

基于 MODIS 的近红外大气水汽含量的反演 及其与地基 GPS 水汽的对比分析

李艳永^{1,2}, 崔彩霞³, 赵玲², 卢新玉^{1,2}, 崔丽娜^{1,2}

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002; 3. 新疆气象台, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 利用 ENVI4.5 软件对 2007 年 7—9 月间 23 d 的 MODIS 1B 晴空数据进行水汽的反演, 从中提取乌鲁木齐地区水汽含量并与地基 GPS 水汽数据进行对比分析, 发现经过 MODIS 1B 反演的近红外水汽相对于地基 GPS 水汽偏小, 但两者的变化趋势基本一致。通过 MODIS 近红外水汽的订正公式对反演的水汽进行订正, 可使乌鲁木齐地区 MODIS 晴空像元大气水汽含量精度明显提高。

关键词: 水汽; MODIS; GPS

中图分类号: P407

文献标识码: B

文章编号: 1002-0799(2010)06-0030-04

Comparison Analysis between Water Vapor Retrieved from MODIS Near-IR and Ground-based GPS Water Vapor

LI Yan-yong^{1,2}, CUI Cai-xia³, ZHAO Ling², LU Xin-yu^{1,2}, CUI Li-na^{1,2}

(1. College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;

2. Institute of Desert and Meteorology, CMA, Urumqi 830002, China;

3. Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China)

Abstract: By use of the ENVI 4.5 software, this paper retrieved the water vapor content of atmosphere based on MODIS 1B clear sky data of total 23 days during Jul. -Sep. 2007, and contrasted and analyzed the MODIS precipitable water vapor (PWV) in Urumqi and ground-based GPS PWV. The results showed that the retrieval PWV used by MODIS 1B data was lower than GPS PWV, but the variety trends of both showed good consistency each other. The MODIS PWV was corrected by the corrected formula, the precision of corrected PWV of MODIS increased obviously.

Key words: water vapor; MODIS; GPS

水汽是大气中重要的气象参数^[1], 水汽的分布、传输和季节变化对于研究水循环、全球气候变化、人工增雨(雪)作业等具有非常重要的意义。新疆山区

面积广阔, 利用探空气球所测的数据非常有限, 必须经过空间插值运算后才能运用于数据模式中。由于探空气球测的数据是离散的点数据, 站点之间的距离远, 经过插值后获得的面数据误差比较大。在山区、沙漠、冰川等观测台站稀疏地区, 相对于传统手段而言, 利用遥感手段反演水汽含量具有非常大的优势, 能够分析大区域范围内空中水汽的时空分布

收稿日期: 2010-06-19; 修回日期: 2010-07-24

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技支撑项目(200891129)资助。

作者简介: 李艳永(1984-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事资源与环境遥感监测研究。Email: liyanyong666666@sina.com

的变化趋势。因此目前利用遥感数据进行水汽反演受到相关领域的广泛关注^[2]。

根据探测不同的波段,遥感水汽反演主要分为3大类:近红外方法(Kaufman and Gao,1992;Bennartz and Fscher,2001),微波方法(Al-ishouse et al.,1990),热红外方法(Outleet al.,1997;Sobrinho et al.,1994)^[3]。红外主要使用617 μm附近的水汽强吸收带或11~13 μm的分裂窗方法来反演,主要适用于探测600 hPa高度以上的水汽,对低层的水汽难以测量,而大气中的水汽绝大部分位于对流层低层。微波方法是一种很好的探测手段,但又遇到下垫面放射率复杂、空间分辨率低等问题的困扰^[4]。本文主要运用近红外方法利用MODIS 1B数据进行大气水汽含量的反演并与近年来广泛应用的地基GPS水汽进行对比分析。

MODIS (moderate-resolution imaging spectro-radio-meter)是搭载于美国发射的太阳同步极轨轨道系列卫星EOS/TERRA和EOS/AQUA上的主要传感器,其中AQUA星上的MODIS数据可用于水汽的探测,MODIS传感器有36个通道。在36个光谱通道中,有5个近红外波段,其中17、18和19波段是水汽吸收波段,波段2、5是大气窗口波段。用于反演的5个近红外通道见表1。

表1 MODIS近红外波段水汽反演中应用的通道

通道	2	5	17	18	19
中心波长/μm	0.865	1.240	0.905	0.935	0.940
通道宽度/μm	0.040	0.020	0.030	0.010	0.050
空间分辨率/km	250	500	1 000	1 000	1 000

1 MODIS 1B数据反演晴空大气水汽含量

1.1 近红外大气水汽含量的计算

对于透过率与水汽含量的关系表达式,通常的做法是通过MODTRAN、6S和LOWTRAN等大气模型软件进行模拟大气透过率与大气水汽含量之间的关系。Kaufman和Gao Bo-Cai利用LOWTRAN模拟出两者的关系曲线,同时给出如下关系表达式:

$$T(0.94/0.865)=\exp(\alpha-\beta\sqrt{w}), R^2=0.999 \quad (1)$$

解方程(1)得水汽表达式:

$$W=[(\alpha-\ln T)/\beta] \quad (2)$$

对于混合型地表, $\alpha=0.020, \beta=0.651$;对于植被覆盖的地表, $\alpha=0.012, \beta=0.651$;对于裸土, $\alpha=-0.040, \beta=0.651$ ^[5]。

1.2 遥感数据的来源

在ENVI4.5中通过打开外部文件的方式获得

经过定标后的表观反射率数据,不需要再进行把DN值转化为表观反射率的操作,用ENVI软件对MODIS数据进行处理,采用的遥感数据为AQUA_2007_09_13_07_38.MOD021KM.hdf。

1.3 数据处理

1.3.1 等经纬度投影

MODIS 1B数据带有经纬度信息文件,可以根据经纬度信息文件对遥感影像进行几何校正。选择的投影方式为等经纬度投影。MODIS 1B数据存在明显的“蝴蝶结”现象,表现为相邻两个扫描行之间有部分的数据相同,越向边缘越明显。但在用ENVI 4.5进行等经纬度投影的过程中,会自动进行去蝴蝶结的处理,对由遥感器成像过程产生的边缘畸变进行校正。通过图1和图2的对比可以明显看出选择等经纬度投影进行几何校正后,反映的地理信息比较真实。

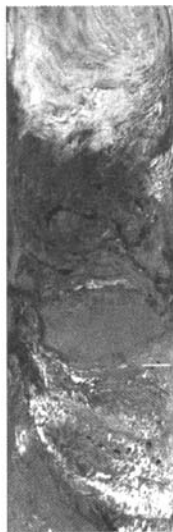


图1 几何校正前

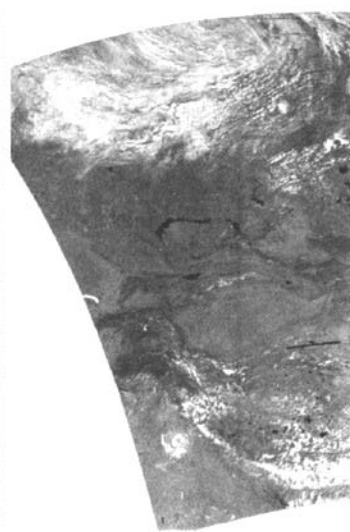


图2 几何校正后

由于反演水汽的通道分辨率不同,在对另一个通道进行几何校正的时候,要保证对所要进行运算的波段,采取相同的投影方式,把像元重采样到相同的大小。

1.3.2 范围裁剪和波段运算

为了减少计算机运算的时间,根据研究区的范围裁剪出相应区域(图3),图中右下角的黑色长条为坏条带。运用ENVI中的Band Math功能进行波段运算,计算出水汽含量分布图(图4)。

为了降低误差,在水汽图像上添加网格,网格大小为 $0.3^\circ \times 0.3^\circ$,在与乌鲁木齐对应的网格内像元取

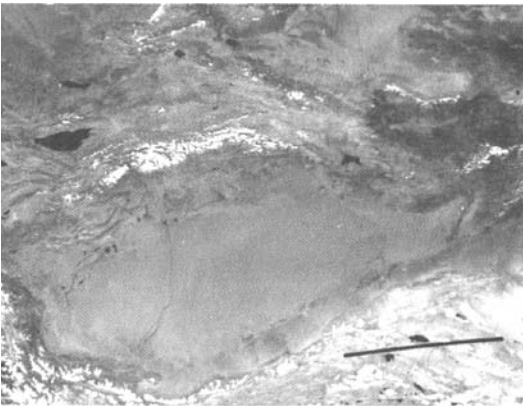


图3 范围裁剪后的影像

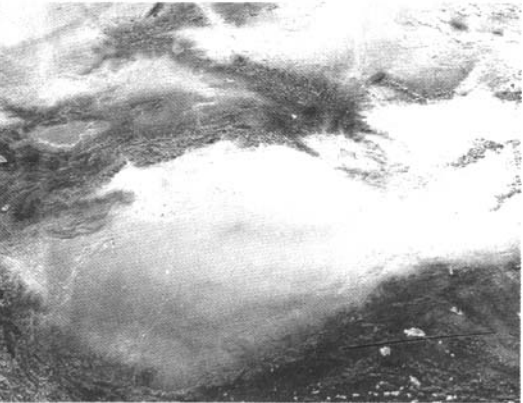


图4 大气水汽含量分布图

平均值,用该平均值来代表乌鲁木齐的水汽总含量。

2 MODIS 近红外大气水汽含量与地基 GPS 水汽的对比分析

GPS 水汽数据具有高的时间分辨率,可获得时间间隔为一小时的水汽数据。为了对比分析 MODIS 近红外反演的水汽和 GPS 水汽,选取 2007 年 7 月—9 月间 23 d 的晴空 MODIS 1B 资料进行水汽反演,并获得相应时段的乌鲁木齐站 GPS 水汽数据(表 2)。从图 5 的比较图中可以看出 MODIS PW 相对于 GPS PW 偏小,但两者的变化趋势基本一致。

按照梁宏等人^[6]的订正原理,采用多元大气压高公式(3)以及 NASA 提供的订正公式(4)对上面的数据进行订正,具体公式如下:

$$P=P_0\left[1-\frac{\Gamma\cdot H}{T_0}\right]\frac{g}{R_d\Gamma},\tag{3}$$

表2 乌鲁木齐 MODIS 近红外 PWV 和 GPS PWV

MODIS 1B 数据	GPS PW/mm	MODIS 近红外 PW/mm
AQUA_2007_08_05_07_32.hdf	26.49	22.42
AQUA_2007_08_11_06_56.hdf	23.62	16.29
AQUA_2007_08_14_07_26.hdf	14.94	9.13
AQUA_2007_08_17_07_57.hdf	28.63	23.92
AQUA_2007_08_18_07_02.hdf	24.24	20.43
AQUA_2007_08_19_07_45.hdf	26.23	21.99
AQUA_2007_08_23_07_20.hdf	16.72	12.56
AQUA_2007_08_25_07_08.hdf	26.63	18.72
AQUA_2007_08_26_07_51.hdf	28.18	24.98
AQUA_2007_08_28_07_39.hdf	24.18	19.93
AQUA_2007_08_30_07_26.hdf	24.25	16.69
AQUA_2007_09_08_07_20.hdf	20.71	14.33
AQUA_2007_09_11_07_51.hdf	14.63	16.13
AQUA_2007_09_13_07_38.hdf	16.23	12.17
AQUA_2007_09_12_06_55.hdf	12.19	9.45
AQUA_2007_09_19_07_02.hdf	12.48	8.63
AQUA_2007_09_20_07_45.hdf	18.38	12.09
AQUA_2007_09_25_07_08.hdf	17.86	13.98
AQUA_2007_07_20_07_32.hdf	15.43	14.78
AQUA_2007_07_26_06_56.hdf	23.53	18.84
AQUA_2007_07_29_07_26.hdf	17.07	13.52
AQUA_2007_07_30_04_50.hdf	16.33	12.86
AQUA_2007_07_31_05_33.hdf	19.81	13.57

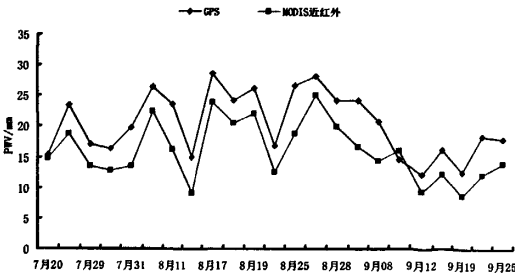


图5 2007 年 GPS PWV 和 MODIS PWV 比较图

$$PWV_{corrected}=\frac{PWV_{modis}}{P^{0.9}}.\tag{4}$$

其中海平面气压 $P_0=1\text{ atm}$,海平面温度 $T_0=288.5\text{ K}$,对流层温度垂直直减率 $\Gamma=0.0065\text{ K/gpm}$,干空气比气体常数 $R_d=287.05\text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, H 为台站海拔高度 (m),重力加速度 $g=9.8\text{ m/s}^2$, P 为台站地面气压 (atm), PWV_{modis} 为 MODIS 像元大气可降水量, $PWV_{corrected}$ 为订正后的 MODIS 像元大气可降水量,利用乌鲁木齐地面气压对 MODIS 近红外水汽进行

订正,图6为订正后比较图,从图中可以看出,经过订正后的MODIS近红外水汽精度得到明显提高。

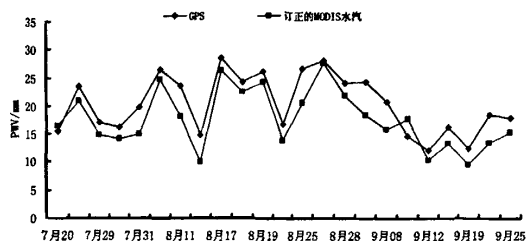


图6 2007年GPS PWV和订正的MODIS PWV比较图

3 结论

(1)MODIS近红外水汽反演可以获得大范围内空中水汽的时空分布,相对于传统的观测手段具有明显的优势。

(2)由于受气溶胶、地表反射率、大气湿温廓线等因素的影响,MODIS近红外反演水汽数据相对于地基GPS水汽偏小,但两者的变化趋势基本一致,

利用GPS水汽数据对MODIS近红外水汽进行订正可获得精度较高的水汽影像。

参考文献:

- [1] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等.大气物理学[M].北京:北京大学出版社,2003:5.
- [2] 王伟民,孙晓敏,张仁华,等.地物反射光谱对MODIS近红外通道水汽反演影响的模拟分析[J].遥感学报,2005,9(1):8-9.
- [3] Zhang qiang, Zhang jie, Sun guo wu. Research on Water-Vapor Distribution in the Air over Qilian Mountains [J]. Acta Meteorologica Sinica 2007, 22(1): 107-109.
- [4] 李红林,李万彪.MODIS近红外资料反演大气水汽总含量[J].北京大学学报,2008,44(1):121-123.
- [5] Kaufman.Y.J, Gao B.C. Remote Sensing of Water Vapor in the Near IR from EOSMODIS [J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1992,30(5):871-884.
- [6] 梁宏,刘晶森,李世奎.青藏高原及周边地区大气水汽资源分布和季节变化特征分析[J].自然资源学报,2006,21(4):526-534.

科技信息

南疆特色林果越冬气候影响分析研讨会 在新疆气象局召开

2010—2011年南疆特色林果越冬气候影响分析研讨会在新疆气象局召开。新疆气象局副局长张杰出席会议。自治区党委农办和林业厅、气象局、农科院有关单位的领导和专家参加了会议。

张杰在讲话中对长期以来支持气象部门工作的部门和单位表示感谢。他指出,在气候异常的大背景下,各部门专家共同开展技术交流,针对南疆特色林果业安全越冬气象条件作出分析和预测,为自治区林果业生产提供防灾减灾科学依据,是一项十分重要的工作。同时,也将有助于促进气象部门提高特色林果业气象服务水平。

会议中,新疆气候中心的专家分别作2010—2011年南疆冬季气候趋势预测和2010年南疆特色林果生长期气象条件分析与评述;林业方面的专家对2010年新疆林果业生产情况、林果业有害生物对林果生产影响进行了分析与评述。与会人员就2010年特色林果生长期气象条件、今冬明春气候趋势预测以及林果越冬期气温、降水和可能出现的气象灾害趋势等进行了分析、研讨和预测,并提出了对策建议。

(潘继鹏)