

# 基于 MODIS 数据的黄河源区 近地表气温遥感反演

周曙光<sup>1,2</sup>, 张耀生<sup>1</sup>, 赵新全<sup>1</sup>, 米兆荣<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院西北高原生物研究所 高原生物适应与进化重点实验室, 青海 西宁 810001;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**为探讨应用 MODIS 数据反演近地表气温的可行性, 建立遥感反演实验区近地表温度方程, 对比不同下垫面对反演结果的影响, 利用 2007 年全年的 MODIS 地表温度产品和 HOBO 气象站实测的气温资料, 对黄河源区 4 种典型草地近地表温度进行研究。结果表明, 直接应用 MODIS-LST 反演近地表气温是可行的, 分白天和夜间分别建立模拟方程对方程反演结果进行验证发现, 白天和夜间反演平均误差分别为 3.47 K 和 2.12 K, 反演精度都较高, 但白天反演精度不如夜间。不同草地类型对反演结果没有明显影响。

**关键词:**MODIS; 黄河源区; 温度; 遥感

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2011)07-1229-05

气温是植物生理、水文、气象、环境科学非常关注的一个近地表气象参数, 是描述陆地环境条件的重要参数, 也是气象观测资料中最基本的观测项目之一<sup>[1]</sup>。近地表气温同时控制着大部分陆地表面过程(如光合作用、呼吸作用及陆地表面蒸散过程等), 气温变化也影响着农作物栽培<sup>[2-3]</sup>、种子萌发<sup>[4-6]</sup>、农情监测、森林火险监测<sup>[7]</sup>、高山冻土<sup>[8]</sup>等诸多方面。

青藏高原是世界上海拔最高、面积最大、最年轻的高原, 具有独特的气候和自然环境, 占我国国土面积的 26%, 长波辐射在地表辐射平衡中占有重要分量, 所以青藏高原对“温室效应”的响应比其他地域灵敏<sup>[9]</sup>, 并与全球环境变化关系密切<sup>[10]</sup>, 获取气温的时间和空间分布数据对于更好地理解青藏高原气候变化、陆地表面过程以及对全球变化的响应研究等都有着非常重要的意义。

从区域能量平衡的观点来看, 遥感获取的陆地表面温度(land surface temperature, LST)和气温之间必然存在着能量方面的联系, 因此, 用遥感获取 LST 并建立它和气温之间的关系也是可能的。李超等<sup>[11]</sup>研究表明, 在各个季节, 地表温度平均值与近地面气温平均值之间呈高度线性正相关。用卫星遥感数据来反演温度已有很长的历史, 最早可以追溯到 20 世纪 60 年代初期所发射 TIROS-II<sup>[12]</sup>。近年来, 越来越多人用 NOAA/AVHRR 及 MODIS 等遥感数据进行反演温度的研究<sup>[1, 13-15]</sup>, 也曾有人用遥感的方法对青藏高原的温度状况进行了研究<sup>[16-17]</sup>。

遥感资料具有大范围、实时、周期性的特点, 能够满足对地表温度的宏观、动态监测和分析, 可以弥补人工气象站数量稀少的不足, 改进实测资料稀少地区的数值天气预报模式精度<sup>[18]</sup>, 也可以减少因气象台站布设问题而产生的误差。本研究利用面向全球发布、可以免费接收和无偿使用的 MODIS 数据, 这极有助于研究方法和成果的普及和推广。

## 1 试验区概况

试验区位于黄河上游的同德县, 是三江源自然保护区的试验区, 属于大陆高原性气候。海拔 3 105~4 036 m, 位于 34°38'~35°39' N, 100°08'~101°09' E, 年均温为 -3.0~6.1 °C, 最热月 7 月的平均气温为 11.9 °C, 最冷月 1 月的平均气温为 -13.2 °C; 年降水量 230~540 mm, 蒸发量 1 466 mm; 各地降水差异悬殊, 雨量分布呈南多北少、东多西少的趋势, 降水多集中在 5-9 月, 占年总降水量的 85% 以上, 季节分布极不均匀; 年日照时数 2 550~2 760 h。

试验选择在比较有代表性的高寒草甸、高寒草原、温性草原和栽培草地 4 种草地类型上, 高寒草甸

\* 收稿日期: 2010-09-17 接受日期: 2010-10-12  
基金项目: 国家科技支撑计划项目“高寒草地退化生态系统综合整治技术研究”(2006BAC01A02); 中国科学院西部行动计划项目“三江源区退化生态系统受损与修复机制及可持续管理”(KZCX2XB20601)  
作者简介: 周曙光(1985-), 男, 河南驻马店人, 在读硕士生, 主要从事草地生态和遥感方面的科研工作。  
E-mail: zhoushuguang1010@163.com  
通信作者: 张耀生 E-mail: zys@nwipb.ac.cn

优势种为高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、矮嵩草(*K. humilis*)、苔草(*Carex scaposa*)等,此草地为夏季牧场。高寒草原优势种为紫花针茅(*Stipa purpurea*)、矮嵩草等,通常在冬季放牧。温性草原优势种为克氏针茅(*S. krylovii*)、青海固沙草(*Orinus kokonorica*)等,该草地为冬季放牧地。栽培草地优

势种为垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、高山嵩草等,栽培草地已种植6年,一直严格禁牧,但每年定期收割,随着种植年限的延长,草地早熟禾(*Poa pratensis*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)等种群在草地群落中呈逐年增加趋势。各观测点概况如表1所示。

表1 各观测点概况

草地类型	试验区	经纬度	海拔(m)	土壤类型
高寒草甸	赛前沟	34°52' N, 100°50' E	3 824	高山草甸土
高寒草原	嘎干沟	34°58' N, 100°44' E	3 739	高山草原土
温性草原	南巴滩	35°15' N, 100°51' E	3 330	栗钙土
栽培草地	美丽滩	35°05' N, 100°39' E	3 247	栗钙土

## 2 数据来源与处理

**2.1 观测数据** 实测气温来自每种草地类型上架设的小型自动气象站(HOBO weather station, USA),数据为2007年全年采集的距地表2 m处的气温,数据自动记录间隔为20 min。

遥感数据来自美国(Land Process Distributed Active Archive Center, LPDAAC),为MODIS数据产品(MOD11A1),该产品时间分辨率为1 d,空间分辨率为1 000 m,数据的时间序列为2007年1月1日—12月31日,共计363景影像(有2景缺失,分别为3月20日和11月13日)。数据经过严格的辐射校正和几何校正,可以用于科学研究。

**2.2 数据处理** 在MODIS数据处理软件MRT的支持下,用ERDAS 9.2图像处理软件将覆盖研究区的\*.hdf文件重采样到Albers投影,参考椭球WGS84,中央经线为105° E,两条标准纬线分别为25° N和47° N。然后根据GPS测定的4种草地类型上气象站的经纬度信息,从遥感影像中获取相应站点的LST值。对全年白天与夜间卫星过境时间分别求均值,发现白天过境时间约为11:45,夜间过境时间约为22:20,为了与白天和夜间卫星过境时间相对应,使近地表气温反演更精确,取11:00、12:00、13:00为白天实测近地表气温值,取21:00、22:00、23:00地面气象站记录的气温的均值作为夜间实测近地表气温值。

分4个气象站,把2007年全年的遥感影像数据和气温数据按时间先后排列,根据影像中的质量控制信息对遥感数据进行筛选,只使用影像质量最好(QC\_Day或QC\_Night值为0)的数据,实测的近地

表气温也只保留与质量最好的影像对应的那些天数的数据。然后把筛选出来的数据按时间先后排列并依次编号,再分成两组,序号为奇数的数据为第1组,用这一组数据建立实测温度与MODIS-LST的相关方程;序号为偶数的数据为第2组,用第2组数据检验第1组数据建立的方程。

## 3 结果与分析

### 3.1 4种草地白天气温与LST的相关分析

4种草地白天实测气温与LST的相关关系都较好,它们的相关方程的决定系数都较高(表2),通过验证每一个反演方程发现,实测值与方程反演值的差值的标准差都在4 K左右,实测值与方程反演值差值的平均值都在3 K左右,反演精度较高,具有一定的应用价值。

### 3.2 4种草地夜间气温与LST的相关分析

4种草地夜间实测气温与LST的相关关系都很好,4个方程的决定系数都超过0.900,实测值与方程反演值差值的标准差都在3 K左右,实测值与方程反演值差值的平均值都在2 K左右,反演精度较高(表2)。

**3.3 白天和夜间反演结果比较** 对比4种草地的反演方程发现,无论是白天还是夜间,4个方程的反演结果之间的差异都不显著。将4种草地白天和夜间的实测气温数据和遥感数据放在一起,用类似2.2部分描述的方法建立方程并进行检验。结果发现,夜间距地面2 m处气温与MODIS-LST的相关性比白天强(图1)。

分析白天和夜间对比遥感反演近地表气温的精度,发现精度都较高(表3),白天反演的误差平均值

表2 白天气温、夜间气温反演方程及精度

	草地类型	反演方程	反演误差	
			标准差(K)	平均值(K)
白天气温	高寒草甸	$y_1 = 0.015x_1 + 76.691 (R^2 = 0.645)$	4.34	3.50a
	高寒草原	$y_2 = 0.014x_2 + 78.906 (R^2 = 0.764)$	4.09	3.12a
	温性草原	$y_3 = 0.013x_3 + 102.450 (R^2 = 0.798)$	4.02	3.24a
	栽培草地	$y_4 = 0.013x_4 + 97.278 (R^2 = 0.767)$	3.78	3.14a
夜间气温	高寒草甸	$y_5 = 0.018x_5 + 33.478 (R^2 = 0.932)$	2.79	1.88a
	高寒草原	$y_6 = 0.018x_6 + 37.570 (R^2 = 0.923)$	2.76	2.02a
	温性草原	$y_7 = 0.018x_7 + 30.048 (R^2 = 0.903)$	3.16	2.59a
	栽培草地	$y_8 = 0.018x_8 + 29.441 (R^2 = 0.929)$	2.55	2.09a

注:反演误差平均值一列后面相同的小写字母表示不同草地类型间差异不显著( $P > 0.05$ );误差平均值指实测值减去模型计算值的差值的平均值,误差标准差指实测值减去模型计算值的差值的标准差。下表同。

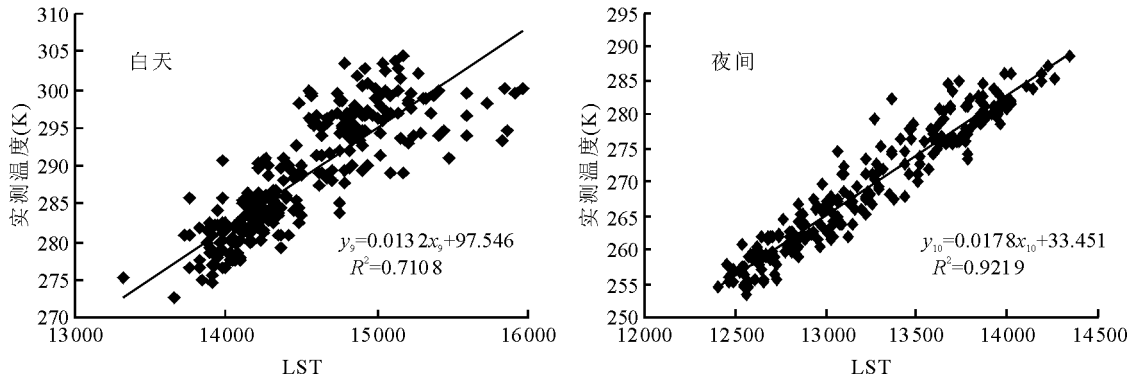


图1 白天和夜间实测气温与陆地表面温度(LST)的相关关系

表3 白天和夜间反演气温精度分析

类项	样本总数 (d)	一定误差范围内样本占总样本的百分比(%)					误差标准差 (K)	误差平均值 (K)
		±1 K	±2 K	±3 K	±4 K	±5 K		
白天	272	18.4	32.0	47.1	63.2	78.3	4.27	3.47
夜间	245	35.9	60.4	74.7	84.5	92.7	2.86	2.12

的绝对值比夜间高 1.35 K,白天的误差标准差比夜间高 1.41 K。通过以上分析,并结合反演精度较高的样本数占总样本数的百分比可知,白天的反演精度不如夜间高。

#### 4 讨论与结论

无论白天还是夜间,MODIS-LST 与近地表气温均表现为强相关,这与 Yan 等<sup>[19]</sup>在中国东部地区的研究结果较一致,其研究表明,MODIS-LST 与近地表气温有着较好的相关性。但是白天和夜间反演精度之间的差异比较明显,白天的反演精度低,可能是因为白天随着太阳高度角增加,近地面湍流活动

加强,地表蒸发到大气中的水汽增加,而水汽对 10.5~12.5 μm 红外辐射有着较强的吸收,造成 MODIS-LST 反演的误差较大。夜间则没有太阳辐射,地面温度迅速下降,气温降低,空气趋于稳定层结,运动较少,大气中水汽含量减少,因而反演效果较好。

虽然不同草地类型具有不同的物种组成、冠层结构等,但本研究发现,不同下垫面对近地表气温反演的精度没有明显影响,这与 Vancutsem 等<sup>[20]</sup>在非洲多种生态系统类型的近地表气温反演研究较一致,其研究表明气温与 MODIS\_LST 的相关性不受

生态系统类型的影响。

本研究所采用的反演方法简单,通过相应软件对遥感数据进行处理,结合较少的地面气象数据建立反演方程,然后就可以将某个没有实测记录的特定位置的遥感数据代入反演方程,对近地表气温进行反演。本研究发现,应用 MODIS 地表温度产品能够得到精度较高的近地表气温反演结果,白天和夜间反演误差在 4 K 内的样点所占比例分别达到 63.2%和 84.5%,5 K 内的比例分别达到 78.3%和 92.7%,白天和夜间气象站实测值与反演值的平均误差分别为 3.47 K 和 2.12 K,反演精度较高,具有较高的应用价值。

本研究应用空间分辨率为 1 000 m 的遥感数据,存在混合像元问题,但从结果来看,所用数据的空间分辨率已经足以用于反演距地面 2 m 处的气温,影响遥感反演温度的因素很多,但这些因素不是简单叠加的,乔平林等<sup>[21]</sup>的研究结果认为,把非均匀地表作为等效均匀地表处理进行地面温度卫星反演是可行的。

#### 参考文献

- [1] 齐述华,王军邦,张庆员,等. 利用 MODIS 遥感影像获取近地层气温的方法研究[J]. 遥感学报,2005,9(5): 570-575.
- [2] 胡玉新,董兰英,孟林云. 气温升高对高寒地区农作物栽培的影响[J]. 现代农业,2009,9:46-46.
- [3] 程海霞,宋军芳,帅克杰,等. 气温变化对晋城市冬小麦适宜播种期的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(2): 552-553.
- [4] 李晓梅,赵晓英,赵法,等. 新疆 3 种锦鸡儿属植物种子萌发对温度和土壤水分的响应[J]. 草业科学,2009,26(10):140-145.
- [5] 李巧峡,李凯,丁文龙,等. 不同处理对北方嵩草种子萌发的影响[J]. 草业科学,2009,26(8):112-117.
- [6] 黄文达,王彦荣,胡小文. 三种荒漠植物种子萌发的水热响应[J]. 草业学报,2009,18(3):171-177.
- [7] 彭光雄,李京,陈云浩,等. 利用 MODIS 大气廓线产品计算空气相对湿度的方法研究[J]. 热带气象学报,2007,23(6):611-616.
- [8] 周春清,周志东,廖万雍,等. 气温变化对青藏铁路多年冻土的影响初探[J]. 四川水力发电,2004,23(S1): 1-2.
- [9] 向波,缪启龙,高庆先. 青藏高原气候变化与植被指数的关系研究[J]. 四川气象,2001,21(1):29-36.
- [10] 郑度,林振耀,张雪芹. 青藏高原与全球环境变化研究进展[J]. 地学前缘,2002,9(1):95-102.
- [11] 李超,刘厚通,迟如利,等. 草地下垫面地表温度与近地面气温的对比研究[J]. 光学技术,2009,4: 635-639.
- [12] 高懋芳,覃志豪,徐斌. 用 MODIS 数据反演地表温度的基本参数估计方法[J]. 干旱区研究,2007,24(1): 113-119.
- [13] 历华,曾永年,负培东,等. 利用多源遥感数据反演城市地表温度[J]. 遥感学报,2007,11(6):891-898.
- [14] 许国鹏,李仁东,刘可群,等. 基于 MODIS 数据的湖北省地表温度反演研究[J]. 华中师范大学学报:自然科学版,2007,41(1):143-147.
- [15] 乔平林,张继贤,徐科峰,等. 基于卫星遥感数据的陆面温度反演算法研究[J]. 湖南科技大学学报:自然科学版,2006,21(1):50-53.
- [16] 杨文. 光谱比辐射率对卫星遥感地表温度影响的研究[J]. 高原气象,1997,16(1):36-44.
- [17] Bianduo, Bianbaciren, Li L, *et al.* The response of lake change to climate fluctuation in north Qinghai-Tibet Plateau in last 30 years[J]. Journal of Geographical Sciences, 2009, 19(2): 131-142.
- [18] 崔彩霞,杨青,杨莲梅. MODIS 资料用于塔克拉玛干沙漠地表温度计算方法初探[J]. 中国沙漠,2003,23(5):596-599.
- [19] Yan H, Zhang J H, Hou Y Y, *et al.* Estimation of air temperature from MODIS data in east China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(23): 6261-6275.
- [20] Vancutsem C, Ceccato P, Dinku T, *et al.* Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(2): 449-465.
- [21] 乔平林,张继贤,王翠华,等. 基于遥感数据的非均匀性陆面温度反演方法[J]. 红外与激光工程,2006,35(4):415-418.

## Retrieving of near land surface temperature in the source region of Yellow River with remote sensing

ZHOU Shu-guang<sup>1,2</sup>, ZHANG Yao-sheng<sup>1</sup>, ZHAO Xin-quan<sup>1</sup>, MI Zhao-rong<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota,

Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Qinghai Xining 810001, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Two equations were established during daytime and nighttime by using the MODIS data in the study area for describing the feasibility of getting the LST (land surface temperature). The MODIS LST product and ground based temperature data from HOBO climate stations were collected to analyze the LST for four different grassland in Yellow river watershed. This study showed that it was feasibility to use the MODIS LST product to acquire the land surface temperature. The retrieval equations of daytime and nighttime were also validated, and the mean error in daytime and nighttime are 3.47 K and 2.12 K, respectively. The accuracy of the equation in nighttime was higher, but the effect of different grasslands was inconspicuous.

**Key words:** MODIS; the source region of Yellow River; temperature; remote sensing

## 2011年6月国际市场主要饲料与畜产品价格分析

国际饲料价格普遍上涨。美国玉米价格环比上涨2.9%;大豆上涨1.6%。

国际育肥牛价格较5月上涨0.4%,欧盟猪肉价格下跌5.6%,牛奶上涨2.5%。

表1 6月国际市场主要饲料与畜产品平均价格

饲料	价格	畜产品	价格
玉米	290.51 USD/t	瘦肉猪	2.04 USD/kg
大豆	504.95 USD/t	育肥牛	2.82 USD/kg
大麦	205.00 AUD/t	猪肉*	2.02 USD/kg
春小麦	497.34 AUD/t	鸡肉**	1.92 USD/kg
高粱	221.00 USD/t	牛肉**	4.34 USD/kg
豆粕	365.48 USD/t	羊肉***	2.85 USD/kg
菜籽	586.96 CAD/t	羊羔肉***	4.90 USD/kg
豆饼	357.84 USD/t	牛奶	0.41 USD/kg
棉籽饼	336.43 USD/t		
苜蓿粉	229.57 USD/t		

注:\*表示欧盟,\*\*表示美国,\*\*\*表示新西兰。6月参考汇率为1 CNY(人民币)=0.155 USD(美元)=0.145 AUD(澳元)=0.150 CAD(加元)=0.096 GBP(英镑)。

(兰州大学草地农业科技学院 孙义)