

中国科技核心期刊
中国林业核心期刊

ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

林业调查规划

FOREST INVENTORY AND PLANNING



林业调查规划

第47卷 第2期
Vol.47 No.2

二〇二二年三月

第47卷 第2期
Vol.47 No.2

2022 2

云南省林业调查规划院 主办
西南地区林业信息中心

林业调查规划

LINYE DIAOCHA GUIHUA

Forest Inventory and Planning

(双月刊 1976年创刊)

第47卷 第2期 (总第248期) 2022年3月

(Bimonthly, Started in 1976)

Vol. 47 No. 2 (Sum No. 248) Mar. 2022

主办单位 云南省林业调查规划院
西南地区林业信息中心

Sponsored by: Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning,
Southwest Forestry Information Centre

《林业调查规划》编辑委员会

主任委员 张子翼

副主任委员 温庆忠

委员 (按姓氏笔画排序)

王卫斌 王生 邓喜庆 孔德昌 龙廷位

艾建林 刘扬 许易琦 华朝朗 陈文红

张子翼 宋永俊 邹光启 杨光照 宋劲忻

余昌元 张程程 吴霞 周小平 欧光龙

岳彩荣 金瑛 施化云 钟明川 洪焰泉

秋新选 陶晶 曹顺伟 温庆忠 董建昌

赖兴会 瞿林

Editorial Board of Forest Inventory and Planning

Director of the Board: ZHANG Ziyi

Associate Director of the Board: WEN Qingzhong

Members:

WANG Weibin, WANG Sheng, DENG Xiqing, KONG Dechang,

LONG Tingwei, AI Jianlin, LIU Yang, XU Yiqi, HUA Chaolang,

CHEN Wenhong, ZHANG Ziyi, SONG Yongjun, ZOU Guangqi,

YANG Guangzhao, SONG Jinxin, YU Changyuan, ZHANG Chengcheng,

WU Xia, ZHOU Xiaoping, OU Guanglong, YUE Cairong,

JIN Ying, SHI Huayun, ZHONG Mingchuan, HONG Yanquan,

QIU Xinxuan, TAO Jing, CAO Shunwei, WEN Qingzhong,

DONG Jianchang, LAI Xinghui, QU Lin

《林业调查规划》编辑部

主编 张子翼

副主编 许易琦

编辑部成员 邓砚 刘平书 许易琦

许春霞 吕鹏程 陈旭

杨焱熔 张林艳 张瑞君

英文责编 杨焱熔

Editorial Department of Forest Inventory and Planning

Chief Editor: ZHANG Ziyi

Associate Editor: XU Yiqi

Editor: DENG Yan, LIU Pingshu, XU Yiqi,

XU Chunxia, LYU Pengcheng, CHEN Xu,

YANG Junrong, ZHANG Linyan, ZHANG Ruijun

English Editor in Charge: YANG Junrong

编辑出版 《林业调查规划》编辑部

地址 昆明市人民东路289号

云南省林业调查规划院

邮编 650051

电话 0871-63318347; 63332538

传真 0871-63318347

电子信箱 ynfip@vip.163.com

http://www.yunnanforestry.cn:8099/ch/index.aspx

印刷 昆明锦润印刷有限公司

国内发行 中国邮政集团公司云南省分公司

订购 全国各地邮政局

中国标准连续出版物号 ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

广告经营许可证号 5300004000093

国内定价 20.00元(全年120.00元)

Edited & Published by:

Editorial Department of Forest Inventory and Planning

Address: 289 East Renmin Road, Kunming, China

Post Code: 650051

Tel: 86-0871-63318347; 63332538

Fax: 86-0871-63318347

Email: ynfip@vip.163.com

http://www.yunnanforestry.cn:8099/ch/index.aspx

Printed by: Kunming Jinrun Printing Co., Ltd.

Distributed by: Yunnan Branch of China Post Group Co., Ltd.

Subscription Office: Post Bureau of China

ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

Ad. Licence: 5300004000093

Price(abroad): 5.00 dollars(30.00 dollars yearly)

林业调查规划

第 47 卷 第 2 期

(总第 248 期)

2022 年 3 月

目 次

●森林经理

- 金沙江流域中段森林地上生物量光学遥感估测及饱和点分析 刘关琴,施凯泽,万玉洁,胥辉(1)
- 基于 MDA 模型驱动架构的林业多维时空可视化研究 李鑫,段菁,滕飞,纳青,云海英,高荣丽(10)
- 基于 GIS 模型构建器的影像批量裁剪方法研究 咎建春,冷鸿天,吴颜奎(16)

●研究与探索

- 基于 Citespace 的物种分布预测研究进展的可视化分析 昌秋霞,钟云芳,张哲,赵莹,宋希强(20)
- 昭通市传统村落时空分布格局及影响因素研究 孙婉,刘扬(34)
- 基于 AHP-FCE 的园林博览园游客满意度研究 黄铭萱,郭松,马可锦,蒲旭斌(41)

●森林保护

- 广东省广宁县竹大象危害及生物学特性研究 曾家城,邱华龙(48)
- 纳板河流域国家级自然保护区外来入侵植物监测 木陈会,玉香章,田茂兴(52)

●林火研究

- 云南松林的燃烧性研究综述 张鑫,段顺美,王秋华,张文文,龙腾腾,王睿琛(58)
- 基于森林火灾热点数据的无人机优化组合调度研究 李梦瑶,吴梦青,陈天齐,高欣慧,赵倩(65)

●森林资源管理

- 云南省第二次重点保护野生植物资源调查研究
..... 郑进焯,杨焱熔,万静霏,王勇,华朝朗,余昌元,蔡文婧,郑静楠,吴富勤(70)
- 云南省重点保护野生植物资源现状与保护策略研究
..... 蔡文婧,王勇,华朝朗,余昌元,郑静楠,郑进焯(77)
- 基于 Python 的森林资源监测数据分析与可视化研究 冷鸿天,杨雨渐,杨天森,张占忠(82)

●森林公园

- 基于绿色交通理念的教育园区慢行系统设计研究 陈璐,王威,刘保国(87)
- 洛阳市隋唐城遗址植物园复愈功能研究 王艳霞,王玉玺,晁晓燕,李亦辰,张文卿,高猛,王磊(94)

郑州市 3 个开放式综合性公园边界空间活力提升研究 赵濛濛,冯 艳,孔德政(100)

●森林培育

云南省核桃良种选育研究进展..... 李淑芳,习学良,杨建华,陈 勤,王高升,赵阡池(108)

阿司匹林和维生素对观赏植物的生理效应研究 叶圆圆,姚迎丽,卫 红(117)

不同施肥对杉木容器苗生长及生物量的影响研究 刘际梅,杨 斌,袁莲珍,史富强,许林红(123)

●生态建设

迪庆州森林生态效益价值动态分析与评价 肖 丰(128)

基于 GNSS RTK 的广东林草生态综合监测评价研究 刘新科,黄宁辉,秦 琳,徐明锋,彭词清(133)

仙居永安溪湿地公园的生态胁迫与保护对策 柯志军,谢哲根,陈利星,姚鸿文,陶 晶(137)

●森林土壤

大兴安岭杜香-兴安落叶松林植物器官与土壤化学计量特征研究 辛雅彬,宋希明,王 飞,高孝威(142)

亚热带山地常绿阔叶林土壤理化性质研究 黎荣彬,邓洪涛,白昆立(149)

施肥对典型红壤区桉树人工林土壤理化性质的影响 游彩云(153)

●论坛

德宏州中小生物多样性保护意识差异研究 郭 艺,李 旭,赵新建,朱边勇,唐甜甜(158)

云南省林下中药材产业发展策略..... 向艳平,肖 丰(166)

●园林

基于 AHP 法的昆明市寺观园林景观价值评价 段雅管,许耘红,李永蝶(172)

酉阳叠石花谷入口花境植物种类及配置分析 陶成铭,易小林(181)

郑州市园林绿地木质藤本植物应用研究 李倩倩,袁德强,高振丽,王鹏飞(188)

重庆市中心城区行道树绿化带植物景观评价..... 龙光红,秦 华(194)

云南普者黑 张正友摄(封面)

高原湖泊—佩枯措 许易琦摄(封底)

《林业调查规划》征稿简则 (封三)

(本期责任编辑:许易琦,陈旭,杨焱熔,刘平书)

Contents

●Forest Management

- Optical Remote Sensing Estimation and Saturation Point Analysis of Forest Above-ground Biomass in the Middle of the Jinsha River LIU Guanqin, SHI Kaize, WAN Yujie, XU Hui(1)
- Multi Dimensional Spatiotemporal Visualization of Forestry Based on Model Driven Architecture LI Xin, DUAN Jing, TENG Fei, NA Qing, YUN Haiying, GAO Rongli(10)
- Batch Processing Method of Clipping Images Based on GIS Model Builder ZAN Jianchun, LENG Hongtian, WU Yankui(16)

●Research and Exploration

- Visual Analysis of Research Progress on Species Distribution Prediction Based on Citespace CHANG Qiuxia, ZHONG Yunfang, ZHANG Zhe, ZHAO Ying, SONG Xiqiang(20)
- Spatiotemporal Distribution Pattern and Influencing Factors of Traditional Villages in Zhaotong City SUN Wan, LIU Yang(34)
- Tourist Satisfaction of Garden Expo Park Based on AHP-FCE HUANG Mingxuan, GUO Song, MA Kejin, PU Xubin(41)

●Forest Conservation

- Damage and Biological Characteristics of *Cyrtotrachelus* spp. in Guangning County of Guangdong Province ZENG Jiacheng, QIU Hualong(48)
- Monitoring of Invasive Alien Species in Nabanhe National Nature Reserve MU Chenhui, YU Xiangzhang, TIAN Maoxing(52)

●Forest Fire Research

- Review on Combustibility of *Pinus yunnanensis* Forest ZHANG Xin, DUAN Shunmei, WANG Qihua, ZHANG Wenwen, LONG Tengting, WANG Ruichen(58)
- UAV Optimal Combination Scheduling Based on Fire Hotspots Data LI Mengyao, WU Mengqing, CHEN Tianqi, GAO Xinhui, ZHAO Qian(65)

●Forest Resource Management

- Second Investigation of Key Protected Wild Plant Resources in Yunnan Province ZHENG Jinxuan, YANG Junrong, WAN Jingfei, WANG Yong, HUA Chaolang, YU Changyuan, CAI Wenjing, ZHENG Jingnan, WU Fuqin(70)
- Status and Protection Countermeasures of Key Protected Wild Plant Resources in Yunnan Province CAI Wenjing, WANG Yong, HUA Chaolang, YU Changyuan, ZHENG Jingnan, ZHENG Jinxuan(77)
- Forest Resource Monitoring Data Analysis and Visualization Based on Python LENG Hongtian, YANG Yujian, YANG Tianmiao, ZHANG Zhanzhong(82)

●Forest Park

- Design of Non-motorised Traffic System in Education Park Based on Concept of Green Transport CHEN Lu, WANG Wei, LIU Baoguo(87)

Restoration Function of Sui and Tang Dynasties City Ruins Botanical Garden in Luoyang City

..... WANG Yanxia, WANG Yuxi, CHAO Xiaoyan, LI Yichen, ZHANG Wenqing, GAO Meng, WANG Lei(94)

Enhancement of Boundary Space Vitality of Three Open Comprehensive Park in Zhengzhou

..... ZHAO Mengmeng, FENG Yan, KONG Dezheng(100)

●Forest Cultivation

Research Progress on Breeding of Improved Walnut Varieties in Yunnan

..... LI Shufang, XI Xueliang, YANG Jianhua, CHEN Qin, WANG Gaosheng, ZHAO Qianchi(108)

Physiological Effects of APC and Vitamins on Several Ornamental Plants YE Yuanyuan, YAO Yingli, WEI Hong(117)

Effects of Different Fertilization on Growth and Biomass of Container Seedlings of *Cunninghamia lanceolata*

..... LIU Jimei, YANG Bin, YUAN Lianzhen, SHI Fuqiang, XU Linhong(123)

●Ecological Construction

Dynamic Analysis and Evaluation of Forest Ecological Benefit Value in Diqing Tibetan Autonomous Prefecture ... XIAO Feng(128)

Comprehensive Monitoring and Evaluation of Forest and Grass Ecology in Guangdong Based on GNSS RTK

..... LIU Xinke, HUANG Ninghui, QIN Lin, XU Mingfeng, PENG Ciqing(133)

Ecological Stress and Protection Countermeasures in Xianju Yongan Creek Wetland Park

..... KE Zhijun, XIE Zhegen, CHEN Lixing, YAO Hongwen, TAO Jing(137)

●Forest Soil

Stoichiometric Characteristics of Soil and Plant Organs in *Ledum palustre-Larix gmelinii* Forest in the Greater Khingan Mountains

..... XIN Yabin, SONG Ximing, WANG Fei, GAO Xiaowei(142)

Physical and Chemical Properties of Soil in Subtropical Montane Evergreen Broad-Leaved Forest

..... LI Rongbin, DENG Hongtao, BAI Kunli(149)

Effects of Fertilization on Soil Physical and Chemical Characteristics of *Eucalyptus robusta* Plantations in Typical Red

Soil Area YOU Caiyun(153)

●Forum

Differences of Biodiversity Conservation Consciousness in Primary and Middle Schools in Dehong

..... GUO Yi, LI Xu, ZHAO Xinjian, ZHU Bianyong, TANG Tiantian(158)

Development Suggestions of Under-forest Traditional Chinese Herbal Medicine Industry in Yunnan Province

..... XIANG Yanping, XIAO Feng(166)

●Landscape Architecture

Value Evaluation of Temple Landscape in Kunming Based on AHP DUAN Yajian, XU Yunhong, LI Yongdie(172)

Species and Configuration of Flower Border Plants at Entrance of Dieshuhua Valley in Youyang

..... TAO Chengming, YI Xiaolin(181)

Application of Woody Lianas in Garden Green Space in Zhengzhou City

..... LI Qianqian, YUAN Deqiang, GAO Zhenli, WANG Pengfei(188)

Plant Landscape Evaluation of Street Trees Green Belt in Downtown Chongqing LONG Guanghong, QIN Hua(194)

Puzhehei in Yunnan Photographed by ZHANG Zhengyou (Front Cover)

Plateau Lake—Peikucuo Lake Photographed by XU Yiqi(Back Cover)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.001

金沙江流域中段森林地上生物量光学遥感估测及饱和点分析

刘关琴¹, 施凯泽², 万玉洁¹, 胥辉¹

(1. 西南林业大学 西南地区生物多样性保育国家林业局重点实验室, 云南 昆明 650224;

2. 云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要:以云南省金沙江流域中段为研究对象, 基于森林资源二类调查数据和同时期的 Landsat 8 OLI 遥感数据, 采用半变异函数的球状模型计算 5 类优势树种或树种组的光学遥感估测的光饱和值, 采用多元逐步线性回归模型和 KNN 模型对不同优势树种或树种组的森林地上生物量进行估测。结果表明, 不同优势树种或树种组的森林地上生物量光学遥感估测的光饱和值为: 其他针叶林 (160.201 t/hm²) > 高山松林 (127.938 t/hm²) > 常绿栎类 (101.220 t/hm²) > 云南松林 (98.870 t/hm²) > 其他阔叶林 (88.432 t/hm²); KNN 模型的拟合精度明显优于多元逐步线性回归模型。

关键词:森林地上生物量; 光学遥感估测; 生物量光饱和值; 逐步线性回归; KNN; 金沙江流域中段

中图分类号: S718.556; S771.8; S718.512.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2022)02-0001-09

引文格式: 刘关琴, 施凯泽, 万玉洁, 等. 金沙江流域中段森林地上生物量光学遥感估测及饱和点分析[J]. 林业调查规划, 2022, 47(2): 1-9. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.001

LIU Guanqin, SHI Kaize, WAN Yujie, et al. Optical Remote Sensing Estimation and Saturation Point Analysis of Forest Above-ground Biomass in the Middle of the Jinsha River[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 1-9.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.001

Optical Remote Sensing Estimation and Saturation Point Analysis of Forest Above-ground Biomass in the Middle of the Jinsha River

LIU Guanqin¹, SHI Kaize², WAN Yujie¹, XU Hui¹

(1. Key Laboratory of State Forestry Administration on Biodiversity Conservation in Southwest China, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: Taking the middle section of the Jinsha River basin in Yunnan Province as the research object, based on forest inventory for planning and design data and Landsat 8 OLI remote sensing data of the same period, the spherical model with semi-variance function was used to calculate the light saturation values of the optical remote sensing estimation of the five dominant tree species or tree species groups, and the above-ground forest biomass of different dominant tree species or tree species groups were estimated by multiple stepwise linear regression model and KNN model. The results showed that the optical remote sensing estimated light saturation values of above-ground forest biomass were: other coniferous forest (160.201 t/hm²) > *Pinus densata* forest (127.938 t/hm²) > evergreen oak forest (101.220 t/hm²) > *Pinus*

收稿日期: 2021-03-10.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31760206, 31770677, 31660202); 云南省王广兴专家工作站(2018IC100); 云南省万人计划青年拔尖人才专项(YNWR-QNBJ-2018-184).

第一作者: 刘关琴(1994-), 女, 云南寻甸人, 硕士研究生. 主要从事森林生物量遥感估测研究. Email: 2805539182@qq.com

责任作者: 胥辉(1960-), 男, 四川盐亭人, 教授, 博士生导师. 主要从事森林生物量遥感估测研究. Email: swfc213@126.com

yunnanensis forest (98.870 t/hm²) > other broad-leaved forest (88.432 t/hm²); the fitting accuracy of the KNN model was significantly better than that of the multiple stepwise linear regression model.

Key words: above-ground biomass; optical remote sensing estimation; biomass light saturation value; stepwise linear regression; KNN; middle section of the Jinsha River

森林是陆地生态系统中最大的有机碳储库,对全球碳循环至关重要^[1],评价森林生态系统碳汇能力的其中一个重要指标是森林生物量的分布和变化^[2],森林碳汇估算的关键就在于如何准确估算生物量。传统的野外测量不能提供大规模连续观测数据,且费时费力,遥感模型估测法可以实时、动态、无破坏地对森林地上生物量进行估算,尤其适用于大区域的生物量估算^[3]。植被在红外波段和可见光的光谱特征具有明显区别,可利用植被的光谱特征来监测植被生长状况和估测森林生物量,其中,Landsat 影像已成为众多学者使用最普遍的遥感数据来源^[4],但仍具有不确定性,不确定性的来源主要有生物量模型预估表现、野外样地数据获取、遥感数据来源及其空间分辨率、森林的空间异质性、森林生境信息因子等,其中光饱和点的不确定性尤为突出^[5]。

近年来,诸多学者对如何解决森林生物量数据饱和带来的问题进行了研究,欧光龙等^[6]通过构建不同模型对森林生物量遥感进行估测以探索减少饱和和现象造成的估测精度问题。周律等^[7]基于遥感变量构建空间回归模型,避免了模型自相关性,提高了思茅松林地上生物量估测精度。许振宇^[8]等结合主被动遥感数据,采用 4 种模型估测分析桂东县森林生物量,为亚热带森林生物量建模分析提供了新思路。

金沙江流域位于长江上游,在云南分布广泛,生态系统十分脆弱^[9]。按森林植被类型划分可将此流域分为 3 个区,东部中山山原峡谷区、中部中山峡谷和滇中高原区、西部高山峡谷区^[10]。中部中山峡谷和滇中高原区的主要植被类型为云南松、高山松、针叶林和旱冬瓜、栎类等形成的混交林,此区域缺少相关优势树种光学遥感估测的饱和点数据。目前,其他地区已有对这些优势树种光学遥感估测饱和点的探索结果,卢腾飞等^[11]利用三次模型拟合曲靖市云南松生物量饱和值为 167 t/hm²。赵盼盼^[12]估算浙江省中西部针叶林的生物量饱和值得到马尾松与杉木遥感生物量估测饱和值分别为 159 t/hm² 和 143 t/hm²。吴勇等^[13]通过皮尔逊相关系数比较筛选出 Landsat 8 OLI Band 4 波段变量与 AGB 进行曲线拟合,求得高山松林与云冷杉林遥感生物量估测饱和值分别为 149.09 t/hm² 和 162.3 t/hm²。

基于此,将以云南省金沙江流域中段的 5 类主要树种为研究对象,基于 Landsat 8 OLI 遥感影像,结合地面二调小班数据,构建生物量估测模型,探索光学遥感数据源的饱和点阈值确定方法,并反演研究区 5 类主要树种的地上生物量。实现对研究区生物量估算精度的提升,减小因存在数据饱和问题所造成的不确定性。为进一步提高大尺度流域生物量光学遥感估测精度提供理论依据,为今后金沙江流域森林碳汇计算提供理论基础,也为其他流域的森林生物量光学遥感估测及饱和点分析研究提供参考。

1 研究区概况

金沙江流域发源于青藏高原,流域全长 1 560 km,介于 25°~36°N 和 90°~103°E 范围,流域内地形极为复杂,众多高山峡谷相间并列,地势北高南低,落差约 5 100 m。各区段自然环境差异较大,有明显的垂直气候特征^[14]。研究区域位于大理、丽江、楚雄 3 个州市所在的金沙江流域,本文中统一称为金沙江流域中段(图 1)。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

2.1.1 小班数据

1) 小班单位面积地上生物量计算

选取研究区 2016 年森林资源二类调查小班数据,包括金沙江流域流经的楚雄、大理、丽江 3 个州市。根据实际情况,本研究选取云南松林、常绿栎类林、高山松林、其他阔叶林、其他针叶林进行分析建模(表 1)。参考胥辉等^[15]的蓄积量—生物量转换模型计算各小班单位面积森林生物量^[16]。计算公式为:

$$B = V \times SVD \times BEF \quad (1)$$

式中: B 为小班单位面积地上生物量(t/hm²); V 为小班单位面积蓄积量(m³/hm²); SVD 为基本木材密度(t/m³); BEF 为生物量转换因子(无量纲)。

2) 样本小班的确定

优势树种或树种组在研究区分布如图 1B 所示,将小班中的异常数据剔除,筛选出平均胸径大于等于 5 cm 的小班;利用 ArcGIS“子集要素”工具,等

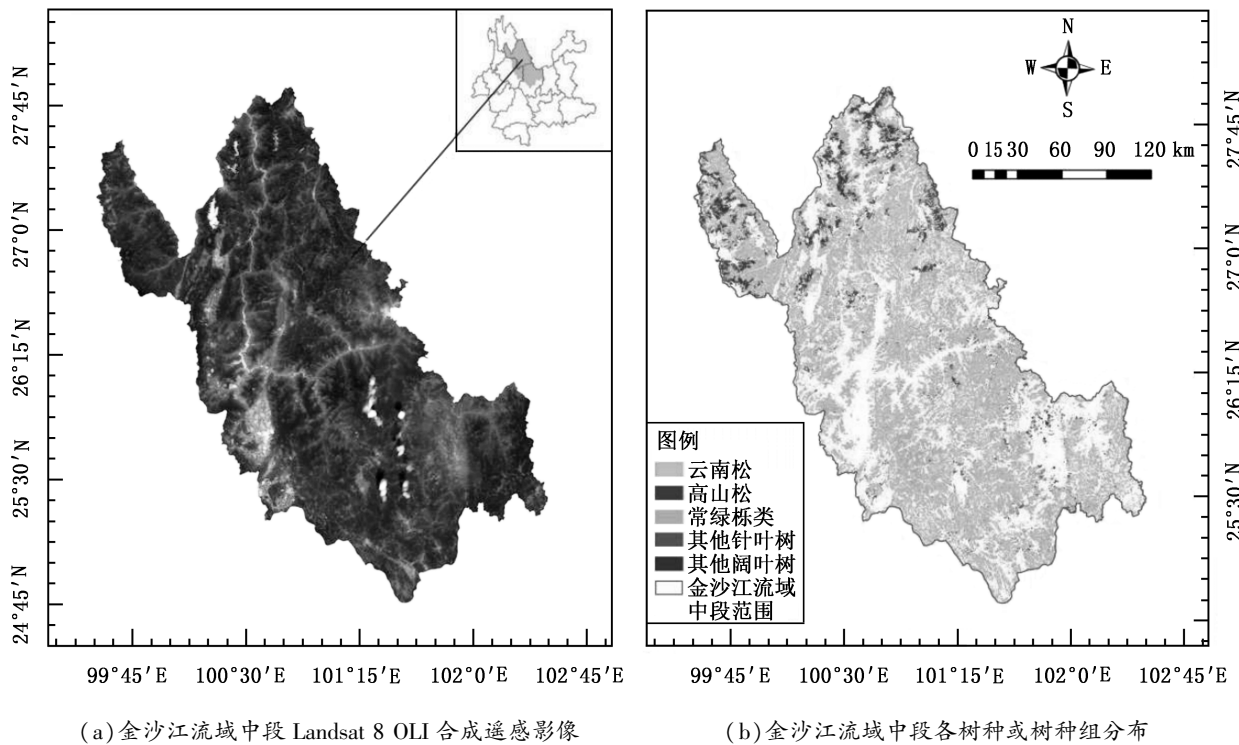


图 1 研究区卫星影像及优势树种或树种组分布

Fig. 1 Satellite images of study area and the dominant tree species or species groups

表 1 生物量转换因子法计算模型

Tab. 1 Calculation model of biomass conversion factor method

优势树种 或树种组	模型公式	BEF	SVD /(t · m ⁻²)
云南松林		1. 6193	0. 483
常绿栎类林		1. 3551	0. 676
高山松林		1. 6509	0. 413
其他阔叶林	$B = V \times SVD \times BEF$	1. 5136	0. 482
其他针叶林		1. 5875	0. 405

表 2 小班样地的选择

Tab. 2 Selection of subcompartment plot

优势树种 或树种组	建模小班 样地数	检验小班 样地数	合计
云南松林	780	334	1114
常绿栎类林	653	280	933
高山松林	499	214	713
其他阔叶林	412	176	588
其他针叶林	557	239	796
全部样地	2901	1243	4144

比例保留小班数据;再利用三倍标准差法删除异常离群值,最终选出 4 144 个小班样地,其中分别取 70%小班进行建模,30%小班作为检验样本,具体信息如表 2 所示。

2. 1. 2 遥感影像数据

在地理空间数据云网站下载与二类调查数据同时期的流域区域的 Landsat 8 OLI 卫星影像数据(表 3),利用 ENVI 5. 3 进行辐射定标、FLAASH 大气校正、地形校正预处理,进而通过影像融合、裁剪及镶嵌获得研究区预处理后的遥感影像数据。

2. 1. 3 遥感因子提取与筛选

以云南松林、常绿栎类林、高山松林、其他阔叶

表 3 研究区 Landsat 8 OLI 影像基本信息

Tab. 3 Basic information of Landsat 8 OLI images in study area

影像 ID	太阳高度角 /(°)	太阳方位角 /(°)	云量 /%
LC81300422017320LGN00	41. 577	155. 629	0. 71
LC81300432017320LGN00	42. 788	154. 785	0. 29
LC81310422017359LGN00	35. 886	153. 883	0. 01

林和其他针叶林的小班面状数据为单位,将小班面状矢量数据和 134 个遥感特征因子数据层相叠加,

统计小班内各遥感因子的平均值^[18]。本研究提取的 4 类遥感因子分别如下:

1) 原始单波段^[17](7): B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7;

2) 植被指数^[18](9): ARVI、B、DVI、G、MSAVI、NDVI、PVI、RVI、SAVI;

3) K-T 和 K-L 变换因子^[18](6): KT1、KT2、KT3; PCA1、PCA2、PCA3;

4) 纹理特征^[18](3 * 3、7 * 7、112): Mean、Variance、Homogeneity、Contrast、Dissimilarity、Entropy、Second Moment、Correlation。

2.2 生物量与遥感变量的相关性分析

研究采用皮尔逊相关系数分析,SPSS 软件对生物量与各遥感变量进行相关性分析,选择相关显著性($P \leq 0.05$)的遥感因子作为建模备选变量。

2.3 生物量光学遥感估测的光饱和点确定

根据地上生物量与各波段光谱反射率相关性,选择生物量与相关性最为显著的波段反射率做散点图,发现波段反射率会随生物量的增大逐渐减小,当生物量达到一定水平时波段反射率不再发生变化,该临界值即为光学遥感估测生物量时的饱和点。为进一步量化云南松林、常绿栎类林、高山松林、其他阔叶林和其他针叶林的生物量饱和值,通过拟合生物量与波段反射率的函数关系,计算函数所对应的拐点值确定生物量遥感估测的光饱和点值。

2.4 模型构建

2.4.1 线性回归模型构建

运用 IBM SPSS Statistics 22 对遥感因子进行相关性分析,筛选出显著性较好的因子,自变量为遥感因子,因变量为单位生物量,以 IBM SPSS Statistics 22 为平台,建立线性逐步回归模型,其公式为:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (2)$$

式中:Y 为生物量; β_0 为常数项; $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_n$ 为模型系数; $x_1, x_2 \dots x_n$ 为相关遥感因子; ε 为模型满足随机正态分布下的随机残差;n 为自变量个数。

运用 SPSS 进行多元线性回归,输入观测值即单位生物量、自变量即相关性较显著的遥感因子值,输出结果包括非标准化系数、标准误差、标准系数、t、Sig、VIF。在变量间的多重共线性问题极其常见,且对模型造成严重影响,用 VIF 函数对自变量进行共线性检验。

2.4.2 KNN 模型构建

KNN 算法能用于森林参数的估计和各种空间数据的因变量估测,通过计算 K 个样本点特征空间中最近参考像元的属性并计算其反距离权重平均

值得到未知像元点的属性。一般情况下,训练样本点的影像随距离的增加逐渐减小。本文主要采用欧氏距离,计算公式为:

$$\rho = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}, \quad |X| = \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \quad (3)$$

式中: ρ 为点 (x_2, y_2) 与点 (x_1, y_1) 之间的欧氏距离;|X|为点 (x_2, y_2) 到原点的欧氏距离。

2.4.3 模型独立性检验

选取决定系数(R^2)、平均绝对误差(MAE)、平均相对误差(MRE)、均方根误差(RMSE)和相对均方根误差(rRMSE)5 个指标作为模型的独立性检验指标。公式为:

决定系数(R^2):

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2} \quad (4)$$

平均绝对误差(MAE):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |\hat{y}_i - y_i| \quad (5)$$

平均相对误差(MRE):

$$MRE = \frac{1}{n} \times \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right| \times 100 \quad (6)$$

均方根误差(RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (7)$$

相对均方根误差(rRMSE):

$$rRMSE = \frac{RMSE}{\bar{\hat{y}}} \times 100 \quad (8)$$

式中: \hat{y}_i 为估计值; y_i 为观测值; \bar{y}_i 为观测值的平均值;n 为样本数; $\bar{\hat{y}}$ 为估计值的平均数。

2.4.4 “刀切法”残差分析

残差是观测值与回归值的差,其通过模型的拟合效果对模型预测结果产生影响。通过“刀切法”残差分析对研究区 5 类优势树种或树种组和总体样本分别进行划分区间,计算分析区间模型残差情况,确定模型在遥感估测中是否存在误差。采用 3 个指标作为“刀切法”残差结果评价指标,分别是平均残差(ME)和平均相对残差(MRE),计算公式为:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i$$

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \quad MRE = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{e_i}{\hat{y}_i} \right)}{n} \quad (9)$$

式中： n 为样本总数； y_i 为实测值； \hat{y}_i 为估测值。

3 结果分析

3.1 生物量光学遥感估测饱和点的确定及分析

图 2 表示 5 类优势树种或树种组的遥感因子散点图和饱和点拟合曲线。由曲线趋势可以看出, 5 类优势树种或树种组的单波段遥感因子值随其单位生物量的增加而逐渐趋于一个固定值, 这个值所对应的单位生物量即为各树种的饱和点。利用饱和点曲线的二项式方程计算得出云南松林、常绿栎类林、高山松林、其他阔叶林、其他针叶林的饱和点分别为 98.870 t/hm²、101.220 t/hm²、127.938 t/hm²、88.432 t/hm²、160.201 t/hm²; R^2 分别为 0.471、0.325、0.232、0.336、0.312。

3.2 生物量模型拟合与评价

3.2.1 生物量与遥感因子相关性分析

筛选出 5 类优势树种或树种组, 并将这 5 类优势树种或树种组的遥感因子的均值统计量与生物量进行 Pearson's 相关性分析, 将相关性高的遥感因子进行多重共线性诊断, 选取方差膨胀因子 VIF < 10 的遥感特征变量, 最终得到的结果见表 4。

3.2.2 模型拟合

1) 线性回归模型构建

5 类树种或树种组参与逐步线性回归模型构建的遥感因子之间的线性关系见表 5。

从表 5 可以看出, 各树种或树种组与参与模型构建的遥感因子之间的线性关系, 众多遥感因子中纹理特征被纳入建模次数较多, 存在较好的相关性, 其中 COR7_1、SM7_4 分别被不同的 3 个树种或树种组纳入 3 次, 而 K-T 和 K-L 变换因子仅被其他阔叶林和其他针叶林纳入一次建模, 表明这类遥感因子与这 5 类树种或树种组的生物量相关性不强。不同树种或树种组的 R^2 也各不相同, 其他针叶林的 R^2 最高, 为 0.356; 其次是其他阔叶林的 R^2 , 其值为 0.344, 且 RMSE 最低, 为 5.190, 表明此模型对于这两类树种的地上生物量具有最好的模型拟合效果; 常绿阔叶林、高山松林的 R^2 均在 0.2 以上, 且 RSME 值均相对较低, 表明模型对这几类森林的生物量具有较好

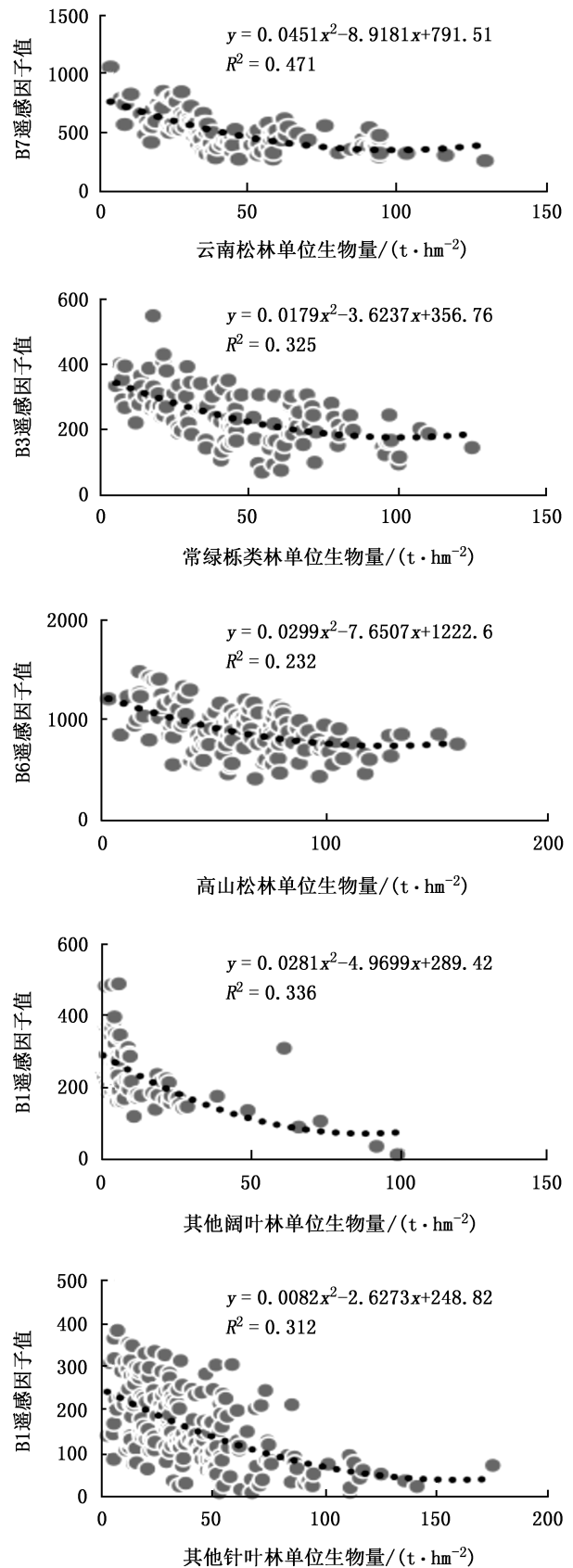


图 2 5 类优势树种或树种组饱和点拟合曲线
Fig. 2 Fitting curve of saturation point for five dominant tree species or species groups

表 4 5 类优势树种或树种组的相关性分析及共线性诊断

Tab. 4 Correlation analysis and collinearity diagnosis results of five dominant tree species or species groups

优势树种或树种组	遥感因子	Person 相关系数	VIF	优势树种或树种组	遥感因子	Person 相关系数	VIF
云南松林	COR3_7	0.244**	1.8	其他阔叶林	VA3_3	-0.169**	2.6
云南松林	ME7_6	-0.224**	8.3	其他阔叶林	VA7_1	-0.232**	2.2
云南松林	COR7_6	0.133**	1.2	其他阔叶林	ME7_4	-0.311**	1.6
云南松林	ME3_6	-0.214**	8.6	其他阔叶林	DI3_4	-0.271**	3.1
云南松林	SM7_4	0.186**	6.5	其他阔叶林	DI7_2	-0.368**	2.8
云南松林	HO3_4	0.141**	7.1	其他针叶林	B1	-0.418**	5.3
云南松林	ME3_5	-0.103**	1.2	其他针叶林	COR7_1	0.375**	1.7
常绿栎类林	COR7_1	0.304**	1.4	其他针叶林	KT2	-0.088*	1.1
常绿栎类林	CON7_6	-0.171**	1.2	其他针叶林	MSAVI	-0.262**	1.1
常绿栎类林	ME7_1	-0.321**	7.6	其他针叶林	SM7_4	0.361**	5.6
常绿栎类林	SAVI	0.086**	1.2	其他针叶林	PCA3	-0.340**	5.8
常绿栎类林	SM7_4	0.310**	1.7	其他针叶林	COR7_7	0.260**	1.6
常绿栎类林	ME3_1	-0.320**	7.3	其他针叶林	COR3_4	0.320**	4.9
高山松林	ME7_6	-0.384**	2.7	其他针叶林	HO7_5	0.072*	1.4
高山松林	B3	-0.176**	2.7	其他针叶林	COR7_2	0.266**	1.4
高山松林	EN7_5	0.142**	1.1	总体样本	CON7_1	-0.372**	1.8
高山松林	CON7_7	-0.256**	1.6	总体样本	ME7_2	-0.346**	7.9
高山松林	ME3_6	-0.376**	9.5	总体样本	ME7_5	-0.183**	2.1
高山松林	NDVI	0.220**	2.6	总体样本	ME7_4	-0.352**	9.0
其他阔叶林	COR7_1	0.386**	1.8	总体样本	ME7_1	-0.392**	5.8
其他阔叶林	B2	-0.325**	4.9	总体样本	B3	-0.351**	3.8
其他阔叶林	RVI	-0.120**	1.0	总体样本	VA3_4	-0.234**	3.5
其他阔叶林	MSAVI	-0.161**	1.1	总体样本	CON7_2	-0.277**	2.4
其他阔叶林	KT3	0.156**	2.5	总体样本	COR3_6	0.251**	1.5
其他阔叶林	B1	-0.355**	2.4				

表 5 5 类树种或树种组逐步线性回归模型构建

Tab. 5 Construction of stepwise linear regression model for five dominant tree species or species groups

优势树种或树种组	回归模型	R ²	调整后的 R ²	RMSE /%
云南松林	$y = 550.109 + 34.569 \times \text{COR3_7} - 132.429 \times \text{ME7_6} + 34.036 \times \text{COR7_6} + 118.165 \times \text{ME3_6} + 79.915 \times \text{SM7_4} - 258.18 \times \text{HO3_4} - 7.055 \times \text{ME3_5}$	0.334	0.112	26.074
常绿栎类林	$y = 100.564 - 0.022 \times \text{B} + 15.903 \times \text{COR7_1} - 34.598 \times \text{CON7_6} - 241.476 \times \text{ME7_1} - 12.435 \times \text{SAVI} + 26.216 \times \text{SM7_4} + 226.551 \times \text{ME3_1}$	0.471	0.222	25.905
高山松林	$y = 1337.401 - 271.879 \times \text{ME7_6} + 0.074 \times \text{B3} + 20.188 \times \text{EN7_5} - 61.789 \times \text{CON7_7} + 201.788 \times \text{ME3_6} - 41.512 \times \text{NDVI}$	0.465	0.216	28.351
其他阔叶林	$y = 16.256 + 8.426 \times \text{COR7_1} + 0.165 \times \text{B2} - 0.029 \times \text{RVI} - 0.153 \times \text{MSAVI} + 0.006 \times \text{KT3} - 0.144 \times \text{B1} - 18.685 \times \text{VA3_3} + 10.245 \times \text{VA7_1} - 4.801 \times \text{ME7_4} + 13.606 \times \text{DI3_4} - 16.903 \times \text{DI7_2}$	0.587	0.344	5.190
其他针叶林	$y = 106.937 - 0.142 \times \text{B1} + 18.91 \times \text{COR7_1} - 0.024 \times \text{KT2} - 0.836 \times \text{MSAVI} + 87.517 \times \text{SM7_4} + 0.071 \times \text{PCA3} + 46.255 \times \text{COR7_7} - 45.929 \times \text{COR3_4} - 111.729 \times \text{HO7_5} + 15.245 \times \text{COR7_2}$	0.597	0.356	24.357
总体样本	$y = 610.569 - 104.46 \times \text{CON7_1} + 0.124 \times \text{PCA3} - 68.013 \times \text{ME7_2} - 27.877 \times \text{ME7_5} + 46.381 \times \text{VA7_7} - 49.936 \times \text{ME7_4} - 36.577 \times \text{ME7_1} + 0.203 \times \text{B3} - 74.692 \times \text{VA3_4} + 44.063 \times \text{CON7_2} + 19.521 \times \text{COR3_6}$	0.578	0.334	25.049

的模型预估精度；云南松林的 R^2 只有 0.112，模型拟合精度最低，表明多元逐步线性回归模型对于计算该地区的云南松林生物量的适用性不强。

2) KNN 模型构建

KNN 模型以线性回归筛选的遥感因子为自变

量，以单位生物量为因变量，对各树种进行建模，就决定系数 (R^2) 来讲，有 4 个模型达到 0.3 以上，其他针叶林最高为 0.416；从均方根误差 (RMSE) 来讲，其他阔叶林模型最低为 5.110，总体来看 KNN 模型的拟合效果更好一些 (表 6)。

表 6 KNN 模型精度评价结果

Tab. 6 KNN model accuracy evaluation results

优势树种或树种组	变量	R^2	RMSE /%
云南松林	COR3_7, ME7_6, COR7_6, ME3_6, SM7_4, HO3_4, ME3_5	0.196	24.512
常绿栎类林	B, COR7_1, CON7_6, ME7_1, SAVI, SM7_4, ME3_1	0.321	24.191
高山松林	ME7_6, B3, EN7_5, CON7_7, ME3_6, NDVI	0.265	27.440
其他阔叶林	COR7_1, B2, RVI, MSAVI, KT3, B1, VA3_3, VA7_1, ME7_4, DI3_4, DI7_2	0.355	5.110
其他针叶林	B1, COR7_1, KT2, MSAVI, SM7_4, PCA3, COR7_7, COR3_4, HO7_5, COR7_2	0.416	21.314
总体样本	CON7_1, PCA3, ME7_2, ME7_5, VA7_7, ME7_4, ME7_1, B3, VA3_4, CON7_2, COR3_6	0.336	24.929

3.2.3 模型检验

总体来看，估测模型中总体平均相对误差、平均绝对误差和相对均方根误差基本上是 KNN 算法表现

的最低，而决定系数 KNN 算法表现的最高 (表 7)。因此，选择 KNN 作为云南省金沙江中段遥感估测的最终模型。

表 7 线性逐步回归模型和 KNN 模型独立性检验

Tab. 7 Independence test results of stepwise linear regression model and KNN model

优势树种或树种组	线性逐步回归模型独立性检验				KNN 模型独立性检验			
	MRE/%	MAE	rRMSE/%	R^2	MRE/%	MAE	rRMSE/%	R^2
云南松林	35.862	14.278	43.633	0.145	33.447	13.756	40.633	0.239
常绿栎类林	55.741	21.200	58.697	0.253	42.841	20.890	55.213	0.324
高山松林	34.080	21.811	44.487	0.212	58.830	22.245	44.360	0.223
其他阔叶林	69.777	4.398	81.967	0.314	78.066	4.149	81.805	0.317
其他针叶林	67.874	17.228	52.617	0.404	64.546	15.791	50.226	0.490
总体样本	70.445	20.949	61.827	0.306	81.557	21.141	63.923	0.327

3.2.4 “刀切法”残差分析

通过分段残差分析，整体上 KNN 模型的预估精度较高，误差相对逐步回归模型较小。从生物量分段看，两个模型均存在生物量低值高估和高值低估情况，其他阔叶林只有 $<50 \text{ t/hm}^2$ 生物量段，且均为高值低估；在低生物量段 ($<50 \text{ t/hm}^2$) 时，除其他阔叶林和逐步回归模型估测的其他针叶林的 MRE 为正值外，其余均为负值。在 ($>50 \text{ t/hm}^2$) 生物量段时，均为正值，且 ME 和 MRE 随生物量段的增加呈增大趋势，直到 ($>150 \text{ t/hm}^2$) 生物量段时，常绿栎类

林和高山松林的 ME 均大于 90 t/hm^2 ，且 MRE 值均大于 1，出现显著的高值低估情况，说明在高生物量段两模型估测能力均显不足 (表 8)。

4 讨论与结论

4.1 讨论

遥感影像的各特征变量均是对森林生物量特征及其变化的响应，但普遍存在当生物量增大到一定程度时遥感信息发生饱和的现象，这一问题已成为影响生物量估测精度的主要原因，进一步研究解决

表 8 “刀切法”残差分析
Tab. 8 Residual analysis using Jackknife method

模型	优势树种 或树种组	分段/(t·hm ⁻²)															
		<50				50~100				100~150				>150			
		ME	MRE	t	P	ME	MRE	t	P	ME	MRE	t	P	ME	MRE	t	P
LSR	云南松林	-8.398	-0.196	-7.437		20.547	0.485	11.270									
	常绿栎类林	-14.910	-0.351	-8.236		12.150	0.258	5.697		46.367	0.671	9.624		135.301	3.636	6.715	0.094
	高山松林	-25.945	-0.417	-11.219		6.615	0.146	3.574	0.001	35.182	0.437	8.271		96.845	1.243	3.931	0.059
	其他阔叶林	0.115	0.138	0.219	0.827												
	其他针叶林	-9.045	0.173	-5.940		12.111	0.398	4.827		54.698	0.799	9.806					
	总体样本	-10.362	0.905	-5.478	0.565	14.052	0.425	3.986	0.333	42.059	0.598	5.561	0.325	115.556	1.678	5.087	0.124
KNN	云南松林	-8.880	-0.210	-7.941		18.337	0.411	10.972									
	常绿栎类林	-15.358	-0.306	-9.195		10.857	0.285	4.196		41.420	0.560	9.361		125.240	1.978	4.644	0.135
	高山松林	-26.733	-0.432	-11.600		6.066	0.132	3.321	0.001	36.476	0.468	8.217		98.134	1.256	5.262	0.034
	其他阔叶林	0.238	0.024	0.443	0.658												
	其他针叶林	-7.195	-0.150	-4.919		12.317	0.357	4.622		43.566	0.617	4.550	0.003				
	总体样本	-11.029	-0.190	-5.844	0.654	13.279	0.393	4.500	0.242	51.409	0.861	6.385	0.223	112.900	1.474	3.132	0.197

注:ME 和 MRE 分别表示平均残差和平均相对残差。

遥感数据估测森林生物量普遍存在的数据饱和问题十分迫切。由于林木生物量中 58% 由树干部分构成,而植被在生长最为繁茂的季节,其树干部分的信息被表层树冠掩盖,导致传感器记录的信息不完整,因此出现了以 Landsat 8_OLI 数据为数据源的生物量估测在低密度地区以及森林结构复杂地区容易出现饱和点问题^[19]。

本文以 Landsat8_OLI 遥感影像为主要数据源,结合森林资源规划设计调查统计数据,探索参数模型(逐步线性回归)和非参数模型(KNN)两种算法在云南省金沙江流域中段森林生物量遥感估测中的不同效果,通过对比两种建模方法在生物量估测中的效果,选择适合的模型,实现对云南省金沙江流域中段森林中 5 类优势树种或树种组的生物量遥感估测,并就生物量估测中普遍存在的饱和点问题进行定量分析比较。研究区样本生物量饱和值为:其他针叶林(160.201 t/hm²)>高山松林(127.938 t/hm²)>常绿栎类林(101.220 t/hm²)>云南松林(98.870 t/hm²)>其他阔叶林(88.432 t/hm²),该值低于赵盼盼^[12]研究所得的森林生物量光饱和值(马尾松林 159 t/hm²;杉木林 143 t/hm²;阔叶树林 123 t/hm²),这可能是由于生物量光饱和点受多种因素影响,云南省金沙江流域中段山地地形复杂,立体气候明显,垂直高差大,且林分结构繁复,森林异质性水平更高。

合适的建模方法可以在一定程度上减小数据饱

和的影响,逐步性线回归模型和 KNN 模型已成为遥感估测森林生物量常用方法,从模型独立性检验来看,KNN 模型下各优势树种或树种组的 R^2 都比逐步性线回归模型下的高,表明 KNN 模型的估测精度高于逐步线性回归模型的估测精度,这与戚玉娇^[20]、郭颖^[21]、韩宗涛^[22]等的研究结果一致。从不同的生物量分段结果来看,两个模型均存在低值高估和高值低估情况,但总体上,不同优势树种或树种组在所有生物量分段上的 ME 和 MRE 均表现为 KNN 模型优于一般逐步线性回归模型,可见 KNN 模型有着更为精确的模型估测能力,且在一定程度上能够减小数据饱和引起的估测误差,但当生物量段>150 t/hm²时,常绿栎类林和高山松林的 ME 均大于 90 t/hm²,且 MRE 值均大于 1,出现显著的高值低估情况,说明在高生物量段两模型估测能力均显不足。

本研究利用半变异函数求解森林生物量光饱和值为流域森林生物量光饱和值求解提供了一定的参考,且对比分析了逐步线性回归和 KNN 模型,结果表明,KNN 模型在一定程度上提高了生物量的估测精度,但与实际值对比仍然具有明显的高值低估情况。由于本研究所选取的遥感变量因子较为单一,模型的选取也只考虑了 KNN 模型和逐步线性回归模型,然而实际的生物量估测还受其他环境变量因素的影响。建模过程中影响因素众多,各种方法各

有优势,每种方法的适用均存在一定的局限性,只能根据数据客观条件优选某一种或多种方法,今后的研究可以结合多元遥感数据,考虑更多的遥感变量和环境因子以及森林信息来估测森林生物量进而提高估测精度。

4.2 结论

通过对 5 类树种或树种组进行函数求解,参数方程组合,求出各树种或树种组的光学遥感估测生物量光饱和值:其他针叶林 160.201 t/hm²,高山松林 127.938 t/hm²,常绿栎类林 101.220 t/hm²,云南松林 98.870 t/hm²,其他阔叶林 88.432 t/hm²。

逐步线性回归模型和 KNN 模型对森林生物量均具有较好的估测能力,其中,KNN 模型的估测精度及拟合效果明显优于逐步线性回归模型。生物量残差分段分析表明,两模型均存在低值高估和高值低估的情况,且在低生物量段(<50 t/hm²)时,除其他阔叶林和逐步线性回归模型估测的其他针叶林的 MRE 为正值外,其余均为负值。在(>50 t/hm²)生物量段时,均为正值。在中、低生物量段(<100 t/hm²)时,KNN 模型预估精度高于逐步线性回归模型,在高生物量段(>150 t/hm²)时,两种模型的预估精度均不高。整体来看,KNN 模型的预估精度远高于逐步线性回归模型。

参考文献:

- [1] 田静. 森林生物量遥感估测及人为干扰对森林碳储量影响研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2017.
- [2] 林卓. 不同尺度下福建省杉木碳计量模型、预估及应用研究[D]. 福州:福建农林大学,2016.
- [3] SPENCER R D, GREEN M A, BLGGS P H. Integrating eucalypt forest inventory and GIS in Western Australia [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1997, 63 (12): 1345-1351.
- [4] 李亚麒,孙继伟,李建华,等. 不同等级云南松幼苗生物量估测模型[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2019, 41 (5): 1071-1082.
- [5] 付元元,王纪华,杨贵军,等. 应用波段深度分析和偏最小二乘回归的冬小麦生物量高光谱估算[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(5): 1315-1319.
- [6] 欧光龙,胥辉,王俊峰,等. 思茅松天然林分生物量混合效应模型构建[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(3): 101-110.
- [7] 周律,欧光龙,王俊峰,等. 基于空间回归模型的思茅松林生物量遥感估测及光饱和点确定[J]. 林业科学, 2020, 56(3): 38-47.
- [8] 许振宇,李盈昌,李明阳,等. 基于 Sentinel-1A 和 Landsat 8 数据的区域森林生物量反演[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(11): 147-155.
- [9] 高俊刚,吴雪,张懿铨,等. 基于等级层次分析法的金沙江下游地区生态功能分区[J]. 生态学报, 2016, 36(1): 134-147.
- [10] 李贵祥,孟广涛,方向京,等. 云南金沙江流域主要森林植被类型分布格局[J]. 长江流域资源与环境, 2008 (1): 51-56.
- [11] 卢腾飞,胥辉,欧光龙. 基于混合效应模型的曲靖市云南松林地上生物量遥感估测[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2020, 40(1): 104-115.
- [12] 赵盼盼. 基于 Landsat TM 和 ALOS PALSAR 数据的 AGB 估测研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2016.
- [13] 吴勇,张海燕,卢腾飞,等. 基于 Landsat 8 OLI 的滇西北高山亚高山针叶林地上生物量遥感估测模型构建及光饱和点确定[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2021, 43(4): 818-830.
- [14] 张珂,鞠艳,李致家. 金沙江流域实际蒸散发遥感重建及时空特征分析[J]. 水科学进展, 2021, 32(2): 182-191.
- [15] 胥辉,张子翼,欧光龙,等. 云南省森林生物量和碳储量估算及分布研究[M]. 昆明:云南科技出版社,2019.
- [16] ISAEV A, KOROVIN G, ZAMOLOD D, et al. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests [J]. Water Air Soil Poll, 1995, 82: 247-256.
- [17] MASCARO J, DETTO M, ASNER G P, et al. Evaluating uncertainty in mapping forest carbon with airborne LiDAR [J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115 (12): 3770-3774.
- [18] 孙雪莲. 基于 Landsat8-OLI 的香格里拉高山松林生物量遥感估测模型研究[D]. 昆明:西南林业大学, 2016: 23-27.
- [19] 吴超凡. 区域森林生物量遥感估测与应用研究[D]. 杭州:浙江大学,2016.
- [20] 戚玉娇,李凤日. 基于 KNN 方法的大兴安岭地区森林地上碳储量遥感估算[J]. 林业科学, 2015, 51(5): 46-55.
- [21] 郭颖. 森林地上生物量的非参数化遥感估测方法优化[D]. 北京:中国林业科学研究院,2011.
- [22] 韩宗涛,江洪,王威,等. 基于多源遥感的森林地上生物量 KNN-FIFS 估测[J]. 林业科学, 2018, 54(9): 70-79.

责任编辑:许易琦
校 对:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.002

基于 MDA 模型驱动架构的林业多维时空可视化研究

李鑫,段菁,滕飞,纳青,云海英,高荣丽
(内蒙古自治区林业信息中心,内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要:林业大数据已进入全时空信息系统时代,为满足其多元化需求,提出了基于 MDA 模型驱动架构的林业多维时空大数据可视化应用设计及模型构建。结合 MDA 模型驱动架构三级建模方法,构建林业时空大数据可视化的 CIM 模型、PIM 模型、PSM 模型。平台架构前端采用 HTML5+JavaScript 编程语言,根据前端系统特点选择不同的 JavaScript 框架。后台采用 JAVA 为开发语言,应用 Spring MVC+myBatis 搭建基础框架,实现系统的基本业务功能和通用功能,并在依托 Spring 框架集成流程管理 activiti、安全认证 shiro、日志管理 log4j 和缓存 redis 组件,开发了林业多维时空可视化系统。结果表明,该系统应用于内蒙古林草局林业大数据管理平台,实现了从时间、空间等不同维度对林业资源数据进行检索、统计分析及展示等功能,具有良好的适应性和扩展性,并预留相关字段与接口,能够满足不同领域用户复杂多变的需求。

关键词:MDA 模型驱动架构;林业大数据;林业资源;Spring MVC+myBatis 框架;林业多维时空可视化

中图分类号:S758.4;S711 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0010-06

引文格式:李鑫,段菁,滕飞,等. 基于 MDA 模型驱动架构的林业多维时空可视化研究[J]. 林业调查规划,2022,47(2):10-15. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.002

LI Xin, DUAN Jing, TENG Fei, et al. Multi Dimensional Spatiotemporal Visualization of Forestry Based on Model Driven Architecture[J]. Forest Inventory and Planning,2022,47(2):10-15. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.002

Multi Dimensional Spatiotemporal Visualization of Forestry Based on Model Driven Architecture

LI Xin, DUAN Jing, TENG Fei, NA Qing, YUN Haiying, GAO Rongli
(Forestry Information Center of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010018, China)

Abstract: In order to realize diversified demands in the era of forestry big data full time and space information system, this study designed and constructed a dimensional spatiotemporal visualization of forestry based on model driven architecture. The CIM model, PIM model and PSM model of forestry space-time large data visualization were constructed by combining the three-level modeling method of MDA. HTML5+JavaScript programming language and different JavaScript frameworks were selected for the platform architecture front-end, basic functions of the system were realized based on JAVA background and Spring MVC+myBatis basic framework, manage component activiti, secure authentication shiro, log manage log4j and cache redis component were integrated with the Spring framework. The forestry multidimensional

收稿日期:2021-03-12.

课题来源:2017 年度内蒙古自治区科技重大专项课题.

第一作者:李鑫(1980-),男,内蒙古呼和浩特人,硕士,高级工程师.长期从事林业信息化建设工作. Email:75653327@qq.com

visualization system was ultimately developed. The results showed that the system was applied to the forestry big data management platform of Inner Mongolia Forestry and Grass Bureau, realizing the functions of retrieving, statistical analysis and displaying forestry resource data from different dimensions such as multidimensional space and time, and had good adaptability and expansibility, meeting the complex and changeable application requirements of users in different fields.

Key words: model driven architecture; forestry big data; forest resources; Spring MVC+myBatis framework; multi dimensional spatiotemporal visualization of forestry

大数据时代推动林业信息化蓬勃发展,林业从“数字林业”向“智慧林业”转变,林业信息化逐渐进入一种新的模式^[1-3]。以时空数据为主的林业数据和与之相关联的时空要素数据集越来越庞大,林业大数据已进入全空间信息系统的时代。全空间信息系统是地理信息在大数据时代的拓展和延伸,需要对多粒度时空对象进行展示性、分析性与探索性的表达^[4-5]。

鉴于以上时空数据表达的要求,使得林业时空大数据应用与表达的需求变得越来越复杂。因此需要形成一套以多元化认知为主体,在不同的任务目的、空间尺度、观察视角下,满足不同领域用户的应用需求^[6]。基于上述内容,提出了基于 MDA 模型驱动架构技术下的林业多维时空大数据可视化应用系统设计及模型构建,该架构建立的模型完全独立于计算机算法和设计语言,技术实现上不受限制,具备灵活性大,兼容性强的特点,能够满足不同领域用户复杂多变的应用需求^[7]。

1 MDA 模型驱动架构

MDA(model driven architecture)模型驱动架构由 OMG 组织在 2002 年提出,是贯穿整个软件开发过程的方法,这种方法认为一切事物都可以抽象为模型,独立于计算机算法和设计语言,为软件开发过程提供了一套通用的软件设计开发指导依据^[8]。

1.1 MDA 模型驱动架构原理

传统的软件开发过程包括需求分析、系统设计、系统开发、系统测试以及系统验收与交付,基于模型驱动 MDA 架构将开发过程抽象为模型和模型之间的转换过程。MDA 模型驱动架构建模^[9-11]的核心技术包括元对象设施 MOF、公共数据仓库元模型 CWM 和统一建模语言 UML。为了更加准确地描述业务需求,保证构建的抽象模型能够落实到软件开发过程中,MDA 架构构建了分级建模体系,将模型分为 3 类,包括独立计算模型 CIM、平台无关模型

PIM 和特定平台模型 PSM^[7,16]。MDA 模型架构工作原理如图 1 所示。

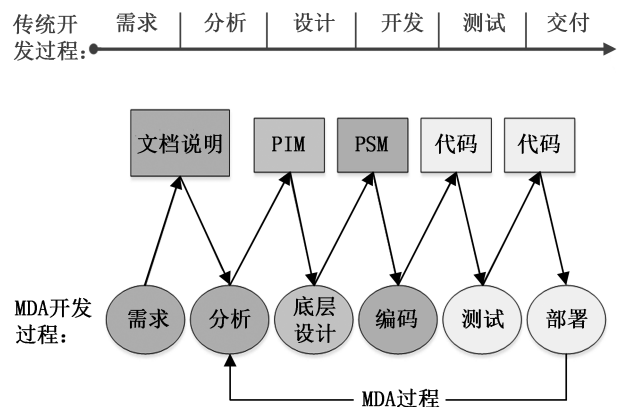


图 1 MDA 模型驱动架构工作原理

Fig. 1 Working principle of model driven architecture

由图 1 可见,MDA 模型驱动架构将应用程序当做模型,对应最终实现平台的 PSM 模型。在 MDA 模型架构开发过程中,需求分析人员应先建立完全不包含技术设计的业务层面的 CIM 模型,在需求分析阶段对 CIM 模型进行精化得到 PIM 模型,然后在对应的传统开发设计阶段,进行 PIM 模型到 PSM 模型转换,以及 PSM 模型到最终程序的转换,对应为传统的开发编码阶段^[12]。

1.2 MDA 模型驱动架构体系

模型在 MDA 模型驱动架构开发过程中起着非常重要的作用,模型构建的准确与否将直接影响软件开发的成败。通过在开发阶段分层次的建模,明晰了各类模型的作用,解耦了传统软件模型的复杂性,保护了软件开发各阶段的工作成果。采用 UML 技术构建 MDA 三级模型,是软件系统模型的标准方法,其具有语言精炼、全面、伸缩性好、源自时间、公认建模标准等优点^[8]。

1.2.1 CIM 建模方法

CIM 模型是需求阶段建立的模型,是对某个领域的一个业务逻辑模型描述,用来描述软件的业务功能需求,是需求分析中逻辑模型的一个组成部分,通常通过 UML 中的用例图、数据流图描述,有时只通过文本描述也可以实现 CIM 模型的建立。当一个业务需要系统功能来支持实现时,应基于 CIM 模型来创建软件模型,实现 PIM 模型^[13]。

1.2.2 PIM 建模方法

PIM 模型是需求分析与设计阶段建立的模型,是对软件系统的描述,不考虑具体的实现方法和技术,重点是描述系统如何更好、更合理、更准确地支撑业务,是系统需求分析中逻辑模型的重要组成部分,主要包括系统数据模型和行为模型,通常通过 UML 中的类图、流程图、状态图及顺序图描述^[13-14]。PIM 模型创建要遵循完备性、准确性、一致性、无异议等原则,保证 PIM 模型向 PSM 模型转化^[12]。

1.2.3 PSM 建模方法

PSM 模型是系统设计和开发阶段建立的模型^[15-16],是基于特定实现技术,使用特定平台的术语描述以实现业务的模型,重点是描述系统使用何种技术支撑业务,是 MDA 为某种特定实现技术量身定做的一种变换规则,更接近系统设计物理模型,是 PIM 模型到具体平台的映射^[17]。

2 林业多维时空可视化需求分析与设计

林业数据以时空数据为主,时空数据是基于统一时空基准,与位置相关联的地理要素或现象的数据集,具有空间维、属性维和时间维等基本特征^[18]。林业时空数据包括林业资源调查数据、遥感影像数据、林业地图(集)数据、地名数据及时空数据与大数据融合产生的数据。林业时空大数据除具有一般大数据的特征外,还具备多维时空动态可视化特征^[19]。

林业时空大数据可视化是在林业时空数据的基础上,结合目前多维属性关联可视化、时空协同可视化、层次关联可视化等多维时空大数据可视化分析方法^[20-21],通过借助地图和图表图形化的可视化手段,实现地图与图表的联动交互,将森林资源、林地等变化、分布、各地区对比等情况通过地理信息直观的进行展现。在地理信息、时间、业务等多维度上按照时间、空间进行数据分析展现,从而清晰有效地传达与沟通信息,从数据获取最大价值^[22]。

2.1 林业多维时空可视化需求分析

林业多维时空可视化分析是在基础地图、林业资源数据的基础上,根据业务要求采用 GIS 地图、趋势图、对比图、饼图、柱图、散点图等多种展现样式,对林业相关部门关注的地图数据及业务数据进行全面展现,实现林业时空数据的综合分析,最终通过多屏、时序、卷帘、统计地图、图表等表达方式清晰展示林业资源的变化情况及趋势,便于决策层对林业的未来保护和规划提供辅助决策。

2.2 林业时空大数据可视化设计

林业时空大数据可视化设计采用 J2EE 的三层架构体系,利用模型驱动技术的软件开发方法,根据林业时空大数据可视化功能需求设计总体架构,架构分为业务层(CIM 模型)、数据层(PIM 模型)、技术层(PSM 模型)、服务层以及应用层。具体如图 2 所示。

2.2.1 业务层

基于林业时空大数据,开展林业资源空间分析、智能展示、地图+业务分析、趋势分析、分布分析等数据可视化展示。

2.2.2 数据层

数据层包含存储的林业监测、规划、管理、生产等各类数据资源。按照数据的形式划分,可分为空间图形数据、业务属性数据以及相关的文档、多媒体数据等;按照数据应用的多样性划分,包括基础地理数据、林业专题数据、公共基础数据、支撑数据库。

2.2.3 技术层

采用 B/S 架构风格,前端采用 JavaScript 框架,并根据不同的业务需求及展示效果选择适合代码库,本平台选择的代码库是目前比较流行的 dojo、echarts、jquery ui,通过 dojo 加载地图和地图相关功能,echarts 实现统计分析图表展示,jquery 实现其他功能组件。后端采用 Spring MVC 框架。地图使用 esri 的框架 ArcGIS for js。

2.2.4 服务层

服务层包含用于管理数据模型并为业务应用层提供服务的应用服务器软件,如 ArcGIS Server、Portal for ArcGIS 和 Web server 等,同时应用级别的数据接口也在应用服务层提供。通过应用服务为分析展现应用、共享应用、报表应用提供平台支撑。

2.2.5 应用层

基于林业时空大数据,可以支持林业资源一张图、统计分析、森林资源展示、分布图展示、林相图展示等应用。

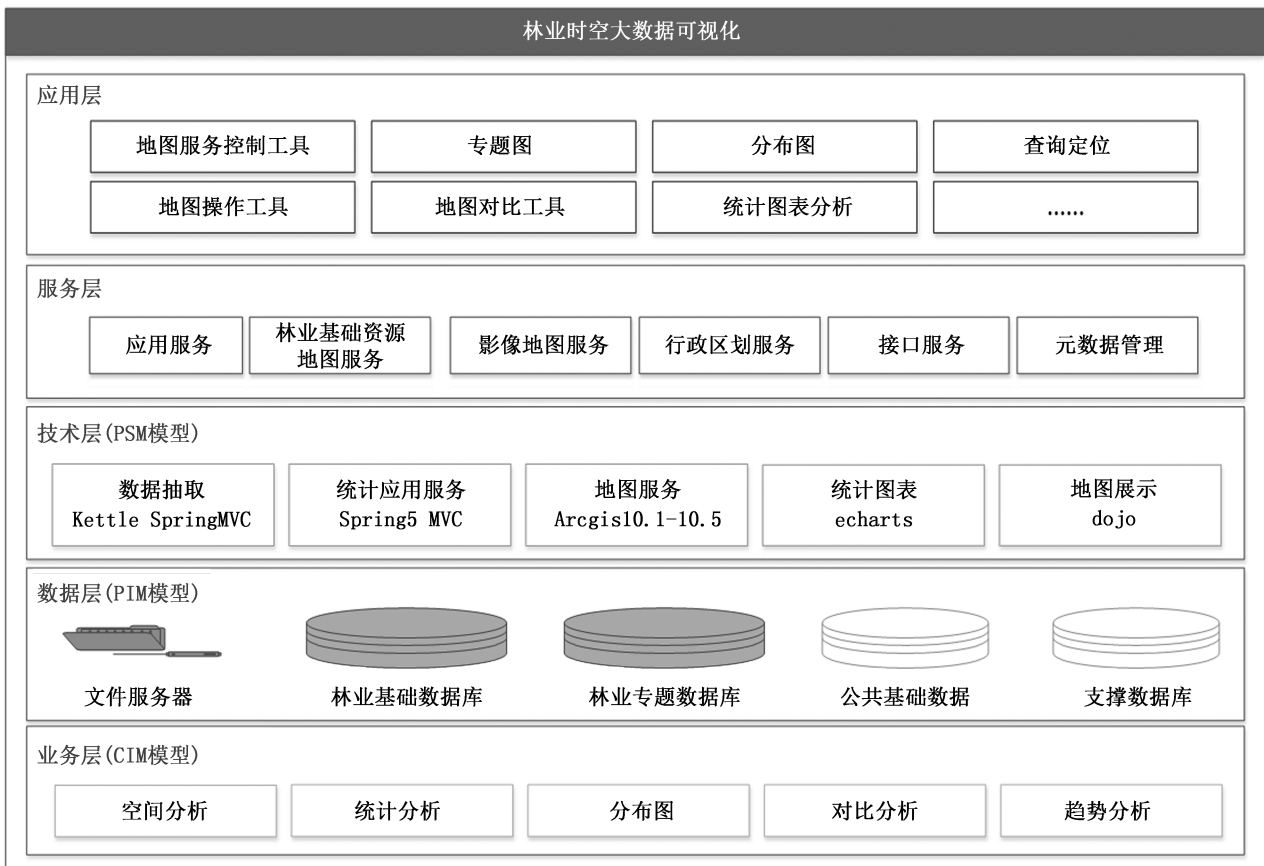


图 2 系统设计架构

Fig. 2 System design framework

3 林业多维时空可视化分析建模与设计

3.1 CIM 模型分析

CIM 模型分析是对林业时空大数据可视化的业务需求分析与业务建模的过程。根据林业业务部门对林业时空大数据的查询、统计以及对林业时空大数据变化情况及趋势分析的需求,完成业务建模过程,用例图通过形象的方式描述业务模式,通过构建行为者、用例、通信线、系统边界、用例描述、用例边界等元素,清晰地描述系统功能片段^[4]。林业多维时空可视化分析 CIM 模型如图 3 所示。

3.2 PIM 模型构建

PIM 模型是系统的业务逻辑在平台无关抽象层上的建模。为了简化问题,将林业多维时空可视化抽象为两部分关键信息(数据层和表示层),分别对这两部分进行建模。基于 CIM 模型建立的 PIM 模型见图 4^[22]。

数据层通过 DataModel 表示统一抽象数据模型,依据业务数据特点泛化为空间数据模型 Spatial-DataModel、属性数据模型 AttributeDataModel、分类

模型 ClassifierModel 和维度模型 DimensionModel。该数据模型可以灵活配置展示的指标和维度。

展示层分地图展示和图表展示,地图模型 Map-Type 在本系统中实例化为分布图、林相图、森林资源等地图,各地图配置不同的交互行为 Operation 和组件 Component。

3.3 PSM 模型映射

在完成了 PIM 层的建模工作后,采用 PIM-EJBPSM 转换规则将 PIM 映射为响应的 EJB 平台上的 PSM。PIM-EJBPSM 的建模规则为:每一个 PIM 类生成一个主键类、数据类;每个 PIM 关联变换为 EJB 关联,并归入一个数据模式;每个 PIM 属性都变换为 EJB 数据类的 EJB 属性;每个 PIM 操作都变换为 EJB 组件的操作。转换后的 PSM 模型见图 5^[22]。

PSM 模型系统基于 J2EE 平台,采用 MVC 三层建构模式,即 Controller 层负责请求转发,Service 负责业务逻辑,Dao 层进行数据持久化和查询。数据模型贯穿三层架构,并采用统一的抽象数据模型 EJBClass, EJBDDataClass 为数据类型, EJBKeyClass 为主键类。

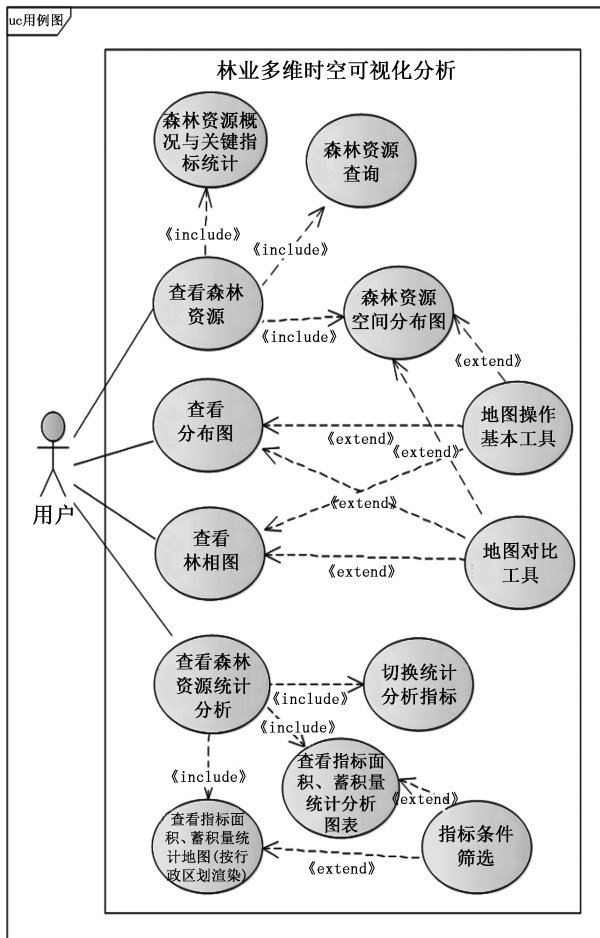


图 3 CIM 模型
Fig. 3 CIM model

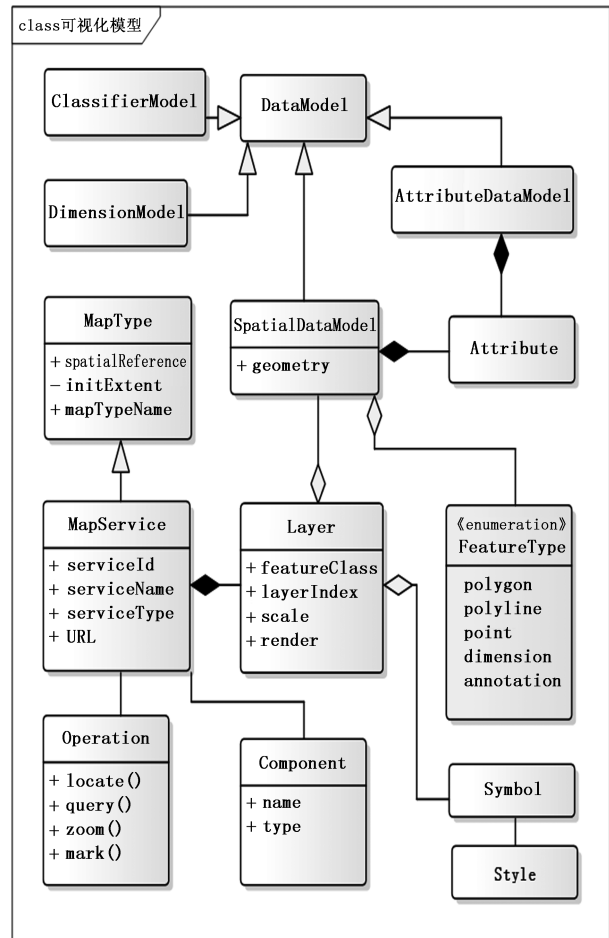


图 4 PIM 模型
Fig. 4 PIM model

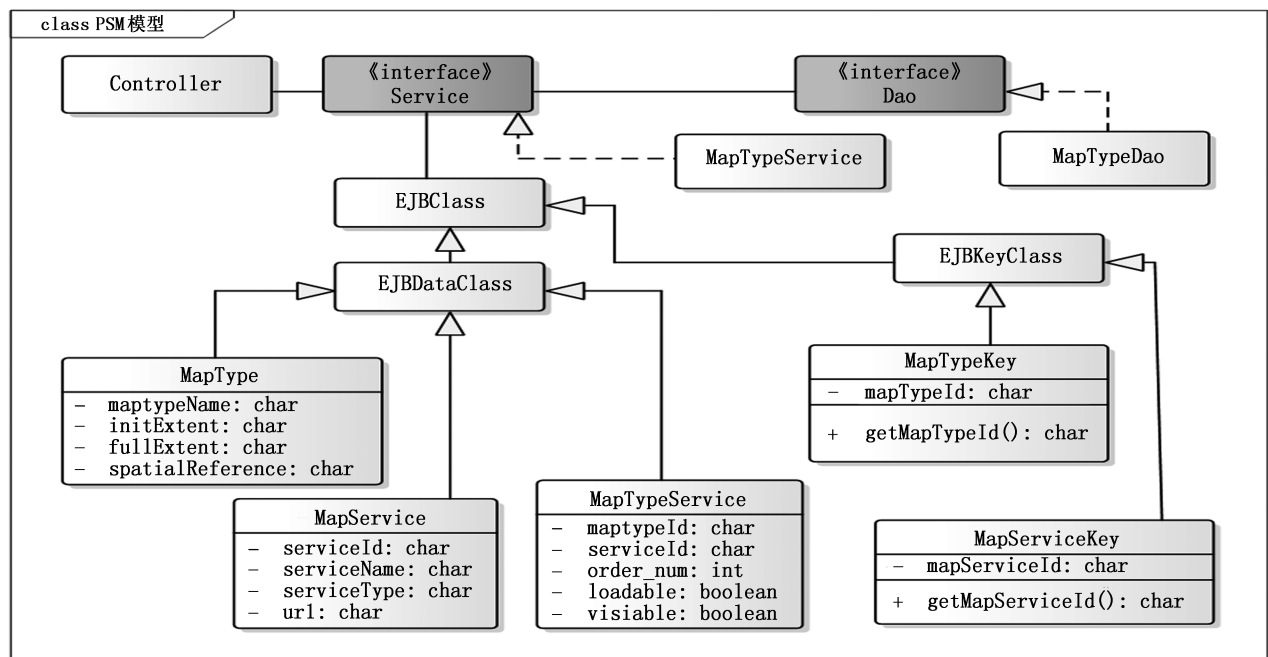


图 5 PSM 模型
Fig. 5 PSM model

4 林业时空大数据可视化实现

在模型驱动架构基础上,采用 J2EE 三层架构体系。J2EE 作为核心驱动引擎,利用 Java 2 平台简化了诸多解决方案的开发、部署和管理相关复杂问题的体系结构,提供了对 EJB、Servlets、JSP、JDBC、CORBA 以及 XML 技术的全面支持。平台架构前端采用 HTML5+JavaScript 编程语言,根据前端系统特点选择不同的 JavaScript 框架。可视化采用 ArcGIS for JavaScript 3. 34,建立在 dojo 组件上。

平台架构服务端使用 JAVA 语言,采用 Spring MVC+myBatis 搭建基础框架,实现系统的基本业务功能和通用功能,并在依托 Spring 框架集成流程管理 activiti、安全认证 shiro、日志管理 log4j 和缓存 redis 组件。

从实现角度看,将程序代码与元模型绑定,通过多级抽象,用户的需求变化被控制在模型层面上,变化的波及效应无法冲击到代码层,使得系统具有了运行期动态改变的能力。

5 结论

随着大数据、物联网、人工智能技术的不断发展与应用,对林业时空大数据展现层需求变得越来越复杂。基于 MDA 模型驱动架构,构建林业多维时空大数据可视化应用软件设计开发方法,优化了传统开发方法中出现的生产效率低、可移植性差、互操作性弱等一系列问题。通过建立 CIM、PIM、PSM 三级模型,明晰了各类模型的作用,解耦了传统软件模型的复杂性,保证了 CIM 模型和 PIM 模型的复用性。本研究已应用于内蒙古林草局林业大数据管理平台系统建设,实际应用表明,与传统的针对模型层的开发相比,该系统具备良好的适应性和扩展性,能够满足不同领域用户复杂多变的应用需求,为未来林业时空大数据建设与应用奠定了良好的基础。

参考文献:

- [1] 本刊讯. 国家林业局印发《中国智慧林业发展指导意见》[J]. 林业经济,2013(9):32.
- [2] 谭星,冯鹏飞,张旭,等. 物联网技术在我国智慧林业建设中的应用现状及发展策略[J]. 世界林业研究,2019,32(5):57-62.
- [3] 李凡,冯鹏飞,孙蕊,等. 物联网技术在林业信息化中的应用研究[J]. 物联网技术,2019,9(6):101-103.
- [4] 朱庆,付萧. 多模态时空大数据可视分析方法综述[J]. 东北林业大学学报,2017,46(10):1672-1676.
- [5] 李清锋,孔明茹,黄英来. 基于高可用云计算的中国智慧林业大数据系统探究[J]. 世界林业研究,2017,30(6):63-68.
- [6] 赵英豪,吕亮,徐青,等. 一种面向海量时空数据的多维检索策略[J]. 测绘科学,2020,45(6):203-208.
- [7] 黄建庭,张立臣,古金峰. 基于面向对象的 MDA 三级建模技术[J]. 计算机应用,2010,30(2):385-389.
- [8] 刘欣洋. 复杂网络环境下基于模型驱动的软件进化方法研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2011.
- [9] 孙宏旭. MDA 模型转换方法的研究与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2012.
- [10] 李欣. 基于 NET 平台的 MDA 模型转换方法研究[D]. 青岛:山东科技大学,2011.
- [11] 姚易. 面向 Spring 框架的 MDA 模型转换方法研究[D]. 长春:东北师范大学,2009.
- [12] 黄建庭,张立臣,古金峰. 基于面向对象的 MDA 三级建模技术[J]. 计算机应用,2010(2):385-389.
- [13] 乐婷婷. 基于 IFML 的物联网前端用户界面建模与 Android 平台模型转换的研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2019.
- [14] 张清波. 基于 MDA 模型驱动的代码生成的研究与设计[J]. 现代计算机(专业版),2015(13):73-79.
- [15] MELOUK M, RHAZALI Y, YOUSSEF H. An approach for transforming CIM to PIM up to PSM in MDA[J]. Procedia Computer Science,2020(170):869-874.
- [16] EL BEGGAR O, LETRACHE K, RAMDANI M. CIM for data warehouse requirements using an UML profile[J]. IET Software,2017,11(4):181-194.
- [17] 张德芬,李师贤,古思山. MDA 中的模型转换技术综述[J]. 计算机科学,2006,33(10):228-230.
- [18] 任磊,杜一,马帅. 大数据可视分析综述[J]. 软件学报,2014,25(9):1909-1936.
- [19] 陈达,崔虎平,苏亚龙. 多粒度时空对象可视分析体系初探[J]. 地理信息世界,2018,25(2):36-44.
- [20] 王元光. 模型驱动的数据可视化平台的设计与实现[D]. 北京:北京交通大学,2015.
- [21] 王志宝,刘丽,常原飞,等. 基于模型驱动的省级林业有害生物灾害监测与预警平台[J]. 东北林业大学学报,2013,41(7):155-159.
- [22] 张天,张岩,于笑丰,等. 基于 MDA 的设计模式建模与模型转换[J]. 软件学报,2008,19(9):2204-2217.

责任编辑: 陈旭

校 对: 许春霞 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.003

基于 GIS 模型构建器的影像批量裁剪方法研究

咎建春,冷鸿天,吴颜奎

(云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051)

摘要:为解决常规影像裁剪方法的低效、计算机编程难度大以及共享、扩展使用不方便等问题,利用 ArcGIS 软件的模型构建器制作裁剪工具模型,实现了批量、流程化影像裁剪。介绍了软件平台及模型构建器中迭代器的作用,阐述影像批量裁剪的实现流程以及影像裁剪模型的建立步骤及其使用方法。该模型的使用可实现了对影像批量裁剪的高效、易入手且方便共享、扩展使用的工作效果。

关键词:GIS 模型构建器;影像批量裁剪;裁剪模型;迭代

中图分类号:S771.8;TP75;S711 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0016-04

引文格式:咎建春,冷鸿天,吴颜奎. 基于 GIS 模型构建器的影像批量裁剪方法研究[J]. 林业调查规划,2022,47(2):16-19,64. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.003

ZAN Jianchun, LENG Hongtian, WU Yankui. Batch Processing Method of Clipping Images Based on GIS Model Builder [J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 16-19, 64. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.003

Batch Processing Method of Clipping Images Based on GIS Model Builder

ZAN Jianchun, LENG Hongtian, WU Yankui

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

Abstract: In order to solve the problems of conventional clipping images methods, such as low efficiency, difficult computer programming and inconvenient sharing and expansion, the clipping tool model was made by using the model builder of ArcGIS software to achieve the goal of batch and process-oriented clipping of images. This paper introduced the function of iterator in the software platform and model builder, the implementation process of batch clipping images, and the establishment steps and application methods of batch clipping model. The use of this model could achieve the effect of high efficiency, easy-to-handle and convenient sharing and extended use of batch clipping images.

Key words: GIS model builder; batch processing of clipping images; clipping model; iteration

GIS 作为现代主流的地理信息空间决策、分析及模拟系统,应用模型的发展已成为其重要的发展前提和现代地理信息系统水平的重要标志^[1]。随着计算机、地理信息技术的不断发展、进步,利用 GIS 批量、流程化处理任务已成为当今 GIS 技术的重要特征和高效的执行方式。传统的 GIS 空间分析

及数据处理方式是利用计算机编程语言来实现海量数据的批量处理或流程化处理,基于计算机编程语言的实现方法需要较多的编程实践和行业经验,对于频次较高、时间较紧以及需求较为多样化的工作任务就显得捉襟见肘,迫切需要一种能容易入手、高效且易于扩展满足多元化需求的工作方法。

收稿日期:2021-03-18.

基金项目:云南省林业调查规划院青年联合会科研项目(1QL007Z00018).

第一作者:咎建春(1986-),男,云南祥云人,工程师.主要从事林业调查规划与林业地理信息系统研究工作. Email:zanjc_777@163.com

责任作者:吴颜奎(1975-),男,云南罗平人,高级工程师.主要从事林业调查规划及森林资源监测工作. Email:513208457@qq.com

目前,很多影像处理软件均能提供基于坐标系统的影像裁剪功能,但大部分软件在影像批量裁剪方面具有较大的局限性和难度系数,例如:(1) 计算机语言编程开发难度大、周期长以及行业应用特性差异大;(2) 软件功能单一,不方便扩展应用;(3) 不能实现非标准图幅的裁剪以及自定义裁剪等^[2]。导致很多工作任务在方法上仍采用手工、半手工的方式裁剪影像,不仅耗费大量的人力、时间成本,也增加了质量管理成本,降低了任务执行的时效性。

为了解决常规影像裁剪方法的低效、计算机编程难度大以及不方便共享、扩展使用等问题,实现批量、流程化裁剪影像的目标,达到易入手、高效且方便扩展、满足多元化需求的工作效果。以昆明市官渡区 2020 年森林资源管理一张图年度更新工作影像为例,研究利用 ArcGIS 软件的模型生成器(Model Builder)制作裁剪工具,实现批量、流程化裁剪影像。

1 软件平台介绍

1.1 ArcGIS 软件

ArcGIS 是由美国 ESRI 公司开发的地理信息系统软件,是全球范围内地理信息系统领域应用范围最广泛的软件之一。是一个统一且完整的地理信息系统平台软件,其主要由 5 个基础的框架组成:(1) 计算机桌面端软件 Desktop;(2) 服务器端软件 GIS;(3) 嵌入式的 GIS 软件;(4) 移动端 GIS 软件;(5) 数据库服务端软件 ArcSDE^[3]。研究中主要用到了 ArcGIS 的计算机桌面端软件(Desktop),包括 Arc Catalog, Arc Map 以及 Arc Toolbox 这 3 个桌面端应用程序, Arc Catalog 用来管理空间数据库内容、设计数据库及记录与浏览元数据; Arc Map 用来编制、编辑和分析地图; Arc Toolbox 用来转换和处理地理信息数据^[4]。通过协调使用这 3 个应用程序,可以完成制图、数据管理、空间分析、数据编辑以及地理处理(geoprocessing)等各种 GIS 任务。

1.2 模型构建器

模型构建器(Model Builder)是 ArcGIS 软件提供的一个专门用于构建地理处理 workflow 和脚本的图形、可视化建模工具,可以集合、加速复杂的地理处理过程模型的设计和实施,也可以集成 3D Analyst、Spatial Analyst、Geostatistical Analyst 等多种空间处理、分析工具^[5],然后将一系列空间处理、分析工具组织串联在一起的工作流,将其中一个工具的输出

作为另一个工具的输入^[6],最后得到模型处理结果。一个完整的 GIS 模型应包括模型的输入、空间分析处理工具以及输出 3 个部分的内容,复杂的地理空间分析过程其实也是由一系列简单的模型组合而成的。使用模型构建器的优点是:进一步简化复杂的地理空间处理模型的设计和实施,运用直观、简明的可视化图形语言将具体、复杂的建模过程表达出来^[7]。使用 GIS 模型构建器构建的模型可自动执行所规定的工作流程。当建立的模型经过验证和执行无错误后便可以保存为 .tbx 格式(即:Arc Toolbox 格式),或者保存为 Python 脚本,今后需要时就可以直接调用,也能够实现多用户间的共享^[8]。模型在执行任务时具有较强的执行效率和数据规范性,在后续应用时还具有很大的扩展空间,能够根据任务的不同目的加以修改或者扩展,以达到满足工作任务多元化需求的效果。

1.3 模型构建器中迭代器的作用

ArcGIS 10.0 版本之后的模型构建器在功能及应用上有了显著的提升和改进,相比于旧版新增设计了一系列的工具,其中主要有两类比较重大的类别:迭代器;仅模型工具^[9]。迭代在 GIS 中通常是指在一定程度、范围的自动化过程中可基于一个或一组输入多次重复执行一个或一系列地理信息处理过程,通常又称之为循环^[10]。迭代在现代化的地理信息空间决策、分析以及模拟中显得非常重要,因为自动重复的执行任务会大量地节约完成工作所需要的时间和精力,并能保证数据的规范性和一致性^[11]。在“模型构建器”中使用迭代时,可在每次迭代中使用不同的设置参数和任务数据来反复执行同一个地理信息处理过程,但一个模型中只能选择一种迭代器。每种迭代器均具有一组区别于其他迭代器的参数及功能描述,但是所有 ArcGIS 迭代器的整体结构都非常相近^[12]。在使用中会发现“模型构建器”中的迭代工具有很大的灵活性,不仅可以迭代整个模型,还可以对具体的某个处理工具或过程进行重复执行。迭代器在影像批量裁剪过程中可以起到两方面重要作用:(1) 对被裁剪要素(影像文件)进行迭代,就无需对每个影像文件分别进行裁剪;(2) 对裁剪要素(矢量框文件)进行迭代,就无需再按照每个矢量框文件分别对影像文件进行裁剪。

2 影像批量裁剪的实现

利用 ArcGIS 软件的模型构建器(Model Builder)

制作裁剪模型,通过对裁剪要素(乡镇行政界线矢量框)进行迭代,按照乡镇行政界线矢量框范围对影像文件进行裁剪,并在指定位置创建文件夹,通过

获取变量的方式实现对裁剪后影像文件的动态存储及命名,最终实现基于 GIS 模型构建器的影像批量裁剪,其流程如图 1 所示。

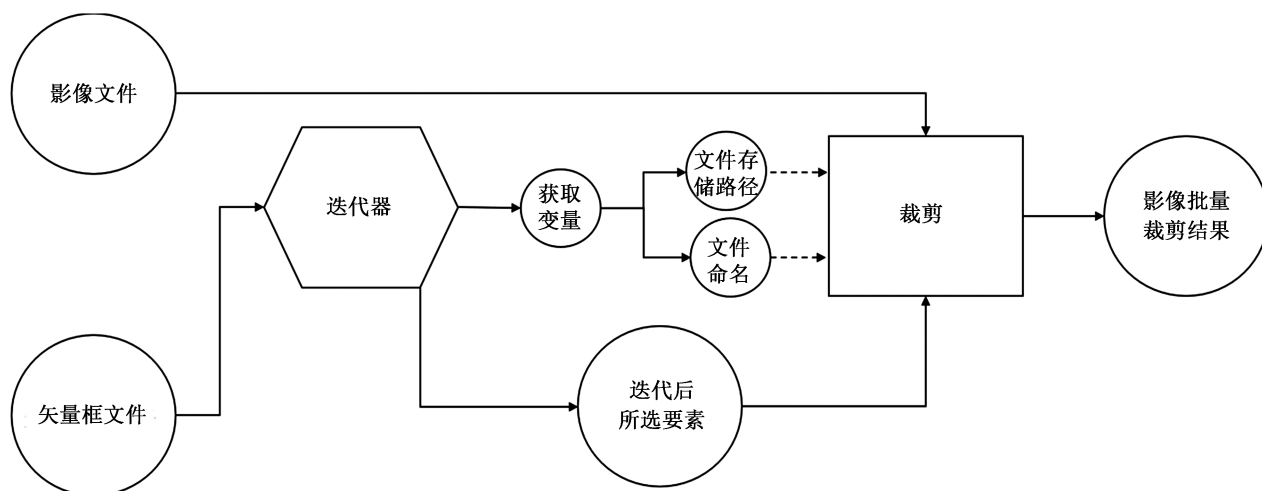


图 1 基于 GIS 模型构建器的影像批量裁剪流程

Fig. 1 Flow chart of batch processing of clipping images based on GIS model builder

2.1 影像批量裁剪模型的建立

在 ArcGIS 软件的模型构建器这一模块里,按照一定的地理信息工作处理流程,通过图形化操作工具,用连接线将相关模型元素(包括:输入、空间分析处理工具以及输出)有序连接起来,最后得到模型处理结果^[13]。在模型的相关工具中设置好对应的参数和环境,经过验证和正确运行后,一个完整、具有特定处理地理空间信息功能且可以重复使用的模型即建立完成。影像批量裁剪模型的建立过程如下:

- 1) 在 ArcGIS 软件中打开模型构建器,添加待裁剪影像文件、矢量框文件,作为模型的输入。
- 2) 插入“要素选择”迭代器,形成一个迭代模型。
- 3) 在“迭代要素选择”中选择输入要素(矢量框文件)进行分组的一个或多个输入字段进行迭代,也可以定义多个输入的字段并依据字段唯一的组合进行选择迭代^[14]。
- 4) 插入 ArcGIS 工具箱中栅格处理下的裁剪工具,并将待裁剪影像文件作为输入栅格。
- 5) 将迭代的所选要素作为裁剪的输出范围,同时根据迭代所选要素获取相应的变量,以实现对裁剪后影像文件的存储及命名,包括创建文件夹、解析路径等用于输出裁剪后影像文件名称中的行内变量。
- 6) 实践并设置相应的模型工具参数,经过验证

及运行正确后,完整的影像批量裁剪模型就建立好了。影像批量裁剪模型的建立过程如图 2 所示。

2.2 影像批量裁剪模型的使用

在影像批量裁剪模型建立好后,将模型以工具箱的格式保存,使用时可以直接调用。影像批量裁剪模型的使用与 ArcGIS 系统工具箱的使用方法一致。

- 1) 在 ArcGIS 软件中打开 Arc Toolbox 模块,添加影像批量裁剪模型工具箱。
- 2) 打开并进入影像批量裁剪模型工具运行界面,如图 3 所示。
- 3) “输入要素”选择矢量框文件。
- 4) “输入栅格”选择待裁剪的影像文件。
- 5) “输出文件夹位置”选择裁剪后影像文件的存储路径。
- 6) “按字段创建文件夹”选择存储裁剪后影像文件的文件夹命名。
- 7) “按字段分组(可选)”选择输入要素(矢量框文件)进行分组的一个或多个输入字段进行迭代,也可以定义多个输入的字段并依据字段唯一的组合进行选择^[15],并关联裁剪后影像文件的命名。
- 8) “使用输入要素裁剪几何(可选)”未选中:使用矢量框文件最小的外接矩形进行裁剪数据,选中“使用矢量框文件的几何形状进行裁剪数据”。

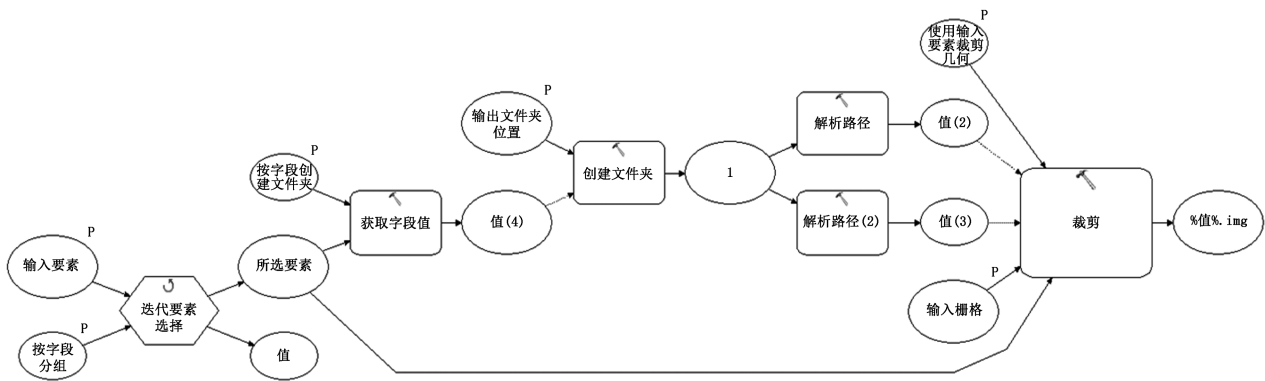


图 2 影像批量裁剪模型的建立

Fig. 2 Model of batch processing of clipping images



图 3 影像批量裁剪模型工具运行界面

Fig. 3 Operation interface of batch processing model of clipping images

3 结论与展望

利用 ArcGIS 软件的模型构建器 (Model Builder) 制作裁剪模型,并最终实现基于 GIS 模型构建器的影像批量裁剪,解决了常规按矢量框文件逐个手动裁剪影像方法的低效、计算机语言编程批量裁剪难入手以及共享、扩展使用不方便等问题,实现批量、

流程化裁剪影像的目标,达到高效、易入手且易于共享、扩展使用满足多元化需求的工作效果。也进一步验证了基于 GIS 模型构建器构建的工具模型在复杂地理空间信息处理上的可靠、高效及适用性,并显著降低了质量管理成本,提高了任务执行的时效性,也为新时期森林资源管理工作提供了技术保障,为探索新模式新途径积累了经验。(下转第 64 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.004

基于 Citespace 的物种分布预测研究进展的可视化分析

昌秋霞, 钟云芳, 张哲, 赵莹, 宋希强

(海南省热带特色花木资源生物学重点实验室, 海南大学林学院, 海南 海口 570228)

摘要:明确物种分布区范围是对物种进行有效保护管理的基础。为全面了解国内外物种分布区预测研究进展及热点,基于 Citespace 软件,以 WOS 核心数据库、中国知网 CNKI 数据库中相关研究文献为研究对象,归纳国内外该研究领域的发展历程,总结其研究热点与趋势。结果表明,中外物种分布预测研究发展历程大致相同,可分为初级探索阶段与高速发展阶段;生物入侵范围预测、气候变化对物种分布格局的影响、Maxent 模型的应用等内容是初期的研究热点,基于 R 语言的多模型联合优化研究、传染病病原体的传播及扩散路径预测、珍稀濒危物种种群动态预测等研究方向是目前的研究趋势与热点。就物种分布预测研究发展方向进行了讨论。

关键词:物种分布; Citespace; 可视化分析; 知识图谱; 关键词聚类; 预测模型精度

中图分类号: S718.4; Q111.21; TP317.4; TP311.56 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2022)02-0020-14

引文格式: 昌秋霞, 钟云芳, 张哲, 等. 基于 Citespace 的物种分布预测研究进展的可视化分析[J]. 林业调查规划, 2022, 47(2): 20-33. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.004

CHANG Qiuxia, ZHONG Yunfang, ZHANG Zhe, et al. Visual Analysis of Research Progress on Species Distribution Prediction Based on Citespace[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 20-33. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.004

Visual Analysis of Research Progress on Species Distribution Prediction Based on Citespace

CHANG Qiuxia, ZHONG Yunfang, ZHANG Zhe, ZHAO Ying, SONG Xiqiang

(Hainan Key Laboratory for Biology of Tropical Ornamental Plant Germplasm/Forestry College, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: Defining the range of species distribution areas is the basis for effective species protection and management. In order to fully understand the research progress and hotspots of species distribution area prediction at home and abroad, this paper used Citespace software to study the relevant research documents in the WOS core database and CNKI database, and summarized the development history and research hotspots and trends of this field. The results showed that the development process of the research on species distribution predictions at home and abroad was roughly the same, which was divided into the primary exploration stage and the rapid development stage; the prediction of biological invasion range, the impact of climate change on species distribution and the application of MaxEnt model were the research hotspots in the early stage, while the multi-model joint optimization research based on R-lan-

收稿日期: 2021-12-22.

基金项目: 海南省重点研发项目(ZDYF2020099); 国家自然科学基金地区基金项目(32160400).

第一作者: 昌秋霞(1994-), 女, 广西壮族自治区河池人, 硕士研究生. 研究方向为园林植物与应用.

责任作者: 宋希强(1972-), 男, 江西人, 教授. 研究方向为园林植物资源与利用.

guage, the transmission and diffusion path prediction of infectious disease pathogens, and the population dynamics prediction of rare and endangered species were current research trends and hotspots. Finally, this paper put forward the discussion and thinking on the development direction of species distribution prediction research.

Key words: species distribution; Citespace; visual analysis; knowledge map; keywords clustering; prediction model accuracy

自 19 世纪工业革命以来,由于经济的快速发展以及人类无限制地开发自然资源等活动,大气中的 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 等温室气体含量正在迅速增长,全球气候呈现变暖趋势。全球气候变暖是 21 世纪生物多样性保护的巨大挑战之一^[1]。前人研究发现,气候变暖可能会带来物种的分布格局^[2-3]与物候期^[4]发生改变、物种丰富度减少^[5]、增加外来植物入侵风险^[6]、引起物种灭绝或加速灭绝^[7]等一系列不利影响。研究气候变化背景下物种的潜在地理分布,对揭示物种分布格局的形成、迁移特征以及制定生物多样性保护策略具有非常重要的意义。

物种的分布区是物种的空间特征,是物种与环境长期相互作用的结果,而物种的分布规律是由生态因素、历史演化因素(包括地质演化历史,群体演化历史)等共同影响下形成的^[8]。物种分布模型(Species Distribution Models, SDMs)是利用物种的地理分布存在/不存在数据、气候数据、地形数据等,根据分类、回归、机器学习等多种算法^[9-12]对物种的生态位进行度量,再将模型投影到现在或未来的环境情景中,以分布概率的形式反映特定气候生境对物种的适宜程度,其结果可以解读为物种出现的概率或生境对于物种适宜度等^[13]。物种分布模型最早起源于物种—环境相互关系的研究^[14],随着物种分布模型的不断发展,SDMs 在生物多样性保护^[15-17]、入侵生物风险评估^[18]、探究环境变化对生物的影响^[19-20]、珍稀濒危物种动态预测^[21]、物种起源、散布及演替分化规律研究^[22]等诸多方面具有重要的应用价值。

科学知识图谱(Mapping Knowledge Domains)是利用可视化知识图谱显示学科的发展历程与结构关系的一种图形,同时兼备“图”与“谱”的双重性质特征:既是可视化的知识图形,又是序列化的知识谱系,可对知识单元或知识群体之间形成的网络结构及其互动、交叉、衍化等诸多复杂关系进行表达和描述^[23]。CiteSpace 是由陈超美教授基于 Java 语言开发的一个可视化分析软件,其原理是利用共引分析

理论及寻径网络算法,对某一领域的文献进行计量,形成一系列可视化的科学知识图谱,由此挖掘出学科发展的演化路径及研究热点与趋势^[24]。CiteSpace 软件自 2004 年被推出以来,已成为学术界科研工作者使用最广泛的分析软件之一^[25]。

目前,前人对物种分布预测领域研究更侧重于应用方向,而基于信息可视化与计量化分析的相关综述性研究较少,因此,本文运用 CiteSpace 软件对“物种分布预测”领域的相关文献进行归纳分析,通过构建知识图谱梳理该领域的发展历程,总结其未来发展趋势及研究热点,以为后续研究与发展提供参考依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

本研究基于 CiteSpace 5.8.R1(64-bit)、Excel 等软件对相关文献的发表时间、国家、科研机构、作者、关键词进行可视化分析,在绘制可视化图谱中,其固定参数“Slice Length = 1, Pruning = Pathfinder”;词频节点的大小和深浅代表其学术影响力;连线的粗细代表词频之间的联系强度;Density(网络密度)代表提示词频间的相互关系;Modularity 代表网络聚类情况,数值越大,聚类效果越明显,当 $Q > 0.3$ 时,即网络结构显著;Silhouette 代表网络同质性情况,数值越大,聚类结果越可行,当 $S > 0.7$ 时,即聚类结果具有高信度,同时剔除 S 值为 1 的不合理聚类。节点数量与大小代表核心作者群体共现频次,线条数量与粗细反映作者合作关系与合作强度。

1.2 数据来源

数据源于中国知网(CNKI)及 Web of Science(WOS)数据库的核心合集中相关的中英文文献。其中,CNKI 数据库拟定检索条件为:“主题:(适生区)OR 主题:(生境)AND 主题:(预测)”,共检索到相关中文文献 1 486 篇,将相关度较低的文献剔除,得到有效文献 1 433 篇;WOS 选用核心合集数据库,

拟定检索条件为：“主题:(specie*) AND 主题:(potential distribution model*) AND 文献类型:(Article OR Review) AND 语种:(English)”,共检索到相关英文文献 6 777 篇,并通过 CiteSpace“除重筛选”功能得到有效文献 6 687 篇。

2 结果分析

2.1 发文时间分析

国内外物种分布预测研究领域年度发表论文情况如图 1 所示。

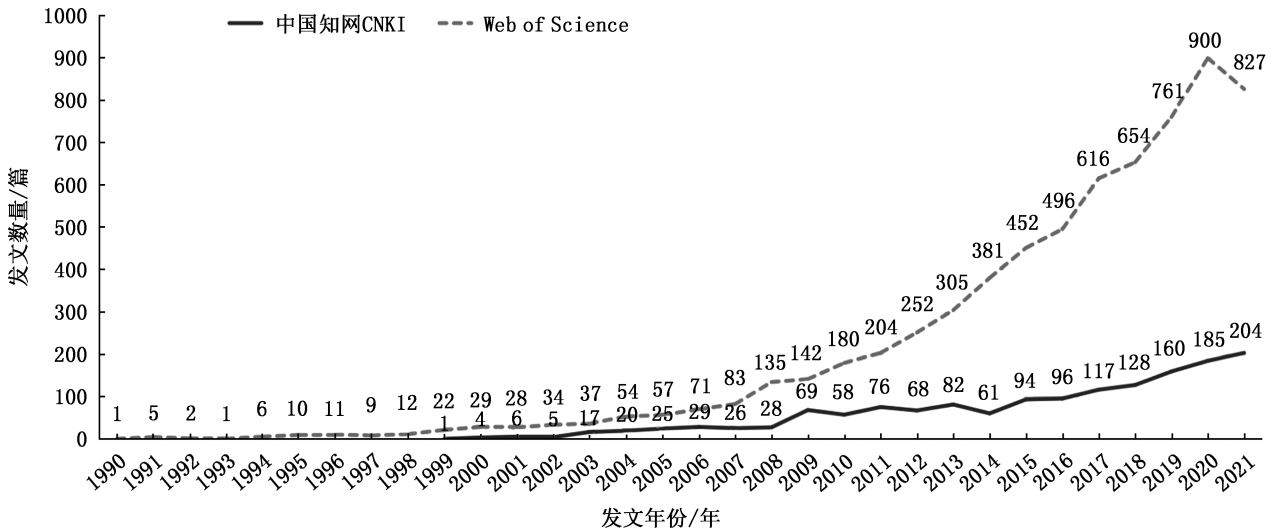


图 1 国内外年度累计发文量趋势

Fig. 1 Broken line chart of research documents quantity at home and abroad

从文献总量来看,国内外相关研究年发文量均呈现逐年增加状态,特别是 2007 年后,年发文量有较为显著的增长,说明物种分布预测研究逐渐引起国内外学者的关注与重视。从发展阶段来看,国外的物种分布预测研究可大致分为两个阶段:第一阶段为初级探索阶段(1990—2007 年)。国外相关研究萌芽于 20 世纪 90 年代初,BIOCLIM 模型为首个物种分布模型,由 Busby 于 1991 年提出,Busby 基于生态位理论利用生物气候分析害虫物种的分布及气候变化下其潜在分布区范围^[26]。由于计算机与编程技术的限制,经历了十几年的探索,此阶段的年发文量仍较少且增长缓慢,此时学者的探索重心主要集中于物种生境适宜性研究及物种生境评价模型开发,这为后续的快速发展奠定了理论基础。第二阶段为高速发展阶段(2008—2021 年)。此阶段年发文量多且增长快速,仅 2016 年的年发文量就超过了第一阶段的发文量总和。随着卫星遥感与地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的快速发展,部分学者尝试将 GIS 技术与物种多样性空间分布格局研究相结合,研究发现,GIS 不仅能够准确地绘制出物种分布图,体现物种分布的动态变化,获取物种丰富度信息,而且 GIS 结合物种与生境关系

模型能够较为准确地预测动物的空间分布格局^[27]。此后,物种分布预测研究迅速成为学术研究的热点课题。

国内相关研究的发展历程与国外大致相同,亦可分为两个阶段:第一阶段为初级探索阶段(1999—2008 年)。我国相关研究起步于 1999 年,当时有学者利用 Climex 模型预测了植物害虫麦双尾蚜 *Diuraphis noxia* (Mordvilko) 在中国的适生区^[28],可视为我国物种分布预测研究的开端。第二阶段为高速发展阶段(2009—2021 年)。此阶段年发文量呈稳步增长状态,研究重点除上一阶段的模型基础理论研究^[27,29-30]、外来物种入侵范围预测^[28,31-32]、害虫种群动态预测^[33-36]等研究方向外,还增加了野生珍稀濒危物种适生区预测^[37-40]、物种起源与演替^[41]、外来生物入侵风险评估^[42-43]、传染病病原体的传播及扩散路径预测^[44]、多模型结合优化应用^[45-48]、植物病菌传播预测^[49-50]等多个研究方向,与古生物学、疾病传播学等多个学科交叉融合,应用层面更广、层次更深。

2.2 发文国家与机构分析

合作图谱是体现该领域研究机构或作者间学术合作与交流强度的重要依据。从发文量国家统计与

合作图谱来看(表 1,图 2),美国是研究成果最多的国家,发文频数为 2 443 篇;中介中心性最高的是德国,为 0.21,表明德国与其他国家的学术交流、合作较多。英国、德国、中国、澳大利亚、法国等亦拥有不错的研究成果,但与国际间的合作不多。

在全球研究机构合作图谱中(表 2,图 3),网络节点数为 579 个,网络密度为 0.003 8。美国国家科学研究中心(Centre National DE LA Recherche Scientifiques, CSIC)是该领域中发文量最多的研究机构,其与法国国家科学研究中心(Centre national de la recherche scientifique, CNRS)、美国森林服务部(US Forest Serv)及美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)构成了领域里最重要的学术合作圈。此外,由中国科学院(Chinese Acad Sci)、中国科学院大学(University of Chinese Academy of Sciences)及北京林业大学(Beijing Forestry University)组成的学术合作圈也占据重要地位。美国堪萨斯大学(University of Kansas)、

表 1 全球发文量前 10 位国家统计

Tab. 1 Statistics of the top ten countries in terms of global publication volume

国家	发文频数/篇	中介中心性	发文平均年份
美国	2443	0.09	1991
英国	924	0.02	1990
德国	693	0.21	1990
中国	666	0.00	2007
西班牙	594	0.04	1996
澳大利亚	574	0.00	1995
法国	571	0.02	1998
加拿大	461	0.00	1995
巴西	383	0.05	2003
意大利	339	0.11	1997

英国牛津大学(University of Oxford)、美国地质调查局(US Geol Survey)亦是该领域的主要研究机构。

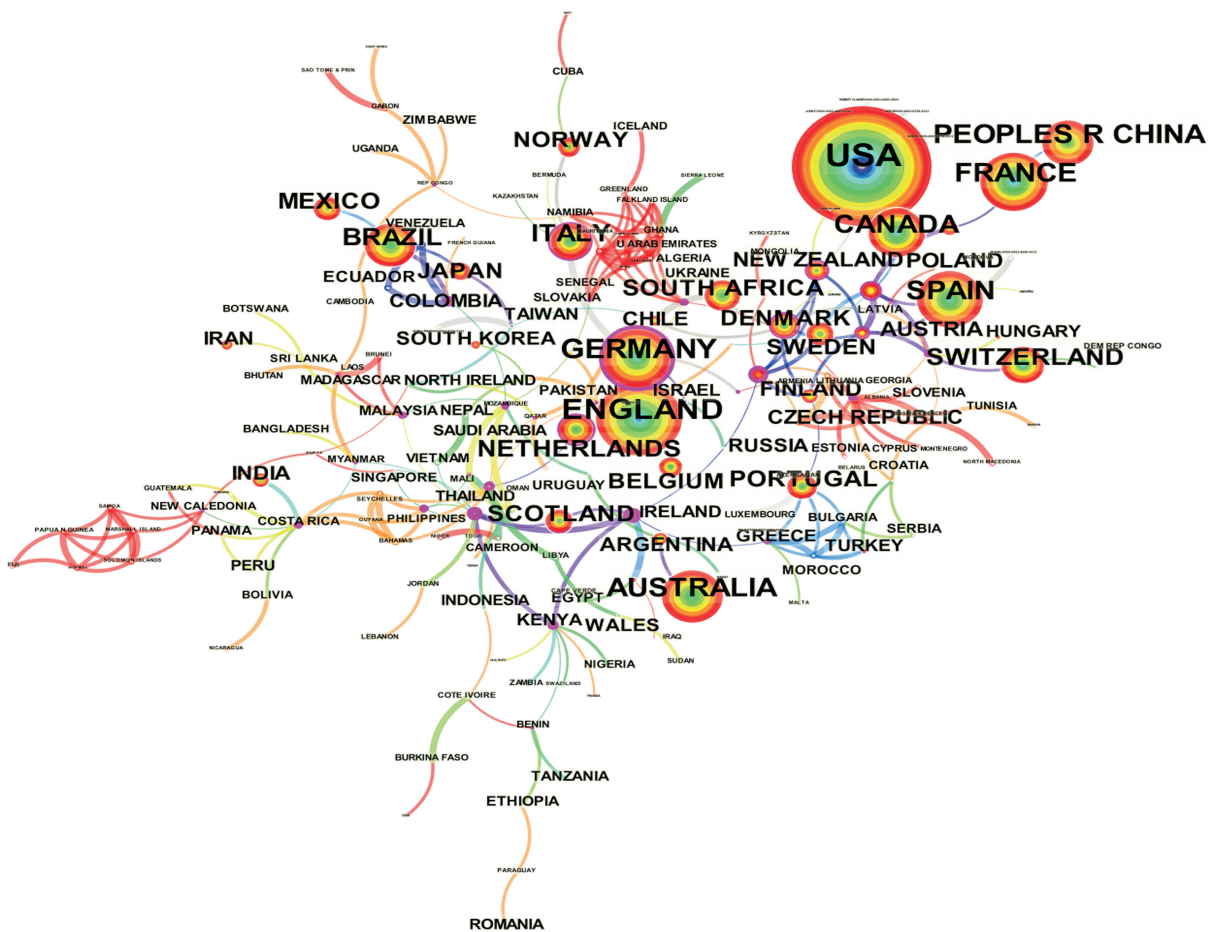


图 2 全球发文国家知识合作图谱

Fig. 2 Knowledge map of countries of publication

表 2 国内外发文量前 10 位研究机构统计

Tab. 2 Statistics of the top ten institutions in terms of publication volume at home and abroad

机构名称 (WOS)	发文频数/篇	中介中心性	发文平均年份	机构名称 (CNKI)	发文频数/篇	中介中心性	发文平均年份
美国国家科学研究中心	199	0.03	2000	北京林业大学	98	0.00	2019
中国科学院	175	0.02	2008	南京林业大学	50	0.00	2021
美国地质调查局	149	0.11	2002	东北林业大学	46	0.00	2020
堪萨斯大学	111	0.03	2002	中国科学院新疆生态与地理研究所	33	0.00	2010
墨西哥国立自治大学	96	0.11	2002	陕西师范大学	33	0.00	2015
英国牛津大学	87	0.06	2006	中南林业科技大学野生动植物保护研究所	32	0.00	2018
美国森林服务部	85	0.09	1999	中国科学院微生物研究所	32	0.00	2008
佛罗里达大学	81	0.06	2006	兰州大学	30	0.00	2018
中国科学院大学	77	0.00	2016	中国科学院大学	28	0.00	2016
不列颠哥伦比亚大学	25	0.05	2007	西北农林科技大学	28	0.00	2020

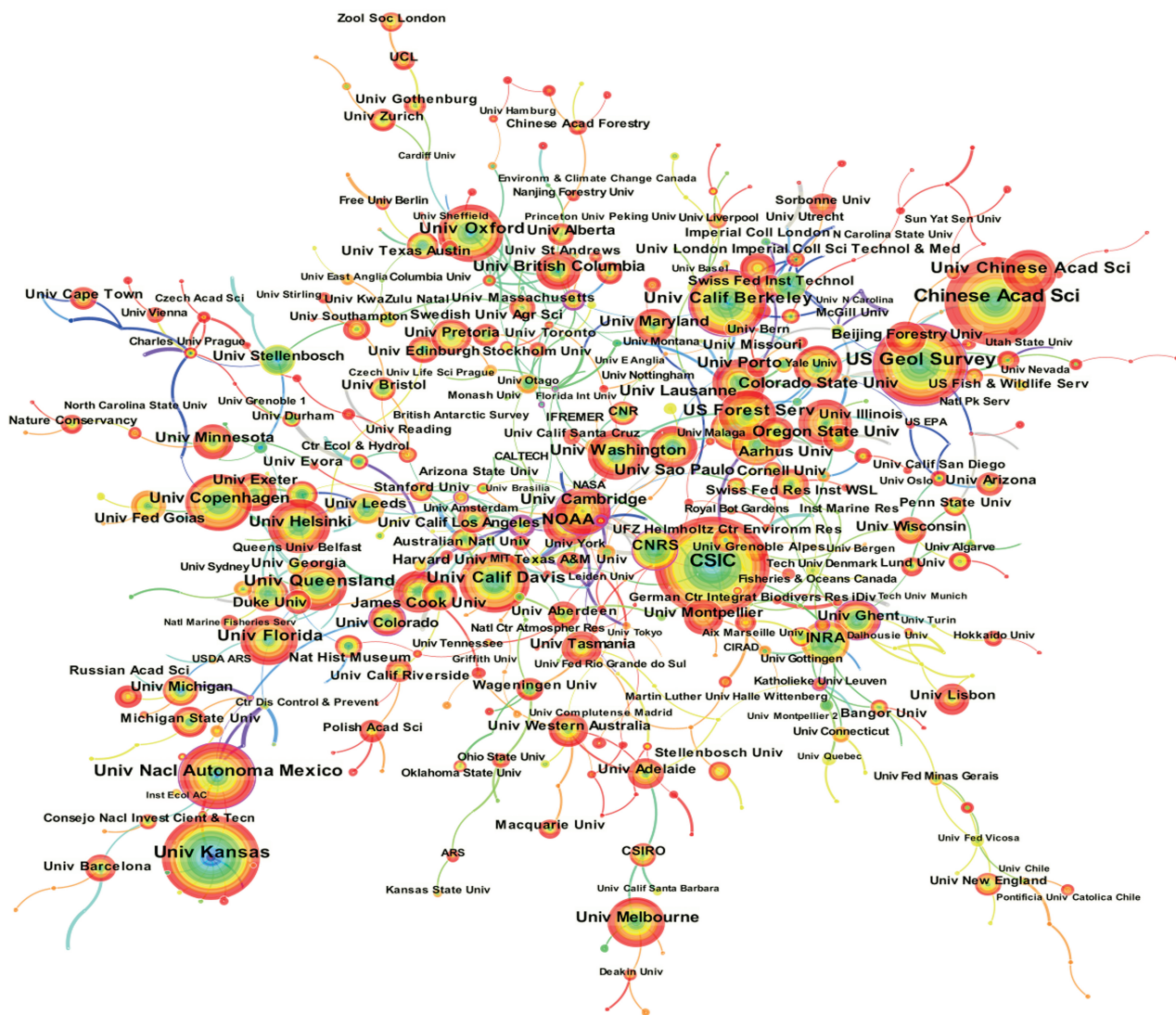


图 3 全球发文机构知识图谱

Fig. 3 Knowledge map of global research institutions

2.3 发文作者分析

国外作者合作知识图谱形成了网状分布结构, 这表明国外研究学者之间产生了较为密切的学术合作, 其中来自堪萨斯大学生物多样性研究所的研究员 Townsend A. Peterson 是领域里成果最多的学者, 相关文献发文频数为 87 篇, 该作者主要研究方向为引起传染病的寄生虫^[51]、病毒^[52-53]、病菌^[54]等介质的传播范围及路径预测, 近年来其对预测模型的优化研究亦展开了较为深入的探讨^[55-58]。来自美国国家科学研究中心的学者 Wilfried Thuiller 是该领域最高被引作者, 被引频次为 46 180, 其主要研究方向为外来生物入侵风险评估, 探索导致物种入侵的主要驱动因素^[59-60]。

在国内作者合作知识图谱中呈现出大分散、小集中的特点, 这表明国内该领域里形成了以万方浩、

李明阳、卫海燕、郭彦龙、晋玲等学者为核心的数个作者群, 但各团队之间联系强度较差。虽然在 1999 年就有学者通过 CLIMEX 模型预测了麦双尾蚜 *Diuraphis noxia* (Mordvilko) 在中国的适生区^[27], 但直到 2002 年, 北京师范大学的张清芬基于 CLIMEX 模型, 利用气候数据预测了日本金龟子在中国的可能入侵适生区^[30], 并在随后的第二年发表论文详细阐述 CLIMEX 模型的运算原理、主要功能、模型特性及实例应用^[61], 此后, 国内相关研究才进入较为系统性的研究流程。卫海燕、郭彦龙、张仪、晋玲、吕利华等是近 5 年来的高产作者, 近期的研究焦点是蜚媒及病原体的适生区预测与适生性分析^[44, 62-64]、药用植物的生境预测^[65-67]、珍稀保护孑遗植物的景观格局破碎度分析^[68-69]、基于 R 语言的预测模型优化研究^[70]等(表 3, 图 4, 图 5)。

表 3 国内外发文量前 10 位研究作者统计

Tab. 3 Statistics of the top ten authors in terms of publication volume at home and abroad

作者名称(WOS)	发文频数/篇	发文单位	作者名称(CNKI)	发文频数/篇	发文单位
Townsend A. Peterson	87	University of Kansas Biodivers Inst	万方浩(2006)	12	中国农业科学院植物保护研究所
Wilfried Thuiller	38	Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	李明阳(2008)	10	南京林业大学
Antoine Guisan	35	University of Lausanne	卫海燕(2014)	9	陕西师范大学
Richardson, David M	27	Stellenbosch University	郭彦龙(2014)	9	中国科学院青藏高原研究所
Jens-Christian Svenning	26	Aarhus University Dept Biol	徐海根(2020)	8	中国环境保护部南京环境科学研究所
Kumar, Lalit	25	University of New England	晋玲(2017)	8	甘肃中医药大学
Araujo, Miguel Bastos	24	Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC)	张仪(2021)	7	中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所
Real, Raimundo	21	Universidad de Malaga	顾蔚(2014)	7	陕西师范大学
Kriticos, Darren J	20	The University of Queensland	吕利华(2014)	6	华南农业大学
Rodder, Dennis	20	Alexander Koenig (ZFMK)	陈乃中(2007)	6	中国检验检疫科学研究院

2.4 关键词聚类与共现分析

关键词可以揭示文章内容核心观点及主要方向, 对关键词进行共现和突现分析, 可以更为直观地了解该研究领域的研究热点、研究趋势及知识架构^[24]。

国外关键词聚类主要分为#invasive species(入侵物种)、#migration(迁徙)、#phylogeography(系统地理学)、#maxent(最大熵模型)、#risk(风险)、#connectivity(联结度)、#drought(干旱)、#biodiversity(生物多样性)、#evolution(演化)、#climate change(气候变化)、#conservation(对自然环境的保护)、#random

forest(随机森林算法)、#population dynamics(种群动态)、#last glacial maximum(末次盛冰期)几大类, 聚类 Q 值(Modularity Q) 为 0.813 8 (>0.3), 平均轮廓(mean silhouette) 值为 0.854 (>0.5), 表明该聚类图谱结构合理, 集群的同质化程度较高(图 6)。剔除高度重复的聚类, 国内关键词聚类主要分为#潜在生境、#地理信息系统、#ca-markov 模型、#组合模型、#maxent、#climex、#人类活动、#遗传算法、#生物入侵、#生态位、#适生区预测、#岛屿生物地理学理论、#3S 技术等几大类, 聚类 Q 值(Modularity Q) 为 0.894 2 (>0.3), 平均轮廓(mean silhouette) 值为 0.964 9 (>0.5)

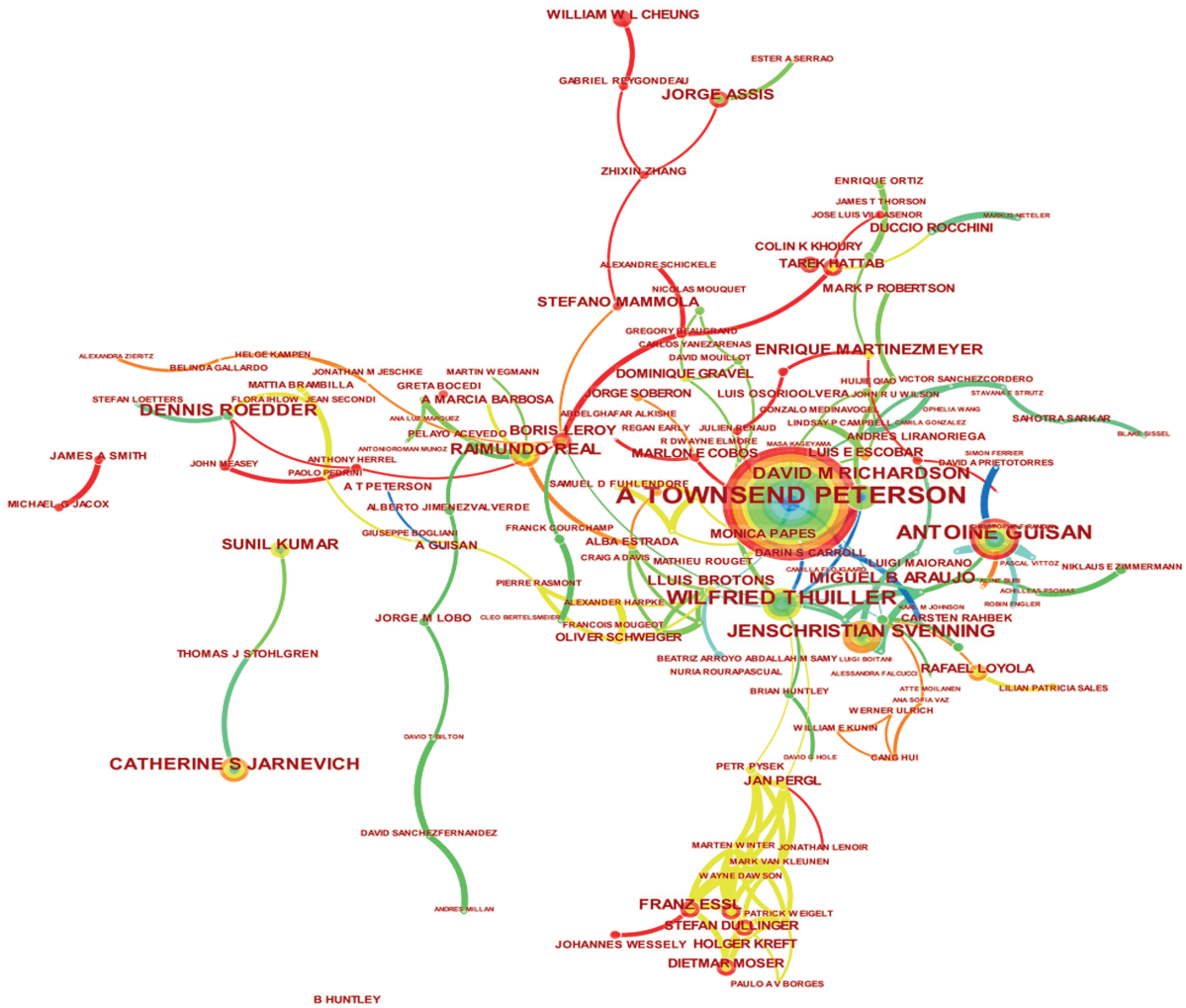


图 4 国外发文作者知识图谱

Fig. 4 Knowledge map of of authors abroad

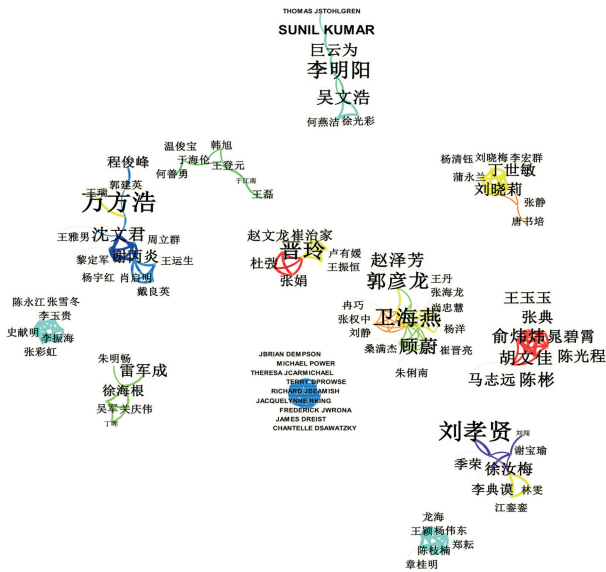


图 5 国内发文作者知识图谱

Fig. 5 Knowledge map of of authors at home

(图 7)。通过图谱可以观察到国外物种分布预测每一个聚类所呈现的面积均较大且覆盖面广泛,且多个聚类之间存在相互覆盖,说明各项研究之间存在较深的交流。其中最核心的部分以生物入侵、气候变化、种群动态、Maxent 模型等研究为主,说明该类研究出现较早,对研究领域内的其他分支影响较大,属于该领域内的基础类研究;而离中心点较远的如组合模型、biomod、小样本量、人类活动等聚类出现较晚、分支较少,属于领域内较新的课题研究,是近几年的研究热点与趋势(表 4)。

在关键词聚类与共现知识图谱(图 6,图 7)中,出现频次和中介中心性较高的关键词是气候变化、物种分布模型、Maxent 最大熵模型、生态位模型、生物多样性、种群动态、生物入侵、演化、生境适宜性。不难发现,物种分布模型一直都是该研究领域的热点课题,无论是初期对于 SDMs 基础理论研究

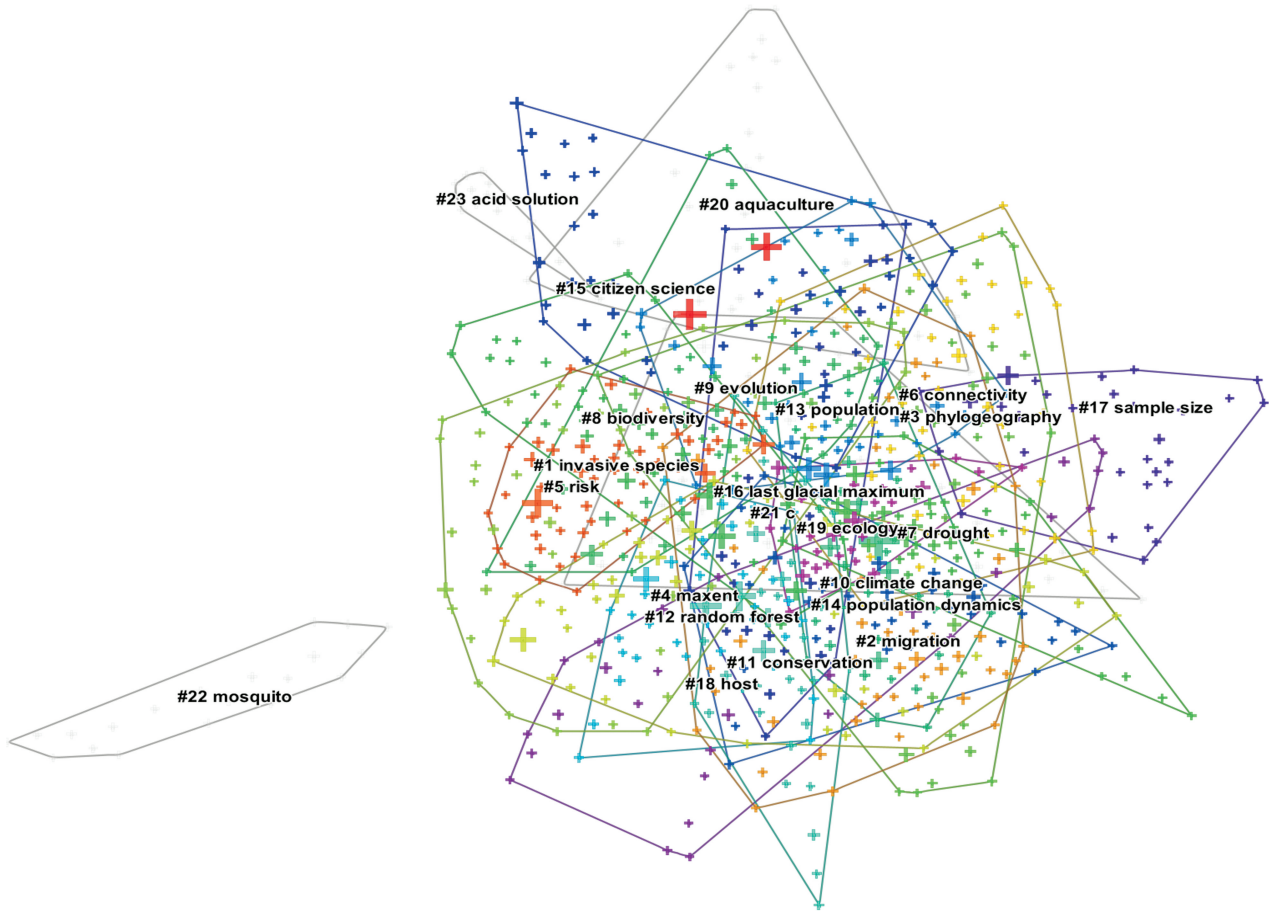


图 6 国外关键词聚类知识图谱

Fig. 6 Knowledge map of keywords clustering abroad

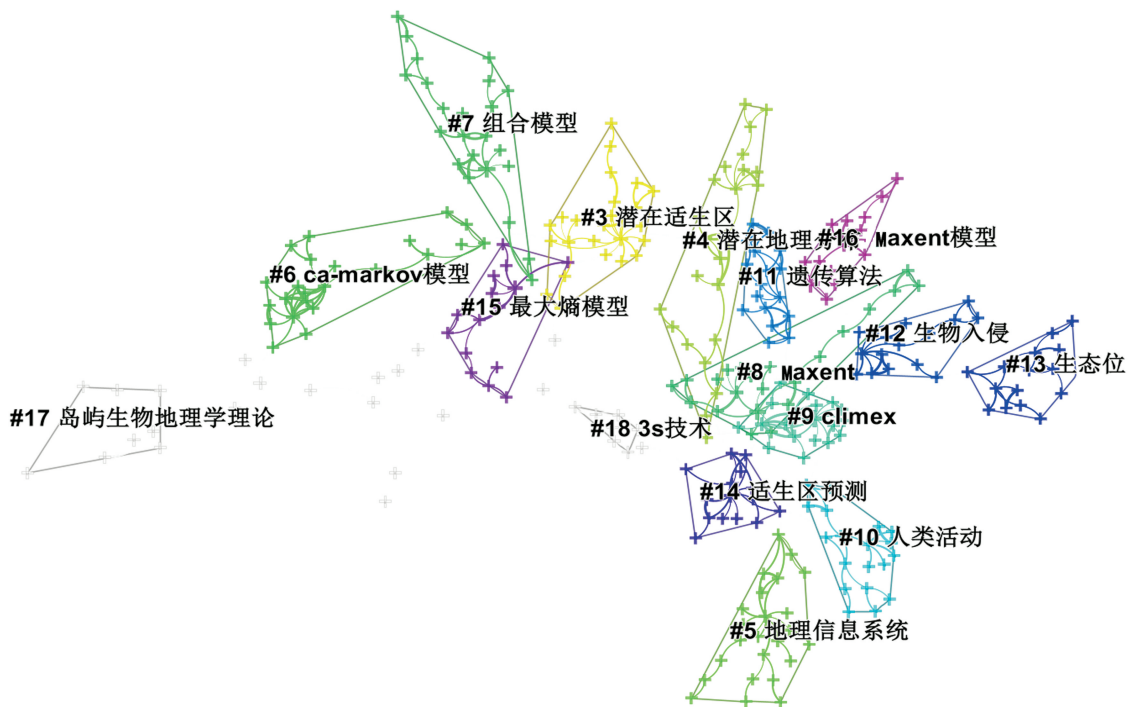


图 7 国内关键词聚类知识图谱

Fig. 7 Knowledge map of keywords clustering at home

表 4 国内外文献中关键词共现频次排名
Tab. 4 Ranking of keyword co-occurrence frequency at home and abroad

关键词 (WOS)	频次/次	年份	中介中心性	关键词 (CNKI)	频次/次	年份	中介中心性
Climate change(气候变化)	1354	1990	0.01	maxent 模型	532	2007	0.52
Model(模型)	901	1991	0.06	气候变化	239	1990	0.13
Conservation(环境保护)	833	1998	0.05	潜在适生区	110	1994	0.39
Species distribution(物种分布)	754	2000	0.01	环境因子	71	2002	0.4
Species distribution model(物种分布模型)	688	2008	0.01	生态位模型	60	2007	0.06
Biodiversity(生物多样性)	664	2002	0.01	invest 模型	60	1990	0.13
Pattern(格局)	526	2000	0.07	适生区预测	59	1994	0.05
Prediction(预测)	524	2000	0.06	climex	56	2002	0.22
Maxent(最大熵模型)	514	2000	0.01	生境质量	52	1990	0.15
Impact(影响)	490	2000	0.02	arcgis	50	1990	0.01
Population(种群)	432	1998	0.02	物种分布模型	49	2002	0.07
Habitat(栖息地)	351	1995	0.05	Ca-markov 模型	47	1990	0.01
Ecology(生态)	321	1993	0.15	生态位	42	2007	0.05
Evolution(演化)	313	2000	0.02	生境适宜性	40	2003	0.01
Dynamics(动态)	289	1998	0.02	生物入侵	38	2002	0.37
Abundance(丰富度)	279	1995	0.06	生物多样性	27	2004	0.22
Range(范围)	243	2004	0.03	风险评估	23	2006	0.03
Biological invasion(生物入侵)	185	2004	0.07	组合模型	18	2016	0.16
Biogeography(生物地理学)	168	2004	0.06	种群动态	17	1998	0.04
Habitat suitability(生境适宜性)	152	2010	0.01	Biomod	17	2020	0.03

型开发^[61],或是后期 SDMs 的升级优化和多模型联合应用^[70],都引起了很多学者的关注和重视。根据目前现有的物种分布模型的运算原理和模型特点,可以将 SDMs 归纳总结为 5 类。

2.4.1 机理模型

该模型的研究基础是建立在了解物种环境变量精确反应的基础上,依赖于对物种生物学和生态学特性的长期观测结果,需要整合物种的生活史、生态位的耐受范围及环境理化动态等数据,从而根据物种的生理生态需求建模^[71]。该模型具有明确的生态学意义,因此在物种生境评价研究中得到了广泛应用,然而模型评价准则的建立是根据人为经验而定,对环境因子的适宜性划分具有一定的主观性,这在很大程度上影响了模型的准确性^[72-73],且模型所需数据获取难度较大,可实操程度低。

2.4.2 统计模型

统计模型的基本原理是数学中的回归分析,在物种变量(分布点数据)与环境变量(如气候、地形)之间建立统计关系,以环境变量为自变量,物种变量

为因变量,对物种所处生境进行预测与评价^[74]。统计模型主要包含支持广义线性模型 GLM、向量机模型 SVM、逻辑斯蒂模型 Logistic Model、广义相加模型 GAM 等。不必同时获取物种“存在”和“不存在”数据是此类模型的优点,但其对物种生态学意义的考虑较少。

2.4.3 生态位模型

根据物种实际分布数据及其分布区域对应的生态环境数据,通过某种算法进而得到该物种的生态位特征,将物种的生态位特性投射到特定环境情景中,从而预测物种的分布特征^[75]。生态位模型主要包含生态位因子分析模型 ENFA、最大熵模型 MaxEnt、生物气候模型 BIOCLIM、规则遗传算法模型 GARP、DOMAIN 模型。生态位模型仅需要物种分布点数据与环境数据即可进行模拟,模型操作相对简单,且通常模拟结果较好,因此成为物种分布预测研究中应用最为广泛的模型。

2.4.4 模糊数学模型

美国专家查德提出模糊数学的概念,首先采集

检测物种相关的有效成分含量值,并收集研究区环境数据,将所有环境因子进行标准化(归一化),之后建立每个环境因子与物种有效成分间的隶属度函数,再根据各环境因子的权重来叠加所有的环境因子,最终得到总的适宜生境评价结果^[76-77]。这种方法能够根据物种的有效含量值预测环境因子的相应适宜范围,对物种的有效栽培与利用有着重要意义,此方法比较适用于植物的生境预测,对动物生境预测研究适用度较低。

2.4.5 学习型模型

此类模型需要物种的实际分布点数据,以及研究区域的环境数据,并根据经验人为地在不适宜物种生长区域选取“非存在点”(赋值为 0),将这 3 部分数据一同输入模型中,模型将自动学习物种—环境间的关系,并最大限度地逼近这种非线性关系,从而预测研究对象的适生区范围^[78]。学习型模型主要包括随机森林 RFM、贝叶斯算法模型 Bayes、推进式回归树 BRT 及人工神经网络模型 ANN。强大的计算能力与学习能力是此类模型的优点,能够将物种和环境间非线性定量联系清晰呈现,但人为设定“非存在点”数据而使得模型具有一定的主观性。

在现有的众多模型中,Maxent 最大熵模型(Maximum Entropy Model)因具有操作简易,样本量对于模拟结果影响较小,且在大多情况下模拟精度高于其他模型的优点,成为物种分布预测研究中应用最广泛的工具之一^[79-80]。目前,该模型已被成功应用于珍稀濒危物种如 *Canacomyrca monticola*^[81]、*Vanda bicolor*^[82]、青钱柳(*Cyclocarya paliurus*)^[83]、蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)^[84] 等的生境评价与分布预测中。Hernandez 等^[79] 及 Deb 等^[82] 的研究均表明当物种出现点很少(<10),即使低至 4 或 5 个,Maxent 模型仍能以高精度产生有效的预测结果。

3 结论与讨论

3.1 结论

1) 发展历程:国内外关于物种分布预测相关研究的发展历程大致相同,可分为初级探索阶段和高速发展阶段。国外相关研究的发展相较于国内萌芽早,发展较为全面,融合学科较多,且机构、学者之间的合作交流较多,形成了以美国国家科学研究中心为核心,法国国家科学研究中心、美国森林服务部及美国国家海洋和大气管理局为重要成员的学术合作圈。Townsend A. Peterson 是领域里成果最多的学

者,Wilfried Thuiller 是该领域最高被引作者,他们的研究成为领域发展的重要基础。国内的相关研究则呈现出大分散、小集中的分布特点,形成了以万方浩、李明阳、卫海燕、郭彦龙、晋玲等学者为核心的数个作者群,但各团队之间联系强度较差,说明各研究团队均处于独立研究状态。卫海燕、郭彦龙、张仪、晋玲、吕利华等是国内近 5 年来的高产作者,他们的研究方向对领域的发展具有导向作用。从研究机构来看,无论是国内还是国外,该领域相关研究机构主要以高校、研究院所为主,研究机构相对集中,缺乏多样性。

2) 研究热点与趋势:在初级探索阶段,对外来生物入侵范围预测的研究是该领域研究开端,此外,探索物种对气候变化的响应、珍稀濒危种群动态预测、Maxent 模型的应用等方向亦是初期的研究热点。到了高速发展阶段,初期的研究热点依然热度不减,研究方向还增加了如传染病病原体的适生区预测与适生性分析^[44,62-64]、药用植物的生境预测^[65-67]、珍稀保护孑遗植物的景观格局破碎度分析^[68-69]、物种起源、散布及演替分化规律研究^[21]、基于 R 语言的预测模型优化研究^[70] 等多项内容,与古生物学、生物地理学、疾病传播学、R 语言编程等多个学科交叉融合,应用层面更广、层次更深。

3.2 讨论

国内外物种分布预测研究领域发展历程时间较短,尤其在国内外还算较为年轻的学科,缺乏长时间的累积与沉淀导致其可能存在以下不足:

1) 研究所需数据获取难度大且准确度不高。物种分布预测研究主要用到两类数据,一类是物种分布有/无数据,另一类是环境变量数据。物种分布数据的主要来源有:野外实地调查数据;各大标本馆馆藏的标本记录;物种数据库,如全球生物多样性信息网站(全球生物多样性信息网络 <http://www.gbif.org/>);文献资料。除野外实地调查数据的可信度与精确度较高外,其他数据来源皆可能存在或多或少的问题,如标本记录与文献记录中的分布数据难以获取准确的经纬度、海拔等信息;物种数据库所记录的分布数据被发现可能存在可信度较低的问题;而野外调查数据虽具有较高的可信度与精确度,但开展野外调查需要花费较高的人力、财力、物力,且无法进行全球或国家层面的大范围普查活动。对于物种分布点样本量的要求目前亦无定论,有学者认为分布点数据越多,预测模型精度越高^[85],部分学者对物种分布点样本量对预测模型精

度的影响进行了研究,发现 50~100 的样本量就能获得理想的预测结果^[86],Elith 等^[87]和 Wisz 等^[85]认为 30 个物种分布点数据也可以得到较为满意的结果,而 Hernandez 等人^[79]及 Deb^[82]的研究表明,当物种出现点很少(<10),甚至低至 4 或 5 个时,仍能够得到有效的模拟结果。

2)物种分布模型众多,选择适用模型存在难点。有学者发现,由于原理和算法的不同,每种模型都有自己的优点和局限性,而且当输入数据发生变化时,模型的表现也是不稳定的^[88],如何根据研究物种的特性在众多 SDMs 中选择适用的模型一直是该领域的研究难点。最近几年,基于 R 语言的模型优化研究与多模型联合应用是领域的研究热点,Biomod 模型便是应运而生的。2003 年 Biomod 模型在 R 语言平台发布后引起生物学家们广泛认同和使用^[46,89]。目前最新版本是 2016 年升级的 Biomod 2 (3.3-7),其包含了 10 种常见的 SDM 算法:分类树分析(classification tree analysis, CTA)、广义线性模型(generalized linear models, GLM)、多元适应回归样条函数(multivariate adaptive regression splines, MARS)、随机森林(random forests, RF)、表面分布区分室模型(one rectilinear envelope similar to BIOCLIM, SRE)、推进式回归树(generalized boosted models, GBM)、柔性判别分析(flexible discriminant analysis, FDA)、最大熵模型(Maximum Entropy, Maxent)以及广义相加模型(generalized additive models, GAM)。使用者可以选择模型提供的 5 种模型合成方法和 10 种模型检验方法。此外,还可以自由定制模型组合,调整初始条件、模型类别、模型参数以及边界条件以达到最优预测效果^[90]。Biomod 组合模型可以有效解决单一模型存在的问题,但其对于使用者的要求较高,使用者需掌握一定的 R 语言编程基础,且 Biomod 最终产出的结果是组合模型中各模型结果的平均值,其平均值势必比组合中预测准确值较高的模型要低。因此,从准确度的层面来说,Biomod 组合模型并非最优选,针对不同模型的特点加权计算或可得到更好的结果。

3)研究结果难以实证。目前,物种分布预测研究的结果检验通常采取模型精度的评估来实现,AUC 值(Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve)、TSS 真实技巧统计值(True Skill Statistic)、KAPPA 系数是 3 种常用的评估模型精度的检验指标^[13]。AUC 值是受试者工作特征曲线(Receiver operating characteristic curve, ROC 曲线)下的

面积,是一个概率值,其值域范围为 0~1,其含义为预测的正例排在负例前面的概率,数值越大则代表模型精度越高^[91-92]。KAPPA 系数是一种广泛应用于统计学模型的检验指标,主要用于一致性检验和衡量分类精度。Fielding 和 Bell^[93]首次将该系数应用于物种分布模型的研究中,KAPPA 系数的取值范围为-1~1,可解释为模型预测结果和实际分类结果的一致程度。TSS 值是由 KAPPA 系数改良而来的,其值域与 KAPPA 系数相同,TSS 值越接近 1,模型精度越高。一般情况下,当取值>0.8 时,模型结果较为理想;当取值<0.4 时,模型结果较差(Fielding & Bell, 1997; Hipólito et al., 2015)。TSS 和 KAPPA 值均为阈值依赖的统计量,阈值的选取是否会影响到模型比较结果还有待进一步考证^[90]。此外,AUC 值、TSS 值、KAPPA 系数是对模型精度的评估,而非针对研究结果的检验。研究结果检验最直接的方法是实地调查验证,有学者对研究结果进行实地抽样调查,验证研究结果的准确性^[94],但此方法的实践存在较高难度。

当前,计算机技术、信息遥感技术、R 语言技术已日趋成熟,物种数据库等互联网大数据共享使得物种分布的获取变得简易、方便,上述 3 个问题或将成为未来该领域研究创新的重要突破口。

尽管 Citespace 软件具有优良的图谱绘制功能,但其数据运行上限为 20 000 条文献信息,无法涵盖所有的文献,且如何解读图谱仍然是一项极具主观性的工作,容易出现诸如误读、漏读和选择性解读等问题,这些因素会对结果分析产生影响,未来的研究需要在使用 Citespace 软件时提高图谱解读的一致性和严谨性^[95]。

致谢:广西玉林市农业科学院宁瑶、海南大学林学院谢承智、广西大学林学院马可锦对本文的写作进行了指导与帮助,特此感谢。

参考文献:

- [1] CECCARELLI S, GRANDO S. Evolutionary plant breeding as a response to the complexity of climate change [J]. *Science*, 2020, 23(12): 101815.
- [2] BELLARD C, BERTELSMEIER C, LEADLEY P, et al. Impacts of climate change on the future of biodiversity [J]. *Ecology Letters*, 2012, 15: 365-377.
- [3] KRISTINE G, RODEL L, AMOR I, et al. Predicting geographic distribution and habitat suitability due to climate change of selected threatened forest tree species in the

- Philippines[J]. Applied Geography, 2013, 44: 12-22.
- [4] WALTHER G R, POST E, CONVEY P, et al. Ecological responses to recent climate change[J]. Nature, 2002, 416: 389-395.
- [5] NIEDER J, LA M G, VACCHI M. Blenidae along the Italian coasts of the Ligurian and the Tyrrhenian Sea: community structure and new records of *Scartella cristata* for northern Italy[J]. Cybium, 2000, 24: 359-369.
- [6] WALTHER G R. Climate forcing on the dispersal of exotic species [J]. Phytocoenologia, 2000, 30: 409-430.
- [7] ERASMUS B F N, VANJAASVELD S A, CHOWN L S, et al. Vulnerability of south Africa animal taxa to climate change[J]. Global Change Biology, 2002, 8: 679-693.
- [8] 张文驹, 陈家宽. 物种分布区研究进展[J]. 生物多样性, 2003(5): 364-369.
- [9] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions[J]. Ecological Modelling, 2006, 190(3-4): 231-259.
- [10] O'HANLEY J R. Neural Ensembles: a neural network based ensemble forecasting program for habitat and bioclimatic suitability analysis[J]. Ecography, 2009, 32(1): 89-93.
- [11] TABOR K, WILLIAMS J W. Globally downscaled climate projections for assessing the conservation impacts of climate change[J]. Ecological Applications, 2010, 20(2): 554-565.
- [12] FALK W, MELLERT K H. Species distribution models as a tool for forest management planning under climate change: risk evaluation of *Abies alba* in Bavaria[J]. Journal of Vegetation Science, 2011, 22(4): 621-634.
- [13] 吕飞南. 外来入侵植物刺萼龙葵潜在分布区预测及化学成分研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [14] WHITTAKER R H. Vegetation of the great smoky mountains [J]. Ecological Monographs, 1956, 26(1): 2-80.
- [15] BERTRAND R, PEREZ V, GÉGOUT J C. Disregarding the edaphic dimension in species distribution models leads to the omission of crucial spatial information under climate change: the case of *Quercus pubescens* in France [J]. Global Change Biology, 2012, 18(8): 2648-2660.
- [16] CRIMMINS S M, DOBROWSKI S Z, MYNSBERGE A R, et al. Can fire atlas data improve species distribution model projections? [J]. Ecological Applications, 2016, 24(5): 1057-1069.
- [17] ZENG Q, ZHANG Y M, SUN G Q, et al. Using species distribution model to estimate the wintering population size of the endangered scaly-sided merganser in China [J]. PLOS ONE, 2015, 10(2): e0117307.
- [18] AUSTIN M P, VAN N K P. Improving species distribution models for climate change studies: variable selection and scale[J]. Journal of Biogeography, 2011, 38(1): 1-8.
- [19] HAO Q, LAFONTAINE D G, GUO D, et al. Data from: The critical role of local refugia in postglacial colonization of Chinese pine: joint inferences from DNA analyses, pollen records, and species distribution modeling[J]. Ecography, 2017, 41(4): 592-606.
- [20] KUMAR S, STOHLGREN T J. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia[J]. Journal of Ecology & the Natural Environment, 2009(1): 94-98.
- [21] 张华, 赵浩翔, 徐存刚. 气候变化背景下孑遗植物桫欏在中国的潜在地理分布[J]. 生态学杂志, 2021, 40(4): 968-979.
- [22] 左闻韵, 劳逆, 耿玉英, 等. 预测物种潜在分布区——比较 SVM 与 GARP[J]. 植物生态学报, 2007(4): 711-719.
- [23] 刘则渊, 陈悦, 侯海燕. 科学知识图谱: 方法与应用 [M]. 北京: 人民出版社, 2008: 3-5.
- [24] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- [25] 赵丹群. 基于 CiteSpace 的科学知识图谱绘制若干问题探讨[J]. 情报理论与实践, 2012, 35(10): 56-58.
- [26] BUSBY J R. BIOCLIM—a bioclimate analysis and prediction system[J]. Plant Protection Quarterly, 1991, 61: 8-9.
- [27] 周立志, 李迪强, 马勇, 等. 地理信息系统 (GIS) 在动物多样性研究中的应用[J]. 动物学杂志, 1999(5): 52-56.
- [28] 梁宏斌, 张润志, 张广学. 麦双尾蚜在中国的适生区预测[J]. 昆虫学报, 1999(S1): 55-61.
- [29] 吴旺民. 杉木炭疽病发生的预测模型[J]. 福建林业科技, 1997(4): 45-49.
- [30] 陈国君, PETERSON A T. 一种利用推论性模型预测陆地脊椎动物分布的技术 (英文) [J]. 动物学研究, 2000(3): 231-237.
- [31] 张清芬, 徐岩, 黄新凯, 等. 日本金龟子在中国适生区的预测[J]. 植物检疫, 2002(2): 73-77.
- [32] 高增祥, 季荣, 徐汝梅, 等. 外来种入侵的过程、机理和预测[J]. 生态学报, 2003(3): 559-570.
- [33] 倪绍祥. 青海湖环湖地区草地蝗虫发生机理与遥感监测和预测[D]. 南京: 南京师范大学, 2003.
- [34] 倪绍祥. 环青海湖地区草地蝗虫遥感监测与预测 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 90-115.
- [35] 石瑞香, 刘闯, 李典漠, 等. 蝗虫生境监测方法研究进展[J]. 生态学报, 2003(11): 2475-2483.
- [36] 廖文波, 胡锦涛, 李操, 等. 微尾胸种群数量变动及其预测[J]. 西南农业大学学报 (自然科学版), 2005(2): 210-213, 251.
- [37] 张琴, 张东方, 吴明丽, 等. 基于生态位模型预测天麻

- 全球潜在适生区[J]. 植物生态学报, 2017, 41(7): 770-778.
- [38] 徐军, 曹博, 白成科. 基于 MaxEnt 濒危植物独叶草的中国潜在适生分布区预测[J]. 生态学杂志, 2015, 34(12): 3354-3359.
- [39] 潘石玉, 朱志红, 姚天华, 等. 气候变化背景下药用植物何首乌在中国适生区分布预测[J]. 西北农林科技大学学报(自然版), 2016, 44(1): 192-198.
- [40] 龚维, 夏青, 陈红锋, 等. 珍稀濒危植物伯乐树的潜在适生区预测[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(4): 98-104.
- [41] 朱弘. 尾叶樱桃(*Cerasus dielsiana*)系统分类地位与种群生物地理学研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2020.
- [42] 白蕤, 李宁, 张京红, 等. 未来气候变化背景下橡胶树南美叶疫病入侵中国的风险预测[J]. 生态学杂志, 2020, 39(10): 3500-3508.
- [43] 王沛, 赵菊鹏, 周卫川, 等. 乳状耳形螺在中国的适生区预测与危险性评价[J]. 植物检疫, 2018, 32(4): 64-67.
- [44] 李中秋, 李兰花, 殷会军, 等. 长三角城市群蜚媒分布及适生区分析[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2021, 33(4): 365-372.
- [45] 刘丹, 姚俊萌, 余焰文, 等. 气候变暖背景下柑橘木虱在中国的适生区变化[J]. 植物保护学报, 2021, 48(4): 872-881.
- [46] 刘涛, 刘玉萍, 吕婷, 等. 基于 Biomod2 组合模型预测青藏高原特有属扇穗茅物种的潜在分布[J]. 草地学报, 2020, 28(6): 1650-1656.
- [47] 王国峥, 耿其芳, 肖孟阳, 等. 基于 4 种生态位模型的金钱松潜在适生区预测[J]. 生态学报, 2020, 40(17): 6096-6104.
- [48] 张海涛, 罗渡, 牟希东, 等. 应用多个生态位模型预测福寿螺在中国的潜在适生区[J]. 应用生态学报, 2016, 27(4): 1277-1284.
- [49] 刘诚, 曹春香. 基于 GIS 的“树流感”在中国潜在适生区预测[J]. 科学通报, 2014, 59(18): 1732-1747, 1-4.
- [50] 姜红霞, 杨成德, 蒲崇建, 等. 马铃薯坏疽病菌在中国的适生区预测及其风险性评估[J]. 草业学报, 2014, 23(3): 276-281.
- [51] MARQUES R, KRÜGER R F, PETERSON A T, et al. Climate change implications for the distribution of the babesiosis and anaplasmosis tick vector, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*[J]. Veterinary Research, 2020, 51(1): 81.
- [52] SAMY A M, ELAAGIP A H, KENAWY M A, et al. Climate change influences on the global potential distribution of the mosquito *Culex quinquefasciatus*, vector of west Nile virus and lymphatic filariasis[J]. Global Warming Focus, 2017, 11(3): 185-190.
- [53] MOSQUITO-BORNE D. Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors[J]. Global Warming Focus, 2016, 370(1665): 20140135.
- [54] ROMERO-ALVAREZ D, PETERSON A T, SALZER J S, et al. Potential distributions of *Bacillus anthracis* and *Bacillus cereus* biovar anthracis causing anthrax in Africa[J]. PLoS neglected Tropical diseases, 2020, 14(3): e0008131.
- [55] PETERSON A, TOWNSEND, SOBERÓN J. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right[J]. Natureza & Conservação, 2012, 10(2): 1-6.
- [56] QIAO H, JORGE S, PETERSON A T. No silver bullets in correlative ecological niche modelling: insights from testing among many potential algorithms for niche estimation[J]. Methods in Ecology & Evolution, 2015, 6(10): 1126-1136.
- [57] CASTAÑO-QUINTERO S, ESCOBAR-LUJÁN J, OSORIO-OLVERA L, et al. Supraspecific units in correlative niche modeling improves the prediction of geographic potential of biological invasions[J]. PeerJ, 2020, 8(5): 10454.
- [58] QIAO H, FENG X, ESCOBAR L E, et al. An evaluation of transferability of ecological niche models[J]. Ecography, 2019(42): 521-534.
- [59] SIMES M V P, PETERSON A T. Importance of biotic predictors in estimation of potential invasive areas: The example of the tortoise beetle *Eurypedus nigrosignatus*, in Hispaniola[J]. PeerJ, 2018, 6(6): e6052.
- [60] COSTA J, DORNAK L, ALMEIDA C, et al. Distributional potential of the *Triatoma brasiliensis* species complex at present and under scenarios of future climate conditions[J]. Parasites & Vectors, 2014, 7(1): 238.
- [61] 宋红敏, 张清芬, 韩雪梅, 等. CLIMEX: 预测物种分布区的软件[J]. 昆虫知识, 2004(4): 379-387.
- [62] 寸得娇, 王强, 姚晓燕, 等. 不同气候模式下我国长角血吸虫潜在适生区预测[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2021, 33(4): 359-364.
- [63] 姚晓燕, 田娜, 马奔, 等. 气候变化对我国微小扇头蚴分布区的影响[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2021, 33(3): 267-273.
- [64] 马奔, 马晓羽, 张仪, 等. 我国全沟硬蜱适生区预测[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2021, 33(2): 169-176.
- [65] 牛昱婷, 张娟, 王惠珍, 等. 党参种植适宜性研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2021, 28(6): 13-16.
- [66] 赵文龙, 景志贤, 张娟, 等. 中药大黄生境适宜性分布研究[J]. 中国现代中药, 2020, 22(11): 1787-1792.
- [67] 赵文龙, 陈红刚, 袁永亚, 等. 气候变化对藏药独一味适生区分布格局的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(5): 956-964.
- [68] 赵泽芳, 卫海燕, 郭彦龙, 等. 气候变化下的孑遗植物裸果木(*Gymnocarpos przewalskii*)适宜生境分布[J]. 中国沙漠, 2020, 40(2): 125-133.
- [69] 冉巧, 卫海燕, 赵泽芳, 等. 气候变化对孑遗植物银杉的

- 潜在分布及生境破碎度的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(7): 2481-2493.
- [70] 赵光华, 崔馨月, 王智, 等. 气候变化背景下我国酸枣潜在适生区预测[J]. 林业科学, 2021, 57(6): 158-168.
- [71] 解鹏飞, 顾炎斌, 隋伟娜, 等. 物种分布模型在海洋物种潜在分布预测中面临的大数据挑战[J]. 海洋信息, 2019, 34(1): 51-61.
- [72] 欧阳志云, 刘建国, 肖寒, 等. 卧龙自然保护区大熊猫生境评价[J]. 生态学报, 2001(11): 1869-1874.
- [73] 杜婧. 黑龙江省野生东北虎生境适宜度评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [74] LEHMANN A, OVERTON J M, LEATHWICK J R. GRASP: generalized regression analysis and spatial prediction[J]. Ecological Modelling, 2003, 157(2-3): 165-183.
- [75] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions[J]. Ecological Modelling, 2006, 190(3-4): 231-259.
- [76] 路春燕. 基于 GIS 与 Fuzzy 的野生植物生境适宜性评价与区划研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2012.
- [77] 桑满杰, 卫海燕, 郭彦龙, 等. 基于模糊数学的秦岭地区山茱萸生境适宜性评价[J]. 植物科学学报, 2015, 33(6): 757-765.
- [78] 邓鑫. 基于 Elman 神经网络的白皮松潜在适生区估测及未来分布趋势研究[D]. 西安: 西北大学, 2013.
- [79] HERNANDEZ P A, GRAHAM C H, MASTER L L, et al. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods[J]. Ecography, 2006, 29: 773-785.
- [80] MEROW C, SMITH M J, SILANDER J A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter[J]. Ecography, 2013, 36: 1058-1069.
- [81] KUMAR S, STOHLGREN T J. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia[J]. Journal of Ecology & the Natural Environment, 2009, 1: 94-98.
- [82] DEB C R, JAMIR N S, KIKON Z P. Distribution prediction model of a rare orchid species (*Vanda bicolor* Griff.) using small sample size[J]. American Journal of Plant Sciences, 2017, 8: 1388-1398.
- [83] 刘清亮, 李垚, 方升佐. 基于 MaxEnt 模型的青钱柳潜在适宜栽培区预测[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41: 25-29.
- [84] 马松梅, 裴迎彬, 耿庆龙, 等. 气候变化对蒙古扁桃适宜分布范围和空间格局的影响[J]. 植物生态学报, 2014, 38: 262-269.
- [85] WISZ M S, HIJMANS J R, LI J, et al. Effects of sample size on the performance of species distribution model[J]. Diversity and Distributions, 2008, 14(5): 763-773.
- [86] LOISELLE B A, HOWELL C A, GRAHAM, et al. Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning[J]. Conservation Biology, 2003, 17(6): 1591-1600.
- [87] ELITH J, GRAHAM C H, ANDERSON R P, et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data[J]. Ecography, 2006, 29(2): 129-151.
- [88] THUILLER W. Biomod: Optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change[J]. Global Change Biology, 2003, 9: 1353-1362.
- [89] ELITH J, GRAHAM C H. Do they? How do they? Why do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models[J]. Ecography, 2009, 32: 66-77.
- [90] 罗玫, 王昊, 吕植. 使用大熊猫数据评估 Biomod2 和 MaxEnt 分布预测模型的表现[J]. 应用生态学报, 2017, 28(12): 4001-4006.
- [91] WILEY E O, MCNYSET K M, PETERSON A T, et al. Niche modeling and geographic range predictions in the marine environment using a machine-learning algorithm[J]. Oceanography, 2003, 16(3): 120-127.
- [92] GIEDRIUS V. Receiver operating characteristic curves and comparison of cardiac surgery risk stratification systems[J]. Interactive Cardio Vascular and Thoracic Surgery, 2004, 3(2): 319-322.
- [93] FIELDING A H, BELL J F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models[J]. Environmental Conservation, 1997, 24(1): 38-49.
- [94] 宁瑶. 气候变化下基于 MaxEnt 和 3S 技术的两种海南特有植物的适宜生境分布模拟[D]. 海口: 海南大学, 2018.
- [95] 李伯华, 罗琴, 刘沛林, 等. 基于 Citespace 的中国传统村落研究知识图谱分析[J]. 经济地理, 2017, 37(9): 207-214, 232.

责任编辑: 许易琦

校对: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.005

昭通市传统村落时空分布格局及影响因素研究

孙婉, 刘扬

(西南林业大学 园林园艺学院, 云南 昆明 650224)

摘要:利用 ArcGIS 中的空间数据分析、地图分层叠加技术,以昭通市入选《中国传统村落名录》的 14 个村落的建村时间为基础,针对时间和空间的耦合关联性,明晰昭通市传统村落时空分布格局及影响因素。研究表明,昭通市传统村落在空间分布上较为分散,核心分布区位于东部地区。随着朝代更替,村落的建成核心地区经历了西南部(元代)—东部(明代、清代)—西南部(民国、建国后)的布局演变规律;在海拔高程的影响下,不同历史时期所建成村落呈现高海拔(元代及以前)—低海拔(明代、清代)—高海拔(民国、建国后)的布局演变规律;在温度与降水的影响下,传统村落多位于年均温 10~20℃、年降水量 900~1 100 mm 范围;在水系条件的影响下,传统村落大部分位于河流缓冲距离 5 km 范围内。在历史沿革中,多样的历史人文因素也对昭通市传统村落的布局产生影响。

关键词:传统村落;时空分布格局;影响因素;昭通市

中图分类号:N945.11;K928.5;T252 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0034-07

引文格式:孙婉,刘扬. 昭通市传统村落时空分布格局及影响因素研究[J]. 林业调查规划,2022,47(2):34-40.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.005

SUN Wan, LIU Yang. Spatiotemporal Distribution Pattern and Influencing Factors of Traditional Villages in Zhaotong City [J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 34-40. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.005

Spatiotemporal Distribution Pattern and Influencing Factors of Traditional Villages in Zhaotong City

SUN Wan, LIU Yang

(College of Landscape Architecture and Horticulture, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: Based on the construction time of 14 villages in Zhaotong City selected in *Traditional Chinese Villages Catalog*, the methods of spatial data analysis and map layered superposition technology in ArcGIS were used clarify the spatiotemporal distribution pattern and influencing factors of traditional villages in Zhaotong City aiming at the coupling relationship between time and space. The results showed that the spatial distribution of traditional villages in Zhaotong was relatively scattered, and the core distribution area was located in the east. With the change of dynasties, the core area of villages had experienced the layout evolution law of southwest (Yuan Dynasty)—east (Ming Dynasty and Qing Dynasty)—southwest (Republic of China and after the founding of the People's Republic of China); under the influence of al-

收稿日期:2021-03-11.

基金项目:国家自然科学基金项目(51768064).

第一作者:孙婉(1997-),女,河南洛阳人,硕士研究生.研究方向为风景园林规划设计. Email:1806171419@qq.com

责任编辑:刘扬(1975-),男(满族),内蒙古根河人,博士,教授,博导.研究方向为云南传统村落与乡村景观、风景园林规划设计、遗产保护与文化景观等. Email:yzly502@sina.com

titude, the villages built in different historical periods showed the layout evolution law of high altitude (Yuan Dynasty and before)—low altitude (Ming Dynasty and Qing Dynasty)—high altitude (Republic of China and after the founding of the People's Republic of China); under the influence of temperature and precipitation, most traditional villages were located between the annual average temperature of 10~20 °C and the annual precipitation of 900~1 100 mm; under the influence of water system conditions, most traditional villages were located within 5 km of river buffer distance. At the same time, in the historical evolution, various historical and cultural factors also had an impact on the layout of traditional villages in Zhaotong City.

Key words: traditional villages; spatiotemporal distribution; influencing factor; Zhaotong City

传统村落作为中国农耕文明的重要传承地,是我国千年历史文化的鲜活载体,其承担着中华民族“乡愁”的见证。然而,随着工业化以及乡村城镇化的稳步推进,我国农村地区人口及劳动力逐渐流失,从而导致村落“空心化”甚至村落数量锐减^[1]。传统村落的生存环境以及所承载的民俗文化也面临被过度开发的严峻形势。

近年来,传统村落的相关研究逐步受到国内外专家、学者的重视,相关文献成果也随之增多。国外对于传统村落的相关研究自成体系,多集中于村落居民建筑^[2]、村落文化景观^[3]、村落保护^[4]等方面。国内对于传统村落的研究开始得较早,在“传统村落”一词还未被官方提出之前,国内对于此方面的研究都用“聚落”来表示,如:“古聚落”“乡村聚落”等词汇^[5]。并随着国家实施“社会主义新农村建设”的战略要求,传统村落的研究更多的涉及到乡土、民族、可持续发展和新农村建设方面^[6-10]。研究内容大多是关于对传统村落的保护更新^[11]、价值评价^[12]、旅游开发^[13]等方面。我国对传统村落在历史沿革中分布格局的研究也有涉及,如:陈蕊、刘扬在《不同时期交通因素作用下的滇西北传统村落时空分布格局演变》中以滇西南传统村落为研究对象,提取滇西南地区在不同历史时期的古道、驿站所处位置,以此分析在历史沿革中交通因素影响下滇西南传统村落的布局及演变^[14]。

在时间的长河中,昭通市传统村落表现出特有的地域性时空分布格局。该地区特殊的高原山地地形以及迥异的气温差异也是影响传统村落分布的重要因素。因此,运用空间分析技术、历史文献查阅等方法,探究昭通市传统村落的时空分布格局及影响因素。以便对传统村落实现更全面的认识,在传统村落的文化与价值的开发和保护方面具有重要的现实意义。

1 研究区域概况

昭通市位于云南省东北部,也称“滇东北”,地理坐标为东经 102°52'~105°19',北纬 26°55'~28°36',地处四川盆地与云贵高原的过渡地带,金沙江下游沿岸,辖区面积 23 021 km²。截至 2018 年,昭通市共有 14 个村落入选《中国传统村落名录》(表 1)。借助 ArcGIS 10.7 并结合村落的形成年代,绘制昭通市传统村落空间及年代分布图(图 1,图 2),以便更为清晰地了解昭通市传统村落的分布情况。

表 1 昭通市国家级传统村落统计

Tab. 1 Statistics of national traditional villages in Zhaotong City

序号	村落	所属村镇	建成年代	公布批次
1	湾子苗寨村	威信县水田乡	清代	第一批
2	巡龙村	昭阳区洒渔镇	建国后	第二批
3	半箐村	巧家县药山镇	清代	第二批
4	老店村	巧家县老店镇	元代及以前	第二批
5	大兴村驿马一社	永善县大兴镇	清代	第二批
6	南岸村	绥江县南岸镇	明代	第二批
7	发达村	镇雄县罗坎镇	明代	第二批
8	凤翥村	镇雄县罗坎镇	明代	第二批
9	石坝子村	威信县高田乡	清代	第三批
10	拖车村	巧家县小河镇	民国	第四批
11	车坪村	巧家县大寨镇	民国	第四批
12	后房村	威信县双河乡	清代	第四批
13	白雕村	永善县大兴镇	清代	第五批
14	老街村	威信县扎西镇	清代	第五批

2 传统村落时空分布格局

2.1 分布特征

1) 在分布数量上,昭通市传统村落整体呈现“东

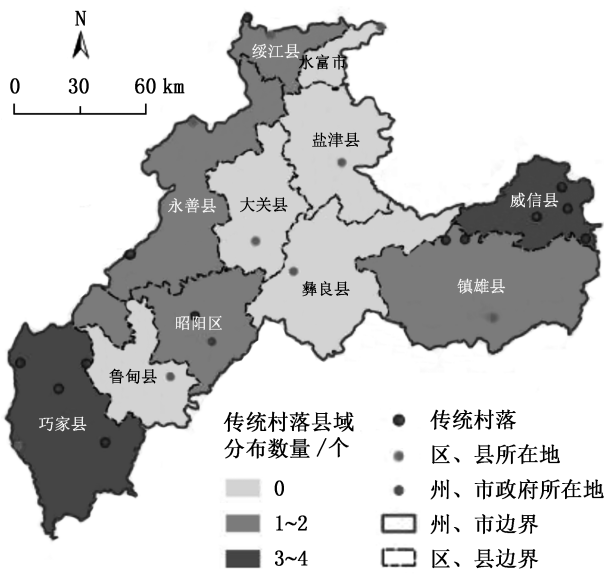


图 1 昭通市传统村落空间分布
Fig. 1 Spatial distribution of traditional villages in Zhaotong City

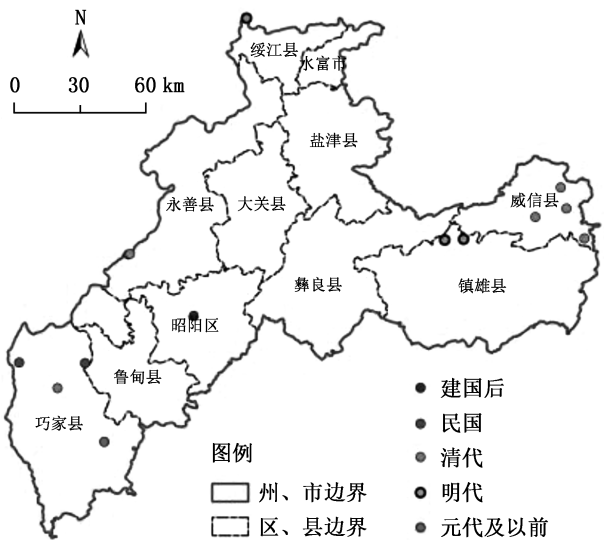


图 2 昭通市传统村落年代分布
Fig. 2 Chronological distribution of traditional villages in Zhaotong City

西密、中间疏、大分散、小聚集”的格局分布特征,且多数村落沿昭通市域边界分布。昭通市传统村落的建村年代跨度从元代以前一直延续至建国后,在不同历史时期的建村数量上呈清代(7个)>明代(3个)>民国(2个)>元代(1个)=建国后(1个)。随着历史进程,昭通市传统村落的新增建村数量表现出由增多(元代至清代)至减少(清代至建国后)的趋势,其中清代为村落形成的重点时期,新增村落数量占比为 50%,且清代村落多聚集分布于昭通市东部的威信县。

2)在分布类型上,点状要素在地理空间的分布中一般有聚集、离散两种分布状态,通过 ArcGIS 10.7 技术平台的最近邻指数分析,可以直接反应传统村落不同历史时期地理区域上的分布类型^[15]。具体表现为:当所得出的平均观测距离<预期平均距离时,则 R 值<1 时,所表示的村落分布模式为聚集型分布;当平均观测距离>预期平均距离时,则 R 值>1 时,所表示的村落分布模式为离散型分布。

根据最近邻指数分析结果(表 2)显示:于明代,昭通市传统村落的最近邻指数 R 值>1,呈离散型分布。自清代始至建国后,昭通市传统村落的最近邻指数 R 值均<1,均表现为聚集型分布。由此可知,清代时期昭通市传统村落分布类型趋于聚集型分布的契机。清代之前,传统村落所分布的地理位置跨度较大,离散分布较明显;清代时期,传统村落的总体数量以及地理空间分布的集中程度与明代相较,呈现走高趋势;清代之后所形成的传统村落数量均为少量,在之前传统村落的建成数量以及分布位置的基础上,均呈现较为明显的集中分布。

2.2 分布密度

由昭通市传统村落分布核密度图(图 3)可知,昭通市传统村落在现状地理空间上的整体分布极为不均衡,聚集核心区位于昭通市东部的威信县,次核心区位于昭通市西南部的巧家县。在朝代更替中昭

表 2 昭通市传统村落数量及最近邻指数

Tab. 2 Number and nearest neighbor index of traditional villages in Zhaotong City

年代	传统村落建成数量/个	传统村落总数/个	平均观测距离/km	预期平均距离/km	最近邻指数 (R)	Z 得分	P 值	分布类型
元代	1	1	-	-	-	-	-	-
明代	3	4	77.54	37.71	2.056013	4.040455	0.000053	离散
清代	7	11	22.18	27.26	0.813774	-1.815920	0.237368	聚集
民国	2	13	20.34	25.79	0.789102	-1.454709	0.145750	聚集
建国后	1	14	21.63	24.84	0.870590	-0.926322	0.354279	聚集

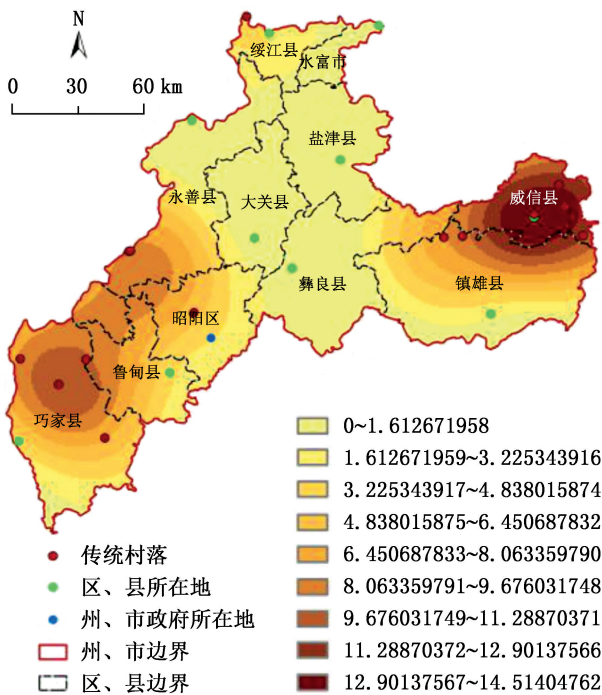


图 3 昭通市传统村落分布核密度

Fig. 3 Distribution kernel density of traditional villages in Zhaotong City

昭通市传统村落的建村核心地区经历了西南部(元代)—东部(明代、清代)—西南部(民国、建国后)的演变过程。

昭通市传统村落各区县分布密度统计表(表 3)显示:昭通市传统村落的平均分布密度值为 6.08 个/万km²,在昭通市 6 个拥有传统村落的区县中,威信县的分布密度值最大,为 28.57 个/万km²,次之是同样拥有 4 个传统村落的巧家县,密度值为 12.50 个/万km²。其中,威信县、巧家县、绥江县、永善县的分布密度值均大于昭通市的。而镇雄县、昭阳区的密度值则小于昭通市的,分别为 5.26 个/万km²

表 3 昭通市传统村落各区县分布密度

Tab. 3 Distribution density of traditional villages in districts and counties of Zhaotong City

地区	面积 /万km ²	传统村落数量 /个	传统村落密度 /(个·万km ⁻²)
昭通市	2.30	14	6.08
威信县	0.14	4	28.57
巧家县	0.32	4	12.50
镇雄县	0.38	2	5.26
永善县	0.28	2	7.14
绥江县	0.09	1	11.11
昭阳区	0.22	1	4.55

和 4.55 个/万km²。聚焦于传统村落的建村年代,清代是传统村落形成数量最多的时期,且多数清代村落分布于密度值最大的威信县;传统村落形成数量次之的明代村落多分布于密度值较小的镇雄县;而密度值最小的昭阳区则拥有建国后仅形成的一个传统村落。

3 传统村落时空分布影响因素

3.1 海拔高程

昭通市传统村落在海拔高程影响下的分布状况明显,多数村落分布在海拔 1 000~2 000 m 范围(图 4)。据图可知:元代及以前所形成的村落位于昭通市西南部的山地地带海拔 1 500~2 000 m 范围;明代所形成的村落多位于今镇雄县,所处海拔在 500~1 200 m 范围,海拔较低;清代所形成的村落较多,所处地理位置分布于昭通市东部和西部,较为分散,多数位于海拔 1 000~1 500 m 的山地地带;民国以及建国后的村落位于昭通市西部与中部海拔 1 500~2 000 m 的山地地带。

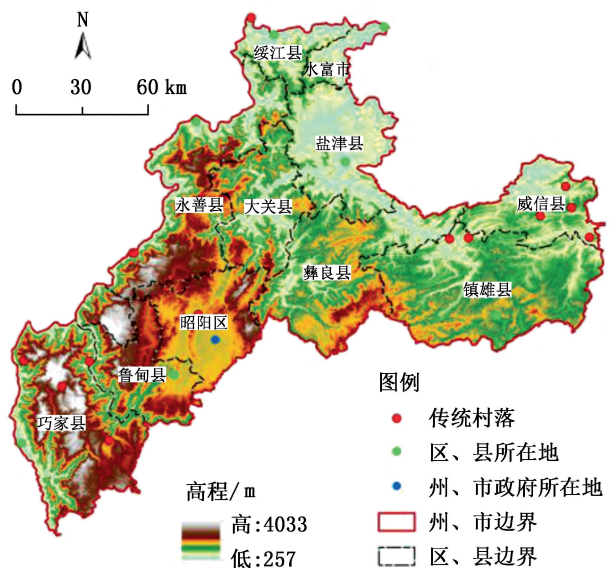


图 4 昭通市传统村落分布与高程叠加

Fig. 4 Distribution and elevation superposition of traditional villages in Zhaotong City

基于海拔高程因素下昭通市传统村落不同历史时期呈现出高(元代及以前)—低(明代、清代)—高(民国、建国后)的海拔分布状态。由于昭通市地形起伏较大,且村落所处位置环境相对闭塞,交通不便,受外界影响相对较小,是昭通市传统村落得以经历历朝历代尚留存下来的原因之一。

3.2 气温降水

昭通市地处低纬高原,受地形和海拔的影响,垂直气候变化明显,温度和降水量差异较大(图 5,图 6)。

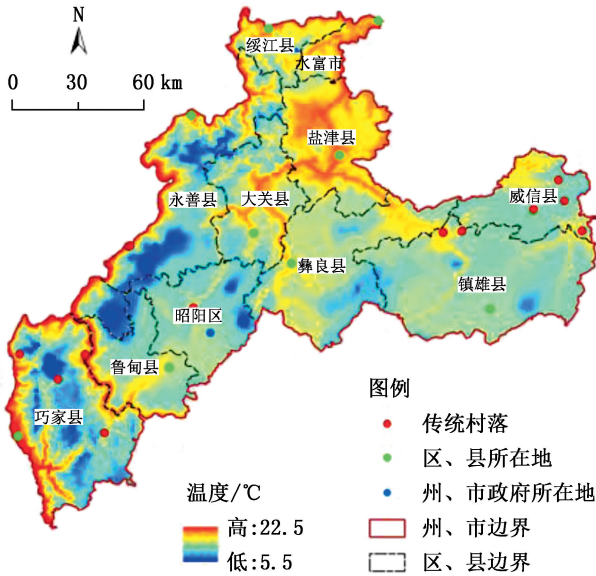


图 5 昭通市传统村落分布与气温叠加
Fig. 5 Distribution and temperature superposition of traditional villages in Zhaotong City

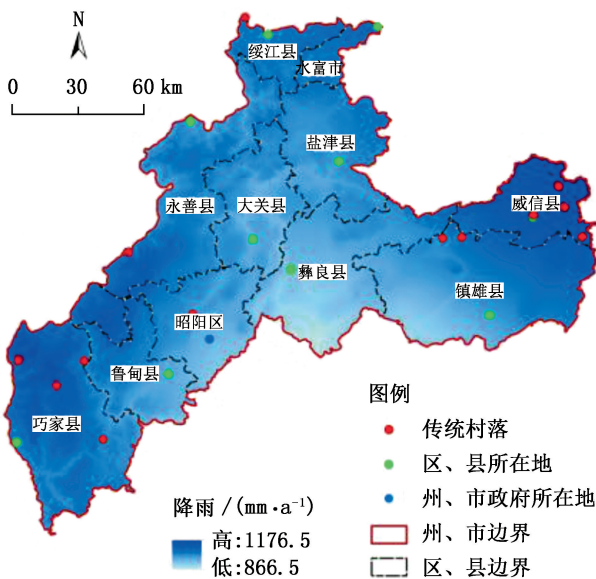


图 6 昭通市传统村落分布与降水叠加
Fig. 6 Distribution and precipitation superposition of traditional villages in Zhaotong City

将昭通市气温、降水与传统村落分布图叠加进行分析,昭通市传统村落多位于年均温 10~20℃、年降水量 900~1 100 mm,且更集中于年均温 15℃区域,少数村落所处位置年均温高于 20℃。气温与

降水均是影响农业发展的重要因素,同时也是人类选择邑居地的重要地理条件。在历朝历代的发展中,昭通市传统村落在复杂地形的基础上多建于气温、降水适宜的地理位置,为传统村落在不断的朝代更替中的留存与发展奠定了良好的自然地理基础。

3.3 河流水系

昭通市河流水系呈树枝分叉状,且传统村落大多沿河流方向分布(图 7)。



图 7 昭通市传统村落分布与水系叠加
Fig. 7 Distribution and water systems superposition of traditional villages in Zhaotong City

在传统村落的分布与河流水系的距离关系中,元代及以前所形成的村落位于河流缓冲区域 5 km 范围以外;明代所形成的村落均位于河流缓冲区域 1 km 左右;清代所形成的村落与河流缓冲距离关系迥异,与河流相距 1~3 km 范围内的村落有 3 个,3~5 km 范围内的村落有 2 个,5 km 范围以内以及以外的村落各 1 个;民国与建国后所形成的村落均位于河流缓冲区域 1~5 km 范围。

昭通市传统村落沿水系分布的特征明显,大多数位于河流缓冲区域 1~3 km 范围,部分村落位于河流缓冲区域 3~5 km 范围,位于河流缓冲区域 5 km 以外的村落甚少。天然的水系条件是昭通市传统村落逐步形成与留存至今的重要条件,同样,村落在分布的现状上体现了先人沿河谷“择水而居”的生活方式。

3.4 人口民族

“移民屯田”政策是历史上大量人口入滇的契

机。自西汉时期,云南地区已开始“屯田”政策,但规模较小,且缺乏管理,使此政策随兴随废。元王朝为加强军事镇戍,在前代的基础上恢复“屯田”政策,并在云南地区大规模实行,对于聚落的形成与发展并未有显著影响。至明清时期,统治王朝为加强对于云南的统治,在云南各地进行驻军、屯田,随着军屯的数量以及规模的逐步增大,大批汉族人口涌入滇东北地区^[16]。于清朝时期,昭通府的人口数量达到 39 人/km²,仅次于云南府(142 人/km²)和大理府(53 人/km²)。昭通地区作为多民族聚居地,在汉族人口急剧膨胀的情况下,实现民族融合,促进了多民族村落以及单一民族村落的形成与发展。

多民族聚居的基本情况是,民族群体邑居进而形成村落并保持村落后续发展的人文基础。今昭通市内除汉族外,苗族、彝族、回族属于昭通市聚居性的三大民族。结合昭通市传统村落与民族分布(图 8),在传统村落与民族分布的关系中,属于苗族、彝族、回族人口聚居区域的传统村落数量分别为 3 个、3 个、0,其他均属于汉族人口聚居村落。聚焦于不同历史时段的传统村落与民族分布关系可知,元代时期的传统村落由汉族人口聚集形成,自明代开始逐渐形成部分由苗族、彝族聚集而成的村落。

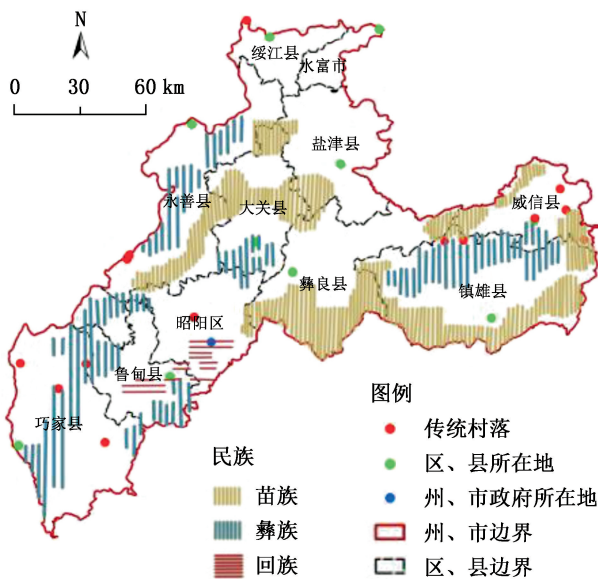


图 8 昭通市传统村落与民族分布

Fig. 8 Traditional villages and ethnic distribution in Zhaotong City

3.5 交通运输

昭通地区在历史上主要以早路人马古道为主,其中包括各朝代所设驿道以及以贸易往来为主的古

道(图 9),无数条人马驿道穿梭于昭通地区,带动与中原以及其他诸国的贸易往来。自秦在滇开设五尺道,途径昭通、盐津、大关地区,至唐代进行重修,并以盐津的石门关最为主要,因此又称西南丝绸之路-石门道。明代以来,随着大批中原人口入滇,昭通地区的社会生产力迅速发展,随之而来的铜、盐、茶等经济物品的生产与交易也在同步增长。与此同时,驿道的建设也在不断地延伸。元、明、清时期在昭通地区所设驿道基本沿五尺道路线开辟,以南北走向,跨越昭通中部地区,但驿道的设立与昭通市现存传统村落之间的相对关系并不明显。

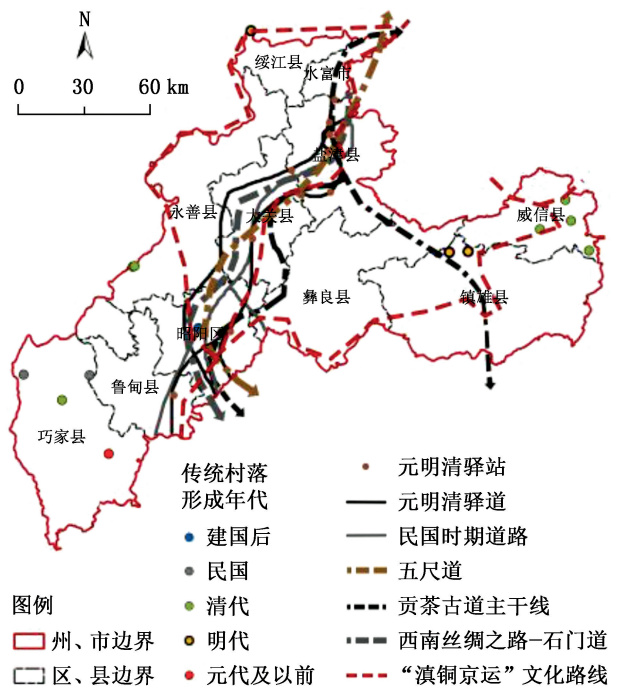


图 9 昭通市传统村落与古代交通分布

Fig. 9 Traditional villages and ancient traffic distribution in Zhaotong City

随着中原地区对铜、茶需求的增加,自唐朝始,于滇开设贡茶古道,用于向外进行茶叶进贡。贡茶古道除基本沿五尺道开辟路线外,另向昭通东部地区开辟贡茶线路。清乾隆年间,清王朝将云南地区确定为铸币铜料的主要生产基地,随之开始了著名的“滇铜京运”。昭通由于特殊的地理位置成为“滇铜京运”路线上的重要一环,运输路线规模也在日益扩大和延伸,部分聚落也逐渐在路线周围形成。贡茶古道与“滇铜京运”路线的出现,尤其能带动昭通地区的经济发展以及生产方式的转变。与驿道相比较而言,用于贸易运输的路线更利于传统村落的形

成与发展。如今昭通市过半的传统村落形成于贡茶古道与“滇铜京运”路线周围。

现今昭通市已呈现出完整的交通路线网(图 10),昭通市传统村落所在位置已全部覆盖不同等级的道路,完整的交通覆盖与传统村落的进一步保护和发展密不可分。

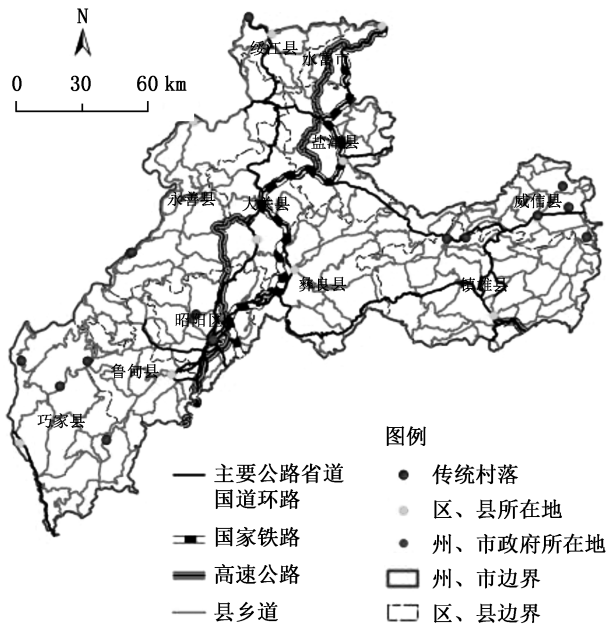


图 10 昭通市传统村落与现代交通分布

Fig. 10 Traditional villages and modern traffic distribution in Zhaotong City

4 结论

基于国家美丽乡村建设的大背景,探究村落特色、发掘村落文化,成为传统村落保护研究的重要方面。村落的时空分布格局是一个动态的演变过程,优越的自然和人文条件是群体定居的前提,同时也是影响村落形成与实现后续发展的基本条件。

昭通市传统村落在数量上主要分布于今昭通市东西两侧,中部甚少,多数村落沿市域边界分布,分布密度最高点位于东部地区。通过昭通市入选《中国传统村落名录》的 14 个村落的建村时间可知:自元代至建国后,村落的建成数量呈增多(元代至清代)—减少(清代至建国后)的趋势,具体村落建成数量为清代(7 个)>明代(3 个)>民国(2 个)>元代(1 个)=建国后(1 个),建成热点地区经历西南部(元代)—东部(明代、清代)—西南部(民国、建国后)的布局演变规律。通过地图分层叠加技术可

知,昭通市传统村落的分布格局同时受到海拔、气温、降水、水系条件、人口民族、道路交通等多元因素的影响。

参考文献:

- [1] 张辉琴. 华东地区传统村落空间分布特征及其影响因素分析[D]. 南昌:江西师范大学,2019.
- [2] RJOUR A. The emergence of agro-pastoral villages in Jordan hamamet al-olaimat village as a case study[J]. Journal of Human Ecology (Delhi, India), 2012, 38(3): 231-243.
- [3] CROUCH D. Popular culture and what we make of the Rural, with a case study of village allotments[J]. Journal of Rural Studies, 1992, 8(3): 229-240.
- [4] LEE S L. Urban conservation policy and the preservation of historical and cultural heritage: the case of Singapore[J]. Cities, 1996, 13(6): 399-409.
- [5] 孙阔,刘扬. 滇中传统村落时空分布研究进展[J]. 科技资讯, 2019, 17(36): 175-179.
- [6] 崔寒. 井陘县中西部山区传统村落的形态特征与发展利用方式研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2017.
- [7] 崔妍. 地域文化视角下青海海东地区传统村落景观研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2014.
- [8] 汤雅乔. 乡村振兴战略背景下的贵州传统村落保护利用研究[J]. 散文百家, 2019(4): 253-254.
- [9] 李立敏. 村落系统可持续发展及其综合评价方法研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2011.
- [10] 蒋妹婷. 传统村落民宿及其社区参与的研究[D]. 杭州:浙江工商大学,2015.
- [11] 蒋刚. 传统村落保护规划研究[D]. 长沙:中南大学,2013.
- [12] 何艳冰,张彤,熊冬梅. 传统村落文化价值评价及差异化振兴路径——以河南省焦作市为例[J]. 经济地理, 2020, 40(10): 230-239.
- [13] 卢松,张小军. 徽州传统村落旅游开发的时空演化及其影响因素[J]. 经济地理, 2019, 39(12): 204-211.
- [14] 陈蕊,麻永洪,刘扬. 不同时期交通因素作用下的滇西北传统村落时空分布格局演变[J]. 装饰, 2020(6): 81-85.
- [15] 吴清,李细归,张明. 湖北省休闲农业示范点空间格局及影响因素研究[J]. 地域研究与开发, 2017, 36(1): 158-163.
- [16] 方慧. 元、明、清时期进入西南地区的外来人口[J]. 中央民族大学学报, 1996(5): 38-44.

责任编辑: 许易琦
校 对: 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.006

基于 AHP-FCE 的园林博览园游客满意度研究

——以南宁园博园为例

黄铭萱¹, 郭松^{1,2}, 马可锦¹, 蒲旭斌¹

(1. 广西大学林学院, 广西 南宁 530004; 2. 广西艺术学院建筑艺术学院, 广西 南宁 530007)

摘要:为提升南宁园博园游憩质量,选择 29 项评价因子运用层次分析法构建游客满意度评价体系,通过问卷数据模糊综合评价游客满意度,对影响游客满意度的显著性评价因子进行 IPA 分析。结果表明:南宁园博园游客总体满意度为 4.023,总体达到满意以上水平,其中空气质量满意度(4.405)最高,餐饮便利设施满意度(3.444)最低;多达 23 项评价因子与游客满意度呈强相关关系,相关性系数排名前 5 的评价因子从高到低依次为设施维护($R=0.746$)、治安环境($R=0.733$)、展园主题特色($R=0.698$)、空间多样性($R=0.688$)、文化创意($R=0.687$);IPA 分析得出水景质量、外部交通便捷程度、交通用时为主要劣势,需重点改进。最后提出加强水体治理、完善基础设施、提升园外交通、创新主题活动等优化建议。

关键词:游客满意度;模糊综合评价法;层次分析法;IPA 分析;南宁园博园

中图分类号:S731.9;S711 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0041-07

引文格式:黄铭萱,郭松,马可锦,等. 基于 AHP-FCE 的园林博览园游客满意度研究——以南宁园博园为例[J]. 林业调查规划,2022,47(2):41-47. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.006

HUANG Mingxuan, GUO Song, MA Kejin, et al. Tourist Satisfaction of Garden Expo Park Based on AHP-FCE——A Case Study of Nanning Garden Expo Park [J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 41-47. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.006

Tourist Satisfaction of Garden Expo Park Based on AHP-FCE

——A Case Study of Nanning Garden Expo Park

HUANG Mingxuan¹, GUO Song^{1,2}, MA Kejin¹, PU Xubin¹

(1. Forestry College, Guangxi University, Nanning 530004, China;
2. College of Architectural Arts, Guangxi Arts University, Nanning 530007, China)

Abstract: In order to improve the recreational quality of Nanning Garden Expo Park, 29 evaluation factors were selected to construct the tourist satisfaction evaluation system by using the analytic hierarchy process. Through the fuzzy comprehensive evaluation of the questionnaire data, the significant evaluation factors influencing the tourist satisfaction were found, and IPA (importance satisfaction) analysis was carried out to explore the strategies to improve the tourist satisfaction. The results showed that the overall satisfaction of visitors to Nanning Garden Expo Park was 4.023, which was above the satisfaction level,

收稿日期:2021-06-21.

基金项目:国家自然科学基金项目(31560200);广西艺术学院校级科研项目(YB202113).

第一作者:黄铭萱(1997-),女,广西南宁人,硕士研究生.研究方向为风景园林规划设计. Email:970227631@qq.com

责任作者:郭松(1979-),男,重庆人,博士,副教授.主要从事城镇园林绿化研究.

and the satisfaction of air quality (4.405) was the highest, and that of catering facilities (3.444) was the lowest; as many as 23 evaluation factors had a strong correlation with tourist satisfaction, and the top 5 evaluation factors of the correlation coefficient were facility maintenance ($R=0.746$), public security environment ($R=0.733$), theme features ($R=0.698$), spatial diversity ($R=0.688$) and cultural creativity ($R=0.687$); IPA analysis showed that waterscape quality, external traffic convenience and traffic time were the main disadvantages, which needed to be improved. Finally, this paper put forward some optimization suggestions, such as strengthening water treatment, improving infrastructure, improving traffic outside the park and innovating theme activities.

Key words: tourist satisfaction; fuzzy comprehensive evaluation method; analytic hierarchy process; IPA analysis; Nanning Garden Expo Park

园博园作为国际园林盛会结束后的永久性城市公共绿地,不仅发挥着人居环境优化和城市形象提升的功能,在地域展示和园林科普方面也有着重要意义^[1],对其进行系统性建设管理是园博园可持续发展的关键,而发展好坏与否直接与游客满意度相关。Pizam 等^[2]、Beard 等^[3]和 Kingchan^[4]学者认为游客是否对目的地满意取决于期望与实际感知的差异,Eagles 等^[5]和 Al Hussam 等^[6]也证实了导致游客是否满意的原因是预期与实际体验的相符程度。当前对于公园游客满意度的研究多集中在城市免费公园^[7]、自然景区^[8]、森林公园^[9-10]、主题公园等^[11],园林博览园的游客满意度研究还在起步阶段。

南宁园博园位于广西南宁市邕宁区,是第十二届中国国际园林博览会的举办地。其以“生态、文化、共享”为三大策略,设有八十展园和八大景观,是人工与自然完美结合的理想山水园林^[12],相关研究集中于生态治理理念^[13]、景观设计技巧^[14]、植物设计及养护^[15]等,未见游客满意度的相关报道。因此,本文从科学、实用的角度出发,基于层次分析法(AHP)和模糊综合评价法(FCE)探究影响南宁园博园游客满意度因子,为园林绿化管理提供决策依据,也为类似研究提供参考借鉴。

1 研究方法与步骤

1.1 评价因子选取与权重赋予

Danaher^[16]认为交通、住宿、旅游活动和景观 4 个主要组成部分会使游客对旅游目的地的总体满意度评价产生非常重要的影响,故结合“食、住、行、游、购、娱”旅游 6 要素中除“住”以外的 5 个要素,遵循科学性、客观性、合理性的原则和参考相关文献,选取 4 个准则层共 29 项评价因子。基于层次分

析法,制作指标重要性专家意见征询表,对包括从事风景园林、旅游规划行业的工作人员、教师、研究生等共 30 人问卷调查,通过一致性检验后采用和积法进行权重计算,得出准则层与指标层各项因子的重要性值(表 1)。

1.2 问卷调查

问卷分 2 个部分。第 1 部分针对 29 项评价因子采用李克特量表设置非常不满意、不满意、一般、满意、非常满意 5 个等级,赋值分别对应 1、2、3、4、5。第 2 部分为游客基本信息,包括性别、年龄、学历、职业、收入及客源地。

于 2020 年 12 月至 2021 年 3 月期间的节假日、周末、工作日在南宁园博园内进行随机抽样访谈式问卷调查,共发放问卷 464 份,其中有效问卷 417 份,有效率 89.87%。

1.3 信度检验

采用 SPSS 22.0 对问卷数据信度进行检验,4 个准则层变量的克隆巴赫系数为 0.825~0.897,总量表的克隆巴赫系数达 0.931,表明问卷信度较好(表 2)。

1.4 模糊综合评价

模糊综合评价法是利用模糊数学理论将人的主观评价定量化表达的方法,对评价对象的隶属度等级进行全面的综合评价^[17],主要包含以下步骤:

1) 确定评价对象因子集 U 、评价集 V 和测量标度向量 H ,其中第一层评价因素集 $U=(u_1, u_2, u_3, u_4)$, u_1, u_2, u_3, u_4 分别表示景观环境、基础设施、旅游交通和服务管理;第二层评价因素集 $U_i=(u_{i1}, u_{i2}, u_{i3}, \dots, u_{ij})$, $i=1, 2, 3, 4, j=1, 2, 3, \dots, 9$;采用五级标度法建立游客满意度评价集,评价集 $V=($ 非常满意,满意,一般,不满意,非常不满意);测量标度向量 $H=(5, 4, 3, 2, 1)$ 。

表 1 各评价因子权重值

Tab. 1 Weight value of evaluation factors

目标层	准则层	准则层权重	指标层	指标层权重	重要性值
南宁园博园游客满意度 (A)	景观环境 (B1)	0.33	空气质量 (C11)	0.171	0.056
			植物景观 (C12)	0.139	0.046
			地面铺装 (C13)	0.046	0.015
			雕塑小品 (C14)	0.043	0.014
			地形丰富度 (C15)	0.081	0.027
			风景园林建筑 (C16)	0.125	0.041
			水景质量 (C17)	0.143	0.047
			空间多样性 (C18)	0.109	0.036
			展园主题特色 (C19)	0.143	0.047
	基础设施 (B2)	0.28	园内导览标识 (C21)	0.102	0.029
			车位充足 (C22)	0.092	0.026
			娱乐设施 (C23)	0.086	0.024
			餐饮便利设施 (C24)	0.074	0.021
			无障碍设施 (C25)	0.120	0.034
			安全设施 (C26)	0.257	0.072
			休憩设施 (C27)	0.151	0.042
	旅游交通 (B3)	0.20	环卫设施 (C28)	0.118	0.033
			与居住地距离 (C31)	0.121	0.024
			外部交通便捷程度 (C32)	0.245	0.049
			交通用时 (C33)	0.256	0.051
出入口设置 (C34)			0.184	0.037	
服务管理 (B4)	0.19	内部交通通畅性 (C35)	0.194	0.039	
		治安环境 (C41)	0.255	0.048	
		植物养护 (C42)	0.169	0.032	
		咨询接待 (C43)	0.095	0.018	
		设施维护 (C44)	0.152	0.029	
		文化创意 (C45)	0.163	0.031	
			展园科普 (C46)	0.119	0.023
			商品购物 (C47)	0.047	0.009

表 2 游客问卷信度分析

Tab. 2 Reliability analysis of tourist questionnaire

准则层	因子层	克隆巴赫系数	总信度
景观环境	C11~C19	0.897	0.931
基础设施	C21~C28	0.870	
旅游交通	C31~C35	0.825	
服务管理	C41~C47	0.887	

2) 确定各影响因子的重要性值 W 。

3) 构建评价因子模糊关系矩阵式 R 。

4) 结合 $M(\cdot, +)$ 模型计算模糊综合评价集 B , 即 $B=W \times R$ 。

5) 去模糊计算得出综合评价分数 E , 即 $E=B \times H$ 。

1.5 相关性与 IPA 分析

运用 SPSS 22.0 中的 Pearson 相关系数分析检验各评价因子对游客总满意度的影响显著程度。相关系数 R 越接近于 1 说明相关性越好, 越接近于 0 说明相关性越差。 $0.8 \leq R < 1.0$ 为极强相关; $0.6 \leq R < 0.8$ 为强相关; $0.4 \leq R < 0.6$ 为中等相关; $0.2 \leq R < 0.4$ 为弱相关; 小于 0.2 为极弱相关或无相关^[7]。

以指标因子权重值为横坐标, 满意度值为纵坐标, 各因子的重要性均值和满意度均值作为 X-Y 轴的分割点划分为优势区、维持区、机会区、改进区 4 个象限, 绘制影响因子的 IPA (重要性-满意度) 分析图, 根据各因子所属的象限范围确定南宁园博园存在的优劣势。

2 结果与分析

2.1 南宁园博园游客特征

南宁市园博园女性游客略多于男性, 年龄以 18~35 岁的年轻人为主, 其中学生的占比最高 (45.32%), 其次是企业公司职员 (21.34%); 约有 75.3% 的游客收入在 5 000 元以下, 说明大众消费人群是南宁园博园现今的主要游客群体; 学历以本科或大专占比最高, 达 67.15%; 客源地来源多样, 但以南宁市游客为主, 达 56.35%, 广西区内占 31.18%, 区外占 12.47%。总体表明园博园游客趋于年轻化和高学历, 对区内外游客有一定吸引力, 但游客群体消费能力有限 (表 3)。

2.2 南宁园博园游客满意度评价

南宁园博园游客总体满意度模糊综合评价结果为 4.023, 属于满意以上水平, 表明游客对南宁园博园的总体评价程度较好, 其中准则层景观环境、基础设施、旅游交通和服务管理模糊综合评价分值分别为 4.179、3.954、3.821 和 4.064, 评价因子满意度值见表 4。

景观环境在 4 项准则层中游客满意度最高, 且高于总体满意度分值。该准则层中除水景质量外均达到游客满意水平, 在景观环境上满足了游客的观光需求, 其中空气质量、植物景观、空间多样性、地面铺装排在前四, 得分分别为 4.405、4.326、4.223、4.223, 具有代表性的建筑景观和展园主题特色是

表 3 南宁园博园游客特征统计

Tab. 3 Statistics of tourist characteristics of Nanning Garden Expo

项目	类别	人数	百分比/%
性别	男	195	46.76
	女	222	53.24
年龄	18岁以下	50	11.99
	18~25岁	207	49.64
	26~35岁	102	24.46
	36~45岁	31	7.43
	46~55岁	19	4.56
	55岁以上	8	1.92
	月收入	0~1000元	158
1001~3000元		64	15.35
3001~5000元		92	22.06
5001~10000元		77	18.47
10000元以上		26	6.23
职业		学生	189
	企业/公司职员	89	21.34
	政府机关/事业单位职工	62	14.87
	自由职业	43	10.31
	离退休人员	8	1.92
	其他	26	6.24
学历	初中及以下	35	8.39
	高中或中专	64	15.35
	本科或大专	280	67.15
	硕士及以上	38	9.11
客源地	南宁市内	235	56.35
	广西区内	130	31.18
	广西区外	52	12.47

园博园相较于其他公园特有的内容,得分分别为 4.199 和 4.127。通过与游客的交流得知,若园区的特色建筑能增加互动元素并充分利用起来,会达到更好的游憩效果。

基础设施在 4 项准则层中游客满意度排第三,略低于总体满意度分值。该准则层中环卫设施、安全设施、休憩设施得分分别为 4.163、4.070、4.058,3 项影响因子均满足游客在景区游玩的最基本设施需求,且达到满意水平。无障碍设施、园内导览标识、车位充足得分分别为 3.974、3.942、3.835,接近满意,存在提升空间。娱乐设施和餐饮便利设施得

表 4 各评价因子的游客满意度得分

Tab. 4 Tourist satisfaction score of evaluation factors

评价因子	游客满意度	评价因子	游客满意度
空气质量	4.405	休憩设施	4.058
植物景观	4.326	环卫设施	4.163
地面铺装	4.223	与居住地距离	3.456
雕塑小品	4.216	外部交通便捷程度	3.866
地形丰富度	4.142	交通用时	3.465
风景园林建筑	4.199	出入口设置	4.034
水景质量	3.796	内部交通通畅性	4.261
空间多样性	4.223	治安环境	4.170
展园主题特色	4.127	植物养护	4.233
园内导览标识	3.942	咨询接待	3.990
车位充足	3.835	设施维护	4.094
娱乐设施	3.688	文化创意	3.938
餐饮便利设施	3.444	展园科普	3.950
无障碍设施	3.974	商品购物	3.660
安全设施	4.070		

分较低,分别为 3.688 和 3.444,娱乐设施数量较少,位置偏远,空间相对有限,餐饮便利店数量较少,分布不合理,是导致游客对这两项因子评价一般的主要原因。

旅游交通在 4 项准则层中游客满意度最低,且低于总体满意度分值。该准则层中园区内部交通通畅性和出入口设置得分分别为 4.261 和 4.034,达到游客满意水平。外部交通便捷程度、交通用时、与居住地距离得分分别为 3.866、3.465、3.456,对于自驾的游客来说路程较远,而对于搭乘公交的游客耗时长,因此没有达到满意水平。

服务管理在 4 项准则层中游客满意度排第二,略高于总体满意度分值。该准则层中植物养护、治安环境、设施维护得分分别为 4.233、4.170、4.094,达到游客满意水平,说明园博园在植物和设施的管理维护上投入较大,治安方面满足游客的安全需求。咨询接待、展园科普、文化创意得分分别为 3.990、3.950、3.938,有机会达到游客满意水平,但仍有少部分游客表示缺乏以上方面的游览体验,存在一定的提升空间。商品购物得分最低,为 3.660,实地调查发现园区内大部分商店建筑处于无人营业、荒废的现状,因此评价未能达到满意水平。

2.3 南宁园博园游客满意度与评价因子的相关性

相关性研究(表 5)表明:所有评价因子与游客满意度均呈极显著相关($P < 0.01$),空气质量、植物景观、水景质量、车位充足、与居住地距离、交通用时 6 项因子与游客总满意度的相关系数为 0.4~0.6,呈中等强度相关;其余的地面铺装、雕塑小品、地形丰富度等 23 项因子与游客总满意度相关系数为 0.6~0.8,呈强相关,其中相关系数值排名前 5 依次为设施维护($R = 0.746$)、治安环境($R = 0.733$)、展园主题特色($R = 0.698$)、空间多样性($R = 0.688$)、文化创意($R = 0.687$)。

2.4 南宁园博园游客满意度 IPA 分析

为进一步探究游客对评价因子重要性与满意度的差异,以评价因子的重要性和满意度均值作为 X-Y 轴的分割点划分为 4 个象限,绘制影响因子的 IPA 分析图(图 1),其中重要性均值为 0.034,满意度均值为 3.994。

第一象限:优势区。分布该象限的指标“满意度”和“重要性”评价均较高,包括空气质量、植物景观、风景园林建筑、空间多样性、展园主题特色、安全设施、休憩设施、出入口设置、内部交通通畅性、治安

表 5 各评价因子与游客总满意度的相关性

Tab. 5 Correlation between evaluation factors and tourist satisfaction

评价因子	Pearson 相关系数	评价因子	Pearson 相关系数
空气质量	0.535 **	休憩设施	0.651 **
植物景观	0.594 **	环卫设施	0.615 **
地面铺装	0.662 **	与居住地距离	0.574 **
雕塑小品	0.639 **	外部交通便捷程度	0.624 **
地形丰富度	0.677 **	交通用时	0.552 **
风景园林建筑	0.671 **	出入口设置	0.679 **
水景质量	0.498 **	内部交通通畅性	0.630 **
空间多样性	0.688 **	治安环境	0.733 **
展园主题特色	0.698 **	植物养护	0.682 **
园内导览标识	0.632 **	咨询接待	0.673 **
车位充足	0.587 **	设施维护	0.746 **
娱乐设施	0.652 **	文化创意	0.687 **
餐饮便利设施	0.617 **	展园科普	0.662 **
无障碍设施	0.667 **	商品购物	0.670 **
安全设施	0.665 **		

注: * 和 ** 分别为在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

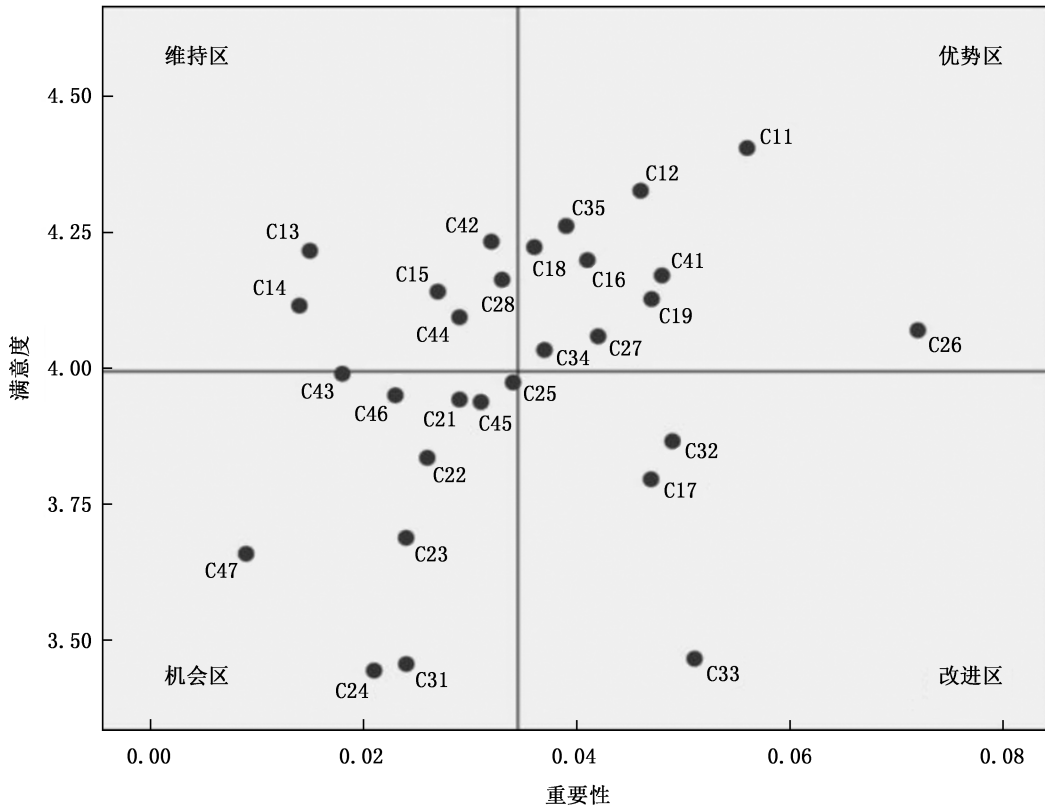


图 1 评价因子 IPA 分析

Fig. 1 Analysis chart on importance-satisfaction of evaluation factors

环境 10 项,以景观环境和基础设施为主。园博园作为博览型公园,丰富优美的景观和畅通安全的游览环境是首要需求,南宁园博园又以生态治理、主题建筑、多样化空间为主打特色,需要继续保持优势,满足游客最基本的需求。

第二象限:维持区。分布该象限的指标“满意度”评价较高,“重要性”评价较低,包括地面铺装、雕塑小品、地形丰富度、植物养护、环卫设施、设施维护 6 项,以景观环境和服务管理为主。说明游客对这些因子的现状达到了预期的满意程度,继续做好维护,适当突出亮点,有利于公园的可持续发展。

第三象限:机会区。分布该象限的指标“满意度”和“重要性”评价较低,包括园内导览标识、车位充足、娱乐设施、餐饮便利设施、无障碍设施、与居住地距离、咨询接待、文化创意、展园科普、商品购物 10 项,以基础设施和服务管理为主。上述指标在重要性方面相对不受重视,也是导致游客满意度较低的原因之一,现今人们游览之余会更注重休憩设施及服务质量,如旺季充足的停车位、价格合理的餐饮需求、足够的商店等。若认真改进上述因子,有机会进一步增强游客的满意度。

第四象限:改进区。分布该象限的指标“满意度”评价较低,“重要性”评价较高,包括水景质量、外部交通便捷程度、交通用时 3 项。因该景区水体多为人工湖,水体质量存在一定问题;到达南宁园博园的公共交通路线少,出行时间花费较多,是导致低评价的主要原因之一。园区水体治理和可达性问题急需改善。

3 结论与建议

3.1 结论

1) 游客对南宁园博园的总体满意度得分为 4.023,达到满意以上水平。在评价体系准则层的得分中,景观环境>服务管理>基础设施>旅游交通,得分依次为 4.179、4.064、3.954、3.821。

2) 所有评价因子与游客满意度均呈极显著相关($P < 0.01$),地面铺装、雕塑小品、地形丰富度、风景园林建筑、空间多样性、展园主题特色、园内导览标识、娱乐设施、餐饮便利设施、无障碍设施、安全设施、休憩设施、环卫设施、外部交通便捷程度、出入口设置、内部交通通畅性、治安环境、植物养护、咨询接待、设施维护、文化创意、展园科普、商品购物等 23 项因子与南宁园博园游客总满意度呈强相关关系,其中相关强度排名前 5 的因子依次为设施维护、治

安环境、展园主题特色、空间多样性、文化创意。

3) 空气质量、植物景观、风景园林建筑、空间多样性、展园主题特色、安全设施、休憩设施、出入口设置、内部交通通畅性、治安环境等 10 个评价因子有着高重要性和高满意度,是南宁园博园的优势所在;地面铺装、雕塑小品、地形丰富度、植物养护、环卫设施、设施维护等 6 个评价因子有着高满意度,应继续保持;园内导览标识、车位充足、娱乐设施、餐饮便利设施、无障碍设施、与居住地距离、咨询接待、文化创意、展园科普、商品购物等 10 个评价因子的满意度较低,需引起重视并做好完善提升;水景质量、外部交通便捷程度、交通用时等 3 个评价因子的重要性高满意度却较低,应尽快做好相关提升改进工作。

3.2 建议

3.2.1 加强水体治理,打造生态水系空间

人们在公园游玩时会出于本能地进行一些亲水性行为,南宁园博园中的水体景观强调生态理水的理念^[12],以模拟自然山水环境为主,巧妙结合人造地形、山石、喷雾等元素,因此是吸引游客重点游览的区域之一。然而园区内的水体多为人工湖,稍有护理不到位就会使水体变浑浊,十分影响观感和体验,是导致水景质量满意度低的重要原因。除继续维护好原有的水循环利用系统外,应适当增加对水体以及周边净水植物的栽植,并做好相关的养护工作,不仅能丰富水景环境,还能更有效地对水体进行过滤,做到真正还原生态水系空间。

3.2.2 完善基础设施,提供舒适游玩体验

游客对于园内导览标识、停车位、娱乐设施、餐饮便利设施 4 项基本设施满意度较低,需要做好相关提升工作。导览标识主要存在的不足是公园范围过大导致平面图能展现的内容不够详细,建议在各区域的导览图中增加局部放大详图,以便更好地引导游客参观游玩。由于公园离市区较远以及当代社会私家车使用增长,越来越多的游客会选择自驾到达,即使是临时利用园区入口区域的空地,停车位在周末或节假日也不能满足私家车的停放,因此建议规划增加停车场,以满足最基本的停放需求。娱乐设施只设置在园内一处很小的区域,数量类型较少,离主要入口较远,导致许多家长很难找到给孩子游玩的设施,建议在部分展园周边增加娱乐互动设施,同时满足孩子认知学习和娱乐体验。餐饮设施常常是被忽略的内容,对于园博园这类面积较大的公园而言,人们的餐饮需求十分重要,目前存在的问题主要是这些设施的设置过于集中在入口,园区内部几

乎没有,建议增加餐饮便利设施,合理分布,缩小服务半径,做到全方位覆盖。

3.2.3 提升园外交通,满足便捷出行需求

园博园作为较大型的园林博览型公园,常常位于城市的郊区,交通成为人们是否会选择到园博园游玩的主要影响因子。南宁园博园的游客多为学生或刚步入社会的年轻人,乘坐公共交通工具到达成为其首选,然而目前从南宁市区到园区的线路只有一条,周末和节假日还存在人多拥挤的困扰,十分影响到达后的游玩心情。因此建议协同政府相关部门完善可到达园博园的公交线路,使每个行政区都能得到有效覆盖,周末和节假日适当根据客流量增加公交车班次,满足和方便不同人群的出行需求。

3.2.4 创新主题活动,营造独特文化氛围

每到特殊的节假日或一些周末,园内会举办相关的主题活动,如周末的《青春版刘三姐》山水实景演出、元旦举办的动漫游园祭、春节期间歌舞表演都吸引了许多感兴趣的游客。游客数量虽因此大幅上升,但满意度却反而下降,首先活动主要集中在广西园周边,活动时段游客过度拥挤,游行的阵仗规模较小,互动效果较差。建议将主题活动与游客参观各个展园的过程相结合,策划更多与园博园内涵相融合的主题活动,使游客在游玩过程中能随时随地参与互动。

参考文献:

- [1] 蔡秋阳,高翊. 园林博览园游客满意度影响因素及机理分析——基于结构方程模型的实证研究[J]. 中国园林,2016,32(8):58-64.
- [2] PIZAM A, NEUMANN Y, REICHEL A. Dimensions of tourist satisfaction with a destination area[J]. Annals of Tourism Research, 1978, 5(3):314-322.
- [3] BEARD J G, RAGHEB M G. Measuring leisure satisfaction[J]. Journal of Leisure Research, 1980, 12(1):20-33.
- [4] KINGCHAN K. Tourist satisfaction in relation to a holiday in Thailand[D]. Unpublished Masters Thesis, 1994.
- [5] EAGLES P F J, MC COOL S F, HAYNES C D. Sustainable tourism in protected areas: Guidelines for planning and management[M]. Margete:Thanet Press Limited, 2002.
- [6] AI HALBUSI H, JIMENEZ-ESTEVEZ P, ELEEN T, et al. The roles of the physical environment, social servicescape, co-created value, and customer satisfaction in determining tourists' citizenship behavior; Malaysian cultural and creative Industries[J]. Sustainability, 2020, 12(8):1-23.
- [7] 兰宇翔,林丽丽,傅伟聪,等. 基于模糊综合评价法的福州市免费公园游客满意度评价[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2016, 47(6):920-926.
- [8] 刘志成,钱怡伶. 基于 SEM 模型武陵源生态旅游景区游客满意度研究[J]. 湖南社会科学, 2019(3):121-127.
- [9] 贾天宇,刘笑冰,喻家玥,等. 北京奥林匹克森林公园生态旅游满意度评价与提升策略[J]. 林业资源管理, 2020(3):95-100, 110.
- [10] 董楠,张红,张春晖. 陕西省国家森林公园游客满意度——以太白山、太平和王顺山森林公园为例[J]. 林业科学, 2020, 56(3):156-163.
- [11] 周雪娇,钟士恩,徐文燕,等. 主题公园游客满意度的多维度影响因素研究——以中华恐龙园为例[J]. 地理与地理信息科学, 2017, 33(6):118-124.
- [12] 李存东,赵文斌,王洪涛,等. 心象自然:协调人与自然的平衡——第十二届中国(南宁)国际园林博览会园博园总体规划创新性探索[J]. 风景园林, 2019, 26(4):51-55.
- [13] 巩磊. 生态理水理念下的滨水区景观规划设计方法研究——以第十二届中国(南宁)国际园林博览会滨水画廊区景观设计为例[J]. 中外建筑, 2020(7):150-153.
- [14] 王向荣,林箐. 从断崖残石到山水画卷——第十二届中国(南宁)国际园林博览会园博园采石场花园设计[J]. 风景园林, 2019, 26(4):61-72.
- [15] 路秉翰,戴伟,谭广文. 广西南宁园博园岩质边坡生态修复工程应用与探讨[J]. 广东园林, 2019, 41(1):63-67.
- [16] DANCHER J P. Tourist satisfaction with factory tour experience[J]. International Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research, 1996, 9(3):93.
- [17] 唐珊珊,于东明. 基于模糊综合评价法的写生者满意度研究——以峨庄片区美术写生目的地为例[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2019, 50(2):335-341.

责任编辑: 杨焱熔

校 对: 张林艳 杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.007

广东省广宁县竹大象危害及生物学特性研究

曾家城¹, 邱华龙²

(1. 广东省肇庆市广宁县林业局, 广东 肇庆 526300;
2. 广东省林业科学研究院, 广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东 广州 510520)

摘要:竹大象(*Cyrtotrachelus* spp.)是青皮竹等丛生竹种重要的蛀笋害虫。通过调查广东省广宁县竹大象的种类及危害情况,观测其生物学特征。结果表明,广宁县竹大象以竹直锥大象为主,占比99%;该虫在广宁县一年发生一代,以成虫在土中蛹室内越冬。5月中下旬成虫开始出土,6月为出土盛期;幼虫5月中旬开始孵化,9月下旬开始化蛹,蛹经14~18 d羽化,以成虫越冬。依据竹大象的发生特点,提出了针对性的防治建议。

关键词:竹林;竹直锥大象;生活史;防治措施;广宁县

中图分类号:S763.301 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0048-04

引文格式:曾家城,邱华龙.广东省广宁县竹大象危害及生物学特性研究[J].林业调查规划,2022,47(2):48-51.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.007

ZENG Jiacheng, QIU Hualong. Damage and Biological Characteristics of *Cyrtotrachelus* spp. in Guangning County of Guangdong Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 48-51. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.007

Damage and Biological Characteristics of *Cyrtotrachelus* spp. in Guangning County of Guangdong Province

ZENG Jiacheng¹, QIU Hualong²

(1. Guangning Administration of Forestry, Zhaoqing, Guangdong 526300, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Forest Cultivation, Protection and Utilization, Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

Abstract: *Cyrtotrachelus* spp. is main shoot borer of sympodial bamboos such as *Bambusa textilis*. This paper investigated the species components, damage degree and biological characteristics of *Cyrtotrachelus* spp. in Guangning County of Guangdong Province. The results showed that the main specie of *Cyrtotrachelus* spp. in Guangning County was *Cyrtotrachelus longimanus* Fabricius, accounting for 99%, which happened one generation each year and overwintered as adults in the pupa room in soil. The adults began to climb out the soil in the middle or late May, and reached the peak period in June; the larvae hatched in middle May and pupated in late September, which emerged into adult after 14~18 days to overwinter. According to the occurrence characteristics of *C. longimanus*, this paper provided relevant control suggestions.

Key words: bamboo forest; *Cyrtotrachelus longimanus*; life history; control method; Guangning County

竹大象(*Cyrtotrachelus* spp.)隶属鞘翅目(Coleoptera)象虫总科(Curculionoidea)象甲科(Curculionidae),广泛分布于中国、印度、越南、缅甸、日本、菲律宾等国家,是重要的竹笋害虫^[1-3]。竹大象主要有

收稿日期:2021-03-09.

第一作者:曾家城(1978-),男,广东肇庆人,工程师.主要从事林业有害生物防控工作. Email:fuzi0821@163.com

责任作者:邱华龙(1988-),男,广东广州人,副研究员.主要从事林业有害生物综合防治研究. Email:qiuhaulong2008@163.com

竹直锥大象(*C. thompsoni*)和竹横锥大象(*C. buqueti*)两种,其寄主广泛,危害籼竹属(*Bambusa*)、绿竹属(*Dendrocalamopsis*)及牡竹属(*Dendrocalamus*)等属内的 28 个重要经济竹种。成虫咬破竹笋幼嫩部位以补充营养并在其中产卵,幼虫在笋内蛀食,受害竹笋死亡不能成竹,即使能生长成竹,也竹节节间缩短,竹材僵硬,断头折梢,利用价值明显下降,经济损失巨大^[3]。

广东省肇庆市广宁县是中国著名的“竹子之乡”,全县竹林面积约 7.2 万 hm^2 , 主要分布有青皮竹(*Bambusa textilis*)、茶秆竹(*Pseudosasa amabilis*)、麻竹(*Dendrocalamus latiflorus*)及撑篙竹(*Bambusa pervariabilis*)等 14 属 55 种竹子,其中青皮竹种植面积约 5.2 万 hm^2 , 是全国青皮竹中心产区^[4-5]。当前,广宁县有竹子加工企业 360 多家,创造就业岗位 4.6 万个,竹业总产值约 14 亿元,占全县地区生产总值的 9.7%, 占林农纯收入的 34%。竹产业在地区经济发展及兴农富民中发挥着重要作用。竹大象是广宁县青皮竹、撑篙竹等丛生竹最为重要的笋期害虫,严重制约了竹产业的健康发展^[6-8]。为更好地控制竹大象的危害,对广宁县竹大象的危害情况、生物学特性进行了系统研究,并依据竹大象在广宁县的发生特点和生活中薄弱环节,提出了针对性的防治建议。

1 材料与方 法

1.1 危害程度调查

1.1.1 调查地区概况

选择广宁县南街镇、石涧镇、横山镇及古水镇 4 个乡镇 12 块样地(每个乡镇 3 块)进行了竹大象危害情况调查。所选调查样地均属亚热带季风气候区,1 月均温 12.5 $^{\circ}\text{C}$, 7 月均温 28.5 $^{\circ}\text{C}$, 年均降水量 1 734 mm, 土壤肥沃,极适合竹类植物生长。所调查的竹种包括青皮竹、茶秆竹、麻竹、撑篙竹、文笋竹(*Phyllostachys elegans*)和甜笋竹(*Indosasa suavis*)6 种。所调查样地内的竹子种植年限均超过 10 年, 自然生长,未采取竹大象的防治措施。

1.1.2 调查方法

于 2017 年各竹种笋期开展竹大象危害情况的调查。调查时,随机在样地选择抽样笋,首先观察笋的外部形态,依据是否有竹大象取食痕(产卵痕)判定竹笋是否受害(图 1),统计危害率。每块样地抽样数量不少于 50 株。危害率(P)计算公式为:



图 1 竹大象危害情况

Fig. 1 Damaging phenomenon of *Cyrtotrachelus* spp.

$$P = n_1/n \times 100\% \quad (1)$$

式中: n_1 表示受害笋数; n 表示总抽样笋数。

1.2 生活史研究

2017 年,在竹笋受害情况调查过程中,采集近老熟的竹大象幼虫连同竹笋一起带回实验室,置于透明的尼龙网养虫笼中(30 cm×30 cm×50 cm)饲养。将受到竹大象幼虫危害的竹笋放置在透明有机玻璃缸(直径 30 cm,高 50 cm)内,缸内放入厚 5 cm 的无菌湿润土壤供老熟幼虫化蛹,每缸饲养幼虫 10 头。每天 18:00 调查各幼虫状态,记录幼虫入土、结茧化蛹时间和数量。待幼虫全部入土后,将有机玻璃缸置于生态培养箱内(温度 25 $^{\circ}\text{C}$,全黑暗环境)饲养,直至成虫羽化。详细记录各蛹羽化时间,计算蛹历期。

成虫羽化后,分批移入养虫笼(30 cm×30 cm×100 cm)中饲养,供以新鲜青皮竹竹笋,每 3 d 更换一次竹笋,记录产卵时间,统计成虫寿命,计算成虫历期;将产卵的竹笋在生态培养箱内保湿饲养直至孵化,计算卵历期;幼虫孵化后,以鲜笋饲养直至化蛹,计算幼虫历期。结合林间调查,依据各虫态出现时间和历期确定生活史。

1.3 各虫态习性观察

1.3.1 成虫

将装有土茧的玻璃盆置于养虫笼(30 cm×30 cm

×100 cm) 中,保湿饲养,待成虫羽化后,在笼中放入新鲜的青皮竹笋,每天观察记录成虫交尾、产卵等行为及活动情况,统计成虫寿命。青皮竹竹笋每 3 d 更换一次。

1.3.2 卵

自成虫产卵后,每天观察记录卵的颜色变化及孵化情况。

1.3.3 幼虫及蛹

幼虫孵化后,通过室内饲养,结合林间调查,详细观察和记录各龄幼虫取食、转移及结茧化蛹等行为习性。

2 结果与分析

2.1 危害强度调查

在所调查的 4 个乡镇均有竹大象虫害发生,不同乡镇不同竹种的受害情况不同(表 1,表 2)。

在南街镇和古水镇,青皮竹受害最为严重,其次为撑篙竹;在石涧镇和横山镇,撑篙竹受害最为严重,其次为青皮竹。综合各乡镇不同竹种的受害情况,撑篙竹受害最为严重,平均受害率达到 52.19%,其次是青皮竹,受害率为 50.54%,其余 4 个竹种的受害率均在 45%以下。

2.2 生活史

竹大象在广宁县的生活史详见表 3。

竹大象在广宁县 1 年发生一代,以成虫越冬。5 月中下旬越冬成虫开始出土,6 月中旬为出土盛期,10 月上旬成虫在地上的活动终止。5 月下旬成虫开始交配产卵,卵经 2~5 d 孵化,初孵幼虫即向上取食,直到笋梢。幼虫取食期于 5 月中旬开始,终于 9 月下旬。幼虫经 12~15 d 老熟阶段,9 月中旬幼虫开始随笋梢一同落地,钻入土中准备化蛹,幼虫经 10~12 d 化蛹,再经 12~15 d 羽化为成虫越冬。

表 1 广宁县各乡镇竹大象危害情况

Tab. 1 Damage of *Cyrtotrachelus* spp. in different towns of Guangning County

调查地点	竹种	抽样鲜笋数 / 株	受害鲜笋数 / 株	受害率 / %
南街镇	青皮竹	92	51	55.43
	茶竿竹	67	19	28.36
	麻竹	54	24	44.44
	撑篙竹	73	38	52.05
	文笋竹	53	21	39.62
石涧镇	甜笋竹	61	19	31.15
	青皮竹	112	43	38.39
	麻竹	59	24	40.68
	撑篙竹	70	41	58.57
横山镇	文笋竹	55	23	41.82
	青皮竹	96	52	54.17
	麻竹	66	26	39.39
	撑篙竹	80	45	56.25
古水镇	文笋竹	50	16	32.00
	青皮竹	68	40	58.82
	茶竿竹	121	54	44.63
	撑篙竹	74	31	41.89
	甜笋竹	62	20	32.26

注:调查时间为 2017 年。

表 2 竹大象对不同竹种的危害情况

Tab. 2 Damage degree of *Cyrtotrachelus* spp. to different bamboo species

竹种	总抽样鲜笋数 / 株	总受害鲜笋数 / 株	平均受害率 / %
青皮竹	368	186	50.54
茶竿竹	188	73	38.83
麻竹	176	74	42.05
撑篙竹	297	155	52.19
文笋竹	158	60	37.97
甜笋竹	123	39	31.71

表 3 竹大象在广宁县的生活史

Tab. 3 Life history of *Cyrtotrachelus* spp. in Guangning County

阶段	1—4月			5月			6月			7月			8月			9月			10月			11—12月								
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬						
虫态	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
						○			○			○			○			○			○			○			○			○
						●			●			●			●			●			●			●			●			●
																					◇			◇			◇			◇

注:“●”表示幼虫,“◇”表示蛹,“■”表示成虫,“○”表示卵。

2.3 生物学特性

2.3.1 成虫

成虫飞行能力弱,在上午和傍晚温度较低时活动较频繁。中午高温和雨天时,成虫多停歇在竹笋上,基本不动。成虫具有假死性,摇动竹子或竹笋,其立刻坠落地面,六足紧握,稍后飞翔逃跑,但有时一些成虫受振动后也会立刻飞走逃逸。成虫出土后钻食竹笋以补充营养,2~3 d后开始繁殖。竹大象求偶时间较长,最短近1 h,最长可达7.5 h。交配时雌虫静伏于竹笋上取食,雄虫用前足抱住雌虫并伏于其背上,开始交配。每次交配时间平均约15 min。竹大象雄虫交配能力较强,同一雄虫可多次交配,野外发现同一雄虫可与多个雌虫交配,也有多个雄虫竞争1个雌虫的现象。成虫交配后雌虫即开始产卵。产卵时,雌虫先在竹笋上不停爬行寻找合适的产卵部位,定位好后使用长喙在竹笋上钻洞,随后将卵送进洞中。单雌一般产卵22~35粒。

2.3.2 卵

卵多每孔1粒,1株笋上大多产卵1~2粒,少数产卵3~4粒。卵大部分分布在距离笋梢10~43 cm处。卵长椭圆形,初产时乳白色,表面十分光滑。孵化前可在一端见到两个红色的小点。

2.3.3 幼虫

初孵幼虫沿笋向上取食,直到笋梢,然后向下取食。约3龄时再向下取食到产卵孔以下部位,幼虫5龄。老熟幼虫爬行至离竹笋顶梢10~20 cm处,将顶梢咬断,转回身向下行约5~10 cm,再次将此段笋咬断,幼虫潜于笋梢内一起落地,准备化蛹。幼虫落地后,爬出笋筒寻找适宜地点入土。幼虫在土壤内的结茧深度为8~48 cm不等。

2.3.4 蛹

化蛹时,幼虫需数次返回地面入口处,拖入一些竹笋纤维,与土粘合筑成坚硬的蛹室。随后在土茧中化蛹。

2.4 防治对策

2.4.1 化学药剂喷雾

在竹大象虫害发生盛期,采用2.5%溴氰菊酯乳油75~150 mL/hm²喷雾2次(间隔5~7 d),防治效果达到95%以上。在成虫羽化盛期,采用8%氯氰菊酯触破式微胶囊制剂150~200倍液进行喷雾,每隔15 d喷雾1次,至少喷3次或3次以上,防治效果达77%以上。

2.4.2 物理防治

在竹大象成虫发生盛期,利用成虫假死性进行

人工捕捉,防治效果明显。在竹笋生长期,使用竹筒套、蔑织套、簿膜套为新生竹笋套袋防治,效果较好。

3 小结

以青皮竹为代表的丛生竹是广宁县最为重要的经济竹种,而竹大象在目前及以后相当长的一个时期内仍将广宁县竹林造成较大的损失。因此,在防治上应集成现有高效防治技术,注重竹大象的可持续控制,同时增加竹林的生物多样性,提高竹林抵御和控制病虫害的能力。从种苗选育、竹林经营管理、病虫害控制等环节全面落实病虫害综合控制的各项措施,将竹大象的危害控制在经济允许的水平之下^[8]。

目前国内外关于竹大象研究的深度和广度均较欠缺,如形态学方面至今未见关于竹大象的显微解剖及电镜观察报道,在生态学及生理学方面更是空白。竹大象作为一种重要的林业害虫,应加强其基础生物学方面研究,以拓宽防治思路,研发更有效、环保的防治方法。

参考文献:

- [1] 李涛,周泽贵,高志兴,等. 长足大竹象生物学特性研究[C]//中国昆虫学会2000年学术年会论文集. 北京:中国昆虫学会,2000.
- [2] 徐天森,王浩杰. 中国竹子主要害虫[M]. 北京:中国林业出版社,2004:29-31.
- [3] 杨瑶君,汪淑芳,弓加文,等. 长足大竹象虫口密度与虫孔数,竹笋受害率的关系[J]. 应用生态学报,2009,20(8):1980-1985.
- [4] 洪少朋,蔡德超,王佳友. 广宁县竹产业发展现状与对策[J]. 热带农业工程,2018,42(3):46-48.
- [5] 吴良如,高贵宾,潘雁红,等. 广宁县竹子资源培育利用展望[J]. 竹子研究汇刊,2009,28(4):54-57.
- [6] 刘南欣,梁梅芳,张振英,等. 格氏线虫中国品系(85011)防治竹象虫的施用技术及与农药混用的研究[J]. 昆虫天敌,1990,12(3):46-52.
- [7] 刘南欣,梁梅芳,郑莲生,等. 竹直锥大象虫的发生规律及应用昆虫病原线虫的防治试验[J]. 植物保护学报,1993(4):343-347.
- [8] 黄焕华,王华清,童国建,等. 广东省竹林病虫害的发生动态及控制对策[J]. 广东林业科技,2003(2):19-23.

责任编辑:陈旭

校对:许春霞 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.008

纳板河流域国家级自然保护区外来入侵植物监测

木陈会, 玉香章, 田茂兴

(纳板河流域国家级自然保护区管理局, 云南 景洪 666100)

摘要:采用样线、样方和踏查等方法,对纳板河流域国家级自然保护区内及周边区域外来入侵植物进行监测。结果表明,纳板河流域国家级自然保护区内及周边区域外来入侵植物有 37 科 88 属 136 种,物种数量稳定,分布范围呈扩大趋势,紫茎泽兰、藿香蓟分布最广,在 7 条样线和 173 个样方中均有分布,肿柄菊、阔叶丰花草分布范围扩散加剧,并以人为和无意引入两种方式传播,存在对保护区生物多样性造成影响的隐患。藉此,提出提高认识,建立外来物种风险评估机制,及时掌握外来入侵物种的动态等措施与建议。

关键词:外来入侵植物;样线监测;样方监测;生物多样性;纳板河流域国家级自然保护区

中图分类号:S759.9;S718.521.2;S757.3 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0052-06

引文格式:木陈会,玉香章,田茂兴.纳板河流域国家级自然保护区外来入侵植物监测[J].林业调查规划,2022,47(2):52-57. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.008

MU Chenhui, YU Xiangzhang, TIAN Maoxing. Monitoring of Invasive Alien Species in Nabanhe National Nature Reserve [J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 52-57. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.008

Monitoring of Invasive Alien Species in Nabanhe National Nature Reserve

MU Chenhui, YU Xiangzhang, TIAN Maoxing

(Administration of Nabanhe National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666100, China)

Abstract: The invasive alien plants in and around Nabanhe National Nature Reserve were monitored by means of line transect, quadrat and field survey. The results showed that 136 species of alien invasive plants belonging to 88 genera and 37 families were found. The number of species was stable and the distribution tended to expand. *Ageratina adenophora* and *Ageratum conyzoides* were most widely distributed in 7 line transects and 173 quadrats, while the distribution range of *Tithonia diversifolia* and *Borreria latifolia* was spread by artificial and unintentional introduction, resulting in hidden dangers to biodiversity in the reserve. This paper put forward some suggestions, such as raising awareness, establishing the risk assessment mechanism of alien species, and mastering the dynamics of invasive alien species in time.

Key words: invasive alien plant; line transect monitoring; quadrat monitoring; biodiversity; Nabanhe National Nature Reserve

外来入侵物种是指在当地的自然或半自然生态系统中形成了自我再生能力、可能或者已经对生态环境、生产或生活造成明显损害或者不利影响的外来物种^[1]。

位于云南西双版纳州的纳板河流域国家级自然保护区特殊、复杂、多样的地质和气候条件,为不同生境需求的动植物提供了多样的生态环境,孕育了丰富的生物多样性。同时,特殊的区位也为外来物

收稿日期:2021-04-02.

第一作者:木陈会(1989-),女,云南景洪人,助理工程师.从事自然保护区资源管护和监测工作. Email:672545170@qq.com

种“安家落户”提供了良好的生存环境,成为外来入侵物种的“重灾区”。据统计,我国有外来入侵植物72科285属515种^[2],云南有外来入侵植物59科190属321种4变种^[1],西双版纳现已知的外来入侵植物约有75种^[3],纳板河自然保护区于2005—2006年调查记录到外来入侵植物17科28属32种^[4]。最近,联合国发布的《生物多样性和生态系统服务全球评估报告》指出,1970年以来,每个国家入侵的外来物种数量增加了70%,外来物种入侵已成为过去50年对全球生态系统产生严重影响的五大因素之一,而被关注、重视和防治程度又往往低于栖息地破坏、过度捕捞、气候变化和环境污染^[1]。

1 监测区域概况

纳板河流域国家级自然保护区(以下简称“保护区”)位于云南省南部、西双版纳傣族自治州中北部,地跨景洪市和勐海县,地理坐标为东经100°32′~100°44′,北纬22°04′~22°17′,土地总面积266 km²,距离州府景洪市水路16 km,陆路25 km;地势呈西北高、东南低,最高海拔2304 m,最低海拔602 m;自然环境复杂、垂直高差较大,立体气候明显,总体气候类型属北热带湿润气候,年均温20~22℃,年降雨量1190~2240 mm;区内动植物资源十分丰富,分布有西双版纳所分布的8种植被类型,保护区涉及3个乡镇32个自然村,居住着傣、拉祜、哈尼、布朗等6个民族6459人。从上述概况看,充沛的光、热、水条件及众多社区村民频繁的人为活动为外来植物入侵提供了机会。

2 监测时间及方法

根据《自然保护区与国家公园生物多样性监测技术规程》(DB 53/T 391—2012)、《云南省自然保护区生物多样性监测规划(2016—2025年)》以及《纳板河流域国家级自然保护区生物多样性监测计划(2020—2025年)》。保护区筛选出外来入侵植物的监测对象为:飞机草(*Eupatorium odoratum*)、紫茎泽兰(*Eupatorium coelesticum*)、肿柄菊(*Tithonia diversifolia*)、藿香蓟(*Ageratum conyzoides*)。2021年采用样线法、样方法和社区踏查法进行本底调查,2022年起每年进行一次监测。

2.1 样线法

综合考虑保护区海拔梯度和不同植被类型,设置基本能覆盖整个保护区的外来入侵植物固定监测

样线7条,每条长2 km。沿监测样线用皮尺或测绳进行丈量,以10 m为计数单位,统计整条样线所见次数,记录所见到的外来入侵植物基本信息、分布地基本情况及入侵途径、繁殖能力、扩散方式、防治措施、适生面积等。

2.2 样方法

在7条样线上每隔100 m设置1个10 m×10 m的乔木样方、1个5 m×5 m的灌木样方和1个1 m×1 m的草本样方。受实地条件限制,实际共设置乔木样方58个、灌木样方47个、草本样方68个。在乔木、灌木、草本植物样方内分别调查记录入侵物种基本状况及其他植物种组成、个体数量、平均树高、平均胸径、郁闭度及下层灌木、地被物情况。

2.3 踏查法

重点调查保护区32个社区村寨以及调查样线外所分布的入侵植物的种类,该方法可作为样线、样方调查的补充,弥补样线、样方调查涉及面相对较小的不足。

3 监测结果

2020年开展了基线调查。2021—2022年开展了2次样线法、样方法监测。

3.1 样线监测

3.1.1 监测对象

7条样线中均发现有监测对象分布。其中:回马河样线NBH-L08(WL)、蚌龙样线NBH-L09(WL)以及曼兴龙拉样线NBH-L13(WL)3条样线均发现有4种监测目标物种(飞机草、紫茎泽兰、藿香蓟、肿柄菊)分布;蚌冈管理站样线NBH-L12(WL)发现分布有2种监测目标物种(紫茎泽兰、藿香蓟);曼点样线NBH-L07(WL)、小糯有上寨样线NBH-L10(WL)、蚌冈新寨样线NBH-L11(WL)3条样线发现各有3种监测目标物种分布(飞机草、紫茎泽兰、藿香蓟)(表1)。

3.1.2 其他外来入侵植物

2021年对7条样线的调查结果显示:样线及附近共记录到外来入侵植物15科28属35种。各条样线中外来入侵植物出现频率最多的依次为紫茎泽兰、藿香蓟、鬼针草、小蓬草、飞机草(表2)。

3.2 样方监测

3.2.1 监测对象

2021年在乔木林、灌木和草本中共设置173个样方,在监测的58个乔木样方中,有19个样方分布有监测对象飞机草、有25个样方分布有紫茎泽兰、有20个样方分布有藿香蓟;在47个灌木样方中有

表 1 监测对象在样线出现统计

Tab. 1 Statistics of monitoring objects on line transects

样线编号	监测对象			
NBH-L07(WL)	飞机草	藿香蓟	紫茎泽兰	
NBH-L08(WL)	飞机草	藿香蓟	紫茎泽兰	肿柄菊
NBH-L09(WL)	飞机草	藿香蓟	紫茎泽兰	肿柄菊
NBH-L10(WL)	飞机草	藿香蓟	紫茎泽兰	
NBH-L11(WL)	飞机草	藿香蓟	紫茎泽兰	
NBH-L12(WL)		藿香蓟	紫茎泽兰	
NBH-L13(WL)	飞机草	藿香蓟	紫茎泽兰	肿柄菊
统计数量	6	7	7	3

表 2 2021 年外来入侵植物样线调查结果

Tab. 2 Survey results of invasive alien plants in 2021

序号	植物名	科	属	出现频率/次
1	紫茎泽兰	菊科 Compositae	破坏草属 <i>Ageratina</i>	1016
2	藿香蓟		藿香蓟属 <i>Ageratum</i>	751
3	金腰箭		金腰箭属 <i>Synedrella</i>	284
4	飞机草		飞机草属 <i>Chromolaena</i>	529
5	肿柄菊		肿柄菊属 <i>Tithonia</i>	26
6	三叶鬼针草		鬼针草属 <i>Bidens</i>	711
7	野苘蒿		野苘蒿属 <i>Crassocephalum</i>	479
8	小蓬草		飞蓬属 <i>Erigeron L.</i>	576
9	苏门白酒草			93
10	牛膝菊		牛膝菊属 <i>Galinsoga</i>	232
11	孔雀草		万寿菊属 <i>Tagetes</i>	2
12	水茄	茄科 Solanaceae	茄属 <i>Solanum L.</i>	114
13	喀西茄			37
14	假烟叶树			38
15	牛茄子			5
16	曼陀罗		曼陀罗属 <i>Datura Linn.</i>	1
17	野甘草	玄参科 Scrophulariaceae	野甘草属 <i>Scoparia</i>	48
18	阔叶丰花草	茜草科 Rubiaceae Juss.	丰花草属 <i>Borreria</i>	121
19	皱果苋	苋科 Amaranthaceae	苋属 <i>Amaranthus</i>	4
20	刺苋			9
21	反枝苋			3
22	青葙		青葙属 <i>Celosia</i>	8

续表 2

序号	植物名	科	属	出现频率/次
23	鸡冠花			1
24	刺芹	伞形科 Umbelliferae	刺芹属 <i>Eryngium L.</i>	25
25	两耳草	禾本科 Gramineae	雀稗属 <i>Paspalum</i>	393
26	地毯草		地毯草属 <i>Axonopus</i>	54
27	飞扬草	大戟科 Euphorbiaceae	大戟属 <i>Euphorbia L.</i>	24
28	土荆芥	藜科 Chenopodiaceae	藜属 <i>Chenopodium</i>	2
29	赛葵	锦葵科 Malvaceae	赛葵属 <i>Malvastrum</i> A. Gray	9
30	马缨丹	马鞭草科 Verbenaceae	马缨丹属 <i>L. montevidensis Briq</i>	1
31	假马鞭草		假马鞭属 <i>Stachytarpheta Vahl</i>	1
32	红花酢浆草	酢浆草科 Oxalidaceae	酢浆草属 <i>Oxalis</i>	1
33	含羞草	豆科 Fabaceae	含羞草属 <i>Mimosa Linn.</i>	16
34	凤眼莲	雨久花科 Pontederiaceae	凤眼蓝属 <i>Eichhornia Kunth</i>	1
35	五爪金龙	旋花科 Convolvulaceae	番薯属 <i>Ipomoea</i>	1

16 个样方分布有监测对象飞机草,27 个样方分布有紫茎泽兰,17 个样方分布有藿香蓟;在 68 个草本样方中有 13 个样方分布有监测对象飞机草,21 个样方分布有紫茎泽兰,30 个样方分布有藿香蓟(表 3)。

表 3 监测对象入侵植物样方数

Tab. 3 Number of quadrats of monitoring invasive plants

监测物种	草本样方/个	灌木样方/个	乔木样方/个
飞机草	13	16	19
紫茎泽兰	21	27	25
肿柄菊	0	0	0
藿香蓟	30	17	20
入侵植物数量	18	17	18

3.2.2 其他外来入侵植物

2021 年对 173 个样方的监测结果显示:样方内共记录到外来入侵植物 11 科 22 属 26 种。各样方中外来入侵植物出现频率最多的依次为紫茎泽兰、鬼针草、藿香蓟、野苘蒿、两耳草(表 4)。

表 4 2021 年外来入侵植物样方监测结果

Tab. 4 Monitoring results of invasive alien plants in 2021

序号	植物名	科	属	出现频率/次
1	紫茎泽兰	菊科	破坏草属	73
2	藿香蓟		藿香蓟属	67
3	肿柄菊		肿柄菊属	0
4	飞机草		飞机草属	48
5	金腰箭		金腰箭属	16
6	三叶鬼针草		鬼针草属	72
7	野苘蒿		野苘蒿属	57
8	蓝花野苘蒿			15
9	小蓬草		飞蓬属	38
10	苏门白酒草			8
11	牛膝菊		牛膝菊属	7
12	水茄	茄科	茄属	3
13	喀西茄			3
14	假烟叶树			1
15	阔叶丰花草	茜草科	丰花草属	67
16	刺芹	伞形科	刺芹属	3
17	两耳草	禾本科	雀稗属	55
18	地毯草		地毯草属	2
19	牛筋草		稗属 <i>Eleusine</i>	3
20	白茅		白茅属 <i>Imperata</i>	2
21	飞扬草	大戟科	大戟属	3
22	含羞草	豆科	含羞草属	1
23	黄香附	莎草科 Cyperaceae	莎草属 <i>Cyperus</i>	1
24	黄花稔	锦葵科	黄花稔属 <i>Sida</i> Linn.	2
25	南方菟丝子	旋花科	菟丝子属 <i>Cuscuta europaea</i>	1
26	喜旱莲子草	苋科	莲子草属 <i>Alternanthera</i> Forsk.	1

3.3 样线外及周边区域监测

为更详实地反映纳板河保护区外来入侵植物种类,2021 年的调查在对样线、样方调查的同时,增加了对 32 个社区居民点的监测,对外来入侵植物的界定及入侵等级以《云南省外来入侵物种名录(2019 版)》为依据。共记录到整个保护区外来入侵植物 37 科 88 属 136 种(表 5)。

4 结果分析

4.1 入侵植物种类数量

由于几次调查、监测所参考的依据不同,导致保护区内入侵植物的种类数量在 2004 年、2008 年调查的基础上有显著变化。

表 5 纳板河流域国家级自然保护区外来入侵植物名录(2021)

Tab. 5 List of invasive alien plants in Nabanhe

National Nature Reserve (2021)			
序号	科中文名	种中文名	入侵等级
1	商陆科 <i>Phytolaccaceae</i>	垂序商陆	I
2	落葵科 <i>Basellaceae</i>	落葵薯	I
3		落葵	V
4	藜科	土荆芥	I
5	苋科	喜旱莲子草	I
6		反枝苋	I
7		刺苋	I
8		凹头苋	II
9		绿穗苋	II
10		皱果苋	II
11		刺花莲子草	III
12		假刺苋	III
13		千穗谷	III
14		银花苋	III
15		苋	IV
16		青葙	IV
17		老枪谷	V
18		鸡冠花	V
19	豆科	光荚含羞草	I
20		银合欢	II
21		巴西含羞草	II
22		含羞草	II
23		金合欢	V
24		蝶豆	V
25		猪屎豆	V
26		翅荚决明	V
27		双荚决明	V
28		酸豆	V
29	旋花科	五爪金龙	I
30		圆叶牵牛	I
31		牵牛	II
32		茛萝	III
33		金灯藤	IV
34		南方菟丝子	V
35	马鞭草科	马缨丹	I
36		假马鞭	III
37		假连翘	V
38		蔓马缨丹	V
39	菊科	破坏草	I
40		藿香蓟	I
41		鬼针草	I
42		飞机草	I
43		一年蓬	I
44		小蓬草	I

续表 5

序号	科中文名	种中文名	入侵等级
45		苏门白酒草	I
46		肿柄菊	I
47		野苘蒿	II
48		香丝草	II
49		牛膝菊	II
50		粗毛牛膝菊	II
51		南美螞蚱菊	II
52		金腰箭	II
53		蓝花野苘蒿	III
54		秋英	IV
55		硫磺菊	IV
56		万寿菊	IV
57		多花百日菊	IV
58		大花金鸡菊	V
59		两色金鸡菊	V
60		天人菊	V
61		黑心菊	V
62		金光菊	V
63		百日菊	V
64	雨久花科	凤眼蓝	I
65	禾本科	大黍	III
66		两耳草	IV
67		地毯草	V
68		稗	V
69		牛筋草	V
70		白茅	V
71		棕叶狗尾草	V
72	天南星科 Araceae	大藻	I
73		千年芋	V
74	莎草科	香附子	I
75		风车草	III
76		黄香附	V
77	仙人掌科 Cactaceae	仙人掌	II
78		梨果仙人掌	II
79		单刺仙人掌	II
80	十字花科 Brassicaceae	豆瓣菜	IV
81	大戟科	飞扬草	II
82		蓖麻	II
83		苦味叶下珠	III
84		绿玉树	V
85		麻风树	V
86	锦葵科	赛葵	II
87		黄花稔	IV
88	葫芦科 Cucurbitaceae	红瓜	V
89	千屈菜科 Lythraceae	香膏萼距花	II
90	伞形科	野胡萝卜	II

续表 5

序号	科中文名	种中文名	入侵等级
91		刺芹	V
92	茄科	毛曼陀罗	II
93		曼陀罗	II
94		喀西茄	II
95		假烟叶树	II
96		水茄	II
97		少花龙葵	III
98		牛茄子	III
99		洋金花	IV
100		苦楝	IV
101		小酸浆	IV
102		大花曼陀罗	V
103		珊瑚豆	V
104	玄参科	野甘草	II
105		阿拉伯婆婆纳	IV
106		假马齿苋	V
107	荨麻科 Urticaceae	小叶冷水花	IV
108	紫茉莉科 Nyctaginaceae	紫茉莉	IV
109	马齿苋科 Portulacaceae	土人参	IV
110	蓼科 Polygonaceae	珊瑚藤	III
111		小酸模	III
112	西番莲科 Passifloraceae	龙珠果	III
113		细柱西番莲	III
114		西番莲	IV
115		鸡蛋果	V
116		大果西番莲	V
117	胡椒科 Piperaceae	草胡椒	IV
118	凤仙花科 Balsaminaceae	凤仙花	V
119	秋海棠科 Begoniaceae	四季秋海棠	V
120	桃金娘科 Myrtaceae	桉	V
121	夹竹桃科 Apocynaceae	长春花	V
122	萝藦科 Asclepiadaceae	马利筋	V
123	茜草科	阔叶丰花草	V
124		光叶丰花草	IV
125	景天科 Crassulaceae	落地生根	IV
126	酢浆草科	红花酢浆草	IV
127		宽叶酢浆草	IV
128	爵床科 Acanthaceae	鸭嘴花	V
129		小驳骨	V
130		山牵牛	V
131	石蒜科 Amaryllidaceae	龙舌兰	V
132		花朱顶红	V
133		葱莲	V
134		韭莲	V
135	鸭跖草科 Commelinaceae	紫竹梅	V
136		吊竹梅	V

据刘峰、陶国达、王东升等《纳板河自然保护区外来入侵植物现状调查及防范对策》显示:2008年,保护区内及周边区域外来入侵植物共有 17 科 28 属 32 种;又据 2014 年刘峰、王东升主编《纳板河流域国家级自然保护区外来入侵种》显示:保护区内及周边地区外来入侵植物共有 22 科 37 属 42 种;2021 年调查结果显示:共记录到整个保护区外来入侵植物 37 科 88 属 136 种。分析数据相差巨大的原因:(1)前几年的调查,由于参考的依据杂且出处不一,对外来入侵植物的界定各抒己见,导致记录到的入侵植物数量出入较大;(2)前几年的调查忽视了对人类活动频繁的社区周边的调查,导致记录不完整。2021 年的调查以《云南省外来入侵物种名录(2019 片)》为依据,纳板河地处云南省,故以此为依据较为科学。

4.2 保护区外来入侵植物的分布范围呈扩大趋势

在 4 个监测对象中,紫茎泽兰、藿香蓟分布最广,在 7 条样线中均有分布,飞机草其次,在 6 条样线中有分布,肿柄菊相对较少见,仅在 4 条样线中有分布。飞机草在 48 个样方中有出现,紫茎泽兰在 64 个样方中有出现,藿香蓟在 67 个样方中有出现,肿柄菊在样方中未出现。样线、样方在经过保护区村民的菜地、果园、玉米地附近时,紫茎泽兰、鬼针草、藿香蓟、金腰箭、两耳草呈片状分布;其他外来入侵植物中两耳草、苏门白酒草、野苘蒿、小蓬草分布最广,在 7 条样线和绝大部分样方中均有分布。多数种类在保护区内及周边区域为零星分布,从近几年调查人员目测来看,肿柄菊、阔叶丰花草的分布范围呈扩大趋势。

4.3 社区及样方、样线以外入侵植物

社区及样方、样线范围外调查记录到的外来入侵植物多为 1~2 年生陆生草本植物,呈零星或斑块状分布于实验区和缓冲区内,分布大多集中在社区村寨及附近,对当地植物和生态环境未构成大的威胁。肿柄菊、阔叶丰花草的分布范围呈扩大趋势,值得注意的是,五爪金龙、秋英、鸡冠花、青葙等作为绿化、观赏植物引入后,除在社区村寨种植外,目前在纳板河部分支流、公路沿线两侧不断蔓延,并逐渐延伸到纳板河两岸。

4.4 传播方式

4.4.1 人为传播

保护区内无人传播外来入侵植物行为发生,但如秋英、五爪金龙、鸡冠花、青葙作为绿化、观赏引入后,除在社区村寨种植外,有逃逸风险,目前在纳板河部分支流、公路沿线两侧不断有零星分布记录。

4.4.2 无意引入

保护区周边的荒地及村寨周围是外来入侵植物

分布较为集中区域,所有外来入侵植物在这些区域内基本有分布。由于保护区的建区理念及历史原因,保护区划定时,居民不搬迁、山林土地权属不变,基于此,形成了保护区内及周边区域存在大量人为活动的现状,人为活动会无意将外来入侵植物带入保护区。以位于保护区入口曼点村附近海拔 700 m 左右的样线 NBH-L07(WL)作分析,记录到的 28 种外来入侵植物中有 16 种均为人类活动无意引入。

4.4.3 对保护区生物多样性的干扰

截至 2021 年,保护区内共记录到 136 种外来入侵植物,主要分布于保护区缓冲区、实验区公路沿线、村寨周边、农田农地,在保护区核心区内相对较少,总体上对保护区的生物多样性不会造成大的影响。紫茎泽兰、飞机草、肿柄菊等均具有一定的化感作用,会抑制其他植物的生长,如果数量和范围继续扩大,存在对保护区生物多样性造成影响的隐患。

5 措施与建议

随着乡村振兴战略的实施以及保护区内生态旅游的升温 and 周边地区开发程度的不断加强,外来入侵植物的危害不容忽视。

1) 充分认识外来入侵植物防治的艰巨性、复杂性和长期性,尽早建立起具有小流域特色的外来物种风险评估机制并完善管理机制。

2) 加大宣传、教育和培训力度,提高公众对外来入侵植物的认识。

3) 加强与外来入侵物种监管和防治的相关部门的合作与交流。

4) 着力推进外来物种调查与监测,及时掌握外来入侵物种的动态,做到早发现,早清除,防患于未然。

参考文献:

- [1] 高正文,孙航,蒋学龙. 云南省外来入侵物种名录(2019 版)[M]. 昆明:云南科技出版社,2021.
- [2] 闫小玲,刘全儒,寿海洋,等. 中国外来入侵植物的等级划分与地理分布格局分析[J]. 生物多样性,2014,22(5):667-676.
- [3] 管志斌,邓文华,黄志玲,等. 西双版纳外来入侵植物初步调查[J]. 热带农业科技,2006,29(4):35-38.
- [4] 刘峰,陶国达,王东升. 纳板河自然保护区外来入侵植物状况调查及防范对策[J]. 林业调查规划,2008,33(6):112-117.

责任编辑:许易琦

校 对:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.009

云南松林的燃烧性研究综述

张鑫¹, 段顺美², 王秋华¹, 张文文¹, 龙腾腾¹, 王睿琛¹

(1. 西南林业大学 土木工程学院, 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明 650224;
2. 昆明市科技型中小企业技术创新基金管理中心, 云南 昆明 650106)

摘要:云南松是一种广泛分布于我国西南地区的易燃树种,其特殊的地理位置、气候气象、森林类型、林内生产生活用火的复杂和多样,导致云南松林的森林火灾次数较多,经济损失较大。通过对云南松林燃烧有关性的文献期刊、统计数据进行归纳整理和数据分析,结果表明,现有云南松林燃烧性的研究方法主要以热重分析法(TG)、锥形量热仪分析(CONE)、室内模拟点烧法和野外点火计划烧除为主,其它方法为辅。综合不同实验统筹分析其燃烧性,云南松是一种点燃性水平较低,剧烈性高,持续性中等,损耗性高的易燃树种。未来云南松林燃烧性研究将向燃烧多维模拟和多指标定量评估的方向发展,探讨云南松在垂直方向的燃烧连续性、发生树冠火的水平连续性、量化可燃物载量、火灾蔓延速度、灾后森林生态恢复等。

关键词:云南松林;燃烧性;热重分析法;室内模拟点烧法;计划烧除;研究综述

中图分类号:S791.257;S762 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0058-07

引文格式:张鑫,段顺美,王秋华,等.云南松林的燃烧性研究综述[J].林业调查规划,2022,47(2):58-64.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.009

ZHANG Xin, DUAN Shunmei, WANG Qiuhua, et al. Review on Combustibility of *Pinus yunnanensis* Forest[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 58-64. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.009

Review on Combustibility of *Pinus yunnanensis* Forest

ZHANG Xin¹, DUAN Shunmei², WANG Qiuhua¹, ZHANG Wenwen¹,
LONG Tengting¹, WANG Ruichen¹

(1. College of Civil Engineering, Southwest Forestry University/Yunnan Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control, Kunming 650224, China; 2. Kunming Innovation Fund for Small Technology-based Firms Administration Center, Kunming 650106, China)

Abstract: *Pinus yunnanensis* as a kind of inflammable tree species widely distributed in southwest China leads to forest fires and economic losses for the special geographical location and the complex and diverse climate, forest types and production and living fire. By summarizing and analyzing the literature, periodicals and statistical data related to the combustibility of *Pinus yunnanensis* forest, the results showed that the existing research methods were mainly thermogravimetric analysis (TG), cone calorimeter analysis (CONE), indoor simulated ignition and field ignition plan combustion, supplemented by other methods,

收稿日期:2021-03-17.

基金项目:国家自然科学基金项目(31960318,31660210);云南省农业联合面上项目(2018FG001-055,2018FG001-059);云南省教育厅科学研究项目(2020Y0382);大学生创新创业项目(202010677148).

第一作者:张鑫(1999-),男,陕西安康人,本科.主要从事森林防火方面的研究. Email:xiaofangcop1zx@163.com

责任作者:王秋华(1978-),男,福建长汀人,教授,博士生导师.主要从事森林防火研究. Email:qhwang2010@swfu.edu.cn

and the different experiments were combined to analyze the combustibility. *Pinus yunnanensis* is a kind of inflammable tree species with low ignitability, high intensity, medium persistence and high loss. In the future, the research of *Pinus yunnanensis* forest combustibility will be developed in the direction of multi-dimensional simulation and multi index quantitative evaluation, such as discussing the combustion continuity of *Pinus yunnanensis* in vertical direction, horizontal continuity of crown fire, quantifying fuel load, fire spreading speed, forest ecological restoration after disaster, etc.

Key words: *Pinus yunnanensis* forest; combustibility; thermogravimetric analysis; indoor simulated ignition; plan combustion; review

近十年来,我国生态文明建设以及森林防火工作有较大进展,据国家统计局(NBS)数据,我国森林火灾的发生次数、火场总面积、受害森林面积整体上呈现连年下降趋势。但由于森林火灾的不确定性,森林火灾发生后造成的直接经济损失、财产损失、人员伤亡等数量近十年呈现相反的趋势,有所上升。“木里森林火灾”“西昌森林火灾”等有很大的不确定性,其过火总面积高达 3 067 hm²。西昌森林火灾直接经济损失 9 731.12 余万元,其人员损失、财产损失数量呈现小幅增长。西南林区是我国的火灾高风险地区,这些经济相对落后地区的灭火救援装备配置不高,导致消防部队灭火救援的效率低^[1]。了解森林可燃物理化性质,发展现代灭火救援体系,掌握防火灭火理论并将之运用到实践变得尤为重要。

根据对近十年的西南地区森林火灾案例分析以及对火灾迹地的外业调查,火烧迹地的可燃物中活体植物受火灾影响最大,尤其是西南地区分布广泛的云南松(*Pinus yunnanensis*)。掌握云南松的燃烧特性对林火形成、发生、蔓延、控制、扑救工作有前瞻性意义。目前国内对云南松燃烧性的研究主要有以下成果:一些学者对云南松燃烧时的蔓延速度进行了分析^[2-5];一些学者对云南松的燃烧热值以及分布做了系统性研究^[6-9];一些学者采用间接测量的方法对云南松的燃烧消耗量做了宏观度量^[10-12];一些学者对云南松的细小凋落物、腐朽枯死残留物的燃烧性进行了多方面研究^[13-15]。基于模拟实验在室内进行,无法大规模在野外进行模拟点烧实验,实验的结果会与实际火灾发生时的火行为、火动向产生偏差。故室内模拟实验旨在减少实验误差,尽可能模拟出野外火行为以及火特征,同时在研究云南松的燃烧性时采用小面积野外点火计划烧除,从而对云南松的燃烧性进行全方位系统性的分析。

1 云南松概述

云南松是云贵高原上的特有树种,主要分布在我国的云南省以及周边省份,在云南、西藏东南部、四川、贵州、广西等地海拔 600~3 100 m 的地带,多组成单纯林,或与华山松(*Pinus armandii* Franch)、云南油杉(*Keteleeria evelyniana* Mast)、尼泊尔桧木(*Alnus nepalensis*)及栎类等树种组成混交林,分布面积广,生长极其旺盛。云南松多生长在山体的上坡、中坡,其中向阳面的分布数量较大于阴面,松脂含量高,属于易燃树种并且燃烧剧烈。

西南地区森林火灾主要发生在海拔低于 2 000 m 的地区,占有火灾面积的 86%^[16]。由于云南松的分布面积极其广泛,并且属于易燃树种,故发生森林火灾时其成为了最主要的过火载体之一。2019 年 3 月 30 日,四川省凉山州木里县发生森林火灾,火灾燃烧主体为云南松林,火场过火面积约 20 hm²。2020 年 3 月 30 日,凉山州西昌市发生森林火灾,其燃烧主体也是云南松林,火灾过火面积约 1 000 hm²。凉山州拥有云南松 127.5 万 hm²,蓄积量为 1.37 亿 m³,使该地区重特大森林火灾发生次数较多。云南松林区可燃物负荷量达 10~70 t/hm²,平均约 30 t/hm²。云南松林占云南省林分总面积的 19.63%,森林总蓄积量的 14.28%,属于半湿润常绿阔叶林被破坏后形成的次生性森林^[17-18]。云南松抗瘠薄能力强、生长迅速,常作为先锋树种进行拓荒种植,20 世纪 80 年代云南省营造了大面积云南松飞播林,现已郁闭成林。干湿分明的气候气象以及特殊的地理地形分布,导致云南松林在 11 月至次年 4 月的干旱期内林内空气相对湿度低、蒸发量大、风速达到峰值^[19],气候气象、地形因子的综合作用使得林内火险骤升,火灾风险极大。

2 云南松燃烧性研究的主要内容

可燃物是森林火灾的物质基础,也是火灾传播

的主导因素,对森林火灾的形成、发生、发展、控制和扑救产生重要的影响^[20-21]。可燃物燃烧性指可燃物在完全燃烧下表现出来的火行为蔓延特征,综合体现了其物理学和生态学特性^[22]。森林燃烧过程是多样性的,不同的物理性质和化学组成会产生不同的燃烧结果^[23]。云南松的燃烧受到多种因素的影响,包括海拔、气候气象因子、坡度、坡向、坡位等。现阶段的云南松燃烧性研究方法主要有野外样地直接燃烧法以及室内燃烧室模拟燃烧法。野外样地燃烧法由于危险性高、数据难以记录、损耗大、周期长而少有采用,现有研究主要采用室内模拟点烧实验法。通过对云南松可燃物理化性质的测定,对云南松燃烧性能进行标定、分级。

现有云南松林的燃烧性研究多为一维的燃烧性研究模型,本文将探讨由一维拓展到四维,即通过对云南松的点燃性、剧烈性、持续性以及损耗性来对燃烧性进行评价^[24],进而得出模拟燃烧的理化性质。实验测定的燃烧性参数及火行为指标包括引燃时间、火强度、热辐射、蔓延时间、火焰维持时间、火焰最高温度、无焰燃烧维持时间和温度等。

2.1 点燃性 (Ignitibility)

点燃性指可燃物遇火被点燃的难易程度。对点燃性的认识也是研究火焰传播性质的基础。研究森林可燃物的点燃性为防火救火工作提供了理论上的支持,在火灾发展之前便能有效做出相应对策,为灭火救援争取时间。为了发展理论模型需要,首先预测可燃材料在火灾中的可燃性,其次确定材料在何种条件下被点燃,然后确定材料的哪些性质的改进可减小火灾危险性。即必须了解材料是如何被点燃的^[25]。

云南松林的点燃性主要由室内模拟点烧得出,通过外业取样,对燃烧样本的相对湿度、含水率、点燃温度、引燃时间相应测定,进而了解其点燃性。Dibble 等^[26-28](2007)提出,用 TSI 评价可燃物的点燃性。许多模拟燃烧模型在研究可燃物的点燃性时都会应用相对湿度这一影响因素。可燃物的相对湿度直接影响了其点燃的难易程度,相对湿度也反映了可燃物所含的水分的高低。可燃物处于低含水率时相较于高含水率更容易点燃,所需要的点燃温度也较低。可燃物点燃温度越低,越易点燃,点燃性越好^[29]。采用热重分析等方法,以可燃物初始分解温度标定其点燃性,模拟云南松样本处于野外的不同含水率时,以 50 kW/m^2 的功率测出云南松不同构件的分解温度为 $152.4 \sim 383.6 \text{ }^\circ\text{C}$,点燃时间为 $(1.4$

$\pm 0.32) \text{ s} \sim (9.1 \pm 0.13) \text{ s}$,综合评价其点燃性属于低 (Low) 水平^[30-32]。

2.2 剧烈性 (Combustibility)

剧烈性指可燃物在被点燃后的燃烧速度,有助于了解林火蔓延速度、火灾发展趋势和林火行为。了解可燃物的燃烧速度对于森林火险预报、火灾救援指挥、生态环境抢救等都有积极意义。通常可燃物的燃烧速度与温度、燃烧热值、挥发分含量等因素有关。现阶段森林可燃物的燃烧速度通常由室内模拟点烧实验以及热重分析实验等来测定。在进行燃烧速度测定时,热源温度不足、氧气供应不足等均可能发生阴燃或熄灭,燃烧速度相对较慢。燃烧速度由多种因素共同作用,将可燃物由高含水率转变成低含水率的阶段所需要的时间越少,受热后挥发分作用得越快,燃烧时可燃物释放出的能量越多,则可燃物的燃烧速度也相应越快。云南松的活体叶片实验中由氧指数测定仪模拟林火的高温环境,通过记录的试验前后叶片的质量、面积、叶脉长度,计算云南松针叶的绝对燃烧速率和相对燃烧速率^[33]。

剧烈性也可以用 PHRR 等参数来评价,即了解可燃物燃烧时的最高热释放速率。通常,树木在发生火灾过火时,细小枝叶以及树皮最容易燃烧,而粗壮枝干不容易燃烧。将云南松的树皮、树叶以一定标准风干粉碎后,使用热重分析法对碾磨样本的综纤维素平均失重速率进行测量,以此评价云南松的燃烧速度^[34]。综纤维素的平均失重速率越快,热解产生的可燃气体就越多,燃烧就越剧烈。采用锥形量热仪对云南松完全燃烧时的最高热释放速率进行全面测量^[35],得其燃烧速度为 $0.26 \sim 0.33 \text{ m/min}$,其剧烈性为高水平,燃烧速度快。

2.3 持续性 (Sustainability)

持续性指可燃物燃烧过程的时间或空间连续性,即可燃物燃烧时的持续情况。时间上的连续性即可燃物从点燃至维持燃烧直至燃尽到蔓延这一完整过程;空间上的连续性即可燃物着火时在水平或垂直方向上发生蔓延,由局部火源发展为地表火、树冠火。了解云南松燃烧的时间或者空间上的连续性可以间接了解发生森林火灾时林火的持续时间,林火蔓延趋势以及林火潜在的行为和火灾发展规律,对灭火救援方式以及消防设备供配有指导性作用。

现阶段对云南松燃烧时持续性采用的研究方法多为室内模拟点烧实验。对云南松的持续性做出研究时,通常以稳进地表火这种林火形式进行模拟,人为构造不同类型的地被层以及林下调落物进行点

烧,并用 THR(总释放热量)评价其燃烧的持续性。通过在实验室模拟不同坡度不同起火点等相关因子,对云南松的地被层样本进行点烧,测量出地表凋落物干重燃烧热值、火焰持续时间、辐射强度等^[36]。金森、高健等使用热重仪对云南松燃烧时的生物组分进行分析,以纤维素失重时间跨度为对象标定云南松燃烧时的持续性。燃烧时的持续性受到多种因素共同作用,例如地理、气象因子等。综合上述分析,云南松林燃烧的持续性为中水平,燃烧持续时间较长。

2.4 损耗性(Consumability)

损耗性指可燃物燃烧过程中质量的损耗情况,其本质为可燃物所含水分、有机物、木质素、纤维素等随着燃烧放能而挥发。云南松燃烧时的损耗性可以用灰分含量进行标定。灰分含量即可燃物完全燃烧挥发后剩余的固体残留物的百分数。灰分其本质为矿物质,灰分含量越低则证明可燃物燃烧的越彻底。灰分含量可以标定可燃物燃烧的剧烈程度,燃烧的持续时间以及燃烧热等一系列参数。在野外发生森林火灾时可燃物无法完全燃烧,受到温度、火强度、地被层密度等因素的影响,灰分的测定会有偏差,故评价损耗性需要引入另外一种参数—烧损率。

烧损率是云南松室内点烧实验的又一项研究内容,通过测量被火烧掉部分可燃物的质量与可燃物总质量,评价可燃物的燃烧状况以及质量损失状况。通常,烧损率可做为云南松损耗性研究的另一个评价标准。室内模拟点烧实验对云南松林下地被层的烧损率以及灰分含量进行测定,测出云南松处于不同燃烧状态时其烧损率为 40.09%~80.37%,灰分含量为 0.97%~6.55%^[37-38]。基于微商热重法测量出可燃物燃烧时的相关失重特性指标,对可燃物燃烧时的损耗性进行系统性的评价^[39],结论为云南松发生燃烧后烧损率较高,灰分含量很少,其损耗性为高(High)水平,燃烧较为完全。

3 云南松燃烧性研究的主要方法

3.1 热重分析法

热重(TG)分析法通过对可燃物微小分子热解过程的模型分析、数据处理,统筹分析归纳出森林可燃物的自身燃烧性质。对可燃物进行热重分析,能够迅速、精确地表示出固态物质在热解过程中的热稳定性和热行为,在对可燃物的热分析处理过程中被大量使用^[40]。通过热重分析法得出的函数曲线,

能够间接反映可燃物燃烧时的失重状况以及热解特性。

热重分析是森林可燃物失重率与温度之间的函数,通常将森林可燃物的热失重温度作为曲线横坐标。以热重分析法引伸出来的微商热重法(DTG)是将热重分析法得出来的热重曲线对时间或温度一阶微商的结果标为新的温度^[41],纵坐标为可燃物的质量变化率。两种函数曲线相互对应,可更清晰地反映出可燃物的失重状况。在国内,张宏宇等^[42]基于热重法对昆明周边林区的阔叶树种叶片进行了热重分析,并且建立了一级反应方程;宋彦彦等^[43]等对黑龙江帽儿山的一些典型森林可燃物的热解特性以及热解动力学进行研究,得到了木质素与纤维素在热解过程中与温度、失重速率的关系;王雷等^[44]对呼和浩特市园林典型树种的热解动力学以及热稳定性进行了分析并得到了相关成分的失重曲线;于娟等^[45]采用热重分析对常见生物质材料的热解动力学进行研究;张小芹等^[46]使用热重法对一些典型干杂物的热解特性以及燃烧性进行分析。

3.2 锥形量热仪实验分析法

自 Babrauskas et al^[47](1984)设计开发了锥形量热仪(简称 CONE)后,国内外的各学科学者利用其对森林可燃物的燃烧性进行了多方面的研究。Dimitrakopoulos 等使用锥形量热仪对地中海常见植物的点燃时间(TSI)进行了测定,并且采用判别分析法和聚类分析法综合评价各类当地植物的可燃性;White 等将 CONE 的热辐射功率控制为 25 kW/m² 和 50 kW/m²,在不同的辐射功率下测定出了不同植物的燃烧特征,利用最大热释放速率(peak heat release rate, PHRR)和平均有效热含量(effective heat content, EHC)对植物的燃烧性进行了评价;对 4 种常见针叶树—油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platyladus orientalis*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massiana*)的活枝进行试验,对 4 种树木总释放热量、热释放速率、质量损失率进行了评估和比较^[48-49]。

CONE 能够模拟出更接近野外的燃烧环境和燃烧状态,可极大地提高室内模拟实验的准确性。高精度的测量数据和高速率的实验过程,使得实验结果可信度高、实验周期短。在对可燃物的燃烧放热量、温度失重曲线、热释放速率峰值、火发生指数等参数进行高精度测量时,该仪器可以发挥出重要作用。

3.3 室内模拟点烧法

室内模拟点烧法通常经过外业取样、样本准备、模拟点烧、数据分析这几个步骤,人为构造可燃物床进行森林可燃物的燃烧性研究^[50-51]。外业取样时在不同地块不同位置采集云南松的林下调落物、地被下层腐朽颗粒物、活枯枝叶、茎干等;样本准备阶段一般将采集的样品做自然风干或机械烘干处理,对于不同的实验将样品进行切段或粉碎,人为控制、测定样本的含水率、载量等;在模拟点烧阶段对云南松的绝对含水率、熄灭含水率、挥发分含量、燃烧热值、灰分、热辐射强度、点燃温度、着火时间、发烟量、烟气温度等进行测定^[52-54],并通过多次实验减少实验误差;最后,归纳对比实验数据,分析研究成果的准确性与合理性。

3.4 野外点火计划烧除法

野外计划烧除作为控制森林可燃物载量、人为预防森林火灾发生的一项林火防治措施,现阶段已经较为成熟^[55]。云南松林计划烧除的大面积推广应用,为云南松林科学防火,减少可燃物载量做出了贡献。选择合理的周期,合理的时间、地点进行计划烧除,能够有效地降低森林火险,并且为林下产业、林下生态做出贡献。计划烧除的主体为云南松的林下调落物,即云南松枯枝、针叶、球果、树皮等。未及时分解的凋落物是发生地表火时燃烧的主体,计划烧除将这部分危险易燃物以下坡火的形式缓慢燃烧,控制其放能速率,使燃烧释放出的能量不致伤害到树干,且燃烧后的灰分可为林分提供大量养分。

云南松林野外点火计划烧除,对云南松的燃烧性相关研究有极大促进作用,对探究云南松林的林火蔓延速度、初始蔓延速度、火强度、火焰高度、碳化高度、可燃物含水量、可燃物消耗量、火烧技术以及林分状况、气象条件等多项指标有精确结果^[56]。在对云南松进行计划烧除时,要对烧除区的火行为和火动向进行预先评价,对树木的近地冠幅、树枝树杈等做出修剪处理,防止地表火蔓延为树冠火等不利火行为。烧除区与未烧除区之间要构建可靠的防火隔离带,防止计划烧除的地表火发生蔓延或形成飞火^[57]。

4 研究展望

云南松是一种燃烧性较高的树种,在发生森林火灾时容易着火且易发生蔓延^[58]。现有云南松林多为单纯林,或与栎类、桉木、阔叶树种以及其它针

叶树种组成混交林,其中云南松—灌木、云南松—落叶栎类、云南松—其它针叶树种混交林的火险等级较高。在对云南松林的火灾风险进行评估时,应对以上混交林的林内可燃物载量进行判断,并按照不同情形制定不同的防火措施。

云南松抗土壤瘠薄能力较强,大多分布在山体的中上部以及向阳面,对干旱的环境已经有了适应性。不同的过火类型对云南松所造成的危害也大不相同。由于特殊的构造,云南松对地表火有一定的抵抗能力,地表火很难对其造成致命伤害。但如果发生树冠火,云南松基本没有抵御的能力,植株存活的几率极低,最终会使云南松林大面积受损。林火对云南松的自然更新以及种内分化有一定的促进作用。在发生树冠火时,林冠中宿存的球果可有效地保护种子,球果的鳞片能够抵御一定的高温。未来云南松林燃烧性的研究将向可燃物燃烧多维模拟和多指标定量评估的方向发展,例如将一维的燃烧性研究拓展为四维的研究,探讨云南松在垂直方向的燃烧连续性,发生树冠火的水平连续性,量化可燃物载量、火灾蔓延速度、灾后森林生态恢复以及林火对森林种内分化的影响等。

参考文献:

- [1] 栾婷婷,王亚坤,张馨. 2008—2018年我国森林火灾事故统计分析[J]. 2020,41(10): 32-38.
- [2] 李世友,马爱丽,刘会龙,等. 云南松林细小可燃物层燃烧初始蔓延速度的初步研究[J]. 浙江林业科技,2009,29(1):54-57.
- [3] 金森,杨艳波. 基于锥形量热仪的一维和三维燃烧性评价比较:以南方7种树叶为例[J]. 林业科学,2016,52(8):88-95.
- [4] 张文文,闫想想,王秋华,等. 计划烧除对云南松纯林可燃物的影响[J]. 消防科学与技术,2020,39(6):750-753.
- [5] 张家来,曾祥福,刘学全,等. 湖北森林防火树种选择的研究[J]. 华中农业大学学报,2000,19(1):84-90.
- [6] 舒立福,田晓瑞,李红,等. 我国亚热带若干树种的抗火性研究[J]. 火灾科学,2000,9(2):1-7.
- [7] DIMITRAKOPOULOS A P, PANOV P I. Pyric properties of some dominant Mediterranean vegetation species [J]. International Journal of Wildland Fire, 2001, 10(1): 23-27.
- [8] 张景群,康永祥,李瀚. 二个水分因子在防火树种选择中的应用分析[J]. 西北林学院学报,1999,14(3):89-92.
- [9] BRENT M P, CARL I, REBECCA W, et al. Flame interac-

- tions and burning characteristics of two live leaf samples[J]. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, 18: 865-874.
- [10] 马志贵,王金锡. 论云南松森林计划火烧三原则[J]. *四川林业科技*, 1992, 13(2): 45-49.
- [11] 唐晓燕,孟宪宇,易浩若. 林火蔓延模型及蔓延模拟的研究进展[J]. *北京林业大学学报*, 2002, 24(1): 87-91.
- [12] 满子源,胡海清,郭妍. 平地无风条件南方 8 种凋落物的消耗量[J]. *东北林业大学学报*, 2019, 47(12): 41-44.
- [13] 马志贵,鄢武先,杨道贵. 云南松计划烧除林地危险可燃物累积量动态及计划烧除周期探讨[J]. *四川林业科技*, 1998, 19(1): 23-28.
- [14] 闫想想,王秋华,李晓娜,等. 昆明周边主要林型地表可燃物的燃烧特性研究[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2020, 40(5): 135-142.
- [15] 王秋华,刘文国,李世友,等. 昆明西山国家森林公园粗死木质残体的燃烧性研究[J]. *江西农业大学学报*, 2013, 35(1): 138-143.
- [16] 王叁,牛树奎,李德,等. 云南松林可燃物的垂直分布及影响因子[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(2): 331-337.
- [17] 牟克华,王金锡,马志贵. 攀西地区云南松林燃烧性的研究[J]. *四川林业科技*, 1991, 12(2): 29-36.
- [18] 邓喜庆,皇宝林,温庆忠,等. 云南松林在云南的分布研究[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2013, 35(6): 843-848.
- [19] 李洁,刘芝芹,杨旭. 滇中高原森林生态站冬春季森林小气候特征研究[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2020, 40(3): 28-36.
- [20] DIBBLE A C, WHITE R H, LEBOW R K. Combustion characteristics of north-eastern USA vegetation tested in the cone calorimeter: invasive versus non-plants[J]. *International Journal of Wildland Fire*, 2007, 16: 426-433.
- [21] DIMITRAKOPOULOS A P, PAPAIOANNOU K K. Flammability assessment of Mediterranean forest fuels[J]. *Fire Technology*, 2001, 37: 143-152.
- [22] WANG S, NIU S K. Fuel classes in conifer forests of Southwest Sichuan, China, and their implications for fire susceptibility[J]. *Forest*, 2016, 7(52): 1-13.
- [23] 李旭,王秋华,张雨瑶. 滇中火灾高发区 15 种木本植物燃烧性研究[J]. *林业调查规划*, 2016, 41(2): 62-68.
- [24] ANDERSON H E. Forest fuel ignitibility[J]. *Fire Technology*, 1970, 6(4): 312-319.
- [25] 李玉栋. 木材点燃温度的测定[J]. *火灾科学*, 1992, 1(1): 25-30.
- [26] DIBBLE A C, WHITE R H, LEBOW R K. Combustion characteristics of north-eastern USA vegetation tested in the cone calorimeter: invasive versus non-invasive plants[J]. *International Journal of Wildland Fire*, 2007, 16(4): 426-443.
- [27] DIMITRAKOPOULOS A P. A statistical classification of Mediterranean species based on their flammability components[J]. *International Journal of Wildland Fire*, 2001, 10(2): 113-118.
- [28] SALAHEDDIN E M, HAMED H, MOHAMMED Y, et al. Assessment of flammability of moroccan forest fuels: New approach to estimate the flammability index[J]. *Forests*, 2017, 8(443): 1-16.
- [29] 裴建元. 10 种阔叶树种理化性质的研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2015, 35(2): 16-21.
- [30] 翟振岗,刘乃安. 基于热重因子分析的树叶试样燃烧性研究[J]. *火灾科学*, 2008, 17(2): 67-72.
- [31] 金森,杨艳波. 基于热重的南方 7 种典型乔木叶片热解特性和燃烧性分析[J]. *中南林业科技大学学报*, 2015, 35(12): 58-63.
- [32] 李世友. 昆明“3·29”森林火灾对防控林区火灾的启示[J]. *中国安全生产科学技术*, 2009, 5(6): 48-52.
- [33] 李世友,赵家刚,张雨瑶,等. 滇中地区 11 种森林木本植物活叶片抗火性能[J]. *华中农业大学学报*, 2015, 34(5): 25-30.
- [34] 胡海清,高健,胡同欣. 基于热重分析的延边州地区 7 种常见乔木树种的燃烧性排序[J]. *中南林业科技大学学报*, 2020, 40(11): 1-10.
- [35] 金森,王舜尧. 基于热重分析的南昌地区 8 种森林可燃物三维燃烧性评价[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(12): 3657-3662.
- [36] 徐伟恒,吴超,杨磊,等. 滇东北地区华山松与云南松的地表凋落物载量及火强度对比研究[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2019, 39(5): 151-156.
- [37] 肖慧娟,岳彩荣,袁华,等. 滇中安宁“3.29”重大森林火灾火烧迹地的可燃物特征初步分析[J]. *林业调查规划*, 2013, 38(6): 72-76.
- [38] 徐伟恒,黄邵东,杨磊,等. 滇东北地区云南松地表可燃物载量及火强度研究[J]. *西部林业科学*, 2019, 48(4): 19-26.
- [39] 任宁,张建军. 热分析动力学数据处理方法的研究进展[J]. *化学进展*, 2006, 18(4): 410-416.
- [40] 王昶,徐敬,贾青竹. 植物类生物质热解特性及动力学研究[J]. *天津科技大学学报*, 2007, 22(1): 8-12.
- [41] 沈德魁,余春江,方梦祥,等. 热辐射下常用木材热解的动力学与燃烧特性[J]. *燃烧科学与技术*, 2008, 14(5): 446-452.
- [42] 葛巍巍,张宏宇,唐朝纲,等. 昆明地区 16 种阔叶树种叶的热重分析[J]. *林产化学与工业*, 2010, 30(6): 77-81.
- [43] 金森,宋彦彦,孙才英. 黑龙江帽儿山 12 种草本可燃物的慢速升温热解特性[J]. *林业科学*, 2012, 42(10): 101-108.

- [44] 王雷,徐家琛,甄雅星,等. 基于热重分析的呼和浩特主要园林树种热解动力学研究[J]. 北京林业大学学报,2020,42(2):1000-1522.
- [45] 于娟,章明川,沈轶,等. 生物质热解特性的热重分析[J]. 上海交通大学学报,36(10):1475-1478.
- [46] 宗若雯,张小芹,李松阳,等. 典型干杂类可燃物的热重分析[J]. 燃烧科学与技术,2009,15(4):309-315.
- [47] BABRAUSKAS V. Development of the cone calorimeter, a bench-scale heat release rate apparatus based on oxygen consumption[J]. Fire and Materials, 1984,8:81-95.
- [48] 李克,倪泽仁,刘晓东,等. 南京市 5 种常见树种的燃烧性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(1):1-13.
- [49] 彭徐剑,鞠琳,胡海清. 黑龙江省 4 种针叶树种的燃烧性[J]. 东北林业大学学报,2014,42(1):71-75.
- [50] 王秋华,李伟,刘世远,等. 滇中昆明地区森林火灾的火环境研究[J]. 江西农业大学学报,2015,37(1):108-113.
- [51] 李世友,陈宏刚,罗文彪,等. 昆明地区主要造林树种鲜枝叶的燃烧性研究[J]. 西北林学院学报,2008,23(5):148-152.
- [52] 王秋华,闫想想,龙腾腾,等. 昆明地区华山松纯林枯枝的燃烧性研究[J]. 江西农业大学学报,2020,42(1):66-73.
- [53] 李世友,张桥蓉,马爱丽,等. 6 种针叶树活枝叶在森林防火戒严期的燃烧性比较[J]. 安徽农业大学学报,2009,36(2):178-183.
- [54] 闫想想,王秋华,缪秀丽,等. 昆明西山林场 5 种可燃物的火行为研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(1):197-204.
- [55] 高仲亮,舒立福,王明玉,等. 云南松烧除火蔓延速率预测模型研究[J]. 安全与环境学报,2016,16(4):82-86.
- [56] 王金锡,马志贵,牟克华,等. 云南松计划烧除试验研究(之一)[J]. 森林防火,1993,1(36):9-13.
- [57] 王秋华,徐盛基,李世友,等. 云南松林飞火形成的火环境研究[J]. 浙江农林大学学报,2013,30(2):263-268.
- [58] 李世友,杨清,张凯,等. 从预防树冠火角度确定云南松的最低修枝高度[J]. 江西农业大学学报,2009,31(1):99-103.

责任编辑:刘平书

校 对:邓砚 刘平书

(上接第 19 页)

参考文献:

- [1] 张军海,李仁杰. 地理信息系统原理与实践[M]. 北京:科学出版社,2009:45-47.
- [2] 周春峰. 浅谈基于 ArcGIS 的影像批量裁剪[J]. 北京测绘,2015(6):136-138.
- [3] ESRI 中国(北京)培训中心. ArcGIS 10.0 中文基础教程[M]. 北京:ESRI 中国(北京)有限公司,2011.
- [4] 牟乃夏,刘文宝,王海银,等. ArcGIS 10 地理信息系统教程[M]. 北京:测绘出版社,2012:48-50.
- [5] ESRI. ArcGIS Desktop Help 10“ What is Model Builder?” [EB/OL]. [2011-09-13]. <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/What-is-Model-Builder/002w0000001000000/>.
- [6] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社,2006:16-17.
- [7] 倪锡春,范园园,陈永良. 基于 ModelBulider 的城市部件数据建库[J]. 城市勘测,2013(8):45-48.
- [8] 陈应跃,甘淑,田禹东,等. 山区土地评价的 GIS 空间分析建模研究[J]. 国土资源遥感,2015,27(2):196-200.
- [9] 张魁,史秋晶. 基于模型构建器的矢量数据批量裁剪处理方法研究[J]. 江苏科技信息,2015(14):51-53.
- [10] 邵全琴,周成虎,杜云艳,等. 迭代演进式 GIS 需求分析模型研究[J]. 遥感学报,2001,5(5):358-366.
- [11] 周扬,李潇丽,吴文祥,等. 基于 Model Builder 的库区生态敏感性分析[J]. 安徽农业科学,2009,37(29):14272-14275,14322.
- [12] 洪华. GIS 下的土地利用规划空间布局合理性评价[J]. 测绘与空间地理信息,2021(2):113-117.
- [13] 杨斌,顾秀梅,刘建,等. 基于 ArcGIS 的山地与非山地分类方法体系研究[J]. 国土资源遥感,2011,23(4):64-68.
- [14] JOHNSTON K. Using ArcGIS geostatistical analyst[M]. Redlands:Esri Press,2004:280.
- [15] HOSSEIN S. An Evaluation of Extende Entity-Relationship Model[J]. Information and software Technology, 1997, 39:449-462.

责任编辑:许易琦

校 对:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.010

基于森林火灾热点数据的无人机优化组合调度研究

李梦瑶, 吴梦青, 陈天齐, 高欣慧, 赵倩
(曲阜师范大学 工学院, 山东 日照 276800)

摘要:以澳大利亚东南部森林火灾为例,收集大量相关数据,利用 ArcGIS 分析得到火灾热点图,采用人工蜂群算法求解出无人机传输信号的最短路径,再根据多目标线性规划实现 SSA 无人机和无线电中继无人机的最优组合。通过分析地形对无人机信号传输的影响,建立了中继无人机选址优化模型,通过 GIS 空间分析法和免疫优化算法求得优化后无线电中继无人机的最优位置。该系统利用火灾热点数据,综合考虑观测及通信任务的需求和地形影响,实现了 SSA 无人机和无线电中继无人机的组合调度以及优化选址,为大型森林火灾扑救工作提供了研究思路。

关键词:森林火灾热点;无人机调度;人工蜂群算法;GIS 空间分析;免疫优化

中图分类号:S762.34;TB853.19 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0065-05

引文格式:李梦瑶,吴梦青,陈天齐,等.基于森林火灾热点数据的无人机优化组合调度研究[J].林业调查规划,2022,47(2):65-69. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.010

LI Mengyao, WU Mengqing, CHEN Tianqi, et al. UAV Optimal Combination Scheduling Based on Fire Hotspots Data[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 65-69. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.010

UAV Optimal Combination Scheduling Based on Fire Hotspots Data

LI Mengyao, WU Mengqing, CHEN Tianqi, GAO Xinhui, ZHAO Qian
(College of Engineering, Qufu Normal University, Rizhao, Shandong 276800, China)

Abstract: A large amount of forest fire-related data in southeastern Australia was collected, the fire hotspot map was obtained by ArcGIS analysis, the shortest path of UAV transmission signal was solved by artificial bee colony algorithm, and then the optimal combination of surveillance and situational awareness UAV and radio relay UAV was realized according to multi-objective linear programming. By assessing the influence of terrain on UAV signal transmission, an optimization model of relay UAV site selection was established, and the optimal position of the radio relay UAV was obtained through GIS spatial analysis method and immune optimization algorithm. The system used fire hotspots data, comprehensively considered the needs of observation and communication tasks and the impact of terrain, realized the combined scheduling of UAV and the optimization of site selection, providing research ideas for large-scale forest fire fighting work.

Key words: fire hotspots; UAV scheduling; artificial bee colony algorithm; GIS spatial analysis; immune optimization

收稿日期:2021-03-17.

第一作者:李梦瑶(1999-),女,山东莒县人,本科.研究方向为自动化嵌入式开发.

责任作者:赵倩(1987-),女,山东单县人,博士,副教授.研究方向为电磁无损检测技术、信号处理.

澳大利亚位于南太平洋和印度洋之间,被海洋包围,陆地面积 769.2 万km²,但中部约 70%的土地位于干旱或半干旱地区,极度缺水和荒凉。世界上绝大多数桉树均在澳大利亚种植,桉树占澳大利亚森林面积的 70%。桉树是一种“易燃”树种,叶子富含蜡和油,容易引起森林火灾。澳大利亚著名生物学家和作家杰里米·格里菲斯说,澳大利亚严重的森林火灾是由桉树引起的^[1]。

1 研究背景

在每年火灾多发季节,几乎所有州都受到火灾的影响,新南威尔士州和维多利亚州东部受影响最大。2019 年 10 月 1 日至 2020 年 1 月 7 日澳大利亚东南部的火灾热点见图 1。

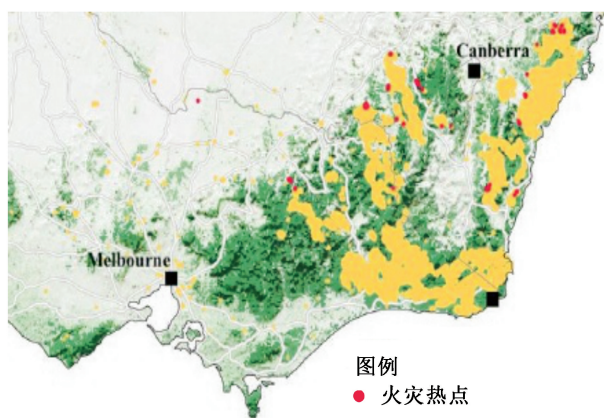
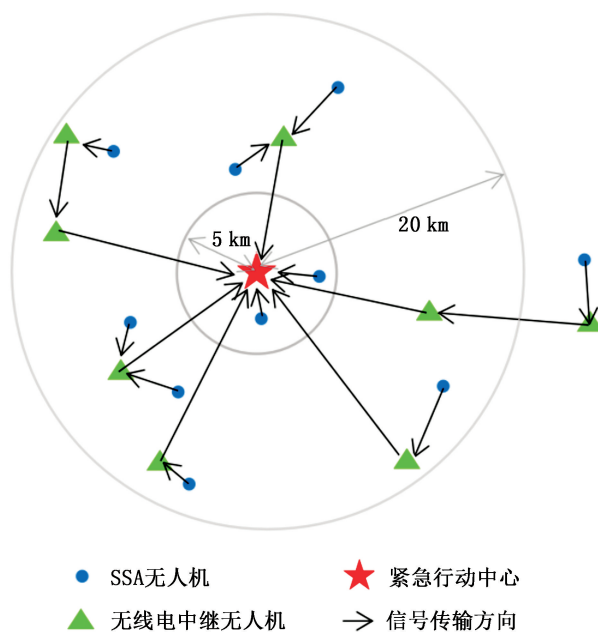


图 1 澳大利亚东南部火灾热点

Fig. 1 Fire hotspots in southeastern Australia

早在几年前,国家消防局(Country Fire Authority, CFA)就使用监视和态势感知无人机(Surveillance and Situational Awareness, SSA)进行火灾监测,以便紧急行动中心(Emergency Operations Center, EOC)能够最好地指挥前线人员。但是部署人员携带的手持双向无线电传输范围受到低发射功率(通常为 5 W)的限制,其标称射程仅为 5 km。因此单独的 SSA 无人机不能完美、快速地监测森林火灾。

搭载中继器无人机的出现解决了 SSA 无人机射程低的问题。中继器是一种收发机,能以更高的功率自动重播信号,并能扩大无线电信号达 20 km 的射程,因此可以使用带有中继器的无人机来扩展前线低功率无线电的范围,将火灾信号稳定传送给 EOC(图 2)。



● SSA无人机 ★ 紧急行动中心
▲ 无线电中继无人机 → 信号传输方向

图 2 无人机与紧急行动中心位置关系

Fig. 2 Location relationship between UAV and Emergency Operations Center

本文根据已知的火灾热点实现无人机的最优调配,并在综合考虑地形因素对传输信号的影响后,实现无人机位置的优化。目前,国内外针对应急情况下无人机的调配和优化选址均有大量研究,并取得一定成果。白俊强等^[2]利用蚁群算法提出了适用于航路规划的优化方法,通过无人机的攻击任务航路进行仿真计算,实现有效的线路规划。杨忠振等^[3]针对大兴安岭地区森林火灾问题,以所需时间和费用最少为目标,建立多目标优化模型,并用免疫克隆算法进行求解,实现对救援车辆路径的优化调度。在优化选址问题中,苏宇轩^[4]在森林防火视频监控点布局上,综合运用地理信息系统(Geographic Information System, GIS)空间分析法、层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)等,对监控点进行合理选址和布局,并通过优劣评价优化布局方案。张舒^[5]针对森林防火应急物流系统中的服务中心选址问题进行优化研究,提出基于蚁群算法的优化模型,并将优化模型应用到广州市森林防火的具体实际问题中。傅伟等^[6]提出一种基于地理位置的无人机包回传分段优化机制,根据路径采取的转发策略设置分段点,优化传输路径。而本文主要采用人工蜂群算法求解出无人机传输信号最短路径,利用 GIS 空间分析法和免疫优化算法求得无线电中继无人机的最优位置。

2 研究思路

通过采集地形和火灾数据,利用 ArcGIS 软件描绘当地的地形图和火灾热点分布,提取火灾热点核密度的经纬度坐标,通过人工蜂群算法求得核密度之间的最短路径。以最短路径及设备成本的经济性等限制因素构建多目标线性规划模型,利用该模型计算得到 SSA 无人机和无线电中继器无人机的最佳数量和组合。最后,分析地形对无人机信号传输的影响,利用 GIS 空间分析法和免疫优化算法求得优化后无线电中继无人机的最优位置。

3 基于火灾热点的无人机调度方案

3.1 分析思路

Carlos Paradis^[7]整理了来自 NASA 卫星仪器 MODIS C6 和 VIIRS 375 m 的澳洲大火数据资料,并发布在 Kaggle 上。对这些数据进行整理,利用 ArcGIS 软件绘制出 2019 年 9 月至 2020 年 1 月澳洲大火的火情地图,得到澳大利亚东南部火灾热点分布及火灾等级,并根据核密度选取了代表性火灾热点(图 3)。

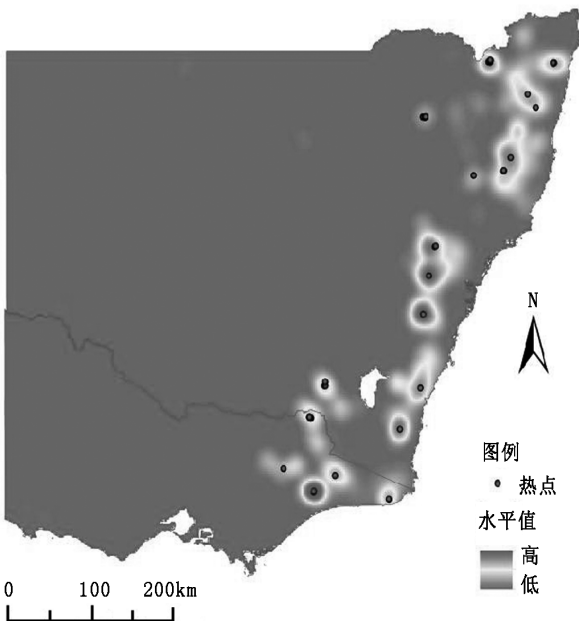


图 3 澳大利亚东南部代表性火灾热点分布

Fig. 3 Distribution of representative fire hotspots in southeastern Australia

根据提取的火灾热点,通过人工蜂群算法计算出紧急行动中心到各个着火热点的最短路径。人工蜂群算法是一种基于群智能的随机优化算法。蜜蜂根据各自的分工进行不同的活动,实现蜂群信息的

共享和通信,从而为函数的数值优化找到最优解^[8]。算法的具体步骤如图 4 所示。

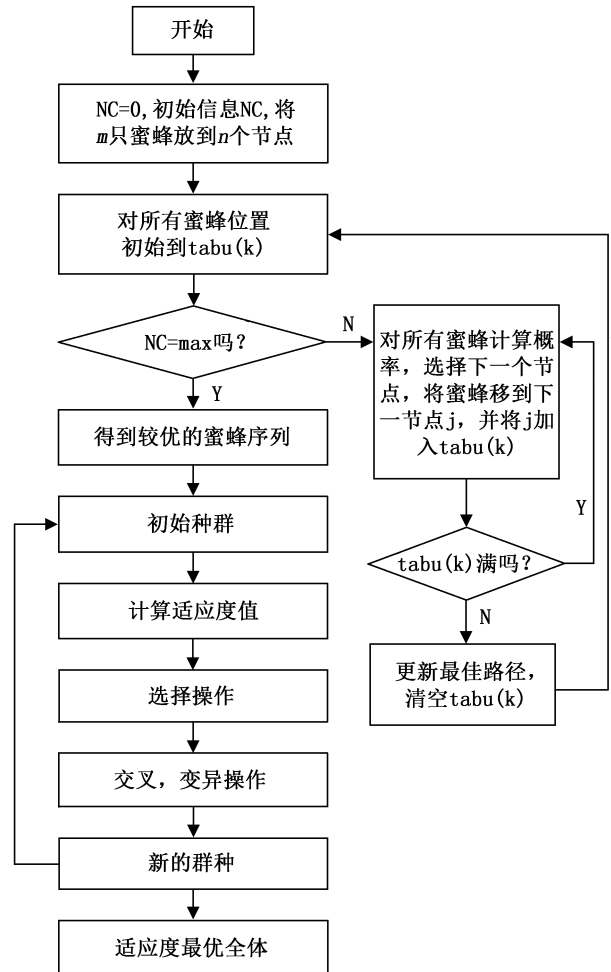


图 4 人工蜂群算法流程

Fig. 4 Flow chart of artificial bee colony algorithm

无线电中继无人机在多火灾热点的规划问题可描述为:在紧急行动中心位置确定的条件下,设计一种可通过调节无线电中继无人机路径和火灾安全性代价的权重系数来实现 SSA 无人机和无线电中继无人机最优组合规划的方法,实现无人机费用支出最少的情况下救援火灾热点覆盖的最大化,从而确定出两种无人机数量的最优分配。

根据火灾热点覆盖度建立目标函数 f_1 ,由无线电中继无人机飞行距离建立目标函数 f_2 。考虑到火灾热点附近的 SSA 无人机在无线电中继无人机射程范围内,并保证无线电中继无人机的飞行距离在其能力范围内,目标函数通过分配不同的权重将多目标寻优问题转换为单目标寻优问题。

$$f = \min(-pf_1 + qf_2) \tag{1}$$

式中： p 和 q 为权重系数。约束条件包括无线电中继无人机执行飞行任务的能力约束，以及所有无线电中继无人机的路径约束，由此得出无人机的具体数量。

3.2 研究结果

使用多目标线性规划模型计算得到的两种无人机数量，能在保证安全性的情况下，实现经济的最优化。线性规划所得结果如表 1 所示。

表 1 无人机数量
Tab. 1 Number of UAV

名称	数量/架
SSA 无人机	768
无线电中继器无人机	48

4 考虑地形因素的无人机位置优化

4.1 地形地貌对中继无人机分布的影响

在空旷地或地形起伏不大的环境下，无线电信号强度随着距离的增加而减弱，在某一个距离时信号有增强的趋势并出现峰值，此时信号受干扰的程度最低，随着距离的增加信号强度减小。因此可以在地理空间中应用干扰模型进行无线电中继无人机的布设。

影响野外无线电传输距离的因素主要有发射功率、接收灵敏度和工作频率。在实际应用中，设备的发射功率和工作频率是固定的，实际影响野外无线电传输距离的是接收灵敏度。而接收灵敏度主要受澳大利亚东南部地形地貌的影响。无线电波碰到高地等地形障碍物时，障碍物一般均会对无线电波产生吸收和反射，如果传输路径中地形地貌比较复杂，会显著影响数据传输的距离^[9]。因此，地形越复杂，对信号的干扰就越强，故需要对无人机位置进行优化。

4.2 研究方案

结合 GIS 空间分析和免疫算法 (Immune Algorithm, IA)，探究无人机选址的优化模型。在进行模型优化的过程中，遗传算法和免疫算法均能对模型进行优化。但是，免疫算法克服了遗传算法寻优过程中的早熟问题，具有良好的收敛速度。因此选择免疫算法来对模型进行进一步优化。

免疫算法^[10]与生物免疫系统工作原理类似，算法中的目标函数相当于抗原，目标函数的解集对应

抗体，通过评价个体的期望繁殖概率 P 来确定最优解。期望繁殖概率 P 的大小与抗体、抗原间亲和力 A 成正比，与抗体浓度 C 成反比，意味着适应度高的抗体会被鼓励，而浓度大的个体将被抑制，通过精英保留策略，将高浓度且与抗体适应度 A 高的个体存入记忆库，避免局部最优，获取全局最优解。

GIS 空间分析是一种能够对整个或部分地球表层 (包括大气层) 空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的专业技术。在无线电中继无人机位置的优化过程中，采用 GIS 空间分析技术对选址影响因子进行空间分析，选出符合条件的无线电中继无人机选址点^[11]。

4.3 研究过程与结果

1) 建立免疫优化模型

首先根据澳大利亚东南部地形图分析火灾区地形对无线电中继无人机通信的影响，假设无人机数量不变，建立基于免疫算法的选址优化模型，确定无线电中继无人机优化点的位置。具体流程如图 5 所示。

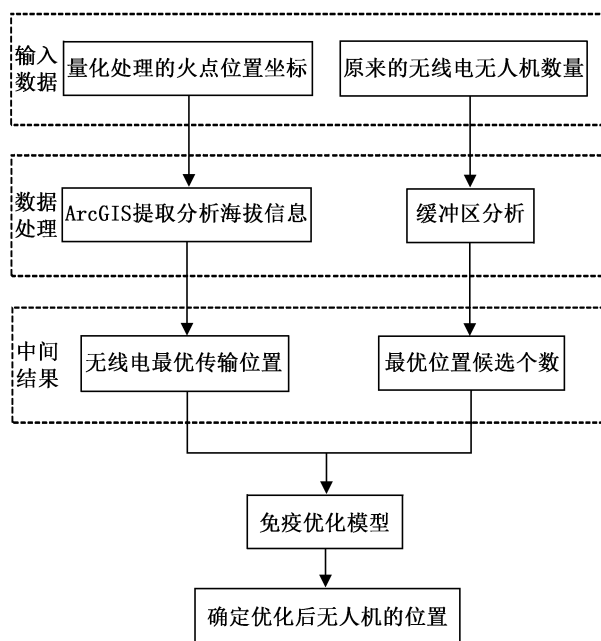


图 5 无线电中继无人机选址优化流程

Fig. 5 Flow chart of relay UAV site selection optimization

该模型考虑了地形因素对无线电中继无人机通信的影响，使用鲁棒性较高的免疫优化算法对地址进行了重新选取。但由于算法中对无人机以及火灾热点的数量进行了量化，故要进行回代处理，造成了一定的误差。

2) 中继无人机选址优化模型算法求解

通过 ArcGIS 绘制的澳大利亚东南部火灾的热力图, 提取出量化后的 31 个热点信息的坐标: Hotspots = (3525, 937; 3280, 1000; ...; 4000, 2700; 3900, 3400)。

在满足约束的条件下, 遍历从热力图上提取的所有热点, 根据无线电中继无人机量化后的个数, 利用免疫优化算法经过 100 次迭代计算出优化后的选址, 优化的结果如图 6 所示。

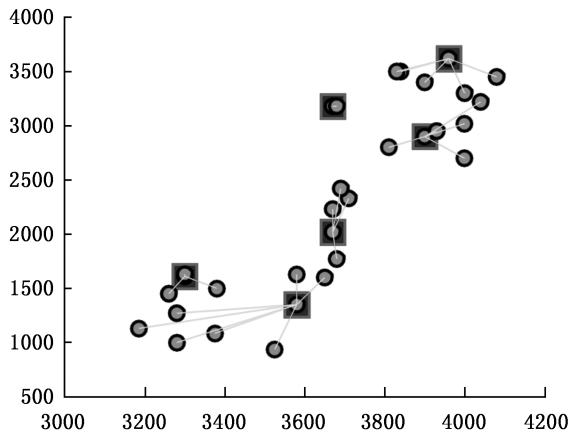


图 6 免疫算法优化结果

Fig. 6 Optimization results of immune algorithm

5 总结

通过搜集大量的数据, 对澳大利亚东南部近年的火灾勘测数据以及当地地形数据整理、分析和量化。根据 SSA 无人机和无线电中继无人机之间的配合关系, 利用人工蜂群算法、免疫优化算法, 分别建立了多目标无人机路径线性规划模型以及无线电中继器无人机选址优化模型, 得出 SSA 无人机与无线电中继无人机最佳组合与考虑地形后的最优选

址。本文采用的免疫算法能够抑制优化过程中出现的退化现象, 从而保证无人机信号传递的稳定性。但是由于无人机选址优化模型中只考虑地形因素的影响, 未考虑其他影响信号传输距离的因素, 故模拟情况与实际情况有一定差异。

参考文献:

- [1] 孙守琴. 这次, 澳大利亚的林火为什么失控了[J]. 消防界(电子版), 2020, 6(3): 54-59.
- [2] 白俊强, 柳长安. 基于蚁群算法的无人机航路规划[J]. 飞行力学, 2005, 23(2): 36-38.
- [3] 杨忠振, 郭利泉, 董夏丹. 大兴安岭森林火灾应急资源优化调度研究[J]. 大连理工大学学报, 2014, 54(6): 645-650.
- [4] 苏宇轩. 青岛市崂山区森林防火视频监控点合理布局研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2019: 1-9.
- [5] 张舒. 广州市森林防火应急物流系统优化设计研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012: 1-7.
- [6] 傅伟, 周新力. 基于地理位置的无人机网络分段优化路由算法[J]. 计算机与现代化, 2018(9): 88-92.
- [7] PARADIS C. Fires from spcuc: Australia[EB/OL]. (2020-01-12)[2021-03-16]. <https://www.kaggle.com/competitions>.
- [8] 银建霞, 孟红云. 具有混沌差分进化搜索的人工蜂群算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(9): 27-30.
- [9] 袁俊, 王晓光. Boombox 无线遥爆系统在特殊地形的应用[J]. 中国科技信息, 2010, 10(19): 58-59.
- [10] 程敏, 崔晓. 基于多目标改进免疫算法和 GIS 的养老机构空间配置优化研究: 以上海市虹口区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(12): 2050-2057.
- [11] 李诚信, 赵良辰, 李东运, 等. 基于 CA 系统的澳大利亚森林火灾蔓延预测模型及应急物资调度应用[J]. 林业调查规划, 2020, 45(5): 62-69, 89.

责任编辑: 杨焱熔

校 对: 许春霞 杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.011

云南省第二次重点保护野生植物资源调查研究

郑进烜, 杨焱熔, 万静霏, 王勇, 华朝朗, 余昌元, 蔡文婧, 郑静楠, 吴富勤
(云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要:对云南省国家重点保护野生植物资源进行了全面调查,共调查到目的物种 134 种,分布面积累计达 159 970.079 5 hm^2 ,总株数达 147 256 930 株。通过对调查目的物种的种群规模、分布面积、分布点、群落地位、年龄结构和外部环境状况进行统计分析,表明云南省重点保护野生植物资源物种存在种群数量整体偏低、分布区域狭窄、群落和年龄结构不稳定等潜在威胁。

关键词:重点保护野生植物;植物资源;生境;云南省

中图分类号:S757.2;S718.521.2 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0070-07

引文格式:郑进烜,杨焱熔,王勇,等.云南省第二次重点保护野生植物资源调查研究[J].林业调查规划,2022,47(2):70-76. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.011

ZHENG Jinxuan, YANG Junrong, , WAN Jingfei, et al. Second Investigation of Key Protected Wild Plant Resources in Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 70-76. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.011

Second Investigation of Key Protected Wild Plant Resources in Yunnan Province

ZHENG Jinxuan, YANG Junrong, WAN Jingfei, WANG Yong, HUA Chaolang,
YU Changyuan, CAI Wenjing, ZHENG Jingnan, WU Fuqin
(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: A comprehensive survey was conducted on national key protected wild plant resources in Yunnan Province. A total of 134 target species were investigated, with a cumulative distribution area of 159 970.079 5 hm^2 and a total of 147 256 930 plants. The statistical analysis of the population size, distribution area, distribution point, community status, age structure and external environmental conditions of the survey target species showed that the key protected wild plant resources in Yunnan Province had potential threats, such as overall low population, narrow distribution area, unstable community and age structure and so on.

Key words: key protected wild plants; plant resources; habitat; Yunnan Province

植物是生态系统的初级生产者,决定性地影响着地球的生态环境。植物的遗传资源和物种多样性

具有不可替代的生态、经济和文化价值,也是人类社会赖以生存和发展的宝贵资源^[1-2]。云南素有“植

收稿日期:2021-01-12.

基金项目:云南省第二次重点保护野生植物资源项目(000036Z00015).

第一作者:郑进烜(1981-),男,福建大田人,硕士,高级工程师.从事植物学、林业调查规划、生物多样性保护和自然保护地研究工作.
Email:zjx3410@163.com

责任作者:万静霏(1984-),女,云南盐津人,硕士,助理工程师.主要从事林业调查规划工作.

物王国”之称,是我国植物多样性资源最丰富的省份,其中高等植物有 19 365 种,占中国的 50.2%。根据《云南省生物物种红色名录(2017 版)》对云南省高等植物进行了评估,受威胁物种数达 2 054 种。在 2012 年启动的全国第二次重点保护野生植物资源调查中共确定调查物种 313 种,其中云南省分布有 135 种,占全国总调查种数的 43.13%,是全国重点保护野生植物的重要组成部分。因此,开展好重点保护野生植物资源调查工作,是摸清云南省重点保护野生植物资源本底资料,建立相应的资源档案数据库的基础,是云南省建设生态文明、美丽云南和提高绿水青山就是金山银山的全民意识的重要途径,可为政府宏观决策,履行国际公约和协定,开展国际交流及科学研究提供科学依据。通过深入开展云南省重点保护野生植物资源调查,科学分析研究

野生植物资源现状,为政府相关部门实施野生植物保护策略提供科学依据。

1 调查物种与方法

1.1 调查物种

根据《全国重点保护野生植物资源调查大纲》和《全国重点保护野生植物资源调查技术规程》,国家林业和草原局确定了全国第二次重点保护野生植物资源调查的调查物种 313 种。在《云南省第二次重点保护野生植物资源调查工作方案》和《云南省第二次重点保护野生植物资源调查技术方案》中,对照全国调查物种名录,云南省分布记载的有 135 种,在此基础上,云南省新增 17 种,调查物种共计 152 种^[3-4](表 1)。

表 1 云南省第二次重点保护野生植物资源调查物种名录

Tab. 1 Species list of the second investigation of key protected wild plant resources in Yunnan Province

序号	目的物种	保护等级	调查类别	序号	目的物种	保护等级	调查类别
1	苏铁蕨 <i>Brainea insignis</i>	II	重点	24	绿春苏铁 <i>Cycas tanqingii</i>	I	一般
2	毛叶黑桫欏 <i>Alsophila andersonii</i>	II	重点	25	银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	I	重点
3	滇南黑桫欏 <i>Alsophila austro-yunnanensis</i>	II	重点	26	油麦吊云杉 <i>Picea brachytyla</i> var. <i>complanata</i>	II	重点
4	中华桫欏 <i>Alsophila costularis</i>	II	重点	27	毛枝五针松 <i>Pinus wangii</i>	II	重点
5	大叶黑桫欏 <i>Alsophila gigantea</i>	II	重点	28	巧家五针松 <i>Pinus squamata</i>	I	重点
6	西亚桫欏 <i>Alsophila khasyana</i>	II	重点	29	金钱松 <i>Pseudolarix amabilis</i>	II	一般
7	阴生桫欏 <i>Alsophila latebrosa</i>	II	重点	30	黄杉 <i>Pseudotsuga sinensis</i>	II	一般
8	黑桫欏 <i>Alsophila podophylla</i>	II	重点	31	澜沧黄杉 <i>Pseudotsuga forrestii</i>	II	重点
9	白桫欏 <i>Sphaeroteris brunoniana</i>	II	重点	32	云南穗花杉 <i>Amentotaxus yunnanensis</i>	I	重点
10	鹿角蕨 <i>Platyterium wallichii</i>	II	重点	33	白豆杉 <i>Pseudotaxus chienii</i>	II	一般
11	贡山三尖杉 <i>Cephalotaxus lanceolata</i>	II	重点	34	红豆杉 <i>Taxus chinensis</i>	I	一般
12	篦子三尖杉 <i>Cephalotaxus oliveri</i>	II	一般	35	南方红豆杉 <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairii</i>	I	一般
13	翠柏 <i>Calocedrus macrolepis</i>	II	重点	36	喜马拉雅红豆杉 <i>Taxus wallichiana</i>	I	一般
14	福建柏 <i>Fokienia hodginsii</i>	II	一般	37	云南榧树 <i>Torreya fargesii</i> var. <i>yunnanensis</i>	II	重点
15	德保苏铁 <i>Cycas debaoensis</i>	I	重点	38	水松 <i>Glyptostrobus pensilis</i>	I	重点
16	滇南苏铁 <i>Cycas diannanensis</i>	I	一般	39	台湾杉 <i>Taiwania cryptomerioides</i> var. <i>flousiana</i>	II	一般
17	贵州苏铁 <i>Cycas guizhouensis</i>	I	一般	40	云南金钱槭 <i>Dipteronia dyerana</i>	II	重点
18	灰干苏铁 <i>Cycas hongheensis</i>	I	重点	41	富宁藤 <i>Parepigynum funingense</i>	II	一般
19	多歧苏铁 <i>Cycas multipinnata</i>	I	重点	42	蛇根木 <i>Rauwolfia serpentina</i>	II	一般
20	攀枝花苏铁 <i>Cycas panzhihuaensis</i>	I	一般	43	扣树 <i>Ilex kaushue</i>		重点
21	篦齿苏铁 <i>Cycas pectinata</i>	I	一般	44	屏边三七 <i>Panax stipuleanatus</i>		一般
22	叉孢苏铁 <i>Cycas segmentifida</i>	I	一般	45	姜状三七 <i>Panax zingiberensis</i>		一般
23	单羽苏铁 <i>Cycas simplicipinna</i>	I	一般	46	金平桦 <i>Betula jinpingensis</i>	II	重点

续表 1

序号	目的物种	保护等级	调查类别	序号	目的物种	保护等级	调查类别
47	伯乐树 <i>Bretschneidera sinensis</i>	I	一般	87	观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i>		重点
48	金铁锁 <i>Psammosilene tunicoides</i>	II	一般	88	粗枝崖摩 <i>Amoora dasyclada</i>	II	重点
49	十齿花 <i>Dipentodon sinicus</i>	II	一般	89	红椿 <i>Toona ciliata</i>	II	一般
50	连香树 <i>Cercidiphyllum japonicum</i>	II	一般	90	毛红椿 <i>Toona ciliata</i> var. <i>pubescens</i>	II	一般
51	萼翅藤 <i>Calycopteris floribunda</i>	I	重点	91	藤枣 <i>Eleutharrhena macrocarpa</i>	I	一般
52	千果榄仁 <i>Terminalia myriocarpa</i>	II	重点	92	滇南风吹楠 <i>Horsfieldia tetratrapala</i>	II	重点
53	四数木 <i>Tetrameles nudiflora</i>	II	一般	93	云南肉豆蔻 <i>Myristica yunnanensis</i>	II	重点
54	东京龙脑香 <i>Dipterocarpus retusus</i>	I	重点	94	喜树 <i>Camptotheca acuminata</i>	II	一般
55	多毛坡垒 <i>Hopea mollissima</i>	I	重点	95	珙桐 <i>Davidia involucrate</i>	I	一般
56	望天树 <i>Parashorea chinensis</i>	I	重点	96	光叶珙桐 <i>Davidia involucrate</i> var. <i>vilmoriniana</i>	I	一般
57	大树杜鹃 <i>Rhododendron protistum</i> var. <i>giganteum</i>		重点	97	云南蓝果树 <i>Nyssa yunnanensis</i>	I	重点
58	杜仲 <i>Eucommia ulmoides</i>		一般	98	蒜头果 <i>Malania oleifera</i>	II	重点
59	东京桐 <i>Deutzianthus tonkinensis</i>	II	重点	99	黄蝉兰 <i>Cymbidium iridioides</i>		一般
60	三棱栎 <i>Formanodendron doichangensis</i>	II	重点	100	墨兰 <i>Cymbidium sinense</i>		一般
61	弥勒苣苔 <i>Paraisometrum mileense</i>		重点	101	莲瓣兰 <i>Cymbidium tortisepalum</i>		一般
62	金丝李 <i>Garcinia paucinerervis</i>		重点	102	春剑 <i>Cymbidium tortisepalum</i> var. <i>longibracteatum</i>		一般
63	喙核桃 <i>Annamocarya sinensis</i>		一般	103	文山红柱兰 <i>Cymbidium wenshanense</i>		重点
64	润楠 <i>Phoebe nanmu</i>	II	重点	104	杏黄兜兰 <i>Paphiopedilum armeniacum</i>		重点
65	黑黄檀 <i>Dalbergia fusca</i>	II	重点	105	同色兜兰 <i>Paphiopedilum concolor</i>		一般
66	紫檀 <i>Pterocarpus indicus</i>	II	重点	106	紫纹兜兰 <i>Paphiopedilum purpuratum</i>		重点
67	任豆 <i>Zenia insignis</i>	II	一般	107	麻栗坡兜兰 <i>Paphiopedilum malipoense</i>		重点
68	长蕊木兰 <i>Alcimandra cathcardii</i>	I	重点	108	硬叶兜兰 <i>Paphiopedilum micranthum</i>		一般
69	地枫皮 <i>Illicium difengpi</i>	II	一般	109	董棕 <i>Caryota urens</i>	II	一般
70	单性木兰 <i>Kmerria septentrionalis</i>	I	重点	110	龙棕 <i>Trachycarpus nana</i>	II	一般
71	鹅掌楸 <i>Liriodendron chinense</i>	II	一般	111	五裂黄连 <i>Coptis quinquesecta</i>		一般
72	大叶木兰 <i>Magnolia henryi</i>	II	一般	112	云南黄连 <i>Coptis teeta</i>		一般
73	馨香玉兰 <i>Magnolia odoratissima</i>	II	一般	113	独叶草 <i>Kingdonia uniflora</i>	I	一般
74	厚朴 <i>Magnolia officinalis</i>	II	一般	114	马尾树 <i>Rhoiptelea chiliantha</i>	II	一般
75	凹叶厚朴 <i>Magnolia officinalis</i> subsp. <i>biloba</i>	II	一般	115	大花香水月季 <i>Rosa odorata</i> var. <i>gigantea</i>		一般
76	长喙厚朴 <i>Magnolia rostrata</i>	II	一般	116	香果树 <i>Emmenopterys henryi</i>	II	一般
77	圆叶玉兰 <i>Magnolia sinensis</i>	II	一般	117	丁茜 <i>Trailliaedoxa gracilis</i>	II	一般
78	西康玉兰 <i>Magnolia wilsonii</i>	II	一般	118	川黄檗 <i>Phellodendron chinense</i>	II	一般
79	香木莲 <i>Manglietia aromatica</i>	II	一般	119	红河橙 <i>Citrus hongheensis</i>		一般
80	大果木莲 <i>Manglietia grandis</i>	II	一般	120	富民枳 <i>Poncirus polyandra</i>		一般
81	毛果木莲 <i>Manglietia ventii</i>	II	一般	121	伞花木 <i>Eurycorymbus cavaleriei</i>	II	一般
82	大叶木莲 <i>Manglietia megaphylla</i>	II	一般	122	龙眼 <i>Dimocarpus longan</i>		一般
83	华盖木 <i>Manglietiastrum sinicum</i>	I	重点	123	紫荆木 <i>Madhuca pasquieri</i>	II	重点
84	云南拟单性木兰 <i>Parakmeria yunnanensis</i>	II	重点	124	平当树 <i>Paradombeya sinensis</i>	II	重点
85	合果木 <i>Paramichelia baillonii</i>	II	重点	125	景东翅子树 <i>Pterospermum kingtungense</i>	II	重点
86	水青树 <i>Tetracentron sinense</i>	II	一般	126	勐仑翅子树 <i>Pterospermum menglunense</i>	II	重点

续表 1

序号	目的物种	保护等级	调查类别	序号	目的物种	保护等级	调查类别
127	云南金花茶 <i>Camellia fascicularis</i>		重点	140	多羽苏铁 <i>Cycas multifrondis</i>	I	一般
128	茶(野生) <i>Camellia sinensis</i>		一般	141	长叶苏铁 <i>Cycas dolichophylla</i>	I	一般
129	云南沉香 <i>Aquilaria yunnanensis</i>	II	重点	142	旱地油杉 <i>Keteleeria xerophila</i>	I	重点
130	柄翅果 <i>Burretiodendron esquirolii</i>	II	重点	143	漾濞槭 <i>Acer yangbiense</i>		重点
131	蚬木 <i>Burretiodendron hsiennmu</i>	II	重点	144	榆绿木 <i>Anogeissus acuminata</i>		一般
132	滇桐 <i>Craigia yunnanensis</i>	II	重点	145	盈江龙脑香 <i>Dipterocarpus gracilis</i>	省 II	重点
133	茴香砂仁 <i>Ethlingera yunnanense</i>	II	一般	146	滇藏榄 <i>Diploknema yunnanensis</i>	省 I	重点
134	拟豆蔻 <i>Paramomum petaloideum</i>	II	一般	147	桢楠 <i>Phoebe zhennan</i>		一般
135	长果姜 <i>Siliquamomum tonkinense</i>	II	一般	148	西畴青冈 <i>Cyclobalanopsis sichourensis</i>		重点
136	二回原始观音座莲 <i>Archangiopteris bipinnata</i>	II	重点	149	亮叶木莲 <i>Manglietia lucida</i>		一般
137	亨利原始观音座莲 <i>Archangiopteris henryi</i>	II	重点	150	显脉木兰 <i>Magnolia phanerophlebia</i>		一般
138	玉龙蕨 <i>Sorolepidium glaciale</i>	I	重点	151	壮丽含笑 <i>Michelia magnifica</i>		一般
139	长柄叉叶苏铁 <i>Cycas longipetiolula</i>	I	一般	152	文山兜兰 <i>Paphiopedilum wenshanense</i>		一般

注:序号 1~135 号为国家规定调查物种,136~152 号为云南省增加调查物种。

1.2 调查内容与范围

根据调查对象的濒危程度及分布状况的不同,将调查类别划分为重点调查和一般调查。重点调查针对数量较少、分布区相对狭窄的野生植物物种;一般调查针对分布较广泛的野生植物物种。根据调查类别的基本划分,152 种野生植物调查物种中,重点调查物种 71 种,一般调查物种 81 种。重点调查物种调查其分布现状(范围和分布面积)、种群数量及其动态变化、生境现状及其生境保护现状、健康状况、受威胁因素及程度。一般调查物种调查其分布现状(范围和分布面积)、种群数量及其动态变化、生境现状及其生境保护现状。本次调查以云南省范围为调查总体,以县级行政区域为基本调查单元开展调查。

1.3 调查方法与数据处理

1.3.1 调查方法

根据云南省地形地貌和野生植物资源调查目的物种的分布区域,采用实测法、样方(样圆)法、样带法、样线结合样方(样圆)法等调查方法,少部分物种在部分区域使用典型抽样法进行调查^[5]。

1.3.2 数据处理

1) 实测法

将调查区内各分布点的目的物种分布面积、种群数量累加得到该目的物种在该调查区的分布总面积、种群总量。

2) 样方(样圆)法

计算目的物种在某种植物群落或生境(调查

区)的出现度(F),公式为:

$$F = \frac{n}{N_1 + N_2} \quad (1)$$

式中: n 表示在该植物群落或生境(调查区)中出现目的物种的主、副样方(样圆)总数; N_1 表示在该植物群落或生境(调查区)中所设主样方(样圆)数; N_2 表示在该植物群落或生境(调查区)中所设副样方(样圆)数。

量算植物群落或生境(调查区)面积(S):将野外勾绘修正的目的物种所处植物群落或生境的分布范围(调查区)输入计算机,用 GIS 软件进行面积求算;或利用森林资源二类调查材料,统计目的物种所处植物群落或生境的面积,单位为 hm^2 。

计算目的物种在某种植物群落或生境(调查区)中每公顷的株数(X),公式为:

$$X = \sum_{i=1}^n N_i / \sum_{i=1}^n S_i \quad (2)$$

式中: N_i 表示目的物种在第 i 个主样方(样圆)中的株数; S_i 表示第 i 个主样方(样圆)的面积。

计算目的物种在某种植物群落或生境(调查区)中目的物种株数(W),公式为:

$$W = FXS \quad (3)$$

式中: F 表示目的物种在该植物群落或生境(调查区)中的出现度; X 表示目的物种在该植物群落或生境(调查区)中的密度(每公顷的株数); S 表示目的物种在该植物群落或生境(调查区)中的分布总

面积。

3) 样带法

先量算植物群落或生境(调查区)面积 S , 方法同样样方(样圆)法中求算方法相同。然后计算种群密度(D , 株/hm²), 公式为:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{2 \sum_{i=1}^n (L_i A_i)} \quad (4)$$

式中: N_i 表示第 i 条样带内的目的物种株数; L_i 表示第 i 条样带的长度; A_i 表示第 i 条样带的单侧宽度。

最后计算目的物种在某种植物群落或生境(调查区)中的目的物种株数(W), 公式为:

$$W = DS \quad (5)$$

式中: D 表示目的物种在该植物群落或生境(调查区)中的种群密度; S 表示目的物种在该植物群落或生境(调查区)的分布总面积。

2 结果分析

2.1 野生植物资源现状

2.1.1 野生植物资源总现状

在全国 313 种调查物种中, 经调查发现云南分布有 120 种, 占全国应调查种数的 38.10%。总体而言, 云南省国家和地方重点保护野生植物种类较为丰富; 分布面积累计达 159 970.079 5 hm², 总株数达 147 256 930 株, 但是大部分物种的种群数量十分稀少, 部分物种仍处于极度濒危的状态。

2.1.2 不同生活型种群现状

调查到国家和省级共 134 种目的物种的分布总面积为 159 970.079 5 hm², 根据不同生活型进行统计分析。

簇生叶乔木型目的物种共 21 种, 总面积 9 452.558 3 hm²。其中 3 323.519 5 hm² 位于各级自然保护区内, 占比为 35.16%, 其余 6 129.038 8 hm² 位于自然保护区外, 占比为 64.84%; 总株数为 21 507 446 株(不管包括多少克隆体, 由同一繁殖体发育形成的植物体均视为 1 株, 下同), 其中 21 293 425 株位于自然保护区内, 占比为 99.00%, 其余 214 021 株位于自然保护区外, 占比为 1.00%。

乔木型目的物种共 90 种, 总面积 141 482.987 1 hm²。其中 42 076.408 7 hm² 位于各级自然保护区内, 占比为 29.74%, 其余 99 406.578 4 hm² 位于自然保护区外, 占比为 70.26%; 总株数为 7 392 359 株, 其中 1 451 527 株位于自然保护区内, 占比为 19.64%, 其

余 5 940 832 株位于自然保护区外, 占比为 80.36%。

灌木型目的物种共 3 种, 总面积 5 616.559 0 hm²。其中 427.160 1 hm² 位于各级自然保护区内, 占比为 7.61%, 其余 5 189.398 9 hm² 位于自然保护区外, 占 92.39%; 总株数为 10 992 869 株, 其中 34 314 株位于自然保护区内, 占比为 0.31%, 其余 10 958 555 株位于自然保护区外, 占比为 99.69%。

草本型目的物种共 3 种, 总面积 3 284.287 9 hm²。其中 820.368 0 hm² 位于各级自然保护区内, 占比为 24.98%, 其余 2 463.919 9 hm² 位于自然保护区外, 占比为 75.02%; 总株数为 107 357 293 株, 其中 711 383 株位于自然保护区内, 占比为 0.68%, 其余 106 625 910 株位于自然保护区外, 占比为 99.32%。

藤本型目的物种共 3 种, 总面积 135.690 9 hm²。其中 62.930 1 hm² 位于各级自然保护区内, 占比为 46.38%, 其余 72.760 8 hm² 位于自然保护区外, 占比为 53.62%; 总株数为 35 265 株, 其中 34 470 株位于自然保护区内, 占比为 97.75%, 其余 795 株位于自然保护区外, 占比为 2.25%。

2.1.3 分布保护区内外现状

在调查到的 134 种目的物种中, 有绿春苏铁、巧家五针松、金平桦、紫荆木、茴香砂仁、长果姜、二回原始观音座莲 7 种物种全部分布在自然保护区内, 有 106 种目的物种部分或全部分布在自然保护区内, 占比为 79.10%; 弥勒苣苔、润楠、馨香玉兰、云南蓝果树、蒜头果、景东翅子树、漾濞槭等 28 种物种的野生种群全部分布于自然保护区外, 面临着较为严峻的生存威胁。

2.1.4 野外调查未发现的物种和分布点

在 152 种调查物种中, 实际调查发现 134 种, 另有金钱松、白豆杉、蛇根木、扣树、屏边三七、杜仲、紫檀、地枫皮、凹叶厚朴、圆叶玉兰、春剑、文山红柱兰、紫纹兜兰、独叶草、拟豆蔻、长柄叉叶苏铁、多羽苏铁和文山兜兰 18 种目的物种未发现野生种群。在调查发现的 134 种调查目的物种中, 国家 I 级重点保护植物 33 种, 国家 II 级重点保护植物 71 种, 极小种群和一般保护植物 28 种。第一次调查有分布点但在第二次调查中未发现目的物种共 39 种。

2.2 野生资源现状统计分析

2.2.1 种群规模

将 152 种调查物种的种群数量由少到多进行排序, 根据种群规模分为 10 个数量等级, 分别对应 10 个种群数量级。经统计分析, 在 152 种调查物种中,

金钱松、白豆杉、蛇根木、扣树、屏边三七、杜仲、紫檀(青龙木)、地枫皮、凹叶厚朴、圆叶玉兰、春剑、文山红柱兰、紫纹兜兰、独叶草、拟豆蔻、长柄叉叶苏铁、多羽苏铁、文山兜兰 18 种在野外调查过程中未发现,占总调查种数的 11.8%;种群数量 ≤ 10 株的有金平桦、二回原始观音座莲、五裂黄连、富民枳等 17 种,占总调查种数的 11.2%,属极稀有类型;姜状三七、滇藏榄、西畴青冈、水松等 29 种的种群数量不足 100 株,占总调查种数的 19.1%,呈零星散布的分布状态;德保苏铁、藤枣、厚朴、多毛坡垒等 20 种的种群数量不足 1 000 株,占总调查种数的 13.2%,呈狭域散生状态;长果姜、馨香玉兰、叉孢苏铁、平当树等 16 种数量不足 5 000 株,占总调查种数的 10.5%,以狭域散生为主;种群数量在 5 001~10 000 株的有云南肉豆蔻、马尾树、龙眼等 9 种,占总调查种数的 5.9%,散生为主,极少成片;篦齿苏铁、茶(野生)、玉龙蕨、喜树(旱莲木)等 14 种的种群数量在 10 001~50 000 株,占总调查种数的 9.2%,散生为主,有时成片分布;黑黄檀、云南拟单性木兰、珙桐、绿春苏铁等 9 种的种群数量在 50 001~100 000 株,占总调查种数的 5.9%,散生为主,局部集中分布;油麦吊云杉、金丝楠、丁茜、弥勒苣苔等 12 种的种群数量在 10 万~100 万株,占总调查种数的 7.9%,广布散生,偶尔集中成片分布;种群数量 > 100 万株的有喜马拉雅红豆杉、三棱栎、金铁锁、云南黄连等 8 种,占总调查种数的 5.3%,呈局域广布、相对集中成片分布。种群数量在 5 000 株以下的达 100 种,占总调查种数的 65.79%。可见,云南省重点野生植物资源的物种种群数量整体偏低。

2.2.2 分布面积

将 152 种调查物种的分布面积(所处群落面积)由少到多进行排序,根据分布面积规模分为 10 个数量等级。除 18 种调查未发现野外种群的调查物种外,绝大部分调查记录到的物种分布面积较小,分布面积在 5 000 hm^2 以下的有 128 种,占调查总种数的 95.5%,其中 18 种分布面积不足 1 hm^2 ;分布面积在 100 000~1 000 000 hm^2 的长蕊木兰和中华桫欏 2 种;调查物种中无分布面积大于 1 000 000 hm^2 物种。

2.2.3 分布点

将 152 种调查物种的分布点数量由少到多进行排序,根据分布点大小分为 10 个数量等级。大部分调查记录到的物种的分布点均很少,有 18 种调查物种未发现野外种群。其中仅有 1 个分布点的物种达

9 种,仅 2~5 个分布点的物种达 27 种,处于极易灭绝的境地。

2.2.4 群落地位

在 134 种经调查有野生种群分布的目的物种中,仅有一小部分物种能够在群落中居于建群种中的地位。望天树、水青树、三棱栎、龙棕、董棕和翠柏 6 种是分布面积和种群数量均较大的物种,在群落中处于建群种中的地位。此外,能够在局部居于建群种地位的目的物种还有合果木、十齿花、粗枝崖摩、黄杉、篦齿苏铁、绿春苏铁、光叶珙桐、台湾杉、四数木 9 种。在所处群落中属于上层乔木,居于伴生种地位的目的物种则较多,包括润楠、观光木、巧家五针松、华盖木、毛枝五针松、东京龙脑香、滇南风吹楠、勐仑翅子树、云南肉豆蔻、黑黄檀、云南拟单性木兰、伯乐树、多毛坡垒、油麦吊云杉、平当树、大树杜鹃 16 种,均为高大的乔木树种。在所处群落中属于中下层乔木的目的物种有伞花木、漾濞槭、云南蓝果树、西畴青冈、金丝李、连香树、紫荆木、蒜头果、东京桐、滇桐、野生茶、中华桫欏等。

2.2.5 年龄结构

种群个体数量的大小及其年龄结构的完整性是物种生存力的重要标志^[2]。根据调查结果,对目的物种现阶段所在的群落结构、更新和演替特点等方面的情况分析表明,只有少数目的物种的种群个体数量较多、各龄级或各径级的植株均存在,表明种群年龄结构比较完整,生存力较强,如马尾树、喜树、粗枝崖摩、砚木、滇南苏铁、珙桐、水青树、三棱栎等物种。

多数乔木型的物种,其种群数量不多、年龄或龄级结构均很不完整,不同程度上表现出不稳定状态。如紫荆木、银杏、华盖木、单性木兰、大叶木莲、东京桐等物种,在现阶段的群落中,其只占有主林层(树高 8 m 以上)而无更替层(树高 1 m 至主林层下限)或缺少更新层(1 m 以下)的植株,个别物种如水松、二回原始观音座莲甚至仅有衰老个体随机地出现在群落内,呈现出衰退型种群的特征。另有小部分目的物种,如望天树、富民枳、漾濞槭、润楠、黄蝉兰等物种的种群幼化现象较严重,在各自群落内,林下幼苗、幼树出现度高,成年植株占比小,因而其种群年龄结构也不完整,在群落中处于从属地位。

2.2.6 外部环境状况

近年来,由于地方经济发展的需要,导致野生植物的生境遭到直接或间接干扰破坏。(1)交通基础设施如铁路、公路发展十分迅猛,修建公路设施的过

程中,大规模占用林地,直接毁坏了一些重点保护植物的生境。(2)水库、水电站等水利设施的建设危及到一些珍稀植物的生存。如西双版纳州回龙山水电站的建设,对该区域的 2 个热带雨林和季雨林植被型,以及对董棕、滇南风吹楠、勐仑翅子树、千果榄仁、四数木、红椿 6 种国家Ⅱ级保护植物造成了直接影响。(3)由于外商到乡镇一级收购具有中草药成分的野生植物资源情况较多,重点保护野生植物资源的过分采集、盗挖、盗砍等现象突出,如土沉香、兰科植物、金铁锁、三七、重楼等野生植物资源量急剧下降。(4)农业用地的种植结构存在较大调整。人们为了追求眼前利益,盲目毁林开荒种植其他经济植物,如果树、橡胶、桉树等,天然林破坏严重。另外由于人工林的扩展,一些野生植物适宜的生存环境不断遭到蚕食和损害,植被岛屿化、片断化日益加剧,对野生植物种群的恢复和发展构成严重威胁。

3 结论与讨论

3.1 结论

1) 全国 313 种调查物种中,云南分布记载的有 135 种,同时新增 17 种,调查物种共计 152 种,共调查到目的物种 134 种,分布面积累计达 159 970.079 5 hm^2 ,总株数达 147 256 930 株。调查到的目的物种中,分布面积以乔木型物种最大,其次是簇生叶乔木型物种;有 7 种目的物种全部分布在自然保护区内,106 种目的物种部分或全部分布在自然保护区内,受保护比例为 79.10%;有 18 种目的物种未发现野生种群,调查到的目的物种在第一次调查^[3]有记录分布点但未再次发现的共 39 种,说明因生境变化或人为活动等影响导致目的物种的种群或个体受到破坏。

2) 云南省野生植物资源目的物种种群数量在 5 000 株以下的达 100 种,占总调查种数的 65.79%,说明全省重点保护野生植物资源物种种群数量整体偏低;分布面积在 5 000 hm^2 以下的有 128 种,占总调查种数的 95.5%,分布点数量在 20 个以下的有 104 种,占总调查种数的 68.42%,说明云南省重点保护野生植物资源目的物种分布区域狭窄且面临着生境破坏或丧失的潜在威胁;在群落地位和年龄结构方面,多数乔木型物种的种群数量不多、年龄或龄

级结构均很不完整,表现出不稳定状态。

3.2 讨论

重点保护野生植物资源调查是一项专业技术性强的工作,需要掌握调查方法,同时需要具备植物学专业的人才^[6-8]。云南省第二次重点保护野生植物资源调查涉及目的物种多,任务重,参与调查单位多,对调查技术规程(技术方案)掌握与应用存在参差不齐的现象。因物种种类、分布特性差异以及调查人员的水平和业务侧重点不同,导致出现不同物种或不同地区调查抽样强度不同,调查方法运用和种群估算、分布区划等差别较大,成果质量水平不一,同时,植物资源是一个动态的变化过程,调查数据成果仅能反映调查阶段的状态。为能更准确地掌握重点保护野生植物资源的本底资源和消长动态,需要国家制定重点保护野生植物资源专项调查方案和建设一个统一的技术平台,将重点植物资源调查作为常规性工作开展,并对种群数量和分布点少的重点保护野生植物物种进行监测。

参考文献:

- [1] 孙卫邦,杨静,刀志林. 云南省极小种群野生植物研究与保护[M]. 北京:科学出版社,2019.
- [2] 孙卫邦. 云南省极小种群野生植物保护实践与探索[M]. 昆明:云南科技出版社,2013.
- [3] 云南省林业厅,云南省林业科学院,国家林业局云南珍稀濒危特森林植物保护和繁育实验室. 云南国家重点保护野生植物[M]. 昆明:云南科技出版社,2005.
- [4] 李玉媛,司马永康,方波,等. 云南省国家重点保护野生植物资源的现状与评价[J]. 云南植物研究,2003(2): 181-191.
- [5] 国家林业局. 国家重点保护野生植物资源调查技术规程[Z]. 2012.
- [6] 丁敏,倪荣新,洪强雄. 浙江省国家重点野生保护植物保护现状及其对策[J]. 华东森林经理,2012,26(2): 44-46,51.
- [7] 林夏珍,楼炉煊. 浙江省国家重点保护野生植物资源[J]. 浙江林学院学报,2002(1):33-37.
- [8] 郑进烜,华朝朗,陶晶,等. 云南省极小种群野生植物拯救保护现状与对策研究[J]. 林业调查规划,2013,38(4):61-66.

责任编辑:陈旭

校 对:张林艳 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.012

云南省重点保护野生植物资源现状与保护策略研究

蔡文婧,王勇,华朝朗,余昌元,郑静楠,郑进烜

(云南省林业调查规划院,云南昆明 650051)

摘要:以云南省第二次重点保护野生植物资源调查成果数据为基础,科学分析了云南省重点保护野生植物资源的现状及种群数量和种群规模偏低、分布面积较小、分布点较少、群落地位多样、年龄结构不完整、生境干扰严重等特点,系统总结了重点保护野生植物资源保护面临的挑战,有针对性提出加大就地保护力度、强化生境的保护与恢复、积极开展保护基础研究、强化资源管理和宣传工作、规范资源可持续利用、健全资源监测体系等保护对策。

关键词:重点保护野生植物;种群;自然保护区;生境;云南省

中图分类号:S757.2;S718.521.2;S76 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0077-05

引文格式:蔡文婧,王勇,华朝朗,等.云南省重点保护野生植物资源现状与保护策略研究[J].林业调查规划,2022,47(2):77-81,86. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.012

CAI Wenjing, WANG Yong, HUA Chaolang, et al. Status and Protection Countermeasures of Key Protected Wild Plant Resources in Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 77-81, 86. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.012

Status and Protection Countermeasures of Key Protected Wild Plant Resources in Yunnan Province

CAI Wenjing, WANG Yong, HUA Chaolang, YU Changyuan,
ZHENG Jingnan, ZHENG Jinxuan

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

Abstract: Based on the survey data of the second key protected wild plant resources in Yunnan Province, this paper scientifically analyzed the current situation of key protected wild plant resources in Yunnan and the characteristics of low population number and scale, small distribution area, few distribution points, diverse community status, incomplete age structure and serious habitat interference, and systematically summarized the challenges faced by the protection of key protected wild plant resources. Therefore, some protection countermeasures were put forward, such as strengthening local protection, intensifying the protection and restoration of habitats, actively carrying out basic research on protection, strengthening resource management and publicity, standardizing the sustainable utilization of resources, and establishing a resource monitoring system.

收稿日期:2021-03-25;修回日期:2021-04-26.

基金项目:云南省第二次重点保护野生植物资源项目(000036Z00015).

第一作者:蔡文婧(1988-),女,云南永胜人,硕士,工程师.从事植物学、林业调查规划、生物多样性保护与自然保护地研究工作.

Email:muzicaoji@163.com

责任作者:郑进烜(1981-),男,福建大田人,硕士,高级工程师.从事植物学、林业调查规划、生物多样性保护与自然保护地研究工作.

Email:zjx3410@163.com

Key words: key protected wild plants; population; nature reserve; habitat; Yunnan Province

云南特殊的地理位置、复杂多样的地形地貌、气候与生境类型,孕育着丰富的生物多样性,有着“植物王国”“动物王国”和“世界花园”的美誉。在云南已知的 19 333 种高等植物中,列入国家重点保护野生植物(第一批)种类的有 151 种,占中国总数的 41.0%。其中,蕨类植物 25 种(3 种为国家 I 级保护,22 种为国家 II 级保护),裸子植物 40 种(28 种为国家 I 级保护,12 种为国家 II 级保护),被子植物 86 种(14 种为国家 I 级保护,72 种为国家 II 级保护)。为进一步摸清云南省重点保护野生植物资源状况,2012 年启动的全国第二次重点保护野生植物资源调查共记录云南省分布的 134 种重点保护野生植物,是全国重点保护野生植物的重要组成部分。以云南省第二次重点保护野生植物资源调查的成果为基础,总结野生植物资源现状和存在的保护管理问题,有针对性地提出具体的保护对策,为云南省生态文明排头兵和美丽云南建设,以及践行绿水青山就是金山银山的理念提供重要保障,为开展保护重点野生植物工作提供宏观决策,为履行国际公约和协定、开展国际交流及科学研究提供科学依据。

1 野生植物资源现状

云南第二次重点保护野生植物资源调查确定调查物种 152 种,隶属于 53 科 99 属,包括蕨类植物 12 种,裸子植物 33 种,被子植物 107 种;其中,国家 I 级重点保护野生植物 35 种,国家 II 级重点保护野生植物 79 种。

此次共调查到目的物种 134 种,隶属于 51 科 90 属,其中,蕨类植物 12 种,裸子植物 29 种,被子植物 92 种;分布面积累计达 15.99 万 hm^2 ,总株数达 1.47 亿株,分布于全省 16 个州(市)121 个县,其中国家 I 级重点保护野生植物 33 种,国家 II 级重点保护野生植物 71 种^[1];有 4 个目的物种第一次调查^[2-3]未发现在此次调查重新发现,39 个目的物种在第一次调查^[2-3]有记录的分布点在在此次调查未再次发现,18 个目的物种未发现野生种群;有 7 个物种全部分布在自然保护区内,99 个物种部分分布在自然保护区内,28 个物种全部分布于自然保护区以外的区域^[1],物种保护比例达 79.10%。总体而言,云南省国家重点保护野生植物种类较为丰富,但大部分种类数量稀少、分布面积小,部分物种全部或部

分分布在自然保护区以外,未受到严格保护,面临着较为严峻的生存威胁。

2 野生植物资源分析

2.1 种群数量和种群规模偏低

将 152 个调查物种按种群数量由少到多进行排序,根据种群规模分为 10 个等级,归类统计调查物种野生种群规模,详见图 1。

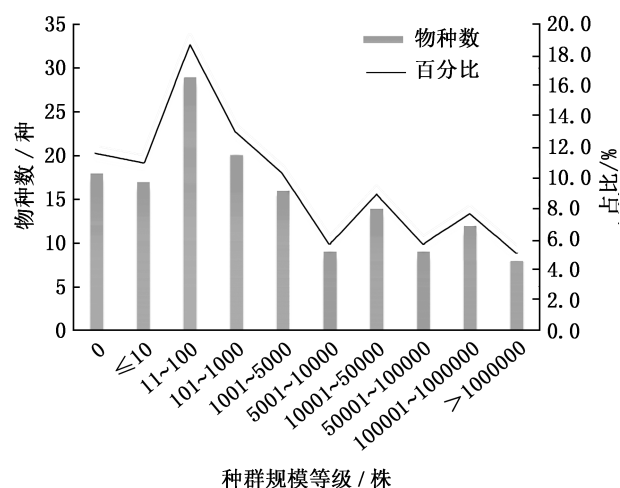


图 1 调查物种野生种群规模分等级统计

Fig. 1 Hierarchical statistics of wild population size of investigated species

在 152 个目的物种中,18 种在野外调查过程中未发现,有金钱松 (*Pseudolarix amabilis*)、白豆杉 (*Pseudotaxus chienii*)、蛇根木 (*Rauwolfia serpentina*) 等,占总种数的 11.8%;种群数量 ≤ 10 株的达 17 种,有多歧苏铁 (*Cycas multipinnata*)、金平桦 (*Betula jinpingensis*)、五裂黄连 (*Coptis quinquesecta*) 等,占 11.2%,为极稀有的类型;种群数量为 11~100 株的有 29 种,占比高达 19.1%,有紫荆木 (*Madhuca pasquieri*)、滇南黑桫欏 (*Alsophila austro yunnanensis*)、黄蝉兰 (*Cymbidium iridioides*) 等,呈零星散布状态;种群数量为 101~1 000 株的有长果姜 (*Silviamomum tonkinense*)、南方红豆杉 (*Taxus chinensis var. mairei*)、厚朴 (*Magnolia officinalis*) 等 20 种,占 13.2%,呈狭域散生状态;种群数量为 1 001~5 000 株的有大果木莲 (*Manglietia grandis*)、滇桐 (*Craigia yunnanensis*)、滇南风吹楠 (*Horsfieldia tetratepala*) 等 16 种,占

10.5%, 狭域散生为主; 种群数量为 5 001~10 000 株的有西亚桫欏 (*Alsophila khasyana*)、粗枝崖摩 (*Amoora dasyclada*)、黑桫欏 (*Alsophila podophylla*) 等 9 种, 占 5.9%, 散生为主, 极少成片; 种群数量为 10 001~50 000 株的有白桫欏 (*Sphaeropteris brunoniana*)、篦齿苏铁 (*Cycas pectinata*)、云南金钱槭 (*Dipteronia dyeriana*) 等 14 种, 占 9.2%, 散生为主, 有时成片分布; 种群数量为 50 001~100 000 株的有珙桐 (*Davidia involucrata*)、毛叶黑桫欏 (*Alsophila andersonii*)、喜树 (*Camptotheca acuminata*) 等 9 种, 占 5.9%, 以散生为主, 局部集中分布; 董棕 (*Caryota urens*)、弥勒苣苔 (*Paraisometrum mileense*)、丁茜 (*Trailliaedoxa gracilis*) 等 12 种的种群数量为 100 001~1 000 000 株, 占 7.9%, 广布散生, 偶尔集中成片分布; 种群数量 >1 000 000 株的仅有喜马拉雅红豆杉 (*Taxus wallichiana*)、三棱栎 (*Formanodendron doichangensis*)、金铁锁 (*Psammosilene tunicoides*) 等 8 种, 占 5.3%, 呈局域广布、相对集中成片分布。种群数量 ≤ 5 000 株的高达 100 种, 占调查物种数的 65.79%, 可见, 云南省重点野生植物资源的物种种群数量和种群规模整体偏低。

2.2 分布面积较小

将 152 个调查物种的分布面积 (所处群落面积) 由少到多进行排序, 根据分布面积规模分为 10 个等级, 归类统计调查物种分布面积, 详见图 2。

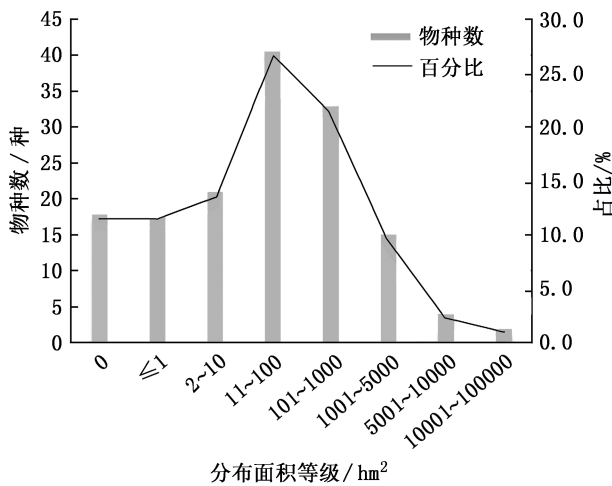


图 2 调查物种分布面积分等级统计

Fig. 2 Hierarchical statistics of distribution area of investigated species

从图 2 可见, 分布面积在 5 000 hm² 以下的有 146 种, 占调查种数的 96.0%; 其中分布面积不足

1 hm² 的有 18 种; 分布面积为 100 001~1 000 000 hm² 的有 2 种; 调查中没有发现分布面积 >1 000 000 hm² 的物种。在调查中记录到的绝大部分物种分布面积较小。

2.3 分布点较少

将 152 个调查物种按分布点数量由少到多进行排序, 根据分布点数量分为 10 个等级, 归类统计调查物种分布点数量, 详见图 3。

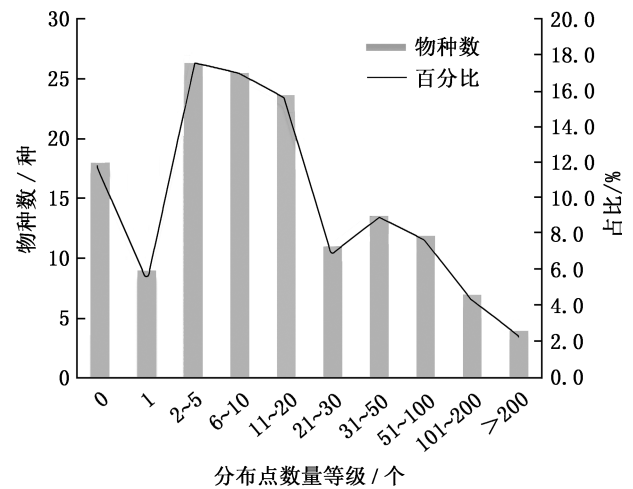


图 3 调查物种分布点数量分等级统计

Fig. 3 Hierarchical statistics of distribution points of investigated species

从图 3 可知, 有 18 种调查物种未发现野外种群, 分布点数量在 20 个以下的高达 104 种, 占调查种数的 68.42%, 其中仅有 1 个分布点的物种多达 9 种, 仅 2~5 个分布点的物种达 27 种。大多调查记录到的物种分布点较少, 部分处于极易灭绝的境地。

2.4 群落地位多样

调查有野生种群分布的 134 个目的物种当中, 仅有一小部分物种能在群落中位于建群种地位, 如分布面积和种群数量均较大的物种望天树 (*Parashorea chinensis*)、水青树 (*Tetracentron sinense*)、三棱栎、龙棕 (*Trachycarpus nanus*)、董棕和翠柏 (*Calocedrus macrolepis*) 等 6 种。此外, 有合果木 (*Paramichelia baillonii*)、十齿花 (*Dipentodon sinicus*)、粗枝崖摩等 9 种能在局部居于建群种地位。在所处境域中一些属于上层高大乔木的物种居于伴生种地位, 有巧家五针松 (*Pinus squamata*)、华盖木 (*Manglietiastrum sinicum*)、毛枝五针松 (*Pinus wangii*) 等 15 种。在所处境域中属于中下层乔木的目的物种有西畴青冈 (*Cyclobalanopsis sichouensis*)、紫荆木、滇桐等。

2.5 年龄结构不完整

对目的物种现阶段所在的群落结构、更新和演替特点等方面的情况分析表明:种群个体数量较多、各龄级或各径级的植株均存在。种群年龄结构比较完整且生存力较强的目的物种仅占少数,有喜树、粗枝崖摩、滇南苏铁(*Cycas diannanensis*)等;多数乔木型物种种群数量不多、年龄或龄级结构不完整,不同程度表现出不稳定状态,在群落中只有主林层(树高 8 m 以上)而无更替层(树高 1 m 至主林层下限)或缺少更新层(1 m 以下)的植株,如紫荆木、华盖木、单性木兰(*Kmeria septentrionalis*)等;个别物种甚至仅有衰老个体随机地出现在群落内,呈现出衰退型种群的特征,如水松(*Glyptostrobus pensilis*)、二回原始观音座莲(*Archangiopteris bipinnata*);望天树、富民枳(*Poncirus polyandra*)、漾濞槭(*Acer yangbiense*)等小部分物种的种群幼化现象较严重,在群落内,成年植物占比小,林下幼苗幼树出现度高,在群落中处于从属地位。

3 野生植物资源保护面临的挑战

3.1 保护空缺较大

据调查成果统计,134 个目的物种的分布总面积为 159 068.7 hm²,其中 45 814.4 hm² 位于各级自然保护区内,受保护比例为 28.80%,其余 113 254.3 hm² 位于保护区外,占 71.20%。总株数为 147 256 930 株,其中 23 495 678 株位于自然保护区内,受保护比例为 15.96%,123 761 252 株位于自然保护区外,占 84.04%。

3.2 生境破坏与丧失

1) 在全省人口密集区,天然林现状除了的自然保护地中尚有一定面积的“孤岛”状森林及一些村寨或多或少也保存着一些块状的“风水林”外,大面积均为次生林所代替,导致植物多样性锐减。

2) 近年来,基础设施、水利设施等建设直接或间接毁坏了一些重点保护植物的生境,也危及到一些珍稀植物的生存。例如,由于西双版纳州回龙山水电站的建设,对董棕、滇南风吹楠、勐仑翅子树(*Pterospermum menglunense*)、千果榄仁(*Terminalia myriocarpa*)、四数木(*Tetrameles nudiflora*)、红椿(*Toona ciliata*)等 6 种国家 II 级保护植物造成了直接影响。

3) 部分地区橡胶、茶叶、干果等经济物种的无序发展,一些适宜野生植物生存的环境不断遭到蚕食和损害,天然植被岛屿化、片断化加剧,对野生植

物种群的恢复和发展构成了严重威胁。

3.3 种群年龄结构不完整与种群滞育现象突出

多数乔木型物种的种群数量不多、年龄或龄级结构不完整,不同程度上表现出不稳定状态。个别物种甚至呈现出衰退型种群的特征。另外,很多野生植物种群年龄结构不完整,在群落中处于从属地位;由于这些物种的种群规模不大,植株幼小,竞争力不强,在剧烈的种间或种内竞争中,其所需的光照、水分、养分得不到满足而生活力渐渐减退,生长衰弱,常因其它物种的旺盛生长而被排斥、挤压在乔木下层或灌木层中,始终无法伸入主林层实现自我延续与稳定发展。因此,这部分种群年龄结构不完整、种群滞育现象突出的物种有可能出现种群严重退化而走向地域性绝灭的危险。

3.4 部分物种自身生物学特性脆弱

不少重点保护野生植物为古老残遗种或处于分类系统孤立位置上。这些物种在历史的演化过程中,由于存在着某些脆弱的环节,如繁育系统缺陷、基因漂变或某些物种的生物生态学的特化而依赖于单一特殊的环境条件,因近代急剧变化着的环境和特殊生境的丧失,使其尚未产生新的变异去适应而处在濒危状态,甚至出现灭绝危险。如东京龙脑香(*Dipterocarpus retusus*)、伯乐树的种子寿命很短,数天之后其发芽率便开始下降,因而其野外幼苗、幼树极少。因此,由于受自身生物学特征的限制,这些物种资源即使无人破坏,其种群也会出现个体数量较少的局面。

3.5 采集利用缺乏有效监管手段

由于重点保护野生植物可辨识度不高,分布区群众保护意识未形成,一些具有经济价值和药用价值的保护植物被盗伐盗采的现象时有发生;非法收购受保护野生植物及其产品的违法行为仍然存在。调查结果表明,许多经济价值较高的重点保护植物资源,正面临着盗砍滥挖导致资源减少甚至绝灭的威胁,如药用价值较高的屏边三七(*Panax stipuleanatus*)、厚朴、凹叶厚朴(*Magnolia officinalis* subsp. *biloba*)、金铁锁、五裂黄连、独叶草(*Kingdonia uniflora*)、川黄檗(*Phellodendron chinense*)等,观赏价值较高的苏铁类和兰科物种以及具有香料价值的云南沉香(*Aquilaria yunnanensis*),均由于不断地遭到过度采挖,其种群数量急剧下降,导致幸存的幼小个体因处于非适宜环境中而无法继续生存繁衍,种群呈现出严重退化现象。

3.6 科研经费投入不足导致研究滞后

随着人口的不断增长及其各种经济活动的加强,植物物种的生存状况也被迫改变。调查结果表明,云南境内至今尚未找到、很可能已经消亡了的植物物种有 18 种;种群数量不足 100 株濒于灭绝的目的物种有 46 种。导致这些物种灭绝和濒危的原因是多方面的,有自然原因(自身生物学特性的限制和生态因素影响等),也有人为因素(保护与管理不善),且各地区不完全相同,物种间的差异也很大,究竟如何保护与管理这些物种,是野生生物保护部门急待解决的问题。而由于科研经费不足,物种的就地保护、近地保护、迁地保护依然停留在起步阶段或仅对部分物种开展基础性的研究。

4 保护策略

4.1 加大就地保护力度

总体而言,云南境内的重点保护野生植物资源在保护区外分布的数量和面积居多,因此,为了有效地保护在保护区外分布的野生居群,建议加大力度新建保护地或重点保护野生植物保护小区^[4],设立保护标志,实行就地保护,如在滇西北保护区有空缺的生物多样性丰富的碧罗雪山区域,因地制宜地建立自然保护地。根据调查结果,对完全分布在保护区外的 20 个物种,选择分布集中区域划定建设若干个保护小区。

4.2 强化天然林保护和生境恢复力度

自然森林生态系统不仅是一个地区生态环境的重要支柱,也是物种生存繁衍依赖的环境,物种濒危乃至消失的主要原因是山地天然林的破坏。因此,要想保护、恢复与发展重点保护野生植物种群,必须采取严格的手段和措施杜绝一切非法破坏天然林的行为,使其中的野生物种得以休养生息;除了加强保护各类自然保护区的天然林外,还须大力保护自然保护区外零星分布的次生阔叶林,逐步提高天然林在森林中的比重,重塑重点保护野生植物资源及其生境。

在自然状态下,一些目的物种由于受到的外部环境压力较大,表现出生长不良、天然更新困难、生存繁衍明显受阻、种群呈现衰退^[5]的现象。因此,对这部分重点保护野生植物只有积极地去恢复和重建其适宜生境,包括改良和恢复其生长环境,才能使其较好地生存下来并有所恢复与发展。比如望天树、东京龙脑香等喜光性物种,其幼树幼苗需要一定的光照条件才能生长,应采取人为干扰的方式,适当

干预其群落的演替,增加群落的透光度,使幼树幼苗能在群落中较好地生长。

4.3 积极开展保护基础研究

近年来,云南在珍稀濒危植物的就地保护、近地保护和迁地保护研究方面做了一定的工作,但由于经费有限,保护研究仅限于一部分极小种群野生植物物种,无法对全省范围内尤其是保护区外的重点保护野生植物开展相关研究工作。所以,当前云南省乃至国家层面应在植物的保护机制研究方面予以高度重视,给予足够的经费以保证开展相关研究。

4.4 强化资源管理和宣传工作

加强对生物多样性保护、资源可持续性利用的教育和宣传,培养全民树立植物资源可持续利用的观念,杜绝对植物资源的乱采滥挖和灭绝性利用。很多研究表明,人类活动是导致物种多样性丧失的最主要原因^[5-6]。因此,只有全民甚至全人类社会共同担负起保护植物资源的历史责任和义务,才能实现植物资源的有效保护。如定期或不定期到野生植物资源丰富区域开展保护野生动植物及其重要性和相关法规的宣传。

4.5 规范资源的可持续利用

持续利用是最有效的保护,科学开发和持续利用是保护植物资源的目的^[7]。积极开展现有重点保护野生植物资源的集约栽培、综合利用和可持续经营模式的研究,为建立科学的重点保护野生植物资源可持续经营体系提供必要的科学依据和配套技术。具体操作可在村民的积极参与下,通过试验示范,林业机构营建人工生态经济林和开展农林混作,并通过配套的繁育技术和可持续经营模式的支持,实现重点保护野生植物资源扩大培育和推广应用,实现当地单纯利用野生植物资源向人工培育植物资源的转变。

4.6 健全资源监测体系

云南境内的重点保护野生植物物种仅依靠自然保护区和当地群众简单的就地保护,难以摆脱濒临灭绝的境地。开展以就地保护为主、近地保护和迁地保护为辅的科学研究,并全方位建立一个有长效机制的重点保护野生植物资源监测体系,定期监测全省重点保护野生植物资源及其生境的动态变化,及时预测目的物种生存的不利因素,为政府决策部门提供有关保护的科学依据、拯救工程设计、合理利用模式和强化管理对策措施。(下转第 86 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.013

基与 Python 的森林资源监测数据分析与可视化研究

冷鸿天, 杨雨渐, 杨天淼, 张占忠
(云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要:介绍了 Python 数据分析常用的类库,通过安装 Anaconda 搭建 Python 的数据分析环境。使用 Python 中 Pandas、Geopandas、SQLite3、Numpy 和 Matplotlib 等类库对云南省 2020 年森林资源监测数据进行加载、清理、重塑和分层级汇总,最后将结果合并、优化,生成所需的统计报表。对数据中包含的一些信息采用扇形图、柱状图和地图等方法直观地表示出来,以此研究 Python 数据分析和可视化在森林资源监测中的应用。

关键词:Python; 森林资源监测; 数据分析; 数据可视化

中图分类号: S757.2; TP317.4; TP311.56 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2022)02-0082-05

引文格式: 冷鸿天, 杨雨渐, 杨天淼, 等. 基与 Python 的森林资源监测数据分析与可视化研究[J]. 林业调查规划, 2022, 47(2): 82-86. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.013

LENG Hongtian, YANG Yujian, YANG Tianmiao, et al. Forest Resource Monitoring Data Analysis and Visualization Based on Python[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 82-86. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.013

Forest Resource Monitoring Data Analysis and Visualization Based on Python

LENG Hongtian, YANG Yujian, YANG Tianmiao, ZHANG Zhanzhong
(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: This paper introduced the commonly used class libraries for Python data analysis, and built Python data analysis environment by installing Anaconda. Python libraries such as Pandas, Geopandas, SQLite3, NumPy and Matplotlib were used to load, clean, reshape and summarize the forest resource monitoring data of Yunnan Province in 2020. Finally, the results were combined and optimized to generate the required statistical report. Some information contained in the data was intuitively expressed by means of sector chart, histogram and map, so as to study the application of Python data analysis and visualization in forest resources monitoring.

Key words: Python; forest resources monitoring; data analysis; data visualization

21 世纪以来,林业的发展方向逐渐由木材生产向生态建设转变。通过调整监测目标、扩充监测内容、优化监测方法和应用高新技术等做法,森林资源监测水平和服务能力得到进一步提升^[1]。为推进

生态文明建设,筑牢国家西南生态安全屏障,维护生物安全和生态安全,践行绿水青山就是金山银山的理念,推动绿色循环低碳发展,实现人与自然和谐共生,满足人们日益增长的优美生态环境需要,努力把

收稿日期:2021-03-23;修回日期:2021-04-01.

第一作者:冷鸿天(1993-),男,云南永胜人,助理工程师。从事林业调查规划工作。Email:460795534@qq.com

责任作者:杨雨渐(1990-),男,云南昆明人,助理工程师。从事林业调查规划工作。Email:1151982196@qq.com

云南建设成为全国生态文明建设排头兵、中国最美丽省份,云南省通过开展森林督查、森林资源管理“一张图”和森林资源年度监测等工作,加强森林资源管理,建立和完善森林资源统一的监测和管理制度^[2]。

数据分析是为了发现数据规律的过程,利用数学和计算机手段来处理 and 挖掘收集来的数据中包含的信息^[3]。由于技术水平的发展,森林资源监测图斑越来越精细,与此同时,数据量也越来越大,特别对于省或更大尺度的监测区需要采用先进的技术方法更加方便快捷地对海量数据进行分析,以适应各种不同需求。Python 便是一种可以快速对海量数据进行分析 and 展示的重要工具。

自 1991 年诞生以来,Python 已成为最受欢迎的动态编程语言之一。Python 是一种动态语言,与静态语言相比,其具有自由、灵活、简洁等特征,依托其活跃的社区和大量强大的类库可以快速完成各种使用场景的任务。在过去的 10 年,Python 从一个边缘或“自担风险”的科学计算语言,成为数据科学、机器学习、学界和工业界软件开发最重要的语言之一^[4]。

1 环境搭建与数据准备

进行数据分析必要的 Python 类库主要有 Pandas, Geopandas, SQLite3, Numpy 和 Matplotlib 等(表 1)。Anaconda 是一个免费开源的 Python 语言的发行版本,用于计算科学(数据科学、机器学习、大数据处理和预测分析),Anaconda 拥有进行数据分析的必要类库,也可以简化软件类库管理系统和部署。在 Anaconda 软件中没有集成 Geopandas 包,需要进行自行安装。Anaconda 中还包含 Jupyter Notebook,其是一个支持运行 40 多种编程语言的交互式笔记本,便于创建和运行数据分析的代码,而且还可以用单元格的方式逐块运行代码,更有利于进行数据分析。

海量地理数据常用的存储方法有文件地理数据库(GDB)、Microsoft SQL server 数据库和开源的 SQLite 数据库等。由于文件地理数据库的查询必须使用闭源收费的 Arcpy 包,虽然 Microsoft SQL server 数据库更强大,查询速度更快,但是 Microsoft SQL server 数据库安装包很大,过于臃肿,因此决定选择轻量开源的 SQLite 数据库,SQLite 数据库集成在 Python 中,不需要重新安装。

选取的数据为 2020 年度云南省森林资源监测数据,包含约 650 万个图斑,数据量较大。根据《云

表 1 数据分析主要类库^[4-5]

Tab. 1 Major class libraries of data analysis^[4-5]

类库名称	功能
Numpy	Numpy 是用 c++编写的,拥有强大数组功能和广播机制,以及对数据进行快捷地数学变换和处理,也是很多高级扩展库的基础库,是用于科学计算的基础软件包。
Pandas	Pandas 兼具 NumPy 高性能的数组计算功能以及电子表格和关系型数据库灵活的数据处理功能。其提供了复杂精细的索引功能,以便更为便捷地完成重塑、切片和切块、聚合以及选取数据子集等操作,提供了快速便捷处理结构化数据的大量数据结构 and 函数。
Matplotlib	Matplotlib 是最流行的用于绘制图表和其它二维数据可视化的 Python 库,可用于绘制各种可视化图表。
Geopandas	Geopandas 是一个开源项目,允许对空间数据进行操作,使其在 Python 中处理地理空间数据更容易。
SQLite3	SQLite 提供了一个轻量级的基于磁盘的数据库,其不需要单独的服务器进程,SQLite3 是集成在 Python 中的操作 SQLite 数据库的接口。

南省 2020 年森林资源监测操作细则》中要求的成果统计表,选择统计其中较为复杂的各类土地面积统计表为例,表头如表 2 所示。

2 数据分析与统计

2.1 数据加载

云南省的森林资源监测数据量很大,如果全部使用 Pandas 进行读取会占用大量的内存空间,所以需要数据库进行存储,利用 SQL 查询语句选择需要使用的数据库。首先使用 SQLite3. connect 连接 SQLite 数据库,然后通过 Pandas 包中的 read_sql_query 将 SQL 语句查询分组后的结果存储在 DataFrame 数据结构中,极大地压缩了读入 Pandas 中的数据量,减轻了内存占用和运算压力。代码如下:

```
import sqlite3
with sqlite3.connect(r'C:\Users\Administrator\Desktop\SLJC2020.sqlite') as conn:
    df=pd.read_sql_query(
        '''select SHENG as 省,SHI as 州市,
        XIAN as 县,LD_QS as 土地所有权,
        SEN_LIN_LB as 森林类别,SHI_QUAN_
        D as 事权等级,STQW as 生态区位,
        DI_LEI as 地类,sum(MIAN_JI) as 面积
        from XZ02
```


积与总表进行合并,可以使用如下代码:

```
pd.concat([sheng, zhoushi, xian]).merge(
    tdmnj, on='统计单位代码')
```

2.6 表格优化

合并完成后的表头顺序与设计表头顺序不符,由于表头和索引都是字符串,且是复杂的多级索引,不能简单地使用排序功能实现设计的顺序,使用 Category 数据类型的效果并不理想,只能采取在索引和列名前增加序号的方法进行排序,最后再将序号去掉。统计完成的表格可以直接用 to_excel 方法生成 Excel 表格。

3 数据可视化

3.1 扇形图

扇形图适用于表示每一分量所占总量的比例。扇形图可以很好地反映云南省每种森林类别占总量的百分比。将数据按森林类别使用 groupby 方法进行分组后,即可使用 Pandas 自带可视化模块进行扇形图绘制(图 1)。代码如下:

```
tb.plot.pie(subplots=True, autopct='% .2f',
    figsize=(8,8), title='云南省森林类别百分比图')
```

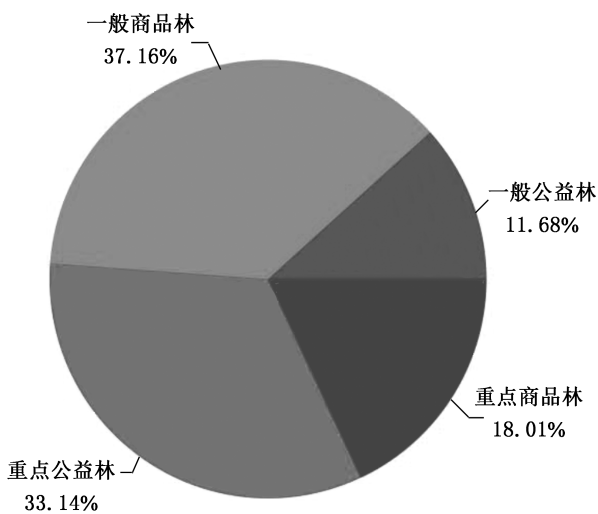


图 1 云南省森林类别占比

Fig. 1 Percentage of forest categories in Yunnan Province

3.2 柱状图

柱状图可以用于表示每个表示字段的多少。利用柱状图表示森林类别权属数量特征可以用 Pandas 自带可视化模块进行绘制。但如果需要对数据绘制一些复杂的可视化效果,或者对可视图形进行更精细的设置,就需要使用 Matplotlib 库进行绘制(图 2)。

叠加柱状图的代码如下:

```
import matplotlib.pyplot as plt
plt.bar(d1.columns.values, d1.loc['国有'],
    label='国有')
plt.bar(d1.columns.values, d1.loc['集体'],
    bottom=d1.loc['国有'], label='集体')
plt.legend()
ymax = d1.loc['国有'].max() + d1.loc['集体'].max()
plt.ylim(0, ymax)
plt.ylabel('面积 单位:万公顷')
```

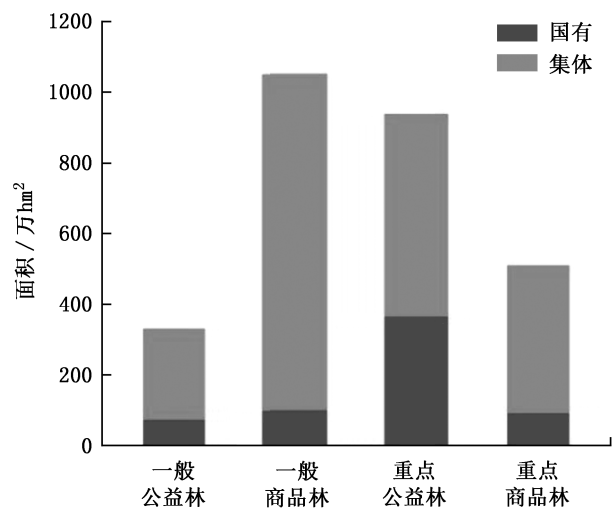


图 2 云南省森林类别权属

Fig. 2 Forest category ownership of Yunnan Province

3.3 地图绘制

对于有位置信息的地理数据,可使用 Python 绘制专题地图。Geopandas 包便是一个用于对地理信息数据进行可视化的一个很好的工具。如果使用全省林地小班数据进行聚类操作再计算森林覆盖率,由于需要进行图形运算,效率会很低,且数据量太大,要进行分块操作。所以要先统计出每个县的覆盖率,并以县为关键字连接到云南省行政区划地图上,用 Geopandas 中的 plot 方法简单设置大小和配色后即可完成绘制(图 3),地图中颜色越深,表示森林覆盖率越高。地图绘制代码如下:

```
import geopandas as gpd
gdf = gdf.merge(tb, on='XIAN')
fig, ax = plt.subplots(1, 1)
gdf.plot(column='FGL', ax=ax, cmap='OrRd',
    legend=True, figsize=(100, 100))
```

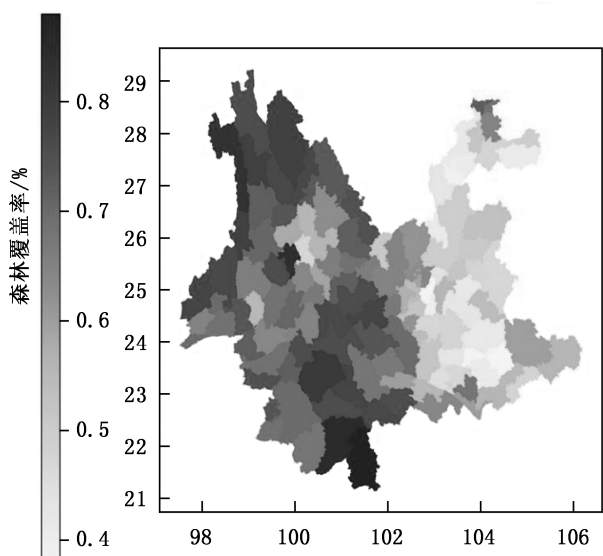


图 3 云南省各县森林覆盖率分布
Fig. 3 Distribution of forest coverage in counties of Yunnan Province

4 结论与讨论

实践证明,使用 Python 可对森林资源监测海量数据进行快速分析和统计,Python 语法结构简单的特性使其可及时地适应不同需求。对于全省上百万

条数据,从运行程序到输出统计表的时间只需十几秒,且 90%的时间用于 SQL 语句查询。如果将查询结果用于多张统计表将会极大地提升统计效率。重要的是 Python 代码可以复用,稍作修改便可使用在各种需求的分析统计中。Python 作为一种跨平台的编程语言,将分析方法完整化和系统化后,可以进行界面设计和软件打包,并将软件运行在各种不同的平台。也可以使用 Python 的 web 框架,将分析工具部署在服务器上,通过网页端提供更多的服务。

参考文献:

[1] 黄国胜,刘谦,蒲莹,等. 大数据时代森林资源监测新模式[J]. 林业资源管理,2020(6):1-5.
 [2] 云南省人民政府. 云南省创建生态文明建设排头兵促进条例[Z]. 2020.
 [3] 梁丽. Python 编程语言在数据分析中的运用[J]. 信息与电脑(理论版),2020,32(12):59-61.
 [4] WES M K. 利用 Python 进行数据分析(第二版)[M]. 北京:机械工业出版社,2018.
 [5] 阙金煌. 基于 Anaconda 环境下的 Python 数据分析及可视化[J]. 信息技术与信息化,2021(4):215-218.

责任编辑:许易琦
校 对:张林艳 许易琦

(上接第 81 页)

参考文献:

[1] 云南省林业厅. 云南省第二次重点保护野生植物资源调查报告[R]. 2019.
 [2] 李玉媛,司马永康,方波,等. 云南省国家重点保护野生植物资源的现状与评价[J]. 云南植物研究,2003(2):181-191.
 [3] 云南省林业厅,云南省林业科学院,国家林业局云南珍稀濒危特森林植物保护和繁育实验室. 云南国家重点保护野生植物[M]. 昆明:云南科技出版社,2005.
 [4] 郑进烜,华朝朗,陶晶,等. 云南省极小种群野生植物拯救保护现状与对策研究[J]. 林业调查规划,2013,38(4):61-66.
 [5] 孙卫邦,杨静,刀志林. 云南省极小种群野生植物研究与保护[M]. 北京:科学出版社,2019.
 [6] 孙卫邦. 云南省极小种群野生植物保护实践与探索[M]. 昆明:云南科技出版社,2013.
 [7] 林夏珍,楼炉煊. 浙江省国家重点保护野生植物资源[J]. 浙江林学院学报,2002(1):33-37.

责任编辑:杨焱熔
校 对:张林艳 杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.014

基于绿色交通理念的教育园区慢行系统设计研究

——以封丘教育园区为例

陈璐,王威,刘保国

(河南农业大学 风景园林与艺术学院,河南 郑州 450002)

摘要:以河南省封丘县教育园区为例,对其总体规划、主体人群、交通方式进行分析,得出封丘县教育园区建设慢行系统的必要性。以绿色交通为理念,提出以点为魂,激发封丘活力慢行核;以线为骨,构建层次分明的慢行廊道;以面为载体,打造具有封丘特色的慢行区等规划策略,以及突出层次分明的特色慢行网络、构建融通城区的细密慢行网络、完善园区人性化设计的规划目标,为园区居民提供安全舒适的出行权利。

关键词:绿色交通理念;慢行系统;规划策略;封丘县教育园区

中图分类号:S731.9;U412.37 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0087-07

引文格式:陈璐,王威,刘保国. 基于绿色交通理念的教育园区慢行系统设计研究——以封丘教育园区为例[J]. 林业调查规划,2022,47(2):87-93. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.014

CHEN Lu, WANG Wei, LIU Baoguo. Design of Non-motorized Traffic System in Education Park Based on Concept of Green Transport—A Case Study of Fengqiu County Education Park[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 87-93. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.014

Design of Non-motorized Traffic System in Education Park Based on Concept of Green Transport

——A Case Study of Fengqiu County Education Park

CHEN Lu, WANG Wei, LIU Baoguo

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

Abstract: This paper analyzed the overall planning, main population and transport mode of Fengqiu County Education Park in Henan Province, and concluded the necessity of building a non-motorized traffic system in the Education Park. Based on the concept of green transport, this paper proposed to take the point as the soul to stimulate the vitality of non-motorized core, the line as the bone to build a layered non-motorized corridor, and the area as the carrier to create the non-motorized area with local characteristics, as well as put forward the planning objectives of highlighting the characteristic network at different levels, building the network connected with the urban area, and improving the humanized design of the park, so as to provide safe and comfortable travel rights for the residents.

收稿日期:2021-03-24.

基金项目:河南省高校人文社会科学研究一般项目(2021-ZZJH-159).

第一作者:陈璐(1997-),女,河南漯河人,硕士研究生.研究方向为风景园林景观设计. Email:1019691351@qq.com

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

Key words: green transport concept; non-motorized traffic system; planning strategy; Fengqiu County Education Park

城市慢行系统的构建是引导市民绿色出行、提升城市空间品质、彰显地方特色和文化的重要手段之一^[1]。自十八大以来,随着生态文明建设的推进,生态宜居的理念深入人心,城市慢行系统的建设在城市空间规划与有机更新中越来越受重视。但随着中国城镇化步伐的加快,私人轿车大量涌入城市,快速增加的机动车与原有的城市交通之间在相适应的过程中产生严重的水土不服,呼啸而过的汽车正“驱赶”着路上的行人,慢行空间的使用权利受到压缩,医得头来脚反筋,如何使人们“体面”地行走在家园中,在非此即彼的城市建设思想下,有效解决慢行空间缺失、道路交通拥挤、交通安全保障不完善等问题。本文以新乡市封丘县教育园区慢行系统规划为例,在绿色交通理念下,对教育园区的慢行系统进行重新构建,人本位取代车本位,实现城市交通空间的生态性、人文空间的多元性,以期为其他城市空间慢行系统的实践提供参考。

1 相关概念研究

1.1 绿色交通

绿色交通 (Green Transport) 不仅是一个发展理念,同时也是一个发展实践目标^[2]。绿色交通体系这一概念最早在 1994 年由 Chris Bradshaw 率先提出,核心是资源、环境和交通系统的可拓展性和可持续发展,主要包括两方面内容:交通系统内部的和谐;交通系统与城市其他基础设施之间的协调共生^[3]。狭义的绿色交通主要通过降低建设成本和节约维护费用从而有效降低环境污染,体现出城市交通系统的环境友好性,强调构建一个有利于保护环境的多元化绿色交通运输系统。广义的绿色交通主要指通过采用低污染高效率的城市交通工具来实现人类社会经济活动的一种全新的交通理念^[4]。

1.2 慢行系统

慢行交通系统是城市综合交通体系的重要组成部分。目前被广泛接受的慢行交通 (Non-motorized Traffic) 概念为:以步行或自行车作为交通工具,其行驶速度一般控制在 5~15 km/h 的出行方式^[5]。慢行系统不仅是人们日常出行的城市道路,还包括贯穿于城市公共空间各个角落的人行道、游步道、廊道、汀步等,将各个场所有机地联系起来,形成一个

完整的体系,是城市交通系统的核心内涵。把步行、自行车、公交车等慢速出行方式作为城市的主体,可有效解决快慢交通冲突、慢行主体行路难等问题。慢行系统依据其结构可以划分为 3 个空间层次:慢行核、慢行廊道、慢行区^[6]。慢行核,是指城市内步行和自行车等慢行系统的核心,即出行目的地及交通枢纽,相当于“点”。城市内慢行核主要分为“五核”,即商业核、学校核、社区核、景观核、交通核 5 类。园区规划一方面根据慢行核的分布来划分功能分区,另一方面慢行核是园区规划的重要控制点。慢行廊道,是指连接慢行核与慢行区之间的线性交织网络,连接被城市道路所破碎化的空间,进而提高城市空间的可达性与共享性。慢行区,是指人们可以开展慢行活动的空间,包括公园绿地和步行廊道等,属于慢行系统中的“面”。慢行核、慢行廊道、慢行区从“点”“线”“面”3 个层次构建成了慢行网络 (图 1)。



图 1 慢行系统“点”“线”“面”示意图

Fig. 1 Schematic diagram of “point” “line” and “area” of non-motorised traffic system

2 封丘县教育园区概况

2.1 总体规划

封丘县未来将联动南北两端进行发展,该项目位于文体科教组团内,教育园区将承载新的行政中心北移带来的城市流量,并与西侧产业区形成关联,

孵化新产业,最终形成教育与商务围绕行政中心发展的城市功能组团(图 2)。

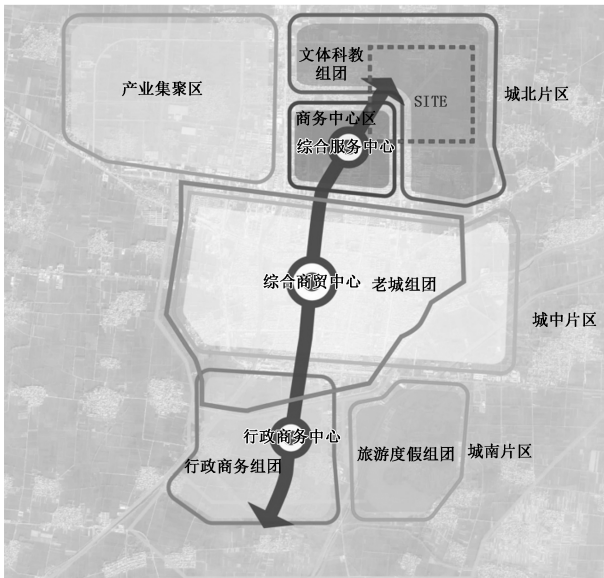


图 2 河南封丘教育园区区位
 Fig. 2 Location of Fengqiu County Education Park in Henan Province

封丘县教育园区总占地 294.58 hm²,其中二类居住用地 65.74 hm²,教育系统用地 87.78 hm²,公园广场用地 28.89 hm²,各类用地占比分别为 22.3%、30.1%、9.8%。封丘县教育园区涵盖教育保障、文化公共服务、医疗体系、市政休闲、地标集群五大功能,主要突出了“开放共享、绿色生态”理念,是一个集教育、旅游休闲、产业培育等为一体的生态型教育综合区。在该园区规划时将慢行系统理念融入其中,有效缓解园区交通压力,提高交通效率,与此同时也为园区及周边居民提供了一个舒适的休闲娱乐场所。慢行系统的运用覆盖整个园区,配合花草树木、建筑小品、筑山理水等要素,营造了具有封丘市乡土风情文化特色的教育园区景观。

2.2 主体人群分析

通过对封丘县教育园区进行问卷调查,并运用 Origin 软件对调查数据进行分析总结。结果显示:该区内儿童、青少年学生、退休老人的数量要远超于普通城区的数量,占总人口的 57.01%(图 3)。从该部分群体的社会活动方式来看,园区对步行的依赖程度远高于其他地区。

2.3 居民出行方式选择调查与分析

问卷采用“您日常出行的主要方式是什么?”等问题,对封丘县教育园区居民的出行方式进行了大

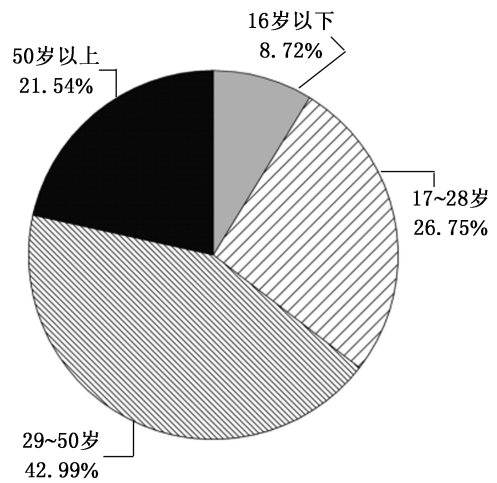


图 3 调查样本的年龄比例
 Fig. 3 Age proportion of survey sample

量调查,结果显示:选择公交车、自行车、步行 3 种出行方式的人数占总样本数的百分比分别达到了 55.8%、54.5%、57.3%,是封丘县教育园区居民出行最主要的 3 种交通方式(图 4)。

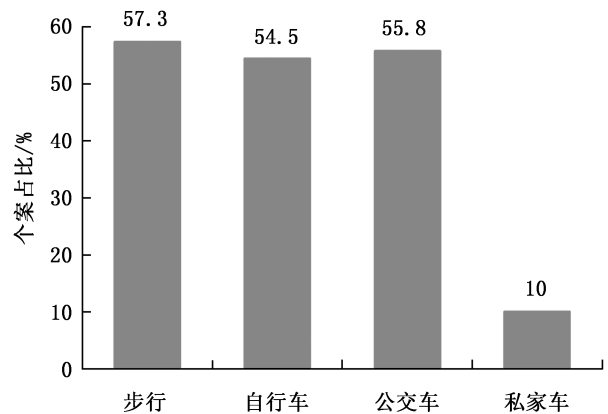


图 4 居民出行方式选择
 Fig. 4 Travel mode of residents

在调查问卷中可直观得到封丘县教育园区中不同年龄阶段与出行方式的选择息息相关:16 岁以下和 50 岁以上人群选择步行出行的个案比例分别高达 77.5%和 82.6%,该年龄层由于年龄或身体的限制,自主出行的方案选择单一,属于社会弱势群体,在城市交通系统中应该给予足够的重视与关怀;各年龄层对于步行、自行车的选择数量均较多,说明封丘县教育园区内有较广泛的慢行交通出行基础和需求。

2.4 慢行系统必要性分析

根据上述分析结果显示:封丘县教育园区内主

要是以老幼妇孺为主的主体人群,必须要通过多项慢行系统建设来保证其在园区中的路权分配,这不仅人文的关怀,更是迟来的救赎。该群体主要以步行+公交或者骑行的方式作为日常出行选择,尤其是在面对天性顽皮爱动的学生和接送学生的老人群体,对出行道路上的安全性应有更加敏感细致的考虑,同时由于教育园区的特殊属性,这类人群相对密集,应针对性地为其建设便捷的交通网络系统,营造绿色的空间环境,提供日常出行的就近路线服务,打造安全、通畅、舒适、宜人的出行系统,形成快慢相宜、刚柔并济的宜居城市交通体系。因此,对城市慢行系统的布局进行调整与规划是城市教育园区的重中之重。

3 封丘县教育园区慢行系统规划

3.1 规划思路

在进行慢行系统网络规划时,应坚持以人为本,确保人人平等的使用路权,公共资源公平有效的利用,围绕人来建立高品质空间服务,充分思考行人和

骑车人的安全和舒适度,让“慢行”不再“难行”,达到高质量的慢行乐享,从而减少和抑制一定量私人汽车的使用,形成良性的飞轮循环。人群主体上,由于教育园区的特殊用地性质,对于学生群体的安全问题必须着重考虑。封丘县教育园区空间跨度较大,对现状进行研究后,提出一些规划方法来提高环境舒适度。在规划设计时应注意以下几点:

1) 连接性:必须保证行人直接到达目的地,通畅地连接公交线路和周围的道路系统。

2) 易辨性:打造一路一特色,提高道路景观的辨识度,并确保通过 APP、智能手机应用程序能查到相应路段。

3) 普遍性:对于坡度较小的步道应方便老人、残障人士通行,通过缓坡、视觉反差、声音等特征为其提供便利^[7]。

3.2 规划策略

基于对封丘县教育园区调查研究的基础上,利用当地已有城市道路本底,提出“以点为魂、以线为骨、以面为载体”的规划策略(图 5)。

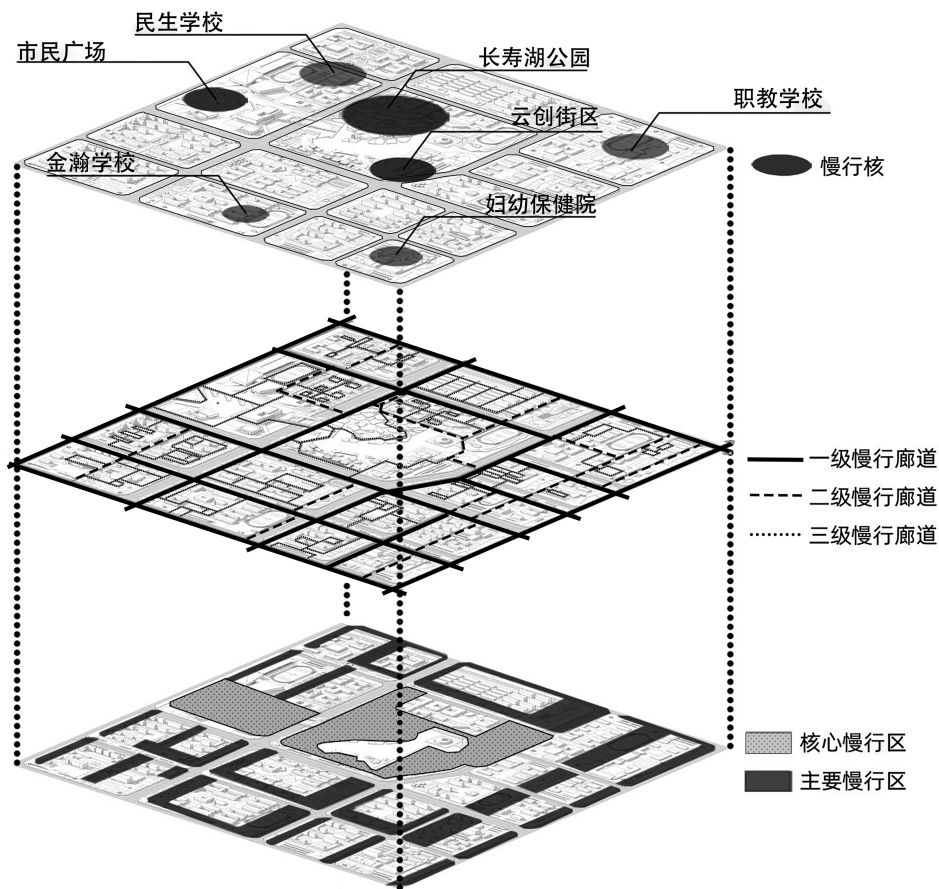


图 5 慢行系统框架

Fig. 5 Framework of non-motorised traffic system

3.2.1 以点为魂,激发封丘活力慢行核

结合封丘县教育园区规划要求特点,按照慢行核设定标准将学校、居住区、公园广场、核心商业区、特色街区、河道绿带等其他公共服务设施设定为慢行核。

从封丘县教育园区慢行核的分布来看,慢行核均匀地分布在教育园区中。慢行核的大小表示其慢行出行强度,核的形态越大,出行强度越高^[8]。因此慢行核是城市慢行交通的源泉及活力,提供了丰富多样的出行体验。例如长寿湖公园是规划中位置最核心、景观特色最为优美的地块,是各方向的功能组团共同享有的景观及生态资源,同时也是人流量最密集的地区之一。学校慢行核一般分为两种:一种是以小学、初中、高中为主,如金瀚学校,人群主要以未成年人和接送家长为主;另一种是以高等院校为主,如封丘县职教学校,人群主要是已成年的学生群体,自由度较高,具有时间集中,活动方式有方向、有秩序、有一定路线的共同点。云创街区主要是娱乐、购物、休闲的人群,时间交汇点多以周末和节假日为主,通常活动范围比较集中,方式多样,呈现无序、无方向的特征^[9],形成了城市商业核。

3.2.2 以线为骨,构建层次分明的慢行廊道

根据封丘县教育园区中的区域交通流量、道路断面形式、人车关系以及慢行活动方式类型等因素,将封丘县教育园区慢行路径划分为3个等级:依托城市主干道的一级慢行廊道,城市次路与支路组成的二级慢行廊道,由游步道构成的三级慢行道路。对不同等级的慢行廊道提出相对应的设计要求。

在规划一级慢行廊道时预留出足够的流量来保证日常通勤需求。规划时避免慢行道线路过多地与机动车流量较大的主干道重合,尽量减少交叉路口机动车与非机动车相互严重干扰的情况出现。一级慢行廊道串联各个区域,连接生活、娱乐、交往等密切相关的空间,形成覆盖整个教育园区的慢行网络,激发园区的街道活力,为园区内的居民提供绿色且安全的出行环境。代表性街道有文化路、幸福路、建国路、东干路、兴华路等。以建国路为例,在道路两侧的步行道、非机动车道与机动车道之间设置分隔带,其形式有绿植花卉、精品护栏,步行道宽度为2~5 m,非机动车道宽度为3~6 m。另一方面,为了连接网络的顺畅性,建立完善的立体过街设施,以保证步行的连续性,同时与公共交通系统形成良好的接驳,形成与公交协调、环网相宜、便捷闲适的特色慢行交通系统。

二级慢行廊道主要是以非机动车和步行为主的路径,实现完全的慢行通行,特殊情况才允许部分机动车通行。二级慢行廊道主要将各慢行区中慢行节点有机地联系到一起,可达性高,与各个节点环环相扣,减少了对机动车的依赖。以辅仁医院西侧道路为例,设置总宽度为10 m的慢行廊道,其中两侧步道共为4 m,两侧自行车道共为6 m。二级慢行廊道连接各种公共服务设施,如公厕、健身器材、共享单车停放区,以提高居民的使用率。

三级慢行廊道主要由居住区、绿地与公园中的游步道构成,营造宜人富氧的慢行环境与慢行空间,在每个闭环的慢行区内发散步行路径,为开展娱乐健身等活动提供方便的可达路径。如封丘市民广场、长寿湖公园步行需求量较大,必须采用与道路系统完全分离的独立系统,仅供步行使用。针对城市的休闲购物、交通集散等场所应设置步行特色道,突出城市道路特色,步行道宽度应与周边环境相适宜。针对校园周边设置优先步行道,利用减速带、立体设施等保障宽阔、安全、独立的空间,提升通学安全。

3.2.3 以面为载体,打造具有封丘特色的慢行区

封丘县已有一百多年金银花栽培历史,也是豫剧的发源地之一,与唱遍大江南北的豫剧文化有着千丝万缕的联系。慢行区一定程度上体现了一个城市的文化底蕴,在规划封丘县教育园区慢行系统时根据园区的服务功能和景观布局,充分突出封丘县的文化特色。在慢行区规划中,考虑周边用地性质,围绕农业、文化、娱乐三大主题设置慢行线路及慢行区,为市民提供共荣共生的休闲游憩空间。提取本地域文化元素,并应用于景观空间中各个节点处,营造具有地域文化特色的景观与装置。以建筑、雕塑、互动装置、文化走廊等元素为载体来展示封丘文化,如封丘县文化广场水池中心的金银花雕塑(图6)与长寿湖公园入口的豫剧《青陵台》雕塑(图7),让封丘独有的地区文化及风俗习惯大放光彩,具有丰富的地区特征,避免了“千城一面”,凝聚城市文化精神,提高市民的幸福归属感,使市民不仅是历史文化的见证者、传承者,更是创造者。

3.3 规划目标

3.3.1 丰富慢行空间,突出层次分明的特色慢行网络

根据园区内商业活动分布、人群集散特点等,结合当地文化特色进行慢行廊道规划设计。园区中的慢行系统层次分明,不同层次的交通方式优势互补、有序运行。园区内的慢行系统依托城市道路的路网



图 6 金银花雕塑

Fig. 6 Honeysuckle sculpture



图 7 豫剧《青陵台》雕塑

Fig. 7 Sculpture of Henan Opera *Qinglingtai*

结构,按照“主、干、次”结合“点”“线”“面”等元素,构建层次分明的慢行交通系统,关键在于处理好慢行廊道与拥挤道路及机动车道之间的相互影响。连接园区中各点通过的步行道、自行车道等慢行廊道,并营造具有园区文化特色的景观廊道,既解决了园区内通勤问题的安全性,又对园区人流进行了有效的文明引导,营造健康有序的城市环境。

3.3.2 “窄马路、密路网”,构建融通城区的细密慢行网络

根据教育园区的属性特点,通过合理布局园区道路,将园区的教育、商业、景观设施等公共资源与老城区的历史文脉有机地联系在一起。“中国式宽马路”正在被抛弃,挤占的人行空间应恢复原有的尺度。园区道路摒弃传统的“宽马路、大街区”规划方法,而是在绿色交通理念指导下化整为零,通过慢行系统的布设将街区划分为多个较小尺度的单元。

一方面可以提升园区内的可达性,提高出行方式的效率;另一方面,园区主要道路以“三板四带式”为主,可以将机动车与非机动车有效分离。在增加道路网络密度的同时,既保证了步行和自行车出行的安全,又增加了街区活力和吸引力,使街区丧失的尺度感得到恢复^[10]。

3.3.3 优化停留空间,完善园区人性化设计

人性化的配套设施是慢行交通朝着良性发展的有力保障,配套设施包括交通设施和服务设施等^[11]。交通设施包括交通标志、标线、信号灯、过街设施和停车设施等,其中,过街设施主要包括安全岛、立体过街设施等^[12](图 8)。

对双向六车道的道路设置安全岛便于二次过街;对机动车与非机动车交通量较大的道路交叉口,尽量设置立体过街设施,以减少机动车与行人之间的相互影响。在公共交通站点、交通枢纽周边布置共享单车停靠点等交通服务设施,确保共享单车数量合理分布。增加雕塑小品、休闲座椅和园林绿化等景观设计,提高绿色交通慢行系统的美学、生态及实用价值。景观随道路功能进行相应的变化,创造符合城市肌理、富有人文关怀及城市特色的慢行理念街道景观^[13]。

将教育园区内高等院校及非住宿类中小学周边作为重点设计区域,加强其区域内道路的景观氛围营造和周边道路的安全性与便捷设计,以此为出发点,将步行与骑行交通设计放在首位,使其处于绝对优先地位,增设沿路绿化和活动空间,从而降低家长使用机动车接送孩子的频率,减少空气污染与交通拥堵,提高学校上下学时段的道路通达性。恢复街道空间的尺度感与文化特征,使之更富有活力和人情味,为人们休闲放松、日常交往、健身锻炼等提供一个良好的环境。

4 结语

基于绿色交通理念下的慢行交通系统就是一场步行和车行空间展开的激烈博弈,两者的不可调和是指在同一时空中两者不可兼得,一方的高速发展取代另一方。只有不断地改善园区居民生活体验的舒适性,增强园区交通的安全性,提升园区的景观多样性,使慢行交通成为居民的主要选择,在这场博弈中要以环保绿色、高效优享战胜横行霸道的私家汽车。以此从根本上解决城市交通混乱,为步行者改善交通而非汽车,为了人提高环境而非物。



图 8 人性化设施

Fig. 8 Humanized facilities

以绿色交通的理念和慢行系统的构建为指导,坚持以人为本,积极倡导“快慢分离”“慢行优先”^[14]策略,因地制宜,有机融入乡土特色,从点、线、面 3 个层次出发构建系统化的慢行交通,结合河南省封丘县教育园区中的慢行系统规划实践,将慢行理念融入整个教育园区设计中,形成完整的具有园区特色的慢行交通系统,不仅满足人们日常出行的需求,还可提升园区的景观效果以及园区核心竞争力。但是,目前有关慢行系统构建的探讨还处于初级阶段,封丘县教育园区规划中仍存在诸多不足,因此对慢行系统还需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 孙明伟,李季. 包头市中心城区慢行系统规划设计策略及实践[J]. 规划师,2017,33(2):145-152.
- [2] 章许灏,钟石泉. 绿色交通理念下的大学校园交通规划研究——以天津大学北洋园校区为例[J]. 上海城市规划,2018(2):129-134.
- [3] 陈德超,高若愚,李新. 苏州市绿色交通策略研究[J]. 苏州科技学院学报(自然科学版),2012,29(4):62-68.
- [4] 杨帆. 广州香港两地绿色交通出行情况的比较研究——以居民的行为与认知为视角[J]. 甘肃行政学院学报,2012(5):58-80,127.
- [5] 薛红强,刘佳慧,周绍栋. 绿色交通理念下的慢行系统规划方法[J]. 科技经济导刊,2018,26(18):7-9.
- [6] 杨琦,王萍. 智慧城市背景下城市慢行系统空间规划设计探究[J]. 智能建筑与智慧城市,2018(2):18-19,21.
- [7] 龙柯宇. 强化通勤功能的独立慢行交通系统规划思路——以成都天府国际空港新城为例[J]. 上海建设科技,2020(4):48-51,55.
- [8] 阎波,李宗虎. 山地滨水城市慢行系统设计探析——以渝中半岛为例[J]. 中国园林,2018,34(4):63-67.
- [9] 姚文琪. 城市商业区慢行系统的营造——以杭州市武林地区为例[J]. 城市规划学刊,2010(S1):144-150.
- [10] 李秀阳. 基于绿色交通模式的小城市道路景观规划研究[D]. 成都:西南交通大学,2015.
- [11] 秦茜,袁振洲,田钧方. 绿色交通理念下的慢行系统规划方法研究[J]. 规划师,2012,28(S2):5-10.
- [12] 杜仁兵. 城市道路人性化交通设计方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.
- [13] 李磊. 城市发展背景下的城市道路景观研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.
- [14] 李聪颖. 城市慢行交通规划方法研究[D]. 西安:长安大学,2011.

责任编辑:杨焱熔

校 对:张林艳 杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.015

洛阳市隋唐城遗址植物园复愈功能研究

王艳霞¹, 王玉玺², 晁晓燕¹, 李亦辰¹, 张文卿¹, 高猛¹, 王磊¹

(1. 河南科技大学 园艺与植物保护学院, 河南 洛阳 471000; 2. 登封市林业科学研究所, 河南 登封 452470)

摘要:随着城市生活节奏的加快和各方面压力的增加,探究城市绿地内部空间的复愈效果无论是对舒缓人们压力还是对城市绿地规划设计来说都是十分必要的。以洛阳市隋唐城遗址植物园为研究对象,运用复愈性环境量表进行问卷调查,通过单因素方差法和实地调研等方法对植物园不同空间的复愈功能进行评价分析,并依据评价结果推荐适合各类空间复愈特质的康养产品类型,以丰富景观空间的复愈功能。

关键词:隋唐城遗址植物园;复愈性环境;复愈功能;森林康养;洛阳市

中图分类号:S759.94;X171.4 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0094-06

引文格式:王艳霞,王玉玺,晁晓燕,等. 洛阳市隋唐城遗址植物园复愈功能研究[J]. 林业调查规划,2022,47(2): 94-99,180. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.015

WANG Yanxia, WANG Yuxi, CHAO Xiaoyan, et al. Restoration Function of Sui and Tang Dynasties City Ruins Botanical Garden in Luoyang City[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 94-99, 180. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.015

Restoration Function of Sui and Tang Dynasties City Ruins Botanical Garden in Luoyang City

WANG Yanxia¹, WANG Yuxi², CHAO Xiaoyan¹, LI Yichen¹, ZHANG Wenqing¹,
GAO Meng¹, WANG Lei¹

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China; 2. Dengfeng Academy of Forestry, Dengfeng, Henan 452470, China)

Abstract: With the acceleration of urban life pace and the increase of pressure in all aspects, it is very necessary to explore the restoration effect of the internal urban green space on relieving people's pressure and the planning and design of urban green space. Taking Sui and Tang Dynasties City Ruins Botanical Garden in Luoyang City as the research object, this paper conducted a questionnaire survey by the restoration environment scale, evaluated the restoration function of different spaces in the botanical garden by means of one-way variance method and field investigation, and recommended the types of health products suitable for various spatial restoration characteristics according to the evaluation results, so as to enrich the restoration function of landscape space.

Key words: Sui and Tang Dynasties City Ruins Botanical Garden; restoration environment; restoration function; forest wellness; Luoyang City

收稿日期:2021-04-08.

基金项目:河南科技大学 2019 年度大学生研究训练计划(SRTP)项目(2019421).

第一作者:王艳霞(1999-),女,河南周口人,在校本科生.研究方向为园林规划设计. Email:wangyxkeai@163.com

责任作者:王磊(1985-),男,河南商丘人,讲师.研究方向为风景园林规划与设计. Email:wlhsust@126.com

随着生活节奏的加快和来自各方面的压力,生活在城市里的大多数人有焦虑症状,身体健康受到危害,生活质量降低。因此,探究城市绿地内部空间的复愈效果,无论是对舒缓人们压力还是对城市绿地规划设计来说都显得十分必要^[1]。

城市居民需要缓解一定的压力,而此需求在心理学上被称为复愈性需求^[2]。研究发现,在特定的环境中城市居民的复愈性需求可以得到满足,这种特定的环境被心理学家称为复愈性环境(Restorative Environment)^[3-4]。

植物园作为城市中常见的一种绿地类型,具有一定的复愈性,对城市居民身心健康的恢复发挥着重要的作用^[5-6]。此外,越来越多的人开始关注森林康养,在自然环境中开展休闲、运动、疗养、养生等有益于人们身心健康的活动^[7-9]。

然而目前在国内,植物园在设计时加入了过多人为痕迹,各个空间相互独立,多注重表现植物多样性与视觉冲击,对于用户的复愈性需求考虑较少,在森林康养方面也缺乏相应的产品^[10],自然环境的复愈作用在很大程度上没有发挥出来^[11]。

因此,以植物园为研究对象,以复愈性环境理论为指导,分析植物园环境对居民压力复愈的作用机制,探究影响不同空间复愈性差异的物理环境因素,提出适合植物园不同空间的森林康养相关产品,可提升植物园复愈功能,为城市居民提供良好的复愈效益,为同类研究体提供更加科学的研究方法,同时能够指导同类城市绿地的复愈功能效果提升及规划设计,为市民提供更加丰富多彩的复愈性空间,缓解各方面压力,提高人们生活质量。

1 研究内容与方法

1.1 研究对象

隋唐城遗址植物园,位于洛阳市洛龙区王城大道以东、聂泰路以西、古城路以南、隋唐城北路以北,建于隋唐时期古城遗址之上,是一个集科研、科普、文化娱乐为一体的综合性植物园。占地面积 190.93 hm²,2006 年 8 月建成。从用地形态上看,隋唐城遗址植物园为近梯形植物园。从与周边建筑的位置关系上看,隋唐城遗址植物园属于相邻性植物园。隋唐城遗址植物园周边环境复杂,有居住区、学校、商业区、政府办公楼和博物馆等。植物园内部结构清晰,植物种类丰富。园内道路通畅,主路成环,建有多个植物专类园和休闲娱乐广场。此外,还设有湖泊、湿地和草坪。

1.2 不同功能空间现状

植物园内道路系统清晰,主路成环,四通八达。植物种类繁多,种植层次十分丰富。植物园内景观小品、休憩设施、服务设施等配套设施十分完备,主要可分为 6 个空间。

1) 林下空间

植物园内种植了许多高大的乔木(如香樟、栎树、楝树等),这些乔木组成了林下空间,绿视率可达 90%以上。一些林下空间设置有座椅供游人休憩,周围的植物种类较少。一些林下空间如林荫道,道路两旁种植栎树,向内又种植灌木(图 1)。

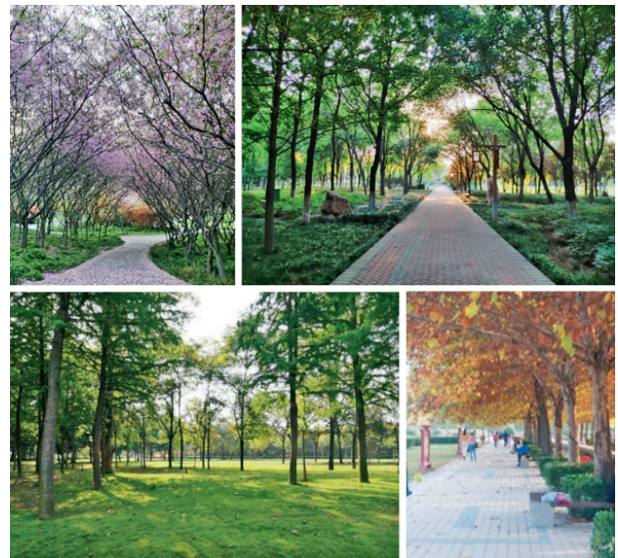


图 1 林下空间现状

Fig. 1 Current situation of understory space

2) 草坪空间

植物园内有一个面积较大的草坪,位于植物园西门东侧,紧邻湿地空间。草坪养护良好,具有良好的眺望性。草坪中种植有乌桕,其叶为秋色叶(秋天时叶变为黄色),具有良好的景观效果。节假日时有较多人在草坪休憩玩耍(图 2)。

3) 湿地空间

湿地空间位于植物园西北角,占地约 9.6 万 m²,其中水域面积约 3.2 万 m²,主要表现水生植物的自然野趣。水生植物以睡莲科、泽泻科、天南星科、香蒲科等为主。湖面种植各种水生植物,给人提供接触近乎真实自然的机会。在水体处理方面,湿地空间设置有跌水及水位较低的溪流,游人可进入戏水,富有趣味(图 3)。



图 2 草坪空间现状

Fig. 2 Current situation of lawn space



图 4 植物空间现状

Fig. 4 Current situation of plant space



图 3 湿地空间现状

Fig. 3 Current situation of wetland space

4) 植物空间

植物园内设有 28 个植物专类园,有月季、牡丹、海棠、木兰等,分布在全园各处。每个专类园中有许多不同植物品种,如海棠园中有贴梗海棠、垂丝海棠、西府海棠、木瓜海棠等多个品种,这些植物园或观花或观形,色彩斑斓,果实累累,树姿优美,加上植物特有的香味,给人以良好的视觉及嗅觉体验。植物空间在景观上层次丰富、结构清晰,但一些植物种植区人工痕迹明显,如百草园。部分园区缺少休息设施(图 4)。

5) 广场空间

植物园内有多个广场,其中的中心广场由 8 个

仿古四角亭围合而成,面积较大。每个四角亭上有攀援植物凌霄覆盖,景观效果良好且具有遮荫效果。中心广场作为全园的中心,交通上连接植物园南北、东西两条主路,起到一定集散作用(图 5)。



图 5 广场空间现状

Fig. 5 Current situation of square space

6) 湖边空间

植物园东南方有个人工湖,水域面积约 12 万^m²,视野开阔,周围有拱桥、假山、柳树,景色优美。沿湖设有游步道,并有船只娱乐项目,具有良好的亲水性。湖中设有小岛,种植有水杉等,层次丰富。较大的水域面积改善了局部小气候,夏天游人在此游玩倍觉凉爽(图 6)。



图 6 湖边空间现状

Fig. 6 Current situation of lakeside space

2 研究方法

对根据不同环境要素划分的林下、草坪、湿地、植物、广场、湖边等 6 个空间,依据卡普兰夫妇提出的以复愈性环境四大特质为基础编制复愈性环境量表^[12],以及不同空间类型的现状空间照片资料制定调查问卷。问卷分别采用网络和实地两种形式进行发放,主要发放对象为隋唐植物园的访客或者曾经访客,收集他们对各类型空间复愈性特征的理解和感受。问卷数量共 240 份,对每个空间各分 40 份(网上问卷和实地调查各 20 份)。在网上进行随机问卷调查时,首先注释研究内容及目的,然后根据问卷作答时间进行筛选,少于 2 min 不计入结果,以保证问卷的准确性。在实地进行问卷调查时,首先向被调查者讲解研究内容与目的,之后讲解注意事项,最后进行作答。最终发放调查问卷 240 份,回收有效问卷 240 份,问卷回收率 100%。

对获取的调研原始数据,运用 SPSS 25.0 软件进行统计分析,主要采用单因素方差分析法。此外,还使用 Excel 软件对不同空间环境的复愈性进行排序对比分析。

3 研究结果与分析

3.1 6 种空间的复愈特质

通过对 6 个特质空间调研数据进行归纳分析(图 7),结果发现:林下空间 4 种特质之间存在显著性差异, $F_{(3,156)} = 4.855, P < 0.05$,但延展性、魅力性、相容性 3 种特质间差异不显著。同时,三者得分高

于远离性,且差异显著。草坪空间 4 种特质间存在显著性差异, $F_{(3,156)} = 5.395, P < 0.05$,同样,延展性、魅力性、相容性 3 种特质间差异不显著,三者得分高于远离性,且差异显著。湿地空间四种特质间存在显著差异, $F_{(3,156)} = 8.726, P < 0.05$,延展性、相容性两种特性间差异不显著,两者的得分高于远离性,且差异显著;魅力性得分远高于其他 3 种特性,且差异显著。植物空间 4 种特质间存在显著差异, $F_{(3,156)} = 3.002, P < 0.05$,延展性、魅力性、相容性 3 种特质间差异不显著;远离性、相容性两种特性间不存在显著差异;远离性得分低于延展性和魅力性,且这种差异显著。广场空间 4 种特质之间存在显著差异, $F_{(3,156)} = 2.879, P < 0.05$,延展性、魅力性、相容性 3 种特性间不存在显著差异,远离性、相容性两种特性间差异不显著;远离性得分低于延展性和魅力性,且差异显著。湖边空间 4 种特质之间存在显著差异, $F_{(3,156)} = 2.503, P < 0.05$,延展性、魅力性、相容性 3 种特性间差异不显著,远离性、延展性两种特性间差异不显著,远离性得分低于魅力性和相容性,且差异显著。

3.2 6 种空间特质的差异

借助单因素方差分析方法对不同复愈特质的各个空间进行对比分析(图 8),结果表明:远离性特性上各空间得分存在显著差异, $F_{(5,234)} = 2.748, P < 0.05$ 。湿地空间得分最高,且与其他空间差异明显;林下空间、广场空间和湖边空间的远离性得分最低,显著低于其他空间。延展性特性上得分存在显著差异, $F_{(5,234)} = 4.452, P < 0.05$,其中湿地的延展性得分最高,且与其他空间差异显著;广场空间和湖边空间的延展性得分最低,显著低于其他空间类型。魅力性特性上得分存在显著差异, $F_{(5,234)} = 6.513, P < 0.05$,湿地空间的魅力性得分最高,显著高于其他五个空间,其他五个空间在魅力性得分方面差异不显著。相容性特性上得分存在显著差异, $F_{(5,234)} = 3.485, P < 0.05$,且草坪和湿地空间的相容性得分最高,显著高于其他空间;植物空间和广场空间的得分最低,显著低于其他空间。

总体复愈效益评价结果显示,湿地空间的复愈效益最佳(图 9),其次是草坪空间和植物空间,林下空间、湖边空间和广场空间的复愈效益最低,显著低于其他空间类型,且彼此间差异不显著。

3.3 6 种环境的复愈性及其复愈特质

之前的研究认为,魅力性、延展性、远离性是复愈性自然环境的中心特质,其中远离性是最重要的

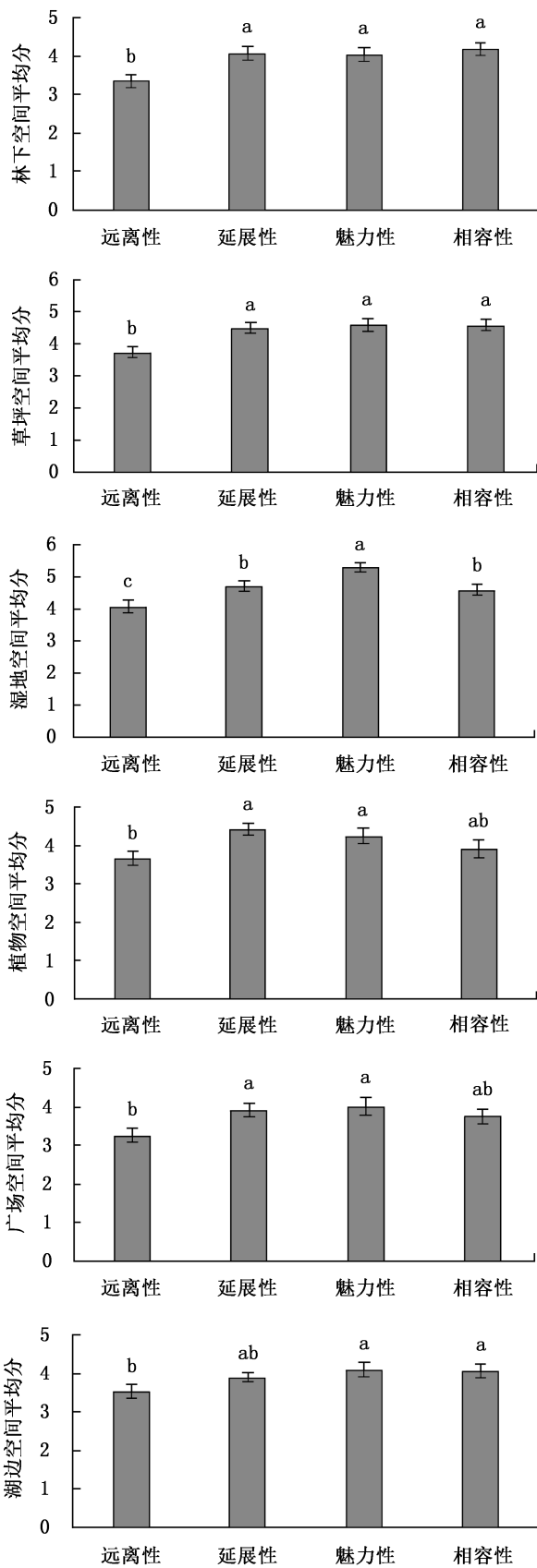


图 7 各个空间复愈特质分析结果

Fig. 7 Analysis results of restoration characteristics of each space

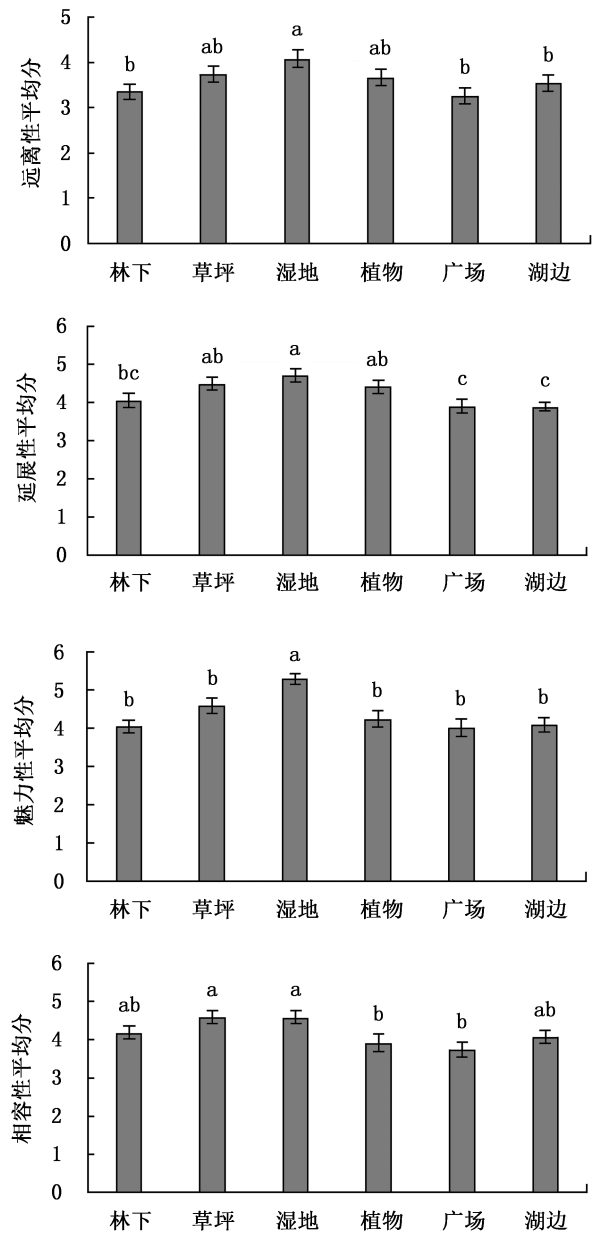


图 8 各个空间复愈特质差异

Fig. 8 Difference of restoration characteristics of each space

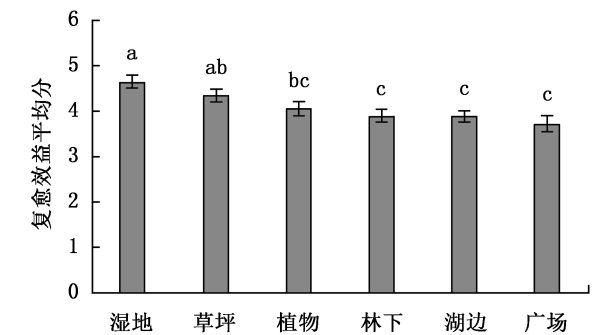


图 9 各个空间的复愈效益差异

Fig. 9 Differences of restoration benefits of each space

特质^[28]。本次研究对复愈性自然环境进行了进一步的研究,发现湿地空间相容性得分远高于远离性,所以可以认为复愈性自然环境的中心特质应该包括相容性。林下空间、植物空间、广场空间、草坪空间、湖边空间五者的延展性、魅力性、相容性得分均高于各个空间的远离性得分,且这种差异显著。

4 复愈性空间开发与利用

调查结果显示,洛阳隋唐城遗址植物园内每种空间均有一定的复愈效益,但这种效果并不明显。通过分析数据发现,一些空间的某些复愈特质得分较低进而导致复愈效益降低。为了提高每个空间的复愈效益,可以森林疗养的相关知识为指导,结合实验数据,开发适合的康养项目,弥补一些空间特质的不足,从而提高复愈效果。具体适宜开发的康养产品项目见表 1。

5 结论与讨论

本研究的假设通过调查采访、数据分析、实地调研得到了验证,最终得出如下研究结论:

1) 湿地环境、草坪环境和植物环境具有良好的复愈性,湿地环境复愈性>草坪环境=植物环境,林下环境、广场环境和湖边环境为非复愈性环境。

2) 湿地环境的复愈性特质是远离性、魅力性、延展性、相容性;林下环境、植物环境、广场环境、草坪环境和湖边环境五者的复愈特质是延展性、魅力性、相容性。

3) 植物园设计时应该考虑以下几点:不同空间的相对位置关系会影响相互的复愈性;人工景观要素的多少会影响环境复愈性;不同空间与园区道路的相对位置会对环境复愈性造成一定程度影响;在园区边缘区域、开阔地带,园外非自然因素(如建筑、鸣笛声)会对复愈性产生影响。

4) 根据各个空间复愈性特质的调查结果,结合森林康养的知识,可以在林下空间开发保健型康养产品;在草坪空间开发运动型康养产品和文化型康养产品;在湿地空间开发运动型和文化型康养产品;在植物空间开发康复型、保健型和文化型康养产品;在广场空间开发文化型康养产品;在湖边空间开发运动型康养产品。

此外,由于客观条件的限制,在判断环境复愈性效果时,仅调查了秋季的空间效果,缺少对各个季节的不同复愈效果评价,后续的研究中将继续完善该

表 1 不同空间复愈特质适宜的康养产品开发建议

Tab. 1 Suggestions on development of health care products with different spatial restoration characteristics

空间	空间复愈性特质	康养产品主题	康养产品类型	康养产品项目
林下空间	远离性 魅力性 延展性 相容性	保健康体	保健型	森林浴 生态康养廊道 太极拳 林下冥想 五禽戏
草坪空间	魅力性 延展性 相容性	运动康体 文化康体	运动型 文化型	草坪摄影基地 草场露营体验 草场跑马 草坪书画展 草坪诗歌朗诵
湿地空间	魅力性 延展性 相容性	森林疗养	运动型 文化型	湿地美术馆 湿地观鸟 生态科考教育 森林浴 湿地绘画
植物专类空间	魅力性 延展性 相容性	田园养生	康复型 保健型 文化型	农耕、采摘体验 植物精气园 生态食疗 植物科普 中草药养生休闲
广场空间	魅力性 延展性 相容性	文化康体	文化型	隋唐遗址文化讲解 诗歌朗诵
湖边空间	魅力性 延展性 相容性	运动康体	运动型	水上排球 赛艇 水中拔河比赛 水中皮球接力 游泳接力

复愈性效果评价方法,为同类景观的复愈效果评价提供更加科学的研究方法。

参考文献:

[1] HARTIG T, EVANS G W, JAMNER L D, et al. Tracking restoration in natural and urban field settings [J]. Journal of Environmental Psychology, 2003, 23(2): 109-123.

[2] HANSMANN R, HUG S, SEELAND K. Restoration and stress relief through physical activities in forests and parks [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2007, 6(4): 212-225.

[3] KAPLAN S. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework [J]. Journal of environmental psychology, 1995, 15(3): 169-182.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.016

郑州市 3 个开放式综合性公园边界空间活力提升研究

赵濛濛,冯艳,孔德政

(河南农业大学 风景园林与艺术学院,河南 郑州 450002)

摘要:开放式的公园边界空间作为城市与公园的纽带,是人们日常生活中最常用的活动空间,其活力的提升对提高人们的生活品质具有重要意义。以郑州市改造完成的 3 个公园的边界空间为调研对象,在对使用者行为密度和活动时长调研的基础上,采用 SPSS 软件,对公园边界的空间、绿化、设施和养护进行定量分析,发现入口密度、交往场所密度、边界形式、绿化覆盖率、透光率、座椅密度和景观照明灯密度对公园边界空间活力具有显著性影响,并根据影响趋势对提高公园边界空间活力提出建议。

关键词:开放式公园;边界空间活力;使用者行为;活动时长;入口密度;边界形式

中图分类号:TU986.51;G246 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0100-08

引文格式:赵濛濛,冯艳,孔德政.郑州市 3 个开放式综合性公园边界空间活力提升研究[J].林业调查规划,2022,47(2):100-107. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.016

ZHAO Mengmeng, FENG Yan, KONG Dezheng. Enhancement of Boundary Space Vitality of Three Open Comprehensive Park in Zhengzhou[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2):100-107. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.016

Enhancement of Boundary Space Vitality of Three Open Comprehensive Park in Zhengzhou

ZHAO Mengmeng, FENG Yan, KONG Dezheng

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

Abstract: As the link between the city and the park, the open park boundary space is the most commonly used activity space in daily life. The improvement of its vitality is of great significance to improve people's quality of life. Taking the boundary space of three parks reconstructed in Zhengzhou as the research object, SPSS software was used to quantitatively analyze the space, greening, facilities and maintenance of the park boundary based on the investigation of user behavior density and activity duration. The results showed that the entrance density, communication place density, boundary form, greening coverage, light transmittance, seat density and landscape lighting density had the significant impact on the vitality of the park boundary space. According to the influence trend, this paper put forward some suggestions to improve the vitality of park boundary space.

Key words: open park; boundary space vitality; user behavior; activity duration; entrance density; boundary form

收稿日期:2021-03-29;修回日期:2021-04-28.

第一作者:赵濛濛(1997-),女,河南周口人,硕士研究生.研究方向为风景园林规划设计. Email:593423340@qq.com

责任作者:孔德政(1965-),男,江苏高淳人,教授,博士生导师.研究方向为风景园林规划设计. Email:kzxy303@163.com

公园绿地作为城市中体现自然景观和生态价值的公共空间,与居民的生活密切相关,是城市建设的重要环节。随着人民生活品质的日益提高,对公园绿地的要求从“量”转变为“质”。2005 年,随《国家园林城市标准》的修订,全国各地开展大规模的“拆墙透绿”工作,我国城市公园建设迎来新的局面^[1]，“还绿于民”的思想渐入人心,公园不再封闭于围墙之中,而与周边城市空间相融合。边界作为城市公园与周边城市用地的过渡地带,既有公园的自然属性,又具备城市的功能属性^[2],是各类活动发生频率最高、人群性质最为复杂的地带之一。

提高城市公共空间的活力,创建具有吸引力的活动空间是城市未来建设的目标。不同学者根据各自研究的对象,选择了相应的影响要素及评价方法,完成对其研究对象的评价:杨伊萌等通过实地调研对上海市中心城区 24 个公园边界空间活力进行评价^[3];罗桑扎西等利用手机大数据多维度地对南京市公园进行活力评价^[4];ZHU JY 等利用大众点评、高德 POI 数据获取等方法对北京 6 环以内 90 个公园进行活力研究^[5];黄生辉等利用 Open Street map 网站爬取等互联网大数据建立了街道活力评价体系,对武汉市主城区街道进行活力评价研究^[6];汪海等从使用者感受的角度出发,用问卷的方式调查分析并建立了量化的城市公共空间活力评价体系^[7];徐千里根据山城公共空间活力理论对重庆市公共空间活力进行研究^[8];陈菲等利用严寒城市公共空间活力评价工具,分别对不同类型的公共空间进行研究^[9]。上诉学者对城市公共空间活力的研究虽包含了较为全面的要素,但目前针对城市公园边界空间活力的相关研究相对欠缺。本文参考上述学者的活力评价要素,结合人们活动特点,从已改造完成的公园边界空间调研入手,选择对公园边界空间活力具有重要影响的相关要素进行研究,以期在今后城市公园开放式边界处理提供建议。

1 实地调研与数据获取

1.1 研究对象与研究方法

为加快推进国家中心城市建设和打造美丽郑州、品质郑州,2019 年 3 月 20 日郑州市园林局召开“拆墙透绿”新闻通气会^[10],标志着继 1997 年郑州市第一次“拆墙透绿”之后,新一轮的透绿工作正式启动^[11]。此次“拆墙透绿”目的是使公园景观与城市街景相融合,增加公园与城市的连通性。截至 2020 年底,郑州市初步改造完成的公园分别是碧沙岗公

园、人民公园、紫荆山公园。这 3 个公园都是郑州市具有年代感和历史性的综合性公园,都紧邻城市主干道,周边环绕着商业用地和居住、教育场所,且基础设施相对完善,人流量大,可达性高。对改造完成的这 3 个公园进行实地观察,了解公园边界空间特征和现有活动概况,最终以公园主入口为界点分 8 个样地展开深入研究(表 1、图 1)。

表 1 公园边界调研样地情况

Tab. 1 Sample plots of park boundary survey

区位	公园名称	建成时间	改造时间	样地	样地面积 /m ²
二七区	人民公园	1952 年	2019 年	1	4246
				2	2057
中原区	碧沙岗公园	1957 年	2019 年	3	4650
				4	5643
				5	3344
金水区	紫荆山公园	1958 年	2019 年	6	8560
				7	8710
				8	7104

在研究过程中,采用实地观察记录与随机访谈相结合的方法,对 8 个样地的使用者类群、活动类型、活动时长、活动地点等情况以及周边用地信息进行基本了解并记录,结合以往研究初步判断影响公园边界空间活力的因素,利用 SPSS 软件对调研数据进行相关性分析和散点拟合分析。

1.2 研究指标和计算

1.2.1 指标的构建

“活力”本是在生物学中指维持生存及发展的能力,对活力的研究最早源于城市规划学中对城市公共空间的思考^[12]。随着城市空间规划和空间品质逐步提升,活力作为城市空间品质的重要体现,在风景园林领域得到广泛应用。一方面,有学者针对客观的物质生活空间进行活力研究,如空间的面积、密度、功能及形态等;另一方面,有些学者在研究的同时还关注着使用者的感受,以使用者的数量、时长以及空间活动的差别来体现空间活力的差别。由上述分析可知,公园边界空间活力来自于游客与空间的互动,人们的日常活动数量和活动时长是表现公园边界空间活力、评估空间品质的重要依据。

公园边界空间是公园与城市道路的过渡区域,也是居民交流与沟通的场所,其构成要素可以从空

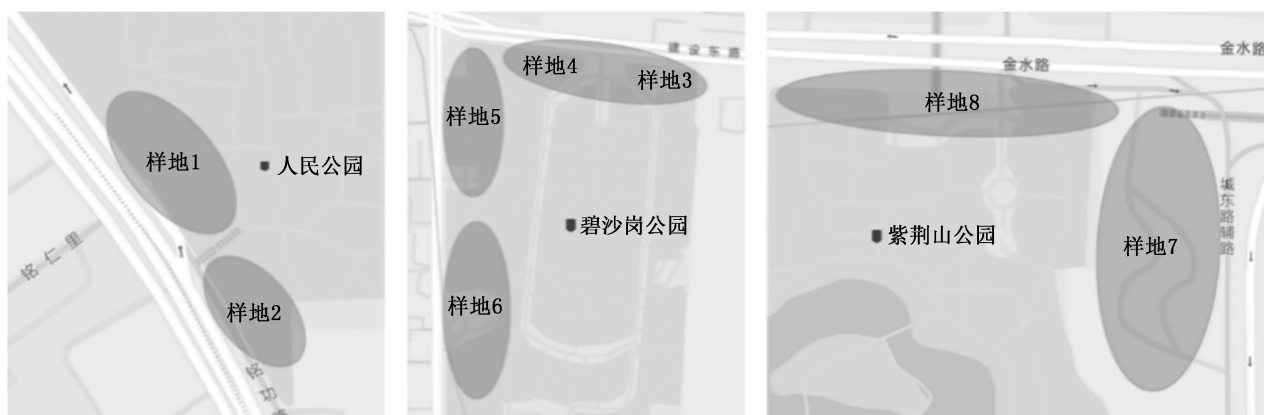


图 1 边界空间样地区位分布

Fig. 1 Location distribution of sample areas in boundary space

间、绿化、设施、养护 4 个方面入手：空间方面，包括人口密度、交往场所密度、周边功能和边界形式；绿化方面，包括绿视率、绿化覆盖率和透光率，其中绿视率是指行道树、灌木、草地等绿色在人的视野中所占的比例，绿化覆盖率则是指绿化植物垂直投影面积占公园边界空间总面积的百分比，透光率用阳光直射在地上的面积与样地总面积的比值来表示；设施方面，以考察座椅、景观照明灯和遮荫设施的密度为主；养护方面，以使用者对公园管理、清洁等的满意度为主。综上，公园边界空间构成要素方面共选取 9 个指标。

1.2.2 指标的计算

为了保证调研数据的有效性、准确性与客观性，4 名调研人员分布于边界样地交叉口，在 2021 年 1 月选择适宜出行的工作日和周末各一天，在 08:00—10:00、10:00—12:00、12:00—14:00、14:00—16:00、16:00—18:00、18:00—20:00 共 6 个时段内随机抽取 3 个 15 min 的时间段环样地一周观察记录使用者活动情况，取平均值作为各个时段的活动量，以活动密度对各类型活动进行统一计量，按各样地中每 100 m 的活动人数进行统计，密度越高，说明人数越多，该样地的使用效率越高，空间活力越好。具体计算公式如下：

$$\text{活动密度} = \frac{\text{活动人次}}{\text{边界长度}} \times 100$$

使用者的活动时长体现的是空间是否被高效利用。平均游憩时间越长，说明该空间的使用效率越高，空间活力就越好。为考察公园边界空间中使用者的平均游憩时长 (ART)，按照人数比例加权计算^[13]，具体公式如下：

$$\text{ART} = \sum_{i=1}^4 (T_i \times P_j)$$

式中： $i=1, 2, 3, 4$ 分别对应于时长 0~5 min、5~10 min、10~15 min、>15 min，时间 $T_i = 5, 10, 15, 20$ ， P_j 则为相应游憩时长上的游憩者比例。

公园边界空间构成要素数据统计的衡量标准与计算方法如下：

1) 人口密度：指各边界样地中每 100 m 能够进入公园的入口数量，即入口数量/边界长度×100，单位为(个/100 m)。

2) 交往场所密度：指各边界样地中每 100 m 的交往场所数量，即交往场所数量/边界长度×100。在公园边界空间中，人们在不选择进入公园的情况下，就可以与亲戚朋友，甚至陌生人相遇、聊天、游戏等，只有具备不同种类的节点空间才能使这类活动能得以完成。与公园内部的活动场所相比，这类空间的活跃程度更高。

3) 周边功能：指某种功能所占公园边界长度与公园边界总长度的比值，反映周边功能沿公园边界的分布状况。周边的主要功能直接影响着公园的使用情况，不同的用地功能对人群的聚集力也不同。将不同的周边功能按照影响程度划分为 4 个等级，并且对应不同的分值。计算公式为：

$$\text{周边功能} = a \times 3 + b \times 2 + c \times 1 + d \times 0$$

式中： a 是 1 等级功能的长度占比，为社区生活和办公功能，包括住宅、学校、商务办公等； b 是 2 等级功能的长度占比，为商业服务业和文化休闲，包括商场、绿地等； c 是 3 等级功能的长度占比，为科研和医疗； d 是 4 等级功能的长度占比，为市政、工业、物流等^[3]。

4) 边界形式：指公园边界的开放程度，即边界

形式 = $a/\text{总长} \times 3 + b/\text{总长} \times 2 + c/\text{总长} \times 1 + d/\text{总长} \times 0$ 。改造后的公园摒弃了传统封闭的边界形式,抛弃了以围墙绿篱遮挡隔离的形式,利用地形高差设置有起伏的过渡空间,增加了开放程度,视线也变得通透。根据视线的通透程度,可分为 4 种边界形式,并且对应不同的分值:a 为有微小地形高差或无高差形式,视线完全通透;b 为有明显地形高差遮挡视线的形式;c 为有绿篱阻隔但视线相对通透的形式;d 为完全遮挡视线的形式^[3]。

5) 绿视率:以人的视线高度(1.5 m)分别在样地中随机拍取一组照片,在 Photoshop 中查看绿色像素值,即绿视率 = 绿色像素值/总像素值 × 100%。

6) 绿化覆盖率:即绿化植物垂直投影面积/边界空间总面积 × 100%。

7) 透光率:即阳光面积/样地总面积 × 100%。

8) 座椅密度:指各样地中每 100 m 的座椅数量,即(正式座椅数量 × 1 + 非正式座椅长度/人与人的最小社交距离 1.2 m)/边界长度 × 100。非正式座椅指花坛、台阶等可供人们坐下休息的设施^[14]。

9) 景观照明灯密度:指各边界样地中每 100 m 的照明灯数量。

10) 遮荫设施密度:指各边界样地中每 100 m 的可供人们遮荫的设施数量。

11) 养护程度:采用李克特量表法,在各样地中随机邀请 20 名使用者从美观性、生态性 2 个方面,分 1~5(非常不好、不好、一般、好、非常好)5 个等级对现存的养护状况进行打分,分别取平均值作为各样地的最终得分。

2 调研结果

2.1 使用者日常行为特征

不同的使用者活动类型对空间的需求也有所不同。根据使用者的活动特点分为穿行活动^[15]、游憩活动、健身活动、社交活动。从活动密度看,样地 2、7、8 内的日常活动密度明显高于其他样地,样地 3、5、6 内的日常行为密度较低(表 2、图 2);相比于工作日,周末的活动密度明显增加(图 3)。

从活动时长看,在样地 3、4、5 内停留 15 min 以上的人数较少,而样地 7 和样地 8 内长时间停留的人数最多,主要集中在交往场所的公共座椅附近进行休憩、聊天、晒太阳、下棋等(图 4)。

2.2 构成指标特征

空间指标方面,所调研的 8 个样地的人口密度介

表 2 4 种活动类型的平均活动密度

Tab. 2 Average activity density of four activity types

人次/100 m

边界样地	穿行活动	游憩活动	健身活动	社交活动
样地 1	68.39	52.50	29.71	7.77
样地 2	128.34	64.17	13.19	16.04
样地 3	31.11	31.56	13.33	6.67
样地 4	83.73	22.33	8.29	0.32
样地 5	39.39	43.06	7.18	1.12
样地 6	17.52	19.24	11.68	12.85
样地 7	42.31	73.08	25.13	119.23
样地 8	49.55	31.85	13.39	78.13

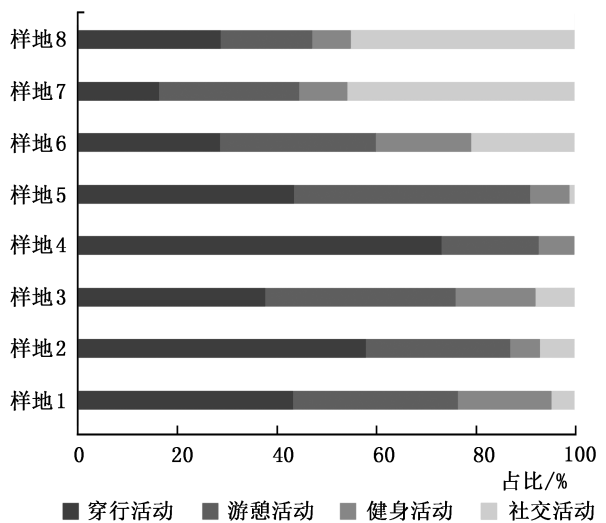


图 2 各样地内不同活动类型占比

Fig. 2 Proportions of different activity types in various areas

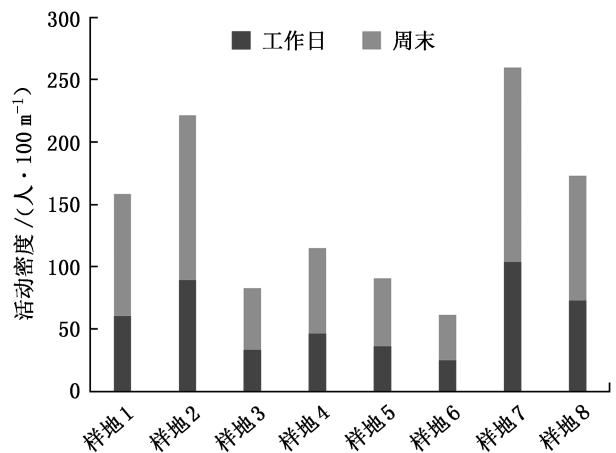


图 3 各样地内日常活动密度对比

Fig. 3 Density comparison of various daily activities

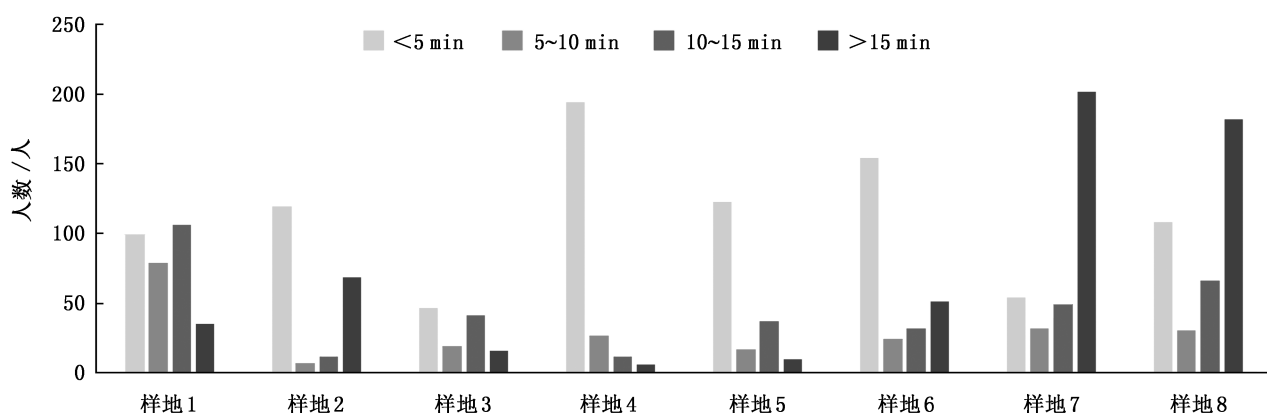


图 4 各样地内日常活动时长对比

Fig. 4 Duration comparison of various daily activities

于 1~5 个/100 m, 交往场所密度在 0~2.3 个/100 m, 周边功能和边界形式的得分介于 1.17~2.41 分和 0.1~2.08 分; 绿化指标方面, 样地 3、4、5 的绿视率和绿化覆盖率都较高, 相应地其透光率较低; 设施方面, 8 个样地的座椅和景观照明灯的设置相对充足, 但部分样地未设置遮荫设施; 养护方面, 对这 8 个样地的满意度得分介于 3.4~3.95 分, 分值差别较小。

3 数据分析与结果

3.1 活力值

由上文分析可知, 公园边界空间使用主体的活动密度和活动时长可以反应边界空间活力。利用变异系数法对上述 2 个指标因子统一计算并赋权, 将赋权后的值求和得到各样地的活力值, 即活力值 = 0.66×活动密度+0.34×活动时长。

3.2 变量相关性分析

将活力值与构成要素分别进行皮尔森相关性分析, 其中周边功能、遮荫设施密度、绿视率和养护程度的 *P* 值均大于 0.05, 与公园边界空间的活力值无显著差异。其余 7 个要素的 *P* 值均小于 0.01, 与活力值呈显著的相关性, 但绿化覆盖率呈负相关 (表 3)。

3.3 影响活力的构成要素分析

在前述研究的基础上运用 SPSS 进行散点拟合分析, 根据变量之间的分布形态和走向表明各要素对活力的影响。

在空间指标中, 人口密度与边界空间活力值呈正相关。随着公园人口的增多, 增加了公园与城市道路之间的连贯性, 使用者的行动路线变得灵活多样, 穿行活动和游憩活动密度增加, 活力也就随之变

表 3 公园边界空间活力与各要素相关性分析

Tab. 3 Correlation analysis of park boundary space vitality and various elements

构成要素	活力值	构成要素	活力值
人口密度	0.722 **	遮荫设施密度	-0.454
交往场所密度	0.757 **	绿视率	-0.436
周边功能	0.178	绿化覆盖率	-0.790 **
边界形式	0.650 **	透光率	0.780 **
座椅密度	0.673 **	养护程度	0.433
景观照明灯密度	0.712 **		

注: * 表示 *P* < 0.05 水平下相关性显著; ** 表示 *P* < 0.01 水平下相关性极显著。

大。60 以上的活力值对应的人口密度主要集中在 2~4 个/100 m。在调研样地中, 样地 2 和样地 7 的人口密度在 2~4 个/100 m, 相同时间段内的这两个样地的活力值也相应较高。与人口密度相比, 交往场所密度对活力的影响较高且拟合呈正相关, 当交往场所密度在 1~2.3 个/100 m 时, 对应的活力值在 60 以上。例如, 样地 3 的人口密度为 2 个/100 m, 但是其交往场所密度较小, 使用者的健身活动和社交活动没有适宜的场所以实现, 驻留时间变短, 导致其活力值降低。相较于空间指标的前两个要素, 边界形式对活力的影响程度较小, 但边界形式反映的是空间的开放程度, 当边界得分越高, 该空间就越开放, 对使用者行为和视线的阻隔减弱, 其活力也就越大。60 以上的活力值对应的边界分值在 1.32~2.08 分, 当分值在 2.08 分时活力达到了最高值 (图 5~图 7)。

在边界空间绿化指标中, 绿化覆盖率和透光率这两个指标具有一定的季节性, 不同季节使用者的

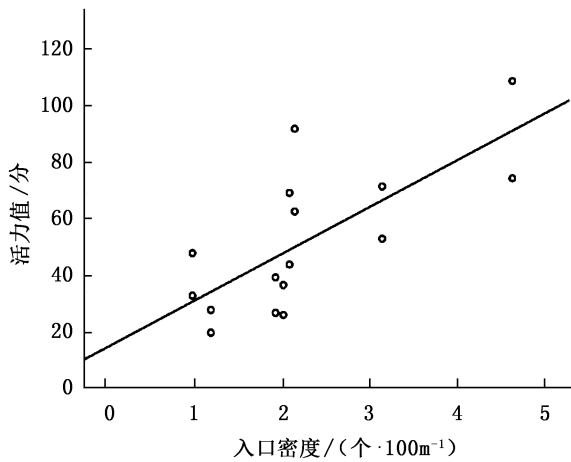


图 5 入口密度与活力值

Fig. 5 Entrance density and vitality value

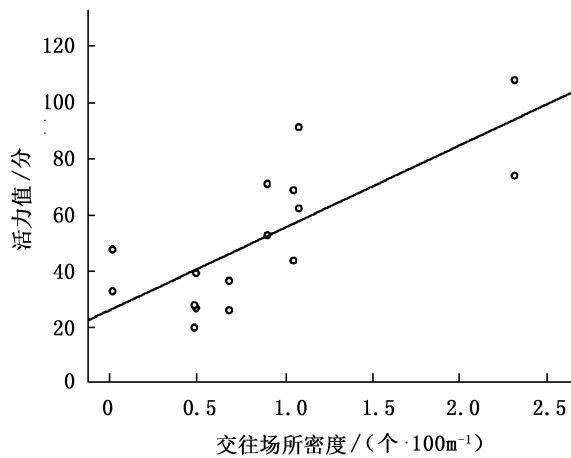


图 6 交往场所密度与活力值

Fig. 6 Density and vitality value of communication places

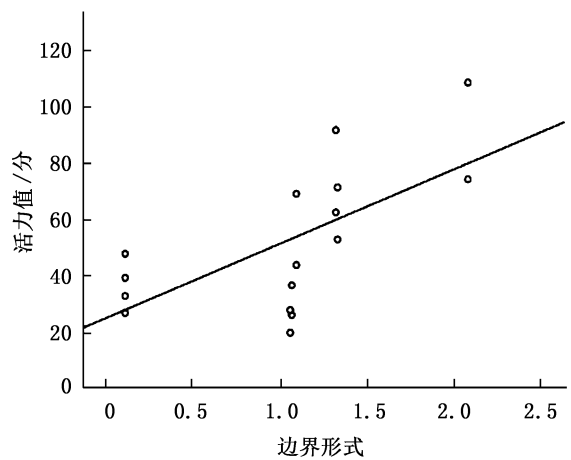


图 7 边界形式与活力值

Fig. 7 Boundary form and vitality value

活动类型也不同。夏季天气炎热,强烈的光照使人们更偏向于在林荫处透光较差的场地休憩乘凉,但是冬季则与之相反,寒冷的气候促使人们寻找绿化覆盖率低、阳光充足的活动场地,在活动类型上与夏季不同的是使用者更偏爱运动、晒太阳等。本次调研时间在 1 月份,正值冬季,因此绿化覆盖率与活力值拟合呈负相关,60 以上的活力值相对应的绿化覆盖率主要集中在 15%~19%;与此同时,绿化覆盖率越低的样地,其透光率越高,透光率与边界活力呈正相关,活力值在 60 以上的样地透光率达到了 80%以上(图 8、图 9)。

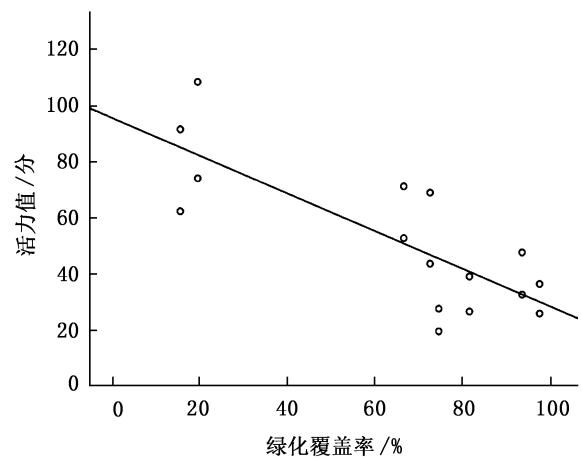


图 8 绿化覆盖率与活力值

Fig. 8 Greening coverage rate and vitality value

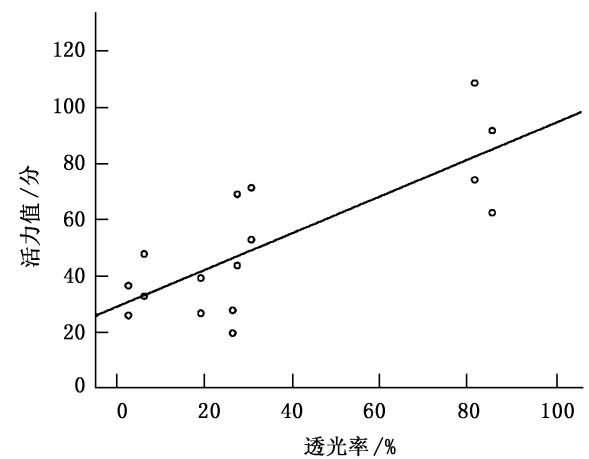


图 9 透光率与活力值

Fig. 9 Light transmittance and vitality value

在边界空间设施指标中,座椅密度与边界活力呈正相关,但是其活力值有一定波动,活力值在 60 以上的样地对应的座椅密度集中在 24~60 个/100

m,但是这个范围内的活力值不完全在 60 以上。导致这个现象的主要原因是绿化覆盖率与座椅密度不匹配。例如,样地 1 的座椅密度是 24 个/100 m,其绿化覆盖率是 71.93%,导致虽然样地 1 的座椅数量充足,但是座椅周边被较高的植物遮盖,阳光无法照射在座椅上,在寒冷的冬季使用者不愿意在此逗留(图 10)。

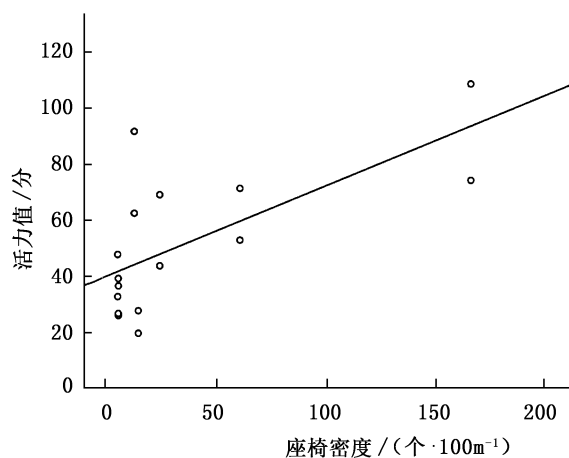


图 10 座椅密度与活力值
Fig. 10 Seat density and vitality value

景观照明灯的密度与边界空间活力呈正比(图 11)。景观照明灯设计是开放式公园环境设计的重要组成部分,相比于上述各要素,其影响程度较低且活力值波动较大。60 以上的活力值对应的景观照明灯的密度在 5~8 个/100 m。但是,有不少样地的景观照明灯密度也在此区间范围内,活力值却很低。如样地 3 的景观照明灯密度是 6 个/100 m,周末其活力值却只有 36.33。调查发现,该样地虽然景观照明灯充足,但由于设置简单,有些样地甚至没有开启景观照明灯,夜晚使用者的活动类型大多是穿行活动,没有特殊的视点能够吸引使用者转变活动类型,增加驻留时间。

4 活力提升建议

城市公园绿地的开放是在社会需求和自身发展需求的条件下产生的,在开放的过程中必然面临一些困难,尤其是老旧公园的边界改造,其周边环境是设计师难以干预的客观条件,因此需要设计师在尊重现实区位状况的条件下,充分利用边界空间,采用合理且积极的处理方式开放公园绿地。

4.1 打造多类型交往场所

交往场所是影响边界空间活力的重要因素,好

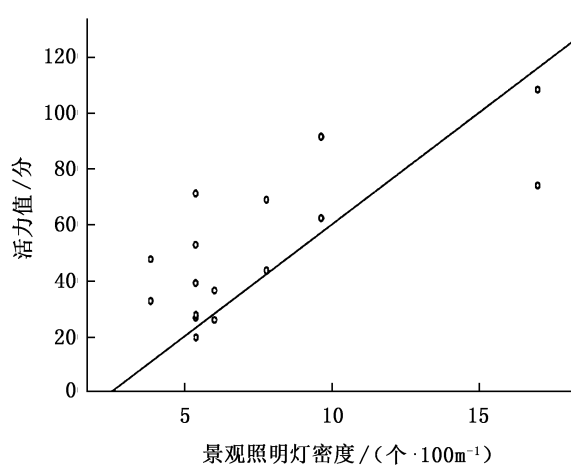


图 11 景观照明灯密度与活力值
Fig. 11 Density and vitality value of landscape lighting

的边界空间应注重人文关怀和活动设计,应根据不同年龄、不同兴趣和不同文化层次使用者的需求合理设置空间,以便进行多种文化活动。在本次研究中,碧沙岗公园的 4 个样地在改造过程中追求景色美化,却忽视了空间变化的多样性,容易引起视觉疲劳;相比而言,紫荆山公园在景观改造时,合理利用凹凸变化较大的空间设置多种类型的交往场所,满足休憩、娱乐等不同的活动需求,有效地提高了空间活力。

4.2 结合城市街景,构建绿色边界

将实体围墙拆除后,设计上应注重公园出入口位置的便捷性和数量的适宜性,与城市街景在道路上进行有效连接。利用自然微地形和不同造型的植物景观形成绿色屏障,达到划分空间的作用,且行人可透过植物看到公园内部景观,公园内也可以观察到街道活动,吸引人群进入,城市街景在视觉上得到延伸。

4.3 营造不同季节空间的舒适性

针对不同季节使用者的活动特点,着重空间自然活力的设计,营造可以应对气候变化的活动场所。在主要活动空间合理设置足够的乔灌木、水景观以及景观建筑或小品,能够在夏季遮阳降温,在冬季取暖避风,形成相对舒适的空间环境,从而增强公园边界空间的吸引力。

4.4 融入科技元素,打造新型创意空间

随着数字技术的发展,城市公共空间的传统功能已经不能满足使用者的需求,城市公园绿地空间的数字化是必然趋势。现阶段公园边界空间虽逐步开放,但仍缺乏科技含量,不能推陈出新,与时俱进,在一定程度上也会降低空间活力。在未来的发展过

程中,智慧游览、智慧娱乐、AR 人机交互、VR 虚拟体验,以及人工智能都应融入在内,打造一个内涵丰富的科技公园,增强自身吸引力,让使用者拥有沉浸式的游玩体验,从而提升公园边界空间活力。

5 结语

作为公园边界空间中活动的主体,人是其产生活力的基础,人的需求是否得到满足是活力高低的决定性因素。人的活动行为能展示出不同人群对空间的需求,对其要从活动数量和质量两方面分析。本文通过对郑州市完成“拆墙透绿”的公园进行调研,综合分析使用者的行为特征,在把握当地人群特征和气候特点的基础上,探索不同构成要素对活力的影响程度,进一步提出增进公园边界空间活力的建议,以期营造更具活力的边界空间提供支持。

参考文献:

- [1] 贾子超. 北京市公园绿地边界空间调查研究[D]. 北京:北京林业大学,2009.
- [2] 张树楠,尚改珍,董英魁,等. 开放式公园边界空间设计研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(28):15860-15861,15873.
- [3] 杨伊萌,夏熠琳,何颖. 上海市中心城区公园绿地边界空间影响因素研究[J]. 上海城市规划,2019(21):88-94.
- [4] 罗桑扎西,甄峰. 基于手机数据的城市公共空间活力评价方法研究——以南京市公园为例[J]. 地理研究,2019,38(7):1594-1608.
- [5] ZHU J Y, LU H T, ZHENG T C, et al. Vitality of urban parks and its Influencing factors from the perspective of recreational service supply, demand, and spatial links[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(5):1615.
- [6] 黄生辉,王存颂. 街道城市主义:武汉市街道活力量化及影响因素分析[J]. 上海城市规划,2020(1):105-113.
- [7] 汪海,蒋涤非. 城市公共空间活力评价体系研究[J]. 铁道科学与工程学报,2012,9(1):56-60.
- [8] 徐千里. 街头巷尾和建筑之间的城市活力[J]. 当代建筑,2020(8):22-27.
- [9] 陈菲,朱逊,张安. 严寒城市不同类型公共空间景观活力评价模型构建与比较分析[J]. 中国园林,2020,36(3):92-96.
- [10] 王芳玲. 拆墙透绿:绿了城市 喜了民心[J]. 决策探索(上),2019(12):30-32.
- [11] 王文平,张亚民. 郑州市公园拆墙透绿免费开放效益、存在问题及对策[J]. 河南林业科技,2000(1):35-36,38.
- [12] 聂晓嘉,张铁超,周卫,等. 城市空间活力研究现状与趋势——基于中英文文献的比较分析[J]. 西南大学学报(自然科学版),2021,43(3):1-9.
- [13] 王克宝. 基于使用者行为的公园空间活力及影响因素研究[C]//中国城市规划学会、重庆市人民政府. 活力城乡 美好人居——2019中国城市规划年会论文集(08城市生态规划),2019.
- [14] 黄丹,戴冬晖. 生活性街道构成要素对活力的影响——以深圳典型街道为例[J]. 中国园林,2019,35(9):89-94.
- [15] 郭茹,王洪成. 生活服务街道景观特征对步行活动影响及优化:以天津市中心城区街道为例[J]. 风景园林,2020,27(10):99-105.

责任编辑:刘平书

校对:张林艳 刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.017

云南省核桃良种选育研究进展

李淑芳^{1,2}, 习学良², 杨建华², 陈勤², 王高升², 赵阡池²

(1. 大理州森林和草原资源管理总站, 云南 大理 671000; 2. 云南省林业和草原科学院 漾濞泡核桃研究院, 云南 漾濞 672500)

摘要: 良种是产业核心竞争力, 在目前核桃产业市场竞争日趋激烈的新形势下, 推动核桃品种更新换代和产业提质增效是实现云南省核桃产业高质量发展的战略性举措。在查阅大量文献的基础上, 从核桃品种的杂交育种、地方优良品种、实生选种、引种等方面, 总结了云南省核桃优良品种选育取得的成效, 同时探讨了云南省核桃产业发展中存在的问题, 提出相关对策建议。

关键词: 核桃; 良种选育; 实生选种; 引种

中图分类号: S792.13; S722.33 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2022)02-0108-09

引文格式: 李淑芳, 习学良, 杨建华, 等. 云南省核桃良种选育研究进展[J]. 林业调查规划, 2022, 47(2): 108-116.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.017

LI Shufang, XI Xueliang, YANG Jianhua, et al. Research Progress on Breeding of Improved Walnut Varieties in Yunnan [J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 108-116. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.017

Research Progress on Breeding of Improved Walnut Varieties in Yunnan

LI Shufang^{1,2}, XI Xueliang², YANG Jianhua², CHEN Qin², WANG Gaosheng², ZHAO Qianchi²

(1. Dali Forest and Grassland Resource Management Station, Dali, Yunnan 671000, China;

2. Yangbi Research Institute of Juglans, Yunnan Academy of Forestry and Grassland, Yangbi, Yunnan 672500, China)

Abstract: Improved varieties are the core competitiveness of the industry. Under the new situation of increasingly fierce competition in the walnut industry market, the upgrading of walnut varieties and improvement of industrial quality and efficiency is a strategic measure to realize the high-quality development of walnut industry in Yunnan. This paper summarized the achievements in the breeding of improved walnut varieties from the aspects of hybrid breeding, local improved varieties, seedling selection and introduction of walnut varieties by consulting a large number of literature, discussed the problems existing in the development of walnut industry in Yunnan Province, and put forward countermeasures and suggestions.

Key words: walnut; breeding of improved varieties; seedling selection; introduction

核桃是云南省最重要的经济林树种, 全省种植面积达 286.67 万 hm^2 , 2019 年产干果约 120 万 t。全省 80% 以上国土面积适宜种植核桃, 覆盖 129 个县

市区, 其中 70 个县把核桃列为山区扶贫重点产业。核桃是经济和生态兼具的林草产业, 已成为云南省广大山区农民重要的经济收入来源, 在脱贫攻坚中

收稿日期: 2021-03-08.

基金项目: 云南省重大科技专项(2018ZG002-04); 中央财政林业科技推广示范项目(云[2019]TG06).

第一作者: 李淑芳(1981-), 女, 四川犍为人, 助理研究员. 主要从事经济林良种选育及栽培技术研究.

责任作者: 习学良(1968-), 男, 云南大理人, 研究员. 主要从事经济林良种选育及栽培技术研究.

起到重要的产业支撑作用,在云南省林草产业体系和生态体系建设中具有重要地位。近年来省内外核桃价格持续下滑,核桃果农收入下降,全省核桃产业发展亦受到了一定程度的影响。良种是产业核心竞争力,在目前核桃产业市场竞争日趋激烈的新形势下,推动核桃品种更新换代和产业提质增效是实现云南省核桃产业高质量发展的战略性举措,深度挖

掘与评价特异性的核桃品种资源,选育推广优良的核桃品种具有重要现实意义。

1 核桃良种选育现状

1.1 杂交育种

云南省现有核桃杂交良种 10 个(表 1)。

表 1 云南省杂交选育核桃品种名录

Tab. 1 List of hybrid walnut varieties in Yunnan Province

序号	品种名称	育成年份	亲本本源	通过类别	品种特性	选育单位	参考文献
1	云新高原	2004	漾濞大泡核桃×新疆核桃优良单株云林 A ₇	审定	结实早,成熟早;坚果扁椭圆形;平均单果重 12.7 g,果仁黄白色,易取仁,出仁率 56.19%,出油率 69.66%	云南省林业科学院	[1]
2	云新云林	2004	漾濞大泡核桃×新疆核桃优良单株云林 A ₇	审定	结实早,成熟早;坚果扁圆球形;平均单果重 9.6 g,果仁浅黄色,易取仁,出仁率 54.79%	云南省林业科学院	[2]
3	云新 301	2010	三台核桃×新早 13 号	审定	结实早,成熟早;种壳刻纹较光滑;平均单果重 10.0 g,出仁率 58.8%,含油率 70.1%;较抗晚霜	云南省林业科学院	[3]
4	云新 303	2010	三台核桃×新早 13 号	审定	结实早,成熟早;种壳刻纹较光滑;平均单果重 13.0 g,出仁率 59.40%,含油率 68.2%;较抗晚霜	云南省林业科学院	[3]
5	云新 306	2010	三台核桃×新早 13 号	审定	结实早,成熟早;种壳刻纹较光滑;平均壳厚 0.84 mm,平均单果重 10.58 g,出仁率 57%,含油率 65%;较抗晚霜	云南省林业科学院	[3]
6	漾杂 1 号	2011	漾濞大泡核桃×娘青核桃	审定	晚实品种;坚果扁圆球形,外壳麻点较大、较深;平均单果重 12.6~15.6 g,平均出仁率 50.00%~54.62%	大理白族自治州林业科学研究所	[4]
7	漾杂 2 号	2011	漾濞大泡核桃×娘青核桃	审定	晚实品种;坚果扁圆球形,顶部突尖,底部较团,外壳麻点较小、较浅;平均单果重 15.6 g,平均出仁率 52.87%	大理白族自治州林业科学研究所	[4]
8	漾杂 3 号	2011	漾濞大泡核桃×娘青核桃	审定	晚实品种;坚果扁圆球形,顶部突尖,底部较平,外壳麻点较大、较深;平均单果重 13.9 g,平均出仁率 53.85%	大理白族自治州林业科学研究所	[4]
9	云新 A ₃ 深纹核桃优良无性系	2020	云新 301×强特勒	认定	早实品种;坚果扁圆球形,种壳光滑;坚果三径均值 3.3 cm,壳厚 0.81 mm,易取仁;果仁饱满,食味香,平均单果重 12.8 g,出仁率 50.7%;脂肪含量 65.6%,蛋白质含量 14.6%	云南省林业和草原科学院	
10	云新 G ₁₇ 深纹核桃优良无性系	2020	漾濞大泡核桃×云新 306	认定	早实品种;坚果倒卵形,种壳光滑;坚果三径均值 3.39 cm,壳厚 0.82 mm,易取仁;果仁饱满,食味香,平均单果重 10.0 g,出仁率 53.6%;脂肪含量 67.8%,蛋白质含量 15.0%	云南省林业和草原科学院	

云南省林业和草原科学院是最早开展杂交育种的单位,科研工作者以培育早实、丰产、优质、种壳光滑、较耐寒冷霜冻和适应南方温暖多湿环境的核桃新品种为育种目标开展了深纹核桃(*Juglans sigillata*)×核桃(*J. regia*)种间杂交,培育出了核桃品种云新高原、云新云林、云新 301、云新 303 和云新 306^[1-3]。

大理白族自治州林业科学研究所科研工作者以培育坚果品质与漾濞大泡核桃品质相近,而耐土壤瘠薄性、丰产性、抗病性和抗早春霜冻方面却优于漾濞大泡核桃为育种目标开展了种内杂交,培育出了晚实优良杂交品种漾杂 1 号、漾杂 2 号和漾杂 3 号^[4]。

针对深纹核桃品种种壳薄且密度大、缝合线结

合牢固、果仁饱满且与种壳间间隙小,机械去壳困难且果仁易碎,造成核桃仁生产成本居高不下,一定程度上影响了云南省核桃仁产品市场竞争力。从 2003 年开始,云南省林业和草原科学院旨在选育易于机械去壳的核桃杂交品种,通过 17 年的努力,培育出 2 个易于机械去壳的杂交核桃优良无性系。

1.2 地方优良品种

云南省是世界深纹核桃(*Juglans sigillata*)的起

源与分化中心,在区域极为复杂的地理气候环境下,形成了世界级多样而特异的核桃种质资源。多年来,云南省在核桃良种选育方面开展了卓有成效的研究工作,“漾濞泡核桃”“大姚三台核桃”“鲁甸大麻 1 号核桃”等 23 个品种被云南省林木品种审(认)定委员会审定为地方优良品种(表 2),有力推动了云南核桃良种化进程,也为云南省持续开展核桃育种研究奠定了坚实基础。

表 2 云南省核桃优良品种目录

Tab. 2 List of improved walnut varieties in Yunnan Province

序号	品种名称	育成年份	育种方式	通过类别	品种特性	选育单位	参考文献
1	漾江 1 号	2006	实生选育	审定	平均单果重 16.5 g,壳厚 1.0 mm,出仁率达 61.9%;果仁饱满,黄白色;脂肪含量达 72%,蛋白质含量达 14.5%	大理州林业科学研究所	[5]
2	漾濞泡核桃	2012	实生选育	审定	地方优良品种;坚果扁圆形,壳面麻;平均单果重 13.6 g,平均壳厚 1.1 mm,平均出仁率 55.6%;含油率 69.3%~74.3%,蛋白质含量 12.8%~15.1%;不耐寒冷霜冻	漾濞县林业局种苗站	
3	大姚三台核桃	2012	实生选育	审定	地方优良品种;坚果倒卵圆形,种壳较光滑;平均单果重 10.5 g,平均壳厚 1.1 mm,平均出仁率 50.6%;含油率约 71.52%,蛋白质含量约 14.7%	大姚县林业局荣林站	
4	华宁大砂壳核桃	2014	实生选育	审定	地方优良品种,晚实;坚果扁圆球形,壳面麻;平均单果重 15.8 g,壳厚 0.9~1.0 mm,出仁率 53%;果仁色白,含油率 71%;不耐寒冷霜冻	云南省玉溪市华宁县林业局	[6]
5	鲁甸大麻 1 号核桃	2014	实生选育	审定	坚果扁圆球形,壳面深麻;平均单果重 16.5 g,壳厚 1.1 mm,出仁率 50%;果仁色白,含油率 72%,蛋白质含量 19.9%;避晚霜能力强	鲁甸县林木种苗管理站、云南省林业科学院	[7]
6	华宁大白壳核桃	2014	实生选育	审定	地方优良品种,晚实;坚果卵圆形,壳面较光滑;壳厚 1.0~1.1 mm,平均单果重 11.7~13.0 g,出仁率 51.9%~57.4%;脂肪含量 68.4%~71.1%,蛋白质含量 14.8%;果仁饱满,淡紫色;不耐寒冷霜冻	华宁县核桃产业办公室	[8]
7	昌宁细香核桃	2015	实生选育	审定	地方优良品种;坚果圆球形,壳面麻;壳厚 1.0~1.1 mm,易取仁,平均单果重 10.8 g,出仁率 55.9%;脂肪含量 69.6%~73.6%,蛋白质含量 14.7%;不耐寒冷霜冻	鲁甸县林木种苗管理站、云南省林业科学院	[9]
8	鲁甸大麻 2 号核桃	2015	实生选育	审定	坚果扁圆球形;种壳深麻;平均单果重 18.22 g,出仁率 50.74%;脂肪含量 70.57%,蛋白质含量 19.60%;避晚霜能力强	鲁甸县林木种苗管理站、云南省林业科学院	[10]
9	鲁甸大泡 3 号核桃优良无性系	2015	实生选育	审定	坚果扁圆球形;壳面刻窝大且深;平均单果重 20.0 g,出仁率 50.7%;内种皮黄白,含油率 69.6%,蛋白质含量 18.8%;避晚霜能力强	鲁甸县林木种苗管理站、云南省林业科学院	[11]
10	庆丰 1 号核桃优良无性系	2015	实生选育	审定	平均单果重 18.0 g,果仁白,出仁率 60.0%,含油率 71.1%,蛋白质含量 22.3%	鲁甸县林木种苗管理站、云南省林业科学院	[12]
11	胜勇 1 号核桃优良无性系	2016	实生选育	审定	早熟品种;坚果椭圆形,种壳麻点密而浅;平均单果重 10.8 g,壳厚 0.9 mm,出仁率 58.4%,果仁黄白,含油量 60.6%,蛋白质含量 19.8%	云南省林业技术推广总站	[13]
12	胜霜 1 号核桃优良无性系	2016	实生选育	审定	坚果中等,椭圆形,壳面麻;平均单果重 11.5 g,壳厚 0.81 mm,易取仁,果仁饱满,果仁黄白,出仁率 57.8%,含油量 66.36%	云南省林业技术推广总站	[14]

续表 2

序号	品种名称	育成年份	育种方式	通过类别	品种特性	选育单位	参考文献
13	永 11 号核桃 优良无性系	2016	实生选育	审定	坚果纺锤形;壳面麻点中而深;平均单果重 11.0 g,壳厚 0.9 mm;果仁黄白色,易取仁,果仁饱满,平均出仁率 56.6%;含油率 67.5%	云南省林业科学院	[15]
14	剑丰 1 号核 桃优良无性 系	2017	实生选育	审定	早实;坚果扁圆形,刻纹浅,壳面较光滑;平均单果重 15.07 g,壳厚 1.1 mm;果仁饱满,黄白色,出仁率 54.8%;脂肪含量 68.4%,蛋白质含量 16.8%	云南省林业技术 推广总站	[16]
15	娘青核桃	2018	实生选育	审定	地方优良品种;坚果为卵圆形;果仁充实饱满,具有特殊的淡紫色或明显的紫色脉络,较易取仁,能取整仁或半仁;平均单果重 11.2 g,果仁率 50.7%	大理州林业科学 研究所	[17]
16	紫桂核桃	2018	实生选育	审定	坚果近圆球形;壳面浅麻点较多;平均单果重 12.51 g,内种皮淡紫色,果仁饱满;食味纯香不涩;出仁率 53.57%;脂肪含量 69.7%,蛋白质含量 24.6%	云南省林业科学 院	[18]
17	维 2 号核桃 优良无性系	2019	实生选育	审定	坚果近圆球形;种壳刻纹明显,较浅;壳厚 1.3 mm,粒重 15.6 g,三径均值 3.48 mm;果仁饱满,黄白色,无涩味,味香,出仁率约 57%;含油率约 67.3%,蛋白质含量约 21.5%	云南省林业和草 原科学院	
18	胜同深纹核 桃优良无性 系	2020	实生选育	审定	种壳刻纹大浅;壳厚 0.97 mm,平均单果重 16.52 g;果仁饱满,易取仁,仁色浅黄白,出仁率 50.8%;脂肪含量 69.3%,蛋白质含量 16.6%	永胜县林业技术 推广站	
19	胜境深纹核 桃优良无性 系	2020	实生选育	审定	种壳刻纹大浅;壳厚 1.01 mm,平均单果重 19.53 g;果仁饱满,易取仁,浅黄白,出仁率 51.2%;脂肪含量 69.3%,蛋白质含量 21.6%	永胜县林业技术 推广站	
20	云林乌雨深 纹核桃优良 无性系	2020	实生选育	审定	晚实品种;坚果短扁圆球形,种壳浅麻;平均单果重 13.5 g,三径均值 3.36 cm,壳厚 0.92 mm;内褶皱退化,隔膜纸质,易取仁,果仁饱满,食味香,涩味极轻,出仁率 56.9%;脂肪含量 65.5%,蛋白质含量 17.8%	云南省林业和草 原科学院	
21	云林乌云深 纹核桃优良 无性系	2020	实生选育	审定	晚实品种;坚果扁圆球形,种壳浅麻;平均单果重 15.8 g,三径均值 3.71 cm,壳厚 1.24 mm;内褶皱退化,隔膜纸质,易取仁,果仁饱满,食味香,涩味极轻,出仁率 54.6%;脂肪含量 67.1%,蛋白质含量 17.8%	云南省林业和草 原科学院	
22	云林乌凤深 纹核桃优良 无性系	2020	实生选育	审定	晚实品种;坚果短扁圆球形,壳面浅麻;平均单果重 12.1 g,三径均值 3.48 cm,壳厚 0.75 mm;内褶皱退化,隔膜纸质,易取仁,仁饱满,食味香,涩味极轻,出仁率 51.8%;脂肪含量 69.7%,蛋白质含量 17.6%	云南省林业和草 原科学院	
23	庆丰紫云深 纹核桃优良 无性系	2020	实生选育	审定	晚实品种;坚果倒卵形,刻纹较深;平均单果重 13.7 g,三径均值 3.71 cm,壳厚 0.96 mm;易取仁,种皮紫色,果仁饱满,食味香,无涩味,出仁率 56.0%;脂肪含量 69.1%,蛋白质含量 17.3%	昭通市庆丰果树 有限公司	

23 个优良品种在坚果大小、形状、壳纹等方面差异较大,生产中以分品种交易为主,这些良种核桃的选育,对云南省核桃的良种化生产起到了积极的推动作用。

1.3 实生选种

21 世纪以来,云南省各州市均在根据当地不同气候环境,制定核桃优树选择标准及方法,利用其丰富的种质资源全面开展实生选种工作,不断地从核

桃实生群体中筛选出优良无性系,提高了云南省核桃坚果品质,促进了云南省核桃的良种化生产。据不完全统计,自 2008 年以来,云南省先后在各州市选育出核桃优良无性系 60 余个(表 3)。

在保山市从传统栽培的细香核桃中选出保核 2 号、保核 3 号、保核 5 号、保核 7 号优良无性系;在昌宁县和云龙县选育出短侧枝挂果核桃优良品种宁香核桃和龙佳核桃;在昭阳区选育出红瓢核桃品种

表 3 实生选种核桃优良无性系
Tab. 3 Seedling selection of superior clones of walnut

序号	品种名称	育成年份	通过类别	品种特性	选育单位	参考文献
1	丽 53	2008	认定	晚实品种;坚果圆球形,种壳刻纹浅较光滑;平均单果重 11.4 g	云南省林业科学研究院、玉龙县林业局	
2	维 2 号	2008	认定	晚实品种;坚果圆球形,种壳麻点少而浅;平均单果重 15.6 g;耐寒冷	云南省林业科学研究院、维西县林业局	
3	保核 2 号	2009	认定	坚果扁圆形,顶端突尖,壳面麻点多、密、浅;平均单果重 11.2 g	保山市林木种苗管理站、保山市林业技术推广总站	[19]
4	保核 3 号	2009	认定	坚果扁圆形,顶端突尖,壳面麻点多且较深大;平均单果重 9.0 g	保山市林木种苗管理站、保山市林业技术推广总站	[19]
5	保核 5 号	2009	认定	坚果扁圆形,刻纹深、多且较深大;平均单果重 20.7 g	保山市林木种苗管理站、保山市林业技术推广总站	[20]
6	保核 7 号	2009	认定	坚果扁圆形,壳面麻点少;平均单果重 10.1 g	保山市林木种苗管理站、保山市林业技术推广总站	[20]
7	红河 1 号	2009	认定	外观光滑;平均单果重 14.5~16.1 g,壳厚 0.8 mm;抗晚霜能力强	红河州林科所	[21]
8	红河 2 号	2009	认定	平均单果重 13.1 g	红河州林科所	
9	乌蒙 1 号	2009	认定	坚果近圆球形,种壳刻纹浅;平均单果重 8.3 g	彝良县鸿烨生物产业开发有限责任公司、西南林学院	
10	乌蒙 3 号	2009	认定	坚果近元宝形,种壳刻纹浅;平均单果重 8.3 g	彝良县鸿烨生物产业开发有限责任公司、西南林学院	
11	乌蒙 8 号	2009	认定	坚果近元宝形,种壳刻纹麻;平均单果重 11.31 g	彝良县鸿烨生物产业开发有限责任公司、西南林学院	
12	乌蒙 10 号	2009	认定	坚果近元宝形,种壳刻纹麻;平均单果重 7.35 g	彝良县鸿烨生物产业开发有限责任公司、西南林学院	
13	乌蒙 16 号	2009	认定	坚果扁圆形;平均单果重 13.49 g;耐晚霜	云南省林业科学院	
14	乌蒙 19 号	2009	认定	坚果卵圆形;平均单果重 13.48 g;耐晚霜	云南省林业科学院	
15	泸水 1 号	2009	认定	坚果阔扁圆形,果基圆,果顶圆渐尖,壳面麻;平均单果重 14.1 g;耐晚霜	云南省林业科学院、怒江州林业局	
16	红皮连串	2009	认定	晚实品种;结果成串状,坚果近圆形,两肩平,底部圆,外部较光滑;平均单果重 12.8 g;果仁浅黄色	云南省林业技术推广总站	
17	丽 20 号	2009	认定	坚果阔扁圆形,果基圆,果顶圆渐尖,壳面较麻;平均单果重 14.6 g	云南省林业科学院、玉龙林业局	
18	丽科 1 号	2010	认定	坚果扁圆形,种壳麻点中而深;平均单果重 16.2 g;具有一定的耐晚霜能力	丽江市林业科学研究所	[22]
19	丽科 2 号	2010	认定	晚熟,坚果扁圆形;平均单果重 13.32 g;果仁微紫	丽江市林业科学研究所	[23]
20	云晚霜 1 号	2010	认定	晚实品种,耐晚霜	云南省林木种苗工作总站	
21	云晚霜 2 号	2010	认定	晚实品种,耐晚霜	云南省林木种苗工作总站	
22	庆丰 1 号	2010	认定	品种发芽晚,能避开晚霜危害;平均单果重 18.0 g	昭通市庆丰果树有限公司、鲁甸县林业局	[24]
23	庆丰 2 号	2010	认定	品种发芽晚,避晚霜能力强	昭通市庆丰果树有限公司、鲁甸县林业局	
24	庆丰 3 号	2010	认定	红瓢核桃	昭通市庆丰果树有限公司	[25]
	东川 4 号	2011	认定	树体大,平均单果重 11.0 g	昆明市林业种苗管理站	
25	石林 6 号	2011	认定	晚实品种,果型欠美观;平均单果重 14.0 g	昆明市林业种苗管理站	

续表 3

序号	品种名称	育成年份	通过类别	品种特性	选育单位	参考文献
26	寻倘 1 号	2011	认定	早实早熟, 坚果长椭圆形, 外壳较光滑; 抗晚霜能力较强	寻甸县春草苗圃	
27	巧家核桃 1 号	2011	认定	晚实品种, 树体大; 平均单果重 18.8 g; 耐寒冷, 耐晚霜	巧家县林业局林木种苗管理站	
28	巧家核桃 2 号	2011	认定	晚实品种, 树体大; 平均单果重 22.3 g; 耐寒冷, 耐晚霜	巧家县林业局林木种苗管理站	
29	巧家核桃 3 号	2011	认定	晚实品种, 树体大; 平均单果重 14.0 g; 耐寒冷, 耐晚霜	巧家县林业局林木种苗管理站	
30	巧家核桃 4 号	2011	认定	晚实品种, 树体大; 平均单果重 14.0 g; 耐寒冷, 耐晚霜	巧家县林业局林木种苗管理站	
31	永泡 3 号	2011	认定	树体高大, 坚果扁圆形; 平均单果重 13.54 g	永善县林业局	
32	弥勒 1 号	2011	认定	坚果壳面光滑, 麻点大而浅, 种基平, 种尖平; 平均单果重 13.5 g	弥勒县林业科学所	
33	鸡飞香茶核桃	2011	认定	坚果近卵圆形, 基部稍平, 顶部突尖, 壳面麻点稀、浅	保山市昌宁县林业局	[26]
34	龙佳核桃	2011	认定	早实品种, 树体小; 短侧枝挂果, 坚果扁圆球形; 平均单果重 13.3 g	云南省林业技术推广总站	
35	宁香核桃	2011	认定	树体小, 短侧枝挂果, 坚果扁圆球形, 壳面麻点较多, 较浅; 平均单果重 12.97 g	云南省林业技术推广总站	
36	桐子果核桃	2012	认定	地方优良品种, 晚实品种; 坚果扁圆形, 果面麻, 果仁淡紫色或有明显的紫色脉络	大理州林业科学研究所	
37	圆菠萝核桃	2012	认定	地方优良品种, 晚实品种; 坚果扁圆形, 果面麻, 刻点密而稍浅; 平均单果重 14.1 g	大理州林业科学研究所	[27]
38	丽科 3 号	2012	认定	晚实品种, 种壳麻点多而深; 平均单果重 12.8 g, 果仁微紫; 耐寒冷	丽江市林业科学研究所	[28]
39	丽科 4 号	2012	认定	晚实品种, 种壳麻点多而深; 平均单果重 15.7 g, 果仁微紫; 耐寒冷	丽江市林业科学研究所	
40	永泡 1 号	2012	认定	晚实品种, 坚果椭圆形; 平均单果重 13.41 g	永善县林业局种苗管理站	
41	永泡 2 号	2012	认定	晚实品种, 坚果椭圆形; 平均单果重 17.28 g	永善县林业局种苗管理站	
42	姚新核桃	2013	认定	坚果椭圆形, 壳面麻点较多且较深; 平均单果重 12.3 g, 壳厚 1.3 mm	云南省林业技术推广总站	[29]
43	昌宁大尖嘴核桃	2013	认定	坚果微长菱形, 壳面麻点窝密; 平均单果重 16.43 g, 壳厚 1.1 mm; 果仁黄白色, 仁皮上的脉络明显, 呈灰黑色	昌宁县林业局	[30]
44	临宝核桃	2013	认定	坚果倒卵圆形; 平均单果重 19.90 g, 壳厚 1.15 mm, 易取仁	云南省临沧市林业科学研究所	[31]
45	朱提 1 号核桃 优良无系性	2013	认定	坚果扁圆球形, 种尖锐尖, 壳面浅麻; 壳厚 1.1 mm, 平均单果重 15.74 g; 果仁白或黄白	云南省林业科学院、鲁甸县林业局	
46	云林 1 号核桃 优良无性系	2013	认定	坚果扁圆球形, 两肩平, 底部圆突; 壳面浅麻; 平均单果重 15.8 g; 避晚霜能力强	云南省林业科学院、鲁甸县林业局	[32]
47	云林 2 号核桃 优良无性系	2013	认定	坚果长扁圆球形; 平均单果重 13.7 g; 避晚霜能力强	云南省林业科学院、鲁甸县林业局	[33]
48	云林 3 号核桃 优良无性系	2013	认定	种壳刻纹大浅; 平均单果重 11.69 g; 避晚霜能力强	云南省林业科学院、鲁甸县林业局	
49	云林 4 号核桃 优良无性系	2013	认定	坚果扁圆球形, 果底圆, 果顶钝尖; 壳面刻纹大浅; 平均单果重 12.08 g, 果仁紫色; 避晚霜能力强	云南省林业科学院、鲁甸县林业局	[34]
50	云林 5 号核桃 优良无性系	2015	认定	坚果扁圆球形; 平均单果重 13.47 g, 果仁浅紫	云南省林业科学院	[35]

续表 3

序号	品种名称	育成年份	通过类别	品种特性	选育单位	参考文献
51	云林 6 号核桃 优良无性系	2015	认定	避晚霜能力强	云南省林业科学院	
52	镇核 1 号核桃 优良无性系	2015	认定	平均单果重 14.6 g;避晚霜能力强	镇雄县林业局林木种苗管理 理工作站	[36]
53	镇核 2 号核桃 优良无性系	2016	认定	平均单果重 13.5 g,壳厚 0.9 mm;易取仁,果仁皮浅 乌色	镇雄县林业局林木种苗管 理工作站	[37]
54	云林 7 号核桃 优良无性系	2016	认定	坚果长椭圆形,壳面大浅;平均单果重 14.66 g;避晚 霜能力强	云南省林业科学院	[38]
55	云林 8 号核桃 优良无性系	2016	认定	早实核桃新品种,壳面光滑、较麻;平均单果重 14.5 g;蛋白质含量高;避晚霜能力强	云南省林业科学院	[39]
56	云林 9 号核桃 优良无性系	2016	认定	壳面较麻;平均单果重 13.77 g;避晚霜能力强	云南省林业科学院	[40]
57	泽圣 2 号核桃 优良无性系	2017	认定	矮化、早实品种,坚果形状为椭圆;平均单果重 14.97 g;具有避晚霜特性	会泽县林业工作站、云南省 林业科学院	[41]
58	泽圣 3 号核桃 优良无性系	2017	认定	果实扁圆形,果基圆,果顶圆渐尖;平均单果重 11.94 g;避晚霜能力强	会泽县林业工作站、云南省 林业科学院	[42]
59	昌紫 1 号核桃 优良无性系	2019	认定	平均单果重 13.51 g,果仁饱满,果仁皮紫色	昌宁县林业和草原产业发 展办公室	
60	昭通 1 号核桃 优良无性系	2019	认定	晚实品种,树体高大;平均单果重 20.76 g;耐晚霜	昭通市林木种苗工作站	
61	昭通 2 号核桃 优良无性系	2019	认定	晚实品种,树体高大;平均单果重 19.29 g	昭通市林木种苗工作站	
62	庆丰 6 号核桃 优良无性系	2019	认定	平均单果重 17.22 g;耐寒冷、耐晚霜	昭通市庆丰果树有限公司	
63	早发核桃	2019	认定	普通核桃,树体较矮,8 月下旬果实成熟;平均单果 重 8.62 g	泸水高山野生核桃油实业 有限公司	

庆丰 3 号;在鲁甸县选育出紫仁核桃品种云林 4 号核桃优良无性系、避晚霜核桃品种云林 1 号核桃优良无性系、云林 2 号核桃优良无性系、庆丰 1 号等,选育出高蛋白早实核桃品种云林 8 号核桃优良无性系;在镇雄县选育出乌仁核桃品种镇核 2 号;在丽江市从泡核桃实生群体中选育出品种丽科 2 号。

1.4 引种

20 世纪 70 年代云南省林科院从新疆引种了新疆早实核桃;迪庆州和武定县从新疆引种了新新 2 号和温 185 号;剑川县自新疆引种了新疆核桃种子育苗,从实生种群中选育出具有耐寒、早实、丰产特性的核桃品种剑丰。云南省林业技术推广总站从国外将核桃品种强特勒引入云南省,云南省林业科学院引入核桃品种四座楼麻核桃和公子帽麻核桃,通过引种栽培试验,引入核桃品种已通过云南省林木品种审定委员会认定。从国内外引种既丰富了云南

省核桃种质资源,也可以作为品种选育的亲本直接利用。

2 核桃产业存在的问题

2.1 核桃成熟期较集中,特早熟、特晚熟品种少

核桃市场消费产品主要以干果和核桃仁加工产品为主。然而,鲜食核桃营养成分丰富、口感较好,以其独特的品质和风味深受广大消费者喜爱,消费需求呈逐年增长趋势。

从通过云南省林木品种审(认)定委员会审定的品种来看,特早熟、特晚熟、迟熟品种极少,且未形成规模化种植,导致云南省核桃成熟期相对集中、鲜果供应不均衡问题。市场上销售的特早熟、特晚熟核桃品种参差不齐,有必要筛选特早熟、特晚熟且可供鲜食的核桃新品种以延长核桃鲜果市场的货架期,满足市场发展需要,弥补目前核桃市场缺乏合适

早熟鲜食核桃品种的空白。

2.2 适宜机械去壳的核桃品种少

近年来,随着我国核桃产量的快速增长,价格逐步下滑,降低生产成本已成为云南省核桃产业增强市场竞争力的重要抓手之一。当前农村劳动力资源匮乏,导致劳动力成本上涨,显著提高了核桃生产成本。深纹核桃品种种壳薄且密度大,缝合线结合牢固,果仁饱满且与种壳间间隙小,机械去壳困难且仁易碎,目前取仁以手工为主,造成核桃仁生产成本居高不下,一定程度上影响了云南省核桃仁产品的市场竞争力,迫切需要通过提高机械使用率,降低生产成本。

2.3 良种的遗传测定重视不够

近10多年来,云南省各地都在开展核桃良种选育工作,通过良种认定品种很多,但仅有少数品种通过了良种审定,另外通过认定的核桃品种只在较小范围内推广种植,有待进行区域性栽培试验和生产性试验,优中选优。

2.4 抚育管理粗放,产量品质有待提高

云南省核桃以山地种植为主,抚育管理和采收的机械化程度低,随着劳动力成本的不断上涨,核桃生产成本逐年增加。造成了核桃种植户,尤其是种植大户和企业不敢投资。现在基本靠天吃饭,核桃缺乏修剪、施肥,果实大小不一,坚果产量和品质较低。

3 建议

3.1 育种目标

根据目前核桃产业存在的主要问题,提出现阶段核桃育种目标:(1)选育不同成熟期的核桃新品种,尤其是选育特早熟、特晚熟核桃品种,以满足市场发展需要;(2)选育易于机械去壳的核桃新品种,降低核桃生产成本;(3)常规育种与现代生物技术相结合,利用分子标记技术深入开展云南核桃种质资源系统评价工作,最大化地发掘优良核桃资源,有效地进行核桃良种创新。

3.2 重视区域性试验研究

区域性试验的作用在于揭示试验品种在不同环境下的适应表现及其与环境的互作效应,为品种选择和推广范围的确定提供依据。若未经过遗传测定和区域性试验而作为良种推广,有可能存在良种遗传品质较低和推广风险高的问题。今后应重视采取科研、生产、管理相结合的方式推进遗传测定和区域性试验研究工作,同时在育种工作中引入现代生

物技术手段,以加快良种选育工作进程,提高良种选育成果的质量。

3.3 分类经营,高效种植示范,带动提质增效

对云南省现有核桃林分区域分品种,按立地条件进行分类经营。重点打造核桃种植基地,产量争取实现1500 kg/hm²以上。而对于山高坡陡、立地条件较差、不适宜园艺化栽培的核桃林地可任其自然生长和放弃栽培管理。

参考文献:

- [1] 习学良,方文亮,范志远,等. 早熟核桃新品种云新高原的选育[J]. 中国果树,2007,33(2):7-9.
- [2] 赵廷松,方文亮,范志远,等. 早熟核桃新品种云新云林的选育[J]. 中国果树,2007,33(4):3-5.
- [3] 范志远,习学良,方文亮,等. 种间杂交3个优良早实核桃新品种的选育[J]. 浙江林学院学报,2005,22(5):518-523.
- [4] 杨源. 中国南方核桃新秀-漾江1号、漾杂1号、漾杂2号、漾杂3号的选育[M]. 昆明:云南科技出版社,2014.
- [5] 杨源,陈宝昌,李报琼,等. 核桃新品种漾江1号的选育[J]. 落叶果树,2007(2):24-25.
- [6] 赵明荣,郑文富,黄海飞,等. 华宁大砂壳核桃生物学特性及栽培技术[J]. 云南林业,2005(2):68-69.
- [7] 赵廷松,范志远,曾清贤,等. 云南避晚霜核桃新品种“鲁甸大麻1号”的选育[J]. 北方园艺,2016(23):160-162.
- [8] 赵明荣. 华宁大白壳核桃生物学特性及栽培技术[J]. 云南林业,2016(3):68-69.
- [9] 鲁定伟,于德强,李自兴,等. 核桃新品种‘昌宁细香核桃’的选育[J]. 中国果树,2016,42(6):81-83.
- [10] 刘娇,范志远,曾清贤,等. 核桃避晚霜新品种鲁甸大麻2号的选育[J]. 中国果树,2014,40(1):10-11.
- [11] 潘莉,范志远,赵廷松,等. 核桃新品种“鲁甸大泡3号”的选育[J]. 北方园艺,2018(2):207-210.
- [12] 赵廷松,谭凤琼,王洪艳,等. 避晚霜核桃新品种“庆丰1号”的选育[J]. 北方园艺,2017(4):148-150.
- [13] 杨志伟,陆斌,刘金凤,等. 泡核桃良种“胜勇”的选育[J]. 北方园艺,2014(5):152-155.
- [14] 赵平,施彬,刘金凤,等. 泡核桃良种胜霜的选育[J]. 林业调查规划,2014,39(6):102-105.
- [15] 熊竹兰,张雨,李勇杰,等. 核桃新品种‘永11号’的选育[J]. 中国果树,2017,43(5):81-83.
- [16] 熊新武,李俊南,刘新梅,等. 耐寒早实丰产核桃新品种‘剑丰’的选育[J]. 果树学报,2019,36(12):1787-1791.
- [17] 熊新武,杨枝春,李俊南,等. 核桃地方品种娘青核桃[J]. 中国果树,2011,37(5):46-48.

- [18] 张雨,陆斌,杨新,等. 泡核桃新品种“紫桂”的选育及栽培技术要点[J]. 中国南方果树,2020,49(1):52-59.
- [19] 周志美. 泡核桃优良新品种保核 2 号和保核 3 号的选育[J]. 林业科技,2012,37(1):33-34.
- [20] 周志美. 泡核桃优良新品种保核 5 号和保核 7 号的选育[J]. 中国果树,2011,37(1):10-13.
- [21] 黄海平. 红河 1 号核桃高效栽培技术要点[J]. 林业建设,2020(3):49-51.
- [22] 杨根林,廖永坚,杨文忠. 晚熟核桃新品种丽科 2 号[J]. 园艺学报,2012(1):234-236.
- [23] 杨根林,杨文忠. 泡核桃优良新品种丽科 1 号的选育[J]. 中国果树,2011,37(6):45-46.
- [24] 赵廷松,谭凤琼,王洪艳,等. 避晚霜核桃新品种“庆丰 1 号”的选育[J]. 北方园艺,2017(4):148-150.
- [25] 邹伟烈,赵廷松,赵庆尤,等. 云南红瓢核桃新品种“庆丰 3 号”的选育[J]. 中国南方果树,2017,46(6):143-147.
- [26] 鲁定伟. 核桃新品种昌宁鸡飞香茶的选育[J]. 中国果树,2015,41(11):45-48.
- [27] 杨建华,范志远,李淑芳,等. 圆菠萝核桃的生物学特性[J]. 北方园艺,2012(9):41-42.
- [28] 余子哈,杨根林. 泡核桃优良新品种丽科 3 号的选育[J]. 中国果树,2013,39(5):41-44.
- [29] 施彬,赵平,聂艳丽,等. 核桃优良无性系“姚新”选育初报[J]. 山东林业科技,2016,222(1):10-12.
- [30] 鲁定伟. 核桃新品种‘昌宁大尖嘴’的选育[J]. 中国果树,2016,42(1):75-77.
- [31] 唐永奉,杨建荣,罗国发,等. 核桃新品种‘临宝’[J]. 园艺学报,2014,41(10):2155-2156.
- [32] 赵廷松,范志远,邹伟烈,等. 核桃抗寒避晚霜新品种‘云林 1 号’的选育[J]. 中国果树,2016,42(3):66-68.
- [33] 赵廷松,范志远,邹伟烈,等. 核桃新品种‘云林 2 号’的选育[J]. 中国南方果树,2016,45(5):150-154.
- [34] 赵廷松,范志远,邹伟烈,等. 紫仁核桃新品种‘云林 4 号’的选育[J]. 中国果树,2017,43(1):80-81.
- [35] 赵廷松,范志远,邹伟烈,等. 核桃新品种‘云林 5 号’的选育[J]. 中国果树,2016,42(5):83-84,87.
- [36] 宋盛中,王宁,王有祥,等. 镇雄县耐晚霜核桃新品种“镇核 1 号”的选育[J]. 绿色科技,2018(11):36-37.
- [37] 宋盛中,王宁,王有祥,等. 镇雄县乌仁核桃新品种“镇核 2 号”的选育[J]. 中国南方果树,2018,47(3):144-146.
- [38] 胡青,范志远,李思广,等. 避晚霜型早实核桃新品种‘云林 7 号’的选育[J]. 果树学报,2018,35(11):1433-1436.
- [39] 赵廷松,范志远,潘莉,等. 高蛋白核桃新品种‘云林 8 号’的选育[J]. 中国果树,2018,44(1):89-91.
- [40] 赵廷松,范志远,邹伟烈,等. 核桃新品种‘云林 9 号’的选育[J]. 中国南方果树,2017,46(3):170-171.
- [41] 郝佳波,孙绍文,曹满俊,等. 云南泡核桃良种“泽圣 2 号”的选育[J]. 北方园艺,2020(3):177-180.
- [42] 郝佳波,孙绍文,黄吉林,等. 泡核桃良种“泽圣 3 号”的选育[J]. 中国南方果树,2019,48(4):137-139.

责任编辑: 陈旭

校 对: 张林艳 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.018

阿司匹林和维生素对观赏植物的生理效应研究

叶圆圆¹, 姚迎丽², 卫红¹

(1. 河南农业大学 风景园林与艺术学院, 河南 郑州 450002; 2. 河北农业大学 园林与旅游学院, 河北 保定 071000)

摘要:为探讨阿司匹林(APC)和维生素溶液促进植物生长的最佳浓度和配比,选择不同浓度阿司匹林溶液和不同种类、浓度的维生素溶液对扦插材料进行浸泡处理,扦插 20~25 d 后,观察和记录扦插材料的萌芽率、芽的生长状况以及生根数量、长度。试验结果表明,适宜质量浓度的阿司匹林和维生素溶液对扦插材料的萌芽率和生根具有显著的促进作用,但是作用效果与两者种类和浓度均相关。VB₁₂ 和阿司匹林溶液对蔷薇萌芽率的影响最大,VC 浓度为 1 000 mg/L 时对紫背万年青生根的作用效果最好。阿司匹林、VB₁₂ 溶液浓度分别为 42.8、0.004 mg/L 时对扦插樱桃萌芽率的促进作用最大。

关键词:阿司匹林;维生素;试剂浓度;观赏植物

中图分类号:S718.43;S68;Q56 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0117-06

引文格式:叶圆圆,姚迎丽,卫红.阿司匹林和维生素对观赏植物的生理效应研究[J].林业调查规划,2022,47(2):117-122. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.018

YE Yuanyuan, YAO Yingli, WEI Hong. Physiological Effects of APC and Vitamins on Several Ornamental Plants [J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 117-122. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.018

Physiological Effects of APC and Vitamins on Several Ornamental Plants

YE Yuanyuan¹, YAO Yingli², WEI Hong¹

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

2. College of Landscape Architecture and Tourism, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: In order to explore the best concentration and ratio of aspirin and vitamin solution to promote plant growth, different concentrations of aspirin solution and different types and concentrations of vitamin solution were selected to soak the cutting materials. After cutting for 20~25 days, the germination rate, bud growth status, rooting quantity and length of cutting materials were observed and recorded. The results showed that aspirin and vitamin solution with appropriate mass concentration could significantly promote the germination rate and rooting of cutting materials, but the effect was related to their types and concentrations. VB₁₂ and aspirin solution had the greatest effect on the germination rate of rose, and VC had the best effect on the rooting of *Tradescantia spathacea* at the concentration of 1 000 mg/L. Aspirin and VB₁₂ solution had the greatest promoting effect on the germination rate of cutting cherry at the concentration of 42.8 mg/L and 0.004 mg/L, respectively.

Key words: APC; vitamins; reagent concentration; ornamental plants

收稿日期:2021-04-20.

基金项目:河南省科技厅软科学项目(212400410023).

第一作者:叶圆圆(1995-),女,安徽安庆人,硕士研究生.主要从事景观设计研究.

维生素是普遍存在于高等和低等植物中的重要营养素,其对植物的生命活动起着重要作用。维生素的研究自 1912 年 Funk 从水稻谷壳中分离到第一种维生素硫胺素以来,接下来约 30 年时间逐步发现了其他人体必需维生素,并逐步明确了其在人体代谢中的重要功能。然而维生素在植物体内含量及对植物生长发育的影响研究极少,合成及代谢路径的研究更难,直到 21 世纪才开始从分子水平上揭示植物体内生物合成途径,基本弄清部分维生素在植物中的合成途径,发现一些维生素是重要酶促反应的辅酶或是辅酶的组分^[1]。但是由于维生素对高等植物来说是自养性的,不同植物种类的维生素含量差异较大,从而导致了其对环境的生态适应性差异、生长繁育的难易差异,引发了不同品种果实大小与品质优劣差异。生产实践中当植物中维生素含量因某些原因而低于一定水平时,代谢就会受到影响,生产效益就会降低^[2]。长期以来仅限于通过育种手段选择更符合人类需求的植物种类与品种,极少通过调整植物体内营养素的含量以增强植物生长发育及果实品质。

有研究表明,外施维生素可以刺激植物的生长发育,促进种子萌发,如外源 VB₁ 和 VB₆ 可以刺激植物根系的形成和生长,VB₁₂ 对植物的生长发育有很好的促进作用,增加抗逆性。有资料显示外源维生素和阿司匹林对植物生理代谢及生长发育有影响,大多数试验是针对浸种的幼苗试验或组织培养,对整个生育期的研究甚少。由于该领域研究时间短,试验规模有限,资料结论缺乏系统性,且国内外对外源维生素和阿司匹林是否可以作为植物生长调节剂还未达成统一认识,研究处于起步阶段^[3]。为此结合生产实践以蔷薇、樱桃、紫背万年青植物为材料,进行扦插繁育试验,研究维生素和阿司匹林对植物生长的影响,为维生素及阿司匹林作为植物生长调节剂的推广应用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于温室中进行,温室内温度、光照及水分条件均适宜园林植物的生长;试验所用植物材料蔷薇、樱桃、紫背万年青均为校园常见植物;所用药品阿司匹林(APC)、VB₁、VB₃、VB₆、VB₁₂、VD₂、VK₃、VE、VC 均为药店销售的医用品。

1.2 试验方法

为了探讨不同浓度维生素和阿司匹林对植物生

长的影响,采用植物离体材料扦插繁育方式,试验材料选择时按生根难易程度划分为 3 个级别,分别为易于繁殖的木本植物蔷薇、易于繁殖的草本植物紫背万年青、难以生根的乔木类植物樱桃。试验采用正交试验设计,分 3 期进行,详细内容见表 1。

表 1 维生素试验材料与方法

Tab. 1 Vitamin test materials and methods

材料种类	正交设计	株数/株	时间/h	处理方法	备注
蔷薇	L ₁₂ (2 ¹¹)	6	24	浸泡形态学下端 5 cm	取相同长度、芽数的枝条剪成长 15 cm
紫背万年青	L ₉ (3 ⁴)	6	24		大小、重量、叶片数相同
樱桃	L ₂₅ (5 ⁶)	4	24		取相同长度、芽数的枝条剪成长 15 cm

扦插基质配比为珍珠岩:营养土:蛭石=1:1:1,所有试验均在温室内进行。各试验方案见表 2~表 4。

表 2 蔷薇试验各处理设计

Tab. 2 Test treatment design of rose

处理编号	因素/(mg·L ⁻¹)									
	阿司匹林	VB ₁	VB ₃	VB ₆	VB ₁₂	VD ₂	VK ₃	VE	VC	GA ₃
1	12.5	10	10	50	0.005	10	0.5	20	1000	10
2	12.5	10	10	50	0.005	0	0	0	0	0
3	12.5	10	0	0	0	10	0.5	20	0	0
4	12.5	0	10	0	0	10	0	0	1000	10
5	12.5	0	0	50	0	0	0.5	0	1000	0
6	12.5	0	0	0	0.005	0	0	20	0	10
7	0	10	0	0	0.005	10	0	0	1000	0
8	0	10	0	50	0	0	0	20	1000	10
9	0	10	10	0	0	0	0.5	0	0	10
10	0	0	0	50	0.005	10	0.5	0	0	10
11	0	0	10	0	0.005	0	0.5	20	1000	0
12	0	0	10	50	0	10	0	20	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(对照)

扦插后 20、25 d 分别调查发芽率、萌芽长度,游标卡尺测量粗度;在 40 d 时,测定维生素溶液对紫

表 3 紫背万年青试验各处理设计

Tab. 3 Test treatment design of *Tradescantia spathacea*

处理编号	因素/(mg · L ⁻¹)			
	VB ₁	VB ₆	VB ₃	VC
1	0	0	0	0
2	0	50	100	100
3	0	100	150	150
4	50	0	100	150
5	50	50	150	0
6	50	100	0	100
7	100	0	150	100
8	100	50	0	150
9	100	100	100	0

背万年青生根的影响。最后用统计分析法进行数据分析。

2 试验结果与分析

2.1 不同种类的维生素和阿司匹林溶液对蔷薇萌芽率和萌芽长度的影响

以蔷薇为试验材料,采用 L₁₂(2¹¹) 正交试验,扦插 20 d 后观察并记录蔷薇的发芽状况,结果如表 5 所示。

从表 5 中可以看出,和对照试验相比,维生素和阿司匹林溶液对蔷薇的萌芽率和萌芽长度均有不同程度的促进作用。阿司匹林和 VB₁₂ 溶液对蔷薇萌芽的促进作用最大,萌芽率分别比未处理的高出 53.4% 和 63.4%。

表 4 扦插樱桃试验各处理设计

Tab. 4 Test treatment design of cutting cherry

处理编号	因素/(mg · L ⁻¹)					
	VB ₁	VB ₆	VB ₃	VC	阿司匹林	VB ₁₂
1	0	0	0	0	0	0
2	0	30	75	500	40.0	0.001
3	0	60	150	1000	50.0	0.013
4	0	90	225	1500	66.7	0.017
5	0	120	300	2000	100.0	0.025
6	25	0	75	1000	66.7	0.025
7	25	30	150	150	100.0	0
8	25	60	225	2000	0	0.001
9	25	90	300	0	40.0	0.013
10	25	120	0	500	50.0	0.017
11	50	0	150	2000	40.0	0.017
12	50	30	225	0	50.0	0.025
13	50	60	300	500	66.7	0
14	50	90	0	1000	100.0	0.001
15	50	120	75	1500	0	0.013
16	75	0	225	500	100.0	0.013
17	75	30	300	1000	0	0.017
18	75	60	0	1500	50.0	0.025
19	75	90	75	2000	50.0	0
20	75	120	150	0	66.7	0.001
21	100	0	300	1500	50.0	0.001
22	100	30	0	2000	66.7	0.013
23	100	60	75	0	100.0	0.017
24	100	90	150	500	0	0.025
25	100	120	225	1000	40.0	0

表 5 维生素和阿司匹林对蔷薇萌芽率和萌芽长度的影响

Tab. 5 Effects of vitamins and aspirin on germination rate and bud length of rose

项目	阿司匹林	VB ₁	VB ₃	VB ₆	VB ₁₂	VD ₂	VK ₃	VE	VC	对照(CK)
质量浓度/(mg · L ⁻¹)	12.500	10.000	10.000	50.000	0.005	0.150	0.500	20.000	1000.000	0
萌芽率/%	53.4	36.6	33.4	43.4	63.4	20.0	43.4	36.6	43.4	0
萌芽长度/mm	6.82	6.78	6.27	6.58	7.53	6.58	6.04	5.82	6.42	5.67

从表 6 可以看出,VB₁₂、VB₆、VD₂ 和 VE 溶液对蔷薇的萌芽长度均有促进作用,其中在第 4 天时,添加 VB₆ 的处理萌芽长度最大,但是随着时间的延长,到第 8 天时,添加 VB₁₂ 的处理萌芽增长速度明显加快,因此 VB₁₂ 对蔷薇萌芽生长的促进作用最大。3 次测量数据与对照组相比,维生素和阿司匹

林溶液处理过的蔷薇枝条萌芽长度均较长,且增长速度相对对照组快。

2.2 维生素对紫背万年青生根的影响

由蔷薇单因素试验发现,适宜质量浓度的阿司匹林和 VB₁、VB₃、VB₆、VB₁₂、VD₂、VK₃、VE、VC 溶液均对蔷薇萌芽具有明显的促进作用,为进一步探

表 6 不同时间维生素和阿司匹林溶液对蔷薇萌芽长度的影响

Tab. 6 Effects of vitamins and aspirin on bud length of rose at different times

处理	萌芽长度/mm		
	1月29日	2月1日	2月5日
阿司匹林	6.82	15.54	24.29
VB ₁	6.78	15.27	22.25
VB ₃	6.27	12.07	22.14
VB ₆	6.58	16.89	24.99
VB ₁₂	7.53	16.58	27.2
VD ₂	6.58	15.54	24.33
VK ₃	6.04	14.95	24.15
VE	5.82	14.84	23.86
VC	6.42	13.88	22.81

究维生素对紫背万年青生根的影响,选取不同浓度的 VB₁、VB₃、VB₆、VC 溶液,采用 L₉(3⁴) 正交试验及相同的方法培育,扦插 20 d 后,统计不同阶段维生素对紫背万年青生根数量和生根长度的影响,结果见表 7,表 8。

与对照组相比,VB₁ 溶液浓度为 100 mg/L 时,对紫背万年青的生根数量有促进作用,浓度为 50 mg/L 时,对生根长度有促进作用;VB₃ 溶液对紫背万年青的生根数量有促进作用,但对其生根长度有抑制作用;而 VC 溶液对紫背万年青的生根数量和生根长度均有促进作用,且浓度为 1 000 mg/L 时对紫背万年青生其促进作用最大^[4];VB₆ 溶液对紫背万年青的生根无促进作用,反而抑制了其生长。扦插 40 d 后,将紫背万年青根上的泥土清静,吸干根上水分,剪下根置于电子天平上测量其重量(表 9)。

表 7 不同时期紫背万年青生根数量统计

Tab. 7 Statistics of rooting number of *Tradescantia spathacea* in different periods

处理日期 (月-日)	VB ₁ /根			VB ₃ /根			VB ₆ /根			VC/根		
	0	50 mg · L ⁻¹	100 mg · L ⁻¹	0	100 mg · L ⁻¹	150 mg · L ⁻¹	0	50 mg · L ⁻¹	100 mg · L ⁻¹	0	1000 mg · L ⁻¹	2000 mg · L ⁻¹
01-28	9.7	7.8	6.0	8.0	7.8	7.7	6.7	5.0	11.7	7.0	7.0	9.3
02-01	13.3	11.7	18.0	14.7	13.8	14.7	18.3	13.0	11.7	12.7	16.0	14.3
02-05	17.0	16.7	23.0	17.0	19.7	20.3	23.3	17.7	16.0	17.3	21.3	18.3

表 8 不同时期紫背万年青生根长度统计

Tab. 8 Statistics of rooting length of *Tradescantia spathacea* in different periods

处理日期 (月-日)	VB ₁ /mm			VB ₃ /mm			VB ₆ /mm			VC/mm		
	0	50 mg · L ⁻¹	100 mg · L ⁻¹	0	100 mg · L ⁻¹	150 mg · L ⁻¹	0	50 mg · L ⁻¹	100 mg · L ⁻¹	0	1000 mg · L ⁻¹	2000 mg · L ⁻¹
01-28	8.5	9.4	7.4	6.9	8.2	10.1	7.6	9.9	7.8	7.4	8.7	9.1
02-01	10.4	14.5	12.5	13.4	10.8	13.5	12.9	12.3	12.6	11.8	14.2	11.7
02-05	14.6	15.7	13.3	16.0	13.0	14.5	15.0	13.9	14.3	13.4	16.0	14.2

表 9 不同浓度的维生素对紫背万年青生根重量的影响

Tab. 9 Effects of different concentrations of vitamins on rooting weight of *Tradescantia spathacea*

处理指标	VB ₁			VB ₃			VB ₆			VC		
	0	50 mg · L ⁻¹	100 mg · L ⁻¹	0	100 mg · L ⁻¹	150 mg · L ⁻¹	0	50 mg · L ⁻¹	100 mg · L ⁻¹	0	1000 mg · L ⁻¹	2000 mg · L ⁻¹
根系重量 /g	1.33	1.57	1.27	1.40	1.47	1.27	1.33	1.43	1.40	1.30	1.60	1.26

从表 9 中可以看出,与对照组相比,VB₁ 和 VB₆ 溶液浓度为 100 mg/L 时,显著促进紫背万年青生根,浓度为 50 mg/L 时,虽均促进生根,但 VB₁ 比 VB₆ 溶液的效果好;VB₃ 溶液浓度为 100、150 mg/L 时,对紫背万年青生根有显著的促进作用,浓度 100 mg/L 相较浓度 150 mg/L 促进作用显著;VC 溶液浓度为 1 000 mg/L 时,对紫背万年青生根有促进作用,浓度为 2 000 mg/L 时,抑制紫背万年青的生根。VB₆ 溶液或许对植物生根具有后置的作用,先抑制植物生根,后促进生根,也或许是试验误差所致,所

以 VB₆ 溶液对植物生根的影响还需进一步验证。试验证明浓度 50 mg/L 的 VB₁ 溶液和浓度 1 000 mg/L 的 VC 溶液对紫背万年青的生根作用最强,所以应选择此处理作为最优质量浓度和配比。

2.3 阿司匹林和维生素对扦插樱桃生长发育的影响

采用 L₂₅(5⁶) 正交试验,扦插 25~30 d 后观察并记录扦插樱桃生长发育变化,试验数据运用拉依达准则进行处理,分析了不同浓度 VB₁、VB₃、VB₆、VC、VB₁₂ 和阿司匹林溶液对扦插樱桃生长发育的影响,结果见图 1。

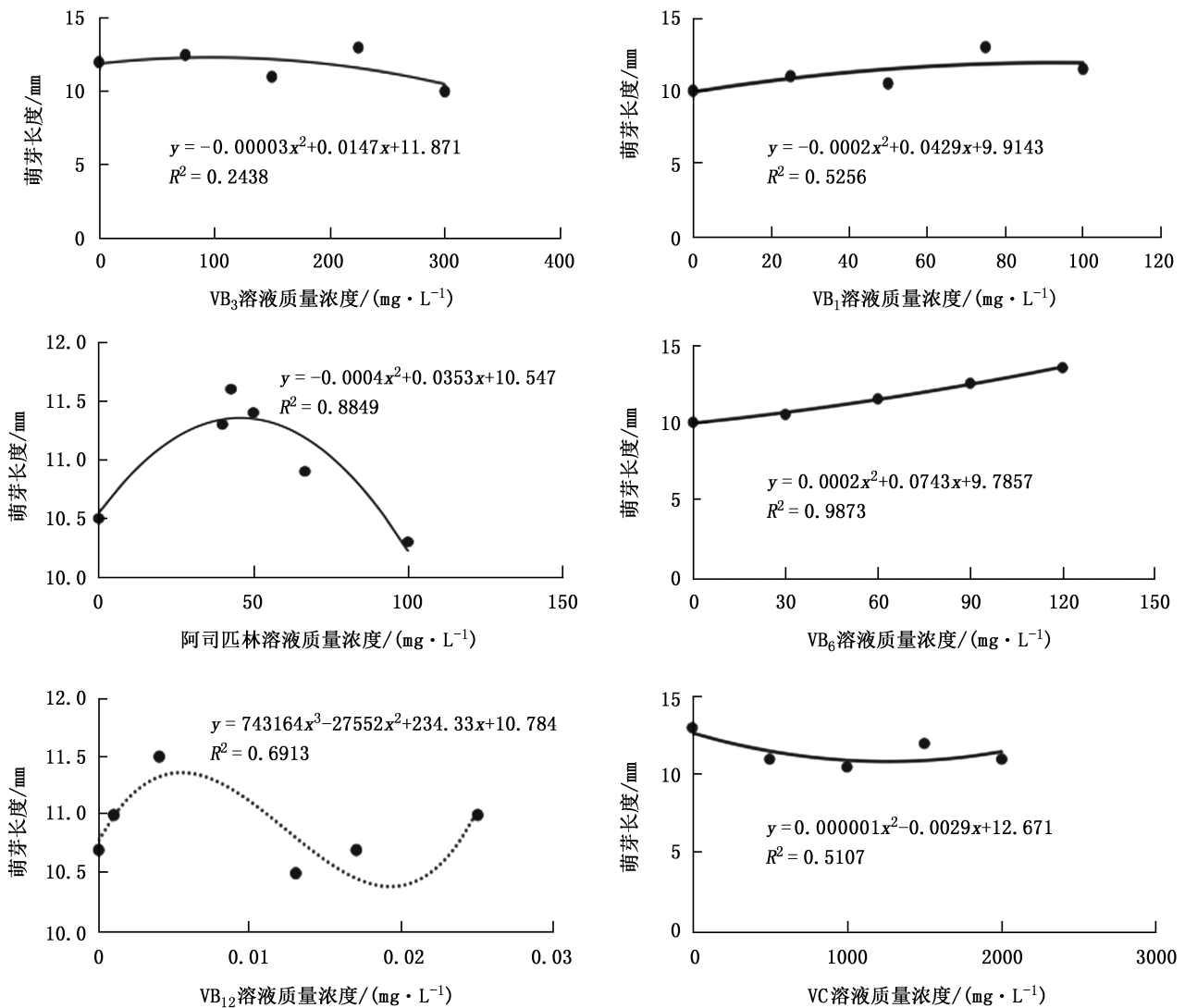


图 1 阿司匹林和维生素对扦插樱桃生长的影响

Fig. 1 Effects of aspirin and vitamins on the growth of cutting cherry

由图 1 可知,不同浓度阿司匹林和维生素溶液对樱桃的萌芽长度作用效果不同,VB₃ 和 VC 溶液对扦插樱桃的萌芽起抑制作用,VB₁ 和 VB₆ 溶液对

扦插樱桃的萌芽虽然起到一定促进作用,但作用效果不明显^[5]。阿司匹林溶液先促进后抑制扦插樱桃萌芽的萌发,浓度为 0~42.8 mg/L 时促进樱桃的

萌芽,浓度达到 42.8 mg/L 时促进作用最大,浓度大于 42.8 mg/L 时,抑制樱桃萌芽的萌发。 VB_{12} 溶液与阿司匹林溶液作用相似,浓度为 0~0.004 mg/L 时,促进樱桃萌芽的萌发,浓度达 0.004 mg/L 时,促进作用最大,浓度为 0.004~0.006 mg/L 时,促进作用开始下降,浓度为 0.006 mg/L 时,与未处理的樱桃枝条萌芽一样,而当浓度为 0.006~0.018 mg/L 时,开始表现为抑制作用,浓度为 0.008 mg/L 时,抑制作用达到最大。可以选用浓度为 42.8 mg/L 的阿司匹林和 0.004 mg/L 的 VB_{12} 溶液以提高扦插樱桃的萌芽率。

3 结论

植物生长发育不仅受遗传特征、生长时期、激素水平和生长环境等影响,维生素对植物的正常发育也起着至关重要的作用。外源维生素和阿司匹林促进植物生长发育已在少数农林植物中得到了验证,外源维生素能够用于植物细胞、藻类、菌类等培养,或施用于高等植物提高其产量、品质及抗逆性,参与植物体内的氧化还原反应,并且直接影响无机营养在植物体内的运转,同时外源维生素可使植物自身缺乏的无机营养得到改善,提高植物自身的无机营养物质含量^[6]。如 VC 能够促进分生组织和中柱鞘细胞从 G1 期到 S 期的分裂并使不活动细胞中心细胞数量大幅减少,从而促进植物生长发育。 VB_{12} 以辅酶的形式存在,可以增加叶酸的利用率,促进碳水化合物和蛋白质的代谢,进而促进植物细胞分裂,刺激植物生根。阿司匹林中大量的水杨酸,能够有效杀菌消毒,防止病菌感染,还能增加细胞分裂,促进生根,迅速生长^[7]。

本次研究的目的是探讨阿司匹林和维生素对植

物生长发育影响,同时筛选出最适宜植物生长发育的质量浓度和配比。结果表明 VB_{12} 和阿司匹林溶液对蔷薇萌芽率的影响最大,VC 溶液浓度为 1 000 mg/L 时对紫背万年青生根的作用效果最好。阿司匹林、 VB_{12} 溶液浓度分别为 42.8、0.004 mg/L 时对扦插樱桃萌芽率促进作用最大。

由于植物受生长季节和时间的限制,本次研究只是粗略地筛选出 VB_{12} 、VC 和阿司匹林的最适质量浓度,精确结果还需要进一步的验证^[8]。

参考文献:

- [1] 姚银安,杨爱华,徐刚. 水溶性维生素在植物体内的合成[J]. 生命的化学,2008,28(6):803-806.
- [2] 杨萍. 外源维生素对盐胁迫下黄瓜种子萌发及植株生理特性的影响[D]. 重庆:西南大学,2010.
- [3] 谭晓风,袁德义,袁军. 维生素 C 及植物生长调节物质对油茶花粉萌发率的影响[J]. 浙江林学院学报,2010,27(6):941-944.
- [4] 柯斧,刘婷,张百忍,等. 人工驯化豆腐木扦插繁殖技术研究[J]. 中国野生植物资源,2011,30(1):64-67.
- [5] 李宁毅,苏胜举. 外源水杨酸在园艺植物上的应用及生理效应[J]. 北方园艺,2010(16):214-216.
- [6] 王安然,倪蔚茹,贺锡燕,等. 维生素 B6 施用时间和剂量对富士苹果品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(5):1348-1355.
- [7] 安华明,陈力耕,樊卫国,等. 高等植物中维生素 C 的功能、合成及代谢研究进展[J]. 植物学通报,2004(5):608-617.
- [8] 马娟,范韦,李小泉,等. 香蕉叶片发育过程中不同甲酯化程度果胶的变化[J]. 西北植物学报,2016,36(7):1357-1365.

责任编辑:陈旭

校 对:陈旭 杨竣熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.019

不同施肥对杉木容器苗生长及生物量的影响研究

刘际梅¹, 杨斌², 袁莲珍¹, 史富强³, 许林红¹

(1. 云南省林业和草原科学院 热带林业研究所, 云南 景洪 666102;

2. 云南省林业和草原科学院, 云南 昆明 650201; 3. 普洱市林业科学研究所, 云南 普洱 665000)

摘要:为探明不同施肥方式对杉木幼苗生长及生物量的影响,以半年生杉木实生苗为试验材料,共设置了对照 CK(0 mg/株)、常规施肥 CF₁(20 mg/株)、CF₂(40 mg/株)、CF₃(60 mg/株),指数施肥 EF₁(20 mg/株)、EF₂(40 mg/株)、EF₃(60 mg/株)7 个处理,比较杉木幼苗的生长和生物量差异。结果表明,与对照相比,施肥对杉木幼苗苗高、地径生长都有促进作用。相同施氮量条件下,各处理间存在极显著差异。指数施肥中,EF₃ 幼苗苗高最高,比 CK 高 48.6%;地径最粗,比 CK 粗 4.8%。与对照相比,施肥能有效地增加杉木幼苗地上部分生物量、地下部分生物量及总生物量,且各处理间存在极显著差异。相同施氮量下,指数施肥更优于常规施肥。EF₃ 处理下的幼苗生物量最大,说明其更有利于杉木幼苗的生长。

关键词:施肥方式;杉木幼苗;苗高;地径;生物量

中图分类号:S723.7;S791.27;S723.133;S718.556 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0123-05

引文格式:刘际梅,杨斌,袁莲珍,等.不同施肥对杉木容器苗生长及生物量的影响研究[J].林业调查规划,2022,47(2):123-127. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.019

LIU Jimei, YANG Bin, YUAN Lianzhen, et al. Effects of Different Fertilization on Growth and Biomass of Container Seedlings of *Cunninghamia lanceolata*[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 123-127. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.019

Effects of Different Fertilization on Growth and Biomass of Container Seedlings of *Cunninghamia lanceolata*

LIU Jimei¹, YANG Bin², YUAN Lianzhen¹, SHI Fuqiang³, XU Linhong¹

(1. Institute of Tropical Forest, Yunnan Academy of Forestry and Grassland, Jinghong, Yunnan 666102, China;

2. Yunnan Academy of Forestry and Grassland, Kunming 650201, China;

3. Pu'er Academy of Forestry, Pu'er, Yunnan 665000, China)

Abstract: In order to explore the effects of different fertilization methods on the growth and biomass of *Cunninghamia lanceolata* seedlings, the fertilization experiment was conducted with control (0 mg/plant), conventional fertilization with three nitrogen dose levels (20, 40, and 60 mg/plant), and three nitrogen dose levels (20, 40, and 60 mg/plant) of exponential fertilization by using half-year-old seedlings of *C. lanceolata* to investigate the responses of growth and biomass of seedlings under various fertilization treatments. The results showed that fertilization promoted the height and ground diameter of *C. lanceolata* seedlings compared with the control. Under the same nitrogen level, there were significant differences among various fertilization treatments. In the exponential fertilization, EF₃ had the highest

收稿日期:2021-03-19.

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFD0600303-04).

第一作者:刘际梅(1972-),女,云南弥渡人,工程师.主要从事森林培育工作.

责任作者:杨斌(1971-),男,云南会泽人,高级工程师.主要从事森林培育工作. Email:ynyaf@126.com

seedling height, 48.6% higher than CK, and the thickest ground diameter, 4.8% thicker than CK. Fertilization effectively promoted the aboveground biomass, underground biomass and total biomass of *C. lanceolata* seedlings compared with the control, and there were extremely significant differences among the treatments. Under the same nitrogen level, the exponential fertilization was better than the conventional fertilization. The seedling biomass of EF_3 was the highest, which was more suitable for the growth of half-year-old seedlings of *C. lanceolata*.

Key words: fertilization method; *Cunninghamia lanceolata* seedling; seedling height; ground diameter; biomass

杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.), 又名沙木、沙树等, 属杉科 (Taxodiaceae) 杉木属 (*Cunninghamia*) 高大乔木, 树高可达 30 m, 胸径可达 2.5~3 m。具有生产快、材质好、产量高等特点, 为华南地区主要造林树种, 也是我国速生用材树种之一, 遍布我国整个亚热带南方 17 个省^[1-4]。

近年来, 随着国际贸易的发展, 市场对木材的需求不断增加, 杉木人工林的种植面积不断增大, 对优质苗木的需求也在不断增加。施肥是培育优质苗木关键技术措施之一, 合理的施肥能有效地促进苗木生长, 改善苗木质量, 提高苗木竞争力^[5-6]。目前, 对于杉木施肥的研究已有许多, 但这些研究主要集中在施肥对杉木林生长的影响^[7-11]及指数施肥对杉木苗木的影响^[12-15]。本试验就是采用传统的施肥和指数施肥方法, 研究不同氮素处理下杉木容器苗的生长及生物量, 比较两种方法, 从而得出最适合杉木容器苗生长的氮浓度, 为杉木苗木壮苗、速生丰产提供理论依据。

1 试验方法

1.1 试验地概况

试验地位于景洪市普文镇的云南省林业和草原科学院热带林业研究所中心苗圃内, 处于赤道北缘。地理位置为东经 101°04'~06', 北纬 22°24'~26'。该区属热带北缘季风气候类型, 一年之中受湿润的西南季风和干暖的西风南支急流交替控制, 半年为雨季, 月平均降水量可达 140~356 mm, 半年(11 月至次年 4 月)为干季, 降水量仅占全年的 14%, 但最少月降水量均在 20 mm 以上。土壤为赤红壤, pH 值 4.3~6.3, 有机质含量低, 缺氮, 少磷, 而钾丰富。以山地雨林和沟谷雨林植被为主, 例如西南桦 (*Betula alnoides* Buch Ham)、山桂花 (*Paramichelia baillonii* (Pierre) Hu)、普文楠 (*Phoebe puwenensis* W. C. Cheng) 等树种^[16]。

1.2 试验材料

试验用种子来源于广西融安县西山林场, 是 2018 年 12 月种子成熟季采于优良母树上。在 2019 年 3 月撒播于已处理好的苗床中(对杉木种子用 50℃ 的温水浸泡 24 h, 苗床播种 3 d 前已用 0.5% 的高锰酸钾消毒)。采用常规的田间方法管理苗木, 当苗木长到 2 个月后, 移入有 50 个 5 cm × 5 cm × 7 cm (长 × 宽 × 高) 塑料容器穴的容器盘中。每个容器穴中装有基质(基质原料体积比为堆沤熟后的咖啡壳: 蛭石: 珍珠岩 = 1: 1: 1), 其 pH 值为 5.89, 有机质含量为 205.42 g/kg, 容重为 0.32 g/cm³, 总孔隙度 57.78%, 全氮为 9.38 g/kg, 水解氮为 0.48 g/kg, 有效磷为 0.67 g/kg, 速效钾为 9.95 g/kg。每个容器穴中移入 2 棵杉木苗, 待到苗木生长稳定后, 拔除一株长势较差的, 用留下的幼苗进行施肥试验。施肥试验前杉木幼苗高为 (5.3 ± 0.4) cm, 地径为 (0.8 ± 0.1) mm。

1.3 试验设计

本试验采用 2 种施肥方式, 3 种施氮量, 采用完全随机区组设计, 一个容器盘为 1 个处理(50 株杉木幼苗), 共设置 7 个处理, 3 次重复。其中对照 ($CK=0$ mg/株), 常规施肥 ($CF_1=20$ mg/株、 $CF_2=40$ mg/株、 $CF_3=60$ mg/株), 指数施肥 ($EF_1=20$ mg/株、 $EF_2=40$ mg/株、 $EF_3=60$ mg/株)。指数施肥则以指数施肥模型^[17]来确定每次的施氮量:

$$N_t = N_s \cdot (e^r - 1) - N_{t-1}, N_T = N_s(e^r - 1)$$

式中: N_t 表示相对添加率 r 下的第 t 次施肥量; N_s 表示施肥前苗木含氮量; N_{t-1} 表示包括第 $t-1$ 次施肥的施肥总量; N_T 表示 t 次施氮后苗木最终的氮含量; t 为施肥次数; r 为相对添加率。

杉木幼苗初始施氮量为 35.21 mg/株, 氮素为质量分数 46% 的尿素, 具体施氮肥进度如表 1 所示。10 月 8 日进行第 1 次施肥, 每周 1 次, 共施 9 次。

表 1 杉木幼苗施氮进程及施肥量

Tab. 1 Nitrogen application progress for *Cunninghamia lanceolata* seedlings

处理编号	1 周	2 周	3 周	4 周	5 周	6 周	7 周	8 周	9 周	总量
CK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CF ₁	10	0	0	0	10	0	0	0	0	20
CF ₂	20	0	0	0	20	0	0	0	0	40
CF ₃	30	0	0	0	30	0	0	0	0	60
EF ₁	0.75	0.96	1.21	1.55	1.95	2.43	2.95	3.58	4.62	20
EF ₂	1.78	2.01	2.45	2.96	3.72	4.59	5.78	7.39	9.32	40
EF ₃	2.16	2.72	3.45	4.32	5.44	6.94	8.91	11.44	14.62	60

1.4 指标测定

1) 生长量测定:用直尺测量杉木幼苗的苗高,用游标卡尺测量其地径。

2) 生物量测定:分别取不同处理苗木各 5 株作为一个样本,重复 3 次,用清水洗净,待水干后,地上部分与地下部分剪开,用电子天平称量其质量,分别装入信封中,然后置于烘箱中,105 ℃ 杀青 30 min 后,70 ℃ 烘 48 h 至恒量,再用电子天平测量其干质量,即为生物量。每个处理总生物量(g/株)=地上部分生物量+地下部分生物量。

1.5 数据处理

本试验采用 WPS 2019 表格及 DPS 18.10 高级版软件对试验数据进行统计分析。采用单因素方差分析和 Duncan 多重比较,图、表中数据均为平均数。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对杉木幼苗生长的影响

不同施肥处理对杉木幼苗苗高、地径的影响分别如图 1,图 2,表 2 所示。

由图 1、图 2、表 2 可以看出,不同施肥处理对杉木幼苗的苗高、地径都有促进作用,且各个施肥间存在极显著差异。与 CK 相比,6 个施肥处理杉木幼苗苗高显著增长 22.7%~48.6%,地径增粗 7.1%~24.8%;与常规施肥相比,指数施肥处理杉木幼苗苗高显著增长 3.2%~9.5%,地径增粗 3.3%~12.8%。无论是常规施肥还是指数施肥,随着施氮量的增加,杉木幼苗苗高、地径都增加。常规施肥中,CF₃ 杉木幼苗苗高比 CF₁ 高 10.6%,比 CF₂ 高 2.7%,地径粗 3.1%和 1.6%;指数施肥中,EF₃ 杉木幼苗苗高、地径为最大,苗高为 9.94 cm、地径为 1.41 mm,苗高比 EF₁ 高出 17.4%、比 EF₂ 高出 6.3%,地径粗 12.8%和 6.0%。

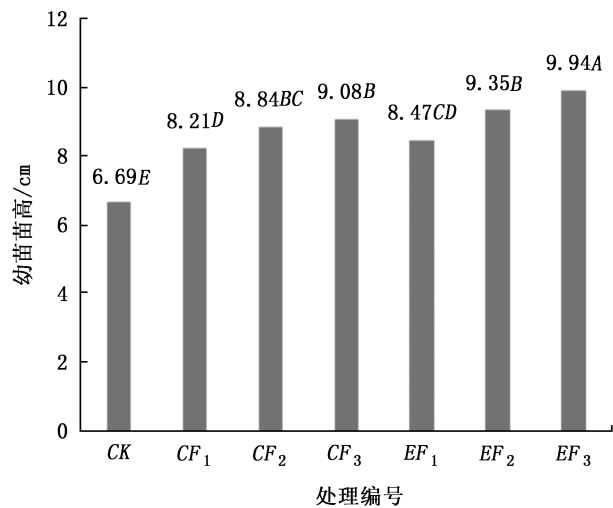


图 1 不同施肥处理对杉木幼苗苗高的影响

Fig. 1 Effects of different fertilization treatments on the height of *C. lanceolata* seedlings

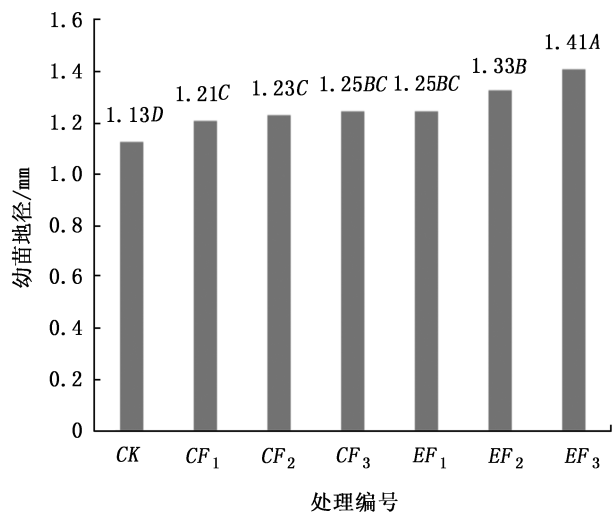


图 2 不同施肥处理对杉木幼苗地径的影响

Fig. 2 Effects of different fertilization treatments on the ground diameter of *C. lanceolata* seedlings

表 2 不同施肥处理对杉木幼苗生长影响的方差分析

Tab. 2 Variance analysis of the growth of *C. lanceolata* seedlings under different fertilization treatments

类别	变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	备注
苗高/cm	处理间	19.2577	6	3.2096	80.813**	$F_{0.05}(6,14) = 2.85$
	总变异	19.8059	20			
地径/mm	处理间	0.1478	6	0.0246	23.231**	$F_{0.01}(6,14) = 4.46$
	总变异	0.1611	20			

注:**表示 $F_{0.01}$ 下的差异极显著(下同)。

2.2 不同施肥处理对杉木幼苗生物量的影响

不同施肥处理对杉木幼苗地上部分生物量、地下部分生物量及总生物量增长都有促进作用(表 3)。地上部分生物量大小顺序为 $EF_3 > CF_3 > EF_2 > EF_1 > CF_2 > CF_1 > CK$, 地下部分生物量大小顺序为 $EF_3 > CF_3 > EF_2 > EF_1 > CF_1 > CF_2 > CK$, 总生物量的大小顺序为 $EF_3 > CF_3 > EF_2 > EF_1 > CF_2 > CF_1 > CK$ 。与 CK 相比, 6 个施肥处理中杉木幼苗地上部分生物量增重 25.1%~134.7%, 地下部分生物量增重 41.3%~133.9%, 总生物量增加了 28.6%~134.5%; 除 CF_2

外, 其它 5 个施肥处理地上部分生物量比例略低于对照, 地下部分生物量比例略高于对照。不同施肥处理杉木幼苗地上部分生物量、地下部分生物量及总生物量存在极显著差异(表 4)。Duncan 多重比较发现: 施肥处理 EF_3 中地上部分生物量、地下部分生物量及总生物量显著高于其它施肥处理; 施肥处理 EF_2 、 EF_1 、 CF_2 中, 地上部分生物量无显著差异; 施肥处理 CF_2 、 CF_1 中, 地下部分生物量也无显著差异。

表 3 不同施肥处理对杉木幼苗生物量的影响

Tab. 3 Effects of different fertilization treatments on of the biomass of *C. lanceolata* seedlings

处理编号	地上部分			地下部分			总生物量/g
	生物量/g	增幅/g	比例/%	生物量/g	增幅/g	比例/%	
CK	1.58 ± 0.08e	0.00	78.22	0.44 ± 0.02f	0.00	21.78	2.02 ± 0.07g
CF_1	1.98 ± 0.02d	0.40	75.86	0.63 ± 0.01e	0.18	24.14	2.61 ± 0.03f
CF_2	2.26 ± 0.06c	0.68	78.75	0.61 ± 0.01e	0.16	21.25	2.87 ± 0.07e
CF_3	2.63 ± 0.05b	1.05	75.57	0.85 ± 0.03b	0.41	24.43	3.48 ± 0.04b
EF_1	2.30 ± 0.02c	0.72	76.16	0.72 ± 0.01d	0.28	23.84	3.02 ± 0.02d
EF_2	2.35 ± 0.01c	0.77	74.13	0.82 ± 0.04c	0.37	25.87	3.17 ± 0.01c
EF_3	3.72 ± 0.08a	2.13	78.15	1.04 ± 0.01a	0.59	21.85	4.76 ± 0.07a

注: 表中小写字母表示 $F_{0.05}$ 下的差异显著, 增幅为施氮处理与 CK 的差值, 比例是各个部分占总生物量的百分数。

表 4 不同施肥处理对杉木幼苗生物量影响的方差分析

Tab. 4 Variance analysis of the biomass of *C. lanceolata* seedlings under different fertilization treatments

类别	变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	备注
地上部分生物量	处理间	7.9911	6	1.3319	481.071**	$F_{0.05}(6,14) = 2.85$
	总变异	8.0299	20			
地下部分生物量	处理间	0.6727	6	0.1121	307.968**	$F_{0.01}(6,14) = 4.46$
	总变异	0.6739	20			
总生物量	处理间	13.0011	6	2.1668	760.295**	$F_{0.01}(6,14) = 4.46$
	总变异	13.041	20			

3 结论与讨论

施肥是促进幼苗生长、提高苗木质量的措施之一,不同的施肥方式对幼苗的生长影响也不相同。本研究得出以下结论:(1)与对照相比,施氮肥能有效地促进杉木幼苗的生长,在施氮总量相同时,指数施肥方式对杉木幼苗苗高、地径的促进作用均优于常规施肥,且杉木幼苗苗高、地径在各个施肥处理间存在极显著差异。原因可能是常规施肥仅在幼苗生长早期及中期施肥,但幼苗生长早期植株根系发育尚未完全,根系对养分的吸收能力有限。而在生长后期,幼苗需要大量的养分供给其生长时,养分供给不足,从而使幼苗生长受到限制。指数施肥则不同,在幼苗生长早期,指数施肥量较少,这种低浓度氮能有效地促进植株根系的生长,增加根系表面积,从而获取更多的养分^[18]。在幼苗生长中后期,随着植株生长对养分的吸收加大,指数施肥养分供给量较多,基本能满足植株生长所需,从而促进幼苗的生长。(2)与对照相比,施氮肥能有效地促进杉木幼苗生物量的增加。在施氮总量相同时,指数施肥方式对杉木幼苗地上部分生物量、地下部分生物量及总生物量的促进作用均优于常规施肥,且杉木幼苗地上部分生物量、地下部分生物量及总生物量在施肥处理间存在极显著差异。原因可能是杉木幼苗在指数施肥中植株生长优于常规施肥,植株对养分的吸收更充分,所以产生的生物量更多。综上所述,指数施肥方式中 EF₃(60 mg/株)最适合半年生实生杉木幼苗的生长。

参考文献:

- [1] 吴中伦. 杉木[M]. 北京:中国林业出版社,1984.
- [2] 俞新妥. 杉木栽培学[M]. 福州:福建科学技术出版社,1997.
- [3] 相聪伟. 杉木人工林立地指数方程的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2010.
- [4] 洪菊生,陈伯望. 试论杉木无性系选育策略[J]. 世界林业研究,1993,6(3):86-91.
- [5] 唐桂兰,刘小星,芦建国. 氮素指数施肥对夏蜡梅幼苗

生长、养分分配的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2017,40(6):134-140.

- [6] MATER D K, KAVANAGH K L, ROSE C L. Growth response of Douglas-fir seedlings to nitrogen fertilization; importance of Rubisco activation state and respiration rates [J]. *Tree Physiol*, 2005, 25(8): 1015-1021.
- [7] 张启腾. 不同施肥量对杉木人工林幼林的生长影响分析[J]. 绿色科技, 2020(13): 159-161.
- [8] 林文龙. 不同施肥方式对杉木幼林生长的影响[J]. 农村经济与科技, 2016, 27(7): 76-78.
- [9] 周倜. 施肥对杉木幼林生长效应影响的研究[J]. 青海农林科技, 2007(1): 17-18, 22.
- [10] 郑增禄. 不同施肥方式对杉木与火力楠混交林的影响[J]. 乡村科技, 2020(1): 78-80.
- [11] 黄永华. 不同施肥量对杉木中龄林分生长的影响[J]. 农村经济与科技, 2020(31): 59-61.
- [12] 李茂,任正标,郑鸣鸣,等. 指数施肥对杉木优良无性系生长和光合特性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2019, 45(5): 400-409.
- [13] 李茂,洪凯,许珊珊,等. 指数施肥对杉木优良无性系幼苗生长和养分含量的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2020, 26(2): 1490-1497.
- [14] 孟庆银. 指数施肥对杉木第3代种子园实生容器苗生长影响[J]. 林业与环境科学, 2019, 35(5): 62-67.
- [15] 孟庆银,洪宜聪,王雨水,等. 指数施肥对杉木实生容器苗造林生长对比研究[J]. 南方林业科学, 2020, 48(5): 33-36.
- [16] 普文热带树木园建设课题组. 西双版纳普文热带树木园建设专题报告[R]. 昆明, 2000.
- [17] DUMROESE D K, PAGE-DUMROESE D S, SALIFU K F, et al. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings; nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(12): 2961-2968.
- [18] HODGE A. The plastic plant; root responses to heterogeneous supplies of nutrients [J]. *New Phytol*, 2004, 162(1): 9-24.

责任编辑: 刘平书

校 对: 许春霞 刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.020

迪庆州森林生态效益价值动态分析与评价

肖 丰

(云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051)

摘要:利用 2007 年和 2017 年两期森林资源连续清查数据,参考国内外有关森林生态效益价值评价的相关理论和评价方法,对云南省迪庆州森林生态效益价值进行动态分析与评价。结果显示,2007 年迪庆州森林生态效益总价值为 573.6 亿元,2017 年为 680.8 亿元,两相比较,2017 年森林生态效益总价值比 2007 年增加 107.2 亿元。在 9 个森林生态效益价值类别中贡献值大小排序为:生物多样性保护>固碳释氧>水土保持>净化环境>有机物质生产>涵养水源>减少土壤肥力损失>森林休憩>森林保护。文中就森林生态效益价值增长及其对维护生态安全、助推生态环境保护、促进民生林业发展等方面进行了讨论。

关键词:森林生态效益;价值评价;生物多样性;固碳释氧;水土保持;迪庆州

中图分类号:S718.56;F224 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0128-05

引文格式:肖丰.迪庆州森林生态效益价值动态分析与评价[J].林业调查规划,2022,47(2):128-132,136.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.020

XIAO Feng. Dynamic Analysis and Evaluation of Forest Ecological Benefit Value in Diqing Tibetan Autonomous Prefecture [J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 128-132, 136. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.020

Dynamic Analysis and Evaluation of Forest Ecological Benefit Value in Diqing Tibetan Autonomous Prefecture

XIAO Feng

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

Abstract: This paper made a dynamic analysis and evaluation of forest ecological benefit value in Diqing of Yunnan based on the continuous forest inventory data in 2007 and 2017 and referring to the relevant theories and evaluation methods of forest ecological benefit at home and abroad. The results showed that the total value of forest ecological benefit in Diqing was 57.36 billion yuan in 2007 and 68.08 billion yuan in 2017, and the total value of forest ecological benefit in 2017 increased by 10.72 billion yuan compared with 2007. The order of contribution value of nine forest ecological benefit was biodiversity protection > carbon fixation and oxygen release > soil and water conservation > environmental purification > organic matter production > water conservation > reducing soil fertility loss > forest recreation > forest protection. This paper discussed the value growth of forest ecological benefit and the role in maintaining ecological security, and promoting ecological environment protection, people's livelihood and forestry de-

收稿日期:2021-04-11.

第一作者:肖丰(1972-),男,安徽灵璧人,工程师.从事林业调查规划工作.

velopment.

Key words: forest ecological benefit; value evaluation; biodiversity; carbon fixation and oxygen release; water and soil conservation; Diqing Tibetan Autonomous Prefecture

森林生态效益是森林生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用,其不仅为人类提供了食品、医药及其生产生活原料,还创造与维持了地球生命支持系统,形成人类生存所必须的环境条件。森林生态效益多种多样,包括自然生产、维持生物多样性、调节气象过程、调节气候和地球化学物质循环、调节水循环、产生与更新并保持和改善土壤、净化环境等。

森林生态效益价值评价是通过一定的技术手段对生态效益价值及其提供生态服务的能力水平进行判断。通过评价可以了解森林生态效益的时点价值,亦可以通过不同时点间的比较掌握其价值动态变化趋势。客观、科学评价迪庆州森林生态效益价值,对于建立健全生态补偿机制、将自然资源纳入国民经济核算体系、提高环保意识,正确处理生态保护与经济发展的关系,促进人与自然协调发展均具有重要的理论意义和现实意义。

1 研究区域概况

1.1 自然地理概况

迪庆藏族自治州(以下简称“迪庆州”)位于云南省西北部,滇、藏、川三省区交界处,地处青藏高原东南缘,横断山脉腹地,是云贵高原向青藏高原的过渡带,地理坐标为东经 98°20′~100°19′,北纬 26°52′~29°16′。区域地貌独特,有古高原面,也有大山、大川、大峡谷,是世界自然遗产“三江并流”的腹心地带,境内地势北高南低,地形呈纵深切割之势,海拔高差悬殊,最高峰梅里雪山卡瓦格博峰海拔 6 740 m,是云南最高峰。最低谷海拔 1 486 m,绝对高差达 5 254 m。州内气候属温带-寒温带气候,年均温 4.7~16.5℃,年极端最高温 25.1℃,最低温-27.4℃。境内河流密布,分属于金沙江、怒江、澜沧江水系。

迪庆州地处“亚洲水塔”东南端,金沙江、澜沧江、怒江 3 条大河的上游。特别是长江,流经里程达 430 km,流域面积 1 6810.8 km²,澜沧江在州境内流程 320 km,流域面积 7 059.2 km²。其生态环境状况不仅决定本地区的社会经济可持续发展,同时也影响我国长江中下游地区的生态安全和社会经济发

展。开展对迪庆州森林生态效益价值评估,发挥其在维护生态安全、生态战略地位方面具有十分重要的作用。

1.2 森林资源概况

迪庆州立体气候明显,植被类型丰富,森林植被主要有寒温性针叶林(分布于海拔 3 000~4 000 m 冷湿生境山地)、温凉性针叶林(分布于海拔 2 600~3 300 m 山地)、暖性针叶林(分布于海拔 1 500~3 000 m 区域)、硬叶常绿阔叶林(分布于金沙江及澜沧江两侧山坡海拔 2 200~3 800 m 范围)、落叶阔叶林(零散分布)、寒温性灌木林(分布于海拔 3 000~4 100 m 区域)、暖热性灌木林(主要分布于澜沧江、金沙江河谷地区)、寒温性竹林(集中分布于海拔 2 800~3 500 m 的山体上部)。

据 2007 年第七次森林资源连续清查数据,迪庆州林业用地面积 188.4 万 hm²,森林面积 120.3 万 hm²,森林覆盖率 51.9%。活立木蓄积量 2.2 亿 m³,其中森林蓄积量 2.1 亿 m³,占 95.4%。据 2017 年第九次森林资源连续清查数据,迪庆州林业用地面积 191.6 万 hm²,森林面积 144.3 万 hm²,森林覆盖率 61.6%。活立木蓄积量 2.4 亿 m³,其中森林蓄积量 2.3 亿 m³,占 95.8%(表 1)。

表 1 迪庆州森林资源

Tab. 1 Forest resources in Diqing

调查时间	类别	乔木林	特别灌木林	总计	净增加量/%
2007	面积/万hm ²	98.8	21.5	120.3	
	蓄积/亿m ³	2.2		2.1	
2017	面积/万hm ²	113.5	30.8	144.3	24.0
	蓄积/亿m ³	2.4		2.3	0.2

2 研究方法

2.1 数据来源及指标体系

采用迪庆州 2007 年、2017 年森林资源连续清查数据和国家权威机构公布的社会公共资源数据,采用市场法、替代法进行评价。结合国内外研究成果,构建迪庆州森林生态效益价值评价指标体系(表 2)。

表 2 森林生态效益价值评价指标体系

Tab. 2 Evaluation index system of forest ecological benefit value

类别	指标因子
涵养水源	森林拦蓄水量
	净化水质
净化环境	对有害气体(SO ₂)的吸收
	吸附空气中的尘埃
水土保持	减少土壤侵蚀
减少土壤肥力损失	减少土壤肥力损失
森林防护	森林防护
有机物质生产	积累营养物质
固碳释氧	固碳
	释氧
生物多样性保护	物种保育
森林休憩	森林休憩

2.2 研究内容

2.2.1 涵养水源

森林土壤具有很高的孔隙度,能够将地上降水量截留,延长供水期,森林拦蓄水量是降水量与森林蒸散量及其他消耗之差。森林拦蓄水量的计算公式为:

$$Y = A(P - E - C) \quad (1)$$

式中:Y 为森林拦蓄水量;A 为森林拦蓄降水面积;P 为降雨量;E 为蒸散量;C 为地表径流量,森林地表径流量很小,可忽略不计。

2.2.2 净化环境

1) 对有害气体(SO₂)的吸收

森林不仅可吸收有害气体,而且还具有降低光化学烟雾污染、净化放射性物质、过滤尘埃的作用。森林对环境的净化作用主要有两方面,即吸收有害气体和滞尘能力。不同的森林类型对有害气体的吸附能力见表 3。

表 3 迪庆州不同森林类型对有害气体吸附能力

Tab. 3 Adsorption capacity of different forest types to harmful gas in Diqing

森林类型	吸附能力/(kg · hm ⁻²)
阔叶林	88.65
针叶林	117.60
灌木林	18.91

对有害气体(SO₂)吸收能力的计算公式为:

$$T_4 = \sum_{i=1}^n l_i s_i \quad (2)$$

式中:l_i 为第 i 种林分对有害气体的吸收能力;S_i 为第 i 种林分的面积。

2) 吸附空气中的尘埃

植物叶片表面凹凸不平,且生长着附属物或分泌粘液,可吸附空气中的尘埃,其滞尘价值采用替代法计算,其计算公式为:

$$T_4 = \sum_{i=1}^n l_i s_i \quad (3)$$

式中:l_i 为第 i 种林分的滞尘能力;S_i 为第 i 种林分的面积。

2.2.3 水土保持

主要计算减少土壤侵蚀量。

2.2.4 减少土壤肥力损失

由于森林具有水土保持作用,使林地的土壤侵蚀大大降低,因而土壤中的 N、P、K、Ca、Mg 等元素和其他有机物也得以保留。其计算公式为:

$$M = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_i p_{ij} \quad (4)$$

式中:M 为减少的营养物质总量;m_i 为不同土壤类型所减少的侵蚀量;p_{ij} 为各土壤类型中各营养元素的百分含量;i 为各土壤类型;j 为不同的营养物质(有机质,N,P,K)。

2.2.5 森林防护

主要指降低风沙、干旱、洪水、台风、盐碱、霜冻、沙压等自然灾害危害的功能。

2.2.6 有机物质的生产

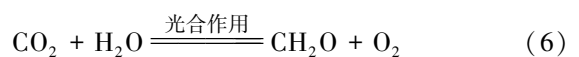
森林植物可转化大约 1%~2%左右的太阳能为生物能,这部分光能合成的总量是最初和最基础的能量储存(总生产量),总生产量可用于形成植物各种组织和器官用于呼吸的消耗,总生产量减去植物的呼吸消耗,剩下的为净级生产量(净生产量)。森林净生产量可分配在各个方面,一部分在林内积累成为动物和植物的机体,另一部分则用于动、腐生物的呼吸。有机物质的生产计算公式为:

$$P = \sum_{i=1}^n a_i g_i \quad (5)$$

式中:P 为保护区总生产力;a_i 为各种森林类型单位面积生产力;g_i 为各种森林类型面积。

2.2.7 固碳和释氧

根据植物光合作用方程式进行推算。



2.2.8 生物多样性保护

森林是生物多样性最丰富的区域,是生物多样性生存和发展的最佳场所,在生物多样性保护方面有着不可替代的作用。其生物多样性保育价值计算公式为:

$$U_{\text{生}} = S_{\text{生}} A \quad (7)$$

式中: $U_{\text{生}}$ 为林分年物种保育价值; $S_{\text{生}}$ 为单位面积生物多样性年价值; A 为森林面积。

2.2.9 森林休憩

主要是指森林生态系统为人类提供休闲和娱乐的场所,使人消除疲劳、愉悦身心、有益健康的功能。

2.2.10 迪庆州森林生态效益总价值

森林生态效益总价值为 12 项指标价值之和,计算公式为:

$$U_{\text{总}} = \sum_{i=1}^{12} U_i \quad (8)$$

式中: $U_{\text{总}}$ 为生态功能总价值; U_i 为各项指标价值。

3 结果与分析

3.1 涵养水源价值计量

根据资料,迪庆州的年均降雨量为 600 mm,年蒸散量为 450 mm。按公式(1)计算,其 2007 年拦蓄水量为 18 045 万 m^3 ,2017 年拦蓄水量 2 1645 万 m^3 ,按目前我国建设蓄水工程费用值 6 元/ m^3 计算,2007 年森林拦蓄水量的经济价值为 10.8 亿元,2017 年为 13.0 亿元。

净化水质价值,根据迪庆州森林拦蓄水量,通过森林的净化作用转化为地下径流(转化率为 80%),符合饮用水标准水量 2007 年为 14 436 万 m^3 ,2017 年 17 316 万 m^3 ,按目前我国水质净化费用的平均标准 2.0 元/ m^3 计算,其 2007 年净化水质的经济价值为 2.9 亿元,2017 年为 3.5 亿元。

3.2 净化环境价值计量

按公式(2)可计算出迪庆州植被吸收 SO_2 的潜在能力,即 2007 年为 105 953 t,2017 年为 122 871 t。按二氧化硫的治理费用 1 200 元/t 数值计算,则迪庆州 2007 年植被可吸收 SO_2 的潜在经济价值为 1.3 亿元,2017 年为 1.5 亿元。

按针叶林年滞尘能力为 33.2 t/ hm^2 ,阔叶林年滞尘能力为 10.11 t/ hm^2 。根据公式(3)计算出迪庆州森林植被每年滞尘能力 2007 年为 1 991 万 t,2017 年为 2 287 万 t。按削减粉尘成本为 150 元/t 计算,2007 年削减粉尘的间接经济价值为 29.9 亿元,2017 年为 34.3 亿元。

3.3 水土保持价值计量

根据研究资料,分别以侵蚀模数的低限 192 t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$),高限 447.7 t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)和平均值 319.8 t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)来估算。

根据森林潜在土壤侵蚀量与实际土壤侵蚀量的对比,可得到迪庆州 2007 年森林最低减少土壤损失 23 098 万 t,最高减少 53 858 万 t,平均减少 38 472 万 t,2017 年森林最低减少土壤损失 27 706 万 t,最高减少 64 603 万 t,平均减少 46 147 万 t。按林业生产机会成本法计算其减少土壤侵蚀量的价值,则 2007 年为 87.1 亿元,2017 年为 104.4 亿元。

3.4 减少土壤肥力损失价值计量

综合各土壤类型中各营养物质的含量:有机质 10%,全氮 0.9%,全磷 2.2%。根据公式(4)和计算植被减少的有机质、全 N、速效 P 的流失量,2007 年为 5.39 万 t,2017 年为 6.05 万 t。

减少土壤肥力损失的价值计算,包括减少无机元素损失的价值和减少有机质损失的价值。无机物质价值按照我国农业部门统计资料折算出 N、P、K 化肥平均价格,即 1 800 元/t 不变价格来计算;有机物质的价值按成本替代法计算出森林的贡献价值为 320 元/ hm^2 ,2007 年减少土壤有机质损失的经济价值为 3.8 亿元,2017 年为 4.6 亿元;以化肥价格 1 800 元/t 计算,2007 年减少土壤 N、P、K 经济价值为 5.7 亿元,2017 年为 6.5 亿元。

3.5 森林防护价值计量

按云南省平均林地防护防治费用 60.00 元/ hm^2 计算,迪庆州 2007 年森林面积为 120.3 万 hm^2 ,2017 年为 144.3 万 hm^2 ,其良好的生态系统能够抑制病虫害的发生,2007 年可节药森林病虫害防治价值为 0.7 亿元,2017 年为 0.9 亿元。

3.6 有机物质生产价值计量

根据生态系统净生产力研究资料,按乔木林 1 650 g/($\text{m}^2 \cdot \text{a}$),竹林 500 g/($\text{m}^2 \cdot \text{a}$),灌木林 600 g/($\text{m}^2 \cdot \text{a}$),根据公式(5)可计算出迪庆州森林生态系统 2007 年生产力为 1 759 万 t,2017 年为 2 058 万 t。按可比价格折算,其经济价值 2007 年为 20.3 亿元,2017 年为 23.8 亿元。

3.7 固碳释氧价值计量

根据迪庆州主要植被类型的总生产力,由植物光合作用方程式(6)可推算出植物每积累 1 g 干物质可固碳 0.4 g,据此可推算出迪庆州森林生态系统 2007 年可固碳 704 万 t,2017 年可固碳 823 万 t。按

固碳价格 1 200 元/t 计算,迪庆州 2007 年固碳总经济价值为 84.5 亿元,2017 年为 98.8 亿元。

根据迪庆州主要植被类型的总生产力,由植物光合作用方程式可推算出植物每积累 1 g 干物质可释氧 1.19 g,据此可推算出迪庆州 2007 年可释氧 2 093 万t,2017 年可释氧 2 449 万t。按工业氧价格替代法中以工业氧的现价 400 元/t 计算,迪庆州 2007 年释氧总经济价值为 83.7 亿元,2017 年为 98.0 亿元。

3.8 生物多样性保护价值计量

根据公式(7)可计算出迪庆州 2007 年森林物种保育价值为 240.6 亿元,2017 年为 288.6 亿元。

3.9 森林休憩价值计量

按单位面积生态系统文化功能平均价值 200 元/hm² 计算,迪庆州 2007 年森林休憩价值为 2.4 亿元,2017 年为 2.9 亿元。

3.10 森林生态效益总价值计量

根据公式(8)可计算出迪庆州 2007 年森林生

态效益总价值为 573.6 亿元;2017 年为 680.8 亿元。

2017 年与 2007 年相比,森林生态效益总价值增加 107.2 亿元,增加量十分显著(表 4,图 1)。

表 4 森林生态效益价值对比

Tab. 4 Comparison of forest ecological benefit value

价值类别	2007 年 /亿元	2017 年 /亿元	增加值 /亿元	增加比例 /%
涵养水源	13.7	16.5	2.8	17.0
净化环境	31.2	35.8	4.6	12.8
水土保持	87.1	104.4	17.3	16.6
减少土壤肥力损失	9.4	11.1	1.7	15.3
森林防护	0.7	0.9	0.2	22.2
有机物质生产	20.3	23.8	3.5	14.7
固碳释氧	168.2	196.8	28.6	14.5
生物多样性保护	240.6	288.6	48.0	16.6
森林休憩	2.4	2.9	0.5	17.2
合计	573.6	680.8	107.2	15.7

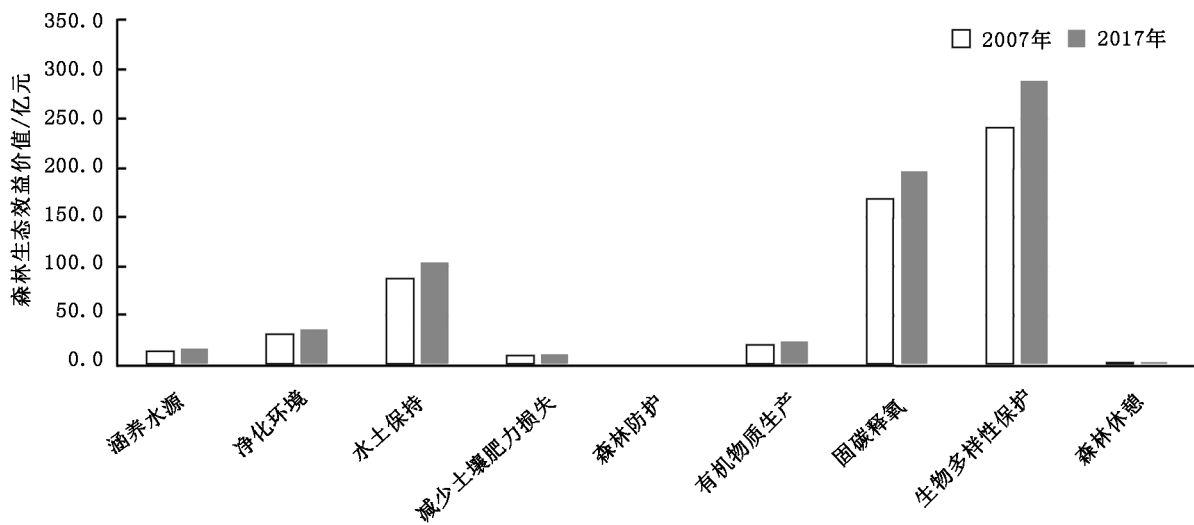


图 1 迪庆州森林生态效益价值对比

Fig. 1 Comparison of forest ecological benefit value in Diqing

从表 4 可以看出,在森林生态效益 9 个价值类别中,贡献值大小排序为:生物多样性保护>固碳释氧>水土保持>净化环境>有机物质生产>涵养水源>减少土壤肥力损失>森林休憩>森林防护。

4 结论与讨论

1)迪庆州 2007 年森林生态效益总价值为 573.6 亿元,2017 年为 680.8 亿元。2017 年与 2007

年相比,森林生态效益总价值增加 107.2 亿元。在 9 个价值类别中,贡献值大小排序为:生物多样性保护(288.6 亿元)>固碳释氧(196.8 亿元)>水土保持(104.4 亿元)>净化环境(35.8 亿元)>有机物质生产(23.8 亿元)>涵养水源(16.5 亿元)>减少土壤肥力损失(11.1 亿元)>森林休憩(2.9 亿元)>森林防护(0.9 亿元)。

(下转第 136 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.021

基于 GNSS RTK 的广东林草生态综合监测评价研究

刘新科¹, 黄宁辉¹, 秦琳¹, 徐明锋², 彭词清³

(1. 广东省林业调查规划院, 广东 广州 510520; 2. 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520;
3. 广东岭南综合勘察设计院, 广东 广州 510500)

摘要:介绍 GNSS RTK 测量及定位工作原理, 林草生态综合监测的目的、任务, 以及传统监测方法。藉此论述 GNSS RTK 技术在该监测项目中样地测设、复位、周界测量、样木定位等环节上的应用方法。通过应用后认为, 采用该方法较传统方法能极大地提高样地定位及测量精度, 提升工作效率。
关键词:GNSS; RTK; 林草生态综合监测; 样地测设; 样木定位

中图分类号: S718.557; TP311.56 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2022)02-0133-04

引文格式: 刘新科, 黄宁辉, 秦琳, 等. 基于 GNSS RTK 的广东林草生态综合监测评价研究[J]. 林业调查规划, 2022, 47(2): 133-136. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.021

LIU Xinke, HUANG Ninghui, QIN Lin, et al. Comprehensive Monitoring and Evaluation of Forest and Grass Ecology in Guangdong Based on GNSS RTK[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 133-136. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.021

Comprehensive Monitoring and Evaluation of Forest and Grass Ecology in Guangdong Based on GNSS RTK

LIU Xinke¹, HUANG Ninghui¹, QIN Lin¹, XU Mingfeng², PENG Ciqing³

(1. Guangdong Forestry Survey and Planning Institute, Guangzhou 510520, China;
2. Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China;
3. Lingnan Comprehensive Surveying and Designing Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510500, China)

Abstract: By introducing the working principle of GNSS RTK measurement and positioning, the purpose and task of forest and grass ecological comprehensive monitoring, and the traditional monitoring methods, this paper discussed the application method of GNSS RTK in sample plot setting, reset, perimeter measurement, sample wood positioning and so on. The application results showed that GNSS RTK could greatly improve the sample location and measurement accuracy and work efficiency compared with the traditional method.
Key words: global navigation satellite system; real-time kinematic; comprehensive monitoring of forest and grass ecology; sample plot survey and setting; sample wood positioning

为进一步及时全面掌握全国林草生态状况, 为生态文明建设提供更加科学精准翔实的决策依据, 服务林草资源监管、林长制督查以及碳达峰碳中和战略, 国家林草局启动了国家林草生态综合监测评

价工作。广东省林业局根据相关会议和通知要求, 迅速响应积极部署, 全面开展林草生态综合监测评价工作。时间紧任务重, 为确保每一个数据都经得起检验和推敲, 改变传统外业调查工作强度大、效率

收稿日期: 2021-10-09.

第一作者: 刘新科(1971-), 男, 广东兴宁人, 高级工程师. 主要从事森林培育相关工作. Email: GDLD87035026@163.com

低等劣势,本文通过 GNSS RTK 的应用研究,重点解决林草生态综合监测中样地角点放样、电子围栏和样木定位等问题,提高了外业调查的测量精度和工作效率,提升了林草监测技术水平。

1 GNSS RTK 技术

1.1 简介

GNSS(Global Navigation Satellite System)全球导航卫星系统,包括美国的全球定位系统(GPS)、俄罗斯的全球卫星导航系统(Glonass)、欧盟的伽利略系统(Galileo)以及中国的北斗卫星导航系统(BDS)等,以及相关的增强系统,如美国的 WAAS、欧洲的 EGNOS 和日本的 MSAS 等,还涵盖在建和以后要建设的其他卫星导航系统。

RTK(Real-time Kinematic)载波相位差分技术,是实时处理两个测量站载波相位观测量的差分定位技术,将基准站采集的载波相位发给用户接收机,进行求差解算坐标。这是一种新的常用的卫星定位测量方法,以前的静态、快速静态、动态测量都需要事后进行解算才能获得厘米级的精度,而 RTK 是能够在野外实时得到厘米级定位精度的测量方法。

GNSS RTK 是基于全球导航卫星系统的实时动态测量技术,主要由基准网站、流动站、数据处理中心和数据通信系统组成,具有测量精度高、速度快、全天候、不需要光学通视、单点测量范围广、无累积误差等优势,广泛应用于需要高精度测量的领域,其在林业上的应用也逐渐被开展^[1-2]。

1.2 工作原理

GNSS RTK 技术作业原理是:将基准站接收机布设于已知/未知坐标参考点上,以连续接收所有的可视 GNSS 卫星信号,基准站将测量所得的站点坐标、载波相位观测值、伪距观测值、接收机工作状态以及卫星跟踪状态,借助无线数据链传送至流动站。流动站接收基准站传入的数据,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,根据基准站与流动站相关性,得到流动站平面坐标 X、Y 和高程 H^[3-5]。

2 林草生态综合监测评价

2.1 目的任务

查清全国及各省森林、草地、湿地、荒漠等林草资源的种类、数量、质量、结构、分布,掌握年度消长动态变化情况,分析评价林草生态系统状况、功能效

益以及演替规律和发展趋势。

2.2 监测方法

综合采用图斑监测、抽样监测以及校验样地调查等方法开展综合监测工作。其中森林抽样监测,林地内的样地沿用连续清查的固定样地大小和形状不变,林地外的样地采用样带、样线等抽样设计;根据前期样地位置记录描述,采用 GNSS 导航、引线定位和向导带路等方法进行样地定位,采集样地西南角或其他角点 CGC 2000 坐标值;原则上保持上次调查样地周界不变。

2.3 森林样地调查

森林样地分为复测、增设、改设、目测和放弃等 5 种类别,调查需完成样地复位与定位、样地周界复位与测量和样木复位与定位等工作。

1) 样地复位与定位

复测样地根据前期样地位置记录描述,采用导航、引线定位和向导带路等方法,找到样地西南角或中心点;增设与改设样地根据样地西南角坐标新测设样地;对于目测样地,原则上要求在距离样地理论值最近处进行目测,并采集目测位置坐标。

2) 样地周界复位与测量

复测样地原则上以原周界为准,可从西南角点或任意角点按顺时针方向进行周界复测;增设与改设样地,在样地定位后,以样地西南角点为起点,对样地按顺时针方向测设样地边界;前期不需测设边界或只测了部分周界,而本期有样木的样地,在确定西南角后,按顺时针方向测设样地边界。新设或改设样地周界闭合差要求小于 0.5%,复位样地周界长误差小于 1%。

3) 样木复位与定位

复测样地周界复位后,对样地内的前期活立木和本次进界木进行对照复位和调查;新设、改设样地需埋设样点固定标志、测定样地内全部胸径 ≥ 5 cm 样木的实际位置,并对样木进行编号和标记;对样木测定结果进行记录并绘成样木位置图。

3 GNSS RTK 在森林样地中的应用

3.1 样点复位、放样

GNSS RTK 的实时定位精度可以达到厘米级,且不受视线遮挡影响。进行样地复测时,可将样地样点的上期位置坐标输入 RTK 手簿,利用 GNSS 导航系统即可以迅速、精确地找到上期样点或样点定位物,确保样点复位。增设和改设样地,仅需把设计好的点位坐标输入到手簿,手持 RTK 按提示及指引

移动,即可走到要放样点的位置,既迅速又方便,且单人操作即可。

3.2 样地周界测量

广东省森林样地为正方形,样地周界按西南—西北(0°)、西北—东北(90°)、东北—东南(180°)、东南—西南(270°)的顺序进行闭合导线测量,形成一个边长为 25.82 m,面积为 667 m^2 的正方形样地(图 1)。样地周界测量分别有复测样地周界测量和新设样地周界测量两种。

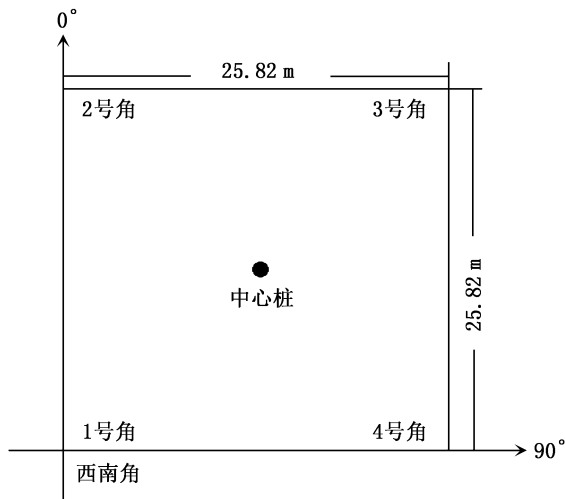


图 1 正方形样地示意图

Fig. 1 Schematic diagram of square plot

1) 复测样地的周界测量

在找到一个角桩后,根据角桩坐标先在 RTK 手簿上生成一个标准样地,在标准样地角点周边寻找上期设立的其他角桩,然后用 RTK 测定寻找到的角桩坐标,并在手簿上进行 4 点连线,最后直接求算样地周界长。若周界周长误差大于 1%,则须修正前期存在偏差的角桩并记录修正值。

2) 新设样地的周界测量

将新样地西南角坐标值直接输入 RTK 手簿,手簿会按样地标准直接生成一个标准样地及其他 3 个角点的坐标,且闭合差为 5~10 cm,精度远远高于调查要求的精度。

3.3 电子围栏

样地及样地角点确定后,传统做法是对四条边界进行砍障,并对边界木进行削皮或者用绳子将 4 个角点围起来设置物理围栏,然后进行样木调查。该方法劳动强度高且会破坏森林资源。利用 GNSS RTK 可以在 RTK 手簿中连接样地的 4 个角点,直接

形成虚拟电子围栏,接着对样木进行定位测量获取样木位置坐标,最后快速准确判断样木是在界内还是界外。电子围栏的布设,使边界木的判断和测量更加方便和准确。

3.4 样木定位

样木定位一般以样地中心为定位点架设罗盘仪,并按顺时针方向对样地内活立木逐株测定方位角,然后利用卷尺量测样木距离。该方法繁琐且效率低。利用 GNSS RTK 则可以对每株样木进行精准定位,并根据样木坐标快速准确计算出样木相对于中心点的方位角和水平距离,直观地反映出样木与样地 4 个角点的空间位置(图 2)。

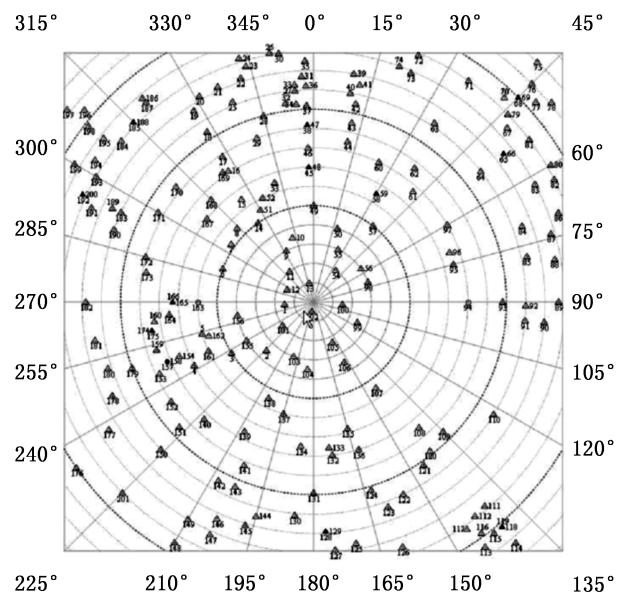


图 2 样木位置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of sample wood position

4 应用成效

4.1 提高定位精度

传统的森林样地调查是利用森林罗盘仪和卷尺等工具进行测量。山区样地由于受地形复杂、坡度陡峭、视线不好等因素影响,样地周界测设的精度常常不高;当样木距离中心点较远时,通常用估算的方法来确定,使得样木方位角和水平距离的测量精度不高。GNSS RTK 的应用则较好地发挥了其定位准、测速快、范围广等特点,厘米级精度远远高于调查要求,大大提高了样地测设和样木位置的精度。

4.2 提升工作效率

在山区,样点放样、样地周界测设难度大,样地

边界砍障清理劳动强度高,样木定位任务繁重。采用 GNSS RTK 技术可快速精准定位并自动生成“电子围栏”,其放样及样地周界测设全程仅需几分钟,同时可准确判定界内、界外木;样木每株定位只需几秒钟,不仅采集样木坐标还可直接计算出任意样地角点或中心点到样木的距离和方位角,大幅提高了作业速度,降低了劳动强度。初步估计,使用 GNSS RTK 技术比传统做法在样地中的作业时间至少节省 1/2。

5 结语

目前,GNSS RTK 技术在国土、房产、交通、电力等行业的测量工程中已得到广泛应用,但在林业测量方面的应用还不深入,通过在广东林草生态综合监测评价中使用该技术证明,与常规调查方法相比,利用 GNSS RTK 既提高了调查精度又降低了劳动强度,还极大地提高了工作效率,节约了用工成本,值得推广使用。随着我国北斗导航定位系统的建设及

其与其他导航定位系统的组合应用,GNSS RTK 必将更好地服务于林草资源调查规划。

参考文献:

- [1] 李永宁,高慧娟,霍艳玲,等. GNSS RTK 在山区森林中定位的应用研究——以桦树次生林中的 3 种地形条件为例[J]. 林业资源管理,2013(5):125-130.
- [2] 石君杰,陈忠震,孟令宇,等. GNSS RTK 技术在林木定位及微地形测量中的应用[J]. 林业资源管理,2019(4):117-123,131.
- [3] 李广安,徐振方,仝小宛. RTK 测量技术在征占用林地调查中的应用初探[J]. 河北林果研究,2009,24(3):256-259.
- [4] 由超,王宏年,宋修明,等. RTK 技术在森林资源连续清查中的应用[J]. 山东林业科技,2012,201(4):83-84.
- [5] 张向红. GNSS-RTK 测量精度分析与质量控制[J]. 低碳世界,2016(4):41-42.

责任编辑:刘平书

校 对:张林艳 许平书

(上接第 132 页)

2) 由于森林生态效益价值受多因素影响,以及采用数据详实程度的限制,本研究结果精准性有待进一步提升。但数值反映了迪庆州在 10 年间,通过实施天然林资源保护工程、生态公益林建设工程、退耕还林工程、陡坡地生态治理工程、生物多样性保护工程、低效林改造工程、退化防护林改造工程、农村能源建设工程、湿地保护与恢复工程、国家公园建设工程等林业工程,大力提高森林面积,森林覆盖率得到提升,林分质量得到改善。其森林生态效益价值十分巨大,增长十分显著,在维护生态安全和助推生态环境保护以及当地群众致富增收方面作用显著。

3) 以货币价值的形式能够客观、真实、直观地反映出森林生态系效益价值量,进一步加深人们对森林生态效益价值的认识,提高公众参与森林环境建设的积极性。由于迪庆州所处的地理位置的特殊性,其森林生态效益价值远远超出森林实物产生的价值,该地区的人民群众为保护长江上游的自然生态环境不受破坏,维护整个生态系统的稳定付出了巨大牺牲,为进一步推动生态保护力度和促进地区经济发展,切实推进当地人民群众脱贫致富,更好地保护优良生态环境、保护好水源,要根据生态价值贡

献大小对该地区进行适当生态效益补偿和财政资金转移支付,不断建立健全制度机制,激发发展活力,不断提高生态林业和民生林业发展水平。

参考文献:

- [1] 欧阳志云,王效科. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报,1999,19(5):607-613.
- [2] 薛达元. 自然保护区生物多样性经济价值类型及其评估方法[J]. 农村生态环境,1999,15(2):55-59.
- [3] 赵元藩,温庆忠,艾建林. 云南森林生态系统服务功能价值评估[J]. 林业科学研究,2010,23(2):184-190.
- [4] 国家林业局. 森林生态系统服务功能评估规范:LY/T 1721-2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [5] 翁国盛,李冬妍,赵利群,等. 聚焦气候变化大会,发挥森林生态系统功能[J]. 林业调查规划,2018,43(4):96-98.
- [6] 肖舜祯. 赣东北地区不同林分类型的生态服务功能价值评估[J]. 林业调查规划,2020,45(1):96-99.

责任编辑:许易琦

校 对:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.022

仙居永安溪湿地公园的生态胁迫与保护对策

柯志军¹, 谢哲根², 陈利星¹, 姚鸿文², 陶晶²

(1. 浙江省仙居县自然资源和规划局, 浙江 仙居 317300; 2. 浙江省森林资源监测中心, 浙江 杭州 310020)

摘要: 为了诊断生态胁迫问题, 消除或减缓生态胁迫因素, 修复已遭危害的生态系统, 提高湿地公园自身持续发展能力, 对仙居永安溪湿地公园的生态胁迫因素进行实地调查。结果表明, 自然胁迫因素有洪水和强台风、干旱季和枯水期河流生态缺水、森林病虫害; 人为胁迫因素有生态环境污染、非法经营活动、森林经营管理不科学以及其他人为胁迫因素。针对胁迫因素及其危害情况, 实施了加大对湿地公园的保护管理力度, 开展栖息地生态修复, 推进绿色发展等保护对策。

关键词: 生态胁迫; 生态修复; 绿色发展; 仙居永安溪湿地公园

中图分类号: S718.55; Q178.5; S759.91; S76 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2022)02-0137-05

引文格式: 柯志军, 谢哲根, 陈利星, 等. 仙居永安溪湿地公园的生态胁迫与保护对策[J]. 林业调查规划, 2022, 47(2): 137-141. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.022

KE Zhijun, XIE Zhegen, CHEN Lixing, et al. Ecological Stress and Protection Countermeasures in Xianju Yongan Creek Wetland Park[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 137-141. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.022

Ecological Stress and Protection Countermeasures in Xianju Yongan Creek Wetland Park

KE Zhijun¹, XIE Zhegen², CHEN Lixing¹, YAO Hongwen², TAO Jing²

(1. Xianju County Bureau of Natural Resources and Planning, Xianju, Zhejiang 317300, China;
2. Forest Resources Monitoring Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310020, China)

Abstract: In order to diagnose the problem of ecological stress, eliminate or slow down the ecological stress factors, repair the damaged ecosystem and improve the sustainable development ability of wetland park, the ecological stress factors of Xianju Yongan Creek Wetland Park were investigated on the spot. The results showed that the natural stress factors included flood and strong typhoon, river ecological water shortage in dry season, forest diseases and insect pests; human stress factors included ecological environment pollution, illegal business activities, unscientific forest management and other man-made stress factors. In view of the stress factors and their hazards, the protection countermeasures such as strengthening the protection and management of wetland park, carrying out habitat ecological restoration and promoting green development were implemented.

Key words: ecological stress; ecological restoration; green development; Xianju Yongan Creek Wetland Park

收稿日期: 2021-03-15.

第一作者: 柯志军(1963-), 男, 浙江仙居人, 工程师. 从事自然保护、林业资源管理、林业技术推广工作. Email: kzhj692933@163.com

责任作者: 谢哲根(1965-), 男, 浙江临海人, 硕士, 教授级高工. 从事森林经理、森林修复工作. Email: szg330120@163.com

湿地公园是自然保护地体系的有机组成部分,湿地公园的保护与生态恢复是湿地公园总体规划和建设发展中的核心内容。有研究者从湿地公园定义、效益与发展限制因素总结入手,分析湿地公园建设保护措施、发展对策^[1-2];针对湿地公园管理、湿地资源、水域生物多样性、生态恢复、发展压力等方面面临的问题提出保护方法、技术、生态恢复设计以及建设措施对策等^[3-8]。本文以详细分析浙江仙居永安溪湿地公园的生态胁迫成因及其危害情况为基础,有针对性地提出保护对策与方案,旨在提高保护管理水平,解决加速城市化过程中遇到的保护难题,更好地保护公园湿地资源,提升栖息地质量,推进绿色发展和生态文明建设。

1 研究区概况

浙江仙居永安溪省级湿地公园是河流型湿地公园,位于永安溪河流中游、县域中部,区域面积 1 569.67 hm²,西至井头垟深潭,东至县城东区的橡胶坝,南、北的边界以溪流两岸的河岸线、滩林、公路、面溪山脊等特征线和明显地类地物为界。公园以永安溪为轴线,跨度东西长 15.4 km、南北宽 8.01 km,地理坐标介于东经 120°36′21″~120°45′51″、北纬 28°46′55″~28°51′12″。公园内干流河道长 26 185 m,上下游水位落差约 37 m;最高海拔 321 m,最低海拔约 35 m。公园内有维管束植物 528 种,其中湿地维管束植物有 306 种,隶属于 84 科 212 属;脊椎动物 5 纲 34 目 84 科 259 种,其中淡水鱼类 7 目 14 科 55 种,两栖动物 2 目 7 科 26 种,爬行动物 3 目 8 科 39 种,鸟类 15 目 42 科 109 种(其中湿地水鸟 35 种),兽类 7 目 13 科 30 种。

永安溪是浙江省第三大水系椒江的上游干流,是仙居县行洪廊道、水资源廊道和生态景观廊道。仙居“8 山 1 水 1 分田”格局造成该区域适宜开发的空间资源稀缺,永安溪及沿线河谷平原又是交通廊道、产业廊道和县域经济发展的主动脉。永安溪湿地公园是永安溪的精华河段,是大自然赐予的宝贵生态资产和社会财富,但因自然灾害和人类经营活动的加剧,生态胁迫严重。

2 研究方法

生态胁迫研究采用实地调查方法。从宏观的生态系统来说,生态胁迫是指对维持生态系统稳定或良好演变不利的各种因素^[9]。胁迫是指引起生态

系统发生变化、产生反应或功能失调的外力、外因或外部刺激,通常指给生态系统造成负面效应(退化或转化)的逆向胁迫;生态系统受胁症状通常是受胁症候群^[10]。通过观察公园内湿地资源、栖息地的不良变化或受损情况,分析生态胁迫因素。

保护对策研究采用系统分析法。通过生态胁迫分析诊断出的问题,以保护公园湿地资源和生态系统为目标,提出有效的解决方案。

3 生态胁迫因素及其危害

3.1 自然胁迫因素

3.1.1 洪水和强台风

永安溪流域属亚热带海洋性季风气候区,汛期有 5—6 月的梅雨期和 7—9 月的台风期,雨量分别占全年降水量的 39% 和 33%。梅雨期和台风期气象多变,暴雨多发,往往出现暴雨和洪水,超过警戒水位以上的暴雨洪水平均 1.8 年发生一次^[11]。永安溪是典型山溪性中型河流、雨源型溪流,县域“叶脉型”水系结构,四周山地是暴雨高值区,中部是西—东走向的永安溪,承纳南北两侧山地支流汇水,单位干流长度汇水面大,洪水时流量大、流速快,水位暴涨,急流冲刷侵蚀作用强烈。

暴雨洪水是湿地公园最严重的自然灾害之一,造成溪岸崩塌、溪床卵石冲积、河床变化甚至河槽改道、湿地植被冲毁等;台风对近、成熟滩林的影响大,上层林木风折,大径林木减少,林相残破。例如,2019 年 8 月 10 日前后,超强台风“利奇马”引发了 50 年以上一遇的洪灾,造成湿地和湿地植被损失惨重,湿地公园内下加庄等 5 处岸坡冲毁崩塌;大北地溪河段等 4 处原有卵石滩增高,卵石滩面扩大,造成卵石滩的河段平水期溪流水面变窄,流经这些河段的溪水转化为卵石滩下径流,使枯水期更容易出现断流,降低了水生生物栖息地质量;大北地溪段河槽改道;滩林毁损严重,受害滩林面积占公园内滩林总面积约 50%,在清口园大桥上下两岸有 4 处滩林连片倒伏,部分林木拦腰折断,有的连根拔起。

3.1.2 干旱季和枯水期河流生态缺水

年内雨量分布不均,11 月至次年 1 月为枯水期。夏季在副高压控制下常出现久旱天气,干旱年份 7—8 月总降水量仅占全年的 4.7%。流经仙居城关的水量占永安溪流域的 90%,最枯月平均流量为 2 m³/s^[12]。

干旱期和枯水期永安溪河流缺水,水位极低、流量少、流速缓慢,卵石滩河段局部断流干涸。干旱年

份永安溪会出现短期大范围断流。低水位期间湿地公园生态用水不足,影响河流湿地的水景观、生物活动和生态过程,影响鱼类、水鸟栖息生存。

3.1.3 森林病虫害

永安溪流域森林目前有松材线虫病、天牛、白蚁等森林病虫害,森林健康问题突出。因松材线虫病连续危害,马尾松(*Pinus massoniana*)滩林林相破败不勘,虽经多年除治,响岩坦等 6 处马尾松滩林松材线虫病仍较重。由于天牛危害,枫杨(*Pterocarya stenoptera*)和河柳(*Salix chaenomeloides*)滩林中林木断干折梢的个体较多。白蚁对樟树(*Cinnamomum camphora*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)等树木的正常生长造成威胁。

3.2 人为胁迫因素

3.2.1 生态环境污染

环境污染整治始于 2000 年,目前永安溪湿地公园水质达到 II 类以上标准。曾经污染源较多,如沿岸医化企业、石材加工厂、废旧白银提炼、洋垃圾拆解等工业污染,农药、化肥等农业面源污染,城乡生活污水、生活垃圾污染,倾倒建筑垃圾等。工业废水、河道采砂和石材加工、农村生活垃圾等对永安溪水体造成较大程度的污染^[13]。一度时期,水体严重污染,致使鱼类等水生生物难以生存,一些珍贵鱼种濒临灭绝;食物链、栖息地被破坏,水鸟种类和种群均减少,严重损害生物多样性。

公园内现有、在建、即建的跨溪大桥 12 座,交通噪声污染逐渐增强,干扰野生动物宁静栖息。

3.2.2 非法经营活动

1) 非法采砂采石。因永安溪的砂、鹅卵石具有较高商业价值,上世纪末河道机械化无序采砂石一拥而上,直至 2012 年开始河道采砂治理,经过铁腕整治,至 2018 年 38 家非法采砂场全部取缔。非法采砂、采卵石破坏了河床地形,部分河段甚至被挖穿了隔水层,造成河道坑洼、遗弃的砾石堆积,影响水系通畅性,河床、河流水位下降,水体浑浊,柴油机油污等破坏水体环境,河床地表扰动后砂、卵石易被洪水冲移、沉积,河床改变,河系不稳定;河流栖息地受到强度干扰,破碎化、退化,影响了鱼类栖息、产卵繁殖和洄游,也不利于其他水生生物生存繁殖;取沙取石蚕食湿地滩林,影响两栖类、爬行类、鸟类栖息环境。

2) 非法占地和开垦。过去永安溪两岸挖塘、建房办渔家乐,圈地办石材加工厂,开垦搞特色农业种养殖等,造成湿地面积不断减少^[13]。土地平整(造

田和造地)等危害,造成湿地滩林萎缩,森林质量下降^[14]。目前永安溪滩林退化问题十分突出。

3) 非法捕捞。过去非法捕捞禁而不止,电鱼、毒鱼、炸鱼等案件时有发生。2019 年全县天然水域实施禁渔制度,禁止除休闲垂钓者一人一杆外的一切捕捞活动,但目前垂钓不规范现象仍然存在。非法捕捞造成鱼类资源衰退。

3.2.3 森林经营管理不科学

滩林经营不科学,如在生长良好的枫杨天然滩林等林下种植水杉,破坏了滩林原始风貌;一些滩林林分密度过大,未及时进行抚育间伐,树干细长,林木高径比失调,冠幅窄小,根系不发达,树冠生物量低,林分生长量低;对衰老、衰退的滩林未采取更新措施。因此,滩林抗风倒、抗洪水冲击等抗逆能力弱,生态功能低,生态系统稳定性差。

面溪山坡森林与湿地公园生态系统密切相关,目前面溪山林常绿阔叶林偏少,生物多样性较低;马尾松林比例偏高,松材线虫病危害较重。表明面溪山林森林结构不合理,森林生态环境保育功能偏低。

3.2.4 其他人为胁迫因素

1) 水源拦截。湿地公园外上游集水区有下岸、里林、北岙等 7 座大中型水库,这些控制性水利水电工程减轻了洪水灾害,但枯水期缺乏调度,加剧了湿地公园生态用水矛盾。湿地公园内木口堰坝上方建有清口园电站引水渠,引水分流,旱季溪流水量减少,导致木口堰坝至清口园电站河段干涸,河流湿地生态用水无保障。

2) 合法的道路桥梁建设使用土地,造成湿地、滩林数量稍有减少,产生隔离效应,栖息地破碎化。

3) 违章建筑整治不彻底。湿地公园划定前就存在的养鸡场、滩林中小屋、下加庄拉链厂等少量违章建筑,整治时仅捣毁,遗留下破房残壁、推倒的建筑堆,未对场地复原,影响景观、野生动物栖息。

4) 少量苗木地经营强度较高,不利于野生动物栖息活动。

4 保护对策

4.1 加大对湿地公园的保护管理力度

4.1.1 顺利开展保护管理

针对妨碍湿地公园发展的少数人错误认识,提高认知水平,增强保护意识,正确处理保护与发展的关系,坚守保护底线,保护优先、全面保护;建立和完善公园管理机构,理顺管理体制,形成湿地公园统一管理、协调配合的保护管理工作机制;建设高素质专

业化的保护管理队伍,开展日常巡护、监测等工作;组织社区参与公园保护管理。

4.1.2 严格土地利用管理和湿地资源保护管理

严格保护湿地公园土地,杜绝建设用地向溪边滨水地带发展倾向,杜绝新增违建,彻底整治违章建筑,运走拆除的建筑废弃物;严格保护公园湿地,巩固采制砂整治成果,继续打击非法采制砂,及时制止小规模偷挖砂石等破坏湿地的行为,防止非法采砂反弹;加强河流深潭(鱼类种子繁殖潭)管理,深潭河段应严格禁渔(包括禁止垂钓),严禁策划开发水上游乐等项目。

4.1.3 持续开展生态环境保护管理,切实改善水生生物生存繁殖环境

治理污水污染,排查沿岸污水口,流域农业生产、果园经营减少面源污染;工程建设避免水土流失;治理垃圾污染,清理公园内建筑垃圾堆、生活垃圾堆,禁止垂钓休闲者随意丢弃餐具盒、塑料袋。

4.1.4 完善相关保护设施建设,提高管理能力

加密远程实时监控探头,减少垂钓、偷捕等监控死角;过河大桥两侧安装消音板,减少噪声干扰;建设宣传教育中心、生态围栏、宣传牌和警示牌等。

4.2 开展栖息地生态修复

4.2.1 河流栖息地修复

河流是底栖动物、鱼类、两栖动物、水鸟等动物和藻类等水生植物的栖息地,根据永安溪湿地公园河流栖息地的生态胁迫情况,确定保护与修复措施。(1)疏浚河道,合理依法采砂、采鹅卵石,移除洪水冲积形成的河床上的砂滩、河槽上的鹅卵石滩,连通水系,汛期提高行洪能力,枯水期增加河面径流,提高水位。(2)修复溪滩面,尚存的采砂坑洼应人工平整,使溪滩面自然平整。(3)保护岸坡,采用木桩护坡、块石护坡、植被护坡、生态砖护坡以及生态袋护坡等作为湿地公园岸坡恢复措施优先技术^[15]。(4)调度水资源,保障生态用水。协调好水力发电、居民生活和河流生态用水,发电调度服从生态用水调度^[12]。公园上游的大中型水库作为应急补水水源,枯水期放水,保障湿地公园内的河流最小生态流量、最低生态水位得到满足。逐步停止公园内清口园电站发电取水,还水予溪流。(5)河岸线外划设缓冲带,宽度 30 m 以上。

4.2.2 溪滩湿地森林栖息地修复

溪滩植被与岸边植被是两栖类、鸟类等动物的重要栖息地。(1)间歇性淹没区域的溪滩植被因采砂、洪灾毁坏,需采取措施修复。清理枯死枝干;根据

间歇性淹水频度、淹水深度,土壤情况,补植适生的草本植物、灌木、乔木树种,可选种类有芦苇(*Phragmites australis*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、斑茅(*Saccharum arundinaceum*)、河柳、银叶柳(*Salix chienii*)、枫杨、乌桕(*Sapium sebiferum*)、榉树(*Zelkova serrata*)、苦楝(*Melia azedarach*)、水杉、青皮竹(*Bambusa textiles*)、红壳竹(*Phyllostachys iridescens*)、水竹(*Phyllostachys heteroclada*)等。(2)新建护岸堤坝、驳岸加固堤坝应同时进行岸边植被修复,采用生态格网护垫上覆盖耕植土进行植物绿化,以草皮、灌木和小乔木为主,提升堤防的生态性和景观性。

4.2.3 沿岸阶地森林栖息地修复

沿岸阶地森林植被仅大洪水时被淹没,是两栖类、爬行类、鸟类等动物的重要栖息地。(1)沿岸阶地栖息地马尾松纯林面积大,需及时清除松材线虫病疫木、风倒木,较大的林窗空地补植珍贵树种、色叶阔叶树种,如黄连木(*Pistacia chinensis*)、沙朴(*Aphananthe aspera*)、珊瑚朴(*Celtis julianae*)、乌桕、无患子(*Sapindus mukorossi*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、枫杨、榉树、乐昌含笑(*Michelia chapensis*)、木荷(*Schima superba*)、柿(*Diospyros glaucifolia*)、湿地松(*Pinus elliottii*)、柏木(*Cupressus funebris*)等。(2)对林木密度大的滩林及时抚育间伐、疏伐,增加林木生长空间,培养大径大冠幅林木,与大气秀美的永安溪相协调。(3)违章建筑拆除后平整土地,造林绿化。(4)永安溪南岸管山、上应村河段岸边需要建设河岸湿地景观防护林。(5)沿岸公路增加隐蔽性,设立噪音缓冲林带,以种植乔灌木为主,地被植物选择湿生湿地植物,减少噪音对湿地鸟类栖息、觅食活动的影响^[2]。(6)对少量的苗木地降低经营强度,逐步调整为野生动物栖息地。

4.2.4 面水山林栖息地修复

面水山坡森林是公园湿地的生态屏障、视觉景观带,是爬行类、鸟类、兽类等动物栖息地。(1)溪边近岸山林,白鹭、鸳鸯等水鸟晚间进入树林休憩,按照湿生动物对庇护生境要求开展森林栖息地修复;(2)对远岸森林动物栖息地积极开展林分阔叶化补植改造,发展阔叶林、针阔混交林;(3)对湿地公园内少量经济林进行生态化经营,人工劈灌,保持地表植被覆盖。

4.3 推进绿色发展

为促进被动保护向主动保护转变,提高当地居民参与湿地公园保护的主动性和积极性,践行“绿水青山就是金山银山”的绿色发展理念,探索绿水

青山向金山银山转化通道,发展生态经济体系,形成保护与发展利用双赢的良性循环。

永安溪湿地公园自然景观和人文景观兼融,风景秀丽、灵动,以“清流曲水、漫滩森林、鹭鸟飞翔、奇峰古塔、绝壁幽洞”为特色。公园内漂流、溪滩活动、绿道运动等户外游乐资源丰富,永安溪绿道是浙江最美绿道,永安溪漂流享誉江浙沪。公园应合理利用区内资源建设休闲观光、户外游乐设施,建成优良的湿地生态旅游、湿地生态文化体验基地;附近村庄可开设农家乐接待服务设施。湿地公园与周边村庄共同建设具有吸引力和竞争力的永安溪乡村旅游带,实现区域经济绿色发展,助力仙居县乡村振兴。

完善扶持政策,筹措保护建设资金,激励湿地公园绿色发展。包括建立湿地公园生态保护补偿制度;拓展绿色金融,推动湿地碳汇纳入碳汇交易范围。

5 结语

浙江仙居永安溪湿地公园既是典型性很强的河流型湿地公园,又具仙居县地理特色。调查研究湿地公园的生态胁迫因素,分析胁迫因素造成的危害,包括河流地形改变、湿地生态水量短缺、湿地面积减少、质量降低、生态环境污染、滩林等湿地植被萎缩和损坏、栖息地破碎化和退化,以及食物链、生物物种和种群数量及其生存和繁殖状况受到较重不良影响。藉此,有针对性地提出以自然保护、自然恢复为主的比较系统的保护对策。但湿地公园生态胁迫、保护涉及气候、河流地理、生物生态、社会经济、工程技术等领域,有待长期定性和定量研究,不断提高保护水平。

参考文献:

[1] 杨冕. 我国湿地公园建设发展限制因素与对策[J]. 林

业资源管理,2015(3):44-46.

- [2] 李伟,崔丽娟,赵欣胜,等. 湿地公园建设中的湿地保护与恢复措施[J]. 湿地科学与管理,2014,10(2):13-16.
- [3] 张巍. 湿地公园生态恢复方法探讨——以湖北浮桥河国家级湿地公园为例[J]. 林业资源管理,2018(3):36-39,48.
- [4] 刘拥军,鲁飞飞,倪俊艳,等. 内蒙古纳林湖国家湿地公园建设现状及发展对策[J]. 林业资源管理,2016(6):22-25.
- [5] 黄新民. 湖南东江湖湿地公园资源现状与保护管理对策[J]. 林业资源管理,2007(3):98-102.
- [6] 李晓光,刘筱竹. 翠湖湿地公园水域生物多样性保护与成效[J]. 湿地科学与管理,2012,8(1):20-23.
- [7] 余丽华,陈琳,马国强,等. 湖北孝感老观湖湿地公园现状与保护对策[J]. 湿地科学与管理,2016,12(2):22-24.
- [8] 孟羽嘉. 新疆乌鲁木齐柴窝堡湖国家湿地公园的湿地保护和恢复[J]. 湿地科学与管理,2020,16(1):27-30.
- [9] 柏超,陈敏,肖荣波,等. 广东省生态环境胁迫综合评价研究[J]. 广东农业科学,2014,41(14):144-148.
- [10] 孙刚,盛连喜,周道玮,等. 胁迫生态学理论框架(上)——受胁生态系统的症状[J]. 环境保护,1999(7):37-39.
- [11] 俞昌都,卢金利. 台州市灵江流域暴雨洪水分析[J]. 浙江水利科技,2001(2):25-28.
- [12] 柯琪,张哲,王雪奇,等. 仙居县永安溪生态补水分析[J]. 低碳世界,2017(2):3-4.
- [13] 张豪杰,潘富弟,祝新春,等. 仙居县永安溪湿地资源调查及保护、修复的探讨[J]. 科技信息,2012(29):451-452.
- [14] 蒋爱维,王小彩,吴道圣. 永安溪湿地滩林修复技术[J]. 现代农业科技,2010(18):183-184.
- [15] 崔丽娟,李伟,赵欣胜,等. 湿地岸坡功能及其恢复研究[J]. 世界林业研究,2011,24(3):16-21.

责任编辑:许易琦

校 对:许春霞 许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.023

大兴安岭杜香-兴安落叶松林植物器官与 土壤化学计量特征研究

辛雅彬¹, 宋希明², 王飞¹, 高孝威³

(1. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 乌兰察布市林业和草原局, 内蒙古 乌兰察布 012000;
3. 内蒙古林业科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要:探究大兴安岭不同龄组(幼龄林、中龄林、近成熟林)杜香-兴安落叶松原始林植物器官与土壤有机碳、全氮、全磷元素含量变化及其化学计量特征,比较兴安落叶松不同器官(叶、枝、干、根)和土壤 C、N、P 含量及比值的差异,探究其随林龄的变化和相互关系。结果表明,随着林龄增加,有机碳含量在叶片和枝条中呈上升趋势,细根中呈先下降后缓慢上升趋势,树干中变化不明显。全氮和全磷含量依次为:叶片>细根>主干>枝条和叶片>细根>枝条>主干,随林龄增加,主干和细根中全氮含量先下降后升高,枝条和主干中全磷含量呈上升趋势;随着林龄增加,0~60 cm 土层有机碳、全氮和全磷含量为中龄林>近熟林。C/N 比值在中龄林和成熟林中随土层深度加深而上升,C/P、N/P 比值则相反。C/N 比值在近熟林中表现为随土层深度加深而显著下降,C/P、N/P 比值则逐渐上升。林龄变化是影响植物器官与土壤 C、N、P 含量及其化学计量比值的重要因素,而植物器官和土壤有机碳、全氮、全磷含量间均不存在显著相关性,说明土壤养分对乔木器官 3 种成分影响较小,更多的是植物体自身遗传特性的影响。

关键词:杜香-兴安落叶松;植物器官;土壤养分含量;化学计量比值

中图分类号:S791.222;S151.93;Q945.45 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0142-07

引文格式:辛雅彬,宋希明,王飞,等.大兴安岭杜香-兴安落叶松林植物器官与土壤化学计量特征研究[J].林业调查规划,2022,47(2):142-148. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.023

XIN Yabin, SONG Ximing, WANG Fei, et al. Stoichiometric Characteristics of Soil and Plant Organs in *Ledum palustre-Larix gmelinii* Forest in the Greater Khingan Mountains[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 142-148. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.023

Stoichiometric Characteristics of Soil and Plant Organs in *Ledum palustre-Larix gmelinii* Forest in the Greater Khingan Mountains

XIN Yabin¹, SONG Ximing², WANG Fei¹, GAO Xiaowei³

(1. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;
2. Ulanqab Bureau of Forestry and Grassland, Inner Mongolia, Ulanqab 012000, China;
3. Inner Mongolia Academy of Forestry, Hohhot 010018, China)

Abstract: The contents and stoichiometric characteristics of soil organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in plant organs of *Ledum palustre-Larix gmelinii* primary forest with different age groups

收稿日期:2021-03-12;修回日期:2021-03-23.

基金项目:内蒙古自然科学基金项目(2018MS03049);内蒙古自治区科技计划项目(2020GG0067).

第一作者:辛雅彬(1995-),女,内蒙古锡林浩特人,硕士研究生.研究方向为森林结构与功能. Email:454916390@qq.com

责任作者:王飞(1980-),女,内蒙古乌兰察布人,副教授.研究方向为森林生态学及森林可持续经营. Email:Wangfeihao2003@aliyun.com

(young forest, middle-aged forest and nearly mature forest) in the Greater Khingan Mountains were studied. The contents and ratios of C, N and P in different organs (leaves, branches, stems and roots) of *Larix gmelinii* were compared to explore the changes and relationship with forest age. The results showed that with the increase of forest age, the content of organic carbon increased in leaves and branches, decreased first and then increased slowly in fine roots, and the change in trunk was not obvious. The order of total nitrogen content was leaf > fine root > trunk > branch while the order of total phosphorus content was leaf > fine root > branch > trunk. With the increase of forest age, the content of total nitrogen in trunk and fine root decreased first and then increased, and the content of total phosphorus in branch and trunk showed an upward trend; the contents of organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in 0~60 cm soil were middle-aged forest > nearly mature forest. The C/N ratio increased with the deepening of soil depth in middle-aged and mature forests, while the C/P and N/P ratios were opposite. The C/N ratio in nearly mature forest decreased significantly with the deepening of soil layer, while the C/P and N/P ratios increased gradually. The study found that the change of forest age was an important factor affecting contents and stoichiometric characteristics of soil organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in plant organs, while there was no significant correlation between the plant organs and the contents of soil organic carbon, total nitrogen and total phosphorus, indicating that soil nutrients had little influence on the content of plant organs, but more influence on the genetic characteristics of plants themselves.

Key words: *Ledum palustre-Larix gmelinii*; plant organs; soil nutrition content; stoichiometric ratio

生态化学计量学 (Stoichiometry) 是将生态学与化学计量学相结合, 用来研究生态系统能量平衡和多重化学元素 (一般指 C、N、P) 平衡的一门科学^[1], 主要体现在强调活有机体 C、N、P 三种主要组成元素的关系方面^[2]。生态化学计量学以植物和土壤为对象, 为研究土壤化学领域、土壤-植物和 C、N、P 循环提供了新的研究方向和思路^[3-6]。C、N、P 元素是植物体在生长发育过程中必不可少的营养元素^[7], 也是土壤中所蕴含的重要元素。土壤中 C、N、P 元素含量可以反映土壤肥力状况, 三者的化学计量比值能为土壤整体质量提升提供依据^[8], 对于不同林龄土壤理化性质动态变化的研究以及阐明植被与土壤相互作用的过程和机理具有重要作用^[9], 为实现森林的可持续发展提供依据与保障。在我国, 多数学者对于植物和土壤 C、N、P 化学计量的研究主要集中在全国各地的人工林中, 探究林龄变化对人工林植物和土壤化学计量特征变化的影响^[10-12]。甘秋妹主要针对大兴安岭地区不同退化阶段的蒙古栎林、灌丛、灌草丛和草丛对植物叶片 C、N、P 化学计量特征进行研究^[13], 刘旭艳等对大兴安岭地区典型森林沼泽植物叶片和细根 C、N、P 化学计量特征进行了研究^[14]。对于土壤 C、N、P 含量的研究则集中在不同林型土壤养分分布特征^[15]、植被退化^[16]及火烧年限对土壤和植物养分浓度及其生态化学计量学特征的影响^[14]等方面, 而对于不

同林龄植物叶片、不同深度土壤 C、N、P 元素含量以及 C/N、C/P 和 N/P 比值方面的研究却较少, 有必要进一步研究。

大兴安岭地区是我国面积最大的林区之一, 森林覆盖率达到 62%^[17]。C、N、P 作为植物和土壤中最基本同时占比最大的 3 种元素, 对植物及森林生态结构与功能具有重要影响。本研究对兴安落叶松原始林和渐伐林中处于不同生长阶段的杜香-兴安落叶松林 C、N、P 浓度及其化学计量比进行分析, 探究原始林各龄组 (幼龄林、中龄林、近熟林和成熟林) 植物器官及土壤 C、N、P 元素含量, 有助于深入了解森林生态系统养分循环规律和机制, 为正确经营管理提供科学指导。

1 研究区概况

研究区位于内蒙古大兴安岭森林生态系统国家野外科学观测研究站试验区, 地理坐标为 50°49' ~ 50°51'N, 121°30' ~ 121°31'E, 该区属寒温带半湿润气候, 最低海拔 800 m, 最高海拔 1 000 m, 年均温 -4.1 °C, 年均降水量 500 mm, 主要集中在 7—9 月。地带性土壤主要为棕色针叶林土, 植被类型以兴安落叶松为单优势种, 通常为纯林, 有时混生少量白桦 (*Betula platyphylla* Suk.)、杜香 (*Ledum palustre* L.) 等^[14]。

2 研究方法

2.1 样地设置及植物、土壤样品采集

于 2010 年 7—8 月在杜香-兴安落叶松原始林

中选取不同龄组(幼龄林、中龄林、近熟林和成熟林)的林分设置样地,样地基本概况见表 1。

表 1 样地基本概况

Tab. 1 Basic information of sample plots

龄组	海拔 /m	坡度 /(°)	坡向	坡位	平均胸径 /cm	平均树高 /m	郁闭度	林下优势 树种	活地被覆盖度 /%
幼龄林	846.8	<5	东南	上坡	7.0	8.2	0.78	兴安落叶松	70
中龄林	831.0	<5	东南	中上坡	11.1	12.6	0.81	兴安落叶松	60
近熟林	792.0	<5	东南	中上坡	25.2	20.2	0.64	兴安落叶松	80
成熟林	840.0	<5	东北	上坡	19.2	14.0	0.56	兴安落叶松	95

对样地内乔木进行每木检尺,记录胸径和树高,并统计株数,选择生长良好的 10 株兴安落叶松,在树冠中部的东、西、南、北 4 个方位采集生长旺盛的典型枝条,收集 4 个方位的新鲜叶片并等量混合,采用四分法取样放入信封,将收集到的叶片带回实验室后,放入烘箱 105 ℃ 杀青后在 80 ℃ 恒温下烘干至恒重,然后粉碎、过筛、装信封待测定。在样地内按照 S 形取样法采集各龄组 0~20 cm、20~40 cm 及 40~60 cm 土壤样品。土壤样品放入牛皮纸袋中保存,带回实验室,自然风干后备用。

2.2 植物及土壤测定方法

将采集的土壤样品混合均匀,风干,去除草根、石块等杂质,植物器官及土壤有机碳测定采用重铬酸钾容量法,全氮测定采用凯氏定氮法,全磷测定采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法。

2.3 数据处理

采用 Excel 2013 和 SPSS 22.0 软件对数据进行分析与统计,用 Pearson 分析方法对植物器官及各深度土层土壤有机碳、全氮、全磷元素浓度及其化学计量比值进行相关分析。

3 结果与分析

3.1 原始林植物器官有机碳、全氮、全磷含量及其化学计量比值特征

原始林植物器官有机碳、全氮、全磷含量及其化学计量比值变化情况见图 1。

从图 1 可知,除根中有机碳含量在林龄间差异显著($P < 0.05$)外,其他器官中有机碳、全氮、全磷含量在各龄组间差异均不显著。叶中有机碳含量随林龄增加缓慢上升;枝和干中有机碳含量随林龄增加

无明显变化;根中有机碳含量在幼龄林(0~40 a)最高,在中龄林(41~80 a)最低,在近成熟林中又有所上升。叶中全氮含量随林龄增加先升高后降低,变化显著,在中龄林达到最高值;枝中全氮含量随林龄增加略有升高;干中全氮含量随林龄增加显著下降,在幼龄林达到最高值(0.38 g/kg);根中全氮含量随林龄增加先降低后升高,变化显著,在幼龄林达到最高值(0.73 g/kg)。枝和叶中全磷含量随林龄增加而升高,变化显著,在近成熟林达到最高值(0.22 g/kg 和 0.01 g/kg);叶和根中全磷含量随林龄增加先降低后升高,均在幼龄林中达到最高值(0.73 g/kg 和 0.56 g/kg)。叶中 C/N 比值随林龄增加变化不明显;枝中 C/N 比值随林龄增加而降低,变化显著,在近成熟林最低;干和根中 C/N 比值随林龄增加先升高后降低,变化显著,均在中龄林达到最大值。枝和干中 C/P 比值随林龄增加而降低,变化显著,均在近成熟林最低(4 786 和 5 781);叶中 C/P 比值随林龄增加先降低后升高,变化显著,在近成熟林达到最大值(2 654);根中 C/P 比值随林龄增加先升高后降低,在中龄林达到最大值(7 059)。枝和干中 N/P 比值随林龄增加而降低,其中干的变化显著,在幼龄林达到最大值;叶中 N/P 比值随林龄增加先升高后降低,变化显著,在中龄林达到最大值(26.67);根中 N/P 比值随林龄增加而升高,变化较明显。叶、干、根中 C/N 比值随林龄增加的变化趋势一致,均随林龄增加先升高,在中龄林达到最大值后降低。枝和干中 C/P 比值变化趋势一致,均随林龄增加而降低。幼龄林、中龄林和近成熟林有机碳、全氮、全磷含量均在叶中最高;C/N 和 C/P 比值均在干中最高,枝中次之;N/P 比值则在叶中最高,干中次之。

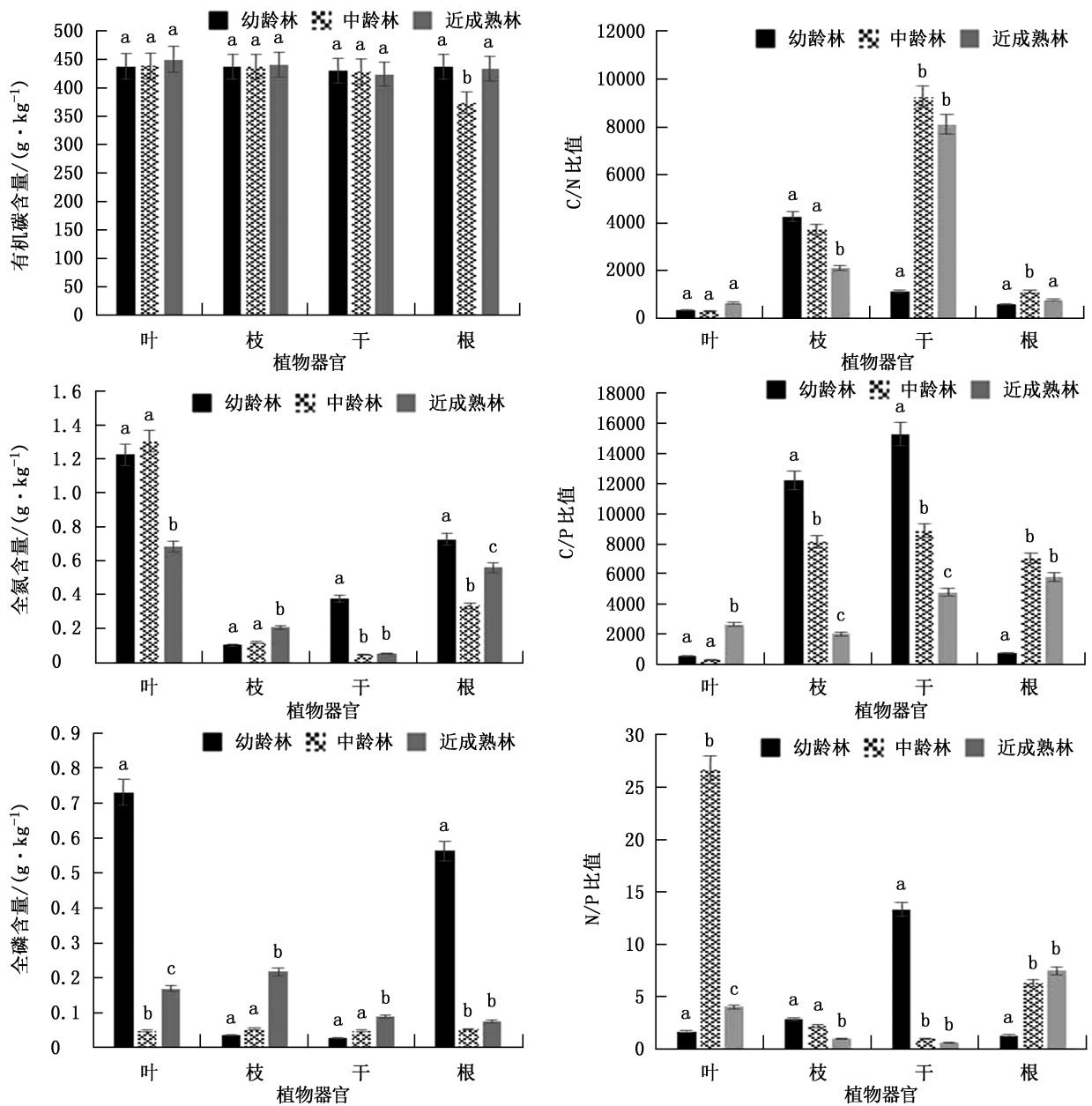


图 1 原始林植物不同器官有机碳、全氮、全磷含量及其化学计量比值随林龄增加的变化情况

Fig. 1 Variations of contents and stoichiometric ratio of soil organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in different plant organs with the increase of forest age

注：不同小写字母表示植物不同器官间差异显著($P < 0.05$)。

3.2 原始林土壤有机碳、全氮、全磷含量及化学计量比值特征

对原始林不同土层土壤有机碳、全氮、全磷含量进行测定,结果见图 2。

由图 2 可知,原始林幼龄林和中龄林土壤有机碳、全氮和全磷含量随土层深度加深总体呈逐渐下降趋势,其中中龄林土壤各元素含量明显高于其他 3 个龄组;近熟林土壤有机碳和全氮含量随土层深度加深呈缓慢上升趋势,但变化不明显,全磷含量则

呈上升趋势;成熟林土壤有机碳和全氮含量随土层深度加深呈明显下降趋势,全磷含量呈上升趋势,但变化不明显。中龄林 0~20 cm 土层有机碳含量为 150.07 g/kg,在 40~60 cm 土层有机碳含量则下降到 57.13 g/kg,下降率为 61.93%。中龄林 0~20 cm (表层土壤)土层有机碳和全氮含量分别为 150.07 g/kg 和 3.35 g/kg,较幼龄林提高 282.14%和 194.10%,而近熟林和成熟林有机碳和全氮含量则呈显著下降趋势。土壤全磷含量在原始林幼龄林和近熟林不同

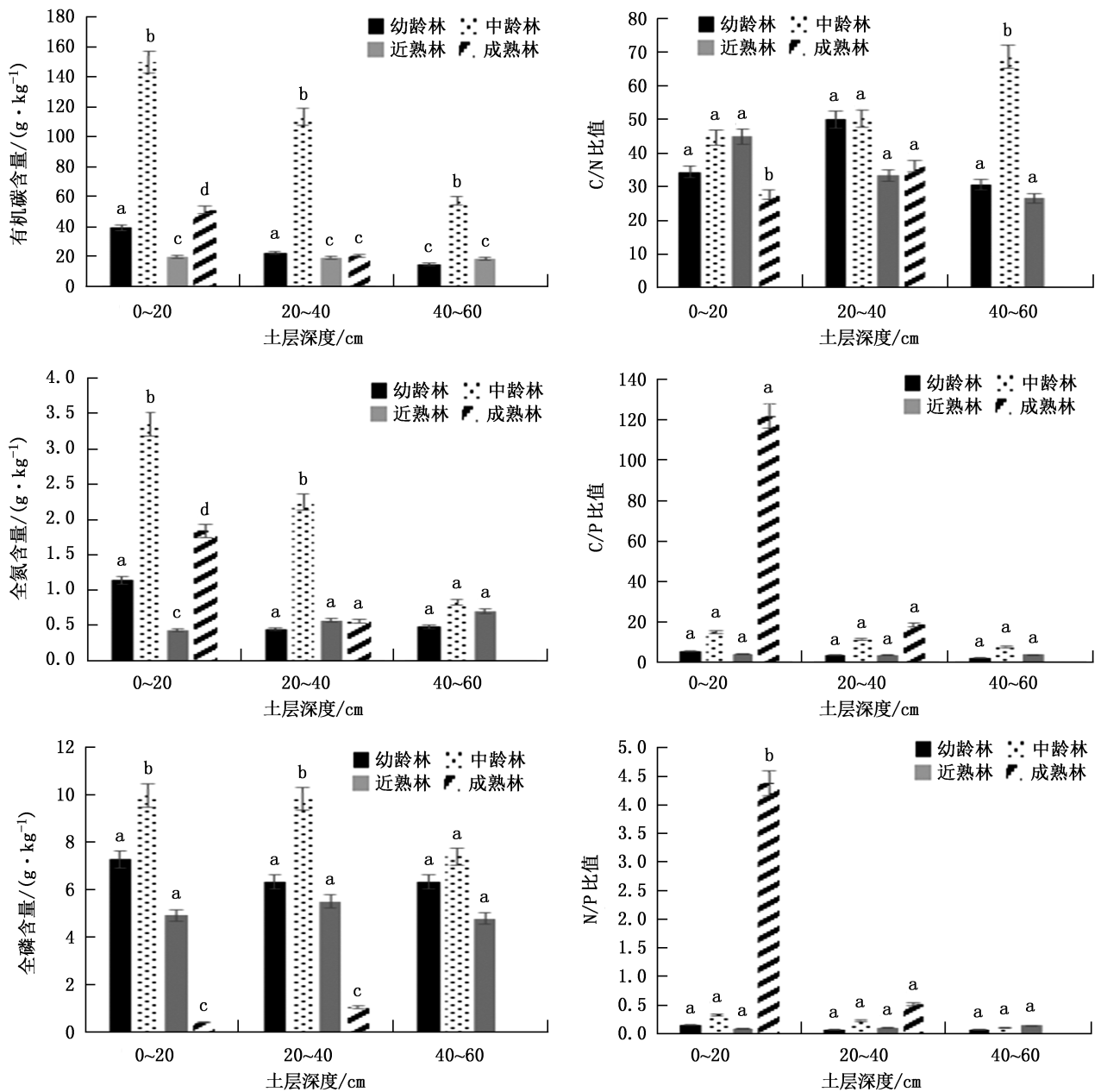


图 2 原始林不同土层土壤有机碳、全氮、全磷含量及化学计量比值随林龄增加的变化情况

Fig. 2 Variations of contents and stoichiometric ratio of soil organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in different soil layers with the increase of forest age

注:不同小写字母表示不同林龄间差异显著 ($P < 0.05$)。

深度土层中无显著差异,中龄林和成熟林随土层深度加深全磷含量逐渐降低(其中成熟林 40~60 cm 土层中均为石块,因此只测定 0~20 cm 和 20~40 cm 土层深度),总体表现为 0~20 cm 土层中全磷含量(中龄林 9.97 g/kg,成熟林 0.42 g/kg)高于 40~60 cm 土层(中龄林 6.83 g/kg)。原始林幼龄林土壤 C/P、N/P 比值随土层深度加深缓慢降低,变化不显著;中龄林和成熟林土壤 C/N 比值随土层深度加深

而上升,C/P、N/P 比值均随土层深度加深而逐渐降低;近熟林土壤 C/N 比值随土层深度加深明显下降,C/P、N/P 比值则随土层深度加深而逐渐上升。中龄林 40~60 cm 土层 C/N 比值明显高于其他 3 个龄组,是其他 3 个龄组的 1.2 倍。幼龄林 0~20 cm 土层 C/N、C/P、N/P 比值与中龄林相比分别提高 29.04%、178.82%和 114.59%。成熟林 0~20 cm 土层 C/P、N/P 比值明显高于其他 3 个龄组,是其他 3

个龄组的 4.5 倍和 7.5 倍。

3.3 原始林植物叶片与表层土壤 (0~20 cm) 有机碳、全氮、全磷含量及其比值的相关性分析

对原始林植物叶片与土壤有机碳、全氮、全磷含量进行相关性分析,结果见表 2 和表 3。

表 2 原始林植物叶片和土壤有机碳、全氮、全磷含量间的相关分析

Tab. 2 Correlation analysis between plant leaves and soil organic carbon, total nitrogen and total phosphorus

项目	叶片 有机碳	叶片 全氮	叶片 全磷	土壤 有机碳	土壤 全氮	土壤 全磷
叶片全氮	-0.998*	1.000				
叶片全磷	-0.964	0.978	1.000			
土壤有机碳	-0.525	0.573	0.731	1.000	0.996**	0.678
土壤全氮	-0.500	0.549	0.711		1.000	0.610
土壤全磷	-0.931	0.950	0.994			1.000

注: *表示 $P < 0.05$ (双尾检验), **表示 $P < 0.01$ (双尾检验)。下同。

表 3 原始林植物叶片和土壤 C/N、C/P、N/P 比值间的相关分析

Tab. 3 Correlation analysis between C/N, C/P and N/P ratios of plant leaves and soil

项目	叶片 C/N	叶片 C/P	叶片 N/P	土壤 C/N	土壤 C/P	土壤 N/P
叶片 C/P	0.702	1.000				
叶片 N/P	-0.477	-0.961	1.000			
土壤 C/N	-0.389	-0.929	0.995	1.000		
土壤 C/P	0.997*	0.645	-0.407	-0.316	1.000	
土壤 N/P	-0.853	-0.971	0.865	0.813	-0.810	1.000

叶片全氮、全磷含量之间不存在显著相关性,有机碳和全氮含量间存在显著负相关性 ($P < 0.05$), 相关系数为 -0.998。土壤有机碳和土壤全氮含量间呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 相关系数为 0.996; 与土壤全磷含量相关性较小 ($P > 0.05$)。叶片有机碳、全氮、全磷含量与土壤有机碳、全氮、全磷含量间均无显著相关性 (表 2)。C/N、C/P、N/P 比值两两之间,在叶片和土壤中均不存在显著相关性;叶片 C/N 比值和土壤 C/P 比值间存在显著正相关关系,相关系数为 0.997 (表 3)。

4 结论与讨论

4.1 结论

以大兴安岭杜香-兴安落叶松原始林为研究对

象,对其植物器官和土壤 C、N、P 含量及其化学计量特征进行分析,探讨植物、土壤在不同生长阶段的特征。

1) 兴安落叶松各器官 N/P 比值均小于 14,表明氮是影响兴安落叶松生长的主要元素,N/P 比值随林龄增加而升高,氮元素的限制作用不断减弱,植物生长速率减缓。

2) 土壤有机碳、全氮和全磷含量均表现为中龄林最高,其次是幼龄林,而近熟林最低。土壤 C/N 比值在中龄林和成熟林中表现为随土层深度加深而上升,而 C/P、N/P 比值则与之相反。在近熟林中表现为土壤 C/N 比值随土层深度加深而显著下降,C/P、N/P 比值则随土层深度加深而逐渐上升。土壤有机碳和土壤全氮含量间呈极显著正相关,土壤全磷含量与 C/N 比值间呈显著正相关,土壤有机碳、全磷含量与 C/P、N/P 比值间呈负相关关系。

3) 叶片全氮、全磷间不存在显著相关性,有机碳和全氮含量间存在显著负相关性 ($P < 0.05$), 相关系数为 -0.998。土壤有机碳和全氮含量间呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 相关系数为 0.996; 与土壤全磷含量相关性较小 ($P > 0.05$)。叶片 C、N、P 含量与土壤 C、N、P 含量均无显著相关性。C/N、C/P、N/P 比值两两间,在叶片和土壤中均不存在显著相关性;叶片 C/N 比值和土壤 C/P 比值存在显著正相关关系,相关系数为 0.997。

4.2 讨论

N、P 是森林固碳的主要营养元素,C、N、P 元素间相互作用,共同调节植物体生长^[17]。植物体不同器官 C、N、P 元素含量体现了植物对养分的需求,反映出植物对不同环境的适应能力。在本研究中,各龄组有机碳、全氮和全磷含量最高值均体现在叶片中,这与前人的研究结果一致^[18],叶片是植物进行光合作用、合成叶绿素、蛋白质等多种化合物的主要器官,有机碳、全氮、全磷是生化过程中最重要的元素,因此在叶片中含量较高。N/P 比值的大小可体现出生态系统生产力受到何种元素的限制作用^[19],有研究表明 N/P 比值小于 14 时,植物生长主要受氮元素影响;N/P 比值大于 16 时,植物生长主要受磷元素影响;N/P 比值介于两者之间时,植物生长受氮和磷元素共同影响^[20]。在本研究中,各龄组植物器官 N/P 比值均小于 14,说明试验区内兴安落叶松受氮元素限制更多。

土壤有机碳、全氮含量是土壤多种养分因素中较重要的两个因素,可以充分反映土壤肥力状

况^[21]。森林凋落物和大气氮沉降是落叶松林地土壤有机碳和全氮含量的主要来源,在原始林中,由于幼龄林凋落物较少,因此有机碳和全氮含量也较少。随着时间推移,森林凋落物产量在中龄林阶段达到最高,因此有机碳和全氮含量也随之达到最高值。到了成熟林和近熟林阶段,森林凋落物产量不断减少,林分开始衰退,有机物含量也不断降低。土壤中磷元素主要来源于植物根系及森林凋落物的归还,原始林中土壤全磷含量随林龄增加而升高,到了近熟林和成熟林阶段土壤全磷含量下降,这可能是由于林地凋落物分解较缓慢所致^[22],土壤磷元素也有衰竭趋势。在本研究中,原始林中龄林土壤有机碳、全氮和全磷含量均高于幼龄林、近熟林和成熟林,这是由于中龄林森林凋落物产量较大,对养分的消耗比其他 3 个龄组少很多,因此土壤肥力明显增强。近熟林和成熟林林分逐渐衰退,森林凋落物分解速率缓慢,土壤肥力下降。以上讨论与前人对落叶松林研究得出的结论一致^[22-23]。

参考文献:

- [1] ELSEY J J, FAGAN W F, DENNO R F, et al. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs[J]. *Nature*, 2000, 408(6812): 578-580.
- [2] 曾德慧, 陈广生. 生态化学计量学: 复杂生命系统奥秘的探索[J]. *植物生态学报*, 2005(6): 141-153.
- [3] 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. *生态学报*, 2008(8): 3937-3947.
- [4] 刘冰燕, 陈云明, 曹扬. 渭北黄土区刺槐人工林氮、磷生态化学计量特征[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(1): 1-6, 14.
- [5] 何琴飞, 申文辉, 彭玉华, 等. 钦州湾红树林土壤肥力及其 C、N、P、K 化学计量特征[J]. *西北林学院学报*, 2017, 32(6): 119-124, 149.
- [6] 张志才, 黄金华, 叶代全, 等. 光皮树不同家系叶片氮、磷化学计量特征及其与土壤养分的关系[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(4): 53-58.
- [7] LI H L, CRABBE M, XU F L, et al. Seasonal variations in carbon, nitrogen and phosphorus concentrations and C : N : P stoichiometry in the leaves of differently aged *Larix principis-rupprechtii* Mary. plantations [J]. *Forests*, 2017, 8(10): 373.
- [8] DISE N B, MATZNER E, FORSIUS M. Evaluation of organic horizon C : N ratio as an indicator of nitrate leaching in conifer forests across Europe [J]. *Environmental Pollution*, 1998, 102(S1): 453-456.
- [9] 纪文婧, 程小琴, 韩海荣, 等. 山西太岳山好地方典型植被类型土壤理化特征[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(1): 141-148.
- [10] 曾凡鹏, 迟光宇, 陈欣, 等. 辽东山区不同林龄落叶松人工林土壤-根系 C : N : P 生态化学计量特征[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(7): 1819-1825.
- [11] 王玲玲. 华北落叶松人工林碳氮磷生态化学计量特征及土壤肥力变化研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2016.
- [12] 李明军, 喻理飞, 杜明凤, 等. 不同林龄杉木人工林植物-凋落物-土壤 C、N、P 化学计量特征及互作关系[J]. *生态学报*, 2018, 38(21): 7772-7781.
- [13] 甘秋妹, 孙海龙, 郑红, 等. 大兴安岭不同退化阶段土壤和植物 C、N、P 浓度及其化学计量特征[J]. *森林工程*, 2013, 29(3): 1-5.
- [14] 刘旭艳, 胡宇坤. 大兴安岭典型森林沼泽植物叶片和细根碳氮磷化学计量特征[J]. *应用生态学报*, 2020, 31(10): 3385-3394.
- [15] 张芸, 李惠通, 张辉, 等. 不同林龄杉木人工林土壤 C : N : P 化学计量特征及其与土壤理化性质的关系[J]. *生态学报*, 2019, 39(7): 2520-2531.
- [16] 石宪, 张秋良, 曹阳, 等. 兴安落叶松天然林不同林型土壤养分分布特征研究[J]. *内蒙古林业科技*, 2015, 41(3): 6-10.
- [17] 王飞, 刘璇, 张秋良. 兴安落叶松林植被层碳密度分配及固碳潜力[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2020, 41(1): 32-36.
- [18] 孙美美, 关晋宏, 岳军伟, 等. 黄土高原西部针叶林植物器官与土壤碳氮磷化学计量特征[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(3): 202-208.
- [19] 王晶苑, 王绍强, 李幼兰, 等. 中国四种森林类型主要优势植物的 C : N : P 化学计量学特征[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(6): 587-595.
- [20] 姜沛沛, 曹扬, 陈云明, 等. 不同林龄油松 (*Pinus tabulaeformis*) 人工林植物、凋落物与土壤 C、N、P 化学计量特征[J]. *生态学报*, 2016, 36(19): 6188-6197.
- [21] 杨新芳, 鲍雪莲, 胡国庆, 等. 大兴安岭不同火烧年限森林凋落物和土壤 C、N、P 化学计量特征[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(5): 1359-1367.
- [22] 陈立新, 肖洋. 大兴安岭林区落叶松林地不同发育阶段土壤肥力演变与评价[J]. *中国水土保持科学*, 2006(5): 50-55.
- [23] 阎德仁. 落叶松人工林土壤肥力变化的研究[J]. *生态学杂志*, 1993(3): 8-10.

责任编辑: 陈旭

校 对: 许易琦 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.024

亚热带山地常绿阔叶林土壤理化性质研究

——以南昆山为例

黎荣彬, 邓洪涛, 白昆立

(广东省岭南综合勘察设计院, 广东 广州 510520)

摘要:对广东省龙门县南昆山省级自然保护区亚热带山地常绿阔叶林土壤分层取样并进行理化性质研究。结果表明:土壤理化性质随土层深度变化而变化,大部分理化指标具有极显著相关性;土壤物理性状总体良好,绝大部分土壤容重处于中等水平,土壤孔隙数量比较理想,毛管与非毛管孔隙比比较合理,土壤通气、保水能力比较协调;土壤有机质和有效氮含量较高,有效磷、有效钾和交换性盐基含量均较低。

关键词:土壤理化性质;亚热带山地常绿阔叶林;相关性分析;南昆山省级自然保护区

中图分类号:S792;S151.9 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0149-04

引文格式:黎荣彬,邓洪涛,白昆立.亚热带山地常绿阔叶林土壤理化性质研究——以南昆山为例[J].林业调查规划,2022,47(2):149-152,171. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.024

LI Rongbin, DENG Hongtao, BAI Kunli. Physical and Chemical Properties of Soil in Subtropical Montane Evergreen Broad-Leaved Forest——A Case Study of Nankunshan Mountain[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 149-152, 171. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.024

Physical and Chemical Properties of Soil in Subtropical Montane Evergreen Broad-Leaved Forest

——A Case Study of Nankunshan Mountain

LI Rongbin, DENG Hongtao, BAI Kunli

(Lingnan Comprehensive Surveying and Designing Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510520, China)

Abstract: The soil of subtropical montane evergreen broad-leaved forest in Nankunshan Provincial Nature Reserve, Longmen County, Guangdong Province was sampled to study physical and chemical properties. The results showed that the physical and chemical properties of soil changed with the depth of soil layer, and most physical and chemical indexes had very significant correlation; the soil physical properties were generally good, most of the soil bulk density was at the medium level, the number of soil porosity was ideal, the ratio of soil capillary porosity and air-filled porosity was reasonable, and the soil ventilation and water holding capacity were coordinated; the contents of soil organic matter and available nitrogen were high, but the contents of available phosphorus, available potassium and exchangeable base were low.

收稿日期:2021-03-08;修回日期:2021-03-15.

第一作者:黎荣彬(1981-),男,广东从化人,高级工程师.从事林业调查规划设计等工作.

Key words: physical and chemical properties of soil; subtropical montane broad-leaved evergreen forests; correlation analysis; Nankunshan Provincial Nature Reserve

土壤是生态系统中大部分植物赖以生存的基质,是林业发展的基础。土壤理化性质集中体现了土壤的水、肥、气、热状况,是土壤理论和土壤肥力研究的基础,研究土壤的物理、化学性质可掌握土壤环境的状况^[1]。同时土壤理化性质是土壤健康和土地产出能力的重要指标^[2-3]。

准确调查南昆山区级自然保护区整体土壤理化性质,对于深入理解森林经营管理以及土壤库的影响机制具有重要意义。南昆山土壤调查研究多集中于 20 世纪 80 年代^[4-5],近 30 年来,土壤调查分析方法更新换代,南昆山土壤本底值也随时间发生变化,故亟需对其土壤理化性质进行研究以填补这些年南昆山地区土壤研究空白。本文对南昆山亚热带山地常绿阔叶林土壤进行分层取样,并测算其理化性质,探讨土壤理化性质随深度的协同变化规律,以期亚热带山地常绿阔叶林土壤研究提供参考^[6]。

1 研究地概况

研究地为广东省惠州市龙门县西南的南昆山区级自然保护区,坐标为 23°37′04″~23°40′55″N, 113°48′29″~113°51′28″E。南昆山地处北回归线北缘,属南亚热带季风气候,保护区生境丰富,物种多样性极高,分布有山顶草甸、山顶矮林竹林、亚热带常绿阔叶林、亚热带季雨林、半天然林、松林、松栎疏林灌木丛、亚热带草坡、人工林、杉木林、毛竹林等植被类型。土壤类型有山顶矮丛草甸土、山地黄壤、山地赤红壤和赤红壤等。

2 研究方法

2.1 土壤采样方法

采用分层取样法^[7],在 7 个 40 m×40 m 固定样地(早堂子、薯菇坳、下五马、泡子坝、大坳背、苏茅坪、独木桥)和 1 个 100 m×100 m 样地(石门公园)内进行土壤采样。每个 40 m×40 m 样地取样点 4 处,100 m×100 m 样地取样点 8 处。在样地内选择代表性取样点,挖掘剖面,深约 110 cm,然后按 0~10 cm、10~30 cm、30~60 cm、60~100 cm 分层采集土壤样品。本次土壤调查共挖掘土壤剖面 36 个,采集土

壤布袋样品 144 份,采集环刀样和小铝盒样各 284 份。在 1 hm² 样地(石门公园)四周,挖掘 4 个剖面,深 110 cm 左右(2 个剖面由于土层较浅,挖至 80 cm 左右为母岩层),划分土壤层次,填写土壤剖面调查记录表。

2.2 分析方法

分析指标有土壤物理性质(土壤容重、含水量、总孔隙度、毛管和非毛管孔隙度等指标)与化学性质(pH 值、有效氮、有效磷、有效钾、有机质、交换性盐基含量等指标)。其中,土壤自然含水量采用酒精燃烧法,土壤容重、总孔隙度、毛管和非毛管孔隙度等采用环刀法,土壤 pH 值采用蒸馏水浸提(水土比 2.5:1)、电位法测定,有效氮采用碱解扩散法,有效磷采用 0.03 mol NH₄F-0.1 mol HCl 浸提-钼蓝比色法,有效钾采用 1 mol 乙酸铵浸提-火焰光度法,有机质采用高温外加热重铬酸钾氧化-容量法,交换性盐基含量(CEC)采用乙酸铵交换、乙醇清洗、氧化镁蒸馏法^[8]。

2.3 统计方法

用 Excel 2016 进行常规数据的统计以及作图。用 SPSS 19.0 对不同林型各土层土壤理化性质和土壤微生物量指标进行方差分析和多重比较,并对各指标间进行 Pearson 相关分析。以上统计分析显著性水平均设定为 $\alpha=0.05$ 。

3 结果分析

3.1 南昆山各层土壤物理性质差异

南昆山各层土壤物理性质见图 1。

由图 1 可知,南昆山地区土壤容重随土层深度增加而增加,土壤自然含水量、毛管孔隙度随土层深度增加而减少,非毛管孔隙度随土壤深度先减少后增加,在土壤深度达 30~60 cm 时非毛管孔隙度呈最低值。

3.2 南昆山各层土壤化学性质差异

南昆山各层土壤化学性质见图 2。

由图 2 可知,南昆山地区土壤深度和土壤化学性质具有明显相关性,其中 pH 随着土壤深度增加而增加,有效氮、有效磷、有效钾都随着土层深度增加而降低。

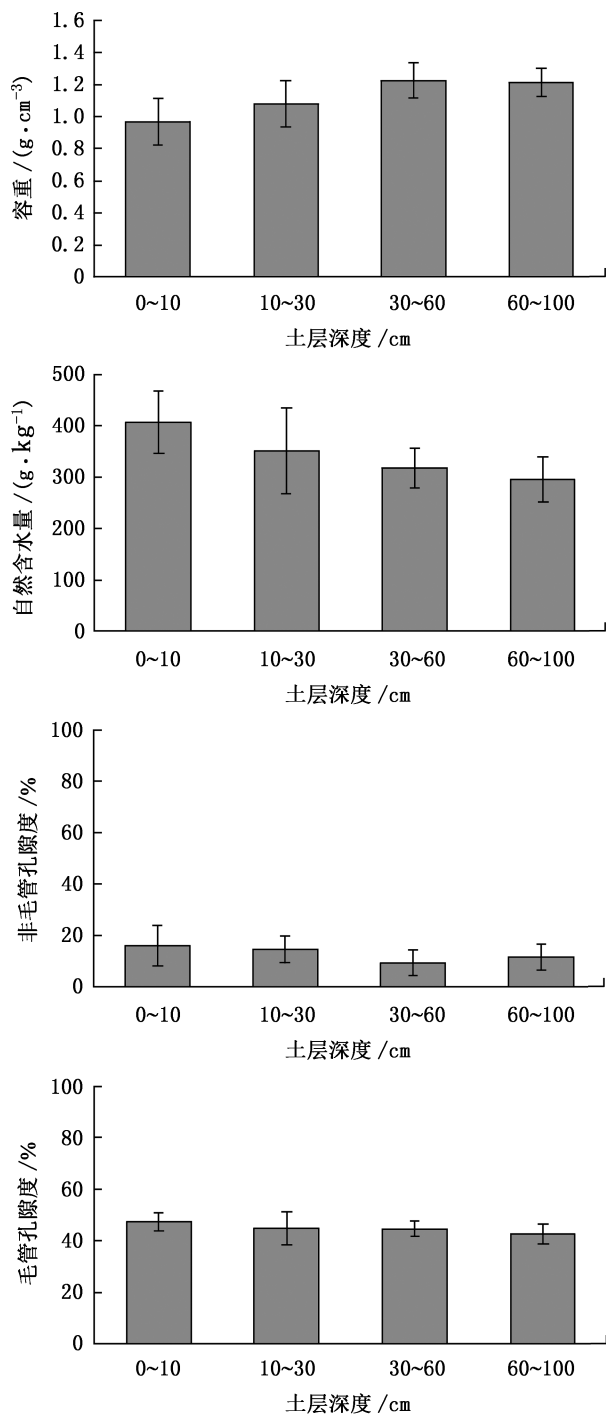


图 1 各层土壤物理性质分析

Fig. 1 Analysis of soil physical properties of each soil layer

3.3 南昆山各层土壤理化性质相关性分析

对南昆山常绿阔叶林下土壤物理及化学性质进行相关性分析,结果见表 1。

由表 1 可知:土壤容重与非毛管孔隙度、有效磷、交换性盐基呈极显著正相关,与土壤孔隙度、毛管孔隙度、自然含水量呈极显著负相关;土壤孔隙度

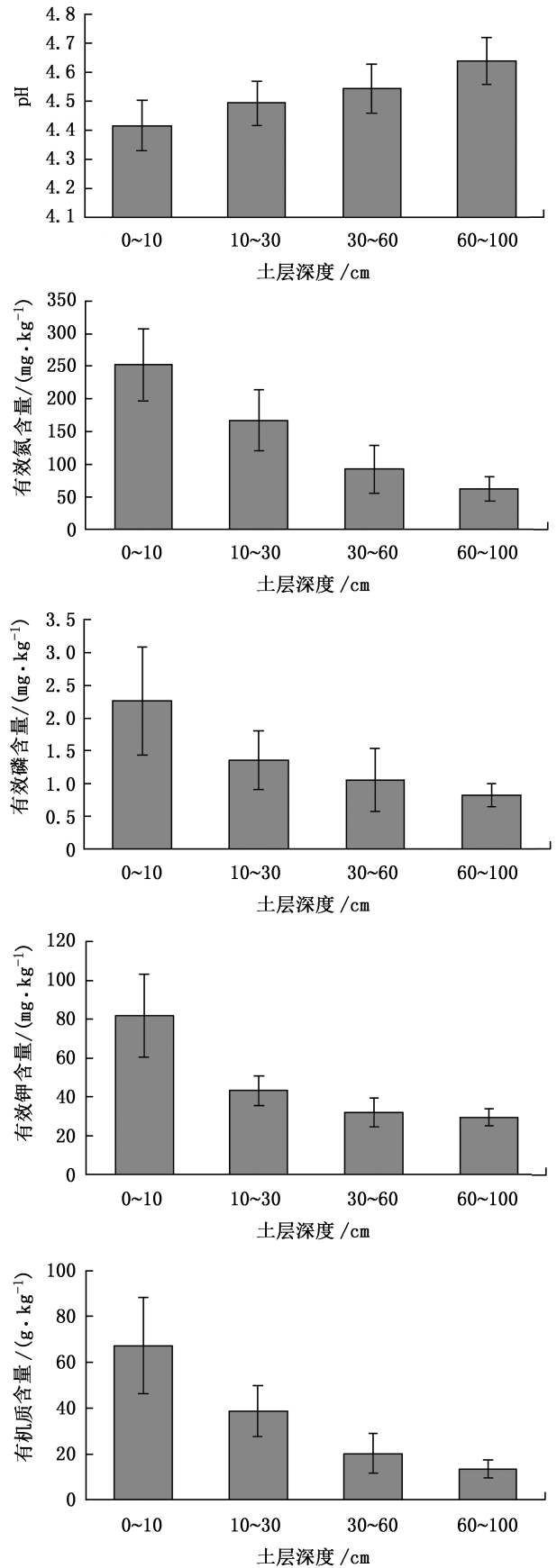


图 2 各层土壤化学性质分析

Fig. 2 Analysis of soil chemical properties of each soil layer

表 1 土壤指标间相关性分析
Tab. 1 Correlation analysis between soil indexes

指标	容重	土壤孔隙度	毛管孔隙度	非毛管孔隙度	自然含水量	pH	有效氮	有效磷	有效钾	有机质	交换性盐基
容重	1	-0.507 **	-0.456 **	0.651 **	-0.460 **	-0.242	-0.164	0.991 **	0.036	0.202	0.992 **
土壤孔隙度		1	0.878 **	0.067	0.892 **	0.797 **	0.617 **	-0.496 **	0.471 **	0.365 *	-0.502 **
毛管孔隙度			1	-0.216	0.902 **	0.816 **	0.554 **	-0.485 **	0.413 *	0.302	-0.484 **
非毛管孔隙度				1	-0.031	-0.015	0.261	0.690 **	0.373 *	0.502 **	0.682 **
自然含水量					1	0.605 **	0.751 **	-0.426 *	0.540 **	0.490 **	-0.442 **
pH 值						1	0.220	-0.306	0.202	0.072	-0.293
有效氮							1	-0.087	0.885 **	0.903 **	-0.111
有效磷								1	0.105	0.276	0.998 **
有效钾									1	0.935 **	0.100
有机质										1	0.269
交换性盐基											1

注：* 表示在 0.05 水平显著相关，** 表示在 0.01 水平显著相关。

与毛管孔隙度、自然含水量、pH、有效氮、有效钾呈极显著正相关,与有机质呈显著正相关,与有效磷、交换性盐基呈极显著负相关;毛管孔隙度与自然含水量、pH、有效氮呈极显著正相关,与有效钾呈显著正相关,与有效磷和交换性盐基呈极显著负相关;非毛管孔隙度与有效磷、有机质、交换性盐基呈极显著正相关,与有效钾呈显著正相关;自然含水量与

pH 值、有效氮、有效钾、有机质呈极显著正相关,与交换性盐基呈极显著负相关;有效氮与有效钾、有机质呈极显著正相关;有效磷与交换性盐基呈极显著正相关;有效钾与有机质呈极显著正相关。

3.4 南昆山样地土壤特征值

南昆山区省级自然保护区样地土壤特征值见表 2。

表 2 南昆山地区土壤特征值
Tab. 2 Soil characteristic value in Nankunshan area

土壤特征值	容重 /(g · cm ⁻³)	总孔隙度 /%	毛管孔隙度 /%	非毛管孔隙度 /%	自然含水量 /(g · kg ⁻¹)	pH	有效氮含量 /(mg · kg ⁻¹)	有效磷含量 /(mg · kg ⁻¹)	有效钾含量 /(mg · kg ⁻¹)	有机质含量 /(g · kg ⁻¹)	交换性盐基 /(cmol(H ⁺) · kg ⁻¹)
最小值	0.65	38.71	22.55	1.68	146.10	4.01	24.86	0.29	20.89	4.07	1.38
最大值	1.62	75.65	55.47	33.98	509.99	4.80	354.61	3.33	135.87	113.07	2.47

4 结论与讨论

地区不同,土壤类型、凋落物分解速率、植物根系发育情况、环境因子均会有所差异,导致土壤理化性质差异。对南昆山地区土壤理化性质进行测算分析可以了解该地区土壤特点,为森林经营提供参考基础。其中土壤容重与土壤孔隙度代表了土壤的紧实程度,通常土壤容重和土壤孔隙度呈负相关,这也和本文研究结果一致。土壤容重越大,土壤越紧实,土壤孔隙度越低,通气性越差,反之亦然。土壤 pH 代表了土壤的酸碱性。土壤氮、磷、钾含量代表了土

壤肥力,是否适宜植物生长。因有效氮、有效磷、有效钾相比全氮、全磷、全钾更能体现对植物生长的优势和养分供给能力,故本文测算土壤化学性质指标摒弃传统的全氮、磷、钾,采用有效氮、磷、钾来替代,对森林经营决策来说更有参考价值。总体上,广东省龙门县南昆山区省级自然保护区土壤物理性状良好,绝大部分土壤容重处于中等水平,土壤孔隙数量比较理想,毛管与非毛管孔隙比比较合理,土壤通气、保水能力比较协调,有利于降水的下渗、贮存和

(下转第 171 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.025

施肥对典型红壤区桉树人工林土壤理化性质的影响

游彩云

(江西环境工程职业学院,江西 赣州 341000)

摘要:桉树人工林短轮伐期经营对地力消耗严重,特别是在亚热带的红壤区极易造成水土流失。科学施肥能较好地改善桉树林的土壤养分状况,有利于土壤中养分的释放。通过不同的施肥试验,结果表明,各施肥处理土壤养分含量均高于对照组(CK),表明施肥能有效提高土壤肥力,其中以A2B1处理为最优。各样地土壤有机质、氨态氮、速效磷、速效钾含量总体上均随土层深度的增加而下降,且不同土层间均存在显著差异。相关性分析表明,各土壤理化指标间存在复杂的耦合关系。

关键词:施肥;桉树人工林;土壤养分;相关性分析;红壤区

中图分类号:S723.7;S792.39;S151.9 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0153-05

引文格式:游彩云.施肥对典型红壤区桉树人工林土壤理化性质的影响[J].林业调查规划,2022,47(2):153-157.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.025

YOU Caiyun. Effects of Fertilization on Soil Physical and Chemical Characteristics of *Eucalyptus robusta* Plantations in Typical Red Soil Area[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 153-157. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.025

Effects of Fertilization on Soil Physical and Chemical Characteristics of *Eucalyptus robusta* Plantations in Typical Red Soil Area

YOU Caiyun

(Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

Abstract: Short rotation of *Eucalyptus robusta* plantations causes serious soil nutrient consumption, especially in subtropical red soil area, which is easy to cause water loss and soil erosion. Scientific fertilization can improve the soil nutrient status of *Eucalyptus robusta* plantations, and is beneficial to soil nutrients release. Through different fertilization experiments, the results showed that the nutrient content of each fertilization treatment group was higher than that of the control group, which indicated that fertilization could effectively improve soil fertility, of which A2B1 treatment was the best. The contents of soil organic matter, ammonia nitrogen, available phosphorus and available potassium decreased with the increase of soil layer depth, and there were significant differences among different soil layers. The correlation analysis showed that there were complex coupling relationships among the soil physical and chemical indexes.

Key words: fertilization; *Eucalyptus robusta* plantations; soil nutrients; correlation analysis; red soil area

桉树(*Eucalyptus robusta*)是桃金娘科桉属植物的统称,天然分布于大洋州的澳大利亚大陆,少数树种原产印度尼西亚的帝汶岛等岛屿和巴布亚新几内

亚^[1]。由于桉树的速生丰产,在我国亚热带及温带地区具有很强的适应性,现已发展成为这些地区短周期工业用材林的首选树种,并且正逐步向北推

收稿日期:2021-03-15.

第一作者:游彩云(1974-),女,江西高安人,硕士,讲师.从事森林经理等方面的教学与研究工作. Email:kexueyuandi2010@163.com

移^[2]。桉树产业发展主要注重其生态价值和经济价值,随着我国森林资源从天然林利用转向人工林利用为主,桉树作为重要的人工速生林树种获得了快速的发展^[3]。但是近年来,桉树的引种栽培也出现了许多不同观点,很多学者认为桉树是外来树种,会对本土生态环境造成一定危害,引发诸如生物多样性减少、地下水位下降、地力衰退等问题^[4-5]。针对以上问题,对江西省赣南市集约经营桉树人工林开展了土壤养分特性、生物特性、林分生长、生物多样性等调查研究。旨在深入了解科学施肥在桉树林土壤肥力调节中的作用,为制定桉树人工林科学集约经营措施和合理的土壤培肥制度,促进土壤良性循环和桉树人工林的高产、高效维护提供科学依据。

1 研究区概况

试验地设在江西省赣州市,地理坐标为 114°49'~115°00' E、25°47'~25°49' N。研究区属季风湿润型气候,海拔为 160~210 m,坡向为阳坡、半阳坡、阴坡、半阴坡或全坡,坡度小于 30°。年均温为 19.8℃,极端最低温-6℃,无霜期 287~300 d,年均日照时数 1 823 h,年降雨量 1 392~2 169 mm,且降雨量多集中在 4—6 月。土壤以红壤为主,也有少数紫色土,土壤肥力偏低。桉树人工林种植前为采伐迹地,灌木较少,多为零星或丛状分布。

2 试验方法

试验采用随机区组设计(表 1)。本试验设 3 个处理,每个处理 3 个重复(A1B1、A1B2、A1B3、A2B1、A2B2、A2B3、A3B1、A3B2、A3B3),1 个对照(CK)。从 2015 年开始,连续施肥 4 年,9 个小区第 1 年施肥共两次,以后每年施肥一次,即每年的 4—5 月。第 1 年的 6 月、9 月分别抚育施肥一次,基肥、追肥施用量均按试验设计要求施用;第 2 年的 6 月按试验设计每株抚育追肥 0.15 kg;第 3 年的 4 月每株施追肥 0.25 kg;第 4 年的 7 月每株施追肥 0.5 kg。对照区是在 2015 年造林(实生苗),在造林的当年施鸡粪 0.5 kg,此后再未施过肥,而且也未进行经营管理。基肥肥料配比为氮(N):磷(P₂O₅):钾(K₂O)=6:16:8(%),加锌(ZnO)0.05%、硼(B₂O₃)0.2%;追肥肥料配比为氮(N):磷(P₂O₅):钾(K₂O)=16:12:12(%),加锌(ZnO)0.05%、硼(B₂O₃)0.1%,基肥、追肥为 N、P、K 复合肥和微量元素 B、锌肥。

表 1 试验林地肥料类型及肥料用量

Tab. 1 Types and amounts of fertilizer used in experimental forest land

序号	处理 编号	成分含量/kg					
		A1	A2	A3	B1	B2	B3
1	A1B1	0.25	0	0	0	0	0
2	A1B2	0.25	0	0	0	0.15	0
3	A1B3	0.25	0	0	0	0	0.25
4	A2B1	0	0.50	0	0.25	0	0
5	A2B2	0	0.50	0	0	0.15	0
6	A2B3	0	0.50	0	0	0	0
7	A3B1	0	0	0.75	0	0	0
8	A3B2	0	0	0.75	0	0.15	0
9	A3B3	0	0	0.75	0	0	0.25
10(CK)	A5B1	0	0	0	0	0	0

注:肥料施用量为每年每株的千克数,A5 以有机肥鸡粪类为主。

为保证本试验土壤样品采集的代表性,在所调查的 9 个小区和 1 个对照区中用取土器在每块标准地中取土,取样方法为多点混合取样法,每块样地的采样点不少于 20 个。为了科学评价桉树林地的土壤养分状况,分 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 三层取样,每个样地取土 1 000~1 500 g 装入土壤袋中混合均匀,并在土壤袋、记录本上做好取样记录。在实验室风干后过 1 mm 筛,取约 500 g 干土壤样品用于土壤理化指标的测定。

3 结果与分析

3.1 施肥对土壤 pH 的影响

桉树林土壤由于酸性偏大,降低了养分的有效性,从而破坏了土壤溶液的生理平衡,影响林木的生长。因此,桉树林土壤改良必须提高 pH,促进养分的供应和吸收,才能有效提高土壤的肥力水平。通过分析可知,各施肥处理土壤 pH 平均值在 3.71~4.43,其中以对照(CK)最高,平均值为 4.52,高于其他施肥处理,是 A2B2 处理的 1.17 倍。说明施鸡粪对其土壤的酸碱化程度有很大影响。方差分析显示,各施肥处理与同一施肥处理各土层间土壤 pH 均存在极显著差异($P<0.01$)。

3.2 施肥对土壤有机质含量的影响

不同施肥处理土壤有机质含量测定结果见图 1。

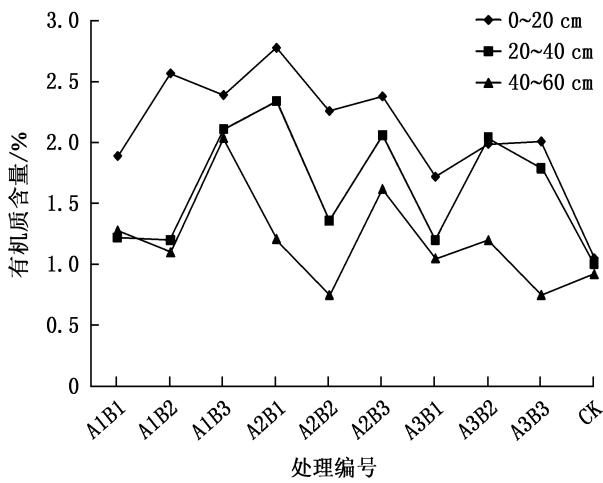


图 1 不同施肥处理各土层有机质含量变化

Fig. 1 Soil organic matter content variation in different soil layers under different fertilization treatments

由图 1 可知,各处理土壤有机质的含量总体规律为:0~20 cm>20~40 cm、20~40 cm>40~60 cm,并且每两个土层间存在较大的差异。A2B1 处理在 0~20 cm 土层有机质含量为 2.78%,而 40~60 cm 土层有机质含量仅为 1.21%,上层含量是下层的 2.31 倍。对照的土壤有机质含量在上层、下层均值分别为 1.05%、0.92%,均低于各施肥处理,说明施肥增加了桉树林地土壤有机质含量,其中以 A2B1 处理增量最大,这是因为肥料的施入使得在有机质综合分解过程中起作用的微生物种类和数量发生了变化。方差分析显示,各施肥处理与同一施肥处理各土层间土壤有机质含量均存在显著差异($P<0.05$)。

3.3 施肥对土壤氨态氮含量的影响

不同施肥处理土壤氨态氮含量测定结果见图 2。

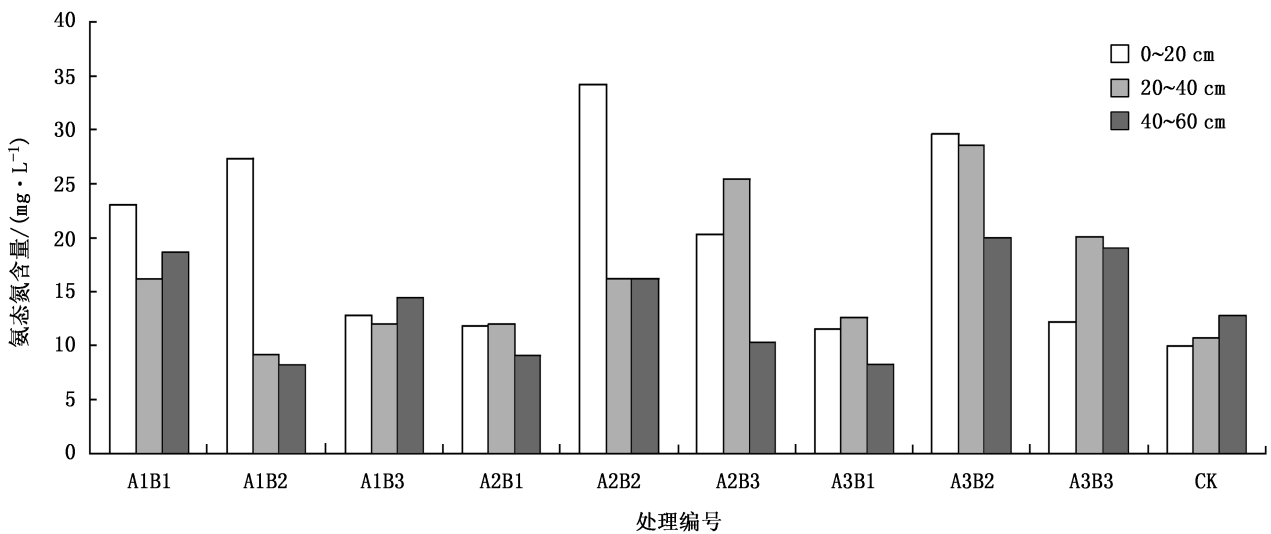


图 2 不同施肥处理各土层氨态氮含量变化

Fig. 2 Ammonia nitrogen content variation in different soil layers under different fertilization treatments

由图 2 可知,不同施肥处理土壤氨态氮含量均值在 10.77~26.06 mg/L,其中以 A3B2 处理含量最高,平均为 26.06 mg/L; A1B1 处理次之,平均为 19.33 mg/L;而 CK 基本低于各施肥处理,平均为 11.16 mg/L。不同处理土壤氨态氮含量高低依次为:A3B2>A1B1>A2B3>A3B3>A1B2>A1B3>CK,说明 A3B2、A1B1、A2B3、A3B3、A1B2、A1B3 处理能供应较多的土壤氨态氮,利于植物生长。方差分析表明,不同施肥处理与同一施肥处理各土层间土壤氨态氮含量均存在极显著差异($P<0.01$)。

3.4 施肥对土壤速效磷含量的影响

不同施肥处理土壤速效磷含量测定结果见图 3。

由图 3 可知,不同施肥处理土壤速效磷含量总体上呈随土层深度增加逐渐减少的趋势。不同施肥处理中,A2B1 处理速效磷含量最低,为 3.20 mg/L;其次是 A3B3 处理,为 3.60 mg/L;而 A1B2 处理速效磷含量最高,为 12.90 mg/L。施肥处理样地速效磷含量均值为 5.41 mg/L,明显高于 CK 的 2.29 mg/L,可见对于土壤严重缺磷的桉树林,施肥能有效改善土壤磷素养分的供应能力。方差分析显示,同一施肥处理各土层间土壤速效磷含量存在极显著差异($P<0.01$),各施肥处理间存在显著差异($P<0.05$)。

3.5 施肥对土壤速效钾含量的影响

不同施肥处理土壤速效钾含量测定结果见图 4。

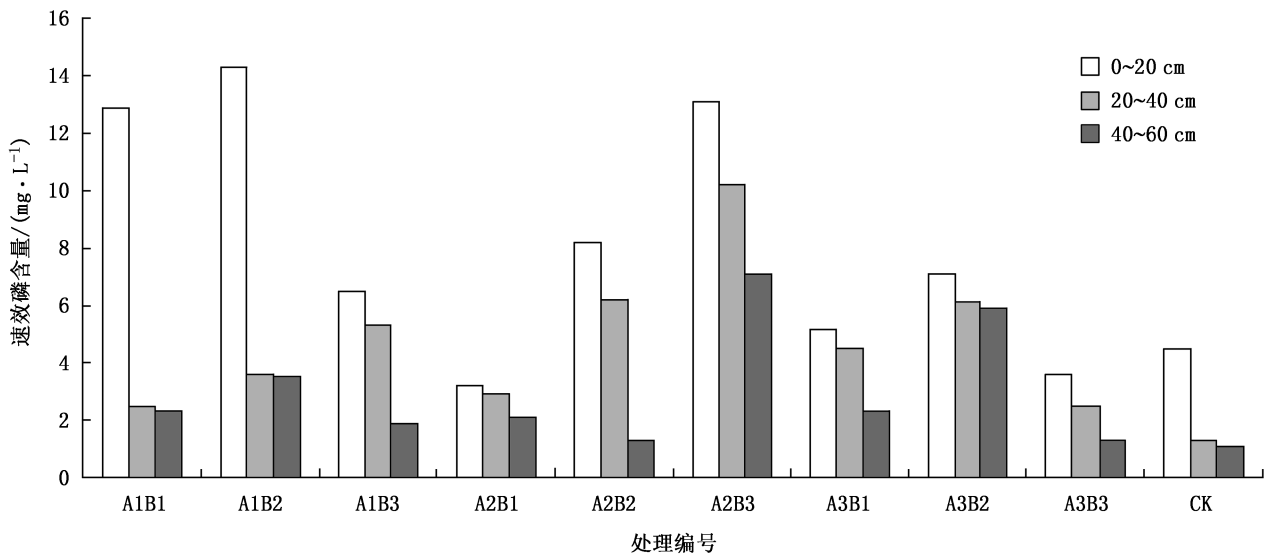


图 3 不同施肥处理各土层速效磷含量变化

Fig. 3 Available phosphorus content variation in different soil layers under different fertilization treatments

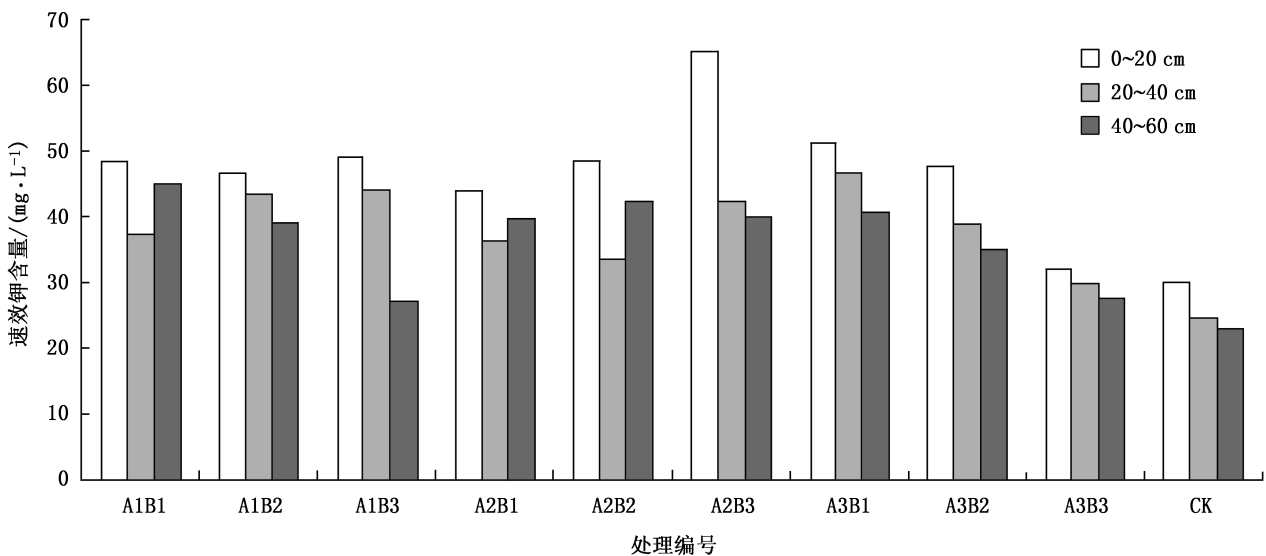


图 4 不同施肥处理各土层速效钾含量变化

Fig. 4 Available potassium content variation in different soil layers under different fertilization treatments

由图 4 可知,不同施肥处理土壤速效钾含量高低依次为:A2B3>A3B1>A1B3>A2B2>A1B1>A3B2>A1B2>A2B1>A3B3>CK。施肥处理样地速效钾含量均值为 41.58 mg/L,高于 CK 的 25.90 mg/L,可见磷钾肥的配施有利于速效钾的积累。不同施肥处理中,A3B3 处理由于缺施钾肥,其速效钾含量最低,为 32.10 mg/L,仅是 A2B3 处理的 49.20%。随着土层深度的逐渐加深,土壤速效钾含量逐渐降低。方差分析显示,同一施肥处理各土层间土壤速效钾含量存在极显著差异($P<0.01$),各施肥处理间存在显著差异($P<0.05$)。

3.6 土壤理化性质指标间的相关性分析

为了掌握施肥措施对桉树人工林土壤理化指标的影响,对土壤 pH、有机质含量、氨态氮含量、速效磷含量、速效钾含量进行相关性分析(表 2)。

对 pH 的相关分析表明,土壤 pH 的高低与土壤有机质、氨态氮、速效磷、速效钾含量间呈显著负相关,说明桉树林施肥后,林地土壤有机质、氨态氮、速效磷、速效钾含量上升,pH 有所下降。而 pH 的降低,不利于土壤微生物的活动,从而降低了土壤速效养分含量,这对林木生长极为不利。对土壤有机质含量的相关分析表明,土壤有机质含量与其他土壤

表 2 桉树人工林地土壤理化性质各因子间的相关性分析
Tab. 2 Correlation analysis of soil physical and chemical properties of *Eucalyptus robusta* plantations

土壤理化指标	pH	有机质含量	铵态氮含量	速效磷含量	速效钾含量
pH	1.00				
有机质含量	-0.64 *	1.00			
铵态氮含量	-0.35 **	0.36 **	1.00		
速效磷含量	-0.54 *	0.65 *	0.33 **	1.00	
速效钾含量	-0.21 *	0.12 *	0.05 **	0.42 **	1.00

注: * 表示存在显著关系, ** 表示存在极显著关系。

理化性质间均达到极显著相关,说明有机质含量能很好地表征土壤肥力,反映土壤肥力水平。对土壤氨态氮相关分析表明,土壤氨态氮含量与速效磷含量间呈极显著相关,可见土壤速效磷含量影响氨态氮含量,磷钾肥的配施可提高土壤氨态氮含量。对土壤速效钾含量的相关分析表明,土壤速效钾含量与 pH 间呈极显著相关,与土壤有机质和速效磷含量间呈显著相关。

4 结论

对不同施肥处理桉树林的土壤理化性质分析表明,施肥能有效改善土壤养分状况。施肥处理土壤 pH 随着土层深度的加深而降低,并且施肥处理各土层土壤 pH 均高于 CK。各样地土壤有机质、氨态氮、速效磷、速效钾含量总体上均随着土层深度的加深而下降,且不同土层间均存在显著差异。施肥处理样地土壤有机质、氨态氮、速效磷、速效钾含量均高于 CK,其中土壤速效磷和速效钾含量差异显著,有机质和氨态氮含量存在极显著差异。桉树林地各土壤养分指标在土层中的分布规律较为相似。总体上,pH、有机质、氨态氮、速效磷、速效钾等养分元素

含量均随着土层深度的加深而下降。桉树在施肥与不施肥情况下生长差异十分显著,不同的肥料养分含量和施肥量其生长差异也很显著,经过分析发现以 A2B1 处理为最优。桉树林在选用肥料时,首先应考虑肥料的总养分含量和肥料配比,其次为肥料的使用量,最后考虑其颗粒形态。在试验林地土壤施肥均具有显著的增产效果,且应重视 K、P 的施入^[6]。通过科学合理的施肥,能在一定程度上缓解土壤肥力下降的速度,促进土壤可持续发展,但多施肥也会造成浪费^[7]。综合分析认为,科学施肥明显改善桉树林地土壤的理化性质,今后林地施肥将向着改良土壤理化性质、提高土壤肥力方向发展。

参考文献:

- [1] 黄日胜. 施肥模式对桉树人工林生长的影响[J]. 防护林科技, 2020(5): 28-29.
- [2] 陈凯, 刘奎, 杨梅. 桉树人工林施肥技术研究进展[J]. 宁夏农林科技, 2018, 59(6): 26-28.
- [3] 林清锦. 闽南桉树人工林土壤养分现状与配方施肥效果[J]. 福建林业科技, 2020, 47(1): 22-25.
- [4] 何深德. 桉树新型肥料品种施肥肥效试验的必要性及结果[J]. 江西农业, 2019(24): 117.
- [5] 梅嘉仪, 莫晓勇. 雷州半岛短轮伐期桉树人工林施肥技术合理性分析[J]. 林业与环境科学, 2018, 34(5): 65-70.
- [6] 谭宏伟, 杨尚东, 刘永贤, 等. 基于桉树矿质营养吸收特性的平衡施肥模式[J]. 南方农业学报, 2015, 46(8): 1391-1395.
- [7] 李宝福, 俞元春, 林志鹏, 等. 桉树幼林施肥的养分间交互效应及合理施肥方案研究[J]. 中国土壤与肥料, 2011(4): 38-44.

责任编辑: 陈旭

校 对: 许春霞 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.026

德宏州中小生物多样性保护意识差异研究

郭 艺¹, 李 旭¹, 赵新建², 朱边勇³, 唐甜甜¹

(1. 云南省高校极小种群野生动物保育重点实验室/西南林业大学云南生物多样性研究院, 云南 昆明 650224;
2. 德宏州环境保护局, 云南 潞西 678400; 3. 德宏团结报社, 云南 潞西 678400)

摘要:德宏州生物多样性保护的重要性在云南省具有不可替代的地位。从认知和意愿两方面对德宏州中小生物生物多样性保护意识展开调查。结果表明, 问卷有效率总体偏低(46.5%), 其中, 小学的问卷有效率高于初中和高中, 得分也相对初中和高中要高, 但总体得分不存在显著差异; 德宏州中小生物生物多样性相关知识匮乏, 仅限于对生物多样性的表面认识, 且不同年级、不同年龄对生物多样性的认知无差异; 绝大部分学生未接触过生物多样性宣传活动, 但都希望通过电视节目(63%)、书籍(58%)、体验活动(48%)和微信(46%)等途径接受生物多样性科普知识, 对保护生物多样性表现出较高的参与性与求知欲。

关键词:生物多样性; 保护意识; 科普宣教; 认知差异; 德宏州中小学

中图分类号: S718; Q16; S76 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2022)02-0158-08

引文格式: 郭艺, 李旭, 赵新建, 等. 德宏州中小生物生物多样性保护意识差异研究[J]. 林业调查规划, 2022, 47(2): 158-165. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.026

GUO Yi, LI Xu, ZHAO Xinjian, et al. Differences of Biodiversity Conservation Consciousness in Primary and Middle Schools in Dehong[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 158-165. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.026

Differences of Biodiversity Conservation Consciousness in Primary and Middle Schools in Dehong

GUO Yi¹, LI Xu¹, ZHAO Xinjian², ZHU Bianyong³, TANG Tiantian¹

(1. Key Laboratory for Conserving Wildlife with Small Populations in Universities of Yunnan Province/Yunnan Academy of Biodiversity, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Dehong Environment Protection Bureau, Luxi, Yunnan 678400, China; 3. Dehong Tuanjie Newspaper Agency, Luxi, Yunnan 678400, China)

Abstract: The conservation of biodiversity in Dehong has an irreplaceable position in Yunnan Province. This paper investigated the biodiversity conservation consciousness of primary and middle school students in Dehong from two aspects of cognition and willingness. The results showed that the overall effective rate of questionnaire was low (46.5%), the effective rate and score of primary school was higher than that of middle school and high school, but there was no significant difference in the whole; the knowledge of biodiversity of primary and middle school students in Dehong was deficient, which was limited to superfi-

收稿日期: 2021-03-18.

基金项目: 云南省研发经费投入补助项目(2016YB462, 2017YB236); 云南省省级环保专项资金项目(NO. 2166075); 云南省重点学科野生动植物保护与利用(XKZ200904); 云南省林学一流学科建设项目(51600625).

第一作者: 郭艺(1994-), 女, 陕西渭南人, 硕士研究生. 研究方向为农业系统生物多样性. Email: 943928286@qq.com

责任作者: 唐甜甜(1980-), 女, 广西北海人, 硕士, 讲师. 研究方向为生物多样性公众教育. Email: tangt2007@126.com

cial cognition, and there was no difference between students with different degrees; the vast majority of students had not been exposed to biodiversity awareness activities and wished to use television programs (63%), books (58%), experience activities (48%) and WeChat (46%) to receive scientific knowledge of biodiversity, and students demonstrated a high level of participation and curiosity in protecting biodiversity.

Key words: biodiversity; conservation consciousness; science popularization and education; cognitive differences; primary and middle schools in Dehong

德宏州位于云南省西部,其特殊的地理特征与气候条件形成了丰富的物种资源,素有“基因库”、“植物王国”、“西南粮仓”之称,是西南生态安全保障重要组成^[1]。德宏州物种总数超过云南省的 1/3,已知脊椎动物 1 157 种,昆虫动物 486 种,高等植物有 6 032 种(含变种、亚种和变型),高等栽培植物(指露地栽培者,不包括温室种类)618 种,国家级保护动植物 390 种,约有 100 余种地区特有植物^[2]。德宏州生物多样性保护的重要性在云南省具有不可替代的地位。

科普宣教是提高公众生物多样性保护意识的至关重要手段,其通过丰富的内容、多样化的形式,以满足不同年龄层、不同兴趣爱好和能力的公众学习需求^[3]。中小学生在世界观、人生观、价值观的萌芽期,是各种习惯、观念、思想养成和培养的重要阶段^[4-5]。针对中小开展科普活动,有利于大幅提升学生对生物多样性的认识,甚至可以引起学生对某些问题的重视^[6]。德宏州拥有特殊的地形地貌、复杂的气候环境及丰富的物种,但遇到自然灾害或人为破坏时,一些物种很容易陷入濒危境地甚至灭绝^[2]。因此,为进一步了解及构建德宏州当地民众生物多样性保护的意识结构,该研究采取问卷形式针对德宏州中小开展生物多样性的认知程度和保护意识调查,为后续开展德宏州生物多样性的科普宣传活动提供依据。

1 材料与方 法

1.1 问卷设计

采用问卷调查法开展德宏州中小学学生生物多样性保护意识及受教育意愿调查。根据问卷设计的客观性、必要性、自愿、简洁、递进、非导向性和群体性等原则^[7],设计了一份 17 道题的封闭式问卷(表 1)。

如表 1 所示,1、2 题为个人属性问题,包括性别和学历;第 3 题辨别问卷是否可继续进行。4~13 题用于测试被调查者对生物多样性的认知程度,每题

表 1 德宏州生物多样性保护公众调查问卷及赋分

Tab. 1 Questionnaire and score of biodiversity conservation in Dehong

题号	题目	选项	赋分	备注
1	性别	男 女		单选
2	年级	高中 初中 小学		单选
3	你是否愿意参与本次调查?并承诺以下信息认真填写	愿意 不愿意		单选
4	你认为保护生物多样性重要吗?	重要 不重要 不知道	10 0 0	单选
5	你认为生物多样性与你的生活息息相关吗?	相关 不相关 不知道	10 0 0	单选
6	你认为德宏州是生物多样性丰富的地区吗?	是 不是 不知道	10 0 0	单选
7	你认为生物多样性是?	很多的动物 很多的植物 很多生物 所有生物和非生物	2.5 2.5 2.5 2.5	多选
8	你认为生物多样性具有哪些重要价值?	生态价值 科研价值 经济价值 其他价值	2.5 2.5 2.5 2.5	多选
9	你知道以下哪一个是德宏州的自然保护区吗?	铜壁关省级自然保护区 瑞丽江流域国家级自然保护区 盈江流域省级自然保护区 芒市国家级自然保护区	10 0 0 0	单选

续表 1

题号	题目	选项	赋分	备注
10	你知道德宏州境内的珍稀濒危植物吗?	芎翅藤	0.7	多选
		滇藏榄	0.7	
		箭根薯	0.7	
		云南七叶树	0.7	
		银杏	0.7	
		水杉	0.7	
		南方红豆杉	0.7	
11	你知道德宏州境内的珍稀濒危动物吗?	东白眉长臂猴	2	多选
		黑颈鹤	2	
		蜂猴	2	
		双角犀鸟	2	
		云豹	2	
12	你认为德宏州生物多样性保护面临着哪些威胁?	资源过度利用	0.6	多选
		封山育林(无分)	0	
		各种自然灾害	0.6	
		工矿建设,城市建设	0.6	
		农林建设,缺乏生物多样性保护意识	0.6	
		政策缺失或不当,法律不健全、机构间缺少协调与配合	0.6	
		可持续发展战略的实施	0.6	
13	如果有机会,你会采取以下哪些行动来保护生物多样性?	认识生物多样性的价值,努力做到对生物多样性的保护	1	多选
		不吃、不买野生濒危动植物制品,不杀野生动物	1	
		不从境外随意携带外来物种	1	
		尽量做到可持续利用和消费	1	
		减少使用杀虫剂、除草剂等	1	
		不随意倾倒油漆、汽油、废旧电池等	1	
		减少使用一次性生活用品	1	
		低碳出行,减少污染对生物多样性的影响	1	
		保护传统的知识和土著社区、地方社区的社会文化多样性	1	
		其他方式	1	
14	在你周围是否有生物多样性保护的相关宣传?	有		单选
		没有		
15	你愿意通过哪些渠道了解生物多样性保护知识?	微信		多选
		网站		
		电视节目		

续表 1

题号	题目	选项	赋分	备注
16	你希望获得哪些方面的生物多样性知识?	宣传折页		多选
		宣传牌		
		电影		
		书籍		
		专家讲座		
		体验活动		
17	你是否参与过生物多样性保护的相关活动?	是		单选
		否		

10分,共计100分;其中4~6题为认知基础题,7~13题为认知深度题。14~17题用于了解被调查者希望接受的科普宣教形式,为后续科普宣教活动方案设计提供依据。

1.2 数据收集

德宏州现有2市3县,其中瑞丽市有高中2所,初中6所,小学13所;芒市有高中2所,初中14所,小学16所;陇川县有高中1所,初中10所,小学11所;梁河县有高中2所,初中2所,小学10所;盈江县有高中4所,初中15所,小学15所。基于德宏州中小学校的分布情况,以分层抽样原则选取31所学校开展生物多样性保护意识调查^[8],抽样率达20%;每所学校发放问卷200份,共计发放6200份(表2);问卷在班级统一发放填写并收回。鉴于小学生普遍对问题理解有一定难度,因此小学生的问卷填写是在工作人员的讲解和图册指引下完成。

1.3 数据分析

所有问卷得分实际是基于满分100分的百分数型数据,经Kolmogorov Smirnov Z-检验^[9],双侧显著性取值 $P < 0.001$,即问卷得分整体不服从正态分布,服从poisson分布。因此,对分值作反正弦函数转换为角度型因子,以提高数据的正态性^[10-12]。按小学、初中、高中对问卷分组,对总分做单因素方差分析,检验不同年龄组对生物多样性的认识是否存在差异;对单项问题得分做主成分分析^[10,13,14],研究哪些生物多样性问题在德宏州中小学存在明显的认知

表 2 德宏州生物多样性保护意识调查问卷发放情况

Tab. 2 Distribution of biodiversity conservation consciousness questionnaire in Dehong

市县	高中	初中	小学
瑞丽市	瑞丽市畹町镇 畹町中学	瑞丽市畹町镇 畹町中学	瑞丽市畹町镇 畹町小学
		瑞丽市 第一民族中学	瑞丽市 民族小学
			瑞丽市 四海英才小学
芒市	德宏州民族 第一中学	潞西市 芒市中学	潞西市 芒市第四小学
		潞西市 中山中学	潞西市 芒市第三小学
		潞西市 勐嘎中学	潞西市 芒市民族小学
陇川县	陇川县 第一中学	陇川县 第一中学	陇川县 第一小学
		陇川县 第二中学	陇川县 第二小学
			陇川县 民族小学
梁河县	梁河县 第一中学	梁河县 第一中学	梁河县勐养镇 中心小学
		梁河县 河西中学	梁河县芒东镇 中心小学
盈江县	盈江县 第一中学	盈江县 第一中学	盈江支那 中心小学
		盈江县 民族中学	盈江太平乡 中心小学
		旧城中学	盈江铜壁关 中心小学
总数/所	5	12	14
总问卷/份	1000	2400	2800
问卷合计/份		6200	

差异。主成分分析采用 SPSS 19.0 for Windows 完成,使用因子分析中的默认设置对数据标准化^[15],选择协方差矩阵和 Varimax 正交旋转法协助因子分析^[16-18]。图像处理采用 Sigma Plot 12.0 完成。

2 结果与分析

2.1 问卷发放及得分差异

共发放问卷 6 200 份,其中有效问卷 2 884 份,有效率仅为 46.5%。无效问卷 3 316 份,其中空白问卷占问卷总数的 22.1%,答案较均一的不认真答

案占问卷总数的 18.8%,第 3 题不愿接受调查的问卷占问卷总数的 12.6%。

5 所高中共发放问卷 1 000 份,收回有效问卷 323 份,有效率为 32.3%;初中 12 所,共发放问卷 2 400 份,收回有效问卷 742 份,有效率为 30.9%;小学 14 所,共发放问卷 2 800 份,收回有效问卷 1 819 份,有效率为 65.0%。问卷赋分最高分 85.33,最低分 11.26,小学得分总体相对初中和高中要高(表 3,表 4)。

表 3 德宏州生物多样性保护意识调查问卷回收及赋分统计

Tab. 3 Questionnaire collection and scores of biodiversity conservation consciousness in Dehong

	总问卷 /份	有效问 卷/份	有效率 /%	max	min	mean	SD
高中	1000	323	32.3	77.95	13.02	47.07	10.27
初中	2400	742	30.9	77.14	11.26	47.37	9.89
小学	2800	1819	65.0	85.33	17.69	47.72	10.09
总体	6200	2884	46.5	85.33	11.26	47.55	10.05

表 4 德宏州生物多样性保护意识调查问卷赋分题得分率

Tab. 4 Scoring rate of biodiversity conservation consciousness questionnaire in Dehong

题目	得分率/%
生物多样性重要与否?	81
生物多样性与生活相关吗?	74
德宏州生物多样性丰富与否?	2
生物多样性是什么?	42
生物多样性价值?	50
德宏州自然保护区?	30
德宏州珍稀濒危植物?	35
德宏州珍稀濒危动物?	44
德宏州生物多样性威胁?	46
保护生物多样性的行动?	58

小学、初中、高中学生问卷得分在总体上不存在显著性差异($df = 2, P = 0.455$);初中组平均得分 47.37,与小学组 47.72 分($P = 0.372$)和高中组 47.07 分($P = 0.667$)不存在显著差异;小学组与高中组总体得分无显著差异($P = 0.289$)(表 3)。

2.2 认知差异

对所有问卷赋分结果作主成份分析,累积至第

8 个主成份,贡献率达 91.64%,说明赋分题中呈主导型的主成份不明显,不能集中地反映问卷的得分情况,因此,在分析过程中列写了所有的 10 个主成份(表 4); $\text{Sig.} = 0.000 < 0.0$,表明数据间有明显的相关性(表 5)。其中贡献率最高的为 PC7,负荷值最高的问题是“德宏的自然保护区是哪一个”,为对

错题;其次是 PC4,负荷值最高的问题是“生物多样性与生活是否相关”,为是非判断题;第三位是 PC3,负荷值最高的问题是“生物多样性重要与否”,亦是非判断题。将这 3 个负荷值做分值散点图,基于 PC7 的二元属性结果数据分成 2 组,结合 PC4 和 PC3 的二元属性结果,数据明显地分为 8 组(图 1(a))。

表 5 德宏州生物多样性保护意识调查得分主成分分子负荷
Tab. 5 Principal components extracted from biodiversity conservation consciousness questionnaire score in Dehong

指标	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
生物多样性重要与否	-0.003	-0.019	0.999	0.011	0.006	0.002	-0.001	0.046	-0.005	0.013
生物多样性与生活相关吗	0.016	0.018	0.011	0.999	0.011	0.007	0.002	0.029	0.012	0.009
德宏州生物多样性丰富与否	-0.022	-0.032	0.046	0.029	-0.025	-0.030	0.007	0.996	-0.036	-0.023
生物多样性是什么	0.029	0.997	-0.019	0.018	0.019	0.026	-0.002	-0.032	0.035	0.024
生物多样性价值	0.996	0.029	-0.003	0.016	0.030	0.007	0.001	-0.022	0.054	0.043
德宏州自然保护区	0.001	-0.002	-0.001	0.002	0.005	-0.001	1.000	0.007	-0.001	-0.006
德宏州珍稀濒危植物	0.030	0.019	0.006	0.011	0.995	0.062	0.005	-0.025	0.032	0.053
德宏州珍稀濒危动物	0.007	0.026	0.002	0.007	0.062	0.995	-0.001	-0.030	0.037	0.055
德宏州生物多样性威胁	0.043	0.024	0.013	0.009	0.053	0.056	-0.006	-0.023	0.057	0.994
保护生物多样性的行动	0.055	0.036	-0.005	0.012	0.032	0.037	-0.001	-0.036	0.994	0.057
贡献率/%	5.75	8.05	20.03	21.71	3.63	5.92	23.85	2.66	3.69	4.70
累积贡献率/%	5.75	13.80	33.84	55.55	59.18	65.10	88.95	91.61	95.30	100.00

剔除 PC7,取 PC4、PC3 和 PC2(主成份贡献率排第 4 位,负荷值最高的问题为“生物多样性是什么”),基于 PC4 和 PC3 的二元属性结果,结合 PC2 的连续分布,分值散点呈 4 组柱状排列(图 1(b))。进一步取 PC3、PC2 和 PC6(主成份贡献率排第 5 位同,负荷值最高的问题是“德宏州的珍稀濒危动物是什么”),基于 PC3 的二元属性结果和 PC2 的连续分布,结合 PC6 的二元属性结果,分值散点形成了 2 个面状排列(图 1(c))。

再进一步剔除 PC3,取 PC2、PC6 和 PC1(主成份贡献率排第 6 位,负荷值最高的问题为“生物多样性价值”),分值散点呈现散乱分布,无规律性(图 1(d))。

2.3 接受科普的意愿

基于调查结果,79%的中小學生未接触过与生物多样性相关的宣传活动。对于通过什么渠道了解生物多样性问题,被调查者更倾向于通过电视节目(63%)、书籍(58%)、体验活动(48%)、微信(46%)接受生物多样性的科普信息,仅有 31%、32%、33%

及 39%的学生分别选择通过宣传折页、专家讲座、电影及网站接受生物多样性的科普知识。对生物多样性知识的关注,85%的学生希望成为一名生物多样性宣传志愿者,69%的学生想要了解珍稀濒危动植物,67%和 60%的学生分别希望了解生物多样性的重要性和保护知识,而仅有 34%的学生希望了解生物多样性保护组织的相关知识(表 6)。

3 结论与讨论

3.1 问卷有效性

小学生对问卷的填写认真程度明显高于中学生。从问卷有效率来看,小学的有效率明显高于初中和高中。小学生的自觉性较中学生低,且对问卷的认知能力亦较低,在教师辅助下完成问卷填写,因此小学生在问卷填写过程中的认真程度高于中学生。总体有效率仅 46.5%,无效问卷过多的原因在于学生对本次调查工作未树立正确的认识,大部分学生认为不重要且表现出应付的态度;也存在“大帮哄”式的填写行为。中国应试教育分为课内与课

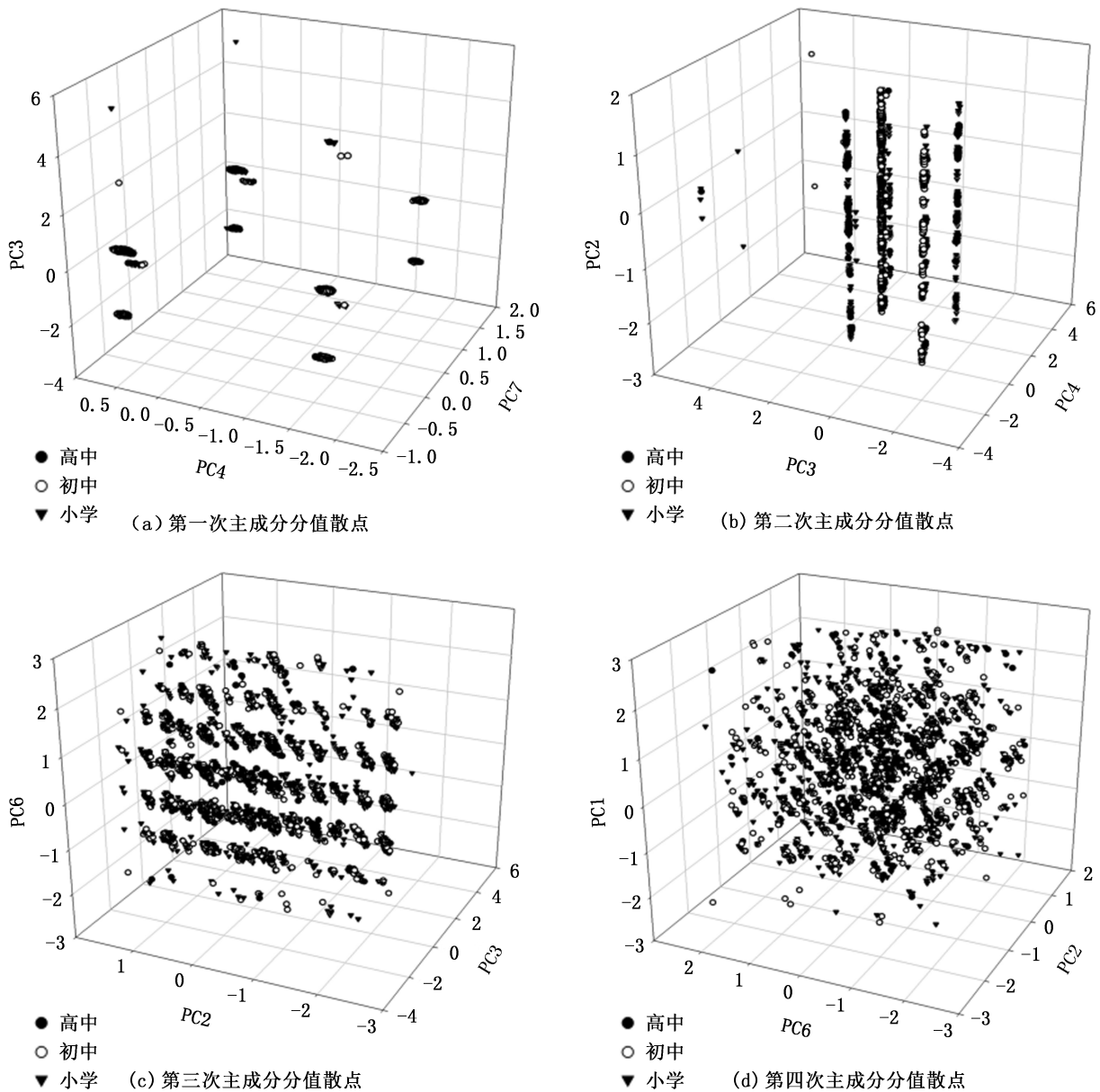


图 1 主成分分析分值散布

Fig. 1 Scatter plots for analysis by principal components

外两部分, 自然科学及生物多样性泛属课外内容^[19]。由于应试教育对生物多样性内容涉及较少, 教师对该项教学的重视程度不够, 导致中小学生对非考试内容未能引起足够重视。

认知基础题得分率较高, 但深度认知题得分率偏低, 且小学、初中、高中学生问卷得分在总体上不存在显著性差异。表明高中生对生物多样性的理性认识并不比小学和初中深入, 即德宏州学生年级差异和生物多样性保护意识之间并不存在相关性。主成分分析结果, 所有学生对生物多样性的认知仅限

于表面, 能对重要与否、好坏与否、是与否等问题做简单判断, 对于需要识别和分析的问题缺乏正确的理性认识。一旦去除主要的 4 个判断题后, 所有问卷得分未呈现明显的规律性 (图 1(d)), 说明问卷的答案呈随机选项, 未能集中于某一准确的答案; 高中、初中、小学 3 个群体的得分在主成分分析过程中不能相互区分, 说明德宏州中小学生对生物多样性的认知无差异, 不同年龄、年级的学生答题无差异。

3.2 国内外公众科普宣教差异性分析

德宏州的基础教育中对生物多样性相关的科普

表 6 德宏州生物多样性保护公众调查问卷非赋分题选择率

Tab. 6 Non-graded question selection rate of biodiversity conservation questionnaire in Dehong

题目	选项	选择率 / %
周围是否有生物多样性宣传	有	21
	没有	79
愿意通过什么渠道了解生物多样性	微信	46
	网站	39
	电视节目	63
	宣传折页	31
	宣传牌	45
	电影	33
	书籍	58
	专家讲座	32
希望获得哪种关于生物多样性的知识	珍稀濒危动植物	69
	生物多样性的重要性	67
	如何保护生物多样性	60
	有哪些生物多样性保护组织	34
	如何成为一名生物多样性宣传志愿者	85

是欠缺的,政府、学校对生物多样性的科普限于表面,未涉及深层次的教育。从问卷分析结果看,德宏州中小学生对生物多样性的保护意愿积极,但对生物多样性认知程度整体偏低。高中生的保护意识并非高于中学生和小学生,说明在德宏州的中小学教育中,生物多样性的知识量并未相应增加,或教材涉及到深层次生物多样性的知识较少。这或许与中学生的应试教育压力远大于小学生有重要关联。高中生问卷调查的无效率相对较高,间接表现出无所谓、或随意的应付态度,反而小学生对待问卷的态度更为认真,可能是由于升学中生物多样性内容所占分值较低。经济落后是影响公众基本科学素质的重要因素之一^[20]。自 2007 年实施《全民科学素质行动计划纲要》,中国公众科学素质总体水平上升较快,截至 2015 年中国公众具备基本科学素质的平均比例达 6.2%,而云南省仅为 3.3%,远低于上海 18.71%、北京 17.56% 和天津 12.00%^[21]。云南省公众科学素质仍然较低,地处云南偏远地区的德宏州公众科学素质有待加强,生物多样性保护意识亦相对较低。

问卷分析结果表明,德宏州中小学生对生物多样性的求知欲较强,表现出较高的参与热情,不仅希望自己了解生物多样性并积极参与,还希望能带动周围的人参与到保护生物多样性的行动中。德宏州 79% 的中小学生未接触过生物多样性的科普宣传活动。绝大多数被调查者希望通过电视节目(63%)、书籍(58%)、体验活动(48%)、微信(46%)了解生物多样性科普信息,这或许与当前大多数中小学生信息获取手段及兴趣相关。85% 的学生希望成为一名生物多样性宣传志愿者,参与到保护行动中,为保护生物多样性做一些力所能及的事,大多数学生希望获得关于保护生物多样性方面的知识。

21 世纪中国科普事业蓬勃发展,以科技馆的科普投入为例,截至 2012 年底,全国共有科技馆 364 座,建筑面积合计 235.46 万 m²,展厅面积合计 109.44 万 m²,全部科技馆展厅面积与建筑面积之比约 46.5%。21 世纪初,美国约有 150 座科技馆,年接待观众数约 5 000 万人次,每一个有纪念意义的场地几乎都辟为博物馆。并且大多数好莱坞科幻片具有关于生态学和生态危机等方面的科普功能,但是在中国类似的科幻片十分缺乏。英国拥有 1 600 多家大大小小的科技博物馆^[22]。中国的科普宣传投入力度虽在不断加大,但与发达国家相比仍存在差距。

3.3 加强生物多样性保护意识的普及

中小學生作为未来的决策者和建设者,有必要面向其及老师、家长开展生物多样性相关知识、科学保护理念的科普宣传活动。生物多样性保护科普宣传与教育是促进中国生物多样性保护的重要手段和方法,可以通过提高保护意识来改变公众对生物多样性的保护行为^[23]。可考虑在应试教育中加入生物多样性保护内容,使学生从小就认识其重要性;教师应利用丰富的实地教学资源,切实有效地开展环境保护教育,将生物多样性保护渗透到科普教育中,利用电视、书籍以及开展相关活动积极引导了解并学习生物多样性知识,发挥学生主观能动性自主体验、感悟。政府、学校、科研机构等应重视生物多样性科普宣传工作,通过各种形式积极开展各种教育活动,大力宣传生物多样性知识,提高当地民众生物多样性保护意识。

参考文献:

[1] 李琼芳. 保护德宏森林生物多样性发展绿色经济[J].

- 福建农业,2014(8):61-62.
- [2] 岳品成. 浅谈德宏州生物多样性及保护[J]. 环境科学导刊,2011,30(6):6-9.
- [3] 张志敏,任福君. 科普活动作为一种社会教育资源的价值探讨:基于科普活动效果评估案例的分析[J]. 科技导报,2012(28):98-102.
- [4] 朱晓蕾. 论中小生物科普活动的教育价值——基于甘肃省中小生物科普知识网络竞答活动效果[J]. 甘肃科技,2013,29(24):83-84,128.
- [5] 陈蓉,李奎,罗德燕. 浅谈自然博物馆在中小学素质教育中的作用[J]. 科技信息,2011(8):823-824.
- [6] 牛红艳. 青少年科普教育活动的实践与探索[J]. 图书馆建设,2007(3):17-20.
- [7] 王宇良,戚敏. 科普调查问卷及其设计技巧的探析[J]. 科普研究,2012,5(24):37-41.
- [8] 孙山泽. 抽样调查[M]. 北京:北京大学出版社,2012.
- [9] FRANK J, MASSEY J. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit[J]. Journal of the American Statistical Association, 1951, 46(253):68-78.
- [10] FOWLER J, COHEN L, JARVIS P. Practical Statistics for Field Biology[M]. 2nd ed West Sussex: Open University Press, 1998.
- [11] LI S, WANG Y. Sampling program informative[J]. Studies in Science of Science, 2013(2):97-100.
- [12] 董君成. 统计学[M]. 武汉:华中师范大学出版社,2016.
- [13] LUO M, BORS A G. Principal Component Analysis of spectral coefficients for mesh watermarking[J]. Signal Processing, 2011(9):625-634.
- [14] SADATI S A, SADATI S A, FAMI H S, et al. Survey consumer attitude toward barriers of organic products (OP) in Iran: A case study in Gorgan city[J]. World Applied Sciences Journal, 2013, 8(11):1298-1303.
- [15] BRUCE W, HILLARY M. Exploratory factor analysis and reliability analysis with missing data: A simple method for SPSS users[J]. Tutorials in Quantitative Methods for Psychology, 2014, 10(2):143-152.
- [16] GUI H J, LI G Y. Covariance matrix estimation in the presence of auxiliary information[J]. Chinese Science Bulletin, 1995, 40(7):529-534.
- [17] BROWNE, MICHAEL W. An overview of analytic rotation in exploratory factor analysis[J]. Multivariate Behavioral Research, 2001, 36(1):111-150.
- [18] SASS D A, SCHMITT T A. A comparative investigation of rotation criteria within exploratory factor analysis[J]. Multivariate Behavioral Research, 2010, 45(1):73-103.
- [19] 王文龙. 中国应试教育体制改革:治标更要治本[J]. 现代教育科学, 2018(5):7-11.
- [20] 贝永建,王焯熔,李进华. 桂西北雉类资源保护意识调查[J]. 四川动物, 2015, 34(4):631-634.
- [21] 何薇,张超,任磊. 中国公民的科学素质及对科学技术的态度——2015年中国公民科学素质抽样调查结果[J]. 科普研究, (3):12-21, 52.
- [22] 李建坤,刘广斌,刘璐. 科普投入产出相关文献研究综述[J]. 科普研究, 2015(3):82-89.
- [23] 傅之屏,杨远兵,吕植,等. 人类生态环境意识对大熊猫栖息地影响的研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 1998, 35(6):952-956.

责任编辑:许易琦
校对:许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.027

云南省林下中药材产业发展策略

向艳平,肖丰

(云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051)

摘要:云南省中药种植面积和产量位居全国首位,综合产值突破千亿,对巩固拓展脱贫攻坚成果,全面推进乡村振兴意义重大。阐述云南省林下中药材产业发展优势、现状、原则、资源分区、林药间作类型。提出建立种质资源保护体系,建设良种繁育体系,优先依托经济林地和人工林地发展林下中药材种植,推进规范化种植技术,开展中药材生态种植,提高中药材采收加工产业化程度,完善配套政策,大力融合发展等林下中药材产业发展策略。

关键词:林下中药材;产业发展;种植模式;资源分区;林药间作;生态种植;云南省

中图分类号:S759.82;F416.88 文献标识码:B 文章编号:1671-3168(2022)02-0166-06

引文格式:向艳平,肖丰.云南省林下中药材产业发展策略[J].林业调查规划,2022,47(2):166-171.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.027

XIANG Yanping, XIAO Feng, . Development Suggestions of Under-forest Traditional Chinese Herbal Medicine Industry in Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 166-171. doi: 10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2022. 02. 027

Development Suggestions of Under-forest Traditional Chinese Herbal Medicine Industry in Yunnan Province

XIANG Yanping, XIAO Feng,

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

Abstract: The planting area and output of traditional Chinese herbal medicine in Yunnan Province ranks first in China, and the comprehensive output value has exceeded 100 billion yuan, which is of great significance to consolidate and expand the achievements of poverty alleviation and comprehensively promote rural revitalization. This paper expounded the development advantages, current situation, principles, resource zoning and intercropping types of under-forest traditional Chinese herbal medicine in Yunnan, and put forward development suggestions from establishing germplasm resources protection system, building improved seed breeding system, giving priority to developing Chinese herbal medicine planting under economic forest land and artificial forest land, promoting standardized planting technology, carrying out ecological planting of Chinese herbal medicine, improving industrialization degree of Chinese herbal medicine harvesting and processing, perfecting supporting policies, and vigorously integrating and developing multi-industries.

Key words: under-forest traditional Chinese herbal medicine; industry development; planting pattern; resource zoning; forestry-herbal medicine intercropping; ecological planting; Yunnan Province

收稿日期:2021-04-11.

第一作者:向艳平(1976-),女,云南石屏人,工程师.主要从事林业调查规划工作.Email:670938892@qq.com

责任作者:肖丰(1972-),男,安徽灵璧人,工程师.主要从事林业调查规划工作.

林下经济是以林地资源和森林生态环境为依托,以振兴经济为目的,高效开发、利用自然生态资源,大力发展以林、农、菌、药、草、牧、禽、游等复合产业为手段的一种资源共享、优势互补、协调共生的经济产业模式^[1]。目前,林药产业是林下经济最重要的模式之一。云南是中国重要的生物多样性宝库和西南生态安全屏障,是集边疆、民族、山区、贫困四位一体的脱贫攻坚和乡村振兴主战场,发展林下中药材产业对巩固拓展脱贫攻坚成果,全面推进乡村振兴具有重大意义。

1 林下中药材产业发展优势

1.1 自然资源优势

云南地理地貌复杂多样而又独具特色,山脉河流纵横交织,海拔高差超 6 000 m,有山地、高原、丘陵、盆地、平原以及各种喀斯特地貌,气候类型具寒带到热带 7 个气候带,是享誉世界的“植物王国”和“药材宝库”。据森林资源监测报告,云南省人工商品林(有林地)面积 551.73 万 hm^2 ,历年退耕还林面积 112.54 万 hm^2 ,均可用于发展林下中药材。特别是大面积的核桃、澳洲坚果、油茶等经济林,应优先用于发展林下中药材。据 20 世纪 80 年代第三次全国中药资源普查结果,全国药用生物资源有 12 807 种(药用植物 11 146 种),其中云南省有 6 559 种(其中药用植物 315 科 1 841 属 6 157 种),占比达 51.2%;云南药用植物种数居全国第一,中草药资源十分丰富^[2]。第四次全国中药资源普查工作于 2011 年启动和试点,云南省第一批 25 个试点县共普查到 245 科 1 526 属 4 657 种^[3]。

1.2 区位优势

云南地处丝绸之路经济带关键位置,陆路连接东南亚、东亚、南亚,辐射世界一半以上人口。近年来,国家支持云南建设我国面向西南开放重要桥头堡,多举措推进瑞丽、畹町等沿边重点开发开放试验区高质量发展,滇越铁路、昆曼公路、中老泰铁路等交通大动脉形成,通过区位优越的云南,中国与周边国家的睦邻友好合作不断深入。

1.3 品牌优势

云南省目前有龙陵紫皮石斛、玉龙滇重楼、马厂当归 3 个农业农村部登记的农产品地理标志产品,有昭通天麻、维西当归、文山三七等 17 个获得地理标志证明商标,有广南铁皮石斛、芒市石斛、福贡云

黄连等 6 个获得地理标志保护产品。三七、天麻、滇重楼、云木香、砂仁等 17 种滇产药材种植面积突破 6 600 hm^2 ,占全国中药材市场份额的半壁江山。认定和培育“云药之乡”60 个,良种繁育基地 103 个,中药材种植科技示范园 144 个。自 2018 年开始连续 3 年组织云南绿色食品品牌“10 大名药材”评选活动,在每年“中国农民丰收节”进行隆重表彰。目前,累计评选出 21 家“10 大名药材”企业,“豹七”牌三七、“七丹”牌三七、“品斛堂”牌石斛、“龙津”牌灯盏花等一批云南知名药材品牌逐步立足省内、走向全国。

1.4 市场认可度高、潜力巨大

云药是中药道地药材的十大产区之一,包括滇南和滇北所产的道地药材。滇南为我国少有的静风区,出产诃子、槟榔、儿茶等;滇北出产云茯苓、云木香、冬虫夏草等;处于滇南、滇北之间的文山、思茅地区以盛产三七闻名于世,此外尚有云黄连、云当归、云龙胆、天麻等。据云南省农业农村厅 2018 年数据显示,产值达 10 亿元以上的中药材有三七、重楼、石斛、天麻、草果、生姜等 6 种;产值达 1 亿元以上的有秦艽、续断、茯苓、灯盏花、葛根、滇龙胆、附子、红花、薏仁、云木香、金铁锁、云当归、桔梗、半夏、白及、草乌、板蓝根等 17 种。

1.5 地方性和民族性中医药文化深厚

云南中药材种植历史悠久,25 个少数民族聚居,各族人民群众通过不断探索和实践中药材种植,积累了丰富的利用当地药用植物资源的医疗知识和经验,形成了以傣医药、彝医药、佤药、苗药、藏药等形式多样、具有鲜明地方性和民族性的云南传统医药。全省共有民族药用植物资源 2 000 多种,民间验方 10 000 多个,其中彝医药用植物就有 871 种,为发展林下中药材奠定了深厚的人文基础。

2 中药材产业发展现状

2.1 种植面积和产量居全国首位

据《云南省统计年鉴》及《云南日报》相关统计数据,云南省中药材种植面积从 2015 年的 20 万 hm^2 增长至 2019 年的 58.18 万 hm^2 ,产量从 2015 年的 35.33 万 t 增长至 2019 年的 51.84 万 t。2015 年,云南省中药材产业农业产值 295 亿元,加工产值 282 亿元,总产值 577 亿元;2020 年,云南省中药材产业综合产值 1 200 亿元。种植面积和产量稳居全国第一。

2.2 打造绿色品牌, 提倡“回归山林, 药效第一”种植模式

云南省中药材产业重点推进中药材无公害、绿色、有机基地建设, 支持建设道地药材良种选育、良种繁育基地建设。截至 2020 年, 全省已建成中药材标准化基地 9.73 万 hm^2 , 获得绿色认证的基地面积 3 000 hm^2 、有机认证 2 133 hm^2 。2014 年, 云南省政府出台了《关于加快林下经济发展的意见》(云政发〔2014〕39 号), 高度重视包括林下中药材在内的林下经济产业发展, 随着云南省集体林权制度改革工作的推进, 林下中药材产业遵照药材品种生长发育的自身规律, 让药材回归山林, 推行“药效第一”的种植模式, 林下中药材有机种植研究取得突破进展, 探索出一条由传统种植向林下有机种植换道加速的绿色发展道路。目前, 全省林下中药材种植面积 23.33 万 hm^2 , 其中: 天麻 6 666.67 hm^2 、滇黄精 1 333 hm^2 、三七 666.67 hm^2 、云茯苓 666.67 hm^2 、丹参 666.67 hm^2 、石斛类 1 333.33 hm^2 、滇重楼 666.67 hm^2 、滇龙胆 1.47 万 hm^2 、草果 14.67 万 hm^2 、砂仁 4.8 万 hm^2 、其他 1.2 万 hm^2 。产量 32.7 万 t, 综合产值 153 亿元。

2.3 构建溯源体系

把好中药材及饮片(药品)的质量关, 做好溯源体系是一大出路。产品质量追溯体系已启动建设, 出台了一些地方标准, 部分企业依托“云药质量追溯平台”开始自主建立追溯体系。云南省中药材流通追溯体系于 2013 年开始试点工作; 2017 年云南省中药材种植养殖行业协会自主搭建了“云药质量追溯平台”; 2019 年中药材流通追溯体系注册认证企业 252 家, 中药材追溯品种 19 类。

2.4 加大精深加工发展力度

通过引进业内知名企业管理经验、技术研发、资本经营等先进生产要素, 云南省以三七、天麻、石斛、重楼、灯盏花等道地药材为重点, 培育 15 户中药材规范化产地加工企业, 进一步提升中药材原料加工率和产业效益。2018 年, 康美药业、天士力集团、康恩贝集团有限公司、上药控股有限公司等一批知名药企顺利进驻云南, 促进了中药材种植、加工水平的提高。2019 年, 国药集团、华润三九、通盈药业、四川新绿色现代中药、神威药业、东阳光、华北制药等新一批企业又积极到云南发展、对接。2016—2019 年, 云南中药材产业加工产值从 321 亿元增加到 502 亿元, 年均增长 16.1%; 加工产值与农业产值之比从 0.98:1 提升到 1.29:1, 加工产值中提取物产

值占比从 2016 年的 4% 增长到 2019 年的 17.3%, 产业结构进一步优化^[3]。

2.5 中药材流通现状

目前云南省拥有昆明菊花园中药材市场 1 个国家级中药材市场和文山三七国际交易市场 1 个专业市场。2016 年, 云南省有 5 家企业进入全国药品批发企业百强榜, 3 家企业进入全国药品零售企业百强榜。居全国零售连锁销售第六位的一心堂主营业务收入达 68 亿元, 拥有 3 000 多个连锁机构, 覆盖全省乡镇, 遍及多个省份。云南省 2016 年着力建设智慧医药物流, 积极扩大云药电子商务规模, 探索“互联网+”商业模式, 全省已核准 98 个药品信息服务网站, 10 个药品交易服务网站。利用丰富的互联网数据内容和先进的大数据技术手段, 在业务流程上真正实现从种植、初加工、流通、生产到使用等各环节的贯通, 从源头上保护品牌, 推动云南省质优、价廉、高品质的特色中药材走向市场, 提高云南省中药材流通的现代化水平。

3 林下中药材种植原则

林下中药材种植是人们对自然环境永续利用的一种探索, 著重于找出适合当地山林生长的独特中药材。林下中药材发展有 3 项主要原则: (1) 维护多样化生态系统功能, 兼顾生态、经济及社会指标, 强调生活、生产、生态一体发展。包括不影响主林木生长与水土保持, 达到永续经营; 中药材种类选择除考虑市场价值外, 也须符合当地原住民族的需求, 以活化当地经济, 生产具地区特色产品; 依造林作业设计发展适应性林下经济, 依据采伐强度及林木生长状况, 栽植适当作物并调整管理强度; 优先选择药食两用品种, 与传统种植相比, 林下种植在培育绿色、有机中药材产品方面有明显的比较优势, 并能产生较好的经济效益。(2) 地方政府、社区、科研机构、民间组织甚至都市居民充分结合, 积极应用当地知识与现代科技及不同领域专长。(3) 适宜林下发展, 注重药材的道地性。所选中药材品种适宜在林下发展, 适合中药材回归山林, 还其本原, 培育道地药材。

4 药用植物资源分区

云南省汇集了从热带到寒带 7 个气候类型, 复杂的地形和垂直高差大等原因, 立体气候特点显著, 呈现出“一山有四季, 十里不同天”的立体气候特

点,使云南的药用植物分布具有鲜明的地域性,不同地区均有自己的特色产品,总体上云南中药材主要分为 5 个区域^[4-5](表 1)。

表 1 云南省中药材资源分区

Tab. 1 Resources zoning of traditional Chinese herbal medicine in Yunnan Province

区域	范围	气候类型	代表性道地药材
滇西北高山峡谷区	主要为滇西北横断山区,包括怒江州、迪庆州、丽江市和大理州西部	高原气候区。年均温 7.0~12.0℃,气候冷凉,无霜期短,冬季气温低,光照雨量处于中等水平,降水较少	云黄连、云当归、云木香、秦艽、冬虫夏草、重楼、云南红豆杉、猪苓等
滇东北乌蒙山区	主要包括昭通市、曲靖市的会泽县、宣威市、昆明市的东川区和寻甸县	南温带。年均温 12.0~14.0℃,冬冷夏凉,热量分布一般,气候温凉,雨量中等偏下	天麻、半夏、竹节参、黄柏、杜仲、五倍子、法落海、雪上一枝蒿、雪胆等
滇中高原区	主要包括昆明市、楚雄州、玉溪市、保山市和大理州东部	北亚热带。年均温 14.0~16.0℃,夏无酷暑,冬无严寒,日照充足,雨量中等	云茯苓、滇重楼、云防风、滇黄芩、红花、半夏、当归、附片、金荞麦等
滇东南喀斯特丘陵区	主要包括文山州、红河州北部、曲靖市的师宗县和罗平县	南亚热带、中亚热带。年均温 16.0~20.0℃,无霜期 260~330 d,光照充足,年日照 2 200~2 500 h,降水中等至较多	三七、灯盏花、铁皮石斛、金钗石斛、薏苡、八角、滇黄精、白及、柴胡等
滇西南热带山区	主要包括西双版纳州、普洱市、临沧市、德宏州、红河州南部	北热带。年均温 21.0~23.0℃,全年基本无霜,年日照时间 2 300 h 以上,湿热地区年降水量 1 400~1 800 mm	砂仁、草果、诃子、滇龙胆、南板蓝根、茯苓、龙血竭、萝芙木、乳香、没药等

5 林药间作类型

根据药用植物生活型统计,约三成的药用植物属于阴生型或者半阴生型,适合在林缘或林下生长。林地土壤有机质高,具有良好的保肥、保水效果。

林向群和邹秀芬^[6]根据林木生长阶段提出了幼龄林和成熟林适宜种植的一些中药材种类。比如幼龄林阶段可以间作喜阳的桔梗、西红花、金银花等,略喜阴的天南星、黄连、半夏等;成熟林阶段可以间作耐阴的三七、丹参、灵芝等。漾濞县是核桃种植大县,核桃和经济林木种植面积达 7.0 万 hm^2 ,核桃

林下经济发展面积 2.13 万 hm^2 ,种植的中药材有滇黄精、木香、续断、白芨、红花、滇橄榄、紫丹参、魔芋、重楼、鱼腥草等,2018 年林下中药材产值 4 亿元^[7]。郁闭度 0.5~0.7 的云南松林下适宜种植滇黄精和白芨^[8]。综合而言,林药间作是农林草复合经营的延申,综合效益潜力巨大,但搭配模式、种植密度、化感作用及养分循环机理等还需深入研究。

6 林下中药材产业发展策略

6.1 建立种质资源保护体系

优良的种质资源是优质中药材生产的基础,建设中药种质资源保护体系,一方面可以为大宗常用药材的规模化生产提供丰富、优质的种质资源供应,在此基础上持续进行品种改良、良种繁育,促进常用优质药材的生产;另一方面可以有效保护珍稀、濒危、野生药用植物资源的生物多样性、可持续性,为濒危野生药用植物的系统研究、珍稀濒危资源保护、野生资源驯化提供丰富的种质基础,保证中药材的可持续发展^[9]。

依托第四次中药材普查,开展中药材种质资源的收集保护工作,建立云南省药用植物种质资源库。以居群为单位,开展云南珍稀、濒危、特色、道地中药材种质资源收集工作,建立种质资源库或圃,抢在野生资源灭绝之前开展抢救性收集,保护云南重要中药材野生种质资源。同时通过组织培养或胚挽救技术等现代生物技术开展中药材种质资源的离体保存技术研究,并通过构建 DNA 库,尽可能多地保存物种的所有基因,尤其对道地药材的优良遗传基因更要重点加以保护。另外,针对一些中药材资源富集区域,如横断山区(高黎贡山、怒山、苍山、玉龙雪山等)、西双版纳热带雨林、巧家药山、文山老君山、哀牢山等区域建立中药材资源原位保护区,加强道地中药材种质资源的原生环境保护。

6.2 建设良种繁育体系

发挥种业“芯片驱动”作用,在种业端发力,加强良种繁育,确保种源优良,从源头上保证药材品质。利用现代种苗繁育技术,培育性状稳定的优良种苗,降低人工育种成本,提高种苗均一品质。鼓励经营主体注重科技创新,加强与大专院校、科研单位的技术合作,分区域建立适合本区域发展的设施化、规范化的良种繁育基地,根据发展规模和布局,依托现有良种繁育基地完善或新建区域性的良种繁育基地。确保区域林下中药材发展所需良种供应。

推进云南道地中药材良种繁育体系建设,重点

开展以下 3 方面工作:(1)加强中药材新品种选育工作,通过传统育种方法与现代生物技术相结合,建立中药材育种技术体系,重点针对三七、砂仁、草果、云当归、云木香等云南地道中药材,选育适宜生产实际的优质、高产、抗逆新品种,如三七抗病品种,云当归晚抽墓品种等。(2)开展中药材种子种苗规范化、工厂化繁育技术研究,建立中药材良种繁育技术体系,推进成立专业化的中药材种子种苗生产企业,推进中药材种子种苗良种化。(3)建立中药材种子种苗市场管理制度,加大补充完善云南地道中药材种子种苗标准及生产操作规程,从制度上规范中药材种子种苗市场,填补对中药材种子种苗市场管理的真空。

6.3 优先依托经济林地和人工林地发展林下中药材种植

据 2020 年森林资源监测报告,云南省林地面积 2 826.67 万 hm^2 ,森林面积 2 493.33 万 hm^2 ,森林覆盖率 65.04%,森林蓄积量 20.67 亿 m^3 。全省可供林下开发优先使用的人工商品林(有林地)面积 551.76 万 hm^2 ,其中:纯林和混交林 350.92 万 hm^2 ,乔木经济林 189.38 万 hm^2 ,竹林 11.46 万 hm^2 ,为发展林下中药材产业提供了广袤的森林和林地资源。为确保森林生态系统质量和功能的稳定性,林下中药材种植利用林地必须符合《云南省林下种植林地利用规范》(云林规〔2020〕4 号)的相关规定,限定种植范围,办理必要的使用林地、林地清理和整地手续,最大限度地减少对林地可能产生的不良影响。此外,应选择土壤质地良好、无污染、重金属不超标的林地。按照各药用植物的生物学特性,在人工商品林范围内坚持适地适品种的原则合理确定允许利用的林地类型。其中滇重楼、滇黄精、丹参等重点品种和半夏等一般推荐品种优先选用核桃等经济林地和云南松人工林地等作为林下发展的林地类型。

6.4 推进规范化种植技术,开展中药材生态种植

林下中药材种植及栽培管理技术研究已取得一定成果。2014 年以来,朱有勇院士带领团队针对三七生产难题进行了系统研究和开发,在澜沧县开展林下中药材生态种植关键技术研究,形成了具有完整知识产权的林下三七生产的重大科研成果和可持续的林下中药材种植技术体系,拥有开展三七、重楼等中药材种植的关键技术,经示范推广带动了山区群众脱贫致富的产业扶贫模式。通过总结和借鉴三七、重楼生态种植的成功管理经验,建立地道、大宗中药材种植技术规范,制定中药材病虫害防控规程

和肥料施用规程,依托科研单位为技术支撑,建立规范化种植示范基地,开展技术培训,统一种植规范,建立科学的管理制度,实现中药材的规范化生产,建立中药材种植基地备案制,建立质量追溯制度。

6.5 提高中药材采收加工产业化程度

推进中药材产地初加工标准化、规模化、集约化,鼓励中药生产企业向中药材产地延伸产业链,开展趁鲜切制和精深加工。提高中药材资源综合利用水平,发展中药材绿色循环经济。突出区域特色,打造品牌中药材。依托中药材生产龙头企业对基地生产的中药材开展精深加工,实现林下中药材价值提升。运用企业的核心加工技术和先进设备,形成特色单品的集约优势,以高品质原料和高标准加工吸引药企、药商建立与产地的直接联系,降低成本,提高药品的市场竞争力。加大林下中药材副产品利用的研发力度,提高药材利用率和原料加工率,延伸产业链,提高附加值。创新驱动,促进加工生产与工业互联网标识解析技术相结合,联通产品、机器、车间和工厂,实现底层标识数据规模化采集、信息系统间数据共享,实现加工生产过程的自动化、智能化、标准化。

6.6 完善配套政策,大力融合发展

云南省委、省政府、省林业和草原局高度重视林下经济发展,出台了《关于加快林下经济发展的意见》(云政发〔2014〕39 号),编制了《林下经济发展规划纲要》,提出了包括林下中药材在内的林下经济发展目标任务。集体林权制度改革后,完善了林权流转、林业金融贷款、财政资金扶持等配套政策。2020 年,国家发展改革委等 10 个部门印发了《关于科学利用林地资源促进木本粮油和林下经济高质量发展的意见》(发改农经〔2020〕1753 号),近期省林业和草原局制定出台了《关于促进林下经济高质量发展的七条措施》(云林发〔2020〕64 号)和《云南省林下种植林地利用规范》(云林规〔2020〕4 号),为深入推进林下中药材发展提供了政策保障。

林下中药材产业是服务大健康产业的重要产业,林下种植、产地初加工环节与第三产业融合发展是产业发展的必然趋势。促进林下中药材产区与“健康生活目的地”建设有机结合,推进林下中药材种植、产地初加工与休闲旅游、森林康养、自然教育、中药文化传播等融合发展,通过在林下中药材产区开辟中药材种植体验、中药文化和药食养生文化科普、鲜药配方、康体等服务类项目,提升林下中药材产区的价值链。运用移动互联技术,借助移动终端

开展林下中药材文化传播和林下中药材产品科普活动,让大众更多地了解和使用林下中药材产品。在符合生态区位保护要求和不影响生态功能的前提下,经科学论证,将林下中药材产区积极融入区域性整体旅游目的地建设,建设一批林下中药材与健康文化旅游融合发展的示范园。

以林下中药材野生种质资源收集保存圃、良种繁育基地、示范种植基地、主要药材产地初加工基地为依托,建立以林下药用植物资源图谱、中药材科普、文化展示等为主题的林下中药材博览园,促进林下中药材产区与自然教育、科普宣传、文化推广的融合发展。

参考文献:

- [1] 李柱存. 云南省林下经济发展现状及建议[J]. 林业调查规划, 2021, 46(3): 148-151.
- [2] 金晓伟, 何湘, 刘加练, 等. 云南省中药材发展现状与建议[J]. 农业工程技术, 2021, 43(13): 12-18.
- [3] 段毅. 云南精耕道地中药材[N/OL]. 云南日报, 2020-08-06. [2020-08-06]. https://yndaily.yunnan.cn/html/content_1362517.htm?div=-1.
- [4] 王国强. 中国中药资源发展报告(2017)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2018: 294-300.
- [5] 云南省老科技工作者协会. 云南省林下药材产业发展建议[C]//云南省科学技术协会第七届云南省科协学术年会论文集——专题二: 绿色经济产业发展, 2017: 1-8.
- [6] 林向群, 邹秀芬. 林药间作是云南林下经济发展的重要模式[J]. 云南林业, 2016(5): 57-58.
- [7] 沈艳, 李娅. 云南省漾濞县林下中药材产业发展现状及对策研究[J]. 中国林业经济, 2021(5): 56-58.
- [8] 高文学, 施庭有, 周庆宏, 等. 楚雄州林下中药材白芨和滇黄精丰产栽培试验研究[J]. 林业调查规划, 2020, 45(2): 119-123.
- [9] 王国强. 中国中药资源发展报告(2018)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2019: 88-94.

责任编辑: 许易琦

校 对: 许易琦

(上接第 152 页)

再分布;相关物理性质对绝大多数植物生长有利。南昆山区省级自然保护区土壤呈强酸性反应,对偏好中性或弱碱性的植物生长不利,需要适当防范由土壤强酸反应诱发的植物生理病害和外源病虫害^[9]。有机质和有效氮含量较高,而有效磷、有效钾和交换性盐基含量均较低。土壤保肥能力差,对植物钾素和磷素供应能力低。在土壤抚育方面,需注意防控土壤进一步酸化和防止交换性盐基被进一步淋失,并适当补充磷素和钙、镁、钾等盐基离子。

参考文献:

- [1] 唐靓茹, 刘雄盛, 蒋焱, 等. 红锥 4 种林型土壤理化性质及微生物量差异分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(1): 76-81.
- [2] 武玉, 徐刚, 吕迎春, 等. 生物炭对土壤理化性质影响的研究进展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(1): 68-79.
- [3] 祖元刚, 李冉, 王文杰, 等. 我国东北土壤有机碳、无机碳含量与土壤理化性质的相关性[J]. 生态学报, 2011, 31(18): 5207-5216.
- [4] 谢吟秋, 罗云裳, 刘有美, 等. 广东南昆山不同森林群落凋落物、腐殖质和土壤性质的调查研究[J]. 热带林业科技, 1984(1): 1-7.
- [5] 陈超凡. 南昆山土壤研析[J]. 热带地理, 1988(2): 143-148.
- [6] 刘伟, 王彬, 刘畅, 等. 环丙沙星在亚高山草甸不同深度土壤上的吸附及其影响因素[J]. 环境化学, 2021, 40(1): 1-11.
- [7] 贺佩, 李悦, 江明兢, 等. 连续氮添加 14 年对温带典型草原不同深度土壤碳氮组分及物理结构的影响[J]. 生态学报, 2021(5): 1-16.
- [8] 王飞, 马剑平, 马俊梅, 等. 民勤不同林龄胡杨根区土壤理化性质及相关性分析[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(3): 23-28.
- [9] 董珊珊, 李宁冉, 杨海燕, 等. 蓝莓根系对土壤锰胁迫的生理响应[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(3): 169-174.

责任编辑: 杨焱熔

校 对: 张林艳 杨焱熔

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.028

基于 AHP 法的昆明市寺观园林景观价值评价

段雅菅, 许耘红, 李永蝶

(西南林业大学 园林园艺学院, 云南 昆明 650224)

摘要:以昆明市 11 处有代表性的寺观园林为研究对象,运用层次分析法(AHP)对昆明市寺观园林景观价值进行评价,并根据评分结果分析导致各寺观景观价值差异的主导因素。结果表明,昆明市寺观园林的社会价值和文化价值较高,审美价值和环境价值略低。因此应加强历史文物保护力度,提高公众参与度以提升社会和文化价值;及时修缮古建筑和塑像壁画,充分利用昆明丰富多样的植物资源,保护优良的生态环境以提高审美和环境价值。

关键词:景观价值;寺观园林;层次分析法(AHP);昆明市

中图分类号:S731.2;P901;S711 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0172-09

引文格式:段雅菅,许耘红,李永蝶.基于 AHP 法的昆明市寺观园林景观价值评价[J].林业调查规划,2022,47(2):172-180. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.028

DUAN Yajian, XU Yunhong, LI Yongdie. Value Evaluation of Temple Landscape in Kunming Based on AHP[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 172-180. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.028

Value Evaluation of Temple Landscape in Kunming Based on AHP

DUAN Yajian, XU Yunhong, LI Yongdie

(College of Landscape and Horticulture, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: This paper selected 11 representative temple gardens in Kunming City to evaluate the landscape value of the temple gardens by using the analytic hierarchy process (AHP), and analyze the leading factors of the landscape value difference of each temple according to the scoring results. The results showed that the social and cultural values of temple gardens in Kunming were higher, while the aesthetic and environmental values were slightly lower. Therefore, this paper suggested to strengthen the protection of historical relics, improve public participation in order to enhance social and cultural values, timely repair ancient buildings and statue murals, make full use of rich plant resources in Kunming, and protect the excellent ecological environment to improve aesthetic and environmental value.

Key words: landscape value; temple garden; analytic hierarchy process (AHP); Kunming City

寺观园林是独特的宗教文化景观,其寺观环境不仅是信众进行宗教活动的神圣场所,其所承载的建筑、雕刻、楹联、诗词、壁画等更是珍贵的文化遗产,当代的寺观还发挥着巨大的社会价值和文化价

值^[1]。虽然寺观本身规模建制不大,但其园林景观的深度、广度和空间结构都十分丰富且具有发散性^[2],寺观园林营造的景观意境远比一般的私家园林深远、宏大,常常给人以虽处方寸之间,却能感到

收稿日期:2021-03-05.

基金项目:国家自然科学基金项目(31760235).

第一作者:段雅菅(1996-),女,云南昆明人,硕士研究生.研究方向为风景园林历史与理论. Email:1308428912@qq.com

责任作者:许耘红(1967-),女,广东梅州人,副教授.研究方向为风景园林历史与理论. Email:1395768727@qq.com

浩渺的宇宙触手可及。

1 昆明市寺观园林概况

佛教在初唐,南诏建国以前就已传入云南省^[3]。至元朝极力推行佛教,同时道教也被大力提倡。元朝在昆明地区兴建的佛寺仅位于昆明城内的就有 11 座,位于城外山林的有 9 座。位于昆明城周围县城的有 10 座。有名的道观也有 5 座。元朝之后云南省的政治、经济、文化中心从大理转到昆明,道教也开始传入昆明,昆明佛教也因此开始成为云南汉传佛教的主流。明清时期昆明寺观园林的形制及规模已趋于完善,走向成熟。昆明市现存的寺观园林多为明朝所建,有些是经过清朝和近现代修葺而成^[4-6]。

历代各地方政权在昆明建都设郡,为昆明留下了无比丰厚的历史文化遗产,寺观园林便是滇文化中最具特色的文化样式之一^[7]。各朝名僧在昆明地区讲经建寺,发展了大批的信徒,留下了大量的寺观,使昆明地区在汉传佛教和道教中,无论是宗教承载实体还是宗教精神信仰发扬方面都是云南省的重要代表^[3]。目前云南省汉传佛教寺院与道观省级及其以上保护级别的共有 87 处,其中昆明市国家级保护的寺观有 5 处,省级保护的有 8 处。

依据保护级别、宗教地位、选址、保存程度、面向公众开放程度等标准确定 11 处寺观园林为评价对象(表 1)。研究对象分布在昆明市区和晋宁、安宁、宜良 3 个县区(图 1)。

表 1 研究对象概况

Tab. 1 Overview of research objects

研究对象	保护级别	寺观类型	具体位置	始建年代	保存程度	宗教地位
筇竹寺	国家级	禅宗山林型佛寺	西郊玉案山	元代	五百罗汉泥塑与主体建筑均保存良好	汉传佛教全国重点寺院
金殿	国家级	道教宫观	东北郊鸣凤山	明代	主体建筑保存良好	金殿太和宫中的铜殿为中国四大铜殿之一
真庆观	国家级	道教宫观建筑群	昆明市区拓东路和白塔路交汇处	明代	主体建筑保存良好	昆明市区最大的道教古建筑群
曹溪寺	国家级	禅宗山林型佛寺	安宁市龙溪路	宋代	主体建筑保存良好	昆明地区的佛教中心之一
圆通寺	省级	禅宗城镇型佛寺	昆明市圆通街 42 号	唐代	主体建筑保存良好	省佛教协会所在地
黑龙宫	省级	道教宫观建筑	昆明市黑龙潭公园	明代	主体建筑保存良好	明代高道刘渊然的道场
盘龙寺	省级	儒、释、道合一的山林型寺观	晋宁县盘龙山	元代	部分建筑被烟尘污染,主体建筑保存良好	云南三大佛教圣地之一
法明寺	省级	城镇型佛寺	宜良县寿山路	唐代	观音殿、财神殿破损	古塔塔基存有南诏遗物
龙泉观	省级	道教宫观建筑	昆明市黑龙潭公园	唐代	主体建筑保存良好	云南道教祖庭
华亭寺	市级	禅宗山林型佛寺	昆明市西山山腰	元代	主体建筑保存良好	昆明著名佛教寺院
太华寺	市级	禅宗山林型佛寺	昆明市西山太华山	元代	餐厅、斋堂、藏经楼、长廊和塔林破损较严重	由云南禅宗第一师玄鉴创建

昆明汉传佛教的传入时间悠久,其寺观园林独具地方特色,近年来,随着我国城市化进程的加快,昆明市寺观园林赖以生存的环境正日益遭受冲击,大量宝贵的文化遗产正面临着保护和发展的双重压力^[8-9]。关于宗教景观、景观价值、遗产保护、文化景观评价等方面的研究多依靠采集大量的量化数据,进行客观、科学的分析,在此基础上提出的保护性建议有较强的科学性。各寺观园林景观价值不同,保护利用策略也不同,故从风景园林学角度,运用层次分析法,综合评价各寺观园林景观价值,为寺

观园林景观保护和发展提供可参考的科学依据。

2 评价指标体系的构建

2.1 指标筛选

综合大量学者对景观价值评价的角度研究以及寺观园林景观特点,宜以寺观园林的景观价值作为目标层,以社会价值、文化价值、审美价值、环境价值 4 个维度为基准层^[10-14],分范畴表达寺观园林景观的整体价值。

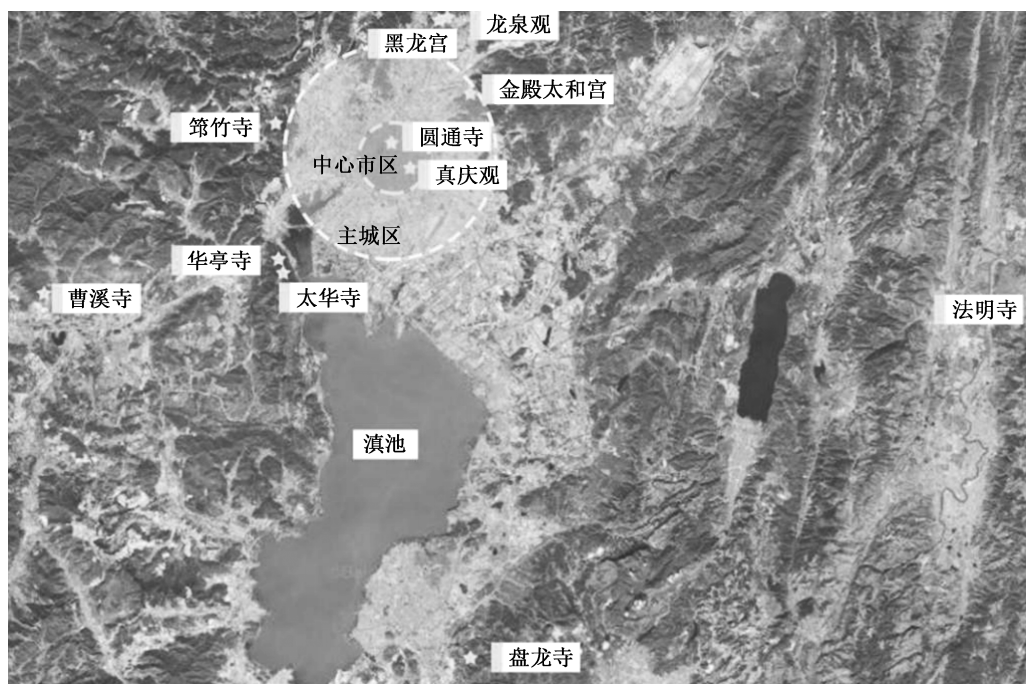


图 1 昆明市主要寺观园林分布

Fig. 1 Distribution of main temple gardens in Kunming

1) 社会价值: 寺观的地理位置、交通、寺观周边其他历史建筑、群众参与积极性、与寺观相关的政策、法规、社会舆论等方面的赋值^[15]。

2) 文化价值: 与寺观本体相关的文化内涵、寺观本身的宗教地位、当地人的文保意识、历史等方面的赋值。

3) 审美价值: 寺观本身的建筑样式、空间形态、各园林要素风格搭配、材料、艺术特征、造景手法等方面的赋值。

4) 环境价值: 寺观内部及周边植物、山地水域等方面的赋值。

在预设评价指标集的基础上, 采用面向专家的调查问卷来最终确定评价指标集合。

通过对来自旅游、环境、地理、园林等专业背景的 33 位专家进行问卷调查, 对问卷结果进行统计分析, 罗列出主要问题和建议, 结合寺观园林研究专家意见, 在 41 项指标中筛选出 28 项, 形成最终评价指标合集。

2.2 确定指标权重

为了较准确得出寺观园林景观价值各指标权重, 在对寺观园林景观评价指标集进行分析研究的基础上, 基于层次分析法建立总体系的层次结构。本研究运用层次分析法的“1~9 比例标度法”和专家咨询法^[16], 以 41 位在高等院校、科研院所从事景

观相关领域研究的学者以及从事历史文化、景观遗产、文化遗产研究的专业人士为问卷对象, 构建判别矩阵, 在同一个层次对影响因素重要性进行两两比较。将衡量尺度划分为 9 个等级, 分别是极端重要、强烈重要、明显重要、稍微重要、相同重要、稍微不重要、明显不重要、强烈不重要、极端不重要, 分别对应 9, 7, 5, 3, 1, 1/3, 1/5, 1/7, 1/9 的数值^[17]。

由此建立 U_i, U_j 对于 W 的相对重要性矩阵; U_{ii}, U_{jj} 相对于 U_i 的重要性矩阵。针对上述指标, 结合 41 位意见征询对象的打分结果最终得到判断矩阵表格。以此判断数据为依据, 对 41 位专家的赋值运用 SPSSAU 18.0 软件进行 AHP 层次分析。由于征询专家数量较多, 本研究的做法是对多个专家打分进行计算, 求其平均值, 进行一次 AHP 层次分析^[18-19], 最终确定各指标权重(表 2)。

从表 2 可以清晰地看出, 在各价值层的权重排序为: 社会价值(34.903%) > 文化价值(34.890%) > 审美价值(16.366%) > 环境价值(13.841%), 这一权重排序也反映出在专家们看来社会价值和文化价值是比较重要的, 审美价值和环境价值次之。社会价值和价值在整个评价体系中总占比近 70%, 这两项占比如此之高表现出寺观园林这一文化景观的独特性。寺观主要为公众提供社会服务和文化服务。其不仅是进行宗教活动的场所, 更是凝结各

表 2 评价指标权重

Tab. 2 Evaluation index weight of temple landscape value in Kunming

目标层	基准层	基准层权重/%	评价指标	评价指标单项排序权重/%	评价指标总排序权重/%	排序
昆明市寺观园林景观价值 (W)	社会价值 (U1)	34.903	U11 寺观地理位置	15.943	5.56	7
			U12 周边其他历史建筑(街道、牌坊、门楼等)状态	16.935	5.91	6
			U13 寺观宗教地位和群众关注度及认同感	18.777	6.55	3
			U14 相关区域的规划政策、法规	12.304	4.29	12
			U15 寺观文物保护单位级别	17.102	5.97	5
			U16 游憩价值	7.961	2.78	16
			U17 寺观保护利用程度	10.978	3.83	13
	文化价值 (U2)	34.890	U21 寺观相关的楹联题刻、诗词等文化内涵	21.854	7.62	2
			U22 寺观历史以及所在地相关历史事件、历史人物、遗址等	22.545	7.87	1
			U23 宗教文化的传承和宗教教育功能	17.489	6.10	4
			U24 宗教文化意象布局完整性(典型性)	15.456	5.39	8
			U25 当地居民文保意识	12.787	4.46	11
	审美价值 (U3)	16.366	U26 宗教氛围	9.870	3.44	15
			U31 寺观选址	13.337	2.18	17
			U32 寺观规模	8.588	1.41	20
			U33 寺观总体布局、空间结构	12.902	2.11	18
			U34 修复的原真性	12.100	1.98	19
			U35 建筑装饰装修艺术特征	7.969	1.30	21
			U36 植物配置的宗教性及观赏性,古树名木数量种类	7.585	1.24	22
			U37 小品宗教性及观赏性	6.265	1.03	25
			U38 寺观造像及绘画艺术	7.339	1.20	24

续表 2

目标层	基准层	基准层权重/%	评价指标	评价指标单项排序权重/%	评价指标总排序权重/%	排序
			U39 建筑及铺装材料典型性	4.852	0.79	28
			U310 景观完整性	7.536	1.23	23
			U311 景观特异性	6.172	1.01	26
			U312 造景手法	5.356	0.88	27
	环境价值 (U4)	13.841	U41 植物种类丰富度及数量	37.902	5.25	9
			U42 山地水域生态状况	37.096	5.13	10
			U43 环境协调性	25.002	3.46	14

民族文明的综合体,如哲学、科学、法律、制度、习俗、道德、文学、艺术、教育等,且自古以来寺观还承担了交往观赏的功能。而在佛教和道教的传播过程中,儒释道三教相互渗透,历代文人志士与高僧名道交往密切,使寺观中留存了大量文学瑰宝供后世研学。因此,寺观园林与其他类型景观的主要不同点在于其社会价值和文化价值更高。在剖析寺观园林景观价值时,社会价值和文化价值是首要的。一个寺观的历史文化内涵被认定为是最重要的,其次是其在宗教方面的影响力,然后是寺观的自然生态环境条件,包括内部的植物条件和外部大环境的生态状况,最后是寺观的美学观赏价值。

2.3 昆明市 11 个寺观园林的定量评价

在此轮问卷设计中,每个寺观由文字介绍和一系列照片或视频组成,评分者在观看照片之前先阅读每个寺观的简介,然后根据照片和简介综合分析进行评分(评分采用 SD 语义差别标度,分为五级,一级为最低,五级为最高)(表 3)^[20]。并在问卷前端附上每个指标的级别评定方法,各位专家按照其释义对每个指标进行打分(表 4)。

表 3 SD 语义差别标度

Tab. 3 Semantic difference scale

标度	低程度			高程度	
	一级	二级	三级	四级	五级
评价	很差	较差	一般	比较好	很好
审美等级	很丑	比较丑	一般	比较美	很美
	一级	二级	三级	四级	五级

表 4 寺观园林景观价值评价体系评分准则

Tab. 4 Scoring criteria of temple landscape value evaluation system

评价指标	级别评定方法
U11 寺观的地理位置(交通)	寺观周边 3 km 内有高速路出入口、火车站、地市级交通枢纽的为最佳;建筑周边 3 km 内有国道、县级交通枢纽的为一般;其他情况酌情给分。
U12 周边其他历史建筑(街道、牌坊、门楼等)状态	周边设施 90%左右保存完好的为五级;70%左右保存完好的为四级;50%左右保存完好的为三级;30%左右保存完好的为二级;少于 30%保存完好的为一级。
U13 寺观的宗教地位和群众关注度及认同感	周边居民对寺观关注度很高,对当地寺观引以为傲为最佳;了解知晓寺观,有一定认同感为一般;其他情况酌情给分。
U14 相关区域的规划政策、法规	政府对于古建筑保护利用的政策完备程度,保护规划政策已制定并实施的为最佳,已编制未实施的为一般,未编制的不得分。
U15 寺观文物保护级别	全国重点文物保护单位为五级;省级文物保护单位为四级;市级文物保护单位为三级;县级文物保护单位为二级;其他情况为一级。
U16 游憩价值	游憩人数多否,休憩游玩设施、服务设施是否齐全。
U17 寺观保护利用程度	建筑完好,各设施完整为最佳;建筑内外表面需要维护修缮,但无损毁建筑的为一般;建筑结构需加固才可使用、内外墙破损严重,设施损坏为差。
U21 寺观本体相关的楹联题刻、诗词等文化内涵	寺观代表或蕴含了某些独特的文化内涵,寺观内有较多文学价值较高的楹联题刻或有与此寺观相关的诗词为佳。
U22 寺观历史以及所在地相关历史事件、历史人物、遗址等	唐代(约 618—907 年)始建的为五级;宋代(约 960—1279 年)始建的为四级;元代(约 1271—1368 年)始建的为三级;明代(约 1368—1644 年)始建的为二级;清代(约 1636—1820 年)始建的为一级。
U23 对宗教文化的传承和宗教教育功能	信仰宗教文化、传统习俗传承有序,延续完整的为五级;比较完整的为四级;传承一般的为三级;几乎不重视传统习俗、不举行信仰仪式的为二级;完全没有的为一级。
U24 宗教文化意象布局完整性(典型性)	佛寺内大雄宝殿、天王殿、藏经楼、钟鼓楼、放生池等佛教相关文化意象组成部分完整、整体审美感强为佳,如有破坏或不完整,酌情给分;道观内主神殿、三清殿、钟鼓楼、影壁、幡杆等道教相关文化意象组成部分完整、整体审美感强为佳,如有破坏或不完整,酌情给分。
U25 当地居民的文保意识	文风较盛,当地居民文物保护意识较强。
U26 寺观的宗教氛围	有无宗教人员,是否举办传承宗教活动,朝拜人数多寡。
U31 寺观选址	重视对自然山水元素的综合利用,将自然山水作为空间布局的重要组成要素进行考虑为佳。
U32 寺观的规模	寺观的占地面积在 2000 m ² 以下为一级,2000~4000 m ² 为二级,4000~6000 m ² 为三级,6000~8000 m ² 为四级,8000 m ² 以上为五级。
U33 寺观总体布局、空间结构	功能分区合理实用,各项服务设施齐全,有明显的轴线、片区划分为佳;布局分散杂乱,服务设施缺失为差。
U34 修复的原真性	修复按照碑记或史料记载布局,位置不变,主要装饰装修特色修复,不改变原有结构,最大程度保留原貌为佳。
U35 建筑装饰装修艺术特征	有显著代表性的艺术特点和明显的修建年代的建筑特色为佳。
U36 植物配置的宗教性及观赏性,古树名木数量种类	如佛教的菩提树、莲花、曼珠沙华、曼陀罗、文殊兰、缅桂花、地涌金莲、高榕等。道教的银杏、桃、柳、艾、柏树、梅、无患子、葫芦等。寺观都常用的柏木、柳杉、干香柏、紫薇等。
U37 小品宗教性及观赏性	小品体现宗教氛围为佳。如佛教的佛塔、经幢、摩崖造像、碑刻等。道教的幡、旗等。佛教道教皆有的香炉、石狮等。
U38 寺观造像及绘画艺术	寺观内造像、绘画数量较多,生动传神有特点,具有代表性为佳。
U39 建筑及铺装材料典型性	以体现材料的地域性特点为最佳,包括建筑材料,铺装材料。
U310 景观完整性	风景园林遗产保存的完整度。
U311 景观特异性	寺观是否具有独特景观特点,如季相特色、水景特色等。
U312 造景手法	景观设计手法的运用是否丰富,合理程度。
U41 植物种类丰富度及数量	植物种类 30 种以上为丰富,5 种以下为不丰富。内部植物着重于有无宗教植物。
U42 山地水域生态状况	原生植被保护良好,二类水质为五级;三类水质为四级;四类水质为三级;五类水质为二级;劣五类水质为一级。
U43 环境协调性	寺观园林与周围环境的协调程度,人造设施无污染,不破坏周围景观,与自然环境协调一致,巧妙利用自然条件为佳。

邀请景观、建筑、规划、从事寺观相关研究等方面的专家、学者 32 位,对选定的 11 处昆明市寺观园

林按照评价体系各项指标评分准则依次进行打分评价,得到各寺观评分结果(表 5)。

表 5 昆明市各寺观园林景观评分结果

Tab. 5 Scoring results of temple landscape in Kunming

基准层	社会价值 总得分	社会价值 排名	文化价值 总得分	文化价值 排名	审美价值 总得分	审美价值 排名	环境价值 总得分	环境价值 排名	各寺观最 后总得分	级别	总得分 排名
曹溪寺	1.28	5	1.22	8	0.55	7	0.50	4	3.57	三级	6
法明寺	1.04	11	1.00	11	0.44	11	0.29	11	2.77	二级	11
黑龙宫	1.32	3	1.26	5	0.55	7	0.45	9	3.56	三级	7
龙泉观	1.29	4	1.27	2	0.56	6	0.50	4	3.61	三级	5
华亭寺	1.23	9	1.23	6	0.55	7	0.51	3	3.52	三级	8
太华寺	1.18	10	1.20	9	0.54	10	0.53	2	3.44	三级	9
盘龙寺	1.27	7	1.27	2	0.59	3	0.50	4	3.63	三级	4
筇竹寺	1.28	5	1.27	2	0.61	1	0.49	7	3.64	三级	3
金殿	1.34	2	1.23	6	0.60	2	0.54	1	3.74	三级	1
圆通寺	1.38	1	1.29	1	0.59	3	0.47	8	3.72	三级	2
真庆观	1.26	8	1.16	10	0.57	5	0.37	10	3.38	三级	10

3 结果与分析

3.1 从价值层分析各寺观园林的差异

3.1.1 社会价值分析

社会价值得分较高的寺观是圆通寺、金殿太和宫和黑龙宫,得分较低的是法明寺和太华寺(图 2)。

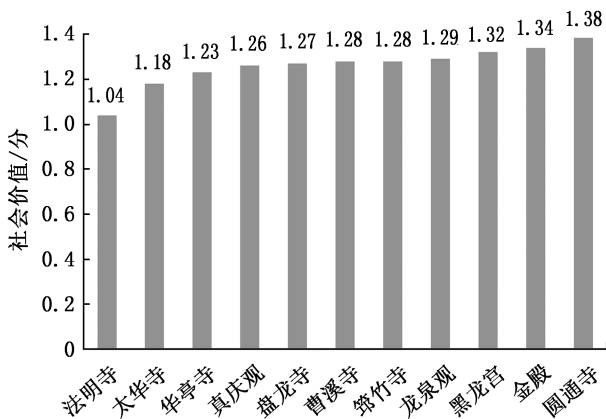


图 2 社会价值得分排序

Fig. 2 Ranking of social value scores

圆通寺和金殿太和宫交通条件都比较便捷,圆通寺主要是因为宗教地位和群众关注度及认同感比较高,是云南省和昆明市佛教协会所在地。金殿是因保护级别为国家级,风景区内除金殿外还有大量历史文物和构筑物,现存建筑保存完好,还建有金殿

文物馆,收藏了吴三桂的大刀和其他一些文物,保护利用程度较高,且因其历史故事使群众关注度和认同感较高。黑龙宫主要是因黑龙潭公园对其外部环境的合理规划极大地增加了其游憩价值,黑龙宫正门面对清水龙潭和浑水龙潭,清浑交界的奇观吸引了大量游人。依据社会价值主要指标,这 3 座寺观的得分都比较高,因此三者社会价值高。法明寺因周边被拆迁,与之相关联的历史建筑也不复存在,加之寺观规模较小,又被一片废墟包围,游憩价值大打折扣,寺观知名度不高,因此社会价值得分较低。太华寺社会价值不高的主要因素为:因其所在位置地势较高,通达性不好,山高路远,加之因其内部古建筑年久失修,整体保护利用程度不好。

3.1.2 文化价值分析

文化价值得分较高的寺观是圆通寺、筇竹寺、盘龙寺和龙泉观,得分较低的是法明寺和真庆观(图 3)。

圆通寺、筇竹寺、盘龙寺和龙泉观均有丰富的相关历史事件、历史人物、遗址等,保存了大量文人墨客、各类艺术家留下的瑰宝。其中圆通寺、盘龙寺日常佛教活动较多,龙泉观道教活动较多,充分发挥了宗教文化的传承和教育功能,因此这 4 座寺观文化价值得分都较高。法明寺除南诏古塔为历史遗址,无其他更多的历史文物,与真庆观相关的历史人物和历史事件知名度较小,鲜为人知,观内除古建筑林立外,较少见其他历史文物,且位于市区中心,两侧

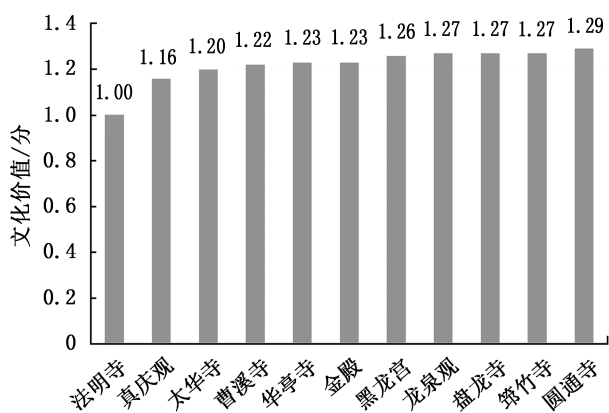


图 3 文化价值得分排序

Fig. 3 Ranking of cultural value scores

厢房开设成商铺,现代商业气息影响了道观的宗教氛围,因此二者文化价值较低。

3.1.3 审美价值分析

审美价值得分较高的是筇竹寺和金殿,得分较低的是法明寺和太华寺(图 4)。

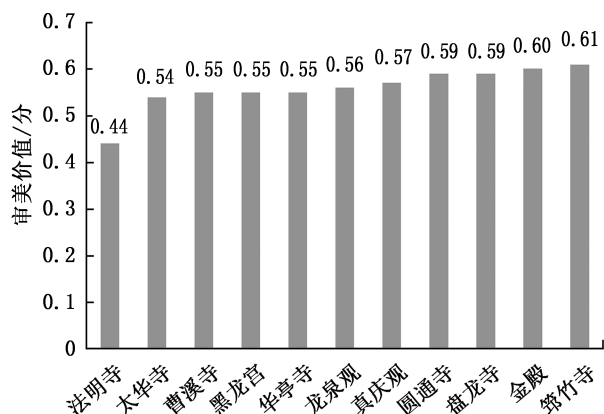


图 4 审美价值得分排序

Fig. 4 Ranking of aesthetic value scores

筇竹寺位于昆明市北郊玉案群峰中,古树苍郁,规模较大,后半部分位于小山坡之上,整个寺庙布局层次变化丰富,加之有泥塑大师黎广修所塑的惟妙惟肖的彩塑五百罗汉,艺术审美价值较高,景观视觉效果较好。金殿太和宫主要是因其珍贵的古树名木和金殿精美的建造艺术而赢得人们青睐,大部分游客都是为一睹金殿全貌慕名而来,整个风景区规模庞大,从起伏的香道穿过三重天门,蜿蜒直至金殿,移步异景。法明寺因周围拆迁,地处废墟,规模较小,植物稀少而导致审美价值较低。太华寺因古建筑破损较多,给人以残破的感觉。

3.1.4 环境价值分析

环境价值得分较高的是金殿太和宫和太华寺,得分较低的是法明寺和真庆观(图 5)。

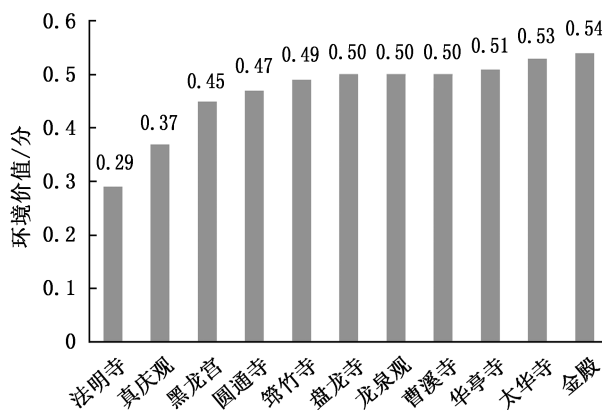


图 5 环境价值得分排序

Fig. 5 Ranking of environmental value scores

金殿位于凤鸣山顶,周围树林密布,院内遍植花草古木,植被条件和生态条件良好。太华寺位于西山,外部密林围绕,内部庭院也有较多古树名木。二者皆是植物众多,被自然环境所环绕,寺观与周围的生态环境相融。因此这两个寺观环境价值较高。法明寺周围皆为拆迁后遗留下来的废墟,植被稀少,真庆观因地处城市中心,庭院内多为硬质铺装,且临城市主干道,周围环境不佳,因此二者的环境价值较低。

3.2 景观价值分析

对昆明市 11 座寺观园林的社会价值,文化价值,审美价值,环境价值进行打分评价,得出 11 座寺观园林景观价值总得分排名,次序为:金殿太和宫(3.74)>圆通寺(3.72)>筇竹寺(3.64)>盘龙寺(3.63)>龙泉观(3.61)>曹溪寺(3.57)>黑龙宫(3.56)、华亭寺(3.52)>太华寺(3.44)>真庆观(3.38)>法明寺(2.77),前 10 名均为三级(一般),最后一名法明寺为二级(较低)(图 6)。

分析结果显示,昆明市寺观园林景观价值总体差距不大,均值为 3.51,景观价值级别为三级(一般),景观价值较普遍、较均衡地处于一般层次,景观价值仍有较大提升空间。昆明市大部分寺观总体景观价值得分均匀分布在 3~4 分范围,说明昆明市寺观的各方面条件有相似之处,且总体水平不差,产生这一现象的原因大致有 3 点:(1)大多处于市区,交通条件相似,均有公交线路或地铁通达;(2)知名度相似;(3)规划政策、保护利用程度相似。

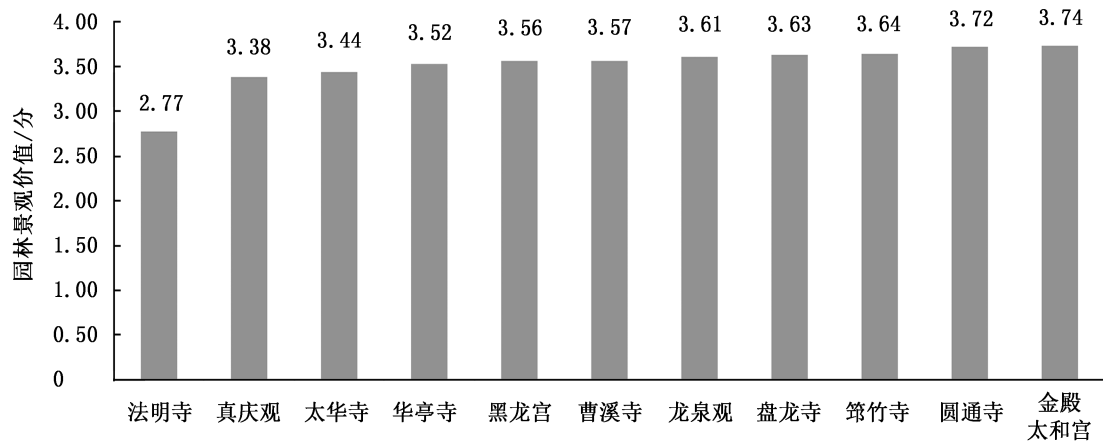


图 6 昆明市寺观园林景观价值排序

Fig. 6 Ranking of temple landscape value in Kunming

4 结论

4.1 景观价值及特点

4.1.1 历史人文背景丰富,文化价值较高

昆明市是 1992 年宣布的全国首批 24 个历史文化名城之一,也是云南省省会。大多寺观中保存着珍贵的历史文物,如建筑、碑刻、楹联、雕像、传记等,这些文物记载了大量相关历史人物、历史事件,文化价值较高。

4.1.2 宗教地位较高

从历史发展沿革和高保护级别的寺观数量来看,昆明寺观在云南范围内宗教地位较高。

4.1.3 优良的生态环境

得天独厚的自然条件,造就了昆明市植物种类丰富、数量众多,丰富了寺观园林的植物景观多样性。

综上所述,虽然昆明市各寺观园林景观价值均处于一般水平,但各寺观园林 4 个价值层的得分却有较大差异。其中社会价值高的寺观其特点主要是群众关注度较高,保护利用情况较好,各项设施规划合理完善;文化价值高的寺观则是其保存下来的文物遗迹和日常举办的宗教活动较多,且文物保护较好,活动知名度较高;审美价值高的寺观其艺术瑰宝保存良好,建筑主体保存良好;环境价值高的寺观其周围绿树成荫,植物种类丰富。

4.2 劣势与困境

4.2.1 知名度不高

昆明市寺观园林景观价值普遍处于一般水平,各寺观差距较小,未充分发挥其各自寺观本身的优势特点;宗教活动形式单一,数量较少,且鲜为人知;

寺观宣传力度较小。综上所述几方面,造成各寺观知名度不高。

4.2.2 缺乏合理修缮

部分寺观古建筑年久失修,且缺少必要的服务设施,如部分寺观仍存在缺少卫生设施,休憩空间小等现状。

5 保护与利用建议

5.1 挖掘文化价值

昆明市寺观最重要的基础条件便是悠久的历史,丰富的人文背景,大量宝贵的历史文物,历史文物承载的精神文化是昆明市寺观园林景观价值的根本所在。因此,需加大对历史文物的保护力度,可开设一些宗教文化体验活动,如冥想、讲经、祈福放生、研学等,以此增强精神共鸣,呼吁公众保护历史文物,强化宗教教育功能。同时利用各线上网络平台宣传或开展线上展览活动,增加群众关注度。

5.2 提升审美与环境价值

加强对古建筑和塑像壁画的修缮,修复时最大程度地保持原真性,充分展现寺观古朴清幽的意境美。昆明四季如春,适宜多种植物生长,为丰富昆明市寺观植物景观多样性提供了自然气候条件。此外,昆明拥有优质的生态环境质量,因此,在对寺观保护和利用时须把原有的生态环境维护好,并把对周围生态环境的影响降到最低。

对昆明市寺观园林景观价值的评价,有助于有针对性地构建寺观园林景观价值评价体系;对昆明市寺观开展以提升景观价值为导向的保护利用行动,为寺观园林这一独特的文化景观传承与保护提

供借鉴。

参考文献:

[1] 张森, 缪方明. 赵朴初对新中国建设人间佛教问题的思考[J]. 世界宗教文化, 2019(4): 60-66.

[2] 魏江羽. 武汉市佛寺园林空间研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.

[3] 昆明市宗教事务局, 昆明市佛教协会. 昆明佛教史[M]. 昆明: 云南民族出版社, 2001.

[4] 宋钰红. 昆明寺庙园林历史研究初探[D]. 北京: 北京林业大学, 2001.

[5] 马珂. 昆明近代园林特征与演变研究(1840—1949年)[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2019.

[6] 杨学政. 云南宗教史[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1999.

[7] 马云霞. 云南寺观园林环境特征及其保护与发展[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2004.

[8] 李悦铮, 俞金国, 付鸿志. 我国区域宗教文化景观及其旅游开发[J]. 人文地理, 2003(3): 60-63.

[9] 李超, 刘馨. 北镇市宗教文化遗产保护格局建构[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2017, 19(6): 541-547.

[10] 王向荣, 林箐. 现代景观的价值取向[J]. 中国园林, 2003(1): 5-12.

[11] 刘滨谊, 王云才. 论中国乡村景观评价的理论基础与指标体系[J]. 中国园林, 2002, 18(5): 76-79.

[12] 肖笃宁, 解伏菊, 魏建兵. 景观价值与景观保护评价

[J]. 地理科学, 2006(4): 4506-4512.

[13] 俞孔坚. 自然风景质量评价研究——BIB-LCJ 审美评判测量法[J]. 北京林业大学学报, 1998, 10(2): 1-11.

[14] 张敏, 韩锋, 李文. 都江堰水系历史景观价值分析及其整体性保护框架[J]. 中国园林, 2018, 34(4): 134-138.

[15] 杨帅. 梅县客家围龙屋建筑遗产及其评价研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2017.

[16] 邓亚东, 史文强, 罗书文, 等. 盐津县典型地质遗迹景观价值评价[J]. 桂林理工大学学报, 2019, 39(3): 599-605.

[17] 谭跃进. 定量分析方法[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2012.

[18] 雷泽鑫, 罗俊杰, 曹磊. 基于 AHP-GIS 的历史性城市景观价值评估量化研究——以历史文化名城太原为例[J]. 太原理工大学学报, 2021, 52(4): 1-14.

[19] 韩利, 梅强, 陆玉梅, 等. AHP-模糊综合评价方法的分析与研究[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(7): 86-89.

[20] 贺慧, 林小武, 余艳薇. 基于 SD 法的绿道骑行环境感知评价研究——以武汉市东湖绿道一期为例[J]. 新建筑, 2019(4): 33-37.

责任编辑: 许易琦

校对: 邓砚 许易琦

(上接第 99 页)

[4] MAAS J, VERHEIJ R A. Are health benefits of physical activity in natural environments used in primary care by general practitioners in The Netherlands[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2007, 6(4): 227-233.

[5] 李欢. 城市公共绿地对人群身心健康的影响研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.

[6] GRAHN P, STIGSDOTTER U K. The relation between perceived sensory dimensions of urban greenspace and stress restoration[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 94(3): 264-275.

[7] 谭少华, 李进. 城市公共绿地的压力释放与精力恢复功能[J]. 中国园林, 2009(6): 79-82.

[8] 游菀玮. 从自然美学探讨恢复效益之提升[D]. 中国台北: 台湾大学园艺学研究所, 2010.

[9] 陈聪. 不同环境的复愈性比较及其与场所依恋关系[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.

[10] MARCUS C C, BARNES M. Healing Gardens: Therapeutic Benefits and Design Recommendations [M]. New York: John Wiley & Sons, 1999.

[11] 李同予, 薛滨夏, 杨秀贤, 等. 基于无线生理传感器与虚拟现实技术的复愈性环境注意力恢复作用研究[J]. 中国园林, 2020, 36(12): 62-67.

[12] 叶柳红, 张帆, 吴建平. 复愈性环境量表的编制[J]. 中国健康心理学杂志, 2010, 18(12): 1515-1518.

责任编辑: 刘平书

校对: 张林艳 刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.029

酉阳叠石花谷入口花境植物种类及配置分析

陶成铭, 易小林

(西南大学园艺园林学院, 重庆 北碚 400715)

摘要:采用外业实地调查、内业数据分析整理及照片拍摄的方法,对叠石花谷景区入口花境植物品种、生长高度、配置模式、观赏效果等进行了统计和分析,发现该景区应用花境植物共 78 种,隶属于 26 科 62 属,植物种类类型包括灌木类(25.64%)、多年宿根类(44.87%)、观赏草类(25.64%)、球根类(2.56%)、1~2 年生类(1.28%),其中观赏草类植物在景观效果呈现方面具主导作用。从层次搭配、色彩表达、形状与线型、主题营造 4 个方面分析了该景区入口花境景观的特点。针对入口花境景观本身需要长期观赏的特点,提出入口花境景观前期规划考虑成本和效果,后期补植延续景观效果等建议。

关键词:叠石花谷;入口花境;植物调查;配置分析

中图分类号:S731.9;TU986.48;TU986.34 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0181-07

引文格式:陶成铭,易小林. 酉阳叠石花谷入口花境植物种类及配置分析[J]. 林业调查规划,2022,47(2):181-187.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.029

TAO Chengming, YI Xiaolin. Species and Configuration of Flower Border Plants at Entrance of Dieshihua Valley in Youyang [J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 181-187. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.029

Species and Configuration of Flower Border Plants at Entrance of Dieshihua Valley in Youyang

TAO Chengming, YI Xiaolin

(College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Beibei, Chongqing 400715, China)

Abstract: Statistics and analysis of plant species, growth height, configuration mode and viewing effect of the entrance flower border in Dieshihua Valley Scenic Area were carried out by the methods of field investigation, data analysis and photo shooting. The results found that there were 78 species of applied flower border plants in the scenic area, belonging to 62 genera and 26 families. The plant types included shrubs (25.64%), perennial roots (44.87%), ornamental grasses (25.64%), bulbous roots (2.56%), and biennials (1.28%), among which ornamental grasses played a leading role in the presentation of landscape effects. The characteristics of the entrance flower border landscape were analyzed from four aspects of hierarchical collocation, color expression, shape and line type, and theme construction. In view of the long-term viewing characteristics of the entrance flower border landscape, this paper proposed to consider the cost and effect in the early stage planning and replant the landscape effect in the later stage.

Key words: Dieshihua Valley; entrance flower border; plant survey; configuration analysis

收稿日期:2021-03-15.

第一作者:陶成铭(1997-),女,重庆大足人,硕士研究生.专业方向为植物造景与景观规划. Email:1573849475@qq.com

责任作者:易小林(1975-),男,四川双流人,副教授.主要从事乡村景观规划设计、观光农业设计研究.

随着网络自媒体的发展,色彩绚丽或主题鲜明的花境景观受到人们喜爱,越来越多的景观营造中选择花境作为园区的核心,重庆市酉阳叠石花谷景区正是其中代表之一。该园区使用 1~2 年生花卉、观赏草、多年生宿根花卉、灌木等花境植物相结合的方式,利用地形差异打造大尺度的入口花境景观。当地石漠化特征的地形地貌限制了地区经济的发展,而景区通过景观策略的提升,将花境景观和当地的地质特点巧妙融合,形成独具特色的景点,为当地的经济发展助力。

1 叠石花谷景区概况

景区位于重庆市酉阳县板溪镇,典型的喀斯特石漠化地貌。属亚热带湿润季风气候区,全年雨量充沛,冬暖夏凉,年平均日照时数为 1 131 h。年均温由海拔 280 m 的沿河地区 17℃ 递减到中山区的 11.8℃,1 月最低温 3.8℃,7 月最高温 24.5℃,年降雨量在 1 000~1 500 mm。2019 年 10 月,酉阳县叠石花谷景区以“叠石花谷,石上生花”的旅游品牌形象开园^[1]。景区总规划面积 135.8 hm²,其中花境景观面积约 10 000 m²,入口花境区域约 3 000 m²,景区植物种类丰富,景观类型多样。

2 花境研究概况

花境研究最早起源于 19 世纪欧洲的英国,通过模仿森林边缘野生花卉的生长群落形态,人为地营造森林群落形态构成,已达到欣赏自然之美的目的^[2]。花灌木、1~2 年生植物、多年生宿球根植物、观赏草等均可作为花境材料。常见的花境可分为单面与双面两种形式,单面式花境里的植物面向道路形成一个斜坡,而双面式花境里的植物则有高低结构^[3]。叠石花谷景区两侧大门的入口花境主要以单面式观赏花境为主,巧妙利用了地形和山石将其花境观赏纵深感放大,营造了大尺度的空间感。对于大尺度的空间,辰山花环项目也进行过探索和设计,主要是单块区域的一种或两种花境植物大面积组合种植^[4]。叠石花谷景区入口花境整体规划面积大且采用混合式配置方式,施工难度较高。国内大多数的花境设计主要是通过经验丰富的花境设计师直接进行组合搭配,根据季节性的供苗情况和个人的经验能力,组织现场施工^[5]。叠石花谷景区的入口花境营造也同样采用了此方法。

3 研究方法

采用实地调查与文献查阅相结合的方法。本次调研时间为 2020 年 7—8 月,通过实地测量记录酉阳叠石花谷景区入口花境所运用的主要植物种类、高度以及借鉴优质的组合案例照片,同时拍摄了大量实地调查图片,分析其花境配置模式。

3.1 花境植物资源调查

调查记录重庆市酉阳县叠石花谷景区入口花境主要应用的花境植物物种或品种。记录内容包括中文名称、科属、主要观赏特性、植株生长高度等。

3.2 花境植物配置调查

实地调查拍摄过程中,选择景观效果好、色块搭配有章法以及整体景观或特色搭配较为突出的花境植物群落,反映其整体效果。

4 调查结果与分析

4.1 大尺度花境景观中植物应用品种

叠石花谷景区入口花境主要应用的植物品种统计见表 1。

调查显示,重庆市酉阳县叠石花谷景区入口花境主要应用的园林植物品种共 78 种,隶属于 26 科 62 属。

4.2 大尺度花境景观的配置分析

叠石花谷景区入口花境植物种类类型占比分析见图 1。

叠石花谷景区入口花境运用的植物种类类型包括灌木类(25.64%)、多年宿根类(44.87%)、观赏草类(25.64%)、球根类(2.56%)、1~2 年生类(1.28%),通过 1 个月的实地测量,从景区花境景观的植物层次搭配、色彩表达、形状与线型、主题营造等 4 个方面进行逐一分析。

4.2.1 层次搭配

实地测量花境景观中所运用植物的植株高度,发现夏季叠石花谷景区的花境植物的植株高度为 10~300 cm。从花境的层次搭配方面对入口花境边缘区和中心区进行分析。

花境边缘区主要有 3 种配置模式(图 2)。

1)在一层地被中使用高度约 15 cm 的植物,如金叶过路黄这类叶形细密的地毯式植物,作为镶边植物种植成条带状或块状。一层植物和二层植物高差约 30 cm。如图 2(a)所示,其搭配组合为:金叶佛甲草、细叶芒、山桃草。

表 1 叠石花谷景区入口花境景观主要运用的花境植物品种

Tab. 1 Plant varieties mainly used in the entrance flower border of Dieshihua Valley Scenic Area

类型	品种名	科属	观赏色彩	株高/cm	
灌木类	蓝雪花 <i>Plumbago auriculata</i> Lam.	白花丹科蓝雪花属	蓝	60~80	
	迷迭香 <i>Rosmarinus officinalis</i> L.	唇形科迷迭香属	绿、蓝紫	60~80	
	直立冬青 <i>Ilex crenata</i>	冬青科冬青属	绿	80~120	
	龟甲冬青球 <i>Ilex crenata</i>	冬青科冬青属	绿	60~80	
	银叶金合欢 <i>Acacia podalyriifolia</i>	冬青科金合欢属	银绿	200~300	
	香水合欢 <i>Calliandra brevipes</i>	豆科合欢属	红	80~150	
	绣球 <i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	虎耳草科绣球属	红	30~50	
	纹瓣悬铃花 <i>Abutilon pictum</i> (Gillies ex Hook.) Walp.	锦葵科苘麻属	黄绿	100~150	
	五色梅 <i>Lantana camara</i> L.	马鞭草科马缨丹属	红	60~100	
	紫珠 <i>Callicarpa bodinieri</i> Levl.	马鞭草科紫珠属	紫	150~180	
	假连翘 <i>Duranta erecta</i> L.	马鞭草科假连翘属	绿、紫	150~300	
	金叶假连翘 <i>Duranta repens</i>	马鞭草科假连翘属	黄绿、紫	40~70	
	细叶萼距花 <i>Cuphea hyssopifolia</i> Kunth.	千屈菜科萼距花属	红	30~40	
	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i> (Maxim.) Li	蔷薇科火棘属	红	100~130	
	金焰绣线菊 <i>Spiraea bumalda</i>	蔷薇科绣线菊属	黄绿、红	30~60	
	金山绣线菊 <i>Spiraea bumalda</i>	蔷薇科绣线菊属	黄绿、红	30~60	
	大花六道木 <i>Abelia grandiflora</i>	忍冬科六道木属	白	60~80	
	花叶锦带 <i>Weigela florida</i>	忍冬科锦带花属	黄绿、红	100~150	
	红花玉芙蓉 <i>Leucophyllum frutescens</i> (Berl.) I. M. Johnston	玄参科红花玉芙蓉属	银绿、红	100~150	
	醉鱼草 <i>Buddleja lindleyana</i> Fortune.	醉鱼草科醉鱼草属	红	150~200	
	多年生宿根类	玉簪 <i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers	百合科玉簪属	绿、紫	30~100
		金边吊兰 <i>Chlorophytum comosum</i>	百合科吊兰属	黄绿	15~20
		金叶过路黄 <i>Lysimachia nummularia</i>	报春花科珍珠菜属	黄	10~15
墨西哥鼠尾草 <i>Salvia leucantha</i> Cav.		唇形科鼠尾草属	紫	80~160	
蓝花鼠尾草 <i>Salvia farinacea</i> Benth.		唇形科鼠尾草属	蓝	30~60	
樱桃鼠尾草 <i>Salvia greggii</i>		唇形科鼠尾草属	红、白	50~100	
天蓝鼠尾草 <i>Salvia uliginosa</i> Benth.		唇形科鼠尾草属	蓝	60~150	
矾根 <i>Heuchera cylindrica</i>		虎耳草科矾根属	紫、黄、绿	10~15	
芙蓉葵 <i>Hibiscus moscheutos</i> L.		锦葵科木槿属	紫	100~200	
金叶佛甲草 <i>Sedum lineare</i> Thunb.		景天科景天属	黄绿	10~20	
八宝景天 <i>Hylotelephium erythrostictum</i> (Miq.) H. Ohba		景天科景天属	粉红	30~50	
山梗菜 <i>Lobelia sessilifolia</i> Lamb.		桔梗科半边莲属	粉红	60~120	
蓍草 <i>Achillea millefolium</i> L.		菊科蓍属	白、粉	40~100	
蛇鞭菊 <i>Liatris spicata</i> Willd.		菊科蛇鞭菊属	紫红	70~120	
一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.		菊科飞蓬属	白、粉	30~100	
藜香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i> L.		菊科藜香蓟属	蓝紫	15~20	
姬小菊 <i>Brachyscome angustifolia</i>		菊科雁河菊属	红、紫	10~15	
轮叶金鸡菊 <i>Coreopsis verticillata</i>		菊科金鸡菊属	黄、粉	60~90	
松果菊 <i>Echinacea purpurea</i> (L.) Moench		菊科菊属	红、绿、黄	30~60	

续表 1

类型	品种名	科属	观赏色彩	株高/cm
	阿魏叶鬼针草 <i>Bidens ferulifolia</i> (Jacq.) Sweet	菊科鬼针草属	黄	15~20
	朝雾草 <i>Artemisia schmidtiana</i> Maxim.	菊科艾属	银绿	10~15
	堆心菊 <i>Helenium bigelovii</i>	菊科堆心菊属	黄	30~35
	夏菊 <i>Dendranthema morifolium</i>	菊科夏菊属	红、黄	30~40
	木春菊 <i>Argyranthemum frutescens</i> (L.) Sch.-Bip.	菊科木茼蒿属	黄	60~100
	金光菊 <i>Rudbeckia laciniata</i> Linn.	菊科金光菊属	黄	60~70
	翠芦莉 <i>Aphelandra ruellia</i>	爵床科单药花属	紫	30~50
	山桃草 <i>Gaura lindheimeri</i> Engelm. et Gray	柳叶菜科山桃草属	白、粉	60~100
	美丽月见草 <i>Oenothera speciosa</i> Nutt.	柳叶菜科月见草属	粉红	15~20
	矮生马鞭草 <i>Verbena rigida</i>	马鞭草科马鞭草属	红	30~40
	柳叶马鞭草 <i>Verbena bonariensis</i> L.	马鞭草科马鞭草属	紫	80~150
	美人蕉 <i>Canna indica</i> L.	美人蕉科美人蕉属	黄、粉、红	100~150
	花烟草 <i>Nicotiana glauca</i> Link Otto	茄科烟草属	粉红	60~150
	紫娇花 <i>Tulbaghia violacea</i> Harv.	石蒜科紫娇花属	紫红	30~50
	毛地黄吊钟柳 <i>Penstemon laevigatus</i> subsp. <i>digitalis</i>	玄参科钓钟柳属	红、浅紫色	60~80
	穗花婆婆纳 <i>Veronica spicata</i> L.	玄参科婆婆纳属	蓝、紫	20~60
观赏草类	灯芯草 <i>Juncus effusus</i> L.	灯芯草科灯芯草属	绿	40~60
	蓝滨麦 <i>Leymus arenarius</i>	禾本科赖草属	蓝绿	50~120
	火焰狼尾草 <i>Pennisetum setaceum</i>	禾本科狼尾草属	红	60~120
	紫叶狼尾草 <i>Pennisetum setaceum</i>	禾本科狼尾草属	紫红	80~120
	坡地毛冠草 <i>Melinis nerviglumis</i>	禾本科红毛草属	绿、粉红	45~60
	细叶芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	禾本科芒属	银白色	60~100
	粉黛乱子草 <i>Muhlenbergia capillaris</i> (Lam.) Trin.	禾本科乱子草属	绿、粉红	60~90
	矮蒲苇 <i>Cortaderia selloana</i>	禾本科蒲苇属	灰绿、银白	60~90
	长柔毛狼尾草 <i>Pennisetum villosum</i>	禾本科狼尾草属	绿	60~120
	金红羽狼尾草 <i>Pennisetum setaceum</i> (Forssk) Chiov.	禾本科狼尾草属	红紫	60~120
	重金属柳枝稷 <i>Panicum virgatum</i>	禾本科黍属	绿	50~120
	小兔子狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	禾本科狼尾草属	白	15~30
	花叶蒲苇 <i>Cortaderia selloana</i>	禾本科蒲苇属	银白	100~150
	血草 <i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i>	禾本科白茅属	红	60~90
	红象草 <i>Pennisetum laucum</i>	禾本科狼尾草属	紫红	250~300
	蒲苇 <i>Cortaderia selloana</i>	禾本科蒲苇属	蓝绿、白	180
	‘杏后’新西兰麻 <i>Phormium apricot</i>	龙舌兰科新西兰麻属	绿	200~300
	‘晚霞’新西兰麻 <i>Phormium tenax</i>	龙舌兰科新西兰麻属	粉绿	200~300
	澳洲朱蕉 <i>Cordyline australis</i>	龙舌兰科朱蕉属	紫红	60~100
	苔草 <i>Carex oshimensis</i>	莎草科苔草属	绿、黄绿、棕红	15~30
球根类	百合 <i>Lilium brownii</i> var. <i>viridulum</i> Baker	百合科百合属	白	70~150
	火把莲 <i>Kniphofia uvaria</i> (L.) Oken	百合科火把莲属	橙红	30~60
1~2 年生类	美女樱 <i>Verbena hybrida</i> Voss	马鞭草科马鞭草属	各色	10~30

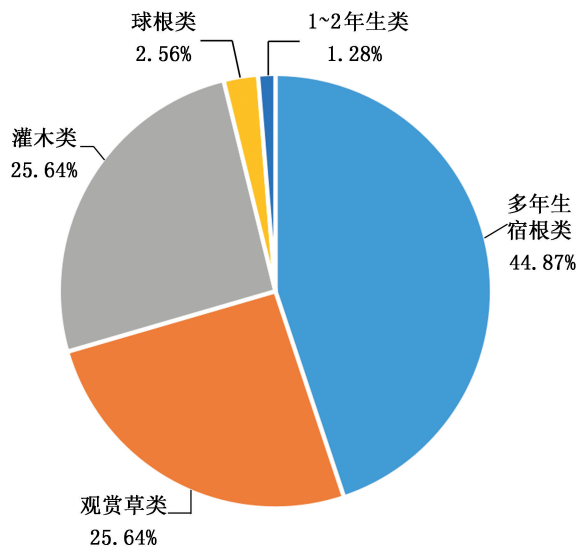


图 1 花境植物种类类型占比
Fig. 1 Proportion of flower border plant types

2) 在花境边缘区使用高度约 15~30 cm 的植物, 根据植物的形态特征、生活习性进行组合种植, 形成具有高低层次过渡的组团, 植物间的高度差约 10~20 cm。边缘区使用的植物种类较丰富, 搭配层次较为紧凑。如图 2(b) 所示, 其搭配模式为: 金叶佛甲草、姬小菊、玉簪、五色梅。

3) 在花境边缘区选择高度约 20 cm 的植物, 且选择的品种单一。如山桃草种植于花坛, 盛花时茎叶开散, 花枝飞扬。如图 2(c) 所示, 其搭配模式为山桃草。

花境中心区植物以散点种植的高层骨架灌木为主, 按种植比例由高到低排序: 银叶金合欢>香水合欢>蒲葶>新西兰亚麻。灌木的单体观赏效果较为醒目。新西兰亚麻植株高大, 有宽大的斜线叶形、硬挺的质地, 种植在景观制高点可成为花境中最为突出的视觉焦点; 蒲葶高大垂直的线条拉高视觉效果;

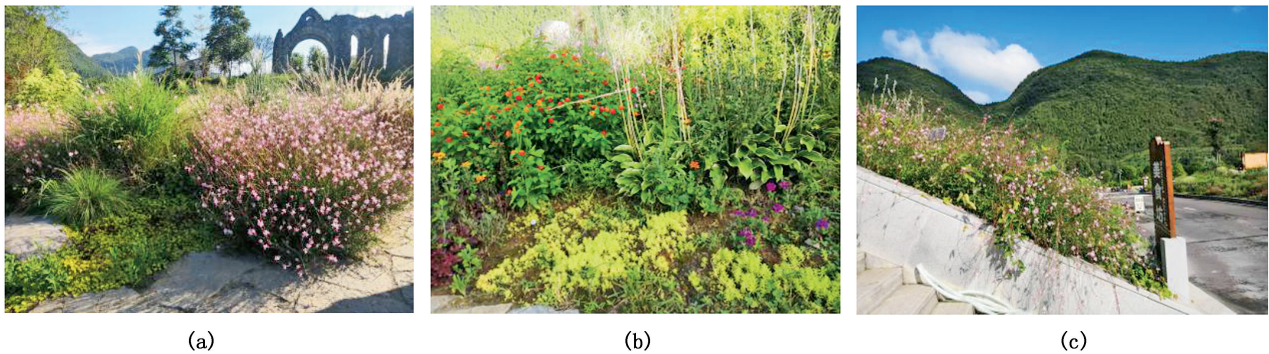


图 2 层次搭配

Fig. 2 Hierarchical collocation

银叶金合欢松散的树形结构在风中摇摆, 与岩石搭配出野逸意境; 香水合欢满树毛茸茸的花朵像粉云迷雾。花境植物组合形成上虚下实、高散低密的层次搭配感, 其配置模式主要为银叶金合欢、紫叶狼尾草、蓝花鼠尾草、美人蕉、金叶绣线菊、八宝景天、苔草。

4.2.2 色彩表达

叠石花谷景区花境景观色彩表达具有 3 个特点。

1) 观赏草的叶片色彩对比。花境植物的色彩表达不仅体现在花境植物观赏的主要器官花朵, 其叶片同样色彩丰富, 如银白色的朝雾草、金叶佛甲草、紫叶狼尾草等。花境植物叶片的色彩在实际景观效果表现方面具有斑块化特征, 如浓厚的紫红色系和浅淡的银绿色系让整个花境的色彩像一个混彩的调色盘, 紫红色系的表现植物主要有澳洲朱蕉、紫

叶狼尾草、金红羽狼尾草、火焰狼尾草、山桃草等, 银绿色系表现植物有花叶蒲葶、朝雾草、蒲葶、细叶芒等。如图 3(a) 中两种色系的混合搭配使用, 使整体花境景观效果充满油画般质感。

2) 地区光照强度影响色彩的明度。花境植物所具有的色相、明度、饱和度、色彩的感知共同影响花境美的表达。色彩的感知受环境影响大, 依赖于相近的色彩和光的质量。通过 1 个月的观察记录发现酉阳叠石花谷景区夏季光照较强, 天空明净, 视觉感受到的色彩明度增强, 而本身具有阴郁气质的蓝色、紫色系的植物显得更加的缥缈和仙逸, 如蓝色系的叶片, 蓝滨麦、蒲葶、银叶金合欢; 蓝紫色系的花朵, 天蓝鼠尾草、穗花婆婆纳、蓝花鼠尾草等。如图 3(b) 中一道阳光倾泻而下照亮了粉紫色的山桃草, 让花朵明度增强, 这证明因为光照强度的不同, 植物色彩表达呈现出明显的明暗对比。

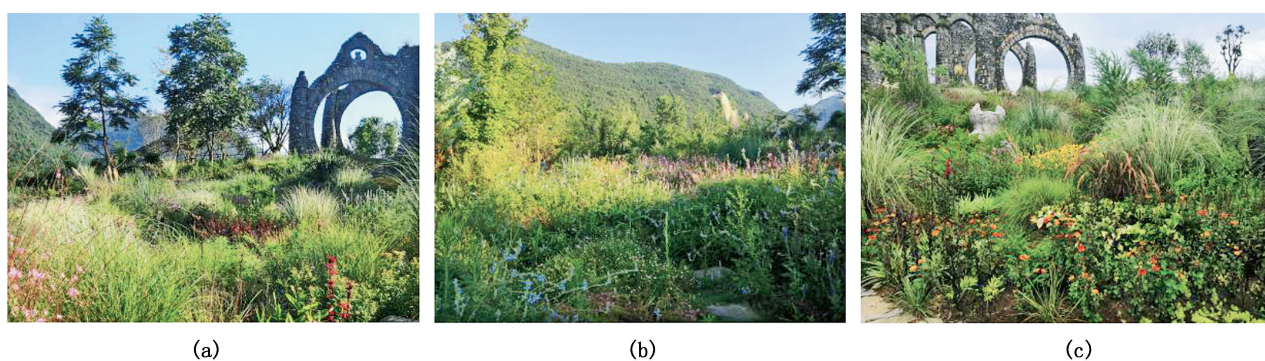


图 3 色彩表达

Fig. 3 Color expression

3) 利用色相本身具有的表达优势。植物的色相通常是指色彩,物体表现为红色、蓝色或黄色等,由光的波长所决定。不同的色相给人不同的心理感受,通常认为黄色具有清新、欢乐的特征,给人温暖、柔和之感,当与退隐感色彩如蓝、绿色相搭配时,黄色有前进的趋向。在图 3(c) 中黄色系花卉金光菊在花境深处成丛点缀,点亮了暗部的角落,明快的黄色在大片绿色中脱颖而出,给人以印象深刻的色彩感受。其配置模式为金光菊、花叶蒲苇、矮蒲苇、细叶芒、紫叶狼尾草、坡地毛冠草。

4.2.3 形状与线型

束丛状的花境植物常见于单子叶植物,包括大部分的观赏草种类,如图 4(a) 的花叶蒲苇。这类植物通常成丛种植,延伸线条,其粗细、高度、质感、色彩又有所不同。叠石花谷景区的入口花境景观最为突出的线性表达结构就是斜线,斜线充满活力、动态

和令人兴奋,同时表达了张力和较高的潜在能量,这种强劲的特征使其成为组合中的力量元素,新西兰亚麻、狼尾草等均是斜线结构的代表,如图 4(b) 所示。

新西兰麻、澳洲朱蕉这类粗糙质地的植物在组合中产生强调作用,其粗大叶子与上升线条、浓厚色彩等结合在一起,变成视觉目标,在植物组合中能显著标识空间,在视觉目光中一眼锁定,粗糙质地植物的能量感给予其视觉的重量和稳固感,所以在视觉上也同样扮演“锚固”的角色,将周围散乱、不稳定、精细质地的植物如众星拱月般组合在一起,形成一个稳定的视觉群落,如红色的澳洲朱蕉易在种植群落中成为视觉亮点,以其为视觉观赏的中心,将半球形、圆丘形或倒伏形的植物结合在一起,如图 4(c) 所示,其配置模式为:毛地黄约钟柳、澳洲朱蕉、轮叶金鸡菊、苔草、矾根、金叶佛甲草。



图 4 形状与线型

Fig. 4 Shape and line type

4.2.4 主题营造

花境种植的主题多样,有基于审美特征的色彩主题、质地主题、季相主题,基于分类学关系的植物

分类主题或基于生长环境的生境主题等。花境中的色彩控制形成了色调渲染的普遍情调。20 世纪早期工艺美术时期的“英国乡村花园”非常流行色彩

主题的花境,尤其是白色花和灰色、银色主题的花境。叠石花谷景区的主题营造具有两个特点。

1)将场地生境的石漠化劣势转化为特色叠石景观优势。叠石花谷景区具有石漠化生境的特征,生态脆弱、土层浅薄,限制了花卉种类的选用。在主题营造上将石漠化的场地劣势进行艺术化再造,塑造出特色叠石景观优势,将“石上生花”的本土景观特色中的“石花”概念(图5(a))与花境生境特征相呼应,在花境植物选择上多以耐性较强的植物品种为主,如大量使用观赏草。观赏草的色彩、植株高

度、质感、花期等元素搭配更能突出表达自然野趣的观赏草群体景观^[6]。

2)花境景观结合“傩文化”雕塑,渲染整体气氛。将叠石花谷景区中表达神灵崇拜的“傩文化”雕塑与入口花境营造的神秘古朴的意象感受相呼应。因地制宜地使用当地的石材制作独具特色的景观小品,如图5(b)所示。叠石花谷景区入口的石拱门色彩是清冷的灰色系,石头粗糙的质感给人以神秘的苍古之感,如图5(c)所示,突出营造神秘、原始、野逸之感。



(a) 图片来源于网络



(b) 自摄



(c) 自摄

图5 主题营造

Fig. 5 Theme construction

5 结论

1)综上所述,从景观层次搭配、色彩表达、线型与形状、主题营造等方面总结出叠石花谷景区入口花境景观植物配置具有4个特点:植物搭配层次错落、高低有致;色彩表达借力于地区优势;线型组合突出视觉锚固作用;因地取材造景,花境设计烘托主题。

2)花境景观的养护和更新尤为重要,特别是对于入口花境景观,为了维持其长期的良好发展态势,需要定期进行修剪和补植,控制其生长态势。叠石花谷景区入口花境景观在设计前期大量使用观赏草既满足了花境景观效果,也减少了景观管理成本,以此保证整个花境景观的繁盛不衰。对于入口花境景观前期规划要考虑成本和效果,后期养护和补植则需要延续景观效果。

3)部分小群落景观失衡,随着季节变化植物生长高度和生长范围随之发生变化,部分植物后期生长空间受到压制,被覆盖掉甚至枯死,如直立冬青、龟甲冬青生长过慢,后期光照不足,易枯死。花境设计者要在后期的设计中进行更优质的整体规划。

总体而言,叠石花谷景区的入口花境景观前期规划合理,后期持续养护较好,使花境景观的观赏效果得到良性循环。

参考文献:

- [1] 邱洪斌. 亿万年的岩脊晃开了花[J]. 今日重庆, 2020(8): 34-36.
- [2] 袁婷. 花境的设计原则及类型[J]. 现代农业科技, 2020(23): 144-145.
- [3] 何国昌. 花境中地被植物的应用[J]. 花卉, 2020(12): 66-67.
- [4] 舒婷婷, 陈夕雨, 胡永红. 辰山花环, 四季乐章——上海辰山植物园大尺度花境的探索[J]. 中国园林, 2015, 31(7): 52-58.
- [5] 陈育青. 花境设计、施工与养护[J]. 中国花卉园艺, 2020(18): 22-24.
- [6] 田娅玲. 观赏草在大尺度花境中应用的理论与实践——以上海辰山植物园为例[J]. 安徽农学通报, 2020, 26(Z1): 65-67, 69.

责任编辑: 陈旭

校对: 张林艳 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.030

郑州市园林绿地木质藤本植物应用研究

李倩倩,袁德强,高振丽,王鹏飞

(河南农业大学 风景园林与艺术学院,河南 郑州 450002)

摘要:通过对郑州市 27 个园林绿地中的木质藤本植物多样性及应用形式进行调查,并运用景观评价法,对藤本植物景观单元进行综合评价。植物园、人民公园木质藤本植物种类应用最多;紫藤、凌霄、三叶地锦等应用频率最高;应用形式主要有墙面、高架、棚架等 8 种,其中棚架景观应用频率和景观效果最为显著。同时针对郑州市园林绿化中木质藤本植物存在的问题,提出相关建议。

关键词:木质藤本植物;多样性;应用形式;景观评价法;郑州市

中图分类号:S731.2;S687.3 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2022)02-0188-06

引文格式:李倩倩,袁德强,高振丽,等.郑州市园林绿地木质藤本植物应用研究[J].林业调查规划,2022,47(2):188-193. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.030

LI Qianqian, YUAN Deqiang, GAO Zhenli, et al. Application of Woody Lianas in Garden Green Space in Zhengzhou City [J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 188-193. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.030

Application of Woody Lianas in Garden Green Space in Zhengzhou City

LI Qianqian, YUAN Deqiang, GAO Zhenli, WANG Pengfei

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

Abstract: The diversity and application forms of woody lianas in 27 garden green spaces in Zhengzhou were investigated, and the landscape evaluation method was used to comprehensively evaluate the landscape units of lianas. The species of woody lianas in botanical gardens and people's parks were the most widely used; *Wisteria sinensis*, *Campsis grandiflora*, *Parthenocissus semicordata* and so on had the highest application frequency; application forms mainly included wall, elevated, and scaffolding, among which the scaffolding landscape application frequency and landscape effect were the most significant. In response to the problems of woody lianas in the landscaping of Zhengzhou City, relevant suggestions were put forward.

Key words: woody lianas; diversity; application form; landscape evaluation method; Zhengzhou City

木质藤本植物在城市园林绿地中占有重要地位,是构建垂直绿化景观、拓展绿化空间、提高绿化水平的主要材料,其具有木质茎,但茎不能独立向上生长,需借助攀援器官,通过缠绕或卷须攀援等方式依附于其他支撑物才能向上生长^[1-2]。木质藤本植物具有占地面积少、根系发达、适应性强、生长速度

快、可粗放管理等特点,能够较快地起到绿化效果,在较短时间内可改善生态环境,有效解决绿地面积不足与人们对生活环境要求提高的矛盾^[3]。同时,藤本植物根系发达,固坡保水保土能力较强,在边坡防护方面有良好的效果^[4]。目前,对于藤本植物的种类、生活习性、观赏特性和生态功能等方面研究较

收稿日期:2021-03-03.

第一作者:李倩倩(1995-),女,河南驻马店人,硕士研究生.主要从事风景园林规划方面的研究.

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

多^[5-6],但木质藤本植物在园林绿地中应用的研究相对较少。通过对郑州市木质藤本植物应用方面的调查分析,提出相关优化建议,以期为今后木质藤本植物的应用提供参考。

1 研究地概况及方法

1.1 郑州市概况

郑州市地处 112°42'~114°13'E,34°16'~34°58' N,属北温带大陆性季风气候,四季分明,降雨量 632 mm,无霜期 220 d。东西宽 166 km,南北长 75 km。地处中原腹地,华北平原南部,黄河中下游,北临黄河,西依嵩山,是伏牛山脉东北翼向黄淮平原过渡的交接地带,整体地势西高东低。

1.2 研究方法

采用实地踏查结合查阅相关文献的方法对郑州市公园绿地、道路绿地、校园绿地 3 种类型 27 个园林绿地中的木质藤本植物种类、观赏特性及应用形式进行调查,运用美景度评价法对藤本植物应用形式进行综合评价。

2 郑州市藤本植物种类调查与结果分析

对郑州市木质藤本植物种类进行了调查,见表 1。

表 1 木质藤本植物所属科属
Tab. 1 Families and genera of lianas

序号	科	属(种数)
1	五加科	常春藤属
2	防己科	木防己属
3	夹竹桃科	蔓长春花属(2种)、络石属(2种)
4	萝藦科	杠柳属
5	木犀科	素馨属(2种)
6	葡萄科	葡萄属、地锦属(2种)
7	蔷薇科	蔷薇属(3种)
8	忍冬科	忍冬属
9	桑科	榕属
10	旋花科	银背藤属
11	紫葳科	凌霄属(2种)
12	豆科	紫藤属
13	卫矛科	卫矛属

调查结果表明,郑州市木质藤本植物有 22 种,隶属 13 科 15 属。其中,优势科属为夹竹桃科蔓长春花属和络石属,以及蔷薇科蔷薇属。

2.1 应用频率分析

将藤本植物单元类型占调查藤本植物单元总数的百分比作为应用频率(F)。根据调查结果得出,紫藤(*Wisteria sinensis*)、凌霄(*Campsis grandiflora* (Thunb.) Schum.)、三叶地锦(*Parthenocissus semicordata* (Wall. ex Roxb.) Planch.)、藤本月季(*Rosa chinensis* Jacq.)、常春藤(*Hedera nepalensis* K. Koch var. *sinensis* (Tobl.) Rehd.)等几种植物的应用频率最高,其中紫藤的应用频率较高,应用最为广泛;薜荔(*Ficus pumila* Linn.)、葛藤(*Argyrea seguinii* (Levl.) Van. ex Levl.)、杠柳(*Periploca sepium* Bunge)和木防己(*Cocculus orbiculatus* (L.) DC.)等几种植物的应用频率较低,应用范围受到较大限制。将 22 种木质藤本植物按照应用频率分为 4 个等级,分别为 $0 < F \leq 0.01$ 、 $0.01 < F \leq 0.03$ 、 $0.03 < F \leq 0.06$ 、 $0.06 < F \leq 0.13$,4 个等级分别有 4、8、5、5 种木质藤本植物(表 2)。

表 2 植物名录及应用频率

Tab. 2 List and application frequency of plants

种名	科	属	常绿或落叶	观赏特性	应用频率
凌霄	紫葳科	凌霄属	落叶	观花、观干	0.13
紫藤	豆科	紫藤属	落叶	观花、观干	0.12
三叶地锦	葡萄科	地锦属	落叶	观叶	0.09
藤本月季	蔷薇科	蔷薇属	落叶	观花	0.07
常春藤	五加科	常春藤属	常绿	观叶	0.08
五叶地锦	葡萄科	地锦属	落叶	观叶	0.06
扶芳藤	卫矛科	卫矛属	常绿	观叶、观果	0.05
黄素馨	木犀科	素馨属	落叶	观花、观干	0.06
蔓长春花	夹竹桃科	蔓长春花属	常绿	观叶	0.05
野蔷薇	蔷薇科	蔷薇属	落叶	观花	0.04
云南黄素馨	木犀科	素馨属	常绿	观叶	0.03
花叶蔓长春花	夹竹桃科	蔓长春花属	落叶	观叶	0.03
络石	夹竹桃科	络石属	常绿	观叶、观花	0.04
忍冬	忍冬科	忍冬属	落叶	观花	0.03
葡萄	葡萄科	葡萄属	落叶	观叶、观果	0.03
美国凌霄	紫葳科	凌霄属	落叶	观花、观干	0.02
花叶络石	夹竹桃科	络石属	常绿	观叶、观花	0.01
木香花	蔷薇科	蔷薇属	落叶	观花	0.01
葛藤	旋花科	银背藤属	落叶	观干、观叶	0.01
薜荔	桑科	榕属	落叶	观叶	0.01
木防己	防己科	木防己属	常绿	观叶	0.01
杠柳	萝藦科	杠柳属	落叶	观叶	0.01

凌霄的应用频率最高,为 0.13,紫藤的应用频率为 0.12,在所调查的 27 个园林绿地的 142 个植物应用单元中分别有 17 个和 18 个单元应用紫藤和凌霄;紫藤是落叶攀援性大藤本植物,园林效果独具风格,开花繁多,成串的紫色花序悬挂于绿叶藤蔓之间,在园林中常独自或与凌霄一起用于攀绕棚架,形成花廊。凌霄的花为碧绛花,花期长且花色美艳,观赏期较长,冬季来回盘扎的枝条也可形成别致的景观,宋代诗人曾肇诗云:“凌霄体纤柔,枝叶土托丽。青青乱松树,枝干遭蒙蔽。”

2.2 木质藤本植物多样性分布情况

调查统计郑州市 27 个园林绿地的木质藤本植物种类分布(表 3)。

表 3 各公园绿地木质藤本植物种类

Tab. 3 Species of woody lianas in green space of each park

类别	名称	藤本植物种类
公园绿地	西流湖公园	扶芳藤、花叶络石、花叶蔓长春花、络石、紫藤、凌霄、藤本月季、黄素馨
	碧沙岗公园	常春藤、扶芳藤、凌霄、络石、野蔷薇、云南黄素馨、紫藤、三叶地锦、藤本月季
	森林公园	凌霄、藤本月季、紫藤
	北龙湖湿地公园	五叶地锦、扶芳藤
	五一公园	金银忍冬、凌霄、藤本月季、紫藤
	文化公园	常春藤、凌霄、藤本月季、紫藤、络石、蔓长春花、忍冬
	人民公园	凌霄、紫藤、美国凌霄、蔓长春花、花叶蔓长春花、何首乌、五叶地锦、三叶地锦、藤本月季、葡萄、常春藤、野蔷薇、薜荔
	紫荆山公园	花叶蔓长春花、络石、蔓长春花、牵牛、迎春、黄素馨、葡萄、忍冬、五叶地锦、三叶地锦、凌霄、美国凌霄
	绿荫公园	紫藤、凌霄、云南黄素馨
	绿博园	凌霄、紫荆、野蔷薇、藤本月季、扶芳藤、云南黄素馨
植物园		三叶地锦、五叶地锦、常春藤、扶芳藤、凌霄、紫藤、藤本月季、花叶络石、葛藤、木香花、葡萄、忍冬、杠柳、云南黄素馨、黄素馨、花叶蔓长春花、薜荔
	树木园	扶芳藤、紫藤
雕塑公园		藤本月季、五叶地锦、三叶地锦
天健湖公园		紫藤
郑州之林		紫藤、凌霄、扶芳藤、蔓长春花、野蔷薇
道路绿地	北三环花园路	三叶地锦、五叶地锦
	紫荆山路花园路	三叶地锦、五叶地锦、常春藤

续表 3

类别	名称	藤本植物种类
道路	紫荆山路金水路	常春藤、五叶地锦、爬山虎
	金水路立交桥	三叶地锦、五叶地锦、常春藤
	南阳路段	常春藤、爬山虎
	建设路西三环	五叶地锦、爬山虎
校园绿地	河南农业大学文化路校区	常春藤、凌霄、美国凌霄、木香花、三叶地锦、紫藤、黄素馨
	财经政法大学文化路校区	三叶地锦、常春藤、扶芳藤、紫藤、凌霄、藤本月季、扶芳藤、野蔷薇
	轻工业学院东风路校区	紫藤、凌霄、常春藤、三叶地锦
	郑州航空工业管理学院	紫藤、凌霄、木防己、三叶地锦
	郑州大学工学院	三叶地锦、紫藤、凌霄
河南职业技术学院		紫藤、凌霄、杠柳、美国地锦、爬山虎、葡萄

从表 3 可知,植物园、人民公园和紫荆山公园木质藤本植物种类应用较多,垂直绿化景观效果较好,其中植物园木质藤本植物种类应用最多;应用种类 7 种及以上的公园有 8 个,北龙湖湿地公园、天健湖公园、树木园应用种类较少,垂直绿化景观较为缺乏,后期应丰富木质藤本植物种类,加强垂直绿化景观营造。

3 应用形式分析

3.1 植物应用形式

将木质藤本植物应用形式简化表示出来,分为 14 种应用形式(图 1)。

3.1.1 棚架绿化形式

“水晶帘动微风起,满架蔷薇一院香。”描写的便是亭台楼阁上蔷薇垂下的景象。棚架形式因其造型多样而多应用于藤本植物绿化。而优质的棚架绿化不仅要求棚架造型、材料与植物充分融合,还要考虑后期养护、病虫害防治等。根据外形剖面特点将棚架构造分为“丌”型、“冂”型、“介”型、“厂”型、“丁”型、蘑菇型、特殊型,除各式各样的特殊型构造外,以“丌”型构造的棚架数量最多。就棚架整体结构来说,有圆形、弧形、直线形和特殊形。如河南农业大学由紫藤和美国凌霄营造的直线“Π”型廊架;文化公园由凌霄营造的弧形“厂”型棚架;五一公园由紫藤营造的特殊形“丌”型棚架。

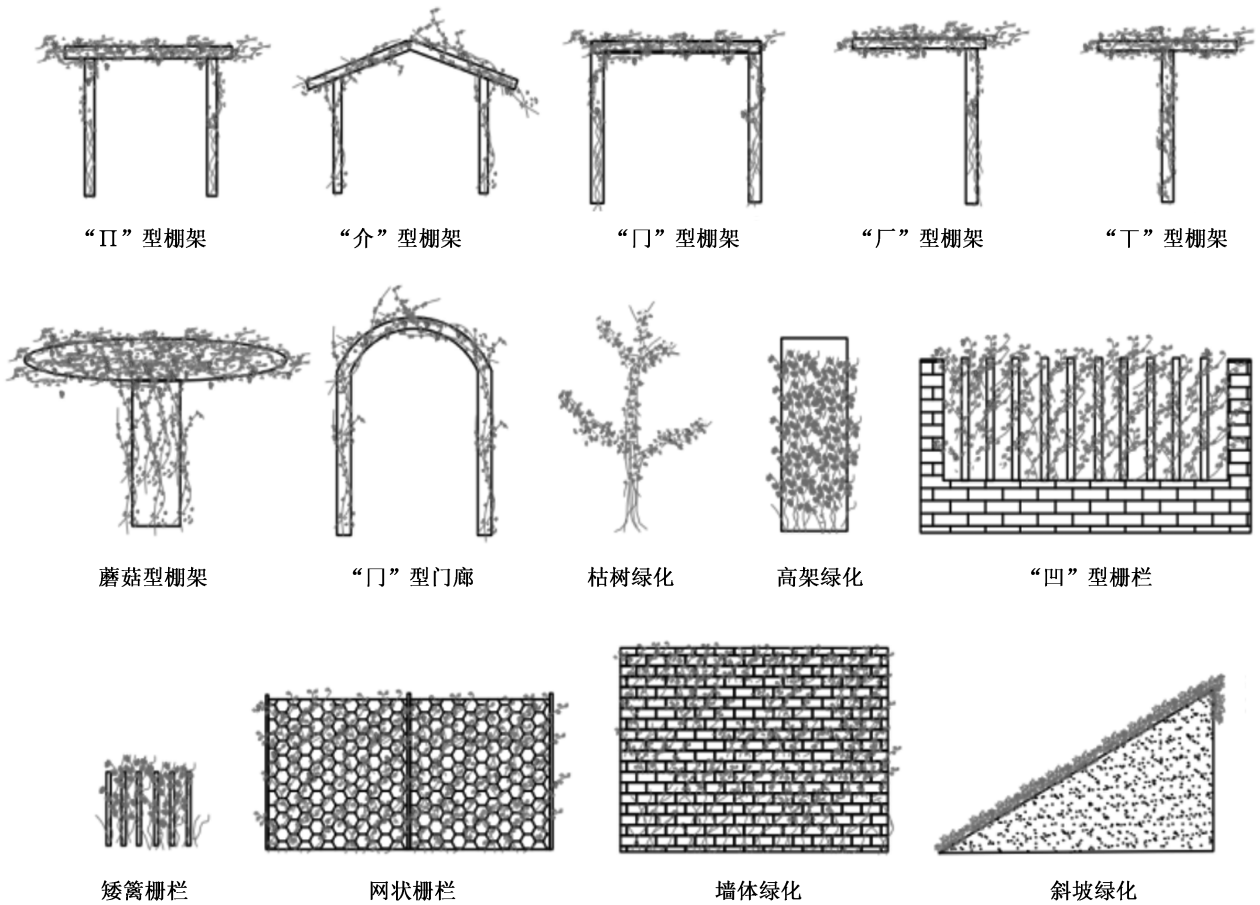


图 1 木质藤本植物绿化形式
Fig. 1 Greening form of lianas

3.1.2 墙面绿化形式

运用木质藤本植物进行墙体绿化是最常见的应用形式,也是展现城市垂直绿化的最经济实用的方法,既能软化建筑线条,覆盖建筑物表面,遮盖破旧墙体,创造良好的城市形象;又能起到改善空气质量,缓解城市热岛效应,降低室内温度的生态效益。郑州市墙面绿化所用木质藤本植物多采用三叶地锦、五叶地锦和凌霄。碧沙岗公园使用凌霄做墙体绿化,夏天可观花、观叶,冬季其枝干与红墙交相辉映,别有一番趣味。

3.1.3 门廊绿化形式

门廊绿化用于建筑入口景观,占地面积小,景观和生态效益显著。门廊绿化形式在所调查公园内应用较少,在人民公园中利用凌霄搭配五叶地锦做门廊绿化。

3.1.4 栅栏绿化形式

围栏或栅栏具有围合、屏障的功能,与木质藤本植物进行搭配可进一步增强空间分割的效果^[11]。公园中栅栏起分割内外空间的作用,栅栏绿化形式

分为“凹”状栅栏、“网”状栅栏和矮篱栅栏 3 种,前 2 种多应用于公园边缘区域,作为视线阻挡,常使用凌霄、藤本月季、蔷薇等木质藤本植物,矮篱栅栏则多用于院内绿地与活动空间分割,亦或是景墙、植物迷宫,常使用常春藤、络石、花叶络石等木质藤本植物进行绿化、美化。

3.1.5 高架绿化形式

高架绿化中木质藤本植物用于桥柱绿化,绿化形式单一,并应选择耐阴、耐瘠薄、冬季落叶的藤本植物类型,便于桥柱检修。相比于其他高架绿化形式,桥柱绿化不损伤桥柱,植物攀爬引导网安装与桥柱柱面保持距离,植物与桥柱不接触。郑州市高架垂直绿化多选择三叶地锦和五叶地锦等抗逆性较强的木质藤本植物,但是后期养护管理不足,景观效果欠佳。

3.1.6 地面绿化形式

地面绿化有边坡绿化和铺地绿化两种。边坡绿化是一种新兴的能有效防护裸露坡面的生态护坡方式,其与传统的工程护坡相结合,可有效实现坡面的

生态植被恢复。常选择扶芳藤、三叶地锦等抗寒、耐干旱、抗污染、萌芽力强、攀援性强的木质藤本植物,并与五叶地锦一起用于坡面绿化。雕塑公园、紫荆山公园用五叶地锦做边坡绿化,并搭配三叶地锦做坡面绿化,文化公园用络石和蔓长春花做铺地绿化,不仅防止水土流失,还美化城市景观,减少飞尘,营造良好的绿化景观。

3.1.7 假山绿化

假山绿化即用木质藤本植物为枯燥的假山景观增加情趣。郑州大学工学院、紫荆山公园、人民公园等用凌霄作为假山绿化的藤本植物,既能阻挡儿童攀爬,起到隔断作用,保护安全;又能营造良好景观,吸引游客视线。

3.1.8 枯树绿化

绿博园使用凌霄,树木园使用紫藤营造枯树景观,展现出壮观的新生力量,有“枯木逢春”的意境;碧沙岗公园使用常春藤,植物园和西流湖公园使用扶芳藤攀援大树主干,营造四季常青的大树景观。除此之外,三叶地锦、五叶地锦等观叶、落叶木质藤本植物依托着枯树营造出夏季绿茵包裹、秋季灿若晚霞的季节景观。

3.2 应用频率分布

棚架绿化类型应用频率最高(0.31),地面绿化(0.25)、栅栏绿化(0.13)、墙面绿化(0.09)等类型应用频率较高,其次是高架绿化(0.08)、假山绿化(0.04)、枯树绿化(0.08),门廊绿化(0.02)应用最少;可见郑州市藤本植物应用以棚架为主,并且形式主要集中在“Ⅱ”型,较为单一。应创新木质藤本植物应用形式,加强对高架桥和门廊的绿化应用及创新。

3.3 美景度评价

选取木质藤本植物绿化景观较好的 21 个藤本植物景观单元,利用放映幻灯片的形式,让 40 位本专业研究生对图片进行美景度打分(1~10 分),根据分数并利用 Spass 软件进行分析排名,见表 4。

从表 4 可见,郑州市木质藤本植物应用效果最好的应用形式为棚架景观,其中“Ⅱ”型棚架因其功能和形式多样性,营造出较为优越的景观效果;而木质藤本植物中紫藤、凌霄、美国凌霄和藤本月季因其花叶繁茂的特征,应用效果较好,受到大众欢迎。而高架绿化、坡面绿化景观效果不佳,主要与木质藤本植物种类少和后期养护管理不足有关,需加强该类木质藤本植物的应用创新及后期养护管理水平。

表 4 美景度评价排名

Tab. 4 Ranking of beauty evaluation

排名	景观单元	应用植物	绿化形式	所在公园
1	J	紫藤	“Ⅱ”型棚架	碧沙岗公园
2	F	紫藤、美国凌霄	“Ⅱ”型棚架	河南农业大学
3	R	凌霄、藤本月季	“Ⅱ”型棚架	植物园
4	N	紫藤	特殊型	森林公园
5	M	凌霄	“厂”型棚架	森林公园
6	I	凌霄	斜坡绿化	人民公园
7	T	紫藤	假山绿化	郑州大学工学院
8	C	凌霄	特殊型	五一公园
9	B	凌霄、紫藤	“Ⅱ”型棚架	文化公园
10	A	凌霄、藤本月季	“厂”型棚架	文化公园
11	Q	凌霄	枯树绿化	绿博园
12	U	凌霄	“凹”型栅栏	人民公园
13	H	紫藤	枯树绿化	树木园
14	K	三叶地锦	墙体绿化	河南农业大学
15	E	凌霄	墙体绿化	碧沙岗公园
16	O	藤本月季	“凹”型栅栏	五一公园
17	S	凌霄	墙体绿化	人民公园
18	G	五叶地锦	墙体绿化	植物园
19	D	木香	“Ⅱ”型棚架	河南农业大学
20	L	金银花	“厂”型棚架	五一公园
21	P	扶芳藤	墙体绿化	西流湖公园

4 结论

4.1 植物应用种类较少

现郑州市有木质藤本植物 13 科 15 属 22 种,种类较少,极大限制了藤本植物景观的多样性。公园常用的紫藤、凌霄、藤本月季等植物虽然应用较为广泛,但景观特色不突出。河南省野生木质藤本植物有 160 余种,城市藤本植物后备资源丰富,观赏特性较好,常绿藤本植物潜力巨大,可通过引种驯化而运用到园林中,既能增加景观的多样性又强调了本土特色。

4.2 应用形式单一

在城市绿地中,除常见的廊架绿化和栅栏绿化外,其他应用形式均有很大的发展空间。大多数公园的垂直绿化类型较少,且只运用一种或两种垂直绿化植物。落叶开花木质藤本植物,冬季花叶落去,枝干凌乱,景观效果欠佳;而铺地边坡常用常绿常春藤,观花效果较差,景观单一。目前很少将落叶与常

绿木质藤本植物结合使用,未产生四季有景的效果。创新绿化形式可将木质藤本植物应用到园林建筑、停车场等公共设施上,既能增大绿化空间,营造良好的小气候环境;也可在座椅周围利用木质藤本植物营造休憩小空间,不仅能遮荫,还可创造私密小环境。

4.3 应用范围有限

利用木质藤本植物进行园林绿化,未充分发挥木质藤本植物的生态和经济效益。木质藤本植物攀爬能力强、覆盖迅速、具有发达的根系,可以稳固土壤、保持水土,但在木质藤本植物护坡方面应用较少,大多河岸边坡被硬质铺装所覆盖,应发挥木质藤本植物在城市河道边坡防护方面的作用。此外,郑州市高架绿化对木质藤本植物利用也较为单一。

4.4 养护管理水平有待提升

根据景观评价结果,除应用形式和木质藤本植物种类外,木质藤本植物的长势、花量和病虫害也是影响综合评分的重要因素。目前,对城市绿化中木质藤本植物的生态学特性和经济效益的关注度较低,对修剪和病虫害防治等方面研究不足,导致后期养护管理水平较低,应加强园林绿地中木质藤本植物的养护管理工作,以营造优美的植物景观。

参考文献:

[1] 张文静,许桂芳. 园林植物[M]. 郑州:黄河水利出版

社,2010.

- [2] 陈亚军,陈军文,蔡志全. 木质藤本及其在热带森林中的生态学功能[J]. 植物学报,2007,24(2):240-249.
- [3] 杜铃,杨开太,李进华,等. 南宁木质藤本植物园林应用探讨[J]. 西南林业大学学报(社会科学),2018,2(4):72-75.
- [4] 王永林. 高速公路边坡绿化中藤本植物的选择与应用[J]. 公路,2011(9):233-235.
- [5] 徐冬云,周媛,陈法志,等. 武汉市攀援植物引种研究初报[C]//中国观赏园艺研究进展(2013). 北京:中国园艺学会,2013:6.
- [6] 林建勇,梁瑞龙,李娟. 广西木本植物区系的基本特征[J]. 广西林业科学,2015,44(4):339-345.
- [7] 洗丽铨,翁殊斐,林熙迪,等. 广州市公园棚架式植物景观评价[J]. 西北林学院学报,2019,34(1):261-266.
- [8] 陆牡丹,黄建荣. 城市靓衣—攀援植物[J]. 园林,2012(9):32-35.
- [9] 臧德奎,周树军. 攀援植物与垂直绿化[J]. 中国园林,2000(5):79-81.
- [10] 朱文清. 公共建筑内外过渡空间的设计研究[D]. 苏州:苏州大学,2013.
- [11] 郭欢欢,宋良红,姚博涵. 藤本植物资源的调查与应用分析——以郑州植物园为例[J]. 河南林业科技,2018,38(1):43-45.

责任编辑:陈旭

校对:许春霞 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.031

重庆市中心城区行道树绿化带植物景观评价

龙光红, 秦 华

(西南大学园艺园林学院, 重庆 北碚 400715)

摘要:以重庆市中心城区 47 条道路, 共计 54 个调查样段为研究对象, 在实地调查的基础上, 对行道树绿化带植物景观现状进行归纳整理, 运用层次分析法构建行道树绿化带植物景观综合评价体系, 对 54 个调查对象进行评价分级。结果表明, 重庆市中心城区行道树绿化带植物景观表现一般, 且随着道路等级的降低其营造水平也逐级递减。提出挖掘优秀乡土植物, 优化常绿与落叶植物占比, 统筹兼顾各生活型等优化建议。

关键词:行道树绿化带; 植物景观; 综合评价; 优化建议; 重庆市中心城区

中图分类号: S732.2; S687.1; P901 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2022)02-0194-07

引文格式: 龙光红, 秦华. 重庆市中心城区行道树绿化带植物景观评价[J]. 林业调查规划, 2022, 47(2): 194-200.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.031

LONG Guanghong, QIN Hua. Plant Landscape Evaluation of Street Trees Green Belt in Downtown Chongqing[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(2): 194-200. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2022.02.031

Plant Landscape Evaluation of Street Trees Green Belt in Downtown Chongqing

LONG Guanghong, QIN Hua

(College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Beibei, Chongqing 400715, China)

Abstract: This paper selected 54 survey sample sections from 47 roads in downtown Chongqing to summarize the current situation of the plant landscape of the street tree green belt by field investigation, and then built a comprehensive evaluation system by the analytic hierarchy process to evaluate and classify 54 survey objects. The results showed that the plant landscape performance of street tree green belt in downtown Chongqing was general, and the construction level decreased step by step with the reduction of road grade. This paper put forward some optimization suggestions, such as excavating excellent native plants, optimizing the proportion of evergreen and deciduous plants, and taking into account all life forms.

Key words: street trees green belt; plant landscape; comprehensive evaluation; optimization suggestion; downtown Chongqing

行道树作为道路绿化的核心要素, 与人们的日常出行、生活环境有着最为频繁和直接的联系, 在美

化环境、改善生态、组织交通等方面担负着重要作用^[1]。根据重庆市城市管理局整理的资料显示, 中

收稿日期: 2021-04-08.

基金项目: 重庆市城市管理科研项目(城管科字 2019 第(24)号).

第一作者: 龙光红(1996-), 女, 重庆人, 硕士研究生. 研究方向为园林植物造景设计与景观规划.

责任作者: 秦华(1962-), 男, 重庆人, 教授, 博士生导师. 研究方向为园林植物造景设计与景观规划.

心城区现有行道树超 70 万株,骨干树种约 14 种,分别是榕树、黄葛树、银杏、桂花、紫薇、天竺桂、紫叶李、香樟、玉兰、荷花玉兰、日本晚樱、羊蹄甲、二球悬铃木、红枫。目前重庆市中心城区的行道树景观未达到人们所期望的标准,如树种选择单一、常绿落叶比例不合理、配置单调、色彩贫乏等问题,需要进一步优化行道树整体表现。然而,现阶段针对重庆市行道树植物景观的研究较少,建设时缺乏相关理论指导,因此有必要建立一套适用于重庆市中心城区的行道树绿化带植物景观综合评价体系,并对现有

植物景观进行评价,发现存在问题,提出优化策略。

1 现状调查

1.1 研究范畴界定

对行道树绿化带的界定主要参照《城市综合交通体系规划标准》(GB/T 51328-2018)中的定义,行道树绿化带是指布设在人行道与车行道之间,以种植行道树为主的绿带(图 1)。作为研究和评价对象的仅指行道树绿化带中的植物景观,不包括其中的人工构筑物如装饰小品、市政设施等。

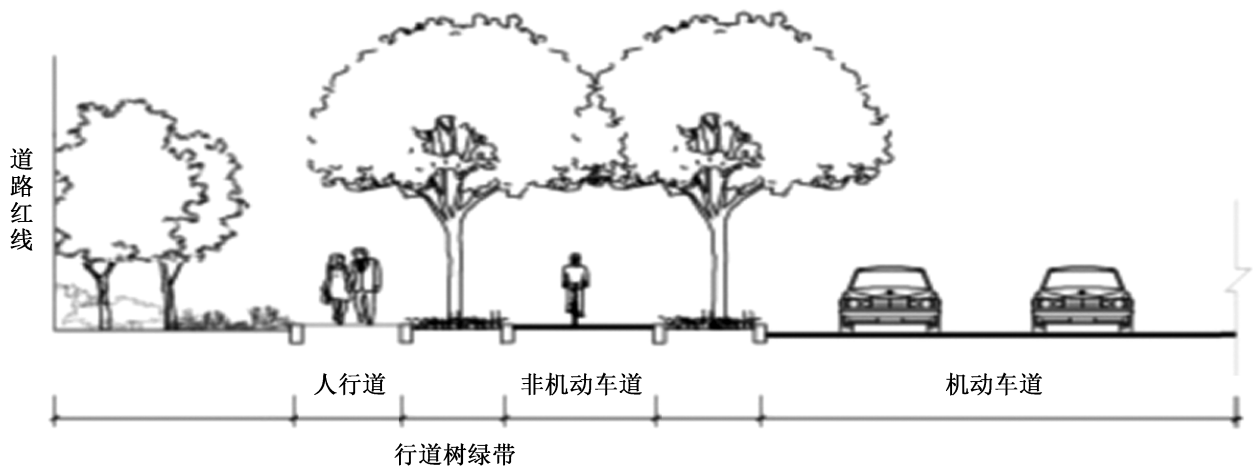


图 1 行道树绿化带示意图

Fig. 1 Schematic diagram of street trees green belt

1.2 调查对象

在研究区域内选取 47 条典型道路,对其进行全面踏勘的基础上,依据不同道路行道树绿化带配置的节奏和规律,在每条道路上选取 1~2 个长度为 200 m 且能够展现该条道路绿化水平的样段为调查样段^[2],共设置 54 个调查样段(表 1)。

所选取的样本道路包含了主干路、次干路、支路 3 种主要道路类型,其中主干路 17 条,次干路 18 条,支路 12 条,覆盖了重庆市中心城区的大部分行政区域。

1.3 调查结果与分析

1.3.1 植物组成结构分析

经调查统计,调查的 54 个样段共有植物 84 种,隶属于 50 科 73 属,其中乔木有 19 科 26 属 31 种,灌木有 22 科 28 属 32 种,草本有 15 科 19 属 21 种。从科属应用方面看,优势科表现为蔷薇科、棕榈科、豆科、菊科、禾本科。说明重庆市中心城区行道树绿化带植物物种科属分布相对集中,物种多样性较低。

按生活性状进行分类,乔木、灌木、草本的比例为 31 : 32 : 21。可见,乔木、灌木、草本 3 种植物所占比例相差不大,尤其是乔木和灌木占比相当,反映了重庆市中心城区行道树绿化带景观的层次结构较为丰富,尤其是上层和中间层植物林冠覆盖较好。依据植物常绿、落叶的属性划分,整体的常绿与落叶植物比例为 3.76 : 1,木本植物的常绿与落叶植物比例为 2.71 : 1,二者数量相差较大,说明常绿落叶比例构成不均衡,常绿植物占比过多,应增加落叶植物的应用。从乡土与外来植物应用方面来看,乡土与外来植物比例为 4.25 : 1,乡土物种占绝对优势。

1.3.2 植物景观美学分析

从观赏特征来看,观花植物共计 62 种,花期主要集中在春、夏两季,秋、冬两季的观花植物较少,尤其是冬季仅有 2 种。观叶类植物共有 34 种,包括彩色叶类植物 21 种,观叶植物 17 种,观赏期主要集中在秋季。观果以及具有其他观赏类型的植物较少,仅 10 余种。

表 1 样本路段基本信息

Tab. 1 Basic information of sample section

序号	道路名称	道路类型	区域	序号	道路名称	道路类型	区域	序号	道路名称	道路类型	区域
1	渝州路	主干路	渝中区	19	汉渝路	主干路	沙坪坝区	37	滨江路	次干路	北碚区
2	迎宾大道	主干路	九龙坡区	20	双元大道 1#	主干路	北碚区	38	碚峡路	次干路	北碚区
3	火炬大道 1#	主干路	九龙坡区	21	双元大道 2#	主干路	北碚区	39	新华路	次干路	渝中区
4	火炬大道 2#	主干路	九龙坡区	22	缙云大道 1#	主干路	北碚区	40	和平路	次干路	渝中区
5	龙腾大道	主干路	九龙坡区	23	缙云大道 2#	主干路	北碚区	41	科城路	次干路	九龙坡区
6	星光大道	主干路	渝北区	24	新南路	次干路	渝北区	42	洪湖东路	次干路	渝北区
7	黄山大道 1#	主干路	渝北区	25	青松路	次干路	渝北区	43	医学院路	支路	渝中区
8	黄山大道 2#	主干路	渝北区	26	西湖路	次干路	渝北区	44	中山一路	支路	渝中区
9	金渝大道	主干路	渝北区	27	财富大道	次干路	渝北区	45	红狮西路	支路	九龙坡区
10	金开大道	主干路	渝北区	28	盘溪路	次干路	江北区	46	科园四路	支路	九龙坡区
11	红锦大道	主干路	江北区	29	南滨路	次干路	南岸区	47	城市日记支路	支路	九龙坡区
12	红黄路	主干路	江北区	30	万寿路	次干路	南岸区	48	青枫南路	支路	渝北区
13	学府大道 1#	主干路	南岸区	31	白鹤路	次干路	南岸区	49	星光五路	支路	渝北区
14	学府大道 2#	主干路	南岸区	32	小龙坎新街	次干路	沙坪坝区	50	北滨一路	支路	江北区
15	南城大道	主干路	南岸区	33	云华路 1#	次干路	北碚区	51	北滨二路	支路	江北区
16	海峡路	主干路	南岸区	34	云华路 2#	次干路	北碚区	52	三峡支路	支路	沙坪坝区
17	凤天大道 1#	主干路	沙坪坝区	35	金华路	次干路	北碚区	53	工人街	支路	沙坪坝区
18	凤天大道 2#	主干路	沙坪坝区	36	冯时行路	次干路	北碚区	54	文鸿路	支路	北碚区

从垂直结构方面看,主要有乔木单层结构,乔灌、乔草双层结构和乔灌草多层结构三大竖向层次类型,在垂直结构的基础上,又可将行道树绿化带的配置形式细分为:单一乔木配置、多种乔木配置、单一乔木和草本搭配、单一乔木和灌木搭配、多种乔木与草本搭配、多种乔木与灌木搭配、乔灌草复杂多层次搭配 7 种形式。总体而言,重庆市中心城区行道树绿化带的竖向结构以多层结构居多,约占 44.83%,单层和双层结构分别约占 24.14% 和 31.03%,这与近年来重庆市重视生态环境建设,大力打造道路绿化有关,但是单、双层结构仍占 55.17%,说明行道树绿化带的结构层次与配置形式尚有提升空间,且缺乏植物层次间的衔接与过渡。

2 行道树绿化带植物景观评价体系构建

2.1 评价方法

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP 法)是美国著名运筹学家、匹兹堡大学教授托马斯·萨提(Thomas L. Saaty)于 20 世纪 70 年代中期提出的一种定性定量相结合的系统化、层次化的分析方法^[3-4],广泛用于园林景观评价中。

2.2 评价指标的确立

运用内容分析对植物景观评价相关文献进行摘录整理,并咨询专家学者的意见后,得到以景观性、生态性、经济适用性为准则层,景观时序多样性等 12 个因子为指标层的评价体系(表 2)。

表 2 行道树植物景观综合评价指标体系

Tab. 2 Comprehensive evaluation index system of street trees plant landscape

目标层	准则层	指标层	定量/定性
行道树植物景观综合评价体系(A)	景观性(B ₁)	景观时序多样性(C ₁)	定量
		环境协调性(C ₂)	定性
		观赏特征多样性(C ₃)	定量
		景观配置美(C ₄)	定性
		文化内涵(C ₅)	定性
	生态性(B ₂)	物种多样性(C ₆)	定量
		绿化覆盖率(C ₇)	定量
		层次丰富性(C ₈)	定量
		植物的生长势(C ₉)	定性
	经济适用性(B ₃)	乡土植物比例(C ₁₀)	定量
		维护成本(C ₁₁)	定性
		景观安全性(C ₁₂)	定性

2.3 评价指标赋权

根据表 2 建立的综合评价指标体系,采用问卷调查法向专家学者发放调查问卷进行意见咨询,共发放专家调查问卷 50 份,回收有效调查问卷 45 份,其中包含了 8 名专家老师、37 名风景园林专业硕士研究生等相关意见,通过对结果的反复比较衡量,计算出各评价因子的矩阵数值,建立判断矩阵(表 3~表 6),然后将数据输入到层次分析法的辅助软件 yaahp 10.3 软件中进行计算,求解向量并经过一致性检验,最终得到各项指标的权重值。

表 3 判断矩阵 A-B 及一致性检验

Tab. 3 Judgment matrix A-B and consistency test

	B_1	B_2	B_3	权重(W)
B_1	1	2	3	0.4126
B_2	1/2	1	1	0.3275
B_3	1/3	1	1	0.2599

注: $\lambda_{max}=3.0536$, $CR=0.0516<0.1$,满足一致性检验要求。

表 4 判断矩阵 B_1-C 及一致性检验

Tab. 4 Judgment matrix B_1-C and consistency test

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	权重(W)
C_1	1	1/2	1/3	3	6	0.1837
C_2	2	1	1/2	3	5	0.2507
C_3	3	2	1	6	8	0.4487
C_4	1/3	1/3	1/6	1	2	0.0743
C_5	1/6	1/5	1/8	1/2	1	0.0425

注: $\lambda_{max}=5.0971$, $CR=0.0217<0.1$,满足一致性检验要求。

表 5 判断矩阵 B_2-C 及一致性检验

Tab. 5 Judgment matrix B_2-C and consistency test

	C_6	C_7	C_8	C_9	权重(W)
C_6	1	1	2	1/2	0.2198
C_7	1	1	2	1/3	0.2009
C_8	1/2	1/2	1	1/3	0.1194
C_9	2	3	3	1	0.4598

注: $\lambda_{max}=4.0458$, $CR=0.0172<0.1$,满足一致性检验要求。

通过上述判断矩阵的建立并经过一致性检验,得到指标层对目标层的综合权重关系(表 7)。

2.4 指标量化方法

根据构建的重庆市中心城区行道树绿化带植物景观综合评价指标体系,包含有 6 个定量指标和 6 个

表 6 判断矩阵 B_3-C 及一致性检验

Tab. 6 Judgment matrix B_3-C and consistency test

	C_{10}	C_{11}	C_{12}	权重(W)
C_{10}	1	1	1/2	0.2402
C_{11}	1	1	1/3	0.2098
C_{12}	2	3	1	0.5499

注: $\lambda_{max}=3.0183$, $CR=0.0176<0.1$,满足一致性检验要求。

表 7 行道树绿化带植物景观综合评价指标权重分配

Tab. 7 Weight distribution of plant landscape comprehensive evaluation index of street trees green belt

目标层	准则层	权重	指标层	权重	指标层对目标层权重	排序
重庆市中心城区行道树绿化带植物景观综合评价(A)	景观性(B_1)	0.4126	景观时序多样性(C_1)	0.1837	0.0758	5
			环境协调性(C_2)	0.2507	0.1034	4
			观赏特征多样性(C_3)	0.4487	0.1851	1
			景观配置美(C_4)	0.0743	0.0307	11
			文化内涵(C_5)	0.0425	0.0175	12
	生态性(B_2)	0.3275	物种多样性(C_6)	0.2198	0.0720	6
			绿化覆盖率(C_7)	0.2009	0.0658	7
			层次丰富性(C_8)	0.1194	0.0391	10
			植物生长势(C_9)	0.4598	0.1506	2
			经济适用性(B_3)	0.2599	乡土植物占比(C_{10})	0.2402
	维护成本(C_{11})	0.2098			0.0545	9
				景观安全性(C_{12})	0.5499	0.1429

定性指标。由于这两类指标的赋值方式不同,为消除因量纲不同所造成的不可比性,在进行评价过程中需要进行统一量纲赋值后再比较。因此,所有指标数值在参考现行标准规范和前人研究量化方法的基础上进行统一的等级划分,转化为无量纲的数值,统一量纲的分值采用 5 分制。

在定量指标中,景观时序多样性(C_1)、观赏特征多样性(C_3)、物种多样性(C_6)3 项指标需要运用辛普森多样性指数公式,由于计算出的多样性指数数值在 0~1 范围,为了保证与其他指标得分的可比性,故对计算后得到的多样性指数值乘以 5 后作为指标最终得分。绿化覆盖率(C_7)、乡土植物比例(C_{10})这两项指标是先通过调研并结合公式计算出具体数值,层次丰富性(C_8)指标则是先根据调研观察并记录行道树绿带植物景观竖向分层情况,再对应表 8 进行评估,获得最终得分,分为 5 个等级,值

表 8 定量指标评分标准
Tab. 8 Scoring criteria of quantitative indexes

指标名称	分级				
	I 级(5 分)	II 级(4 分)	III 级(3 分)	IV 级(2 分)	V 级(1 分)
绿化覆盖率(C_7)/%	75 以上	60~75	45~60	30~45	30 以下
层次丰富性(C_8)/种	5 种及以上层次	4 种层次	3 种层次	2 种层次	1 种层次
乡土植物占比(C_{10})/%	80 以上	70~80	60~70	50~60	50 以下

域范围为[1,5]。

6 个定性指标中的对于环境协调性(C_2)、景观配置美(C_4)、文化内涵(C_5)、景观安全性(C_{12})4 项指标,主要通过向行人及道路绿化管护人员发放调查问卷进行评估,各选项对应得分如表 9 所示,共分为 5 个等级,值域范围为[1,5]。每个样段发放调

查问卷 30 份,计算各指标得分平均值作为该指标最终得分。其余两个定性指标,植物的生长势(C_9)是根据现状调研记录并判定每种植物的生长状况;维护成本(C_{11})则需要根据现场调研分析以及访谈道路绿化管护人员进行评估,参照表 9 的评分标准获取最终得分。

表 9 定性指标评分标准
Tab. 9 Scoring criteria of qualitative indexes

指标名称	分级				
	I 级(5 分)	II 级(4 分)	III 级(3 分)	IV 级(2 分)	V 级(1 分)
环境协调性(C_2)	很协调	较协调	一般	较不协调	很不协调
景观配置美(C_4)	很美观	较美观	一般	较不美观	很不美观
文化内涵(C_5)	很丰富	较丰富	一般	较不丰富	很不丰富
植物生长势(C_9)	无偏冠;无枯枝,枝叶茂盛;叶片颜色正常;生长健壮,无明显病虫害发生	1/3 偏冠;仅有部分小枝枯萎,枝叶整体较好;多数叶片颜色正常;有少量病虫害发生,总体生长状况良好	1/3~2/3 偏冠;小枝枯萎较多,枝叶略显疏松;叶片颜色稍微浅淡;病虫害发生明显,长势受到一定影响	>1/3 偏冠;中枝、干枝有枯萎现象,枝叶疏松较为明显;叶片退色、变色明显;病虫害发生较为严重,生长受到严重影响	偏冠严重;可见大量枯枝,枝叶疏松情况严重;叶片退色、变色情况严重;病虫害已对生长造成致命影响,濒临死亡
维护成本(C_{11})	很高	较高	一般	较低	很低
景观安全性(C_{12})	很高	较高	一般	较低	很低

2.5 综合评价计算

运用景观综合评价指数法进行综合评价计算,某样段植物景观综合得分(X)计算公式为:

$$X = \sum_{i=1}^n K_i R_i \quad (1)$$

式中: K_i 表示第 i 个评价指标的得分; R_i 表示第 i 个评价指标对于目标层的权重值。

结合表 7 中各指标权重值,得到行道树绿化带植物景观综合评价计算方程式为:

$$X = C_1 \times 0.0758 + C_2 \times 0.1034 + C_3 \times 0.1851 + C_4 \times 0.0307 + C_5 \times 0.0175 + C_6 \times 0.0600 + C_7 \times 0.0564 + C_8 \times 0.0337 + C_9 \times 0.1774 + C_{10} \times 0.1403 + C_{11} \times 0.0425 + C_{12} \times 0.0772 \quad (2)$$

根据相关文献资料^[5-7],将对总体评价结果的描述划分为 5 个等级,分别是优秀(I 级)、良好(II 级)、一般(III 级)、较差(IV 级)、极差(V 级),各等级所对应的评价得分区间分别为(4.0,5.0]、(3.0,4.0]、(2.0,3.0]、(1.0,2.0]、(0,1.0]。最后根据由上述公式计算出的综合得分值 X 及其所属等级对行道树绿化带植物景观进行评价分析。

3 综合评价与优化

3.1 评价结果分析

3.1.1 总体分析

根据构建的评价体系与计算方法,得到综合评价结果(表 10)。

表 10 重庆市中心城区行道树绿化带植物景观评价结果

Tab. 10 Evaluation results of plant landscape of street trees green belt in downtown Chongqing

序号	道路名称	道路类型	等级	总分/分	序号	道路名称	道路类型	等级	总分/分
1	黄山大道 2#	主干路	优秀	4.5479	28	滨江路	次干路	一般	3.4800
2	火炬大道 1#	主干路	优秀	4.5247	29	云华路 1#	次干路	一般	3.4423
3	文鸿路	支路	优秀	4.5214	30	碕峡路	次干路	一般	3.4380
4	科城路	次干路	优秀	4.5065	31	财富大道	次干路	一般	3.4324
5	火炬大道 2#	主干路	优秀	4.5036	32	医学院路	支路	一般	3.4228
6	南滨路	次干路	优秀	4.5027	33	北滨二路	支路	一般	3.4150
7	双元大道 1#	主干路	良好	4.0489	34	洪湖东路	次干路	一般	3.3951
8	云华路 2#	次干路	良好	3.9920	35	风天大道 2#	主干路	一般	3.3948
9	星光五路	支路	良好	3.9758	36	青枫南路	支路	一般	3.3729
10	盘溪路	次干路	良好	3.9678	37	学府大道 2#	主干路	一般	3.3625
11	红锦大道	主干路	良好	3.9634	38	渝州路	主干路	一般	3.3094
12	北滨一路	支路	良好	3.9373	39	金渝大道	主干路	一般	3.2959
13	迎宾大道	主干路	良好	3.9139	40	红黄路	主干路	一般	3.2928
14	金华路	次干路	良好	3.8967	41	金开大道	主干路	一般	3.2658
15	学府大道 1#	主干路	良好	3.8557	42	南城大道	主干路	较差	2.4977
16	青松路	次干路	良好	3.8525	43	双元大道 2#	主干路	较差	2.4956
17	缙云大道 1#	主干路	良好	3.8346	44	新南路	次干路	较差	2.4945
18	红狮西路	支路	良好	3.8266	45	工人街	支路	较差	2.4899
19	星光大道	主干路	良好	3.8188	46	和平路	次干路	较差	2.4827
20	风天大道 1#	主干路	良好	3.8154	47	万寿路	次干路	较差	2.4771
21	黄山大道 1#	主干路	良好	3.7755	48	龙腾大道	主干路	较差	2.4755
22	缙云大道 2#	主干路	良好	3.7692	49	新华路	次干路	较差	2.4668
23	冯时行路	次干路	良好	3.7621	50	城市日记支路	支路	较差	2.4657
24	三峡支路	支路	一般	3.4903	51	海峡路	主干路	较差	2.4301
25	小龙坎新街	次干路	一般	3.4871	52	中山一路	支路	较差	2.4142
26	汉渝路	主干路	一般	3.4840	53	科园四路	支路	极差	1.4869
27	西湖路	次干路	一般	3.4840	54	白鹤路	次干路	极差	1.4838

在 54 个调查样段中,被评为优秀的占 11.11%,被评为良好的占 31.48%,被评为一般的占 33.33%,被评为较差的占 20.37%,被评为极差的占 3.71%,说明行道树绿化带植物景观整体综合质量一般,缺乏优秀的植物景观群体,约有 1/4 植物群体的景观质量未达到一般标准,尚有待提高。综上所述,重庆市中心城区行道树绿化带植物景观现状距离理想型的植物景观尚有一定差距。

3.1.2 不同类型道路的评价结果分析

在主干路的 23 个样段中,包含 3 个等级为优秀样段,9 个等级为良好样段,7 个等级为一般样段和 4 个等级为较差样段。可见,在主干路中,被评为优秀和良好的样段占比为 52.17%,已超过半数,达到

一般标准的占 82.61%,未出现等级为极差的样段,说明主干路的行道树绿化带植物景观整体效果较好,但其作为城市道路网的骨架,是城市形象与气质的重要体现,被评为优秀的样段数量较少,甚至还有一些等级为较差的样段。

在次干路的 19 个样段中,包含 2 个等级为优秀的样段,5 个等级为良好的样段,7 个等级为一般的样段,4 个等级为较差和 1 个极差样段。可见,在次干路中,被评为优秀和良好的样段占比为 36.85%,约占次干路的 1/3,达到一般标准的样段占比为 73.69%,被评为较差和极差的样段占比为 26.31%,约占次干路的 1/4。说明次干路的行道树绿化带植物景观整体效果一般,相比主干路而言稍有逊色,被

评为良好以上的样段数量相对较少,未达到一般标准的样段相对较多。

在支路的 12 个样段中,包含 1 个等级为优秀的样段,3 个等级为良好的样段,4 个等级为一般的样段,3 个等级为较差和 1 个极差的样段。可见,在支路中,被评为优秀和良好的样段与较差和极差的样段数量一致,占比均为 33.33%,分别约占支路的 1/3,达到一般标准的占 66.67%,约占次干路的 2/3。说明支路的行道树绿化带植物景观整体效果较差,低于总体样段平均水平,未达到一般标准的样段数量较多。

3.2 优化建议

3.2.1 总体优化建议

1) 丰富植物种类,挖掘优秀乡土植物

植物种类较少的道路需进一步丰富植物种类组成,以形成更为稳定的生态结构,可在道路中选择多个路段种植不同种类的行道树,建议增加具有不同观赏特点、色彩明丽、遮荫效果良好的植物;注意提高物种均匀度,避免某一类应用频率过高。虽然现有行道树植物中乡土树种占据主导地位,但仍有许多本土物种尚未在城市绿地中得以利用,因此,进一步开发培育性状优良、具有观赏价值的乡土植物资源,并将其应用于行道树植物景观建设中,对于景观营造与生物多样性保护具有重要意义。

2) 优化常绿与落叶植物比例,各生活型统筹兼顾

优化调整常绿植物与落叶植物结构,增加落叶植物的种类与数量,在全部为常绿乔木的路段,可结合现状条件补植一些落叶树种或将部分更换,使得夏季遮阴纳凉的同时冬季也能满足日常采光。在生活型方面,根据道路特点、周边环境等,适当增加针叶植物、地被植物、竹类植物、藤本植物的应用,以更好地提升行道树绿化带植物景观整体效果。

3) 注重观赏特征与景观时序多样性

在观赏特性方面,适当增加观果、观形、观干等其他观赏类型的植物种类;重庆市四季分明,但行道树绿化带植物景观的色彩与季相变化不明显,应拓展彩色叶植物种类,包括春色叶、秋色叶以及常色叶树种;同时,秋冬季节以及春夏之交的开花植物较少,尤其是冬季景观萧瑟,应补充观花小乔木和灌木,以及冬季观果、观干植物种类,营造四季皆有可观的植物景观效果。

4) 选择适合的搭配形式,丰富竖向层次

在人行道较宽、绿化条件较好的路段,可采用乔木、灌木、草本组合搭配,形成复合多层次结构,增加

小乔木、灌木和草本的使用频率,丰富立面景观;而在道路条件不允许时,可因地制宜地采用不同的植物种类与配置手法,营造富有变化性的植物景观。配置过程中要从使用者的角度出发,根据人的感官和需求,以艺术性与形式美法则为指导,对于不同尺度、不同类型的道路,有针对性地进行配置,增加小范围的形式变化,但整体风格要统一,以增强景观的连续性。

3.2.2 不同类型道路的优化建议

针对今后主干路行道树绿化带植物景观设计或美化改造工作,应进一步打造高品质的植物景观,塑造主干路典范形象,优化调整质量较差的路段,力争全部达到一般标准。对于次干路而言,应注重增加优良植物景观的数量,优化未达到一般标准的路段,使综合质量得到逐步提升。对于今后支路行道树绿化带植物景观设计或美化改造工作,应注重提升植物景观的整体质量,尤其是尽可能减少未达到一般标准的路段数。

4 结语

在对重庆市中心城区行道树绿化带植物景观进行实地调研的基础上,结合相关理论知识,构建了行道树绿化带植物景观评价体系,并进行评价与分级,按 3 种道路类型进行分析,给出相应优化建议,以期今后行道树绿化带植物景观建设与优化提供参考。

参考文献:

- [1] 马金艳. 保定市主干行道树应用现状调查与评价[D]. 保定:河北农业大学,2011.
- [2] 宋禹辉. 东北居住区植物景观营建研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2008.
- [3] SAATY T L. 层次分析法——在资源分配、管理和冲突分析中的应用[M]. 许树柏等,译. 北京:煤炭工业出版社,1988:3.
- [4] 李昆仑. 层次分析法在城市道路景观评价中的运用[J]. 武汉大学学报(工学版),2005,38(1):143-148.
- [5] 王冠. 南京市道路绿化树种筛选及配置模式研究[D]. 南京:南京林业大学,2010.
- [6] 卢文韬. 重庆主城区新型农村社区植物景观综合评价及其优化[D]. 重庆:西南大学,2020.
- [7] 陈泳伽. 重庆市主城区道路路侧绿地植物景观审美评价[D]. 重庆:西南大学,2015.

责任编辑:陈旭

校对:许易琦 陈旭

《林业调查规划》征稿简则

《林业调查规划》是全国性的林业科技类期刊,大16开本,国内外公开发行。本刊任务是报道林业和与林业有关的理论及实践研究成果、综合评述等。设有森林经理、“3S”技术、森林资源管理、生物多样性、森林保护、林火研究、生态建设、自然保护区等多个栏目。本刊已被多个期刊数据库全文收录,为中国科技核心期刊和中国林业核心期刊,荣获首届《CAJ-CD规范》执行优秀期刊奖,在云南期刊奖评选中,连续两届荣获“优秀期刊奖”。

1 来稿要求

1.1 文章内容与字数: 要求文稿真实、准确地反映当前林业生产、科研的新成果,内容具有先进性、科学性、实用性。来稿字数以5 000~15 000字为宜(含图表)。如为基金项目,请注明论文的基金资助名称和项目编号。

1.2 文题: 文题要言简意赅,以不超过20字为宜。

1.3 署名: 第一作者应是稿件的执笔人和修改人,作者之间用逗号“,”隔开。

1.4 单位: 要写全称,并注明所在省(区)、市(县)和邮编。

1.5 摘要和关键词: 摘要内容应完整准确概括论文的实质性内容,包括研究目的、方法、结果和结论等要素,并具有独立性和自明性,不加注释和评论,不用“本文”、“笔者”等主语,字数控制在300字以内。关键词应选择紧扣文章主题、反映文章内容的单词、词组或术语3~8个,中间用分号“;”隔开。

1.6 正文: 正文中的各层次标题用阿拉伯数字连续编写,如1;1.1;1.1.1;2;2.1……,顶格书写,层次划分不超过3级。

1.7 图和表: 应有自明性,切忌与文字表述重复。插图要求用计算机绘制,图序和图题应标在图的下方;采用三线表设计,不要表墙,表中参数应标明量和单位符号。

1.8 量、单位和符号: 请使用法定计量单位,量名称及符号、单位、数字等应符合国家标准,书写要规范,外文字母和符号必须注明大小写、正斜体及上下角标。例如:长度单位:km、m、cm、mm;面积单位:hm²、m²、dm²、cm²;体积单位:m³、L、mL;质量单位:t、kg、g、mg;时间单位:a、d、h、min、s。

1.9 数字的写法: 凡是可以使用阿拉伯数字且很得体的地方,均应使用阿拉伯数字;公历世纪、年代、年、月、日均用阿拉伯数字。年代不能简写。

1.10 参考文献: 只列出作者直接阅读过并已公开发表的主要文献,未发表的著作、论文集、内部资料不列入参考文献范围。采用顺序编码制,即按文中出现的顺序连续编号,并

用阿拉伯数字加方括号标于文中适当位置的右上角,并与文末参考文献序号对应一致。著录格式如下:①期刊:[序号]作者(3人以上须满足3人后加等)。篇名[J].刊名,年,卷(期):起止页码。②图书:[序号]作者.书名[M].出版地:出版单位,出版年:起止页码。③论文集:[序号]作者.篇名[C]//编著者.论文集名.出版地:出版单位,出版年:起止页码。④电子文献:[序号]主要责任者.电子文献题名[电子文献及载体类型标识].电子文献的出处或可获得地址,发表日期/引用日期(任选)。参考文献类型代码分别为:普通图书[M]、会议录[C]、汇编[G]、报纸[N]、期刊[J]、学位论文[D]、报告[R]、标准[S]、专利[P]、数据库[DB]、计算机程序[CP]、电子公告[EB]。电子文献载体类型标志如下:磁带[MT]、磁盘[DK]、光盘[CD]、联机网络[OL]。对于专著、论文集中析出的文献,其文献类型标识采用“[C]//”,对于图书中析出的文献采用“[M]//”,对于其他未说明文献类型的标识采用[Z]。每一参考文献条目的最后均以“.”结束。作者对以上要求如有不明,可参考本刊近期文章或咨询编辑部。投稿前请对稿件认真逐项修改,补充有关内容。

2 投稿与稿件处理

1) 投稿前,请登录本刊网站(<http://www.yunnanforestry.cn:8099/ch/index.aspx>)认真阅读本刊征稿简则中的各项说明,投稿后请电话告知编辑部以便查对。

2) 本刊实行严格的审稿制度,稿件送相关专家审阅,并由编委会讨论定稿。来稿请勿一稿多投。编辑部收稿后将在10日内通知作者审稿结果。

3) 来稿一经刊用,将按规定收取专家审稿费,根据论文所占版面情况收取论文发表费,并付给作者稿酬。具体数额以本刊所发通知为准。来稿所在当期期刊出版后,本刊将寄赠作者2册期刊。对具创新性、高质量稿件,优先安排发表,并根据创新性水平减、免审稿费和版面费,稿酬从优。

4) 来稿发表后,文章署名权归作者所有,文责自负,编辑部有权对文章进行加工处理。

5) 为拓宽学术交流渠道,本刊已加入“中国期刊全文数据库”和“数字化期刊群”等期刊数据库,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付,不再另行发放。作者如不同意文章入编,投稿时敬请说明。

6) 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。



2009年第三届云南期刊奖评选中荣获“优秀期刊奖”

2012年第四届云南期刊奖评选中荣获“优秀期刊奖”



高原湖泊—佩枯措

国内定价：20.00元（全年120.00元）
Price(abroad): 5.00 dollars(30.00 dollars yearly)

广告经营许可证号：5300004000093

ISSN 1671-3168

