

doi: 10.3969/j.issn.1006-8023.2024.02.009

广西林火发生动态及气象影响因素研究

巨文珍, 韩斐扬*, 彭泊林, 李常诚, 何珊, 潘婷

(广西壮族自治区林业勘测设计院, 南宁 530011)

摘要:了解森林火灾的时空分布格局,定量分析其统计学规律,能够为该地区的火源管理与森林火灾科学预防提供基础支撑。根据广西1990—2020年的森林火灾数据、气象数据和基础地理数据,分析广西大尺度下的森林火灾时空分布趋势,同时构建零膨胀负二项回归模型,探讨气象因素对森林火灾的影响。结果表明,在年际变化上,广西林火数量呈“M”形波动,2005年以后森林火灾波动较大,季节上多发于冬季和春季,每年10月至次年4月累计发生13 249起,占比80%;森林火灾的发生具有明显的地域聚集性,主要发生在海拔0~400 m和斜坡为25°以下的平原低山地区;气象因子对森林火灾的发生具有重要影响,其中降雨量和平均风速对广西森林火灾的影响最为显著。未来广西应加大防火期,尤其是重要节假日前后的野外火源管控力度与应急处置能力,同时完善火险天气预警,以应对极端天气带来的森林火灾隐患。

关键词:森林火灾;时间序列;空间分布特征;负二项回归;广西壮族自治区

中图分类号:S757

文献标识码:A

文章编号:1006-8023(2024)02-0077-08

Study on the Dynamics and Meteorological Influencing Factors of Forest Fire in Guangxi

JU Wenzhen, HAN Feiyang*, PENG Bolin, LI Changcheng, HE Shan, PAN Ting
(Guangxi Zhuang Autonomous Region Forestry Survey and Design Institute, Nanning 530011, China)

Abstract: Understanding the temporal and spatial distribution pattern of forest fire and quantitatively analyzing its statistical law can provide basic support for fire source management and scientific prevention of forest fire in this area. Based on the forest fire data, meteorological data and basic geographical data of Guangxi from 1990 to 2020, the temporal and spatial distribution of forest fire in Guangxi was analyzed. A zero inflation negative binomial regression model was constructed to discuss the influence of meteorological factors on forest fire. The results showed that the number of forest fires in Guangxi fluctuated in "M" shaped in interannual variation, and the annual forest fire fluctuated greatly after 2005. Seasonally, forest fires were most prevalent during the winter and spring, with a cumulative total of 13 249 occurrences between October and next April, accounting for 80% of the total. The occurrence of forest fire had obvious regional aggregation, which mainly occurred in the plain and low mountain areas below the elevation of 400 meters and the slope (25°). Meteorological factors had an important influence on the occurrence of forest fire, among them, rainfall and average wind speed had the most significant impact on forest fire in Guangxi. In the future, Guangxi should strengthen the field fire source control and emergency disposal capacity during the fire prevention period, especially before and after important holidays, and improve the fire danger weather warning in order to deal with the hidden danger of forest fire caused by extreme weather.

Keywords: Forest fire; time series; spatial distribution characteristics; zero inflation negative binomial regression; Guangxi Zhuang Autonomous Region

0 引言

森林火灾是一种突发性强、破坏性大和处置救

援困难的自然灾害^[1-3],能够对森林生态系统多样性与功能、人民生命财产和国土生态安全造成严重破坏^[4-5]。在全球变暖的大背景下,近年来我国南方地区高温、干旱等极端天气明显增多,森林防火形势日趋严峻^[6]。

探究林火时空规律是森林火灾预测与管理的前提和基础^[7],一直是国内外森林火灾研究的重点热点^[8-11],如Ray等^[12]基于MODIS数据分析了印度恰蒂斯加尔邦2005—2021年的时空分布特征;江晓东等^[13]对宁波市1996—2021年的森林火灾时空分布进行了分析,并通过核密度分析方法生成了宁波市历史森林火灾发生情况热力图;朱贺等^[14]采用Mann-Kendall检验和滑动t检验的方法对比分析了黑龙江和江西两省2005—2017年的森林火灾时空变化规律和火险期的偏移情况。近年来随着研究深

收稿日期:2023-08-21

基金项目:广西自筹经费林业科技项目(2023GXZCLK69);
广西林业设计院自选科技项目(林勘科研[2022]-01-03)。

第一作者简介:巨文珍,硕士,高级工程师。研究方向为森林防火。E-mail:249753114@qq.com

*通信作者:韩斐扬,硕士,高级工程师。研究方向为森林防火。E-mail:350561013@qq.com

引文格式:巨文珍,韩斐扬,彭泊林,等.广西林火发生动态及气象影响因素研究[J].森林工程,2024,40(2):77-84.

JU W Z, HAN F Y, PENG B L, et al. Study on the dynamics and meteorological influencing factors of forest fire in Guangxi [J]. Forest Engineering, 2024, 40(2):77-84.

人,不少学者在林火时空分布特征分析基础上对森林发生原因及触发机制进行了探讨,如杜建华等^[15]和刘佳等^[16]定量分析了气象因素对林火的影响。

广西是我国南方重要的集体林区。近年来,随着林区可燃物载量显著增加,加之森林生产经营、生态旅游等林区活动增多,野外火源管控难度和火灾隐患日益增大^[17]。了解广西的林火发生规律及气候驱动机制对当地林火的预防和监测具有重要意义,但目前对广西林火时空分布及气象因素影响机制的研究尚不多见。因此,本研究根据广西1990—2020年历史火灾数据,探究广西森林火灾较长周期的时空分布特征,并构建林火数量与气候因子的频次模型,以期揭示气候对广西林火发生的驱动机制,为森林火灾科学预防与风险防范提供理论支撑。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

广西壮族自治区(104°28'~112°04',20°54'~

26°24')位于云贵高原东南边缘,两广丘陵西部,总体地势西北高、东南低。气候属亚热带季风气候,气候温暖,雨水丰沛。植被由北至南可分为中亚热带常绿阔叶林带、南亚热带常绿季雨林带、北热带季节性林带,人工植被以马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、速生桉(*Eucalyptus robusta*)以及经济林木为主。广西历史发生的森林火灾90%以上属人为因素导致,每年9月到次年4月是广西的重点防火期。

1.2 数据来源

本研究通过收集整理广西各市县森林火灾档案,获取了广西全区1990—2020年间共16 561起森林火灾数据,包括森林火灾的发生与扑灭时间、火点经纬度、森林火灾等级、起火原因、灾损情况和扑火经费等。其中森林火灾等级按照《森林防火条例》进行分类。起火原因可分为生产性火源、非生产性火源、火源不明及其他4大类,见表1。

表1 森林火灾起火原因分类

Tab. 1 Classification of forest fire ignition causes

火源类型 Type of forest fire source	起火原因 Cause of forest fire
生产性火源 Productive source of fire	农事用火、炼山造林、计划烧除、工矿用火和营林用火等生产性活动引发森林火灾
非生产性火源 Unproductive source of fire	野外吸烟、野外生活用火、祭祀用火、痴呆弄火、电线短路和家火上山等人为非生产性活动引发森林火灾
其他类型火源 Other type of fire source	纵火、境外、外省(市、县)烧入火灾及雷击火等自然原因导致森林火灾
火源不明 Unknown source of fire	未查明起火原因的森林火灾

基础地理数据(自治区、市、县和乡镇行政界线)采用广西第三次全国国土调查成果数据;海拔与坡度根据火灾发生点的经纬度从广西山体和坡度栅格数据上进行提取,坡度按照表2进行分级。

1990—2020年自治区全区的30"气象格网数据通过购买第三方服务获取,涵盖月大风天数、月平均风速、月平均降雨量、月平均气温、月最高气温和月最小相对湿度等,通过火灾档案记载的时间和经纬度对森林火灾发生时的气象因子进行提取。

1.3 研究方法

构建广西1990—2020年历史森林火灾时间序列,通过时序分解从总体趋势、月际变化和随机波动上探究森林火灾的时间分布趋势。以市为基本单元统计森林火灾等级、数量及起火原因,同时通过

表2 坡度分级

Tab. 2 Classification of slope

坡度级 Slope classification	坡度区间 Slope range
平坡 Flat terrain	[0°, 5°]
缓坡 Gentle slope	(5°, 15°]
斜坡 Moderate slope	(15°, 25°]
陡坡 Steep slope	(25°, 35°]
急坡 Sharp incline	(35°, 45°]
险坡 Rugged terrain	(45°, 90°]

提取火点的海拔与坡度,分析广西森林火灾空间分布情况。

对气象因子进行标准化处理,使其能够对模型系数比较各因子之间的重要程度。通过方差膨胀因子 VIF (Variance Inflation Factor) 对气象因子进行多重共线性检验,剔除掉多重共线性变量 (VIF > 10) 的自变量^[18],以乡镇为最小单元,按月份统计森林

火灾数量作为模型构建的因变量,构建林火频次模型。

零膨胀负二项回归模型 (ZINB) 能够较好地处理多数时段林火发生为 0 的情况,从而更准确地拟合长时间尺度下林火次数离散的情况,被广泛用作林火频次的建模^[19-20]。零膨胀负二项回归分布由一个负二项分布和一个离散零分布组成,其概率分布函数为^[20]

$$f(y | X, p, k) = \begin{cases} p_i + (1 - p_i) \left(\frac{k}{k + \mu}\right)^k, & y = 0 \\ (1 - p_i) \frac{\Gamma(y + k)}{\Gamma(y + 1)\Gamma(k)} \left(\frac{k}{k + \mu}\right)^k \left(\frac{\mu}{k + \mu}\right)^y, & y = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

式中: y 为林火发生次数; X 为自变量的集合; Γ 为伽马分布; p (为模型参数) 表示取值为 0 的数据所占的比例,越大表示越可能存在零膨胀现象; k 是散度参数的倒数; μ 为负二项分布的均值。

负二项回归的期望 ($E(Y)$) 和方差 ($\text{Var}(Y)$) 分别为

$$E(Y) = (1 - P)\mu \quad (2)$$

$$\text{Var}(Y) = E(Y) \left[1 + \frac{\mu(1 + k)}{k} - E(Y) \right] \quad (3)$$

式中, P 为模型零膨胀部分的参数,表示观测值为零的额外概率。

为了讨论自变量与因变量之间的关系,在零膨胀部分 (ZI) 参数部分和负二项参数部分引入协变量,即可得到 ZINB 回归模型,其中对于非零部分采用对数线性模型,取值为 0 的部分采用 logistic 回归模型,表达式如下^[21]

$$\begin{cases} \lg(u) = X^T \beta \\ \text{logit}(p) = W^T \gamma \end{cases} \quad (4)$$

式中: β 和 γ 为回归系数; X 和 W 为协变量。

1.4 数据分析与处理

采用 Excel 对数据进行预处理,采用 ArcGIS 10.2 提取火点的海拔和坡度属性,采用 R 4.1.3 构建时间序列与零膨胀负二项回归模型,采用 R 和 Origin 进行作图。

2 结果与分析

2.1 森林火灾时间分布

1990—2020 年广西共发生森林火灾 16 561 起,其中一般森林火灾 9 796 起,较大森林火灾 6 708 起,重大森林火灾 56 起,特大森林火灾 1 起。构建研究期内广西森林火灾时序如图 1 所示,从总体分

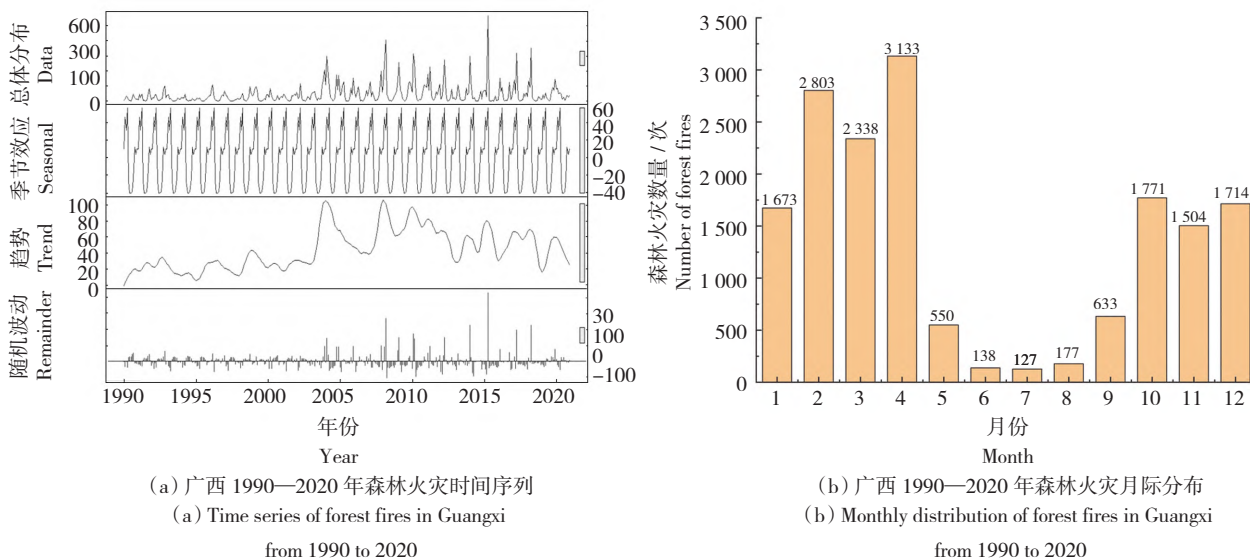


图 1 广西 1990—2020 年森林火灾时间分布

Fig. 1 Time distribution of forest fires in Guangxi from 1990 to 2020

布和趋势项可以看出,广西森林火灾在研究期内呈明显的“M”形周期性波动,2005—2017年间波动起伏较大,峰值明显提高。从季节效应及每月的火灾数量可以看出,研究期内森林火灾发生呈现明显季节性变化规律,每年10月至次年4月是广西森林火灾的高峰期。

生产性火源是导致广西森林火灾发生的主要原因,在1990—2012年间呈明显波动上升趋势,2013年后得到有效控制,引发火灾数量明显降低;非生产性火源引发的火灾数量波动幅度较生产性火源小,但在2018年后才呈现降低趋势;其他类型火源引发的火灾数量在研究期内基本保持稳定,波动幅度不大。各类型火源引发火灾数量的年际变化如图2所示。

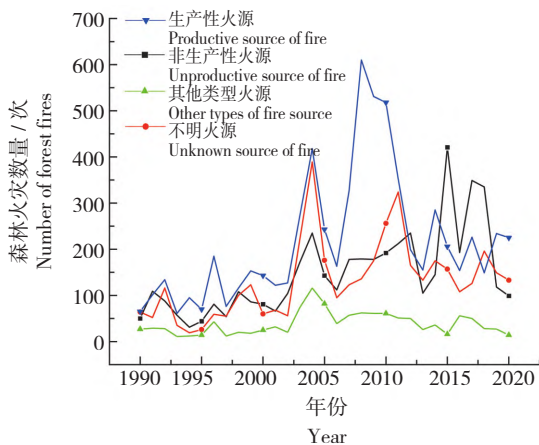


图2 广西不同火源引发的森林火灾数量年际变化
Fig. 2 Interannual variation of forest fire quantity caused by different sources in Guangxi

2.2 森林火灾空间分布

由表3可以看出,研究期内南宁市的森林火灾数量最多,其次为玉林市和柳州市,全区有梧州、河池、桂林、柳州、百色和钦州6个市较大等级以上森林火灾数量占比超过40%。森林火灾的发生具有明显的聚集性,集中分布在马尾松、杉木和速生桉等易燃树种人工林区。

广西森林火灾主要分布在平原地区和低山丘陵地区,海拔高于300 m后森林火灾数量显著降低;森林火灾在坡度的分布上与海拔基本一致,主要分布在斜坡(25°)以下的地区。不同海拔和坡度的森林火灾数量分布如图3所示。

表3 广西各市森林火灾统计

Tab. 3 Forest fire statistics of various cities in Guangxi

设区市 City	森林火灾等级 Degree of forest fire				总计 Total
	一般等级 General grade	较大等级 Lager grade	重大等级 Major grade	特别重大 Particularly significant grade	
总计 Total	9 853	6 651	56	1	16 561
南宁 Nanning	1 790	711	4		2 505
柳州 Liuzhou	891	738	8	1	1 638
桂林 Guilin	911	704	4		1 619
梧州 Wuzhou	454	422	2		878
北海 Beihai	106	301			407
防城港 Fangchenggang	337	208	3		548
钦州 Qinzhou	232	225			457
贵港 Guigang	832	241	1		1 074
玉林 Yulin	1 182	829	1		2 012
百色 Baise	797	613	9		1 419
贺州 Hezhou	440	262	2		704
河池 Hechi	800	726	9		1 535
来宾 Laibin	714	267	9		990
崇左 Chongzuo	367	404	4		775

2.3 气象因子与森林火灾数量之间的关系

方差膨胀因子检验显示月最高气温与其他因子之间存在较高的共线性,去掉该因子后构建零膨胀负二项回归模型见表4。从点模型部分可以得出,所有气象因子均与当月的森林火灾数量显著相关($P < 0.05$),其中月平均降雨量、月平均最小相对湿度与森林火灾呈负相关,月平均气温、月大风天数和月平均风速与森林火灾呈正相关。从系数大小来看,各气象因子对森林火灾数量影响由大到小为:月平均降雨量(0.297 6)、月平均风速(0.144 2)、月平均气温(0.115 4)、月最小相对湿度(0.073 6)、月大风天数(0.016 7)。

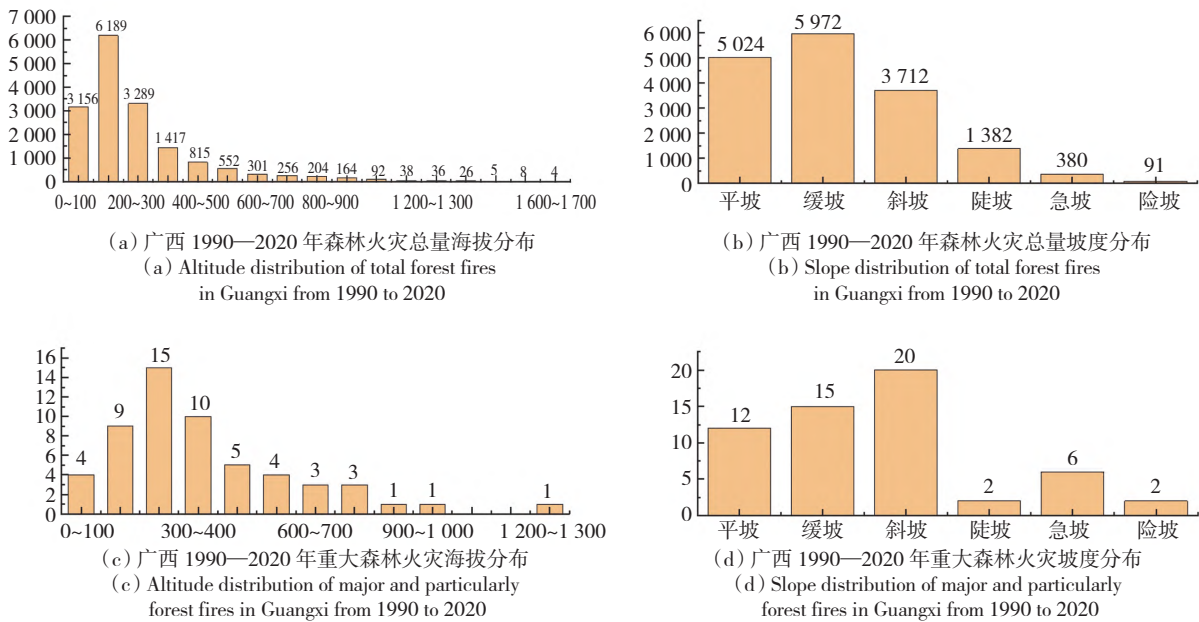


图 3 广西不同海拔和坡度森林火灾数量分布

Fig. 3 Quantitative distribution map of forest fires at different elevations and slopes in Guangxi

表 4 模型拟合结果

Tab. 4 Results of model fitting

模型参数 Model parameter	参数估计 Parameter estimate	标准误差 Standard error	Z	P
截距 Intercept	0.810 6	0.012 7	63.798	<0.001 ***
平均降雨量 Mean precipitation	-0.297 6	0.021 3	-13.946	<0.001 ***
平均风速 Mean wind speed	0.144 2	0.008 6	16.701	<0.001 ***
平均气温 Mean temperature	0.115 4	0.014 8	7.800	<0.001 ***
最小相对湿度 Minimum relative humidity	-0.073 6	0.013 9	-5.295	<0.001 ***
大风天数 Gale day	0.016 7	0.011 0	2.509	<0.05 *
截距 Intercept	0.144 3	0.022 5	6.410	<0.001 ***
平均降雨量 Mean precipitation	0.350 9	0.036 9	9.485	<0.001 ***
平均气温 Mean temperature	0.136 4	0.037 8	3.612	<0.001 ***
平均风速 Mean wind speed	-0.253 1	0.023 4	-10.797	<0.001 ***
最小相对湿度 Minimum relative humidity	0.350 9	0.036 9	9.485	<0.001 ***
大风天数 Gale day	-0.114 7	0.028 1	-4.082	<0.001 ***

注：“*” $P < 0.05$ ；“**” $P < 0.01$ ；“***” $P < 0.001$ 。

Note：“*” $P < 0.05$ ；“**” $P < 0.01$ ；“***” $P < 0.001$ 。

3 讨论

3.1 广西森林火灾时间分布

广西森林火灾在年际上呈波动变化趋势,在

2005 年后波动幅度增大。森林火灾的波动通常与当年的气象因素密切相关^[14-15,22],在进入 21 世纪后年降雨量极端化明显,旱涝频发^[23-24],加上广西不断推进营造人工林的步伐^[25],林区经营活动频

繁,导致森林火灾数量(尤其是生产性火源)明显提高。“十二五”后国家和广西对森林防火日益重视,生产性火源引发火灾数量得到了有效控制,尤其2018年以后,各类型森林火灾数量均有了显著降低。

广西森林火灾也表现出了明显的季节性分布特征,森林火灾主要发生在10月至次年4月,这与大部分南方林区表现出的规律一致^[6,26-27]。广西属亚热带季风气候,雨热同期,春冬季节干旱少雨,春节清明等重要节日多,人口流动大,烟花爆竹及祭祀扫墓活动频繁,同时春耕是生产用火高峰期,这些因素都极大地提高了森林火灾发生率^[13,28]。

3.2 广西森林火灾空间分布

森林火灾在空间分布具有明显的聚集性,南宁市、玉林市火灾总量最多,主要集中在2000—2010年,这是因为在这段时期南宁和玉林大力营造人工林,频繁生产活动致使生产性火灾较多。桂北地区研究期内始终是广西森林火灾的高危区,区域以喀斯特地貌为主,松杉及石山灌木等易燃树种分布广,林区可燃物载量高,区域多为少数民族聚居地,农事及祭祀活动频繁,加上石山地势险峻,扑救难度大,易发生重大森林火灾^[28]。

在地形地势上,火灾主要集中在坡度较缓的平原和低山地区,随着海拔和坡度升高森林火灾数量逐渐降低,这与多数研究一致^[29-32]。这是因为广西火灾主要为人为导致,海拔和坡度的提升减少了人为活动^[28],同时海拔升高气温降低,降雨增加,林内相对湿度增大,植被含水率增高,这些都在一定程度上抑制了火灾的发生^[33-34]。但高海拔地区干湿季节特征明显,部分区域干季伴随着较大的风速,如发生上坡火,随着坡度的增加对流热与辐射热强度增加,火势蔓延速度也随之增加^[35],因此仍需对高海拔陡坡区域重点防控。

3.3 广西森林火灾与气象之间的关系

模型结果显示月最高温度、平均风速和大风天数与森林火灾呈显著正相关,月降雨量和最小相对湿度与森林火灾数量呈显著负相关,这与李永和等^[26]和高超等^[36]的结果一致。气象因素通常认为是森林火灾的重要驱动因素^[37-38],较高的气温与风速能够加速可燃物干燥,提高燃烧性^[39],降雨量和最小相对湿度通过提高可燃物含水率来抑制火灾发生,但也会在一定程度上增加森林可燃物的载量(枯枝落叶积累导致短期不能分解)^[40],因此当旱季受到连续高温干燥天气后,容易引发大面积森林火灾。

4 结论

依据1990—2020年广西森林火灾数据为基础,通过构建时间序列及统计汇总分析了广西森林火灾的时空分布规律,同时建立了零膨胀负二项回归模型,探究了气象因子对森林火灾的影响,得出结论如下:

1)广西森林火灾在年际变化上呈“M”形波动,每年火灾集中在冬季和春季。

2)南宁、玉林及桂北地区森林火灾数量较多,森林火灾在空间分布上具有聚集性,主要发生在海拔400 m、斜坡25°以下的平原低山地区。

3)气象对广西森林火灾有重要驱动作用,未来广西应完善火险天气预警,加大对极端气温时期的野外火源管控,以应对极端天气带来的森林火灾隐患。

【参 考 文 献】

- [1] 王亚男,王洪庆,何永明. 2010—2020年我国森林火灾时空分布及影响因素分析[J]. 山东林业科技, 2022, 52(5): 26-32, 38.
WANG Y N, WANG H Q, HE Y M. Analysis on temporal and spatial distribution and influencing factors of forest fire in China from 2010 to 2020[J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 2022, 52(5): 26-32, 38.
- [2] 李海萍,龙志航,杨滋恒,等. 基于Logistic模型的四川凉山州森林火灾风险分析[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(2): 498-505.
LI H P, LONG Z H, YANG Z H, et al. Analysis of forest fire risk in Sichuan Liangshan based on Logistic model[J]. Journal of Safety and Environment, 2021, 21(2): 498-505.
- [3] 郗亚微,谢涛. 基于北斗卫星导航技术的森林火灾危险点自动预测方法[J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(5): 88-91.
QIE Y W, XIE T. Automatic prediction method of forest fire hazard points based on Beidou satellite navigation technology[J]. Techniques of Automation and Applications, 2022, 41(5): 88-91.
- [4] THONICKE K, VENEVSKY S, SITCH S, et al. The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire into a dynamic global vegetation model[J]. Global Ecology and Biogeography, 2001, 10(6): 661-677.
- [5] 白夜,武英达,王博,等. 我国森林草原火灾潜在风险应对策略研究[J]. 林业资源管理, 2020(1): 11-14, 29.
BAI Y, WU Y D, WANG B, et al. Risk-coping strategies for forest and grassland fires in China[J]. Forest Resources Management, 2020(1): 11-14, 29.

- [6] 田晓瑞,舒立福,赵凤君,等. 中国主要生态地理区的林火动态特征分析[J]. 林业科学,2015,51(9):71-77.
TIAN X R, SHU L F, ZHAO F J, et al. Dynamic characteristics of forest fires in the main ecological geographic districts of China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(9): 71-77.
- [7] 曾雪艳,杨金明,李士美. 2003—2018年中国森林火灾时空分布格局研究[J]. 林业调查规划,2021,46(2):53-58,168.
ZENG X Y, YANG J M, LI S M. Spatial and temporal pattern of forest fires in China from 2003 to 2018[J]. Forest Inventory and Planning, 2021, 46(2): 53-58, 168.
- [8] 张恒,马运佳,彭徐剑,等. 2003—2016年中国华北地区森林火灾时空特征研究[J]. 西北林学院学报,2019,34(1):163-169.
ZHANG H, MA Y J, PENG X J, et al. Temporal and spatial characteristics of forest fires in Northern China from 2003 to 2016[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(1): 163-169.
- [9] SENICI D, CHEN H Y H, BERGERON Y, et al. Spatio-temporal variations of fire frequency in central boreal forest[J]. Ecosystems, 2010, 13(8): 1227-1238.
- [10] WASTL C, SCHUNK C, LEUCHNER M, et al. Recent climate change; long-term trends in meteorological forest fire danger in the Alps[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2012, 162/163: 1-13.
- [11] HUESCA M, LITAGO J, PALACIOS-ORUETA A, et al. Assessment of forest fire seasonality using MODIS fire potential; a time series approach[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(11): 1946-1955.
- [12] RAY T, MALASIYA D, VERMA A, et al. Characterization of spatial - temporal distribution of forest fire in Chhattisgarh, India, using MODIS-based active fire data[J]. Sustainability, 2023, 15(9): 7046.
- [13] 江晓东,李少虹,黄增芳,等. 宁波市森林火灾时空分布特征研究[J]. 自然保护地,2022,2(4):116-128.
JIANG X D, LI S H, HUANG Z F, et al. Research on temporal and spatial distribution characteristics of forest fires in Ningbo[J]. Natural Protected Areas, 2022, 2(4): 116-128.
- [14] 朱贺,张珍,杨淞,等. 我国南北方森林火灾时空分布及火险期动态变化特征[J/OL]. 生态学杂志,2022:1-13. (2022-06-21). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.Q.20220620.1231.008.html>.
ZHU H, ZHANG Z, YANG S, et al. Temporal and spatial distribution of forest fire and dynamic change characteristics of fire danger period in south and North China[J/OL]. Chinese Journal of Ecology, 2022: 1-13. (2022-06-21). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.Q.20220620.1231.008.html>.
- [15] 杜建华,宫殷婷,蒋丽伟. 中国森林火灾发生特征及其与主要气候因子的关系研究[J]. 林业资源管理,2019(2):7-14.
DU J H, GONG Y T, JIANG L W. Study on the characteristics of forest fires in China and their relationship with major climatic factors[J]. Forest Resources Management, 2019(2): 7-14.
- [16] 刘佳,郭海燕,甘薇薇,等. 攀西林火时空分布格局与气候影响因素的空间异质性研究[J/OL]. 西南林业大学学报(自然科学),2023:1-12.
LIU J, GUO H Y, GAN W W, et al. Study on spatio-temporal distribution and heterogeneity of climate forces of wildfires in Panxi region[J/OL]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences), 2023: 1-12.
- [17] 何芸. 广西森林火灾成因时空分布规律分析[J]. 南方农业,2022,16(15):207-209,213.
HE Y. Analysis on temporal and spatial distribution of forest fire causes in Guangxi[J]. South China Agriculture, 2022, 16(15): 207-209, 213.
- [18] 高博,陈响,单仔赫,等. 基于 Logistic 回归模型的大兴安岭地区林火发生概率预测研究[J]. 中国安全生产科学技术,2022,18(11):163-168.
GAO B, CHEN X, SHAN Z H, et al. Prediction of forest fire probability in Daxing'an Mountains area based on Logistic regression model[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2022, 18(11): 163-168.
- [19] 张洁,赵浩彦,张民侠,等. 广义线性模型在林火发生预报中的应用[J]. 林业工程学报,2017,2(1):135-142.
ZHANG J, ZHAO H Y, ZHANG M X, et al. Research on generalized linear models applied to forest fire forecast[J]. Journal of Forestry Engineering, 2017, 2(1): 135-142.
- [20] 秦凯伦,郭福涛,邸雪颖,等. 大兴安岭塔河地区林火发生的优势预测模型选择[J]. 应用生态学报,2014,25(3):731-737.
QIN K L, GUO F T, DI X Y, et al. Selection of advantage prediction model for forest fire occurrence in Tahe, Daxing'an Mountain[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(3): 731-737.
- [21] 王昊,杨亚东,马勇,等. 基于零膨胀负二项回归模型的内河水运交通安全分析[J]. 安全与环境学报,2017,17(2):408-412.
WANG H, YANG Y D, MA Y, et al. Safety analysis over the casualties of maritime transportation and traffic accidents based on the zero-inflated negative binomial regression method[J]. Journal of Safety and Environment, 2017, 17(2): 408-412.
- [22] 王丽娜,王惠东,李伟光. 近25年黑龙江省森林火灾发生趋势的研究[J]. 森林防火,2006(3):16-17.
WANG L N, WANG H D, LI W G. Study on the occurrence trend of forest fires in Heilongjiang Province in recent

- 25 years[J]. *Forest Fire Prevention*, 2006(3): 16-17.
- [23] 覃卫坚,李耀先,覃志年. 广西气温气候变化特征研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(32): 18315-18318.
QIN W J, LI Y X, QIN Z N. Study on temperature variation characteristics in Guangxi[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(32): 18315-18318.
- [24] 何洁琳,谢敏,黄卓,等. 广西气候变化事实[J]. *气象研究与应用*, 2016, 37(3): 11-15.
HE J L, XIE M, HUANG Z, et al. Climate change in Guangxi[J]. *Journal of Meteorological Research and Application*, 2016, 37(3): 11-15.
- [25] 张建平. 广西桉树人工林经营状况及可持续发展研究[J]. *绿色科技*, 2017(5): 97-98, 100.
ZHANG J P. Study on management status and sustainable development of *Eucalyptus* plantation in Guangxi [J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2017(5): 97-98, 100.
- [26] 李永和,靳全锋. 浙江省林火时空变化及影响因子分析[J]. *浙江林业科技*, 2021, 41(4): 62-69.
LI Y H, JIN Q F. Temporal and spatial variation of forest fires and factors analysis in Zhejiang Province[J]. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2021, 41(4): 62-69.
- [27] 田野,牛树奎,陈锋,等. 丽江地区森林火灾的时空分布规律[J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(5): 142-148.
TIAN Y, NIU S K, CHEN F, et al. Temporal and spatial distribution of forest fire in Lijiang area[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2018, 33(5): 142-148.
- [28] 罗仁荣. 如何做好喀斯特地貌区乡镇森林防火工作[J]. *河南农业*, 2018(17): 42-45.
LUO R R. How to do a good job of forest fire prevention in villages and towns in Karst landform area[J]. *Agriculture of Henan*, 2018(17): 42-45.
- [29] 郑长青,杨少斌,程玉林,等. 内蒙古大兴安岭北部原始林区地形因子对森林火灾空间分布的影响分析[J]. *内蒙古林业科技*, 2022, 48(3): 48-53.
ZHENG C Q, YANG S B, CHENG Y L, et al. Impact analysis of topographic features on spatial distribution of forest fire in the northern primitive forest area of Greater Xing'an Mountains, Inner Mongolia[J]. *Journal of Inner Mongolia Forestry Science and Technology*, 2022, 48(3): 48-53.
- [30] 田超,苏漳文,杨夏捷,等. 福建西部地区林火发生格局及驱动因子分析[J]. *森林与环境学报*, 2017, 37(1): 88-94.
TIAN C, SU Z W, YANG X J, et al. Investigations on spatial distribution and driving factors of forest fire in western Fujian[J]. *Journal of Forest and Environment*, 2017, 37(1): 88-94.
- [31] SYPHARD A D, RADELOFF V C, KEELEY J E, et al. Human influence on California fire regimes[J]. *Ecological Applications: a Publication of the Ecological Society of America*, 2007, 17(5): 1388-1402.
- [32] 顾先丽,吴志伟,张宇婧,等. 气候变化背景下江西省林火空间预测[J]. *生态学报*, 2020, 40(2): 667-677.
GU X L, WU Z W, ZHANG Y J, et al. Prediction research of the forest fire in Jiangxi Province in the background of climate change [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(2): 667-677.
- [33] GUO F T, WANG G Y, SU Z W, et al. What drives forest fire in Fujian, China? Evidence from logistic regression and Random Forests [J]. *International Journal of Wildland Fire*, 2016, 25(5): 505.
- [34] GUO F T, SU Z W, WANG G Y, et al. Wildfire ignition in the forests of southeast China: Identifying drivers and spatial distribution to predict wildfire likelihood[J]. *Applied Geography*, 2016, 66: 12-21.
- [35] 周义峰. 四川省甘孜州林火分布格局及预测模型研究[D]. 成都:成都理工大学, 2021.
ZHOU Y F. Study on distribution pattern and prediction model of forest fire in Ganzi prefecture of Sichuan Province [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2021.
- [36] 高超,林红蕾,胡海清,等. 基于气象因子的黑龙江黑河林火发生概率预测[J]. *森林与环境学报*, 2022, 42(5): 529-535.
GAO C, LIN H L, HU H Q, et al. Probability prediction of forest fires in Heihe region of Heilongjiang Province based on meteorological factors[J]. *Journal of Forest and Environment*, 2022, 42(5): 529-535.
- [37] CALDER W J, PARKER D, STOPKA C J, et al. Medieval warming initiated exceptionally large wildfire outbreaks in the Rocky Mountains [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(43): 13261-13266.
- [38] WESTERLING A L, HIDALGO H G, CAYAN D R, et al. Warming and earlier spring increase western U. S. forest wildfire activity[J]. *Science*, 2006, 313(5789): 940-943.
- [39] 曾爱聪,蔡奇均,苏漳文,等. 基于 MODIS 卫星火点的浙江省林火季节变化及驱动因子[J]. *应用生态学报*, 2020, 31(2): 399-406.
ZENG A C, CAI Q J, SU Z W, et al. Seasonal variation and driving factors of forest fire in Zhejiang Province, China, based on MODIS satellite hot spots[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(2): 399-406.
- [40] 姚启超. 大兴安岭林火历史与气候的关系[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2017.
YAO Q C. Multicentury wildfire and climate in the Daxing'an mountains, China[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2017.