

利用Himawari-8数据监测森林火情初探

杜品 刘明旭 徐婷婷 宋宇[†]

北京大学环境模拟与污染控制国家重点实验室, 北京 100871; [†]通信作者, E-mail: songyu@pku.edu.cn

摘要 以2015年10月15日印度尼西亚苏门答腊岛森林火灾为例, 探索通过云水检测、潜在火点提取、太阳耀斑剔除、背景窗口确定等步骤, 利用新一代地球同步气象卫星——Himawari-8卫星数据提取森林火灾火点的方法。在所研究的时空范围内, 共提取Himawari-8火点10109个(有效时刻数142个), 单一时刻火点数为最高为267个(当地时间03:40)。通过对时空分布的定量化比较发现, 与相应时刻的MODIS火点相比, 所提取的Himawari-8火点数量较少, 空间分布更分散, 但二者的空间分布在总体上非常相似, 且所提取的Himawari-8火点空间分布及数量特征与Himawari-8真彩色图反映的森林火情较为吻合, 说明利用该方法提取的Himawari-8火点可以较好地反映森林火情, 能够为森林火灾监测提供有效信息。

关键词 Himawari-8; 森林火灾; 火点探测

中图分类号 X43

Application of Himawari-8 Data in Monitoring Forest Fire

DU Pin, LIU Mingxu, XU Tingting, SONG Yu[†]

State Joint Key Lab of Environmental Simulation and Pollution Control, Peking University, Beijing 100871;

[†] Corresponding authors, E-mail: songyu@pku.edu.cn

Abstract Taking the forest fire in Sumatra, Indonesia on October 15, 2015 as an example, method to extract forest fire hotspots using the new-generation geostationary satellite—Himawari-8 data was explored via clear sky analysis, potential fire pixel identification, sunglint test and background analysis. Within the temporal and spatial range of this study, 10109 Himawari-8 hotspots were extracted in all (142 significant instants), and the maximum number of hotspots for a single moment was 267 (03:40LT). Through quantitative comparison of time-space distributions, it was found that compared with MODIS hotspots, hotspots derived from Himawari-8 data were of smaller amount and more dispersed spatial distribution. However, two kinds of hotspots were very similar in overall spatial distribution. The characteristics of spatial distribution and quantity of Himawari-8 hotspots were consistent with fire information reflected by the true-color image of Himawari-8. In general, extracted Himawari-8 hotspots could well reflect the information of forest fire and provide useful information in forest fire monitoring.

Key words Himawari-8; forest fire; hotspot detection

生物质燃烧在整个生物地球化学循环中扮演着重要角色, 同时也是痕量气体和气溶胶的重要排放源。森林火灾是生物质燃烧的重要组成部分, 以我国为例, 森林火灾排放的污染物量在整个生物质燃烧排放中约占10%^[1]。利用卫星监测森林火情在国际上始于20世纪70年代, 在我国可追溯至20世纪80

年代^[2]。在扑灭1987年大兴安岭特大森林火灾过程中, 气象卫星监测发挥了重要作用, 为扑火指挥提供了大量可参考信息。

GOES/VAS卫星^[3]、MODSI卫星^[4]和VIIRS卫星^[5]是在火点探测中运用较多的卫星。GOES/VAS卫星是地球同步轨道卫星, 其观测区域为北美洲及

大西洋和太平洋的部分地区,时间精度为30 min,空间分辨率为4 km,在大面积火灾的火情监测中应用较多。但是,作为气象卫星,GOES/VAS卫星的空间分辨率较低,不适用于较小规模火灾的探测。MODIS卫星和VIIRS卫星是广泛用于火点探测的两种极轨卫星,空间分辨率分别为1和375 m,但每日过境次数仅分别为4次和2次,无法提供火点的全时段信息。因此,目前常用的卫星产品无法满足东亚地区生物质燃烧火情探测的需求。

Himawari-8卫星是日本2014年10月7日发射的新一代静止气象卫星,2015年7月正式投入使用^[6]。与原有的地球静止卫星相比,Himawari-8的观测频率和精度大幅度提高,时间分辨率可达10 min,空间分辨率最高可达0.5 km(表1)。Himawari-8卫星携带目前世界上最先进的16通道可视红外成像仪AHI,可以提供更准确的气象和地面观测等信息。从覆盖范围看,Himawari-8卫星可获取东亚地区所在半球的完整信息;从定位精度看,Himawari-8卫星可保持在一个像元以内^[7]。与目前常用的MODIS卫星相比,作为新一代静止气象卫星,Himawari-8可以实现无云条件下的连续监测,在火情的及时发现等方面具有很大优势,可以提高火灾响应速度及管理水平。同时,由于能够提供实时且连续的火情信息,

Himawari-8也为排放清单的精确估算提供了条件。

东南亚森林火灾是亚洲生物质燃烧的重要组成部分,在1997,2002,2006和2015等年份,厄尔尼诺现象引发东南亚地区极端干旱天气,导致严重的森林火灾^[8]。2015年9—10月,印度尼西亚“烧芭”活动引发大范围森林大火,在厄尔尼诺现象的推波助澜下,波及马来西亚、新加坡等邻国,排放大量的污染物,导致持续数月的雾霾天气。本文以2015年10月15日印尼苏门答腊岛森林火灾为研究对象,探索利用Himawari-8卫星数据剔除云点、水点及太阳耀斑点等干扰因素并提取火点的方法。

1 原理与方法

1.1 研究原理

根据维恩位移定律,物体辐射本领最大值对应的波长与温度成反比,当温度升高时,辐射峰值向短波方向移动^[9]。森林草原等生物质燃烧的主要温度范围为600~1300 K,对应的光谱波长在中红外(MIR, 3~5 μm)范围内,而地表常温(约300 K)的辐射峰值波长在11 μm左右。在中红外波段,燃烧释放的辐射与背景辐射之间的差异最高可以达到4个数量级。根据普朗克定律,这种辐射亮度上的差异导致即使火灾面积仅占像元总面积的1/10⁴~1/10³,火点像元在中红外波段的亮温值也会显著地升高,与周边像元出现明显差异^[10]。在远红外波段,同样会出现这种亮温上的差异,但差值较小^[11]。这种亮温差特性可以作为火点识别的主要依据。Himawari-8包含3.9和11.2 μm等通道,各通道输出的量化等级为12 bit,空间分辨率为2 km,可以满足火点识别的需求。

1.2 研究方法

在火点判识过程中,云点与水点的识别至关重要。识别云点,主要利用其在可见光通道的高反射率特性以及热红外通道温度特性。每一个单独通道的亮温检测或比值检测都有各自敏感的云类型,但是很少能检测出全部的云。本研究运用一种多光谱综合阈值云检测算法^[12],分别利用不同波段反射率及亮温的不同阈值对厚云、高云和中低云进行检测,并且利用晴空修复算法对检测结果进行修正。如果某像元03通道的反射率 ρ_{03} 大于0.3,或03通道与04通道的反射率之比 ρ_{04}/ρ_{03} 在0.9~1.1之间,则判定该像元为厚云像元;如果某像元16通道的亮温值 BT_{16} 小于236 K,或同时满足01通道的反射率 ρ_{01} 大于0.1

表1 Himawari-8 卫星各通道特性
Table 1 Channel characteristics of Himawari-8

通道号	中心波长/μm	分辨率/km
1	0.46	1
2	0.51	1
3	0.64	0.5
4	0.86	1
5	1.60	2
6	2.30	2
7	3.90	2
8	6.20	2
9	7.00	2
10	7.30	2
11	8.60	2
12	9.60	2
13	10.40	2
14	11.20	2
15	12.30	2
16	13.30	2

且03通道与05通道反射率之差与反射率之和的比值 $(\rho_{03}-\rho_{05})/(\rho_{03}+\rho_{05})$ 在0.09~0.2之间, 则判定该像元为高云像元; 如果某像元14通道的亮温值 BT_{14} 小于 278 K, 或07通道与14通道的亮温差 $BT_{07} - BT_{14}$ 大于 20 K, 则判定该像元为中低云像元。最后, 对标记为云点的像元运用一个晴空修复算法, 如果该像元的植被覆盖指数NDVI (normalized difference vegetation index) 在-0.18~0.2之间, 那么, 该像元仍被标记为云点, 反之则重新标记为晴空像元。云检测算法流程如图1所示。我们利用GlobCover2009土地覆盖类型产品对水体进行识别。该产品原始分辨率为 300 m, 可以满足本研究的要求。

在火点提取阶段, 我们使用 LSA SAF Meteosat 卫星火点提取方法^[13]。为了剔除较明显的非火点, 需要进行潜在火点的识别。首先利用由太阳高度角

确定的阈值, 对所有非云水点可见光波段亮温及可见光与红外波段的亮温差进行检测:

$$BT_{07} > C_{11}\theta_{soz} + C_{12},$$

$$BT_{07} - BT_{14} > C_{21}\theta_{soz} + C_{22},$$

$$\theta_{s\text{ung}} \in (-\infty, 0) \cup (2, \infty),$$

其中, θ_{soz} 为太阳高度角; C_{11} , C_{12} , C_{21} 和 C_{22} 为与太阳高度角相关的常数 ($\theta_{soz} > 90^\circ$ 时, C_{11} , C_{12} , C_{21} 和 C_{22} 取值分别为 0.0, 280.0, 0.0 和 1.0 K; $\theta_{soz} < 90^\circ$ 时, C_{11} , C_{12} , C_{21} 和 C_{22} 取值分别为 -0.3, 310.5, -0.0049 和 1.75 K); BT_{07} 和 BT_{14} 分别为 07 和 14 通道的亮温; $\theta_{s\text{ung}}$ 为太阳耀斑角。

该方法使用的阈值相对较低, 可以尽可能地避免对火点的漏检, 但在被太阳均匀加热的区域, 由

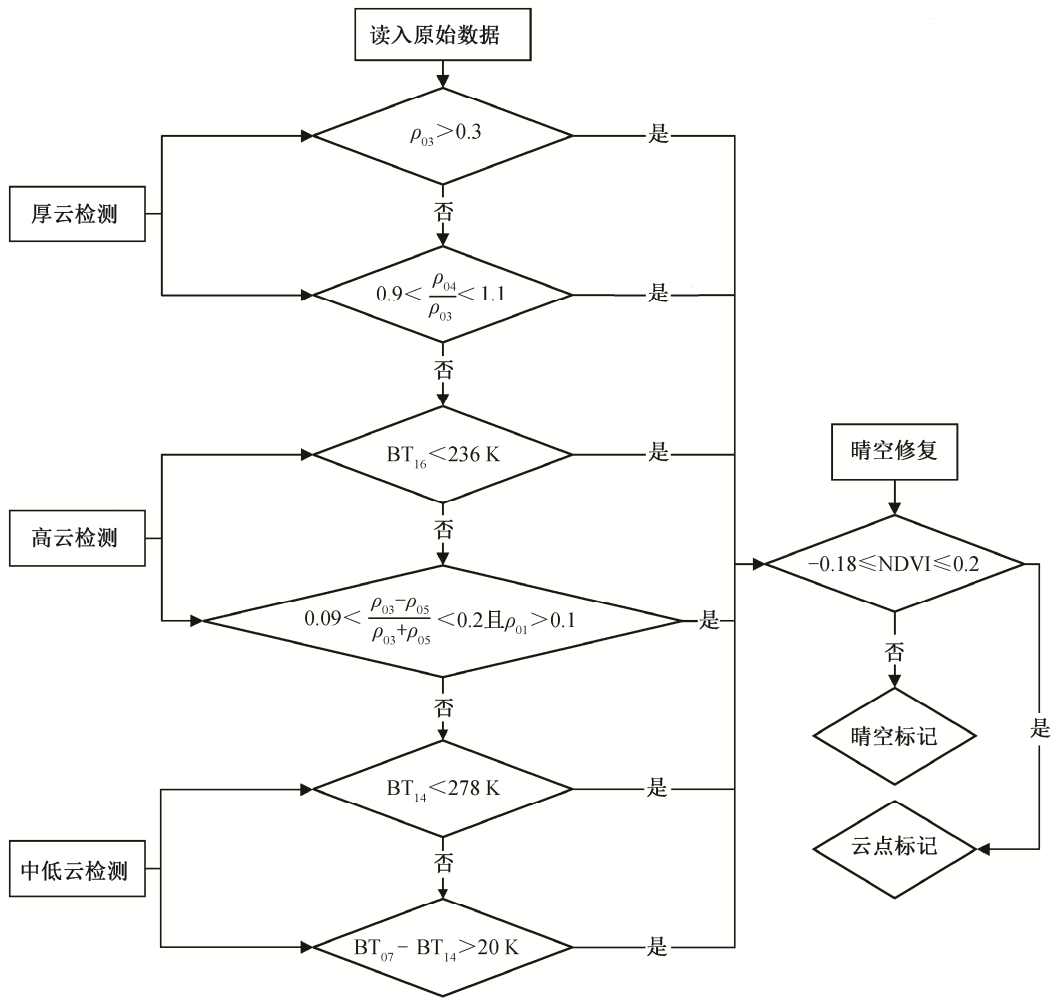


图 1 Himawari-8 云检测算法流程
Fig. 1 Flow chart of Himawari-8 cloud detection algorithm

于其像元参数也可能达到检测限,因此单纯使用此方法会导致极大的误差。为避免这一情况的出现,本文进一步使用“边缘检测”算法对可见光与红外波段亮温差图像进行二次检测。分别使用3个高斯卷积核(3×3, 5×5, 7×7),对潜在火点像元亮温差进行高通滤波,从而识别与其周边像元存在较大亮温差的潜在火点。

对初步判定为火点的像元,需利用太阳耀斑角及不同通道光谱辐射比值等参数,检测是否受到耀斑影响。对于通过检测的像元,若07通道与03通道的光谱辐射之比小于 $0.7/p$,07通道与03通道的光谱辐射之比与 $(2-p)$ 的乘积小于0.0195(若在目标像元15×15的背景窗口中存在云点, p 取值为1,否则取值为2),则判断该像元为可能被耀斑影响到的点,剔除火点属性。

火点判定的最后一步是背景窗口的确定,这对火点像元的识别至关重要。对通过上述检测的潜在火点像元,首先设定初始背景窗口大小为5×5个像元,如果5×5的窗口中满足非火点晴空的像元不足65%(不包含中心3×3窗口),则将窗口一直扩大到7×7,9×9, ..., 15×15,若仍达不到要求,就标示为非火点像元。

2 数据

本文使用的数据包括2015年10月15日连续24小时的Himawari-8卫星数据、2015年10月15日MODIS卫星MOD14/MYD14产品以及GlobCover 2009土地覆盖类型产品。

Himawari-8数据由日本气象厅(Japan Meteorological Agency, JMA)提供,时间分辨率为10 min,空间分辨率为2 km。原始数据包括01~06通道的反照率数据以及07~16通道的亮温数据,经进一步处理后,可得到反射率及光谱辐射数据。本研究在云检测中使用03, 04和05通道的反射率数据及07, 14和16通道的亮温数据,在火点识别中使用07和14通道的亮温数据,在太阳耀斑点剔除中使用03和07通道的光谱辐射数据。

MOD14/MYD14为美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)开发的MODIS火辐射功率(fire radiative power, FRP)产品,空间分辨率为1 km,能够提供每天01:30, 10:30, 13:30和23:30这4个时刻的火点经纬度和FRP值等火情信息。

GlobCover 2009是欧洲航天局(European Space Agency, ESA)开发的全球土地覆盖类型产品,原始数据由ENVISAT卫星搭载的MERIS传感器于2009年采集,空间分辨率为300 m。该产品采用联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)的土地覆被分类系统(land cover classification system, LCCS),将土地覆盖类型分为22类,可以满足本研究的需求。

3 结果与讨论

本文利用Himawari-8数据,通过前面介绍的火点检测方法,提取2015年10月15日苏门答腊岛森林火灾火点,并绘制时空分布图。

在本文研究的时空范围内,共提取Himawari-8火点10109个,平均每个时刻提取火点71个(有效时刻数为142个)。在所研究的24小时内,提取到的火点数不断波动(图2),总体变化趋势为双峰曲线。单个时刻提取的火点数最大为267,出现在当地时间03:40,零火点数时段集中在当地时间07:30—10:30时段。由于MODIS卫星的空间分辨率(1 km)高于Himawari-8卫星,在小火探测上表现更优异,因此MODIS卫星火点数普遍高于相应时刻的Himawari-8卫星火点数(图2)。MODIS火点数最高值约为420,出现在13:30;其余时刻(01:30, 10:30和22:30)探测到的火点数基本上持平,在200左右。仅据已有数据,MODIS火点数变化曲线为一峰值出现在13:30的单峰曲线。由于MODIS火点产品仅提供4个时刻的火点信息,因此无法获知MODIS火点数一天内的整体变化趋势。

根据Himawari-8火点数的变化,分别绘制当地时间02:30, 04:00, 10:30, 12:00, 14:30, 18:50, 22:00和23:30共8个典型时刻的Himawari-8火点空间分布图(图3),以便分析火情的发展趋势。02:30和04:00, Himawari-8火点主要分布在苏门答腊岛中部和北部,经过07:30—10:30的无火点时段后,10:30开始,火点出现在中部地区的较小范围内,并逐渐向南部地区移动。14:30, Himawari-8探测到的火点数量明显上升,分布区域逐渐移动到东南部。18:50, 22:00和23:30, Himawari-8火点较多,集中分布在苏门答腊岛东南部区域。就2015年10月15日苏门答腊岛森林火灾的整体发展情况而言,西北部森林火灾持续时间较短,火点分布较分散,而东南部森林火灾持续时间较长,火点分布较集中。

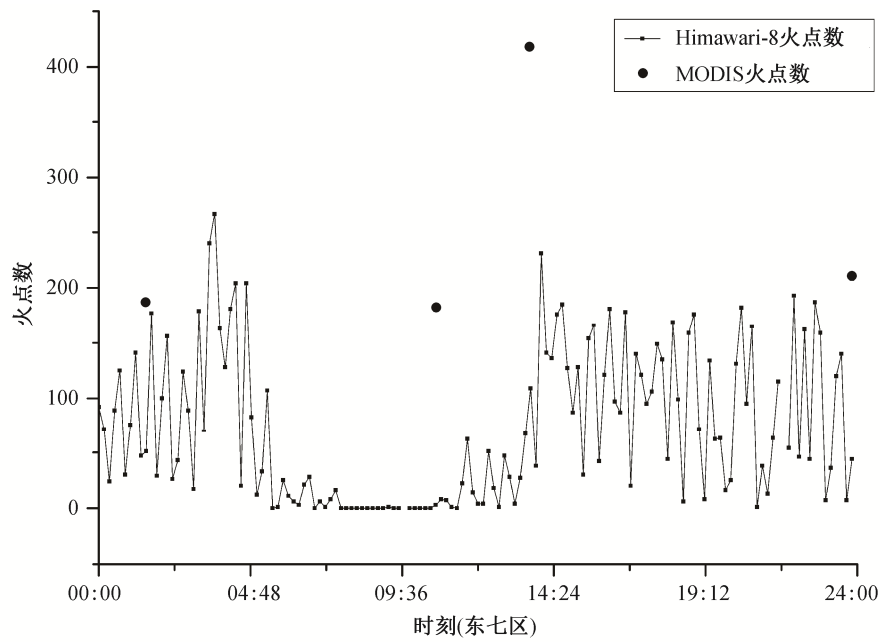


图2 苏门答腊岛 2015 年 10 月 15 日 Himawari-8 与 MODIS 火点数比较

Fig. 2 Comparison of the numbers of hotspots derived from Himawari-8 and MODIS in Sumatra on October 15, 2015

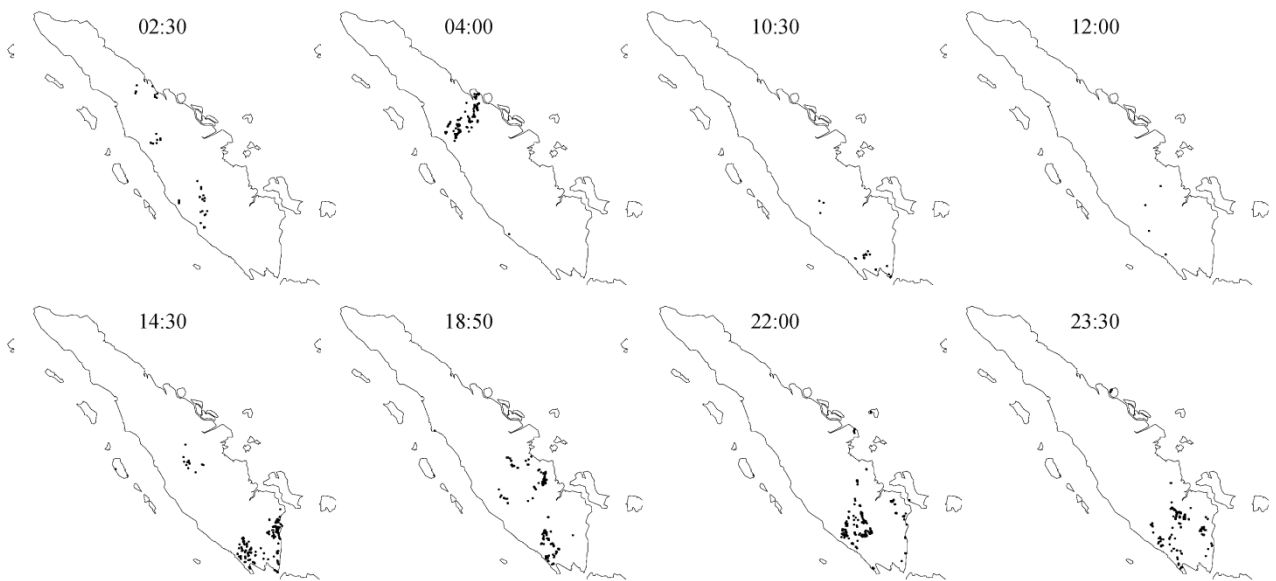


图3 苏门答腊岛 2015 年 10 月 15 日 Himawari-8 火点分布

Fig. 3 Spatial distribution of Himawari-8 hotspots in Sumatra on October 15, 2015

为了验证本研究提取的Himawari-8火点的准确性，分别绘制10:30、12:00和14:30这三个时刻的Himawari-8卫星真彩色图(图4)。10:30的真彩色图显示，森林火灾主要分布在苏门答腊岛的中部及东南部的部分地区；12:00的真彩色图显示，该时刻苏门答腊岛森林火情不明显，零星分布于中部地区；14:30的真彩色图显示，该时刻苏门答腊岛森林火灾

范围较大，主要分布于东南部地区。总体来说，在10:30、12:00和14:30这三个时刻，本研究提取的Himawari-8火点与Himawari-8卫星真彩色图显示的火情在空间分布及严重程度相似程度较大，证明了本文方法的可靠性。

为了进一步评估火点空间分布的准确度，本文使用标准差椭圆分析(standard deviational ellipse,

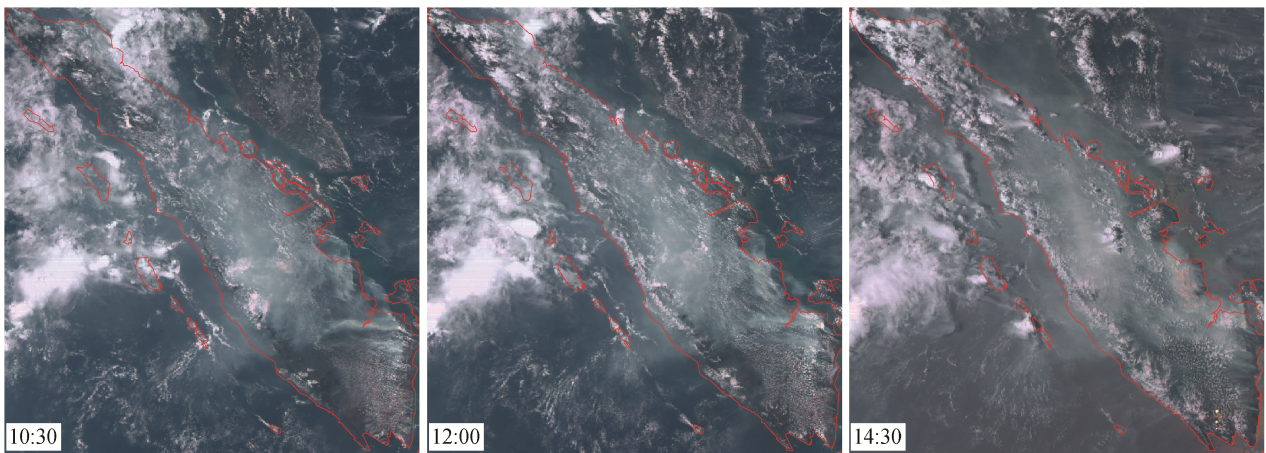


图 4 苏门答腊岛 2015 年 10 月 15 日 Himawari-8 卫星真彩色图
Fig. 4 True-color picture of Himawari-8 in Sumatra on October 15, 2015

SDE)方法^[14], 分别对MODIS火点以及相应时刻(01:30, 10:30, 13:30, 22:30)Himawari-8提取的火点的空间分布进行量化分析。SDE方法是测量点空间分布趋势的重要方法, 椭圆的重心表示点数据分布的相对位置, 长轴和短轴分别表示点数据的最大分散方向和最小分散方向。长轴和短轴的数值分别表示点数据在最大分散方向和最小分散方向上的离散程度。椭圆的偏转角度表示正北方向与长轴顺时针之间的角度。最大椭圆的面积表示点数据分布的整体离散程度, 椭圆面积越小, 表示点数据分布向重心点聚拢的程度越高。

从图 5 和 6 可以看出, Himawari-8 提取的火点与MODIS火点分布的椭圆重心非常接近, 均分布在 $3^{\circ}\text{S}, 104^{\circ}\text{E}$ 附近, 靠近苏门答腊岛东南部的占碑市和巨港市, 说明Himawari-8火点和MODIS火点均相对聚集在苏门答腊东南部地区。Himawari-8火点和MODIS火点标准差椭圆的偏转角分别为 145.92° 和 145.25° , 说明二者提取的火点均分布于西北-东南方向, 即标准差椭圆长轴的方向火点比较密集。该方向也是苏门答腊岛泥炭沼泽分布区域。泥炭地主要分布在苏门答腊岛东部沿海地区^[15], 富含有机质的原始泥炭沼泽原本含水率较高, 但在旱季,

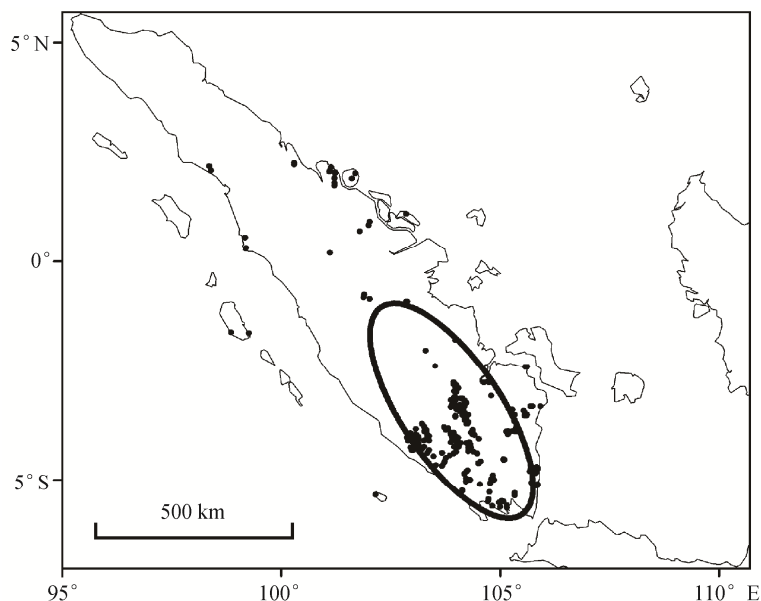


图 5 苏门答腊岛 2015 年 10 月 15 日 Himawari-8 火点标准差椭圆分析
Fig. 5 Standard deviation ellipse analysis of Himawari-8 hotspots in Sumatra on October 15, 2015

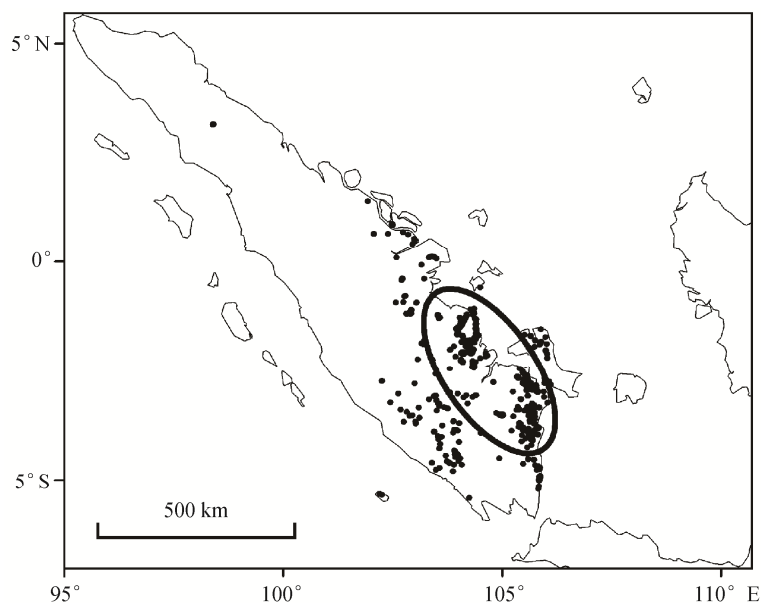


图6 苏门答腊岛 2015 年 10 月 15 日 MODIS 火点标准差椭圆分析

Fig. 6 Standard deviation ellipse analysis of MODIS hotspots in Sumatra on October 15, 2015

表 2 Himawari-8 与 MODIS 探测火点标准差椭圆分析参数比较

Table 2 Comparison of standard deviation ellipse analysis parameters of Himawari-8 and MODIS hotspots

方法	椭圆平均重心位置	椭圆面积/km ²	X 轴长度/km	Y 轴长度/km	偏转角度/(°)
Himawari-8	3.42°S, 103.89°E	1.26×10^5	318	126	145.92
MODIS	2.50°S, 104.71°E	8.80×10^4	240	117	145.25

由于含水率快速下降, 微气候变得干燥, 易发生森林火灾^[16]。由于泥炭沼泽富含地下有机质, 不易扑救, 因此泥炭火灾燃烧持续时间更长, 是东南亚地区森林火灾的重要组成部分^[17]。由于2015年印度尼西亚森林火灾持续时间较长, 本研究选取的时间(2015年10月15日)处于此次火灾进程的中后时段, 地上火已有部分被扑灭, 因此泥炭沼泽火点类型在全部火点中占比较大。

从表2可以看出, Himawari-8火点的SDE椭圆面积($1.26 \times 10^5 \text{ km}^2$)约为MODIS火点SDE椭圆面积($8.80 \times 10^4 \text{ km}^2$)的1.5倍; 前者的长轴(318 km)和短轴(126 km)也均大于后者(240 km和117 km)。从空间分布来看, Himawari-8提取的火点分散程度明显大于MODIS火点。总体来说, Himawari-8探测的火点数量较少, 较分散地分布在苏门答腊岛东南部的大部分区域; MODIS探测的火点数量较多, 较集中地分布在东南侧的泥炭沼泽区域。

4 结论

本文以2015年10月15日苏门答腊岛森林火灾为

研究对象, 对利用Himawari-8卫星数据提取森林火灾火点的方法进行了初步探索。使用一种基于MODIS云检测算法的多光谱综合阈值云检测算法剔除云点, 利用GlobCover2009数据剔除水体像元, 利用太阳耀斑角等参数剔除受太阳耀斑影响的像元, 并通过阈值检测、边缘检测和背景窗口确认等方法确定火点像元。本研究提取的Himawari-8火点数变化为双峰曲线, 峰值时点为当地时间03:40和14:00。为检验本方法的精确度, 将Himawari-8火点与当天MODIS火点进行时空上的定量化比较, 结果表明, 与MODIS火点相比, 相应时刻Himawari-8火点数量较少。利用标准差椭圆分析方法, 对提取的Himawari-8火点与MODIS火点的空间分布进行定量化分析, 结果表明, Himawari-8火点的空间分布比MODIS火点更为分散, 但二者的整体分布方向及中心点比较接近, 总体空间分布趋势比较一致。同时, Himawari-8火点分布与相应时刻Himawari-8真彩色图反映的火情信息也比较吻合, 说明利用本文方法提取Himawari-8火点能够为森林火灾监测提供有效的信息。

由于Himawari-8卫星数据在时空分辨率上有大幅度的提高,因此未来在生物质燃烧火情的监测中将发挥更大的作用。在后续研究中,拟对原始数据进行空间校正和大气校正等处理,以期进一步提高Himawari-8火点的提取精度。

参考文献

- [1] Yan X Y, Ohara T, Akimoto H. Bottom-up estimate of biomass burning in mainland China. *Atmos Environ*, 2006, 40(27): 5262–5273
- [2] 周艺, 王世新, 王丽涛, 等. 基于 MODIS 数据的火点信息自动提取方法. *自然灾害学报*, 2007, 16(1): 88–93
- [3] Prins E M, Menzel W P. Trends in South American biomass burning detected with the GOES visible infrared spin scan radiometer atmospheric sounder from 1983 to 1991. *Journal of Geophysical Research*, 1994, 99(D8): 16719–16735
- [4] Giglio L, Descloitres J, Justice C O, et al. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sens Environ*, 2003, 87: 273–282
- [5] Schroeder W, Oliva P, Giglio L, et al. The new VIIRS 375 m active fire detection data product: algorithm description and initial assessment. *Remote Sens Environ*, 2014, 143: 85–96
- [6] Bessho K, Date K, Hayashi M, et al. An introduction to Himawari-8/9-Japan's new-generation geostationary meteorological satellites. *J Meteorol Soc Jpn*, 2016, 94(2): 151–183
- [7] 陈洁, 郑伟, 刘诚. Himawari-8 静止气象卫星草原火监测分析. *自然灾害学报*, 2017, 26(4): 197–204
- [8] 尤慧. 近十年东南亚森林扰动的遥感分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2013
- [9] Dozier J. A method for satellite identification of surface-temperature fields of subpixel resolution. *Remote Sens Environ*, 1981, 11(3): 221–229
- [10] Govaerts Y, Wooster M, Roberts G. Algorithm theoretical basis document for MSG SEVIRI fire radiative power (FRP) characterization. Eumetsat FRP Version 26, EUM/MET/SPE/06/0398 [EB/OL]. (2010–01–04) [2017–10–18]. <https://landsaf.ipma.pt/GetDocument.do?id=682>
- [11] 李亚君, 郑伟, 陈洁, 等. 气象卫星遥感火情监测应用. *上海航天*, 2017, 34(4): 62–72
- [12] 陈俊蕙. MODIS 数据云检测算法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007
- [13] Wooster M J, Roberts G, Freeborn P H, et al. LSA SAF meteosat FRP products — Part 1: algorithms, product contents, and analysis. *Atmos Chem Phys*, 2015, 15(22): 13217–13239
- [14] Yuill R S. The standard deviational ellipse: an updated tool for spatial description. *Geografiska Annaler*, 1971, 53(1): 28–39
- [15] Miettinen J, Shi C H, Liew S C. Fire distribution in peninsular malaysia, sumatra and borneo in 2015 with special emphasis on peatland fires. *Environ Manage*, 2017, 60(4): 747–757
- [16] Siegert F, Ruecker G, Hinrichs A, et al. Increased damage from fires in logged forests during droughts caused by El Nino. *Nature*, 2001, 414: 437–440
- [17] Page S, Hoscilo A, Wosten H, et al. Restoration ecology of lowland tropical peatlands in Southeast Asia: current knowledge and future research directions. *Ecosystems*, 2009, 12(6): 888–905