

沙尘源区 AVHRR 反照率时序变化 与 TSP 的对比分析

韩秀珍¹ 马建文¹ 刘志丽¹ 刘正军¹

(1 中国科学院遥感应用研究所, 北京市朝阳区大屯路 9718 信箱, 100101)

摘要:以 2001 年 3 月到 5 月的几次沙尘天气为例, 介绍基于地表覆盖的 AVHRR 反照率的反演结果, 并与 TSP(沙尘干量)和 Si(硅)进行对比分析, 发现它们具有较好的相关性, 从而揭示了沙尘暴发生前后地表能量的变化状况, 为预测预警沙尘天气的危害提供及时客观的空间信息。

关键词:沙尘源区; 地表反照率; 沙尘干量

中图法分类号: TP751; P95; P407

近年来, 专家从大气物理、气象、环境和遥感等不同领域广泛开展了对沙尘天气的机理、数值模拟及预测等的研究工作。文献[1, 2]提出了风蚀模型; 文献[3, 4]发展了一种综合的风蚀模型, 用于模拟风蚀的所有阶段, 包括大气、地表状况、风蚀、传输和沉积及 GIS 等 5 种模型。地表状况的物理模型包括土壤水分、地表温度、能量等。地表反照率、地表温度和地表粗糙度在地-气之间的物质、能量和动量交换过程中是 3 个非常重要的物理参数, 它们对沙尘暴的产生能够起到抑制或促进的作用, 尤其是地表反照率直接反映了地表能量的分布变化。

亚洲沙尘暴实验研究从 2001 年春夏启动^[5-8], 包括地面和空中两个系统。在中国北部沙尘源区, 布设了包括测空雷达、风速和 TSP(沙尘干量)、Si(硅)自动记录仪, 利用遥感数据采集沙尘云图变化、运移路径、地表覆盖和沙尘过程的地表反照率、温度、湿度、粗糙度等物理参数, 来反演实验结果, 以弥补地面观测站点稀少、数据不连续的缺陷。本文以 2001 年 3 月到 5 月中国北方的几次沙尘天气为例, 介绍了基于地表覆盖的地表反照率的反演结果并与 TSP 和 Si 进行对比分析, 发现它们具有较好的相关性。

1 数据准备与图像预处理

1.1 工作流程图

将 1:10 万 2000 年中国土地覆盖数据重采样成 1:100 万比例尺作为分类本底数据。图 1 表示了数据处理的工作流程。

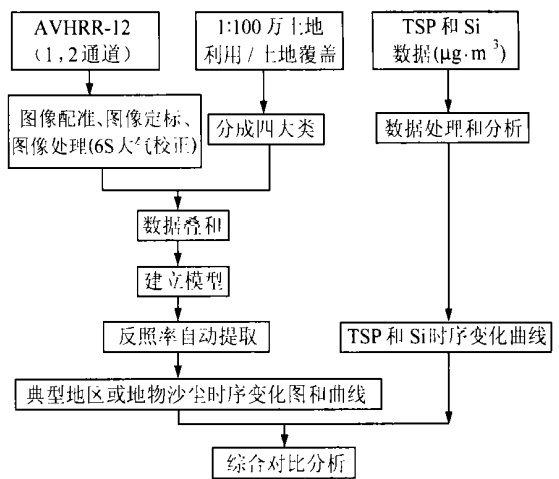


图 1 工作流程图

Fig. 1 Processing Flow

1.2 图像处理

1.2.1 图像配准

为了使图像更精确, 用重采样的 1:100 万比

例尺的土地利用/土地覆盖本底数据对 NOAA 遥感图像进行配准。配准的方法是利用 ERDAS 图像处理软件在土地利用/土地覆盖本底图和 NOAA 遥感图像上找出同名地物点,典型的地物点如河流、湖泊、道路等的交叉点等。

1.2.2 图像定标

通过定标, AVHRR 的计数值换算为物理量^[9-10]。可见光采用类似的定标公式:

$$E_i = A_i I_i + B_i \quad (i = 1, 2, \dots, 5) \quad (1)$$

式中, A_i 和 B_i 为定标系数; I_i 为 AVHRR 探测值; E_i 为经标定后的物理量值。

1.2.3 大气校正

用 6S 大气校正软件进行校正。太阳照射到地面目标的反射能量和卫星传感器接收到的能量是不相同的,后者要大于前者,这种效应称为散射效应。分解散射效应能量极为复杂,包括下垫面的复杂性、沙尘后向散射和大气中水汽、气溶胶等。对卫星数据影响最大的是可见光波段和近红外波段,如 CH1(可见光)和 CH2(近红外)。研究中采用 6S 大气校正公式如下:

$$y = x_a(\text{measured radiance}) - x_b$$

$$a_{\sigma} = y / (1 + x_c y)$$

式中, x_a 、 x_b 、 x_c 代表 3 个系数; y 为中间参数; measured radiance 为大气校正前反射率; a_{σ} 为校正后的反射率系数。

2 沙尘源区地表反照率反演模型及结果分析

2.1 地表反照率反演模型

中国西北部地处干旱区、半干旱区,因此需要采用沙漠、荒漠及荒漠有植被覆盖地区反照率计算方法。在 NOAA/AVHRR 观测数据的 5 个通道中, CH1(0.58 ~ 0.68 μm) 和 CH2(0.725 ~ 1.10 μm) 能够反映下垫面的反射率值,不同的下垫面,两个通道的反射率大小和物理含义是不同的。植被在 0.45 ~ 0.725 μm 波段范围对电磁波具有较强的吸收,因而呈现出较低的反射率;在 0.74 ~ 1.3 μm 波段,由于细胞的作用,则呈现出较高的反射率;在 1.3 μm 之后,由于水份和 CO₂ 的吸收作用,反射率明显下降。

在干燥的大气条件下,可见光、近红外和中红外在总太阳能中所占的比重基本固定,其中可见光部分占 52.6%,近红外部分占 36.2%,中红外部分占 11.2%。NOAA/AVHRR 第一、二通道分别位于可见光和近红外区域,而且它们只反映植被反

射波谱中两个狭窄波段的平均反射率。根据 Brest 的研究结果^[5],中红外部分的反照率约为近红外反射率的一半,因而在沙漠和荒漠有植被地区采用反照率计算式(5)。

在干旱地区,反照率变化很小,反照率一般在 0.30 以上,影响其变化的因素主要是降水量。无植被覆盖下垫面的波谱特性总体较为单调,可以将近红外和中红外合并,简单地分为两部分,通过加权平均计算反照率。对于沙漠而言,与其他下垫面波谱的差别在于,一般下垫面在紫外区域反射率空间变化不大,而沙漠则要大一些。

反照率是生态环境的重要参数之一。通过卫星数据,应用统计模型反演地表反照率,本质上是根据所应用的各波段在太阳辐射中所处的位置及所占的权重来反演全波段反照率。

根据式(1),各波段总入射能量 E 为:

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_i \quad (2)$$

假设下垫面各波段的反射率为 ρ_i ,相应能量为 E_i ,总反射能量 E_r 为:

$$E_r = E_1 \rho_1 + E_2 \rho_2 + \dots + E_i \rho_i \quad (3)$$

则当下垫面为 Lambertain 体, E 为地表能量时,反照率为:

$$A = \frac{E_r}{E} = \frac{E_1}{E} \rho_1 + \frac{E_2}{E} \rho_2 + \dots + \frac{E_i}{E} \rho_i \quad (4)$$

反照率计算模型包括以下三种:

1) 有植被覆盖的沙漠地区:

$$A = 0.526 \rho_{\text{CH1}} a_{\sigma_1} + 0.362 \rho_{\text{CH2}} a_{\sigma_2} + 0.112 [0.5 \rho_{\text{CH2}}] a_{\sigma_2} \quad (5)$$

2) 无植被覆盖的荒漠地区:

$$A = 0.526 \rho_{\text{CH1}} a_{\sigma_1} + 0.474 \rho_{\text{CH2}} a_{\sigma_2} \quad (6)$$

3) 积雪覆盖地区:

$$A = 0.526 \rho_{\text{CH1}} a_{\sigma_1} + 0.232 \rho_{\text{CH2}} a_{\sigma_2} + 0.130 [0.630 \rho_{\text{CH2}} a_{\sigma_2}] + 0.112 [0.065 \rho_{\text{CH2}} a_{\sigma_2}] \quad (7)$$

式中, $a_{\sigma_1} = y_1 / (1 + x_c y_1)$, $y_1 = (\rho_{\text{CH1}} / 1000) x_{a_1} - x_{b_1}$; a_{σ_2} 同 a_{σ_1} 相似; ρ_{CH1} 、 ρ_{CH2} 分别代表 NOAA 卫星第一(可见光)和第二(近红外)通道的反射率。

2.2 沙尘源区地表反照率时序变化与分析

由于不同的地表覆盖类型对地表起沙的贡献不一样,本研究将 1:100 万比例尺的沙尘源区土地利用/土地覆盖数据按照中国生态环境本底数据调查分类系统归成 4 大类:植被、沙漠或戈壁、水体、积雪。将归类后的土地利用数据与 AVHRR 数据叠合,再利用模型提取地面反照率数据,如图 2 所示。

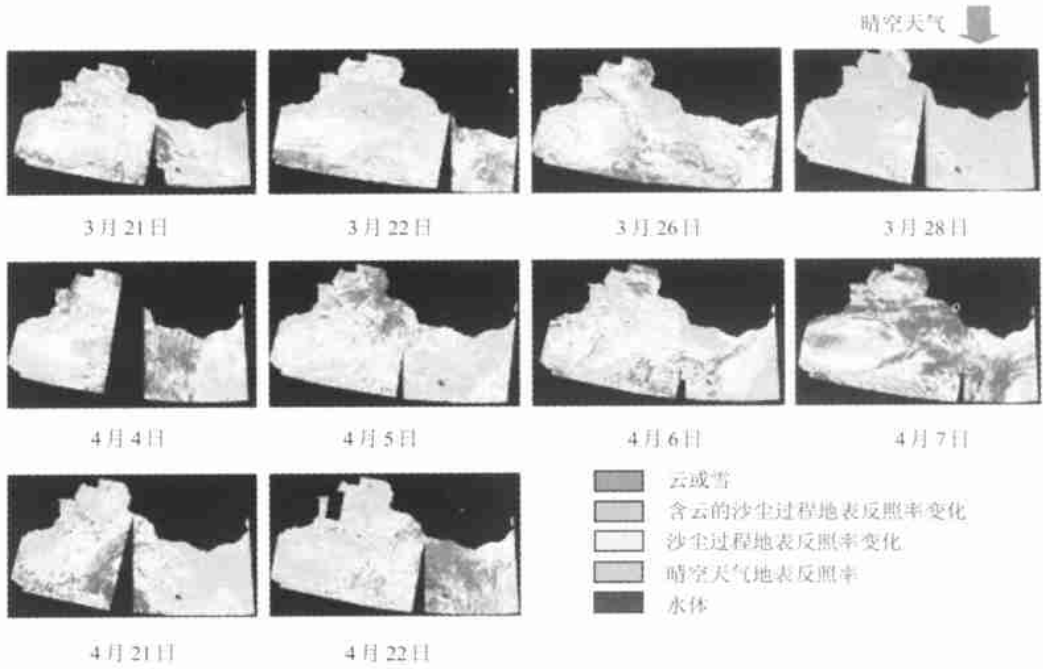


图2 2001年3~5月地表反照率时序变化图

Fig. 2 Surface Albedo Temporal Imagenies

反照率反演结果大致可分为强、中、弱三种。红色调为强, 表示积雪和云; 黄色调为中, 是受沙尘暴影响产生的地表能量变化; 绿色调为弱, 无云、受沙尘暴影响较少的地区。

3 沙尘过程中地面实测沙尘干量 (TSP/Si) 数据

3.1 TSP/Si 数据收集

地面实测数据 TSP 和 Si 由中科院地环所提供。中日沙尘暴合作项目根据沙尘暴的起沙、传输以及降沉模型系统分别在沙尘暴的起沙区、传输区和降沉区布设站点, 实时接收有关沙尘数据。表 1 是沙尘过程中在长武站点地面观测塔自动实时接收的有关沙尘数据。

3.2 TSP 数据分析

根据表 1 得出 TSP 和 Si 的平均值并绘出两者的时序变化曲线, 如图 3、图 4 所示。

表 1 长武地面站接收沙尘 TSP 数据

Tab. 1 TSP Data from Changwu Ground Station

样本号	日期	TSP/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	Si/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	周围温度	周围气压	风速/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	风向
TC52	03-17	205.15	47.68	6.84	659.25	5.39	268.36
TC54	03-21	129.97	30.91	10.75	652.88	4.50	267.07
TC58	03-25	270.04	69.14	9.30	657.88	0.41	209.00
TC62	03-29	162.08	32.29	5.24	655.63	0.51	135.86
TC66	04-2	199.12	30.03	13.15	655.13	0.44	162.71
TC70	04-06	190.64	35.81	6.33	656.75	0.79	116.07
TC106	04-10	701.15	154.29	-2.24	669.25	4.03	259.71
TC110	04-14	256.10	47.35	7.34	663.75	0.48	112.71
TC114	04-18	209.49	49.36	16.89	652.00	1.09	131.50
TC118	04-22	53.63	5.22	4.74	657.13	0.94	109.07
TC135	04-26	100.41	5.95	8.71	655.00	0.89	112.23
TC139	04-30	455.79	116.01	10.02	662.69	0.19	192.85
TC143	05-4	168.82	35.11	14.67	657.23	1.41	213.77
TC144	05-5	152.15	26.22	13.64	654.29	1.53	212.00

4 反照率遥感反演结果与地面 TSP/Si 数据对比分析

尔、植被及敦煌采样, 采样点示意图如图 5 所示。

4.1 反照率遥感反演结果与地面 TSP/Si 采样曲线分析

根据历史数据记载, 2001 年 3~5 月份期间共有 3 个时段的沙尘天气, 即 3 月 21 日~28 日,

根据 4 类土地利用类型分别在塔里木、准噶

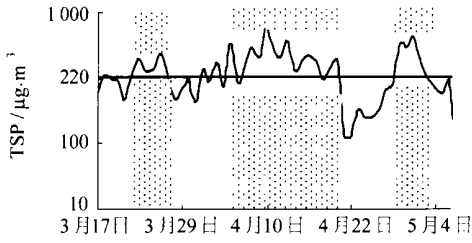


图3 3~5月地表TSP时序变化

Fig. 3 March to May Surface TSP Curve

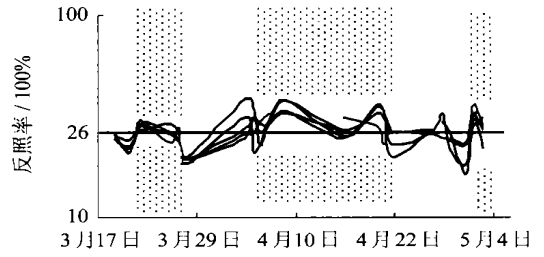


图6 3~5月塔里木地表反照率时序变化

Fig. 6 March to May Surface Albedo Curves

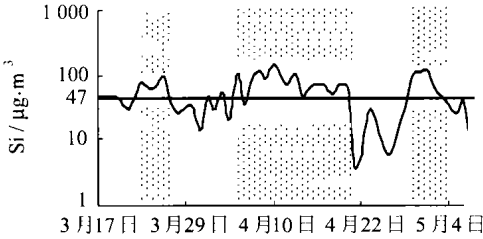


图4 3~5月地表Si含量时序变化

Fig. 4 March to May Surface Si Curve

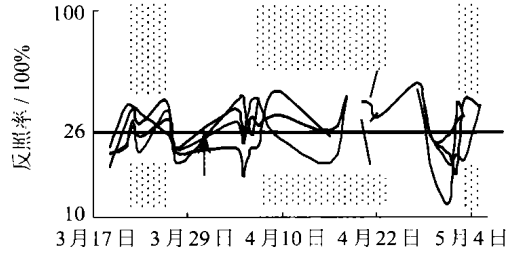


图7 3~5月植被反照率时序变化

Fig. 7 March to May Vegetation Albedo Curves

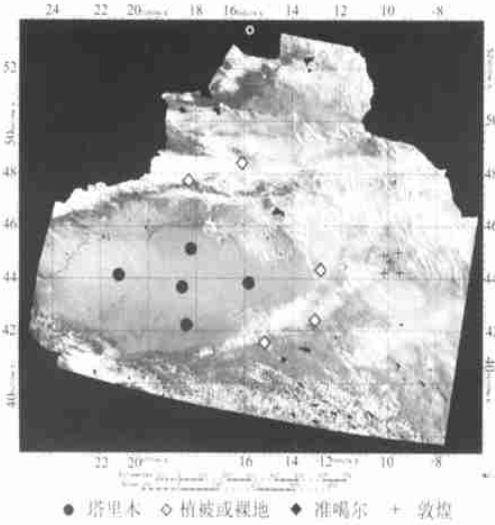


图5 样区采点示意图

Fig. 5 Sample Areas

地、准噶尔盆地、植被以及敦煌的地表反照率时序变化数据,见表2。

表2中的塔里木反照率是塔里木盆地5个样点反照率将其平均后的结果,准噶尔、植被及敦煌类似。分析TSP与不同地类地表反照率的相关性:

$$r_{ig} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i g_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n f_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n g_i^2}} \quad (8)$$

式中, f_i 表示 f 数组中的第 i 个值; g_i 表示 g 数组中的第 i 个值。将表2中的TSP看成是 f 数组,将塔里木盆地、准噶尔盆地、植被及敦煌的反照率看成是 g 数组,分别求相关系数。求得TSP与塔

表2 TSP和地表反照率相关性分析

Tab. 2 Data Assembly of Surface Albedo and TSP Data

日期	TSP/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	塔里木	准噶尔	植被	敦煌
03-17	205.15235	25.47	24.37	21.24	29.90
03-21	129.96517	21.99	26.53	28.36	31.69
03-26	394.85792	26.01	31.05	30.42	
03-27	255.53742	24.85	26.58	25.26	
04-04	175.16109	29.70	27.93	30.17	16.83
04-06	190.6413	26.26	34.39	26.69	25.49
04-10	701.14672				22.01
04-16	367.11262	26.92	18.46	21.01	30.60
04-20	327.39074	33.05			12.59
04-22	53.628159	24.49	20.81	33.54	37.16
04-27	168.00162	26.73		43.65	
04-29	500.28897	24.24	28.25	22.20	
05-03	208.76874	27.35	32.91	26.99	18.05
05-05	152.15343		19.34	35.12	34.57
相关系数		0.8892	0.8735	0.8299	0.8127

4月7日~20日,4月28日~5月2日。图6、图7中,TSP/Si和反照率曲线基本上与沙尘过程日期是一致的,图中阴影部分均值以上的数据是沙尘或沙尘暴天气过程。可以看出,有沙尘暴的日期两者的值都高于平均值,反之都低于平均值,表明沙尘过程中地表反照率和沙尘干量TSP有较好的对应关系。

4.2 反照率遥感反演结果与地面TSP/Si采样曲线相关性分析

将不同地类地表反照率数据与TSP数据汇总,选取典型地物的地表反照率时序变化与TSP数据对比,分析其相关性。分别选取了塔里木盆

里木盆地反照率的相关系数为 $r_1=0.889\ 2$; 与准噶尔盆地反照率的相关系数为 $r_2=0.873\ 5$; 与植被反照率的相关系数为 $r_3=0.829\ 9$; 与敦煌反照率的相关系数为 $r_4=0.812\ 7$ 。

由此可知, 遥感反演反照率数据与地面干沙尘含量 TSP/Si 数据大致有相同的变化趋势, 具有较好的相关性, 地表反照率基本上能够体现沙尘前后地表能量的分布状况。

致谢: 本研究得到了中科院地球环境研究所张小曳、地理科学与资源研究所张仁华研究员、遥感所柳钦火研究员的热情指导和帮助, 在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 Westphal D L, Toon O B, Carson T N. A Case Study of Mobilization and Transport of Saharan Dust. *J. Atmos. Sci.*, 1988, 45: 2 145~2 175
- 2 Joussaume S. Three-Dimensional Simulation of the Atmospheric Cycle of Desert Dust Particles Using a General Circulation model. *J. Geophys. Res.*, 1990, 95: 1 909~1 941
- 3 Shao Y, Leslie L M. Wind Erosion Prediction Over the Australian Continent. *J. Geophys. Res.*, 1997, 102: 30

091~30 105

- 4 Lu H, Shao Y. Toward Quantitative Prediction of Dust Storms: An Integrated Wind Erosion Modeling System and Its Applications. *Environ. Modeling & Software*, 2001, 16: 233~249
- 5 Mikami M. Observation for the Parameterization of Dust Outbreak Used in the Wind Erosion Sub-model. Program for the First ADEC Workshop, Japan, 2002
- 6 Zhang X Y, Chen Z X. Asian Dust Aerosol Observations from Some Sites in the Northern China During Spring of 2001. Program for the First ADEC Workshop, Japan, 2002
- 7 Ma J W, Buheaozier, Liu Z L. LCF, Albedo Retrieving and Analysis in Correspond with TSP Temporal Profile. Program for the First ADEC Workshop, Japan, 2002
- 8 Shao Y P. Numerical Simulation of Asian Dust Storms. Program for the First ADEC Workshop, Japan, 2002
- 9 张仁华. 实验遥感模型及地面基础. 北京: 科学出版社, 1996
- 10 张 霞. 反演陆面温度的分裂窗算法与应用分析. *中国图像图形学报*, 1999, 4(7): 595~599

第一作者简介: 韩秀珍, 博士生。主要从事遥感图像处理、数据模型和 GIS 等研究。已发表论文 10 余篇。

E-mail: hanxz3@hotmail.com

Comparison Analysis of AVHRR Albedo Temporal Changes and TSP Data

HAN Xiuzhen¹ MA Jianwen¹ LIU Zhili¹ LIU Zhengjun¹

(1 Institute of Remote Sensing Applications, CAS, P.O. Box 9718, Datun Road, Beijing, China, 100101)

Abstract: Chinese and Japanese established a joint project in 2001 to set up ground observation stations along dust source areas, transportation roads, precipitation areas collecting TSP (dry dust precipitation) and utilize AVHRR data to retrieve albedo (surface energy), and then we selected data from retrieved albedo temporal imagery to make curves. The result showed that there were good correlation between these two kinds of curves. It was proved that the albedo could be one of the physical parameters for predicting dust storm in future monitoring systems.

Key words: dust source area; surface albedo; TSP data

About the first author: HAN Xiuzhen, Ph. D candidate. Her major researches are remote sensing image, data model and GIS. She has published more than ten papers.

E-mail: hanxz3@hotmail.com

(责任编辑: 袁丰)