

ISSN 1003-6075

CN 43-1095/S

中南林业调查规划

Central South Forest Inventory and Planning

Vol.42 No.3

2023年第3期

ISSN 1003-6075



国家林业和草原局中南调查规划院

Central South Academy of Inventory and Planning of NFGA

目 次

林业经营与管理

云南省森林康养产业发展分析及措施建议..... 赵书学(1)

三门江国家森林公园旅游开发适宜性及旅游景点等级评价 张莹,王辽(5)

广西国有高峰林场森林碳汇发展 SWOT 分析..... 陆艳武,莫雅芳,徐占勇,卢峰(10)

生态建设

广东省国家级公益林 NPP 时空变化特征分析..... 刘金山,张蓓,李佳,徐磊(14)

安徽省庐江县湿地保护管理现状及对策探讨..... 刘恩林,彭泰来(18)

河南省岩溶地区石漠化土地现状与生态恢复对策 裴卫国(22)

建立国家湿地公园对提高鸟类物种多样性的影响与建议——以湖南泸溪武水国家湿地公园为例
..... 田开慧,龚发武,郑小君,杨逸廷(25)

科技应用

基于多源遥感数据的森林蓄积量估测研究——以北方孟家岗林场为例..... 邹泽林,刘紫薇,文敏,黄鑫(29)

基于深度学习的林火烟雾识别系统设计..... 李梓铭,石振威,徐海文,龙骏,朱勇兵,周国雄(36)

基于 MaxEnt 模型预测砂生槐在西藏的潜在分布区 张晓晨,宁小斌,史伟,刘宏伟(41)

基于 ArcGIS 编制云南省 1 : 100 万森林分布图的实践 陈春祥,李元杰,王海波,杨晓松(46)

专题研究

中国山水林田湖草研究进展综述 范应龙(51)

西藏林长制实践研究 王晋昊,董雅雯,刘玲,李玲知,洪永忠(55)

湖南省主要树种系列数表模型研建之三

湖南省马尾松树高曲线及材积模型研建
..... 王金池,陈振雄,杜志,刘紫薇,兰俊宇,曹文昊,杨文韬,唐兴,胡满(59)

岩溶地区石漠化土地现状、动态及防治对策研究系列(待续)

我国岩溶地区 2016—2021 年石漠化土地动态变化及其原因分析
..... 张亚威,刘庭威,黄俊威,吴协保,彭玺,宁小斌,张晓晨,刘伟(67)

云南省森林康养产业发展分析及措施建议

赵书学

(云南省林业调查规划院生态分院, 云南 昆明 650031)

摘要: 论述了云南省发展森林康养产业所具备的天时、地利、人和三个必要条件, 分析了当前亟待解决的主要问题, 提出了针对性的措施建议, 希望能为政府、相关职能部门、社会机构、学者等提供借鉴。

关键词: 森林康养产业; 发展; 创新; 措施; 云南省

中图分类号: S788 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6075 (2023) 03-0001-04

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.001

Analysis and Suggestion on Development of Forest Health and Wellness Industry in Yunnan Province

ZHAO Shuxue

(Ecology Branch of Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650031, Yunnan, China)

Abstract: This article discusses the three necessary conditions for the industrial development of forest health and wellness in Yunnan Province, namely, good background of times, basic geographical advantages, and support from all parties. It analyzes the main problems that need to be solved urgently at present, and puts forward targeted measures and suggestion. It is hoped to provide reference for the governments, relevant functional departments, social institutions, and scholars.

Key words: forest health and wellness industry; development; innovation; measures; Yunnan Province

任何事的成功都离不开三个条件, 即“天时”“地利”“人和”, 森林康养产业发展也不例外。在各行各业深度融合发展时期, 云南如何抓住发展机遇, 充分发挥自身优势, 凝聚共识, 形成合力, 做大做强森林康养产业, 为“争当全国生态文明建设排头兵”再添抓手, 为打造“世界一流健康生活目的地”注入新动能, 共建共享“健康中国”“美丽中国”, 是本文的出发点和落脚点。

1 云南省发展森林康养产业所具备的必要条件

1.1 发展时机成熟

从底层逻辑、实践要求、产业升级等方面看, 云

南省发展森林康养产业的时机已成熟, 即已具备“天时”条件。

1) 发展森林康养产业的底层逻辑出现。随着人类社会的发展进步, 人们的需求也在不断发生变化。现阶段, 人们的需求已从以前简单的物质需求过渡到今天的多种需求, 如精神需求、健康需求、美丽需求等, 由此催生出许多新兴业态, 如文化旅游、健康养老、森林康养等。

2) 发展森林康养产业是深入贯彻习近平生态文明思想的具体实践。按照习近平生态文明思想之“绿水青山”和“金山银山”的辩证关系, 应该找准方向、创造条件、采取恰当的方式将“绿水青山”源源不断地转化为“金山银山”。在经济全球化的背景下,

* 收稿日期: 2023-03-30

作者简介: 赵书学 (1978—), 女, 贵州桐梓人, 硕士研究生, 正高级工程师, 主要从事林业调查规划设计工作。E-mail: 214871064@qq.com。

云南依托广袤的森林资源发展森林康养产业,为“大健康产业”注入新的活力,拓展和增强“绿水青山”转化为“金山银山”的途径和能力,是深入贯彻习近平生态文明思想的具体实践。

3) 发展森林康养产业是绿色产业升级的内在要求。经过多年努力,云南的绿色能源、绿色食品、健康生活目的地“三张牌”已初现雏形,但缺乏新的引擎,未能形成产业集群。将森林康养产业充分融合到“大健康产业”发展格局之中,形成产业集群和产业生态,将为经济增长创造“二次”增长曲线。

1.2 资源优势突出

纵观区位优势、自然条件、生物多样性、生态环境、民族文化、旅游资源等方面,云南具有发展森林康养产业得天独厚的优势,即已具备“地利”条件。

1) 区位优势明显。从国际区位分析,云南地处中国与东南亚、南亚三大区域的接合部,有8个州(市)的25个县(市)分别与缅甸、老挝和越南交界,是中国通往东南亚、南亚的窗口门户,拥有国家一级口岸16个、二级口岸7个,国际机场1个。按照“一带一路”倡议,中老泰、中越、中缅的高速公路、铁路将全程贯通,届时云南将成为中国与东南亚、南亚的人流、物流、资金流、信息流交汇的前沿要地。从国内区位分析,云南虽然地处祖国西南边陲,是典型的内陆省,但境内的高速公路网、铁路网、航空网、水运通道等交通枢纽已基本形成,在国内大循环、国内国际双循环经济发展格局中发挥着重要作用。

2) 自然条件优越。云南地处低纬高原,北回归线横贯南部,高原基本面、三大山脉(高黎贡山、怒山、云岭)、六大水系(金沙江、怒江、澜沧江、红河、珠江、伊洛瓦底江)、九大高原湖泊(滇池、洱海、抚仙湖、程海、泸沽湖、杞麓湖、异龙湖、星云湖、阳宗海)共同构造了云南地形地势的基本格局。云南整个地势北高南低,由北向南倾斜,呈明显阶梯状下降,东部平均海拔约2 000 m,西北部海拔为3 000~4 000 m,西南部海拔为1 500~2 200 m。从海拔范围看,800~2 000 m为发展森林康养的全季适宜区,其他海拔区域为季节性适宜区。受印度洋西南季风、太平洋东南季风、青藏高原西北寒流、局部干热河谷焚风以及纬度、地形的综合影响,云南基本属于亚热带高原季风气候。并且,云南地区的立体气候特征明显,拥有热带、亚热带、温带和寒带的多种气候类型。全省最热(7月)月均温在22~23℃之

间,最冷月(1月)均温在7~11℃之间,年温差一般只有10~12℃;全省无霜期长,南部边境全年无霜;空气湿度在55%~88%之间。从气候条件看,滇中、滇东为森林康养的中心适宜区,滇东北、滇东南、滇南、滇西南、滇西为季节性适宜区,滇西北则不适宜发展森林康养。

3) 生物多样性丰富。独特的地形地势和气候条件,孕育了云南地区多样的森林生态系统,也汇集了从热带、亚热带、温带甚至寒带的生物物种,生物资源十分丰富,竹类、中药材、花卉、香料、野生菌种类均居全国之首。据第四次中药资源普查统计,全省中药材资源种类达8 875种,约占全国的63%。生物多样性为发展森林康养产业奠定了开发森林食材、森林药材、森林浴场等产品的良好基础。

4) 生态环境良好。在《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》“三区四带”的整体格局中,云南位于“长江重点生态区(含川滇生态屏障)”^[1],其生态区位极其重要。境内的金沙江、南盘江分别是长江、珠江的上游,怒江、澜沧江、元江、伊洛瓦底江为国际重要河流。中国秉持负责任的大国担当,从维护全球生态安全的角度出发,给予了云南发展的整体目标定位——努力成为生态文明建设排头兵,筑牢西南生态安全屏障^[2]。按照这一目标定位,云南人民秉持保护优先、绿色发展理念,共抓大保护,不搞大开发,正积极创建4个国家公园(亚洲象国家公园、香格里拉国家公园、高黎贡山国家公园、哀牢山国家公园),设立了21个国家级自然保护区、46个地方级自然保护区、50个国家级自然公园,初步构建起了以国家公园为主体的自然保护地体系^[3],全省呈现出天朗、气清、水碧、土净的局面,筑牢了发展森林康养产业的根基。

5) 民族文化积淀深厚。云南是多民族聚居的省份,有彝族、白族、哈尼族、傣族、拉祜族、瑶族等25个世居少数民族。在长期的生产生活实践中,各个民族积累了许多宝贵的民族文化,为森林康养产品的开发提供了宝贵财富。

6) 旅游资源丰富。云南省旅游资源十分丰富,有12个国家级风景名胜区、35个省级风景名胜区、50个国家级自然公园。境内有冰川雪山、火山热海、地上石林、地下溶洞,三江并流、哈尼梯田,高原湖泊、温泉瀑布,古文化遗址、现代药草园,原始森林、高山草甸,寒温热生物交汇、多民族文化共融、

自然景观与人文景观辉映，终年绿衫覆被、四季花果飘香，所到之处皆为景，是全国乃至全球为数不多的适宜发展全域旅游的省份之一。

1.3 各方力量凝聚

从党委政府、管理机构、社会企业、个人等不同层级进行分析，一场凝聚各方力量的“大健康”运动已然开启，云南省发展森林康养产业已具备一定的“人和”条件。

1) 党委政府重视。2016年中共中央、国务院印发《“健康中国2030”规划纲要》；2019年，国务院印发《国务院关于实施健康中国行动的意见》(国发〔2019〕13号)；2017年云南省委、省政府印发《“健康云南2030”规划纲要》；2019年，中共云南省委办公厅、云南省人民政府办公厅印发《关于努力将云南建设成为中国最美丽省份的指导意见》(云办发〔2019〕23号)；2020年，《中共云南省委

云南省人民政府关于加快构建现代化产业体系的决定》出台，云南省人民政府印发《云南省人民政府关于推进健康云南行动的实施意见》(云政发〔2020〕13号)；2022年，中共云南省委办公厅、云南省人民政府办公厅印发《云南省产业强省三年行动(2022—2024年)》，云南省人民政府印发《云南省“十四五”健康服务业发展规划》(云政发〔2022〕12号)。从中央到地方政府的举旗定向，为云南省各类生产要素的投向确定了目标，逐步拉开了气势磅礴、声势浩大的“健康中国”“美丽中国”建设大幕。

2) 管理机构抓落实。2017年，国家林业局制定出台《森林养生基地质量评定》(LY/T 2789—2017)和《森林体验基地质量评定》(LY/T 2788—2017)；2018年，文化和旅游部等17部门联合印发《关于促进乡村旅游可持续发展的指导意见》(文旅资源发〔2018〕98号)，国家林业局发布了《森林康养基地质量评定》(LY/T 2934—2018)和《森林康养基地总体规划导则》(LY/T 2935—2018)；2019年，国家林业和草原局、民政部、国家卫生健康委员会、国家中医药管理局联合印发《关于促进森林康养产业发展的意见》(林改发〔2019〕20号)；2020年，森林康养作为重要指标纳入国家标准《森林生态系统服务功能评估规范》(GB/T 38582—2020)；2022年国家卫生健康委等11个部门联合印发《关于进一步推进医养结合发展的指导意见》(国卫老龄发〔2022〕25号)。各管理机构积极响应国家政策，从标准体系

建设、优化服务衔接、完善支持政策、多渠道引才育才、强化服务监管等各方面发力，落实配套政策。

3) 社会企业逐步认可。在国家的正确引导和管理机构的积极努力下，森林康养逐步被一些社会企业认可，云南省森林康养产业营商环境正逐步改善，社会资本加速流入，产业雏形初现，未来发展可期。

4) 个人消费升级。随着经济社会的发展，人们的消费层次有了大幅提升，消费观念正发生深刻变化，催生了许多消费新业态，如休闲旅游、健康养生等。大部分人愿意而且有能力承担自身的健康支出，为森林康养产业发展奠定了市场基础。

2 面临的主要问题

根据《云南省“十四五”森林康养产业发展规划》的调查结果分析，当前云南省发展森林康养产业主要面临以下问题。

2.1 认识不足，思路不清

森林康养虽然在19世纪40年代就已在德国、日本、美国、韩国相继兴起，但直到2012年，国内才引入其概念，一些省份才开始关注这一新业态。目前，森林康养产业在云南省处于发展初期，人们对它的认识大多停留在概念层面，例如，大家普遍认为森林康养产业发展前景好，但不知道如何发展，发展成什么状态。因此，亟须加大科普、宣传教育、示范引领带动力度，解决认知问题。

2.2 缺少产业发展总体规划，难以全面统筹各生产要素

“大健康”产业作为一个庞大的系统工程，涉及多部门、多行业、多领域、多学科，需要一个省级层面的产业发展总体规划加以统筹。而云南省目前尚未编制“大健康”产业发展总体规划，各地区、各部门、各行各业各自发挥，单独看个个都好，整体看却像一盘散沙，不能相互支撑、相互促进，甚至出现相互掣肘的情况，以致各生产要素难以全面统筹，合力难以实现最大化。对此，亟须组织编制云南省产业发展总体规划，以形成强大合力，共同促进森林康养产业高质量发展。

2.3 质量不高，品牌效应不强

由于各种原因，云南现存的国家森林康养基地无论是县级全域的思茅区、墨江县、腾冲市，还是单个的龙韵养生谷、昆明潘茂野趣庄园等都在一定程度上存在基础设施落后、康养产品特色不够突出、专业人

才匮乏、目标客源趋同等问题，导致基地的整体服务质量不高、品牌效应不强，与打造世界一流健康生活目的地的目标定位不相适应。因此，亟须编制云南省森林康养产业中长期发展规划，绘制蓝图，确定发展方向、发展目标和实现路径，找准定位，保持战略定力，做大做强云南省森林康养产业。

2.4 产业融合度低，难以形成产业生态

在森林康养领域，全省目前尚无具有较强引领带动效应的龙头链主企业，因而难以发挥龙头链主企业对关联产业的带动效应，产业链短且不全，产业融合度低。一些地方在招商引资时只按项目进行招商，而不是按产业链进行招商，许多“康养项目”仅呈现出一种松散的地理集中特征，各自发展，无产业链上下游的内在协作共生关系，产业集聚效应不突出，难以形成稳定的产业生态。因此，亟须培育龙头链主企业，形成产业集群，壮大产业生态。

2.5 专业人员和核心技术紧缺，难以支撑产业健康发展

森林康养产业是多学科交叉的知识密集、技术密集型产业。目前云南省森林康养产业缺乏具有多学科知识的复合型人才、高端医疗保健人才、复合型经营管理人才和专业技能型人才，同时具备理论基础和实践经验的森林康养专家寥寥无几；具有自主知识产权的新药、医疗器械、医疗康复等核心技术研发投入不足，难以支撑产业健康发展。

2.6 制度标准不健全，尚未构建起完备的支撑体系

森林康养在中国起步较晚，尚处于探索研究阶段。虽然国家层面已制定出台了一系列相关的政策标准，但在执行层面，云南省还未制定细化的制度标准，缺乏支撑森林康养产业发展的政策扶持体系、技术标准体系、人才引进培养支撑体系等。为了将宏伟蓝图变为现实，亟须构建完备的制度标准体系，为云南省森林康养产业健康发展提供政策依据和技术支撑。

3 措施建议

3.1 凝聚共识，理清思路

为促进森林康养产业健康发展，须加大宣传教育和示范引领带动力度，解决大家的认知问题，凝聚共识，形成合力，避免出现上热、中温、下凉情况。主管部门和其他相关部门要学懂弄通顶层设计，加强工作衔接，按照先诊断、再规划、配资源、做服务的发展思路，做好保障支撑。

3.2 政府主导，统一规划

森林康养产业应与其他产业融合，并纳入“大健康”产业体系，由政府主导，统一编制云南省产业发展总体规划，全面调动各类生产要素，形成各产业和各部门互为支撑、相互促进的整体发展格局。另外，森林康养是一个投入大、回收周期长的产业，且具有很强的社会公益属性，通常不是社会大资本的投资标的。云南省要将大资源转换为强产业，开始应由政府主导，因地制宜，统一规划，统筹布局，以避免无序发展、产能过剩、同质竞争和不必要的资源浪费。

3.3 锚定世界一流，保持战略定力

随着“大健康”产业的推进，森林康养产业在全国各地如雨后春笋般蓬勃兴起。为了努力成为生态文明建设排头兵，云南省必须迅速占领产业发展高地，对标世界一流，高起点谋划；保持战略定力，久久为功，谋求长远发展；集结各类生产要素，高标准建设，做出亮点，做出品牌，示范带动，真正将资源优势转变为产业发展优势，打造世界一流健康生活目的地。

3.4 围绕森林康养，打造产业集群

森林环境具有较高浓度空气负氧离子、植物精气，能够为森林康养提供活动空间、林药、林菜等。云南省要培育万亿级的健康服务支柱产业，一定要依托森林资源优势，以森林康养产业为主线，融合文旅、养老、康复、保健、体验等培育产业链主企业，打通人才引进、人才培养、生物技术研究、制药、材料设备器材生产销售等上下游各环节，形成产业集群、产业生态，让企业留得下、稳得住，人民得安康，助力实现“健康中国”“美丽中国”。

3.5 创新体制机制，适配新的发展业态

森林康养产业属于“大健康”产业中一个极小的细分领域，云南因其得天独厚的资源禀赋，极其适宜发展森林康养产业。然而，相较发达省份，云南省在经济、科技、基础设施等方面底子差。因此，必须创新体制机制，适配新的发展业态，才能吸引社会资本向云南这个价值洼地聚集，共同推动森林康养产业高质量发展。第一，产业生态绝非一朝一夕的事，必须革新对领导干部的考核机制，才能更好地坚持一张蓝图绘到底；第二，基于健康产业的社会公益属性，由政府主导创立产业投资基金，解决产业先期铺底所需的资金问题；第三，森林康养在国内还处于起步阶

(下转第28页)

三门江国家森林公园旅游开发适宜性及 旅游景点等级评价

张莹, 王辽

(广西壮族自治区国有三门江林场, 广西柳州 545000)

摘要: 基于三门江国家森林公园内的旅游资源、区域条件和区位特性, 综合开展公园旅游开发适宜性评价, 评价结果为: 森林公园总评分值 74.95 分, 其中旅游资源 47.45 分、得分比例为 63.3%, 区域条件 12.91 分、得分比例为 17.2%, 区位特性 14.59 分、得分比例为 19.5%; 针对公园现有 37 个景点开展旅游景点等级评价, 有一级景点 4 个, 二级景点 7 个, 三级景点 26 个。评价结果表明, 三门江国家森林公园旅游资源开发价值较高, 区域条件好, 区位优势显著, 具备旅游开发条件。

关键词: 国家森林公园; 综合评价; 旅游适宜性; 旅游景点等级

中图分类号: S788 文献标识码: B 文章编号: 1003-6075 (2023) 03-0005-05

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.002

Evaluations of Tourism Development Suitability and Tourism Attractions Grade in Sanmenjiang National Forest Park

ZHANG Ying, WANG Liao

(Guangxi Zhuang Autonomous Region State-owned Sanmenjiang Forest Farm, Liuzhou 545000, Guangxi, China)

Abstract: Based on tourist resources, regional conditions and location characteristics in Sanmenjiang National Forest Park, the suitability evaluation of tourism development was made in a comprehensive way. The results showed that the total score of the forest park was 74.95 points, of which tourism resources was 47.45 points, accounting for 63.3% of the full score; regional conditions 12.91 points, accounting for 17.2% of the full score; location characteristics 14.59 points, accounting for 19.5% of the full score. Tourism attractions grade evaluation of 37 existing scenic spots in the park was also achieved: there are 4 first-level scenic spots, 7 second-level scenic spots, and 26 third-level scenic spots. The evaluation results showed that the Sanmenjiang National Forest Park tourism resources development value was high, the regional conditions were good, the location advantage was significant, with good conditions for tourism development.

Key words: national forest park; comprehensive evaluation; tourism suitability; tourism attractions grade

森林公园建设是推进生态文明与美丽中国建设的重要举措之一, 有助于维系自然生态环境的平衡, 保护和合理利用自然资源, 促进人与自然是和谐共生, 且在物种多样性、气候调节、大气净化、水土保持、水

源涵养等方面具有积极意义^[1-3]。

国内森林公园在旅游开发适宜性评价、生态敏感度评价、设计规划、生态修复等领域尚未形成完整的理论体系^[4]。杨璐璐^[5]在仰天岗国家森林公园

* 收稿日期: 2023-04-10

作者简介: 张莹 (1987—), 女, 陕西大荔人, 经济师、工程师, 大学本科, 主要从事经济管理工作。E-mail: 260900199@qq.com。

通信作者: 王辽 (1986—), 男, 陕西合阳人, 工程师, 大学本科, 主要从事森林培育工作。E-mail: 33210006@qq.com。

康复性景观综合评价研究中发现,生态涵养功能等四项指标是影响森林公园康复性景观综合水平最为关键的因素。刘钊^[6]利用AHP法对森林公园视觉景观质量进行评价,研究表明,自然生态景观权重最大。黄硕磊等^[7]在森林公园生态系统服务价值评估研究中发现,生态系统中的主要服务功能是生态物质产品供给。曹颖^[8]在森林公园康养旅游发展研究中发现,森林康养旅游的优势是环境和科研价值。姚新涛^[9]的研究表明,生态旅游开发应建立在资源和环境评价的基础之上,山地生态旅游资源系统评价包括质量等级、空间结构和环境适宜性三个部分。

本研究为了确保评估的合理性和科学性,将森林旅游开发适宜性评价着眼于旅游资源、区域条件和区位特性三个对旅游地的整体开发价值和重要程度有重要影响的因素,参照山岳型观赏旅游地评价模型中的评价因子权重,对三门江国家森林公园(以下简称“森林公园”)的旅游资源及其开发条件进行综合评价,以期为三门江生态旅游开发和利用提供理论参考,构建广西山岳型观赏旅游地的旅游开发适宜性综合评价体系。

1 材料与方法

1.1 森林公园概况

三门江国家森林公园隶属广西壮族自治区国有三门江林场,位于广西中部,距柳州市东郊11 km,地理坐标为109°26′—109°48′ E, 24°10′—24°27′ N,地跨柳州市东郊和鹿寨、象州两县;总面积13 151.0 hm²,其中旅游区面积1 341.7 hm²,占总面积的10.2%,集森林景观、地貌景观、水城景观和人文景观于一体,于1993年获批“国家级森林公园”。森林公园以良好的自然森林生态环境为基础,以秀美的森林景观资源为特色,以生物多样性保护与科普宣教为主线,形成以观光游览、休闲度假、会议培训为主要功能,集娱乐健身、保健疗养、科普教育于一体的城郊型国家级森林公园。

森林公园区域内的地质为上古生界泥盆系、石炭系和二叠系,属广西中部弧形山脉东翼的大瑶山延伸的丘陵地带,以低山、丘陵地貌为主,山脉多呈东西走向。境内海拔一般在200 m左右,最高峰古亭山的海拔为556 m,最低海拔为柳江河岸三门江码头65 m,坡度在16~25°。森林公园属中亚热带向南亚

热带过渡的季风地带,终年气候温和,光照充足,雨量充沛,年均气温19.8~20.9℃,极端最高温39.9℃,极端最低温-2.5℃,≥10℃的年积温6 720℃,年均日照时数1 594 h,年均降雨量1 300~1 700 mm,蒸发量1 471~1 750 mm,相对湿度75%,年均霜日7 d,一般出现在12月中旬,植物生长期293 d。森林公园处于珠江流域,蜿蜒曲折的柳江和洛清江从公园内穿过,森林公园内还有众多碧波清澈、绚丽多彩的山塘水库。森林公园内的土壤是以硅质岩、砂页岩、泥页岩、砂岩等发育而成的红壤占主导,占比达93%,偏酸性,较肥沃;其次是以石灰岩发育而成的黑色石灰土,为中性或碱性,重黏土,可溶性有效养分少。森林公园内的树种组成与植被群落结构简单,以马尾松、杉木、油茶、湿地松、桉树、樟树等人工植被为主,马尾松纯林面积大、分布广,是森林公园内的主要植被类型,常绿阔叶林面积较小,多镶嵌分布于沟谷中。

柳州市环保科研所监测的结果显示,公园内SO₂每小时的平均浓度范围是0.012~0.226 mg/m³,日平均浓度范围是0.020~0.079 mg/m³,NO_x的每小时平均浓度范围是0.003~0.035 mg/m³,日平均浓度范围是0.008~0.023 mg/m³,SO₂、NO_x两项指标均达到《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)中的二级标准。

1.2 森林公园旅游开发适宜性综合评价模型

森林公园内森林面积大,旅游资源丰富,景观类型多样,特色鲜明,具有森林景观多样、江河景观秀丽、山体景观奇特、溶洞景观幽深和神话传说动人等基本景观特征,集山、水、古迹和民族风情于一体,尤以岩溶地貌、观光农业和浓郁的民族风情称盛。浩瀚的森林、峻峭的山体和迷人的江河是柳州城区周边不可多得的宝贵资源,在广西乃至华南地区颇具吸引力。选择旅游资源、区域条件和区位特性三个对旅游地整体开发价值和重要程度有重要影响的因素作为评价因子,参照山岳型观赏旅游地评价模型中的评价因子权重,对森林公园的旅游开发适宜性进行评价。数学模型如下:

$$E = \sum_{i=1}^n Q_i P_i \quad (1)$$

式中: E 为旅游地综合性评估结果值; Q_i 为第 i 个评价因子的权重; P_i 为第 i 个评价因子的评价值; n 为

评价因子的数目。

1.3 森林公园景观资源定量评价

在对森林公园旅游资源全面调查并系统分类的基础上,根据旅游资源特点,按中华人民共和国文化和旅游部、中国科学院地理科学与资源研究所的评价标准,分山体、水体、生物、气候与天象、生态环境、

相邻景点衬托、人文景观和奇特度共8个因子对森林公园现有景点进行评价。

每个景点的各项之和为该景点的得分,然后按9~11分为三级景点,12~18分为二级景点, ≥ 19 分为一级景点的标准划分景点等级。景观资源定量评价标准见表1。

表1 景观资源定量评价标准

项目	评分区间	评分	定量标准
山体	1~5	1	非山体景观或常见山体、坡度缓、造型一般
		2~3	峻峭山体、山势高峻、个性特点明显
		4~5	奇特山体、具鲜明个性或为悬崖峭壁,切割方向或雄伟高大或具岩洞,完整奇特
水体	0~5	0~1	无水体景观或为一般水体,面积小,无特殊形态,声、影、色、质一般
		2~3	较美的动态水量,个性明显,体量小,清洁,有倒影或有声色配合
		4~5	气势磅礴的动态水景,或其他因素相互配合形成奇妙雅致的胜景,水质甘冽
生物	1~5	1	群落结构简单、覆盖率小于60%,只有常见野生动物
		2~3	结构复杂,覆盖率为60%~80%,野生动物种类较多,有省级保护种
		4~5	有名古大树林,覆盖率大于80%,动物种类丰富,有国家级保护种、形态奇特
气候与天象	1~5	1	一般天象,气候条件一般
		2~3	美丽天象引人入胜,并有一定知名度,气候温和、宜人
		4~5	气象奇观、知名度很高,使人为之倾倒,气候舒适、宜人
生态环境	1~5	1	没形成典型森林环境,有一定污染
		2~3	较为舒适幽静的森林环境,空气清洁
		4~5	典型的森林环境,色彩丰富、季相明显,恬静舒适、空气清新,达国家质量一级标准
相邻景点衬托	0~5	0~1	邻近地无优美景点或优美度不足
		2~3	邻近地优美景点少或对本景点烘托作用一般
		4~5	邻近景点衬托效果明显
人文景观	0~5	0~1	无人文资源或为一般的建筑,神话传说
		2~3	具有一定的科学、艺术、宗教价值,民族、地方特色浓厚,在当地著名
		4~5	历史悠久、具有典型的地方特色和民族风格,科学、艺术、宗教价值很高、名扬国内外
奇特度	0~5	0~1	常见、普遍或少见,有自己的特色,在当地有一定的知名度
		2~3	省内少见,成为世界奇观,在国际上有很高的知名度
		4~5	国内罕见,成为世界奇观,在国际上有很高的知名度

2 旅游开发适宜性综合评价

2.1 综合评价结果与分析

根据公式(1),对森林公园的旅游开发适宜性进行评价,评价结果见表2。由表2可知,森林公园总评分值74.95分,其中旅游资源47.45分,得分比例为63.3%;区域条件12.91分,得分比例为17.2%;区位特性14.59分,得分比例为19.5%。三

个重要影响因素的评分值均较高,说明森林公园的旅游资源开发价值较高、区域条件好、通达性高,是旅游开发的理想地区。

评价结果显示,旅游资源单项得分率最高,其中地形与地质分值贡献度最高。森林公园属广西中部弧形山脉东翼的大瑶山延伸的丘陵地带,主要为低山、丘陵地貌,平均海拔约200m。森林公园内土岭与石山交叉分布,但以土岭为主。一方面,这些地形与地

表2 旅游开发适宜性综合性评价

评价因子	Q_i (总和取10)	P_i (满分取10)	E	占满分/%
总计	7.024	—	47.45	63.3
地形与地质	2.267	8	18.14	
水体	0.495	9	4.46	
气候	0.546	8	4.37	
动物	0.385	5	1.93	
植物	0.631	6	3.79	
文化古迹	0.871	2	1.74	
民俗风情	0.566	6	3.40	
景点集中程度	1.001	7	7.01	
环境质量	0.261	10	2.61	
总计	1.481	—	12.91	17.2
自然生态	0.681	9	6.13	
用地条件	0.159	10	1.59	
城镇分布	0.164	10	1.64	
基础设施	0.229	9	2.06	
旅游设施	0.248	6	1.49	
总计	1.495	—	14.59	19.5
交通条件	1.069	10	10.69	
与客源地距离	0.204	10	2.04	
与附近旅游地类型的异同	0.178	8	1.42	
与附近旅游地之间的距离	0.044	10	0.44	

质提供了丰富多样的自然景观,为森林公园旅游业的发展提供了广阔的发展空间和潜力;另一方面,这种生态系统可以发展登山、探险、科考、休闲等多种旅游活动,具有广阔的市场空间。除此之外,独特的地形地貌也孕育了丰富的生物多样性,这种多样性生物可吸引生态旅游和自然保护爱好者前来参观。

区位特性单项得分率居于第二位,其中交通条件分值贡献度最高。森林公园所在的柳州市属广西的交通枢纽城市,处于广西旅游大格局南北黄金旅游线的中心位置,现已逐步形成了由铁路、公路、航空、水运等多种形式组成立体交通网络。森林公园位于柳州市郊,又紧邻柳江河畔,公园内已形成较为完善的林区公路网,路网密度高达 45.2 m/hm^2 。便捷的内外交通、优越的地理位置使森林公园的旅游开发具有“成本低、投资少、见效快”的优势。

区域条件单项得分率居于第三位,其中自然生态分值贡献度最高,这与杨璐璐、刘钊、黄硕磊和曹颖研究得出的结论类似^[5-8]。森林公园是距柳州市城区

最近、森林植被保存较好、面积又大的森林游憩场所,现有森林面积 7906 hm^2 ,占柳州市城区森林面积的16.8%,公园的森林覆盖率比市区高58.8%。由于森林的增湿降温、制造氧气、杀灭细菌、减小噪声等特殊保健功能,使得森林公园内气温适宜、空气清新。清洁舒适的森林小气候是大自然赐予人类休憩的好去处,是开展森林旅游的理想场所,填补了柳州市森林旅游的空白。

2.2 旅游景点等级评价结果与分析

森林公园有地文景观类(地质地貌、著名山峰、象形山石、洞穴)、水域风光类(风景河段、湖泊、瀑布、泉、溪涧)、生物景观类(森林景观、奇花异草、野生动物)、建筑与设施类(景观建筑、塔、夜景),共计4种类型37个景点。评价结果显示,森林公园的37个景点中,一级景点4个,二级景点7个,三级景点26个,如表3所示。其中古亭山、柳江风姿、石蕴双榕、相思园分别得分23分、20分、19分和19分,占据前四位,开发潜力大。

表3 旅游景点等级评价结果

序号	景点名称	参评因子得分									景点级别
		山体	水体	生物	气候与天象	生态环境	相邻景点衬托	人文景观	奇特度	总分	
1	古亭山	4	3	3	4	4	3	1	1	23	I
2	柳江风姿	1	4	1	4	3	4	0	3	20	I
3	石蕴双榕	3	0	4	1	4	4	0	3	19	I
4	相思园	1	2	3	3	4	4	0	2	19	I
5	三门石滩	1	4	1	1	1	4	3	3	18	II
6	桃花园	2	3	2	3	3	3	0	1	17	II
7	古亭山电视调频台	3	2	2	4	3	2	1	0	17	II
8	绿海松涛	2	1	3	3	4	2	0	1	16	II
9	松稠混交林	1	0	2	3	4	4	0	2	16	II
10	潋滟清波	2	4	1	3	3	3	0	0	16	II
11	岩尾绝壁	3	3	1	2	2	1	0	0	12	II
12	猛虎下山	2	2	2	2	2	1	0	0	11	III
13	双龟望江	2	2	2	2	2	1	0	0	11	III
14	竹溪	1	3	2	2	2	1	0	0	11	III
15	柚果冲	1	3	2	2	2	1	0	0	11	III
16	龙母水库	1	4	1	2	2	1	0	0	11	III
17	丹冲瀑布	2	3	1	2	2	1	0	0	11	III
18	优良阔叶树引种园	2	0	2	2	3	1	0	1	11	III
19	仙人座椅	3	0	2	2	2	1	0	1	11	III
20	迷你长城	3	0	1	3	2	2	0	0	11	III
21	红林屿	3	0	2	2	2	2	0	0	11	III
22	板栗乐园	2	2	2	2	3	0	0	0	11	III
23	油茶林	2	0	2	3	3	1	0	0	11	III
24	花果飘香	2	0	3	3	3	0	0	0	11	III
25	翠竹幽林	1	3	2	2	2	1	0	0	11	III
26	江中矿泉	1	4	1	2	1	1	0	0	10	III
27	观景亭	1	0	1	1	2	1	3	1	10	III
28	鸡公岩	3	1	2	2	2	0	0	0	10	III
29	梅香园	2	2	2	1	1	1	1	0	10	III
30	柳江夜景	1	4	0	3	0	1	1	0	10	III
31	动物乐园	1	2	2	1	2	1	0	0	9	III
32	绿色长廊	2	0	2	2	2	1	0	0	9	III
33	红椎母树园	2	0	2	2	2	1	0	0	9	III
34	林中仙女	1	0	2	2	2	2	0	0	9	III
35	龙眼果园	2	0	2	2	3	0	0	0	9	III
36	红枣坡	2	0	2	2	3	0	0	0	9	III
37	玉桂林	2	0	2	2	3	0	0	0	9	III

森林公园地处中亚热带向南亚热带过渡的季风地带,独特的自然地理环境为森林植物的生长繁衍提供了良好的场所,造就了富有特色的地域森林景观;森林的水源涵养作用,使园内的溪涧河水四季长流、水

体清澈,既有龙母水库等静态水景,也有柳江、丹中瀑布等动态水景;地质运动及千万年的侵蚀和冲刷,形成了众多千姿百态、形状奇特的象形山石资源,如

(下转第40页)

广西国有高峰林场森林碳汇发展 SWOT 分析

陆艳武¹, 莫雅芳¹, 徐占勇², 卢峰²

(1. 广西国有高峰林场, 广西 南宁 530002; 2. 广西森林资源与生态环境监测中心, 广西 南宁 530020)

摘要: 广西国有高峰林场为全国首批国有林场森林碳汇试点单位, 运用 SWOT 分析方法对广西国有高峰林场发展森林碳汇的内部优势、劣势、外部机会、威胁进行整体分析, 提出该林场森林碳汇的主要发展方向, 即加强森林经营管理、提升森林质量, 完善森林碳汇精准计量体系、建立林场碳账户, 探索林业碳汇交易途径、助力林场金融合作。

关键词: 碳储量; 森林碳汇; SWOT 分析; 发展方向; 国有林场; 广西

中图分类号: S788 文献标识码: B 文章编号: 1003-6075 (2023) 03-0010-04

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.003

SWOT Analysis of Forest Carbon Sequestration Development in Guangxi Gaofeng State Owned Forest Farm

LU Yanwu¹, MO Yafang¹, XU Zhanyong², LU Feng²

(1. Guangxi Gaofeng State Owned Forest Farm, Nanning 530002, Guangxi, China;

2. Guangxi Forest Resources and Ecological Environmental Monitoring Center, Nanning 530020, Guangxi, China)

Abstract: Guangxi Gaofeng State Owned Forest Farm has entered into the first batch of national forest carbon sequestration pilot units in China. SWOT analysis method was used to make an overall evaluation on the internal advantages, disadvantages, external opportunities and threats of developing forest carbon sequestration in Guangxi Gaofeng State Owned Forest Farm. The main development directions of forest carbon sequestration were then raised; that is to strengthen forest management, improve forest quality, perfect forest carbon sequestration accurate measurement system, establish forest farm carbon account, explore ways of forest carbon sequestration trading, and help forest farm financial cooperation.

Key words: carbon stocks; forest carbon sequestration; SWOT analysis; development direction; state-owned forest farm; Guangxi

自工业化时代以来, 人类活动与生物地球化学循环紧密结合, 大气 CO₂ 浓度显著增加, 导致地球温室效应日益严重^[1]。森林是陆地生态系统的重要组成部分, 是陆地生态系统最大的储碳库, 对全球碳循环的影响巨大^[2]。联合国政府间气候变化专门委员会估算, 全球森林生态系统碳储量为 1.15 × 10⁴ 亿 t,

占陆地生态系统总碳储量的近一半^[3]。林木每生长 1 m³, 平均吸收 1.83 t CO₂, 释放 1.62 t O₂^[4], 表明森林对于 CO₂ 固定、降低温室气体浓度、减缓全球变暖具有重要影响, 且在实现“双碳”目标中有着巨大的作用^[5]。2022 年 4 月, 《中共广西壮族自治区委员会 广西壮族自治区人民政府关于完整准确全面贯

* 收稿日期: 2023-04-23

基金项目: 广西林业科技推广示范项目“多目标功能的人工林经营模式研究”(桂林科研[2021]21号); 广西自筹经费林业科技项目“基于碳汇目标的人工林经营模式研究”(2023GXZCLK19)。

作者简介: 陆艳武(1972—), 女, 广西鹿寨人, 经济师, 主要从事森林培育和林业调查规划设计方面工作。

通信作者: 卢峰(1974—), 男, 广西恭城人, 高级工程师, 主要从事森林资源与林业生态环境监测工作。E-mail: 542347875@qq.com。

彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的实施意见》出台,并提出了利用森林资源的监测体系,开展森林碳汇监测等相关工作^[6];2022年11月,广西国有高峰林场(以下简称“高峰林场”)成为首批全国国有林场森林碳汇试点单位。加强高峰林场的森林碳汇建设工作,对于加快推进广西国有林场森林碳汇资源开发,完善碳汇计量监测与交易机制,助力广西绿色低碳发展和国家“双碳”目标实现具有十分重要的意义。

1 优势 (Strengths)

1.1 森林资源禀赋好,碳储量

森林具有巨大的生物量和强大的碳汇功能,是地球碳循环重要的存储库^[7]。高峰林场的森林覆盖率达86%,森林经营面积为8.9万hm²,森林蓄积量为700万m³,森林资源规模居广西国有林场第一^[8]。高峰林场2022年森林碳储量为646.4万t,其中地上生物量碳储量234.6万t,地下生物量碳储量70.2万t,枯落物碳储量22.3万t,土壤碳储量319.3万t;按树种分,松类碳储量33.1万t,杉类碳储量42.5万t,桉类碳储量490.5万t,其他阔叶树碳储量80.3万t。由此可见,高峰林场森林碳储量多,碳汇开发潜力大。

1.2 科技成果丰硕,发展动力强劲

科技是第一生产力。高峰林场重视营林基础研究和科学技术应用,先后主持和参与国家重点研发计划子课题、国家星火项目、广西重点研发计划、广西科学基金、广西创新驱动发展基金等省部级重大项目20余项,主持和参与各级推广示范项目60项,获广西科技进步奖6项,科技成果35项,授权发明专利15项;建立国家和省级种质资源库2个,林业试验推广示范林1333.3hm²等。科技的推广应用取得明显经济效益,高峰林场南宁造林部5年生桉树平均出材151.5m³/hm²,军山分场机械整地的1.5年生桉树林平均树高达11.2m,实现了林业科技创新和林业生产实践双丰收,发展动力足。

1.3 产业发达,经济基础雄厚

高峰林场依托资源和区位优势,持续推进产业联动发展战略,经营范围涉及速生丰产林、经济林、人造板、土地开发利用、森林旅游开发、物业管理、金融服务等领域,形成了“以营林为基础,人造板为支柱,土地开发利用为重点”的产业发展格局。“十

三五”期末,高峰林场总资产达77.34亿元,期间累计总收入80.21亿元,上缴税费总额3.09亿元。2020年,高峰林场实现总产值26.5亿元,总收入16.97亿元,净利润1.05亿元,在广西国有林场中排名第一,居全国国有林场前列^[6]。

2 劣势 (Weaknesses)

2.1 植树造林空间缩小,碳汇造林潜力有限

高峰林场经过造林灭荒、绿化达标、“绿满八桂”等持续大规模造林绿化活动,场内可用于造林的荒山荒地极其有限,即便有也是地处偏远、立地条件差、零星分散或存在纠纷的林地,造林、管护难度大,实施碳汇造林已不现实。同时,林场场外造林历经十多年发展,已进入相对稳定的阶段,随着各项惠林政策的实施和社会资金涌入,林地租价逐渐走高,林场想要租到地租合理、林地集中、立地条件较好且无林权纠纷的林地日益困难^[8],碳汇造林也因此极为困难。

2.2 林地分布范围广,森林资源保护压力大

高峰林场森林经营范围涉及12个市49个县(市、区),林地分散、管理难度大、社区矛盾时有发生、被侵占林地多、基础设施建设滞后,这些问题的存在给资源保护造成很大的压力。与此同时,高峰林场内经营的林地还存在偷伐盗伐林木和抢占林地的问题。据统计,高峰林场有1360hm²林地被侵占。在场外经营方面,也存在村民阻挠造林和阻止运输问题,林地管理成本大、保护压力大。此外,高峰林场还是南宁市北部的重要生态屏障,但目前在防火体系和疫病防治体系的构建方面仍存在短板^[8]。

2.3 森林结构单一,森林质量亟待提高

高峰林场森林资源存在中幼林占比高、树种结构单一、单位面积蓄积量和碳储量较低、桉树人工林占比大且结构不合理、区域差异大等特征^[9]。林场范围内乔木林的平均单位面积蓄积量仅为63.8m³/hm²,是全国平均水平86.0m³/hm²的74.2%,仍有部分林分因种植不科学导致森林质量低,全场林分单产没有达到最优状态,林地生产力有待进一步提升^[10]。

3 机会 (Opportunities)

3.1 各级政府重视林业碳汇发展

2020年9月,习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论上郑重宣布,“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放

力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和”^[11]。2021年9月《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和2022年4月《中共广西壮族自治区委员会 广西壮族自治区人民政府关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的实施意见》中均提出了“巩固生态系统碳汇能力”“提升生态系统碳汇增量”要求,森林生态系统作为陆地生态系统的主体,无疑是陆地生态系统中最大的碳库,发挥着至关重要的作用。

3.2 社会力量积极参与

“双碳”目标提出后,得到了社会各界的响应。2021年8月,国家林业和草原局生态保护司负责人在“十四五”林草保护发展规划新闻会上提出“鼓励各类社会资本参与林草碳汇减排行动”。成立于2010年的中国绿色碳汇基金会积极募集资金开展植树造林、增汇减排活动,先后在中国20多个省(自治区、直辖市)资助实施和参与管理的碳汇营造林项目达8万多 hm^2 。2022年5月,福建省三明市尤溪县完成了省内首个社会化碳汇造林项目,建立碳汇造林示范面积2280 hm^2 ,通过海峡股权交易中心完成碳排放交易8.8万t二氧化碳当量,成交额达149.67万元,2000多农户受益。社会力量的积极参与,为林业碳汇项目的开发与交易创造了活力,也必将为“双碳”目标实现贡献力量。

4 威胁 (Threats)

4.1 政策法规不完善

林业碳汇工作从国家到地方都十分重视,国家层面上进行了“持续巩固提升碳汇能力,提升生态系统碳汇增量”“2030年前碳达峰行动方案”“全面提升生态系统碳汇能力,鼓励开发碳汇项目”等顶层设计,部委层面提出了“减污降碳协同增效实施方案”“关于加快推进竹产业创新发展的意见”“林业碳汇项目审定和核证指南”等实施方案,省级地方政府也根据实际出台相关指导意见。但关于碳汇交易的政策还不完善,成功案例不多。实际上除了一些经济发达省份开始了碳普惠制和省内循环外,碳汇交易实现还是很少。国家核证自愿减排量(CCER)未重启,也在一定程度上影响了碳汇交易活动。

4.2 精准计量监测体系未建立

林业可持续发展与生态建设本身就是减缓与适应

气候变化的过程,林业碳汇交易须建立在精准计量监测的基础上。强化林业碳汇计量监测体系建设,有助于推进造林绿化、森林保护、湿地保护、荒漠恢复等重点工程的开展^[12],实现提质增效和价值转换。当前林业碳汇计量监测工作基础薄弱,缺乏精准的单木和林分生物量计算模型、碳计量参数、样地调查标准等,尤其是在生态与林业碳汇的关系把控方面存在较大偏差,影响了林业碳汇计量监测工作的开展^[13]。

4.3 项目周期长

由于树木的生长规律和森林吸收二氧化碳持续时间长等方面的原因,森林碳汇项目存在一个较长的计入期,一般最短的计入期也得20年^[14]。项目周期长,期间森林质量会受到台风、暴雨、干旱、冰雪等自然灾害影响,碳汇交易价格也可能受国际国内环境、经济发展、物价浮动、人力成本等影响而波动,存在较大投资风险。

5 未来主要发展方向

5.1 加强森林经营管理,提升森林质量

以森林质量精准提升、生态服务功能增强和优质生态产品供给为主攻方向,加大商品林经营模式优化、碳汇树种选择、抚育措施精准实施、树种结构调整、低产低效林改造、乡土珍贵树种培育、国家储备林建设等力度,努力改善森林质量和提高单位面积产量;加强生态公益林和天然林保护,强化森林防火、病虫害防治等方面的基础设施建设,加大巡山护林、封山育林等森林资源保护力度,着力培育生态服务价值高、生态产品供给能力强的高质量林分,打造“绿色高峰”。

5.2 完善森林碳汇精准计量体系,建立林场碳账户

按照高峰林场森林资源分布状况,加强森林碳汇基础研究,建立基础参数库和碳账户。开展高峰林场主要树种生物量模型及碳参数研建工作,建立主要树种生物量模型;建立固定样地,开展不同经营模式的全生命周期碳汇监测工作,研究森林固碳增汇关键技术;以森林资源数据为基础,结合经营管理档案、森林经营小班数据等,以及已建立的树种立木生物量及碳储量计量模型建立林场碳账户。

5.3 探索林业碳汇交易途径,助力林场金融合作

高峰林场现有森林面积8.9万 hm^2 ,蓄积近700万 m^3 ,森林碳储量646.4万t,是一个巨大的储碳库。在“十四五”期间,高峰林场应持续开展林业碳汇项

目,进一步提高森林的固碳能力;积极参与广西林业碳汇项目开发和国内自愿排放权交易试点,探索林业碳汇质押贷款、期货交易等绿色金融方式,进一步拓宽林场融资渠道,为林场生态保护建设、转型发展获取更多资金保障。

6 结语

发展森林碳汇不仅有利于高峰林场加快培育绿色发展新产业,开辟绿色振兴新路径,也有利于守好环境保

护与经济发展两条底线。根据以上分析,本研究建立高峰林场森林碳汇发展SWOT分析矩阵,遵循充分发挥优势、克服劣势、抓住有利机会和设法化解威胁的原则,提出了4组配对战略,即SO战略、ST战略、WO战略和WT战略(见表1)。高峰林场应以本次国有林场森林碳汇试点项目为契机,抓住机遇,勇敢作为,形成“可量化、可持续、可实现”的国有林场固碳增汇经营模式,打造国有林场固碳增汇价值转化,实现“高峰样板”,为建设美丽中国、新时代壮美广西贡献“高峰力量”。

表1 高峰林场森林碳汇发展SWOT分析矩阵

	S(优势)	W(劣势)
因素	1. 森林资源禀赋好,碳储量; 2. 科技成果丰硕,发展动力强劲; 3. 产业发达,经济基础雄厚。	1. 植树造林空间缩小,碳汇造林潜力有限; 2. 林地分布范围广,森林资源保护压力大; 3. 森林结构单一,森林质量亟待提高。
O(机会)	SO战略	WO战略
1. 各级政府重视林业碳汇发展; 2. 社会力量积极参与。	1. 充分利用好政策积极宣传和做好森林碳汇试点工作; 2. 依托科研能力继续加强碳储量、碳汇能力提升等方面的研究; 3. 加强与社会力量或其他单位合作,积极发展壮大一、二、三产业。	1. 通过森林碳汇项目实施,探索最优森林经营模式,提高森林质量,提升管理水平和森林增汇能力; 2. 合理调整森林结构,实施科技造林、科学抚育、精准管理,增加森林碳储量。
T(威胁)	ST战略	WT战略
1. 政策法规不完善; 2. 精准计量监测体系未建立; 3. 项目周期长价格有波动。	1. 利用强大的科研能力,积极研究林业碳汇计量、监测、交易等方面政策、方法学等; 2. 开发新型金融产品,尝试林业碳汇质押贷款、期货交易等绿色金融方式。	组建专家指导组,加强交流,及时解决森林碳汇试点项目实施过程中的问题和困难。

参考文献:

- [1] 刘庭威. 湖南省林业碳汇现状及发展建议 [J]. 中南林业调查规划, 2022, 41 (4): 14-16, 47.
- [2] 徐明. 森林生态系统碳计量方法与应用 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2016.
- [3] 贾治邦. 现代林业理论与实践 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [4] 国家林业局. 应对气候变化林业行动计划 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [5] 毛海凌. 云南省森林碳储量动态变化趋势及对策 [J]. 中南林业调查规划, 2021, 40 (1): 56-59.
- [6] 中共广西壮族自治区委员会, 广西壮族自治区人民政府. 关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的实施意见 [N]. 广西日报, 2022-05-13 (8).
- [7] 黄贤松, 张晓萍, 黄朝法, 等. 福建省林业碳汇发展SWOT分析 [J]. 林业勘察设计, 2021 (2): 1-4.
- [8] 广西壮族自治区国有高峰林场, 广西壮族自治区林业勘测设计院. 广西壮族自治区国有高峰林场“十四五”发展规划 [R]. 南宁: 广西壮族自治区国有高峰林场, 2021.
- [9] 广西人工林种植协会, 广西壮族自治区国有高峰林场. 广西国有高峰林场森林质量精准提升方案(2021-2025年) [R]. 南宁: 广西壮族自治区国有高峰林场, 2021.
- [10] 广西壮族自治区国有高峰林场, 广西壮族自治区林业勘测设计院. 广西国有高峰林场森林经营方案(2016-2025) [R]. 南宁: 广西壮族自治区国有高峰林场, 2016.
- [11] 习近平. 在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话(全文) [EB/OL]. 新华网, (2020-09-22) [2023-04-23]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-09/22/c_1126527652.html.
- [12] 李旻宇. 林业碳汇计量监测体系建设思路 [J]. 农业与技术, 2019, 39 (23): 58-59.
- [13] 吴颖. 林业碳汇潜力与碳汇计量监测体系建设路径分析 [J]. 温带林业研究, 2021, 4 (4): 54-56.
- [14] 朱文刚. 重庆市黔江区发展碳汇林业的效益与SWOT分析 [J]. 现代经济信息, 2013 (6): 402-403.

广东省国家级公益林 NPP 时空变化特征分析

刘金山¹, 张蓓¹, 李佳¹, 徐磊²

- (1. 国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南长沙 410014;
2. 西藏自治区林业调查规划研究院, 西藏拉萨 850005)

摘要: NPP 是森林生态系统物质循环过程的关键参数, 是表征生态系统碳收支的重要指标, 对了解植被生长生物量积累和大气 CO₂ 吸收具有重要意义。采用中国科学院资源环境科学数据中心遥感监测的 NPP 数据, 通过趋势分析、多元回归等方法, 系统分析广东省国家级公益林 NPP 时空变化特征。结果表明, 2004—2015 年, NPP 主要分布在 400 ~ 800 g C/(m² · a) 区间内, 所占比例超过 70%; NPP 在空间分布上较为离散, 与高程联系紧密, 东部地区及茂名市、阳江市的 NPP 相对较高; 广东省国家级公益林的 NPP 呈波动增加趋势, 年平均增加速率为 4.9 g C/(m² · a); 不同年度 NPP 值总体处于较稳定状态, 所占比例为 99.25%, 抗干扰能力强; 广东省国家级公益林的 NPP 经异养呼吸后仍有 60.6% 保留在生态系统中, 反映了国家级公益林良好的固碳能力, 为我国“碳中和”目标贡献了林业力量。

关键词: 国家级公益林; NPP; NEP; 时间变化; 空间分布; 广东省

中图分类号: S718.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6075 (2023) 03-0014-04

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.004

Temporal and Spatial Variation Characteristics of NPP of National Commonweal Forest in Guangdong Province

LIU Jinshan¹, ZHANG Bei¹, LI Jia¹, XU Lei²

- (1. Central South Academy of Inventory and Planning of NFGA, Changsha 410014, Hunan, China;
2. Forestry Inventory and Planning Institute of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850005, Tibet, China)

Abstract: NPP of vegetation is a key parameter in the material cycle process of forest ecosystem, and is also an important indicator to characterize the carbon budget of the terrestrial ecosystem. It is of great significance for understanding the accumulation of vegetation biomass and atmospheric CO₂ absorption. The temporal and spatial characteristics of NPP of national commonweal forests in Guangdong Province are studied by adopting NPP data of remote sensing from Resources and Environment Science Data Center of Chinese Academy of Sciences, and through trend analysis and multiple regression, etc. The results show that from 2004 to 2015, NPP was mainly distributed in the range of 400 ~ 800 g C/(m² · a), accounting for more than 70%. NPP is relatively discrete in spatial distribution and is closely related to elevation. The NPP in the eastern region, Maoming City and Yangjiang City is relatively high. NPP of national commonweal forest in Guangdong Province shows a fluctuating increasing trend, with an average annual increasing rate of 4.9 g C/(m² · a). The NPP value in different years is generally in a relatively stable state, accounting for 99.25%, with strong anti-interference ability. 60.6% of NPP of national commonweal forest in Guangdong Province remains in the ecosystem after heterotrophic respira-

* 收稿日期: 2022-06-27

作者简介: 刘金山 (1986—), 男, 山东烟台人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事森林资源与林业碳汇计量监测、林业调查规划设计等工作。E-mail: 376416432@qq.com。

tion, which reflects the good carbon sequestration capacity of national commonweal forest and has contributed to the goal of "carbon neutral" in China.

Key words: national commonweal forest; NPP; NEP; temporal change; space distribution; Guangdong Province

植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)是指植物在单位时间内单位面积上由光合作用所产生的有机物质总量扣除自养呼吸后的剩余部分^[1]。NPP是森林生态系统碳循环过程的关键参数,能直接或间接反映出区域生态系统的碳潜力,其时空动态分布特征已成为了解地区植被生长状况和CO₂固定能力、评价区域生态环境的重要内容^[2-4]。不同森林类型NPP表现出明显的空间异质性,在“碳达峰”“碳中和”目标下,时间尺度和空间尺度的NPP差异及变化成为生态学研究的重要方向。广东省国家级公益林类型复杂多样,林分质量较高,通过分析国家级公益林NPP空间分布特征和时间序列上的变化,了解广东省国家级公益林保护和建设对植被有机物质积累的贡献,对维持广东省生态系统碳循环和构筑生态屏障具有重要的作用^[5-7]。

1 研究方法

本文基于监测年度的卫星遥感数据、广东省森林资源管理“一张图”和国家级公益林落界数据,获取广东省国家级公益林范围数据;利用中国科学院资源环境科学数据中心遥感监测的NPP数据,获取广东省2004—2015年度第三季度(7—9月)的NPP数据,进而对国家级公益林的NPP指标进行监测;采用一元线性回归方程模拟每个像元的NPP随时间变化趋势,用最小二乘法得到NPP年变化的斜率(θ_{slope}),结合F检验结果,分析全省国家级公益林的NPP变化趋势及其变化规律。NPP变化趋势分析与空间稳定性评价方法参考NDVI评价方法^[8]。

2 NPP空间分布特征

2004—2015年广东省国家级公益林的NPP在空间分布上较为离散,东部地区及茂名市、阳江市的NPP相对较高。根据中国生态系统评估与生态安全数据库的生态功能分区,广东省划分为4个生态区:南岭山地丘陵常绿阔叶林生态区、粤中部山地丘陵常绿阔叶林生态区、珠江三角洲城镇与城郊农业生态区和粤南部热带季雨林与雨林生态区。就4个生态区的国家级公益林的NPP来看,粤中区最高,其次是粤南

区和南岭区,珠三角区最低,这与姜春等^[9]的研究结果一致。结合NPP均值分布和广东省国家级公益林高程分布可知,NPP值与高程存在着密不可分的联系。NPP的低值集中出现在海拔高的区域,这主要是因为高山上温度低、降水少、空气稀薄,植被呈矮化甚至草甸化趋势,进而导致植被净初级生产力降低。相关研究结果表明,气温随海拔升高逐渐降低,导致NPP降低^[10-11]。

众多学者对不同空间尺度的NPP时空格局及影响因子进行分析,均发现NPP与降雨、气温等气候因素及人为因素存在相关性,但影响NPP变化的主要气候因子存在明显的区域差异性^[3,9,12-16]。广东省国家级公益林的NPP值在水平尺度上的分布无明显地域差异,反映出降水对NPP的影响程度不大,这可能与广东水资源相对丰富有关。此外,由于广东省对国家级公益林实施严格的保护,NPP受人干扰较少。

3 NPP变化情况

3.1 时间序列变化

采用均值分析方法,得出2004—2015年广东省国家级森林的NPP年平均值为508.72~657.76 g C/(m²·a)之间波动,结果如图1所示。由图1可知,2004—2015年的NPP年平均值为563 g C/(m²·a),略低于南岭山地森林的NPP年平均^[17],研究结果与姜春等^[9]应用CASA模型计算的2000年、2005年和2010年广东省NPP年平均大体相当。2004—2008年,NPP年平均自2004年开始随着时间的推移持续下降,于2008年达到最低,此后NPP年平均在波动中上升,于2015年达到峰值。总体来看,广东省国家级公益林的NPP年均值随着时间序列呈波动增加趋势,平均年增加速率为4.9 g C/(m²·a),相当于全国森林植被NPP平均增加速率的2.5倍^[18]。

3.2 NPP空间变化趋势

用趋势分析法得到广东省国家级公益林2004—2015年NPP值变化趋势统计表,如表1所示。2004—2015年间,NPP值增加的区域面积占国家级公益林总面积的9.50%,减少的区域面积占国家级公益林总面积的1.84%,无明显变化的区域面积占国家级公益林总面积的88.66%。总体来看,2004—

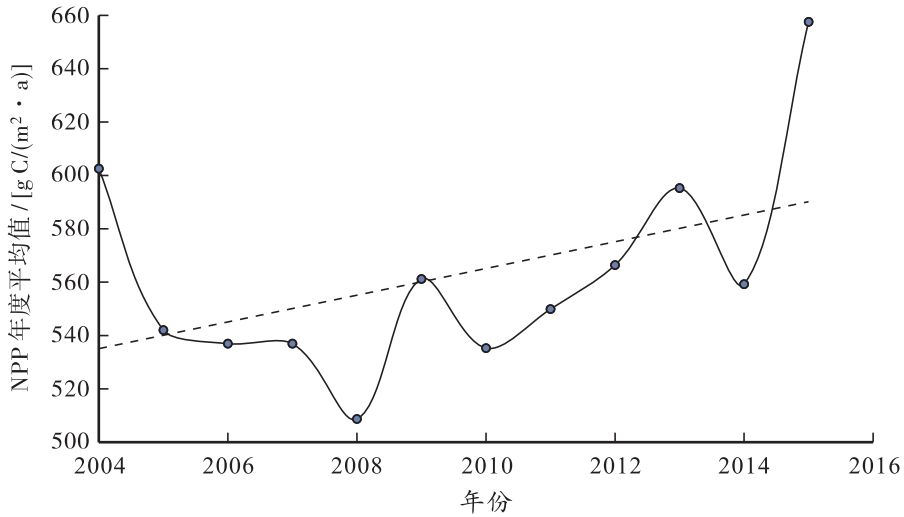


图1 2004—2015年NPP平均值年际变化

注：虚线为NPP平均值年际变化趋势。

2015年广东省国家级公益林的NPP值增加的区域面积略大于NPP值减少的区域面积，整体维持稳定状态。

通过2004—2015年各NPP区间的国家级公益林面积变化情况(表2)可知，2004—2015年NPP年度平均值主要分布在400~799 g C/(m²·a)区间内。NPP区间为0~599 g C/(m²·a)的国家级公益林面积减少172 631 hm²，占2015年国家级公益林总面积的12.26%；NPP区间为600~799 g C/(m²·a)、800~1 000 g C/(m²·a)、>1 000 g C/(m²·a)的

表1 2004—2015年NPP值变化的面积占比统计

θ_{slope}	P	NPP变化趋势	面积占比/%
$\theta_{slope} > 0$	$P < 0.01$	极显著增加	1.94
	$0.01 \leq P < 0.05$	显著增加	7.56
	$P \geq 0.05$	不显著变化	88.66
$\theta_{slope} \leq 0$	$0.01 \leq P < 0.05$	显著减少	0.51
	$P < 0.01$	极显著减少	1.33

注： θ_{slope} 为小二乘法得到NPP年变化的斜率， P 为 F 检验的结果显著性。

表2 2004—2015年各NPP区间的国家级公益林面积变化情况

NPP/ [g C/(m ² ·a)]	2004年		2015年		动态变化	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
<200	10 984	0.78	10 419	0.74	-565	-0.04
200~399	122 784	8.72	109 830	7.80	-12 954	-0.92
400~599	599 700	42.59	440 588	31.29	-159 112	-11.30
600~799	467 341	33.19	480 014	34.09	12 673	0.90
800~1 000	152 776	10.85	250 497	17.79	97 721	6.94
>1 000	54 493	3.87	116 730	8.29	62 237	4.42

国家级公益林面积分别增加12 673 hm²、97 721 hm²、62 237 hm²，分别占国家级公益林总面积的0.90%、6.94%、4.42%。

3.3 NPP空间稳定性评价

变异系数(CV)大小反映了国家级公益林抗干扰能力强弱，NPP的CV值越小，说明该区域多年的NPP值离散程度小，NPP越稳定，生态风险越小^[16]。对2004—2015年广东省国家级公益林的NPP值变异

系数(CV)进行计算，来反映NPP变化幅度的大小(表3)。由表3可以看出，2004—2015年广东省国家

表3 2004—2015年NPP变异系数统计

CV	变异程度	比例/%
[0,0.05]	非常稳定	0.54
(0.05,0.1]	较稳定	99.25
(0.1,1]	不稳定	0.21

级公益林的NPP值总体处于较稳定状态,所占比例为99.25%,不稳定状态区域仅占0.21%,说明广东省国家级公益林抗干扰能力强、生态风险低。

4 NPP与NEP

净生态系统生产力(Net Ecosystem Productivity, NEP)是指净初级生产力减去异养呼吸所消耗的光合产物碳所剩下的部分。NPP包含群落生长量与年凋落量,NEP包含群落生长量与凋落物非分解的部分(枯落物、土壤有机质年增加量)。NEP既是生态系统极为重要的特征量,又是陆地生态系统与大气之间碳交换的物理量。在不考虑各种扰动影响的情况下,NEP的数值反映了陆地生态系统的净碳交换量。

2004—2015年,广东省国家级公益林的NPP平均值为 $563 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。综合应用实测林分数据、生物量模型、枯落物数据文献数据计算NEP,广东省国家级公益林植被碳汇为 $318 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,枯落物碳汇为 $23 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。其中,乔木林植被碳汇为 $370 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,枯落物碳汇为 $25 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。土壤有机质变化很小,此处不进行计算,则广东省国家级公益林的平均NEP为 $341 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,乔木林平均NEP为 $395 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,广东省国家级公益林的NPP经异养呼吸后仍有60.6%保留在生态系统中。对比周平等^[18]对南亚热带典型人工林的碳收支情况研究结论(桉树的NPP $[902 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ >马占相思 $[659 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ >木荷 $[643 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ >黧蒴 $[508 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$;桉树的NEP $[399 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ >马占相思 $[318 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ >木荷 $[306 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ >黧蒴 $[141 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$),人工阔叶林的NPP经异养呼吸后比例低于50%,国家级公益林的NPP略低于人工阔叶林,而NEP高于人工阔叶林,反映国家级公益林具有良好的生长和固碳能力。同时对比安相等^[19]通过对东亚地区采用2000—2014年的105个有效站点年碳通量数据进行研究,东亚地区森林生态系统的NEP平均为 $328.64 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,低于广东省NEP水平,侧面反映了广东省多年的公益林建设和保护取得显著成效。

王斌等^[20]应用森林资源清查资料、不同森林类型样地生物量实测资料、年凋落物量样地资料对森林植被净生产量(干物质计)进行研究,其研究结果表明,我国森林植被的平均NPP为 $953 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,

其中群落生长量为 $625 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,占65.58%;年凋落物量为 $328 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,占34.42%。广东省森林植被的平均NPP为 $1005 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,其中群落生长量为 $762 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,占75.85%;年凋落物量为 $243 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,占24.15%。根据其研究结论可以看出,广东省森林植被群落生长量高于全国平均水平,而年凋落物量低于全国平均水平,从而有利于有机物质和碳的固存。按含碳率0.45%~0.5%计算,王斌等^[20]研究中的广东省森林植被碳汇量为 $343 \sim 381 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,与本研究中乔木林植被碳汇 $[370 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ 基本一致,略高于江西省森林平均碳汇量^[21]。

因为研究方法的不同及数据获取的限制,本文仅对NPP和NEP进行了初步比较,仍有待进行同一时间序列下实测数据与遥感数据的比较。

5 结语

2004—2015年,广东省国家级公益林的NPP年平均值在 $508.72 \sim 657.76 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 之间波动。从时间序列变化上来看,2004—2008年,广东省国家级公益林的NPP均值自2004年开始随着年份持续下降,于2008年达到最低,此后NPP均值在波动中上升,于2015年达到峰值。广东省国家级公益林的NPP年均值随着时间序列呈波动增加趋势,平均年增加速率为 $4.9 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,相当于全国森林植被的NPP平均增加速率的2.5倍,反映了多年的公益林建设和保护取得显著成效。

从空间变化来看,2004—2015年广东省国家级公益林植被净初级生产力增加的区域略大于减少的区域,整体维持稳定状态,反映了国家级公益林抗干扰能力强、生态风险低的特点。从固碳能力看,广东省国家级公益林的NPP经异养呼吸后仍有60.6%保留在生态系统中,反映了其良好的生长和固碳能力。

参考文献:

- [1] 朱志辉. 我国自然植被生产力功能和地带性结构的气候耦合[J]. 地理学报, 1996 (S1): 66-72.
- [2] Hicke J A, Asner G P, Randerson J T, et al. Trends in North American Net Primary Productivity Derived from Satellite Observations 1982 ~ 1998 [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2002, 16 (2): 1018-1032.

(下转第66页)

安徽省庐江县湿地保护管理现状及对策探讨

刘恩林, 彭泰来

(国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南 长沙 410014)

摘要: 由于对湿地的保护力度不够, 安徽省庐江县的湿地资源受到了一定程度的破坏, 湿地资源呈现出面积逐步减少、生态质量逐步下降、生态功能日益退化的整体趋势。针对庐江县湿地面临的环境污染、湿地资源的过度开发和利用、湿地围垦以及外来有害生物入侵四大威胁, 总结出庐江县湿地保护管理的四条对策, 以期为同类型县级单位湿地的保护管理提供借鉴。

关键词: 湿地; 保护; 威胁; 对策; 庐江县

中图分类号: X37 文献标识码: B 文章编号: 1003-6075 (2023) 03-0018-04

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.005

Discussion on Status quo and Countermeasures of Wetland Protection and Management in Lujiang County Anhui Province

LIU Enlin, PENG Tailai

(Central South Academy of Inventory and Planning of NFGA, Changsha 410014, Hunan, China)

Abstract: Due to the insufficient protection on wetlands, the wetland resources in Lujiang County have been damaged to a certain extent, and it is the overall trend of wetland resources that the area has gradually decreased, the ecological quality has gradually declined, and the ecological functions have been increasingly degraded. On this paper, the author summarizes four countermeasures for the management of Lujiang wetland in view of the four major threats faced by wetlands in Lujiang County, including environmental pollution, overdevelopment and utilization of wetland resources, wetland reclamation, and invasion of alien pests, in order to provide reference for the protection and management of wetlands in the same type of county-level units.

Key words: wetland; protection; threat; countermeasure; Lujiang County

1 背景概况

湿地是水体和陆地相互作用形成的一种独特的生态系统, 在保持生物多样性和珍稀物种资源、蓄洪防灾、降解污染等多方面具有重要的功能^[1-2]。地球的三大生态系统包括了湿地、森林与海洋。中国是全球范围内湿地类型齐全、数量丰富的国家之一, 且具有湿地类型多、分布广泛、绝对数量大、生物多样性丰富等特点。然而, 在人口持续增长和经济快速发展的国情下, 中国也面临着湿地面积减少、功能衰退的严

峻形势, 这将深刻影响我国经济社会发展与生态环境保护^[3-4]。

巢湖由合肥、巢湖、肥东、肥西、庐江二市三县环抱。由于对湿地的保护力度不足, 安徽省庐江县湿地资源呈现出总体面积逐步减少、生态质量逐步下降、生态功能日益退化的整体趋势。当前, 巢湖已经是全国重点污染治理的“三河三湖”(淮河、海河、辽河、太湖、滇池、巢湖)之一, 环境污染成为巢湖流域乃至安徽省经济社会发展的重要制约因素, 加强巢湖流域湿地保护和恢复已迫在眉睫。“九五”以

* 收稿日期: 2022-11-15

作者简介: 刘恩林(1980—)男, 天津静海人, 高级工程师, 主要从事森林资源调查规划工作。E-mail: 7766060@qq.com。

来,庐江县加大了对湿地污染的治理力度,湿地数量减少和质量下降的趋势虽然得到了初步控制,但仍存在一定的差距。为指导庐江县湿地保护管理工作,保护庐江县湿地资源和生物多样性,本文着重分析庐江县湿地保护管理面临的四大威胁,并提出了相应的保护管理对策,以期同类型县级单位湿地保护管理提供借鉴。

2 庐江县基本情况

2.1 基本概况

庐江县位于 $30^{\circ}57'—31^{\circ}33'N$, $117^{\circ}01'—117^{\circ}34'E$,地处皖中,县域南北两端相距62 km,东西最大间隔52 km,全县土地总面积234 374.94 km²。庐江县属亚热带季风气候区,四季分明,寒暑明显。年均降水量为1 009.2 mm,年均蒸发量1 648.9 mm,年均日照1 760.1 h,无霜期253 d。

庐江县境内河流属长江水系,河流主要有杭埠河等14条。其中,境北杭埠河、境东兆河、境南界河为跨县界河。县境内地势西南高、东北低,素有“东丘、南岗、西山、北圩”之称,大体是“山、圩各两分,一水五丘陵”。沿湖平原圩区海拔为6~10 m,约占全县总面积的16.70%;东部、南部、西部低山丘陵区的海拔为100~595 m,约占全县总面积的18.00%;中部丘陵地区,起伏和缓,圩、岗、畈错杂分布,约占全县总面积的54.30%;水域约占全县总面积的11.00%。

2.2 庐江县湿地资源特点

2.2.1 湿地类型多样、面积较大

根据第三次全国土地调查成果统计,庐江县湿地包含河流湿地、湖泊湿地与人工湿地三大类。全县湿地总面积39 522.47 hm²(不含“稻田/冬水田”),占全县总面积的16.86%。其中,河流湿地面积4 741.45 hm²、湖泊湿地面积10 026.97 hm²、人工湿地面积24 754.05 hm²。详见表1。

表1 庐江县湿地面积统计表

湿地类型	面积/hm ²	占全县湿地面积比例/%	占全县国土面积比例/%
河流湿地	4 741.45	12.00	2.02
湖泊湿地	10 026.97	25.37	4.28
人工湿地	24 754.05	62.63	10.56
合计	39 522.47	100.00	16.86

2.2.2 湿地分布较破碎

庐江县共55 807个湿地斑块,面积>2 000.0 hm²的湿地斑块1个,面积介于500.0~2 000.0 hm²的湿地斑块1个,面积介于100.0~499.9 hm²的湿地斑块6个,面积介于50.0~99.9 hm²的湿地斑块5个,面积介于10.0~49.9 hm²的湿地斑块168个,面积介于5~9.9 hm²的湿地斑块367个,55 259个湿地斑块的面积均为5 hm²以下(占湿地总斑块数的99.02%)。

2.2.3 各湿地类型的面积分布差距较大

庐江县的湿地以人工湿地为主,人工湿地面积24 754.05 hm²(其中,库塘湿地面积17 623.42 hm²、运河与输水河湿地面积5 370.99 hm²,水产养殖场湿地面积1 759.64 hm²),占全县湿地总面积的62.63%;其次是湖泊湿地,面积10 026.97 hm²,占全县湿地总面积的25.37%;再次是河流湿地,面积4 741.45 hm²,占全县湿地总面积的12.00%。在三类湿地中,湖泊湿地和人工湿地受人类活动干扰较大,在湿地保护及修复过程中往往也面临着较大的困难。与此同时,全县各乡镇的湿地分布差距较大,这也不利于全县湿地保护工作的有效、均衡开展。

2.2.4 湿地受干扰程度较高

《庐江县2020年第七次全国人口普查公报》公布的数据显示,庐江县常住人口888 238人。近年来受工业化迅速发展、城市逐渐扩张等因素影响,庐江县对湿地开发利用强度日趋加大,如围垦造田、生产生活污染增加,已给庐江县局部湿地生态系统带来了一系列不利影响。

3 庐江县湿地保护面临的主要威胁

目前,庐江县湿地保护主要面临环境污染、湿地资源的过度开发和利用、湿地围垦及外来有害生物入侵四大威胁。

3.1 环境污染

1) 工业污染。中小型工业污染企业在小化工、小石灰窑等领域违规生产,产生的废水、废气、废渣对周边水土生态环境带来较大不利影响,破坏了湿地动植物栖息地生境。

2) 城乡居民生活污染。部分城镇与农村的生活污水和垃圾收集系统建设不健全,污水处理厂建设较少,加之城镇污水处理厂和收集管网建设滞后,部分村镇居民生活污水径直排入河流,其污染物已超越河流自身纳污能力上限,成为河流污染的主要污染源。

3) 农业面源污染。农业生产过程中化肥农药造成的污染较为普遍,由沉积物、农药、废料、致病菌等分散污染源对水层、湖泊、河岸、滨岸、水土等生态系统的污染较为严重,导致流域水土内氮、磷含量超标。农业面源污染已成为流域局部污染的主要来源,与点源污染相比,面源污染范围更广,过程更复杂,也更难以控制。

3.2 湿地资源的过度开发和利用

湿地生态系统自身具有降解污染、净化水质、为动植物提供良好的栖息场所等自我维持能力,在维持生态系统物质能量循环、生态平衡、资源再生利用等方面意义重大。然而,对湿地资源过度地开发利用,将导致湿地功能退化,生态平衡被打破。

由于对湿地资源价值认识不足,湿地资源利用方式粗放,庐江县部分区域湿地资源被过度开发,全县湿地资源的开发利用形势较为严峻。局部湿地被围湖及开发占用,对湿地动植物生境及人居环境带来较大破坏,庐江县湿地保护管理状况不容乐观。

3.3 湿地围垦导致天然湿地减少

围垦是天然湿地减少的主要原因。围垦后的农业生产活动破坏了湿地动植物栖息地环境,限制了其活动范围,直接导致湿地野生动植物种类和数量的减少。源于先前利益驱动的影响,部分湖泊的生态环境发生了很大的变化,湿地植被短期内难以恢复,使得动物栖息依旧受到影响。同时,原有的湿地植物被农作物取代,生态系统的食物链被简化,使得生态系统变得脆弱。

3.4 外来有害生物入侵

受水体污染、水系阻隔及农业生产等因素影响,目前庐江县湿地面临有害生物入侵的威胁,庐江县主要外来入侵物种有空心莲子草、凤眼莲、加拿大一枝黄花等。当前县域内盛桥镇、白山镇、同大镇等镇的加拿大一枝黄花分布较多,空心莲子草在县域各种水体中广泛分布。

4 庐江县湿地保护管理对策

针对庐江县存在的环境污染、湿地资源的过度开发和利用、湿地围垦及外来有害生物入侵四大威胁,笔者总结出针对庐江县湿地保护管理的四条对策,以期对庐江县湿地保护管理工作起到推动作用。

4.1 加大对湿地污染的防治力度

1) 城乡居民生活污染整治措施:建议通过采取截

流、调蓄和治理等措施,强化城中村、老旧城区和城乡接合部污水截流、收集工程和污水管网设施建设,实现建成区污水全收集、全处理。严格实行雨污分流,推进雨水收集与处理、资源化再利用工程建设。

2) 农业面源污染整治措施:建议在各镇村民集中居住点建立户分类、村收集与运输、镇集中处理的农村生活垃圾处理体系,提升农村生活垃圾收集率和无害化处理率;加强河流综合治理、规模化畜禽养殖业污染治理,依据所处地理生态区位,科学划定限养区范围;以调整农业结构、控制农业面源污染、加快生态农业建设为目标,支持高效特色绿色农业发展,推进绿色食品产业升级^[5-6]。

4.2 强化地方湿地资源保护管理

1) 庐江县湿地资源丰富,为解决湿地资源的过度开发和利用的问题,强化地方湿地资源保护管理,可参照国家、省、市有关法律法规,制定庐江县相应的湿地保护管理办法、实施细则等,规范指导全县湿地保护管理工作。

2) 建议加强庐江县湿地保护执法体系建设,建立健全执法机构。同时,通过湿地保护技术培训、执法培训等手段,强化执法人员的思想素质和业务素质教育,提升工作人员湿地保护管理专业水平,使得湿地保护管理机构设置科学,人员配置合理,为做好庐江县湿地保护执法工作夯实基础。

3) 在庐江县湿地保护具体实施过程中,采取重点防范与面上工作相结合、集中与分散相结合、严厉打击和日常执法管理工作相结合的工作机制,坚决打击惩治乱砍滥伐、滥捕、围湿(湖、塘)造田、红线内畜禽及水产养殖、污水(工业污水、农业生产污水、居民生活污水)排放等湿地资源破坏行为。通过宣判地方湿地破坏典型案例,威慑遏制破坏地方湿地资源的违法犯罪行为,提高县域湿地保护管理效率。

4.3 实施湿地重建工程

解决围垦导致天然湿地减少的问题,应首先评估确定优先恢复湿地,并依据湿地退化状况,谨慎选择湿地恢复的主动与被动模式^[7-8],按实际情况实施湿地重建工程。当前主要湿地重建方式有退耕还湿、营造人工净化型湿地等。退耕还湿工程在增加湿地面积的同时,为鸟类和其他生物提供良好生境,更可为人类营造一个生态健康的生活环境。净化型人工湿地建设是利用新建净化型人工湿地或对原天然湿地进行改造,通过对全县各污染危害较严重的湿地区域合理配

置湿生植物等人工湿地植被群落,形成净化型人工湿地污水处理系统,湿地植物带可栽培菖蒲、芦苇、茭白、香蒲、伞草、马蹄莲、浮萍、睡莲等适合本地人工湿地种植的湿地植物。通过物理沉淀、生物吸附、化学转化等过程对工厂处理的污水、居民生活污水、农业面源污染物及颗粒污染物进行深度处理,集中深度处理地表径流等分散污水,提升水质。

4.4 综合防治外来有害生物

针对凤眼莲、加拿大一枝黄花等外来有害生物的综合防治方法如下:①综合利用天敌昆虫等手段,将凤眼莲的种群数量长期控制在较低的状态。当前应用较广的综合方法是结合应用草甘膦和水葫芦象甲,效果明显且稳定,对生态环境破坏较小。②加拿大一枝黄花进入开花期,花穗呈金黄色,醒目易识别,是开展除治的最佳时机,也是控制扩散蔓延的关键时期。要抓住花期便于调查的有利时机,开展林农业用地上的加拿大一枝黄花危害发生情况普查,重点调查自然保护区、森林公园等重点保护区域,详细记录其分布位置和面积,准确掌握其扩散蔓延情况,并将各自辖区内加拿大一枝黄花的分布位置和面积上报至主管部门。

5 结语

庐江县地域广阔,水系众多且分布繁杂,湿地资源丰富。随着社会经济快速发展,工业化污染、城乡居民生活污染、农业面源污染、水产养殖业污染及航运类污染呈扩大化态势,对地方水土资源、生物多样性资源、生物生境及人居环境等在内的湿

地资源环境造成了一定影响。自“十三五”以来,源于各级政府对环境保护的高度重视,围绕湿地保护出台了一系列相应政策举措,并配套相关项目资金支持,为庐江县湿地保护与修复管理提供了重要保障。本文针对庐江县湿地面临的环境污染、湿地资源的过度开发和利用、湿地围垦及外来有害生物入侵四大威胁,总结出庐江湿地管理的四条对策。同时建议在不影响湿地保护原则的前提下,对局部湿地适度加以可持续利用,以增加湿地自养功能。随着庐江县湿地保护工作的推进,相信庐江县湿地保护工程定会步入科学、规范、健康而合理的可持续发展之路。

参考文献:

- [1] 殷书柏,李冰,沈方. 湿地定义研究进展 [J]. 湿地科学, 2014, 12 (4): 504-514.
- [2] 崔保山. 湿地学 [M]. 北京:北京师范大学出版社, 2006.
- [3] 张慧,李智,刘光,等. 中国城市湿地研究进展 [J]. 湿地科学, 2016, 14 (1): 103-107.
- [4] 徐慧博,乔红娟,雷茵茹. 中国湿地保护现状问题及对策分析 [J]. 南方农业, 2018, 12 (19): 19-20, 23.
- [5] 林卉,姜忠群,冒建华. 人工湿地在农村生活污水处理中的应用及研究进展 [J]. 中国农业科技导报, 2020, 22 (5): 129-136.
- [6] 祝惠,阎百兴,王鑫壹. 我国人工湿地的研究与应用进展及未来发展建议 [J]. 中国科学基金, 2022, 36 (3): 391-397.
- [7] 李晓文,李梦迪,梁晨,等. 湿地恢复若干问题探讨 [J]. 自然资源学报, 2014, 29 (7): 1257-1269.
- [8] 王学雷,吕晓蓉,杨超. 长江流域湿地保护、修复与生态管理策略 [J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29 (12): 2647-2654.

声 明

本期刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我编辑部上述声明。

《中南林业调查规划》编辑部

河南省岩溶地区石漠化土地现状与生态恢复对策

裴卫国

(河南省林业资源监测院, 河南 郑州 450040)

摘要: 通过对河南省岩溶地区石漠化土地的调查与研究, 就石漠化土地生态恢复提供了技术模式与对策, 以期 of 石漠化综合治理和一体化生态保护与修复提供理论支撑。

关键词: 岩溶地区; 石漠化; 生态恢复; 现状; 河南省

中图分类号: S788; X171.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6075 (2023) 03-0022-03

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.006

Status quo and Countermeasures of Ecological Restoration of Rocky Desertification Land in Carst Area of Henan Province

PEI Weiguo

(Forest Resource Monitoring Institute of Henan Province, Zhengzhou 450040, Henan, China)

Abstract: Based on the investigation and study of rocky desertification land in karst areas of Henan Province, this paper puts forward technical modes and countermeasures on ecological restoration of rocky desertification land, hoping to provide theoretical foundation for comprehensive treatment and integrated ecological protection and restoration of rocky desertification.

Key words: karst area; rocky desertification; ecological restoration; status quo; Henan Province

石漠化是我国岩溶地区首要的生态问题, 已成为区域自然灾害之源, 严重制约着区域经济社会的可持续发展^[1-3]。河南省岩溶地区位于全国石漠化监测区的北缘, 主要分布于南阳市的伏牛山区域。

本文对河南省岩溶地区石漠化土地展开调查与研究, 就石漠化土地治理与生态恢复提出了一系列技术模式与对策, 以期 of 石漠化综合治理和一体化生态保护与修复提供理论支撑。

1 研究区域概况

南阳市地处河南省西南部, 地理坐标为 32°17'—33°48'N, 110°58'—113°49'E。该区域位于北亚热带北缘, 属典型的季风型大陆性半湿润气候, 年平均气温 14.4 ~ 15.8 °C; 年平均降雨量 800 ~ 1 000 mm,

自然降水时空分布不均, 夏季是全年降水量最多的季节, 占全年降水量的 50% 左右, 而冬季的降水量仅占全年的 5%; 土壤主要是由碳酸盐岩溶蚀残余物发育而成的石灰岩土壤; 植被属于亚热带北部的常绿落叶阔叶混交林, 森林植被有常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、暖性针叶林、暖性针阔混交林等。

2 石漠化土地基本情况

2.1 石漠化程度

据 2022 年《岩溶地区第四次石漠化调查河南省普查成果》^[4], 河南省石漠化土地共计 67 301.4 hm²。其中, 轻度石漠化土地 20 108.9 hm², 占石漠化土地面积的 29.9%; 中度石漠化土地 36 140.3 hm², 占石漠化土地面积的 53.7%; 重度石漠化土地 9 935.1 hm²,

* 收稿日期: 2022-08-18

作者简介: 裴卫国 (1973—), 男, 河南宜阳人, 高级工程师, 主要从事森林资源监测和林业调查规划设计工作。E-mail: 344301844@qq.com。

占石漠化土地面积的14.7%;极重度石漠化土地1117.1 hm²,占石漠化土地面积的1.7%。

2.2 区域分布

河南省的石漠化土地主要分布于长江一级支流——汉江流域。丹江口汇集点的上游区域分布的石漠化土地面积占比最大,为82.01%。另外,从石漠化土地的县域分布情况来看,呈现区域性聚集、整体块状分散特点。石漠化土地主要分布于淅川县、内乡县、西峡县等10个县(市)。其中,淅川县面积最大,为35601.6 hm²,占全省石漠化土地总面积的52.9%;内乡县次之,为14277.2 hm²,占全省石漠化土地总面积的21.2%;西峡县又次之,为4185.6 hm²,占全省石漠化土地总面积的6.2%;其余各县(市)合计占全省石漠化土地总面积的19.7%。

2.3 地质地貌特征

河南省南阳市位于全国第二级地貌台阶向第三级台阶过渡的边缘坡上,属于山地、丘陵、平原组合而成的盆地型地貌类型。南阳市也是全国喀斯特地貌成片分布的一个地区,位于我国西南岩溶地区的北部边缘处。从调查的10个县(市)来看,大部分地区岩溶地貌以岩溶山地和岩溶丘陵为主。

2.4 植被综合盖度

据2022年《岩溶地区第四次石漠化调查河南省普查成果》显示,全省石漠化土地植被综合盖度分类占比如下:盖度小于10%,占0.47%;盖度10%~19%,占0.88%;盖度20%~29%,占4.38%;盖度30%~39%,占7.02%;盖度40%~49%,占82.52%;盖度50%~59%,占2.37%;盖度60%~69%,占2.36%。

3 生态恢复对策

3.1 分类治理

根据土地石漠化程度,分类制定植被修复与营造模式:轻度石漠化土地,营造生态林和生态经济林;中度石漠化土地,坡度小于25°的地区培育生态经济林,坡度大于25°的地区营造水源涵养林、水土保持林等,不适合通过技术措施栽植乔木或灌木树种的区域,可以通过种草、围栏封育等手段促进生态系统恢复;重度和极重度石漠化土地以封山育林为主,人工造林为辅,培育水源涵养林、水土保持林等生态林。

3.2 植被营造

对于石漠化土地范围内的疏林地、灌木林地、

迹地等,开展人工修复与自然恢复相结合的系统治理,并根据自然条件,采用人工植苗、人工直播和飞机播种等森林营造方法进行造林,进而恢复和重建生态系统。

3.2.1 人工植苗造林

1) 树种选择。优选抗逆性强、耐干旱、耐瘠薄、根系发达、固土力强的乡土树种。例如,侧柏、臭椿、五角枫、栓皮栎、麻栎、刺槐、国槐、楸树、核桃等乔木树种;花椒、连翘、黄栌、山茱萸、酸枣、荆条、金银花、山楂、蔷薇等灌木树种;茅草、龙须草、葛藤等草本及藤本植物。

2) 区域选择。坡度35°以下、交通条件尚可、有一定灌溉条件、能够实施人工造林的石漠化区域,优先选择人工植苗的方式造林。

3) 整地方法。应根据不同立地条件,采取不同的整地方法。石质山地的下坡采用穴状整地,石质山地的中上坡采用穴状整地和鱼鳞坑整地结合的方式。整地时,在栽植穴的下坡外缘用石块砌成挡土墙,外沿高于内沿10 cm,充分利用造林地植被覆盖,以减少土壤水分蒸发。

4) 造林密度。根据造林区域石漠化程度、林种、树种和立地条件合理确定造林密度。一般造林密度控制在840~2505株/hm²,土层较浅、土壤瘠薄、砾石含量较大时,密度适当增大;反之,密度适当减小。

3.2.2 人工直播造林

1) 树种选择。优选发芽迅速、生长较快、适应性强的树种。例如,栎类、黄连木、臭椿、山杏、山桃等树种。

2) 区域选择。坡度35°以下、立地条件差、灌溉困难或者无法实施灌溉、难以植苗造林的石漠化区域优先选择人工直播的方式造林。

3) 注意事项。播种穴上应覆盖枯枝、野草,利于保墒。及时调整苗木密度,保证苗木在合适的密度下健康生长。春天出苗后及时松土除草,夏季间苗每穴留2株,翌春定苗,每穴留1株。

3.2.3 飞机播种造林

1) 树种选择。优选天然下种能力强、种源丰富的省内乡土树种;中粒或小粒种子,产量大,容易采收、贮存的树种;种子吸水能力强,发芽快,幼苗抗逆性强,易成活的树种;适宜自然立地条件,生态价值强的树种。例如,马尾松、侧柏、黄连木、臭椿、

白榆、乌桕、盐肤木、黄栌、连翘等乡土树种。树种配置方式宜采用乔木树种混播或乔灌树种混播。

2) 区域选择。对于坡度 35° 以上,干旱瘠薄,或位于深山和人难以到达的险峻石漠化区域,采用直升机或无人机进行播种造林。

3) 注意事项。飞播前,在种子外表采用黏着胶、药剂以及其他添加剂等对种子进行包衣、丸粒化处理,以增加种子的粒径和重量、减少种子漂移,促进种子发芽。在大面积、集中连片的播区,可使用小型直升机开展飞播作业;在相对分散、面积较小的播区,则可选择不同载重量的无人机实施精准飞播造林。

3.3 现有退化林修复

退化林修复适用于石漠化土地上发生退化的森林植被,常用方法包括补植修复和综合修复。

3.3.1 补植修复

对于退化林分,根据枯死、濒死木分布状况,采取团状、单株采伐等方式,伐除枯死、濒死木,并在林冠下补植乡土树种,人工促进天然更新,形成混交林。

对于林木稀疏、密度较小、依靠天然更新难以达到合理密度的林分,以及林木分布不均匀、存在天窗的退化林分,宜采取补植方式进行修复。

补植补造树种以调整树种结构、提升防护效果为目的,结合抽针(阔)补阔(针)、栽针(阔)保阔(针)等交叉补植法,补植一种或多种生态学特性上具有互补性的其他树种,培育异龄复层针阔混交林。补植修复以植苗方式为主,也可人工直播灌木种子,培育乔灌混交林。

3.3.2 综合修复

适用于用一种修复方式难以完全恢复林分生态功能的退化防护林。通过多种修复技术的综合运用,改善林分生境,恢复林分的正常生长。综合措施主要包括:松土除草、割灌割藤、排涝防旱、修枝、定株等。

松土除草:局部去除杂草和枯枝落叶层、松动表层土壤,促进林木生长。

割灌割藤:林木生长明显受周围杂灌杂草、藤本植物等影响时,应进行局部除草或割灌割藤。

排涝防旱:季节性积水的林地需挖排水沟,排除过多水分;对于干旱林地,在有条件的地方修建集水或引水设施,进行浇灌。

修枝:修枝后阔叶树的保留冠 \geq 当前树高 $2/3$ 、

针叶树的保留冠 \geq 当前树高 $1/2$ 。

定株:调整天然萌生幼树密度,同时对保留的同一穴中多株幼树进行选择性地伐(割)除,伐(割)除后每穴保留 $1\sim 2$ 株。

3.4 封山育林

对具有一定植被盖度的重度和极重度石漠化土地,以生态系统自然修复为基础,以封禁为基本手段,通过人工调节树种组成,诱导针阔混交,提高林分稳定性,减少水土流失,提高林分防护功能,促进生态系统的自然修复。

封山育林适用于石漠化地区的疏林地、灌木林地等区域。根据封育区域实际情况,可包括乔木型、乔灌型、灌木型、灌草型等封育类型。对封山育林区繁育能力不足或树(苗)分布不均的间隙地、林中空地,采取成块补植、见缝插针、零星补植及补播等育林措施,补植补播乡土树种。对封育区内有较强天然下种能力的乔木、灌木的种子,因灌草覆盖度较大而影响种子接触土壤的地块,在不造成水土流失的前提下,可采取人工促进更新措施。

3.5 协同推进工程实施

在未实施治理的石漠化土地中,治理难度逐年加大,生态修复与巩固成果压力增大^[5],除采取乔灌草等生物措施外,还可以采取一定的工程措施,如石坎梯田、修建小水窖、蓄水池、截排水沟等,协同推进石漠化土地的生态修复。在山水林田湖草沙一体化保护和修复体系建设中,实施小流域综合治理、消落区生态修复、库区周边重要湿地保护与修复等工程,提升治理成效,提高库区生态系统稳定性,保障水源地的水质安全。

3.6 加强新技术的推广应用

加强石漠化土地治理研究,推广应用新技术,如抗旱节水型整地、汇集径流整地新技术,客土造林、抗旱造林、抗逆性强的平衡根系容器育苗、圃内耐旱驯化育苗等营造林新技术。

4 结语

2022年《岩溶地区第四次石漠化调查河南省普查成果》显示,河南省石漠化土地共计 $67\,301.4\text{ hm}^2$,且以轻度、中度石漠化为主,占全省石漠化土地总面积的 83.6% ;重度、极重度共计占全省石漠化土地总面积的 16.4% 。

(下转第58页)

建立国家湿地公园对提高鸟类物种多样性的影响与建议

——以湖南泸溪武水国家湿地公园为例

田开慧¹, 龚发武², 郑小君², 杨逸廷¹

(1. 湘西州林业局, 湖南 湘西 416000; 2. 泸溪县林业局, 湖南 湘西 416100)

摘要: 2014年12月, 湖南泸溪武水国家湿地公园获批国家湿地公园试点。通过8年持续有效的湿地保护和管理, 截至2022年, 湖南泸溪武水国家湿地公园的生态环境质量改善明显, 良好生境为鸟类提供了优质栖息地、繁殖场所, 鸟类物种数持续增加。为了解湖南泸溪武水国家湿地公园鸟类物种多样性增加的具体情况, 应用中国观鸟中心记录软件, 通过样线法和固定样地法相结合的方法, 于2019—2021年对湖南泸溪武水国家湿地公园中的鸟类进行了实地调查。调查过程中共记录鸟类17目55科162种, 相较于2014年建立国家湿地公园之前, 鸟类物种数量增加了77种, 增加的鸟类中包括黄胸鹀、黑冠鹃隼和黄腿渔鸮等8种国家重点保护鸟类。此外, 分析了湖南泸溪武水国家湿地公园生态环境面临的问题, 并提出湿地公园鸟类保护的途径, 为未来国家湿地公园的建设与管理提供了有益借鉴。

关键词: 国家湿地公园; 鸟类物种多样性; 湿地管理; 生态保护; 泸溪

中图分类号: Q958.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6075 (2023) 03-0025-04

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.007

Effects and Suggestion of Establishing a National Wetland Park in Improving Bird Species Diversity

——Take the Example of Hunan Luxi Wushui National Wetland Park

TIAN Kaihui¹, GONG Fawu², ZHENG Xiaojun², YANG Yiting¹

(1. Xiangxi Forestry Bureau, Xiangxi 416000, Hunan, China;

2. Natural Resources Bureau of Luxi County, Xiangxi 416100, Hunan, China)

Abstract: Hunan Luxi Wushui National Wetland Park was approved as a pilot national wetland park in December 2014. Through 8 years of continuous and effective wetland protection and management, the quality of the wetland ecological environment has significantly improved by the year of 2022. The high-quality ecological environment provided high grade habitats and reproductive places for birds, leading to a continuous increase in bird species. In order to understand the specific situation of the increase in bird species diversity, a field survey of birds in the Wushui National Wetland Park in Luxi, Hunan Province was conducted from 2019 to 2021 using the recording software of the China Birdwatching Center. A combination of line sampling and fixed sampling

* 收稿日期: 2023-07-03

作者简介: 田开慧(1973—), 女, 湖南省古丈人, 本科, 高级工程师, 主要从事森林动植物资源保护及森林病虫害防治工作。
E-mail: 582241938@qq.com。

通信作者: 龚发武(1972—), 男, 湖南泸溪人, 本科, 高级工程师, 主要从事森林培育管理、林业工程监理、林业产业管理、林业科技推广等工作。E-mail: 330663507@qq.com。

methods was used. During the investigation process, a total of 162 species of birds belonging to 17 orders, 55 families, were recorded. An increase of 77 species compared to the number before the establishment of the national wetland park in 2014. Among them, 8 species of nationally key protected birds such as the Yellow-breasted Bunting, Black Baza and Tawny Fish Owl were added. In addition, this article analyzes the problems of the ecological environment faced by the wetland park and proposes paths for bird protection, which can serve as a reference for the construction and management of future national wetland parks.

Key words: national wetland park; bird species diversity; wetland management; ecological protection; Luxi County

湿地与森林、海洋并称为地球三大生态系统,在涵养水源、调节气候、抵御洪水、防止土地沙漠化、减少环境污染、维护全球碳循环、保护生物多样性等方面都发挥着作用。国家湿地公园是保护湿地、恢复生态、实现湿地资源可持续利用的有机结合。但是,由于我国的湿地公园建设目前还处于探索完善阶段,在其具体的建设以及运行过程中,还存在诸多亟须解决的问题,如国家湿地公园的总体布局应如何加强顶层设计、规划编制的方法与指标体系如何进行更加科学的设计、规划的内容如何能够有效执行等均需要在理论上深入研究、在实践中不断完善。鸟类作为国家湿地公园的重要组成部分,其多样性及数量是评价湿地生态系统健康与否的重要依据,也是衡量湿地环境质量的重要指示物种^[1-2]。

湖南泸溪武水国家湿地公园(以下简称“武水湿地公园”)建立之前,曾对该区域的鸟类物种进行过系统的调查,共记录85种鸟类^[3-4]。2014年12月,武水湿地公园获批国家湿地公园试点,并于2020年12月通过试点验收。武水湿地公园成立后,沅水水系保护示范区、库塘-河流复合型生态系统保育的示范基地建设,使得湿地资源、国家重点保护野生动植物保护率接近100%,武水湿地公园内的水质监测达国家标准Ⅱ类水质以上。改善后的湿地环境为多种生物提供了生存和繁衍条件,特别是为鸟类提供了优质栖息地。本文旨在研究武水湿地公园建立后,在实施一系列湿地保护和管理措施的过程中,武水湿地公园增加的鸟类的多样性有何特征,并总结相关管理实践经验,为将来的国家湿地公园建设提供参考。

1 研究区域

武水湿地公园位于湖南省湘西土家族苗族自治州泸溪县境内,地处武陵山脉向雪峰山脉过渡地带,上接湖南峒河国家湿地公园,下连湖南五强溪

国家湿地公园。武水湿地公园总面积2 429.0 hm²,地理坐标为109°50′42″—110°13′12″E, 28°11′43″—28°17′32″N,东西宽36.83 km,南北长10.60 km,湿地面积1 716.1 hm²,湿地率70.65%。武水湿地公园内主要以永久性河流、库塘、洲滩等湿地为主,水岸周边散布零星山地,包括沅水支流武水泸溪段及支流上的能滩水库、朱雀洞水库、小陂流水库、五强溪水库库尾的沅水泸溪段及周边部分区域^[5]。武水湿地公园内的动植物资源丰富,截至2014年,有维管束植物1 396种^[6-8];野生脊椎动物172种,其中鱼类41种、两栖动物11种、爬行动物21种、鸟类85种、哺乳动物14种^[1,9]。

2 调查方法

本文采用样线法和固定样地观测的方法进行调查,共布设6条样线和2个固定样地,样线长度为3.3~5.4 km,2块固定样地的面积分别为148.5 hm²和73.1 hm²。从2019年10月—2021年12月进行不间断动态观测,每月调查2~3 d,每天调查时间为7:00—10:00和15:00—18:00。调查人员使用博冠双筒望远镜(8倍放大率,物镜口径为42 mm)记录观测到的鸟类。重点保护鸟类名录参考《国家重点保护野生动物名录》^[10]。

3 调查结果

武水湿地公园共记录鸟类17目55科162种,分别为鸡形目1科4种、雁形目1科6种、鸊鷉目1科1种、鸽形目1科3种、夜鹰目2科2种、鹃形目1科4种、鹤形目1科2种、鸱形目4科13种、鳾鸟目1科1种、鹑形目1科8种、鹰形目1科6种、鸢形目1科3种、犀鸟目1科1种、佛法僧目1科3种、啄木鸟目2科6种、隼形目1科3种、雀形目34科96种,比建立前的鸟类物种数量增加了77种,鸟类物种多样性有了明显的提高。雀形目鸟类物种数最

多,为96种,其次是鸻形目鸟类13种,而犀鸟目、鸬鹚目和鳾鸟目各1种。

武水湿地公园内的国家一级重点保护野生鸟类3种,分别是白颈长尾雉、中华秋沙鸭和黄胸鹑;国家二级重点保护野生鸟类共17种,包括红腹锦鸡、鸳鸯、黑翅鸢、凤头鹰、松雀鹰、黑鸢、普通鵟、黑冠鹃隼、领角鸮、斑头鸺鹠、黄脚渔鸮、红脚隼、红隼、游隼、画眉、红嘴相思鸟和蓝喉歌鸲。

与建立前相比较,武水湿地公园内雀形目鸟类物种增加得最多,增加了46种;其次是鸻形目,增加了10种。增加的鸟类物种中包括1种国家一级重点保护鸟类和7种国家二级重点保护鸟类,分别为:黄胸鹑、蓝喉歌鸲、黑翅鸢、黑鸢、黑冠鹃隼、黄脚渔鸮、红脚隼和游隼,如图1所示。

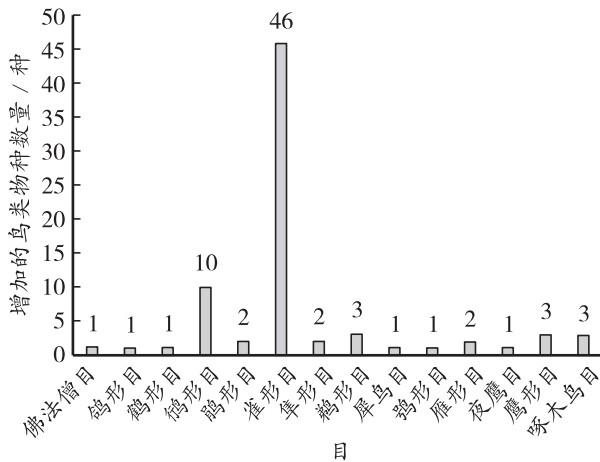


图1 武水湿地公园建立后不同目的鸟类物种的增加数量

4 建议

武水湿地公园建立后,通过8年持续有效的保护和管理,其生态环境质量有了明显的改善,鸟类物种多样性明显增加。但是,要想持续改善武水湿地公园的生态环境,增加鸟类物种的多样性,还必须从多方面努力。

4.1 修复和丰富鸟类栖息地植被

一是切实保护武水湿地公园内现有植被资源。通过生态修复、增绿扩量、封山育林等措施,逐步恢复公园周边植被资源;遵循适地适树原则,保护和修复水岸木本植物;保护地被灌木、低矮灌丛与高大乔木、滨水植物、挺水植物、沉水植物等植被带,形成滨水自然植被群落结构,为鸟类提供丰富多样的觅

食、栖息植被。二是不断丰富武水湿地公园区域植被资源。目前,武水湿地公园内的维管束植物占比高达85%以上,植物品种的丰富度不高,导致一些鸟类没有理想的栖息环境,野生鸟类无法很好地生存。为改变这一状况,可在武水流域、沅水流域沿岸,因地制宜引进、栽培适合湿地生存的植物品种,使武水湿地公园区域内的植物资源、生物多样性更丰富。

4.2 提高水生态质量

武水湿地公园水系环境是影响鸟类栖息的重要因素。随着生态保护力度的持续加大,武水湿地公园区域内的水质总体呈现长期向好态势。但是由于武水湿地公园区域内原住居民多,河流沿岸工业布局逐渐增加,保持公园水质总体良好的压力极大。为提高武水湿地公园内水生态质量,一是有效提高水体自净能力。通过恢复湿地植被,在武水湿地公园的水源、表流湿地与潜流湿地处理水质污染,实现水质净化;通过种植挺水植物,恢复正常水位下方的植被带;通过种植灌木植物,恢复滨水带的植被带;通过种植高大乔木或低矮灌木植物,恢复湿地边界的植被带;通过种植具有较强自净化性的植物,恢复水质净化区的植被带;通过种植根系发达的灌木植物,恢复护岸区域的植被带;通过浮岛水培种植方式,恢复湿地深水区的植被带。二是切实管控污水污染物排放。针对湿地公园沿岸城镇的生活污水排放问题,通过修建污水处理厂、自然沉淀等措施,尽可能减少污水直接排放,严禁工业污水等污染物不达标排放。三是科学营造人工湿地。在提高武水湿地公园内部湿地资源自净化能力的基础上,科学营造人工湿地,有针对性地改善武水湿地公园水质环境,改善天然形成的水塘栖息环境。

4.3 构建鸟类适宜栖息地

以刘家滩沿河滩涂为平台,打造一个典型样板点,尤其以游禽和涉禽鸟类栖息示范点。该地位于沅水段武水湿地公园核心区,有天然形成的水塘,湿地上的植被结构非常简单,以苍耳、黄荆、苦楝树和草皮为主,并无可供鸟类栖息的良好环境,加上当地村民散养的鸡、鸭、鹅、牛、羊均以该河滩半岛为主要散养地,村民随意进入导致很多野生鸟类无法很好地生存。即便如此,在该湿地进行多次鸟类调查,仍然发现有45种鸟类在此地栖息,占公园鸟类数的27.8%,其中游禽、涉禽多达22种,是一个不可多得的示范区。因此,可以通过科学选择和种植湿地植物、营造安全的栖息避难场所、加强鸟类栖息地人工管理等人工措

施, 不断改善公园的鸟类生存环境, 为鸟类构建一个适宜生存的栖息地。

参考文献:

- [1] 刘旭, 张文慧, 李咏红, 等. 湿地公园鸟类栖息地营建研究: 以北京琉璃河湿地公园为例 [J]. 生态学报, 2018, 38 (12): 4404-4411.
- [2] 李相逸, 崔冬瑾, 马超, 等. 基于鸟类生境修复与营造的湿地生态设计策略 [J]. 中国园林, 2020, 36 (5): 133-138.
- [3] 李德生, 周凤霞, 张朝阳, 等. 湖南省生物多样性现状调查与评价 [J]. 环境科学研究, 2009, 22 (2): 1382-1388.
- [4] 戴振华, 刘松, 张志强. 吉首峒河湿地公园鸟类群落结构调查及多样性研究 [J]. 湖南林业科技, 2010, 37 (3): 30-32.
- [5] 霍俊伊, 于爽, 张清华, 等. 湘西峒河流域水化学特征及无机碳通量计算 [J]. 水文地质工程地质, 2019, 46 (4):

64-71.

- [6] 胡文艺, 徐亮, 张洁, 等. 峒河国家湿地公园维管植物多样性调查 [J]. 吉首大学学报, 2015, 36 (1): 75-79.
- [7] 徐志高, 周伟才, 贺平华, 等. 湖南溆浦思蒙国家湿地公园植物多样性及植物区系研究 [J]. 中南林业调查规划, 2017, 36 (3): 49-53.
- [8] 向剑锋. 湖南永顺猛洞河国家湿地公园植物资源特点研究 [J]. 湖南林业科技, 2017, 44 (6): 58-63.
- [9] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录: 第三版 [M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [10] 国家林业和草原局, 农业农村部. 国家林业和草原局, 农业农村部公告: 2021年第3号(国家重点保护野生动物名录) [R/OL]. (2021-02-01) [2023-07-03]. <https://www.forestry.gov.cn/main/5461/20210205/122418860831352.html>.

(上接第4页)

段, 产业发展所需的技术人才还有待引进、培养, 亟须建立人才引进培养体系, 持续不断注入新的动能和活力; 第四, 建立相关部门协调联动机制, 解决项目招商、落地、服务等方面的疑难问题; 第五, 制定森林康养基地的建设标准、服务标准、评价认定办法、管理办法等, 构建起完备的森林康养标准体系; 第六, 采用大数据、信息化、智慧化的方式, 与公安、民政、社保、医疗、保险等各部门实现数字信息实时交互共享, 统一建立省级智慧健康云平台。

3.6 多管齐下, 维护好森林康养产业的发展基础

良好的生态环境是发展森林康养产业的“根”、优美的自然风光是发展森林康养产业的“韵”、特色的民族药食文化是发展森林康养产业的“魂”。这些都是别人搬不走、挪不动的, 我们一定要倍加珍惜, 多管齐下, 加大生态环境、自然资源、非物质文化的保护力度, 通过森林植被的丰富性、森林色彩的多样性以及森林景观的层次性打造宜人的森林生态环境^[4], 提炼挖掘森林康养文化, 维护好这“根”、这“魂”、这“韵”。否则, 一切都将是无“基”之谈。

4 结语

发展森林康养产业是云南打造世界一流健康生活目的地的主要措施之一, 是赋能“健康中国”“健康云南”的必然要求, 符合云南省的发展定位, 但这绝

非一两个“五年计划”就能实现的, 它需要一代、两代甚至更多代人的共同努力。希望本文能给政府、相关职能部门、社会机构、学者等提供借鉴, 凝心聚力解决云南省森林康养产业发展面临的现实问题, 让云南康养资源助力百姓健康, 赋能地方经济高质量发展, 为实现“健康中国”目标做出云南担当和云南贡献。期待“世界康养看中国, 中国康养看云南”的美好愿景早日实现。

参考文献:

- [1] 国家发展改革委, 自然资源部. 国家发展改革委 自然资源部关于印发《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》的通知(发改农经[2020]837号) [EB/OL]. (2020-06-03) [2023-03-30]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-06/12/content_5518982.html.
- [2] 中共云南省委, 云南省人民政府. 中共云南省委 云南省人民政府印发《云南省生态文明建设排头兵规划(2021—2025年)》 [EB/OL]. (2021-05-11) [2023-03-30]. https://www.yn.gov.cnzwgkzfgb/2022/2022d26q/swszflfwj/202205/t20220521_242388.html.
- [3] 云南省林业和草原局, 云南省自然资源厅, 云南省生态环境厅. 云南省自然保护区整合优化方案 [EB/OL]. (2023-03-23) [2023-03-30]. http://lcj.yn.gov.cn/html/2023/gongshigonggao_0323/68424.html.
- [4] 郑洁伟, 刘新科, 陈莲好. 基于发展路径的森林康养基地评价体系探讨 [J]. 中南林业调查规划, 2022, 41 (2): 13-16.

基于多源遥感数据的森林蓄积量估测研究

——以北方孟家岗林场为例

邹泽林¹, 刘紫薇¹, 文敏², 黄鑫¹

(1. 国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南长沙 410014;
2. 长沙中南林业调查规划设计有限公司, 湖南长沙 410014)

摘要: 以北方孟家岗林场的落叶松人工林为研究对象, 引入遥感技术作为一种更高效、适用于大区域的遥感监测方法, 利用 Sentinel-1 和 Sentinel-2 遥感数据, 提取光谱特征、纹理特征、植被指数和后向散射系数等特征指标, 基于 Pearson 相关系数和距离相关系数这两种特征选择方式, 结合 KNN、SVR 和 RF 等 3 种机器学习模型, 开展了 6 种人工林蓄积量估测方案的对比。研究表明: 遥感数据源对模型的估测精度影响最大; 以单一 Sentinel-1 数据作为来源的模型估测精度最低, 而基于 Sentinel-1 和 Sentinel-2 综合数据的估测模型精度最高, 其中 RF 回归模型结合 DC 特征重要性评价方案获得了最佳的蓄积量估测结果, R_{RMSE} 和 R^2 分别为 22.94% 和 0.59。利用特征选择的方式结合多源遥感数据可以有效提升模型精度和泛化能力, 得到更优的人工林蓄积量估测结果, 为森林资源的保护、管理和可持续利用提供科学依据。

关键词: 森林蓄积量; Sentinel-1; Sentinel-2; KNN; SVR; RF; 遥感数据

中图分类号: S757.3 文献标识码: A 文章编号: 1003-6075 (2023) 03-0029-07

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.008

Research on Forest Volume Estimation Based on Multisource Remote Sensing Data

——Taking Mengjiagang Forest Farm in the north as an Example

ZOU Zelin¹, LIU Ziwei¹, WEN Min², HUANG Xin¹

(1. Central South Academy of Inventory and Planning of NFGA, Changsha 410014, Hunan, China; 2. Changsha Central South Forestry Investigation, Planning and Design Co., Ltd., Changsha 410014, Hunan, China)

Abstract: Taking the artificial larch forest in Mengjiagang Forest Farm in the north as the research object, remote sensing technology is introduced as a more efficient and suitable remote sensing monitoring method for large regions. Using Sentinel-1 and Sentinel-2 remote sensing data, feature indicators such as spectral features, texture features, vegetation index, and backscatter coefficient are extracted. Based on such two feature selecting modes as Pearson correlation coefficient and distance correlation coefficient, three machine learning models, KNN, SVR, and RF, are combined. We conduct a comparison of six artificial forest volume estimation schemes. Research shows that remote sensing data sources have the greatest impact on the estimation accuracy of models; the model using a single Sentinel-1 data source has the lowest estimation accuracy, while the estimation model based on Sentinel-1 and Sentinel-2 comprehensive data has the highest accuracy. Among them, the

* 收稿日期: 2022-12-06

作者简介: 邹泽林 (1991—), 男, 湖南祁东人, 工程师, 主要从事森林资源监测和林业信息化应用等工作。E-mail: 397101752@qq.com。

RF regression model combined with the DC feature importance evaluation scheme obtains the best stock estimation results, while R_{RMSE} and R^2 being 22.94% and 0.59% respectively. Combining feature selection with multi-source remote sensing data can effectively improve model accuracy and generalization ability, obtain the best estimation results of artificial forest volume, and provide scientific basis for the protection, management, and sustainable use of forest resources.

Key words: forest volume; Sentinel-1; Sentinel-2; KNN; SVR; RF; remote sensing data

随着全球气候问题日益严重以及天然林面积的急剧减少,人工林在应对气候变化和生态环境保护中扮演着越来越关键的角色^[1-2]。通过促进碳吸收与储存、改善水土保持、维护生物多样性以及提供可持续木材资源等途径,人工林在缓解生态压力、保障人类福祉等方面发挥着重要的作用^[3-4]。森林蓄积量是反映国家或地区森林资源规模和水平的关键指标,对于人工林的蓄积量监测尤为重要。人工林蓄积量的准确监测有助于客观评价人工林在生态系统中的贡献,为森林管理和政策制定提供科学依据,进而有针对性地保护和改善森林生态环境,确保森林资源的可持续利用。

传统人工监测方法在测量森林资源时具有较高的准确性,然而这种方法耗时长且成本高,特别是在人迹罕至的山区,实地调查的难度更大^[5-7]。传统人工监测并不适用于大尺度的森林蓄积量连续监测。因此,亟须开发更高效且适用于大区域的森林资源监测方法。遥感技术的不断发展,为森林资源的持续监测提供了新的途径^[8-12]。遥感监测具有覆盖范围广、时效性好、成本相对较低的优点,但在分辨率、数据质量和解译准确性等方面可能受到限制。通过遥感建模的方式将遥感监测与传统人工监测结合运用,能够在保证森林资源监测准确性的同时,提高监测的效率和范围,更好地为森林资源的保护、管理和可持续利用提供科学依据。

遥感建模是森林蓄积量估计的一种重要方法,已在实践中取得了大量成果。遥感数据来源日益丰富,可用于森林蓄积量估算的数据类型主要有3类^[13-17]:激光探测和测距(LiDAR)数据、合成孔径雷达(SAR)数据以及光学数据。LiDAR在估测森林蓄积量方面具有显著优势,如高空间分辨率、对地形和林冠结构的精确测量以及较好的穿透能力。然而,它也存在一定的局限性,如成本较高、数据获取受限以及对复杂林冠结构和植被类型的处理仍具挑战性。因此,对于大尺度或短期连续的森林蓄积量监测任务,利用LiDAR可能导致整体监测成本过高。SAR数据不受天气影

响,具备全天候监测的能力。此外,SAR数据对地形与植被结构都有一定的敏感性。它可以捕捉到地形的细微变化,如山脉、沟壑等,以及植被的不同特点,如森林的密度、草地的分布等。这使SAR成为多种地形观测任务的理想选择。然而,SAR数据在处理过程中可能受到散射、径向畸变以及复杂林冠结构的影响,导致处理难度增大。单独基于SAR数据难以获得高精度的森林蓄积量估测结果。光学数据的光谱信息丰富、易于获取和处理,且在多尺度和多时相方面的应用灵活。然而,光学数据受天气条件和光照影响较大,如云遮和雨天等不利环境条件可能导致数据质量下降。此外,对于复杂林冠结构和密集植被覆盖区域,光学数据的敏感性可能受限。因此,SAR数据和光学数据联合应用于遥感建模可以在一定程度上弥补各自的不足,提高森林蓄积量估测的准确性和稳定性。同时,由于两者的获取成本相对较低,这种组合方法更适用于大尺度或短期连续的森林蓄积量监测任务。在实际应用中,通过将SAR和光学数据相结合,充分利用多源遥感数据的优势,可为森林资源管理提供更为全面和准确的信息。

本次研究使用Sentinel-1和Sentinel-2遥感数据,两者分别属于SAR数据和光学数据。Sentinel-1和Sentinel-2遥感数据能实现全天候和全覆盖的监测,提供高时间、高分辨率的连续数据,以及降低大规模和长期监测的成本。本次研究通过使用特征选择的方式,从Sentinel-1和Sentinel-2中筛选出对蓄积量响应程度最高的特征变量,从而充分发挥它们各自的优势。这有助于消除冗余和不相关特征,提高遥感建模的准确性和稳定性。本次以孟家岗林场的落叶松人工林为研究对象,利用Sentinel-1(SAR数据)和Sentinel-2(光学数据)遥感数据,提取了光谱特征、纹理特征、植被指数和后向散射系数等遥感特征指标,采用基于特征重要性的前向选择方法,研究Sentinel-1和Sentinel-2遥感数据对森林蓄积量估测能力及多源遥感数据的相互作用。

1 研究区概况与数据采集

1.1 研究区概况

研究区为北方孟家岗林场(130°32'—130°52'E, 46°20'—46°30'N),地处完达山西麓余脉,坡度总体相对平缓。该区域的土壤以暗棕壤为主,属东亚大陆性季风气候带,春季少雨干旱,夏季温暖湿润,秋季降温迅速,冬季寒冷干燥,年均气温2.7℃,年均降水量550 mm,全年日照时数1 955 h,主要树种包括落叶松、樟子松、云杉、蒙古栎等。

本研究共布设了164个落叶松人工林样地。为了确保样地的代表性,基于海拔高度、龄组和材积等多个因子进行随机分层抽样,确保所选样地涵盖了不同的地理、生长和结构条件,从而为研究提供了全面和多样化的数据。样地设置远离林分边界,面积为25 m×25 m,对样地内胸径≥5 cm的林木进行测量,并计算样地内的林木蓄积量。

1.2 遥感数据的收集与预处理

本研究获取了离调查日期(2021年8月15日—2021年9月20日)最近的1期Sentinel-1数据(2021年8月20日,GRDH级别)和Sentinel-2(2021年9月30日,L1C级别)无云影像数据。本研究使用Sentinel-1和Sentinel-2数据的原始波段信息及其衍生信息,其中Sentinel-1中VV和VH极化的影像重采样为20 m分辨率;Sentinel-2中VRE1、VRE2、VRE3、NIR、VRE4波段的分辨率保持为20 m,将Blue、Green、Red、NIR波段重采样为20 m分辨率。

Sentinel-1数据中提供的轨道状态向量通常不够准确。通过使用精确的轨道文件提供准确的卫星位置和速度信息,完善轨道状态矢量。通过辐射校正将数字像素值转换为经过辐射校正的背向散射,并以多视处理减少斑点,以提高图像的可解释性。

Sentinel-1图像中的信息可能会由于地形变化和卫星传感器的倾斜而失真,使用距离多普勒地形校正来补偿这种失真。关于Sentinel-2数据的预处理,由于下载的图像数据是L1C级产品,已经进行了辐射校正、几何校正等相关操作,因此可以直接进行大气校正。本次研究以L1C级产品为输入数据,使用Sen2Cor处理器进行大气校正,即得到校正后的反射率图像。

2 研究方法

2.1 遥感影像特征

在本研究中,参与遥感建模特征均是来自Sentinel-1和Sentinel-2原始特征或衍生特征,如表1所示。其中Sentinel-1与Sentinel-2的原始特征均可分别生成8种纹理,Sentinel-1和Sentinel-2分别是 $2+3+2\times 8=21$ 和 $8+6+8\times 8=78$ 个特征,即从Sentinel-1和Sentinel-2影像中分别提取了21和78个遥感特征。其中原始特征主要是从遥感图像的原始像素值中提取出的信息,直接反映了地物的辐射反射或散射特性。植被指数/图像变换特征则是通过对原始特征进行算法处理或数学变换得到的。本研究使用了9个图像变换特征,其中6个为植被指数,分别是:增强型植被指数(Enhanced Vegetation Index, EVI)、增强型植被指数-2(Enhanced Vegetation Index-2, EVI-2)、归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、比值植被指数(Ratio Vegetation Index, RVI)、简单植被指数(Simple Vegetation Index, SVI)和调整土壤亮度的植被指数(Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI)。每一个指数都能从不同的角度反映植被的生长状况和健康度。纹理特征则是通过分析图像中像素间的空间关系得到的,它们能反映地物的空间分布规律和局部变化情况。

表1 遥感特征类型

遥感数据源	原始特征	植被指数/ 图像变换特征	纹理特征(缩写)
Sentinel-1	VH、VV	VH/VV, VH-dB, VV-dB	Mean(M), Variance(V), Homogeneity(H), Contrast(Con), Dissimilarity(D), Entropy(E), Second moment(S), Correlation(Cor)
Sentinel-2	Band2、Band3、Band4、Band5、Band6、Band7、Band8、Band8A	EVI、EVI-2、NDVI、RVI、SVI、SAVI	

2.2 特征的评价标准

在遥感应用中, Pearson 相关系数和距离相关系

数通常用于筛选可能与目标变量(如森林蓄积量)相关的遥感特征,为后续的特征选择和模型建立提供

参考。

1) Pearson 相关系数。Pearson 相关系数是用于度量两个变量之间的线性相关性^[18]，其取值范围为 $-1 \sim 1$ ，最大值为 1，表示完全的正相关；最小值为 -1 ，表示完全的负相关；0 表示无相关性。在遥感特征与蓄积量的相关性研究中，Pearson 相关系数常被用于衡量这两者之间的线性关系，当一个遥感特征与蓄积量之间的 Pearson 相关系数值的绝对值较高时，这意味着这个特定的遥感特征与蓄积量有较强的线性关系。

2) 距离相关系数。距离相关系数 (Distance Correlation, DC) 是一种衡量两个随机变量相关性的统计指标，可检测线性及非线性相关性^[19]。其取值范围为 $0 \sim 1$ ，0 表示两变量无相关性，1 表示完全相关。在遥感特征与森林蓄积量的相关性研究中，DC 可作为响应度的衡量工具。若遥感特征与森林蓄积量的 DC 值接近 1，则该遥感特征可能是预测森林蓄积量的高响应指标。

2.3 机器学习模型

1) K 近邻模型。K 近邻 (K-Nearest Neighbors, KNN) 模型是一种监督学习方法，适用于森林蓄积量的遥感建模^[20]。其基本思想是对需要预测的地点，在特征空间中找到最近的 K 个样地，然后根据这些样地的蓄积量进行预测。KNN 算法的优点在于简单易用，并且能够处理各种类型的数据关系。

2) 支持向量机模型。支持向量回归 (Support Vector Regression, SVR) 是一种基于支持向量机原理的回归方法，适用于森林蓄积量的遥感建模^[21]。SVR 创建了一个边界，该边界尽量靠近所有训练数据点，而预测则是基于这个边界来完成的。SVR 能有效处理高维、非线性问题，具有较好的鲁棒性和泛化能力。

3) 随机森林模型。随机森林 (Random Forest, RF) 是一种集成学习方法，其结合多个决策树进行预测，适用于森林蓄积量的遥感建模^[22]。RF 通过引入样本和特征的随机性，提高模型的泛化能力和鲁棒性。在森林蓄积量的预测中，RF 能有效处理高维数据、探索特征之间的复杂交互关系，不容易造成模型过拟合的问题。

2.4 特征选择及模型评价指标

为了优化遥感建模并提高其精度，使用基于遥感特征重要性的特征选择方法^[23]，即首先计算每个遥感特征与森林蓄积量的相关性，并根据特征的重要性进行排序，进而将它们逐个加入模型中进行训练。这

意味着，先把最重要的特征纳入模型训练，并进行蓄积量的估测，再加入第二重要的特征，以此类推，直到加入所有的特征。在每次添加新的特征并训练模型后，都会计算并比较模型的训练精度。该特征选择过程在估测模型的训练阶段进行，因此基于不同估测模型或特征重要性评价指标即为不同的特征选择方法。本研究基于 Pearson 相关系数和 DC 这两种方式进行特征选择，结合 3 种机器学习模型 (KNN、SVR 和 RF)，并以相对均方根误差 (R_{RMSE}) 和决策系数 (R^2) 作为评价模型精度的指标。

相对均方根误差 (R_{RMSE}) 和决策系数 (R^2) 的计算过程如下：

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

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

式中： y_i 为测量值， \hat{y}_i 为估测值； \bar{y} 为真实值均值； n 为真实值数量。

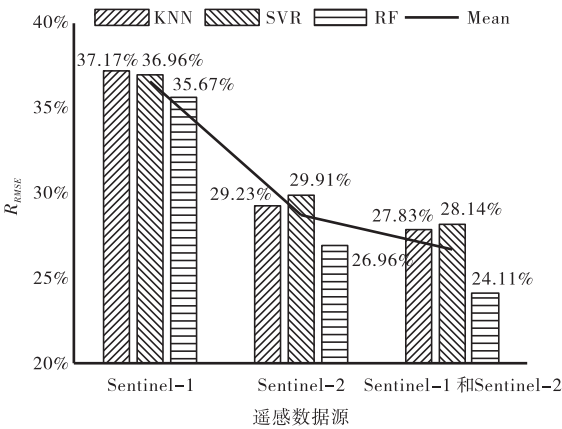
3 结果与分析

在森林蓄积量遥感建模中，特征选择是重要的过程之一，不同的特征选择方法会产生不同的特征组合，而这些特征组合对于模型的估测精度会有显著影响。为方便阐述由不同回归模型和特征重要性评价指标组成的特征选择方法，以“回归模型-特征重要性评价指标”的方式表示不同的特征选择方法，如 KNN-Pearson 表示基于 KNN 回归模型并以 Pearson 作为特征重要性的评价指标的特征选择方法。基于不同特征选择方法选择的特征数量如图 1 所示。其中基于 Sentinel-1 数据的特征选择中，不同特征选择方法均选择了 21 个遥感特征，即选择了来自 Sentinel-1 数据的所有遥感特征；不同特征选择方法基于 Sentinel-2 数据选择了 16 ~ 28 个遥感特征；基于 Sentinel-1 和 Sentinel-2 数据，不同特征选择方法选择了 14 ~ 29 个遥感特征。不同特征选择方法选择的特征数量差异更大。

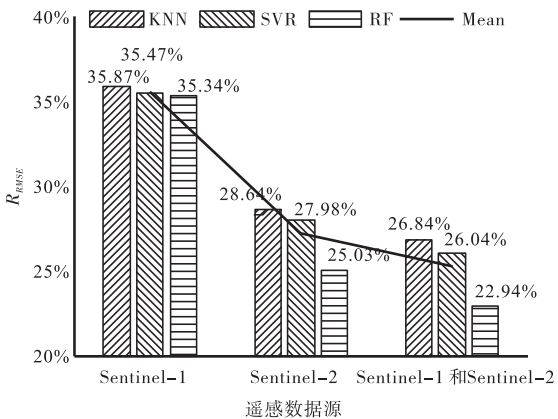
基于不同特征选择方法的模型精度如图 2 所示，其中折线“Mean”表示 KNN、SVR 和 RF 三种回归模型精度的均值。基于不同的遥感数据源、回归模型和特征重要性评价指标，模型的估测精度不同。整体上

	KNN-Pearson	SVR-Pearson	RF-Pearson	KNN-DC	SVR-DC	RF-DC
Sentinel-1	21	21	21	21	21	21
Sentinel-2	27	18	25	16	28	17
Sentinel-1和Sentinel-2	26	26	20	14	15	29

图1 基于不同特征选择方法选择的特征数量



(a) 以 Pearson 相关系数作为特征重要性评价指标



(b) 以 DC 作为特征重要性评价指标

图2 基于不同特征选择方法的模型 R_{RMSE}

看, 模型的估测精度受遥感数据源的影响最大。其中单独基于 Sentinel-1 数据的模型估测精度最低, R_{RMSE}

的范围为 35.34% ~ 37.17% ; 基于 Sentinel-1 和 Sentinel-2 综合数据的估测模型精度最高, R_{RMSE} 的范围为 22.94% ~ 28.14% 。三种回归模型中, RF 的估测精度相对最佳。结合多源遥感数据 (Sentinel-1 和 Sentinel-2) 使 RF 模型精度最佳, 其中 RF-Pearson 和 RF-DC 的 R_{RMSE} 分别为 24.11% 和 22.94% 。基于特征重要性的特征选择方法结合 DC 的评价指标效果更佳, 但与结合 Pearson 的评价指标效果没有显著差异。

结合多源遥感数据 (Sentinel-1 和 Sentinel-2), 将得到较优的蓄积量估测结果。其中, 不同特征选择方法的真实值与预测值分布散点如图 3 所示。虚线表示估测误差为真实值均值的 50% 的临界线, 超过虚线范围则认为是估测误差过大。基于特征重要性的特征选择方法, 结合不同的特征重要性评价指标得到的模型估测精度差异较小。KNN、SVR 和 RF 三种估测模型得到的估测结果中, 估测误差过大的样地数量较少 (2 ~ 5 个)。其中, 基于 RF 得到的估测精度最佳, 仅有 2 ~ 3 个样地的估测误差过大, 如图 3 (c) 和 3 (f) 所示。其中 RF 结合 DC 的特征重要性评价指标的估测结果最佳, R_{RMSE} 和 R^2 分别为 22.94% 和 0.59。

以精度最佳的 RF-DC 特征选择方法结合多源遥感数据进行蓄积量估测并对研究区落叶松人工林进行反演发现, 研究区整体森林资源丰富, 蓄积量集中分布在 200 ~ 300 m^3/hm^2 之间。其中低海拔地区受人为影响较大的区域落叶松人工林蓄积量相对较低, 而高海拔地区蓄积量相对较高。

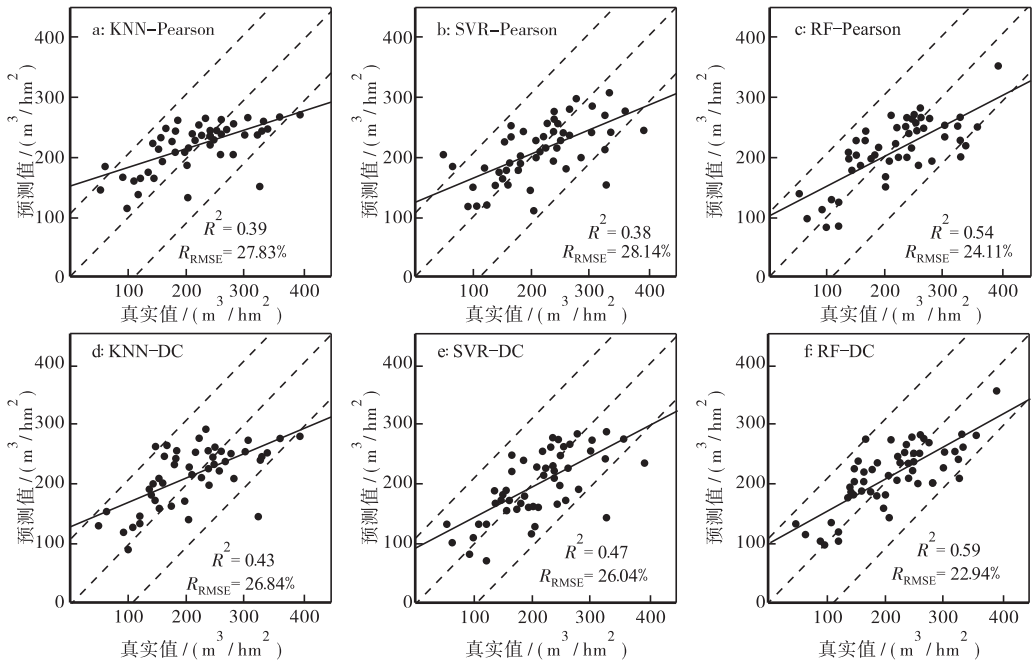


图3 基于不同特征选择方法的真实值与预测值的散点分布

4 讨论与结论

4.1 讨论

结合遥感数据进行森林蓄积量估测正受到越来越多的关注^[24-28]。研究表明,利用特征选择结合多源遥感数据是一种有效提高模型精度的方法^[29]。这是因为不同的遥感数据源提供了不同类型的信息,可以从多个角度描述森林的蓄积量。其中,特征选择不仅影响了模型的复杂性,还在很大程度上影响了模型的估测精度。本研究中,使用“回归模型-特征重要性评价指标”的组合方式来表示不同的特征选择方法为一个突出的策略。从研究结果可以明显看出, Sentinel-1 和 Sentinel-2 的数据都被视为关键特征,但在不同的特征选择策略中,它们被选中的频率和模式存在差异。这进一步强调了多源遥感数据在森林蓄积量估测中的作用,以及选择合适的特征选择方法的重要性。值得注意的是,基于 Sentinel-1 和 Sentinel-2 综合数据, RF 回归模型展现出了较高的估测精度,尤其是当结合了 DC 特征重要性评价方法时,最优的 R_{RMSE} 和 R^2 分别为 22.94% 和 0.59。

4.2 结论

基于本研究的结果,可以得出以下几点结论:

①结合多源遥感数据进行特征选择与建模,尤其是综

合使用 Sentinel-1 和 Sentinel-2 的数据,能显著提高森林蓄积量的估测精度;②RF 回归模型在所有考虑的模型中具有最佳的估测性能,特别是当使用 DC 作为特征重要性的评价指标时;③通过适当的特征选择方法,如 RF-DC,对特定区域(如研究中的落叶松人工林)的蓄积量进行反演,可以获得较为准确的蓄积量空间分布,这为未来的森林资源管理和政策制定提供了关键的信息。

Sentinel-1 和 Sentinel-2 卫星数据为深入的森林研究和管理提供了坚实的数据基础。通过整合这些数据源,可以显著提高模型的准确性和稳定性。利用多源遥感数据、适当的特征选择及建模技术,已经成为估计森林蓄积量的强大工具。随着遥感技术的进一步发展,期待在未来能够实现更高的预测精度和应用在更多领域中。

参考文献:

- [1] Ratcliffe S, Holzwarth F, Nadrowski K, et al. Tree neighbourhood matters-Tree species composition drives diversity-productivity patterns in a near-natural beech forest [J]. *Forest Ecology and Management*, 2015, 335: 225-234.
- [2] Yu T, Wu W, Gong C, et al. Residual Multi-Attention Classification Network for A Forest Dominated Tropical Landscape Using High-Resolution Remote Sensing Imagery [J]. *International Journal of Geo-Information*, 2021, 10 (1): 22.

- [3] Pham T T, Le T T, Tuyet H N, et al. Impacts of Payment for Forest Ecosystem Services in Protecting Forests in Dak Lak Province, Vietnam [J]. *Forests*, 2021, 12 (10): 1383.
- [4] Lyu J. Endogenous Transmission Mechanism and Spatial Effect of Forest Ecological Security in China [J]. *Forests*, 2021, 12 (4): 508.
- [5] 刘三平, 李利, 曾伟生. 关于完善地方森林资源监测体系的思考 [J]. *中南林业调查规划*, 2011, 30 (3): 1-3, 8.
- [6] 曾伟生. 关于森林资源年度监测总体方案的思考 [J]. *中南林业调查规划*, 2018, 37 (2): 1-5.
- [7] 孟京辉, 陆元昌, 柳新红, 等. 国家森林资源调查体系改进探讨 [J]. *浙江林业科技*, 2009 (6): 76-79.
- [8] Smith W, Lara R, Delgado Caballero C E, et al. The North American Forest Database: going beyond national-level forest resource assessment statistics [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2018, 190 (6): 350.
- [9] Anh D, Viet H, Hung N. Monitoring of Forest Land Cover Change in Nui Ba Ra Protected Landscape in Vietnam Using Remote Sensing Methods and GIS techniques [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 666: 52009.
- [10] Lin M, Ling Q, Pei H, et al. Remote Sensing of Tropical Rainforest Biomass Changes in Hainan Island, China from 2003 to 2018 [J]. *Remote Sensing*, 2021, 13: 1696.
- [11] Singh C, Karan S K, Sardar P, et al. Remote sensing-based biomass estimation of dry deciduous tropical forest using machine learning and ensemble analysis [J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 308: 114639.
- [12] Naik P, Dalponte M, Bruzzone L. Prediction of Forest Aboveground Biomass Using Multitemporal Multispectral Remote Sensing Data [J]. *Remote Sensing*, 2021, 13 (7): 1282.
- [13] Long J, Lin H, Wang G, et al. Mapping Growing Stem Volume of Chinese Fir Plantation Using a Saturation-based Multivariate Method and Quad-polarimetric SAR Images [J]. *Remote Sensing*, 2019, 11 (16): 1872.
- [14] Hu Y, Xu X, Wu F, et al. Estimating Forest Stock Volume in Hunan Province, China, by Integrating In Situ Plot Data, Sentinel-2 Images, and Linear and Machine Learning Regression Models [J]. *Remote Sensing*, 2020, 12 (1): 186.
- [15] Li X, Liu Z, Lin H, et al. Estimating the Growing Stem Volume of Chinese Pine and Larch Plantations based on Fused Optical Data Using an Improved Variable Screening Method and Stacking Algorithm [J]. *Remote Sensing*, 2020, 12 (5): 871.
- [16] Cai X, Zhang B, Lyu J. Endogenous Transmission Mechanism and Spatial Effect of Forest Ecological Security in China [J]. *Forests*, 2021, 12 (4): 508.
- [17] Wolter P T, Olbrich J J, Johnson P J. Modeling sub-boreal forest canopy bulk density in Minnesota, USA, using synthetic aperture radar and optical satellite sensor data [J]. *Fire Ecology*, 2021, 17 (1): 26.
- [18] Pearson K. Note on regression and inheritance in the case of two parents [J]. *Proceedings of the Royal Society of London*, 1895, 58: 240-242.
- [19] Székely, Gábor J, Rizzo M L, et al. Measuring and Testing Dependence by Correlation of Distances [J]. *The Annals of Statistics*, 2007, 35: 2769-2794.
- [20] Cover T, Hart P. Nearest neighbor pattern classification [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1967, 13 (1): 21-27.
- [21] Cortes C, Vapnik V. Support-vector networks [J]. *Machine Learning*, 1995, 20 (3): 273-297.
- [22] Breiman L. Random Forests [J]. *Machine Learning*, 2001, 45 (1): 5-32.
- [23] Tang C, Ye Z, Long J, et al. Mapping forest and site quality of planted Chinese fir forest using sentinel images [J]. *Frontiers in plant science*, 2022, 13: 949598.
- [24] 郑冬梅, 夏朝宗, 王海宾, 等. 基于 SPOT-7 影像的马尾松生物量估测模型研究 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38 (9): 82-88.
- [25] Mura M, Botalico F, Giannetti F, et al. Exploiting the capabilities of the Sentinel-2 multi spectral instrument for predicting growing stock volume in forest ecosystems [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2018, 66: 126-134.
- [26] Pungpa S, Chumkiew S, Piyatadsananon P. Estimation of Aboveground Biomass and Carbon Stock Using Remote Sensing Data in Sakaerat Environmental Research Station, Thailand [J], 2023: 207-215.
- [27] Van Passel J, Keersmaecker W, Somers B. Monitoring Woody Cover Dynamics in Tropical Dry Forest Ecosystems Using Sentinel-2 Satellite Imagery [J]. *Remote Sensing*, 2020, 12: 1276.
- [28] Shiferaw H, Kassawmar T, Zeleke G. Above and belowground woody-biomass and carbon stock estimations at Kunzila watershed, Northwest Ethiopia [J]. *Trees, Forests and People*, 2022, 7: 100204.
- [29] 李德仁, 王长委, 胡月明, 等. 遥感技术估算森林生物量的研究进展 [J]. *武汉大学学报 (信息科学版)*, 2012, 37 (6): 631-635.

基于深度学习的林火烟雾识别系统设计

李梓铭¹, 石振威¹, 徐海文¹, 龙骏¹, 朱勇兵², 周国雄²

(1. 湖南森林草原防火监测调度评估中心, 湖南长沙 431007;

2. 中南林业科技大学, 湖南长沙 431018)

摘要: 通过构建林火烟雾数据集, 选取 Inception V3 模型, 基于参数的迁移学习方法构建林火烟雾图像训练模型, 经过训练测试后得到模型在测试数据集识别率达到 92%, 最后运用 Python 语言编程将训练后保存下来的模型文件应用到林火烟雾视频上, 对视频进行逐帧预测, 并将预测结果可视化注释在视频上, 达到视频监控的目的。将网络训练和视频监控分开, 通过软件编程实现应用模型文件监测林火烟雾视频, 较以往直接通过视频训练和预测的方法更方便快捷, 实际可操作性更强, 具有广泛的应用前景。

关键词: 林火烟雾识别系统; 深度学习; 卷积神经网络; Inception V3; Python

中图分类号: S757 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6075 (2023) 03-0036-05

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.009

Design of a Deep Learning-Based Smoking Recognition System for Forest Fires

LI Ziming¹, SHI Zhenwei¹, XU Haiwen¹, LONG Jun¹,
ZHU Yongbing², ZHOU Guoxiong²

(1. Hunan Forest and Grassland Fire Monitoring, Dispatch and Evaluation Center, Changsha 431007, Hunan, China;

2. Central South Forestry University of Science and Technology, Changsha 431018, Hunan, China)

Abstract: By constructing a forest fire smoke dataset, selecting the Inception V3 model, a forest fire smoke image training model based on the parameter migration learning method was obtained. A model that achieved a recognition rate of 92% in the test dataset. Finally, Python language programming is used to implement the application of the saved model file after training to the forest fire smoke video, and to predict the video frame by frame, and to annotate the prediction results visually on the video in order to achieve the purpose of video monitoring. It is more convenient and quicker than the previous method of training and prediction directly through video to separate the network training and video monitoring, and realize the application of model files to monitor the forest fire smoke video through software programming, which is more practicable and has a wide application prospect.

Key words: forest fire smoke recognition system; deep learning; convolutional neural network; Inception V3; python

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。近 5 年来, 全球范围内森林火

灾的频发, 对环境保护、社会经济发展、生态系统等产生不可逆转的负面影响^[1-2]。森林火灾的表现形式

* 收稿日期: 2023-08-02

作者简介: 李梓铭 (1989—), 男, 湖南郴州人, 博士研究生, 工程师, 主要从事森林火灾监测预警与灾后评估工作。E-mail: 502909023@qq.com。

与其他火灾不同,受复杂的地势结构影响,火灾情况会不断变化,森林火灾的燃烧呈现多层次的特点,一旦发生便很难控制,处置救助更为困难,造成的损害更严重。

目前,国内外针对森林火灾的监控大都处于人工巡逻和人工视频监控的阶段。人工巡逻具有时间和空间的局限性,对于夜间和地势危险的地段不能进行长时有效的监控;人工视频监控则受限于监控设备的监控范围和人工视觉疲劳等因素,而不能达到很好的监控效果。近年来,受益于人工智能的兴起,图像识别技术应用越来越广。图像识别技术是人工智能的一个重要领域,有着重要的应用价值和研究价值,例如,天气预报、环境监测、生理病变、地图与地形配准、自然资源分析、导航研究等^[3]。因此,基于视频图像的森林火灾烟雾视觉识别技术在林火烟雾识别监控方面有着无法比拟的优势。

为了满足对林火烟雾进行高效率识别的需求,研究人员使用多种图像识别算法对林火烟雾图像进行检测识别^[4-7]。袁雯雯等^[8]提出基于改进高斯混合模型(Gaussian Mixture Model, GMM)的林火烟雾识别算

法,但改进的高斯混合模型算法仍不能很好地识别出烟雾的全部形状。贾洁等^[9]人在支持向量机的基础上,使用一种以最小二乘支持向量机为基础识别算法,应用在烟雾监测视频上。

在实际环境中,林火烟雾的识别准确率容易受到天气、地势和光照等外界因素的影响,早期的林火烟雾识别利用火灾早期烟雾的形状、纹理、颜色和运动特性进行提取和识别^[10],但火灾烟雾的颜色和运动轨迹会因为光照和风力的影响而发生^[11-15]。这些外界条件在很大程度上限制了林火烟雾图像特征的有效提取,影响识别的准确率。烟雾蔓延的过程中,烟雾的纹理和形状特征也会不同,这在一定程度上加大了识别的难度,因此需要更好的识别算法来解决上述问题。卷积神经网络的发现来自仿生学,源自生物的视觉神经系统,能够进行表征学习,是主要针对二维形状的识别而设计的一种多层感知器^[16]。相较于普通的神经网络来说,它的网络结构更复杂,网络层更多且都是由多个独立神经元组成的二维平面^[17]。常用的卷积神经网络的结构如图1所示。

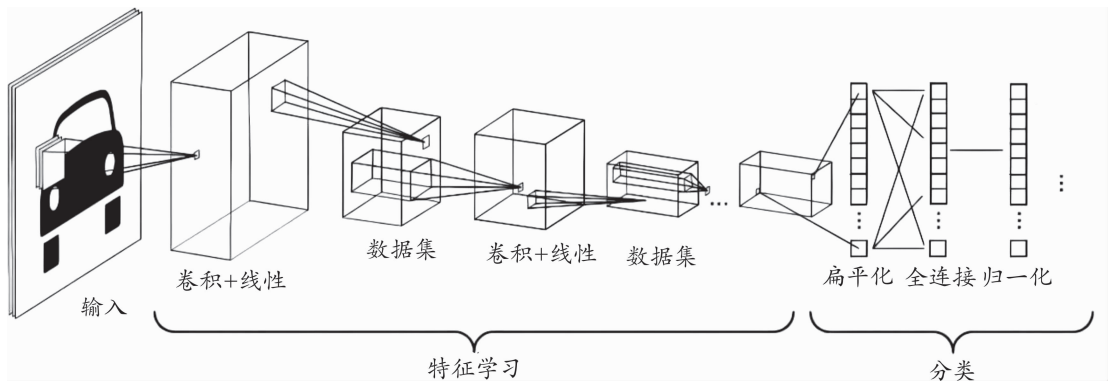


图1 卷积神经网络结构

本文针对不同环境、不同背景下、不同强度森林火灾的问题,分别对正常情况、着火前和着火进行研究。提出基于 Inception V3 网络的林火烟雾识别系统设计,利用卷积神经网络训练得到精确度较高的模型执行预测,以期将深度学习、卷积神经网络、帧差法视频图像与背景分割算法更好地应用于林火烟雾识别。

1 数据来源与研究方法

实验软件为 Windows 10 下的 TensorFlow 1.5.1 平台,硬件平台包括计算机处理器 Intel Core i5-10210 u、四核八线程、主频率 1.6 GHz、运行内存 8 GiB 等。

1.1 数据来源

本文使用的数据集包括 3 000 张图片,20 个视频,其中正常、开始着火、着火的图像样本各 1 000 张,图像大小任意,输入网络后归一化处理为 224×224 px。

1.2 研究方法

近年来,卷积神经网络快速发展,其在图像识别检测方面有着十分优秀的表现^[18-20]。本文基于卷积神经网络模型来检测图像或视频中的刚开始发生或已发生一段时间的森林火灾,将不同结构的数据类型放入卷积神经网络中进行处理,对深度学习模型实现了很好的计算支持^[21-24]。对于林火烟雾图像来说,卷积

核从数学角度看是一个权值矩阵(3×3或5×5),一般情况下,网络的性能是由卷积核大小来决定。在5×5的原图上选取一个3×3的区域,每次移动一格,那么输出就是3×3的矩阵。这个一格就是步长,原图经过卷积运算后,所得尺寸可利用公式(1)计算:

$$N_x^l = \frac{N_x^{l-1} - N_x^l}{S_x^l} + 1 \quad (1)$$

式中: x 为卷积核尺寸, l 为网络层数, S 为步长, N_x^l 为输出尺寸。

常见的卷积计算公式如式(2)所示:

$$x_j^l = f\left(\sum_{i \in M_j} x_i^{l-1} \times \text{Kernel}_{ij}^l + B^l\right) \quad (2)$$

式中: x_j^l 为输出特征图, l 为网络层数, $f(\dots)$ 为激活函数, M_j 为输入特征图, x_i^{l-1} 为被卷积核卷的特征图, j 为特征图数量, i 是指第 j 个特征图中的特征向量, Kernel 为卷积核, B^l 是偏置。

其中可以有不相同的特征图的卷积核,每一个卷积层都有唯一的偏移 B 。由式(2)可知,卷积层具有偏移不变的特性,是因为卷积层有一个重要作用,就是选择不同的前一层特征图的不同特征。

采用卷积神经网络对林火烟雾数据集进行训练。从正常、开始着火、着火三类数据图像中各随机抽取30张图像作为测试样本,在训练过程中发现网络对开始着火的图像不容易分类,因此增加了10张开始着火测试图像,最终得到100张测试集图像。训练步骤如下:

步骤一:将图像转化成png格式,并将输入图像统一设置为224×224 px大小;

步骤二:制作数据集;

步骤三:从基于Inception V3的模型中进行迁移学习,搭建适合本次实验的模型,迁移后模型不具有Inception V3模型的顶层,池化层更改为Sigmoid激活函数,最后的输出层使用softmax激活函数进行分类。

步骤四:对搭建后的模型进行重新训练,寻找适合本次实验的训练参数,最终得到最优的训练参数,如下表1所示。

表1 模型训练优化参数

训练参数	基础学习率 (base_lr)	学习率变化规律 (lr_policy)	最大迭代次数 (max_iteration)
最优值	0.01	Sigmoid	15 000

2 研究内容

2.1 数据集构建

1) 数据采集。本文基于林火烟雾识别任务,建立基于卷积神经网络的数据集。数据集采用TensorFlow深度学习工具的数据集建立方案,该数据集包含着火(fire),数量1 000;着火前(start_fire),数量1 000;正常(no_fire),数量1 000;测试视频,数量20;总计3 020。这些图像或视频的背景主要是森林或者类似森林的环境。标有“着火”的图像有可见的火焰,标有“着火前”的图像包含火灾起始前的烟雾,标有“正常”的图片是以森林为背景的正常环境下的图像。在收集到轮廓正常、图片清晰的数据后,为了减小卷积神经网络的过拟合,本文使用了Keras提供的数据增强功能,对图像进行扩充(旋转、平移、修剪和缩放),然后使用卷积神经网络训练。

2) 数据预处理。基于深度学习图像识别,在大量的数据集时,为了更突出效果,卷积神经网络可进行深度学习,是目前在“感知”问题上最好的模型之一;在数据集小的情况下,网络也能把特征学习得不错,但也很容易出现过拟合现象。为了在有限的训练数据基础上得到较好的识别效果,通过随机变换数据集,保留数据特征的同时扩大数据集,这样有效解决了过拟合现象,提高了模型的泛化能力。本文使用Keras中keras.preprocessing.image.ImageGenerator模块来实现数据的预处理,对图像进行旋转、平移、修剪和缩放来提升数据集。

3) 旋转。图像旋转,即将图像按照逆时针或者顺时针的方向随机旋转一定的角度。本文从图像的左上角开始沿着逆时针方向旋转90°进行处理。

4) 平移。图像平移,即将图片沿着垂直或者水平方向平移。本文将图片沿着水平方向平移。

5) 修剪。图像修剪,即将原有图像从某个坐标位置开始按照一定方向进行裁剪。本文从图像的左上角沿对角线向右下角方向进行裁剪。

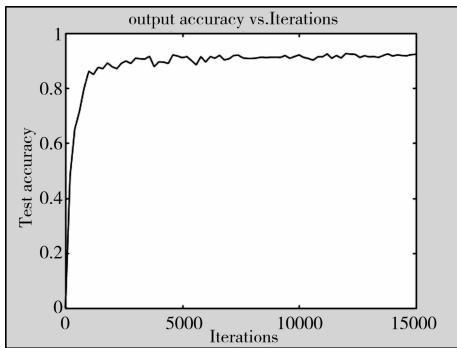
6) 缩放。图像缩放,即将原有的图像按照一定的缩放系数进行放大或者缩小处理。本文按0.5倍对图像进行小处理。

3 结果

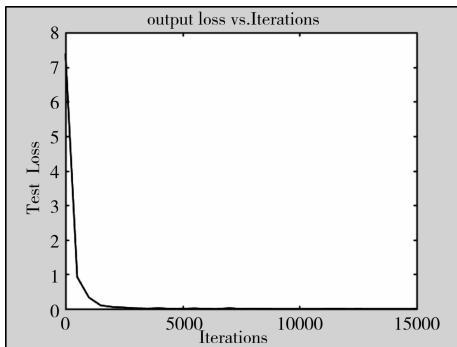
3.1 基于卷积神经网络模型分类结果与分析

卷积神经网络模型进行识别的训练结果如图2所

示。从图2(a)可知,在训练过程中,在迭代次数(Iterations)达到4 000次时,模型对林火烟雾图像识别的准确率(Test accuracy)达到0.92;迭代次数达到6 000次时准确率趋于稳定,该准确率能够满足在不同环境下应用的要求。从图2(b)中可以发现,在迭代次数达到3 000次时损失权重基本接近0;迭代次数达到6 000次时,损失权重曲线基本与X轴重合;迭代15 000次后终止训练。应用基于参数的迁移学习,对本次设计进行改进,在保证识别准确率的基础上,提高了网络的时效,增强了网络的可操作性。



(a) 训练识别准确率随迭代次数变化



(b) 训练损失权重随迭代次数变化

图2 卷积神经网络模型进行识别的训练结果

3.2 视频识别模块识别结果

对视频进行火灾检测,因为火灾的“静态”性质及其形态的缓慢发展,使后续的帧和前帧有些相似,若是对整个视频进行检测,既耗时又加重了检测设备的运行负担,在大规模的应用时这一问题更加明显。

为了提高视频的检测效率,降低设备的运行负担,本文不对视频的所有帧进行检测,而是运用Python语言编写了一个模块。该模块对输入的林火烟雾视频进行视频帧提取,并且应用上述优化后的训练模型对提取的视频帧进行预测,保存预测结果,然后将当前帧之前的视频帧的预测结果注释到当前帧上,

以此类推,完成对该视频的注释。该模块的输出是注释后的视频段,预测的结果为:无火时的视频帧预测结果为100%,着火时的视频帧预测结果为99.97%,着火前(烟雾)的视频帧预测结果为95.78%。

4 结论

视频背景的干扰原因使图像识别效率很难达到理想值,但卷积神经网络与传统图像识别方法相比,在图像识别和检测方面具有更强的提取能力,在识别率和时间效率上也有着明显的优势。

本文选取预测结果中的典型例子,能够反映出所有预测结果的特点。正常情况下的视频帧和着火时视频帧的预测结果相对较高,着火前(烟雾)的图像预测结果相对较低,经过研究后发现可能是因为本次收集的数据集中,着火前的烟雾图像和着火图像容易混淆。这是因为,通常森林火灾发生时,从着火前到着火这一期间的的时间间隔很短,在着火的同时会伴随着大量的烟雾,在训练过程中,这两类的预测结果由此被影响。因此,合并着火前和着火这两个阶段的数据集有助于提高森林火灾预测结果的准确率,降低重大森林火灾发生的概率,减少森林火灾造成的损失。

参考文献:

- [1] 徐海文,石振威.基于卫星影像AI判读林草火灾变化图斑实现方法[J].森林防火,2022,40(2):13-16.
- [2] 龙骏,谢杰,岳超,等.湖南省草原防火工作存在的问题与对策探讨[J].中南林业调查规划,2022,41(2):9-12.
- [3] 圣文顺,孙艳文.卷积神经网络在图像识别中的应用[J].软件工程,2019,22(2):13-16.
- [4] 祖鑫萍,李丹.基于无人机图像和改进YOLOv3-SPP算法的森林火灾烟雾识别方法[J].林业工程学报,2022,7(5):142-149.
- [5] YUAN F. A double mapping framework for extraction of shape-invariant features based on multi-scale partitions with AdaBoost for video smoke detection [J]. Pattern Recognition, 2012, 45(12): 4326-4336.
- [6] Kim K, Chalidabhongse T H, Harwood D, et al. Real-time foreground-background segmentation using codebook model [J]. Real-Time Imaging, 2004, 11(3): 172-185.
- [7] ZHANG Q, LIN G, ZHANG Y, et al. Wildland Forest Fire Smoke Detection Based on Faster R-CNN using Synthetic Smoke Images [J]. Procedia Engineering, 2018, 211: 441-446.
- [8] 袁雯雯,姜树海,史晨辉.基于改进GMM算法的林火烟雾识别研究[J].火灾科,2019,28(3):149-155.
- [9] 贾洁,王慧琴,胡燕,等.基于最小二乘支持向量机的火灾烟雾识别算法[J].计算机工程,2012,38(2):272-275.

- [10] 徐小军, 邵英, 郭尚芬. 边缘检测算子及其在火焰图像中的应用 [J]. 微计算机信息, 2008 (6): 313-314, 279.
- [11] 兰久强, 刘金清, 刘引, 等. 基于颜色和纹理特征的林火烟雾识别 [J]. 计算机系统应用, 2016, 25 (3): 101-106.
- [12] 周忠, 赵亚琴, 唐于维一, 等. 基于时空特征的林火视频烟雾区域提取 [J]. 中国农机化学报, 2016, 37 (2): 196-199.
- [13] 岳姣姣. 基于多特征融合的林火烟雾检测算法研究 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2016.
- [14] 丘启敏. 基于显著性的林火火焰识别 [D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
- [15] 周忠. 基于时空特征的林火视频烟雾识别 [D]. 南京: 南京林业大学, 2015.
- [16] 张飞. 基于卷积神经网络的林火识别 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- [17] 谢绍峰, 张贵, 肖化顺. 林火动态监测中3S技术的应用现状与展望 [J]. 中南林业调查规划, 2005 (4): 47-50.
- [18] GUO J M, Prasetyo H, SU H S. Image indexing using the color and bit pattern feature fusion [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2013, 24 (8): 220-225.
- [19] 李彦冬, 郝宗波, 等. 卷积神经网络研究综述 [J]. 计算机应用, 2016, 36 (9): 2508-2515, 2565.
- [20] 花如祥, 吴国新, 徐小力. 卷积神经网络在图像识别中的优化研究 [J]. 电子测量技术, 2018, 41 (24): 62-66.
- [21] 圣文顺, 孙艳文. 卷积神经网络在图像识别中的应用 [J]. 软件工程, 2019, 22 (2): 13-16.
- [22] 周飞燕, 金林鹏, 董军. 卷积神经网络研究综述 [J]. 计算机学报, 2017, 40 (6): 1229-1251.
- [23] 邢元军, 宋亚斌, 郭晓妮, 等. 基于B/S架构的营造林可视化管理与分析系统 [J]. 中南林业调查规划, 2023, 42 (2): 28-34.
- [24] 周飞燕, 金林鹏, 董军. 卷积神经网络研究综述 [J]. 计算机学报, 2017, 40 (6): 1229-1251.

(上接第9页)

猛虎下山、双龟望江、鸡公岩等, 神形兼备, 让人叹为观止; 又处于我国西南岩溶核心区域, 岩溶地貌特征典型, 溶洞分布广, 溶洞景观壮美。其中评分最高的古亭山景区内有溶洞11个, 洞内曲折迂回、钟乳遍布、形态各异, 俨然艺术宫殿, 是不可多得的旅游资源。森林公园内还可以观赏日出、晚霞和云雾等气象景观。此外, 森林公园内还有许多引人入胜的人文景观和美丽动人的故事传说。

3 结语

三门江国家森林公园是柳州市唯一的国家级森林公园。其森林面积大、覆盖率高, 集森林、地貌、水文与天象景观资源于一体, 生物多样性较丰富^[10], 旅游资源具有明显的不可替代性, 可打造成以休闲、观光、康养、运动和科普教育为主的生态旅游景区^[11-12]。喻芬芬等^[13]对广西12家大型国有林场森林旅游资源开发潜力进行评价, 结果表明三门江国家森林公园开发潜力为一级。本研究参照山岳型观赏旅游地评价模型中的评价因子权重, 对三门江国家森林公园的旅游资源及其开发条件进行综合评价, 结果表明, 森林公园旅游开发适宜性综合评价总评分值74.95分, 其中区位特性、区域条件和旅游资源分别占满分的19.5%、17.2%和63.3%; 37个景点旅游景观等级评价中, 一级、二级和三级景点的数量占比分别为10.81%、18.92%、70.27%。研究结果说明,

三门江国家森林公园旅游资源开发价值较高、区域条件好、区位优势显著, 具备旅游开发的良好条件。

参考文献:

- [1] 安冰, 王建军. 基于层次分析法的派阳山森林公园森林风景资源综合评价 [J]. 中南林业调查规划, 2022, 41 (2): 20-25.
- [2] 周健, 王东栋, 申凯歌. 广东森林公园规划建设新思路 [J]. 现代园艺, 2022, 45 (20): 76-78.
- [3] 叶平昊. 森林公园游憩区的生态修复: 以天柱山国家森林公园为例 [J]. 福建林业, 2022 (6): 26-28.
- [4] 张鹏升. 森林资源保护的措施与方法研究: 以本溪县为例 [J]. 乡村科技, 2017 (8): 1.
- [5] 杨璐璐. 仰天岗国家森林公园康复性景观综合评价研究 [J]. 森林工程, 2023, 39 (2): 63-71, 81.
- [6] 刘钊. 基于AHP法的太原城郊森林公园视觉景观质量评价 [J]. 中南林业科技大学学报, 2023, 43 (2): 188-200.
- [7] 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.
- [8] 曹颖. 丽水白云国家森林公园康养旅游发展研究 [D]. 广西: 广西师范大学, 2022.
- [9] 姚新涛. 基于多元因子量化评价的山地生态旅游规划理论研究: 以湘西地区为例 [D]. 天津: 天津大学, 2019.
- [10] 李丹阳. 广西柳州三门江国家森林公园生态敏感性评价与规划对策研究 [D]. 南京: 南京工业大学, 2018.
- [11] 何新涛. 三门江国家森林公园旅游产品开发研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018.
- [12] 曾秋艳. 三门江国家森林公园旅游产品定位及其市场开发策略 [J]. 现代园艺, 2017 (13): 40-41.
- [13] 喻芬芬, 杨波, 康志强. 广西国有林场森林旅游土地资源开发潜力评价研究 [J]. 现代园艺, 2021, 44 (17): 9-11.

基于 MaxEnt 模型预测砂生槐在西藏的潜在分布区

张晓晨¹, 宁小斌¹, 史伟¹, 刘宏伟²

- (1. 国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南长沙 410014;
2. 西藏自治区林业调查规划研究院, 西藏拉萨 850005)

摘要: 砂生槐具有极强的抗旱、耐瘠薄、防风固沙等生态适应性和水土保持功能, 是雅江流域干旱、半干旱河谷的主要建群灌丛植物, 也是防沙治沙与生态建设的先锋树种。使用 MaxEnt 生态位模型软件和 ArcGIS 软件预测砂生槐在西藏的潜在分布范围, 用 ROC 曲线检测预测精度, 用刀切法筛选主要环境变量, 通过主要环境变量的响应曲线分析适宜砂生槐的生态环境条件, 并在此基础上划分适宜栽培区。结果表明: 采用 MaxEnt 模型预测砂生槐潜在适宜分布区准确度极高, 预测模型的训练数据集和测试数据集的 AUC 值分别是 0.980 和 0.977; 采用 MaxEnt 模型预测的砂生槐适宜分布区涵盖西藏辖区内的那曲、拉萨、日喀则、山南、林芝 5 个地市, 高度适宜区集中分布在西藏雅鲁藏布江中游的山坡、河谷、沙滩, 主要涉及拉孜县、城关区、贡嘎县、扎囊县、乃东区、桑日县、朗县、隆子县 8 个县(区)的中部, 桑珠孜区、白朗县和江孜县 3 个县(区)的北部, 林周县的南部、达孜区的西北部等区域, 预测结果与现地调查结果高度契合; 降水因子和气温因子对砂生槐分布的影响很大。

关键词: 砂生槐; MaxEnt 模型; ArcGIS; 适生区; 环境因子; 西藏

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1003-6075 (2023) 03-0041-05

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.010

Prediction of Tibet's Potential Suitable Areas for *Sophora moorcroftiana* Based on MaxEnt Model

ZHANG Xiaochen¹, NING Xiaobin¹, SHI Wei¹, LIU Hongwei²

- (1. Central South Academy of Inventory and Planning of NFGA, Changsha 410014, Hunan, China;
2. Forestry Inventory and Planning Institute of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850005, Tibet, China)

Abstract: *Sophora moorcroftiana* has strong ecological adaptability and soil and water conservation functions such as drought resistance, barren tolerance, wind and sand fixation. It is the main group - building shrub plant in arid and semi - arid valleys of the Yajiang River Basin, and also a pioneer tree species for sand prevention and ecological construction. In this study, MaxEnt niche model software and ArcGIS software were used to predict the potential distribution range of *Sophora moorcroftiana* in Tibet. ROC curve was used to test the prediction accuracy, the main environmental variables were screened by knife cutting method, and the ecological and environmental conditions suitable for *Sophora moorcroftiana* were analyzed by the response curve of the main environmental variables. Then the suitable cultivation regions were divided based on it. The results show that it has an extremely degree of accuracy to use MaxEnt to predict the potential suitable distribution range of *Sophora moorcroftiana*, the AUC values of training data set and test data set of the established

* 收稿日期: 2022-04-11

基金项目: 2022 年国家重点研发计划 (2022YFF1300700); 国家林业和草原局重点研发项目“石漠化综合治理模式推荐辅助决策系统开发”(GLM [2021] 105 号)。

作者简介: 张晓晨, 女, 山东潍坊人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事植物分类、植物多样性调查、石漠化荒漠化调查及防治等工作。
E-mail: 1510566354@qq.com。

prediction model are 0.980 and 0.977 respectively; the suitable distribution areas of *Sophora psammophila* in Tibet obtained from this prediction include Naqu, Lhasa, Shigatse, Shannan and Linzhi within the jurisdiction of Tibet, and the highly suitable areas are mainly concentrated in the middle of the the Yarlung Zangbo River, in the Lazi County, Chengguan District, Gongga, Zhayang, Naidong, Sangri, Lang County and Longzi County, in the north of Sangzhu District, Bailang County and Gyantse County, and the slopes, valleys, and beaches in the south of Linzhou County and in the northwest and other areas of Dazi County, and the predicted results are highly consistent with the current survey results; the distribution of *Sophora moorcroftiana* is affected greatly by factors such as precipitation and temperature.

Key words: *Sophora moorcroftiana*; MaxEnt model; ArcGIS; suitable habitat; environmental factors; Tibet

砂生槐 [*Sophora moorcroftiana* (Benth.) Baker], 又称狼牙刺, 藏名为“吉瓦”“刺麻”, 为双子叶植物纲, 豆科槐属多年生灌木, 是典型的深根系树种, 主根穿透力极强, 是很好的固沙植物。砂生槐主要分布在我国海拔 2 800 ~ 4 400 m 的西藏雅鲁藏布江中上游的山坡、河谷、沙滩^[1-3]。西藏砂生槐资源储量较大, 为当地老百姓薪火植物; 砂生槐的种子含有丰富的营养成分, 是西藏地区居民植物蛋白的重要来源; 砂生槐生物碱是紧缺的医药中间体, 其主要成分是苦参碱、氧化苦参碱, 具有消炎、抗病毒、杀虫等作用^[4]。

环境是决定物种分布的最主要因素, 并且物种分布格局的变化对环境因素的变化最为敏感^[5]。气候因子与植物种地理分布的相互关系、植物种空间分布格局的模拟和预测, 一直是植物生态学和地理学的研究热点。最大熵 (MaxEnt) 模型是利用已知的物种分布信息来预测物种适宜分布的区域, 可较多地留存该物种已知分布区域的相关环境数据, 当物种分布信息较为缺乏时, 也能取得较好的预测效果。MaxEnt 模型是目前预测精度最高、应用最广的模型^[6-10]。本研究使用 2020 年砂生槐植物资源专项调查的分布点位置信息, 数据来源可靠; 使用 MaxEnt 生态位模型软件和 ArcGIS 软件, 预测砂生槐在西藏的潜在分布范围, 预测结果的准确性高。

1 数据来源和研究方法

1.1 砂生槐植物数据来源

数据来源于 2020 年砂生槐植物资源专项调查。提取 2019 年森林资源管理“一张图”、2014 年森林资源规划设计调查 (简称“二类调查”) 和第五次全国荒漠化和沙化土地监测数据中的砂生槐小班, 对照 2020 年度遥感影像数据检查小班与最新遥感影像吻合程度, 对提取的小班进行修正或补充。以县为单

位, 综合区划和判读结果, 统筹考虑调查区的地形、交通条件、调查工组人员配置、工作量和后勤保障, 进而规划外业调查线路开展实地调查, 对前期判读小班界线和属性因子进行验证。同时, 修正和细化前期区划砂生槐植物小班, 形成 2020 年砂生槐植物资源专项调查矢量数据库。每一个小班的中心点为一个砂生槐植物分布点, 共搜集到 8 417 个物种分布点。为降低群集效应造成的偏差, 根据气候精度, 在每个 $2.5' \times 2.5'$ 网格处只保留中心的 1 个分布点, 共搜集到砂生槐分布信息 368 条。依据 368 条砂生槐现状分布信息, 分析得到砂生槐分布点的范围主要集中在西藏雅鲁藏布江中游海拔 2 800 ~ 4 400 m 干流及其支流的山坡、河谷、沙滩, 涉及 5 个地市 32 个县 (区)。

1.2 环境数据来源

本研究的环境变量数据来自世界气候数据库 (WorldClim, <http://www.worldclim.org>)。当前气候数据来源于 1950—2000 年世界各地气象站的气象观测记录 (空间分辨率为 $2.5'$), 未来气候数据采用全球大气环流谱模式 CCSM4 模型, 参考张殷波^[11]的方法, 选择 21 世纪 50 年代和 70 年代两个时期下的三种温室气体排放情景, 分别是低排放情景 (认为排放温室气体至 21 世纪末产生的辐射强迫为 2.6 W/m^2 , RCP2.6, 以下类同)、中排放情景 (RCP4.5) 和高排放情景 (RCP8.5)。各个时期的原始数据包含 19 个生物气候变量, 这些变量能够很好地解释植物在生长繁殖过程中对环境的耐受力。

1.3 环境变量筛选

首先采用 MaxEnt 模型中刀切法 (Jackknife) 对气候变量的重要性进行测试, 去除贡献率为 0 的气候变量; 然后用 DIVA - GIS 软件提取有效分布点的现代气候变量数值, 对其进行皮尔逊相关系数 (Pearson correlation coefficient) 分析, 检验环境变量之间的多重共线性; 接着再在相关性高 ($r > 0.8$) 的

一组气候变量中选取与物种分布关联紧密的变量用于模型预测;最后以本文研究区的地理范围为底图,在ArcGIS 10.2软件中对筛选出的环境变量图层进行裁剪,转换为MaxEnt软件可用的ASC II格式^[12]。

1.4 环境变量的重要性评估

采用刀切法、环境变量的贡献率和置换重要值的比较,检验评估制约砂生槐现代分布的主要环境因子,分析环境变量与砂生槐潜在地理分布的关系。贡献率取决于模型的特定算法,如果两个变量之间高度相关,可能会导致分析结果难以归因;置换重要值仅由最终结果决定,与算法无关;刀切法检验则是通过每次选用某个变量或每次排除某个变量构建不同模型,分析由此导致正则化训练增益、测试增益、AUC值的变化来评价环境变量的重要性^[13]。

1.5 MaxEnt 预测模型构建

采用MaxEnt v3.4.1软件模拟砂生槐在不同时期的潜在分布区。为使数据得到充分利用,选用交叉验证法(cross-validation)对有效分布点样本数据进行分析^[14]。栅格数值以逻辑值形式表示生存概率,将ASC II格式数据转换为栅格数据,每个栅格的数值表示砂生槐在该区域的生存概率。将某一点生存概率的逻辑值与研究区域内最高的逻辑值的比值作为砂生槐在该点的适生概率,采用平均间隔法将适宜度分为5级,分别为高度适宜区(占最高逻辑值的80%~100%,下同)、中度适宜区(60%~79%)、一般适宜区(40%~59%)、低度适宜区(20%~39%)、不适宜区(0~19%)。统计各级栅格数量,计算各适宜区的面积。同时,结合现代分布记录,将高度适宜区、中度适宜区和一般适宜区的总和定为总适生区^[15]。

本研究使用受试者工作特征(Receiver Operator Characteristic, ROC)曲线对模型的准确性进行评价。该曲线以1-特异度(1-specificity)为横坐标,以真阳性率,即灵敏度(sensitivity)为纵坐标。AUC(Area Under Curve)值,即ROC曲线下的面积,可用于不同模型的比较。AUC值因不受判断阈值的影响,故成为目前公认的诊断试验最佳评价指标^[16]。

2 结果

2.1 MaxEnt 模型精度

使用ROC曲线对MaxEnt模型预测效果进行评价,AUC值范围为0~1,值越大表示模型精度越高。模型精度的衡量标准为:[0,0.7)表示精度低,[0.7,

0.8)表示精度一般;[0.8,0.9)表示精度较准确;[0.9~1.0]表示精度极精确^[16]。本次模型预测效果的训练数据集(training data)和测试数据集(test data)的AUC值分别是0.980和0.977,表明MaxEnt模型对砂生槐潜在适生分布区模拟具有很高的可信度。MaxEnt模型中ROC预测结果详见图1。

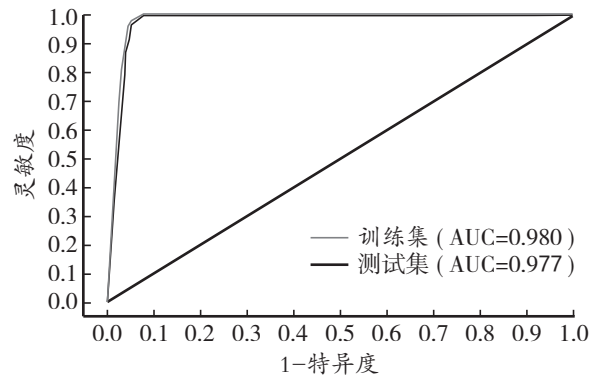


图1 MaxEnt模型中ROC预测结果

2.2 砂生槐适生分布区预测

通过DIVA-GIS软件对368个分布点的逻辑值进行提取,结果显示:最高值为0.67,某一点的适生概率即为该点的逻辑值与该最高逻辑值的比值。经统计,砂生槐潜在适生分布区中的高度适宜区、中度适宜区、一般适宜区和低度适宜区的分布面积占总分布区面积的比例分别为8.30%、12.73%、22.18%、56.79%。

砂生槐适宜分布区涵盖西藏辖区内的那曲、拉萨、日喀则、山南、林芝5个地市。高度适宜区集中分布在西藏雅鲁藏布江中游的山坡、河谷、沙滩区域,主要涉及拉孜县、城关区、贡嘎县、扎囊县、乃东区、桑日县、朗县、隆子县的中部,桑珠孜区、白朗县和江孜县的北部,林周县南部、达孜区的西北部。

2.3 砂生槐分布与环境变量的关系

2.3.1 MaxEnt模型中主要环境变量的贡献率

MaxEnt模型中的刀切法对19个气候变量的重要性测试结果显示,bio1(平均温)、bio5(极端最高温)、bio8(最湿季均温)、bio9(最干季均温)、bio11(最冷季均温)、bio12(年降雨量)、bio13(最湿月降雨量)、bio14(最干月降雨量)、bio16(最湿季降雨量)的贡献率为0,直接去除。再利用DIVA-GIS软件提取368条有效分布点的现代气候变量数值,对相关性高的气候变量仅保留一个用于模型预测,共得到8个环境变量,其贡献率及置换重要值见表1。

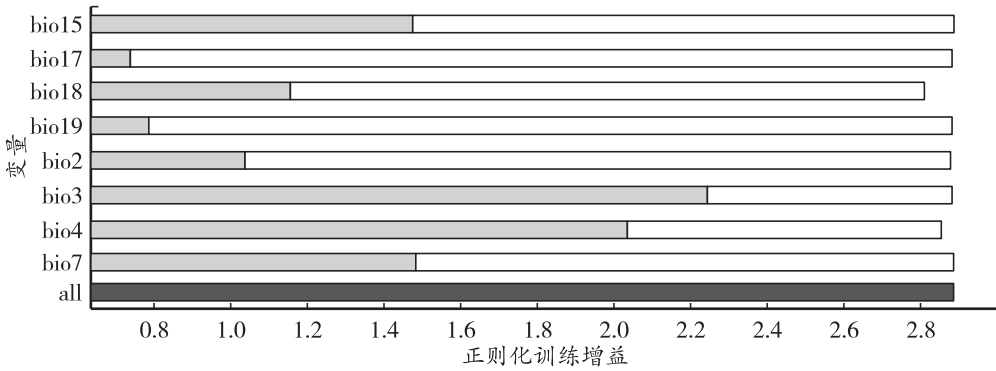
表1 环境变量及其贡献率

名称	环境变量	贡献率/%	置换重要值/%
bio2	平均日温差	0.10	3.96
bio3	等温性	53.70	5.37
bio4	温度季节变化方差	14.84	69.72
bio7	温度年较差	0.14	1.64
bio15	季节降雨变异系数	5.86	0.98
bio17	最干季降雨量	6.01	1.62
bio18	最暖季降雨量	13.57	10.61
bio19	最冷季降雨量	5.78	6.10

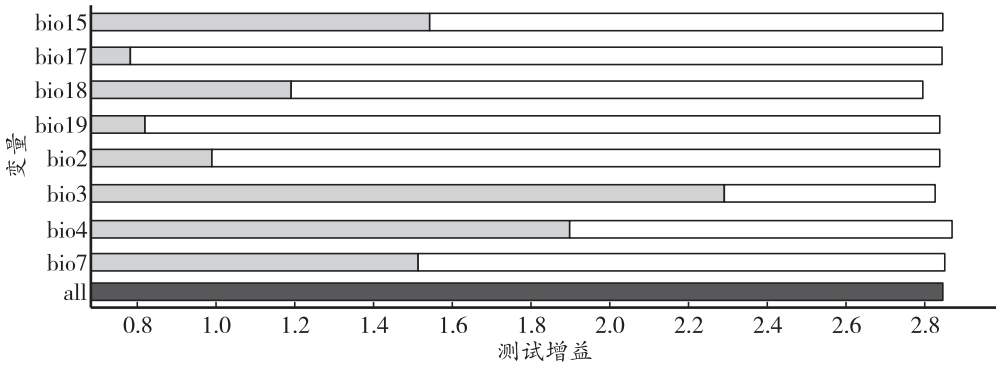
由表1可知，贡献率排前三位的变量分别为等温性、温度季节变化方差、最暖季降雨量，其累积值为82.11%；置换重要值排前三位的变量分别为温度季节变化方差、最暖季降雨量、最冷季降雨量，累积值为86.43%。

2.3.2 主要环境变量对砂生槐分布的影响

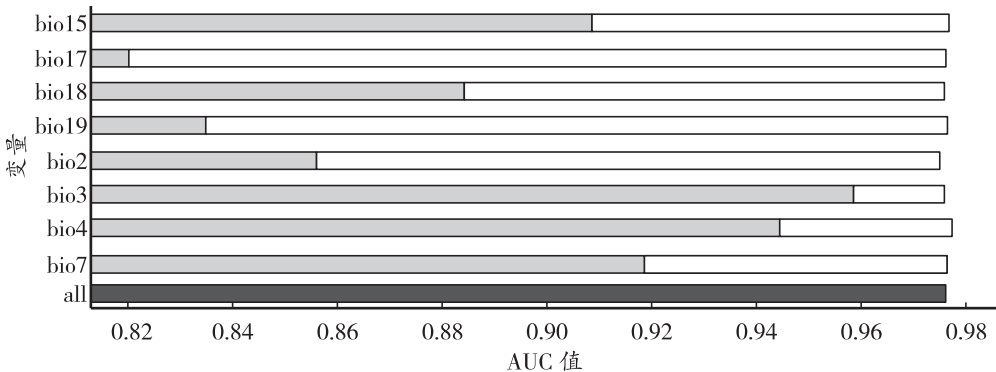
刀切法检测环境变量对于砂生槐分布增益的贡献，结果见图2。仅使用单独变量时，正则化训练增益、测试增益和AUC值最高的2个变量依次是bio3、bio4，表明这2个变量与其他变量相比包含更多的有



(a) 正则化训练增益



(b) 测试增益



(c) AUC值

图2 环境变量重要性的 Jackknife 检验

注：灰色、白色、黑色条形图分别表示使用单独变量、除此变量外的所有变量的其他变量、所有变量用于模型预测。

效信息;使用除此变量外的其他变量时,正则化训练增益、测试增益、AUC值最高的3个变量依次是bio17、bio19、bio2,表明环境变量包含更多其他变量所不具有的信息。

3 结语

本研究中砂生槐分布点位置信息源于2020年砂生槐植物资源专项调查数据。为降低群集效应造成的偏差,根据气候精度,在每个 $2.5' \times 2.5'$ 网格处仅保留中心1个分布点,共搜集到中心点砂生槐分布信息368条,充分保证了研究数据来源的可靠性。模拟的ROC曲线检验,AUC值 $0.980 > 0.9$,表明预测准确度极高,结果具有可信度。在较大尺度上,气候极端值和变动幅度与物种潜在适生区的分布格局密切相关。李焱等^[17]采用Jackknife检验法评估制约小叶栎(*Quercus chenii*)现代地理分布的主要气候因子,表明气温和降水量为影响其地理分布的主要因子。车乐等^[18]利用MaxEnt模型,预测太白米的潜在分布并评价其适宜性,结果显示影响太白米分布的主要环境因素有年均降水量、海拔、1月最低温、1月降水量、土壤pH值等。本研究MaxEnt模型运行结果表明,气温和降水因子共同限制砂生槐潜在地理分布。其中,bio3(等温性)贡献率为53.70%,是影响砂生槐地理分布的最重要气候因子。

MaxEnt模型是根据物种现实分布点和物种分布区域的环境变量,运算得出目标物种在预测地区的可能分布情况。本研究MaxEnt模型预测显示砂生槐适宜分布区涵盖西藏的那曲、拉萨、日喀则、山南、林芝等地市,高度适宜区主要集中在西藏雅鲁藏布江中游的山坡、河谷、沙滩,主要涉及拉孜县、城关区、贡嘎县、扎囊县、乃东区、桑日县、朗县县、隆子县8个县(区)的中部,桑珠孜区、白朗县和江孜县3个县(区)的北部,林周县南部、达孜区的西北部等区域。这与砂生槐植物主要分布于西藏“一江两河”流域的现地调查结果高度契合,进一步验证了预测的准确性。

综上所述,本研究通过Maxent生态位模型结合环境变量进行分析,较准确地掌握了西藏自治区砂生槐资源分布情况,补充了无法到达的区域内的调查空缺。同时探明砂生槐对相关环境变量的响应特点,为合理评估砂生槐保护成效及开发利用可行性提供基础数据,并为下一步推进“两江四河”流域造林绿化、

荒漠化治理、草原生态修复等重大生态工程建设,培育壮大西藏绿色产品品牌,推进生态产业化、产业生态化提供科学依据。

参考文献:

- [1] 李玉祥. 西藏砂生槐的生物学特性及综合利用[J]. 自然资源, 1993(5): 75-79.
- [2] 宋国英, 边巴卓玛, 高雪, 等. 不同存储年限砂生槐种子萌发特性[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2021, 36(3): 113-116.
- [3] 柳文杰, 李紫帅, 幸福梅. 不同基质对砂生槐幼苗生长及根系形态的影响[J]. 西南农业学报, 2021, 34(8): 1668-1674.
- [4] 胡春晖, 张发斌, 丁李, 等. 高效液相色谱法测定藏药砂生槐子中4种生物碱含量[J]. 药物分析杂志, 2015, 35(3): 430-434.
- [5] 李尤, 唐雪海, 王雷宏, 等. 基于MaxEnt模型的不同气候情景下白蜡树中国适生区预测[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(6): 100-107.
- [6] 帕尔曼·帕哈尔丁, 楚光明, 常亚玲, 等. 基于最大熵(MaxEnt)模型对西北地区2种红砂属植物潜在适宜区预测分析[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(4): 18-25.
- [7] ZHAO Y, DENG X, XIANG W, et al. Predicting potential suitable habitats of Chinese fir under current and future climatic scenarios based on Maxent model[J]. Ecological Informatics, 2021, 64(15): 101393.
- [8] ZHANG Y, TANG J, REN G, et al. Global potential distribution prediction of *Xanthium italicum* based on Maxent model[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 16545.
- [9] 王露露, 伊力哈木·亚尔买买提. 基于MaxEnt模型的中国特有灌木物种白刺花的潜在适生区预测[J]. 生态学杂志, 2021, 40(10): 3114-3124.
- [10] 张晓晨, 杨均科, 彭玺等. 宝华山种子植物区系特征及动态预测[J]. 中南林业调查规划, 2022, 41(1): 43-50.
- [11] 张殷波, 刘彦岚, 张晓龙, 等. 气候变化对文冠果适宜生境及空间迁移的影响[J]. 中国环境科学, 2020, 40(10): 4597-4606.
- [12] Rubén G, Bacigalupo A, Francisco P, et al. Potential impact of climate change on the geographical distribution of two wild vectors of Chagas disease in Chile: *Mepraia spinolai* and *Mepraia gajardoi*[J]. Parasites & vectors, 2019, 12(1): 478.
- [13] 魏影, 武红旗, 张文太, 等. 玛纳斯县黏土实测数据与历史数据的比较差异性分析[J]. 山东农业科学, 2018, 50(5): 92-97.
- [14] 刘攀峰, 王璐, 杜庆鑫, 等. 杜仲在我国的潜在适生区估计及其生态特征分析[J]. 生态学报, 2020, 40(16): 5674-5684.

(下转第50页)

基于 ArcGIS 编制云南省 1 : 100 万森林分布图的实践

陈春祥, 李元杰, 王海波, 杨晓松

(云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要: 以编制云南省 1 : 100 万森林分布图实践为例, 针对编制全省森林分布图过程中存在整理规范数据工作量大、图斑属性因子复杂、基础地理信息数据量多、森林专题要素汇总概括工作不易、制图时界线出现“双眼皮”现象等困难, 提出了解决困难的技术路线、方法、步骤和过程。

关键词: 森林资源规划设计调查; 森林分布图; ArcGIS; 云南

中图分类号: S757.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-6075 (2023) 03-0046-05

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.011

Practice of Compiling 1 : 1 Million Forest Distribution Map of Yunnan Province Based on ArcGIS

CHEN Chunxiang, LI Yuanjie, WANG Haiibo, YANG Xiaosong

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

Abstract: In the process of drawing up the forest distribution map of the whole province, there are many difficulties, such as the large amount of work to arrange and standardize the data, the complex attribute factors of the sub-compartment, the large amount of basic geographic information data, the difficult work of summing up and summarizing the forest thematic elements, and the phenomenon of “double eyelids” appeared at the boundary of thematic maps. Taking the practice of drawing up 1 : 1 million forest distribution map in Yunnan Province as an example, this paper puts forward the technical route, method, step and process of solving the difficulties.

Key words: forest resources planning and design investigation; forest distribution map; ArcGIS; Yunnan

森林资源分布图系林业最基本的大型专题地图, 也是森林资源二类调查的重要成果之一^[1]。云南省于 2014 年 9 月—2016 年 12 月完成全省第四次森林资源规划设计调查 (以下简称“二类调查”)^[2]。采用 GIS 技术将二类调查结果形成的数字化成果编制全省森林资源分布图。

采用传统林业专题图制图方法生产周期长、劳动强度大、功能差、受人为因素影响大、难以控制制图

综合标准, 在一定程度上影响了成图质量, 而且成果图保存与查询也有诸多不便^[3-4]。随着计算机技术和 GIS 技术的成熟, 在林业科研、生产和林业建设实践中, 基于 GIS 软件 (如 ArcGIS) 开展专题图制作已逐渐取代传统林业专题图制作方法。已有较多研究谈到将 ArcGIS 应用在小区域的二类调查成果的制作、林地资源管理系统的设计、林权制度改革、公益林管理、古树名木地理分布图制作、森林资源数据年度更

* 收稿日期: 2022-08-18

作者简介: 陈春祥 (1975—), 男, 云南弥渡人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事林业调查规划及林业信息化建设工作。E-mail: 261568164@qq.com。

通信作者: 李元杰 (1986—), 男, 云南嵩明人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事林业调查规划和林业信息化建设工作。E-mail: 58745831@qq.com。

新、天然林保护专题图批量生成等^[5-11],但作者发现,基于 ArcGIS 制作大区域森林资源分布图(如全省森林分布图)的文献较少。在此背景下,本文结合编制云南省森林分布图的工作实践,对编制工作中的难点、关键技术和重要环节进行了阐述。

1 编制全省森林分布图存在的主要困难

基于云南省第四次森林资源二类调查县级成果编制的小比例尺全省森林分布图,会面临着许多在制作大比例尺森林分布图(如县级森林分布图)工作中碰不到的困难和挑战。

1.1 规范数据工作量大

云南省森林资源二类调查成果数据中,在坐标系方面,大部分数据坐标系采用了 6 度带高斯-克吕格投影,有少部分成果采用 3 度带高斯-克吕格投影,还有极少部分成果未定义坐标系;在数据格式方面,有的数据为地理数据库格式,有的数据为 shp 格式。在开展全省数据汇总前,须对收集的数据认真检查并统一数据格式,对没有坐标信息的数据须准确定义坐标系,但因数据种类多、数据量大,数据的规范整理工作耗时长,且云南省横跨 2 个标准 6 度带,不同数据坐标起点不同,规范数据工作量大。这就要求专业技术人员熟练掌握 GIS 软件和有一定的专业背景,才能实现对各成果数据的无缝拼接。

1.2 图斑属性因子复杂

据统计,云南省 129 个县(市、区,简称“县”,下同)共区划小班 417.5 万个,平均每个县区划小班 3.24 万个。每个小班有 40 余项属性因子。制作全省森林分布图时,虽然确定林相填色类型时只涉及其中几项属性因子,但因数据量大,林相填色类型计算需要耗费较长时间,如果设计的技术方案操作流程不合理,会增加工作难度,直接延长成果图制作周期。

1.3 基础地理信息数据量多

在二类调查工作中,各县采集的基础地理信息数据内容和细节较详尽,制作全省小比例尺森林资源分布图时,需要对各类基础地理信息数据进行大量删减,以保留主要的、具有控制作用和代表性强的部分要素。要素取舍是个挑战,对取舍结果的简化需要积累丰富经验。

1.4 森林专题要素汇总概括工作不易

比例尺对制图综合的影响非常明显,当比例尺变

小后,同一个制图区域在图上的面积随之缩小,图面上所能承载的地物信息量也相应减少。县级森林资源二类调查成果为大比例尺空间数据,全省森林分布图为小比例尺空间数据,编制过程中,因比例尺大幅缩小,需要对原始二类调查小班空间数据进行制图综合,全省数据量较大,综合起来难度大、困难多。

1.5 制图时界线出现“双眼皮”现象

制作的全省森林分布图不仅要满足图面美观的基本要求,各级界线还要参照《林业地图图式》^[12]图例规范绘制。各级界线提取需要统筹考虑,如果处理不好,结果就会出现制图界线与小班综合结果图斑边界不重叠,出现“双眼皮”现象。

2 编制实践

2.1 数据来源

编制云南省森林分布图的数据来源于云南省第四次森林资源二类调查县级成果。该成果包括基础地理信息,如水系(河流、湖泊)、山峰、道路、居民点等数据,以及各级林业经营界线、小班空间数据及属性因子、县级森林分布图、乡镇林相图等。

2.2 技术路线

全省森林资源分布图属综合程度非常大的林业专题图。编制工作中,因收集的数据信息详细,比例尺较大,且以县为单位独立存储,为了保持最终成果图的美观和易读,须对收集的各种数据进行结构规范和格式统一。按设定的标准进行处理,形成全省拼接数据,实施制图综合,生成与图面承载力匹配的要素,要避免图面上出现过多的居民地、道路、河流以及图斑信息情况。因此,云南省森林分布图除表达森林状况外,还要表达省、市(州,简称“市”,下同)、县三级行政界线,省、市、县、乡(镇、街道办,简称“乡镇”,下同)四级行政中心驻地,云南六大水系主干流、大支流,以及包含云南九大高原湖泊在内的较大面积湖泊,国道、省道等主要交通主干线。围绕这一目标要求,制定技术路线图,详见图 1。

2.3 难点解析

2.3.1 统一坐标系

本次二类调查要求各县采用西安 80 坐标系,高斯-克吕格投影,但因收集的部分数据没有定义坐标系或者坐标系定义不正确,需使用 ArcGIS 投影定义 Define Projection 功能,对收集的各数据进行坐标系检查或正确定义。

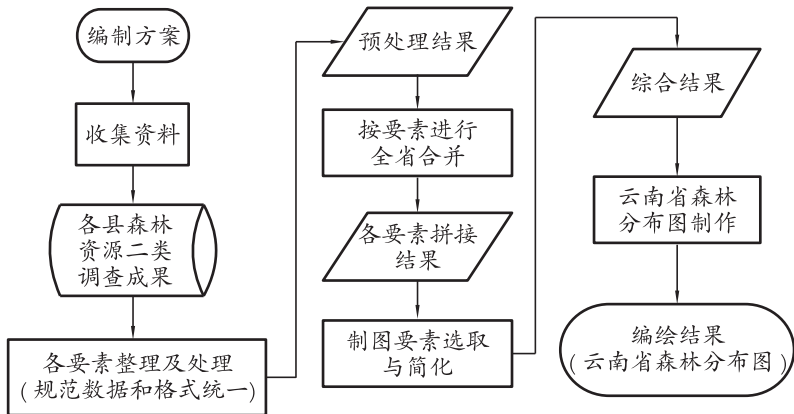


图1 技术路线

按标准6度带,云南处于第17、18带(对应中央子午线 99° 、 105°),且在两带上的面积基本相当。为减小投影产生的变形,全省森林分布图采用的地图数学基础为:6度带,高斯-克吕格投影,西安80坐标系,中央子午线 102° 。根据这一数学基础,采用ArcGIS软件的目录管理器(Catalog)功能,创建文件地理数据库,并分别创建水系、交通、居民点、山峰、二类调查小班等要素数据集。

2.3.2 要素拼接

在确保各要素坐标系正确的前提下,将整理规范化的各类要素导入相应数据集,构建起全省森林分布图地理数据库。ArcGIS软件能自动完成要素重投影。当把导入的要素加载进View视图时,还可以检查各要素位置的正确性。以完成全省居民点要素拼接为例,详细说明操作步骤:首先,可采取在“居民点”数据集上点击右键,选择“Feature Class to Geodatabase (multiple)”,依次将各县居民点数据导入。其次,当正确导入各县居民点要素到“居民点”数据集后,在ArcMap桌面系统“地理处理”菜单中,使用图层合并(Merge)功能,完成全省“居民点”数据拼接。水系、交通、二类调查小班等各要素的合并操作方法与居民点拼接方法相同。

拼接工作中,需要重点对水系、交通网作贯通性检查,不能出现河流、道路突然在县与县接边处无故成了“断头”情况,要确保拼接结果与现实情况相符。同时,为方便对拼接结果进行编辑,要对拼接的线、面要素进行拓扑处理。如对“水系_line”进行拓扑处理,其方法为在“水系_line”要素上点击右键,选择新建“Topology”,根据对话框,使用默认参

数往下执行即可。

2.3.3 要素提取

2.3.3.1 提取基础地理信息制图要素

1) 点状要素提取。点状要素主要是居民点、山峰,提取时可根据级别、重要性和疏密程度综合选取。其中,居民点的级别可通过属性字段ID值筛选后提取。收集的数据中,ID值对应市级(20)、县级(30)、乡镇级(40)、行政村级(50)、自然村(60)五个级别。根据预先设计的技术方案,全省森林分布图上只标注乡镇级及以上居民点,具体操作可通过在属性选择对话框中输入“ID” ≤ 40 ,然后将选择结果要素导出即可。山峰通过手工选择方式提取,提取原则为每个市选取1~3个海拔高且有控制作用的山峰点。

2) 线状要素提取。线状要素主要包括线状的水系和交通网。

①水系。首先,将云南省水系进行分级,并在相应的属性中进行标识。分级方法为:云南的六大水系的主干作为一级干流,一般干流上较大的支流作为二级干流,一级干流上较小的支流、二级干流上的大支流作为三级干流,剩余的部分作为支流(此分级方法为编制工作中积累的经验,与水利部门的分级原则可能不一致)。其次,根据属性提取需要的水系。最终提取出来的水系要构成“树”形网状,一级干流好比树根,二级干流好比主干,三级干流好比树尖或分支,支流好比树的所有末梢。编制工作中,水系属性设定了“ID”“等级”“水系”3个字段。“ID”分别用“2100”“2200”“2300”“2400”标识,对应河流的径流量大小及上图时线条粗细情况说明分别为“大、粗”“较大、较粗”“中、稍粗”“小、细”。

“等级”标识河流的分级情况,分别用“1”“2”“3”“4”标识,对应等级为“一级干流”“二级干流”“三级干流”“支流”。“水系”指云南境内的“金沙江”“怒江”“澜沧江”“红河”“南盘江”“依洛瓦底江”六大流域。

提取河流时,通过组合“ID”及“等级”,可以快速提取制作全省森林分布图需要的水系(线状)要素。组合“ID”及“等级”,必须保证一级干流、二级干流全部保留;保留径流量较大的三级干流;径流量小的支流则不选取。提取出来的河流,要做到水系分布符合现实情况,能够正确反映水系的类型、形状和分布特征,各干流衔接合理,整个水系完整贯通(存在地下河的除外)。

②交通网。首先,对拼接的交通网和属性进行检查,确保整个交通网能够连通、属性正确;其次,根据编制要求,通过属性筛选,提取国(省)道、高等级道路和铁路。编制工作中,交通要素属性字段采用了“道路种类”和“ID”两项,其中,“道路种类”具体有“国省道”“铁路”“高等级公路”“乡村道”4类,对应的“ID”值分别设定为1 000、1 100、1 200、1 300。提取时,在属性筛选对话框中,输入条件"D"<1 300(根据设计方案,乡村道不上图),即可快速提取制作全省森林分布图需要的交通网要素。

提取出来的线状水系、交通网,数据量上有大幅度减少,在全省森林分布图上起到了“骨架”作用,但其形状仍为大比例尺下采集的形状,细节丰富。制作全省森林分布图时,“骨架”要素会因为比例尺缩小而产生褶皱,因此,需通过 ArcGIS 软件制图综合功能的线型简化工具(System ArcToolbox → Data Management → Generalization → Smooth Line)进行平滑处理。值得注意的是,平滑处理后,原本不重合的不同等级(对应不同 ID 值)线状要素会出现重合、交叉、分离情况,因此,须对平滑结果进行拓扑。拓扑后,一方面重合的线要素只保留了 ID 值最小(即级别最高)的,另一方面也方便编辑去除不合理的“断头”等问题。

3) 面状要素提取。面状基础地理信息要素主要包括各级水库、湖泊和较宽的河道。对于水库、湖泊的提取,首先仍通过属性进行分类,其次在成图比例尺下提取那些面积大、能明显上图(图上面积大于 4mm^2)的要素,最后提取出来的要素如果边界细节

太丰富,需对边界进行简化,功能模块为: System ArcToolbox → Data Management → Generalization → Simplify Polygon。比较宽的河道形成的双线河面要素须基于提取得到的简化双线河线要素,使用线转面功能(System ArcToolbox → Data Management Tools → Features → Feature To Polygon)来提取。编制工作中,湖泊、水库要素属性字段设定为“ID”和“名称”两项。其中,“ID”标识为“水库”或“湖泊”,“名称”字段标注水库或湖泊的名称。

2.3.3.2 提取各级行政区界线

全省森林分布图只需反映乡镇级以上行政界线。制图界线如果通过收集的各县界线综合得到,不仅工作量大,而且结果与由综合后的森林资源分布图斑边界不重叠,会出现“双眼皮”情况。因此,制图用的各级行政界线通过提取森林资源分布图斑边界的方法来获取。具体方法为:首先,使用 ArcGIS 的融合功能(System ArcToolbox → Data Management → Generalization → Dissolve)分别提取全省乡镇以上各级行政区的面要素;其次,通过面转线分别提取对应的线要素,并对线要素按行政界线级别从高到低顺序给“ID”字段赋从小到大的属性值;再次,将各线要素合并成一个图层;最后,对合并结果图层进行拓扑(拓扑后重合界线只保留行政级别最高,即 ID 值最小的部分)、编辑,形成最终的制图界线要素。

2.3.3.3 提取森林资源分布面状专题要素

森林资源分布面状专题要素为全省森林分布图的主体内容。编制工作中,因小班数量巨大,需对小班属性及轮廓形状作大幅度制图综合,主要步骤如下。

1) 提取森林分布图林相类型。根据小班属性因子,组合不同因子提取 14 类森林分布图林相类型,即①云冷杉_幼中林;②云冷杉_近成过熟林;③思茅松_幼中林;④思茅松_近成过熟林;⑤针叶林_幼中林;⑥针叶林_近成过熟林;⑦针阔混_幼中林;⑧针阔混_近成过熟林;⑨阔叶林_幼中林;⑩阔叶林_近成过熟林;⑪经济林;⑫竹林;⑬其他林地;⑭非林地。云冷杉、思茅松在云南具有地域性分布特点,须单独提取,因此⑤⑥⑦⑧四种林相类型不再包含这两个树种。

在 ArcGIS 中提取云冷杉_幼中林筛选查询语句为:"地类" in ("乔木森地") and "优势树种" in ("云冷杉""铁杉""紫杉""冷杉") and "龄组" in ("幼龄林" "中龄林")。提取其他林相类型的筛选查

询语句方法近似,不再累赘。

2) 使用融合 (Dissolve) 功能,以 14 类林相类型为对象进行融合。

3) 将融合结果转为栅格,采用焦点 (Focal) 滤波功能进行滤波。

4) 将滤波结果转为矢量图层,对矢量图层求算图斑面积。采用消除 (Eliminate) 功能消除图上面积小于 4 mm^2 细碎斑块^[13],即生成森林资源分布面状专题要素。

采用上述方法及步骤,完成全省森林资源分布面状专题要素提取,结果在图斑数量上相比综合前有大幅度减少,从综合前的 417.5 万个减少至 2.7 万个。

3 结语

1) 借助 ArcGIS 软件,建立地理数据库,可对大量县级森林资源二类调查成果高效管理,方便编制过程中对各种要素的拼接、调用、查询和编辑;灵活利用各要素的属性特点,通过分级、分类、合并、融合、筛选等操作提取制图要素,最终实现对制图要素的综合取舍,有效解决了编制工作中遇到的困难和问题。

2) 与传统手工制图相比,基于 ArcGIS 制作森林资源分布图简化了生产工艺,缩短了成图周期,降低了生产成本,提高了工作效率和经济效益^[1,4]。据估计,按 5 个人组成的工组计算,完成云南省 1:100 万森林分布图手工编制需用 1 年左右时间,采用此方法使用 ArcGIS 编制最多 2 个月即可完成,大大降低了人力、物力成本。并且,最终成果图上的同种符号大小和线状一致、线条线型和粗细统一、色块填充分布均匀,成图精度高,是传统手工编制无法比拟的。

3) 编制结果形成的居民点、山峰、水系等基础地理信息,以及森林资源分布面状专题要素,均以数字形式存储,可直接应用于后续全省小比例尺林草相关

图件制作之中,能快速地对相关图件进行制作,实现资料共享、重复利用的效果。

4) 本文阐述的编制实践是人工主导式的编制过程,制图人员起着主要作用,后续可开展基于 ArcGIS 下的自动或半自动编制研究实践,制图人员的作用更多应该是发出执行指令,人工干预较小,整个编制过程交由计算机自动完成。

参考文献:

- [1] 张灿辉. 1:100 万《甘肃省森林资源分布图》的编制及其特色 [J]. 甘肃科技, 2001, 26 (1): 65-67.
- [2] 云南省林业厅. 云南省各州(市)森林资源状况 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2018: 1-25.
- [3] 石军南, 刘恩林, 罗鹏. 基于 GIS 的森林分布图的制图综合 [J]. 中南林学院学报, 2005, 25 (6): 124-127.
- [4] 肖洪, 孙培. 林业机助制图的必要性 [J]. 中南林业调查规划, 1998, 17 (1): 45-48.
- [5] 王菊芳. ArcGIS 软件制作二类调查成果图的技术要点 [J]. 甘肃科技, 2017, 33 (13): 19-20.
- [6] 庄易鸿, 林昕怡, 林宇洪. 基于 ArcGIS 林地资源管理系统的设计 [J]. 信息通信, 2019 (5): 110-112.
- [7] 李文修. ArcGIS 在林权制度改革中的应用探究 [J]. 绿色科技, 2019 (17): 199-201.
- [8] 罗新萍. 浅谈 ArcGIS 在怒江州公益林管理中的应用 [J]. 内蒙古林业调查设计, 2013, 36 (2): 123-125.
- [9] 张智慧. 基于 ArcGIS 的县级古树名木地理分布图制作 [J]. 陕西林业科技, 2017 (3): 40-45.
- [10] 魏甫, 邓成, 吴国欣. 森林资源数据年度更新探讨 [J]. 中南林业调查规划, 2013, 32 (3): 51-54.
- [11] 杨明星, 徐天蜀, 施锐平, 等. 基于 Python 的 ArcGIS 林业专题图批量生成方法 [J]. 中南林业调查规划, 2018, 37 (4): 43-47.
- [12] 中华人民共和国林业部. 林业地图图式 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1982.
- [13] 云南省林业厅. 云南省森林资源规划设计调查操作细则: 试行 [S]. 昆明: 云南省林业厅, 2013.

(上接第 45 页)

- [15] 庄鸿飞, 秦浩, 王伟, 等. 基于 MaxEnt 模型的云南红豆杉潜在适宜分布预测 [J]. 山西大学学报 (自然科学版), 2018, 41 (1): 233-240.
- [16] 郭斌, 王珊, 陈超, 等. 气候变化背景下川西北高原多年生垂穗披碱草种植适生区分布预测 [J]. 草地学报, 2019, 27 (6): 1596-1606.

- [17] 李焱, 张兴旺, 方炎明. 小叶栎分布格局对末次盛冰期以来气候变化的响应 [J]. 植物生态学报, 2016, 40 (11): 1164-1178.
- [18] 车乐, 曹博, 白成科, 等. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 对太白米的潜在分布预测及适宜性评价 [J]. 生态学杂志, 2014, 33 (6): 1623-1628.

中国山水林田湖草研究进展综述

范应龙

(国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南长沙410014)

摘要: 山水林田湖草是一个生命共同体。统一保护、统一修复、系统治理山水林田湖草生态系统, 是推进绿色发展、建设美丽中国、实现人与自然和谐共生的中国式现代化的重要途径。在梳理近11年山水林田湖草研究成果的基础上, 从内涵、生态保护修复、生态系统评价、系统治理等方面概述了山水林田湖草研究情况, 以期为我国山水林田湖草深入研究提供参考。

关键词: 山水林田湖草; 研究进展; 内涵; 生态保护修复; 生态系统评价; 治理

中图分类号: S718.55; X171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6075(2023)03-0051-04

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.012

Review of Research on Mountains-Rivers-Forests-Fields-Lakes-Grasses in China

FAN Yinglong

(Central South Academy of Inventory and Planning of NFGA, Changsha 410014, Hunan, China)

Abstract: Mountains-rivers-forests-fields-lakes-grasses are a community of life. It is emphasized that the united protection, the united restoration, the systematic treatment are the important path for Chinese-type modernization with the characteristics of promoting green development, building beautiful China, and realizing harmony between humanity and nature. Based on the late eleven year research results on mountains-rivers-forests-fields-lakes-grasses, its research is outlined on connotation, ecological protection and restoration, ecosystem evaluation, system governance, hoping to provide a reference for its in-depth research.

Key words: mountains-rivers-forests-fields-lakes-grasses; research progress; connotation; ecological protection and restoration; ecosystem evaluation; treatment

山水林田湖草生命共同体是习近平生态文明思想的重要组成部分。2013年, 习近平总书记在党的十八届三中全会上作关于《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》的说明时明确提出, “山水林田湖是一个生命共同体”。2017年, 中央全面深化改革领导小组第三十七次会议审议通过《建立国家公园体制总体方案》。《建立国家公园体制总体方案》提出在“山水林田湖生命共同体”中加入“草”, 强调统一保护、统一修复、统筹治理山水林田湖草生态

系统。合理配置、统筹优化山、水、林、田、湖、草各生态要素, 对人类健康生存与永续发展具有重大意义, 是推进绿色发展、建设美丽中国、实现人与自然和谐共生的中国式现代化的重要途径。

“十三五”期间, 我国实施的山水林田湖草生态保护修复工程试点, 受到社会各界广泛关注。2020年, 自然资源部办公厅、财政部办公厅、生态环境部办公厅联合印发《山水林田湖草生态保护修复工程指南(试行)》, 山水林田湖草生态保护修复工程建

* 收稿日期: 2022-12-12

基金项目: 科技基础资源调查专项“全球地表覆盖时空变化信息采集与知识建模”(2019FY202501)。

作者简介: 范应龙(1986—), 男, 工程师, 硕士研究生, 研究方向为森林资源遥感监测与制图。E-mail: fan_zny@163.com。

设不断深入,研究广度和深度不断拓展,取得了大量成果。本文基于 Citespace III 梳理近 11 年山水林田湖草研究成果,从山水林田湖草的内涵、生态保护修复、生态系统评价、系统治理 4 个方面回顾山水林田湖草研究的主要内容和脉络,期望为我国山水林田湖草的深入研究提供参考。

1 研究热点

本文以中国知网数据库为基础,以“山水林田湖”和“山水林田湖草”为关键词,以 2012—2022 年为时间范围进行检索,初步检索到 1 507 篇文献。研究领域主要限定在生态学、环境学、地理学、水利学、管理学、社会学,剔除与研究主题不相关的文献,保留有效文献 294 篇。从文献年度分布上看,2013 年“山水林田湖生命共同体”概念提出,我国随之展开相关研究,2018 年之后相关文献大量涌现,出版 275 篇,占比 94%。

通过 Citespace III 对文献关键词进行共现分析,显示研究热点主要集中在生态修复、生态保护和系统治理等方面。2018 年以后,山水林田湖草相关研究呈现出复合多元化趋势,研究内容开始向乡村振兴、绿水青山、健康评价等方面拓展延伸。

2 主要研究内容

2.1 山水林田湖草的内涵

山水林田湖草生命共同体是由山、水、林、田、湖、草等自然要素构成的有机生命整体,各要素相互作用、相互依存^[1-2]。“人的命脉在田,田的命脉在水,水的命脉在山,山的命脉在土,土的命脉在树”^[3],这一论述蕴含了“天人合一”的哲学思想,体现了人与自然和谐统一的生态文明价值观^[4]。山水林田湖草生命共同体是自然、经济、社会多重复合系统^[5]。部分研究者提出“山水林田湖草-人生命共同体”概念,认为在特定区域内,以人为主体的社会经济要素与自然生态要素相互作用,复合形成具有整体性、系统性和综合性等基本特征的自然-社会复合生态系统^[6-7]。

2.2 山水林田湖草生态保护修复

山水林田湖草生态保护修复是稳定生态过程、优化生态格局、提升生态功能的重要途径^[8]。基于系统生态学、复合生态系统、流域生态学以及可持续发展理论,吴钢等^[5]构建了山水林田湖草生态保护修复技

术体系。针对保护修复目标不明确、整体性与系统性不足、动态监测评价机制缺乏、人工干预的工程措施过度等问题,周妍等^[9]构建了包含区域(省)、景观、生态系统以及子项目 4 个层次的山水林田湖草生态保护修复技术框架。受国外自然保护思想影响,部分学者引入“拟自然”“再野化”的概念,为山水林田湖草生态保护修复提供了“自然”新思路^[10-11]。在“绿水青山就是金山银山”习近平生态文明思想的引领下,山水林田湖草生态保护修复的目标开始从生态格局优化、生态功能提升向生态服务完善、生态福祉提升转变^[12]。生态系统服务是连接人与自然的重要纽带,王军等^[13]采用整体和系统的方法,以“压力-状态-响应”为主线,建立了不同时空尺度上山水林田湖草与生态系统服务之间的关系认知框架。

“十三五”期间,我国实施的山水林田湖草生态保护修复工程试点,涉及全国 24 个省(直辖市、自治区,简称“省”,下同)。各省积极开展相关试点探索,目前已形成生态系统问题诊断、评价、恢复、服务等多种具有代表性的修复模式^[14-15],体现了不同情况下山水林田湖草生态保护修复的价值取向和侧重点。陕西、浙江、贵州等地侧重于生态问题诊断和生态功能重要性评价,部分研究者基于地区生态退化问题分析,提出“重构生态”思路^[16-19]。湖南、四川、河南等地从生态系统服务角度出发,将生态系统服务功能评估结果作为生态修复工程布局的重要依据^[20-22]。无论何种保护修复模式,其核心是多要素构成的生态系统功能及服务整体提升,强调整体性和系统性。

2.3 山水林田湖草生态系统评价

科学评价山水林田湖草生态系统是保护修复和统筹治理的前提和基础。我国现行山水林田湖草生态系统相关指标涵盖修复空间辨识、保护修复、恢复成效、健康评价及监测等方面。评价尺度方面,陈新闻等^[23]从区域尺度构建生态修复空间辨识框架,关注生态空间质量和健康。评价内容方面,部分学者从生态风险、生态状况和生态恢复能力角度对恢复成效进行评估,或从山、水、林、田、湖、草 6 个生态子系统层次出发,把人类活动与各子系统的协调性纳入其中,采用 DPSIRM(驱动力-压力-状态-影响-响应-管理)模型,综合评价系统健康状况^[14,19,24-27]。李红举等^[28]围绕生态工程规划实践需求,以生态问题和修复工程为重点,建立山水林田湖草生态保护修复标准体系。评估手段方面,陈元鹏等^[29]基于多源

遥感数据应用,从指标拟定、动态变化检测、遥感地物信息提取以及数据融合等方面提出生态保护修复项目区监测方法。评估推广应用方面,河南省南太行地区从区域生态安全格局尺度出发,结合山水林田湖草生态保护修复工程实践,对流域水环境、矿山治理修复、土地整治修复、生物多样性维护以及人居环境改善提出明确目标^[30]。

2.4 山水林田湖草系统治理

山水林田湖草系统治理是一项复杂的系统工程,需遵循生态学、系统工程学、环境科学等多学科原理^[31],坚持系统性、全面性、综合性、区域性和长期性等原则^[31-32],各地经实践探索,先后形成了一批具有借鉴意义的治理模式。在治理层面,以流域作为重要地理单元,水作为自然纽带,注重联络山、林、田、湖、草等各种自然要素^[33]。全国有8个山水林田湖草生态保护修复试点工程以流域为单元进行治理,统筹考虑上游下游、岸上岸下、山上山下等各个环节^[5,34-35]。在区域层面,三峡地区和环京津地区打破行政区划和部门管理,提出“系统修复、综合治理、部门协作、区域联动”的治理思路,探索建立生态补偿机制^[36-38]。在资金方面,积极引入社会资本,采用政府和社会资本合作(PPP)模式,整合资金,共同发展,挖掘生态红利,助推乡村振兴^[7,35]。

3 结语

由于国家重点生态功能区特征差异较大,目前山水林田湖草生态保护修复多以个案研究为主,结论呈多样化趋势,且具有特定区域性。山水林田湖草系统治理涉及利益相关者众多,目前已有部分学者从构建区域联动、政府-社会-社区合作治理等方面进行研究探索^[36-38]。

1) 研究广度不断拓展,研究内容渐成体系。我国关于山水林田湖草的研究工作紧跟时代步伐,研究视角经历了从最初的山水林田湖草生命共同体内涵、特征等理论研究,到大量工程实践,重点关注山水林田湖草生态保护修复和系统治理,逐渐拓展到健康评价、绿水青山等社会效益的交互过程,涵盖生态学、流域学、可持续发展理论等多学科领域。研究内容不断拓展,逐渐形成了“内涵-特征-评价-治理”的理论实践研究体系,体现了山水林田湖草相关研究的系统性、交叉性、复杂性。

2) 评价方式更加多元,治理模式不断成熟。统

筹山水林田湖草系统治理是推进生态文明、建设美丽中国、实现人与自然和谐共生的中国式现代化的重要途径;科学评价山水林田湖草生态系统是保护修复和统筹治理的前提和基础。自“十三五”实施山水林田湖草生态保护修复工程试点以来,从评价空间辨识到评价标准建立再到评价模型构建,山水林田湖草生态系统评价方式日益多元。大量工程实践探索出了“以流域为单元”的治理模式、“部门协作、区域联动”的治理思路以及政府和社会资本合作(PPP)筹资模式等成功经验。

系统梳理山水林田湖草相关研究进展,山水林田湖草理论研究渐成体系,生态系统保护修复与治理成效显著。但是,当前的研究还存在研究手段比较单一、体制机制不健全、生态系统服务研究不足等问题。因此,未来研究还需要关注以下几个方面。

一是创新技术手段。运用遥感、地理信息系统、互联网、大数据等高新技术手段,因地制宜,科学分析各要素之间的相互关系,综合诊断系统生态问题,实时监测系统动态变化^[39],完善监测评价体系,精准评估系统治理成效,为山水林田湖草生态系统保护修复与治理提供数据支撑。

二是健全体制机制。山水林田湖草是一个生命共同体,要遵循其整体性、系统性及内在规律,打破部门壁垒,建立多部门、多层次、跨区域协同工作机制。目前,多地在规划设计、部门协作、组织保障等方面做了大量探索^[37,38,40],但是在信息共享、监测评估、监督管理、生态补偿机制等方面,特别是对于以流域为单元的综合治理,还需创新加强,深入推进协同联动,提升巩固山水林田湖草生态保护修复工程效率和成果。

三是促进生态价值转化。中国式现代化始终坚持生态惠民、生态利民、生态为民,致力于为人民群众提供更多、更优质的生态产品。绿水青山是自然资源,同时也为人们提供生态产品和服务^[41]。山水林田湖草生态保护修复是一项功在当代、利在千秋的重大民生工程,具有基础性和公益性的特点。如何发展生态产业、提升服务功能,助力生态扶贫、乡村振兴,促进生态价值转化,满足人民群众的需求和愿望,是我们需要关注的重点。

参考文献:

[1] 姜霞,王坤,郑朔方,等.山水林田湖草生态保护修复的系

- 统一思想：践行“绿水青山就是金山银山”[J]. 环境工程技术学报, 2019, 9(5): 475-481.
- [2] 王波, 王夏晖, 张笑千. “山水林田湖草生命共同体”的内涵、特征与实践路径：以承德市为例[J]. 环境保护, 2018, 46(7): 60-63.
- [3] 习近平. 关于《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》的说明[J]. 求是, 2013(22): 19-27.
- [4] 赵文霞. 关于“山水林田湖草生命共同体”的几点哲学思考[J]. 国家林业局管理干部学院学报, 2018, 17(4): 3-7.
- [5] 吴钢, 赵萌, 王辰星. 山水林田湖草生态保护修复的理论支撑体系研究[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8685-8691.
- [6] 李达净, 张时煌, 刘兵, 等. “山水林田湖草-人”生命共同体的内涵、问题与创新[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(11): 1-5, 93.
- [7] 王波, 王夏晖. 推动山水林田湖生态保护修复示范工程落地出成效：以河北围场县为例[J]. 环境与可持续发展, 2017, 42(4): 11-14.
- [8] 严金明, 王晓莉, 夏方舟. 重塑自然资源管理新格局：目标定位、价值导向与战略选择[J]. 中国土地科学, 2018, 32(4): 1-7.
- [9] 周妍, 陈妍, 应凌霄, 等. 山水林田湖草生态保护修复技术框架研究[J]. 地学前缘, 2021, 28(4): 14-24.
- [10] 王波, 何军, 王夏晖. 拟自然, 为什么更接近自然：山水林田湖草生态保护修复的技术选择[J]. 中国生态文明, 2019(1): 70-73.
- [11] 杨锐, 曹越. “再野化”：山水林田湖草生态保护修复的新思路[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8763-8770.
- [12] 傅伯杰. 国土空间生态修复亟待把握的几个要点[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(1): 64-69.
- [13] 王军, 钟莉娜. 生态系统服务理论与山水林田湖草生态保护修复的应用[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8702-8708.
- [14] 叶艳妹, 陈莎, 边微, 等. 基于恢复生态学的泰山地区“山水林田湖草”生态修复研究[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8878-8885.
- [15] 刘世梁, 董玉红, 孙永秀, 等. 基于生态系统服务提升的山水林田湖草优先区分析：以贵州省为例[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8957-8865.
- [16] 宋伟, 韩贇, 刘琳. 山水林田湖草生态问题系统诊断与保护修复综合分区研究：以陕西省为例[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8975-8889.
- [17] 叶艳妹, 林耀奔, 刘书畅, 等. 山水林田湖草生态修复工程的社会-生态系统(SES)分析框架及应用：以浙江省钱塘江源头区域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8846-8856.
- [18] 田野, 冯启源, 唐明方, 等. 基于生态系统评价的山水林田湖草生态保护与修复体系构建研究：以乌梁素海流域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8826-8836.
- [19] 杨胜芬, 刘卫柏. 基于恢复生态学的洞庭湖区“山水林田湖草”生态修复研究[J]. 生态学报, 2022, 41(16): 6430-6439.
- [20] 孔令桥, 郑华, 欧阳志云. 基于生态系统服务视角的山水林田湖草生态保护与修复：以洞庭湖流域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8903-8910.
- [21] 苏冲, 董建权, 马志刚, 等. 基于生态安全格局的山水林田湖草生态保护修复优先区识别：以四川省华蓥山区为例[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8948-8956.
- [22] 李潇, 吴克宁, 刘亚男, 等. 基于生态系统服务的山水林田湖草生态保护修复研究：以南太行地区鹤山区为例[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8806-8816.
- [23] 陈新闻, 李小倩, 吕一河, 等. 区域尺度生态修复空间辨识研究进展[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8717-8724.
- [24] 梁朝铭, 曹庆一, 杨柳, 等. 山水林田湖草生态修复评价指标体系构建：以铜川市为例[J]. 能源与环保, 2021, 43(7): 105-113.
- [26] 张仕超, 周仪琪, 李英杰, 等. 基于DPSIRM模型的全域综合整治前后山水林田湖草村健康评价[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2020, 37(5): 45-58.
- [27] 曾春芬, 周仪琪, 段振东, 等. 山水林田湖草·城生命共同体健康轨迹评价：以三峡库区重庆段为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2020, 37(4): 57-67.
- [28] 李红举, 宇振荣, 梁军, 等. 统一山水林田湖草生态保护修复标准体系研究[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8771-8779.
- [29] 陈元鹏, 任佳, 王力. 基于多源遥感数据的生态保护修复项目区监测方法评述[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8789-8797.
- [30] 宇振荣, 杨新民, 陈雅杰. 河南省南太行地区山水林田湖草生态保护与修复[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8886-8895.
- [31] 黄国勤. 树立正确生态观统筹山水林田湖草系统治理[J]. 中国井冈山干部学院学报, 2017, 10(6): 128-132.
- [32] 劳万里, 李雪宁, 徐佳鹤. 关于统筹山水林田湖草系统治理的思考[J]. 木材加工机械, 2019, 30(6): 5-7, 4.
- [33] 钟业喜, 邵海雁, 徐晨璐, 等. 基于文献计量分析的流域山水林田湖草生命共同体研究进展与展望[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2020, 44(1): 95-101.
- [34] 罗明, 于恩逸, 周妍, 等. 山水林田湖草生态保护修复试点工程布局及技术策略[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8692-8701.
- [35] 林佛招. “山水林田湖草”系统治理的寻乌示范[J]. 当代江西, 2019(8): 31-32.
- [36] 李涛, 唐涛, 邓红兵, 等. 湖北省三峡地区山水林田湖草系统原理及生态保护修复研究[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8896-8902.
- [37] 王振波, 梁龙武, 王新明, 等. 环京津山水林田湖草多目标跨区联动保护修复模式[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8798-8805.
- [38] 王振波, 李嘉欣, 郭义强, 等. 青藏高原山水林田湖草生态保护修复模式：以拉萨河流域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8966-8974.

(下转第72页)

西藏林长制实践研究

王晋昊¹,董雅雯²,刘玲³,李玲知²,洪永忠¹

- (1. 西藏自治区林业调查规划研究院, 西藏 拉萨 850005;
2. 国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南 长沙 410014;
3. 西藏自治区林业和草原局, 西藏 拉萨 850005)

摘要: 西藏林长制工作通过借鉴江西省和安徽省的典型经验与做法, 完善组织体系, 强化制度保障, 建立健全体制机制, 推动林长制工作更加规范、科学地开展。结合西藏本土的自然生态环境特点, 多措并举, 以“点”带“面”, 在促进森林、草原和湿地资源保护与发展的同时带动绿色产业增值增效。通过创新探索以“林长+”为重点的生态文明建设机制, 借助“互联网+”“人工智能”等前沿科学技术建立数字林长信息平台, 助推西藏数字林草和林长制工作向纵深发展。

关键词: 林长制; “林长+”; 数字林长信息平台; 绿色工程; 西藏

中图分类号: F326.2 文献标识码: B 文章编号: 1003-6075 (2023) 03-0055-04

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.013

Practice of Forest Chief System in Tibet

WANG Jinhao¹, DONG Yawen², LIU Ling³, LI Lingzhi³, HONG Yongzhong³

- (1. Forestry Inventory and Planning Institute of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850005, Tibet, China;
2. Central South Academy of Inventory and Planning of NFGA, Changsha 410014, Hunan, China;
3. Forestry and Grassland Bureau of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850005, Tibet, China)

Abstract: By learning from the typical experiences and practices of Jiangxi Province and Anhui Province, the forest system system in Tibet has improved the organizational system, strengthened the institutional guarantee, established and improved the institutional mechanism, promoted its more standardized and scientific implementation. Combined with the advantages of Tibet's local natural ecological environment, it takes the "point" with the "surface", and adopts multiple measures at the same time. It promotes the protection and development of forest, grassland and wetland resources while driving the value-added of green industries. Through innovation and exploration of the ecological civilization construction mechanism focusing on "forest chief +", the digital forest chief information platform has been established with the help of cutting-edge science and technology such as "Internet +" and "artificial intelligence", and the work of digital forest and grass and forest chief system in Tibet has been further developed.

Key words: forest chief system; "forest chief +"; digital forest chief information platform; green project; Tibet

* 收稿日期: 2023-07-25

作者简介: 王晋昊 (1993—), 男, 山西晋中人, 助理工程师, 大学本科, 主要研究方向林业调查与规划设计。E-mail: 252352116@qq.com。

通讯作者: 董雅雯 (1992—), 女, 云南大理人, 工程师, 硕士研究生, 主要研究方向林业信息系统开发和林业遥感应用。E-mail: 2402913478@qq.com。

林长制,是以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中全会精神,认真践行习近平生态文明思想,坚定不移贯彻新发展理念,根据党中央、国务院决策部署,按照山水林田湖草系统治理要求,以保护发展森林草原资源为目标,以压实地方党政领导干部责任为核心,以制度体系建设为保障,以监督考核为手段,构建由地方党委、政府主要领导担任林长,省、市、县、乡、村分级设立林长,聚焦森林草原资源保护发展重点难点工作,实现党委领导、党政同责、属地负责、部门协同、全域覆盖、源头治理的长效责任制体系。

1 中国林长制的发展历程

中国林长制工作是在林业目标责任制的基础上,借鉴了河长制和山长制的典型做法,经过安徽、江西的实践^[1]而逐步建立起来的,是新时代森林草原资源保护发展的新探索、新模式。

1.1 林业目标责任制的发展

1987年6月,中共中央、国务院作出了《关于加强南方集体林区森林资源管理坚决制止乱砍滥伐的指示》,其中的第九条明确提出“实行领导干部保护、发展森林资源任期目标责任制”,是我国林业目标责任制的雏形^[2]。2000年左右,随着经济发展、社会进步和人民生活水平的提高,我国林业经历着由以木材生产为主向以生态建设为主的历史性转变。2003年6月,中共中央发布《中共中央 国务院关于加快林业发展的决定》(中发〔2003〕9号),提出“各级地方政府对本地区林业工作全面负责,政府主要负责同志是林业建设的第一责任人”的具体要求,进一步明确了林业保护发展的目标责任制^[3]。2004年,党的十六届四中全会首次提出,建立“党委领导、政府负责、社会协同、公众参与”的社会管理格局。2012年,党的十八大进一步明确提出,要加快形成“党委领导、政府负责、社会协同、公众参与、法治保障”的社会管理体制。

1.2 由“山长制”到“林长制”的探索

2016年8月,江西省抚州市探索推行山长制,中共抚州市委、市政府印发《抚州市“山长制”工作实施方案》(抚办发〔2016〕23号),设立市、县、乡、村四级“山长”,对辖区森林资源保护管理负总责,这一做法当时在全国属于首例。2017年4

月,中共武宁县委、县政府印发《武宁县“林长制”工作实施方案》(武发〔2017〕6号),在全国率先探索建立林长制。2017年9月,安徽省委、省政府印发《中共安徽省委 安徽省人民政府关于建立林长制的意见》(皖发〔2017〕32号),率先在全国省级层面全面推行林长制。2020年12月28日,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于全面推行林长制的意见》,全国范围内全面推行林长制。

2 西藏林长制工作的探索与实践

2021年7月21日,西藏自治区党委办公厅、政府办公厅印发了《关于全面推行林长制的实施意见》(以下简称《意见》)。根据《意见》要求,全区建成五级林长组织体系,分级共同解决林草生态建设中的问题和困难,确保生态保护修复各项工作稳步推进。

2.1 完善制度,以“制”规“治”

2.1.1 坚持党政领导,全面建立组织体系

西藏自治区建立健全自治区、地(市)、县(市、区)、乡(镇)、村(居)五级林长组织体系,由自治区党委、政府主要领导担任总林长,安排自治区党委、人大政府、政协等相关领导同志担任副总林长,各级党政领导干部担任林长、副林长,实现了全区林草资源保护全覆盖。

2.1.2 压实林长职责,建立清晰责任体系

西藏自治区按照分级负责的原则,与巩固脱贫攻坚、实施乡村振兴战略、推行河湖长制有效衔接^[4],已划定各级林长包联责任区域,下沉基层、夯实责任。统筹安排军警领导包联责任区域,将全面推行林长制与强边固边兴边富民有效衔接,切实加强边境生态安全,确保山有人管、林有人造、草有人植、树有人护、责有人担。同时,根据火灾风险、生态区位、人为活动强度等因素为各级林长划定直接责任区域,实现了全区林草资源的网格化管理。

2.1.3 推进制度建设,健全制度体系

西藏自治区出台了林长会议、信息公开、部门协作、工作督查、考核办法等基本配套制度,为全面推行林长制工作建立起了制度基础。建立“林长+检察长+警长”协作机制,形成公正司法与严格执法的良性互动,提高执法效能,构建林草生态环境保护共享共治新格局。林长制条例立法已纳入自治区十二届人大常委会五年立法规划(2023—2027年),自治

区积极筹备立法调研,探索林草资源保护与发展的地方性法律支撑和法治保障。

2.2 多措并举,以“制”促“治”

2.2.1 高质量国土绿化,取得阶段性成效

以实施“双重”规划项目等重要工程为依托,突出大江大河两岸、公路铁路沿线、重要城镇周边等重点区域,积极推进拉萨南北山绿化工程,有序推进营造林“先造后补”工程,持续巩固乡村“四旁”植树行动成果,组织干部职工、部队官兵、寺庙僧尼、农牧民共23万人次参与义务植树,积极推动草原生态保护修复及沙化土地综合治理。

2.2.2 保护与修复并重,持续守护林草湿资源

积极推进森林督查整改工作,2023年的前两批次森林督查图斑自查完成进度100%;全面启动全区2023年度林草生态综合监测工作;推进基本草原划定优化调整,强化草原禁牧休牧和草畜平衡监管;安排实施色林错、贡觉拉妥、麦地卡等7个重要湿地保护修复和湿地生态效益补偿试点项目;组织开展第二批自治区级重要湿地申报认定工作;启动《西藏自治区湿地保护条例》修订工作;开展西藏自治区违规侵占国家湿地公园等自然保护地问题排查整治专项行动。

2.2.3 以国家公园为主体,推进自然保护地体系建设

三江源国家公园总体规划已完成实地考察;羌塘国家公园已补充完善设立材料;珠穆朗玛峰国家公园已完成创建的主要任务,待国家林业和草原局实地考察;高黎贡山、冈仁波齐国家公园创建方案已向国家林业和草原局报送;雅鲁藏布大峡谷国家公园创建材料正在编制。全区自然保护地整合优化成果已由西藏自治区人民政府报送至国家林业和草原局。

2.2.4 科学防火防虫,守住安全和生态线

西藏自治区积极推动各级党委、政府认真落实防火“党政同责、一岗双责”和地方行政首长负责制,最大限度降低人为火灾;与云南、贵州、四川、重庆建立森林草原防灭火联防联控机制;明确防控目标及对策,对防治重点区域进行监测预警、检疫御灾和防治减灾,切实做好美国白蛾防控工作;联合公安、海关开展“护松2023”行动。

2.2.5 强化野生动植物保护,维护生物多样性

西藏自治区完成全区越冬黑颈鹤同步调查;批准建立堆龙德庆区乃朗谷雪豹重要栖息地;开展野牦牛

等重点保护野生动物资源外业调查;联合开展候鸟疫源疫病主动监测预警;组织开展森林、草原、湿地生态系统外来入侵物种普查工作;联合相关部门开展打击野生动植物非法贸易“2023年清风行动”。全区野生植物保护成效显著,波密县发现高达102.3m的西藏柏木,刷新亚洲最高树纪录;墨脱县发现兰科植物中的新纪录种——墨脱异型兰。

2.2.6 大力发展林草产业,带动农牧民增收

昌都市卡若区、林芝市墨脱县等地高效推动林下经济产业发展,撬动社会资本参与投资,优化生产线,开展集约化、规范化精深加工经营,在产业带动就业的同时,改善生态环境。

2.3 创先推优,以“点”带“面”

2.3.1 探索林长制工作新模式

以深入学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育为契机^[5],昌都市创新推动“林长+产业”模式,壮大产业经济、放大生态优势,创造昌都绿色经济“新引擎”;芒康县实施“林长+保护区”工作机制,由武警相关领导担任国家级自然保护区相关片区的林长,并在开展巡林过程中宣传相关法律法规,有效震慑涉林草违法行为;林芝市探索“一长两员”模式,实行网格化管理、开展拉网式巡察,打造林芝源头治理“新格局”;那曲市开展“森林草原环境清洁行动”,充分激发广大护林员和当地农牧民群众“自己的事情自己办”的行动自觉,聚焦林区、牧区环境卫生难题,从源头预防森林草原火灾;阿里地区开展羌塘国家级自然保护区“非法穿越”情形执法活动,查获非法穿越人员39人,车辆16辆,通过执法活动进一步加强保护地管理,巩固保护成效。

2.3.2 建设林长制管理新平台

林芝市建设数字林长信息平台^[6],摸清全市资源底数,构建林长、生态护林员网格化管理体系,规范林长巡林、生态护林员巡护等工作,形成“问题早发现、早反馈、早处置”的工作方式,打造协同高效的林长制智慧管护体系,助推全区林草资源管护向智慧化、现代化转变。

3 结语

展望未来,西藏自治区在推行林长制的过程中,应不断筑牢林草自然资源生态治理的制度基础,以实现林草资源生态环境的持续优化。西藏林长制工作将

从自治区实际出发,重点推动以下工作:

1) 加快制定《西藏自治区林长制条例》,规范林长履职尽责,明确林长办公室职能职责,进一步强化相关部门协作配合,在各级林长办的协调下,广泛开展由林草、自然资源、生态环境、水利等部门共同参与的多部门综合执法。

2) 加快数字林长建设,构建起覆盖各级林长、各级林长办、各职能部门、各类生态环保组织以及社会大众等的综合性、前瞻性的信息平台,充分共享各类林长工作动态、生态修复措施、使用林草地审批、监督执法处罚、资源监测数据等林草资源保护发展动态。

3) 加强社会参与,不断拓宽公众参与层次、范围和渠道,要发挥各类生态环保组织连接政府、企业、公众的桥梁作用,邀请相关组织积极参与林长制宣传、林草破坏监督、林长制实施绩效评价等工作;要完善生态环保组织、社会公众参与治理制度体系建设,免除各方参与林业生态治理的后顾之忧,鼓励社会公众、环保组织参与到林长制考核评价、林草生态资源保护发展等各类工作当中,实现公众参与治理由

形式化向实质性转变。

西藏自治区林长制建设任重道远,应当将林长制作为生态文明建设的重要一环,秉持功在当代、利在千秋的工作理念,加强森林草原湿地等自然资源的保护监管,坚决守住生态安全边界,筑牢国家生态安全屏障。

参考文献:

- [1] 胡继平, 贾刚. 试论安庆市林长制的实践与探索 [J]. 中南林业科技大学学报: 社会科学版, 2019, 13 (5): 13-17.
- [2] 宁攸凉, 韩锋, 赵荣, 等. 整体性治理视角下的林长制改革研究 [J]. 林业经济, 2019 (9): 93-98.
- [3] 魏甫, 吴康娟, 李林华, 等. 构建完善林长制管理体系的思考 [J]. 中南林业调查规划, 2021, 40 (1): 5-8, 27.
- [4] 陈雅如. 林长制改革存在的问题与建议 [J]. 林业经济, 2019, 41 (2): 26-30.
- [5] 罗会钧, 许名健. 习近平生态观的四个基本维度及当代意蕴 [J]. 中南林业科技大学学报: 社会科学版, 2018, 12 (2): 1-5, 18.
- [6] 郭晓妮, 魏甫, 郑红, 等. 林长制智慧管理平台建设研究 [J]. 中南林业调查规划, 2021, 40 (2): 5-8.

(上接第24页)

石漠化土地因其基岩裸露度高,独特的双层水文结构,且具有富钙、缺土、少水等天然缺陷,其生态系统稳定性差^[6]。为促进石漠化土地的生态修复,应遵循岩溶地区自然规律,坚持人工修复与自然恢复相结合,以“宜林则林、宜灌则灌、宜草则草、宜封则封”为基本原则,对石漠化土地分区域、分类型实施综合治理,提高岩溶地区土地生产力,防止水土流失与土地石漠化^[7-8],实现标本兼治和综合防治。此外,可通过重大生态修复工程,采取人工造林、退化林修复、封山育林等措施,提高林草植被盖度和森林覆盖率,尽快恢复和重建岩溶地区生态系统。

参考文献:

- [1] 吴协保, 但新球, 吴照柏, 等. 中国岩溶地区石漠化防治形势与对策研究 [J]. 中南林业调查规划, 2019, 38 (4): 1-8.

- [2] 吴照柏, 但新球, 吴协保, 等. 中国喀斯特石漠化 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2020.
- [3] 周学武, 吴协保, 宁小斌, 等. 我国岩溶地区石漠化土地现状及主要分布特征 [J]. 中南林业调查规划, 2023, 42 (2): 60-64.
- [4] 河南省林业局. 岩溶地区第四次石漠化调查河南省普查成果 [R]. 郑州: 河南省林业局, 2022.
- [5] 王克林, 岳跃民, 陈洪松, 等. 喀斯特石漠化综合治理及其区域恢复效应 [J]. 生态学报, 2019, 39 (20): 7432-7440.
- [6] 但新球, 吴照柏, 吴协保, 等. 近15年中国岩溶地区石漠化土地动态变化研究 [J]. 中南林业调查规划, 2019, 38 (2): 1-7.
- [7] 但新球, 白建华, 吴协保, 等. 石漠化综合治理二期工程总体思路研究 [J]. 中南林业调查规划, 2015, 34 (3): 62-66.
- [8] 吴协保. 我国县级石漠化综合治理的思路与技术探讨 [J]. 中南林业调查规划, 2009, 28 (1): 5-7, 22.

湖南省马尾松树高曲线及材积模型研建

王金池¹, 陈振雄¹, 杜志¹, 刘紫薇¹, 兰俊宇², 曹文昊², 杨文韬²,
唐兴², 胡满³

(1. 国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南长沙 410014;
2. 中南林业科技大学, 湖南长沙 410004; 3. 湖南省农林工业勘察设计研究总院, 湖南长沙 410007)

摘要: 基于湖南省主要树种模型研建项目中 153 株马尾松的胸径、树高和材积实测数据, 拟合 6 种树高曲线模型及常规一元、二元材积模型, 对所有树高曲线模型进行对比分析后, 选取拟合效果最好的树高曲线模型代入二元材积模型, 构建新一元材积模型, 并对常规一元、二元、新一元 3 种材积模型进行对比评价。结果表明: 所有树高曲线模型的决定系数均在 0.66 以上, 总相对误差均低于 5%, 模型拟合精度较高; 综合对比分析 6 种树高曲线模型, 选择模型 5 作为最优树高曲线模型; 3 种材积模型的决定系数和预估精度均较高, 分别超过 0.89 和 95%, 模型拟合效果良好; 较常规一元模型, 新一元材积模型的各项指标均更好, 且能满足林业行业标准的精度要求。

关键词: 马尾松; 树高曲线模型; 材积模型; 湖南省

中图分类号: S757.2; S758 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6075 (2023) 03-0059-08

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.014

Construction of Height – Diameter Models and Tree Volume Models for *Pinus Massoniana* in Hunan Province

WANG Jinchi¹, CHEN Zhenxiong¹, DU Zhi¹, LIU Ziwei¹, LAN Junyu²,
CAO Wenhao², YANG Wentao², TANG Xing², HU Man³

(1. Central South Academy of Inventory and Planning of NFGA, Changsha 410014, Hunan, China;

2. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan, China;

3. Hunan Prospecting Designing & Research General Institute for Agriculture Forestry & Industry, Changsha 410007, Hunan, China)

Abstract: Based on the measured data of DBH, tree height and volume of 153 *Pinus Massoniana* from the project of model development for major tree species in Hunan Province, six height-diameter models and conventional one-way and two-variable volume models were fitted. After comparative analysis of all the six height-diameter models, the model with the best fitting effect was selected and substituted into the two-variable volume model to construct a new one-way volume model, and then the three volume models of conventional one-way and two-variable and new one-way were compared and evaluated. The results showed that the determination coefficient of all height-diameter models was above 0.66, the total relative error was all below 5%, and the model fitting accuracy was high. By comprehensively comparing and analyzing six height-diameter models, model 5 was selected as the optimal height-diameter model. The determination coefficient and prediction accuracy of the three volume models were all high, exceeding 0.89 and 95% respectively, indicating good fitting performance of the models. The indexes of the new one-way volume model were better than those of the

* 收稿日期: 2023-08-07

作者简介: 王金池 (1995—), 女, 江西萍乡人, 工程师, 博士, 主要从事森林资源监测与评价工作。E-mail: 2276599635@qq.com。

conventional one-way volume model, and could meet the precision requirements of forestry industry standard.

Key words: *Pinus Massoniana*; height-diameter models; tree volume models; Hunan Province

森林蓄积量不仅是森林资源调查的重要因子,也是各级森林资源监测中的重要指标。在一类和二类调查中,多采用一元材积表对森林蓄积进行估计。20世纪70年代由农林部颁布的全国立木材积表至今仍用于生产实践。与20世纪70年代相比,现今我国的森林资源结构发生了较大变化,原有立木材积表的适用性难以得到保证,蒲莹等^[1]对北京市13个树种(组)的材积公式适用性检验发现,13个树种(组)中有11个树种(组)的材积公式已不再适用;曾伟生等^[2]对31个省级行政区共计471个一元立木材积表的估计误差检验结果表明,70%的一元材积表的估计误差超过了误差范围。由此可见,建立科学适用的材积模型是十分必要的。近十几年来,许多地方已编制新的材积表^[3-5],以准确掌握森林资源数量变化,满足森林资源年度出数需求。

树高是反映林木生长状况和立地条件的重要指标,也是编制二元材积表必不可少的因子。外业调查中,通常采用专业测高器进行树高测量,但该方法受地形和林况等客观因素影响,不仅耗时费力、成本较高而且误差较大^[6]。相对而言,胸径测量更加简单准确。实际应用中,根据胸径与树高之间的关系,构建树高曲线模型来预测林木树高,可极大减少外业调查工作量并保证较高的预估精度^[7-9]。树高曲线模型作为林分生长收获模型的重要组成部分,国内外许多学者进行了大量的研究^[10-14],至今仍处于研究的前沿位置。同时,树高曲线模型也是连接一元、二元材积表的重要工具,通过树高曲线模型可将二元材积公式导出为一元材积表。因此,建立精度高、适用性强的树高曲线模型至关重要。

马尾松(*Pinus massoniana*)是湖南地区的主要树种。2014年、2019年和2022年综合监测成果显示,马尾松林的面积和蓄积分别超过 $90 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 和 $5\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$,均位湖南省前列。本文以湖南省主要树种模型研建项目中的153株马尾松的胸径、树高、材积实测数据为基础资料,研究建立树高曲线模型、一元、二元立木材积模型,以期对湖南省森林资源监测提供科学依据。

1 研究区概况

湖南省(地理坐标为 $24^{\circ}38' - 30^{\circ}08' \text{ N}$, $108^{\circ}47' -$

$114^{\circ}15' \text{ E}$)地处云贵高原向江南丘陵和南岭山脉向江汉平原过渡的地带,以山地、丘陵地貌为主,气候类型为亚热带季风湿润气候,水热资源丰富,春秋多雨、秋冬干旱,年均气温 $16 \sim 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。湖南省植物种类与森林资源丰富,主要树种有杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松、湿地松(*Pinus elliottii*)等。

2 数据与方法

2.1 数据来源

以湖南省马尾松为研究对象,本次建模样木共153株,其中14株为历史样木数据,139株为2022—2023年伐倒木数据。样木选取兼顾了地形地貌、龄组、郁闭度等因素,采集地点涉及湖南省14个市州,所有样木按径阶4 cm、8 cm、12 cm、16 cm、20 cm、24 cm、28 cm、32 cm及以上分布,各径阶株数分别为16、20、20、21、23、21、19、13。对选取的样木测量胸径、地径和冠幅,将样木伐倒后测量树高、枝下高、冠长等,并将树干分成10等分,测量每个10等分位置处的带皮直径、去皮直径和树皮厚度。根据树干直径调查记录,按式(1)计算样木材积。建模样木数据概况见表1。胸径-树高、胸径-材积、树高-材积散点图如图1。

$$V = \pi/40\,000 \times (d_0^2/4 + d_{0.5}^2/2 + 3d_1^2/4 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2 + d_5^2 + d_6^2 + d_7^2 + d_8^2 + 5d_9^2/6) \times H/10 \quad (1)$$

式中: V 为材积,单位为 m^3 ; H 为树高,单位为 m ; d_i ($i=0, 0.5, 1, 2, \dots, 9$)分别表示0、0.5/10、1/10、2/10、……、9/10树高处的直径,单位为 cm 。

表1 建模样本数据概况

类别	树高/m	胸径/cm	材积/ m^3
最小值	3.9	3.5	0.003 00
最大值	27.6	38.2	1.160 90
平均值	14.2	17.8	0.272 10
标准差	5.3	8.7	0.268 08

2.2 树高曲线和材积模型选择

建模工作中,可供选择的树高曲线和材积模型形式多样,参考国内外相关研究,结合建模样本自变量

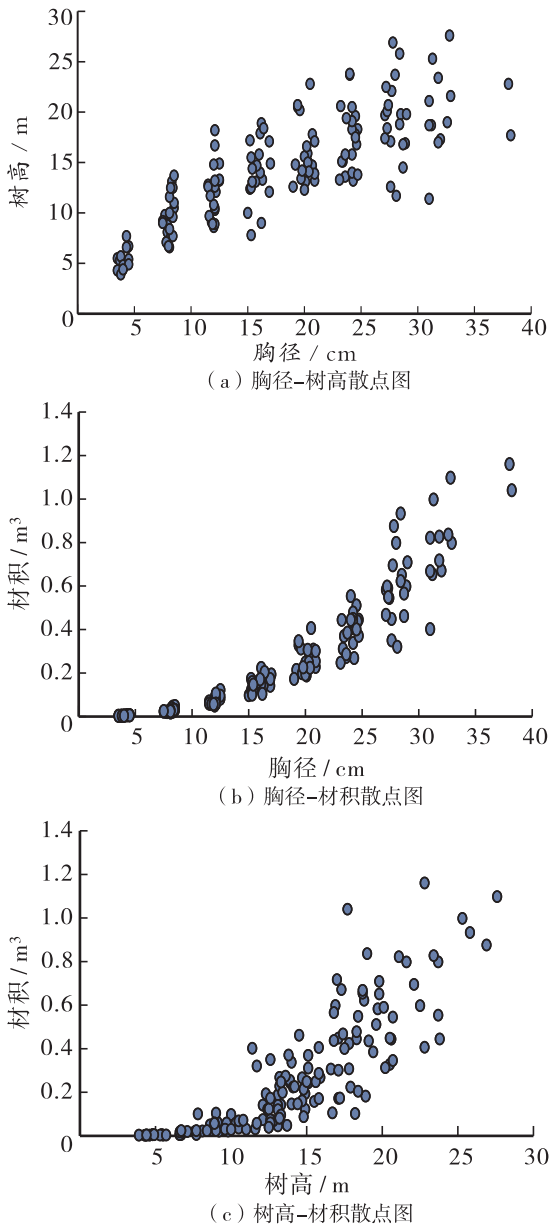


图1 胸径、树高、材积散点图

与因变量之间的散点分布趋势,本文选取6种胸径-树高模型拟合树高曲线,采用常用的一元和二元材积方程拟合材积模型,具体模型形式见表2。各模型表达式中, D 为胸径,单位为 cm ; H 为树高,单位为 m ; V 为材积,单位为 m^3 ; a 、 b 、 c 为待估参数; e 为自然常数。

2.3 新一元材积模型拟合

基于备选树高曲线的拟合结果,选择拟合效果较好的模型代入二元材积模型,求解新一元材积公式中的树高曲线参数,得到类似模型7的新一元材积公

表2 备选树高曲线和材积模型

类别	模型编号及名称	模型表达式
树高曲线	1 异速生长方程	$H = aD^b$
	2 Воляср	$H = 1.3 + aD^b e^{-cD}$
	3 Richards 模型	$H = 1.3 + a(1 - e^{-bD})^c$
	4 Logistics 模型	$H = 1.3 + a/(1 + be^{-cD})$
材积模型	5 Mitscherlich 模型	$H = 1.3 + a(1 - be^{-cD})$
	6 Gompertz 模型	$H = 1.3 + ae^{-be^{-cD}}$
	7 一元材积模型	$V = aD^b$
	8 二元材积模型	$V = aD^b H^c$

式^[15],将新一元材积模型记为模型9,并计算各评价指标。模型通式如下:

$$V = a_0 D^{b_0} f(D)^{c_0} \quad (2)$$

式中: a_0 、 b_0 、 c_0 为模型8拟合所求得的参数; $f(D)$ 为拟合效果较好的树高曲线模型,通过拟合重新求解该树高曲线模型的参数。

2.4 模型检验与评价指标

采用“留一法”对模型进行适用性检验。综合考虑各种评价指标,本研究中采用确定系数(R^2)、参数变动系数(CV)、估计值的标准差(SEE)、总相对误差(TRE)、平均预估误差(MPE)、平均系统误差(MSE)、平均百分标准误差($MPSE$)和预估精度(P)等8个评价指标作为比较和评价备选模型的标准,各指标计算公式如下:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

$$CV_i = \sigma_i / C_i \times 100\% \quad (4)$$

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

$$TRE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i} \times 100\% \quad (6)$$

$$MPE = t_{0.05} (SEE/\bar{y}) / \sqrt{n} \times 100\% \quad (7)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) / \hat{y}_i \times 100\% \quad (8)$$

$$MPSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(y_i - \hat{y}_i) / \hat{y}_i| \times 100\% \quad (9)$$

$$P = \left[1 - t_{0.05} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n(n-p)}} / \frac{\hat{y}}{\bar{y}} \right] \times 100\% \quad (10)$$

式中: y_i 为树高、材积的实测值; \hat{y}_i 为模型预估值; \bar{y}

为实测值的平均值； \hat{y} 为模型预估值的平均值； n 为样本数； p 为模型参数个数； σ_i 为第*i*个参数估计值的标准差； C_i 为第*i*个参数的估计值； $t_{0.05}$ 为置信水平 $\alpha=0.05$ 时的*t*分布值。

3 结果分析

3.1 树高曲线拟合结果

利用 ForStat 软件对备选树高曲线模型进行参数求解，并计算各模型的评价指标，结果如表 3 所示。对于树高曲线来说，所有模型的 R^2 均在 0.66 以上，最高为模型 5 (0.683 9)，最低为模型 4 (0.663 9)，但各模型间相差不大；从评价指标来看，所有模型参数的变动系数均在 30% 以内，模型表现较为稳定，所有模型在 *SEE* 和 *MPE* 两个指标上表现均较为接近，分别稳定在 3.0 m 和 3.4% 左右；对于 *TRE* 和 *MSE* 来说，仅有模型 1 和模型 4 超过 -4.0%，且模

型 4 的 *MPSE* 明显高于其他模型。从 *P* 来看，所有模型的 *P* 均在 96% 以上，模型拟合效果较好。

各模型的拟合树高曲线如图 2 所示。在小径阶 ($D < 8$ cm) 范围内，模型 1 的预估值略高于其余 5 个模型，且其余 5 个模型的拟合曲线基本重合；当胸径居于 8 ~ 24 cm 时后，模型 1 的曲线趋势明显不同，其余 5 个模型的拟合曲线仍比较接近；对于大径阶来说，当胸径 > 24 cm 后，除模型 1 外的其余 5 个模型拟合曲线趋势开始出现较大不同，其中模型 4 和模型 6 的曲线更为平缓，模型 2、3、5 的拟合曲线仍基本重合。

绘制各模型残差图，如图 3 所示。对模型残差进行分析可知，模型 1、4、6 在大径阶存在明显系统偏差，其中模型 1 的预估值明显偏大，模型 4 和模型 6 则明显偏小，这与模型拟合曲线反映出来的趋势相同。模型 2、3、5 基本无系统偏差。

表 3 树高曲线模型拟合结果

模型 编号	a		b		c		R^2	SEE/ m	TRE/ %	MPE/ %	MSE/ %	MPSE/ %	P/ %
	预估值	变动系数/%	预估值	变动系数/%	预估值	变动系数/%							
1	2.593 6	7.78	0.616 3	4.54	--	--	0.670 3	3.05	-4.09	3.43	-3.89	16.13	96.71
2	1.138 1	17.47	1.037 9	10.30	0.024 5	29.41	0.682 7	3.00	-3.77	3.38	-3.74	15.91	96.75
3	21.500 7	9.32	0.070 9	26.21	1.155 6	13.56	0.683 6	2.99	-3.73	3.37	-3.71	15.86	96.76
4	18.291 4	3.65	6.424 1	13.13	0.194 5	9.95	0.663 9	3.09	-3.96	3.48	-4.04	16.53	96.67
5	21.730 2	7.99	1.049 5	3.84	0.065 6	17.97	0.683 9	2.99	-3.74	3.37	-3.68	15.84	96.76
6	19.163 9	4.57	2.480 4	7.32	0.129 6	11.25	0.674 3	3.04	-3.85	3.42	-3.84	16.17	96.71

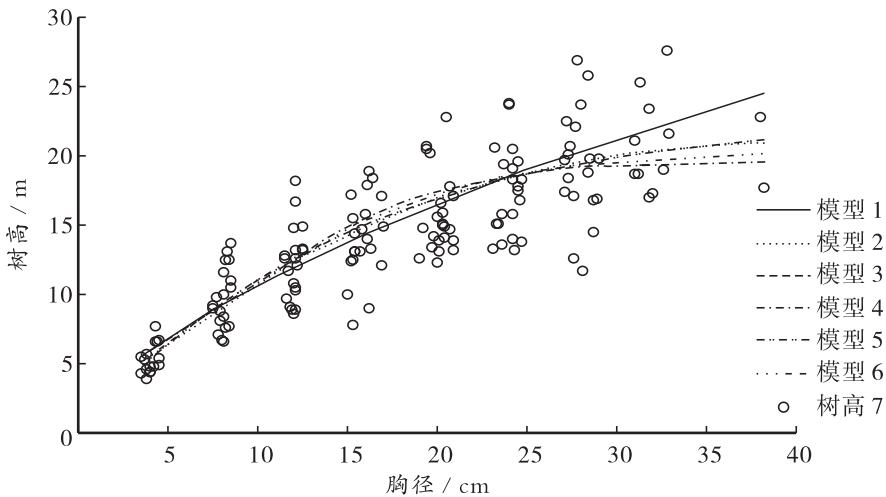


图 2 树高模型拟合曲线

3.2 树高曲线模型检验评价

对于所有备选模型，采用“留一法”进行检验

评价，并计算各评价指标，结果如表 4。所有模型的各项指标均比较接近， R^2 均在 0.65 以上，*P* 均超过

表4 树高曲线模型适用性检验评价结果

模型	R^2	SEE/m	TRE/%	MPE/%	MSE/%	MPSE/%	P/%
1	0.662 5	3.08	-4.12	3.45	-3.87	16.35	96.68
2	0.671 7	3.05	-3.77	3.43	-3.67	16.23	96.70
3	0.672 8	3.04	-3.73	3.43	-3.64	16.19	96.70
4	0.651 1	3.14	-3.96	3.54	-3.97	16.92	96.60
5	0.673 7	3.04	-3.73	3.42	-3.60	16.17	96.71
6	0.663 1	3.09	-3.84	3.48	-3.76	16.52	96.66

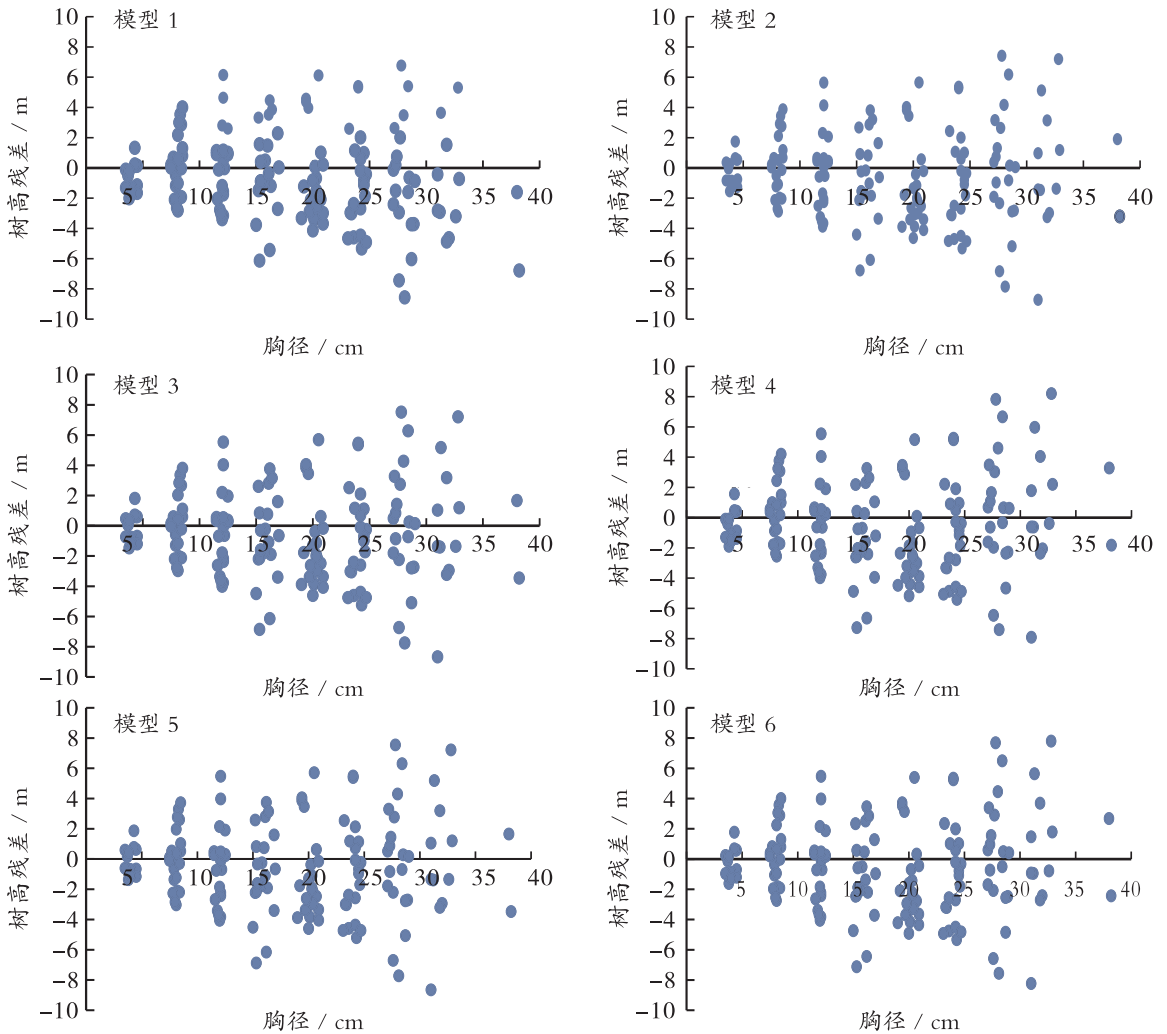


图3 树高曲线模型残差散点图

96%, MPE和MSE均在 $\pm 4\%$ 以内, MPSE均在17%以下,说明模型预测效果较好。综合模型拟合和检验评价结果来看,模型5的评价指标表现最好,可选择模型5作为最优树高曲线。

3.3 材积模型拟合结果

材积模型拟合结果见表5。模型7和模型8的参

数变动系数均低于10%, R^2 和P均分别超过0.89和95%,模型整体表现较好;从评价指标来看,模型7的TRE达-6.07%,未达到林业行业标准^[16]规定的 $\pm 3\%$ 的允许误差范围, MPE也略高于5%;与一元模型相比,模型8增加树高变量后,模型的各项指标均有较大提升,如 R^2 从0.896 7提高到0.987 1,

TRE 从 -6.07% 下降到 0.29%、*MPE* 从 5.07% 下降到 1.80%、模型 *P* 从 95.23% 提高到 98.19%，模型拟合效果有较大提升。

模型 9 所有参数的变动系数均小于 30%，模型比

较稳定。与模型 7 相比，模型 9 的各项指标均表现更好，*TRE* 和 *MPE* 的提升最为明显，其中，*TRE* 从 -6.07% 下降到 -4.21%，*MPE* 从 5.07% 下降到 4.76%，其他评价指标也有不同程度的提高，说明模型 9 的拟

表 5 材积模型拟合结果

模型编号	a		b		c		R^2	SEE/m	TRE/%	MPE/%	MSE/%	MPSE/%	P/%
	预估值	变动系数/%	预估值	变动系数/%	预估值	变动系数/%							
7	1.5980×10^{-4}	8.05	2.4800	1.17	—	—	0.8967	0.09	-6.07	5.07	-4.32	16.76	95.23
8	0.7020×10^{-4}	4.47	1.8831	1.37	0.9311	3.88	0.9871	0.03	0.29	1.80	-0.81	7.17	98.19
9	24.0843	11.97	1.0228	3.64	0.0533	23.83	0.9095	0.08	-4.21	4.76	-4.23	16.48	95.44

合效果更好。

3.4 材积模型适用性检验与对比分析

采用“留一法”对模型进行检验评价，结果见表 6。3 种材积模型的 *P* 均超过 95%，适用性检验均表现较好。模型 8 和模型 9 均满足林业行业标准规定的模型适应性检验误差范围，但模型 7 的 *TRE* 仍超过

$\pm 5\%$ 范围、*MPE* 也高于 5%，这与模型拟合结果表现一致。

通过模型拟合图及残差图对 3 种材积模型进行对比分析。从图 4 可知，3 种材积模型在小径阶时的拟合值差别不大， ≥ 28 cm 径阶后，模型 7 的预测值高于模型 9，32 cm 径阶之后这种趋势更为明显；模型 8

表 6 材积模型适用性检验评价指标

模型	R^2	SEE/m	TRE/%	MPE/%	MSE/%	MPSE/%	P/%
7	0.8939	0.09	-6.10	5.14	-4.29	16.98	95.17
8	0.9865	0.03	0.31	1.84	-0.77	7.33	98.16
9	0.9060	0.08	-4.21	4.86	-4.14	16.80	95.35

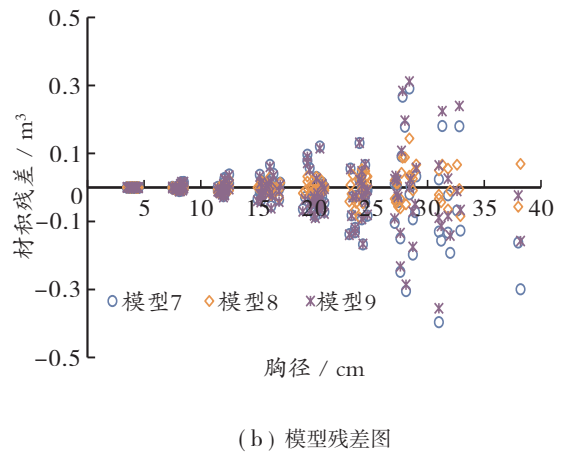
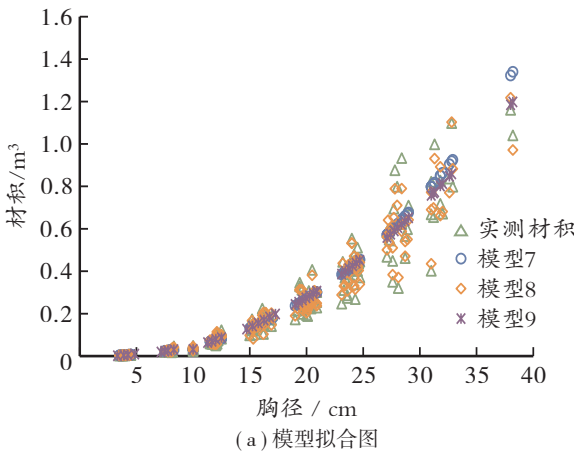


图 4 材积模型拟合及残差散点图

和模型 9 在大径阶的预测值仍较为接近，预测值更接近材积实测值。从残差图来看，模型 7 在大径阶存在明显的系统偏差，模型预估值偏大；模型 8 残差分布较为均匀，不存在明显的系统偏差；相对模型 7 而言，模型 9 在大径阶的残差分布更加均匀，系统偏差

更小，但与模型 8 相比，模型 9 的残差在 0 值上下波动幅度更大。

综合模型拟合、检验及对比分析，常规一元模型（模型 7）拟合效果最差，且不能满足林业行业标准要求，常规二元模型（模型 8）拟合效果最好，新一

元材积模型(模型9)拟合效果介于模型7和模型8之间,各项指标也在允许的误差范围内,可应用于实际生产。

4 讨论与结论

4.1 讨论

对比研建的常规一元材积模型和新一元材积模型可知,新一元材积模型能显著提高模型的拟合效果,减少系统偏差,这与前人的研究结果一致^[1,17]。从模型结构分析,常规一元材积模型仅考虑胸径一个自变量,胸径越大,模型的预估值越大;胸径相同、模型的预估值相同。但现实林分中,胸径相同的林木,其树高可能相差很大,而立木材积与胸径、树高和形数密切相关,只以胸径作为自变量,无法对立木材积进行有效控制,容易产生较大误差^[18-19]。从自变量和因变量来看,新一元材积模型也仅以胸径作为自变量,但其本质上是将树高曲线代入二元材积模型,相当于建立以胸径和胸径对应的理论树高值为自变量的材积模型,相较于传统一元材积模型来说,新一元材积模型增加了树高约束,更符合林木生长实际。

从建模数据结构来看,本研究中建模样本在不同径阶的分布不够均匀,大径阶和成、过熟林阶段样本数量较少,可能对模型拟合产生一定影响。为建立更加准确的模型,建议增加大径阶样本数,以提高拟合精度、保证模型适用性。

4.2 结论

本文以湖南省马尾松实测数据为基础,拟合了6种树高曲线模型和常规一元、二元材积模型。通过对比分析,选择拟合效果最好的树高曲线模型代入二元材积模型,构建新一元材积模型,并对比评价3种材积模型的拟合效果,得到以下结论。

(1) 所有树高曲线模型的 R^2 均在0.66以上、 P 均超过96%,各模型的 TRE 和 MSE 均控制在 $\pm 5\%$,模型拟合效果良好。综合对比分析模型拟合曲线、残差图和检验评价结果,确定模型5为最优树高曲线模型。

(2) 一元、二元材积模型的 R^2 和 P 均分别在0.89和95%以上,二元材积模型的各项指标均较一元模型更好;代入树高曲线后构建的新一元材积模型的各项指标均较常规一元模型更好,且能满足林业行业标准规定的误差范围要求。

(3) 对比3种材积模型,常规一元材积模型在大径阶表现出较大的预估偏差,而新一元材积模型可以有效降低这种偏差,拟合值更接近材积实测值和二元材积模型拟合值,可用于生产实践。

参考文献:

- [1] 蒲莹,曾伟生,阳帆.北京市树高胸径回归模型研建及一元立木材积表检验[J].林业资源管理,2021(3):62-66.
- [2] 曾伟生,杨学云.我国一元立木材积表基本现状分析与估计误差检验[J].林业资源管理,2023(2):43-49.
- [3] 杜德鱼.一元立木材积表的适用精度检验方法探讨[J].林业资源管理,2017(5):35-38,44.
- [4] 施恭明,林力,江希钊,等.马尾松一元材积表树高曲线差异性检验[J].林业勘察设计,2016,36(4):26-30.
- [5] 夏忠胜,曾伟生,朱松,等.贵州省人工杉木立木材积方程研建[J].北京林业大学学报,2012,34(1):1-5.
- [6] 隋宏大.树高测量综合技术比较研究[D].北京:北京林业大学,2009.
- [7] Temesgen H, Gadow K. Generalized height-diameter models: an application for major tree species in complex stands of interior British Columbia [J]. European Journal of Forest Research, 2004, 123(1): 45-51.
- [8] Arabatzis A A, Burkhart H E. An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in loblolly pine plantations [J]. Forest Science, 1992, 38(1): 192-198.
- [9] Huang S, Price D, Titus S J. Development of ecoregion-based height-diameter models for white spruce in boreal forests [J]. Forest Ecology and Management, 2000, 129(1): 125-141.
- [10] 刘薇玮,邓华锋,冉啟香,等.湖南省杉木林分相容性树高曲线方程组研究[J].浙江农林大学学报,2017,34(6): 1051-1058.
- [11] 段光爽,李学东,冯岩,等.华北落叶松天然次生林树高曲线的混合效应模型[J].南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(2): 163-169.
- [12] 朱光玉,罗小浪.湖南栎类天然混交林优势木树高曲线哑变量模型研究[J].林业资源管理,2017(4): 22-29.
- [13] Ciceu A, Garcia-Duro J, Seceleanu I, et al. A generalized nonlinear mixed-effects height-diameter model for Norway spruce in mixed-uneven aged stands [J]. Forest Ecology and Management, 2020, 477.
- [14] Briseño-Reyes J, Corral-Rivas J J, Solis-Moreno R, et al. Individual tree diameter and height growth models for 30 tree species in mixed-species and uneven-aged forests of Mexico [J]. Forests, 2020, 11(4): 429.
- [15] 曾伟生.论一元立木材积模型的研建方法[J].林业资源管理,2004(1): 21-23.
- [16] 国家林业局.一元立木材积表编制技术规程:LY/T 2414—

2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.

- [17] 易善军, 曾伟生. 森林资源连续清查中四种一元材积估计方法的对比分析 [J]. 中南林业调查规划, 2017, 36 (3): 5-7, 12.

- [18] 曾伟生. 国家森林资源连续清查中的材积估计问题探讨 [J]. 中南林业调查规划, 2007, 26 (2): 1-3, 6.
[19] 曾伟生, 杨学云, 陈新云. 单木和林分水平一元与二元材积模型的预估精度对比 [J]. 中南林业调查规划, 2017, 36 (4): 1-6.

(上接第17页)

- [3] 崔林丽, 杜华强, 史军, 等. 中国东南部植被 NPP 的时空格局变化及其与气候的关系研究 [J]. 地理科学, 2016, 36 (5): 787-793.
[4] 谭森, 周启刚. 2000-2015 年典型山地区域净初级生产力时空分布特征 [J]. 水土保持研究, 2019, 26 (6): 339-346.
[5] 刘金山, 张蓓, 彭泰来, 等. 广东省国家级公益林 NDVI 时空变化特征分析 [J]. 中南林业调查规划, 2022, 41 (2): 32-35.
[6] 姜春, 吴志峰, 程炯, 等. 广东省土地覆盖变化对植被净初级生产力的影响分析 [J]. 自然资源学报, 2016, 31 (6): 961-972.
[7] 张静, 任志远. 汉江流域植被净初级生产力时空格局及成因 [J]. 生态学报, 2016, 36 (23): 7667-7677.
[8] 李金珂, 杨玉婷, 张会茹, 等. 秦巴山区近 15 年植被 NPP 时空演变特征及自然与人为因子解析 [J]. 生态学报, 2019, 39 (22): 8504-8515.
[9] 谢宝妮, 秦占飞, 王洋, 等. 黄土高原植被净初级生产力时空变化及其影响因素 [J]. 农业工程学报, 2014, 30 (11): 244-253.
[10] 吴珊珊, 姚治君, 姜丽光, 等. 基于 MODIS 的长江源植被 NPP 时空变化特征及其水文效应 [J]. 自然资源学报, 2016, 31 (1): 39-51.
[11] 张璐, 任鸿瑞. 人类活动对锡林郭勒盟草原净初级生产力的影响研究 [J]. 自然资源学报, 2017, 32 (7): 1125-1133.
[12] 王强, 张廷斌, 易桂花, 等. 横断山区 2004-2014 年植被

- NPP 时空变化及其驱动因子 [J]. 生态学报, 2017, 37 (9): 3084-3095.
[13] 姬盼盼, 高敏华, 杨晓东. 中国西北部干旱区 NPP 驱动力分析: 以新疆伊犁河谷和天山山脉部分区域为例 [J]. 生态学报, 2019, 39 (8): 2995-3006.
[14] 李恒凯, 欧彬, 刘雨婷. 基于 MOD17A3 的南岭山地森林区植被 NPP 时空分异分析 [J]. 西北林学院学报, 2017, 32 (6): 197-202.
[15] 李登科, 王钊. 基于 MOD17A3 的中国陆地植被 NPP 变化特征分析 [J]. 生态环境学报, 2018, 27 (3): 397-405.
[16] 苑全治, 吴绍洪, 戴尔阜, 等. 过去 50 年气候变化下中国潜在植被 NPP 的脆弱性评价 [J]. 地理学报, 2016, 71 (5): 797-806.
[17] 周婧, 何政伟, 张志, 等. 植被 NPP 时空格局与气象因子的关系分析 [J]. 地理空间信息, 2018, 16 (11): 25-28, 31.
[18] 周平, 林雯, 符式培, 等. 南亚热带六种典型人工林碳收支研究 [J]. 生态科学, 2015, 34 (6): 111-117.
[19] 安相, 陈云明, 唐亚坤. 东亚森林、草地碳利用效率及碳通量空间变化的影响因素分析 [J]. 水土保持研究, 2017, 24 (5): 79-87, 92.
[20] 王斌, 刘某承, 张彪. 基于森林资源清查资料的森林植被净生产量及其动态变化研究 [J]. 林业资源管理, 2009 (1): 35-43.
[21] 吴文跃, 姚顺彬, 徐志扬. 基于森林资源清查数据的江西省主要森林类型净生产力研究 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2019, 43 (5): 193-198.

《中南林业调查规划》征稿启事

《中南林业调查规划》是由国家林业和草原局主管、国家林业和草原局中南调查规划院主办的学术期刊, 创刊于 1982 年。国际标准刊号 ISSN 1003-6075, 国内统一刊号 CN 43-1095/S。

本刊主要刊载森林资源管理、湿地资源管理、荒漠化(石漠化)监测与防治、林业碳汇计量监测、森林经营、林业调查规划设计、自然保护地规划、自然保护区科学考察、林业遥感、林业信息化、计算机软件在林业生产中开发与应用等方向的新技术、新动态、新成果。

本刊面向全国征稿, 热诚欢迎广大作者踊跃投稿。

E-mai: ZLDF@chinajournal.net.cn; 3489481887@qq.com。

邮编: 410014

电话: (0731) 85679720

地址: 长沙市雨花区香樟东路 143 号

《中南林业调查规划》编辑部

我国岩溶地区 2016—2021 年石漠化土地动态变化及其原因分析

张亚威, 刘庭威, 黄俊威, 吴协保, 彭 玺, 宁小斌, 张晓晨, 刘 伟

(国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南长沙 410014)

摘要: 为提升石漠化调查成果数据共享应用水平, 通过挖掘整理与分析最近两期石漠化调查数据, 从石漠化土地状况、程度、分省、流域及土地利用现状等方面分析石漠化土地动态变化情况, 并从林草植被保护、石漠化生态修复、生态环境承载压力、农村能源、社会经济、农业生产条件、基础设施建设及自然气候条件等方面归纳总结石漠化变化原因。得出如下结论: 2016—2021 年, 岩溶地区石漠化土地总面积净减少 333.1 万 hm^2 , 年均缩减率为 7.7%, 且各省石漠化土地面积均减少; 2016—2021 年, 轻度、中度、重度和极重度石漠化土地减少面积分别为 118.8 万 hm^2 、149.2 万 hm^2 、54.2 万 hm^2 和 10.9 万 hm^2 , 石漠化程度减轻。石漠化土地“面积减少、程度减轻”首先归结于持续实施石漠化土地一体化生态保护与修复政策、生态工程, 治理成效日趋显现; 其次是人为活动压力减轻与良好的自然气候条件相结合, 促进了岩溶地区林草植被的自然修复。通过掌握我国石漠化土地动态变化规律, 以期为我国石漠化防治政策调整与科学推进石漠化综合工程提供数据支撑。

关键词: 岩溶地区; 石漠化土地; 石漠化程度; 动态变化; 变化原因

中图分类号: S788; X171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6075 (2023) 03-0067-06

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.03.015

Dynamic Change and Reason Analysis of Rocky Desertification Land in Karst Area of China During 2016—2021

ZHANG Yawei, LIU Tingwei, HUANG Junwei, WU Xiebao,
PENG Xi, NING Xiaobin, ZHANG Xiaochen, LIU Wei

(Central South Academy of Inventory and Planning of NFGA, Changsha 410014, Hunan, China)

Abstract: In order to improve the data sharing and application level of rocky desertification survey results, the dynamic change of rocky desertification land is analyzed from the aspects of rocky desertification land status, degree, province, river basin and land use status by digging, sorting and analyzing the recent two periods of rocky desertification survey data. The reasons for the change of rocky desertification are summarized from the aspects of forest and grass vegetation protection, rocky desertification ecological restoration, ecological environment bearing pressure, rural energy, social economy, agricultural production conditions, infrastructure

* 收稿日期: 2023-05-13

基金项目: 2022 年国家重点研发计划 (2022YFF1300700); 国家林业和草原局重点研发项目“岩溶地区碳储量及碳汇潜力评估技术研发与应用”(GLM [2021] 106 号)。

作者简介: 张亚威 (1985—), 女, 河南郑州人, 大学本科, 工程师, 主要从事森林资源调查监测与林业生态咨询设计等工作。E-mail: 273965469@qq.com。

通信作者: 吴协保 (1972—), 男, 湖南安化人, 硕士研究生, 教授级高级工程师, 主要从事石漠化调查监测与防治规划及林业生态咨询设计等工作。E-mail: 543439391@qq.com。

construction and natural climate conditions. The conclusions are as follows: (1) during 2016—2021, the total area of rocky desertification land in karst areas was net decreased by 3.331 million hm^2 , with an average annual reduction rate of 7.7%, and the area of rocky desertification land decreased in all provinces; (2) during 2016—2021, the land area of mild, moderate, severe and extremely severe rocky desertification decreased by 1.188 million hm^2 , 1.492 million hm^2 , 0.542 million hm^2 and 0.109 million hm^2 , respectively, and the degree decreased; (3) The reduction of both the area and degree of the rocky desertification land is first attributed to the continuous implementation of the integrated ecological protection and restoration policy and ecological engineering of the rocky desertification land, and the treatment effect is becoming increasingly apparent; secondly, the combination of human disturbance reduction and good natural climate conditions promotes the natural restoration of forest and grass vegetation in karst areas. The dynamic changing laws of rocky desertification land in our country are understood, which provides a data basis for the adjustment of rocky desertification control policy and scientific promotion of rocky desertification comprehensive project.

Key words: karst area; rocky desertification land; degree of rocky desertification; dynamic change; cause of change

石漠化是我国岩溶地区的首要生态问题,已成为区域自然灾害之源、贫困落后之根、生态安全之患,直接影响长江、珠江两大流域的生态安全,严重制约着区域经济社会的可持续发展^[1-3]。为准确掌握我国岩溶地区石漠化动态变化情况,科学推进石漠化综合治理工作,在前三次石漠化调查的基础上,国家林业和草原局于2021年组织开展第四次石漠化调查,2022年12月底正式向社会发布调查结果。本文重点阐述第三次和第四次石漠化调查的石漠化土地动态变化情况,并对石漠化变化原因进行系统论述,以期科学推进石漠化综合治理提供数据支撑。

1 石漠化土地动态变化范围

本次石漠化调查的动态变化范围指第四次石漠化

调查与第三次石漠化调查的动态可比岩溶土地区域,涉及湖北、湖南、广东、广西、重庆、四川、贵州、云南8省(自治区、直辖市,简称“省”,下同)465县(市、区,简称“县”,下同)的岩溶土地,不包含第四次调查新增的2省41县岩溶土地。第四次调查范围内岩溶土地面积为4520.6万 hm^2 ,较第三次调查范围内岩溶土地面积减少1.6万 hm^2 。

2 石漠化土地动态变化状况

2.1 总体变化

与2016年对比,2021年的石漠化土地面积净减少333.1万 hm^2 ,减少了33.1%,年均缩减率为7.7%;潜在石漠化土地面积净增加201.3万 hm^2 ,增加了13.7%;非石漠化土地增加了130.1万 hm^2 ,增加了6.4%。详见表1。

表1 2016—2021年岩溶土地石漠化状况变化情况

岩溶土地	面积/万 hm^2		变化量/ 万 hm^2	变化率/ %	年均变化 率/%
	2016年	2021年			
石漠化	1 007.0	673.9	-333.1	-33.1	-7.7
潜在石漠化	1 466.9	1 668.2	201.3	13.7	2.6
非石漠化	2 048.4	2 178.5	130.1	6.4	1.2
合计	4 522.3	4 520.6	-1.6	-0.000 4	-0.007 5

2.2 各省石漠化土地面积变化

与2016年的石漠化土地面积相比,2021年8省石漠化土地面积均有所减少,详见表2。贵州省石漠化减少面积最多,为92.0万 hm^2 ,其他依次为云南、广西、湖北、湖南、重庆、四川和广东,减少面积分别为63.9

万 hm^2 、48.3万 hm^2 、39.0万 hm^2 、35.8万 hm^2 、29.4万 hm^2 、22.1万 hm^2 和2.6万 hm^2 。按年均缩减率看,以广东省最高,为10.9%,其他依次为湖北(9.9%)、重庆(9.1%)、贵州(8.9%)、四川(7.7%)、广西(7.3%)、湖南(6.5%)和云南(6.1%)。

表2 2016—2021年各省石漠化土地面积变化情况

调查区域	面积/万 hm ²		变化量/ 万 hm ²	变化率/ %	年均缩减 率/%
	2016年	2021年			
贵州	247.0	155.0	-92.0	-37.2	8.9
云南	235.2	171.3	-63.9	-27.2	6.1
广西	153.3	105.0	-48.3	-31.5	7.3
湖北	96.2	57.2	-39.0	-40.5	9.9
湖南	125.1	89.3	-35.8	-28.7	6.5
重庆	77.3	47.9	-29.4	-38.0	9.1
四川	67.0	44.9	-22.1	-32.9	7.7
广东	5.9	3.3	-2.6	-43.9	10.9
合计	1 007.0	673.9	-333.1	-33.1	7.7

2.3 流域变化

与2016年的石漠化土地面积相比,2021年,除澜沧江流域外,其余各流域均减少,详见表3。其中,长江流域减少面积最多,为195.7万hm²,占调查区域内减少的石漠化土地总面积的58.8%;其他

表3 2016—2021年各流域的石漠化土地面积变化情况

流域名称	面积/万 hm ²		变化量/ 万 hm ²	变化率/ %	年均缩减率/ %
	2016年	2021年			
长江流域	599.2	403.5	-195.7	-32.7	7.6
珠江流域	343.9	224.8	-119.1	-34.6	8.1
红河流域	45.9	31.8	-14.1	-30.8	7.1
怒江流域	12.3	8.1	-4.2	-34.2	8.0
澜沧江流域	5.7	5.7	0.0	0.0	0.0
合计	1 007.0	673.9	-333.1	-33.1	7.7

表4 2016—2021年不同地类的石漠化土地面积变化情况

地类	面积/万 hm ²		变化量/ 万 hm ²	变化率/ %	年均缩减 率/%
	2016年	2021年			
林地	681.0	408.4	-272.6	-40.0	9.7
耕地	261.6	181.8	-79.8	-30.5	7.0
其他土地	52.8	10.6	-42.2	-79.9	27.5
草地	11.6	52.8	41.2	355.2	-35.4
园地	—	20.3	20.3	100.0	—
合计	1 007.0	673.9	-333.1	-33.1	7.7

2.5 石漠化程度的土地面积变化

与2016年相比,2021年调查区域内各石漠化程度的土地面积均有所减少,详见表5。轻度、中度、重度和极重度石漠化土地减少面积分别为118.8万hm²、149.2万hm²、54.2万hm²和10.9万hm²,分别占调

依次为珠江流域、红河流域和怒江流域,减少面积分别为119.1万hm²、14.1万hm²和4.2万hm²,分别占调查区域内石漠化土地减少总面积的35.7%、4.2%和1.3%。从年均缩减率看,珠江流域和怒江流域的年均缩减率相对较大,分别为8.1%和8.0%;其次为长江流域和红河流域,分别为7.6%和7.1%。

2.4 土地利用状况变化

与2016年相比,2021年调查区域内耕地、林地、其他土地中的石漠化土地面积均有所减少,详见表4。其中,林地中的石漠化土地减少面积最多,减少面积为272.6万hm²;耕地、其他土地中的石漠化土地减少面积分别为79.8万hm²、42.2万hm²。草地和园地中的石漠化土地面积分别增加了41.2万hm²和20.3万hm²,这主要是因为第四次石漠化调查采用的是第三次全国国土调查土地利用现状分类技术标准,园地是新增的一级地类,草地主要是由前期未利用土地中的荒草地转变为本期草地中的其他草地。

查区域内石漠化土地减少总面积的35.6%、44.8%、16.3%和3.3%。轻度、中度、重度与极重度石漠化土地面积占石漠化土地总面积的比重由2016年的38.8:43.0:16.5:1.7变为2021年的40.4:42.1:16.6:0.9,其中极重度石漠化土地面积比重较2016年下降

表5 2016—2021年不同程度的石漠化土地面积变化情况

石漠化程度	面积/万 hm ²		变化量/ 万 hm ²	变化率/ %	年均缩减 率/%
	2016年	2021年			
轻度石漠化	391.3	272.5	-118.8	-30.4	7.0
中度石漠化	432.6	283.4	-149.2	-34.5	8.1
重度石漠化	166.2	112.0	-54.2	-32.6	7.6
极重度石漠化	16.9	6.0	-10.9	-64.5	18.7
合计	1 007.0	673.9	-333.1	-33.1	7.7

0.8%，轻度石漠化面积比重增加1.6%，石漠化状况总体呈现“面积减少，程度减轻”的态势。

3 石漠化土地动态变化原因

总体而言，2016—2021年，调查区域内岩溶石漠化土地面积持续减少，程度减轻，生态状况稳定好转。这是区域人为活动压力减轻与良好水热条件有效结合促进植被自然修复的结果，更是党的十八大把生态文明建设纳入了“五位一体”总体布局，国家和各级党委、地方政府实施石漠化土地一体化生态保护与修复的必然产物。调查结果显示，人工造林种草和林草植被保护在石漠化土地治理中发挥着主导作用，其贡献率达60.5%；土地压力减轻和农村能源结构调整等，在促进植被自然修复中的贡献率为23.0%；基础设施建设的贡献率为8.0%；农业工程技术措施的贡献率为8.5%。

3.1 林草植被保护政策持续优化，为石漠化区生态保护提供了保障

习近平生态文明思想深入人心，成为各级政府制定林草植被保护政策和广大人民群众自觉开展生态保护与修复的行动指南^[4-5]。林草植被保护政策持续优化，为石漠化区生态保护提供了保障。一是持续优化天然林资源保护、生态公益林补偿、草原生态奖补等政策，大幅度增加对林草植被保护的投入，提高了国家重点公益林生态效益补助标准，实行差异化补助。这一举措极大地调动了林农保护林草植被的积极性，促进了岩溶地区林草植被恢复与生态环境改善。二是随着集体林权制度改革的推进，真正把集体林地的林权证明到户，确权发证，做到“山定权、树定根、人定心”，实现了产权明晰、权属稳定。集体林木成为群众的个人财产，广大林农保护森林、植树造林的积极性空前高涨，促进了森林资源的经营和保护，对石漠化地区的森林植被保护和恢复功不可没。三是中

央生态环境保护督察、国家森林资源督查、毁林开垦专项行动、自然保护区“绿盾”行动等持续开展，对林草资源保护力度明显加大，督办并查处了一批大案要案，进一步规范了林草资源管理，抑制了人为破坏。

3.2 防治工程不断推进，石漠化土地得到有效治理与修复

2011—2020年，国家对岩溶地区石漠化综合治理工程的投入稳中有升，“十三五”时期中央财政预算专项投入达108.8亿元，较“十二五”时期增加了8.8亿元；在石漠化耕地区域启动实施了新一轮退耕还林工程；实施天然林资源保护二期工程，全面停止了天然林的商业性采伐，强化岩溶地区天然林资源保护；继续实施长防、珠防等重大防护林建设工程。据统计，十八大以来，岩溶地区8省完成林草植被建设与生态修复总面积2 596.2万hm²，推进了岩溶地区林草植被恢复与石漠化土地生态修复进程；2016—2021年，石漠化综合治理、退耕还林还草、防护林建设等重大生态工程实施减少石漠化土地面积达333.1万hm²，石漠化土地得到有效治理与修复。

3.3 农村人口转移，降低了土地承载压力

一是城镇化率提高。随着城镇化的持续推进，岩溶地区城镇化率不断提高，大量的农村人口进入城镇生活，农村人口持续减少，减轻了对土地的压力。据《中国统计年鉴（2008—2022年）》，从2007—2021年8省城镇、农村人口对比走势（图1）可以看出，岩溶地区8省的城镇人口呈逐年增加趋势，农村人口则呈减少趋势。岩溶地区8省465个调查县的城镇化率由2011年的35.2%提高到2020年的48.7%，年均增长1.5%。

二是农村劳动力劳务输出与流动性增强。据统计，2011—2020年，8省每年农村富余劳动力跨省转移人数均超过1 200万人；与2011年相比，2020年岩溶地区8省总流动人口大幅增加，由原来的7 898万人

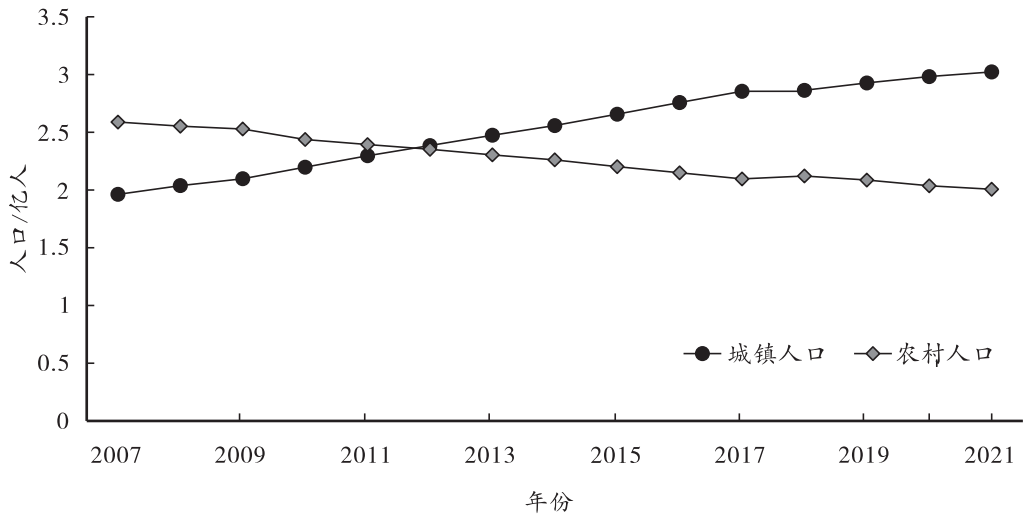


图1 2007—2021年岩溶地区8省城镇、农村人口的变化对比

增长到1.29亿人。其中贵州省流动人口增加最为显著,是2010年的2.3倍。农村劳动力输出及流动性增强,降低了对土地的依赖程度,减轻了土地承载压力。

随着城镇化率提高和农村劳动力输出,2011—2020年间,岩溶地区8省农村人口由23796万人减少到19242万人,减少了4554万人,减少幅度达19.1%。农村人口的减少,在一定程度上降低了岩溶土地的承载压力。

3.4 农村能源结构变化,减轻了对岩溶地区植被的破坏

通过实施农村能源工程,农村家庭能源呈多元化趋势,非生物质能源比重上升,薪材比重逐年下降,森林资源消耗减少。农村能源结构的变化,间接保护了石漠化地区的林草植被^[6]。据2021年农村能源典型县抽样调查结果显示,在农村能源结构中,传统薪材所占比重由2011年的37.2%下降到2021年15.0%以下,而沼气、太阳能等新型能源以及电力、天然气、液化气等商品型能源得到广泛应用,农村能源结构不断优化。如云南省建水县2021年农村能源年消费占比调查中,农户能源年均消耗最高的为太阳能,在能源消耗结构中占比约为65%;而薪材消耗仅为10年前的1/10。

3.5 扶贫力度加大,促进了岩溶地区的生态经济好转

十八大以来,各省扶贫力度不断加大,通过易地扶贫搬迁安置,将生活在不具备基本生存条件地区的贫困人口从岩溶地区搬迁出来,使岩溶石漠化土

地得到休养生息^[7-8]。“十三五”期间,仅云南、广西、贵州三省通过易地扶贫搬迁安置的群众人数共计362.6万人。同时,结合生态建设,各省积极发展经济林、林下经济等特色生态经济型产业。广西54个贫困县的林业产业总产值累计超过2400亿元,年均增长10%以上,林业产业扶贫、生态扶贫累计直接带动60万名以上贫困人口稳定脱贫,带动120万名以上贫困人口增收^[9]。2021年,广西林下经济发展面积达455.3万 hm^2 ,产值1300多亿元,惠及林农1400多万人。贵州大力发展油茶、竹、花椒、皂角等特色林业产业和林下经济等林业产业,林业总产值从2016年的1676亿元增加到2020年的3378亿元,参与经营林下经济的企业和专业合作社等经济实体达1.4万余个,林下经济项目覆盖贫困人口48.9万人^[10]。

3.6 农业生产条件改善,提高了石漠化耕地的质量

石漠化地区人均耕地面积小,且主要为坡耕地,耕地质量差,人地矛盾突出。各地通过实施国土整治、农业综合开发、退耕还林、小流域综合治理等项目,开展坡改梯、客土改良等工程,配套建设小型水利水保设施,改善农业生产条件,建设高标准农田,将石漠化土地转变为潜在石漠化及非石漠化土地,有效提高了耕地质量与作物产量^[11]。据统计,2016—2021年,岩溶地区实施坡改梯、客土改良及横坡种植、间作、轮作、保护性耕作等农业技术措施的面积达40.6万 hm^2 。2012—2021年,岩溶地区8省的粮食总产量增长6.8%,粮食单产增加到5.43 t/hm^2 。由于土地生产力提高,农民收入增加并对土地依赖降低,这

间接加强了石漠化土地的治理效果和生态保护。

3.7 工程建设占用或利用岩溶土地，直接减少了石漠化面积

“十三五”期间，随着各地工业园区建设、易地扶贫搬迁、水利和道路等基础设施建设与城镇化建设步伐加快，建设用地规模不断增加，原石漠化与潜在石漠化土地变为建设用地。调查结果显示，2016—2021年因工程占用，潜在石漠化土地和石漠化土地直接转化为建设用地的面积达36.7万 hm^2 ，较上个监测期增加11.5万 hm^2 ，工程建设加快了石漠化土地面积减少。

3.8 气候条件总体良好，有利于岩溶地区植被恢复

调查县域的整体气候平稳，基本水热同期，加之近几年绝大部分地区温度持续升高，降雨量也有所增加，林草植被生长季延长，为林草植被生态修复提供了有利的气候条件。据《中国气象蓝皮书（2021）》显示，1951—2020年，中国地表年平均气温呈显著上升趋势，升温速率为 $0.26\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{年}$ ；1961—2020年，中国平均年降水量呈增加趋势，平均每10年增加 5.1 mm ；2000—2020年，中国年平均归一化植被指数（NDVI）呈显著上升趋势，2016—2020年的中国平均NDVI较2000—2019年平均值上升 6.0% ，为2000年以来植被覆盖状况最好的五年。据《中国生态气象公报（2021）》显示，2012—2021年植被生态质量指数较2000—2001年、2002—2011年两个阶段平均水平分别提高 15.9% 、 7.8% ，其中2021年全国植被生态质量指数更是创2000年以来新高。据统计，2016—2021年，岩溶地区林草植被自然修复面积积达 $105.5\text{ 万}\text{hm}^2$ 。

4 结语

(1) 与2016年同口径比，2021年调查区域内各省石漠化土地面积均减少，共减少 $333.1\text{ 万}\text{hm}^2$ ，减少了 33.1% ，年均缩减率为 7.7% ；各程度的石漠化

土地面积均减少，轻度、中度、重度和极重度石漠化土地减少面积分别为 $118.8\text{ 万}\text{hm}^2$ 、 $149.2\text{ 万}\text{hm}^2$ 、 $54.2\text{ 万}\text{hm}^2$ 和 $10.9\text{ 万}\text{hm}^2$ 。由此可见，我国石漠化土地状况总体呈现“面积减少，程度减轻”的向好趋势。

(2) 石漠化区域的生态状况稳定好转，这是岩溶地区人为活动压力减轻与良好水热条件的有效结合促进自然修复的结果，更是党的十八大把生态文明建设纳入了“五位一体”总体布局，国家和各级党委、地方政府实施石漠化土地一体化生态保护与修复成效显著的具体体现。

参考文献：

- [1] 吴协保，但新球，吴照柏，等. 中国岩溶地区石漠化防治形势与对策研究 [J]. 中南林业调查规划, 2019, 38 (4): 1-8.
- [2] 吴协保. 继续推进岩溶地区石漠化综合治理二期工程的现实意义 [J]. 中国岩溶, 2016, 35 (5): 469-475.
- [3] 吴照柏，但新球，吴协保，等. 中国喀斯特石漠化 [M]. 北京：中国林业出版社，2020.
- [4] 但新球，吴照柏，吴协保，等. 近15年中国岩溶地区石漠化土地动态变化研究 [J]. 中南林业调查规划, 2019, 38 (2): 1-7.
- [5] 吴协保，宁小斌，肖金顶，等. 长江经济带石漠化防治形势与对策研究 [J]. 中南林业调查规划, 2021, 40 (4): 68-72.
- [6] 林忠毅，张亚丽，陶进，等. 基于MODIS的桂西南喀斯特峰丛洼地石漠化时空变化及驱动力影响因素分析 [J]. 大众科技, 2023, 25 (2): 41-45, 27.
- [7] 韦向诚. 河池市岩溶地区石漠化综合治理技术及成效 [J]. 南方农业, 2023, 17 (2): 232-234.
- [8] 赵庆国. 关于打造石漠化治理与乡村振兴深度融合新模式的建议 [N]. 贵州政协报, 2023-01-16 (B02).
- [9] 王艳群，张雷. 我区林业年总产值有望突破7500亿元 [N]. 广西日报, 2020-12-25 (5).
- [10] 贵州省林业局. 贵州森林覆盖率达到60% [EB/OL]. (2021-03-13) [2023-05-13]. <http://www.forestry.gov.cn/main102/20210312/192328125733574.html>.
- [11] 赵庆国. 推动石头山转化为绿水青山金山银山：访广东省韶关市市长陈志清 [N]. 中国经济导报, 2023-03-21 (6).
生态保护修复工程试点 [J]. 生态学报, 2019, 39 (23): 8939-8947.
- [41] 王金南，苏洁琼，万军. “绿水青山就是金山银山”的理论内涵及其实现机制创新 [J]. 环境保护, 2017, 45 (11): 13-17.

(上接第54页)

- [39] 范树印. 科学开展山水林田湖草一体化保护和修复的指引：《山水林田湖草生态保护修复工程指南》技术逻辑解读 [J]. 青海国土经略, 2020 (5): 27-29.
- [40] 杨庆媛，毕国华. 平行岭谷生态区生态保护修复的思路、模式及配套措施研究：基于重庆市“两江四山”山水林田湖草

Contents

Analysis and Suggestion on Development of Forest Health and Wellness Industry in Yunnan Province.....	ZHAO Shuxue(1)
Evaluations of Tourism Development Suitability and Tourism Attractions Grade in Sanmenjiang National Forest Park.....	ZHANG Ying, WANG Liao(5)
SWOT Analysis of Forest Carbon Sequestration Development in Guangxi Gaofeng State Owned Forest Farm.....	LU Yanwu, MO Yafang, XU Zhanyong , LU Feng(10)
Temporal and Spatial Variation Characteristics of NPP of National Commonweal Forest in Guangdong Province.....	LIU Jinshan, ZHANG Bei, LI Jia, XU Lei(14)
Discussion on Status quo and Countermeasures of Wetland Protection and Management in Lujiang County Anhui Province.....	LIU Enlin, PENG Tailai(18)
Status quo and Countermeasures of Ecological Restoration of Rocky Desertification Land in Carst Area of Henan Province.....	PEI Weiguo(22)
Effects and Suggestion of Establishing a National Wetland Park in Improving Bird Species Diversity ——Take the Example of Hunan Luxi Wushui National Wetland Park	TIAN Kaihui, GONG Fawu, ZHENG Xiaojun, YANG Yiting(25)
Research on Forest Volume Estimation Based on Multisource Remote Sensing Data——Taking Mengjiagang Forest Farm in the north as an Example	ZOU Zelin, LIU Ziwei, WEN Min, HUANG Xin(29)
Design of a Deep Learning-Based Smoking Recognition System for Forest Fires.....	LI Ziming, SHI Zhenwei, XU Haiwen, LONG Jun, ZHU Yongbing, ZHOU Guoxiong(36)
Prediction of Tibet’s Potential Suitable Areas for <i>Sophora moorcroftiana</i> Based on MaxEnt Model.....	ZHANG Xiaochen, NING Xiaobin, SHI Wei, LIU Hongwei(41)
Practice of Compiling 1 : 1 Million Forest Distribution Map of Yunnan Province Based on ArcGIS.....	CHEN Chunxiang, LI Yuanjie, WANG Haiibo, YANG Xiaosong(46)
Review of Research on Mountains-Rivers-Forests-Fields-Lakes-Grasses in China	FAN Yinglong(51)
Practice of Forest Chief System in Tibet... WANG Jinhao, DONG Yawen, LIU Ling, LI Lingzhi, HONG Yongzhong(55)	
Construction of Height – Diameter Models and Tree Volume Models for <i>Pinus Massoniana</i> in Hunan Province.....	WANG Jinchu, CHEN Zhenxiang, DU Zhi, LIU Ziwei, LAN Junyu, CAO Wenhao, YANG Wentao, TANG Xing, HU Man(59)
Dynamic Change and Reason Analysis of Rocky Desertification Land in Karst Area of China During 2016—2021.....	ZHANG Yawei, LIU Tingwei, HUANG Junwei, WU Xiebao, PENG Xi, NING Xiaobin, ZHANG Xiaochen, LIU Wei(67)

《中南林业调查规划》第九届编辑委员会

主 编: 周学武

副 主 编: 杨 宁 刘世好

编 委: (按姓氏笔画为序)

王 华	王本洋	王春俊	代华兵	向左甫	刘世好
刘扬晶	刘恩林	齐建文	孙 华	杜克兵	李 伟
李有志	李家湘	杨 宁	杨 帆	肖化顺	吴后建
佃袁勇	佟富春	余 志	张 慧	张志飞	陈毅青
林寿明	岳跃民	周学武	秦新生	徐基良	黄华国
董世魁	程 云	普布顿珠	曾伟生		

编 辑: 阳胜男

英文审校: 张铁平

中南林业调查规划

Central South Forest Inventory and Planning

(季刊·公开发行)

(Quarterly,Public Distribution)

1982年创刊

Started in 1982

2023年8月 第42卷 第3期

Vol.42 No.3 Aug.2023

主管: 国家林业和草原局

Supervised by: National Forestry and Grassland Administration

主办: 国家林业和草原局中南调查规划院

Sponsored by: Central South Academy of Inventory and Planning of NFGA

出版: 《中南林业调查规划》编辑部

Edited & Published by: Editorial Department of Central South Forest Inventory and Planning

发行: 《中南林业调查规划》编辑部

Address: No.143 Xiangzhang Road East, Changsha, Hunan

地址: 长沙市雨花区香樟东路143号

邮编: 410014

Postcode: 410014

电话: (0731) 85679720

Telephone: (0731) 85679720

E-mail: ZLDF@chinajournal.net.cn

E-mail: ZLDF@ chinajournal.net.cn

3489481887@qq.com

3489481887@qq.com

印刷: 湖南敦昊彩色印务有限公司

Printed by: Hunan Dunhao Colour Printing Co.Ltd.

ISSN 1003-6075

CN 43-1095/S

国内定价: 7.50元