



文章编号:1672-1586(2011)03-0051-04

中图分类号:TP79

文献标识码:A

基于 MODIS 数据定量判识沙尘暴方法的对比研究

陶然,于曼竹

(武汉大学 遥感信息工程学院,湖北 武汉 430079)

摘要:利用 MODIS 数据,结合具体实例,对比研究当前几种利用光谱特征定量判识沙尘暴的方法。从理论上剖析各方法的原理,分析其优劣,并提出一套新的算法的组合方式。研究结果表明,新的组合算法有不小的改进:①大大降低了单一算法在不同时间或地区图像中阈值取值不稳定的影响,减少了图像噪声造成的误判,增强了其通用性和稳定性;②明显减弱了太阳光、地表温度等条件的影响,准确排除沙漠对于判识的干扰;③简单实用,适合业务应用。

关键词:沙尘暴;MODIS;定量;方法对比



● 陶然(1990-)男,湖北新洲人,遥感科学与技术专业学生,学习方向为遥感信息工程。

E-mail:bobyellow@whu.edu.cn

收稿日期:2011-04-24

Comparative Study on Methods of Quantitative Identification of Sand and Dust Storm Based on MODIS Data

TAO Ran, YU Man-zu

(School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Combining with specific examples, this article makes a comparative study on several kinds of quantitative methods of identifying dust storm through spectral characteristics based on MODIS data. It provides a theoretical analysis of the principle of each method, compares their strengths and weaknesses, and proposes a new algorithm combination. The results show that the new one has a noticeable improvement: 1) It significantly reduces the effects of the problem that the threshold value of single algorithm in the image varies with different time or regions, and reduces commission errors caused by image noise, and enhances its versatility and stability. 2) It greatly reduces the impact of sunlight, surface temperature and other conditions, accurately eliminates the interference of the desert in interpretation. 3) It is simple, practical, and suitable for applications.

Key words: sand dust storm; MODIS; quantitative; comparative

0 引言

沙尘暴是一种强风将地面大量沙尘吹起,使大气浑浊,水平能见度小于 1 000 的灾害性天气现象(中国气象局《沙尘天气预警业务服务暂行规定(修订)》气发[2003]12 号)。沙尘暴所带来的强风天气对建筑物以及植被的伤害极大,同时沙尘天气携带的大量沙尘对环境也会造成污染,影响人体健康,引起交通事故。我

国沙尘暴主要出现在西北大部分地区,整个华北地区,东北地区西部,都是沙尘暴的多发区域,而沙尘灾害的影响区域则远远大于上述范围。

沙尘灾害的尺度范围从局地性、区域性到大陆间都可能发生,发生地区多为沙漠及干旱、半干旱地区,且地面监测点比较少,因此用地面观测站网数据进行研究具有很大的局限性。

近年来,卫星遥感技术在环境领

域中应用越来越广泛。具有高空间分辨率、高时间分辨率和高光谱分辨率的新型遥感数据大量产生,使得利用遥感卫星进行沙尘灾害监测研究成为有效的监测方法之一。其中利用搭载在 Terra 和 Aqua 卫星上的 MODIS 探测器所提供的数据进行沙尘暴定性、定量判识的研究也取得了一定的成果;郭铌^Ⅲ等利用 MODIS 数据,通过对沙尘暴光谱特征分析,提出了定量提取沙尘暴范围和强度的方法;



厉青^[2]等利用 MODIS 数据提出了用于沙尘暴监测的热红外双通道差值法、三通道彩色合成直方图均衡增强法及基于双通道阈值的叠加分析法；海全胜^[3]等利用沙尘暴比辐射率的特性，排除太阳光照和地表温度的影响，建立了相应的沙尘指数模型。

本文利用 MODIS 数据，从沙尘暴光谱特性入手，对比总结目前应用较好的几种沙尘暴定量判识方法，深入探讨其原理以及优缺点，并加以组合与改进，归纳出一套稳定性更好、精度更高，且简单实用，适于业务监测的方法。

1 数据介绍

1.1 MODIS 数据

本研究采用的是新一代卫星遥感 MODIS 影像数据。中分辨率成像光谱仪 MODIS (Moderate) 是 EOS 计划的 Terra 卫星 (EOS- AM) 和 Aqua 卫星 (EOS- PM) 携带的最重要的传感器，较高分辨率 (250, 500, 1000)，平均每日可获取一次当地数据，并免费接收，是当前全球监测的最新最佳数据来源之一。它带有 490 个探测器，是有 36 个光谱波段的被动成像光谱辐射计。多波段数据可同时反映地球表面以上各种特征丰富的信息，便于对地球圈层的长期观测。多分辨率数据可根据实际重采样为高分辨率的影像。相比于其他气象卫星的遥感数据，MODIS 数据的较大分辨率可以在一幅影像上包含大面积区域，有利于总体分析与研究。广义的 MODIS 数据产品共有 44 种，本研究所使用的 MODIS 数据为 MODIS1B 产品，分辨率为 1 000。

1.2 验证标准

本研究采用的验证标准为中国国家气象局采用的 FY-3A 气象卫星

监测图像。相比于假彩色合成图等其他标准，该数据沙尘暴范围清晰，时间和地理信息丰富，更适于作为定量提取沙尘暴方法的检验标准。

2 研究方法

2.1 判识原理

利用遥感手段判识地物主要是利用地物的光谱特征。本研究也同样基于沙尘暴的光谱特征，即其反射率介于云和地表之间，热红外辐射亮温介于云、雪和地表之间，个别波段 (3.75) 辐射亮温值极高，以及长波辐射波段比辐射率的独特性等，并结合 MODIS 多通道数据的优势，分别从反射光谱特性和发射光谱特性两个方面探讨定量判识的相关算法。

2.1.1 反射辐射特性

选取 MODIS 应用于陆地、云性质研究的反射波段 B1~B7(459~2155)，绘出同一样区不同地物的反射光谱特性曲线。根据曲线可以看到沙尘区、沙尘边缘区以及沙漠地区的光谱曲线有一致性，在通道 3 反射率最小，随着波长增加反射率迅速上升并在通道 6, 7 达到最大值。根据此特性，联想到归一化植被指数 NDVI 的设计理念，郭铌^[4]等设计了类似的判别沙尘暴的沙尘指数 NDSI，

$$NDSI = (B_7 - B_3) / (B_7 + B_3) \quad (1)$$

式中， B_3, B_7 分别为通道 3, 7 的反射率。

此外，根据可见光红波段云、雪、沙尘，下垫面的反射率的不同，厉青^[2]等提出阈值限定的方法排除云、雪和正常低反射率下垫面的影响，

$$0.16 < B_1 < 0.4 \quad (2)$$

式中， B_1 为通道 1 的反射率。

2.1.2 发射辐射特性

MODIS 短波红外通道 20 ($3.75 \mu\text{m}$)，因包含沙尘粒子本身的发射辐射和其对太阳辐射的后向散射辐射，对沙尘的反应异常敏感，据此，厉青^[2]等提出阈值限定的方法提取出包含沙尘的较大范围区域：

$$308K < B_{20} < 325K \quad (3)$$

式中， B_{20} 为通道 20 的亮度温度，单位： K 。

此外，沙尘光谱在中红外通道 ($3\sim4 \mu\text{m}$) 与远红外通道 ($10\sim12 \mu\text{m}$) 的亮度温度有较大差别，可利用其亮温差提取沙尘暴范围，甚至反映沙尘暴强度。据此，郭铌^[4]等提出了沙尘指数

$$DSI = (B_{20} - B_{29}) \quad (4)$$

式中， B_{20}, B_{29} 分别为通道 20, 29 的亮温，单位： K 。

类似地，厉青^[2]等也提出了热红外双通道差值法，所选通道分别为 20 和 31，由于原理与 (4) 式相似，在此只对 DSI 进行进一步讨论。

再者，为了排除太阳光照和地表温度等条件的干扰，海全胜^[3]等从物体比辐射率的独特性出发，提出了以长波辐射波段 ϵ_{-29} 的比辐射率构建的沙尘指数 DSI2(加 2 以区别 (4) 式)

$$DSI2 = (((729.526 \epsilon_{-31} + 1)^{1.29} - 1) / 2606.68) L_{-29} \quad (5)$$

式中， ϵ_{-31} 为通道 31 的比辐射率，假设取 0.9； L_{-29}, L_{-31} ，分别为通道 29 和 31 的辐射亮度

2.2 对比研究

根据以上沙尘暴的光谱特征，结合沙尘暴实例，对比分析不同算法的提取效果。

图 1 为国家气象局发布的 2011 年 3 月 13 日新疆地区沙尘暴监测图像，从图中可以看到塔里木盆地中西部出现大范围沙尘(浅褐色)。

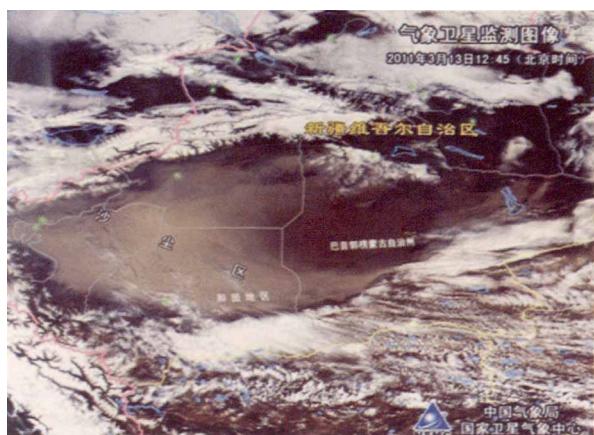


图 1 2011 年 3 月 13 日 FY-3A 气象卫星沙尘监测图像

Fig.1 The spatial distribution map of sandstorm on Mar.13,2011,based on FY-3A

根据该地区地理要素的组成特点与光谱特征,将影像中地物分为如下 6 类:①云、雪;②云沙结合部;③强沙;④浮沉或扬沙;⑤沙漠;⑥其他(裸土、水等)。其中需要分离出的沙尘区包括③,④。

分别针对该地区同一时间的 MODIS 影像通过(1)~(5)式进行

判识,结果如表 1 所列:

$NDSI$: 能很好地将沙尘与云、雪区分开来,但对沙漠等高反射地表判别不佳。

B_1 : 对云、雪以及部分其他地物有一定的判别能力,但其阈值在不同影像中不稳定,受其他因素影响较大。

B_{20} : 对沙尘、沙漠等地物异常敏感,能将沙尘、沙漠区提取出来,但同样存在阈值不稳定的缺点。

DSI : 对沙尘区域有一定的判识能力,其值与沙尘强度有关,但对于

表 1 不同算法判识结果

Tab.1 The results of identification by different algorithms

判识算法	取值范围	计算后所保留的地物类别 (序号后加'代表部分保留)
(1) $NDSI$	$(0, \infty)$	③④⑤⑥
(2) B_1	$[0.16, 0.4]$	①'②'③④⑤⑥'
(3) B_{20}	$[308, 325]$	③④⑤⑥'
(4) DSI	$[33, \infty)$	①'②③④⑤'
(5) DSI_2	$[0.83, \infty)$	①②③④⑥'

沙漠的区别不是很好。虽然改变阈值能部分排除沙漠,但阈值不稳定,且无明显界限。

DSI_2 : 其值由大到小依次为云、强沙、弱沙、地面,云与沙尘之间无明显界限,沙尘与地面之间存在明显界限,其值与沙尘强度有关。

据以上分析,欲将沙尘区域准确提取出来,用单一的算子很难达到理想效果,因此需将不同算法加以组合。前人的研究成果中已用到部分组合,例如:郭锐¹¹等利用(1)(4)组合提取沙尘暴,其结果如图 2 所示。厉青¹²等利用(2)(3)组合的双通道阈值叠加法进行提取,其结果如图 3 所示。而海全胜¹³等仅用到(5)式进行提取,其区分云和沙尘的效果不佳。

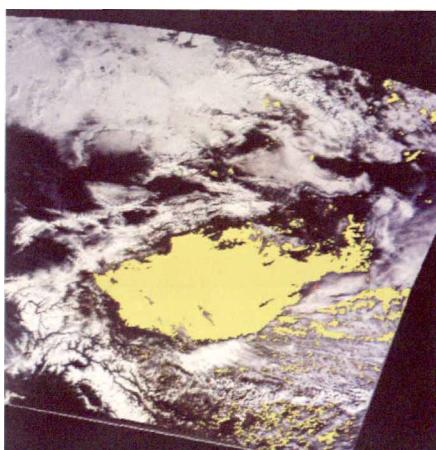


图 2 (1)(4)组合提取的沙尘范围
Fig.2 Spatial distribution map of dust storm computed by (1)(4)

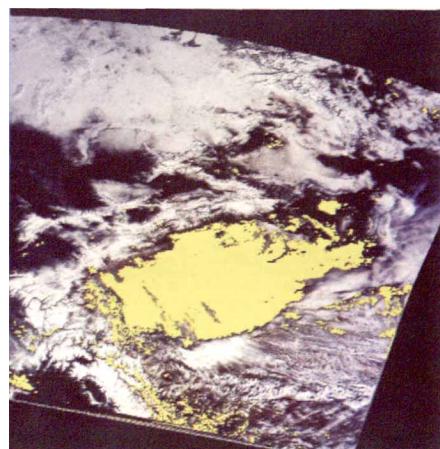


图 3 (2)(3)组合提取的沙尘范围
Fig.3 Spatial distribution map of dust storm computed by (2)(3)

根据大量实验总结出的见表 1 的提取结果,将(1)~(5)式加以重组,提出以(1)(4)(5)三式相结合取交集的方法提取沙尘范围。这种组合方式利用到了(1) $NDSI$ 良好的排除云、

雪区特点,(4) DSI 排除非沙性质地表的优势,以及(5) DSI_2 易排除沙漠等下垫面的性质,将①云、雪;②云沙结合部;⑤沙漠;⑥其他(裸土、水等)一一排除,保留了;③强沙;④浮沉或扬



沙的沙尘区域。其效果如图 4 所示。

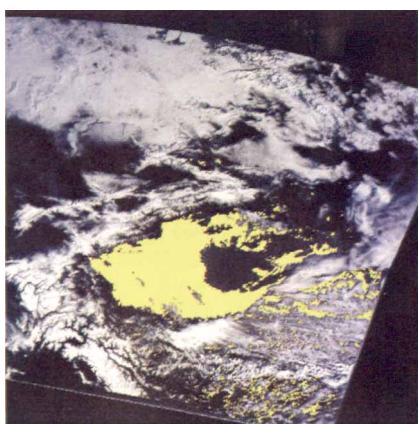
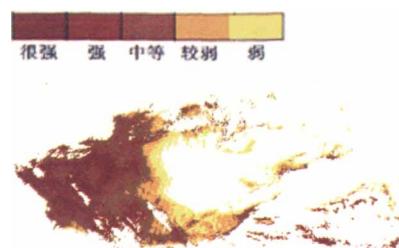


图 4 (1)(4)(5)组合提取的沙尘范围
Fig.4 Spatial distribution map of dust storm computed by (1)(4)(5)

对比图 4 和图 1 不难发现,利用改进后的组合方式提取的沙尘范围更加准确,可以将沙漠区域排除,且受图像噪声等其他因素干扰较小。

继续对沙尘暴强度的判识进行研究。以上算法中,(4)DSI 和(5)DSI2 与沙尘暴强度存在一定联系,曾被用作强度评定方法。利用 ENVI 软件的掩膜功能将沙尘暴区域提取出来,再分别以(4)(5)两式的值为尺度利用决策树功能将其均分为 5 个强度等级,如图 5 和图 6 所示。分别与图 1 以及真彩色合成图进行对比,发现图 5 中沙尘暴的强度变化趋势更加准确,即 DSI 的值更能反映沙尘暴强



6 沙尘暴强度等级图(按 DSI2 分类)
Fig.6 Dust storm intensity level diagram(classified by DSI2)

度,适合对已知沙尘暴区域进行强度的初步、相对评定。

3 结 论

经多次实验证,改进后的判别算式组合方式(1) $NDVI > 0$ (4) $DSI > 33$ (5) $DSI2 > 0.83$ 相比于之前的判别算法在确定沙尘暴范围方面有不小的改进。

通过多式组合的方式,大大降低了单一算式因不同时间或地区图像中阈值取值不稳定的影响,减少了图像噪声造成的误判,增强了其通用性和稳定性。

利用 DSI2 不受太阳光照、地表温度等条件影响的优势,以及其值在沙尘与沙漠间存在的明显界限,准确排除了沙漠对于判识的干扰。

经过对比发现 DSI 更适合作为沙尘暴强度的相对判识标准。

此组合方式保留了原有算式的简单实用性,适合业务应用。

值得注意的是,此方法对于浮尘、扬沙等轻度沙尘暴的判识也存在着界限不明显,不同图像阈值取值不同等问题($DSI2$ 取值在 0.8 至 0.84 间浮动),同时,对于沙尘暴强度的判识

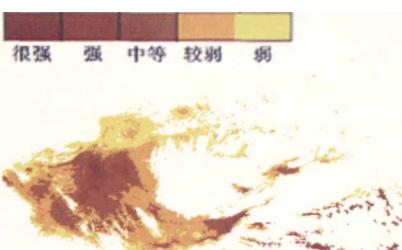


图 5 沙尘暴强度等级图(按 DSI 分类)
Fig.5 Dust storm intensity level diagram(classified by DSI)

也只能停留在相对的层面,虽然 DSI 的变化趋势与沙尘强度存在一定的联系,但由于严格意义上的沙尘暴强度是由风速、能见度两个因素同时决定的,而使用 MODIS 数据仅能反映能见度的不同带来的光谱特征的变化,因此还需要结合当地气象数据做进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 郭锐,梁芸.利用 MODIS 资料定量判识沙尘暴方法研究[J].干旱气象,2006,24(1):1-5.
- [2] 房青,王桥,王文杰,等.基于 EOS-Terra/ MODIS 的沙尘暴遥感监测方法对比研究[J].干旱区地理,2006,29(1):138-142.
- [3] 海全胜,包玉海,阿拉腾图雅,等.利用遥感手段判识沙尘暴的一种新方法[J].红外与毫米波学报,2009,28(2):129-132.
- [4] 肖继东,汪溪远,陈爱京.沙尘暴 EOS/MODIS 卫星遥感监测指数模型[J].干旱区研究,2007,24(2):268-272.
- [5] 倾继祖,张宝文.卫星遥感技术对沙尘暴的检测[J].GANSU METEOROLOGY,2001,19(3):20-22.
- [6] 刘志丽,马建文,张国平,等.亚洲沙尘暴的遥感检测方法研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2005,30(8):708-711.
- [7] 范一大,史培军,王秀山,等.中国北方典型沙尘暴的遥感分析[J].地球科学进展,2002,17(2):289-293.
- [8] 章伟伟,过仲阳,夏艳.利用 MODIS 监测沙尘暴的影响范围[J].遥感技术与应用,2008,23(6):682-685.
- [9] 刘三超,柳钦火,高懋芳.利用 Terra 和 Aqua 双星 MODIS 数据协同研究沙尘暴[J].武汉大学学报:信息科学版,2006,12(31):1051-1054.