

靳全锋, 沈培福, 黄海松, 等. 基于 MCD45A1 的我国大陆地区草地火时空格局分析[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(4): 264–268.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.060

基于 MCD45A1 的我国大陆地区草地火时空格局分析

靳全锋^{1,2}, 沈培福¹, 黄海松¹, 马远帆², 郭福涛²

(1. 丽水职业技术学院, 浙江丽水 323000; 2. 福建农林大学, 福建福州 350002)

摘要: 基于 2001—2016 年我国大陆地区中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 遥感影像数据, 运用 R 和 ArcGIS 软件以及 Mann-Kandell 显著性检验、核密度和随机森林等方法分析草地火时空分布及影响因素。研究结果显示, 我国大陆地区草地火时空分布不均衡, 东北区域火集中在黑龙江省西部、东部区域和吉林省西部区域; 华北区域火集中在内蒙古与黑龙江省、吉林省交汇处, 河北省、山西省与内蒙古交汇区域火密度较大; 西北区域火集中在新疆西北部、中部区域及甘肃省中部区域; 西南区域火集中在甘肃省、青海省、四川省和西藏交汇区域以及云南省少部区域; 16 年火次数和面积分别是 2.32×10^4 次和 2.57×10^6 hm^2 , 各区域火次数和面积差异明显, 华北、西北、东北、西南、华中、华东和华南等区域火次数占总次数比例分别为 41.08%、21.81%、19.82%、16.29%、0.44%、0.36% 和 0.20%, 火面积比例分别是 52.14%、18.51%、15.80%、13.19%、0.14%、0.11% 和 0.11%; 年变化表明华北区域草地火灾面积呈增长趋势, 西北、东北、西南和华中区域呈降低趋势而华南区域呈显著降低趋势; 华北、西北和东北区域草地火次数呈增长趋势, 西南、华东和华南呈降低趋势, 华中呈显著降低趋势; 月变化表明草地火的月际变化不均匀, 火比率呈双峰分布, 北方区域草地火多集中在 3—5 月和 8—10 月, 南方华中区域草地火多集中在 8—10 月, 华南集中在 1—3 月。此外草地火受海拔和坡向影响明显, 海拔在 1 000 m 和 2 000 m、阳坡和半阳坡区域是草地火频发区。通过对我国大陆地区草地火时空特征分析研究, 为深入探究草地火污染排放和损失评估提供科学依据, 为各级政府和相关部门制定防火政策提供理论和数据支持。

关键词: 我国大陆; MCD45A1; 草地火; 时空格局; 随机森林

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0264-05

草地火是草地生态系统的重要干扰因子, 其高强度、高频率对全球大气环境、气候、土壤和生态系统有显著影响^[1-2]。Torlak 等研究显示全球有 3.49×10^9 hm^2 的农业资源^[3], 44% 火灾发生在草地^[4], 其中 52% 来源于非洲、30% 来源于美洲、14% 来源于亚洲, 其他区域占 4%^[5]。草地是全球最大的生物质燃烧源^[6], 燃烧时释放大量的酸性气体、污染性气体和颗粒物显著影响空气质量和人类健康^[7-8]。烟气排放破坏臭氧层^[9], 降低空气能见度, 促进化学烟雾的形成, 直接导致气候改变^[10], 此外, 草地火不仅破坏生态系统, 还显著影响土壤及降水 pH 值^[11], 导致水土流失, 造成草地生态系统退化^[12]。目前关于草地火灾的研究已展开, 随着科学技术发展, 卫星监测方法已成为主流, 卫星遥感影像最适用于大尺度草地火时空格局研究。遥感影像具有空间尺度大、时间周期短和成本低等优良特性, 对于大尺度草地火灾研究具有其他方法不可替代的优势^[13-14]。

我国是居世界第 2 的草地资源大国, 约有 4.0×10^8 hm^2 草地资源, 占国土面积的 2/5。然而我国也是草地火灾频发的国度, 每年有 1/3 的草地遭受火灾的破坏^[15]。人类活动导

致草地火频发, 95% 草地火由人类活动引起^[16]。目前我国已开展草地火灾研究, 并取得了一定进展^[17-21], 但以往研究主要是草地火险等级划分和研究草地火灾影响因子^[20, 22-26]。丽娜等对小区草地火面积进行研究^[27], 靳全锋等对小区草地火灾污染物进行研究^[18], 而大空间尺度和长时间尺度的研究未见报道。因此, 探讨我国大陆区域草地火和火面积时空变化具有重要意义。

本研究以 2001—2016 年中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 火灾数据为研究对象, 运用 R 和 ArcGIS 软件以及 Mann-Kandell 趋势显著性检验、核密度和随机森林等方法分析草地火时空分布及影响因素。主要研究目标: (1) 估测出 2001—2016 年我国大陆地区草地火面积; (2) 分析我国大陆地区草地火和面积时空分布; (3) 分析地形对草地火的影响。本研究深入探究草地火与地形关系及火点和面积时空格局, 为各级政府和相关部门制定防火政策提供理论和数据支持。

1 资料来源与方法

本研究以我国大陆 31 个省(市、自治区)为研究区域, 运用传统的统计方法和 ArcGIS 空间分析方法进行数据分析, 运用 ENVI 软件进行 MODIS 数据拼接获得火迹地数据, 探索 2001—2016 年我国大陆草地火点和面积时空变化及影响因素。

1.1 研究区概况

我国大陆地区位于北半球、东半球, 大部分位于北回归线以北。5 个热量带中大部分属于北温带, 少部分属于热带, 没

收稿日期: 2018-07-18

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31770697); 浙江省教育厅一般项目(编号: Y201840513)。

作者简介: 靳全锋(1988—), 男, 安徽阜阳人, 硕士, 讲师, 主要从事林火生态研究。E-mail: jinquanfeng2006@126.com。

通信作者: 郭福涛, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要从事林火生态研究。E-mail: guofutao@126.com。

有寒带,地理位置为 $6^{\circ}06' \sim 53^{\circ}30'N$ 、 $73^{\circ}20' \sim 135^{\circ}30'E$ (图 1)。土地面积 $9.60 \times 10^6 \text{ km}^2$,仅次于俄罗斯、加拿大,居世界第三,我国草地资源居世界第 2,占国土面积的 $2/5$ [28]。

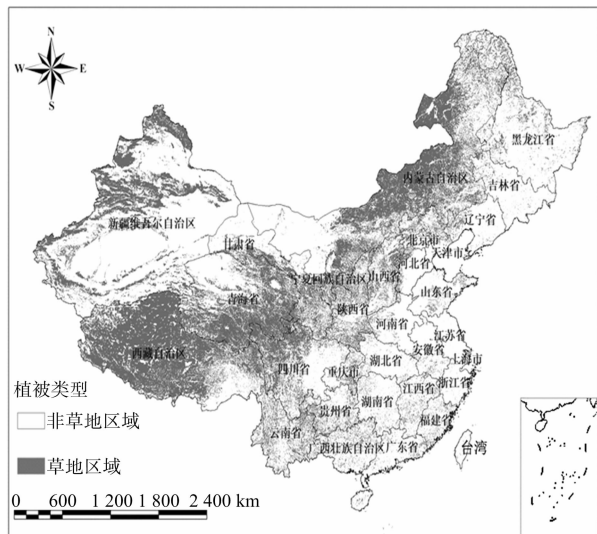


图1 我国大陆草地空间分布

1.2 数据来源与处理方法

1.2.1 数据来源 MODIS 遥感影像数据在监测植被火灾方面具有良好的可靠性 [29],目前 MODIS 监测受自然因素影响,成功监测率为 90% 左右,但通过滤除噪声、耀斑及云的干扰,不同区域和季节草地成功监测率为高达 100% [30],因此本研究使用的是 500 m 空间分辨率的月尺度 MCD45A1 产品 (<https://e4ftl01.cr.usgs.gov/>),以及空间分辨率为 1 km 的我国行政区划图 (1:1 000 000) 和我国植被覆盖图产品 (<http://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=184>) 进行叠加分析。

1.2.2 数据处理方法 MODIS 数据产品处理主要包括定义投影信息、投影转换、镶嵌、裁剪以及掩膜计算,将 2001—2016 年 MCD45A1 火面积数据运用 ENVI 软件由正弦曲线投影转换为兰伯特投影,带号为 48,椭球体基准为 1984 年世界大地坐标系统 (WGS-84)。将我国大陆地区每月 19 景遥感影像运用 ArcGIS 10.2 软件进行数据镶嵌、裁剪以及利用我国植被类型图进行掩膜计算,分析发生草地区域过火像元和火灾日期信息。

1.2.3 数据处理 利用 Excel 统计 2001—2016 年每次草地火发生时间、位置和面积,以获取草地火时间分布特征,根据草地火空间分布特征运用 ArcGIS 10.2 软件绘制空间分辨率为 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 的草地火密度和空间分布图。

1.3 草地火点和面积变化趋势及显著性

1.3.1 Pearson 相关系数方法 Pearson 相关系数方法是一种统计学方法 [31],可以定量地衡量变量之间的相关关系,Pearson 相关系数取值域范围是 $-1 \sim +1$,相关系数为 $+1$ 或 -1 时,表示完美线性相关关系,相关系数为 0 时,表示没有线性相关关系。

1.3.2 草地火灾次数和面积趋势及其显著性分析 Mann-Kandell 趋势检验法 [32] 是一种非参数统计检验方法。该方法不需要遵循一定分布,不受少量异常值干扰,更适用于时间序列变化的数据趋势检验,被广泛运用于时间序列上水文、温度

和气候等趋势变化,且计算比较简单。

1.3.3 草地火与地形关系分析 随机森林算法是 Breiman 提出的一种基于分类树的算法 [33],运算速度很快,处理大数据表现优异,不需要回避多重共线性问题,通过对大量分类树汇总提高了模型的预测精度,用于火灾因子对因变量影响分析以及其他领域,成为机器学习领域的一个里程碑。

2 结果与分析

2.1 我国大陆草地火空间分布格局

基于 2001—2016 年 MODIS-MCD45A1 草地火数据,运用 ArcGIS 10.2 在 WGS-84 投影下划分为 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 网格,将草地火点运用核密度原理,绘制 16 年火点密度图 (图 2)。2001—2016 年我国大陆区域共发生草地火 23 192 次,年均 1 450 次,火在空间分布不均匀,火密度分布规律:东北地区火集中在黑龙江省西部、东部区域和吉林西部区域;华北地区在内蒙古与黑龙江省、吉林省交汇处,河北省、山西省与内蒙古交汇区域火点密度较大;西北地区火集中在新疆西北部、中部区域及甘肃省中部区域;西南地区火集中在甘肃省、青海省、四川省和西藏交汇区域以及云南南部区域。该研究结果与靳全锋等研究 [18,34-35] 一致,靳全锋等研究显示草地火受自然因素 (气温、降水、相对湿度等)、人为因素 (放牧数量、道路密度、农田等) 和生物质特性等因素影响 [18-19]。相关研究表明,生物质密度越大、温度越高、降水越少、相对湿度越低、放牧数量越少、距道路越近越有利于草地火发生。

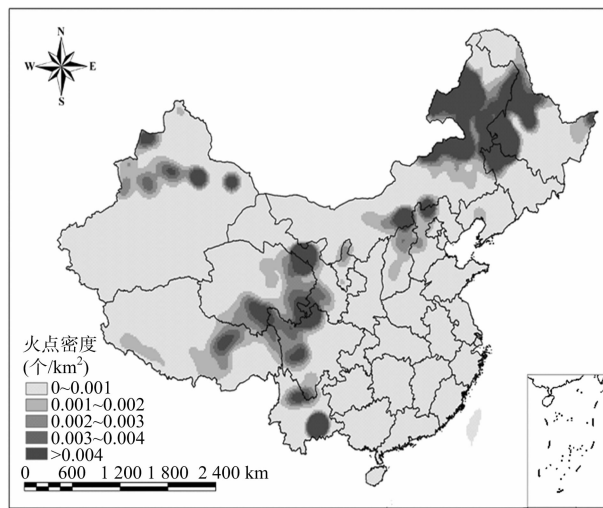


图2 2001—2016 年我国大陆地区草地火密度空间分布

2.2 我国大陆草地火时间分布格局

我国大陆草地火点和面积时间变化趋势见图 3,全国 2001—2016 年草地火次数和面积分别是 2.32×10^4 次和 $2.57 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 各区域火次数和面积差异明显,总体火次数高低顺序为华北 > 西北 > 东北 > 西南 > 华中 > 华东 > 华南,火面积高低顺序为华北 > 西北 > 东北 > 西南 > 华东 > 华中 > 华南;华北、西北、东北、西南、华中、华东和华南等区域火次数占总火比例分别为 41.08%、21.81%、19.82%、16.29%、0.44%、0.36% 和 0.20%,火面积比例分别是 52.14%、18.51%、15.80%、13.19%、0.14%、0.11% 和 0.11%。全国火次数和面积分别在 2003 年和 2014 年达到极大值,华北区

域草地火次数和面积皆在 2014 年达到极大值,东北区域火次数和面积皆在 2013 年达到极小值,其他 5 区域火次数和面积呈波动变化,年际变化存在差异。

运用 Pearson 相关系数和 Mann-Kandell 趋势显著性检验分析草地火次数和面积时间变化。图 4 为 2001—2016 年我国大陆区域草地火次数和面积的动态变化, Mann-Kandell

趋势显著性检验结果表明,华北区域草地火面积呈增长趋势,西北、东北、西南和华中区域呈降低趋势而华南区域呈显著降低趋势;华北、西北和东北区域草地火次数呈增长趋势,西南、华东和华南呈降低趋势,华中呈显著降低趋势。研究显示草地火面积与空气相对湿度和降水量呈负相关关系,与草地生物量风速等因素呈正相关^[36]。

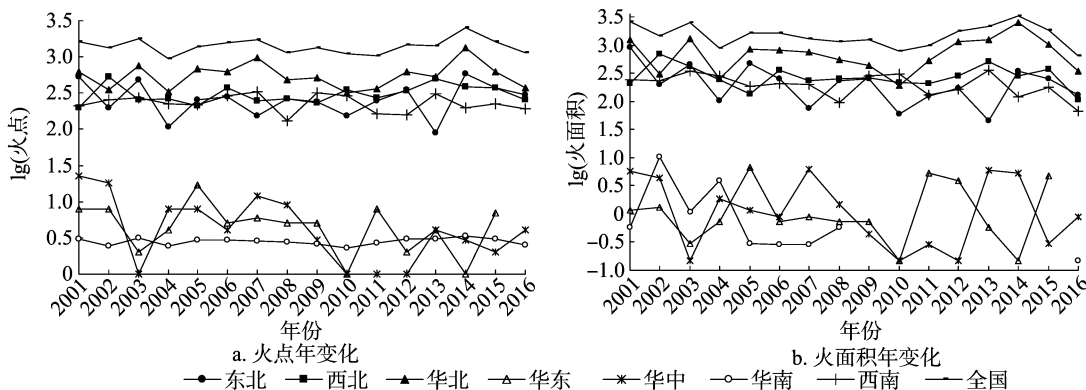


图3 2001—2016 年我国大陆地区草地火点(a)和面积(b)年变化

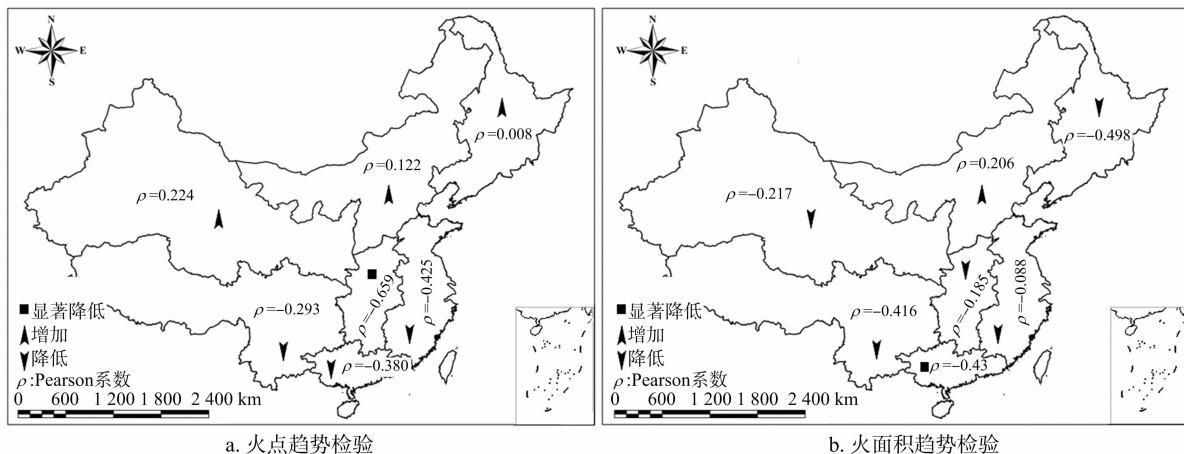


图4 2001—2016 年我国大陆地区草地火点(a)和面积(b)趋势检验

由图 5 可知,我国大陆地区草地火的月际变化不均匀,火发生比率呈双峰分布,主峰明显高于次峰,峰值分别集中在 3—5 月和 8—10 月,时间上草地火发生比率高低顺序为春季>秋季>夏季>冬季,春、夏、秋和冬季发生草地获得比率分别是 40.91%、15.95%、30.10% 和 13.04%;各区域间存在差异,东北、华北、西北、华东和西南等区域呈双峰分布,但主峰与次峰时间差异较大。华中和华南区域呈单峰分布,从而体现南、北方草地火发生存在差异。东北和华北区域草地火多集中在 3—5 月和 8—10 月,该研究与靳全锋等研究^[18,25]一致,北部区域草地火集中在春、秋 2 季,主要受自然因素(降水、空气湿度、温度和风速等)、草地植被性质和植被含水率等因素影响。张正祥等研究表明北方区域春季降水较少、相对湿度低、气温回暖快、风速较大导致植被含水量低,且前 1 年死亡生物质较多,极易促进草地火灾形成^[19,35];秋季生物质大量死亡、降水较少、空气湿度降低和风速较强,有利于草地火灾的形成,但由于气温下降较快降低火频率,导致春季火灾频率显著高于秋季;其他月份降水、温度和草地属性等因子阻碍草地火发生。南方华中区域草地火多集中在 8—10 月,华南集中在 1—3 月。

2.3 地形对草地火的影响

全国草地火灾与地形有密切关系,草地火主要集中在中海拔区域,随海拔的增高大致呈增加→降低→增加→降低趋势。由图 6 可知,海拔在 500 m 以下,对草地火发生的影响较小,在 1 000 m 左右和 2 000 m 左右呈双峰分布,该海拔对草地火影响显著。Guo 等研究表明,在该范围是城市人口和工业的聚集地,人为活动频繁,容易发生人为火灾,草地区域主要分布在海拔 2 000 左右的区域,是旅游的主要分布区及北方区域人类活动区域,人类活动加强,导致发生火灾的概率增大,且频率显著高于低海拔区域^[16,37-38]。坡向对草地火有明显影响,阳坡与半阳坡草地火灾发生概率明显高于阴坡和半阴坡。由于阳坡和半阳坡区域受到太阳辐射时间和强度高于阴坡和半阴坡,使其下垫面升温较快,易于地表生物量水分的蒸发,加快植被水分蒸发,有利于火灾的发生,Guo 等研究表明太阳辐射、温度等因素与草地火呈正相关^[16],本研究与 Guo 等的结果一致。

3 结论

针对我国大陆地区草地火灾现状,本研究利用 MODIS 遥

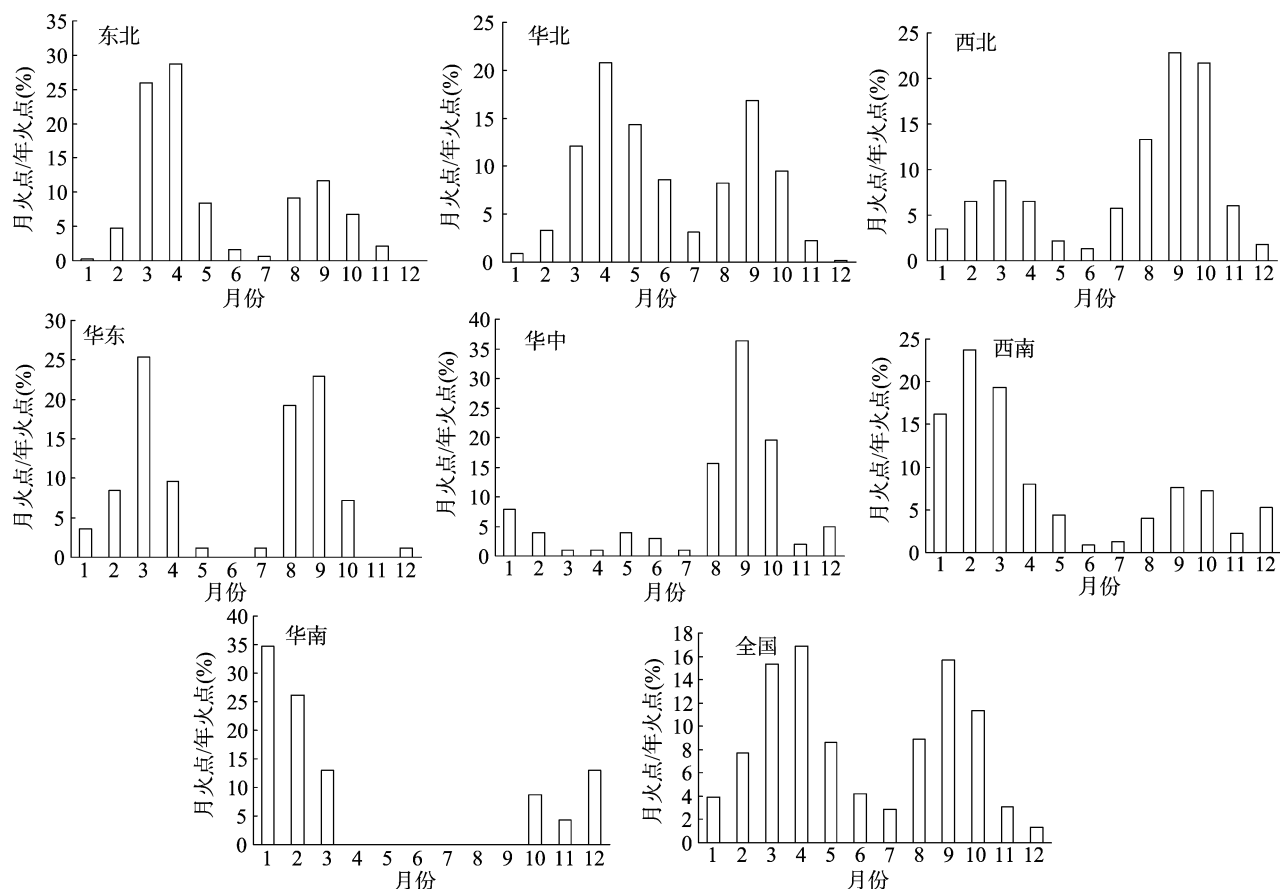
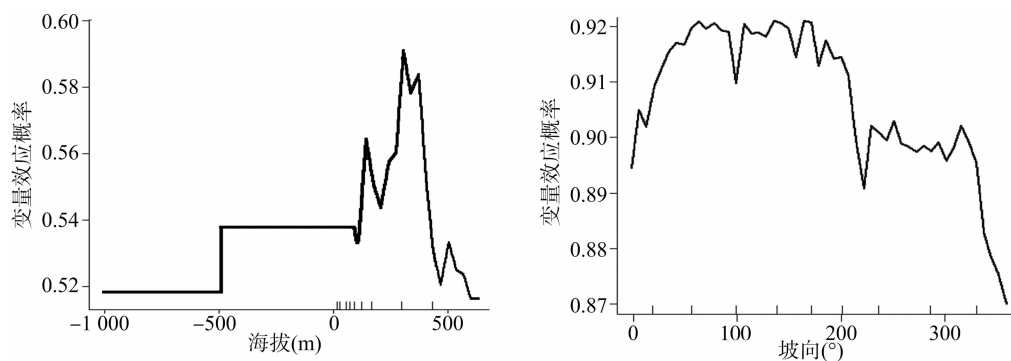


图5 2001—2016 年我国大陆地区草地火月变化



坡向在 0~180° 之间属于阳坡, 在 180~360° 之间属于阴坡

图6 随机森林算出的海拔和坡向对草地火影响

感影像,运用 Mann-Kandell 趋势显著性检验、核密度和随机森林等方法,对不同地区草地火点、火面积时空分布及影响因素进行系统的研究,得到主要结论如下:(1)2001—2016 年我国大陆地区草地火空间分布不均衡,火密度分布规律:东北地区火集中在黑龙江省西部、东部区域和吉林省西部区域;华北地区在内蒙古与黑龙江省、吉林省交汇处,河北省、山西省与内蒙古交汇区域火点密度较大;西北地区火集中在新疆西北部、中部区域及甘肃省中部区域;西南地区火集中在甘肃省、青海省、四川省和西藏交汇区域以及云南部分区域。(2)2001—2016 年全国共发生火次数和面积分别是 2.32×10^4 次和 $2.57 \times 10^6 \text{ hm}^2$,各区域火灾次数和面积差异明显,华北、西北、东北、西南、华中、华东和华南等区域火次数占总火比例

分别是 41.08%、21.81%、19.82%、16.29%、0.44%、0.36% 和 0.20%,火面积比例分别是 52.14%、18.51%、15.80%、13.19%、0.14%、0.11% 和 0.11%。(3)2001—2016 年我国大陆地区草地火和面积动态变化,年变化表明华北草地火面积呈增长趋势,西北、东北、西南和华中区域呈降低趋势而华南区域呈显著降低趋势;华北、西北和东北区域草地火次数呈增长趋势,西南、华东和华南呈降低趋势,华中呈显著降低趋势;月变化表明草地火的月际变化不均匀,火比率呈双峰分布,北方区域草地火多集中在 3—5 月和 8—10 月,南方华中区域草地火多集中在 8—10 月,华南集中在 1—3 月。(4)草地火受海拔和坡向影响显著,结果表明,海拔 1 000 m 和 2 000 m 左右、阳坡和半阳坡区域草地火灾发生频率较高。

参考文献:

- [1] Akagi S K, Craven J S, Taylor J W, et al. Evolution of trace gases and particles emitted by a chaparral fire in California[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, 12(3): 1397–1421.
- [2] Permadi D A, Oanh N T K. Assessment of biomass open burning emissions in Indonesia and potential climate forcing impact[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, 78(3): 250–258.
- [3] Torlak G, Sevcli M, Sanal M, et al. Analyzing business competition by using fuzzy TOPSIS method; an example of Turkish domestic airline industry[J]. *Expert Systems with Applications An International Journal*, 2011, 38(4): 3396–3406.
- [4] Van G R, Randerson J T, Giglio L, et al. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009)[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, 10(23): 11707–11735.
- [5] Van G R, Randerson J T, Giglio L, et al. Interannual variability of global biomass burning emissions from 1997 to 2004[J]. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*, 2006, 6(2): 3175–3226.
- [6] Baležentienė L, Užupis A. Fuzzy TOPSIS applied for evaluation of mitigation strategies for greenhouse gas emissions from abandoned grassland[J]. 2012, 75(3): 242–249.
- [7] Levine J. Influence of biomass burning emissions on precipitation chemistry in the equatorial forests of Africa[M]// *Global biomass burning: atmospheric, climatic, and biospheric implications*. Boston: MIT Press, 1991.
- [8] 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.
- [9] Blake N J, Blake D R, Sive B C, et al. Biomass burning emissions and vertical distribution of atmospheric methyl halides and other reduced carbon gases in the South Atlantic region[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1996, 101(19): 24151–24164.
- [10] Neto T G S, Carvalho J A, Veras C A G, et al. Biomass consumption and CO₂, CO and main hydrocarbon gas emissions in an Amazonian forest clearing fire[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(2): 438–446.
- [11] Yokelson R J, Goode J G, Ward D E, et al. Emissions of formaldehyde, acetic acid, methanol, and other trace gases from biomass fires in North Carolina measured by airborne Fourier transform infrared spectroscopy[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1999, 104(23): 30109–30125.
- [12] Chuvieco E, Aguado I, Yebra M, et al. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies[J]. *Ecological Modelling*, 2010, 221(1): 46–58.
- [13] 傅泽强, 杨友孝, 戴尔阜. 内蒙古干草原火动态及火险气候区划研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2001, 22(6): 18–22.
- [14] 刘兴朋, 张继权, 周道玮. 中国草原火灾风险动态分布特征及管理对策研究[J]. *中国草地学报*, 2006, 28(6): 77–82.
- [15] 张继权, 张会, 佟志军, 等. 中国北方草原火灾灾情评价及等级划分[J]. *草业学报*, 2007, 16(6): 121–128.
- [16] 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): 505–519.
- [17] 宫大鹏, 李炳怡, 刘晓东. 草原火烧严重度燃烧指数的适用性比较分析[J]. *生态学报*, 2018(7): 1–7.
- [18] 靳全锋, 鞠园华, 杨夏捷, 等. 2005—2014 年内蒙古草地火灾排放污染物的时空格局[J]. *草业学报*, 2017, 26(2): 21–29.
- [19] 张正祥, 张洪岩, 李冬雪, 等. 呼伦贝尔草原人为火空间分布格局[J]. *生态学报*, 2013, 33(7): 2023–2031.
- [20] 曲绍鹏, 郑淑霞, 白永飞. 蒙古高原草原火行为的时空格局与影响因素[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(4): 807–813.
- [21] 陈世荣. 草原火灾遥感监测与预警方法研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
- [22] 乌云德吉. 基于 GIS 的草原火遥感监测与火险评估[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2014.
- [23] 都瓦拉. 内蒙古草原火灾监测预警及评价研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [24] 李兴华. 内蒙古东北部森林草原火灾规律及预警研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [25] 周怀林, 王玉辉, 周广胜. 内蒙古草原火的时空动态特征研究[J]. *草业学报*, 2016, 25(4): 16–25.
- [26] 峰芝. 近 30 年内蒙古牧区草原火时空演化特征分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2015.
- [27] 丽娜, 包玉龙, 银山, 等. 中蒙边境地区草原火时空分布特征分析[J]. *灾害学*, 2016, 31(3): 207–210.
- [28] 曹国良, 张小曳, 郑方成, 等. 中国大陆草原火灾排放的颗粒物及其它污染物量的估算[C]// *大气气溶胶科学技术研究进展——第八届全国气溶胶会议暨第二届海峡两岸气溶胶科技研讨会文集*. 北京: 中国颗粒学会, 2005.
- [29] Amraoui M, Pereira M G, Dacamarra C C, et al. Atmospheric conditions associated with extreme fire activity in the Western Mediterranean region[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 524/525: 32–39.
- [30] Zhou X C, Wang X Q. Validate and improvement on arithmetic of identifying forest fire based on EOS – MODIS data[J]. *Remote Sensing Technology & Application*, 2006, 21(3): 206–211.
- [31] 靳全锋, 马祥庆, 王文辉, 等. 华东地区 2000—2014 年间秸秆燃烧排放 PM_{2.5} 时空动态变化[J]. *环境科学学报*, 2017, 37(2): 460–468.
- [32] Jin Q, Ma X, Wang G, et al. Dynamics of major air pollutants from crop residue burning in mainland China, 2000–2014[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2017, 70(8): 190–205.
- [33] Breiman L. Random forests[J]. *Machine Learning*, 2001, 45(1): 5–32.
- [34] 刘兴朋, 张继权, 范久波. 基于历史资料的中国北方草原火灾风险评价[J]. *自然灾害学报*, 2007, 16(1): 61–65.
- [35] 张正祥. 基于地理信息系统和遥感的草地火状况研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2010.
- [36] Zhang Z X, Zhang H Y, Zhou D W. Using GIS spatial analysis and logistic regression to predict the probabilities of human – caused grassland fires[J]. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(3): 386–393.
- [37] 梁慧玲, 郭福涛, 王文辉, 等. 小兴安岭伊春地区林火发生自然影响因子及其影响力[J]. *东北林业大学学报*, 2015, 43(12): 29–35.
- [38] 黄宝华. 基于 MCD45 山东植被燃烧时空分布分析[J]. *消防科学与技术*, 2016, 35(2): 286–290.