

# 基于 ENVISAT-MERIS 数据的过火区制图方法研究

覃先林, 李增元, 易浩若, 陈尔学, 庞 勇

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

**摘要:**森林或草原在发生火灾后,过火区内的植被层在近红外波段的反射率通常要比健康植被低,利用光学遥感数据的近红外波段和红光波段可以探测出植被层的反射率在大气上界的明显变化。对过火区域的提取是利用卫星数据进行测算森林或草原火灾过火面积的关键技术之一。根据实验区内近年来发生的多次重特大森林或草原火灾,在对 ENVISAT-MERIS 数据中典型地物光谱特征进行分析的基础上,分别采用图像处理法、植被指数法和面向对象的图像分析方法对过火区制图方法进行对比研究。研究表明,通过面向对象的图像分析方法获得的过火区域,可以较好地适用于过火区面积的估测,该方法是一项实现定量提取过火区域的行之有效的办法。

**关键词:**过火区制图;遥感;森林火灾; ENVISAT-MERIS 数据

**中图分类号:** TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0323(2008)01-0001-06

## 1 引言

森林过火区遥感制图方法主要包括研究利用遥感手段快速获取过火区边界的方法和过火面积的遥感测算方法。森林过火面积是森林火灾最基本的描述因子。在林火管理中过火面积是森林火灾损失评估的最重要的因子。测算森林过火面积的常规方法有航空地图勾绘法、航空目测法和地面调查法3种方法,至今上述常规方法仍在火灾监测的业务工作中应用<sup>[1,2]</sup>。

国内外以估产为目标,在运用 NOAA/AVHRR 资料估算主要农作物的种植面积的研究上取得了一系列的成果<sup>[3,4]</sup>,对过火面积测算有重要参考意义。李留瑜<sup>[5]</sup>等、易浩若<sup>[6~9]</sup>等运用 NOAA/AVHRR 资料估算特大森林火灾的过火面积都得到过可喜的结果,且认为对于过火面积较小(百公顷级以下)的林火的面积估算误差较大。林火监测业务部门也进行过利用卫星数据准实时估测重特大森林火灾过火面积的尝试。近年来,美国、欧空局等研究机构开展了利用 NOAA-AVHRR 数据和 ATSR(Along-Track Scanning Radiometer)数据进

行区域/全球尺度的过火区制图方法研究。然而,随着新一代环境卫星的升空,如 EOS-MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) 和 ENVISAT-MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer),由于它们在空间分辨率和光谱分辨率上相比 AVHRR 数据都有所提高,它们将为全球/区域的过火区制图提供更为有效的信息源,国外也正开展基于卫星数据的过火区制图方法研究<sup>[18~22]</sup>。国家遥感中心与欧盟联合开展的“龙计划”项目为利用 MERIS 数据在中国东北林区的过火区制图方法研究提供了机会。

## 2 实验区与数据源

### 2.1 实验区

东北林区是我国五大林区中第一大重要林区,该林区在行政上包括黑龙江、吉林、辽宁3省以及内蒙古东部的呼伦贝尔盟、兴安盟、哲里木盟和赤峰市(原昭乌达盟)。地理位置大约在  $115^{\circ}05' \sim 135^{\circ}02' E$ ,  $38^{\circ}40' \sim 53^{\circ}30' N$  之间。南北相距近  $15^{\circ}$ ,东西跨越近  $20^{\circ}$ ,故水热条件很不一致,从北到南,随气温变化,可分为寒温带、温带和暖温带;从东到西,随水

收稿日期:2007-02-12;修订日期:2008-01-18

**基金项目:**“十一五”国家科技攻关课题“森林灾害监测、预警技术研究(2006BAD23B04)”;中国林业科学研究院科研基金重点项目“院属实验林重要资源和林火预警监测技术研究(CAFYBB2007003)”;中欧科技合作项目“龙计划”中“中国森林火灾卫星监测及示范”课题(Dragon Proposal id 2531)和 ITTO 项目“中国热带林火卫星遥感监测与管理系统(PD 228/03 Rev. 3 (F))”。

**作者简介:**覃先林(1969—),博士,副研究员,主要从事卫星遥感技术在森林及其燃烧监测和林火预警中的应用方法研究。E-mail: noaags@caf.ac.cn。

分变化可分为湿润区、半湿润区和半干旱区,相应的植被从北到南有寒温带针叶林、温带针阔叶混交林和暖温带落叶阔叶林;从东到西有森林、草甸草原(森林草原)和典型草原。在植被区划上,包括我国 8 个植被区域中的 4 个植被区域<sup>[11]</sup>。同时东北林区也处于我国重特大森林火灾高发区之间,即 48.0°~56.0°N 之间<sup>[23]</sup>。

### 2.2 数据源

由于发生森林或草原火灾后,过火区域有大有

小,本研究把近几年来发生在实验区内过火面积大于 1 万 hm<sup>2</sup> 的过火区域作为研究对象。从欧方合作伙伴提供的数据中选择了 5 轨 ENVISAT-MERIS 全分辨率影像(MER\_FR\_\_1P\*\*\* 和 MER\_FR\_\_2P\*\*\*)用于本研究;这些影像从年份上涉及了 2004 年、2005 年和 2006 年。同时,收集了实验区内近年来发生的重特大森林或草原火灾地面信息,主要包括火灾发生地点、过火面积、植被类型、火灾持续时间等。所选卫星数据及火情信息见表 1。

表 1 卫星数据及历史火情  
Table1 Satellite images and historical forest fires

卫星影像	着火地点	过火情况 (来源于相关报道)
MER_FR_1p2004 年 10 月 14 日 02:1241	黑龙江省黑河市沾河	过火面积为 15 000 万 hm <sup>2</sup>
MER_FR_1p2004 年 11 月 02 日 02:1526	黑龙江省嫩江县	过火面积约 11 000 hm <sup>2</sup>
MER_FR_1p2005 年 10 月 25 日 01:5527	黑龙江省嫩江县、俄罗斯	嫩江县过火面积为 10 330 hm <sup>2</sup>
MER_FR_1p2005 年 10 月 25 日 01:5700	黑龙江省呼玛县、俄罗斯	呼玛县过火面积为 108 730 hm <sup>2</sup>
	黑龙江省黑河市	过火面积超过 15 000 hm <sup>2</sup>
MER_FR_2p2006 年 05 月 28 日 02:3847	黑龙江省呼玛县	过火面积超过 11 000 hm <sup>2</sup>
	内蒙古自治区呼伦贝尔市	过火面积超过 23 000 hm <sup>2</sup>

## 3 方法

### 3.1 光谱分析

MERIS 全分辨率数据产品包括中心波长 412.5、442.5 和 900 nm 等 15 个波段数据,其星下点的空间分辨率为 300 m<sup>[23,25]</sup>。为了利用 MERIS

数据获得东北林区的过火区制图方法,对选取的 MERIS 数据产品中的过火区、植被、水体、云体和裸地等类型分别进行了光谱分析,并采用覆盖同类地物的 3×3 像元进行统计分析,部分光谱分析结果见图 1。

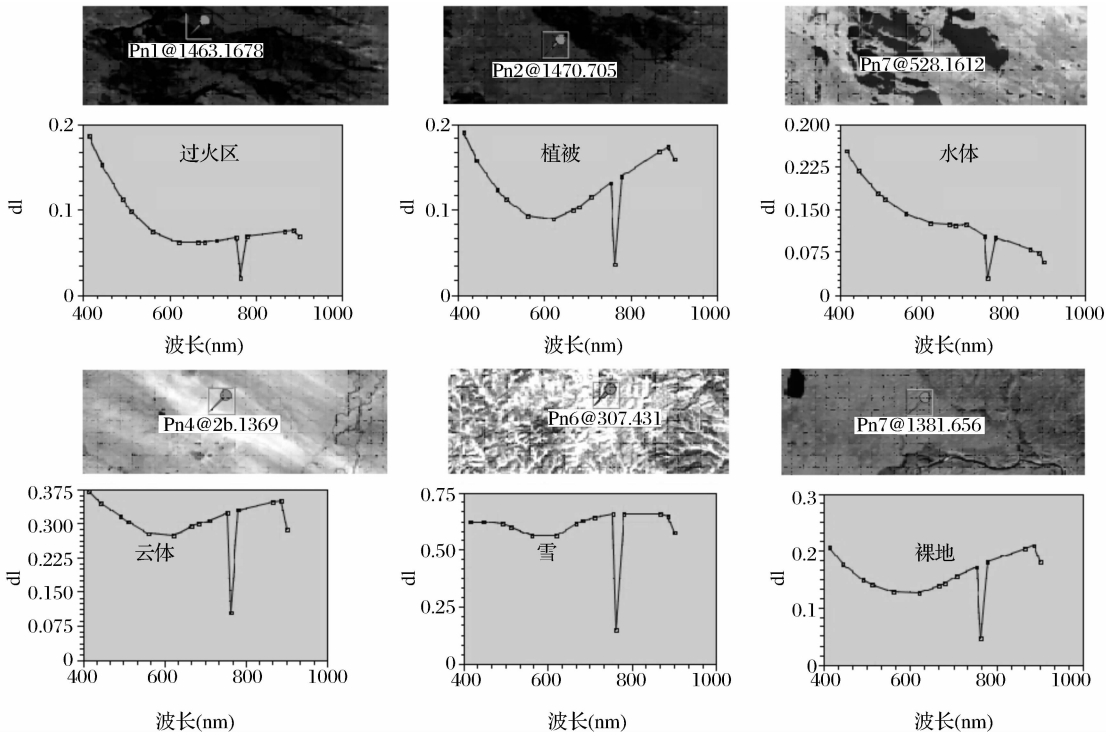


图 1 典型地物光谱分析结果示意图

Fig. 1 Spectral analysis results of typical landcover

3.2 过火区制图方法

本研究分别采用图像处理方法、植被指数法和面向对象的图像分析方法进行了过火区制图方法的研究。本研究的技术路线如图 2 所示。

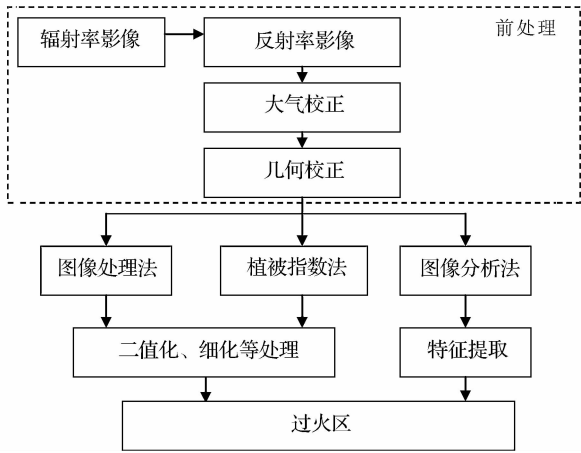


图 2 基于 MERIS 数据的过火区制图技术流程示意图  
Fig.2 Flowchart of burned area mapping by using MERIS data

3.2.1 图像处理方法

图像处理的方法基本上可分为空间域处理及频率域处理两大类。空间域处理是在原图像上直接进行数据计算;频率域处理是在图像的傅里叶变换域上进行修改,增强目标信息的频率分量,然后将修改后的傅里叶变换值再做傅里叶反变换,便得到增强的图像<sup>[26]</sup>。图像处理法的目的是通过对影像的处理,达到更有效地获得目标信息。本研究分别采用多通道合成和空间增强等图像处理的方法对过火区制图进行了对比研究。

3.2.2 植被指数法

该方法根据火灾前后植被变化,构建条件判别式来进行。植被燃烧后,树冠及林下植被被燃烧或灼伤,其叶绿素细胞受到损害,致使过火区植被反射光谱变化,这种变化主要反映在卫星影像近红外通道和红光通道值的变化上。用它们的线性组合可判断出过火区域。如根据 AVHRR 数据的第一、二通道能反映森林植被及其损失信息,也能反映林火的烟尘信息,因而利用 AVHRR 的 Ch<sub>1</sub>、Ch<sub>2</sub> 数据计算火灾前后的 NDVI 值,并对计算出的 NDVI 值进行一定倍数的放大,再通过火灾前后 NDVI 的迭加图来计算过火面积及评价火灾对生态环境的影响。

本研究分别采用了归一化植被指数(NDVI)、比值法(RV)、增强植被指数(EVI)和大气抵抗植被指数(ARVI)。其计算分别如式(1)、式(2)、式(3)和式(4)所示。

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \tag{1}$$

$$EVI = 2.5 \left( \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + 6\rho_{red} - 7.5\rho_{red} + 1} \right) \tag{2}$$

$$RV = \frac{\rho_{nir}}{\rho_{red}} \tag{3}$$

$$ARVI = \frac{\rho_{nir} - (2\rho_{red} - \rho_{blue})}{\rho_{nir} + (2\rho_{red} - \rho_{blue})} \tag{4}$$

3.2.3 面向对象的图像分析法

该方法的基本思路是对卫星影像进行处理的基础上,通过对影像进行分割、建立图像对象、模糊分类等图像分析,对影像进行分类,从而将过火区信息从影像中提取出来。

图像分析主要是对图像中感兴趣的目标进行检测和测量,以获得它们的客观信息,从而建立对图像的描述。图像分析是一个从图像到数据的过程,这些数据可以是对目标特征测量的结果,或是基于测量的符号表示,它们描述了图像中目标的特点和性质。本研究中的图像分析主要包括图像分割、图像对象生成、分类、分类后处理和结果输出等。

(1)图像分割

图像分割就是指把图像分成各具特性的区域并提取出感兴趣目标的技术和过程。此处特性可以是像素的灰度、颜色、纹理等,目标可以对应单个区域,也可以对应多个区域。图像分割是由图像处理到图像分析的关键步骤,在图像工程中占据重要的位置。一方面,它是目标表达的基础,对特征测量有重要的影响;另一方面,因为图像分割及其基于分割的目标表达、特征抽取和参数测量将原始图像转化为更抽象更紧凑的形式,使得更高层的图像分析和理解成为可能。本研究中采用多尺度分割技术,对 MERIS 数据进行了分割处理。为找到最佳的分割尺度和分割方法,在对象分割实验中,分别将比例参数从 5 取到 50,颜色参数从 0.6 取到 0.9,光滑度参数从 0.1 取到 0.9 进行组合分割实验,其部分分割结果如图 3(见图版 I)所示。

(2)生成图像对象

由于面向对象的图像分析法是一种基于图像对象的模糊分类方法,经多尺度分割后的图像并没有形成图像对象,在实验中还需将分割后的图像建立多边形,生成图像对象,供后续分析处理。

(3)对图像对象分类

本研究中采用基于样本的模糊监督分类方法对处理后的影像进行了分类。对影像中的过火区、云体、水体和植被分别选取训练样本,并进行分类。

(4)分类后处理及结果输出

分类后处理主要包括分类精度评价、类合并、颜色指派等,并将分类结果输出,以获得过火区的面积;同时,可将分类结果输出为矢量数据,在 GIS 中与背景数据库结合,从而可获得植被燃烧的类型和过火面积。

4 结 果

分别利用上述的图像处理法、植被指数法和面

向对象的图像分析法等 3 类方法对选取的 MERIS 数据过火区制图研究,其中图像处理法的过火区制图结果如图 4(见图版 I)所示;植被指数法的过火区制图结果分别见图 5 所示;面向对象的图像分析方法的过火区制图结果如图 6(见图版 I)和图 7(见图版 I)所示。

5 结 语

本研究采用面向对象的图像分析方法,通过基

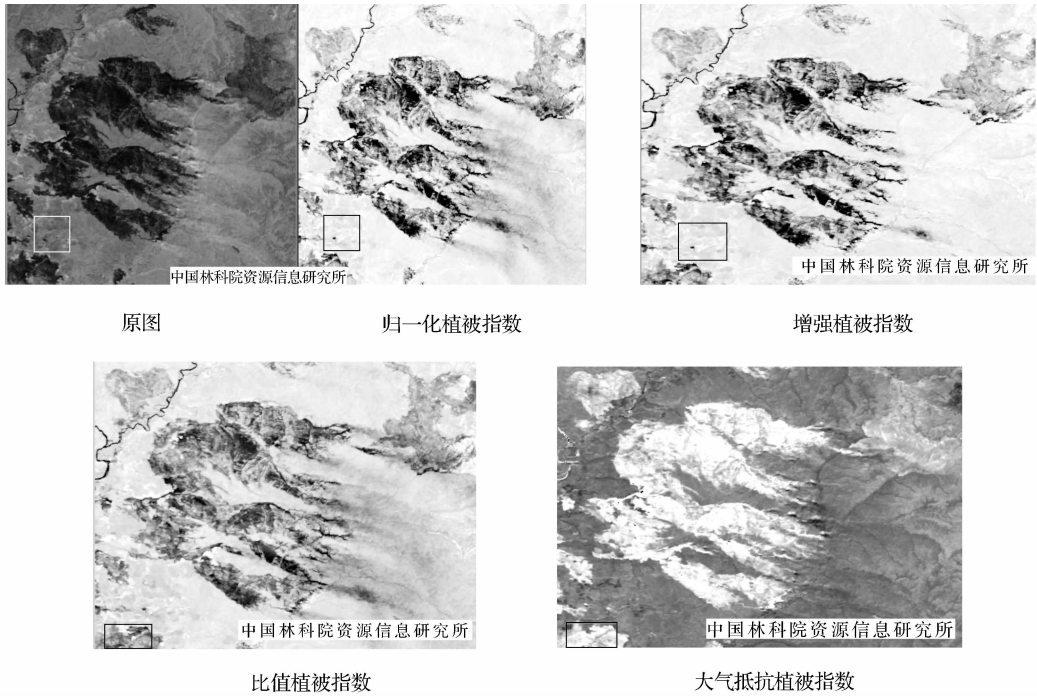


图 5 不同植被指数的过火制图结果示意图(MERIS 数据,2005 年 10 月 25 日)

Fig. 5 Burned area mapping results by using different vegetation index (MERIS data, Oct. 25, 2005)

于样本的模糊监督分类对 MERIS 影像中过火区开展了制图方法研究。实验表明,该方法获得的过火区域,可以较好地适用于过火区面积的估测,因此利用该方法进行过火区制图是可行的,主要表现在以下 3 个方面。

(1)过火区边界封闭性

从实验中所采用的两种图像处理方法和 4 种植被指数法所得结果来看,这两类方法都能突出影像中的过火区,增强目视效果,便于识别;但是,实验表明,这两类方法对于自动获取一个完全封闭的过火区域并不理想,而面向对象的分类方法则可以获得。究其原因:一方面是在发生森林或草原火灾时,由于林木与树林下的地被物、林木与林木之间、以及地被物与地被物之间的燃烧情况不全相同,因此表现在 MERIS 影像上,过火区与非过火区接壤的某些边界

附近的像元值的变化率与实际边界的符合程度不好,因而利用基于像元灰度值的图像处理方法和植被指数法来提取过火区域,其效果并不理想;但是,对于基于影像纹理及灰度特征的面向对象的图像分析方法,则可以通过图像分割技术、建立图像对象获得过火区的全封闭边界。另一方面是由于采用图像处理法和植被指数法提取过火区时,二值化域值的选取及边界细化的影响。

由于遥感影像包含信息量大,像元值之间的差异普遍存在,当对像元进行增强处理后,过火区与非过火区有明显的差异;但是,有时为了突出主要的边缘信息,采用设定一个域值的方法,只突出大于域值的部分信息来提取过火区域,这样将会出现过火区域边界不能封闭的情况;同时还会产生过火区域边界出现冗余点的现象。

## (2) 过火区的测绘

在传统的过火区测绘中,主要采用地面调查法和航空测绘法,这些方法工作量较大且精度一般较低。在本研究中采用图像分割、建立特征对象、模糊监督分类、矢量输出等图像分析方法,通过计算分类后各多边形的面积从而获得过火区面积的大小,可以一定程度地减少野外工作量和节省人力。

另外,由于采用图像处理法和植被指数法通常难于自动生成闭合的过火区域,因而一般难于直接获得过火区的面积及燃烧植被类型;而面向对象的分类方法可以自动生成封闭的过火区,并可以将处理结果与背景数据相结合,从而获得过火区内植被的面积和类型。

## (3) 图像分割参数的不确定性

实验表明:根据提取卫星遥感影像中目标对象尺度特征,采用图像分割方法,可以一定程度地提高图像对象的精度;但是,由于基于面向对象的图像分析方法的结果精度关键在于图像对象的生成是否合理,而图像分割对图像对象的合理性具有决定作用。由于植被类型、地形、气象等因素都会造成过火区影像特征不尽相同;同时,由于图像分割的目的不同,需建立的图像对象不同,其所需分割尺度也不同。基于这两方面的原因,在对影像进行分割建立图像对象时,难于用固定的分割参数对影像进行分割,必须经过多次反复地实验,才能寻找到较适合的分割参数。

## 6 展 望

本研究基于 ENVISAT-MERIS 全空间分辨率的数据,在对几种典型地物光谱进行分析的基础上,分别利用图像处理法、植被指数法和面向对象的图像分析方法对过火区制图方法进行对比研究。研究表明,前两种方法虽然可以增强过火区的目视效果,但是自动地获取封闭的过火区边界并不理想,而面向对象的图像分析方法可有效地获得过火区域,同时,如果与背景数据库相结合,还可以较好地获得各类植被的过火面积。

虽然利用该方法有效地提取了 MERIS 数据中面积较大(过火面积超过 1 万  $\text{km}^2$ )的过火区,但是,该方法适用于多大面积的过火区,是否适用于其它卫星影像中的过火区制图,是否能提取出植被遭受火灾损失的强度等问题,由于时间和精力的限制,本研究的工作还不够深入,还需要开展大量的实验研究工作才能得以证实,下一步拟就上述提出的问题

进一步开展工作,已获得较适宜的过火区制图方法。

**致谢:**感谢欧空局合作伙伴为本研究提供了 ENVISAT-MERIS 1P 数据。

## 参考文献:

- [1] Yi H R, Ji P. The Methods of Evaluating Burned Area of Forest Fire[J]. Remote Sensing Technology and Application, 1998, 13(2): 10-14. [易浩若, 纪平. 森林过火面积的遥感测算方法研究[J]. 遥感技术与应用, 1998, 13(2): 10-14.]
- [2] Wang H Z, Zhou E Z. Forest Fire Prevention and Forman [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1996. [王汉忠, 周尔正. 森林火灾扑救与指挥[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.]
- [3] Zhao R. Chinese Rice Remote Sensing Dynamic Monitoring and Assessment [M]. Beijing: Chinese Science and Techniques Publishing House, 1996. [赵锐. 中国水稻遥感动态监测与估产[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.]
- [4] Wu B F, Liu H Y. The Operational Methods for Rice Estimation Using Remote Sensing[J]. Journal of Remote Sensing, 1997, 1(1): 58-63. [吴炳方, 刘海燕. 水稻种植面积估计的运行化遥感方法[J]. 遥感学报, 1997, 1(1): 58-63.]
- [5] Li L Y, Kou W Z, Cao X F, et al. Remote Sensing Technology Application in Forest Disaster Monitoring and Damage Assessment[A]. Development of Chinese Remote Sensing[C]. Beijing: Wanguo Science Publishing House, 1992: 230-233. [李留瑜, 寇文正, 曹旭峰, 等. 遥感技术在森林灾害监测和损失评估中的应用[A]. 中国遥感进展[C]. 北京: 万国学术出版社, 1992: 230-233.]
- [6] Yi H R, Ji P, He X P, et al. Forest Fire Monitoring of Honghuaerji by Using NAA-AVHRR[J]. Remote Sensing Information, 1994, 4: 16-17. [易浩若, 纪平, 何筱萍, 等. 用 NOAA-AVHRR 资料监测红花岗基森林火灾[J]. 遥感信息, 1994, 4: 16-17.]
- [7] Zhao X W. Monitoring and Assessment of Remote Sensing on Forest Fire-Theory and Technology Application[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995. [赵宪文. 森林火灾遥感监测评价[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.]
- [8] Wen J G. Estimation Method of Small Fire Area[J]. Forest Prevention, 1987, 2: 37. [文景贵. 探讨小火场面积的估测方法[J]. 森林防火, 1987, 2: 37.]
- [9] Qin X L, Yi H R, Ji P. Burned Area Edge Abstraction Method by Using NOAA-AVHRR[C]. The 7th thesis Corpus of Forestry Computer and Application Sub-academy of Chinese Forestry Academy, 1999, 7: 40-44. [覃先林, 易浩若, 纪平. NOAA-AVHRR 数据森林过火区域边界提取方法的研究[C]. 中国林学会林业计算及应用分会第七次学术分会论文集, 1999, 7: 40-44.]
- [10] Xu D Y, Ding S B. Remote Sensing Images Information Process[M]. Beijing: Astronautics Industry Press, 1990. [许殿元, 丁树柏. 遥感图像信息处理[M]. 北京: 宇航出版社, 1990.]

- [11] Zhen H N. Forest Fire of Northeast of China[M]. Haerbin: Northeast Forestry University Press, 2000. [郑焕能, 邸雪颖. 中国东北林火[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2000.]
- [12] Silva J M N, Cadima J, Pereira J M C, *et al.* Assessing the Feasibility of a Global Model for Multi-temporal Burned Area Mapping Using SPOT-VEGETATION Data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(22): 4889-4913.
- [13] Li Z, Kaufman Y J, Ichoku C, *et al.* A Review of AVHRR-based Active Fire Detection Algorithms: Principles, Limitations and Recommendations[A]. In Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space: Planning and Coordinated International Effort[C]. The Hague: SPB Academic Publishing, 2001.
- [14] Chuvieco E, Justice C, Martin P. Final Report on the Results of the 3rd International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management [R]. Paris, 2001.
- [15] Baatz M, Schape A. Multiresolution Segmentation-An Optimization Approach for High Quality Multi-scale Image Segmentation[A]. Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI. Beitr(a)ge zum AGIT-Symposium[C]. Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag, 2000.
- [16] Pereira J M C. A Comparative Evaluation of NOAA-AVHRR Vegetation Indices for Burned Surface Detection and Mapping [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37: 217-226.
- [17] Martin P M, Diaz Delgado R, Chuvieco E, *et al.* Burned Land Mapping Using NOAA-AVHRR and TERRA-MODIS[A]. In Forest Fire Research and Wildland Fire Safety[C]. Rotterdam: Mill Press, 2002: 227-244.
- [18] Andrew J L, Harris. Towards Automated Fire Monitoring from Space: Semi-Automated Mapping of the January 1994 New South Wales Wildfires Using AVHRR Data[J]. Int. J. Wild Land Fire, 1996, 6(3): 107-116.
- [19] Ruecker G, Siegert F. Burn Scar Mapping and Fire Damage Assessment Using ERS-2 SAR Image in East Kalimantan [R]. Indonesia. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 33: 1287-1293.
- [20] Siegert F, Ruecker G. Use of Multi-temporal ERS-2 SAR Images for Identification of Burned Scars in South-East Asian Tropical Rainforest[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21 (4): 831-837.
- [21] ENVISAT MERIS Production Handbook[S]. Europe Space Agency, 2002.
- [22] Broza M, Ido I. Post-Fire Arthropod Assemblages in Mediterranean Forest Soils in Israel[J]. Int. J. Wild Land Fire, 1997, 7(4): 317-325.
- [23] Barbosa P M, Pereira J M C, Gregoire J M. Compositing Criteria for Burned Area Assessment Using Multi-temporal Low Resolution Satellite Data[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 65: 38-49.

## Studying on Burned Scar Mapping Using ENVISAT-MERIS Data

QIN Xian-lin, LI Zeng-yuan, YI Hao-ruo, CHEN Er-xue, PANG Yong

(Research Institute of Forest Resource Information Technique, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** After forest fire or grass fire, the burned vegetation usually has a lower reflectance in the NIR-channel than they are healthy. The strong TOA (Top of Atmosphere) reflectance change can be detected in the NIR-channel and Red-channel of Optics Remote Sensing data over a vegetation layer. Extracting burned scar region is one key technique for calculating burned area of forest fire or grass fire by using satellite data. In this study, According to the records of many large forest fires or grass fires which have taken place in the experiment region in recent years, based on the spectral character analysis of typical objects in ENVISAT-MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer Instrument) images, methodology of burned scar mapping has been studied. The extracting results have been compared by using image processing method, vegetation index method and object image analysis method. It shows that the results can be used directly to evaluate the burned scar area. It's an effective quantificational method by using object image analysis to extract burned scar region.

**Key words:** Burned scar mapping; Remote sensing; Forest fire; ENVISAT-MERIS data