

DOI:10.13332/j.1000-1522.20180254

## 我国森林灾害的空间分布分析

张颖 丁昱菲

(北京林业大学经济管理学院, 北京 100083)

**摘要:**【目的】森林火灾及病虫害是森林生态系统的重要影响因子,对森林生态系统的稳定和平衡有重要影响。开展对森林灾害的研究,对提高森林资源风险的管控能力和应对措施等有重要的意义。【方法】本研究收集了我国2003—2016年主要森林灾害的相关数据,采用主成分聚类分析的方法,对森林灾害的空间分布进行了分析。【结果】2003—2016年,在森林火灾总次数上,湖南和贵州两省位居前列。在火场总面积上,黑龙江省远高于其他省份,北京和天津的火场总面积最少。在受害森林总面积上,黑龙江省和内蒙古自治区比较严重,是其他省市区的几十倍甚至上百倍。在成林蓄积量损失上,黑龙江省也是最严重的省份,平均每年火灾损失成林蓄积 68.61 万 m<sup>3</sup>。按受灾程度将火灾发生区分为轻度森林火灾区(I类)、中度森林火灾区(II类)和重度森林火灾区(III类)3类,黑龙江省为重度火灾区,受灾程度最严重。在病虫害的空间分布上,按照受灾面积的大小分为4类,其中新疆和内蒙属于IV类地区,为病虫害发生面积很大区;其他省市区分别属于I~III类,为病虫害发生面积较小(北京市、上海市等)、中度(海南省)和较大区(黑龙江省等)。【结论】2003—2016年,我国森林火灾次数、受害面积等总体呈下降趋势,但近年来全国森林病虫害的发生面积总体呈现上升趋势,且面积居高不下,中度和重度森林灾害面积占比增加,这应该引起高度重视。本研究对相关问题进行了讨论,为我国森林灾害的风险管控提供参考。

**关键词:** 森林灾害;空间分布;主成分聚类;森林生态系统;资源管理

**中图分类号:** S762.1; S763.30; S7-9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2019)03-0068-12

**引文格式:** 张颖,丁昱菲.我国森林灾害的空间分布分析[J].北京林业大学学报,2019,41(3):68-79. Zhang Ying, Ding Yufei. Analysis on spatial distribution of forest disasters in China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019, 41(3): 68-79.

### Analysis on spatial distribution of forest disasters in China

Zhang Ying Ding Yufei

(School of Economics & Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** [Objective] Forest fires, diseases, pests and rodents are important influencing factors in forest ecosystem, and have important influence on the stability and balance of forest ecosystem. It is of great significance to study the risk of forest disasters to improve the management ability and countermeasures of forest resource risk. [Method] Relevant data on the number of forest disasters in China from 2003 to 2016 were collected in this study, and the spatial distribution of China's forest disasters was analyzed using the principal component cluster analysis method. [Result] From 2003 to 2016, Hunan and Guizhou provinces ranked first top two provinces in terms of the total number of forest fires. Concerning total fire area, Heilongjiang Province was much higher than other provinces, while Beijing and Tianjin municipalities had the least total. In terms of the total area of affecting forests, Heilongjiang Province and Inner Mongolia autonomous region were relatively serious, which was dozens or even hundreds of times of other provinces and cities. In terms of affecting stand volume loss, Heilongjiang Province was also the most serious one, with an average annual forest fire loss of 686 100 m<sup>3</sup>. According to the degree of fire disaster, the spatial distribution of forest fires can be divided into three types, which are mild, moderate and severe fire zones,

收稿日期: 2018-08-07 修回日期: 2018-09-14

基金项目: 科技部国家重点研发计划项目“沙生资源植物选育与防风固沙技术集成及产业示范”(2016YFC0500905)。

第一作者: 张颖, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 资源、环境评价与核算, 区域经济学。Email: zhangyin@bjfu.edu.cn 地址: 100083 北京市海淀区清华东路35号北京林业大学经济管理学院。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

especially Heilongjiang Province was the most prominent. On the spatial distribution of forest diseases, pests and rodents disasters were divided into four categories based on the extent of the damage. Xinjiang and Inner Mongolia Autonomous Region fell into the IV category, where a large area diseases, pests and rodents occurred with a high proportion of moderate and severe ones. Other provinces and cities were belonging to the I-III category, where smaller (Beijing, Shanghai, etc.), moderate (Hainan Province) and larger (Heilongjiang Province, etc.) area diseases, pests and rodents happened. [Conclusion] The number of forest fires and the area of forest damage were generally decreasing in 2003 to 2016, but the area of forest diseases and insect pests occurrence overall rised in recent years in China, especially in the proportion of forest insect and rodent, moderate and severe disaster area increased, and this should be paid more attention to. The study also discusses relevant issues, and provides a reference for the risk management of forest disasters.

**Key words:** forest disasters; spatial distribution; principal component clustering; forest ecosystem; resource management

森林灾害(Forest disaster)是森林生态系统的重要影响因子,对森林生态系统的稳定和平衡产生重要影响。因此,研究森林灾害对森林资源的影响,对森林的保护和生态系统的稳定等有重要的意义。

我国森林灾害主要有森林火灾、森林病虫鼠害和乱砍滥伐<sup>[1]</sup>。日本定义森林灾害主要为森林火灾、森林风灾和森林雪灾<sup>[2]</sup>。欧洲把森林灾害定义为森林风灾、森林雪灾和森林虫灾等<sup>[3]</sup>。美国则把森林灾害定义为森林火灾、森林病虫害和森林鸟灾等<sup>[4]</sup>。因此,不同国家对森林灾害的定义不同,但主要包括森林火灾、森林病虫害等。

森林火灾是指失去人为控制的,在林地内自由蔓延和扩展的,达到一定面积的并对森林生态系统和人类造成一定危害和损失的林地起火<sup>[5]</sup>。森林病害是指林木受侵染性病原体和非侵染性病原体等致病因素的影响,造成其生理机能、细胞核组织的结构以及外部形态上发生局部或整体变化的现象<sup>[6]</sup>。森林虫害是指林木的叶片、枝条、树干和树根等单一或多个部位被森林害虫取食危害,造成生理机能以及外部形态上发生局部或者全体变化的现象<sup>[6]</sup>。森林鼠害是指由啮齿动物引发的一类森林灾害<sup>[7]</sup>。森林灾害受气候变化、地形特征、人为因素等多方面影响,其发生规律与这些因素密切相关。近年来,国内外学者对森林火灾、病虫鼠害等进行了大量研究,并取得了一定的进展<sup>[8-9]</sup>。尤其是联合国粮农组织对这些灾害主要采用指标法进行评价和统计,并把这些灾害造成的影响纳入环境统计开发框架中<sup>[4]</sup>。我国学者陶玉柱<sup>[5]</sup>、徐艳梅<sup>[6]</sup>、韩崇选<sup>[7]</sup>等对森林火灾、病虫鼠害等发生规律和防治技术进行了研究。这些研究对掌握森林灾害的发生规律和森林灾害预测预报及森林防灾补救工作的顺利开展和资源管理等具有重要的意义<sup>[10]</sup>。因此,本文也将森林灾害主要界定为森林火灾和森林病虫鼠害,并对其空间分布进行

探索,以期对相关管理提供参考。

## 1 区域划分及数据收集

### 1.1 区域划分

为了便于从区域上统计分析森林灾害发生的规律,根据全国行政区划,将全国划分为华北地区,主要包括北京、河北、天津、山西、内蒙古;东北地区,包括黑龙江、吉林、辽宁;华东地区,包括上海、山东、江苏、安徽、江西、浙江、福建;华中地区,包括湖北、湖南、河南;华南地区,包括广东、广西、海南;西南地区,包括四川、重庆、贵州、云南、西藏;西北地区,包括陕西、甘肃、宁夏、新疆、青海。在这7大地区,31个省市区中,不包括港澳台地区。

### 1.2 数据收集

在数据收集上,所有数据主要来源于《中国林业统计年鉴》<sup>[11-12]</sup>。森林火灾主要收集2003—2016年的相关数据。森林病虫鼠害主要收集各省市区2012—2016年的数据,并采用主成分聚类分析法分析森林灾害的空间分布情况。在火灾类型划分上,根据国务院制定的《森林防火条例》第四十条规定<sup>[13]</sup>:按照受害森林面积和伤亡人数,森林火灾可以分为一般森林火灾、较大森林火灾、重大森林火灾和特别重大森林火灾。具体分类标准如表1所示。

在森林病虫鼠害的划分上,根据《中华人民共和国森林病虫害防治条例》<sup>[14]</sup>,将森林病虫害划分为森林病虫害发生、中度、重度3大类型。收集的森林火灾数据如表2、表3所示。收集的森林病虫鼠害的数据如表4所示。

## 2 分析方法及结果

### 2.1 分析方法

针对上述数据,本研究主要采用主成分聚类分析法进行分析。主成分聚类分析法主要针对没有差

表1 森林火灾类型

Tab. 1 Forest fire types

森林火灾类型 Forest fires type	受害面积/hm <sup>2</sup> Damaged area/ha	死亡人数 Death toll	重伤人数 Seriously injured people
一般森林火灾 General forest fire	< 1	1 ~ 3	1 ~ 10
较大森林火灾 Larger forest fire	1 ~ 100	3 ~ 10	10 ~ 50
重大森林火灾 Serious forest fire	101 ~ 1 000	10 ~ 30	50 ~ 100
特别重大森林火灾 Extremely serious forest fire	> 1 000	> 30	> 100

注: 资料来源[13]。Note: data are cited from reference [13].

表2 各地区森林火灾次数统计

Tab. 2 Number of forest fires in various regions

年份 Year	华中地区 Central China	华北地区 Northern China	西南地区 Southwestern China	华东地区 Eastern China	华南地区 Southern China	东北地区 Northeastern China	西北地区 Northwestern China
2003	2 123	2 184	3 483	2 475	1 458	641	102
2004	4 627	2 327	2 304	3 967	1 737	403	105
2005	5 241	2 519	2 199	1 969	1 121	370	128
2006	3 001	2 485	2 604	838	758	385	105
2007	3 990	2 334	2 405	1 073	997	309	159
2008	7 243	2 208	3 327	1 838	942	463	131
2009	3 429	2 185	2 544	1 387	803	361	159
2010	2 248	2 162	3 580	566	895	107	175
2011	2 005	2 224	1 019	1 327	631	155	198
2012	1 635	2 184	1 111	396	377	141	134
2013	1 472	2 180	954	539	461	50	286
2014	759	2 280	1 018	639	622	209	190
2015	166	2 223	514	261	1 359	335	93
2016	469	2 151	387	225	522	192	104
总计 Total	38 408	31 646	27 449	17 500	12 683	4 121	2 069
平均 Mean	2 743.43	2 260.43	1 960.64	1 250	905.93	294.36	147.79

注: 资料来源[11-12]。Note: data are cited from reference [11-12].

表3 各地区森林火场总面积

Tab. 3 Total area of forest fires in various regions

年份 Year	东北地区/hm <sup>2</sup> Northeastern China/ha	华北地区/hm <sup>2</sup> Northern China/ha	华东地区/hm <sup>2</sup> Eastern China/ha	西北地区/hm <sup>2</sup> Northwestern China/ha	华中地区/hm <sup>2</sup> Central China/ha	华南地区/hm <sup>2</sup> Southern China/ha	西南地区/hm <sup>2</sup> Southwestern China/ha
2003	800 019.1	214 642.0	37 449.0	31 864.6	31 962.8	23 135.4	3 084.4
2004	186 304.7	10 430.1	21 715.5	67 578.9	28 799.1	30 391.5	995.3
2005	132 831.0	53 862.0	30 795.0	30 320.0	27 202.0	16 999.0	626.0
2006	417 104.2	83 268.7	32 099.4	8 298.7	12 362.9	10 521.5	654.5
2007	40 287.0	15 893.0	21 743.0	11 911.0	20 127.0	16 537.0	636.0
2008	20 096.0	18 768.0	58 086.0	35 187.0	40 678.0	13 085.0	605.0
2009	101 594.0	23 382.0	28 921.0	28 766.0	22 298.0	10 020.0	667.0
2010	14 267.0	11 881.0	56 883.0	4 975.0	12 519.0	17 829.0	1 357.0
2011	2 558.0	12 319.0	9 277.0	19 693.0	11 041.0	8 579.0	1 970.0
2012	1 598.0	9 117.0	13 959.0	4 651.0	10 022.0	5 207.0	629.0
2013	312.0	5 443.0	16 279.0	7 308.0	9 091.0	4 937.0	1 533.0
2014	1 480.0	9 895.0	22 056.0	8 094.0	5 926.0	8 997.0	907.0
2015	3 250.0	7 148.0	6 596.0	4 713.0	1 037.0	11 862.0	490.0
2016	2 469.0	4 557.0	2 602.0	1 859.0	1 782.0	5 936.0	975.0
总计 Total	1 724 170.0	480 605.8	358 460.9	265 219.2	234 847.8	184 036.4	15 129.2
平均 Mean	229 889.3	64 080.8	47 794.8	35 362.6	31 313.0	24 538.2	2 017.2

注: 由于上海市没有森林火灾的统计数据, 因此, 华东地区不包括上海市的相关统计资料。下同。资料来源[11-12]。Notes: since Shanghai does not have statistics on forest fires, eastern China does not include relevant statistics on Shanghai. The same below. Data are cited from reference [11-12].

表4 2012—2016年各省市森林病虫害鼠害统计

Tab. 4 Area of forest diseases, pests and rodents in each province from 2012 to 2016

省市区 Province	森林病虫害发生面积/hm <sup>2</sup> Area of forest pest and rodent infestation/ha	中度森林灾害占比 Moderate forest disaster proportion/%	重度森林灾害占比 Serious forest disaster ratio/%
北京 Beijing	197.152	0.19	0.03
广东 Guangdong	1 553.038	11.84	0.35
上海 Shanghai	26.995	5.14	0.56
山东 Shandong	2 511.869	4.88	0.88
山西 Shanxi	1 191.765	14.54	1.04
贵州 Guizhou	1 087.837	9.08	2.03
浙江 Zhejiang	490.996	5.20	2.06
天津 Tianjin	240.572	10.06	2.31
河南 Henan	2 893.375	12.79	2.85
重庆 Chongqing	1 446.76	13.10	2.88
江西 Jiangxi	1 311.365	9.99	3.21
广西 Guangxi	1 855.257	12.94	3.93
湖南 Hunan	1 771.786	10.69	4.53
安徽 Anhui	2 063.284	14.45	4.94
河北 Hebei	2 565.842	14.01	4.96
甘肃 Gansu	1 746.386	21.36	5.15
青海 Qinghai	1 355.454	26.06	5.31
宁夏 Ningxia	1 365.204	26.29	5.60
江苏 Jiangsu	534.485	9.27	5.75
福建 Fujian	1 103.263	11.78	5.83
海南 Hainan	105.432	22.23	6.46
陕西 Shaanxi	2 119.728	22.28	6.70
云南 Yunnan	1 847.057	21.41	7.04
黑龙江 Heilongjiang	2 195.373	52.98	7.34
新疆 Xinjiang	8 663.044	18.73	7.44
湖北 Hubei	2 018.825	18.57	8.17
辽宁 Liaoning	3 237.853	24.41	8.87
吉林 Jilin	1 188.899	20.19	9.75
四川 Sichuan	3 652.284	24.33	9.85
内蒙古 Inner Mongolia	5 948.156	31.53	15.70

注:2012年后,森林鼠害的数据包括在我国森林病虫害的统计数据当中,因此,森林病虫害的数据包括了森林鼠害的相关统计数据。下同。资料来源[11-12]。Notes: after 2012, the data of forest rodents are included in the statistics of forest diseases and pests in China. Therefore, the data of forest diseases, pests and rodents include related statistics of forest rodents. The same below. Data are cited from reference [11-12].

异的评价指标,通过对指标的标准化、主成分分析和聚类分析,降低指标间的相关性和赋权的主观性,从而提高评价的科学性。该方法相较于单纯的主成分分析和聚类分析法,能够提高评价的科学性和可靠性,并能明显消除评价指标信息的重叠性和主观性,使评价结果更加科学化<sup>[15-16]</sup>。

## 2.2 结果分析

### 2.2.1 森林火灾空间分布分析

由表2、表3的数据可以看出,2003—2016年

间,在森林火灾的发生次数方面,华中地区总计发生的森林火灾最多,14年间共发生森林火灾38 408次,平均每年发生森林火灾2 743次。东北地区的火灾次数虽然在全地区中并不算多,但其影响强度却非常巨大。2003—2016年间,东北地区火场总面积达到172.42万hm<sup>2</sup>,远高于位居第2的华北地区的48.06万hm<sup>2</sup>和位列第3的西南地区的35.85万hm<sup>2</sup>,火灾波及面广,同时也造成东北地区森林蓄积量损失远高于其他地区。14年间,东北地区成林总蓄积

量损失高达 965.82 万  $m^3$ , 平均每年损失成林蓄积 68.99 万  $m^3$ <sup>[17]</sup>。

对比各个地区在不同指标上的相似性可以发现, 在火灾总次数上, 华南、东北、西北地区比较相近, 平均火灾次数均在 1 000 次/年以下; 西南、华东地区比较相近, 平均火灾次数在 1 000 ~ 2 000 次/年; 华中、华北地区情况相近, 平均火灾次数在 2 000 次/年以上。在火场总面积这个指标上, 西北地区平均每年火场总面积明显低于其他地区 14 年间的年平均森林火场面积 2 017.23  $hm^2$  的值。东北地区年均火场总面积明显高于其他地区, 14 年间平均每年的森林火场面积为 22.99 万  $hm^2$ 。华北地区与东北地区比较相似, 火场总面积在 4 万 ~ 70 万  $hm^2$  之间, 西

北、华中、华南地区比较相似, 火场总面积在 2 万 ~ 3 万  $hm^2$  之间。

为进一步度量不同地区在各个指标上的相似性, 对 2003—2016 年间不同地区的森林火灾情况进行主成分聚类分析。

进一步收集了各省 2003—2016 年间火灾发生总次数、火场总面积、受害森林总面积、成林总蓄积量损失 4 个指标进行分析, 具体数据如表 5 所示。

由表 5 可以看出: 在森林火灾发生总次数上, 湖南和贵州两省位居前列, 14 年间分别发生森林火灾 23 206 次、14 521 次。在火场总面积上, 黑龙江省远高于其他省份, 14 年间森林火场面积总计 170.88 万  $hm^2$ 。北京和天津的火场总面积最少, 分别为 364.3  $hm^2$

表 5 2003—2016 年各省市区森林火灾情况

Tab. 5 Provincial forest fires from 2003 to 2016

省市区 Province	火灾总次数 Total number of fires	火场总面积/ $hm^2$ Total fire area/ha	受害森林总面积/ $hm^2$ Total area of affected forests/ha	成林总蓄积量损失 Total loss of forest stocks/ $m^3$
黑龙江 Heilongjiang	1 058.00	1 708 793.30	722 161.00	9 606 005.00
内蒙古 Inner Mongolia	1 600.00	405 928.60	218 595.70	1 414 432.70
湖南 Hunan	23 206.00	156 677.80	97 267.30	2 043 660.20
福建 Fujian	4 524.00	87 405.80	56 873.60	1 753 919.30
江西 Jiangxi	4 377.00	87 425.10	42 538.40	631 947.00
浙江 Zhejiang	5 163.00	73 615.20	38 271.60	997 125.60
贵州 Guizhou	14 521.00	149 632.10	30 380.50	642 994.40
云南 Yunnan	5 179.00	140 561.40	26 632.40	979 097.10
广西 Guangxi	8 726.00	143 405.50	26 457.60	832 929.30
广东 Guangdong	2 530.00	34 769.20	16 160.20	275 857.00
四川 Sichuan	6 081.00	57 785.30	13 702.40	582 179.40
湖北 Hubei	7 774.00	58 407.70	10 084.30	125 682.50
山西 Shanxi	395.00	31 093.20	9 597.40	320 324.70
河南 Henan	7 428.00	19 762.30	6 201.60	11 068.10
安徽 Anhui	2 118.00	11 486.00	4 945.40	108 418.00
辽宁 Liaoning	2 076.00	12 618.60	4 177.10	15 199.90
海南 Hainan	1 427.00	5 861.70	3 087.70	30 387.50
重庆 Chongqing	1 403.00	6 822.60	2 266.80	79 657.70
陕西 Shaanxi	1 033.00	5 474.50	2 094.50	17 598.50
河北 Hebei	1 309.00	14 673.50	1 997.00	8 774.30
山东 Shandong	467.00	3 198.40	1 946.70	12 103.60
青海 Qinghai	136.00	2 216.20	1 270.90	14.40
吉林 Jilin	987.00	2 758.10	1 264.90	36 994.90
新疆 Xinjiang	504.00	2 509.10	1 081.00	8 965.40
甘肃 Gansu	210.00	3 419.30	975.10	136 472.00
江苏 Jiangsu	851.00	2 088.70	819.76	9 304.30
西藏 Xizang	265.00	3 659.50	698.60	7 417.60
北京 Beijing	65.00	364.30	182.40	215.10
宁夏 Ningxia	186.00	1 510.10	105.80	16.00
天津 Tianjin	144.00	413.20	101.30	431.00

和 413.20 hm<sup>2</sup>。在受害森林总面积上, 黑龙江省和内蒙古自治区比较严重, 受害森林面积分别为 72.22 万 hm<sup>2</sup> 和 21.86 万 hm<sup>2</sup>, 是其他省市区的几十倍甚至上百倍。在成林蓄积量损失上, 黑龙江省也是最严重的省份, 成林总蓄积量损失 960.60 万 m<sup>3</sup>, 平均每年损失成林蓄积 68.61 万 m<sup>3</sup>。

首先, 采用 Z-score 方法对原始数据进行标准化处理。随后对标准化后的数据进行 Bartlett's 球形检

验和 KMO 检验, 本研究的 KMO 检验值为 0.725, 高于 0.5 的适用标准<sup>[17-18]</sup>; Bartlett 球形检验的概率值为 0.000, 小于 0.05, 说明所选用的数据可以进行因子分析。其次, 对标准化后的数据进行主成分分析, 由输出结果得 PC1、PC2 前两个主成分的方差和占全部方差比例的 99.248%(表 6)。因而选取 PC1 为第 1 主成分, PC2 为第 2 主成分, 这两个主成分几乎保留了原来指标的所有信息量。

表 6 森林火灾主成分聚类分析总方差解释表

Tab. 6 Total variance explained for forest fires by principle component clustering analysis

主成分 Principal component	初始特征值 Initial eigenvalue			提取载荷平方和 Sum squares of loads		
	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Accumulative contribution rate/%	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Accumulative contribution rate/%
PC1	2.968	74.202	74.202	2.968	74.202	74.202
PC2	1.002	25.046	99.248	1.002	25.046	99.248
PC3	0.023	0.582	99.83			
PC4	0.007	0.17	100			

注: 该表由 SPSS18.0 计算所得。Note: the table was calculated by SPSS18.0.

进一步计算得到因子载荷矩阵如表 7 所示。由表 7 可以看出, 主成分 PC1 在火场总面积、受害森林总面积、成林蓄积总损失量这 3 个指标上有着较大的载荷。因此, 定义第 1 主成分(PC1)为森林火灾影响程度因子(F<sub>1</sub>)。主成分 PC2 在火灾总次数上的载荷明显大于其在其他指标上的载荷。因此, 定义第 2 主成分(PC2)为森林火灾次数因子(F<sub>2</sub>)。

表 7 森林火灾主成分聚类分析因子载荷矩阵

Tab. 7 Component matrix for forest fires by principle component clustering analysis

指标 Index	因子1 Factor 1 (F <sub>1</sub> )	因子2 Factor 2 (F <sub>2</sub> )
火灾总次数 Total number of fires	0.082	0.997
火场总面积 Total fire area	0.995	-0.057
受害森林总面积 Total area of affected forests	0.994	-0.063
成林蓄积总损失量 Total loss of forest stocks	0.991	0.038

用因子载荷矩阵的第 i 列的每个元素分别除以第 i 个特征根的平方根, 得到主成分分析的第 i 个主成分的系数, 结果如表 8 所示。

表 8 森林火灾主成分聚类分析系数矩阵

Tab. 8 Coefficient matrix for forest fires

指标 Index	PC1	PC2
火灾总次数 Total number of fires	0.047 60	0.996 00
火场总面积 Total fire area	0.577 55	-0.056 94
受害森林总面积 Total area of affected forests	0.576 97	-0.062 94
成林蓄积总损失量 Total loss of forest stocks	0.575 23	0.037 96

因此, 主成分 PC1、PC2 的线性组合为:

$$\begin{cases} PC1 = 0.047\ 60x_1^* + 0.577\ 55x_2^* + \\ \quad 0.576\ 97x_3^* + 0.575\ 23x_4^* \\ PC2 = 0.996\ 00x_1^* - 0.056\ 94x_2^* - \\ \quad 0.062\ 94x_3^* + 0.037\ 96x_4^* \end{cases} \quad (1)$$

式中: x<sub>1</sub><sup>\*</sup>、x<sub>2</sub><sup>\*</sup>、x<sub>3</sub><sup>\*</sup>、x<sub>4</sub><sup>\*</sup> 表示对原始变量标准化后的数值。最终, 计算出 30 个省市区的森林火灾主成分如表 9 所示。

进一步根据两个主成分得分, 选用类平均法对各个地区森林火灾进行聚类分析, 输出的谱系图如图 1 所示。

因此, 根据图 1, 按森林火灾受灾强度从轻到重的顺序将 30 个省(市、自治区)分为 I、II、III 类。

I 类(轻度森林火灾区): 包括青海、宁夏、北京、天津、甘肃、新疆、西藏、陕西、吉林、河北、山东、山西、海南、辽宁、重庆、江苏、安徽、广东、河南、江西、四川、浙江、广西、云南、福建、湖北、内蒙古 27 省市。相比于 II、III 类地区, 这些地区森林火灾发生次数较少, 火场面积、受害森林面积、成林蓄积量也损失较少。总体而言, 火灾发生情况较轻。

II 类(中度森林火灾区): 包括湖南、贵州两省。湖南、贵州两省在 2003—2016 年 14 年间, 分别发生火灾 23 206 次、14 521 次, 平均每年发生火灾 1 658 次和 1 037 次, 这个数量远高于其他省份。总体而言, 第 II 类省市森林火灾的发生情况较为严重, 森林火灾发生比较频繁。

表9 各省市区森林火灾主成分得分表

Tab. 9 Principal component score of various provinces for forest fires

省市区 Province	PC1	排名 Ranking	PC2	排名 Ranking
北京 Beijing	-0.644 66	1	-0.663 54	2
天津 Tianjin	-0.644 09	2	-0.647 76	4
河北 Hebei	-0.595 95	12	-0.419 03	15
山西 Shanxi	-0.440 92	18	-0.600 93	8
内蒙古 Inner Mongolia	1.508 73	29	-0.503 15	12
辽宁 Liaoning	-0.581 04	15	-0.266 77	18
吉林 Jilin	-0.614 93	9	-0.480 05	13
黑龙江 Heilongjiang	8.710 51	30	-0.907 42	1
江苏 Jiangsu	-0.628 34	7	-0.507 40	11
浙江 Zhejiang	0.024 69	23	0.342 10	24
安徽 Anhui	-0.549 22	16	-0.256 56	19
福建 Fujian	0.368 88	27	0.219 86	22
江西 Jiangxi	-0.057 51	22	0.173 23	21
山东 Shandong	-0.624 22	8	-0.584 55	9
河南 Henan	-0.509 69	17	0.796 86	26
湖北 Hubei	-0.381 49	20	0.859 39	27
湖南 Hunan	0.940 66	28	3.915 51	30
广东 Guangdong	-0.400 21	19	-0.180 38	20
广西 Guangxi	0.083 32	24	1.041 06	28
海南 Hainan	-0.599 39	11	-0.393 97	17
重庆 Chongqing	-0.585 38	14	-0.397 48	16
四川 Sichuan	-0.235 28	21	0.530 40	25
贵州 Guizhou	0.105 08	26	2.188 22	29
云南 Yunnan	0.092 50	25	0.338 17	23
西藏 Xizang	-0.63215	5	-0.624 38	7
陕西 Shaanxi	-0.612 24	10	-0.472 18	14
甘肃 Gansu	-0.590 09	13	-0.632 66	6
青海 Qinghai	-0.635 99	4	-0.650 24	3
宁夏 Ningxia	-0.641 79	3	-0.639 61	5
新疆 Xinjiang	-0.629 85	6	-0.576 72	10

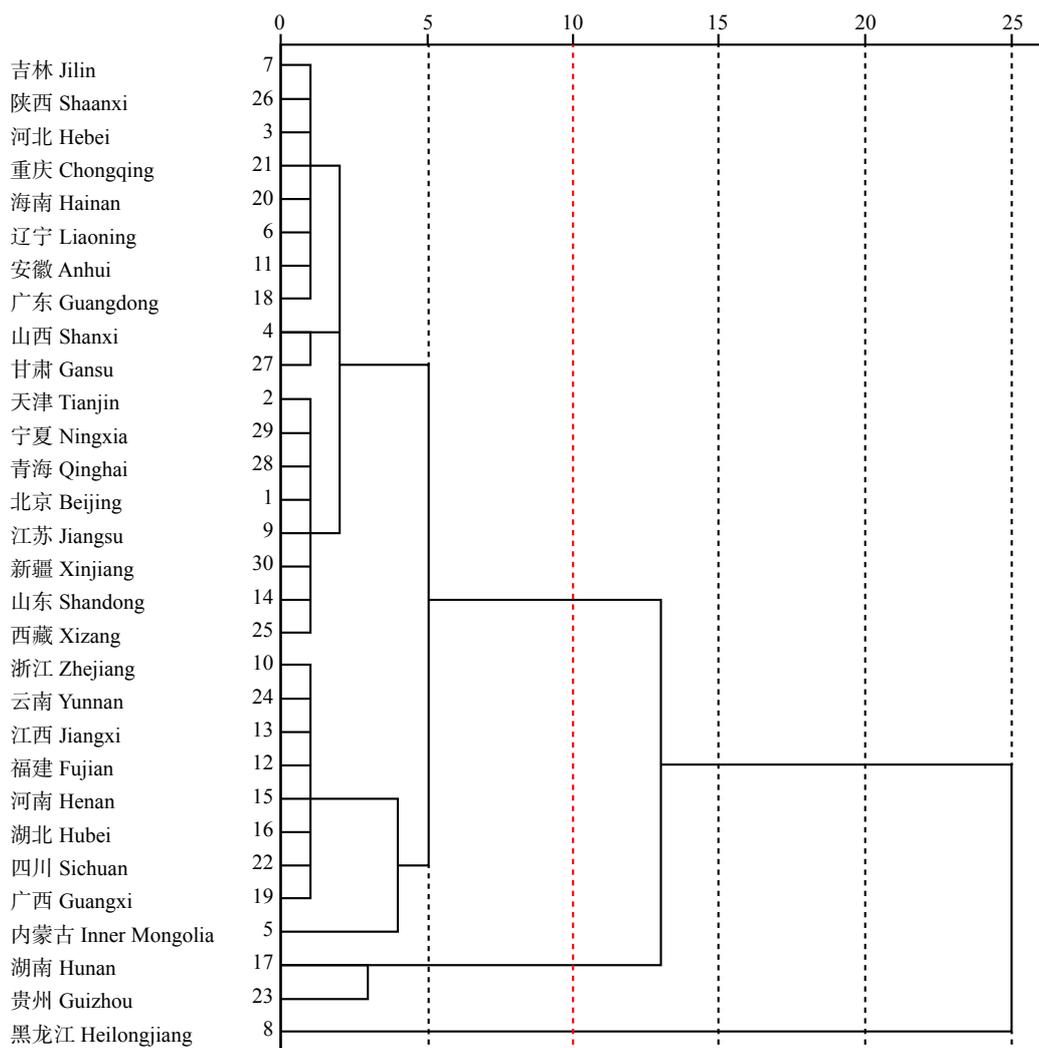
III类(重度森林火灾区):主要为黑龙江省。在所有研究地区中,黑龙江省的火灾情况最为严重,2003—2016年间,黑龙江省共发生森林火灾1 058次,平均每年76次。火场总面积为170.88万 $\text{hm}^2$ ,平均每年火场面积达12.21万 $\text{hm}^2$ ,成林蓄积量损失68.61万 $\text{m}^3$ 。虽然黑龙江省火灾发生次数并不多,但其影响的范围和程度远大于其他省份。

#### 2.2.2 森林病虫害空间分布分析

同样,由表4的数据可以看出:在森林病虫害发生面积方面,新疆自治区的情况比较严重,5年间受到森林病虫害影响的面积达到8 663.04 $\text{hm}^2$ ,远

高于其他省市区,在中度和重度森林灾害占比方面,黑龙江省情况最为严重,中度和重度森林病虫害占到了60.32%;其次是西藏自治区,占比为56.42%。同样先对表4的数据采用Z-score方法进行标准化处理,随后对标准化后的数据进行Bartlett's球形检验和KMO检验。本研究的KMO检验值为0.59,高于0.5的适用标准值;Bartlett球形检验的概率值为0.000,在0.05水平下差异显著,说明所选用的数据可以进行因子分析。

进一步进行主成分分析,输出结果如表10所示。表10中PC1、PC2前两个主成分的方差和占全



树状图采用平均连接(组间)和重尺度距离聚类结合的方法。Dendrogram using average linkage (between groups)rescaled distance cluster combine.

图 1 各省市森林火灾情况谱系图

Fig. 1 Provincial forest fires tree diagram

表 10 森林病虫害鼠害主成分聚类分析总方差解释表

Tab. 10 Total variance explained for forest diseases, pests and rodents by principle component clustering analysis

主成分 Principal component	初始特征值 Initial eigenvalue			提取载荷平方和 Sum of squares of loads		
	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Accumulative contribution rate/%	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Accumulative contribution rate/%
PC1	1.970	65.664	65.664	1.970	65.664	65.664
PC2	0.749	24.963	90.626	0.749	24.963	90.626
PC3	0.281	9.374	100.000			

部方差的比例为 90.626%。故选取 PC1 为第 1 主成分, PC2 为第 2 主成分。

由表 10 的因子载荷矩阵可以看出: 主成分 PC1 在中度森林灾害比例、重度森林灾害比例这两个指标上有着较大的载荷。因此, 定义第 1 主成分(PC1)为严重森林病虫害鼠害占比指标( $F_1$ )。主成分 PC2 在森林病虫害鼠害发生面积上的载荷明显最大, 因此, 定义第 2 主成分(PC2)为森林病虫害鼠害发生面

积指标( $F_2$ )(表 11)。

进一步对输出的因子载荷矩阵的第  $i$  列的每个元素分别除以第  $i$  个特征根的平方根, 得到第  $i$  个主成分的系数, 结果如表 12 所示。

由表 12 得到森林病虫害鼠害的主成分 PC1、PC2 的线性组合为:

表 11 森林病虫害主成分聚类分析因子载荷矩阵

Tab. 11 Component matrix for forest diseases, pests and rodents by principle component clustering analysis

指标 Index	$F_1$	$F_2$
森林病虫害发生面积 Disaster area of forest diseases, pests and rodents	0.644	0.762
中度森林灾害占比 Moderate forest disaster proportion	0.864	-0.354
重度森林灾害占比 Heavy forest disaster ratio	0.899	-0.206

表 12 森林病虫害主成分聚类分析系数矩阵

Tab. 12 Coefficient matrix for forest diseases, pests and rodents

指标 Index	PC1	PC2
森林病虫害发生面积 Disaster area of forest diseases, pests and rodents	0.458 83	0.880 47
中度森林灾害占比 Moderate forest disaster proportion	0.615 57	-0.409 04
重度森林灾害占比 Heavy forest disaster ratio	0.640 51	-0.238 03

表 13 森林病虫害主成分聚类分析及各省市区主成分得分表

Tab. 13 Principal component score of various provinces for forest diseases, pests and rodents

省市区 Province	PC1	排名 Ranking	PC2	排名 Ranking	类别 Classification
北京 Beijing	-1.315 09	1	-0.535 31	4	I
天津 Tianjin	-0.860 20	5	-0.619 83	3	I
河北 Hebei	-0.085 53	17	0.379 86	25	I
山西 Shanxi	-0.376 57	12	-0.262 89	12	I
内蒙古 Inner Mongolia	1.517 12	28	1.740 60	30	IV
辽宁 Liaoning	0.541 41	25	0.578 82	28	I
吉林 Jilin	-0.217 43	15	-0.269 66	11	I
黑龙江 Heilongjiang	1.649 02	30	-0.241 34	13	III
上海 Shanghai	-1.130 31	2	-0.667 06	2	I
江苏 Jiangsu	-0.862 92	4	-0.455 28	5	I
浙江 Zhejiang	-1.022 98	3	-0.451 59	6	I
安徽 Anhui	-0.197 93	16	0.152 00	23	I
福建 Fujian	-0.592 51	7	-0.233 63	14	I
江西 Jiangxi	-0.589 62	8	-0.138 81	15	I
山东 Shandong	-0.484 70	9	0.437 48	26	I
河南 Henan	-0.029 86	19	0.524 23	27	I
湖北 Hubei	-0.052 31	18	0.104 91	22	I
湖南 Hunan	-0.450 52	10	0.065 96	20	I
广东 Guangdong	-0.401 48	11	-0.074 87	17	I
广西 Guangxi	-0.330 73	14	0.081 37	21	I
海南 Hainan	2.956 74	31	-2.708 92	1	II
重庆 Chongqing	-0.602 82	6	-0.003 00	19	I
四川 Sichuan	0.552 75	26	0.817 77	29	I
贵州 Guizhou	-0.364 44	13	-0.415 37	7	I
云南 Yunnan	0.046 49	20	-0.010 84	18	I
西藏 Xizang	0.589 73	27	-0.357 42	8	I
陕西 Shaanxi	0.063 05	21	0.155 48	24	I
甘肃 Gansu	0.075 98	22	-0.088 51	16	I
青海 Qinghai	0.252 96	24	-0.351 04	9	I
宁夏 Ningxia	0.155 75	23	-0.285 74	10	I
新疆 Xinjiang	1.566 96	29	3.132 64	31	IV

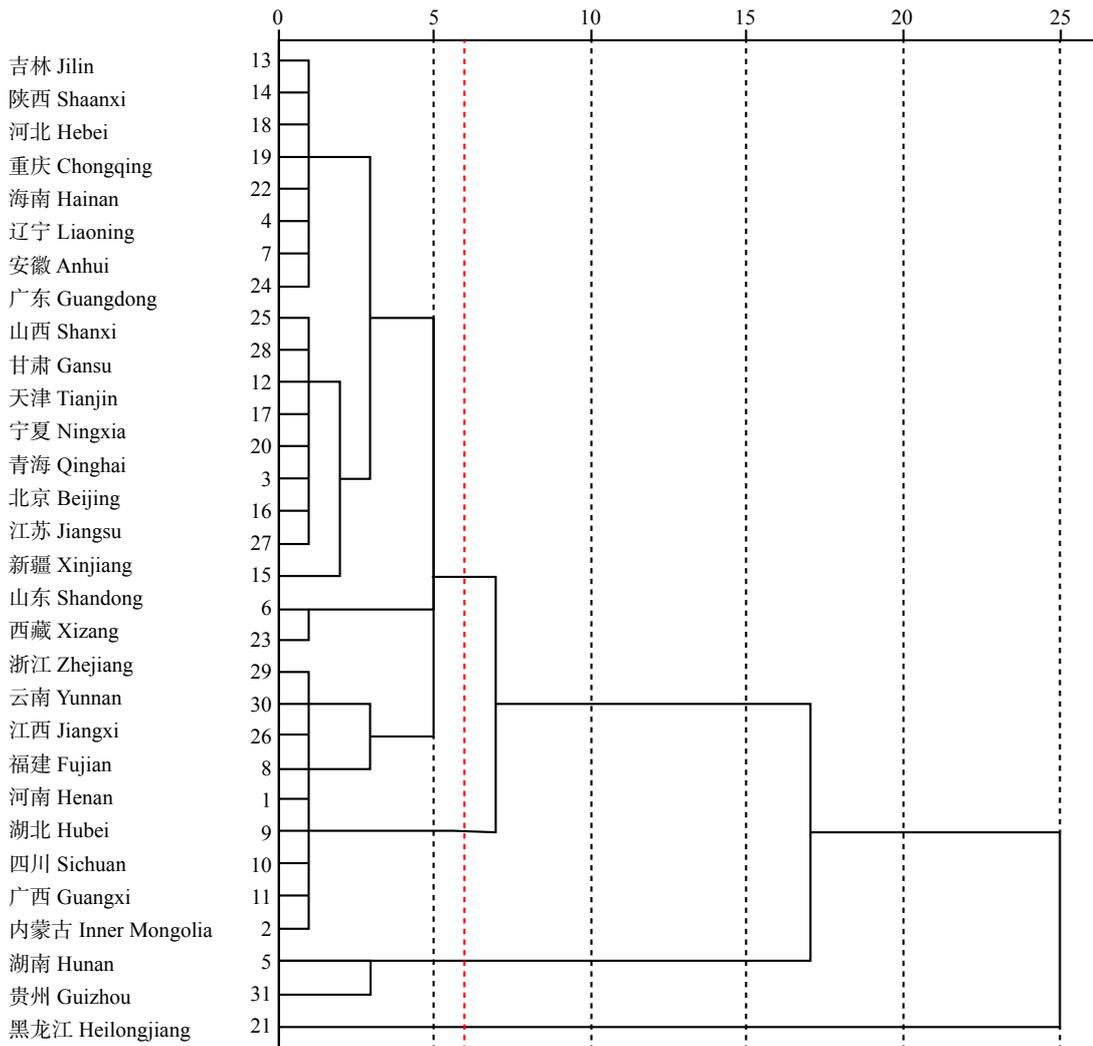
$$\begin{cases} PC1 = 0.458\ 83x_1^* + 0.615\ 57x_2^* + 0.640\ 51x_3^* \\ PC2 = 0.880\ 47x_1^* - 0.409\ 04x_2^* - 0.238\ 03x_3^* \end{cases} \quad (2)$$

式中： $x_1^*$ 、 $x_2^*$ 、 $x_3^*$ 、 $x_4^*$ 表示森林病虫害主成分分析原始变量标准化后的数值。

根据公式(2)，计算出的 31 个省市区的主成分得分如表 13 所示。并进一步选用类平均法对各个地区进行聚类分析，输出的森林病虫害的主成分聚类分析谱系如图 2 所示。在确定分类数为 4 的前提下，将 31 个省市区森林病虫害发生面积分为 I、II、III、IV 4 类<sup>[18-19]</sup>，分类结果如表 13 所示。

因此，根据各个省市区森林病虫害发生的面积及中度、重度森林灾害的比例的聚类分析可以看出，我国森林病虫害的空间分布可分为 4 类。其中：

I 类：森林病虫害发生面积小，且中度及重度病虫害所占比重较低。代表省份主要有北京市、上海市等。上海在所有省市区中，森林病虫害发生的面积最小，约为 27.00 hm<sup>2</sup>，且中度及重度森林病虫害所占比例很低，共计 6%。北京市 2012—



树状图采用平均连接(组间)和重尺度距离聚类结合的方法。Dendrogram using average linkage (between groups) rescaled distance cluster combine.

图 2 各省市区森林病虫害鼠害主成分聚类分析谱系图

Fig. 2 Provincial forest diseases, pests and rodents tree diagram by principle component clustering analysis

2016 年间森林病虫害鼠害面积仅有 197.15 hm<sup>2</sup>, 且中度及重度森林病虫害鼠害所占比例极低, 共计仅有 0.2%。

II 类: 森林病虫害鼠害发生面积较大, 且中度及重度病虫害鼠害所占比重较高。主要为海南省。海南省虽然 5 年间森林病虫害鼠害发生面积较小, 共计 105.432 hm<sup>2</sup>, 但中度及重度森林病虫害鼠害所占比例较高, 占灾害面积的 28.7%。

III 类: 森林病虫害鼠害发生面积较大, 且中度及重度病虫害鼠害所占比例很高。代表省份主要有黑龙江省等。黑龙江省 2012—2016 年间森林病虫害鼠害发生面积总计为 2 195.37 hm<sup>2</sup>, 处于较高的水平, 且中度森林病虫害鼠害面积达到 53%, 在所有省市区中位列第 1。

IV 类: 森林病虫害鼠害发生面积很大, 且中度及重度病虫害鼠害所占比重很高。主要有新疆、内蒙古。新疆和内蒙古在 2012—2016 年间, 中度及重度森林病虫害鼠害面积分别达到 8 663.04 hm<sup>2</sup>、948.16 hm<sup>2</sup>, 远

高于其他省市区。同时, 内蒙古重度森林病虫害鼠害面积达到 15.7%, 在所有省市区中位居第 2, 新疆重度森林病虫害鼠害面积占比达到 7.44%, 也属于较高水平。

### 3 讨 论

从上述对我国森林灾害的分析来看, 我国森林灾害在空间分布上存在一定的规律性。但下面 2 个问题值得讨论:

(1) 森林灾害不仅受到地形、气象、雷电等自然因素的影响, 而且受到社会经济、政策等因素的影响。上述分析结果表明: 自然条件好、社会经济发展水平高的省市区森林灾害未必减少。例如我国人工造林面积的持续增长, 导致单一树种的人工林日益增多, 生态环境越来越脆弱, 对火灾、病虫害的防御能力降低<sup>[20]</sup>。因此, 当今世界很多国家根据本国的森林状况和国情提出了森林灾害的综合防治措

施。加拿大建立了全国统一的林火预报系统,采用卫星、红外线等装置对森林火灾进行监控;北欧以人工林业为主,采取集约经营及抚育间伐的方式,将林内大量的可燃物加以利用,不仅减少了可燃物的积累还改善了林木生长发育环境,从而达到一举两得的效果;瑞典建设了密度很高的林区公路网并设置了完备的防火设施;澳大利亚,森林面积广阔且火灾季节气温高,天气干燥,因此他们选择在安全期采用大面积林内计划火烧的方式,人为减少可燃物积累,从而降低高强度火灾发生的风险<sup>[21]</sup>。在森林病虫害的防治上,许多国家也采取综合防治为主的防治措施,以生态学和经济学原理为依据,选取最优化的组合方案,加之行政领导,科学技术、经费、政策法规等多方投入,建立起综合防治系统,将有害生物种群数量长期控制在经济损害允许范围内,以获得最佳的经济效益、生态效益和社会效益<sup>[22]</sup>。因此,从长期来看,我国森林灾害虽然在空间分布上存在一定的规律性,但要减小森林灾害的风险,也必须采用综合防治的方法,将各种风险控制在损害允许的水平内。

(2)森林灾害预测预报工作非常重要。从我国森林灾害分析的空间分布可以发现,凡是森林灾害预测预报工作比较完善的省市,森林灾害发生几率较小,如北京、江苏、浙江等省市<sup>[23]</sup>,森林灾害预测预报的制度比较完善,经费投入和领导等各项工作比较扎实,森林灾害的受灾程度就较小。因此,森林灾害预测预报工作非常重要。森林灾害的预测预报的实施与科学的领导和充足的资金投入等相关联,要切实提高森林灾害的防治水平,充足的预测预报资金投入必不可少,且相关预测预报的技术和手段也和森林灾害防治的有效性与其防治效果直接相关<sup>[24]</sup>。因而努力做好森林灾害的预测预报工作非常重要,它对减少森林灾害损失,提高森林灾害风险控制能力有重要的作用。

## 4 结 论

本文采用主成分聚类法对我国森林灾害的分析发现:

(1)在全国层面上,对2003—2016年我国森林火灾的发生情况分析发现,森林火灾呈现总体下降的趋势。在空间分布上,森林火灾频发的地区由西南地区向北部地区扩散,森林火灾严重地区集中于东北部地区和西南部地区,且西南部地区近年来火灾更为明显。火灾受害森林面积、成林总蓄积量损失严重的地区起初集中于东北的黑龙江省和内蒙古自治区,近几年也逐渐向东南部扩散。

(2)通过主成分聚类法对各个省市区的火灾分

析发现,青海、宁夏、北京、天津、上海、甘肃、新疆、西藏、陕西、吉林、河北、山东、山西、海南、辽宁、重庆、江苏、安徽、广东、河南、江西、四川、浙江、广西、云南、福建、湖北、内蒙古27省市归为第Ⅰ类,属森林轻度火灾区。这些地区一般森林火灾发生次数较少,森林火场面积、受害面积、成林蓄积量损失较小。湖南、贵州两省为第Ⅱ类,属中度森林火灾区。这两个地区一般森林火灾发生次数较多,森林火场面积、受害森林面积、成林蓄积量损失较大。黑龙江单独为第Ⅲ类,属森林重度火灾区,其森林火灾情况最为严重,在管理上应引起高度注意。

(3)不同于森林火灾总体呈下降的趋势,我国森林病虫害的发生面积近年来总体呈现上升的趋势,尤其是森林病虫害面积居高不下,中度和重度森林灾害面积占比增加。在空间分布上,森林病虫害主要分布于西北地区。东南地区的病虫害相对不明显。对各个省市区的森林病虫害进行主成分聚类分析发现:天津、江苏、浙江、上海、青海、宁夏、甘肃、西藏、陕西、吉林、河北、山东、山西、重庆、安徽、广东、河南、江西、广西、云南、福建、湖北、湖南、贵州、四川、辽宁26个省市为第Ⅰ类,为森林病虫害发生面积较小区域。这些地区森林病虫害发生面积小,且中度及重度病虫害所占比重低。海南省为第Ⅱ类,为森林病虫害发生面积较大区域,一般森林病虫害发生面积较大,且中度及重度病虫害所占比重较高。黑龙江省为第Ⅲ类,为森林病虫害发生面积较大,且中、重度病虫害所占比例较高区域。新疆、内蒙古自治区为第Ⅳ类,为森林病虫害发生面积很大区域,森林病虫害发生面积很大,且中度及重度病虫害所占比重很高。

上述这些研究结论对我国森林灾害的变化分析有一定的参考意义,也对我国森林灾害的管理有一定的参考价值。

## 参 考 文 献

- [1] Tuli Website. What are the three types of forest disasters in China?[DB/OL]. [2016-07-04]. <https://www.tuli.com/read-33899.html>.
- [2] Naomi B. Natural disasters that affect ecosystems[DB/OL]. [2018-07-01]. <https://www.hunker.com/12364793/natural-disasters-that-affect-ecosystems>.
- [3] Liu X. Three dead as Portugal suffers over 400 forest fires[DB/OL]. [2017-10-16]. [http://www.xinhuanet.com/english/2017-10/16/c\\_136682035.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2017-10/16/c_136682035.htm).
- [4] FAO. The impact of natural hazards and disasters on agriculture and food security and nutrition[DB/OL]. [2015-05-01]. <http://www.fao.org/3/a-i4434e.pdf>.
- [5] 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, 26(9): 75-79.
- Tao Y Z, Di X Y, Jin S. The spatiotemporal regularity of forest fire occurrence in China[J]. World Forestry Research, 2013, 26(9): 75-79.
- [6] 徐艳梅. 林木病虫害防治实用技术图解 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- Xu Y M. Diagram of practical techniques for forest pest control[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2015.
- [7] 韩崇选. 林区鼠害综合治理技术 [M]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2003.
- Han C X. Comprehensive management of rodent in forest area[M]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University Press, 2003.
- [8] 舒立福, 田晓瑞, 李红. 世界森林火灾状况综述[J]. 世界林业研究, 1998, 11(6): 41-47.
- Shu L F, Tian X R, Li H. Overview of world forest fire situation[J]. World Forestry Research, 1998, 11(6): 41-47.
- [9] 赵杰. 森林病虫害灾害经济损失评估指标体系的研究[J]. 中国森林病虫, 2004, 23(1): 1-5.
- Zhao J. Study on economic loss evaluation index system of forest pest disaster[J]. Forest Pest and Disease, 2004, 23(1): 1-5.
- [10] 田晓瑞, 刘晓东, 舒立福, 等. 中国森林火灾周期振荡的小波分析[J]. 火灾科学, 2007, 16(1): 55-59.
- Tian X R, Liu X D, Shu L F, et al. Wavelet analysis of periodic oscillation of forest fire in China[J]. Fire Science, 2007, 16(1): 55-59.
- [11] 国家林业局. 中国林业统计年鉴 (2015)[R]. 北京: 中国林业出版社, 2016.
- State Forestry Administration. China forestry statistical yearbook (2015)[R]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2016.
- [12] 国家林业局. 中国林业统计年鉴 (2016)[R]. 北京: 中国林业出版社, 2017.
- State Forestry Administration. China forestry statistical yearbook (2016)[R]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2017.
- [13] 国务院办公厅. 森林防火条例 (国务院令 第 541 号) [DB/OL]. [2008-12-05]. [http://www.gov.cn/flfg/2008-12/05/content\\_1171407.htm](http://www.gov.cn/flfg/2008-12/05/content_1171407.htm).
- General Office of the State Council. Regulations on forest fire prevention (order of the state council no. 541).[2008-12-05]. [http://www.gov.cn/flfg/2008-12/05/content\\_1171407.htm](http://www.gov.cn/flfg/2008-12/05/content_1171407.htm).
- [14] 中华人民共和国国务院. 森林病虫害防治条例 [DB/OL]. [2005-09-27]. [http://www.gov.cn/flfg/2005-09/27/content\\_70642.htm](http://www.gov.cn/flfg/2005-09/27/content_70642.htm).
- State Council of the People's Republic of China. Regulations on forest pest control[DB/OL]. [2005-09-27]. [http://www.gov.cn/flfg/2005-09/27/content\\_70642.htm](http://www.gov.cn/flfg/2005-09/27/content_70642.htm).
- [15] 韩焕金. 华北地区 2005—2014 年森林火灾规律研究[J]. 森林防火, 2016, 12(4): 39-42.
- Han H J. Study on forest fire rule of 2005—2014 in north China[J]. Forest Fire Prevention, 2016, 12(4): 39-42.
- [16] 陈锋. 气候变化对云南省森林火灾的影响[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(6): 8-15.
- Chen F. Impacts of climate change on forest fires in Yunnan province[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2012, 34(6): 8-15.
- [17] 周雪, 张颖. 中国森林火灾风险统计分析[J]. 统计与信息论坛, 2014, 29(1): 34-39.
- Zhou X, Zhang Y. Statistical analysis of forest fire risk in China[J]. Statistics & Information Forum, 2014, 29(1): 34-39.
- [18] 赵文霞, 刘开玲. 我国西北部地区森林生物灾害发生趋势分析及可持续控灾策略[J]. 防灾减灾工程学报, 2003, 23(1): 90-96.
- Zhao W X, Liu K L. Trend analysis of forest biohazard in northwest China and strategy of sustainable disaster control[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2003, 23(1): 90-96.
- [19] 赵铁良, 耿海东, 张旭东, 等. 气温变化对我国森林病虫害的影响[J]. 中国森林病虫, 2013, 22(3): 29-32.
- Zhao T L, Geng H D, Zhang X D, et al. The influence of temperature change on forest pests and diseases in China[J]. Forest Pest and Disease, 2013, 22(3): 29-32.
- [20] 国家林业局森林防火办公室. 中国生物防火林带建设 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2003.
- Forest Fire Prevention Office of State Forestry Administration. Construction of China biological fire prevention forest belt[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2003.
- [21] 李剑泉, 李智勇, 易浩若. 森林与全球气候变化的关系[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 23-28.
- Li J Q, Li Z Y, Yi H R. The relationship between forests and global climate change[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(4): 23-28.
- [22] 甄学宁, 李小川. 森林消防理论与技术 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- Zhen X N, Li X C. Forest fire theory and technology[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2010.
- [23] 黄崇福. 自然灾害风险评估理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- Huang C F. Theory and practice of natural disaster risk assessment[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [24] 高敏雪, 甄峰. 政府统计国际规范概览 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2017.
- Gao M X, Zhen F. Guidelines for international principles and standards of official statistics[M]. Beijing: Economic Science Press, 2017.

(责任编辑 崔艳红  
责任编辑 赵秀海)