

DOI:10.19479/j.2095-719x.2404238

## 2014—2021年南北方典型区域森林火点动态变化特征

姜楠, 闻宏睿, 孙震辉

(天津城建大学地质与测绘学院, 天津 300384)

**摘要:** 本文以黑龙江省和广东省为代表, 基于2014年到2021年的森林火点数据, 运用全局空间自相关分析、点密度分析和标准差椭圆等空间统计方法, 对我国南北方森林火点的时空分布模式和特征进行分析, 然后分析森林火点发生次数多的海拔高度。结果显示: 两省全年森林火点年际变化呈下降趋势, 森林火点有明显的季节性特征, 与季节性特征对应, 林火的月变化情况均呈双峰式分布; 两省森林火点分布在空间上具有较高的异质性, 黑龙江省森林火点主要集中在黑龙江省的中部区域, 而广东省的森林火点在西北部和西南部区域分布最多, 与森林火点分布高密度区一致; 两省森林火点分布呈现显著的空间集聚性, 且集聚程度较高, 黑龙江省集聚程度降低, 在空间分布上的依赖性减弱, 广东省空间集聚程度提高, 森林火点在空间分布上的依赖性增强; 黑龙江省森林火点分布方向呈西北—东南方向, 森林火点重心总体向西北方向偏移。广东省方向呈东北—西南走向, 森林火点重心总体向西南方向移动。两个省份森林火点分布范围都有下降的趋势。

**关键词:** 森林火点; 时空分异; 空间自相关; 标准差椭圆; Landsat

中图分类号: TP79; S762.32

文献标志码: A

文章编号: 2095-719X(2024)04-0238-11

## Spatio-temporal Dynamic Characteristics of Forest Fire Points in South-and-North China from 2014 to 2021

JIANG Nan, WEN Hongrui, SUN Zhenhui

(School of Geology and Geomatics, TCU, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** Based on the forest fire point data from 2014 to 2021 in Heilongjiang Province and Guangdong Province, this article analyzed the spatial and temporal distribution patterns and characteristics of forest fire points in northern and southern China by using spatial statistical methods such as global spatial auto-correlation analysis, point density analysis, and standard deviational ellipse. And then this article analyzed the altitude of forest fire points with a high number of occurrences. The results showed that: The inter-annual variation of forest fire points in the two provinces showed a decreasing trend, and the forest fire points had obvious seasonal characteristics. Corresponding to the seasonal characteristics, the monthly variation of forest fires showed a bimodal distribution. The distribution of forest fire points in the two provinces had high spatial heterogeneity. The forest fire points in Heilongjiang Province were mainly concentrated in the central region, while in Guangdong Province they were mostly distributed in the northwest and southwest regions, which were consistent with the high-density distribution. The distribution of forest fire points in the two provinces had significant spatial agglomeration, and the degree of agglomeration was high. The degree of agglomeration in Heilongjiang Province decreased, and the dependence on spatial distribution weakened. However, the degree of spatial agglomeration in Guangdong Province increased, and the dependence of forest fire points on spatial distribution increased. The distribution direction of forest fire points in Heilongjiang Province was northwest-southeast, and the center of gravity of forest fire points generally shifted to the northwest. The direction of Guangdong Province was northeast-southwest, and the center of gravity of forest fires generally moved to the southwest. The distribution range of forest fire points in both provinces had a downward trend.

**Key words:** forest fire points; spatio-temporal heterogeneity; spatial auto-correlation; standard deviational ellipse; Landsat

森林火灾是影响最恶劣的自然灾害之一, 不仅严重破坏生态平衡, 而且对人的生命财产安全同样造成

收稿日期: 2023-02-26; 修订日期: 2023-05-18

基金项目: 广东省林业科技创新项目(2020KJCX003)

作者简介: 姜楠(1997—), 女, 山东烟台人, 天津城建大学硕士生

通讯作者: 孙震辉(1987—), 男, 讲师, 博士, 从事城市生态遥感与遥感图像处理研究。E-mail: sunzhcas@gmail.com.

威胁<sup>[1-2]</sup>。因此,为了能够减小森林火灾对人和自然的影响,有必要研究森林火灾的发生规律和分布特征,从而达到合理分配防火资源,防患于未“燃”的目的。

随着遥感技术和地理信息系统技术的日趋成熟,越来越多的地方使用这两种技术来预测森林火灾风险,从而能更高效合理地安排人力和物力资源,对森林火灾进行预防<sup>[3-5]</sup>。在预测森林火灾的过程中,需要知道不同的森林火灾影响因子对森林火灾的影响程度才能更准确地对森林火灾进行预测<sup>[6-8]</sup>。目前关于火点的研究,数据源多来自于MODIS数据,其MOD14A1, MCD45A1和MOD13Q1产品数据在火点研究中应用广泛<sup>[9]</sup>。根据MOD14A1火点数据的火点空间分布规律研究在我国南北方众多区域展开,北方区域包括黑龙江<sup>[10-11]</sup>,内蒙古<sup>[12]</sup>,山东<sup>[13]</sup>等,南方区域包括浙江<sup>[14]</sup>,湖北<sup>[15]</sup>,湖南<sup>[16]</sup>,四川<sup>[17-18]</sup>,云南<sup>[19]</sup>等,在省域,县域等不同的空间尺度上探讨了MODIS火点的时空变化规律<sup>[9,14]</sup>。MODIS数据因其监测范围大,时间跨度长而在森林火灾监测中受到广泛的应用,但其空间分辨率较低,对于火点的识别精度较低,而Landsat 8数据由于其高空间分辨率,对于火点的精细识别上更胜一筹<sup>[20]</sup>。森林火灾具有显著的区域性特征,不同地区的森林火灾具有明显的季节性差异。北方地区森林火灾多发季节和南方地区森林火灾多发季节也不尽相同,北方地区森林火灾多发生在春季和秋季,南方地区火灾季节多发生在冬季和春季,且中国南北方纬度跨度大,林区植被类型和气候差异明显<sup>[21]</sup>。中国南北方主要以秦岭—淮河一线来划分,秦岭—淮河以北被称为北方地区,秦岭—淮河以南被称为南方地区。北方地区主要以温带大陆性气候和温带季风气候为主,四季气温变化分明,降水量较少且按季节分配不均<sup>[22]</sup>。南方地区以热带和亚热带季风气候为主,夏季高温多雨,冬季温度一般在0℃以上,降雨较少,北方林区多为针阔叶混交林,南方林区植被多为夏绿阔叶林<sup>[23-24]</sup>。

综上所述,我国南北方纬度跨度较大,不同地区植被类型和气候之间的差异明显。所以,森林火灾的发生动态变化也可能具有显著的区域性特征。以往关于林火时空分布的研究,通常基于某一地区的林火时空规律进行,无法全面反映我国林火发生变化规律。为了更好地了解南北方森林火点时空动态变化特征,选择南北方森林火灾发生的典型区域对其进行分析。

从森林火灾发生情况看,在北方地区,黑龙江省是我国森林防火的重点省份,年均过火面积居全国首位;在南方地区,广东省是南方地区的林业大省,森林覆盖率达到58.66%。从地理位置角度,黑龙江省是我

国纬度最高的省份,广东省位于我国大陆最南部,两个省份作为南北方森林覆盖率较高的省份,森林火灾频发。因此,本文选取黑龙江省和广东省作为南北方森林火点的典型区域代表,来研究南北方森林火点的不同分布特征。

本文以Landsat OLI数据提取得到的火点为基础,与土地覆被类型叠加得到森林火点,对2014—2021年我国南北方两个省份森林火点的时空分布进行探讨,为理解林火的发生和分布规律提供科学基础,为森林防火工作的科学规划和管理提供科学依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

广东省地处我国大陆最南部,全境处于20°13'N~25°31'N和109°39'E~117°19'E之间。属于东亚季风区,夏季高温多雨,冬季温和少雨,冬夏干湿差别不大,四季分明,年平均气温约为19~24℃。广东省多年平均降水量为1300~2500mm,降水的年内分配不均,且年际变化较大,汛期降水占全年的80%以上。

黑龙江省位于我国东北部,处于43°26'N~53°33'N,121°11'E~135°05'E之间。受季风影响,属于寒温带与温带大陆性气候,冬季漫长,寒冷干燥,夏季温热多雨,春秋空气干燥,湿度低。年均气温4~7℃,年均降水量350~500mm。

### 1.2 数据来源

本文所用的数据主要是用于分析时空动态变化特征的火点数据和用于提取森林火点的土地覆盖数据。火点数据来自中国科学院遥感与数字地球研究所提供的近实时地表高温异常点查询服务系统SatSee-Fire(<http://satsee.radi.ac.cn:8080/index.html>)。本文选用置信度大于等于80的火点进行分析。土地覆盖数据来自于资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>),用该数据与火点数据叠加,提取出研究区的森林火点数据。

### 1.3 探索性空间数据分析

为了分析我国南北方两个省份火点的空间分布情况,本文选择经典的全局Moran's I指数检验两个省份火点发生的空间自相关性<sup>[25]</sup>。全局Moran's I指数的计算公式如下

$$I = \frac{n \times \sum_i^n \sum_j^n W_{ij} \times (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i^n \sum_j^n W_{ij} \times \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}$$

式中: $n$ 为参与分析的空间对象数; $x_i, x_j$ 为空间观测

值;  $\bar{x}$ 为空间观测值的平均值;  $W_{ij}$ 为空间权重矩阵,本研究采用的是距离倒数的空间权重矩阵。

$I$ 表示全局 Moran's  $I$ 指数,取值为 $[-1,1]$ 。当 $I$ 大于0时,表示区域总体呈正的空间自相关,空间分布呈聚集状态,其数值越大,表明集聚性特征越强;当 $I$ 小于0时,表示区域总体呈负的空间自相关,空间分布呈离散状态。其值越小,表明空间离散性特征越强。

本文对两个省份火点发生情况进行空间自相关分析,探讨两个省份火点发生的空间分布规律。

### 1.4 标准差椭圆

标准差椭圆是可以同时对点的方向和分布进行分析的一种经典算法,是空间统计方法中能够精确地揭示地理要素空间分布整体特征的有效方法<sup>[20]</sup>。通过中心、长短轴、方向角、扁率等参数定量对地理要素的空间分布状况进行描述。标准差椭圆的中心即地理要素的重心,能够反映森林火点空间分布重心在二维空间的相对位置。长半轴表示的是数据分布的方向,短半轴表示的是数据分布的范围,短半轴越短,表示数据呈现的向心力越明显;短半轴越长,表示数据的离散程度越大。长短半轴的值差距越大,即扁率越大,表示数据的方向性越明显。反之,方向性越不明显。如果长短半轴完全相等,表示没有任何的方向特征。

本文利用标准差椭圆方法,可以从集中、离散趋势以及方向分布,中心性,方向性和扩展方向等多种角度揭示森林火点的空间分布特征及其时空演化过程。

## 2 结果与分析

### 2.1 南北两省森林火点时间分布格局

#### 2.1.1 两省森林火点年际变化特征

图1显示了2014—2021年黑龙江省和广东省森林火点数量逐年变化情况。分析森林火点年际变化特征可知,2014—2021年黑龙江省林火发生次数呈波动性变化,如图1a,从整体上看森林火灾次数呈下降趋势,说明当地林业部门采取了有效的防火措施。自2019年开始,森林火点个数稳步降低,变化率达到-51.8%,说明在此期间黑龙江省对于森林火灾的预防工作卓有成效,有效保护了森林资源。2014—2021年广东省林火发生次数同样呈现波动性变化,如图1b,2014年的森林火点个数接近600个,2015—2018年期间,森林火点个数逐年递增,并于2018年达到最高值,四年间变化率达到115.33%。2018年达到峰值后,2019年,2020年森林火点个数下降明显,2020年森林火点个数处于最低值,2021年森林火点个数略有回升,但仍较低。

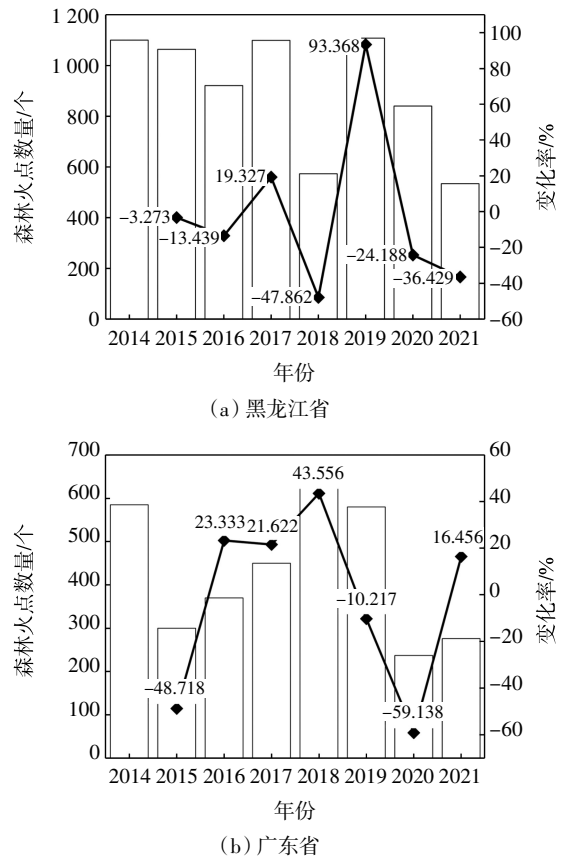


图1 黑龙江省和广东省森林火点数量年际变化

综合比较2014—2021年间两省森林火点数量个数可以发现,黑龙江省的森林火点数量远多于广东省的森林火点个数。黑龙江省的森林火点个数最高达到1108个,最低也有534个,平均每年火点有904.9个,而广东省森林火点个数最高仅为646个,平均每年火点个数为430.5个,远低于黑龙江省的火点数量,说明黑龙江省相较于广东省更容易发生森林火灾风险。从变化趋势来看,2014—2021年黑龙江省的森林火点整体处于下降趋势,其中2016年和2018年的森林火点个数下降后第二年迅速反弹,从2019年开始稳步下降,而2014—2021年广东省的森林火点呈“W”型,2015年较2014年森林火点数下降明显,但从第二年开始逐年上升达到峰值后稳步下降。

#### 2.1.2 两省森林火点四季变化特征

黑龙江省和广东省的森林火点四季变化特征如图2所示,从图2中可以明显看出,黑龙江省的森林火点主要集中在春秋季节,占据了全部森林火点的90%以上,其中春天的森林火点个数最多,高达4034个。广东省的森林火点主要集中在冬季,占据了广东省全部森林火点的50%以上。

比较两个省份森林火点季节性特征可以发现,两省的森林火灾易发季节不同,黑龙江省的森林火灾主要

集中在春秋季节,而广东省的森林火灾主要集中在冬季,夏天是四季中发生森林火灾最少的季节.两省森林火点变化趋势都是先减少后增加,秋季森林火灾发生风险增加,森林火点个数激增,变化率达到极值,到了冬天,黑龙江省的森林火点个数下降,而广东省的森林火点个数上升,并达到最大值.黑龙江省春天的森林火点个数远大于广东省冬天的森林火点个数,说明黑龙江省在森林火灾高发季节的防火工作比广东省更加严峻.

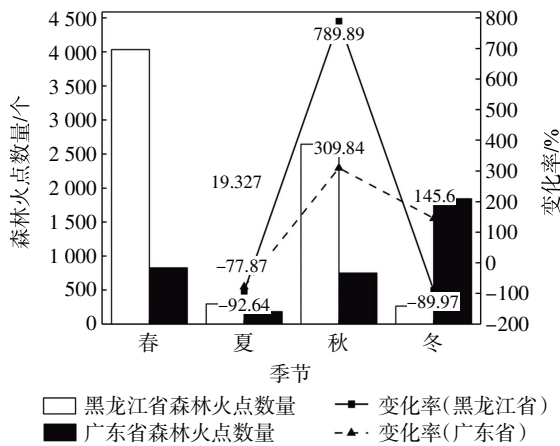
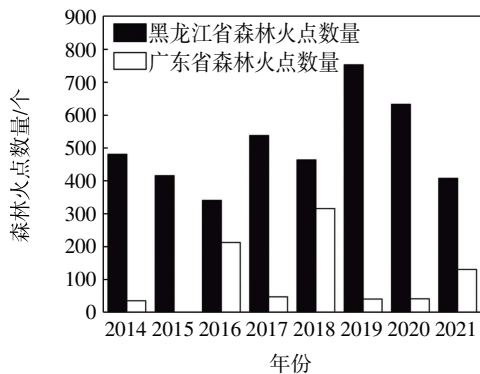
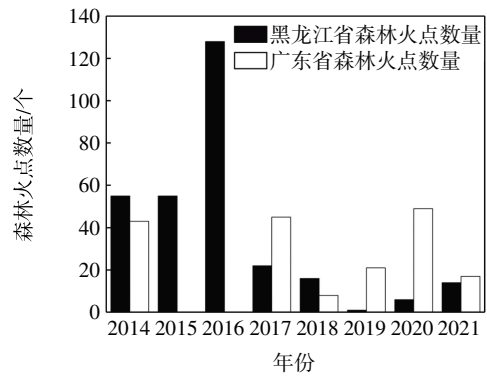


图2 南北两省森林火点季节性特征

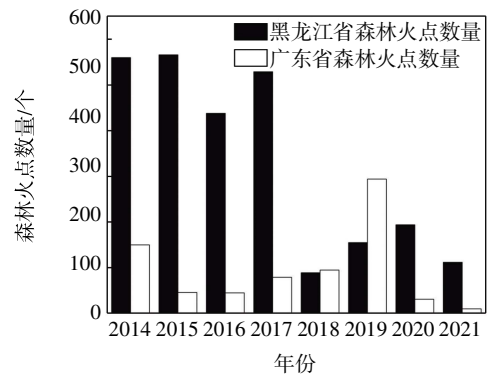
2014—2021年黑龙江省和广东省的森林火点数量季节变化特征如图3所示,春天是黑龙江省森林火灾的高发季节,与之前学者的研究结果相符<sup>[2]</sup>.在2014—2021年的春天,黑龙江省森林火点个数波动性变化,总体变化不大,2019年达到最大值;广东省森林火点个数一直较少,但是2016年,2018年森林火点个数激增,而在第二年又迅速减少.夏天是黑龙江省和广东省森林火灾的低发季节,两省发生森林火灾的次数都较少.秋天是黑龙江省森林火灾的高发季节,而广东省秋天的森林火点个数较少,但在2019年突然激增,变化率为300%.冬天是黑龙江省森林火灾的低发季节,是广东省森林火灾的高发季节,2014—2021年冬天黑龙江省森林火点个数一般都是处于极低值,但是2015年和2019年激增,考虑是由于遥感成像等



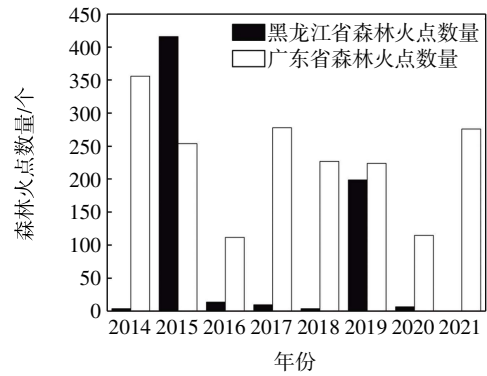
(a) 春季



(b) 夏季



(c) 秋季



(d) 冬季

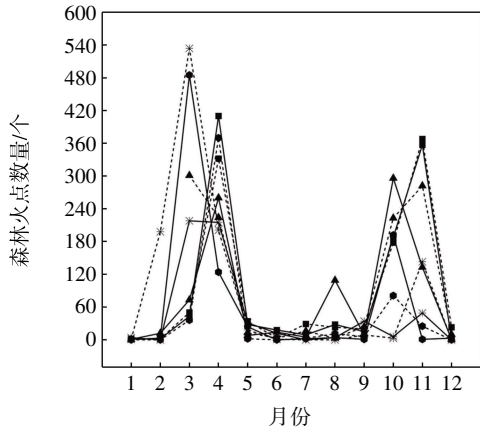
图3 2014—2021年两省森林火点数量季节变化特征

其他因素导致的火点提取异常,而广东省在冬天的森林火点个数相较于其他季节相对较多.

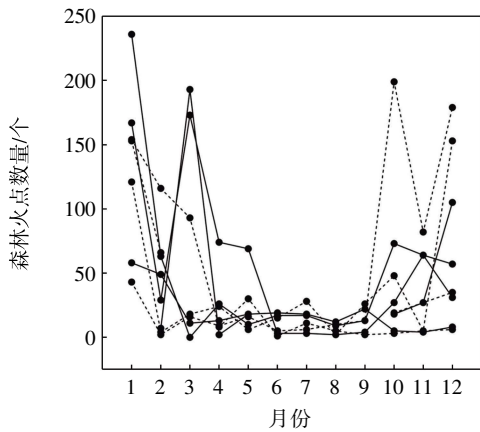
### 2.1.3 两省森林火点月变化特征

2014—2021年黑龙江省和广东省森林火点数量月变化情况如图4和图5所示.两个省份林火的月变化情况均呈双峰式分布.黑龙江省林火高峰期发生在3—4月和10—11月,月变化特征为“M”型,与季节变化特征相对应,春季和秋季森林火点数量最多.广东省林火高峰期发生在12月至次年5月,月变化特征为“U”型,与广东省森林火险期相对应.其中2014年1月森林火点数量为广东省8a内森林火点数量最多的月份,达到200以上.南北两个省份每年5—9月森林火点数量极少,几乎没

有发生火情.2016年8月黑龙江省森林火点数量出现一个小高峰,是其他几年同月份森林火点数量的近五倍.黑龙江省12月至次年2月,气温较低且多积雪覆盖,几乎没有森林火灾发生,森林火点数量为15个以下.



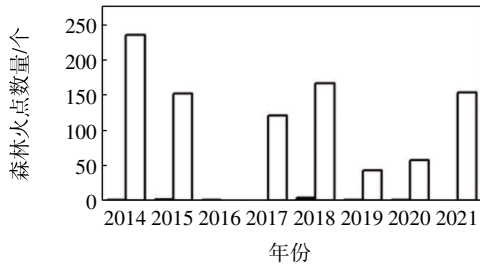
(a) 黑龙江省



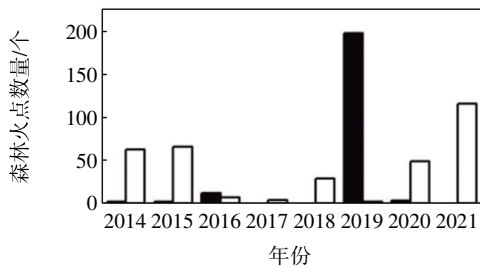
(b) 广东省

—■— 2014    - - - ■ - - - 2015    —▲— 2016    - - - ▲ - - - 2017  
 —\*— 2018    - - - \* - - - 2019    —●— 2020    - - - ● - - - 2021

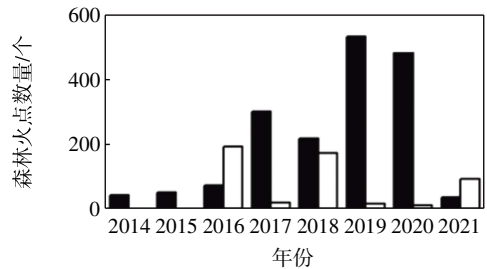
图 4 森林火点数量月变化特征



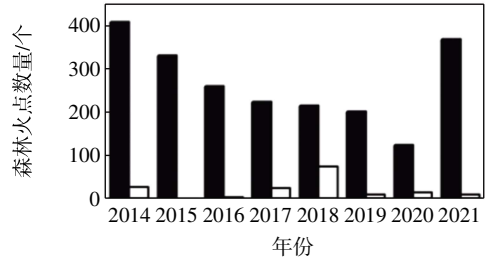
(a) 1月



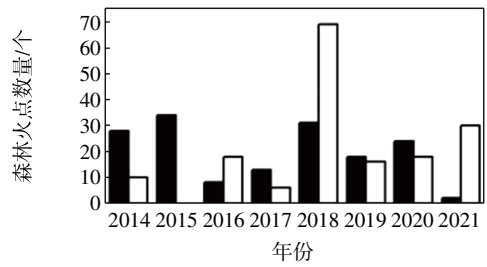
(b) 2月



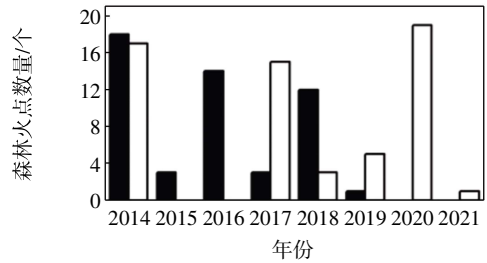
(c) 3月



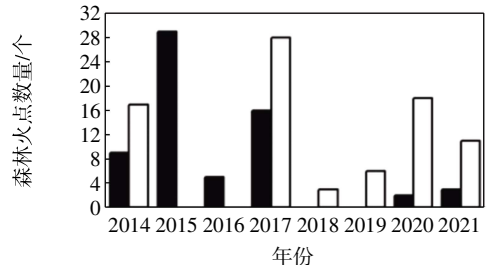
(d) 4月



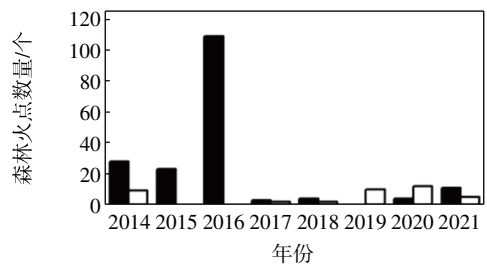
(e) 5月



(f) 6月



(g) 7月



(h) 8月

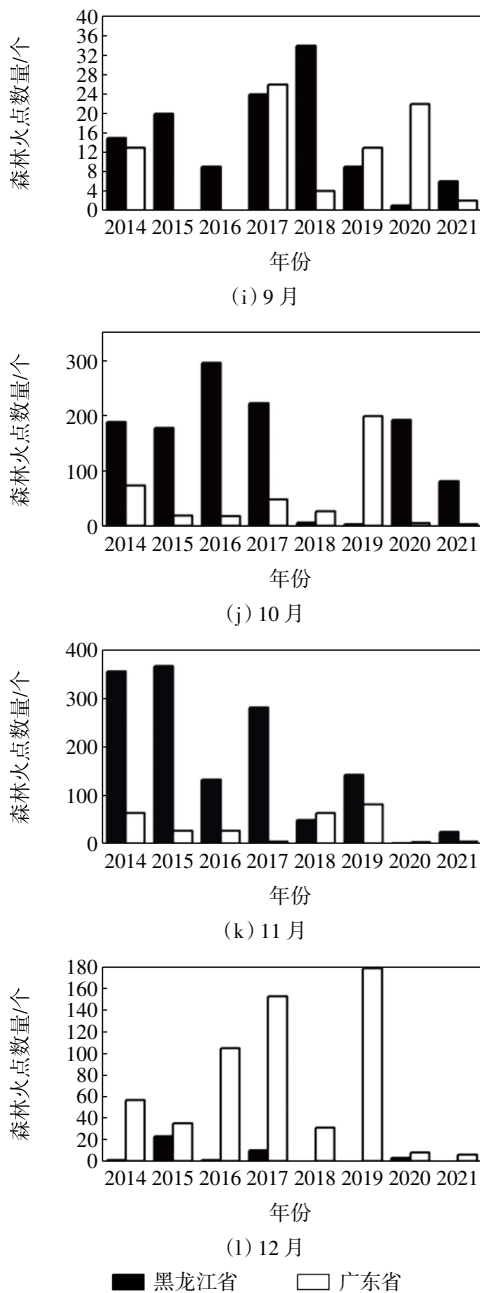


图5 2014—2021年南北两省森林火点数量月变化特征

### 2.2 南北两省森林火点空间分布特征

#### 2.2.1 森林火点空间分布格局

2014—2021年广东省森林火点空间分布如图6所示,可以看出广东省的森林火点在西北部 and 西南部区域分布最多. 2015年和2020年广东省的森林火点数量变化率分别为-48.72%,-59.14%,森林火点减少的区域主要集中在西北部 and 西南部区域. 2018年广东省的森林火点数量变化率为43.56%,其增加的火点相较于2017年主要集中在西北部. 只有湛江市区域内森林火点数量总体呈上升趋势. 2014年森林火点在全省范围内每个地级市均有分布,到2021年,森林火点集中分布在西南部的湛江市和茂名市,中部地区和东北

部地区有零星分布.

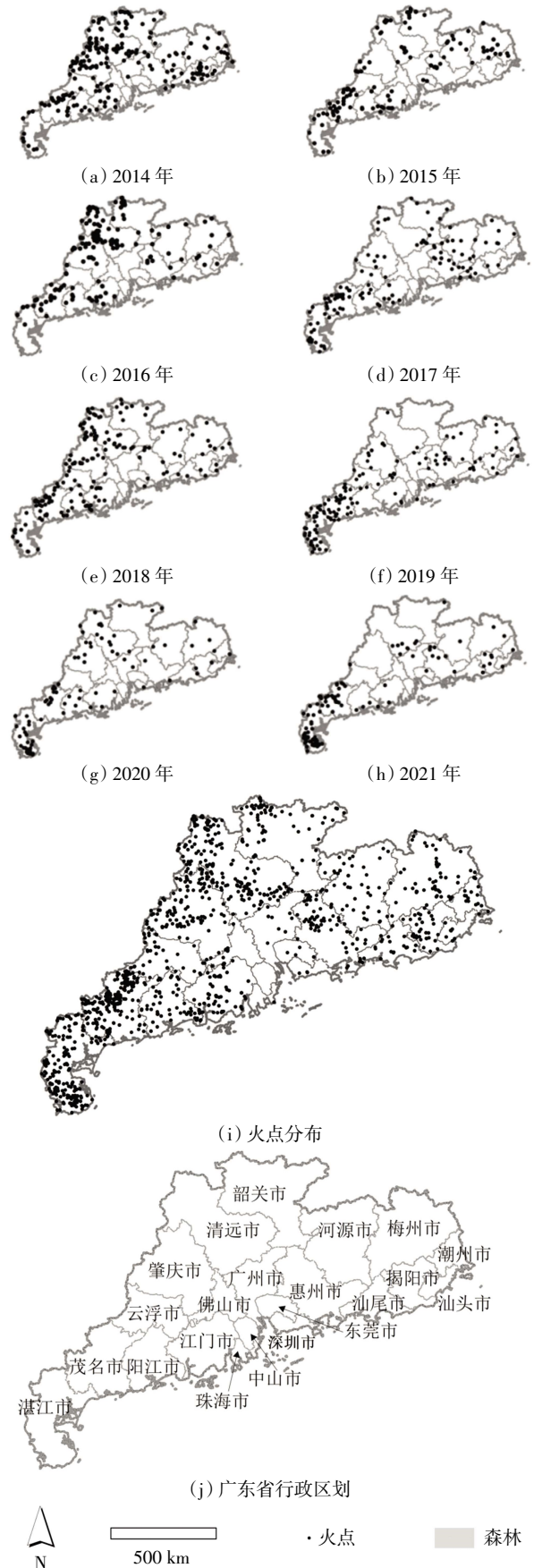


图6 2014—2021年广东省森林火点空间分布变化

2014—2021年黑龙江省森林火点空间分布如图7所示,可以看出黑龙江省的森林火点主要集中在黑龙江省的中部和南部地区.2018年和2021年黑龙江省的森林火点数量变化率分别为-47.86%和-36.34%,森林火点减少的区域主要集中在中部和南部.2019年黑龙江省的森林火点数量变化率为93.37%,其增加的火

点相较于2018年主要集中在中部.黑龙江省森林火点从2014年大致呈东西向,到2021年大致呈南北向分布,东部佳木斯市、双鸭山市和鸡西市以及西部大庆市、绥化市和哈尔滨市的森林火点空间分布明显减少,北部黑河市以及大兴安岭地区的森林火点分布增多,且大兴安岭地区森林火点有向北移动的趋势.

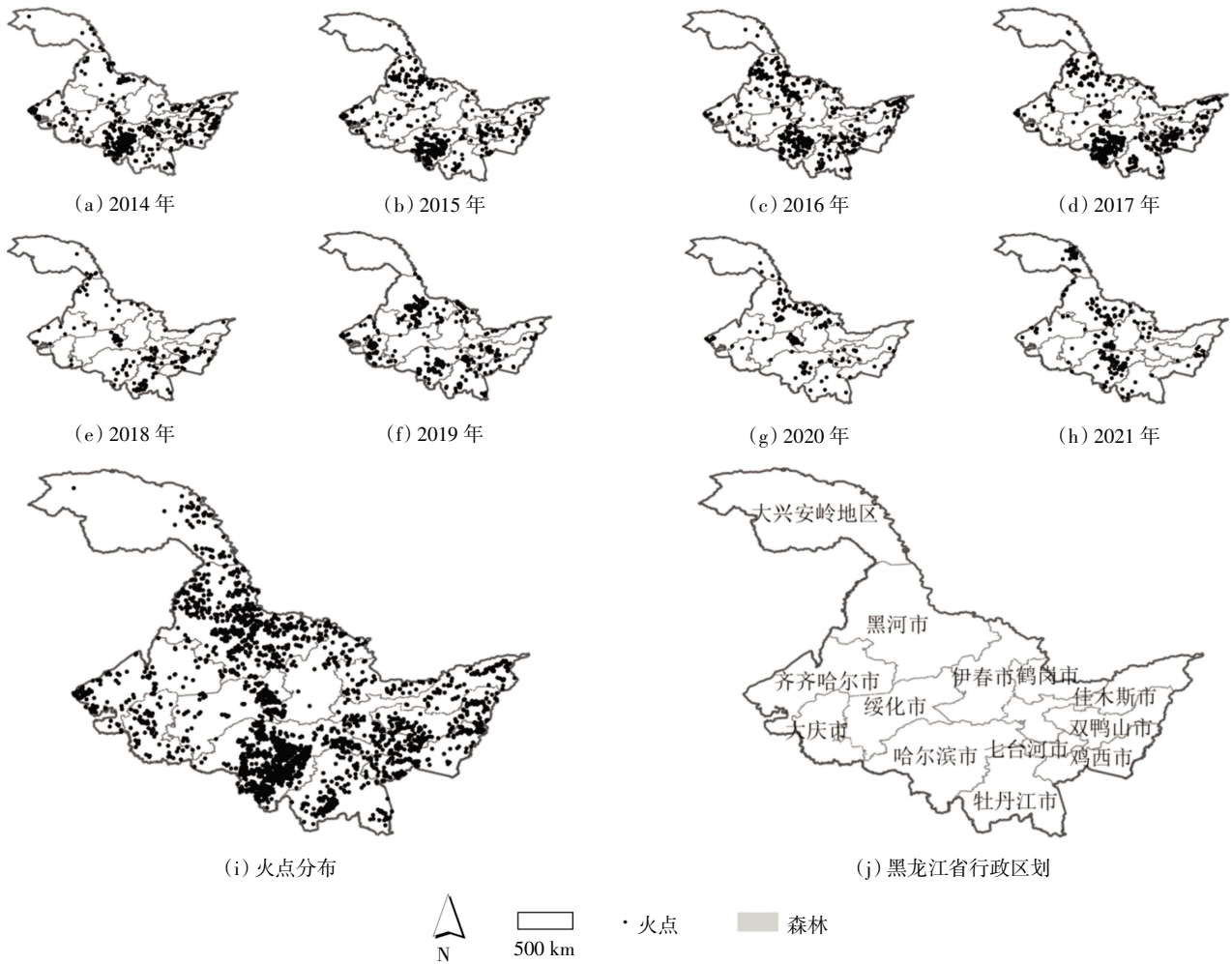


图7 2014—2021年黑龙江省森林火点空间分布变化

2.2.2 森林火点空间集聚特性

2014—2021年黑龙江省和广东省森林火点的全局 Moran's I 指数均为正值,黑龙江省全局 Moran's I 指数介于0.31~1.30之间,且Z得分均高于界值2.58,具有统计学意义( $p < 0.01$ ).广东省全局 Moran's I 指数介于0.26~1.10之间,除2015年外,Z得分均高于界值2.58,具有统计学意义( $p < 0.01$ ).广东省2015年森林火点未通过显著性检验,说明该时间段内森林火点在空间上随机离散分布.两个省份其余年份森林火点分布都呈现空间正相关关系,且具有显著的空间集聚性.对比两个省份全局 Moran's I 指数,黑龙江省具有较高的全局 Moran's I 指数,说明黑龙江省森林火点具有较高的空间集聚特性.黑龙江省全局 Moran's I 指数总体

呈下降趋势,表明黑龙江省森林火点在空间分布上的依赖性减弱,其空间分布向均匀过度.而广东省全局 Moran's I 指数总体呈波动上升趋势,表明广东省内森林火点在空间分布上的依赖性增强,森林火点分布集聚性高(见表1).

表1 全局空间自相关结果

省份	变量	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
黑龙江省	<i>p</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Z</i>	13.078	18.120	3.494	3.784	6.047	13.532	6.414	5.019
	<i>I</i>	0.902	1.289	0.339	0.318	0.583	0.795	0.481	0.511
广东省	<i>p</i>	0.006	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Z</i>	2.708	0.567	4.549	15.419	17.65	18.223	11.511	7.904
	<i>I</i>	0.265	4.339	0.442	0.964	0.893	0.579	1.045	0.702

2.2.3 森林火点空间结构特征

对黑龙江省和广东省森林火点进行点密度分析如图8和图9所示,从而揭示两个省份森林火点分布的空间结构特征.图8显示的黑龙江省森林火点点密度空间分布结果表明,高密度区多集中在中部和南部,总体点密度呈上升趋势,表明黑龙江省森林火点越来越聚集.从2014年到2021年,核中心从四周向中部逐渐聚集.2016年点密度阈值范围最小,但核中心分布最分散,构成南北两头高,四周低的双峰式高密度区,表明黑龙江省2016年森林火点分布最分散.

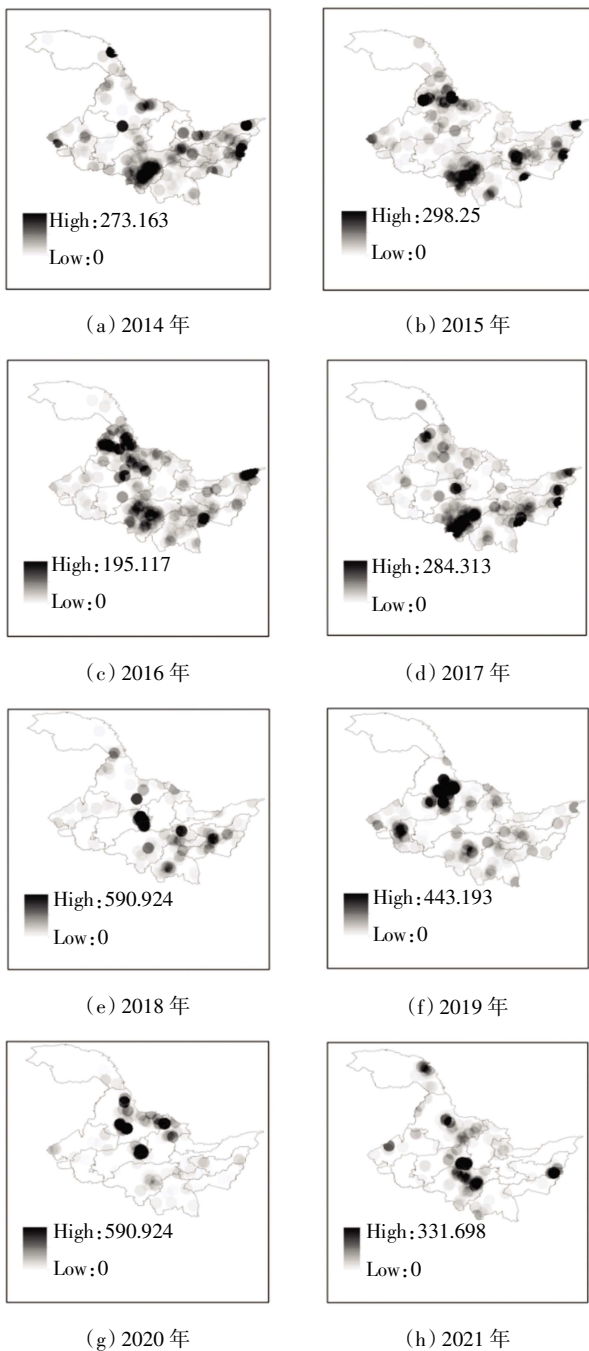


图8 2014—2021年黑龙江省森林火点点密度空间分布

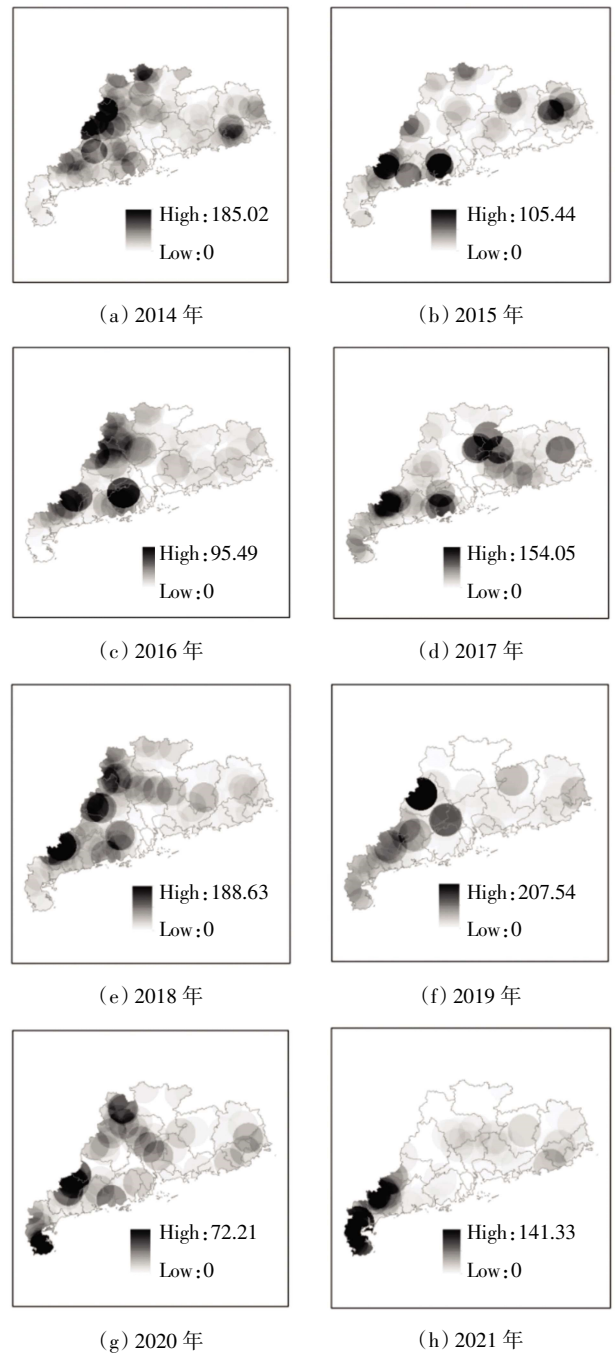


图9 2014—2021年广东省森林火点点密度空间分布

图9显示的广东省森林火点点密度空间分布结果表明,高密度区多集中在西部,2014年核中心分布于广东省西北部,到2021年核中心转移到西南部地区.近8a中,广东省只有2019年最高点密度达到200以上,点密度最大,集中分布于西南部地区.

对比南北两个省份森林火点点密度,黑龙江省点密度明显高于广东省,说明黑龙江省火点分布更加聚集,但是黑龙江省点密度核中心分布对比广东省较分散.黑龙江省核中心逐渐向西部集聚,而广东省核中心不断向西南部集聚,除点密度半径范围内其余区域

点密度值均较低。

### 2.2.4 南北两省森林火点时空演化特征

采用2014—2021年黑龙江省和广东省森林火点标准差椭圆的分布,探究两个省份森林火点重心的变化,空间形态以及延展性(见表2)。根据表2可知,黑龙江省内标准差椭圆的X轴呈“W”型变化趋势,总体上先减后增,然后再增再降的锯齿形,长度总体上变短,说明黑龙江省森林火点分布向心力更加明显。Y轴长度总体上也在变短,2016—2021年Y轴长度呈“M”型变化趋势,与同时期X轴变化趋势相反,2014—2016年Y轴长度都在下降。X轴和Y轴的值差距,即扁率,总体上变小,2015年出现最高值,2019—2021年呈“V”型变化,2020年出现最低值,说明黑龙江省森林火点的分布方向性变模糊,2015年森林火点方向性最明显,2020年森林火点方向性最不明显。广东省内标准差椭圆的X轴长度从2014—2018年呈“M”型变化趋势,2018—2021年逐年增加,X轴长度总体上变长,说明广东省森林火点分布向心力变模糊。相反,Y轴长度呈锯齿形波动下降,X轴和Y轴的值差距总体上变大,说明广东省森林火点的分布方向性变明显。

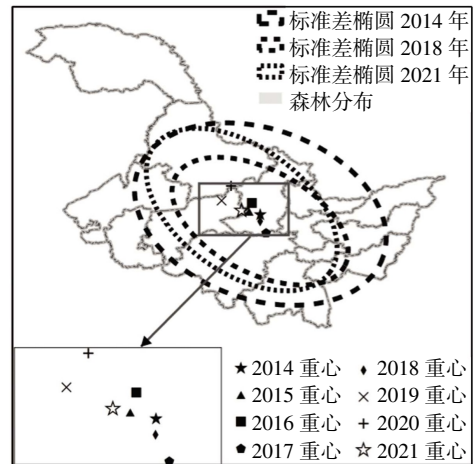
黑龙江省椭圆的方位角始终在 $100^{\circ}\sim 130^{\circ}$ 之间,即方向稳定呈西北—东南方向,最低值与最高值跨度大约 $20^{\circ}$ 左右,偏转变化幅度较小;广东省椭圆的方位角区间为 $57^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 之间,即方向稳定呈东北—西南走向,极值跨度为 $12^{\circ}$ 左右,偏转变化幅度较小。

表2 2014—2021年两省森林火点标准差椭圆形状参数

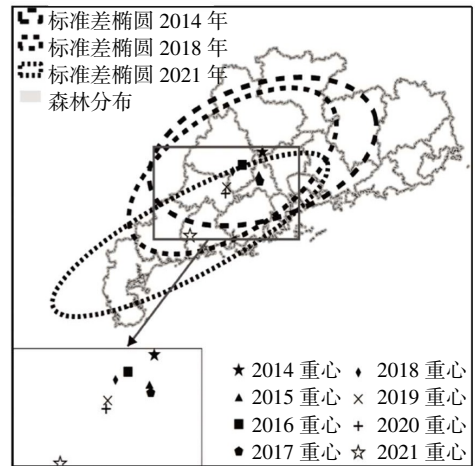
年份	省份	重心 X 坐标	重心 Y 坐标	X 轴	Y 轴	旋转角/( $^{\circ}$ )
2014	黑龙江省	128.96	47.20	4.33	2.84	109.49
	广东省	113.00	23.55	2.44	1.29	74.03
2015	黑龙江省	128.59	47.29	4.23	2.43	110.92
	广东省	112.92	23.11	2.97	1.10	62.62
2016	黑龙江省	128.67	47.58	3.99	2.34	111.57
	广东省	112.58	23.30	2.25	1.21	63.94
2017	黑龙江省	129.15	46.58	3.74	2.45	105.60
	广东省	112.94	22.99	2.92	0.90	62.59
2018	黑龙江省	128.95	46.97	3.19	1.72	117.81
	广东省	112.37	23.18	2.41	1.18	59.99
2019	黑龙江省	127.67	47.65	3.42	2.12	106.09
	广东省	112.25	22.88	2.66	0.99	64.90
2020	黑龙江省	127.98	48.14	2.35	1.66	120.42
	广东省	112.23	22.76	2.96	1.25	57.24
2021	黑龙江省	128.34	47.35	3.60	2.11	125.64
	广东省	111.49	21.97	3.18	0.78	64.18

以4a为跨度区间,对黑龙江省和广东省2014—2021年标准差椭圆及其重心位置的空间分布进行分析,如图10所示。各个时期的森林火点重心都在发生

偏移,黑龙江省森林火点重心总体向西北方向偏移,2014—2018年重心向东南偏移,而2018年到2020年森林火点重心向西北方向偏移,2021年重心又向南偏移,且偏移程度较大;广东省森林火点重心总体向西南方向移动,2014年到2018年,重心大致向东西方向偏移,2019年以后重心大程度向西南方向移动。



(a) 黑龙江省



(b) 广东省

图10 标准差椭圆分布及重心迁移

### 2.3 森林火点在不同海拔高度的分布特征

对黑龙江省和广东省的DEM数据按表3所示分级依据进行重分类操作,对两个省份海拔高度进行分级,然后将2014—2021年两个省份发生的森林火点分布和相应省份的海拔高度分布进行叠加分析,不同等级海拔区域森林火点数量分布情况如表4所示。

表3 海拔高程分级依据

分级	海拔范围
1	<200
2	200~500
3	500~1 000
4	>1 000

表4 黑龙江省和广东省不同等级海拔区域森林火点分布

省份	等级 1		等级 2		等级 3		等级 4	
	火点数量/个	占比/%	火点数量/个	占比/%	火点数量/个	占比/%	火点数量/个	占比/%
黑龙江省	2 399	33.14	4 712	65.09	128	1.77	0	0
广东省	2 047	59.44	956	27.76	433	12.57	8	0.23

根据表4可以发现黑龙江省森林火灾多发生在海拔高度为200~500 m的高原山地区域,占全部火灾数量的65.09%,其次是200 m以下地势较平缓的区域,占全部火灾数量约30%,而500 m以上地势较高的山地仅偶尔发生火灾。广东省森林火灾发生次数最多的海拔高度范围为200 m以下,其数量占森林火灾总数的59.44%,与黑龙江省相比较,200~500 m海拔范围内火灾次数较少,为27.76%,而1 000 m以上森林火灾次数多。综上所述,黑龙江省和广东省森林火灾发生集中在海拔500 m以下,黑龙江省多分布在200~500 m范围,广东省森林火灾发生在200 m以下。

### 3 结 论

近年来高温干旱的极端天气发生频繁,直接导致我国森林火灾频发,预防森林火灾发生是当前我国生态环境保护中极其重要的一环。研究我国森林火点的时空分布特征,可以为森林防火工作的科学规划和管理提供科学依据。本文以Landsat 8 OLI数据提取得到的火点为基础,与土地覆被类型叠加得到森林火点,对2014—2021年我国南北方两个省份森林火点的时空分布进行探讨。结论如下:

(1)从年际尺度看,南北两省森林火点数量年呈下降趋势;从季节尺度看,南北两省森林火点数量有明显的季节性,黑龙江省春季和秋季森林火点数量最多,而广东省森林火点数量最多的季节是冬季和春季;从月季尺度看,两个省份林火的月变化情况均呈双峰式分布,黑龙江省林火高峰期发生在3—4月和10—11月,月变化特征为“M”型,与季节变化特征相对应;广东省林火高峰期发生在12月至次年5月,每年的春季和冬季,月变化特征为“U”型,与广东省森林火险期相对应。

(2)南北两省森林火点分布在空间上具有较高的异质性。黑龙江省森林火点主要集中在黑龙江省的中部和南部区域,黑河市森林火点数量最多,东部佳木斯市,双鸭山市和鸡西市以及西部大庆市,绥化市和哈尔滨市的森林火点空间分布明显减少,北部黑河市以及大兴安岭地区的森林火点分布增多,且大兴安岭地区森林火点有向北移动的趋势;广东省的森林火点

在西北部和西南部区域分布最多,2014年森林火点集中地区在广东省西北部,在全省范围内每个地级市均有分布,到2021年,森林火点集中分布在西南部的湛江市和茂名市,中部地区和东北部地区只有零星分布。

(3)从空间集聚特征看,南北两省森林火点分布都有较高的空间集聚性,黑龙江省森林火点在空间分布上的依赖性减弱,其空间分布向均匀过渡。而广东省内森林火点在空间分布上的依赖性增强,森林火点分布集聚性变高。从空间结构特征看,黑龙江省森林火点高密度区多集中在中部和南部地区,且随时间森林火点越来越聚集。广东省高密度区多集中在西部,高密度区从广东省西北部转移到西南部地区。从时空演化特征看,黑龙江省森林火点分布方向稳定呈西北—东南方向,向心力更加明显,森林火点重心总体向西北方向偏移。广东省森林火点方向稳定呈东北—西南走向,森林火点重心总体向西南方向移动。

(4)黑龙江省和广东省森林火灾发生多集中在海拔较低的区域,而黑龙江省森林火灾分布略高于广东省森林火灾分布区域。所以加强森林防火管理工作,可以根据地区海拔高度进行不同的方案制定,搞好防火检查。

### 参考文献:

- [1] 田晓瑞,宗学政,舒立福,等. ENSO事件对中国森林火灾天气的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(5): 1487-1495.
- [2] 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.
- [3] 俞昊天,耿君,艾达娜·哈克木,等. 2019—2020年澳大利亚森林火灾遥感监测研究[J]. 测绘通报 2021(增刊1): 165-169.
- [4] 梁慧玲,林玉蕊,杨光,等. 基于气象因子的随机森林算法在塔河地区林火预测中的应用[J]. 林业科学, 2016, 52(1): 89-98.
- [5] 张珍,杨崧,朱贺,等. 混合效应模型在林火发生预测中的适用性[J]. 应用生态学报, 2022, 33(6): 1547-1554.
- [6] ZHAO P, ZHANG F, LIN H, et al. GIS-based forest fire risk model: a case study in laoshan national forest park, nanjing[J]. Remote Sensing, 2021, 13(18): 3704.
- [7] NADERPOUR M, RIZEEI H M, RAMEZANI F. Forest fire risk prediction: a spatial deep neural network-based framework[J]. Remote Sensing, 2021, 13(13): 2513.

- [8] OLAK E, SUNAR F. Evaluation of forest fire risk in the mediterranean turkish forests: a case study of menderes region, izmir[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2020, 45: 101479.
- [9] 周裕雯, 廖炜鹏, 杨静, 等. 基于 MODIS 火点数据分析南北方省份生物质开放式燃烧与排放特征 [J]. *环境科学学报*, 2021, 41(9): 3696-3708.
- [10] 胡庆华, 李兵. 基于 MODIS 卫星数据的黑龙江省生物质燃烧火点时空分布[J]. *草业科学*, 2018, 35(8): 2049-2057.
- [11] 崔阳, 狄海廷, 邢艳秋, 等. 基于 MODIS 数据的 2001—2018 年黑龙江省林火时空分布[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2021, 45(1): 205-211.
- [12] 贾旭, 高永, 齐呼格金, 等. 基于 MODIS 数据的内蒙古野火时空变化特征 [J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(1): 127-135.
- [13] 曹惠明, 孟祥亮, 孔梅, 等. 基于 VIIRS 数据的山东省秸秆焚烧时空变化研究 [J]. *环境科学与技术*, 2022, 45(5): 152-161.
- [14] 曾爱聪, 郭新彬, 郑文霞, 等. 基于 MODIS 卫星火点数据的浙江省林火时空动态变化特征 [J]. *北京林业大学学报*, 2020, 42(11): 39-46.
- [15] 何新洁, 李荣, 张帆, 等. 基于 VIIRS 的湖北省生物质燃烧时空格局演变及影响因素分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(7): 1627-1640.
- [16] 靳全锋, 马祥庆, 王文辉, 等. 中国亚热带地区 2000—2014 年林火排放颗粒物时空动态变化[J]. *环境科学学报*, 2017, 37(6): 2238-2247.
- [17] 饶月明, 王川, 黄华国. 联合多源遥感数据监测四川木里县森林火灾[J]. *遥感学报*, 2020, 24(5): 559-570.
- [18] 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.
- [19] 明蕊, 李湘云, 字冉, 等. 云南省近 10a 生物质燃烧时空分布特征及成因分析[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2022, 44(5): 1077-1089.
- [20] 张素梅, 杜惠琳, 刘良, 等. 基于 Landsat 时间序列遥感数据的华北平原农田火烧迹地检测与制图 [J]. *地理科学*, 2020, 40(1): 149-157.
- [21] 乔泽宇, 房磊, 张悦楠, 等. 2001—2017 年我国森林火灾时空分布特征[J]. *应用生态学报*, 2020, 31(1): 55-64.
- [22] 林婧婧, 张强. 我国南北方气温和降水气候态变化特征及其对气候检测结果的影响[J]. *气候变化研究进展*, 2015, 11(4): 281-287.
- [23] GUO F, SU Z, WANG G, et al. Understanding fire drivers and relative impacts in different chinese forest ecosystems [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 605/606: 411-425.
- [24] GUAN Y, LU H, JIANG Y, et al. Changes in global climate heterogeneity under the 21st century global warming[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 130: 108075.
- [25] 李喆, 陈圣宾, 陈芝阳. 地表温度与土地利用类型间的空间尺度依赖性: 以成都为例[J]. *生态环境学报*, 2022, 31(5): 999-1007.
- [26] 许正森, 徐永明. 整合 DMSP/OLS 和 NPP/VIIRS 夜间灯光遥感数据的长江三角洲城市格局时空演化研究[J]. *地球信息科学学报*, 2021, 23(5): 837-849.