



论 文

基于 HJ-1B 卫星的作物秸秆提取及其焚烧火点判定模式

田庆久*, 王玲, 包颖, 李姗姗

南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093

* 通信作者. E-mail: tianqj@nju.edu.cn

收稿日期: 2011-06-03; 接受日期: 2011-07-28

全球变化研究国家重大科学研究计划 (批准号: 2010CB951503)、国家重点基础研究发展计划前期研究专项课题 (批准号: 2010CB434801) 和国防科技工业民用科研技术研究项目 (批准号: 2006A100602) 资助

摘要 作物秸秆焚烧产生的气体和颗粒物严重污染大气环境, 威胁人类健康, 给交通带安全带来隐患, 利用遥感技术优势监管秸秆焚烧火点具有重要的现实意义. 文中基于 HJ-1B 卫星 CCD 多光谱遥感数据和 IRS 热红外遥感数据, 以中国江苏中东部为研究区, 开展作物秸秆提取及其焚烧火点判定的一体化研究. 根据秸秆的光谱特征研究建立了秸秆乘积指数 (SMI), 结合其纹理信息可从 HJ-1B CCD 遥感图像上快速有效的提取出秸秆分布, 继之结合修正后的火点探测算法可对 HJ-1B IRS 遥感数据进行火点提取. 在秸秆分布和火点探测结果矢量化的基础上, 通过 GIS 技术进行火点叠置分析, 可有效地判定作物秸秆火点分布, 同时结合实地调研及与 MODIS 火点产品比对分析验证评价了本研究方法的可行性和有效性.

关键词 作物 秸秆 火点 HJ-1B 卫星 IRS

1 引言

随着农业收割机械化的发展, 农民常常采用焚烧的方式处理作物收割后的残留秸秆^[1]. 焚烧残留秸秆虽然是一种即快速又经济的处理方式, 但是在燃烧过程中会产生大量的 CO、CO₂、氮氧化物、苯和多环芳烃等有害气体及可吸入颗粒物^[2,3], 不仅会造成大气环境质量的显著下降, 直接影响当地居民的身体健康, 而且可能干扰城市地面交通和航班的正常运营, 引发交通事故, 降低运输效率^[4,5].

由于秸秆焚烧火点分布在各县、乡, 不易查证, 难以统计, 因此对作物秸秆焚烧的治理往往无的放矢, 难以奏效. 卫星遥感技术具有时效性强、覆盖范围宽、光谱分辨率高、资料获取快捷的优势, 利用卫星遥感技术可以动态、准确地获取大范围的秸秆分布情况, 有效地预防违规焚烧秸秆事件的发生, 可以实时地监测到秸秆焚烧火点的位置, 便于有关部门有针对性地开展秸秆焚烧的督查和治理工作. 国内外在卫星遥感监测秸秆焚烧方面已经开展了较多的研究, 但主要是基于 MODIS^[6,7]、AVHRR^[8-10] 的卫星观测数据进行的. MODIS 和 AVHRR 具有高的时间分辨率, 可以连续地追踪秸秆焚烧情况, 但是两者的空间分辨率较粗, 会遗漏若干小规模秸秆焚烧, 当前 MODIS 能探测到最小面积为 50 m²

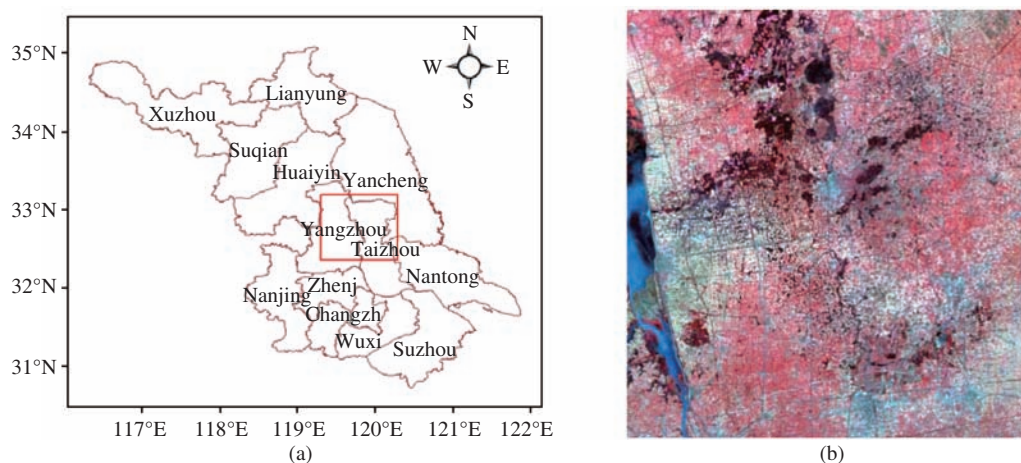


图 1 研究区示意图

Figure 1 Study area

(a) Location of study area; (b) HJ-1B CCD RGB composite image of study area

的完全燃烧的火场, 而气象卫星最小仅能探测 100 m^2 ^[11]; 另一方面无法获取精确的农田秸秆地, 难以对火点属性 (如工矿热点、草原火点、森林火点及耕地火点等) 进行正确判断。

目前许多学者普遍基于遥感影像的可见光波段反射率信息, 通过设定一定的阈值, 从火点像素中剔除非生物质燃烧火点 (如工矿热点)^[1,12,13], 但这种方法受到阈值设定的限制, 阈值的大小直接影响最终火点的数量, 而且无法区分生物质燃烧火点, 即草原火点、森林火点及耕地火点。

中国于 2008 年 9 月 6 日成功发射环境与灾害监测预报小卫星星座 A、B 星 (HJ-1A /1B), 搭载相同的 CCD 相机 (空间分辨率: 30 m). HJ-1B 还搭载红外相机 (IRS, 空间分辨率 150 m/300 m). 两台 CCD 相机组网后重访周期仅为 2 天, 相对 AVHRR、MODIS, HJ 星不仅延续了它们高时相分辨率的优势, 而且在空间分辨率方面有很大的超越, 能够测到面积更小、更多的火点, 能更真实、更详细地反映秸秆分布及其焚烧的现状. HJ-1 B 的红外相机专门对高温敏感的波段做了优化, 使其监测火灾能力大大提高。

本文首先基于作物秸秆地在 HJ 星 CCD (charge coupled device) 影像上的光谱特性, 建立秸秆乘积指数 (SMI, straw multiply index), 获得研究区内较高空间分辨率 ($30 \times 30 \text{ m}$) 的秸秆分布图, 将其矢量化, 在 ArcGIS 中与基于 IRS 数据探测到的火点矢量图层进行叠置分析, 获得研究区内秸秆焚烧火点分布. 预先获得研究区内准确的秸秆分布信息不仅可以省去火点探测算法中繁琐的背景测试工作, 而且解决了区别其它火点类型 (草原火点、森林火点、工矿热点等) 的难题。

2 研究区与数据收集

2.1 研究区资料

中国江苏省作物秸秆违规焚烧现象严重, 2007 年 6 月 MODIS 监测到江苏境内将近有 3000 个秸秆焚烧火点, 在中国排列在第 2 省份^[14]. 研究区位于中国江苏省的中东部 (图 1), 覆盖范围大小为 CCD 数据的 2800×3100 像元 (像元大小是 $30 \times 30 \text{ m}$). 研究区夏季作物收获期由南向北从 5 月下旬到

表 1 HJ-1B 卫星相机的主要参数
Table 1 Technical specification of on HJ-1B Satellite

Payload	Band No.	Spectral range (μm)	Spectral resolution (m)	Swath width (km)	Repetition cycle (d)
CCD Camera	1	0.43–0.52	30	360	4
	2	0.52–0.60	30		
	3	0.63–0.69	30		
	4	0.76–0.90	30		
Infrared	1	0.75–1.10			
Multispectral Camera (IRS)	2	1.55–1.75	150	720	4
	3	3.50–3.90			
	4	10.5–12.5	300		

6 月中旬, 以小麦、大麦、油菜为主; 秋季由北向南从 9 月中旬开始到 10 月中旬, 以水稻、玉米、棉花等为主, 同时也是秸秆违规焚烧的多发时段.

2.2 卫星数据及其预处理

卫星数据来源于“中国资源卫星应用中心”(http:// www.cresda.com/) 提供的 HJ-1B CCD 多光谱相机和红外多光谱相机 (IRS, infrared scanner) 数据, 影像获取时间为 2009 年 10 月 21 日, 这两个相机的性能参数见表 1. 另外还有 Google Earth 影像作为几何校正的辅助资料.

卫星数据的预处理包括辐射定标、图像剪裁、几何校正、大气校正. 辐射定标是根据头文件中的定标系数, 将 DN (data number) 值转为辐亮度值; 通过图像裁剪获取研究区的 CCD 和 IRS 影像; 以 Google Earth 影像为基准, 选取特征地物点, 分别对 CCD 和 IRS 影像进行几何校正, 使两者具有相同的地理参考系统; 基于 ENVI 中的 FLAASH 模块对 CCD 影像进行大气校正, 获取地表反射率遥感图像.

3 作物秸秆光谱诊断模型与提取

作物秸秆分布信息提取是遥感监测和判定伪火点的前提依据. 因此本文基于 HJ-1B CCD 数据, 利用灰度共生矩阵^[15] 计算纹理信息, 结合最大似然法首先将农田提取出来, 再结合秸秆乘积指数 (SMI) 将秸秆地进行提取.

农田主要包含三种地物: 作物、秸秆地及翻耕地. 在研究区反射率影像中对该 3 种地物分别选取 500 个样本点进行统计分析, 得到不同地物在 CCD 4 个波段反射率最大最小值曲线图 (图 2). 图中 crop-max 和 crop-min 表示作物在 4 个波段中反射率的最大最小值, straw-max 和 straw-min 表示秸秆在 4 个波段中反射率的最大最小值, soil-max 和 soil-min 分别表示翻耕地在不同波段中的最大最小值.

根据图 2 可知, 在 HJ-1B 星 CCD 数据的蓝、绿波段, 作物、秸秆地及翻耕地 3 种地物的反射率较为接近, 不能很好的区分, 但在红光波段, 秸秆地反射率的最小值比作物反射率的最大值大, $R(\text{straw})_{\min} > R(\text{crop})_{\max}$, 通过这一波段可将两者明显的区分出来; 在近红外波段, $\text{NIR}(\text{straw})_{\min} > \text{NIR}(\text{soil})_{\max}$, 可明显的区分秸秆地与翻耕地. 基于上述秸秆地的光谱特性, 本文提出了秸秆乘积指数对其进行提取 (SMI, straw multiply index), 公式如下:

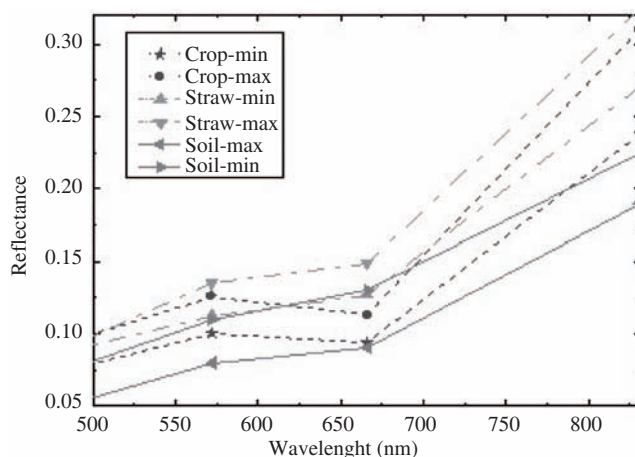


图 2 作物 — 秸秆地 — 翻耕地光谱值区间对比图

Figure 2 A maximum or minimum reflective value for crop-straw-soil

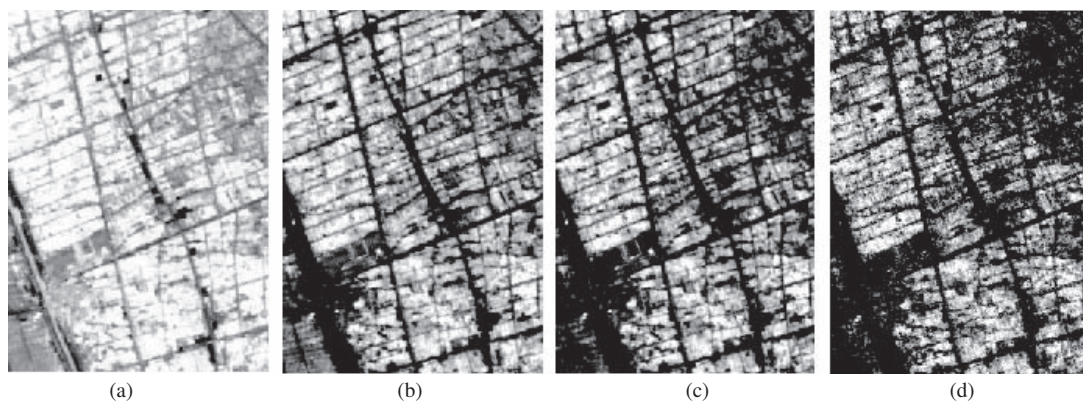


图 3 作物秸秆乘积指数计算结果图

Figure 3 A comparative ananalysis of different SMI image

(a) False color composite of HJ-1B CCD; (b) SMI1; (c) SMI2; (d) SMI3

$$SMI^1 = \text{ref}(R) \times \text{ref}(NIR). \quad (1)$$

利用 (1) 式可以提取出大部分的秸秆地, 但在秸秆和作物交差混合的农田中, 该指数还不能很好区分秸秆地与农田. 从图 2 中不难看出, 秸秆地与作物在红外波段的差异较大, 因此为了增加作物与秸秆地的差别, 可在秸秆指数 SMI^1 的基础上乘以红波段的反射率, 得到秸秆指数 SMI^2 ; 同时, 根据植被的光谱曲线特性并结合图 2, 可知植被在绿光波段有反射峰, 而在红光波段有吸收谷, 因此可根据红光波段与绿光波段的差值区分秸秆地与作物, 得到秸秆指数 SMI^3 . 在 SMI^1 基础上改进后的两种指数公式分别为

$$SMI^2 = \text{ref}(R)^2 \times \text{ref}(NIR), \quad (2)$$

$$SMI^3 = \text{ref}(R) \times \text{ref}(NIR) \times (\text{ref}(R) - \text{ref}(G)). \quad (3)$$

在上述 3 种指数的影像中, 选择相同的区域对其进行比较分析, 如图 3 所示. 图 3(a) 是原始假彩色合成影像, 图 3(b) 为 SMI^1 影像, 图 3(c) SMI^2 影像, 图 3(d) 为 SMI^3 影像.

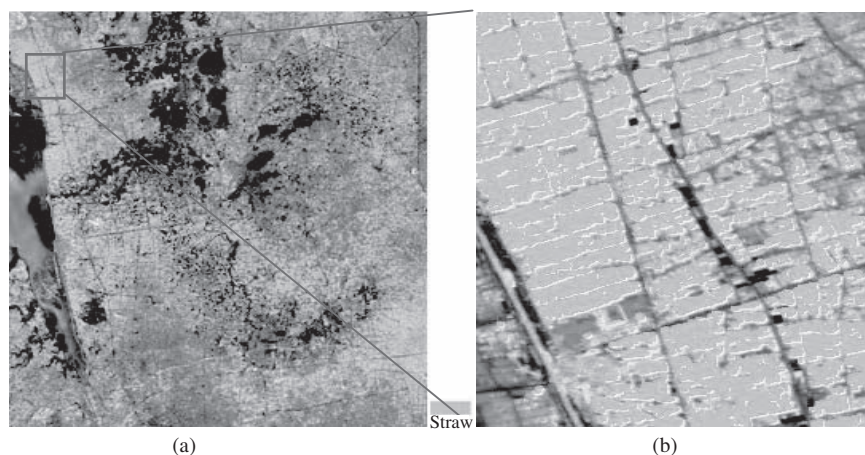


图 4 2009 年 10 月 21 日江苏中部地区作物秸秆分布图

Figure 4 Strawland distribution map on Oct 21, 2009 in the study area

(a) Strawland distribution map; (b) strawland distribution in red Rectangular in Figure 4(a)

以图 3 农田为例, 利用改进前的秸秆提取指数 SMI 提取秸秆, 会将部分作物错分为秸秆地; 而利用改进后的秸秆乘积指数 SMI^2 ((2) 式), 则能更好的区分出混合农田中的秸秆地, 使秸秆的提取更加精确. 因此, 基于 2009 年 10 月 21 日获取的 HJ-1B CCD 影像, 利用 SMI^2 指数, 提取的研究区内秸秆分布地如图 4 所示. 图 4(a) 是研究区内秸秆分布与 HJ-1B CCD 假彩色合成影像的叠加图. 为了检验 SMI^2 指数的提取效果, 本文在研究区的左上角选取了 400×400 像元的区域, 如图 4(a) 中的红色矩形框中的区域, 该区域内的分类结果如图 4(b) 所示. 图 4(b) 是矢量化的分类结果与原始遥感影像的叠加图, 其中黄色边界无填充色的多边形表示秸秆地. 可以看出本文根据秸秆的光谱特征提出的 SMI^2 指数可以很好地将秸秆地 (对应图 4(a) 块状分布的白色区域) 与翻耕地 (对应图 4(a) 褐色区域)、未收作物 (对应图 4(a) 呈块状分布的红色地物) 这几类容易混淆的地物区分开.

4 秸秆焚烧火点判定模式

4.1 火点探测算法

根据维恩位移定律, 黑体温度和辐射峰值波长呈反比, 即温度愈高, 辐射峰值波长愈小. 常温下地表 (300 K 左右) 辐射峰值波长在 $10 \mu\text{m}$ 左右, 而火焰温度一般在 500–700 K 以上, 其辐射峰值波长在 $3\text{--}5 \mu\text{m}$ ^[16]. 据此, 本研究采用红外相机 (IRS) 的波段 3 ($3.7 \mu\text{m}$) 与波段 4 ($11.5 \mu\text{m}$) 的星上亮温进行火点探测. 星上表观亮温的计算可由普朗克公式推导得出, 如下式:

$$T(\lambda) = \frac{C_2}{\lambda \ln \left(\frac{C_1}{\lambda^5 L(\lambda)} + 1 \right)}, \quad (4)$$

式中: T 是亮度温度 (K), λ 波长 (μm), C_1 , C_2 是常数, 分别取值 1.19104×10^8 和 1.43877×10^4 , L 为辐射亮度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$).

目前有两大类经典的火点探测算法, 一类是由 Li 等人^[17] 提出的绝对阈值法, 被普遍应用于 NOAA/AVHRR 的火点探测中, 另一类是由 Giglio 等人^[12] 和 Kuafman 等人^[18,19] 提出的“上下文

相关探测算法”, 是当前 MODIS 火点产品采用的算法. 考虑到可基于 CCD 遥感数据获得研究区的秸秆地信息, 因此本文综合以上两类算法, 提出基于作物秸秆地提取基础上的火点提取算法. 首先, 根据 IRS 波段 3 的亮温 (T_3) 以及波段 3 与波段 4 亮温的差值 ($T_3 - T_4$) 设定一定的阈值获取可能是火点的像元. 关于阈值的设定, Li 等人^[20] 在高纬度地区林火探测时使用 T_3 的阈值 315 K, $T_3 - T_4$ 为 14 K, MODIS 的 V4 火点探测算法中分别采用 310 K 和 10 K(白天) 以及 305 K 和 10 K(晚上)^[12], 考虑到作物秸秆焚烧多为小规模火点, 燃烧时温度与林火相比会较低, 为提高灵敏度本研究采用 310 K 和 10 K((5) 式). 第 2 步, 通过上下文阈值测试 (contextual threshold tests) 法去除伪火点, 即通过计算待判定火点像元周围有效背景像元温度的统计特征 (均值 μ 、标准差 σ) 来判定. 有效背景像元是指不满足 $T_3 > 325$ K 和 $T_3 - T_4 > 20$ K 的背景像元, 在获得这些统计量之后, 用它们重新设定阈值来确认火点. 如果待判定火点没有通过 (6)–(8) 式的测试, 就可以确定其是伪火点.

$$T_3 > 310 \text{ K 且 } T_3 - T_4 > 10 \text{ K}, \quad (5)$$

$$T_3 > \mu_3 + 1.5\sigma_3, \quad (6)$$

$$T_3 - T_4 > \mu_{3-4} + 1.5\sigma_{3-4}, \quad (7)$$

$$T_4 > 260 \text{ K}. \quad (8)$$

(6) 式中的 μ_3 和 σ_3 分别表示背景像元波段 3 亮温的均值和标准差, (7) 式中的 μ_{3-4} 和 σ_{3-4} 分别代表背景像元波段 3 与波段 4 亮温差的均值和标准差. 分析窗口的大小可从 3×3 像元到 21×21 像元之间变化, 直到有效背景像元的数量不少于窗口中总像元数的 25%. $T_3 - T_4$ 的测试可以排除由温暖背景如裸地形成的伪火点. 因为这些类型的温暖背景很容易使波段 3 达到饱和, 而在生物燃烧中, 波段 3 比波段 4 接收到更多的辐射能量, 因此 $T_3 - T_4$ 较高^[20,21]. 测试 (8) 式, $T_4 > 260$ 可排除含有高反射率的云的像元.

综上所述, 如果一个像元通过了 (5)–(8) 式的测试, 就接受为火点, 其判定流程如图 5 所示.

4.2 秸秆焚烧火点判定

秸秆焚烧火点的判定包括以下 3 个过程: 第 1 步: 基于经过大气校正后的 HJ-1B CCD 地表反射率影像, 结合作物秸秆光谱诊断模型 SMI² 提取作物秸秆, 再基于 HJ-1B IRS 影像, 利用普朗克方程获得波段 3 与波段 4 的星上表观亮温, 并结合火点探测算法识别出所有类型火点 (生物质燃烧火点、工矿火点等); 第 2 步: 将栅格形式的作物秸秆分布图像与火点图像转为矢量图层, 秸秆矢量图层的每个要素用不规则的多边形, 而火点矢量图层的要素用规则的矩形; 最后, 在 ArcGIS9.2 软件中对火点矢量文件与秸秆矢量文件进行叠置分析, 提取出与秸秆多边形相交的矩形火点, 最后将矩形火点像元的中心位置用点符号表示, 获得秸秆焚烧火点. 具体技术流程如图 6 所示.

本研究的作物秸秆焚烧火点探测模式中有作物秸秆分布作为判定条件, 这使得火点探测算法得到了一定的简化, 去除了利用遥感可见光波段的反射率进行的一系列测试, 以去除工矿热点和太阳耀斑形成的伪火点; 另外, 在云检测方面本研究算法没有经典算法那么严格, 因此所得的火点结果中会有一些的云伪火点残留. 然而, 本文有研究区内高分辨率的秸秆分布图作为前提, 而在秸秆提取时, 如果地表秸秆像元受到云和太阳耀斑的影响, 光谱特性会发生变化, 从而不会以秸秆类型被提取出来. 即使火点探测结果中有工矿热点以及云和太阳耀斑形成的伪火点, 借助 GIS 技术与秸秆分布图通过地

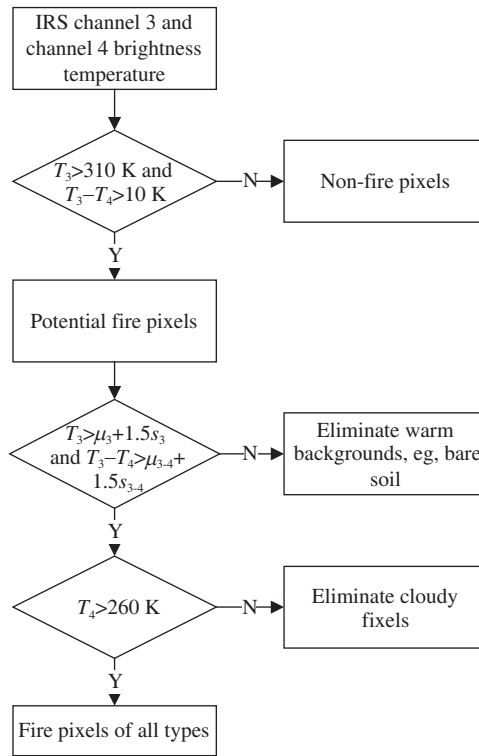


图 5 火点探测算法

Figure 5 A flowchart of hotspot detection using IRS data

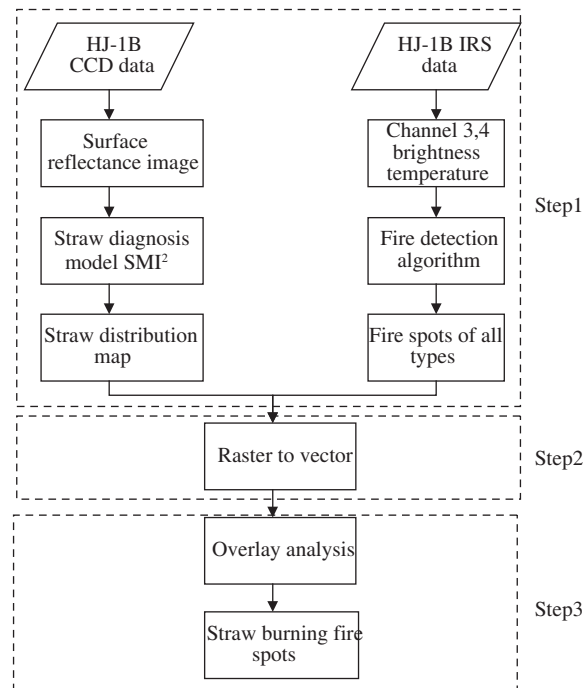


图 6 作物秸秆焚烧火点判定技术流程

Figure 6 Crop straw burning fire judgment processes

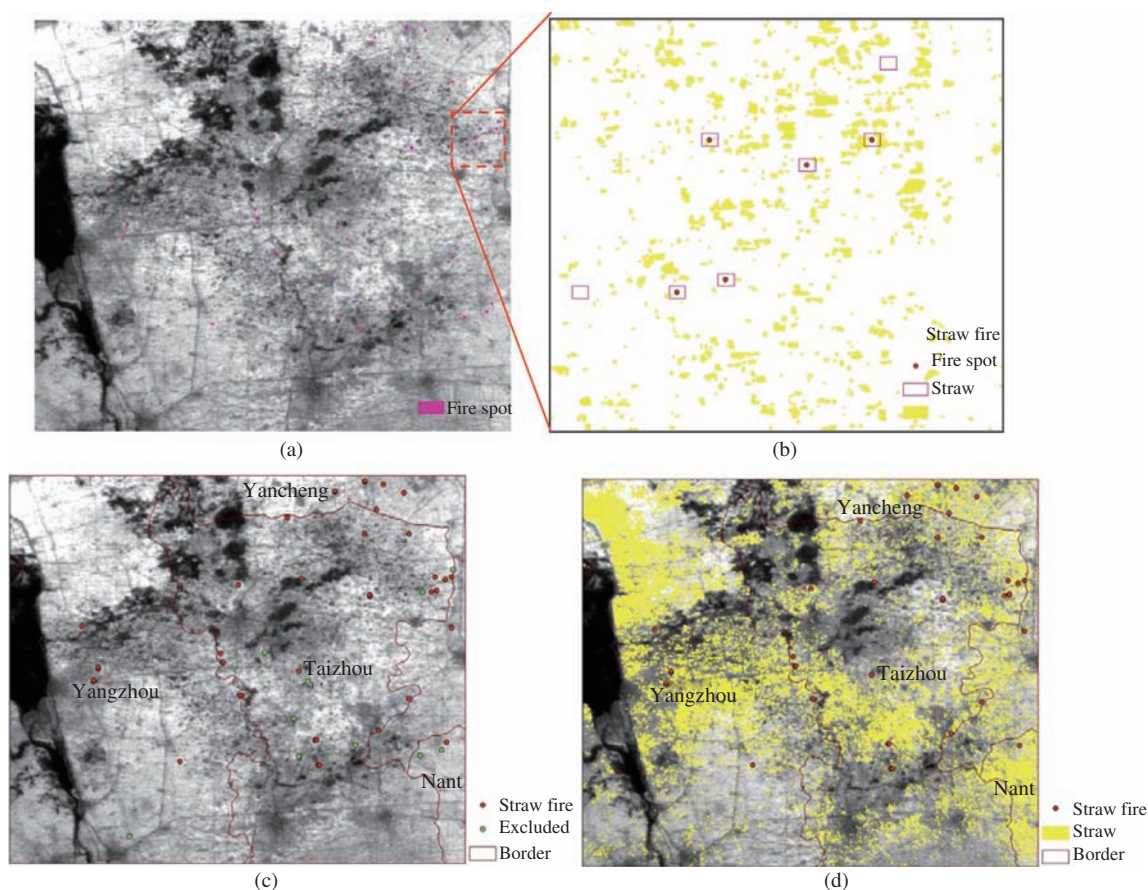


图 7 2009 年 10 月 21 日江苏中部作物秸秆焚烧火点分布图

Figure 7 Distribution of straw and straw burning fires on October 21, 2009 for the central part in Jiangsu

(a) Distribution of fire pixels of all types; (b) straw burning fires extracted from all fires;
(c) straw burning fires and excluded fires; (d) distribution of straw and straw burning fires

理信息的综合分析也可以很好地排除非秸秆焚烧火点和太阳耀斑形成的伪火. 因此本文的火点探测算法存在的以上两点不足之处并不会影响最终秸秆焚烧火点结果的准确性.

4.3 作物秸秆焚烧火点识别与制图

图 7(a) 显示了基于本文的火点探测算法初步获得的研究区内所有类型的火点像元与研究区秸秆分布之间的相对位置关系, 通过判断火点像元下是否覆盖有秸秆, 我们获得了下垫面为秸秆类型的火点, 即秸秆焚烧火点. 与秸秆地叠加前所有类型的火点像元共有 47 个, 而叠加后获得了 37 个秸秆焚烧火点像元. 图 7(b) 展示了图 7(a) 中红色虚线框内所有类型的火点像元与秸秆叠加分析后的结果, 其中所有类型的火点像元共有 7 个, 如绿边的矩形所示, 而这些矩形中与秸秆像元相交的只有 5 个, 选取这 5 个矩形火点像元的中心位置生成点, 获得了秸秆焚烧火点, 如绿边矩形中红色的点所示. 整个研究区内的秸秆焚烧火点如图 7(c) (d) 所示. 根据图 7(d) 可以方便地看出各地区秸秆焚烧情况以及焚烧点的具体位置, 方便有关部门对违规焚烧进行管制.

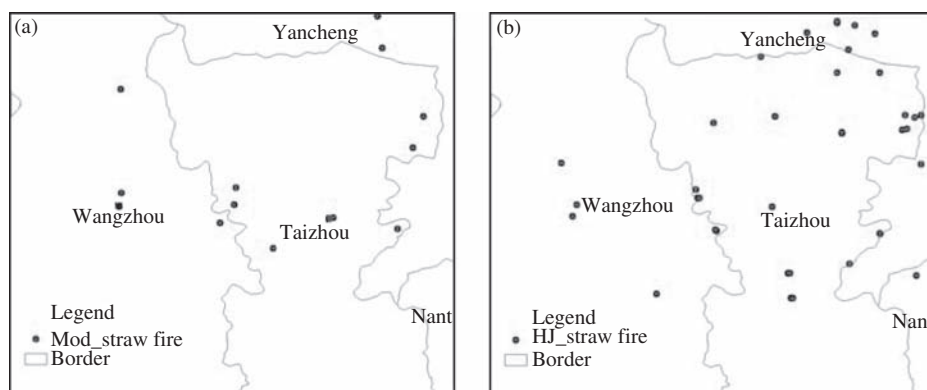


图 8 2009 年 10 月 21 日 MODIS 与 HJ 星探测的秸秆火点分布

Figure 8 distribution of straw burning fires in MODIS image and IRS image on October 21, 2009

(a) Distribution of straw burning fires in MODIS image; (b) distribution of straw burning fires in IRS image

4.4 与 MODIS 火点产品比对验证评价

用于对比验证的 2009 年 10 月 21 日的 MODIS 数据来自马里兰大学 FIRMS 网站 (<http://maps.geog.umd.edu/firms/wms.htm>), 以文本或矢量文件形式提供, 是由 MODIS 1 km 火点产品 (MOD14) 得到的火点位置文件 [22].

使用 2009 年的 MODIS 火点数据, 统计一年时间序列中同一位置 3 个月内都出现的火点被判断为固定火源而去除 [14]. 图 8(a) 为 2009 年 10 月 21 日研究区内排除固定火点后的 MODIS 监测的秸秆火点分布图. 图 8(a) 中共有 14 个火点显示, 均来自下午星 Aqua MODIS 探测结果. 图 8(b) 是 2009 年 10 月 21 日 HJ-1B IRS 共探测到的 37 个作物秸秆火点的空间分布图. 比较图 8(a) 与图 8(b) 可发现 MODIS 与 HJ 星 IRS 监测到的秸秆火点具有相似的空间分布, 并且图 8(a) 中有 7 个火点可以在图 8(b) 中找到相对应的点, 从而对比验证了 HJ-1B IRS 火点探测的有效性. 对于 MODIS 与 IRS 探测的火点存在不对应的情况, 一是源于两者空间分辨率的差异, MODIS 火点产品的空间分辨率为 1000 m, 而 IRS 空间分辨率为 300 m, 因此 IRS 可探测到 MODIS 未能探测的小火点; 二是源于秸秆焚烧事件发生的随机性、持续时间的不确定性, 两个卫星过境时间的具有时间差异, IRS 获取时间是 11:45, MODIS 获取时间是 13:05, 期间秸秆焚烧的火点 IRS 将探测不到; 三是源于 MODIS 火点产品中, 尽管统计一年时间序列中同一位置 3 个月内都出现的火点被判断为固定火源而去除, 但仍然会有一些新增加的固定火点或者林草等非作物秸秆火点被 MODIS 探测到.

5 结论与讨论

(1) 针对作物、秸秆地及翻耕地 3 种地物, 从 HJ-1B CCD 图像 4 个可见光/近红外波段的光谱反射率看出, 作物秸秆地与作物在红光波段具有可区分性, 秸秆地与翻耕地在近红外波段具有可区分性, 由此建立了作物秸秆光谱诊断指数 SMI^1 、 SMI^2 和 SMI^3 . 结合研究区对作物秸秆提取效果表明, SMI^2 能更好的区分出混合农田中的作物秸秆提取和精确分布.

(2) 文中综合了“绝对阈值法”和“上下文相关探测算法”两类火点探测算法, 提出了适于 HJ-1B 卫星 IRS 遥感数据的火点探测算法, 成功的获取了地面异常高温点. 再结合提取的作物秸秆分布图,

可从获取的地面异常高温点中有效第提取出作物秸秆燃烧火点. 研究表明, 预先通过 HJ-1B CCD 遥感数据进行秸秆分布提取, 可精确判定作物秸秆燃烧火点, 减少大量繁琐的火点测试工作, 提高作物秸秆燃烧火点识别效率.

(3) 通过比较 HJ-1B IRS 监测的作物秸秆燃烧火点与同期 MODIS 监测的作物秸秆火点, 可看出两者的监测结果虽然在空间分布上有很好的-致性, 但由于 HJ-1B 卫星同时搭载 30 m 空间分辨率的多光谱 CCD 相机和 300 m 热红外波段的 IRS 相机的优势, 因此比 MODIS、AVHRR 更适合监测象作物秸秆燃烧这类分散的、不集中的、小面积的燃烧事件.

(4) 本研究方法是基于 HJ-1B 卫星 CCD 和 IRS 数据特点和优势而提出的作物秸秆提取与作物燃烧火点探测方法模式, 但该方法也可推广应用到比如 ASTER 和 TM/ETM+ 等具有可见光、近外和热红外多光谱遥感数据应用中, 或者 ASTER、TM/ETM+ 与 MODIS、AVHRR 等多种遥感数据的结合应用中, 只是对应 HJ-1B IRS 波段 3 与波段 4 亮温的差值 ($T_3 - T_4$) 阈值设定方面需要结合季相、火点类型和遥感数据特点特定考虑. 先利用类似于 HJ-1B CCD 较高空间分辨率的多光谱遥感数据对作物秸秆地提取是本文秸秆燃烧火点精确判定模式的重要环节, 不仅可以省去目前火点探测算法中的背景测试工作, 更重要是解决判别作物秸秆火点与其他类型火点难题.

致谢 感谢中国资源卫星应用中心给予 HJ 卫星遥感数据支持!

参考文献

- 1 Punia M, Nautiya V P, Kant Y. Identifying biomass burned patches of agriculture residue using satellite remote sensing data. *Curr Sci*, 2008, 94: 1185-1190
- 2 Manandhar B R. Assessment of contribution of open biomass burning to the air pollution burden in the Bangkok Metropolitan Region. Eng Thesis. Thailand: Asian Institute of Technology, 2002
- 3 Kim Oanh N T, Albina D O, Li, et al. Emission of particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons from select cookstove-fuel systems in asia. *Biomass Bioenergy*, 2005, 28: 579-590
- 4 Fang M, Zhang P, Xu Z. The application of the 3S technique to the management of crop residue burning. *Remote Sens Land Res*, 2006, 3: 1-4
- 5 Cao G L, Zhang X Y, Wang Y Q, et al. Estimating the quantity of crop residues burnt in open field in China. *Chinese Sci Bull*, 2007, 52: 1826-1831
- 6 Hu M, Qi S H, Shu X B, et al. Monitoring fire from crop residues burning with MODIS data in north China plain. *Geo-Inf Sci*, 2008, 10: 802-807
- 7 McCarty J L, Korontzi S, Justice C O, et al. The spatial and temporal distribution of crop residue burning in the contiguous United States. *Sci Total Environ*, 2009, 407: 5701-5712
- 8 Gong P, Pu R L, Li Z Q, et.al. Integrated approach to wildland fire mapping of California, USA using NOAA/AVHRR Data. *Photogramm Eng Rem S*, 2006, 72: 139-150
- 9 Pu R, Gong P, Li Z, et al. A dynamic algorithm for wildfire mapping with NOAA/AVHRR data. *Int J Wildland Fire*, 2004, 13: 275-285
- 10 Zhou C H, Zhao X B, Liu Z Y, et al. Application of satellite remote sensing technology in operated monitoring of the straw burning. *Appl Meteorol*, 2005, 3: 24-25
- 11 He L M, Wang W J, Wang Q, et al. Evaluation of the agricultural residues burning reduction in China using MODIS fire product. *Environ Monitor China*, 2007, 23: 42-49
- 12 Giglio L, Descloitres J, Justice C O, et al. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sens Environ*, 2003, 87: 273-282
- 13 Peng G X. An experiment of forest fire detection using HJ satellite. [Http://sciencenet.cn/m/user_content.aspx?id=251818](http://sciencenet.cn/m/user_content.aspx?id=251818). 2009

- 14 Li Q, Zhang L J, Wu C Q, et al. Satellite remote sensing based monitoring of straw burning and analysis of its impact on air quality. *J Ecol Rural Environ*, 2009, 25: 32–37
- 15 Haralick R M. Statistical and structural approaches to texture. *P IEEE*, 1973, 67: 786–804
- 16 Liu Y J, Yang Z D, Liu J, et al. *MODIS Remote Sensing Information Processing Theory and Algorithms*. Beijing: Science Press, 2001. 245–267
- 17 Li Z, Kaufman Y J, Ichku C, et al. A Review of AVHRR-Based Active Fire Detection Algorithms: Principles, Limitations, and Recommendations. *Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space* SPB Academy, 2001. 199–225
- 18 Kaufman Y J, Justice C O, Flynn L P, et al. Potential global fire monitoring from EOS-MODIS. *J Geophys Res*, 1998, 103: 32215–32238
- 19 Kaufman Y J, Kleidman R G, King M D. SCAR-B Fires in the tropics: properties and their remote sensing from EOS-MODIS. *J Geophys Res*, 1998, 103: 31955–31969
- 20 Li Z S, Cihlar N J, Stocks B. Satellite-based mapping of Canadian boreal forest fires: evaluation and comparison of algorithms. *Int J Remote Sens*, 2000, 21: 3071–3082
- 21 Kennedy P L, Belward A S, Gregoire J M. An improved approach to fire monitoring in West Africa using AVHRR data. *Int J Remote Sens*, 1994, 15: 2235–2255
- 22 Davies D K, Ilavajhala S, Wong M M, et al. Fire information for resource management system: archiving and distributing MODIS active fire data. *IEEE Trans Geosci Remote*, 2009, 47: 72–79

A straw extraction and straw-burning fire detection mode using HJ-1B satellite measurements

TIAN QingJiu*, WANG Ling, BAO Ying & LI ShanShan

International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China

*E-mail: tianqj@nju.edu.cn

Abstract Gas and particulate matter resulting from straw burning pollutes the atmospheric environment, threatening human health and traffic safety. Straw field distribution provides a basis for remote sensing monitoring of straw burning and the estimation of false fire points. In this paper, HJ-1B CCD and IRS data were used to study straw field identification and burning in Jiangsu Province, China. A Straw Multiplier Index (SMI) calculated from spectral characteristics was introduced to distinguish straw fields within farmland using HJ-1B CCD data. Then a classic fire-detection algorithm was used to extract fire points using HJ-1B IRS data. Finally, an overlay analysis was performed on the straw vector and fire vector files to extract straw-burning fire points. A comparison with the MODIS results shows that this straw-burning fire detection mode based on the HJ satellite is feasible and effective.

Keywords crop, straw, fire points, HJ-1B, IRS