

## 2003—2016 年中国华北地区森林火灾时空特征研究

张 恒<sup>1</sup>, 马运佳<sup>1</sup>, 彭徐剑<sup>2</sup>, 张秋良<sup>1\*</sup>

(1. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 南京森林警察学院, 江苏 南京 210023)

**摘 要:** 进行森林火灾时空特征分析, 有利于为预防森林火灾提供科学依据和理论基础。根据林业年鉴数据, 对中国华北地区 2003—2016 年森林火灾的时空分布特征进行研究, 在分析中着重考虑群死群伤火灾(HCF)。结果表明: 1) 我国华北地区森林火灾主要集中于内蒙古自治区与河北省, HCF 起数多集中于内蒙古自治区与山西省; 2) 时空特征方面, 火灾起数最高的是内蒙古自治区, 其次是河北省和山西省; 2003—2011 虽年均火灾次数和火场面积较高, 但整体呈现下降趋势, 2011 年后下降趋势更为明显; 3) 进行聚类分析, 按照严重程度由高到低分为 3 类, 其中内蒙古自治区火灾对环境的影响最为明显, 一般火灾以及 HCF 起数较多。华北地区森林火灾与气候变化、人类活动息息相关, 具有明显的区域性特征, 应加强火源管理及预测工作。

**关键词:** 华北地区; 森林火灾; 火灾预防

中图分类号: S762

文献标志码: A

文章编号: 1001-7461(2019)01-0163-07

### Temporal and Spatial Characteristics of Forest Fires in Northern China from 2003 to 2016

ZHANG Heng<sup>1</sup>, MA Yun-jia<sup>1</sup>, PENG Xu-jian<sup>2</sup>, ZHANG Qiu-liang<sup>1\*</sup>

(1. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, Inner Mongolia, China;

2. Nanjing Forest Police College, Nanjing 210023, Jiangsu, China)

**Abstract:** The analysis of the temporal and spatial characteristics of forest fires can provide scientific and theoretical basis for preventing forest fires. Based on the data of forestry yearbook, the temporal and spatial distribution characteristics of forest fires occurred in Northern China from 2003 to 2016 were studied with the emphasis of considering the high-casualty fires (HCFs). The results showed that 1) forest fires in Northern China were mainly concentrated in Inner Mongolia and Hebei, and the HCFs was mainly concentrated in Inner Mongolia and Shanxi. 2) In terms of the temporal and spatial characteristics, the highest number of forest fires was in Inner Mongolia, followed by Hebei and Shanxi. Although the average annual forest fire number and fire area were higher in 2003—2011, it showed a decline trend in overall, and the decline trend was more obvious after 2011. 3) In cluster analysis, according to the fire severity, three categories from high to low were obtained, among which, the forest fires in Inner Mongolia had the most obvious impacts on the environment, and the general fires and HCFs were more frequent. Forest fires in Northern China were closely related to climate changes and human activities and had obvious regional characteristics, therefore fire source management and prediction should be strengthened.

**Key words:** Northern China; forest fire; fire prevention

华北地区处于中国北部, 属于暖温带半湿润大陆性气候, 但其中内蒙古西部属草原沙漠地区, 气候

严寒干旱<sup>[1]</sup>。由于气候变化明显以及人类活动频繁, 造成华北地区森林资源受到了严重的威胁。华

收稿日期: 2018-01-11 修回日期: 2018-08-03

基金项目: 国家科技重点研发项目(2017YFC0504003); 内蒙古农业大学高层次人才引进项目(206039)。

作者简介: 张 恒, 男, 讲师, 博士, 研究方向: 林火生态与管理。E-mail: zhangheng\_nefu@126.com

\* 通信作者: 张秋良, 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 森林生态学。E-mail: 18686028468@163.com

北地区的京津冀地区是我国北方经济规模最大、最具活力的地区,一旦发生森林火灾产生的影响以及经济损失严重<sup>[2]</sup>,而且影响国民经济的发展,严重威胁人民的生命财产安全<sup>[3]</sup>。华北地区森林火灾与气候变化息息相关,具有显著的区域性特征,面临的火灾风险压力较大<sup>[2]</sup>。

在火灾形势与森林火灾分布规律中群死群伤火灾(HCF)具有重要意义<sup>[4]</sup>。HCF是指达到重大森林火灾评估指标之一的火灾,达到面积在100~1000 hm<sup>2</sup>,或者死亡人数在10~30人,或者重伤50~100人的火灾<sup>[5-6]</sup>。

林火时空分布规律的研究大体上可以分为两个方面:一是从时间角度入手,主要从年季变化分析森林火灾发生发展的规律;二是从空间方面着手,以行政区划或是某个特殊地域为单位来研究森林火灾的空间分布状况<sup>[7]</sup>。根据森林火灾的特点,分析火灾在时间分布上的变化规律和从空间分布上的变化规律<sup>[8]</sup>。然而针对地区性森林火灾时空分布规律研究报道较少,地区性森林火灾的规律不是很明确。

本研究以2003—2016年我国华北地区森林火灾为对象,对来源于中国统计年鉴与中国林业统计年鉴的数据进行系统分析,研究华北地区森林火灾分布规律,为华北地区森林火灾预测预报和华北地区森林火灾防治提供科学依据以及理论根据,减少因森林火灾造成的经济损失以及人员伤亡。

## 1 材料与方法

### 1.1 资料收集

收集并整理我国华北地区(北京市、天津市、内蒙古自治区、山西省、河北省)2003—2016年的森林火灾统计数据<sup>[9]</sup>。数据中包括9个森林火灾统计指标,分别为一般森林火灾次数、较大森林火灾次数、重大森林火灾次数、特别重大森林火灾次数、森林火灾总次数、火场总面积、受害森林面积、死亡人数、经济损失。

### 1.2 研究方法

1.2.1 主成分分析<sup>[10-11]</sup> 主成分分析是可以通过“降维”的方式来简化分析过程,增加结果精度的一种方法,数据的压缩和数据的解释可以表达其目的。在本研究中,着重考虑火灾起数、火灾程度、经济损失和HCF起数,对比4个指标,找出可以代替其他变量的因子。

1)对于 $p$ 个变量 $X_1, X_2, \dots, X_p$ ,有数据集 $X=[X_1, X_2, \dots, X_p]$ 。计算 $p$ 个变量的相关矩阵 $\gamma$ 。

2)设 $(\lambda_1, e_1, \lambda_2, e_2, \dots, \lambda_p, e_p)$ 是相关矩阵 $\gamma$ 的

特征值和特征向量对,其中 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \lambda_p \geq 0$ 。 $X$ 的第 $i$ 主成分可以表示为:

$$Y_i = e_i' X \quad i=1, 2, \dots, p \quad (1)$$

其中第 $i$ 主成分所解释的方差为: $\lambda_k/p, k=1, 2, \dots, p$ 。本研究中,一共有4个变量,分别可以用 $X_1, X_2, X_3, X_4$ 来表示, $Y$ 即为主成分得分。

碎石图可以更加直观地确定主成分数量。将特征值从大到小排列,图中明确给出指标数量,选取最明显拐点处,此处所对应的序号可以作为主成分数量来解释其他所有变量。

运用主成分分析对华北地区各直辖市及各省份火灾数据进行压缩处理,确定出可以代替其他变量的因子,再通过聚类分析对他们进行归类。考虑主成分分析在降维上的特点,结果精度较高,所以先对数据进行主成分分析可以简化整体的分析过程,其结果也更容易可视化。

1.2.2 聚类分析 聚类分析(cluster analysis)是一类数据所对应的研究对象进行分类的统计方法。这一类方法的共同特点是:事先不知道类别的个数与结构,分析的数据是对象之间的相似性或相异性的数据。通过将相似性大的几组数据整合为一类,相似性小的或者相异性大的整合成两类或者多类来反应数据本身以及数据与数据之间的特点。这就是聚类分析方法的共同思路。

1)本研究所用方法为系统聚类法,先将 $n$ 个样本各自看成一类,并规定样本与样本之间的距离和类与类之间的距离。开始时,因每个样本自成一类,类与类之间的距离与样本之间的距离是相同的;然后,在所有的类中,选择距离最小的2个类合并成1个新类,并计算出所得新类和其他各类的距离;最后将距离最近的2类合并,这样每次合并2类,直至将所有的样本都合并成一类为止<sup>[12-13]</sup>。

2)使用欧拉距离来确定几个对象之间的距离。对2个对象 $Y_1=[y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1p}]$ 和 $Y_2=[y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2p}]$ ,欧拉距离的计算公式为:

$$d(Y_1, Y_2) = \sqrt{(y_{11} - y_{21})^2 + (y_{12} - y_{22})^2 + \dots + (y_{1p} - y_{2p})^2} \quad (2)$$

用2个对象之间的距离来衡量他们的相似性(相异性),在整体火灾数据的研究分析中,北京市与天津市火灾形式较好,地理位置相对接近,更容易把这2个地区几年的平均数据分类,其他地区火灾数据距离较远,可以分为多类研究。

### 1.3 数据处理

用2003—2016年华北地区各地区所有类型火灾次数、受害森林面积、森林火灾总面积、伤亡人数

和经济损失进行时间、空间格局分析,各省份火灾分布特点来研究华北地区整体火灾形势,所有数据均由 Excel2010 软件进行处理统计,运用 Origin7.0 做图。在主成分分析与聚类分析中,直接对总火灾起数、死亡人数、直接经济损失、HCF 起数 4 个变量的数据,运用 SPSS23 软件对主成分的提取与聚类分析的归类以及皮尔逊相关性进行处理、统计分析,用时间变化对北京市、天津市、河北省、山西省、内蒙古自治区的基本数据进行平均化与标准化的分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 华北地区森林火灾时间分布规律

对 2003—2016 年我国华北地区森林火灾数据进行分析,发生次数总计 3 513 次,年均 251 次。森林火灾发生次数年际间总体平稳,在 2004—2008 年达到 1 个较高的峰值,在 2005 年达到了最高峰,而在近几年来呈下降趋势,但 2014—2016 年森林火灾发生次数出现了上升。与其中一般火灾和较大火灾占发生森林火灾次数的绝大部分,而重大火灾和特大火灾则占极小的部分,2004、2007—2009、2011—2013、2015—2016 年这 4 个时段做到了全年无特大火灾。重大森林火灾在 2010 年发生次数相对较多以及 2015 年发生次数出现增长,应引起足够的重视。在 2016 年森林火灾次数全面减少,全年森林火灾次数是 2003—2016 年中最低。

2003—2016 年期间我国华北地区火场总面积在 2003 年为最大值,受害森林面积在 2003 年为最大值,整体来说,各年份火场总面积普遍平稳。从图 1 中看出华北地区的森林火灾在 2005—2007 年期间发生的较多,在 2007 年之后波动较缓,但在相隔 2~3 a 会出现 1 个相对高峰期。伤亡人数分别在 2010 年与 2013 年为最高,其他各年份相对波动趋于平稳,但在 2007、2009、2012 年也有较大的人员伤亡。在经济损失方面波动明显,分别在 2007、2011、2015 年达到相对峰值,其中 2007 年的经济损失尤为突出。

### 2.2 华北地区森林火灾空间分布规律

从图 2 可以看出,2003—2016 年华北地区森林火灾发生内蒙古自治区最多,达到 1 600 次,其次为河北省,其他地区均在 400 次以下;较大火灾发生内蒙古自治区为 406 次,居首位,山西省和河北省次之,分别为 95 次和 77 次;重大火灾发生内蒙古自治区最多,达到 36 次。并且特大火灾内蒙古自治区的次数远远高于其他地区,达到 10 次。重大火灾的次数山西省要多于除内蒙古自治区以外的其他 3 个地区。

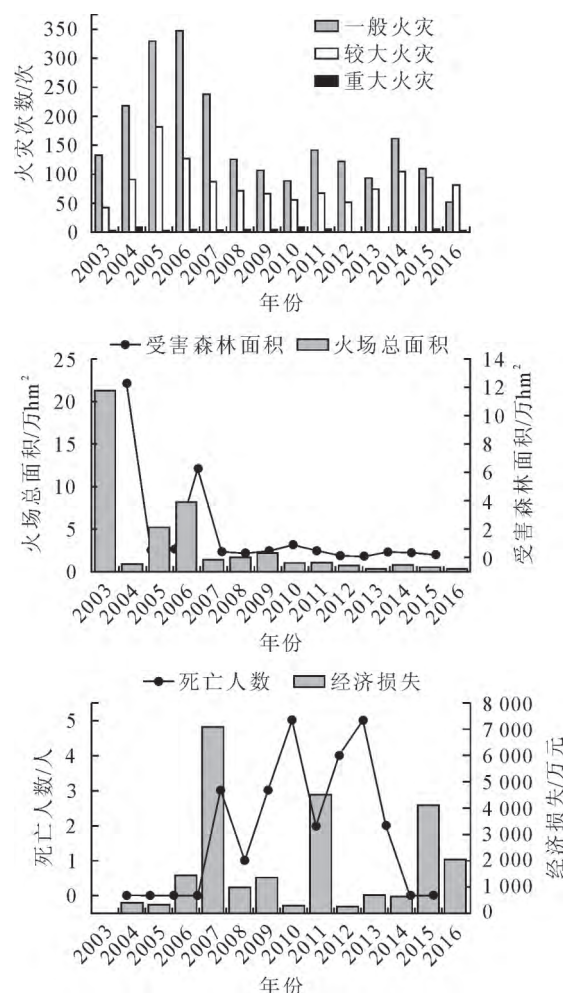


图 1 2003—2016 年华北地区森林火灾时间分布

Fig. 1 Time distribution of forest fires in Northern China from 2003 to 2016

内蒙古自治区的火场总面积与受害森林面积的比例 53.8%,且火场总面积与受害森林面积都比较大,其次为山西省与河北省,而北京市与天津市的火场总面积和受害森林面积都比较小。经济损失和人员伤亡北京市与天津市都比较低,山西省森林火灾造成的经济损失最大,且整体趋势波动十分明显且剧烈;山西省森林火灾造成的人员伤亡数量最大,其次是河北省,北京市相对较少,其他 2 个地区无人员伤亡。其中内蒙古自治区的火灾次数最多,受害森林面积最大,这更加说明内蒙古自治区的森林火灾的规模和危害更大<sup>[14]</sup>。

### 2.3 华北地区全部森林火灾特征分析

根据华北地区火灾死亡人数与受伤人数的散点以及散点的线性关系( $R^2=0.300$ )绘制成图(图 3)。

图 4 中每 3 a 的平均数据,火灾主要集中于山西省、河北省和内蒙古自治区,各项指标都明显高于另外 2 个地区,在主成分分析中所占比重较大,可以着重考虑这 3 个地区的变量数据。

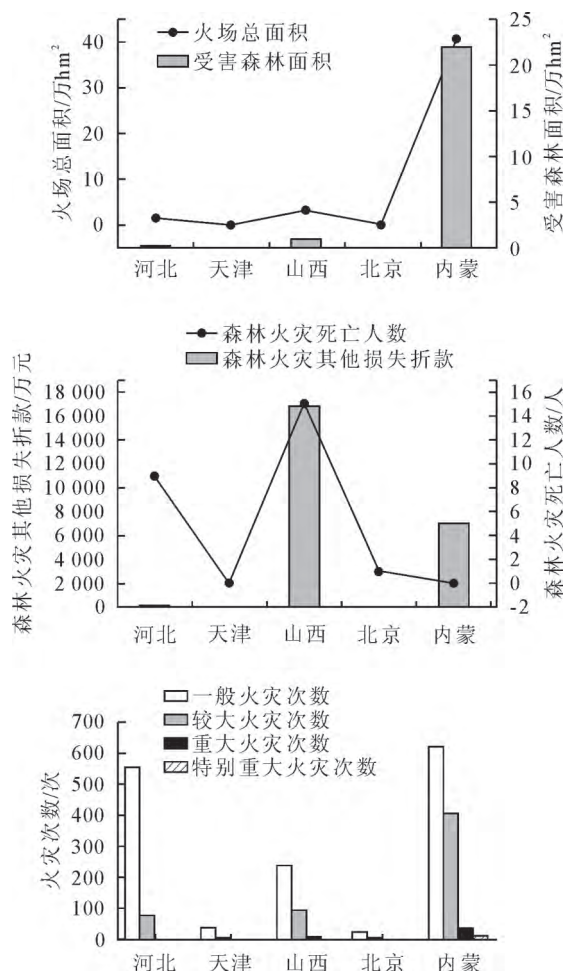
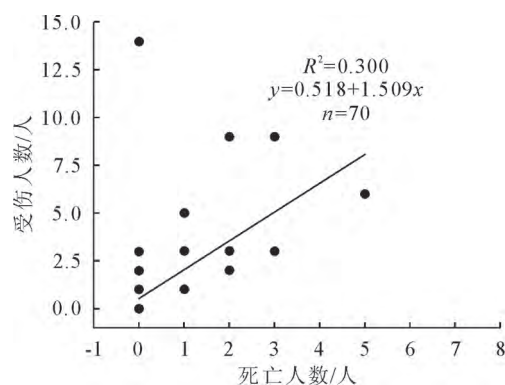


图2 2003—2016年华北地区森林火灾空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of forest fires in Northern China in 2003—2016



注:  $n=70$ , 其中 56 组为 (0,0), 14 组有数据。

图3 2003—2016年华北地区各省份火灾死亡人数和受伤人数关系

Fig. 3 The relationship between the number of fire deaths and the number of injuries in different provinces

为更清晰地比较 2003—2016 各项指标平均数据的差异性,对这 4 个变量进行标准化处理,从其整体数据的量化程度来看,内蒙古自治区的火灾数据呈现最大值的状态,在 2013—2016 年突然出现大幅

度升高,随后持续升高。对以上 5 个地区的平均数据进行标准化分析,得到表 1 的相关矩阵。矩阵中数据可以代表各变量的变化,进一步简化步骤。

表 1 2003—2016 年华北地区火灾变量数据相关矩阵

Table 1 Data correlation matrix

| 变量   | 火灾数量    | 伤亡人数   | 受灾面积    | HCF     |
|------|---------|--------|---------|---------|
| 火灾数量 | 1.000   | 0.032  | 0.563** | 0.541*  |
| 伤亡人数 | 0.032   | 1.000  | -0.186  | -0.217  |
| 受灾面积 | 0.563** | -0.186 | 1.000   | 0.787** |
| HCF  | 0.541*  | -0.217 | 0.787** | 1.000   |

注: \*\* 为 0.01 水平相关性显著; \* 为 0.05 水平相关性显著。

对这 4 个变量进行皮尔逊相关性分析(表 1),受灾面积与火灾数量、HCF 相关性极显著( $P<0.01$ ), HCF 与火灾数量相关性显著( $P<0.05$ )。

由图 5 可知,当  $i=2, 3, 4$  时,其特征量都相对较小,曲线比较平滑,而得出的特征向量中可以表明两组主成分符合标准,认为在本组数据中,2 个主成分可以代表整个数据第 1 和第 2 主成分,可以写为:

$$Y_1 = 0.331\text{Num.} - 0.113\text{Death} + 0.395\text{HCFs} + 0.394\text{HCFs} \quad (3)$$

$$Y_2 = 0.363\text{Num.} + 0.919\text{Death} + 0.003\text{HCFs} - 0.043\text{HCFs} \quad (4)$$

第 1 主成分( $Y_1$ )综合了火灾起数、伤亡人数、受害面积和 HCF 起数 4 个指标,除伤亡人数外其余变量呈正向分布,且相差不大,而伤亡人数的系数较小,可忽略。在本研究中,第 1 主成分可称为“火灾对环境的影响”。由此可知( $Y_1$ )值越大,火灾对环境的影响严重。在第 2 主成分( $Y_2$ )中受害面积与 HCF 的系数相对较小,而火灾数量与伤亡人数系数相对较大。此类主成分可称为相关关系。对( $Y_2$ )来说,由于受害面积与 HCF 的系数较小,可以忽略;而火灾数量与伤亡人数系数较大,且都为正相关,因此( $Y_2$ )可以认为是火灾数量与伤亡人数之间的正比关系。

对 4 个变量分析得出 2 个主成分,第 1 主成分( $Y_1$ )“火灾对环境的影响”,这一主成分在定性考量上可以代表整体火灾强度,具有明确的意义,其中天津市和北京市的“火灾对环境的影响”未出现增长趋势,且相对于其他省份影响较小,所以这 2 个地区的火灾次数等指标较少。而其他 3 省份火灾对环境的影响偏大,故着重考虑山西省、河北省以及内蒙古自治区的受灾情况以及火灾特点。第 2 主成分( $Y_2$ )火灾起数与伤亡人数的正比关系,这一主成分可代表火灾对于人身安全影响,其中河北省和山西省虽未出现增长趋势,但相对于其他省份影响较大。北京市、天津市和内蒙古自治区虽有火灾发生,但对于人员伤亡影响微乎其微。



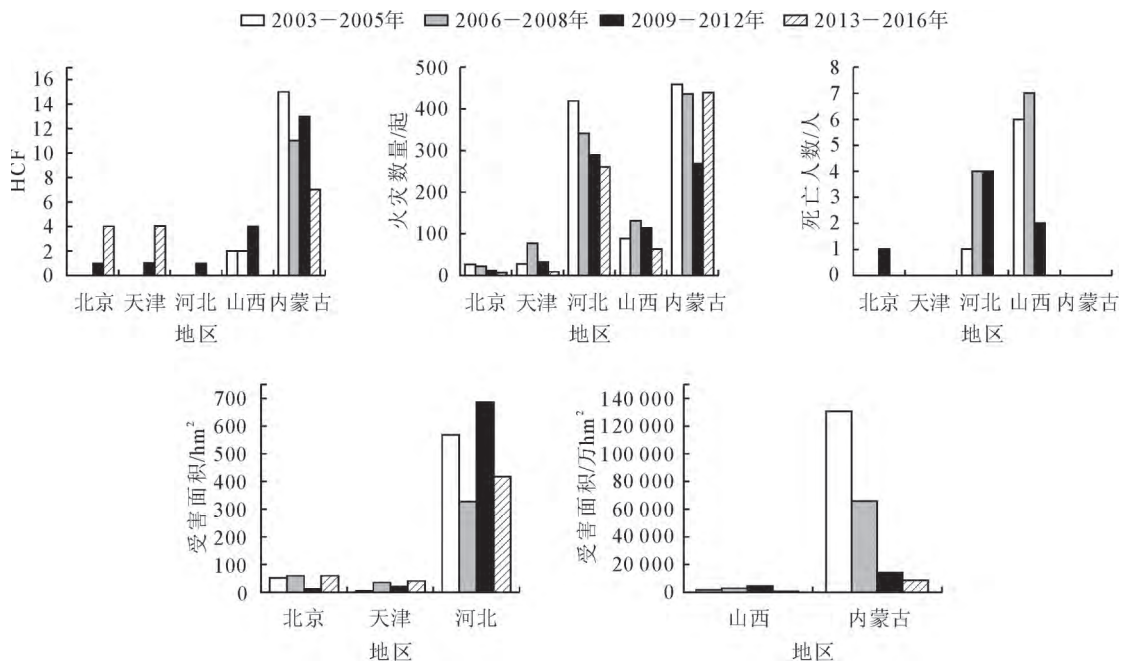


图 4 2003—2016 年华北地区火灾变量平均数据

Fig. 4 Average data during 2003–2016

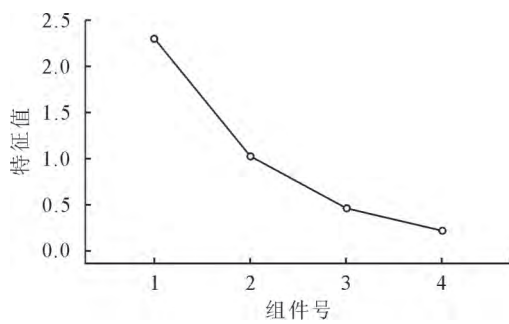


图 5 华北地区火灾主成分碎石图

Fig. 5 Principal component lithotripsy

表 2 华北地区火灾变量数据特征向量

Table 2 Data eigenvector

| 灾害类型 | 成分     |        |
|------|--------|--------|
|      | 1      | 2      |
| 火灾数量 | 0.331  | 0.363  |
| 伤亡人数 | −0.113 | 0.919  |
| 受害面积 | 0.395  | 0.003  |
| HCF  | 0.394  | −0.043 |

冰柱图的特点在于能够观察到所有分类之间的联系,树状图能够清晰直观地看出在聚类分析中可以归类的变量,准确地分析出各聚类成分的特点<sup>[15]</sup>。其中树状图从左侧向右侧延伸,从图 6 树状图可见左侧逐渐归为 1,且主要归为 3 个聚类。

为了对聚类结果进行合理的分析,将第 1 主成分做为横轴,第 2 主成分作为纵轴,将聚类结果绘制成点(图 7)。以参考线为准,可以把全部火灾数据

分为 3 个聚类,以主成分得分可以确定其火灾特点(表 3)。

表 3 全部火灾数据的 3 个聚类

Table 3 Three clustering of all fire data

| 聚类编号 | 特点         |
|------|------------|
| 1    | 火灾对环境的影响小  |
| 2    | 火灾对环境的影响适中 |
| 3    | 火灾对环境的影响大  |

为了聚类结果更直观地解释和比较,将 3 类结果绘制在华北地区局部地图上(图 8),其中 3 a 为一节点绘制在 1 张地图上。由图 8 可见,北京市、天津市、河北省、山西省火灾对环境的影响较小且变化不明显,而内蒙古自治区火灾对环境的影响较大且有明显变化。内蒙古自治区虽然火灾对环境的影响最大的省份,但出现火灾起数趋势从聚类 3 变为聚类 1,说明该省份在火灾的防治上得到相应的改善。总的来说,华北地区的整体火灾对环境的影响出现下降趋势,但由于内蒙古自治区火灾对环境的影响效果明显,在评估华北地区整体火灾对于环境影响时,应先着重考虑内蒙古自治区。

### 3 结论与讨论

本次研究的是华北地区各省份的火灾特点,并在此基础上运用主成分分析法与聚类分析法定量地分析了一般火灾、较大火灾与 HCF 在火灾形势中的作用。结论如下:

不同的地理环境以及气候条件直接影响了森林

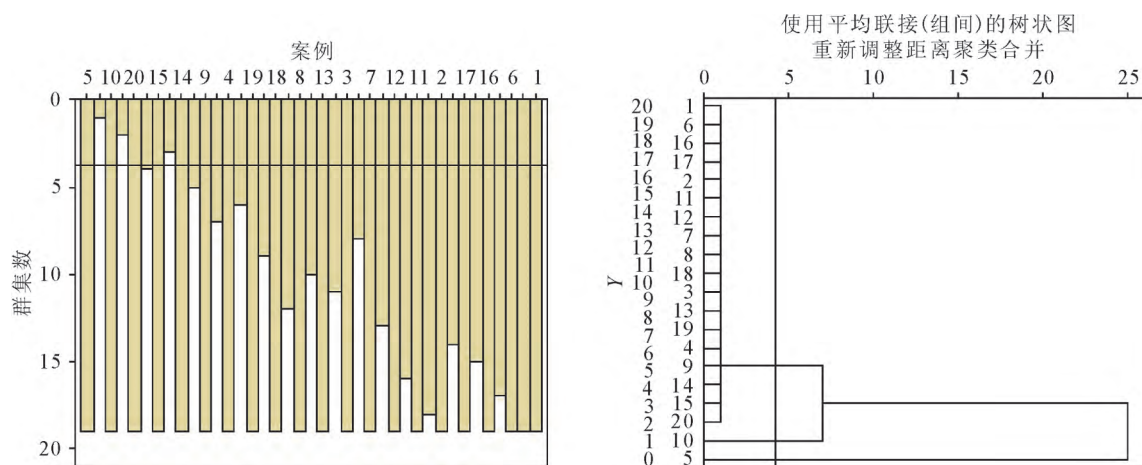


图 6 聚类分析冰柱图(左)与树状图(右)

Fig. 6 Icicle (left) and tree diagram (right) of cluster analysis

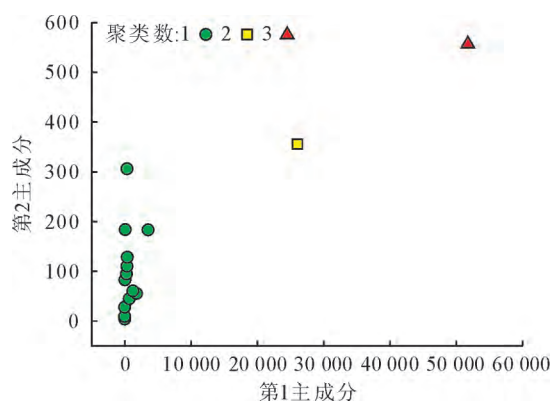


图 7 全部火灾数据组 2 主成分得分和聚类结果

Fig. 7 The first and second principal component scores and clustering results of all fire data sets

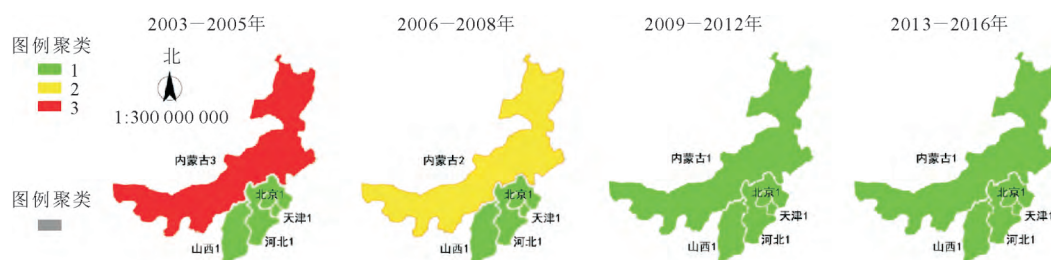


图 8 全部火灾数据组聚类结果

Fig. 8 Cluster map of all fire data

因,并且山西省地形复杂山势较高造成了山西省火灾次数波动变化较大,并且较大火灾次数相对较高也造成直接经济损失较大<sup>[18]</sup>;河北省发生火灾主要由于大风时日多、气候异常干燥,火险等级居高不下,并且众多农业人口居住林区边缘,生活用火不慎造成,虽然森林火灾次数较多,但造成的经济损失与人员伤亡较小<sup>[19]</sup>。

北京市森林火灾空间分布特征明显:着火地点大多集中在平原与周围山地相接的边缘地带,局部区域范围火点数量呈不规则变化特征,造成此特征

火灾的火灾等级。2003—2016 年我国华北地区森林火灾发生次数年际间相对比较平稳,在 2004—2008 年普遍较高,而在近几年来呈下降趋势,其中一般火灾和较大火灾占发生森林火灾次数的绝大部分,重大火灾与特大火灾普遍较少,但在 2004—2011 年发生次数波动明显,而特大森林火灾在 2007—2016 年仅发生 2 起。

我国华北地区森林火灾发生次数最多的是内蒙古自治区和山西省,也是重、特大森林火灾发生的高发区,火场总面积和受害森林面积总体上也是内蒙古自治区居首,山西省次之。其中内蒙古自治区火灾次数年际间变化大,季节性明显,春秋火险高峰突出<sup>[16-17]</sup>。山西典型的气候条件是火灾形成的根本原

的主要原因是人为因素以及生活用火的不慎<sup>[20-22]</sup>;天津市与北京市较为相似,但天津市干湿季节分明,旱季时间长达 8 个月以上导致高温干旱火险等级更高<sup>[23]</sup>。

通过聚类分析来对各省份的主成分得分进行分类,可以清晰地看出华北地区火灾形势在某一时间段上的严重程度,对消防部门实施救援或者针对火灾扑救上提供更权威可靠的依据。结果表明,华北地区大多数省份火灾指标逐渐控制在良好的范围,总体出现下降趋势。但内蒙古自治区的火灾对环境

的影响最为明显,聚类结果上的浮动比较明显,更多倾向于发生HCF,而且可以看出在火灾发生时其火势比较凶猛,难以扑灭造成受害面积较大,应当引起有关单位的重视。

整体来说,我国华北地区的森林火灾过火面积大,并且火灾发生分布不均匀。这与华北地区受气候暖干化的影响、频繁的人类活动、生态环境十分脆弱的特点息息相关<sup>[21]</sup>。我们通过对华北地区近些年的森林火灾的几项指标进行汇总整理分析,可以找寻并探索华北地区林火的特点,进而总结出华北地区的火灾时空规律,为当地森林火灾的综合防控提供理论依据。今后可以结合历年的气象数据,并依托更小区域范围内具体地形条件数据等进行综合分析,以提高华北林区的火灾预测预报能力。建议在准确把握华北地区森林火灾时空分布特征上,加强宣传教育,采取科学的森林防火和预测预报工作,维护森林生态安全。

#### 参考文献:

- [1] 韩焕金,方昉.华北地区2005—2014年森林火灾规律研究[J].森林防火,2016(4):39-42.
- [2] 田国华,杨松.我国31个地区森林火灾时空分布特征[J].森林防火,2013(2):10-14.
- [3] 孙玉荣,张贵.基于神经网络的森林火灾危害程度预测研究[J].西北林学院学报,2010,25(3):147-150,162.  
SUN Y R,ZHANG G. Forecasting study of forest-fire harm degree based on neural network[J]. Journal of Northwest Forestry University,2010,25(3):147-150,162. (in Chinese)
- [4] 王郭社,安春晖.主成分分析法在评价全国火灾形势中的应用研究[J].武警学院学报,2007,23(6):41-45.
- [5] 刘海生,张鑫磊,宋丽霞.基于统计数据的全国火灾形势综合评价与预测[J].中国安全科学学报,2011,21(6):56-61.  
LIU H S,ZHANG X L,SONG L X. Comprehensive evaluation and prediction of fire accidents in China based on statistics[J]. China Safety Science Journal,2011,21(6):56-61. (in Chinese)
- [6] 安振宇,陈云国.基于火灾统计数据的火灾形势综合评价和定量预测[J].中国安全生产科学技术,2006,2(2):35-39.  
AN Z Y,CHEN Y G. Fire comprehensive evaluation and quantitative prediction based on fire statistic[J]. Journal of Safety Science and Technology,2006,2(2):35-39. (in Chinese)
- [7] 陶玉柱,邸雪颖,金森.我国森林火灾发生的时空规律研究[J].世界林业研究,2013,10(5):75-80.  
TAO Y Z,DI X Y,JIN S. Research on temporal and spatial distribution of forest fire in China[J]. World Forestry Research,2013,10(5):75-80. (in Chinese)
- [8] 雷蕾,虞耀,陈勇.我国森林火灾空间分布特征、扑火能力及成因分析[J].安徽农业科学,2013,41(6):2539-2541,2590.
- [9] 国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2004-2017.
- [10] 李靖华,郭耀煌.主成分分析用于多指标评价的方法研究:主成分评价[J].管理工程学报,2002,16(1):39-43.
- [11] 魏鹏,杨松,田国华.基于主成分分析法的全国森林火灾综合评价分析[J].绿色科技,2012(12):40-43.
- [12] 陈子锦,王福亮,陆守香,等.我国火灾统计数据的聚类分析[J].中国工程科学,2007,9(1):90-92.
- [13] 李童瑶,陈馨,邓晶,等.基于聚类分析的福建省森林火灾风险区划[J].福建林业科技,2015,42(4):148-152.  
LI T Y,CHEN X,DENG J,et al. Zoning of forest fire risk grade of Fujian Province based on hierarchical clustering analysis[J]. Jour. of Fujian Forestry Sci. and Tech.,2015,42(4):148-152. (in Chinese)
- [14] 庞万才,王桂芝.内蒙古森林火灾及其气候条件分析[J].内蒙古气象,1994(3):22-32.
- [15] 张成现,贺兴汉.一类最优化问题的树状图解法[J].纺织基础科学学报,1992(4):355-358,364.
- [16] 李兴华,任丽媛,刘秀荣.气候变化对内蒙古草原火灾的影响[J].干旱区资源与环境,2014,28(4):129-133.
- [17] 狄丽颖,张爱国,张艳丽,等.山西省森林火灾的年变化特点和致灾原因分析[J].森林防火,2007(2):19-22.
- [18] 崔凤儒.承德市森林火灾成因及对策[J].河北林业,2006(1):13.
- [19] 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.
- [20] 周雪.北京城市森林风险评估与管理研究[D].北京:北京林业大学,2014.
- [21] 王凯.北京西山林场不同可燃物类型空间分布及潜在火行为研究[D].北京:北京林业大学,2016.
- [22] 袁来凤.天津市森林防火面临的形势与对策[J].天津农林科技,2003(5):35-37.
- [23] 苏立娟,何友均,陈绍志.1950—2010年中国森林火灾时空特征及风险分析[J].林业科学,2015,51(1):88-96.  
SU L J,HE Y J,CHEN S Z. Temporal and spatial characteristics and risk analysis of forest fires in China from 1950 to 2010[J]. Scientia Silvae Sinicae,2015,51(1):88-96. (in Chinese)