

ISSN 1003-6075

CN 43-1095/S

中南林业调查规划

Central South Forest Inventory and Planning

Vol.42 No.4

2023年第4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

(卷终)

林业经营与管理

- 公益林建设背景下浙江省森林类型结构变动分析 陶琪佳,徐达,唐扬龙,周原驰(1)
- 北京市林业碳汇工作实践与发展建议 郑宇,尹准生,周原驰,陈江芳,唐玉(5)
- 多项式模型错误参数更正方法探析 温文,谢鹏,刘圣愉,黄鹏飞,温志高(10)

生态建设

- 湖南水府庙国家湿地公园植物多样性研究 张亚威(16)
- 基于生态景观连通性的浏阳市自然保护区整合优化评价
..... 陈胜兰,丁山,魏甫,阳胜男,周维,罗致,毛旭鹏(21)
- 江西省生态文明试验区林草改革实践与发展对策研究 罗致,魏甫,黄哲,敖俊杰,陈胜兰(26)

科技应用

- 基于高分光学遥感影像的湖南省油茶林地识别技术研究——以汉寿县为例
..... 杨文军,张杨,王福生,瞿跃辉(30)
- 基于运动性疲劳理论的城市型森林公园游步道规划研究——以浙江东阳南山国家森林公园为例
..... 孙伟韬,黄龙标,陈未亚(35)
- 基于Web的县级森林资源管理系统设计与实现 黄家涛(41)

专题研究

- 西藏数字林长建设研究 董雅雯,李玲知,贺煌,刘玲,王晋昊,洪永忠,卓玛曲珍(47)
- 拉萨河生态廊道构建思路及实施策略研究
..... 周学武,梁曾飞,刘扬晶,刘伟,彭泰来,胡沛琳,李佳,张同,齐建文,杨帆(53)

湖南省主要树种系列数表模型研建之四

- 湖南省栎类削度方程模型研建 邹泽林,米玛次仁,王金池,贺蔚成,黄鑫,兰俊宇,曹文昊(63)

岩溶地区石漠化土地现状、动态及防治对策研究系列(完)

- 中国岩溶地区石漠化防治总体形势与策略分析 ... 彭奎,吴协保,黄俊威,张亚威,宁小斌,张晓晨,刘伟(70)

公益林建设背景下浙江省森林类型结构变动分析

陶琪佳¹, 徐 达^{1,2}, 唐扬龙³, 周原驰³

(1. 浙江省林业勘测规划设计有限公司, 浙江 杭州 310020;

2. 浙江省森林资源监测中心, 浙江 杭州 310020;

3. 国家林业和草原局华东调查规划院, 浙江 杭州 310019)

摘要: 以森林类型为研究对象, 以各森林类型的面积比重和转移量、转移率为研究指标, 利用2004年以来的省级森林资源年度监测成果, 对浙江省2004年开展公益林建设以来的森林类型结构变动情况进行分析。结果表明: 2004—2019年, 在森林植被总面积微增的情况下, 阔叶林面积逐渐超过针叶林面积, 并已成为浙江的优势森林类型, 经济林和灌草丛的面积均呈逐年递减态势, 竹林面积则渐增。综合看, 2004—2019年的森林类型动态演替受到多重驱动因子的作用, 特别是松材线虫病的逐渐蔓延与全域危害, 它们已成为浙江森林演替的主导驱动因子。

关键词: 公益林建设; 森林类型结构变动; 森林资源年度监测; 浙江省

中图分类号: S757.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-6075 (2023) 04-0001-04

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.001

Analysis of Structural Change of Forest Type in Zhejiang in the Context of Public Welfare Forest Construction

TAO Qijia¹, XU Da^{1,2}, TANG Yanglong³, ZHOU Yuanchi³

(1. Zhejiang Forestry Survey Planning and Design Co., Ltd., Hangzhou 310020, Zhejiang, China;

2. Center for Forest Resources Monitoring of Zhejiang Province, Hangzhou 310020, Zhejiang, China;

3. East China Academy of Inventory and Planning of NFGA, Hangzhou 310019, Zhejiang, China)

Abstract: Taking forest type as the research unit and the area proportion, transfer volume and transfer rate of each type of forest as the research indicators, and utilizing the results of the annual monitoring of provincial forest resources since 2004, the structural change of forest type since the construction of public welfare forests being carried out in Zhejiang Province in 2004 was analyzed. The results show that from 2004 to 2019, under the slight increase in the total area of forest vegetation, the area of broad-leaved forest gradually exceeded the area of coniferous forest and the broad-leaved forest has become the dominant forest type in Zhejiang, the area of economic forest and scrubland showed a decreasing trend year by year, while the area of bamboo forest increased gradually. Comprehensively, the dynamic succession of forest types from 2004 to 2019 was driven by multiple driving factors, especially the gradual spread of pine wilt disease and its damage of the whole region, which became the dominant driving factor of forest succession.

Key words: public welfare forest construction; structural dynamics of forest types; annual monitoring of forest resources; Zhejiang Province

* 收稿日期: 2023-09-19

作者简介: 陶琪佳(1997—), 女, 浙江杭州人, 本科, 助理工程师, 主要从事林业调查规划工作。E-mail: chikaa316@gmail.com。

通信作者: 唐扬龙(1987—), 男, 浙江绍兴人, 本科, 工程师, 主要从事森林资源调查监测研究。E-mail: ty18076@163.com。

植被是地表覆盖的植物群落的总称,它与气候、土壤、地形、水状况及人为活动密切相关。森林是陆地植被的主体,作为地球上最重要的陆地生态系统,对地球生物圈和其他地表过程有着重要影响^[1]。森林具有动态变化的特征,在多种驱动因子的作用下,随着时间的推移,树种组成会发生明显的变化^[2],树种组成的持续变动,会对森林的结构与功能产生深刻影响。

我国于20世纪70年代建立了每5年一周期的森林资源连续清查体系,翔实记录了我国森林资源保护发展的历史轨迹^[3-5],也为研究森林类型的动态演变提供了连续、准确、权威的数据。汪求来^[6]依据广东省1978—2012年8次森林资源连续清查资料,研究广东天然林资源近35年的动态变化并分析其原因。王洪荣等^[7]以四川省近40年的森林资源连续清查结果为基础,对四川省天然乔木林的动态演变规律及变化原因进行研究。卢金宝等^[8-9]利用台州市和衢州市1994—2019年的森林资源连续清查固定样地数据,对浙江省东部和西部的乔木林持久性和树种结构变化进行对比研究。任典挺等^[10]基于连续6期台州市森林资源连续清查固定样地数据,对台州市乔木林树种结构变化进行模拟与预测。游昌顺等^[11]利用龙泉市2004年和2011年136个公益林监测样地的调查结果,对龙泉公益林生长与树种结构变化进行了对比分析。

1 研究区概况

浙江省地处中国东南沿海,长江三角洲南翼,地理坐标为27°02′—31°11′N、118°01′—123°10′E,陆域面积10.55万km²。浙江属于典型的亚热带季风性湿润气候,四季分明、光照充足、雨量丰富,年平均气温15~18℃,年日照时数1100~2200h,年均降水量1100~2000mm。

“七山一水二分田”是浙江土地构成的基本特征,境内地貌以低山、丘陵为主体,钱塘江、甌江、灵江、苕溪、甬江、飞云江、鳌江、曹娥江是浙江省的主要水系,红壤、黄壤和红黄壤是浙江省的主要土壤类型,浙江省的地带性森林植被是亚热带常绿阔叶林。

2004年12月,浙江省政府办公厅首次公布了经全省森林分类区划界定的省级以上的重点公益林面积194.96万hm²,占当年林地总面积的29.2%,并据此启动实施以公共财政为主体的公益林建设补偿制度,这标志着浙江的林业建设正式步入以生态建设为主的时期。

随后,浙江省对重点公益林面积进行了多次调整。2023年7月,浙江省政府办公厅第六次公布全省重点公益林面积为296.38万hm²,占同年林地总面积的44.9%。

2 材料和方法

2.1 数据来源

浙江省的森林资源连续清查体系始建于1979年,以东西6km、南北4km的间距布设调查样地,现有国家森林资源连续清查样地4252个。2004年浙江省完成了国家森林资源连续清查第五次复查,接着依托于国家连续清查体系部署开展省级年度监测,2005—2011年通过复查其中1/3样地的方式实施省级年度监测(除2009年复查全部样地外);自2012年开始,每年对4252个国家连续清查样地进行全部复查,持续开展省级森林资源年度监测^[12-13],并对每个样地内胸径≥5cm的样木进行每木调查,记录树种名称,确定森林类型。森林类型分为针叶林、针阔混交林、阔叶林、竹林、经济林、灌草丛。显然,浙江的公益林建设与省级年度监测起始在同一年度,为开展公益林建设背景下的森林类型结构变动分析研究创造了有利条件。

2.2 数据处理

本文以森林类型为研究对象,以各森林类型的面积比重及年转移量、年转移率为研究指标,分析各森林类型的动态变化情况。计算公式为:

$$\text{面积比重: } M_i = (A_{ib}/A) \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{年转移量: } \Delta A_i = (A_{ib} - A_{ia})/T \quad (2)$$

$$\text{年转移率: } P_i = (\Delta A_i/A_{ia}) \times 100\% \quad (3)$$

式中: A 为森林类型的总面积, A_i 为第 i 类森林类型的面积, A_{ib} 为第 i 类森林类型的期末面积, A_{ia} 为第 i 类森林类型的期初面积, T 为监测时长(年度监测时, $T=1$), M_i 为第 i 类森林类型的面积比重, ΔA_i 为第 i 类森林类型在监测期间的年均转移面积, P_i 为第 i 类森林类型在监测期间的年均面积转移率。

3 结果与分析

3.1 各森林类型年度监测结果

根据2004—2019年的省级森林资源年度监测成果,浙江省森林植被总面积由615.78万hm²增加到622.46万hm²,增加了1.08%,年际起伏较小。在森林植被面积总量处于稳定的情况下,依据式(1)计算各森林类型的面积比重,如表1所示。

表1 2004—2019年间各森林类型的面积及比重监测结果

监测年度	总面积/ 万 hm ²	针叶林		针阔混交林		阔叶林		竹林		经济林		灌草丛	
		面积/ 万 hm ²	比重/ %	面积/ 万 hm ²	比重/ %	面积/ 万 hm ²	比重/ %	面积/ 万 hm ²	比重/ %	面积/ 万 hm ²	比重/ %	面积/ 万 hm ²	比重/ %
2004年	615.78	257.91	41.89	42.37	6.88	93.33	15.16	78.29	12.71	112.52	18.27	31.36	5.09
2005年	617.41	257.83	41.76	46.93	7.60	92.70	15.01	78.98	12.79	112.65	18.25	28.32	4.59
2006年	621.40	250.71	40.35	49.84	8.02	102.06	16.42	79.21	12.75	111.80	17.99	27.78	4.47
2007年	618.31	240.36	38.87	54.26	8.77	102.80	16.63	78.98	12.77	113.43	18.35	28.48	4.61
2008年	620.15	238.90	38.52	49.72	8.02	113.50	18.30	81.93	13.21	109.50	17.66	26.60	4.29
2009年	616.70	216.18	35.05	56.76	9.20	137.13	22.24	83.34	13.51	107.95	17.50	15.34	2.50
2010年	615.24	202.95	32.99	62.04	10.08	146.22	23.77	84.78	13.78	103.91	16.89	15.34	2.49
2011年	620.69	206.72	33.31	63.02	10.15	146.07	23.53	84.76	13.66	104.71	16.87	15.41	2.48
2012年	619.14	195.33	31.55	65.14	10.52	155.68	25.14	86.43	13.96	101.48	16.39	15.08	2.44
2013年	619.86	186.04	30.01	68.25	11.01	161.86	26.11	88.10	14.22	100.53	16.22	15.08	2.43
2014年	620.08	175.77	28.35	68.91	11.11	171.66	27.68	90.06	14.53	98.59	15.90	15.09	2.43
2015年	620.54	170.96	27.55	71.08	11.45	175.24	28.24	91.02	14.67	97.38	15.69	14.86	2.40
2016年	620.98	164.75	26.53	71.08	11.45	182.65	29.41	91.98	14.81	95.45	15.37	15.07	2.43
2017年	622.68	161.40	25.92	71.78	11.52	186.49	29.95	92.70	14.89	95.45	15.33	14.86	2.39
2018年	622.36	153.00	24.58	70.10	11.27	197.99	31.81	93.18	14.97	93.29	14.99	14.80	2.38
2019年	622.46	142.26	22.85	73.92	11.88	205.19	32.96	94.09	15.12	92.42	14.85	14.58	2.34

由表1可知,2004年(公益林建设的起始时期),浙江各森林类型按所占比重的排序依次为:针叶林→经济林→阔叶林→竹林→针阔混交林→灌草丛。此排序持续至2008年,阔叶林取代经济林成为第二大森林类型;2015年,阔叶林又取代针叶林成为第一大森林类型;

2019年,竹林面积开始超过经济林面积,浙江各森林类型按所占比重的排序已调整为:阔叶林→针叶林→竹林→经济林→针阔混交林→灌草丛。

2004—2019年,浙江省各森林类型的面积比重变动情况如图1所示。

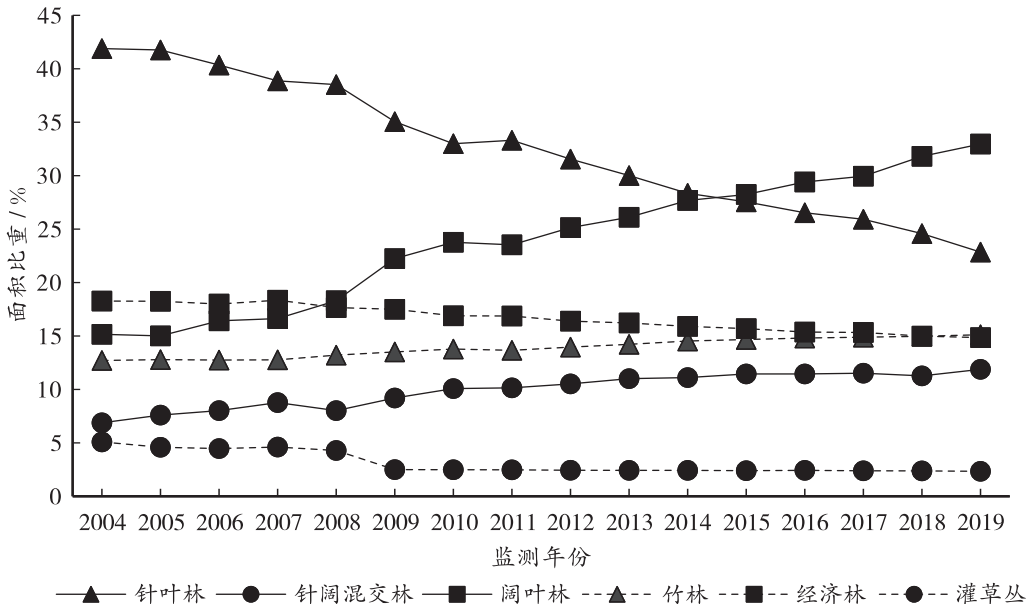


图1 各森林类型面积比重动态变化

3.2 各森林类型面积的转移量、转移率

2004—2019年,各森林类型的变动趋势尽管不同,但不存在明显的上下跳动情况。为简化数据处理手续,本文采用5年为一个研究间隔期的方式进行森

林类型动态变化分析。依据式(2)、式(3)计算得到各森林类型在各监测期间的面积和比重的年转移量、年转移率,如表2所示。

由表2可知,2004—2019年浙江省的森林类型结

表2 2004—2019年各森林类型的面积和比重的年转移量、转移率

监测期间	指标	针叶林		针阔混交林		阔叶林		竹林		经济林		灌草丛	
		年转移量/ 万 hm ²	年转移率/ %	年转移量/ 万 hm ²	年转移率/ %	年转移量/ 万 hm ²	年转移率/ %	年转移量/ 万 hm ²	年转移率/ %	年转移量/ 万 hm ²	年转移率/ %	年转移量/ 万 hm ²	年转移率/ %
2004—2009年	面积	-8.35	-3.24	2.88	6.79	8.76	9.39	1.01	1.29	-0.91	-0.81	-3.20	-10.22
	比重	-1.37	-3.27	0.46	6.74	1.42	9.34	0.16	1.26	-0.15	-0.84	-0.52	-10.18
2009—2014年	面积	-8.08	-3.74	2.43	4.28	6.91	5.04	1.34	1.61	-1.87	-1.73	-0.05	-0.33
	比重	-1.34	-3.82	0.38	4.15	1.09	4.89	0.20	1.51	-0.32	-1.83	-0.01	-0.56
2014—2019年	面积	-6.70	-3.81	1.00	1.45	6.71	3.91	0.81	0.89	-1.23	-1.25	-0.10	-0.68
	比重	-1.10	-3.88	0.15	1.39	1.06	3.82	0.12	0.81	-0.21	-1.32	-0.02	-0.74
2004—2019年	面积	-7.71	-3.60	2.10	4.17	7.46	6.11	0.53	1.26	-1.34	-1.26	-1.12	-3.74
	比重	-1.27	-3.66	0.33	4.09	1.19	6.02	0.16	1.19	-0.23	-1.33	-0.18	-3.83

构产生了较大的分化。总体来看,阔叶林、针阔混交林、竹林的面积处于增长之中,阔叶林增幅最大;针叶林、经济林、灌草丛的面积一直减少。并且,年转移量指标在各类森林的面积与比重表现中的差异往往较大,但年转移率指标在各类森林的面积与比重中表现了相对的一致性。以年转移率指标作判别,2004—2019年,针叶林的面积下降3.6%以上,且下降势头未见明显减弱;阔叶林的面积年增长6%以上,但增长势头逐渐减弱;针阔混交林的面积年增长4%以上,增长势头减弱;竹林与经济林的面积变动情况正好相反,竹林的面积正以年均1.2%左右的速度增长,而经济林的面积正以年均1.2%以上的速度在减少;灌草丛的面积年均减少3.7%以上,主要表现在2004—2009年的锐减,之后减幅较小。

4 讨论与结论

4.1 讨论

在公益林建设大背景下,浙江省各森林类型在其面积和占比中的具体表现各不相同。2004—2019年,针叶林的面积始终处于不断下降之中,在松材线虫病的严重危害和杉木为主的用材林基地停滞发展的双重作用下,平均以每年7.71万hm²、1.27%的速度在下降,其面积占比已由2004年的41.89%下降到2019年的22.85%。阔叶林的面积则正好相反,平均以每年7.46万hm²、1.19%的速度处于不断的增长之中,

但增幅减小,其占比已由15.16%上升到32.96%。针阔混交林伴随阔叶林,其面积呈同步增长态势,但增幅相对较缓,其面积占比已由6.88%提高到11.88%。竹林、经济林是人工植被的主体,经济林由于效益较差的桑园、板栗、柑橘等大宗品种面积的减少,造成总面积呈逐年递减趋势,面积占比已下降到14.85%;竹林由于早期效益较好,加之具有自然扩鞭的习性,面积渐增,竹林面积已超过经济林面积,其面积占比已达15.12%。灌草丛总量不大,因封山育林等作用,部分转化为阔叶幼林,在2004—2009年转化特别明显,其面积占比已由2004年的5.09%下降到2019年的2.34%。

2004—2019年,浙江省森林类型动态演替受多重驱动因子的作用。首先,林业建设进入到以生态建设为主的时期,天然阔叶林得到全面保护,且群众生活能源脱离了对薪柴的依赖,为阔叶林、针阔混交林的恢复发展创造了良好的政策与社会条件。其次,近20多年来,木材市场不景气,以杉木为主的用材林基地建设停滞,经济林建设由量的扩张转为质的提升,竹林得到持续扩展,这给森林结构带来了很大影响。特别是松材线虫病的逐渐蔓延与全域危害,松树林面积已由2004年的132.64万hm²锐降到2018年的49.80万hm²^[13],成为浙江森林向阔叶化演替的主导驱动因子。

(下转第69页)

北京市林业碳汇工作实践与发展建议

郑宇¹, 尹准生¹, 周原驰¹, 陈江芳², 唐玉³

- (1. 国家林业和草原局华东调查规划院, 浙江 杭州 310019;
2. 磐安县自然资源和规划局, 浙江 金华 322300;
3. 浙江华东林业工程咨询设计有限公司, 浙江 杭州 310019)

摘要: 基于林业的碳中和贡献及潜力, 阐明了北京市在应对气候变化、实现碳中和目标中的林业碳汇工作实践及面临的挑战, 并针对在实现“双碳”目标行动中的林业碳汇工作提出了具体建议, 以激发我国林业碳汇在助推实现“双碳”目标中的潜力, 充分发挥北京作为低碳试点城市的示范引领作用。

关键词: 气候变化; 碳达峰; 碳中和; 林业碳汇; 北京

中图分类号: F326.27; S718.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6075 (2023) 04-0005-05

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.002

Practice and Developing Suggestion on Forestry Carbon Sink in Beijing

ZHENG Yu¹, YIN Zhunsheng¹, ZHOU Yuanchi¹, CHEN Jiangfang², TANG Yu³

(1. East China Academy of Inventory and Planning of NFGA, Hangzhou 310019, Zhejiang, China;

2. Pan'an County Natural Resources and Planning Bureau, Jinhua 322300, Zhejiang, China;

3. Zhejiang East China Forestry Engineering Consulting and Design Co., Ltd., Hangzhou 310019, Zhejiang, China)

Abstract: Based on the contribution and potential of forestry in carbon neutrality, this study elucidates the practical implementation of forestry carbon sinks in Beijing's efforts to address climate change and achieve carbon neutrality. It also highlights the challenges faced in this regard. Furthermore, specific recommendations are proposed for forestry carbon sinks in the implementation of the "dual carbon (carbon peak and carbon neutralization)" target, aiming to stimulate the potential of China's forestry carbon sinks in boosting the achievement of "dual carbon" and fully leverage Beijing's role as a low-carbon pilot city in demonstrating leadership and guidance.

Key words: climate change; carbon peak; carbon neutralization; forestry carbon sink; Beijing

全球气候变化已是毋庸置疑的事实, 且正旷古未有地影响着全球陆地生态系统的组成、结构与功能^[1-2], 致使粮食、水和能源安全乃至全人类的健康和福祉都面临着巨大的挑战^[3]。应对气候变化, 实现可持续发展, 是全球社会面临的一项紧迫且艰巨的任务。近年来, 通过减少人类活动碳排放、增加生态系统碳汇能力来减缓全球增温趋势, 应对气候变化问

题, 已经成为全球共识^[4-5]。我国积极承担大国责任, 在第七十五届联合国大会一般性辩论和气候雄心峰会等诸多国际场合, 多次提出将提高国家自主贡献力度, 采取更加有力的措施, 力争实现2030年碳达峰和2060年碳中和的“双碳”目标^[6-7]。

城市是温室气体排放和能源消耗的主体, 在推动实现“双碳”目标中亦扮演着十分重要的角色。2010

* 收稿日期: 2022-11-18

作者简介: 郑宇 (1980—), 男, 黑龙江甘南人, 高级工程师, 主要从事森林资源监测工作。

通信作者: 尹准生 (1988—), 男, 湖南洞口人, 工程师, 主要从事森林资源规划设计调查工作。E-mail: yinzhunsheng@163.com。

年以来,我国先后启动了3批低碳省(区)和城市试点工作,积极推进“自上而下”的应对气候变化行动^[8]。多数试点城市低碳发展的相关工作推进缓慢,而且各城市间缺乏沟通交流,城市试点的示范意义尚未凸显,难以为其他城市提供借鉴^[9]。北京市作为第二批试点城市之一,坚持将降碳作为“十四五”时期首都生态文明建设的重点战略方向,持续推动产业结构优化和能源结构转型,应对气候变化工作成效显著。为切实落实中央经济工作会议提出的碳达峰、碳中和重点工作要求,积极响应中国共产党北京市第十二届委员会第十五次全体会议关于提前实现碳达峰的建设目标,进一步推进北京市园林绿化增汇减排工作,笔者在深入分析国内外增汇减排先进经验的基础上,结合国家应对气候变化战略研究和国家发展和改革委员会国际合作中心、国家林业和草原局、生态环境部、中国林业科学研究院、北京林业大学、北京市生态环境局等相关部门、专家学者的意见和建议,探讨北京市园林绿化应对气候变化工作现状及面临的挑战,并提出发展建议,以期助力北京实现“双碳”目标提供参考,同时也可作为其他城市应对气候变化工作贡献“北京经验”。

1 国内外应对气候变化发展新形势

在区域或国家层面,碳中和指在一定时期内整个区域或者国家范围内各行业排放到大气中的CO₂与通过森林或海洋碳汇等途径吸收固定回到地球生态系统的CO₂量持平,实现排放与吸收相互抵消。在企业、团体或个人层面,先测算其在一定时间内由于活动或者日常生活产生的CO₂排放总量,然后通过植树造林等途径吸收固定CO₂,从而抵消掉碳排放,实现碳中和。

欧盟于2019年率先提出了2050年实现“碳中和”的目标^[10],紧随其后的是英国、新西兰和瑞典等发达国家。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发表重要讲话,提出“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”的目标。2020年11月,习近平主席在金砖国家领导人第十二次会晤上的讲话强调,要坚持绿色低碳,促进人与自然和谐共生。我国碳中和目标的提出,对碳中和参与国家的格局产生了重要影响^[11]。2021年,美国签署重返《巴黎协定》的行政令,标志着即将持续数十年的碳中和国际进程

正式开启^[12]。

《巴黎协定》明确提出,林业是应对气候变化工作方案的重要组成部分之一,通过林业生态系统的保护、修复和可持续管理,减缓气候变化,有助于碳中和目标的实现^[13]。林业的增汇减排功能,主要体现在林业对CO₂的吸收、对碳的储存、对能源密集型材料或化石能源的替代和对气候变化的适应等诸多方面^[14]。正因为如此,林业在全球应对气候变化工作中的作用备受关注,提高森林覆盖率和森林生产力成为许多国家和国际组织应对气候变化的重要措施^[15],也是我国实现“双碳”目标的最强有力行动^[16]。

2020年底,中国共产党北京市第十二届委员会第十五次全体会议通过的《中共北京市委关于制定北京市国民经济和社会发展的第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》提出生态环境根本好转,优质生态产品供给更加充足,绿色生产生活方式成为社会广泛自觉,碳排放率先达峰后持续下降,天蓝、水清、森林环绕的生态城市基本建成的要求。2021年初,北京市制定了碳达峰碳中和工作专班方案,提出了园林绿化应对气候变化的各项任务。同时,《北京市碳减排碳中和专项行动方案》也对全市园林绿化至2025年、2030年的净碳汇量提出了目标要求。

2 北京市园林绿化的碳中和贡献及潜力

2.1 北京市林业碳汇现状

截至2020年底,北京市的森林蓄积量增加到 $2.52 \times 10^4 \text{ m}^3$,森林覆盖率达到44.4%,森林资源年碳汇量为 $7.80 \times 10^6 \text{ t}$ 。研究表明,北京市山区森林中尚存在中幼林比例较高、蓄积量较低、结构单一和功能不稳定等情况^[17-18],城市绿地节能减排技术措施持续推广应用效率不高或效果不佳。因此,北京市在未来一段时间仍有较大的增汇减排空间。

2.2 未来增汇减排空间

在增汇方面,根据“十四五”建设任务,新一轮百万亩造林、森林健康经营、平原林养护、果园增汇经营、湿地保护与恢复等措施均可以持续提升全市碳汇能力。在减排方面,全市开展低碳园林、节水灌溉、裸露地治理、非道路移动源机械节能改造措施均存在可观的减排空间。在气候变化的适应能力方面,开展气候变化影响下的森林病虫害防治、火灾管理、减少林地退化、推广适合气候变化的高碳汇树种,进

行湿地保护和恢复,提升森林绿地和湿地对气候变化的适应能力。

3 工作进展和面临挑战

北京市的林业碳汇工作在2004年就以试点项目的形式开展起来。2008年,以绿色办奥为契机,北京市的林业碳汇工作取得长足进步。2009年6月,北京市成立了专门管理机构。通过多年努力,北京市在林业碳汇管理制度、交易试点、重点工程碳汇计量、标准制定、技术推广示范、行业碳排放统计、公众宣传引导、碳基金管理等方面持续推动各项工作。

3.1 不断推进,建立林业碳汇综合管理体系

1) 出台林业碳汇发展规划管理办法。北京市园林绿化局陆续制定并发布了《北京市园林绿化应对气候变化“十三五”行动计划》等应对气候变化相关文件,形成了《北京市园林绿化工程碳汇效益评估管理办法》和《北京市园林绿化行业节能减排与固碳增汇工作方案》等全市林业碳汇固碳增汇和计量监测工作方案。北京市园林绿化局与北京市发展和改革委员会联合制定发布《北京市碳排放权抵消管理办法(试行)》,研究形成《北京市林业碳汇抵消管理办法实施细则》,出台了《北京碳汇基金项目暂行管理办法》。这些文件的出台和发布,为深入推进林业碳汇进入我国碳交易市场,将林业碳汇纳入碳排放抵消机制,实现工业减排和森林增汇双轨并行,助力碳中和目标实现,构建了管理体系。

2) 构建林业碳汇技术标准体系。《森林固碳增汇经营技术规程》(DB 11/T 1437—2017)、《林业碳汇计量监测术语》(LY/T 3253—2021)、《林业碳汇项目审定和核证指南》(GB/T 41198—2021)和《平原地区造林项目碳汇核算技术规程》(DB 11/T 1214—2015)等标准和行业规范性文件先后编制完成并发布,形成了林业碳汇生产、计量、审定和核证的闭环管理技术体系,为全市碳汇造林、重大工程碳计量、碳汇项目开发交易等工作奠定了基础。

3) 搭建林业碳汇交易开发体系。北京市建立了一套完整的林业碳汇交易流程制度和管理办法,研发了林业碳汇交易电子管理平台,指导完成了“顺义区碳汇造林一期项目”“房山区石楼镇碳汇造林项目”“房山区平原碳汇造林项目”“房山区废弃矿山生态修复项目”“河北省承德市丰宁千松坝林场碳汇造林一期项目”“塞罕坝机械林场造林碳汇项目”共

6个碳汇造林和废弃矿山生态修复林业碳汇项目开发工作,共计签发 2.84×10^5 t核证减排量,已完成交易额490余万元,为全国林业碳汇交易做出了流程示范,提供了实践经验。

4) 构建林业碳汇计量监测体系。一是利用遥感技术,对全市2000—2010年山区森林和城市绿地碳汇分布格局进行了研究。二是基于森林资源清查数据,对全市2006—2012年森林资源碳储量及年度变化量进行了测算。三是引进国际先进的涡度相关碳通量监测技术,完成位于北京冬奥会场馆周边松山人工油松林、八达岭人工混交林、密云水库人工针叶林、十三陵林场人工侧柏林、百花山天然阔叶混交林、翠湖湿地、野鸭湖湿地和奥森公园城市绿地共8个碳通量监测站点的建设,为各类型的森林绿地和湿地的碳汇能力监测提供实时数据。四是采用生物量法,建立33块涵盖山区主要森林类型的长期固定监测样地。全面打造了覆盖山区、平原、城区,涵盖遥感、碳通量、森林资源清查和生物量监测样地于一体的北京市林业碳汇监测体系,为林业碳汇助力碳中和、进一步开展林业碳汇交易和生态补偿等工作提供科学的决策依据。

3.2 强化科技,开展了林业碳汇技术研究和示范工作

1) 全面开展碳汇营造林和计量监测技术研究示范。2008年以来,北京市陆续组织实施了10余个国家级、省部级林业碳汇项目,完成了山区典型森林类型的成熟林、中龄林和幼龄林碳储量和碳汇能力监测样地筛选、定位、布设以及数据调查收集工作;建立了北京地区林业碳汇计量监测树种模型;构建了山区营林增汇碳计量方法;完成了城市绿地、山区森林以及平原人工林和果园系统的碳储量和碳汇能力评价;完成了北京市园林绿化温室气体清单编制,共建设固碳增汇营林技术示范区 200 hm^2 、推广森林经营固碳增汇技术 $2 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 、碳汇营林技术 $5.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

2) 逐步推进行业重点碳排放源减排。北京市对全市约5.4万台各类园林绿化非道路移动源机械进行了年碳排放量测算,结果表明:北京市园林绿化非道路移动源机械 CO_2 年均排放量为 6.0×10^4 t。据2019年《中国移动源环境管理年报》数据,北京市机动车的 CO_2 排放量约为 1.6×10^7 t,园林绿化非道路移动源机械的 CO_2 排放量占全市机动车排放量的0.4%。基于这些数据,北京市正逐步完善园林绿化非道路移动源

机械的控排管理制度。

3.3 广泛宣传, 逐渐提升公众参与意识

1) 搭建宣传平台, 开展宣传活动。一是开发了碳中和微信小程序、碳中和触摸查询机、手持碳足迹计算器、网络版碳足迹计算器和纸质版碳足迹计算罗盘等不同形式、易于操作的碳足迹和碳中和计算查询工具。公众通过简单操作碳足迹计算器, 就能够计算出家庭日常生活所排放的 CO_2 量, 同时可换算出中和这些碳排放量所需要栽植的树木数量。二是构建了覆盖全市主要场所的碳中和查询网点。在全市生态文明教育基地、园林绿化科普基地、学校、园艺驿站、社区等区域布设碳中和触摸查询机 30 台, 为公众提供了解气候变化与林业碳汇知识及其相关政策动态、知晓日常生活碳排放、参与碳补偿、消除碳足迹的查询平台。三是每年在北京市主要公园组织开展以宣传园林绿化应对气候变化为主题的“零碳音乐季”“森林大篷车”“森林悦读”等活动。多年来现场活动受众群体达百万人次, 累计向全市公众分发各类碳足迹和碳中和计算工具、宣传折页等 30 余万份, 网络版碳足迹计算器从 2009 年 12 月启动至今, 点击率达到上亿人次。

2) 打造碳中和平台。北京收集整理了大型会议和活动的碳排放测算因子, 结合北京地区营造林碳汇测算方法, 建立了一套适用于大型会议等活动的碳排放测算、抵消工作流程, 并通过在北京等地区开展植树造林和森林经营等活动吸收固定 CO_2 , 抵消这些活动的碳排放量, 并成功实践。例如, 2014 年, APEC 会议在北京举行, 为实现会议碳中和, 在北京和河北共营造 85 hm^2 碳中和林。这些碳中和林在 20 年计入期能够吸收固定 6371 t CO_2 , 抵消 APEC 会议期间 1.5 万名参会人员产生的碳排放, 实现会议碳中和。2010—2020 年, 共组织举办十场“森林音乐会”, 对每场音乐会进行碳计量, 累计开展森林增汇经营管理 36 hm^2 , 共计抵减掉活动排放的 3832.8 t CO_2 , 实现森林音乐会 CO_2 零排放。

3) 成立公众参与碳基金平台。2008 年以来, 推动成立了中国绿色碳汇基金会北京碳汇专项基金, 为公众参与林业碳汇、实现碳中和提供平台。截至目前, 以北京碳汇基金为平台, 通过零碳会议、购买碳汇履行植树义务等形式, 共引导 40 多个企业机构、7000 余名社会公众参与碳中和行动, 共计捐资 1900 余万元。

3.4 面临挑战

1) 森林绿地碳汇能力有待提升。目前, 北京市森林尚存在中幼林比例较高、蓄积量较低等情况, 还具有较高增汇空间。据统计, 2020 年北京市森林的单位面积蓄积量为 $34 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 仅为全国平均水平的 $1/3$ 。全市中幼林面积 $5.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占森林总面积的 79.4%。全市尚需针对北部和西部山区森林、远郊平原区域的森林及城区绿地等不同类型生态系统, 开展提升森林绿地质量、增加碳汇能力的营造林工程建设。

2) 统筹管理有待加强。在增汇方面, 首都园林绿化的碳库包含了山区森林、平原森林、城市绿地和湿地这些区域, 因此山区森林增汇经营管理、平原造林绿化和管护、城区绿地营建管护和湿地保护工作, 需要实行应对气候变化的统筹管理。在减排方面, 全市机械使用、耗水、耗电、耗材工作, 包括非移动源机械升级、节水园林、清洁能源照明、可再生材料循环利用以及塑料营养钵、地面扬尘覆盖物和防寒维护等耗材的绿色化、可降解化和去塑化等均需要统筹安排。

3) 系统规划有待完善。园林绿化应对气候变化涵盖了整个行业在增汇减排和适应减缓的多个方面、多种工作。系统规划需要根据全市森林、绿地和湿地碳汇潜力以及行业节能减排等数据, 对园林绿化行业所有的节能减排总体潜力进行年度预测, 并开展长期的评估, 制定阶段目标和中长期发展规划。

4 林业碳汇在实现“双碳”目标中的几点建议

4.1 做规划, 切实加强顶层设计

认真贯彻落实国家和北京市应对气候变化文件、规划和方针政策要求。在深入调研基础上, 摸清家底、理清思路, 加强专题研究, 抓紧出台北京市贯彻落实意见, 科学编制全市园林绿化应对气候变化实现碳中和的中长期发展规划, 以此作为推进全市园林绿化应对气候变化、助力碳中和的重要指导性文件。明确下一步北京市园林绿化增汇减排面临的问题和挑战, 提出发展总体思路和具体目标以及所涵盖领域、具体措施、技术标准, 确保园林绿化有增汇、有减排, 把该项工作努力做到全覆盖、无缺项, 有抓手、有示范, 有标准、有考核。

4.2 强管理, 建立增汇减排综合管理体系

建立全市园林绿化应对气候变化实现碳中和统筹

管理机制。一是开展摸底排查,建立碳汇和碳排放台账。二是通过开展科学绿化造林和森林抚育,有效增加绿地面积和提升各类林地绿地质量;同时进一步加强资源保护、林地使用和森林采伐管理,全面推行林长制,持续加强森林资源督查执法监管,减少碳库损失。三是推进碳汇交易和以林业碳汇为切入点的生态补偿,努力实现抵减区域工业碳排放,推进首都碳中和目标实现。

4.3 推交易,建立京津冀林业碳汇交易和补偿机制

推进建立碳汇交易和以林业碳汇为切入点的生态补偿机制,进一步完善“北京生态效益补偿”政策、推动城乡一体化发展进程,促进经济发达区县和高碳排放企业参与林业碳汇。尤其以各区县航空、能源等领域的企业为突破口,以林业碳汇价值为突破对密云、怀柔等生态涵养区进行生态补偿,打造高排放企业以林业碳汇为切入点的生态补偿案例,以成功的实践案例推进构建生态补偿政策机制,努力实现抵减区域工业碳排放,推进首都碳中和目标实现。

4.4 促参与,发动并引导全社会践行碳中和行动

壮大北京碳汇基金,在全市启动“百园宣传”行动,选择条件成熟的城市公园、森林公园、苗圃、林场等区域开展碳中和示范,利用碳中和宣传触摸查询系统、碳足迹计算器及“碳中和”宣传和文创产品等,向社会公众广泛宣传碳中和理念,倡导低碳生活。开发“互联网+我要碳中和”应用程序,积极打造“碳中和会议”“碳中和婚礼”“碳中和家庭”“碳中和出行”等一系列品牌活动。充分调动温室气体排放较多的国有大中型企业、社会团体和个人积极参与减缓气候变暖、增加林业碳汇、践行碳中和和绿色生活行动的积极性,为全社会践行碳中和和绿色责任提供参与平台。

5 结语

当前,林业碳汇应对气候变化的重要作用已受到全球高度重视,减少毁林和森林退化是最直接、最有效的应对策略。2022年3月,习近平总书记在参加首都义务植树活动时指出,森林是水库、钱库、粮库,现在应该再加上一个“碳库”。北京市在林业碳汇工作对应对气候变化、实现“双碳”目标做出了积极努力,但仍然面临着林地碳汇能力有待提升和系统规划有待完善等诸多方面的挑战。本文立足现状,

提出了下一步在实现“双碳”目标中林业碳汇建设的发展对策,以期北京市推动全球环境和气候治理、建设人与自然和谐共生的现代化献策。

参考文献:

- [1] 黄新峰,郑旭东,赵义民,等.河南杨树碳储量及其增汇能力[J].中南林业调查规划,2018,37(3):51-55.
- [2] 魏娜,李阔,许吟隆,等.中国适应气候变化的政策及行动[J].科技导报,2022,40(15):77-89.
- [3] 康蓉,史贝贝,任保平.基于自然的解决方案的气候变化治理[J].环境经济研究,2020,5(3):169-184.
- [4] 曾静静,刘燕飞,裴惠娟,等.气候变化科技领域国际发展趋势及其启示[J].世界科技研究与发展,2021,43(2):192-203.
- [5] 舒勇,吴南飞,张同,等.西藏雅鲁藏布江中游河谷黑颈鹤国家级自然保护区森林植被碳汇研究[J].中南林业调查规划,2022(2):41(2):1-8,12.
- [6] 余耀军.“双碳”目标下中国气候变化立法的双阶体系构造[J].中国人口·资源与环境,2022,32(1):89-96.
- [7] 于天飞,夏恩龙.基于碳中和愿景的绿地碳汇价值实现过程研究[J].自然保护地,2022,2(1):74-81.
- [8] 庄贵阳.中国低碳城市试点的政策设计逻辑[J].中国人口·资源与环境,2020,30(3):19-28.
- [9] 齐晔,刘天乐,宋祺俊,等.低碳城市试点“十四五”期间需助力碳排放达峰[J].环境保护,2020,48(5):9-11.
- [10] 庄贵阳,朱仙丽.《欧洲绿色协议》:内涵、影响与借鉴意义[J].国际经济评论,2021(1):116-133,7.
- [11] 张雅欣,罗荟霖,王灿.碳中和行动的国际趋势分析[J].气候变化研究进展,2021,17(1):88-97.
- [12] 陈雅如,赵金成.碳达峰、碳中和目标下全球气候治理新格局与林草发展机遇[J].世界林业研究,2021,34(6):1-5.
- [13] 郑云峰,尹准生,刘诚.德国森林资源经营管理与监测对我国林业的启示[J].中南林业调查规划,2020,39(2):1-4.
- [14] 张建龙.发展林业是应对气候变化的战略选择[J].行政管理改革,2017(12):38-43.
- [15] WANG H K, LU X, DENG Y. China's CO₂ peak before 2030 implied from characteristics and growth of cities [J]. Nature Sustainability, 2019, 2(8): 748-754.
- [16] 张煜星,王雪军.全国森林蓄积生物量模型建立和碳变化研究[J].中国科学:生命科学,2021,51(2):199-214.
- [17] 狄文彬,杜鹏志.对北京市森林资源现状及未来发展趋势的探讨[J].山东林业科技,2012,42(3):128-130,105.
- [18] 朴杨,刘笑冰.北京市山区造林工程建设现状及展望[J].农业展望,2020,16(8):115-119,123.

多项式模型错误参数更正方法探析

温文¹, 谢鹏¹, 刘圣愉², 黄鹏飞², 温志高²

(1. 珠海正方集团有限公司, 广东 珠海 519015; 2. 湖南省辰溪县林业局, 湖南 怀化 419500)

摘要: 在应用《湖南省森林资源调查常用数表》的过程中, 洞庭湖区“三杉”多项式参数代入计算与立木材积表数据不一致, 文章针对此问题的出现原因及解决方法作了细致深入的研究。通过对《湖南省森林资源调查常用数表》提供的多项式参数分析、利用 Excel 表进行逆向多元回归分析与最小二乘法等方式试图寻找错误, 确认其可用参数与错误参数的关系, 列出等式方程, 并对其方程的参数求解, 再用平均指标分析法作进一步比较分析, 多方法求解比较, 从中寻求最优解, 达到改正多项式模型参数的目的。综合应用对比几种参数改进方法, 测算结果表明, 以平均指标分析中的胸径加权平均值求得参数为最佳, 数据很吻合, 可以推广应用。

关键词: 常用数表; 多项式回归; 逆向求解参数; 平均分析方法; 参数修复

中图分类号: S758.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6075 (2023) 04-0010-06

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.003

Exploration on Error Parameter Correction Method for Polynomial Model

WEN Wen¹, XIE Peng¹, LIU Shengyu², HUANG Pengfei², WEN Zhigao²

(1. Zhuhai Zhengfang Group Co., Ltd., Zhuhai 519015, Guangdong, China;

2. Chenxi County Forestry Bureau, Huaihua 419500, Hunan, China)

Abstract: When using *Common Data Tables of Forest Resources Survey in Hunan Province*, "Sanshan" in Dongting Lake of Hunan Province polynomial parameters computation is different from the data of the tree volume table. This paper has carried out detailed exploration on the cause and solution. Through analyzing polynomial parameters provided by *Common Data Tables of Forest Resources Survey in Hunan Province*, using Excel to implement inverse multiple regression analysis, as well as applying the least square method, the errors are trying to find. The relationship between available parameters and error ones is confirmed and then the equality equation is listed in a parallel way. Aiming at the equation, the parameter array is obtained and further analysis and comparison with average index analysis is made. In order to correct polynomial model parameters, the best solution is sought for by means of multi-method solution comparison. Compared with several parameter improved methods, according to the calculating result, the parameter obtained by the weighted average of breast height in average index analysis is the best, and the data is very consistent and can be applied generally.

Key words: common data tables; polynomial regression; inverse solution for parameters; average analysis method; exploration of parameter correction

* 收稿日期: 2023-07-03

作者简介: 温文 (1984—), 男, 湖南益阳人, 本科, 高级工程师, 从事建筑工程、园林绿化工程及项目管理工作。E-mail: 17567965@qq.com。

通信作者: 黄鹏飞 (1964—), 男, 湖南益阳人, 正高级工程师, 从事森林培育、森林调查及林业软件应用工作。E-mail: yyhpfei@163.com。

《湖南省森林资源调查常用数表》^[1] (以下简称《常用数表》),首次发布于1999年6月,2013年3月又作了重版印刷与修订,是林业调查、编制一元立木材积表、森林经营、林木采伐区调查设计不可缺少的实用工具。《常用数表》作为湖南省森林资源调查使用的重要行业资料,操作简单、携带方便,深受广大林业工作者关注与青睐。然而,笔者在实际工作中发现《常用数表》中洞庭湖区的水杉、池杉、落羽杉(以下简称“三杉”)多项式参数代入计算与立木材积表数据不一致。洞庭湖区“三杉”二元立木材积表应该是根据当年解析木资料及调查资料,选择相应模型,利用回归方法或其他方法计算得出参数,再推导出的预测值,几十年过去了,原始资料估计难以找到,然而这些参数可能仍需继续使用。为此,我们就问题的产生原因及解决方法作了进一步分析探讨。

1 问题探源

《常用数表》给定的洞庭湖区“三杉”参数值计算出来的材积数据与《常用数表》中二元立木材积表数据基本对不上。笔者认为:《常用数表》中的数据应该是正确的,要不然这些数据不可能是无源之果。究其缘由,可能是由于洞庭湖区“三杉”参数的某个或某几个参数值抄错、抄漏。文章把《常用数表》给定的洞庭湖区“三杉”树种参数函数式写入Excel表单元格进行验证。

《常用数表》提供的多项式及参数如下:

$$V = C_0 + C_1 D^2 H + C_2 D^3 H + C_3 D^2 + C_4 D^2 H \lg D \quad (1)$$

式中, V 为材积, D 为直径, H 为树高, C_0 、 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为参数, $C_0 = 0.005\ 790\ 496\ 05$, $C_1 = 0.000\ 066\ 093\ 24$, $C_2 = 0.000\ 000\ 469\ 21$, $C_3 = 0.000\ 183\ 033\ 917$, $C_4 = 0.000\ 003\ 192\ 879$ 。

借用Excel对其作逆向回归分析、岭回归分析与最小二乘法求解参数证实^[2-3], C_0 、 C_1 、 C_2 、 C_3 与原参数值很接近, C_4 参数相差很大,并对 C_4 作了漏“7”验证,即用 $C_4 = 0.000\ 007\ 319\ 287\ 9$ 代入验证,结果显示还是有误差,可以认定 C_4 参数为错误。

2 参数更正方法

参数复原的方法很多,找到原始数据计算参数,并加以更正为最佳选择,或者找到其原始资料重新作回归分析、最小二乘法或其他方法求其全部参数,也是一种获取的方式。在没有上述资料的情况下,可以

根据《常用数表》中的数据作反向分析。Excel是一个电子表格程序,是数据处理、数据分析、数据维护的常用工具,操作性强、适用性广,可以输入、输出、存储、整理和分析数据,也是一个数据储存、处理与分析的加工厂,可以作为中小型数据库使用^[4-6]。本文使用Excel软件的数据挖掘工具进行多项式回归、变形多项式方程直接求解错误参数,用求解参数再作平均指标分析法等多种方法作比较逆向推导,求得原多项式方程参数来预测二元立木材积目标值。

2.1 数据收集处理

数据的收集与整理是回归分析成败的关键所在。现在的问题是参数推导结果如何根据给定的多项式以及现有的《常用数表》中的二元立木材积来倒推其参数,即通过寻找相反的因果关系来预测原始数据集中的目标量。首先,对《常用数表》中的排版或打印明显错误进行修正处理,采用内插法修正即可。洞庭湖区“三杉”二元材积表与 D 、 H 、 V 对应的数据共有467个,如何取舍 D 、 H 、 V 关联值直接影响回归结果。本文根据《常用数表》中二元材积表的胸径径阶与树高级查得的一组二元材积(原表中胸径50 cm、树高26 m的材积存在错误,这里已作修正)数据作为观测值和回归分析的基础数据。回归分析观测值如表1所示。

表1 回归分析观测值

$D_{1.3}$	H	V
4	3	0.005 7
6	4	0.007 5
8	5	0.011 9
10	6	0.019 9
12	7	0.032 4
14	8	0.050 0
16	9	0.073 5
18	10	0.103 4
20	11	0.140 0
22	12	0.183 8
24	13	0.235 0
26	14	0.293 7
28	15	0.359 9
30	16	0.433 7
32	17	0.514 9
34	18	0.603 2
36	19	0.698 4

(续表) 表1 回归分析观测值

$D_{1.3}$	H	V
38	20	0.799 9
40	21	0.907 3
42	22	1.020 0
44	23	1.137 1
46	24	1.258 1
48	25	1.381 8
50	26	1.507 4
52	27	1.633 8
54	28	1.759 8
56	29	1.884 1
58	30	2.005 4
60	31	2.122 1

2.2 用回归分析求多项式参数

2.2.1 多项式方程转换变形

《常用数表》中的洞庭湖区“三杉”二元立木材积计算式是一个多项式方程，是因变量 V 与自变量胸径 $D_{1.3}$ 、树高 H 之间的关系。

用回归方式来研究，公式(1)是二元三次多项式回归方程^[7]。多项式回归是一元非线性回归的一种特殊情况，它可以通过变量代换线性化^[8]。本文设： $X_1 = D^2H$ ， $X_2 = D^3H$ ， $X_3 = D^2$ ， $X_4 = D^2H \lg D$ ， $Y = V$ ，

$\beta_0 = C_0$ ， $\beta_1 = C_1$ ， $\beta_2 = C_2$ ， $\beta_3 = C_3$ ， $\beta_4 = C_4$ 。故有：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \quad (2)$$

式中： β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 是模型参数， Y 为因变量， X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 为自变量。

经过变形处理，将多项式回归方程式(1)变为多元线性回归模型：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon \quad (3)$$

式中： ε 为误差项(残差)。

对多项式回归的未知参数估计就可以利用多元线性回归的参数估计算法。

2.2.2 线性回归计算

Excel 除有强大的函数功能外，还提供了一组强大的数据分析工具，集数据编辑整理、统计分析、图表绘制于一身，应用广泛^[9-12]。线性回归计算结果详见表2、表3、表4。

表2 回归统计

项目	结果
相关系数 R	0.999 999 999
测定系数 R_s	0.999 999 998
校正系数 R_a	0.999 999 998
标准误差	0.000 030
观测值	29

表3 方差分析

项目	自由度	离均差平方和	均方	F	显著性 F
回归分析	4	13.577 227 257 0	3.394 306 814 2	3 889 765 159	0.000 00
残差	24	0.000 000 020 9	0.000 000 000 9		
总计	28	13.577 227 277 9			

表4 回归参数与 T 检验

观测值	回归系数	标准误差	T 值	P 值	下限 95%	上限 95%
截距回归值	0.005 773 444 235	0.000 024 504 4	235.608 422 22	0.000 00	0.005 722 9	0.005 824 0
变量 X_1	0.000 066 014 655	0.000 000 284 7	231.902 432 68	0.000 00	0.000 065 4	0.000 066 6
变量 X_2	-0.000 000 469 338	0.000 000 000 8	-588.275 806 31	0.000 00	-0.000 000 5	-0.000 000 5
变量 X_3	-0.000 182 700 197	0.000 000 944 1	-193.527 667 86	0.000 00	-0.000 184 6	-0.000 180 8
变量 X_4	-0.000 007 309 329	0.000 000 169 8	-43.038 569 71	0.000 00	-0.000 007 7	-0.000 007 0

从表2可以看出，相关系数 R 等于0.999 999 999，大于0.8，表示呈正相关。

表2中的 R_s 是 R 平方值，又叫判定系数、拟合优度，取值范围是 $[0, 1]$ ， R_s 越大，表示模型拟合得越好。 R_s 一般大于70%就说明拟合效果不错，60%

以下的就需要修正模型。本文 $R_s = 0.999 999 999^2 = 0.999 999 998$ ，拟合精度高。

从表4得到洞庭湖区“三杉”二元立木材积多项式方程如下：

$$V = 0.005 773 444 235 + 0.000 066 014 655 D^2 H -$$

$$0.000\ 000\ 469\ 338\ D^3H - 0.000\ 182\ 700\ 197\ D^2 - 0.000\ 007\ 309\ 329\ D^2H\lg D \quad (4)$$

表4中的 P 值用来检验回归方程系数的显著性,又叫 T 检验。本文中 P 值接近零,说明自变量对于因变量的线性显著,结果具有极其显著的统计学意义。

2.3 直接求解错误参数 C_4

2.3.1 方法步骤

第一步:将《常用数表》中的洞庭湖区“三杉”树种的二元材积表按格式录入Excel表备用。

第二步:在录入材积表的相应单元格录入所求模型函数式。首先将原函数式变形,这里要把 C_4 作为未知数,胸径(D)与树高(H)为自变量,求解其参数。

$$C_4 = (V - C_0 - C_1D^2H - C_2D^3H - C_3D^2) / D^2H\lg D \quad (5)$$

第三步:求解、设置精度。根据《常用数表》数据,467个方程得到467个参数 C_4 。把精度设置到小数点后12位数,与《常用数表》中的参数位数保持一致。

2.3.2 对 C_4 参数进行平均分析

平均分析按其度量的方法不同,可以分为数值平均分析与位置平均分析。数值平均分析包括算术平均数、调和平均数和几何平均数;位置平均分析是根据某数值在数列中所处的特殊位置而确定的平均指标进行分析,包括中位数、众数、分位数等^[13-14]。

1) 算术平均数 \bar{x} 。算术平均数也称为均值,是全部数据算术平均的结果。计算公式为:

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n \quad (6)$$

式中: x_n 为参数 C_4 , n 为参数总体个数。

本文 $n=467$,求得 $\bar{x}=0.000\ 007\ 351\ 833$ 。

2) 胸径加权算术平均数(\bar{D})。以胸径阶(径阶为2 cm)为参数(变量)组,其值出现的次数或频数为权数计算加权的算术平均数。计算公式为:

$$\bar{D} = \frac{x_1f_1 + x_2f_2 + \dots + x_kf_k}{f_1 + f_2 + \dots + f_k} \quad (7)$$

式中: \bar{D} 为径阶内各参数, x_k 为参数 C_4 , f_k 为各径阶参数的个数, k 为径阶数。

本文胸径阶范围为4~60,级差为2,即 $k=29$,求得胸径加权算术平均数: $\bar{D}=0.000\ 007\ 351\ 856$ 。

3) 树高加权算术平均数(\bar{H})。以树高级(级差为1 m)为参数(变量)组,其值出现的次数或频数为权数计算加权的算术平均数。计算公式为:

$$\bar{H} = \frac{x_1f_1 + x_2f_2 + \dots + x_kf_k}{f_1 + f_2 + \dots + f_k} \quad (8)$$

式中: \bar{H} 为树高级内各参数, x_k 为参数 C_4 , f_k 为各树高级参数个数, k 为树高级数。

本文的树高级范围是2~35 m,级差为1,即 $k=34$,求得 $\bar{H}=0.000\ 007\ 351\ 292$ 。

4) 几何平均数(G)。几何平均数是 n 个变量值(非负实数)连乘积的 n 次方根。计算公式为:

$$G = \sqrt[n]{X_1X_2 \dots X_i} \quad (9)$$

式中: G 为几何平均数, X_i 为参数 C_4 。

本文 $n=467$,求得 $G=0.000\ 007\ 351\ 131$ 。

5) 调和平均数。调和平均数又称倒数平均数,用 R 表示,是总体各数值倒数的算术平均数,计算公式为:

$$R = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{X_i}} \quad (10)$$

本文 $n=467$,求得 $R=0.000\ 007\ 350\ 412$ 。

6) 中位数。中位数是一组数据按从小到大排序后,处于中间位置上的变量值,用 M_e 表示。本文 $n=467$,求得 $M_e=0.000\ 007\ 351\ 848$ 。

7) 四分位数(Q)。四分位数是将所有数值按大小顺序排列并分成四等份,处于三个分割点位置的得分就是四分位数。本文求得 $Q=0.000\ 007\ 350\ 907$ 。

3 结果分析

3.1 方差分析

方差反映随机变量取值的分散程度和波动性^[13-14]。从方差的大小数值看,方差值越大,数据越离散,波动也越大;方差值越小,数据越聚合,波动就越小。总体方差计算式为:

$$\sigma^2 = \sum (X - \mu)^2 / n \quad (11)$$

式中: σ^2 为总体方差, X 为参数变量(由胸径、树高构成的参数方阵值), n 为总体参数个数($n=467$), μ 为总体参数均值($\mu=0.000\ 007\ 351\ 856$)。

标准偏差越小,这些值偏离平均值就越小,反之亦然。标准差反映了区域内个体参数间的离散程度。样本标准差计算式:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (X_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

式中: s 为样本标准差, n 为参数个数, X_i 为样本参数变量, \bar{x} 为参数均值, $n=467$, $\bar{x}=0.000\ 007\ 351\ 856$ 。

用Excel函数式计算得: $\sigma^2=0.000\ 000\ 041\ 306$, $S=0.010\ 094\ 794\ 477$ 。结果显示总体方差接近0,参数样本的偏差很小,说明有极高的吻合度。

3.2 拟合度检验

拟合度检验是在数据范围内若干区段上逐一考察观测频率与理论频率,或观察频数与经验频数之间的吻合程度^[12]。拟合度检验的方法很多,最常用的有:Kolmogorov 检验、卡方检验、G 检验、二项检验等。这里我们借用卡方检验法。计算公式为:

$$x^2 = \sum \frac{(A - E)^2}{E} \quad (13)$$

式中: x^2 表示《常用数表》二元材积与多项式计算材积之间的偏离度, A 表示《常用数表》中的二元材积, E 表示修正参数代入多项式计算的材积。

将公式输入 Excel 表计算得: $x^2 = 0$ 。表示《常用数表》中的二元材积(除有错误栏外)与多项式采用修正参数进行计算的材积数据完全吻合。

3.3 直接代入验证

把所求得的参数代入式(1)测试验证。在 Excel 单元格中用多项式把所得参数分别输入进行验证。 C_0 、 C_1 、 C_2 、 C_3 是《常用数表》中的参数值, C_4 用的是利用胸径加权平均值法计算出来的参数值。参数值: $C_0 = 0.005\ 790\ 496\ 05$, $C_1 = 0.000\ 066\ 093\ 24$, $C_2 = -0.000\ 000\ 469\ 21$, $C_3 = -0.000\ 183\ 033\ 917$,

$$C_4 = -0.000\ 007\ 351\ 856。$$

用《常用数表》洞庭湖区“三杉”的二元材积表值,与上述多项式进行总体方差验证。方差公式仍用式(11)来计算,只是这里的 σ^2 为单株材积总体方差, X 为《常用数表》二元材积, μ 为用式(11)计算出来的相应材积, n 为总体个数 467。运算结果 $\sigma^2 = 0$, 在保留 4 位小数的情况下,所有数据与《常用数表》误差为 0。

3.4 误差比较

将上述各种方法计算出来的参数代入多项式,即式(1),计算误差率。

误差率 = (计算径阶单株材积和 - 材积表中对应径阶的单株材积和) / 材积表中对应径阶的单株材积和。具体结果如表 5 所示。

从表 5 中可以看出,除原始参数计算二元立木材积的误差率在 2.64% ~ 40.75% 外,其他方法求解得出的参数值并将参数值代入多项式计算二元立木材积的误差率都小于 0.4%,多元回归分析与最小二乘法两种方法计算的误差率比其他稍微大点,岭回归分析、算术平均值、胸径加权平均值、树高加权平均值、中位数 5 种方法计算求解得出的参数值并将参数值代入

表 5 将不同方法求解的参数值代入计算二元立木材积的误差率对比

胸径	原始参数 误差率	漏 7 处理	最小 二乘法	回归 分析	岭回归 分析	算术 平均	胸径加 权平均	树高加 权平均	几何 平均	调和 平均	中位 数	四分 位数
4	2.64%	0.00%	-0.11%	-0.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	5.95%	0.06%	-0.12%	-0.12%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.12%	0.06%	0.00%	0.06%
8	8.29%	0.00%	-0.08%	-0.08%	-0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10	10.22%	0.11%	-0.06%	-0.06%	-0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%	0.00%	0.00%	0.00%
12	11.53%	0.08%	-0.02%	-0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%	0.00%	0.00%	0.00%
14	12.64%	0.10%	-0.04%	-0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.12%	0.00%	0.00%	0.00%
16	13.39%	0.10%	-0.03%	-0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.13%	0.00%	0.00%	0.00%
18	14.62%	0.11%	-0.02%	-0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.14%	0.00%	0.00%	0.00%
20	15.61%	0.12%	-0.01%	-0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%	0.00%	0.00%	0.00%
22	16.58%	0.14%	-0.01%	-0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.17%	0.01%	0.00%	0.01%
24	17.12%	0.13%	-0.01%	-0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.17%	0.01%	0.00%	0.01%
26	18.05%	0.13%	-0.02%	-0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.17%	0.00%	0.00%	0.00%
28	19.00%	0.15%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.18%	0.01%	0.00%	0.00%
30	19.96%	0.15%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	0.01%	0.00%	0.00%
32	20.41%	0.16%	-0.01%	-0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	0.01%	0.00%	0.01%
34	21.41%	0.17%	-0.01%	-0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.21%	0.01%	0.00%	0.01%
36	22.63%	0.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.22%	0.01%	0.00%	0.00%
38	23.72%	0.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.23%	0.01%	0.00%	0.01%

(续表)

表5 将不同方法求解的参数值代入计算二元立木材积的误差率对比

胸径	原始参数 误差率	漏7 处理	最小 二乘法	回归 分析	岭回归 分析	算术 平均	胸径加 权平均	树高加 权平均	几何 平均	调和 平均	中位 数	四分 位数
40	24.49%	0.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.24%	0.01%	0.00%	0.00%
42	25.69%	0.20%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.25%	0.01%	0.00%	0.01%
44	26.76%	0.21%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.26%	0.01%	0.00%	0.01%
46	28.10%	0.22%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.27%	0.01%	0.00%	0.01%
48	29.33%	0.23%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.29%	0.01%	0.00%	0.01%
50	31.04%	0.24%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%	0.01%	0.00%	0.01%
52	32.67%	0.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.32%	0.01%	0.00%	0.01%
54	34.44%	0.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.34%	0.01%	0.00%	0.01%
56	36.12%	0.28%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.35%	0.01%	0.00%	0.01%
58	38.45%	0.30%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.37%	0.01%	0.00%	0.01%
60	40.75%	0.32%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.40%	0.01%	0.00%	0.01%

多项式计算二元立木材积的精度较高。多种方法结果比较,胸径加权平均值求得的参数为最佳,数据很吻合,可以推广应用。

4 结语

通过对多项式模型的变形、换元、转换,将一个原本复杂的二元三次多项式高次方程降次为一个简单的多元一次线性回归方程,用 Excel 表计算得到的参数与原多项式给定参数很接近, R 值、 P 值、方差、标准差的精度也很高。美中不足的是,数据验证发现仍存在一些较小误差。造成这种现象的原因估计有两个,一是基础数据并非原始数据,而是由原计算数据作再次回归,难免产生误差;二是精度、误差与抽样观测值关系密切,是成败的关键所在。本文中岭回归分析结果比多元回归分析和最小二乘法精度要高。

本文通过列出已知参数 C_1 、 C_2 、 C_3 与未知参数 C_4 的相关性的所有方程,共 467 个,用求解方程办法求得样本参数值,然后再作总体平均指标分析,平均指标分析法选用了 7 种计算平均数方法,其中数值平均 5 种,位置平均 2 种,有 4 种平均数代入计算数据仍有较小偏差。算术平均值、胸径加权平均值、中位数平均值这 3 种方法计算出来的参数值 C_4 在本文中为最优值,代入验证数据很吻合,误差几乎为 0。

参考文献:

[1] 湖南省林业调查规划设计院,湖南省林业厅资源林政处. 湖

南省森林资源调查常用数表 [S]. 2013: 61-66.

- [2] 曾明宇,刘紫薇,杜志,等. 湖南省主要树种单木和林分生长率模型研建 [J]. 中南林业调查规划, 2023, 42 (1): 56-61.
- [3] 王金池,陈振雄,杜志,等. 湖南省马尾松树高曲线及材积模型研建 [J]. 中南林业调查规划, 2023, 42 (3): 59-66.
- [4] 赵萍,刘玉梅. Excel 数据处理与分析 [M]. 北京:清华大学出版社, 2018: 2-81.
- [5] Excel Home. Excel 数据处理与分析应用大全 [M]. 北京:北京大学出版社, 2021: 336-411.
- [6] (美) HAN Jiawei, KAMBER Micheline, PEI Jian. 数据挖掘:概念与技术(原书第3版) [M]. 范明,孟小峰,译. 北京:机械工业出版社, 2012: 36.
- [7] 汪荣鑫. 数理统计 [M]. 陕西:西安交通大学出版社, 1999: 208-221.
- [8] 喻梅,于健. 数据分析与数据挖掘 [M]. 北京:清华大学出版社, 2018: 94-111.
- [9] 宋廷山,王坚,刁艳华,等. 应用统计学:以 Excel 为分析工具(第2版) [M]. 北京:清华大学出版社, 2018: 22-150.
- [10] 孟新祺. 逆向回归分析理论在能源发展中的应用 [J]. 统计与决策, 2014 (10): 75-77.
- [11] 赵骥,高峰,刘志友. Excel 2016 应用大全 [M]. 北京:清华大学出版社, 2016: 57-530.
- [12] 徐华. 数据挖掘:方法与应用 [M]. 北京:清华大学出版社, 2014: 3-14.
- [13] 庄楚强,何春雄. 应用数理统计基础(第四版) [M]. 广州:华南理工大学出版社, 2013: 15-20.
- [14] 陶澍. 应用数理统计方法 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 1994: 196-205.

湖南水府庙国家湿地公园植物多样性研究

张亚威

(国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南长沙 410014)

摘要: 为探究湖南水府庙国家湿地公园的植物组成种类及其生物多样性, 在4种典型植被类型中设置乔木、灌木、草本样方220个, 调查获取研究区的植物种类, 并运用植物多样性分析方法, 分析研究区内植物物种间的生物多样性关系。得出以下结论: 湖南水府庙国家湿地公园植物共有95科260属450种, 其中蕨类植物4科4属5种, 苔藓植物2科2属3种, 裸子植物4科6属7种, 被子植物85科248属435种; 典型植被类型中, 常绿阔叶林的生物多样性相对丰富且分布均匀; 乔木-灌木-草本三个层次中, 草本植物的物种相对较多, 且数量较大, 生物多样性较高; 灌丛和水生植被存在外来物种入侵现象, 外来物种入侵对湖南水府庙国家湿地公园的生物多样性有一定的负面影响。

关键词: 植物种类; 生物多样性; 国家湿地公园; 湖南

中图分类号: S718.5; Q948 文献标识码: A 文章编号: 1003-6075 (2023) 04-0016-05

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.004

Study on Plant Diversity of Shuifu Temple National Wetland Park in Hunan Province

ZHANG Yawei

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

Abstract: To explore the species composition and biodiversity of plants in the Shuifu Temple National Wetland Park in Hunan, this study set up a total of 220 plots of trees, shrubs, and herbs among four typical vegetation types to obtain plant species in the study area. The analysis method of plant diversity was used to analyze the biodiversity relationship among plant species in the study area. The following conclusions can be drawn: There are a total of 95 families, 260 genera, and 450 species of plants in the Shuifu Temple National Wetland Park in Hunan, including 5 species of ferns in 4 families, 4 genera, and 3 species of bryophytes in 2 families, 2 genera, and 7 species of gymnosperms in 4 families, 6 genera, and 435 species of angiosperms in 85 families, 248 genera. Among the typical vegetation types, the biodiversity of evergreen broad-leaved forests is relatively rich and evenly distributed. Among the three levels of trees, shrubs, and herbs, there are relatively more species and a larger number of herbaceous plants, resulting in higher biodiversity. The invasion of alien species in shrubs and aquatic vegetation types has a certain negative impact on the biodiversity of the wetland park.

Key words: plant type; biodiversity; national wetland park; Hunan

植物作为生态系统的生产者^[1], 是自然界生物的物质、能量、信息流动的基础, 为诸多动物和微生物

* 收稿日期: 2022-09-13

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。

提供营养物质^[2]。植物是生物多样性的的重要组成部分,是与其他生物之间在组合、层次、形式产生的多样化表现^[3-4]。植物多样性通过与其他生物的直接或间接作用,影响着物质流、能量流和信息流的导向与归属^[5]。理论上,植物多样性越丰富,自然界的物质、能量、信息流动就越复杂,生态结构也就越稳定^[6-7]。此外,植物多样性作为物种多样性最基础、最直接的体现,是人类可持续生产的根本保障^[8]。保护植物多样性对维持地球生态系统的平衡和稳定有着十分重要的作用^[9]。

湖南水府庙国家湿地公园是湘中重要的生态区位,拥有湘中地区规模最大、保存最完整的人工与天然完美结合的城郊湿地,是娄底、湘乡两市的饮用水源。因此,在该公园中开展植物多样性调查和研究是一项非常必要的工作,尤其在外来物种入侵严重的大环境下,确保湖南水府庙国家湿地公园的生物多样性和生态环境处于平衡状态具有重大意义。笔者以湖南水府庙国家湿地公园为研究区域,调查并分析了该研究区域内的植物组成种类及其生物多样性,以期对湖南省生物多样保护与调查提供一定的理论和数据参考。

1 研究区概况

湖南水府庙国家湿地公园(以下简称“水府庙湿地公园”)地处湘中,位于湘乡、娄底、双峰三县市的接合部。水府庙湿地公园属中亚热带季风气候,四季分明,降水集中,年平均降雨量1308.48 mm,春夏日照充足,热量丰富,日平均气温16.99℃。水府庙湿地公园的水域面积在湘中东地区首屈一指,其中水府庙水库面积44.3 km²,库容量为6亿 m³,库岸线长431 km。该公园以水府庙水库为主体,水库周边是重要的水源涵养地,二者相结合,使该公园成为湘中地区为数不多且具有代表性的森林-湿地景观类型的湿地公园。

2 材料与方法

2.1 样地设置

此次研究在充分踏查的基础上,选择水府庙湿地公园范围内具有代表性的4种植被类型^[10](包括常绿针叶林、常绿阔叶林、灌丛、水生植被)进行踏查,并分别设置调查样方。其中,常绿针叶林、常绿阔叶林各设置10个20 m×20 m的乔木样方,乔木样方累计20个;在灌丛植被类型中设置20个4 m×4 m

的灌木样方,且在乔木样方的四角设置4个同规格的灌木样方,灌木样方累计100个;在水生植被类型中设置20个1 m×1 m的草本样方,且在每个乔木样方的四角设置4个同规格的草本样方,草本样方累计100个。四种植被类型的乔木、灌木、草本样方总计设置220个。

样方调查需记录其立地条件,包括:纬度坐标、海拔、坡度、坡位、坡向,以及记录植物的种类、数量、高度、频度、盖度^[11]。调查时需对每个品种进行拍照和标本采集,采集时应选择健壮无病的植株,尽量将根、茎、叶、花(果)分开采集,而后合为一个标本,备注好地点、日期等信息,同时记录好采集地点的生境特征,带回保存;对现场无法准确识别的物种,后续通过《中国植物志》和《湖南植物志》对比标本和现场照片进行鉴定。

2.2 植物多样性分析

多样性计算采用以下公式^[12-13]。

Margalef 丰富度指数:

$$R = (S - 1) / \ln N \quad (1)$$

Simpson 多样性指数:

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, S) \quad (2)$$

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H = - \sum P_i \ln P_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, S) \quad (3)$$

Pielou 均匀度指数:

$$J = (- \sum P_i \ln P_i) / \ln S \quad (i = 1, 2, 3, \dots, S) \quad (4)$$

式中: R 为 Margalef 丰富度指数; S 为群落中所包含的物种数; N 为所有物种的个体数之和; P_i 为物种 i 的个体数占群落总个体数的比例; D 为 Simpson 多样性指数; H 为 Shannon-Wiener 多样性指数; J 为 Pielou 均匀度指数。

3 结果与分析

3.1 湖南水府庙国家湿地公园植物基本组成

经本次调查发现,水府庙湿地公园内共有植物95科260属450种,其中蕨类植物4科4属5种,苔藓植物2科2属3种,裸子植物4科6属7种,被子植物85科248属435种,如表1所示。

1) 蕨类植物。湖南水府庙国家湿地公园本次发现蕨类植物仅4科4属5种。蕨类植物种类为毛轴蕨(*Pteridium revolutum*)、蕨(*Pteridium aquilinum*)、稀子蕨(*Monachosorum henryi*)、问荆(*Equisetum arvense*)和陵齿蕨(*Lindsaea cultrata*),其科属组成如表2所示。

表1 湖南水府庙国家湿地公园植物基本组成

类别	科数	科数占比/%	属数	属数占比/%	种数	种数占比/%
蕨类植物	4	4.17	4	1.54	5	1.11
苔藓植物	2	3.12	2	0.77	3	0.67
裸子植物	4	4.17	6	2.31	7	1.55
被子植物	85	88.54	248	95.38	435	96.67
合计	95	100.00	260	100.00	450	100.00

表2 湖南水府庙国家湿地公园蕨类植物科、属组成

科名	属数	种数	属名	种名
蕨科	1	2	蕨属	毛轴蕨、蕨
膜蕨科	1	1	稀子蕨属	稀子蕨
木贼科	1	1	木贼属	问荆
陵齿蕨科	1	1	陵齿蕨属	陵齿蕨

2) 苔藓植物。苔藓植物有2科2属3种，苔藓植物种类为多褶青藓 (*Brachythecium buchananii*)、圆枝青藓 (*Brachythecium garovaglioides*) 及葫芦藓 (*Funaria hygrometrica*)，如表3所示。

3) 裸子植物。裸子植物有4科6属7种，其中松科3属4种，柏科1属1种，红豆杉科1属1种，杉科1属1种。裸子植物种类分别为云杉 (*Picea asperata*)、

表3 湖南水府庙国家湿地公园苔藓植物科、属组成

科名	属数	种数	属名	种名
青藓科	1	2	青藓属	多褶青藓、圆枝青藓
葫芦藓科	1	1	葫芦藓属	葫芦藓

湿地松 (*Pinus elliottii*)、马尾松 (*Pinus massoniana*)、金钱松 (*Pseudolarix amabilis*)、红豆杉 (*Taxus walli-chiana*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)，如表4所示。

4) 被子植物。被子植物在水府庙湿地公园的种数最多，为85科248属435种，其中种数最多的科为蔷薇(亚)科，包含了24种植物，具体科-种、科-属、属-种关系，如表5所示。

表4 湖南水府庙国家湿地公园裸子植物科、属组成

科名	属数	种数	属名	种名
松科	3	4	云杉属、松属、金钱松属	云杉、湿地松、马尾松、金钱松
柏科	1	1	侧柏属	侧柏
红豆杉科	1	1	红豆杉属	红豆杉
杉科	1	1	杉木属	杉木

表5 湖南水府庙国家湿地公园被子植物科、属、种关系

科-种关系统计			科-属关系统计			属-种关系统计		
科含种数	科数	比例/%	科含属数	科数	比例/%	属含种数	属数	比例/%
>20	1	1.18	>20	0	0	>20	0	0
16~20	1	1.18	16~20	1	1.18	16~20	0	0
11~15	3	3.53	11~15	2	2.35	11~15	0	0
6~10	15	17.64	6~10	16	18.82	6~10	2	0.81
1~5	65	76.47	1~5	66	77.65	1~5	246	99.19
合计	85	100.00	—	85	100.00	—	248	100.00

由表5可知，被子植物中，种数为1~5的科有65个，占总科数的76.47%，包括蜡梅科(1种)、悬铃木科(1种)、金缕梅科(2种)、西番莲科(4种)等；种数为6~10的科有15个，包括葫芦科(6种)、

罂粟科(7种)、山茶科(7种)、芸香科(7种)、山矾科(6种)、禾本科(10种)、唇形科(8种)、毛茛科(7种)等，占总科数的17.64%；种数为11~15的科有3个，为十字花科(12种)、含羞草(亚)科

(14种)、玄参科(11种), 占总科数的3.53%; 种数为16~20的科有1个, 为蝶形花(亚)科(19种), 占总科数的1.18%; 种数在20以上的科有1个, 为蔷薇(亚)科(24种), 占总科数的1.18%。

属数为1~5的科有66个, 占总科数的77.65%, 包括悬铃木科(1种)、紫葳科(2种)、鸭跖草科(3种)、伞形科(3种)等; 属数为6~10的科有16个, 占总科数的18.82%, 包括廖科(6种)、木犀科(6种)、山茶科(6种)、禾本科(8种)、芸香科(6种)、十字花科(8种)、含羞草(亚)科(8种)等; 属数为11~15的科有2个, 占总科数的2.35%, 为蝶形花(亚)科(12种)、蔷薇(亚)科(14种); 属数为16~20的科有1个, 占总科数的1.18%, 为蔷薇(亚)科(16种)。

种数为1~5种的属有246个, 占总属数的99.19%, 包括悬铃木属(1种)、荞麦属(2种)、茴香属(1种)、茶菱属(1种)、鸢尾属(1种)、美人蕉属(1种)等; 种数为6~10种的属有2个, 占总属数的0.81%, 为隐子草属(6种)、三芒草属(6种)。

3.2 湖南水府庙国家湿地公园植物多样性

根据湖南水府庙国家湿地公园的植被类型划分及植物种类历史数据, 结合本次外业调查数据, 水府庙湿地公园的植被类型主要分为: 常绿针叶林、常绿阔叶林、灌丛和水生植被4种。

湖南水府庙国家湿地公园不同植被类型的主要建群种如表6所示。

表6 湖南水府庙国家湿地公园不同植被类型建群种

序号	植被类型	主要建群种
I	常绿针叶林	湿地松、柏木(<i>Cupressus funebris</i>)、柳杉(<i>Cryptomeria fortunei</i>)、马尾松、杉木
II	常绿阔叶林	枫香(<i>Liquidambar formosana</i>)、樟木(<i>Sassafras tzumu</i>)、椿树(<i>Ailanthus altissima</i>)、梧桐(<i>Firmiana platanifolia</i>)
III	灌丛	白栎(<i>Quercus fabri</i>)、榿木(<i>Loropetalum chinense</i>)、南天竹(<i>Nandina domestica</i>)、盐肤木(<i>Rhus chinensis</i>)、山茶(<i>Camellia japonica</i>)
IV	水生植被	莲(<i>Nelumbo nucifera</i>)、黄菖蒲(<i>Iris pseudacorus</i>)、千屈菜(<i>Lythrum salicaria</i>)、香蒲(<i>Typha orientalis</i>)、荻(<i>Zizania latifolia</i>)、芦苇(<i>Phragmites australis</i>)

经公式(1)~(4)可以计算出湖南水府庙国家湿地公园植物的 Margalef 丰富度指数 (R)、Simpson 多样性指数 (D)、Shannon-Wiener 多样性指数 (H) 和 Pielou 均匀度指数 (J)。详见表7。

表7 湖南水府庙国家湿地公园生物多样性分析

植被类型	层次	R	D	H	J
I	乔木层	0.36	0.18	1.55	0.66
	灌木层	0.49	0.33	1.92	0.62
	草本层	0.52	0.35	2.58	0.69
II	乔木层	0.40	0.25	1.73	0.68
	灌木层	0.43	0.30	1.68	0.71
III	草本层	0.57	0.47	2.64	0.77
	灌木层	0.47	0.39	2.07	0.74
IV	草本层	0.55	0.42	2.36	0.65
	草本层	0.38	0.37	1.96	0.58

由表7可知, 湖南水府庙国家湿地公园各类植被类型的 Margalef 丰富度指数中, 从大到小排序为: II 草本层 > III 草本层 > I 草本层 > I 灌木层 > III 灌木层

> II 灌木层 > II 乔木层 > IV 草本层 > I 乔木层。Margalef 丰富度指数最大的类型是常绿阔叶林中的草本层, 究其原因可能是常绿阔叶林是稳定性较强的森林生态系统, 其中乔-灌-草的垂直结构经过多年的演化, 已经相当成熟, 适合灌木和草本植物的生存, 故而物种丰富度相对较高。Margalef 丰富度指数最小的类型是常绿针叶林中的乔木层, 这是因为常绿针叶林的乔木多为松科、杉科等裸子植物, 仅有少部分样地有被子植物中的乔木混交其中, 又因裸子植物在研究区的种类相对较少, 物种个体数多, 因此物种丰富度相对较低。

研究区的 Simpson 多样性指数从大到小排序为: II 草本层 > III 草本层 > III 灌木层 > IV 草本层 > I 草本层 > I 灌木层 > II 灌木层 > II 乔木层 > I 乔木层。从排序可以发现, 研究区的乔木层 Simpson 多样性普遍低于草本层和灌木层, 而草本层则高于灌木层。一方面是因为乔木层的植物物种相对较少, 且分布相对集中, 针叶乔木尤甚, 所以在物种数量方面不占优势, 外加针叶乔木多为风媒植物, 其后代繁殖具备比较明

显的就近原则,导致种群容易聚集,是调查样方内的核心种群;另一方面草本层和灌木层的种数在研究区相对较多,且相对分散,导致草本层和灌木层的 Simpson 多样性指数较高。

研究区的 Shannon-Wiener 多样性指数从大到小排序为:Ⅱ草本层>Ⅰ草本层>Ⅲ草本层>Ⅲ灌木层>Ⅳ草本层>Ⅰ灌木层>Ⅱ乔木层>Ⅱ灌木层>Ⅰ乔木层。在常绿阔叶林和常绿针叶林为主的植被类型中,生态结构较为稳定,草本植物和灌木植物的种类相对丰富,物种间的数量差异相对较小,故而 Shannon-Wiener 多样性指数较大,而且该植被类型中的草本植物在种数上相对占优势,其 Shannon-Wiener 多样性指数大于其他层次。在部分灌丛和水生植被类型中发现有外来入侵物种,诸如空心莲子草、加拿大一枝黄花等,外来物种入侵对当地的生物多样性存在一定的威胁。因此灌丛和水生植被类型的 Shannon-Wiener 多样性指数相较常绿阔叶林和常绿针叶林为主的植被类型低。反观乔木层植物,因物种的数量不及草本植物和灌木植物,导致其 Shannon-Wiener 多样性指数也相对较低。

均匀度指数也称为物种相对多度,它用来衡量一定区域内物种间的可持续共生性,即均匀度指数高,说明各物种间的数量相差较小,竞争关系正常,短时间内不会出现一个物种被另一物种淘汰的现象。研究区的 Pielou 均匀度指数差别相对不大,从大到小排序为:Ⅱ草本层>Ⅲ灌木层>Ⅱ灌木层>Ⅰ草本层>Ⅱ乔木层>Ⅰ乔木层>Ⅲ草本层>Ⅰ灌木层>Ⅳ草本层。该数值从侧面反映了研究区内的常绿阔叶林植被类型的乔-灌-草物种不仅相对丰富,且种群数量分布较为均匀,因此其生态结构较为稳定。然而,水生植被因受空心莲子草等外来物种入侵及人类干扰,部分物种的数量相对处于劣势,从而导致 Pielou 均匀度指数相对较低。

4 结语

以湖南水府庙国家湿地公园具有代表性的4种植被类型(常绿针叶林、常绿阔叶林、灌丛、水生植被)为研究对象,累计设置各类样方220个,研究其植物基本组成,同时运用 Margalef 丰富度指数、Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数,分析该湿地公园内植物物种间的生物多样性关系,得出以下结论:

(1) 湖南水府庙国家湿地公园植物共有95科260

属450种,其中蕨类植物4科4属5种,苔藓植物2科2属3种,裸子植物4科6属7种,被子植物85科248属435种。被子植物中,种数和属数最大的为蔷薇(亚)科,种数最大的属为隐子草属和三芒草属。

(2) 湖南水府庙国家湿地公园内的各类植被类型中,常绿针叶林和常绿阔叶林具备乔木-灌木-草本三个层次,灌丛具备灌木-草本两个层次,水生植被仅具备草本层次,从 Margalef 丰富度指数、Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数分析可得:常绿阔叶林的生物多样性相对丰富且分布均匀,各项指数相对较大;乔木-灌木-草本三个层次中,草本植物的物种相对较多,且数量较大。由此可见,草本层的生物多样性较高,但灌丛和水生植被类型存在外来物种入侵现象,对其生物多样性有一定的负面影响。

接下来笔者将持续在湖南水府庙国家湿地公园的不同地区开展植物调查,并深入分析外来入侵物种对当地生物多样性的影响及内在机制,为长株潭地区的生物多样性研究提供数据参考。

参考文献:

- [1] 成其书,吴磊,朱晋梅,等.湖南省青羊湖国有林场观赏藤本植物多样性研究[J].湖南林业科技,2022,49(4):44-52.
- [2] 李维忠,侯德山,周晓辉,等.湖南熊峰山国家森林公园植物多样性与林分空间结构特征分析[J].湖南林业科技,2022,49(4):53-59.
- [3] 苏凤秀.广西北部湾滨海地区公园植物多样性调查研究[J].中国农学通报,2022,38(22):79-83.
- [4] 郑海富,邓必玉,邵元元,等.广西百色市森林生物多样性研究及其服务价值评估[J].中南林业调查规划,2020,39(4):43-47.
- [5] 朱瑞良,马晓英,曹畅,等.中国苔藓植物多样性研究进展[J].生物多样性,2022,30(7):86-97.
- [6] 李益得,易建新,龚洵胜,等.水府庙国家湿地公园冬季鸟类多样性研究[J].湿地科学,2016,14(1):50-53.
- [7] 丁秀萍,金增涛,胡开,等.西藏聂拉木县曲乡水电站及线路工程建设对珠穆朗玛峰国家级自然保护区生物多样性影响评价[J].中南林业调查规划,2015,34(1):54-58.
- [8] 蒋宏程,李益得,彭旺良,等.水府庙国家湿地公园湿地恢复工程评估[J].湿地科学与管理,2019,15(4):24-26.
- [9] 舒勇,吴南飞,张蓓,等.岳阳市两湖连通工程对湖南东洞庭湖国家级自然保护区生物多样性影响评价[J].中南林业调查规划,2020,39(1):53-57.

(下转第40页)

基于生态景观连通性的浏阳市自然保护地整合优化评价

陈胜兰¹, 丁山¹, 魏甫¹, 阳胜男¹, 周维¹, 罗致¹, 毛旭鹏²

(1. 国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南长沙 410014;

2. 江西省林业资源监测中心, 江西南昌 330046)

摘要: 借助 MSPA 方法和 CEM, 利用 LCI 从生态景观连通性角度评价浏阳市自然保护地整合优化初步成果。研究结果显示: 浏阳市自然保护地识别出 30 个重要生态源地斑块, 占浏阳市土地总面积的 43.27%, 面积整体变化趋势由东北向西南递减, 其中 9 号重要生态源地斑块面积最大, 占核心斑块总面积的 63.80%。结果表明, 整合优化后浏阳市自然保护地生态景观连通性增强, 基于生态景观连通性的自然保护地整合优化初步成果合理。

关键词: 景观连通性; MSPA; 自然保护地; 整合优化; 浏阳市

中图分类号: S759.9; P901 文献标识码: A 文章编号: 1003-6075 (2023) 04-0021-05

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.005

Integrated Optimization Evaluation of Natural Protected Areas in Liuyang City of Huan Province Based on Ecological Landscape Connectivity

CHEN Shenglan¹, DING Shan¹, WEI Fu¹, YANG Shengnan¹, ZHOU Wei¹,
LUO Zhi¹, MAO Xupeng²

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

(2. Jiangxi Forestry Resources Monitoring Center, Nanchang 330046, Jiangxi, China)

Abstract: In this study, with the help of MSPA and CEM, the LCI was used to evaluate the preliminary results of integration and optimization of natural protected areas in Liuyang from the perspective of ecological landscape connectivity. The results showed that thirty important ecological source patches were identified in the study area, accounting for 43.27% of the total land area, and the overall change trend of the area decreased from northeast to southwest. The largest important ecological source patch was Patch No. 9, accounting for 63.80% of the total area of the core patches. Due to the enhanced connectivity of the ecological landscape of the natural protected areas after the integration and optimization, the preliminary results of integration and optimization of natural protected areas based on ecological landscape connectivity were reasonable.

Key words: landscape connectivity; MSPA; natural protected areas; integration and optimization; Liuyang City

* 收稿日期: 2023-09-10

作者简介: 陈胜兰(1987—), 男, 湖南邵东人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事林业资源监测与规划工作。E-mail: 312623998@qq.com。

通信作者: 毛旭鹏(1988—), 男, 河南孟州人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事林业资源监测与规划工作。E-mail: 910829233@qq.com。

经过60多年的发展,我国自然保护地建设取得了举世瞩目的成效^[1-2],但同时也产生了保护不足与保护过度、保护与发展不协调等多种矛盾^[3-4],各类自然保护地之间交叉重叠、多头管理和碎片化孤岛化等问题凸显^[5-7]。《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》的出台,标志着我国自然保护地进入了全面深化改革的新阶段,2020年全国自然保护地整合优化工作全面开展^[8]。国家公园强调对自然生态系统的原真性、完整性保护,在对多类型自然保护地的统筹和网络化管理中,连通性被频繁提及^[9]。自然保护地整合优化会改变生态景观的数量和空间结构,进而影响地表生态景观连通性^[10-11]。景观连通性指景观促进或阻碍栖息地斑块间物种移动的程度^[12],可以定量表征区域某种景观类型是否适合物种交换和迁徙,能够反映林栖物种栖息地的可用性^[13],是研究生物多样性保护和维持自然生态系统稳定和完整的关键因素^[14]。因此,景观连通性是评价自然保护地整合优化成果合理性的重要指标。本研究以浏阳市为例,从生态景观连通性的角度评价自然保护地整合优化成果,以期为后续科学评估并建立切实有效的自然保护地体系提供参考。

1 研究区概况

浏阳市地处湘赣边界、湖南东部偏北,地理坐标为113°10′—114°15′E、27°51′—28°34′N,土地总面积5 007.75 km²。境内地势东北高、西南低,自东北向西南倾斜。浏阳市属中亚热带季风湿润气候,2022年,全市的森林覆盖率66.2%^[15]。本文以浏阳市自然保护地为研究区,研究区内的自然保护地在整合优化前共19处,整合优化后减少为7处。

2 研究方法

2.1 数据来源及预处理

自然保护地界线来源于浏阳市自然保护地整合优化初步成果,土地利用数据来源于浏阳市第三次全国土地调查成果数据。根据《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017),将研究区土地覆盖类型划分为耕地、园地、林地、草地、水域、建设用地和其他土地7种景观类型,并将其转化为30 m分辨率的栅格数据。

2.2 MSPA方法

形态学空间格局分析(Morphological Spatial Pat-

tern Analysis, MSPA)方法是一种基于数学形态学对栅格影像中的斑块进行度量 and 识别的方法^[16],强调景观结构连通性,仅依赖于土地利用数据^[17-19]。近年来,MSPA方法被引入到生态源地识别中^[20]。研究选取林地和水域2种景观类型作为前景^[21-22],其他几种景观类型为背景,使用Guidos Toolbox软件^[23],采用八邻域规则,设置边缘宽度为1个像元(30 m),对栅格数据进行MSPA分析,将前景像元划分为核心、孤岛、穿孔、边缘、分支、连接桥以及环岛7种互不重叠的斑块类别。生态源地是物种扩散和维持的源头,核心斑块为大型栖息地斑块,是为野生动物提供的栖息地或迁徙场所,可作为生态源地^[24]。本研究考虑后续景观连通性指数(Landscape Connectivity Index, LCI)计算效率,有效保障生态源地面积,将核心斑块按面积由大到小排序,依次选取累积面积大于85%核心面积的斑块作为重要生态源地斑块。

2.3 LCI

目前,在景观连通性评价方面,可能连通性指数(PC)能够较好地反映区域核心斑块之间的联系程度,dPC为移除某一核心斑块所引起PC变化的相对量,能够衡量单个核心斑块对整体核心斑块构成生态景观连通性的贡献量^[25-26]。本研究利用Conefor 2.6软件^[27]计算PC和dPC,公式为:

$$PC = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(a_i \cdot a_j \cdot P_{ij}^* \right) / A_L^2 \quad (1)$$

$$dPC = (PC - PC_{remove}) / PC \times 100\% \quad (2)$$

式(1)和(2)中, n 表示研究区范围内重要生态源地斑块数量; a_i 和 a_j 分别为重要生态源地斑块 i 和 j 的面积; P_{ij}^* 为斑块 i 和 j 之间所有路径概率的乘积最大值; A_L 为研究区景观总面积; PC_{remove} 为移除斑块 i 后的生态景观可能连通性指数。其中, $0 \leq PC \leq 1$,且 PC 值越大,说明重要生态源地斑块间的连通度越高; dPC 值越大,表明这一重要生态源地斑块对该研究区生态景观连接程度影响越大。

2.4 CEM

借鉴多指标综合评价法(Comprehensive Evaluation Method,CEM)^[28]计算整合优化前后自然保护地生态景观连通性综合评价值。各重要生态源地斑块对生态景观连通性具有不同的重要性,即各重要生态源地斑块具有不同的生态连通重要性权重。本研究用线性函数归一化后的dPC值表示。整合优化前后自然保护地生态景观连通性综合得分计算公式为:

$$B = \sum_{k=1}^P W_k \cdot F_k \quad (3)$$

$$F_k = S_k / \sum_{k=1}^P S_k \quad (4)$$

式(3)和式(4)中, B 为生态景观连通性综合评价值; P 为自然保护区范围内重要生态斑块数量; S_k 为自然保护区范围内第 k 个重要生态斑块面积; F_k 为自然保护区范围内第 k 个重要生态斑块面积占自然保护区范围内重要生态斑块总面积之比, 用于表示自然保护区范围内第 k 个重要生态斑块分值; W_k 为自然保护区范围内第 k 个重要生态斑块生态连通度重要性权重。 B 值越大, 表示自然保护区生态景观连通性越强。

3 结果与分析

3.1 重要生态源地分布

利用 MSPA 方法识别研究区重要生态源地斑块, 结果如图 1 和图 2 所示。

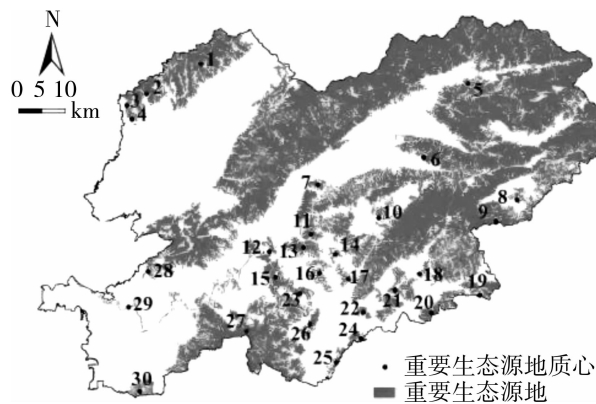


图 1 重要生态源地斑块分布

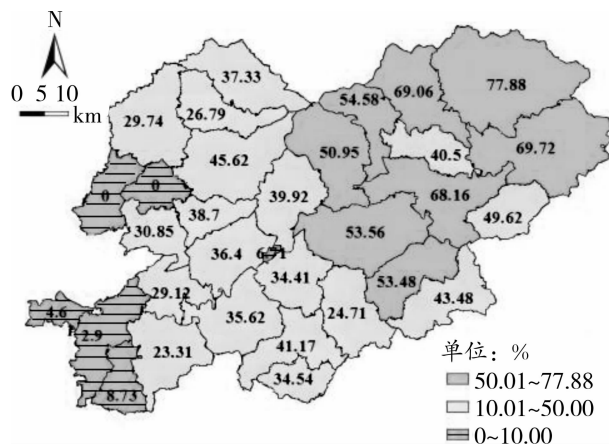


图 2 浏阳市各乡镇的重要生态源地斑块面积占比分布

由图 1 可知, 研究区重要生态源地斑块整体上呈“m”状分布。7 种不同生态景观类型斑块中的核心斑块面积最大, 为 2 548.44 km², 占浏阳市土地总面积的 50.89%。从核心斑块中识别出 30 块重要生态源地斑块, 总面积 2 166.90 km², 占浏阳市土地总面积的 43.27%。其中, 9 号重要生态源地斑块面积最大, 面积为 1 625.97 km², 占核心斑块总面积的 63.80%。

由图 2 可知, 重要生态源地斑块主要分布在东北部的各乡镇, 其面积占比(重要生态源地斑块面积/土地面积)大于 50% 的镇 8 个, 占比由大至小排序依次为大围山镇(77.88%) > 张坊镇(69.72%) > 达浒镇(69.06%) > 永和镇(68.16%) > 沿溪镇(54.58%) > 高坪镇(53.56%) > 中和镇(53.48%) > 古港镇(50.95%), 表明这 8 个乡镇的生态条件具有显著优势, 生态保障功能最为重要。重要生态源地斑块面积较少的区域主要分布在西部各乡镇, 其面积占比小于 10% 的镇(街道) 6 个, 占比由小至大排序依次为: 北盛镇(0) < 永安镇(0) < 镇头镇(2.90%) < 柏加镇(4.60%) < 淮川街道(6.71%) < 官桥镇(8.73%), 表明这 6 个镇(街道)生态条件相对较差。其余 18 个乡镇(街道)重要生态源地斑块面积占土地总面积的比例介于 23.31% ~ 49.62% 之间, 表明研究区西北、西南和东南分布的大部分乡镇生态条件一般。

3.2 生态景观连通性评价

景观连通性为景观格局的重要研究内容, 而景观格局具有尺度效应^[29]。在计算各重要生态源地斑块 dPC 值时, 需要选择合适的连通距离阈值, 以 100 m 为步长, 计算 100 ~ 3 000 m 距离阈值下重要生态源地斑块 PC 值的变化趋势, 结果如图 3 所示。在 100 ~ 800 m 距离阈值范围内, PC 增长较为显著, 800 m 之后 PC 呈平缓增长趋势。考虑距离阈值设置过大某些大型斑块被分割、小型斑块消失的情况, 应选择 PC 变化趋势放缓的拐点作为重要生态源地斑块连通距离阈值, 因此本研究将斑块连通距离阈值设置为 800 m。采用 800 m 距离阈值和连通可能性概率为 0.5, 计算研究区各重要生态源地斑块的 dPC 值, 归一化后得到生态连通重要性权重, 如表 1 所示。

提取整合优化前后自然保护区范围内的重要生态源地斑块, 发现整合优化前后自然保护区范围都仅包含编号为 9 和 11 的重要生态源地斑块, 且整合优化后自然保护区范围内的 9 号重要生态源地斑块面积占

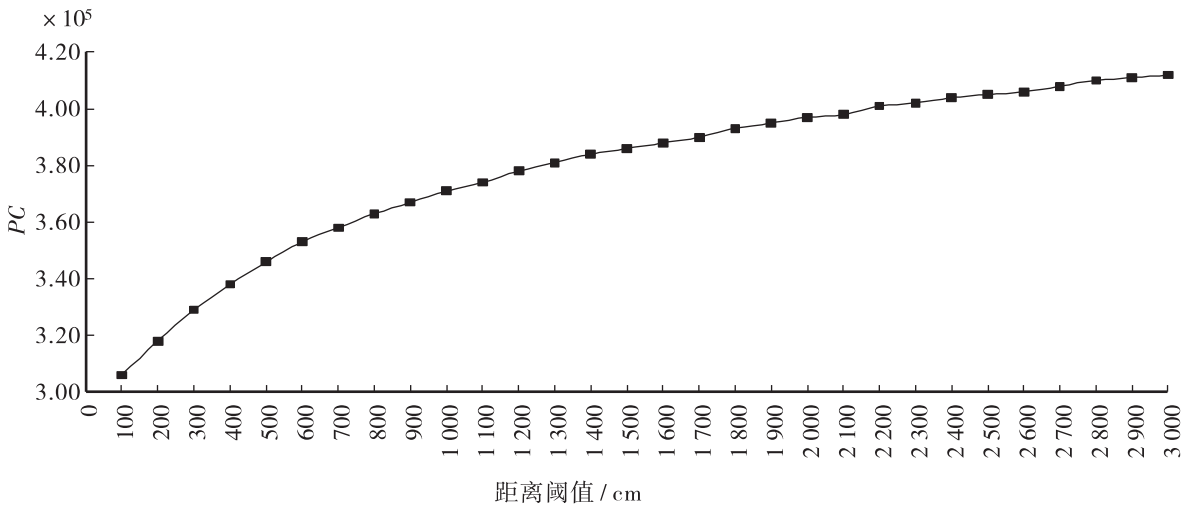


图3 不同距离阈值下重要生态源地斑块 PC 趋势

表1 重要生态源地斑块重要性指标

编号	面积/ km ²	占核心斑块 面积比例/%	dPC/%	权重	编号	面积/ km ²	占核心斑块 面积比例/%	dPC/%	权重
1	95.94	3.76	0.50	0.004 9	16	8.73	0.34	0.79	0.007 9
2	20.36	0.80	0.18	0.001 6	17	3.97	0.16	0.32	0.003 1
3	3.52	0.14	0.03	0.000 1	18	2.82	0.11	0.31	0.003 0
4	3.28	0.13	0.02	0.000 0	19	12.49	0.49	1.96	0.019 9
5	3.10	0.12	0.31	0.003 0	20	15.78	0.62	1.36	0.013 7
6	33.39	1.31	3.22	0.032 8	21	13.77	0.54	1.12	0.011 3
7	4.21	0.17	0.40	0.003 9	22	3.46	0.14	0.25	0.002 4
8	3.64	0.14	0.35	0.003 4	23	6.27	0.25	0.33	0.003 2
9	1 625.97	63.80	97.64	1.000 0	24	4.05	0.16	0.05	0.000 3
10	4.49	0.18	0.42	0.004 1	25	4.23	0.17	0.03	0.000 1
11	43.70	1.71	10.27	0.105 0	26	7.33	0.29	0.37	0.003 6
12	3.62	0.14	5.41	0.055 2	27	185.53	7.28	10.40	0.106 3
13	13.68	0.54	7.00	0.071 5	28	7.42	0.29	0.73	0.007 3
14	2.83	0.11	0.19	0.001 7	29	6.34	0.25	0.04	0.000 2
15	15.57	0.61	0.87	0.008 7	30	7.41	0.29	0.04	0.000 2

比由整合优化前的 99.76% 提高到了 99.78%。利用 CEM 得到整合优化前后自然保护地生态景观连通性综合得分分别为 0.997 8 和 0.998 0, 表明整合优化后的自然保护地生态景观连通性较整合优化前有所提高。从生态景观连通性角度看, 研究区自然保护地整合优化成果合理。

4 结论

自然保护地整合优化的原则之一为“解决矛盾冲突, 保持自然生态系统完整性和生态廊道连通性”, 因此, 从景观连通性角度评价自然保护地整合优化成果的合理性是必要的。本研究首次从生态景观连通性角度, 将 MSPA 方法和 LCI 用于自然保护地整合优化

成果评价, 不仅能够从景观连通性角度辨识自然保护地设置的合理性, 而且可以为自然保护地整合优化后的科学评估提供参考。结论如下:

(1) 通过 MSPA 方法成功识别了研究区内的 30 个重要生态源地斑块, 这些斑块在土地总面积中占据了相当大的比例, 达到了 43.27%。这些斑块呈“m”状分布, 按各乡镇面积分布占比从东北到西南逐渐减少, 显示了研究区不同乡镇的生态条件差异。

(2) 9 号重要生态源地斑块 dPC 值最高, 达 97.64%, 且整合优化后自然保护地所含 9 号重要生态源地斑块面积占比由 99.76% 提高至 99.78%。

(3) 整合优化后的自然保护地生态景观连通性综合得分较整合优化前有所提高, 从 0.997 8 增加到

了0.998 0。这表明自然保护地整合优化成果在提升生态景观连通性方面表现出良好的效果,使各自然保护地处于关键位置,有助于保持生态系统的完整性和生态廊道的连通性。

总的来说,本研究从生态景观连通性的角度对自然保护地整合优化成果进行了科学评估,整合优化后的自然保护地生态景观连通性综合得分较整合优化前有所提高,证明了研究区自然保护地整合优化的合理性和有效性。这一研究可为未来自然保护地规划和管理提供重要的参考依据。

参考文献:

- [1] 严勇. 我国自然保护地变革的历史经验与探索 [J]. 柴达木开发研究, 2021 (5): 4-10.
- [2] 我国各类自然保护地已达 1.18 万处 [J]. 绿色中国, 2019 (3): 14.
- [3] 罗红, 陈磊, 姜运力, 等. 自然保护地整合优化的景观格局变化分析: 以贵州省思南县为例 [J]. 生态学报, 2021, 41 (20): 8076-8086.
- [4] 钟林生, 邓羽, 陈田, 等. 新地域空间: 国家公园体制构建方案讨论 [J]. 中国科学院院刊, 2016, 31 (1): 126-133.
- [5] 关志鸥. 高质量推进国家公园建设 [J]. 求是, 2022 (3): 6.
- [6] 卢贵军, 李春. 广西百色市自然保护地整合优化调出矛盾斑块尺度研究 [J]. 中南林业调查规划, 2022, 41 (3): 46-49, 68.
- [7] 丁胜, 刘凯昌, 薛春泉, 等. 广东省自然保护地建设管理存在的问题与对策 [J]. 中南林业调查规划, 2021, 40 (4): 30-32, 49.
- [8] 唐芳林, 吕雪蕾, 蔡芳, 等. 自然保护地整合优化方案思考 [J]. 风景园林, 2020, 27 (3): 8-13.
- [9] 何思源, 苏杨. 原真性、完整性、连通性、协调性概念在中国国家公园建设中的体现 [J]. 环境保护, 2019, 47 (Z1): 28-34.
- [10] 陈佑启, 杨鹏. 国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展 [J]. 经济地理, 2001 (1): 95-100.
- [11] 崔晓伟, 张磊, 朱亮, 等. 三峡库区开县蓄水前后景观格局变化特征 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (4): 227-234.
- [12] TAYLOR P D, FAHRIG L, HENEIN K, et al. Connectivity is a vital element of landscape structure [J]. *Oikos*, 1993, 68 (3): 571-573.
- [13] 潘登, 陆禹, 刘扬. 基于景观连通性的森林保护与恢复优先区域识别: 以丁青县为例 [J]. 中南林业调查规划, 2022, 41 (3): 40-45.
- [14] CRIST M R, WILMER B O, APLET G H. Assessing the value of roadless areas in a conservation reserve strategy: biodiversity and landscape connectivity in the northern Rockies [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2005, 42 (1): 181-191.
- [15] 浏阳市人民政府. 自然地理 [EB/OL]. (2023-09-06) [2023-09-10]. http://www.liuyang.gov.cn/2018milly/lygk_2zrzy201811/t201811_22_5123021.html.
- [16] 唐文魁, 俞露, 周伟奇, 等. 基于长时间序列遥感数据的深圳景观连通性动态变化研究 [J]. 自然资源遥感, 2022, 34 (3): 97-105.
- [17] SAURA S, VOGT P, Velázquez J, et al. Key structural forest connectors can be identified by combining landscape spatial pattern and network analyses [J]. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262 (2): 150-160.
- [18] BLASCHKE T. Object based image analysis for remote sensing [J]. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 2010, 65 (1): 2-16.
- [19] MANN D, AGRAWAL G, JOSHI P K. Spatio-temporal forest cover dynamics along road networks in the Central Himalaya [J]. *Ecological Engineering*, 2019, 127: 383-393.
- [20] YE H, YANG Z P, XU X L. Ecological corridors analysis based on MSPA and MCR model: a case study of the Tomur World Natural Heritage Region [J]. *Sustainability*, 2020, 12 (3): 959.
- [21] 柳建玲, 李胜鹏, 范胜龙, 等. 基于生态安全格局的厦漳泉地区国土空间生态保护修复区与预警点识别 [J]. 生态学报, 2021, 41 (20): 8124-8134.
- [22] 孔阳, 王思元. 基于 MSPA 模型的北京市延庆区城乡生态网络构建 [J]. 北京林业大学学报, 2020, 42 (7): 113-121.
- [23] VOGT P, RIJTTERS K. GuidosToolbox: universal digital image object analysis [J]. *European Journal of Remote Sensing*, 2017, 50 (1): 352-361.
- [24] VOGT P, FERRARI J R, LOOKINGBILL T R, et al. Mapping functional connectivity [J]. *ecological indicators*, 2009, 9 (1): 64-71.
- [25] SAURA S, PASCUAL-HORTAL L. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study [J]. *Landscape and urban planning*, 2007, 83 (2-3): 91-103.
- [26] PASCUAL-HORTAL L, SAURA S. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation [J]. *Landscape ecology*, 2006, 21 (7): 959-967.
- [27] SAURA S, Torné J. Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity [J]. *Environmental modelling & software*, 2009, 24 (1): 135-139.
- [28] 刘庆, 陈利根. 长株潭地区土地可持续利用综合评价及空间分区 [J]. 农业工程学报, 2013, 29 (6): 245-253.
- [29] 郑新奇, 付梅臣. 景观格局空间分析技术及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.

江西省生态文明试验区林草改革实践与发展对策研究

罗致, 魏甫, 黄哲, 敖俊杰, 陈胜兰

(国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南长沙410014)

摘要: 江西省以生态文明试验区建设为契机, 在林草改革实践中不断探索, 使绿水青山产生了巨大的生态效益、经济效益和社会效益。为进一步总结江西省林草改革实践中取得的创新成果, 在参与国家林业和草原局关于江西省生态文明试验区林草改革举措和经验模式调研基础上, 以江西省在林草方面的一些改革举措为切入点, 总结了江西省依托政策优势, 在场外造林、林权收储、湿地资源管理等方面做出的机制创新, 以及通过创新举措, 江西省生态文明试验区建设所取得的建设成效。同时, 根据实地调研情况, 分析了部分创新举措在实践中面临的挑战, 并提出了改进的对策。

关键词: 生态文明试验区; 林草改革; 场外造林; 林权收储; 湿地资源管理; 江西

中图分类号: S718.5; F326.27 文献标识码: B 文章编号: 1003-6075(2023)04-0026-04

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.006

Study on Practice and Development Countermeasures of Forest and Grass Reform in Ecological Civilization Experimental Zone of Jiangxi Province

LUO Zhi, WEI Fu, HUANG Zhe, AO Junjie, CHEN Shenglan

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

Abstract: Leveraging the opportunity presented by the construction of the Ecological Civilization Experimental Zone, Jiangxi Province has been continuously exploring in its forestry and grassland reform practices. These efforts have made green hills and clear water yielding substantial ecological, economic, and social benefits. For the further summary of innovative products in Jiangxi Province's forestry and grassland reform practices, this study is grounded in the research conducted by the National Forestry and Grassland Administration concerning reform measures and experiential models in the Ecological Civilization Experimental Zone of Jiangxi Province. The study specifically focuses on several reform measures implemented by Jiangxi Province. It has been summarized that mechanism innovations are made by Jiangxi through relying on policy advantages in areas like afforestation beyond policy mandates, collection and storage of forest rights, and wetland resource management. The study also assesses the outcomes resulting from these innovative practices as part of the Ecological Civilization Experimental Zone's construction in Jiangxi Province. Furthermore, through on-site research, analysis the study addresses the challenges encountered during the practical implementation of some innovative measures. It also offers recommendations and strategies for improvement in light of the insights gained from this evaluation.

* 收稿日期: 2023-09-08

通信作者: 魏甫(1980—), 男, 河南安阳人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事林草资源调查、规划和监测、林草生态系统修复等工作。E-mail: 19219043@qq.com。

作者简介: 罗致(1988—), 男, 湖南永州人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事森林资源监测、林业调查规划设计以及环境影响评价等工作。E-mail: 373681496@qq.com。

Key words: Ecological Civilization Experimental Zone; forestry and grassland reform; afforestation beyond policy mandates; collection and storage of forest rights; wetland resource management; Jiangxi

1 江西省生态文明试验区建设背景

为鼓励制度创新,鼓励地方结合自身实情开展林业改革先行先试,党的十八届五中全会和“十三五”规划纲要明确提出设立统一规范的国家生态文明试验区。2016年8月22日,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于设立统一规范的国家生态文明试验区的意见》及《国家生态文明试验区(福建)实施方案》,要求各地区各部门结合实际认真贯彻落实。截至2022年,我国已设立了福建省、江西省、贵州省和海南省四个生态文明试验区。

江西省具有得天独厚的森林和湿地资源,其森林面积1 034万 hm^2 ,森林覆盖率达63.35%,位居全国第二;现有记录野生脊椎动物1 007种,其中国家一级保护动物42种、国家二级保护动物146种;现有记录高等植物6 337种,其中国家一级保护植物6种、国家二级保护植物72种。鄱阳湖是我国最大的淡水湖、唯一的“世界生命湖泊网”成员。每年冬季有60万~80万只候鸟飞抵鄱阳湖越冬,鄱阳湖被誉为“候鸟天堂”“白鹤王国”。鄱阳湖在全球湿地保护和生物多样性保护领域具有重要地位和影响力^[1]。

江西省以良好的生态环境为依托,坚持“新的希望、三个着力、四个坚持”的总体要求,认真落实“创新引领、绿色崛起、担当实干、兴赣富民”工作方针,加速江西省生态文明试验区建设,使绿水青山产生巨大的生态效益、经济效益和社会效益。“十四五”期间,江西省在林草改革举措中不断探索,并已经形成一系列行之有效的措施,但尚缺乏对生态文明试验区林草改革举措和经验模式的总结。本文以江西省生态文明试验区林草改革为调查研究对象,总结归纳了其林草改革举措,并在此基础上进一步归纳了林草改革的经验模式,以促进江西生态文明改革成功经验的推广。

2 江西省生态文明试验区林草改革举措

2.1 场外造林助推造林绿化高质量发展

当前江西省可造林地日趋紧张、农村青壮年劳动力缺失、群众从事林业生产意愿不强。针对该现状,

《江西省林业厅关于加快推进国有林场场外造林的指导意见》(赣林造字〔2018〕146号)和《江西省林业局关于进一步规范国有林场场外造林建设管理的通知》(赣林规〔2021〕3号)先后出台,鼓励各国有林场采取多种形式开展场外造林,盘活闲散分布在林农手上的林地资源,通过林场专业化、规模化的营林措施,把低质低效的残次林、没有经营措施的低效林转变为高质高效丰产林,彻底盘活林地资源存量、做大森林蓄积总量、提升林业碳汇增量。

一是以深化林权制度改革为抓手,寻求多元合作模式,稳步推进国有林场场外造林。按照国家林业和草原局印发的《国家林业和草原局关于进一步放活集体林经营权的意见》(林发改〔2018〕47号)中的“三权分置”运行机制^[2],稳步推进集体林地的经营权向国有林场流转,将林农的林地优势和国有林场资金、人才、技术、管理优势有机结合,实现林地效益最大化。同时,聚焦政府引导与市场运作合力,多元结合,落实场外造林项目建设资金保障。二是以发挥国有林场主力军作用为核心,突显专业性和人才队伍优势,不断壮大国有林场森林资源总量。三是以巩固林区脱贫攻坚成果为导向,在推进场外造林建设过程中,坚持以民为本,将总投入的90%以上转化成了林农的林地流转和劳务收入,为巩固脱贫攻坚成果作出了应有的努力。

2.2 林权收储担保盘活革命老区“万重山”

江西作为革命老区和南方重点集体林区,在推进集体林权制度改革过程中,仍暴露出生态保护与林农利益、林地碎片化与经营规模化、林业有效供给与社会多元需求等多方面矛盾。为进一步探索生态产品价值,推动“绿水青山”转化为“金山银山”,在资溪县率先探索实施森林收储运营改革的基础上,江西省林业局选取了21个县(市、区)开展林权收储运营改革试点,其中14个位于革命老区。通过推广林权收储运营改革经验,有效盘活革命老区绿色生态资源,探索绿色发展新路径。

一是政策先行,推进林权收储建设“一盘棋”。江西省林业局、江西省人民政府金融工作办公室、人民银行南昌中心支行、江西银保监局联合印发了《关于开展林权收储担保体系建设的通知》,为推动、

指导各地规范设立林权收储机构,构建林权抵押贷款代偿收储机制,形成覆盖全省的林权收储担保体系奠定了政策基础。二是林银协同,打通融资变现“新渠道”。江西省林业局部署建立省林业金融服务平台,各试点县建立“两山”转化服务中心,建立线上线下结合、政银企协同办事、流程闭环运行、合作防控风险的服务机制。三是探索科学林权收储模式,以“政府主导、社会参与、市场运作”为原则,探索以直接流转、灵活租赁、入股合作、置换等多种收储模式优化整合资源,对林木资源进行集中流转、集中经营,解决林权分散、开发低效、经营困难等难题,通过“林权抵押+森林赎买”,化解林权不良贷款,推进林业金融良性发展。

2.3 建设湿地资源运营管理服务平台,规范湿地资源管理

江西省积极探索创新湿地资源“互联网+指标市场”运营机制,推进湿地资源运营管理服务平台建设,初步建立了湿地占补平衡的市场化、湿地资源生态修复的社会化的投融资机制。

一是顶层设计,建立全省统一的管理服务平台。2021年4月,江西省林业局开展湿地资源试点平台建设,平台建设投入资金合计206万元,管理服务平台采取了“省级统一建设、试点县终端使用”的模式,实现了全省统一门户、统一流程、单点登录、数据同库。二是登记备案,建立全省后备湿地资源及占补指标“大数据”,管理服务平台开发了登记备案系统,部署湿地后备资源、湿地占补平衡指标登记备案模块,实现了初始登记、变更登记、转移登记、抵押登记和注销登记等功能,防范一权多卖、一权多押,保障权利人的相关权益,维护湿地资源运营的基本秩序。三是建章立制,规范湿地资源运营各项行为,完善湿地资源运营管理办法,实现整个运行流程清晰、标准明确、规则明了。制订了湿地占补平衡指标交易合同模板,明确交易双方权利义务、结算方式、管护责任,防范合同风险,保障交易双方权益。四是流转交易,推动湿地资源生态产品价值实现。管理服务平台依托南方林业产权交易所部署了湿地占补平衡指标交易系统,实行摘挂牌交易。

3 生态文明试验区建设成效

3.1 场外造林成效

截至2022年年底,江西省已累计整合投入林业项

目资金达4.38亿元,补助实施场外造林33120 hm²,完成验收26454 hm²。此举把群众不愿经营、不善经营的林地变成金山银山,帮助林农脱贫致富。同时,此举解决了林场造林空间匮乏的问题,不但对推动国有林场发展具有重要意义,而且对推动集体林业适度规模经营,精准提升森林质量,增加林区群众收入,巩固脱贫攻坚成果和促进乡村振兴都起到了十分积极的作用。

3.2 林权收储成效

1) 林银协同,打通融资变现“新渠道”。江西省林业局与中国建设银行、江西省农商银行、九江银行、江西银行等金融机构合作建立林银协同服务机制,支持将林权收储机构纳入协同服务流程节点和名录库管理;建立“两山”转化服务中心、集体林权收储发展中心等,实行一站式服务,负责受理林权收储申请、森林资源调查评估、林权变更、代偿收储担保的指导协调等服务工作^[3]。

2) 建立了以“政府主导、社会参与、市场运作”的林权收储机构,如广昌县依托广昌县属林业发展公司、乐安县以乐安县属林业发展有限公司为主体、崇仁县以崇仁县农垦发展有限责任公司为载体等组建林权收储机构。同时,引进林业企业、经营户等社会资本集约经营,促进资源变资产,如资溪林权收储碎片化林地后,筑巢引凤,引进“国家林业龙头重点企业”江西罗山峰生态科技有限公司,投资13亿余元打造灵芝全产业链项目。

3) 建立林权收储专项基金,用于开展林权抵押贷款中不良贷款的代偿和抵押林地的收储,如崇义县采取“政府+协会”出资方式设立了规模为5000万元的林权抵押担保收储基金。

4) 金融机构创新林权融资贷款产品,资溪、崇义等地纷纷落地“森林赎买抵押贷款”“林权抵押担保贷”等金融产品。

3.3 湿地资源管理成效

2022年3月,江西省成立湿地资源运营管理服务平台。该平台运行一年以来,各试点县对后备湿地资源进行了摸底统计,完成登记或托管湿地后备资源429块,面积合计1400 hm²。万年、进贤、南丰、临川、都昌、仙女湖等县(区)陆续开展了指标交易,交易额近3200万元,引导社会资本开展湿地修复面积近42.2 hm²。社会资本投入湿地生态修复的积极性逐步提高,如崇义县创新开展了湿地经营权质押贷

款,获九江银行贷款1 000万元;南丰县获得中国建设银行“湿地收储及修复贷款”3 500万元;万年县与江西银行共同探索开发湿地生态修复信用贷款产品,为指标权利人获得贷款10万元。据统计,全省合计获得金融机构支持湿地后备资源收储和修复金融保障协议额度高达6亿元。

4 生态文明试验区建设面临的挑战

4.1 扩大场外造林会加重财政负担

自2018年《江西省林业厅关于加快推进国有林场场外造林的指导意见》出台以来,江西省林业局已累计整合投入林业项目资金4.38亿元,补助实施场外造林33 120 hm²。场外造林目前处于前期试验阶段,全面推广后,由于场外造林规模的扩大,势必需投入更多补助资金,这将加重江西省财政负担。

4.2 缺乏湿地资源运营制度和标准

江西省作为生态文明试验区试点省份,利用政策优势,先行建立湿地资源运营管理服务平台。该平台已经试运行一年,相关制度和标准仍未制定。湿地后备资源的相关标准、生态修复列入湿地目录的指标核算和价值评估、湿地占补平衡指标交易规则等内容的不明确,已经严重制约了平台发挥其应有的功能,不利于扩大湿地交易量及补充湿地的质量认定等。

5 对策和建议

5.1 完善场外造林政策机制,实现林地利用和林农增收双增长

场外造林扶持政策是破解当前集体林地闲置、林地利用率低、生态经济效益不佳等弊端的有效举措,是彻底盘活林地资源存量、做大森林蓄积总量、提升林业碳汇增量的重要途径。在场外造林土地流转的过程中,林农能从土地流转资金中受益,而国有林场通过获得宝贵的造林地块得到发展空间,闲散、未经专业化和规模化经营的林地经国有林场科学经营后,实现了木材增产、碳汇增量、生

态增效。场外造林扶持政策作为与国家储备林扶持政策、林权收储政策并行的林地流转经营扶持政策^[4],建议加大政策扶持力度,作为一项全国性扶持政策加以推广实施。

5.2 制定湿地资源运营制度和标准,将湿地碳汇纳入管理

由江西省林业局牵头,江西省财政厅、江西省发展和改革委员会等多部门协助,从湿地后备资源的相关标准、生态修复列入湿地目录的指标核算和价值评估、湿地占补平衡指标交易规则等入手,尽快制定湿地资源运营的相关制度和标准。同时,湿地具有很高的碳汇价值,其资源具有稀缺性,可探索合适的湿地碳汇交易模式,开展湿地碳汇交易能力建设,将湿地碳汇纳入湿地资源运营管理平台上进行管理。

6 结语

江西省作为我国第一批生态文明试验区试点省份,经过几年的大胆探索,发展出适合江西省自身特点的生态文明建设道路,在林业方面取得了较为成功的经验。江西省的场外造林、林权收储、湿地资源管理、产业发展等改革创新举措具有一定普适性,对我国其他省份进一步开展生态文明建设具有重要的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 殷琪惠. 江西森林覆盖率达63.35%,森林资源实现量质双升[N]. 江西日报, 2022-6-29(1).
- [2] 国家林业和草原局. 国家林业和草原局关于进一步放活集体林经营权的意见:林改发[2018]47号[S/OL]. (2018-05-08)[2023-09-08]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2018-12/31/content_5437527.htm.
- [3] 殷琪惠,沈秋平,钟南清. 绿色发展意正浓:江西推进国家生态文明试验区建设综述[J]. 国土绿化, 2022(5): 34-37.
- [4] 周学武,齐建文,刘金山,等. 论储备林储备区域的选择:以五盖山国有林场杉木人工林为例[J]. 中南林业调查规划, 2017, 36(2): 5-9.

基于高分光学遥感影像的湖南省油茶林地识别 技术研究

——以汉寿县为例

杨文军¹, 张 杨², 王福生¹, 瞿跃辉¹

(1. 湖南省农林工业勘察设计研究总院, 湖南 长沙 410007; 2. 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004)

摘要: 基于高分光学遥感影像技术, 对湖南省油茶产业大县汉寿县油茶林地进行分类特征提取、标注样本类别及建立分类模型等操作, 实现研究区油茶林地高精度识别。结果显示: 利用基于高分光学遥感影像的深度网络智能化提取油茶林地及人工确认的数据分析方法能够很好识别汉寿县油茶林地的空间分布, 与2022年全县油茶精细化调查面积数据对比后精度较高(优于70%); 空间分布上, 汉寿县太子庙镇的油茶分布集中且面积最大, 和地面调查的面积数据相比, 该镇的油茶分布面积提取精度最高, 为92.57%。研究方法能够较为精准地识别汉寿县油茶林地斑块, 从而为湖南省油茶林地遥感普查与保护规划提供重要参考。

关键词: 光学遥感; 识别技术; 油茶; 林地; 湖南

中图分类号: S771.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6075 (2023) 04-0030-05

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.007

Study on *Camellia Oleifera* Forest Identification Technology Based on High Resolution Optical Remote Sensing Image in Hunan Province

——Taking Hanshou County as an Example

YANG Wenjun¹, ZHANG Yang², WANG Fusheng¹, QU Yuehui¹

(1. Hunan Prospecting Designing & Research General Institute for Agriculture Forestry & Industry, Changsha 410007, Hunan, China;

2. Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, Hunan, China)

Abstract: Based on high-resolution optical remote sensing image technology, classification feature extraction, annotated sample category, and establishment of classification models were carried out on the *Camellia Oleifera* forest land in Hanshou County, a major *Camellia Oleifera* industry county in Hunan Province, to achieve high-precision recognition of the *Camellia Oleifera* forest land in the research area. The results show: the data analysis method of deep network intelligent extraction and manual confirmation of *Camellia oleifera* forest land based on high-resolution optical remote sensing images can effectively identify the spatial distribution of *Camellia oleifera* forest land in Hanshou County, and compared with the refined survey area data of *Camellia oleifera* in the whole county in 2022, the accuracy is relatively high (better than 70%); in terms of spatial distribution, the distribution of *Camellia oleifera* in Taizimiao Town, Hanshou County, is relatively concentrated

* 收稿日期: 2023-05-11

基金项目: 湖南省科学技术厅“高新技术产业科技创新引领计划(科技攻关类)——空天高分遥感大数据智能服务及森林资源监测应用技术”(2020GK2039)。

作者简介: 杨文军(1985—), 男, 湖南常德人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事林业调查规划、森林经营、林业遥感、林业信息化等工作。E-mail: 282832161@qq.com。

and largest in area, and compared with the field survey area data, the extraction accuracy of *Camellia oleifera* distribution area is the highest at 92.57% in Taizimiao Town. The research method can accurately identify the patches of *Camellia oleifera* forest in Hanshou County, therefore, it can also provide important reference for remote sensing survey and protection planning of *Camellia oleifera* forest in Hunan Province.

Key words: optical remote sensing; identification technology; *Camellia oleifera*; forest land; Hunan

油茶林是我国南方地区重要的经济林,有东方“橄榄油”之称。油茶作为集经济价值、食用价值和环境价值于一身的中国特有木本油料植物,适宜生长在气候温暖、阳光充足的地理环境中,主要分布在我国南方亚热带地区的高山及丘陵地带。湖南省是我国油茶重点产区,我国油茶产量近一半来自湖南,湖南油茶林的种植面积、分布、产量、产值、科技水平均居全国首位^[1]。油茶大面积种植和油茶产业大力发展对山区脱贫攻坚意义重大,据统计,湖南省多个贫困县通过种植油茶林增加了林农经济收入,总产值达1 024亿元^[2]。湖南省委省政府高度重视油茶产业的发展,相关单位相继出台一系列关于湖南省油茶产业高质量发展的政策支持和资金保障,湖南油茶产业迈入发展的快车道^[3-4]。

油茶林的大面积种植和快速发展给各级林业部门监测监管工作带来难题和挑战。各级林业部门需要掌握区域内油茶林的面积、分布以及品质等准确参数,但是由于油茶种植主体多样复杂(企业和农户)、种植和管理方式各异、种植地点分散^[5],仅仅依靠传统的人工外业调查方式准确收集区域内油茶林地的实际信息十分困难。因此,相关林业部门迫切需要能够替代传统调查方式的高新技术,从而实现了对多种类型油茶林地的有效监测、掌握辖区内油茶林的种植情况。

近年来,科技发展日新月异,遥感技术快速崛起。高分光学遥感影像是利用高分系统卫星采集的光学遥感影像。高分系列卫星在高分专项支持下,于2010年批准启动实施,至2023年,我国陆续发射了高分一号至高分十六号等多颗卫星,已从全色、多光谱到高光谱,从光学到雷达,从太阳同步轨道到地球同步轨道等多种类型,构建了具有高空间分辨率、高光谱分辨率、高观测精度、高时效性特征的对地观测系统。高分辨率影像在农林业领域应用范围广,应用潜力巨大。多位学者基于高分系列遥感影像开展农作物、森林、草地、湿地等大范围面积提取、变化监测研究,且在提取精度及变化监测结果上效果较好^[6-9]。基于高分辨率影像的油茶林监测应用价值巨大。孟浩然等^[2]综合光谱纹理和时序信息开展油茶遥感提取研究,得出

采用春夏秋多时相遥感植被指数、纹理、PCA的随机森林方法是分类精度最高的方案,采用春夏时相遥感植被指数、纹理的随机森林方法为兼顾计算效率与精度的最优方案等,研究结果能够为亚热带地区油茶及其他经济林的遥感监测提供参考。严恩萍等^[10]利用无人机遥感对油茶进行了产量的快速估算,该结果对油茶经营管理和可持续发展具有重要意义。然而,基于高分辨率遥感的油茶监测研究仍处于探索阶段,南方地区多云雨雾天气,有效影像覆盖受限,地形复杂、区域适应性不强等问题仍然存在。本文将基于高分影像数据,以汉寿县为例,利用深度网络的智能化油茶林地提取及人工确认的数据分析方法,实现汉寿县油茶林地高精度识别,为相关林业主管部门进行油茶产量评估和补贴估算提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于湖南省常德市汉寿县,地理坐标为28°36′—29°6′45″N、111°42′59″—112°18′E。汉寿县位于湖南省西北部,是本次科技项目的试点县,地处洞庭湖滨、沅澧两水尾间,总面积2 021 km²。境内的地势由南向北呈阶梯状下降,以平原为主,水系发达,平原占49.07%,水面占28.49%,丘陵岗地占22.44%。该地区属于中亚热带向北亚热带过渡的季风湿润气候区,气候温暖湿润,雨量丰富,具有油茶林生长的天然地区优势,是发展油茶特色产业的宝藏之地^[11]。

2 数据来源与处理

2.1 遥感数据

本文选用2022年高分1号(GF-1)2 m分辨率PMS影像和高分2号(GF-2)0.8 m分辨率PMS影像开展油茶林地遥感监测。高分1号卫星携带全色多光谱相机(PMS),幅宽60 km,全色波段空间分辨率为2 m,多光谱波段空间分辨率为8 m。高分2号卫星携带全色多光谱相机(PMS),幅宽45 km,全色波段空间分辨率为1 m,多光谱波段空间分辨率为4 m,重访周期5 d。

2.2 地面调查数据

汉寿县作为本次科技项目的试点县，于2022年做了全县油茶精细化调查（以下简称“地面调查”），为研究内容提供可靠的样本数据和精度验证支持。

2.3 高分遥感图像预处理

在遥感成像和获取中，遥感图像获取方式因受到传感器分辨率、波谱、时间、辐射分辨率等限制，不可避免地会引入一些误差^[12]。为了减少该方式所产生的不利影响，确保遥感成像具有准确的空间位置和真实的光谱信息，从而达到森林类型精细识别的目的，在图像处理分析开始前，要对高分遥感影像进行预处理，包括辐射定标、大气校正、正射校正、图像配准及图像融合等步骤。

2.4 油茶遥感提取流程

根据湖南省内油茶林地分布特点，采用如下技术思路设置内容。

1) 根据时间、空间和图像质量，筛选遥感数据。重点选择秋冬季作为油茶监测的主要时间段，利用这一时段获取的高分1号和高分2号遥感数据，再在获取的数据中选择中高分辨率（1 m或2 m）数据。

2) 对多源遥感影像与矢量地图进行配准。

3) 针对汉寿县内的油茶林地集中区域，通过历史积累和地面调查数据，确定可用于分类的油茶林地样本区。

4) 利用植被指数等相关特征参数，确定影像的绿色植被区域，剔除城镇、水域和裸露土地等无关区域。

5) 基于时空、光谱和多尺度特征的学习，结合支持向量机和深度网络智能化提取的方法，实现高精度的油茶林地提取。

6) 综合卫星遥感信息、地面调查信息以及历史数据，基于GIS系统实现信息综合与参数估算。

针对上述工作，油茶林遥感调查的技术流程如图1

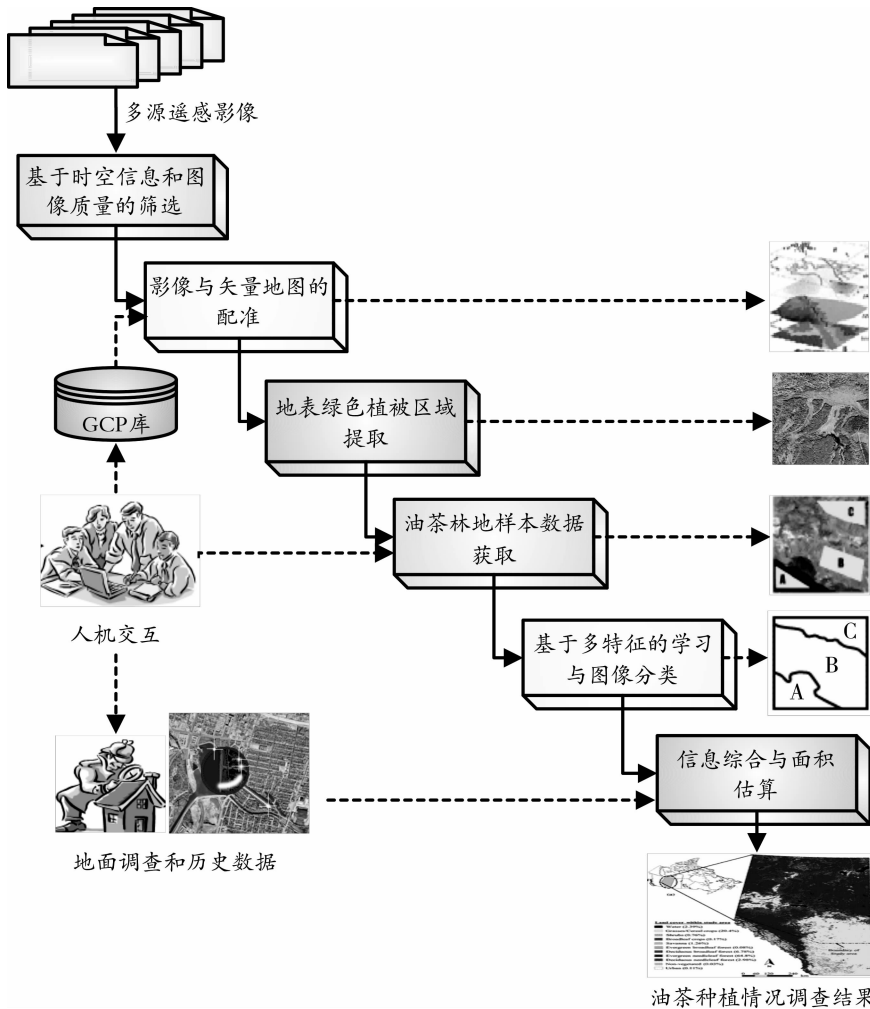


图1 基于高分光学遥感影像的湖南省油茶林地识别技术流程

所示。本文对观测获得的多源高分数据首先进行数据筛选和质量改善。由于全色波段和多光谱波段的几何精度存在差异,本文在对影像内容进行纠正和配准的基础上,提取多元统计特征和辐射量反演信息,采用支持向量机法和深度网络智能化提取的方法,实现油茶林地的信息提取及解译能力评价。

3 研究方法

3.1 分类特征

通常情况下,利用少量特征就可以进行遥感图像的专题分类,即从遥感影像多个特征中提取几个更有效的特征作为分类依据。这不仅可以达到数据压缩的目的,也能提高不同类别特征之间的可区分性。分类特征提取方法包括归一化植被指数(NDVI)、比值植被指数(RVI)、归一化绿度差值指数(NDGI)、绿色比值植被指数(GRVI)等代数运算法,具体运算见公式(1)至式(4)。分类特征提取的关键就是要在计算复杂度允许的范围内,在最少维特征空间中使得类间距离较大,而类内距离较小^[13]。

$$NDVI = (b_{nir} - b_r) / (b_{nir} + b_r) \quad (1)$$

$$RVI = b_{nir} / b_r \quad (2)$$

$$NDGI = b_{nir} - b_r \quad (3)$$

$$GRVI = b_{nir} / b_g - 1 \quad (4)$$

式中: b_{nir} 、 b_r 及 b_g 分别为近红外波段值、红波段值及绿波段值。

湖南省油茶林地在影像上的特征与油茶林本身的特点有很大关系。油茶是一种常绿、长寿树种,一次种植收获期长达100年以上。油茶花的花色浓艳,尤其是普通油茶,在少花的秋冬季(11月初左右)开放。油茶树形普遍采用的是自然开心形和自然圆头形。目前,为了提高油茶产量,油茶基地的造林过程是按照一定标准执行的,需要根据地块、坡度、光照强度和管理水平确定种植密度。土层深厚、肥沃的平地,油茶的株行距为3 m×3 m,密度为1111株/hm²;坡脚和缓坡地油茶的株行距为3 m×2.5 m,密度为1333株/hm²;坡度20°以上,油茶的株行距为2.5 m×2.5 m,密度为1600株/hm²。造林时需要将地域内的所有杂草和灌木全部清除,且植株之间需要严格保持距离,以保证充分光照。这些特性在高分遥感影像上反映出明显的图像特征,而这些特征就是识别油茶林地的关键。

3.2 分类方法

建立分类模型,即通过样本数据获得分类特征及地物类别的对应关系,并建立可推广的分类模型。针对油茶林地识别应用问题,常用的方法有SVM、决策树等方法。其中,基于决策树的分类方法是一种较适合高分油茶林地提取的有效途径,但因受方法本身限制等问题,在精细分类方面仍有不足。与传统遥感图像分类方法相比,深度网络至少在两个层面解决了传统方法的不足^[14-15]。

1) 解决地物可识别特征提取能力不足的问题。特征提取是传统影像分类方法必不可少的一步,通常在遥感影像中提取光谱、结构、纹理等信息,但这些信息都不能完整描述图像所表现出来的特征。在这种情况下,往往会出现由于提取特征的模糊性和不完备性所导致的错误分类问题。而深度网络利用大样本学习机制,将数据的原始特征完整保留在多层参数模型中,可以有效地反映出地物的图像可识别特征。

2) 解决影像数据非线性特性带来的不精确问题。传统的分类方法对影像数据的非线性特性的描述能力较弱,对数据非线性可分性的挖掘是不充分的。而深度网络利用多层学习机制,可以很好地发现数据内隐藏的非线性可分特性,从而进一步提高分类准确率。

针对油茶林地识别应用问题,不论使用传统分类方法还是使用基于深度网络的人工智能方法,其核心都需要建立具有一定适应性的分类模型,即利用样本数据构建的分类模型,且不会受到天气因素、成像时间、地点及预处理过程的影响,这是实现有效识别油茶林地的关键。

3.3 分类精度评价

本文结合地面调查数据,采用总体分类精度指标对基于高分光学遥感影像的湖南省油茶林地识别结果进行精度评价。

4 结果与分析

在基于深度网络的智能化油茶林地提取结果中,选取太子庙镇、龙潭桥镇、崔家桥镇、丰家铺镇等行政区域内的油茶林地分布面积进行统计,并与2022年地面调查数据进行对比,结果见表1。

由表1可知,基于高分光学遥感影像技术提取的油茶林地面积的对比精度均高于70%。汉寿县太子

表1 油茶林地提取面积及精度对比

行政区	行政区面积/hm ²	油茶提取面积/hm ²	油茶精细化调查面积/hm ²	面积对比精度/%
汉寿县太子庙镇	11 600	3 275	3 031	92.57
汉寿县龙潭桥镇	13 183	1 843	1 570	85.21
汉寿县崔家桥镇	15 320	2 385	2 808	78.57
汉寿县丰家铺镇	14 609	2 894	2 257	71.80

庙镇油茶分布面积最大,和地面调查的面积相比,该镇油茶分布面积提取精度最高,为92.57%;汉寿县龙潭桥镇油茶分布面积最小,油茶分布面积提取精度为85.21%;汉寿县丰家铺镇油茶分布面积提取精度最低,为71.80%。

结合四个典型乡镇提取的油茶空间分布来看,汉寿县太子庙镇的油茶分布较集中,汉寿县龙潭桥镇的油茶分布较分散,汉寿县崔家桥镇的油茶主要分布在镇的东、西部,汉寿县丰家铺镇的油茶主要分布在镇的东、中部。

5 讨论

利用高分辨率对地观测系统所生成的高质量遥感影像,实现油茶林地的高精度提取与识别应用,是解决油茶产业发展中林业主管部门相关基础数据现状势性不强等问题的有效途径。如何充分利用油茶林地在高分光学遥感图像上的特性,实现高精度的提取与识别是该项工作的关键。本文利用高分光学遥感影像的深度网络智能化提取油茶林地及人工确认的数据分析方法,该方法能够很好地识别汉寿县油茶林地的空间分布,为实现高精度油茶林地识别应用提供了顶层思路。但提取精度上很容易受地形、气候及人为活动影响,孟浩然等^[2]从油茶遥感提取最佳特征组合、最佳时序组合,分析不同特征组合分类结果构建17种分类场景,筛选最优特征组合、最佳分类季节与最优时序组合,为亚热带地区油茶及其他经济林的遥感监测提供参考。随着人工智能技术日新月异地发展,基于深度神经网络的遥感图像地物分类技术不断成熟,各种适用性强、高效率的网络模型得到应用,必将对现有的分类方法形成有效补充。总体来看,利用深度网络及人工确认的数据分析方法来实现油茶林地类型的高精度识别是当前发展的主要方向,也是实现油茶林地高精度识别的有效手段。

6 结论

本文以汉寿县为研究区域,基于高分光学遥感影像技术,利用深度网络的智能化提取油茶林地及人工确认的数据分析方法,对汉寿县油茶林地进行高精度识别,通过与地面调查数据进行精度评价,并分析汉寿县油茶林地的空间分布特征,得出以下结论。

1) 利用基于高分光学遥感影像的深度网络智能化油茶林地提取及人工确认的数据分析方法能够很好地识别汉寿县油茶林地空间分布,与2022年全县油茶种植精细化调查面积对比后的精度大于70%。汉寿县太子庙镇油茶分布面积最大,和地面调查数据相比,油茶分布面积提取精度高达92.57%。

2) 空间分布上,汉寿县太子庙镇的油茶分布较集中,汉寿县龙潭桥镇的油茶分布较分散。汉寿县崔家桥镇的油茶主要分布在镇的东、西部,汉寿县丰家铺镇的油茶主要分布在镇的东、中部。

参考文献:

- [1] 余绍辉,曾臻,傅为一,等.湖南省油茶产业高质量发展的现状分析与对策[J].经济林研究,2019,37(4):214-220.
- [2] 孟浩然,李存军,郑翔宇,等.综合光谱纹理和时序信息的油茶遥感提取研究[J].光谱学与光谱分析,2023,43(5):1589-1597.
- [3] 湖南省林业局.湖南油茶为什么这么牛?[EB/OL].(2021-03-12)[2023-04-12].http://lyj.hunan.gov.cn/lyj/xxgk_71167gzdtmktl/202103/t20210312_14806673.html.
- [4] 中国绿色时报.湖南油茶何以向千亿级产业迈进?[EB/OL].(2022-12-19)[2023-04-15].<http://www.forestry.gov.cn/main/5384/20221226/155333243970831.html>.
- [5] 肖敏,刘秋国,张再良,等.永州市油茶产业发展建议[J].中南林业调查规划,2018,37(1):8-11,19.
- [6] 刘丽娜,石军南,曹明勇,等.基于GF-1遥感影像的森林植被类型提取算法研究:以四川长宁县为例[J].中南林业调查规划,2015,34(4):27-31.

(下转第62页)

基于运动性疲劳理论的城市型森林公园游步道 规划研究

——以浙江东阳南山国家森林公园为例

孙伟韬¹, 黄龙标², 陈未亚¹

(1. 国家林业和草原局华东调查规划院, 浙江 杭州 310019;

2. 东阳市南山国家森林公园服务中心, 浙江 金华 322199)

摘要: 以浙江东阳南山国家森林公园为例, 将运动性疲劳理论和步行体力消耗计算模型融入森林公园游步道体系分析和规划之中, 为从不同人群运动适宜性角度进行森林公园游步道布局评价和规划提供了一个新思路。

关键词: 城市型森林公园; 游步道; 运动性疲劳; 规划

中图分类号: S759.91 文献标识码: A 文章编号: 1003-6075 (2023) 04-0035-06

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.008

Study on the Planning of Urban Forest Park Eco-trail System Based on Exercise – Induced Fatigue

——Taking Zhejiang Dongyang Nanshan National Forest Park as an Example

SUN Weitao¹, HUANG Longbiao², CHEN Weiya¹

(1. East China Academy of Inventory and Planning of NFGA, Hangzhou 310019, Zhejiang, China;

2. Service Center of Nanshan National Forest Park in Dongyang City, Jinhua 322199, Zhejiang, China)

Abstract: Focusing on the case of Nanshan National Forest Park in Dongyang City, Zhejiang Province, this paper incorporates the theory of exercise-induced fatigue and the calculation model of walking physical exertion into the analysis and planning of the eco-trail system of the studied forest park, providing new inspirations to the layout assessment and planning of eco-trails in forest parks from the suitability for the physical activities of different age groups.

Key words: urban forest park; eco-trail system; exercise-induced fatigue; planning

党的十九大报告提出, 中国特色社会主义进入新时代, 我国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。新时期各级政府和林业主管部门, 不仅要在物质文化生

活方面不断满足人民群众提出的新要求, 还要满足人民群众在生态环境、生态产品上日益增长的不同需求。城市型森林公园作为人与自然之间的桥梁, 给人民群众提供了一个城市中的自然空间。如何规划建设好城

* 收稿日期: 2023-05-13

作者简介: 孙伟韬 (1982—), 男, 浙江杭州人, 硕士研究生, 高级工程师, 注册城市规划师, 主要从事林业工程规划设计工作。
E-mail: uhhgbmghj123@yeah.net.

通信作者: 黄龙标 (1965—), 男, 浙江东阳人, 大学本科, 工程师, 主要从事森林公园管理和相关工程建设工作。E-mail: 3552807768@qq.com.

市型森林公园及其附属游憩休闲基础设施,提供最佳的生态服务产品方案,是当前值得重点研究的课题。

1 国家对自然公园合理利用的政策导向

2019年,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》(以下简称《意见》),这成为新时期开展自然公园建设发展的纲领性文件。《意见》规定自然保护地体系按生态价值和保护强度高低依次分为国家公园、自然保护区、自然公园。《意见》明确提出,探索全民共享机制,在保护的前提下,在自然保护地控制区内划定适当区域开展生态教育、自然体验、生态旅游等活动,构建高品质、多样化的生态产品体系,完善公共服务设施,提升公共服务功能^[1]。为落实中共中央、国务院的决策部署,2022年3月,国家林业和草原局、国家发展和改革委员会、财政部、自然资源部、农业农村部联合印发《国家公园等自然保护地建设及野生动植物保护重大工程建设规划(2021—2035年)》,要求“十四五”期间,建设维护野外观测基地、户外体验道路、自然营地、宣教场所和访客服务中心等宣教服务设施^[2]。从国家政策上看,提升自然公园的建设水平,更好地发挥其生态服务功能,提升其服务人民群众的能力,是未来自然公园建设发展的一个重要方向。

2 城市型森林公园的特征

森林公园属于自然公园。森林公园按照区域位置以及人为活动半径和目的可划分为城市型森林公园、城郊型森林公园、山野型森林公园。与山野型和城郊型森林公园相比较,城市型森林公园受自然条件限制,一般面积较小,景点较少,功能上强调日常锻炼和休闲功能和森林景观功能,野生动植物保育功能较弱^[3]。

城市型森林公园的主要特征包括:①森林公园位于城市规划区内,或者靠近城市建成区;②以自然或者人工森林为主要休闲游憩空间,区别于城市公园,强调植物群落的自然化经营管理,展现森林植物景观为主;③以服务城市居民日常锻炼和游憩为主,需要综合满足不同年龄、不同身体状况人群的需求;④森林公园有多个出入口,且与城市道路衔接,便于城市居民进出。

3 城市型森林公园游步道体系的需求特点

使用人群的不同需求,是开展城市型森林公园游步道体系规划建设的重要依据。由于城市型森林公园主要满足城市居民日常锻炼和游憩需求,因此,其游步道体系需要根据城市中不同人群的需求进行设置。

1) 老年人的锻炼需求:该类人群的体力总体较差,但是自由支配时间较多,在森林公园内,以缓坡散步和聚会休闲居多,锻炼时间不固定,连续运动时间较短,一般不超过15 min。

2) 中年人的锻炼需求:该类人群是城市型森林公园最主要的服务人群,以登山步行锻炼为主,锻炼时间一般为清晨和傍晚,他们的连续运动时长一般为20~40 min。

3) 青少年的休闲游憩需求:该类人群体力好,活动力强,以森林公园内登山游览、节假日小群体出游休闲为主,锻炼时间一般以周末居多,能够完成较长时间且有一定难度的登山游览活动。

4 运动性疲劳理论

由于城市型森林公园使用人群在活动目的^[4]、运动能力上有明显差异,而这些差异的直接原因是对运动性疲劳耐受程度不同。因此,如何科学界定这些差异背后的运动性疲劳状态,提供数理分析依据,形成科学性规划和指导性规范,成了开展城市型森林公园游步道体系规划建设的先决条件。

关于运动性疲劳,1982年第五届国际运动生物化学会议给出了明确定义:机体生理过程不能维持其机能一定水平上或不能维持预定的运动强度^[5]。一般人类疲劳分为脑力疲劳和体力疲劳^[6],脑力疲劳是指由于运动刺激,导致大脑皮质细胞工作能力下降,大脑皮质出现抑制而产生的疲劳;体力疲劳是指运动导致机体工作能力下降所产生的疲劳。无论是体力疲劳还是脑力疲劳,它们都是大脑皮质保护性抑制的结果。目前在体育科研中没有一个公认的运动负荷量化标准,因此尚缺少一个大家认同的、具有量化的和可比性的疲劳评价体系^[7]。

森林公园游步道体系的锻炼休闲游憩活动属于体力活动,可用体力劳动强度标准来分析实际运动性疲劳负荷状况。参考《军事体力劳动强度分级》(GJB 1336—92),以能量消耗率为分级标准,轻级劳动强度

指数区间为 $[0 \text{ kJ/min}, 12.5 \text{ kJ/min}]$, 中级劳动强度指数区间为 $[12.6 \text{ kJ/min}, 23.0 \text{ kJ/min}]$, 重级劳动强度指数区间为 $[23.1 \text{ kJ/min}, 33.5 \text{ kJ/min}]$, 很重级劳动强度指数区间为 $[33.6 \text{ kJ/min}, 44.0 \text{ kJ/min}]$, 极重级劳动强度指数大于 44.0 kJ/min 。

参考《军事体力劳动强度分级》标准, 不产生运动疲劳的运动强度为轻等级, 可以认为是休闲运动; 中等级的劳动强度会产生少量运动疲劳, 适宜作为轻度锻炼; 重等级的劳动强度可以认为是具有一定强度的锻炼, 有一定益处, 持续时间不宜过长。很重级和极重级的劳动强度则明显超出锻炼范畴, 一旦持续时间较长, 不但有运动疲劳, 甚至有运动损伤的可能。

5 步行体力消耗计算模型

森林公园内的步行一般分为平坡步行、坡道步行、台阶步行三个大类。针对这三类步行模式, 相关研究给出了以下3种计算模型^[8]。

(1) 平坡步行体力消耗的计算模型为:

$$M = 1.5W + 2.0(W + L) \left(\frac{L}{W} \right)^2 + \eta(W + L)(1.5V^2) \quad (1)$$

式中: M 为平地步行的消耗率, 单位为 J/s ; W 为体重, 单位为 kg ; L 为负重, 单位为 kg ; η 为路面状况系数; V 为运动速度, 单位为 m/s 。

(2) 坡道步行体力消耗的计算模型为:

$$M = 1.5W + 2.0(W + L) \left(\frac{L}{W} \right)^2 + \eta(W + L)(1.5V^2 + 0.35VG) \quad (2)$$

式中: M 为坡道步行的消耗率, 单位为 J/s ; W 为体重, 单位为 kg ; L 为负重, 单位为 kg ; η 为路面状况系数; V 为运动速度, 单位为 m/s ; G 为坡度, 用坡面的垂直高度和水平方向距离的比值表示。

与此同时, 为了分别计算上坡和下坡不同的速度和坡度关系, 上坡的速度和坡度关系计算公式为:

$$v = 1/(a + bi) \quad (3)$$

式中: $a = 0.72 \text{ m/s}$, $b = 10 \text{ m/s}$, i 表示坡度, $i \geq 0$ 。

下坡的速度和坡度关系计算公式为:

$$v = 1/(a + bi + ci^2) \quad (4)$$

式中: $a = 0.75 \text{ m/s}$, $b = 0.09 \text{ m/s}$, $c = 14.6 \text{ m/s}$, i 为坡度 ($|i| < 0.35$)。

将公式 (1)、(2)、(3)、(4) 融合后, 分别得

出上下坡的体力消耗计算模型:

$$\text{上坡: } M = 1.5W + 2.0(W + L) \left(\frac{L}{W} \right)^2 + \eta(W + L) \left[1.5 \left(\frac{1}{0.72 + 10G} \right)^2 + 0.35G \left(\frac{1}{0.72 + 10G} \right) \right] \quad (5)$$

$$\text{下坡: } M = 1.5W + 2.0(W + L) \left(\frac{L}{W} \right)^2 + \eta(W + L) \left[1.5 \left(\frac{1}{0.75 + 0.09G + 14.6G^2} \right)^2 + 0.35G \left(\frac{1}{0.75 + 0.09G + 14.6G^2} \right) \right] \quad (6)$$

(3) 台阶步行运动消耗模型较为复杂, 美国运动与药品专业学院 *ACSM* 对于人体上台阶运动单位时间的耗氧量 V_{O_2} 给出了计算公式^[9]:

$$V_{O_2} = 0.058 + 0.2v + 2.394hv \quad (7)$$

式中: V_{O_2} 为消耗氧气量, 单位为 $\text{mL}/(\text{kg} \cdot \text{min})$; v 为上台阶时的步频, 单位为 步/s ; h 为台阶的踏步高度, 单位为 m 。

根据耗氧量与热量消耗之间的定量关系, 可以得出人体进行上台阶运动时的体能消耗率 M 与单位时间的消耗氧气量 V_{O_2} 之间的关系:

$$M = V_{O_2} \times W \times 20.1 \quad (8)$$

式中: M 为台阶步行的消耗率, 单位为 J/s ; W 为体重, 单位为 kg ; V_{O_2} 为单位时间的消耗氧气量, 单位为 $\text{mL}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 。

下台阶步行运动消耗明显比上台阶要小, 根据国外相关研究, 能耗基本是上台阶 $1/3$ 左右^[10-11]。

通过以上计算模型, 可以获得不同游步道路线方案的体力消耗程度, 分析其针对不同使用人群的适宜性, 从而不断修正和优化整个游步道体系, 以满足大多数市民的使用需求。

6 基于运动疲劳理论的城市森林公园游步道规划实例

6.1 浙江东阳南山国家森林公园概况

东阳市是浙江省著名的影视名城、工业大县, 东阳市常住人口 40 多万人。浙江东阳南山国家森林公园位于东阳市主城区, 日常到该公园休闲锻炼的群众极多, 根据 2017 年视频监控调查, 入园人数超过 100 万人次。

6.2 浙江东阳南山国家森林公园游步道现状

目前游览主线: 公园山脚 - 半山腰宝灵寺 - 东岷

峰,有两条直线登高线路A和B。A线路全长1 000 m,由石台阶路面和缓坡路面组成,垂直高差350 m。B线路全长1 150 m,由石台阶路面和缓坡路面组成,垂直高差400 m。

结合坡道步行和台阶步行两种进行模型计算。其中,相关参数取值为:台阶高度为0.15 m,体重选择60 kg,蹬台阶1步/s,坡道步行速度1 m/s,负重为0 kg。两段游步道的运动能耗计算结果详见表1、表2。

表1 登山游步道A运动能耗统计

路段分类	距离/m	高差/m	坡度	用时/s		单位消耗/(J/s)		总消耗/J	
				上坡	下坡	上坡	下坡	上坡	下坡
斜坡段1	155	40	0.26	155	155	185	129	28 675	19 995
斜坡段2	250	20	0.08	250	250	182	141	45 500	35 250
台阶段1	595	290	—	1 933	1 933	744	248	1 438 152	479 384
合计	1 000	350	—	2 338	2 338	1 111	518	1 512 327	534 629

表2 登山游步道B运动能耗统计

路段分类	距离/m	高差/m	坡度	用时/s		单位消耗/(J/s)		总消耗/J	
				上坡	下坡	上坡	下坡	上坡	下坡
斜坡段1	150	30	0.20	150	150	104	145	15 600	21 750
台阶段1	325	90	—	600	600	744	248	446 400	148 800
台阶段2	300	110	—	733	733	744	248	545 352	181 784
台阶段3	375	170	—	1 133	1 133	744	248	842 952	280 984
合计	1 150	400	—	2 616	2 616	2 336	889	1 850 304	633 318

通过计算分析,可以发现登山游步道A段的平均能耗438 J/s,折算单位后为26.3 kJ/min,属于重级劳动强度;登山游步道B段平均能耗475 J/s,折算单位后为28.5 kJ/min,也属于重级劳动强度。因此可以判断这两条线路对体力要求较高,活动强度大,实际上并不适宜城市中的老年人进行日常性休闲锻炼,只能满足中年人和青年人在周末假日进行短期登山观景的需求。整体上,目前现有线路差异不明显,现有线路不能满足不同人群的锻炼需求。

6.3 浙江东阳南山国家森林公园游步道改进规划

为满足城市居民日常休闲锻炼的实际需求,结合浙江东阳南山国家森林公园笔架山区域地形地貌情况,规划新的登山游步道规划的。规划的主要思路是在不同高程位置,沿着等高线布置横向平缓游步道,形成3个层级的环路,降低全线平均能耗强度,满足不同人群的锻炼需求。利用运动能耗计算方法,分别计算规划1号、2号、3号环路的运动能耗,计算结果详见表3、表4、表5。

表3 规划1号环路运动能耗统计

上下情况	路段分类	距离/m	高差/m	坡度	用时/s	单位消耗/(J/s)	总消耗/J
上坡	斜坡段1	1 140	40	0.05	1 140	181	206 340
	台阶段1	125	35	—	233	744	173 352
下坡	斜坡段2	1 075	20	0.019	1 075	180	193 500
	台阶段2	110	55	—	366	248	90 768
合计		2 450	—	—	2 814	236	663 960

1号环路,从海拔115 m山脚开始,登山至海拔190 m,沿平坡横向环路折回,平均能耗236 J/s,折算单位后为14.2 kJ/min,用时47 min左右,属于中等强度,适合老年人进行日常休闲锻炼。

2号环路,从海拔115 m山脚开始,登山至海拔280 m,沿平坡横向环路折回,平均能耗316 J/s,折

算单位后为19.0 kJ/min,用时60 min左右,属于中等强度,用时较1号环路略长,适合中年人和青年人进行较长时间的登山锻炼。

3号环路,从海拔115 m山脚开始,登山至海拔400 m,沿平坡横向环路折回。平均能耗386 J/s,折算单位后为23.2 kJ/min,用时80 min左右,达到重

级劳动强度,产生一定的运动疲劳,适合青年人节假日进行登山锻炼。

表4 规划2号环路运动能耗统计

上下情况	路段分类	距离/m	高差/m	坡度	用时/s	单位消耗/(J/s)	总消耗/J
上坡	斜坡段1	1 140	40	0.05	1 140	180	205 200
	台阶段1	350	115	—	766	744	569 904
	斜坡段2	865	10	0.012	865	180	155 700
下坡	台阶段1	435	125	—	833	248	206 584
	合计	2 790	—	—	3 604	316	1 137 388

表5 规划3号环路运动能耗统计

上下情况	路段分类	距离/m	高差/m	坡度	用时/s	单位消耗/(J/s)	总消耗/J
上坡	斜坡段1	1 140	40	0.05	1 140	180	205 200
	台阶段1	750	235	—	1 566	744	1 165 104
	斜坡段2	490	10	0.02	490	180	88 200
下坡	台阶段1	755	245	—	1 633	248	404 984
合计		3 135	—	—	4 829	386	1 863 488

7 结语

随着国家对自然保护地建设投入力度的不断加大,城市型森林公园游步道体系凭借群众利用面广、建设投入小、社会效益显著的特点,将成为未来一段时间的重点建设内容。但是目前具体针对自然公园的游步道建设技术导则还非常缺乏。《国家森林公园设计规范》(GB/T 51046—2014)、《森林公园总体规划规范》(LY/T 2005—2012)、《风景名胜区总体规划标准》(GB/T 50298—2018)三个主要技术标准,都是将游步道纳入道路交通规划设计小节,只做一般性定义,未做细化技术要求指引^[12-14]。部分省份有地方标准,但大部分是参照城市短距离人行步道标准而制定的地方标准,不能满足指导森林公园中长途游步道规划和设计的需求。未来自然公园内的游步道体系建设应结合形势发展的需求,从科研、标准、管理政策等多方面,推动自然公园游步道体系的完善,不仅要考虑本文研究的路线安排对于不同人群的适用性,还可以研究制定不同路面的生态性、配套的安全、照明、监控、智慧管理设施的建设要求等一系列标准。

从技术发展研究上看,常规的游步道规划设计总体上偏向园林美学、森林美学、景观设计学、环境容量等方面的研究^[15]。从游人的视觉出发,在设计游步道时将其融入大自然风景中,在每一段游步道上都

能观赏到不同的景色,实现串联各个景点的纽带作用,是过去主流的研究内容^[16]。近年来国内游步道规划设计总体上依托计算机科学的发展,利用GIS、AI等技术开展森林公园游步道线路规划设计的流程进行一定的技术探索^[17]。本文将运动性疲劳理论和步行体力消耗模型运用到城市型森林公园游步道体系分析评价和规划设计之中,以期对城市型森林公园游步道体系规划从运动适宜性角度提供具有一定科学性的实践方法,并为未来相关政策标准的制定以及计算机辅助规划设计提供参考模型。由于目前大量体育科研中涉及运动干预,关于运动负荷与机能反应的报道很多,但各报道中涉及的负荷强度、负荷方式及负荷密度各异,尚没有一个大家公认的运动负荷量化标准,且运动疲劳也具有一定的主观性和个体差异性。本文为解决标准问题,采用了《军事体力劳动强度分级》标准作为依据,但是劳动强度与个人的运动负荷及疲劳感实际上依然有一定区别,未来需要进一步进行针对性细化研究。

参考文献:

- [1] 中共中央办公厅,国务院办公厅. 关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见 [J]. 中华人民共和国国务院公报, 2019 (19): 16-21.
- [2] 国家林业和草原局,国家发展改革委,财政部,等. 国家公

- 国等自然保护地建设及野生动植物保护重大工程建设规划(2021—2035年)[EB/OL]. (2022-3-11)[2023-05-13]. http://www.forestry.gov.cn/htmlmain/main_5461/20220317105954150795620/file/20220317110037174111763.pdf.
- [3] 杨帆. 城郊森林公园在“美丽中国”建设中的地位与策略探讨[J]. 中南林业调查规划, 2015, 34(1): 1-4.
- [4] 彭泰来, 舒勇, 黄哲, 等. 森林公园康养旅游发展策略探讨: 以月岩国家森林公园为例[J]. 中南林业调查规划, 2023, 42(1): 25-28.
- [5] 曲绵城. 实用运动医学[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2003.
- [6] 张澜, 高顺生. 运动性疲劳的研究进展[J]. 北京体育师范学院学报, 2000, 12(2): 72-77.
- [7] 上官若男, 苏全生, 尚画雨, 等. 运动负荷强度与运动疲劳程度量化分级研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28(2): 188-192.
- [8] 基于运动生理学的山地居住区步行空间规划研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
- [9] ARMSTRONG L, BALADY G, BERRRY M, et al. ACSM's Guidelines For Exercise Testing and Prescription [J]. Physical Therapy, 2006.
- [10] TEH K C, AZIZ A R. Heart rate, oxygen uptake, and energy cost of ascending and descending the stairs [J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2002, 34(4): 695-699.
- [11] FROELICHER V F, MYERS J. Effect of Exercise on the Heart and the Prevention of Coronary Heart Disease - ScienceDirect [J]. Exercise and the Heart (Fifth Edition), 2006: 419-459.
- [12] 国家林业局. 国家森林公园设计规范: GB/T 51046—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [13] 国家林业局森林公园管理办公室. 国家级森林公园总体规划规范: LY/T 2005—2012 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [14] 住房和城乡建设部. 风景名胜区总体规划标准: GB/T 50298—2018 [S]. 北京: 中国建筑出版社, 2015.
- [15] 吴明添. 森林公园游步道设计研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [16] 李沁. 森林公园游步道体验设计的探讨[J]. 山西林业科技, 2006, (3): 55-56.
- [17] 左国良, 胡海辉. 基于数字技术的森林公园游步道选线研究[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版), 2021, 46(1): 168-175.

(上接第20页)

- [10] 张义, 李志国, 塔依尔, 等. 新疆霍城四爪陆龟自然保护区生物多样性现状及保护对策研究[J]. 中南林业调查规划, 2016, 35(1): 62-65.
- [11] 李益得, 蒋宏程, 彭旺良, 等. 湖南水府庙国家湿地公园生态修复效果分析[J]. 林业科技通讯, 2021(8): 9-13.
- [12] 张旭州, 姜海燕, 郭鑫, 等. 沙日温都自然保护区植物多样性研究[J]. 现代园艺, 2022, 45(13): 51-53, 60.
- [13] 张青田, 胡桂坤. 生物多样性指数及其应用中的问题[J]. 生物学教学, 2016, 41(7): 59-60.

《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

基于 Web 的县级森林资源管理系统设计与实现

黄家涛

(广州大学地理科学与遥感学院, 广东 广州 510006)

摘要: 随着森林督查暨森林资源管理“一张图”年度更新工作的开展, 通过调查各级区域单位森林资源现状, 可掌握森林资源消长变化情况。针对县级林业单位执行森林资源管理“一张图”项目实施过程中存在图斑信息丢失、无法及时更新、数据无法共享和信息管理效率低等现实问题, 以兴宁市森林督查项目为例, 分析项目执行过程中需要解决的问题, 提出林地图斑信息管理系统设计框架, 并对各个模块功能的实现提供设计思路。该系统基于 B/S 架构, 以 Apache 为 Web 服务器, MySQL 为系统数据库, 采用 PHP 编程语言开发, 具有系统易于维护、数据共享方便、信息管理高效等技术特点。对森林资源督查工作而言, 该系统可为项目执行人员提供更加集中、便捷的信息共享平台, 在摸清林地图斑信息、提高科学化决策水平和工作效率等方面具有积极作用。

关键词: 森林督查; 林地图斑; 信息管理系统; Web 程序

中图分类号: S757.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-6075 (2023) 04-0041-06

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.009

Design and Implementation of County-Level Forest Resource Management System Based on Web

HUANG Jiatao

(School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 510006, Guangdong, China)

Abstract: With the implementation of forest inspection and annual update of forest resource management "One Map", by investigating the current status of forest resources in regional units at all levels, we can understand the growth and decline of forest resources. In the process of implementing the "One Map" project for forest resource management in county-level forestry units, there are practical problems such as the loss of pattern information, the inability to update in time, the inability to share data, and low efficiency of information management. Taking the Xingning City Forest Inspection Project as an example, we analyze the problems that need to be solved during the implementation of the project, propose a design framework for the forestry pattern information management system, and provide design ideas for the realization of the functions of each module. The system is based on B/S architecture, uses Apache as the Web server, MySQL as the system database, and is developed using PHP language. It has technical features such as easy maintenance, convenient data sharing, and efficient information management. For forest resource inspection, the system can provide a more centralized and convenient information sharing platform for project execution personnel, which will play a positive role in improving scientific decision-making level and efficiency, and in finding out forestland pattern information and protected area intersection areas.

Key words: forest inspection; forestry pattern; information management system; Web program

* 收稿日期: 2023-05-16

作者简介: 黄家涛 (1998—), 男, 广东揭阳人, 硕士研究生在读, 主要研究方向为测绘工程。邮箱: huangjt824@qq.com。

Web程序与信息管理相结合为解决森林资源共享机制提供了新的途径^[1]。2001年,国家林业局提出“数字林业”,林业信息化的加大投入使“数字林业”进入了一个快速发展的阶段。2011年,《全国林业信息化发展“十二五”规划》的发布,为林业的科学决策打下了基础^[2-4]。信息化管理是信息高效整理和数据汇总统计的重要工具和手段,时至今日,仍有许多县级林业单位未有效整合和利用内外部管理信息,不规范的行政管理方式限制了电子政务办公的效率,导致内部协作能力差和工作效率低等问题时有发生^[5]。在县级林业单位采集林地图斑数据至录入官方系统的过渡阶段,鲜有针对数据进行初步筛选、修改处理的信息管理系统。为推进林业信息化、决策科学化和办公透明化,在森林督查暨森林资源管理“一张图”(以下简称“森林资源管理‘一张图’”)年度更新工作中,需要建立一个可提高整理内外业数据效率和保存核查资料的林地图斑信息管理系统。本文对此展开研究。

1 研究区概况

兴宁市是广东省梅州市辖区内的县级市,全市森林覆盖率为66.9%,现有25个森林公园、7个自然保护区。兴宁市于2010年被列为国家级生态发展区,2012年被评为“广东省林业生态县”。兴宁市森林资源管理“一张图”年度更新工作,由兴宁市林业局负责森林资源监测,并对监测结果进行审核和监督,以保证森林资源数据的准确性^[6]。林地的保护工作需要掌握每块林地图斑信息,如果林地数据得不到及时更新,便难以保证林地数据的时效性和可溯性。

2 森林资源管理“一张图”年度更新

2.1 工作路线

县级林业单位以国家林业和草原局下发的两期遥感影像为依据,首先组织相关人员进行对比,结合上一年度森林资源管理“一张图”数据,核对确认与判读情况相符的图斑^[7],整理出兴宁市范围内的林地图斑变化情况。然后进行实地验证,收集证明材料,确定各图斑的具体变化情况和变化原因^[8],填写相应调查因子,汇总上报结果。同时归档整理已处理到位的各类材料,以备广东省林业局对上一年度查处整改情况开展“回头看”工作时调取^[9]。这项工作的目的是及时更新兴宁市范围内的林业资源变化情况,保持

森林资源管理“一张图”的时效性、准确性。

2.2 信息存储和共享

在官方政务系统录入信息之前,需要收集整理大量的照片。这是因为遥感影像判读图斑所在的红色范围线是根据遥感影像进行目视解译并在计算机上进行勾绘的,对于面积范围大、情况复杂的图斑,外业人员需要从图斑范围内根据实际情况,从不同位置、不同角度拍摄多张照片作为图斑定性依据。搜集的林地图斑数据越多,对存储空间需求越高。如何将各组外业人员在距离较远的情况下将收集到的数据信息共享,并根据成员间以及专业人士的建议进行修改,是系统开发的关键点。考虑到外业人员安排较为灵活,且需要整理的数据较多,因此建立一个共享、不占本地存储空间的平台显得尤为重要。这个平台既可以作为暂存初步调研林业数据的媒介,又可以在政务官方系统关闭后作为备份数据,为后续开展新一轮工作给予参考和指导,方便提前制定计划。

3 系统开发技术

3.1 Web程序

瘦客户端(Thin Client)是指无须应用程序,通过协议与服务器通信,主要依赖一个浏览器来解释、显示和处理应用程序的计算机终端。应用程序只需要被安装在一个Web服务器上,使程序的部署和升级变得便捷,减少了传统应用程序的障碍。不同的客户端可以同时登录到服务器上,形成一个个相互独立的工作环境。

HTTP协议是Web服务器运行的关键,作为计算机之间交流通信的协议,它可以使浏览器更加高效,使网络传输减少。如图1所示,当客户端访问Web站点时,首先会通过DNS服务器查询到域名的IP地

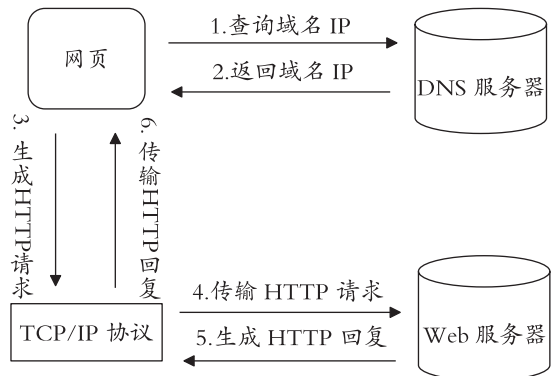


图1 HTTP与TCP/IP、DNS的关系

址,浏览器生成HTTP请求,并通过TCP/IP协议发送给Web服务器^[10]。Web服务器接收到请求后会根据请求生成响应内容,并通过TCP/IP协议返回给客户端^[11]。

3.2 开发环境

开发环境涉及Web服务器、应用服务器和数据库服务器。

1) 以Apache作为系统开发的Web服务器,支持多种操作系统,是一种开放源码的Web服务器^[12]。Apache服务器性能好、效率高、安全性高,开发人员可以在Apache现有源码基础上进行改进。

2) 应用服务器实际是脚本语言的解释处理程序,设计系统选用的脚本语言是超文本预处理器(Hypertext Preprocessor, PHP)。PHP可以运行于各种平台,如Windows、Linux、Unix、Mac Os等,几乎兼容所有服务器,还支持多种数据库,如MySQL、SQL Server、Oracle等^[13-14]。PHP文件不仅包含自身代码,也可以与HTML、CSS混编。

3) MySQL数据库是一种网络数据库^[15],特点是开源,可以和Apache、PHP完美结合,且是当下最好、最流行的关系数据库管理系统应用软件之一,支持多种操作系统、支持多线程以及优化SQL查询算法。

4 系统需求分析

4.1 系统开发目标

在开发本系统时,需要明确输入的数据类型、数据的存储位置以及最终数据的输出方式等。这有助于准确了解项目的具体需求,并确立开发目标。以下是在开发系统目标方面的几点考虑。

1) 系统根据相关工作人员的需求进行多级权限设置。信息管理系统主要输入的数据类型包括字符和图像,功能模块涵盖权限管理、信息录入、人员调配、项目进展跟踪以及档案检索等。

2) B/S模式下的系统设计: B/S模式让技术人员通过互联网与信息管理系统连接,开展数据信息汇总或修改工作。这种模式不仅可以帮助项目的顺利实施,还可以对每一阶段的工作都能进行检查并提出指导意见。在林业因子展示方面,因为图斑编号有重复的可能,需要增加“核实细斑号”加以区分。

3) 完成情况反馈界面: 需要为各乡镇(街道)所分配到的图斑信息提供完成情况反馈界面。这个界面将依次显示每个乡镇(街道)内图斑完成与未完成

的具体数量。此外,反馈界面还需要显示每天调查完成的数量,以便实时跟踪项目完成进度。

4.2 数据库设计

数据库的建立是系统开发的重要支撑,上传大量的数据信息索引需要MySQL数据库服务器,以备前、后台需要时调取或更改。数据库在系统中扮演的角色更像是存储数据的索引,MySQL无法存储图片格式的数据,但是可以存储图片的服务器位置,前端可通过访问保存在数据库里的图片位置信息来调取所需数据。

数据库是数据表的集合,数据表是数据库服务器中存放信息的基石。因为存放的数据信息属性不同,所以需要多张数据表对信息进行分类。数据表的设计要考虑到字段类型、排序规则、索引规则和存储引擎等。系统至少需要具备信息总表、各乡镇(街道)的名称表、森林公园/自然保护区的信息表、林地地类表、变化原因表、用户信息表等数据表。所有涉及地类和变化原因的数据表都要严格按照《林地变更调查技术规程》(LY/T 2893—2017)^[16]的标准设计,在变化原因(类型)划分标准中,18个三级地类、19个二级变化原因以及它们对应的代码作为ID值。总表是所有数据表的核心,在存储图斑号、图片路径等信息的同时,通过上面提到的其他数据表主键与总表连接。

5 系统模块设计

分析图斑信息管理流程,实现系统基本逻辑功能的同时,需保证系统设计的简洁性和一致性。在所有用户信息和林地图斑信息的传输过程中,采用POST超全局变量,保证信息在传输过程中的隐蔽性和安全性。系统技术框架设计路线详见图2。

5.1 用户权限模块

系统为项目相关人员提供服务,并根据项目实际情况设置多级权限。注册过程需要特定口令才能注册用户,这一措施旨在防止随意注册账号,以确保系统的安全性和合规性。注册完成后,账号会下发给项目相关人员。此外,登录界面中还设置了验证码以防暴力破解^[17],用户需要输入正确的用户名密码以及验证码后才能进入系统,一旦成功登录,所有权限类型的用户均可查看全县范围内的图斑信息和统计图形报表。相较于普通用户,管理员登录后可以修改或删除图斑信息,普通用户则不具备该权限,以保障信息安全。

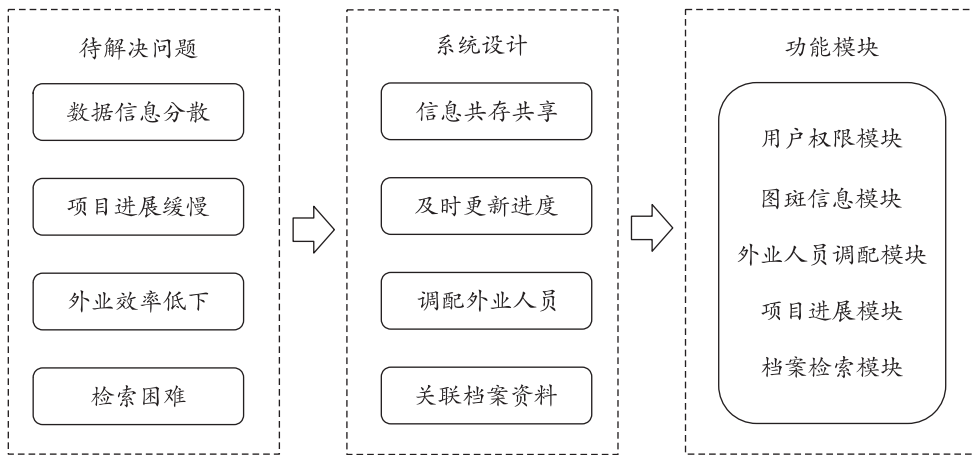


图2 系统技术框架设计路线

5.2 图斑信息模块

图斑信息主要分为4部分：基本信息、图斑遥感影像、现场照片和备注事项。①基本信息：包括图斑号、乡镇（街道）名称、林地地类、变化原因、森林公园/自然保护区的名称和级别、调查日期、调查人员等，其中除森林公园/自然保护区的名称及其级别之外，其余信息都是必填项。②图斑遥感影像：根据图斑 shp 文件导入图斑号所在的红线轮廓的空间数据集集成影像。③现场照片：保证既有远景又有近景，选择最具代表性的现场照片上传，其余备份。④备注事项：在富文本编辑器中对现场情况补充说明，方便后期证据追溯。

项目实施过程中，对过往添加过的相似地类的图斑信息进行回溯浏览以辅助人工判断，对不确定图斑进行定性并录入系统。在上传信息后，林地图斑定性、变化原因、地类等信息仍然可能需要修改^[18]，因此项目成员对上述图斑信息进行编辑操作后，存储在数据库服务器里的信息也将实时更新，并同步显示在前端。

5.3 外业人员调配模块

外业人员调配模块包含图斑划分和人员安排两个功能。项目前期外业工作强度大、时间紧，不同林地图斑的调查难度差异大，同时进行外业任务的队伍之间可能存在任务分配和沟通问题，导致在项目过程中难以有效管理人力资源。为避免出现人员调配困难的现象，及时准确地掌握各外业队伍的工作强度、人员等信息，根据项目实际需要进行弹性调配，系统通过集成地图、人员信息、交通路线等数据，将县区内的

图斑进行划分，实现了人员信息共享，让各外业队伍了解彼此工作情况，实现任务交换和增援安排。该模块的优点是让项目指导人员了解外业工作情况，及时进行人员调配，有效解决了人员调配困难问题，提高外业工作效率，避免林地图斑重复调查，并实现了对外业工作的实时监控和管理。

5.4 项目进展模块

统计图表不仅方便项目成员直观了解调查图斑在县内的分布情况，还能反映调查进度。配合 ECharts 插件和 PHP 原生 jppgraph 库，可以用多种图表形式展示项目进展情况。以饼状图反映每个乡镇（街道）拥有调查图斑的数量，树形图详细反映各乡镇（街道）图斑的完成与未完成数量，双曲线图估算外业工作的剩余时间，折线图展示个人工作效率。该模块帮助项目管理者了解项目进展，调配资源，保证项目按时按量完成。

5.5 档案检索模块

传统的档案管理方式是将纸质文件存放在档案室内，查阅不便，因此对档案进行信息化管理尤为重要。在森林督查项目中，档案资料是林地图斑的重要佐证依据，为了方便检索和调用，需要将纸质档案提前扫描并存储到数据库中，实现纸质与数字化备份的双重保障。

林地图斑可能涉及项目工程、自然灾害或行政处罚等情况，兴宁市林业局按照《林业行政处罚程序规定》，将案件的全部材料立卷归档，形成一案一卷。档案检索模块是对图斑信息的补充。通过年度及案发时间进行编号，基于案卷编号的唯一性关联对应图

斑。通过案卷编号、项目或其他文件信息搜索对应档案，根据档案信息补充对图斑定性的依据。由于档案保密性特点，该模块功能只对管理员开放，以确保档案信息安全。

在可扩展性方面，为降低未来系统再开发成本，计划在数据量较大时，使用基于 SQL 的全文搜索引擎 Sphinx 来优化查询性能，提升用户体验。Sphinx 支持 MySQL 存储引擎，提供专业的搜索接口。因兴宁市的林地图斑数据量还在可控范围内，该系统尚未引入 Sphinx。

6 系统测试

6.1 测试方法

系统开发完成后需要对系统进行测试，以验证系统功能的完整性和可用性。本文采用黑盒测试方法^[19]，结合本系统注重功能的完整性和使用性特点进行测试（见图 3）。黑盒测试意味着测试员将软件产品或阶段



图 3 黑盒测试示意

性产品视为黑匣子。在测试过程中，需要考虑系统的输入、输出，以及通过执行一系列特定的测试用例来检测每个功能是否可以正常使用。这些测试用例包括不同的操作，用于模拟各种用户行为和情景。

黑盒测试的优点：①可以直接连接到测试程序/系统完成操作；②根据测试用例的目标找到问题，定位更准确，易于生成测试数据；③从产品功能的角度来测试，可以更好、更真实地研究测试系统的功能要求，在系统测试和验证测试中，其作用是其他测试方法不可替代的。

6.2 功能测试

本文设计了包含不同数据格式的测试用例，对系统的各项功能如信息上传、查询、修改迭代等进行了全面的测试。

通过这些测试，本文评估了系统的性能和功能，以确保它能够正常工作并满足用户需求。表 1 列举了系统功能测试的部分关键项目、测试步骤以及实际效果。测试结果表明，系统能够正确处理不同格式的数据，支持多用户协同工作，并可以通过搜索和信息迭代不断优化数据质量。通过测试，系统的实用性得到验证，能够满足外业人员的信息收集和共享需求，为兴宁市森林督查工作提供有效支撑。

表 1 部分系统功能测试用例表

测试模块	测试项目	实际效果
系统登录	用户信息不匹配	提示错误并阻止进入系统
	用户信息匹配	成功进入系统界面
用户注册	注册功能	注册成功并登录正常
	添加功能	成功添加信息
图斑上传	必填项缺失	提示缺填并阻止提交
	重复图斑号	提示编号重复
图斑详情	查看详情(包括档案)	图斑信息显示正常
图斑搜索	已录入图斑	成果返回符合图斑信息
	未录入图斑	提示查无结果
图斑更新	信息编辑(包括档案)	成功修改并正常显示
图表功能	各乡镇(街道)图斑完成情况和项目进展	数量无误,图表正常显示

此外，系统正式上线使用还需要在服务器端配置好 WAMP 开发环境（软件的组合：Windows + Apache + MySQL + PHP）。系统的服务器配置（见表 2）只需相对较低的硬件需求和网络带宽，这意味着该系统在运营和维护时，可以获得显著的成本优势。

表 2 服务器的资源配置

实例	资源配置
ID/名称	ins-5e4lxfaf
配置	标准型 S2/1 核/1 GiB/1 Mbps
系统盘	高效云硬盘/50 GiB
操作系统	Windows Server 2012 R2

7 结论

林地图斑信息是掌握林业资源状况的重要窗口,是对林业资源管理科学化的表现,而图斑信息作为重要的数据源之一,可以用来分析森林资源的分布、类型和变化等信息,因此对林地图斑信息的及时更新和管理是非常必要的。

基于Web的林地图斑信息管理系统的设计,对于提升县级林业主管部门森林资源监测和管理的能力具有重要作用。该系统实现了对县域内外业调查获得的林地图斑数据进行规范化管理。县级林业部门可以及时获取图斑的动态变化,准确、全面地掌握本辖区内的林业资源情况。系统提供的统计整理等功能,可以帮助县级林业部门从宏观上掌握区域内的林业资源分布与变化情况,弥补将外业采集数据再到录入官方系统的中间阶段的空缺,以及数据整理方面不规范的缺陷,实现图斑信息管理系统化、规范化,系统还可以保存历史信息,为后续的工作提供参考。

下一步工作将继续完善系统的功能,探索与其他林业管理系统的深度集成,增加针对不同地域需求的定制化功能,以更好地服务于县域内的林业资源保护与管理。

参考文献:

- [1] 庞丽峰,唐小明,刘鹏举.基于WebGIS省级林业信息共享平台的研发[J].西北林学院学报,2011,26(2):180-184.
- [2] 聂雄.县级林地年度变更信息管理系统研究[D].长沙:中南林业科技大学,2015.
- [3] 云海英,纳青,滕飞.内蒙古自治区林业信息化发展探析[J].内蒙古林业调查设计,2015,38(4):115-116,125.
- [4] 磊昊.《全国林业信息化发展“十二五”规划》正式出台[J].生态文化,2011(3):47.

- [5] 王自明,赵航文,角红,等.基于Web的林业网络办公系统设计与实现[J].中南林业调查规划,2012,31(3):30-33.
- [6] 胡侠.加强森林资源保护深化林业数字化转型:在全省森林督查暨森林资源管理“一张图”年度更新工作会议上的讲话(节选)[J].浙江林业,2020(5):4-5.
- [7] 程成.海南省林业局开展2020年森林督查暨森林资源管理“一张图”年度更新技术培训班[J].热带林业,2020,48(2):5.
- [8] 郭伟志.基于GIS的龙文区林地差异转移矩阵分析[J].林业科技通讯,2021(11):50-53.
- [9] 黎军.森林督查工作存在的问题及对策[J].乡村科技,2020,11(35):58-59.
- [10] 晓涵.HTTP协议揭秘[J].计算机与网络,2017,43(Z1):64-71.
- [11] 史永哲.基于HTTP协议的远程网站管理平台的实现[J].工业仪表与自动化装置,2016(3):44-46,108.
- [12] 李明彩.HTTPS文件服务器的搭建和应用[J].数字技术与应用,2020,38(3):146-147,149.
- [13] 张超.基于PHP的Web开发框架的设计与实现[D].沈阳:东北大学,2013.
- [14] 雷华军,邢益良.基于PHP语言Web应用开发研究与实现[J].电脑编程技巧与维护,2017(9):18-19,24.
- [15] 李杨俊.基于MySQL的开源数据库应用研究[J].数字技术与应用,2014(6):71-72.
- [16] 国家林业局.林地变更调查技术规程:LY/T 2893—2017[S].北京:国家林业局,2017.
- [17] 孙云杰,段祎林,田盼栋,等.基于SSM+Spring Security的多角色登录功能后台实现[J].电子技术与软件工程,2020(5):16-18.
- [18] 周学武,柯善新,贺东北,等.协同“多规合一”更新林地“一张图”技术方法探讨[J].中南林业调查规划,2017,36(3):1-4.
- [19] 万年红,李翔.软件黑盒测试的方法与实践[J].计算机工程,2000(12):91-93,164.

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本刊编辑部的上述声明。

《中南林业调查规划》编辑部

西藏数字林长建设研究

董雅雯¹, 李玲知¹, 贺 煌¹, 刘 玲², 王晋昊³, 洪永忠³, 卓玛曲珍⁴

- (1. 国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南 长沙 410014;
2. 西藏自治区林业和草原局, 西藏 拉萨 850005;
3. 西藏自治区林业调查规划研究院, 西藏 拉萨 850005;
4. 西藏芒康县林业和草原局, 西藏 昌都 854000)

摘要: 西藏数字林长建设以“1+1+N+N+5”模式为总体架构, 是集林长制管理、森林资源管理、自然保护地监管、森林防火、有害生物监测预警等于一体的信息平台。按照“统一规划、分级部署、分步实施、基础优先、急用先行、以点带面”的原则, 以“林草感知一张网”“林草空间一张图”“数字林长一平台”“业务系统一网通办”为支撑, 着力打造西藏自治区“天空地人”一体化监测体系, 实现了业务汇聚、智慧决策、应用平台、资源共享一体化, 同时创新了大数据、云计算、“互联网+”等新一代信息技术, 为创建智能、精准、高效、共享的西藏林草信息化建设提供技术支持。

关键词: 林长制; 数字林长; 数字林草; 西藏

中图分类号: F326.2; S771.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6075 (2023) 04-0047-06

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.010

Research on Digital Forest Chief Construction in Xizang

DONG Yawen¹, LI Lingzhi¹, HE Huang¹, LIU Ling²,
WANG Jinhao³, HONG Yongzhong³, Zhuomaquzhen⁴

- (1. Central South Academy of Inventory and Planning of NFGA, Changsha 410014, Hunan, China;
2. Forestry and Grassland Bureau of Xizang Autonomous Region, Lhasa 850005, Xizang, China;
3. Forestry Survey and Planning Research Institute of Xizang Autonomous Region, Lhasa 850005, Xizang, China;
4. Mangkang Forestry and Grassland Bureau of Xizang, Changdu 854000, Xizang, China)

Abstract: With the "1+1+N+N+5" model as the overall structure, the digital forest chief construction in Xizang is an information platform integrating the forest chief system, forest resource management, supervision of natural protected areas, forest fire prevention, and pest monitoring and early warning. In accordance with the principles of "unified planning, hierarchical deployment, step-by-step implementation, basic priority, urgent use first, point to area", supported by "one network for forest and grass perception", "one map for forest and grassland space", "one platform for digital forest chief", and "business system one network office", efforts are made to build an integrated monitoring system for "space, sky, land and people" in Xizang. The integration of business convergence, intelligent decision-making, application platform, and resource sharing has been realized while innovating new generation information technologies such as big data, cloud computing, and "Internet+" to

* 收稿日期: 2023-08-23

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

通讯作者: 李玲知 (1997—), 女, 湖南长沙人, 硕士研究生, 助理工程师, 主要研究方向为林业信息系统开发和林业遥感应用。
E-mail: 2541821914@qq.com。

provide technical support for creating intelligent, accurate, efficient, and sharing forest and grassland information construction in Xizang.

Key words: forest chief system; digital forest chief; digital forest and grassland; Xizang

中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于全面推行林长制的意见》中明确指出,充分利用现代信息技术手段,不断完善森林草原资源“一张图”和“一套数”动态监测体系,逐步建立重点区域实时监控网络,及时掌握资源动态变化,提高预警预报和查处问题的能力,提升森林草原资源保护发展智慧化管理水平^[1-4]。在新形势下,林草信息化进入全新发展阶段,依靠传统的信息化处理技术无法准确、及时地了解林草各类业务的发展现状和动态,不能满足现代林草全面协调可持续发展的要求,因此必须借助现代信息技术,创新管理方式和服务手段,通过“天空地人”一体化林草生态感知系统建设^[5-6],推动林草现代化发展和生态文明建设。

1 西藏数字林长建设现状

1.1 建设成果

为贯彻中共中央、国务院和西藏自治区党委、政府关于信息化工作的系列决策部署,进一步夯实数字西藏建设的基础,推进西藏跨部门业务协同和数据资源共享交换,西藏自治区林业和草原局认真落实数字西藏建设相关要求,抢抓“数字机遇”,积极推动数字与林长融合,提升林长数字化水平,为数字林长建设奠定了基础。

1.1.1 基础设施建设初见雏形

目前,西藏已建成“区-地(市)-县(市、区)”三级林草主管部门互联互通的政务外网、互联网专网和公网环境;部分县(市、区)部署了森林草原防火视频监控设备;珠穆朗玛峰、雅鲁藏布大峡谷等自然保护区布设了红外照相机、气象监控设备和森林防火、交通卡口、动物保护等视频监控^[9]。西藏政务云一期项目建成运行,数字林长建设可依托西藏政务云构建的基础底座,充分使用政务云的计算、存储、网络、信息安全等资源,实现集约化建设,降低运维成本。

1.1.2 数据资源整合分步推进

西藏积累了丰富的林草湿荒资源调查、国土绿化、灾害防控等数据,包括历年资源清查、动态监测、设计规划、科学研究数据、部分视频监控和红外相机等物联网设备采集的音视频数据等。西藏自治区林业和草原局依托西藏森林资源管理系统、营造林管

理系统和防火系统等建设成果,实现了部分森林资源数据的汇聚与管理。

1.1.3 数字林长建设蓄势待发

西藏已建立全区森林草原防火预警监测平台,并试点接入林芝市森林草原防火视频监控设备,提升森林火险预警、火情实时监控能力;林芝市数字林长信息平台已正式运行,以“智”促“治”,助力林长制深化改革;雅鲁藏布大峡谷等自然保护区积极探索数字林长建设,为西藏数字林长建设提供实践经验。全区林长制信息化建设呈现“多点开花、百花齐放”的新局面,亟须开展数字林长建设,统一规划、统一标准,实现林草业务应用集约共建、资源共享。

1.2 存在问题

1.2.1 基础设施建设滞后,安全能力有待提升

1) 计算存储资源层面:西藏林草信息化总体起步较晚,前期建设缺乏统一规划,计算存储资源由各信息化项目单独建设,设备分散于各县(市、区)林草主管部门、国家公园管理机构等单位,缺乏统一的算力、存储、安全保障等基础资源规划,资源综合利用率不高。

2) 安全保障层面:根据《信息系统安全等级保护定级指南》相关要求,从业务信息和系统服务安全两个方面进行安全等级确定,西藏林草安全保护等级应达到第三级的保护要求,但还未启用符合信创及密码要求的基础环境,部分地(市)、县(市、区)的业务系统未按照相应的安全等级进行规划,相关节点一旦出现问题,容易波及整个林草的安全防护体系。

3) 前端感知层面:珠穆朗玛峰、雅鲁藏布大峡谷等自然保护区范围内存在大量森林,人迹罕至,无运营商网络覆盖,导致前端森林资源监测、环境监测、森林防火监控、野生动植物监测等感知设备数据回传受到制约,存在数据无法及时回传,需通过人力取回数据的情况。林区网络覆盖的不足制约了“天空地”一体化监控和防火应急处置等重要信息化系统的建设,阻碍了地面物联网感知设备、无人机技术的推广使用。

1.2.2 数据共享有待加强,资源利用有待深化

1) 数据共享交换机制方面,未形成统一有效的数据资源体系,西藏自治区林业和草原局各业务部

门,地(市)、县(市、区)林草主管部门,各林场,各保护地管理单位均存在数据孤岛的情况,缺乏有效安全的数据共享交换机制。

2) 数据资源标准化方面,未建立统一的林草数据资源目录,未形成信息资源汇聚机制,大部分数据亟待进行进一步采集、整合、加工等处理。

3) 数据资源利用方面,在数据共享协同不足的前提下,相关数据难以有效汇聚并形成可以辅助决策的工具。数据提取分析仍处于基础阶段,严重依赖于经验分析汇总,决策职能有待加强。

1.2.3 业务应用手段缺乏,辅助决策能力欠缺

目前,西藏林草信息化系统仅有森林资源管理、营造林管理和森林防火等系统,且建设年代久远,技术架构相对落后,难以满足新时期林草工作及及时出数、移动办公、辅助决策的需要。随着工作的深入,林草业务逐步延伸至林草资源管护、灾害防控、国土绿化、产业发展和政务服务等多个领域,各地(市)、县(市、区)林业和草原局均存在人员不足的情况,给现代化林草工作带来了极大的挑战。

1.2.4 新兴技术应用缓慢,运维保障能力薄弱

在技术应用方面,现有的前端感知设备只能提供基础监测能力,只能靠人工筛选识别,缺少边缘计算、人工智能识别、数字孪生等新兴技术支撑,无法对特定动植物种群和人类活动进行自动化监测。在运维保障方面,缺乏整体规划与统筹集约的运维布局,各部门主要依据各自业务需要和国家相关部门的要求单独进行信息化项目建设,形成了烟囱式架构布局,导致了部门之间的平台异构、数据不通、运维能力参差不齐,客观上增加了运维难度。

2 数字林长建设总体架构

2.1 总体框架:数字林长“四横三纵”

按照“大平台、大系统、大数据”架构,整合林草各类信息系统,避免条块分割、烟囱林立,完善体制机制,加强顶层设计,从基础支撑、数据资源、公共支撑、业务应用、安全保障等方面实现西藏数字林长建设各环节集约化、一体化建设和运行,构建数字林长“四横三纵”总体框架。其总体框架如图1所示。

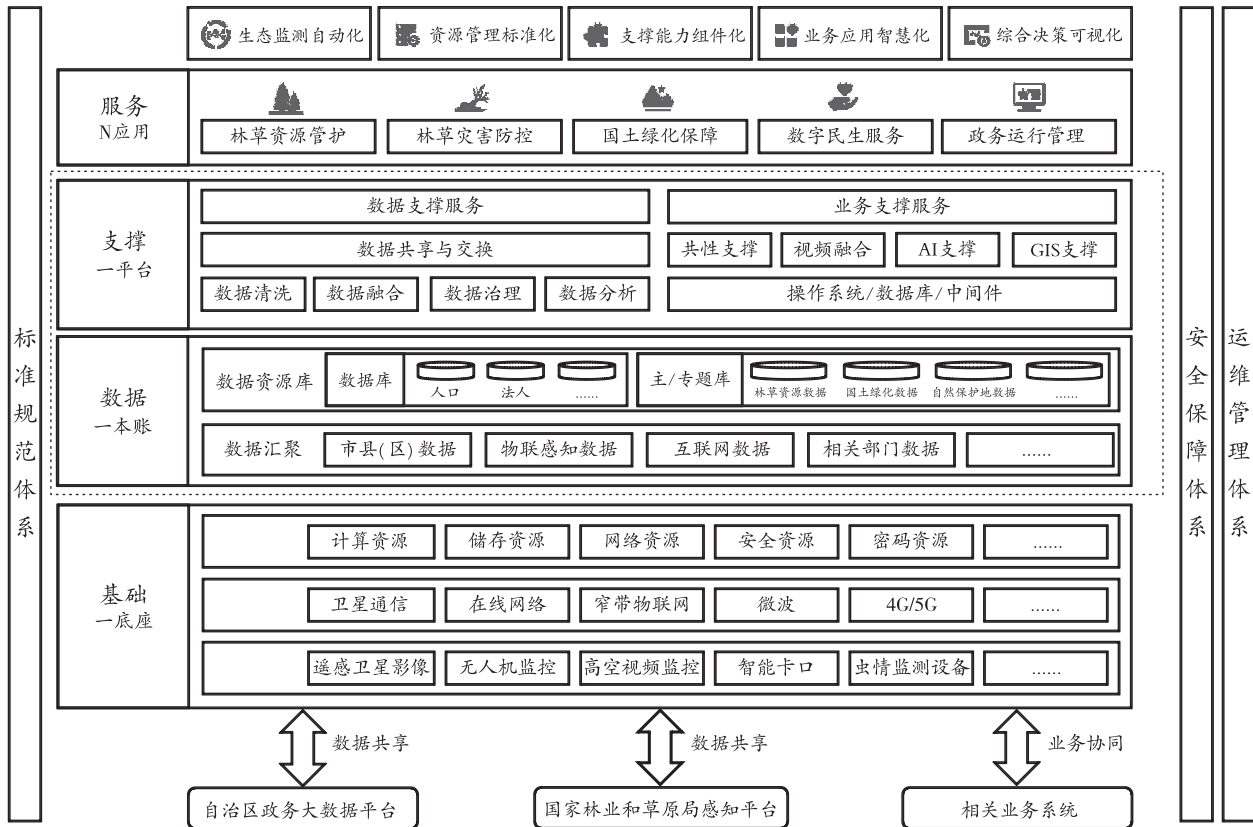


图1 总体框架

“四横”体系：基础一底座，基于西藏政务云体系，构建高速移动互联体系，物联网感知体系，实现云、网、端融合协同；数据一本账，建设全方位、全覆盖的一体化数据资源库，汇集、整合全域林草资源、物联感知、云网互联等多维度数据资源；支撑一平台，搭建“数据分析、智联融合、资源共享”的支撑平台，面向林草智慧应用，整合资源、提供共性服务；服务N应用，面向公众、企业、林草主管部门工作人员、草原监督员、护林员等用户提供智慧化的应用服务，提高林草工作效率，提升全民“爱绿”“护绿”意识，架起“绿水青山”向“金山银山”转化桥梁。

“三纵”体系：构建标准规范体系、安全保障体系、运维管理体系，支撑林草资源管护、林草灾害防控、国土绿化保障、数字民生服务、政务运行管理五大应用领域，保障“数字林长”畅通，助力“数字

西藏”建设，抢抓“数字机遇”，打造“林草样板”。

2.2 应用架构：“1+1+N+N+5”

西藏数字林长建成“1+1+N+N+5”整体应用架构，其架构如图2所示。“一个云”，依托西藏政务云构建基础底座，充分使用政务云的计算、存储、网络、信息安全等资源；“一个平台”指的是西藏数字林长平台，包含业务汇聚、智慧决策、应用支撑、资源共享等；“N个应用系统”指的是多业务应用系统，包含森林防火、林长制管理、有害生物监测预警、森林资源管理、自然保护地监管等系统；“N个物联网感知设备”指的是“天空地人”一体化前端感知设备，包括遥感卫星、无人机、视频监控、生态定位监测站、红外相机等；“五级应用主体”指的是西藏自治区、地（市）、县（市、区）、乡（镇）、村五级系统用户应用主体，涵盖各级林草主管部门人员、各级林长、护林员和草原监督员。

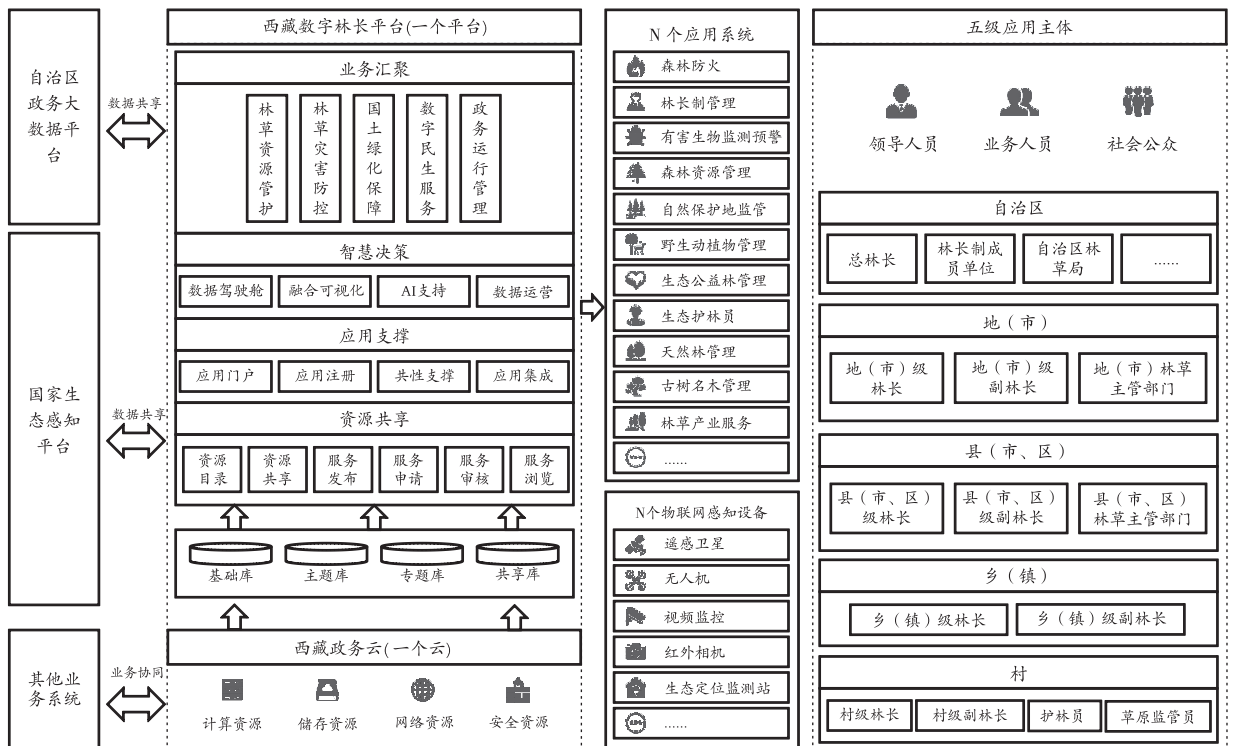


图2 应用架构

3 数字林长建设主要任务

3.1 建设云网融合的新型基础设施体系

以新发展理念为引领，探索林草领域基础设施的数字化、智能化转型升级，适度超前部署下一代智能

设施。加快云、网、边、端均衡协调的新型信息基础设施与传统设施智能化融合升级，统筹建设物联、数联、智联三位一体的数字林长感知网络，构建数字林长新型基础设施体系。

1) 复用政务云新型算力设施。数字林长建设遵

循“上云为原则,不上云为例外”,充分复用西藏政务云建设成果,按照统一标准、集约建设、统筹规划的思路,按需向政务云申请服务器资源、存储资源、网络安全资源、密码安全资源等,并纳入政务云统一管理。依托西藏政务云,实现数字林长业务应用系统快速、安全、可靠部署,进一步提升西藏政务云新型算力设施使用效率,降本增效。

2) 探索建设前沿移动互联体系。主动适应边缘计算等智能业务发展需求,加快推进NB-IoT(窄带物联网)、4G和5G协同发展的移动物联网综合生态体系建设,推动北斗系统、卫星通信网络、地表低空感知等空天网络基础设施的融合创新,优化物联网传感网络布局,以满足不同场景传输速率需求。结合通信行业基础设施建设,同步部署视频采集终端、复合传感器等多种林草业务感知单元节点,实现数字林长资源管护、灾害防控、绿化保障等物联网场景智能化应用。

3) 构建“天空地人”林草感知体系。以森林草原防火、林草资源管理、林草有害生物监测预警和野生动植物保护为重点,构建物联数通的“天空地人”林草感知体系,形成天(卫星遥感)、空(无人机、无人机场)、地(视频监控、生态定位站、红外相机、水文监测设备等)、人(林长、护林员)为依托的“天空地人”一体化监测体系,织密“林草感知一张网”,不断提升全方位、全时空智能数据采集能力,实现林草资源动态监测、精准保护和智慧监管。

3.2 构建智慧迭代的林长能力中枢体系

以“统筹集约建设,应用轻量部署”为建设思路,依托数字西藏一体化基础支撑体系建设的成果,构建数字林长共建、共享、共用的数据资源体系和应用支撑体系,打造“一脑数智”的智能中枢,形成统一规划、集中部署、灵活开放的数据支撑能力、技术支撑能力和业务支撑能力,提升西藏数字林长建设的科学化和精细化水平。

1) 加强数据资源归集管理。加强西藏林草数据资源管理,推进林草数据汇聚共享和开放。在西藏自治区数字西藏政务数据资源体系的基础上,建立数字林长数据采集汇聚体系,扩展与国家林业和草原局、其他相关部门、地(市)、县(市、区)林业和草原局的数据汇聚能力,以及西藏自治区各级物联感知设备终端数据集成接入能力,全面采集、汇聚林草数据资源,形成西藏林草资源数据池。

2) 推动数据资源共享、开放。按照“需求导向、任务管理、按需共享”的原则,实行数据使用部门提需求、数据归属部门做响应、数据共享管理部门保流转的数据共享模式。全面对接西藏自治区数字西藏数据共享交换平台,按照统一的数据共享与交换标准,建立全区林草数据资源从汇聚到共享应用的统筹调度机制,实现对数据共享、交换、开放流程中所有行为过程的统一管控。

3) 提升数据融合应用能力。以多业务应用需求为导向,开展跨业务、跨部门的数据融合与关联应用,推动数据治理与开发利用的有机结合,为数字林长运行管理提供高度融合的数据资源支撑。提升数据分析、数据研判、数据可视化的能力,梳理林草应用对数据分析工具和算法模型的共享需求,打造一站式数据分析环境,形成规范高效的数据应用开发模式。

4) 打造业务共性支撑服务。围绕推动数字林长各领域智慧应用互联互通、信息共享和业务协同,梳理共享业务需求,建设完善共性业务支撑平台。充分依托数字西藏一体化基础支撑能力,调用其统一身份认证、统一电子证照、统一信息发布等标准化、统一化、共性化服务,提高各类系统共建、共享水平。基于数字林长五大领域业务,加强应用服务供给能力,开展数字孪生试点示范,集成共性能力支撑、标准化应用扩展等能力,赋能前端业务系统,实现轻量化快速部署。

5) 强化人工智能技术供给。打造可扩展的人工智能计算能力平台,将人工智能计算能力分层解耦,利用云-边-端不同层级的人工智能能力,实现上层应用能够根据业务需要调配算力资源。提供智能识别、智能分析、算法模型、人机交互等赋能服务,为数字林长建设提供烟火识别、动物个体识别、植物识别、资源变化自动监测等服务。

3.3 打造协同有效的林草资源管护体系

面向林长制、国土绿化、资源保护、以国家公园为主体的自然保护地体系建设、生物多样性保护、灾害防控、产业发展、公共服务等业务应用需要,构建内部无缝贯穿、外部互动衔接的数字林长业务应用体系,提升公众服务水平。

1) 助推林长制。以林长制绩效考核评价为切入点,搭建林长制智慧管理系统,实现多业务的贯通融合与协同服务;搭建护林员管理系统,实时掌握护林

员工作情况及巡护事件,提高巡护监管能力,确保事件及时处置,助力林长制落地;搭建林草工作站管理系统,有效提升基层林草工作站管理能力。

2) 助推国土绿化。搭建造林、种草、荒漠化治理等系统,对国土绿化工程进行核查和监督,及时掌握建设现状和发展动态,从根本上解决“林子造在哪里”“草种在哪里”“精准提升在哪里”等问题,进而实施精细化管理。

3) 助推资源保护。搭建森林、草原、湿地、荒漠化等林草资源管理系统,健全“林草空间一张图”;构建资源管理“天空地人”一体化监测体系,及时掌握资源动态变化情况,提升预警预报和问题处置能力,提升林草资源保护发展信息化管理水平。

4) 助推以国家公园为主体的自然保护地体系建设。搭建自然保护地管理系统,实现对全区自然保护地的动态监管,减少因人类活动、自然灾害等因素导致的资源突变;摸清自然保护地资源家底,及时更新资源数量、质量以及消长变化,提高自然保护地管理水平。

5) 助推野生动植物保护。搭建野生动植物保护管理系统,科学分析、评价野生动植物资源生存现状,为野生动植物的培育、保护与利用提供信息支撑;建立野生动植物疫源疫病管理系统,实现野生动植物疫源疫病调查、预警、监管,降低野生动植物疫源疫病的发生率。

6) 强化林草灾害防控。搭建森林草原防火系统,从“人防”向“技防”转变,实现灾前、灾中、灾后全方位、一体化的预警监测和指挥调度;搭建林草有害生物防治系统,实时监测林草有害生物发生、发展情况,为森林草原有害生物防治提供决策支撑。

7) 助推林草产业发展。搭建林草产业服务系统,将新一代信息技术与林草改革、林业产业培育、林产品生产加工深度结合,推动林草改革和林草产业发展,实现林草产业提质增效。

8) 助推林草公众服务。搭建“互联网+义务植树”系统,调动公众参与植树造林的积极性;搭建种苗交易信息系统,优化信息来源渠道,为种苗买卖双方提供第一手的交易信息;搭建手机APP、微信小程序等多模式的公众服务系统,多途径普及林草政策法规,收集公众意见,提高公众“爱绿”“护绿”意识。

3.4 搭建贯穿始终的数字林长保障体系

数字林长保障体系由运维管理体系、标准规范体

系、安全保障体系等构成,贯穿数字林长建设及运营全生命周期,为西藏数字林长的高质量建设和可持续稳定运营提供可靠保障。

1) 完善运维管理体系。从组织领导、任务安排、工作实施等方面提出规范化的要求,明确平台系统的日常维护标准。成立由西藏自治区林业和草原局主管部门负责管理,项目承建单位、服务提供商负责具体维护的运维工作小组。项目承建单位全面负责维护合同期内的数字林长平台的运行、维护和组织管理,负责信息平台 and 资源数据库的更新升级、安全防护等工作;服务提供商负责服务采购合同期内的硬件设备的维护、更新和管理。

2) 健全标准规范体系。根据西藏数字林长发展要求,以国家标准和行业标准为指导,以满足自身建设需求的业务、管理和技术标准以及规范性文件为补充,设立联系紧密、相互协调、层次分明、构成合理、相互支持、满足需求的标准框架,修订相关标准,形成数字林长标准规范体系。对于国家标准或行业标准未涉及的内容,积极联合相关领域的主管单位、研究机构依据现有条件和要求制定地方行业标准。

3) 筑牢安全保障体系。严格遵守《中华人民共和国网络安全法》《中华人民共和国密码法》《中华人民共和国数据安全法》《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》(GB/T 22239-2019)等国家有关信息化安全建设的法律法规及标准,建立健全信息安全管理制,落实安全技术防范措施。

4 结语

西藏数字林长建设本着“统一规划、分级部署、分步实施、基础优先、急用先行、以点带面”的原则有序推进,通过数字林长平台推动林草业务“一网协同”、林草治理“一网统管”,全面推进全区数字林长政务服务能力建设。通过数字林长平台落实国家、自治区林业和草原工作任务,实现工作任务的上报与下达;通过数字林长平台全面掌握全区林草资源监测、监督管理、国土绿化、防灾减灾、自然保护地、野生动植物等业务指标的总体情况,支持按照西藏自治区、地(市)、县(市、区)逐级掌握各类林草业务指标情况;通过数字林长平台全面服务企业、社会公众林草行政审批事项审核管理以及公众服务事项的全流程监管,提升政务服务水平。

(下转第74页)

拉萨河生态廊道构建思路及实施策略研究

周学武, 梁曾飞, 刘扬晶, 刘伟, 彭泰来, 胡沛琳, 李佳,
张同, 齐建文, 杨帆

(国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南长沙 410014)

摘要: 生态廊道把彼此隔离的景观单元连接起来, 从而起到保护和丰富生物多样性、维护和增强生态功能的重要作用。在综合阐释生态廊道的概念、功能和发展历程的基础上, 分析了拉萨河生态廊道构建的重要意义及构建条件, 基于资源禀赋现状提出了拉萨河生态廊道构建思路及实施策略, 以为拉萨“百里生态绿廊”建设提供借鉴和参考。

关键词: 生态廊道; 拉萨河; 构建思路; 实施策略; 生物多样性

中图分类号: S718.5; X321 文献标识码: B 文章编号: 1003-6075 (2023) 04-0053-10

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.011

Research on Construction Ideas and Implementation Strategies of the Lhasa River Ecological Corridor

ZHOU Xuewu, LIANG Zengfei, LIU Yangjing, LIU Wei, PENG Tailai,
HU Peilin, LI Jia, ZHANG Tong, QI Jianwen, YANG Fan

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

Abstract: Ecological corridors connect isolated landscape units, playing an important role in protecting and enriching biodiversity, maintaining and enhancing ecological functions. On the basis of comprehensively explaining the concept, function, and development process of ecological corridors, analyzed the important significance and construction conditions of the Lhasa River Ecological Corridor construction, proposes the construction ideas and implementation strategies of the corridor based on the current situation of resource endowment, in order to provide reference for the construction of the "Baili Ecological Greenway" in Lhasa.

Key words: ecological corridor; Lhasa River; construction ideas; implementation strategy; biodiversity

生态廊道是指在生态环境中呈带状或线性的景观生态空间系统, 其在区域尺度上的连接度得到显著提升, 能够满足物种的扩散、迁移和交流, 是连接“山、水、林、田、湖、草”各类地理单元、构建完整的复合生态系统的重要措施, 是当今国际生态领域的研究热点。1975年, WILSON等^[1]在岛屿生物地理学和复合种群的思想提出了廊道的概念。1986年, FORMAN^[2]提出斑块-廊道-基质的重要理论, 定义空间维度与

周边环境不一致的带状或线性结构即为廊道, 并于1995年提出运用该理论分析生态系统与空间格局间的联系^[3]。此后, 关于廊道的概念首次被提升至地区环境生态安全保护的生态结构范畴。1990年以来, 学界愈发重视生态廊道的生态功能, 研究方向向着基于生态要素所构成的生态廊道建设方面持续发展, 其原因为生态廊道被认为是具备保护生物多样性、过滤污染物等生态环境效能的廊道之一, 是维持生态系统

* 收稿日期: 2023-09-22

作者简介: 周学武(1965—), 男, 湖北公安人, 教授级高级工程师, 主要从事森林资源监测和林业规划设计等工作。E-mail: zhouxuewu@2008.sina.com。

运行的重要组成^[4]。此外,生态廊道类型逐渐从注重景观功能的林荫道路发展到注重绿地生态网络功能的大尺度生态廊道^[5]。

目前,我国生态廊道建设总体上还停留在小尺度、小范围、简单的绿化和美化上,较少体现其生态服务功能,诸如城市生态廊道^[6]、景观生态廊道^[7]、湿地生态廊道^[8]等研究方向,与大尺度生态廊道功能的综合性需求仍有差距,围绕大尺度生态廊道的研究有待进一步加强^[9-11]。大尺度生态廊道对于各类珍贵自然和人文资源间的串联具有重要意义,兼具生态、经济、社会和文化等多种功能。在生态功能方面,构建大尺度生态廊道可以为植物生长和动物繁衍栖息提供充足空间,有效保护生物多样性^[12],且能充分发挥调蓄洪水、保持水土和涵养水源等作用^[13]。在经济方面,大尺度生态廊道有利于促进观光游憩等第三产业发展,为廊道周边居民提供多种多样的就业机会,促进区域经济增长^[14]。在社会和文化方面,大尺度生态廊道可以为群众创造接近自然的场所,具备宣教功能,同时能够营造具有吸引力的生态景观,保护原生态景观特点^[15-16]。2023年以来,西藏自治区拉萨市深入推进“三个百廊”(即“百里生态绿廊、百里活力城乡长廊、百亿产业走廊”)建设,本文以拉萨河大尺度生态廊道构建为对象展开相关研究。

1 区域概况

拉萨河,位于西藏自治区中南部,发源自念青唐古拉山脉中段北侧的罗布如拉,经嘉黎、当雄、林周、墨竹工卡、达孜、城关、堆龙德庆,至曲水县,是雅鲁藏布江最大支流。

本文研究范围为拉萨河干流从直孔电站至雅鲁藏布江汇合口区域,全长154 km,河流的海拔高差约300 m,平均坡降1.9‰,水流平缓。直孔电站以下墨竹工卡以上的河段,河岸较平直,河床较稳定,谷底宽1~3 km;墨竹工卡以下河流迂回曲折,多汊流,河心洲滩较多,谷底宽一般为3~5 km,属典型的宽谷河段^[17]。河流两岸气候温和、地势平坦、土质肥沃、水源充沛,是西藏的主要粮食产区之一。

研究区域内生态环境较好,林草资源丰富。据统计,拉萨河生态廊道范围内草原面积24万hm²,林地面积16万hm²,湿地面积1.9万hm²,水域面积1.2万hm²。区域内地带性植被保存较完整,主要分布着以喜马拉雅草沙蚕(*Tripogon hookerianus*)、三刺

草(*Aristida trisetata*)、白草(*Pennisetum flaccidum*)为主的草本群落,以及白刺花(*Sophora davidii*)、砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)、小蓝雪花(*Ceratostigma minus*)等组成的落叶灌丛;山体沙地上分布有固沙草群落;河岸湿地分布有沙棘群落^[18]。区域内生物多样性丰富,共分布有维管束植物59科187属388种,高等脊椎动物170种,其中国家级重点保护野生动物共有42种。区域内现有西藏拉萨拉鲁湿地国家级自然保护区、西藏雅鲁藏布江中游河谷黑颈鹤国家级自然保护区、拉萨市才纳市级自然保护区、拉萨市墨竹朗杰沙棘自然保护区等自然保护区。

2 构建拉萨河生态廊道的重要意义

1) 提升区域生态系统质量和稳定性,筑牢国家生态安全屏障。西藏是青藏高原的主体,是世界屋脊、亚洲水塔、“地球第三极”,是国家重要的生态安全屏障。习近平总书记反复强调要“筑牢国家生态安全屏障”,并作出“加强民族团结、建设美丽西藏”“保护好青藏高原生态就是对中华民族生存和发展的最大贡献”“切实保护好雪域高原的一草一木、山山水水”的重要指示。拉萨河是连接墨竹工卡县、林周县、达孜区、城关区、堆龙德庆区、曲水县的天然生态廊道,是青藏高原生态安全屏障的重要组成部分,承载了西藏最主要的发展任务,是西藏生态环境承载压力最大、生态建设挑战最大的区域^[19]。同时,拉萨河流域生态系统极为脆弱,一旦破坏,恢复难度极大。因此,拉萨河生态廊道应以筑牢国家生态安全屏障为主要目标,构建拉萨河流域生态保护格局,因地制宜对重要生态系统采取保护修复措施,提升生态系统质量和稳定性。

2) 构建区域生物多样性保护网络,打造高原物种基因库。青藏高原是全球生物多样性最丰富的地区之一,是高原物种基因库和珍稀野生动物的天然栖息地,是世界山地生物物种主要的分化与形成中心。区域内分布有类型多样的自然生态系统,为不同生物区系之间交融、演替提供了特定空间。拉萨河流域是地球第三极生物多样性的典型代表,该区域是黑颈鹤、斑头雁等珍稀野生鸟类的重要越冬地和栖息地。但是由于人类社会的发展,尤其是城镇、农业、牧业的扩张,野生动物的栖息地被碎片化,动物种群之间的栖息地相互被孤立,种群无法得到交流,最终导致物种退化。拉萨河生态廊道将藏北高原与雅鲁藏布江中游

河谷、拉萨东部与北部山地系统连接起来,将区域内孤立的栖息地连通起来,保障了拉萨河流域野生动物栖息地之间通畅联系,扩大了生物多样性保护网络。

3) 增强拉萨城市环境承载力和城市安全韧性,推动高质量发展。拉萨河流域地处藏中南核心区域,是西藏基础设施最完备、产业发展基础最好、发展潜力最大的区域。拉萨河流域将成为南亚大通道建设、孟中印缅经济走廊、对接“一带一路”及推动环喜马拉雅经济合作带建设的重要节点^[20]。建设拉萨河生态廊道,是以生态优先、绿色发展为导向,以社会效益为前提,进一步优化草原、森林、湿地生态系统,实现拉萨经济高质量发展的重要内容。廊道建设可通过开展森林、草原、湿地、自然保护区保护工程和山水林田湖草沙系统治理工程,稳定和扩大生态空间,充分发挥区域各类生态系统的多种功能,不断推进生态文明建设,彰显绿色底色,增强拉萨河生态廊道环境承载力,全面提升城市生态安全韧性。

3 构建拉萨河生态廊道的条件

3.1 有利条件

1) 优越的生态区位。拉萨河生态区位极其重要,不仅是连通那曲高原、拉萨东部与北部山地系统、雅鲁藏布江流域生态系统的重要廊道,也是区域内连通西藏雅鲁藏布江中游河谷黑颈鹤国家级自然保护区等6个自然保护区的主要通道。

2) 天然的河谷大通道。拉萨河呈东西走向,区域内河床十分开阔,山体位于拉萨河南北两侧。地貌构造层面有利于生态廊道的构建,不仅有山体层面连通,还有水体方面的贯通。

3) 原生态的自然本底和丰富的生物多样性。从资源现状分析,区域内森林、草原、湿地等自然资源面积比重达80%以上,且保持了较好的连续性和原生性。同时,该区域是冬季候鸟黑颈鹤、斑头雁、赤麻鸭等珍稀野生动物的重要栖息地。近年来,随着流域内整体生态的不断改善,白唇鹿、雪豹等出现在拉萨河的频度越来越高。

4) 支持性的政策要素。拉萨河流域属于全国重要生态修复系统保护与修复重大工程的重点支持区域,也是国家林业和草原局“十四五”时期先行启动66个林草区域性系统治理项目的区域之一。《拉萨市国土空间总体规划(2021—2035年)》明确提出了在拉萨市建设“三个百廊”工程,其中之一即为

生态廊道建设。2021年启动的西藏自治区有史以来最大的拉萨南北山造林绿化工程,其实施范围也完全位于拉萨河生态廊道范围内。近年西藏自治区、拉萨市出台了一系列关于支持生态保护与修复的政策,有力推动了拉萨河流域保护修复工作的开展,为拉萨河生态廊道的构建提供了组织和政策保障。

5) 生态修复取得的成效和经验。近年来,拉萨通过重点区域造林、两江四河流域造林、拉萨绿化围城、先造后补工程、南北山造林绿化工程、“无树村无树户”、湿地修复、水系修复、矿山修复等工程实施,持续改善城市生态,提升城市品位,塑造高原自然生态风貌,建设生态良好的宜居宜业城市。通过各类工程的实施,拉萨市在高原国土绿化方面积累了非常丰富的经验,可为将来生态廊道建设提供技术支持。

3.2 不利条件

1) 高海拔、高寒、干旱气候。研究区的平均海拔超过3600m,含氧量为内陆中东部地区的70%,年降水量为200~510mm,降水集中在6—9月,年平均气温为7.4℃,属于典型的高原温带半干旱季风气候。高寒、干旱、含氧量低,是拉萨河生态廊道建设的先天制约因素。

2) 荒漠化、沙化、矿山废弃地治理难度大。据西藏自治区第六次荒漠化和沙化调查结果显示,拉萨河生态廊道范围内有沙化土地面积近5万hm²,且沙化土地以中度及其以上程度为主,多集中分布于河道内陆滩涂(水力搬运和沉降)和两岸南北山上坡位(风力搬运和沉降)^[21]。据第三次国土资源调查数据显示,研究区域内有多处矿藏开发后遗留的受损弃置地,该区域自然植被、山体破坏严重,加之山高坡陡,存在地质灾害风险隐患。拉萨河生态廊道建设中防沙治沙和受损弃置地生态恢复是提升本底资源质量、强化廊道生态功能、连通生态“孤岛”动植物交流的重要手段。经过多年防沙治沙工程的实施,可治理、易治理的沙化土地基本得到治理,目前仍为沙化土地的地块多数是难治理、治理成效不好的区域。鉴于目前仍以传统防治措施为主,该区域土地退化和受损弃置地生态恢复将是一项长期而艰巨的任务。

3) 修复资金筹措难度大。拉萨河流域的生态整体较好,但也极其脆弱,尤其两岸山体土壤薄且贫瘠,山体主要以板岩、页岩、花岗岩为主,且生态修复必需的水资源一直是当地难以解决的问题,生态修复成本极高。尽管近年拉萨市通过中央资金、援助资

金以及地方自有资金进行了一部分投入,但拉萨河两岸森林带的营建、湿地修复等需要长期且持续性投入。因此,如何解决修复所需资金问题是个大难题。

4 拉萨河生态廊道构建思路

4.1 基本原则

1) 整体性原则。充分考虑区域内山水自然肌理,统筹山水林田湖草沙,以及区域内的野生生物等各种要素,对区域城乡景观空间结构进行科学规划,合理布局区域内廊道、斑块及基质等景观要素,畅通区域内的信息流、物质流与能量流循环^[22]。

2) 生态优先原则。充分考虑拉萨河流域高原河谷、山体的生态环境状况,立足于保护修复河谷两岸自然河流、山体、湿地、森林、草原等自然景观,以及藏式村落、城镇、寺庙、农田、道路等人文资源,维护生态廊道生物多样性,构建安全、稳定的自然生态系统和生态屏障^[22]。

3) 因地制宜原则。根据自然环境、立地条件等现状因子,突出高原河谷廊道特色,依据水资源、土壤、地势等自然条件,科学提出合理的保护修复措施,打造河流、湿地、森林、草原、农田、村庄、城镇、道路为主体元素的结构合理、特色明显、功能完备、景色优美的复合生态廊道。

4) 可持续原则。结合区域生态承载力、土地、水资源等要素,科学确定区域生态容量,合理设定城市产业、生态政策,推进城市发展与生态承载力相协调,确保区域高质量发展,积极提升廊道的生态服务水平,引导公众积极参与生态廊道建设,促进人与自然和谐共存^[23]。

4.2 构建思路

4.2.1 总体定位

以构建拉萨市“百里生态绿廊”、建设具有全球意义的生物多样性保护网络和促进拉萨市高质量发展为愿景,着力将拉萨河生态廊道打造成为“具有全球意义的生物多样性保护实践区、国家生态文明高地建设示范区、山水林田湖草沙一体化保护和系统治理示范区、生态碳汇示范区、人与自然和谐共生现代化先行区”,推进国土空间的生态保护、修复与价值转换,为拉萨市生态重构、加快筑牢高原生态安全屏障提供支撑。

4.2.2 主体思路

基于拉萨河“两山夹一谷”大尺度的自然地理

大通道区位,利用两岸山体现有的大规模连续分布的天然草原、森林带构建生态涵养带,沿拉萨河分布的河流湿地生态景观带,结合“山水林田湖草沙”系统修复工程和各类生态绿廊建设,将“山、水、林、田、湖、草、沙、路”等生态空间要素科学合理地有机串联起来,以增强区域环境承载力、提升拉萨城市体系安全韧性、融合区域历史文化要素、彰显地域文脉和展示城乡特色为目标,兼顾高原景观美学价值、游憩环境创造、生物多样性保护、自然教育等社会、经济和生态三大目标,构建拉萨河大尺度复合生态廊道系统。

4.2.3 主要特征

拉萨河生态廊道的构建,不是简单理解为河流廊道或滨河绿道,而是河道、滨河湿地、台地以及两岸山体的多功能复合廊道,具有系统性、多尺度、网络化、绿色文化载体等特点。

1) 复合廊道。拉萨河生态廊道是一种异于周边基质环境且自成系统的线性景观单元,不仅具备景观生态学中“廊道”的特点,而且能够实现各景观单元在空间上的有效联系。同时,它不是单一的河流或沿岸绿廊,而是包括了河流及其绿廊、两岸山体森林草原廊道以及农业、城镇系统、主要交通干线绿廊构成的多样性的复合廊道。河床、水体、河漫滩、森林、草原、农田、城镇、乡村、道路等各种构成要素相互影响和作用,实现包括调节城市气候与环境、保持水土、净化水质、控制污染、为野生动物提供迁徙通道和多样性的栖息地等多种生态功能^[24]。

2) 多尺度。大尺度层面,拉萨河生态廊道是连接那曲高原生态系统、雅鲁藏布江中游河谷生态系统、拉萨东部与北部山地系统的重要廊道。中尺度层面,拉萨市生态廊道自身是一个完整的生态系统,涵盖了草原、森林以及湿地等生态系统。其内部主要由生态基质、人文斑块以及相互连通的小尺度廊道构成。生态基质即两岸山体构建的草原、森林复合生态涵养基质,以及河谷水域、滩涂和岸线缓冲带区域构成的河流湿地生态基质;人文斑块主要由散落于廊道内的城镇、村落农田等构成;相互连通的小尺度廊道主要是通过生态修复、绿化工程形成的小型公园、绿道、农田林网等。小尺度层面,拉萨河生态廊道是一个网络状、复杂、立体的生态系统,涵盖了各类景观元素。

3) 网络结构系统。拉萨河生态廊道具有整体性、系统内部高度关联性特征,由区域内森林草原廊

道、河流湿地廊道以及小尺度山体沟谷、道路绿廊等纵横交错的要素廊道和生物多样性热点节点等构成。通过该廊道网络构建增加景观的连通性,给城镇输送各种生态效应,并联系各类生态单元,构建有机的系统空间结构,维系区域生态系统的稳定性,并促进其良性发展^[25]。

4) 绿色文化载体。拉萨河历史文化资源丰富,拉萨河生态廊道也是一条绿色人文廊道。通过重建区域绿色生态系统,构建城乡生态网络,统筹区域自然

山水与历史文化景观的保护利用,打造滨水开放空间和绿色休闲走廊,提高和恢复景观活力,延续藏域文化文脉,创造藏域人文特色,塑造城市历史文化与绿色生态新形象,将拉萨河打造成为引导城乡生态文明建设和绿色生态文化的重要载体^[26]。

4.3 空间布局

1) 空间结构。根据拉萨河生态廊道的自然山水肌理,以及土地使用景观格局,构建“一廊、三带、多楔、多节点”的空间结构,如图1所示。

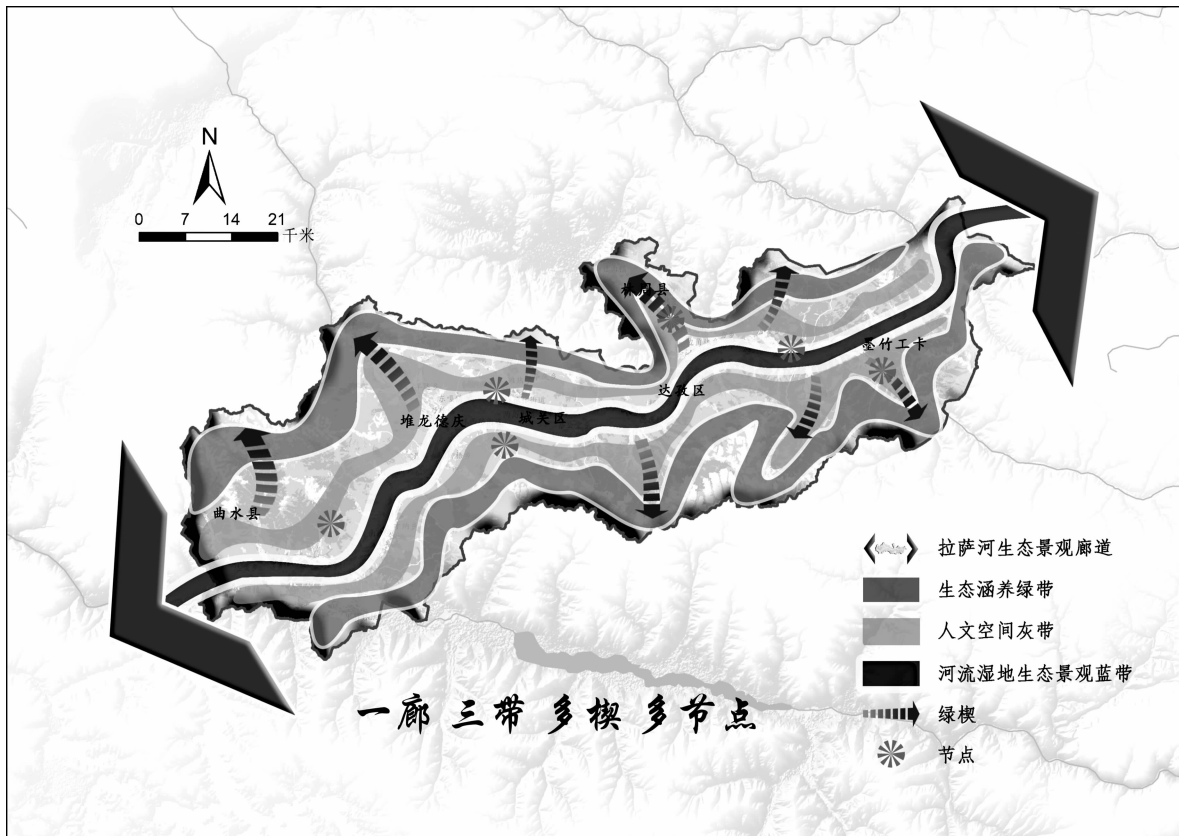


图1 拉萨河生态廊道构建空间结构

“一廊”即拉萨河河谷大通道,包括河谷、两侧山体,呈鱼骨状大廊道。

“三带”即与廊道同向平行的绿、蓝、灰3类功能空间带。其中“生态涵养绿带”由河谷两岸山体连续分布的草原、森林带构成,是生态廊道的生态本底、生态屏障。“河流湿地生态景观蓝带”主要由河流水域、滩涂、自然岸线以及过渡地带构成,具有栖息地功能、过滤作用、屏蔽作用、通道作用、源汇功能、景观游憩等多种功能,是生态系统内部物质和能量流动的通道。“人文空间灰带”主要由城镇、农业

空间以及相互连通的道路系统等构建而成,其功能主要为人类的生产、生活服务。

“多楔”:拉萨河支流或山体纵向延伸形成的谷地的小级别绿廊,如堆龙曲、墨竹马曲、彭玉年曲等小尺度廊道。

“多节点”:拉萨河生态廊道涉及的重要生态保护修复或生态热点区域,如拉萨南山公园、西藏拉萨拉鲁湿地国家级自然保护区、拉萨市墨竹朗杰沙棘自然保护区、甘曲湿地等。

2) 断面结构。结合流域内不同地段典型差异性

特点,拉萨河生态廊道断面结构主要设想为两类断面结构。

其一,非城区地段。该区段为拉萨河干流形成的河谷冲积阶地,断面整体呈现“U”字型,河谷较宽,河心漫滩处于自然状态。两岸呈三级阶地分布:一级阶地较河水位高出10~20 m,大部分为耕地;二级阶地较河水位高出21~30 m,村庄大部分位于此区域;三级阶地较河水位高出40~50 m,是良好的天然牧场。非城区地段的廊道断面结构如图2所示:以河流、滩涂构成的“河流湿地生态景观蓝带”为中心,向南北两岸伸展,依次为“人文空间灰带”(包括农田、村落、牧场、主要交通道路等)和生态涵养绿带(包括森林、灌木、草原等)。该断面建设重点为:一是河流湿地廊道系统内的岸线修复、河心漫滩的生态修复和过渡带的防护林带营建;二是村落四旁绿化、农田林网,以及主要干道的绿廊建设;三是近山、浅山区域的森林带建设。

其二,城区地段。该区段位于城镇建成区内,以人工堤岸为主。该区段廊道兼有景观营建、生态修复、休闲游憩等多方面功能。在防洪要求的前提下,营造城市绿地滨水开放空间,发挥廊道在生态保护、城市景观塑造、市民生活休闲等方面的功能与作用。廊道以河流、堤岸、滨河道路及绿地为主体,小型休闲设施、生态小品穿插其间。对于建成区内原有可迁出建筑或可改造的硬质铺面,以绿地形式予以替代;对于正在建设的新区,宜设计预留充足植被缓冲带,形成规模植被演替形态,给候鸟预留足够栖息空间,恢复城市生物多样性^[27]。城区地段廊道断面结构如图3所示:以“河流湿地生态景观蓝带”为中心,两侧依次为“人文空间灰带”的滨河景观带+城镇(主要包括道路绿化、小型公园),以及“生态涵养绿带”的森林带+灌木林带+草原带等。该断面建设重点:一是滨河景观带建设,二是城市区域绿地系统以及城市公园建设,三是城市边缘的森林带构建。

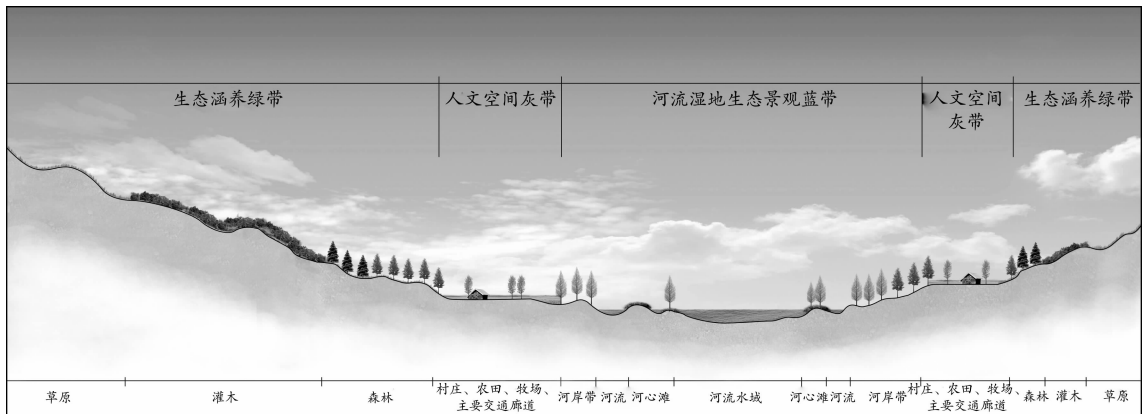


图2 拉萨河生态廊道(非城区地段)断面结构剖析

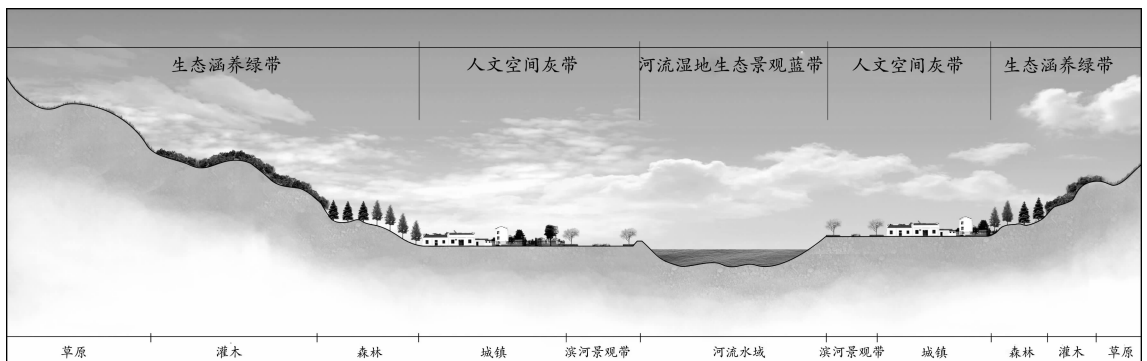


图3 拉萨河生态廊道(城区地段)断面结构剖析

4.4 重点建设任务

1) 生态涵养绿带。重点对区域内的天然草原、

灌木林、人工森林等生态要素进行保护,保护天然原生植被、草原生态系统、灌木林生态系统。该区域应

重点建设森林防护带,打造连续且呈一定规模的森林带,构建人工森林生态系统。对退化草原实施生态修复,对退化森林实施退化林修复,实施沙化荒漠化治理、废弃矿山修复等工程。

2) 河流湿地生态景观蓝带。保护河流自然岸线、河流水体、原有湿地植被、河流湿地生态系统。修复河岸地貌,对洲滩实施生态修复,打造高原湿地生态廊道景观,有效串联滨水开放空间、各类公园绿地,提升滨水绿色空间通达性、开放性和延展性,打造贯穿山水城的慢行链,形成生机盎然的“蓝色生命线”。

3) 人文空间灰带。强化城市绿地系统建设,完善城市公园体系建设,科学人性化设计城镇滨河景观带;加强乡村环境整治和四旁绿化,加强农田、水体、道路林网化建设;加强主要交通干道绿廊建设。

5 拉萨河生态廊道构建实施策略

5.1 统筹“三区三线”布局,拓展生态用地空间

科学精准划定拉萨河生态廊道涉及的墨竹工卡县、林周县、达孜区、城关区、堆龙德庆区、曲水县等县(区)“三区三线”,优化区域农业、生态、城镇空间布局,处理好当前和长远、整体与局部、保护与发展之间的关系,为拉萨河流域高质量发展提供支撑。严格管控生态空间用地,包括草地、林地、园地、耕地、河流水面、滩涂、湿地、坑塘水面和未利用地等,强化管理要求,保护好廊道生态空间。通过实施各类生态保护和修复工程,实现多元增绿、见缝插绿和精准建绿,不断拓展区域绿色生态空间^[28]。

5.2 强化林草湿资源保护和自然保护地管理,保护廊道生态基底

对区域廊道内的森林、草原、湿地等实行严格保护,纳入拉萨市林长制考核内容。实施草原休养、轮牧制度,严格基本草原管理,严格载畜量,提高区域草原综合植被盖度,提升草原生态质量。保护森林,严格生态公益林管理,禁止乱砍滥伐和未经批准随意占用林地。保护湿地资源,加强候鸟及野生动物栖息地保护。强化保护地管理,对区域内的西藏雅鲁藏布江中游黑颈鹤国家级自然保护区(拉萨片区)等自然保护地按照要求严格管控建设项目,原则上不允许新建与自然保护地功能定位不符的项目。严格遵循自然保护地管理的有关规定,加强涉及保护地建设项目的准入审查。建设项目选址选线应尽量避让自然保护区;经批准的建设项目应加强项目建设的全过程监

管,保证各项生态保护措施落实到位。

5.3 实施山水林田湖草沙系统治理,修复廊道空间结构

按照《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》《青藏高原生态屏障区生态保护和修复重大工程建设规划(2021—2035年)》《西藏自治区国家生态文明高地建设规划(2021—2035年)》等安排部署,遵循系统修复思路,统筹谋划,全方位、全地域、全过程实施山水林田湖草沙一体化保护和系统治理。一是合理规划生态修复用地。依据拉萨市国土空间规划、国土绿化落地上图数据等材料,综合考虑土地利用方式、土地立地条件等因素,突出区域生态廊道布局战略,合理规划拉萨河生态廊道内生态保护和修复区域、地块。对区域内退化的草原实施草原生态修复,对适宜营造森林的浅山、近山区域实施造林绿化,对退化林、低效林等实施提质改造,对山体的风积沙丘以及河谷的沙质滩地分别实施工程和生物措施进行治疗,对河谷湿地退化区域进行生境恢复重建设计,对矿山受损弃置地进行生态修复。二是科学选择绿化树种、草种。优先使用高原乡土树种、草种,参考原地带性植被分布特点,科学布局阔叶乔木、针叶乔木、灌木种植模式。合理确定绿化方式,宜林则林,宜草则草,乔灌草合理搭配,科学恢复以灌草为主的林草植被。三是建立完善生态修复后期养护管理制度。设立专项资金,建立管护制度,加强对新造幼林地的管护和抚育,及时进行补植补造,确保绿化成果。

5.4 强化自然河流岸线保护,优化河流湿地景观格局

1) 河流岸线。科学合理确定河岸线的控制线和功能线,落实河长制、湖长制,实施岸线修复工程,重塑自然河岸线,恢复河流生态环境。城区之外的岸线修复应利用原有地形,不改变河流走向,不随意进行挖填,不进行大面积硬底化,尽量保持岸线自然风貌。修复中,应充分考虑拉萨河中的水生动物洄游通道问题,严格保护其产卵场、索饵场、越冬场及洄游通道等场地^[29]。城区范围内的岸线,要顺应拉萨河河岸自然形态,充分利用河谷缓冲过渡地带,因地制宜构建亲水生态岸线,营造滨水生态空间,构建绿色游憩走廊。生态廊道建设涉及绿化或种植的,不得影响防洪安全。

2) 河漫滩。河漫滩是具有连通水域和陆域作用的河流生态结构中典型的群落过渡带,是野生动物栖

息和河流能量转换的重要场所。河漫滩修复包括了河漫滩地形重塑、种植设计、防护工程设计等,宜采用近自然方式进行修复。河漫滩地形重塑是对地形进行无破坏的微处理,以营建多元化的滩区生境。河漫滩植物种植应以高原乡土树种为主,对河岸边坡进行防护不仅要满足防洪、岸坡冲刷侵蚀、休闲游憩等要求,还须兼顾各类生物适宜栖息和生态景观完整性功能^[30]。

5.5 科学合理统筹水资源管理,保障生态用水

水资源是拉萨河生态廊道的核心要素,不可或缺。充分考虑水资源的时空分布和承载力,坚持以水定绿、量水而行。科学使用好地表水、地下水,河道内水、河道外水,是构建拉萨河生态廊道的关键因素。统筹拉萨河水资源管理,合理分配生活用水、生产用水、生态用水,统筹规划、统筹使用。生态用水尽量充分利用河流地表水,减少地下水的使用。科学设计,切实保障廊道区域内的草原生态修复、森林营造、沙化土地治理、湿地修复等生态用水,促进区域内水资源及其生态系统休养生息,遏制水生态退化趋势,提升拉萨河生态系统功能和稳定性,推动区域经济社会发展与水资源承载能力相协调,构建拉萨河水系生态廊道,保障拉萨河生态安全。

5.6 注重生态设计,保护修复野生动物栖息地

野生动物栖息地的生态保护修复设计,应以野生动物的生活习性和迁徙规律为基础,以顺应地形、融合自然为理念,力求廊道与周边地形起伏、植被景观巧妙嵌合,形状不拘一格,仿佛自然天成。一个适宜的栖息地中往往包含着多种环境类型,不同的兽类家域、觅食地和栖息地选择不尽相同。例如,岩羊喜选择山地疏林草原带,回避乔木林带;白唇鹿是一种典型的高寒动物,主要栖息在高山针叶林和高山草甸中,避开茂密的森林。甚至同一种兽类,在不同季节选择的栖息地类型也不同。针对兽类,应注意构建多样的森林、灌丛、草原、湿地环境类型,栖息地环境越复杂,其所能容纳的生物多样性就越高,生态结构也越稳定。鸟类选择栖息地的三大主要因素为食物、水和隐蔽物^[31],鸟类栖息地的恢复和营造应在低干预、低破坏原则的基础上,注意提供丰富的食物源、适宜的水环境、充足的隐蔽空间。另外,栖息地斑块化会产生一系列边缘效应^[32],影响到鸟类的迁移,甚至威胁其生存。黑颈鹤、斑头雁一般选择临水浅滩、视野开阔的暖河、避风点的沼泽湿地作为夜宿地。河道治理过程中,尤其要注意避免对中岛、浅滩的破坏,防

止黑颈鹤以及其他雁鸭类栖息地被破坏和丧失。

5.7 实施城镇、乡村、道路、农田绿化,重塑高原特色城乡风貌

科学合理划定城镇开发边界,重点关注与城镇空间联系密切的山体、水系、湿地、风景游憩、防护隔离、农业景观、古迹遗迹等纳入城镇特别用途区的范围,做好蓝绿空间的有机衔接。以城市绿地生态系统为基础,依托道路、水体两侧空间营建绿廊,构建适宜动植物生存的生态空间,连通城市内绿地、公园等生态斑块,布局城市慢行系统,构建“网络化”人工生态廊道,实现引绿入城、串绿成网,将森林引进城市,将野生动物引入城市,在必要的节点设置富有高原特色的绿地公园,提高城区生物多样性和城市景观的异质性、趣味性^[33]。

全面保护乡村自然生态系统的原真性和完整性。增加乡村生态绿量,因地制宜开展村庄四旁林、护路林、护岸林、农田林网等建设。推进乡村绿道建设,开展乡村裸露山体、采石取土创面等地块的生态修复,提升乡村绿化质量。实施退化林修复,对乡村范围内的中幼龄林及时进行抚育,利用林间空地补植乡土树种,形成片林规模化、连续化,结合乡村历史建筑保护,开展绿化设计,传承传统风貌,构建优美藏域乡村森林生态景观^[34]。

推进廊道范围内的主要交通干线绿化。高速公路、国道、省道以及连接拉萨市主城区、林周、墨竹工卡等县区的绿色通道建设,依山就势,尽量形成片林小斑块结构,增强绿地防护功能。植物配置上应注意乔、灌、草结合,常绿、落叶乔木合理搭配。科学设置栽植密度和林带宽度,建设高质量交通生态廊道。

5.8 建立多元化资金保障机制,推进生态廊道生态修复

资金是生态修复建设的“血液”,是拉萨河生态廊道建设的重要保障。拉萨河生态廊道建设,资金需求量巨大,因此在资金筹措上要创新投入方式,形成多渠道、多层次、多元化投资机制,有效化解资金难题。一是积极争取中央资金支持。中央资金是主体,涵盖各个部门,包括生态环境、林草、自然资源、水利等部门。按照各行业国家层面规划,科学合理筹划项目,如“全国重要生态系统保护和修复重大工程”项目,国土绿化试点项目,涉及林草的造林、森林抚育、湿地修复、野生动植物保护、国家级自然保护

区,以及河湖岸线保护修复、山水林田湖草沙一体化治理等项目。统筹用好中央重点生态功能区转移支付资金,做好项目库建设,中央奖补资金根据绩效目标和项目成熟度统筹安排,资金的拨付与项目建设进度、绩效考核结果挂钩,按照成熟一批、实施一批、见效一批,切实将中央奖补资金用在刀刃上。二是积极争取自治区层面资金。自治区级财政统筹安排的资金,按照“渠道不变、责任不变、统筹集中、各计其绩”的原则,通过国土综合整治、矿山地质环境恢复治理、地质灾害防治、水污染防治、土壤污染防治、农村环境综合整治、林草生态建设等筹措资金,进而统筹安排。三是加大本级财政投入。拉萨市将生态保护修复资金列入财政预算,持续加大资金投入力度。四是用好援助机制。加大援助资金对于生态修复、人居环境改善方面公共民生事业的倾斜性投入,发挥援助资金效益。五是大力引入社会资本。建立健全社会资本引入机制,鼓励社会资本积极参与拉萨河生态廊道项目建设。

5.9 探索“两山”转化路径,建立生态产品价值实现机制

一是探索建立生态修复成效评估体系。建立生态廊道调查、监测、规划、管理、评价体系,实施全范围、多学科的生态本底调查,摸清区域生态家底,识别区域生态问题和掌握重点生态修复区域情况,从而科学合理规划廊道建设项目。项目实施过程中,首先应及时了解项目实施的质量以及生态问题的动态变化,从而对廊道整体建设进行调整;然后对生态系统格局、质量、服务、功能等进行评估,对生态保护修复的成本进行核算并计算生态服务价值^[35]。二是创新发展林草碳汇,服务碳达峰与碳中和的目标大局。探索建立高原林草碳汇计量监测体系,研究拉萨河林草碳汇现状空间分布格局、林草碳汇动态变化规律及其驱动机制、林草碳汇潜力预测和评估,为林草碳汇及相关生态服务功能评估提供科学依据。分类推进项目开发储备,推动林草碳汇交易。开展造林、森林经营、草原生态修复等碳汇项目储备,对符合开发条件的森林、草原开展摸底,建立区域林草碳汇项目开发清单。对照国际自愿减排项目、国家核证自愿减排项目等政策标准,分类实施林草碳汇开发管理。创新地方特色碳汇方法学,特别是荒漠化、沙化、湿地等具有高原特色的林草碳汇计量方法学。三是创新生态旅游建设,打造拉萨河生态品牌。旅游是拉萨的支柱产

业,各类生态修复工作中,应结合建设自然教育、亲水平台、观鸟设施等各类设施,增强游客高原特色生态体验,打造“拉萨观鸟节”“拉萨国际湿地城市”“拉萨森林城市”等品牌。

6 结语

习近平总书记在党的十九大报告中提出“构建生态廊道和生物多样性保护网络,提升生态系统质量和稳定性”^[35]。在全面贯彻习近平总书记关于西藏高质量发展的重要指示精神以及西藏自治区国家生态文明高地创建的大背景下,拉萨河生态廊道构建意义重大。拉萨正处于城镇、产业经济、交通快速发展的阶段,如何缓解快速发展给区域生态带来的压力,如何提升城市的生态承载力和安全韧性,如何实现城市集聚、产业提升、生态美好的共赢是本研究的初衷。本文提出了构建“一廊、三带、多楔、多节点”空间结构的大尺度复合生态廊道建设思路,从蓝、绿、灰3个功能空间维度统筹实施“山水林田湖草沙”系统保护与修复,以及城市乡村绿化美化建设,构建完整生态廊道结构,同时从“生态用地空间拓展、廊道生态基底保护、廊道空间结构修复、河流湿地景观格局优化、水资源统筹管理、野生动物栖息地修复设计、高原特色城乡风貌重塑、多元资金筹措、生态产品价值实现”等方面提出了策略和建议。文章提出的构建思路及实施策略,将为拉萨“三个百廊”的“百里生态绿廊”建设提供参考,助力拉萨生态文明高质量发展和国家生态文明高地创建。

参考文献:

- [1] WILSON E, WILLIS E. Applied Biogeography [M]. Cambridge: Harvard University Press. 1975: 522-534.
- [2] FORMAN R T T. Landscape Ecology [M]. New York: Wiley, 1986: 121-155.
- [3] FORMAN R T T. Land Mosaics: the Ecology of Landscape and Regions [M]. London: Cambridge University Press, 1995: 35-38.
- [4] 朱强,俞孔坚,李迪华.景观规划中的生态廊道宽度[J].生态学报,2005(9):2406-2412.
- [5] 穆少杰,周可新,方颖,等.构建大尺度绿色廊道,保护区域生物多样性[J].生物多样性,2014,22(2):242-249.
- [6] LIU Xiangping, ZHANG Zhen, LI Lingyu, et al. Comprehensive evaluation of the evolution of ecological network structure in Tianjin, China from a multi-dimensional perspective [J]. The journal of applied ecology, 2021, 32(5): 1554-1562.
- [7] 张百平.中国南北过渡带研究的十大科学问题[J].地理科

- 学进展, 2019, 38 (3): 305-311.
- [8] 余付勤, 张百平, 王晶, 等. 国外大尺度生态廊道保护进展与秦岭国家公园建设 [J]. 自然资源学报, 2021, 36 (10): 2478-2490.
- [9] 滕明君, 周志翔, 王鹏程, 等. 基于结构设计与管理的绿色廊道功能类型及其规划设计重点 [J]. 生态学报, 2010, 30 (6): 1604-1614.
- [10] 王川. 拉萨河畔60日: 拉萨河流域的自然生态与人文景观 [M]. 广州: 广东人民出版社, 2001.
- [11] 胡军, 格桑卓玛, 张东东, 等. 拉萨周边及青藏公路沿线典型植被分布的调查 [J]. 西藏科技, 2021 (3): 25-27.
- [12] 郭纪光, 蔡永立, 罗坤, 等. 基于目标种保护的生态廊道构建: 以崇明岛为例 [J]. 生态学杂志, 2009, 28 (8): 1668-1672.
- [13] 易晓阳, 刘顺, 关军洪. 北京奥体森林公园生态廊道的景观规划与修复 [J]. 现代园艺, 2014 (16): 91.
- [14] 左莉娜. 基于生物多样性理论的城市生态廊道系统构建研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [15] 张龙. 城市河道生态景观改造研究: 以社旗县潘河景观设计为例 [D]. 昆明: 西南林业大学, 2015.
- [16] 孙大江, 杜若英, 蒙宇, 等. 论蜀北翠云廊生态廊道文化意义 [J]. 沈阳农业大学学报 (社会科学版), 2009, 11 (3): 354-357.
- [17] 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.
- [18] 图登克珠. “一带一路”背景下西藏建设面向南亚开放重要通道的战略选择 [J]. 西藏民族大学学报 (哲学社会科学版), 2017, 38 (1): 11-14, 155.
- [19] 宁艳杰. 城市景观生态问题的探讨 [J]. 城市管理与科技, 2005 (6): 248-250.
- [20] 黄克亮. 生态安全视域下粤港澳大湾区生态安全屏障建设探究 [J]. 探求, 2020 (4): 60-68, 116.
- [21] 宁小斌, 吴协保, 翁怡琳, 等. 西藏自治区沙化土地分布特征研究 [J]. 中南林业调查规划, 2022, 41 (4): 69-72.
- [22] 张凯, 陶德树. 湖南省怀化市生态廊道规划思路与实践探讨 [J]. 中南林业调查规划, 2022, 41 (4): 53-56.
- [23] 刘世庆, 巨栋. 长江绿色生态廊道建设总体战略与实现路径研究 [J]. 工程研究-跨学科视野中的工程, 2016, 8 (5): 561-571.
- [24] 杨雪蕾, 王鹏. 基于生物多样性的生态廊道规划策略研究 [J]. 建筑与文化, 2018 (10): 121-123.
- [25] 张定青, 曹象明, 张崇. 西安地区“泾渭水系”生态廊道建构理念与方法研究 [J]. 中国园林, 2012, 28 (6): 113-117.
- [26] 魏光辉, 周海鹰, 徐继红. 塔里木河流域生态廊道治理与修复对策 [J]. 中国水利, 2023 (6): 19-23.
- [27] 侯亚琴, 赵天如, 何博, 等. 特大城市复合型生态廊道规划研究: 以武汉东西山系生态廊道为例 [J]. 城市建筑, 2022, 19 (24): 172-176.
- [28] 官卫华, 何流, 姚士谋, 等. 城市生态廊道规划思路与策略研究: 以南京为例 [J]. 现代城市研究, 2007 (1): 51-58.
- [29] 吴晓春. 我国水生生物保护的生态补偿制度与措施研究 [C] //2014 水域生态环境修复学术研讨会. 2014.
- [30] 刘斯焱, 曹虹, 舒勇. 拉萨市湿地保护现状及保护对策 [J]. 中南林业调查规划, 2023, 42 (1): 29-32, 55.
- [31] 杨云峰. 城市湿地公园中鸟类栖息地的营建 [J]. 林业科技开发, 2013, 27 (6): 89-94.
- [32] 武正军, 李义明. 生境破碎化对动物种群存活的影响 [J]. 生态学报, 2003, 23 (11): 2424-2435.
- [33] 兰桂环. 城市景观廊道初探 [J]. 河北林业科技, 2013 (4): 58-61.
- [34] 封加平. 多途径建立生态产品价值实现机制 [J]. 中国林业产业, 2022 (12): 2.
- [35] 张荣贵, 贾亦俭. 浙中生态廊道探索与实践 [J]. 城乡建设, 2018 (1): 44-46.

(上接第34页)

- [7] 瞿跃辉, 陈利, 陈忠明. 基于GF-2影像的面向对象植被信息提取研究 [J]. 中南林业调查规划, 2020, 39 (2): 29-33.
- [8] 邢元军, 旦增. 基于面向对象的高分辨率影像的森林植被变化信息提取研究 [J]. 中南林业调查规划, 2010, 29 (4): 34-37.
- [9] 李恒, 臧卓, 唐究. 基于遥感影像的林地变化检测方法 [J]. 中南林业调查规划, 2021, 40 (4): 33-39, 67.
- [10] 严恩萍, 棘玉, 尹显明, 等. 基于无人机影像自动检测冠层果的茶快速估产方法 [J]. 农业工程学报, 2021, 37 (16): 39-46.
- [11] 周先锋. 汉寿做强做大油茶特色产业 [J]. 中国林业, 2011 (15): 27.
- [12] 王春媛. 遥感图像几何校正及目标识别技术研究 [D]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学, 2014.
- [13] 曾文, 林辉, 李新宇, 等. 基于高景一号遥感影像的林地信息提取 [J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40 (7): 32-40.
- [14] CHERIYADAT, ANIL M. Unsupervised Feature Learning for Aerial Scene Classification [J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2014, 52 (1): 439-451.
- [15] 刘婧怡, 汤旭光, 常守志, 等. 森林叶面积指数遥感反演模型构建及区域估算 [J]. 遥感技术与应用, 2014, 29 (1): 18-25.

湖南省栎类削度方程模型研建

邹泽林¹, 米玛次仁², 王金池¹, 贺蔚成¹, 黄鑫¹, 兰俊宇³, 曹文昊³

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;
3. 中南林业科技大学, 湖南长沙 410004)

摘要:以湖南省栎类为研究对象, 基于157株样木的直径-树高干形数据, 拟合3种简单削度方程和3种可变参数削度方程。选取常用的模型评价指标, 结合模型残差图和模型相对排序法, 对6个模型进行综合对比评价, 利用“留一法”对模型进行适用性检验。结果表明: 6种削度方程的确定系数 R^2 和预估精度 P 分别超过0.94和99%, 模型拟合效果较好; 3种简单削度方程在树干基部均存在明显的系统偏差, 而可变参数削度方程可有效减少这种系统偏差, 拟合效果均优于简单削度方程; 从模型评价指标和相对排序值可以看出, 除MSE外, 模型4的其余5项指标均在6个模型中表现最好, 且模型4的整体排序值最小, 可作为湖南省栎类的最优削度方程。

关键词:栎类; 削度方程; 可变参数模型; 湖南省

中图分类号: S792.18; S758 文献标识码: A 文章编号: 1003-6075 (2023) 04-0063-07

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.012

Construction of Taper Equation for *Quercus* in Hunan Province

ZOU Zelin¹, Mimaciren², WANG Jinchi¹, HE Weicheng¹,
HUANG Xin¹, LAN Junyu³, CAO Wenhao³

1. Central South Academy of Inventory and Planning of NFGA, Changsha 410014, Hunan, China;
2. Forestry Inventory and Planning Institute of Xizang Autonomous Region, Lhasa 850005, Xizang, China;
3. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan, China)

Abstract: Taking *Quercus* in Hunan Province as the research object, three simple taper equations and three variable-parameter taper equations were fitted based on the diameter-tree height stem taper data of 157 sample trees. The commonly used evaluation indexes on models were selected, and combined with the graph of the model residuals and model relative ranking method, the comprehensive evaluation on comparison of the six models was carried out. And the applicability of the models was tested by using leave-one-out method. The results showed that the R^2 (coefficient of determination) and P (prediction accuracy) of all the six taper equations were more than 0.94 and 99%, respectively, indicating good fitting effects. There were significant system deviations at the base of the trunk of the three simple taper equations, while the variable parameter taper equations could effectively reduce the system deviation, of which the fitting effects were all better than the simple taper equations. According to the evaluation indexes and relative ranking values of the models, except

* 收稿日期: 2023-11-10

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

作者简介: 邹泽林 (1991—), 男, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 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。

for MSE, the other 5 indexes of model 4 all performed best among the six models, and had the minimum overall ranking value, which can be used as the optimal taper equation of *Quercus* in Hunan Province.

Key words: *Quercus*; taper equation; variable-parameter model; Hunan Province

林木材积作为基本测树因子,不仅是森林资源调查监测的重要指标,也是森林经营管理的主要输出目标^[1-2]。目前,国内外常通过材积表、材积模型和削度方程等方法对林木材积进行预估。其中,削度方程是估算材积最可靠的方法之一,能同时保证较高的预估精度和较强的灵活性^[3-5],不仅能预估全树干立木材积,还能预估树干上任意部位直径、任意直径处距树干基部的高度以及树干上任意分段的材积^[6]。此外,削度方程还广泛用于出材率表编制、优化造材、林木三维可视化等工作中^[7-8]。

至今,国内外学者提出了众多削度方程模型,根据模型形式,可分为简单削度方程、分段削度方程和可变参数削度方程。其中,简单削度方程参数求解相对简单、应用方便,但不能准确反映树干干形变化且无法很好地外推^[5];分段削度方程则能很好地描述复杂的树干干形,但模型参数较多、求解困难,对最优连接点的确定和估计仍具有挑战性^[5,9];可变参数削度方程能描述树干干形的连续变化,模型灵活性强且易于参数化,对树干材积和直径的预估优于分段模型^[5,10-13]。可变参数削度方程广泛用于描述干形变化和材积估算,是未来发展的方向^[14]。

为准确预测单木和林分的收获量、出材量,有必要建立准确适用的树种削度方程。2021年中国林草生态综合监测成果显示,栎类林的面积、蓄积均位于湖南省乔木林前列。本文以湖南省栎类为研究对象,拟合6种削度方程,通过模型评价指标、残差图、模型相对排序值分析等对模型进行检验和对比评价,以期编制湖南省栎类出材率表提供科学依据,完善湖

南省主要树种林业数表模型体系。

1 数据来源与整理

本研究所用数据为157株栎类样木的实测直径、树高数据,其中14株为历史样木,143株为2023年采集的伐倒木。样木选取充分考虑了湖南省栎类资源分布情况及地形地貌、龄组、郁闭度等因素,以4 cm为径阶距设置4 cm、8 cm、12 cm、16 cm、20 cm、24 cm、28 cm、32 cm及以上共8个取样点,各径阶对应的林木株数分别为21株、21株、25株、21株、22株、19株、12株、16株。对每株样木,测量树干高度(即全树高, H)、胸径(D)以及树干相对高0.05 H 、0.1 H 、0.2 H 、0.3 H 、0.4 H 、0.5 H 、0.6 H 、0.7 H 、0.8 H 、0.9 H 处的带皮直径和去皮直径,用区分求积法计算每株样木的带皮和去皮材积,并计算相对树高 Z 。

$$Z = h/H \quad (1)$$

式中: h 为从地面(干基)起算至树干某处的高度,单位为m; H 为全树高,单位为m。

本次157株样木不存在异常数据,全部用来建模。样木概况见表1,绘制树干带皮直径与胸径 D 、相对树高 Z 的散点图,如图1。

表1 栎类样木概况

变量	样本数	最小值	平均值	最大值	标准差
胸径	157	3.5	16.8	38.9	8.97
树高	157	3.7	13.0	24.7	4.72

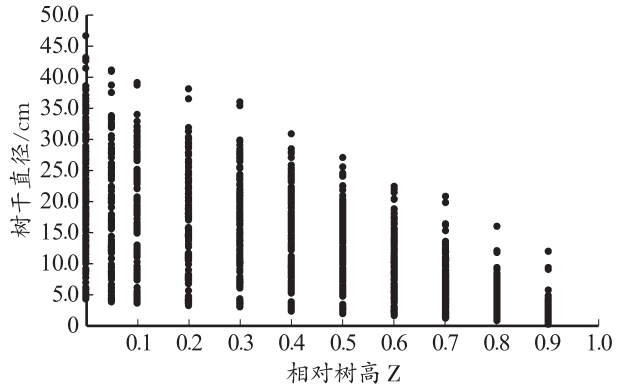
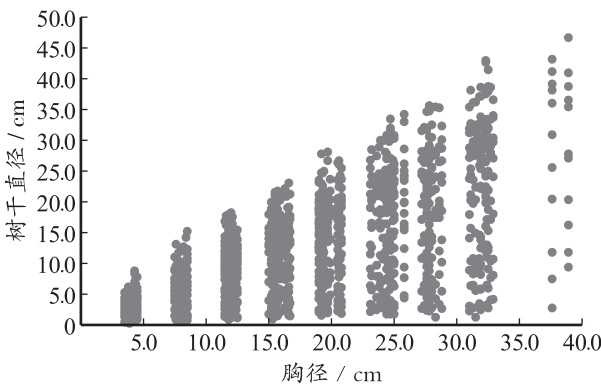


图1 树干带皮直径与胸径及相对树高的关系

2 研究方法

2.1 基础模型选择

根据前人提出和建立的不同削度方程,本研究选择应用较多的6种削度方程作为备选模型,各模型形式见表2。其中,模型1、2、3为简单削度方程,模型4、5、6为可变参数削度方程。各模型式中, D 为带皮胸径, H 为全树高, h 为从地面(干基)起算至树干某处的高度, d 为树干 h 高度处的带皮直径, Z 为相对树高, a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 为待估参数。

表2 备选削度方程

类别	模型编号	模型表达式
简单削度方程	1	$\frac{d}{D} = \left(\frac{H-h}{H-1.3} \right)^{a_0}$
	2	$d = a_0 D^{a_1} \frac{(H-h)^{a_2}}{H^{a_3}}$
	3	$\frac{d^2}{D^2} = a_0 + a_1 \frac{H-h}{H-1.3}$
可变参数削度方程	4	$\frac{d}{D} = \left(\frac{H-h}{H-1.3} \right)^{a_0+a_1 Z^{1/4}+a_2 Z^{1/2}+a_3(D/H)}$
	5	$\frac{d}{D} = \left(\frac{H-h}{H-1.3} \right)^{a_0+a_1 Z^{1/4}+a_2 Z^{1/2}}$
	6	$d = a_0 D^{a_1} (1-Z)^{(a_2 Z^2+a_3 Z+a_4)}$

2.2 模型检验评价

采用“留一法”对模型进行适用性检验。选择确定系数(R^2)、参数变动系数(CV)、估计值的标准差(SEE)、总相对误差(TRE)、平均系统误差(MSE)、平均百分标准误差($MPSE$)和预估精度(P)等7个评价指标进行备选模型的对比和评价,各指标计算公式如下:

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

$$CV_i = \sigma_i / a_i \times 100\% \quad (3)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad (4)$$

$$TRE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i} \times 100\% \quad (5)$$

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

$$MPSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| (y_i - \hat{y}_i) / \hat{y}_i \right| \times 100\% \quad (7)$$

$$P = \left[1 - t_{0.05} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n(n-p)}} / \frac{\Delta}{\bar{y}} \right] \times 100\% \quad (8)$$

式(2)~(8)中: y_i 为树干直径的实测值; \hat{y}_i 为模型预估值; \bar{y} 为实测值的平均值; Δ 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; a_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。

由于选取的模型评价指标较多,为更直观地获取众多评价指标的总体情况,采用相对排序方法^[15]反映不同模型综合指标中的排序情况,给出各模型在所有备选模型中的准确定位。模型相对排序值的计算公式如下:

$$Rank_i = 1 + \frac{(m-1)(S_i - S_{\min})}{(S_{\max} - S_{\min})} \quad (9)$$

式(9)中: $Rank_i$ 表示模型 i 的排序值($i=1, 2, \dots, m$); S_i 是模型 i 的统计指标值(R^2 、 SEE 、 TRE 等); S_{\min} 和 S_{\max} 分别为 S_i 的最小值和最大值; m 为模型个数。由于 R^2 和 P 越大,模型拟合效果越好, TRE 和 MSE 存在负值,因此,分别取 $1-R^2$ 、 $1-P$ 、 TRE 的绝对值、 MSE 的绝对值用于计算相对排序值。对于 m 个模型,在该排序系统中,最优模型的相对顺序值为1,最差模型的相对顺序值为 m 。各模型整体排序值(Overall Rank)为各指标相对排序值的均值。

3 结果分析

3.1 模型拟合结果

利用ForStat软件分别拟合6种削度方程,各模型参数及评价指标见表3。所有模型参数的变动系数均在 $\pm 50\%$ 内,模型较为稳定。从评价指标来看,所有模型的 R^2 均超过0.94,最高的为模型4(0.9706),最低的为模型3(0.9438),模型拟合效果均较好。各模型的 SEE 均较小,且仅有模型3的 SEE 高于2.0;除模型1外,其余5个模型的 TRE 均在 $\pm 2\%$ 以内,其中模型4和模型5的 TRE 在 $\pm 1\%$ 以内,明显优于其他4种模型;对于 MSE 来说,除模型2、3、6外,其余3种模型的 MSE 均在 $\pm 3\%$ 以内,最小的为模型1仅有0.81%,但所有模型的 MSE 均在 $\pm 5\%$ 以内,模型系

表3 各削度方程拟合结果

模型	参数及参数变动系数				
	a_0 (CV)	a_1 (CV)	a_2 (CV)	a_3 (CV)	a_4 (CV)
1	0.769 151(0.71%)				
2	1.521 013(3.00%)	0.913 656(1.59%)	0.830 704(0.80%)	0.834 115(2.82%)	
3	-0.094 12(-1.89%)	1.088 09(1.14%)			
4	1.908 98(5.32%)	-3.806 11(-6.81%)	2.706 9(6.64%)	0.030 172(32.87%)	
5	1.942 253(5.22%)	-3.804 51(-6.83%)	2.709 2(6.66%)		
6	1.533 411(2.08%)	0.912 184(0.75%)	0.652 93(27.42%)	-0.900 39(-29.17%)	1.129 63(8.92%)

模型	统计指标						
	R^2 (Rank)	SEE (Rank)	TRE (Rank)	MSE/% (Rank)	MPSE/% (Rank)	P/% (Rank)	Overall Rank
1	0.957 7(3.41)	1.83(3.60)	3.27(6.00)	0.81(1.00)	13.59(4.94)	99.26(4.34)	3.88
2	0.965 3(1.97)	1.66(2.11)	-1.69(3.02)	-3.34(4.56)	12.92(3.45)	99.37(2.00)	2.85
3	0.943 8(6.00)	2.11(6.00)	-1.65(2.95)	-4.36(6.00)	14.07(6.00)	99.19(6.00)	5.49
4	0.970 6(1.00)	1.53(1.00)	-0.62(1.00)	-2.49(3.37)	11.82(1.00)	99.41(1.00)	1.39
5	0.969 8(1.13)	1.55(1.15)	-0.83(1.40)	-2.51(3.40)	11.94(1.27)	99.40(1.13)	1.58
6	0.966 1(1.83)	1.64(1.96)	-1.55(2.76)	-3.31(4.52)	12.70(2.95)	99.37(1.86)	2.64

统误差较小；所有模型的 $MPSE$ 均小于 15%、预估精度 P 均高于 99%，且都以模型 4 和模型 5 表现最好。

对比 3 种简单削度方程和 3 种可变参数削度方程可知，除 MSE 外，在其余指标上，可变参数削度方程的表现均优于简单削度方程。整体来看，所有模型的各项指标表现均较好，模型拟合效果良好。

3.2 模型评价与检验

3.2.1 残差图分析

为更直观地评价模型的拟合效果，分别以树高 h 高度处的直径 d 和相对树高 Z 为横坐标，绘制各模型

残差图，见图 2、图 3。可以看出，模型 1、2、3 在树干基部均存在较大的系统偏差、模型预估值大多偏小，且模型 3 在树干中部和顶部 ($Z \geq 0.5$) 也存在明显系统偏差，模型预估值偏大，而模型 1 和模型 2 表现相对较好，残差在 0 值上下分布较均匀，系统偏差不明显；与简单削度方程相比，模型 4、5、6 可有效减小系统偏差，特别是对树干基部的预估效果有明显提升，残差在 0 值上下分布较简单削度方程更加均匀，当 $Z=0$ 时，模型 4 和模型 5 表现相当且均优于模型 6，但模型 4 和模型 5 在 $Z=0.05$ 时仍存在一定

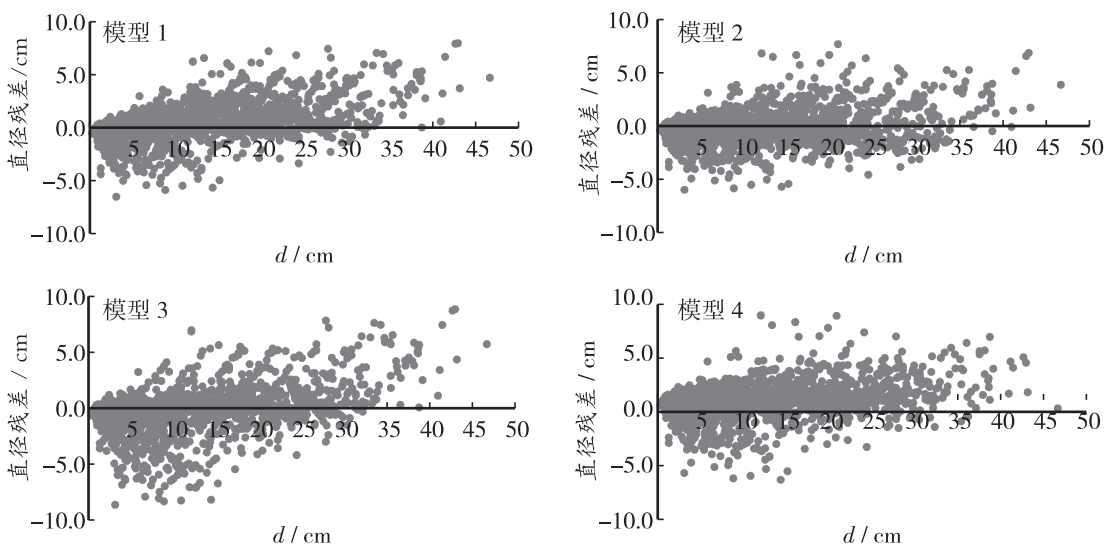


图2 各模型树干直径处残差分布

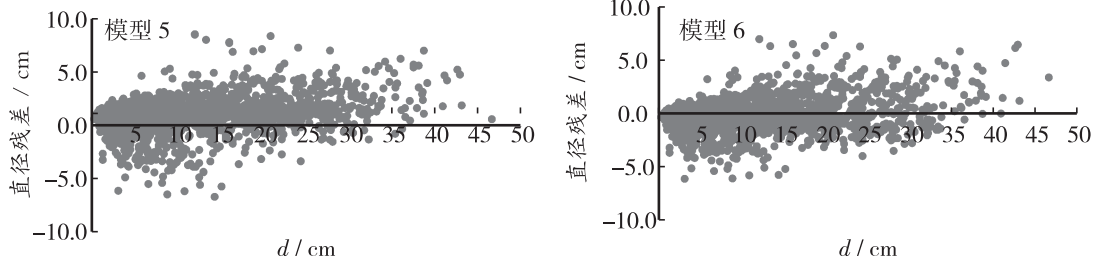


图2 各模型树干直径处残差分布(续)

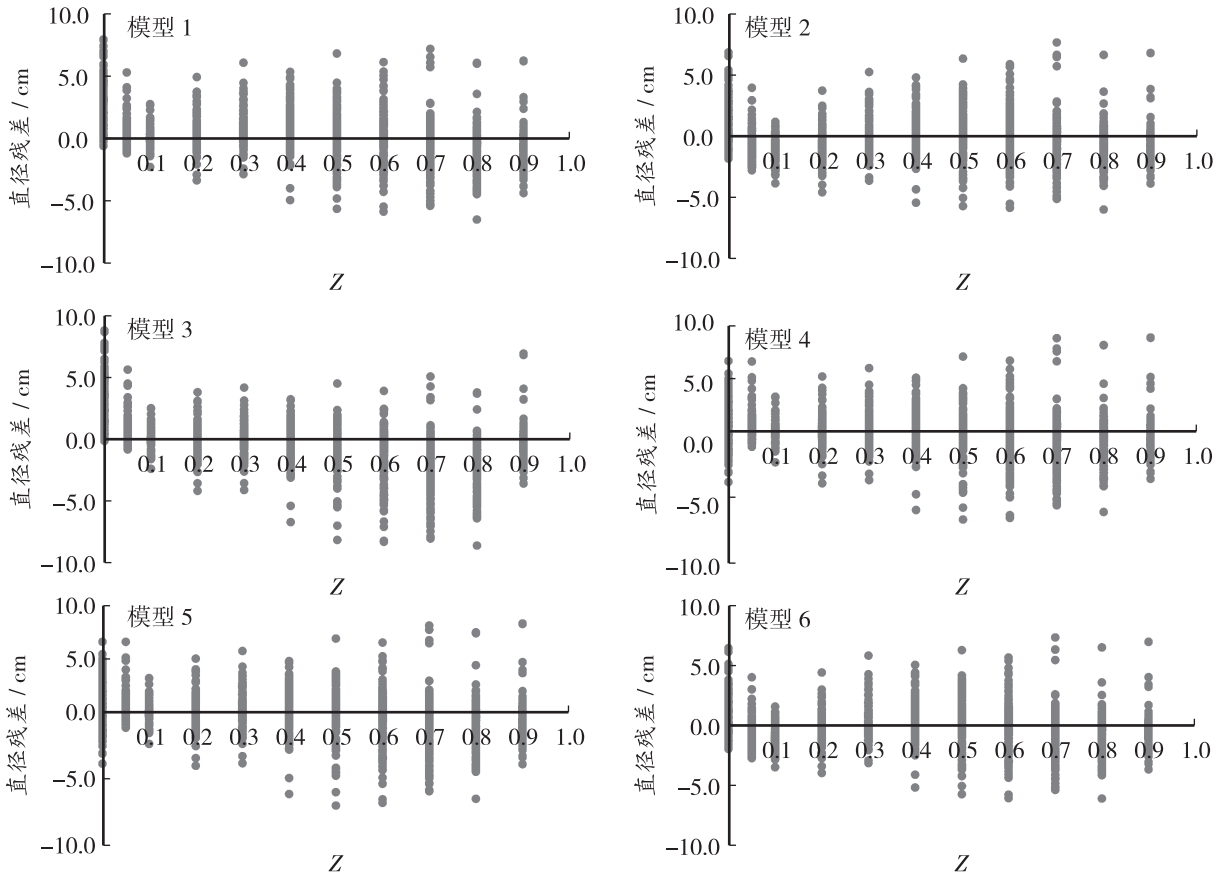


图3 各模型相对树高处残差分布

的系统偏差,而模型6在该相对树高处的拟合效果更好。对比6种模型可知,可变参数削度方程的残差分布更加均匀、系统偏差更小,整体拟合效果优于简单削度方程。其中,模型4和模型5在6种模型中表现最好且二者拟合效果接近,其次是模型6、模型2和模型1,模型3拟合效果最差。

3.2.2 模型相对排序值分析

计算各模型各评价指标的相对排序值如表3所示,同时,绘制雷达图(见图4)直观比较各评价指标的相对排序结果。在雷达图中,模型区域面积越大

代表模型表现越差。从表3和图4可知,3种简单削度方程中,模型2有3个指标表现较好、相对排序值小于3.0,其次是模型1,而模型3有5项指标均表现最差,雷达图面积表现为模型2 < 模型1 < 模型3;3种可变参数削度方程中,模型4和模型5各项指标均较为接近,模型4略优于模型5,其次是模型6,雷达图面积表现为模型4 < 模型5 < 模型6。对比6种模型可知,3种可变参数削度方程均优于简单削度方程,这与残差分析结果相同,模型整体排序值结果为:模型4 < 模型5 < 模型6 < 模型2 < 模型1 < 模型3。

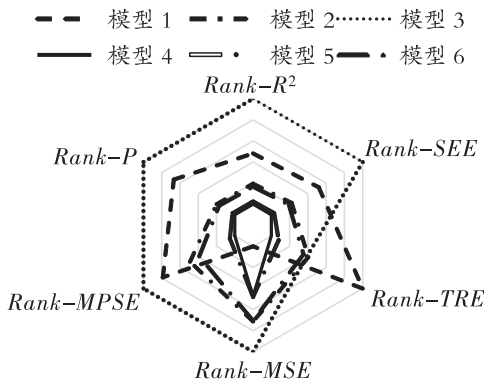


图4 各削度方程相对排序值排序结果

3.2.3 “留一法”检验结果

利用“留一法”对6种模型进行适用性检验,各项评价指标检验结果见表4。结果表明:6种削度方程预测精度相差不大,可较好地预测不同树高处的直径,各模型预测精度排序几乎与拟合结果一致。除预估精度外,其余评价指标排序也与拟合结果一致,6种模型中,以模型4表现最优,模型3最差。

表4 各削度方程检验结果

模型	R^2	TRE/%	MSE/%	MPSE/%	P/%
1	0.957 6	3.27	0.81	13.61	99.26
2	0.965 2	-1.67	-3.33	12.96	99.36
3	0.943 7	-1.65	-4.35	14.10	99.19
4	0.970 3	-0.61	-2.45	11.89	99.41
5	0.969 7	-0.83	-2.50	11.97	99.40
6	0.965 9	-1.55	-3.29	12.75	99.37

4 结论与讨论

4.1 讨论

简单削度方程往往不能很好地描述整个树干的干形,特别是在树干基部和顶部容易产生较大偏差^[16-17]。为此,在简单模型的基础上使参数随树干高度而变化,构建可变参数模型,以更精确地反映树干干形变化情况。国内外众多研究表明,可变参数削度方程的拟合效果优于分段削度方程和简单削度方程。从本文结果来看,本研究中选用的3种简单削度方程预估精度均在99%以上,模型适用性良好,但3种简单削度方程在树干基部均存在明显系统偏差,而可变参数削度方程基本无系统偏差,模型拟合效果明显优于简单削度方程,这与前人的研究结果一致^[9,18-20]。在生产

实际中,可变参数削度方程可作为首选模型。

树干干形受多种因素影响,如树木年龄、林分密度、树冠特征、气候因子等,将这些林木或林分因子引入削度方程可提高模型的预测精度^[21-23]。本研究中仅对6种基础削度方程进行拟合对比,并未考虑影响削度的各种因素。但实际上,本研究中的建模数据包含不同年龄、冠幅、冠长的样木,在今后的研究中可引入这些因子,建立包含多影响因素的模型,进一步提高模型精度和适用性。

4.2 结论

本文基于湖南省157株栎类实测数据,拟合6种常用的削度方程,通过模型评价指标、残差图、模型相对排序值分析,综合对比评价各模型拟合效果,采用“留一法”对模型进行检验,得到以下结论:

(1) 6种削度方程的确定系数和预估精度均较高,各项评价指标均表现良好,模型拟合效果较好。

(2) 3种简单削度方程均存在明显系统偏差,而可变参数模型系统偏差不明显,可变参数模型拟合效果均优于简单削度方程。

(3) 综合模型拟合和检验结果,6种备选削度方程中,模型4的评价指标、残差分布等结果均最优,可作为湖南省栎类的最优削度方程。

参考文献:

- [1] 孟宪宇. 测树学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [2] 曾伟生, 廖志云. 削度方程的研究 [J]. 林业科学, 1997, 33 (2): 32-37.
- [3] FILHO A F, SCHAAF L B. Comparison between predicted volumes estimated by taper equations and true volumes obtained by the water displacement technique (xylometer) [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1999, 29 (4): 451-461.
- [4] JIANG L C, BROOKS J R, WANG J X. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia [J]. Forest Ecology & Management, 2005, 213 (1-3): 399-409.
- [5] MCTAGUE J P, WEISKITTEL A R. Evolution, history, and use of stem taper equations: a review of their development, application, and implementation [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2020 (2): 210-235.
- [6] KOZAK A. My last words on taper equations [J]. The Forestry Chronicle, 2004, 80 (4): 507-515.
- [7] LI F R, LIU H Z, LV Y F, et al. Compatible stem taper and volume ratio equation for Korean pine [J]. Journal of Northeast Forestry University, 1996, 7 (4): 1-6.
- [8] 马载阳, 张怀清, 李永亮, 等. 林木多样性模型及生长模拟 [J]. 地球信息科学学报, 2018, 20 (10): 1422-1431.
- [9] ZHANG S S, SUN J J, DUAN A G, et al. Variable-exponent taper

equation based on multilevel nonlinear mixed effect for Chinese fir in China [J]. *Forests*, 2021, 12 (2): 126.

- [10] KOZAK A. A variable-exponent taper equation [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1988, 18 (11): 1363-1368.
- [11] NEWBERRY J D, BURKHART H E. Variable-form stem profile models for loblolly pine [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1986, 16 (1): 109-114.
- [12] NEUNHAM R M. Variable-form taper functions for four Alberta tree species [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1992, 22 (2): 210-223.
- [13] SHARMA M, ZHANG S Y. Variable-exponent taper equations for jack pine, black spruce, and balsam fir in eastern Canada [J]. *Forest ecology and management*, 2004, 198 (1-3): 39-53.
- [14] 梅光义, 孙玉军. 国内外削度方程研究进展 [J]. *世界林业研究*, 2015, 28 (4): 44-49.
- [15] POUDEL K P, CAO Q V. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions [J]. *Forest Science*, 2013, 59 (2): 243-252.
- [16] MAX T A, BURKHART H E. Segmented polynomial regression applied to taper equations [J]. *Forest Science*, 1976, 22 (3):

283-289.

- [17] CAO Q V, BURKHART H E, MAX T A. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit [J]. *Forest Science*, 1980, 26 (1): 71-80.
- [18] 陈振雄, 贺东北, 肖前辉. 海南省桉树、木麻黄、马占相思削度方程研建 [J]. *中南林业调查规划*, 2012, 31 (3): 11-14, 23.
- [19] 胡开, 贺鹏, 龙圣智, 等. 海南省松树、橡胶树削度方程模型研建 [J]. *中南林业调查规划*, 2020, 39 (2): 51-56.
- [20] 常锦锦, 苗铮, 郝元朔, 等. 迎春5号杨树削度方程的建立与优化 [J]. *东北林业大学学报*, 2023, 51 (9): 59-66.
- [21] 张森森, 段爱国, 张建国, 等. 包含密度因子的杉木可变指数削度方程研制 [J]. *南方林业科学*, 2021, 49 (4): 51-56, 60.
- [22] DUAN A G, ZHANG S S, ZHANG X Q, et al. Development of a stem taper equation and modelling the effect of stand density on taper for Chinese fir plantations in Southern China [J]. *PeerJ*, 2016, 4: e1929.
- [23] 张中伟, 周根苗, 易焯, 等. 基于气候因子的杉木人工林削度方程构建 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2023, 43 (5): 49-57.

(上接第4页)

4.2 结论

以国家森林资源连续清查体系为依托,开展省级森林资源年度监测,利用2004—2019年的森林资源年度监测数据,对浙江省森林类型结构变化状况进行动态研究,较好地揭示了浙江省自2004年实施公益林建设以来,森林植被中长期演替的结构和方向。2004—2019年,在森林植被总体增幅有限的前提下,浙江省森林类型呈现出以结构变动为主的演变特征,阔叶林面积逐渐超过针叶林面积,阔叶林目前已成为浙江省的主要森林类型。

综合看,浙江森林植被的演替呈现出向地带性植被发展的特征。开展公益林建设的20年,也是木材消耗量不断减少的20年,浙江省的森林主要处于近自然演替之中,阔叶化倾向越来越明显。阔叶林类面积比例越高,表明森林结构越稳定。可以预见,今后一个时期,受到松材线虫病大面积危害的松树林,其生态恢复将主要向着阔叶林、针阔混交林的方向转移,浙江省的森林植被将继续向着阔叶化的方向演替,森林生态系统将更加稳定。

参考文献:

- [1] 何红艳, 郭志华, 肖文发, 等. 遥感在森林地上生物量估算中的应用 [J]. *生态学杂志*, 2007, 26 (8): 1317-1322.

- [2] 薛建辉. 森林生态学 (修订版) [M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [3] 国家林业和草原局. 中国森林资源报告 (2014—2018) [M]. 北京: 中国林业出版社, 2019.
- [4] 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, 19.
- [5] 罗致, 孙士博. 我国常见森林资源调查监测方法分析及应用 [J]. *中南林业调查规划*, 2022, 41 (1): 9-13.
- [6] 汪求来. 广东省天然林资源近35年动态变化分析 [J]. *广东林业科技*, 2014, 30 (3): 1-7.
- [7] 王洪荣, 张文, 刘波, 等. 四川省天然乔木林动态变化规律分析 [J]. *四川林业科技*, 2021, 42 (4): 20-25.
- [8] 卢金宝, 邵华亮, 马雪清, 等. 浙江省东部和西部林木持久性和树种结构25年变化对比研究 [J]. *浙江林业科技*, 2021, 41 (3): 39-45.
- [9] 卢金宝, 邵华亮, 金鑫, 等. 浙江省东西部25年乔木林持久性对比研究 [J]. *浙江林业科技*, 2022, 42 (2): 48-54.
- [10] 任典挺, 张军, 金鑫, 等. 台州市乔木林树种结构变化模拟与预测 [J]. *浙江农林大学学报*, 2023, 40 (3): 608-616.
- [11] 游昌顺, 张建章, 瞿懋良. 浙江龙泉公益林生长与树种结构变化研究 [J]. *浙江林业科技*, 2012, 32 (5): 21-25.
- [12] 陶吉兴, 季碧勇. 浙江森林资源一体化监测理论与实践 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2016.
- [13] 陶吉兴. 浙江森林资源调查监测鉴知 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2022.

中国岩溶地区石漠化防治总体形势与策略分析

彭 玺, 吴协保, 黄俊威, 张亚威, 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: 为科学把握我国岩溶地区石漠化土地防治形势, 通过挖掘与剖析四次石漠化调查数据, 得出如下结论: 2005—2021年, 可比口径内, 我国石漠化土地面积净减少 622.3 万 hm^2 , 年均缩减幅度加大, 石漠化程度减轻, 区域林草植被生态状况持续改善; 岩溶生态系统具有先天脆弱性, 且我国仍有石漠化土地面积 722.3 万 hm^2 , 下阶段治理的石漠化土地具有难治理、成本高等特征; 石漠化坡耕地面积 176.0 万 hm^2 , 加之高强度耕作, 是石漠化扩展与水土流失的重要来源区; 2016—2021年间, 因自然灾害形成新的石漠化土地面积仍达 6.1 万 hm^2 , 石漠化土地局部扩展难以消除。针对当前中国岩溶地区石漠化治理成效与防治制约因素, 提出了以新发展理念为指引, 实施“预防、治理、增效和监管”总体策略。

关键词: 中国; 岩溶地区; 石漠化土地; 防治; 总体形势

中图分类号: S788; X171.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6075 (2023) 04-0070-05

DOI: 10.16166/j.cnki.cn43-1095.2023.04.013

Analysis on Overall Situation and Strategy of Rocky Desertification Control in Karst Areas of China

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

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

Abstract: In order to scientifically grasp the situation of rocky desertification prevention and control in karst areas of China, by excavating and analyzing previous four term rocky desertification survey data, the results are as follows: From 2005 to 2021, the net reduction area of rocky desertification in China was 6.223 million hm^2 within comparable caliber, the average annual reduction rate was accelerated, and the degree of rocky desertification was reduced, and the ecological status of forest and grass in the region continued to improve; The karst ecosystem has inherent vulnerability, and there is still 7.223 million hm^2 of rocky desertification land in our country, the control of rocky desertification land in the next stage has the characteristics of difficult control and high cost; The area of rocky desertification sloping farmland reaches 1.76 million hm^2 , coupled with high intensity cultivation, which is an important source of rocky desertification expansion and soil erosion; From 2016 to 2021, the area of new rocky desertification land formed by natural disasters still reached 61 000 hm^2 , and the partial expansion of rocky desertification land was difficult to eliminate. In view of the control effect and

* 收稿日期: 2023-10-09

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: 彭玺 (1988—), 男, 湖南长沙人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事林草资源与石漠化调查监测、林业规划设计研究工作。

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。

control constraints of rocky desertification in karst areas of China, this paper puts forward the overall strategy of "prevention, control, efficiency and supervision" which guided by the new development concept.

Key words: China; karst area; rocky desertification land; control; the overall situation

自20世纪80年代以来,土地石漠化逐步成为中国三大生态问题之一,是中国岩溶地区的首要生态问题,严重制约着区域社会经济可持续发展^[1-3]。1998年长江流域大洪水后,生态建设得到党和国家高度重视。2008年石漠化综合治理工程启动并持续推进,我国石漠化土地面积持续扩展、程度加重的态势得到扭转。如今,中国石漠化治理呈现出面积持续减少、缩减幅度加大、石漠化程度减轻、生态状况总体好转的良好局面^[4-8]。然而,岩溶地区在中国属典型生态脆弱区,“缺少土水”“富钙偏碱”等特性制约着石漠化土地生态修复与治理成果巩固,且石漠化土地扩展的驱动因素依然存在,石漠化治理具有长期性、艰巨性和复杂性,防治形势依然严峻^[9-10]。本文结合中国岩溶地区四次石漠化调查成果,全面剖析现阶段中国石漠化土地防治形势,以新发展理念为指引,提出了新时代石漠化防治总体策略,对持续推进石漠化综合治理与巩固治理成果具有重要借鉴意义。

1 石漠化综合治理的主要成效

1.1 石漠化土地面积缩减加快,程度减轻

据国家林业和草原局组织开展的四次岩溶地区石漠化调查数据,在2005年、2011年、2016年、2021年同口径内,石漠化土地面积分别为1 296.2万 hm^2 、1 200.2万 hm^2 、1 007.0万 hm^2 、673.9万 hm^2 (不含第四次调查新增的2个省辖区的岩溶土地面积)。2005—2021年间,石漠化土地面积减少622.3万 hm^2 ,年均减少38.9万 hm^2 ,年均缩减率为4.17%。2012年以来减少的石漠化土地面积占2005—2021年减少总量的84.6%,年均缩减率较2012年前高4.3%。2021年,岩溶地区石漠化发生率为14.9%,较2016年、2011年、2005年分别下降7.4%、11.6%、13.8%,石漠化发生率持续下降。2021年石漠化土地集中分布的滇桂黔三省,其石漠化发生率为15.6%,高于岩溶地区石漠化发生率0.7%,较2005年下降15.6%,发生率的下降速率比其他岩溶地区高1.8%,三省(区)的石漠化土地缩减幅度较快^[4,11]。

石漠化程度指数越小,石漠化程度越轻。2021年石漠化程度指数为1.8,分别较2016年、2011年与2005年降低0.03、0.10和0.26;2021年轻度、

中度、重度、极重度石漠化土地面积所占比重为40.4:42.1:16.6:0.9,与2005年各程度的石漠化土地面积所占比重27.5:45.7:22.6:4.2相比,轻度石漠化土地面积所占比重显著增加,重度、极重度石漠化土地面积明显减少,表明我国石漠化程度持续降低。

1.2 林草植被结构优化,林草生态状况持续向好

结合四次石漠化调查结果,截至2021年底,岩溶土地上乔木型植被面积达2 133.6万 hm^2 ,占开展植被调查面积的50.7%,与2005年相比,乔木型植被面积增加1 090.0万 hm^2 ;灌木型面积略有增加,增加量为9.1万 hm^2 ,而草本型、无植被型面积分别由2005年的212.8万 hm^2 和28.1万 hm^2 下降至2005年的119.7万 hm^2 和6.1万 hm^2 ,岩溶地区林草植被以乔木型、乔灌型为主的特征愈发突出。2021年,岩溶地区植被总盖度达65.4%,较2016年、2011年、2005年分别提高4.0%、7.9%和11.9%;石漠化土地上的植被总盖度为44.4%,比2005年、2011年、2016年分别增长10.6%、5.4%、3%,植被总盖度逐步提升^[4]。2000—2021年间,88.47%的岩溶地区的归一化植被指数(NDVI)呈增长趋势,4.96%的区域基本不变,6.57%的区域有所减小,而在2012年前后归一化植被指数分别以每年0.30%和0.44%的速率呈显著的增加趋势,后期增速较前期有较大的提高,体现岩溶地区林草植被盖度逐步提升的趋势。

2 石漠化防治制约因素

2.1 岩溶土地具有与生俱来的生态脆弱性

岩溶土地具有独特的双层水文结构,水文过程响应迅速,且基岩裸露度高、土壤总量少、土壤矿质养分供应不足、土层瘠薄、保水保肥能力差、抵御灾害能力弱、恢复难,具有先天脆弱性,属我国典型的生态脆弱地区。首先,岩溶土地成土速率极其缓慢。碳酸盐岩不溶物含量普遍低于5%,生成1 cm厚的土层需要4 000~8 500年的时间。其次,岩溶土地土层薄。岩溶土地土层厚度小于20 cm的面积为2 106.4万 hm^2 ,占岩溶土地面积的43.5%,而土层厚度小于40 cm的面积达2/3多。最后,岩溶地区容许流失的土壤总量小。根据《岩溶地区水土流失综合治理规范》(SL 461—2009),

岩溶地区土壤容许流失量为 $50\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ ，不到全国其他区域容许土壤流失量 $500\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 的十分之一^[11]。有限的土壤极为珍贵，如果持续流失，本身瘠薄的岩溶土地将永久失去生产能力，尤其是白云岩区，其岩性致密、裂隙不发育，土层极薄，不保水不保肥，生态修复难度大。此外，岩溶土地具有富钙、偏碱、黏重等独特性状，与生态环境异质性高，对生态修复植物具有很强的选择性及排他性。

2.2 石漠化土地生态修复难度大

截至2021年底，我国仍有岩溶石漠化土地面积 $722.3\text{万}\text{hm}^2$ 。立地条件较好的石漠化土地已逐步得到治理，下阶段将要治理的石漠化土地基本是“立地条件恶劣”“缺水少水”的严重区域，包括重度与极重度石漠化土地面积 $118.0\text{万}\text{hm}^2$ ，至今未实施工程治理石漠化土地面积 $447.1\text{万}\text{hm}^2$ ，其中基岩裸露度在50%以上的面积超过25%，坡度在 15° 以上的超过60%，治理任务艰巨。与此同时，石漠化土地分布范围广，分布区地貌类型多样，地形复杂，涉及山地、高原、丘陵、平原、洼地、峡谷、槽谷、峰林、峰丛等多种地貌地形，自然地理条件差异显著，对治理技术要求高；图斑破碎化严重，其中小于 2hm^2 的图斑达3812.3万个，占图斑数的90.8%，导致治理成本较高；岩溶土地的先天缺陷导致区域林草植被建设具有成活率低、生长速度慢的特点，生态修复难度大。

2.3 治理成果巩固压力大

历经20多年的大规模生态建设，尤其是石漠化综合治理工作的持续推进，大量石漠化土地经生态修复后转变为潜在石漠化土地。2005—2021年间，新增潜在石漠化土地面积达 $419.9\text{万}\text{hm}^2$ ；因基岩裸露度和地表土壤状况在短期内不可能有实质性改变，而新形成的林草植被群落稳定性差，一旦遇到极端气候和不合理的人为干扰，极易形成新的石漠化土地。新形成的石漠化土地的植被恢复到稳定的群落系统，需要一个漫长的过程。相关研究表明，石漠化土地从退化的草本群落阶段恢复至灌丛、灌木林阶段需要近20年，至乔木林阶段约需47年，至稳定的顶极群落阶段则需近80年。这也表明石漠化土地生态修复成果巩固具有长期性、艰巨性和复杂性。因生态效益补偿（补助）标准低，当种其他经济性物种的收益显著高于现行生态保护补助标准时，如已纳入森林生态效益补偿的公益林，个人与集体森林每年的补偿资金仅 $225\text{元}/\text{hm}^2$ ，远低于区域土地承包租金（广西每

年的土地承包租金普遍超过 $1500\text{元}/\text{hm}^2$ ），毁林毁草垦荒、过度樵采、过牧等人为活动则难以根除，这也给治理成果的巩固成效增添了不确定性。

2.4 岩溶地区水土流失问题突出

岩溶地区坡度大于 5° 的坡耕旱地面积 $599.6\text{万}\text{hm}^2$ ，占区域耕地总面积的63.0%，占旱地面积的84.7%。陡坡耕种问题依然突出，岩溶地区 15° 以上坡耕地面积为 $221.0\text{万}\text{hm}^2$ ，占坡耕地总面积的29.8%；而 25° 以上仍耕作的坡耕地面积为 $33.1\text{万}\text{hm}^2$ ，占坡耕地总面积的4.5%。随着国家耕地“非粮化”“非农化”政策实施，生态脆弱的石漠化土地仍难以实施生态修复，且现阶段石漠化坡耕地没有安排专项资金实施治理，而岩溶地区耕地年均耕种指数高，人为扰动强烈。2021年岩溶地区水土流失面积 $1696.5\text{万}\text{hm}^2$ ，土壤流失量达1.12亿t，而岩溶地区坡耕地水土流失量 $6783.2\text{万}\text{t}$ ，占岩溶地区水土流失总量的60.3%，是区域水土流失的重要来源区，也是石漠化土地扩展的潜在危险区。

2.5 石漠化土地局部扩展依然存在

据《中国气候变化蓝皮书》（2021年）显示，1961—2021年间，西南岩溶地区的云南南部、贵州西部等地降雨量普遍呈现减少的趋势，年均减少量普遍在 $0.5\sim 1.5\text{mm}$ ，且岩溶地区极端强降水天气呈增多态势，暴雨日数明显增多。加之近年林业有害生物（森林病虫害）、火灾、地质灾害等仍频繁发生。自党的十八大以来，岩溶地区八个省（区、市）的森林病虫害累计发生面积为 $2700\text{万}\text{hm}^2$ ，森林火灾受害面积累计达 $4.4\text{万}\text{hm}^2$ 。2020年，仅云南省旱灾、洪涝、地质灾害和台风受灾面积共计达 $102.4\text{万}\text{hm}^2$ ，其中干旱受灾面积 $87.2\text{万}\text{hm}^2$ 。自然灾害的增加，不仅加剧了土地石漠化，进一步制约岩溶地区森林植被恢复，还对人民生命财产安全构成重大威胁。2016—2021年间，因自然灾害导致岩溶地区形成新的石漠化土地面积达 $6.1\text{万}\text{hm}^2$ ，石漠化土地局部扩展因自然因素的不确定性将会长期存在。

3 石漠化防治策略

3.1 预防策略

1) 依托天然林资源保护、森林生态效益补偿、草原生态保护补助奖励及自然保护地生态保护补偿等政策，完善林木采伐管理制度，严格征占用林地审批，强化林草资源林政执法，对石漠化土地及潜在石

漠化土地上的林草植被、水土资源等实施严格保护。依托岩溶生态系统自身的生态修复能力,保障岩溶地区林草资源稳定向好演替,优化岩溶生态系统结构与功能。

2) 遏制导致石漠化发生的自然、社会经济驱动因素,重点是减轻“三口”(人口、灶口和牲口)压力。通过开展生态移民,推进城镇化建设,引导劳务输出、人口有序流动,缓解石漠化区域人地矛盾,减轻石漠化土地生态承载力;优化农村能源结构,加大太阳能、水电、地热、沼气等新型清洁能源及商品化能源利用,减少薪材消耗;测算岩溶石漠化区域草地合理载畜量,科学调控岩溶地区牲畜数量,严控野外放养,间接保护岩溶生态环境,预防土地石漠化^[12]。

3.2 治理策略

1) 以石漠化问题为导向,对纳入国土空间造林绿化规划中的其他林地、其他草地、灌木林地、其他土地上的石漠化土地,实施人工造林、种草及封山育林,推进岩溶石漠化土地生态修复与国土绿化,加快岩溶地区林草植被恢复进程,达到固碳增汇目标^[13-14]。

2) 对植被总盖度低于50%、林草质量较差的退化防护林、低质低效林、中幼林及退化草地,采取退化防护林修复、低质低效林改造、中幼林抚育、退化草地改良等林草质量精准提升措施,提升岩溶生态系统服务功能^[15-16]。

3) 健全耕地休耕制度,改善耕地质量,提高耕地生产力。对交通便利、水源有保障的轻度、中度石漠化缓坡耕地,适度开展以坡改梯工程为重点的土地综合整治,通过砌石筑坎,平整土地,降缓耕作面坡度,并实施客土改良与施肥,增加土壤厚度与土地生产力,加强坡面生物篱及水利水保设施建设,改善耕作条件,建设高标准农田(地)^[17]。其余石漠化坡耕地可因地制宜推广石漠化坡耕地轮作、套作等保护性耕作模式,克服农林耕作连作障碍。

3.3 增效策略

1) 结合石漠化生态修复与林草质量精准提升,选择兼具高抗性和高经济效益的名特优品种及良种资源,发展特色林草、林药、林畜、林禽、珍稀树种等特色生态经济型产业,改善林草结构与质量。同时,开展深、精加工,培育新的衍生产品,延长产业链,提升农产品附加价值,培育绿色经济增长点,增强岩溶生态系统的生态服务功能与价值,推进岩溶石漠化治理由“增绿”向“提质”转变。

2) 强化岩溶地区非木质资源利用,充分挖掘岩溶地区丰富而独特的地文、生物与人文等景观资源,推进国家石漠公园、综合治理示范区和特色村镇等建设,发展乡村休闲旅游业,助推农村经济转型发展,更好服务于乡村振兴。

3.4 监管策略

依托高分遥感影像、人工智能、通信网络、无人机、大数据等新技术、新方法,完善石漠化调查监测技术指标体系与方法。在林草湿荒(石)一体化调查监测体系下,构建以石漠化定期调查与年度监测、面上调查与样地调查、专题调查与绩效监测相结合的石漠化防治调查监测预警体系。通过自动监测、连续监测、定位监测及专题研究等多途径采集数据,构建石漠化大数据智慧决策平台,纳入林草生态网络感知系统,实时监测我国石漠化土地动态演替情况,及时对工程建设进展及成效做出客观评价,并根据调查监测结果及时修正石漠化防治政策、技术与措施,为科学编制石漠化综合治理规划、开展治理作业设计和施工提供科学支撑,提升石漠化治理能力与管理水平^[18-20]。

4 结论

(1) 2005—2021年,可比口径内,我国石漠化土地面积净减少622.3万 hm^2 ,年均缩减幅度加大;石漠化程度指数下降了0.26,石漠化程度减轻;区域林草植被结构不断优化,植被盖度增加,区域生态状况持续改善,石漠化治理成效显著。

(2) 岩溶土地具有独特的双层水文结构,基岩裸露度高、土壤总量少、保水保肥能力差等先天脆弱性。我国仍有石漠化土地面积722.3万 hm^2 ,治理任务艰巨;石漠化土地转变为潜在石漠化土地面积达419.9万 hm^2 ,治理成果巩固任务重;石漠化坡耕地面积达176.0万 hm^2 ,高强度耕作是石漠化扩展与水土流失的重要来源区;仅2016—2021年因自然灾害形成新的石漠化土地面积达6.1万 hm^2 ,石漠化土地局部扩展难以消除,石漠化防治形势依然严峻。

(3) 根据当前中国岩溶地区石漠化分布实际与制约因素,以新发展理念为指引,遵循“山水林田湖草沙(石)”一体化保护与系统治理要求,采取防治并重、多措并举的系统治理、综合治理,即“预防、治理、增效、监管”的总体治理策略,保护好岩溶地区现有林草植被资源,加快石漠化土地生态修复进程,提升岩溶生态系统生态服务功能与价值,强

化石漠化防治过程监管与调控,以更好满足广大人民群众对美好环境和幸福生活的追求,实现岩溶地区人与自然和谐共生。

参考文献:

- [1] 潘春芳. 我国岩溶地区石漠化防治形势依然严峻 [N]. 中国绿色时报, 2012-06-15 (1).
- [2] 周光辉, 但新球, 白建华. 新形势下石漠化问题的新认识: 基于习近平同志的生态文明理论 [J]. 中南林业调查规划, 2015, 34 (1): 59-64.
- [3] 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.
- [4] 宁小斌, 吴协保, 黄俊威, 等. 岩溶地区第四次石漠化调查主要结果及防治形势分析 [J]. 林业资源管理, 2023 (3): 9-14.
- [5] 吴协保, 黄俊威, 宁小斌, 等. 珠江流域土地石漠化和河流泥沙含量的动态变化 [J]. 水土保持通报, 2021, 41 (3): 22-30.
- [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] 吴协保, 黄俊威, 宁小斌, 等. 长江经济带石漠化土地动态变化及原因探究 [J]. 中南林业调查规划, 2021, 40 (2): 59-64.
- [8] 吴照柏, 但新球, 吴协保, 等. 岩溶地区石漠化土地动态变化与原因分析 [J]. 中南林业调查规划, 2013, 32 (2):

62-66.

- [9] 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.
- [10] 吴协保, 屠志方, 李梦先, 等. 岩溶地区石漠化防治制约因素与对策研究 [J]. 中南林业调查规划, 2013, 32 (4): 68-72.
- [12] 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.
- [13] 殷建强. 贵州省石漠化生态恢复主要治理模式总结与探索 [J]. 贵州林业科技, 2005 (3): 56-60.
- [14] 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.
- [15] 王荣, 蔡运龙. 西南喀斯特地区退化生态系统整治模式 [J]. 应用生态学报, 2010, 21 (4): 1070-1080.
- [16] 司彬. 典型喀斯特石漠化地区植被恢复模式及其特征研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [17] 蒋忠诚, 罗为群, 邓艳, 等. 岩溶峰丛洼地水土流失及防治研究 [J]. 地球学报, 2014, 35 (5): 535-542.
- [18] 王晓红, 刘耀林, 彭恢铭. 应用RS和GIS技术监测石漠化的研究 [J]. 中国水土保持, 2006 (5): 47-49, 52.
- [19] 杨宁, 吴协保, 宁小斌, 等. 我国岩溶地区第四次石漠化调查的主要技术特点探析 [J]. 中南林业调查规划, 2023, 42 (1): 62-66.
- [20] 李梦先, 但新球, 吴协保, 等. 第三次石漠化监测主要技术特点与存在问题分析 [J]. 中南林业调查规划, 2018, 37 (3): 67-70.

(上接第52页)

参考文献:

- [1] 林煜国, 吴成亮, 侯方森. 林长制改革的理论解释、历史回顾与制度效应 [J]. 农业经济问题, 2023 (8): 17-30
- [2] 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.
- [3] 秦柳, 姚文玲. 林长制的治理逻辑与优化路径 [J]. 东岳论

丛, 2022, 43 (9): 81-88.

- [4] 柳锴. 安庆市林长制建设问题研究 [D]. 合肥: 安徽大学, 2022.
- [5] 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.
- [6] 李珺, 彭能舜, 李军. 长沙市林业综合监管平台的设计与实现 [J]. 湖南林业科技, 2022, 49 (4): 85-92.

《中南林业调查规划》第 42 卷总目次

第 1 期

林业经营与管理

- 西藏自治区 2014—2019 年沙化土地动态变化及演变特征 史伟,吴协保,刘庭威,翁怡琳,彭玺,宁小斌,刘伟(1)
- 探索湖南省森林公园生态旅游与森林康养融合发展新模式 邓长宁(5)
- 江西省“十四五”建设项目林地需求量预测 李建中,毛旭鹏,贺敏,肖姗姗,任琼(11)

生态建设

- 天保工程背景下天然林资源资产评估方法研究 余松柏,丁胜,魏安世,苏晨辉(17)
- 森林公园康养旅游发展策略探讨——以月岩国家森林公园为例 彭泰来,舒勇,黄哲,马立荣,黄俊威,刘金山(25)
- 拉萨市湿地保护现状及保护对策 刘斯垚,曹虹,舒勇(29)

科技应用

- 基于遥感生态指数的岳麓区生态环境质量评价及生态环境质量提升的建议 陆翔,杨传金,凌小可,李凤武(33)
- 基于 Arcpy 的长顺县国储林实施方案小班设计图自动出图方法优化
..... 欧丁丁,张琪,尹祺卿,周维,詹寿东,张梦斐(37)

专题研究

- 湘潭县森林健康评价研究 刘弘波,李凤武(43)
- 陇南市武都区花椒种植技术优化和产量提升策略 王新峰(48)
- 明溪县自然保护地整合优化探讨 唐扬龙,周原驰,岑伯军(51)

湖南省主要树种系列数表模型研建之一

- 湖南省主要树种单木和林分生长率模型研建 曾明宇,刘紫薇,杜志,王金池,曾伟生,邹泽林(56)

岩溶地区石漠化土地现状、动态及防治对策研究系列(待续)

- 我国岩溶地区第四次石漠化调查的主要技术特点探析 杨宁,吴协保,宁小斌,黄俊威,刘伟(62)

第 2 期

林业经营与管理

- 森林资源调查监测数据的确定性和时效性探讨 曾伟生(1)
- 湖南省国家级自然保护区管理水平分析 舒勇,吴小丽,王志海,胡小燕,彭泰来(7)
- 西藏自治区天保工程建设现状及建议 李锐,张泽坤,邹泽林,刘宏伟(12)
- 海南保亭七仙岭温泉国家森林公园 SWOT 分析及发展战略浅析 张欢(16)

生态建设

- 株洲市渌口区森林碳储量和碳密度研究 郁培义,潘登(19)
- 林业科技助力广西罗城乡村振兴的对策分析 何见,李平先,覃小勇(25)

科技应用

- 基于 B/S 架构的营造林可视化管理与分析系统 邢元军,宋亚斌,郭晓妮,温坤剑,胡中岳,刘宏伟(28)
- 贵州省林业信息化现状及数字化转型建议 赵庆萍(35)

专题研究

- 全民所有森林资源资产实物量变更清查技术方法与实践 冯新富,鲁好君,余松柏,杜谦泰,许培容(39)
- 标准地形状与调查精度的关系分析 陶德树,向东(44)
- 不同种源的杉木生长比较分析 汤志平,尹海波,侯慧,刘小刚,周修权,易烜(47)
- 安化县林业生态保护发展对策探讨 刘道蛟(52)

湖南省主要树种系列数表模型研建之二

- 湖南省马尾松相对树高曲线模型研建 杜志,罗崇彬,杨国锦,王金池,刘紫薇,黄鑫,曾伟生(56)

岩溶地区石漠化土地现状、动态及防治对策研究系列(待续)

- 我国岩溶地区石漠化土地现状及主要分布特征 周学武,吴协保,宁小斌,黄俊威,彭玺,张亚威,刘伟,刘道蛟(60)

第 3 期

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,彭奎,宁小斌,张晓晨,刘伟(67)

第 4 期

林业经营与管理

- 公益林建设背景下浙江省森林类型结构变动分析 陶琪佳,徐达,唐扬龙,周原驰(1)
- 北京市林业碳汇工作实践与发展建议 郑宇,尹准生,周原驰,陈江芳,唐玉(5)
- 多项式模型错误参数更正方法探析 温文,谢鹏,刘圣愉,黄鹏飞,温志高(10)

生态建设

- 湖南水府庙国家湿地公园植物多样性研究 张亚威(16)
- 基于生态景观连通性的浏阳市自然保护地整合优化评价 陈胜兰,丁山,魏甫,阳胜男,周维,罗致,毛旭鹏(21)
- 江西省生态文明试验区林草改革实践与发展对策研究 罗致,魏甫,黄哲,敖俊杰,陈胜兰(26)

科技应用

- 基于高分光学遥感影像的湖南省油茶林地识别技术研究——以汉寿县为例 杨文军,张杨,王福生,瞿跃辉(30)
- 基于运动性疲劳理论的城市型森林公园游步道规划研究——以浙江东阳南山国家森林公园为例
..... 孙伟韬,黄龙标,陈未亚(35)
- 基于 Web 的县级森林资源管理系统设计与实现 黄家涛(41)

专题研究

- 西藏数字林长建设研究 董雅雯,李玲知,贺煌,刘玲,王晋昊,洪永忠,卓玛曲珍(47)
- 拉萨河生态廊道构建思路及实施策略研究
..... 周学武,梁曾飞,刘扬晶,刘伟,彭泰来,胡沛琳,李佳,张同,齐建文,杨帆(53)

湖南省主要树种系列数表模型研建之四

- 湖南省栎类削度方程模型研建 邹泽林,米玛次仁,王金池,贺蔚成,黄鑫,兰俊宇,曹文昊(63)

岩溶地区石漠化土地现状、动态及防治对策研究系列(完)

- 中国岩溶地区石漠化防治总体形势与策略分析 彭奎,吴协保,黄俊威,张亚威,宁小斌,张晓晨,刘伟(70)

Contents

(End of Volume)

Analysis of Structural Change of Forest Type in Zhejiang in the Context of Public Welfare Forest Construction..... TAO Qijia, XU Da, TANG Yanglong, ZHOU Yuanchi(1)

Practice and Developing Suggestion on Forestry Carbon Sink in Beijing..... ZHENG Yu, YIN Zhunsheng, ZHOU Yuanchi, CHEN Jiangfang, TANG Yu(5)

Exploration on Error Parameter Correction Method for Polynomial Model..... WEN Wen, XIE Peng, LIU Shengyu, HUANG Pengfei, WEN Zhigao(10)

Study on Plant Diversity of Shuifu Temple National Wetland Park in Hunan Province ZHANG Yawei(16)

Integrated Optimization Evaluation of Natural Protected Areas in Liuyang City of Hunan Province Based on Ecological Landscape Connectivity... CHEN Shenglan, DING Shan, WEI Fu, YANG Shengnan, ZHOU Wei, LUO Zhi, MAO Xupeng(21)

Study on Practice and Development Countermeasures of Forest and Grass Reform in Ecological Civilization Experimental Zone of Jiangxi Province LUO Zhi, WEI Fu, HUANG Zhe, AO Junjie, CHEN Shenglan(26)

Study on *Camellia Oleifera* Forest Identification Technology Based on High Resolution Optical Remote Sensing Image in Hunan Province——Taking Hanshou County as an Example..... YANG Wenjun, ZHANG Yang, WANG Fusheng, QU Yuehui(30)

Study on the Planning of Urban Forest Park Eco-trail System Based on Exercise – Induced Fatigue——Taking Zhejiang Dongyang Nanshan National Forest Park as an Example SUN Weitao, HUANG Longbiao, CHEN Weiya(35)

Design and Implementation of County-Level Forest Resource Management System Based on Web.....HUANG Jiatao(41)

Research on Digital Forest Chief Construction in Xizang.....DONG Yawen, LI Lingzhi, HE Huang, LIU Ling, WANG Jinhao, HONG Yongzhong, Zhuomaquzhen(47)

Research on Construction Ideas and Implementation Strategies of the Lhasa River Ecological Corridor.....ZHOU Xuewu, LIANG Zengfei, LIU Yangjing, LIU Wei, PENG Tailai, HU Peilin, LI Jia, ZHANG Tong, QI Jianwen, YANG Fan(53)

Construction of Taper Equation for *Quercus* in Hunan Province..... ZOU Zelin, Mimaciren, WANG Jinchi, HE Weicheng, HUANG Xin, LAN Junyu, CAO Wenhao(63)

Analysis on Overall Situation and Strategy of Rocky Desertification Control in Karst Areas of China..... PENG Xi, WU Xiebao, HUANG Junwei, ZHANG Yawei, NING Xiaobin, ZHANG Xiaochen, LIU Wei(70)

《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
佘袁勇	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11月 第42卷 第4期

Vol.42 No.4 Nov.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 NEGA

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