

Himawari-8 静止气象卫星草原火监测分析

陈洁¹, 郑伟, 刘诚
(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要: Himawari-8 (向日葵 8 号) 静止气象卫星的高空间分辨率、高观测频次和高时效特点, 在草原火灾监测具有很强优势。本文提出利用 Himawari-8 数据的自适应阈值火点监测算法, 并以 2016 年 4 月内蒙古自治区呼伦贝尔市边界境外草原火为例, 利用 22 个小时期间的 132 个时次 Himawari-8 数据, 对火情进行连续动态监测。结果显示, 本次火灾共持续 22h, 过火区域约 1500km², 火点像元最长持续时间约 6h。分析表明, Himawari-8 的 10min 一次密集观测频次可实现快速获取火点位置、面积、温度等火情信息, 通过分析多时次连续观测影像和火点信息, 火场在一段时间内从西向东的蔓延速度为 5.4km/h, 达到急进地表火程度, 因而 Himawari-8 可跟踪火场动态发展变化, 估算火场蔓延速度和方向以及火场类型, 提高卫星遥感草原火监测和预警能力。

关键词: Himawari-8; 静止气象卫星; 火点监测; 高观测频次

Application of Grassland Fire Monitoring Based on Himawari-8 Geostationary Meteorological Satellite Data

Chen jie¹, Zheng wei, Liu cheng

(National Satellite Meteorological Center, Beijing, 100081)

Himawari-8 is the next-generation geostationary meteorological satellite, which is developed by JMA and was been launched in October, 2014. As the successor to the MTSAT series, both units are equipped with highly improved Advanced Himawari Imagers(AHI). Its spatial resolution, observation frequency and position accuracy are

¹ 投稿日期:

基金项目: 农业部公益性行业专项课题“草原过火实际面积估算与火灾损失实时评估技术研究”课题(200903041)、中国气象局气象行业标准项目(QX/T-2016-41)联合资助。

作者简介: 陈洁(1983-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事卫星遥感技术在自然灾害、生态环境和气候变化等领域的应用研究。

E-mail: chenjie@cma.gov.cn

much better than the last generation, so it has large advantage in grassland fire monitoring. In this paper, we introduce the method of p fire monitoring algorithm self-adaptive threshold based on Himawari-8 data, and present an example by using Himawari-8 data to monitor dynamically the grassland fire located near the border of China in April of 2016. The monitoring results show that the fire lasted about 22 hours, the size of burned area were large than 1500 km², the longest duration of a fire pixel was about 6 hours. The result through analyzing a series fire information from successive Himawari-8 10 minutes frequency observation, shows that the expanding speed of the fire is 5.4 km in the direction from west to east during some duration, which is up to the extent of fast speed fire type, so it indicate that Himawari-8 can be well used to monitor the fire dynamically changing, get the location, area, temperature of the fire, evaluate the expanding speed, estimate the trends of fire development and then raise the ability of grass land fire monitoring and early warning by using remote sensing.

Key words:Himawari-8; geostationary meteorological satellite; fire monitoring; high-frequency observation

引言

火灾是陆地生态系统碳循环的重要影响因子,它改变着整个系统的碳循环过程与碳分布格局^[1],同时也是危害人民生命财产安全的重要灾害之一,火点信息及时获取是提高火情预警的重要环节。草原火灾通常具有突发性强,火势猛,蔓延速度快的特点,而且火灾发生地通常人烟稀少,不易察觉。因此,遥感监测成为草原火灾监测的重要方法^[2]。多年来,极轨气象卫星在草原火情监测方面发挥了重要作用,但由于极轨卫星观测频次每日较少,且集中在相对固定的几个时段,之间有数小时的空挡,对于变化快速的草原火,难以提供连续的火情监测信息。

静止气象卫星具有观测频次高,覆盖范围广的特点,对草原火灾的监测具有很强优势。Himawari-8(向日葵8号,以下简称H8)是新一代静止气象卫星,观测频次、空间分辨率都较上一代静止气象卫星有较大改进。对于草原火灾监测,利用H8静止气象卫星数据具有巨大的优势。

H8 作为新一代静止气象卫星，波段范围覆盖可见光至远红外，其中可见光 3 个通道，其最高空间分辨率为 500m，近红外和红外 13 个通道，总共 16 个通道，每 10 分钟完成一次全圆盘观测。卫星的上述特点在火点的快速发现和火情信息的快速获取中具有很强优势，无云条件下，可实现昼夜 24 小时连续监测，可对扑火救灾工作提供快速、准确的空间信息支持，提高火灾遥感监测响应速度。

本文介绍采用自适应阈值火点判识算法的 H8 火情自动监测方法，并以 2016 年 4 月内蒙古自治区呼伦贝尔市的境外草原火为例，介绍 H8 对草原火的监测应用特点。利用 H8 可快速获取火点位置、面积、温度等火情信息，通过分析多时段连续观测的火场影像和火情监测信息，可估算火场蔓延速度、方向以及火灾类型，密切跟踪火场动态发展变化。监测分析结果表明，利用 H8 静止气象卫星，可以更加快速、准确、全面、动态地监测分析草原火灾，对草原火灾的近实时监测、蔓延预测和快速评估具有重要意义。

1 Himawari-8 AHI 仪器特性介绍

Himawari-8 是新一代静止气象卫星，于 2014 年 10 月 7 日在日本种子岛航天中心发射升空，2015 年 7 月正式投入使用。该卫星质量为 3.5 吨，设计使用年限为 15 年。卫星星下点位于东经 140.7° 的赤道上空，高度约 35800km，采用三轴稳定的姿态控制技术^[3]。主要搭载的仪器是 AHI 成像仪^[4](The Advanced Himawari Imager)，该设备包含可见光至红外共 16 个通道，最高空间分辨率为 500m，可用于包括海洋水色、陆表植被、大气环境以及云参数等各方面领域，具体见表 1。H8 观测包括全圆盘、日本、热带气旋敏感区和澳大利亚边角共 4 个区域，共 6 个观测点，全圆盘每 10 分钟即可成像一次，见图 1。通道的多波段设置、空间分辨率的大幅提升以及观测的高频次特点为卫星遥感火情监测提供了有利的条件。

表 1 AHI 通道特性

通道号	中心波长(μm)	分辨率(km)	敏感对象
1	0.46	1	海洋水色、浮游植物、大气环境等
2	0.51	1	
3	0.64	0.5	陆地、云等
4	0.86	1	海洋水色、浮游植物等
5	1.6	2	陆地、云、积雪等
6	2.3	2	云

7	3.9	2	地表温度、云顶温度
8	6.2	2	卷云、大气水汽等
9	7.0	2	海洋水色、浮游植物等
10	7.3	2	
11	8.6	2	
12	9.6	2	大气水汽
13	10.4	2	
14	11.2	2	
15	12.3	2	
16	13.3	2	地表温度、云顶温度 云顶高度

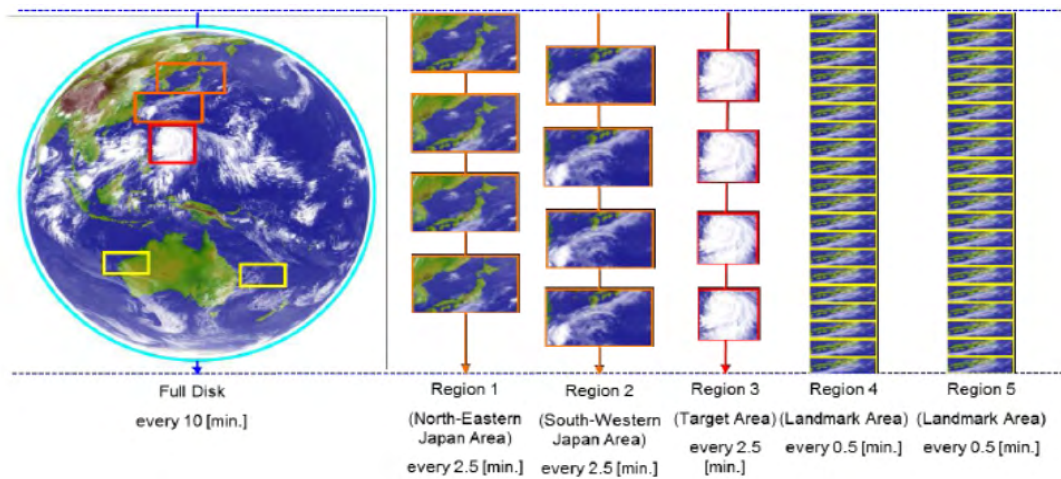
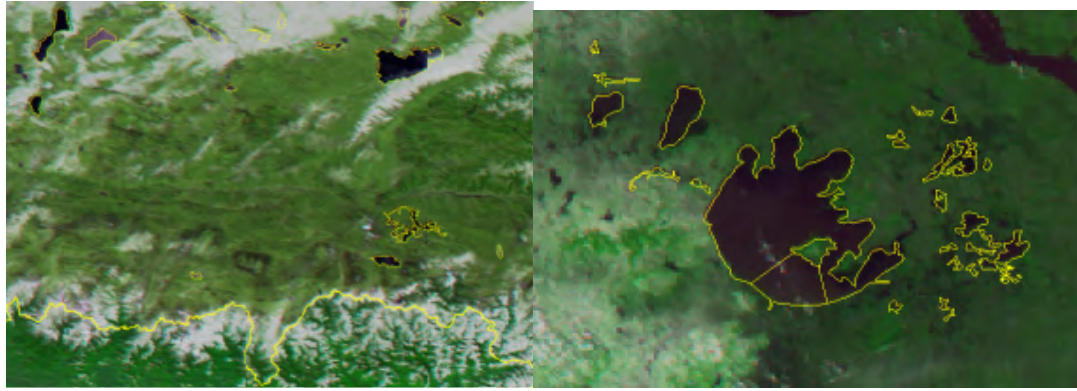


图 1 H8 卫星观测区域及成像速率

上述条件中，通道设置和观测频度对于火灾监测具有重要作用。另外，定位精度也是火灾监测中的需重点考虑的问题。在综合考虑地球曲率、地形影响、卫星观测角度影响的因素下^[5]，H8 卫星其定位精度可保持在 1 个像元以内，详见图 2，其中，图 2.a 是青藏高原高海拔区域定位情况，图 2.b 是太湖等地的低海拔区域定位情况，从图中可以看到，水体的矢量边界和卫星观测水体边界基本重合。该定位精度可以满足实际火情监测中的应用需求。



a、青藏高原高海拔区域

b、太湖等地低海拔区域

图 2 H8 卫星在中国部分区域的定位

2 H8 火点信息提取方法

2.1 火点判识原理

遥感火点判识的基本原理为依靠温度升高导致热辐射增强以及不同热红外通道增长幅度差异这两个条件^[6]。

自然界的不同物体由于自身温度及物理化学性质的不同，它们具有不同的波谱特性。当生物质燃烧时，主要的辐射源是火焰和具有较高温度的碳化物、水蒸气、烟等。根据斯蒂芬-玻尔兹曼定律，黑体辐射与温度的四次方成正比，即当黑体温度有微小的改变，就会引起辐射的很大变化，而高温热源的温度更加会引起辐射的急剧增加，这种变化有利于判识高温热源^[7]。

根据维恩位移定律，黑体温度和辐射峰值波长成反比，即温度越高，辐射峰值波长向短波方向移动。常温地表辐射峰值波长在 11 μm 左右，当生物质燃烧时，温度可达 750K 以上，辐射峰值波长位于 4 μm 左右。以物体未发生燃烧时的辐射为背景辐射，利用燃烧辐射与背景辐射的差异，可以从卫星遥感信息中及时发现火灾^[8]。H8 通道中包含 3.9 μm 、11.2 μm 和 12.3 μm 的热红外通道，其量化登记为 12 比特，星下点空间分辨率为 2km，各条件均有利于火点的判识。

2.2 火点判识算法

本文在 NPP/VIIRS 火点判识算法的基础上^[9-10]，结合静止气象卫星特点及中国草原区域植被固有特性，对原算法进行了改进，提出针对中国草原区域阈值变化的自适应算法，实现 H8 静止气象卫星火点昼夜连续监测。具体算法如下：

(1) 云检测：在火点判识中，云信息提取至关重要。利用云区可见光的高

反射（白天）特性以及热红外通道温度特性，区分非火点和云区。

(2) 大气纠正：对热红外通道数据利用 6S 辐射传输模型做大气纠正。

(3) 辐射校正：利用卫星和太阳的天顶角、方位角，校正可见光近红外的反射率以及热红外辐射亮温值。

(4) 背景像元亮温计算：火点像元判识的关键在于同背景温度的比较，背景亮温计算尤为重要，初始背景窗区大小为 5×5 个像元，背景像元亮温即窗口区内背景像元的平均温度，即 $T_{3.9bg} = \text{mean}(T_{3.9})$ ；但需要去除云区、水体、高温可疑火点像元，高温可疑像元的判识条件为：

$$T_{3.9} > T_{th} \text{ 或者 } T_{3.9} > T'_{3.9bg} + \Delta T_{3.9bg}$$

其中， $T_{3.9}$ 表示 3.9um 通道的亮温值， T_{th} 表示 3.9um 通道的亮温阈值，默认可采用窗口内所有像元平均值和对应的 2 倍标准差之和， $T'_{3.9bg}$ 表示窗口区内，相同土地利用类型的 3.9um 通道的亮温平均值， $\Delta T_{3.9bg}$ 表示可疑火点像元与背景亮温的差异，可用相同土地利用类型像元的 2.5 倍标准差表示。

如果 5×5 的窗区中满足上述条件的晴空像元不足 20%，将窗区扩大到 $7 \times 7, 9 \times 9, \dots, 51 \times 51$ ，若仍达不到要求，则像元放弃计算，标示为非火点像元。

(5) 火点像元确认：如果像元满足以下两项条件，可初步将该像元确认为火点像元。

$$(a): T_{3.9} > T_{3.9bg} + n1 \times \delta T_{3.9bg};$$

$$(b): \Delta T_{3.9_11} > \Delta T_{3.9_11bg} + n2 \times \delta T_{3.9_11bg};$$

其中， $\delta T_{3.9bg}$ 表示背景窗中 3.9um 亮温的标准差， $\Delta T_{3.9_11} = T_{3.9} - T_{11}$ (T_{11} 表示 11um 通道的亮温值)， $\Delta T_{3.9_11bg}$ ($T_{3.9bg} - T_{11bg}$) 表示背景窗 $\Delta T_{3.9_11}$ 的平均值， $\delta T_{3.9_11bg}$ 表示背景窗 $\Delta T_{3.9_11}$ 的标准偏差。该条件的设置主要目的在与区分窗口内不同下垫面类型像元固有亮温值的差异，当窗口区域内像元类型比较一致时， $\delta T_{3.9_11bg}$ 和 $\delta T_{3.9_11bg}$ 值较小，火点判识过程中，当 $\delta T_{3.9_11bg}$ 和 $\delta T_{3.9_11bg}$ 小于 2K 时，用 2K 替代，当大于 4K 时，用 4K 替代。 $n1$ 和 $n2$ 为背景系数，该系数随监测的不同区域、不同时间以及不同角度均随时变化。对于北方草原地区， $n1$ 可设为 3， $n2$ 可设为 3.5。

(6) 耀斑角滤除：当初步判识为火点像元的可见光、近红外反射率大于 0.3，3.9um 通道亮温大于 305° ，并且耀斑角小于 30° 时，则该像元为耀斑点，剔除

火点属性。

(7) 常年高温的滤除：常年高温点通常以人工热源为主，利用土地利用类型等辅助数据进行删选剔除。

(8) 确认火点可信度类型：利用监测像元与窗区背景像元的不同温差值确定火点可信度，可信度越高，判识为火点的可能性越高。火点可信度类型定义为：火点： $T_{3.9} > T_{3.9bg} + T$ ；可能火点： $T_{3.9} < T_{3.9bg} + T$ ；云区火点：火点位于云区边缘。 T 为火点可信度亮温阈值，可采用窗口内，与被判识为火点，且相同土地利用类型所有像元的3倍标准差表示。

3、应用个例分析

利用本文提出的方法，针对2016年4月19日~20日我国内蒙古自治区呼伦贝尔市境外草原火情事件，连续监测了火情的动态发展过程。该火场监测采用的原始热红外通道分辨率为2km，为匹配云检测产品分辨率，将所有通道空间分辨率统一采样到 0.01° ，观测时间间隔10min。

本次草原火开始于2016年4月19日13:40(北京时，下同)，于20日11:40熄灭，共持续22h，影响范围达 1500km^2 。整个草原火过程中，H8卫星共观测132次，其中经监测获取带有火点的时次共122次，剩余10次中，9次因厚云影响未获得下垫面火情信息，1次因H8数据问题未传输。因火点监测次数较多，本文以每4h监测展示监测结果。图4中a-f分别表示2016年4月19日13:40、17:40、21:40，20日01:40、05:40、09:40共6景火点监测图，其中a、b、e、f为红、近红外和绿三通道合成图，c和d处于夜间，无可见光通道，仅采用 $3.9\mu\text{m}$ 单通道显示。图中可以看到，火点开始于较小范围(图4.a中白色箭头所指处)，随着时间推移，火点范围逐渐增大(图4.b-d)，到20日，火点范围减小(图4.e-f)，11:40后卫星监测不到火点。

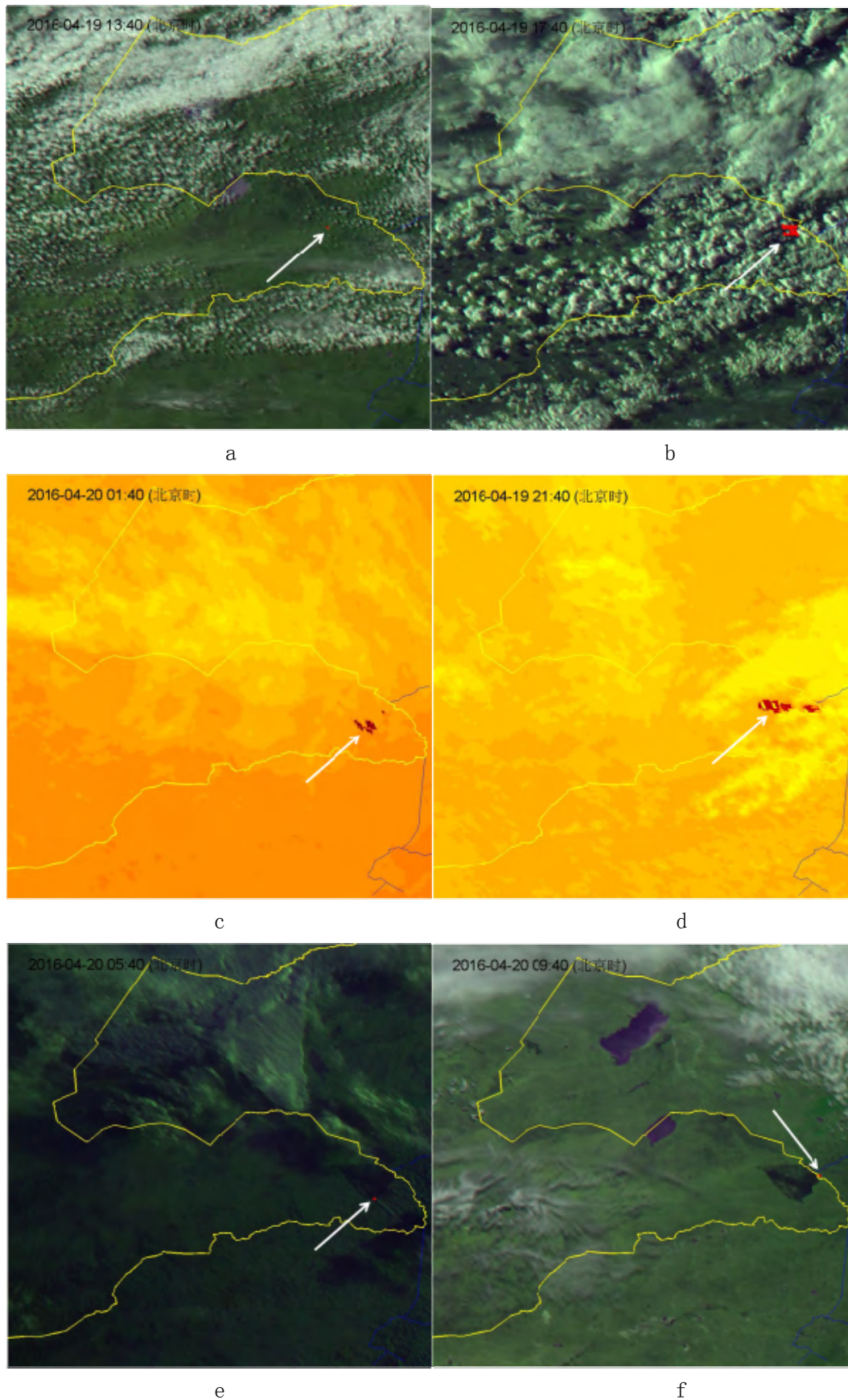


图4 我国内蒙古边界境外火点监测图
(a-f 分别表示 19 日 13:40、17:40、21:40, 20 日 01:40、05:40、09:40 单时次图像)

利用多时次连续观测可以获取火点动态发展空间分布和持续时间,如图 5 和图 6。从图 5 可见,火灾初始发生在距离内蒙古自治区新巴尔虎左旗约 26 公里处的蒙古国,火势随后往东南方向发展,火势发展的主要时间段位于 4 月 19 日夜 22:00 左右,4 月 20 日,火势继续向东和向南方向蔓延,向东越过边界至新巴尔虎左旗。图 6 表示火灾像元持续时间,从图中可以看到,最少持续时间不超过 1h,最多持续时间达到 6 h,绝大部分区域火灾持续时间在 2h 以内。

通过对图 5 和图 6 分析,可进一步估算此次草原火的蔓延速度和火场蔓延类型。火场初发点位于过火区西北角,东经 118.77° ,北纬 47.40° 。火场南端位于东经 119.36° ,北纬 46.96° ,距初发点直线距离约 60 公里,参考图 5 中的火场观测时间,下午 14:00 至凌晨 24:00,火场向南蔓延 40 公里,平均速度约 4km/h ;火场东北角位于东经 119.44° ,北纬 47.40° ,距初发点距离约 44km,参考图 5 中的观测时间,火场初发点至东北端边界均为蓝色,即火场从 14 时至 22 时,以均匀的高速度快速向东蔓延,仅 8h 就到达我国边境附近,火场蔓延平均速度约 5.5km/h 。同时,从火点持续时间(图 6)中可见,蓝色区域范围较大,即火场中各像元的持续时间在 1h 以内,部分火点像元仅维持 $10\sim 20\text{min}$,同样说明本次草原火的火线推进速度较快,20 日 02:00 以后,火点主要位于过火区南端,火点持续时间维持在 2h 以上,即到达南端以后,火线推进速度明显变缓。根据草原火类型定义,地表火蔓延速度在 4km/h 以上为急进地表火,速度在 $1\sim 3\text{km/h}$ 为稳进地表火。通过分析,估计本次草原火类型为急进地表火。综合上述分析可以看到,利用 H8 静止卫星的草原火点动态监测,估算火线推进速度,对火情预警和发展提供了重要依据。

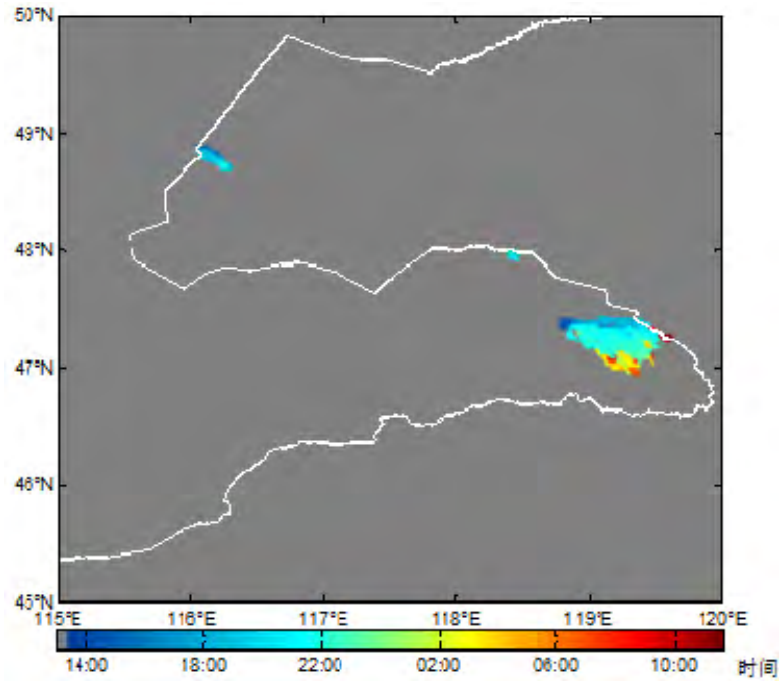


图 5 H8 卫星遥感监测火点动态发展变化

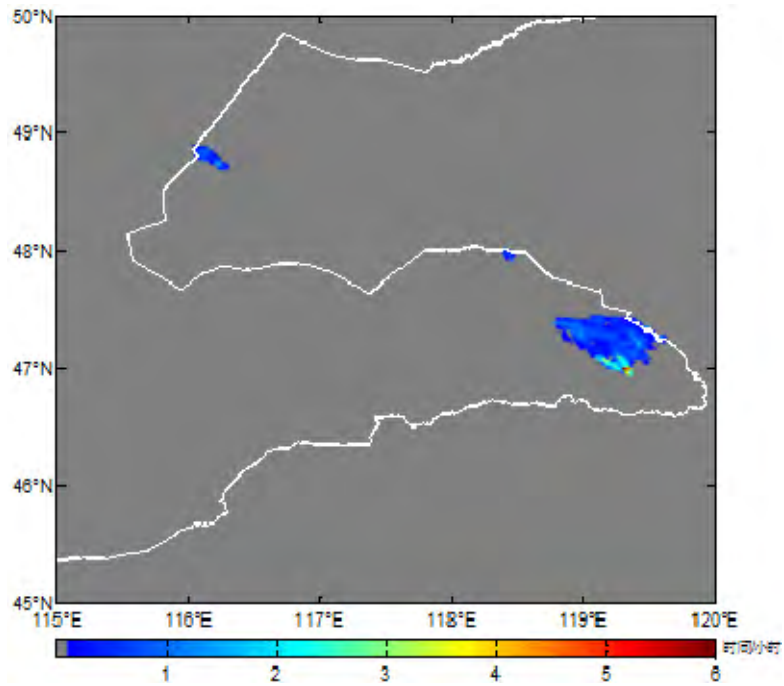


图 6 H8 卫星遥感监测火点持续时间

4 结论

(1) 基于 H8 静止卫星数据, 本文提出的中国草原区域阈值变化的自适应算法能有效应用到草原火灾监测中, 快速准确获取火点位置、面积、温度等火情信

息。

(2) H8 静止卫星在火情监测中能充分发挥卫星遥感时效高, 观测频次多的优势, 通过分析多时次连续观测的火情影像和火情监测信息, 可估算火场蔓延速度和方向, 获取草原火灾动态变化及持续时间, 对火灾的实时观测、火情发展以及快速评估具有重要意义。

(3) 通过 H8 连续动态监测火情信息, 可为预测草原火发展提供重要依据。由于草原火蔓延受风力风向影响很大, 而大部分草原区域周边缺少地面观测信息, 因此, 利用密集观测频次的火点信息可预测草原火发展, 为草原防火部门及时采取防火措施提供重要依据。

参考文献:

- [1] 吕爱锋, 田汉勤, 刘永强. 火干扰与生态系统的碳循环[J], 生态学报, 2005,25(10):2734-2743.
LV Aifeng, TIAN Hanqin, LIU Yongqiang. State-of-the-Art in quantifying fire disturbance and ecosystem carbon cycle[J]. ACTA ECOLOGICA SINICA, 2005,25(10):2734-2743.
- [2] 郑伟, 邵佳丽, 王萌, 等. 多源卫星遥感草原火灾动态监测分析[J], 自然灾害学报, 2013,22(3):54-61.
ZHENG Wei, SHAO Jiali, Wang Meng, et al. Dynamic Monitoring and analysis of grassland fire based on multi-source satellite remote sensing data[J]. Journal of Natural Disasters,2013,22(3):54-61.
- [3] Japan Meteorological Agency. New Geostationary meteorological satellites —Himawari-8/9,2014
- [4] Dr. Paul, C. Griffith, Advanced HimawariImager(AHI) Design and Operational Flexibility[C],2016.
- [5] H. Goncalves, J.A. Goncalves, L. Corte-Real. Measures for an Objective Evaluation of the Geometric Correction Process Quality. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 2009,2(6):292-296
- [6] Matson M, Schneider S R. Fire Detection Using the NOAA-Series Satellite. NOAA Technical Report NESDIS 7. 1984.
- [7] 戎志国, 刘诚, 孙涵, 等. 卫星火情探测灵敏度试验与火情遥感新探测通道选择 [J]. 地球科学进展, 2007, 22(8): 866-871.
RONG ZhiGuo, LIU Cheng, SUN Han, et al. Sensitivity experiment for fire detecting using satellites' data and new detection channel selection for fire remote sensing [J]. Advances in Earth Science. 2007, 22(8): 866-871. (in Chinese)
- [8] 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[J], 自然灾害学报, 2007, 16(1): 88-93.
ZHOU Yi, WANG Shixin, WANG litao, et al. MODIS Data-based automatic extraction of information on fire spot.[J]. Journal of Natural

Disasters,2007,16(1):88-93.

- [9] Miller, S. and Q. Liu, 2002: VIIRS Active Fires Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD),Version 5, Raytheon ITSS.
- [10] Northrop Grumman Space & Mission Systems Corporation,2011:VIIRS Active Fires: Fire Mask Algorithm Theoretical Basis Document ATBD (Ref P1187-TR-I-001).