中 国 科 技 核 心 期 刊
中 国 林 业 核 心 期 刊
中 国 应 用 型 核 心 期 刊

ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

# 林业调查规划

# FOREST INVENTORY AND PLANNING



第50卷 第1期
Vol.50 No.1

2025 1

云南省林业调查规划院 主办

林业调查规划
第50卷 第1期 Vol.50 No.1
二〇二五年一月

# 《林业调查规划》编辑委员会


**顾　　问**　唐守正　孙汉董　刘国强　郭辉军　胥　辉　李凤日　张铁明

**主　　编**　胡宗华

**常务副主编**　华朝朗

**副 主 编**　许易琦　余昌元

**编　　委**　（按姓氏笔画排序）

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


## 《林业调查规划》编辑部成员


许易琦　刘平书　陈　旭　杨焌熔　董　磊

# 林 业 调 查 规 划

第 50 卷　第 1 期　　(总第 265 期)　　2025 年 1 月


## 目　　次


**●森林经理**

基于 GIS 与 AHP 的遗址公园未来发展趋势探究 …… 卓 傲,王鹏飞(1)

**●森林培育**

不同郁闭度乔木林下绒毛方竹种植成活率研究

…… 杨太椽,白祖云,赵 静,李长伟,田茂平,祖万巧,魏洪兵,王 凯,李 伟,易正希,骆思霜(11)

基于单株产量的大理州大泡核桃立地适应性分析…… 施俊美,李 静,赵玉堂(17)

**●资源管理**

西双版纳州兰科植物资源多样性与分布特征研究…… 郑静楠,吴富勤,岩 光,郑进烜,延红卫(24)

**●生态保护修复**

不同造林模式下 2 个树种在矿山迹地植被修复中的表现研究

…… 严 毅,金智伟,杨利明,铁筱睿,李天禄,徐钡昌(30)

**●林草碳汇**

道路路基工程建设中碳排放量计量分析…… 刘宏波,吴永军,叶 超(34)

我国林业碳汇认购替代生态修复方式的检视与发展 …… 翟天波(40)

**●自然保护地**

云南省自然保护地整合优化结果与分析…… 罗怀秀,徐吉洪,华朝朗,杨忠兴,陶 晶,俞 瑶(45)

衡阳市自然保护地整合优化实践研究 …… 张光达,向 晖,万 诚(56)

巍山青华绿孔雀省级自然保护区兽类多样性研究 …… 章 煜,崔茂欢,姜健发,周顺福,杨家伟,王有位(62)

公路改扩建工程对云南红河阿姆山省级自然保护区生物多样性影响评价

…… 马山俊,杨跃仙,章文杰,韩 枫,魏雪峰(67)

**●生态系统**

基于 MSPA 与 MCR 模型的洛阳市生态网络构建研究

…… 孙 杰,杨温鑫,刘盛源,王燕飞,王江丽,桑鹏辉,王智恒(72)

湖南工学院功能区植物群落结构与景观评价 …… 王 蓓,刘禹歆,曹 攀,钱程阳,李 悦,钱 阳(80)

云南兰坪箐花甸国家湿地公园植物多样性及群落结构研究

…… 王有兵,姜健发,杨淑娇,胡昌平,杨国斌,梁建忠,余皖云,罗燕彬(89)

乌蒙山自然保护区植被覆盖及景观格局时空演变特征分析 …… 廖正杭,陈 婷,赵永丽,李 伟,杨 科(95)

## ●动植物

临沂市引种大花月季及丰花月季综合评价 …… 张仪东,张军祥,王玲玲,宋红丽(104)
腾冲红花油茶 4 种活性物质含量及变异分析
…… 尹必期,张仁斌,余祖华,李看清,李丽华,刘加理,谢 胤,寸明辉,徐志映(109)
极小种群植物巧家五针松拯救保护研究综述
…… 杨忠兴,华朝朗,陈春祥,赵昌奎,胡艳萍,吴明慧,张天壁(115)
广东省荔枝古树资源分布及影响要素研究 …… 杨佐兵,魏玉晗,魏 丹(122)
巍山青华绿孔雀省级自然保护区两栖爬行动物多样性
…… 郭宝华,崔茂欢,徐丕聪,姜健发,房以好,王有兵(128)
海拔对鞍子河自然保护区拐棍竹异龄叶性状的影响…… 焦晋川,李 梦,陈亚文,王显智(136)

## ●森林土壤

不同乡土树种造林模式对土壤理化性质的影响
…… 于楠楠,陈海垚,尚天歌,刘瑞龙,薛利忠,焦欣磊,廉培勇,刘秀莲(145)

## ●林草灾害

火后萌生栓皮栎林地表可燃物特征研究
…… 陈启良,叶 彪,王秋华,洪瑞成,王 劲,陈诗俊,马 诚,朱熙隆(153)
无人机喷施无公害杀虫剂防治落叶松松材线虫试验效果比较 …… 张晓娟,付耀凯,王建平(158)
核桃溃疡病化学防治研究 …… 庞久帅,赵燕琴,原阳晨,周苗苗,许晨阳,刘 伟,李会平(163)

## ●智慧林草

地方性知识视角下漓江西岸喀斯特传统聚落生态智慧研究 …… 梁景慧,梁福兴,粟巧兰(169)

## ●生态旅游与森林康养

陕西省域森林康养产业竞争力测度及提升策略研究…… 庞 静,戴平章(179)
疗愈景观研究的知识图谱可视化分析 …… 毛海宁,燕亚飞(186)

## ●其他

国外国家公园原住民研究及其对中国的启示 …… 孔 凯(195)
云南玉龙雪山下的听涛湖 …… 张正友摄(封面)

[期刊基本参数] CN 53-1172/S * 1976 * b * A4 * 200 * zh * P * 20.00 * 120 * 29 * 2025-01 * n

# Forest Inventory and Planning

Vol. 50 No. 1 (Sum No. 265) Jan. 2025


## Contents


### ●Forest Management

Future Development Trend of Heritage Park Based on GIS and AHP ····· ZHUO Ao, WANG Pengfei(1)

### ●Forest Cultivation

Survival Rate of *Chimonobambusa utilis* 'Rongmao Fangzhu' Planted under Different Canopy Densities in Arbor Forests ····· YANG Taixiang, BAI Zuyun, ZHAO Jing, LI Changwei, TIAN Maoping, ZU Wanqiao, WEI Hongbing, WANG Kai, LI Wei, YI Zhengxi, LUO Sishuang(11)

Site Suitability of *Juglans sigillata* in Dali Prefecture Based on Individual Plant Yield ····· SHI Junmei, LI Jing, ZHAO Yutang(17)

### ●Resource Management

Diversity and Distribution Characteristics of Orchidaceae Plants in Xishuangbanna Prefecture ····· ZHENG Jingnan, WE Fuqin, YAN Guang, ZHENG Jinxuan, YAN Hongwei(24)

### ●Ecological Protection and Restoration

Performance of Two Tree Species in Vegetation Restoration of Mining Sites under Different Afforestation Modes ····· YAN Yi, JIN Zhiwei, YANG Liming, TIE Xiaorui, LI Tianlu, XU Beichang(30)

### ●Forest and Grassland Carbon Sink

Measurement of Carbon Emissions in Road Subgrade Engineering Construction ····· LIU Hongbo, WU Yongjun, YE Chao(34)

Review and Improvement of Alternative Ecological Restoration Methods for Forestry Carbon Sink in China ····· ZHAI Tianbo(40)

### ●Natural Protected Areas

Results and Analysis of Integration and Optimization of Natural Protected Areas in Yunnan Province ····· LUO Huaixiu, XU Jihong, HUA Chaolang, YANG Zhongxing, TAO Jing, YU Yao(45)

Practical Research on Integration and Optimization of Natural Protected Areas in Hengyang City ····· ZHANG Guangda, XIANG Hui, WAN Cheng(56)

Diversity of Mammals in Weishan Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve ····· ZHANG Yu, CUI Maohuan, JIANG Jianfa, ZHOU Shunfu, YANG Jiawei, WANG Youwei(62)

Impact Evaluation of Highway Reconstruction and Expansion on Biodiversity of Honghe Amu Mountain Provincial Nature Reserve in Yunnan ····· MA Shanjun, YANG Yuexian, ZHANG Wenjie, HAN Feng, WEI Xuefeng(67)

### ●Ecosystem

Construction of Ecological Network in Luoyang City Based on MSPA and MCR Model ····· SUN Jie, YANG Wenxin, LIU Shengyuan, WANG Yanfei, WANG Jiangli, SANG Penghui, WANG Zhiheng(72)

Plant Community Structure and Landscape Evaluation in Functional Area of Hunan Institute of Technology ····· WANG Bei, LIU Yuxin, CAO Pan, QIAN Chengyang, LI Yue, QIAN Yang(80)

Plant Diversity and Community Structure of Qinghuadian National Wetland Park in Lanping County of Yunnan Province
WANG Youbing, JIANG Jianfa, YANG Shujiao, HU Changping, YANG Guobin, LIANG Jianzhong, YU Wanyun, LUO Yanbin(89)
Temporal and Spatial Evolution Characteristics of Vegetation Coverage and Landscape Pattern in Wumeng Mountain Nature Reserve
..... LIAO Zhenghang, CHEN Ting, ZHAO Yongli, LI Wei, YANG Ke(95)

## ●Plant and Animal

Comprehensive Evaluation of Introducing Grandiflora Rose and Floribunda Rose in Linyi
..... ZHANG Yidong, ZHANG Junxiang, WANG Lingling, SONG Hongli(104)
Content and Variation of Four Active Substances in *Camellia reticulata* Lindl
..... YIN Biqi, ZHANG Renbin, YU Zuhua, LI Kanqing, LI Lihua, LIU Jiali, XIE Yin, CUN Minghui, XU Zhiying(109)
Research Review on Rescue and Protection of Plant Species with Extremely Small Population *Pinus Squamata*
YANG Zhongxing, HUA Chaolang, CHEN Chunxiang, ZHAO Changkui, HU Yanping, WU Minghui, ZHANG Tianbi(115)
Resources Distribution and Influencing Factors of *Litchi chinensis* Ancient Tree in Guangdong Province
..... YANG Zuobing, WEI Yuhan, WEI Dan(122)
Diversity of Amphibians and Reptiles in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve of Weishan
..... GUO Baohua, CUI Maohuan, XU Picong, JIANG Jianfa, FANG Yihao, WANG Youbing(128)
Effect of Altitude on Uneven-age Leaf Traits of *Fargesia robusta* in Anzihe Nature Reserve
..... JIAO Jinchuan, LI Meng, CHEN Yawen, WANG Xianzhi(136)

## ●Forest Soil

Effects of Different Native Tree Species Afforestation Patterns on Soil Physical and Chemical Properties
YU Nannan, CHEN Haiyao, SHANG Tiange, LIU Ruilong, XUE Lizhong, JIAO Xinlei, LIAN Peiyong, LIU Xiulian(145)

## ●Forest and Grassland Disaster

Characteristics of Surface Fuels in Post-fire Sprouting *Quercus variabilis* Forest
CHEN Qiliang, YE Biao, WANG Qiuhua, HONG Ruicheng, WANG Jin, CHEN Shijun, MA Cheng, ZHU Xilong(153)
Comparison of Experimental Effect of Spraying Non-pollution Insecticide with UAV on Control of *Bursaphelenchus xylophilus* of *Larix gmelinii* ..... ZHANG Xiaojuan, FU Yaokai, WANG Jianping(158)
Chemical Control of Walnut Canker
..... PANG Jiushuai, ZHAO Yanqin, YUAN Yangchen, ZHOU Miaomiao, XU Chenyang, LIU Wei, LI Huiping(163)

## ●Intelligent Forestry and Grassland

Ecological Wisdom of Karst Traditional Settlements on West Bank of Lijiang River from Perspective of Local Knowledge
..... LIANG Jinghui, LIANG Fuxing, SU Qiaolan(169)

## ●Ecotourism and Forest Therapy

Competitiveness Measurement and Promotion Strategy of Forest-based Health Preservation Industry in Shaanxi Province
..... PANG Jing, DAI Pingzhang(179)
Visualization Analysis of Knowledge Map of Healing Landscape Research ..... MAO Haining, YAN Yafei(186)

## ●Other Column

Foreign Research on Indigenous People in National Parks and Enlightenment for China ..... KONG Kai(195)
Tingtao Lake at the Foot of Yulong Snow Mountain in Yunnan Province ..... Photographed by ZHANG Zhengyou (Front Cover)

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 001

# 基于 GIS 与 AHP 的遗址公园未来发展趋势探究

## ——以开封古城墙公园为例

卓 傲,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**:为实现城市更新规划中遗址公园效益最大化,以开封古城墙公园为研究对象,采用 AHP 层次分析法构建遗址公园评价准则,并对评价指标进行赋值,构建公园城市背景下遗址公园完善度评价指标体系,利用 GIS 技术实现评价结果可视化。综合评价结果,开封古城墙公园一致性较高,大多数区域处于一般水平,受建造及改造时间影响,较早完工的南城墙公园综合评价中等偏下,经过修缮的东北角—曹门城墙公园评价结果中等偏上,大梁门—西北门段城墙公园遗址保护满足度最高,满足度最低的是曹门—东南角城墙公园。提出加快遗址修缮进展,对道路系统进行更新以增加公园使用便捷性,加强对城墙内侧公园的规划等建议。

**关键词**:遗址公园;公园城市;完善度评价指标体系;GIS;AHP;开封古城墙公园

**中图分类号**:S759. 91;F316. 23;P208;TP311 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0001-10

**引文格式**:卓傲,王鹏飞. 基于 GIS 与 AHP 的遗址公园未来发展趋势探究——以开封城墙公园为例[J]. 林业调查规划,2025,50(1):1-10. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 001

ZHUO Ao, WANG Pengfei. Future Development Trend of Heritage Park Based on GIS and AHP——A Case Study of Kaifeng City Wall Park[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1):1-10. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 001

# Future Development Trend of Heritage Park Based on GIS and AHP

## ——A Case Study of Kaifeng City Wall Park

ZHUO Ao, WANG Pengfei
(College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract**: In order to maximize the benefits of heritage parks in urban renewal planning, Kaifeng Ancient City Wall Park was taken as the research object. The AHP analytic hierarchy process was used to construct evaluation criteria for heritage parks, and the evaluation indicators were assigned values. A system of evaluation indicators for the completeness of heritage parks under the background of park cities was constructed, and GIS technology was used to visualize the evaluation results. The comprehensive evaluation results showed that the consistency of Kaifeng City Wall Park was relatively high, with most areas at a general level. Due to the influence of construction and renovation time, the comprehensive evaluation of the south City Wall Park, which was completed earlier, was slightly lower, while the evaluation of the repaired City Wall Park from northeast corner to Caomen was slightly higher. The site protection satisfaction of the Daliang gate to northwest gate section was the highest, and the satisfaction was the lowest of City Wall Park from Caomen to

**收稿日期**:2023-11-29;**修回日期**:2024-01-07

**第一作者**:卓傲(1998-),女,硕士研究生. 研究方向为风景园林规划与设计. Email:1197501480@qq. com

**责任作者**:王鹏飞(1964-),男,博士,教授,博士生导师. 研究方向为风景园林规划与设计. Email:188792041@qq. com

southeast corner. Suggestions were put forward to accelerate the progress of site restoration, update the road system to increase the convenience of park use, and strengthen the planning of parks inside the city walls.

**Key words**: heritage park; park city; completeness evaluation index system; GIS; analytic hierarchy process; Kaifeng City Wall Park

遗址公园将遗址本体作为基础,构建能够承担公园性质与功能的绿地,通过遗址的文化传承性连接文化价值和经济价值,能够满足多种需求[1]。但仍需要通过不断探索遗址保护与社会发展、环境提升以及产业协调的关系,实现遗址公园与城市发展的平衡[2],将城市融入园林之中[3]。目前公园城市研究从生态文明建设出发,将“以人为本”的发展观融入人居建设中,追求新时期城市空间形态多元融合的复合式发展[4-8]。大量研究表明,公园城市相关研究多从宏观角度出发,以理论指导为主要研究方向,缺乏通过评价分析探究未来发展趋势的研究;公园评价研究从公园的景观质量、空间格局及使用感受出发,通过层次分析法(AHP 法)、模糊综合评价法、美景度评价法(SBE 法)、语义分析法(SD 法)构建评价指标体系并分析评价结果,缺乏直观性和可视性[9]。

地理信息系统(GIS)的出现为公园评价提供了新的技术操作平台,能够实现评价结果的可视化,展现出独特的优势。为此,从公园城市理念出发构建符合时代发展趋势的评价体系,了解遗址保护与城市“人、城、境、业”发展新范式之间的关系,结合 AHP 与 GIS 探索遗址公园未来保护与利用发展趋势,为新时期遗址公园建设提供新视角。

## 1 研究区域概况

开封市古城墙公园位于河南省开封市(113°51′51″~115°15′42″E,34°11′43″~35°11′43″N)龙亭区、鼓楼区和顺河回族区之间,处于地势平坦的中心区域,与护城河相邻。开封市属温带季风气候,四季分明,年均温 14.52℃,年均降水量 627.5 mm,降水集中在夏季的 7—8 月。开封城墙全长 14.4 km,是中国现存第二大古代城垣建筑,于 2014 年列入《中国世界文化遗产预备名单》名录。城墙始建于战国时期,至明清时期由土城墙改建为砖墙,1841 年遭遇水患,次年二月重建开封,此时建成的城墙保存至今。自 2005 年起,开封市启动滨河路环城公园建设工程,至今已完成七期建设工程,计划最终建成开封内最大的环城绿地公园。公园内既包含自然风景又兼具人文背景,其中自然景观包括以槐树(*Styphnolobium japonicum* (L.) Schott)、紫叶李(*Prunus cerasifera* ‘Atropurpurea’)、石楠(*Photinia serratifolia* (Desf.) Kalkman)、鸢尾(*Iris tectorum* Maxim.)等为主的植被和以一渠六河工程为主的护城河,人文背景则以城墙精神、廉政精神和历史故事为主。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

实地调研时间需要考虑景观现状及居民活动,于 2023 年 4 月 15 日—5 月 20 日以及 9 月 29 日—10 月 8 日收集城墙公园建成区域相关数据,其中,建成区域的 12 个城门及 4 处拐角将开封市古城墙公园划分为 16 个调查区域;城墙将带状公园划分为城墙内侧公园与城墙外侧公园,两侧公园在景观结构、使用人群等方面相差较大。因此,在调研时将研究区域内外空间分开记录调研结果,并以每个调研区域的主节点为中心向外延伸 50 m 划分为 1 个取样点,选择其中天气晴朗的日子减弱干扰因子对数据的影响。

调研数据结合多源数据:

1)使用开封市 WGS-84 坐标系下的高分辨率遥感影像图作为分析地图。

2)采用观察法以客观视角观察公园景观布局现状以及使用者活动,从使用者的角度感受公园设计的合理性,并在调研中根据评价指标记录受访者的各类行为动态及公园内部使用情况,便于后续使用。

3)景观图片拍摄法能够直接将大量居民活动及景观结构记录成为图像,可作为后期公园系统完善度的分析依据,为保证数据的客观性及完整性,在拍摄时将高度定为人视高度,角度避免居民遮挡[10]。

4)基于城墙公园使用人群组成结构,选择以访谈法为主的主观分析,通过较为口语化的方式了解居民对遗址公园的使用感受及态度。

根据观察可知居民在城墙公园内进行活动有一定的时间规律。因此,在对公园景观结构进行调研时选择中午(11∶00—15∶00),在对公园使用情况进行调研时选择早晨(6∶00—8∶00)及傍晚(17∶00—20∶00)。

调研完成后根据评价指标提取研究区域范围内客观数据进行记录,并将口头访谈内容转化为文字

表述,通过主题分析法对其进行归纳整理,提取居民对公园系统的评价作为遗址公园评价依据,整合多源数据调研结果,去除部分重合性较高样点后共得到 356 个有效样点(图 1)。




**图 1　研究区样点分布**

**Fig. 1　Distribution of research samples**

### 2.2 研究方法

采用 AHP 法构建遗址公园评价准则,根据评价体系内在逻辑对准则层细化分析生成多个探究目标,实现多层次的复杂分析过程[11]。而后,根据评价体系筛选出所需数据导入 Excel 表格中进行整合分析并赋值,在初步了解遗址公园整体综合状况与评价结果后,将最终所得调研数据导入 ArcGIS 10.4 软件中,利用缓冲区分析、插值分析、叠加分析等功能板块进行研究区域等级划分,绘制评价指标单因子分析结果图层,并将单因子分析结果进行栅格化处理以便于后期进行权重叠加,最终得到遗址公园准则层综合评价结果[12]。

### 2.3 评价因子权重及量化

#### 2.3.1 筛选评价因子

公园城市背景下遗址公园在多方面产生新特点,设计核心方面从注重城市建设弱化人居环境、承担基础建设的物质空间转变为注重居民精神需求、承载其使用人群活动的复合空间。公园城市背景下遗址公园已不再仅仅是保护遗址、科普知识的休闲空间,而是以满足其承载活动对象的美好生活需求为出发点,附加使用人群物质需求的多样化空间场景。从服务使用人群的角度推进城市建设,突出“以人为本”的设计核心,保障使用人群的正向情感反馈。

遗址公园设计内涵以外在形态展示遗址精神为主,结合科普教育、参观游览活动传达文化价值,公园城市背景下的遗址公园则被赋予了促进城市产业发展的新任务。从与城市文化割裂的独立性空间转向与周边区域紧密连接、激发区域活力的关键性空间。根据遗址公园的空间分布,提升遗址公园与周边区域的文化系统性和交通便捷性,以增加城市吸引力,实现遗产公园与旅游产业的高度融合、共同发展。

功能进一步升级,将遗址公园的文化精神融入公园城市的山水之美,依托特定文化内容构建具有复合功能的公园空间,以表达历史文化、展示遗址空间为基础,融合生态提升、应急避险、美化环境、休闲健身等功能,注重服务设施完善度、空间布局合理性,立足挖掘特色文化深度,综合公园城市多元功能,形成物质与文化相结合的复合空间。

内在逻辑发生转变,遗址公园旨在为遗址提供稳定外部环境,增加城市绿色空间,构建区域性的公园系统。公园城市则注重自然系统与城市环境的融合,以各尺度的公园系统为基础脉络,向外延伸,通过生态绿道连接城市各区域,保障城市自然系统的生态连通性、可持续发展性。公园城市背景下的遗址公园以建立城市整体生态网络为目标,充分发挥子单位生态活力,在完善遗址公园系统的前提下,使其成为城市多层级自然系统中的一环。

为减少人为活动对遗址的破坏,遗址公园设计理念为建立缓冲区域,以保障遗址真实性及完整性。引申到公园城市建设中,需要对遗址保护修复措施与周边环境空间结构适时调整更新,以适应不断发展的人居环境需求。将居民作为文化遗存的利用者与守护者,提升居民保护遗址意识,并依据居民的视角,塑造遗址活态空间场景、重现集体记忆,促进遗址文化的活态传承与发展(图 2)。

#### 2.3.2 确定评价因子权重

第一步:按照 1~9 标度法对上述评价指标的重要性进行两两对比,将同等重要、稍微重要、比较重要、十分重要、绝对重要分别赋值 1、3、5、7、9,相反则取倒数[13],邀请相关领域专家学者对评价指标赋值,得到判断矩阵 A:

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} \tag{1}$$

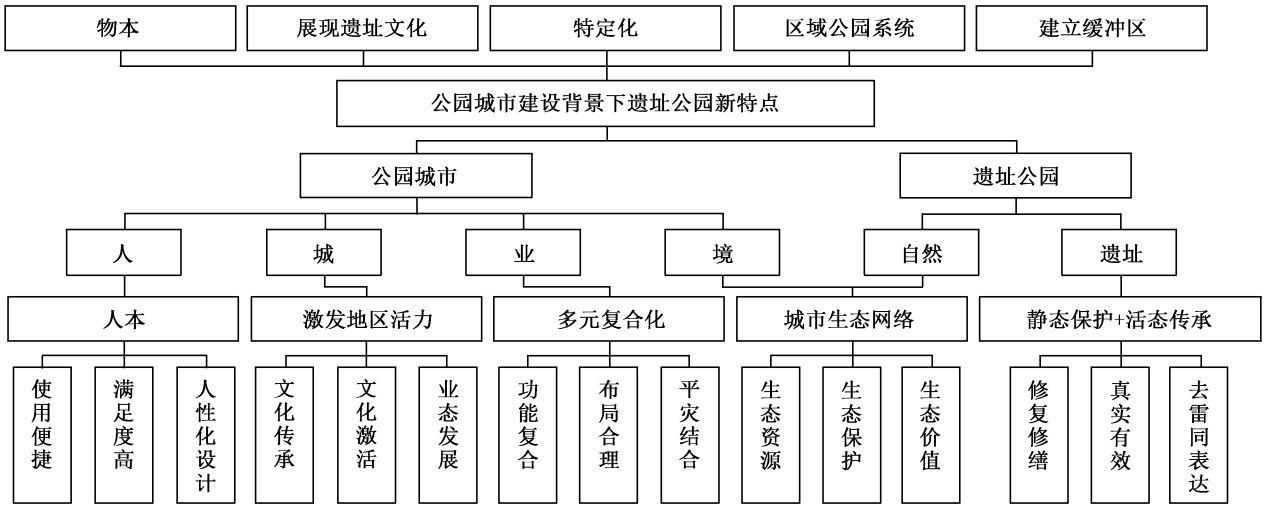



**图2　公园城市建设背景下遗址公园内在转变**

**Fig. 2　Internal transformation of heritage park under the background of park city construction**

第二步：计算判断矩阵 $A$ 的最大特征值 $\lambda_{max}$ 及其对应的特征向量 $p_i$，而后对特征向量 $p_i$ 进行归一化处理，得到指标权重组成的向量 $P$，公式为：

$$P = \lambda_{max} p_i \tag{2}$$

第三步：根据判断矩阵 $A$ 对应的特征值 $\lambda$ 及矩阵维数 $n$ 计算一致性指标 $C_I$，公式为：

$$C_I = \frac{\lambda - n}{n - 1} \tag{3}$$

第四步：根据一致性指标 $C_I$ 与随机一致性指标 $R_I$ 检验一致性比率 $C_R$，公式为：

$$C_R = \frac{C_I}{R_I} \tag{4}$$

若 $C_R<0.1$，表明判断矩阵具有一致性，得到相应权重；若 $C_R>0.1$，需重新构建判断矩阵。

#### 2.3.3 评价因子量化

由于该评价体系内评价指标有显著差异，为保证评价体系的科学性，将各指标划分为定性与定量两类，并根据《大遗址利用导则（试行）》[14]和《公园城市评价标准 T/CHSLA 50008—2021》[15]中相应规范制定评价指标具体量化方法（表1）。

## 3 结果与分析

### 3.1 开封古城墙公园保护与开发现状

开封市于2021年正式实施《开封古城保护条例》，将城墙及其相互依存的自然、人文环境划入保护区域内，以最大限度地维护城墙真实性与完整性，达到科学规划、保护优先、合理利用、严格管理的目标，树立开封古城形象，推动社会经济发展。

开封古城墙公园属于历史城区范围，目前已完成七期修缮工作，余下安远门—西北角与汴京门—宋门段外侧城墙公园及东北角—明伦门内侧城墙公园未建成，《开封历史文化名城保护规划（2021—2035年）》中强调，将城墙保护与合理开发相结合，计划在现状基础上贯通城墙环城绿带，并在保护城垣轮廓的同时，加强城门的标识展示，实施渐进式保护更新模式，基于实际需求和复杂现实不断优化更新城墙公园，建设线性国家考古遗址公园。

### 3.2 权重结果

根据相关领域专家学者评分，对构建的判断矩阵进行一致性检验后得到表2。

在表2中，准则层反映出遗址公园应在遗址保护（B5）的前提下重视生境营造（B4）及居民需求（B1），从公园系统本身出发满足公园城市建造需求，并在其基础上推动城市发展（B2），打造功能聚集（B3）型公园。指标层则表明遗址公园需要确保自身文化独特性（C15）以吸引更多使用者，提升生态系统稳定性（C11）确保公园环境在遇到突发事件时能够发挥生态活力，并通过保护遗址完整性（C13）传承城市故事。

### 3.3 准则层评价结果

#### 3.3.1 居民需求

大梁门—金耀门城墙公园及南城墙公园服务范围较广，且两段公园平均使用频率较高（图3）。

由图3可以看出，金耀门—安远门城墙公园周围居民较少，大梁门—西南角城墙公园及东南角—曹门城墙公园入口仅设置在城门处，导致服务范围较小，三段城墙公园使用频率略低。基础设施以东城墙公园最优，与二次改造有一定关联。

表 1　公园城市背景下遗址公园完善度评价指标体系及量化方法

Tab. 1　Evaluation index system and quantitative method of completeness of heritage parks under the background of park city

| 目标层 | 准则层 | 因子层 | 评价标准 |
|---|---|---|---|
| 公园城市背景下遗址公园完善度评价(A) | 居民需求(B1) | 公园服务半径(C1) | 能在一定时间内到达遗址公园的区域 |
| | | 节点使用频率(C2) | 公园各处使用人群热力图 |
| | | 基础设施完善度(C3) | 服务设施、休憩设施、指示牌以及停车场分布状况 |
| | 城市发展(B2) | 文化设施完善度(C4) | 文化关联性×0.5+文化设施完善度×0.5 |
| | | 地域发展耦合性(C5) | 开展的大型品牌活动、地域文化特色的节庆活动和区域交流交往活动 |
| | | 周边景区连通性(C6) | 能在一定时间内步行到达周围文化景区的区域 |
| | 功能聚集(B3) | 节点空间利用率(C7) | 有效使用的空间面积/区域面积 |
| | | 路网密度(C8) | 公园建成区道路总长度(km)/公园建成区面积($km^2$) |
| | | 应急避险空间完善度(C9) | 应急避险空间标识完善、引导性强 |
| | 生境营造(B4) | 综合物种指数(C10) | $H=\frac{1}{n}\sum_{i-1}^{n}\frac{Nb_i}{N_I}$(式中:$H$ 为综合物种指数;$P$ 为单项物种指数;$Nb$ 为公园建成区内该类物种数;$N$ 为公园范围内该类物种总数) |
| | | 生态系统稳定性(C11) | 植物层次以及植物覆盖率 |
| | | 生态系统连续性(C12) | $\gamma=\frac{L}{L_{max}}=\frac{L}{3(V-2)}(\gamma\in[0,1])$(式中:$L$ 为生态网络中实际存在的连接数;$V$ 为实际的节点数;$L_{max}$ 为最大可能的连接数,由 $V$ 确定) |
| | 遗址保护(B5) | 城墙遗址完整性(C13) | 城墙遗址修缮完成度 |
| | | 文化原真性(C14) | 遗址完整性×0.5+历史要素真实性×0.5 |
| | | 文化独特性(C15) | 满意度总分($M$)大于或等于 8 分的市民人数(人)/被抽查的市民总人数(人) |

表 2　评价体系权重结果

Tab. 2　Results of evaluation system weight

| 目标层 | 准则层 | 权重 | 因子层 | 权重 | 排序 |
|---|---|---|---|---|---|
| 公园城市背景下遗址公园完善度评价(A) | 居民需求(B1) | 0.2128 | 公园服务半径(C1) | 0.0519 | 11 |
| | | | 节点使用频率(C2) | 0.0825 | 5 |
| | | | 基础设施完善度(C3) | 0.0784 | 7 |
| | 城市发展(B2) | 0.1193 | 文化设施完善度(C4) | 0.0540 | 10 |
| | | | 地域发展耦合性(C5) | 0.0313 | 14 |
| | | | 周边景区连通性(C6) | 0.0340 | 13 |
| | 功能聚集(B3) | 0.1125 | 节点空间利用率(C7) | 0.0569 | 8 |
| | | | 路网密度(C8) | 0.0377 | 12 |
| | | | 应急避险空间完善度(C9) | 0.0179 | 15 |
| | 生境营造(B4) | 0.2374 | 综合物种指数(C10) | 0.0557 | 9 |
| | | | 生态系统稳定性(C11) | 0.0981 | 2 |
| | | | 生态系统连续性(C12) | 0.0836 | 4 |
| | 遗址保护(B5) | 0.3180 | 城墙遗址完整性(C13) | 0.0946 | 3 |
| | | | 文化原真性(C14) | 0.0814 | 6 |
| | | | 文化独特性(C15) | 0.1420 | 1 |

### 3.3.2 城市发展

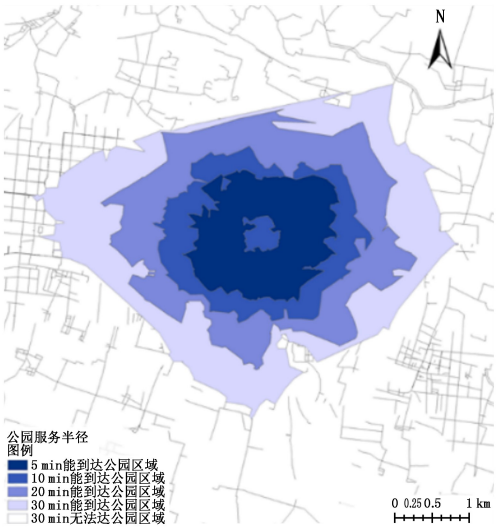
城墙公园精神文化通过设置节点、雕塑及标识牌表达,整体效果一般(图 4)。

由图 4 可以看出,小西门—金耀门城墙公园因古马道遗址及廉政文化为主设置较为丰富的文化系统,迎宾门—曹门以及西北门—东北角城墙公园几乎不设置文化景观。城墙开放区域以大梁门—西北门段为主,此段城墙与旅游业发展联系更为紧密,因此,地域性特色节庆活动更多集中于该段。同时,得益于开封市景区的聚集性以及横平竖直、四通八达的道路特征,各景区之间连通性尚可,但特色景区更多建立在靠近西城墙公园处,使地域发展耦合性及周边景区连通性呈现较强的一致性,二者均为大梁门—金耀门段城墙公园效果最优,安远门—曹门效果最差。

### 3.3.3 功能聚集

遗址公园功能聚集评价结果见图 5。

图 5 反映出空间利用率较高区域为每段城墙公园的主节点,由于空间足够,主节点设置了较多的休憩设施,倾向于动态活动的使用者多集中于主节点展开群体性活动。这种动态活动在白天多表现为打




(a)公园服务半径




(b)节点使用频率




(c)基础设施完善度

图3　居民需求评价结果

Fig. 3　Results of residents′demand evaluation index




(a)文化设施完善度




(b)地域发展耦合性




(c)周边景区连通性

图4　城市发展评价结果

Fig. 4　Results of urban development evaluation index




(a)节点空间利用率




(b)路网密度




(c)应急避险空间完善度

**图 5　功能聚集评价结果**

**Fig. 5　Results of functional aggregation evaluation index**

空竹、抽陀螺及球类运动,傍晚多表现为广场舞、遛狗及太极拳,而下棋、打牌及唱戏等静态活动多分布在其余各处。

在规划公园路网时考虑到使用者出入方便,公园与街道相连部分的路网更加密集,为了减少使用者直接接触城墙导致墙体损坏,靠近城墙墙体的路网密度最低。

公园从南侧出发构建应急避险空间,此部分城墙公园内设置标识牌系统较为完善,能够快速到达相应区域。完善度较低区域存在入口较少、难以进入以及空间不足,难以支撑人群聚集的问题。

### 3.3.4　生境营造

遗址公园生境营造评价结果见图 6。

由于东城墙与一渠六河工程紧密相连,此段城墙公园水体出现了鲫鱼、黑鱼、泥鳅草鱼等水生动物,提高了区域综合物种指数。此外,公园整体鸟类并无区别,均以斑鸠、灰喜鹊、麻雀为主,存在空间较大区域植物更为丰富的趋势。

公园景观层次较为一致,以乔木—灌木—草本为主,其次是乔木—灌木和乔木—草本,因此,不同区域生态系统稳定性的差异更可能是由于绿色植被覆盖度不同所导致。生态连续性与路网密度有些许正向关联,但大梁门—西北门城墙内侧公园未完成修缮工作,使得此段公园生态连续性较差。

### 3.3.5　遗址保护

开封城墙至今已完成修复修缮外墙体约 12.5 km,存在主要问题为墙体缺少个别墙砖(图 7)。

由图 7 可以看出,内墙已修复护坡约 3.8 km,曹门—东南角内墙护坡仅修复一半,西北门—明伦门除紧邻城门处,其余部分内墙护坡修缮工作还未开展。大梁门—金耀门城墙公园注重以古马道为主的遗址展示,成为了市民认同度最高区域。曹门—东南角城墙公园以生态保护为主,仅保存部分宋文化节点,降低了历史要素含量和市民认同度。

## 3.4　综合评价结果

遗址公园综合评价结果见图 8。

由图 8 可知,城墙公园综合评价结果一致性较高,大多数区域处于一般水平。公园在规划时将南侧与明伦门—曹门城墙公园主题定为健康,西侧主题为文化,东北角—明伦门兼顾文化与生态,其余区域更注重生态,与评价结果大致相同。其次,公园现状受建造及改造时间的影响,较早完工的南城墙公园综合评价结果为中等偏下,经过修缮的东北角—曹门城墙公园评价结果为中等偏上。此外,大梁门—西北门




(a)综合物种指数




(b)生态系统稳定性




(c)生态系统连续性

图6　生境营造评价结果

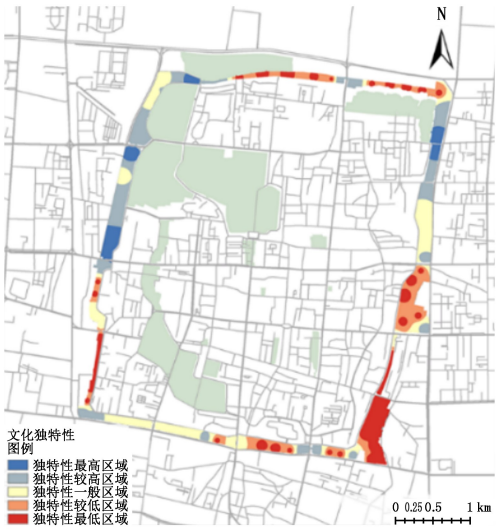
Fig. 6　Results of habitat construction evaluation index




(a)城墙遗址完整性




(b)文化原真性



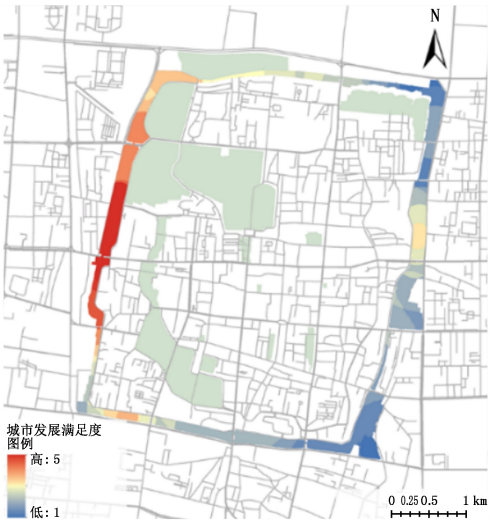

(c)文化独特性

图7　遗址保护评价结果

Fig. 7　Results of site protection evaluation index




(a)居民需求满足度



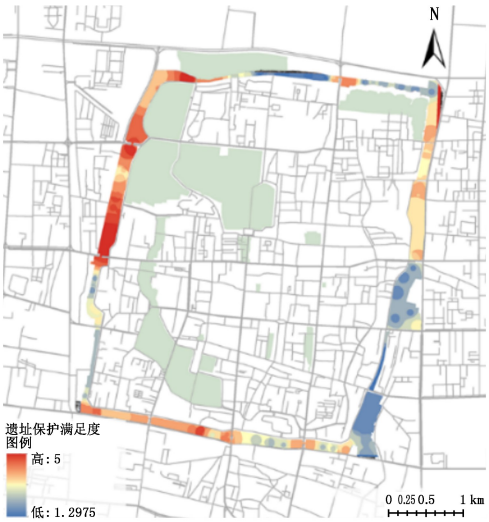

(b)城市发展满足度



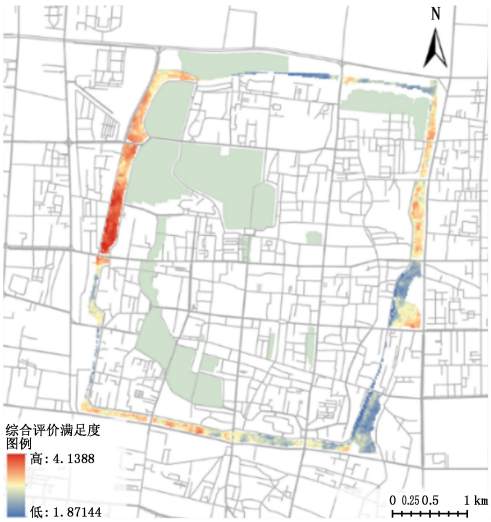

(c)功能聚集满足度




(d)生境营造满足度




(e)遗址保护满足度




(f)综合评价满足度

图 8　准则层综合评价结果

Fig. 8　Results of criterion layer comprehensive evaluation

城墙公园需要兼顾居民使用和游客游览两方面需求,表现出公园整体积极的一面,而公园面积明显较小的区域表现出消极的一面。

北城墙公园及内侧城墙公园居民需求满足度较低,原因为此段城墙公园面积较小,使用者活动以散步闲逛为主,除城门附近外,没有能够开展活动的节点,导致基础设施完善度及使用频率较低。

城市发展需求满足度对立性较强,表现为西侧城墙公园整体优于东侧。由此可以推测,在选择西城墙作为重点开放游览区域时已考虑其蕴含的文化和地理优势。安远门—迎宾门城墙公园则以居民游览为主,与城市发展关联性较弱。

功能聚集满足度分散性最强,究其根本是拥有足够活动空间的主节点展现出功能聚集满足度较高的一面,且使用人群较多的南城墙区域平均满足度最高,空间不足的西南角—大梁门和西北门—安远门城墙公园满足度较差。

安远门—明伦门城墙公园与一渠六河工程结合更注重生境营造,而西南角—大南门城墙公园与居民区紧密相连且空间较小,在规划时对生态保护与修复考虑较少。

大梁门—西北门城墙公园的遗址保护满足度最高,在相应指标层均得到良好评价,满足度最低的是曹门—东南角城墙公园,主要是缺乏文化系统导致文化原真性与独特性不足。

## 4 结论与讨论

公园城市的发展正处于起步阶段,在全国范围内已进入全面推广、多方探索、加速实施的新阶段,需要加快探索脚步,结合城市现状探索发展趋势,对处于现代化发展和遗址保存交界线的城市更是一大难题,因此,需要不断完善相关理念,寻找二者之间的平衡。通过对公园城市背景下遗址公园未来发展趋势进行初步探讨,根据遗址和公园城市建设规范构建评价体系,利用 AHP 对评价指标进行赋值,并结合 GIS 技术实现结果可视化,使其更具有现实指导意义。由于目前公园城市相关理论研究不足,评价指标的选择可能不够严谨,在未来研究中需要不断完善评价体系,使其更具有代表性。

虽然评价体系可能不够严谨,但仍发现了开封城墙公园建设中存在的部分问题。其中最为紧迫的是需要加快遗址修缮进度,设置市民认可度高的文化景观系统,并推动使用者自发形成保护城墙意识;其次,面对利用率较低的区域,需要对道路系统进行更新以增加城墙公园使用便捷性,并设置符合使用者活动需求的出入口及节点;第三,加强城墙内侧公园规划,重点推进基础设施和生态系统发展;第四,需要在完善城墙公园的基础上,通过宣传和活动加强开封市吸引力,推动城市旅游业发展。

## 参考文献:

[1] 沈慧,姜芃. 史前考古遗址公园情境化设计途径探讨——以上宅文化考古遗址公园规划为例[J]. 中国园林,2023,39(5):75-79.

[2] 张宸铭,高尚,何贝,等. 基于空间句法耦合 SLEUTH 模型的新老城区扩展模拟研究——以开封市为例[J]. 地理研究,2021,40(5):1372-1386.

[3] 吴岩,王忠杰,束晨阳,等."公园城市"的理念内涵和实践路径研究[J]. 中国园林,2018,34(10):30-33.

[4] 廖茂林,占妍泓,周灵,等. 习近平生态文明思想对公园城市建设的指导价值[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31(12):140-148.

[5] 李晓江,吴承照,王红扬,等. 公园城市,城市建设的新模式[J]. 城市规划,2019,43(3):50-58.

[6] 刘滨谊,陈威,刘珂秀,等. 公园城市评价体系构建及实践验证[J]. 中国园林,2021,37(8):6-13.

[7] 白骅,落昊飞,刘亚蕾. 公园城市背景下的城市型绿道布局适宜性评价研究[J]. 中国园林,2022,38(8):93-98.

[8] 叶洁楠,章烨,王浩. 新时期人本视角下公园城市建设发展新模式探讨[J]. 中国园林,2021,37(8):24-28.

[9] 裘亦书,高峻,詹起林. 山地视觉景观的 GIS 评价——以广东南昆山国家森林公园为例[J]. 生态学报,2011,31(4):1009-1020.

[10] 黄子洛,傅伟聪,赵誉洁,等. 全景相机观测公众绿地游憩行为的应用分析[J]. 中国园林,2023,39(7):83-88.

[11] 王雪琪,高飞,李路平,等. 活态传承理念下风景旅游城市近郊村庄规划探索——以桂林漓东近郊村庄为例[J]. 中国园林,2021,37(S1):106-111.

[12] 李发明,李娜,王婷婷,等. 基于 BD-GIS 耦合模型的北京奥林匹克森林公园景观优化策略研究[J]. 中国园林,2020,36(1):65-69.

[13] 黄硕磊,何奕忻,杨早,等. 成都市龙泉山城市森林公园生态系统服务价值评估体系的构建——基于层次分析法[J]. 应用与环境生物学报,2022,28(6):1635-1645.

[14] 国家文物局. 大遗址利用导则(试行)[Z]. 2020.

[15] 中国风景园林学会. 公园城市评价标准:T/CHSLA 50008—2021[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2022.

责任编辑:许易琦
校　　对:许易琦,董磊

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.002

# 不同郁闭度乔木林下绒毛方竹种植成活率研究

杨太橡[1],白祖云[1],赵 静[1],李长伟[1],田茂平[1],祖万巧[1],魏洪兵[2],王 凯[3],李 伟[4],易正希[3],骆思霜[3]
(1.昭通市森林和草原资源管理站,云南 昭通 657000;2.水富铜锣坝竹业专业合作社,云南 水富 657802;
3.水富市林业和草原局,云南 水富 657800;4.乌蒙山国家级自然保护区管护局,云南 昭通 65700)

**摘要**:在水富铜锣坝竹产业专业合作社开展绒毛方竹林下种植试验,设计上层乔木不同郁闭度 5 个小区,分别采用不覆盖地膜和覆盖地膜两种处理,调查种植后 3~4 个月及 12~13 个月的成活率,并进行 *F* 检验分析。结果表明:不覆盖地膜时,上层乔木郁闭度对短期造林成活率有显著影响;覆盖地膜时,上层乔木郁闭度对短期造林成活率没有显著影响,通过覆盖地膜有助于提高林下种竹的短期造林成活率。是否覆盖地膜,上层乔木郁闭度对 1 年造林成活率均有显著影响,覆盖地膜虽然有利于提高绒毛方竹短期内的造林成活率,但不利于提高造林 1 年后的成活率。

**关键词**:乔木林郁闭度;覆盖地膜;绒毛方竹;造林成活率

**中图分类号**:S758.52;S795;S753.3 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0011-06

**引文格式**:杨太橡,白祖云,赵静,等. 不同郁闭度乔木林下绒毛方竹种植成活率研究[J]. 林业调查规划,2025,50(1):11-16. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.002

YANG Taixiang, BAI Zuyun, ZHAO Jing, et al. Survival Rate of *Chimonobambusa utilis* 'Rongmao Fangzhu' Planted under Different Canopy Densities in Arbor Forests[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1):11-16. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.002

# Survival Rate of *Chimonobambusa utilis* 'Rongmao Fangzhu' Planted under Different Canopy Densities in Arbor Forests

YANG Taixiang[1], BAI Zuyun[1], ZHAO Jing[1], LI Changwei[1], TIAN Maoping[1], ZU Wanqiao[1], WEI Hongbing[2], WANG Kai[3], LI Wei[4], YI Zhengxi[3], LUO Sishuang[3]
(1. Zhaotong Forest and Grassland Resources Management Station, Zhaotong, Yunnan 657000, China;
2. Shuifu Tongluoba Bamboo Industry Professional Cooperative, Shuifu, Yunnan 657802, China;
3. Shuifu Forestry and Grassland Bureau, Shuifu, Yunnan 657800, China;
4. Administration of Wumengshan National Nature Reserve, Zhaotong, Yunnan 657000, China)

**Abstract**: The undergrowth planting experiment of *Chimonobambusa utilis* 'Rongmao Fangzhu' was carried out in Shuifu Tongluoba Bamboo Industry Professional Cooperative. Five plots with different canopy densities of upper layer arbors were designed, and two treatments of no mulching and mulching were used respectively. The survival rates of 3 to 4 months after planting and 12 to 13 months after planting were investigated, and *F* test analysis was carried out. The results showed that the canopy density of upper layer arbors had a significant impact on the survival rate of short-term afforestation when no mulching was used; when covering with plastic film, the canopy density of upper layer arbors had no significant impact on the short-term

**收稿日期**:2023-11-20;**修回日期**:2024-01-22
**基金资助**:昭通市第三批"鲲鹏计划"培养专项.
**第一作者**:杨太橡(1980-),男,高级工程师. 主要从事森林和草原资源管理与竹产业研究工作. Email:68483176@qq.com
**责任作者**:白祖云(1968-),男,正高级工程师. 主要从事森林和草原资源管理与竹产业研究工作. Email:365450070@qq.com

afforestation survival rate, and covering with plastic film was helpful to improve the short-term afforestation survival rate of planted bamboo under the forest. Whether or not to cover with plastic film, the canopy density of upper layer arbors had a significant impact on the 1-year afforestation survival rate. Although covering with plastic film was conducive to improving the short-term afforestation survival rate of *Chimonobambusa utilis* 'Rongmao Fangzhu', not conducive to improving the survival rate of one year after afforestation.

**Key words**: canopy density of arbor forest; covering with plastic film; *Chimonobambusa utilis* 'Rongmao Fangzhu'; survival rate of afforestation

竹产业是昭通六大高原特色产业之一,昭通市提出发展"两个一百万亩"的竹产业发展目标,即发展"筇竹一百万亩,方竹一百万亩"[1]。乔木林郁闭度对林下种植方竹成活率及生长的影响研究入选昭通市第三批"鲲鹏计划"高层次领军人才专项。2020年4月从昭通市盐津县柿子镇新村与彝良县钟鸣镇小板厂交界处(104.102 769°E,27.844 824 5°N)附近采种,在水富市太平镇二溪村水富铜锣坝竹产业专业合作社育苗,2020年12月种植。该方竹竹种是金佛山方竹(*Chimonobambusa utilis* (Keng) P. C. Keng)的变异,2023年1月国际竹类品种登录中心颁发了新品种登录证书,定名为绒毛方竹(*Chimonobambusa utilis* 'Rongmao Fangzhu')[2]。对这一新品种在林下种植[3]开展试验研究,对科学选择方竹的种植地块,做到适地适竹,在乔木林下科学经营,实现乔、竹经济、生态、社会效益整体提升,促进方竹产业的持续健康发展、巩固脱贫成果具有重要的意义。

## 1 项目区域概况

研究地点为水富市太平镇二溪村19村民小组。二溪村位于水富市西南边,东邻盐井村,南邻复兴村,西邻绥江县板栗乡,北邻盐津县,南北长10.3 km,东西宽6.8 km,全村土地面积65.5 $km^2$。属亚热带气候,年均降水量1 200 mm以上,日照少,土壤主要为紫色土,局部黄壤。附近植被以壳斗科、樟科、山茶科植被为主,种类繁多,有国家一级保护植物珙桐(*Davidia involucrata* Baill)、红豆杉(*Taxus chinensis* (Pilger) Rehd)等分布;乔木树种有峨眉栲(*Castanopsis platyacantha* Rehd. et Wils)、樟木(*Sassafras tzumu* (Hemsl) Hemsl)、滇木荷(*Schima noronhae* Reinw. ex Bl)、水青冈(*Fagus longipetiolata* Seem.)、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb) Hook)、柳杉(*Cryptomeria fortunei* Hooibrenk ex Otto et Dietr)等;经济树种有盐麸木(*Rhus chinensis* Mill)、核桃(*Juglans regia* L.)、板栗(*Castanea mollissima* Bl.)、黄檗(*Phellodendron amurense* Rupr.)、杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliv.)、苦丁茶(*Ligustrum robustum* (Roxb.) Blume)等[4];草本植物有蕨类、禾本科草本类和兰科植物等[1];具有多种竹种分布,竹类有水竹(*Phyllostachys heteroclada* Oliver)、刺竹子(*Chimonobambusa pachystachys* Hsueh et Yi)、筇竹(*Qiongzhuea tumidinoda* Hsueh & T. P. Yi ex Ohrn)、苦竹(*Pleioblastus amarus* (Keng) Keng f)、金竹(*Phyllostachys sulphurea* (Carr) A. et C. Riv)等10余个竹种[1,5],适合竹类生长,种植有金佛山方竹、八月竹(*Chimonobambusa szechuanensis* P. C. Keng)[5]、筇竹等笋用竹。试验地土壤为紫色土,阴坡,海拔1 401~1 442 m,主要乔木树种有峨嵋栲、泡桐(*Paulownia fortunei* (Seem) Hemsl)、山核桃(*Carya cathayensis* Sarg, Pl. Wils)、西南桦木(*Betula alnoides* Buch.-Ham. ex D. Don)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb) Oerst)、杉木、柳杉[4];灌木主要有灰白毛莓(*Rubus tephrodes* Hance)[4];草本主要有扁竹兰(*Iris confusa* Sealy in Gard. Chron. ser)及蕨类、禾本科草类等[1,4]。乔木胸径12~32 cm,树高7.9~13.2 m。土层厚度30~40 cm。郁闭度为0.13~0.92。

## 2 研究方法

### 2.1 试验设计及名词

设计5个小区(A区:0.1≤郁闭度<0.2;B区:0.2≤郁闭度<0.4;C区:0.4≤郁闭度<0.6;D区:0.6≤郁闭度<0.8;E区:0.8≤郁闭度<1.0),两个处理(处理1:种植时不覆盖地膜;处理2:种植时覆盖地膜)。选择立地条件基本相近,乔木郁闭度不同的地块,根据乔木郁闭度的不同,将试验地块划分为5个小区,每个小区进行2个处理。各试验区基本情况见表1。

短期造林成活率[4]:种植后3~4个月的造林成活率,即种植后3~4个月期间成活株数与种植株数的百分比。

造林1年后的成活率:种植12~13个月的造林成活率,即种植后12~13个月期间成活株数与种植株数的百分比。

表 1　各试验区基本情况

Tab. 1　Basic information of each experimental area

| 区组号 | 面积/hm² | 地类 | 海拔/m | 乔木层 | | | | 灌木层 | | 草本层 | | 土壤调查 | | | 地形因子 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 优势树种 | 郁闭度 | 平均胸径/cm | 平均树高/m | 主要树种 | 盖度/% | 种类 | 盖度/% | 土壤亚类 | 土壤厚度 | 土壤质地 | 坡向 | 坡位 |
| A1 | 1 | 疏林地 | 1436~1442 | 峨嵋栲、泡桐 | 0.13 | 21 | 7.9 | 悬钩子、灰白毛莓 | 13 | 扁竹兰、蕨类 | 94 | 紫色土 | 中 | 中壤 | 阴坡 | 中 |
| A2 | 1 | 疏林地 | 1436~1441 | 峨嵋栲、泡桐 | 0.13 | 21 | 7.9 | 悬钩子、灰白毛莓 | 13 | 扁竹兰、蕨类 | 94 | 紫色土 | 中 | 中壤 | 阴坡 | 中 |
| B1 | 1 | 乔木林地 | 1415~1419 | 桦木、青冈 | 0.26 | 19 | 10.8 | 悬钩子、灰白毛莓 | 17 | 蕨类、禾本科草类 | 73 | 紫色土 | 中 | 中壤 | 阴坡 | 中 |
| B2 | 1 | 乔木林地 | 1415~1419 | 桦木、青冈 | 0.26 | 19 | 10.8 | 悬钩子、灰白毛莓 | 17 | 蕨类、禾本科草类 | 73 | 紫色土 | 中 | 中壤 | 阴坡 | 中 |
| C1 | 1 | 乔木林地 | 1412~1417 | 山核桃 | 0.42 | 14 | 9.7 | 悬钩子、灰白毛莓 | 8 | 蕨类、禾本科草类 | 75 | 紫色土 | 中 | 中壤 | 阴坡 | 中 |
| C2 | 1 | 乔木林地 | 1412~1417 | 山核桃 | 0.42 | 14 | 9.8 | 悬钩子、灰白毛莓 | 8 | 蕨类、禾本科草类 | 75 | 紫色土 | 中 | 中壤 | 阴坡 | 中 |
| D1 | 1 | 乔木林地 | 1430~1440 | 峨嵋栲、泡桐 | 0.70 | 20 | 9.1 | 悬钩子、灰白毛莓 | 52 | 扁竹兰、蕨类 | 95 | 紫色土 | 中 | 中壤 | 阴坡 | 中 |
| D2 | 1 | 乔木林地 | 1430~1441 | 峨嵋栲、泡桐 | 0.70 | 20 | 9.1 | 悬钩子、灰白毛莓 | 52 | 扁竹兰、蕨类 | 95 | 紫色土 | 中 | 中壤 | 阴坡 | 中 |
| E1 | 1 | 乔木林地 | 1417~1440 | 杉木、柳杉、青冈 | 0.92 | 32 | 13.2 | 悬钩子、灰白毛莓 | 22 | 蕨类、扁竹兰 | 40 | 紫色土 | 中 | 中壤 | 阴坡 | 中 |
| E2 | 1 | 乔木林地 | 1415~1440 | 杉木、柳杉、青冈 | 0.92 | 32 | 13.2 | 悬钩子、灰白毛莓 | 22 | 蕨类、扁竹兰 | 40 | 紫色土 | 中 | 中壤 | 阴坡 | 中 |

**2.2 乔木郁闭度调控**

根据 5 个小区的条件,选择相近郁闭度的地块分别设立,如果郁闭度达不到设置条件,通过修枝或移植乔木进行调整,移植树种为泡桐。每个小区 0.134 hm²,每个处理 0.067 hm²,并在小区靠近公路一侧设置不小于 2 m 的隔离带。

**2.3 造林设计**

林地清理:伐除小区内杂灌木,并铲出林地内草本植物。

整地:整地方式为穴状整地;整地规格为 60 cm×50 cm×40 cm;整地时将表土和心土打细并分开放置,捡出草根、石块等杂物;整地时间为 2020 年 11 月。

苗木:试验地附近当年播种的实生裸根苗,苗龄为 8 个月;规格为苗高 15 cm 以上,地径 0.25 mm 以上,无病虫害的健壮苗木。

种植:初植密度 1 667 株/m²;株行距为 3 m×2 m;种植点配置为长方形;定植时,先把表土填入植穴内,填到植穴深度 2/3 时踏实,把竹苗放入植穴正中再填土,土壤填到与地面等高时用手握住竹苗向上轻提,使根系疏展之后沿竹苗周边覆土压实,再填土与地面平齐为止。填土的顺序是先填表土、后填心土。造林时间为 2020 年 11 月。

覆膜:规格 1 m×1 m,四边用细土深埋 5~10 cm。

造林施工:与水富铜锣坝竹产业专业合作社签订合同,在项目组技术人员指导下,由合作社负责组织人员施工。

**2.4 抚育设计**

造林后连续抚育 3 年,主要内容是除草;第一年定植后在 3、5、7、9 月各抚育 1 次;第二年在 3、5、8 月各抚育 1 次;第三年在 4、9 月各抚育 1 次。与水富铜锣坝竹产业专业合作社签订合同,在项目组技术人员指导下,由合作社负责按照作业设计负责抚育,项目组定期检查验收。

**2.5 管护设计**

与水富铜锣坝竹产业专业合作社签订合同,由合作社负责日常管护,并设立项目宣传牌、小区标示

牌、种植后竹丛标示牌。

**2.6 数据采集**

每年对试验地内的竹子生长情况进行两次数据采集。采集时间:第 1 次为上年竹笋成竹后,当年出笋前,一般为 5—6 月;第 2 次为当年出笋后,一般为 10—12 月。从每个小区每个处理中随机抽取 3 行,连续调查 10 穴,分别记录成活穴数,计算成活率。

**2.7 数据整理分析**

利用 Excel 软件对数据进行整理分析,采用 $F$ 检验分析[7]不同郁闭度对绒毛方竹造林成活率的影响。

## 3 调查结果与结果分析

### 3.1 造林成活率调查结果与分析

#### 3.1.1 不覆盖地膜区域造林成活率调查结果与分析

不覆盖地膜区域造林成活率调查结果为 $A_1>B_1=D_1>C_1>E_1$(表 2)。

表 2 造林成活率调查结果(不覆盖地膜)

Tab. 2 Survey results of afforestation survival rate (without plastic film) %

| 区域 | 第 1 行 | 第 2 行 | 第 3 行 | 平均 |
|---|---|---|---|---|
| A1 | 100 | 100 | 100 | 100.00 |
| B1 | 100 | 90 | 90 | 93.33 |
| C1 | 90 | 90 | 90 | 90.00 |
| D1 | 90 | 90 | 100 | 93.33 |
| E1 | 80 | 80 | 90 | 83.33 |
| 平均 | | | | 92.00 |

从成活率的调查结果看,不覆盖地膜组,平均成活率为 92%,随着乔木郁闭度的增加,造林成活率呈波浪式下降趋势,但在 D 区有反弹,成活率最高的是 A 区,最低的是 E 区。假设上层乔木郁闭度对造林成活率没有显著影响,根据表 2 数据,求算总体、组间、组内造林成活率离差平方和、自由度和组间、组内方差,以及 $F$ 值,通过查表得到 $F_{0.05}$ 的临界值[7](表 3)。

由于 $F=5.5$,大于 $F_{0.05}(4,10)=3.48$,上述假设不成立,即在 95%的可靠性下,上层乔木郁闭度对造林成活率有显著影响。

#### 3.1.2 覆盖地膜区域造林成活率调查结果与分析

覆盖地膜区域造林成活率调查结果为 $C_2>B_2>A_2=D_2=E_2$(表 4)。

从成活率的调查结果看,覆盖地膜组,平均成活率为 95.33%,随着乔木郁闭度的增加,造林成活率呈先上升后下降的趋势,总体上仍呈波浪式下降趋势。在 C 区时成活率达到 100%后下降到 E 区的 93.33%。假设上层乔木郁闭度对造林成活率没有显著影响,根据表 4 数据,求算总体、组间、组内造林成活率离差平方和、自由度和组间、组内方差,以及 $F$ 值(表 5)。

表 3 造林成活率 $F$ 假设检验(不覆盖地膜)

Tab. 3 $F$ test of afforestation survival rate (without plastic film)

| 变差来源 | 离差平方和 | 自由度 | 方差 | $F$ | $F_a$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 组间 | 440.00 | 5-1=4 | 110 | 5.5000 | $F_{0.05}(4,10)=3.48$ |
| 组内 | 200.00 | 15-5=10 | 20 | | |
| 总体 | 640.00 | 15-1=14 | | | |

表 4 造林成活率调查结果(覆盖地膜)

Tab. 4 Survey results of afforestation survival rate (covering with plastic film) %

| 区域 | 第 1 行 | 第 2 行 | 第 3 行 | 平均 |
|---|---|---|---|---|
| A2 | 90 | 90 | 100 | 93.33 |
| B2 | 100 | 100 | 90 | 96.67 |
| C2 | 100 | 100 | 100 | 100.00 |
| D2 | 90 | 100 | 90 | 93.33 |
| E2 | 100 | 90 | 90 | 93.33 |
| 平均 | | | | 95.33 |

表 5 造林成活率 $F$ 假设检验(覆盖地膜)

Tab. 5 $F$ test of afforestation survival rate (covering with plastic film)

| 变差来源 | 离差平方和 | 自由度 | 方差 | $F$ | $F_a$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 组间 | 106.67 | 5-1=4 | 26.6667 | 1.0000 | $F_{0.05}(4,10)=3.48$ |
| 组内 | 266.67 | 15-5=10 | 26.6667 | | |
| 总体 | 373.33 | 15-1=14 | | | |

由于 $F=1$,小于 $F_{0.05}(4,10)=3.48$,上述假设成立,即在 95%的可靠性下,上层乔木郁闭度对造林成活率没有显著影响。

### 3.2 造林 1 年后成活率调查结果与分析

#### 3.2.1 不覆盖地膜区域造林 1 年后成活率调查结果与分析

不覆盖地膜区域造林 1 年后成活率调查结果为

$B_1>A_1>D_1>C_1>E_1$(表 6)。

表 6　造林 1 年成活率调查(不覆盖地膜)

Tab. 6　Survival rate after 1 year of afforestation (without plastic film)　%

| 区域 | 第 1 行 | 第 2 行 | 第 3 行 | 平均 |
|---|---|---|---|---|
| A1 | 100 | 100 | 90 | 96. 67 |
| B1 | 100 | 100 | 100 | 100. 00 |
| C1 | 90 | 90 | 80 | 86. 67 |
| D1 | 90 | 100 | 90 | 93. 33 |
| E1 | 60 | 70 | 60 | 63. 33 |
| 平均 | | | | 88. 00 |

从造林 1 年后成活率调查结果看,不覆盖地膜组,平均成活率为 88%,随着乔木郁闭度的增加,成活率呈波浪式下降趋势,最高为 B 区,成活率 100%;最低为 E 区,成活率 63. 33%。假设上层乔木郁闭度对造林成活率没有显著影响,根据表 6 数据,求算总体、组间、组内造林 1 年成活率离差平方和、自由度和组间、组内方差,以及 $F$ 值(表 7)。

表 7　造林 1 年成活率 $F$ 假设检验(不覆盖地膜)

Tab. 7　$F$ test of survival rate after 1 year of afforestation (without plastic film)

| 变差来源 | 离差平方和 | 自由度 | 方差 | $F$ | $F_a$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 组间 | 2573. 33 | 5−1 = 4 | 643. 3333 | 24. 1250 | $F_{0.05}(4,10)$ = 3. 48 |
| 组内 | 266. 67 | 15−5 = 10 | 26. 6667 | | |
| 总体 | 2840. 00 | 15−1 = 14 | | | |

由于 $F$ = 24. 125,大于 $F_{0.05}(4,10)$ = 3. 48,上述假设不成立,即在 95%的可靠性下,上层乔木郁闭度对造林 1 年后成活率有显著影响。

### 3. 2. 2　覆盖地膜区域造林 1 年后保存调查结果与分析

覆盖地膜区域造林 1 年后成活率调查结果为 $A_2>C_2>D_2>B_2>E_2$(表 8)。

从造林 1 年后成活率调查结果看,覆盖地膜组,平均成活率为 85. 3%,随着乔木郁闭度的增加,成活率呈波浪式下降趋势,最高为 A 区,成活率 100%;最低为 E 区,成活率 66. 67%。假设上层乔木郁闭度对造林成活率没有显著影响,根据表 8 数据,求算总体、组间、组内造林 1 年成活率离差平方和、自由度和组间、组内方差,以及 $F$ 值(表 9)。

表 8　造林 1 年成活率调查(覆盖地膜)

Tab. 8　Survival rate after 1 year of afforestation (covering with plastic film)

| 区域 | 第 1 行 | 第 2 行 | 第 3 行 | 平均 |
|---|---|---|---|---|
| A2 | 100 | 100 | 100 | 100. 00 |
| B2 | 80 | 80 | 90 | 83. 33 |
| C2 | 90 | 90 | 90 | 90. 00 |
| D2 | 90 | 90 | 80 | 86. 67 |
| E2 | 70 | 60 | 70 | 66. 67 |
| 平均 | | | | 85. 33 |

表 9　造林 1 年成活率调查 $F$ 假设检验(覆盖地膜)

Tab. 9　$F$ test of survival rate after 1 year of afforestation (covering with plastic film)

| 变差来源 | 离差平方和 | 自由度 | 方差 | $F$ | $F_a$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 组间 | 1773. 33 | 5−1 = 4 | 443. 3333 | 22. 1667 | $F_{0.05}(4,10)$ = 3. 48 |
| 组内 | 200. 00 | 15−5 = 10 | 20 | | |
| 总体 | 1973. 33 | 15−1 = 14 | | | |

由于 $F$ = 22. 166 7,大于 $F_{0.05}(4,10)$ = 3. 48,上述假设不成立,即在 95%的可靠性下,上层乔木郁闭度对造林 1 年后成活率有显著影响。

## 4　结论与讨论

1)不覆盖地膜时,上层乔木郁闭度对短期造林成活率有显著影响;覆盖地膜时,上层乔木郁闭度对短期造林成活率没有显著影响,通过覆盖地膜有助于提高林下种竹的短期造林成活率。在 95%的可靠性下,对不覆盖地膜各乔木郁闭度下种植的方竹成活率进行 $F$ 检验,有显著差异,随着乔木郁闭度的增加,造林成活率呈波浪式下降趋势,最高达 100%,最低为 83. 33%;在 95%的可靠性下,对覆盖地膜各乔木郁闭度下种植的方竹成活率进行 $F$ 检验,没有显著差异,随着乔木郁闭度的增加,造林成活率呈先上升后下降的趋势,总体上仍然呈波浪式下降趋势,最高达 100%,最低为 93. 33%。不覆盖地膜时,成活率最高出现在 A 区,即乔木郁闭度最低的区域;覆盖地膜时,成活率最高出现在 C 区,即乔木郁闭度处于中间的区域。可得出结论:不管是否覆盖地膜,成活率均随着乔木林郁闭度的增加整体呈波浪式下降,但在不覆盖地膜时乔木郁闭度对成活率的影响显著,在覆盖地膜时乔木郁闭度对成

活率的影响不显著;覆盖地膜比不覆盖地膜的成活率提高3.33个百分点,说明覆盖地膜总体上有助于提高林下种竹的造林成活率。地膜覆盖主要作用是保温和保湿。试验地点冬春季节通常阴雨绵绵或白雪皑皑,在常年气候条件下,水分不应成为制约成活率的主要因素,通过地膜覆盖起到保温作用才是提高竹子成活率的主要原因。在不覆盖地膜时,成活率最高出现在郁闭度最低为0.1~0.2的A区,成活率为100%;覆盖地膜时,郁闭度为0.4~0.6的C区成活率达100%,而未出现在乔木林郁闭度最低的A区。主要原因为不覆盖地膜在有日照时能接收更多的阳光,有利于提高土壤温度;但通过覆盖地膜,在A区可能会造成土壤温度过高,也不利于绒毛方竹的生长,根据《金佛山方竹造林栽培技术规程》(LY/T 1906—2010)要求:"造林时应配置适生阔叶乔木树种,或保留现有林地内的乔木树种,形成上层乔木郁闭度0.3~0.4"[8],C区的乔木林郁闭度为0.42,与之非常接近。

2)是否覆盖地膜,上层乔木郁闭度对1年造林成活率均有显著影响,覆盖地膜虽然有利于提高绒毛方竹短期内的造林成活率,但不利于提高造林1年后的成活率。从造林1年后成活率调查结果看,不覆盖地膜组,造林1年后平均成活率为88%,随着乔木郁闭度的增加,成活率呈波浪式下降趋势,最高为B区,成活率100%;最低为E区,成活率63.33%;覆盖地膜组,平均成活率为85.33%,随着乔木郁闭度的增加,成活率呈波浪式下降趋势,最高为A区,成活率100%;最低为E区,成活率66.67%。不覆盖地膜比覆盖地膜的成活率高2.67个百分点。通过$F$检验分析,不管是否覆盖地膜,上层乔木郁闭度对1年造林成活率均有显著影响。主要原因为造林后通过第一次除草抚育,破坏了覆盖的地膜,其已经不能发挥保温、保湿的作用。覆盖地膜对提高造林1年后的成活率没有作用,正常情况下,短期内的造林成活率是1年后造林成活率的基础,短期内的成活率越高,造林1年后的成活率也应越高。但试验的结果是不覆盖地膜时,短期成活率92%,造林1年后的成活率88%,下降4个百分点;覆盖地膜时,短期成活率95.33%,造林1年后的成活率85.33%,下降10个百分点。主要原因为在进行除草抚育后,破坏了覆盖的地膜,造成了地下环境中温度、湿度的突然变化,新种植的竹子一时未能完全适应这种变化,造成已经暂时成活的绒毛方竹死亡,降低了造林1年后的成活率。

3)除乔木林郁闭度0.9以上的E区外,还有覆盖地膜的B区(乔木林郁闭度0.26)造林1年后的成活率未达85%以上,其他均能达到造林验收标准[4]。根据试验结果,不覆盖地膜时,乔木林的郁闭度在0.9以下,造林1年后的成活率均达85%以上,最低的为郁闭度0.42的C区,造林1年后的成活率为86.67%;在覆盖地膜时,乔木林的郁闭度在0.9以下,最低为郁闭度0.26的B区,造林1年后的成活率为83.33%,其他均达85%以上。

## 5 建 议

1)在适宜种植的区域不必采用覆盖地膜的方法来提高种植成活率。覆盖地膜虽然对提高绒毛方竹短期的造林成活率有作用,但对提高种植1年后的造林成活率没有作用,甚至起到反作用,因此,不建议在种植绒毛方竹采用覆盖地膜措施。

2)选择在郁闭度大的林下种植时,应先调整上层乔木的郁闭度。虽然在郁闭度小于0.9的落叶阔叶林或者常绿阔叶与落叶阔叶的混交林中,造林1年后的成活率均能达到造林验收标准[4],但仅能成活,并不能代表其他生长情况,如发笋数量、竹笋地径、竹子数量、竹子地径、竹子高度等,尤其是发笋数量、竹笋地径,直接影响竹笋产量,竹子数量、地径、高度影响发笋数量、竹笋地径,间接影响竹笋产量。如果需要在郁闭度较大的林下种植,应先调整上层乔木郁闭度至0.6~0.7。绒毛方竹其他生长情况将在以后进行分析研究。

## 参考文献:

[1] 白祖云,彭灿,袁联金,等. 金佛山方竹母竹移植造林与1年生苗造林成活率对比研究[J]. 林业调查规划,2022,47(3):161-164.

[2] 李伟,白祖云,陈婷,等. 金佛山方竹新品种"绒毛方竹"[J]. 园艺学报,2023,50(S1):195-196.

[3] 国家标准化管理委员会. 造林技术规程:GB/T 15776—2023[S]. 北京:中国标准出版社,2023.

[4] 《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1996.

[5] 国家林业局. 中国主要竹种通用名称:LY/T 2495—2015[S]. 2015.

[6] 于尔循,罗鸣福,王绍宗. 数理统计[M]. 北京:中国林业出版社,1984.

[7] 国家林业局. 金佛山方竹栽培技术规程:LY/T 1906—2010[S]. 2010.

责任编辑:杨竣焓

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 003

# 基于单株产量的大理州大泡核桃立地适宜性分析

施俊美,李 静,赵玉堂
(云南省林业调查规划院大理分院,云南 大理 671000)

**摘要**:依据大理州 2010—2019 年核桃产量调查数据,采用 BP 神经网络分析方法,以地形、土壤、气候等多个自然环境因子以及与立地相关的人为因素作为输入层,以单位面积冠影核桃干果产量指数作为输出因子,对大泡核桃立地适宜性进行分析评价。结果表明,大理州大泡核桃种植地总面积 212 699. 2 $hm^2$,其中立地适宜性等级为“好”的种植地面积 54 751. 4 $hm^2$,等级为“中”的种植地面积 97 313. 8 $hm^2$,等级为“差”的种植地面积 60 634. 0 $hm^2$。基于产量角度分析结果,大理州大泡核桃种植地块立地适宜性总体上处于中上等水平;立地适宜性评为“中”“差”的面积占比高达 74. 3%,表明大理州大泡核桃种植地立地适宜性仍有很大的改善空间。

**关键词**:大泡核桃;立地适宜性;BP 神经网络;单株产量;大理州

**中图分类号**:P792. 13;Q142. 8 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0017-07

**引文格式**:施俊美,李静,赵玉堂. 基于单株产量的大理州大泡核桃立地适宜性分析[J]. 林业调查规划,2025,50(1):17-23. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 003

SHI Junmei, LI Jing, ZHAO Yutang. Site Suitability of *Juglans sigillata* in Dali Prefecture Based on Individual Plant Yield [J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1):17-23. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 003

# Site Suitability of *Juglans sigillata* in Dali Prefecture Based on Individual Plant Yield

SHI Junmei, LI Jing, ZHAO Yutang
(Dali Branch of Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Dali, Yunnan 671000, China)

**Abstract**: Based on the walnut yield survey data in Dali Prefecture from 2010 to 2019, the multiple natural environmental factors of terrain, soil and climate, and the human factors related to site were used as input layers, and the yield index of dried walnut per unit area was used as output factor to analyze and evaluate the site suitability of *Juglans sigillata* by the BP neural network analysis method. The results showed that the total planting area of *Juglans sigillata* in Dali Prefecture was 212 699. 2 $hm^2$, with 54 751. 4 $hm^2$ of planting area classified as “good” for site suitability, 97 313. 8 $hm^2$ of planting area classified as “medium”, and 60 634. 0 $hm^2$ of planting area classified as “poor”. Based on the analysis of yield, the overall site suitability of *Juglans sigillata* planting in Dali Prefecture was at a medium to high level, with 74. 3% of the area rated as “medium” or “poor” in terms of site suitability. This indicated that there was still improvement space for the site suitability of *Juglans sigillata* planting in Dali Prefecture.

**Key words**: *Juglans sigillata*; site suitability; BP neural network; individual plant yield; Dali Prefecture

**收稿日期**:2023-03-01

**第一作者**:施俊美(1969-),女,正高级工程师. 从事林业调查规划工作. Email:234989043@ qq. com

**责任作者**:赵玉堂(1965-),男,高级工程师. 从事林业调查规划工作.

云南核桃栽培历史悠久,主要分布于澜沧江、怒江、红河流域的亚热带区域,主产区在大理、保山、临沧、楚雄4个州市。其中,泡核桃(即漾濞泡核桃[1])是占绝对优势的主栽品种。影响核桃产量的自然地理因素包括地形地貌、气候、水文、土壤、生物因素等[2],与核桃生长发育立地条件相关的人为因素包括土壤性状和水肥状况,这些因素相互联系、相互影响、相互渗透,构成一个有机整体,通过不断进行的物质运动和能量交换,综合形成了核桃生长发育的立地条件,直接影响核桃结实数量和质量,进而影响其产量。近几十年来,关于立地条件对核桃生长发育及产量的影响已有大量研究成果。就云南省内研究文献,有从单因素影响进行分析的,如董润泉[3]、陈凤娇[4]、肖良俊[5]等;有从多因素影响进行分析的,如陈娟[6]、朱本祥[7]、赵家全[8]等。有综合分类评价的,如田家硕[9]、阳昭[10]等。在分析评价方法上,有经验归纳判断法、层次分析法、一元或多元回归分析法、主成分分析法、GIS地理空间分析法等。以上方法有的属于定性方法,有的属于定量方法,或定性与定量相结合的方法,均有某方面优点,同时也有其限制条件或局限性。总体上来看,是基于经验、知识或规则的,难以避免不同研究工作者的主观行为干扰,评价结果可比性差,用于拟合变量关系时误差难以控制,对实地经验和知识的依赖性强,不具有容错性、广泛适应性等。

一般来说,在立地条件分析评价时,选取的因素越多,对因子关系的考虑越全面,则对立地条件及相应产量的分析评价越准确,对核桃栽培的指导作用和核桃产量的预测就越精准。目前在对泡核桃立地评价方面还缺少系统性的研究成果。利用BP神经网络分析方法对土地适宜性或立地条件进行评价已有较多文献[11-15],这些文献多为先对评价因子划分等级后再评价,鲜见把BP神经网络分析方法用于评价核桃立地适宜性的研究,而直接以产量作为评价标准的文献尚未见到。本文利用大理州多年核桃产量调查记录,采用BP神经网络分析方法,并结合GIS地理数据,提出一种对大泡核桃立地适宜性进行分析评价的新思路和方法。此方法在一定程度上克服了以上方法的局限,分析过程和结果可为主产区泡核桃栽培、改良、产量评估及各地推广种植泡核桃提供参考。

## 1 研究区概况

大理州位于云南省中部偏西,地处滇中高原与滇西横断山脉结合部。地理坐标为东经98°52′~101°03′,北纬24°41′~26°42′,东西最大横距320 km,南北最大纵距270 km。怒江、澜沧江、金沙江三江从境内流过,并处红河源头,江河切割深邃。地势西北高,东南低,境内最高海拔4 295.3 m,最低海拔730 m,相对高差3 565.3 m。

大理州核桃种植历史悠久,是我国南方核桃品种群“漾濞核桃”的原产地、主产区和重要商品出口基地。据大理州2019年泡核桃产量产值调查报告[16],大理州泡核桃挂果面积67.7万$hm^2$,以734株产量调查标准树推算,全州总产量35.81万t,总产值55.06亿元。据中国统计年鉴及核桃主产省份统计年鉴,2020年大理州核桃总产量居全国州市级第二位。大理州核桃主栽品种为大泡核桃(又名漾濞泡核桃,《地理标志产品 漾濞核桃》命名为大泡核桃[1]),主产地在大理、保山、临沧、楚雄等地,在云南各地以至我国西南地区均有引种栽培,是大理州栽培面积最大的经济林树种。

根据云南省地方标准《地理标志产品 漾濞核桃》[1]和大理州地方标准《大理州优质泡核桃生产技术规范第1部分:生产环境与种植区划》[2],大泡核桃栽培环境应符合以下条件:海拔1 700~2 400 m;土壤类型为红壤、紫色土、黄红壤、黄壤、黄棕壤,土壤质地为沙壤土、壤土等,土壤厚度≥60 cm,土壤pH值5.5~8.0,土壤有机质含量≥1%;坡向为阳坡、半阳坡及半阴坡;年均温6.1~20.6℃;年降雨量400~1 400 mm;全年日照时数2 000 h以上。

## 2 材料与方法

### 2.1 数据来源

大理州核桃产量产值调查起始于2009年,2010年在全州核桃分布的主要乡镇、村选取典型产量标准树323株,根据核桃挂果面积扩大情况,于2011年增至626株、2019年增至734株,以固定标准树每年调查产量。调查品种有大泡核桃、拉乌核桃、新疆核桃、美国山核桃等,以大泡核桃为主。调查因子包括位置、地形、土壤、树高、基径、冠幅、品种、青果数量、干果产量等。10年内共积累6 468株(次)标准树产量调查记录。

选取2010—2019年大理州核桃产量产值调查数据中的大泡核桃调查记录作为原始数据。调查记录以选定的核桃产量调查标准树为单元,每年调查核桃生长、环境数据及干果产量,共获取4 106条记录,采用3σ原则去除异常值(离群点)以及受到人为影响和自然灾害的调查记录后,剩余3 404条记录作为样本进行BP神经网络模型训练和验证。

核桃种植地块数据来源于 2016 年完成的大理州森林资源规划设计调查汇总结果中优势树种为核桃的小班调查记录,地类包括核桃乔木林、核桃未成林造林地。除了与标准树相同的地形、土壤等因子外,根据分析需求,增加年均温、年降雨量、年极端低温、年相对湿度、土地利用状况、交通区位、管护便利性等小班属性。其中,年均温、年降雨量、年极端低温、年相对湿度等指标在文献[9]建立的模型基础上使用本文核桃标准树调查数据期间各年气候数据进行修正后计算。对交通区位、土地利用状况、管护便利性 3 项指标的分析,采用 GIS 软件近邻分析方法,得出标准树和核桃种植地块与道路、耕地、城镇村庄、水域等土地利用数据的最近距离来表达。

**2.2 分析方法**

使用大理州核桃产量调查数据作为样本建立基于产量的大泡核桃立地适宜性模型,利用建立的模型对全部大泡核桃种植地块进行分析评价。分析方法主要采用 BP 神经网络分析方法。

BP 神经网络是一种多层的前馈神经网络,由输入层、输出层和若干隐含层构成。其主要特点是:信号前向传播,误差反向传播。通过反复迭代计算,使算法逐步收敛,误差逐步减小,从而建立起输入与输出之间最佳模型,可处理一些环境信息十分复杂,背景知识不清楚,推理规则不明确的问题,且允许样本有较大的缺损和畸变,常用于分类、预测等。对于只有一个隐含层的 BP 神经网络模型,其结构如图 1。

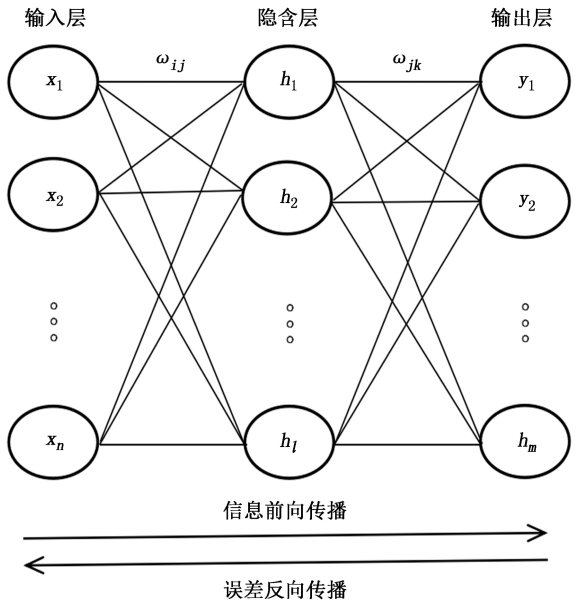



**图 1　三层 BP 神经网络模型**

**Fig. 1　Three layer BP neural network model**

BP 神经网络建模计算过程主要分为两个阶段:第一阶段是信号前向传播,从输入层经过隐含层,最后到达输出层;第二阶段是误差反向传播,从输出层到隐含层,最后到输入层,依次调节隐含层到输出层的权重和阈值、输入层到隐含层的权重和阈值。流程如下:

1)初始化

假设输入层的节点个数为 $n$,隐含层的节点个数为 $l$,输出层的节点个数为 $m$。输入层到隐含层的权重为 $\omega_{ij}$,隐含层到输出层的权重为 $\omega_{jk}$,输入层到隐含层的阈值为 $a_j$,隐含层到输出层的阈值为 $b_k$。学习速率为 $\eta$,激励函数为 $g(x)$。激励函数采用 sigmoid 函数(也称为 S 型生长曲线,用于分类时效果较好),其公式为:

$$g(x)=\frac{1}{1+e^{-x}} \tag{1}$$

2)隐含层的输出,公式为:

$$H_j=g\left(\sum_{i=1}^{n}\omega_{ij}+a_j\right) \tag{2}$$

3)输出层的输出,公式为:

$$O_k=\sum_{j=1}^{l}H_j\omega_{jk}+b_k \tag{3}$$

4)计算误差,公式为:

$$E=\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{m}(Y_k-O_k)^2 \tag{4}$$

式中:$Y_k$ 为期望输出。

5)更新权值,公式为:

$$\begin{cases}\omega_{ij}=\omega_{ij}+\eta H_j(1-H_j)x_i\sum_{k=1}^{m}\omega_{jk}e_k\\ b_k=b_k+\eta H_j e_k\end{cases} \tag{5}$$

式中:$e_k=Y_k-O_k$

此组公式采用梯度下降法使得误差函数达到最小值。

6)更新阈值,公式为:

$$\begin{cases}a_j=a_j+\eta H_j(1-H_j)\sum_{k=1}^{m}\omega_{jk}e_k\\ \omega_{jk}=\omega_{jk}+\eta e_k\end{cases} \tag{6}$$

7)结束迭代

达到以下条件时迭代结束:

$$E<\varepsilon \tag{7}$$

式中:$\varepsilon$ 为预先设定的最小误差。

模型训练完成后,导入核桃种植地块属性因子数据,利用建立好的模型对每个地块的立地条件进行评价分类,得出所有地块立地适宜性评价结果。

## 3 数据处理

建模、评价数据处理过程采用工具软件 MATLAB R2016b 完成。

### 3.1 分析指标

核桃生长立地条件通常只考虑自然环境方面因素。但从核桃产量角度考虑,社会经济条件的影响也很显著。本文综合自然和人为两方面因素共同考察影响核桃产量的立地适宜性条件。

自然因素主要包括地形、气候、土壤 3 个方面的因素。参考有关文献[1-10]及现有资料,选取影响核桃产量的海拔、坡度、坡位、坡向、土壤类型、土壤厚度、年均温、年降雨量、年极端低温、年相对湿度作为核桃立地适宜性分析的自然条件因子。

人为因素通过产前(地块选择、土壤改良、幼苗栽植、抚育等)、产中(土肥水管理、整形修剪、有害生物防治、自然灾害防御、花果疏除等)两个阶段多个方面直接或间接影响核桃产量。根据大理州核桃栽培历史及多年核桃栽培经验,选取交通区位、管护便利性、土地利用状况 3 个因子,利用 GIS 分析工具量化其指标值,作为影响产量的立地类型属性来考察。

采用核桃调查标准树的产量计算产量指数,作为对立地适宜性的评价指标。

### 3.2 数据预处理

#### 3.2.1 定性因子数量化

用于分析的数据因子中,坡位、坡向、土壤类型为定性因子,坡度、土壤厚度为分级因子,按表 1 取值进行数量化处理。

**表 1 定性因子数量化**

**Tab. 1 Quantification of qualitative factors**

| 坡度 | | 坡位 | | 坡向 | | 土壤类型 | | 土壤厚度 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 坡度级 | 取值 | 类型 | 取值 | 类型 | 取值 | 类型 | 取值 | 分级 | 取值 |
| 平坡 | 1 | 脊 | 1 | 北 | 1 | 红壤 | 1 | 厚层 | 1 |
| 缓坡 | 2 | 上 | 2 | 东 | 2 | 黄红壤 | 2 | 中层 | 2 |
| 斜坡 | 3 | 中 | 3 | 东北 | 3 | 黄棕壤 | 3 | 薄层 | 3 |
| 陡坡 | 4 | 下 | 4 | 东南 | 4 | 紫色土 | 4 | | |
| 急坡 | 5 | 谷 | 5 | 南 | 5 | 棕壤 | 5 | | |
| 险坡 | 6 | 平地 | 6 | 西南 | 6 | | | | |
| | | | | 西 | 7 | | | | |
| | | | | 西北 | 8 | | | | |
| | | | | 无坡向 | 9 | | | | |

核桃地块的交通区位、管护便利性、土地利用状况 3 个因子分别以核桃地块与最近位置的公路、村镇、耕地的直线距离(单位:m)表达,利用 GIS 近邻分析工具计算得到,在数据表中分别用交通区位、生活区位、生产区位 3 个字段表示。

#### 3.2.2 产量指数计算与分级

以标准树产量调查记录的单株干果产量、标准树冠幅为基础,计算单位冠影面积产量,公式为:

$$p_a = \frac{P}{A} = \frac{4P}{\pi C_{ns} C_{we}} \tag{8}$$

式中:$p_a$ 为单位冠影面积产量;$P$ 为单株产量;$A$ 为冠影面积;$C_{ns}$ 为南北冠幅;$C_{we}$ 为东西冠幅。

为了消除不同年龄核桃树之间存在的单位冠影面积产量差异,根据两者数量关系,选取幂函数模型建立单位冠影面积产量与年龄的回归方程(决定系数 $R=0.812\,2$):

$$\hat{p}_a = -2.2340a^{-1.2180} + 0.3257 \tag{9}$$

式中:$a$ 为年龄。

使用回归方程拟合得到的单位冠影面积产量代表各年龄核桃产量的平均水平,反映了当地核桃立地适宜性的中等水平。实际产量与其拟合值之比即为产量指数。为了直观评价核桃立地适宜性,根据核桃标准树记载的产量增产、减产记录测算,按表 2 标准确定核桃立地适宜性等级。

**表 2 核桃立地适宜性等级**

**Tab. 2 Site suitability level of walnut**

| 产量指数 | 核桃立地适宜性等级 |
|---|---|
| 大于 1.216 | 好 |
| 0.824~1.216 | 中 |
| 小于 0.824 | 差 |

经预处理后,用于建模的标准树数据如表 3 所示。

用于立地适宜性分析的核桃种植地块数据如表 4 所示。

### 3.3 建立并训练模型

对所有参与评价的属性因子,根据 BP 神经网络建模的需要,需进行归一化处理,即根据确定因子的最大、最小值,将指标值标准化为-1.0~1.0 之间的实数,以消除不同因子量纲影响。归一化将在所使用的工具软件中采用 mapminmax 函数批量自动处理。

将预处理完成的基础数据导入工具软件,打开神经网络拟合工具箱(Neural Net Fitting),设置输入数据为核桃产量标准树调查记录数据的分析因子,

表 3　预处理后核桃产量标准树调查记录

Tab. 3　Investigation record of walnut sample trees after preprocessing

| 标准树编号 | 海拔/m | 坡度级 | 坡位 | 坡向 | 土壤类型 | 土壤厚度 | 年均温/℃ | 年降雨量/mm | 年极端低温/℃ | 年相对湿度/% | 交通区位 | 生活区位 | 生产区位 | 产量指数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AA04 | 1868 | 3 | 4 | 2 | 4 | 1 | 16.4 | 971 | -2.1 | 69.5 | 14.8 | 20.4 | 44.9 | 0.139 |
| AA05 | 1909 | 2 | 3 | 7 | 1 | 1 | 16.2 | 976 | -2.3 | 69.5 | 14.2 | 3.0 | 1.7 | 0.763 |
| AA06 | 1905 | 2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 16.2 | 975 | -2.3 | 69.5 | 6.4 | 27.2 | 25.9 | 0.962 |
| AB01 | 2049 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 15.4 | 940 | -3.5 | 68.9 | 42.0 | 237.1 | 136.1 | 0.208 |
| AB02 | 2048 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 15.4 | 940 | -3.5 | 68.9 | 41.2 | 222.1 | 142.9 | 0.578 |
| …… | | | | | | | | | | | | | | |
| BB07 | 1793 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 16.2 | 965 | -1.6 | 69.2 | 8.2 | 10.8 | 72.1 | 0.692 |

表 4　预处理后核桃种植地块因子数据

Tab. 4　Factors data of walnut planting plot after preprocessing

| 地块编号 | 海拔/m | 坡度级 | 坡位 | 坡向 | 土壤类型 | 土壤厚度 | 年均温/℃ | 年降雨量/mm | 年极端低温/℃ | 年相对湿度/% | 交通区位 | 生活区位 | 生产区位 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21031007 | 2352 | 5 | 3 | 5 | 1 | 1 | 14.0 | 924 | -5.1 | 69.9 | 0 | 151.7 | 171.0 |
| 20011022 | 1787 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | 16.8 | 1007 | -1.6 | 69.4 | 0 | 131.3 | 0 |
| 20004027 | 2178 | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | 14.9 | 966 | -3.9 | 69.8 | 0 | 303.3 | 0 |
| 19021020 | 2094 | 5 | 5 | 5 | 1 | 2 | 15.3 | 973 | -3.4 | 69.7 | 0 | 857.4 | 4.2 |
| 19032028 | 2715 | 3 | 4 | 3 | 5 | 2 | 12.2 | 911 | -7.2 | 70.4 | 259.1 | 592.1 | 631.6 |
| …… | | | | | | | | | | | | | |
| 07080014 | 2168 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 14.8 | 1068 | -4.4 | 68.4 | 208.3 | 293.0 | 265.8 |

设置输出数据产量指数;建立输入层神经元 13 个、输出层神经元 1 个的网络;设置网络训练算法为 Levenberg-Marquardt;误差计算采用均方误差算法,误差限值 0.001;划分训练样本数占 80%,验证和测试样本数各占 10%,其他参数暂按工具默认设置。在运行过程中进行模型代码调整相关参数并经多次迭代,当测试数据均方误差小于预定限值时,训练结束,建立的模型即可用于核桃种植地块立地评价。

### 3.4 模型性能分析

经 22 次迭代计算,均方误差低于 0.001,达到预期效果。网络模型训练参数调整结果:3 个隐含层神经元数分别为 25、20、10,均方误差为 0.000 924,学习率为 0.01。建立的模型训练数据决定系数为 0.840 3,验证数据决定系数为 0.771 5,测试数据决定系数为 0.755 6,总体决定系数为 0.824 7,基本满足核桃种植地立地适宜性评价要求。模型误差分布正常,未见明显异常值。模型误差分布直方图见图 2,模型回归见图 3。

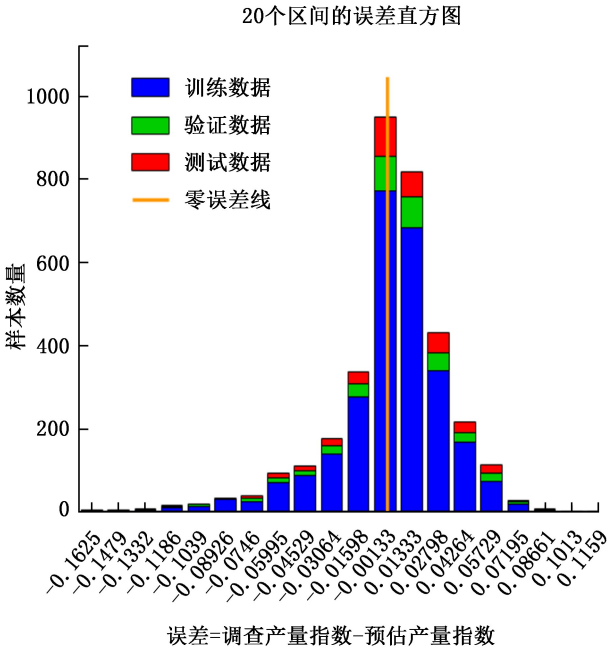



图 2　模型误差分布直方图

Fig. 2　Model error histogram

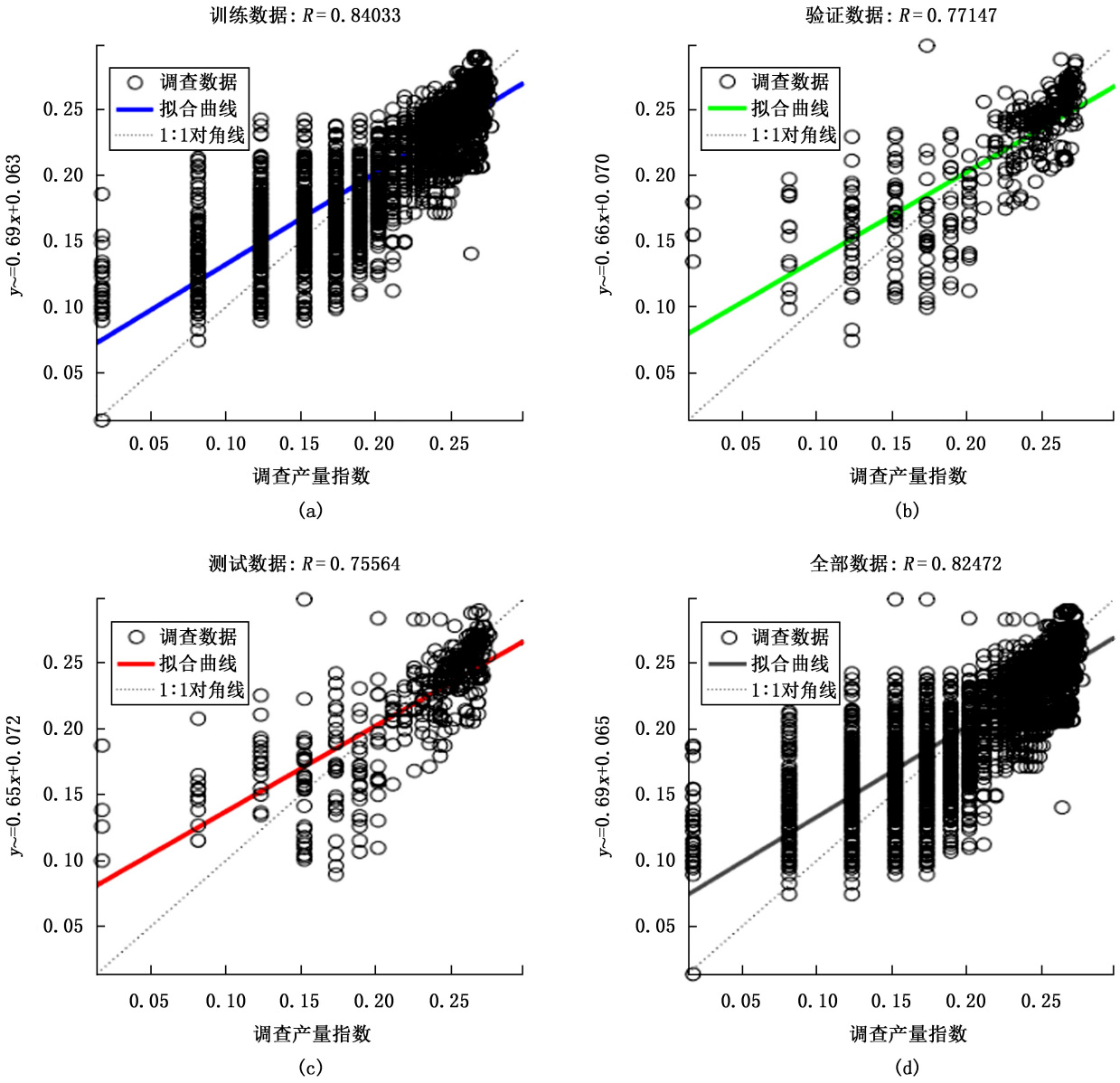



图 3　模型回归

**Fig. 3　Model regression map**

### 3.5 使用模型评价核桃种植地块立地适宜性

将核桃种植地块数据代入建立好的模型，得到所有地块的产量指数，再按预定的核桃立地适宜性等级标准确定地块等级。经统计分析，得到大理州大泡核桃种植地块立地情况数据及基本状况。

## 4 评价结果

大理州大泡核桃种植地共有 47 913 块，总面积 212 699.2 $hm^2$。对模型输出数据处理、统计，立地适宜性等级为“好”的种植地 13 772 块，面积 54 751.4 $hm^2$；等级为“中”的 21 028 块，面积 97 313.8 $hm^2$；等级为“差”的 13 113 块，面积 60 634.0 $hm^2$。

## 5 结　论

基于产量角度分析，大理州大泡核桃种植地块立地适宜性总体处于中上等水平，但其中评价等级为“好”的面积仅占 25.7%，即产量高于平均水平的 21.6%以上面积仅占总面积的 1/4。另外，产量在平均水平的 82.4%以下面积占总面积的 28.5%，即在现存自然条件和社会经济条件下，仍有相当数量（面积超过 60 000 $hm^2$）的核桃种植地立地适宜性为“差”。立地适宜性评为“中”“差”的比例高达 74.3%，说明大理州大泡核桃种植地仍有很大的提升产量潜力，通过改良土壤、增加水肥、改进交通条件等措施，辅之以科学的经营管理手段，可有效改善立地适宜

性,进而显著提高产量。

从分布地域看,立地适宜性等级为“好”的种植地块主要分布于永平、漾濞、宾川、云龙、南涧 5 县。

## 6 讨　论

1)本文构建的基于产量的大泡核桃种植地立地适宜性模型的网络结构仍存在一些可改进的方面,如将神经网络的层数、每层网络的神经元个数等以及不断增加的产量调查结果加入模型训练,可对网络结构进行优化,并使其评价结果更趋于实际值。

2)由于影响核桃产量因子的复杂性,带来土地适宜性评价系统本身的复杂性,评价结果与研究区域的真实情况存在差别,也会对模型可信度和精确度产生影响。适当考虑加入动态因子和复合因子,同时通过对各类因子的影响分析,再选择合适的影响因子,达到进一步完善模型的效果。

3)本文采用 MATLAB 软件内置神经网络工具箱建立 BP 神经网络模型,很大程度上减少了构建神经网络的时间。作为一种具有人工智能性质的工具,MATLAB 所建立的模型本身不同于普通的数学模型,其每次训练均以随机的初始值开始,每次训练结果均不相同,最终只选取了经验证后具有较高精度的模型结果,因此存在模型移植性差的问题。

## 参考文献:


[1] 云南省质量技术监督局. 地理标志产品 漾濞核桃:DB 53/T 546—2013[S]. 2013.

[2] 大理白族自治州市场监督管理局. 大理州优质泡核桃生产技术规范第 1 部分:生产环境与种植区划:DB 5329/T 2. 1—2019[S]. 2019.

[3] 董润泉. 不同海拔高度带的云南核桃生长发育状况观测[J]. 云南林业科技,1998(2):39-43.

[4] 陈凤娇,薛东剑. 大理白族自治州核桃种植气候适宜性区划[J]. 西华师范大学学报(自然科学版),2019,40(4):407-412.

[5] 肖良俊,马婷,宁德鲁. 云南省核桃主产区气候因子分析[J]. 广东农业科学,2013(9):29-31.

[6] 陈娟. 影响玉溪市核桃产量的主要因子分析[J]. 绿色科技,2019(5):86-87.

[7] 朱本祥. 立地条件对泡核桃产量的影响[J]. 绿色科技,2013(1):8,18.

[8] 赵家全. 影响漾濞泡核桃树生长结实的主要因素及应对措施[J]. 林业调查规划,2013,38(3):73-77.

[9] 田家硕,宁德鲁,王永兴,等. 基于 GIS 的大理州漾濞泡核桃适宜性分布评价[J]. 西部林业科学,2019,48(3):84-89.

[10] 阳昭. 基于 GIS 的永平县泡核桃种植地块立地类型划分与评价[J]. 林业调查规划,2019,44(6):5-10.

[11] 李红礼. BP 神经网络在土地利用定量评价中的应用[J]. 开封教育学院学报,2015,35(7):279-280.

[12] 王思江,马传明,王文梅,等. 基于 SPSS 和 GIS 的 BP 神经网络农用地适宜性评价[J]. 地质科技情报,2013,32(2):138-143.

[13] 王华春. 基于 GIS 和 BP 神经网络的土地适宜性评价[J]. 山东工业技术,2015(2):228-229.

[14] 罗玮祥,张廷玉. 基于 BP 神经网络的土地适宜性评价研究[J]. 绿色科技,2016(16):232-234.

[15] 付克兰,王鸿. 基于神经网络的土壤适宜性评价研究[J]. 信息技术,2009,10(109):24.

[16] 大理白族自治州林业和草原局,大理白族自治州统计局,大理白族自治州林业和草原科学研究所. 大理白族自治州 2019 年泡核桃产量产值调查报告[R]. 2019.


责任编辑:许易琦
校　　对:许易琦,刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.004

# 西双版纳州兰科植物资源多样性与分布特征研究

郑静楠[1],吴富勤[1],岩 光[2],郑进烜[1],延红卫[3]
(1.云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051;2.云南西双版纳国家级自然保护区科学研究所,云南 景洪 666100;
3.云南省林木种苗工作总站,云南 昆明 650051)

**摘要**:为更好地掌握西双版纳州兰科植物资源状况和分布特征,基于云南省野生兰科植物资源野外调查成果和文献资料,系统分析保护级别、濒危等级、特有性、地理和海拔分布状况。西双版纳州分布有兰科植物91属301种;垂直分布主要集中分布海拔梯度500~2 000 m;水平分布以勐腊县分布种数最多。建议以加强保护体系建设、兰科植物资源调查及其基础科学研究和尽快制定地方性野生兰科植物保护相关法规。

**关键词**:兰科植物;植物多样性;分布特征;西双版纳州

**中图分类号**:S682.31;Q16;S717.1 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0024-06

**引文格式**:郑静楠,吴富勤,岩光,等. 西双版纳州兰科植物资源多样性与分布特征研究[J]. 林业调查规划,2025,50(1):24-29. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.004

ZHENG Jingnan, WU Fuqin, YAN Guang, et al. Diversity and Distribution Characteristics of Orchidaceae Plants in Xishuangbanna Prefecture[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1):24-29. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.004

# Diversity and Distribution Characteristics of Orchidaceae Plants in Xishuangbanna Prefecture

ZHENG Jingnan[1], WU Fuqin[1], YAN Guang[2], ZHENG Jinxuan[1], YAN Hongwei[3]
(1. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China;
2. Scientific Research Institute of Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666100, China;
3. Yunnan Forest Seed and Seedling Work Station, Kunming 650051, China)

**Abstract**: In order to better understand the status and distribution of Orchidaceae plants in Xishuangbanna Prefecture of Yunnan province, the protection grade, endangered grade, endemism, geographical and altitude distribution were analyzed based on the results of field survey and literature review of Orchidaceae plants. The results showed that 301 species and 91 genera of Orchidaceae plants distributed in Xishuangbanna Prefecture; the vertical distribution was mainly concentrated at an altitude gradient of 500-2 000 meters; Mengla County had the highest number of species distributed horizontally. This paper suggested to strengthen the construction of the protection system, investigation of Orchidaceae plants and basic scientific research, and formulate local regulations on the protection of wild Orchidaceae plants as soon as possible.

**收稿日期**:2023-10-12;**修回日期**:2024-04-02
**基金项目**:云南省林业调查规划院青年联合会科研项目(2022311024);云南省科技厅2023年第二批科技成果转化专项资金(530000231100001753720).
**第一作者**:郑静楠(1993-),女,硕士,工程师. 主要从事植物学、生物多样性、自然保护地、林草湿等监测研究工作.
Email:349027767@qq.com
**责任作者**:延红卫(1979-),男,硕士,高级工程师. 从事林草调查规划、林草种苗工作.

**Key words**: Orchidaceae plants; plant diversity; distribution characteristics; Xishuangbanna Prefecture

兰科植物全球记录约 30 000 种,我国记录有 198 属 1 725 种,属单子叶植物中的最大科,也是被子植物中种类最丰富且高度进化的类群之一[1],分布广泛,尤以热带、亚热带地区分布最多。由于兰科植物对生境十分敏感,呈狭域分布,且自身要依赖传粉昆虫和菌根,极易受到外界因素干扰[2],同时,兰科植物具有重要的观赏、药用、食用、文化等价值,野生种质资源遭受非法采挖和交易,致使野生种群数量持续减少[3]。因此,兰科植物是被子植物中受威胁最严重的类群[4]。《国家重点保护野生植物名录》(2021 版)中,将兰科兰属所有种列为重点保护物种[5-6],共收录了 349 种兰科植物,包含一级保护野生植物 53 种,二级保护野生植物 296 种;《中国高等植物受威胁物种名录》中收录了 653 种受威胁的兰科植物,包含极危种(CR)94 种、濒危种(EN)268 种、易危种(VU)291 种[7-8],约占被子植物受威胁种数的 20%,受威胁程度较高。

云南省西双版纳州地处中国西南部、云南南部,与老挝、缅甸接壤,位于北回归线以南的热带北部边缘,属热带季风气候。区域有着全国植物区系最丰富的地理成分,从第三纪或更早时期以来,一直处于相对稳定的湿热环境,为植物区系的多样和古老植物繁衍创造了条件。西双版纳州是中国热带生态系统保存最完整的地区,全州森林面积 155.5 万$hm^2$,为云南省兰科植物分布最丰富的州市。国家林草局于 2018 年启动全国野生兰科植物资源专项调查,云南省兰科植物资源野外调查于 2021 年完成,基本摸清了云南省野生兰科植物资源分布与种群数据状况。同时,随着兰科植物野外调查和植物分类学工作的不断推进,越来越多的兰科新种及新记录等相关研究相继发表。然而,对区域性野生兰科植物资源数据进行系统整理和分析研究较少[9-11],以致相关管理部门在制定区域性野生兰科植物资源保护策略和针对性管理办法缺乏科学依据。因此,依据云南省兰科植物资源野外调查成果和查阅文献资料构建西双版纳兰科植物名录,对其保护级别、濒危等级、特有性、地理和海拔分布状况进行统计分析,针对性提出了该区域兰科植物的保护建议,旨在为制定和实施有效的保护措施提供科学参考。

## 1 研究地概况与方法

### 1.1 研究地概况

西双版纳傣族自治州位于中国南部边境,地理坐标为 21°10′N~22°40′N,99°55′E~101°50′E,处于北回归线以南的热带北部边沿,总面积 19 124.5 $km^2$,东北、西北与云南普洱市接壤,东南与老挝相连,西南与缅甸接壤,辖景洪市、勐海县、勐腊县 3 个县(市)。西双版纳地处热带北部边缘,属热带季风气候。植物种类占全国的 1/6,动物种类占全国的 1/4。西双版纳地处横断山脉的南延部分,怒江、澜沧江、金沙江褶皱系的末端,山地丘陵约占 95%,山间盆地(坝子)和河流谷底约占 5%。全州周围高,中间低,西北高,东南低。州内西双版纳国家级自然保护区是云南省成立最早的自然保护区,还有云南西双版纳纳板河流域国家级自然保护区等 2 个国家级自然保护区,4 个州(市)级自然保护区、3 个县(市)自然保护区、1 个国家级风景名胜区和 2 个森林公园,是中国热带生态系统保存最完整的地区,素有“植物王国”“动物王国”“生物基因库”“植物王国桂冠上的一颗绿宝石”等美称。

### 1.2 研究方法

以云南省兰科植物资源野外调查成果为基础,结合相关文献资料[12-14],对西双版纳州分布的野生兰科植物资源进行全面系统地整理、归纳,形成西双版纳州野生兰科植物名录;保护级别、濒危等级、特有性通过查阅《国家重点保护野生植物名录》《云南省生物物种红色名录(2017 版)》和《Flora of China》[15-17]进行确定。

## 2 结果分析

### 2.1 西双版纳州兰科植物生境多样性

西双版纳州兰科植物以地生(包括腐生)和附生两种形式分布于水湿条件较好的区域,其分布生境的主要森林植被共包括 31 个较为典型的群系,且分属于 6 个主要的植被型,即热带雨林、热带季节性湿润林、热带季雨林、热带山地(低山)常绿阔叶林、热带棕榈林和暖热性针叶林[13]。

### 2.2 西双版纳州兰科植物多样性

通过兰科植物资源野外调查成果和查阅文献资

料,统计得出西双版纳州兰科植物共有 91 属 301 种,分别占云南省兰科植物属和种数的 59.09%、32.82%,表明西双版纳州兰科植物种类丰富。将西双版纳州兰科植物 91 属划分为 4 个等级:单种属(含 1 种)、小属(2~9 种)、中等属(10~14 种)、大属(15 种以上)(表 1)。

**表 1 西双版纳州兰科植物属和种数量统计**

**Tab. 1 Statistics of species and genera of Orchidaceae plants in Xishuangbanna Prefecture**

| 属内含种数/种 | 属 | | 种 | | 代表属 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 数量/个 | 占比/% | 数量/种 | 占比/% | |
| 1 | 46 | 50.55 | 46 | 15.28 | 脆兰属(*Acampe*)、坛花兰属(*Acanthephippium*)、禾叶兰属(*Agrostophyllum*)、开唇兰属(*Anoectochilus*)、筒瓣兰属(*Anthogonium*)、拟兰属(*Apostasia*)、蜘蛛兰属(*Arachnis*)、胼胝兰属(*Biermannia*)、苞叶兰属(*Brachycorythis*)、藓兰属(*Bryobium*)、牛角兰属(*Ceratostylis*)、管花兰属(*Corymborkis*)、柱兰属(*Cylindrolobus*)、无耳沼兰属(*Dienia*)、蛇舌兰属(*Diploprora*)、花蜘蛛兰属(*Esmeralda*)、爬兰属(*Herpysma*)、翻唇兰属(*Hetaeria*)、拟毛兰属(*Mycaranthes*)、三蕊兰属(*Neuwiedia*)、齿唇兰属(*Odontochilus*)、固唇兰属(*Plocoglottis*)、多穗兰属(*Polystachya*)、盾柄兰属(*Porpax*)、钻喙兰属(*Rhynchostylis*)、寄树兰属(*Robiquetia*)、大喙兰属(*Sarcoglyphis*)、匙唇兰属(*Schoenorchis*)、肉药兰属(*Stereosandra*)、矮柱兰属(*Thelasis*)、白点兰属(*Thrixspermum*)、笋兰属(*Thunia*)、叉喙兰属(*Uncifera*)、香荚兰属(*Vanilla*)、蜂腰兰属(*Bulleyia*)、鳔唇兰属(*Cystorchis*)、山珊瑚属(*Galeola*)、天麻属(*Gastrodia*)、盂兰属(*Lecanorchis*)、菱兰属(*Rhomboda*)、苞舌兰属(*Spathoglottis*)、合萼兰属(*Acriopsis*)、牛齿兰属(*Appendicula*)、曲唇兰属(*Panisea*)、兜兰属(*Paphiopedilum*)、泰兰属(*Thaia*) |
| 2~9 | 39 | 42.85 | 137 | 45.52 | 指甲兰属(*Aerides*)、带唇兰属(*Tainia*)、虾脊兰属(*Calanthe*)、美柱兰属(*Callostylis*)、异型兰属(*Chiloschista*)、隔距兰属(*Cleisostoma*)、贝母兰属(*Coelogyne*)、沼兰属(*Crepidium*)、兰属(*Cymbidium*)、毛兰属(*Eria*)、槽舌兰属(*Holcoglossum*)、钗子股属(*Luisia*)、芋兰属(*Nervilia*)、鸢尾兰属(*Oberonia*)、耳唇兰属(*Otochilus*)、白蝶兰属(*Pecteilis*)、钻柱兰属(*Pelatantheria*)、鹤顶兰属(*Phaius*)、蝴蝶兰属(*Phalaenopsis*)、石仙桃属(*Pholidota*)、苹兰属(*Pinalia*)、带唇兰属(*Tainia*)、掌唇兰属(*Staurochilus*)、竹茎兰属(*Tropidia*)、万代兰属(*Vanda*)、线柱兰属(*Zeuxine*)、金唇兰属(*Chrysoglossum*)、贝母兰属(*Coelogyne*)、盆距兰属(*Gastrochilus*)、斑叶兰属(*Goodyera*)、带唇兰属(*Tainia*)、凤蝶兰属(*Papilionanthe*)、阔蕊兰属(*Peristylus*)、船唇兰属(*Cymbilabia*)、绒兰属(*Dendrolirium*)、美冠兰属(*Eulophia*)、地宝兰属(*Geodorum*)、坚唇兰属(*Stereochilus*)、毛鞘兰属(*Trichotosia*) |
| 10~14 | 3 | 3.30 | 32 | 10.63 | 玉凤花属(*Habenaria*)、羊耳蒜属(*Liparis*)、无叶兰属(*Aphyllorchis*) |
| ≥15 | 3 | 3.30 | 86 | 28.57 | 石豆兰属(*Bulbophyllum*)、石斛属(*Dendrobium*)、叉柱兰属(*Cheirostylis*) |

由表 1 可知,单种属有 46 属,占总属数的 50.55%,所占比例最高,种数有 46 种;小属有 39 属,占总属数的 42.85%,含种数共 137 种;中等属有 3 属,含种数共 32 种;大属有 3 属,含种数共 86 种。

### 2.3 保护级别、濒危等级和特有性

据统计,在西双版纳州 301 种兰科植物中,被《国家重点保护野生植物名录》收录的有 56 种,占西双版纳州兰科植物总数的 18.60%,占其所收录兰科植物种数的 31.28%[3]。其中,国家一级重点保护野生植物 1 种,即飘带兜兰(*Paphiopedilum parishii*);国家二级重点保护野生植物 55 种,如金线兰(*Anoectochilus roxburghii*)、墨兰(*Cymbidium sinense*)、报春石斛(*Dendrobium polyanthum*)、大花万代兰(*Vanda coerulea*)、纹瓣兰(*Cymbidium aloifolium*)等。

将研究区内兰科植物参照《云南省生物物种红色名录(2017 版)》进行濒危状况的统计分析,得到区域内兰科植物受威胁等级情况,区域内受威胁等级物种共 186 种,占西双版纳州兰科植物总数的 61.79%。其中,极危种 3 种,即少花石豆兰(*Bulbophyllum secundum*)、飘带兜兰(*Paphiopedilum parishii*)、垂头万代兰(*Vanda alpina*)等。濒危种 58 种,如多花指甲兰(*Aerides rosea*)、扇唇指甲兰(*Aerides flabellata*)、金线兰、长叶苞叶兰(*Brachycorythis henryi*)、藓兰(*Bryobium pudicum*)、疏茎贝母兰(*Coelogyne suaveolens*)、碧玉兰(*Cymbidium lowianum*)等。易危种 74 种,如坛花兰(*Acanthephippium sylhetense*)、禾叶兰(*Agrostophyllum callosum*)、带叶卷瓣兰(*Bulbophyllum taeniophyllum*)、西南虾脊兰(*Calanthe herbacea*)、南贡隔距兰(*Cleisostoma nangongense*)等。近危种 51 种,如多花脆兰(*Acampe rigida*)、赤唇石豆兰(*Bulbophyllum affine*)、栗鳞贝母兰(*Coelogyne flaccida*)、管花兰(*Corymborkis veratrifolia*)、球花石斛(*Dendrobium thyrsiflorum*)等。

在西双版纳州 301 种兰科植物物种中,共有中

国特有种 11 种,如异型兰(*Chiloschista yunnanensis*)、砚山毛兰(*Eria yanshanensis*)、莲座玉凤花(*Habenaria plurifoliata*)、齿片玉凤花(*Habenaria finetiana*)、大花钗子股 *Luisia magniflora*、滇南鸢尾兰(*Oberonia austroyunnanensis*)等,占西双版纳州兰科植物总种数的 3.65%。云南特有种 7 种,如勐仑石豆兰(*Bulbophyllum menglunense*)、南贡隔距兰(*Cleisostoma nangongense*)、勐海石斛(*Dendrobium sinominutiflorum*)、短帽大喙兰(*Sarcoglyphis magnirostris*)、滇南苹兰(*Pinalia yunnanensis*)、勐海鸢尾兰(*Oberonia menghaiensis*)、勐海隔距兰(*Cleisostoma menghaiense*),占西双版纳州兰科植物总种数的 2.33%。

### 2.4 保护管理现状

#### 2.4.1 保护空缺依然存在

据统计显示,西双版纳州兰科植物主要分布于云南西双版纳国家级自然保护区、云南纳板河流域国家级自然保护区、云南西双版纳易武州级自然保护区、云南西双版纳布龙市级自然保护区内,少量分布于云南勐海县级自然保护区内(表 2)。

**表 2　西双版纳州兰科植物保护情况统计**

**Tab. 2　Protection statistics of Orchidaceae plants in Xishuangbanna Prefecture**

| 序号 | 自然保护地名称 | 分布数量/种 |
|---|---|---|
| 1 | 云南西双版纳国家级自然保护区 | 196 |
| 2 | 云南纳板河流域国家级自然保护区 | 83 |
| 3 | 云南西双版纳易武州级自然保护区 | 32 |
| 4 | 云南西双版纳布龙市级自然保护区 | 32 |
| 5 | 云南勐海县级自然保护区 | 19 |

西双版纳州分布有 301 种兰科植物,其中分布于自然保护地的有 246 种,分布在保护地外 55 种,按物种计算保护率为 81.73%。

#### 2.4.2 执法困难和执法力度不够

野生兰科植物资源保护的法律法规相应配套规章还未健全,不能完全做到有法可依,有章可循;同时现有法律法规条文中,原则性规定的多,可操作性的内容少,造成保护管理、具体执法等方面存在一定难度。盗挖严重的兰科植物物种虽已列入第二批国家重点保护野生植物名录中,若不及时采取强有力措施严加保护,或有灭绝风险。另外,在现行法律法规不健全情况下,一些有蓄积量的树种遭到破坏的现象要达到一定数量,才能按照《森林法》进行刑事处罚,使得多数行为如对红豆杉的刮皮和砍取部分枝杆,只采取没收实物和产品的处罚,对破坏野生植物资源的违法犯罪分子打击力度不够,从而直接导致了一些地方植物资源利用的失控和破坏活动的猖獗,造成资源趋于枯竭,国家利益受损严重。

#### 2.4.3 兰科植物保护的综合管理能力较薄弱

云南省及西双版纳州的各级野生植物保护机构虽已成立,也建立了各级别自然保护区,制定了一系列有关的自然保护策略、自然保护措施及相应的保护法律法规,对保护生物多样性、维护自然生态平衡等起到了积极作用。然而,就综合管理能力和体制而言,仍存在着许多不足之处,主要体现在野生兰科植物资源的保护空缺明显、保护管理机构尚不够健全、管理人员素质水平不一、管理手段和设施较落后、执法力量较薄弱等方面。另外,管理人员中很多人因为专业背景的不同,对需要进行保护的重点野生植物识别能力较差,已严重影响到日常保护工作及执法工作的开展。

#### 2.4.4 宣传教育不够深入和公众的保护意识仍淡薄

西双版纳州野生兰科植物资源大多分布在偏远山区。但山区群众生态环境意识相对淡薄,对生物多样性及其资源的保护管理与合理利用的重要性缺乏应有的认知,目前群众在日常生产活动中尚未发现野生兰科植物经济用途已对其进行挖采。同时,有关部门对野生兰科植物资源保护管理的宣传教育不多,工作开展得不够深入,宣传面不广,山区群众无法充分认知和理解国家颁布的有关保护管理条文及法律法规。因此,致使一些不法商贩有机可乘,趁机窜入林区大肆收购掠夺野生兰科植物资源,造成野生兰科植物资源被严重破坏和浪费,如商贩到山区收购观赏性和药用性价值高的野生兰科植物资源。

### 2.5 垂直分布特征

以 500 m 为一个梯度将西双版纳州兰科植物分布区域海拔划分为 6 个海拔段,即 0~500 m、500~1 000 m、1 000~1 500 m、1 500~2 000 m、2 000~2 500 m、2 500~3 000 m,构建西双版纳州兰科植物垂直分布格局(图 1)。

由图 1 可知,西双版纳州兰科植物随海拔变化呈两端低、中间高分布,即兰科植物种数主要集中在海拔 500~2 000 m,以海拔 1 000~2 000 m 分布最为集中,而高海拔段 2 500 m 以上,兰科植物物种数较少,仅占各海拔段总物种数的 0.66%,表明西双版纳州兰科植物主要分布于中等海拔段,1 000~1 500 m 为兰科植物最适分布的海拔梯度。

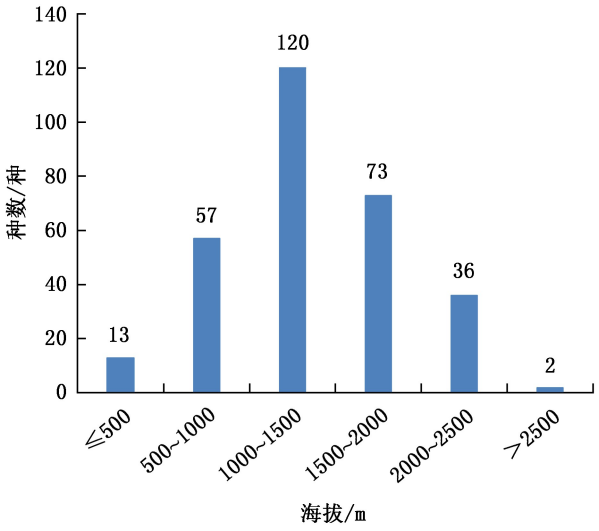



**图 1 西双版纳州兰科植物垂直分布格局**

**Fig. 1 Vertical distribution of Orchidaceae plants in Xishuangbanna Prefecture**

### 2.6 水平分布特征

根据统计结果,兰科植物在西双版纳州水平分布范围广,种类多,全州 1 市 2 县均有分布,物种丰富度最高的为勐腊县,有 248 种,占西双版纳州兰科植物总种数的 82.39%,其次为景洪市、勐海县,分别有 195、182 种,整体物种丰富度均较高(表 3)。

**表 3 西双版纳州兰科植物水平分布统计**

**Tab. 3 Horizontal distribution statistics of Orchidaceae plants in Xishuangbanna Prefecture**

| 行政区名 | 种数/种 | 占比/% | 2021 版[a] | 2017 版[b] | 特有种数量/种 |
|---|---|---|---|---|---|
| 景洪市 | 195 | 64.78 | 34 | 111 | 9 |
| 勐腊县 | 248 | 82.39 | 44 | 133 | 10 |
| 勐海县 | 182 | 60.47 | 36 | 95 | 9 |

注:[a]为《国家重点野生保护植物名录(2021 版)》收录的种数;[b]为《云南省生物物种红色名录(2017 版)》收录的极危、濒危、易危种数。

由表 3 可知,景洪市、勐腊县和勐海县的国家重点保护兰科植物分布种群数量分别为 34、44、36 种;珍稀濒危(极危、濒危、易危)兰科植物分别有 111、133、95 种;特有兰科植物分别有 9、10、9 种。

## 3 结论与建议

西双版纳州分布有兰科植物共 91 属 301 种,其中被《国家重点保护野生植物名录(2021 版)》收录的有 56 种,被《云南省生物物种红色名录(2017 版)》收录的有 186 种,中国特有种 11 种,云南特有种 7 种。兰科植物垂直分布呈两端低、中间高分布,主要集中分布于海拔 500~2 000 m。在水平分布方面,勐腊县(248 种)>景洪市(195 种)>勐海县(182 种)。

### 3.1 强化保护体系建设

目前西双版纳全州共有自然保护区 9 个,风景名胜区 1 个,森林公园 2 个,保护面积 546 887.99 $hm^2$,但西双版纳州江城县西部、景洪市中南部、勐海县东北部、勐腊县东南部均未建立任何保护地,且西双版纳州南、北部,与缅甸接壤区域,许多珍稀濒危兰科植物不在保护地范围内,对此,建议将西双版纳州保护空缺区域划定为自然保护区或建立兰科植物保护小区。

### 3.2 加强兰科植物资源调查和科学研究

兰科植物种类丰富,分布广泛,生境多样,野外调查难度高,且科学分类、种群数量、分布面积等科学数据的调查难度大,在一定程度上限制了对兰科植物资源健康状况作出科学的评价[18]。因此,兰科植物资源调查不能盲目的一刀切,应理清轻重缓急,建议在加强兰科植物资源基础调查力度时,周期性对易危、濒危和极危等受威胁程度较高的兰科植物进行普查,建立完整的资源基础数据库,从而对兰科植物资源现状及未来变化趋势做出科学评估,为兰科植物资源保护与可持续利用提供科学依据。同时,加强与科研机构的合作,深入开展珍稀濒危兰科植物致濒机理的研究,加大科研投入,开展引种驯化,实现产业化栽培,以满足市场和社会的需要,从而减少对野生兰科植物资源的依赖,以达到有效保护及合理开发利用[19]。

### 3.3 尽快制定地方性野生兰科植物保护法规

由于多数兰科植物具有较高的观赏、药用、食用价值,如蝴蝶兰属、兜兰属、石斛属、天麻属等[20-21],各地采挖(食)、售卖频繁,造成很多野生兰科植物种群数量急剧减少,导致全球有超过一半的易危、濒危和极危兰科植物物种正面临着灭绝的危险[22-23]。同时,纳入国家重点保护物种的兰科植物数量仅占西双版纳州兰科植物的 18.60%,包括 3 种极危种,即少花石豆兰(*Bulbophyllum secundum*)、飘带兜兰(*Paphiopedilum parishii*)、垂头万代兰(*Vanda alpina*),132 种濒危种还未纳入,对于这些珍稀濒危物种,当地林业主管部门执法无依据。因此,建议制定西双

版纳州兰科植物保护法规,针对采挖(食)、售卖野生兰科植物的行为,实现保护工作有法可依。

### 3.4 加强兰科植物科普宣教工作,引导公众提高保护意识

利益驱使导致公众对野生兰科植物进行采挖、售卖,造成很多野生兰科植物种群数量急剧减少。西双版纳州为云南省兰科植物分布第二大州,建议采取发放宣传册及普法等形式对公众进行兰科植物的科普宣教,引导社区居民提高生物多样性保护意识,并制定相关法律法规,杜绝采挖、售卖野生兰科植物现象发生。

## 参考文献:


[1] CRIBB P J,KEU S P,DIXON K W,et al. Orchid conservation[M]. Sabah: Natural History Publications,2003.

[2] ZHANG Z J,YANG Y J,TIAN Y,et al. Distribution and conservation of orchid species richness in China[J]. Biological Conservation,2015(181):64-72.

[3] 张晴,王翰臣,程卓,等. 中国野生兰科植物资源与保护利用现状[J]. 中国生物工程杂志,2022,42(11):59-72.

[4] HINSLEY A,BOER H D,FAY M F,et al. A review of the trade in orchids and its implications for conservation[J]. Botanical Journal of the Linnean Society,2018,186(4):435-455.

[5] 刘冰,覃海宁. 中国高等植物多样性编目进展[J]. 生物多样性,2022,30(7):38-44.

[6] ZHOU Z H,SHI R H,ZHANG Y,et al. Orchid conservation in China from 2000 to 2020:Achievements and perspectives[J]. Plant Diversity,2021,43(5):343-349.

[7] 张卓亚. 西双版纳生态系统格局演变与生态价值响应[D]. 昆明:昆明理工大学,2020.

[8] 郑静楠,郑进烜,吴富勤,等. 云南省国家重点保护野生种子植物区系分析[J]. 福建林业科技,2023,50(1):95-99.

[9] 黄莹莹,覃文更,谢代祖,等. 河池市兰科植物资源调查分析[J]. 林业调查规划,2015,40(4):50-54,64.

[10] 张一林,李功权,刘颖. 长江流域濒危兰科植物的空间分布[J]. 浙江农林大学学报,2022,39(4):750-757.

[11] 杨欣欣,谷文乾,张淑钧,等. 雅鲁藏布江下游地区兰科植物濒危程度和优先保护序列研究[J]. 植物研究,2023,43(2):169-178.

[12] 西双版纳傣族自治州人民政府. 概况信息[EB/OL]. [2023-08-10]. http://www.xsbn.gov.cn.

[13] 朱华,王洪,李保贵,等. 西双版纳森林植被研究[J]. 植物科学学报,2015,33(5):641-726.

[14] 王紫媛,刘星月,王伟超,等. 云南省兰科植物多样性及其空间分布特征研究[J]. 种子,2022,41(12):66-77.

[15] 国家林业和草原局,农业农村部. 国家重点保护野生植物名录[EB/OL]. [2023-04-20]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/09/content_5636409.htm.

[16] 云南省环境保护厅,中国科学院昆明植物研究所,中国科学院昆明动物研究所. 云南省生物物种红色名录(2017 版)[M]. 昆明:云南科技出版社,2017.

[17] Flora of China 编辑委员会. Flora of China[M]. 北京:科学出版社,1989-2013.

[18] 周康,张哲,宋希强,等. 海南主要陆域自然保护地兰科植物多样性与生境的关联分析[J]. 广西植物,2022,42(8):1337-1356.

[19] 余正良,刘红,陈上权,等. 赣江源自然保护区珍稀濒危植物调查及区系特征分析[J]. 南方林业科学,2020,48(1):44-49.

[20] GALE S W,FISCHER G A,CRIBB P J,et al. Orchid conservation:Bridging the gap between science and practice[J]. Botanical Journal of the Linnean Society,2018,186(4):425-434.

[21] 张哲,任明迅,向文倩,等. 东南亚兰科植物的物种多样性、生活习性及其传粉系统[J]. 广西植物,2021,41(10):1683-1703.

[22] 郑进烜,华朝朗,郑静楠,等. 云南省重点保护野生植物保护管理现状与对策[J]. 林业调查规划,2021,46(3):69-74,104.

[23] 吴富勤,郑静楠,郑进烜,等. 云南省怒江州兰科植物资源多样性与分布特征[J]. 南方林业科学,2023,51(5):34-38.


责任编辑: 陈旭

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 005

# 不同造林模式下 2 个树种在矿山迹地植被修复中的表现研究

严 毅[1,2],金智伟[2],杨利明[2],铁筱睿[2],李天禄[2],徐钡昌[2]
(1. 昆明市林业和草原科学研究所,云南 昆明 650221; 2. 昆明市海口林场,云南 昆明 650114)

**摘要**:为了解不同树种、不同造林模式在矿山迹地植被修复中造林成活率、保存率及初期生长表现,在昆明市海口林场废弃磷矿山进行了 2 个树种、3 种造林模式的造林试验。结果表明,不同造林模式造林成活率和保存率差异极显著($P<0.01$),华山松的造林成活率(100%)远高于滇青冈(89.76%),2 个树种纯林的保存率远大于混交林的保存率;不同造林模式下林分生长量之间树高差异极显著($P<0.01$)、地径生长量之间差异显著($0.01<P<0.05$),滇青冈表现出较高的树高生长量(混交林 30.83 cm,纯林 17.10 cm),华山松树高生长量均不高(纯林 0.64 cm、混交林 0.52 cm);滇青冈纯林和混交林地径生长量表现适中(纯林 0.64 cm、混交林 0.52 cm),而华山松纯林和混交林地径生长量表现出两个极端(纯林 0.83 cm、混交林 0.47 cm);2 个树种造林保存率与地径生长量呈极显著正相关,树高生长量与地径生长量呈显著负相关。认为华山松和滇青冈在矿山迹地植被修复中有很强的适应性,不同造林模式对造林成活指标和生长指标影响较大;综合多性状评价,滇青冈混交林成效最好,其次为华山松纯林、滇青冈纯林,华山松混交林成效最差。

**关键词**:造林模式;矿山迹地;植被修复;华山松;滇青冈;树高生长量;成活率

**中图分类号**:X171.4;S721 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0030-04

**引文格式**:严毅,金智伟,杨利明,等. 不同造林模式下 2 个树种在矿山迹地植被修复中的表现研究[J]. 林业调查规划,2025,50(1):30-33,39. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.005

YAN Yi, JIN Zhiwei, YANG Limin, et al. Performance of Two Tree Species in Vegetation Restoration of Mining Sites under Different Afforestation Modes[J]. Forest Inventory and Planning,2025,50(1):30-33,39. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.005

# Performance of Two Tree Species in Vegetation Restoration of Mining Sites under Different Afforestation Modes

YAN Yi[1,2], JIN Zhiwei[2], YANG Liming[2], TIE Xiaorui[2], LI Tianlu[2], XU Beichang[2]
(1. Kunming Academy of Forestry and Grassland, Kunming 650221, China;
2. Haikou Forest Farm, Kunming 650114, China)

**Abstract**: In order to understand the survival rate, preservation rate, and initial growth performance of different tree species and afforestation modes in vegetation restoration of mining sites, afforestation experiments were conducted on two tree species and three afforestation modes in the abandoned mine sites of Haikou Forest Farm in Kunming City. The results showed that the survival rate and preservation rate of different afforestation modes were significantly different ($P<0.01$). The survival rate of *Pinus armandi*

**收稿日期**:2023-12-04;**修回日期**:2024-02-09
**项目基金**:昆明市海口林场博士后工作扶持站专项经费.
**第一作者**:严毅(1986-),女,硕士研究生,高级工程师. 主要从事森林培育研究. Email:yanyiok@yeah.net
**责任作者**:金智伟(1982-),男,高级工程师. 主要从事森林培育研究. Email:232389647@qq.com

(100%) was much higher than that of *Cyclobalanopsis glaucoides* (89.76%), and the preservation rate of pure forest was much higher than that of mixed forest. Under different afforestation modes, there were significant differences in stand height ($P<0.01$) and ground diameter growth ($0.01<P<0.05$). The height growth of *Cyclobalanopsis glaucoides* was high (30.83 cm in mixed forest and 17.10 cm in pure forest), while the height growth of *Pinus armandi* was not high (0.64 cm in pure forest and 0.52 cm in mixed forest), the diameter growth of pure forest and mixed forest of *Cyclobalanopsis glaucoides* was moderate (0.64 cm in pure forest and 0.52 cm in mixed forest), while the diameter growth of pure forest and mixed forest of *Pinus armandi* showed two extremes (0.83 cm in pure forest and 0.47 cm in mixed forest). There was a significant positive correlation between forest conservation rate and ground diameter growth of the two species, and a significant negative correlation between tree height growth and ground diameter growth. In conclusion, *Pinus armandi* and *Cyclobalanopsis glaucoides* had strong adaptability in the vegetation restoration of mine sites. Different afforestation models had great influence on the survival index and growth index of afforestation. The results of comprehensive multi-character evaluation of mixed forest of *Cyclobalanopsis glaucoides* were the best, followed by pure forest of *Pinus armandi* and pure forest of *Cyclobalanopsis glaucoides*, and mixed forest of *Pinus armandi* was the worst.

**Key words**: afforestation mode; mining site; vegetation restoration; *Pinus armandi*; *Cyclobalanopsis glaucoides*; tree height growth; survival rate

矿产资源的开发利用,为国民经济、社会发展以及提高人民的生活质量发挥了重要作用。然而,早期在矿产资源开采过程中存在认识不足,不科学、不规范和不环保的过度开采,使原有的地形、地貌和植被遭到严重破坏,形成大面积裸露坡面和次生裸地,诱发众多地质灾害,严重地威胁着人民的生命和财产安全[1-3],由此引发的生态环境问题受到政府和学者们的广泛关注。党的十八大以来,矿山生态修复治理已成为实施国家生态文明建设战略的重要举措,政府出台多项政策对矿山植被的恢复工作进行了全面安排和部署[4-5]。学者们对矿山修复工作开展了大量的研究,但主要集中在矿山迹地的危害性[6]、修复对策[7-8]、修复技术[9-10]和植物配置[11]等基础理论研究方面,对不同植物配置和造林模式下造林成活率、保存率及林木生长表现等生产实践的研究并不多[12]。通过对不同树种、不同造林模式在矿山迹地植被修复后的造林成活率、保存率及初期林木生长情况进行动态监测,揭示不同树种和不同造林模式在矿山迹地的适应性及生长表现,以期为矿山迹地植被修复提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于昆明市海口林场中宝营林区马鞍山露天采集磷矿石后的废弃采坑,面积 9.33 $hm^2$。项目实施时已经停止采矿,林地、林木遭到严重破坏,大部分地面为采矿时留下的碎石及少许弃土,基本没有植物生长,林业生产条件完全丧失,大雨时会受到泥石流影响。

### 1.2 试验方法

2019 年雨季之前,根据试验地现状恢复林业生产条件,本着“先挡后填、分级挡护”的原则,将周边弃石、弃土回填入坑,层层压实后,覆填表土。要求实施系列工程措施后林地山体坡度≤25°,局部陡坎水平距离≤8 m,地表覆表土≥80 cm。在恢复林业生产条件的林地上按 2 m×2 m 的株行距挖定植穴。待 6 月份下过 3 次大雨后雨季来临时,按随机区组划定 12 m×12 m 的试验小区 9 个,以昆明市海口林场苗圃培育的 3 年生滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides*)、华山松(*Pinus armandi*)质量达到《绿化苗木质量分级》(DB53/T458-2013)标准乡土优质容器苗为试验材料,分别营造滇青冈纯林、华山松纯林、滇青冈 & 华山松混交林(1∶1 带状混交)各 3 个试验小区。分别于 2020 年 1 月、2021 年 12 月对 18 个试验小区的苗木生长情况、成活率和保存率进行调查。采用直尺和游标卡尺分别测量苗高和地径,苗高精确到 0.1 mm,地径精确到 0.01 mm。

### 1.3 数据处理及统计分析

造林成活率 = (成活株数/造林时的总株数) × 100%;造林保存率 = (保存株数/造林时的总株数) × 100%;树高和地径生长量 = 2021 年 12 月树高和地

径测量数据-2020 年 1 月树高和地径测量数据的平均值。所得数据采用 Excel 2003 软件对数据进行录入、汇总并制图,采用 SPSS 16.0 软件进行数据分析,采用多形状综合评价法对造林成效进行评价[13]。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同造林模式的造林成活率和保存率

不同造林模式下造林成活率和保存率如图 1。

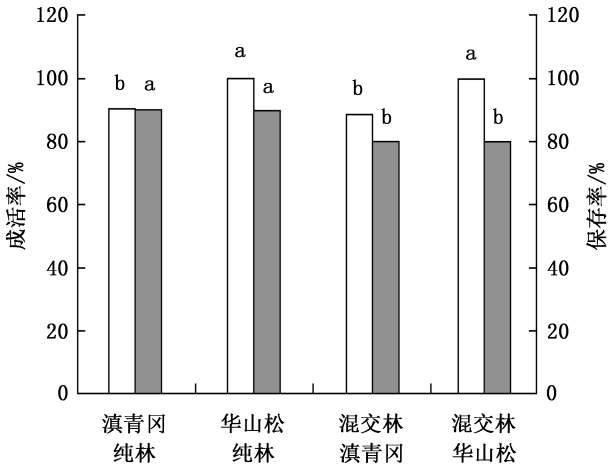



图 1 不同造林模式的造林成活率和保存率

Fig. 1 Survival rate and preserving rate of different afforestation models

从造林成活率上看,华山松纯林平均成活率为 100%,滇青冈纯林平均成活率 90.63%;混交林中,华山松的平均成活率同样是 100%,滇青冈的平均成活率为 88.89%。方差分析表明,华山松造林成活率极显著高于滇青冈造林成活率($P<0.01$),而同一树种不同造林模式之间造林成活率差异不大。从造林保存率上看,华山松纯林平均保存率为 90.00%,滇青冈纯林平均保存率为 90.21%;混交林中,华山松、滇青冈平均保存率为 80.00%。方差分析表明,两个造林树种纯林的保存率极显著高于混交林的保存率($P<0.01$),而同一造林模式不同树种之间的保存率差异不大。

### 2.2 不同造林模式的树高生长量和地径生长量

不同造林模式下林分生长量如图 2。

从林分树高平均生长量上看,不同树种和造林模式下林分树高平均生长量之间差异极显著($P<0.01$)。其中,滇青冈混交林树高平均生长量最大,

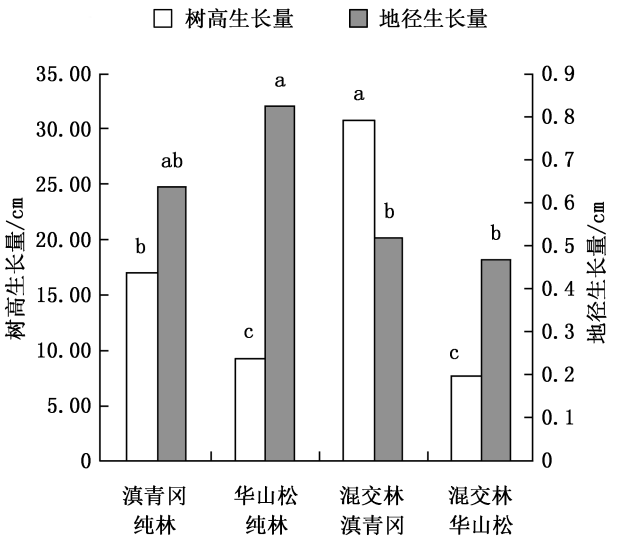



图 2 不同造林模式的树高和地径生长量

Fig. 2 Tree height and ground diameter growth of different afforestation modes

为 30.83 cm;滇青冈纯林树高平均生长量次之,为 17.10 cm;华山松树高平均生长量最差,纯林的为 9.27 cm、混交林的为 7.67 cm。从林分地径平均生长量上看,不同树种和造林模式之间林分地径平均生长量之间差异显著($0.01<P<0.05$)。其中,华山松纯林地径平均生长量最大,为 0.83 cm;滇青冈纯林、滇青冈混交林地径平均生长量次之,分别为 0.64、0.52 cm;林分地径平均生长量最差属华山松混交林,为 0.47 cm。

### 2.3 不同造林模式下的成效

为进一步探寻不同造林模式 2 个树种造林初期各成活指标、生长指标之间是否存在关联,以便对造林成效进行评价,对不同造林模式 2 个树种各指标进行相关性分析,结果如表 1 所示。

表 1 不同造林模式下林分成活指标、生长指标间的相关性分析

Tab. 1 Correlation analysis between stand survival indicators and growth indicators of different afforestation modes

| 相关系数 | 成活率 | 保存率 | 树高生长量 | 地径生长量 |
|---|---|---|---|---|
| 成活率 | 1 | 0.075 | -0.273 | 0.084 |
| 保存率 | 0.075 | 1 | -0.950 | 1.000 ** |
| 树高生长量 | -0.273 | -0.950 | 1 | -0.954 * |
| 地径生长量 | 0.084 | 1.000 ** | -0.954 * | 1 |

由表 1 可知,不同造林模式下 2 个树种成活率与保存率、地径生长量呈正相关,与树高生长量呈负相关,但相关关系不显著;保存率与树高生长量呈负相关,相关关系不显著,与地径生长量呈显著正相关;树高生长量与地径生长量均呈显著负相关关系,说明保存率的高低直接影响林木地径的生长量,且林木高和粗的生长存在相互竞争关系。按照多性状综合评价计算公式 $a_{ij}=x_{ij}/\max x_{ij}$、$P_i=\{\sum(1-a_{ij})\}^{1/2}$($i$ 为第 $i$ 个处理,$j$ 第 $j$ 个指标),计算多性状综合评价值结果如表 2。

**表 2　不同造林模式造林成效评价及排序**

**Tab. 2　Evaluation and ranking of afforestation effectiveness of different afforestation modes**

| 处理 | a 成活率 | a 保存率 | a 树高 | a 地径 | $P_i$ | 排序 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 滇青冈纯林 | 0. 902 | 1 | 0. 555 | 0. 771 | 0. 879 | 3 |
| 华山松纯林 | 1 | 0. 998 | 0. 301 | 1 | 0. 837 | 2 |
| 混交林滇青冈 | 0. 889 | 0. 887 | 1 | 0. 627 | 0. 773 | 1 |
| 混交林华山松 | 1 | 0. 887 | 0. 249 | 0. 566 | 1. 139 | 4 |

由表 2 可知,滇青冈混交林成效最好,其次为华山松纯林、滇青冈纯林,华山松混交林成效最差。

## 3 结论与讨论

矿山迹地是一类丧失自然恢复功能的特殊的退化生态系统,需要人为干预或辅助措施才能使其结构和功能逐渐恢复完善,从而达到一种新的平衡[14]。植被所表现出的固持土壤、净化环境的生态功能是矿山生态恢复和重建的核心[15],但由于不同的矿山迹地地域特征、气候特征、人文环境及恢复需求均不相同,在矿山迹地植被恢复过程中的植物种类选择及搭配模式的适当与否关系植被恢复工作的成败[11,14]。生产上评定造林质量的两个重要指标为造林成活率和保存率。周晓果[16]在研究不同石漠化治理模式中,认为不同树种和不同治理模式下造林成活率和保存率存在差异。本研究中不同树种造林成活率差异极显著($P<0.01$);华山松在矿山迹地植被修复中有较高的适应性,造林成活率高达 100%;滇青冈在此适应性不及华山松,造林成活率平均只有 89. 76%。两个树种造林成活率跟造林模式无关。从保存率上看,不同造林模式保存率差异极显著($P<0.01$),表现出纯林保存率远大于混交林的保存率,而树种之间的保存率差异不大,说明华山松和滇青冈在矿山迹地植被修复中有较强的适应性,但是混交时的树种选择、混交方式和混交强度是否得当有待进一步跟踪调查。

从不同造林模式林分生长量上看,不同树种和造林模式下林分树高生长量之间差异极显著($P<0.01$),表现出滇青冈在矿山迹地植被修复中有较高的树高生长量(混交林 30. 83 cm,纯林 17. 10 cm),华山松则较低(纯林 9. 27 cm,混交林 7. 67 cm)。不同树种和造林模式之间林分地径平均生长量之间差异显著($0.01<P<0.05$),滇青冈纯林和混交林地径生长量表现适中(纯林 0. 64 cm、混交林 0. 52 cm),华山松纯林和混交林地径生长量表现出两个极端(纯林 0. 83 cm、混交林 0. 47 cm),说明滇青冈在矿山迹地植被修复中有较大的生长潜力,且适当混交有利于促进林木生长;而华山松在矿山迹地植被修复中生长量不及滇青冈,特别是混交后树高和地径生长缓慢,不利于林分生产力的提高,这与刘铭波[17]在研究典型天然林空间结构特征时油松(*Pinus tabuliformis*)的结论一致。

不同造林模式 2 个树种造林初期树种成活率和保存率与树高生长量呈负相关,相关系数为-0. 273、-0. 95,但相关关系不显著;成活率和保存率与地径生长量呈正相关,相关系数为 0. 084、1. 000,保存率与地径生长量达极显著相关关系;树高生长量与地径生长量呈显著负相关,相关系数为-0. 954,说明高的造林成活率和保存率利于林木健壮生长,同时林木高和直径的生长存在相互竞争关系。通过多性状综合评价得出,滇青冈混交林成效最好,其次为华山松纯林、滇青冈纯林,华山松混交林成效最差。

由于本研究仅对造林初期造林成效进行跟踪调查,所得结论还不全面。如要得到更加科学的研究结论,还需进一步跟踪调查。另外,在森林经营过程中“三分造,七分管”,想要提高森林质量,加强人工抚育与管理是最有效的手段。

## 参考文献:

[1] 吴芮欣,马会强,支天一,等. 两种幼龄乔木修复林下土壤改良及植被多样性研究[J]. 生态科学,2019,38(3):71-79.

(下转第 39 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.006

# 道路路基工程建设中碳排放量计量分析

刘宏波,吴永军,叶 超
(国家林业和草原局西南调查规划院,云南 昆明 650031)

**摘要**:在“双碳”战略推进各行业高质量发展的重要时期,公路建设过程中的碳排放量不容忽视,围绕公路路基建设过程中碳排放量的不同阶段计算模型,对项目中的碳排放量占比进行分析。结果表明,路基建设过程中原材料水泥和砂石集料生产耗能产出是碳排放量的主要影响因素,材料运输距离对碳排放量的影响也不容忽视,其中原材料生产碳排放量占总排放量的 88.24%,材料运输过程(运输平均距离按 1 km 计)碳排放量占比 8.51%,施工过程碳排放量占比 3.25%。针对降低原材料生产和运输过程中碳排放量,提出控制运距、改良生产工艺和采用新能源设备等建议。

**关键词**:碳排放量;原材料生产;材料运输;道路路基建设

**中图分类号**:TE622.13;U41 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0034-06

**引文格式**:刘宏波,吴永军,叶超. 道路路基工程建设中碳排放量计量分析[J]. 林业调查规划,2025,50(1):34-39. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.006

LIU Hongbo, WU Yongjun, YE Chao. Measurement of Carbon Emissions in Road Subgrade Engineering Construction[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 34-39. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.006

# Measurement of Carbon Emissions in Road Subgrade Engineering Construction

LIU Hongbo, WU Yongjun, YE Chao
(Southwest Survey and Planning Institute of National Forestry and Grassland Administration, Kunming 650031, China)

**Abstract**: In the important period of promoting high-quality development in various industries through the “dual carbon” initiative, the carbon emissions in the process of highway construction cannot be ignored. Based on the calculation models of carbon emissions in different stages of highway subgrade construction, the proportion of carbon emissions in the project was analyzed. The results showed that the energy consumption and output of raw materials such as cement and sand and gravel were the main influencing factors of carbon emissions, and the influence of transportation distance of materials on carbon emissions could not be ignored, with the carbon emissions from raw material production accounting for 88.24% of the total emissions, the materials transportation (an average transportation distance of 1 km) accounting for 8.51%, and construction process accounting for 3.25%. To reduce carbon emissions in the process of raw material production and transportation, some suggestions were put forward such as controlling transportation distance, improving production technology and adopting new energy equipment.

**Key words**: carbon emissions; raw material production; materials transportation; road subgrade construction

**收稿日期**:2023-12-23;**修回日期**:2024-01-31

**第一作者**:刘宏波(1975-),男,高级工程师. 研究方向为道路设计与碳汇监测计量. Email:280009325@qq.com

“双碳”目标提出后,我国要在 2060 年实现碳中和,公路运输行业在低碳减排方面的任务逐渐增重,据统计,当前交通运输行业排放的碳总量已占据全国 $CO_2$ 排量的 1/10,并以每年 5%的速度增长,交通行业的碳排放已不容忽视[1]。公路施工建设期间属于交通运输生命周期内最重要的一环,排放的温室气体也需要引起关注[2]。澳大利亚的 Helen Murphy 博士针对公路建设期的相关碳排放量计算做了详细研究[3],对于建设期内碳排放量的不同占比进行了分析,结果表明,原材料的生产和运输过程产生的碳排放量均是影响公路建设期碳排放量的主要因素。

以国内某三级公路路基建设为例,采用在路基建设过程中实际投入的材料及机械设备基于燃料消耗的实际量化数据,对路基建设中的碳排放量加权计算后进行系统分析,综合考虑项目特征、材料使用、运输机械型号分布等各种影响因子,对公路路基建设中的碳排放量进行研究,为公路路基建设中的减排低碳提供参考。

## 1 项目概况

以青藏高原某水电站库区淹没公路为例,项目的建成可极大地缩短原有公路的里程长度,在后期运营阶段更加节约能源消耗及降低碳排放量,对于沿线旅游胜地对外交通便利性起到重要改善作用,对提高区域旅游品位,加快地区经济发展具有重大意义。该项目按三级公路标准建设,设计时速 30 km/h,路基宽 7.5 m,双向两车道,其中行车道 6.5 m,硬化路肩宽 0.5 m,高 0.25 m,车辆设计荷载为公路-II 级,服务水平为四级,计划建设工期 2 年,墙背填土计算内摩擦角 $\phi=35°$,填土容重 $\gamma=19\ kN/m^3$。

项目区属于青藏高原重丘山岭区,相对高差 300~500 m,路基经过区域平均海拔 4 150 m,全线筑路材料相对丰富,平均运距不远。外购材料水泥及钢筋等价格采用“西藏自治区交通公路工程造价管理站 2017 年第 1 期《西藏公路工程造价信息》并结合当地实际情况综合计取,按编制办法及西藏自治区补充规定结合当地实际计算相关运杂费用。施工用电根据实地情况按当地价格结合部分自发电综合计算。片、碎石等材料由施工单位自采,汽车运输方式供应以预算定额分析单价,平均运距依据筑路材料及调查资料取定。

## 2 公路路基建设碳排放量计算方法

### 2.1 路基总建设阶段的碳排放量

公路路基的整个建设过程中应综合考虑原材料产出过程中的碳排放量、运输材料至施工地点机械设备产生的碳排放量及施工现场使用机械设备所产生的碳排放量,因此,在路基总建设阶段的碳排放量计算应是全部耗能的总和,计算公式为:

$$E_{总}=E_C+E_Y+E_S \tag{1}$$

式中:$E_{总}$为路基建设总碳当量($tCO_2e$);$E_C$ 为原材料生产的产出碳当量($tCO_2e$);$E_Y$ 为运输材料至施工地点产出碳当量($tCO_2e$);$E_S$ 为施工过程中产出的碳当量($tCO_2e$)。

### 2.2 原材料产出的碳排放量

原材料产出时,主要采用的是气候变化专门委员会提出的碳排放因子[4-6]量化计算办法,具体是采用材料碳排放因子[7-10]与材料消耗量相乘,加权之和计算出原材料产出的总碳排放当量,计算公式为:

$$E_C=\sum C_i\times\beta_i \tag{2}$$

式中:$E_C$ 为原材料生产产出的碳当量($tCO_2e$);$C_i$ 为第 $i$ 种原材料生产产出的碳当量(t 或 $m^3$);$\beta_i$ 为第 $i$ 种原材料的碳排放因子($kgCO_2e$/单位材料数量),取值参考表 1。

表 1　主要原材料碳排放因子

Tab. 1　Carbon emission factors of main raw material

| 材料 | 碳排放因子/$kgCO_2e$(单位) |
|---|---|
| 水泥/t | 735.000 |
| 沥青/kg | 0.248 |
| 砂子/t | 2.510 |
| 黏土/t | 2.690 |
| 片块石/t | 5.080 |
| 碎石(直径 10~30 mm)/t | 2.180 |
| 水/t | 0.168 |
| 木材/$m^3$ | 146.300 |
| 炼钢生铁/t | 1700.000 |
| 铸造生铁/t | 2200.000 |
| 碳钢/t | 2050.000 |
| 聚乙烯(土工布)/t | 2610.000 |

### 2.3 材料运输至施工地点碳排放量

在路基建设时的原材料需要从场地运至施工地点以及工地内部运输物资与废弃生产资料过程中均

会产生碳排放量,应综合考虑各排放因子的加权总量,同样考虑到机械设备使用量、运输距离、燃料消耗当量,材料碳排放因子等,加权之和计算出原材料产出的总碳排放当量,计算公式为:

$$E_Y = \sum_{d=i}^{m} \sum_{i=1}^{n} (N_{di} \times D_{di} \times S_d \times \lambda_d \times W_i) \quad (3)$$

式中:$E_Y$ 为运输材料至施工点的碳排放量($tCO_2e$);$d$ 为第 $d$ 种机械设备型号,$d=1,\cdots,m$;$i$ 为第 $i$ 种原材料种类,$i=1,\cdots,n$;$N_{di}$ 为运输设备 $d$ 在运输单位材料 $i$ 时每公里运距需要的台班量(台班);$D_{di}$ 为运输设备 $d$ 运输单位材料 $i$ 的运距(km);$S_d$ 为运输设备 $d$ 每台班消耗的燃料量(t);$\lambda_d$ 为运输设备 $d$ 使用燃料所对应的 $CO_2$ 排放因子($kgCO_2e$/单位材料),取值参照表 2;$W_i$ 为运输材料 $i$ 的重量或体积(t 或 $m^3$)。

**表 2 主要能源碳排放因子**

**Tab. 2 Carbon emission factors of main energy**

| 能源类型 | 碳排放因子/$kgCO_2e$(单位) |
|---|---|
| 电力/(kW · h) | 0.930 |
| 重油/t | 3.060 |
| 汽油/t | 2.929 |
| 柴油/t | 3.100 |
| 煤/t | 2.770 |

### 2.4 施工过程中碳排放量

在路基施工现场需用不同的机械设备进行施工,由于使用的燃料或电力驱动条件不一致,应将施工过程中所有耗能换算为统一碳当量进行计算,在计算路基施工过程的碳排放量时,应将所使用的耗能量与对应的燃料碳排放因子相乘,加权之和计算出施工过程中产出的总碳排放当量,计算公式为:

$$E_S = \sum_{r=1}^{p} (Q_r \times H_r \times \mu_r) \quad (4)$$

式中:$E_S$ 为路基施工现场产出的碳排放当量($tCO_2e$);$r$ 为第 $r$ 种机械设备类型,$r=1,\cdots,p$;$Q_r$ 为路基施工现场机械设备 $r$ 使用的台班量(台班);$H_r$ 为路基施工现场机械设备 $r$ 每台班燃料的消耗量(kg);$\mu_r$ 为路基施工现场机械 $r$ 使用的燃料所对应的碳排放因子($kgCO_2e$/kg 或 $kgCO_2e$/(kW · h)),取值参照表 2。

## 3 项目路基建设碳排放量计算及分析举例

### 3.1 案例项目材料、运输台班及燃料消耗统计

1)根据项目建设实际情况,基于项目概算罗列建设材料使用数量,项目路基建设原材料数量汇总见表 3。

**表 3 路基建设主要原材料数量汇总**

**Tab. 3 Summary of main raw material quantity in roadbed construction**

| 材料名称 | 数量 | 材料名称 | 数量 |
|---|---|---|---|
| 木材/$m^3$ | 120 | 水泥/t | 14379 |
| 钢筋/t | 151 | 改性沥青/t | 19 |
| 型钢/t | 1 | 黏土/$m^3$ | 1307 |
| 钢钎/kg | 3736 | 砂砾/$m^3$ | 203463 |
| 电焊条/kg | 526 | 片块石/$m^3$ | 99946 |
| 钢模板/t | 43 | 汽油/kg | 3751 |
| 铁件/kg | 26831 | 柴油/kg | 643952 |
| 铁丝/kg | 20069 | 煤/t | 5 |
| 土工布/$m^2$ | 18434 | 电/(kW · h) | 104210 |
| U 型锚钉/kg | 1351 | 自来水/$m^3$ | 91169 |
| 聚乙烯管/m | 32720 | | |

2)根据项目建设实际情况,基于项目概算罗列运输设备及台班数量与燃料使用数量,项目路基建设中运输设备的台班数量和燃料耗量汇总见表 4。

**表 4 路基建设中运输设备台班数量及燃料耗量汇总**

**Tab. 4 Summary of transportation equipment quantity and fuel consumption in roadbed construction**

| 规格名称 | 数量/台班 | 能源类型 | 燃料耗量/(kg · 台班$^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| 2 $m^3$ 轮胎式装载机 | 510 | 柴油 | 92.86 |
| 12 t 以内自卸汽车 | 5402 | 柴油 | 61.60 |

3)根据项目建设实际情况,基于项目概算罗列施工机械台班数量及燃料耗量数,本项目路基建设的机械台班数量及燃料耗量汇总见表 5。

### 3.2 路基碳排放量计算

在路基施工过程中统计原材料使用量及运输到施工地点车辆台班与燃油耗量,再对施工过程中使用的机械设备使用台班和耗能数量进行统计,利用公式(1)、公式(2)和公式(3)对各阶段的碳排放量进行计算,最终求得路基施工生命周期内的碳排放量总数,具体计算结果见表 6~表 8。

表 5　路基建设中施工机械台班数量及燃料耗量汇总

Tab. 5　Summary of construction machinery quantity and fuel consumption in roadbed construction

| 规格名称 | 数量/台班 | 能源类型 | 燃料耗量/(kg·台班$^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| 120 kW 以内平地机 | 241 | 柴油 | 82.13 |
| 6~8 t 光轮压路机 | 96 | 柴油 | 19.20 |
| 8~10 t 光轮压路机 | 25 | 柴油 | 26.14 |
| 10~12 t 光轮压路机 | 552 | 柴油 | 33.51 |
| 12~15 t 光轮压路机 | 9 | 柴油 | 40.00 |
| 15 t 以内振动压路机 | 54 | 柴油 | 80.80 |
| 标准高度 18 m 的高压旋喷钻机 | 487 | 电力 | 135.69 |
| 250 L 以内强制式混凝土搅拌机 | 676 | 电力 | 54.20 |
| 12 t 以内汽车起重机 | 149 | 电力 | 226.70 |
| 30 KN 以内电动卷扬机 | 6 | 电力 | 127.52 |
| 冲击钻 | 1812 | 柴油 | 33.00 |
| 4000 L 以内洒水车 | 104 | 柴油 | 25.68 |

表 6　路基原材料生产过程碳排放量计算结果

Tab. 6　Calculation results of carbon emissions in the production process of roadbed raw materials

| 材料名称 | 数量 | 碳排放因子/kg$CO_2$e(单位) | $CO_2$ 排放量/kg | $CO_2$ 排放量合计($tCO_2e$) |
|---|---|---|---|---|
| 木材/$m^3$ | 120.00 | 146.30 | 17556.00 | 12212.88 |
| 钢筋/t | 151.00 | 1700.00 | 256700.00 | |
| 型钢/t | 1.00 | 2365.00 | 2365.00 | |
| 钢钎/kg | 3736.00 | 2.31 | 8630.16 | |
| 钢模板/t | 43.00 | 2400.00 | 103200.00 | |
| 铁件/kg | 26831.00 | 2.28 | 61174.68 | |
| 铁丝/kg | 20069.00 | 1.70 | 34117.30 | |
| 土工布/kg | 1843.00 | 2.61 | 4810.23 | |
| U 型锚钉/kg | 1351.00 | 2.28 | 3080.28 | |
| 聚乙烯管/kg | 3272.00 | 3.60 | 11779.20 | |
| 水泥/t | 14379.00 | 735.00 | 10568565.00 | |
| 改性沥青/t | 19.00 | 248.00 | 4712.00 | |
| 黏土/$m^3$ | 1307.00 | 2.69 | 3515.83 | |
| 砂砾/$m^3$ | 203463.00 | 2.51 | 510692.13 | |
| 片块石/$m^3$ | 99946.00 | 5.08 | 507725.68 | |
| 汽油/t | 3.75 | 2.93 | 10.99 | |
| 柴油/t | 643.95 | 3.10 | 1996.25 | |
| 煤/t | 5.00 | 2.77 | 13.85 | |
| 电/(kW·h) | 104210.00 | 0.93 | 96915.30 | |
| 自来水/$m^3$ | 91169.00 | 0.17 | 15316.39 | |

表 7　路基原材料运输 1 km 产出碳排放量计算

Tab. 7　Calculation of carbon emissions from 1 km transport of roadbed raw materials

| 运输设备 | 数量/台班 | 燃料耗量/(kg·台班$^{-1}$) | $CO_2$ 排放量/kg | $CO_2$ 排放量合计($tCO_2e$) |
|---|---|---|---|---|
| 2 $m^3$ 轮胎式装载机 | 510 | 92.86 | 146811.66 | 1178.38 |
| 12 t 以内自卸汽车 | 5402 | 61.60 | 1031565.92 | |

表 8　路基施工过程碳排放量计算

Tab. 8　Calculation of carbon emissions in roadbed construction process

| 施工机械 | 数量/台班 | 能源类型 | $CO_2$ 排放量/kg | $CO_2$ 排放量合计($tCO_2e$) |
|---|---|---|---|---|
| 120 kW 以内平地机 | 241 | 柴油 | 61358.60 | 450.24 |
| 6~8 t 光轮压路机 | 96 | 柴油 | 5713.92 | |
| 8~10 t 光轮压路机 | 25 | 柴油 | 1525.00 | |
| 10~12 t 光轮压路机 | 552 | 柴油 | 45264.00 | |
| 12~15 t 光轮压路机 | 9 | 柴油 | 1116.00 | |
| 15 t 以内振动压路机 | 54 | 柴油 | 13525.92 | |
| 标准高度 18 m 的高压旋喷钻机 | 487 | 电力 | 61454.53 | |
| 250 L 以内强制式混凝土搅拌机 | 676 | 电力 | 34077.16 | |
| 12 t 以内汽车起重机 | 149 | 电力 | 31413.67 | |
| 30 KN 以内电动卷扬机 | 6 | 电力 | 1084.26 | |
| 冲击钻 | 1812 | 柴油 | 185367.60 | |
| 4000 L 以内洒水车 | 104 | 柴油 | 8334.56 | |

### 3.3 案例数据分析

#### 3.3.1 路基建设全过程碳排放量数据分析

结合项目在路基施工全过程中的数据计算,得出原材料生产产出的碳排放量 $E_C$ = 12 212.88 $tCO_2e$,运输材料至施工地点产出的碳排放量(运输平均距离以 1 km 计)$E_Y$ = 1 178.38 $tCO_2e$,施工过程产出的碳排放量 $E_S$ = 450.24 $tCO_2e$,根据公式(1)得出路面建设全过程总的碳排放量 $E_{总}$ = 13 841.5 $tCO_2e$。其中原材料生产产出的碳排放量占总排放量的 88.24%,运输材料产出的碳排放量占总排放量的 8.51%,施工过程产出的碳排放量占总排放量的 3.25%。

从各阶段碳排放量数值可以判断,运输材料至施工地点的运距对碳排放总量的影响较大,如果平均

运距按 5 km 计，则 $E_Y$ = 5 891.9 $tCO_2e$，$E_{总}$ = 18 555.02 $tCO_2e$，其中原材料生产产出的碳排放量占总排放量的 65.82%，运输材料产出的碳排放量占比 31.75%，施工过程产出的碳排放量占比 2.43%；如果平均运距按 10 km 计，则 $E_Y$ = 11 783.8 $tCO_2e$，$E_{总}$ = 24 446.92 $tCO_2e$，其中原材料生产产出的碳排放量占总排放量的 49.96%，运输材料产出的碳排放量占比 48.20%，施工过程产出的碳排放量占比 1.84%。根据运距不同各阶段碳排放量占比如图 1。

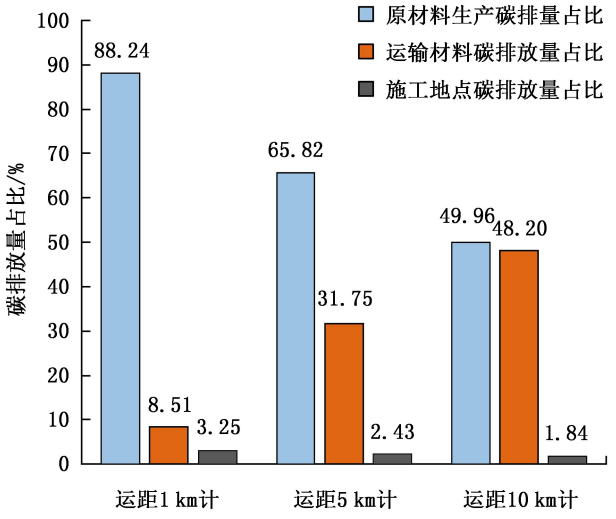



**图 1　不同运距项目各阶段碳排放量占比**

**Fig. 1　Proportion of carbon emissions at different stages of projects with different transportation distances**

从图 1 可以看出，在运距发生改变时，碳排放量占比呈逐渐增长趋势，由此可以判断，在原材料产出耗能及施工地点机械耗能固定情况下，材料运输运距对路基建设全周期内的碳排放量起着重要影响作用，不同运距碳排放总量变化趋势见图 2。

### 3.3.2　原材料生产过程产出碳排放量数据分析

从原材料生产过程产出的碳排放量计算结果可以看出，其中水泥生产的碳排放量较大，约为 10 568.6 $tCO_2e$，占原材料产出耗能总量的 86.54%；其次是砂石料生产的碳排放量，约为 1 018.4 $tCO_2e$，占比 8.34%；然后是钢筋生产的碳排放量约为 466.1 $tCO_2e$，占比 3.82%；其他原材料生产所产出的碳排放量占比较小，占比 1.3%。不同原材料产出碳排放量占比见图 3。

### 3.3.3　运输和施工过程产出碳排放量数据分析

从材料运输和路基现场施工两个过程碳排放量的计算数据可以看出，影响碳排放量的因素主要与车辆的功率和台班量相关，这两项数据相对比较均衡和稳定。如能增大运输机械的功率，减少运输台班量次，碳排放量将会随之降低。

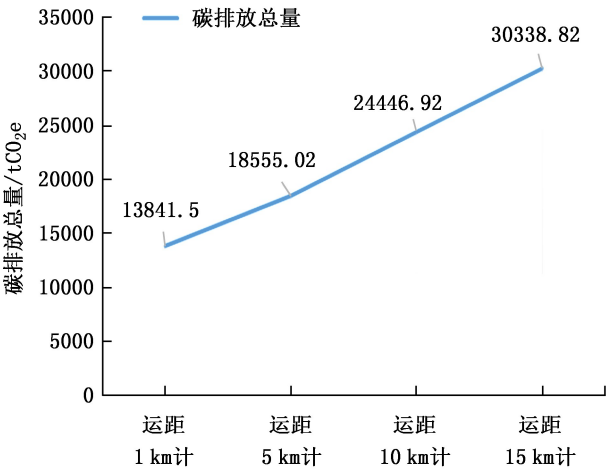



**图 2　不同运距项目碳排放总量变化趋势**

**Fig. 2　Changes of total carbon emissions with different transportation distances**

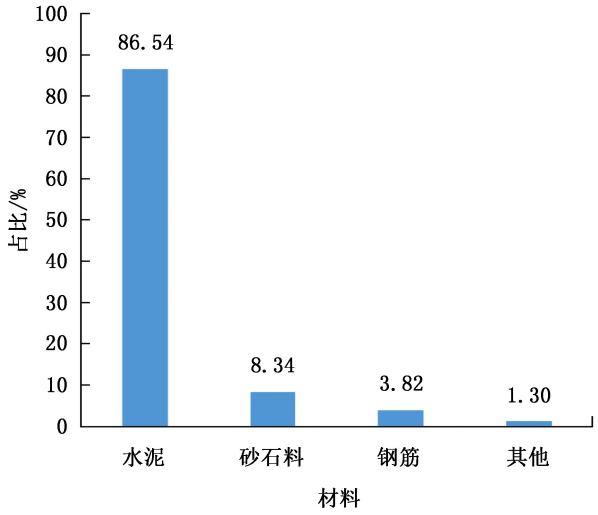



**图 3　不同原材料产出耗能的碳排放总量占比**

**Fig. 3　Proportion of total carbon emissions from energy consumption of different raw material outputs**

## 4　结　语

针对路基建设过程中所产出的碳排放总量进行计算和分析可以发现，在材料运输环节，由于运距的变化对碳排放总量的影响较大，因此，在路基建设过程中，为了能更好地控制碳排放量的产出，应对原材料的运输距离进行严格控制。另外，在原材料生产方面，水泥、砂石集料及钢筋的耗能较高，为了能更

好地改善碳排放量,应在水泥、砂石集料和钢筋生产工艺方面进行改良,或在材料使用方面采用更加环保低耗能材料,如在边坡防护过程中减少水泥使用量,考虑采用土工格室加种植草木的防护形式,新材料防护面积大,重量轻,这样不但减少水泥原产出耗能,也可以在运输耗能上减少碳排放量。在运输方面也应尽可能多地采用节能机械或新能源运输设备,以此减少运输环节中的碳排放量。

## 参考文献:


[1] 刘建国,朱跃中,填智宇."碳中和"目标下我国交通脱碳路径研究[J]. 中国能源,2021,43(5):6-12,37.

[2] 陈灵均. 公路隧道交通碳排放特性与影响机制研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2017.

[3] 李光辉,龙婷. 公路碳排放计算研究的发展[J]. 科技与创新,2016(6):68-71.

[4] 巩舜妹,杨祥一,刘发明. 公路设施建设项目碳排放量测算方法研究[J]. 安阳工学院学报,2020,4(106):30-34.

[5] 中华人共和国住房和城乡建设部. 建筑碳排放计算标准:GB/T 51366—2019[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.

[6] 中国城市温室气体工作组. 中国产品全生命周期温室气体排放系数集(2022)[M]. 北京:中国环境出版社,2022.

[7] NAHANGI M,GUVEN G,OLANREWAJU B,et al. Embodied greenhouse gas assessment of a bridge: A comparison of preconstruction Building Information Model and construction records[J]. Journal of Cleaner Production,2021,295(1):31-35.

[8] ZULU K,SINGH R P,SHABA F A. Environmental and economic analysis of selected pavement preservation treatments[J]. Civil Engineering Journal-Tehran,2020,6(2):21-24.

[9] 刘宏波. 碳排放量在生产资料投入因子影响下的计算探究[J]. 菏泽学院学报,2023,45(5):89-93.

[10] 吴昊,段志宏,方留杨,等. 基于 LCA 的高速公路服务区碳排放核算研究[J]. 交通节能与环保,2023,19(94):63-74.


责任编辑:许易琦

(上接第 33 页)


[2] 马蕊. 矿山环境保护存在的问题及治理措施[J]. 能源与节能,2022(9):159-161.

[3] 包海龙,张健,杨红艳,等. 适宜修复矿山的多年生牧草品种[J]. 当代畜禽养殖业,2023,43(5):48-50.

[4] 姜杉钰,张凤仪,莫楠. 矿山生态修复治理模式研究与对策建议——以北京市为例[J]. 中国非金属矿工业导刊,2022(5):59-62.

[5] 朱文艳. 绿色矿山植被恢复模式探究[J]. 内蒙古煤炭经济,2023(2):124-126.

[6] 王榕康. 露天采矿矿山地质环境问题与治理研究[J]. 矿业装备,2022(5):143-145.

[7] 陈家琼. 矿山工程地质灾害治理及生态环境修复对策分析[J]. 工程技术研究,2023,8(10):228-230.

[8] 谭春巍. 矿山开采对周边生态环境的影响及其修复策略[J]. 中国高新科技,2023(10):27-29.

[9] 袁霜. 金属矿山固废堆场生态修复技术研究与实践[J]. 有色金属(矿业部分),2023,75(5):167-174.

[10] 李绍财. 废弃露天矿山生态环境污染修复技术研究[J]. 环境科学与管理,2023,48(8):78-83.

[11] 吕福军,王晓辉. 通辽市科尔沁区适宜林种结构和树种配置的探讨[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版),2003,18(1):50-52.

[12] 杨德军,罗勇,邱琼,等. 西双版纳采矿区植被恢复中的树种选择研究[J]. 贵州林业科技,2015,34(1):4-9.

[13] 汤行昊,张亚玲,柯彦杰,等. 不同施基肥措施下闽楠造林成效研究[J]. 防护林科技,2021,213(6):1-4.

[14] 张鸿龄,孙丽娜,孙铁珩,等. 矿山废弃地生态修复过程中基质改良与植被重建研究进展[J]. 生态学杂志,2012,31(2):460-467.

[15] 刘延滨,王承义. 采矿迹地生态恢复的探索与实践—大兴安岭古利库砂金矿废弃地生态修复为例[J]. 中国林副特产,2018(5):75-83.

[16] 周晓果,李隽宜,朱宏光,等. 不同石漠化治理模式的造林保存率及幼林生长分析[J]. 广西科学,2017,24(2):175-181.

[17] 刘铭波. 山西灵空山典型天然林空间结构特征及其对生产力的影响[D]. 北京:北京林业大学,2021.


责任编辑:刘平书

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 007

# 我国林业碳汇认购替代生态修复方式的检视与发展

翟天波
(河海大学 法学院,江苏 南京 211100)

**摘要**:最高人民法院已通过司法解释的形式明确规定了林业碳汇认购替代生态修复方式的裁判规则,这既是对“碳达峰”“碳中和”战略目标的司法回应,也是对生态环境替代性修复路径的有益拓展。通过检视当前实践发现,该方式存在被不规范适用、碳汇损失核算标准混乱、修复裁判的执行与监督机制不健全以及适用范围扩张空间失序等问题,掣肘着其实践效能的发挥。据此,提出加紧研究出台细化性规定并推动相关立法,明确该方式的司法适用要求,制定林业碳汇损失核算标准体系,健全碳汇认购的执行与监督机制等规范化发展策略,以推动林业碳汇修复方式更好地发挥实效。同时还应厘清林业碳汇修复方式的适用范围边界,以合理挖掘其潜在的生态服务价值。

**关键词**:碳汇认购;碳汇修复方式;生态修复;“双碳”目标;碳汇损失核算标准

**中图分类号**:P461. 7;S718. 56;X171. 4 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0040-05

**引文格式**:翟天波. 我国林业碳汇认购替代生态修复方式的检视与发展[J]. 林业调查规划,2025,50(1):40-44,55. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 007

ZHAI Tianbo. Review and Improvement of Alternative Ecological Restoration Methods for Forestry Carbon Sink in China [J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 40-44,55. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 007

# Review and Improvement of Alternative Ecological Restoration Methods for Forestry Carbon Sink in China

ZHAI Tianbo
(School of Law, Hohai University, Nanjing 211100, China)

**Abstract**: The Supreme People's Court had clearly stipulated the adjudication rules for the subscription of forestry carbon sink alternative ecological restoration mode through judicial interpretation, which was not only a judicial response to the “Dual Carbon” target, but also a beneficial expansion of the alternative ecological environment restoration path. Reviewing the current practice found that the value of this method was often hampered by problems such as non-standard application, chaotic accounting standards for carbon sink losses, imperfect implementation and supervision mechanism of restoration judgment, and disorderly expansion space of application scope. Accordingly, relevant laws and detailed regulations should be formulated and promulgated to clarify the judicial application requirements of the restoration method, formulate the accounting standard system of forestry carbon sink loss, and improve the implementation and supervision mechanism of carbon sink subscription, so as to promote the effectiveness of the restoration method. At the same time, the boundary of the application scope of the restoration method should be clarified in order to reasonably tap the potential ecological service value of this method.

**收稿日期**:2023-10-16

**第一作者**:翟天波(2001-),男,硕士研究生. 研究方向为经济法学、环境与资源保护法学. Email:victorztb@163. com

**Key words**: carbon sink subscription; restoration method of carbon sink; ecological environment restoration; "Dual Carbon" target; accounting standard of carbon sink loss

自"双碳"目标提出以来,我国司法机关便致力于探索环境司法推动"双碳"目标实现的实践路径,基于森林在生态环境保护实践中的重要地位,最高人民法院于 2022 年 6 月公布并施行了《关于审理森林资源民事纠纷案件适用法律若干问题的解释》(以下简称《解释》),以服务森林资源类案件的审理裁判,《解释》第 20 条首次明确规定了认购林业碳汇替代生态修复方式(以下简称"林业碳汇修复方式"),其中所谓林业碳汇是指利用森林的储碳功能,通过植树造林、减少伐木、保护和恢复森林植被等活动,吸收和固定大气中的二氧化碳,并按照相关规则与碳汇交易相结合的过程、活动或机制[1]。

林业碳汇修复方式的实践效果通过被告人自愿认购碳汇量以替代性修复生态环境进行实现,能够帮助生态环境修复取得更加长期有效的效果,推动双碳目标的实现,该方式目前已被司法实践广泛适用并取得初步成效[2]。但由于司法机关对林业碳汇修复方式的适用仍处于探索阶段,加之相关配套制度机制不够健全,因此各地法院对《解释》的解读与践行情况大相径庭,暴露出许多亟需解决的问题,该方式存在的合理性也受到讨论与质疑。通过分析林业碳汇修复方式的实施依据,并审视该方式适用中的现实问题及成因,有针对性地提出解决方案,对该方式价值的发挥以及未来的规范化发展格外关键。

## 1 我国适用林业碳汇修复方式的多元依据分析

### 1.1 以"恢复性司法理念"为理论依据

恢复性司法理念是环境资源审判的指导性理念,其强调司法的价值追求在于全面恢复受损的法益,以消除违法行为带来的不良影响,林业碳汇修复方式的司法适用是该理念的集中体现[3]。这种修复方式将当事人认购林业碳汇作为替代性修复生态环境的责任承担方式,能够在森林生态环境难以直接修复时提供及时补位的修复措施,有效化解其他修复方式难以解决的现实困境,进而提升生态环境修复效果。同时司法机关在刑事司法实践中通常将被告人的碳汇资金缴纳或生态修复情况作为量刑的考量因素,给予被告人自愿悔罪、积极参与生态环境修复的空间,有助于森林资源类案件裁判取得良好社会效果。因此,在森林资源类案件中适用林业碳汇修复方式,对双碳目标实现以及社会治理现代化发展均有所裨益。

### 1.2 以"受损法益填补困难"为现实依据

司法审判引入"碳汇"修复理念适用林业碳汇修复方式的做法,毋庸置疑对弥补当前司法实践中既有修复方式存在的短板而言是必要和迫切的。当前司法实践中,除林业碳汇修复方式外,常见的生态环境修复方式还包括原地补植复绿、异地补植复绿等直接或替代修复方式可供选择,不过这些传统修复方式通常会由于自然条件或经济条件限制等原因而难以直接适用,继而导致案件中被损害的碳汇权益难以得到完全填补[4]。林业碳汇修复方式的出台实施为碳汇修复难题的解决提供了一种新方案,法院可以判决当事人通过缴纳碳汇认购金的形式抵消受损害的碳汇权益,用以弥补传统修复方式在受损法益填补方面的局限与不足,循序渐进地推动被破坏的生态环境得到系统性、整体性的修复。

### 1.3 以"替代修复"相关规定为规范依据

林业碳汇修复方式在我国生态环境修复法治进程中并非无章可循,相反这种修复方式正是对先前各类规定中"替代修复"方式的继承与发展。如生态环境部等多部门联合印发的《生态环境损害赔偿管理规定》第 9 条第 3 款明确指出,生态环境损害无法修复的,在符合有关生态环境修复法规政策和规划的前提下,可以开展替代修复。再如最高人民法院《关于审理环境民事公益诉讼案件适用法律若干问题的解释》也对采用替代性修复方式的具体裁判规则做出了细化规定。林业碳汇修复方式正是在前述各类"替代修复"规定的基础上,基于森林资源类案件的特点对替代修复方式进行创新性发展的产物,拓展了"替代修复"方式的实践范畴[5],既有先前相关规定的实践基础,也颇具创新性思维。

## 2 我国适用林业碳汇修复方式的现实问题检视

### 2.1 部分法院适用林业碳汇修复方式的做法不科学

目前,林业碳汇修复方式已在司法裁判中全面铺开适用,以处理森林资源类案件。但由于各级法院对《解释》相关规定的理解程度受限,实践中部分

法院偏离《解释》的立法目的,不科学适用该方式的情况时有发生,主要表现在法院适用该方式背后的顺位排序与程序选择上。具体而言,在案件审理过程中,部分法院会忽视原地或异地“补植复绿”等实施效果更好的修复措施,或忽视当事人意愿强行科以当事人碳汇认购义务,直接适用林业碳汇修复措施,继而导致生态环境损害发生地损害未得到完全填补,以及司法公信力受损等负面效应现象出现[6]。究其原因,首先从制度文本角度分析,一方面,《解释》的效力层级不高、权威性不足,在司法实践操作中或难以得到司法机关的充分重视与严格践行;另一方面,《解释》围绕林业碳汇修复方式的规定相较于司法实践中的复杂案情而言较为空泛简单,加之林业碳汇的性质、权属等上游问题尚未得到法律的明确规定,都掣肘着林业碳汇修复方式实效的发挥[7]。其次,从司法实践角度分析,部分法院在审理过程中经常会受国家政策影响,为审判便利考虑,将顺位排序与程序选择的重点置于方式适用是否简便易行、是否能迎合政策热点上,而忽视其他具有可行性且修复效果更好的方式而盲目适用林业碳汇修复方式,在这种背景下,生态修复效果不如人意的结果便在所难免。

### 2.2 林业碳汇损失核算的标准体系缺位

对林业碳汇修复案件进行“类案同判”及“具体案件具体分析”是森林资源类案件审理的基本要求,但我国目前尚未就碳汇损失核算问题建立起标准体系,各地法院在进行碳汇损失价值量化评估时所采取的做法大相径庭,并诱发了司法实践中的问题产生。如“类案不同判”问题,表现为同一地域间案情相似的案件,由不同法院审理时所判罚的碳汇认购金数额存在差异的情况;再如“个案审判释法说理不到位”问题,表现为不同案件由于森林资源特点不同,导致法院判罚时对作案行为表面相似的当事人判罚了不同程度的碳汇认购金,但裁判文书释法说理不足,难以得到当事人认可的情况。解决以上问题,必须对碳汇损失核算标准体系缺位的原因刨根问底,其中最重要的原因在于林业碳汇的价值认定本身便不具有明确的规律性,森林资源类案件所牵涉的林木会因所处地域、地貌,或是树龄、树种等因素的差别,导致碳吸收功能存在高低之分[8]。另外,目前司法系统内部无原则性核算标准为审判工作提供参照指导;加之法院审判人员的专业能力与时间精力有限,法院有时会基于成本效益考虑,跳过专业机构、相关部门辅助而自行进行损失量化评估[9],同样不利于林业碳汇损失核算标准体系的探索建构以及引发问题的防范,林业碳汇损失计量核算标准体系建设仍任重道远。

### 2.3 对林业碳汇修复裁判的执行与监督困难

当事人缴纳的碳汇认购金能否真正用于碳汇修复实践、充分转化为生态修复效果,是林业碳汇修复方式是否能够充分发挥实效的评判标准。检视目前林业碳汇修复方式的价值发挥实况能够发现,其价值发挥经常被林业碳汇修复裁判的执行与监督难题掣肘。换而言之,在实践中不够健全通畅的林业碳汇交易配套机制限制了林业碳汇修复裁判结果的执行;同时,碳汇认购金用于生态修复的过程监督体系不健全,会引发碳汇认购金被挪用、滥用等风险产生,这种情况下被损害的生态环境自然难以恢复到损害发生前的状态与服务功能。通过探寻症结所在能够发现,其中执行难的原因主要在于我国林业碳汇交易市场体系庞大,除国家核证自愿减排量(CCER)外,北京、福建等省市根据地区情况也注册了碳汇项目,各项目所属的交易市场、认证方式等因素并不统一[10]。面对现实状况,当前法律却无明确规定修复裁判的执行问题,《解释》也仅规定了碳汇认购的适用要求,未提及碳汇认购金用于生态环境修复的具体方式方法,各地法院只能依靠经验探索,执行效果难免会受影响[11]。而监督难的问题也缘于法律与《解释》未构建起对裁判执行过程的监督机制,实践中尚未形成科学完备的评价标准供相关部门与社会公众参照监督,碳汇修复裁判执行过程的规范化与透明化更加难以保证。

### 2.4 碳汇修复方式适用范围的扩张空间失序

目前林业碳汇修复方式在司法系统中引发的热点效应已不局限于影响森林资源类案件的审理裁判,已被部分法院适用于湿地、草地生态环境破坏案件中,甚至被扩张适用至非法狩猎、非法采砂等其他案件中[12]。湿地、草地生态环境破坏案件与森林资源类案件均涉及碳汇损失问题,在实践中采取类推适用的方式适用碳汇修复责任情有可原;但在非法狩猎、非法采砂等不存在碳汇损失的案件中适用该责任的举措略显激进,可能会导致此类案件中修复效果更好的方式被忽略,造成碳汇修复效果无法填补损害,损害发生地生态环境恶化状况难以改善等问题。司法实践中之所以会出现适用范围扩张空间失序的问题,首要原因在于无论是法律、《解释》,还是当前实践,均未对碳汇修复方式规定明确的适用范围,也并未对方式的扩张适用采取明确的禁止或

反对态度,各级法院在是否能够在其他案件中适用该方式的选择上拥有比较宽松的门槛;另外,实现双碳目标是当前的政策导向,各级法院积极响应政策号召,在司法实践中贯彻双碳目标已形成潮流,在此背景下部分法院对碳汇修复方式难免会产生不合理的制度认知偏差,容易忽视生态环境修复的客观规律或忽视地方实际,而盲目适用碳汇修复责任。

## 3 我国适用林业碳汇修复方式的规范化发展策略

### 3.1 研究出台细化性规定并推动相关立法

林业碳汇修复方式的规范化发展,要求不断制定完善包括法律法规、司法解释、工作指引等在内的各类规范性文件。首先应加紧推动林业碳汇的法律化进程,通过法律法规明确规定林业碳汇的性质、权属、认定标准、交易规则等事项,为林业碳汇修复方式的司法适用提供前提性法制保障,缓解林业碳汇交易实践难题[13]。其次应对司法实践中反馈出的问题及时回应,围绕林业碳汇修复现有规范逐步完善司法解释、制定工作指引等细化性规定。具体而言,司法机关可通过司法解释等形式明确规定林业碳汇修复方式的适用条件、适用程序、适用范围等内容,以化解空泛简单的《解释》规定难以满足司法实践复杂需要的矛盾,为林业碳汇修复案件的审理提供更为具体的指导,进而减少不规范适用林业碳汇修复方式的乱象;与此同时,各省市司法机关应因地制宜,结合地方生态环境保护实际制定工作指引,为本地域内林业碳汇修复案件的审理提供工作思路。最后当司法实践经验积累成熟时,相关国家机关可组织理论与实务专家将林业碳汇修复方式适用的各类规定纳入《森林法》等法律法规[14],或就专门制定法律法规等问题进行探讨论证,创制林业碳汇修复方式的法律规定,规范司法适用实践样态。

### 3.2 明确林业碳汇修复方式的适用要求

科学解读《解释》规定,明确林业碳汇修复方式的适用要求,对推动林业碳汇修复方式实践的规范化发展同样重要,以《解释》第 20 条为分析对象,提出对林业碳汇修复方式的适用要求解读如下,以供实践参考。

#### 3.2.1 明确可供认购的林业碳汇类型

《解释》规定应认购经核证的的林业碳汇,但实践中也存在着未经核证但经地方林业部门备案的碳汇项目,对这类项目司法机关可以项目能否保障交易规范化、合法化为标准,对符合标准的地方碳汇项目予以认可[15]。

#### 3.2.2 综合考虑不同修复方式的合理性

考量因素可以包括修复效果、可行性与必要性等方面,各地法院应首先考虑修复效果优劣,优先适用效果最佳的原地补植复绿方式,只有当原地补植复绿存在技术难题或经济成本过高无法实施时才可以适用其他替代修复措施;替代修复措施内部同样应优先考虑修复效果更好的异地补植复绿方式,只有当异地补植复绿也存在经济成本过高或补植复绿点过远等条件限制时才可适用林业碳汇修复方式,即应将林业碳汇修复方式置于适用的最后顺位[16]。

#### 3.2.3 依法完成林业碳汇认购程序

各地法院应在案件符合碳汇认购要求时,引导而非强迫当事人履行碳汇认购义务;应在认购程序中将碳汇损失价值量、所认购碳汇项目、须缴纳的认购金数额等信息充分告知当事人;应做好对裁判结果的解释说明工作,以促进林业碳汇修复方式的规范化适用。

### 3.3 建立林业碳汇损失核算标准体系

林业碳汇损失核算标准体系的建立,是规范林业碳汇修复方式司法适用的重要举措[17],也是“类案不同判”等问题的破局之道。在中央层面,最高人民法院、国家林业局等主体应组织专家学者围绕林业碳汇损失核算标准制定展开研讨,研究出台一套既符合林业碳汇损失核算一般规律,又能根据地区实际适时调整的原则性核算标准,以指导碳汇认购实践。在地方层面,各地可以根据中央发布的原则性核算标准,结合地区森林资源实际状况与司法工作经验,制定符合当地碳汇修复案件审理实际的核算标准[18]。须强调的是,中央部门对地方制定或适用的损失核算标准应加强监督指导,可以派驻专家全程参与标准制定工作,以确保各地制定的核算计量标准的整体统一性。另外,核算标准体系形成后,司法工作人员及相关从业人员应加强对核算标准体系等相关内容的学习,提升利用碳汇认购方式进行生态修复工作的质量与效果,以防范因核算标准混乱而引发的各类乱象。

### 3.4 健全林业碳汇认购的执行与监督机制

当事人缴纳的碳汇认购金真正用于碳汇修复实践,是林业碳汇修复方式的最终价值归属,为避免碳汇认购金不合理使用等情况出现,须搭建“司法机关主导执行碳汇交易,行政机关、交易平台与社会公众协同配合监督”的工作模式,最大程度地扫清碳

汇修复工作可能遇到的障碍,推动受损的林业生态环境得到有效修复[19]。首先,在执行层面,司法机关应在各类规范性文件指导下,结合司法实践现状,统筹协调碳汇修复裁判后续交易工作;林业主管部门及其他行政机关应为林业碳汇交易提供便利条件,并引导地方林业碳汇项目融入全国市场,以解决碳汇修复裁判执行难的问题;碳汇交易平台等其他主体也应为林业碳汇修复裁判的执行专门研判科学的工作方法。其次,在监督层面,除各国家机关加强自我监督、内部监督外,邀请社会公众对碳汇修复案件的审理、执行工作展开社会监督同样重要,各地可以司法机关为主导,结合实践现状商讨出细化的监督方案。无论是监督还是执行工作,碳汇认购金制度的建立都格外关键,可以设置碳汇认购金专门账户[20],在认购金使用时坚持"专款专用"与"公开透明"原则,严格要求使用者对认购金使用范围与资金管理等问题进行说明,以便于能够实现对碳汇认购金用途与流向的全面实时监管,确保认购金真正用于生态环境修复实践。

### 3.5 厘清碳汇修复方式的适用范围边界

碳汇修复方式适用的增汇价值决定了其在适用范围上应具有限定性,因此,必须厘清碳汇修复方式适用范围扩张的边界,才能够保障制度未来的规范化发展。实践中可以案件是否存在"碳汇损失"为标准,划分出能够适用碳汇修复方式的案件,并通过立法或司法解释的方式明确规定,以规范司法机关的审理实践[21]。可以明确除森林资源类案件外,湿地、土壤、草地甚至是海洋等生态环境破坏案件因生态系统具备的固碳增汇能力,可被纳入碳汇修复方式的适用范围。还应明确对不存在碳汇损失的生态环境案件,如非法狩猎、非法采砂等案件不应适用碳汇修复方式,原因在于此类案件所侵害的法益是国家所保护的野生动物资源或矿产资源,并不存在碳汇损失,因此适用碳汇修复方式不能满足损失填补原则,无法有效填补案件本身带来的法益损失,长远来看,对生态系统的总体平衡同样不利。司法实践中应克服政策导向带来的认知偏差,严格依照碳汇修复方式的适用范围边界处理相关案件,以推动司法机关以合理修复方式弥补生态环境损害。

## 4 结 语

林业碳汇修复作为司法服务"双碳"目标实现的创新机制,在替代修复方式中引入了市场机制[22],符合法理和现有法律规定,是恢复性司法理念在林业生态环境修复司法中的体现,能够切实推动林业生态环境可持续发展,理应被科学适用与规范发展。当前实践中掣肘林业碳汇修复方式发展的因素贯穿司法审判与执行的全过程,突出表现在部分法院适用林业碳汇修复方式不科学、林业碳汇损失核算标准体系缺位、对林业碳汇修复裁判的执行与监督困难以及责任适用范围扩张空间失序等方面。克服实践难题,推动林业碳汇修复方式规范化发展的要义在于坚持问题导向,研究出台细化性规定并推动相关立法以指导司法实践,同时在实践中明确林业碳汇修复方式的适用要求,建立林业碳汇损失核算标准体系,健全碳汇认购的执行与监督机制,以破解碳汇认购司法实践及执行工作中的难题,助力林业生态环境可持续发展。总览环境资源类案件全局,对碳汇修复方式适用范围进行"存在碳汇损失"标准限定也是实现其规范化发展,保障司法服务"双碳"目标实现的重点。

## 参考文献:

[1] 秦国伟. 碳达峰碳中和背景下中国林业碳汇的发展困境与路径选择[J]. 改革与战略,2023,39(3):118-131.
[2] 杨临萍,刘竹梅,刘小飞,等.《最高人民法院关于审理森林资源民事纠纷案件适用法律若干问题的解释》的理解与适用[J]. 法律适用,2022(7):3-10.
[3] 徐军,钟友琴. 恢复性司法在生态环境刑罚中的定位重构[J]. 环境污染与防治,2022,44(4):552-556.
[4] 秦天宝,王亚琪. 购买碳汇修复生态责任承担方式的司法适用[J]. 法律适用,2023(1):106-117.
[5] 刘超."双碳"目标下蓝碳司法机制的法理审视与完善建议[J]. 环境保护,2023(6):20-25.
[6] 张宝,殷佳伟. 替代性修复责任司法适用的反思与调适[J]. 南京工业大学学报(社会科学版),2022,21(4):49-59,115.
[7] 卢维善. 试论森林碳汇司法修复裁判之路径[C]//《上海法学研究》集刊2023年第1卷——司法改革与民事诉讼文集. 上海:上海市法学会,2023.
[8] 邹丽梅,任玲羽. 认购林业碳汇替代履行生态环境修复责任问题探析[J]. 世界林业研究,2023,36(4):127-131.
[9] 龙乔. 我国林业碳汇交易法律制度的完善路径研究[J]. 林业调查规划,2023,48(1):110-113,130.
[10] 晋海,刘新虎. 碳中和战略下林业碳汇引入生态修复司法之效能探究[J]. 林业调查规划,2023,48(3):130-136.
[11] 曹先磊,程宝栋. 中国林业碳汇核证减排量项目市场发展的现状、问题与建议[J]. 环境保护,2018,46(15):27-34.

(下转第55页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.008

# 云南省自然保护地整合优化结果与分析

罗怀秀,徐吉洪,华朝朗,杨忠兴,陶 晶, 俞 瑶
(云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051)

**摘要**:在开展自然保护地调查评估、保护空缺分析的基础上,根据整合优化规则,对云南省自然保护地进行优化整合。结果显示,云南省纳入整合优化的自然保护地共有 6 类 324 个,整合优化过程中被归并 98 个、被转型 37 个、被拆分 1 个、撤销 16 个,整合优化后,全省自然保护地共 225 个,总面积 485.86 万$hm^2$,占全省土地总面积的 12.68%,与整合前实际净占地面积 469.89 万$hm^2$ 相比,净增面积 15.97 万$hm^2$,占比增加 0.42%。整合优化实现了保护强度不降低、保护性质不改变、保护面积不减少的目标,将提升自然保护地生态系统质量,提高生物多样性保护水平,优化自然保护地空间分布格局,夯实自然保护地监督管理基础,促进构建国土空间保护利用新格局。

**关键词**:自然保护地;国家公园;自然保护区;自然公园;整合优化;云南省

**中图分类号**:X36 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0045-11

**引文格式**:罗怀秀,徐吉洪,华朝朗,等. 云南省自然保护地整合优化结果与分析[J]. 林业调查规划,2025,50(1):45-55. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.008

LUO Huaixiu, XU Jihong, HUA Chaolang, et al. Results and Analysis of Integration and Optimization of Natural Protected Areas in Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 45-55. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.008

# Results and Analysis of Integration and Optimization of Natural Protected Areas in Yunnan Province

LUO Huaixiu, XU Jihong, HUA Chaolang, YANG Zhongxing, TAO Jing, YU Yao
(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

**Abstract**: Based on the investigation and evaluation of natural protected areas and analysis of protection gaps, this paper studied the integration and optimization of natural protected areas in Yunnan Province according to the related rules. The results showed that there were a total of 324 natural protected areas in 6 categories included in the integration and optimization in Yunnan. During the integration and optimization process, 98 areas were merged, 37 areas were transformed, 1 areas was split, and 16 areas were revoked. After the integration and optimization, 225 natural protected areas were preserved in Yunnan, with a total area of 4.858 6 million $hm^2$, accounting for 12.68% of the province's land area. Compared with the actual net land area before the integration, the net increase area was 159 700 $hm^2$, accounting for 0.42% of the total land area. The integration and optimization achieved the goals of not reducing the intensity of protection, not changing the nature of protection, and not reducing the area of protection,

**收稿日期**:2023-10-23;**修回日期**:2024-03-29
**基金项目**:云南省科技厅 2023 年第二批科技成果转化专项资金(530000231100001753720).
**第一作者**:罗怀秀(1988-),女,硕士,工程师. 主要从事自然保护地研究监测工作. Email:lhxluohuaixiu@163.com
**责任作者**:俞瑶(1989-),女,硕士,工程师. 主要从事自然保护地研究监测工作. Email:natsu525@126.com

which improved the quality of the ecological system and the level of biodiversity protection, optimized the spatial distribution pattern, consolidated the foundation of supervision and management in natural protected areas, and promoted the construction of a new pattern of land spatial development and protection.

**Key words**: natural protected areas; national park; nature reserve; natural park; integration and optimization; Yunnan Province

云南省地处我国西南边陲,是中国生物多样性最为丰富的省份[1]。自1958年建立第一个自然保护区以来,云南省一直致力于生物多样性保护,在全国较早发布省级《生物多样性保护战略与行动计划(2012—2030年)》,率先试点建设国家公园,较早开展县域生物多样性本底调查与评估研究工作,建立了首个国家级野生生物种质资源库等,在就地保护、迁地保护、重大生态工程等众多领域均取得显著成效[2]。经过60多年的发展,云南省已建立数量众多、类型丰富、功能多样的各级各类自然保护地[3],有效保护了生物多样性、保存了自然遗产、改善了生态环境质量、维护了国家生态安全[4-5],但也存在空间布局不合理、范围交叉重叠、边界不明确、管理体制不健全、历史遗留问题和现实矛盾冲突等问题[6-7]。基于自然保护地现存的各类问题,云南省于2019年开展了"以国家公园为主体的自然保护地体系研究",率先提出自然保护地分类指标体系[8]。为解决上述问题,迫切需要对自然保护地范围及功能分区进行优化调整,同时对各类自然保护地进行整合优化[9]。

党中央、国务院高度重视生态文明建设,将构建科学合理的自然保护地体系作为新时代生态文明建设重要任务[10],自然保护地体系建设成为落实生态文明的核心措施[11]。2019年6月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》,明确提出到2025年完成自然保护地整合归并优化,2035年全面建成中国特色自然保护地体系的战略目标[12];2019年10月,印发《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》,要求对自然保护地进行调整优化,评估调整后的自然保护地划入生态保护红线,并做到生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界不重叠[13]。自然保护地整合优化是我国重构自然保护地体系、衔接三条控制线划定、完善国土空间规划的重要举措[9],是推动建立分类科学、布局合理、保护有力、管理有效的自然保护地体系的关键路径[14]。加快做好自然保护地整合优化工作,是全面贯彻落实《指导意见》、推进构建自然保护地体系各方面工作顺利开展的前提条件。为夯实自然保护地整合优化工作基础,2019年10月25日,国家林草局办公室印发《关于启动自然保护地整合优化前期工作的通知》,要求以省(区、市)为单位,由林业和草原、自然资源、生态环境等相关部门统一组织联合专业调查组开展调查评估。2020年2月,自然资源部、国家林草局启动自然保护地整合优化工作,印发《关于做好自然保护区范围及功能分区优化调整前期有关工作的函》[15],部署各地开展整合优化前期工作并编制上报《自然保护地调整预案》。云南省根据国家相关要求,通过开展自然保护地调查评估、保护空缺分析、制定整合优化规则等,于2023年4月完成了自然保护地整合优化工作。在梳理云南省上报的自然保护地整合优化结果的基础上,对整合优化结果进行系统分析,旨在为下一步建立以国家公园为主体的自然保护地体系提供支撑。

## 1 自然保护地现状

### 1.1 建设现状

通过调查摸底,截至2020年4月整合优化工作启动之时,云南省纳入整合优化的自然保护地共有自然保护区、风景名胜区、森林公园、地质公园、湿地公园、沙漠(石漠)公园6类324个,矢量总面积536.46万$hm^2$,占全省土地总面积的14.00%。按照国家要求,香格里拉普达措国家公园体制试点区不参与整合优化,直接纳入整合优化后结果。根据空间叠加分析,云南省自然保护地交叉重叠面积66.57万$hm^2$,占自然保护地矢量总面积的12.41%,涉及自然保护地208个,占总数的64.20%,剔除交叉重叠后实际净占地面积469.89万$hm^2$,占全省土地总面积的12.26%。

纳入整合优化的自然保护地数量、面积统计见表1,整合优化前自然保护地分布情况见图1。

### 1.2 存在问题

云南省在自然保护地建设和管理过程中存在4个方面的问题,严重制约了自然保护地的建设和管理。

表 1　纳入整合优化的自然保护地数量、面积统计

Tab. 1　Quantity and area statistics of natural protected areas included in integration and optimization

| 类型 | 国家级 | | 省级 | | 州、县级 | | 合计 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 数量/个 | 面积/hm$^2$ | 数量/个 | 面积/hm$^2$ | 数量/个 | 面积/hm$^2$ | 数量/个 | 面积/hm$^2$ |
| 自然保护区 | 21 | 152. 17 | 38 | 67. 76 | 105 | 68. 09 | 164 | 288. 02 |
| 风景名胜区 | 12 | 142. 38 | 54 | 53. 74 | | | 66 | 196. 12 |
| 森林公园 | 32 | 14. 42 | 15 | 3. 29 | 10 | 0. 17 | 57 | 17. 88 |
| 地质公园 | 12 | 26. 29 | 1 | 1. 11 | | | 13 | 27. 40 |
| 湿地公园 | 18 | 5. 93 | 1 | 0. 04 | | | 19 | 5. 97 |
| 沙漠(石漠)公园 | 5 | 1. 07 | | | | | 5 | 1. 07 |
| 合计 | 100 | 342. 26 | 109 | 125. 94 | 115 | 68. 26 | 324 | 536. 46 |

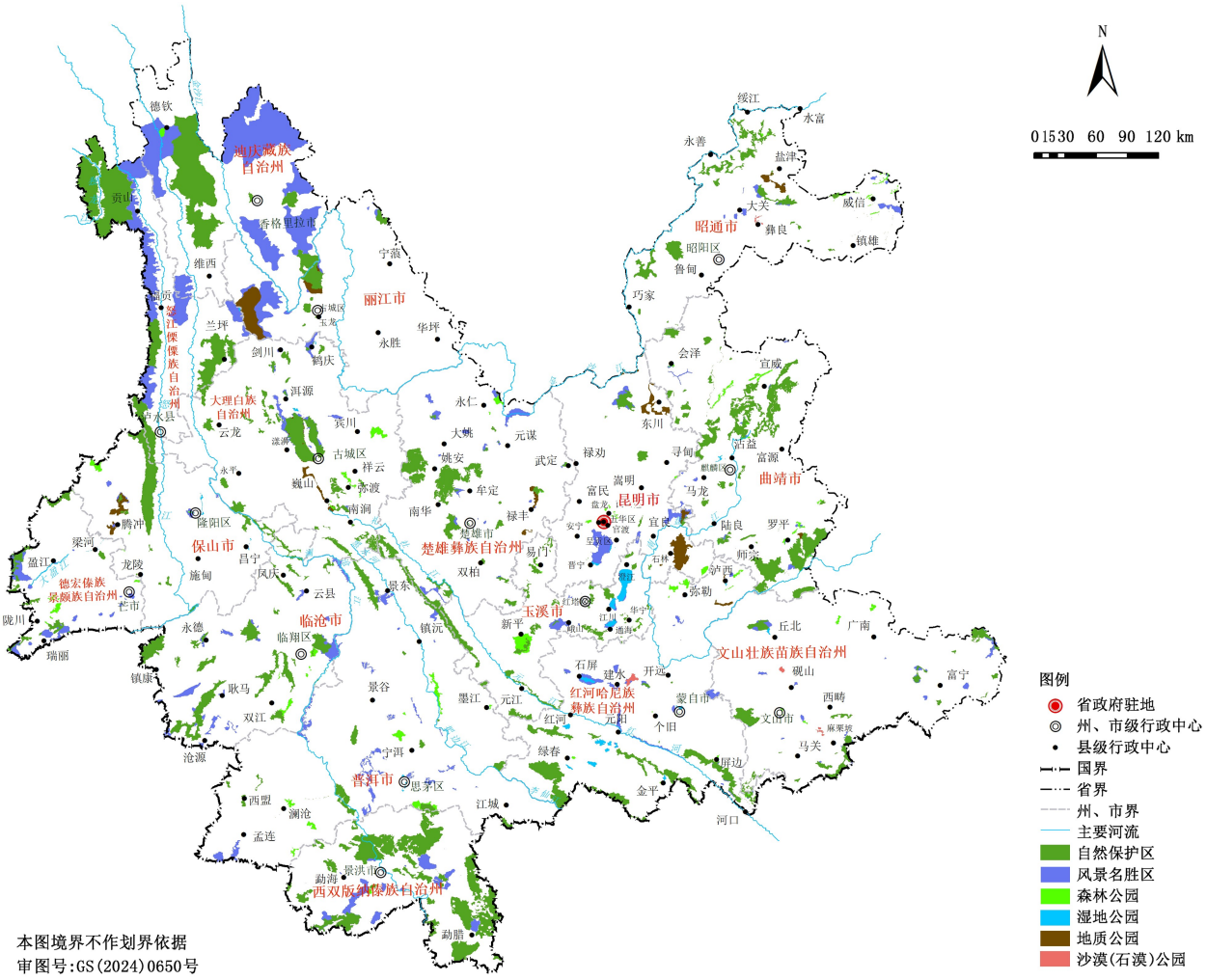



图 1　整合优化前自然保护地分布

Fig. 1　Distribution of natural protected areas before integration and optimization

(1)边界底数范围不清,部分自然保护地自设立以来从未勘定边界、真正落地;(2)缺乏全省自然保护地的整体规划,自然保护地重叠设置、多头管理现象普遍,存在范围交叉重叠,空间布局不尽合理等;(3)矛盾冲突点多面广,全省自然保护地内涉及人口 168. 58 万、耕地 21. 89 万hm$^2$、人工商品林 13. 51

万$hm^2$、矿业权 10.34 万$hm^2$、开发区 0.15 万$hm^2$、城镇 1.43 万$hm^2$、村庄 1.63 万$hm^2$;(4)自然保护地建设和管理经费投入不足,影响管理成效。

## 2 整合优化方法

### 2.1 开展调查评估

根据《云南省自然保护地调查评估技术规范》,在收集自然保护地矢量数据和相关资料的基础上,核实自然保护地范围和功能区情况,调查自然保护地资源现状、管理体制、基础设施、科研监测以及存在问题等,并对自然保护地进行综合评估。

### 2.2 保护空缺分析

根据《云南省自然保护地空缺分析技术指南》,按照生态系统重要性、物种重要性、生态区位重要性、生态脆弱性、景观价值等6项指标对全省森林、湿地、草原等自然区域进行分析,评判出全省4个级别的保护优先性区域,依次为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级,并将分析结果与现有自然保护地界线进行GAP分析,提取未与现有自然保护地重叠的区域,即为保护空缺区域。其中Ⅰ级优先纳入国家公园或自然保护区,Ⅱ级优先纳入自然保护区或自然公园,Ⅲ级作为保护发展规划备选区域,Ⅳ级原则上不纳入自然保护地。

### 2.3 分类分级原则

#### 2.3.1 国家公园

依托现有自然保护地以及保护空缺区域,优先将符合国家公园标准的区域划为国家公园,范围内的其他自然保护地不再保留原有名称。主要包括国家公园体制试点区、国家级自然保护地以及Ⅰ级保护空缺区域。国家公园划分为核心保护区和一般控制区。

#### 2.3.2 自然保护区

依托现有自然保护地以及保护空缺区域,主要将未纳入国家公园范围的原有自然保护区,与自然保护区相连的Ⅰ级、Ⅱ级保护空缺区域,以及资源价值较高的自然公园,划入自然保护区范围。按照资源禀赋,划分为国家级、地方级两个级别。自然保护区划分为核心保护区和一般控制区。

#### 2.3.3 自然公园

依托现有自然保护地以及保护空缺区域,主要将未纳入国家公园、自然保护区范围的原有各类自然保护地,以及具有生态、观赏、文化和科学价值,适合可持续利用的Ⅱ、Ⅲ级保护空缺区域纳入自然公园。按照资源禀赋,划分为国家级、地方级两个级别;按照资源类型,划分为森林公园、地质公园、湿地公园、草原公园等类型。自然公园划为一般控制区。

### 2.4 整合归并规则

以保持生态系统多样性、原真性、完整性为目标,遵从保护面积不减少、保护强度不降低、保护性质不改变的要求,按照同级别保护强度优先、不同级别低级别服从高级别的原则,对交叉重叠、相邻相连的自然保护地进行整合,或结合资源禀赋、发展目标、管理基础等实际情况,进行合理拆分归并,做到一个区域只有一个自然保护地、一套机构、一块牌子。

#### 2.4.1 国家公园

国家公园体制试点区内现有自然保护地纳入国家公园管理。现有自然保护地与国家公园体制试点区完全重叠的,不再保留。现有自然保护地与国家公园体制试点区部分重叠的,重叠部分纳入国家公园管理;不重叠部分经科学评估后,可以保留、撤销、转为其他类型自然保护地或并入相邻的自然保护地。

#### 2.4.2 自然保护区

国家级自然保护区与国家级风景名胜区交叉重叠的,经科学评估后可以进行合理拆分、各自保留;与其他自然保护地交叉重叠的,优先保留国家级自然保护区。省级自然保护区与省级及以下其他自然保护地重叠的,优先保留省级自然保护区。

#### 2.4.3 自然公园

风景名胜区、森林公园、地质公园、湿地公园、沙漠(石漠)公园相互交叉重叠的,原则上由设立审批层级高的整合级别低的,特殊情况下可根据实际情况进行整合归并或合理拆分。考虑到风景名胜区的特殊性,其生态功能极重要、生态环境极脆弱的区域划入生态保护红线,其人文设施密集或开发利用强度大的区域不划入生态保护红线,按《风景名胜区条例》进行管理。

## 3 整合优化结果

### 3.1 分类分级

整合优化后,云南省共有225个自然保护地,总面积485.86万$hm^2$,占全省土地总面积的12.68%。其中国家公园1个,面积6.00万$hm^2$,占自然保护地总面积的1.23%;自然保护区67个,总面积232.08万$hm^2$,占47.77%;自然公园157个,总面积247.78万$hm^2$,占51.00%。整合优化后自然保护地分类分级情况见图2,自然保护地分布情况见图3。

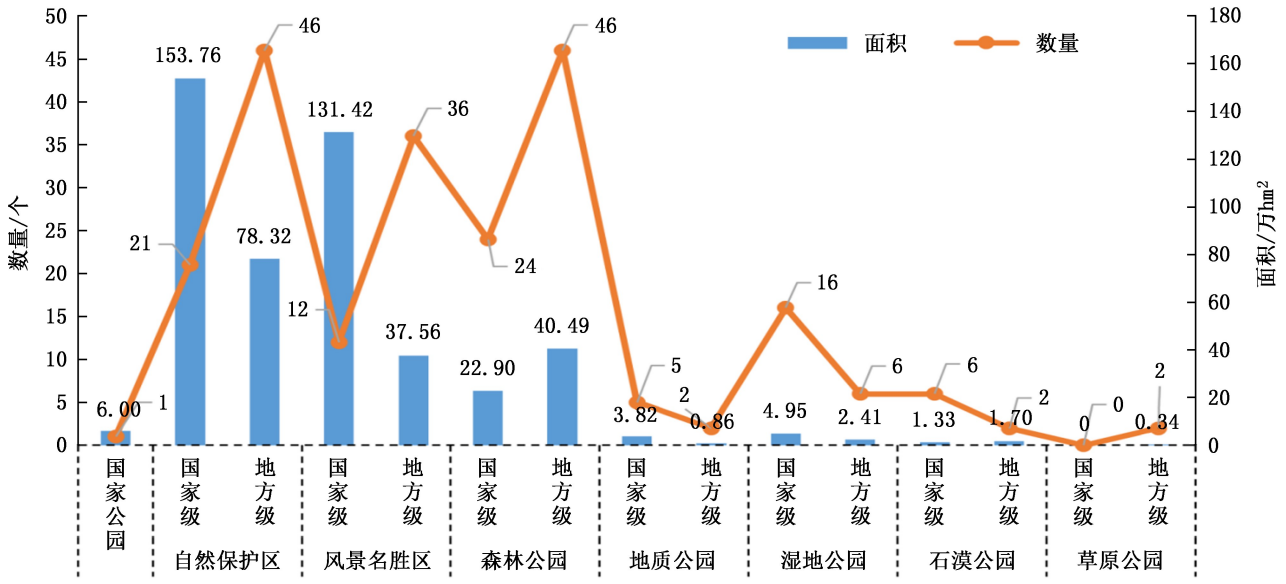



图 2　整合优化后自然保护地分类分级

**Fig. 2　Classification and grading of natural protected areas after integration and optimization**

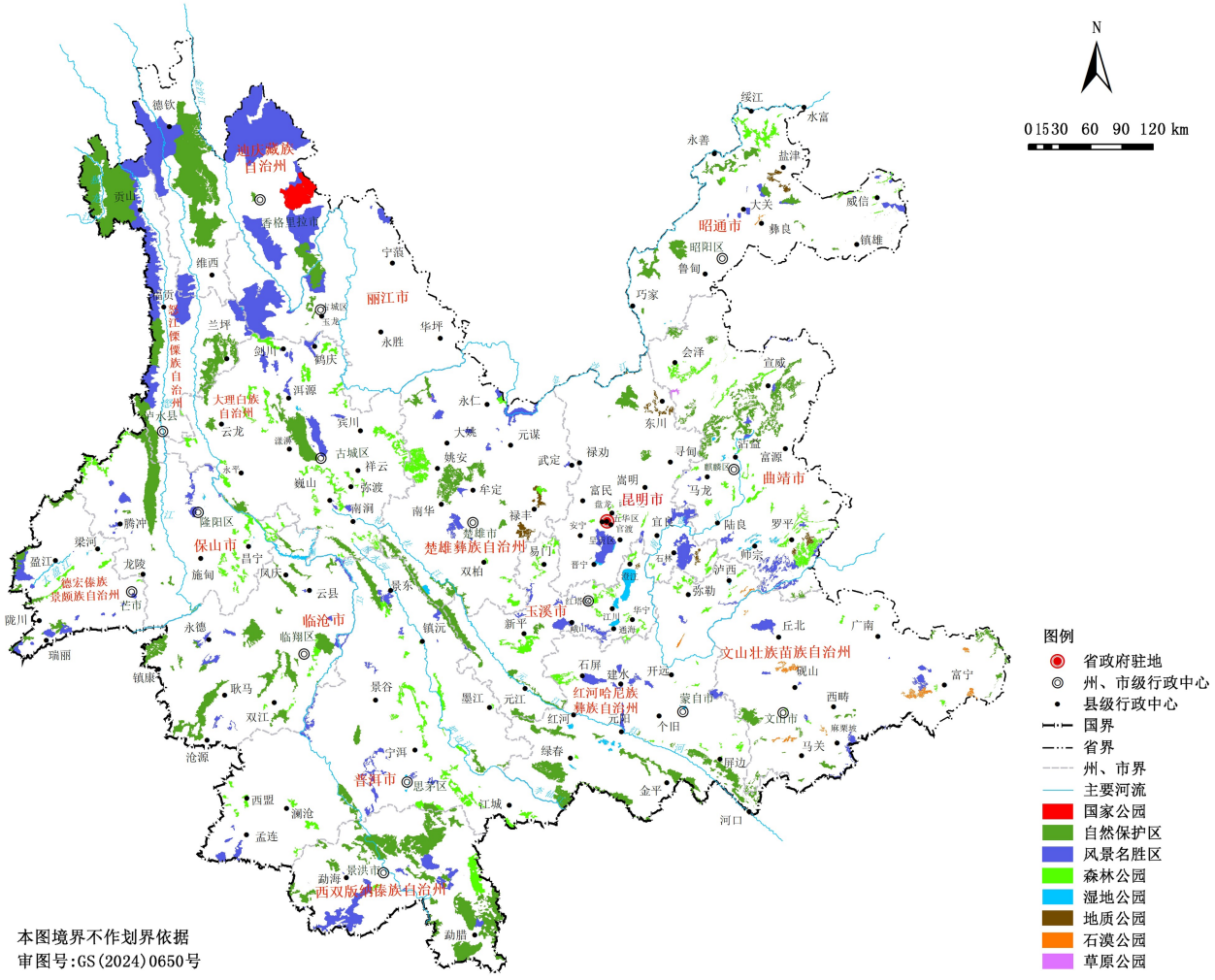



图 3　整合优化后自然保护地分布

**Fig. 3　Distribution of natural protected areas after integration and optimization**

### 3.2 分区管控

云南省自然保护地核心保护区面积 151.85 万 $hm^2$，占自然保护地总面积的 31.25%，其中国家公园 3.21 万$hm^2$、自然保护区 148.64 万$hm^2$；一般控制区面积 334.01 万$hm^2$，占自然保护地总面积的 68.75%。

### 3.3 整合归并

云南省共有 98 个自然保护地被整合归并，不再保留。其中，75 个自然保护地被整体并入其他自然保护地，23 个自然保护地被拆分后并入其他自然保护地。被归并数量和面积占比最高的保护地类型为地质公园，分别为 61.54%、72.42%，被归并数量占比最低的为湿地公园 10.53%，被归并面积占比最低的为自然保护区 7.45%。自然保护地被归并数量、面积及占比情况见表 2。

**表 2 自然保护地被归并数量、面积及占比**

**Tab. 2 Statistics of quantity, area, and proportion of merged natural protected areas**

| 类型 | | 国家级自然保护地 | | 省级自然保护地 | | 州、县自然保护地 | | 合计 | 同类型自然保护地占比/% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 被归并 | 同级自然保护地占比/% | 被归并 | 同级自然保护地占比/% | 被归并 | 同级自然保护地占比/% | | |
| 自然保护区 | 数量/个 | | | 9 | 23.68 | 45 | 42.86 | 54 | 32.93 |
| | 面积/万 $hm^2$ | | | 6.90 | 10.19 | 14.55 | 21.36 | 21.45 | 7.45 |
| 风景名胜区 | 数量/个 | | | 18 | 33.33 | | | 18 | 27.27 |
| | 面积/万 $hm^2$ | | | 15.79 | 29.38 | | | 15.79 | 8.05 |
| 森林公园 | 数量/个 | 11 | 34.38 | 3 | 20.00 | | | 14 | 24.56 |
| | 面积/万 $hm^2$ | 2.47 | 17.10 | 0.13 | 3.90 | | | 2.60 | 14.51 |
| 地质公园 | 数量/个 | 8 | 66.67 | | | | | 8 | 61.54 |
| | 面积/万 $hm^2$ | 19.84 | 75.46 | | | | | 19.84 | 72.42 |
| 湿地公园 | 数量/个 | 2 | 11.11 | | | | | 2 | 10.53 |
| | 面积/万 $hm^2$ | 0.47 | 7.90 | | | | | 0.47 | 7.85 |
| 沙漠(石漠)公园 | 数量/个 | 2 | 40.00 | | | | | 2 | 40.00 |
| | 面积/万 $hm^2$ | 0.41 | 38.80 | | | | | 0.41 | 38.80 |
| 合计 | 数量/个 | 23 | 23.00 | 30 | 27.52 | 45 | 39.13 | 98 | 30.25 |
| | 面积/万 $hm^2$ | 23.19 | 6.78 | 22.82 | 18.12 | 14.55 | 21.31 | 60.56 | 11.29 |

### 3.4 拟撤销

整合优化方案中，云南省拟撤销自然保护地 15 个，面积 3 786.70 $hm^2$。其中，自然保护区 7 个，包括州级 1 个、县级 6 个，面积共 2 876.01 $hm^2$；森林公园 8 个，包括省级 1 个、县级 7 个，面积共 910.69 $hm^2$。主要撤销理由：(1)位于城镇规划区或建成区，矛盾冲突严重；(2)人工林、耕地、村庄占比大，无明确保护对象和保护价值。

### 3.5 拟新建

整合优化拟在现有自然保护地外的原始林、重要生态系统、动植物集中分布区、海拔 3 600 m 以上生态脆弱、人类活动稀少的大部分保护空缺区域新建 72 个自然保护地，面积约 72.17 万$hm^2$，这些区域已划入生态保护红线，但不作为新建自然保护地纳入本次整合优化结果，今后待方案批准落地且管理条件成熟后，再按程序报批设立。

### 3.6 期间新建、撤销

整合优化期间(2020 年 4 月—2023 年 3 月)，云南省经依法依规批复新建的自然保护地 4 个，分别为云龙国家森林公园(5 860 $hm^2$)、泸西白石岩国家石漠公园(2 088.23 $hm^2$)、弥勒云峰山国家石漠公园(2 117.38 $hm^2$)、丘北舍得国家石漠公园(437.68 $hm^2$)；撤销的自然保护地 1 个，为红河启园州级森林公园(91.69 $hm^2$)。期间新建、撤销的自然保护地直接纳入本次整合优化结果。

### 3.7 调入和调出

#### 3.7.1 调入情况

云南省自然保护地共调入生态空间 64.85 万 $hm^2$。根据国土三调地类组成分析，共调入森林

58.32 万hm²、草地 2.83 万hm²、湿地 1.28 万hm²、冰川及永久积雪 0.30 万hm²,上述 4 类生态用地共计 62.73 万hm²,占调入总面积的 96.73%,占自然保护地总面积的 12.91%。

### 3.7.2 调出情况

整合优化拟从全省自然保护地调出 51.78 万hm²,包括耕地 12.89 万hm²、人工商品林 9.60 万hm²、矿业权 2.67 万hm²、开发区 0.35 万hm²、城镇 1.01 万hm²、村庄 1.95 万hm² 和项目设施用地 0.56 万hm²,以及部分权益纠纷地块和调出矛盾冲突连带的孤立、破碎地块等 22.75 万hm²。

## 3.8 整合优化前后自然保护地变化

### 3.8.1 数量变化

整合优化前,云南省自然保护地数量共 324 个,按整合优化方式统计,其中保留 172 个、被归并 98 个、被转型 37 个、被拆分 1 个、撤销 16 个(含整合优化期间撤销 1 个)。整合优化后,全省自然保护地数量共 225 个,其中保留的 172 个、转型(来)的 33 个、整合(来)的 15 个、整合优化期间新建的 4 个、直接纳入的 1 个。与整合优化前相比,自然保护地共减少 99 个,主要为州(市)、县(市、区)级自然保护地(表 3)。

**表 3　整合优化前后自然保护地数量变化**

**Tab. 3　Quantity changes of natural protected areas before and after integration and optimization**　　个

| 类型 | 整合前 | 整合方式 | | | | | 转型(来) | 整合(来) | 整合期间新建 | 整合优化期间撤销 | 直接纳入 | 整合后 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 保留 | 被归并 | 被转型 | 被拆分 | 撤销 | | | | | | |
| 国家公园 | | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| 自然保护区 | 164 | 66 | 54 | 37 | 0 | 7 | | 1 | | | | 67 |
| 风景名胜区 | 66 | 47 | 18 | 0 | 1 | 0 | 1 | | | | | 48 |
| 森林公园 | 57 | 34 | 14 | 0 | 0 | 8 | 28 | 7 | 1 | 1 | | 70 |
| 湿地公园 | 19 | 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | | | | 22 |
| 地质公园 | 13 | 5 | 8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | | | | 7 |
| 沙漠(石漠)公园 | 5 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | | 2 | 3 | | | 8 |
| 草原公园 | | | | | | | 1 | 1 | | | | 2 |
| 合计 | 324 | 172 | 98 | 37 | 1 | 15 | 33 | 15 | 4 | 1 | 1 | 225 |

### 3.8.2 面积变化

整合优化后,全省自然保护地总面积为 485.86 万hm²,占全省土地总面积的 12.68%,与整合前实际净占地面积 469.89 万hm² 相比,净增面积 15.97 万hm²,占全省土地总面积的比例增加 0.42%。各类自然保护地整合优化前后面积对比见图 4。

从图 4 可以看出,整合优化前的 6 种自然保护地类型在整合优化后均保留。国家级自然保护区、国家级森林公园、地方级森林公园、地方级湿地公园、国家级和地方级沙漠(石漠)公园面积均有所增加,其中地方级森林公园面积增加最多,为 37.03 万hm²。地方级自然保护区面积减少最多,为 57.53 万hm²,主要原因是整合优化前地方级自然保护区包含州、县级自然保护区,整合优化有 89 个州、县级自然保护区被归并、撤销或转型为其他类型的自然保护地,导致地方级自然保护区面积明显减少。

拟新建的自然保护地 72.17 万hm² 虽然未纳入本次整合优化结果,但相关区域已划入生态保护红线,待该部分自然保护地建成后,云南省自然保护地面积将达到 558.03 万hm²,占全省土地总面积比例将达 14.56%,提高了 2.30%。

## 3.9 整合优化前后各州(市)自然保护地变化

整合优化前后各州(市)自然保护地变化见表 4 和图 5。

整合优化后,自然保护地数量最多的为曲靖市和大理州,均为 26 个;数量最少的为丽江市和怒江州,均为 4 个。从图 5 可以看出,整合优化后各州(市)自然保护地数量均下降,其中大理州下降最明显,减少了 18 个,特别是苍山洱海区域与大理风景名胜区重叠的自然保护地;其次是红河州、曲靖市、玉溪市,分别减少 15、12 和 10 个。主要原因为上述 4 个州(市)的州、县级自然保护地多,且大多存在空间交叉重叠的情况,本次整合优化均进行了归并、整合和撤销处理,使得各州(市)的自然保护地分布更趋于合理化。

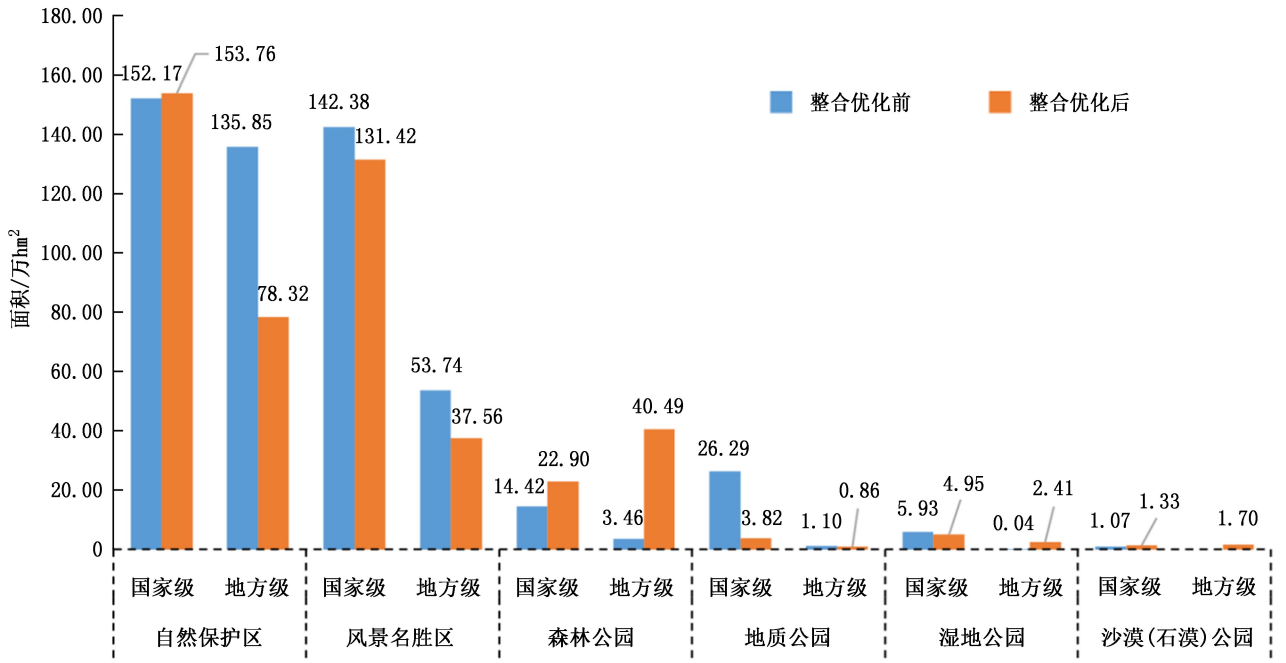



**图 4　各类自然保护地整合优化前后面积对比**

**Fig. 4　Area comparison of natural protected areas before and after integration and optimization**

**表 4　整合优化前后各州(市)自然保护地变化**

**Tab. 4　Changes of natural protected areas in prefectures (cities) before and after integration and optimization**

| 州(市) | 整合前 | | | 整合后 | | | 变化值 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 数量/个 | 面积(去重)/万hm² | 占比/% | 数量/个 | 面积(去重)/万hm² | 占比/% | 数量/个 | 面积(去重)/万hm² | 占比/% |
| 昆明市 | 20 | 15.14 | 7.20 | 17 | 14.81 | 7.05 | -3 | -0.33 | -0.15 |
| 曲靖市 | 38 | 34.05 | 11.77 | 26 | 31.37 | 10.84 | -12 | -2.68 | -0.93 |
| 玉溪市 | 27 | 17.67 | 11.83 | 17 | 18.29 | 12.24 | -10 | 0.62 | 0.41 |
| 保山市 | 12 | 13.84 | 7.26 | 9 | 18.50 | 9.71 | -3 | 4.66 | 2.45 |
| 昭通市 | 22 | 15.07 | 6.72 | 16 | 15.14 | 6.75 | -6 | 0.07 | 0.03 |
| 丽江市 | 7 | 18.01 | 8.76 | 4 | 17.74 | 8.63 | -3 | -0.27 | -0.13 |
| 普洱市 | 29 | 21.95 | 4.96 | 22 | 28.04 | 6.33 | -7 | 6.09 | 1.37 |
| 临沧市 | 13 | 27.49 | 11.64 | 11 | 26.33 | 11.15 | -2 | -1.16 | -0.49 |
| 楚雄州 | 30 | 24.28 | 8.54 | 21 | 26.12 | 9.19 | -9 | 1.84 | 0.65 |
| 红河州 | 37 | 26.57 | 8.26 | 22 | 27.04 | 8.40 | -15 | 0.47 | 0.14 |
| 文山州 | 20 | 13.50 | 4.30 | 17 | 14.10 | 4.49 | -3 | 0.60 | 0.19 |
| 西双版纳州 | 12 | 49.56 | 25.95 | 8 | 48.18 | 25.23 | -4 | -1.38 | -0.72 |
| 大理州 | 44 | 24.12 | 8.52 | 26 | 29.40 | 10.39 | -18 | 5.28 | 1.87 |
| 德宏州 | 8 | 11.23 | 10.05 | 7 | 10.74 | 9.61 | -1 | -0.49 | -0.44 |
| 怒江州 | 7 | 63.29 | 43.39 | 4 | 62.22 | 42.66 | -3 | -1.07 | -0.73 |
| 迪庆州 | 6 | 94.22 | 40.64 | 5 | 97.83 | 42.20 | -1 | 3.61 | 1.56 |
| 合计 | 324 | 469.89 | 12.26 | 225 | 485.86 | 12.68 | -99 | 15.97 | 0.42 |

注:整合优化前各州(市)自然保护地的去重面积按其设立时的归属地进行统计,由于期间行政界线发生改变等原因,部分自然保护地的实际范围跨邻近州(市),因此分州(市)去重的结果比全省统一去重的结果大;部分自然保护地跨多个州(市)的,各州(市)在统计数量时计为 1,但在合计时仅统计 1 次。

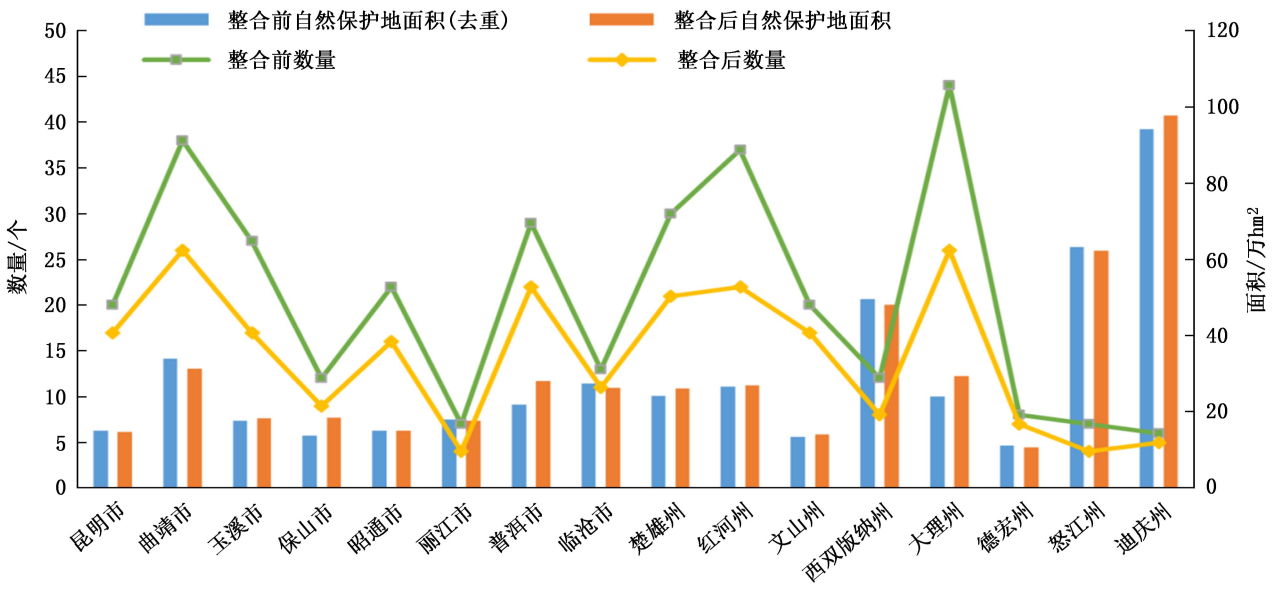



**图 5　整合优化前后各州(市)自然保护地变化**

**Fig. 5　Changes of natural protected areas in prefectures (cities) before and after integration and optimization**

整合优化后,自然保护地面积最大的州(市)为迪庆州,面积为 97.83 万$hm^2$,面积最小的州(市)为德宏州,面积为 10.74 万$hm^2$。面积增加最多的州(市)为普洱市,增加 6.09 万$hm^2$,增幅最大的为保山市,为 33.67%。面积减少最明显的州(市)为曲靖市,减少 2.68 万$hm^2$,降幅最大的为曲靖市,为 7.87%。

整合优化后,占州(市)土地面积比例最高的为怒江州,占比为 42.66%,占比最低的为文山州 4.49%。从表 4 可以看出,保山市占州(市)土地面积比例提高最明显,为 2.45%;曲靖市降低最多,为 0.93%。

## 4　结果分析

### 4.1　强化生物多样性保护

整合优化后自然保护地内森林、草地、湿地、冰川及永久积雪等生态空间的面积达 477.92 万$hm^2$,占自然保护地总面积的 92.19%,涵盖云南省全部 6 个生物多样性保护优先区域[16]的大部分区域以及热带雨林、热带季雨林、常绿阔叶林、硬叶常绿阔叶林等云南省全部重要生态系统类型和雪山、冰川、峡谷、森林、草甸、湖泊等诸多壮美的自然景观和独特的自然遗迹。全省约 90%国家重点保护植物和 80%国家重点保护动物被纳入自然保护地范围,如亚洲象、滇金丝猴、西黑冠长臂猿、绿孔雀等旗舰物种以及素有“植物大熊猫”之称的华盖木、巧家五针松等。整合优化将青藏高原东南缘生态屏障区的梅里雪山区域和白马雪山、云龙天池等国家级自然保护区之间的滇金丝猴迁徙通道和潜在栖息地,哀牢山—无量山生态屏障区的双柏恐龙河省级自然保护区周边的绿孔雀潜在栖息地、哀牢山和无量山国家级自然保护区周边的西黑冠长臂猿栖息地,南部边境生态屏障区的西双版纳国家级自然保护区等自然保护地周边亚洲象的迁徙通道和潜在栖息地、大围山国家级自然保护区周边的保护空缺区域纳入自然保护地范围,强化并促进了全省生物多样性的保护。

### 4.2　优化空间分布格局

“三屏两带”是云南省构建的重要生态安全格局,以哀牢山为界,西部区域人口相对稀少,生态区位重要,经济欠发达;东部区域人口众多,开发较早,经济较发达。从全省 16 个州(市)自然保护地面积占全省土地总面积的比例来看,整合优化后自然保护地面积占比最高的为怒江州、迪庆州、西双版纳州,分别为 42.66%、42.20%、25.23%,均位于哀牢山以西区域;占比最低的是文山州、普洱市、昭通市,分别为 4.49%、6.33%、6.75%,其中 2 个州(市)位于哀牢山以东。哀牢山以西区域自然保护地面积占全省土地总面积的比例总体上高于哀牢山以东区域。此外,整合优化后面积增加最多的普洱市,增幅最高的保山市均属于我国边境地区。普洱市与越南、老挝、缅甸三国接壤,是北回归线上全球生态保存最完整、生物种类最丰富的区域[17],保山市地处中缅边境地区,是中国面向南亚东南亚的第一道生态安全屏障,其境内的高黎贡山国家级自然保护区被誉为“世界物种

基因库”,是云南省生态安全格局中至关重要的一环,这两个州(市)自然保护地面积大幅增加符合云南省生态安全格局的定位和经济社会发展的实际。

### 4.3 提升保护管理效能

整合优化摸清了全省自然保护地数量、结构、分布等基本情况,全面掌握了自然保护地内人口分布、土地分类、矿产开发等经济社会现状,形成了统一完备的自然保护地基础信息数据库,并为每一个自然保护地制作了范围及分区空间矢量图,构建了全省自然保护地空间治理数字化平台。整合优化后自然保护地之间空间不再重叠,为实现一个保护地、一套机构、一块牌子的目标奠定了重要基础;自然保护地边界范围更清晰、类型定位更明确、功能分区更科学,管控规则和管理制度更合理、完善,为依法、规范、高效开展自然保护地监测、评估、考核、执法、监管等奠定了扎实的基础。

### 4.4 构建国土空间开发保护新格局

整合优化从自然保护地内调出耕地及永久基本农田、人工商品林、矿业权、开发区和城镇村、项目设施用地等空间矛盾冲突,与《国土空间规划》编制和“三区三线”划定统筹部署、协同推进,成果无缝对接,合理布局生产、生活、生态空间。整合优化后自然保护地与云南省国土空间规划“三屏两带多点”生态安全格局更趋一致,有利于全面保护重要生态区域和典型自然生态系统,推动山水林田湖草沙一体化保护和系统治理,有利于落实国土空间用途管制制度,构建国土空间开发保护新格局。

### 4.5 实现保护强度不降低、保护性质不改变、保护面积不减少

#### 4.5.1 保护强度不降低

云南省国家级、省级自然保护区整合优化前共59个(国家级21个、省级38个),总面积219.93万$hm^2$;整合优化后共67个(国家级21个,省级46个),总面积232.08万$hm^2$,较之前增加12.15万$hm^2$,增幅5.52%。从功能分区分析,整合优化前国家级、省级自然保护区核心保护区(核心区、缓冲区)面积138.30万$hm^2$,整合优化后核心保护区面积增加到148.64万$hm^2$,较之前增加10.34万$hm^2$,增幅7.48%。州(市)、县(市、区)自然保护区整合优化前共98个,总面积67.80万$hm^2$,整合优化后全部晋升、转化、归并为省级及以上级别自然保护地,保护强度得到明显加强。此外,原有自然保护区周边具有保护价值的区域大部分纳入自然保护地范围,保护强度整体得到提升。

#### 4.5.2 保护性质不改变

整合优化工作基于对自然保护地资源禀赋现状、主要保护对象、保护价值、管理目标的科学评估,确定其整合优化后相应的自然保护地类型,力图实现更科学、精准的保护。如:针对大理苍山国家地质公园、大理风景名胜区苍山洱海片区、漾濞雪山河州级自然保护区、漾濞石门关风景名胜区的范围几乎与苍山洱海国家级自然保护区完全重叠的情况,通过科学评估,将苍山区域统一整合优化为苍山国家级自然保护区,洱海区域统一整合优化为大理国家级风景名胜区洱海片区。

#### 4.5.3 保护面积不减少

整合优化后全省自然保护地总面积为485.86万$hm^2$,约占全省土地总面积的12.68%,分别比整合优化前增加15.97万$hm^2$、0.42%。特别是国家级和省级自然保护区总面积从219.93万$hm^2$增加到232.08万$hm^2$,增幅达5.52%。下一步,按照国家要求将拟新建自然保护地纳入全省自然保护地体系后,自然保护地面积将增加至558.03万$hm^2$,占比将提高至14.56%。

## 5 结 论

建立以国家公园为主体的自然保护地体系是贯彻落实习近平生态文明思想的重大举措,是党的十九大提出的重大改革任务,也是云南建设全国生态文明建设排头兵和中国最美丽省份的重要抓手。通过自然保护地整合优化,分类、分级、分区设立自然保护地,合理确定自然保护地类型、功能定位、范围与管控区划,解决保护管理分割、保护地破碎和孤岛化问题,实现对自然生态系统的整体保护。整合优化后云南省自然保护地总体规模有所增加,空间布局更加优化,与云南省区域自然地理特征、自然资源禀赋、人口分布规律等更加契合,实现了保护强度不降低、保护性质不改变、保护面积不减少的目标,将提升自然保护地生态系统质量,提高生物多样性保护水平,夯实自然保护地监督管理基础,促进国土空间保护利用新格局构建,为建立以国家公园为主体的自然保护地体系建设奠定了坚实的基础。但是,由于各种客观原因,整合优化后部分自然保护地呈现出略破碎的格局,特别是滇中、滇东地区尤为突出,自然保护地内仍存在权属争议、借山造林、承包造林、基础设施、国有人工商品林等矛盾问题,为今后实际管理工作带来较大难度,建议国家层面在整合优化方案批复后能出台相应的边界优化技术规

范,适当放宽对自然保护地完整性、连通性要求,云南省将结合各自然保护地实际,从管理可行性、有效性出发,开展勘界立标工作,把整合优化结果真正落地。此外,本次整合优化国有林场是重点纳入自然保护地范围的区域,对于国有林场全部或大部分纳入自然保护地的,建议实行“两块牌子,一套班子”的管理体制。

## 参考文献:


[1] 李若愚,侯明明,魏艳,等. 云南省生物多样性与生态安全形势研究[J]. 资源开发与市场,2007,23(5):442-446.

[2] 刘春晖,杨京彪,尹仑. 云南省生物多样性保护进展、成效与前瞻[J]. 生物多样性,2021,29(2):200-211.

[3] 云南省林业和草原局. 云南自然保护地年报[R]. 昆明,2020.

[4] 欧阳志云,徐卫华. 整合我国自然保护区体系,依法建设国家公园[J]. 生物多样性,2014,22(4):425-426.

[5] 唐小平,蒋亚芳,刘增力,等. 中国自然保护地体系的顶层设计[J]. 林业资源管理,2019(3):1-9.

[6] 罗怀秀,徐吉洪,俞瑶,等. 云南省自然保护地现状与空间分析[J]. 林业调查规划,2021,46(1):68-74.

[7] 郑进烜,华朝朗,陶晶,等. 云南省自然保护地空间格局与保护空缺研究[J]. 林业调查规划,2021,46(1):58-64.

[8] 华朝朗,陶晶,徐吉洪,等. 云南省以国家公园为主体的自然保护地体系研究[M]. 昆明:云南科技出版社,2019.

[9] 罗红,陈磊,姜运力,等. 自然保护地整合优化的景观格局变化分析——以贵州省思南县为例[J]. 生态学报,2021,41(20):8076-8086.

[10] 唐小平,刘增力,马炜. 我国自然保护地整合优化规则与路径研究[J]. 林业资源管理,2020(1):1-10.

[11] 李晓肃,邓武功,李泽,等. 自然保护地整合优化——思路、应对与探讨[J]. 中国园林,2020,36(11):25-28.

[12] 中共中央办公厅,国务院办公厅. 关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见[EB/OL]. (2019-06-26). https://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5407657.htm.

[13] 中共中央办公厅,国务院办公厅. 关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见[EB/OL]. (2019-11-01). https://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5453396.htm.

[14] 彭建. 以国家公园为主体的自然保护地体系:内涵、构成与建设路径[J]. 北京林业大学学报(社会科学版),2019,18(1):38-44.

[15] 自然资源部,国家林业和草原局. 关于做好自然保护区范围及功能分区优化调整前期有关工作的函[EB/OL]. (2021-01-21). https://lcj.qinghai.gov.cn/ztzl/zxzt/qhygjgywztdzrbhd/sfsjs/content_7532.

[16] 云南省生物多样性保护联席会议. 云南省生物多样性保护战略与行动计划(2012—2030 年)[EB/OL]. (2013-05-09). https://sthjt.yn.gov.cn/xxgk2020/fdgkxxgk/bmwj/gsggxxgk/201306/w020230303575375791626.pdf.

[17] 杜乐山,任文春,肖能文. 普洱市依法保护生物多样性实践[J]. 世界环境,2022(6):68-71.


责任编辑:杨竣焓

(上接第 44 页)


[12] 毕克来,庞赛. 碳汇替代性修复在公益诉讼中的探索与应用[J]. 中国检察官,2023(8):54-57.

[13] 吕金蔚,刘冰. “双碳”目标下林业碳汇高质量发展的路径研究[J]. 林业经济问题,2022,42(6):666-672.

[14] 邢恩铭,涂亦楠,李若萌. 认购碳汇的司法探索及制度发展展望[J]. 中国国土资源经济,2024(8):1-12.

[15] 刘超. “双碳”目标下“认购碳汇”司法适用的规范路径[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2022,22(5):18-31.

[16] 林磊,蔡玲. 论司法修复森林碳汇补偿机制建构[C]//《上海法学研究》集刊 2023 年第 1 卷——司法改革与民事诉讼文集. 上海:上海市法学会,2023.

[17] 朱婧. 林业碳汇若干法律问题的理解与适用[J]. 法律适用,2023(1):141-149.

[18] 刘伯恩,宋猛. 碳汇生态产品基本构架及其价值实现[J]. 中国国土资源经济,2022(4):4-11.

[19] 杨帆. “双碳”目标下“认购碳汇”的司法适用研究[J]. 学术探索,2023(7):79-85.

[20] 刘超. “双碳”目标下碳汇交易司法机制创新的逻辑与进路[J]. 南京师范大学学报(社会科学版),2023(2):98-110.

[21] 徐以祥,刘峻宇. “购买碳汇”司法适用的法理基础和规范建构[J]. 南京工业大学学报(社会科学版),2023,22(4):29-38,109.

[22] 张旭东,林宁烨. 科学与规范:生态损害替代性修复制度的反思与重构[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版),2023(5):84-98.


责任编辑:许易琦

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 009

# 衡阳市自然保护地整合优化实践研究

张光达,向 晖,万 诚
(衡阳市林业局自然保护地服务中心,湖南 衡阳 421000)

**摘要**:分析衡阳市自然保护地现状,对空间布局进行整合优化,解决管理中的突出问题。系统评估当前自然保护地存在的问题,采用 AHP 法构建评估体系,在专家咨询的基础上,提出整合优化方案。结果表明,调出存在各类空间矛盾冲突地块面积 10 366. 33 $hm^2$,将 9 933. 68 $hm^2$ 生态空间调入自然保护地范围,整合优化后全市共有自然保护地 26 个,总面积 109 621. 44 $hm^2$;完全整合耒阳蔡伦故里风景名胜区等 7 个自然保护地,撤销湖南衡阳横江省级湿地公园,新设耒阳五峰仙省级森林公园。自然保护地体系建设进一步完善,解决了自然保护地内部矛盾,做到应保尽保;构建的包含 1 个目标层、5 个准则层、34 个指标层的自然保护地评估体系可行;管理基础进一步夯实,有利于保护管理的深入推进。

**关键词**:自然保护地;空缺分析;整合优化;AHP;衡阳市

**中图分类号**:X36 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0056-06

**引文格式**:张光达,向晖,万诚. 衡阳市自然保护地整合优化实践研究[J]. 林业调查规划,2025,50(1):56-61.
doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 009

ZHANG Guangda, XIANG Hui, WAN Cheng. Practical Research on Integration and Optimization of Natural Protected Areas in Hengyang City[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 56-61. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 009

# Practical Research on Integration and Optimization of Natural Protected Areas in Hengyang City

ZHANG Guangda, XIANG Hui, WAN Cheng
(Natural Protected Areas Center of Hengyang Forestry Bureau, Hengyang, Hunan 421000, China)

**Abstract**: The objective of this paper was to analyze the current situation of natural protected areas , integrate and optimize spatial layout, and solve prominent problems of management in Hengyang City. The existing problems in natural protected areas was systematically evaluated, the evaluation system was constructed by AHP method and the integrated optimization solutions were proposed based on expert consultation. The results showed that 10 366. 33 $hm^2$ of various spatial contradictions and conflicts were transferred, and 9 933. 68 $hm^2$ of ecological space were transferred to the scope of natural protected areas, and after integration and optimization, there were 26 natural protected areas in the city, with a total area of 109 621. 44 $hm^2$; 7 natural protected areas including Cai Lun's Hometown Scenic Area were fully integrated , Hengjiang Provincial Wetland Park in Hengyang was abolished, and Wufengxian Provincial Forest Park in Leiyang was established. The construction of the natural protected area system had been fur-

**收稿日期**:2023-11-06;**修回日期**:2023-12-13
**基金项目**:衡阳市自然保护地整合优化项目.
**第一作者**:张光达(1990-),男,硕士,工程师. 研究方向为自然保护地建设与管理、湿地保护与修复. Email:846066321@ qq. com

ther improved, resolving internal conflicts within natural protected areas and achieving full protection; the constructed natural protected area assessment system consisting of 1 target layer, 5 criterion layers and 34 index layers was feasible; the management foundation had been further consolidated, which was conducive to the in-depth promotion of protection and management.

**Key words**: natural protected areas; gap analysis; integration and optimization; analytic hierarchy process; Hengyang City

自然保护地是由各级政府依法划入或确认,对重要的自然生态系统、自然遗迹、自然景观及其所承载的自然资源、生态功能和文化价值实施长期保护的路域或海域[1]。2019 年底,衡阳市正式启动自然保护地整合优化,在摸底调查、评估分析的基础上,撤销部分无法实际落地、保护价值不高的自然保护地,在同一地理单元内整合重叠或归并相邻的自然保护地,再调整优化保护地范围,从而实现保护地空间布局优化[2]。

## 1 研究区概况

衡阳市位于湖南省中南部,地处东经 110°32′~113°16′,北纬 26°07′~27°28′,全市总面积 15 310 $km^2$。全市自然保护地由 8 个自然保护区和湿地公园、森林公园、风景名胜区、地质公园、石漠公园等 25 个自然公园组成。全市自然保护地批复面积 154 787.08 $hm^2$,经摸底调查,落图总面积 153 558.03 $hm^2$,重叠面积 43 580.76 $hm^2$,实际面积 109 977.27 $hm^2$,占土地总面积的 7.18%。

## 2 材料与方法

### 2.1 数据来源

2020 年 4 月 10 日至 4 月 29 日,衡阳市组织开展的衡阳市自然保护地摸底调查确定的 33 个自然保护地。

### 2.2 研究方法

采用 Delphi 法(德尔菲法),也就是专家咨询法,在调查收集衡阳市各自然保护地自然属性、生态价值及村庄和人工商品林等矛盾点的基础上,分析相互之间交叉、重叠、空间矛盾之间的关系,运用 ArcGIS 叠加全市自然保护地矢量数据,研究各种自然保护地空间分布特征及总体空间格局[3]。通过层次分析法构建判断矩阵定量与定性相结合确定评价指标、指标权重及评估标准,从而建立评估体系并对全市自然保护地整合优化提出评估意见。

### 2.3 技术流程

衡阳市自然保护地整合优化具体技术流程见图 1。

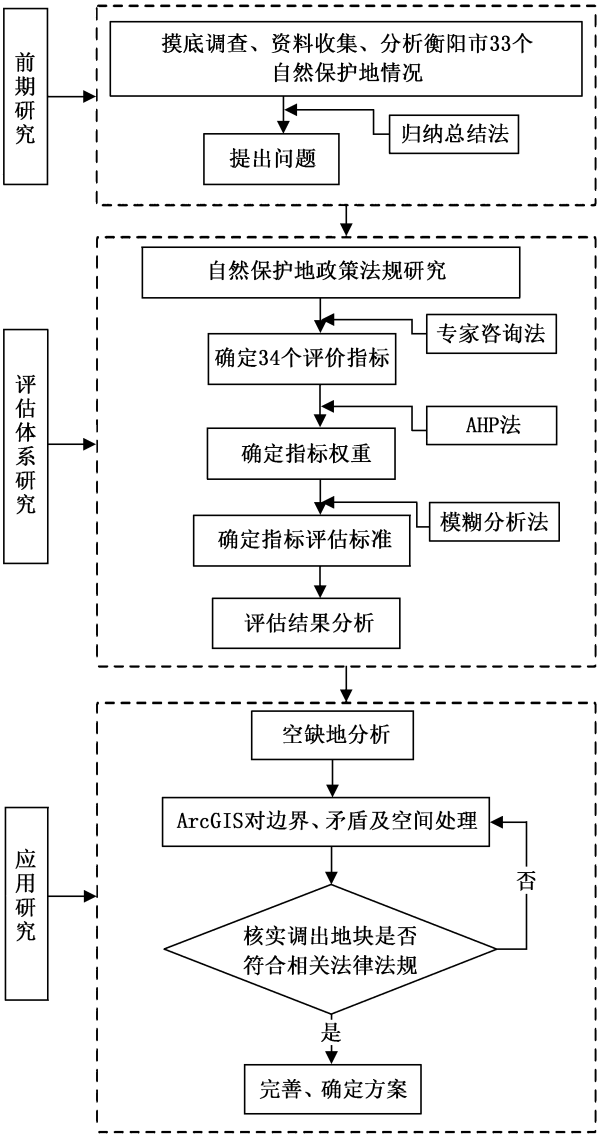



**图 1　衡阳市自然保护地整合优化技术流程**

**Fig. 1　Technical flow chart for integration and optimization of natural protected areas in Hengyang City**

## 3 自然保护地管理现状分析

1982 年,南岳衡山国家风景名胜区建成以来,经过 40 年的发展,衡阳市已建成具有较完整生态功能的自然保护地体系,主要保护对象有较强的典型性和稀缺性,但部分自然保护地生态服务价值及生

态功能并不突出,个别自然保护地起初是由各县为发展生态旅游而申报,自然保护地设置不尽合理。

### 3.1 保护地之间交叉重叠严重

根据张雪池等[4]研究,边界与边界之间的交叉关系,主要为完全重叠和相交,而相交又分为部分重叠和内嵌[5]。全市 33 个不同类型自然保护地中相交的有 23 个,南岳区、衡东县、常宁市等 3 县(市、区)的 12 处自然保护地,相互之间甚至全部存在重叠现象,重叠面积 43 580.76 $hm^2$。

### 3.2 不同地类不同使用性质共存

由于设立自然保护地初期,区划调查手段粗放,未做到科学合理区划。注重边界红线,忽视保护地内还存在人工商品林地、耕地、水田、人工鱼塘等地类,在自然保护地内部村寨多点开发,有些甚至分布于核心区。

### 3.3 保护地体系建设不够完善

在设立自然保护地时,个别地区为了申报而申报,常以山脊、山谷、河流、道路等明显界限区划界定自然保护地,相同生态条件,相同保护必要性,被人为区划为保护地内和保护地外,未做到应保尽保,造成保护空间缺失。

### 3.4 管理体制机制不畅

2017 年以来,自然保护地监督管理职责逐渐集中到林业部门,但自然保护地管理体制尚未成型,仍存在立法缺位、管理权力配置不当、机构设置混杂和管理体制运转不畅等重大问题[6]。在人员、经费、体制等方面问题突出,林业部门业务管理体制机制不畅,个别保护地批而未建、建而不管、管而不力,造成被动执法局面[7-8]。

## 4 自然保护地整合优化

主要包括摸底调查、论证评估、空缺分析及规划编制 4 个阶段,通过调出、调入、退出、合并、拆分、晋升、转化、新建、撤销等方式[9],对“国家代表性”的国家公园、“典型性”自然保护区、“重要性”的森林公园进行优化布局[10]。

### 4.1 摸底调查

通过档案收集、现地调查的方式全面查清全市 33 个各类自然保护地总体情况,包括自然保护地基本情况,气候、土壤、植被、水系等自然情况,资源情况,社会情况,土地资源权属及管理体制机制。

### 4.2 论证评估

#### 4.2.1 建立评价指标体系

从自然保护地建立的科学性、合理性、有效性及可持续性出发,根据国内外自然保护地研究的最新进展,采用专家调查法,选取对自然保护地影响重要的要素构建评估体系并对指标的适应性进行调查论证。评估体系采取定性结合定量方式构建。第一层为目标层,即自然保护地分析评估体系;第二层为准则层,包含自然保护地自然属性、生态价值、边界划定和矛盾问题及经营管理现状 5 个方面;第三层为指标层,主要是对影响 5 个准则层的要素进一步分解。自然属性准则层细分为原真性、生物多样性及脆弱性等 6 个指标层,生态价值准则层细分为生态系统服务价值、科研价值等 4 个指标层,边界划定准则层分为边界划定合理性及功能分区合理性 2 个指标层,矛盾问题准则层细分为永久基本农田、耕地等 16 个指标层,经营管理现状准则层细分为管理基础、保护成效等 6 个指标层。

#### 4.2.2 评价标准的确立

杨芊芊等[11]提出自然保护地的综合评估,同时也是对自然资源“双评价”的补充完善,作为生态重要区评估体系的一部分,补充本地生态条件、生物多样性、地貌景观等与保护地发展相关的因子。建立包含 34 个指标层的自然保护地评估体系后,通过查阅经营档案资料及文献,采用模糊分析法将评估标准分为Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级 3 个等级,对 34 个指标层,拟定各评价等级相对应的评价要素,通过发放问卷、专家评价手段确定评估标准。

#### 4.2.3 AHP 法确定各指标权重

评估体系中自然保护地的自然属性、生态价值及自然保护地管理现状 3 个准则层采用定量分析方法进行分析,采用专家咨询法对各指标之间的相对重要性进行判断,运用 1-9 标度法构建判断矩阵并计算权重,形成对应指标层的相对权重表,按照百分制折合成具体分数。通过专家咨询、论证,确定自然保护地评估结果为保留或撤销,其中保留又分为整合到其他自然保护地、优化自然保护地边界两种评估建议。

#### 4.2.4 评估结果应用

王诗童等[12]提出将重叠毗邻的自然保护地视为一个自然保护地镶嵌体,镶嵌体重叠率过高代表保护服务功能与划定保护范围过剩。耒阳蔡伦故里风景名胜区等 7 个镶嵌率过高的自然保护地整合归并至其他自然保护地,拟撤销湖南衡阳横江省级湿地公园,由于耒阳市原来水湿地公园优化面积较大、耒阳蔡伦故里风景名胜区完全整合到周边自然保护地,县域自然保护地面积减少较大,且有较好生态价

值林地未纳入自保地系统予以保护,拟新增设耒阳五峰仙省级森林公园,保留其余 25 个自然保护地并对其边界及内部矛盾问题进一步优化。

### 4.3 保护地空缺分析

由于边界不合理、自然保护地内人工商品林、基本农田等范围的调出,后备资源的纳入显得尤为重要。应用 ArcGIS 对保护空缺区域进行空间分析,在空间布局上初步确定拟调入保护地地块,并对调入地块进行现地调查、论证,确定保护空缺区域的准确性和范围适宜性[13]。通过分析全市林草湿荒、地质遗迹等资源分布,将生态价值高、物种多样性丰富、社会矛盾较小的区域纳入自然保护地后备资源。经调查,衡阳市共有 30 717.53 $hm^2$ 的自然保护地后备资源,剔除拟调出的 18 120 $hm^2$,空缺余额 12 597.53 $hm^2$,保证了整合优化前后全市自然保护地面积的不变。

### 4.4 整合优化方案的编制

在开展自然保护地摸底调查、论证评估及空缺分析的基础上,统筹处理与自然资源部门“三区三线”(耕地红线、生态红线、城镇开发边界线)、国土空间规划、山体水体保护规划等规划的关系,不断完善、调整。

#### 4.4.1 自然保护地整合优化调出情况

衡阳市自然保护地整合优化调出地块及调出方式分析见表 1,表 2。

**表 1　衡阳市自然保护地调出地块分析**

**Tab. 1　Analysis of transferred plots from natural protected areas in Hengyang City**　　$hm^2$

| 调整阶段 | 城镇建成区 | 永久基本农田 | 连片稳定耕地 | 成片集体人工商品林 | 矿业权 | 开发区 | 村庄 | 其他(边界修整、细碎小班处理) | 省级及以上重大项目 | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 完善封库数据 | 1316.23 | 4526.48 | 0 | 930.74 | 34.18 | 0 | 1596.68 | 1263.86 | 0 | 9668.17 |
| “三区三线”对接 | 0 | 0 | 466.64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.28 | 65.47 | 536.39 |
| 风景名胜区融合 | 29.92 | 0 | 40.24 | 6.33 | 0 | 0 | 0 | 85.28 | 0 | 161.77 |
| 合计 | 1346.15 | 4526.48 | 506.88 | 937.07 | 34.18 | 0 | 1596.68 | 1353.42 | 65.47 | 10366.33 |

**表 2　衡阳市自然保护地调出方式分析**

**Tab. 2　Mode of transfer from natural protected areas in Hengyang City**

| 调出方式 | 面积/$hm^2$ | 占比/% |
|---|---|---|
| 从原自然保护区核心区调出 | 60.04 | 0.04 |
| 从原自然保护区缓冲区调出 | 79.68 | 0.05 |
| 从原自然保护区实验区调出 | 2373.02 | 1.55 |
| 从自然公园调出 | 7131.29 | 4.64 |
| 原保护地撤销 | 560.53 | 0.36 |
| 从风景名胜区调出 | 161.77 | 0.11 |
| 合计 | 10366.33 | 6.75 |

此次调出地块主要有城镇建成区、永久基本农田、连片耕地等 8 个方面,总调出面积占比 6.75%,其中永久基本农田调出面积最多,共 4 526.48 $hm^2$,占比 2.95%。其余 7 个调出方面占比情况分别是:城镇建成区占比 0.88%、连片稳定耕地占比 0.33%、成片集体人工商品林占比 0.61%、矿业权占比 0.02%、村庄占比 1.04%、其他(边界修整、细碎小班处理)占比 0.88%、省级及以上重大项目占比 0.04%。从调出方式来看,从自然公园及自然保护区实验区调出地块最多,合计调出面积占比 6.19%。

#### 4.4.2 自然保护地整合优化调入情况

衡阳市自然保护地整合优化调入情况见表 3。

**表 3　衡阳市自然保护地调入方式分析**

**Tab. 3　Mode of transfer to natural protected areas in Hengyang City**　　$hm^2$

| 调入方式 | 生态保护红线范围 | 重点公益林区 | 其他 | 合计 |
|---|---|---|---|---|
| 调整到自然保护区核心保护区 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 调整到自然保护区一般控制区 | 1258.73 | 541.95 | 13.99 | 1814.67 |
| 调整到自然公园 | 2249.55 | 3547.79 | 74.96 | 5872.30 |
| 新建自然保护地 | 2246.71 | 0 | 0 | 2246.71 |
| 调整到国家公园核心保护区 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 调整到国家公园一般控制区 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 合计 | 5754.99 | 4089.74 | 88.95 | 9933.68 |

注:表中其他地块主要由保护地周边生态功能相近的、周边空间间隙及细碎小班组成。

综合考虑生态保护红线、重点生态公益林地、其他生态功能重要区域及当村集体村民意愿,共调入后备资源面积 9 933. 68 $hm^2$,其中,调整到自然保护区一般控制区的面积共 1 814. 6 $hm^2$,调整到自然公园面积 5 872. 3 $hm^2$,新建耒阳五峰仙省级森林公园面积 2 246. 71 $hm^2$。

### 4. 4. 3 自然保护地整合优化功能分区调整情况

衡阳市自然保护地功能分区调整情况见表 4。

**表 4 衡阳市自然保护地功能分区调整情况**

**Tab. 4 Functional zoning adjustment of natural protected areas in Hengyang City**

| 调整类别 | 面积/$hm^2$ | 占比/% |
|---|---|---|
| 从原实验区调整到核心保护区 | 881. 11 | 0. 57 |
| 从非自然保护地调整到核心保护区 | 4. 77 | 0. 01 |
| 从原核心区原缓冲区调整到一般控制区 | 3682. 00 | 2. 39 |
| 从非自然保护地调整到一般控制区 | 12514. 17 | 8. 15 |
| 从自然公园转换为核心保护区 | 3049. 03 | 1. 99 |
| 合计 | 20131. 08 | 13. 11 |

衡阳市自然保护地功能分区调整面积共 20 131. 08 $hm^2$,其中从非自然保护地调整到一般控制区面积 12 514. 17 $hm^2$,占比最大。从非自然保护地调整到核心保护区面积 4. 77 $hm^2$,占比最小。

## 5 自然保护地整合优化结果

衡阳市自然保护地整合优化后,全市自然保护地数量由原来的 33 个优化为 26 个(表 5,表 6)。

湖南衡阳岣嵝峰县级自然保护区等 4 个县级自然保护区被完全整合,整合优化后共有自然保护区 4 个,总面积 37 084. 87 $hm^2$,其中国家级 1 个、地方级 3 个。蔡伦故里风景名胜区被完全整合,整合优化后共有风景名胜区 3 个,总面积 20 374. 92 $hm^2$,其中国家级 1 个、地方级 2 个。四方山省级森林公园被完全整合,新建五峰仙省级森林公园,整合优化前后数量不变,共有森林公园 10 个,总面积 38 815. 49 $hm^2$,其中国家级 5 个、地方级 5 个。整合前后衡阳市石漠化公园数量不变,面积优化 9. 8 $hm^2$。撤销湖南衡阳横江省级湿地公园后,衡阳市有湿地公园 6 个,总面积 10 295. 81 $hm^2$,其中国家级 5 个、地方级 1 个。南岳衡山省级地质公园被完全整合,整合优化后有地质公园 2 个,总面积 2 693. 75 $hm^2$,均为地方级。

**表 5 衡阳市自然保护地整合优化前情况**

**Tab. 5 Status of natural protected areas before integration and optimization**

| 自然保护地类型 | 级别 | 数量/个 | 面积/$hm^2$ |
|---|---|---|---|
| 自然保护区 | 国家级 | 1 | 17064. 06 |
| | 省级 | 3 | 23361. 69 |
| | 市县级 | 4 | 5625. 04 |
| 风景名胜区 | 国家级 | 1 | 10089. 80 |
| | 地方级 | 3 | 32011. 39 |
| 森林公园 | 国家级 | 5 | 19625. 14 |
| | 地方级 | 5 | 18516. 39 |
| 地质公园 | 国家级 | 0 | 0 |
| | 地方级 | 3 | 14829. 76 |
| 湿地公园 | 国家级 | 5 | 10873. 56 |
| | 地方级 | 2 | 1194. 80 |
| 沙漠(石漠)公园 | 国家级 | 1 | 366. 40 |
| | 地方级 | 0 | 0 |
| 合计 | — | 33 | 153558. 03 |

**表 6 衡阳市自然保护地整合优化后情况**

**Tab. 6 Status of natural protected areas after integration and optimization**

| 自然保护地类型 | 级别 | 数量/个 | 面积/$hm^2$ |
|---|---|---|---|
| 自然保护区 | 国家级 | 1 | 13014. 19 |
| | 地方级 | 3 | 24070. 68 |
| 自然公园 | 国家级 | 12 | 38850. 89 |
| | 地方级 | 10 | 33685. 68 |
| 风景名胜区 | 国家级 | 1 | 7687. 27 |
| | 地方级 | 2 | 12687. 65 |
| 森林公园 | 国家级 | 5 | 20787. 87 |
| | 地方级 | 5 | 18027. 62 |
| 地质公园 | 国家级 | 0 | 0 |
| | 地方级 | 2 | 2693. 75 |
| 湿地公园 | 国家级 | 5 | 10019. 15 |
| | 地方级 | 1 | 276. 66 |
| 沙漠(石漠)公园 | 国家级 | 1 | 356. 60 |
| | 地方级 | 0 | 0 |
| 合计 | — | 26 | 109621. 44 |

## 6 讨论与结论

此次整合优化既立足解决矛盾冲突问题,又坚持依法依规原则。前期经过评估论证,衡阳市拟调出存在矛盾冲突及历史遗留问题地块面积 18 120 $hm^2$,但实际调出地块面积 10 366. 33 $hm^2$,其余未调

出地块面积 7 753. 67 $hm^2$,主要存在生态区位重要地区的人工商品林、零散分布的耕地、生态环保待整改问题、核心区的矿权、零散分布的居民点等不合符法律法规要求的情况,开展工作全过程依法依规。

**6.1 当前自然保护地数据管理问题突出**

不同机关批准的不同类型保护地之间交叉重叠严重,自然保护地内部不同地类不同使用性质共存,自然保护地的保护与当地经济社会发展、与人民生产生活矛盾凸显。保护地体系建设不够完善、管理体制不畅,造成保护空间缺失。

**6.2 运用层次分析法构建的自然保护地评估体系可行**

采取定性结合定量方式构建评估体系。第一层为目标层,自然保护地分析评估体系。第二层为准则层,包含自然保护地自然属性、生态价值、边界划定和矛盾问题及经营管理现状 5 个方面。第三层为指标层,构建了包含 1 个目标层、5 个准则层、34 个指标层的自然保护地评估体系。

**6.3 解决了自然保护地的内部矛盾,优化保护空间**

耒阳蔡伦故里风景名胜区、衡南岐山县级自然保护区等 7 个自然保护地整合归并至其他自然保护地,撤销湖南衡阳横江省级湿地公园,新增设耒阳五峰仙省级森林公园,优化调整其余 25 个自然保护地生态空间。

**6.4 夯实生态保护管理基础**

整合优化后,自然保护地与自然资源“三区三线”的划定及《国土空间规划》《山体水体保护规划》充分融合,在逻辑上相通,成果上相容,有利于山水林田湖草沙系统治理和一体化保护的深入推进。

**6.5 坚持保护强度不降低、面积不减少、性质不改变**

按照自然保护区到自然公园的先后顺序,对自然保护地调出范围充分论证,特别是生态区位重要的核心区,做了每个地块谨慎调整。此次调出地块面积 10 366. 33 $hm^2$ 范围内,从原自然保护区实验区调出面积 2 373. 02 $hm^2$,从自然公园调出面积 7 131. 29 $hm^2$,两项占调出面积的 91. 7%。核心区仅调出面积 60. 04 $hm^2$,占比不到 1%,交叉重叠部分的处理方式也按照调出计算,对自然保护地核心区影响较小。

整合优化后,全面建立以国家公园为主体的自然保护地体系。建成后,衡阳市共有 4 个自然保护区,22 个自然公园。下一步严格落实一个保护地、一套机构、一块牌子,为全市自然保护地管理夯实管理基础。

## 参考文献:


[1] 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》[EB/OL]. (2019-06-26). http://www. gov. cn/zhengce/2019-06/26/content_5403497. htm.

[2] 刘增力,马炜,蔺琛,等. 广东省自然保护地体系规划探讨[J]. 自然保护地,2021,1(4):55-64.

[3] 杨梦琪,池梦薇,廖凌云,等. 福建省自然保护地发展历程及时空动态分析[J]. 森林与环境学报,2022,41(6):601-610.

[4] 张雪池,梦薇,兰思仁,等. 福建省自然保护地边界交叉重叠的格局特征[J]. 风景园林,2021,28(8):106-112.

[5] 唐晓岚,马坤,任宇杰. 长江中游流域国家级自然保护地交叉重叠特征及其优化整合研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2022,46(3):12-20.

[6] 骆欣雨. 我国自然保护地管理体制的立法实践问题及制度完善[D]. 兰州:甘肃政法大学,2022.

[7] 邢付吉. 曲靖市自然保护地现状及可持续发展对策[J]. 农业开发与装备,2023(2):83-85.

[8] 杨华兵,冯新华,崔文平,等. 新疆生产建设兵团南疆自然保护地建设与管理探讨[J]. 林业建设,2013(1):9-12.

[9] 杨光道. 自然保护地整合优化背景下安徽省森林公园发展对策研究[J]. 安徽农业大学学报(社会科学版),2021,30(4):50-55.

[10] 徐缘. 我国自然保护地体系构建法律问题研究[J]. 河北环境工程学院学报,2021,31(6):1-5.

[11] 杨芊芊,宋梁,束晨阳,等. 省级国土空间规划中自然保护地专项规划的探讨[J]. 中国园林,2021,37(S1):91-94.

[12] 王诗童,王锐锋,黄治昊,等. 辽宁省自然保护地空间分布格局与重叠现状分析[J]. 北京林业大学学报,2021,43(11):89-98.

[13] 张伟,蒋建辉. 云南省耿马县自然保护地整合优化探讨[J]. 福建林业科技,2023,50(1):121-127.


责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.010

# 巍山青华绿孔雀省级自然保护区兽类多样性研究

章 煜[1],崔茂欢[2],姜健发[2],周顺福[2],杨家伟[3],王有位[4]
(1.云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051; 2.云南省林业调查规划院大理分院,云南 大理 671000;
3.云南巍山青华绿孔雀省级自然保护区管护局,云南 巍山 614700; 4.大理白族自治州林木种苗管理站,云南 大理 671000)

**摘要**:通过红外相机陷阱法、样线法、访问法和文献查阅法,对巍山青华绿孔雀省级自然保护区兽类多样性进行调查。结果共记录兽类 6 目 12 科 22 种,其中东洋种 13 种,广布种 9 种。国家重点保护野生动物 4 种,列入《中国生物多样性红色名录》物种 8 种,列入 IUCN 红色名录物种 1 种,列入 CITES 附录物种 7 种。兽类科的多样性指数 $D_F$ 为 3.817 1,属的多样性指数 $D_G$ 为 2.965 0,$G-F$ 指数 $D_{G-F}$ 为 0.223 2,兽类组成以单种属为主。调查更新了保护区兽类资源本底,并对兽类资源保护和管理提出建议。

**关键词**:兽类多样性;区系组成;地理分布型;$G-F$ 指数;巍山青华绿孔雀省级自然保护区

**中图分类号**:S759.9;Q959.8;Q16 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0062-05

**引文格式**:章煜,崔茂欢,姜健发,等. 巍山青华绿孔雀省级自然保护区兽类多样性研究[J]. 林业调查规划,2025,50(1):62-66. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.010

ZHANG Yu, CUI Maohuan, JIANG Jianfa, et al. Diversity of Mammals in Weishan Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 62-66. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.010

# Diversity of Mammals in Weishan Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve

ZHANG Yu[1], CUI Maohuan[2], JIANG Jianfa[2], ZHOU Shunfu[2], YANG Jiawei[3], WANG Youwei[4]
(1. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China; 2. Dali Branch of Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Dali, Yunnan 671000, China; 3. Administration of Weishan Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve, Weishan, Yunnan 614700, China; 4. Forest Seeding Management Station of Dali Prefecture, Dali, Yunnan 671000, China)

**Abstract**: Through the methods of infrared camera-trapping, line transect, local interview and literature review, the diversity of mammals in Weishan Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve were investigated. The results showed that a total of 22 species were recorded, which belonged to 12 families and 6 orders, including 13 Oriental species and 9 widespread species. There were 4 species under national key protection of China, 8 species were listed in the *Redlist of China's Biodiversity*, 1 species was listed in IUCN Red List, 7 species were listed in CITES appendix. The diversity index $D_F$ of the mammal family was 3.817 1, the diversity index $D_G$ of the genus was 2.965 0, and the $G-F$ index $D_{G-F}$ was 0.223 2. The composition was mainly assembled by monospecies. This survey updated the mammal resources base in reserve and provided suggestions for the protection and management of mammals.

**收稿日期**:2023-08-16;**修回日期**:2024-08-13
**基金项目**:澜沧江小湾水电站工程巍山青华绿孔雀省级自然保护区生物多样性本底调查项目(2021007);云南省科技厅 2023 年第二批科技成果转化专项资金(530000231100001753720).
**第一作者**:章煜(1979-),男,高级工程师. 从事林业调查规划、生物多样性保护与自然保护地研究工作. Email:27889767@qq.com
**责任作者**:王有位(1978-),男,高级工程师. 主要从事林木种苗培育和林业调查规划工作.

**Key words**: diversity of mammals; fauna component; geographic distribution pattern; *G-F* index; Weishan Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve

巍山青华绿孔雀省级自然保护区(以下简称“保护区”)位于云南省大理白族自治州巍山彝族回族自治县青华乡境内,主要保护对象为以绿孔雀(*Pavo muticus*)、黑颈长尾雉(*Syrmaticus humiae*)和林麝(*Moschus berezovskii*)等为代表的珍稀濒危野生动物及其栖息环境,是我国唯一以绿孔雀为单一保护对象命名的保护区[1]。该保护区处于绿孔雀在国内分布的最北端,对深入研究绿孔雀生态习性、遗传特征以及制定有效的保护措施具有极高的研究价值。

相关学者对保护区内鸟兽多样性、人为干扰对白腹锦鸡的影响、黑颈长尾雉种群数量、大中型兽类、植物多样性、药用植物资源等[2-7]进行过调查研究。基于保护区 2016—2020 年红外相机监测数据,以及 2021—2022 年样线调查、访问调查和文献查阅,对保护区兽类资源进行分析研究,以期为保护区生物多样性保护提供科学依据。

## 1 研究区域概况

巍山青华绿孔雀省级自然保护区于 1988 年成立,属于州级自然保护区,1997 年晋升为省级自然保护区,地理坐标为 100°11′29″~100°14′15″E,24°58′43″~25°0′43″N,总面积 1 000.0 $hm^2$,其中核心区面积 225.4 $hm^2$,缓冲区面积 169.0 $hm^2$,实验区面积 605.6 $hm^2$。保护区地势北高南低,最高海拔 2 010 m,最低海拔 1 240 m,海拔高差 770 m。该区域属亚热带北部高原季风气候,年均温 16~20℃,极端最高温 32℃,极端最低温 -7℃。年降水量 600~800 mm,多集中在 6—10 月。龙凤河和中窑河流经保护区后注入黑潄江,河流汇水区属于小湾电站淹没区,属澜沧江水系。主要植被类型为暖温性针叶林和热性灌丛,零星分布有半湿润常绿阔叶林、人工乔木林和草本作物。土壤以红壤为主,有少量黄红壤、褐色赤红壤和紫色土。

## 2 调查与分析方法

### 2.1 调查方法

#### 2.1.1 红外相机陷阱法

保护区管护局在保护区内重点区域共布设了 50 台红外相机,红外相机点位基本覆盖了保护区各海拔段的多种生境类型,共收集到保护区管护局 2016 年 8 月—2020 年 5 月红外相机监测数据 1.93 TB。

#### 2.1.2 样线法

根据保护区不同海拔、不同生境共布设 5 条调查路线,样线全长 14.5 km。于 2021 年 3 月—2022 年 9 月先后开展 4 次样线调查,沿途观察记录调查路线两侧各 50 m 范围内遇到的兽类实体、踪迹(粪便、足迹、毛发和食痕等),记录发现兽类种类及其海拔与生境类型,并用 GPS 采集痕迹点或动物出现地点地理坐标。

#### 2.1.3 访问法

在开展样线调查期间,对保护区工作人员以及保护区周边村寨居民进行非诱导式访问调查,对比较容易识别的物种如猕猴(*Macaca mulatta*)、花面狸(*Paguma larvata*)、林麝(*Moschus berezovskii*)、野猪(*Sus scrofa*)等进行调查。

#### 2.1.4 文献查阅法

通过查阅已正式发表的文献资料来确定保护区兽类物种情况,对于资料记载的一些分布范围较窄的珍稀濒危物种,在多年的红外相机监测中未拍摄到其有效照片的,暂不列入本次调查成果,如中华穿山甲(*Manis pentadactyla*)、小灵猫(*Viverricula indica*)、亚洲黑熊(*Ursus thibetanus*)。

### 2.2 分类及保护等级依据

兽类名称和分类系统根据《中国兽类名录》[8]确定,区系划分参照《中国动物地理》[9]确定,保护等级根据《国家重点保护野生动物名录》[10]《中国生物多样性红色名录》[11]《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》[12]《濒危野生动植物种国际贸易公约(附录 I、附录 II 和附录 III)》[13]确定。

### 2.3 分析方法

根据保护区管护局 2016—2020 年红外相机监测数据,以及 2021—2022 年样线调查、访问调查和文献查阅结果,对保护区内兽类资源物种组成、区系、地理分布型、物种多样性和珍稀濒危物种等进行分析研究。采用蒋志刚等[14] *G-F* 指数公式分析物种多样性。

1)科的多样性指数 $D_F$

$$D_{fk} = -\sum_{i=1}^{n} p_i \ln p_i \quad (1)$$

$$p_i = s_{ki}/S_k \quad (2)$$

式中:$s_{ki}$ 为 $k$ 科中某一属 $i$ 的物种数;$S_k$ 为 $k$ 科中总的物种数;$n$ 为 $k$ 科中属的数量;$k$ 为科,$f$ 为科一级

的参数。

$$D_F = \sum_{i=1}^{m} D_{fk} \quad (3)$$

式中：$m$ 为该名录中所有科的数量。

2）属的多样性指数 $D_G$

$$D_G = -\sum_{j=1}^{p} D_i = -\sum_{j=1}^{p} q_i \ln q_i \quad (4)$$

$$q_i = s_j / S \quad (5)$$

式中：$s_j$ 为某一属下物种数量 $j$；$S$ 为某一科下所有属中物种数量；$p$ 为某一科下所有属的数量。

3）$G-F$ 指数 $D_{G-F}$

$$D_{G-F} = 1 - \frac{D_G}{D_F} \quad (6)$$

## 3 结果与分析

### 3.1 物种组成

通过红外相机监测数据分析、样线调查、访问调查和文献资料查阅，保护区有兽类 6 目 12 科 20 属 22 种（表 1）。

由表 1 可以看出，种类最丰富的为啮齿目（Rodentia），有 3 科 9 属 10 种，占保护区兽类总种数的 45.45%；其次为食肉目（Carnivora），有 3 科 5 属 5 种，占比 22.72%；第三为鲸偶蹄目（Cetartiodactyla），有 3 科 3 属 4 种，占比 18.18%；其余 3 目均只有 1 科 1 属 1 种，分别占比 4.55%。

兽类各科中，物种最多的是鼠科（Muridae），有 5 种，占保护区兽类总种数的 22.73%；其次是松鼠科（Sciuridae），有 4 种，占比 18.18%；第三为鼬科（Mustelidae），有 3 种，占比 13.64%；鹿科（Cervidae）有 2 种，占比 9.09%；其余 8 科均只有 1 种，分别占比 4.55%。

兽类各属中，仅麂属（*Muntiacus*）和家鼠属（*Rattus*）各有 2 种，其他各属均只有 1 种。2 个种分布的兽类属占总属数的 10.00%，只有 1 个种分布的兽类属占比 90.00%。从属下物种看，81.82% 的兽类物种分布于只有单种的属中，仅有 18.18% 的物种分布于有两个种的属中。

### 3.2 区系组成

根据《中国动物地理》，保护区地理位置处于东洋界中印亚界西南区（Ⅴ）西南山地亚区（ⅤA），其物种生态地理动物群为南方亚热带森林-林灌草地、农田动物群。该保护区 22 种兽类中，东洋种 13 种，占兽类总种数的 59.09%；广布种 9 种，占比 40.91%（表 2）。

### 3.3 地理分布型

依据《中国动物地理》，保护区兽类分布型有 4 种。

#### 3.3.1 北方型（寒温带寒带型）

本型分布范围为全北界至我国东北与新疆北部。保护区内分布有 5 种，全为古北型，占保护区兽类总种数的 22.72%。包括黄鼬、野猪、褐家鼠、小家鼠、巢鼠。

#### 3.3.2 东洋型（东南亚热带亚热带型）

本型分布范围为东南亚热带至我国亚热带到温带地区。保护区内分布有 9 种，占保护区兽类总种数的 40.91%。包括北树鼩、猕猴、黄喉貂、花面狸、豹猫、赤麂、赤腹松鼠、马来豪猪、黄胸鼠。

#### 3.3.3 南中国型（大江流域以南）

本型包括中国热带至南亚热带至北亚热带为分布中心的种类。保护区内分布有 6 种，占保护区兽类总种数的 27.27%。包括鼬獾、林麝、小麂、栗背大鼯鼠、珀氏长吻松鼠、中华姬鼠。

#### 3.3.4 喜马拉雅-横断山型

此型为我国东喜马拉雅地区的特有分布种。保护区内分布有 2 种，占保护区兽类总种数的 9.09%。其中喜马拉雅-横断山亚型 1 种，即侧纹岩松鼠，占比 4.55%；云贵高原亚型 1 种，即云南兔，占比 4.55%。

### 3.4 珍稀濒危物种

在保护区 22 种兽类中，国家重点保护野生动物 4 种，占保护区兽类总种数的 18.18%。其中国家一级重点保护野生动物 1 种，即林麝；国家二级重点保护野生动物 3 种，分别为猕猴、黄喉貂和豹猫；列入《中国生物多样性红色名录》中极危种（CR）1 种，即林麝；易危种（VU）2 种，分别为黄喉貂、豹猫；近危种（NT）5 种，分别为鼬獾、花面狸、赤麂、小麂和云南兔；列入 IUCN 红色名录濒危种（EN）1 种，即林麝；列入 CITES 附录物种 7 种，占保护区兽类总种数的 31.82%，其中附录Ⅱ物种有北树鼩、猕猴、豹猫和林麝 4 种；附录Ⅲ物种有黄喉貂、黄鼬和花面狸 3 种。

### 3.5 *G-F* 指数

保护区兽类科的多样性指数 $D_F$ 为 3.817 1，属的多样性指数 $D_G$ 为 2.965 0，$G-F$ 指数 $D_{G-F}$ 为 0.223 2。总体上看，该保护区兽类的 $D_F$、$D_G$、$G-F$ 指数均较低，科的多样性高于属的多样性。单属科物种 10 种，占物种总数的 45.45%。单型属物种 18 种，占物种总数的 81.82%，兽类组成以单种属为主。

## 4 结论与建议

保护区面积较小，且周边被河流、村庄等包围，孤岛效应明显。本次调查保护区内有兽类 22 种，有国家重点保护野生动物 4 种，列入《中国生物多

表 1　巍山青华绿孔雀省级自然保护区兽类名录

Tab. 1　List of mammals in Weishan Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve

| 目、科、种名 | 分布型 | 区系从属 | 保护级别 | | | | 数据来源 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 中国保护级别 | 中国生物多样性红色名录 | IUCN 红色名录 | CITES 附录 | |
| Ⅰ 攀鼩目 Scandentia | | | | | | | |
| (一)树鼩科 Tupaiidae | | | | | | | |
| 1 北树鼩 *Tupaia belangeri* | W | 东洋种 | | | | Ⅱ | C、L |
| Ⅱ 灵长目 Primates | | | | | | | |
| (二)猴科 Cercopithecidae | | | | | | | |
| 2 猕猴 *Macaca mulatta* | W | 东洋种 | 二级 | | | Ⅱ | O、C、V、L |
| III 食肉目 Carnivora | | | | | | | |
| (三)鼬科 Mustelidae | | | | | | | |
| 3 黄喉貂 *Martes flavigula* | W | 广布种 | 二级 | VU | | Ⅲ | O、C、V、L |
| 4 黄鼬 *Mustela sibirica* | U | 广布种 | | | | Ⅲ | O、C、V、L |
| 5 鼬獾 *Melogale moschata* | S | 东洋种 | | NT | | | C、L |
| (四)灵猫科 Viverridae | | | | | | | |
| 6 花面狸 *Paguma larvata* | W | 广布种 | | NT | | Ⅲ | O、C、V、L |
| (五)猫科 Felidae | | | | | | | |
| 7 豹猫 *Prionailurus bengalensis* | W | 广布种 | 二级 | VU | | Ⅱ | O、C、V、L |
| IV 鲸偶蹄目 Cetartiodactyla | | | | | | | |
| (六)猪科 Suidae | | | | | | | |
| 8 野猪 *Sus scrofa* | U | 广布种 | | | | | O、C、V、L |
| (七)麝科 Moschidae | | | | | | | |
| 9 林麝 *Moschus berezovskii* | S | 东洋种 | 一级 | CR | EN | Ⅱ | C、V、L |
| (八)鹿科 Cervidae | | | | | | | |
| 10 赤鹿 *Muntiacus vaginalis* | W | 东洋种 | | NT | | | O、C、V、L |
| 11 小鹿 *Muntiacus reevesi* | S | 东洋种 | | NT | | | C、L |
| V 啮齿目 Rodentia | | | | | | | |
| (九)松鼠科 Sciuridae | | | | | | | |
| 12 赤腹松鼠 *Callosciurus erythaeus* | W | 东洋种 | | | | | O、C、V、L |
| 13 珀氏长吻松鼠 *Dremomys pernyi* | S | 东洋种 | | | | | C、L |
| 14 侧纹岩松鼠 *Sciurotamias forresti* | H | 东洋种 | | | | | C、L |
| 15 栗背大鼯鼠 *Petaurista albiventer* | S | 东洋种 | | | | | C、V、L |
| (十)豪猪科 Hystricidae | | | | | | | |
| 16 马来豪猪 *Hystrix brachyura* | W | 东洋种 | | | | | C、V、L |
| (十一)鼠科 Muridae | | | | | | | |
| 17 中华姬鼠 *Apodemus draco* | S | 东洋种 | | | | | L |
| 18 黄胸鼠 *Rattus tanezumi* | W | 广布种 | | | | | O、L |
| 19 褐家鼠 *Rattus norvegicus* | U | 广布种 | | | | | O、V、L |
| 20 小家鼠 *Mus musculus* | U | 广布种 | | | | | O、L |
| 21 巢鼠 *Micromys minulus* | U | 广布种 | | | | | L |
| VI 兔形目 Lagomorpha | | | | | | | |
| (十二)兔科 Leporidae | | | | | | | |
| 22 云南兔 *Lepus comus* | Y | 东洋种 | | NT | | | O、C、V、L |

注:分布型中 U 为古北型,H 为喜马拉雅-横断山区型,Y 为云贵高原型, S 为南中国型,W 为东洋型;中国保护级别中一级、二级分别为国家一级、二级重点保护野生动物;中国生物多样性红色名录中 CR、VU 和 NT 分别为极危种、易危种、近危种;IUCN 红色名录中 EN 为濒危种;CITES 附录中Ⅱ、Ⅲ分别为列入 CITES 公约附录Ⅱ、附录Ⅲ物种;数据来源中 O 为样线调查,C 为红外相机,V 为访问调查,L 为文献资料。

样性红色名录》物种 8 种,列入 IUCN 红色名录物种 1 种,列入 CITES 附录物种 7 种。国内和国际保护野生动物合计 11 种,占保护区兽类总种数的 50.00%,说明该保护区具有较高的保护价值。

表2 巍山青华绿孔雀省级自然保护区兽类区系成分

Tab. 2 Fauna components of mammals in Weishan Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve

| 目 | 东洋种 | 广布种 | 合计 |
|---|---|---|---|
| 攀鼩目 Scandentia | 1 | | 1 |
| 灵长目 Primates | 1 | | 1 |
| 食肉目 Carnivora | 1 | 4 | 5 |
| 鲸偶蹄目 Cetartiodactyla | 3 | 1 | 4 |
| 兔形目 Lagomorpha | 1 | | 1 |
| 啮齿目 Rodentia | 6 | 4 | 10 |
| 合计 | 13 | 9 | 22 |

保护区植被以云南松林为主,零星分布有余甘子、浆果楝、车桑子等灌丛,生境相对单一,这在一定程度上限制了所能容纳的物种种类及其种群数量。本次调查结果反映出该区域兽类物种科的多样性高于属的多样性,兽类组成以单种属为主,每一个物种都具有重要的生物学意义。

绿孔雀作为该保护区的主要保护对象,原大理州环科所和原巍山县城乡建设环境保护局于1996年联合开展保护区综合考察时记录绿孔雀数量为20余只[15]。2000年,野生动物摄影师奚志农在保护区内拍摄到绿孔雀成群到农地觅食的影像资料[16]。之后,保护区管护局组织的多次专项调查均未发现绿孔雀及其活动痕迹。绿孔雀在保护区内虽然已区域性消失,但保护区开展的保护管理工作仍在不断加强,间接地保护区域生态系统的完整性和栖息在该区域的其它物种,发挥了重要的“伞护效应”价值。

为更好地保护好保护区兽类资源,提出以下保护和管理建议:

1)持续推进生物多样性监测和科研工作。定期收集红外相机监测数据,定期对已设置的15条固定监测样线进行调查,并对监测和调查数据进行分析,为保护区管理提供数据支撑。加强与高等院校、科研院所的合作,加大专业技术人才培养力度,积极开展保护区野生动植物科研工作。

2)结合“国际生物多样性日”“世界环境日”等重要节日,深入集市、学校等地,通过发放宣传单、宣传画册和悬挂布标等多种形式,宣传野生动物保护法律法规,进一步提高群众的保护意识。宣传野生动物公众责任保险,积极妥善处理野生动物肇事赔偿案件,使农户不驱赶、不伤害到农地里觅食的野生动物。

3)加强巡护管理。采取“分片包干、责任到人、相互协作”的方式,认真落实专职管护员的巡护责任,全力遏制偷猎野生动物、盗伐野生植物等破坏行为。

## 参考文献:


[1] 胡昌平,崔茂欢. 巍山青华绿孔雀自然保护区生物多样性调查研究[M]. 昆明:云南科技出版社,2024.

[2] 李斌强,李鹏映,杨家伟,等. 运用红外相机调查云南巍山青华绿孔雀自然保护区的鸟兽多样性[J]. 生物多样性,2018,26(12):1343-1347.

[3] 胡远芳,李斌强,梁丹,等. 人为干扰对白腹锦鸡活动节律的影响[J]. 生物多样性,2022,30(8):1-14.

[4] 佘韶峰. 青华保护区黑颈长尾雉(*Syrmaticus humiae*)种群数量调查及生境适宜性评价[D]. 大理:大理大学,2023.

[5] 胡昌平,王有兵,杨建军,等. 青华绿孔雀省级自然保护区植物多样性调查研究[J]. 林业建设,2023,41(5):1-8.

[6] 杨淑娇,王有兵,胡昌平,等. 巍山青华绿孔雀省级自然保护区药用植物资源多样性研究[J]. 林业调查规划,2024,49(4):135-140.

[7] 魏懿鑫,马驰,茶志强,等. 云南巍山青华绿孔雀自然保护区大中型兽类多样性调查[J]. 南方农业,2024,18(5):257-260.

[8] 魏辅文,杨奇森,吴毅,等. 中国兽类名录(2021版)[J]. 兽类学报,2021,41(5):487-501.

[9] 张荣祖. 中国动物地理[M]. 北京:科学出版社,2011.

[10] 国家林业和草原局,农业农村部. 国家重点保护野生动物名录[J]. 野生动物学报,2021,42(2):605-640.

[11] 蒋志刚,吴毅,刘少英,等. 中国生物多样性红色名录(第一卷 哺乳动物)[M]. 北京:科学出版社,2021.

[12] IUCN 2022. The IUCN Red List of Threatened Species (Version 2022-1)[EB/OL]. [2023-08-10]. https://www.iucnredlist.org.

[13] 中华人民共和国濒危物种进出口管理办公室,中华人民共和国濒危物种科学委员会. 濒危野生动植物种国际贸易公约附录Ⅰ、附录Ⅱ和附录Ⅲ[EB/OL]. (2023-11-01)[2023-12-10]. http://www.cites.org.cn/citesgy/fl/202302/W020240419330829472842.pdf.

[14] 蒋志刚,纪力强. 鸟兽物种多样性测度的*G-F*指数方法[J]. 生物多样性,1999,7(3):220-225.

[15] 大理州环境科学研究所,巍山县城乡建设环境保护局. 巍山青华绿孔雀自然保护区综合考察报告[R]. 1996.

[16] 秦蒙琳,周凌宇. 大理巍山呼唤“孔雀归来”[J]. 中国报道,2021(9):54-56.


责任编辑:董磊

校 对:许易琦,董磊

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.011

# 公路改扩建工程对云南红河阿姆山省级自然保护区生物多样性影响评价

马山俊[1],杨跃仙[1],章文杰[1],韩 枫[2],魏雪峰[3]
(1.云南林业职业技术学院,云南 昆明 650000; 2.四川省林业和草原调查规划院,四川 成都 610000;
3.云南省林业调查规划院,云南 昆明 650000)

**摘要**:系统调查红河县大架公路改扩建工程在云南红河阿姆山省级自然保护区评价区域的生物多样性现状,从建设项目对景观/生态系统、生物群落(栖息地)、物种/种群、主要保护对象、生物安全、社会因素等 6 个层次进行公路改扩建工程对保护区评价区域生物多样性影响评价。结果表明,公路改扩建工程项目对云南红河阿姆山省级自然保护区生物多样性影响指数值为 52.52,依据生物多样性影响程度分级标准,确定为"中低度"影响,结合公路施工期及运营期的人为活动对动植物的影响,有针对性地提出缩短边坡长度、加强林地管理和植被恢复、加强污染控制与清理、加强对重点保护动物和珍稀濒危动物的保护等具体措施。

**关键词**:生物多样性影响评价;公路改扩建工程;云南红河阿姆山省级自然保护区

**中图分类号**:S718.557;S759.9;U41 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0067-05

**引文格式**:马山俊,杨跃仙,章文杰,等. 公路改扩建工程对云南红河阿姆山省级自然保护区生物多样性影响评价[J]. 林业调查规划,2025,50(1):67-71,168. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.011

MA Shanjun, YANG Yuexian, ZHANG Wenjie, et al. Impact Evaluation of Highway Reconstruction and Expansion on Biodiversity of Honghe Amu Mountain Provincial Nature Reserve in Yunnan[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 67-71,168. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.011

# Impact Evaluation of Highway Reconstruction and Expansion on Biodiversity of Honghe Amu Mountain Provincial Nature Reserve in Yunnan

MA Shanjun[1], YANG Yuexian[1], ZHANG Wenjie[1], HAN Feng[2], WEI Xuefeng[3]
(1. Yunnan Forestry Vocational and Technical College, Kunming 650000, China;
2. Sichuan Forestry and Grassland Survey and Planning Institute, Chengdu 610000, China;
3. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650000, China)

**Abstract**: The systematic investigation was conducted on the current status of biodiversity in the evaluation area of Amu Mountain Provincial Nature Reserve in Honghe County, Yunnan Province, for the reconstruction and expansion project of the Dajia Highway. The impact of the highway reconstruction and expansion project on biodiversity in the evaluation area of the reserve was evaluated from six aspects of landscape/ecosystem, biological community (habitat), species/population, main protected objects, bio-

**收稿日期**:2023-11-21;**修回日期**:2023-12-26

**第一作者**:马山俊(1983-),女,高级工程师. 从事林业调查规划、自然保护地监测评估与规划工作. Email: 50805441@qq.com

**责任作者**:魏雪峰(1974-),男,高级工程师. 从事森林资源培育、森林经营等工作.

logical safety and social factors. The results showed that the impact index value was 52.52, determined as a "medium-low" impact according to the classification standard of biodiversity impact. Combined with the impact of human activities on animals and plants during the construction and operation periods of the highway, specific measures were proposed to shorten the slope length, strengthen forest management and vegetation restoration, enhance pollution control and cleaning, and strengthen the protection of key protected animals and rare and endangered animals.

**Key words**: biodiversity impact evaluation; highway reconstruction and expansion project; Honghe Amu Mountain Provincial Nature Reserve in Yunnan

云南红河阿姆山省级自然保护区(以下简称"保护区")地处云南省中南部,属哀牢山纵谷区的南缘部分,是元江、藤条江的分水岭,是两江的重要汇水区,行政区划上位于红河哈尼族彝族自治州红河县,地理坐标为东经 102°02′17″~102°25′54″,北纬 23°09′10″~23°17′15″,总面积 17 211.9 $hm^2$,属于以保护自然地理综合体及其森林生态系统为主的南亚热带山地森林生态系统保护区,主要保护对象是以季风常绿阔叶林、中山湿性常绿阔叶林、山地苔藓常绿阔叶、山顶苔藓矮林等植被类型为主体构成的山地森林生态系统及其生物类群多样性[1-2]。

公路改扩建工程在地方社会经济发展中发挥着重要作用,然而,这些工程也常常伴随着对生态环境的潜在影响,特别是对自然保护区生物多样性的影响。本研究以云南红河阿姆山省级自然保护区为案例,旨在系统评估红河县大架公路改扩建工程对保护区生物多样性的潜在影响,为更可持续的工程实施提供科学依据。同时能为类似自然保护区内的公路建设项目提供科学依据,平衡人类社会发展与自然生态保护的关系,实现可持续发展目标。

## 1 研究区概况

### 1.1 项目概况

大架公路是红河县城通往乐育镇、架车乡、浪堤镇及沿线的主要公路,是红河县旅游环线的重要组成部分。大架公路(桂东—架车)段属标准通达工程,建设初期受投资制约,以及沿线地形、地质、地貌的影响,路线弯急坡陡,路基狭窄,桥涵排水缺乏,技术标准低,涵洞挡墙排水不完善,公路缺乏必要的配套工程。近年来,随着地方社会经济的发展,交通量日益增大,路面长期超负荷运行,自然损坏较突出,而且全线桥涵、防护等人工构造物的原设计荷载标准低,道路行车条件较差,行驶速度低(部分路段时速仅为 15 km/h),服务水平低,安全隐患与日俱增,现有公路状况与地方经济发展和交通量增长要求与国家实施西部大开发战略要求极不适应。

原大架公路为四级公路,纵坡大,弯道多,平纵组合差,目前该公路大部分路基基本完好,大部分路段路基宽度 7.5 m,但局部路段缺少足够的排水设施,排水不畅,局部路段路基由于长期浸水而导致路基变软,个别地方出现了路基沉陷,严重影响行车速度和安全。现按标准三级公路建设,局部困难路段按四级公路双车道标准建设,行车时速 30 km/h(特殊困难路段设计行车时速为 20 km/h),路基宽度 7.5 m,采用沥青混凝土路面。主要建设内容有路基、路面、桥涵工程、防护工程和其他工程等。大架公路全长 45.39 km,其中保护区实验区内长度为 15.05 km,建设内容为新建路面及少量边坡,共占用保护区土地 22.524 9 $hm^2$(林地面积 12.384 4 $hm^2$,非林地面积 10.140 5 $hm^2$)。

### 1.2 评价区概况

项目以工程建设方提供的大架公路建设范围红线,依据《自然保护区建设项目生物多样性影响评价技术规范》中影响评价区范围确定的直线距离不低于 1 000 m 的范围标准绘制评价区范围[3]。评价区位于保护区中部,隶属红河县驾车乡。地形总体呈块状分布,整个地势呈东北低西南高,土壤以黄壤、黄棕壤为主,属于山地北亚热带气候和山地南温带湿润季风气候类型,有虎街河流入到虎街河水库,是元江的二级支流,属元江水系。评价区总面积 1 799.532 8 $hm^2$,占整个保护区面积的 10.46%,其中:核心区 73.020 7 $hm^2$,占影响评价区的 4.06%;缓冲区 415.833 3 $hm^2$,占比 23.11%;实验区 1 310.678 8 $hm^2$,占比 72.83%。

## 2 评价方法

根据《自然保护区建设项目生物多样性影响评

价技术规范》(LY/T 2242—2014),从景观、群落(栖息地)、种群/物种、主要保护对象、生物安全、社会因素 6 个层次,准确评价拟建红河县大架公路(桂东—架车)段改扩建工程对云南红河阿姆山省级自然保护区生物多样性造成的影响,并对每项评价指标按照其属性/特征分别选择合适的分值,最后以算术平均值和指标权重按公式计算出生物多样性影响指数[3-8]。

## 3 生物多样性现状

### 3.1 保护区生物多样性现状

依据《云南植被》的植被区划系统,将保护区的植被划分为 6 个植被型、11 个植被亚型、20 个群系、22 个群落(丛),人工植被包括杉木林、棕榈林和茶园等。保护区植被以自然植被景观为主体。保护区植被类型以中山湿性常绿阔叶林为主,占保护区面积的 45.82%,其次为暖温性针叶林,占比 21.21%。

保护区共记录维管束植物 174 科 661 属 1 414 种,其中蕨类植物 19 科 57 属 123 种,裸子植物 5 科 8 属 9 种,被子植物 150 科 596 属 1 282 种[2]。据《国家重点野生保护植物名录》(2021)、《云南省第一批省级重点保护野生植物名录》(1989)、《世界自然保护联盟》(IUCN,2021)及《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES,2019)[9]统计出阿姆山省级自然保护区有各类保护植物 104 种。

保护区记录有兽类 9 目 26 科 49 属 69 种,鸟类 16 目 53 科 132 属 217 种,爬行类 1 目 7 科 15 属 17 种,两栖类 2 目 8 科 17 属 26 种[2]。分布各类珍稀濒危保护动物 73 种,其中国家一级重点保护动物 8 种,国家二级重点保护动物 42 种,CITES 附录物种 37 种,被列入《世界自然保护联盟》(IUCN,2021)受威胁物种有 15 种,被列入《中国脊椎动物红色名录》受威胁物种有 34 种。

### 3.2 评价区生物多样性现状

#### 3.2.1 景观多样性

根据《旅游资源分类、调查与评价》(GB/T 18972—2017)[10],结合遥感图像判读和现有调查结果,将评价区景观划分为 3 个主类、3 个亚类、5 个景观基本类型(表 1)。林地景观为主体景观类型,属评价区的景观基质,斑块连续性均质性较好,美学价值高。

#### 3.2.2 群落/栖息地类型多样性

评价区分为自然植被和人工植被 2 种植被类型。

表 1　评价区景观分类系统

Tab. 1　Landscape classification system of the evaluation area

| 主类 | 亚类 | 基本类型 | 面积/$hm^2$ | 占比/% | 破碎度 |
|---|---|---|---|---|---|
| B 水域景观 | BA 河系 | BAA 游憩河段 | 12.2804 | 0.68 | 0.9772 |
| C 生物景观 | CA 植被景观 | CAA 林地 | 1695.2183 | 94.20 | 0.0177 |
| | | CAC 草地 | 6.3665 | 0.35 | 1.5707 |
| E 建筑与设施 | EA 人文景观综合体 | EAD 建设工程与生产地 | 73.9047 | 4.11 | 0.7848 |
| | | EAH 交通运输场站 | 11.7629 | 0.65 | 1.4452 |
| | 合计 | | 1799.5328 | 100.00 | 4.7956 |

自然植被类型包括常绿阔叶林、落叶阔叶林、暖性灌丛 3 个植被型;可进一步划分为中山湿性常绿阔叶林、暖性落叶阔叶林、暖性灌丛 3 个植被亚型;青冈-西南桦林、尼泊尔桤木林、栎栲类灌丛 3 个群系。人工植被类型为以赤桉为代表的落叶经济林和以柳杉(*Cryptomeria japonica* var. *sinensiss*)和云南松(*Pinus yunnanensiss*)为代表的常绿经济林植被(表 2)。

表 2　评价区植被类型

Tab. 2　Vegetation types in evaluation area

| 属性 | 植被型 | 植被亚型 | 群系 | 面积/$hm^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 自然植被 | 常绿阔叶林 | 中山湿性常绿阔叶林 | 青冈-西南桦林 | 1085.3007 |
| | 落叶阔叶林 | 暖性落叶阔叶林 | 尼泊尔桤木林 | 55.2578 |
| | 灌丛 | 暖性灌丛 | 栎栲类灌丛 | 154.7195 |
| 人工植被 | | 人工木本植被 | 常绿经济林 | 390.5915 |
| | | | 落叶经济林 | 9.3488 |

#### 3.2.3 物种多样性

1)植物多样性

评价区自然分布维管植物 106 科 260 属 370 种,其中蕨类植物 22 科 38 属 56 种,裸子植物 4 科 9 属 10 种,被子植物 80 科 213 属 304 种。评价区有野生分布的国家级重点保护野生植物 2 种,为国家二级重点保护野生植物金荞麦(*Fagopyrum dibotrys*)

和蛇足石杉(*Huperzia serrata*)。列入 CITES 附录Ⅱ的有绶草(*Spiranthes sinensis*)1 种。云南特有植物 11 种,中国特有植物 33 种。就保护区植物多样性现状而言,评价区植物物种的丰富度属于中等水平。

2)动物多样性

评价区内共记录到陆生野生脊椎动物 21 目 58 科 122 属 157 种。其中,哺乳动物 7 目 19 科 25 属 28 种,鸟类 9 目 24 科 62 属 85 种,爬行动物 3 目 7 科 20 属 23 种,两栖动物 2 目 8 科 15 属 21 种。涉及国家级、省级重点保护、IUCN 或 CITES 附录的动物 18 种,云南特有动物 4 种,中国特有动物 8 种。

## 4 建设项目对生物多样性的影响评价

### 4.1 景观/生态系统影响评价

项目建设将占用林地景观面积 12.384 4 $hm^2$,占用建设工程与生产地面积 0.019 1 $hm^2$,优化交通运输场站景观面积 10.121 4 $hm^2$,项目实施后,交通运输场站面积增加 12.403 5 $hm^2$。项目建设不形成新的景观分割,不会造成景观结构的改变和对林地景观连续性的破坏,但在道路两侧坡度 25°左右区域施工时,仍可能会发生局部土壤侵蚀、滑坡、泥石流等地质灾害。整体评估得分 54.6 分。

### 4.2 生物群落(栖息地)影响评价

评价区的自然植被类型主要是中山湿性常绿阔叶林和暖性落叶阔叶林,包含青冈-西南桦和尼泊尔桤木群落。中山湿性常绿阔叶林是保护区的主要植被类型之一,在云南省主要分布于南部、西南部和东南部地区的中海拔区域,呈带状或块状分布,尤其山地区域分布较多,在东南亚和南亚也有分布,不属于特有类型。暖性落叶阔叶林在云南省南部、西南部和东南部地区均有大面积分布,属于分布范围较广的常见植被类型,不属于特有类型。项目建设占用保护区自然生物群落(栖息地)面积 8.048 9 $hm^2$,占评价区自然生物群落面积的 0.62%,不会因项目建设而造成某种自然植被在评价区的消失。项目建设形式为改扩建,不形成新的生境隔离,仅对小范围生物群落结构产生影响,不可能改变评价区生物群落的水平结构及垂直结构,也不会导致评价区内整个群落结构的简化。整体评估得分 50.0 分。

### 4.3 物种/种群影响评价

评价区分布 11 种云南特有植物和 33 种中国特有植物,共计 44 种特有植物。其中假稀羽鳞毛蕨(*Dryopteris pseudosparsa*)、刚毛秋海棠(*Begonia versicolor*)等 22 种特有植物其分布点距离工程施工区较远,不会受到工程施工的影响;其它 22 种特有植物,如野龙竹、长梗大青、水锦树、华南栲木等,其中少量个体位于工程施工区,会受到施工的直接影响,使其个体数量有所减少[11]。

评价区内记录有中国特有野生动物滇绒鼠(*Eothenomys eleusis*)、西南兔(*Lepus comus*)、白腹锦鸡(*Chrysolophus amherstiae*)、八线腹链蛇(*Hebius octolineatum*)、高山掌突蟾(*Paramegophrys alpinus*)、华西雨蛙(*Hyla gongshanensis*)、昭觉林蛙(*Rana chaochiaoensis*)、红蹼树蛙(*Rhacodophis rhodopus*)等 8 种,云南特有野生动物橙喉长吻松鼠(*Dremomys gularis*)、毛腿夜鹰(*Eurostopodus macrotis*)、纵纹绿鹎(*Pycnonotus striatus*)、长尾奇鹛(*Heterophasia picaoides*)等 4 种分布,无保护区特有动物。施工期间,对滇绒鼠、西南兔等中小型哺乳动物及白腹锦鸡的影响主要是其栖息地植被、洞穴等生活条件被破坏,对两栖爬行动物的影响主要是施工而产生的渣土、弃土将可能造成下游溪流和河流的水质污染、河底泥沙增多、河床改变等。运营期车辆通行量增加所产生的噪音、震动及人为活动也会对动物产生影响。整体评估得分 50.0 分。

### 4.4 对主要保护对象的影响评价

受项目建设直接影响的自然植被是中山湿性常绿阔叶林,该类型虽属保护区作为保护对象的山地森林生态系统,但项目建设占用的面积有限,仅占评价区该类型的 0.46%,若拓展到整个保护区,其影响的比例则更小[7]。评价区分布有作为保护对象的金荞麦和蛇足石杉,但这些物种在影响评价区内分布面积较广,项目建设对作为保护对象的植物物种无直接影响。项目建设影响的中山湿性常绿阔叶林是部分保护物种的栖息地,但占用面积较小,只要对项目建设人员和管理人员加强宣传教育和管理培训,杜绝偷捕盗猎行为的发生[12],项目建设期和运营期均不会对评价区分布的 18 种各级保护动物的种群数量构成影响。整体评估得分 50.0 分。

### 4.5 生物安全影响评价

评价区自然植被属组成种类较复杂的混交林,自身抗性较强,鲜有森林病虫害发生。评价区发现分布有紫茎泽兰(*Ageratina adenophora*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)等危害性最强的外来入侵植物,施工期间造成带状地表裸露,紫茎泽兰、鬼针草等特殊生态适应

性和繁殖方式将会迅速入侵这些空旷生境,极易引发紫茎泽兰、鬼针草等的再入侵[7,13]。评价区干湿季节分明,冬春季节较为干燥,森林火险等级高。项目建设及运营期的人为活动以及生产用火和乱扔烟头等废物会增加森林火灾发生的风险。整体评估得分 59.0 分。

### 4.6 社会因素影响评价

建设项目对缓解和改善沿线群众的出行条件,带动社区社会经济增长,巩固脱贫攻坚成果和促进乡村振兴进程具有积极意义。建设项目能够扭转当地交通设施落后局面,改善交通条件,方便社区群众出行,促进人流、物流、信息流的提升和少数民族地区的繁荣与稳定。建设项目为保护区的森林防火、巡护监测、林政执法、社区共管等提供了便利。地方政府、社区群众及保护区均支持项目建设。整体评估得分 57.0 分。

## 5 结　论

建设项目是在原有道路基础上进行提升改造,并以线性的形式穿越保护区实验区,占用保护区少量的土地,受影响的景观类型主要为林地景观 1 种,生物群落(植被/栖息地)类型以青冈林和云南松林群落为主,不直接涉及国家级、省级重点保护、IUCN 或 CITES 附录的动植物。项目建设对景观破碎化不构成影响,不会造成生物群落的分割,对保护区关键种生物群落影响极小,不会造成某个重要野生植物在影响评价区或保护区内消失[14],对主要保护对象种群数量影响极小,根据《自然保护区生物多样性影响评价技术规范》,影响指数值为 52.52(表 3),因此,大架公路改扩建对云南红河阿姆山省级自然保护区生物多样性的影响程度为“中低度影响”。

**表 3　生物多样性影响指数计算**

**Tab. 3　Biodiversity impact index calculation**

| 指标 | 得分 $S_i$ | 权重 $W_i$ | $W_i \times S_i$ |
|---|---|---|---|
| A 对景观的影响 | 54.60 | 0.20 | 10.92 |
| B 对群落(栖息地)的影响 | 50.00 | 0.20 | 10.00 |
| C 对物种/种群的影响 | 50.00 | 0.20 | 10.00 |
| D 对主要保护对象的影响 | 50.00 | 0.20 | 10.00 |
| E 对生物安全的影响 | 59.00 | 0.10 | 5.90 |
| F 对社会因素的影响 | 57.00 | 0.10 | 5.70 |
| 合计 | | | 52.52 |

## 6 生态保护措施

### 6.1 施工期生态保护措施

#### 6.1.1 缩短边坡长度,精细用地规划

为减少公路建设对保护区的影响,建议在设计和规划阶段采取缩短边坡长度的措施,以节约用地并减轻工程对环境的压力。

#### 6.1.2 严格执行保护区法规

施工方需进行保护区相关法规培训,坚持“先防护,后施工”的原则,确保施工活动符合法律法规,最大程度地降低对保护区的干扰。

#### 6.1.3 加强林地管理和植被恢复

在施工范围内设置警示牌,明确施工活动区域,严格划定保护地域。对临时用地及时采取植被恢复措施,选择本地原生植物进行种植,防止外来物种入侵。

#### 6.1.4 加强珍稀濒危动物保护

在施工阶段进行野生动物保护的宣传教育,禁止在施工区域内随意破坏植被和捕捉野生动物。特别是对 18 种重点保护动物,采取有针对性的保护措施,确保其栖息环境不受干扰。

#### 6.1.5 加强对外来入侵物种防治

及时采取措施防治外来入侵植物,特别是紫茎泽兰和鬼针草,以避免其对保护区生态系统的负面影响。

### 6.2 运营期生态保护措施

#### 6.2.1 加强污染控制与清理

针对运营期可能产生的污染源,建议加强公路区域的绿化,保持路面清洁,公路管理部门加强沿路巡护,及时清理运营过程中产生的各类废弃物,以确保排放的污染物减量化或无害化。

#### 6.2.2 严格遵守环境管理制度

公路管理部门严格遵守自然保护区相关法规和管理制度,确保公路运营不违反生态保护的相关规定,最大限度地减轻对保护区的负面影响。

#### 6.2.3 加强对重点保护动物的保护

采取措施降低运营期对野生动物的影响,包括设置警示牌提醒驾驶人员,减速慢行,并在动物活动频繁区域安装摄像头进行监测。加强对 18 种重点保护动物的监测,并采取针对性的保护措施。

#### 6.2.4 危险品运输事故的应急处理

尽管危险货物运输事故概率较低,但仍应加强警示措施,在其进入保护区时设置行车安全警示牌,沿途警示牌增加报警救助电话,合理设置 1~2 处消防设施,确保事故现场的紧急处理措施得以有效实施。

(下转第 168 页)

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.012

# 基于 MSPA 与 MCR 模型的洛阳市生态网络构建研究

孙 杰[1],杨温鑫[1],刘盛源[1],王燕飞[1],王江丽[1],桑鹏辉[2],王智恒[3]
(1.河南科技大学 土木建筑学院,河南 洛阳 471000; 2.睢县园林绿化中心,河南 商丘 476000;
3.河南省第三地质勘查院有限公司,河南 郑州 450000)

**摘要**:以洛阳市为例,通过形态学空间格局分析(MSPA)法、最小累积阻力模型(MCR)和重力模型构建洛阳市中心城区生态网络。研究结果表明,2020 年洛阳市中心城区生态源地总面积为 50.768 $hm^2$,通过景观指数分析得到洛阳市主城区内生境斑块的最小面积阈值为 0.03 $km^2$,共识别出重要生态源地 10 个;根据 MCR 模型得到的重力模型矩阵,识别出生态廊道共 44 条,重要廊道 13 条,一般廊道 31 条;生态源地空间分布不均匀,主要分布在研究区范围内的东部、南部以及边缘地带。综合阻力呈中、西、北部高,东部偏低,交通路网多,生态环境有待加强。对洛阳市中心城区生态环境进行优化后,增加生态源地 3 个,添加 10 个绿地斑块作为踏脚石,得到新增潜在生态廊道 22 条,利用生态网络结构评价体系,计算出 $\alpha$、$\beta$、$\gamma$ 指数分别为 2.48、5.07、2,均有所提升,优化后的生态网络提升了区域生态斑块间的连通度,增强了洛阳市生态系统的稳定性。

**关键词**:生态网络;MSPA;MCR;生态廊道;洛阳市

**中图分类号**:S718.55;O157.5;S711 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0072-08

**引文格式**:孙杰,杨温鑫,刘盛源,等. 基于 MSPA 与 MCR 模型的洛阳市生态网络构建研究[J]. 林业调查规划,2025,50(1):72-79. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.012

SUN Jie, YANG Wenxin, LIU Shengyuan, et al. Construction of Ecological Network in Luoyang City Based on MSPA and MCR Model[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 72-79. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.012

# Construction of Ecological Network in Luoyang City Based on MSPA and MCR Model

SUN Jie[1], YANG Wenxin[1], LIU Shengyuan[1], WANG Yanfei[1], WANG Jiangli[1], SANG Penghui[2], WANG Zhiheng[3]
(1. College of Civil Engineering and Architecture, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China; 2. Landscaping Center of Suixian County, Shangqiu, Henan 476000, China; 3. Henan Third Geological Survey Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China)

**Abstract**: Taking Luoyang City as an example, the ecological network of the central urban area of Luoyang was constructed by using morphological spatial pattern analysis (MSPA) method, minimum cumulative resistance model (MCR), and gravity model. The results showed that in 2020, the total area of ecological sources in the central urban area of Luoyang was 50.768 $hm^2$, and the minimum area threshold of habitat patches in the main urban area was 0.03 $km^2$ and a total of 10 important ecological sources were i-

**收稿日期**:2023-11-15
**基金项目**:国家自然科学基金(52278127).
**第一作者**:孙杰(1997-),男,硕士研究生. 研究方向为城市人居环境.
**责任作者**:杨温鑫(1998-),男,硕士研究生. 研究方向为城市人居环境.

dentified. According to the gravity model matrix obtained by the MCR model, a total of 44 ecological corridors, 13 important corridors and 31 general corridors were identified. The spatial distribution of ecological source areas was uneven, mainly distributed in the eastern, southern, and marginal areas of the study area. The comprehensive resistance was high in the middle, west and north, low in the east, and there were many traffic networks, and the ecological environment should be strengthened. After the optimization of the ecological environment in the central urban area of Luoyang, 3 ecological sources were added, 10 green patches were added as stepping stones, and 22 new potential ecological corridors were obtained, and the $\alpha$, $\beta$ and $\gamma$ indices were calculated to be 2.48, 5.07 and 2 respectively, all of which were improved, and the optimized ecological network improved the connectivity between regional ecological patches and enhanced the stability of the ecosystem in Luoyang City.

**Key words**: ecological network; morphological spatial pattern analysis; minimum cumulative resistance model; ecological corridor; Luoyang City

在经历快速城市化发展后,我国已迈入城市化后半程,截至 2021 年底,我国常住人口城镇化率达 64.72%,城镇人口达 9.1 亿人[1],城市发展面临更加紧迫的提质阶段。过度的土地开发利用使大量城市人工下垫面取代自然下垫面,由此导致的城市生态保护空间骤减、景观破碎化和生物多样性降低等城市生态问题受到广泛关注[2-3]。生态网络以景观生态学“斑块—廊道—基质”原理为基础,通过生态廊道连接破碎生境斑块,增强斑块间的物质与能量流动[4-5],对改善城市生态环境质量、促进区域可持续发展和提升城市人居环境质量具有重要意义。

构建生态网络需要满足物种扩散关键源点选取与反映生态过程廊道搭建,现有研究中对于生态源地的选取多偏重斑块自身属性与综合服务价值,未考虑各生态源地斑块的连通性与区域整体生态格局的完整性[6-7]。形态学空间格局法,基于图形学原理,结合栅格运算方式在像元级尺度分析土地数据,在生态源地的识别与选取上更具有科学性[8-10]。最小累积阻力模型(MCR)基于 GIS 技术计算物种在生态源地穿行的阻力,结合重力模型构建生态阻力面提取潜在生态廊道[3,11]。因此,以生态源地识别—阻力面设置—潜在生态廊道提取为方法的城市生态网络研究被广泛应用[12-14]。

洛阳市作为河南省副中心城市和著名旅游城市,多年来政府深入贯彻落实相关政策,加强生态环境建设与改善生态环境质量。但当前针对洛阳市生态网络研究较少,多数研究只集中在部分生态廊道或斑块绿地[15-16],未关注洛阳整体生态网络格局。基于景观生态学原理和形态学空间分析(MSPA),对洛阳市的生态源地进行识别分析。采用最小累积阻力模型以及重力模型,提取潜在生态廊道和构建脚踏石完善洛阳市生态网络格局,为洛阳市生态规划和可持续发展提供理论支撑。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 研究区概况

洛阳地处中原,位于河南省西部,北依邙山,南望洛水伊川,西有秦岭潼关之险,东有虎牢黑石之固。地理坐标为北纬 33°35′~35°05′,东经 111°08′~112°59′。洛阳境内地势西高东低,三山环绕,洛河由西向东穿城而过,是北方比较典型的滨河景观城市。洛阳下辖 7 县 7 区,总面积 1.52 万$km^2$,其中市区面积 2 274 $km^2$,以洛阳中心城区的老城区、瀍河回族区、西工区、涧西区、洛龙区 5 个行政区为研究区域,研究区总面积约为 585.99 $km^2$,区域人口最密集、自然生态资源与历史文化资源最集中。

### 1.2 数据来源及处理

研究基础数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(resdc.cn)2020 年的 Landsat 8 遥感影像数据,空间分辨率为 30 m。对 2020 年栅格影像数据分别进行校正、裁剪等预处理,并运用 ArcGIS 软件叠图、按掩膜处理提取等方法[17],将研究区景观划分为 5 种景观类型:耕地、林地、草地、水体、建设用地,得到 2020 年研究区土地利用情况(图 1)。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 基于 MSPA 景观格局分析

形态学空间格局分析由 Vogt 等专家学者提出[18]。MSPA 基于数学形态学算法来挖掘图像在空间中的几何形状和连通性,可以检测景观中的图像像素模式,并将焦点要素类的像素数据自动分类为新的结构连通性要素类。在功能型结构中对栅格图像的空

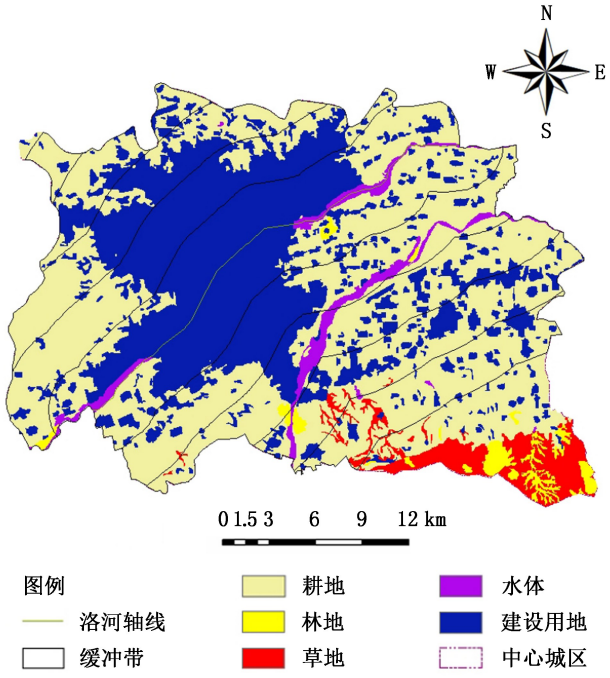



**图 1 2020 年洛阳市中心城区土地利用状况**

**Fig. 1 Land use situation in the central urban area of Luoyang City in 2020**

间格局进行分类更为准确,以前的研究多集中于大面积的林区、自然保护区作为生态源地,而忽视了斑块间的景观连通性。MSPA 方法可以从像元的角度分析对研究区域景观连通性至关重要的区域。使用 ArcGIS 软件进行栅格化处理洛阳市中心城区 2020 年的土地利用类型图,选择林地、草地、水体等要素作为前景数据,以建设用地和耕地作为背景数据。采用 Guidos Toolbox 软件对前景数据进行 MSPA 分析,生成 7 类景观要素(表 1),并对各类景观要素的占比进行统计。

### 1.3.2 景观连通性评价

目前学界主流的评价指标有整体连接指数(IIC)、可能连通性指数(PC)、斑块重要性指数(dPC),通过以上 3 个指数提取研究区生态源地[19-20]。使用 Conefor Sensinode 2.6 软件对区域景观连通性进行分析时,需要输入距离阈值,距离阈值的设置会影响斑块间景观连通性的评价,当距离阈值过大时,说明区域内景观斑块间相互连接,反之,说明景观斑块之间互不连通,景观呈现破碎化。综合考虑各生物迁移扩散的能力。运用 Conefor Sensinode 2.6 软件,分别计算各距离阈值下研究区斑块链接数(nl)、景观组分数(NC)等相关景观连接度指数,结合相关研究[21-22]并分析相关指数随最佳距离阈值的变化情况确定最佳距离阈值为 400 m。整体连接指数计算公式为:

**表 1 景观指数及生态含义**

**Tab. 1 Landscape index and ecological implications**

| 景观类型 | 生态学含义 |
|---|---|
| 核心区 | 面积较大的生境斑块,通常是生态源地的备选区,可以对生物多样性起到重要保护作用 |
| 岛状斑块 | 孤立的、破碎的、与其他斑块进行物质能量交流可能性较低的斑块 |
| 孔隙 | 核心区内部边缘,是核心区与外部背景间的过渡区域 |
| 边缘区 | 核心区外围边缘,是核心区与外部背景间的过渡区域,具有减少外界对核心区干扰的作用 |
| 环道区 | 核心区的内部廊道,核心区内物种迁移和物质能量流动的通道 |
| 桥接区 | 连接核心区的狭长斑块是相邻核心区物种迁移和物质能量流动的途径,对保持景观连通性十分重要 |
| 支线 | 只有一端与边缘区、孔隙、桥接区或环道区相连 |

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{a_i a_j}{1+nl_{ij}}}{A_L^2} \quad (1)$$

式中:$i$ 和 $j$ 不相等;$n$ 为生态斑块总数;$a_i$ 为斑块 $i$ 的面积;$a_j$ 为斑块 $j$ 的面积;$nl_{ij}$ 为斑块 $i$ 和 $j$ 之间的连接数量;$A_L^2$ 为研究区全部生态景观面积。

可能连通性指数计算公式为:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}a_i a_j p_{ij}^*}{A_L^2} \quad (2)$$

式中:$i$ 和 $j$ 不相等;$P_{ij}^*$ 为斑块 $i$、$j$ 间的最大可能连接概率。

$0 \leqslant PC \leqslant 1$,PC 值在此范围内数值越大,研究区斑块之间的连通性越高,PC = 1 时,研究区斑块之间连通性最高。

斑块重要性指数计算公式为:

$$dPC = \frac{(PC - PC_{remove})}{PC \times 100\%} \quad (3)$$

式中:$PC_{remove}$ 为除去一块斑块后,剩余斑块的整体指数值。

dPC 主要是通过 PC 值的变化来判断斑块对维持景观连通性的重要程度。

### 1.3.3 基于最小阻力模型构建潜在生态网络

最小累积阻力(minimal cumulative resistance, MCR)模型反映了“源”经过不同阻力的景观所耗费的费用,即从目标斑块到最近源斑块的加权距离[23]。最初是由 Knaapen 等提出的,用于模拟物种

通过不同类型的生态资源空间阻力的最小路径,现用于生态廊道的识别中,其计算公式为:

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} \times R_i) \quad (4)$$

式中:MCR 为耗费最小成本值;$D_{ij}$ 为空间单元 $i$ 到斑块原点 $j$ 的空间距离;$R_i$ 为 $i$ 的阻力系数;min 为选取评价单元对不同斑块源累积阻力间的最小值。

MCR 模型在建立时,阻力因子的设定至关重要,构建景观阻力面。根据前人研究与研究区实际情况选取阻力因子构建阻力面[24],并根据相关研究确定阻力值及权重,阻力值越大,表明生物迁徙越困难(表 2)。

**表 2　阻力因子分级赋值及权重**

**Tab. 2　Resistance factor grading and weighting**

| 阻力因子 | 分级指标 | 阻力赋值 | 权重 |
|---|---|---|---|
| 高程/m | 86~<155 | 1 | 0.0475 |
| | 155~<228 | 3 | |
| | 228~<339 | 5 | |
| | 339~<520 | 7 | |
| | 520~<899 | 9 | |
| 坡度/(°) | 0~<2 | 1 | 0.0958 |
| | 2~<5 | 3 | |
| | 5~<15 | 5 | |
| | 15~<25 | 7 | |
| | 25~<51 | 9 | |
| 土地利用 | 耕地 | 1 | 0.2790 |
| | 林地 | 3 | |
| | 草地 | 5 | |
| | 水系 | 7 | |
| | 建设用地 | 9 | |
| 植被覆盖 | 0~<0.2 | 1 | 0.2249 |
| | 0.2~<0.4 | 3 | |
| | 0.4~<0.6 | 5 | |
| | 0.6~<0.8 | 7 | |
| | 0.8~<1 | 9 | |
| 夜间灯光 | 0.423~<7.102 | 1 | 0.0690 |
| | 7.102~<16.161 | 3 | |
| | 16.161~<26.468 | 5 | |
| | 26.468~<41.904 | 7 | |
| | 41.904~<97.674 | 9 | |
| 距水系距离/m | 0~<600 | 1 | 0.1323 |
| | 600~<1500 | 3 | |
| | 1500~<3000 | 5 | |
| | 3000~<4500 | 7 | |
| | 4500~<7542 | 9 | |

运用 ArcGIS 软件中的栅格计算器工具计算各个阻力因子得出综合阻力面,作为最小累积模型的成本数据。然后利用综合阻力面计算成本距离与最小成本路径和生态源地生成的点要素,模拟出洛阳市中心城区潜在生态廊道,并记录相关数据,接着计算斑块矩阵作用力,判断每个源地斑块之间的相互作用强度,其计算公式为:

$$G_{ij} = \frac{L_{\max}^2 \ln(S_i) \ln(S_j)}{L_{ij}^2 P_i P_j} \quad (5)$$

式中:$G_{ij}$ 为斑块 $i$、$j$ 间的作用力强度;$S_i$、$S_j$ 分别为斑块 $i$、$j$ 的面积;$P_i$、$P_j$ 分别为斑块 $i$、$j$ 的阻力值;$L_{ij}$ 为斑块 $i$、$j$ 间廊道的累积阻力值;$L_{\max}$ 为研究区斑块间所有廊道中的最大累积阻力值。

#### 1.3.4 生态网络优化及评价

在区域生态系统中,生态廊道和生态源地的连通性是保持生态平衡和生物多样性的关键因素。使用 3 个指数来描述生态系统的连通性和复杂程度。这些指数包括闭合度指数($\alpha$)、网络连接度指数($\beta$)和网络连通率指数($\gamma$),均反映了生态系统中源地和廊道之间的连通性。闭合度指数指生态廊道系统中闭合环路的数量,闭合环路越多,生态廊道系统的连通性越好,物种在生态系统内的迁徙和分布也更加方便;网络连接度指数指生态系统中物种或者群落之间的联系数量,网络连接度越高,说明生态系统内生物种群之间的联系更加紧密,物种之间的交流和资源共享更加频繁;网络连通率指数指生态系统中具有连通性的节点数量占所有节点数量的比例,生态系统中的节点可以是生态源地、生态廊道或者其他环境要素。如果网络连通率高,说明生态系统中的不同节点之间的连通性更强,生态平衡和物种多样性也更加容易得到维护。3 个指数的计算公式为:

$$\alpha = \frac{L - V + 1}{2V - 5} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{L}{V} \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{L}{3(V - 2)} \quad (8)$$

式中:$L$ 为生态廊道数;$V$ 为生态源地数。

3 个指数可以反映出区域生态系统中源地与廊道的连通关系以及生态网络结构的复杂程度,指数数值越大,生态廊道连通性越大,反之越小[25]。

## 2 研究结果

### 2.1 基于 MSPA 的景观格局分析

针对前景数据的分析,利用 Guidos Toolbox 软件对前景数据进行 MSPA 分析,获得初步分析结果(图 2)。

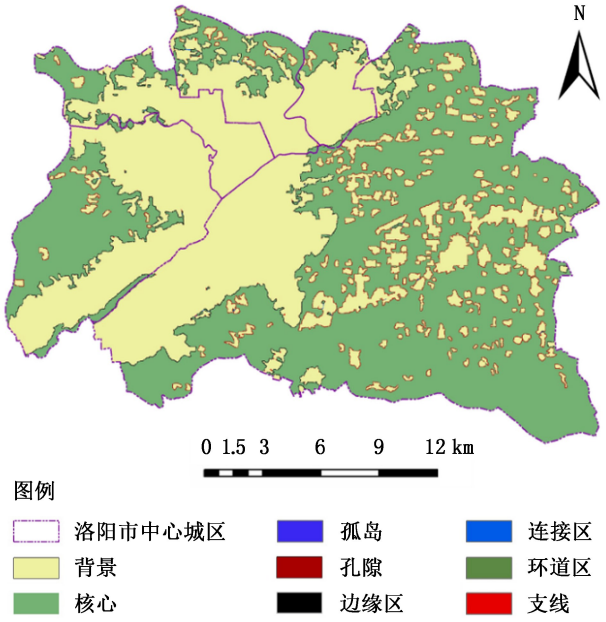



图 2 基于 MSPA 的景观分析

Fig. 2 Landscape analysis based on MSPA

通过对各景观要素分析,核心斑块区面积占比最大,占前景要素的 92.6%,由此证明洛阳市中心城区的景观类型主要由大型斑块构成,主要分布区域在研究区的西部、北部边缘以及东部地区,在研究区选择时,将中心区东南方向伊滨区(未完全开发)纳入洛龙区内进行研究,由于伊滨区在洛阳市前 4 次总体规划中未全面建设,所以大部分生态斑块绿地集中在此附近。边缘区占比 3%,孔隙占比 4%,这说明前景数据核心区内存在不具有生态效益的建设用地,但占比偏小,核心区域总体的生态环境状况相对较为稳定。其中岛状斑块的面积较小且分布状态呈零碎状,支线面积占比 0.3%,该现象说明斑块与外界进行物质能量交换的过程存在较高困难系数(表 3)。

表 3 基于 MSPA 的景观类型分析

Tab. 3 Landscape type analysis based on MSPA

| 景观类型 | 面积/hm$^2$ | 前景要素面积占比/% |
|---|---|---|
| 核心区 | 46.9650 | 92.600 |
| 孤岛 | 0.0008 | 0.001 |
| 孔隙 | 2.1510 | 4.000 |
| 边缘区 | 1.4250 | 3.000 |
| 连接区 | 0.0320 | 0.060 |
| 环道区 | 0.0370 | 0.070 |
| 支线 | 0.1570 | 0.300 |
| 总计 | 50.7680 | 100.000 |

## 2.2 重要生态源地识别与评价分析

基于 Confor 软件进行景观格局分析,共识别出核心区 28 个生态斑块,面积达 0.03 km$^2$ 时为最佳效果,所以设定洛阳市中心城区最小生态源地面积为 0.03 km$^2$,虽然识别生态源地最小面积时筛除了很多斑块,但是这些斑块面积较小,并且分布散碎,对研究区生态环境的影响较小。根据相关研究以及洛阳市中心城区实际情况[26-27],选取 10 个 dPC≥0.2,dIIC(整体连通性指数变化量)≥0.2 的核心区内的绿地斑块作为研究生态源地(表 4),并通过图示展现源地的地理位置(图 3)。

表 4 研究区生态源地景观连通性排序

Tab. 4 Ranking of landscape connectivity of ecological sources in the study area

| 编号 | dPC | dIIC | 面积/km$^2$ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.928 | 0.212 | 0.034 |
| 1 | 6.267 | 4.783 | 0.255 |
| 2 | 0.725 | 0.215 | 0.051 |
| 3 | 7.130 | 5.442 | 23.833 |
| 4 | 2.038 | 1.341 | 1.380 |
| 5 | 0.391 | 0.253 | 1.817 |
| 6 | 1.816 | 1.235 | 8.745 |
| 7 | 0.181 | 0.157 | 1.166 |
| 8 | 2.118 | 1.841 | 50.253 |
| 9 | 96.805 | 97.061 | 329.256 |

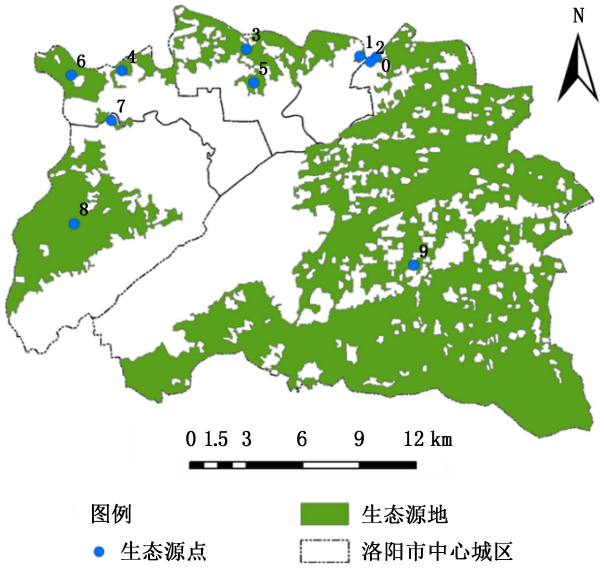



图 3 生态源地识别

Fig. 3 Ecological source identification

研究区生态源地主要分布在主城区的边缘地带,其中东南区域的绿地斑块面积相对最大,且景观

的连通性远高于其他地区,表明该区域的生态环境状态良好,中部则缺少大型的绿地斑块,导致其与周边其他地区的连接程度不足,斑块网络的连通性差,不利于进行物种迁移以及物质能量交换,需要在该区域加强生态源地的建设。

### 2.3 基于最小累积阻力(MCR)模型的潜在生态廊道构建分析

根据各阻力因子,运用 ArcGIS 中的叠加分析工具得到洛阳市中心城区生态网络综合阻力面(图 4)。

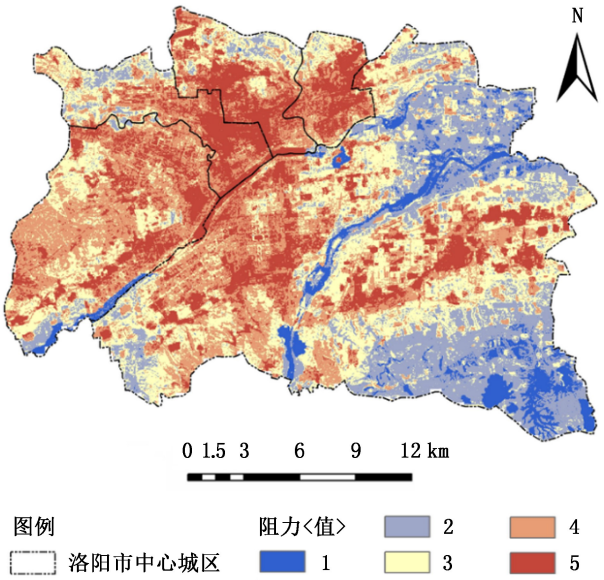



**图 4　洛阳市生态网络综合阻力面**

**Fig. 4　Comprehensive resistance surface of ecological network in Luoyang City**

由图 4 可知,阻力较小的地区主要分布在研究区东部以及城区其他边缘地带:邙岭大道以北;三川大道以东、伊洛东路以北;周山大道以西;南山大道以南、东山大道以东,以及伊河景观带。阻力较大的地区主要分布在研究区中部,并且越集中在洛河附近区域,阻力值越大。阻力较大的地方几乎都是建成区,自洛阳市第 3 次总体规划实施以来,建设用地迅速扩张,房屋建设密集,这种现象给生态系统的流动带来了极大影响,特别是在中部地区。建成区分布散乱,破碎化严重,人类干扰活动比较严重,导致该区域的物种迁徙和扩散受到了很大阻碍。这也在一定程度上限制了生态能量的流动和转换。对于一些具有较高生态价值的自然林地,可以通过设置防护林等措施进行保护。此外,通过拆除一些无用的建筑物和废弃的工业设施等,可以逐步恢复并改善这个地区的生态环境。

### 2.4 基于重力模型的潜在生态廊道提取构建

利用 ArcGIS 10.2 软件分析,共模拟出 44 条潜在生态廊道(图 5),通过重力模型计算 10 个生态源地之间的相互作用矩阵(表 5)。

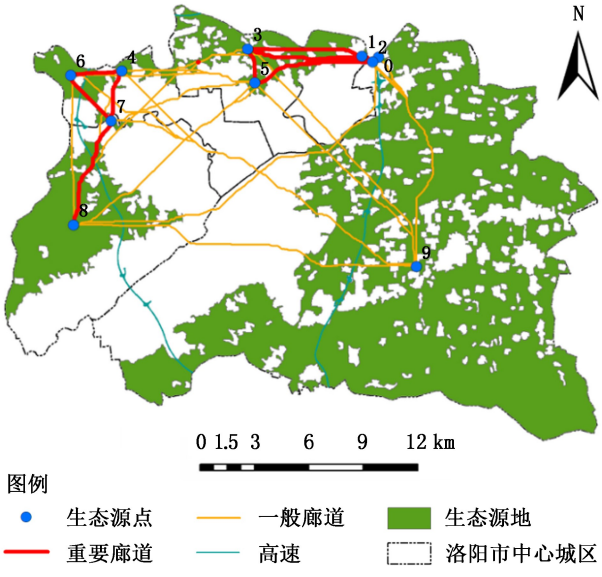



**图 5　洛阳市生态源点与生态廊道**

**Fig. 5　Ecological source points and ecological corridors in Luoyang City**

结合相关研究[28-29]选取 13 条相互作用力大于 0.3 的廊道作为研究区重要生态廊道,其余 31 条作为研究区一般廊道。源地 1 和 2 之间的相互作用最强,表明在洛阳市中心城区范围内,这两个源地的关联度最高,生物迁徙所耗费的成本最低,物质交换的程度最高,生物交流的可能性最大。因此,源地 1 至源地 2 之间的廊道应作为生态网络构建的重点基础加强保护。源地 9 对于其他源地的相互作用强度较弱,说明该源地生物迁徙成本较高,距离较远,在生物迁徙的过程中容易受到外界影响而断裂,不利于生物交流,应对这一部分廊道进行生物踏脚石的规划,降低生物迁移的成本。

### 2.5 生态网络优化

经研究分析,在城市主城区内,中部生态源地分布较少,故在该区域新增 3 个生态源地对其进行补充。新增生态源地主要位于老城区的翠云峰森林公园、朱樱湖湿地公园;涧西区的周山森林公园和西工区交界的王城公园;洛龙区的隋唐城遗址植物园、兴洛湖公园以及洛龙区与伊滨区交界处的伊水游园等;根据斑块间阻力值以及空间分布,结合研究区生态网络和生态节点,在生态廊道的中部及北部、最大

表 5　基于重力模型的生态源地间相互作用矩阵

Tab. 5　Interaction matrix between ecological sources based on gravity model

| 编号 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 12. 5973 | 82. 7995 | 0. 3087 | 0. 0891 | 0. 2852 | 0. 0589 | 0. 0676 | 0. 0341 | 0. 1691 |
| 2 | | | 23. 9708 | 0. 3695 | 0. 0909 | 0. 3330 | 0. 0586 | 0. 0677 | 0. 0326 | 0. 1319 |
| 3 | | | | 0. 3286 | 0. 0905 | 0. 3067 | 0. 0593 | 0. 0682 | 0. 0338 | 0. 1647 |
| 4 | | | | | 0. 2095 | 2. 1626 | 0. 1024 | 0. 1265 | 0. 0398 | 0. 0425 |
| 5 | | | | | | 0. 2908 | 2. 5955 | 2. 4005 | 0. 1986 | 0. 0457 |
| 6 | | | | | | | 0. 0698 | 0. 0945 | 0. 0348 | 0. 0435 |
| 7 | | | | | | | | 1. 8441 | 0. 2619 | 0. 0420 |
| 8 | | | | | | | | | 0. 3508 | 0. 0440 |
| 9 | | | | | | | | | | 0. 0396 |

累积阻力路径和廊道的交汇处增加 10 个绿地斑块作为踏脚石,模拟出新增生态廊道共 22 条,以增加各斑块之间的连接,提高物种迁徙成功率及改善生态系统服务价值(图 6)。

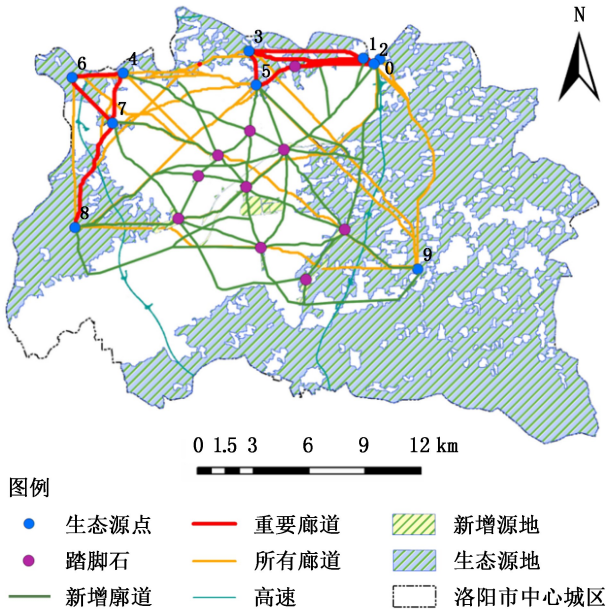



图 6　洛阳市生态网络优化

Fig. 6　Optimization of ecological network in Luoyang City

利用闭合度 α、线点率 β、网络连接度 γ 相关公式计算生态网络结构体系,通过对比优化前与优化后的数值,来评价网络结构是否合适,结果显示:优化前生态源地为 10 个,廊道总数 44 条,α、β、γ 指数分别为 2. 2、4. 4、1. 83;优化后生态源地为 13 个,廊道总数 66 条,α、β、γ 指数分别为 2. 48、5. 07、2;生态网络结构得到初步改善,结构体系得到优化,在一定程度上提高了区域生态源地的连接水平,增强了区域生态系统的稳定性。

## 3　讨论与结论

以洛阳市中心城区为例,构建了生态生境保护的网络系统,为洛阳市未来的生态网络格局构建以及城市建设发展提供科学依据,有效协调城市发展与生境保护的密切关系。然而,在研究中也发现了一些不足。洛阳市主城区内符合要求的生态源地偏少,建设用地发展密集,因此在构建生态网络时容易出现偏差。在构建阻力面时,缺少考虑人口密度、景观吸引力等阻力因子,因此在未来的研究中需进行补充。城市生态网络构建对城市可持续发展有重要意义,通过 MSPA 识别生态源地、MCR 与重力模型提取并构建生态廊道和增加脚踏石生态网络优化。

1)洛阳市景观类型中核心斑块区面积占比最大,占前景要素的 92. 6%,主要分布区域在研究区的西部、北部边缘以及东部地区。边缘区占比 3%,孔隙占比 4%,这说明前景数据核心区内存在不具有生态效益的建设用地,但占比偏小,核心区域总体的生态环境状况相对较为稳定。其中岛状斑块的面积较小且分布状态呈零碎状,支线面积占比 0. 3%,该现象说明斑块与外界进行物质能量交换的过程存在较高困难系数。

2)通过 MSPA 方法分析,设置最小面积阈值为 0. 03 $km^2$,最小距离阈值为 400 m,识别出符合研究区情况的 28 个生态源地。根据景观连通性指数识别重要生态源地,筛选出 dPC≥0. 2 的 10 个作为洛阳市中心城区内的生态源地。

3)建立最小累积阻力(MCR)模型,设置阻力因子并赋值,建立综合阻力面。生态源地空间分布不均匀,主要分布在研究区范围内的东部、南部以及边缘地带,综合阻力呈中、西、北部高,东部偏低,交通路网多,生态环境有待加强。根据重力模型的生态

源地之间的相互作用矩阵,构建出生态廊道共 44 条,其中重要廊道 13 条,一般廊道 31 条;优化现有生态网络,增添生态源地 3 个,模拟新增生态廊道 22 条,再依据斑块间相互作用力添加 10 个绿地斑块作为踏脚石。利用生态网络结构评价体系,对比优化前后生态网络的闭合度、线点率、网络连接度,结果表明,优化后均高于优化前,该研究可为洛阳市生态网络构建与可持续发展提供一定参考。

## 参考文献:


[1] 关成华. 中国城市化进程新特征[J]. 新型城镇化,2023(4): 47-49.

[2] 杨志广,蒋志云,郭程轩,等. 基于形态空间格局分析和最小累积阻力模型的广州市生态网络构建[J]. 应用生态学报,2018,29(10):3367-3376.

[3] 陈竹安,况达,危小建,等. 基于 MSPA 与 MCR 模型的余江县生态网络构建[J]. 长江流域资源与环境,2017,26(8):1199-1207.

[4] 刘世梁,侯笑云,尹艺洁,等. 景观生态网络研究进展[J]. 生态学报,2017,37(12):3947-3956.

[5] 汉瑞英,赵志平,肖能文. 生物多样性保护优先区生态网络构建与优化——以太行山片区为例[J]. 西北林学院学报,2021,36(2):61-67.

[6] 韩旭,黄晓园,李君,等. 基于 MSPA 普者黑生态旅游区的森林景观破碎化梯度研究[J]. 西部林业科学,2020,49(6):137-143.

[7] 孙贤斌,刘红玉. 基于生态功能评价的湿地景观格局优化及其效应——以江苏盐城海滨湿地为例[J]. 生态学报,2010,30(5):1157-1166.

[8] SAURA S,PASCUAL-HORTAL L. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study[J]. Landscape & Urban Planning,2007,83(2-3):91-103.

[9] SAURA S,RUBIO L. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape[J]. Ecography,2010,33(3):523-537.

[10] SOILLE P,VOGT P. Morphological segmentation of binary patterns[J]. Pattern Recognition Letters,2009,30(4):456-459.

[11] 毛诚瑞,代力民,齐麟,等. 基于生态系统服务的流域生态安全格局构建——以辽宁省辽河流域为例[J]. 生态学报,2020,40(18):6486-6494.

[12] 杨厚天,陈娟,朱兵,等. 基于 MSPA 和 MCR 模型的城市生态空间优化——以四川江油市为例[J]. 绵阳师范学院学报,2023,42(8):105-111.

[13] 杜箫宇,吕飞南,王春雨,等. 基于 MSPA-Conefor-MCR 的县域尺度生态网络构建——以延庆区为例[J]. 应用生态学报,2023,34(4):1073-1082.

[14] 邵润钰,罗紫薇,胡希军,等. 基于 MSPA 和 MCR 模型的株洲市生态网络构建与优化[J]. 西北林学院学报,2023,39(2):217-227.

[15] 卫聪慧,苏维,张毓恒,等. 洛阳市城市绿地斑块的降噪作用探究[J]. 现代园艺,2019(12):176-177.

[16] 贺超锋,宋本超,刘长乐. 洛阳市秦岭东麓生态修复项目可行性研究[J]. 安徽农学通报,2023,29(14):90-94.

[17] 苟贞珍,尹小君,郭丽洁,等. 基于 FLUS-Markov 模型的喀什地区生态承载力时空格局预测[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2022,40(3):333-341.

[18] VOGT P,FERRARI J R,LOOKINGBILL T R,et al. Mapping functional connectivity[J]. Ecological Indicators,2009,9(1): 64-71.

[19] 陈竹安,马彬彬,危小建,等. 基于 MSPA 和 MCR 模型的南昌市生态网络构建与优化[J]. 水土保持通报,2021,41(6):139-147.

[20] 孙贤斌,刘红玉. 土地利用变化对湿地景观连通性的影响及连通性优化效应——以江苏盐城海滨湿地为例[J]. 自然资源学报,2010,25(6):892-903.

[21] 齐松,罗志军,陈瑶瑶,等. 基于 MSPA 与最小路径方法的袁州区生态网络构建与优化[J]. 农业现代化研究,2020,41(2):351-360.

[22] 吴茂全,胡蒙蒙,汪涛,等. 基于生态安全格局与多尺度景观连通性的城市生态源地识别[J]. 生态学报,2019,39(13):4720-4731.

[23] SUN X,CRITTENDEN J C,LI F,et al. Urban expansion simulation and the spatio-temporal changes of ecosystem services,a case study in Atlanta Metropolitan area,USA[J]. Science of the Total Environment,2018,622-623:974-987.

[24] 黄木易,岳文泽,冯少茹,等. 基于 MCR 模型的大别山核心区生态安全格局异质性及优化[J]. 自然资源学报,2019,34(4):771-784.

[25] 谢婧,李文,贾佳,等. 齐齐哈尔市主城区生态网络构建与优化[J]. 水土保持研究,2021,28(6):308-315.

[26] 秦子博,玄锦,黄柳菁,等. 基于 MSPA 和 MCR 模型的海岛型城市生态网络构建——以福建省平潭岛为例[J]. 水土保持研究,2023,30(2):303-311.

[27] 王绘绘. 基于 MSPA 与 MCR 模型的马鞍山市生态网络识别与优化[D]. 合肥:安徽农业大学,2022.

[28] 郭家新,胡振琪,李海霞,等. 基于 MCR 模型的市域生态空间网络构建[J]. 农业机械学报,2021,52(3):275-284.

[29] 徐伟振,黄思颖,耿建伟,等. 基于 MCR 和重力模型下的厦门市生态空间网络构建[J]. 西北林学院学报,2022,37(2):264-272.


责任编辑: 杨竣焓

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 013

# 湖南工学院功能区植物群落结构与景观评价

王 蓓,刘禹歆,曹 攀,钱程阳,李 悦,钱 阳
(湖南工学院化学与环境工程学院,湖南 衡阳 421002)

**摘要**:以湖南工学院典型功能区植物群落为研究对象,采用样地法、拍照采集和分类检索等方法调查了群落结构,并应用层次分析法评估其景观质量。结果表明,校园植物以常绿乔木和灌木为主,这符合湖南地区常绿阔叶林地带植被的特点。生活服务区的植物种类丰富多样,共记录到植物 65 科 120 属 146 种。景观综合评价显示植物景观的营造效果较好,属于Ⅰ、Ⅱ级。针对其他校园区域植物配置方面的不足,建议根据生态人文景观建设需求,精选植物种类以丰富季相景观变化,合理配置植物群落的层次,并着重加强水生植物的养护。

**关键词**:校园功能区;群落结构;物种多样性;层次分析法;景观质量

**中图分类号**:TU986. 34;P901 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0080-09

**引文格式**:王蓓,刘禹歆,曹攀,等. 湖南工学院功能区植物群落结构与景观评价[J]. 林业调查规划,2025,50(1):80-88. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 013

WANG Bei, LIU Yuxin, CAO Pan, et al. Plant Community Structure and Landscape Evaluation in Functional Area of Hunan Institute of Technology[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 80-88. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 013

# Plant Community Structure and Landscape Evaluation in Functional Area of Hunan Institute of Technology

WANG Bei, LIU Yuxin, CAO Pan, QIAN Chengyang, LI Yue, QIAN Yang
(College of Chemical and Environmental Engineering, Hunan Institute of Technology, Hengyang, Hunan 421002, China)

**Abstract**: This study focused on the plant communities in typical functional areas of Hunan Institute of Technology. The community structure was investigated using methods such as plot sampling, photography collection, and classification retrieval, and the landscape quality was evaluated using the analytic hierarchy process. The research showed that evergreen arbors and shrubs dominated the campus plant, which was consistent with the characteristics of evergreen broad-leaved forests in Hunan. The living service areas exhibited a rich and diverse variety of plant species, with a total of 146 species belonging to 120 genera and 65 families. The comprehensive evaluation of the landscape indicated that the plant landscape had been effectively constructed, falling within the levels of Grade I and II. To address the deficiencies in plant configuration of other functional areas, this paper proposed to select plant species based on ecological and cultural landscape construction requirements, enrich seasonal changes in plant species, appropri-

**收稿日期**:2023-06-15;**修回日期**:2023-12-25

**基金项目**:湖南省教育厅优青项目(21B0801);湖南省大学生创新创业训练计划项目(S202411528117);湖南工学院引进人才科研启动基金(HQ21028);湖南省自然资源厅科技计划项目(20230147ST).

**第一作者**:王蓓(1992-),女,博士,讲师. 研究方向为生态学与水污染控制. Email:abbywb@ hnit. edu. cn

**责任作者**:曹攀(1991-),男,博士. 研究方向为生态学与固废资源化. Email:9145261698@ qq. com

ately arrange plant community levels, and strengthen the maintenance of aquatic plants.

**Key words**: campus functional area; plant community structure; plant diversity; analytic hierarchy process; landscape quality

随着各地区不断改进高校人文环境和规模,对植物景观的生态效益和审美功能提出了更高的要求。校园不仅是传授知识和技能的教育场所,也是陶冶性情和培养人格的生活环境。合理的植物景观规划能打造出生态友好和园林化的校园环境,为师生营造良好的学习和生活氛围。同时,校园环境建设是城市园林绿化建设的重要组成部分,是建设高水平、标准化城市园林的示范区[1]。因此,提升校园植物景观的生态性、观赏性和功能性变得十分必要。

近年来,关于校园植物景观的评价研究逐渐增多,国内外主要采用层次分析法(AHP)、美景度评判法(SBE)、语义分析法(SD)、审美评判测量法(BIB-LCJ)及人体生理心理指标法(PPI)等[2]综合评价和研究方法。层次分析法将复杂的定性分析分解为多个层次的定量分析,能得出相对综合的景观评价结果,因此被广泛应用[3]。在我国,层次分析法主要应用于住宅小区、高速公路、公园等景观的综合评价,并取得了良好的应用效果[4-5]。本研究中构建一个多层次的校园景观分析结构模型,兼顾景观规划的客观性和景观认知的主观性,以更好地对植物景观进行正确的分析和评价,并进一步改善校园植物景观的整体建设。

本研究中通过对湖南工学院校园植物群落的实地考察,从植物学、生态学以及景观设计的角度分析湖南工学院校园植物景观的可塑性和配置合理性,并针对校园景观现状提出相应的改进措施,为未来创建生态型校园提供实践经验和理论指导。

## 1 研究区概况

湖南工学院位于湖南省衡阳市,地理坐标为东经 112.67°~112.68°,北纬 26.88°~26.89°,平均海拔 55 m。该地区属于典型的亚热带季风气候,年均温 18.1℃,年降雨量约 1 452 mm,无霜期长达 300 d。学校占地约 120.4 $hm^2$,校舍建筑面积约 56.89 万$m^2$。

## 2 研究方法

### 2.1 植物群落结构和多样性调查

将湖南工学院划分为 5 个功能区域,分别为主入口区(Z)、教学科研区(J)、生活服务区(S)、体育运动区(T)以及道路植物区(D)。通过前期测绘的校园各典型功能区的平面图,选取了合适大小和数量的样方。本次调查共设立了 60 个样地(20 m×20 m),包括主入口区 7 个、教学科研区 10 个、体育运动区 13 个、生活服务区 17 个、道路植物区 13 个。2021 年 10 月至 2022 年 8 月,对每个功能区样地的植物资源进行了调查,记录了植物品种、科属、个体数、观赏特性、生长状况和应用情况等信息,并分析了不同功能区植物群落的水平结构(植物在水平方向的配置)和垂直结构(乔木类、灌木类、草本类和藤本植物),计算了植物的重要值和物种多样性等指标。

### 2.2 景观综合评价

采用层次分析法对典型功能区内 15 个样地(图 1)的景观质量进行评价,其景观配置概况如表 1 所示。

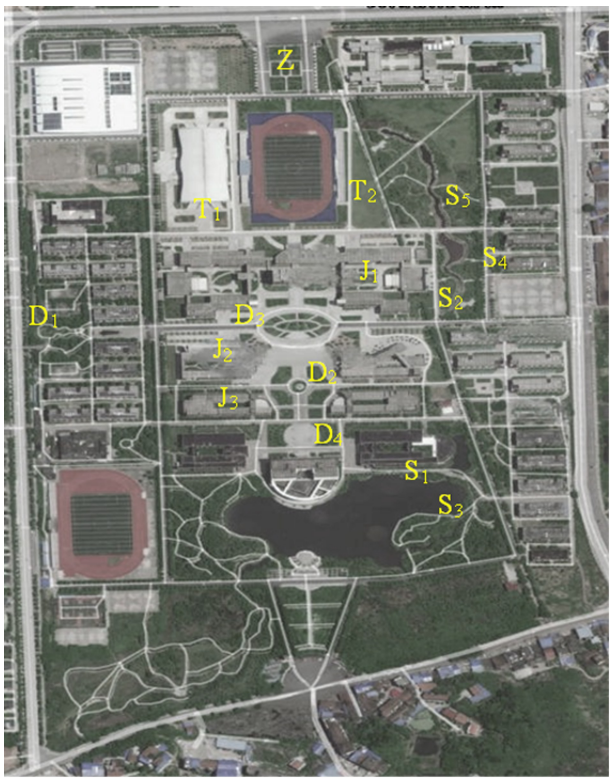



**图 1　湖南工学院研究区域及景观样地分布**

**Fig. 1　Study area and landscape plot distribution of Hunan Institute of Technology**

**表 1 湖南工学院 15 块样地植物景观配置概况**

**Tab. 1 Overview of plant landscape configuration in 15 sample plots of Hunan Institute of Technology**

| 样地编号 | 主要植物景观 | 群落结构 |
|---|---|---|
| Z | 樟树+桂花+红花檵木+红叶石楠 | 乔、灌 |
| $J_1$ | 石楠+银杏+紫薇+山茶+红叶石楠+苏铁+沿阶草 | 乔、灌、草 |
| $J_2$ | 桂花+红叶石楠+红花檵木+苏铁+沿阶草 | 乔、灌、草 |
| $J_3$ | 紫果槭+龙爪槐+桂花+南天竹+沿阶草 | 乔、灌、草 |
| $S_1$ | 垂柳+樟树+桂花+狗牙根 | 乔、草 |
| $S_2$ | 桂花+栾树+樟树+石楠+红枫+紫薇+银杏+樱花+金边黄杨+苏铁+红花檵木+女贞+锦绣杜鹃 | 乔、灌、草 |
| $S_3$ | 垂柳+樟树+石楠+杜英+桂花+苏铁+红花檵木 | 乔、灌、草 |
| $S_4$ | 桂花+紫叶李+银杏+金叶女贞+南天竹+含笑花 | 乔、灌、草 |
| $S_5$ | 垂柳+桂花+紫薇+紫叶李+苏铁+红花檵木+锦绣杜鹃 | 乔、灌、草 |
| $T_1$ | 樟树+石楠+金边黄杨+红花檵木 | 乔、灌 |
| $T_2$ | 樟树+石楠+桂花+狗牙根 | 乔、草 |
| $D_1$ | 樟树+石楠+女贞+刚竹 | 乔、灌、草 |
| $D_2$ | 樟树+石楠+红花檵木+金叶女贞+狭叶栀子+齿叶冬青 | 乔、灌 |
| $D_3$ | 日本樱花+红花檵木+锦绣杜鹃+桂花+金边黄杨 | 乔、灌 |
| $D_4$ | 桂花+棕榈+红花檵木+金叶女贞+苏铁 | 乔、灌 |

首先,建立了一个层次结构,包括目标层(A)、准则层(B)和评价因子(C)。在准则层中,选择了视觉效果($B_1$)、生态功能($B_2$)和服务功能($B_3$)作为评价指标。在评价因子层中,选择了植物形态($C_1$)、植物绿视率($C_2$)、植物枯落物($C_3$)、植物色彩与季相变化($C_4$)、植物层次丰富程度($C_5$)、物种多样性($C_6$)、群落对环境的影响($C_7$)、群落空间的异质性($C_8$)、抗干扰性($C_9$)、可停留性($C_{10}$)、教育性($C_{11}$)和与硬质景观的和谐性($C_{12}$)等因子,将指标划分为好、一般、差 3 个评分等级,分值分别为 5、3、1 分。通过层次分析法的计算,得出这些因子的权重值,进而综合评价校园植物景观的质量。

确定评价指标:选择视觉质量、生态功能和服务功能等 3 个方面的 12 个因子,构建综合评价模型;指定评分标准:通过问卷调查,征询专家和学生的意见,获得不同因子的评分;计算评价指标权重:通过构建判断矩阵、层次单排序和一致性检验等方法,确定评价因子的权重值排序[6];综合评分:结合各因子的相对权重和老师、学生对各植物景观打分的平均值,运用景观综合评价指数法计算出校园植物景观的综合评分[7]。景观综合评价指数(CEI)计算公式为:

$$B = \sum_{i=1}^{n} (F_i \times X_i) \quad (1)$$

$$\mathrm{CEI} = B/B_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中:$B$ 为某植物景观的综合得分;$X_i$ 为某评价因子的相对权重值;$F_i$ 为景观在某一因子下的得分;$n$ 为 $C$ 层因子的总数;$B_0$ 为评价得分的理想值,即每个因子的最佳标准与其权重相乘之和[8]。

根据计算出的 CEI 指数将校园植物景观质量划分为 4 个等级:Ⅰ级(80%~100%)、Ⅱ级(60%~80%)、Ⅲ级(40%~60%)、Ⅳ级(0%~40%)[9]。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同功能区植物群落结构分析

经调查统计,主入口区占地面积约 5.09 $hm^2$,共记录植物 27 科 47 属 53 种,其中乔木层 12 种,灌木层 7 种,草本层 34 种(表 2)。

科类包括蔷薇科(Rosaceae)、木犀科(Oleaceae)、木兰科(Magnoliaceae)、槭树科(Aceraceae)、豆科(Leguminosae)、山茶科(Theaceae)、榆科(Ulmaceae)、樟科(Lauraceae)、千屈菜科(Lythraceae)、金缕梅科(Hamamelidaceae)、卫矛科(Celastraceae)、杜鹃花科(Ericaceae)、茜草科(Rubiaceae)、菊科(Compositae)、禾本科(Gramineae)、唇形科(Lamiaceae)、车前科(Plantaninaceae)、石竹科(Caryophyllaceae)、大戟科(Euphorbiaceae)、十字花科(Brassicaceae)、紫草科(Boraginaceae)、葫芦藓科(Funariahygrometrica)、伞形科(Apiaceae)、苋科(Amaranthaceae)、玄参科(Scrophulariaceae)、堇菜科(Violaceae)、酢浆草科(Oxalidaceae)。通过重要值计算可知,主入口区乔木层主要树种为樱花、珊瑚朴和紫薇,灌木层主要树种为红花檵木、桂花和锦绣杜鹃。由此可知,学校注重在主入口区域营造色彩丰富、具有层次感的植物景观,植物配置较为合理。这样的设计不仅可增加路人对学校环境的好感,还能提升学校的整体形象。

表 2　湖南工学院主入口区主要树种重要值

Tab. 2　Important values of main tree species in main entrance area of Hunan Institute of Technology

| 分层结构 | 树种 | 多度/株 | 频度/% | 胸径/cm | 相对多度/% | 相对频度/% | 相对显著度/% | 重要值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 乔木层 | 桂花 | 18 | 42.86 | 9.67 | 9.83 | 15.79 | 5.32 | 30.94 |
| | 荷花玉兰 | 3 | 14.29 | 16.40 | 1.64 | 5.26 | 15.28 | 22.18 |
| | 槐树 | 9 | 28.57 | 7.75 | 4.92 | 10.52 | 3.41 | 18.85 |
| | 珊瑚朴 | 1 | 14.29 | 25.00 | 0.54 | 5.26 | 35.51 | 41.31 |
| | 樱花 | 107 | 14.29 | 9.00 | 58.47 | 5.26 | 4.60 | 68.33 |
| | 樟树 | 5 | 42.86 | 13.50 | 2.73 | 15.79 | 10.35 | 28.87 |
| | 紫薇 | 26 | 42.86 | 11.94 | 14.21 | 15.79 | 8.10 | 38.10 |
| 灌木层 | 红花檵木 | 98 | 100.00 | 1.92 | 41.70 | 33.33 | 9.19 | 84.22 |
| | 红叶石楠 | 5 | 14.29 | 1.80 | 2.13 | 4.76 | 8.11 | 15.00 |
| | 金边黄杨 | 12 | 57.14 | 2.79 | 5.11 | 19.05 | 19.53 | 43.69 |
| | 金叶女贞 | 32 | 28.57 | 0.90 | 13.62 | 9.52 | 2.04 | 25.18 |
| | 锦绣杜鹃 | 68 | 57.14 | 1.60 | 28.94 | 19.05 | 6.38 | 54.37 |
| | 桂花 | 12 | 28.57 | 4.50 | 5.11 | 9.52 | 50.75 | 65.38 |
| | 栀子 | 8 | 14.29 | 1.26 | 3.40 | 4.76 | 3.99 | 12.15 |

表 3　湖南工学院教学科研区主要树种重要值

Tab. 3　Important values of main tree species in teaching and research area of Hunan Institute of Technology

| 分层结构 | 树种 | 多度/株 | 频度/% | 胸径/cm | 相对多度/% | 相对频度/% | 相对显著度/% | 重要值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 乔木层 | 桂花 | 43 | 50.00 | 17.00 | 57.33 | 31.25 | 14.11 | 102.69 |
| | 白花泡桐 | 3 | 10.00 | 31.00 | 4.00 | 6.25 | 46.91 | 57.16 |
| | 石楠 | 2 | 10.00 | 6.50 | 2.67 | 6.25 | 2.06 | 10.98 |
| | 女贞 | 3 | 10.00 | 11.00 | 4.00 | 6.25 | 5.91 | 16.16 |
| | 樟树 | 6 | 20.00 | 16.25 | 8.00 | 12.50 | 12.89 | 33.39 |
| | 紫果槭 | 8 | 10.00 | 4.00 | 10.67 | 6.25 | 0.78 | 17.70 |
| | 棕榈 | 5 | 10.00 | 14.00 | 6.67 | 6.25 | 9.57 | 22.49 |
| 灌木层 | 红花檵木 | 52 | 60.00 | 6.16 | 42.28 | 25.00 | 6.67 | 73.95 |
| | 红叶石楠 | 7 | 10.00 | 9.00 | 5.70 | 4.17 | 14.24 | 24.11 |
| | 金叶女贞 | 6 | 20.00 | 2.50 | 4.88 | 8.33 | 1.10 | 14.31 |
| | 南天竹 | 23 | 30.00 | 2.00 | 18.70 | 12.50 | 0.70 | 31.90 |
| | 桂花 | 14 | 50.00 | 6.34 | 11.38 | 20.83 | 7.07 | 39.28 |
| | 日本女贞 | 6 | 10.00 | 10.00 | 4.88 | 4.17 | 17.58 | 26.63 |
| | 苏铁 | 11 | 30.00 | 16.33 | 8.94 | 12.50 | 46.88 | 68.32 |

湖南工学院教学科研区所占面积约为 1.73 $hm^2$,共记录植物 41 科 54 属 65 种,其中乔木层有 11 种,灌木层有 16 种,草本层有 38 种(表 3)。

经统计,主要科有玄参科、罗汉松科(Podocarpaceae)、木犀科、蔷薇科、豆科、棕榈科(Arecaceae)、樟科、槭树科、木兰科、金缕梅科、小檗科(Berberidaceae)、杨梅科(Myricaceae)、苏铁科(Gymnospermae)、荨麻科(Urticaceae)、禾本科、石竹科、桔梗科(Campanulaceae)、菊科、紫草科、葫芦藓科、毛茛科(Ranunculaceae)、菊苣科(Cichorium)、伞形科、木贼科(Equisetaceae)、凤尾蕨科(Pteridaceae)、苋科、爵床科(Acanthaceae)、夹竹桃科(Apocynaceae)、茜草科、莎草科(Cyperaceae)、蹄盖蕨科(Athyriaceae)、十字花科、藜科(Chenopodiaceae)、唇形科、瑞香科(Thymelaeaceae)、海金沙科(Lygodiaceae)、百合科(Liliaceae)、蓼科(Polygonaceae)、堇菜科、紫金牛科(Myrsinaceae)、酢浆草科。由此可见教学科研区植物种类较为丰富多样。通过重要值计算可知,教学科研区乔木层主要树种为桂花、白花泡桐和樟树,灌木层主要树种为红花檵木、苏铁和桂花。整体上该区域以乔、灌、草相结合的复层混交结构类型为主,其丰富度和多样性较好,提高了景观的层次感和亲切感。但植物配置不尽合理,有些树种应用过于广泛,如桂花、樟树、红花檵木等,建议增加植物物种如鹅掌柴和萼距花等,改善植物配置。这些植物的选择和布局与教学科研环境相适应,有助于保证环境质量,提高师生的工作和学习效率。

湖南工学院生活服务区面积约为 13.93 $hm^2$,共记录到植物 65 科 120 属 146 种,其中乔木层有 29 种,灌木层有 29 种,草本层有 88 种(表 4)。

主要科有杨柳科(Salicaceae)、杜英科(Elaeocarpaceae)、罗汉松科、禾本科、木犀科、木兰科、槭树科、蔷薇科、榆科、腊梅科(Calycanthaceae)、无患子科(Sapindaceae)、锦葵科(Malvaceae)、山茶科、松科

表 4 湖南工学院生活服务区主要树种重要值

Tab. 4 Important values of main tree species in living service area of Hunan Institute of Technology

| 分层结构 | 树种 | 多度/株 | 频度/% | 胸径/cm | 相对多度/% | 相对频度/% | 相对显著度/% | 重要值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 乔木层 | 垂柳 | 59 | 29.41 | 17.20 | 5.78 | 5.21 | 6.76 | 17.75 |
| | 杜英 | 52 | 47.06 | 22.62 | 5.09 | 8.33 | 11.69 | 25.08 |
| | 桂花 | 105 | 64.71 | 10.18 | 10.28 | 11.46 | 2.37 | 24.11 |
| | 栾树 | 90 | 23.53 | 17.75 | 8.81 | 4.17 | 7.19 | 20.17 |
| | 银杏 | 101 | 23.53 | 7.50 | 9.90 | 4.17 | 1.28 | 15.35 |
| | 樟树 | 233 | 70.59 | 21.13 | 22.82 | 12.50 | 15.35 | 50.67 |
| | 紫叶李 | 33 | 47.06 | 12.34 | 3.23 | 8.33 | 3.48 | 15.04 |
| | 棕榈 | 26 | 41.18 | 21.66 | 2.55 | 7.29 | 10.71 | 20.55 |
| 灌木层 | 杜鹃 | 67 | 17.65 | 0.95 | 7.51 | 3.85 | 0.07 | 11.43 |
| | 红花檵木 | 344 | 70.59 | 2.60 | 38.57 | 15.38 | 0.50 | 54.45 |
| | 金叶女贞 | 76 | 47.06 | 1.44 | 8.52 | 10.25 | 0.15 | 18.92 |
| | 锦绣杜鹃 | 42 | 23.53 | 1.45 | 4.71 | 5.13 | 0.16 | 10.00 |
| | 桂花 | 30 | 29.41 | 4.12 | 3.36 | 6.41 | 1.26 | 11.03 |
| | 丝兰 | 2 | 5.89 | 18.00 | 0.22 | 1.28 | 24.15 | 25.65 |
| | 苏铁 | 69 | 41.18 | 27.80 | 7.74 | 8.97 | 57.62 | 74.33 |

(Pinaceae)、银杏科(Ginkgoaceae)、樟科、豆科、千屈菜科、棕榈科、芭蕉科(Musaceae)、黄杨科(Buxaceae)、杜鹃花科、桑科(Moraceae)、海桐科(Pittosporaceae)、金缕梅科、卫矛科、小檗科、柏科(Cupressaceae)、忍冬科(Caprifoliaceae)、百合科、苏铁科、虎耳草科(Saxifragaceae)、茜草科、玄参科、荨麻科、苋科、车前科、石竹科、菊科、唇形科、紫草科、十字花科、海金沙科、葫芦藓科、伞形科、灯心草科(Juncaceae)、菊苣科、三白草科(Saururaceae)、堇菜科、木贼科、仙人掌科(Cactaceae)、爵床科、紫金牛科、蓼科、茄科(Solanaceae)、瓶尔小草科(Ophioglossaceae)、毛茛科、大戟科、葡萄科(VitaceaeJuss)、仙茅科(Hypoxidaceae)、莎草科、兰科(Orchidaceae)、景天科(Crassulaceae)、五加科、酢浆草科。由此可以看出,生活服务区相对其他功能区占地面积较大,涉及区域较为广泛,且植物种类众多。通过重要值计算可知,生活服务区乔木层主要树种为樟树、杜英和桂花,灌木层主要树种为苏铁、红花檵木和丝兰。该区域形成层次分明的乔木、灌木、草本层垂直结构,植物选择和配置可满足防晒、通风和生态等功能,并营造出亲切舒适氛围的绿地休憩空间和适宜课外交流活动的集会空间。

湖南工学院体育运动区面积约为 9.18 $hm^2$,本次调查记录植物 45 科 75 属 89 种。植物群落中乔木层有 15 种,灌木层有 19 种,草本层有 53 种,藤本植物有 2 种(表 5)。

表 5 湖南工学院体育运动区主要树种重要值

Tab. 5 Important values of main tree species in sports area of Hunan Institute of Technology

| 分层结构 | 树种 | 多度/株 | 频度/% | 胸径/cm | 相对多度/% | 相对频度/% | 相对显著度/% | 重要值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 乔木层 | 垂柳 | 5 | 7.69 | 27.50 | 3.29 | 4.17 | 31.42 | 38.88 |
| | 刚竹 | 21 | 7.69 | 1.40 | 13.82 | 4.17 | 0.08 | 18.07 |
| | 桂花 | 12 | 23.08 | 14.00 | 7.89 | 12.50 | 8.14 | 28.53 |
| | 栾树 | 4 | 15.38 | 22.00 | 2.63 | 8.33 | 20.11 | 31.07 |
| | 樟树 | 68 | 46.15 | 17.77 | 44.74 | 25.00 | 13.12 | 82.86 |
| | 紫荆 | 7 | 7.69 | 18.00 | 4.61 | 4.17 | 13.50 | 22.28 |
| | 紫叶李 | 12 | 15.38 | 8.50 | 7.89 | 8.33 | 3.00 | 19.22 |
| 灌木层 | 红花檵木 | 39 | 53.85 | 2.66 | 11.54 | 15.22 | 1.01 | 27.77 |
| | 金边黄杨 | 28 | 15.38 | 0.65 | 8.28 | 4.35 | 0.06 | 12.69 |
| | 金叶女贞 | 29 | 23.08 | 1.17 | 8.58 | 6.52 | 0.19 | 15.29 |
| | 锦绣杜鹃 | 85 | 53.85 | 1.09 | 25.15 | 15.22 | 0.17 | 40.54 |
| | 月季 | 36 | 23.08 | 0.96 | 10.65 | 6.52 | 0.13 | 17.30 |
| | 日本女贞 | 26 | 15.38 | 1.80 | 7.69 | 4.35 | 0.46 | 12.50 |
| | 苏铁 | 14 | 38.46 | 23.80 | 4.14 | 10.87 | 80.99 | 96.00 |

主要科有杨柳科、罗汉松科、禾本科、木犀科、蔷薇科、无患子科、山茶科、木兰科、桑科、樟科、豆科、千屈菜科、卫矛科、海桐花科、金缕梅科、夹竹桃科、杜鹃花科、蜡梅科、棕榈科、柏科、苏铁科、黄杨科、菊科、车前科、堇菜科、酢浆草科、石竹科、十字花科、唇形科、卷柏科(Selaginellaceae)、紫草科、海金沙科、葫芦藓科、伞形科、灯心草科、爵床科、苋科、荨麻科、蓼科、茜草科、瓶尔小草科、玄参科、牻牛儿苗科(Geraniaceae)、大戟科、五加科。通过重要值计算可

知,体育运动区乔木层主要树种为樟树、垂柳和栾树,灌木层主要树种为苏铁、锦绣杜鹃和红花檵木。体育运动区的植物类型多样,层次分明,形成鲜明的绿化隔离带。但该区域周边未完全开发好,草本植物繁多,在植物配置以及层次结构的搭配上有很大的发挥空间。建议考虑栽种吸附灰尘、净化空气能力较强的植物,如侧柏和梧桐等[10]。

经调查,湖南工学院道路植物涉及区域面积约为 4.73 $hm^2$,共统计植物有 49 科 78 属 94 种。植物群落中乔木层植物有 17 种,灌木层有 21 种,草本层有 56 种(表 6)。

**表 6　湖南工学院道路植物主要树种重要值**

**Tab. 6　Important values of main tree species along roads of Hunan Institute of Technology**

| 分层结构 | 树种 | 多度/株 | 频度/% | 胸径/cm | 相对多度/% | 相对频度/% | 相对显著度/% | 重要值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 乔木层 | 杜英 | 4 | 15.38 | 15.25 | 3.28 | 4.35 | 8.59 | 16.22 |
| | 桂花 | 11 | 38.46 | 13.80 | 9.02 | 10.87 | 7.04 | 26.93 |
| | 荷花木兰 | 12 | 30.77 | 12.50 | 9.84 | 8.70 | 5.77 | 24.31 |
| | 石楠 | 11 | 30.77 | 16.38 | 9.02 | 8.70 | 9.91 | 27.63 |
| | 紫叶李 | 1 | 7.69 | 21.00 | 0.82 | 2.17 | 16.30 | 19.29 |
| | 女贞 | 9 | 23.08 | 13.13 | 7.38 | 6.52 | 6.37 | 20.27 |
| | 樟树 | 32 | 84.62 | 19.91 | 26.23 | 23.92 | 14.65 | 64.90 |
| | 紫薇 | 6 | 23.08 | 11.67 | 4.92 | 6.52 | 5.03 | 16.47 |
| 灌木层 | 丰花月季 | 241 | 7.69 | 0.80 | 29.64 | 2.04 | 0.09 | 31.77 |
| | 红花檵木 | 160 | 92.31 | 4.13 | 19.68 | 24.45 | 2.31 | 46.44 |
| | 红叶石楠 | 51 | 53.85 | 5.51 | 6.27 | 14.29 | 4.11 | 24.67 |
| | 金叶女贞 | 37 | 7.69 | 0.30 | 4.55 | 2.04 | 0.01 | 6.60 |
| | 锦绣杜鹃 | 59 | 15.38 | 1.40 | 7.26 | 4.08 | 0.27 | 11.61 |
| | 桂花 | 54 | 23.08 | 3.18 | 6.64 | 6.12 | 1.37 | 14.13 |
| | 苏铁 | 36 | 38.46 | 24.58 | 4.43 | 10.20 | 81.77 | 96.40 |

主要科有杜英科、罗汉松科、禾本科、芸香科(Rutagraveolens)、棕榈科、木犀科、木兰科、蔷薇科、紫薇科(Bignoniaceae)、山茶科、银杏科、樟科、千屈菜科、大戟科、冬青科(Aquifoliaceae)、杜鹃花科、海桐花科、金缕梅科、卫矛科、小檗科、黄杨科、苏铁科、茜草科、玄参科、荨麻科、车前科、石竹科、菊科、紫草科、伞形科、灯心草科、十字花科、凤尾蕨科、莎草科、唇形科、瓶尔小草科、桑科、茄科、鸭跖草科(Commelinaceae)、海金沙科、堇菜科、毛茛科、酢浆草科、苋科、胡椒科(Piperaceae)、卷柏科、木贼科、五加科、紫金牛科。通过重要值计算可知,道路植物乔木层主要树种为樟树、石楠和桂花,灌木层主要树种为苏铁、红花檵木和丰花月季。樟树和石楠均树高冠大,四季常绿和抗逆性强[11],桂花是集绿化、美化和香化于一体的树种,每逢初秋,花香弥漫了整个校园,沁人心脾。道路植物层次分明,具备遮阴隔音、美化观赏和净化空气的功能。

### 3.2 不同功能区植物配比和多样性差异分析

通过对各功能区常绿植物与落叶植物数量的统计,结果如图 2 所示。

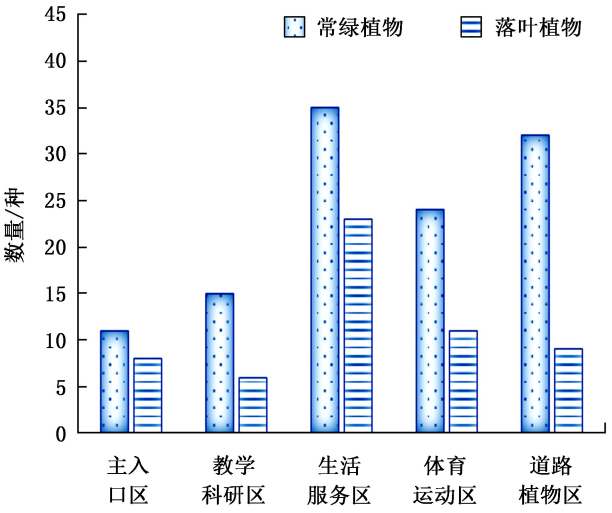



**图 2　湖南工学院各功能区常绿和落叶植物种类配比**

**Fig. 2　Proportion of evergreen and deciduous plants in each functional area of Hunan Institute of Technology**

湖南工学院主入口区、教学科研区、生活服务区、体育运动区、道路植物区的常绿树种占比分别为 60.87%、77.78%、67.50%、76.79%、79.63%。校园植物绝大多数均属于常绿植物,符合湖南地带性的常绿阔叶林植物特征。有研究表明该地区在景观建设中常绿植物占比通常为 65%~75%[12],由此可见,生活服务区的常绿植物占比处于适宜范围内,这对改善居住环境和调节小气候起到了积极的作用。体育运动区和道路植物区域中常绿植物占比较高,满足了常年防风和吸尘的功能需求。教学科研区的植

物配置可进行一些调整,尤其是雁鸣湖附近,可考虑增加一些落叶植物,以丰富季相景观,突出湖面秋景特色[13]。

通过对各功能区的物种多样性指数进行计算,结果如图 3 所示。

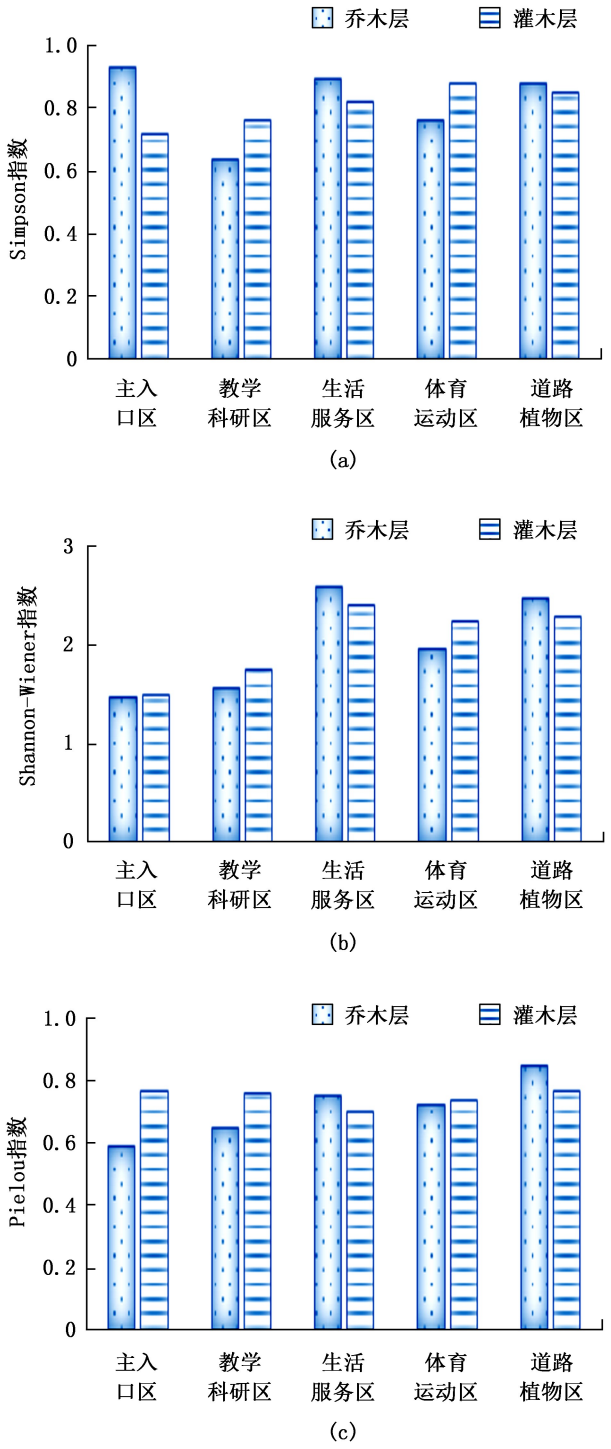



**图 3 湖南工学院各功能区植物多样性指数对比**

**Fig. 3 Comparison of plant diversity index in each functional area of Hunan Institute of Technology**

Shannon－Wiener 指数直观地反映出校园不同功能区物种多样性的排序:生活服务区>道路植物>体育运动区>教学科研区>主入口区。生活服务区物种丰富,而主入口区植物多样性较为单薄。然而,从 Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数来看,相对其他区域主入口区该指数较高,说明其优势种较多且分布均匀,但树种的多样性不足。因此,建议适当扩大树种选择,使南北入口区域的植物可作为整个学校植物景观的缩影。此外,在各功能区的乔木层和灌木层中,植物差异不大,即各区域的乔木和灌木配置较为合理。这表明在不同功能区域内,乔木和灌木的配置相对均衡,符合植物的生长需求和景观设计要求。

### 3.3 校园植物景观评价

层次分析法是一种将复杂问题分解为若干个层次,并通过数值表达的方法,其在解决复杂问题时具有实用性和有效性[14]。根据提供的信息,通过一系列评分、计算和检验,得到了不同层次评价因子的权重值(表 7),并使用综合评价指数法对 15 个样地的植物景观质量进行了评价。

**表 7 湖南工学院植物景观评价因子的权重值排序**

**Tab. 7 Weight values of each plant landscape evaluation factor of Hunan Institute of Technology**

| 目标层 | 准则层 | 权重值 | 评价因子 | 权重值 | 相对权重 | 总权重值 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 湖南工学院校园植物景观评价分析(A) | 视觉效果($B_1$) | 0.6738 | 植物形态($C_1$) | 0.3118 | 0.1039 | 0.2101 |
| | | | 植物绿视率($C_2$) | 0.1438 | 0.0479 | 0.0969 |
| | | | 植物枯落物($C_3$) | 0.0552 | 0.0184 | 0.0372 |
| | | | 植物色彩与季相变化($C_4$) | 0.1438 | 0.0479 | 0.0969 |
| | | | 植物层次丰富程度($C_5$) | 0.3454 | 0.1151 | 0.2327 |
| | 生态功能($B_2$) | 0.2255 | 物种多样性($C_6$) | 0.6370 | 0.2123 | 0.1436 |
| | | | 群落对环境的影响($C_7$) | 0.2583 | 0.0862 | 0.0582 |
| | | | 群落空间的异质性($C_8$) | 0.1047 | 0.0349 | 0.0236 |
| | 服务功能($B_3$) | 0.1007 | 抗干扰性($C_9$) | 0.4104 | 0.1368 | 0.0413 |
| | | | 可停留性($C_{10}$) | 0.1675 | 0.0558 | 0.0169 |
| | | | 教育性($C_{11}$) | 0.1102 | 0.0367 | 0.0111 |
| | | | 与硬质景观的和谐性($C_{12}$) | 0.3118 | 0.1039 | 0.0314 |

湖南工学院植物景观综合评价指数为Ⅰ级的样地有 3 个,占总数的 20%;Ⅱ级样地有 8 个,占总数的 53%;Ⅲ级样地有 4 个,占总数的 27%(图 4)。

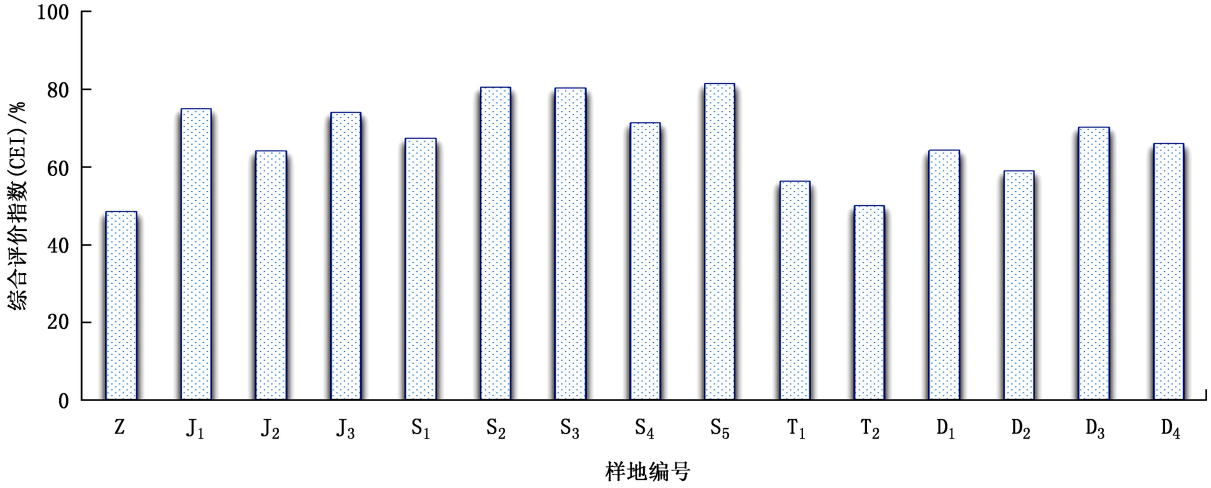



**图 4　湖南工学院不同样地植物景观质量综合评价**

**Fig. 4　Comprehensive evaluation of plant landscape quality in different plots of Hunan Institute of Technology**

从整体上看,湖南工学院植物景观状况良好,绿化面积广阔,并且大部分样地的评价等级为Ⅰ级和Ⅱ级。具体来说,主入口区和体育运动区的评价等级为Ⅲ级,教学科研区为Ⅱ级,生活服务区包含了 3 个Ⅰ级样地和 2 个Ⅱ级样地,道路植物区主要评价等级为Ⅱ级和Ⅲ级。在所选样地中依然是生活服务区植物景观质量最好,表现为植物种类丰富、群落层次多样、季相景观明显、植物群落较为稳定。综合评价指数最高的生活服务区样地 $S_5$,该区域种植了各种具有季节特色的树,如紫叶李、银杏、樱花等,使得这里四季变化明显且不会显得枯燥[15]。但是,主入口区的植物景观在层次结构上有些单调,变化程度较低,建议选择季相植物,引入彩色树种,考虑层次性和纵深感,辅助以花坛和绿篱,增加校园主入口区的植物多样性,打造出丰富多彩、生态适应性强和生态功能完整的景观环境。综上所述,湖南工学院植物景观整体状况良好,但仍可通过调整植物配置和增加景观多样性来进一步提升植物景观质量。

## 4 结论与建议

本研究通过对湖南工学院校园典型功能区域的植物景观进行调查,采用群落多样性计算和层次分析法探究了各功能区的植物多样性,对植物景观进行综合评价。研究表明,校园植物树种选择有所欠缺,部分植物种应用过于广泛,如每个功能区均有乔木树种樟树,小乔木及灌木树种桂花和红花檵木。校园各个园区内木本植物种类数量偏低,乔、灌、草结构配置模式不稳定。从物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数可知丰富植物多样性需在入口区两侧增加高大的季相植物和彩色树种,中间选用修剪整齐的绿篱,形成有空间纵深感的入口景观,并通过色彩变化使入口区四季景色宜人。15 个植物群落景观的综合评价指数中Ⅰ级占 3 个、Ⅱ级占 8 个、Ⅲ级占 4 个。其中Ⅰ级样地均分布在生活服务区,景观质量评价指数整体更高,其植物景观的视觉质量更强、生态效益更好、服务功能更到位。

本次校园植物景观综合评价,在层次分析法的研究中选取因子尽可能全面,虽然不可避免的带有个人对植物景观的偏好,但是综合结果是可靠的。在此基础上对今后校园建设提出相关建议。(1)植物景观应与人文景观有机结合从而提升校园环境内涵。创建生态校园不仅需要关注视觉效应,还需创造文化以及教育氛围,即根据不同学院的建筑风格配置不同的植物物种,使植物与建筑物和谐统一[16],并且生活服务区内需增加供人休憩的亭、廊和桌椅等建筑以分割空间,提高景观的舒适感和空间感。(2)在植物运用方面,应利用其形态、花期各异的特点,改善群落结构。应加大植物物种的选择,解决植物分布不均的问题,还需注意各功能区植物配置的单一化,避免部分群落出现缺层现象。如在垂直绿

化中可考虑乔木、灌木、藤本植物配置,加强棚架绿化、墙面和楼顶等地区绿化,合理利用常绿和落叶藤本,如三角梅、爬山虎、常春藤等营造和谐的植物生态景观[17]。此外,应加强乔、灌、草植物的复合混交,以乔木为主,灌木为辅,花草点缀层次感的鲜明搭配,加强垂直绿化,立体绿化,增加植物多样性,建立生态健全的校园绿地群落系统[18]。(3)建议学校在植物栽培养护方面倾注更多的精力,如教学科研区内植物长势欠佳。校园水景是植物景观的核心,需定期清理和补给湖水,保证斑块水景雁鸣湖和周边线性水景河道和溪流之间水体的良性循环,并在滨水区植物配置中增加水杉、美人蕉、香蒲、睡莲等水生植物,打造近自然湿地的生态景象[19],同时契合目前海绵城市的建设理念。

## 参考文献:


[1] 王章春. 高校校园的绿化景观与植物配置探究[J]. 现代园艺,2020,43(20):99-100.

[2] 曾拓. 基于AHP法与SBE法的湖南大学校园植物景观评价研究[D]. 长沙:湖南大学,2019.

[3] NIU L C. Landscape evaluation of urban golf courses based on the AHP-fuzzy method:A case study of Dianchi lakeview golf course in Kunming,Yunnan,China[J]. Journal of Landscape Research,2019,11(4):98-101.

[4] 张嘉琪,徐斌,余江勇,等. 基于层次分析法筛选广州地区立体绿化悬垂型植物的研究[J]. 热带农业科学,2022,42(2):109-114.

[5] 雷金睿,辛欣,宋希强,等. 基于AHP的海口市公园绿地植物群落景观评价与结构分析[J]. 西北林学院学报,2016,31(3):262-268.

[6] LTOMASHEVSKII I. Optimization methods to estimate alternatives in AHP:The classification with respect to the dependence of irrelevant alternatives[J]. Journal of the Operational Research Society,2018,69(7):1114-1124.

[7] LI G,LI Y. Optimization spatial pattern method for plant landscape in bay based on AHP[J]. Microprocessors and Microsystems,2021(83):104041.

[8] 贠剑,郭慧凤,王志玲,等. 基于层次分析法的植物景观评价——以太谷西苑公园为例[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版),2021,36(6):490-495,500.

[9] 宗梅,张晓惠,黄南巡,等. 基于AHP法的安庆市景观水体水生植物配置评价分析[J]. 井冈山大学学报(自然科学版),2022,43(4):44-50.

[10] 杨敏,张咏祀,严贤春. 校园园林植物配置分析——以西华师范大学华凤校区为例[J]. 现代园艺,2022,45(17):94-96.

[11] 周泽敏. 樟树的美学内涵及在生态景观中的应用[D]. 南昌:江西农业大学,2022.

[12] 王丽,张海英,吴哲,等. 野生观赏植物在湖南园林中的应用[J]. 林业调查规划,2007(6):164-167.

[13] 张娟,王小德,刘臣琼,等. 基于SBE法的嘉兴南湖植物景观评价[J]. 浙江农业科学,2016,57(5):714-717.

[14] 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):143-147.

[15] 尚红,高含笑,王冰心,等. 彩叶树种在校园绿化中的应用—以山东建筑大学为例[J]. 安徽林业科技,2020,46(3):49-53.

[16] 刘冠,王诚吉. 基于LID理念的西农成教学院周围景观改造研究[J]. 林业调查规划,2019,44(2):195-202.

[17] 李睿,唐文龙,杨欢,等. 郑州市东风渠滨河绿地植物群落多样性与景观质量评价研究[J]. 林业调查规划,2018,43(2):54-58.

[18] 李建仪,黄玉源,刘德良. 暨南大学石牌校区园林植物群落多样性调查与植物配置分析[J]. 农业研究与应用,2021,34(4):79-89.

[19] 杨和平,刘万辉,张测. 水景设计在高校校园风貌建设中的应用[J]. 工程建设,2019,51(6):55-58.


责任编辑:陈旭

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 014

# 云南兰坪箐花甸国家湿地公园植物多样性及群落结构研究

王有兵[1],姜健发[1],杨淑娇[1],胡昌平[1],杨国斌[2],梁建忠[1],余皖云[1],罗燕彬[1]
(1. 云南省林业调查规划院大理分院,云南 大理 671000; 2. 云南省林业调查规划院生态分院,云南 昆明 650031)

**摘要**:基于前期综合科学考察资料,对云南兰坪箐花甸国家湿地公园展开了全域植物种类及植被类型补充调查,分析湿地公园植物多样性组成及群落 α 多样性特征。结果表明,湿地公园共记录到维管束植物 397 种,隶属 86 科 252 属;含 10 种以上的科有 13 个,占总科数的 15. 1%,其中包含有 203 个种,占湿地公园全部种数的 51. 1%;禾本科、蔷薇科、菊科及毛茛科植物为常见科,各科含种数均超过 20 种;单种科占比 31. 4%,单种属占比 66. 3%;种子植物属的区系以温带成分为主,累计占比达 65. 2%,其中北温带分布属有 104 个,占种子植物属的 43. 3%;湿地公园的植被可划分为 6 个植被型,8 个植被亚型,12 个群系组和 18 个群系,灌丛面积占比最高(38. 37%),其次为草甸类(30. 71%),再次为乔木林类(29. 97%);α 多样性指数呈现乔木林和灌丛类较草甸和水生植被类高。

**关键词**:植物多样性;群落结构;区系;植被类型;α 多样性指数;云南兰坪箐花甸国家湿地公园

**中图分类号**:Q16;S718. 542;Q178. 5;S795. 91 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0089-06

**引文格式**:王有兵,姜健发,杨淑娇,等. 云南兰坪箐花甸国家湿地公园植物多样性及群落结构研究[J]. 林业调查规划,2025,50(1):89-94. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 014

WANG Youbing, JIANG Jianfa, YANG Shujiao, et al. Plant Diversity and Community Structure of Qinghuadian National Wetland Park in Lanping County of Yunnan Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 89-94. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 014

# Plant Diversity and Community Structure of Qinghuadian National Wetland Park in Lanping County of Yunnan Province

WANG Youbing[1], JIANG Jianfa[1], YANG Shujiao[1], HU Changping[1], YANG Guobin[2], LIANG Jianzhong[1], YU Wanyun[1], LUO Yanbin[1]
(1. Dali Branch of Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Dali, Yunnan 671000, China;
2. Ecology Branch of Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650031, China)

**Abstract**: Based on the preliminary scientific investigation data, the plant species and vegetation types of Qinghuadian National Wetland Park in Lanping Countywere investigated, and the plant diversity composition and community α-diversity characteristics were analyzed. The results showed that there were 397 species of vascular plant, belonging to 252 genera and 86 families; there were 13 families with more than 10 species, accounting for 15. 1% of the total families, including 203 species, accounting for 51. 1% of

**收稿日期**:2023-08-24;**修回日期**:2023-10-30

**基金项目**:云南兰坪箐花甸国家湿地公园植物繁殖库特征研究(dlfy2023006);云南省科技厅、云南大学"双一流"建设联合重大项目(云南植被志研编 202101BC070002);云南省科技厅 2023 年第二批科技成果转化专项资金(530000231100001753720).

**第一作者**:王有兵(1986-),男,硕士,高级工程师. 研究方向为林草资源调查、保护地监测及林木遗传育种. Email:1789908001@qq. com

**责任作者**:杨国斌(1970-),男,正高级工程师. 研究方向为自然保护区科研及林业调查规划设计. Email:dlygb@163. com

the total species; Poaceae, Rosaceae, Asteraceae and Ranunculaceaewere the common families with more than 20 species; the proportion of single-species families was 31.4%, and that of single-species genera was 66.3%; the flora of the genera of seed plants in the wetland park was mainly temperate, accounting for 65.2%, of which 104 genera were distributed in the north temperate zone, accounting for 43.3% of the genera of seed plants; the vegetation in the wetland park could be divided into 6 vegetation types, 8 vegetation subtypes, 12 formation groups and 18 formations, and the proportion of shrub area was the highest (38.37%), followed by meadow (30.71%) and arbor forest (29.97%); the α-diversityindex of arbor forest and shrub was higher than that of meadow and aquatic vegetation.

**Key words**: plant diversity; community structure; flora; vegetation type; α-diversity index; Qinghuadian National Wetland Park in Lanping County of Yunnan Province

生物多样性关系人类福祉,是人类生存和发展的重要基础[1-2]。滇西北地区是我国生物多样性维护型国家重点生态功能区——川滇森林及生物多样性生态功能区[3],云南兰坪箐花甸国家湿地公园正位于此区域。党的十八大以来,在习近平生态文明思想的引领下,我国将生物多样性保护上升为国家战略,并纳入各地区、各领域中长期规划[4-5]。生物多样性调查监测是生物多样性保护的基础工作和重要手段[6]。云南兰坪箐花甸国家湿地公园位于金沙江和澜沧江分水岭处,是金沙江一级支流黎明河的重要源头之一,具有水源涵养、河流水源补给等重要生态作用[7]。目前有关湿地公园的研究报道还相对较少,如曹明等人[7]对公园湿地类型与面积、动物资源、植物资源、泥炭资源及湿地景观与文化资源进行了评价;刘红[8]对湿地公园土地利用现状及生态环境健康进行了评价;华世明等人[9]对湿地公园发展及生态保护进行了探讨。有关湿地公园生物多样性调查报道仅见吴富勤等人及崔庆江等人[10-11]对湿地公园植物多样性、植被及鸟类进行了初步调查研究。基于湿地公园以往植物调查资料,对湿地公园全域开展了细致补充调查,进一步查清了湿地公园植物多样性及植被多样性,为湿地公园保护利用规划奠定基础。

## 1 研究区域概况

云南兰坪箐花甸国家湿地公园(以下简称"湿地公园")位于滇西怒江州兰坪县河西乡箐花村范围内,地理坐标为东经 99°32′36″~9°32′55″,北纬 26°52′07″~26°54′41″,公园规划矢量面积为 478.82 $hm^2$,本次调查工作界线为保护地整合后界线,面积 590.02 $hm^2$。湿地公园处于金沙江和澜沧江两大河流水系的分水岭,是集森林、灌丛、草甸及沼泽为一体的亚高山湿地公园,为亚高山丹霞冰蚀沼泽,在全国具有独特性[7]。湿地公园海拔 3 100~3 620 m,属滇西北典型的高寒山地,年均温-2.2~3.1℃,年降水量 1 370~1 630 mm,属季风气候类型[12]。

## 2 数据来源及分析方法

### 2.1 数据获取方法

云南兰坪箐花甸国家湿地公园于 2016 年及 2020 年分别由云南大学及西南林业大学相关专家开展过 2 次野外调查,基于前期调查数据,参照《中国植物志》数据库[13]对植物种类进行分析和归并,在此基础上于 2022 年 7 月开展了湿地公园全域补充调查。根据实地调查数据区划湿地公园植被类型,植被划分参照《云南植被》[14]进行,在每个植被类型中选择具有代表性和典型性区域开展样方调查,乔木林及灌丛灌草样方面积为 5 m×5 m,草甸及水生植被类样方面积为 1 $m^2$,各植被类型调查样方数量不低于 3 个,样方调查内容为灌木、草本种类以及高度和盖度。种子植物属的地理分区参照吴征镒[15]1991 年发表的文献资料进行划分。

### 2.2 数据分析方法

采用相关方法计算各物种的重要值,并计算群落的 α 多样性指数[16-17]。

相关指数计算公式为:

1)重要值($IV$)

$$IV = (\text{相对高度} + \text{相对盖度})/2 \quad (1)$$

2)α 多样性指数

丰富度指数($R$): $R = S$ (2)

Shannon-Wiener 指数($H$): $H = -\sum P_i \ln P_i$ (3)

Simpson 指数($D$): $D = 1 - \sum P_i^2$ (4)

Pielou 指数($J$): $J = H/\ln S$ (5)

式中:$S$ 为各样地所调查到的草本植物种类数量;$P_i$ 为物种 $i$ 的相对重要值。

## 3 结果与分析

### 3.1 植物科的统计分析

湿地公园共记录维管束植物 86 科 252 属 397 种(含种下等级),其中蕨类植物 7 科 11 属 17 种;裸子植物 3 科 6 属 11 种,被子植物 76 科 235 属 369 种。

在湿地公园植物科一级组成中含 10 种以上的科排序见表 1。

**表 1　湿地公园维管束植物含 10 种以上的科**

**Tab. 1　Families of vascular plant with more than 10 species in wetland park**

| 植物科 | 属数 | 种数 |
|---|---|---|
| 禾本科 Poaceae | 19 | 27 |
| 蔷薇科 Rosaceae | 17 | 25 |
| 菊科 Asteraceae | 15 | 24 |
| 毛茛科 Ranunculaceae | 11 | 23 |
| 唇形科 Lamiaceae | 12 | 14 |
| 杜鹃花科 Ericaceae | 6 | 13 |
| 蓼科 Polygonaceae | 5 | 13 |
| 莎草科 Cyperaceae | 6 | 13 |
| 石竹科 Caryophyllaceae | 8 | 11 |
| 兰科 Orchidaceae | 9 | 10 |
| 列当科 Orobanchaceae | 2 | 10 |
| 伞形科 Apiaceae | 7 | 10 |
| 十字花科 Brassicaceae | 6 | 10 |
| 合计 | 123 | 203 |

从表 1 可知,含 10 种以上的科共有 13 科,占湿地公园全部科数的 15.1%;这些科包含 123 属,占湿地公园全部属数的 48.8%;13 个科包含 203 种,占湿地公园全部种数的 51.1%。由此可见,这 13 个科在湿地公园得到了较为充分的发展,是该区域植物区系的主体。

从科内属一级的结构来看(表 2),在湿地公园仅出现 1 属的科有 46 科,占全部科数的 53.5%,共计 46 属,占全部属数的 18.3%;出现 2~9 属的科有 35 科,占全部科数的 40.7%,共计 132 属,占全部属数的 52.3%;出现 10 属以上的科有 5 科,占全部科数的 5.8%,共计 74 属,占全部属数的 29.4%。

从科内种一级的结构来看(表 3),在湿地公园仅出现 1 种的科有 27 科,占全部科数的 31.4%,共计 27 种,占全部种数的 6.8%;出现 2~9 种的科有 46 科,占全部科数的 53.5%,共计 167 种,占全部种数的 42.1%;出现 10 种以上的科有 13 科,占全部科数的 15.1%,共计 203 种,占全部种数的 51.1%。

**表 2　湿地公园维管束植物科内属一级的数量结构**

**Tab. 2　Quantitative structure of vascular plant at genera level in wetland park**

| 类型 | 科数 | 占比/% | 属数 | 占比/% |
|---|---|---|---|---|
| 含 1 属 | 46 | 53.5 | 46 | 18.3 |
| 含 2~9 属 | 35 | 40.7 | 132 | 52.3 |
| 含 10 属以上 | 5 | 5.8 | 74 | 29.4 |

**表 3　湿地公园维管束植物科内种一级的数量结构**

**Tab. 3　Quantitative structure of vascular plant at species level in wetland park**

| 类型 | 科数 | 占比/% | 种数 | 占比/% |
|---|---|---|---|---|
| 含 1 种 | 27 | 31.4 | 27 | 6.8 |
| 含 2~9 种 | 46 | 53.5 | 167 | 42.1 |
| 含 10 种以上 | 13 | 15.1 | 203 | 51.1 |

### 3.2 植物属的统计分析

湿地公园共记录到维管束植物 252 属(表 4)。在湿地公园仅出现 1 种的属有 167 属,占全部属数的 66.3%,所含种数为 167 种,占全部种数的 42.1%;出现 2~5 种的属有 80 属,占全部属数的 31.7%,所含种数为 195 种,占全部种数的 49.1%;出现 6 种以上的属有 5 属,占全部属数的 2.0%,所含种数为 35 种,占全部种数的 8.8%。由此可见,该区域属的成分比较复杂,单属单种占比较高,是该区域植物组成特征。

**表 4　湿地公园维管束植物属的数量结构**

**Tab. 4　Quantitative structure of the genera of vascular plant in the wetland park**

| 类型 | 属数 | 占比/% | 种数 | 占比/% |
|---|---|---|---|---|
| 含 1 种 | 167 | 66.3 | 167 | 42.1 |
| 含 2~5 种 | 80 | 31.7 | 195 | 49.1 |
| 含 6 种以上 | 5 | 2.0 | 35 | 8.8 |

出现种数超过 4 种以上的属见表 5。

从表 5 可以看出,种数超过 4 种以上的属共有 13 属,分属 12 个科,占全部属数的 5.2%;这 13 个属共包含 68 种,占全部种数的 17.1%。包含种数最多的是马先蒿属(9 种),其次是杜鹃花属(7 种)和毛茛属(7 种),再次为蓼属(6 种)和薹草属(6 种),这些属的植物均是典型北温带分布的大属或全球广布的大属。

### 3.3 植物属一级区系分析

对湿地公园种子植物属一级区系进行分析(表 6)。

表5 湿地公园含4种以上植物的属

Tab. 5 Genera of plants with more than 4 species in wetland park

| 植物属 | 所属科 | 包含种数 |
|---|---|---|
| 马先蒿属 *Pedicularis* | 列当科 | 9 |
| 杜鹃花属 *Rhododendron* | 杜鹃花科 | 7 |
| 毛茛属 *Ranunculus* | 毛茛科 | 7 |
| 蓼属 *Persicaria* | 蓼科 | 6 |
| 薹草属 *Carex* | 莎草科 | 6 |
| 龙胆属 *Gentiana* | 龙胆科 Gentianaceae | 5 |
| 灯芯草属 *Juncus* | 灯芯草科 Juncaceae | 4 |
| 金丝桃属 *Hypericum* | 金丝桃科 Hypericaceae | 4 |
| 婆婆纳属 *Veronica* | 车前科 Plantaginaceae | 4 |
| 碎米荠属 *Cardamine* | 十字花科 | 4 |
| 羊茅属 *Festuca* | 禾本科 | 4 |
| 野青茅属 *Deyeuxia* | 禾本科 | 4 |
| 鸢尾属 *Iris* | 鸢尾科 Iridaceae | 4 |
| 合计 13 | 12 | 68 |

表6 湿地公园种子植物属的分布区类型

Tab. 6 Areal types of seed plants genera in wetland park

| 分布区类型 | 属数/属 | 占比/% |
|---|---|---|
| 1. 世界分布 | 40 | 16.6 |
| 2. 泛热带分布 | 23 | 9.5 |
| 3. 热带亚洲至热带美洲间断分布 | 7 | 2.9 |
| 4. 旧世界热带分布 | 5 | 2.1 |
| 5. 热带亚洲至热带大洋洲分布 | 2 | 0.8 |
| 6. 热带亚洲至热带非洲分布 | 4 | 1.7 |
| 7. 热带亚洲(印度-马来)分布 | 3 | 1.2 |
| 8. 北温带分布 | 104 | 43.3 |
| 9. 东亚和北美间断分布 | 5 | 2.1 |
| 10. 旧世界温带分布 | 20 | 8.3 |
| 12. 地中海、西亚、中亚分布 | 1 | 0.4 |
| 14. 东亚分布 | 9 | 3.7 |
| 14-1. 中国-喜马拉雅 | 14 | 5.8 |
| 14-2. 中国-日本 | 1 | 0.4 |
| 15. 中国特有分布 | 3 | 1.2 |
| 合计 | 241 | 100.0 |

将湿地公园种子植物241属划分为13个类型(含2个变型),显示了该区域种子植物区系在属级水平上的地理成分的复杂性,以及同世界其它地区植物区系的广泛联系。湿地公园共计有热带性质的属(2~7分布型及其变型)44属,占种子植物属数的18.2%;共计有温带性质的属(8~15分布型及其变型)157属,占全部属数的65.2%。在所有属的分布区类型中,除世界分布属外,居于前三位的分别是北温带分布(104属,占比43.3%)、泛热带分布(23属,占比9.5%)、旧世界温带分布(20属,占比8.3%)。湿地公园与地中海、西亚、中亚共有的属仅有1个。湿地公园共计有东亚分布类型的属24个,其中,中国-喜马拉雅分布变型(SH)的属有14属,这为本区域植物区系属于东亚植物区,中国-喜马拉雅森林植物亚区的一部分提供了有力佐证。

### 3.4 湿地公园植被类型及群落α多样性特征

通过实地调查得到湿地公园植被类型(表7)。

表7 湿地公园植被类型组成结构

Tab. 7 Composition structure of vegetation types in wetland park

| 植被类型 | 植被亚型 | 群系组 | 群系 |
|---|---|---|---|
| 硬叶常绿阔叶林 | 寒温山地硬叶常绿栎类林 | 帽斗栎林 | 帽斗栎、腋花杜鹃群落 |
| 落叶阔叶林 | 寒温性落叶阔叶林 | 杨桦林 | 白桦、丽江云杉群落 |
| 温性针叶林 | 寒温性针叶林 | 云、冷杉林 | 丽江云杉、川滇冷杉群落 |
| 灌丛 | 寒温性灌丛 | 杜鹃灌丛 | 草原杜鹃群落 |
| | | | 腋花杜鹃群落 |
| | | | 灰背杜鹃群落 |
| | | | 红棕杜鹃群落 |
| | | 河岸柳灌丛 | 四子柳群落 |
| | | 高山柏灌丛 | 高山柏、羊茅群落 |
| 草甸 | 亚高山草甸 | 亚高山禾草草甸 | 羊茅、西南蕨麻群落 |
| | | | 羊茅草甸群落 |
| | | 亚高山杂类草草甸 | 西南鸢尾、羊茅群落 |
| | | | 干崖子薹吾、华扁穗草群落 |
| | 亚高山沼泽草甸 | 亚高山莎草沼泽草甸 | 华扁穗草、葱状灯芯草群落 |
| | | | 华扁穗草、海仙报春群落 |
| 高原湖泊水生植被 | 挺水植物及沼泽植被 | 黑三棱群落 | 小黑三棱群落 |
| | | 谷精草群落 | 高山谷精草群落 |
| | 沉水植物 | 水毛茛群落 | 水毛茛群落 |

从表 7 可以看出,湿地公园植被可分为 6 个植被类型,分别为硬叶常绿阔叶林、落叶阔叶林、温性针叶林、灌丛、草甸和高原湖泊水生植被,可进一步划分为 8 个植被亚型,12 个群系组和 18 个群系,在 18 个群系中,以灌丛和草甸类型居多,种类较为丰富。

湿地公园主要植被类型面积统计见表 8。

**表 8　湿地公园主要植被类型面积统计**

**Tab. 8　Areal statistics of main vegetation types in wetland park**

| 群系组类型 | 面积/$hm^2$ | 占比/% |
|---|---|---|
| 帽斗栎林 | 2. 71 | 0. 46 |
| 杨桦林 | 34. 85 | 5. 91 |
| 云、冷杉林 | 139. 26 | 23. 60 |
| 杜鹃灌丛 | 225. 96 | 38. 29 |
| 河岸柳灌丛 | 0. 38 | 0. 06 |
| 高山柏灌丛 | 0. 11 | 0. 02 |
| 亚高山禾草草甸 | 98. 05 | 16. 62 |
| 亚高山杂类草草甸 | 12. 42 | 2. 11 |
| 亚高山莎草沼泽草甸 | 70. 69 | 11. 98 |
| 黑三棱群落 | 0. 98 | 0. 17 |
| 谷精草群落 | 0. 49 | 0. 08 |
| 水毛茛群落 | 0. 65 | 0. 11 |
| 其他 | 3. 47 | 0. 59 |

从表 8 可以看出,在湿地公园中分布面积最大的植被类型为杜鹃灌丛(225. 96 $hm^2$),面积占比达 38. 29%,其次为云、冷杉林(139. 26 $hm^2$),占比 23. 60%,再次为亚高山禾草草甸(98. 05 $hm^2$),占比 16. 62%,第四为亚高山莎草沼泽草甸(70. 69 $hm^2$),占比 11. 98%,其余植被类型面积占比较小。总体上湿地公园植被类型以灌丛为主,其次为草甸,再次为乔木林。

通过样方调查,分析湿地公园各类型群落的植物多样性(表 9)。

从表 9 可以明显看出,各类型群落的物种丰富度指数($R$)差异较大,总体上呈乔木林和灌丛物种丰富度高于草甸类,草甸类物种丰富度又高于水生植被类。从 Shannon-Wiener 指数($H$)来看,物种多样性较高的群落为腋花杜鹃群落(2. 83)、草原杜鹃群落(2. 78)、高山柏-羊茅群落(2. 59),乔木林物种多样性适中,较低的为水生植被群落。Simpson 指数($D$)的变化趋势与 $R$、$H$ 基本一致。从 Pielou 指数($J$)来看,指数最高的群落为腋花杜鹃群落(0. 92),

**表 9　湿地公园各种群落的 α 多样性特征**

**Tab. 9　Characteristics ofα-diversity of various communities in wetland park**

| 序号 | 群落名称 | $R$ | $H$ | $D$ | $J$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 帽斗栎、腋化杜鹃群落 | 21 | 2. 49 | 0. 87 | 0. 81 |
| 2 | 白桦、丽江云杉群落 | 26 | 2. 36 | 0. 83 | 0. 72 |
| 3 | 丽江云杉、川滇冷杉群落 | 22 | 2. 52 | 0. 88 | 0. 82 |
| 4 | 草原杜鹃群落 | 30 | 2. 78 | 0. 89 | 0. 82 |
| 5 | 腋花杜鹃群落 | 22 | 2. 83 | 0. 87 | 0. 92 |
| 6 | 灰背杜鹃群落 | 23 | 2. 55 | 0. 89 | 0. 81 |
| 7 | 红棕杜鹃群落 | 13 | 1. 70 | 0. 74 | 0. 66 |
| 8 | 四子柳群落 | 31 | 2. 47 | 0. 83 | 0. 72 |
| 9 | 高山柏—羊茅群落 | 23 | 2. 59 | 0. 88 | 0. 83 |
| 10 | 羊茅、西南蕨麻群落 | 9 | 1. 70 | 0. 71 | 0. 77 |
| 11 | 羊茅草甸群落 | 13 | 2. 01 | 0. 79 | 0. 78 |
| 12 | 西南鸢尾、羊茅群落 | 12 | 2. 11 | 0. 83 | 0. 85 |
| 13 | 干崖子薹吾、华扁穗草群落 | 13 | 1. 91 | 0. 82 | 0. 75 |
| 14 | 华扁穗草、葱状灯芯草群落 | 13 | 2. 05 | 0. 80 | 0. 80 |
| 15 | 华扁穗草、海仙报春群落 | 15 | 2. 28 | 0. 85 | 0. 84 |
| 16 | 小黑三棱群落 | 6 | 1. 11 | 0. 52 | 0. 62 |
| 17 | 高山谷精草群落 | 6 | 1. 54 | 0. 74 | 0. 86 |
| 18 | 水毛茛群落 | 6 | 1. 14 | 0. 53 | 0. 63 |

注:乔木层不参与计算指标。

物种分布较为均匀,除红棕杜鹃群落、小黑三棱群落及水毛茛群落外,其他群落均匀度适中,红棕杜鹃群落、小黑三棱群落及水毛茛群落由于个别物种优势度过大而导致均匀度下降。

## 4 结论与讨论

### 4. 1 结论

通过实地调查及文献资料整理,对湿地公园植物多样性及群落结构进行分析,得出以下结论。

1)湿地公园植物种类较为丰富,有 86 科 252 属 397 种。

2)植物科属结构复杂多样,有 13 个科含种数在 10 种以上,其中禾本科、蔷薇科、菊科及毛茛科含种数超过 20 种,单种科占比 31. 4%,单种属占比 66. 3%,含 4 种以上的属有 13 个属。湿地公园植物以温带成分为主,累计占比达 65. 2%。

3)湿地公园植被有 6 个植被型,8 个植被亚型,12 个群系组和 18 个群系,灌丛面积占比最高(38. 37%),其次为草甸类型(30. 71%),再次为乔木林类型(29. 97%)。

4)乔木林和灌丛群落的α多样性较草甸和水生植被类型高。

### 4.2 讨论

云南兰坪箐花甸湿地公园区位重要而独特,是我国生物多样性维护型国家重点生态功能区,保存有丰富而独特的地质地貌遗迹和生物资源。公园范围内景观资源丰富而典型,如丹霞地貌景观、冰川遗迹景观、沼泽湿地景观、人文景观等。湿地公园生态系统较为完整,包含了森林生态系统、草原生态系统、湿地生态系统等,植物种类也较为丰富多样,群落组成复杂。

综上所述,箐花甸湿地公园物种多样性较高,生态系统结构较为完整,景观资源较为丰富,是全国较为独特的亚高山湿地公园。然而,湿地公园的生态环境极为脆弱,极易遭受破坏,破坏后结果是不可逆的,有研究表明[9],箐花甸湿地公园生态环境正遭受着不同程度的损害,主要有以下几个方面:森林遭受破坏、畜牧超载、水体受牲口粪便及人类生活污水污染,缺失监测机制等。目前环甸面山部分区域植被退化严重,甸内五花草甸受牧畜活动影响,自然植被遭受不同程度的破坏,溪边植被受侵蚀的影响,侵蚀秃斑逐渐扩大。因此,下一步将在环甸面山退化植被区域充分利用乡土乔灌草,强调多种类、多层次、密植,以混合形成甸周山体乔—灌—草立体层次丰富、植物种类多样的高山植物群落;在甸内五花草甸遭受破坏区域建立围栏系统,严格限制放牧行为,使湿地公园的草甸恢复到较为稳定的优良状态;对溪岸边两侧植被进行恢复,以自然恢复为主,部分人工辅助恢复。

湿地公园植物多样性较高,但国家重点保护野生植物种类较少,仅有云南红景天(*Rhodiola yunnanensis*)、甘松(*Nardostachys jatamansi*)、西南手参(*Gymnadenia orchidis*)、竹节参(*Panax japonicus*)、金铁锁(*Psammosilene tunicoides*)5种,主要分布于环甸面山草地、灌丛及乔木林。调查发现,湿地公园外来物种有土荆芥(*Chenopodium ambrosioides*)、藿香蓟(*Ageratum conyzoides*)、鹅肠菜(*Stellaria aquatica*)、荠(*Capsella bursa-pastoris*)、假酸浆(*Nicandra physalodes*)5种,外来物种主要分布于公路、房屋、农田等四旁区域,目前种群数量还相对较少,对当地生态系统未造成破坏。

今后应加强湿地公园基础设施建设,定期开展植物多样性及生态环境监测,及时了解人类活动对湿地公园生态环境的干扰情况,以便采取有针对性的管护措施。

## 参考文献:


[1]《中国的生物多样性保护》白皮书[EB/OL].(2021-10-09)[2022-12-12].http://www.scio.gov.cn/ztk/dtzt/44689/47139/index.htm.

[2]楚向红.聚焦生物多样性保护-构建地球生命共同体[J].河南工程学院学报(社会科学版),2022,37(3):1-6.

[3]栗忠飞,刘海江.2011和2019年生物多样性维护型国家重点生态功能区状态及变化评估[J].生态学报,2021,41(15):5909-5918.

[4]中华人民共和国生态环境部.关于印发《中国生物多样性保护战略与行动计划》(2011—2030年)的通知[EB/OL].(2010-09-17)[2022-12-12].https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201009/t20100921_194841.htm.

[5]中华人民共和国自然资源部.关于印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》的通知[EB/OL].(2020-01-17)[2022-12-12].http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117_2498071.html.

[6]李佳琦,徐海根,伊剑锋,等.全国生物多样性观测网络的建设与主要成效[J].生态与农村环境学报,2020,36(5):549-552.

[7]曹明,吴富勤,陶晶,等.云南兰坪箐花甸国家湿地公园资源现状及其评价[J].安徽农业科学,2018,46(17):72-75.

[8]刘鸿.云南兰坪箐花甸国家湿地公园土地利用现状及生态环境评价[J].防护林科技,2021(5):74-75,87.

[9]华世明,李水生.兰坪箐花甸湿地公园发展及生态保护措施[J].绿色科技,2021,23(24):166-169,175.

[10]吴富勤,陶晶,华朝朗,等.箐花甸国家湿地公园植物多样性调查研究[J].林业调查规划,2019,44(1):138-142,183.

[11]崔庆江,张丽锋,和秀全,等.云南箐花甸国家湿地公园鸟类多样性[J].西部林业科学,2020,49(2):106-112.

[12]云南省林业调查规划院.云南兰坪箐花甸国家湿地公园资源调查报告[R].2016.

[13]《中国植物志》数据库[EB/OL].[2022-10-15].http://www.iplant.cn/frps.

[14]吴征镒,朱彦丞,姜汉侨.云南植被[M].北京:科学出版社,1987.

[15]吴征镒.中国种子植物属的分布区类型[J].云南植物研究,1991,13(S4):1-139.

[16]滕玉风,马力,占玉芳,等.金塔沙漠人工林植被物种多样性研究[J].西北林学院学报,2021,36(2):68-74.

[17]林丽,代磊,林泽北,等.黔中城市森林群落植物多样性及其与土壤理化性质的关系[J].生态环境学报,2021,30(11):2130-2141.


责任编辑:许易琦

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 015

# 乌蒙山自然保护区植被覆盖及景观格局时空演变特征分析

廖正杭,陈 婷,赵永丽,李 伟,杨 科
(云南乌蒙山国家级自然保护区管护局 ,云南 昭通 657000)

**摘要**:基于 Landsat 数据,提取了乌蒙山自然保护区 2005 年、2011 年、2019 年植被覆盖信息,用像元二分模型法反演了植被覆盖度(FVC),利用 Fragstats 4. 2 软件计算了保护区不同等级植被覆盖度及不同植被覆盖类型的景观格局指数,分析 2005—2019 年的变化特征。结果表明,研究区整体植被覆盖类型主要以阔叶林为主,2005—2019 年间占比从 56%增加到 60%;研究区整体植被覆盖度较高,以中高、高植被覆盖度为主,植被覆盖度整体呈上升趋势,2005 年、2011 年、2019 年不同时期中高、高植被覆盖区分别占该区总面积的 78. 41%、75. 59%、83. 22%,FVC 均值从 65. 14%上升到了 73. 3%;从景观格局来看,保护区植被覆盖类型、植被覆盖度整体景观破碎度再降低,不同植被类型斑块整体上变化不大、斑块形状越来越规则,不同等级植被覆盖度分布较集中,混杂度、多样性下降。

**关键词**:景观格局;植被覆盖;时空变化特征;乌蒙山保护区

**中图分类号**:S759. 9;Q948. 2;P901 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0095-09

**引文格式**:廖正杭,陈婷,赵永丽,等. 乌蒙山自然保护区植被覆盖及景观格局时空演变特征分析[J]. 林业调查规划,2025,50(1):95-103. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 015

LIAO Zhenghang, CHEN Ting, ZHAO Yongli, et al. Temporal and Spatial Evolution Characteristics of Vegetation Coverage and Landscape Pattern in Wumeng Mountain Nature Reserve[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 95-103. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 015

# Temporal and Spatial Evolution Characteristics of Vegetation Coverage and Landscape Pattern in Wumeng Mountain Nature Reserve

LIAO Zhenghang, CHEN Ting, ZHAO Yongli, LI Wei, YANG Ke
(Administration of Yunnan Wumeng Mountain National Nature Reserve, Zhaotong, Yunnan 657000, China)

**Abstract**: Based on Landsat data, vegetation coverage information of Wumeng Mountain Nature Reserve in 2005, 2011, and 2019 was extracted. The pixel binary model was used to invert the fractional vegetation coverage (FVC), the Fragstats 4. 2 software was used to calculate the landscape pattern index of different levels and types of vegetation coverage in the reserve, and analyzed the characteristics of changes from 2005 to 2019. The results showed that the overall vegetation coverage type in the study area was mainly broad-leaved forest, increasing from 56% to 60% from 2005 to 2019; the overall vegetation coverage in the study area was higher, dominated by medium-high and high vegetation coverage, and the overall vegetation coverage showed an upward trend, and medium-high and high vegetation coverage areas

**收稿日期**:2023-11-22;**修回日期**:2023-12-19
**基金项目**:云南乌蒙山国家级自然保护区 2022 年中央财政林业草原生态保护恢复资金项目.
**第一作者**:廖正杭(1990-),男,助理工程师. 主要从事自然保护区资源调查、科研监测工作.
**责任作者**:陈婷(1994-),女,工程师. 主要从事 3S 技术在保护区的应用研究.

respectively accounted for 78.41%, 75.59% and 83.22% of the total area in 2005, 2011 and 2019, and the mean value of FVC increased from 65.14% to 73.3%; from the perspective of landscape pattern, the overall landscape fragmentation degree of the vegetation coverage types and vegetation coverage was decreased again, the patches of different vegetation types changed little on the whole and the patch shape became more and more regular, the distribution of vegetation coverage of different levels was relatively concentrated, and the confounding degree and diversity were decreased.

**Key words**: landscape pattern; vegetation coverage; temporal and spatial evolution characteristics; Wumeng Mountain Nature Reserve

植被是地球表面最显著的特征,是人类赖以生存、不可替代的物质资源和生活资料,植被的整体状况综合体现了国家的生态本底,是生态恢复和生态建设以及国土空间利用的重要基础,是“绿水青山”的形成条件和保障[1]。植被覆盖度是衡量地表植被覆盖最重要的指标,在土地沙漠化评价、水土流失监测和分布式水文模型中都将植被覆盖度作为重要输入参数[2]。景观格局是景观要素在空间上的排列和组合,是在自然因素、生物因素和人类活动综合作用下形成的结果[3]。植被覆盖信息的提取和植被覆盖度变化及其景观格局时空变化的研究,对于揭示生态系统变化、生态保护均具有重要意义[4-5]。自然保护区的建设是落实生态文明建设国家战略的重要组成部分和重要任务之一[6]。自然保护区是生物多样性保护最直接和最有效的模式,植被是大多数自然保护地的主要保护对象之一[7]。因此,深入了解乌蒙山自然保护区植被覆盖及景观格局的时空演变特征,对于科学理解该地区的生态系统功能、服务及其对外界干扰的响应,具有重要的理论和实际意义。通过此项研究,旨在揭示保护区植被覆盖及景观格局的时空变化趋势,为未来的生态环境管理、保护区规划以及应对气候变化等问题提供科学依据,为实现生态环境的可持续管理和维护乌蒙山自然保护区珍贵的生态资源作出贡献。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

乌蒙山自然保护区是2013年正式批准成立的“森林生态系统类型”的自然保护区,位于长江中上游的云南省昭通市境内。地理坐标为103°51′47″~104°45′04″E,27°47′35″~28°17′42″N,海拔966~2 434 m。保护区由朝天马、三江口、海子坪3个相对独立片区组成,横跨彝良、大关、永善、盐津、威信5个县。是以保护乌蒙山区目前保存面积较大而完整,类型结构典型,并具有云贵高原代表性的的亚热带山地湿性常绿阔叶林森林生态系统和珍稀濒危特有动植物物种及其栖息地,同时以维护乌蒙山区与金沙江—长江流域生态安全为主要保护管理目标的保护区。

### 1.2 数据收集及预处理

根据影像的可获取性,选取了保护区从提出申报、建立初期及近期的3景Landsat遥感影像。数据来源于美国地质勘探局网站(https://earthexplorer.usgs.gov/)。结合植被生长季5—9月[8],根据Landsat数据的质量、云量和成像时间,选择Landsat 5 TM 2005年8月、2011年7月及Landsat 8 OLI 2019年8月的3景数据。数据通过辐射定标、大气校正和裁剪等预处理(均在ENVI 5.6中完成)。数据还包括保护区2020年开展的土地覆被及植被覆盖调查数据,用于辅助选择训练样本和验证样本。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 植被覆盖度反演及动态变化分析

植被覆盖及其变化是区域生态系统环境变化的重要指示。植被覆盖度是衡量地表植被状况的一个最重要的指标[9]。此次运用像元二分模型计算植被覆盖度,计算表达式为:

$$FVC = (NDVI - NDVI_{soil})/(NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \times 100\% \quad (1)$$

式中:FVC为植被覆盖度;NDVI为归一化植被指数;$NDVI_{soil}$和$NDVI_{veg}$分别为纯裸土和纯植被像元的NDVI值。

根据NDVI累计频率表,提取累计频率在5%和95%处的NDVI值作为$NDVI_{soil}$和$NDVI_{veg}$[10]。

本文参考相关文献[11-12],将研究区FVC分为5个等级:0为无植被覆盖,>0~25为低植被覆盖度,>25~50为中植被覆盖度,>50~75为中高植被覆盖度,>75~100为高植被覆盖度。

为反映研究区植被覆盖动态变化,利用差值法计算不同期影像之间的植被覆盖变化$\Delta F_g$。$\Delta F_g = -3$

表示极度退化;$\Delta F_g=-2$ 表示中度退化;$\Delta F_g=-1$ 表示轻微退化;$\Delta F_g=0$ 表示稳定;$\Delta F_g=1$ 表示轻微改善;$\Delta F_g=2$ 表示中度改善;$\Delta F_g=3$ 表示极度改善 ,以此来反映植被覆盖度变化程度[13-14],公式为:

$$\Delta F_g = F_{g\,year2} - F_{g\,year1} \quad (2)$$

式中:$F_{g\,year1}$ 和 $F_{g\,year2}$ 分别为前后两个不同时期植被覆盖度等级。

### 1.3.2 植被类型提取

植被覆盖分类根据《自然保护区土地覆被类型划分》(LY/T 1725—2008),将保护区的植被类型分为阔叶林(包括常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林)、针叶林、竹林、其他植被(包括草甸、灌丛、农作物)、无植被(包括居民点、道路、水体、裸岩)5 类。采用最大似然法进行分类,分类计算在 ENVI 5.6 中完成。2005 年、2011 年、2019 年保护区植被覆盖分类的总体精度分别为 90.27%、91.74%、96.44%,kappa 系数为 0.71、0.75、0.91。

### 1.3.3 景观格局指数

景观格局指数是反映景观组成结构与空间特征的定量指标,可以有效表达景观格局信息以及分布情况[15]。利用 Fragstats 4.2 软件分别计算不同植被覆盖度和不同植被类型的景观格局指数,定量分析不同植被斑块及不同等级植被覆盖度类型的景观斑块特征、破碎化特征、多样性特征。选取斑块数目(NP)、斑块所占景观面积比例(PLAND)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、形状指数(LSI)、蔓延度(CONTAG)、聚集指数(AI)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)9 种景观格局指数。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被类型的变化

保护区内的植被类型以阔叶林为主,分布于不同片区和海拔阶段(图 1)。竹林形成了连片分布,交错于阔叶林之中。出现这种现象的原因是因为保

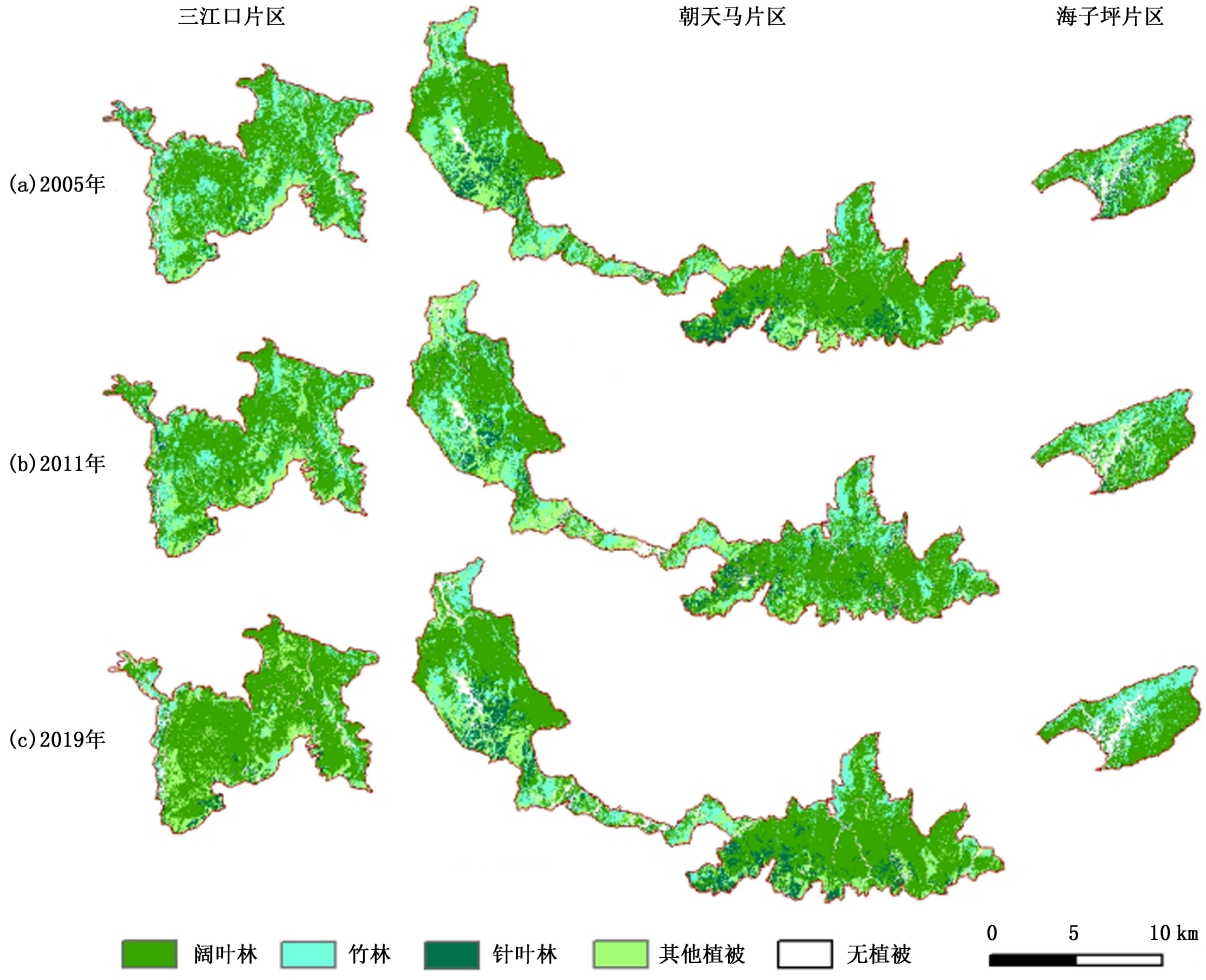



图 1　2005—2019 年植被覆盖类型分类结果

**Fig. 1　Classification results of vegetation cover types from 2005 to 2019**

护区灌木层主要由竹类植物占据,部分区域缺乏上层植被,从而形成竹林。针叶林主要是在 20 世纪 60 年代原生植被采伐后人工种植的杉木林和松林,主要分布在通往保护区边缘的道路周围。其他植被主要分布在无植被地带的周围,以及人类活动频繁的区域和水体周围。无植被区域通常较小且穿插于保护区内,主要为道路、水体及建筑用地等。

从保护区整体来看,面积最大的是阔叶林(图 2),占比从 2005 年的 56%增加到了 2019 年的 60%;其次是竹林,面积呈减少趋势。阔叶林和竹林面积结构发生变化的主要原因,是这些区域为 1998 年天然林禁伐以前进行砍伐后恢复起来的天然次生林,砍伐后仅剩灌木层竹类植物,表现为竹林,后随着乔木先锋种的生长逐步发展为阔叶林。从各功能区来看,核心区、缓冲区面积最大的是阔叶林和竹林,阔叶林有所增加,竹林减少,其余各类型都变化不大,相对较稳定。实验区面积最大是阔叶林,呈缓慢增长趋势,其次是其他植被和竹林。其他植被基本稳定,竹林面积减少。无植被区域主要分布在实验区,是因为人为活动在实验区最频繁,占比增加。

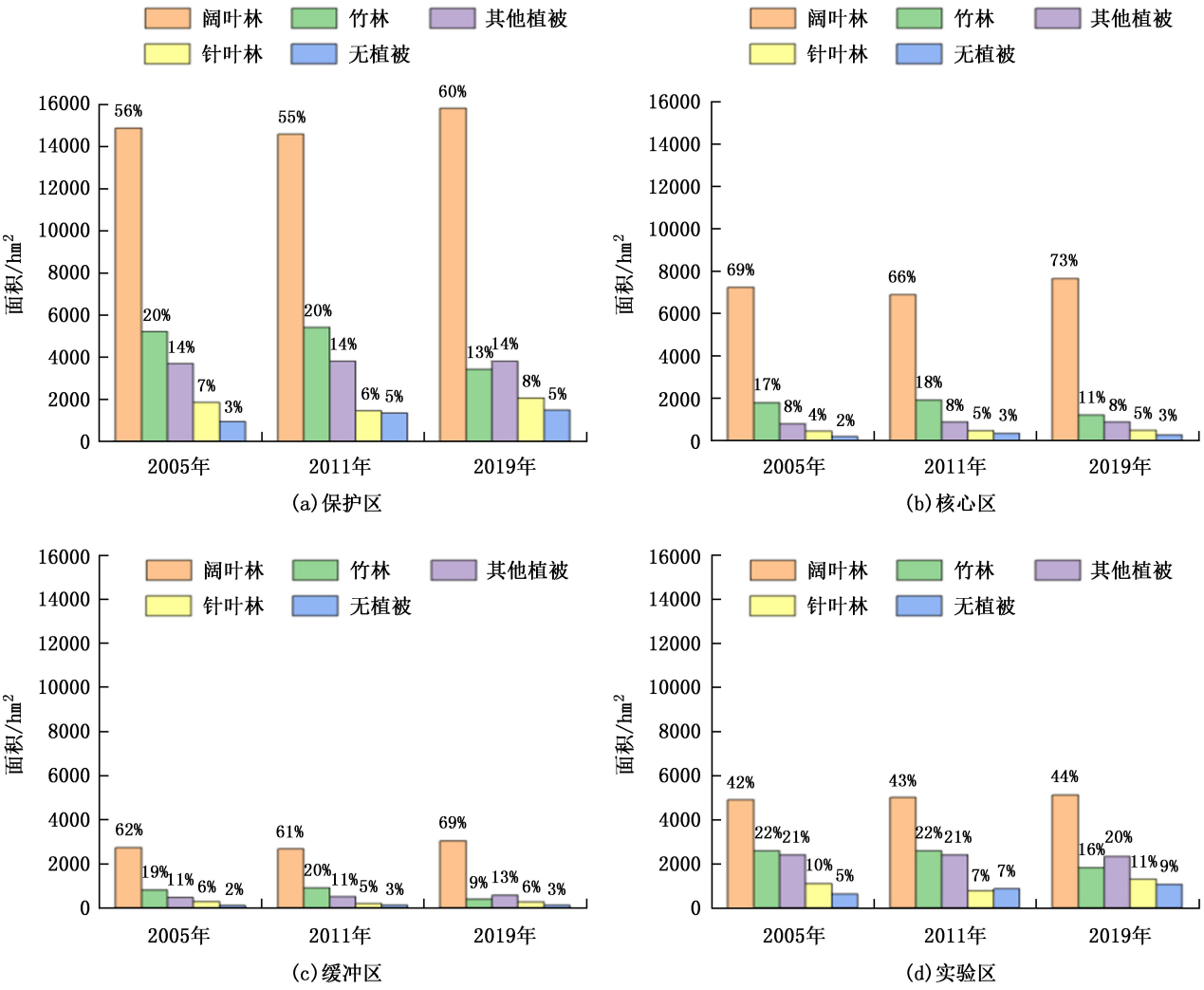



**图 2　2005—2019 年不同植被覆盖类型在保护区及各功能区中的面积组成及占比**

**Fig. 2　Area composition and percentage of different vegetation cover types in the reserve and functional zones from 2005 to 2019**

## 2.2 植被覆盖度的变化

2005—2019 年,保护区的 FVC 均值从 65.14%上升到了 73.3%,均属于中高植被覆盖度。2005—2019 年保护区均以中高、高植被覆盖度为主,低植被覆盖主要分布在保护区边缘人为活动相对频繁的区域(图 3)。结合图 1 可看出,中高、高植被覆盖度覆盖区域主要植被类型为阔叶林,无植被覆盖对应无植被类型,主要是水体、裸岩、建筑用地等类型。

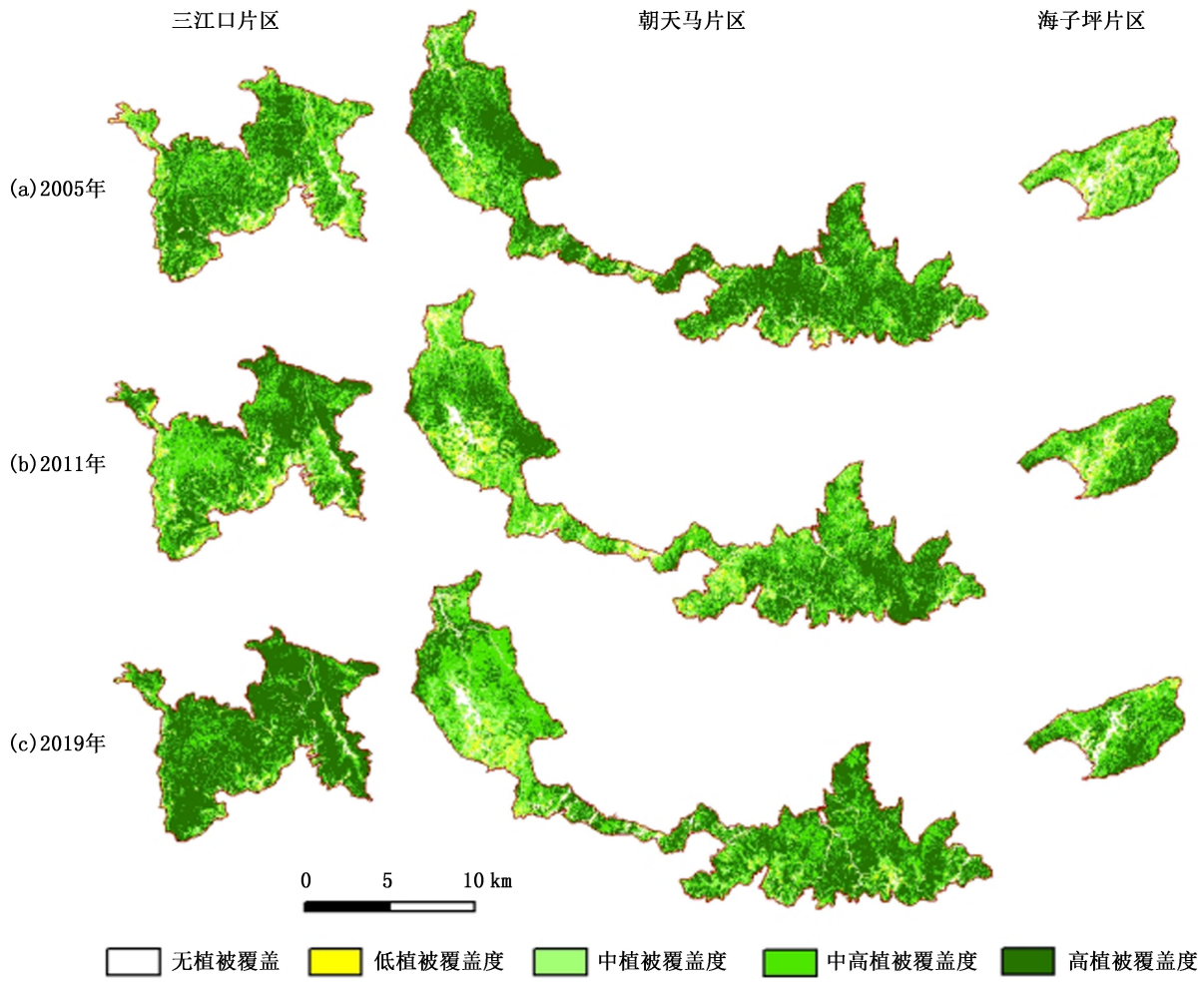



**图 3　2005—2019 年植被覆盖度等级划分**

**Fig. 3　Classification of vegetation coverage from 2005 to 2019**

2005 年、2011 年、2019 年不同时期中高、高植被覆盖区分别占该区总面积的 78.41%,75.59%,83.22%(表 1),反映了保护区植被覆盖情况较好,主要以中高、高为主。不同等级不同时段植被变化趋势不同。2005—2011 年,高植被覆盖度区域面积呈下降趋势,其余植被覆盖度区域面积均呈上升趋势;2011—2019 年,高植被覆盖度面积呈上升趋势,其余植被覆盖度等级均呈下降趋势。总体来说,2005—2019 年,高植被覆盖度比例上升 4.82%,保护区植被先遭到一定破坏,然后恢复,总体植被覆盖度增加。主要原因是保护区成立以前人为活动较多,2013 年保护区成立后保护和管理力度加强,人为活动

**表 1　植被覆盖度动态变化**

**Tab. 1　Dynamic changes of vegetation coverage**

| 植被覆盖度等级 | 2005 年 | | 2011 年 | | 2019 年 | | 2005—2011 年 | | 2011—2019 年 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 面积/$hm^2$ | 占比/% | 面积/$hm^2$ | 占比/% | 面积/$hm^2$ | 占比/% | 面积变化/$hm^2$ | 占比/% | 面积变化/$hm^2$ | 占比/% |
| 无植被覆盖 | 1161.81 | 4.36 | 1183.68 | 4.45 | 1125.18 | 4.23 | 21.87 | 0.08 | -58.50 | -0.22 |
| 低植被覆盖度 | 1189.80 | 4.48 | 1347.12 | 5.07 | 752.40 | 2.83 | 157.32 | 0.59 | -594.72 | -2.24 |
| 中植被覆盖度 | 3387.96 | 12.75 | 3956.58 | 14.89 | 2582.91 | 9.72 | 568.62 | 2.14 | -1373.67 | -5.17 |
| 中高植被覆盖度 | 8562.15 | 32.22 | 9591.12 | 36.09 | 8559.18 | 32.21 | 1028.97 | 3.87 | -1031.94 | -3.88 |
| 高植被覆盖度 | 12275.01 | 46.19 | 10498.23 | 39.50 | 13557.06 | 51.01 | -1776.78 | -6.69 | 3058.83 | 11.51 |

得到控制,植被逐步恢复,总体植被覆盖度增加。

保护区植被覆盖度相对稳定,退化和改善均是以轻微为主(图 4)。结合图 3 和表 2 来看,退化的区域主要是由高覆被转化为中高。从不同时段、不同片区来看,三江口片区 2005—2011 年出现轻微退化的区域大部分权属为集体。原因是保护区未成立以前人为活动较为频繁,造成植被轻微退化;2013 年保护区成立后,植被得到恢复,2005—2019 年整体上植被得到了改善。朝天马片区 2005—2011 年有很大部分区域退化,原因一是分布在村庄附近区域,保护区未成立以前人为活动较为频繁导致植被退化,2013 年保护区成立后 2011—2019 年得到较大恢复;二是 2009 年 2 月该片区发生过一起火灾,导致植被退化,后自然修复。海子坪片区 2005—2019 年植被覆盖度一直在改善。

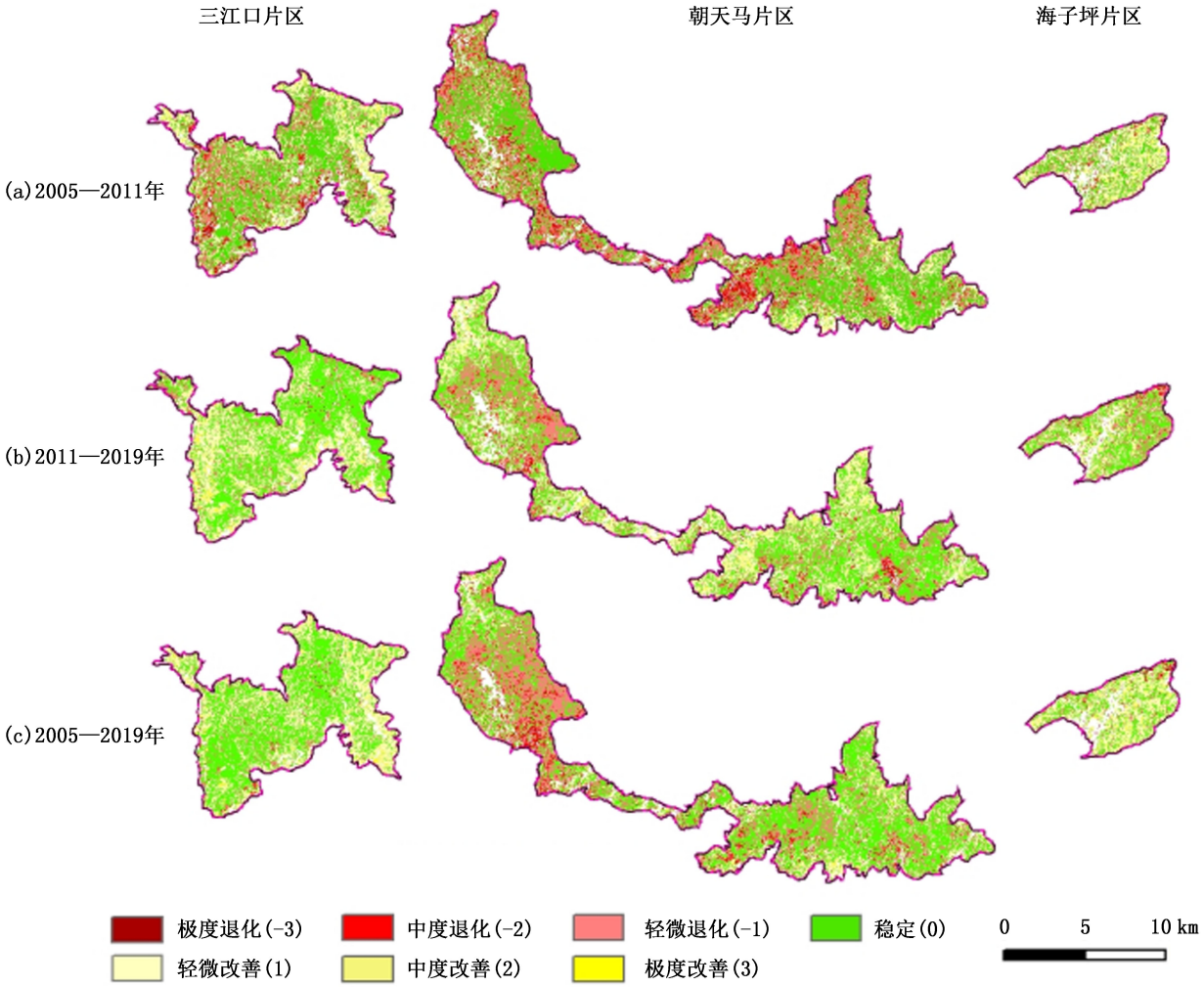



**图 4 不同时期植被覆盖变化等级量化分布**

**Fig. 4 Quantitative distribution of vegetation cover change levels in different periods**

### 2.3 景观格局变化分析

#### 2.3.1 总体景观格局分析

从景观尺度来看,首先,植被覆盖度整体景观破碎度呈下降趋势(表 2),NP、PD 在降低,说明保护区内的植被覆盖斑块数量减少,而这些斑块也逐渐变得分散;其次,不同植被覆盖度等级的分布在观察时间段内表现出较高的集中度。然而,需要指出的是,这一观察结果可能需要更多的数据和分析来进一步验证和解释。此外,景观的混杂度和多样性呈下降趋势,LPI、CONTAG、AI 先降低后升高,说明在一段时间内,最大植被斑块的优势、景观连通性和植被的聚集性均呈下降趋势。

从景观尺度来看,保护区的植被覆盖类型整体景观破碎度逐渐减小(表 3),体现在 NP、PD 的下降。这表明植被覆盖类型的斑块数量减少,同时斑块逐渐变得分散。不同植被类型的分布相对稳定,没有明显的趋势。此外,斑块形状呈现波动,但整体趋势保持相对平稳;CONTAG、AI 呈现出先下降后上

表 2　2005—2019 年植被覆盖度景观格局指数

Tab. 2　Landscape pattern index of vegetation coverage from 2005 to 2019

| 年份 | NP | PD | LPI | LSI | CONTAG | SHDI | SHEI | AI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2005 年 | 23055 | 90. 7138 | 15. 4828 | 116. 7587 | 26. 8119 | 1. 1300 | 0. 8151 | 58. 9828 |
| 2011 年 | 21991 | 86. 6024 | 10. 6991 | 117. 8231 | 24. 3118 | 1. 1784 | 0. 8500 | 58. 5029 |
| 2019 年 | 15642 | 61. 4579 | 23. 9891 | 85. 2481 | 36. 3799 | 1. 0383 | 0. 7490 | 70. 6422 |

表 3　2005—2019 年植被覆盖类型景观格局指数

Tab. 3　Landscape pattern index of vegetation cover types from 2005 to 2019

| 年份 | NP | PD | LPI | LSI | CONTAG | SHDI | SHEI | AI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2005 年 | 18774 | 70. 6446 | 17. 9903 | 80. 5023 | 35. 4942 | 1. 2222 | 0. 7594 | 71. 5026 |
| 2011 年 | 18991 | 71. 4633 | 15. 5355 | 82. 6638 | 34. 3157 | 1. 2401 | 0. 7705 | 70. 7044 |
| 2019 年 | 15121 | 56. 8987 | 21. 3258 | 66. 6592 | 38. 3346 | 1. 2090 | 0. 7512 | 76. 6181 |

升的趋势,意味着景观的连通性和植被类型的聚集性在一段时间内发生变化。SHDI、SHEI 相对稳定,没有明显变化。

### 2. 3. 2　不同植被覆盖类型景观格局变化分析

阔叶林的 PLAND、LPI、AI 最大,NP、PD 最小(图 5),说明阔叶林比重最大,分布最集中,斑块聚集性最好,斑块数量最少,破碎化程度最低;竹林 PLAND 次之,说明竹林的比重仅次于阔叶林,但 NP、PD、LSI 最大,说明竹林面积虽然较大但是破碎程度比较严重,边缘不规则。2005—2019 年,阔叶林

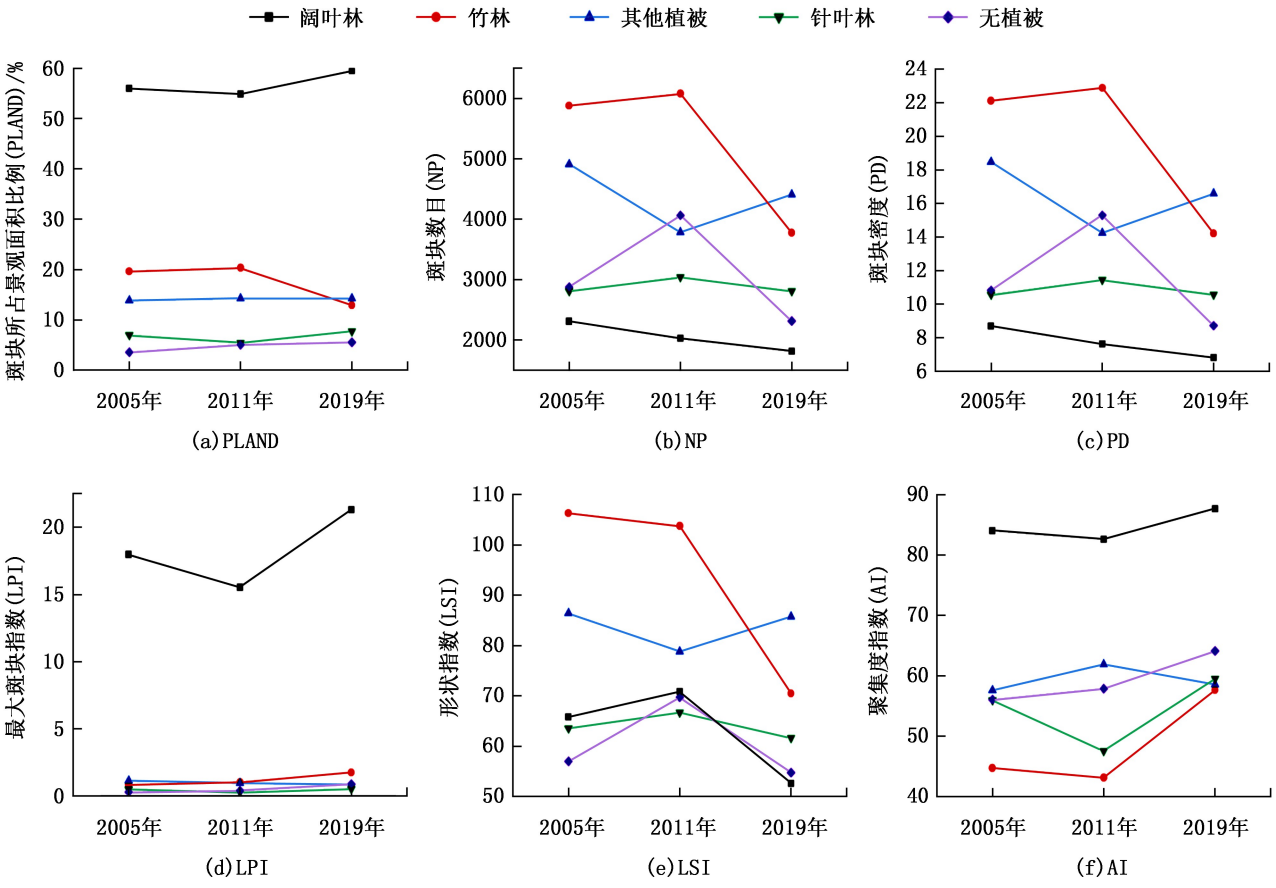



图 5　2005—2019 年不同植被覆盖类型景观指数变化趋势

Fig. 5　Change trend of landscape index of different vegetation cover types from 2005 to 2019

的 NP、PD 呈减少趋势，LPI 先减少后增加，LSI 先增加后减少，AI 先略减少后增加，说明整体上分布集中，破碎化程度越来越低；2005—2011 年，阔叶林最大斑块面积减少、优势度降低，形状变得不规则，聚集性略微降低。2011—2019 年，阔叶林最大斑块面积增大，优势度更加明显，斑块形状变得规则，优势度更明显；竹林的 NP、PD、LSI 呈减少趋势，LPI、AI 呈增加趋势，说明竹林斑块破碎程度再降低，斑块形状变得越来越规则，最大斑块和聚集呈增加趋势；其余植被类型景观格局指数变化不明显。

### 2.3.3 不同等级植被覆盖度景观格局变化分析

2005—2019 年，不同等级植被覆盖度的 PLAND、LPI 变化趋势基本一致（图 6），由小到大分别是低植被覆盖度<中植被覆盖度<中高植被覆盖度<高植被覆盖度，说明保护区内高植被覆盖度覆盖最宽，比重最大，最大斑块优势度最大；低植被覆盖度所占比重最小，最大斑块优势度不明显；高植被覆盖度 NP、PD 先增加后降低，PLAND、LPI 先减少后增加，说明高植被覆盖度景观破碎化，所占比重降低、最大斑块优势度降低后得到恢复；中植被覆盖度、中高植被覆盖度 NP、PD、LSI 最大且呈降低趋势，说明这两个等级破碎化程度最严重，形状最不规则，但随着时间的变化破碎程度有所降低，斑块形状变得更加规则；低植被覆盖度 NP、PD、LSI 呈降低趋势，说明该等级植被破碎程度降低，斑块变得越来越规则。

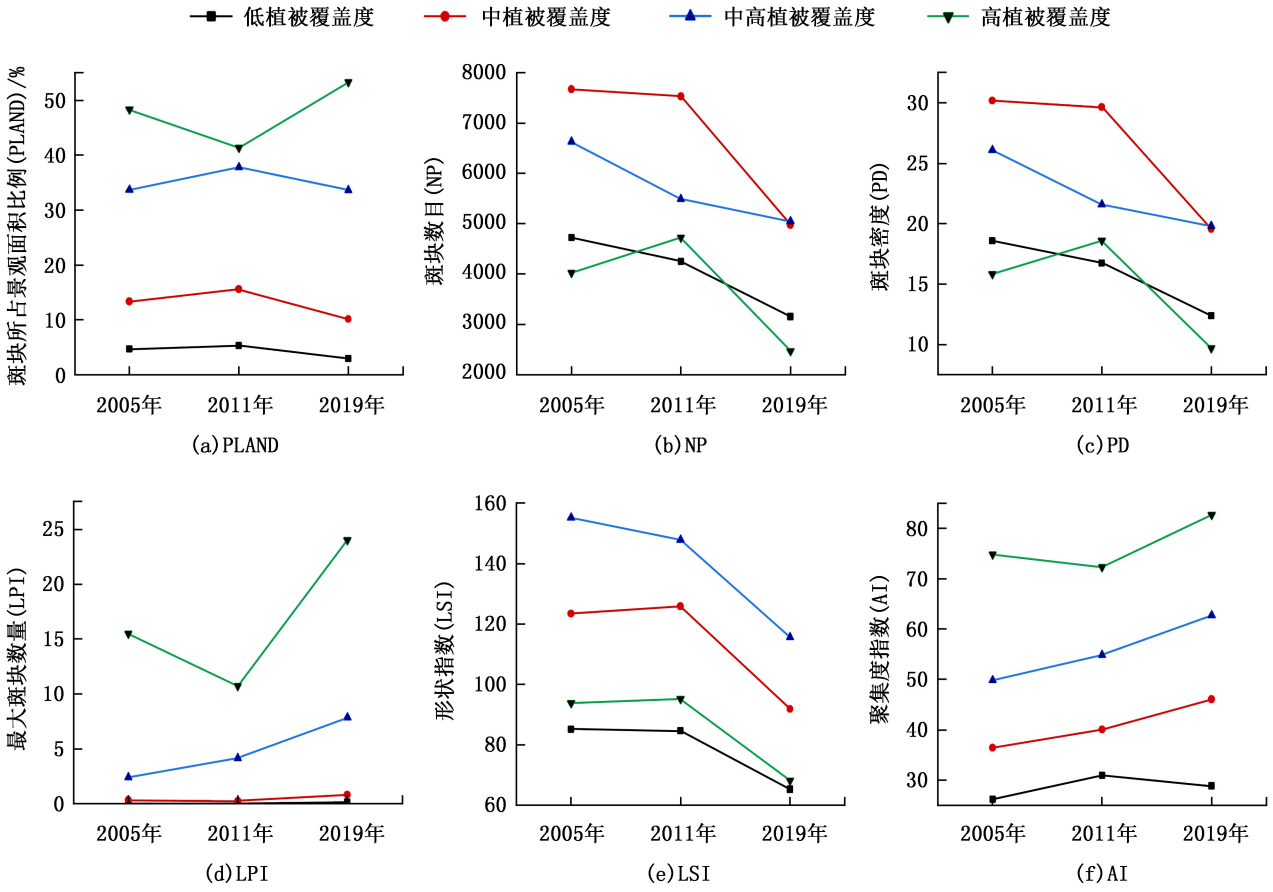



**图 6　2005—2019 年不同等级植被覆盖度景观指数变化趋势**

**Fig. 6　Variation trend of landscape vegetation coverage index at different levels from 2005 to 2019**

## 3 保护管理建议

1）强化阔叶林保护

阔叶林在研究区内占主导地位，且占比呈增加趋势。同时，阔叶林是该研究区的主要保护对象之一。建议将更多资源投入阔叶林的保护，加强阔叶林演替、系统结构等研究，特别是对具有代表性，由珍稀孑遗树种组成的珙桐林、十齿花林等原生植物群落加强监测和管理，确保其独特生态价值的维持。

2）持续监测竹林动态

研究区作为筇竹集中分布中心、野生毛竹分布

地,虽然竹林的面积占比减少,但具体为何出现该情况也是非常值得关注的,不知是因为随着时间推移竹林逐步发展为阔叶林的灌木层还是另有原因。建议建立定期监测机制,追踪竹林的演变,确保其在整个植被结构中的合理定位。

3)加强对植被覆盖度变化的监测

考虑到整体植被覆盖度的上升趋势以及景观格局破碎度的下降和混杂度的降低,建议持续进行植被监测,以便更好地理解变化趋势。此外,要警惕植被覆盖度下降的可能因素,并及时采取措施加以纠正。

4)持续人为活动干扰的监测

结合植被覆盖度和景观格局的变化,建议建立监测系统,以及时发现和减缓人为活动对植被的负面影响。与保护区相关的当地社区和政府合作,制定可持续的管理政策。

5)提升管理效能

由于保护区成立后,植被得到较好的恢复,建议继续提升管理效能。这包括改进巡护和监测体系,加强与利益相关者的合作,以确保对植被的保护更加全面和有效。

## 参考文献:


[1] 方精云,郭柯,王国宏,等.《中国植被志》的植被分类系统、植被类型划分及编排体系[J]. 植物生态学报,2020,44(2):96-110.

[2] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学,2004(4):153-159.

[3] 郭少壮,白红英,孟清,等. 1980—2015 年秦岭地区景观格局变化及其对人为干扰的响应[J]. 应用生态学报,2018,29(12):4080-4088.

[4] 崔囤月,王世东,张学军. 1991—2021 年雄安新区土地利用与植被覆盖变化遥感研究[J]. 自然资源遥感,2023,35(4):214-225.

[5] 李恒凯,雷军,杨柳. 基于 Landsat 影像的离子稀土矿区植被覆盖度提取及景观格局分析[J]. 农业工程学报,2016,32(10):267-276.

[6] 王秋凤,于贵瑞,何洪林,等. 中国自然保护区体系和综合管理体系建设的思考[J]. 资源科学,2015,37(7):1357-1366.

[7] 邱成,胡金明,杨飞龄. 基于 NDVI 的云南省自然保护区保护成效分析[J]. 生态学报,2020,40(20):7312-7322.

[8] 余梦晨,李迎,李月芬. 2005—2018 年浙江省植被生长季 NDVI 时空变化及其对气候因子的响应[J]. 湖北农业科学,2022,61(21):32-38,56.

[9] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京:中国科学院研究生院(遥感应用研究所),2003.

[10] 王君,杨晓梅,隋立春,等. 西安市 1995—2016 年植被覆盖度动态变化监测及景观格局分析[J]. 生态科学,2019,38(6):81-91.

[11] 张江蕾,陈少辉. 祁连山自然保护区植被覆盖时空变化及地形分异研究[J]. 西部林业科学,2023,52(1):106-112,121.

[12] 魏建瑛,徐建英,樊斐斐. 卧龙自然保护区植被覆盖度变化及其对地形因子的响应[J]. 长江流域资源与环境,2019,28(2):440-449.

[13] 董弟文,阿布都热合曼·哈力克,王大伟,等. 1994—2016 年和田绿洲植被覆盖时空变化分析[J]. 生态学报,2019,39(10):3710-3719.

[14] 张学玲,张莹,牛德奎,等. 基于 TM NDVI 的武功山山地草甸植被覆盖度时空变化研究[J]. 生态学报,2018,38(7):2414-2424.

[15] 杨燕燕,焦琳琳,周建波,等. 塞罕坝机械林场植被覆盖度及景观格局变化分析[J]. 农业与技术,2021,41(16):61-65.


责任编辑:刘平书

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 016

# 临沂市引种大花月季及丰花月季综合评价

张仪东[1],张军祥[1],王玲玲[1],宋红丽[2]
(1. 临沂市园林环卫保障服务中心,山东 临沂 276000;
2. 临沂大学 资源环境学院,山东省水土保持与环境保育重点实验室,山东 临沂 276000)

**摘要**:采用等权和加权分析法,结合灰色关联分析法,选取花径、抗性、冠幅、花期、株高、生长速度作为评价指标,对从河南南阳引进的大花月季品种和丰花月季各 9 个品种进行了综合评价。结果表明,大花月季品种中‘莫奈’和‘梅郎口红’2 个品种综合表现最好,其次是‘瑞典女王’、‘红色达芬奇’、‘红双喜’和‘婚礼之路’4 个品种,‘挚爱’、‘流浪者’和‘漂多斯’3 个品种表现最差;丰花月季品种中观赏价值较高的品种为‘红帽’和‘柔情似水’,其次是‘曼海姆宫殿’、‘欢笑’、‘红五月’和‘仙境’4 个品种,‘冰山’、‘金玛丽’和‘黄丛容’3 个品种表现较差。评价结果基本与其在实际种植过程中的表现相符,以期为山东临沂地区月季品种的广泛应用提供实践依据。

**关键词**:大花月季;丰花月季;灰色关联分析;品种筛选;评价体系

**中图分类号**:S685. 2;S722. 7 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0104-05

**引文格式**:张仪东,张军祥,王玲玲,等. 临沂市引种大花月季及丰花月季综合评价[J]. 林业调查规划,2025,50(1):104-108,200. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 016

ZHANG Yidong, ZHANG Junxiang, WANG Lingling, et al. Comprehensive Evaluation of Introducing Grandiflora Rose and Floribunda Rose in Linyi[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 104-108,200. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 016

# Comprehensive Evaluation of Introducing Grandiflora Rose and Floribunda Rose in Linyi

ZHANG Yidong[1], ZHANG Junxiang[1], WANG Lingling[1], SONG Hongli[2]
(1. Linyi Center of Garden Environmental Sanitation Guarantee Service, Linyi, Shandong 276000, China;
2. College of Resources and Environment, Linyi University, Shandong Provincial Key Laboratory of Water and Soil Conservation and Environmental Protection, Linyi, Shandong 276000, China)

**Abstract**: Using equal weight, weighted analysis methods and grey correlation analysis, flower diameter, resistance, crown width, flowering period, plant height, and growth rate were selected as evaluation indicators to comprehensively evaluate 9 Grandiflora Rose varieties and 9 Floribunda Rose varieties introduced from Nanyang, Henan. The results showed that among the Grandiflora Rose varieties, ‘Monet’ and ‘Melang Lipstick’ showed the best overall performance, followed by the ‘Swedish Queen’, ‘Red Da Vinci’, ‘Red Double Happiness’, and ‘Wedding Road’ varieties, while ‘Beloved’, ‘Wanderer’, and ‘Piaoduosi’ were the worst performing varieties. The varieties with higher ornamental value among

**收稿日期**:2023-12-24;**修回日期**:2024-01-21
**基金项目**:国家自然科学基金(41601086);临沂市 2022 年科技重点研发计划项目(2022WZ005).
**第一作者**:张仪东(1985-),男,硕士,高级工程师. 研究方向为风景园林. Email:zhyd101@ 163. com
**责任作者**:宋红丽(1986-),女,博士,副教授. 研究方向为湿地生态. Email:364380490@ qq. com

the Floribunda Rose varieties were ‘Red Hat’ and ‘Rouqing Sishui’, followed by four varieties of ‘Mannheim Palace’, ‘Laughter’, ‘Red May’, and ‘Wonderland’. The three varieties, ‘Iceberg’, ‘Golden Mary’, and ‘Yellow Congrong’, performed poorly. The evaluation results were basically consistent with their performance in the actual planting process, to provide practical basis for the widespread application of rose varieties in Linyi, Shandong.

**Key words**: Grandiflora Rose; Floribunda Rose; grey correlation analysis; variety screening; evaluation system

月季(*Rosa chinensis*)被誉为花中皇后,是中国十大传统名花之一,其原产中国,栽培历史已有数千年。目前,现代月季有 4 万多个园艺品种,每个品种均有独特的特色,为不同人群提供了丰富的视觉享受。在山东临沂地区,月季在春季和夏季的景观效果最好,深受人们喜爱。月季对生长环境适应性强,用途广泛,养护要求低,可种植在花坛、花境、草坪等处,为城市园林增添色彩,符合现代节约型和自然生态景观的理念。月季也可与其他品种组合布置为月季专类园,作为专门的观赏景区。月季花瓣具有活血化瘀、疏肝解郁的作用,也可作为药用植物应用[1-3]。

大花月季(Grandiflora Rose (GR))和丰花月季(Floribunda Rose (FL))属于现代月季系统中的重要的两大类,大花月季以花开时冠幅大而著称,植株高大,一年多次开花或连续开花,花单生,花径大,品种较多,色系齐全,花期长。丰花月季也称为簇生月季,植株长势呈扩张型,花头簇生,可粗放管理,对环境有很强的适应能力,花多次或连续开放,花色丰富,但部分黄色品种的生长潜力较弱。丰花月季一根枝上可长出多个花头,群开效果非常好,一般情况下片植或丛植,因此,其被广泛应用于绿化带和公园广场。目前,随着国内外花卉育种、栽培和选育技术的不断提高,选择符合观赏和使用需求的大花月季和丰花月季品种,能更好地发挥月季的资源潜力[4-6]。我国北方对大花月季和丰花月季的研究还相对较少,采用灰色关联分析法及等权和加权分析法分别对大花月季及丰花月季 9 个品种进行综合评价,为临沂地区大花月季和丰花月季研究提供实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为 9 个大花月季品种,分别为‘瑞典女王’、‘莫奈’、‘红色达芬奇’、‘红双喜’、‘挚爱’、‘流浪者’、‘漂多斯’、‘婚礼之路’和‘梅郎口红’;9 个丰花月季品种分别为‘冰山’、‘金玛丽’、‘红五月’、‘仙境’、‘黄丛容’、‘欢笑’、‘曼海姆宫殿’、‘红帽’、‘柔情似水’,分别于 2018 年 3 月从河南南阳引进,具体品种特性见表 1 和表 2。

**表 1　供试大花月季品种特性**

**Tab. 1　Characteristics of tested Grandiflora Rose varieties**

| 品种名称 | 株型 | 花色 | 花型 | 耐寒区 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| ‘瑞典女王’ | 直立 | 粉红 | 浅杯状 | 7~9 区 | |
| ‘莫奈’ | 直立 | 粉黄条纹 | 玫瑰型 | 7~9 区 | 多刺 |
| ‘红色达芬奇’ | 直立 | 深红 | 杯型重瓣 | 7~9 区 | 淡香 |
| ‘红双喜’ | 直立 | 红白混色 | 杯型重瓣 | 7~9 区 | 浓香 |
| ‘挚爱’ | 直立 | 鲜红 | 杯型重瓣 | 7~9 区 | |
| ‘流浪者’ | 直立 | 橙色 | 杯型重瓣 | 7~9 区 | |
| ‘漂多斯’ | 半直立 | 浅黄 | 杯型重瓣 | 7~9 区 | |
| ‘婚礼之路’ | 直立 | 白色 | 杯型重瓣 | 7~9 区 | |
| ‘梅郎口红’ | 直立 | 深红 | 杯型重瓣 | 7~9 区 | |

**表 2　供试丰花月季品种特性**

**Tab. 2　Characteristics of tested Floribunda Rose varieties**

| 品种名称 | 株型 | 花色 | 花型 | 耐寒区 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| ‘冰山’ | 扩张 | 白色 | 平盘花型 | 7~9 区 | 阴雨天易出现黑斑 |
| ‘金玛丽’ | 扩张 | 黄色 | 平盘花型 | 7~9 区 | 无香味 |
| ‘红五月’ | 半扩张 | 红色 | 平盘花型 | 7~9 区 | |
| ‘仙境’ | 直立 | 粉色 | 平盘花型 | 7~9 区 | |
| ‘黄丛容’ | 直立 | 黄色 | 莲座状花型 | 7~9 区 | |
| ‘欢笑’ | 直立 | 黄色 | 平盘花型 | 7~9 区 | |
| ‘曼海姆宫殿’ | 矮小 | 红色 | 平盘花型 | 7~9 区 | |
| ‘红帽’ | 扩张 | 红色 | 平盘花型 | 7~9 区 | 淡香 |
| ‘柔情似水’ | 扩张 | 粉色 | 平盘花型 | 7~9 区 | |

### 1.2 试验设计

试验地位于临沂市书法广场东南侧月季园,

2018 年初统一将每一个类型品种修剪至同一高度。临沂属温带季风气候,全年无霜期可达 210 d,均温约 14.2℃,年降水量约 850 mm,平均日照时数 2 078.4 h,气候适宜、四季分明,可满足供试月季品种的生长。于 2018 年 3 月底开始定植,株行距 65 cm×55 cm,不做特殊养护,自然生长,2 年间定期调查开花、生长速度、长势等指标,记录其平均值。

### 1.3 评价标准

参考孙霞枫的方法并结合本地实践确定评价标准[7-9],确定了花朵观赏形状指标、生长势及病虫害抗性指标。根据月季的引种目标,确定各性状的理想指标,选择 6 个评价指标,包括花径、抗性、冠幅、花期、株高、生长速度,分别于 2018 年和 2019 年对月季各指标进行调查评价并打分,按照设计人员、月季园专业技术人员和管理人员分批、分季节进行打分,数据取平均值,据此构造理想品种及其参考数列,理想品种为各项性状的最高值。理想品种及供试品种性状平均值列于表 3 和表 4。

**表 3 大花月季 9 个品种 6 个性状平均值**

**Tab. 3 Average values of 6 traits in 9 Grandiflora Rose varieties**

| 品种名称 | 花径 /cm | 抗性 /分 | 冠幅 /cm | 花期 /d | 株高 /cm | 生长速度 /(cm·d$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 理想品种 | 13.2 | 96 | 79.2 | 298 | 122.9 | 0.6216 |
| ‘瑞典女王’ | 8.9 | 92 | 76.1 | 298 | 102.3 | 0.6014 |
| ‘莫奈’ | 7.9 | 96 | 79.2 | 284 | 121.4 | 0.6216 |
| ‘红色达芬奇’ | 8.4 | 93 | 69.6 | 276 | 122.9 | 0.6124 |
| ‘红双喜’ | 10.2 | 87 | 67.6 | 259 | 71.2 | 0.6104 |
| ‘挚爱’ | 10.2 | 79 | 68.9 | 214 | 97.2 | 0.4211 |
| ‘流浪者’ | 9.8 | 76 | 66.5 | 213 | 100.1 | 0.4024 |
| ‘漂多斯’ | 11.3 | 75 | 64.1 | 206 | 101.2 | 0.4118 |
| ‘婚礼之路’ | 9.7 | 86 | 69.2 | 251 | 108.3 | 0.6024 |
| ‘梅郎口红’ | 13.2 | 87 | 71.2 | 271 | 115.2 | 0.6021 |

注:评分采用百分制记分打分[1],抗性指抗病性和抗逆性。下同。

### 1.4 统计方法

采用等权和加权灰色关联分析法综合各评价指标进行评价。灰色关联分析法(灰色系统理论),1982 年创立,该理论将评价对象发展的随机过程看作是参考指标,以此构成参考数列,计算评价对象各指标与参考指标间的关联系数和关联度,关联度越大的品种越接近目标品种[10-12]。本研究中各品种

**表 4 丰花月季 9 个品种 6 个性状平均值**

**Tab. 4 Average values of 6 traits in 9 Floribunda Rose varieties**

| 品种名称 | 花径 /cm | 抗性 /分 | 冠幅 /cm | 花期 /d | 株高 /cm | 生长速度 /(cm·d$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 理想品种 | 5.9 | 90 | 92.3 | 240 | 66.8 | 0.6879 |
| ‘冰山’ | 5.2 | 70 | 61.7 | 195 | 56.3 | 0.4214 |
| ‘金玛丽’ | 5.1 | 71 | 62.9 | 191 | 54.8 | 0.4233 |
| ‘红五月’ | 5.3 | 85 | 72.9 | 210 | 59.9 | 0.5523 |
| ‘仙境’ | 5.6 | 86 | 75.2 | 231 | 61.2 | 0.6215 |
| ‘黄丛容’ | 4.5 | 66 | 55.3 | 188 | 53.1 | 0.4178 |
| ‘欢笑’ | 5.3 | 78 | 64.9 | 196 | 60.6 | 0.5894 |
| ‘曼海姆宫殿’ | 5.4 | 90 | 78.6 | 209 | 63.8 | 0.6225 |
| ‘红帽’ | 5.6 | 89 | 89.4 | 215 | 66.8 | 0.6951 |
| ‘柔情似水’ | 5.9 | 88 | 92.3 | 240 | 65.9 | 0.6879 |

的调查性状构成数列为 $X_i(i=1,2,3,\cdots,9)$,其中理想品种各性状构成数列为 $X_0$,参试品种与理想品种间的关联系数为 $\xi_i(k)$,计算公式为:

$$\xi_i(k)=\frac{\min\limits_i\min\limits_k|X_0(k)-X_i(k)|+\rho\max\limits_i\max\limits_k|X_0(k)-X_i(k)|}{|X_0(k)-X_i(k)|+\rho\max\limits_i\max\limits_k|X_0(k)-X_i(k)|} \quad (1)$$

$$r_i=\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\xi_i(k) \quad (2)$$

$$r'_i=\sum_{k=1}^{N}W_k\xi_i(k) \quad (3)$$

式中:$\xi_i(k)$ 为 $X_0$ 与 $X_i$ 在第 $k$ 个指标的关联系数;$|X_0(k)-X_i(k)|$ 为数列 $X_i$ 与 $X_0$ 在第 $k$ 点的绝对差值;$\rho$ 为分辨系数,取值范围 0~1 之间,一般取 0.5;$r_i$ 为比较数列 $X_i$ 对参考数列 $X_0$ 的关联度;$r'_i$ 为参试品种与参考品种的加权关联度;$W_k$ 为各性状赋予的权重系数[13-15]。

## 2 结果与分析

大花月季和丰花月季 9 个性状原始数据为不同的量纲和数量级,不可直接比较,所以数据分析时,首先将原始数据无量纲化,再计算 $|X_0(k)-X_i(k)|$,可知,最小差为 0,最大差为 1,$\rho$ 取 0.5,分别代入公式(1),求得参试品种与理想品种的关联系数,由公式(2)和公式(3)算得各品种的等权关联度和加权关联度,各结果如表 5~表 8 所示。通过打分根据灰色系统理论中关联度分析原则,由于理想组合的质量是系统中质量最高的,如果被评价对象的关联度值越大说明与理想种越接近,其综合评价越高,反之则低。

表 5　供试大花品种与理想品种的关联系数及权重

Tab. 5　Correlation coefficients and weights between tested Grandiflora Rose varieties and ideal varieties

| 项目 | 品种名称 | 花径 $k_1$ | 抗性 $k_2$ | 冠幅 $k_3$ | 花期 $k_4$ | 株高 $k_5$ | 生长速度 $k_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\xi_1(k)$ | ‘瑞典女王’ | 0. 6055 | 0. 9231 | 0. 9274 | 1. 0000 | 0. 7489 | 0. 9390 |
| $\xi_2(k)$ | ‘莫奈’ | 0. 5546 | 1. 0000 | 1. 0000 | 0. 9141 | 0. 9762 | 1. 0000 |
| $\xi_3(k)$ | ‘红色达芬奇’ | 0. 5789 | 0. 9412 | 0. 8049 | 0. 8713 | 1. 0000 | 0. 9713 |
| $\xi_4(k)$ | ‘红双喜’ | 0. 6875 | 0. 8421 | 0. 7734 | 0. 7926 | 0. 5431 | 0. 9652 |
| $\xi_5(k)$ | ‘挚爱’ | 0. 6875 | 0. 7385 | 0. 7936 | 0. 6395 | 0. 7051 | 0. 6079 |
| $\xi_6(k)$ | ‘流浪者’ | 0. 6600 | 0. 7059 | 0. 7572 | 0. 6368 | 0. 7294 | 0. 5864 |
| $\xi_7(k)$ | ‘漂多斯’ | 0. 7765 | 0. 6957 | 0. 7239 | 0. 6183 | 0. 7390 | 0. 5970 |
| $\xi_8(k)$ | ‘婚礼之路’ | 0. 6535 | 0. 8276 | 0. 7984 | 0. 7602 | 0. 8080 | 0. 9418 |
| $\xi_9(k)$ | ‘梅郎口红’ | 1. 0000 | 0. 8421 | 0. 8319 | 0. 8466 | 0. 8886 | 0. 9413 |
| 权重系数($W_k$) | 权重系数 | 0. 15 | 0. 25 | 0. 10 | 0. 20 | 0. 10 | 0. 20 |

表 6　供试丰花品种与理想品种的关联系数及权重

Tab. 6　Correlation coefficients and weights between tested Floribunda Rose varieties and ideal varieties

| 项目 | 品种名称 | 花径 $k_1$ | 抗性 $k_2$ | 冠幅 $k_3$ | 花期 $k_4$ | 株高 $k_5$ | 生长速度 $k_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\xi_1(k)$ | ‘冰山’ | 0. 8082 | 0. 6923 | 0. 6013 | 0. 7273 | 0. 7608 | 0. 5594 |
| $\xi_2(k)$ | ‘金玛丽’ | 0. 7867 | 0. 7031 | 0. 6109 | 0. 7101 | 0. 7357 | 0. 5612 |
| $\xi_3(k)$ | ‘红五月’ | 0. 8310 | 0. 9000 | 0. 7040 | 0. 8000 | 0. 8288 | 0. 7088 |
| $\xi_4(k)$ | ‘仙境’ | 0. 9077 | 0. 9184 | 0. 7296 | 0. 9302 | 0. 8564 | 0. 8252 |
| $\xi_5(k)$ | ‘黄丛容’ | 0. 6782 | 0. 6522 | 0. 5550 | 0. 6977 | 0. 7091 | 0. 5562 |
| $\xi_6(k)$ | ‘欢笑’ | 0. 8310 | 0. 7895 | 0. 6275 | 0. 7317 | 0. 8434 | 0. 7668 |
| $\xi_7(k)$ | ‘曼海姆宫殿’ | 0. 8551 | 1. 0000 | 0. 7711 | 0. 7947 | 0. 9176 | 0. 8272 |
| $\xi_8(k)$ | ‘红帽’ | 0. 9077 | 0. 9783 | 0. 9409 | 0. 8276 | 1. 0000 | 1. 0000 |
| $\xi_9(k)$ | ‘柔情似水’ | 1. 0000 | 0. 9574 | 1. 0000 | 1. 0000 | 0. 9738 | 0. 9797 |
| 权重系数($W_k$) | 权重系数 | 0. 15 | 0. 25 | 0. 10 | 0. 20 | 0. 10 | 0. 20 |

表 7　供试大花品种与理想品种的等权关联度和加权关联度

Tab. 7　Equal weight correlation and weighted correlation between tested Grandiflora Rose variety and ideal variety

| 品种名称 | 等权关联度 $r$ | 加权关联度 $r'$ |
|---|---|---|
| ‘瑞典女王’ | 0. 8573 | 0. 8770 |
| ‘莫奈’ | 0. 9075 | 0. 9136 |
| ‘红色达芬奇’ | 0. 8613 | 0. 8711 |
| ‘红双喜’ | 0. 7673 | 0. 7969 |
| ‘挚爱’ | 0. 6953 | 0. 6871 |
| ‘流浪者’ | 0. 6793 | 0. 6688 |
| ‘漂多斯’ | 0. 6917 | 0. 6797 |
| ‘婚礼之路’ | 0. 7982 | 0. 8060 |
| ‘梅郎口红’ | 0. 8917 | 0. 8901 |

表 8　供试丰花品种与理想品种的等权关联度和加权关联度

Tab. 8　Equal weight correlation and weighted correlation between tested Floribunda Rose variety and ideal variety

| 品种名称 | 等权关联度 $r$ | 加权关联度 $r'$ |
|---|---|---|
| ‘冰山’ | 0. 6915 | 0. 6879 |
| ‘金玛丽’ | 0. 6846 | 0. 6827 |
| ‘红五月’ | 0. 7954 | 0. 8046 |
| ‘仙境’ | 0. 8613 | 0. 8754 |
| ‘黄丛容’ | 0. 6414 | 0. 6420 |
| ‘欢笑’ | 0. 7650 | 0. 7688 |
| ‘曼海姆宫殿’ | 0. 8609 | 0. 8715 |
| ‘红帽’ | 0. 9424 | 0. 9403 |
| ‘柔情似水’ | 0. 9851 | 0. 9827 |

通过等权和加权灰色关联分析,大花月季品种中‘莫奈’和‘梅郎口红’2 个品种综合表现最好,品种‘莫奈’是条纹系月季,花瓣中嵌有纵式条纹,观赏性和抗性均很好,品种‘梅郎口红’花瓣泛绒光,勤花花量大,抗病性强,长势强健,是园林景观理想的观赏品种;其次是‘瑞典女王’、‘红色达芬奇’、‘红双喜’和‘婚礼之路’4 个品种,‘瑞典女王’和‘红色达芬奇’品种勤花、花量大、抗性优良,抗病性好,品种‘红双喜’花期长、浓香、勤花,品种‘婚礼之路’作为一款白色月季颜值高、香气浓,而且开花勤奋,这 4 个月季品种适合在临沂地区大范围的推广使用;‘挚爱’、‘流浪者’和‘漂多斯’3 个品种表现最差,长势不强,抗性较差,特别是品种‘漂多斯’根癌病严重,不适合在临沂地区种植。

丰花月季观赏价值最高的品种为‘红帽’和‘柔情似水’,与理想种的关联度均大于 0.9,表现优秀,植株健壮、花色丰富,品种‘红帽’颜色鲜红、丰花性特别好,而且对于环境的适应性强,‘柔情似水’开花勤、花量大、开花持久,这 2 个品种均可在临沂地区广泛应用于花坛、花境。其次是品种‘曼海姆宫殿’、‘欢笑’、‘红五月’和‘仙境’,与理想种关联度大于 0.7,在临沂地区的春季开花好,品种‘曼海姆宫殿’和‘红五月’,花色鲜艳,橙红色或红色,复花性好,抗逆能力强;黄色花朵的‘欢笑’品种,表现也很好,多季重复开花;品种‘仙境’花繁密,花量多,抗性好,这 4 个品种适合在临沂地区大范围使用推广;‘冰山’、‘金玛丽’和‘黄丛容’3 个品种与理想种的关联度低于 0.7,品种抗性较差,不耐晒,强光直射又对花蕾发育不利,花瓣易焦枯,综合性状表现一般,仅可用于适当的点缀,与其他品种搭配使用。综合各品种的评价结果基本与其在实际种植过程中的表现相符。

## 3 讨论与结论

大花月季和丰花月季是月季品种中重要的两大类,品种繁多,应用形式多样,在园林中应用广泛。研究人员基于不同的分析方法,针对大花月季和丰花月季品种建立了多种评价体系,包括灰色关联分析、层次分析、表型分析、聚类分析和主成分分析等,这些研究为建立临沂地区的丰花月季资源评价体系提供了重要参考[16-18]。在园林实际应用中,大花月季和丰花月季主要用于色块配置和设计、带状花坛和丛植配置,评价时多侧重于花的特性等观赏性状,但实际应用中低矮紧凑的株型、较强的分枝能力和生长潜力可更好地达到理想的绿化效果,因此在加权评价体系中,提高了株型和生长势的权重。

临沂地区属暖温带季风气候类型,降水集中,夏季高温,秋季干燥,部分大花月季和丰花月季品种在夏秋季花量显著降低、花径变小,冬季气候寒冷使得部分品种抗性变差,影响观赏,只适合少量推广应用。因此在临沂地区引种大花月季和丰花月季品种,抗寒性应作为主要评价指标。引种地南阳气候比较温和,具有明显的过度性特征,月季生长开花早,春秋季景观效果最佳。大花月季‘莫奈’和‘梅郎口红’2 个品种以及丰花月季‘红帽’和‘柔情似水’2 个品种具有较强的适应性,在引种时可优先考虑;同一品种在不同地区表现差异较大,如大花月季品种‘挚爱’、‘流浪者’和‘漂多斯’以及丰花月季品种‘冰山’、‘金玛丽’和‘黄丛容’在临沂地区表现较差,但是在南阳地区生长较好,所以引种前应充分了解品种适应性,并进行引种试验。

现代农业和园艺产业发展迅速,对植物新品种的要求也在逐步提高,评价方法多种多样,单一的评价方法已不能满足实际需要[19-21]。在实际园林景观应用中,大花月季和丰花月季需要综合考虑观赏性和适应性,不同地区不同品种的表现存在差异,相同品种在不同的生态区域其各个性状都不尽相同。通过完善评价指标,改进评价体系,采用加权法及灰色关联度分析法使结果更加数字化、可靠,对评价临沂地区的月季整体资源特征具有重要作用,尽管灵敏度还不够准确,需进一步改进,必要时应为不同的性状确定合理的权重。但灰色关联分析评价结果具有一定的客观性和实用性,仍是评估不确定问题的一种很好的方法。

## 参考文献:

[1] 陈俊愉. 中国花卉品种分类学[M]. 北京:中国林业出版社,2001.

[2] 张海良,邱玉宾,赵庆柱,等. 丰花月季繁殖技术研究进展[J]. 现代园艺,2023,46(13):48-50,55.

[3] 柴菲. 月季杂交育种技术初探及部分现代月季品种性状综合评价[D]. 北京:中国农业大学,2007.

[4] 付存念,张昌轮,苏世闻,等. 温州丰花和微型月季品种筛选与综合评价[J]. 浙江农业科学,2022,63(7):1508-1513,1529.

[5] 曾力,孟永禄,梁玲玲. 贵州贵阳地区引种大花月季品种的评估鉴定[J]. 江苏农业科学,2019,47(23):167-169.

(下转第 200 页)

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 017

# 腾冲红花油茶 4 种活性物质含量及变异分析

尹必期[1],张仁斌[2],余祖华[1],李看清[1],李丽华[1],刘加理[2],谢 胤[1],寸明辉[1],徐志映[1]
(1. 腾冲市林业和草原技术推广站,云南 腾冲 679100; 2. 腾冲市沙坝国有林场,云南 腾冲 679100)

**摘要**:对腾冲红花油茶 7 个种群的维生素 E、谷甾醇、角鲨烯和总酚含量及其变异进行分析。结果表明,腾冲红花油茶油含有的维生素 E 种类为 α-Ve,平均含量为(26. 71 ± 7. 060) mg/100 g;甾醇为 β-谷甾醇,平均含量为(287. 663 ± 40. 430) mg/kg;角鲨烯和总酚平均含量分别为(137. 95 ± 72. 55) mg/kg 和(14. 36 ± 2. 532) g/kg。四者含量在不同单株间存在一定变异,其中角鲨烯变异幅度最大,变异系数达 52. 59%,最大与最小单株之间相差 17. 7 倍;维生素 E 的变异幅度次之,变异系数为 26. 43%,最大与最小单株之间相差 3 倍;总酚变异幅度较小,变异系数为 17. 64%,最大与最小单株之间相差 2. 5 倍;β-谷甾醇变异幅度最小,最大与最小单株之间相差 2 倍。不同种群间总酚含量差异达极显著水平($P<0. 01$),β-谷甾醇含量差异达显著水平($P<0. 05$),维生素 E 和角鲨烯含量差异不显著($P>0. 05$)。维生素 E 含量与 β-谷甾醇和总酚含量存在极显著正相关,角鲨烯含量与其余 3 种活性物质含量之间、谷甾醇含量与总酚含量之间无相关性。腾冲红花油茶含有丰富维生素 E、谷甾醇、角鲨烯和酚类物质,是一种优质的木本食用油。可以利用单株遗传差异选育出活性物质含量高的特异单株,培育出高价值的优良品种。

**关键词**:腾冲红花油茶;活性物质;含量分析;变异分析

**中图分类号**:S794. 4;O647. 2;Q319. 1 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0109-06

**引文格式**:尹必期,张仁斌,余祖华,等. 腾冲红花油茶 4 种活性物质含量及变异分析[J]. 林业调查规划,2025,50(1):109-114. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 017

YIN Biqi, ZHANG Renbin, YU Zuhua, et al. Content and Variation of Four Active Substances in *Camellia reticulata* Lindl [J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 109-114. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 017

# Content and Variation of Four Active Substances in *Camellia reticulata* Lindl

YIN Biqi[1], ZHANG Renbin[2], YU Zuhua[1], LI Kanqing[1], LI Lihua[1], LIU Jiali[2], XIE Yin[1], CUN Minghui[1], XU Zhiying[1]
(1. Tengchong Forestry and Grassland Technology Extension Station, Tengchong, Yunnan 679100, China; 2. Tengchong State-owned Shaba Forest Farm, Tengchong, Yunnan 679100, China)

**Abstract**: The analysis was conducted on the content and variation of vitamin E, sitosterol, squalene, and total phenolics in seven populations of *Camellia reticulata* Lindl. The results showed that the form of vitamin E in *Camellia reticulata* Lindll was α-Ve, with an average content of (26. 71 ± 7. 060) mg/100 g; β-sitosterol was the predominant sterol, averaging at (287. 663 ± 40. 430) mg/kg; squalene and total phenolics had average contents of (137. 95 ± 72. 55) mg/kg and (14. 36 ± 2. 532) g/kg, respectively. There was

**收稿日期**:2023-12-12.
**基金项目**:国家科技基础资源调查专项课题(2019FY100801).
**第一作者**:尹必期(1970-),男,高级工程师. 从事林业技术研究与推广. Email:yntcyinbiqi@ 163. com
**责任作者**:张仁斌(1968-),男,工程师. 从事林业生产及育苗研究. Email:tcsblc@ 126. com

a certain variation in the content of the four among different individual plants, with squalene showing the greatest degree of variability, having a coefficient of variation of 52.59% and a maximal disparity of 17.7-fold between the highest and lowest individual. This was followed by vitamin E, with a variation coefficient of 26.43% and a threefold difference between the extremes; total phenolics exhibited lesser variability, with a coefficient of 17.64% and a 2.5-fold difference between the maximum and minimum; β-sitosterol had the least variability, with a twofold difference between the highest and lowest individual. Significant differences were observed among different populations in terms of total phenolics content ($P<0.01$) and β-sitosterol content ($P<0.05$), while the differences in vitamin E and squalene content were not significant ($P>0.05$). There was a highly significant positive correlation between the content of vitamin E and both β-sitosterol and total phenolics, whereas no correlation was found between the content of squalene and the other three active substances, nor between β-sitosterol and total phenolics. *Camellia reticulata* Lindll was rich in vitamin E, sitosterol, squalene, and polyphenols, making it a premium quality woody edible oil. Utilizing the genetic differences among individual plants, it is feasible to select specific individuals with high content of active substances, thereby cultivating high-value superior varieties.

**Key words**: *Camellia reticulata* Lindl; active substances; content analysis; variation analysis

腾冲红花油茶(*Camellia reticulata* Lindl.)又名滇山茶,是云南山茶花的原始种,是重要的木本油料树种及油茶区域性主栽种之一[1-2],是我国特有的木本食用油料及园林观赏兼用树种[3-4],集中分布于滇中以西至腾冲市以东的广大区域,腾冲市在其栽培利用方面具有重要地位[5]。研究人员在腾冲红花油茶资源调查分类利用[6-9]、生物学特性[10-12]、栽培技术[13-16]、良种繁育[17-19]和脂肪酸组分[20-22]等领域研究较多。

相关研究表明,茶籽油含有维生素 E、谷甾醇、角鲨烯和酚类等活性物质及钾、钙、镁、锌等多种矿质元素,长期食用具有改善血液循环、提高人体器官功能、降低胆固醇和血脂、延缓衰老等功效[1,23-24]。其中,维生素 E、谷甾醇、角鲨烯和和酚类活性物质在改善血液循环、提高人体器官功能、降低胆固醇和血脂、延缓衰老方面起着重要作用[25-27],因此,这几种物质含量高低是评价植物油品质的重要指标。分析腾冲红花油茶油中的维生素 E、角鲨烯、甾醇和酚类含量,对于更好地培育活性物质特高品种、开发高端油品具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 样地设置与果实采集

果实采自云南省腾冲市中和镇新岐社区大偏子(以下简称"中和")、明光镇自治社区大龙坝(以下简称"明光")、曲石镇回街社区村河头(以下简称"曲石")、腾冲市国营沙坝林场(以下简称"沙坝")、北海乡银河社区小石啧(以下简称"北海")、马站乡云华片区独木桥(以下简称"马站")和西源街道宝峰社区宝峰山(以下简称"西源")7 个种群。每个种群随机抽取样株 10 株,每个样株随机采集果实 1.5 kg 剥取种子烘干,然后检测酚类物质含量。各采样种群的地理因子如表 1 所示。

**表 1 采样种群地理因子及样株信息**

**Tab. 1 Sampling population geographic factors and sample plant information**

| 样地号 | 地点 | 经度 | 纬度 | 海拔/m | 树龄/a | 平均径/cm | 平均高/m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 中和 | 98.3133 | 25.0755 | 2250 | 45 | 25.7 | 5.2 |
| 2 | 明光 | 98.5383 | 25.7553 | 2105 | 45 | 41.6 | 11.7 |
| 3 | 曲石 | 98.5888 | 25.1838 | 1737 | 43 | 20.3 | 5.4 |
| 4 | 沙坝 | 98.5930 | 25.9355 | 2070 | 43 | 35.0 | 5.4 |
| 5 | 北海 | 98.5867 | 25.0385 | 1917 | 43 | 17.4 | 5.0 |
| 6 | 马站 | 98.4667 | 25.1528 | 2025 | 43 | 20.9 | 3.7 |
| 7 | 西源 | 98.4688 | 25.0579 | 1820 | 45 | 22.6 | 4.9 |

### 1.2 测量方法和统计分析

以 GB 5009.82—2016 标准测定维生素 E 含量;汤富彬、沈丹玉、刘毅华等[23]的方法测定 β-谷甾醇含量;以 LS/T 6120—2017 标准测定角鲨烯含量;张春江、吕飞杰、台建祥等[28]的方法测定总酚含量。所有数据均采用 Excel 编辑,在 SPSS 19.0 统计软件下进行。变异系数计算公式为:

$$C.V = (SD/MN) \times 100\% \quad (1)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 含量及变异分析

#### 2.1.1 不同样地种群腾冲红花油茶维生素 E 含量及变异分析

腾冲红花油茶仅检出 α-Ve,含量和变异分析如表 2 所示。

**表 2　不同种群腾冲红花油茶 Ve 含量及变异分析**

**Tab. 2　Investigation of vitamin E content and variation among different populations of *Camellia reticulata* Lindl**

| 种群 | 株数/株 | 含量/(mg · 100 g$^{-1}$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 极小值 | 极大值 | 均值 | 变异系数(C. V)/% |
| 中和 | 10 | 15. 8 | 41. 3 | 24. 29 ± 7. 225Ab | 29. 74 |
| 明光 | 10 | 19. 8 | 31. 7 | 24. 38 ± 3. 799Ab | 15. 58 |
| 曲石 | 10 | 16. 2 | 45. 5 | 27. 82 ± 9. 599Aab | 34. 50 |
| 沙坝 | 10 | 18. 2 | 34. 2 | 23. 82 ± 6. 210Ab | 26. 07 |
| 北海 | 10 | 20. 9 | 39. 0 | 29. 88 ± 6. 204Aab | 20. 76 |
| 马站 | 10 | 23. 2 | 47. 1 | 30. 78 ± 6. 885Aa | 22. 37 |
| 西源 | 10 | 18. 0 | 40. 9 | 25. 97 ± 6. 790Aab | 26. 15 |
| 腾冲市 | 70 | 15. 8 | 47. 1 | 26. 71 ± 7. 060 | 26. 43 |

注:表中±符号后数字为标准差,均值后大写字母表示差异显著水平 $P<0.01$,小写字母表示差异水平 $P<0.05$;字母相同表示差异不显著,反之差异显著(下同)。

如表 2 所示,腾冲红花油茶种群平均含量为(26. 71 ± 7. 06) mg/100 g,最大值为 47. 1 mg/100 g,最小值为 15. 8 mg/100 g,全距 31. 3 mg/100 g,变异系数为 26. 43%。参试种群比较结果,马站种群维生素 E 含量最高,为(30. 78 ± 6. 885) mg/100 g,其次是北海种群,含量为(29. 88 ± 6. 204) mg/100 g,曲石种群位居第三,为(27. 82 ± 9. 599) mg/100 g,沙坝种群最低,为(23. 82 ± 6. 210) mg/100 g;曲石种群株间变异最大(C. V = 34. 5%),中和变异程度次之(C. V = 29. 74%),沙坝和西源两个种群变异程度相近(C. V 分别为 26. 07% 和 26. 15%),明光种群株间变异程度最小(C. V = 15. 58%)。

方差分析结果表明(表 3),腾冲红花油茶不同种群间维生素 E 含量无显著差异($P = 0.135$)。进一步两两比较结果,马站种群与中和、明光和沙坝 3 个种群之间维生素 E 含量存在显著差异($P<0.05$),与其余种群之间差异不显著($P>0.05$)。腾冲红花油茶维生素 E 含量在种群间变异较小而株间变异较大,说明腾冲红花油茶维生素 E 含量高低与立地环境关联较小,而与植株遗传有关。

**表 3　不同种群腾冲红花油茶维生素 E 含量方差分析**

**Tab. 3　Variance analysis of vitamin E content among different populations of *Camellia reticulata* Lind**

| 来源 | 平方和 | df | 均方 | *F* | 显著性 |
|---|---|---|---|---|---|
| 组间 | 480. 308 | 6 | 80. 051 | 1. 701 | 0. 135 |
| 组内 | 2964. 210 | 63 | 47. 051 | | |
| 总数 | 3444. 518 | 69 | | | |

#### 2.1.2 不同样地种群腾冲红花油茶 β-谷甾醇含量及变异分析

不同种群腾冲红花油茶 β-谷甾醇含量及变异分析见表 4。

**表 4　不同种群腾冲红花油茶 β-谷甾醇含量及变异分析**

**Tab. 4　Investigation of β-sitosterol content and variation among different populations of *Camellia reticulata* Lindl**

| 种群 | 株数/株 | 含量/(mg · kg$^{-1}$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 极小值 | 极大值 | 均值 | 变异系数(C. V)/% |
| 中和 | 10 | 264. 3 | 403. 8 | 324. 57 ± 42. 397Aa | 13. 06 |
| 明光 | 10 | 255. 2 | 327. 9 | 294. 69 ± 24. 973ABab | 8. 47 |
| 曲石 | 10 | 228. 5 | 399. 6 | 293. 46 ± 46. 151ABab | 15. 73 |
| 沙坝 | 10 | 230. 3 | 368. 6 | 276. 82 ± 44. 006Bb | 15. 90 |
| 北海 | 10 | 217. 0 | 322. 0 | 279. 82 ± 33. 529ABb | 11. 98 |
| 马站 | 10 | 221. 8 | 340. 0 | 276. 61 ± 32. 363Bb | 11. 70 |
| 西源 | 10 | 202. 8 | 334. 7 | 267. 67 ± 38. 575Bb | 14. 41 |
| 腾冲市 | 70 | 202. 8 | 403. 8 | 287. 663 ± 40. 430 | 14. 05 |

如表 4 所示,腾冲红花油茶 β-谷甾醇平均含量为(287. 663 ± 40. 430) mg/kg, 最大值为 403. 8 mg/kg,最小为 202. 8 mg/kg,全距 201 mg/kg,变异系数 14. 05%,腾冲红花油茶 β-谷甾醇含量株间变异幅度较小。种群间比较,中和种群 β-谷甾醇含量最高,为(324. 57 ± 42. 397) mg/kg,明光种群次之,为(294. 69 ± 24. 973) mg/kg,曲石种群位居第三,为(293. 46 ± 46. 151) mg/kg,西源种群最低,为(267. 67 ± 38. 575) mg/kg;各种群单株含量变异系数均小于 16%,变异幅度均比较小。

方差分析结果(表 5)表明,腾冲红花油茶不同种群间 β-谷甾醇含量差异显著($P=0.033$)。进一步两两比较结果,中和种群与沙坝、马站和西源 3 个种群之间差异极显著($P<0.01$),与北海种群差异显著($P=0.011$),与剩余 3 个种群之间差异不显著($P>0.05$);其他种群之间差异均不显著($P>0.05$)。分析结果说明,腾冲红花油茶 β-谷甾醇含量可能受立地条件影响较大,受单株遗传基因影响较小。

**表 5 不同种群腾冲红花油茶 β-谷甾醇含量方差分析**

**Tab. 5 Variance analysis of β-sitosterol content among different populations of *Camellia reticulata* Lindl**

| 来源 | 平方和 | df | 均方 | *F* | 显著性 |
|---|---|---|---|---|---|
| 组间 | 21460.827 | 6 | 3576.805 | 2.467 | 0.033 |
| 组内 | 91325.056 | 63 | 1449.604 | | |
| 总数 | 112785.883 | 69 | | | |

### 2.1.3 不同样地种群腾冲红花油茶角鲨烯含量及变异分析

不同种群腾冲红花油茶角鲨烯含量及变异分析见表 6。

**表 6 不同种群腾冲红花油茶角鲨烯含量及变异分析**

**Tab. 6 Investigation of squalene content and variation among different populations of *Camellia reticulata* Lindl**

| 种群 | 株数/株 | 含量/(mg·kg$^{-1}$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 极小值 | 极大值 | 均值 | 变异系数(C.V)/% |
| 中和 | 10 | 49.3 | 270.6 | 144.21±68.762ab | 47.68 |
| 明光 | 10 | 33.7 | 172.4 | 87.27±35.393b | 40.56 |
| 曲石 | 10 | 26.8 | 242.2 | 151.54±66.811a | 44.09 |
| 沙坝 | 10 | 47.8 | 248.1 | 135.94±69.539ab | 51.15 |
| 北海 | 10 | 21.2 | 233.3 | 118.5±61.424ab | 51.83 |
| 马站 | 10 | 70.1 | 376.0 | 167.63±85.944a | 51.27 |
| 西源 | 10 | 24.9 | 298.4 | 160.54±94.027a | 58.57 |
| 腾冲市 | 70 | 21.2 | 376.0 | 137.95±72.55 | 52.59 |

如表 6 所示,腾冲红花油茶角鲨烯平均含量为(137.95±72.55)mg/kg,最大值为 376.0 mg/kg,最小值为 21.2 mg/kg,全距 354.8 mg/kg,变异系数 52.59%。腾冲红花油茶角鲨烯含量株间变异幅度非常大,其中马站种群含量最高,为(167.63±85.944)mg/kg,西源种群次之,为(160.54±94.027)mg/kg,曲石种群位居第三,为(151.54±66.811)mg/kg,明光种群含量最低,为(87.27±35.393)mg/kg。所有种群单株变异系数均大于 40%,说明腾冲红花油茶角鲨烯含量株间变异非常活跃。

方差分析结果表明(表 7),腾冲红花油茶角鲨烯含量在种群间差异不明显($P=0.190$)。进一步多重比较,明光种群与其余 6 个种群之间差异显著($P<0.05$),剩余种群之间差异不显著($P>0.05$)。分析结果表明,腾冲红花油茶角鲨烯含量受遗传基因影响较大,受立地环境条件影响较小。

**表 7 不同种群腾冲红花油茶角鲨烯含量方差分析**

**Tab. 7 Variance analysis of squalene content among different populations of *Camellia reticulata* Lindl**

| 来源 | 平方和 | df | 均方 | *F* | 显著性 |
|---|---|---|---|---|---|
| 组间 | 45658.911 | 6 | 7609.819 | 1.510 | 0.190 |
| 组内 | 317526.783 | 63 | 5040.108 | | |
| 总数 | 363185.694 | 69 | | | |

### 2.1.4 不同样地种群腾冲红花油茶总酚含量及变异分析

不同种群腾冲红花油茶总酚含量及变异分析见表 8。

**表 8 不同种群腾冲红花油茶总酚含量及变异分析**

**Tab. 8 Investigation of total phenolics content and variation among different populations of *Camellia reticulata* Lindl**

| 种群 | 株数/株 | 含量/(mg·kg$^{-1}$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 极小值 | 极大值 | 均值 | 变异系数(C.V)/% |
| 中和 | 10 | 9.9 | 16.3 | 12.94±2.292Bc | 17.72 |
| 明光 | 10 | 11.5 | 15.9 | 13.80±1.372Bbc | 9.94 |
| 曲石 | 10 | 11.3 | 19.3 | 14.18±2.465Bbc | 17.38 |
| 沙坝 | 10 | 11.3 | 16.5 | 14.10±1.594Bbc | 11.31 |
| 北海 | 10 | 13.2 | 25.1 | 17.42±3.513Aa | 20.16 |
| 马站 | 10 | 11.5 | 17.7 | 15.04±2.060ABb | 13.70 |
| 西源 | 10 | 11.3 | 16.6 | 12.99±1.579Bc | 12.16 |
| 腾冲市 | 70 | 9.9 | 25.1 | 14.36±2.532 | 17.64 |

如表 8 所示,腾冲红花油茶总酚含量平均为(14.36±2.532)g/kg,最小值为 9.9 g/kg,最大值为

25.1 g/kg,全距 15.2 g/kg,变异系数 17.64%,株间变异幅度较小。其中,北海种群总酚含量最高,为(17.42 ± 3.513) g/kg,马站种群次之,为(15.04 ± 2.060) g/kg,曲石种群(14.18 ± 2.465) g/kg 位居第三,中和种群最低,为(12.94 ± 2.292) g/kg;除北海种群变异系数较大(20.16%)外,其余种群变异系数均在 18%以下,说明腾冲红花油茶各种群的总酚含量株间变异幅度较小。

方差分析(表 9)表明,腾冲红花油茶总酚含量在不同种群间存在极显著差异($P<0.01$)。多重比较结果,北海种群总酚含量与中和、明光、曲石、沙坝和西源 5 个种群之间差异极显著($P<0.01$),与马站种群差异显著($P<0.05$);马站种群与中和及西源两个种群之间差异显著($P<0.05$);其他种群之间差异均不显著($P>0.05$)。以上分析说明,腾冲红花油茶总酚含量受单株遗传基因影响较小,而受立地环境条件影响较大。

**表 9　不同种群腾冲红花油茶总酚含量方差分析**

**Tab. 9　Variance analysis of total phenolics content among different populations of *Camellia reticulata* Lindl**

| 来源 | 平方和 | df | 均方 | *F* | 显著性 |
|---|---|---|---|---|---|
| 组间 | 141.604 | 6 | 23.601 | 4.742 | 0 |
| 组内 | 313.565 | 63 | 4.977 | | |
| 总数 | 455.168 | 69 | | | |

### 2.2 活性物质之间相关性分析

相关分析结果(表 10)表明,维生素 E 含量与谷甾醇和总酚含量存在极显著正相关,角鲨烯含量与其余 3 个活性物质含量之间、谷甾醇含量与总酚含量之间无相关性。由此可以看出,4 个活性物质之间不存在负相关,在良种选育时可以得到维生素 E、谷甾醇、角鲨烯和酚类含量均很高的良种。

**表 10　活性物质间相关性分析**

**Tab. 10　Correlation analysis among active substances**

| 活性物质 | Ve | 谷甾醇 | 角鲨烯 | 总酚 |
|---|---|---|---|---|
| Ve | 1 | 0.463 ** | 0.145 | 0.533 ** |
| 谷甾醇 | | 1 | 0.141 | 0.234 |
| 角鲨烯 | | | 1 | 0.118 |
| 总酚 | | | | 1 |

注:** 表示在 0.01 水平(双侧)显著相关。

## 3 结论与讨论

腾冲红花油茶含有丰富维生素 E、谷甾醇、角鲨烯和酚类物质。维生素 E 的种类为 α-Ve,平均含量为(26.71 ± 7.060) mg/100 g,略高于普通油茶,与曾茗等人的研究结论一致[24]。甾醇为 β-谷甾醇,平均含量为(287.663 ± 40.430) mg/kg,低于普通油茶(1 534 mg/kg),角鲨烯平均含量为(137.95 ± 72.55) mg/kg,高于普通油茶(117 mg/kg),与汤富彬等人的研究结论一致[23]。总酚含量平均为(14.36 ± 2.532) g/kg,与其他油茶物种相近[29]。

腾冲红花油茶不同单株间维生素 E、β-谷甾醇、角鲨烯和总酚含量均存在一定变异,其中角鲨烯变异幅度最大,变异系数达 52.59%,全距达 354.8 mg/kg,最大与最小单株之间相差 17.7 倍;维生素 E 的变异幅度次之,变异系数为 26.43%,全距 31.3 mg/100 g,最大与最小单株之间相差 3 倍;总酚变异幅度较小,变异系数 17.64%,全距 15.2,最大与最小单株之间相差 2.5 倍;β-谷甾醇变异幅度最小,全距 201.0 mg/kg,最大与最小单株之间相差 2 倍。

腾冲红花油茶不同种群间总酚含量差异最大,达极显著差异水平($P<0.01$);β-谷甾醇次之,达显著差异水平($P<0.05$);维生素 E 和角鲨烯含量无明显差异($P>0.05$)。中和和马站种群的含量及北海种群的 β-谷甾醇和总酚含量显著高于其它种群,说明 β-谷甾醇和总酚含量可能受立地环境影响较大。中和和马站种群与其他种群所处环境相比较,差异最大的是此两处是火山灰土,火山灰土能否促进 β-谷甾醇和酚类物质形成尚有待进一步研究。

维生素 E 与谷甾醇和总酚含量存在极显著正相关,角鲨烯含量与其余 3 个活性物质含量之间、谷甾醇含量与总酚含量之间无相关性,由此可以选育出维生素 E 与总酚含量或谷甾醇与总酚含量同时较高的单株。

综上所述,腾冲红花油茶含有丰富维生素 E、谷甾醇、角鲨烯和酚类物质,是一种优质的木本食用油。可以利用单株遗传差异选育出活性物质含量高的特异单株,培育出高价值的优良品种。

## 参考文献:

[1] 庄瑞林. 中国油茶[M]. 2 版. 北京:中国林业出版社,2008:72-73,86.

[2] 冯国楣. 云南山茶花[M]. 昆明:云南人民出版社,1981:93.

[3] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志(第8卷)[M]. 北京:科学出版社,1997:307-308.
[4] 中国科学院中国植物志编委会. 中国植物志(第49卷第3分册)[M]. 北京:科学出版社,1998:68-70.
[5] 黄佳聪. 腾冲红花油茶产业发展问题与措施[J]. 林业调查规划,2011,36(1):90-92.
[6] 李世成. 云南省腾冲县红花油茶资源调查及利用分析[J]. 西南林学院学报,2008,28(3):11-14.
[7] 杨忠品,谢胤,辛成莲,等. 高黎贡山以西油用腾冲红花油茶种质资源调查[J]. 林业调查规划,2015,40(1):86-90.
[8] 沈立新,梁洛辉,王庆华,等. 腾冲红花油茶自然类型及其品种类群划分[J]. 林业资源管理,2009(6):75-79.
[9] 司马永康,郭玉红,徐德兵,等. 云南红花油茶基于花瓣数量的分类[J]. 西部林业科学,2018,47(5):81-88.
[10] 辛成莲,石卓功,黄佳聪,等. 腾冲红花油茶的坐果率及结实率研究[J]. 西部林业科学,2011,40(4):60-64.
[11] 杨忠品,谢胤,曹永庆,等. 腾冲红花油茶花期物候特性分析[J]. 林业调查规划,2020,45(5):19-25.
[12] 谢胤,曹永庆,余祖华,等. 腾冲红花油茶花期物候对坐果率和产量的影响[J]. 林业环境科学,2020,36(6):40-47.
[13] 谢胤,曹永庆,余祖华,等. 腾冲红花油茶营养器官主要矿质元素含量年内变化分析[J]. 西部林业科学,2019,48(3):97-102.
[14] 万晓军,董诗凡,辛成莲,等. 腾冲红花油茶高接改造试验[J]. 林业调查规划,2012,37(2):100-102.
[15] 黄佳聪,阚欢,万晓军,等. 腾冲红花油茶果实成熟度及堆沤处理对油产量及其品质的影响[J]. 林业科学研究 2012,25(5):612 -615.
[16] 杨开保,黄佳聪,辛成莲,等. 腾冲红花油茶低产林抚育改造技术[J]. 林业调查规划,2012,37(1):46-49.
[17] 徐志映,谢胤,辛成莲,等. 腾冲红花油茶优良单株选择[J]. 林业调查规划,2015,40(2):96-101.
[18] 龚发萍,黄佳聪,万晓军,等. 腾冲红花油茶良种腾油12号的选育[J]. 林业调查规划,2013,38(3):112-114.
[19] 王生进,陈强,陈汝曼,等. 腾冲1号腾冲红花油茶特征特性及丰产栽培技术[J]. 安徽农业科学,2017,45(3):31-32,34.
[20] 刘锡葵,马银海. 云南红花油茶籽和白花油茶籽脂肪酸比较[J]. 昆明学院学报,2010,32(6):56-58.
[21] 靳高中,姚小华,任华东,等. 腾冲红花油茶产量及脂肪酸组成变异研究[J]. 江西农业大学学报 2012,34(3):492-498.
[22] 黄佳聪,陆斌,阚欢,等. 腾冲红花油茶籽油主要理化成分分析[J]. 西南林学院学报,2010,30(5):29-32.
[23] 汤富彬,沈丹玉,刘毅华,等. 油茶籽油和橄榄油中主要化学成分分析[J]. 中国粮油学报,2013,28(7):108-113.
[24] 曾茗,戴云,丁燕霞. 高效液相色谱测定红花油茶油中的维生素E[C]//中国化学学会第四届有机化学学术会议论文集,2005:268.
[25] 袁英姿,曹清明,钟海雁,等. 油茶籽酚类类对茶油抗氧化性的研究[J]. 食品工业科技,2009,30(6):103-105.
[26] 刘雳,赵正惠. 茶籽毛油中极性抗氧化物质的研究[J]. 中国粮油学报,2002,17(3):4-9.
[27] 黄佳聪,阚欢,刘云. 腾冲红花油茶籽油中酚类物质对自由基清除作用的研究[J]. 中国油脂,2011,36(12):54-57.
[28] 张春江,吕飞杰,台建祥,等. 槟榔果及其制品中总酚和单宁含量的测定[J]. 食品研究与开发,2008,29(6):119-121.
[29] 袁英姿,曹清明,钟海雁. 油茶籽酚类的提取、纯化及抗氧化性的研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2009.

责任编辑:许易琦
校　　对:许易琦,刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.018

# 极小种群植物巧家五针松拯救保护研究综述

杨忠兴[1],华朝朗[1],陈春祥[1],赵昌奎[1],胡艳萍[2],吴明慧[2],张天壁[2]
(1.云南省林业调查规划院,云南 昆明 650051; 2.云南药山国家级自然保护区管护局,云南 巧家 654000)

**摘要**:从野生种群现状与生境特征、致危因素、繁殖生物学特性与繁殖技术、保护遗传学特征、综合保护与实践等方面对巧家五针松拯救保护研究进行综述,介绍拯救保护取得的进展。通过近地、迁地、种群回归等综合保护与实践,巧家五针松已从 34 株野生种群扩繁到 3 550 多株。34 株野生种群分布区已建立了国家级自然保护区,建设了防火隔离带,实施了病虫害防治、抗旱、抗寒、宣传教育等一系列保护措施,开展了原生境及其种群动态监测,野外种群得到了强有力保护;建立樟木箐种群回归点 1 处,保存株数 1 600 多株,2023 年回归种群首次开展采种育苗;巧家县境内建立了近地保护点 11 处,保存株数 1 100 多株,建立迁地保护点 13 处、种子库 1 个,保存株数 850 多株。巧家五针松拯救保护工作取得了显著成效,为巧家五针松的基因保存、种群延续奠定了坚实基础。

**关键词**:巧家五针松;极小种群;拯救保护;云南药山国家级自然保护区

**中图分类号**:S791.2;O122.5;S718.54;Q16 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0115-07

**引文格式**:杨忠兴,华朝朗,陈春祥,等. 极小种群植物巧家五针松拯救保护研究综述[J]. 林业调查规划,2025,50(1):115-121. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.018

YANG Zhongxing, HUA Chaolang, CHEN Chunxiang, et al. Research Review on Rescue and Protection of Plant Species with Extremely Small Population *Pinus squamata*[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 115-121. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.018

# Research Review on Rescue and Protection of Plant Species with Extremely Small Population *Pinus squamata*

YANG Zhongxing[1], HUA Chaolang[1], CHEN Chunxiang[1], ZHAO Changkui[1], HU Yanping[2], WU Minghui[2], ZHANG Tianbi[2]
(1. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China;
2. Administration of Yunnan Yaoshan National Nature Reserve, Qiaojia, Yunnan 654000, China)

**Abstract**: This paper reviewed the research on the rescue and protection of *Pinus squamata* from the aspects of wild population status and habitat characteristics, risk factors, reproductive biology characteristics and reproductive techniques, conservation genetics characteristics, comprehensive protection and practice, and introduced the progress made in rescue and protection. Through comprehensive protection and practice such as near situ conservation, ex situ conservation, and population reintroduction, *Pinus squamata*

**收稿日期**:2023-12-13;**修回日期**:2024-04-01
**基金项目**:云南省科技厅 2023 年第二批科技成果转化专项资金(530000231100001753720).
**第一作者**:杨忠兴(1972-),男,硕士,正高级工程师. 主要从事林业调查规划和自然保护地、野生动植物研究监测工作. Email:yangzhongxin1109@163.com
**责任作者**:陈春祥(1975-),男,硕士,高级工程师. 主要从事林业调查规划和信息化建设、野生动植物监测研究工作. Email:261568164@qq.com

had expanded from 34 wild plants populations to over 3 550 plants. The distribution area of 34 wild plants populations had established a national nature reserve, built fire isolation zones, implemented a series of protection measures such as pest control, drought resistance, cold resistance, and publicity and education, and carried out monitoring of the original habitat and population dynamics. The wild populations had been strongly protected. The population reintroduction site in Zhangmuqing was established, preserving over 1 600 plants, and the first seed collection and seedling cultivation for the reintroduction population was conducted in 2023. There were 11 near situ conservation sites established in Qiaojia County, with over 1 100 preserved plants, and 13 ex situ conservation sites and 1 seed bank, with over 850 preserved plants. The rescue and protection of *Pinus squamata* had achieved significant results, laying a solid foundation for the gene preservation and population continuity of *Pinus squamata*.

**Key words**: *Pinus squamata*; species with extremely small population; rescue and protection; Yunnan Yaoshan National Nature Reserve

巧家五针松,学名五针白皮松(*Pinus squamata* X. W. Li),于 1990 年 3 月首次发现,1992 年西南林业大学李乡旺教授发表命名为五针白皮松。根据 Mace-Lande 物种濒危等级评定标准,五针白皮松评定为极危物种。1999 年列入国家一级保护物种,并定名为“巧家五针松”(以下除引用原文外统一使用“巧家五针松”)。2005 年,云南药山省级自然保护区晋升为国家级自然保护区,巧家五针松正式被纳入云南药山国家级自然保护区保护管理。2008 年,巧家五针松以“极小种群物种”列入《云南省生物多样性保护工程规划》,2010 年纳入《云南省极小种群物种拯救保护规划纲要(2010—2020 年)》《云南省极小种群物种拯救保护紧急行动计划(2010—2015 年)》[1],由此成为云南生物多样性保护的重要组成部分。2009 年原云南省林业厅、云南省绿色环境发展基金会编制了《云南省极小种群巧家五针松抢救保护项目实施方案》,2010 年原云南省林业厅、云南省绿色环境发展基金会资助,实施了“巧家五针松救护与繁育项目”。云南药山国家级自然保护区管护局与中科院昆明植物研究所合作,实施了种质资源保存项目,对巧家五针松及药山保护区植物进行种质资源保存;开展了“近交衰退对巧家五针松濒危过程影响”研究,进一步揭示巧家五针松濒危原因[2]。2012 年,其被国际自然与自然资源保护联合会(IUCN)列为全球最濒危的 100 种物种之一[2]。2013 年、2017 年先后实施了人工繁育与重建、迁地保护与繁育项目。此外,相关领域专家、学者相继开展了巧家五针松拯救保护研究工作。2021 年再次列入国家一级保护植物名录、《云南省极小种群野生植物保护名录(2021 版)》,2022 年纳入《云南省极小种群野生植物拯救保护规划(2021—2030 年)》,为持续开展相关拯救保护工作奠定基础。通过文献调查、访问调查、现场调查等方法,对巧家五针松拯救保护进行综述,介绍拯救保护取得的进展,以期对极小种群野生植物拯救保护提供参考。

## 1 野生种群现状与生境特征

### 1.1 野生种群现状

巧家五针松隶属于松科松属古老孑遗植物,是阐明松属系统演化非常有价值的物种。根据长期调查监测结果,巧家五针松只有 1 处野生分布点,现存野生植株 34 株,位于云南药山国家级自然保护区杨家湾片区,分布于云南省昭通市巧家县白鹤滩镇杨家湾村樟木箐(半阳坡)和中寨乡付山村徐家湾(半阴坡)同一山体相背的两个坡面上,其中樟木箐现存 19 株,徐家湾现存 15 株,平均年龄 50~60 a,部分植株有枯梢现象,长势较弱。原生植株年均可采球果 250 个,种子 2 000 粒[2]。根据调查,巧家五针松林下没有自然更新的幼树和幼苗,说明自然更新能力差,而且年龄结构偏大,表现出植株枯梢、长势弱等种群衰退迹象。巧家五针松野外种群低于稳定存活界限(野生株数≤5 000 株),因种群个体数量较少,容易受各种随机和非随机干扰的影响而导致种群灭绝[3]。

### 1.2 生境特征

巧家五针松分布点位于云南省巧家县金沙江干热河谷中山上部,地理坐标为东经 102°52′~103°26′,北纬 26°32′~27°25′,分布海拔 2 000~2 300 m,坡向为东、西坡,坡位中上部,坡度 30°~38°。母岩为玄武岩,土壤为黄红壤、红壤,土层厚度由薄层至厚层,pH 值 6.0~6.5[4]。该区域属于暖温带气候,受相邻

的金沙江干热河谷气候影响较大,冬半年的旱季(10 月初至 5 月底)受干燥热带大陆气团和极地大陆气团影响,降水少、湿度小,持续时间长,植物群落为暖温性针叶林和暖温性针阔混交林。分布点乔木层林分曾遭破坏,通过 30 年保护修复,原生境植被逐渐恢复。原生境生物多样性丰富,有维管束植物 48 科 77 属 84 种[5],乔木层主要有云南松(*Pinus yunnanensis*)、华山松(*Pinus armandii*)、巧家五针松、滇石栎(*Lithocarpus dealbatus*)、滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides*)等,郁闭度为 0.6~0.8。灌木层优势种有水红木(*Viburnum cylindricum*)、乌桕(*Triadica sebifera*)、马桑(*Coriaria nepalensis*)、山蚂蝗(*Desmodium racemosum*)、小叶栒子(*Cotoneaster microphyllus*)、牛筋条(*Dichotomanthes tristaniaecarpa*)、筇子梢(*Campylotropis macrocarpa*)、川梨(*Pyrus pashia*)等,灌木平均高 1~3.5 m,盖度 45%~60%。草本层优势种有细柄草(*Capillipedium parviflorum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、桔草(*Cymbopogon goeringii*)、牛膝(*Achyranthes bidentata*)、普通凤了蕨(*Coniogramme intermedia*)、香薷(*Elsholtzia ciliata*)、青蒿(*Artemisia caruifolia*)、地石榴(*Ficus tikoua*)等,高 0.5~1.5 m,盖度 35%~50%。巧家五针松分布点周边均为大面积云南松林,该区域 20 世纪 90 年代以前采薪、开垦、放牧等人为干扰活动严重,较平缓地段已开垦为耕地,种群回归点之前也是耕地,巧家五针松原生植株是开垦、砍伐后得以保存下来的珍贵植株。由于保护力度不断加强,林下灌木、草本、枯落物盖度不断增长,进一步加剧了巧家五针松天然更新的难度。

## 2 致危因素研究

陆素娟等[6]研究指出巧家五针松种子产量少、质量低、发芽势弱,气候变化、毁林开荒等因素可能是其处于极度濒危状态的主要原因。张志勇等[7]对巧家五针松的群落演替中物种联结性研究发现,在长期的植被演替和生物演替过程中逐步被适应性更强的被子植物排挤是造成其濒危现状的主要因素,该物种遗传多样性和遗传分化极低,导致小种群现象进一步加剧。巧家五针松属阳性先锋树种,可能自第三纪以后未遇到大面积的适于其生长的凉爽干燥气候条件,由于种群更新不良,该研究断言从种群的发展动态来看,其将必然退出该群落[8]。因此,巧家五针松拯救保护任重道远。

## 3 繁殖生物学特性与繁殖技术研究

### 3.1 繁殖生物学特性

在繁殖生物学的角度,有 3 个方面的问题可能引起物种濒危:(1)物种自身在生殖发育过程中出现异常导致败育;(2)交配系统差异引起自交衰退和远交衰退;(3)环境、生态学因素胁迫影响生殖成功率和种群更新[9-10]。研究表明,巧家五针松种子品质较差,发芽势弱,针叶时间出现晚于其他松树,1~5 年是幼苗期,4 年生前生长缓慢,第 4 年才见成束次生叶出现,此前幼苗全部为单生的初生叶;4 年生后生长开始加速,直径连年生长量高峰出现在 15~22 年,20 年生时生长速度超过了云南松等树种,25 年生树高和材积连年生长量都未达到高峰仍有继续上升的趋势[11]。新鲜球果果鳞张开角度过小,种子飞散受阻,往往错过雨季,在旱季里,种子飞落在干燥的土壤表面或石头、枯枝落叶上,绝大多数丧失发芽机会或被鼠类、昆虫等吃掉[12]。根据野外现场观察和苗圃实验结果,1 年生的幼苗是巧家五针松个体生命里程中最为脆弱的阶段[12],幼苗适应较冷凉气候,对于空气湿度变化的反应更接近华山松,没有云南松耐旱[12]。

### 3.2 繁殖技术研究

#### 3.2.1 种子繁殖技术

邬琰等[13]对巧家五针松种子育苗实施了种子选择、圃地选择、土壤消毒、药剂浸种、育苗时间及苗期管理等步骤。种子选择成熟饱满的优良种子,圃地选择生荒地;土壤消毒采用药土垫床的方法,用 50%多菌灵 WP、55%敌克 WP 和 50%退菌特 WP,分别按照每床 5 g/m$^2$ 剂量与研细的黄土配成药土(1∶30~1∶50),于播种前 4~6 d 均匀洒在床面上;药剂浸种,将沙子与种子按体积比为 2∶1 混合,沙的含水量为饱和含水量的 60%,用 0.5%的高锰酸钾溶液浸种 2 h;育苗时节,播种时间最适宜在 2 月下旬至 3 月中旬;苗期管理,一方面是苗期喷药,在幼苗出齐后各苗床分别进行叶面喷施 50%多菌灵 WP 1 000 mg/kg、50%甲基托布津 WP 1 000 mg/kg 和波尔多液(1∶1∶100),每 7 d 1 次,连续 3 次,另一方面是苗期灌根,用 50%多菌灵 WP、75%百菌清 WP,用药量 5 g/m$^2$,在幼苗出齐后灌根,每 10 d 1 次,连续 3 次[13-14]。该研究进一步指出,播种时间需提早在立春和谷雨节令之间,到出苗期和幼苗期时,气候凉爽,幼嫩苗木不易被烈日灼伤,至 7 月移栽时,苗龄达 140 d 左右,苗木木质化较好,苗高可达 6~10 cm[13,15]。

### 3.2.2 嫁接繁殖技术

李桐森等[16]对五针白皮松进行了异砧嫁接试验研究,结果表明,用华山松作砧木较云南松砧木嫁接成活率高,且长势旺,平均成活率相差 10.5%,长势相差也较大,春季嫁接较秋季成活率高,平均成活率相差 22.6%;嫁接堪合体组织愈合良好,无排异,亲合力强,生长情况较好,繁育试验获得了成功,对保存和扩大巧家五针松种群具有重要意义。根据 2023 年调查,由于管理及其他方面的因素,嫁接苗移植仅保存 1 株,胸径 20 cm,高 16 m,长势良好。

### 3.2.3 组织培养技术

普晓兰等[17-18]对五针白皮松进行离体胚的组织培养,可以从子叶上诱导产生大量的愈伤组织及不定芽;经初步试验,以 Ms 为基本培养基并附加激素 BA 3 mg/L、NAA 0.05 mg/L,对诱导子叶产生不定芽最为有效,而 Ms+BA 1~3 mg/L+NAA 0.05~0.5 mg/L 可诱导培养的离体胚产生愈伤组织;胚根及胚轴的下部分在培养中逐渐死亡。阮桢媛等[19]运用组培快繁技术,通过优化外植体消毒方式、培养基的营养元素及生长激素浓度配比,最终获得最佳试管苗增殖培养基为 1/3 GD+土豆 1%+香蕉 1%+6-BA 2.0 mg/L+NAA 0.1 mg/L,用此培养基诱导培养,植株生长旺盛,增殖系数可达 7.95;最佳试管苗生根培养基为 1/2 MS+土豆 1%+香蕉 1%+6-BA 0.1 mg/L+NAA 3.0 mg/L,用此培养基进行生根诱导培养,植株生根率为 87.00%。此苗木快繁技术流程克服了不定芽增殖率低和生根困难的技术性难题,适用于五针白皮松种苗批量化繁育。

## 4 保护遗传学特征研究

从物种水平来看,巧家五针松、水松、广西青梅等的遗传多样性偏低[20]。利用 RAPD 分子标记对原生地 2 个亚居群的遗传多样性和遗传结构进行分析,多态位点百分率(P)为 6.45%,香农指数(I)为 0.030,期望杂合度(He)为 0.020,种群遗传分化系数为 0.110,结果显示该物种遗传多样性和遗传分化极低,分析其原因可能是物种演化过程中曾经遭受过严重的灾害,并由于遗传漂变和自交衰退等小种群现象而进一步加剧[7]。巧家五针松野外仅剩 1 个种群,不超过 50 株个体,遗传多样性参数呈现极低水平。推测巧家五针松在历史上可能遭受了毁灭灾害,种群数量急剧下降后丧失了大部分遗传多样性而造成严重的瓶颈效应,随后由于小种群的遗传漂变、近交衰退等因素,已陷入灭绝漩涡[7]。根据阮桢媛等研究获得的微卫星序列能够满足巧家五针松的种群遗传学研究,而且反映了该物种的偏好性及对应的潜在功能,并且对该物种的保护提供了资料[3]。

## 5 综合保护与实践

为拯救保护巧家五针松,云南省近 30 年来开展了人工繁育与苗圃地建设、就地保护、近地保护、迁地保护、种群回归等大量的拯救保护研究工作,有效保护了这一极小种群物种。

### 5.1 人工繁育与苗圃地建设

开展苗圃地建设和人工育苗工作是扩大巧家五针松种群的重要工作。在云南省林草局、巧家县政府、药山管护局的共同努力下,已成功育苗 10 000 多株。1994 年开始,在上级管理部门的指导下,某农户在自家耕地上最先建立了临时苗圃地,2015 年原药山管理局在杨家湾管护站建立了巧家五针松固定苗圃地,仅 2023 年药山管护局培育巧家五针松苗木 1 000 余株,为巧家五针松近地保护、迁地保护提供种苗奠定了基础。

### 5.2 就地保护

#### 5.2.1 强化自然保护区管理

(1)纳入保护区管理。2005 年,云南药山省级自然保护区晋升为国家级自然保护区,将巧家五针松分布区及周边区域纳入保护区范围,巧家五针松列入主要保护对象。(2)建立了管护站、监测站,配备专人巡护管理。

#### 5.2.2 加强原生境的严格管理

(1)加强巡护管护力度。派驻护林员加大巡护管护力度,禁止进入该区域采薪、抓搂林下凋落物,组织人员对原生植株进行护土,避免根系裸露暴晒。(2)加强防火管理。在原生境外围的巨龙沟、老屋基沟一带修建了长 1 800 m、宽 30 m 的防火隔离带,消除火灾隐患[22];该片区护林员每年临近防火期,与附近 300 多户农户签定防火协议,请老师专门给学生讲森林防火课,防火戒严期间,主动与周围护林员联手在主要入山口进行检查,严禁带火种入山,减少火灾发生几率[23]。(3)浇水抗旱。2010 年大旱以来,药山管护局组织干部职工和当地群众,加强巧家五针松补水抗旱工作,按照“3 天给苗床地小苗施一次水,1 个月给移栽幼树浇一桶水”的目标,采取人背马驮等方式按时运水上山浇灌[22]。通过浇水抗旱,保证巧家五针松水分供给,使其安然渡过大旱

难关。(4)冰雪防冻工作。2008 年云南省特大冰雪冷冻灾害发生后,省政府安排 30 万元专项经费,用于巧家五针松生境恢复与改造等工作[21]。

#### 5.2.3 防治病虫害

(1)开展虫害监测与防治。2013 年原药山管理局在巧家五针松栖息地建立松褐天牛诱捕监测点,由护林员当任监测员,坚持每天按时上山观测、按时记录汇报,当年收集松褐天牛 80 多只,为巧家五针松和其他森林病虫害防控提供了详实的科学数据[23]。(2)开展鼠害防治。在原药山管理局的指导下,护林员开展了林下清除灌木工作,防止鼠类上树吃松籽、啃树尖,在树下安放鼠夹 100 多个,2010 年共捕老鼠 100 多只[23]。

#### 5.2.4 建立机制发展社区经济

建立管护局—管护站—社区为架构的共同管理的社区共管机制,管护局向上级部门争取资金,借助项目资助、科技扶贫等途径发展社区经济。(1)积极协调资金发展经济林,在杨家湾种植 8 $hm^2$ 红豆杉和 13.33 $hm^2$ 川明参;(2)争取沼气 500 口、太阳能 100 个、节能改灶项目,改善了部分群众的能源问题;(3)争取 200 万元资金,修通村社道路,解决村民出行难的问题[24]。通过项目实施改善了当地发展问题,促进了社区积极参与保护的意愿,实现保护和社区经济协调发展。

#### 5.2.5 加强宣传教育

针对巧家五针松等极小种群野生动植物保护,各级政府和管理部门组织了一系列的宣传活动。在电视、报刊等新闻媒体上宣传,快速提高社会影响力;印刷发放宣传册、宣传折页、校园宣讲,提高学生、社区的广泛认识;举办摄影大赛,提高社会、社区认知度;组织拍摄《极小种群保护——云南在行动》《生物多样性保护——云南在行动》等宣传片,大大提升了云南极小种群保护、生物多样性保护的形象[21]。宣传效果显著,社会和公众的认知度和保护意识逐步提高。

#### 5.2.6 开展科研监测

为拯救保护巧家五针松,主管部门与科研院所相继开展了致危因素、繁殖生物学与繁殖技术、保护遗传学特征等研究,为今后的拯救保护工作奠定了基础。为开展监测工作,管护局建立了巧家五针松监测站,对 34 株巧家五针松野生植株进行挂牌编号和 GPS 定位,开展长期监测,记录其所处 GPS 坐标、海拔、基径、胸径、树高及生长发育情况,建立“一株一档”基础数据档案;在巧家五针松原生境建立固定监测样地,对其植被群落进行长期监测;同时开展了巧家五针松人工种群调查监测。

### 5.3 近地保护

近地保护是巧家五针松拯救保护的主要措施之一,药山管护局组织开展了大量的近地保护工作。从 1994 年开始采种育苗,1996 年逐步开始上山种植。截至 2023 年 7 月,已开展近地保护点 16 处,移植株数 2 500 株,保存株数 1 100 株,保存率 44.0%。在 16 处近地保护点中,11 处保护点五针松植株保存较好,生长良好;保存株数大于 50 株的近地保护点有巧家县玉屏街道杨家湾管护站、巧家县玉屏街道复兴村 1 号和 2 号、巧家县白鹤滩街道上大沟、巧家县玉屏街道五针松山庄、巧家县包谷垴乡红箐村等。巧家县其他 5 处保护点近地保护失败,如:药山管护站保护点仅保存 2 株,失败原因为地势低洼、涝;牛栏村保护点全部死亡主要是海拔低、干旱缺水;何家厂等保护点主要是海拔高、冰雪灾害、土壤冻结等原因。根据 2023 年调查监测,1994 年在上大沟种植的巧家五针松,平均高 16.9 m,平均胸径 17.5 cm,已开花结实;2013 年在复兴村种植的巧家五针松,平均高 6.5 m,平均胸径 8 cm,部分已开花结实。近地保护工作总体上取得了良好效果。

### 5.4 迁地保护

迁地保护是巧家五针松不断扩大种群、不断提高适应性的主要措施之一。1994 年以来,保护区管理机构在上级部门的关心支持下联合科研院所,通过采种育苗等人工繁育措施,开展了大量的迁地保护研究工作。截至 2023 年 7 月,已建成迁地保护地点 13 处、种子库保护点 1 个,移植株数 1 450 株,保存株数 850 株,保存率 58.6%,其中保存株数大于 40 株的迁地保护点是中科院昆明植物园、云南省林业和草原科学院树木园、西南林业大学校园、昆明市濒危动植物收容中心、环境科学院花红洞珍稀濒危植物引种繁育中心、楚雄紫溪山、禄丰一平浪林场、云龙漕涧林场等地,迁地保护点的巧家五针松长势良好。2009 年播种,2012 年定植在昆明植物园的 50 株巧家五针松,已于 2021 年 8 月 10 日首次结实,这标志着巧家五针人工繁育和迁地保护取得显著成效[1]。

### 5.5 种群增强与回归

回归自然是拯救保护极小种群野生植物的重要措施[1]。云南省林草局、巧家县政府、药山管护局及科研院所等单位做了大量工作,巧家五针松种群

增强与回归取得了较好的成绩。原药山管理局分别于 2008、2010、2012 年在樟木箐原生分布点周边开展了种群回归,在原耕地上种植 4 个不连片的小区域,移植株数 3 500 株。根据 2023 年调查,保存株数 1 600 株,存率达 45.7%,平均高 13.5 m,平均胸径 16 cm,回归种群植株生长良好,结实率较高,种群回归工作取得显著成效(图 1)。



(a)种群回归前 (李文虎 2008年拍摄)



(b)种群回归后 (杨忠兴 2023年拍摄)

**图 1 樟木箐巧家五针松种群回归前后对比**

**Fig. 1 Comparison of *Pinus squamata* before and after population reintroduction in Zhangmuqing**

## 6 结论与建议

### 6.1 结论

经过 30 多年的努力,巧家五针松理论研究取得突破性进展,查清了巧家五针松致危因素、繁殖生物学特性、遗传学特征。经过多年实践巧家五针松种子育苗、嫁接、组织培养等人工繁育技术获得了成功,共繁育出巧家五针松苗木 10 000 多株,保障了近地保护、迁地保护的种苗供应。通过实施就地、近地、迁地、种群回归等综合保护与实践,巧家五针松从 34 株野外植株扩繁为 3 550 多株,拯救保护工作成效显著,为巧家五针松的基因保存、种群延续奠定了基础。

### 6.2 建议

#### 6.2.1 扩大迁地保护区域和规模

据调查,巧家五针松共建立迁地保护点 13 处,保护点主要集中在昆明周边,迁地保护点种植株数较少,如种植最多的是一平浪林场 440 株、保存 87 株,昆明金殿森林公园(青龙山)种植 17 株、保存 14 株,昭阳区仅种植 2 株。今后应将种植区域扩展到滇东、滇中、滇西等大部分区域,每个种植点或种植区域的种植株数应扩大到 500~1 000 株。通过扩大种植区域和单个种植点种群数量,为巧家五针松寻找更理想的避难所,扩大种群分布范围,增加种群数量,提高物种抗逆性,维持巧家五针松种群延续。

#### 6.2.2 尝试近自然种植模式

据调查,近地、迁地保护均是在植物园、保护区、风景区、林场等保护形式范围内进行的小块状集中种植,今后扩大种植将受种植地块的限制,且受病虫害等威胁因素较大。为此提出实施近自然种植的保护模式,在适宜区的林中空地、林下等区域合理种植株数,尽量不考虑株行距,根据自然地形、原生植株分布情况而定,种植时尽可能保留原生植被,趋于自然状态“见缝插针”式的种植,总体上使巧家五针松与原生植被形成近自然混交,使巧家五针松真正回归自然,解决了种植地块的问题,也减少了病虫害发生的机率,利于巧家五针松种群健康成长及长远保护。

#### 6.2.3 严格分号采育工作

目前人工栽培的巧家五针松均是直接从野外采种繁育的实生苗木,存在种源稀少、溯源困难、品质参差等诸多问题。建议对来源于野外的原生植株独立编号,种子分号采种,引种地与原生地同期分号播种,分别管理,保证单株优良种源的延续及后代的可追溯,为今后研究遗传多样性维持与演变,开展优选和杂交育种工作提供活体种株[25]。

#### 6.2.4 继续开展第二代种人工繁育技术研究

2023 年药山管护局对种群回归园的第二代巧家五针松开展第一次采种育苗,子二代可采种源较丰富,基于巧家五针松野生种源少的现状,开展第二代种子的人工繁育技术研究至关重要。根据胡艳

萍[26]研究结果表明,因受气象因子、土壤因子、种子质量、病害等因素的影响,巧家五针松成活率极低。因此,继续开展巧家五针松第二代繁育技术研究,提高成活率,扩大种苗数量,为近地、迁地保护等提供充足种苗意义重大。

**6.2.5 加强科学研究**

巧家五针松是极度濒危物种,今后应针对面临灭绝的现状,采用生态学、生殖生物学、种子生物学、遗传多样性与遗传结构、植物根际土壤生态学等方法进行综合研究,揭示其形成过程、遗传分化的分子基础、自我繁衍潜力、对环境的适应性及进化趋势等规律,探究其形成机制,指导拯救保护工作[27]。

**致谢**:在野外调研工作中得到昭通市、楚雄州、大理州林草局以及云南药山国家级自然保护区管护局、紫溪山林场、一平浪林场、漕涧林场等单位的大力支持和帮助。

## 参考文献:

[1] 杨质高. 云南极小种群濒危野生植物保护成效显著[N]. 云南日报,2021-09-08(005).
[2] 李文虎. 巧家五针松列入全球最濒危物种名录[J]. 云南林业,2012,33(6):37.
[3] 阮桢媛,王兵益,欧阳志勤,等. 极度濒危植物巧家五针松基因组微卫星特征分析[J]. 植物研究,2016,36(5):775-781.
[4] 朱宝华. 五针白皮松的生态特性及生长过程[J]. 云南林业科技,1993(1):29-33.
[5] 樊国盛,李乡旺,邓莉兰. 五针白皮松林区系特点研究[J]. 中南林学院学报,1996,16(2):23-27.
[6] 陆素娟,邓莉兰,李乡旺. 五针白皮松濒危原因初步研究[J]. 西北林学院学报,1999,14(1):42-44.
[7] 张志勇,李德铢. 极度濒危植物白皮松的保护遗传学研究[J]. 植物分类与资源学报, 2003,25(5):544-550.
[8] 张志勇,陶德定,李德铢. 五针白皮松在群落演替过程中的种间联结性分析[J]. 生物多样性,2003(2):125-131.
[9] 李典谟,徐汝梅. 物种濒危机制和保育原理[M]. 北京:科学出版社,2005.
[10] 李美琼,高浦新,朱友林,等. 微卫星(SSR)分子标记应用于濒危植物保护的研究进展[J]. 江西林业科技,2011(2):24-28.
[11] 陆素娟,王 泾,朱惠萍. 五针白皮松生物学特性的研究[J]. 西南林学院学报,1999,19(2):86-89.
[12] 胡志浩,胡晓立. 保守自闭的外来小种群——巧家五针松[J]. 森林与人类,2005(10):34-35.
[13] 邬琰,苏腾伟,李文虎,等. 巧家五针松育苗阶段病害及防治方法[J]. 中国森林病虫,2012,31(4):38-40.
[14] 王小江. 成县白皮松苗期常见病及防治方法[J]. 现代园艺,2017(6):61.
[15] 唐宗勇. 云南松营养袋育苗技术简介[J]. 云南林业,2005(2):26.
[16] 李桐森,李乡旺,和毓伟. 五针白皮松异砧嫁接试验初报[J]. 西南林学院学报,1997,17(3):11-15.
[17] 普晓兰,林 萍,李乡旺. 五针白皮松离体胚培养初步研究[J]. 西南林学院学报,1997,17(1):144-148.
[18] 张利. 白皮松组织培养和遗传转化的初步研究[D]. 泰安:山东农业大学,2012.
[19] 阮桢媛,乔璐,苏腾伟,等. 五针白皮松组培快繁技术研究[J]. 西部林业科学,2017,46(4):44-49.
[20] 孙卫邦,杨静,刀志灵. 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.
[21] 贺佳飞. 云南省有效保护珍稀濒危植物巧家五针松[J]. 云南林业,2013(3):17.
[22] 赵玲,张颜云. 见证植物界的“大熊猫”——巧家县保护珍稀植物五针松见闻[N]. 云南政协报,2010-04-26(006).
[23] 甘立荣. 为了全球那 34 棵巧家五针松[J]. 云南林业,2014(4):44-45.
[24] 吴明忠. 药山保护区生态文化建设走上和谐发展之路[J]. 云南林业,2015(3):39-40.
[25] 王茹芸,张玉萍,李卫琼,等. 巧家五针松种质资源迁地保护研究[J]. 云南农业科技,2020(2):4-5.
[26] 胡艳萍. 巧家五针松二代种幼苗培育技术研究[J]. 云南林业,2023(287):66-69.
[27] 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.

责任编辑:杨焌焓

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.019

# 广东省荔枝古树资源分布及影响要素研究

杨佐兵[1],魏玉晗[2],魏 丹[3]
(1.广东省林业调查规划院,广东 广州 510520; 2.广东省岭南院勘察设计有限公司,广东 广州 510500;
3.广东省林业科学研究院,广东 广州 510520)

**摘要**:荔枝古树数量多,是广东省古树的组成特征和生态文化的重要类群之一。通过对广东省荔枝古树的组成特征、分布特征及文化特征进行分析,结果表明,广东省荔枝古树共有 13 779 株,占广东古树总数的 16.33%,主要为三级古树,占比 96.97%;荔枝古树所属权属数量存在差异性,集体权属占比最大,占总数的 75.78%;荔枝古树分布特点差异不显著,群状和散生分布数量相近;荔枝古树数量分布受地理环境影响,集中分布在珠三角和雷州半岛的平原地区乡村。荔枝古树分布受到自然环境和种植文化等综合影响。

**关键词**:荔枝古树;资源分布;文化要素;经济要素;广东省

**中图分类号**:TU986.36;S667.1 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0122-06

**引文格式**:杨佐兵,魏玉晗,魏丹. 广东省荔枝古树资源分布及影响要素研究[J]. 林业调查规划,2025,50(1):122-127. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.019

YANG Zuobing, WEI Yuhan, WEI Dan. Resources Distribution and Influencing Factors of *Litchi chinensis* Ancient Tree in Guangdong Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 122-127. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.019

# Resources Distribution and Influencing Factors of *Litchi chinensis* Ancient Tree in Guangdong Province

YANG Zuobing[1], WEI Yuhan[2], WEI Dan[3]
(1. Guangdong Forestry Survey and Planning Institute, Guangzhou 510520, China; 2. Guangdong Lingnan Survey and Design Co., Ltd., Guangzhou 510500, China; 3. Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

**Abstract**: There are a large number of *Litchi chinensis* ancient trees, which are one of the important groups in the composition characteristics and ecological culture of ancient trees in Guangdong Province. The composition, distribution and cultural characteristics of *Litchi chinensis* ancient trees in Guangdong Province were analyzed. The results showed that there were 13 779 *Litchi chinensis* ancient trees, accounting for 16.33% of the total number of ancient trees in Guangdong, mainly classified as the third grade ancient trees, accounting for 96.97%; there were differences in the number of ownership rights of *Litchi chinensis* ancient trees, with collective ownership accounting for the largest proportion, accounting for 75.78% of the total; there was no significant difference in the distribution characteristics of *Litchi chinensis* ancient trees, with similar numbers of clustered and scattered distributions; the number of ancient *Litchi chinensis* trees was influenced by geographical environment and was concentrated in rural areas of the

**收稿日期**:2024-09-02;**修回日期**:2024-10-19

**第一作者**:杨佐兵(1976-),男,高级工程师. 主要从事林业调查规划及生态修复. Email:107992042@qq.com

**责任作者**:魏丹(1982-),女,正高级工程师. 主要从事景观植物选育、古树保护和自然教育相关研究. Email:13168613@qq.com

Pearl River Delta and Leizhou Peninsula plains. The distribution of *Litchi chinensis* ancient trees was influenced by a combination of natural environment and planting culture.

**Key words**: *Litchi chinensis* ancient trees; resource distribution; cultural elements; economic elements; Guangdong Province

作为南方地区重要的经济作物,荔枝原产于我国岭南地区,是广东第一大果树,也是我国第五大果树[1-2]。荔枝古树作为中国荔枝资源中的重要组成部分,是一种自然遗产,对研究荔枝生理生态和分布特征具有很高价值[3-4]。古树指树龄在 100 a 以上(包含 100 a)的树木,不仅具有人文、生态、社会和经济价值,而且具有重要的科学研究、旅游观赏价值以及地理坐标、历史的纪念意义[5-7]。海南、广西等地已开展了荔枝古树调查[3,8-9],在遗传多样性[10-11]、生物信息学分析[12]、栽培养护[13]等方面有深入研究。目前,尚未见广东省荔枝古树资源调查及其文化要素等的相关研究。以广东省荔枝古树为对象,通过全面调查和统计分析其时空分布及文化价值,旨在为广东省荔枝古树的保护、利用及其历史文化内涵的建设和挖掘提供依据,以期为推进新时期生态文明建设和文化建设做出贡献。

## 1 研究地概况与研究方法

### 1.1 研究地自然概况

广东省北接南岭,南临南海,位于 109°39′~117°19′ E, 20°13′~25°31′ N。面积 17.68 万 $km^2$,地势北高南低,并以山地、丘陵为主,属东亚季风气候区,热量丰富,年降水量 1 300~2 500 mm。植被按纬度呈带状分布,包括沿海滩涂热带红树林、北热带人工林、南亚热带常绿阔叶林等。

### 1.2 研究对象

荔枝(*Litchi chinensis*)是无患子科荔枝属常绿乔木,花期在 3—4 月,果期在 5—8 月。荔枝的名字来自于司马相如的《上林赋》,文中写作“离支”,后大约自东汉开始变为“荔枝”。作为中国文化底蕴最为深厚的果品之一,荔枝有“百果之王”等称号。在广东地区多作为庭院观赏树、经济林、公园景观树种、风水树等,是广东省最具代表性的乡土树种之一。

### 1.3 数据来源

在广东省古树名木信息管理系统数据库选定 2019 年 9 月 17 日的数据信息,并选取其中的荔枝古树作为原始数据;在《2017 年广东省情手册》中选取广东省各地级市面积数据作为原始数据。统计分析和图表制作应用 ArcGIS 10.4 和 Microsoft Excel 2019 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 荔枝古树资源状况

#### 2.1.1 树龄组成

广东省荔枝古树共有 13 779 株,占广东省古树总数(84 390 株)的 16.33%。其古树等级分布具有差异性(表 1)。

**表 1　荔枝古树等级统计**

**Tab. 1　Statistics of grade of *Litchi chinensis* ancient trees**

| 序号 | 古树等级 | 株数/株 | 占比/% |
|---|---|---|---|
| 1 | I 级 | 87 | 0.63 |
| 2 | II 级 | 331 | 2.40 |
| 3 | III 级 | 13362 | 96.97 |

由表 1 可知,随着古树等级的升高,古树数量逐步减少,III 级古树是广东省荔枝古树的主要成分,占比为 96.97%,I 和 II 级古树数量占比仅为 3.03%。

#### 2.1.2 权属分布

广东省荔枝古树权属数量存在差异性。集体权属(10 442 株)占比最大,占总株数的 75.78%,属于个人、国有和其他权属的株数分别为 2 132、1 204、1 株,占比均较小。其中,国有权属中生长场所为城区的占比为 94.27%,是因为受到城镇化建设的影响。权属为集体的所占比例最大,多是因为村落迁出时遗留或迁入时已存在,也有的因为一直作为村中的风水树,保佑村民安康,应重视集体作为保护现行古树的主力作用和主体地位。

#### 2.1.3 分布特点

广东省荔枝古树分布特点差异性不显著,主要为群状分布(7 364 株)和散生分布(6 415 株),占比分别为 53.44% 和 46.56%,群状占比较散生仅高 6.89%,是因为其分布特点主要跟经济作用相关。

### 2.2 空间分布

#### 2.2.1 地级市分布状况

广东省荔枝古树的数量分布在各地级市间存在差异性(图 1)。

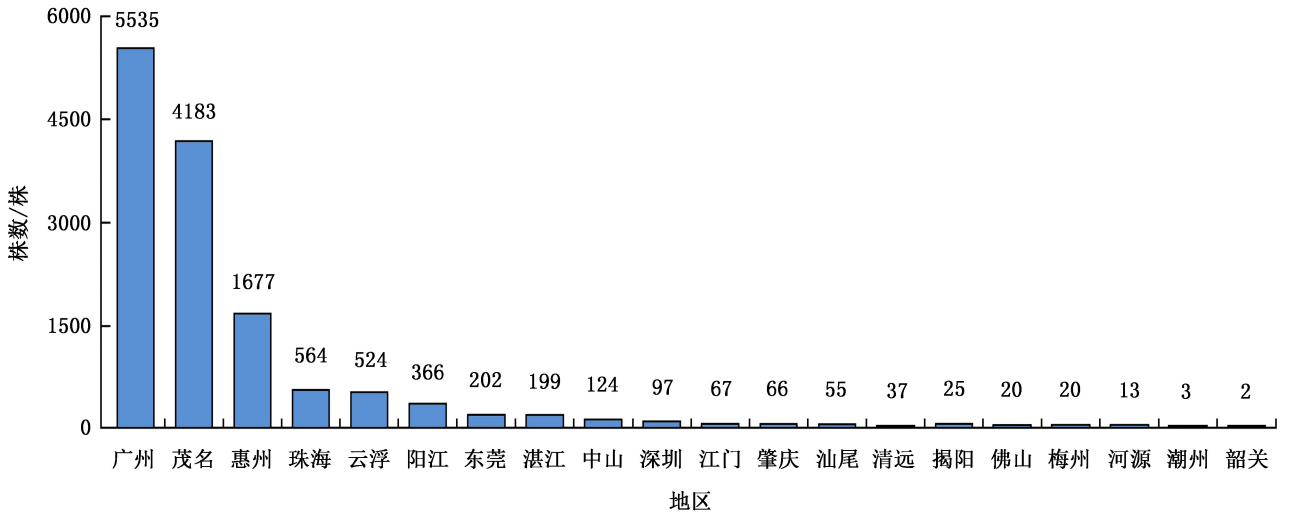



**图 1 广东省荔枝古树分布**

**Fig. 1 Distribution of *Litchi chinensis* ancient trees in Guangdong Province**

由图 1 可知,在 21 个地级市中,数量占比位于前 5 位的地级市分别为广州市(40. 17%)、茂名市(30. 36%)、惠州市(12. 17%)、珠海市(4. 09%)、云浮市(3. 80%)。其中,数量超过 500 株的行政区(县)有广州市黄埔区(4 962 株)、茂名市高州市(2 080 株)、茂名市电白区(1 335 株)、惠州市惠东县(972 株)、茂名市茂南区(648 株)和惠州市龙门县(522 株)。由此可知,荔枝古树数量分布总体呈以珠三角和雷州半岛的平原两个聚集区为中心,向内陆和粤东西地区大幅度递减的趋势。这是因为广东省的平原主要分布在珠三角、潮汕和雷州半岛等地区,均处于低纬度区域,土地平坦开阔,降水充足,耕地资源相对丰富,为荔枝古树生长提供了充足的水热光条件。而古时珠三角地区多数作为南越地区经济和政治中心,人口相对密集,这不仅有利于荔枝树的大范围种植,也影响更多群众在自己家门口或村落口选择种植荔枝树。

### 2. 2. 2 生长场所分布状况

广东省荔枝古树在不同生长场所数量存在差异性,生长在乡村的古树株数(857 株)占比较高,为 62. 25%;生长在城区的古树株数(5 202 株)占比较低,为 37. 75%。城市与乡村间的数量无明显差异,这是因为荔枝古树的生长场所属性受到城镇化的影响。

### 2. 2. 3 生长势分布状况

广东省荔枝古树总体生长状况较好,其中正常株占比为 94. 92%,非正常株占比为 5. 08%,衰弱株和濒危株占比分别为 4. 67%和 0. 41%(表 2)。

**表 2 广东省荔枝古树生长势分布状况**

**Tab. 2 Distribution of growth potential of *Litchi chinensis* ancient trees in Guangdong Province**

| 序号 | 古树级别 | 正常株/株 | 非正常株/株 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 衰弱株 | 濒危株 |
| 1 | I 级 | 49 | 30 | 7 |
| 2 | II 级 | 266 | 58 | 7 |
| 3 | III 级 | 12764 | 555 | 43 |
| 总计 | — | 13079 | 643 | 57 |

由表 2 可知,I 级古树非正常株占比较大,为 75. 51%,主要原因是树龄本身较大,植物自身的生理运转和调节能力相对较弱,病虫害易入侵导致根部腐烂和存在树洞等情况,再加上树身的蕨类、藤本和杂草等附生植物缠绕对大龄古树生长造成不利影响。II 级和 II 级古树非正常株占比为 24. 44%和 4. 69%,多数古树生长不佳主要原因是白蚁等虫害、光照不足、生长空间受到周围房屋、树池、周围植物或堆放杂物等限制,还有古树生长于塘基里等潮湿地或硬底化道路旁边导致根系裸露等,这些较差的生长环境造成了衰弱株和濒危株数量的增加。其中,III 级古树正常株占比较大,是因为即使有部分古树的生长环境较差,但其处于生命周期中相对旺盛的时期,生命力仍较强。

广东省荔枝古树的正常株、衰弱株和濒危株数量在各地级市间存在差异性(表 3)。

表 3　广东省荔枝古树生长势统计

Tab. 3　Statistics of growth potential of *Litchi chinensis* ancient trees in Guangdong Province

| 序号 | 地区 | 正常株/株 | 非正常株/株 | | 总计 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 衰弱株 | 濒危株 | |
| 1 | 广州 | 5266 | 248 | 21 | 5535 |
| 2 | 茂名 | 3979 | 187 | 17 | 4183 |
| 3 | 惠州 | 1673 | 4 | — | 1677 |
| 4 | 珠海 | 558 | 4 | 2 | 564 |
| 5 | 云浮 | 454 | 66 | 4 | 524 |
| 6 | 阳江 | 362 | 3 | 1 | 366 |
| 7 | 东莞 | 145 | 53 | 4 | 202 |
| 8 | 湛江 | 179 | 17 | 3 | 199 |
| 9 | 中山 | 124 | — | — | 124 |
| 10 | 深圳 | 84 | 13 | — | 97 |
| 11 | 江门 | 42 | 24 | 1 | 67 |
| 12 | 肇庆 | 61 | 5 | — | 66 |
| 13 | 汕尾 | 52 | — | 3 | 55 |
| 14 | 清远 | 31 | 5 | 1 | 37 |
| 15 | 揭阳 | 19 | 6 | — | 25 |
| 16 | 佛山 | 18 | 2 | — | 20 |
| 17 | 梅州 | 14 | 6 | — | 20 |
| 18 | 河源 | 13 | — | — | 13 |
| 19 | 潮州 | 3 | — | — | 3 |
| 20 | 韶关 | 2 | — | — | 2 |
| 总计 | — | 13079 | 643 | 57 | 13779 |

由表 3 可知,广东省荔枝古树在各个地级市间正常株和非正常株的占比存在明显差异。正常株占比前 5 位的市分别为为广州市(40.26%)、茂名市(30.42%)、惠州市(12.79%)、珠海市(4.27%)、云浮市(3.47%);非正常株占比前 5 位的市分别江门市(37.31%)、梅州市(30.00%)、东莞市(28.22%)、揭阳市(24.00%)、清远市(16.22%);衰弱株占比前 5 位的市分别为广州市(38.57%)、茂名市(29.08%)、云浮市(10.26%)、东莞市(8.24%)、江门市(3.73%);濒危株占比前 5 位的市分别为广州市(36.21%)、茂名市(28.81%)、云浮市(6.45%)、东莞市(6.15%)、湛江市(4.69%)。广州市、茂名市和云浮市的正常株、衰弱株和濒危株的占比均在前 5 位,这是因为原本其荔枝古树基数较大。近年实地调查结果显示,散生古树名木的非正常株增速明显加快。

### 2.3 荔枝古树群

广东省现存著名的荔枝古树群众多。其中广州黄埔荔枝古树群,平均树龄为 143 a,共有 48 株,平均胸围为 144 cm,平均高度为 8.60 m,位于广州市黄埔区萝岗街道萝峰村萝峰小学的荔枝山,其荔枝品种为萝岗糯米糍;高州贡园荔枝古树群,平均树龄为 369 a,共有 95 株,平均胸围为 216 cm,平均高度为 7.8 m,位于茂名市高州市根子镇柏桥村委会贡园,有 2 000 多年栽培史[14]。虽该荔枝古树群占茂名市荔枝古树数量的 2.27%,却是目前全国面积最大、历史最悠久、保存最完好的古荔园之一,这也证实了粤西地区是古代荔枝最早的产区。千手观音荔枝古树是贡园古树群内最具特色的古树之一,树龄约 600 a。

## 3 影响荔枝古树组成与分布的要素

荔枝作为广东农产品代表之一,其文化影响力源远流长,广东省荔枝古树的数量分布与空间分布受到自然环境、文化历史和种植历史等的综合影响[15]。从汉代开始,由于荔枝树在中原地区水土不服,在岭南一隅的荔枝以贡品的珍稀之名进入中原主流文化圈[16]。在现代,荔枝不仅具有重要的经济价值,而且还是重要的文化载体[2,17],展现了与其密切关联的民族风俗、宗教信仰、历史事件等。

### 3.1 经济要素

2022 年全国荔枝种植面积约 52.6 万$hm^2$,总产量约 253.10 万 t,广东产量约 126.89 万 t[18],我国是世界第一大荔枝生产国,种植面积及产量均占世界的 60%以上,全球每 5 颗荔枝就有 1 颗产自广东[19]。由于地处沿海加上低纬度地区气候带来的水热条件,广东省成为全国荔枝种植面积最大和产量最高的省份,荔枝种植自古以来是岭南农业支柱性产业,具有经济效益高的特点。珠三角地区的东部地区是古代荔枝交易中心,在物质匮乏的年代,荔枝不仅是食物来源,还是经济来源,这也是广东省荔枝古树数量较多的原因。经济要素主要表现在:荔枝古树树龄可长达 1 000 a 以上,并可继续开花结果;单株产量高和盛果期长,粗生易管,加之荔枝品种改良技术和专业化养护管理日益成熟,规模商品化种植程度高,粤东和粤西地区均在试点优化品种结构和品种布局,示范点经济效益提高 1~5 倍[20];果实品质好,在宋朝时广东地区已形成增城、惠州、番禺和茂名等荔枝分布区域[21],众多地方特色品种包括‘萝

岗糯米糍'、'增城仙进奉'、'茂名桂味'和'增城挂绿'等均受到人们欢迎;综合利用范围广,包括各种形式的荔枝衍生食品,并具有药用价值和生活价值,如木材可作为高级用材,根、干、壳可提炼染料。

### 3.2 文化要素

荔枝古树文化已成为岭南文化的"活遗产",其发展历程与历史文化的渊源深厚。根据资料记载,荔枝最早产于岭南,至今已有超过 2 000 年的历史。广东省荔枝古树分布密集的珠三角及茂名等地区是岭南荔枝种植史最长、荔枝文化资源最为深厚的地区,这也与荔枝古树在地级市的分布数量相匹配。

#### 3.2.1 宗教文化

我国宗教(儒教、佛教、道教)文化深刻影响着我国园林植物造景[22],因此人们选择造景植物种类时常会选择符合或能代表该环境的植物[23-24]。在岭南地区多数寺庙祠堂,选择荔枝树种可彰显儒释道宗教文化的重要性。在云浮市新兴县六祖镇国恩寺的东北面有一棵古荔枝树,树龄 1 300 a,据说是唐代六祖惠能带领门徒回故居时亲手种植的,佛教信徒称此树为"圣树",其果是"佛荔"。采用荔枝树进行植物造景可烘托敬顺仰止的氛围,寓意着六祖文化作为中华宗教文化的重要组成部分之一,虽然历经了沧桑,但仍源远流长,富有生命力。

#### 3.2.2 人文文化

岭南荔枝具有深厚的人文文化渊源。关于荔枝最早的记载出现于公元前 2 世纪初,赵佗归附汉朝后进入岭南进贡荔枝的时期。由于长安等淮河以北地区气候不适合荔枝生长,加之古代交通不发达、冷链技术缺乏等原因,导致岭南荔枝的稀缺,也促使荔枝被人们称为"百果之王""果之牡丹"等,不仅进一步加剧了古代上层阶级对荔枝的喜爱,也提高了岭南荔枝的种植面积及其名声。在人文文化的积累方面,古时增城南部的新塘区域就因荔枝交易频繁而被称为"荔枝市",与之相关的古代诗作不下于 100 篇,从宋代苏轼的"增城荔子一篮,附去人驰上"和清代谭莹的"家中荔枝三百树,年年果熟问收成"等诗句中可见古代增城荔枝产业的繁荣。使荔枝闻名于天下的还有唐代杜牧的"一骑红尘妃子笑,无人知是荔枝来"。此外,北宋苏轼的"日啖荔枝三百颗,不辞长作岭南人",彰显了他对荔枝甚是喜爱。

古人也有众多关于荔枝栽培方面的经典著作,已成为中华民族文化中一笔宝贵的财富,如明代宋珏的《荔枝谱》和北宋蔡襄的《荔枝谱》,后者是目前世界上最早记载荔枝栽培技术和介绍荔枝品种的园艺学专著。北宋张宗闵来广州增城做官时写下了《增城荔枝谱》,搜录当地所产 100 多种荔枝品种[25],此时期增城作为岭南地区荔枝种植最为典型的地区,为现今广州古荔枝数量居全省第 1 位打下基础。如今茂名、东莞以及增城三地的荔枝种植系统已入选中国重要农业文化遗产目录,正是这些历史文化特征的积淀和传承最终使珠三角地区和粤西地区在新的时代环境下形成了具有地方特色的荔枝古树文化。

#### 3.2.3 民俗文化

漫长的荔枝种植史让荔枝文化在人们的生活和民俗文化中无处不在,世代相传。现今,仅广州市增城区与"荔"字有关的地名超过 100 个,如中国由于有二十四节气,人们在不同节气吃荔枝也颇有讲究,有"小暑小吃(荔枝)、大暑大吃(荔枝)"的俗谚。有关荔枝古树的民俗文化不仅加强了对荔枝古树的保护,并且在历史长河中不断积累丰富,得以传承和创新。

人口流动是荔枝古树种植文化传播的重要途径,广东省有部分荔枝古树的栽种受到人口迁徙活动的影响[24]。岭南先人流传着一个传统:定居村落或家中添丁就在房前屋后种荔枝,前者意味着生活安定下来扎根于此,后者意味着家族和血脉有了传承。岭南有很多福佑后人千年的荔枝树,南沙古荔枝树位于广州市南沙区南沙街道东井村民委员会本埔,是由朱氏家族迁移至此定居后,后人先后在古井附近栽种荔枝树形成荔枝树群,寄托了祖先对子孙后人的美好愿望,成了文化和血脉传承的象征。

## 4 结 论

广东省荔枝古树共有 13 779 株,III 级古树是广东省荔枝古树的主要成分,随着古树等级的增加,古树数量逐步下降。广东省荔枝古树权属分布存在差异性。集体权属占比最大,个人权属、国有和其他权属占比较小,占总数的 24.22%。荔枝古树分布特点差异性不显著,主要为群状和散生,占比分别为 53.44%和 46.56%,荔枝古树数量分布总体呈以珠三角地区和雷州半岛的平原两个聚集区为中心,向内陆和粤东西地区大幅度递减的趋势;不同生长场所分布的荔枝古树数量存在差异性,乡村分布数量占比较高,为 62.25%;荔枝古树总体生长状况较好,非正常植株数量占比为 5.08%,其中衰弱株和濒危株数量占比分别为 4.67%和 0.41%。多数荔枝古树生长不佳的主要原因是白蚁等虫害、光照不足、生长环境较差或生长空间受到限制等。广东省

现存著名的荔枝古树群众多,如广州黄埔荔枝群和高州贡园荔枝群。

广东省荔枝古树的数量分布与空间分布受到自然环境、文化历史和种植历史等的综合影响,不仅具有极其重要的经济作用,而且还是一种重要的文化载体,展现了地域文明发展、政治兴衰、城市建设、历史文脉和景观特色。荔枝的美,在味道之外,更在文化之中。岭南的荔枝古树依然年年开花结果,时代却赋予了历久弥新的荔枝文化更加丰富的内涵。目前,人们虽对荔枝古树有一定的认识和保护意识,但对其背后所承载的文化内涵和历史意义了解甚少。现已制定和实施了一系列关于古树保护和管理养护的相关政策法规以及对应的技术措施来进一步推进古树名木的建设和管理,如建立古树信息管理系统和推行广东古树名木 App,但整体上仍存在缺乏古树内在文化的普及和推广,以及群众的兴趣度不高等问题。因此,应创新古树名木信息化管理和不断完善古树保护管理法规,综合资金、技术、人才等要素资源,多形式和全方位加强对荔枝古树历史文化资源的保护和总结,挖掘荔枝古树千百年来传承至今的人类智慧和经验,走绿色生态化道路,是今后荔枝古树资源保护与利用的重要方向之一。

## 参考文献:


[1] 张惠云,高贤玉,王跃全,等. 褐毛荔荔枝古树资源调查[J]. 农学学报,2020,10(1): 77-81.

[2] 赵飞,廖美敬,章家恩,等. 中国荔枝文化遗产的特点、价值及保护——基于岭南荔枝种植系统(增城)的实证研究[J]. 中国生态农业学报(中英文),2020,28(9):1435-1442.

[3] 庄光辉,胡福初,何舒,等. 海南原生荔枝种质资源收集保存及主要性状评价[J]. 热带农业科学,2011,31(11):28-35.

[4] 魏丹,张耕,杨佐兵,等. 基于叶片及土壤分析的古树精准复壮研究——以粤北地区典型衰弱古树为例[J]. 林业与环境科学,2023,39(4):87-93.

[5] 何选泽,黄大兴,王承源,等. 锦屏县古树种质资源特征[J]. 种子,2019,38(2):57-60,63.

[6] 魏丹,赖略,郑昌辉,等. 河源市古树资源特征分析研究[J]. 林业与环境科学,2020,36(3):80-85.

[7] 王沛然,游桂璇,诸葛名名,等. 湖北省巴东县古树资源组成及其空间分布特征研究[J]. 中国园林,2024,40(5):138-144.

[8] 沈庆庆,朱建华,彭宏祥,等. 桂西南早熟荔枝实生资源调查[J]. 中国农学通报,2011,27(22):291-295.

[9] 张萱蓉,李丹,杨小波,等. 海南省万宁市野生荔枝资源种群特征研究[J]. 西北植物学报,2016,36(3):596-605.

[10] 刘忠,李俊,杨武云,等. 利用 SRAP 分析岷江下游荔枝资源的遗传多样性与亲缘关系[J]. 西南农业学报,2013,26(3):1152-1159.

[11] 李焕苓,田婉莹,孙进华,等. 基于 SSR 和 InDel 标记的海南荔枝种质资源遗传多样性分析[J]. 分子植物育种,2018,16(4):1343-1356.

[12] 李郑华,姜成东,王鹏,等. 荔枝漆酶(LAC)基因家族鉴定及表达分析[J]. 分子植物育种,2023,21(7):2174-2187.

[13] 易琼,李国良,黄旭,等. 配施中微肥对荔枝产量、品质及养分吸收累积的影响[J]. 果树学报,2022,39(9):1649-1658.

[14] 赵永琪,梁俊芬. 广东省荔枝专业村空间格局及影响因素研究[J]. 中国农学通报,2023,39(20):1

[15] 黄士良,范萌,金红霞,等. 冀南古槐时空分布及文化价值研究[J]. 中国园艺文摘,2017,33(3):5.

[16] 王福兴,齐培培. 荔枝,荔城和荔枝文化[J]. 福建林业,2020(2):3.

[17] 杭东. 探寻古树与古树文化[J]. 湖南林业,2008(5):34-35.

[18] 陈厚彬,苏钻贤,杨胜男. 2022 年全国荔枝生产形势分析[J]. 中国热带农业,2022(3):5-14.

[19] 黄金花,黎朝晖. 茂名荔枝:全球每五颗荔枝就有一颗产自茂名[J]. 农产品市场,2022(10):16-22.

[20] 周子默,齐文娥. 广东省不同品种荔枝生产成本收益对比研究[J]. 中国果业信息,2021,38(7):19-24.

[21] 惠冬. 宋代荔枝种植格局的变化与成因[J]. 中国农史,2013,32(5):18-25.

[22] 金荷仙,华海镜. 寺庙园林植物造景特色[J]. 中国园林,2004,20(12):7.

[23] 吕浩荣,刘颂颂,叶永昌,等. 东莞市古树名木数量特征及分布格局[J]. 华南农业大学学报,2008(4):65-69.

[24] 魏丹,郑昌辉,叶广荣,等. 广东省古树资源分布及文化要素研究[J]. 西北林学院学报,2021,36(6):181-187.

[25] 陈振孙. 直斋书录解题[M]. 上海:上海古籍出版社,1987.


责任编辑: 陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.020

# 巍山青华绿孔雀省级自然保护区两栖爬行动物多样性

郭宝华[1],崔茂欢[1],徐丕聪[1],姜健发[1],房以好[2],王有兵[1]
(1.云南省林业调查规划院大理分院,云南 大理 671000;2.大理大学 东喜玛拉雅研究院,云南 大理 671003)

**摘要**:2021 年 1 月—2022 年 12 月,对巍山青华绿孔雀省级保护区两栖爬行动物进行调查,共记录两栖爬行动物 3 目 18 科 31 种,其中两栖动物 2 目 7 科 10 种,爬行动物 1 目 11 科 21 种。31 种两栖爬行动物中,除东洋界和古北界广布种 2 种外,其余 29 种均为东洋种,其中东洋界广布种 13 种(占比 41.93%)、西南区种 9 种(占比 29.03%)。属国家二级重点保护物种 3 种;列入《中国生物多样性红色名录》中濒危种 5 种,易危种 5 种,近危种 2 种;列入 IUCN 红色名录中濒危种 1 种,易危种 4 种,近危种 1 种;列入 CITES 附录物种 3 种;列入“三有动物”名录物种 21 种。多样性指数分析表明,两栖动物和爬行动物 *F*、*G* 指数均较低,在科、属水平上多样性均较低,爬行动物 *G*-*F* 指数高于两栖动物,保护区爬行动物多样性高于两栖动物。针对该保护区两栖爬行动物多样性特点及影响因素提出保护和管理建议。

**关键词**:两栖动物;爬行动物;生物多样性;巍山青华绿孔雀省级自然保护区

**中图分类号**:S759.9;S718.61;S718.62;Q16 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0128-08

**引文格式**:郭宝华,崔茂欢,徐丕聪,等. 巍山青华绿孔雀省级自然保护区两栖爬行动物多样性[J]. 林业调查规划,2025,50(1):128-135. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.020

GUO Baohua, CUI Maohuan, XU Picong, et al. Diversity of Amphibians and Reptiles in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve of Weishan[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 128-135. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.020

# Diversity of Amphibians and Reptiles in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve of Weishan

GUO Baohua[1], CUI Maohuan[1], XU Picong[1], JIANG Jianfa[1], FANG Yihao[2], WANG Youbing[1]
(1. Dali Branch of Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Dali, Yunnan 671000, China;
2. Institute of Eastern-Himalaya Biodiversity Research, Dali University, Dali, Yunnan 671003, China)

**Abstract**: From January 2021 to December 2022, the amphibians and reptiles of the Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve of Weishan were investigated, and a total of 31 species in 18 families and 3 orders were recorded, including 10 species of amphibians in 7 families and 2 orders and 21 species of reptiles in 11 families and 1 order. Among the 31 amphibian and reptile species, except for 2 widely distributed species in the Oriental and Palearctic realms, the remaining 29 species were Oriental species, with 13 widely distributed species (41.93%) in the Eastern realm and 9 species (29.03%) in the southwestern region. There were 3 species under national second-class key protection. There were 5 endangered species, 5 vulnerable species, and 2 near-threatened species in the *Red List of Biodiversity of China*. 1 species was

**收稿日期**:2023-09-05
**基金项目**:澜沧江小湾水电站工程巍山青华绿孔雀省级自然保护区生物多样性本底调查项目(2021007).
**第一作者**:郭宝华(1981- ),男,工程师. 从事林业调查规划工作. Email:yelvcao@163.com
**责任作者**:姜健发(1985- ),男,工程师. 从事林业调查规划、生物多样性保护与自然保护地研究工作.

endangered, 4 were vulnerable, and 1 was near threatened in IUCN Red List. 3 species included in CITES appendices; 21 species included in the list of "terrestrial wildlife with important ecological, scientific, and social value". The diversity index analysis showed that the *F* and *G* indices of amphibians and reptiles were low, and the diversity of reptiles was lower at the family and genus levels, and the *G*-*F* index of reptiles was higher than that of amphibians, and the diversity of reptiles in the reserve was higher than that of amphibians. According to the characteristics and influencing factors of amphibian and reptile diversity in the reserve, some suggestions for protection and management were put forward.

**Key words**: amphibian; reptile; biodiversity; Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve of Weishan

生物多样性调查是了解和评估一个地区物种多样性丰富度最直接、最有效的方法,其结果是制定物种保护对策的重要依据[1]。两栖爬行动物属于从水生到陆生的过渡类群,对生存环境高度敏感[2],因此作为生物多样性的重要组成部分和环境健康的重要指示类群而受到国内外广泛关注[3]。全球范围内两栖爬行动物都在经历着种群快速下降和物种灭绝风险,随着人口增长和经济发展,我国两栖爬行动物正面临着巨大的生存威胁,亟需持续开展两栖爬行动物物种多样性调查及种群动态监测研究工作[4]。

巍山青华绿孔雀省级自然保护区(以下简称"保护区")自 1988 年建立以来,从未开展过两栖爬行动物的调查与研究。为做好澜沧江小湾水电站建成后环境影响评价,2021 年 1 月—2022 年 12 月,云南省林业调查规划院大理分院开展保护区生物多样性本底调查工作,在对两栖爬行动物物种种类、区系特征和受威胁因素等进行分析的基础上,提出保护和管理建议,以期为保护区两栖爬行动物保护和管理决策的制定提供科学依据。

## 1 研究区域概况

保护区 1988 年成立时为州级保护区,1997 年晋升为省级自然保护区,地理坐标为东经 100°11′29″~100°14′15″,北纬 24°58′43″~25°0′43″,总面积 1 000.0 $hm^2$,含核心区面积 225.4 $hm^2$,缓冲区面积 169.0 $hm^2$,实验区面积 605.6 $hm^2$。保护区地势南低北高,最低海拔 1 240 m,最高海拔 2 010 m,海拔高差 770 m。保护区属亚热带北部高原季风气候,年均温 16~20℃,极端最高温 32℃,极端最低温-7℃,年降水量 600~800 mm,多集中在 6—10 月。龙凤河和中窑河流经保护区后注入黑惠江,河流汇水区属于小湾水电站淹没区[5],属澜沧江水系。保护区内主要植被类型为暖温性针叶林和热性灌丛,零星分布有半湿润常绿阔叶林、人工乔木林和草本作物[6]。土壤类型以红壤为主,分布有少量黄红壤、褐色赤红壤和紫色土。

## 2 调查与数据分析方法

### 2.1 调查时间

野外调查选择春夏季节即 4—8 月期间进行。两栖爬行动物的调查工作既需要在白天,也需要在夜晚进行。白天调查时间为 9∶00—12∶00、14∶00—17∶00,主要调查爬行动物和陆栖两栖动物,同时注意蛙类蝌蚪和卵;夜间调查时间为 19∶00—23∶00,主要调查无尾两栖动物、壁虎以及夜行性蛇类等。

### 2.2 调查方法

#### 2.2.1 样线法

样线布设考虑到代表性和均衡性,同时也综合考虑海拔、生境类型、分布格局等因素。两栖爬行动物的调查主要集中在不同海拔和坡向的湿地及其附近,如溪流沿线、池塘、沼泽、草地等;爬行动物的调查除与两栖动物同步的线路和调查点外,还注重各海拔地段的山坡、林地、林缘、草地甚至荒地、田地、住宅和公路及小路沿线。调查过程中记录两栖爬行动物的实物(包括成体、幼体、蝌蚪、卵、蛇蜕)、鸣声(蛙类)、分布特征、干扰因素等。野外调查中,两栖动物的采集采用徒手和捞网辅助抓捕,爬行动物的抓捕使用蛇钳、手套。标本用 75%乙醇浸泡保存以备鉴定。只采集少量标本作为凭证标本,以避免破坏资源。

#### 2.2.2 访谈法

访谈法主要是在实地调查过程中以访问保护区管理人员、护林员和当地居民为主,借助相关的两栖爬行动物彩色图鉴进行物种的辨认与鉴定。由于两栖爬行动物的鉴别较为困难,访问调查只针对有资源利用价值或者较为特殊的两栖爬行动物类群,如食用或药用蛙类、蛇类、蜥蜴等种类。

### 2.2.3 文献法

通过查阅已正式发表的文献资料、媒体公开报道等确定保护区两栖爬行动物资源情况。如巍山县融媒体中心、大理日报新闻网等相关报道。

### 2.3 分类依据

物种鉴定及生态类型等依据《横断山区两栖爬行动物》[7]《常见蛙蛇类识别手册》[8]《中国蛇类》[9]《云南两栖爬行动物》[10]等资料,以及袁智勇等[11]、王凯等[12]对云南省两栖、爬行动物更新名录。两栖爬行动物地理区系及分布型参照《中国动物地理》[13]确定,保护等级根据《国家重点保护野生动物名录》[14]确定。另外,还进行中国生物多样性红色名录物种、“三有动物”名录物种、《IUCN 红色名录》物种、CITES 附录物种的确定。

### 2.4 数据分析

根据样线调查、访问调查和文献查阅[15-17]结果,对保护区内两栖爬行动物物种组成、分布型、生态类型、区系从属和资源现状进行分析。采用蒋志刚等[18] *G-F* 指数计算科、属间多样性。

## 3 结果与分析

### 3.1 物种多样性

在保护区内共记录两栖爬行动物 3 目 18 科 31 种。其中,两栖动物 2 目 7 科 10 种,爬行动物 1 目 11 科 21 种(表 1)。

**表 1 巍山青华绿孔雀省级自然保护区两栖爬行动物名录**

**Tab. 1 List of amphibians and reptiles in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve of Weishan**

| 目、科、种名 | 海拔范围/m | 分布型 | 生态类型 | 区系从属 | 中国保护级别 | 中国生物多样性红色名录 | IUCN 红色名录 | CITES 附录 | “三有动物” | 资源现状 | 数据来源 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 两栖类 Amphibia | | | | | | | | | | | |
| Ⅰ 有尾目 Caudata | | | | | | | | | | | |
| (一) 蝾螈科 Salamandridae | | | | | | | | | | | |
| 1 红瘰疣螈 *Tylototriton shanjing* | 1200~2400 | H | 5 | SW | 二级 | NT | VU | Ⅱ | | 稀少 | O |
| Ⅱ 无尾目 Anura | | | | | | | | | | | |
| (二)蟾蜍科 Bufonidae | | | | | | | | | | | |
| 2 黑眶蟾蜍 *Duttaphrynus melanostictus* | 1200~1700 | W | 4 | OD | | | | | V | 优势 | O |
| (三)雨蛙科 Hykidae | | | | | | | | | | | |
| 3 华西雨蛙 *Hyla annectans* | 1200~2200 | W | 4 | OD | | | | | | 常见 | V |
| (四)姬蛙科 Microhylidae | | | | | | | | | | | |
| 4 云南小狭口蛙 *Calluella yunnanensis* | 1900~2500 | Y | 5 | SW | | | | | | 稀少 | V |
| (五)叉舌蛙科 Dicroglossidae | | | | | | | | | | | |
| 5 云南棘蛙 *Gynandropaa yunnanensis* | 1300~2000 | H | 5 | OD | | EN | EN | | | 稀少 | O |
| 6 泽陆蛙 *Fejervarya multistriata* | 1200~2000 | W | 5 | OD | | | | | | 稀少 | O |
| (六)蛙科 Ranidae | | | | | | | | | | | |
| 7 景东臭蛙 *Odorrana jingdongensis* | 1200~2200 | W | 5 | SC | | VU | VU | | | 优势 | O |
| 8 无指盘臭蛙 *Odorrana grahami* | 1250~2000 | H | 5 | SW | | NT | NT | | | 常见 | O |
| 9 滇蛙 *Dianrana pleuraden* | 1250~2000 | Y | 5 | SW | | | | | | 优势 | O |
| (七)树蛙科 Rhacophoridae | | | | | | | | | | | |
| 10 斑腿泛树蛙 *Polypedates megacephalus* | 1250~1800 | W | 3 | OD | | | | | V | 稀少 | O |
| 爬行类 Reptilia | | | | | | | | | | | |
| 有鳞目 Squamata | | | | | | | | | | | |
| Ⅰ 蜥蜴亚目 Lacertilia | | | | | | | | | | | |
| (一)蛇蜥科 Anguidae | | | | | | | | | | | |
| 1 细脆蛇蜥 *Dopasia gracili* | 1200~1700 | W | 1 | SW | 二级 | EN | | | | 稀少 | O |

续表 1

| 目、科、种名 | 海拔范围/m | 分布型 | 生态类型 | 区系从属 | 中国保护级别 | 中国生物多样性红色名录 | IUCN 红色名录 | CITES 附录 | “三有动物” | 资源现状 | 数据来源 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (二)壁虎科 Gekkonidae | | | | | | | | | | | |
| 2 云南半叶趾虎 *Hemiphyllodactylus yunnanensis* | 1250~2000 | W | 6 | SW | | | | | V | 优势 | O |
| (三)鬣蜥科 Agamidae | | | | | | | | | | | |
| 3 昆明龙蜥 *Diploderma varcoae* | 1250~2000 | Y | 1 | SW | | | | | V | 常见 | L |
| 4 棕背树蜥 *Calotes emma* | 1250~2000 | W | 1 | SW-C | | | | | V | 优势 | O |
| (四)石龙子科 Scincidae | | | | | | | | | | | |
| 5 多线南蜥 *Eutropis multifasciata* | 1200~2000 | W | 3 | SC | | | | | V | 常见 | O |
| 6 铜蜓蜥 *Sphenomorphus indicus* | 1200~2400 | W | 3 | OD | | | | | V | 常见 | O |
| Ⅱ 蛇亚目 Serpentes | | | | | | | | | | | |
| (五)盲蛇科 Typhlopidae | | | | | | | | | | | |
| 7 钩盲蛇 *Indotyphlops braminus* | 1200 ~1400 | W | 1 | CC-S | | | | | V | 常见 | O |
| (六)游蛇科 Colubridae | | | | | | | | | | | |
| 8 王锦蛇 *Elaphe carinata* | 1250~2200 | S | 1 | POD | | EN | | | V | 稀少 | O |
| 9 紫灰锦蛇 *Oreocryptophis porphyraceus* | 1250~2400 | W | 1 | OD | | | | | V | 稀少 | V |
| 10 黑眉锦蛇 *Elaphe taeniura* | 1250~2500 | W | 3 | POD | | VU | VU | | V | 常见 | O |
| 11 黑线乌梢蛇 *Ptyas nigromarginata* | 1250~2000 | H | 3 | SW | | VU | | | V | 常见 | V |
| 12 翠青蛇 *Cyclophiops major* | 1250~2000 | S | 3 | OD | | | | | V | 常见 | O |
| 13 方花蛇 *Archelaphe bellus* | 1600~2000 | S | 3 | CC-S | | VU | | | V | 稀少 | O |
| 14 繁花林蛇 *Boiga multomaculata* | 1300~2000 | W | 1 | OD | | | | | V | 稀少 | L |
| (七)剑蛇科 Sibynophiidae | | | | | | | | | | | |
| 15 黑头剑蛇 *Sibynophis chinensis* | 1600~2000 | S | 2 | OD | | | | | V | 常见 | O |
| (八)水游蛇科 Natricidae | | | | | | | | | | | |
| 16 八线腹链蛇 *Hebius octolineatus* | 1250~2400 | H | 5 | OD | | | | | V | 稀少 | V |
| (九)斜鳞蛇科 Pseudoxenodontidae | | | | | | | | | | | |
| 17 大眼斜鳞蛇 *Pseudoxenodon macrops* | 1200~2200 | W | 3 | OD | | | | | V | 常见 | V |
| (十)蝰科 Viperidae | | | | | | | | | | | |
| 18 白头蝰 *Azemiops kharini* | 1200~1600 | S | 1 | OD | | VU | | | V | 稀少 | L |
| 19 云南竹叶青蛇 *Viridovipera yunnanensis* | 1200~2000 | W | 2 | CC-S | | | | | V | 常见 | O |
| (十一)眼镜蛇科 Elapidae | | | | | | | | | | | |
| 20 孟加拉眼镜蛇 *Naja kaouthia* | 1600 m 以下 | W | 1 | SW | | EN | | Ⅱ | V | 优势 | O |
| 21 眼镜王蛇 *Ophiophagus hannah* | 1800 m 以下 | W | 1 | SC | 二级 | EN | VU | Ⅱ | | 稀少 | O |

注:分布型,H. 喜马拉雅—横断山型,Y. 云贵高原,S. 南中国型,W. 东洋型;生态类型,1. 森林型,2. 灌丛型,3. 草地型,4. 农田型,5. 水域型,6. 住宅型;区系从属,SW. 西南区,SC. 华南区,OD. 东洋界广布,POD. 古北界和东洋界广布,SW-C. 西南-华南区,CC-S. 华中-华南区;中国保护级别中二级为国家二级重点保护野生动物;中国生物多样性红色名录、IUCN 红色名录中 EN、VU 和 NT 分别为濒危种、易危种和近危种;CITES 附录中Ⅱ为列入《濒危野生动植物种国际贸易公约(CITES,2023)》附录Ⅱ物种;“三有动物”中 V 为列入《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》物种;数据来源中 O 为样线调查,V 为访问调查,L 为文献资料。

### 3.1.1 两栖动物

两栖动物 2 目 7 科 10 种,有尾目仅 1 科 1 种,即蝾螈科。无尾目 6 科 9 种,其中蛙科 3 种,占两栖动物物种的 30.00%;叉舌蛙科 2 种,占比 20.00%;蟾蜍科、雨蛙科、姬蛙科和树蛙科各 1 种,各占比 10.00%。蛙科、叉舌蛙科为该保护区两栖动物的优势科。

### 3.1.2 爬行动物

爬行动物 1 目 11 科 21 种,均属于有鳞目,其中游蛇科 7 种,占爬行动物物种的 33.33%;鬣蜥科、石龙子科、蝰科、眼镜蛇科各 2 种,各占比 9.53%;蛇蜥科、壁虎科、盲蛇科、水游蛇科、剑蛇科和斜鳞蛇科各 1 种,各占比 4.76%。游蛇科为该保护区爬行动物的优势科。

## 3.2 区系特征

### 3.2.1 两栖动物

巍山青华绿孔雀省级自然保护区 10 种两栖动物均属于东洋界物种,区系组成为:西南区(SW)4 种,分别为红瘰疣螈、云南小狭口蛙、无指盘臭蛙和滇蛙,占两栖动物总种数的 40.00%;东洋界广布(OD)5 种,分别为黑眶蟾蜍、华西雨蛙、云南棘蛙、泽陆蛙和斑腿泛树蛙,占比 50.00%;华南区(SC)1 种,即景东臭蛙,占比 10.00%。保护区两栖动物的区系成分以东洋界广布种、西南区种为主,有少量华南区种。

### 3.2.2 爬行动物

保护区 21 种爬行动物,除王锦蛇和黑眉锦蛇 2 种广泛分布于东洋界和古北界外,其余 19 种均为东洋界物种,其中西南区(SW)5 种,分别为细脆蛇蜥、云南半叶趾虎、昆明龙蜥、黑线乌梢蛇和孟加拉眼镜蛇,占爬行动物总种数的 23.81%;东洋界广布(OD)8 种,分别为铜蜓蜥、紫灰锦蛇、翠青蛇、繁花林蛇、黑头剑蛇、八线腹链蛇、大眼斜鳞蛇和白头蝰,占比 38.10%;华南区(SC)2 种,分别为多线南蜥、眼镜王蛇,占比 9.52%;华中—华南区(CC-S)3 种,分别为钩盲蛇、方花蛇和云南竹叶青蛇,占比 14.29%;西南—华南区(SW-C)1 种,即棕背树蜥,占比 4.76%。该保护区爬行动物的区系成分以西南区种、东洋界广布种为主,此外尚有东洋界和古北界广布种、华南区种、华中—华南区种和西南—华南区种,区系成分较多(表 2)。

**表 2 巍山青华绿孔雀省级自然保护区两栖爬行动物区系成分**

**Tab. 2 Fauna distribution of amphibians and reptiles in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve of Weishan**

| 类别 | 西南区(SW) | | 华南区(SC) | | 华中—华南区(CC-S) | | 西南—华南区(SW-C) | | 东洋界广布种(OD) | | 广布种(POD) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% | 种数/种 | 占比/% |
| 两栖动物(10 种) | 4 | 40.00 | 1 | 10.00 | | | | | 5 | 50.00 | | |
| 爬行动物(21 种) | 5 | 23.81 | 2 | 9.52 | 3 | 14.29 | 1 | 4.76 | 8 | 38.10 | 2 | 9.52 |
| 合计 | 9 | 29.03 | 3 | 9.68 | 3 | 9.68 | 1 | 3.23 | 13 | 41.93 | 2 | 6.45 |

## 3.3 珍稀濒危物种

### 3.3.1 国家重点保护物种

在保护区 31 种两栖爬行动物中,被列入《国家重点保护野生动物名录》二级重点保护野生动物 3 种,占总种数的 9.68%,分别为红瘰疣螈、细脆蛇蜥和眼镜王蛇。

### 3.3.2 《中国生物多样性红色名录》受威胁物种

在保护区 31 种两栖爬行动物中,被列入《中国生物多样性红色名录》[19-20]受威胁物种 12 种,占总种数的 38.71%。其中:濒危种(EN)5 种,分别为云南棘蛙、细脆蛇蜥、王锦蛇、孟加拉眼镜蛇和眼镜王蛇;易危种(VU)5 种,分别为景东臭蛙、黑眉锦蛇、黑线乌梢蛇、方花蛇和白头蝰;近危种(NT)2 种,分别为红瘰疣螈、无指盘臭蛙。

### 3.3.3 《IUCN 红色名录》物种

在保护区 31 种两栖爬行动物中,被列入《世界自然保护联盟濒危物种红色名录(IUCN,2022)》[21]物种 6 种,占总种数的 19.35%。其中濒危种(EN)1 种,即云南棘蛙;易危种(VU)4 种,分别为红瘰疣螈、景东臭蛙、黑眉锦蛇和眼镜王蛇;近危种(NT)1 种,即无指盘臭蛙。

### 3.3.4 CITES 附录物种

在保护区 31 种两栖爬行动物中,被列入《濒危野生动植物种国际贸易公约(CITES,2023)》[22]

附录物种 3 种,占总种数的 9.68%,全部为附录Ⅱ物种,分别为红瘰疣螈、孟加拉眼镜蛇和眼镜王蛇(表 3)。

**表 3　巍山青华绿孔雀省级自然保护区珍稀濒危两栖爬行动物名录**

**Tab. 3　Rare and endangered list of amphibians and reptiles in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve of Weishan**

| 种名 | 保护等级 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 中国保护等级 | 中国生物多样性红色名录 | IUCN 红色名录 | CITES 附录 |
| 红瘰疣螈 | 二级 | NT | VU | Ⅱ |
| 云南棘蛙 | | EN | EN | |
| 景东臭蛙 | | VU | VU | |
| 无指盘臭蛙 | | NT | NT | |
| 两栖动物合计/种 | 1 | 4 | 4 | 1 |
| 细脆蛇蜥 | 二级 | EN | | |
| 王锦蛇 | | EN | | |
| 黑眉锦蛇 | | VU | VU | |
| 黑线乌梢蛇 | | VU | | |
| 方花蛇 | | VU | | |
| 白头蝰 | | VU | | |
| 孟加拉眼镜蛇 | | EN | | Ⅱ |
| 眼镜王蛇 | 二级 | EN | VU | Ⅱ |
| 爬行动物合计/种 | 2 | 8 | 2 | 2 |

### 3.3.5 “三有动物”

保护区 31 种两栖爬行动物中,被列入《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录(“三有动物”)》[23]物种 21 种,占总种数的 67.74%。包括黑眶蟾蜍、斑腿泛树蛙、云南半叶趾虎、昆明龙蜥、铜蜓蜥、钩盲蛇、紫灰锦蛇、八线腹链蛇、大眼斜鳞蛇、云南竹叶青蛇和孟加拉眼镜蛇等。

### 3.4 *G-F* 指数

经采用 *G-F* 指数测定两栖爬行动物科属间的物种多样性,保护区两栖动物 *F* 指数为 1.329 7,*G* 指数为 2.164 0,*G-F* 指数为-0.627 4。因单种科占总科数的比例较高(71.43%),导致 *F* 指数较低,*G-F* 指数出现负值。爬行动物 *F* 指数为 4.520 5,*G* 指数为 2.978 5,*G-F* 指数为 0.341 1。两栖动物和爬行动物 *F*、*G* 指数均较低,其在科、属水平上多样性均较低(表 4)。

**表 4　巍山青华绿孔雀省级自然保护区两栖爬行动物 *G-F* 指数**

**Tab. 4　*G-F* index of amphibians and reptiles in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve of Weishan**

| 类别 | $D_F$ | $D_G$ | $D_{G-F}$ |
|---|---|---|---|
| 两栖动物 | 1.3297 | 2.1640 | -0.6274 |
| 爬行动物 | 4.5205 | 2.9785 | 0.3411 |

*G-F* 指数与动物类群科内属种分布有关,若某科内的物种数越多,则其在属间的分布越均匀,从而具有较高的 *G-F* 指数;而单种科较多,则 *G-F* 指数较低[24]。保护区两栖动物 *F*、*G* 指数均低于爬行动物,表明两栖动物科间和属间多样性均低于爬行动物。爬行动物 *G-F* 指数高于两栖动物,表明该保护区爬行动物多样性高于两栖动物。

### 3.5 分布型和特有性

从分布型看,保护区两栖动物主要为东洋型和喜马拉雅—横断山型分布,爬行动物主要为东洋型和南中国型分布(表 5)。

**表 5　巍山青华绿孔雀省级自然保护区两栖爬行动物分布型**

**Tab. 5　Distribution type of amphibians and reptiles in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve of Weishan**

| 物种类型 | 物种数/种 | 喜马拉雅—横断山型 | | 南中国型 | | 东洋型 | | 云贵高原型 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 物种数/种 | 占比/% | 物种数/种 | 占比/% | 物种数/种 | 占比/% | 物种数/种 | 占比/% |
| 两栖动物 | 10 | 3 | 30.00 | | | 5 | 50.00 | 2 | 20.00 |
| 爬行动物 | 21 | 2 | 9.52 | 5 | 23.81 | 13 | 61.91 | 1 | 4.76 |
| 合计 | 31 | 5 | 16.13 | 5 | 16.13 | 18 | 58.06 | 3 | 9.68 |

保护区物种特有性不高,仅分布有红瘰疣螈、云南半叶趾虎和云南竹叶青蛇 3 种云南特有物种。

### 3.6 生态类型

保护区两栖爬行动物分布在海拔 1 240~2 010 m

区域。两栖动物的生态类型主要为水域型,有少量农田型和草地型。爬行动物的生态类型主要为森林型、草地型,有少量灌丛型、水域型和住宅型(图 1)。

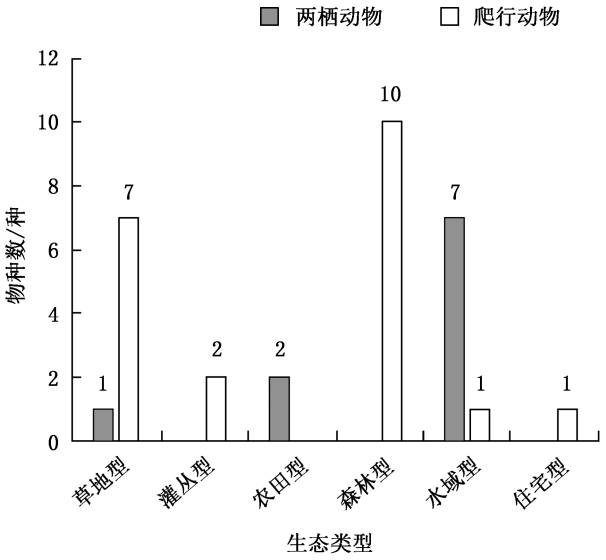



**图 1 巍山青华绿孔雀省级自然保护区两栖爬行动物生态类型**

**Fig. 1 Ecological type of amphibians and reptiles in Qinghua Green Peafowl Provincial Nature Reserve of Weishan**

### 3.7 种群现状

根据调查中遇见的情况,将保护区两栖爬行动物的种群状况分为优势、常见和稀少 3 个等级。其中,优势种 6 种,占两栖爬行动物总种数的 19.35%,如黑眶蟾蜍、滇蛙、景东臭蛙、云南半叶趾虎、棕背树蜥、孟加拉眼镜蛇;常见种 12 种,占比 38.71%,如华西雨蛙、无指盘臭蛙、昆明龙蜥、多线南蜥、大眼斜鳞蛇、云南竹叶青蛇;稀少种 13 种,占比 41.94%,如红瘰疣螈、云南小狭口蛙、云南棘蛙、斑腿泛树蛙、细脆蛇蜥、王锦蛇、紫灰锦蛇、繁花林蛇、八线腹链蛇、眼镜王蛇等。这些物种应该给予重点关注和保护,尤其是红瘰疣螈、云南棘蛙、细脆蛇蜥、王锦蛇、眼镜王蛇等物种,在保护区内分布稀少或分布范围较小。

## 4 讨 论

王凯等将云南省爬行动物地理划分为 6 个动物地理区,云南省爬行动物物种丰富, 但物种多样性在纬度空间的分布并不均匀,随着纬度升高,物种多样性逐渐减少,多样性集中分布于南部低纬度、水热条件充沛的滇西山地、滇南山地和滇东南山地 3 个地理区[12]。保护区位于滇西山地区,紧邻黑潞江,整体海拔较低,属于亚热带区域的干热河谷区域。从物种水平看,保护区两栖爬行动物的组成主要属于亚热带种类,如两栖动物的黑眶蟾蜍、斑腿泛树蛙等,爬行动物中的孟加拉眼镜蛇、眼镜王蛇、钩盲蛇、细脆蛇蜥、繁花林蛇等,均是典型的亚热带、热带分布物种。也有适应能力比较强、分布较广泛的种类,如铜蜓蜥、大眼斜鳞蛇、黑线乌梢蛇、王锦蛇、黑眉锦蛇等。

保护区每种两栖爬行动物都占据特定的生态位,对栖息环境具有较高要求。如钩盲蛇仅在靠近黑潞江边的较低海拔区域发现,滇蛙、斑腿泛树蛙只在农田区域的水塘、水池发现,干热河谷不稳定的水源对于滇蛙和斑腿泛树蛙而言极有可能是生态陷阱,遇到干旱年份可能会威胁到其种群存活。有些溪流为缓流水体,能有限地容纳部分物种如无指盘臭蛙、云南棘蛙等。在生态类型上,两栖动物在水域型分布最广泛。保护区位于黑潞江边,山坡陡峭,不易积水。可尝试在不同区域建设仿自然浅水塘,遇干旱等极端气候时采用人工补水措施,为两栖动物生存提供条件。

人类活动被认为是目前引起较高物种灭绝率和种群数量下降的主要原因,大量的人类活动不仅导致生物多样性降低,而且还破坏生态系统的调节功能。调查中发现,对保护区两栖爬行动物的影响因素主要有:

1)在保护区周边溪流两岸耕作和放牧,导致水土流失。因保护区位于溪流下游,如遇强降雨会发生较大泥石流,对河道冲刷严重,造成两栖爬行动物生境破坏和丧失。

2)保护区内及周边居民有采集红螺疣螈、细脆蛇蜥入药的现象,也会捕食云南棘蛙、无指盘臭蛙等蛙类。因对有毒蛇类存在恐惧心理,遇到蛇类居民会将其打死。

3)社区居民生产生活污水、农药使用等造成水体污染。

4)飞机草、紫茎泽兰等外来入侵植物会破坏两栖爬行动物适宜栖息生境。

保护区内的溪流是大多数蛙类生存和繁衍的重要场所,也是爬行动物和其它陆生动物的饮水和觅食环境,因此,要加强对溪流及其周围植被的保护,减少对两栖爬行动物及其栖息地的破坏。其次,要加强两栖爬行动物在维护自然生态平衡中重要意义的宣传,加强对有毒蛇类的识别、被毒蛇咬伤后紧急

处理和救护知识的宣传,提高居民保护两栖爬行动物的意识。此外,还要加强生态环境保护和恢复,引导居民合理使用农药,对外来入侵植物进行清除并加强防控,维护保护区生物多样性和生态系统安全。

## 参考文献:


[1] 石胜超,石秀东,姚忠祎,等. 西藏八宿、左贡和芒康两栖爬行动物多样性调查报告[J]. 动物学杂志,2022,57(2):236-246.

[2] 李成,谢锋,车静,等. 中国关键地区两栖爬行动物多样性监测与研究[J]. 生物多样性,2017,25(3):246-254.

[3] 侯东敏,辉洪,张栋儒,等. 云岭山脉云南地区两栖爬行类动物多样性[J]. 生物多样性,2023,31(2):1-9.

[4] 江建平,谢锋,臧春鑫,等. 中国两栖动物受威胁现状评估[J]. 生物多样性,2016,24(5):588-597.

[5] 李斌强,李鹏映,杨家伟,等. 运用红外相机调查云南巍山青华绿孔雀自然保护区的鸟兽多样性[J]. 生物多样性,2018,26(12):1343-1347.

[6] 胡昌平,王有兵,杨建军,等. 巍山青华绿孔雀省级自然保护区植物多样性调查研究[J]. 林业建设,2023,41(5):1-8.

[7] 赵尔宓,杨大同. 横断山区两栖爬行动物[M]. 北京:科学出版社,1997.

[8] 费梁,孟宪林. 常见蛙蛇类识别手册[M]. 北京:中国林业出版社,2005.

[9] 赵尔宓. 中国蛇类[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2006.

[10] 杨大同,饶定齐. 云南两栖爬行动物[M]. 昆明:云南科技出版社,2008.

[11] 袁智勇,陈进民,吴云鹤,等. 云南省两栖类物种名录修订[J]. 生物多样性,2022,30(4):154-170.

[12] 王剀,吕植桐,王健,等. 云南省爬行动物名录和地理区划更新[J]. 生物多样性,2022,30(4):123-153.

[13] 张荣祖. 中国动物地理[M]. 北京:科学出版社,2011.

[14] 国家林业和草原局,农业农村部. 国家重点保护野生动物名录[J]. 野生动物学报,2021,42(2):605-640.

[15] 云南网. 云南巍山新发现蝰科动物白头蝰[EB/OL]. (2021-08-24)[2023-07-10]. https://yn.yunnan.cn/system/2021/08/24/031629460.shtml.

[16] 大理日报新闻网. 巍山首次发现昆明龙蜥[EB/OL]. (2022-07-19)[2023-07-10]. https://www.dalidaily.com/content/2022-07/19/content_32531.html.

[17] 大理日报新闻网. 巍山首次发现繁花林蛇[EB/OL]. (2022-11-14)[2023-07-10]. https://www.dalidaily.com/content/2022-11/14/content_38708.html.

[18] 蒋志刚,纪力强. 鸟兽物种多样性测度的 *G-F* 指数方法[J]. 生物多样性,1999,7(3):220-225.

[19] 王跃招,蔡波,李家堂. 中国生物多样性红色名录(第三卷 爬行动物)[M]. 北京:科学出版社,2021.

[20] 姜建平,谢峰,李成,等. 中国生物多样性红色名录(第四卷 两栖动物)[M]. 北京:科学出版社,2021.

[21] IUCN 2022. The IUCN Red List of Threatened Species (Version 2022-1)[EB/OL]. [2023-07-10]. https://www.iucnredlist.org.

[22] 中华人民共和国濒危物种进出口管理办公室,中华人民共和国濒危物种科学委员会. 濒危野生动植物种国际贸易公约附录Ⅰ、附录Ⅱ和附录Ⅲ[EB/OL]. (2023-11-01)[2023-07-10]. http://www.cites.org.cn/citesgy/fl/202302/W020240419330829472842.pdf.

[23] 中国政府网. 国家林业和草原局公告(2023 年第 17 号)[EB/OL]. (2023-02-04)[2023-07-10]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-02/06/content_5740327.htm.

[24] 李蕴慧,黄镇,陈友铃. 基于 *G-F* 指数的福建省陆生哺乳动物多样性分布格局[J]. 福建师范大学学报(自然科学版),2020,36(5):23-29.


责任编辑:许易琦
校　　对:董磊,刘平书

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 021

# 海拔对鞍子河自然保护区拐棍竹异龄叶性状的影响

焦晋川[1],李 梦[2],陈亚文[1],王显智[3]
(1. 四川省林业和草原调查规划院,四川 成都 610081; 2. 威远县自然资源和规划局,四川 内江 642450;
3. 汶川县林业和草原局,四川 汶川 623000)

**摘要**:植物叶片能够较好地指示植物对环境的适应。以四川省鞍子河自然保护区拐棍竹(*Fargesia robusta*)为对象,在 3 个海拔处(1 700 m、1 900 m 和 2 050 m)分别收集 3 个年龄拐棍竹竹叶(1 a、2 a 和 3 a),测量其性状(叶长、叶宽、叶面积、叶生物量、形状指数和比叶面积)以探究异龄叶形态对海拔的适应。结果显示,较低海拔(1 700 m)1 a 叶的叶长、叶宽、叶面积、叶生物量和形状指数表现较优,比叶面积则相反;海拔对叶性状的影响较年龄大;除比叶面积外,其他 5 种性状均随海拔增加而降低;年龄对叶性状的影响则没有明显的趋势。总体上表现为叶经济谱由低海拔到高海拔转变为快速投资收益,叶面积则调整为更小以适应高海拔的低温。

**关键词**:叶性状;海拔;年龄;拐棍竹;鞍子河自然保护区

**中图分类号**:S759. 9;S795;S718. 42 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0136-09

**引文格式**:焦晋川,李梦,陈亚文,等. 海拔对鞍子河自然保护区拐棍竹异龄叶性状的影响[J]. 林业调查规划, 2025,50(1):136-144. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 021

JIAO Jinchuan, LI Meng, CHEN Yawen, et al. Effect of Altitude on Uneven-age Leaf Traits of *Fargesia robusta* in Anzihe Nature Reserve[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 136-144. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 021

# Effect of Altitude on Uneven-age Leaf Traits of *Fargesia robusta* in Anzihe Nature Reserve

JIAO Jinchuan[1], LI Meng[2], CHEN Yawen[1], WANG Xianzhi[3]
(1. Sichuan Institute of Forestry and Grassland Inventory and Planning, Chengdu 610081, China;
2. Weiyuan Bureau of Natural Resources and Planning, Neijiang, Sichuan 642450, China;
3. Wenchuan Bureau of Forestry and Grassland, Wenchuan, Sichuan 623000, China)

**Abstract**: Plant leaves can effectively indicate the adaptation of plants to their environment. The different-age (1 a, 2 a and 3 a) *Fargesia robusta* leaves from three altitudes (1 700 m, 1 900 m and 2 050 m) in Anzihe Nature Reserve of Sichuan Province were collected to determine the traits (leaf length, leaf width, leaf area, leaf biomass, shape index, and specific leaf area) and explore the adaptation of uneven-age leaf to altitude. The results showed that the leaf length, width, area, biomass, and shape index of 1 a leaves at lower altitudes (1 700 m) performed better, while the specific leaf area was the opposite. Leaf traits were significantly affected by the altitude rather than age, and except for specific leaf area, the other five traits decrease with increasing altitude; age had no significant effect on leaf traits. Overall, the leaf economics spectrum shifted to rapid investment return from low altitude to high altitude, and the leaf area decreased to adapt the lower temperature at high altitude.

**收稿日期**:2023-09-11;**修回日期**:2024-03-14

**第一作者**:焦晋川(1984-),男,硕士,高级工程师. 主要从事园林、林业调查规划方面的研究和应用工作. Email:616237173@qq. com
**责任作者**:陈亚文(1986-),男,硕士,高级工程师. 主要从事林业调查规划工作. Email:416871983@qq. com

**Key words**: leaf traits; altitude; age; *Fargesia robusta*; Anzihe Natural Reserve

叶片是植物光合的主要器官,对环境变化极度敏感。叶性状(leaf traits)变化已被广泛探索在海拔[1]、纬度[2]和演替[3]梯度上的适应策略。植物通常调整叶功能性状在变化的环境中来获取资源[4]以更好地生长和繁殖。这种基于性状的方法已在样地[5]到全球[6]尺度上被广泛用于探索器官[7]、植株[8-9]和生态系统[10]对资源获取[9]、响应环境变化[1,11]和人为干扰[12]。这些优秀成果表明叶性状通常在物种、生活型[9]、生长发育阶段或个体大小[13]、功能群[14]和生境间[15-16]存在极大差异。这说明已有研究尚不足以理解植物叶性状对环境变化(比如海拔梯度)的适应与响应。

拐棍竹(*Fargesia robusta*)主要分布于四川西部海拔 1 700~2 800 m 的地段,为该海拔段阔叶林下及针叶林下的常见下层植物,笋可食用、竿供编织,是大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)的主食竹之一[17]。拐棍竹的研究开展较早,主要涉及生物量分配与种群格局、各器官及其营养特征、自然干扰和人为干扰对种群的影响、移栽等方面。如生物量特性[18]与模型[19]、笋子生长发育[20]、种群的空间分布格局[21]、地下部分(根系特点[22]、地下茎侧芽[23]和地下茎[24])、干扰(大熊猫采食[25-27]和人为砍伐[26-27]、地震[28-29])对拐棍竹种群的影响、单宁及营养成分含量对大熊猫取食选择性的影响[30]、营养成分与微生物群落结构[31]、饲用品质[32]和大熊猫取食选择[30]等方面。但这些研究没有涉及叶性状。因此,本文以位于四川省鞍子河自然保护区海拔 1 700 m、1 900 m 和 2 050 m 处的拐棍竹为对象,从叶性状的视角来分析拐棍竹在海拔上的差异及其经济谱,以期为该保护区和类似区域的拐棍竹经营管理提供基础数据和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

本研究地点在四川省鞍子河自然保护区(下文简称鞍子河)内。保护区位于四川省崇州市境内,地处邛崃山系东南支脉龙门山中段的东缘,盆地西缘峡谷地带,崇州市的西北边境,是连接邛崃山系野生大熊猫种群的关键走廊带,主要保护对象为大熊猫、川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)等珍稀野生动物和森林生态系统。地理坐标为 103°07′~103°17′E,30°45′~30°51′N。境内最高海拔 3 868 m,最低海拔 1 638 m,一般山体相对高差多在 800~1 200 m 之间,但山体上部有不少平缓台地,为大熊猫经常活动地带。保护区气候为中亚热带湿润季风气候区,山地气候类型,雨量充沛,雨期长,云雾多,日照少,湿度大,风速小。年均温 12.3℃。1 月最低温-8℃,均温 5℃;7 月最高温 32.7℃,均温 25~28℃。年平均相对湿度为 86%,年平均日照 641.6 h,无霜期 200~230 d。

### 1.2 样地设置与样品采集

在鞍子河,拐棍竹主要分布于海拔 1 600~2 500 m 的次生阔叶林中[30],为下层植物的优势种。考虑到安全、可达等原因,本次调查分别于低(1 700 m)、中(1 900 m)、高(2 050 m)海拔地段选取坡度、坡向、土壤类型和乔木郁闭度无显著差异的阔叶林林下设置样方各 3 个(20 m×20 m),每个样方中再在对角线设置 2 m×2 m 的小样方。分别在小样方内,随机选取中等大小、生长正常的 1 a、2 a 和多年生(3 a 及多年生,均记为 3 a)植株各 3~5 株,确认各竹株上叶的年龄后,用枝剪将选取的竹株剪下,并采集竹竿顶端向下第 3~5 层形态、生理发育良好的叶片各 30 片,1 a、2 a 和 3 a 叶分别来自于 1 a 植株的当年生叶、2 a 植株上的第 1 a 生的叶和 3 a 植株上的第 2 a 生的叶,装入标号的样品袋,带回实验室待测。

### 1.3 样品测定

在取回的叶片变形枯萎前用德利数显卡尺(±0.01 mm,型号 DL91300)测量叶长和叶宽,采用 CI-203 叶面积仪(CID,USA)测定单叶面积。将测量完叶片性状的样品放入烘箱(泰斯特 WHL45B,中国天津),105℃杀青 20 min 后于 70℃烘至恒量,采用 BMS 电子天平(0.000 1 g,卓静实验设备有限公司,中国上海)测定单叶干质量。基于上述测定计算比叶面积(SLA,$cm^2/g$)[33]。

### 1.4 数据处理

在进行分析之前,先对数据正态性和方差同质性进行检验,如果不符合正态分布则将各参数进行以 10 为底的对数转换,使之符合正态分布。绘制箱图来展现不同海拔下异龄叶叶形态其数据整体和分散情况;采用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验海拔、年龄对叶片性状的影响,用 LSD 法(Fisher's least significant difference)对各性状在年龄和海拔间的差异进行比较;用一般线性模型(general linear

model,GLM)分析海拔年龄的交互作用对叶片性状的影响;采用皮尔逊相关性分析各性状的相关性。以变异系数 CV(coefficient of variation,CV=标准差/平均值×100%)作为性状的可塑性指数[34];叶的形状指数(leaf shape,LS)以叶片的长度和宽度比值(LS=length/width)表示[35]。所有分析在 IBM SPSS 20.0 软件平台上进行,绘图在 OriginPro 2022 软件平台上进行。所有数据均为平均值±标准差,性状分布范围以 95% 的置信区间(confidence interval,CI)表示,分析的显著性设定为 $P<0.05$。

## 2 结果与分析

### 2.1 拐棍竹叶性状

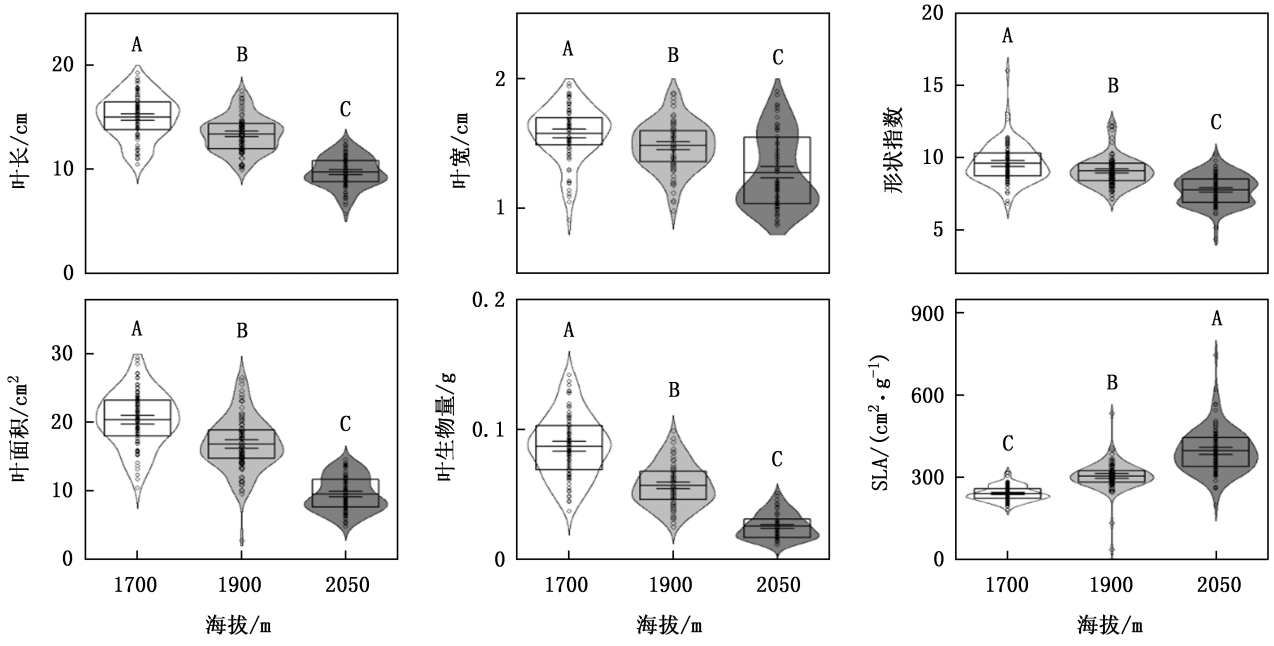
鞍子河自然保护区拐棍竹叶性状总体表现为:叶长(12.73±2.85)cm(介于 12.39~13.07 cm 范围,即均值的 95%置信区间;可塑性指数为 22.36%,下同)、叶宽(1.45±0.26)cm(1.41~1.48 cm,18.05%)、叶面积(15.61±5.80)cm(14.92~16.31 cm,37.15%)、叶生物量(0.057±0.031)g(0.053~0.060 g,54.35%)、形状指数(8.83±1.38)(8.67~9.00,15.67%)、SLA(314.1±86.9)cm/g(303.7~324.5 cm/g,27.66%)。所测定的 6 种性状中,可塑性以叶生物量为最大、形状指数最小,表明叶生物量变化幅度较大、叶的形状相对一致。

GLM 分析表明(表 1),海拔、海拔×年龄对叶性状具有极显著的影响(所有 $P<0.01$);年龄仅对叶宽和形状指数有极显著影响($P<0.01$),对叶长($P=0.010$)和叶面积($P=0.023$)有显著影响,对叶生物量($P=0.084$)和比叶面积($P=0.401$)的影响轻微。海拔 LSD 多重比较表明,各性状在海拔间均有极显著差异(图 1):SLA 随海拔极显著增加、其余几个性状均随海拔极显著下降(所有 $P<0.01$)。

**表 1 海拔和年龄对拐棍竹叶性状的影响**

**Tab. 1 Effects of altitude and age on leaf traits of *Fargesia robusta***

| 变异来源 | 叶长 | 叶宽 | 叶面积 | 叶生物量 | 形状指数 | 比叶面积 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 海拔 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| 年龄 | 0.010 | <0.001 | 0.023 | 0.084 | <0.001 | 0.401 |
| 海拔×年龄 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.005 |

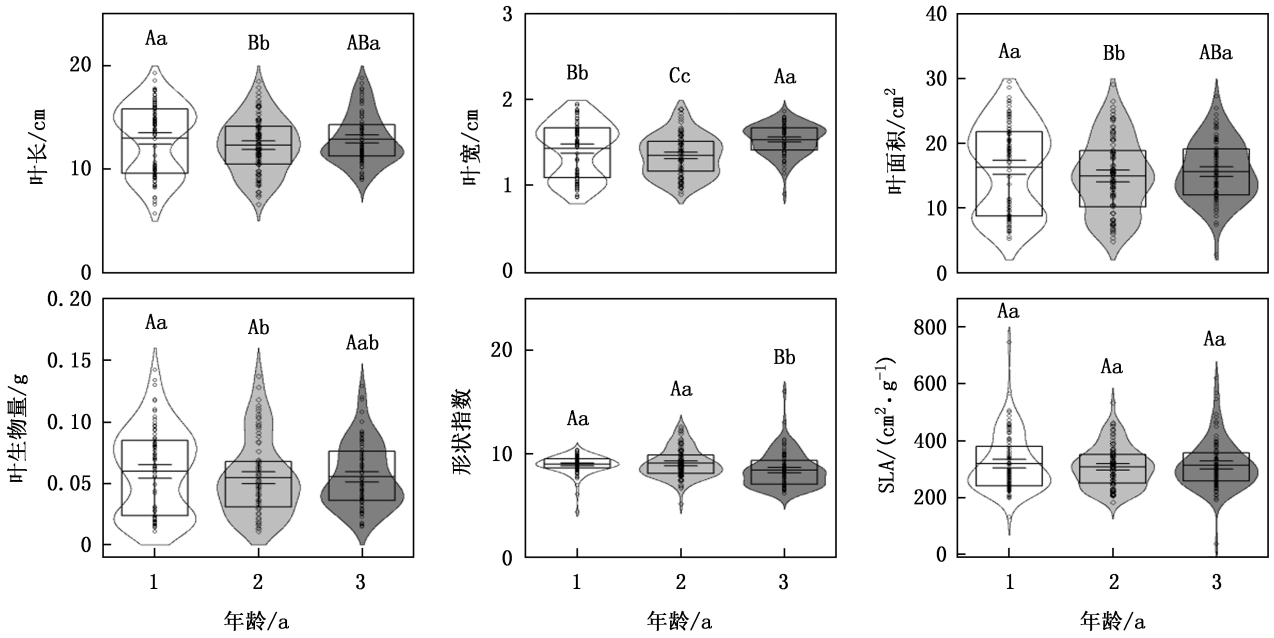



注:大写字母不同表示存在极显著差异,即 $P<0.01$(下同)。

**图 1 海拔对拐棍竹叶性状的影响**

**Fig. 1 Effects of altitude on leaf traits of *Fargesia robusta***

年龄间叶性状的多重比较表明(图 2),仅 SLA 无显著的年龄间差异;1 a 叶的长度稍大于 3 a 叶($P=0.788$)、极显著大于 2 a 叶($P<0.01$),3 a 叶的长度显著大于 2 a 叶($P=0.012$);3 a 叶的宽度极显




注:小写字母不同表示存在极显著差异,即 $P<0.05$。

**图 2　年龄对拐棍竹叶性状的影响**

**Fig. 2　Effects of age on leaf traits of *Fargesia robusta***

著大于 1 a 叶和 2 a 叶($P<0.01$)、1 a 叶的宽度显著大于 2 a 叶($P=0.031$);1 a 叶的叶面积稍大于 3 a 叶($P=0.165$)、3 a 叶的叶面积稍大于 2 a 叶($P=0.173$);1 a 叶的生物量显著大于 2 a 叶($P=0.040$)、稍大于 3 a 叶($P=0.076$),3 a 叶稍大于 2 a 叶($P=0.782$);2 a 叶的形状指数极显著大于 1 a 叶和 3 a 叶(所有 $P<0.01$),1 a 叶稍大于 3 a 叶($P=0.468$)。

**2.2 叶性状的年龄差异**

测定的 6 个拐棍竹性状见图 3。低海拔拐棍竹 1 a 叶叶长((15.52±1.75) cm, 14.87~16.17 cm, 11.3%)和 3 a 叶((15.41±2.01) cm, 14.66~16.16 cm,13.1%)无显著差异($P=0.834$),两者均显著大于 2 a 叶((14.17±2.31) cm,13.30~15.03 cm,16.3%)($P=0.012$,0.21)。中海拔拐棍竹 1 a 叶叶长((14.53±1.94) cm,13.81~15.26 cm,13.3%)极显著大于 2 a 叶((13.21±1.29) cm,12.73~13.69 cm,9.7%)和 3 a 叶((12.48±1.15) cm,12.05~12.91 cm,9.2%),后两者之间没有显著差异($P=0.061$)。高海拔拐棍竹 3 a 叶的叶长((10.84±1.07) cm,10.44~11.24 cm,9.9%)极显著($P<0.01$)大于 1 a 叶((8.87±1.18) cm,8.43~9.31 cm,13.3%)和 2 a 叶((9.51±1.47) cm,8.96~10.06 cm,15.5%,$P=0.050$),后两者之间没有显著差异。总体上,以 3 a 叶长度的可塑性较大。

低海拔拐棍竹 1 a 叶叶宽((1.67±0.15) cm, 1.62~1.73 cm,8.9%)稍大于 3 a 叶((1.56±0.20) cm,1.49~1.64 cm,12.6%)($P=0.031$),极显著大于 2 a 叶((1.50±0.24) cm,1.41~1.58 cm,16.0%)($P<0.01$),3 a 叶和 2 a 叶的宽度无显著差异($P=0.195$)。中海拔拐棍竹 2 a 叶叶宽((1.38±0.14) cm, 1.33~1.44 cm,10.3%)显著小于 3 a 叶((1.49±0.14) cm, 1.44~1.54 cm,9.6%,$P=0.020$),极显极小于 1 a 叶((1.58±0.22) cm, 1.49~1.66 cm, 14.1%, $P<0.01$),后两者之间没有显著差异($P=0.055$)。高海拔拐棍竹叶宽分别为 1 a 叶(1.06±0.13) cm(1.01~1.11 cm,11.8%),2 a 叶(1.19±0.21) cm(1.11~1.27 cm,17.9%),3 a 叶(1.58±0.17) cm(1.51~1.64 cm, 10.8%),三者之间均有极显著差异(所有 $P<0.01$)。以 2 a 叶宽的可塑性为大。

低海拔拐棍竹叶面积分别为 1 a 叶 21.49±3.82 $cm^2$(20.06~22.91 $cm^2$,17.8%)、2 a 叶 19.77±4.86 $cm^2$(17.96~21.59 $cm^2$,24.6%)和 3 a 叶 20.05±3.36 cm(18.80~21.31 $cm^2$,16.7%),三者之间无显著差异。中海拔拐棍竹 1 a 叶面积(19.27±4.62 $cm^2$,17.54~20.99 $cm^2$,24.0%)极显著大于 2 a 叶((16.25±2.37) $cm^2$,15.36~17.13 $cm^2$,14.6%)和 3 a 叶((15.16±3.54) $cm^2$,13.84~16.48 $cm^2$,23.3%)($P<0.01$),后两者之间没有显著差异。高海拔拐棍竹 3 a 叶面积((11.62±1.96) $cm^2$, 10.89~12.35 $cm^2$, 16.9%)

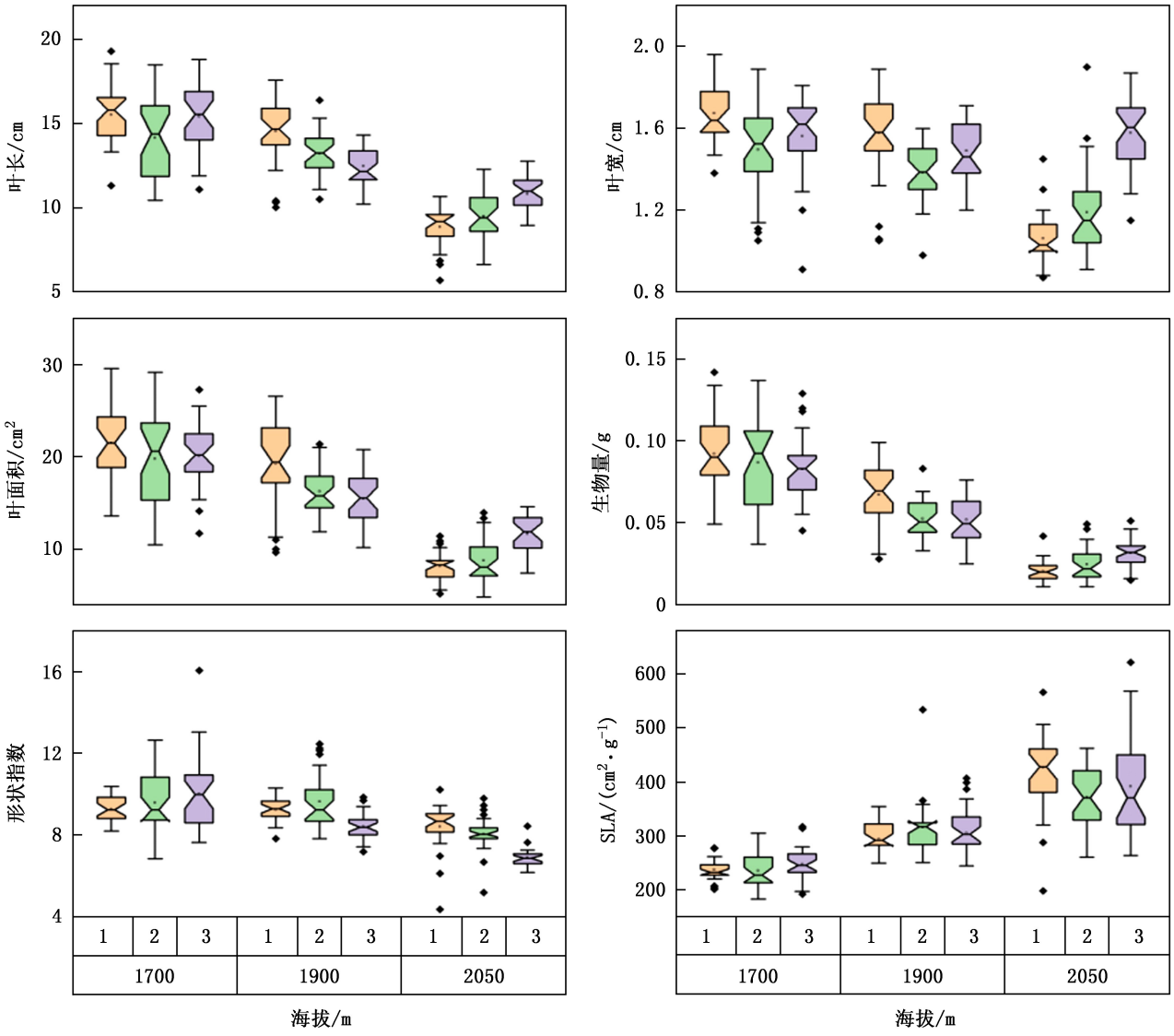



**图 3 拐棍竹的叶性状箱图**

**Fig. 3 Box plot of leaf traits of *Fargesia robusta***

极显著($P<0.01$)大于 1 a 叶((8.16±1.53) $cm^2$,7.59~8.73 $cm^2$,18.7%)和 2 a 叶((8.76±2.46) $cm^2$,7.84~9.68 $cm^2$,28.1%),后两者之间没有显著差异($P=0.248$)。叶面积可塑性在年龄和海拔间的变化较大。

低海拔拐棍竹叶生物量为 1 a 叶(0.092±0.023) g(0.084~0.1 g,24.6%)、2 a 叶(0.087±0.028) g(0.076~0.097 g,32.5%)和 3 a 叶(0.083±0.020) g(0.075~0.090 g,24.4%),三者之间无显著差异。中海拔拐棍竹 1 a 叶生物量((0.067±0.018) g,0.06~0.074 g,27.4%)极显著大于 2 a 叶((0.053±0.011) g,0.048~0.057 g,21.8%)和 3 a 叶((0.052±0.013) g,0.047~0.057 g,25.9%)($P<0.01$),后两者之间没有显著差异($P=0.827$)。高海拔拐棍竹 3 a 叶生物量((0.031±0.009) g,0.028~0.035 g,30.0%)极显著($P<0.01$)大于 1 a 叶((0.02±0.007) g,0.018~0.023 g,33.4%)和 2 a 叶((0.025±0.010) g,0.021~0.028 g,39.7%),后两者之间没有显著差异。总体上 2 a 叶的长度可塑性较大。

低海拔拐棍竹 3 a 叶形状指数((10.00±1.71),9.36~10.64,17.1%)稍大于 2 a 叶((9.58±1.40),9.06~10.10,14.6%)($P=0.222$)、显著大于 1 a 叶((9.27±0.6),9.04~9.49,6.4%)($P=0.035$),后两者无显著差异($P=0.366$)。中海拔拐棍竹 2 a 叶形状指数((9.64±1.33),9.14~10.13,13.8%)稍大于 1 a 叶((9.25±0.54),9.04~9.45,5.9%),均极显著大于 3 a 叶((8.40±0.66),8.16~8.65,7.9%)。高海拔拐棍竹 1 a 叶形状指数((8.42±1.1),8.01~8.83,13.1%)和 2 a 叶((8.05±0.84),7.74~8.37,

10.4%)相当,均极显著大于 3 a 叶((6.88±0.42),6.73~7.04,6.1%)($P$<0.01)。1 a 叶形态指数的可塑性较大。

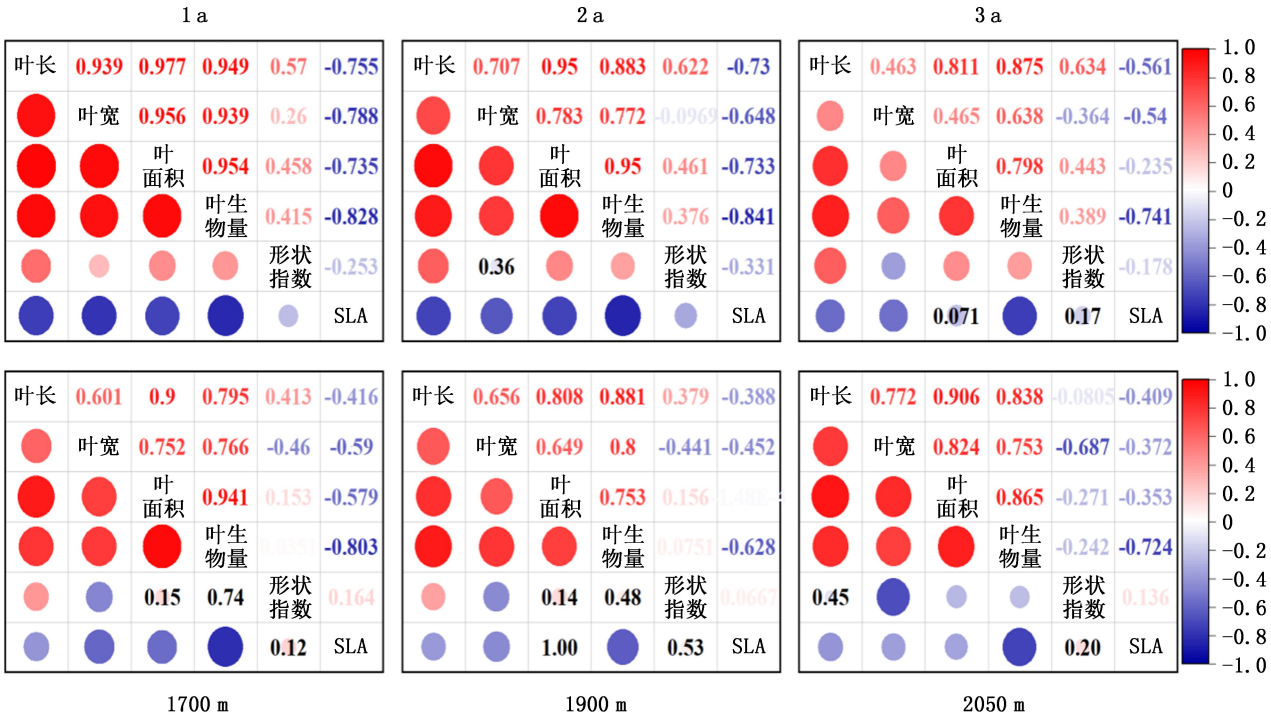
低海拔拐棍竹 SLA 分别为 1 a 叶(237.73±20.45) $cm^2/g$(230.09~245.36 $cm^2/g$,8.6%)、2 a 叶(235.80±28.97) $cm^2/g$(224.98~246.61 $cm^2/g$,12.3%)和 3 a 叶(247.69±29.79) $cm^2/g$(236.57~258.82 $cm^2/g$,12.0%),三者之间无显著差异。中海拔拐棍竹 SLA 分别为 1 a 叶(294.22±41.29) $cm^2/g$(278.8~309.64 $cm^2/g$,14.0%)、2 a 叶 SLA(316.38±49.82) $cm^2/g$(297.78~334.99 $cm^2/g$,15.7%)和 3 a 叶 SLA(304.91±64.80) $cm^2/g$(280.71~329.10 $cm^2/g$,21.3%),三者间无显著差异。高海拔拐棍竹 1 a 叶 SLA((426.8±93.62) $cm^2/g$,391.85~461.76 $cm^2/g$,21.9%)极显著大于 2 a 叶((371.86±55.65) $cm^2/g$,351.08~392.64 $cm^2/g$,15.0%)、3 a 叶((391.43±86.06) $cm^2/g$,359.29~423.56 $cm^2/g$,22.0%),后两者之间没有显著差异。以 3 a 叶 SLA 的可塑性较大。

### 2.3 不同海拔叶性状变化

在 1 a 叶中,低海拔 1 a 叶形状指数与中海拔无显著差异($P$=0.917),1 a 叶长($P$=0.023)、叶宽($P$=0.029)显著大于中海拔;其余性状在海拔间均有极显著差异(所有 $P$<0.01)。在 2 a 叶中,低海拔 2 a 叶形状指数与中海拔无显著差异($P$=0.842),1 a 叶长($P$=0.037)、叶宽($P$=0.036)、面积($P$=0.018)显著大于中海拔;其余性状在海拔间均有极显著差异(所有 $P$<0.01)。在 3 a 叶中,高海拔 3 a 叶宽稍大于低海拔($P$=0.708)、显著大于中海拔($P$=0.048),低中海拔间无显著差异($P$=0.107);其余性状在海拔间均有极显著差异(所有 $P$<0.01)。

### 2.4 性状间的相关性

总体上,仅形态指数与叶宽间无显著相关性($P$=0.058),其余性状相互之间有极显著相关性(所有 $P$<0.01)。低海拔形状指数与叶面积($P$=0.152)、叶生物量($P$=0.743)和 SLA($P$=0.122)无显著相关,中海拔形状指数与叶面积($P$=0.143)、叶生物量($P$=0.483)和 SLA($P$=0.532)无显著相关,高海拔形状指数与 SLA($P$=0.200)无显著相关;在测定的三个海拔和 3 个年龄上,SLA 与其他性状为极显著负相关,其他各性状之间均有极显著正相关(所有 $P$<0.01,图 4)。同一海拔不同年龄的拐棍竹叶性状的相关则相对复杂(图 5),但总体表现为形态指数与其他性状相关性小、SLA 与其他性状成负相关。




注:第一、二行分别为同一年龄、同一海拔叶性状在海拔间和年龄间的相关性;上三角为相关系数;下三角为显著性(红、蓝色为正、负相关,不显著则再标注 $P$ 值)(下同)。

图 4　拐棍竹叶性状在海拔与年龄间的相关性

**Fig. 4　Leaf traits correlations of *Fargesia robusta* between age and altitude**

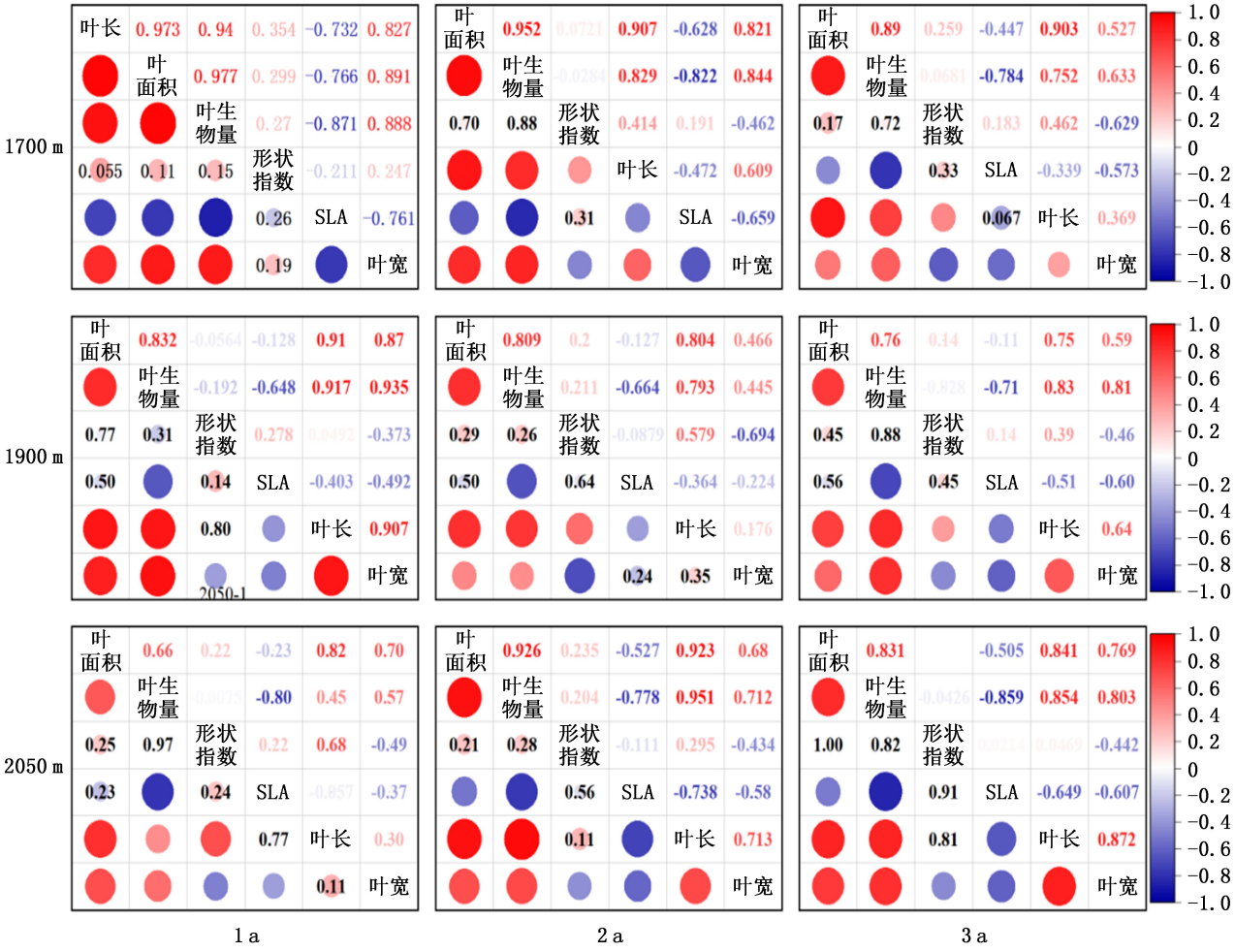



**图 5　不同海拔与年龄拐棍竹叶性状的相关性**

**Fig. 5　Leaf traits correlations of *Fargesia robusta* across studied ages and altitudes**

## 3 讨　论

海拔是群落生境变化比较剧烈的梯度，主要表现为温度的规律降低、降雨的不规律变化以及植被的差异（即便同一植被也有明显的海拔异质性），生长于其间的植物必然也产生相应的适应与响应，海拔梯度因此而被用作探索植物叶性状对环境变化适应的天然实验平台[3,11,34]。但不同区域的研究结果并不一致，比如 YANG 等[36]的研究表明叶面积、生物量在白龙江的海拔梯度上存在拐点，而武夷山[1]和华西雨屏区[37]则均与海拔成线性关系。这可能也白龙江为典型的干旱河谷，气候有显著的海拔变化有关。

本研究区域位于华西雨屏区的中心地段，测定的 6 个叶性状均与海拔有极显著的线性关系，这与大多数研究一致[1,37-38]，而不同于白龙江的研究[36]。其原因可能有：（1）本研究的海拔梯度相对较窄（1 700～2 050 m）、植被类型总体上一致，而 YANG 等[36]研究涉及的海拔梯度较大（1 050～3 700 m）、植被从干旱河谷到亚高山针叶林；（2）本研究所在区域属于湿润区，与的 YANG 等[37]研究的华西雨屏区和 ZHU 等[1]研究的武夷山相当，即研究区域气候没有太大差异，而 YANG 等[36]研究的白龙江在较大幅度海拔梯度上则有明显的气候变化。与蒋琴等[38]对峨眉山慈竹（*Neosinocalamus affinis*）、八月竹（*Chimonobambusa szechuanensis*）和短锥玉山竹（*Yushania brevipaniculata*）的研究不一致的是，本研究中 SLA 与海拔呈正相关。本研究中，拐棍竹的 6 种性状具有明显的年龄间（年际）差异，这与曾瑞琪等[34]对树线交错带岷江冷杉（*Abies fargesii* var. *faxoniana*）幼苗、王玉荧等[39]对成过熟岷江冷杉与紫果云杉（*Picea purpurea*）异龄叶的研究结果一致，而竹叶的异龄叶性状则几无报道。因此，将来的研究中，对常绿植物的叶性状研究应不局限于当年生[39]。

本研究中，鞍子河拐棍竹叶的长宽小于全国平均水平（长 14.35 cm、宽 2.19 cm）[40]和峨眉山的慈

竹和八月竹[38],各性状小于大多数武夷山的竹类(仅大于毛竹 *Phyllostachys edulis*)[41],形状指数介于武夷山竹类的中间水平[41],大于南京林业大学的 12 种校园竹类[42]和峨眉山的短锥玉山竹[38]。这表明竹叶的性状通常与植物种类和生境有密切关系,如兰州市植物园的红豆杉(*Taxus wallichiana* var. *chinensis*)幼树异龄叶性状[35]大多小于伏牛山[43],且年际差异也很大。

本研究中,中低海拔 1 a 叶的叶长、叶宽、叶面积和叶生物量优于 2 a 和 3 a,高海拔则相反;SLA 以高海拔 1 a 叶为最优;形状指数以高海拔 3 a 叶最小。高海拔的叶面积变小有利于抵抗低温。叶面积在年龄和海拔上的变化总体上与张志录等[43]在伏牛山对红豆杉异龄叶的研究、WANG 等[44]在四川米亚罗树线交错带对凝毛杜鹃(*Rhododendron agglutinatum*)的研究总体趋势上一致,即叶面积与海拔成负相关;不一样的是后两者的叶面积在海拔上有起伏且叶面积与年龄成负相关,原因可能与海拔梯度(海拔梯度为 50 m)、研究区的年际气候差异有关。各海拔间 SLA 的年际差异总体并不明显,表明各年龄的叶都具有一定的光合能力,这与兰州市植物园的红豆杉幼树异龄叶[35]不一致,后者具有明显的功能差异;海拔间 SLA 差异表明拐棍竹在鞍子河的经济谱由低海拔的慢速投资收益转变为高海拔的快速投资收益[6]。SLA 总体上与海拔极显著正相关,但同一海拔仅高海拔 1 a 极显著大于 2 a 叶和 3 a 叶。高海拔地段的 SLA 与兰州市植物园的红豆杉一致[35]。SLA 的年际差异与 WANG 等[44]在四川米亚罗树线交错带对凝毛杜鹃、张志录等[43]在伏牛山对红豆杉异龄叶的的研究总体趋势上一致;不同的是后两后者的结果总体表现为 1 a 最小且与海拔成负相关、2 a 大于 3 a 且两者在海拔为波动。本研究中,SLA 与其他性状为一定的负相关,这与兰州市植物园的红豆杉一致[35];除形状指数外,大多数性状间都有显著或极显著的正相关。

尽管本研究对鞍子河拐棍竹的性状在海拔上、年龄间的变化进行了探索,但尚不足以完全揭示其适应响应与权衡;后续研究中将重点关注化学性状(如营养与防御、可食性与适口性等)、以及这些性状间的是异速还是等速。

## 参考文献:


[1] ZHU G,NIKLAS K J,LI M,et al. "Diminishing Returns" in the scaling between leaf area and twig size in three forest communities along an elevation gradient of Wuyi Mountain, China[J]. Forests,2019,10(12):1138.

[2] LI Y,LIU C,SACK L,et al. Leaf trait network architecture shifts with species-richness and climate across forests at continental scale[J]. Ecology Letters,2022,25(6):1442-1457.

[3] CHEN G,YANG K,ZHANG J,et al. Effects of succession stages and altitudinal gradient on leaf surface area and biomass allocation of typical plants in the subalpine of Eastern Tibetan Plateau[J]. Global Ecology and Conservation, 2021,27:e01590.

[4] FRESCHET G T,VIOLLE C,BOURGET M Y,et al. Allocation, morphology, physiology, architecture: The multiple facets of plant above- and below-ground responses to resource stress[J]. New Phytologist,2018,219(4):1338-1352.

[5] YANG K,CHEN G,XIAN J,et al. Scaling relationship between leaf mass and leaf area:a case study using six alpine *Rhododendron* species in the Eastern Tibetan Plateau[J]. Global Ecology and Conservation,2021,30:e01754.

[6] WRIGHT I J,REICH P B,WESTOBY M,et al. The worldwide leaf economics spectrum[J]. Nature, 2004, 428(6985):821-827.

[7] REICH P B. The world-wide 'fast-slow' plant economics spectrum:a traits manifesto[J]. Journal of Ecology,2014, 102(2):275-301.

[8] VIOLLE C,NAVAS M-L,VILE D,et al. Let the concept of trait be functional[J]. Oikos,2007,116(5):882-892.

[9] LI J,CHEN X,NIKLAS K J,et al. A whole-plant economics spectrum including bark functional traits for 59 subtropical woody plant species[J]. Journal of Ecology, 2022, 110(1):248-261.

[10] HE N, LIU C, PIAO S, et al. Ecosystem traits linking functional traits to macroecology[J]. Trends in Ecology & Evolution,2019,34(3):200-210.

[11] XIAN J, CHEN G, LIU Y, et al. Positive adaptation of *Salix eriostachya* to warming in the treeline ecotone, East Tibetan Plateau[J]. Journal of Mountain Science,2017, 14(2):346-355.

[12] WANG H,WANG R,HARRISON S P,et al. Leaf morphological traits as adaptations to multiple climate gradients [J]. Journal of Ecology,2022,110(6):1344-1355.

[13] BIN Y,LI Y,RUSSO S E,et al. Leaf trait expression varies with tree size and ecological strategy in a subtropical forest[J]. Functional Ecology,2022,36(4):1010-1022.

[14] OSNAS J L D,KATABUCHI M,KITAJIMA K,et al. Divergent drivers of leaf trait variation within species,among species,and among functional groups[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2018,115(21):5480-

5485.
[15] HE N, LI Y, LIU C, et al. Plant trait networks: improved resolution of the dimensionality of adaptation[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2020, 35(10): 908-918.
[16] POORTER L, CRAVEN D, JAKOVAC C C, et al. Multidimensional tropical forest recovery[J]. Science, 2021, 374(6573): 1370-1376.
[17] SHI J Y, CHE B Y, ZHANG Y X, et al. *Fargesia* Franchet [M]//SHI J Y, ZHANG Y X, ZHOU D Q, et al (eds). Illustrated Flora of Bambusoideae in China: Volume 2. Singapore: Springer Nature, 2022: 93-208.
[18] 秦自生, 艾伦·泰勒, 蔡绪慎, 等. 拐棍竹生物学特性的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1993, 12(1): 6-17.
[19] 秦自生, 张焱, 马恒银. 拐棍竹生物生产量的预测模型[J]. 四川师范学院学报, 1990, 11(2): 98-102.
[20] 秦自生, 张炎, 马恒银, 等. 拐棍竹笋子生长发育规律研究[J]. 四川师范学院学报, 1991, 12(3): 211-215.
[21] 刘巅, 周世强, 黄金燕, 等. 卧龙自然保护区拐棍竹(*Fargesia robusta*)无性系种群的空间分布格局[J]. 四川林业科技, 2012, 33(1): 14-18.
[22] 黄金燕, 周世强, 李仁贵, 等. 卧龙自然保护区大熊猫栖息地拐棍竹根系特点研究[J]. 四川林业科技, 2011, 32(4): 52-54.
[23] 黄金燕, 周世强, 李仁贵, 等. 大熊猫主食竹拐棍竹地下茎侧芽的数量特征研究[J]. 竹子研究汇刊, 2013, 32(1): 1-4.
[24] 黄金燕, 廖景平, 蔡绪慎, 等. 卧龙自然保护区拐棍竹地下茎结构特点研究[J]. 竹子研究汇刊, 2008, 27(4): 13-19.
[25] 金琪, 王强, 付强, 等. 鞍子河自然保护区大熊猫取食对拐棍竹无性系种群更新的影响[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(2): 102-107.
[26] 周世强, 黄金燕, 张亚辉, 等. 野化培训大熊猫采食和人为砍伐对拐棍竹无性系种群结构的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1709-1717.
[27] 何永果, 周世强, 黄金燕, 等. 拐棍竹无性系植株在不同干扰下的生存能力[J]. 四川林业科技, 2014, 35(1): 21-24.
[28] 赵璐玲, 李波, 冉江洪, 等. 拐棍竹对汶川地震滑坡干扰的响应[J]. 应用与环境生物学报, 2014, 20(3): 462-467.
[29] 廖丽欢, 徐雨, 冉江洪, 等. 汶川地震对大熊猫主食竹——拐棍竹竹笋生长发育的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(10): 3001-3009.
[30] 张智勇, 王强, 付强, 等. 邛崃山系 3 种主食竹单宁及营养成分含量对大熊猫取食选择性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(6): 42-46.
[31] 晋蕾, 何永果, 杨晓军, 等. 卧龙国家级自然保护区大熊猫主食竹的营养成分与微生物群落结构[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27(5): 1210-1217.
[32] 张全建, 赖长鸿, 龚旭, 等. 缺苞箭竹(*Fargesia denudata*)和拐棍竹(*F. robusta*)的饲用品质差异[J]. 生态学杂志, 2020, 39(5): 1527-1537.
[33] GUO J, ZHAO C, ZHANG L, et al. Water table decline alters arthropod community structure by shifting plant communities and leaf nutrients in a Tibetan peatland[J]. Science of The Total Environment, 2022, 814: 151944.
[34] 曾瑞琪, 赵家国, 刘银占, 等. 川西林线交错带岷江冷杉幼苗异龄叶形态对长期模拟增温的响应[J]. 生态学报, 2018, 38(11): 4008-4017.
[35] 陈国鹏, 杨克彤. 红豆杉幼树异龄叶的功能性状[J]. 应用生态学报, 2022, 33(2): 329-336.
[36] YANG K, CHEN G, XIAN J, et al. Varying relationship between vascular plant leaf area and leaf biomass along an elevational gradient on the eastern Qinghai-Tibet Plateau [J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 824461.
[37] YANG D, LI G, SUN S. The effects of leaf size, leaf habit, and leaf form on leaf/stem relationships in plant twigs of temperate woody species[J]. Journal of Vegetation Science, 2009, 20(2): 359-366.
[38] 蒋琴, 龙文聪, 刘安萱, 等. 峨眉山不同海拔高度 3 种竹叶片结构特征变化研究[J]. 竹子学报, 2018, 37(1): 64-72.
[39] 王玉荧, 鲜骏仁, 曾瑞琪, 等. 川西北亚高山紫果云杉和岷江冷杉异龄叶性状及养分再吸收[J]. 四川农业大学学报, 2019, 37(5): 636-643.
[40] 顾菡娇, 张参参, 汪金松, 等. 中国竹类植物基本形态学功能性状的比较[J]. 生物多样性, 2019, 27(6): 585-594.
[41] 孙俊. 武夷山典型竹种功能性状研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2018.
[42] HUANG W, SU X, RATKOWSKY D A, et al. The scaling relationships of leaf biomass vs. leaf surface area of 12 bamboo species [J]. Global Ecology and Conservation 2019, 20: e00793.
[43] 张志录, 刘中华, 陈明辉. 伏牛山区红豆杉不同叶龄叶片性状对海拔梯度的响应[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2019, 47(2): 265-271, 278.
[44] WANG M, LIU G, JIN T, et al. Age-related changes of leaf traits and stoichiometry in an alpine shrub (*Rhododendron agglutinatum*) along altitudinal gradient [J]. Journal of Mountain Science, 2017, 14(1): 106-118.

责任编辑: 刘平书

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.022

# 不同乡土树种造林模式对土壤理化性质的影响

于楠楠[1],陈海垚[2],尚天歌[1],刘瑞龙[3],薛利忠[1],焦欣磊[1],廉培勇[1],刘秀莲[1]
(1.乌兰察布市农林科学研究所,内蒙古 集宁 012000; 2.中央民族大学,北京 100081;
3.乌兰察布市林业和草原局,内蒙古 集宁 012000)

**摘要**:为探究不同乡土树种造林模式对土壤理化性质的影响,以乌兰察布地区不同乡土树种造林模式为研究对象,对不同造林模式下林地土壤理化性质进行综合分析,利用主成分分析的方法对各造林模式下土壤理化性质进行综合评价。结果显示,不同造林模式均不同程度改善了土壤物理性质,其中山杏柠条锦鸡儿块状造林模式土壤的持水性指标及总孔隙度指标最高;不同造林模式均改善了土壤的 pH、全效养分含量,全磷含量在表层土壤均显著高于对照,沙棘柠条锦鸡儿行间造林模式土壤全氮含量、有机质含量显著高于山杏纯林模式;相较于对照 CK 不同造林模式均显著提高了土壤速效磷、速效钾含量;所有造林模式综合评价得分均高于对照 CK,其中山杏柠条锦鸡儿块状造林模式综合得分最高,建议在林业生态建设及修复中可应用该模式开展人工造林。

**关键词**:乡土树种;造林模式;土壤理化性质;综合评价

**中图分类号**:S714.2;S725.7 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0145-08

**引文格式**:于楠楠,陈海垚,尚天歌,等. 不同乡土树种造林模式对土壤理化性质的影响[J]. 林业调查规划,2025,50(1):145-152. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.022

YU Nannan, CHEN Haiyao, SHANG Tiange, et al. Effects of Different Native Tree Species Afforestation Patterns on Soil Physical and Chemical Properties[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 145-152. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.022

# Effects of Different Native Tree Species Afforestation Patterns on Soil Physical and Chemical Properties

YU Nannan[1], CHEN Haiyao[2], SHANG Tiange[1], LIU Ruilong[3], XUE Lizhong[1], JIAO Xinlei[1], LIAN Peiyong[1], LIU Xiulian[1]
(1. Ulanqab Institute of Agriculture and Forestry Sciences, Jining, Inner Mongolia 012000, China; 2. Minzu University of China, Beijing 100081, China; 3. Forestry and Grassland Bureau of Ulanqab City, Jining, Inner Mongolia 012000, China)

**Abstract**: To explore the impact of different native tree species afforestation patterns on soil physical and chemical properties, taking the afforestation models of different native tree species in Ulanqab region as the research object, the soil physical and chemical properties of different afforestation models were comprehensively analyzed and evaluated by principal component analysis. The results showed that different afforestation modes improved soil physical properties to varying degrees, among which the soil water holding capacity index and total porosity index were the highest in the block afforestation mode of *Armeniaca*

**收稿日期**:2023-11-02
**基金项目**:内蒙古乌兰察布市科技计划项目(2021JC204).
**第一作者**:于楠楠(1986-),女,硕士,高级工程师. 主要从事森林经理及森林培育. Email:yunn16@foxmail.com

*sibirica* and *Caragana korshinskii*; different afforestation modes improved the pH and total nutrient content of the soil, and the total phosphorus content in the surface soil was significantly higher than the control, and the soil total nitrogen and organic matter content in inter row afforestation mode of *Hippophae rhamnoides* and *Caragana korshinskii* were significantly higher than the pure *Armeniaca sibirica* forest mode; compared with the control CK, different afforestation modes significantly increased the content of soil available phosphorus and available potassium; the comprehensive evaluation scores of all afforestation modes were higher than the control CK, among which the block afforestation mode of *Armeniaca sibirica* and *Caragana korshinskii* had the highest comprehensive score, therefore this mode could be applied to carry out artificial afforestation in forestry ecological construction and restoration.

**Key words**: native tree species; afforestation mode; soil physical and chemical properties; comprehensive evaluation

人工造林是防治区域生态环境恶化及生态修复的重要手段。人工造林时造林模式的差异主要体现在树种配置、造林密度、苗木规格等方面,在不同的造林模式下,植被群落特征、土壤养分等会体现出不同程度的差异[1-2]。

乡土树种是指本地原有天然分布的树种,经长期自然和人工选择,具有对本地区自然气候及土壤等条件最适应、抗逆性强的特点[3]。乡土树种因其生长快、适应性强等特点在保护地区生态环境、保持区域生态稳定方面发挥着重要作用。在内蒙古中西部干旱、半干旱地区,抗旱乡土树种在林业生态建设和保护修复工作中受到广泛的应用[4]。

土壤是林木生长的养分库,对林木的存活和繁育发挥着重要的作用。林分通过生理调节以及自然环境调节形成了大量凋落物、根系残体,在土壤微生物和酶作用下分解成可供植物体吸收利用的营养物质贮存于森林土壤中,因此林地土壤与地上植被构成一个完整且复杂的功能体系[5]。不同森林类型形成的植物残体及其对土壤养分的不同需求,影响林下土壤养分分布状况[6]。研究表明,使用单一树种造林,会引起地力衰退、土壤结构破坏、病虫害严重等问题,严重阻碍了林分的可持续经营,而混交林能较好地利用林地空间结构和维持地力,改善林分土壤的理化性质[7]。本研究中拟通过对 10 种不同乡土树种造林模式林分土壤理化性质差异及分布特征开展研究,为内蒙古中西部干旱半干旱区生态保护和修复中造林模式的选择及造林后抚育管理工作提供科学依据和实践基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

2021 年,为探究在察汗淖尔流域退化林分修复中适宜的造林模式,开展了不同抗旱乡土树种混交造林模式研究。根据项目研究需要,以当地乡土树种山杏(*Armeniaca sibirica*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)为主要树种营建了不同造林模式的试验样地共 10 块,总面积 1.33 $hm^2$(表 1)。试验区位于乌兰察布市集宁区,地理坐标为 113°13′E,40°98′N,气候属温带大陆性季风气候,年均降水量 373 mm,年均温 3.7℃,无霜期 110 d。

植苗造林,山杏每穴 1 株,沙棘和柠条锦鸡儿每穴 2 株,块状混交采用长方形块状(每块 0.02 $hm^2$)。山杏与其他树种混交栽植时,株行距 1 m×2 m,沙棘与柠条锦鸡儿混交栽植时株行距为 1 m×1 m。

### 1.2 试验方法

2023 年 3 月进行取样,在各样地内以对角线法均匀地选取 3 个取样点,使用土钻分别采集 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 土层的样品,去除样品中石砾、枝叶等杂质后装入自封袋带回实验室用于化学检测。使用环刀采集深 0~20 cm 的原状土测定土壤物理性质。

### 1.3 土壤性质测定

本研究所测定的土壤指标包括 pH、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷和速效钾含量,采用酸度计法测定土壤 pH,采用凯氏定氮法测定土壤全氮含量,采用碱解扩散法测定土壤碱解氮含量,采用重铬酸钾-外加热法测定有机质含量,采用钼锑抗比色法测定全磷及速效磷含量,采用原子吸收火焰光度法测定全钾和速效钾含量。土壤容重、最大持水量、田间持水量、毛管持水量、毛管孔隙、非毛管孔隙、总孔隙均依据林业行业标准《土壤农化分析》(LY/T 1210—1999)进行测定[8]。

表 1　不同造林模式样地情况

Tab. 1　Sample plots of different afforestation modes

| 序号 | 样地编号 | 树种 | 造林模式 | 造林苗木规格 | 面积/$hm^2$ | 土壤质地 | 海拔/m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | XSN | 山杏×沙棘 | 行内混交 | 2 年生容器苗 | 0. 13 | 沙壤土 | 1342 |
| 2 | XSJ | 山杏×沙棘 | 行间混交 | 2 年生容器苗 | 0. 13 | 沙壤土 | 1342 |
| 3 | XNJ | 山杏×柠条锦鸡儿 | 行间混交 | 2 年生容器苗 | 0. 13 | 沙壤土 | 1342 |
| 4 | XNN | 山杏×柠条锦鸡儿 | 行内混交 | 2 年生容器苗 | 0. 13 | 沙壤土 | 1341 |
| 5 | XNK | 山杏×柠条锦鸡儿 | 块状混交 | 2 年生容器苗 | 0. 13 | 沙壤土 | 1341 |
| 6 | SNK | 沙棘×柠条锦鸡儿 | 块状混交 | 2 年生容器苗 | 0. 13 | 沙壤土 | 1341 |
| 7 | SNN | 沙棘×柠条锦鸡儿 | 行内混交 | 2 年生容器苗 | 0. 13 | 沙壤土 | 1341 |
| 8 | SNJ | 沙棘×柠条锦鸡儿 | 行间混交 | 2 年生容器苗 | 0. 13 | 沙壤土 | 1342 |
| 9 | XSK | 山杏×沙棘 | 块状混交 | 2 年生容器苗 | 0. 13 | 沙壤土 | 1342 |
| 10 | XC | 山杏纯林 | — | 2 年生容器苗 | 0. 13 | 沙壤土 | 1342 |
| 11 | CK | 未造林前的空地 | — | — | 1. 30 | 沙壤土 | 1342 |

### 1. 4 数据统计与分析

数据采用 Excel 2007 和 SPSS 19. 0 软件处理。对主要各指标进行单因素方差分析,对于未通过方差齐性检验的指标项利用 Welch 修正值检验其差异显著性,对有显著差异的参数利用 LSD 法及 Dunnett T3 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2. 1 不同造林模式对土壤物理性质的影响

不同造林模式土壤物理性质指标方差及多重比较分析结果见表 2 和表 3。

表 2　不同造林模式土壤物理性质指标方差分析

Tab. 2　Variance analysis of soil physical property indexes in different afforestation modes

| 物理指标 | 差异源 | $F$ | 显著性($P$ 值) |
|---|---|---|---|
| 最大持水量 | 组间差异 | 2. 856 | 0. 019 |
| 总孔隙度 | 组间 | 3. 395 | 0. 008 |
| 容重 | Welch 修正值 | 1. 801 | 0. 088 |
| 最小持水量 | Welch 修正值 | 4. 998 | 0. 000 |
| 毛管持水量 | Welch 修正值 | 4. 913 | 0. 000 |
| 非毛管孔隙度 | Welch 修正值 | 0. 465 | 0. 542 |
| 毛管孔隙度 | Welch 修正值 | 3. 332 | 0. 002 |

表 3　不同造林模式土壤物理性质指标多重比较分析

Tab. 3　Multiple comparison and analysis of soil physical property indexes in different afforestation models

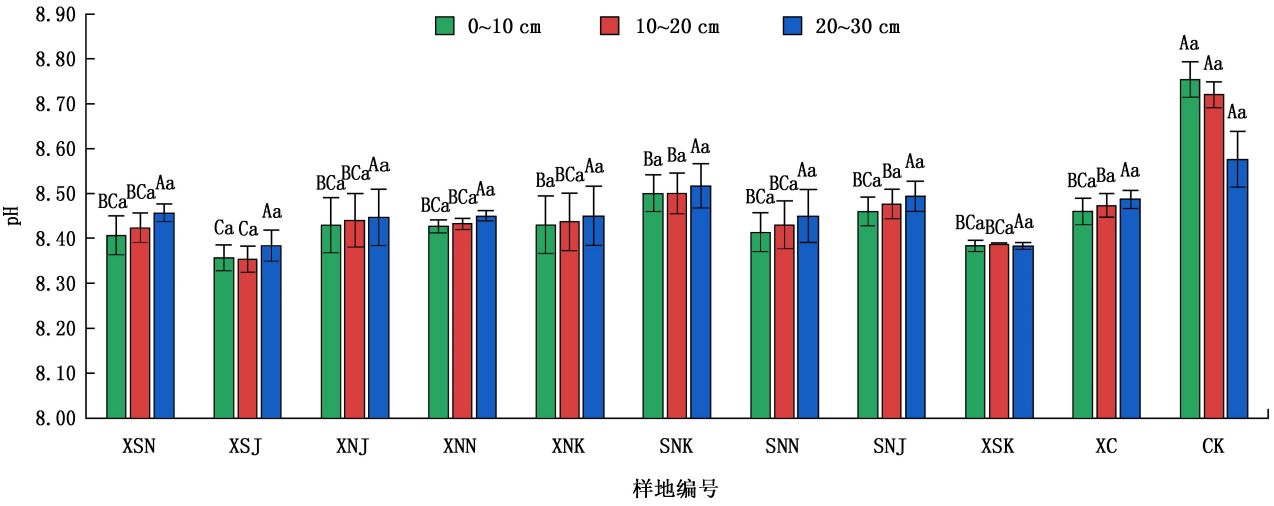
| 样地编号 | 最大持水量 | 最小持水量 | 毛管持水量 | 毛管孔隙度 | 总孔隙度 |
|---|---|---|---|---|---|
| XSN | 24. 53 ± 1. 66cd | 19. 11 ± 1. 27b | 19. 61 ± 1. 45ab | 29. 10 ± 1. 61ab | 36. 39 ± 1. 59cd |
| XSJ | 21. 98 ± 1. 43d | 16. 05 ± 0. 54b | 16. 45 ± 0. 62b | 26. 41 ± 1. 54b | 35. 25 ± 1. 27d |
| XNJ | 25. 68 ± 0. 89cd | 20. 93 ± 0. 56b | 22. 07 ± 0. 32b | 33. 21 ± 1. 23ab | 38. 60 ± 0. 55cd |
| XNN | 31. 71 ± 2. 06ab | 26. 19 ± 0. 83a | 27. 25 ± 0. 58a | 37. 96 ± 2. 40a | 44. 07 ± 0. 94ab |
| XNK | 33. 22 ± 4. 79a | 25. 33 ± 3. 35ab | 25. 91 ± 3. 22ab | 35. 90 ± 6. 70ab | 45. 53 ± 4. 11a |
| SNK | 27. 11 ± 4. 06bcd | 22. 31 ± 2. 10ab | 23. 27 ± 1. 95ab | 35. 02 ± 1. 22a | 40. 72 ± 4. 04bc |
| SNN | 26. 10 ± 2. 67bcd | 20. 75 ± 2. 82a | 21. 74 ± 3. 61ab | 32. 29 ± 5. 68ab | 38. 73 ± 3. 91cd |
| SNJ | 28. 44 ± 3. 61abc | 23. 47 ± 3. 31ab | 23. 94 ± 3. 56ab | 33. 93 ± 3. 35ab | 40. 32 ± 2. 67bc |
| XSK | 26. 23 ± 5. 80bcd | 19. 25 ± 2. 86a | 20. 02 ± 2. 95ab | 29. 73 ± 0. 55ab | 38. 70 ± 3. 76c |
| XC | 26. 90 ± 3. 04bcd | 21. 65 ± 2. 88ab | 22. 39 ± 2. 70ab | 33. 74 ± 2. 45ab | 40. 54 ± 2. 71bc |
| CK | 25. 35 ± 1. 84cd | 21. 49 ± 0. 83b | 21. 99 ± 0. 74b | 34. 76 ± 1. 40a | 40. 04 ± 1. 97bc |

注:不同小写字母表示不同样地间差异显著($P$<0. 05)。

由表 2 及表 3 可知,除容重和非毛管孔隙外,其他各项土壤物理性质指标在不同造林模式下均表现出显著差异($P<0.05$)。最大持水量方面,样地 XNK 土壤最大持水量表现最好,显著高于除样地 XNN、SNJ 外的其他造林模式样地,而样地 XNK 及 XNN 的土壤最大持水量均显著高于未造林对照样地 CK。样地 XNN 造林模式下土壤最小持水量、毛管持水量、毛管孔隙度均是各造林模式中的最大值,在最小持水量方面,样地 XNN、SNN、XSK 与样地 XSN、XSJ、XNJ、CK 相比差异显著。样地 XNN 土壤毛管持水量显著高于样地 XSN、XSJ、XNJ、CK。样地 XNN、SNK、CK 土壤毛管孔隙度显著高于样地 XSN、XSJ。总孔隙度方面,样地 XNK 总孔隙度最高,显著高于除样地 XNN 外的其他样地。

## 2.2 不同造林模式对土壤化学性质指标的影响

对不同造林模式土壤化学性质指标进行方差分析,结果如图 1~图 7 所示。




注:不同大写字母代表同一土层不同样地间差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示同一样地不同土层间差异显著($P<0.05$)(下同)。

**图 1 不同造林模式土壤 pH**

**Fig. 1 Soil pH value in different afforestation modes**

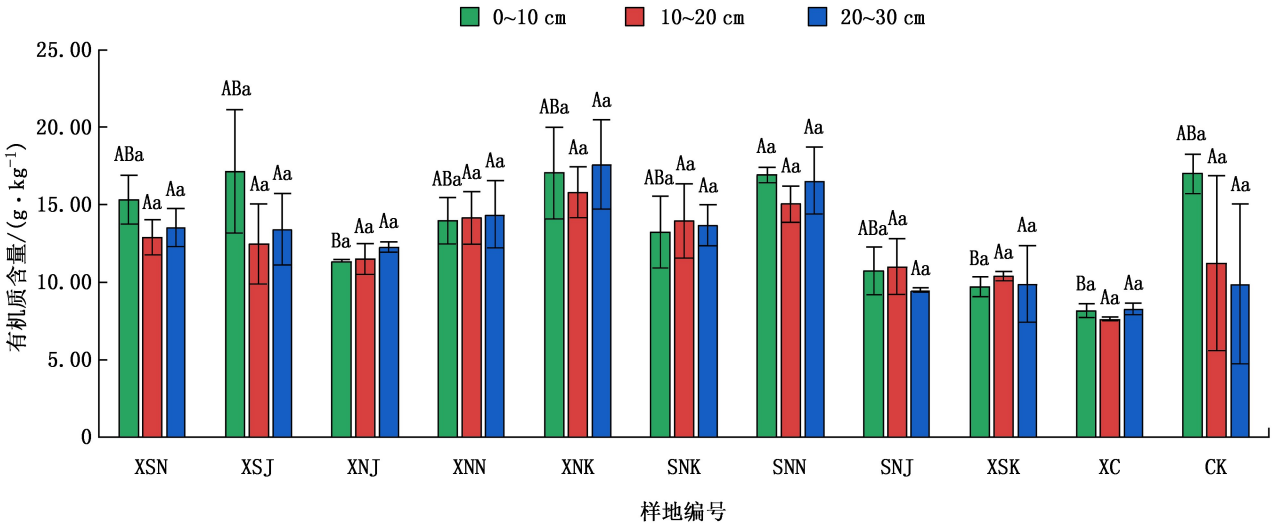



**图 2 不同造林模式土壤有机质含量**

**Fig. 2 Soil organic matter in different afforestation modes**

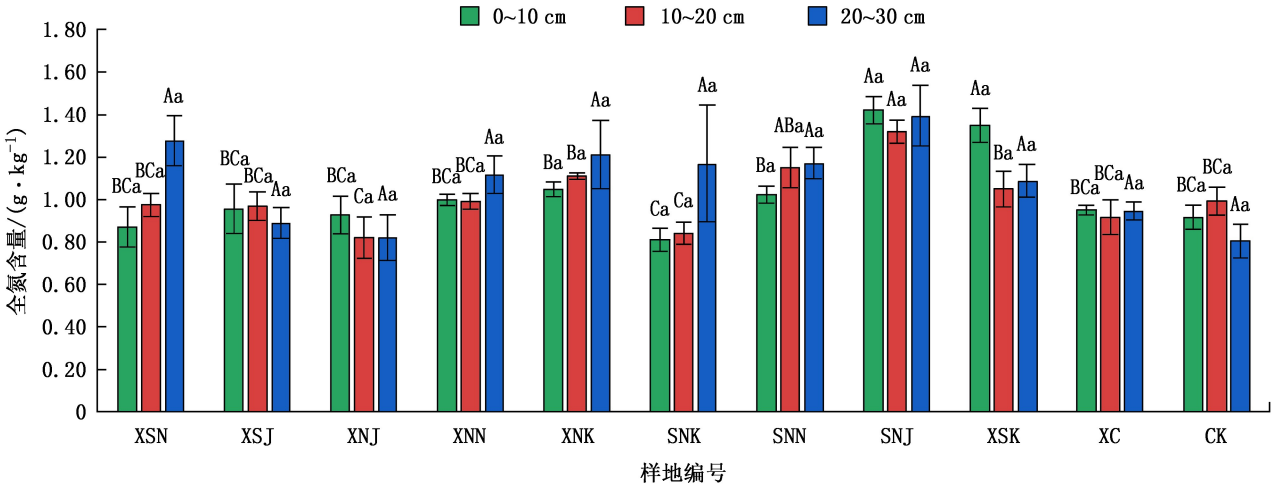



图 3　不同造林模式土壤全氮含量

**Fig. 3　Soil total nitrogen in different afforestation models**

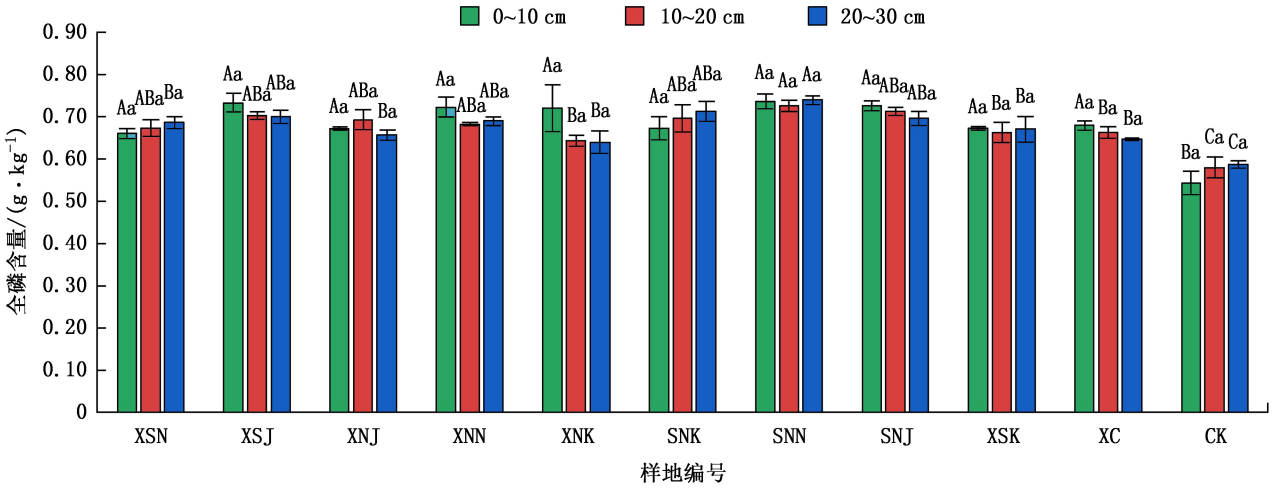



图 4　不同造林模式土壤全磷含量

**Fig. 4　Soil total phosphorus in different afforestation modes**

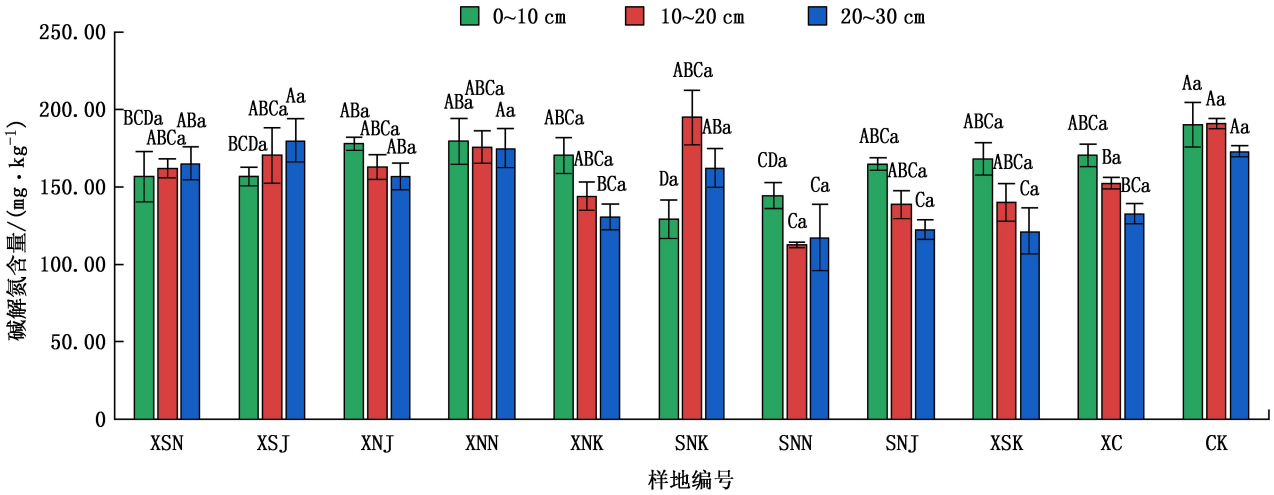



图 5　不同造林模式土壤碱解氮含量

**Fig. 5　Soil alkali-hydrolyzable nitrogen in different afforestation modes**

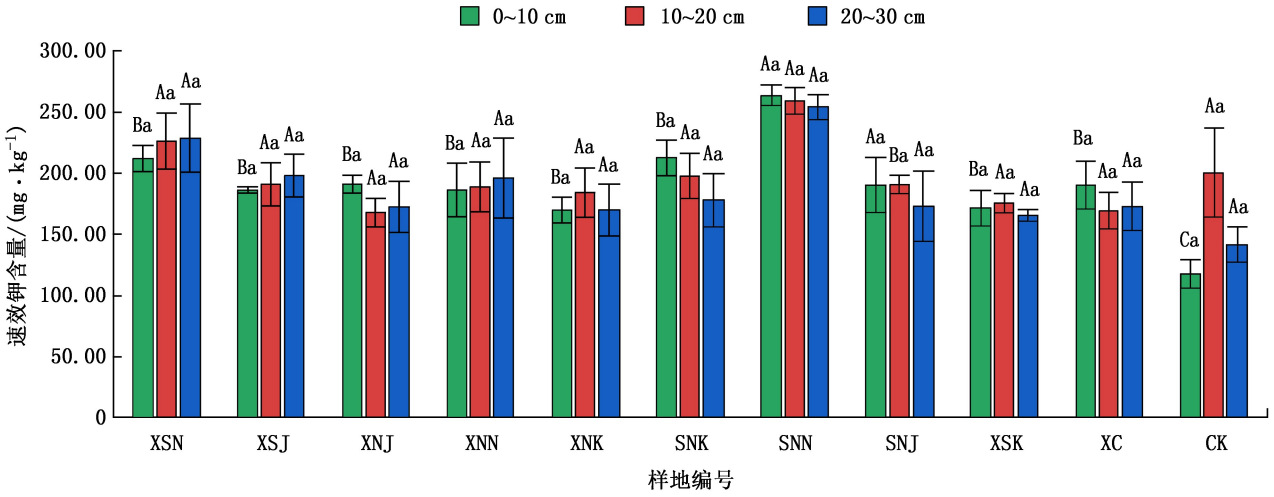



图 6 不同造林模式土壤速效钾含量

**Fig. 6 Soil available potassium in different afforestation modes**

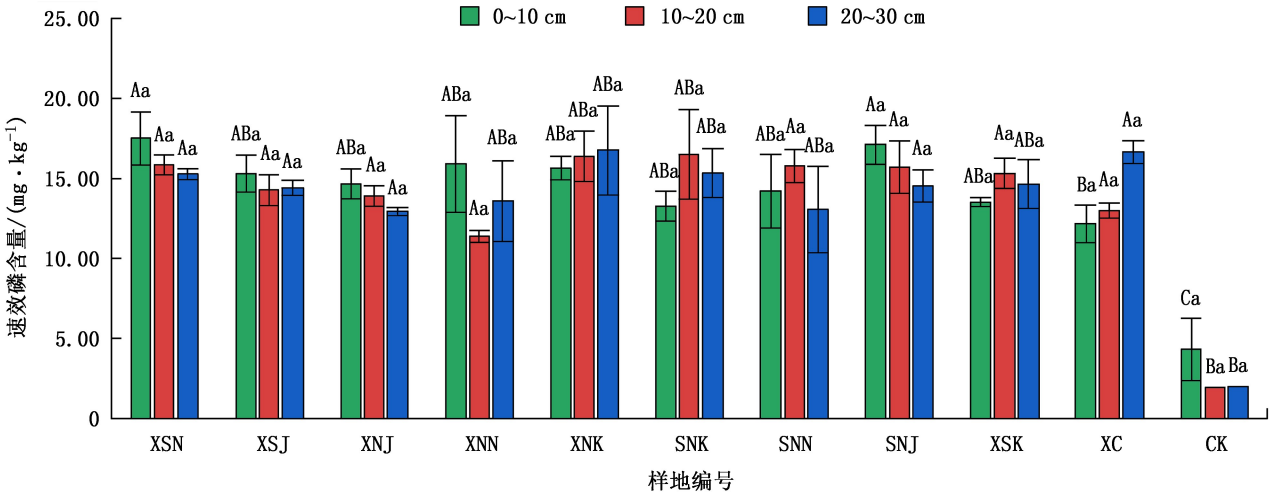



图 7 不同造林模式土壤速效磷含量

**Fig. 7 Soil available phosphorus in different afforestation modes**

在 pH 方面,不同样地土壤整体呈弱碱性至碱性。0~10 cm、10~20 cm 土层不同样地间 pH 存在显著差异,其中未造林对照样地 CK 的土壤 pH 最大,显著高于其他样地;样地 XSJ 的 pH 最低,显著低于样地 XNK、SNK。在有机质方面,0~10 cm 土层不同样地间有机质含量存在显著差异,其中样地 SNN 的土壤有机质含量最高,显著高于样地 XNJ、XSK、XC。在土壤全效养分指标方面,0~10 cm、10~20 cm 土层不同样地间土壤全氮含量存在显著差异,其中样地 SNJ 的土壤全氮含量最高,显著高于除样地 SNN、XSK 以外的其他样地;不同样地间土壤全磷含量在 3 个土层均表现出显著差异,不同样地土壤全磷含量显著高于对照样地 CK。就土壤速效养分含量而言,不同样地间 3 个土层的土壤碱解氮及速效磷含量均表现出显著差异,而不同样地间速效钾含量在 0~10 cm 土层存在显著差异。3 个土层不同造林模式样地土壤速效磷含量均显著高于 CK;0~10 cm 土层不同造林模式样地土壤速效钾含量均显著高于 CK,其中 SNN 样地土壤速效钾含量最高,显著高于其他造林样地。土壤碱解氮在不同造林模式间的变化与其他速效养分有所不同,个别模式样地对比 CK 出现了指标值下降的现象,其中 SNN 样地 3 个土层土壤碱解氮含量均显著低于 CK,XC 样地 10~20 cm 和 20~30 cm 土层土壤碱解氮含量显著低于 CK。另外,在同一样地不同土层间土壤化学性质指标均未表现出显著差异。

### 2.3 不同造林模式对土壤性质影响的综合评价

选用土壤物理性质指标中在不同样地间呈现显

著差异的最大持水量、最小持水量、毛管持水量、毛管孔隙度、总孔隙度以及土壤化学性质指标中在不同样地间呈现显著差异的 pH、有机质含量、全氮含量、全磷含量、碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量,对不同样地采样点所测的 3 个土层原始化学性质指标的加权平均值进行标准化处理,其中 pH 采取减法一致化处理,采用主成分分析方法对土壤各指标进行降维转化得到土壤养分的综合指标值,对土壤养分进行综合评价[9],结果见表 4~表 6。

**表 4　主成分分析结果**

**Tab. 4　Results of principal component analysis**

| 成份 | 初始特征值 | | |
|---|---|---|---|
| | 合计 | 方差贡献率/% | 累积贡献率/% |
| 1 | 4. 318 | 35. 984 | 35. 984 |
| 2 | 3. 169 | 26. 409 | 62. 393 |
| 3 | 1. 342 | 11. 181 | 73. 574 |

**表 5　得分系数矩阵**

**Tab. 5　Scoring coefficient matrix**

| 项目 | 成份 | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| 最大持水量 | 0. 194 | 0. 083 | 0. 176 |
| 最小持水量 | 0. 221 | 0. 045 | -0. 096 |
| 毛管持水量 | 0. 221 | 0. 051 | -0. 100 |
| 毛管孔隙度 | 0. 197 | -0. 011 | -0. 203 |
| 总孔隙度 | 0. 207 | 0. 035 | 0. 147 |
| pH | -0. 058 | 0. 229 | -0. 210 |
| 有机质含量 | 0. 049 | -0. 074 | 0. 521 |
| 全氮含量 | 0. 048 | 0. 147 | 0. 167 |
| 全磷含量 | 0. 032 | -0. 290 | 0. 127 |
| 有效磷含量 | -0. 035 | 0. 284 | -0. 083 |
| 碱解氮含量 | 0. 027 | -0. 195 | -0. 221 |
| 有效钾含量 | -0. 059 | 0. 143 | 0. 465 |

由表 4 可知,前 3 个主成分的累积贡献率为 73. 574%,且特征值均大于 1,已基本能反映出各评价指标所包含的综合信息[10]。通过得分系数矩阵(表 5)构造土壤养分评价函数,从而计算各林龄土壤养分综合指标值。由表 6 可见,不同造林模式土壤理化性质综合评价值为:XNK(0. 69)>XNN(0. 51)>SNJ(0. 32)>SNN(0. 27)>SNK(0. 06)>XC(-0. 1)>XSK(-0. 11)>XSN(-0. 20)>XNJ(-0. 21)>XSJ(-0. 62)>CK(-0. 65)。

**表 6　土壤养分综合评价结果**

**Tab. 6　Comprehensive evaluation results of soil nutrients**

| 样地编号 | 综合得分/分 | 排序 | 样地编号 | 综合得分/分 | 排序 |
|---|---|---|---|---|---|
| XNK | 0. 69 | 1 | XSK | -0. 11 | 7 |
| XNN | 0. 51 | 2 | XSN | -0. 20 | 8 |
| SNJ | 0. 32 | 3 | XNJ | -0. 21 | 9 |
| SNN | 0. 27 | 4 | XSJ | -0. 62 | 10 |
| SNK | 0. 06 | 5 | CK | -0. 65 | 11 |
| XC | -0. 10 | 6 | | | |

## 3　讨论与结论

### 3. 1　讨论

科学的营造人工林和抚育管理,是区域植被恢复和生态修复的主要方式,通过土壤质量的改变可以直观快速的反映造林效果[11]。通过对造林地土壤理化性质进行科学的监测分析,既可为地区人工造林模式的选择提供依据,亦可为科学的进行抚育管理提供理论基础。

植物通过生长活动、凋落物、根系分泌物等直接或间接影响土壤的理化性质[12-14]。李建华等[15]研究发现,营建混交林可在一定程度上增加土壤孔隙度,改善土壤结构,这与本研究结果一致。本研究中,几种造林模式对土壤物理性质指标尤其是土壤持水性有所提高,样地 XNK、XNN 的最大持水量均显著高于未造林对照样地 CK,样地 XNN 的最小持水量和毛管持水量同样显著高于样地 CK,在孔隙度方面样地 XNN、XNK 表现良好,均不同程度地高于样地 XC 和 CK。本研究中所选区域土壤呈碱性,不同造林模式对土壤酸碱性指标均有所改善,样地 XSJ 的 pH 最低,说明人工造林尤其是乔灌混交林可有效降低碱性土壤 pH。有研究表明造林初期由于苗木生长迅速且林下凋落物富集量小,使得林木与林地之间养分元素的利用效率发生变化,植物根部消耗土壤养分将导致一段时间内出现土壤养分含量下降的现象[16],但海龙等[5]研究了黄土丘陵区不同造林模式下土壤养分特征发现人工造林并未造成该区域土壤养分含量下降,反而提高了土壤有机质含量,土壤全钾在不同造林模式间无显著差异性。在本研究中,不同造林模式对土壤养分含量的影响并不一致,个别造林模式如样地 SNN、SNJ 土壤养分含量显著高于样地 XC 和 CK,其中柠条作为豆科植物具有较强的固氮能力,因此在一定程度上可提高土

壤氮素含量[17]。相比纯林,混交林可有效促进养分循环,增加土壤养分含量,维持地力[18]。因此,在区域生态造林方面尤其是生态脆弱区生态修复中应优化树种配置,应用适应性强的乡土树种构建以混交林为主的经营模式。

### 3.2 结论

不同造林模式均不同程度改善了土壤的物理性质,其中样地 XNK(山杏柠条块状造林)、XNN(山杏柠条行内造林)表现最好,XNK 的最大持水量,总孔隙显著高于 CK(未造林对照样地),XNN 的持水性指标,毛管孔隙显著高于 CK。

不同造林模式有效降低了碱性土壤的 pH。与未造林地 CK 对比,不同造林模式对土壤有机质,全氮的影响并不一致,其中 SNJ 有机质含量对比 CK 变化不显著但显著高于 XC(山杏纯林),全氮则显著高于 XC、CK;各造林模式下的全磷含量在表层土壤上均显著高于对照。速效养分中,个别模式样地土壤碱解氮含量在不同土层间与 CK 相比出现显著下降,而 XNJ、XNN 样地与对照 CK 间未出现显著差异;不同造林模式对比 CK 均显著提高了土壤速效磷和速效钾含量。

用主成分分析的方法对不同造林模式土壤理化性质进行综合评价,结果所有造林模式得分均高于 CK,其中 XNK(山杏柠条锦鸡儿块状造林)得分最高,表明经人工造林后土壤理化性质均有所改善,山杏柠条锦鸡儿块状造林后的土壤理化性质最好,因此在以后的林业生态建设及修复中可应用该模式开展人工造林。

## 参考文献:


[1] LIU B,ZHAO W Z,LIU Z L,et al. Changes in species diversity,aboveground biomass,and vegetation cover along an afforestation successional gradient in a semiarid desert steppe of China[J]. Ecological Engineering,2015(81):301-311.

[2] 刘阳,刘畅,邢兆凯,等. 矸石山不同造林模式对土壤养分及酶活性影响的研究[J]. 生态环境学报,2013,22(8):1418-1422.

[3] 南京林业大学. 中国林业词典[M]. 上海:上海科学技术出版社,1994.

[4] 温阳,梁润梅,牟宁,等. 内蒙古乡土树种资源在林业生态建设中利用现状及前景[J]. 中国造纸学报,2004(增刊):414-416.

[5] 海龙,曾楠,刘洋,等. 不同造林模式林下草本植物群落和土壤养分特征[J]. 生态环境学报,2019,28(11):2141-2148.

[6] 桑巴叶,朱玉伟,陈启民,等. 伊犁河谷不同造林模式土壤养分与酶活性的关系[J]. 水土保持通报,2018,38(3):228-232,239.

[7] 巫文香. 人工纯林和混交林植物、土壤微生物多样性与生态系统多功能性[D]. 南宁:广西大学,2019.

[8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

[9] 于楠楠,马世明,刘瑞龙,等. 内蒙古苏木山华北落叶松人工林土壤养分变化规律[J]. 干旱区资源与环境,2019,33(11):190-194.

[10] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002:84-93.

[11] 岳庆玲. 黄土丘陵沟壑区植被恢复重建过程土壤效应研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007.

[12] 魏晨辉,沈光,裴忠雪,等. 不同植物种植对松嫩平原盐碱地土壤理化性质与细根生长的影响[J]. 植物研究,2015,35(5):759-764.

[13] 周树平. 柚木人工林林下植被多样性和土壤理化性质的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2017.

[14] 闫玮明,孙冰,裴男才,等. 粤北阔叶人工林和次生林植物多样性与土壤理化性质相关性研究[J]. 生态环境学报,2019,28(5):898-907.

[15] 李建华,宋正忠,张鹏,等. 不同类型混交幼林对土壤理化性质的影响[J]. 湖南林业科技,2019,46(3):50-53.

[16] RICHARDS A E,FORRESTER D I,JÜRGEN B. The influence of mixed tree plantations on the nutrition of individual species:A review[J]. Tree Physiology,2010,30(9):1192-1208.

[17] REN J,TAO L,LIU X M. Effect of different microhabitats and stand age on survival of introduced sand-fixing plants[J]. Arid Environ,2002,51(3):413-421.

[18] 陈幸良,巨茜,林昆仑. 中国人工林发展现状、问题与对策[J]. 世界林业研究,2014,27(6):5459.


责任编辑:陈旭

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.023

# 火后萌生栓皮栎林地表可燃物特征研究

陈启良[1],叶 彪[1],王秋华[2],洪瑞成[2],王 劲[2],陈诗俊[2],马 诚[2],朱熙隆[2]
(1.云南森林自然中心,云南 昆明 650224; 2.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)

**摘要**:以云南森林自然中心摩天岭林区 2010 年火灾后的萌生栓皮栎林为研究对象,分别于云南省防火期初期和高火险期采集其林下地表可燃物,对可燃物的燃点、绝对含水率、热值、灰分含量、粗脂肪、火行为等特征进行研究。结果表明,防火期初期地表可燃物平均绝对含水率为 10.5%、平均热值为 19 406 kJ/kg,引燃后火焰维持时间为 98~141 s;高火险期平均绝对含水率为 4.6%,平均热值为 20 249 kJ/kg,火焰维持时间为 99~182 s。高火险期栓皮栎林地表可燃物燃烧性强,危害较大。

**关键词**:燃烧性;地表可燃物;栓皮栎;森林防火期;云南森林自然中心

**中图分类号**:S792.18;S762.2 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0153-05

**引文格式**:陈启良,叶彪,王秋华,等. 火后萌生栓皮栎林地表可燃物特征研究[J]. 林业调查规划,2025,50(1):153-157. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.023

CHEN Qiliang, YE Biao, WANG Qiuhua, et al. Characteristics of Surface Fuels in Post-fire Sprouting *Quercus variabilis* Forest[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 153-157. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.023

# Characteristics of Surface Fuels in Post-fire Sprouting *Quercus variabilis* Forest

CHEN Qiliang[1], YE Biao[1], WANG Qiuhua[2], HONG Ruicheng[2], WANG Jin[2], CHEN Shijun[2], MA Cheng[2], ZHU Xilong[2]
(1. Yunnan Forest Nature Center, Kunming 650224, China; 2. College of Civil Engineering, Southwest Forestry University, Yunnan Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control, Kunming 650224, China)

**Abstract**: The *Quercus variabilis* forest sprouted after the fire in 2010 in the Motianling forest area of Yunnan Forest Nature Center was taken as the research object. Surface fuels under the forest were collected at the beginning of the fire prevention period and during the high fire risk period in Yunnan Province, and the characteristics of ignition point, absolute moisture content, calorific value, ash content, crude fat, and fire behavior of the fuels were studied. The results showed that the average absolute moisture content of surface fuels at the beginning of the fire prevention period was 10.5%, with an average calorific value of 19 406 kJ/kg and a flame maintenance time after ignition of 98-141 seconds; the average absolute moisture content during the high fire risk period was 4.6%, with an average calorific value of 20 249 kJ/kg and a flame maintenance time of 99-182 seconds. The fuels of *Q. variabilis* during the high fire risk period exhibited strong combustibility, indicating a greater hazard. During the high fire risk period, the combustibility of surface

**收稿日期**:2023-11-22
**基金项目**:国家自然科学基金(32160376,31960318)和云南省教育厅 2022 年研究生科学研究项目(2023Y0778).
**第一作者**:陈启良(1986-),工程师. 主要从事森林防火研究. Email:chenqi11702@163.com
**责任作者**:王秋华(1978-),教授,博士生导师. 主要从事森林防火研究. Email:qhwang2010@swfu.edu.cn

fuels in *Quercus acutissima* forests was strong and the harm was significant.

**Key words**: combustibility; surface fuels; *Quercus variabilis*; forest fire prevention period; Yunnan Forest Nature Center

森林火灾是一种突发性强、破坏性大、处置救助较为困难的自然灾害。森林火灾燃烧的 3 个必要条件是可燃物、助燃物和火源。有研究表明,大部分森林火灾是地表火[1]。云南省森林火灾的发生具有明显的时空分布特征[2],进入 2023 年森林草原高火险期内,云南各地发生了多起森林火灾,如玉溪市江川区“4 · 11”森林火灾,安宁市“4 · 13”森林火灾等。这些案例足以警示,在高火险期内要更加重视对可燃物的管理。

本研究以 2010 年火灾后的萌生栓皮栎林为研究对象,对其林下地表可燃物燃点、绝对含水率、热值、灰分含量、粗脂肪、火行为等特征进行研究,旨在为森林火灾预警、预防和控制提供理论和实践依据。

## 1 研究区概况

云南森林自然中心位于昆明市东北郊区[3],中心本部位于昆明市盘龙区麦冲村。地理位置为东经 102°42′~102°50′,北纬 25°04′~25°11′,属亚热带西南季风气候,干湿季节分明。由于地处云贵高原西部,纬度低,海拔高,空气湿润,雨量充沛,温度适中,四季如春。2001—2022 年间年均温 16.3℃,6 月均温 21.3℃(最高),1 月均温 9.1℃(最低),年均降水量 930 mm,年降水集中在 6—8 月,全年主导风向为西南风。林区分散分布于青云、双龙、龙泉和茨坝等街道,林区周边有松花坝、金殿和源清水库。林地与集体林、农地接壤,边界线长,林区小路众多,且有两条县乡公路穿越林区,冬至和清明节期间上坟人数较多,火源管理难度大。

2010 年,石关村大闸箐发生森林火灾,火势迅速蔓延至摩天岭林区,林区陡坡内一片原生栓皮栎(*Quercus variabilis*)林过火后,地表植被几乎全部烧毁。火灾过后 10 余年,通过自然恢复,栓皮栎现已生长成林。栓皮栎属落叶乔木,可萌芽更新,抗旱、抗火[4]。通过实地调查,萌生栓皮栎以丛生为主,树高和胸径基本一致,树叶呈椭圆状披针形。

## 2 研究方法

### 2.1 外业调查

云南省森林草原防火期为每年的 12 月 1 日至次年 6 月 15 日,其中 3 月 1 日至 5 月 31 日为高火险期。2022 年 12 月 3 日,在云南森林自然中心摩天岭林区山脊处连续分布的栓皮栎林内设置一块 10 m×10 m 样地,统计胸径大于 3 cm 的栓皮栎株数和树丛数,并测量其胸径、树高,通过估计和计算得出郁闭度、林分密度等林分特征。在样地内随机选取 6 个 1 m×1 m 的标准样方,收集样方内的所有地表可燃物,用便携式手提电子秤称其鲜重并记录,贴上 a1~a6 标签编号带回实验室测定绝对含水率。2023 年 4 月 9 日再次前往该样地,采集 6 个小样方内的地表可燃物并做相同处理,样品编号为 b1~b6。

### 2.2 室内实验

#### 2.2.1 绝对含水率和载量

把采集每个样方的可燃物取出部分放入信封,用电子天平称重,在恒温干燥箱内 105℃条件下烘干 24 h,称其绝干质量,并记录保存[5]。

可燃物绝对含水率计算公式为:

$$M = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中:$M$ 为可燃物绝对含水率(%);$M_1$ 为样品鲜质量(g);$M_2$ 为样品干质量(g)。

可燃物载量计算公式为:

$$\text{可燃物载量} = \frac{\text{可燃物烘干后的绝干质量}}{\text{样方面积}} \quad (2)$$

#### 2.2.2 热值

采用 XRY-1C 微机氧弹式热值仪测定样品热值。热值法是一种测定燃料热值的方法[6-7],在该方法中,燃料样品在控制的氧气流量和温度条件下燃烧,燃烧过程中产生的热量通过水冷却器传递到水中,从而升高水的温度。通过测量水温变化和流量,可以计算出燃料的热值。

热值计算公式为[8]:

$$Q = K\frac{[(T_1 - T_2) + \Delta T]}{M} \quad (3)$$

式中:$Q$ 为预测可燃物的发热量(kJ/kg);$K$ 为水当量(kJ/℃);$T_1$ 为点燃前的温度(℃);$T_2$ 为点燃后的温度(℃);$\Delta T$ 为温度校正值(℃);$M$ 为样品质量(g)。

#### 2.2.3 灰分含量的测定

灰分含量的测定用干灰化法[9]。称量烘干磨粉的可燃物烘干质量后放入小坩锅中,在设置为

800℃的箱式电阻炉中灰化 12 h 后,取出试样剩余物称量其灰分质量。

灰分计算公式为:

$$灰分含量 = \frac{灰分质量}{烘干质量} \times 100\% \quad (4)$$

**2.2.4 燃点的测定**

用燃点测定仪测定燃点。

**2.2.5 粗脂肪的测定**

粗脂肪的测定采用蒸馏溶剂萃取法,使用精度为万分之一的电子天平,称取约 1 g 样品用足量的石油醚进行萃取实验,实验后将残留物烘干至恒定质量,称重并记录,最后计算出样品的粗脂肪含量。

**2.2.6 燃烧实验**

使用铁质燃烧床,模拟野外调查采集时的样地坡度进行燃烧实验。记录点燃时间、火焰维持时间、无焰燃烧维持时间;记录火焰高度、火焰温度和热辐射值,计算烧损率。用计算机记录平均分布在燃烧床 1 m×1 m 正方形模拟野外地表可燃物点燃、有焰燃烧、无焰燃烧和熄灭过程中的所有温度数据。

**2.3 温湿度监测**

在栓皮栎样地内距地面 1.5 m 高度放置温湿度记录仪,自动记录栓皮栎林内温度、湿度,数据采集间隔时间 1 h。

## 3 结果与分析

### 3.1 火后萌生栓皮栎林的林分特征

摩天岭林区栓皮栎林地处海拔 2 435~2 443 m,坡度 28°,属火后萌生林,树龄约 11 a,为幼龄林,密度 1 900~2 800 株/$hm^2$,郁闭度 0.4~0.6(表 1)。

**表 1　栓皮栎林分特征**

**Tab. 1　Stand characteristics of *Quercus variabilis* forest**

| 海拔/m | 坡度/(°) | 每丛根数/根 | 平均树高/m | 平均胸径/cm | 枝下高/m |
|---|---|---|---|---|---|
| 2435~2443 | 28 | 1~5 | 5.2 | 7.2 | 1.8 |

从表 1 可知,平均树高 5.2 m,平均胸径 7.2 cm,平均枝下高 1.8 m,每丛介于 1~5 根,以 2~3 根分布较多。

### 3.2 萌生栓皮栎林地表可燃物理化特征

死地表可燃物含水率与易燃性的关系[10]:防火期初期地表可燃物的绝对含水率平均为 10.5%,属易燃可燃物。高火险期地表可燃物的绝对含水率平均为 4.6%,属极易燃可燃物,危险性高。

森林火灾的大小一定程度上由可燃物载量所决定[11],可燃物载量是评估火灾风险的重要因素(表 2)。

**表 2　栓皮栎林地表可燃物理化特征**

**Tab. 2　Physical and chemical characteristics of surface fuels in *Quercus variabilis* forest**

| 序号 | 鲜重/kg | 含水率/% | 可燃物载量/(kg·$m^{-2}$) | 热值/(kJ·$kg^{-1}$) | 灰分含量/% | 点着温度/℃ | 密度/(g·$cm^{-3}$) | 粗脂肪含量/% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a-1 | 0.26 | 9.2 | 0.24 | 19635 | 10.6 | 268 | 0.44 | 7.86 |
| a-2 | 0.23 | 11.2 | 0.23 | 19334 | 11.5 | 267 | 0.51 | 7.24 |
| a-3 | 0.27 | 9.1 | 0.25 | 19177 | 11.5 | 266 | 0.48 | 7.06 |
| a-4 | 0.39 | 10.2 | 0.35 | 19470 | 12.3 | 263 | 0.47 | 7.03 |
| a-5 | 0.48 | 13.1 | 0.42 | 19401 | 13.2 | 265 | 0.43 | 7.06 |
| a-6 | 0.55 | 10.0 | 0.50 | 19417 | 10.6 | 264 | 0.50 | 7.61 |
| b-1 | 0.40 | 5.1 | 0.40 | 20164 | 11.2 | 261 | 0.49 | 7.40 |
| b-2 | 0.40 | 3.6 | 0.39 | 20297 | 13.2 | 263 | 0.48 | 8.29 |
| b-3 | 0.50 | 4.5 | 0.47 | 20133 | 12.0 | 263 | 0.47 | 8.78 |
| b-4 | 0.43 | 4.0 | 0.43 | 20337 | 10.4 | 264 | 0.51 | 7.88 |
| b-5 | 0.46 | 6.3 | 0.43 | 20343 | 12.0 | 263 | 0.47 | 8.11 |
| b-6 | 0.41 | 4.3 | 0.39 | 20220 | 11.2 | 261 | 0.48 | 7.51 |

表 2 中,防火期初期的地表可燃物密度为 0.47 g/$cm^3$,高火险期为 0.48 g/$cm^3$,密度相差不大。防火期初期的可燃物载量为 0.33 kg/$m^2$,高火险期可燃物载量为 0.42 kg/$m^2$。灰分含量为 11.6%,表明燃烧速度相对较快。防火期初期粗脂肪含量平均为 7.3%,高火险期为 8.0%,脂肪含量少,火焰的持续时间较短、火焰高度较小,在一定程度上减缓了火灾的蔓延。防火期初期热值平均为 19 406 kJ/kg,高火险期热值平均为 20 249 kJ/kg,高火险期可燃物热值比防火期初期大,验证了高火险期栓皮栎地表可燃物含水率更低、热值更高。

### 3.3 萌生栓皮栎林地表可燃物的火行为特征

栓皮栎林地表可燃物的火行为特征见表 3。

由表 3 可知,引燃时间为 4~5 s,落叶粗脂肪含量少,具有一定阻燃性,延长引燃时间,同地区的云南松和华山松地表可燃物引燃时间均为 1 s 左右[12]。防火期初期地表可燃物火焰维持时间为 98~141 s,高火险期火焰维持时间为 99~182 s,防火期初期燃烧不彻底、燃烧能力弱。防火期初期阴燃时间为 136~260 s,高火险期为 155~268 s,防火期初期最大阴燃温度为 360~547℃,高火险期最大阴燃温度为

表 3 栓皮栎林地表可燃物的火行为特征

Tab. 3 Fire behavior characteristics of surface fuels in *Quercus variabilis* forest

| 序号 | 厚度/cm | 引燃时间/s | 火焰持续时间/s | 阴燃时间/s | 最大火焰高度/cm | 最大火焰温度/℃ | 最大阴燃温度/℃ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a-1 | 4 | 4 | 128 | 136 | 32 | 563.7 | 360.0 |
| a-2 | 4 | 5 | 123 | 238 | 51 | 531.0 | 511.4 |
| a-3 | 4 | 4 | 118 | 183 | 42 | 580.4 | 479.9 |
| a-4 | 4 | 5 | 98 | 146 | 46 | 616.4 | 485.6 |
| a-5 | 4 | 4 | 105 | 152 | 45 | 606.4 | 490.3 |
| a-6 | 4 | 5 | 141 | 260 | 53 | 599.0 | 547.0 |
| b-1 | 4 | 5 | 135 | 183 | 58 | 567.2 | 467.2 |
| b-2 | 4 | 4 | 116 | 155 | 59 | 587.3 | 409.9 |
| b-3 | 4 | 4 | 182 | 251 | 57 | 628.7 | 524.8 |
| b-4 | 4 | 5 | 129 | 226 | 68 | 638.7 | 552.0 |
| b-5 | 4 | 4 | 112 | 268 | 81 | 714.7 | 588.2 |
| b-6 | 4 | 5 | 99 | 201 | 65 | 621.8 | 523.3 |

409.9~588.2℃,阴燃时间长、温度高,会出现复燃,增加火灾扑灭难度。防火期初期最大火焰高度为32~53 cm,最大火焰温度为531~616.4℃;高火险期最大火焰高度为57~81 cm,最大火焰温度为567.2~714.7℃。

### 3.4 萌生栓皮栎林温、湿度特征

栓皮栎生存适应性强,在年均温12~16℃、最低温-18℃、年降水量500~2 000 mm气候期内均生长良好[4]。栓皮栎活动温度为10℃[13]。萌生栓皮栎林2022年12月—2023年5月逐日温度如图1所示。

由图1可知,极端低温为-3.0℃(1月27日),极端高温为33.3℃(5月22日),处于栓皮栎幼苗叶片低温半致死温度-7.6℃与高温半致死温度53.4℃之间[14],3月上、中、下三旬平均温度分别为15.8℃、14.7℃、15.9℃,皆大于10℃,栓皮栎处于适宜温度范围内,3月份开始温度利于栓皮栎生长发育。

萌生栓皮栎林2022年12月—2023年5月逐日湿度见图2。

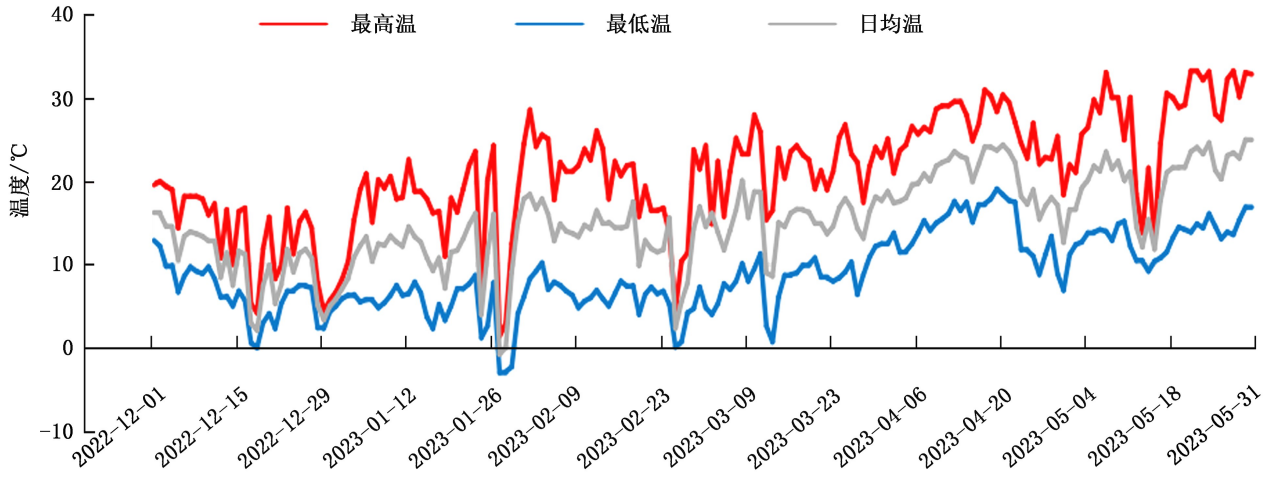



图 1 萌生栓皮栎林 2022 年 12 月—2023 年 5 月逐日温度

Fig. 1 Daily temperature from December 2022 to May 2023 in sprouting *Quercus variabilis* forest

由图2知,日均相对湿度介于18.1%~100%之间,日均相对湿度为100%时当天有降水。12月至翌年5月最低相对湿度分别为37.7%、21.2%、21.5%、19.1%、18.1%、18.9%,最高相对湿度分别为97.7%、99.7%、100%、100%、99%、100%。根据记录数据分析,降雨当日最低相对湿度接近于日均相对湿度。非降水日,日均相对湿度从20:00时逐渐升高,到第二天8:00时到达最高,日出后,空气中相对湿度随着太阳辐射的增加逐渐降低,17:00时达最低点。

## 4 结 论

高火险期内,萌生栓皮栎林地表凋落物的含水率极低,为4.6%,与火源接触4 s以上就能被点燃。防火期初期可燃物载量为0.33 kg/m$^2$,高火险期可燃物载量为0.42 kg/m$^2$。防火期初期热值平均为19 406 kJ/kg,高火险期热值平均为20 249 kJ/kg,由于树叶凋落,高火险期内地表可燃物载量增多,燃烧性能更强。地表可燃物的火焰维持时间为118~128 s,阴燃时间为185~214 s,可能导致火势更快地扩散和

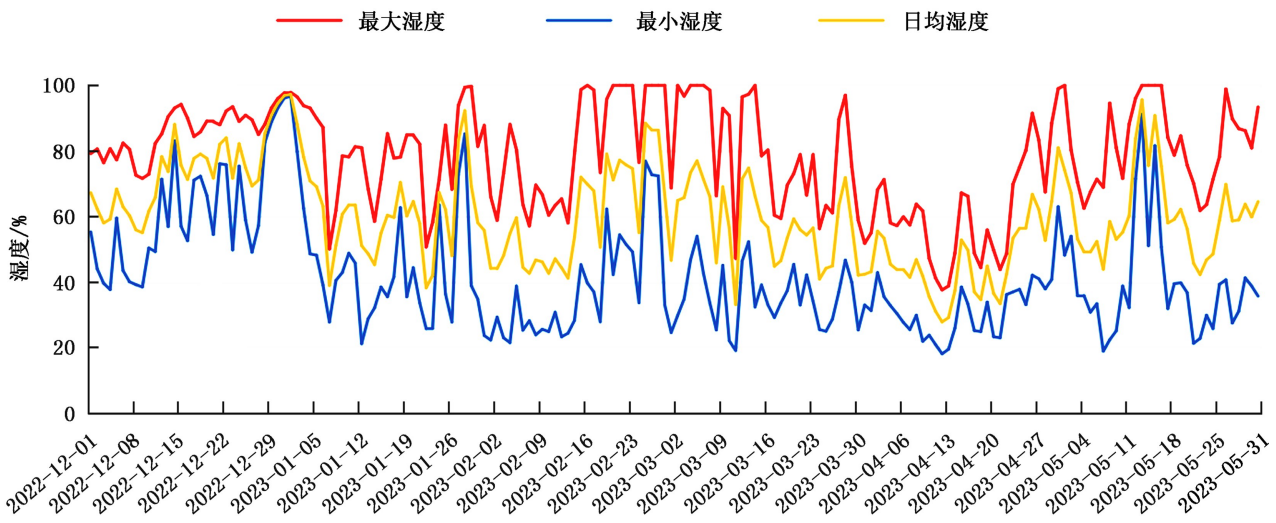



**图 2　萌生栓皮栎林 2022 年 12 月—2023 年 5 月逐日湿度**

**Fig. 2　Daily humidity from December 2022 to May 2023 in sprouting *Quercus variabilis* forest**

更高的火灾风险。栓皮栎在摩天岭山脊陡坡生长良好,在摩天岭林区日后植树造林中可优先选择栓皮栎树种。

选取摩天岭林区萌生栓皮栎地表可燃物进行特征研究,有局限性,难以全面反映栓皮栎林可燃物特征,但有利于为摩天岭林区植树造林防火树种选择提供参考。今后可以建立固定样地进行长期动态跟踪、监测和研究,把握气候变化背景下的森林可燃物动态特征[15]。降雨时日最低相对湿度接近于日均相对湿度,偶尔一场降雨,短时间内可以降低温度和湿度,增加地面可燃物含水率。高火险期内降水量小,下得快,晴得快,雨后气温回升快,降雨的降温、增湿作用有限。因此,在高火险期内应加强野外火源管理和人为活动管控,预防火灾的发生。

## 参考文献:

[1] 宗学政,田晓瑞. 林火行为和扑救技术研究进展[J]. 世界林业研究,2019,32(6):31-36.
[2] 魏建珩,李智,马泽南,等. 云南省森林火灾时空聚集性研究[J]. 消防科学与技术,2020,39(10):1425-1429.
[3] 王秋华,李晓娜,叶彪. 昆明地区草本紫茎泽兰的垂直燃烧特征[J]. 消防科学与技术,2018,37(10):1330-1332.
[4] 郑万均. 中国树木志(第二卷)[M]. 北京:中国林业出版社,1985:2330.
[5] 王秋华,徐伟恒,李伟,等. 滇中地区地盘松林地表凋落物的潜在能量研究[J]. 林业调查规划,2014,39(6):16-20.
[6] 谭元国,杜燕,孟伟,等. 栓皮栎热值与碳含量相关性研究[J]. 福建林业科技,2017,44(3):30-32,74.
[7] 江丽媛,彭祚登,何宝华,等. 6 个树龄栓皮栎热值与碳含量的分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2011,35(5):40-44.
[8] 王劲,张文文,王秋华,等. 滇中地区萌生栓皮栎地表可燃物燃烧火行为研究[J]. 消防科学与技术,2022,41(8):1133-1137.
[9] 江丽媛,彭祚登,何宝华,等. 5 个年龄栓皮栎热值与灰分含量的分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2011,35(5):40-44.
[10] 舒立福,刘晓东. 森林防火学概论[M]. 北京:中国林业出版社,2016:32.
[11] 闫想想,王秋华,李彩松,等. 昆明重大森林火灾火烧迹地可燃物研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学),2019,39(5):157-164.
[12] 王秋华,张文文,缪秀丽,等. 昆明周边 4 种主要林型地表可燃物的火焰特征[J]. 消防科学与技术,2021,40(7):1082-1085.
[13] 王佩舒,刘琳奇,陈景玲,等. 栓皮栎出苗期的活动温度和积温研究[J]. 河南科学,2017,35(11):1784-1789.
[14] 郑艳玲,马焕成. 栓皮栎和滇青冈幼苗对温度的耐受性研究[J]. 林业科技,2015,40(5):9-10.
[15] 王秋华,俞新水,李世友,等. 森林可燃物的动态特征研究综述[J]. 林业调查规划,2012,37(5):40-43.

责任编辑:董磊
校　　对:董磊,许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.024

# 无人机喷施无公害杀虫剂防治落叶松松材线虫试验效果比较

张晓娟[1],付耀凯[2],王建平[3]
(1.平泉市城乡管理综合行政执法大队,河北 平泉 067500;2. 河北省平泉市柳溪镇人民政府,河北 平泉 067500;
3.平泉市数据和政务服务局,河北 平泉 067500)

**摘要**:为分析无人机喷施无公害杀虫剂对落叶松松材线虫的防治效果,于河北省平泉市落叶松防护林林地分别按不同剂量喷施5%高效氯氰菊酯乳油(T1)和20%阿维菌素乳油组(T2),对比2组无公害杀虫剂不同稀释倍数和喷施剂量在松材线虫防治中的应用效果。结果表明,T1组中稀释比例为1∶1 000、1∶2 000时,松材线虫致死率和矫正致死率显著高于其他稀释比例($P<0.005$);T2处理中5种稀释比例松材线虫致死率、矫正致死率均达100%,且T2组松材线虫致死率和矫正致死率明显高于T1组($P<0.05$);T1组中喷施量为200 g/hm$^2$时,给药90 d后落叶松枯死率明显降低,成活率显著提升,效果优于喷施量150 g/hm$^2$和100 g/hm$^2$($P<0.05$),T2组中各喷施量间落叶松枯死率和成活率无显著差异($P>0.05$);T2组落叶松枯死率低于T1组,成活率高于T1组($P<0.05$);林间松材线虫防治效果:T2组绝对预防效果和相对预防效果均优于T1,组间比较有差异($P<0.05$)。无人机喷施5%高效氯氰菊酯乳油和20%阿维菌素乳油杀虫剂,对落叶松松材线虫均起到一定的防治效果,而20%阿维菌素乳油对松材线虫防治效果更好,从成本角度看,其喷施剂量为100 g/hm$^2$时,既可节约成本,也能达到防治效果。

**关键词**:高效氯氰菊酯乳油;阿维菌素乳油;落叶松;松材线虫;喷施量;稀释比例;防控效果

**中图分类号**:S792.22;S154.386;S767.3 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0158-05

**引文格式**:张晓娟,付耀凯,王建平. 无人机喷施无公害杀虫剂防治落叶松松材线虫试验效果比较[J]. 林业调查规划,2025,50(1):158-162. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.024

ZHANG Xiaojuan, FU Yaokai, WANG Jianping. Comparison of Experimental Effect of Spraying Non-pollution Insecticide with UAV on Control of *Bursaphelenchus xylophilus* of *Larix gmelinii*[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 158-162. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.024

# Comparison of Experimental Effect of Spraying Non-pollution Insecticide with UAV on Control of *Bursaphelenchus xylophilus* of *Larix gmelinii*

ZHANG Xiaojuan[1], FU Yaokai[2], WANG Jianping[3]
(1. Urban-Rural Management Comprehensive Administrative Law Enforcement Brigade of Pingquan City, Pingquan, Hebei 067500, China; 2. People's Government of Liuxi Town, Pingquan, Hebei 067500, China;
3. Data and Government Service Bureau of Pingquan City, Pingquan, Hebei 067500, China)

**Abstract**: To analyze the control effect of spraying non-pollution insecticide with unmanned aerial vehicle on *Bursaphelenchus xylophilus* of *Larix gmelinii*, 5% high-efficiency chlorpyrifos emulsion (T1) and

**收稿日期**:2023-12-21;**修回日期**:2024-01-23
**基金项目**:承德国家可持续发展议程创新示范区建设科技专项项目(202104F027B).
**第一作者**:张晓娟(1979-),女,高级工程师. 研究方向为森林病虫害防治、森林防火、工程造林、种苗繁育、园林绿化. Email:tangxujun1981@163.com

20% avermectin emulsion (T2) were sprayed at different doses on *Larix gmelinii* forest in Pingquan City, Hebei Province. The application effects of the two groups of non-pollution insecticides with different dilution ratios and spraying doses on the control of *Bursaphelenchus xylophilus* were compared. The results showed that the mortality rate and corrected mortality rate of *Bursaphelenchus xylophilus* were significantly higher in the T1 group at dilution ratios of 1∶1 000 and 1∶2 000 compared to other dilution ratios ($P<0.005$); the mortality rate and corrected mortality rate of *Bursaphelenchus xylophilus* in five dilution ratios of T2 treatment reached 100%, which were significantly higher than those in T1 group ($P<0.05$); when the spraying amount in T1 group was 200 g/hm$^2$, the death rate of *Larix gmelinii* was significantly reduced and the survival rate was significantly improved after 90 days of treatment, with better effects than spraying amounts of 150 g/hm$^2$ and 100 g/hm$^2$ ($P<0.05$), there was no significant difference in death rate and survival rate of *Larix gmelinii* among different spraying amounts in T2 group ($P>0.05$); the death rate of *Larix gmelinii* in T2 group was lower than that in T1 group, and the survival rate was higher than that in T1 group ($P<0.05$); the absolute and relative preventive effects of T2 group were better than T1 group, and there was a significant difference between the groups ($P<0.05$). UAV application of 5% high-efficiency chlorpyrifos emulsion and 20% vermectin emulsion insecticide had a certain effect on the control of *Bursaphelenchus xylophilus* of *Larix gmelinii*, and 20% avermectin emulsion had a better control effect. The spraying dose was 100 g/hm$^2$, which could save cost and achieve the purpose of controlling.

**Key words**: high-efficiency chlorpyrifos emulsion; avermectin emulsion; *Larix gmelinii*; *Bursaphelenchus xylophilus*; spray doses; dilution ratio; control effect

松材线虫(*Bursaphelenchus xylophilus*),是滑刃目滑刃科伞滑刃属蠕形动物,呈蠕虫形,虫体细长;唇区高,缢缩显著;口针细长,基部微增厚;中食道卵圆形,瓣膜清晰;食道腺细长叶状,覆盖于肠背面,常寄生于松树体内,一旦大面积爆发,对于森林系统而言,属于一种毁灭性的伤害[1-2]。松材线虫病发生特点为防治难度大、致死率高,被列为国际Ⅰ级检疫对象。在我国,松材线虫病也对森林生态系统造成了严重威胁,其传播速度极快,危害性较强,感染后难治愈,被称为“松树癌症”[3-4]。

有统计结果表明,我国是松材线虫病危害最严重的国家之一,截至目前,我国境内依然有 17 个省区饱受松材线虫病害威胁[5-6]。松材线虫不同生长阶段所产生的危害存在差异,其生长过程可分为虫卵期、幼虫期和成虫期,早期因症状不典型,很难被发现,生长后期松材线虫依靠松鹤天牛进行传播,通过取食寄主植物上皮细胞或在树脂道内大量繁殖,形成大范围传播[7-8]。在我国松材线虫危害性极大,松树种植期间对该病害进行防治也成为相关行业所关注的重点[9-10]。鉴于此,选择河北省平泉市落叶松防护林培育基地,分析采用无人机喷施方式喷施不同品牌和剂量杀虫剂对落叶松松材线虫病的防治效果,旨在为松材线虫病的高效防治,实现落叶松高效培育提供理论指导和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

平泉市为河北省辖县级市,由承德市代管,位于河北省东北部,介于北纬 40°40′17″~41°24′00″,东经 118°21′03″~119°15′34″之间,是辽宁、内蒙古和河北三省交界地,东与辽宁省凌源市相接,南邻宽城县,西接承德县,北靠内蒙古自治区宁城县,受地理位置影响,平泉市属大陆性季风型气候,但因地貌较复杂,境内多高山丘陵,在平泉市各地区内形成多种小气候,表现为山谷风多且大,寒冷期绵长,雨量集中,日照充足,昼夜温差较大,四季分明,灾害性气候较常见,年极端高温 38.0℃,年极端低温-24℃,林业发展完善,截至 2023 年,林业规划用地达 $2.39\times10^5$ hm$^2$,占全市土地总面积的 72.5%,现有林地 $2.00\times10^5$ hm$^2$,森林覆盖率高达 60.8%。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 实验药剂

5%高效氯氰菊酯乳油(郑州市昊泽农作物保护有限公司)、20%阿维菌素乳油(济南绿霸农业有限公司)。注射器、温湿度检测仪、打孔器、量筒和卷尺等。选择松材线虫病害感染的落叶松,使用 3%过氧化氢溶液对树体表面进行消毒,再用超纯水进行清洗,分离后获取的松材线虫即可供试验使用。

取出松材线虫后,使用琼脂培养基对获取的松材线虫进行培养,即将培养基放置于 25℃恒温保温箱中,放置 7 d 待培养基内菌丝体完全被食用完毕后取出,静置于 4℃试验箱中备用[11-12]。

**1.2.2 实验设计**

参考文献[13-14],在平泉市落叶松防护林培育基地内划分 2 块面积相等(100 m×100 m)的样地,并在 2 块样地中各单独划出 3 块等大的标准地,各标准地中落叶松树高、地径等长势情况均相似,分别使用无人机喷施 5%高效氯氟菊酯乳油(T1 组)和 20%阿维菌素乳油(T2 组)两种无公害杀虫剂。

试验室条件下测定松材线虫活性时,将 T1 和 T2 组所用杀虫剂分别按 1∶1 000、1∶2 000、1∶3 000、1∶4 000 和 1∶5 000 进行稀释处理。

在落叶松防护林林间 T1、T2 组标准地中,使用无人机按照 100、150、200 g/hm$^2$ 的剂量,分别喷施 5%高效氯氟菊酯乳油和 20%阿维菌素乳油两种无公害杀虫剂,于给药 90 d 后计算落叶松枯死率和成活率。

**1.3 测量指标和方法**

**1.3.1 松材线虫活性测定**

采用浸渍法测定松材线虫活性,取 5%高效氯氟菊酯乳油和 20%阿维菌素乳油两种杀虫剂,分别按照 1∶1 000、1∶2 000、1∶3 000、1∶4 000 和 1∶5 000 比例加入无菌水进行稀释,将稀释后的药液各取 4 mL 滴于培养皿中,每个培养皿中均有 100 条松材线虫,置于恒温箱中进行培养,24 h 后观察松材线虫的存活情况,为提高测定结果准确性,重复测定 3 次。松材线虫活性测定公式[15-16]为:

$$致死率 = 死亡数量 / 总数量 \times 100\% \quad (1)$$

**1.3.2 落叶松枯死率和成活率**

在 2 块样地的 6 块标准地中,分别按照上述要求喷施杀虫剂,于给药 90 d 后,在各标准地随机选取 100 株落叶松,观察落叶松存活情况,计算落叶松枯死率和成活率,计算公式分别为:

$$枯死率 = 枯死数量 / 总数量 \times 100\% \quad (2)$$

$$成活率 = 成活数量 / 总数量 \times 100\% \quad (3)$$

**1.3.3 松材线虫病林间防治效果**

松材线虫病林间防治效果计算公式为:

$$预防效果 = (喷施区枯死数量 - 其他未喷施区枯死数量)/(1 - 其他未喷施区枯死数量) \times 100\% \quad (4)$$

**1.4 统计方法**

采用 Excel 表格对本试验所记录数据进行整理,单因素方差、相关性分析采用 SPSS 25.0 软件,多重比较采用新复极差法(Duncan′s)。

## 2 结果与分析

**2.1 不同无公害杀虫剂对松材线虫活性的影响**

5%高效氯氟菊酯乳油和 20%阿维菌素乳油两种杀虫剂对松材线虫均能起到显著杀灭效果(表 1)。

**表 1 2 种杀虫剂不同稀释比例对松材线虫活性的影响对比($\bar{x} \pm s$)**

**Tab. 1 Comparison of the effects of different dilutions of two insecticides on the activity of *Bursaphelenchus xylophilus* ($\bar{x} \pm s$)**

| 组别 | 稀释比例 | 处理 24 h 松材线虫活性/% | |
|---|---|---|---|
| | | 致死率 | 矫正致死率 |
| T1 | 1∶1 000 | 100.0 ± 0.00a | 100.0 ± 0.00a |
| | 1∶2 000 | 99.22 ± 0.11a | 100.0 ± 0.00a |
| | 1∶3 000 | 97.27 ± 0.35b | 98.17 ± 0.28b |
| | 1∶4 000 | 84.69 ± 0.73c | 87.29 ± 0.84c |
| | 1∶5 000 | 75.22 ± 1.41d | 78.48 ± 1.07d |
| T2 | 1∶1 000 | 100.0 ± 0.00a | 100.0 ± 0.00a |
| | 1∶2 000 | 100.0 ± 0.00a | 100.0 ± 0.00a |
| | 1∶3 000 | 100.0 ± 0.00a | 100.0 ± 0.00a |
| | 1∶4 000 | 99.84 ± 0.15a | 100.0 ± 0.00a |
| | 1∶5 000 | 99.37 ± 0.13a | 100.0 ± 0.00a |

注:同列不同小写字母表示不同处理间存在显著差异($P<0.05$);同列相同小写字母或无字母表示不同处理间无差异($P>0.05$)(下同)。

由表 1 可知,T1 组杀虫剂稀释比例为 1∶1 000 和 1∶2 000 时,松材线虫致死率和矫正致死率明显高于稀释比例 1∶3 000、1∶4 000 和 1∶5 000($P<0.05$),稀释比例 1∶1 000 与 1∶2 000 相比无差异($P>0.05$),松材线虫致死率和矫正致死率均可达 99%以上;T2 组杀虫剂稀释比例为 1∶1 000、1∶2 000、1∶3 000、1∶4 000 和 1∶5 000 时,松材线虫致死率和矫正致死率均可达 99%以上,且无差异($P>0.05$)。杀虫剂稀释比例为 1∶1 000 和 1∶2 000 时,T2 组与 T1 组相比松材线虫致死率和矫正致死率无差异($P>0.05$),稀释比例为 1∶3 000、1∶4 000 和 1∶5 000 时,T2 组松材线虫致死率和矫正致死率明显高于 T1 组($P<0.05$)。

**2.2 不同无公害杀虫剂对落叶松枯死率和成活率的影响**

5%高效氯氟菊酯乳油、20%阿维菌素乳油不同喷施剂量对落叶松枯死率和成活率影响见表 2。

表 2　2 种杀虫剂不同喷施剂量对落叶松枯死率和成活率影响对比

Tab. 2　Comparison of the effects of different spraying doses of two insecticides on the death and survival rates of *Larix gmelinii*

| 组别 | 喷施剂量/(g·hm$^{-2}$) | 株数/株 | 成活率/% | 枯死率/% |
|---|---|---|---|---|
| T1 | 100 | 100 | 88.00c | 12.00a |
| | 150 | 100 | 95.00b | 5.00b |
| | 200 | 100 | 100.00a | 0.00c |
| T2 | 100 | 100 | 99.00 | 0.00 |
| | 150 | 100 | 100.00 | 0.00 |
| | 200 | 100 | 100.00 | 0.00 |

表 2 结果表明,5%高效氯氰菊酯乳油喷施量为 200 g/hm$^2$ 时,落叶松枯死率最低、成活率最高,显著优于喷适量 150 g/hm$^2$ 和 100 g/hm$^2$($P$<0.05)。20%阿维菌素乳油不同喷施量间,T1、T2 组标准地中落叶松枯死率和成活率无差异($P$>0.05)。T2 组所用 20%阿维菌素乳油药剂的不同喷施量,对落叶松枯死率和成活率的影响更为积极,其落叶松枯死率明显低于 T1 组,而成活率高于 T1 组,组间比较有差异($P$<0.05),说明 20%阿维菌素乳油对松材线虫的防治效果更好,在使用同等剂量的情况下,可有效杀灭松材线虫,提高落叶松成活率。

### 2.3 不同无公害杀虫剂不同喷施剂量对落叶松松材线虫林间防治效果的影响

2 种杀虫剂不同喷施剂量对落叶松松材线虫林间防治效果的影响见表 3。

表 3　2 种杀虫剂不同喷施剂量对落叶松松材线虫林间防治效果影响对比($\bar{x}\pm s$)

Tab. 3　Comparison of the effects of different spraying doses of two insecticides on the control of *Bursaphelenchus xylophilus* in *Larix gmelinii* forests ($\bar{x}\pm s$)

| 药剂 | 喷施剂量/(g·hm$^{-2}$) | 绝对预防率/% | 相对预防率/% |
|---|---|---|---|
| T1 | 100 | 98.22±1.64c | 87.24±1.57c |
| | 150 | 98.55±2.07b | 92.35±1.92b |
| | 200 | 99.79±2.19a | 95.06±1.33a |
| T2 | 100 | 99.16±1.58a | 95.74±1.75a |
| | 150 | 99.44±1.62a | 97.23±1.64a |
| | 200 | 99.87±1.39a | 98.36±1.57a |

由表 3 可知,T1、T2 组 2 种杀虫剂喷施量均为 200 g/hm$^2$ 时,松材线虫林间防治效果无差异($P$<0.05),而喷施剂量为 100、150 g/hm$^2$ 时,T2 组各标准地松材线虫林间防治效果明显优于 T1 组,组间比较差异显著($P$<0.05)。

## 3 讨论与结论

有统计结果表明,自松材线虫病被发现以来,该病害对松树造成的损伤已高达数十亿株,直接造成生态服务、经济价值损失达上千亿元[17-18]。近些年,由于气候、环境等多种因素的影响,松材线虫病的传播速度也在逐渐加快,影响地区越来越广泛,据统计,截至 2022 年,全国范围内松材线虫病的发病面积已超 1 850 万hm$^2$[19-20]。我国几乎所有区域均能满足松材线虫生长和繁殖的需求,均属于松材线虫的舒适生长区,说明松材线虫已成为威胁我国松树生长的主要病虫害之一,若不采取有效措施进行防治,一旦松材线虫病大面积爆发,可严重危害我国森林生态系统的平衡[21]。以河北省为例,2020 年 8 月 31 日,河北省林业和草原局按照国家林业和草原局要求,印发《关于认真贯彻落实全国会议精神进一步做好松材线虫病防控工作的通知》,要求相关部门实施以高度重视、全面监管、加强复检、强化宣传和联防联控为主的松材线虫病防控网络。河北省松树资源丰富,松树种植面积高达 74 万hm$^2$,占全省林地面积约 10%,不仅承担着防风固沙、保持水土、维护生态系统稳定的作用,更是建设京津冀生态环境支撑区和建设首都水源涵养功能的重要根据,同时,松树也是河北省主要的绿化景观、生态林树种,一旦大面积爆发松材线虫病虫害,将为河北省带来严重的经济损失、生态损失和社会影响,做好松材线虫疫病的防控已成为当地林业发展的重要内容之一[22]。

本研究中,以河北省平泉市落叶松防护林为例,研究使用无人机喷施不同品牌和剂量的无公害杀虫剂,对松材线虫病防治效果产生的影响,研究方法参考杨乐等[23-24]方法,结果表明,2 种杀虫剂均能在一定程度上降低松材线虫活性,但 5%高效氯氰菊酯乳油杀虫剂仅在稀释比例为 1∶1 000、1∶2 000 时效果和作用可达峰值,20%阿维菌素乳油杀虫剂在任何稀释比例下均能达到理想效果,与赵正萍等[25]报道的结果基本一致,证实阿维菌素乳油杀虫剂在松材线虫病防控中的优势。在落叶松枯死率、成活率研究方面,20%阿维菌素乳油杀虫剂的林间防护效果明显优于 5%高效氯氰菊酯乳油,说明 20%阿

维菌素乳油杀虫剂对松材线虫病的防治效果更为理想。综合考虑效果、成本等方面因素，在使用同等喷施剂量的情况下，20%阿维菌素乳油性价比更高、防治效果更为理想，因此在选用松材线虫杀虫剂时，应以20%阿维菌素乳油为首选，喷施剂量以100 g/hm$^2$为佳，既能节省成本，同时也能提高松材线虫的防治效果。但本研究中因所使用的杀虫剂有限，加之研究地点仅限于河北省平泉市，试验结果有一定局限性，在实际选用落叶松松材线虫杀虫剂时，应遵循因地制宜原则，选择最适合当地的杀虫剂品牌，从而取得最佳防控效果。

## 参考文献：


[1] 王钊贵，徐鹏，曹蓉，等. 负载甲维盐介孔二氧化硅纳米球的制备及其对松材线虫的毒力性能[J]. 林业工程学报，2023，8(6)：131-136.

[2] 方天雨，刘厚言，冯源，等. 无菌松材线虫对华北落叶松、油松和马尾松的致病性[J]. 东北林业大学学报，2022，50(11)：90-93，98.

[3] 刘飞，谈家金，谢谷艾，等. 基于高光谱数据与针叶电阻率的松材线虫病早期诊断研究[J]. 光谱学与光谱分析，2023，43(10)：3280-3285.

[4] 徐昭，张瑞芝，王佳楠，等. Pk-αts高表达提高红松对松材线虫耐病性[J]. 森林工程，2023，39(5)：22-30.

[5] 江雪峰，李敏，张林平，等. 1.1%甲维盐常温注干剂预防松材线虫病侵染试验与林间施药效果研究[J]. 生物灾害科学，2023，46(3)：360-365.

[6] 梁浩，罗东升，梁德太. 松墨天牛成虫聚集信息素与树干注射剂配套防治松材线虫病技术研究[J]. 绿色科技，2023，25(15)：151-154.

[7] 王庭栋. 管涔山华北落叶松病虫害防治技术探讨[J]. 山西林业，2023(S1)：74-75.

[8] 张军生，田立荣，史静，等. 松毛虫赤眼蜂控制落叶松毛虫防治效果林间试验[J]. 林业科技，2023，48(4)：45-49.

[9] 秦东旭，崔志刚. 长白山地区落叶松毛虫生态学特性及综合防控监测技术[J]. 农业灾害研究，2023，13(7)：11-13.

[10] 王淑惠，陈丽英，路兆军，等. 烟台地区松材线虫病死树林间分布规律研究[J]. 山东林业科技，2023，53(3)：64-68.

[11] 郑华英，徐丽丽，解春霞，等. 抗松材线虫病马尾松种源的抗性相关基因分析[J]. 安徽农业大学学报，2023，50(3)：379-388.

[12] 吴继文. 落叶松毛虫的综合防治研究[J]. 热带农业工程，2023，47(3)：87-89.

[13] 赵美玲. 管涔山林区落叶松枯梢病发生原因及防治技术[J]. 山西林业，2023(3)：54-55.

[14] 方泰泉. 金寨县松材线虫病防控存在的问题及防控对策[J]. 安徽林业科技，2023，49(3)：62-64.

[15] 白慧敏. 辽宁东部山区落叶松与柞树生物量及碳储量分析研究[J]. 林业勘查设计，2023，52(3)：14-18.

[16] 赵晓佳，王道涵，谈家金，等. 松材线虫侵染后马尾松几种生化物质质量分数的变化[J]. 东北林业大学学报，2023，51(5)：130-133，153.

[17] 战航. 东北落叶松幼苗阶段主要病虫害防治技术与培育要点[J]. 温带林业研究，2021，4(2)：60-62.

[18] 韩大校，王千雪，王烁，等. 地形和森林植被因子对落叶松毛虫越冬代发生及数量的影响[J]. 林业科学研究，2023，36(2)：144-152.

[19] 洪承昊，赵飞，喻卫国，等. 松材线虫病注干施药防控技术研究进展[J]. 南方林业科学，2023，51(2)：71-74，78.

[20] 泮樟胜，孟丽琴，谢君，等. 数据透视表在核查松材线虫病枯死木清理数据中的应用[J]. 绿色科技，2023，25(7)：112-118.

[21] 黄瑞芬，武文昊，邹林田，等. 辽宁东部松材线虫病疫区落叶松疫木清理与林分更新技术[J]. 辽宁农业科学，2023(1)：91-92.

[22] 郝建清. 河北省2022年林业有害生物发生情况和2023年发生趋势预测[J]. 河北林业科技，2022(4)：56-60.

[23] 王秋月，李振兴，熊婷，等. 马尾松打孔注射20%甲维盐可溶液剂防治松材线虫病的林间药效试验[J]. 林业科技通讯，2023(4)：116-119.

[24] 甘绍泽，王晓飞，陈旭华，等. 注干施用“松线静”(5%阿维菌素乳油)防控松材线虫病研究[J]. 温带林业研究，2023，6(3)：42-47.

[25] 赵正萍，夏永刚，张敏，等. 5%依维菌素微乳剂注干预防松材线虫病效果评价[J]. 湖南林业科技，2023，50(5)：94-98.


责任编辑：陈旭

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 025

# 核桃溃疡病化学防治研究

庞久帅[1,2],赵燕琴[4],原阳晨[1,2],周苗苗[1,2],许晨阳[1],刘 伟[1],李会平[2,3]
(1. 河北省洪崖山国有林场,河北 易县 074200; 2. 河北农业大学 林学院,河北 保定 071001; 3. 河北省城市森林健康技术创新中心,河北 保定 071000; 4. 北京中林联林业规划设计研究院有限公司,北京 100000)

**摘要**:为更高效地防治核桃溃疡病,选用常用杀菌剂 25%丙环唑乳油、70%甲基硫菌灵可湿性粉剂、43%戊唑醇悬浮剂、80%波尔多液可湿性粉剂、50%多菌灵可湿性粉剂和 75%百菌清可湿性粉剂作为供试药剂,采用含药平板法及烫伤接种法分别测定供试药剂对病原菌菌丝生长和孢子萌发的抑制作用以及对离体枝条病斑的保护和治疗效果。结果表明,25%丙环唑乳油对菌丝生长的抑制效果最好,处理 5 h 抑制率为 93. 00%;除 50%多菌灵可湿性粉剂外,其他药剂均能 100%抑制孢子萌发;25%丙环唑乳油对离体枝条病斑的保护和防治作用最好,防治率分别为 74. 97%、72. 00%;添加“柔脂通”渗透剂对不同药剂的治疗效果均表现出一定的增效作用,其与 25%丙环唑乳油混合使用后防治效果最好,防治率由 72. 00%上升到 80. 39%。生产上可选用 25%丙环唑乳油配合“柔脂通”渗透剂进行核桃溃疡病防治。

**关键词**:核桃溃疡病;化学药剂;菌丝生长;孢子萌发;保护作用;抑制作用

**中图分类号**:S792. 13;S763. 1;S763. 306. 7 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0163-06
**引文格式**:庞久帅,赵燕琴,原阳晨,等. 核桃溃疡病化学防治研究[J]. 林业调查规划,2025,50(1):163-168. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 025
PANG Jiushuai, ZHAO Yanqin, YUAN Yangchen, et al. Chemical Control of Walnut Canker[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 163-168. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 025

# Chemical Control of Walnut Canker

PANG Jiushuai[1,2], ZHAO Yanqin[4], YUAN Yangchen[1,2], ZHOU Miaomiao[1,2],
XU Chenyang[1], LIU Wei[1], LI Huiping[2,3]
(1. Hebei Hongyashan State-Owned Forest Farm, Yixian, Hebei 074200, China;
2. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China;
3. Hebei Urban Forest Health Technology Innovation Center, Baoding, Hebei 071000, China;
4. Beijing Zhonglin Union Forestry Planning and Design Institute Co., Ltd., Beijing 100000, China)

**Abstract**: For more efficient prevention and treatment of walnut canker disease, selecting the commonly used fungicide 25% propiconazole missible oil, 70% Thiophanate-Methyl WP, 43% tebuconazole suspension concentrate, 80% Bordeaux mixture WP, 50% carbendazim WP and 75% chlorothalonil WP as the test fungicides, the inhibitory effect of the test fungicides on the mycelial growth and conidium germination of pathogenic bacteria was determined by drug-containing plate method, and the protection and control effect of test fungicides on vitro branches was determined by scald inoculation method. The results

**收稿日期**:2023-10-07
**基金项目**:核桃主要病害智能生态保健技术体系构建(2023YFD1401302-02).
**第一作者**:庞久帅(1994-),男,硕士,工程师. 主要从事林木种苗培育管理和林木病虫害防治工作. Email:375999270@ qq. com

showed that 25% propiconazole missible oil had the best inhibitory effect on mycelial growth, the inhibition rate was 93.00% at 5 h; except for 50% carbendazim WP, other fungicides had inhibited the conidium germination by 100%; 25% propiconazole missible oil had the best protection and control effect on vitro branches, the control effect were 74.97% and 72.00% respectively; "Rouzhitong" penetrant showed certain synergistic effect on the control effects of different fungicides, but the best treatment after mixing with 25% propiconazole missible oil, the control effect increased from 72.00% to 80.39%. Therefore, 25% propiconazole missible oil combined with "Rouzhitong" penetrant could be used to prevent and control walnut canker in production.

**Key words**: walnut canker; chemical agent; mycelial growth; conidium germination; protection effect; inhibitory effect

核桃(*Juglans regia* L.)为胡桃科(Juglandaceae)胡桃属乔木植物,属于我国历史悠久的古老果树,不仅是我国重要的经济树种,也是山区开发计划的首选生态树种[1]。我国中医和现代医学均表明核桃富含人体所需的多种营养物质[2-4]。

我国核桃年产量由新中国成立时的 50 000 t 增长到 2017 年的 4 170 000 t,而 1990 年到 2023 年,我国核桃产量占比增长达世界核桃产量的一半以上[5],成功步入世界核桃生产大国行列。随着核桃种植规模扩大和产量增长,核桃病虫害的发生和危害也日趋严重,其中核桃溃疡病是危害最为严重的病害之一,其侵染快,突发性强,当病害发生后,树势衰弱,产量锐减,严重时导致植株死亡,果农颗粒无收[6]。该病害在华北、西北、华东等地区均有发生[7],极大程度限制核桃产业发展。目前有关核桃溃疡病的记录很多,虽然已基本摸清此病的致病病原菌、侵染过程和危害症状,但一直未有明确高效的防治措施。为更加有效地防治核桃溃疡病,室内开展不同药剂对核桃溃疡病病原菌的抑制试验以及离体枝条保护、治疗试验,筛选出最佳抑菌药剂,以期为生产中高效防治核桃溃疡病提供理论依据。

## 1 试验材料

### 1.1 供试病原菌

核桃溃疡病病原菌由河北农业大学林木病理实验室提供,2017 年 6 月分离自河北保定市易县核桃园中感病枝干。供试核桃枝条采于河北省易县核桃园中 10 年生健康核桃树,直径 1~2 cm,为 2 年生健康枝条。

### 1.2 供试药剂

试验中所用药剂为生产中防治植物病害常用药剂,药剂种类及使用浓度如表 1 所示。

**表 1 供试化学药剂**

**Tab. 1 Fungicides used in the experiments**

| 供试药剂 | 生产商 | 推荐稀释倍数 | 药剂来源 |
|---|---|---|---|
| 43%戊唑醇悬浮剂 | 美国慧普森作物保护有限公司 | 3000~4000 | 保定农资技术市场 |
| 75%百菌清可湿性粉剂 | 山东天道生物工程有限公司 | 400~800 | 保定农资技术市场 |
| 25%丙环唑乳油 | 河北国东化工科技有限公司 | 1100~1500 | 保定农资技术市场 |
| 50%多菌灵可湿性粉剂 | 限公司苏州遍净植保科技有 | 500~1000 | 保定农资技术市场 |
| 80%波尔多液可湿性粉剂 | 通州正大农药化工有限公司 | 500~700 | 保定农资技术市场 |
| 70%甲基硫菌灵可湿性粉剂 | 山东海迅生物科技有限公司 | 800~1200 | 保定农资技术市场 |
| "柔脂通"渗透剂 | 河北农业大学林学院化保实验室 | 300 | 河北农业大学林学院化保实验室 |

### 1.3 供试培养基

PDA 培养基:马铃薯 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂 15 g,水 1000 mL。

水琼脂培养基:琼脂 10 g,水 1 000 mL。

### 1.4 试验仪器及设备

GXZ-380B 智能光照培养箱(宁波东南仪器有限公司);莱卡 DM4000 显微镜(莱卡显微系统有限公司);ZHJH-C1112B 超净工作台(上海智城分析仪器制造有限公司);MLS-3750 灭菌器(日本三洋电机公司)。

## 2 试验方法

### 2.1 不同药剂对病原菌菌丝生长的影响

将 PDA 培养基冷却至 50℃,与不同药剂按 3∶1

比例混匀,制成不同浓度的含药培养基,分别为80%波尔多液可湿性粉剂稀释 600 倍、70%甲基硫菌灵可湿性粉剂稀释 1 000 倍、43%戊唑醇悬浮剂稀释 3 500 倍、25%丙环唑乳油稀释 1 300 倍、50%多菌灵可湿性粉剂稀释 750 倍和 75%百菌清可湿性粉剂稀释 600 倍。核桃溃疡病病原菌活化 4 d 后,取直径 6 mm 菌饼接种到含药平板,置于 25℃恒温培养箱中保湿培养,每隔 24 h 按十字交叉法测量菌落直径,计算抑制率。每种药剂设 3 个重复,以无菌水混合 PDA 培养基为对照。菌丝生长抑制率公式为:

菌丝生长抑制率(%) = (对照菌落生长直径 - 处理菌落生长直径)/ 对照菌落生长直径 × 100%　　(1)

**2.2 不同药剂对病原菌孢子萌发的影响**

将 PDA 培养基冷却至 50℃,与不同药剂按 3∶1 比例混匀,制成不同浓度的含药培养基,分别为80%波尔多液可湿性粉剂稀释 500 倍、700 倍;70%甲基硫菌灵可湿性粉剂稀释 800 倍、1 200 倍;43%戊唑醇悬浮剂稀释 3 000 倍、4 000 倍;25%丙环唑乳油稀释 1 100 倍、1 500 倍;50%多菌灵可湿性粉剂稀释 500 倍、1 000 倍;75%百菌清可湿性粉剂稀释 400 倍、800 倍。待培养基凝固后,将核桃溃疡病病原菌孢子悬浮液均匀涂布在培养基表面,以加无菌水的平板为对照,置于 35℃恒温培养箱中保湿暗培养,4 h 后观察,计算孢子萌发率,公式为:

孢子萌发率(%) = 萌发孢子数 / 镜检孢子总数 × 100%　　(2)

**2.3 离体枝条实验**

离体枝条治疗作用实验分别选用 70%甲基硫菌灵可湿性粉剂稀释 1 000 倍液、70%甲基硫菌灵可湿性粉剂稀释 1 000 倍液+“柔脂通”渗透剂稀释 300 倍液、43%戊唑醇悬浮剂稀释 3 500 倍液、43%戊唑醇悬浮剂稀释 3 500 倍液+“柔脂通”渗透剂稀释 300 倍液、25%丙环唑乳油稀释 1 300 倍液、25%丙环唑乳油稀释 1 300 倍液+“柔脂通”渗透剂稀释 300 倍液、75%百菌清可湿性粉剂稀释 600 倍液、75%百菌清可湿性粉剂稀释 600 倍液+“柔脂通”渗透剂稀释 300 倍液。

**2.3.1 不同药剂离体枝条病斑保护作用实验**

根据不同药剂对病原菌菌丝生长和孢子萌发的抑制实验结果,离体枝条保护作用实验所选用药剂稀释浓度为 70%甲基硫菌灵可湿性粉剂稀释 800 倍、43%戊唑醇悬浮剂稀释 3 000 倍、25%丙环唑乳油稀释 1 100 倍、75%百菌清可湿性粉剂稀释 400 倍。

取当年生,长 30 cm,粗细一致的健康核桃枝条,蒸馏水冲洗干净,75%酒精表面消毒后再用无菌水冲洗,蜡封枝条两端切口,保存备用。为尽量避免枝条生长状况对实验结果的影响,将每个重复的所有处理在一根枝条上完成,共设 10 个重复,同时喷洒无菌水的枝条作为对照。枝条自然风干后,采用烫伤接种法,通过酒精灯加热玻璃棒烫伤接种部位,以供试药剂均匀涂抹于接种部位,晾干后,在伤口处接入培养 4 d 的核桃溃疡病病原菌菌饼(直径 6 mm),浸湿无菌水的脱脂棉覆盖表面保湿,并以保鲜膜缠绕,保证菌饼及脱脂棉固定在伤口处。将所有供试枝条置于 25℃、相对湿度 85%的恒温光照培养箱保湿培养。48 h 后,摘掉保鲜膜和脱脂棉,8 d 后测量病斑面积,计算发病率及防治率[8],公式分别为:

发病率(%) =(发病接种点数 / 总接种点数) × 100%　　(3)

病斑面积 = 1/4 × π × 长径 × 短径　　(4)

防治率(%) = (对照病斑面积 - 处理病斑面积)/ 对照病斑面积 × 100%　　(5)

**2.3.2 离体枝条病斑治疗作用实验**

离体枝条治疗作用试验所用药剂稀释浓度分别为:70%甲基硫菌灵可湿性粉剂 1 000 倍液、70%甲基硫菌灵可湿性粉剂 1 000 倍液+“柔脂通”渗透剂 300 倍液、43%戊唑醇悬浮剂 3 500 倍液、43%戊唑醇悬浮剂 3 500 倍液+“柔脂通”渗透剂 300 倍液、25%丙环唑乳油 1 300 倍液、25%丙环唑乳油 1 300 倍液+“柔脂通”渗透剂 300 倍液、75%百菌清可湿性粉剂 600 倍液、75%百菌清可湿性粉剂 600 倍液+“柔脂通”渗透剂 300 倍液。

参照“2.3.1”的方法,枝条经酒精消毒,无菌水冲洗干净后,每根枝条烫伤 3 处接种病原菌,发病后分别涂抹供试药剂;涂抹供试药剂+“柔脂通”渗透剂;涂抹无菌水作为对照。每种药剂处理枝条 10 根。每隔 3 d 涂抹 1 次,共涂 3 次。将供试枝条置于 25℃、相对湿度 85%的恒温光照培养箱保湿培养。第 3 次涂药 3 d 后测量病斑长径、短径,按照公式(4)、(5)计算病斑面积及防治率。采用组织分离法,将消毒后的病健交界处组织块接种至 PDA 平板,计算分离率,公式为:

分离率(%) = (分离到病原菌病斑数 / 总分离病斑数) × 100%　　(6)

## 3 结果与分析

### 3.1 不同药剂对核桃溃疡病病原菌菌丝生长的影响

不同药剂对核桃溃疡病菌菌丝生长的抑制作用见表 2。

表 2 不同药剂对病原菌菌丝生长的影响

Tab. 2 Effect of different fungicides on mycelium growth of pathogen

| 药品名称 | 菌丝生长抑制率/% | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2 d | 3 d | 4 d | 5 d | 6 d |
| 25%丙环唑乳油 | 76.00±0.00a | 86.33±0.33a | 89.10±0.11a | 92.00±0.00a | 93.00±0.00a |
| 43%戊唑醇悬浮剂 | 76.00±0.00a | 72.67±1.20b | 80.10±0.58b | 84.33±0.58b | 84.67±1.33b |
| 50%多菌灵可湿性粉剂 | 76.00±0.00a | 71.35±1.67bc | 79.33±1.20b | 81.10±2.51bc | 84.00±0.58b |
| 75%百菌清可湿性粉剂 | 76.00±0.00a | 75.33±0.33b | 80.00±0.58b | 84.28±1.00b | 84.33±0.33b |
| 70%甲基硫菌灵可湿性粉剂 | 76.00±0.00a | 61.25±8.08c | 74.20±0.58c | 77.78±1.00c | 76.67±1.20c |
| 80%波尔多液可湿性粉剂 | 21.67±3.93b | 30.33±0.88d | 34.67±2.73d | 40.33±2.33d | 37.67±3.18d |

注:表中同一列中不同字母表示经新复极差法测验在 0.05 水平差异显著(下同)。

由表 2 可知,所有供试药剂对核桃溃疡病病原菌菌丝均有抑制作用,且在一定条件下,每种药剂的抑制率均随时间的延长而逐渐上升。抑制效果最好的药剂是 25%丙环唑乳油,处理 6 d 时抑制率最高可达 93.00%,其次是 43%戊唑醇悬浮剂、75%百菌清可湿性粉剂和 50%多菌灵可湿性粉剂,抑制率分别为 84.67%、84.33%和 84.00%。80%波尔多液可湿性粉剂对病原菌菌丝抑制效果最差,抑制率最高仅为 40.33%。

### 3.2 不同药剂对核桃溃疡病病原菌孢子萌发的影响

不同药剂对核桃溃疡病菌孢子萌发的抑制作用见表 3。

由表 3 可知,处理 4 h 后,所有供试药剂对核桃溃疡病病原菌孢子的萌发均有抑制作用。其中,50%多菌灵可湿性粉剂对病原菌孢子萌发的抑制效果最差,药剂稀释 1 000 倍孢子萌发率为 70.67%,稀释 500 倍孢子萌发率为 50.23%。其余供试药剂无论是高浓度还是低浓度,均未见病原菌孢子萌发。

表 3 不同药剂对病原菌孢子萌发的影响

Tab. 3 Effect of different fungicides on conidium germination of pathogen

| 药品名称 | 稀释倍数 | 孢子萌发率/% |
|---|---|---|
| 25%丙环唑乳油 | 1500 | 0 |
| | 1100 | 0 |
| 43%戊唑醇悬浮剂 | 4000 | 0 |
| | 3000 | 0 |
| 50%多菌灵可湿性粉剂 | 1000 | 70.67 |
| | 500 | 50.23 |
| 75%百菌清可湿性粉剂 | 800 | 0 |
| | 400 | 0 |
| 70%甲基硫菌灵可湿性粉剂 | 1200 | 0 |
| | 800 | 0 |
| 80%波尔多液可湿性粉剂 | 700 | 0 |
| | 500 | 0 |
| CK | — | 82.25 |

### 3.3 离体枝条病斑保护作用实验

供试药剂对感染核桃溃疡病病原菌的离体枝条病斑的保护实验结果见表 4。

表 4 不同药剂对离体枝条病斑的保护作用统计

Tab. 4 Protection effects of fungicides on vitro branches

| 药品名称 | 稀释倍数 | 发病率/% | 平均病斑面积/$cm^2$ | 防治率/% |
|---|---|---|---|---|
| 25%丙环唑乳油 | 1500 | 75.00 | 2.56±0.88c | 74.97±8.72a |
| 43%戊唑醇悬浮剂 | 4000 | 100.00 | 6.01±0.49b | 37.69±3.34b |
| 75%百菌清可湿性粉剂 | 800 | 100.00 | 5.29±0.73b | 44.93±7.07b |
| 70%甲基硫菌灵可湿性粉剂 | 1200 | 100.00 | 5.56±0.89b | 40.59±6.54b |
| CK | — | 100.00 | 9.64±0.55a | — |

由表 4 可知,不同药剂对核桃溃疡病均有一定的预防作用,但不同药剂的预防效果不同。25%丙环唑乳油对感染核桃溃疡病病原菌的离体枝条病斑保护作用最好,与对照相比发病率降低了25%,平均病斑面积为 2.56 $cm^2$,防治率为 74.97%。43%戊唑醇悬浮剂、75%百菌清可湿性粉剂和 70%甲基硫菌灵可湿性粉剂三者间对染病离体枝条的保护效果无

显著差异,但也不同程度地抑制了病原菌的生长,与对照相比平均病斑面积分别减小 3.63、4.35、4.08 $cm^2$,防治率分别为 37.69%、44.93%、40.59%。

### 3.4 离体枝条病斑治疗作用实验

供试药剂对感染核桃溃疡病病原菌离体枝条病斑治疗实验结果见表 5。

**表 5　不同药剂对感病离体枝条病斑治疗作用统计**

**Tab. 5　Control effects of fungicides on vitro branches**

| 药品名称 | 稀释倍数 | 平均病斑面积/$cm^2$ | 防治率/% | 分离率/% |
|---|---|---|---|---|
| 25%丙环唑乳油 | 1300 | 3.04±0.34de | 72.00±3.14a | 29.53±4.09e |
| 25%丙环唑乳油+“柔脂通”渗透剂 | 1300 | 2.13±0.09e | 80.39±0.87a | 13.10±2.56f |
| 43%戊唑醇悬浮剂 | 3500 | 7.87±0.78b | 27.49±7.23cd | 67.58±3.87b |
| 43%戊唑醇悬浮剂+“柔脂通”渗透剂 | 3500 | 5.04±0.35cd | 53.57±3.26b | 40.00±5.77d |
| 75%百菌清可湿性粉剂 | 600 | 8.57±0.37b | 21.06±3.42d | 69.39±1.62b |
| 75%百菌清可湿性粉剂+“柔脂通”渗透剂 | 600 | 6.82±0.26bc | 37.12±2.42c | 51.11±0.61c |
| 70%甲基硫菌灵可湿性粉剂 | 1000 | 6.82±0.98bc | 37.19±9.04c | 54.29±2.41c |
| 70%甲基硫菌灵可湿性粉剂+“柔脂通”渗透剂 | 1000 | 5.02±0.64cd | 53.71±4.24b | 40.93±1.49d |
| CK | — | 10.85±1.28a | — | 100±0.00a |

注:表中“柔脂通”渗透剂稀释倍数均为 300 倍。

由表 5 可知,供试药剂对核桃溃疡病发病率均有一定抑制作用,但不同药剂的抑制效果不同。25%丙环唑乳油对病斑扩展的抑制效果最好,平均病斑面积为 3.04 $cm^2$,防治率为 72.00%,同其他处理相比差异显著。43%戊唑醇悬浮剂和 75%百菌清可湿性粉剂对感病枝条病斑扩展的抑制效果最差,防治率分别为 27.49%、21.06%,两者间无显著差异。

不同药剂处理染病枝条,其病斑分离率不同,25%丙环唑乳油处理病斑分离率最小,为 29.53%,同其他药剂相比差异显著。75%百菌清可湿性粉剂处理病斑分离率最大,为 69.39%。药剂混合“柔脂通”渗透剂后,25%丙环唑乳油+“柔脂通”渗透剂处理病斑分离率最小,为 13.10%,75%百菌清可湿性粉剂+“柔脂通”渗透剂分离率最高,为 51.11%。病斑分离率越小,药剂抑制菌斑扩展的效果越好,病斑分离率与防治效果呈反比关系。

从表 5 可知,所有供试药剂与“柔脂通”渗透剂混合后均比单独使用药剂的防治效果好,但不同药剂的防治率不同。43%戊唑醇悬浮剂与“柔脂通”渗透剂混合后,防治率由 27.49%上升到 53.57%,提升 94.87%,增效最高。25%丙环唑乳油与“柔脂通”渗透剂混合后,防治率由 72.00%上升到 80.93%,仅提升 12.40%,增效低。结合药剂本身防治效果,以及混合“柔脂通”渗透剂后防治率和病斑分离率,25%丙环唑乳油对核桃溃疡病的防治效果最好。

## 4 讨论与结论

皿内毒力测定和离体枝条实验表明,25%丙环唑乳油对核桃溃疡病病菌的抑制作用和防治效果显著优于其他药剂,可为化学防治核桃溃疡病提供依据。但本研究只在室内进行了药剂筛选试验,并未测定其在田间的防治效果,有待进一步研究。

皿内毒力测定试验结果表明,波尔多液可湿性粉剂对病原菌菌丝生长的抑制作用差,因为波尔多液本身无杀菌作用,主要依靠酸性液体将波尔多液中少量的碱式硫酸铜转化为可溶的硫酸铜,利用产生的铜离子侵入病原菌细胞,既可使细胞中蛋白凝固,还可破坏一些酶,从而影响细胞正常新陈代谢,达到杀死病原菌的作用[9]。多菌灵可湿性粉剂对病原菌孢子萌发的抑制效果差,因为多菌灵主要通过影响病原菌减数分裂和有丝分裂过程中纺锤体的产生而达到杀菌目的[10],可能由于分生孢子为病原菌无性生殖产物,未形成纺锤体,所以抑制效果不佳。

研究结果发现同样的药剂,在皿内的抑制效果明显优于离体枝条实验治疗效果,主要原因是皿内实验中药剂与病原菌直接接触,而离体枝条实验中由于树皮的保护,药剂与病原菌不能直接接触,药剂要渗透到皮层下才能发挥作用,所以本研究开展了渗透剂的增效作用试验。所用“柔脂通”渗透剂较稳定,适应 pH 值广泛[11],稀释倍数为 200~400 倍时对苹果枝干的脂溶性和渗透性最好[12],所以本试验选择“柔脂通”渗透剂稀释倍数为 300 倍。试验结果表明,“柔脂通”渗透剂与所有供试药剂的混合液均较单独使用原药剂的防治效果好,但防治效果提高程度不同,这可能由不同药剂本身的内吸渗透性不同所致。

受伤和树势弱的植株更易受到核桃溃疡病病原菌感染，且感染后防治难度加大，因此生产中在喷施药剂防治核桃溃疡病病原菌的同时，也应加强对核桃幼苗、幼树及不同生长时期的综合管理。选用实生苗进行栽植，严格检疫，去除伤病苗，栽植健壮苗；适时对果园果树进行合理的修剪和疏伐，促进并调节植株间的通风、透光；合理施肥松土、排灌、负载，增强树势；保持园内卫生整洁，定期清除病叶、病果、病枝、虫茧、虫卵、病树及树势衰弱的濒死树等；在日常管理过程中，降低核桃植株受伤几率，防止病原菌侵染危害。

## 参考文献：


[1] 曾纪维. 河池市核桃种质资源调查与选优评价[D]. 南宁：广西大学，2014.

[2] 覃芳，史艳财，邹蓉，等. 喙核桃与核桃营养成分的比较分析[J]. 食品科技，2020，45(7)：93-97.

[3] 李敏，刘媛，孙翠，等. 核桃营养价值研究进展[J]. 中国粮油学报，2009，24(6)：166-170.

[4] 付苗苗. 核桃的营养保健功能及药用价值研究进展[J]. 中国食物与营养，2014，20(10)：74-76.

[5] 马庆国，乐佳兴，宋晓波，等. 新中国果树科学研究 70 年——核桃[J]. 果树学报，2019，36(10)：1360-1368.

[6] 樊金哲. 陕西省山阳县与洛南县核桃主要病虫害的发生与防治[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2015.

[7] 张天勇. 核桃腐烂病发生规律及防治技术[J]. 陕西林业科技，2012(3)：78-79.

[8] 翟慧者. 防治苹果树腐烂病药剂的筛选及评价研究[D]. 保定：河北农业大学，2011.

[9] 王圣森. 波尔多液营养保护剂在果树上的应用效应研究[D]. 泰安：山东农业大学，2008.

[10] 魏中华，徐娟，郭明霞，等. 国内多菌灵的研究进展[J]. 安徽农业科学，2015，43(3)：125-127，141.

[11] 张娣. 脂溶性渗透剂“柔脂通”性能测定及林间防治效果的研究[D]. 保定：河北农业大学，2015.

[12] 梁华勇. 柔脂通对不同种类杀菌剂的渗透作用影响[D]. 保定：河北农业大学，2017.


责任编辑：陈旭

(上接第 71 页)

## 参考文献：


[1] 吴宪，赖庆奎，王亚军. 阿姆山自然保护区社区共管情况调查分析[J]. 林业调查规划，2006(6)：155-158.

[2] 张国学. 云南红河阿姆山自然保护区生物多样性保护研究[M]. 北京：中国林业出版社，2017.

[3] 自然保护区建设项目生物多样性影响评价技术规范：LY/T 2242—2014[S]. 2014.

[4] 赫尚丽，朱丽艳，李百航，等. 丽香铁路建设对保护区生物多样性的影响评价[J]. 林业建设，2013(1)：54-56.

[5] 和霞. 红河县虎街河水库建设对阿姆山省级自然保护区生物多样性影响评价[J]. 绿色科技，2018(24)：165-167.

[6] 刘倩叶. 输电线路对自然保护区生物多样性影响评价[J]. 林业科技通讯，2019(6)：19-21.

[7] 郑天水，郑静楠，宋波，等. 供水工程建设对生物多样性影响评价——以临沧澜沧江省级自然保护区为例[J]. 林业调查规划，2021，46(4)：16-21.

[8] 文勇军，杨韩，王永辉. 罗平县万峰山自然保护区拟建科普馆项目对生物多样性影响评价[J]. 林业调查规划，2022，47(4)：60-66，89.

[9] 中华人民共和国濒危物种进出口管理办公室，中华人民共和国濒危物种科学委员会. 濒危野生动植物种国际贸易公约附录Ⅰ、附录Ⅱ和附录Ⅲ[EB/OL]. (2019-11-01)[2023-10-11]. http://www.cites.org.cn/citesgy/fl/201911/W020230227516832126812.pdf.

[10] 旅游资源分类、调查与评价标准：GB/T 18972—2017[S]. 2017.

[11] 段剑坤，杨国斌. 南涧大龙潭水源林州级自然保护区保护价值分析与效益评价[J]. 林业调查规划，2022，47(3)：59-63.

[12] 吴兴华，郑进烜，余昌元. 铁路建设工程对元江国家级自然保护区生物多样性影响评价研究[J]. 林业调查规划，2016，41(6)：42-48.

[13] 王勇，郑进烜，杨东，等. 玉磨铁路建设工程对生物多样性影响评价[J]. 林业调查规划，2016，41(5)：29-37.

[14] 左保升，刘晓斌，舒相才. 森林资源动态变化分析——以云南省腾冲县明光镇为例[J]. 安徽农业科学，2015，43(8)：143-144，147.


责任编辑：许易琦

校　　对：董磊，许易琦

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.026

# 地方性知识视角下漓江西岸喀斯特传统聚落生态智慧研究

梁景慧[1],梁福兴[2],粟巧兰[1]
(1.贺州学院 旅游与体育健康学院,广西 贺州 542899;2.桂林理工大学 旅游与风景园林学院,广西 桂林 541004)

**摘要**:鉴于漓江喀斯特江岸生态景观、旅游活动、生态修复、文化体验等问题的研究,多沿江流方向展开探讨,少有沿横向廊道及其传统聚落生态智慧的研究成果。本着为喀斯特景观遗产保护和生态可持续创新发展的研究和实践提供参考和依据的目的,从地方性知识的视角出发,选取桂林市雁山区段东西横向 20 km 范围内喀斯特地貌区的三个段面进行调查研究,发现漓江西岸峰丛河谷—峰丛洼地—峰林漏斗—孤峰平原—丘陵台地等 5 种传统聚落的生态智慧具有突出的多样性、依存性、演化性和制度化等特征。

**关键词**:传统聚落;生态智慧;封禁制度;喀斯特地貌;漓江西岸

**中图分类号**:TU241.5;S718.55;B848.5 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0169-10

**引文格式**:梁景慧,梁福兴,粟巧兰. 地方性知识视角下漓江西岸喀斯特传统聚落生态智慧研究[J]. 林业调查规划,2025,50(1):169-178. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.026

LING Jinghui, LIANG Fuxing, SU Qiaolan. Ecological Wisdom of Karst Traditional Settlements on West Bank of Lijiang River from Perspective of Local Knowledge[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 169-178. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.01.026

# Ecological Wisdom of Karst Traditional Settlements on West Bank of Lijiang River from Perspective of Local Knowledge

LING Jinghui[1], LIANG Fuxing[2], SU Qiaolan[1]
(1. College of Tourism and Sports Health, Hezhou University, Hezhou, Guangxi 542899, China;
2. College of Tourism and Landscape Architecture, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China)

**Abstract**: The existing researches on the ecological landscape, tourism activities, ecological restoration and cultural experience of the karst riverbank of Lijiang River were mostly discussed along the river flow, with few research results on the ecological wisdom of horizontal corridors and their traditional settlements. In order to provide reference and basis for the research and practice of karst landscape heritage protection and ecological sustainable innovation development, from the perspective of local knowledge, three sections of the karst landform area within a horizontal range of 20 km from east to west in the Yanshan section of Guilin City were selected for investigation and research. The results showed that the ecological wisdom of five traditional settlements on the west bank of Lijiang River, including the peak cluster valley, peak cluster depression, peak forest funnel, isolated peak plain and hilly platform, had prominent characteris-

**收稿日期**:2023-10-04
**基金项目**:2022 年广西哲学社会科学规划研究课题“世界级旅游城市建设视域下桂林水陆古道景观修复与营建研究”(22FGL032);2021 年广西哲学社会科学规划研究课题“基于用户生成内容的广西民族村寨游客网络传播研究”(21BGL003).
**第一作者**:梁景慧(1996-),女,助教. 主要研究方向为旅游与景观.
**责任作者**:梁福兴(1963-),男,教授. 主要研究方向为民族旅游文化.

tics of diversity, dependence, evolution and institutionalization.

**Key words**: traditional settlement; ecological wisdom; ban system; Karst scenery; west bank of Lijiang River

传统聚落生态智慧,是指在特定地理生态条件下,经地方聚落人群长期适应、筛选、累积而形成的有关人居选址、生计模式、取水排灌、资源利用、建筑营造、生态维护和封禁制度等方面的知识谱系及其隐性规则。自美国人类学家克利福德·吉尔兹(1983)提出“地方性知识”概念、麦克尔·赫兹菲尔德(1997)提出“人类常识”理论以来,各国学者以此视角调查研究世界各地传统聚落的生态智慧及其景观保护等问题,取得了诸多重要成果。

法国 Laura Calvet-Mir(2016)[1],加拿大 Michael Bennington(2017)[2],澳大利亚 Edward Morgan(2016)[3]、Emma Woodward(2019)[4]、Stephen Muecke(2020)[5],巴西 MatukFernandaAyaviri Behagel(2019)[6],美国 BrownMadeline(2019)[7]等学者,认为“地方性知识+科学性技术”,是支持土著、社区参与本土环境保护、生态修复、景观规划、健康国家、自然食品、公地管理、家庭园艺和商业开发等建设项目的重要手段;国内学者罗康隆(2010)[8]、罗康智(2012)[9]、黄雅恒(2014)[10]、吴媛姣(2016)[11]、张银花(2017)[12]、李婧(2017)[13]、周政旭(2017)[14]、龙春林(2019)[15]、郭涛(2020)[16]等学者,调查发现我国民族地区的喀斯特、草原游牧等地方性知识谱系及其生态智慧隐性逻辑,对指导地方性景观保护、脱贫致富、乡村振兴和生态文明建设,发挥了重要的启发和指导作用。

漓江是世界级喀斯特景观遗产,有关漓江生态、景观保护利用的期刊论文现有 662 篇,但关于漓江传统聚落生态智慧的期刊论文仅有 1 篇[17]。在此从地方性知识的视角出发,选取桂林市雁山区段东西横向 20 km 范围内喀斯特地貌区的 3 个段面进行调查,发现漓江西岸峰丛河谷—峰丛洼地—峰林漏斗—孤峰平原—丘陵台地等 5 种传统聚落在人居选址、生计模式、资源利用、取水排灌、建筑营造、生态维护和封禁制度方面反映出独特的生态智慧内涵和隐性逻辑特征。该发现对漓江喀斯特世界景观遗产保护和生态可持续创新发展示范具有重要的启发作用。

## 1 调查样本说明

### 1.1 样本选择

选取 110°16′35″~110°26′30″E,25°5′30″N、25°3′50″N、25°2′20″N 的广西桂林漓江西岸雁山区段东西向 20 km 范围内 3 个段面为样本(图 1)。包括峰丛河谷—峰丛洼地—峰林漏斗—孤峰平原—丘陵台地 5 种类型的喀斯特地貌区,取名为“雁北段面”“雁中段面”和“雁南段面”。以雁中、雁南段面为参照,以雁北段面为基准,调查分析漓江西岸传统聚落在人居选址、生计模式、取水排灌、资源利用、建筑营造、生态维护和封禁制度等方面的差异与共性,探讨喀斯特传统聚落的生态智慧、景观廊道、旅游保护和生态可持续创新利用问题。

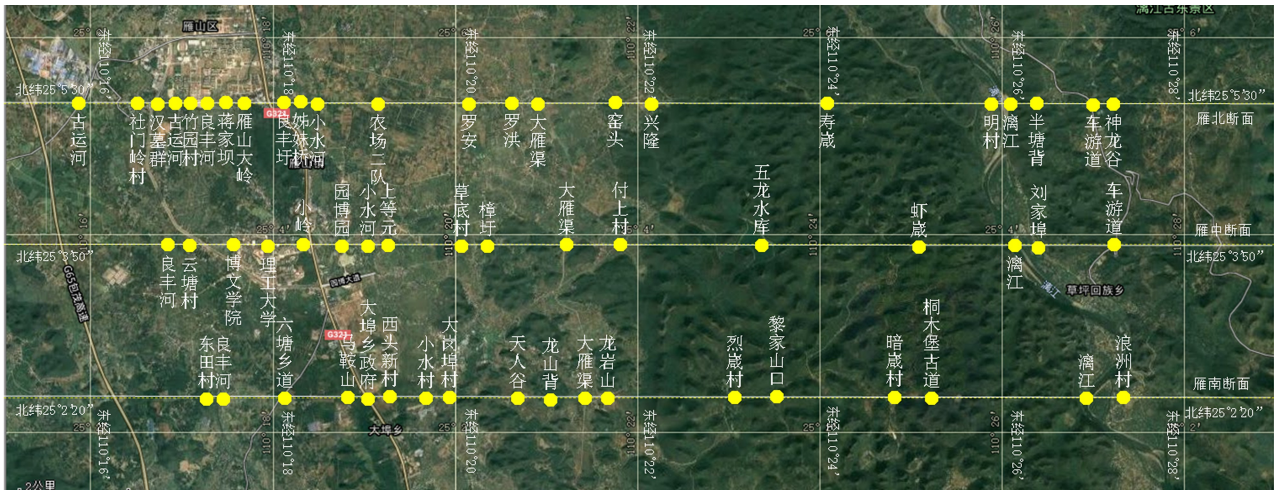



图 1 漓江西岸雁山区段雁北、雁中、雁南 3 个段面的传统聚落生态智慧调查样本分布

Fig. 1 Samples distribution of ecological wisdom survey on traditional settlements in the northern, central, and southern sections of Yanshan section on the west bank of the Lijiang River

### 1.2 地形地貌和传统聚落

在雁北、雁中、雁南 3 个段面范围内总面积约 200 $km^2$;地形从西向东梯度抬升,丘陵、峰林、峰丛急速隆起,喀斯特景观奇特(图 2)。其中,峰丛洼地 85.49 $km^2$,占 42.75%;峰林平原(含峰林漏斗、孤峰平原)36.36 $km^2$,占 18.18%;丘陵台地 48.01 $km^2$,占 24.01%;洲滩湿地 30.14 $km^2$,占 15.07%。喀斯特世界景观遗产保护区核心区和缓冲区 121.86 $km^2$,占 60.93%;居民点 22.16 $km^2$,占 11.08%;旅游地 9.97 $km^2$,占 4.99%;农林地 45.89 $km^2$,占 22.95%。

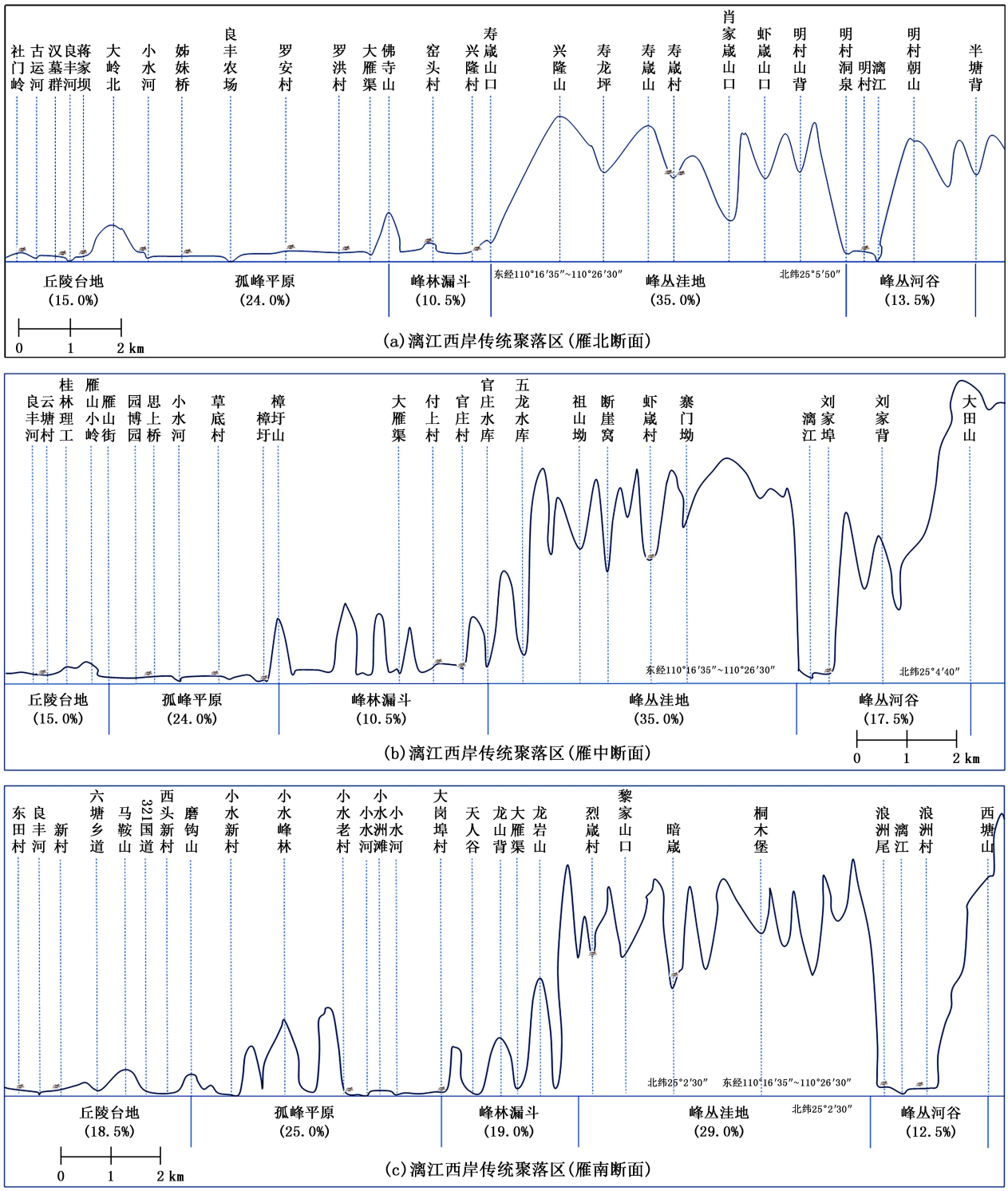



图 2　漓江西岸雁山区段 3 个段面的地形剖面

**Fig. 2　Topographic profiles of the northern, central, and southern sections of Yanshan section on the west bank of the Lijiang River**

根据 3 个段面的地形剖面图测算,峰丛河谷、峰丛洼地、峰林漏斗、孤峰平原、丘陵台地等 5 种地形地貌的平均占比分别为 14.5%、32.3%、11.5%、24.3%、17.38%。其中,峰丛河谷、峰丛洼地、峰林漏斗、孤峰平原占总面积的 82.62%,作为漓江西岸与会仙湿地喀斯特地貌区分水岭分水岭的丘陵台地占 17.38%。丘陵台地两侧是小水河谷地、良丰河谷地和桂柳古运河穿越区。调查分析的重点是雁北段面的明村、寿岚、兴隆、罗洪、安门底、李家塘、社门岭等传统聚落。雁中段面的虾岚、黎家、付上、樟圩、云塘等,雁南段面的浪洲、暗岚、烈岚、大岗埠等传统聚落是调查分析的参照点,被随机选取为同类个案进行分析说明。

## 2 漓江西岸传统聚落生态智慧的调查分析

雁北、雁中、雁南段面均有始于漓江峰丛河谷西岸洲滩聚落明村码头向西穿越峰丛河谷—峰丛洼地—峰林漏斗—孤峰平原—丘陵台地的古道路网。三条古道路网穿越峰丛洼地区后,均与桂阳古道东线、桂阳古道西线交汇,并继续向西与桂柳古运河南侧的永良古道对接,经会仙、罗锦至柳江上游洛清江东岸的苏桥、永福古镇相连,本文统称为“漓柳古道”。其中,雁北段面古道穿越明村—寿岚—兴隆—罗洪—良丰—竹园—社门岭等传统聚落,构成东西向景观廊道。该景观廊道的传统聚落人居选址、生计模式、资源利用、取水排灌、建筑营造、生态维护和封禁制度等要素,是实地观察、村民访谈、测量列表、图面分析和描述论证的重点。

### 2.1 人居选址:屯戍移民,随机择地,调适定居,遵从风水择居模式

据村民口述,漓江西岸各传统聚落的开基先祖,多因充军戍守、犯事潜逃、寻地谋生,分别从山东、湖北、江西等地辗转而来,人居选址随机性很强。迁移漓江西岸区域后,多经本地微调或择地再迁,逐渐形成定居形态。现存传统聚落均遵从“风水择居”模式,讲究环合朝向、取水便利、空间容量、交通往来等人居环境条件适配。各聚落情况如表 1 所示。

**表 1 漓江西岸传统聚落人居选址关键要素对比分析**

**Tab. 1 Comparative analysis of key elements for residential site selection in traditional settlements on the west bank of the Lijiang River**

| 调查对象 | 祖籍来源 | 地形地貌 | 取水排灌 | 空间容量 | 内外交通 | 人居优劣 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 明村<br>访谈 5 人 | 吴氏家族<br>明末清初<br>迁自大埠 | 峰丛江峡<br>前川瀑流 | 江湾引灌<br>雨洪避水 | 310 村民,人均田 567 $m^2$、<br>旱地 267 $m^2$ | 码头船渡<br>山道出行 | 田多水足,<br>山路、船渡<br>出行 |
| 寿岚<br>访谈 7 人 | 秦熊舅甥<br>元明犯事<br>充军屯戍 | 环山围合<br>洼地延绵 | 深洞挑水<br>山洼漏排 | 200 村民,人均旱地 534 $m^2$、<br>水田 133 $m^2$ | 3 条石道<br>翻山出行 | 薪材,生态<br>优异,山深<br>人稀 |
| 兴隆<br>访谈 4 人 | 秦氏家族<br>源自寿岚<br>租佃迁出 | 背靠峰丛<br>面朝峰林 | 局部径流<br>戽车提灌 | 260 村民,人均水田 267 $m^2$、<br>旱地 534 $m^2$ | 古道交汇<br>偏处山口 | 常有山洪,<br>戽坑提灌,<br>田少 |
| 罗洪<br>访谈 9 人 | 葛氏家族<br>明末湖北<br>荆州寻地 | 村后峰林<br>平原坡地 | 悬渠流灌<br>深沟排水 | 1200 村民,人均田 800 $m^2$、旱<br>地 667 $m^2$ | 平田路网<br>畅达圩市 | 水田山地<br>充足,排水<br>困难 |
| 社门岭<br>访谈 8 人 | 刘氏家族<br>清中江西<br>运河守陡 | 丘陵台地<br>背坡面水 | 井泉取水<br>运河渠灌 | 500 村民,人均田塘林草地各<br>667 $m^2$ | 运河古道<br>纤道阡陌 | 水旱皆宜,<br>古道运河,<br>生态 |

据村民口述,寿岚先祖为舅甥 2 人、虾岚先祖为兄弟 2 人,大约于元末明初进山定居。最辉煌时,寿岚秦龙祠掌管“九十九仓”钱粮,成为“万人村”(战乱避难);虾岚首领管控峰丛洼地区所有范围,深山古道路网、旗杆夹石、饮马水槽等古道驿站设施,是为迎接“二品夫人巡山”所建,山中“七十二寨门”等城防设施为“咸丰之乱”时期由大岗埠聚落的唐仁、唐智等主持山里山外村民重修。竹园、社门岭先祖刘梦侯父子 3 人于清中期从江西充军守陡(船闸)而来,后分化为运河沿岸守陡聚落群。罗洪葛氏先祖于明末清初从湖北荆州迁来,定居于孤峰平原;清末陆续接纳峰丛洼地山民外迁,形成峰林漏斗区兴隆 10 村聚落。

### 2.2 生计模式:稻作农耕,山地种养,果蔬园圃,自足交易规模转化

与明清时期的驿道山歧、运河守陡和堡寨屯戍等服役领俸的生计模式不同,今漓江西岸传统聚落得以持续的基础是“稻作农耕,循环种养”生计模式。各聚落不管土地规模如何,均以鱼羹稻饭为根本,同时利用稻田、秕谷、米糠等衍生产出饲养鸡、鸭、猪、牛等提供肉类副食品;利用稻田共生的鱼、蛙、螺、鳝等改善营养食谱;利用稻草铺垫畜栏获取粪肥回田,提高稻田肥力以增加稻谷产出;利用旱地、园圃种植杂粮果蔬以增加食品供量;利用聚落周边的生态资源和天然物料,通过手工转化为篮筐、舀斗等可交换物品以增强生计能力。

据明代万历年间广西巡抚杨芳编撰的《殿粤要纂》记载,漓江西岸区域曾是“壮村”和“瑶村”聚落区,兼有“民村”错杂分布,如今壮、瑶聚落已消失。寿歧、虾歧、暗歧、烈歧等深山歧寨及其外围山口的“白竹堡”“水源堡”“大木堡”等军屯堡寨遗址,与明代“府江之乱”200 余年的屯堡有关[18]。因地表水源和可耕稻田奇缺,深山歧寨以“讨山找补,山外佃租”的生计模式长期维持。清代中期,官方鼓励山地发展“桐茶棕麻”生态产业[19],推广玉米、红薯、芋头、板薯、黄豆、高粱等旱作杂粮种植,以杂粮饲养禽畜,交换山外稻米。

始于清中期的漓江沿岸区域的“桐茶棕麻”生态产业持续了 150 余年。其中,旱地苎麻种植和粗加工一度成为 1980 年代沿江聚落最重要的经济收入来源。每到产麻时节,300 艘机动船延绵于漓江,直下梧州、广州出口海外[20]。至今仍随处可见油桐、油茶、毛棕榈、苎麻作物遗存。1985 年,当地政府推广山地山羊养殖以扶贫。2016 年,漓江喀斯特世界景观遗产申报成功,漓江沿岸全面禁羊,但至今未能阻断;同时,漓江西岸喀斯特山地、峰林水田规模化转种柑橘、枇杷、黄花槐、山野葡萄和瓜菜,大量稻田成为旱地,稻田水景多成绿景。

### 2.3 取水排灌:雨洪避水,洞泉取水,洼涝排水,提灌自流各成体系

漓江景观的活力在山水,聚落安居的命脉在水源。地处峰丛河谷顺水洲滩的明村吴氏家族,清初从今愚自乐园区域迁到漓江滨水洲滩,首先考虑的就是近山洞泉饮水便利,居址定在洲滩偏下的区域建房立村,今吴氏宗祠所在处即为原初居址中心。该区域可免受山洪、江洪双重威胁,洞泉水源前部深挖河沟,将雨季奔涌的洞泉和山洪直接排至洲尾漓江;在上游洲头和环滩河岸密植竹木,以避免漓江洪峰冲击;在村后山脚区域保留带状原始林,于山脚河沟种植枫杨林涵养水源,同时堵截落石威胁。聚落周边约 17.3 $hm^2$ 洲滩沃土及其稻田的流灌水源来自上游洲口和斗米山洞泉,稻田沟渠与聚落田塘连成水网,确保洲滩排灌无虞。

峰丛洼地区的寿歧、虾歧、黎家、暗歧、烈歧等聚落地表无径流,地下水贯通漓江,原始洞口深邃而隐蔽。始建初期,各聚落先祖通过观察猴群钻洞饮水而发现水源,依靠开挖“百步梯”下洞挑水以解决人畜饮水问题。曾号称“万人村”的寿歧,除了开挖 88 级地下河台阶下洞取水外,还在上村和下村分别开凿了 1 口圈井以供人畜提水饮用。为解决古道驿站人畜饮水和洗涤方便,峰丛洼地聚落在路边井旁设置巨型盛水石盆,种植桂花树等遮荫,供路人歇息纳凉,同时设置旗杆夹石兼作拴马桩使用,形成独特的深山古道水井生态文化景观。

兴隆及其周边峰林漏斗区聚落,有 10 村是从寿歧、黎家等峰丛洼地区迁出山外佃租水田形成的秦姓聚落。该区域地处峰丛洼地与孤峰平原之间,地下河泉潭水位低于地面 1~3 m 不等,并随着漓江水位涨落,形成峰林漏斗地貌区。聚落前稻田水平面往往高出地下泉潭水平面,仅有少数土层较为厚实的区域能够从峰丛洼地山口引流灌溉。以兴隆村为典型的峰林漏斗区聚落,创造出“深沟排洪,舀车提水,悬渠引灌,林荫休闲”的峰林田园排灌体系,恰好桂阳古道东线蜿蜒于聚落田园烟树间,从东山峰林延伸 20 km 直达灵口峰林区域。

雁北段面罗洪至姊妹桥的孤峰平原聚落,地下河口与地表径流水平面大致持平,雨季排水不畅,旱季自流缓慢。当地聚落创造了“深挖沟渠排水,高垒悬渠引流,圈围潭基引灌,石壁竖井饮水”的综合性取水排灌系统,造就了田塘水网纵横交错的孤峰平原聚落景观。而地处丘陵台地区域的蒋家坝、鱼梁头、竹园、社门岭等河岸聚落,村前土层深厚,村后坡地平缓,从良丰河堰坝、桂柳运河陡门引流的灌渠绕村入田,形成顺畅自流的低梯度稻田排灌系统。清中时期至民国初年,蒋家坝河段因紧邻运河集镇良丰圩,出现了“蒋家三坝,水车咿呀;米粮油坊,帆船过往”的繁盛景象。从唐开运河到清代末年,每隔 30 年左右,官方都要组织大修运河的河道、陡门、泊湾、货坪、码头、灌渠,以利通航和灌溉[21-22]。据

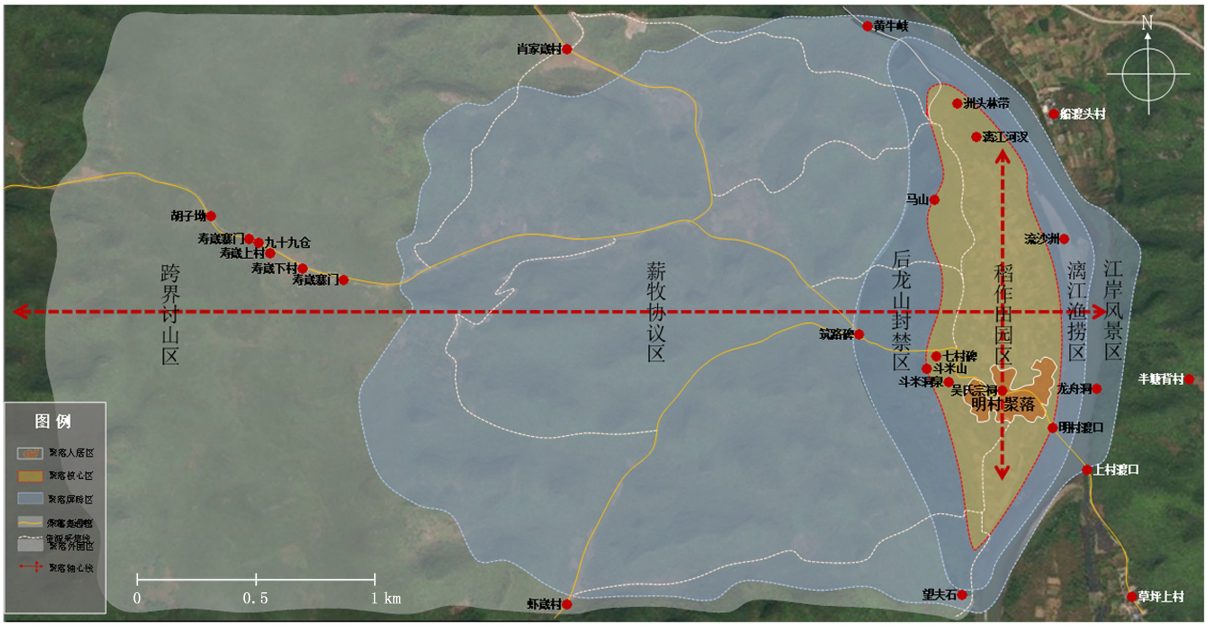
村民口述:“1978 年前后,这里雁鹅(大雁)成群;鲤鱼跳龙门时,人都不敢过坝!”

### 2.4 资源利用:内部圈层,跨界薪牧,圩市交换,形成和谐共生机制

雁北、雁中、雁南各聚落以古道为脉络,形成“村内资源圈层”和“村际资源共享”的资源利用系统。以明村为例,清中至清末,地处漓江峰丛洲滩下半部的吴氏家族围绕约 17.3 $hm^2$ 水田,发展到 50 多户人家,拥有 60 余头耕牛,构筑了村周林池、洲面田地、滩岸竹木、滩面鸭鹅、河水渔捞、山崖林木的生态资源圈层结构,但无法解决薪牧场地问题,明村便与地处峰丛深山的寿岚(三村)、虾岚、肖家岚、黎家共同订立“七村碑”协议:禁伐大树、保护青山、共用牛场、限割柴草、共享渔捞、铺路修桥等;罗洪、兴隆等山外聚落则与黎家、寿岚等山地岚寨聚落订立“佃耕议帖”,解决深山缺田、山外撂荒等问题(图 3)。




(a)




(b)

图 3　漓江洲滩明村聚落稻作生计模式与跨界形成的内外部生态资源圈层结构

**Fig. 3　Livelihood model of rice cultivation and the internal and external ecological resource circle structure formed by cross-border activities in Mingcun Village of Lijiang River**

峰丛崴寨对山外聚落的最大贡献,主要体现在水源维护、薪牧开放和战乱避难等多个方面。各聚落之间通过筑路往来、修庙共祭、战乱避祸、圩市交易和相互扶助等途径,建构形成了聚落内部的生态资源圈层与聚落之间的生态资源协同等依存共生机制(图 4)。

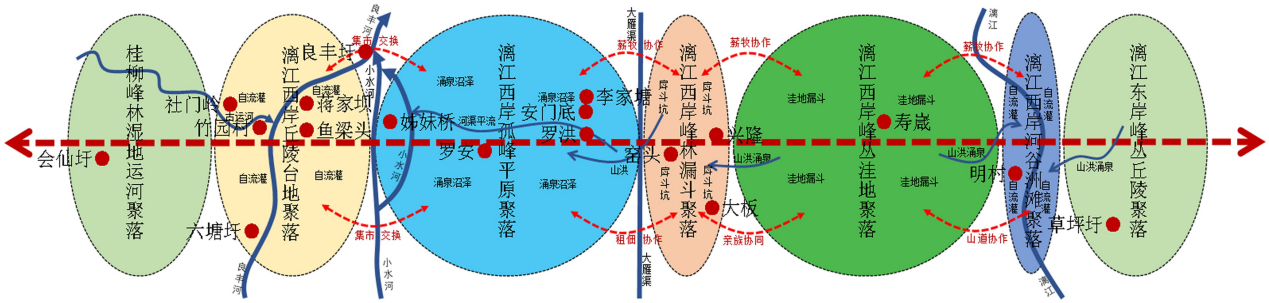



**图 4　漓江西岸 5 种传统聚落内部生态资源圈层与外部协同共生机制**

**Fig. 4　Internal ecological resource circles and external collaborative symbiosis mechanisms of five traditional settlements on the west bank of Lijiang River**

雁北、雁中、雁南段面的古道交通、商旅往来、货郎售卖、圩市交易等行为,在资源圈层与协同共生系统中发挥着非常重要的纽带连结作用。漓江、运河、柳江的水运、船渡、货坪、圩市与漓柳古道、桂阳古道相互交接,形成了柘木圩木料、大埠圩米粮、六塘圩农具、良丰圩船货、草坪圩驿站、会仙圩鱼市等连结 10~30 km 范围内传统聚落的圩市交易节点。这些节点的作用,跨越江河、湿地的阻隔,延伸到漓江两岸、会仙湿地和柳江东岸等区域。

### 2.5　建筑营造:石料土坯,木构瓦顶,院落敞厅,高墙堡寨防御建筑

依山就势、就地取材、手工建造,是漓江西岸传统聚落建筑营造的共有特征:高院墙、厚闸门、天井院、两进屋、敞厅式、三开间、木排架、地居楼藏,厅内两侧均以竖梯上楼,所有建筑的排架、门窗、挑首、承托、墙板、瓦板、楼面、屏风等木构材料,均来自漓江上游漂运而来的杉木,极少见当地普遍种植的椿树、樟树等木料;房屋四面厚重高墙围合,墙体倒塌时,房屋排架及其瓦顶安然无恙,呈现出明显的漓江早期和现存五岭山脉区域的壮侗、苗瑶民族的吊脚楼特征;建筑营造差别主要表现在墙体材料、体量大小、技艺精度等方面(表 2)。

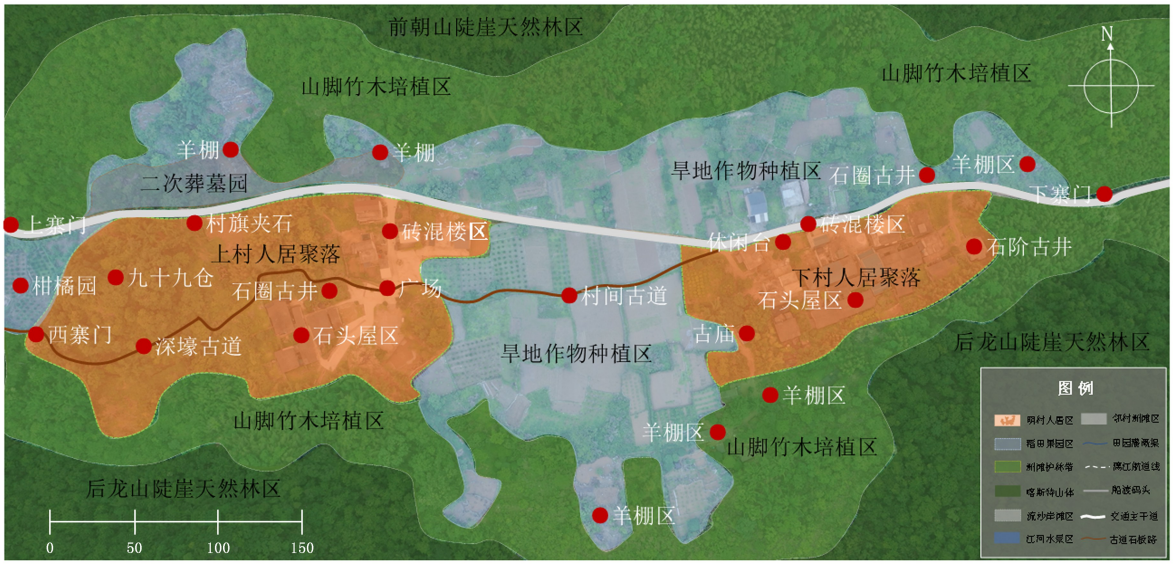
峰丛洲滩区的明村、浪洲等聚落,稻作土深厚,建筑材料多鹅卵石地基,稻田土坯墙体,建筑体量普

**表 2　漓江西岸 5 种聚落代表性建筑营造材料对比**

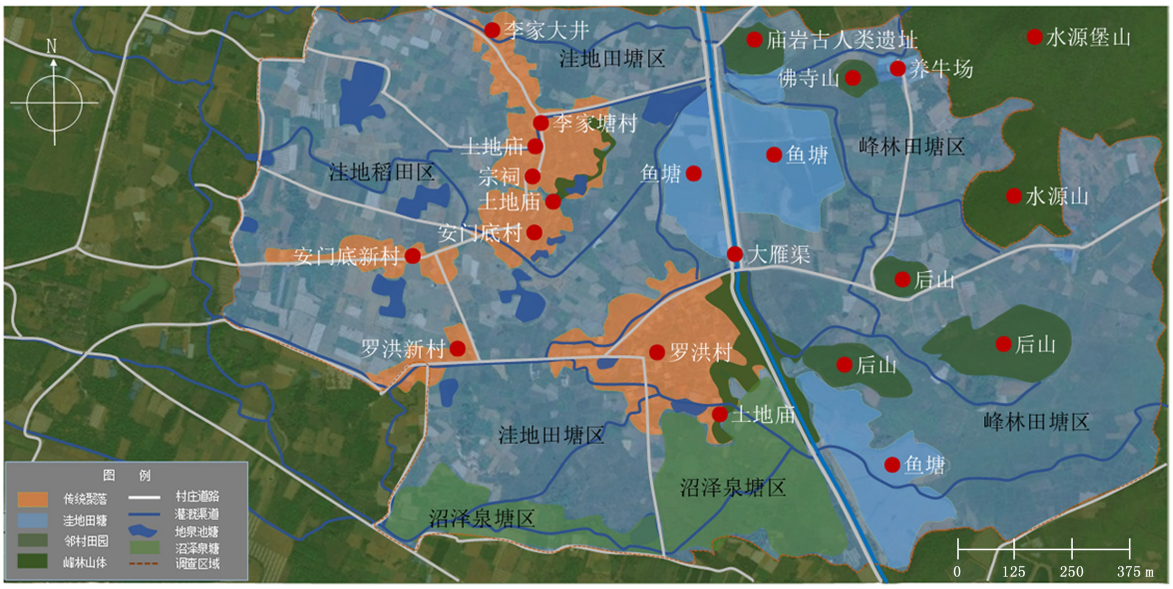
**Tab. 2　Comparison of five representative building materials for settlements on the west bank of the Lijiang River**

| 传统聚落 | 地基材料 | 墙体材料 | 屋顶材料 | 铺地材料 | 架构材料 | 建筑配件 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 明村 | 石灰岩、鹅卵石,立地面 40 cm | 整体性稻田土坯或兼鹅卵石 | 小青瓦,无脊饰和瓦当 | 院阶石条,鹅卵石三合土 | 杉木屋架梁板门窗 | 粗石础石阶兼青砖石条 |
| 寿崴 | 石灰岩,多数平整石砖石块 | 精致石砖石条兼石灰岩石块 | 小青瓦,无脊饰和瓦当 | 院阶石板石条石块拼花 | 杉木屋架梁板门窗 | 粗石础石阶兼竹条泥墙 |
| 兴隆 | 石灰岩块地基,垒砌较为简易 | 下部岩块垒砌,上部稻田土坯 | 小青瓦,无脊饰和瓦当 | 碎石拼铺地面,石条阶院 | 杉木屋架梁板门窗 | 粗石础石阶兼竹条泥墙 |
| 罗洪 | 石灰岩块地基,少数打制石砖 | 上部稻田土坯,下部石墙包砖 | 小青瓦,无脊饰和瓦当 | 三合土夯地,粗石板院阶 | 杉木屋架梁板门窗 | 粗石础石阶兼青砖包角 |
| 社门岭 | 石灰岩块地基兼粗石条起底 | 整体性稻田土坯,少数青砖贴面 | 小青瓦,无脊饰和瓦当 | 三合土夯地,粗石板院阶 | 杉木屋架梁板门窗 | 粗石础石阶兼高基石砖 |

遍较小,建筑技艺粗糙;峰丛洼地区的寿崀、虾崀、黎家等聚落,变低石漠,建筑起基、垒墙、铺地、筑路、围城、圈园,多石砖、石条、石板、石块,随处可见石碑、石像、石盆、石井、石夹、石阶、石槽、石础、石城、石井、石巷……,构筑成粗犷与精细不一的石匠世界(图 5);峰林漏斗区的兴隆等 10 村聚落建成较晚,建筑材料多土石结合,体量较小,技艺简单,兼有峰丛洼地和孤峰平原建筑特征;孤峰平原区的罗洪、李家塘、安门底等聚落,薪柴、石料取用不便,稻作土深厚,多精致土坯垒墙,少石料和青砖包面建筑,巷道多碎石铺设;丘陵台地区的社门岭、竹园、鱼梁头、蒋家坝等聚落,红壤黏土、稻作土层深厚,多见土坯墙、青砖墙和少数夯土墙,粗石块墙基,工艺较粗糙,部分墙体青砖包面。




(a)




(b)

**图 5 寿崀峰丛洼地聚落区和罗洪孤峰平原聚落区的生态维护模式**

**Fig. 5 Ecological maintenance models for the settlement areas of Shougao peak cluster depression and Luohong isolated peak plain**

漓江西岸传统聚落普遍缺乏全青砖建筑,唯有雁南段面的大岗埠古村是一个特例。大岗埠古村原聚落因“咸丰之乱”尽毁,现存唐氏庄园全青砖建筑群(原名“唐村华堂”)建成于清同治年间,以祖屋祠

堂为中心,前部为晒坪,左侧为私塾;在祠堂、私塾两侧各建五进五院敞厅式大院落 2 套;院落、祠堂、私塾间以拱门、方门、园门、院门、闸门相互连通;前院有石圈竖井 2 口,其中左侧前院井面约 10 $m^2$,石板铺地,设井神位、洗漱石盆、倒水口和洗衣石台。唐氏庄园建筑群占地面积 1 800 余$m^2$,所有建筑均为青砖墙、硬山顶、小青瓦、抬梁排架、敞厅式,石砖垒基、石板铺地、石条圈围、杉木排架、架板、楼面、雕花、拱券,整个工程由碧云坊历时 7 年精心制作完成。唐氏庄园周边有唐氏族人的石基青砖院落 30 余座,整个大岗埠古村聚落环以三座石寨门石土寨墙构成堡寨式聚落群。

**2.6 生态维护:聚落古木,坑塘林荫,田园烟树,培育生态人居环境**

长期处于自足农耕状态下的漓江西岸传统聚落,形成了一整套相对平衡稳定的生态规约惯制。村民取水排灌、取薪放牧、垦荒种地、修桥铺路、挖塘建房等行为少有以生态为代价的事件发生。人们习惯在房前屋后种植竹木、经营园圃、培植杂果,在村口、庙坛、路旁、码头、坑塘、古道、山坳等处培植桂花、榕树、乌桕、重阳木等树种营造生态人居环境。

以寿岚为典型的生态圈层质量特别优异,除少量耕作区、薪牧区和崖壁山体裸露外,聚落圈层生态植被生长旺盛。寿岚上村"九十九仓"遗址区,原为屯粮避乱的城防堡寨体系,现寨门、壕沟、巷道、崖台和仓房均已废弃,榕树、枫香等古木高大挺拔,竹木覆盖整个小山,石墙石板构筑的环山壕沟被藤本植物全部覆盖,古道荒芜,整个堡寨成为鸟类繁殖的场所;从上村到下村,寿岚聚落椿树、桂花、棕榈、杂果林荫如盖,春冬避寒,夏秋凉爽;环围山脚竹林,是 1980 年代筹划发展竹编产业而种植的"寿竹"(金竹),现已不采,环村漫长,形成竹林圈层;竹林之上,密集的乔木、灌木、藤本阻挡竹林侵入,形成竹木混交林圈层;混交林之上,崖壁横生灌木茂盛,延至山顶、山坳形成挺立上扬的乔木与灌木混交林圈层。漓江西岸峰丛洼地区崀寨聚落人口不断外迁,生态维护修复力与其他聚落区反差强烈。

以兴隆为典型的峰林漏斗区聚落生态维护,主要体现在峰林山体植被因薪柴被电力、燃气替代而持续恢复旺盛,鸟类繁殖环境改善,白鹭、苍鹭、毛鸡、斑鸠、鹧鸪等数量增多,随处可见活动的踪影;山口水源形成半年左右的地表径流;峰林田园间的舟车坑塘与河道两岸的重阳、乌桕等护岸、遮荫、保水树木生长旺盛。以罗洪、安门底、李家塘等为典型的孤峰平原区聚落的生态维护和改善,主要体现在村后林带、孤峰山体、田塘河道和沼泽沟渠和斑块果林增多;以社门岭为典型的丘陵台地聚落,河岸水淹增强,水田荒芜,种植转向坡地,河岸林木葱郁,村旁林荫连绵,生态维护修复力大为增强。但是,雁山科教产业园用地持续向传统聚落区侵入,原有松林草地已经被城镇化建设用地大面积替代。

**2.7 封禁制度:长山庙坛,水源河渠,村场古树,构筑神山圣水家园**

"长山"封禁制度,是漓江西岸传统聚落长期延续不变的"风水林"保护制度。所谓"长山",亦称"掌山",即任其自然生长,支撑保护聚落人居环境的风水山和风景山。明村聚落背靠的斗米山和马山都是"长山",以岩榕、构树、龙鳞树等为主,林木从斜坡崖缝中茂长,上接山崖灌木林带,下连溪沟枫杨林和坡地椿树林、枫香林、杂木林;寿岚环围山体,是数百年从未扰动过的"长山";兴隆村建村历史不够久远,村后"长山"尚未成形;但是兴隆村前方的板桥、窑头等聚落的"长山"郁郁葱葱,乔木、灌木、藤本植物交错生长,是植被和鸟类理想的繁殖地;罗洪村后的"长山"延伸得很远,茂林山体俯卧在平旷田园里格外显眼。

笔者试图登上李家塘村后的佛寺山、庙岩山和安门底村后的社坛,唯有庙岩古人类遗址区有登山小道进入,佛寺山脚竹木、藤本、古树间有多种菌类在春雨中漫长;社门岭村虽然没有专属的"长山",但是历代村民日晒雨淋地守陡、拉纤、管水养成的爱树、护树习惯,将村边 800 年树龄的古樟树和 300 年树龄的枫香树及其衍生出的次生樟树林、枫香林和特地种植的桂花、柏树,自然生长的乌桕树等看成"长山",在村边樟林立碑封禁。

漓江西岸雁北、雁中、雁南三个段面各传统聚落都有各自专属的"长山"。按规约惯制,"长山"都具有神圣性,村民和路人均不得扰动其中草木。无数个传统聚落的无数个"长山",构成数量庞大的喀斯特地貌区原生动植物种群斑块。此外,各传统聚落还有数量、规模、严度不等的社坛、庙山、水源、防洪、河道、村口、井坪、古道、坑塘等封禁或禁忌斑块,点、线的网络交集,构成喀斯特世界景观遗产保护区内外生态可持续创新发展的重要基础。

## 3 研究结论与启示

综上所述,从地方性知识的视角深究,漓江西岸喀斯特地貌区 5 种传统聚落的生态智慧,既有各自

的独特性,又有彼此的共同性。归纳起来,得出以下结论与启示。

1)漓江西岸喀斯特地貌区传统聚落以稻作农耕生计为基础,外来汉族移民经与本土人居生态环境相适应,重构了漓江喀斯特峰丛河谷—峰丛洼地—峰林漏斗—孤峰平原—丘陵台地等 5 种生态圈层的维护与修复制度,风水信仰、庙坛禁忌、村规民约等,从生计、制度到精神层面,构筑形成了特色鲜明的地方性知识谱系,并内化为永续生存发展的生态智慧。

2)具有精神信仰支撑力的传统聚落封禁制度,是中国传统生态环境和景观保护的底层基石。该基石在自足农耕时代发挥着非常重要的生态维护和景观保护作用。在喀斯特地貌区,由于生态环境不同,各传统聚落在山体、林木、水源、坑塘、排灌、防洪、耕牧、种养、建筑、薪材、牧场等方面,都拥有严密度不同的封禁规约和圣俗禁忌等社群规约制度。在商业社会环境下,同样需要人类保持对“天人地水”的敬畏意识和规约法制的基石架构。

3)在现有顺江河流向发展山水旅游基础上,应特别关注河岸横向景观廊道、传统聚落及其生态智慧的多样性引力和旅游变现潜力的发掘,通过构筑限量版的徒步、骑行、车游、自驾、科考、探险、露营、写生、摄影、休闲、度假等深度体验旅游项目,推出特色内涵突出的古驿道、生态村、夜民宿、科技馆、考察站等新型特种旅游产品,彰显中国南方喀斯特世界景观遗产地传统聚落的文化生态旅游保护利用成果,和可持续创新发展的示范作用与独特魅力。

## 参考文献:


[1] CALVET-MIR L, RIU-BOSOMS C, GONZÁLEZ-PUENTE M. The Transmission of home garden knowledge: Safeguarding biocultural diversity and enhancing social-ecological resilience[J]. Society & Natural Resources, 2016, 29(5): 556-571.

[2] BENNINGTON M. Co-creating neighbourhoods for health: An inverted socio-ecological approach[J]. Journal of Transport & Health, 2017(5): 54.

[3] MORGAN E, COLE-HAWTHORNE R. Applying a shared understanding between Aboriginal and western knowledge to challenge unsustainable neo-liberal planning policy and practices[J]. Australian Planner, 2016, 53(1): 54-62.

[4] WOODWARD E, MARRFURRA MCTAGGART P. Co-developing Indigenous seasonal calendars to support 'healthy country, healthy people' outcomes[J]. Global Health Promotion, 2019, 26(3): 26-98.

[5] MUECKE S, EADIE J. Ways of life: Knowledge transfer and Aboriginal[J]. Educational Philosophy and Theory, 2020, 52(11): 1201-1213.

[6] MATUK F A, BEHAGEL J, SCHAEFER G R. Deciphering landscapes through the lenses of locals: The 'territorial social-ecological networks' framework applied to a Brazilian maroon case[J]. Geoforum, 2019, 100(3): 101-115.

[7] BROWN M. Yi Ethnomycology: Wild mushroom knowledge and use in Yunnan, China[J]. Journal of Ethnobiology, 2019, 39(1): 131-149.

[8] 罗康隆. 论苗族传统生态知识在区域生态维护中的价值——以贵州麻山为例[J]. 思想战线, 2010, 36(2): 40-44.

[9] 罗康智. 侗族传统文化蕴含的生态智慧[J]. 西南民族大学学报(人文社科版), 2012, 33(1): 45-49.

[10] 黄雅恒, 杨文武, 程文. 贵州侗族传统生态伦理道德研究[J]. 兰台世界, 2014(28): 90-91.

[11] 吴媛姣, 吐尔洪·司拉吉丁. 贵州多民族本土知识的现状及传承保护——以都柳江文化走廊为例[J]. 贵州民族研究, 2016(6): 77-81.

[12] 张银花. 蒙古族传统游牧智慧的价值启示: 以“五畜和谐共生思想”为例[J]. 前沿, 2017(5): 87-90.

[13] 李婧, 韩锋. 贵州鲍家屯喀斯特水利坝田景观的传统生态智慧[J]. 风景园林, 2017(11): 93-98.

[14] 周政旭, 刘加维, 钱云. 喀斯特山地河谷人居生态系统研究: 以贵州安顺扁担山布依聚落为例[J]. 贵州民族研究, 2017, 38(8): 106-111.

[15] 龙春林, 裴盛基, 朱明婧, 等. 人与植物, 从物质到精神: 少数民族的生存智慧[J]. 科学, 2019(2): 2.

[16] 郭涛, 熊康宁, 刘肇军, 等. 草原文化对喀斯特石漠化治理的启示及展望[J]. 生态科学, 2020, 39(6): 205-212.

[17] 陈曦. 漓江流域地名与民族生态文化探析[J]. 重庆文理学院学报(社会科学版), 2017, 36(4): 73-78.

[18] (明)杨芳. 殿粤要纂[M]. 范宏贵点校. 南宁: 广西民族出版社, 1993.

[19] (清)吴征鼇. 临桂县志[M]. 石印本. 桂林市档案馆翻印, 1963.

[20] 编委会. 桂林漓江志[M]. 南宁: 广西人民出版社, 2002.

[21] 唐凌. 清朝大修桂柳运河原因探析[J]. 广西师范大学学报(哲学社会科学版), 2010, 46(5): 84-89.

[22] 唐凌. 论清朝大修桂柳运河的功与过[J]. 广西地方志, 2010(3): 34-38, 47.


责任编辑: 刘平书

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 027

# 陕西省域森林康养产业竞争力测度及提升策略研究

庞 静,戴平章
(安康学院 经济与管理学院,陕西 安康 725000)

**摘要**:从资源竞争力、市场竞争力、基础条件竞争力、环境竞争力四个方面构建森林康养产业竞争力评价指标体系,采用熵权 TOPSIS 法分析行业竞争力。结果表明,2015—2022 年陕西省森林康养行业竞争力水平总体呈上升趋势,但各市竞争力水平差距明显,总体上呈现“南部及中部地区较高,北部地区偏弱”的空间特征;关中中部、陕西南部森林康养产业竞争力较强;关中西部、陕北南部森林康养产业竞争力一般;关中东部、陕北北部森林康养产业竞争力偏弱。根据评价结果,提出提升省域森林康养产业竞争力的建议。

**关键词**:森林康养;产业竞争力;熵权 TOPSIS 法;陕西省

**中图分类号**:S788. 1;F416. 88 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0179-07

**引文格式**:庞静,戴平章 . 陕西省域森林康养产业竞争力测度及提升策略研究[J]. 林业调查规划,2025,50(1):179-185. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 027

PANG Jing, DAI Pingzhang. Competitiveness Measurement and Promotion Strategy of Forest-based Health Preservation Industry in Shaanxi Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 179-185. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 027

# Competitiveness Measurement and Promotion Strategy of Forest-based Health Preservation Industry in Shaanxi Province

PANG Jing, DAI Pingzhang
(School of Economics and Management, Ankang University, Ankang, Shaanxi 725000, China)

**Abstract**: The evaluation index system of the competitiveness of forest-based health preservation industry was constructed from four aspects of resource, market, basic condition and environment. Entropy-weighted TOPSIS method was used to analyze the competitiveness of forest-based health preservation industry in Shaanxi Province. The results showed that the competitiveness of forest-based health preservation industry in Shaanxi Province was increasing from 2015 to 2022, but there was a significant gap in competitiveness levels among cities, which presented a spatial characteristic of “higher competitiveness in the southern and central regions, and weaker competitiveness in the northern regions”; the competitiveness was strong in central area of Guanzhong and southern Shaanxi, average in western area of Guanzhong and southern area of northern Shaanxi, and relatively weak in eastern area of Guanzhong and northern area of northern Shaanxi. According to the evaluation results, suggestions were proposed to improve the competitiveness of forest-based health preservation industry in Shaanxi Province.

**收稿日期**:2023-12-12;**修回日期**:2024-02-01

**基金项目**:陕西省大学生创新创业训练计划项目(S202311397013);安康市科学技术研究发展指导计划项目(AK2024-RKZC-01);安康市科技局项目(AK2023-RK-04).

**第一作者**:庞静(1983-),女,硕士,讲师 . 研究方向为区域经济、财务分析 . Email:lnakpj@ 126. com

**Key words**: forest - based health preservation; industry competitiveness; entropy - weighted TOPSIS method; Shaanxi Province

在习近平总书记提出的“绿水青山就是金山银山”的政策背景下,发展森林康养产业是践行绿色发展理念的有效途径,是实施健康中国战略、推进林业生态价值实现的重要举措[1]。陕西省森林资源丰富,发展潜力巨大,但森林康养产业发展仍然不平衡不充分问题突出[2]。科学评价陕西省森林康养产业竞争力,以全面掌握省域森林康养产业空间分布及其发展优势与劣势现状,有助于后续森林康养产业竞争力的提升。

目前,从对森林康养研究的已有文献来看,内容主要有森林康养产业的融合模式[3]、森林康养对不同人群康复有效性的研究[4]、森林康养基地规划与建设方面的研究[5-6]等多个方面,研究成果较为丰硕。关于产业竞争力方面,主要基于理论层面和实证层面进行分析。理论层面大多围绕产业竞争力的内涵、影响因素及发展机理等方面开展[7-9];实证层面大多从产业竞争力的评价及其优化提升方面展开研究[10]。在竞争力评价指标体系的构建方面,大多是基于钻石模型构建不同产业竞争力评价体系。在竞争力评价的研究方法上,常见采用主成分分析法、灰色关联分析法、AHP-模糊综合评价法、TOPSIS 法等[11-14]。虽然国内外学者在森林康养及产业竞争力问题上已经取得一些成果,为后续研究奠定了理论基础并提供了参考,然而,由于森林康养在数据统计方面具有一定困难性,已有文献对于森林康养产业竞争力测度的研究较少;同时,鲜有对森林康养产业空间分布特征开展系统研究。鉴于此,结合前人研究,在借鉴上述研究成果的基础上,通过构建森林康养产业竞争力的评价指标体系,用改进的 TOPSIS 模型评价陕西省森林康养产业竞争力,找出其空间分布的特征,并据此提出对策建议,以期为实现森林康养产业高质量、可持续发展提供决策参考。

## 1 评价指标体系构建

科学设计评价指标体系是评价森林康养产业竞争力的重要基础。依据指标选取的数据可获取性、代表性、科学性等原则,在借鉴邹再进[10]关于森林康养产业竞争力评价的研究成果基础上,从资源竞争力、市场竞争力、基础条件竞争力、环境竞争力四个方面,选取 20 个具体评价指标,构建了评价指标体系(表 1)。

**表 1 陕西省森林康养竞争力评价指标体系**

**Tab. 1 Evaluation index system of the competitiveness of forest-based health preservation industry in Shaanxi Province**

| 目标 | 一级指标 | 二级指标 | 三级指标 | 单位 | 指标属性 |
|---|---|---|---|---|---|
| 森林康养产业竞争力 | 资源竞争力 | 基础禀赋 | 森林覆盖率 | % | + |
| | | | 森林面积 | 万$hm^2$ | + |
| | | | 4A+5A 级旅游景区数量 | 个 | + |
| | | 扩展禀赋 | 国家级森林公园数量 | 个 | + |
| | | | 森林康养基地试点建设单位数 | 个 | + |
| | 市场竞争力 | 市场规模 | 城镇人口 | 万人 | + |
| | | | 城镇居民人均可支配收入 | 元 | + |
| | | 品牌知名度 | 森林康养基地知名度 | 分 | + |
| | | 经营业绩 | 每万人接待国内外游客人次 | 万人 | + |
| | | | 人均旅游消费 | 万元/人 | + |
| | 基础条件竞争力 | 交通设施 | 单位面积公路通车里程 | km/万$hm^2$ | + |
| | | | 客运周转量 | 万人/km | + |
| | | 接待设施 | 星级宾馆饭店数量 | 家 | + |
| | | 辅助设施 | 医养结合服务中心创建单位数量 | 个 | + |
| | | | 每万人拥有医院床位数 | 个 | + |
| | 环境竞争力 | 生态环境 | 空气优良率 | % | + |
| | | | 单位面积工业废水排放量 | 亿 t/万$hm^2$ | - |
| | | 政策环境 | 政府政策支持力度 | 分 | + |
| | | 人力资源环境 | 第三产业从业人员比重 | % | + |
| | | | 普通高等学校在校学生数 | 人 | + |

### 1.1 资源竞争力

资源竞争力指区域内资源的数量、质量、配置等方面的比较优势。符合比较优势的资源能够塑造更

有竞争力的产业体系。将森林康养资源分为基础禀赋资源和扩展禀赋资源,分别反映森林康养资源的基础竞争力和额外竞争力。选用“森林覆盖率、森林面积、4A+5A 级旅游景区数量”指标代表基础禀赋资源;选用“国家级森林公园数量、森林康养基地试点建设单位数量”指标代表扩展禀赋资源。

### 1.2 市场竞争力

市场竞争力是在要素资源整合基础上形成的一种影响和控制市场的能力[15]。消费者是控制市场的主导力量,城镇人群是森林康养活动的主要参与者,城镇居民日益增长的可支配收入有利于提升森林康养产业竞争优势,因此选取“城镇人口数以及城镇居民人均可支配收入”两项指标代表市场规模;经营业绩则是对森林康养旅游竞争力水平的最直接反映,选取“每万人接待国内外游客人次以及人均旅游消费”两项指标;品牌知名度的评估可以反映产业市场竞争力,因此选取“森林康养基地知名度”指标[10]。

### 1.3 基础条件竞争力

基础条件竞争力是森林康养产业发展的基本条件,也是拓展森林康养旅游市场的基本保障。森林康养产业发展的基础条件包括交通设施、接待设施和辅助设施部分。交通基础设施是推动森林康养产业发展的重要基础设施类型,选取“单位面积公路通车里程和客运周转量”指标反映交通运输条件;通过“星级宾馆饭店数量”指标代表所在城市的接待能力;选取“医养结合服务中心创建单位数量、每万人拥有医院床位数”作为代表森林康养产业辅助设施的指标。

### 1.4 环境竞争力

环境竞争力反映环境保护、政府管理等方面的优势和持续发展能力。环境竞争力包括生态环境、政策环境和人力资源环境等影响因素[16-17]。减少污染物排放是生态环境竞争力的具体体现,而空气优良率的提高说明环境保护工作取得的成效。因此,选取“单位面积工业废水排放量、空气优良率”两项指标,反映地区生态环境竞争力方面取得的效果。政府政策制度是环境竞争的主要内容,其主要是对基础竞争力的形成产生支撑作用,对此,加入“政府政策支持力度”指标。人力资源环境反映产业发展的人才市场环境,人才的引进与培养是产业竞争力的关键因素,可通过“第三产业从业人员比重和普通高等学校在校学生数”指标来体现。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

研究数据主要来源于《陕西省统计年鉴》(2015—2022 年)及各市统计年鉴和统计公报等。陕西省域森林康养基地试点建设单位数据依据中国林业产业联合会 2015—2022 年公布的内容整理,森林康养基地知名度和政府政策支持力度由选取课题组成员打分取均值得来,森林资源数据通过政府门户网站及文献权威数据进行分析整合得出。

### 2.2 熵权-TOPSIS 法

熵权-TOPSIS 法是一种常用的综合评价方法,首先运用熵值法客观赋予各指标权重,接着运用 TOPSIS 法计算各评价对象与最优解之间的相对接近度,以此衡量竞争力水平。它既克服了传统 TOPSIS 法无法反映各变量之间重要性的缺陷,又弥补了主成分分析法或因子分析法不能将指标正向化的缺陷[18]。具体计算步骤如下:

1)选取指标数据进行标准化处理,以此消除量纲的影响。计算公式为:

正向指标标准化:

$$Z'_{ij}=\frac{y_{ij}-\min y_j}{\max y_j-\min y_j} \tag{1}$$

负向指标标准化:

$$Z'_{ij}=\frac{\max y_j-y_{ij}}{\max y_j-\min y_j} \tag{2}$$

式中:$Y'_{ij}$ 为指标标准化值;$y_{ij}$ 为指标原始值;$\max y_j$ 和 $\min y_j$ 分别表示该指标在评价期内原始数值中的最大值和最小值。

2)将通过熵权法得出的指标权重代入公式,得到加权规范化决策矩阵:

$$V=(V_{ij})_{m\times n}=(W_j\times Z_{ij})_{m\times n} \tag{3}$$

$W_j$ 为第 $j$ 项指标的综合权重,$W_j$ 计算公式为:

$$W_j=\frac{\sqrt{w_{1j}w_{2j}}}{\sum_{j=1}^{n}\sqrt{w_{1j}w_{2j}}} \tag{4}$$

3)确定理想解 $S^+$和负理想解 $S^-$,计算公式为:

$$\begin{cases}S^+=\max(V_{1j},V_{2j},\cdots,V_{nj})\\S^-=\min(V_{1j},V_{2j},\cdots,V_{nj})\end{cases} \tag{5}$$

4)计算各评价对象与正、负理想解之间的欧氏距离。计算公式为:

$$\begin{cases} D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (S^+ - V_{ij})^2} \\ D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (S^- - V_{ij})^2} \end{cases} \quad (6)$$

5)计算各评价对象与最优解之间的相对接近度。计算公式为:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^{\mp}} \quad (7)$$

式中:$C_i \in [0,1]$,根据 $C_i$ 值的大小进行排序,越大表明 $i$ 地区森林康养产业竞争力水平越优。

## 3 森林康养产业竞争力评价结果分析

### 3.1 研究区概况

陕西是全国森林大省。第九次全国森林资源清查结果显示,陕西省林地面积 1 233.3 万$hm^2$,占国土总面积的 61%,森林面积 886.7 万$hm^2$,森林覆盖率 43.06%,活立木总蓄积 5.1 亿$m^3$。通过实施退耕还林、天然林保护、封山育林等林业重点工程和移民搬迁、生态补偿等措施,创造了黄土高原“由黄变绿”的奇迹,造就了丰富的康养资源,创造了保护“秦岭四宝”的奇迹。陕西生态空间的生态服务功能日益显现,森林康养已成为陕西最具发展优势和潜力的绿色产业。

### 3.2 综合评价分析

基于熵权-TOPSIS 法,测得陕西省 2015—2022 年的森林康养产业竞争力指数及变化趋势(图 1)。

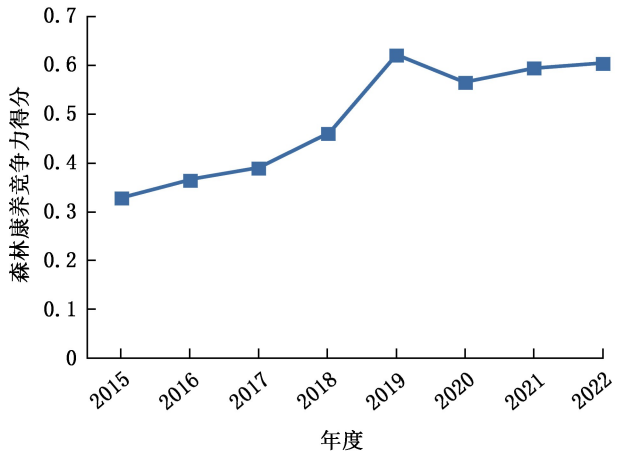



**图 1 2015—2021 年陕西省森林康养产业竞争力发展指数变化**

**Fig. 1 Changes of competitiveness development index of forest-based health preservation industry in Shaanxi Province from 2015 to 2021**

由图 1 可知,2015—2022 年,陕西省森林康养产业竞争力指数总体呈上升趋势,说明全省森林康养产业竞争力发展的态势总体趋好。但从指数变化看,竞争力水平表现出较明显的阶段性特征,指数变化受政策影响显著。

2015—2017 年是国内森林康养进入国家政策引导和规范发展的初期。随着 2015 年森林康养被纳入国家《林业发展“十三五”规划》,2016 年启动全国范围内森林康养基地的试点工作,陕西省建立森林康养基地试点,积极推动以森林康养为中心的新产业经济,森林康养产业得到了稳定的发展。

2018—2022 年是陕西省森林康养新业态发展的政策实施期,森林康养产业竞争指数增长迅速。2018 年,陕西省林业厅成立了森林康养领导机构,建设了促进森林康养工作机制,编制了《陕西省森林康养发展规划(2018—2025)》,产生了《陕西省森林康养基地建设备选名录》,出台了《陕西省森林康养基地建设标准》,夯实了森林康养发展的工作基础。但 2020 年,受新冠肺炎疫情影响,森林康养产业竞争力发展指数出现明显的下降,在 2021 年和 2022 年森林康养产业竞争力发展指数缓慢回升。

### 3.3 空间差异分析

基于熵权法对指标进行客观赋权,并结合 TOPSIS 模型计算得到陕西省各市的森林康养产业竞争力综合得分及排名(表 2)。

#### 3.3.1 资源竞争力

从表 2 不难看出,陕西省森林康养资源竞争力较强的地区有安康、西安、延安、汉中、商洛,尤其是安康、汉中、延安、商洛,在基础资源禀赋和扩展资源禀赋上均呈现明显优势。而有的地区在不同的指标上呈现不同的优劣势,如西安在“森林公园数量、4A+5A 级旅游景区数量”方面表现较好,但在“森林覆盖率、森林面积”上表现一般,其扩展资源禀赋显著优于基础资源禀赋。森林康养资源竞争力总体表现居中的咸阳,在基础资源禀赋和扩展资源禀赋方面呈现一般水平。森林康养资源竞争力总体表现靠后的有榆林、铜川、渭南。其中,榆林在基础资源禀赋上呈现较低水平,而渭南在扩展资源禀赋上表现最弱,铜川在基础资源禀赋和扩展资源禀赋上均表现较弱。

#### 3.3.2 市场竞争力

从表 2 可见,西安、延安、商洛、汉中的森林康养产业市场竞争力最强,安康、咸阳、宝鸡居中,渭南、铜川、榆林依次较弱。具体来看,西安、延安在市场规模、品牌知名度和经营业绩方面表现均稳定良好;

表 2　熵权-TOPSIS 法评价结果

Tab. 2　Evaluation results of entropy-weight TOPSIS method

| 地区 | 综合竞争力 | | 资源竞争力 | | 市场竞争力 | | 基础条件竞争力 | | 环境竞争力 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $C_i$ | 排名 | $C_i$ | 排名 | $C_i$ | 排名 | $C_i$ | 排名 | $C_i$ | 排名 |
| 西安市 | 0. 697 | 1 | 0. 647 | 2 | 0. 805 | 1 | 0. 601 | 1 | 0. 510 | 1 |
| 铜川市 | 0. 213 | 8 | 0. 156 | 8 | 0. 229 | 9 | 0. 411 | 6 | 0. 366 | 5 |
| 宝鸡市 | 0. 292 | 7 | 0. 511 | 6 | 0. 309 | 7 | 0. 440 | 5 | 0. 359 | 6 |
| 咸阳市 | 0. 335 | 5 | 0. 101 | 9 | 0. 312 | 6 | 0. 491 | 3 | 0. 348 | 8 |
| 渭南市 | 0. 199 | 9 | 0. 073 | 10 | 0. 290 | 8 | 0. 480 | 4 | 0. 176 | 10 |
| 延安市 | 0. 332 | 6 | 0. 553 | 3 | 0. 593 | 2 | 0. 363 | 8 | 0. 354 | 7 |
| 汉中市 | 0. 360 | 2 | 0. 551 | 4 | 0. 505 | 4 | 0. 537 | 2 | 0. 458 | 4 |
| 榆林市 | 0. 192 | 10 | 0. 268 | 7 | 0. 189 | 10 | 0. 205 | 10 | 0. 301 | 9 |
| 安康市 | 0. 352 | 3 | 0. 698 | 1 | 0. 416 | 5 | 0. 367 | 7 | 0. 492 | 3 |
| 商洛市 | 0. 349 | 4 | 0. 533 | 5 | 0. 548 | 3 | 0. 241 | 9 | 0. 496 | 2 |

商洛、汉中、安康在森林康养品牌知名度和经营业绩方面表现突出,但“城镇人口和城镇居民人均可支配收入”两个指标较低。可见,陕南本地市场规模和城市的消费水平有限,依赖外地客源;榆林在森林康养品牌知名度和经营业绩方面较弱,但“城镇人口、城镇居民人均可支配收入”两个指标较高,说明本地市场的消费潜力大;咸阳、宝鸡在市场规模和经营业绩方面表现较为稳定,但在森林康养品牌知名度上表现一般,而渭南、铜川在森林康养品牌知名度方面表现较弱。

### 3.3.3 基础条件竞争力

从表 2 可见,西安、汉中、咸阳和宝鸡的森林康养基础条件竞争力水平较强,铜川、渭南、延安、榆林、安康、商洛的森林康养基础条件竞争力相对较弱。具体来看,在交通设施方面,榆林、延安、商洛、安康四市低于全省平均水平,可能因其分布于陕北高原或陕南山地,交通基础设施相对薄弱;而关中地区的西安、铜川、宝鸡、咸阳和渭南交通基础设施条件较好,交通设施竞争力表现较好。在接待设施方面,铜川、商洛在接待能力方面表现相对较弱,而西安、咸阳、汉中、延安、榆林五市星级饭店数量高于全省平均水平,接待设施方面表现突出。在辅助设施方面,汉中、西安、延安、咸阳、渭南和宝鸡在“医养结合服务中心创建单位数量”上表现突出,而榆林、安康、商洛和铜川在这个指标上表现相对较弱。

### 3.3.4 环境竞争力

总体而言,西安、商洛、安康和汉中表现出了较强的环境竞争力,铜川、宝鸡、渭南、延安、咸阳、榆林和渭南在环境竞争力上表现相对较弱。具体来看,西安在人力资源环境方面具有明显优势,尤其在“普通高等学校在校学生数”上表现最好,咸阳次之,但两市在生态环境方面均表现相对较弱;商洛、安康和汉中在生态环境保护和政府政策支持力度上呈现良好优势,积极出台康养产业相关政策规划,依据自身资源禀赋挖掘开发系列健康旅游产品,积极创建康养旅游示范基地,促进地区康养产业发展,但在人力资源环境方面的表现一般;而渭南、榆林在森林康养产业政策环境方面表现相对较弱,在生态环境和人力资源环境方面表现一般;延安、宝鸡在生态环境、人力资源环境及政策环境方面表现均稳定良好,而渭南、铜川在生态环境和人力资源环境方面表现均较弱。

### 3.3.5 综合竞争力

考察期间,陕西省 10 个市森林康养产业竞争力存在较大差距,综合竞争力大小排名依次为西安、汉中、安康、商洛、咸阳、延安、宝鸡、铜川、渭南、榆林。陕西省森林康养产业综合竞争力最强的西安与竞争力最弱的榆林分值相差悬殊,综合竞争力差异显著,最大相差近 3. 63 倍。分区域来看,陕西省陕北、关中、陕南三大区域存在显著差异,呈现出不平衡发展态势。

根据熵权-TOPSIS 法计算结果,利用 ArcGIS 软件对陕西省域森林康养产业竞争力水平进行空间可视化分析,采用自然断裂点法将各城市分为 4 个级别,形成空间差异分布图(图 2)。

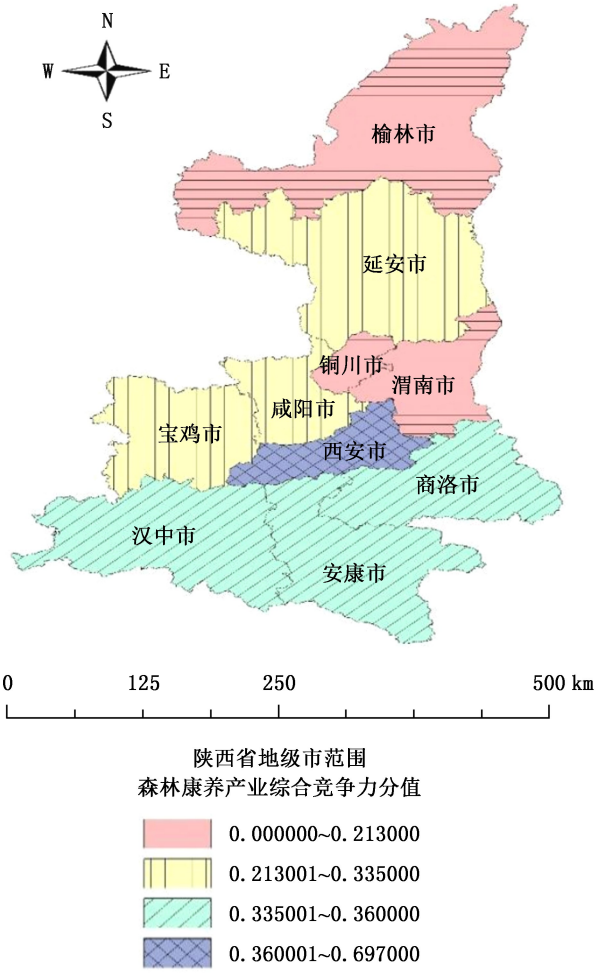



**图 2 陕西省各市森林康养产业综合竞争力得分状况**

**Fig. 2 Comprehensive competitiveness score of forest-based health preservation industry in cities of Shaanxi Province**

从整体来看,陕西省森林康养产业竞争力总体上呈现“南部及中部地区较高,北部地区偏弱”的空间特征。关中中部(西安)、陕西南部(汉中、商洛、安康)森林康养产业竞争力较强;关中西部(宝鸡、咸阳)、陕北南部(延安)森林康养产业竞争力一般;关中东部(渭南、铜川)、陕北北部(榆林)森林康养产业竞争力偏弱。

从评价结果可以看出,陕西省森林康养产业竞争力较强的市(西安、汉中、商洛、安康)为森林资源优势明显或旅游业发展态势较好的地区。其中西安、汉中各方面竞争力发展状况较为均衡;而安康的要素资源竞争力排名第一,但其基础条件竞争力较弱,发展不均衡;商洛的环境竞争力排名第二,但其基础条件竞争力排名第九,近乎垫底,其基础条件发展状况阻碍森林康养产业发展。咸阳、宝鸡、延安 3 个市森林康养产业竞争力一般。其中咸阳基础条件竞争力排名第三,但其资源竞争力及环境竞争力较弱;宝鸡各层面竞争力发展状况均为一般;延安市场竞争力排名第二,资源竞争力排名第三,但其基础条件竞争力较弱。渭南、铜川、榆林 3 个市森林康养产业竞争力相对较弱。其中铜川的环境竞争力排名第五,基础条件竞争力排名第六,而铜川的资源竞争力排名第八,市场竞争力居于第九位,其资源及市场状况不利于森林康养产业发展;渭南基础条件竞争力排名第四,但其环境竞争力排名第十位,其环境条件发展状况严重阻碍了森林康养产业发展进程;榆林市的综合得分最低,森林康养产业竞争力水平较低,且其基础条件、环境等竞争力水平均不高,不宜发展森林康养产业。

## 4 结论与建议

通过构建要素资源竞争力、市场竞争力、基础条件竞争力以及环境竞争力四个维度的评价指标体系,采用熵权 TOPSIS 法测度了陕西省各市森林康养产业综合竞争力以及具体指标竞争力水平,分析陕西省各市森林康养产业的空间布局特征,提出有针对性的发展建议。得出的主要结论有:根据熵权 TOPSIS 法所得结果可以看出,2015—2022 年陕西省森林康养行业竞争力水平总体呈上升趋势;森林康养产业竞争力总体上呈现“中部及南部地区较高,北部地区较弱”的空间特征;关中中部(西安)、陕西南部(汉中、商洛、安康)森林康养产业竞争力较强;关中西部(宝鸡、咸阳)、陕北南部(延安)森林康养产业竞争力一般;关中东部(渭南、铜川)、陕北北部(榆林)森林康养产业竞争力偏弱。综合竞争力排名前五的地区分别是西安、汉中、安康、商洛和咸阳,表明这五个地区森林康养产业发展态势及发展潜力最为乐观。结合各方面竞争力得分情况来看,西安、汉中发展状况较为均衡;安康、商洛和咸阳尽管综合得分较高,但存在发展不均衡问题;而榆林在森林康养产业竞争力评价中排名最后。依据以上结论,提出如下建议:

1)各市需要通过均衡发展来提高森林康养产业竞争力

任何产业的发展壮大都需要一个培育过程,任何一种能力的不足都将阻碍产业的发展进程。由于不同地区的森林康养产业发展存在差异性,发展也不均衡,对于森林康养各方面竞争力发展不均衡的市(安康、商洛和咸阳),应着力解决短板弱项问题。安康、商洛应保持其资源竞争力的优势,同时当地政

府应进一步提升基础设施和配套设施建设水平,为森林康养产业发展提供基础保障;咸阳资源竞争力和环境竞争力的提升则需要进一步加大生态环境保护力度,推动绿色节能改造,营造良好的森林康养环境。对于资源竞争力、环境竞争力和市场竞争力等排名垫底的市,如榆林、铜川等,针对地区特点发展适度规模的森林康养,提高管理标准化、产品特色化和服务品质化水平。

2)政府应加强政策引导与支持,助力打造森林康养品牌

各地区人民政府是辖区内森林康养产业发展的重要推手,应通过及时出台发展康养产业相关的政策和规划,做好森林康养产业发展的政策引领工作。通过优化营商环境、税收优惠政策、投融资补助、研发资金扶持等方式,带动社会资本和企业投入森林康养产业,培育壮大市场主体。充分发挥财政资金引导作用,加大对森林康养产业资金的投入力度,加强公共交通、环境治理等设施建设,完善森林康养产业配套服务体系。支持科研机构或高校团体落地开展森林康养相关研究,培养从事森林康养产业发展的专业人才和从业人员,为森林康养产业发展提供人才保障。打造森林康养产业品牌,制定森林康养产业营销推广战略,把森林康养资源纳入地区旅游康养宣传大局,组织引导康养产业经营者参加国内外康养产业交易会、博览会等,增加森林康养产业社会影响力。

3)提升森林康养产品的区域差异化竞争力,完善森林康养产品体系

目前,陕西省森林康养产业竞争力较强的汉中、安康、商洛均为森林资源优势明显且旅游业发展态势较好的地区,多数森林康养试点基地的关键业务以提供无形的森林康养服务为主,优质的森林康养产品供给不足,森林康养服务和产品同质化供给导致不同地区间森林康养在发展方向上没有显著差异化。各市森林康养基地应注重契合场地资源条件,对标儿童、青年、中年、老年四个不同年龄段康养人群需求,开发设计森林康养度假产品,打造森林康养与旅游、医疗、养老、教育、体育等行业融合发展的新业态,逐步完善森林康养产品体系,促使森林康养产业进一步向活动化、互动化和体验式等方面发展,增强游客参与性,提高满足感。

## 参考文献:


[1] 吴普侠,柳隽瑶,咎林森. 陕西森林康养产业发展现状、挑战与对策[J]. 陕西林业科技,2022,50(6):100-106.

[2] 黄志晓. 贵州森林康养旅游产业竞争力研究[D]. 武汉:中南财经政法大学,2023.

[3] 向珊珊,陈晓瑚,许秀环,等. 我国森林康养产业发展实践[J]. 林草政策研究,2022,2(4):37-42.

[4] 王国付. 森林浴的医学实验[J]. 森林与人类,2015(9):182-183.

[5] 陈衍如. 森林康养基地景观资源及保护规划研究[J]. 林业科技情报,2022,54(4):188-190.

[6] 滕会娇. 陕西省岚皋县巴山秋池森林康养基地景观规划设计研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2022.

[7] 段荷蓉,白福臣. 基于钻石模型海洋生物医药产业竞争力评价[J]. 产业创新研究,2023(6):39-41.

[8] 韩仲硕,朱婷婷,匡紫慧,等. 基于钻石模型的江苏省健康养老产业竞争力分析[J]. 商业经济,2023(9):69-72.

[9] 王刚,陈伟,曹秋红. 基于 SEM 的林业产业竞争力影响因素及作用机理研究[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版),2019(2):72-78.

[10] 邹再进,刘芳. 云南省域森林康养产业竞争力组合评价模型与实证研究[J]. 生态经济,2022,38(8):112-118,152.

[11] 袁家和. 芜湖市产业竞争力实证分析及发展对策研究——基于主成分分析法[J]. 安徽商贸职业技术学院学报,2023,22(2):12-16.

[12] 王章豹,李垒. 我国制造业技术创新能力与产业竞争力的灰色关联分析[J]. 科学学与科学技术管理,2007(7):38-42.

[13] 褚园园,张科伟. 基于模糊综合评价的泰安旅游产业竞争力分析[J]. 价值工程,2018,37(35):47-49.

[14] 李雯. 基于改进熵权 TOPSIS 的合肥物流产业竞争力评价[J]. 科技和产业,2023,23(19):80-84.

[15] 梁青玉,王嵬,刘国红. 中小企业市场竞争力评价指标体系设计 [J]. 商业时代,2007(33):46-47.

[16] 康舒. 中国农业银行古交市支行竞争力提升策略研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2017.

[17] 陈振华. 佛山旅游竞争力评价及提升对策研究[D]. 广州:广东财经大学,2022.

[18] 何育静,张臣臣. 空间视角下数字经济对新型城镇化质量影响研究[J]. 区域经济评论,2023(3):53-63.


责任编辑:刘平书

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 028

# 疗愈景观研究的知识图谱可视化分析

毛海宁,燕亚飞
(河南科技大学 园艺与植物保护学院,河南 洛阳 471000)

**摘要**:采用 CiteSpace 软件,利用 2010—2023 年在 CNKI 数据库和 WOS 数据库的疗愈景观文献绘制知识图谱进行可视化分析。国内外疗愈景观领域相关年发文量呈逐年上升趋势,与 CNKI 数据库相比,WOS 数据库发文作者较多,合作网络较密集。国内文献研究热点聚集于疗愈景观在人居环境和城市公共空间的应用、针对老年人群和医疗环境打造疗愈景观以及研究疗愈景观理论模型和案例等方面;国外文献研究热点聚集于疗愈景观在医学、环境科学、生态学、地理学、心理学等多学科方面的研究。与 WOS 数据库相比,CNKI 数据库尚有较大研究潜力和空间;未来疗愈景观在数字景观的基础上结合跨学科研究可能成为研究热点。

**关键词**:疗愈景观;研究热点;CiteSpace;知识图谱;可视化分析;聚类分析

**中图分类号**:S788. 1;Q149;O233;TN911. 73 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0186-09

**引文格式**:毛海宁,燕亚飞. 疗愈景观研究的知识图谱可视化分析[J]. 林业调查规划,2025,50(1):186-194. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 028

MAO Haining, YAN Yafei. Visualization Analysis of Knowledge Map of Healing Landscape Research[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 186-194. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 028

# Visualization Analysis of Knowledge Map of Healing Landscape Research

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

**Abstract**: CiteSpace software was used to visualize and analyze the knowledge map of healing landscape in CNKI database and WOS database from 2010 to 2023. The annual publication volume related to the field of healing landscape at home and abroad showed a rising trend year by year, and compared with the CNKI database, the WOS database had more authors and a denser collaborative network. The research hotspots in domestic literature focused on the application of healing landscape in human environment and urban public space, the creation of healing landscape for the elderly and medical environment, as well as the study of theoretical models and cases of healing landscape; while the research hotspots in foreign literature focused on the study of healing landscape in medicine, environmental science, ecology, geography, psychology and other multidisciplinary aspects. Compared with WOS database, CNKI database had more research potential and space; in the future, healing landscape may become a research hotspot by combining interdisciplinary research on the basis of digital landscape.

**Key words**: healing landscape; research hotspots; CiteSpace; knowledge map; visual analysis; cluster analysis

**收稿日期**:2023-10-12

**第一作者**:毛海宁(1997-),女,硕士研究生. 研究方向为风景园林规划与设计. Email:Maolizi2908@ 163. com
**责任作者**:燕亚飞(1977-),女,博士,讲师. 主要从事景观设计理论与实践研究. Email:gigi0924@ 163. com

疗愈景观起源于 20 世纪 80 年代初[1],美国环境心理学家 Ulrish 研究了自然景观与病人恢复健康之间的关系,随后美国地理学家 Gesler[2] 于 1990 年挪威国际医学地理学论坛正式提出疗愈景观概念。国内目前关于疗愈景观的研究文献主要包括医疗景观理论研究[3]、循证设计方法论[4]、疗愈景观理论框架[5]和空间模型[6],而对于疗愈景观研究综述较少。CiteSpace 是由美国德雷塞尔大学信息科学与计算机学院的陈超美教授应用 Java 语言开发的一款信息可视化软件,用于有效并且科学地对特定文献集合进行计量分析[7]。通过 CiteSpace 软件对疗愈景观研究文献进行知识图谱可视化分析,分析该学科研究领域话题和动态发展,对研究内容进行归纳总结,为疗愈景观研究提供理论参考。

## 1　数据来源与研究方法

### 1.1　数据来源

中文文献以中国知网(China National Knowledge Infrastructure, CKNI)为检索平台,外文文献以 Web of Science(WOS)为检索平台。由于筛选文献最早出现时间在 2010 年,所以文献数据库时间跨度为 2010 年 1 月 1 日至 2023 年 1 月 1 日,数据下载时间均为 2023 年 7 月 26 日。CNKI 数据库检索条件为:主题="疗愈景观" OR "治愈景观",共检索出 403 篇与之相关的中文文献,人工剔除论文、会议、图书和特色期刊,有效数据为 212 篇。WOS 数据库选择核心合集数据库为文献来源,以主题 TS=("Healing Landscape *" OR "Therapeutic Landscape *") AND 文献类型=(Article OR Review Article) AND 语言=(English)进行检索,共检索出 285 篇文献。

### 1.2　研究方法

基于文献检索结果,从 13 年间疗愈景观发展的总体概述、研究国家、研究作者 3 个方面分析疗愈景观研究的总体概况,同时运用 CiteSpace 6.1.R6(64-bit)软件对发文国家和作者进行分析并绘制研究国家合作时区图和合作网络图;针对检索文献的关键词进行统计及聚类时间线分析,探究近 13 年间各关键词之间的内在联系,以及疗愈景观研究热点和研究趋势。

## 2　结果与分析

### 2.1　疗愈景观发展的总体概述

历年文献发文量变化趋势反映了疗愈景观研究领域的理论水平与发展速度,2010—2022 年间疗愈景观研究年度发文量及指数见图 1。

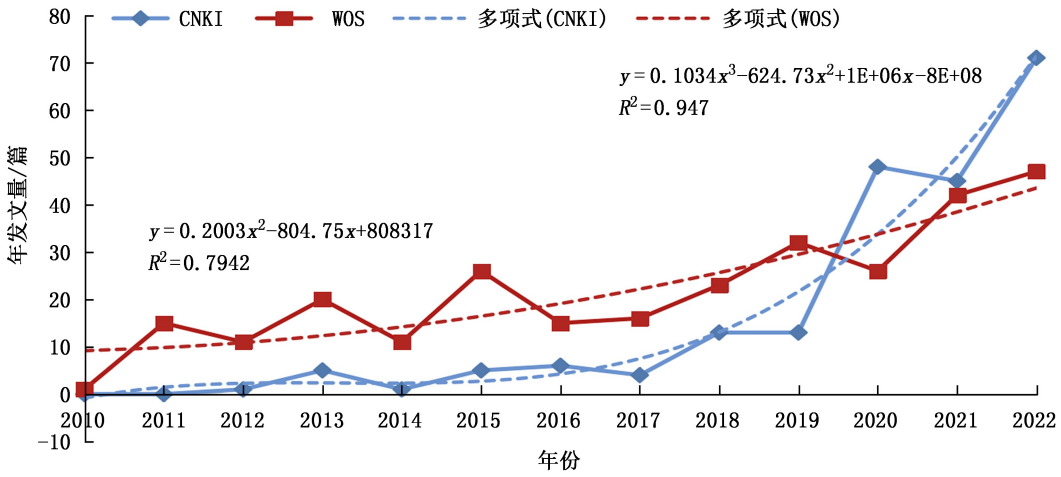



**图 1　2010—2022 年间疗愈景观研究年度发文量及指数**

**Fig. 1　Annual publication volume and index of healing landscape research from 2010 to 2022**

由图 1 可知,虽各年度均呈上升趋势,WOS 数据库在前期年发文量领先于 CNKI 数据库,而后 CNKI 数据库文献反超并且迅速增长。2010—2011 年为发展起步阶段,CNKI 数据库文献尚未有文献发表;WOS 数据库文献有 16 篇,作者们开始提出疗愈组合新理论模型[8],为疗愈景观研究提供了新雏形。2012—2019 年为稳步发展阶段,CNKI 数据库文献有 48 篇,主要阐述了疗愈景观的设计原则[9]和设计理念[10],肯定绿地的疗愈效果[11];WOS 数据库文献有 154 篇,这一阶段作者们探讨运动和共同参与缺乏关注[12],强调符号在疗愈景观中的运作[13],认为公共场所既是疗愈场所也是疗愈空间[14]。2019 年作为年发文量

增速的转折点,可能是因国家政策导向的影响促进了该领域的发展。2020—2022 年为发展深化阶段,CNKI 数据库文献有 164 篇,研究主要集中于疗愈景观在实际场所中的应用,如养老院[15]、公园[16]、屋顶花园[17]等,通过解析国外疗愈景观案例[18],提出在国内发展中的建议;WOS 数据库文献有 115 篇,有作者提出数字技术创造新的疗愈景观[19]等。根据图 1 数据对年发文量进行拟合分析,结果表明,CNKI 数据库的年发文量呈多项式增长($R^2$ = 0.947),WOS 数据库的年发文量呈指数增长($R^2$ = 0.794 2),$R^2$ 越接近 1,趋势线越可靠,同时也表明与疗愈景观相关研究的发文量不断增加,受到的关注越来越多。

总之,虽然 CNKI 数据库相较于 WOS 数据库关于疗愈景观的研究发展较晚,但近年来 CNKI 数据库疗愈景观研究结果丰硕。

## 2.2 文献特征分析

### 2.2.1 研究国家

通过运行软件分析 WOS 数据库文献,时间设置为 2010 年 1 月—2022 年 12 月,时间切片为 1,节点选择国家进行运算,最终以国家时区视图呈现(图 2)。

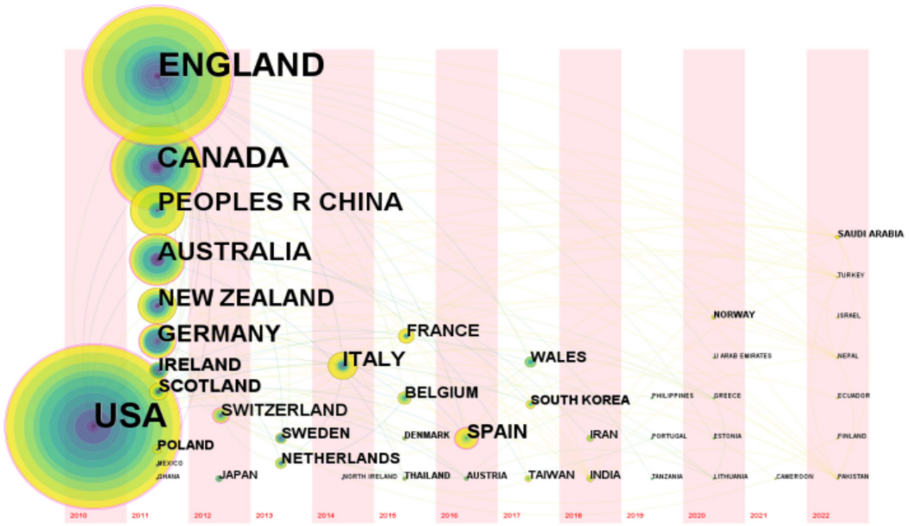



**图 2 WOS 数据库中研究国家时区分布图谱**

**Fig. 2 Time zone distribution map of research countries in WOS database**

从图 2 可见,美国、英格兰和加拿大文献研究数量最多,且相对应的中介中心性也较高,中国、澳大利亚、新西兰以及部分欧洲国家(德国、意大利、西班牙、爱尔兰等)研究也较多,各国之间的合作也较为紧密。这表明不论是发展中国家还是发达国家均尤为重视疗愈景观的研究。

中心性(centrality)指标与学术价值成正比,WOS 中心性排名前 10 位的国家见表 1。

由表 1 可知,英格兰具有最高的中心性 0.52(65 篇),紧随其后的排名依次为加拿大 0.31(40 篇)、美国 0.2(77 篇)、澳大利亚 0.17(24 篇)、瑞士 0.16(7 篇)、德国 0.15(16 篇)、西班牙 0.13(10 篇)、中国 0.08(24 篇)、瑞典 0.08(5 篇)、比利时 0.04(6 篇)。发文量与中心性不成正比,如美国发文量第一,中心性却第三。相较于发达国家,我国发文量排名靠前,但中心性排名靠后,说明在疗愈景观研究方面我国仍有较大提升空间。

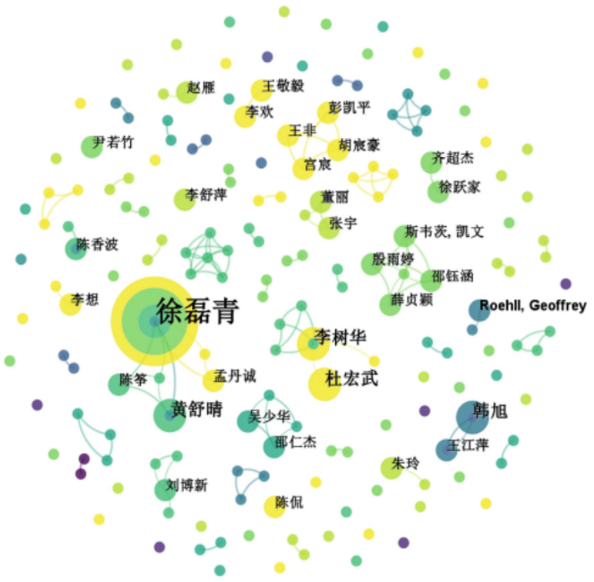
**表 1 WOS 中心性排名前 10 位的国家**

**Tab. 1 Top 10 countries in WOS centrality ranking**

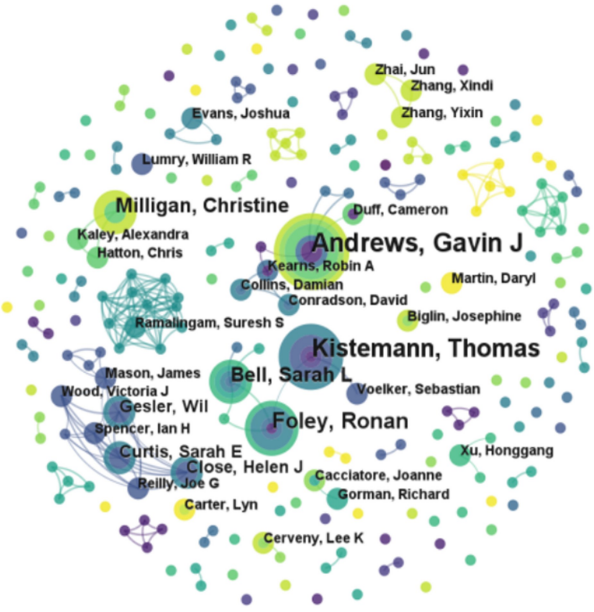
| 起始年份 | 发文量 | 中心性 | 国家 |
|---|---|---|---|
| 2011 | 65 | 0.52 | England(英格兰) |
| 2011 | 40 | 0.31 | Canada(加拿大) |
| 2010 | 77 | 0.20 | USA(美国) |
| 2011 | 24 | 0.17 | Australia(澳大利亚) |
| 2012 | 7 | 0.16 | Switzerland(瑞士) |
| 2011 | 16 | 0.15 | Germany(德国) |
| 2016 | 10 | 0.13 | Spain(西班牙) |
| 2011 | 24 | 0.08 | Peoples R China(中国) |
| 2013 | 5 | 0.08 | Sweden(瑞典) |
| 2015 | 6 | 0.04 | Belgium(比利时) |

### 2.2.2 研究作者

在 CNKI 和 WOS 数据库中,疗愈景观的研究作者合作网络图谱如图 3 所示。




(a)CNKI数据库




(b)WOS数据库

**图 3　CNKI 和 WOS 数据库中研究作者合作网络图谱**

**Fig. 3　Collaborative network map of research authors in CNKI and WOS databases**

在图 3 中,每个节点代表一位作者,圆环颜色对应相应的年份,圆环厚度与该年份的发文量成正比。

由图 3(a)可知,CNKI 数据库研究作者合作网络分析共涉及作者 177 人,发文量最多的是同济大学建筑与规划学院徐磊青教授,主要分析疗愈建筑与疗愈环境之间的关系[20],以及目前的发展现状、如何为未来人居环境建设的研究和实践提供帮助[21]等。近年发文较多的作者是华南理工大学建筑学院杜宏武教授,主要研究建设“绿康城市”的原则与构成要素[22],以及满足人们恢复性体验的重要性。WOS 数据库研究作者合作网络分析共涉及作者 309 人。

由图 3(b)可知,发文量最多的是 Andrews, Gavin J,主要研究健康与场所之间的动态关系[23]。近年发文较多的作者是 Milligan、Christine,主要研究疗愈景观体验的复杂性[24]。

节点之间的连线越多,说明作者之间合作越密切。由图 3(a)可知,共形成 116 条连线,密度为 0.007 4,形成了 5 个较大的合作群体,高产的合作群体有两个,分别为以徐磊青教授领导的黄舒晴、孟丹诚、陈筝、何南、孟若希合作群体和杜宏武、李树华教授领导的向鹏天、姚亚男、黄秋韵、李佳婧合作群体。各群体内部合作紧密,各集群之间缺乏合作。

由图 3(b)可知,共形成 322 条连线,密度为 0.006 8,国外的作者形成了 4 个较大的核心集群和若干个小且分散的合作集群,集群之间无合作,集群内部合作不密集,还有部分作者未形成合作网络。各研究团队在合作上较松散,应加强各团队之间的交流与合作。总体来看,CNKI 和 WOS 数据库的作者和团队之间均较为分散,亟待加强联系与合作。

## 3　研究热点分析

### 3.1　关键词分析

关键词可以直观反映研究内容的中心,是对文献的高度凝练和概括。在 CNKI 和 WOS 数据库中,疗愈景观的关键词共现图谱如图 4 所示。

在图 4 中,圆圈的圆环从里到外不同颜色对应且代表着不同年份的发文数量,连线的颜色代表两个节点关键词首次共同出现在一篇文献的时间,连线越多频次越高,连线粗细表示共同出现的总次数。

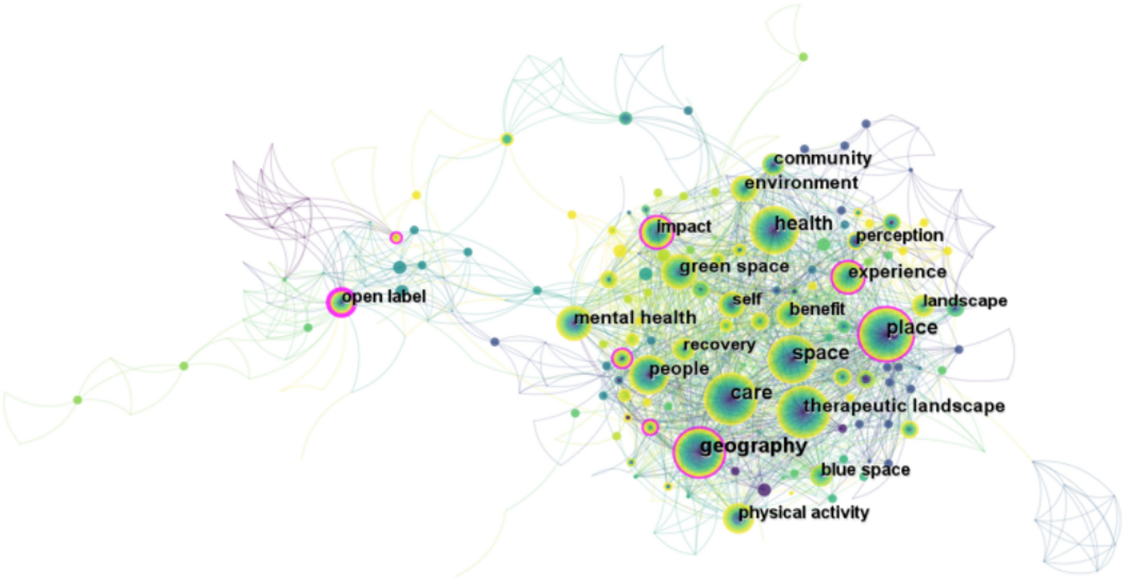
由图 4(a)可知,CNKI 数据库共形成 197 个关键词节点,各节点之间连线 362 条,网络密度为 0.018 8。

由图 4(b)可知,WOS 数据库共形成 391 个关键词节点,各节点之间连线 1 739 条,网络密度为 0.022 8。

节点数量较多说明在疗愈景观领域的研究类型较为广泛。WOS 数据库网络密度大于 CNKI 数据库网络密度,且各关键词之间联系更为频繁,说明在 WOS 数据库中,疗愈景观的网络结构更加紧密,形成了一个较为稳定的研究体系。




(a)CNKI数据库




(b)WOS数据库

**图 4　CNKI 和 WOS 数据库中关键词共现图谱**

**Fig. 4　Co-occurrence map of keywords in CNKI and WOS databases**

由图 4(a)可知,高频关键词有疗愈环境、园艺疗法和康复景观等。关键词园艺疗法、疗愈环境、景观设计、康复景观、疗愈景观、风景园林的中介中心性均大于 0.1,说明这些关键词在不同研究领域间构成重要结构点。通过对关键词的研究分析,疗愈景观应用研究主要集中在两个方面:(1)疗愈景观在人居环境中的研究,通过构建未来社区,为居民提供更为精细化的健康社区景观环境[25],以及研究老年社区在疗愈景观方面的需求[26];(2)疗愈景观在城市公共空间方面的研究,空间的广泛性与疗愈景观的康养功能结合[27],以及在现代医疗环境中疗愈景观的优化策略[28]。通过虚拟模型探索场景的疗愈功能[29]也得到了许多作者的关注。康复景观、园艺疗法等关键词出现的频次也较高,疗愈景观由早期医疗花园创造康复景观[30],再到园艺疗法作为交叉性学科类型的出现[31],为我国在疗愈景观研究和应用奠定了基础。

由图 4(b)可知,除主题词 therapeutic landscape(疗愈景观)外,频次较高的关键词还有 place、health、care、geography(地理学)和 mental health(心理健康)

等,体现疗愈景观在多类别方面的研究。Van[32]等研究了公共卫生与自然环境之间的关系,以及自然环境对疾病的影响,以求在不断变化的气候中实现有弹性和宜居的城市景观和健康。Voelker[33]等对蓝色空间和幸福感进行了系统分析。open label(开放式)、geography(地理学)、impact、experience、double blind(双盲试验)、place、quality of life 的中介中心性均大于 0.1,表明 WOS 数据库文献对疗愈景观的研究聚焦于疗愈景观特性、使用人群测试等方面,涉及医学、健康地理学、生态学、心理学等多学科。

基于 CNKI 数据库和 WOS 数据库,在分析平台中各选取 10 个主要关键词,针对关键词节点每年出现的次数进行统计(图 5),关键词频数整体均呈上升趋势。

由图 5(a)可知,2020 年关键词频数显著增长,“健康”“循证设计”“心理健康”“风景园林”等频数较高的关键词的出现,证明在国内研究热点主要聚焦于疗愈景观对心理健康的影响以及其他学科方面的研究等。

由图 5(b)可知,研究整体呈动态上升趋势,2015 年、2019 年、2021 年和 2022 年关键词频数高于其余年份,“people”“greenspace”“experience”“mental health”等关键词出现频数较高,表明国外研究热点主要聚焦于疗愈景观环境的营造以及关注多角度的健康等方面。

对 WOS 数据库中的文献进行统计分析,研究疗愈景观研究类别的主要分布(图 6)。

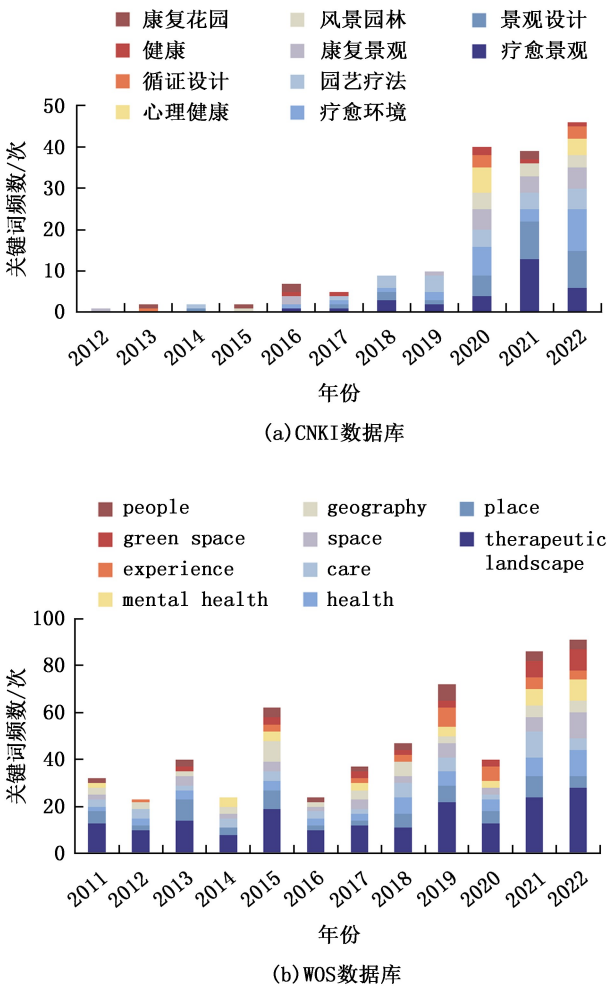



**图 5　CNKI 和 WOS 数据库中主要关键词年度分布**

**Fig. 5　Annual distribution of main keywords in CNKI and WOS databases**

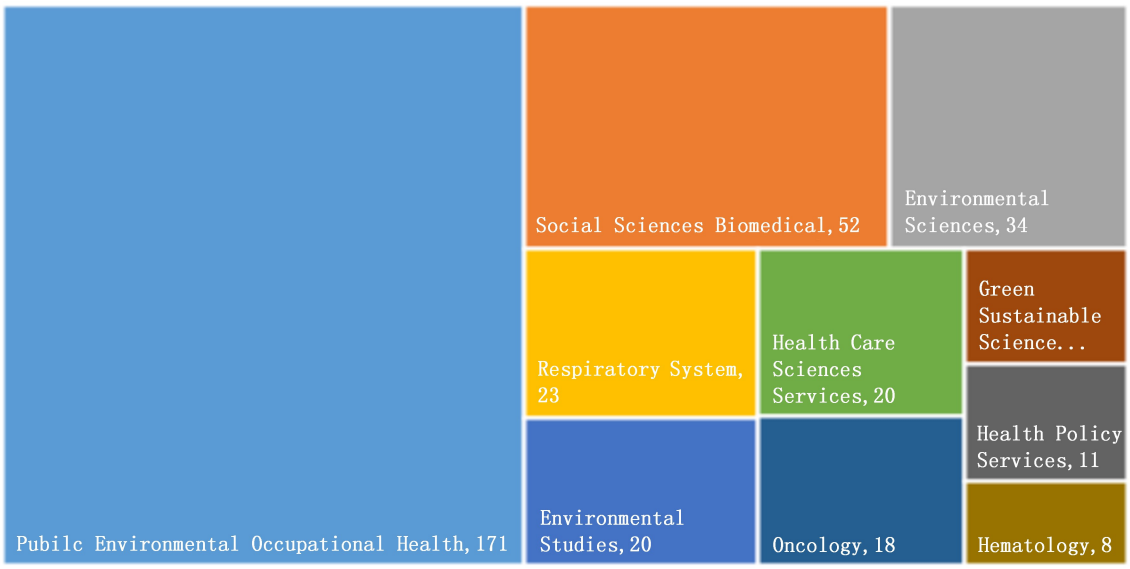



**图 6　WOS 数据库中主要类别分布**

**Fig. 6　Main category distribution in WOS Database**

由图 6 可知,疗愈景观的研究类别主要分布在 Public Environmental Occupational Health(公共环境职业健康)、Social Sciences Biomedical(社会科学及生物医学)、Environmental Sciences(环境科学)、Respiratory System(呼吸系统)、Health Care Sciences Services(卫生保健科学)和 Green Sustainable Science Technology(绿色可持续发展)等方面,其中公共环境职业健康和社会科学及生物医学发文量为 171 篇和 52 篇,占总数据的 59.17%和 18.00%,表明在疗愈景观的研究类别中,国外更关注公共环境健康以及医学,也符合涉及多学科的特性,对促进疗愈景观的发展具有重要意义。

### 3.2 关键词聚类分析

关键词聚类图谱可以表明该领域研究的不同关注点[34]。每个聚类的标签都是共现网络中的关键词,这些关键词按照对应时间内所出现的年份,在所属的聚类中铺展开来,显示的是每个聚类里关键词的发展状况,采用对数似然算法(LLR)生成关键词聚类标签。网络模块度(Q)以及轮廓值(即同质性 S)是评估网络整体结构性的重要指标[35],也说明该图谱是否能够很好地反映出该领域文献的研究热点情况。Q 值越高,网络聚类效果越好,合理区间为 0.4~0.8;S 值是用来衡量同质性的指标,S 值越接近 1,说明网络同质性越高,信度越高(图 7)。

由图 7(a)可知,对 CNKI 数据库 197 个关键词进行聚类分析,最终共得到 7 个聚类:#0 疗愈景观,#1 园艺疗法,#2 疗愈环境,#3 风景园林,#4 循证设计,#5 康复景观,#6 健康。Q 值为 0.624 9>0.4,说明聚类有效;S 值为 0.825 6,信度较高。

聚类#0 和聚类#2 涉及疗愈景观适用的场所以及如何通过疗愈因子带来健康效益。城市公园、未来社区、屋顶绿化、居住区和街道等都是可以实现疗愈的场所。环境[36]对于个体的身心健康与感官密切相关,同时材料[37]作为设计的要素之一也影响着环境的疗愈功能。

聚类#1 涉及疗愈方法的理论框架,多维度实现康复,注重五感疗法的实用性和多样性。研究表明,加强荷花景观[38]中视觉和嗅觉景观体验更能促进身心健康。

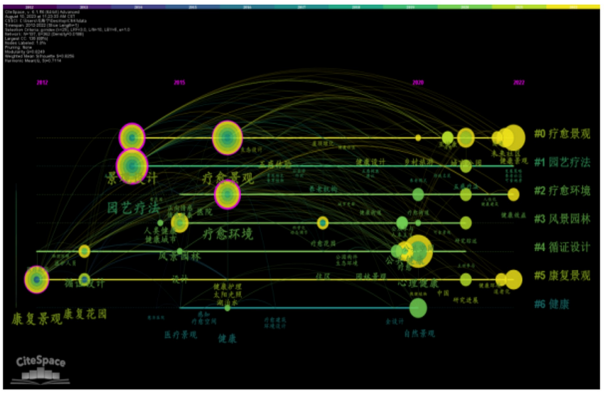
聚类#3 涉及风景园林学科和研究类综述,通过风景园林学科寻找自然原野的体验,从而推动人类健康[39]。

聚类#4 和聚类#6 涉及自然景观对心理健康的积极效应。利用“微疗愈”[40]在时间上的即时性和高效性以及在空间上的可达性和高使用率,满足绿色空间使心理健康效益最大化。

聚类#5 涉及特殊人群的康复景观。以保健植物为核心的康复景观植物配置[41]更适用于养老社区、医院等。

由图 7(b)可知,对 WOS 数据库 391 个关键词进行聚类分析,最终共得到 10 个聚类:#0 lung cancer,#1 community gardens,#2 physical activity,#3 care,#4 mental health care,#5germany,#6 guideline,#7 circulating tumor cell,#8 quality of life,#9 brain plasticity。Q 值为 0.518 2>0.4,说明聚类有效;S 值为 0.788 2,信度较高。

聚类#0、聚类#7 和聚类#9 涉及疾病与健康空间之间的关系以及疗愈景观的概念性回顾。研究阐述了疗愈景观概念的关键性演变[42],围绕健康空间、场所和相关实践的更广泛的跨学科讨论和辩论的潜在贡献等。而神经可塑性的治疗方法将成为未来神经和精神医学最佳治疗实践的重要组成部分[43]。




(a)CNKI数据库




(b)WOS数据库

**图 7 CNKI 和 WOS 数据库中关键词聚类时间图谱**

**Fig. 7 Keyword clustering time map in CNKI and WOS databases**

聚类#1 和聚类 5 涉及体验健康景观对自然日常接触的重要性[44]和提升福祉与促进健康。研究表明,步行与福祉和健康之间的关系成正比[45],森林疗法[46]在促进健康和预防疾病方面具有重要作用。

聚类#2、聚类#3、聚类#4、聚类#6 和聚类#8 涉及不同因素对健康的影响。给健康和幸福感带来正面影响的因素有混合蓝色空间[47]、美学与生态[48]、海岸环境[49]和树冠覆盖率[50]等,通过研究疗愈景观以及环境、健康和幸福之间的关系,探讨不同因素对促进健康、改善健康行为的正向影响。

## 4 结　论

采用 CiteSpace 可视化文献计量分析软件,利用 212 篇 CNKI 文献和 285 篇 WOS 文献对有关疗愈景观相关研究进行系统回顾,得出以下主要结论:

1)国外关于疗愈景观的研究早于国内,直至 2020 年实现反超,且成果颇丰。近年来,国内外关于疗愈景观的研究均较为活跃,且发文量逐年上升,受到的关注和影响力也越来越大。虽然我国对于疗愈景观的研究起步较晚,但近年来研究结果丰硕,发展较快。

2)疗愈景观最先兴起于发达国家,按照研究文献数量和学术价值排序,排名靠前的有美国、英格兰和加拿大等国家,我国发文总量位列世界第四位,但成果的权威性仍有待提升。

3)国内关于疗愈景观研究发文量最多的是同济大学建筑与规划学院徐磊青教授,近年发文较多的作者是华南理工大学建筑学院杜宏武教授;国外关于疗愈景观研究发文量最多的是 ANDREWS, GAVIN J,近年发文较多的作者是 MILLIGAN, CHRISTINE。国外作者合作关系较多,且具有较大的网络合作规模,国内主要以徐磊青教授和杜宏武教授为主的合作群体,其余合作网络较松散,今后需进一步加强各研究作者与团队之间的交流与合作,提升科研能力。

4)国内文献研究热点聚集于疗愈景观在人居环境和城市公共空间的应用、针对老年人群和医疗环境打造疗愈景观以及研究疗愈景观理论模型和案例等方面。随着我国智能化发展的不断深入与国民对亚健康的关注,未来研究热点将聚焦于数字景观与空间的结合,注重恢复心理健康和强调景观的功能性。国外文献研究热点聚集于疗愈景观在医学、环境科学、生态学、地理学、心理学、公共职业健康等多学科方面的研究,表明自然环境和蓝色空间对公共健康和幸福感的影响,未来研究热点将聚焦于城市景观与减压之间的关系,城市绿色基础设施对于增强压力恢复能力至关重要,结合跨学科研究,了解城市景观与减压之间的复杂联系。

## 参考文献:


[1] ULRICH R S. View through a window may influence recovery from surgery[J]. Science,1984,224(4647):420-421.

[2] GESLER W M. Therapeutic landscapes: Medical issues in light of the new cultural geography[J]. Soc Sci Med,1992,34(7):735-746.

[3] 李运栋. 医疗机构外部环境的康复性景观设计探讨[J]. 绿色科技,2021,23(3):41-42,44.

[4] 张文英,巫盈盈,肖大威. 设计结合医疗——医疗花园和康复景观[J]. 中国园林,2009,25(8):7-11.

[5] 周佩玲,程杨,MARK W R. 疗愈景观概念及其在健康地理学中的研究进展[J]. 地理科学进展,2023,42(3):602-616.

[6] 王淑华,薛巾. 基于未来社区健康场景下的疗愈景观空间模型构建[J]. 城市发展研究,2022,29(8):118-126.

[7] 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.

[8] FOLEY R. Performing health in place: The holy well as a therapeutic assemblage[J]. Health Place, 2011, 17(2):470-479.

[9] 余茜,祁素萍. 用设计治愈伤病——医疗花园与康复景观进程的探索[J]. 艺术与设计(理论),2012,2(11):76-78.

[10] 格伦. 中西方疗愈环境概述[J]. 中国医院建筑与装备,2013,14(5):25-28.

[11] 张俊彦,唐宜君. 健康的城市生态与健康的人[J]. 景观设计学,2015,3(1):45-53.

[12] DOUGHTY K. Walking together: The embodied and mobile production of a therapeutic landscape[J]. Health Place, 2013,24:140-146.

[13] ZHOU P, GRADY S C. Three modes of power operation: Understanding doctor-patient conflicts in China's hospital therapeutic landscapes[J]. Health Place, 2016, 42:137-147.

[14] TOMALIN E, SADGROVE J, SUMMERS R. Health, faith and therapeutic landscapes: Places of worship as Black, Asian and Minority Ethnic (BAME) public health settings in the United Kingdom[J]. Soc Sci Med, 2019, 230:57-65.

[15] 荣惠,宣炜. 老年公寓公共空间疗愈性设计研究——以亲和源老年公寓为例[J]. 设计,2020,33(1):72-75.

[16] 李俊晓. 治愈性景观设计研究——以徐州无名山公园为例[J]. 工业设计,2020(5):102-103.

[17] 廖海云,丁铮. 疗愈景观在办公区屋顶花园设计中的应用[J]. 四川建筑,2020,40(2):17-18.
[18] 曹湘波,彭尽晖. 德国治愈性景观公园设计分析与启示[J]. 科技创新导报,2020,17(16):161-164.
[19] THOMPSON M. The geographies of digital health - Digital therapeutic landscapes and mobilities[J]. Health Place, 2021,70:102610.
[20] 孟丹诚,徐磊青. 疗愈建筑与疗愈环境的回顾及展望——基于文献计量分析方法[J]. 建筑学报,2022(S1):170-178.
[21] 黄舒晴,徐磊青. 疗愈环境与疗愈建筑研究的发展与应用初探[J]. 建筑与文化,2017(10):101-104.
[22] 杜宏武,李树华,姜斌,等. 健康城市与疗愈环境[J]. 南方建筑,2022(3):1-8.
[23] ANDREWS G J,CHEN S,MYERS S. The 'taking place' of health and wellbeing: Towards non-representational theory[J]. Soc Sci Med,2014,108:210-222.
[24] MOSSABIR R,MILLIGAN C,FROGGATT K. Therapeutic landscape experiences of everyday geographies within the wider community: A scoping review[J]. Soc Sci Med, 2021,279:113980.
[25] 薛巾,王淑华. 疗愈景观在未来社区中的设计研究[J]. 城市住宅,2021,28(7):46-50.
[26] 石大伟,王今琪,赵玮. 北京老年社区疗愈景观设计评价因子分析[J]. 艺术教育,2022(2):240-243.
[27] 郭蕾,徐慧文. 促进精神健康视角下的城市公园绿地设计研究[J]. 山西建筑,2021,47(16):151-153.
[28] 李战鹏. 医院建筑户外疗愈景观设计策略研究[J]. 中国医院建筑与装备,2021,22(2):39-41.
[29] 徐磊青,孟若希,黄舒晴,等. 疗愈导向的街道设计:基于 VR 实验的探索[J]. 国际城市规划,2019,34(1):38-45.
[30] 余茜,祁素萍. 用设计治愈伤病——医疗花园与康复景观进程的探索[J]. 艺术与设计(理论),2012,2(11):76-78.
[31] 陈小丽. 浅谈园艺疗法与疗愈景观设计[J]. 现代园艺,2019(4):122-123.
[32] VAN DEN BOSCH M, ODE SANG Å. Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health - A systematic review of reviews[J]. Environ Res, 2017,158:373-384.
[33] VÖLKER S,KISTEMANN T. The impact of blue space on human health and well-being - Salutogenetic health effects of inland surface waters:A review[J]. Int J Hyg Environ Health,2011,214(6):449-460.
[34] 刘燕,闫文,张明. 海洋渔业创新研究热点动态演变分析——基于 WOS 数据库分析[J]. 黑龙江科学,2023,14(3):1-6.
[35] 李慧,杨宇峰,曲超,等. 基于 Citespace 的中药治疗糖尿病肾病知识图谱可视化分析[J]. 中华中医药学刊,2020,38(8):52-55,262-263.
[36] 朱硕. 基于建构多层面建筑景观疗愈环境设计维度的文献综述[J]. 安徽建筑,2022,29(12):15-17,23.
[37] 宫嘉伟. 康复花园景观设计中材料元素的运用启示探究[J]. 现代园艺,2021,44(13):152-155.
[38] 何艳玲,刘娟娟,陈龙清.《全唐诗》中荷花五感疗法分析[J]. 西南林业大学学报(社会科学),2021,5(1):99-105.
[39] 刘滨谊,梁竞. 原野旷奥感应健康作用机理研究[J]. 中国园林,2020,36(7):6-13.
[40] 胡宸豪,宫宸,彭凯平,等. 促进公众心理健康的城市"微疗愈"绿色空间研究[J]. 时代建筑,2022(5):38-45.
[41] 马丽楠,徐娅茹,赵中建. 康复景观中的植物配置研究[J]. 湖北农业科学,2020,59(10):10-14.
[42] BELL S L,FOLEY R,HOUGHTON F,et al. From therapeutic landscapes to healthy spaces,places and practices: A scoping review[J]. Soc Sci Med,2018,196:123-130.
[43] MERZENICH M M,VAN VLEET T M,NAHUM M. Brain plasticity-based therapeutics[J]. Front Hum Neurosci, 2014,8:385.
[44] FINLAY J, FRANKE T, MCKAY H, et al. Therapeutic landscapes and wellbeing in later life:Impacts of blue and green spaces for older adults[J]. Health Place,2015,34: 97-106.
[45] GATRELL A C. Therapeutic mobilities:Walking and 'steps' to wellbeing and health[J]. Health Place, 2013, 22:98-106.
[46] OH B,LEE K J,ZASLAWSKI C,et al. Health and well-being benefits of spending time in forests:Systematic review[J]. Environ Health Prev Med,2017,22(1):71.
[47] FOLEY R,KISTEMANN T. Blue space geographies:Enabling health in place[J]. Health Place,2015,35:157-165.
[48] HALE J,KNAPP C,BARDWELL L,et al. Connecting food environments and health through the relational nature of aesthetics:Gaining insight through the community gardening experience[J]. Soc Sci Med,2011,72(11):1853-1863.
[49] BELL S L,PHOENIX C,LOVELL R,et al. Seeking everyday wellbeing:The coast as a therapeutic landscape[J]. Soc Sci Med,2015,142:56-67.
[50] BROWNING,MATTHEW H E M,LEE,et al. Tree cover shows an inverse relationship with depressive symptoms in elderly residents living in US nursing homes[J]. Urban Forestry & Urban Greening,2019,41:23-32.

责任编辑:许易琦

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 029

# 国外国家公园原住民研究及其对中国的启示

孔 凯
(湖州学院,浙江 湖州 313000)

**摘要**:系统梳理国外国家公园原住民的相关研究对我国国家公园体制建设具有重要意义。精选国外 1992 年以来的 49 篇国家公园原住民相关研究文献并进行梳理分析。研究发现,国外相关研究主要集中在国家公园与原住民关系、原住民在国家公园中的作用、国家公园与原住民的冲突及化解、国家公园与原住民合作机制建设、国家公园原住民参与旅游发展等 5 个方面。国外研究在构建具有中国特色的人居荒野型国家公园范式、保障国家公园原住民的合法正当利益、发挥原住民保护作用等 3 方面对我国国家公园体制建设具有重要借鉴意义。

**关键词**:国家公园;原住民;人居荒野型;生态旅游

**中图分类号**:S759. 91;TU241. 5 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)01-0195-06

**引文格式**:孔凯 . 国外国家公园原住民研究及其对中国的启示[J]. 林业调查规划,2025,50(1):195-200.
doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 029

KONG Kai. Foreign Research on Indigenous People in National Parks and Enlightenment for China[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(1): 195-200. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 01. 029

# Foreign Research on Indigenous People in National Parks and Enlightenment for China

KONG Kai
(Huzhou College, Huhzou, Zhejiang 313000, China)

**Abstract**: The systematic review of foreign research on indigenous people in national parks abroad is of great significance for the construction of national park system in China. This paper selected 49 research papers on indigenous people in national parks abroad since 1992 and conducted the systematic analysis. The research showed that foreign research mainly focused on five aspects, including the relationship between national parks and indigenous people, the role of indigenous people in national parks, conflicts and resolution between national parks and indigenous people, the construction of cooperation mechanisms between national parks and indigenous people, and the participation of indigenous people in tourism development. Foreign research had important reference significance for the construction of China's national park system in three aspects of building a living wilderness model with Chinese characteristics, safeguarding the legitimate interests of indigenous people in national parks, and playing the protective role for indigenous people.

**Key words**: national park; indigenous people; living wilderness model; ecotourism

---

**收稿日期**:2023-12-13;**修回日期**:2024-01-26

**基金项目**:国家自然科学基金“西南生态脆弱区河流保护地空间确定研究(41761111)”;湖州学院课题“共富目标下乡村旅游政策的转型逻辑、实践需求与创新路径”阶段成果 .

**第一作者**:孔凯(1985-),男,博士,讲师 . 主要研究方向为国家公园、乡村旅游 . Email:kongkai@ zjhzu. edu. cn

由于国家公园范围内社区问题的复杂性所导致的管理的艰巨性,世界范围内普遍认为社区问题是国家公园管理的难点[1]。作为国家公园与社区研究的重要内容,国家公园与原住民相关研究备受国外学者重视并进行了众多有益的探索。原住民(indigenous people,aboriginal people)也被称为土著人,一般是指在一定空间范围内在历史上具有连续性且在社会中不占主导地位的具有认同性且致力于传承这一独特性的居民社区[2]。原住民社区特征较鲜明,与其它一般社区存在明显区别。不同于美国国家公园范围内原住民分布极少的情况,世界上大约 50% 的国家公园和自然保护地均是在原住民的土地上创建的,这一比例在非洲和拉丁美洲高达 85%[3]。

社区问题在中国国家公园尤为突出。随着国家公园体制试点工作的推进,社区管理问题逐渐凸显,已产生了土地权属、安置、生计等系列问题。国家公园的社区管理问题直接关系到我国国家公园体制试点成败的关键,是我国国家公园体制建设的最大挑战。中国政府已提出了“原住居民”的概念。2019 年 6 月 26 日,中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》首次使用“原住居民”这一概念,着重强调了核心保护区内原住居民应实施有序搬迁、保护原住居民权益、鼓励原住居民参与特许经营活动等内容。

与国外相比,国内的绝大部分研究均采用“社区”概念,只有极少数的研究采用了区别于社区的“原住民”概念。“社区”视角的国家公园研究可能容易忽视不同类型社区与国家公园联系紧密程度的不同,并得出有失偏颇的结论。因此,本文通过对国外原住民视角的相关研究文献进行系统整理和深入分析,总结国外国家公园原住民社区研究成果,希望能为我国国家公园领域的研究与实践提供有益启示,以促进我国国家公园研究与实践的发展。

## 1 文献概况

### 1.1 文献来源

为尽量多地搜集到国家公园原住民相关研究文献,对 Web of Science、Science Direct、Taylor & Francis Online、Wiley Online Library 等多个外文数据库以“国家公园”和“原住民”进行关键词检索。其中,检索原住民的英文为 Indigenous people、aboriginal people,分别和 national park 进行交叉检索,经过仔细甄别,将其中 49 篇作为重点分析对象,其来源涵盖 Biodiversity & Conservation、Ethnobiology & Conservation、Environmental Management、Environmental His-tory、Journal of Sustainable Forestry、Conservation and Society、Journal of Resources Development and Management 等期刊。除学术论文外,作者还将本研究领域里 6 本重要的英文专著作为重要参考资料。上述 49 篇文献与著作的时间跨度为 1992—2023 年(图 1)。

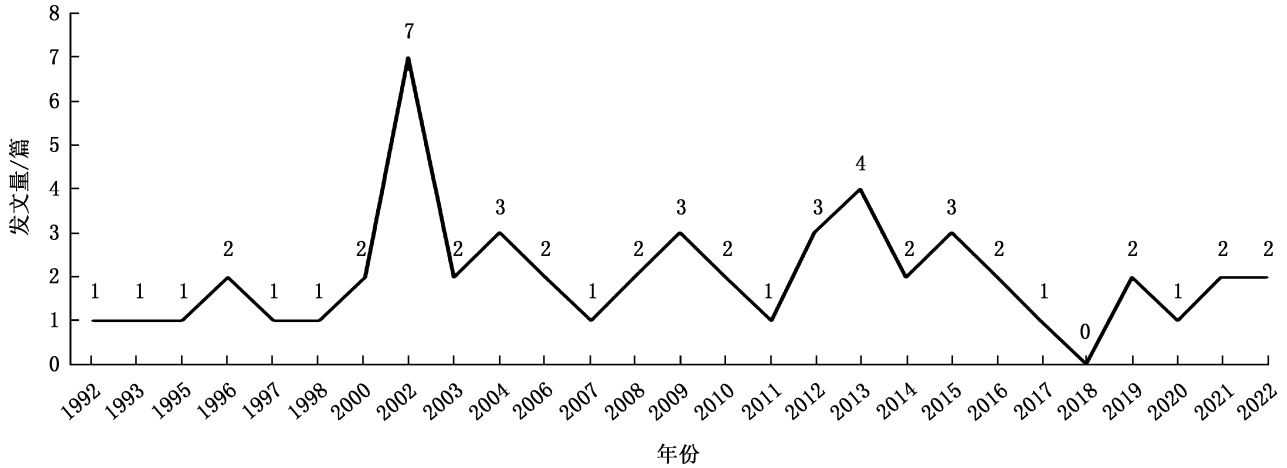



**图 1 1992—2023 年国外原住民相关论文选取统计**

**Fig. 1 Statistics of selected papers on indigenous people of national park abroad from 1992 to 2023**

由图 1 可知,国家公园原住民的相关文献在 2002 年最为集中,之后明显增多。

### 1.2 文献分布

全部文献中进行了案例研究的共 34 篇。在案

例的地区分布上,亚洲 11 篇,北美洲 7 篇,中南美洲 7 篇,大洋洲 5 篇,非洲 3 篇,欧洲 1 篇。除极个别采用定量研究方法外,关于国家公园原住民的研究,国外学者主要采用定性研究。为了深入分析国家公园原住民管理的理念、原住民权利与保护作用、园人冲突等多方面问题,文献研究、案例分析、田野调查、深度访谈等定性研究方法备受学者们欢迎。究其原因,一方面是由于国家公园原住民的相关内容和关系很难定量化,另一方面,定性研究方法很适合处理这类问题。

## 2 主要研究内容

### 2.1 国家公园与原住民的总体关系

随着国家公园保护研究的深入和理念的更新,荒野型国家公园理念(Wilderness)逐渐转向人居荒野理念(Inhabited Wilderness)。

19 世纪国家公园创建之初就已有人反对起源于黄石国家公园的“无人居住、由中央政府管理的荒野型国家公园”理念,认为国家公园应该有原住民[4]。但这种观念未占据主流,出于保护、狩猎、旅游和对印第安人的同化,原住民被排除在国家公园之外[5]。荒野型国家公园成为当时国家公园的典范。美国、澳大利亚和俄罗斯在 19 世纪末都启动了驱逐原住民的保护区制度。在 20 世纪的大部分时间里,原住民因为法律、政治和文化障碍等原因被迫与土地分离。此后,为了创建众多类似黄石的国家公园,导致了世界上大约至少 1 000 万的人口被搬迁[6]。对原住民权利的忽视,导致原住民的抗争和国家公园保护的难度增大,许多国家的政府逐渐认识到,恢复原住民习惯的资源使用制度、管理权利,不仅对原住民是公平的,而且有助于增进国家公园整体的共同利益。20 世纪 80 年代,逐渐开始出现承认原住民权利的法律和共同管理的国家公园,并促使学界开始重新检视美国的国家公园政策[3]。近年来,大部分西方国家都慢慢地承认了原住民的权利[7],政府和学界开始探索承认原住民权利的人居荒野型国家公园。发展到现在,连荒野型国家公园的起源地美国也已建立了高度尊重原住民权利的部落国家公园。在国际一级,立法工具逐步承认原住民及其习惯权利,为保护区自然资源的保护确立了新的准则[8]。值得一提的是,人居荒野型国家公园也存在被过度理想化的问题,不仅在于认为国家公园内的原住民已被视为将近消失需要家长式的保护,也在于国家公园内的原住民被非人性化的动物类比而需要像野生动物一样得到保护。

### 2.2 原住民在国家公园中的作用

20 世纪 90 年代,关于国家公园内原住民与生态保护是否矛盾的问题上出现了两种争论:一种观点认为国家公园的生态保护与原住民发展不可能共存[9];但另外一些研究却证明两者之间的关系非常复杂,有时甚至高强度的农业也不会影响对国家公园的保护[10]。在原住民权利意识觉醒的情况下,为提高保护工作的有效性,国家公园的生态保护工作不得不考虑纳入原住民因素,基于原住民的保护策略开始受到重视,原住民对国家公园的文化价值和保护作用也逐渐得到认可与肯定[11]。一方面,从 20 世纪 80 年代开始,人们逐渐认识到国家公园和世居于此的原住民是一个有机整体,国家公园应是由原住民居住的文化景观,这一转变重塑了国家公园的定义。原住民成为国家公园中不可或缺的重要文化元素,可增加国家公园的吸引力和教育价值。另一方面,原住民的参与可更有效地保护国家公园。基于生态系统概念的单一手段在现代社会和生态急剧变化面前效果不好,使人们认识到需要采取关注社会、经济与生态因素相结合的综合手段。众多的案例也表明,原住民可以为国家公园的保护工作作出贡献[12]。原住民领导的保护性倡议是一个相对较新的现象,在世界各地势头越来越强[13]。

### 2.3 国家公园与原住民的冲突及化解

国家公园作为神圣大自然的监护者和受欢迎的公共游憩场所的保护者在全球得到越来越多的公众支持。然而,作为重要的利益相关者,国家公园的原住民却对此往往持负面态度。这是因为一直珍惜这些土地并与这些土地有深厚精神联系的原住民会被突然禁止或限制使用其传统家园、狩猎场地和礼仪场所,资源的使用权、管理权会受到侵犯,这种对原住民权利的轻视,导致大量国家公园与原住民之间的矛盾冲突[14]。

由于各地实际情况不同,国家公园与原住民冲突的具体表现多种多样,主要表现为堡垒公园模式与原住民不愿外迁之间的矛盾[14]、国家公园资源的限制性利用和原住民传统利用方式之间的矛盾[15]、国家公园资源的限制性利用和原住民发展之间的矛盾[16]、原住民享有的经济机会和所承受的损失不对等之间的矛盾、体制约束与原住民参与意愿之间的矛盾[17]等几个方面。就园人冲突的化解而言,单一的解决方式往往很难奏效,需要采取兼顾政策与体制、经济、社会等方面的综合性方法。这些方法包括

引导社会期望与政策转变、与原住民加强沟通、补偿原住民损失、注重原住民社会全面发展、增强原住民参与等[19]。

### 2.4 国家公园与原住民强化合作机制建设

公认的共同利益为国家公园保护的合作提供了基础,是国家公园协调保护利益和社区权利的前提。大部分学者认同为原住民提供一种有利于保护的可持续性生计方式是达成共同利益的关键。有学者提出受益换保护模式,即国家公园可以基础设施、服务投资、雇佣机会及其它替代性的经济产业换取原住民对国家公园的保护[20]。原住民还可以成为提供环境服务的受益者。本世纪初,澳大利亚一项全国性调查显示,受访者中有 70%愿意向给予采取保护活动的原住民补贴的保护基金捐款,他们愿意每年最高支付 87.8 亿美元给原住民提供环境服务,这是当时政府投资额的 50 倍[21]。

国家公园的有效运转往往需要管理机构和原住民之间良好的合作机制。合作机制上,基于共管协议的共同管理(Co-management)[22]或者联合管理(Joint Management)[23]受到推崇。虽然 IUCN 确定了共管协议的指导原则,但有时却很难适用复杂的实际情况,因此实际的案例各不相同。加拿大海达瓜依国家公园开始重视近年来与原住民的合作,针对该案例的研究显示,共同管理成功的关键可能是两者的信任关系。也有学者对澳大利亚和美国的 4 个国家公园进行了比较研究,认为乌鲁鲁-卡塔-朱塔国家公园(Uluru-Kata Tjuta National Park)的原住民共同管理模式是最成功的:国家立法要求原住民业主将公园租回联邦政府,同时设立一个由大多数原住民组成的管理委员会,以制定政策,试图使乌鲁鲁-卡塔-朱塔成为一个真正的原住民国家公园[24]。这种管理模式逐渐结合了 Pitjantjatjara 和 Yankunktjatjara 民族的目标和愿望,已有效运行了 10 余年。更进一步的是,有研究指出,将国家公园所有权或治理权移交原住民可能会得到大部分利益相关者的支持[25]。

### 2.5 原住民参与国家公园生态旅游发展

生态旅游因其投资较小、见效较快、就业容量大、就业岗位层次多、门槛低等特点较容易成为国家公园改善园人关系的重要方式。世界上众多的个案均可证明,原住民参与生态旅游发展可成为其争取权利、分享利益的有力工具,可成为国家公园争取地方支持保护的重要手段,同时可增加国家公园吸引力[26],促进国家公园的长远可持续发展。需要指出的是,由于一些原住民可能不希望从事旅游业或者部分原住民参与生态旅游所需的技能不足,全体原住民参与旅游并不是科学的选择。相反,参与不足可能是实现国家公园可持续旅游业的一部分,原住民参与生态旅游获得的收益有限会导致原住民与国家公园的分离与冲突[27]。

## 3 结论与启示

### 3.1 积极探索,构建具有中国特色的人居荒野型国家公园模式

“人居荒野”范式认为,原住民的传统资源利用模式与生态保护交织在一起,原住民的生存环境和生物多样性保护在很大程度上是密不可分的,且其传统实践被认为基本上是有适应力的,可与国家公园和谐共存。这种范式承认保护工作的复杂性和语境性,承认原住民在国家公园管理和保护方面的权利和作用,提供了区别于简单化、极端化的荒野型国家公园的另外一种更具弹性、更符合各地现实的安排。我国部分国家公园如普达措、三江源等国家公园,某种程度上来说也存在类似原住民的社区。现有社区基本都是国家公园体制试点开展之前就已存在,国家公园承载了社区的生产、生活和文化空间,经长时间的共存与互动,两者的交互作用塑造了现有的生态系统和景观格局。这些社区已形成了良好的生态保护观念和行为约束机制,已形成了不可分割的良性依赖关系。应转变观念,认真审视美国荒野型国家公园范式于中国多样化现实的适用性,进一步留出足够的政策空间,鼓励符合条件的国家公园根据自身实际自主探索尝试,推动构建中国特色的人居荒野型国家公园范式。

### 3.2 分类施策,保障国家公园原住民的合法正当利益

国外大部分学者认同国家公园和原住民是一个有机的整体,国家公园属于全体国民,也属于原住民,国家公园的建设发展不能以牺牲原住民的利益为代价。国外国家公园越来越注意尊重原住民的资源利用权、管理权等,经过充分沟通寻求共同利益,通过签订共管协议、设立管理委员会等手段建立合作机制,保障原住民利益。

众多的社区分布是我国国家公园体制建设的特殊国情,是国家公园体制建设的最大挑战,如应对合理也可成为我国国家公园体制建设的最大优势。因此,需深入研究国家公园与社区的复杂关系,对国家公园社区的现有生产活动进行深入调研与评估。结

合国家公园空间管制区划要求,可将社区与国家公园的关系划分为和谐型、失调型与冲突型。对与国家公园良性互动的社区,应保护和延续社区合理的生产、生活和精神文化需求,尊重园内社区不损害环境的传统利用方式;强化沟通交流,将国家公园的规制进一步内化于社区,建立动态机制,持续平衡国家公园和社区权益。对与国家公园关系存在失调的社区,探索生计利用许可制度,应研究确定对生态环境可持续的社区生计利用类型、范围、密度、时间与空间要求等,对符合要求的,统一授予生计利用许可权,对不符合要求的,予以取缔;对新的非传统的生产活动实行申报制,进行环境影响评价,一事一议,单独许可,同时,支持社区走环境友好型、绿色发展转型之路。对与国家公园关系存在冲突的社区,应积极鼓励社区转型发展,适度发展生态旅游及其他替代性产业,有序引导社区参与特许经营,优化社区与国家公园的共生关系。极端情况下,应在充分沟通的基础上予以外迁并做好妥善安置。

### 3.3 主动作为,发挥原住民对国家公园保护工作的实效性

发挥社区保护作用是构建和谐园人关系的根本和落脚点。在尊重原住民权利和利益诉求、建立了良好的合作关系后,通过两条路径可使原住民发挥更大的保护作用。一方面,应研究原住民的知识、价值和传统实践与国家公园生态保护之间的复杂关系。原住民与土地的联系非常紧密,其信仰系统、传统利用方式等对国家公园自然资源管理与保护一般有着积极影响。应注重挖掘、整理国家公园内各民族优秀传统文化及其在国家公园自然、文化资源保护的积极意义,保护、培育和借鉴社区的环境知识、价值观和实践经验,将原住民的这些无形保护资源融入国家公园总体安排中,提高国家公园保护工作的协调性和整体性。另一方面,激发社区参与资源保护的积极性,进一步增强国家公园保护工作的实效性。加强国家公园保护的宣传力度,在村民中树立资源有价、合理利用和保护资源意识,通过受益换保护、购买环境服务、补偿因保护造成的损失等机制设计激发原住民参与生态保护的积极性。组织社区自治组织,在乡规民约的基础上制定一套社区理解和接受的自然资源管理制度。实施多种社区自然资源管理项目,鼓励社区居民以资金、人力等方式参与社区资源管理项目。与社区建立健全联防共管体系,形成共同保护、相互监督、齐抓共管的局面。

## 参考文献:


[1] JOHN S,RUTH E S,TIMOTHY J,et al. Linking community and national park development:A case from the Dominican Republic[C]//Natural Resources Forum,2002,26(2):140-149.

[2] YOGESHWAR R. Indigenous peoples' rights:Issues and guiding principles[R]. Pulchowk:National Foundation for Develpoment of Indigenous Nationalities,2002:13-14.

[3] ZEPPEL H. Tourism and national parks:International perspectives on development, histories and change[M]. Abingdon:Taylor & Francis (Routledge),2009:259-281.

[4] EZRA D. Idealizing inhabited wilderness:A revision to the history of indigenous peoples and national parks[J]. History Compass,2015,12(10):818-832.

[5] BINNEMA T,NIEMI M. 'Let the line be drawn now':Wilderness,conservation,and the exclusion of aboriginal people from Banff national park in Canada[J]. Environmental History,2006,11(4):724-750.

[6] AGRAWAL A,REDFORD K. Conservation and displacement:An overview[J]. Conservation and Society,2009(7):1-10.

[7] POIRIER R,OSTERGREN D. Evicting people from nature:Indigenous land rights and national parks in Australia,Russia,and The United States[J]. Social Science Electronic Publishing,2002,42(2):331-351.

[8] KATHERINE H G,JEIMY M G,SEBASTIÁN R R. Dispossession and governance:The invisible role of indigenous peoples in protected natural areas in Chile[J]. Environmental Science & Policy,2023(150):48-60.

[9] REDFORD K H,SANDERSON S E. The brief barren marriage of biodiversity and sustainability[J]. Bulletin of The Ecological Society of America,1992(73):36-49.

[10] REDFORD K H,SANDERSON S E. Parks in peril:People,Politics,and protected areas[M]. Washington DC:Island Press,1998:56-57.

[11] STAN S. Indigenous peoples,National parks,and protected areas:A new paradigm linking conservation,culture,and rights[M]. Arizona:University of Arizona Press,2014:21-22.

[12] HANNA K D,CLARK D S,SLOCOMBE. Transforming parks and protected areas:Policy and governance in a changing world[M]. London:Routledge,2012:85-86.

[13] ROSALIE C C, BEAUDOIN J M, LOUIS B. Indigenous leadership in creating a protected area:The akumunan biodiversity reserve (Canada)[J]. Global Ecology and Conservation,2023(48):1-12.

[14] REDFORD K H,ROBINSON J G,ADAMS W M. Parks as shibboleths[J]. Conservation Biology,2006,20(1):1-2.

[15] MOMBESHORA S,LE B S. Parks-people conflicts:The

case of Gonarezhou national park and the Chitsa community in south-east Zimbabwe[J]. Biodiversity & Conservation,2009,18(10):2601-2623.
[16] NEPAL S K, WEBER K E. The quandary of local people—Park relations in Nepal's royal chitwan national park [J]. Environmental Management,1995,19(6):853-866.
[17] NGUYEN, LAWLER, GOLDOFTAS L. Biodiversity conservation or indigenous people's welfare: A dilemma for forest management in Vietnam's bu gia map national park [J]. Community Development,2019,50(4):22-31.
[18] ROTH R. On the colonial margins and in the global hotspot:Park-people conflicts in highland Thailand[J]. Asia Pacific Viewpoint,2004,45(1):13-32.
[19] LAMSAL. The park-people conflict in the Chitwan national park with reference to the Asiatic one-horned rhinoceros [J]. Department of Biology,2012:1-49.
[20] SHEPARDJR G,KLAUS R,JULIAOHL S,et al. Trouble in paradise: Indigenous populations, Anthropological policies, and biodiversity conservation in Manu national park,peru[J]. Journal of Sustainable Forestry,2010,29(2-4):252-301.
[21] ZANDER K K,GARNETT S T. The economic value of environmental services on indigenous-held lands in Australia [J]. Plos One,2011,6(8):23-24.
[22] CROUCH G. Aboriginal peoples,Parks Canada,and protected spaces:A case study in co-management at Gwaii Haanas national park reserve[J]. Annals of Leisure Research,2012,15(1):69-86.
[23] POWER T. Joint management at Uluru-Kata Tjuta national park[J]. Environmental and Planning Law Journal,2002,19(4):284-302.
[24] WUNDER J R. "Looking After the Country Properly": A comparative history of Indigenous peoples and Australian and American national parks[J]. Indigenous Law Journal,2003(8):48-57.
[25] BATAILLE C Y,LUKE K T. Stakeholder values inform indigenous peoples' governance and management of a former national park in New Zealand[J]. Human Ecology,2020(48):30-37.
[26] RYAN C,HUYTON J. Tourists and aboriginal people[J]. Annals of Tourism Research,2002,29(3):631-647.
[27] JENNIFER S M,SUSAN M. Indigenous involvement and benefits from tourism in protected areas:A study of Purnululu national park and Warmun community, Australia [J]. Journal of Sustainable Tourism,2013,21(1):26-41.

责任编辑：许易琦

(上接第 108 页)

[6] 吴海东,闫志军,孙飞,等. 郑州市杂交茶香月季观赏特性综合评价[J]. 陕西农业科学,2022,68(11):74-79.
[7] 孙霞枫. 现代月季品种综合评价体系的初步研究[D]. 北京:北京林业大学,2009.
[8] 甘甜. 长沙地区引种月季综合评价与应用研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2019.
[9] 张仪东,王玲玲,王杰. 临沂市引种藤本月季品种综合评价[J]. 陕西农业科学,2020,66(2):90-92.
[10] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1987.
[11] 李相鹏. 临沂市彩叶观赏草的引种及评价[J]. 绿色科技,2019(19):177-178.
[12] 王玲玲,张仪东,王杰. 临沂市观赏草资源及观赏价值评价[J]. 山东林业科技,2019,49(1):61-63,67.
[13] 袁苗苗,安运华. 荆州市 18 种禾本科观赏草的灰色关联度分析[J]. 长江大学学报(自科版),2018,15(6):24-27,94.
[14] 彭华,管帮富,彭火辉,等. 江西南昌引种丰花及微型月季品种的鉴定评估[J]. 江西农业学报,2012,24(4):34-37.
[15] 管帮富,彭华,彭火辉,等. 南昌地区引种大花及藤本月季品种的评估鉴定[J]. 江西农业学报,2013,25(12):19-26,31.
[16] 李元鹏,张英杰,张京伟,等. 月季种质资源综合评价体系分类与比较[J]. 林业与生态科学,2021,36(3):321-327.
[17] 武荣花,彭洁,刘引,等. 基于层次分析法的苏州地区月季资源观赏性状综合评价[J/OL]. 分子植物育种,1-16[2025-01-22]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20230518.1735.012.html.
[18] 冯慧,赵世伟,卜燕华,等. 北京地区月季综合评价体系的建立[J]. 中国园林,2021,37(1):116-121.
[19] 付存念,潘可可,杨程鹏,等. 基于层次分析法的温州月季资源适应性评价[J]. 安徽农业大学学报,2021,48(5):763-770.
[20] 赵卫华,姜马兰,商阳,等. 基于层次分析法的常州道路适生月季品种筛选[J]. 南方农业,2023,17(3):28-35.
[21] 陈祥静,朱庆琳,朱嘉,等. 39 份玉米自交系的芽苗期耐盐性评价[J]. 山东农业科学,2023,55(5):35-41.

责任编辑：陈旭

证书编号:23010023

# 收录证书

《林业调查规划》编辑部:

在《中国应用型期刊评价研究报告(2023 版)》（CACJ）中，贵刊被评为中国应用型核心期刊。

特发此证。

武汉大学中国科学评价研究中心

数字出版智能服务技术教育部工程研究中心

二零二四年八月

- 中国科技论文统计源期刊（中国科技核心期刊）
- 《中文核心期刊要目总览》来源期刊
- 《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊
- 《中国知网》《中国学术期刊（光盘版）》全文收录
- 《中文科技期刊数据库》全文收录
- 《超星期刊数据库》全文收录
- 《中国林业文摘》收录
- 2009 年评为云南省优秀期刊
- 2012 年评为云南省优秀期刊
- 2022 年评为“西牛计划”之优秀中文科技期刊
- 2023 年评为云南省优秀科技期刊
- 2024 年评为中国应用型核心期刊


**林 业 调 查 规 划**
**LINYE DIAOCHA GUIHUA**
**（双月刊，1976年创刊）**
2025 年 1 月 第 50 卷 第 1 期

**Forest Inventory and Planning**
**（Bimonthly，Started in 1976）**
Vol.50 No. 1 Jan. 2025

| | | | |
|---|---|---|---|
| 主管单位 | 云南省林业和草原局 | **Administrated by** | Yunnan Forestry and Grassland Administration |
| 主办单位 | 云南省林业调查规划院 | **Sponsored by** | Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning |
| 主　　编 | 胡宗华 | **Editor in Chief** | HU Zonghua |
| 编辑出版 | 《林业调查规划》编辑部 | **Edited & Published by** | Editorial Department of Forest Inventory and Planning |
| 地　　址 | 昆明市人民东路289号 | **Address** | No. 289 East Renmin Road, Kunming,China |
| 邮　　编 | 650051 | **Post Code** | 650051 |
| 电　　话 | 0871-63318347，63332538 | **Telephone** | 0871- 63318347，63332538 |
| **Email** | ynfip@vip.163.com | **Email** | ynfip@vip.163.com |
| 印　　装 | 昆明德鲁帕数码图文有限公司 | **Printed by** | Kunming Drupa Digital Graphics Co., Ltd. |
| 订　　购 | 全国各地邮政局 | **Distributed by** | All Local Post Offices in China |

刊号：ISSN 1671-3168
CN 53-1172/S

国内定价：20.00 元（全年 120.00 元）

广告经营许可证号：5300004000093
邮发代号：64-100

ISSN 1671-3168