁	5	5
	21~30 岁	20	20
	31~40 岁	26	26
	41~50 岁	16	16
	51~60 岁	15	15
	>61 岁	4	4
文化程度	初中及以下	26	26
	高中及中专	55	55
	本科及大专	19	19
	研究生及以上	0	0
	其他	0	0
职业	农民	30	30
	工人	6	6
	个体经营	32	32
	企业员工	5	5
	公职人员	2	2
	学生	15	15
	退休	8	8
	其他	2	2
是否从事旅游相关工作	是	36	36
	否	64	64
合计		100	100

发放附近居民问卷共 120 份,收回 116 份,有效问卷 110 份(表 3)。

发放游客问卷 120 份,收回 110 份,有效问卷 107 份(表 4)。通过 SPSS 软件进行数据分析,检验此次问卷调查数据的可信度。所得到的数据再次经过景观功能分析和景观感受共 2 个调查维度的克隆巴赫 Alpha 系数和 KMO 量数,分别得到数据 0.934/0.945,0.892/0.936;并用巴特利特数据进行检验,其结果小于 0.001。由此可知,此次发放的调查问卷具有较高的可信度,可以完成该园区内的景观调查分析。

表 3 居民基本信息情况

Tab. 3 Basic information of residents

变量	分类	人数/人	占比/%
性别	男	50	45.5
	女	60	54.5
年龄	<20 岁	10	9.1
	21~30 岁	27	24.5
	31~40 岁	24	21.8
	41~50 岁	27	24.5
	51~60 岁	17	15.4
	>61 岁	5	4.7
文化程度	初中及以下	27	24.5
	高中及中专	50	45.5
	本科及大专	28	25.4
	研究生及以上	5	4.6
职业	农民	9	8.2
	工人	28	25.5
	个体经营	30	27.3
	企业员工	20	18.2
	公职人员	1	0.9
	学生	15	13.6
	退休	5	4.5
	其他	2	1.8
合计		110	100.0

表 4 游客基本信息情况

Tab. 4 Basic information of tourists

变量	分类	人数/人	占比/%
性别	男	55	51.4
	女	52	48.6
年龄	<20 岁	19	17.8
	21~30 岁	26	24.3
	31~40 岁	30	28.0
	41~50 岁	13	12.1
	51~60 岁	10	9.4
	>61 岁	9	8.4
文化程度	初中及以下	19	17.8
	高中及中专	36	33.6
	本科及大专	42	39.3
	研究生及以上	10	9.3
职业	工人	20	18.7
	个体经营	27	25.2
	企业员工	10	9.3
	公职人员	4	3.6
	学生	29	26.3
	退休	17	16.9
	其他	0	0
游客来源	省内游客	70	65.4
	省外游客	37	34.6
合计		107	100.0

2.2 访谈调查

除调查问卷外,同时进行实地调研,包括对游人活动的观察和对参与问卷调查的群众进行沟通了解,访谈内容主要包含群众在游览中的感受、情感,对于该遗址规划后改变的感受和看法,及其对园区中文化展示的方式和园区发展的看法。

3 结果分析

3.1 景观特征感知

统计不同使用者对于景观特征的感知,游客统计数据统计平均都高,其中对地域特征、历史特征、美学特征的数据较高,文化特征的数据较低(图 3)。

统计结果表明,公园实际物质景观突出,具有鲜明的地域特征,游客可以感受到公园想要表达的历史内涵。但对原本村庄中的文化内涵挖掘不足,缺少人文氛围、行为情境层面的景观价值传递与体现。

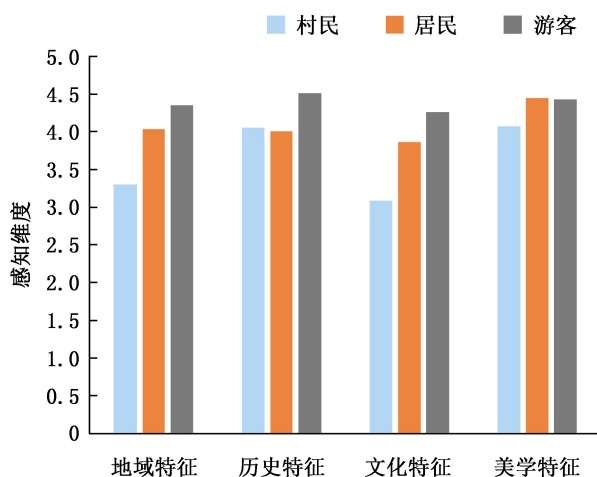


图 3 景观特征感知维度

Fig. 3 Perceived dimensions of landscape characteristics

相较于居民和游客的数据统计,村民数据统计结果较低。说明在旅游环境的发展下,村落文化传

承丧失过多,造成村庄原本的景观价值传递减少,公园景观环境与文化发展已经改变了村民对新景观的认识。但村民对原本村内文化、环境以及接受力等原因,对现有景观认可度低。

居民调查中数据最高的是美学特征,说明在居民心中地域特征、历史特征、文化特征弱化,更多关注重点在人居环境方面。在居民日常生活中,遗址公园更多作为城市绿地的重要补充,游园的重点在休闲娱乐、健身散步等城市绿地使用功能。其他遗址公园功能对于居民来说不作为日常重点游览目标,感知自然就会降低。

3.2 景观依恋感知

3.2.1 景观依恋感知整体分析

根据调查结果统计以及对园中3个类型景观共6个景点的分析可知:前殿广场的功能性评价和景观感受评价结果最高,分别为4.219、4.142。其次是汉长安城城墙遗址功能性评价和景观感受评价,分别为3.912、3.959;南宫门广场的功能性评价和景观感受评价分别为3.682、3.782。排在后面的是农田保护区域1、农田保护区域2、明渠遗址。根据3个类型两两间比较,经过SPSS软件分析后得到的数值小于0.001,调查数据具有统计学意义。由此可以说明,前殿广场和明渠遗址的景观感受差异度较大。

由于采样人群的多样性,对于不同景点景观感知度的差异较大。再结合与群众访谈可知,来往群众游览的目的不同,因此产生的景观感受不同是成立的。

3.2.2 不同使用者景观感受分析

1) 从村民角度分析

优点在于旅游发展虽然对原有村民生活环境、格局、功能均有巨大的改变,但相对保留农耕地,部分生产方式改变较少。曾经荒凉的土地也因为开发带来新的活力,改变了村庄的精神风貌。在访谈过程中,村民并没有因为环境的改变而带来对传统景观的依赖。相反,文化价值与农耕价值相结合,使得村民生活环境得到巨大改善,同时带给村民更多的经济收入。问题在于因为经济利益直接介入以及规划园区造成的部分搬迁,原来村庄中的传统风俗习惯正在快速丢失,造成村民对于新环境的不安以及对现在村庄生活环境认同感较低。

2) 从附近居民使用角度分析

附近居民对该公园的景观需求更贴近城市绿地要求。公园游览的过程中四时不同景的景观感受会

更加明显,对于活动空间要求更加严格,因此具有较大开阔性广场在此类人群中功能性和景观感受的评价会更高。同时景观的功能性和景观感受的要求更严格。

3) 从游客使用角度分析

游客到该公园游览的主要目的是了解、体验汉代文化。对景观评价更多的是结合文化活动空间,功能性也更加注重文化交流。相比而言,游客要考虑交通便利度、空间氛围等影响因素。缺点在于遗址周围的交通问题,到达该园章程门公交车服务范围在西安市西郊,距离市中心远,无直达车辆,距离地铁站步行2.3 km。东1门无公交车直达,最近公交车站距离4.2 km,其余各门同样交通不便。调查过程发现绝大多数游客采取自驾的方式出行。

3.2.3 景观使用功能分析

在经过调查、访谈后,群众普遍认为该园优点有4个方面。

1) 对文化遗址建设和保护认可,认为社会发展过程的文物保护修复工作,是保留汉代文化历史底蕴和独特文化风貌的重要手段。

2) 作为保留绿地建设发展过程中,除了园区内种植的桃、杏等经济树木以及松柏等高大乔木外,如白穗狼尾草、卡尔拂子茅等禾本科网红植物也大量种植,形成新的植物景观从而吸引了众多游人。

3) 具有经济发展价值,农田保护区域、文化遗址保护与经济发展平衡,有利于园区景观经济的收入。

4) 景观多元化,满足不同群体的游览需求。有历史文化、自然景观、人工景观和农业景观。

群众认为该园景观使用功能缺点有4个方面。

1) 周边配套基础设施不足,公共交通站点少,距离周边交通站点步行距离较远。

2) 公园内交通不便,面积过大,交通设施较少。附近居民可以常来常往,但一天无法游览完,总步行距离过远。

3) 教育宣讲功能较少,园内遗址讲解介绍不足,有少量人工讲解,缺少智能讲解。

4) 文化活动单一,缺少文化景观感受和认同。

3.3 景观喜好感知

根据后续景观补充评价调研结果,统计调查对象对景观的喜好感知排序和频数,通过赋值计算得到本次调查中选取的6个景点的景观偏好分值(表5)。

表 5 村民、居民、游客景观喜好感知结果统计

Tab. 5 Perception results of landscape preferences among villagers, residents and tourists 分

排序	喜好景点	村民	居民	游客
1	前殿广场	528	536	550
2	汉长安城城墙遗址	403	501	327
3	南宫门广场	240	412	298
4	农田保护区域 1	302	302	140
5	农田保护区域 2	112	224	130
6	明渠遗址	98	102	80

统计结果发现,村民、居民、游客的景观喜好感知情况基本一致,均喜好前殿广场、城墙遗址等具有景观功能、浓厚历史特征的区域。对于不明显、缺少景观特色的明渠遗址存在不清楚的情况。从位置上分析,喜好的景观主要分布在中部与南部对外交通方便的区域。

4 提高景观感受的对策和建议

全体市民是遗址公园的主人,对其历史文化价值、景观感受评价具有较强的直接性影响。这将影响后续历史文化保护价值的展现以及现代旅游发展和城市绿地环境相结合的发展方向^[8]。因此,提高对遗址公园景观评价机制是展示历史文化价值和独特地域风貌的关键要素。同时要正确引导现代旅游发展与历史文化的共生与可持续发展。通过调查分析,提出初步对策及建议。

4.1 保护日常活动空间

传统村落的发展在于其朴素的自然之美、与人们生活直接而紧密的联系,有着浓郁的地域特色与乡土气息^[9]。在发展公园旅游过程中,即便有农田保护区域,也不可过度挤压村民的活动空间,导致村民景观感知、功能要求、景观价值和原本生活特点逐渐减少。因此在公园设计规划中要更细化功能分区,例如有的农田区域规划可作为景观景点,使游客游览的过程中可以体验到居住在遗址区域村民的生活,在城市中观赏到农业景观。另一部分农田保护区域作为村民日常活动的空间,具有相对自由、宁静的特点。利用区域划分做好村民与游人的“和谐共生”^[10]。根据村民传统习惯可以举办庆典活动,例如社火、节气文化祭典等,既保证村民传统生活的延续,同时游人欣赏体验到传统活动,最重要的是对公园新景观空间的功能、格局和感受得以提升、依赖以及认同。

4.2 文化场所的精神建设

作为大型文化遗址保护区域,对于文化价值的利用和建设使得游人在景观感受上要高于景观功能性建设。通过公园中基础建筑的仿古设计、复制古桥、引入 AR 复原场景等手段,在激发区域文化价值特征的基础上保留和营造属于遗址内的场所精神^[11]。通过特定的文化符号和空间产物,表达传承共同生命。在传统与再生、自然与人工等原则下对景观进行保护修复与更新再营造^[12-13]。只有在保护历史文化价值的核心条件下,结合原始风格和城市周边环境发展的情况,才能在游览过程中唤醒游人内心所具有的文化归属感和共鸣感,做到文化遗址景观的延续和发展。

4.3 基础设施提升

园区基础设施的建设是园区发展的基础,根据调查结果分析提出以下建议。

1) 开通专线旅游公交线路,增加公交车站设点。

2) 增设园内交通工具种类。目前园内以双人或 3 人自行车为主,一些道路游览并不适合。建议园内增加提供单人自行车服务,设立特色游览路线,高效完成游览观光。

3) 建立研学基地,提供汉学文化教育场所。定期举办汉学文化活动,组织学生游览参与,成为课外第二教学场所。

4) 增加游憩活动设施,丰富体验项目,为遗址公园内的游客提供多样化的选择。如 AR 活动,复制体验汉代景观,对部分宫殿遗址进行技术还原;增加农业区域观光体验活动,了解传统农业与现代农业发展进程,增加互动活动。

4.4 景观感受的可持续发展

随着经济、人口以及旅游产业的发展,遗址公园内的村民、附近居民以及慕名而来的游人对园内的生产方式、景观情感、游览方式等有着互动性、动态性等方面的巨大改变^[14]。在维护、借用与管理具有文化历史价值的场所时,当地政府、旅游业、群众均是重要驱动力^[15]。其中群众最了解文化景观价值,在现代文化价值发展中,如果能结合文化符号、景观要素、空间场所,就能激发群众内心对景观空间的认同感和责任感,这是群体参与文化遗址保护的最好切入点。因此在景观建设与旅游发展过程中,要考虑群众在使用过程中的诉求,例如村民更加重视生活诉求,周围居民更加考虑城市绿地的需求,游客更

加重视文化感受与体验。这个过程需要全面考虑便捷舒适的居住空间环境、村民支柱产业与旅游产业的协调发展^[16-19]。在延续景观感受中只有与时俱进,结合现代科技技术,才能使群众与保护传统文化联系更紧密,实现遗址公园景观长久的活力和持久的吸引力。

对于提高遗址公园景观感知,促进遗址公园景观保护和发展,外在力量具有局限性,更重要的是结合内在动力^[20]。实现园区内自身保护体系和发展系统的形成以及良性运行,利用历史文化空间、原村民生活习俗、居民日常活动之间的空间关系,结合积极引导群众与文化保护空间的共同发展,才能实现景观感受新的生机与活力,在未来的发展中实现遗址保护和文化相融合新发展模式。

参考文献:

- [1] 易雨婕. 汉长安城未央宫国家考古遗址公园规划实施效果评估[D]. 西安:西安建筑科技大学,2022.
- [2] 王婷,张晓巍. 对大遗址环境整治中绿化的思考——以汉长安城未央宫遗址环境植物修复为例[J]. 西部人居环境学刊,2016,31(1):41-45.
- [3] 陈丽娟. 汉长安城未央宫考古遗址公园使用状况调查与功能研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2020.
- [4] 刘卓君,赵文斌. 国家考古遗址公园植物配置及生态修复策略——以汉长安城未央宫国家考古遗址公园环境修复植物专项设计为例[J]. 城市住宅,2019,26(9):42-47.
- [5] 李勤,甘洪更. 论汉长安城国家考古遗址公园建设中的水环境建设[J]. 文博,2017(3):109-112.
- [6] 张琳,杨珂. 旅游发展下村民对传统村落景观的依恋感知研究——以云南沙溪寺登村为例[J]. 风景园林,2020,27(12):104-109.
- [7] 唐文跃,张捷,罗浩,等. 古村落居民地方依恋与资源保护态度关系:以西递、宏村、南屏为例[J]. 旅游学刊,2008(10):87-92.
- [8] 吴巍,马凌云,王红英,等. 历史文化街区资源整合与特色景观重塑研究[J]. 美术教育研究,2012(21):158-159.
- [9] 詹秦川,赵月帅. 遗址公园的保护与设计对城市人文的影响——以西安曲江池遗址公园为例[J]. 现代装饰(理论),2015(3):82-83.
- [10] 张琳,杨珂. 基于村民与游客不同视角的传统村落景观感知研究——以云南大理沙溪寺登村为例[J]. 园林,2020,39(7):20-27.
- [11] 马航. 中国传统村落的延续与演变:传统聚集规划的再思考[J]. 城市规划学刊,2006(1):102-107.
- [12] 党航,章为,张梦森,等. 历史印迹·族系营造:湖南永州上甘棠聚落形态的图译及其更新保护研究[J]. 南方建筑,2018(3):110-116.
- [13] 孙丽莹. 分析旅游产业与文化创意产业融合发展[J]. 旅游纵览(下半月),2014(24):51-52.
- [14] 李圆庆. 基于场所精神的居住区架空层空间环境设计——以保利香颂 K14 架空层设计为例[D]. 武汉:华中科技大学,2019.
- [15] 周小凤,张朝枝. 元阳哈尼梯田遗产文化与旅游化的关系演变与互动机制[J]. 人文地理,2019,34(3):154-160.
- [16] 赵夏,余建立. 从日本白川狄町看传统村落保护与发展[J]. 中国文物科学研究,2015(2):38-43.
- [17] 孙佩. 国家考古遗址公园文化旅游展示体系构建举隅[D]. 西安:长安大学,2014.
- [18] 詹秦川,赵月帅. 遗址公园的保护与设计对城市人文的影响——以西安曲江池遗址公园为例[J]. 现代装饰(理论),2015(3):82-83.
- [19] 闫坤. 相融共生 重新书写汉代都城长安城的辉煌——汉长安城未央宫遗址保护进行时[N]. 西安日报,2022-8-14(002).
- [20] 国家考古遗址公园:融入百姓生活 让文化遗产保护惠及于民[N]. 中国文化报,2022-11-03(008).

责任编辑:杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.036

溶胶—凝胶法改良杉木人工林木材研究

陈奎¹, 刘衡², 涂东东³, 符韵林³

(1. 广西国有高峰林场, 广西南宁 530001; 2. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西凭祥 532600;
3. 广西大学林学院, 广西南宁 530004)

摘要:为提高杉木人工林木材的尺寸稳定性、疏水性及耐老化性能, 促进其增值利用。采用溶胶—凝胶法对杉木人工林木材进行改性, 并对改性材的尺寸稳定性、疏水性及耐老化等性能进行分析评价。结果表明, 采用溶胶—凝胶法, 杉木人工林木材的表面和内部空隙均产生 SiO₂ 颗粒, 与素材相比, 改性材的吸水率和吸水厚度膨胀率均有所降低, 尺寸稳定性明显提升; 改性材耐老化性能提高 2.3 倍; 改性材的接触角显著变大, 表明改性材疏水性显著提高。

关键词:溶胶—凝胶法; 木材改性; 杉木; 尺寸稳定性; 疏水性; 耐老化性

中图分类号: S785 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)04-0226-05

引文格式: 陈奎, 刘衡, 涂东东, 等. 溶胶—凝胶法改良杉木人工林木材研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(4): 226-230. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.036

CHEN Kui, LIU Heng, TU Dongdong, et al. Improvement of *Cunninghamia lanceolata* Plantation Wood by Sol-Gel[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(4): 226-230. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.04.036

Improvement of *Cunninghamia lanceolata* Plantation Wood by Sol-Gel

CHEN Kui¹, LIU Heng², TU Dongdong³, FU Yunlin³

(1. Guangxi Gaofeng State-owned Forest Farm, Nanning 530001, China;
2. Tropical Forestry Experimental Center, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang, Guangxi 532600, China;
3. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In order to improve the dimensional stability, hydrophobicity and aging resistance of *Cunninghamia lanceolata* plantation wood and promote its value-added utilization, the sol-gel method was used to modify *Cunninghamia lanceolata* plantation wood, and the dimensional stability, hydrophobicity and aging resistance of the modified wood were analyzed and evaluated in this paper. The results showed that SiO₂ particles were produced in the surface and internal voids of the *Cunninghamia lanceolata* plantation wood. Compared with the raw wood, the water absorption and swelling thickness of the modified wood were decreased, and the dimensional stability was significantly improved, the aging resistance of the modified material was improved by 2.3 times, and the contact angle of the modified material was significantly increased, indicating that the hydrophobicity of the modified material was significantly improved.

Key words: sol-gel; wood modification; *Cunninghamia lanceolata*; dimensional stability; hydrophobicity; aging resistance

收稿日期: 2023-03-14.

第一作者: 陈奎(1979-), 男, 广西博白人, 工程师. 研究方向为木材科学.

责任作者: 符韵林(1977-), 男, 广西博白人, 教授. 研究方向为木材科学.

木材表面改性是通过涂饰木材表面,在其表面形成薄膜,提高木材的整体性能,并赋予木材抗老化性、疏水性、尺寸稳定性、阻燃性等新的功能^[1-2]。溶胶—凝胶(sol-gel)法是最常用的木材表面改性方法之一,是金属化合物或混合物经过水解形成凝胶,然后经干燥后发生缩聚获得网状凝胶结构的工艺^[3]。20世纪90年代,Saka等^[4]和Ogiso等^[5]率先将溶胶—凝胶法用于木材,制备出尺寸稳定性和阻燃性良好的木材复合材料。江泽慧等^[6]比较了木材和竹材的负载SiO₂凝胶的效率,发现木材的凝胶负载率较大。玄路宁等^[7]将SiO₂-TiO₂溶胶负载到桉木表面制备得到光催化性能良好的Si-Ti二元复合膜。刘晓玲等^[8-9]采用溶胶—凝胶法制备了疏水性和耐光性良好的观光木、云南松以及落叶松木材/无机复合材料。SiO₂作为木材改性的常用无机物,具有良好的发展前景。杉木(*Cunninghamia lanceolata*)作为我国特有树种,分布于广西、广东、福建、四川、云南等南方省区,具有蓄积量大、生长迅速、结构均匀、木材芳香、易加工等优点,广泛应用于建筑及家具等领域^[10-11]。但由于杉木材质较软、强度较低、尺寸稳定性较差等,严重制约了杉木的高附加值利用^[12]。因此,采用溶胶—凝胶法改性杉木人工林木材,增强杉木的尺寸稳定、疏水、耐老化等性能,旨在为杉木的高附加值利用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

杉木采自广西梧州苍梧县天洪岭林场,供试样品尺寸95 mm(径向)×65 mm(弦向)×5 mm(纵向)、20 mm(径向)×20 mm(弦向)×20 mm(纵向)。正硅酸乙酯、无水乙醇、乙酸,购自成都市科龙化工试剂厂;甲基三乙氧基硅烷,购自南京向前化工有限公司。

试验仪器:QUV/SPRAY紫外老化仪(喷淋型)、ADCI-60-C全自动测色色差计、S-3400N扫描电子显微镜、克吕士接触角测量仪、差示扫描量热仪等。

1.2 试验方法

1.2.1 溶胶制备

正硅酸乙酯为反应前驱体,甲基三乙氧基硅烷为改性剂,无水乙醇为溶剂,乙酸为催化剂,水为引发剂,溶液配比为1:1:1:0.01:0.1,利用搅拌器匀速搅拌制得所需溶胶。

1.2.2 供试样品处理

将供试样品放置于盛有溶胶的蒸发皿中,使溶胶与供试样品发生交联以形成复合膜,得到改性材,

浸渍时间分别取4、6、8、10 h。将浸渍完成后的供试样品取出,置于恒温恒湿箱(湿度65%,20℃)中陈化5 d,然后将供试样品于干燥箱(120℃)中烘至绝干,再将供试样品于150℃下烘干处理6 h。

1.2.3 扫描电镜分析

选取表面平整的供试样品进行切片,尺寸为5 mm×5 mm×5 mm。将供试样品通过导电胶贴在载样工作台上,喷金处理后进行拍照。

1.2.4 木材尺寸稳定性测定

木材的尺寸稳定性测定参照《木材湿胀性测定方法》(GB/T 1934.2—2009),测量木材在吸湿过程中质量及尺寸变化,计算得出吸水率(Δm)和吸水厚度膨胀率(ΔL),公式分别为:

$$\Delta m = (m_1 - m_0) / m_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 表示不同吸湿时间供试样品的质量; m_0 表示绝干后供试样品质量。

$$\Delta L = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中: L_1 表示不同吸湿时间供试样品的尺寸; L_0 表示绝干后供试样品的尺寸。

1.2.5 木材耐老化性测定

采用QUV/SPRAY紫外老化仪(喷淋型)进行木材耐老化试验,以木材表面色差变化衡量木材耐老化能力。灯管类型为UVA-340,光照和冷凝温度分别为60、50℃,光照功率为0.89 W/m²,光照时间8 h、喷淋时间15 min、冷凝时间3.75 h。使用ADCI-60-C全自动测色色差计来测定供试样品表面色差值,每次测定的时间间隔为0、4、8、16、24、32、48、72、96、120 h。供试样品采用95 mm×65 mm×5 mm规格,每个配方每组3个供试样品,每个供试样品表面测量5个不同位置,在第1次测量后做好标记,以便每次测量的位置相同,并记录数据。紫外光老化仪测量前后色度坐标值的变化用 ΔL_x 、 Δa_x 、 Δb_x 表示,计算出木材老化前后供试样品表面总色差差异大小,总色差(ΔE)公式为:

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2} \quad (3)$$

1.2.6 木材表面疏水性测定

液滴采用蒸馏水。接触角值测定以液滴在木材表面形成的图像较清晰的点为数据处理中的时间零点,取数据中第30 s液滴对应的接触角值,分别对弦切面和径切面进行测量,每个面测量3个点。

2 结果与分析

2.1 杉木木材扫描电镜结果分析

改性前后杉木木材的扫描电镜图像如图1所示。

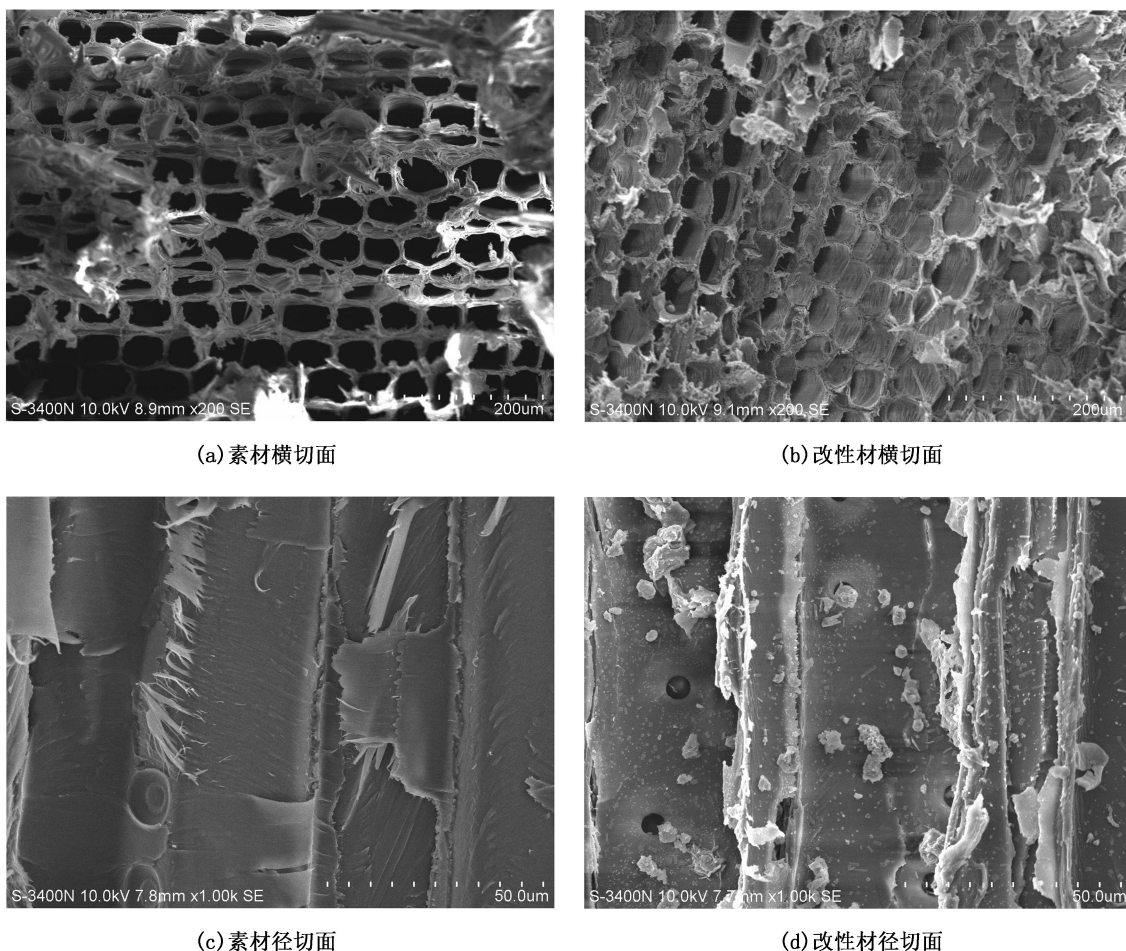


图 1 杉木木材改性前后电镜扫描图

Fig. 1 Scanning electron microscopy image before and after modification of *Cunninghamia lanceolata* plantation wood

由图 1 可以清晰看出,素材的细胞腔和细胞壁中无填充物,而改性后杉木木材的细胞壁和细胞腔中存在大量固体沉淀,说明采用溶胶—凝胶法可原位生成 SiO_2 颗粒,这些颗粒不止覆盖在木材表面,还存在于木材内部空隙,是改性材各性能提升的基础。

2.2 尺寸稳定性分析

2.2.1 杉木改性材吸水率

杉木改性材吸水率变化规律如图 2 所示。

由图 2 可知,吸湿时间共 120 h,随着吸湿时间的增加,供试样品的吸水率增大,且在吸湿处理前期,随着吸湿时间增加吸水率变化较为明显,之后吸水率缓慢增加趋于稳定,此时吸湿及解吸变化逐渐接近动态平衡。与素材相比,杉木改性材的吸水率明显较低,其中,随着浸渍时间的延长,改性材的吸水率逐渐降低,这是因为 SiO_2 填充了木材空隙,同时浸渍过程中杉木木材表面生成了 SiO_2 薄膜,降低了其表面的羟基数量,且随浸渍时间的延长,生成的 SiO_2 颗粒越多,改性材吸水率越低。

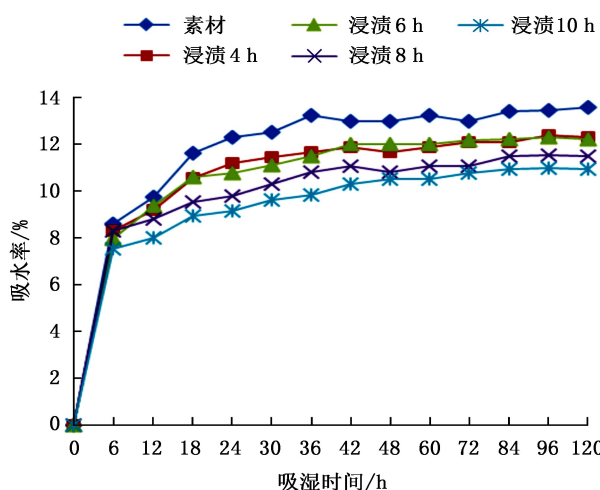


图 2 杉木木材吸水率变化

Fig. 2 Water absorption rate of *Cunninghamia lanceolata* plantation wood

2.2.2 杉木改性材吸湿膨胀率

杉木改性材的吸湿膨胀率变化规律如图 3 所示。

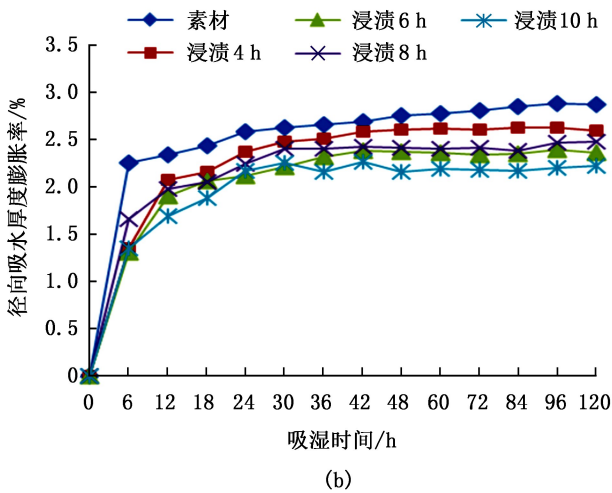
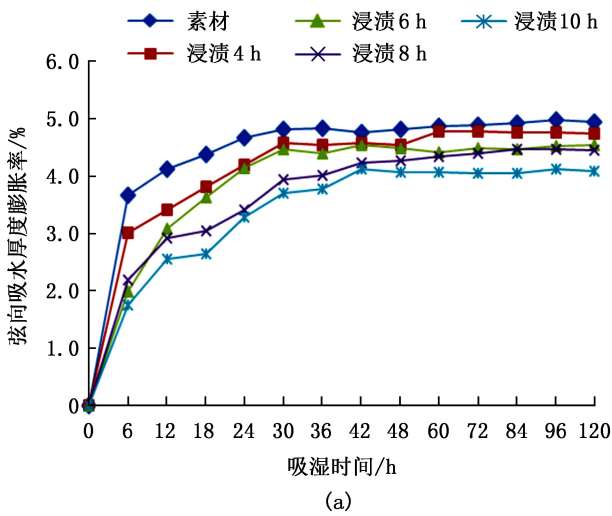


图 3 杉木木材吸水厚度膨胀率变化

Fig. 3 Swelling thickness rate of *Cunninghamia lanceolata* plantation wood

由图 3 可知,随着吸湿时间的增加,杉木木材及其改性材的径向和弦向厚度均增大,且在吸湿时间为 0~12 h 时厚度增加幅度明显,主要因为绝干木材具有极强的吸水性,后期逐渐趋于稳定,此时木材的含水量达到平衡。与素材相比,改性材的径向、弦向厚度膨胀率明显较低,且浸渍时间越长,改性材的吸水厚度膨胀率越低,这归因于 SiO₂ 颗粒填充在木材缝隙,阻碍了木材水分的运输,同时,与木材表面的羟基结合,降低改性材的吸水性,进而降低了改性材的吸水厚度膨胀率,因此,采用溶胶—凝胶法改性显著提高了木材的尺寸稳定性。

2.3 杉木改性材耐老化性能

杉木木材及其改性材老化过程中亮度和色差变化如图 4 所示。随着老化处理时间的增加,素材和改性材的亮度均逐渐降低,经过 120 h 的老化处理后,

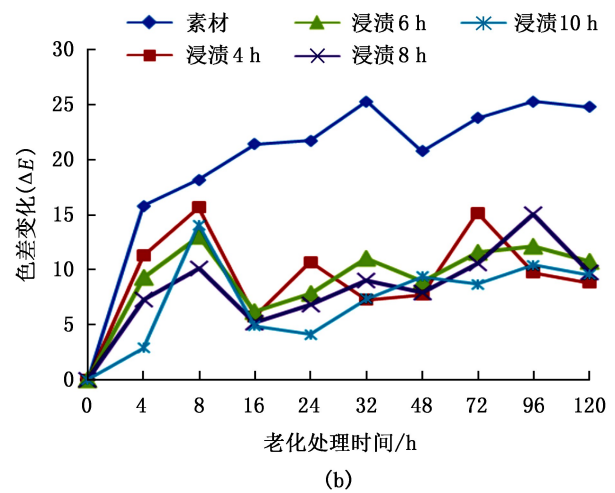
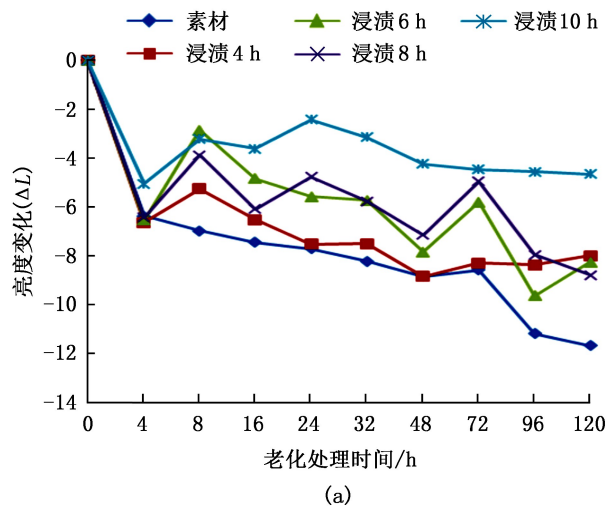


图 4 杉木木材老化过程中亮度和色差变化

Fig. 4 ΔL and ΔE during *Cunninghamia lanceolata* plantation wood aging

改性材的亮度变化显著低于素材,其中浸渍 10 h 的改性材亮度变化最小。

随着老化处理时间的增加,素材和改性材的色差变化总体呈先增加后减小的趋势。经过 120 h 的老化处理后,素材的色差变化明显大于改性材,不同浸渍时间处理的改性材色差变化差异较小,说明浸渍时间对改性材的耐老化能力影响较小。在老化处理时间达 120 h 后,杉木改性材的平均色差变化值为 10,相比于素材的色差变化值 23,改性材的耐老化性能提升了 2.3 倍,这是因为改性材表面形成了 SiO₂ 氧化膜,可以吸收紫外线,明显提升木材的耐老化能力。

2.4 木材表面疏水性

木材主要由纤维素、半纤维素和木质素组成,这些组分均富含亲水基团,因此木材具有较强的亲水性。不同浸渍时间杉木木材接触角变化如图 5 所示。

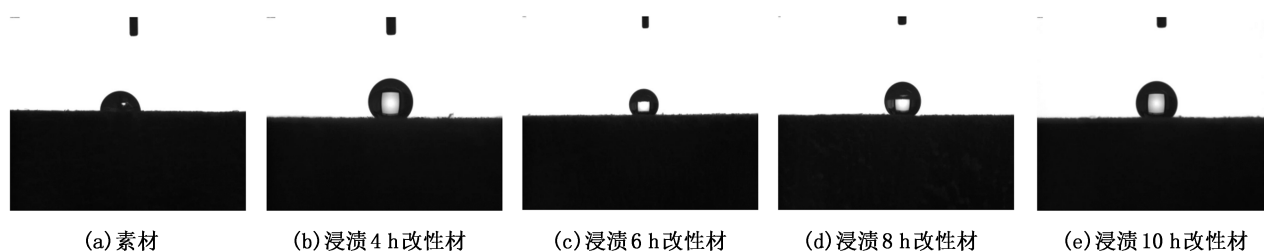


图 5 杉木木材接触角变化

Fig. 5 Changes of *Cunninghamia lanceolata* plantation wood contact angle

不同浸渍时间改性处理的木材均表现出较强的疏水性,但不同浸渍时间处理之间的差异不明显。杉木木材改性前后接触角的变化情况见表 1。

表 1 杉木木材改性前后接触角
Tab. 1 Contact angle before and after wood modification of *Cunninghamia lanceolata* (°)

样品	径切面	弦切面	平均值
素材	51.06	47.39	49.23
浸渍 4 h 改性材	127.04	124.70	125.87
浸渍 6 h 改性材	125.39	123.08	124.24
浸渍 8 h 改性材	129.76	128.91	129.34
浸渍 10 h 改性材	126.40	124.52	125.46

由表 1 可知,经过溶胶—凝胶法改性后,杉木木材接触角由 49.23° 增加到 129.34°,木材疏水性显著提高,其原因是木材表面的亲水基团被表面生成的 SiO₂ 覆盖或羟基与 SiO₂ 结合而使得亲水基因变少,阻碍木材的吸湿;表面形成的 SiO₂ 氧化膜较木材更为粗糙,进一步提高了木材的疏水性。

3 结 论

采用溶胶—凝胶法成功在杉木木材表面及细胞内部空隙中生成了 SiO₂ 颗粒,且随着浸渍时间的延长,生成更多 SiO₂ 颗粒。此法可显著降低木材吸水率及厚度膨胀率,提高木材尺寸稳定性,且随浸渍时间的增加,木材尺寸稳定性提升越大;明显提高木材的耐老化能力,与素材相比,改性材的耐老化能力提高 2.3 倍;极大提高木材的疏水性,但浸渍时间对改性材的疏水性影响较小。综上,通过溶胶—凝胶法改性可显著提升杉木的尺寸稳定性、疏水性及耐老化性能,具有良好的应用前景。

参考文献:

[1] 王百灵,冯苗,詹红兵. 木材表面功能化改性的研究进

展[J]. 中国表面工程,2013,26(6):9-17.

- [2] 武猛祥,李俊长. 超声波辅助溶胶—凝胶法制备 TiO₂ 木材复合材料的物理性质[J]. 西南林业大学学报,2016,36(2):127-131.
- [3] 刘晓玲. 二氧化硅与硅钛双元氧化膜改良木材表面性质的研究[D]. 南宁:广西大学,2015.
- [4] SAKA S, SASAKI M, TANAHASHI M. Wood-inorganic composites prepared by sol-gel processing I: Wood-inorganic composites with porous structure[J]. Mokuzai Gakkaishi, 1992,38(11):1043-1049.
- [5] OGISO K, SHIRO S. Wood-inorganic composites prepared by solgel process II: Effects of ultrasonic treatments on preparation of wood-inorganic composites[J]. Mokuzai Gakkaishi, 1993,39(3):301-307.
- [6] 江泽慧,王汉坤,张求慧,等. 木材、竹材及其炭化物负载 SiO₂ 凝胶的比较[J]. 林业科学,2013,49(4):98-102.
- [7] 玄路宁,刘志高,符韵林. 木材表面 Fe³⁺ 掺杂 TiO₂/SiO₂ 复合膜构建及其光催化性能[J]. 林业工程学报,2018,3(4):35-40.
- [8] 刘晓玲,陈松武,罗玉芬,等. 不同家系马尾松木材经溶胶凝胶法改良后耐光性比较研究[J]. 江苏林业科技,2022,49(3):48-53.
- [9] LIU X, CHEN S, FU Y. Properties of *Pinus* modified with silicon-titanium binary oxides[J]. BioResources, 2021, 16(1):747-763.
- [10] 李宪,廖良宁,杨海鹏,等. 杉木与火力楠人工混交林群落空间格局研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学),2020,40(5):1-9.
- [11] 段红静,曹森,郑会全,等. 杉木不同无性系主要经济性状变异分析[J]. 西南林业大学学报,2016,36(2):78-83.
- [12] 余光,高楠,张纪卯,等. 人工林大杉木材的物理力学性质[J]. 西南林业大学学报,2014,34(1):106-109.

责任编辑: 陈旭

《林业调查规划》征稿简则

《林业调查规划》是由云南省林业和草原局主管,云南省林业调查规划院主办的国内外公开发行的林业科技类专业学术期刊,被多家期刊数据库全文收录,为中国科技核心期刊、中国林业核心期刊,荣获首届《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊奖,连续两届荣获“云南省优秀期刊奖”,2022 年荣获“西牛计划”之优秀中文科技期刊奖。本刊报道林草行业相关理论和应用研究成果,设置有森林经理(含资源监测、管理等)、森林培育、生态保护修复、林草碳汇、自然保护区、生态系统(含森林、草原、湿地、景观)、动植物(含古树名木)、森林土壤、林草灾害(含林火、病虫害、外来物种)、林草产业、智慧林草(信息化)、生态旅游与森林康养、园林绿化等栏目。接收并刊发反映现代林草领域发展方向的优秀论文。

1 来稿要求

1.1 文章内容与字数:要求文稿真实、准确地反映当前林草领域科研新成果,内容具有先进性、科学性、实用性。来稿字数以 5 000~15 000 字为宜(含图表)。如为基金项目,请注明项目名称和编号。

1.2 文题:文题要言简意赅,以不超过 20 字为宜。

1.3 署名:第一作者应是稿件的执笔人和修改人,作者之间用逗号“,”隔开。

1.4 单位:要写全称,并注明所在省(区)、市(县)和邮编。

1.5 摘要和关键词:摘要内容应完整准确概括论文的实质性内容,包括研究目的、方法、结果和结论等要素,并具有独立性和自明性,不加注释和评论,字数控制在 300 字以内。关键词应选择紧扣文章主题、反映文章内容的单词、词组或术语 3~8 个,中间用分号“;”隔开。

1.6 正文:正文中的各层次标题用阿拉伯数字连续编写,如 1;1.1;1.1.1;2;2.1……,顶格书写,层次划分不超过 3 级。

1.7 图和表:应有自明性,切忌与文字表述重复。插图要求用计算机绘制,图序和图题应标在图的下方;表格采用三线表设计,表中参数应标明量和单位符号。

1.8 量、单位和符号:请使用法定计量单位,量名称及符号、单位、数字等应符合国家标准,书写要规范,外文字母和符号必须注明大小写、正斜体及上下角标。例如:长度单位:km、m、cm、mm;面积单位:hm²、m²、dm²、cm²;体积单位:m³、L、mL;质量单位:t、kg、g、mg;时间单位:a、d、h、min、s。

1.9 数字的写法:凡是可以使用阿拉伯数字且很得体的地方,均应使用阿拉伯数字;公历世纪、年代、年、月、日均用阿拉伯数字。

1.10 参考文献:只列出作者直接阅读过并已公开发表的主要文献,未发表的著作、论文集、内部资料不列入参考文献范围。采用顺序编码制,即按文中出现的顺序连续编号,并用阿拉伯数字加方括号标于文中适当位置的右上角,并与文末参考文献序号对应一致。著录格式如下:①期刊:[序号]作者(3 人以上须满足 3 人后加逗号和“等”)。篇名[J]. 刊名,年,卷(期):起止页码。②图书:[序号]作者. 书名[M]. 出版地:出版单位,出版年:起止页码。③论文集:[序号]作者. 论文集名[C]. 出版地:出版单位,出版年:起止页码。④电子文献:[序号]主要责任者. 电子文献题名[电子文献及载体类型标识]. 发表日期/引用日期(任选). 电子文献的出处或可获得地址. 参考文献类型代码分别为:普通图书[M]、会议录[C]、汇编[G]、报纸[N]、期刊[J]、学位论文[D]、报告[R]、标准[S]、专利[P]、数据库[DB]、计算机程序[CP]、电子公告[EB]、联机网络[OL]。对于专著、论集中析出的文献,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年评为云南省优秀期刊
- 2012年评为云南省优秀期刊
- 2022年评为“西牛计划”之优秀中文科技期刊
- 2023年评为云南省优秀科技期刊

林业调查规划
LINYE DIAOCHA GUIHUA

（双月刊，1976年创刊）
2024年7月 第49卷 第4期

Forest Inventory and Planning

（Bimonthly, Started in 1976）
Vol.49 No.4 July 2024

主管单位	云南省林业和草原局	Administrated by	Yunnan Forestry and Grassland Administration
主办单位	云南省林业调查规划院	Sponsored by	Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning
主 编	胡宗华	Editor in Chief	HU Zonghua
编辑出版	《林业调查规划》编辑部	Edited & Published by	Editorial Department of Forest Inventory and Planning
地 址	昆明市人民东路289号	Address	No. 289 East Renmin Road, Kunming, China
邮 编	650051	Post Code	650051
电 话	0871-63318347, 63332538	Telephone	0871- 63318347, 63332538
Email	ynfip@vip.163.com	Email	ynfip@vip.163.com
印 装	昆明锦润印刷有限公司	Printed by	Kunming JINRUN Printing Co.,Ltd.
订 购	全国各地邮政局	Distributed by	All Local Post Offices in China

刊号: ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

国内定价: 20.00元 (全年120.00元)

广告经营许可证号: 5300004000093
邮发代号: 64-100

