

雪对MODIS短波反照率产品质量的影响

吴宏伊, 童 玲

(电子科技大学自动化工程学院 成都 611731)

【摘要】针对多种地表植被类型中等分辨率成像光谱仪(MODIS)短波地表反照率产品进行验证,并评估了雪对不同类型地表的反照率产品的影响。选取了19个AmeriFLUX站点的实测反照率数据对2005年的MODIS短波反照率数据进行验证,站点涉及常绿针叶林、落叶阔叶林、草地、湿地、灌木林和农田6种植被覆盖类型。结果显示受雪的影响时,每种植被类型的反照率产品质量都有所下降,其中常绿针叶林受影响最大,其反演误差、均方根误差、标准差从-0.002 3、0.023 0、0.011 4增至0.082 5、0.108 5、0.086 6。综合所有数据,受雪的影响总的反演误差绝对值从0.020 6增至0.035 5,均方根误差从0.057 2增至0.121 7,标准差从0.053 9增至0.187 0。

关键词 MODIS; 短波遥感数据; 雪盖影响; 地表反照率

中图分类号 TP702

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.02.014

Impact of Snow on MODIS Shortwave Land Surface Albedo Products

WU Hong-yi and TONG Ling

(College of Automation, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 611731)

Abstract This paper evaluates moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS) shortwave land surface albedo products over multiple land cover types, especially the impact of snow on these data. We choose 19 sites from AmeriFLUX to validate MODIS shortwave albedo products in the year of 2005. These sites are covered by evergreen needleleaf forest, deciduous broadleaf forest, grassland, wetland, shrubland and cropland. For every vegetation type, the albedo inversion quality is worse with snow cover than snow free. Snow has the most impact on evergreen needleleaf forests than others. For this land cover type, the bias, root-mean-square error (RMSE) and standard deviation (STD) performances of albedo inversion increase from -0.002 3, 0.023 0, and 0.011 4 to 0.082 5, 0.108 5 and 0.086 6, respectively. For all data, the total bias, RMSE and STD increase from 0.020 6, 0.057 2 and 0.0539 to 0.035 5, 0.121 7 and 0.187 with effect of snow.

Key words MODIS; shortwave remote sensing data; snow's impact; surface albedo

地表反照率是衡量地表能量收支、影响气候变化的重要参数^[1]。在卫星遥感应用中,反照率用于多种遥感产品的生产,如叶面积指数、植被面积指数等,同时它也是地表覆盖分类等研究的基础^[2-3]。雪由于有高反射率特性,只能吸收少量的辐射能量,能够显著影响地气系统能量平衡^[4]。因此,雪的反照率特性是全球反照率监测和应用的重要部分。

由于具有大范围、长时间观测的优点,遥感卫星已经广泛应用于地表反照率监测。MODIS的地表反照率产品具有中等分辨率、覆盖全球、时间跨度大(2000年到现在)的特点,是最为广泛使用的地表反照率产品。它具有较高的空间分辨率,能提供连续的多年地表反射率数据,反映地表反射特性的日、季节和年度变化。利用冰雪覆盖的格陵兰岛上的站

点实测数据,已经证实了MODIS雪反照率产品质量低于植被地区的反照率质量^[4-5]。除了像格陵兰岛这样由纯冰雪覆盖的地区,在很多中高纬度的植被地区,季节性的降雪同样会显著影响地表反照率的反演质量。这些地区的地表反照率产品质量受雪的影响还未得到量化和评估。

以地面站点的观测数据对卫星产品进行验证和评估是将其应用于环境科学的基础^[6]。本文针对不同地表植被类型,以美洲的19个地表站点的实测数据为基础,全面评价MODIS的地表短波反照率产品质量,并针对雪的影响,提出量化的质量分析。

1 MODIS地表反照率反演

MODIS的反照率算法是基于16天内累积的方

收稿日期: 2011-05-26; 修回日期: 2012-09-28

基金项目: 国家“十二五”预研项目(D040201)

作者简介: 吴宏伊(1981-),女,博士生,主要从事定量遥感、地表反照率、反射率特性方面的研究。

向反射率数据对地表反射率模型进行反演。传感器获取的天顶反射率数据经大气校正产生地表方向反射率数据。在16天时间内得到的反射率数据被累积在一起, 含有不同的观测视角信息, 用它们拟合半经验的地表反射率模型可确定模型的相关参数, 进而计算任意角度的方向反射率及半球反照率。反演中使用的半经验模型是RTLSR(ross-thick-lisparse-reciprocal)模型, 它具有一个常数项和两个核的线性核驱动模型^[7]:

$$R(\lambda, \theta', \theta) = f_{\text{iso}}(\lambda) + f_{\text{vol}}(\lambda)k_{\text{vol}}(\theta', \theta) + f_{\text{geo}}(\lambda)k_{\text{geo}}(\theta', \theta)$$

式中, R 是地表二向反射率; λ 是波长; θ' 、 θ 分别代表太阳入射辐射方向和卫星传感器的观测方向; $f_{\text{iso}, \text{vol}, \text{geo}}$ 是模型的3个待定参数; k_{vol} 和 k_{geo} 分别代表体散射核和几何光学核。

MODIS提供3个可见光和4个近红外波段的窄带反照率产品, 其波长范围分别为0.62~0.67 μm 、0.84~0.87 μm 、0.46~0.48 μm 、0.54~0.56 μm 、1.23~1.25 μm 、1.63~1.65 μm 及2.11~2.15 μm 。同时, 通过太阳辐射光谱和各波段滤波器透过率函数^[8], 可将窄带反照率转换为宽带反照率, 由此产

生的短波宽带反照率覆盖了0.3~5.0 μm 的波长范围。

2 数据处理

MODIS搭载在美国地球观测系统计划中的Terra和Aqua卫星上, 是被动式成像分光辐射计, 共有490个探测器, 分布在36个光谱波段, 覆盖了从0.4~14.4 μm 的光谱范围。本文采用结合了Terra和Aqua两颗卫星的观测数据生产的1 km分辨率的地表短波反照率产品(MCD43B3)。

MODIS的地表反照率、BRDF产品具有质量控制文件(MCD43B2), 可以用于区别MODIS反照率产品是否受到雪的影响。雪在可见光波段具有高反射特性, 而在近红外波段反射率较低^[9]。利用雪的这种特性, MODIS的第4波段(可见光)和第6波段(近红外)的观测数据可以用来鉴别地表是否有雪覆盖。当MODIS反照率算法的16天时间窗口内的大部分地表反射率数据是对有雪地表的观测, 并且这些受雪影响的数据进入反演算法时, 反照率产品的质量控制数据就将其标记为有雪的产品^[10]。通过这个质量控制数据, 全部19个站点的反照率产品被分为没雪和有雪两类, 并分别进行质量评估。

表1 站点信息

| 站点名称 | 纬度/(°) | 经度/(°) | 高程/m | 地表覆盖 |
|-----------------------------|----------|-------------|------|-------|
| UCI_1850 | 55.879 2 | -98.483 90 | 253 | 常绿针叶林 |
| UCI_1930 | 55.905 8 | -98.524 70 | 257 | 常绿针叶林 |
| UCI_1964 | 55.911 7 | -98.382 20 | 258 | 常绿针叶林 |
| UCI_1981 | 55.863 1 | -98.485 00 | 254 | 常绿针叶林 |
| Metolius_Intermediate_Pine | 44.452 4 | -121.557 00 | 1253 | 常绿针叶林 |
| Barlett_Experimental_Forest | 44.064 6 | -71.288 08 | 272 | 落叶阔叶林 |
| UMBS | 45.559 8 | -84.713 80 | 234 | 落叶阔叶林 |
| Willow_Creek | 45.805 9 | -90.079 90 | 520 | 落叶阔叶林 |
| Brookings | 44.345 3 | -96.836 20 | 510 | 草地 |
| Fort_Peck | 48.307 9 | -105.101 00 | 634 | 草地 |
| Fermi_Prairie | 41.840 6 | -88.241 00 | 226 | 草地 |
| Ivotuk | 68.486 5 | -155.750 00 | 568 | 湿地 |
| UCI_1989 | 55.916 7 | -98.964 40 | 244 | 灌木林 |
| Lost_Creek | 46.082 7 | -89.979 20 | 480 | 灌木林 |
| UCI_1998 | 56.635 8 | -99.948 30 | 297 | 灌木林 |
| Mead_Irrigated_Rotation | 41.164 9 | -96.470 10 | 362 | 农田 |
| Mead_Rainfed | 41.179 7 | -96.439 70 | 363 | 农田 |
| Fermi_Agricultural | 41.859 3 | -88.222 70 | 225 | 农田 |
| Mead_Irrigated | 41.165 1 | -96.476 60 | 361 | 农田 |

AmeriFLUX是全球微气象观测网络FLUXNET的重要组成部分。它建于1996年, 能提供半小时的高时间分辨率的CO₂、水、能量和动力学等生态和环境参数测量数据。AmeriFLUX的超过120个地面站

点覆盖了北美、中美和南美的广大区域。AmeriFLUX的2级标准数据文件包含了丰富的测量信息, 包括辐射能量、温度、CO₂浓度和土壤水等。在信息缺失的时间点上都有统一的填充信息, 便于区别和使用。

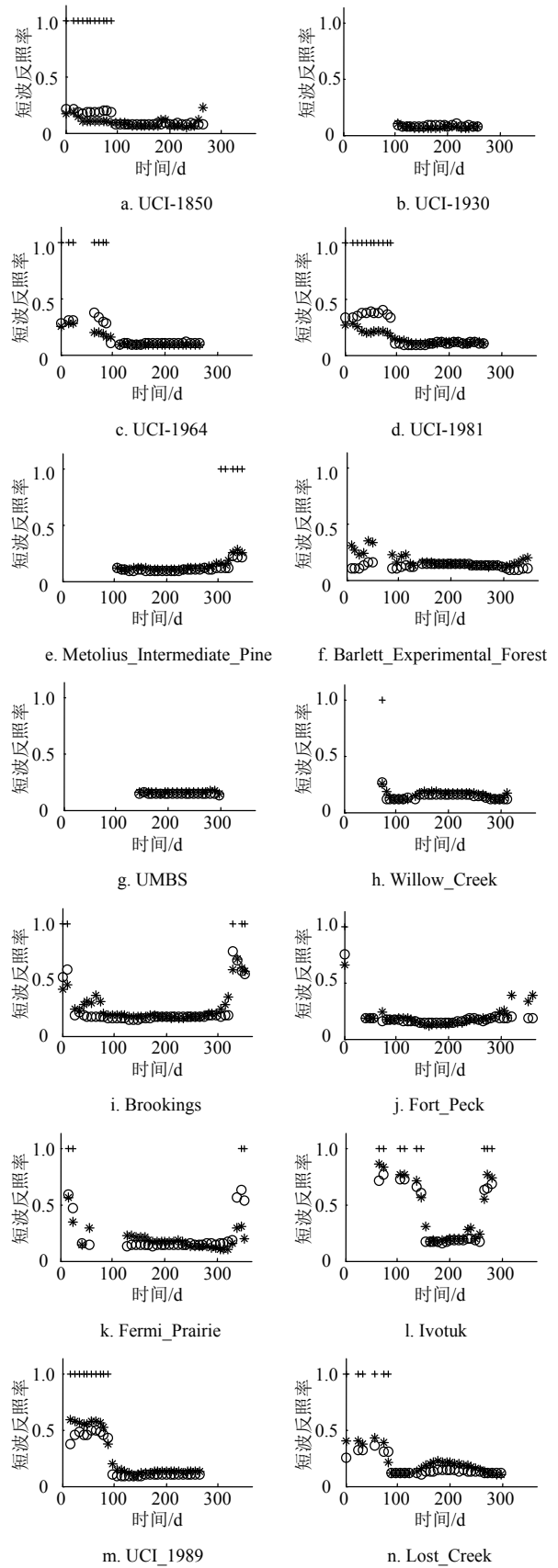
本文选取了19个AmeriFLUX站点, 选择的依据主要是纬度范围在中纬到高纬地区, 这样在冬春季节可以观测到植被-雪混合地表的反照率数据。表1总结了站点的位置和植被信息。在验证中, 地面站点的短波反射辐射与入射辐射的比值作为地表反照率测量值用于与MODIS反照率进行对比和统计分析。由于MODIS的地表反照率是通过16天内的反射率数据反演得到的, 它反映了这个时间区间内地表反照率的总体情况。相应的地面站点数据进行了16天累积平均处理。作为近极地轨道卫星, Terra和Aqua用于生产反照率产品的观测数据分别在当地时间10:30和13:30采集, 即进入反演过程的数据是集中在当地时间的正午前后采集的。对应于MODIS的观测时间, 每天正午前后2 h内的站点数据被选取来进行平均处理。

3 结果及分析

图1显示了2005年的MODIS短波地表反照率与AmeriFLUX站点数据的对比结果。有些站点没有显示出全年的对比情况, 这是由于卫星产品或地面实测数据在某些时间出现了缺失, 图中仅显示了能进行对比分析的数据。在UCI_1850、UCI_1930、UCI_1964、UCI_1981、Metolius_Intermediate_Pine、Barlett_Experimental_Forest、UMBS、Willow_Creek这8个由森林覆盖的站点, 夏秋季节的地表反照率表现出明显的浓密植被反照率的特点, 反照率值保持在0.1左右。其他11个站点的植被覆盖矮小或稀疏一些, 反照率值有所上升, 在0.2左右。在没有雪的影响时, MODIS的反演质量非常好, 与地面实测值几乎一致。从图中有雪的标注(十字符号)位置, 可以看出较大的误差几乎都出现在地表有雪覆盖的情况。对MODIS反照率数据和地面实测数据进行统计分析, 表2总结了统计结果。各个站点的平均偏差在0.01~0.06之间, 均方根误差一般都在0.05~0.07之间。下面, 各种植被类型的数据将区别有无雪的影响进行具体地评估。

针对常绿针叶林、草地、湿地、灌木林和农田这5种植被类型, 本文分别统计了没雪和有雪的情况下, MODIS短波反照率反演质量的指标。从图1中可以看出, 在Barlett_Experimental_Forest、UMBS、Willow_Creek这3个植被覆盖为落叶阔叶林的站点缺乏有雪标记的数据, 因此没有对这三个站点评估雪的影响。但是, 从图1中这三个站点的对比结果中可以看出, 在2005年前100天时间内, 地面实测的反照率值在0.2~0.3, 结合此时处于冬-春季节, 可以判

定这段时间内的MODIS产品出现的较大反演误差正是由雪引起的。这说明MODIS地表反照率的质量控制数据存在对雪覆盖的误判或漏判的情况。



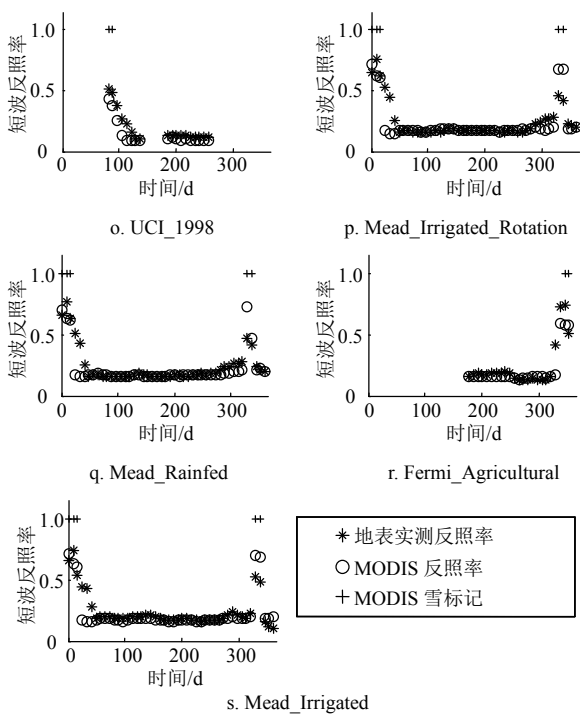


图1 2005年的MODIS短波反照率数据(圆圈)与AmeriFLUX站点实测反照率(星形符号)的时间序列对比

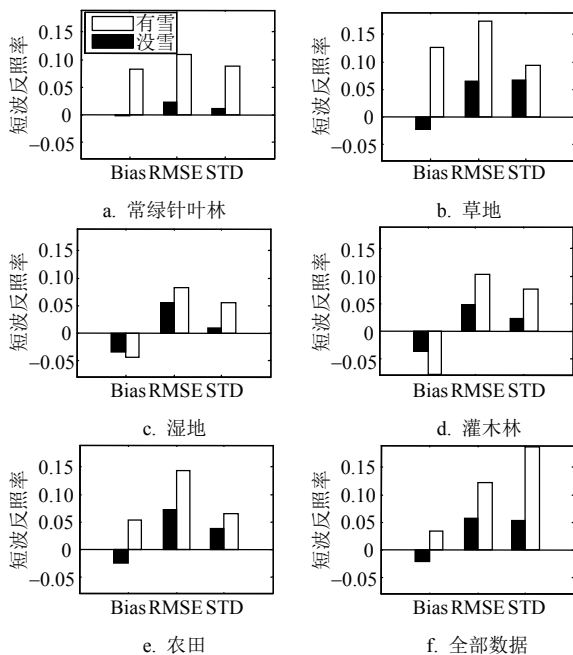


图2 5种植被类型以及全部数据统计结果的柱状图

图2是5种植被类型以及全部数据的反演误差(Bias)、均方根误差(RMSE)和标准差(STD)的柱状图。从中可以看出,除了湿地的反演误差,其他所有的反演性能在有雪的影响时都有所下降。

表2总结了反演质量统计数据。

雪对MODIS地表反照率产品产生影响最大的是常绿针叶林。没有雪覆盖时,常绿针叶林的反照率产品的反演误差为 -0.0023 ,均方根误差为 0.0230 ,

标准差为 0.0114 。在有雪时,这些指标分别为 0.0825 、 0.1085 、 0.0866 ,都存在多倍的性能下降。其他4种植被类型的反照率反演性能受雪的影响也有所下降。综合所有数据,总的反演误差绝对值受雪影响从 0.0206 增至 0.0355 ,均方根误差从 0.0572 增至 0.1217 ,标准差从 0.0539 增至 0.1870 。总的来说,在没有雪的情况,MODIS短波反照率产品具有很高的反演质量,在有雪覆盖时,反演质量有所下降,其中以常绿针叶林的反照率产品受雪影响最大。由于卫星像元和地表观测的尺度差异,在像元的大观测范围内,很难满足均匀的雪覆盖,这种由雪引起的不同尺度上的地表不均一性是反演质量下降的原因之一。尤其在森林中,雪在植被冠层停留的时间远远少于地面积雪的时间,另外位于观测塔顶的辐射度计观测的通常是其下方的小区域,而卫星传感器获取的是较大范围内植被冠层、地表混合的辐射信息,这些因素引起了常绿针叶林站点的MODIS反照率在有雪时质量显著下降。另一方面,雪的积累和融化引起的地表情况变化比植被生长引起的地表变化迅速得多。此时在MODIS反演时间窗口内累积的地表反射率数据很难满足地表情况不变的假设,地表反射率模型对反射率数据的模拟能力下降也可能引起反照率反演质量下降。

表2 各站点反演质量统计结果

| 站点名称 | Bias | RMSE | STD |
|-----------------------------|----------|---------|---------|
| UCI_1850 | 0.022 7 | 0.053 2 | 0.054 0 |
| UCI_1930 | 0.012 3 | 0.015 7 | 0.006 0 |
| UCI_1964 | 0.027 8 | 0.054 6 | 0.094 3 |
| UCI_1981 | 0.041 7 | 0.088 2 | 0.126 7 |
| Metolius_Intermediate_Pine | -0.019 4 | 0.025 8 | 0.036 4 |
| Barlett_Experimental_Forest | -0.048 3 | 0.077 4 | 0.018 3 |
| UMBS | -0.010 2 | 0.011 1 | 0.004 9 |
| Willow_Creek | -0.015 8 | 0.022 1 | 0.030 0 |
| Brookings | -0.025 7 | 0.070 5 | 0.159 0 |
| Fort_Peck | -0.017 2 | 0.059 2 | 0.097 5 |
| Fermi_Prairie | 0.017 9 | 0.108 7 | 0.153 1 |
| Ivotuk | -0.040 0 | 0.067 6 | 0.256 9 |
| UCI_1989 | -0.047 3 | 0.066 8 | 0.171 5 |
| Lost_Creek | -0.039 0 | 0.057 4 | 0.076 7 |
| UCI_1998 | -0.052 7 | 0.068 9 | 0.103 5 |
| Mead_Irrigated_Rotation | -0.0145 | 0.092 2 | 0.154 1 |
| Mead_Rainfed | -0.018 1 | 0.082 6 | 0.148 0 |
| Fermi_Agricultural | -0.025 3 | 0.071 2 | 0.147 7 |
| Mead_Irrigated | -0.012 3 | 0.077 6 | 0.155 6 |

4 结论与讨论

本文通过区别MODIS地表短波反照率产品是否受到雪的影响,分别评估了有雪和没雪这两种情况的反照率产品。涉及的5种地表植被类型的反照率产品在有雪覆盖时质量都有所下降,其中常绿针叶林受影响最大。

对于由冰雪引起的反照率反演质量下降, 可以从以下方面进行改进: 由于现行的卫星反照率反演采用的地表反射率模型都不是以冰雪的反射率特性为基础建立的, 提高地表反射率模型对冰雪反射率的模拟能力可以改善这一问题; 另一方面, 利用长时间、多地区的反照率数据建立冰雪地表反照率的经验信息, 可以作为冰雪反照率反演时的背景场, 提高反演质量。

参 考 文 献

- [1] LIANG S. Quantitative remote sensing of land surfaces[M]. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2004.
- [2] BICHERON P, LEROY M. Bidirectional reflectance distribution function signatures of major biomes observed from space[J]. *J Geophys Res*, 2000, 105(21): 26669-26681.
- [3] MAIGNAN F, BRE'ON F, LACAZE R. Bidirectional reflectance of earth targets: Evaluation of analytical models using a large set of spaceborne measurements with emphasis on the Hot Spot[J]. *Remote Sens Environ*, 2004(90): 210-220.
- [4] STROEVE J C, BOX J E, HARAN T. Evaluation of the MODIS (MOD10A1) daily snow albedo product over the Greenland ice sheet[J]. *Remote Sens. Environ*, 2006, 105(2): 155-171.
- [5] WANG K, LIANG S, SCHAAF C L, et al. Evaluation of moderate resolution imaging spectroradiometer land surface visible and shortwave albedo products at FLUXNET sites[J]. *J Geophys Res*, 2010(115): D17107.
- [6] MORISETTE J T, PRIVETTE J L, JUSTICE C O. A framework for the validation of MODIS land products[J]. *Remote Sens Environ*, 2002(83): 77-96.
- [7] JIN Yu-Fang, GAO Feng, SCHAAF C B. et al. Improving MODIS surface BRDF/Albedo retrieval with MISR Multiangle Observations[J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing*, 2002, 40(7): 1593-1604.
- [8] LIANG S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I algorithms[J]. *Remote Sens Environ*, 2000(76): 213-138.
- [9] WISCOMBE W J, WARREN S G. A model for the spectral albedo of snow, I: Pure snow[J]. *J Atmos Sci*, 1980(37): 2712-2733.
- [10] JIN Yu-fang, SCHAAF C, GAO Feng, et al. How does snow impact the albedo of vegetated land surfaces as analyzed with MODIS data?[J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(10): 1374.

编辑 漆 蓉