

丽江地区森林火灾的时空分布规律

田野,牛树奎*,陈锋,王婕

(北京林业大学 林学院,北京 100083)

摘要:根据丽江地区 1984—2008 年林火统计资料,利用 GIS 空间分析法揭示了丽江地区林火发生的时空分布规律以及影响因素。结果表明,丽江地区林火以 1988 年为界限,分为 1984—1988 年的多发期和 1989 之后的平稳期;丽江地区森林火灾主要发生在春季,3—5 月最为严重,占总火灾次数 72%;林火空间分布来看,森林火灾高发区域主要分布在海拔 1 600~2 800 m,坡度在 0°~10°的区域,阳坡发生森林火灾的频率较高;通过道路河流缓冲区分析,在距离河流、道路 2 000 m 的缓冲区范围内分别有 47%和 38%的森林火灾发生,这说明林火发生次数与道路以及河流距离密切相关。研究丽江地区森林火灾时空分布特征,有利于把握该地区林火发生规律,为制定科学防火规划和指导森林防火扑救工作提供依据。

关键词:森林火灾;丽江;地理信息系统;时空分布规律

中图分类号:S762.1

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2018)05-0142-07

Temporal and Spatial Distribution of Forest Fire in Lijiang Area

TIAN Ye, NIU Shu-kui*, CHEN Feng, WANG Jie

(College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to understand the law of forest fires and to provide a scientific basis forest fire prevention and guidance of forest fire fighting, temporal and spatial distributions of forest fires occurring in Lijiang were examined. Based on the data of forest fire statistics in Lijiang area from 1984 to 2008, the temporal and spatial distribution pattern of forest fires and impact factors in Lijiang area were analyzed by GIS spatial methods. The results showed that the times of forest fire in Lijiang area was bounded by 1988 and divided into two phases: high fire occurrence stage before 1988 and stable fire occurrence stage after 1988. Forest fire occurred mainly in spring, the times of forest fires occurred mainly in March to May accounted for 72% of the total. Forest fire were mainly distributed in high-risk area between 1 600 to 2 800 m above sea level, slope from 0° to 10°, and sunny slope was prone to fire. ; it was found that 48% and 38% of forest fires on both sides of the highway and the river within the range of 2 000 m through the buffer analysis, which showed that the frequency of forest fires was closely related to the distance between the highway and the river.

Key words: forest fire; Lijiang; GIS; spatial and temporal distribution pattern

森林火灾是一种突发性强、破坏性大的自然灾害,不仅对森林资源造成巨大损失,而且威胁着人民生命财产安全^[1]。自 20 世纪 80 年代以来,由于全球气候变化的影响,世界范围内森林火灾有明显增加趋势^[2-3],近些年重特大森林火灾时有发生,烧毁

了数百万公顷森林,造成巨大经济损失,破坏了全球生态平衡。受气象因子、森林植被以及地形条件等因素的影响,森林火灾发生的时间和空间分布呈现一定的规律性^[4-7]。通过对森林火灾发生的时空分布特征研究,了解地域性森林火灾分布规律,采取有

收稿日期:2017-12-22 修回日期:2018-03-01

基金项目:国家林业科学技术推广项目(2015-04)。

作者简介:田野,男,硕士,研究方向:林火生态。E-mail:18504830080@163.com

*通信作者:牛树奎,男,教授,博士,研究方向:林火生态。E-mail:shukuiniu@bjfu.edu.cn

针对性的防火措施,从而在最大程度上降低森林火灾的发生率,减少林火带来的损失。

国内外对于森林火灾时空分布以及影响因素进行了许多研究。C. R. Romero^[8]等对马德里西南部地区人为火空间分布进行了研究;V. Antonio^[9]等通过GIS结合地形特征以及森林植被,对西班牙中部的格雷多山脉的林火进行相关研究。王丹丹^[10]等利用河南登封地区林火以及气象数据,通过运用BP神经网络建立林火发生预测模型取得了很好的拟合效果^[10];张冬有^[11]等、金森^[12]等、胡海清^[13]等对黑龙江省森林火灾发生时空分布特征以及影响因子进行了研究。国内相关研究大多数局限于我国的北方地区^[14-15],以黑龙江省研究最为广泛^[16-17],南方地区研究相对较少^[18-20]。同时大多数研究区域空间尺度较大,气象、地形、植被等因子差异性明显,大尺度上的研究方法不一定适用于中小尺度区域。

云南省森林资源丰富,素有“植物王国”之称,同时也是我国森林火灾的高发区^[21]。丽江地区森林火灾频繁,是云南省的多发区和重灾区,尤其近几年气候变暖,该地区森林火灾频发,再加上地处高原,地形地貌复杂,火灾扑救困难,因此森林防火形势异常严峻。目前关于云南省林火相关研究已经很多^[19-23],但是集中针对丽江地区森林火灾格局以及林火发生规律的研究尚未见报道。本研究在对丽江地区历史火灾资料、植被以及地形等数据分析的基础上,探讨该地区林火时空分布规律及主要影响因素,对森林资源的合理配置提供科学依据,为林火相关研究提供借鉴,同时研究结论对当地林火管理工作有效开展提供一定参考。

1 研究区概况

丽江地区位于云南省西北部,青藏高原和云贵高原交界处,地理位置 $25^{\circ}23' - 27^{\circ}56'N$ 、 $99^{\circ}23' - 101^{\circ}31'E$,行政区总面积 $2.06 \times 10^4 \text{ km}^2$,平均海拔高度2 418 m。该地区属高原型西南季风气候,昼夜温差较大,年均温 $12.6 \sim 19.8^{\circ}\text{C}$,年降水 $910 \sim 1\,040 \text{ mm}$,主要集中在6—9月,干湿季节分明。丽江地区海拔跨越北亚、中亚、南亚热带、暖温、中温以及寒温带等6个垂直气候带的立体气候特性,类型繁多的生态环境格局决定了丽江地区植被多样的特性。丽江地区作为云南省重点林区之一,全市林业用地面积为163万 hm^2 ,森林覆盖率达到66.15%,植物种类丰富,仅种子植物达到2 988种,植被类型以中亚热带常绿阔叶林以及山地针叶林为主,主要树种有云南松(*Pinus yunnanensis*)、旱冬瓜(*Alnus nepalensis*)、丽江云杉(*Picea likiangen-*

sis)、长苞冷杉(*Abies georgei*)等^[21,23]。

丽江地区森林火灾频繁,是我国云南省森林火灾高发地区,每年的12月至次年6月为森林防火期,其中1—5月是森林火灾高峰期^[21]。据统计,1984—2008年,丽江地区共发生森林火灾2 057次,年平均发生火灾达83次。该区主要火源是人为火,主要由吸烟、取暖做饭、烧荒烧灰以及上坟烧纸等原因引起。由于云南松等易燃性树种广泛分布以及高温干旱气候等原因,加上地形复杂、交通不便,扑救灭火工作开展困难,给当地森林资源造成极大损失。

2 材料与方法

2.1 数据来源

本研究所用数据为丽江地区1984—2008年逐次火灾统计数据,包括起火点、火点火灾发生时间、起火原因、过火面积等,来自云南省森林防火指挥部;植被数据为云南省森林分布图,来自2004—2009年云南省各县森林资源二类调查结果;DEM数据来自寒区旱区科学数据中心。同时收集了云南省数字化县级行政区划图。

2.2 研究方法

采用SPSS 21.0软件以及地理信息系统软件的空间分析方法对丽江地区森林火灾时空规律进行研究。

对1984—2008年丽江地区发生的森林火灾相关数据进行统计分析,研究林火在不同影响因素条件下的空间分布特征。根据丽江市DEM数据,提取高程、坡度和坡向因子,研究地形因子对火灾空间分布的影响。利用ArcGIS软件对森林分布图、丽江行政区划图与火点经纬度进行叠加分析,统计不同森林类型火灾发生的频率,研究可燃物类型对火灾发生的影响;同时在道路、河流两旁0~2 000 m的缓冲范围内做出间隔为200 m的缓冲区,研究道路以及河流对火点分布的影响。

3 结果与分析

3.1 丽江地区林火时间分布规律

3.1.1 林火年际变化特征 1984—2008年,丽江地区共发生森林火灾2 057次,1986、1987、1988年发生的林火次数居前3位,分别是250、383、192次(图1)。火灾次数年际变化呈现较大性波动,但总体上呈现减小趋势,1984—1988年火灾发生最为频繁,年均达196次,占总着火次数的56%;1989—1999年,林火次数较少,整体上呈现较平稳趋势;2000年以后,森林火灾次数又有所增加,但是总体增加幅度不大。1987年前,全国林区整体防火基础

设施差,防火意识不强,防火专业队伍少,全国林火发生普遍频繁。自1987年5月黑龙江省大兴安岭特大森林火灾发生后,国家投入大量资金用于防火设施建设,强化火源管理系统,预防和扑救林火综合能力得到提高,林火发生次数显著下降^[25]。这也是丽江地区森林火灾次数自1988年明显下降的原因。

丽江地区1984—2008年总过火面积达22 042.3 hm²,年均过火面积881.7 hm²(图1)。其中1984、1987、1995、1999、2006年是火灾重灾年份,过火面积

较大,占总过火面积的49.9%。过火面积年际变化总体上呈减少趋势,与林火发生次数基本一致。

就森林火灾等级的分布来看,森林火警发生次数最多,达1 412次,一般森林火灾达655次,重大森林火灾共计19次,主要发生在1985—1988年。森林火警发生频率明显高于其他火灾,这与研究区的森林防火能力不断提升有关,大多数情况下,森林火警可以做到及时扑救,防止火灾向更严重的态势发展。

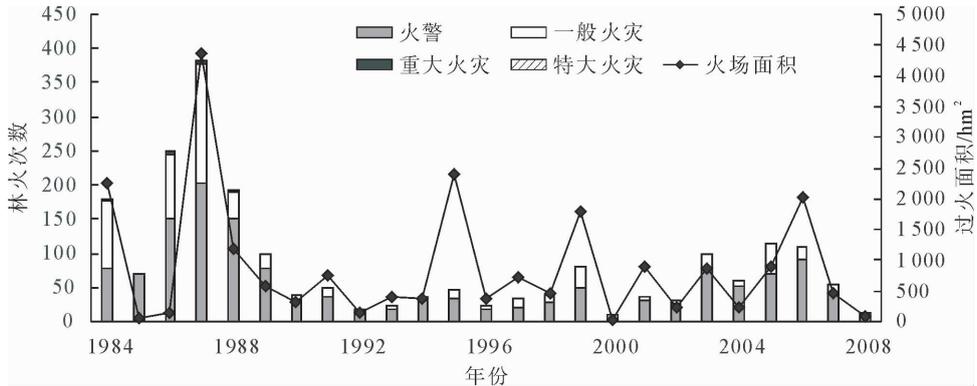


图1 1984—2008年丽江地区森林火灾年际变化

Fig. 1 Yearly scale changes of the forest fires in Lijiang area during 1984—2008

3.1.2 林火季节变化特征 丽江林火发生具有很强的季节性分布规律,火灾多集中于春季和冬季,其中3、4、5月是火灾发生的高峰期(图2),共发生1 482次森林火灾,占总火灾次数72%,过火面积达13 160.5 hm²,占全年的63.8%。1、2、6月火灾较多,占总森林火灾次数的28%和总过火面积的36%。7—12月几乎没有林火发生。

这与该地区的气候特征密切相关。该地区干湿季节分明,雨水主要集中在夏季,春季冬季干旱少雨,可燃物含水率降低,可燃物点燃的概率增大,森林火险明显提高,促使森林火灾的发生^[26]。云南省森林防火期为每年的12月1日至次年的6月15日,防火期正好也是农耕、生产用火的高峰期,人口

流动性加大,加上春季烟花爆竹以及清明烧纸扫墓,使得该段时间内易引发森林火灾。

3.1.3 林火日分布特征 从丽江地区1997—2008年的森林火灾日变化分布图来看(图3),林火主要发生在当年的第1~170天,170~365天未发生森林火灾。其中第64天(即3月4日)过火面积最大,达680.7 hm²,第102天(即4月11日)林火发生次数最多,达20次。按照连续多天达到100 hm²标准来计算^[11],从第62天到第116天这55 d平均过火面积达到了101 hm²,是丽江地区一年中森林火灾高发时段。这一时段正值早春阶段,气温逐渐回升,蒸发量增加,森林可燃物干燥,易发生林火,同时农事活动增加,使得该时段林火高发。

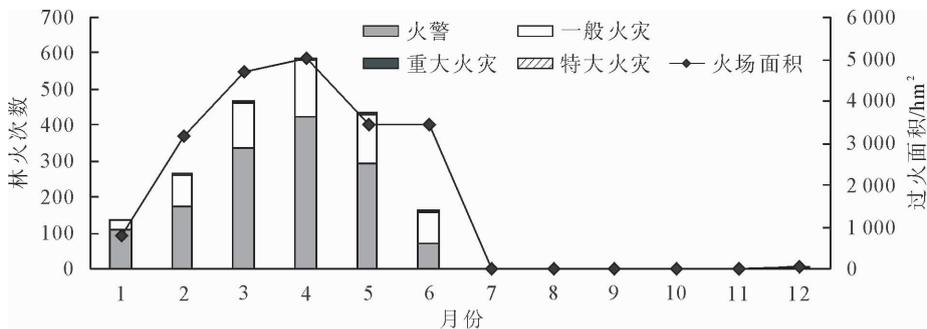


图2 1984—2008年丽江地区森林火灾季节变化

Fig. 2 Seasonal change of forest fire season in Lijiang area during 1984—2008

3.2 丽江地区林火空间分布及影响因素

3.2.1 丽江地区林火空间分布规律 1997—2008

年,丽江地区各县均有林火发生,其中林火次数最多的是宁蒗彝族自治县,共发生火灾278次;就发生一

般火灾次数来看,宁蒗彝族自治县与丽江纳西族自治县相差不多,分别发生了 57 次和 53 次;这 25 a

共发生重大火灾 2 次,主要发生在丽江纳西族自治县(图 4)。

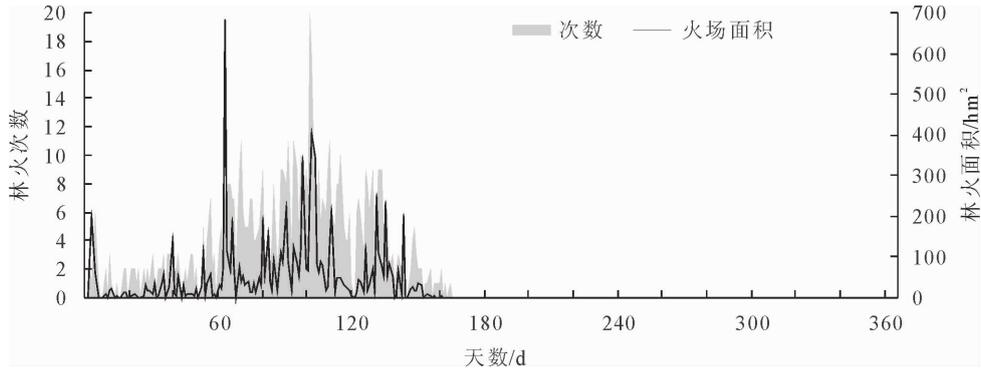


图 3 1997—2008 年丽江地区森林火灾日分布

Fig. 3 Distribution of the days of forest fire in Lijiang area during 1984—2008

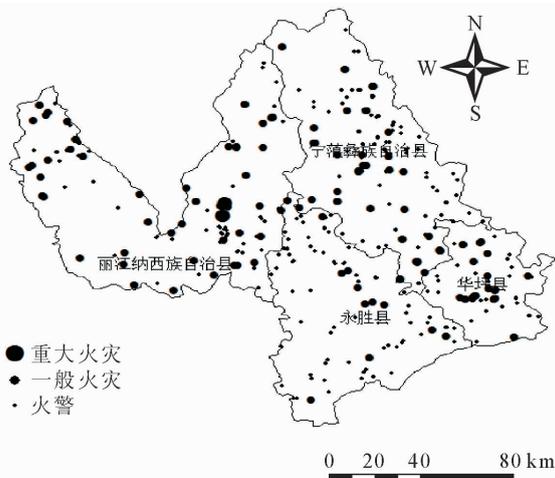


图 4 丽江地区林火分布

Fig. 4 Spatial distribution map of forest fire in Lijiang area

一个地区能否发生森林火灾,森林火灾蔓延趋势受多个因子的影响,包括气象因子(温度、湿度、风速、降水、日照时数等)、可燃物类型、地形(坡度、坡向、海拔)以及人为因子(包括人口聚集地分布、人口密度、道路密度等)^[20]。本研究主要通过分析地形因子(包括海拔、坡度、坡向)、可燃物以及道路河流密度对森林火灾空间分布的影响。

3.2.2 不同海拔高度的林火分布特征 海拔在一定程度上影响降雨的分布,一般随着海拔的升高,气温逐渐降低,湿度变大,不易发生火灾^[26]。丽江地区的森林火灾主要集中在 2 300~2 800 m(图 5),占森林火灾总次数的 42.8%。这一海拔范围内森林分布面积较大,且易燃的针叶树种居多,利于林火的发生与蔓延^[23];当海拔>2 500 m 时,林火频率随海拔升高呈现逐渐减小趋势。随着海拔的逐渐升高,一方面气温逐渐降低,气象火险等级降低;另一方面人为干扰因素减少,人为火源出现的频率较低,因此林火发生频率降低^[11]。

3.2.3 不同坡向和坡度的林火分布特征 地形因

子中坡度、坡向同样影响着森林火灾的分布。表 1 中阳坡发生的林火次数占总次数的 42%,半阴半阳坡发生次数占 34%,阴坡占 24%。这是因为阳坡所吸收的太阳辐射多,温度相应也高,从而导致土壤水分含量少,植物体内的含水率相应也少,森林火灾发生频率更高;阴坡方向则相反^[27]。由图 6 可知,坡度在 11°~30°,火灾发生次数占总次数的 42.5%;0°~10°,火灾次数占总次数的 54.5%。因该坡度范围内地形较为平坦,人为活动较为密集,使得火源出现频率较高,火灾易发生;随坡度增加,地被物减少,林分稀疏,人为干扰少,林火发生的可能性降低。

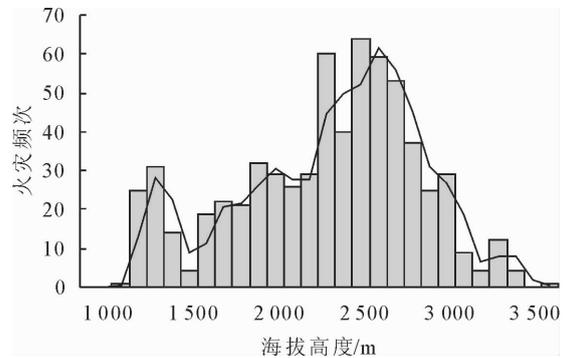


图 5 丽江地区不同海拔高度的森林火灾分布

Fig. 5 Altitude distribution of forest fire in Lijiang area

表 1 不同坡向林火发生频率

Table 1 Different aspect frequency of forest fire

坡向	林火次数	林火频率/%
阴坡	156	24
阳坡	274	42
半阴半阳坡	220	34

3.2.4 不同可燃物类型的林火分布特征 不同可燃物类型燃烧性质不同,着火的概率也不相同^[17,28]。不同可燃物类型中,针叶林发生火灾的次数最多,为 370 次;阔叶林发生火灾的次数次之,为

125 次;针阔混交林发生火灾的次数最少,为 13 次。从不同林龄火灾发生的比例来看,针叶林和阔叶林中幼、中林发生火灾的次数明显高于成熟林(图 7、图 8),这说明相比成熟林,幼、中林火险发生概率更高,更容易燃烧。因为在幼林阶段郁闭度较小,无法遮阴导致林内温度高、湿度小,更易引起火灾;成熟林树冠高且大,林内温度相对低,湿度较大,火险发生概率相对较低^[28]。

3.2.5 林火发生与道路、河流距离关系 对丽江地区森林火灾发生地点与河流以及道路的距离关系进行缓冲区分析。首先以 200 m 半径为间隔单位,分别做出河流、道路0~2 000 m 的缓冲区,然后将不

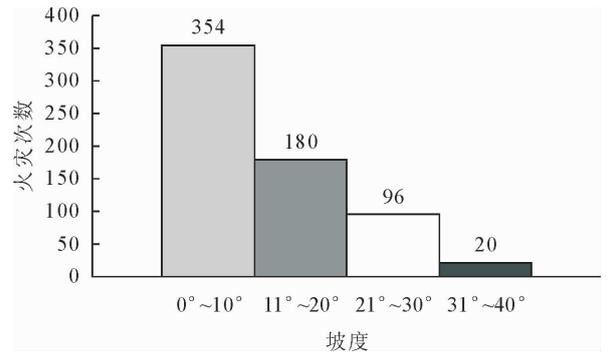


图 6 不同坡度森林火灾频次

Fig. 6 The forest fire frequency histogram of slope

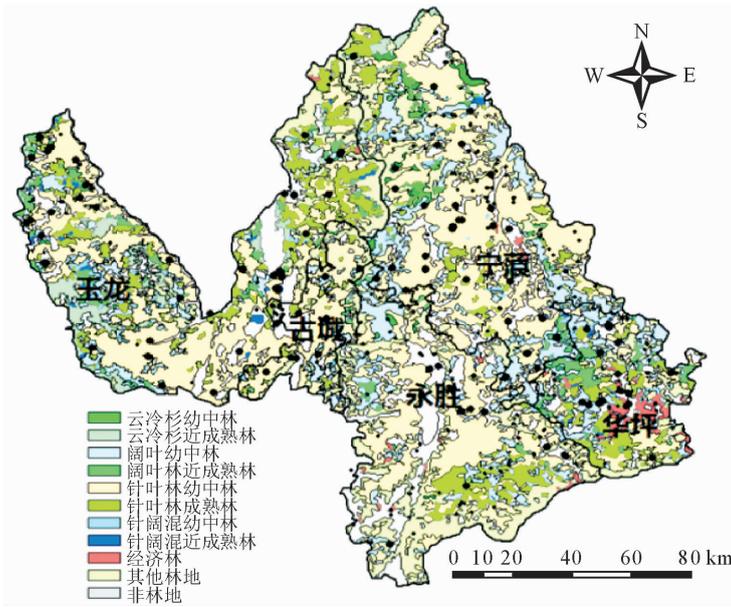


图 7 丽江地区森林类型分布

Fig. 7 Spatial distribution map of forest types in Lijiang area

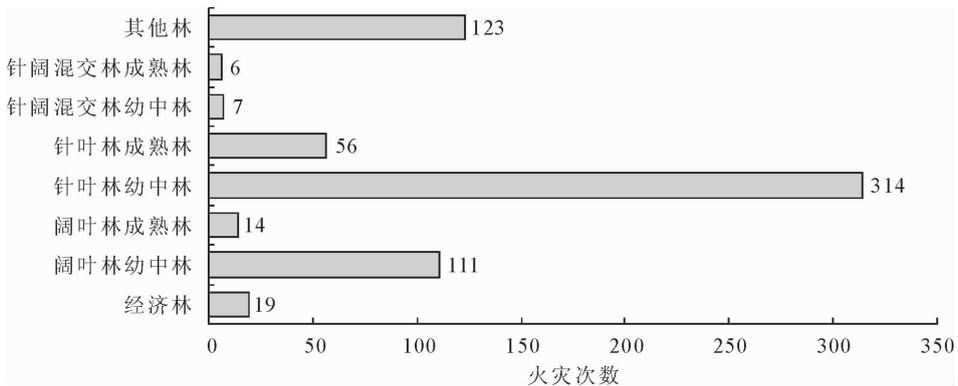


图 8 丽江地区不同可燃物森林火灾发生频次

Fig. 8 The forest fire frequency histogram of different fuels

同半径的道路、河流缓冲区分别与火点进行空间叠加分析。统计出不同缓冲区半径内森林火灾发生次数(表 2)。由表 2 可知,丽江地区火点发生地距离道路、河流<2 000 m 发生林火次数依次为 313 次和 245 次,占总林火次数的比例为 47%、38%。其中,发生在距离道路<1 000 m 的为 215 次,占林火

总次数的 33%,发生在距离河流1 000 m处共计 161 次,占总林火次数的 25%。总体上随着林地距离道路越来越远,林火发生次数降低。这说明林火发生与道路、河流的距离在一定程度上密切相关,且林火多与人为活动有关。丽江地区是著名的旅游景点,道路、河流密集区域,人口相对集中,且流动性大,加

表2 1997—2008年丽江地区林火发生次数与道路、河流的距离关系

Table 2 The distance between forest fire times and highway, rivers in Lijiang area during 1997—2008

距离/m	与河流交点				与道路交点			
	次数	累计次数	比例/%	累计比例/%	次数	累计次数	比例/%	累计比例/%
0~200	51	51	8	8	33	33	5	5
200~400	46	97	7	15	24	57	4	9
400~600	45	142	7	22	47	104	7	16
600~800	34	176	5	27	37	141	6	22
800~1 000	39	215	6	33	20	161	3	25
1 000~1 200	22	237	3	36	19	180	3	28
1 200~1 400	13	250	2	38	25	205	4	32
1 400~1 600	26	276	4	42	13	218	2	34
1 600~1 800	16	292	2	44	16	234	2	36
1 800~2 000	21	313	3	47	11	245	2	38

上防火意识不强,易造成林火灾害。因此,为避免林火发生,当地相关林火部门应加大宣传力度,加强道路、河流两侧监管力度,进一步提升防火意识。

4 结论和讨论

本研究基于丽江地区1984—2008年森林火灾统计数据、DEM数据以及云南省森林分布数据,运用地理信息系统软件和统计分析方法对丽江地区林火时空分布特征进行了相关研究,结论如下:

丽江地区的森林火灾年际变化呈现较大性波动,但总体上随时间变化呈下降趋势。以1988年为界限分为1984—1988年的高发阶段以及1988年之后的较平稳阶段。从林火发生季节性分布来看,春季是林火发生高峰期,占总林火次数的72%,秋季无林火发生。由于丽江地区干湿季节分明,春天时常出现高温、低湿天气,可燃物含水率较低,易发生森林火灾。同时初春时节也是农事活动较为频繁时期,开垦烧荒、野外用火不规范等都会造成林火发生。

从森林火灾分布来看,丽江地区各个县均有林火发生,其中林火次数最多的是宁蒗彝族自治县,占林火总次数的42.6%。地形对于林火发生影响较大,不同地形会形成不同的小气候,影响森林植被的分布,从而影响森林火灾的发生^[29]。丽江地区林火高发区域主要分布在海拔1 600~2 800 m,海拔>2 500 m,林火次数随海拔升高呈现逐渐减少趋势。丽江地区森林火灾主要集中在0°~10°坡度,占森林火灾总次数的54.5%,且阳坡更容易发生火灾。0°~10°坡度范围内地形较为平坦,可能是人为活动较为密集区域,使得火源出现频率较高,火灾易发生;随坡度增加,地被物减少,林分稀疏,人为干扰少等,导致林火发生的可能性降低。针叶林由于含有松脂和挥发性油类,较阔叶林易燃,更易发生森林火灾。幼、中林发生火灾频率显著高于成熟林。幼林

阶段郁闭度较小,无法遮阴导致林内温度高、蒸发量大,同时在自然整植过程中可燃物积累多,更易引起火灾,这与胡林^[14]等的研究基本一致。通过缓冲区分析,发现距离河流、道路2 000 m的范围内林火发生比例较高,分别为47%和38%,这与马楠楠^[30]等和杨广斌^[4]等研究结论相似,说明林火发生与道路以及河流距离有一定关系。郭福涛^[31]等在塔河地区的研究结果表明,铁路距离对人为火的发生具有显著影响,高火险区域主要集中于铁路线路区域,进一步说明了人为设施空间分布对人为火的重要影响。因此,当地防火部门应加强道路以及河流两旁的巡护力度,对当地居民积极开展森林防火教育,加强防火意识,以减少火灾的发生。

本研究在一定程度上分析了丽江地区森林火灾时空分布规律,结果可为该地区防火决策提供一定依据。但是由于火灾数据时间跨度短,且缺少最近几年火灾统计数据,对该地区林火管理决策具有局限性。在研究火灾空间分布的影响因素时,仅考虑了植被、地形因子以及道路河流密度,未考虑人为火源因子,因此,应该进一步考虑居民点分布、气候等因素对火灾的影响,对它们的相关性进行探讨。

在全球气候变暖的背景下,森林火灾预防面临着严峻的形势,应当根据丽江地区林火发生的时空分布规律,全面开展森林防火工作规划,在防火期间加强林区检查监督,消除各类火险隐患,稳固防火基础建设,合理配置森林防火力量和资源,全面提高森林火灾预防的综合能力,降低森林火灾发生的风险。

参考文献:

- [1] RODRIGUES M, RIVA J D L. An insight into machine-learning algorithms to model human-caused wildfire occurrence[J]. Environmental Modelling & Software, 2014, 57: 192-201.
- [2] 曲智林. 黑龙江省潜在森林火灾危害程度预测的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.

- [3] 舒立福,田晓瑞.世界森林火灾状况综述[J].世界林业研究,1998,11(6):42-48.
- [4] 杨广斌,唐小明,宁晋杰,等.北京市1986—2006年森林火灾的时空分布规律[J].林业科学,2009,45(7):90-95.
YANG G B, TANG X M, NING J J, *et al.* Spatial and temporal distribution pattern of forest fire occurred in Beijing from 1986 to 2006[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(7): 90-95. (in Chinese)
- [5] ALBERTO B. Differential inclusions and the control of forest fires [J]. *Journal of Differential Equations*, 2007, 243 (2): 179-207.
- [6] 王荷秀,穆建利,侯建忠,等.陕西省林火的时空分布及火源特点[J].西北林学院学报,1998,13(1):75-78.
- [7] 张馨月,苏晓慧.四川省林火次数与气象因子的相关性研究[J].西北林学院学报,2017,32(3):176-180.
ZHANG X Y, SU X H. Correlation analysis on forest fire occurring frequency and meteorological factors in Sichuan [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2017, 32 (3): 176-180. (in Chinese)
- [8] ROMERO C R, NOVILLO C J, MILLING J D A, *et al.* GIS analysis of spatial patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (central Spain) [J]. *Landscape Ecology*, 2008, 23(3): 341-354.
- [9] ANTONIO V, JOSE M M. Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos (central Spain) [J]. *Forest Ecology and Management*, 2001, 147(1): 55-65.
- [10] 王丹丹,黄家荣,刘伟,等.基于人工神经网络的森林火险预测[J].西北林学院学报,2010,25(3):143-146.
WANG D D, HAUNG J R, LIU W, *et al.* The prediction of the forest fire based on the artificial neural network [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25(3): 143-146. (in Chinese)
- [11] 张冬有,邓欧,李亦秋,等.黑龙江省1980—2005年森林火灾时空特征[J].林业科学,2012,48(2):175-179.
ZHANG D Y, DENG O, LI Y Q, *et al.* Temporal and spatial characteristics of forest fires in Heilongjiang Province between 1980 and 2005 [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2012, 48(2): 175-179. (in Chinese)
- [12] 金森,胡海清.黑龙江省林火规律研究 I. 林火时空动态与分布[J].林业科学,2002,38(1):88-94.
JIN S, HU H Q. Study on forest fire regime of Heilongjiang Province I. forest fire spatial and temporal dynamics and statistical distribution [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(1): 88-94. (in Chinese)
- [13] 胡海清,金森.黑龙江省林火规律研究 II. 林火动态与格局影响因素的分析[J].林业科学,2002,38(2):98-102.
HU H Q, JIN S. Study on forest fire regime of Heilongjiang Province II. analysis on factors affecting fire dynamics and distributions [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(2): 98-102. (in Chinese)
- [14] 胡林,冯仲科,聂玉藻,等.北京市房山区林火强度与环境因子间的关系[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(5):131-134.
- [15] 田晓瑞,舒立福,王明玉,等.西藏森林火灾时空分布规律研究[J].火灾科学,2007,16(1):10-14,67.
- [16] 郭福涛,胡海清,张金辉.塔河地区林火时空分布格局与影响因素[J].自然灾害学报,2009,18(1):204-208.
GUO F T, HU H Q, ZHANG J H. Spatial temporal distribution patterns and influence factors of forest fire in Tahe area [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2009, 18(1): 204-208. (in Chinese)
- [17] 王明玉.气候变化背景下中国林火响应特征及趋势[D].北京:中国林业科学研究院,2009.
- [18] 石晶晶.浙江省林火发生格局及预测模型研究[D].杭州:浙江农林大学,2014.
- [19] 何雨琴,徐虹,程晋昕.云南省林火时空分布特征分析[J].中南林业科技大学学报,2017,37(5):36-41.
HE Y Q, XU H, CHENG J X. Analysis of temporal and spatial distribution of forest fire in Yunnan Province [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2017, 37(5): 36-41. (in Chinese)
- [20] 陈锋.云南省森林火灾对气候变化的响应及趋势预测[D].北京:北京林业大学,2015.
- [21] 张晨.基于GIS的景观格局对森林火灾的影响研究[D].北京:北京林业大学,2015.
- [22] 赵凤君,舒立福,田晓瑞,等.1957—2007年云南省森林火险变化[J].生态学杂志,2009,28(11):2333-2338.
ZHAO F J, SHU L F, TIAN X R, *et al.* Change trends of forest fire danger in Yunnan Province in 1957—2007 [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(11): 2333-2338. (in Chinese)
- [23] 范戩.云南丽江生态地质环境演化过程与趋势研究[D].昆明:昆明理工大学,2008.
- [24] 吴征镒,朱彦丞.云南植被[M].北京:科学出版社,1987.
- [25] 田晓瑞.森林防火学发展[R]//2008—2009林业科学学科发展报告.北京:中国科学技术出版社,2009:11.
- [26] 尹海伟,孔繁花,李秀珍.基于GIS的大兴安岭森林火险区划[J].应用生态学报,2005,16(5):833-837.
YIN H W, KONG F H, LI X Z. GIS-based forest fire risk zone mapping in Daxing'an mountains [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(5): 833-837. (in Chinese)
- [27] 胡振华,冯慧敏,王电龙,等.晋西黄土残塬沟壑区塬坡坡面土壤水分特征分析[J].山西农业大学学报:自然科学版,2009,29(3):257-260.
HU Z H, FENG H M, WANG D L, *et al.* Slope soil water characteristics analysis in Loess Gully area in western Shanxi Province [J]. *Journal of Shanxi Agriculture University: Natural Science Edition*, 2009, 29(3): 257-260. (in Chinese)
- [28] 胡海清.林火生态与管理[M].北京:中国林业出版社,2005.
- [29] 吴志伟,常禹,贺红土,等.大兴安岭呼中林区林火时空分布特征分析[J].广东农业科学,2011,35(5):189-193.
- [30] 马楠楠,张彦雷,李建,等.黑龙江呼玛县森林火灾时空分布特征[J].东北林业大学学报,2016,44(5):20-23,56.
MA N N, ZHANG Y L, LI J, *et al.* Spatial and temporal distribution characteristics of forest fire in Huma County of Heilongjiang Province [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2016, 44(5): 20-23, 56. (in Chinese)
- [31] 郭福涛,苏漳文,王光玉,等.我国北方针叶林人为火发生的预测模型[J].应用生态学报,2015,26(7):2099-2106.
GUO F T, SU Z W, WANG G Y, *et al.* Prediction model of human-caused fire occurrence in the boreal forest of northern China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(7): 2099-2106. (in Chinese)