

基于 MODIS 数据的黄河源区土壤温度遥感估算研究*

周曙光^{1,2}, 张耀生¹, 赵新全¹, 米兆荣^{1,2}

(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 100001)

摘要: 为探讨应用 MODIS 数据估算高寒牧区草原土壤温度的可行性, 建立遥感反演试验区土壤温度反演的数学模型, 利用 2007~2010 年 4 年的 MODIS 数据和 HOBO 气象站实测的土壤温度资料, 对黄河源区 3 种典型草地土壤温度进行了研究。结果表明: 应用 MODIS-LST 估算土壤温度是可行的, 分白天和夜间分别建立模拟方程并对方程估算精度进行检验, 夜间反演精度优于白天, 夜间土壤温度估算平均误差为 1.77 K (开氏温度), 估算精度较高, 具有较高的应用价值和现实意义。

关键词: MODIS; 黄河源区; 土壤温度; 遥感

中图分类号: S 152.8 文献标识码: A 文章编号: 1004-390X(2011)Sup.-0035-06

Estimation of Soil Temperature in the Source Region of Yellow River With Remote Sensing

ZHOU Shu-guang^{1,2}, ZHANG Yao-sheng¹, ZHAO Xin-quan¹, MI Zhao-rong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 2. Postgraduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100001, China)

Abstract: To study the possibility of estimate the soil temperature through MODIS data, build estimate equation, and explore the different effect of different land surfaces. The soil temperature of three kinds of grasslands in the source region of Yellow River was researched, which based on MODIS and HOBO data of 2007~2010. The results showed the method was practicable, the accuracy of estimation was high. We built estimate equations of day and night, found the estimate accuracy of night soil temperature was higher, the mean error was 1.77 K (Kelvin temperature). This method has the important practical significance.

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

土壤温度是重要的土壤物理性质,不但影响土壤中碳氮等物质的化学和生物学过程,并且决定土壤资源质量高低,从而影响植物的生长、种子的萌发、农作物的产量(程建峰,2002;张慧智,2009)。受太阳辐射、大气循环、降水等因素的作用,土壤与大气进行着能量的交换,形成了土壤温度周期性的日变化和季节变化,这种变化尤其是表层土壤温度的变化显著影响着土壤生物的生命活动(Bond -

Lamberty,2005)。研究表层土壤温度的季节性变化和区域分异特征有助于揭示土壤温度对农业生产 and 生态环境的影响。

卫星遥感为土壤温度的求取和监测提供了新技术,MODIS 资料具有大范围、实时、周期性的特点,能够满足对土壤温度的动态监测和分析。与传统的方法相比,利用 MODIS 资料进行遥感监测具有诸多优势:①提供宏观的观测资料,不受地域条

收稿日期: 2011-05-31

* 基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAC01A02); 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2XB20601)。

作者简介: 周曙光(1985-),男,河南驻马店人,在读硕士研究生,主要从事草地和遥感研究。

件的限制,可以弥补人工气象站数量稀少的不足。②考虑到交通、设备安全性和维护难易、以及获取数据难易程度等因素,人们通常会把气象站建立在市郊或距城镇较近的地方,因此,实测数据可能因气象站布设不合理而产生误差,遥感的方法就可以弥补这个不足。③MODIS数据面向全球发布,可以免费接收和无偿使用,这极有助于研究的普及和推广。④本文所用MODIS数据的空间分辨率为1 000 m,虽然存在混合像元问题,进而影响反演精度,但也已经足以满足某些实际需要。

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)和土壤温度之间必然存在着能量方面的联系,因此,用遥感获取的LST估算土壤温度的情况也是可能的。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(高懋芳,2007)。近年来,有越来越多人用NOAA/AVHRR及MODIS等遥感数据进行反演温度的研究(齐述华,2005;历华,2007;许国鹏,2007;乔平林,2006)。也曾有人用遥感的方法研究青藏高原的温度状况(杨文,1997;Bianduo,2009),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”的响应比其它地域灵敏(向波,2001),并与全球环境变化关系密切(郑度,2002),获取土壤温度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。

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 m~4 036 m,北纬34°38'~35°39',东经100°08'~101°09',年均温为-3.0~6.1℃,最热月7月的平均气温为11.9℃,最冷月1月的平均气温为-13.2℃;年降水量为230~540 mm,蒸发量为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。

试验选择比较有代表性的高寒草原、温性草原和人工草地3种草地类型,高寒草原优势种为紫花针茅(*Stipa purpurea*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)等,通常在冬季放牧。温性草原优势种为克氏针茅(*Stipa krylovii*)、青海固沙草(*Orinus kokonorica*)等,该草场为冬季牧场。人工草地优势种为垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、小嵩草(*Kobresia pygmaea*)等,人工草地已种植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
Tab.1 General conditions of observation sites

草地类型 grassland type	试验区 test area	经纬度 latitude and longitude	海拔/m elevation
高寒草原 alpine grassland	嘎干沟 Gagan ditch	N34°58' E100°44'	3 739
温性草原 temperate steppe	南巴滩 Nanba beach	N35°15' E100°51'	3 330
人工草地 artificial grassland	美丽滩 Meili beach	N35°05' E100°39'	3 247

2 数据来源与处理

2.1 实测土壤温度

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2007~2010年采集的地表以下20 cm处的土壤温度,数据自动记录间隔为20 min。

遥感数据:所需数据来自美国LPDAAC(Land Process Distributed Active Archive Center)的MODIS

数据LST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日到2010年12月31日。

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 Conical Equal Area投影,参考椭球为WGS84,中央经线为东经105°,两条标准纬线分别为北纬25°和北纬47°。然后根据GPS测定

的3种草地类型上建立的气象站的经纬度信息,从遥感影像中提取相应站点的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,使土壤温度估算更精确,取11时,12时,13时的平均值为白天实测的土壤温度值,取21时,22时,23时的平均值为夜间实测的土壤温度值。

根据影像中的质量控制信息对数据进行处理,只使用影像质量较好的数据(质量控制信息为0,2

或17),实测的土壤温度也只保留与较好质量的影像对应日期的数据,按照3种不同的草地类型分别使用2007和2008年的相应遥感和实测数据进行相关分析,然后用2009和2010年的数据对以上分析结果进行验证。

3 结果与分析

3.1 3种草地白天LST与土壤温度的相关分析

2007,2008年白天实测的土壤温度与MODIS-LST的相关关系。

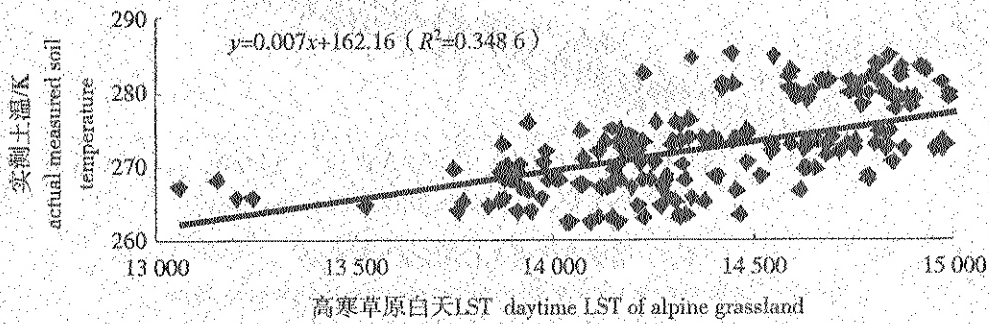


图1 高寒草原白天土壤温度估算分析

Fig. 1 The estimation of daytime soil temperature of alpine grassland

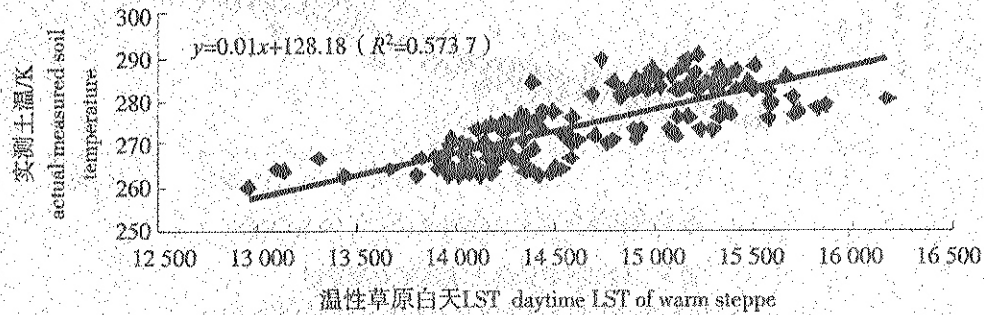


图2 温性草原白天土壤温度估算分析

Fig. 2 The estimation of daytime soil temperature of warm steppe

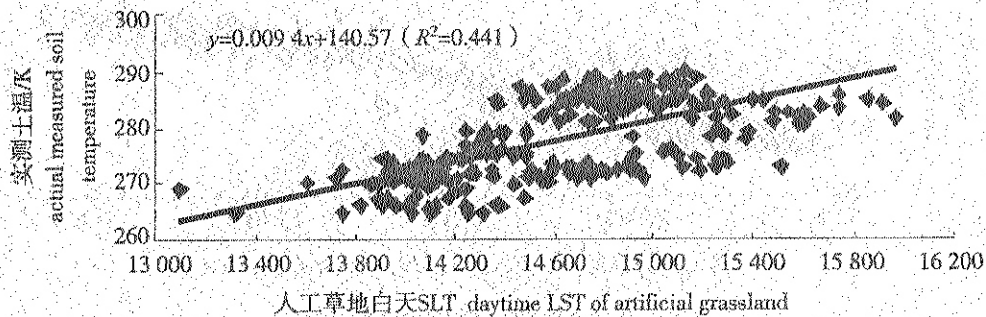


图3 人工草地白天土壤温度估算分析

Fig. 3 The estimation of daytime soil temperature of artificial grassland

从图1~3可以看出,2007到2008年,白天MODIS-LST与3种草地类型白天实测20cm深

度处土壤温度相关性都不强,相关性大小依次为:温性草原($R^2=0.5737$) > 人工草地($R^2=0.441$) > 高寒草原($R^2=0.3486$),这就表明,用白天 MODIS-LST 数据估算白天 20 cm 深度的土壤温度的效果不理想,具体原因有待进一步研究。

3.2 3 种草地夜间 LST 与土壤温度的相关分析

2007,2008 年夜间 MODIS-LST 与夜间实测

的土壤温度的相关关系。

从图 4~6 可以看出,3 种草地类型夜间 MODIS-LST 与夜间实测 20 cm 深度土壤温度之间均达到强相关,相关系数均在 0.9 左右,大小次序为:温性草原($R^2=0.9153$) > 人工草地($R^2=0.8975$) > 高寒草原($R^2=0.8592$)。

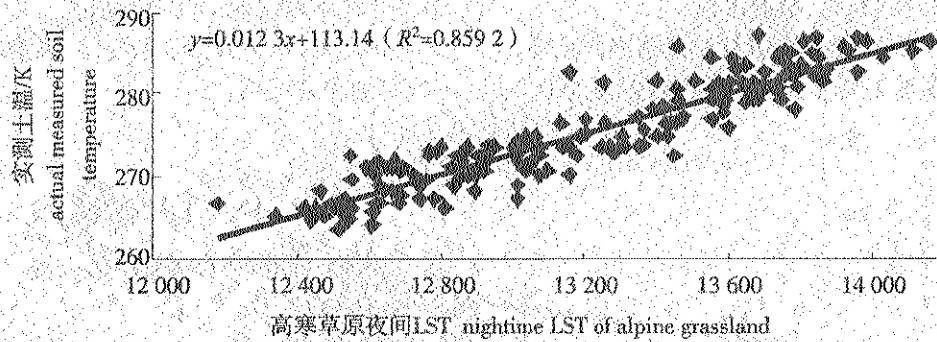


图 4 高寒草原夜间土壤温度估算分析

Fig. 4 The estimation of nighttime soil temperature of alpine grassland

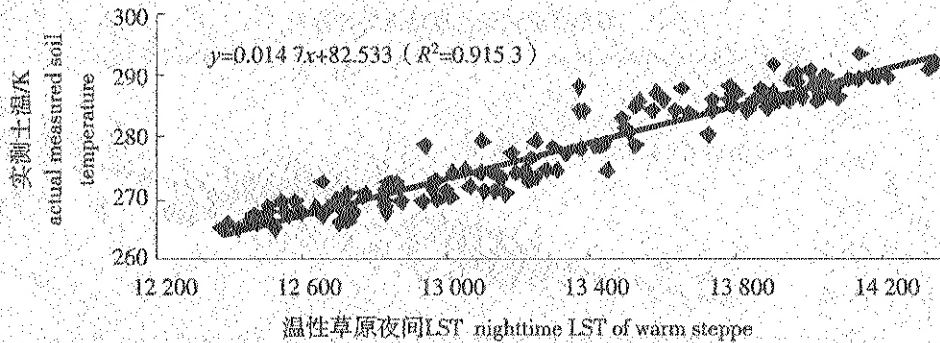


图 5 温性草原夜间土壤温度估算分析

Fig. 5 The estimation of nighttime soil temperature of warm steppe

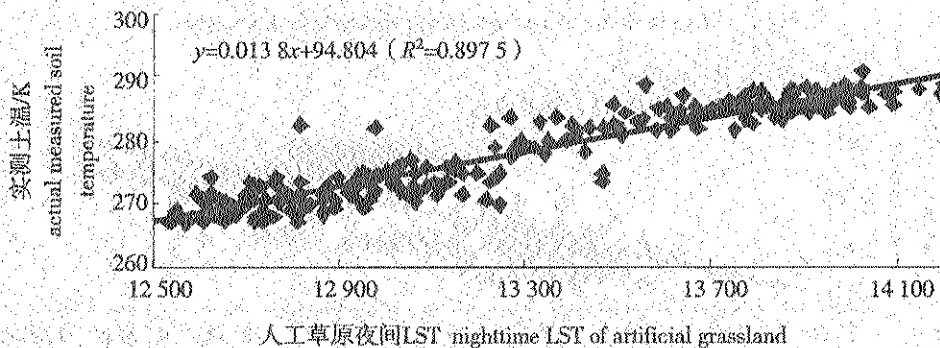


图 6 人工草地夜间土壤温度估算分析

Fig. 6 The estimation of nighttime soil temperature of artificial grassland

从表 2 可以看出,用 2009 和 2010 年的试验数据对以上估算方程发现,实测值与方程估算值的差

值的标准差都在 1.5 K 左右,实测值与方程估算值差值的平均值都在 2 K 左右,估算精度较高,能够

满足大量的业务需要,可以在科研活动中应用。

表 2 夜间土壤温度估算方程及误差
Tab. 2 The analysis of the effect of nighttime estimated soil temperature

草地类型 grassland type	估算方程 estimated equation	误差标准差/K standard deviation of error	误差平均值/K mean of error
高寒草原 alpine grassland	$y = 0.0123x + 113.14$ ($R^2 = 0.8592$)	1.51	2.35a
温性草原 warm steppe	$y = 0.0147x + 82.533$ ($R^2 = 0.9153$)	1.1	1.45b
人工草地 artificial grassland	$y = 0.0138x - 94.804$ ($R^2 = 0.8975$)	1.1	1.37b

注:小写字母为各草地类型间 0.05 水平方差分析结果,估算误差标准差指试测值减去方程估算值的绝对值的标准差,估算误差平均值指试测值减去方程估算值的绝对值的平均值。

Note: lowercase letters for the grassland type 0.05 level variance analysis results, the estimation error standard deviation refers to the test value is subtracted from the equation to estimate the value of the absolute value of the standard deviation, the estimation error mean value refers to the test value is subtracted from the equations for estimating value of the absolute value of the average value.

3.3 夜间土壤温度估算结果分析

从以上分析可以发现,3 种草地类型夜间的土壤温度估算精度都较高,不区分草地类型,将夜间实测 20 cm 土壤温度数据与相应的 MODIS 数据建立总的夜间土壤温度估算方程如图 7 所示,经过验

证,夜间土壤温度估算误差标准差为 1.45 K,误差平均值为 1.77 K,误差在 1,2,3,4,5 K 内的天数占试验总天数的比例分别为 33.99%, 64.64%, 82.91%, 93.71% 和 97.25%,估算精度较高。

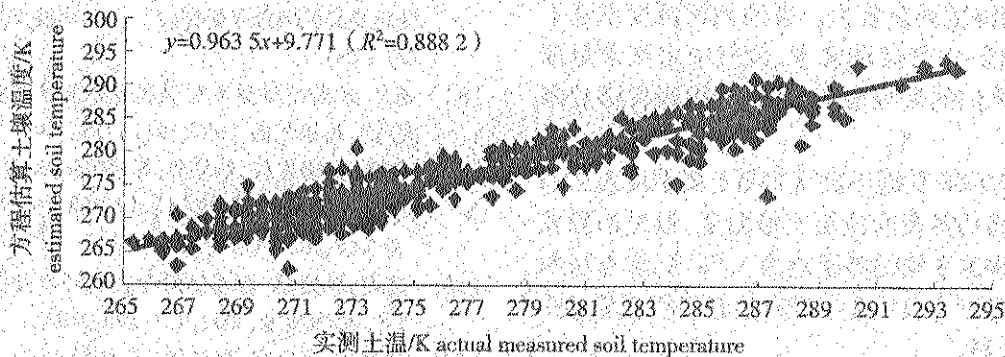


图 7 不区分草地类型时夜间实测土壤温度与估算土壤温度的相关分析

Fig. 7 The analysis of actual measured nighttime soil temperature and estimated nighttime soil moisture

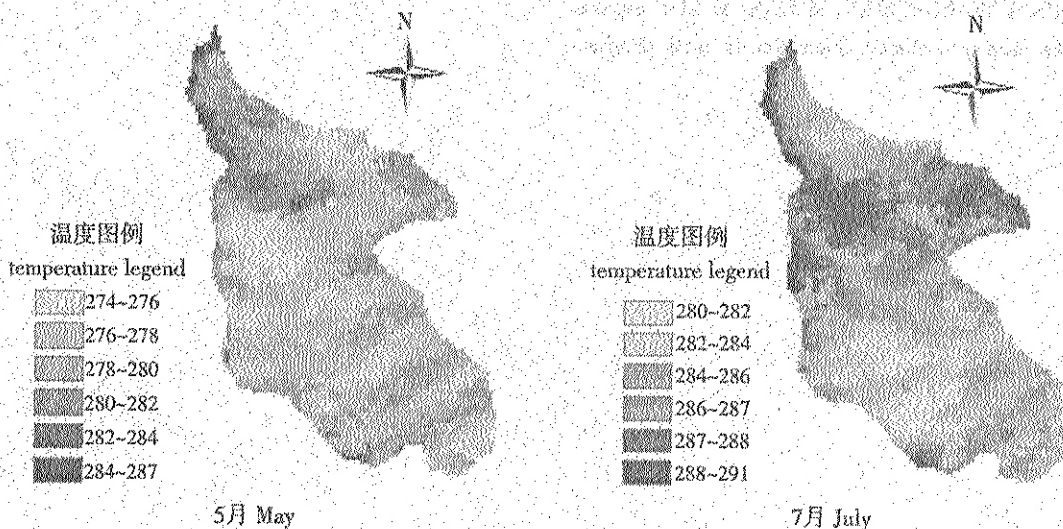


图 8 2010年5月和7月夜间土壤温度图

Fig. 8 The soil temperature map of night of May and July, 2010

通过本章的分析可知,应用夜间 MODIS 数据估算夜间土壤温度具有较高的可行性,以 2010 年 5 月和 7 月为例,研究区夜间土壤温度分布图如图 8 所示。

4 结论和讨论

利用 2007 ~ 2010 年 4 年的 MODIS 数据和 HOBO 气象站实测的土壤温度资料,对黄河源区 3 种典型草地土壤温度进行的研究结果表明:应用 MODIS - LST 估算土壤温度是可行的。对方程估算精度进行检验,夜间反演精度优于白天,夜间土壤温度估算平均误差为 1.77 K,估算精度较高,具有较高的应用价值和现实意义。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,再加上白天时植被对光谱的影响比较复杂,造成遥感反演土壤温度误差较大。夜间地面温度迅速下降,气温降低,空气运动较少,大气中水汽含量减少,植被对光谱的影响也相对简单,因而反演效果较好。

应用 MODIS 数据与夜间实测土壤温度建立回归方程,进而估算夜间浅层土壤温度,通过检验发现,估算结果的平均估算误差为 1.77 K,该方法的精度较高,可以为农牧业生产和生态环境管理相关部门提供指导。

[参 考 文 献]

- [1] BIANDUO, BIANBACIREN, LILIN, et al. The response of lake change to climate fluctuation in north Qinghai-Tibet Plateau in last 30 years[J]. 地理学报:英文版, 2009, 19: 131 - 142.
- [2] BOND-LAMBERTY B, WANG C K, GOWER S T. Spatiotemporal measurement and modeling of stand - level boreal forest soil temperatures[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2005, 131: 27 - 40.
- [3] 向波, 缪启龙. 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.
- [4] 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.
- [5] 程建峰, 潘晓云. 土壤条件对陆稻根系生长的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(4): 590 - 598.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 张慧智, 史学正, 于东升, 等. 中国土壤温度的季节性变化及其区域分异研究[J]. 土壤学报, 2009, 46(2): 227 - 234.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 郑度, 林振耀. 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.
- [12] 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.
- [1] BIANDUO, BIANBACIREN, LILIN, et al. The response of lake change to climate fluctuation in north Qinghai-