

湖南省1999~2020年森林火灾发生规律

简洲¹, 王迪^{2*}

¹电力大数据灾害监测预警应急管理部重点实验室(国网湖南省电力有限公司防灾减灾中心), 湖南 长沙

²应急管理部国家自然灾害防治研究院, 北京

收稿日期: 2025年11月10日; 录用日期: 2025年12月10日; 发布日期: 2025年12月23日

摘要

森林火灾作为全球性的生态安全问题, 其发生规律深受自然与人为因素的双重驱动。湖南省作为我国南方典型的亚热带林区, 森林火灾频发, 系统研究其长期规律对区域防灾减灾至关重要。本研究基于1999~2020年的长时间序列数据, 综合运用数理统计与GIS空间分析(包括核密度估计), 系统揭示了湖南省森林火灾的时空动态、危害特征及驱动机制。结果表明: (1) 时序上, 火灾年发生频次在2008年达到峰值后总体呈显著下降趋势, 且2010年后未发生重大火灾, 反映出防火政策的积极成效; (2) 空间上, 火灾呈现明显的聚集性分布, 核密度分析精准识别出湘南的永州市和郴州市为稳定的火灾热点区, 其空间格局与复杂地形和高强度人类活动高度耦合; (3) 驱动机制上, 火源分析明确证实人为因素是绝对主导(占比>99%), 其中农事用火与祭祀用火是最主要的火源类型。本研究结论强调, 湖南省森林火灾在本质上是一个受人类行为深刻影响的“社会-生态”问题。据此, 我们提出了从“被动扑救”向“主动预防、精准管理”战略转型的系列措施, 包括火源精准管控、社区共管和精细化风险评估, 以期为南方集体林区的火灾风险防控与资源优化配置提供直接的科学依据。

关键词

森林火灾, 人为火源, 核密度, 湖南

The Occurrence Pattern of Forest Fires in Hunan Province (1999~2020)

Zhou Jian¹, Di Wang^{2*}

¹Key Laboratory of the Ministry of Emergency Management for Electricity Big Data Disaster Monitoring and Early Warning (Disaster Prevention and Mitigation Center of State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd.), Changsha Hunan

²National Institute of Natural Hazards of the Ministry of Emergency Management, Beijing

Received: November 10, 2025; accepted: December 10, 2025; published: December 23, 2025

*通讯作者。

文章引用: 简洲, 王迪. 湖南省1999~2020年森林火灾发生规律[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(12): 1709-1717.
DOI: 10.12677/aep.2025.1512183

Abstract

As a global ecological security concern, the occurrence patterns of forest fires are dually driven by natural and anthropogenic factors. Hunan Province, a typical subtropical forest region in southern China, is prone to frequent forest fires. A systematic investigation of their long-term dynamics is therefore critical for regional disaster prevention and mitigation. Drawing on long-term time-series data spanning 1999~2020, this study integrates mathematical statistics and GIS-based spatial analysis (including kernel density estimation) to systematically unravel the spatiotemporal dynamics, hazard characteristics, and driving mechanisms of forest fires in Hunan Province. The key findings are as follows: (1) Temporal dynamics: The annual frequency of fires peaked in 2008 and has since exhibited a statistically significant downward trend. Notably, no major fires have occurred since 2010, reflecting the positive efficacy of fire prevention policies. (2) Spatial patterns: Fires display a distinct clustered distribution. Kernel density analysis precisely identifies Yongzhou and Chenzhou in southern Hunan as persistent fire hotspots, whose spatial configurations are highly coupled with complex terrain and intensive human activities. (3) Driving mechanisms: Fire source analysis explicitly confirms that anthropogenic factors are the absolute dominant driver (accounting for >99%), with agricultural burning and ritual burning being the primary fire source types. This study concludes that forest fires in Hunan Province are inherently a “social-ecological” issue deeply shaped by human behavior. Accordingly, we propose a strategic shift from “passive suppression” to “proactive prevention and precision management”, encompassing targeted fire source control, community co-governance, and refined risk assessment. These measures aim to provide direct scientific support for fire risk mitigation and optimal resource allocation in collective forest regions of southern China.

Keywords

Forest Fire, Artificial Fire, Kernel Density, Hunan

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

森林火灾是陆地生态系统中一种关键的自然干扰过程，对全球碳循环、生物多样性及气候系统产生深远影响。国际森林火灾研究已从早期的火灾行为预测，发展到如今深度融合遥感技术、数理模型与气候变化情景的多学科交叉领域。研究重点包括揭示火险天气指数与火灾发生的关系、利用多源卫星数据（如 MODIS, Landsat, Sentinel）绘制火点与过火区、解析火灾在时空格局上的驱动机制，以及评估未来气候情景下的火灾风险[1][2]。特别是，学者们普遍认识到，全球变暖正导致许多地区火险期延长、火灾频率和强度增加，使得理解火灾规律并构建精准的预测模型变得愈发紧迫[3][4]。这些国际前沿进展为区域性的火灾研究提供了坚实的理论与方法学基础。

在我国，森林火灾研究同样取得了长足发展。早期研究多集中于北方重点林区（如大兴安岭）的火灾行为与风险管理[5][6]。随着对生态文明建设的重视，研究范围逐步扩展到南方集体林区。这些区域人口密集，人为火源占比高，火灾发生机制更为复杂[7][8]。湖南省作为我国南方重要的亚热带林区，森林资源丰富，同时也是森林火灾的高发省份。其火灾发生深受季风气候影响，表现出明显的季节性和区域性特

征, 秋冬干旱季节为高发期[9]。在时空分布特征研究方面, Qiao 等(2020)基于全国火灾统计资料, 明确指出湖南省是中南地区的火灾热点省份之一[10]。Sun 等(2011)利用更早期的数据, 揭示了湖南省人为火源(如祭祀用火与农事用火)在火源构成中的主导地位及其时空动态[11]。这些研究奠定了湖南省火灾“人为主导、春季高发”的基本认知框架。在火险预报与气象关联模型研究方面, 针对气象因子对火灾的影响, Li 等(2015)较早构建了适用于湖南的林火风险预报模型, 发现最高温度、连续干旱日数和风速是关键预报因子[12]。此类研究推动了基于气象条件的短期火险预警业务的发展。在遥感与 GIS 技术的应用研究方面, 随着空间信息技术的发展, 利用 MODIS、VIIRS 等卫星遥感数据探测火点并分析其空间格局已成为研究主流。Zhang 等(2019)在对华北地区的研究中展示了遥感技术在揭示火灾空间异质性方面的强大能力[13], 该方法同样适用于湖南。刘玉等(2021)在省级研究中进一步指出, 湘西南的永州、郴州等地是火灾的高密度集聚区, 其空间分布与森林资源分布、地形及人口活动范围高度耦合[14]。

尽管前人研究取得了显著进展, 为本工作奠定了坚实基础, 但当前对湖南省森林火灾的认知仍存在若干亟待深化之处。时序覆盖与趋势分析不足, 多数研究时段相对较短, 或集中于特定年份, 缺乏对世纪之交以来长达 20 年以上火灾动态的连续追踪与趋势分析, 难以全面评估长期防火政策的成效及火灾的自然-社会动力学演变。系统性综合研究欠缺, 现有研究多侧重于单一维度, 如或侧重于时空格局, 或侧重于火源分析, 或侧重于气象模型, 未能将长时间序列的时空动态、精确的空间集聚模式、多维的火源结构演变以及系统性的防控策略建议进行有机整合。空间分析精度有待提升, 对火灾热点的识别多停留在市级行政区划的宏观层面, 缺乏基于高精度核密度估计等空间分析方法对火灾集聚中心进行精准定位, 从而难以支撑“下沉到县、精准到乡”的差异化防控资源配置。

然而, 目前针对湖南省的火灾研究多为短期、局地的个案分析或简单的统计描述, 缺乏利用长时间序列(如跨越 20 年以上)数据, 系统性地揭示其宏观时空演变规律、人为驱动因子相对贡献的综合性研究。这一知识空白限制了该地区精细化、适应性火灾管理策略的制定。基于上述研究空白, 本研究利用 1999~2020 年共 22 年的湖南省森林火灾统计数据, 综合运用数理统计与 GIS 空间分析(包括核密度估计)方法, 旨在实现以下目标: (1) 系统揭示湖南省森林火灾在长时序上的总体趋势、周期性波动与阶段性特征; (2) 通过高精度空间分析, 精准识别县级乃至乡镇级别的火灾高风险集聚区, 并深入剖析其与人类活动分布的内在联系; (3) 综合评估不同时期的火灾损失特征与火源结构的动态变化; (4) 深化对华中地区森林火灾规律的系统性认知, 弥补现有研究的不足, 为我国南方集体林区的火灾风险精准管理与政策制定提供直接的科学依据。

2. 研究区概况及数据分析方法

2.1. 研究区概况

湖南省位于我国中南部, 属亚热带季风湿润气候, 光热充足, 地貌多为山地、丘陵, 呈现三面环山、朝北开口的马蹄形, 使其成为中南地区森林火灾频发的省份之一。湖南省森林茂密区域易形成复杂地形火势(图 1), 其森林的覆盖率高达 59.98%, 森林的蓄积量 6.64 亿立方米, 是重要的商品林基地。

2.2. 数据分析方法

本研究收集了湖北省 1999 年至 2020 年的年度森林火灾统计数据。原始数据来源于湖北省林业局、国家林业和草原局发布的官方统计年报, 以及《我国林业统计年鉴》。数据包含以下 13 个关键指标: 火灾频次指标(森林火灾总次数、一般森林火灾次数、出警森林火灾次数、重大森林火灾次数、特大森林火灾次数)、生态损失指标(损失成林蓄积(立方米)、火场总面积(公顷)、损失幼林株数(株)、受害森林面积(公顷))以及社会影响指标(伤亡总人数、死亡人数、受伤人数)。所有数据在录入后, 均采用 Excel 2010 进行

初步整理、清洗与描述性统计, 以确保数据的完整性与一致性。时间序列图(如火灾次数年际变化、损失趋势等)使用 Origin 7.0 软件绘制。

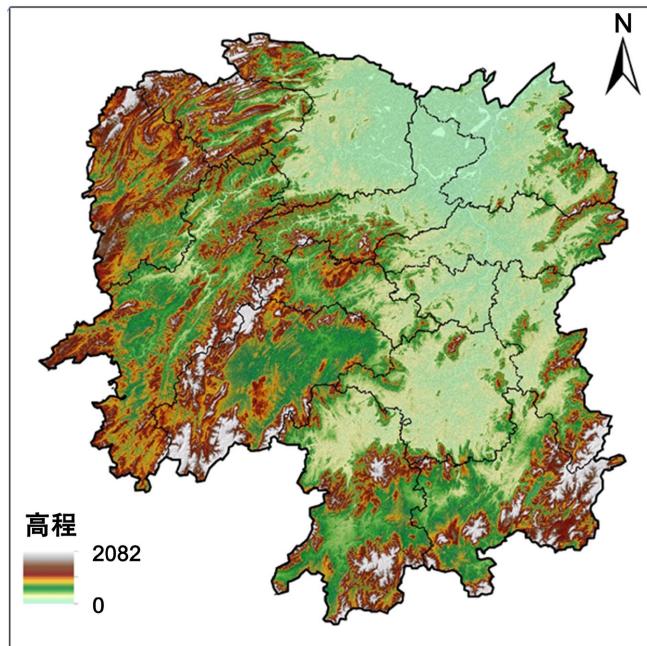


Figure 1. The study area
图 1. 研究区概况

森林火灾空间分布数据源自 MODIS 主动火点产品(MCD14ML)。我们提取了 1999~2020 年间覆盖湖南省的所有火点, 并结合土地利用数据, 筛选出位于森林覆盖区的火点, 将其界定为森林火灾点用于后续空间分析。为揭示湖北省森林火灾的空间分布格局与聚集特征, 我们采用核密度估计法(Kernel density estimation, KDE)在 ArcGIS 10.8 平台进行分析。KDE 通过为每个火点创建一个平滑的圆形表面, 并根据点与中心位置的远近赋予不同的权重, 来计算单位面积上的火点密度。距离核心越近, 权重越高, 从而生成一个连续的概率密度曲面, 直观地显示火灾发生的“热点区”。本研究采用 Silverman’s Rule of Thumb 作为带宽选择的依据。其计算公式为:

$$\text{带宽} = h = 1.06 \times \min(\sigma, \text{IQR}/1.34) \times n^{-1/5}$$

其中: σ 为样本标准差, IQR 为四分位距(理想四分位距), n 为样本量。

我们计算了火点分布的 X 和 Y 方向上的标准差, 取两者中的较小值, 并结合四分位距, 通过上述公式计算出一个最佳估算带宽。经过计算, 本研究确定的最佳搜索带宽为 50 公里。该带宽能够在充分显示局部聚集细节与保持整体格局平滑度之间取得良好平衡。

3. 森林火灾发生规律分析

3.1. 森林火灾分布特征

1999~2020 年间的森林火灾统计数据显示(图 2), 湖南省森林火灾年发生频次呈现出显著的波动性, 其中 2008 年为火灾高发年份, 全年记录火灾次数达 5053 次(包括火警 2958 次, 一般火灾 2094 次, 重大火灾 1 次)。自 2008 年后, 火灾年发生频次总体呈下降趋势, 且自 2010 年以来未再记录到重大森林火灾, 反映出防火管理成效的积极信号。

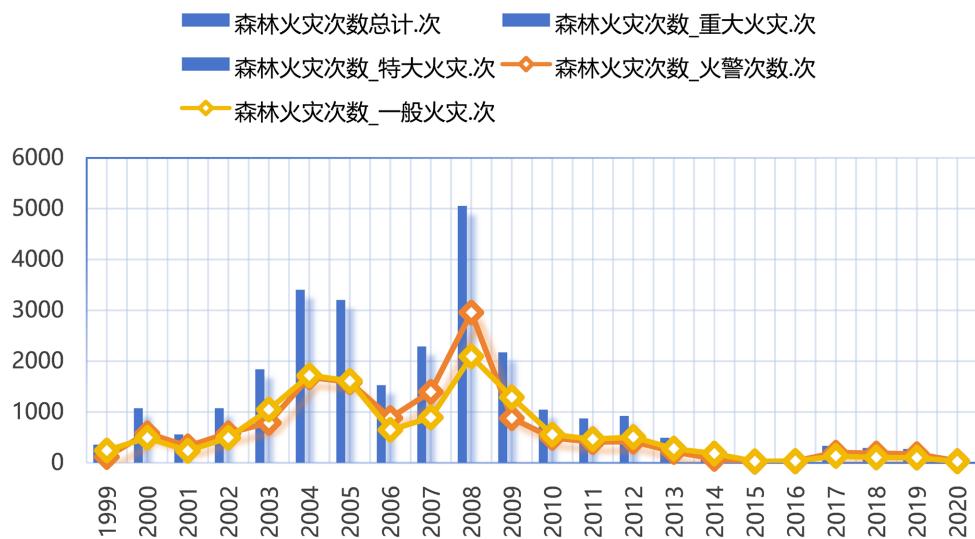


Figure 2. Pattern of forest fire occurrence in Hunan province from 1999 to 2020

图 2. 湖南省 1999~2020 年森林火灾发生规律

空间核密度分析结果(图 3)表明,湖南省森林火灾在空间上呈明显的聚集性分布。高密度区域(即火灾热点区)主要集中在湘南的永州市和郴州市所辖的丘陵地带。该区域森林资源丰富、地形复杂(坡度陡、切割深),且形成了典型的林农交错带。频繁的农业生产活动(如烧荒垦地)与居民生活用火,使得火源管理面临严峻挑战,导致火灾风险持续居高。历史记录也证实,如邵阳市洞口县、绥宁县等地曾因森林火险等级持续偏高而被多次发布重点警示。

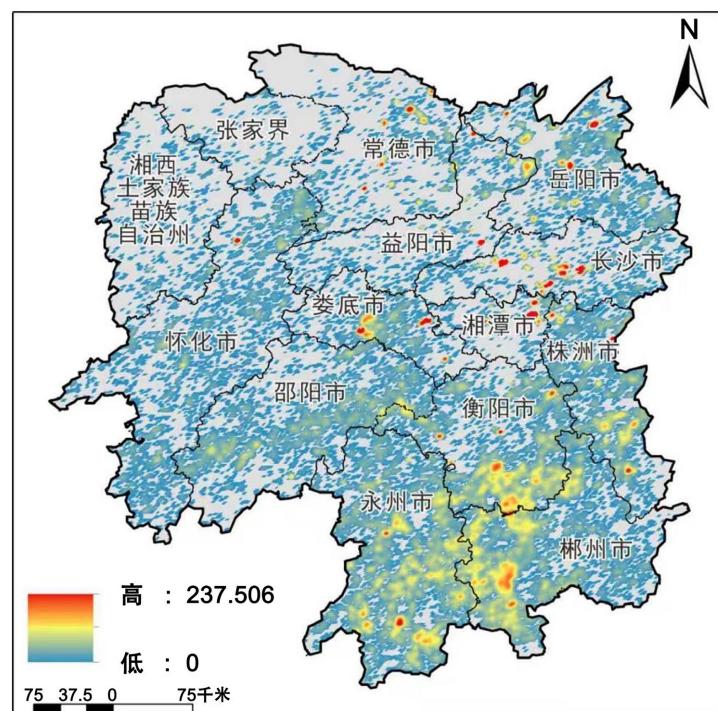


Figure 3. Kernel density distribution of forest fire in each city and prefecture of Hunan Province

图 3. 湖南省各市森林火点核密度分布图

3.2. 森林火灾危害及火源构成特征

对火灾造成的资源损失与人员伤亡统计分析(表 1)揭示, 2007~2009 年是研究期内灾害最为严重的阶段。其中, 2008 年各项损失指标均达到峰值: 火场总面积高达 30964.02 公顷, 受害森林面积达 17780.99 公顷, 损失成林蓄积 394,975 立方米, 损失幼林逾 6622 万株。同年, 因灾伤亡总人数达 52 人(其中 27 人死亡), 社会影响巨大。该时期的数据充分表明, 森林火灾不仅对区域森林生态系统造成了严重的破坏, 延缓了生态建设的进程, 还直接威胁到人民生命财产安全, 对地方社会经济可持续发展构成显著制约。

Table 1. Statistics of forest fire damage and casualties in Hunan province from 1999 to 2020

表 1. 1999~2020 年湖南省森林火灾受损情况及人员伤亡统计

年份	火场总面积	受害森林总面积	损失林木成林蓄积	损失林木幼林株数	总人员伤亡	轻伤人员	重伤人员	死亡人员
	公顷	公顷	立方米	万株	人	人	人	人
1999	3902.26	2231.29	28382.63	588.43	17	7	1	9
2000	5373.48	3422.94	44014.2	1576.42	14	2	2	10
2001	2627.99	1628.73	22975.62	196.5	5	0	1	4
2002	5372.97	3422.97	44014.2	1576.31	14	2	2	10
2003	13595.52	9088.83	168050.14	1703.09	22	2	1	19
2004	23239.71	15852.78	364702	15452.51	32	1	8	23
2005	18868.18	12931.24	309063.85	63043.64	22	3	0	19
2006	7387.59	4988.67	95392.13	7335.34	5	0	2	3
2007	12879.95	8004.39	163016.45	409.45	24	2	2	20
2008	30964.02	17780.99	394975.49	6622.5	52	14	11	27
2009	18080.08	10109.93	248925.25	658.11	20	2	10	8
2010	7955.069	4892.58	80038.42	7210.43	8	0	0	8
2011	5824.33	3605.46	46504.95	299.85	7	2	0	5
2012	8079.33	4652.74	79639.3	526.02	5	1	1	3
2013	5018.77	2824.08	52297.01	199.2	5	4	0	1
2014	3727.93	1935.22	33033.02	182.03	5	0	1	4
2015	533.94	284.67	4369.8	21.28	3	1	1	1
2016	523.59	316.04	3654.2	17	1	0	0	1
2017	2195.5	961.19	9101.29	71.88	5	0	0	5
2018	1525.58	649.06	9120.5	54.34	1	0	0	1
2019	1815.7	864.9	17732.3	40.49	0	0	0	0
2020	627.04	283.6	6048.72	18.13	4	2	1	1

3.3. 火源分析

火源分析结果(图 4)明确指出了湖南省森林火灾的主导驱动因素。人为火源占据了绝对主导地位, 合计占比超过 99%。其中, 农事用火(如烧荒、烧炭)和祭祀用火是两大最主要类型, 共贡献了总火源数的 50%以上。此外, 野外吸烟、施工作业(特别是输配电线路引发的火情)以及未成年人玩火等其他人为活动

也是不可忽视的重要诱因。相比之下,由自然因素(如雷击)引发的火灾事件极为罕见,占比不足1%。这一结果清晰地表明,湖南省的森林火灾发生规律在根本上受人为主导,人为干预的潜力与成效是预防和控制火灾的核心所在。

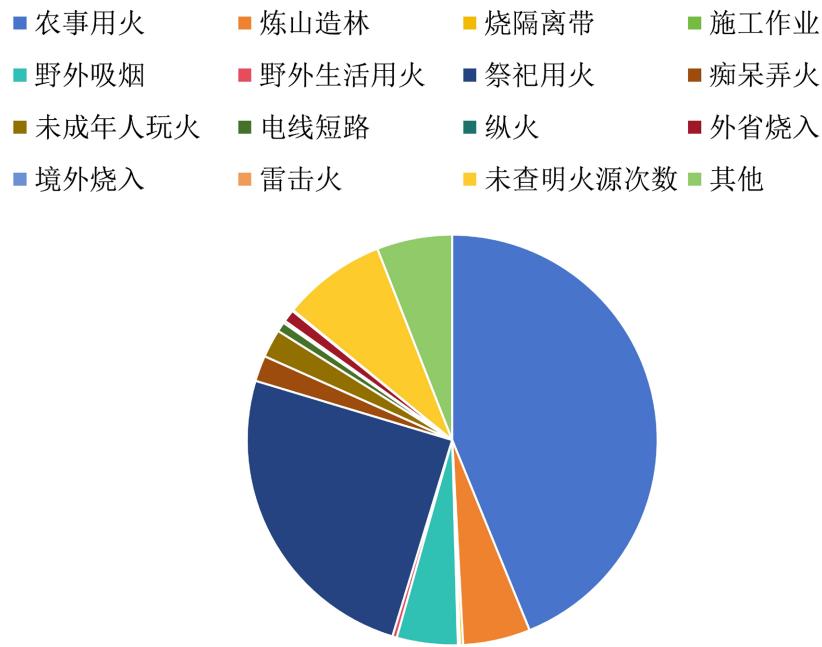


Figure 4. Proportion of different fire Sources in Hunan Province from 1999 to 2020

图 4. 湖南省 1999~2020 年不同火源比例

3.4. 有效防治措施建议

(1) 严格野外用火审批:在森林高火险期,县级以上政府应发布封山禁火令,重点林区入口设立检查卡点,实行“扫码登记 + 人工检查”,严禁火种进山。(2) 疏堵结合引导行为:推广“鲜花换火种”“带水祭祀”等文明祭扫方式,在集中墓葬区设置焚烧池;农业部门应引导秸秆综合利用(如肥料化、饲料化),减少烧荒陋习。(3) 科技赋能精准防控:利用“铁塔哨兵”视频监控、无人机巡航、卫星遥感等构建“天空地网”监测体系,实时识别违规用火行为,实现“早发现、早处置”。(4) 落实“五级包保”机制,将森林防火纳入林长制考核,通过“一长四员”网格化管护体系,确保“山有人管、林有人护”。对发生火灾的地区实行约谈、挂牌督办,对火源管控不力的单位下发警示函。(5) 建立跨市州、跨部门协作机制,如联合电力部门排查输配电线路隐患,与邻省共享火情信息,形成防控合力。(6) 林业部门应联合发布火险预警,利用大数据分析高温干旱趋势,提前部署防控资源。在易灾区域种植耐火树种(如木荷、油茶),清理林内断枝、杂草等易燃物,降低火灾荷载。

4. 讨论

本研究通过对湖南省 1999~2020 年长达 22 年的火灾数据进行系统分析,清晰地揭示了其火灾发生以人为火源绝对主导、时空分布高度集中为基本特征。这一发现与全球许多受人类活动强烈影响地区的林火规律相一致[15][16],但也在驱动机制的构成上表现出鲜明的地域特色。

2008 年前后的火灾高发期与极端损失,很可能与当时的气候背景和区域社会经济活动强度密切相关。已有研究指出,年初的罕见低温雨雪冰冻灾害导致林内大量可燃物堆积[17],加之随后春秋季节的持续干

旱天气, 共同形成了极其有利的燃烧条件。同时, 该时期活跃的农业生产与基础建设活动进一步增加了火源频率, 最终导致了灾害的集中爆发。而 2010 年后火灾频次与损失的显著下降, 一方面得益于气候条件的正常化, 另一方面更深刻地反映了湖南省森林防火管理体系的有效加强, 包括防火基础设施投入的增加、预警监测体系的完善以及责任制的严格落实[18]。

火灾热点高度集中于永州、郴州的丘陵地区, 是“自然-社会”系统耦合作用的结果。从自然本底看, 该地区属典型的亚热带丘陵地貌, 其植被类型、气候条件本身具备一定的火险潜力。然而, 决定其成为热点区的关键驱动力在于高强度的人类活动。传统的农事用火(烧荒积肥)和根深蒂固的祭祀用火习俗, 构成了稳定且大量的基础火源[19]。这与北方林区雷击火主导或西部偏远地区人烟稀少的情况形成鲜明对比。因此, 对于湖南乃至整个我国南方集体林区而言, 火灾防控的核心矛盾并非完全在于自然火险, 而更多地在于对“人”的管理和对“火源”的管控。

我们认为未来湖南省的森林防火工作应实现从“被动扑救”向“主动预防、精准管理”的战略转型。(1) 聚焦火源精准管理。在火灾高发季节(如清明、秋收后), 对永州、郴州等热点区域实施严格的农事和祭祀用火管制, 并大力推广绿色祭祀和生态农业替代技术。(2) 强化社区共管模式。通过宣传教育提升公众防火意识, 并建立基于社区的火灾预警与响应网络, 从源头减少人为失火概率。(3) 深化风险评估与预警。整合多源数据, 建立融合气象、可燃物、地形及人类活动因子的精细化火险预报模型, 实现对重点区域和重点时段的精准预警。未来的研究可进一步量化不同人为活动的火险贡献率, 并评估各项管理政策的成本效益, 为森林火灾的精细化治理提供更坚实的科学支撑。

5. 总结

本研究通过系统分析湖南省 1999~2020 年共 22 年的森林火灾数据, 综合运用数理统计与空间分析技术, 揭示了该地区森林火灾的长期演变规律、空间集聚特征及人为驱动机制。主要结论如下:

(1) 时序趋势上, 湖南省森林火灾在 2008 年达到峰值后, 总体呈现显著下降趋势, 且自 2010 年起未发生重大及以上等级火灾。这一变化趋势与同期全省强化防火基础设施建设、完善预警监测体系及严格落实责任制等综合性管理措施在时间上高度吻合, 印证了积极人为干预在缓解火灾风险中的决定性作用。

(2) 空间格局上, 火灾发生表现出强烈的空间异质性, 核密度分析精准识别出湘南的永州市和郴州市为稳定的火灾热点区。这些区域森林覆盖率高、地形复杂, 且与农业生产区和居民点深度交错, 频繁的人为用火活动与易燃的自然本底叠加, 构成了高风险的核心驱动力。

(3) 驱动机制上, 火源分析明确证实了人为因素的主导地位, 农事用火与祭祀用火合计占比超过 50%, 构成了最主要火源。这表明, 湖南省的森林火灾在本质上是一个受人类行为深刻影响的“社会-生态”问题, 而非单纯的自然现象。

(4) 政策启示方面, 本研究证实了“主动预防、精准管理”策略的科学性与有效性。研究结果明确支持将防火资源向永州、郴州等空间热点县市倾斜, 并在火灾高发季节对关键人为火源实施精准管控。推广绿色祭祀、生态农业替代技术以及构建社区共管网络, 是从源头降低火灾风险的根本途径。

本研究的创新性在于提供了一个覆盖时间长、分析维度多的省级案例, 系统地量化了人为干预下的林火动态响应, 为评估防火政策成效提供了科学基准。未来的研究可进一步融合高分辨率遥感、社交媒体数据与基于智能体的建模(Agent-Based Modeling), 模拟不同管理情境下的人类用火行为与火灾风险, 从而为实现森林火灾的精细化、智能化治理提供更强大的决策支持。

基金项目

电力大数据灾害监测预警应急管理部重点实验室开放课题 SGHNFZ00FBJS2400129。

参考文献

- [1] Bowman, D.M.J.S., Balch, J.K., Artaxo, P., Bond, W.J., Carlson, J.M., Cochrane, M.A., *et al.* (2009) Fire in the Earth System. *Science*, **324**, 481-484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- [2] Chuvieco, E., *et al.* (2019) Historical Background and Current Developments in Mapping Fire Severity from Space. *Remote Sensing of Environment*, **232**, Article ID: 111300.
- [3] Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H., Holden, Z.A., Brown, T.J., Williamson, G.J., *et al.* (2015) Climate-Induced Variations in Global Wildfire Danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, **6**, Article No. 7537. <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>
- [4] Abatzoglou, J.T. and Williams, A.P. (2016) Impact of Anthropogenic Climate Change on Wildfire across Western US Forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **113**, 11770-11775. <https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113>
- [5] Tian, X., *et al.* (2011) Changes in Forest Fire Danger for the Daxing'anling Region from 1965 to 2005. *Journal of Forestry Research*, **22**, 87-90.
- [6] Wang, Z., *et al.* (2020) Spatial and Temporal Patterns of Forest Fires in Southwestern China. *Forests*, **11**, 1243.
- [7] Liu, Z., Yang, J. and He, H.S. (2013) Identifying the Spatial and Temporal Variability of Socioeconomic Drivers to Fire Occurrence in the Heilongjiang-Daxing'anling Border Region, China. *Natural Hazards*, **65**, 1489-1508.
- [8] 覃先林, 钟祥清, 李增元, 等. 我国南方森林火灾时空特征与变化趋势分析[J]. 林业科学, 2021, 57(5): 1-10.
- [9] 胡海清, 魏书精, 孙龙. 我国林火时空分布与风险评价[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [10] Qiao, Z., Fang, L., Zhang, Y., *et al.* (2020) Spatiotemporal Distribution of Forest Fires in China between 2001 and 2017. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **31**, 55-64.
- [11] Sun, Y. and Zhang, G. (2011) Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Human-Caused Fire Sources in Hunan Province. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, **27**, 22-26.
- [12] Li, X., Huang, Z. and Tan, P. (2015) Study on Forest Fire Distribution in Hunan Province and Its Prediction Model Based on Meteorological Factors. *Agricultural Science & Technology*, **16**, 159-160.
- [13] Zhang, H., Ma, Y., Peng, X., *et al.* (2019) Study on Temporal and Spatial Characteristics of Forest Fires in North China from 2003 to 2016. *Journal of Northwest Forestry University*, **34**, 189-195.
- [14] 刘玉, 熊嘉武, 张龙. 湖南省森林火灾时空分布特征研究[J]. 中南林业调查规划, 2021, 40(4): 1-5.
- [15] Faivre, N., Jin, Y., Goulden, M.L. and Randerson, J.T. (2014) Controls on the Spatial Pattern of Wildfire Ignitions in Southern California. *International Journal of Wildland Fire*, **23**, 799-811. <https://doi.org/10.1071/wf13136>
- [16] 张思玉, 潘洁. 我国南方林火发生的人为影响因素分析[J]. 林业科学, 2017, 53(1): 1-10.
- [17] 李勇, 孙瑜. 2008年冰雪灾害对南方森林可燃物及火险的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6543-6550.
- [18] 国家林业和草原局. 全国森林防火规划(2016-2025年) [R]. 2016.
- [19] 陈宏伟, 刘志华, 胡远满, 等. 基于问卷调查的农村居民用火行为与森林火灾风险感知研究——以湖南省为例 [J]. 自然资源学报, 2020, 35(5): 1192-1204.