

基于 MOD IS 的祁连山地区陆面温度空间分布研究

李粉玲^{1,3}, 李京忠², 刘勇³

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 咸阳 712000; 2 西北大学城市与资源学系, 陕西 西安 710000; 3. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 利用 Becker - Li 的算法, 获取了祁连山地区不同时相的陆面温度空间分布规律。研究发现: 瞬时陆面温度的空间分布与同步气温数据的宏观变化规律基本一致。多样的地形地貌和不同的下垫面地表覆盖类型, 决定了其陆面温度的空间分布格局。进而讨论了陆面温度随海拔高度的垂直分异规律。祁连山地区区域陆面温度垂直递减率的变化范围为 5.42 ~ 6.56 /km, 正北、正东、正南和正西方位上陆面温度的垂直递减率分别为 6.56、5.73、5.42 和 5.84 /km。其中朝向太阳方向的南、东坡梯度值最小, 而背向太阳方向的西、北坡值最大。高海拔地区地表温度的垂直递减率要高于低海拔地区。

关键词: 祁连山区; 陆面温度; 空间分布; 陆面温度垂直递减率
中图分类号: K909 **文献标识码:** A

陆地表面温度 (LST) 是地球表面能量平衡和温室效应的一个很好指标, 它是区域和全球尺度地表物理过程中的一个关键因子。它将地—气间的相互作用及其间的能量交换结合起来, 在气候、水文、生态学和生物地球化学等许多领域的研究中都是必须的^[1-4]。从卫星数据反演得到的地面温度可以反映每个像元的下垫面温度平均状况, 能够较详细地反映下垫面温度场的空间分布特征。虽然利用遥感数据反演陆面温度的误差是无法避免的, 但它仍然是

目前获取大面积区域陆面温度的最有效、最简便的方法, 这也正是 MOD IS 影像反映大区域陆面温度分布差异的一个优势。另外通过卫星遥感技术获取高山高原地区的地表温度信息, 探索其空间分布规律, 对山地生态系统的维护以及下游地区的区域经济和社会可持续发展等都具有重要的意义^[5]。

1 研究区域概况

研究区域位于中国西北部的祁连山区 (图 1)。

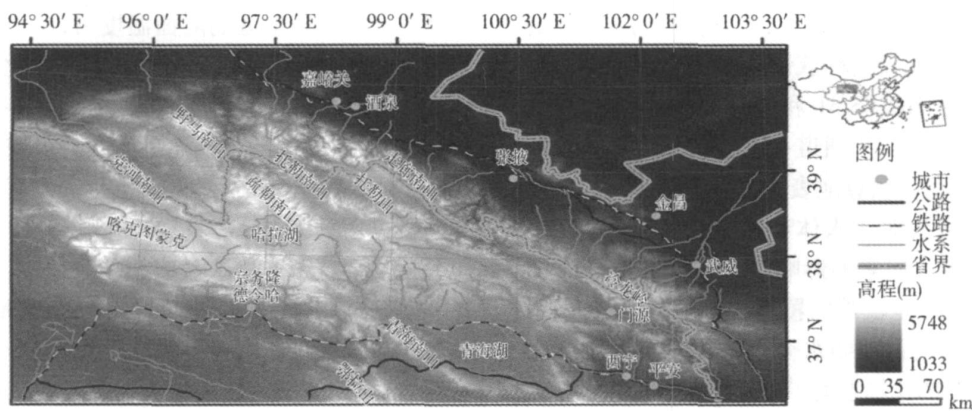


图 1 研究区概况

Fig 1 Sketch map of study area

收稿日期: 2007 - 12 - 12; 改回日期: 2008 - 05 - 23

作者简介: 李粉玲 (1981 -), 女, 陕西西安人, 助教, 硕士, 主要从事 GIS 和环境遥感研究. E - mail: fenlingli@nwsuaf.edu.cn

范围 94°38' ~ 103°47' E, 36°08' ~ 40°25' N, 行政区划包括青海、甘肃、内蒙古和宁夏的部分区域。整个研究区域分布在祁连山周围约 800 km × 450 km 的范围内。祁连山脉从西北到东南贯穿在研究区的中部,青海湖和哈拉湖是位于祁连山内部的大盆地。研究区的西南部分属于柴达木盆地,东北部分则为巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠。气候上属于典型的高山高原气候类型。

2 数据来源和处理

文中所使用影像均为 MODIS 1B HDF 格式。研究区域数字高程模型来源于 USGS GTOPO 30 数据,将原数据 828 m 的分辨率重采样为 1 km 分辨率。气温观测数据来源于国家气象局。为了保持所用数据的坐标一致性,文中所有数据均采用统一的兰伯特等角割圆锥投影,2条标准纬线为 34°N 和 41°N,中央经线为 101°E,假东 2 000 km。经过多种算法的对比分析,最终选择 Becker-Li 的算法^[6-10]。

$$T_s = [1.274 + \frac{T_4 + T_5}{2} (1 + 0.156_{1bl} - 0.482_{2bl}) + \frac{T_4 + T_5}{2} (6.26 + 3.98_{1bl} + 38.33_{2bl})] (1)$$

其中 $1_{bl} = \frac{1}{\dots}$; $2_{bl} = \dots$

T_s 为地表温度; T_4 、 T_5 为 AVHRR 的 2 个热红外通道 4 和 5 的亮度温度,针对 MODIS,即 T_{31} 、 T_{32} 。 ϵ 为地表比辐射率, Oribino 和 Raisouni 提出用 NDVI 阈值法计算地表比辐射率^[11],此方法得到了广泛的应用,被认为是比较精确获取地表比辐射率的一种方法^[12]。由于 MODIS 31 和 32 波段的中心波长与 AVHRR 的 2 个热红外通道 4 和 5 与相对应,本文即采用 NDVI 阈值法估算地表比辐射率。需要说明的是,NDVI 阈值法对于水体和冰雪并不成立^[12-13]。比辐射率受多方因素的影响,根据 NDVI 来确定比辐射率的出发点是植被的覆盖度,而实际中比辐射很大程度上还受到地物水分含量等众多因素的影响,例如,水体的比辐射率可以达到 0.97 ~ 0.99^[13],但是根据 NDVI 阈值方法获取的水体表面的比辐射偏低。因而本文首先根据先验知识对水体和冰雪信息进行提取,然后利用现有的比辐射率数据库分别对水域和冰川积雪区域进行比辐射率赋值,分别赋值为 0.97 和 0.99^[14]。

3 陆面温度空间分布

3.1 不同时相的陆面温度空间分布

用 Becker-Li 的算法对研究区域 2006 年 2 月 18 日、2006 年 4 月 1 日、2003 年 8 月 3 日和 2002 年 10 月 26 日的陆面温度进行了反演,不同时相的陆面温度空间分布如图 2。

研究区域 2006 年 2 月 18 日的陆面温度分布范围为 -29.30 ~ 20.92, 平均温度为 0.37 (图 2a)。正值冬季,整个研究区的大小山脉基本上都是冰雪覆盖,其中,走廊南山、祁连山北端、祁连山南端段的冷龙岭、托勒南山、疏勒南山、党河南山、青海南山、鄂拉山、布尔汗布达山的温度均在 -15 以下,使得研究区整体温度较低,极端低值区位于野马山,温度为 -24。图中青海湖湖冰和湖面温度有明显的分界线,青海湖的湖冰温度在 -5 左右,湖水表面温度在 -2 左右。>18 的极端最高温只有 4 个像元的零散分布,可以认为是噪音。15 ~ 18 的高温区主要位于柴达木盆地、阿拉善左旗的腾格里沙漠。温度高于 13 的次高值区域主要是位于青海湖南部和西北部的地区、柴达木盐湖地区、巴丹吉林沙漠地区。青海湖的湖面温度明显高于哈拉湖。

2006 年 4 月 1 日的 MODIS 影像反演结果如图 2b。研究区平均陆面温度为 20, 极端最低温度为 -52, 分布在金塔县、额济纳旗和阿拉善右旗邻接的地方。对照影像,发现在金塔县、额济纳旗和阿拉善右旗邻接的地方分布有大片的云层,因此反演的陆面温度结果实质上是高空云层的表面温度。在不考虑云层覆盖地区的陆面温度后,研究区域的最低陆面温度约为 -20, 分布在野马山北面。疏勒南山和托勒南山的冰雪陆面温度在 -15 ~ -6 之间,是整个研究区的次低温分布区。研究区最高温为 39.8, 高于 38 的陆面温度分布区域位于甘肃省的安西县境内,成零星像元分布。31 ~ 38 的高值区主要位于柴达木盆地的盐湖地带、敦煌荒漠地带、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和青海湖周边的一些牧区以及部分的山谷间盆地。温度较 4 月份明显升高,西宁市的城市热岛较为明显。低海拔升温较高海拔地区迅速。

8 月份正是夏季植被生长最茂盛的时期,2003 年 8 月 3 日获取的 MODIS 影像上基本上没有云的分布(图 2c)。气象资料显示当天天气晴朗,是一份很难得的适合陆面温度计算与分析的数据。在研究

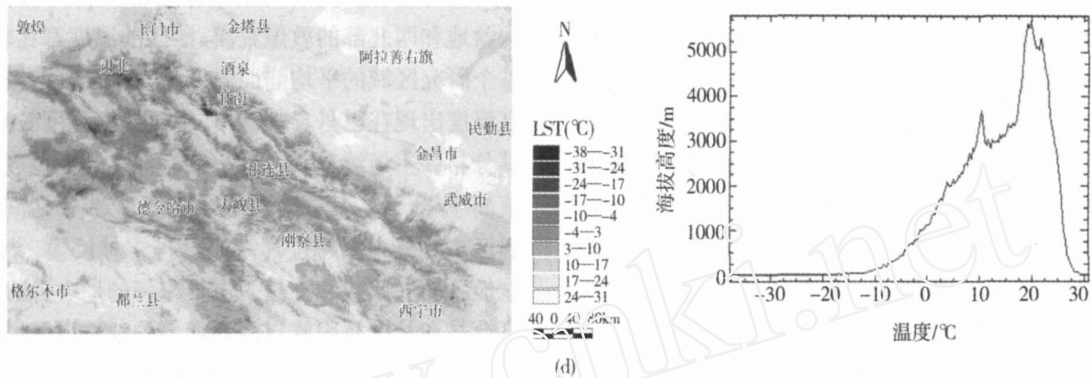


图 2 不同日期研究区陆面温度空间分布图

((a)为 2006年 2月 18日, (b)为 2006年 4月 1日, (c)为 2003年 8月 3日, (d)为 2002年 10月 26日)

Fig 2 The spatial distribution of land surface temperature on February 18, 2006

(a), April 1, 2006 (b), August 3, 2003 (c) and October 26, 2002 (d)

海南山的陆面温度都比较低,其中走廊南山段、托勒山、托勒南山、疏勒南山和党河南山均有积雪的分布,整体陆面温度较低,其中党河南山中段、托勒南山西端的陆面温度 < -15 , 面积大概有 300 km^2 。整个有积雪分布地区的平均陆面温度为 -4 。

总之,山谷地区的地表温度与山顶相比,具有较高的地表温度。河谷平原和山区之间陆面温度变化较大。盆地的局部地区地表温度较高,是下垫面热量资源最丰富的地区,其中面积较大的区域主要位于巴丹吉林沙漠、柴达木盆地、腾格里沙漠和民勤盆地。研究区地表温度比较低的区域主要是有冰雪分布的各大小山脉,其中托勒南山北端的大雪山海拔高度在 5000 m 以上,地表覆盖为永久性积雪,陆面温度在各个时期都是最低。山体的阴面和阳面地面温度的分布也有很大的差异,阳面坡地温度明显高于阴面。不同方位上温度的差异主要是由于辐射的差异而引起的。凡是接受太阳辐射多的坡地,其温度一般也高,反之较低。下垫面性质对陆面温度的影响很大,水域、荒漠、沙漠和绿洲地区的温度有很大的区别。特别是阿拉善左旗的腾格里沙漠、柴达木盆地和青海湖盆地陆面温度分布比较特殊,这与地表性质有很大的关系,比如柴达木盆地多咸水湖和盐土沼泽,腾格里沙漠温度异常地区的土壤类型为盐碱土。地形对地表温度的影响是很复杂的,它在不同纬度、不同季节、不同天气和不同植被下都有所不同。

3.2 4景影像的平均陆面温度空间分布对比

2月份的陆面温度比较低,平均温度只有 0.33 。8月份的陆面平均温度最高,可以达到 33 。研究区平均温度在 2月、4月、8月不断上升,而在 8月、10月、2月,研究区陆面温度开始不断下降,4月初的平均陆面温度要高于 10月底的温度。通过 4景影像的陆面温度空间分布可以间接看出不同季节下陆面温度的变化特征。8月份与 2月份的平均陆面温度差为 33.5 , 8月份陆面温度高出 10月份陆面温度约 19.4 。

3.3 典型地物不同影像上的温度对比

从研究区中选取了几个典型区域,分析不同下垫面状态下陆面温度的空间分布。其中巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和青海湖入口处的温度在各时期都比较高。巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠的陆面平均温度在 8月均超过了 45 。而比较异常的是青海湖入口处的温度在 8月份却出现了下降趋势,温度为 27 , 要比 4月份的平均陆面温度低 2.5 。河西走廊地区(样点采集于黑河中上游地区)和柴达木盆地在 8月份的平均陆面温度相差仅 0.3 。河西走廊地区(样点区)处于温带内陆干旱气候控制之下,其中武威、张掖等地都是人类活动的聚集地,人类开发利用活动频繁,工农业发展较好,其较高的陆面温度可以认为是城市热岛的结果。而柴达木盆地的高温则完全是由于地质地貌类型所致,其下垫面主要是剥蚀山地、戈壁、盐湖,它们吸收热量和散热比较快,温度很快可以上升到 40 以上。陆地上的

岩石和土壤都是不良导体,而水面对除了红色光以外的可见光部分和到达水面的紫外线都是透明的,且湖面水源供应充足,蒸发强烈,热量多以潜热形式被带到大气中,使水温升不高。因此,青海湖的湖面温度在各个时期和其他地面温度相比都较低。即使在同样太阳辐射条件下,陆地地面温度和水面温度之间仍有很大差别。研究区各景图像上陆面温度都较低的有青海湖湖面、走廊南山和冷龙岭地区。山区 4 月份的陆面温度和 10 月份的陆面温度比较接近。沙漠地区 4 月份的温度要高于 10 月份。河西走廊地区和柴达木盆地的 4 月温度也要高于 10 月份,但是没有沙漠地区 2 个月的温差变化大。

4 陆面温度随海拔高度的变化

从 4 景影像的陆面温度分布图上均可以看出,各大山体从山麓到山顶,陆面温度均出现了迅速的下降,山谷间盆地的温度明显高于山顶,阳坡的陆面温度变化要比阴坡剧烈,变率较大,梯度明显。同样属于水体性质的哈拉湖和青海湖的陆面温度却截然不同,哈拉湖的海拔平均高出青海湖约 1 000 m 左右,从 10 月 26 日的陆面温度分布图中可以看出,哈拉湖的地面温度要比青海湖的温度低大约 6 左右。沿海拔由高到低的区域任意选取样线,绘制陆面温度分布的剖面图。剖面曲线的总体趋势是:随着海拔高度的降低,陆面地表温度不断增加。制作 4 个时相的陆面温度和海拔高度分布散点图。经过回归分析,陆面温度和海拔的相关可以用下式表示:

$$LST = b + a \cdot H \quad (2)$$

陆面温度 LST 的单位为 $^{\circ}\text{C}$, 变量海拔高度 H 的单位为 km 。回归系数 a 描述了 LST 对变量 H 变化的响应程度,实际上就是陆面温度的垂直递减率,其绝对值越高,陆面温度的变化也越大;反之,越小。研究区域 2 月、4 月、8 月和 10 月陆面温度和海拔高度的相关系数分别为 -0.68、-0.5、-0.75 和 -0.77。图 2 给出了不同日期下 a 的变化情况。其中,2 月份的陆面温度垂直递减率较小,为 5.52 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$,4 月份和 10 月的垂直递减率均为 5.63 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$,8 月的垂直递减率最高为 6.79 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。

由于研究区域范围较大(共包含栅格单元 370 872 个),为了减少数据量和研究的方便,按照一定的坡向对研究区域进行了细分。经过多次试验,表

明正北、正东、正南和正西各 $\pm 22.5^{\circ}$ 、 $\pm 11.25^{\circ}$ 、 $\pm 5^{\circ}$ 、 $\pm 2.5^{\circ}$ 、 $\pm 1^{\circ}$ 内陆面温度随海拔的变化规律基本上一致。最终选择按照坡向提取研究区域正北、正东、正南和正西各 $\pm 1^{\circ}$ 范围内的陆面温度信息,以及相应的高程、坡度和坡向信息。

图 3 反映了地表温度随海拔高度的分布,从图中可以看到正北、正东、正南和正西 $\pm 1^{\circ}$ 范围内的陆面温度和海拔高程具有很好的线性关系,相关系数分别为 -0.81、-0.80、-0.72 和 -0.79, F 检验均通过 0.01 的置信水平,一次线性回归模拟得到如下关系式:

$$LST_N = 31.58 - 6.56 \times H$$

$$LST_E = 30.91 - 5.73 \times H$$

$$LST_S = 28.87 - 4.52 \times H$$

$$LST_W = 31.04 - 5.84 \times H$$

式中,温度 LST 的单位为 $^{\circ}\text{C}$, 高程 H 的单位为 km 。当 H 为 0 时,代表了研究区域海平面水平上应有的陆面温度,其取值范围为 28.87 ~ 31.58 $^{\circ}\text{C}$ 。研究区域陆面温度的变化范围为 5.42 ~ 6.56 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$,正北、正东、正南和正西方位上陆面温度的垂直递减率分别为 6.56 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 、5.73 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 、5.42 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 和 5.84 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。地面温度垂直变化范围为 3.59 ~ 5.65 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$,其中朝向太阳方向的南、东坡梯度值最小,而背向太阳方向梯度的西、北坡值最大。由此方法得到的陆面温度垂直递减率与根据低海拔地区地面气象观测数据获得的多年气温平均垂直递减率基本一致。

图 3 中,在海拔高度约 2 700 m 和 1 500 m 左右均有散点分布的断裂现象,尤其在海拔为 2 700 m 的地区,陆面温度的变化基本上不受海拔高度的影响。与地表实物相对照,发现 2 700 m 海拔高度主要分布在柴达木盆地。陆面温度的分布表现出和地貌类型很大的相关性,在盐湖和剥蚀山地地表上温度普遍较高,而周围的部分沼泽和相对比较湿润的地区温度较低。而海拔在 1 500 m 以下,陆面温度的变化率越来越小,这一高度主要分布在河西走廊农业生产地带、阿拉善高原。因此,在高海拔地区 ($> 2 700 \text{ m}$),高程对陆面温度分布的影响明显。而在 2 700 m 以下的地区,海拔高度对陆面温度空间分布的影响已经较小,除海拔外的其他因子,如地貌类型和土地利用类型等因素成为陆面温度变化的主导因子。

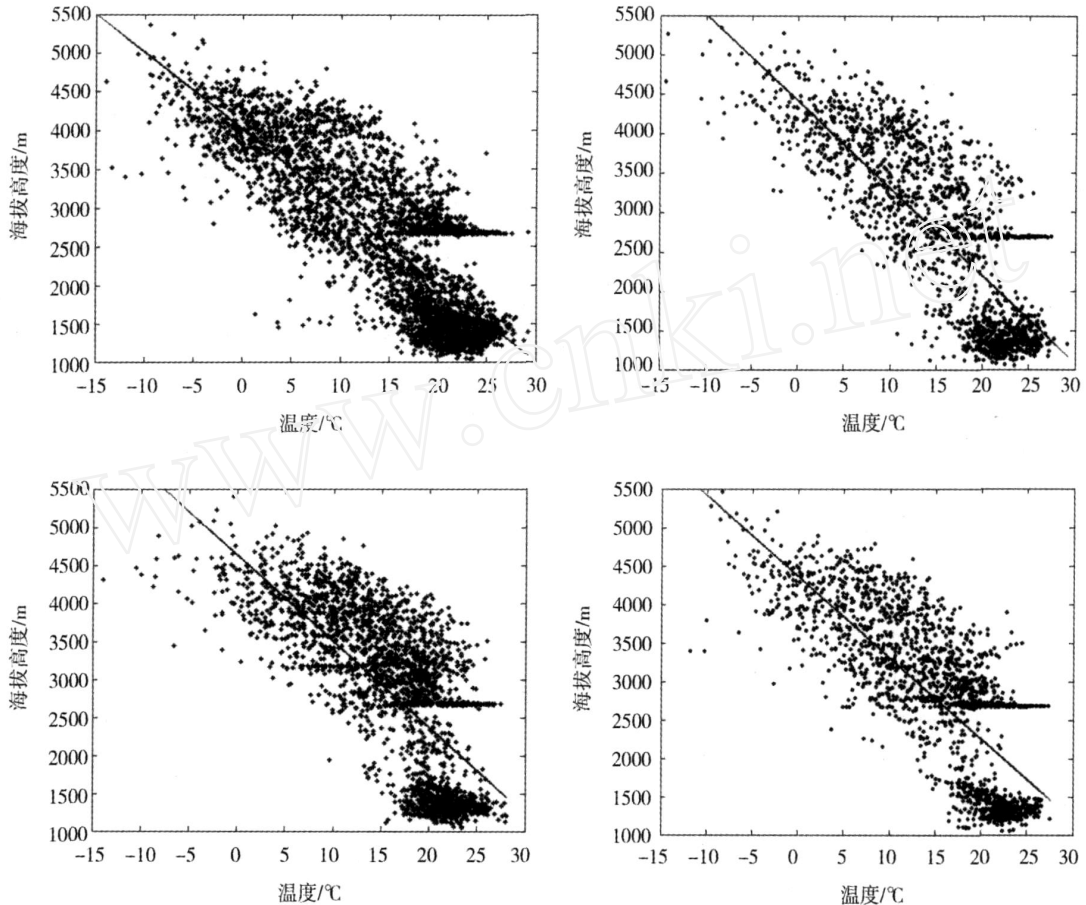


图 3 陆面温度随海拔的变化散点图

Fig 3 The scatter dot map for land surface temperature change with altitude on different directions

5 结论

(1)瞬时陆面温度的分布与同步气温数据的宏观变化规律基本一致。低温出现在冰川积雪的表面,其次是水体区域表面,较高温度出现在裸土、沙漠等风沙地貌的区域表面,符合常规地表温度分布规律。山谷地区的地表温度与山顶相比,地表温度较高。河谷平原和山区之间陆面温度差异较大。盆地的局部地区地表温度较高,是下垫面热量资源最丰富的地区,其中面积较大的区域位于巴丹吉林沙漠、柴达木盆地、腾格里沙漠和民勤盆地。研究区地表温度比较低的区域主要是有冰雪分布的高海拔地区。不同方位温度分布差异明显,阳面坡地温度明显高于阴面。下垫面性质对陆面温度的影响很大,水域、荒漠、沙漠和绿洲地区的温度有很大的区别。总之,地形对地表温度的影响是很复杂的,它在不同纬度、不同季节、不同天气和不同植被下都有所不同。

(2)以 2002 年 10 月 26 日陆面温度分布为例,对影响陆面温度空间分布的几个重要因子进行了分析,重点讨论了陆面温度随海拔高度的垂直分布规律。研究区域陆面温度垂直递减率的变化范围为 5.42 ~ 6.56 /km,正北、正东、正南和正西方位上陆面温度的垂直递减率分别为 6.56 /km、5.73 /km、5.42 /km 和 5.84 /km。其中朝向太阳方向的南、东坡梯度值最小,而背向太阳方向的西、北坡值最大。高海拔地区地表温度的垂直递减率要高于低海拔地区。多样的地形地貌和不同的下垫面地表覆盖类型,决定了地表温度的空间分布格局。

参考文献:

- [1] Li ZL, Becker F. Feasibility of land surface temperature and emissivity determination from AVHRR data[J]. Remote Sensing of Environment, 1993 (43): 67 - 85.
- [2] Wan Z. MODIS Land Surface Algorithm Theoretical Basis Document

- tation[M]. Santa Barbara: University of California, 1999.
- [3] 傅碧宏,史基安,张中宁. Landsat TM 热红外遥感数据定量反演地下水富集带的温度信息—以甘肃河西地区石羊河流域为例[J]. 遥感技术与应用, 1999, 14(2): 34 - 39.
- [4] 崔海亭,刘鸿雁,戴君虎. 山地生态学与高山林线研究[M]. 北京:科学出版社, 2005.
- [5] 朱怀松,刘晓锰,裴欢. 热红外遥感反演地表温度研究现状[J]. 干旱气象, 2007, 25(2): 17 - 21.
- [6] Becker F, Li Z L. Towards a local split window method over land surface[J]. Int J Remote Sens, 1990, 11(3): 369 - 393.
- [7] Liu Yong, Li Fenling. A Preliminary Approach on the Lapse Rate of Land Surface Temperature (LST) in Mountain Area Using MODIS Data[A]. Proceedings of Remote Sensing and Space Technology for Multidisciplinary Research and Applications (SPIE) [C]. Beijing, 2006.
- [8] 李粉玲. 高山高原地区地表温度遥感反演研究[D]. 兰州大学, 2006.
- [9] Zhihao Qin, Giorgio Dall'Omo, Amon Kamieli. Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA - advanced very high resolution radiometer data[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(19): 22 655 - 22 670.
- [10] Zhengning Wan, Jeff Dozier. A Generalized Split - Window Algorithm for Retrieving Land - Surface Temperature from Space[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1996, 34(4): 892 - 905.
- [11] Sobrino J A, Raissouni N. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(2): 353 - 366.
- [12] Sobrino J A, Raissouni, Li Z L. A comparative study of land surface emissivity retrieved from NOAA data[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 75: 266 - 266.
- [13] Jos A Sobrino, Juan C, Jimenez - Muñoz, et al. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90: 434 - 440.
- [14] Guyot G. Climatologie de l'environnement De la plante aux écosystèmes. Masson, Paris 1997.

Spatial Distribution of Land Surface Temperature in Qilian Mountain Area Based on MODIS

LI Fenling^{1,3}, LI Jingzhong², LU Yong³

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Department of Urban and Resource Science, Northwest University, Xi'an 710069, China;

3. College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The spatial distribution of land surface temperature (LST) in different seasons in the Qilian Mountain area were derived based on Becker - Li(1990) 's algorithm. The results show that the distribution of instantaneous LST was in general accord with macroscopical variation of coinstantaneous air temperature data, and the diverse topography and different cover types of underlying surface decided spatial distribution patterns of LST. The vertical distribution of LST was also discussed. The results show when the Terra - MODIS collects data, the LST lapse rate varies from 4.52 - 6.56 /km, and the minimum value happens in the direction of sunshine, which approximates to 4.52 /km on the right south side of the mountains; the maximal value happens at the opposite side of sunshine, which is 6.56 /km at the north side of the mountains. The LST lapse rate in high altitude regions is higher than that in low altitude regions.

Key words: the Qilian Mountain area; land surface temperature; spatial distribution; LST lapse rate