

# 华北平原秸秆焚烧火点的 MODIS 影像识别监测

胡梅<sup>1</sup>, 齐述华<sup>1</sup>, 舒晓波<sup>1</sup>, 陈良富<sup>2</sup>

(1 江西师范大学地理与环境学院, 南昌 330025; 2 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘要:** 本文利用 Terra/MODIS 1B 级数据, 基于火点像元亮温特征及其与背景亮温的偏差来提取华北平原秸秆焚烧火点信息。文中采用 MODIS 1B 500m 分辨率下的第 1、4、3 波段反射率产品进行 RGB 合成, 基于 GIS 平台叠加火点信息和地理基础数据生成华北平原 5 省 2 市秸秆焚烧火点分布图。本文结合火点分布图对研究区 2007 年 6 月 17 日和 18 日的火点数目进行了统计: 结果表明, 河南、河北地区的火点较多, 山东、河南等境内火点数目分布区域有较大扩展。通过遥感监测秸秆焚烧信息, 可为环境监测部门提供环境监测数据; 同时能提高秸秆焚烧预警和日常监控能力, 兴利保护生态环境。

**关键词:** 秸秆; 火点; 遥感; 华北平原

## 1 引言

2006 年 6 月 20 日, 北京周边地区农民焚烧秸秆, 大量浓烟使得北京市的空气可吸入颗粒物污染程度达到正常状况的 6~9 倍, 能见度急降至 10m 以下<sup>[1]</sup>。黄淮海平原等冬小麦主产区大面积秸秆焚烧产生许多黑烟, 释放出大量的氮氧化物、二氧化碳、烟尘等污染物, 影响人们日常生活。

据统计, 我国每年约有 1.4 亿 t 秸秆被露天焚烧, 约占其全年产量的 1/4<sup>[2]</sup>。全国农村和大中城市郊区等地秸秆集中焚烧现象严重, 特别是在农作物夏收、秋收季节, 严重污染大气环境。根据总悬浮颗粒物和可溶性钾的分析表明, 燃烧麦秸是大气环境污染的主要原因<sup>[3]</sup>。2003 年, 河北、江苏和山东等地秸秆焚烧期间单位面积大气颗粒物 PM 排放量位于全国前列, 高达 100kg/km<sup>2</sup><sup>[2]</sup>。相关研究指出, 燃烧麦秸会增大大气中颗粒物多环芳烃 (PAHs) 含量<sup>[3]</sup>。由于多环芳烃 PAHs 具有致癌性和免疫毒性, 对人体健康有害。

近年来, 国家和政府对秸秆禁烧和综合利用工作十分重视。2007 年, 国家环境保护总局办公厅下发了“关于进一步加强秸秆禁烧工作的紧急通知”, 要求进一步加强做好农作物秸秆禁烧和综合利用工作, 集中力量确保重点交通干线安全和

大气环境质量。

利用遥感环境监测手段, 可以获取局部范围的秸秆焚烧烟尘浓度等信息, 实现快速收集和定量分析, 在大面积范围内快速监测秸秆焚烧情况。

美国地球观测系统 EOS 上的 MODIS 载荷具有多光谱通道、灵敏度高, 可以一天 4 次获得地球上同一地区对地观测数据, 能够满足秸秆焚烧实时监测需求。MODIS 光谱仪的火灾图像能监测到数十米至上万平方公里的火场。张树誉等<sup>[4]</sup>利用 MODIS 数据对关中地区秸秆焚烧状况进行了监测研究。何立明等<sup>[5]</sup>利用 MODIS 遥感数据, 在大面积范围内监测全国秸秆焚烧情况。本文利用 Terra/MODIS 获得地表温度异常信息后, 提取秸秆焚烧火点信息, 生成华北平原 5 省 2 市秸秆焚烧火点分布图和火点统计表, 与 RGB 彩色图像合成形成遥感监测秸秆焚烧专题图。

## 2 数据分析与处理

### 2.1 MODIS 影像数据采集分析

秸秆焚烧火点监测需求具有实时性, 要求获取每天 MODIS 影像数据。为提取火点和制作专题图。卫星影像 Terra/MODIS 1B 数据 (空间分辨率为 1KM、HKM) 和 MOD03 几何定位数据, 系从

收稿日期: 2007-05-27; 修回日期: 2008-08-07

作者简介: 胡梅 (1983-), 女, 江西南昌人, 硕士生, 主要研究方向为遥感与地理信息系统应用。

E-mail yangye315@163.com

<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>  
卫星数据中心获取。

利用相同传感器在不同时间获得的图像镶嵌要求一定的重叠度,这就需要通过几何纠正将所有要镶嵌的图像纠正到统一的坐标系中。对于火点点状目标监测来说,最近邻方法重采样,获得辐射保真度较好<sup>[6]</sup>。同一成像时间相同成像条件的两幅或多幅图像的镶嵌问题比较简单,图像辐射亮度水平没有太大的差异,只要依据地理位置信息,即可建立图像对应关系实现几何上的图像拼接<sup>[7]</sup>。

## 2.2 基础地理数据与监测底图制作

秸秆焚烧专题图制作辅助数据为行政区划、人口分布信息等。根据火点监测范围大小,需要不同等级的行政区划边界矢量图,这利于对重点区域进行秸秆焚烧位置分析。

在火点焚烧遥感图像判读之前,进行图像增强处理,以增大不同地物影像的密度差。遥感假彩色合成图像能比较全面地反映各种地物在可见光波段的颜色差别和近红外波段的反射特征<sup>[8]</sup>。在波段数据组合中,本文采用 MODIS 1B 500m 分辨率的第 1、4、3 波段反射率产品进行 RGB 合成,三个波段分别被赋红、绿、蓝颜色依次叠加,最后生成 RGB 合成图像。这种清晰反映地面状况的近天然色图像,符合人眼视觉判别标准,有利于对火点所在区域的定位。

根据秸秆焚烧火点监测面对对象的不同要求,以假彩色合成影像为背景,叠加火点信息矢量文件,匹配行政区划矢量图,制作不同尺度专题图,本文监测华北平原 5 省 2 市秸秆焚烧火点分布。制图的具体技术流程见图 1。

## 3 秸秆焚烧火点识别监测原理、算法与应用

### 3.1 秸秆火点识别原理

根据普朗克定律,具有不同温度的物体,其向外界辐射能量的通量密度也是不同的。这亦是热红外遥感获取陆地表面温度的基本原理。研究发现 MODIS CH21、CH22、CH31 通道 RGB 合成,并经过线性拉伸的影像可以清晰地凸现热点信息:热异常点呈现亮白色,与灰色背景形成明显反

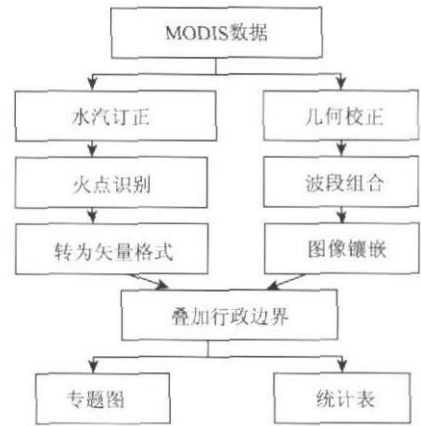


图 1 专题图制作技术流程

Fig 1 Special subject map production flow chart

差<sup>[9]</sup>。火点判识是基于火点像元亮温特征及其与背景亮温的偏差,经过处理的火情监测直观地反映出焚烧火点、烟雾等重要火情信息。通过火情与不同敏感波段的相关性,获取地面热异常点信息。

文中采用波长为  $4\mu\text{m}$  的中红外波段和  $11\mu\text{m}$  热红外波段,其亮度温度值分别以  $T_4$  和  $T_{11}$  来表示。

### 3.2 火点监测算法

#### (1) 水汽订正

秸秆火点影像提取时,系采用  $T_4$  和  $T_{11}$  组合来订正气体的吸收,以提高地表温度的反演精度。

#### (2) 亮度温度转换

根据 MODIS 1B 级图像灰度值的辐射增益和辐射偏移,将灰度值转换为辐射亮度值:

$$L = \text{radiance\_scale} \times DN - \text{radiance\_offset} \quad (1)$$

式中  $L$  为传感器相应通道像元的表观辐射亮度 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ),  $DN$  为图像上像元灰度值,  $\text{radiance\_offset}$  为定标偏移量,  $\text{radiance\_scale}$  为定标增益量。

根据普朗克公式,将图像辐射亮度值转换为亮度温度:

$$T = \frac{hc}{k\lambda} \cdot \frac{1}{\ln(2hc^2\lambda^{-5}L^{-1} + 1)} \quad (2)$$

式中  $T$  为像元的亮度温度 (K);  $c$  为光速  $2.998 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $\lambda$  为波段中心波长 ( $\mu\text{m}$ );  $h$  为普朗克常数  $6.6256 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ;  $k$  为波尔兹曼常数  $1.380 \times 10^{-23} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

### (3) 火点提取

火点提取需要建立被监测点与其周围像元点温度间的关系, 并采用绝对阈值判断法和相对阈值判断法予以实现。秸秆焚烧属于地表火, 火点温度较林火等树冠火低<sup>[4]</sup>, 其与一般亮表面物体如玻璃建筑物、裸露岩石、水泥马路等相比, 秸秆焚烧火点温度较高。因此, 绝对阈值判断条件选择  $\Delta T_{41} = T_4 - T_{11} \geq 20K$  (夜间为 10K) 和  $T_4 > 325K$  (夜间为 310K), 满足该条件的热异常点作为火点。

针对绝对阈值判断法可能漏判火点, 采用相对阈值判断法提取背景相关信息  $T_{4b}$ 、 $\Delta T_{41b}$ 、 $\delta \Delta T_{41b}$ 、 $\delta T_{4b}$ 、 $T_{11b}$ 、 $\delta T_{11b}$  判断火点。选择判断条件  $\Delta T_{41} = T_4 - T_{11} < 20K$  (夜间为 10K) 和  $T_4 < 325K$  (夜间为 310K) 作为背景窗, 用来计算背景温度, 计算过程以火点像元为中心计算其周围像元的平均温度。首先, 获取波长为  $11\mu m$  热红外通道的背景温度  $T_{11}$  和它的标准偏差  $\delta T_{11}$ 。用同样的方式, 计算得到波长为  $4\mu m$  中红外通道的背景亮温值  $T_{4b}$  和它的标准偏差  $\delta T_{4b}$ , 进一步计算背景窗中  $\Delta T_{41}$  的平均值  $\Delta T_{41b}$  和它的标准偏差  $\delta \Delta T_{41b}$ <sup>[10]</sup>。波长为  $4\mu m$  的潜在火点温度平均值和它的标准偏差分别以表示  $T'_{4b}$  和  $\delta T'_{4b}$ 。

文中相对阈值判断法采用 Giglio 等<sup>[11]</sup> 火点算法。该算法基于 Kaufman 等<sup>[12]</sup> 提出的 MODIS 火点监测算法上作了改进, 可提高小火点和低温火点的敏感度。其设有 5 个逻辑条件 (A、B、a、b、X), 如果像元点满足以下条件:  $T_4 > 360K$  (夜间为 320K) 或者  $[(A) \text{ and } (a) \text{ and } (B)] \text{ and } [(b) \text{ or } (X)]$ , 就可以将该点确认为火点<sup>[11]</sup>。5 个火点检测逻辑条件分别是:

$$A: \Delta T_{41} > \Delta T_{41b} + 3.5\delta \Delta T_{41b};$$

$$B: T_4 > T_{4b} + 3\delta T_{4b};$$

$$a: \Delta T_{41} > \Delta T_{41b} + 6K;$$

$$b: T_{11} > \Delta T_{11b} + \delta T_{11b} - 4K;$$

$$X: \delta T'_{4b} > 5K.$$

在此方法中, 假定火点像元温度与周围像元温度间的相关性随像元间距离增加而减小。确定火点温度时, 要求非火点像元的个数在所有分析点中不低于 25%。根据这一条件调整背景窗, 直到满足 25% 的要求。这种方法可以消除由于下垫面地物类型不同和火点规模变化对背景温度计算带来的影响, 以保证火点提取精度和算法在大范

围火点监测适用性<sup>[13]</sup>。

### (4) 去除耀斑

如果波长为  $0.65\mu m$  和波长为  $0.86\mu m$  两个通道反射率都大于 0.3 (相当于波长为  $4\mu m$  通道的亮温值大于 312K), 且耀斑角小于  $40^\circ$ , 则判断该像元为非火点<sup>[9]</sup>。

### (5) 火点统计

利用 ARCGIS 平台, 通过将火点数据与县界以及省界矢量图做空间图像交运算生成结果属性集合, 得到火点发生的所属地区、火点数目和分布密度情况。

## 4 结果与讨论

目前, 对不同地区 MODIS 火灾探测方法<sup>[6]</sup> 与 MODIS 火点算法不断得以完善和应用<sup>[6, 7, 11]</sup>。本文在现有热异常算法的基础上, 建立了华北平原地区秸秆焚烧的火点识别算法, 以及生成秸秆焚烧监测专题图和火点统计的技术处理流程。

根据曹国良等<sup>[2]</sup> 利用农村生活水平等基础资料分析表明, 2000~2003 年全国秸秆露天焚烧量最高的地区为山东, 其次为河南、江苏、河北地区。2002 年, 全国秸秆焚烧火点数目最多的省份依次为河南、江苏、山东、安徽和河北地区, 五省秸秆焚烧火点占当年全国秸秆焚烧火点总数的 54.3%<sup>[5]</sup>。2005 年, 江苏、安徽、山东和河南等地依次成为全国焚烧最严重的地区<sup>[5]</sup>。由此可见, 华北平原地区秸秆焚烧现象较严重, 为我国秸秆禁烧工作的重点地区。

研究区范围为  $32^\circ \sim 42^\circ N$ ,  $110^\circ \sim 123^\circ E$ , 包括北京市、天津市、河北省、山东省、河南省、安徽省和江苏省等 7 省、市境域。该地区每年 6 月份冬小麦陆续进入收割期, 大量秸秆焚烧产生的烟雾, 导致空气质量下降。

2007 年 6 月 17 日, 用 Terra MODIS 监测结果表明, 华北平原 5 省 2 市地区共有 54 个秸秆焚烧火点 (不包括云覆盖下的火点信息), 共涉及 22 个县, 主要分布在河南省和河北省 (见图 2 表 1)。该日, 河南省永城市遥感监测秸秆焚烧火点数目最多, 达 21 个。大多数火点具有由南向北羽状分布的烟雾带, 初步判断这些地区为火点旺盛的区域。通过卫星遥感反演结果对比发现, 6 月 18 日秸秆焚烧火点数目有所增加, 共有 63 个

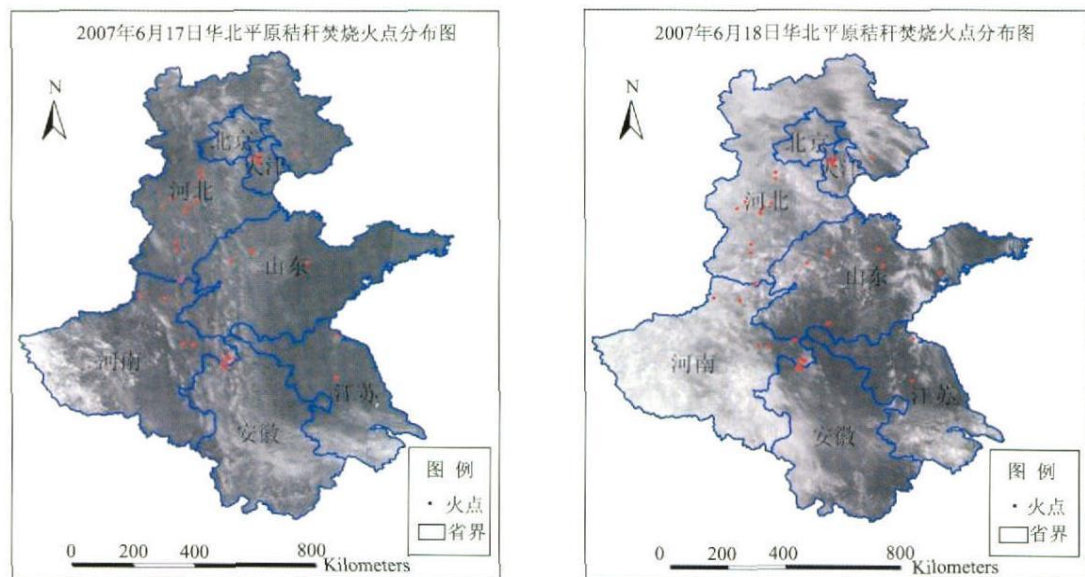


图 2 2007年 6月 17日、18日华北平原秸秆焚烧火点分布图 (红色为检测出的火点)

Fig. 2 The distribution of fire- points from crop burning in North China Plain on 2007- 06- 17 and 2007- 06- 18 (red dot represents fire- point)

表 1 2007年 6月 17日华北平原秸秆焚烧火点统计表

Tab. 1 The statistics of fire-points from crop burning in North China Plain on 2007- 06- 17

省份	县市	火点像元个数
河北	定州市	1
河北	晋州市	3
河北	任县	1
河北	南和县	1
河北	安国市	1
河北	正定县	1
河北	魏县	1
河北	徐水县	1
河北	行唐县	1
河北	易县	3
山东	济阳县	2
山东	青州市	1
山东	高唐县	1
河南	浚县	2
河南	睢县	1
河南	永城市	21
河南	宁陵县	1
河南	辉县市	2
安徽	涡阳县	1
江苏	灌云县	1
江苏	淮安市	1
天津	武清区	6
总计		54

表 2 2007年 6月 18日华北平原秸秆焚烧火点统计表

Tab. 2 The statistics of fire-points from crop burning in North China Plain on 2007- 06- 18

省份	县市	火点像元个数
河北	晋州市	3
河北	易县	3
河北	定州市	1
河北	任县	1
河北	安国市	1
河北	行唐县	1
河北	徐水县	1
河北	唐山市	1
河北	魏县	1
河北	南和县	1
山东	济阳县	2
山东	青州市	2
山东	滕州市	3
山东	广饶县	2
山东	高唐县	1
山东	胶州市	1
河南	浚县	2
河南	睢县	1
河南	永城市	18
河南	宁陵县	1
河南	辉县市	2
河南	虞城县	4
安徽	涡阳县	1

续表 2

省份	县市	火点像元个数
江苏	灌云县	1
江苏	淮安市	1
天津	武清区	6
天津	宝坻区	1
总计		63

(见表 2)。河南、河北地区的火点仍然较多, 山东、河南等境内火点数目分布区域有较大扩展。由于华北平原地区此时进入夏季, 日益高温闷热, 常常出现霾, 气象条件原本就不利于污染物的扩散, 再加上小麦秸秆燃烧产生的烟雾, 极易导致空气质量下降。大面积集中焚烧小麦秸秆产生的烟雾影响到整个华北地区以及渤海、黄海上空。

本文以华北平原 5 省 2 市为研究区, 利用 2007 年 6 月 17 日和 18 日两天数据对秸秆焚烧进行监测, 提取出华北平原地区的热异常信息, 完成秸秆焚烧的信息统计表。从而可对市、县、区秸秆焚烧重点区域进行督查, 有效地开展秸秆禁烧工作。由于火点监测的阈值确定和不同地区的背景具有一定的关系, 所以对火点提取准确精度、火点类型、火点影响面积等方面需要作进一步的验证和探讨。

## 参考文献

- [1] 黄建华. 河北烧麦秸“怪雾”呛京城 [N/OL]. 北京青年报, 第 6477 期. 2006-06-21.
- [2] 曹国良, 张小曳, 王亚强等. 中国区域农田秸秆露天焚烧排放量的估算. 科学通报, 2007, 52(15): 1826~1831.
- [3] 赵起越, 李新中, 陈添. 燃烧麦秸对大气颗粒物中环芳烃含量的影响. 岩矿测试, 2003, 22(4): 274~276.
- [4] 张树誉, 李登科, 李星敏等. 卫星遥感在秸秆焚烧监测中的应用. 气象, 2005, 31(9): 83~86.
- [5] 何立明, 王文杰, 王桥等. 中国秸秆焚烧的遥感监测与分析. 中国环境监测, 2007, 23(1): 42~50.
- [6] 周梅, 郭广猛, 宋冬梅等. 使用 MODIS 监测火点的几个问题探讨. 干旱区资源与环境, 2006, 20(3): 180~183.
- [7] Giglio L. MODIS collection 4 active fire product user's Guide Version 2.3. Science systems and applications 2007 (17).
- [8] 朱述龙, 朱山, 王红卫. 遥感图像处理与应用. 北京: 科学出版社, 2006, 81~110.
- [9] 周小成, 汪小钦. EOS-MODIS 数据林火识别算法的验证和改进. 遥感技术与应用, 2006, 21(3): 206~211.
- [10] 王正兴, 刘闯, 赵冰茹等. MODIS 火点数据产品参考规范(讨论稿) [EB/OL]. 中国科学院地理信息与资源研究所和中国科学院中国遥感卫星地面站联合 MODIS 共享平台, <http://www.nfi.eos.cn/html/criterion/fire/02-1.htm#1>
- [11] Giglio L, Descloitres J, Justice C, et al. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. Remote Sensing of Environment, 2003, (87): 273~282.
- [12] Kaufman Y J, Herring D D, Ranson K J, Collatz G J. Earth observing system AMI mission to earth. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1998, (36): 1045~1055.
- [13] 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.
- [14] Justice C, Giglio L, Boschetti L, et al. MODIS fire products version 2.3. Algorithm Technical Background Document, 2006, 12.
- [15] 国家环保部. 关于进一步加强秸秆禁烧工作的紧急通知. 环办〔2007〕68号文件.

## Monitoring Fire from Crop Residues Burning with MODIS Data in North China Plain

HU Mei<sup>1</sup>, QI Shuhua<sup>1</sup>, SHU Xiaobo<sup>1</sup>, CHEN Lingfu<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Geography and Environment Department Jiangxi Normal University, Nanchang 330025, China)

(<sup>2</sup> Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract** Based on the fire pixels brightness temperatures characteristics and their difference with background, the fire-points from crop burning were picked up by fire detection algorithm with MODIS 1B data for the North China Plain. The fire-points from crop burning detection algorithm uses the neighboring pixels to estimate the radiometric signal of the potential fire pixel. The brightness temperatures were derived from the 4- and 11- $\mu$ m channels. Together with geographic data and fire information, the fire distribution map of the North China Plain was got with the MODIS 1, 4 and 3 bands reflectance product. The intersect operation was used to count number of fire-points from crop residues burning in North China Plain on Jun 17th and Jun 18th of 2007 with ArcGIS. The results show that the fire-points from crop residues can be found for these two days, and most of the fire-points were detected in Henan and Hebei provinces, and the number of fire-points has an increasing trend in Henan and Shandong provinces. Remote sensing can be used to detect the fire-points from crop residues burning at regional scale. It will improve the efficiency of prohibiting crop residues burning.

**Key words** crop residues, fire-points, remote sensing, North China Plain

### GeoEye-1: 全球分辨率最高的商业对地观测卫星

2008年9月6日成功发射的美国GeoEye-1卫星是迄今全球技术最先进、分辨率最高的商业对地观测卫星,能提供0.41m全色和1.65m多光谱影像,定位精度达3m。GeoEye-1具有极强的测图能力,每日可采集近70万 $\text{km}^2$ (相当于青海省面积)全色影像或近35万 $\text{km}^2$ (相当

于湖南、湖北两省面积之和)全色融合影像,其重访周期为2~3天,即卫星3日以内便可重访地球任一点进行观测。GeoEye-1于12月正式商业运作,届时将在遥感应用的各领域发挥其优势。

(资料提供:北京同天视地空间技术有限公司)