

欧亚北方森林 MODIS 14 数据的林火变化分析 ——以俄罗斯欧洲地区为例

丁青^{1,2}, 冯险峰¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 人为或自然因素造成的森林火灾常导致森林覆盖和结构的变化, 对森林碳循环产生重大影响。MODIS 热异常-火灾产品(MOD14)包含地表火灾位置、可信度、火点辐射能量及其他属性信息, 可用于火灾频率、等级及其变化的监测。本研究以俄罗斯欧洲地区的北方森林为研究对象, 采用 2005–2010 年每日 MODIS14 数据和 GIS 空间分析方法, 对研究区过火像元进行判别提取, 分析该地区林火时空变化规律, 并探讨驱动因素。结果显示, 俄罗斯欧洲地区森林火灾主要分布在中南部。近年来, 火灾数量呈上升趋势, 2010 年的火灾覆盖范围是 2005 年的 1.5 倍; 年内火灾发生情况随时间波动, 火险期为每年的 4–10 月; 极端干旱天气造成的特大型火灾事件在本研究结果中得以反映。

关键词: 欧亚北方森林; 遥感; MODIS; 森林火灾

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2013.00476

1 引言

森林扰动是指造成森林生态系统结构和功能持续变化的事件^[1]。在危害森林的诸因子中, 火灾是最具破坏的灾害之一, 其直接危及立木、土壤、微生物和野生动物^[2], 对森林覆盖、林木更新、森林景观结构, 甚至对碳平衡、全球气候和生物多样性等造成影响^[3–9], 大型火灾往往带来巨大的环境和经济损失。利用 MODIS 时间序列数据估算森林覆盖和森林结构变化与灾情是一经济有效的技术方法。

MODIS 拥有 36 个波段, 波谱范围为 0.4–14.4 μm , 影像空间分辨率为 250m、500m、1km, 每天可分别获得白天和晚上覆盖全球的影像。由于其高时间分辨率、高光谱分辨率和适中空间分辨率的特点, 使 MODIS 成为火灾监测中最常用的资料。MODIS 陆地标准数据产品包含火灾发生、位置、可信度、火点辐射能量及其他属性信息, 其可使用亮温、通道合成等判别算法进行火点识别^[10–14], 本文利用 MODIS 热异常-火灾产品, 用其高时间分辨率数据, 对大区域的森林火灾进行多元分析, 揭示了研究区林火扰动的时空分布与变化。

2 研究区林火识别数据与方法

(1) 北方森林(boreal forest), 是寒温带针叶林(泰加林/北方针叶林)和针阔混交林的合称, 主要分布在中高纬度地区。本文选择俄罗斯欧洲地区为研究区, 地处 50°–70°N, 30°–65°E(见图 1)。

该区森林面积占俄罗斯森林面积的 22%, 面积广大, 从北向南, 依次是苔原带、森林带、森林草原带、最南边的草原带, 森林占平原总面积一半以上, 森林类型以常绿针叶林为主。该区受人为活动和自然灾害的影响比较严重, 近几年受气候变暖的影响, 某些地区常发生大型森林火灾, 火灾多在春、夏、秋季发生, 集中于每年的 4–10 月中旬^[15]。

(2) 本文选取了 2005–2010 年北纬 50°–70°, 东经 30°–65°范围内的 MOD14A1 每日数据, 空间分辨率为 1km(数据已经过定标定位)。MOD14 热异常-火灾产品利用亮温法原理, 通过 4 μm 和 11 μm 辐射率数据的 Bandmath 获得的, 着火像元的识别结合绝对识别(足够的火点强度)和相对识别法(考虑背景温度和反射率信息)。产品信息可宏观反映火灾情况, 确定火灾发生的位置、火灾等级以及暗火

收稿日期: 2012-08-13; 修回日期: 2013-03-07.

基金项目: 国家“973”基础研究项目(2010CB950701)。

作者简介: 丁青(1988–), 女, 江苏扬州人, 硕士生, 主要研究方向为生态遥感和遥感应用研究。E-mail: dingq@lreis.ac.cn

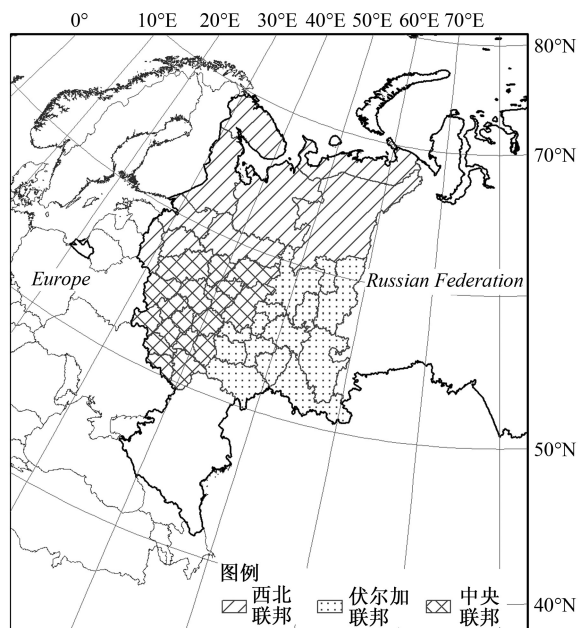


图1 研究区覆盖俄罗斯3个联邦区:西北联邦、中央联邦和伏尔加联邦区

Fig.1 The study area covers three Federal Districts in Russia: Northwest Federal District, the Central Federal District and the Volga Federal District

与燃烧比。

背景资料用于森林火灾的筛选,并作为林火扰动时空变化分析的辅助数据,包括1:400万俄罗斯森林分布图、土地利用图和俄罗斯行政区划图等(中国科学院地理科学与资源研究所地球系统科学数据共享平台提供)。

3 俄罗斯欧洲地区林火识别分析

本文通过MODIS热异常-火灾产品(MOD14),图像数据预处理、灰度运算,以及BandMath的产品信息提取,进行火点像元识别,并与森林背景资料相结合,获得地面林火信息。本次研究的主要技术路线流程见图2。

3.1 数据处理与林火识别提取

研究通过MODIS Reprojection Tool(MRT)工



图2 研究技术路线

Fig.2 Workflow of the research

具,进行图像镶嵌、提取及投影信息的处理,获得30°~65°E,50°~70°N范围内2005-2010年的每日热异常数据,研究运用产品数据的firemask灰度属性值为0-9共10个级别,分别代表水域、火灾区等地面信息(见表1),图像灰度值运算则用于过火和未过火像元的区分。同时,通过ENVI软件和相关批处理算法进行时间序列数据的叠加运算,实现时间尺度的转换和分析。

(1)火点像元提取,采用灰度图像转二值图像的方法(见公式(1)),生成包含火点像元与非火点像元信息的每日数据,以突出火点信息:

$$\begin{cases} n \leq 6 & N = 0 \\ n > 6 & N = 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中, n 为像元灰度值,MOD14产品数据包含10个灰度值(见表1),其中属性值7、8、9代表过火像元; N 为二值图像的两个值,为0时表示非过火像元,1表示过火像元。

鉴此,研究建立了一个基于ENVI+IDL的批处

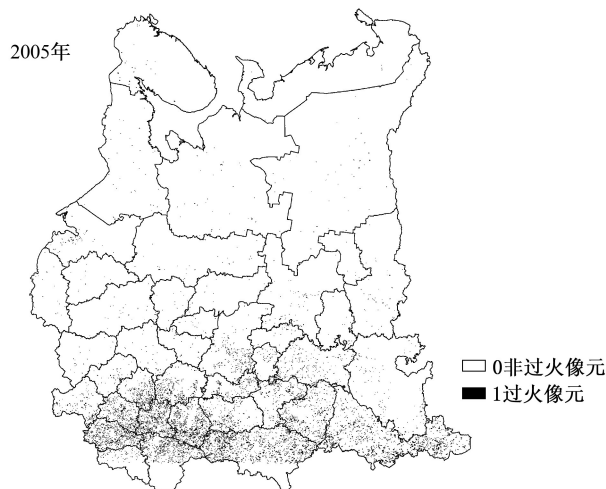


图3 2005年俄罗斯欧洲地区火灾分布

Fig.3 Fire distribution in European Russia in 2005

表1 MOD14产品数据灰度值

Tab.1 Gray value of the product

灰度值	0	1/2	3	4	5	6	7	8	9
属性	无输入数据	未处理(废弃)	水域	云	非火灾区	未知	火点(低可信度)	火点(可信)	火点(高可信度)

理算法,实现每月数据的叠加运算,方便年内火灾变化分析。而年际过火像元的运算则通过Band math进行12个月求和。叠加后 $N_{sum} \neq 0$ 的像元即为火点像元,获得结果如图3。

(2)森林火点判定,例如,森林火灾、火山活动、

工业热点和农作物秸秆焚烧等,主要通过土地利用或地表覆盖进行森林火点识别:即将火点与地面数据(森林分布图、土地利用图)进行叠加,得到森林覆盖范围内火点(燃烧树种类型本研究中不考虑),如图4。

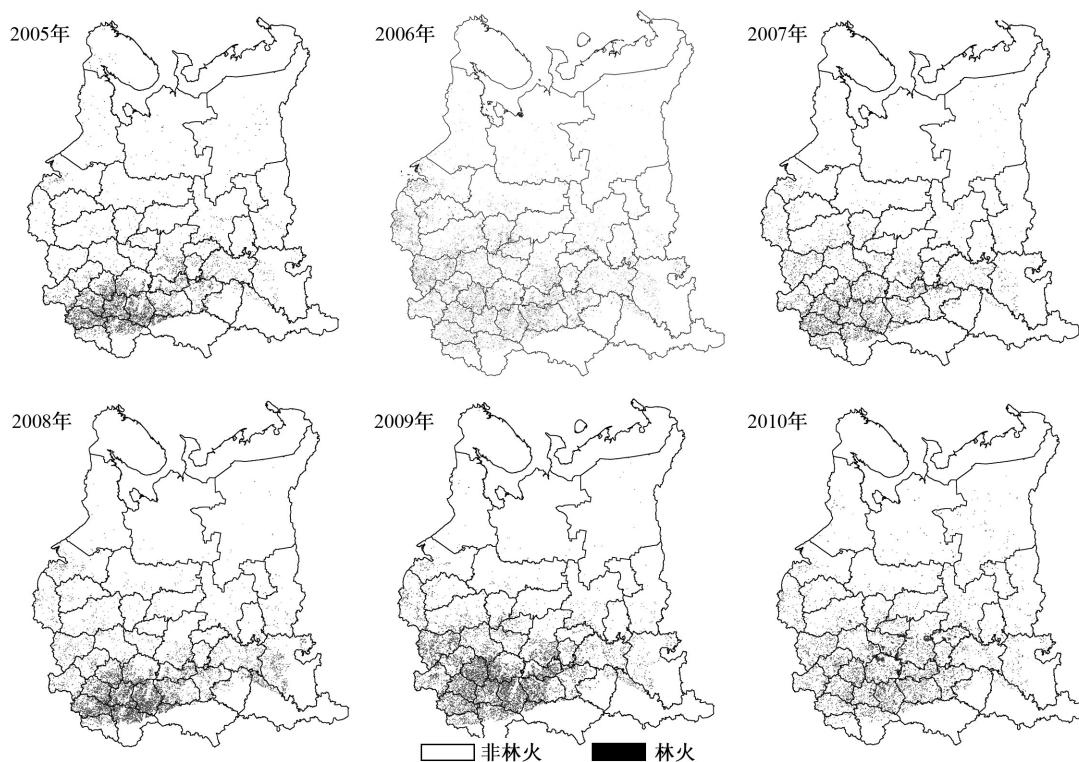


图4 2005-2010年俄罗斯欧洲地区森林火灾分布图

Fig.4 Forest fire maps in European Russia from 2005 to 2010

4 林火识别结果与变化分析

4.1 森林火灾空间分布

俄罗斯欧洲地区每年的森林火灾主要分布在中、南部的中央联邦区和伏尔加联邦区内(图4),以中央联邦区居多。该区从北往南依次是苔原带、森林带、森林草原带和最南边的草原荒漠带(图5)。北部地区虽然森林覆盖率很高,但多为保存完整的原始森林,人类活动较少,人为引起火灾事件一般是森林采伐过程中吸烟作业引起,频率较低;此外,北部地区温度较低,受海洋气候影响,气候较湿润,发生火灾概率低。而中南部地区是俄罗斯欧洲地区主要的人口和工业中心,人为活动频繁,火灾事件频发,近年受气候变暖和极端天气的影响,常出现大型火灾事件。

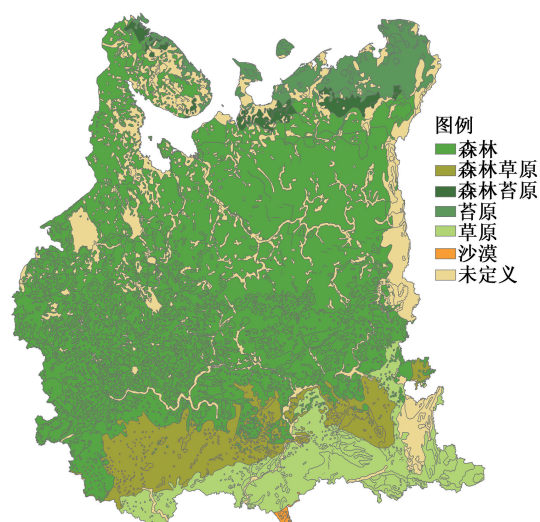


图5 俄罗斯欧洲地区土地覆被图

Fig.5 Land cover map in European Russia

另外,研究区内的过火面积并非为均匀分布,位于首都莫斯科附近的几个行政区是森林火灾的集中地区。2010年,伊万诺沃(Iva Ob)、莫斯科(Mos Ob)、弗拉基米尔(val Ob)、梁赞(Rya Ob)、下诺夫哥罗德(Niz Ob)和切什卡尔奥拉(M-E Rp)6州内森林过火面积就占整个区域的40%。

4.2 森林火灾年际变化与火险期

2005–2010年的俄罗斯欧洲地区森林火灾过火面积多分布在西南部区域,除2006年分布较分散,其余年份都集中于西南部的几个州内。2010年火灾覆盖范围比2005年增加了近1.5倍,2010年出现更多重复燃烧火点,且出现连续分布现象。

图6显示,除2007年,近年俄罗斯欧洲地区森林火灾比较严重,尤其是2008–2010这3年一直保持在较高水平。而有些年份,如2005、2006年,由于火点分布比较分散,单个像元(重复率为1)出现频率高,所以,判别结果可能较实际偏高;而2010年由于火点分布较集中,过火像元重复率较高,火点判别的结果更准确。

俄罗斯欧洲地区森林火灾存在明显的季节性,火险期主要分布在每年4–10月(图7),全年中火灾最严重的时期出现在4–5、7–9月份,有些年份春季火灾较多,而有些年份夏季较多,6月出现一个波谷,可能与降雨的影响有关。2010年俄罗斯欧洲地区经历了严重的火灾,6月开始出现持续高温天气(图9),由于干旱和炎热的天气,一些地区首先出现

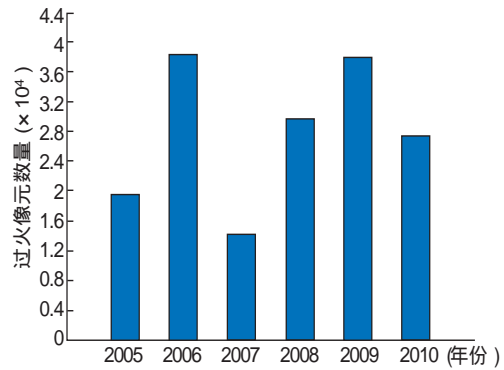


图6 2005–2010年森林过火像元数对比

Fig.6 Inter-annual forest burned pixel statistics from 2005 to 2010

了由非季节性的高温天气引起的泥炭火和森林火灾,到8月中旬降雨的到来才得以缓解。

4.3 林火分布与其成因

俄罗斯欧洲地区的林火分布呈现不同的规律,但多分布于中、西南部。以林火多发的4、8月为例,图8(a)和图8(c)分别表示的是2005年和2010年西南部4月林火的分布情况,过火像元分布相对稀疏均匀,覆盖范围较广;图8(b)和图8(d)分别是2005年和2010年8月的林火分布,2005年火灾多分布于西南地区,而2010年集中于中南部州内,它们的特征是分布集中,受夏季高温干旱天气的影响,夏季往往比春季火灾更严重,易出现大型火灾事件。

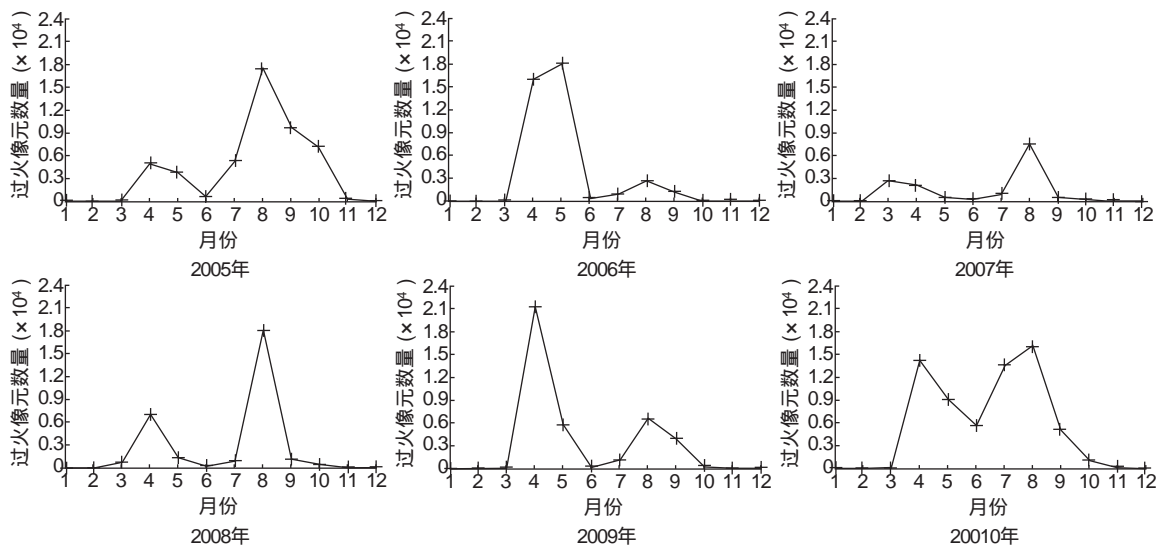


图7 2005–2010年间森林过火像元统计

Fig.7 Monthly comparison of forest burned pixels

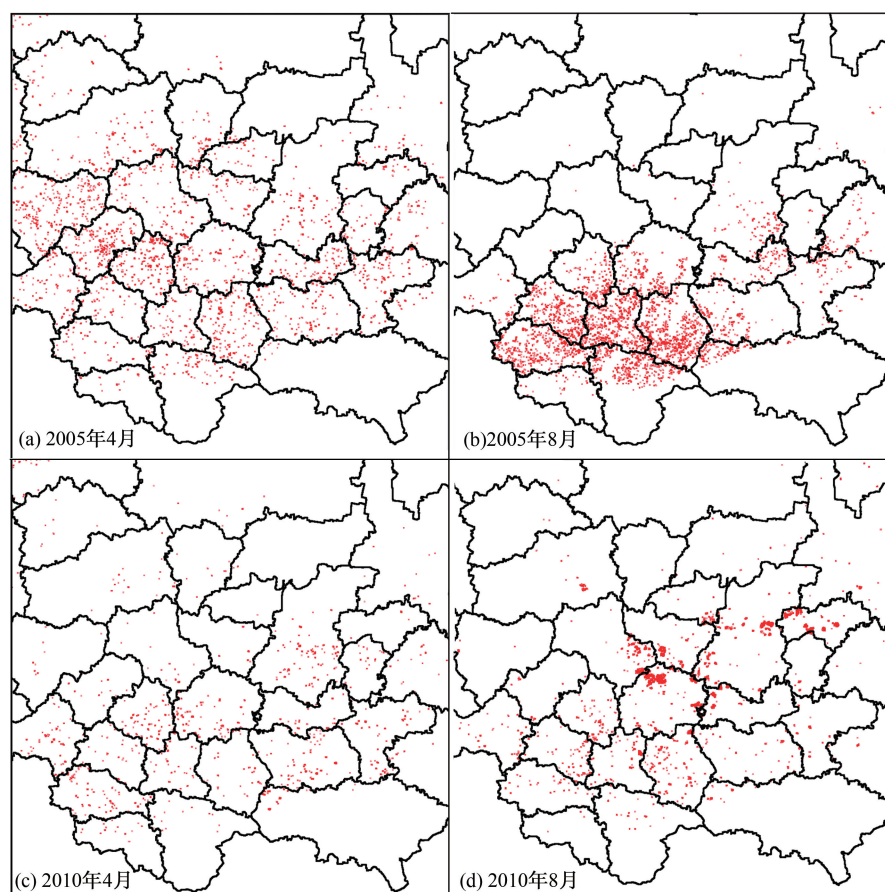


图8 2005、2010年4月和8月林火分布图

Fig.8 April and August forest fire distribution maps in 2005 and 2010

上述森林火灾的原因最主要的是人为烧荒、篝火、野外吸烟、民众蓄意放火等,尤其在人口居住集中地,伴随城市化的发展,人类活动对森林的依赖性增强,采伐作业、农业开垦、野外娱乐活动都会引起火灾。对俄罗斯欧洲地区近年土地利用覆盖的研究显示,混交林、常绿针叶林及农业用地,2009年所占比例分别为26.6%、19.8%和20.5%,农用地主要位于中南部。与北部完整的原始森林不同,中南部森林深入城市周边,与农业用地紧邻,研究数据显示不低于8%的农用地与森林植被邻接。

另外,造成森林火灾的自然因素主要是雷击。其次气候持续高温干旱是俄罗斯近年森林大火的一个重要原因。在森林内沼泽地区,温度日积月累,使深达几米的植物腐蚀物形成的泥炭极易起火,6、7月出现的异常高温造成森林大火(图7)。图9展示了俄罗斯欧洲地区2005年和2010年6月平均地表温度的分布。北部地区地表均温保持在10~20℃,2010年中南部地区地表温度剧烈上升,高温

天气向北迁移,大部分地区温度比往年超出了7℃以上,火灾迅速蔓延,火点数剧增,造成巨大环境和财产损失。

此外,风力也是林火频发的一个重要因素,俄罗斯的森林多为大片的覆盖,遇到强风时火灾蔓延速度很快,消防人员很难抵达火点,扑救困难,造成巨大损失。

5 结语

采用MODIS热异常-火灾产品数据,根据背景覆盖信息,提取森林过火面积,能很好地揭示宏观尺度上俄罗斯欧洲地区北方森林火灾的时空变化规律。但由于数据空间分辨率的限制及火点判断结果还存在一定的误差,有待今后进一步解决:(1)火点可信度的分级,单个异常点的剔除;(2)需要采用土地利用、植被图,森林背景信息的支持,并结合气象要素进行深入研究。

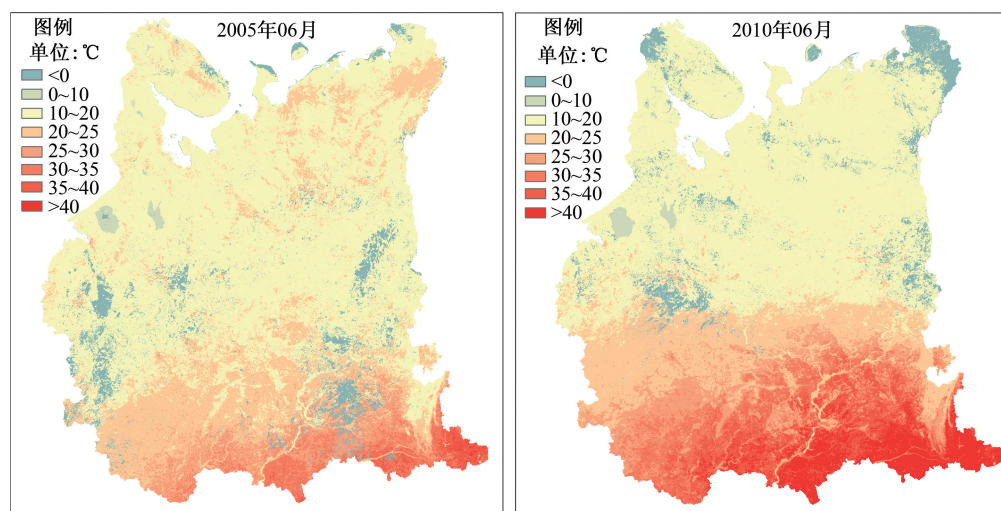


图9 2005、2010年6月平均地表温度分布图

Fig.9 The average LST distribution in June in 2005 and 2010

参考文献:

- [1] 周道玮,钟秀丽.干扰生态理论的基本概念和扰动生态学理论框架[J].东北师大学报·自然科学版,1996(1):90-95.
- [2] 舒立福,田晓瑞,寇晓军.林火研究综述(I)——研究热点与进展[J].世界林业研究,2003,16(3):37-40.
- [3] 阮德振,陈龙,章文杰,等.森林中的火干扰研究综述[J].林业调查规划,2011,36(5):63-65.
- [4] Potapov P, Turubanova S, Hansen M C. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia[J]. Remote Sensing of Environment, 2010(115):548-561.
- [5] Goldammer J G, Sukhinin A, Csiszar I. The current fire situation in the Russian Federation: Implications for enhancing international and regional cooperation in the UN framework and the global programs on fire monitoring and assessment[J]. International Forest Fire News(IFFN), 2005 (32):13-42.
- [6] Frolking S, Palace M W, Clark D B, *et al.* Forest disturbance and recovery: A general review in the context of spaceborne remote sensing of impacts on aboveground biomass and canopy structure[J]. Journal of Geophysical Research, 2009(114)G00E02:1-27.
- [7] 吴雪琼,覃先林,周汝良,等.森林覆盖变化遥感监测方法研究进展[J].林业资源管理,2010(4):82-86.
- [8] 陈文波,刘闯,Tomoko DOKO,等.俄罗斯远东林区林火过程数值分类研究[J].资源科学,2007,29(5):190-193.
- [9] Potapov P, Hansen M C, Stehman S V, *et al.* Combining MODIS and Landsat imagery to estimate and map boreal forest cover loss[J]. Remote Sensing of Environment, 2008 (112):3708-3719.
- [10] 高懋芳,覃志豪,刘三超. MODIS 资料在林火监测中的应用研究[J].国土资源遥感,2005(2):60-62.
- [11] 刘良明,鄢俊洁. MODIS 数据在火灾监测中的应用[J].武汉大学学报·信息科学版,2004,29(1):55-57.
- [12] 覃先林,易浩若.基于 MODIS 资料的林火识别方法研究[J].火灾科学,2004,13(2):83-88.
- [13] 郑伟,李亚君,刘诚,等.基于多源卫星遥感数据的森林过火区面积估算方法[J].林业科学,2011,47(8):192-195.
- [14] 梁芸.利用 EOS/MODIS 数据监测森林火情[J].遥感技术与应用,2002,17(6):310-312.
- [15] 胡海清,周振宝,焦燕.俄罗斯森林火灾现状统计分析[J].世界林业研究,2006,19(2):74-78.

Change Analysis of Boreal Forest Fire Using MODIS Thermal Anomalies Product for European Russia

DING Qing^{1,2*} and FENG Xianfeng¹

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: Eurasian boreal forest possesses rich forest resources and accounts for 25% of global forest cover. Changes in forest cover and structure caused by human-induced or natural forest disturbances, such as forest fires, have significant impact on the forest carbon cycle. The considerable progress on earth observation technology makes it entirely possible to provide dynamic monitoring of forest resources. This paper discusses the spatial and temporal changes of forest fire disturbance in European Russia. MODIS Thermal Anomalies/Fire product contains information such as fire location, credibility, fire point radiation energy and other attribute information, which can be used for the monitoring of fire frequency, level, and changes. In this study we use MODIS Thermal Anomalies/Fire daily product from 2005 to 2010, combined with RS image processing and GIS spatial analysis methods, to identify burned pixels in European Russia. Spatial and temporal distribution of forest fire has been analyzed. At last we estimate the amount of loss caused by forest fires. The result shows that forest fires are mainly distributed in central and southern regions of European Russia and the fire number is showing an upward trend, fire coverage of 2010 is 1.5 times greater than that of 2005. The fire data reveals apparent changes within a year, and the fire season is generally from April to October. Large fire events occurred in 2010 can be well reflected in the results of this study.

Key words: Eurasian boreal forests; remote sensing; MODIS; forest fire

Corresponding author: DING Qing, E-mail: dingq@lreis.ac.cn