文章编号:1000-7601(2018)01-0257-09

2001—2014 年博斯腾湖流域地表温度时 空分异特征及归因

热伊莱·卡得尔^{1,2},玉素甫江·如素力^{1,2},阿迪来·乌甫^{1,2}, 艾则孜提约麦尔·麦麦提^{1,2},姜 红^{1,2}

(1.新疆师范大学地理科学与旅游学院,流域信息集成与生态安全实验室,新疆乌鲁木齐 830054;2.新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室,新疆乌鲁木齐 830054)

摘 要:以3S技术为支持,在 MODIS 地表温度产品精度验证的基础上,采用空间分析、统计和趋势分析法,探 讨了博斯腾湖流域2001—2014年不同土地利用类型下地表温度的差异性变化特征,辨析了地表温度的时空分异特 征及归因。结果表明:(1) MODIS LST 产品在博斯腾湖流域的精度(平均 *R*²=0.96)总体上满足要求,可用于地表温 度的时空分布研究。(2) 流域内平均地表温度的年际波动较大,以2002、2007年和2013年尤为突出,分别超出多年 平均值0.45℃、0.59℃和0.29℃;年内地表温度呈单峰型分布,季节性变化明显,地表温度高值主要集中在3—8 月,最高值出现在7月。(3) 地表温度空间格局呈东南高于西北的变化趋势,尤其在植被覆盖度低的区域地表温度 较大;土地利用覆被类型影响着地表温度的时空分布状况,各种土地覆盖类型的年均地表温度排序依次为沙漠> 裸土>旱地>稀疏草地>湖泊>草原>草本沼泽>草甸。(4)博斯腾湖流域地表温度变化趋势呈严重减少、轻微 减少、基本不变、轻微增加和显著增加的区域面积分别占5%、13%、39%、36%和7%,以基本不变和轻微增加为主。 地表温度的时空变化不仅受大尺度气候变化的影响,还主要受土地类型性质等差异的影响,二者共同作用构成了 不同地理区域及景观的温度场格局,绿色植被对区域地表温度的时空分布具有重要的调节作用。

关键词:地表温度;博斯腾湖流域; MODIS;土地利用/土地覆盖变化;时空格局变化 中图分类号: P467 文献标志码: A

Spatio-temporal variation and attribution of land surface temperature in Bosten Lake Basin during 2001—2014

REYILAI Kadeer^{1,2}, YUSUFUJIANG Rusuli^{1,2}, ADILAI Wufu^{1,2}, AIZEZITIYUEMAIER Maimaiti^{1,2}, JIANG Hong^{1,2}

(1. Institute of Geographical Science and Tourism/Laboratory of Information Integration and Eco-Security,

Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;

2. Xinjiang Key Laboratory Lake Environment and Resource in Arid Zone, Urumqi, 830054 Xinjiangm China)

Abstract: In this paper, the spatio-temporal variation and attribution of land surface temperature in Bosten Lake Basin were studied by methods of spatial analysis, geo-statistical and trend analysis using LST product of MODIS, LUCC data and observed LST data from 2001 to 2014. The results indicated that: (1) MODIS LST product was enough to apply for the analysis of spatio-temporal distribution characteristics of land surface temperature in Bosten Lake Basin(mean $R^2 = 0.96$); (2) Inter-annual variation of LST was obvious, especially in the year of 2002, 2007 and 2013, and exceeded the multiannual mean LST value by 0.45° C, 0.59° C and 0.29° C respectively. Furthermore, the seasonal variation of LST showed a unimodel pattern, and its peak value occured in July. (3) The LST variation of southeast was higher than the northwest areas, especially in the low vegetation coverage areas. The spatial distribution of LST was related to land cover types, and the order of LST intensity by land cover types was desert > bare soil > dry land > sparse grassland > lake

收稿日期:2016-11-20 修回日期:2017-01-07

基金项目:国家自然科学基金项目"内陆湖泊流域水循环过程模拟与调控研究"(41461006);化环境下干旱区湖泊流域水-生态-经济 复合系统的协同进化与发展模式研究(U1703341);国家自然科学基金项目"内陆地震热异常的形成机理与分离研究" (41764003) > grass land > herbaceous swamp > meadow; (4) According to the LST variation characteristics of Bosten Lake Basin, the LST trends of severely reduced, slightly reduced, basically unchanged, slightly increased and significantly increased, and their area accounted for 5%, 13%, 39%, 36% and 7% respectively. The spatio-temporal variation of LST not only was influenced by the global climate change, but also effected by temperature field of different LUCC in different distribution contributed to the spatio-temporal distribution of regional LST.

Keywords: land surface temperature; Bosten Lake Basin; MODIS; LUCC; spatio-temporal variation

地表温度(LST, land surface temperature)是地表 生态环境系统研究的重要指标,也是地表与大气之 间能量与物质交换的重要参数。采用遥感技术反演 大范围的地表温度已被广泛应用在生态学、水文学、 气候学等科学领域^[1-5],并且在农业气象、城市热岛 效应、农作物估产和土壤水分估算等方面都具有重 要的科学价值。近年来,随着气候变化和生态环境 问题的深入研究,特别是区域性 LST 变化和应用方 面的迫切要求,LST 的定量研究及空间格局发挥着 极其重要的作用。尤其在干旱半干旱地区,明确流 域 LST 的时空格局变化,对于合理开发利用流域资 源、生态农业建设、提高资源利用率以及保障流域生 态环境健康等具有重要意义^[6-8]。利用 MODIS 卫 星遥感数据进行的区域性 LST 时空变化研究及其应 用研究已得到深入发展,并在农业生产、生态环境等 宏观、大范围、动态性连续监测和研究中得到了广泛 应用^[9-10]。传统水文、气象学中多基于"点"尺度或 景观尺度进行 LST 观测,由于陆面非均匀性和热量 传输动态性,传统的局地尺度研究方法很难应用到 区域尺度。而在现代实际应用中,不同的区域和范 围对 LST 的精度要求不同,如在农业、气象和水文研 究领域应用中,要求空间分辨率为1~10 km,同时 卫星观测数据的 LST 产品要达到 0.5℃~ 2℃^[11-12]。因此,对 MODIS LST 产品精度验证和评 价是其有效应用于各个研究领域的前提。

目前,随着遥感技术快速发展,关于遥感数据的 LST 研究已取得了很大进展,同时国内外已经有了 许多有关 MODIS LST 产品的应用分析和 LST 算法的 研究^[13-15],如谭志豪等采用单窗算法^[16]、马耀明 等^[17]采用辐射传输方程方法,1984 年 Price^[18]利用 大气辐射传输理论,对大气的影响做简化处理后提 出分裂窗算法,给出了具体的分裂窗算法,后来 Ri Changin^[19]也采用了分裂窗算法。于文凭^[20]等对黑 河流域的 MODIS LST 与实测 LST 验证指出黑河流域 的 MODIS LST 产品与地面红外温度计观测的 LST 平 均绝对偏差小于 2.2℃。Mostovoy 等^[21]利用 MODIS LST 产品对密西西比河流域的最低气温进行估算, 分析了像元分辨率的高低、土地覆盖类型及植被覆 盖度等对 LST 产生的影响。Vancutesm 等^[22]基于 MODIS 标准夜间产品和日产品估算非洲地区最低气 温、最高气温,分析了不同季节和植被覆盖度等因素 对气温估算的影响。

基于此,本文拟以1km空间分辨率的 MODIS LST产品为基础,在探讨利用该产品进行博斯腾湖 流域LST分析的可行性基础上,根据流域土地利用/ 土地覆盖变化(LUCC, land – use and land – cover change)数据,通过GIS空间分析技术,对流域不同土 地利用类型下的LST进行统计分析,从而深入分析 博斯腾湖流域在年、月时间尺度下,LST的数量特征 和空间格局特征,更进一步探寻这种空间分布特征 与不同LUCC类型之间的关系,以揭示博斯腾湖流 域LST的变化规律及其影响因素。其研究结果在干 旱区流域环境保护、生态农业建设、合理开发流域资 源等领域中具有重要意义。

1 研究区概况

博斯腾湖流域位于中国西北部新疆巴音郭楞蒙 古自治州境内,地理位置为 82.80°~88.63°E,40.73° ~43.57°N,包括流入博斯腾湖的河流流域(主要有 开都河上游、黄水沟上游、清水河上游和 20 条时令 河上游)、焉耆盆地和孔雀河流域,总面积约68687 km²。流域东南部为平原盆地区,海拔高度约为856 ~4798 m(图 1)。流域地势是北高、南低,西高、东 低,高山、峡谷和盆地交错,地形复杂。流域内有我 国最大的内陆淡水湖——博斯腾湖,是开都河的尾 闾和孔雀河的源头,博斯腾湖在焉耆盆地随海拔高 度的变化自上而下包括冰雪带、高山垫状植被带、高 山草甸带、草原带、荒漠草原带、荒漠带等^[23]。整个 博斯腾湖流域属于暖温带大陆性干旱气候,除山区 产流区外,整个流域干旱少雨。流域年平均气温 8.2℃~11.5℃,极端最高气温 37.1℃~40.0℃,极 端最低气温 - 25.3℃ ~ - 31.6℃, 日最高气温 ≥ 35℃的炎热天数只有 0.1~4.3 d, 日最低气温 ≤ -20℃的寒冷天数也只有 0.1~0.9 d^[24]。由于研究

区自然地理条件适宜于农业发展,20世纪50年代 以来,尤其是70年代后绿洲区农业耕地面积处于增 长趋势,气候变化和人类活动的共同作用下,博斯腾 湖的水域及附近的绿洲面积发生明显变化^[25]。由 此可见,博斯腾湖流域已成为气候变化和人类活动 影响明显的区域,是最适合本研究目标的典型区。





Fig.1 Location of study area and distribution of land use/cover change and meteorological station

2 数据来源与分析方法

2.1 数据来源

(1)遥感数据:所采用的 MODIS 数据下载于 NASA(美国国家航空航天局)网站免费下载获取,空 间分辨率为1km,每副产品周期为8d,共有7个波 段的 MOD11A2作为主要数据源。选择的数据涵盖 了博斯腾湖流域2001—2014年共14a的各月份LST 数据,从 MOD11A2数据集中提取白天和夜间陆面温 度产品。为便于分析季节变化,MODIS 温度产品 3—5月代表春季、6—8月代表夏季、9—11月代表秋 季、12—1月代表冬季。依据博斯腾湖流域的土地 利用方式和分析精度要求,土地利用数据是2010年 的1:25万土地覆被矢量数据,其投影方式为Albers 正轴等面积双标准纬线圆锥投影,坐标系为 Krasovsky坐标系。将研究区土地利用类型并归为8 个一级地类,包括旱地、沙漠、湖泊、稀疏草地、草原、 草本沼泽、草甸和裸土。

(2)地面观测数据:为了检验 MODIS LST 产品 在该研究区 LST 的适用性,根据各个气象站的实际 地理环境,选取博斯腾湖流域内巴音布鲁克、巴仑 台、焉耆和轮台等4个气象站的 2001—2014 年时间 序列的实际日平均地表温度观测数据。

2.2 数据处理

具体数据处理过程如下:

(1) 原始的 MODIS LST 产品是以分级数据格式

(HDF, Hierarchical Data Format)存储的,投影是正弦曲线投影,因此 MODIS 数据利用 MRT 软件,将 MOD11A2产品的 HDF 格式文件转换为 WGS – 1984 经纬度坐标系统下的 GeoTiff 格式文件,并进行投影转换、轨道镶嵌和重采样等操作。

(2) 基于博斯腾湖流域的水系特点,获取了研究区的矢量边界图,然后利用 Are GIS 软件对经过投影转换的 MODIS 数据进行裁剪,从而得到不同时间和空间尺度下的 LST 图,最后借助于 IDL 编程语言分别进行 LST 的最大值、最小值、平均值和标准差统计,再利用 Are GIS 软件制作博斯腾湖流域 2001—2014 年年、月平均 LST 空间分布图。

(3)为了进一步解释不同土地利用类型下 LST 的变化特征,利用 Arc GIS 对不同时期的 MODIS LST 结果图和不同土地类型图相叠置,统计获取不同时 间序列(月尺度和年尺度)和不同土地利用类型地表 温度的年际和不同月份变化特征。

2.3 研究方法

2.3.1 趋势分析方法 借鉴线性倾向估计计算每 个像元 2001—2014 年的 LST 时间线性倾向率 (S)^[26]:

$$S = \frac{n \sum_{i=1}^{n} i \times LST - \sum_{i=1}^{n} i \sum_{i=1}^{n} i \times LST_{i}}{n \times \sum_{i=1}^{n} i^{2} - \left(\sum_{i=1}^{n} i\right)^{2}}$$

(1)

式中,S为线性倾向值,n为年序列总长度(n = 14);

i 为具体计算年份;*LST_i* 为第*i* 年份的年*LST* 值。当*S* 为负表示随时间*i* 的增加,*LST* 变化处于减少趋势, *S* 为正表示随时间*i* 的增加,*LST* 变化处于增加趋势。采用倾向估计进行地表温度趋势分析,再利用相关系数的统计检验方法进行显著性趋势检验,如果回归方程的相关系数通过信度为 0.05、0.01 的显著性水平,则 *LST* 减少或增加趋势分别达到显著和极显著。

2.3.2 相关分析法 相关分析是一种分析变量之间密切程度的统计学方法,通过计算年均 MODIS 产品中提取的 LST 值与观测站点的实测 LST 值之间的相关系数,能够有效指出 LST 产品与观测 LST 值之间的密切联系,相关系数(*R*)取值区间为[-1,1],计算公式如下^[27]:

$$R = \frac{n \sum_{l=1}^{n} (x_l - \bar{x}) (y_l - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{l=1}^{n} (x_l - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{l=1}^{n} (y_l - \bar{y})^2}}$$
(2)

式中:n 为年份数 14(2001—2014); x_l 和 y_l 为相关分 析的两个变量; \bar{x} 与 \bar{y} 分别表示变量样本的平均值。

3 结果与分析

3.1 MODIS 地表温度产品的验证

为了验证 MODIS LST 产品在博斯腾湖流域 LST 时空分布的准确性,4个代表性气象观测站(图 1)的 实测 LST 值与 MODIS LST 产品中提取的 14 a 相对 应的 LST 值进行精度验证。从图中可以看出,由于 各个站点的地形、气候、植被等要素的不同,二者之间的相关性在每个气象站不同。14 a 的每月平均实测 LST 值与 MODIS LST 值的平均误差都小于 1℃。 经过显著性检验的线性回归方程分别达到极显著水 平,通过了 0.01 显著性检验(图 2);其中巴音布鲁 克、焉耆、巴仑台、轮台气象站的 14 a 各月平均实测 数据和卫星数据的 *R*² 分别为 0.98、0.94、0.96 和 0.96。这说明 LST 产品和站点实测地温具有较高的 一致性, MODIS 温度产品可以充分反映 LST 的真实 状况,不仅可以作为该研究区 LST 时空分布研究,还 可以作为指示 LST 的强度指标,具有一定合理性。

3.2 多年 LST 年、季节平均值空间分布特征

图 3 显示博斯腾湖流域多年 LST 平均值,具有 较强的空间分布规律并呈现出东南高于西北的变化 趋势。在植被覆盖度高的区域,LST 值较低(图 1 和 图 3)。具体表现为:从地形上来看西北部赛日木河 流域附近 LST 值较低,高值 LST 区域则主要分布在 博斯腾湖东南高山区及附近的区域。从土地利用类 型上看,LST 的空间分布明显受地表覆盖类型的影 响,西北部草甸、草原、草本沼泽等土地覆盖分布较 广、植被覆盖度较高,则多年平均 LST 值较低,达到 -12.43℃左右;东南部由于多为裸土、沙漠和旱地 等 LUCC 类型,因此博斯腾湖东南山区年均 LST 值 最高,在 16.13℃左右;博斯腾湖水体的年均 LST 值 基本相差不大,大致在 8.5℃左右。



图 2 气象站月平均实测地表温度和 MODIS LST 产品的关系







季节性变化是 LST 年内变化的重要特征,对研 究区各季节 LST 进行空间分析和数理统计。如图 4 所示,各季节空间分布与多年 LST 空间格局基本一 致,但是受季节性太阳辐射、土地类型、植被覆盖度 等因素的影响引起年内 LST 分配不均,因此四季平 均 LST 空间分布也表现出一定差异性。春季(3—5 月)LST 值在 - 11.8℃~19.16℃,均值在 9.59℃左 右。春季地温慢慢回暖,此时冬小麦处于返青、拔节 期,太阳高度角逐步提升,因此 LST 值也逐步升高; 夏季(6—8 月)LST 值在 - 1.85℃~33.67℃,均值在 21.48℃左右,为一年中温度最高季节,区域高低相 差悬殊,主要原因是一方面地表吸收的太阳辐射达 到最高值并且日照时间给 LST 的增高提供了良好条 件;另一方面是沙漠、裸土和稀疏草地等土地类型所 覆盖范围较广并吸收大量热量使地温更高。秋季 (9—11月)LST开始降温,LST减少至-12.47℃~ 16.35℃,均值在7.27℃左右,主要是受太阳辐射量 减少、日照时间缩短、植被覆盖度降低等因素的影 响,因此LST值又开始降低。冬季(12—2月)随着 温度进一步下降,LST降至-26.88~-2.22℃,LST 均值在-11.23℃左右,此时正是冬小麦越冬时期, 作物生长缓慢,因而地表覆盖类型呈现连片的低值 区域。由此可见,不同月份的LST分布与该时段内 的太阳辐射、日照时间、LUCC类型和植被覆盖度等 因素的季节性变化密切相关,因此表现出研究区 LST值由大到小依次为夏季>春季>秋季>冬季的 规律。



图 4 博斯腾湖流域四季 LST 时空分布 Fig.4 Spatial distribution of LST in four seasons of Bosten Lake Basin

总体而言,博斯腾湖流域多年 LST 平均值具有 较强的空间分异性规律,地表温度的年际变化主要 由气候要素和 LUCC 的覆盖范围及其空间格局变化 而决定。气候要素和植被覆盖状况及其物候特征的 季节性变化是影响 LST 季节变化的主要因素。

3.3 年际、年内 LST 变化特征

图 5 显示了博斯腾湖流域 LST 的逐年变化过程,以及流域 LST 相对变化率的年际波动状况。从 图中可以看出,2001—2014 年博斯腾湖流域年平均 LST 的波动范围为 6.0℃~7.4℃,多年平均 LST 为 6.8℃(如图 5 虚线所示),且各年间的平均 LST 呈现 一定的波动,年际波动较大。年均温度超出多年 LST 平均值的年份出现在 2001、2002、2006、2007、 2008、2009 年和 2013 年,其它年份均低于多年平均 值,其中 2002、2007、2013 年较为突出,分别超出多 年平均值 0.45℃、0.59℃、0.29℃,LST 的相对变化 率分别达到 6.22%、7.97%、4.06%。2001—2003 年 呈先升后降趋势,2003—2007 年呈上升趋势,2007 年达到最高值,为 7.4℃,2007—2012 年呈下降趋 势,2012—2014 年先升后降,2014 年达到最小值,为 6.0℃。



图 5 博斯腾湖流域 2001—2014 年 LST 的年际变化 Fig. 5 Annual variation of LST over Bosten Lake Basin during 2001—2014





图 6 是 2001—2014 年月均 LST 变化图。从整 个博斯腾湖流域来看,其年内各月变化趋势呈现先 升后降的单峰型变化趋势,从 3—8 月 LST 缓慢上 升,7月 LST 最高,达到 23.8℃,并且在此期间受大 量太阳辐射,尤其在夏季太阳位于北回归线附近、太 阳辐射最强烈,LST 为一年中最大。随后 9—1 月份 地表面温度急剧下降,1 月份 LST 最低,达到 -13.2℃,在此期间太阳高度角小、太阳辐射能量较 弱,LST 为一年中最低。按季节来看,春季即 3 月到 5 月 LST 处于增加趋势,夏季温度达到最高值,因此 6 月份开始 LST 迅速增加,秋季即 9—11 月太阳辐 射减少、日照时间缩短,LST 随之处于急剧减少趋 势,12 月到次年 2 月保持低值,无明显的变化。由 此可见,年际和年内的 LST 变化状况与该时段内的 太阳辐射、气温、植被覆盖、日照时间等因素的季节 性变化具有密切关系。

3.4 不同土地利用类型地表温度的时间分布特征

不同土地类型由于本身的生理生态特性以及所 处区域 LST 差异, 不同 LUCC 的平均 LST 分布表现 出不同的变化特点。为了更精确分析每个土地利用 类型的 LST 特征,利用 ArcGIS 的空间统计功能,分 别提取了各 LUCC 类型年均 LST。从图 7 中可以看 出,流域内年均 LST 和 LUCC 类型密切相关,不同 LUCC 的平均 LST 存在着较大差异,温度较高的土地 类型是沙漠、裸土、旱地,分别为13.3℃、12.6℃、 11.6℃,表明裸土、沙漠、旱地是比热容小,受太阳辐 射后升温速度快,因此年均 LST 相对较高;草甸的年 均 LST 值最低, 仅为 - 0.9℃。各种土地覆盖类型的 年均 LST 排序依次为沙漠 > 裸土 > 旱地 > 稀疏草地 >湖泊>草原>草本沼泽>草甸。究其原因,一方 面是因为不同的 LUCC 有其独特的特征,草原、草本 沼泽、草甸受太阳射后升温速度较慢、蒸腾率较高, 因此草原等植被覆盖区域促进地表与近地面大气之 间的能量交换,使 LST 值较低。另一方面各 LUCC 类型所处区域的地形、日照、降水等气候条件也有所 不同。博斯腾湖流域地形复杂,大多分布于山脉和 盆地,该区域降水量较少、干旱程度较高、夏季日照 时间长,同时吸收大量太阳辐射能量的土地类型也 较多,使得处于 LST 值高温状态;在博斯腾湖流域东 南地区裸土和旱地较广,因此该地区吸收大量的太 阳辐射,LST 值也相对较高。

对不同 LUCC 的月平均 LST 变化统计结果如图 7,整体而言,2001—2014 年博斯腾湖流域各土地利 用类型月均 LST 变化趋势与年均 LST 变化较为一 致,均呈现先升后降的单峰型变化模式。以温度最 高的沙漠和裸土为例,沙漠全年各月 LST 均值高于 其它地类,尤其在 3—10 月累积的 LST 与其它地类 极差达 14.31℃;多年月平均 LST 最低的是草甸,为 -1.1℃,主要原因是植被可以通过蒸腾作用减少土 壤或地表中的热量。各土地类型最高、最低 LST 值 出现的时间有所差距,对草甸来说最高温度出现的 月份是7月份,但是6—8月份温度变化曲线处于平 衡状态、相差不大;对旱地来说最高温度出现的月份 是6月份,为26.4℃,从7月份开始温度变化曲线处 于下降趋势;而湖泊等水体最高温度出现的月份是 8月份,主要是由于热转导率小、热容量大,导致温 度上升缓慢,因此最高温度出现的月份比其它土地 类型较晚,但相差不大。综上所述,不同土地利用类 型的年平均 LST 大小顺序和月平均 LST 大小顺序较 一致,植被覆盖的增加导致 LST 值较低,对区域 LST 值的降低具有一定的调节作用。

3.5 流域 LST 的空间变化趋势分布

本研究将采用趋势分析方法,利用 2001—2014 年平均 LST 分布来反映博斯腾湖流域 LST 变化趋势,并计算每个像元的 LST 值与时间的相关系数,以 及对趋势分布状况进行显著性检验。从图 8 中可以



看出,LST 明显增加(P < 0.01)的区域面积约占 7%,主要分布在巴音布鲁克附近的草原覆盖区域、 博斯腾湖周边沙漠覆盖区域和轮台县附近的稀疏草 地覆盖区域。其主要原因是随着人口的增加、经济 的发展以及国家政策的出台,近年来当地的耕地、建 设用地有所增加,与此同时林地、草地及裸岩的面积 减少^[28]。轻微增加(P < 0.05)的区域面积约占 36%,主要分布在博斯腾湖东南部、哈布其罕沟、赛 日木河、轮台县等区域,主要原因是植被覆盖度较低 并容易受人类活动的影响。流域LST 基本不变的区 域面积约占 39%,主要分布在焉耆县和轮台县附近 的稀疏草地、旱地等LUCC 类型分布的区域。轻微 减少(P < 0.05)和严重减少(P < 0.01)的区域面积 分别占总面积的 13%、5%,主要分布在巴音布鲁克 草原和轮台县附近的旱地覆盖区域。





注:圆圈表示地表温度明显增加的区域。Note: Circle indicates that land surface temperature is the area of apparent increase. 图 8 博斯腾湖流域 2001—2014 年 LST 变化趋势

Fig. 8 Change trend of LST in Bosten Lake Basin during 2001-2014

4 结论与讨论

博斯腾湖流域位于天山中部南缘和塔克拉玛干 沙漠北缘,气候干燥、地形复杂、生态环境脆弱,是一 个独特的绿洲 - 荒漠交错地区。基于 MODIS 数据 LST 时空分布的相关研究,对区域环境保护、生态规 划、农作物生产、生态农业建设等领域具有重要的理 论价值。本研究结果表明,2001—2014 年博斯腾湖 流域年平均 LST 值有明显超过总平均 LST 值的趋 势。符合我国西北地区年平均 LST 增温趋势^[29],说 明 LST 时空变化能够有效反映区域气候变化情况, 因此在干旱半干旱地区,明确流域 LST 时空格局变 化及归因方面的研究具有重要意义。另外,本文应 用的 MODIS LST 产品在地形复杂、气象站点较少、生 态环境脆弱的情况下,能够有效反映区域温度场的 变化,并达到温度产品应用的要求,可适用于大范围 LST 时空分布状况的研究。

本文基于 MODIS LST 产品,在精度验证的基础 上,对博斯腾湖流域的 LST 时空格局和变化趋势进 行分析,得出以下结论:(1) MODIS LST 产品与 4 个 气象站月时间序列的实测 LST 值呈现出显著的相关 关系,相关系数 R² 分别达到 0.98、0.94、0.96 和 0.96,说明 MODIS LST 产品在研究区总体上符合精 度要求,可适用于 LST 时空分布研究。(2) 博斯腾 湖流域 2001-2014 年平均 LST 具有明显的时空分 异特征。时间上,14年来流域年平均 LST 超出多年 平均值的年份出现在 2001、2002、2006、2007、2008、 2009年和 2013年,其中 2002、2007、2013年较为突 出;空间上,LST 分布呈现出东南高于西北的趋势, 植被覆盖度高的地方 LST 值较低,植被覆盖度低的 地方 LST 值较高。各月 LST 的年际变化具有季节分 异特征,呈现先增大后减小的单峰型分布趋势,LST 上升趋势主要在 3-8 月份,其中 7 月份温度最高,1 月份温度最低。(3) 不同 LUCC 类型的平均 LST 表 现出不同变化特征,各 LUCC 类型的年均 LST 排序 依次为沙漠>裸土>旱地>稀疏草地>湖泊>草原 > 草本沼泽 > 草甸;各土地利用类型 LST 的不同月 份变化大小顺序与年际变化基本一致。(4)从14 年 LST 变化趋势来看,赛日木河和巴音布鲁克县的 附近、博斯腾湖周边和轮台县附近等区域 LST 呈现 明显增加趋势;轻微增加的区域主要分布在博斯腾 湖东南部、乌拉斯台河、哈布其罕沟、轮台县等区域; 明显增加趋势、轻微增加和基本不变的区域面积分 别占总面积的7%、36%和39%,以轻微增加和基本 不变趋势为主。轻微减少和严重减少的区域面积分

别占总面积的 13%、5%,主要分布在巴音布鲁克草 原和轮台县附近的旱地覆盖区域。

参考文献:

- [1] Dousset B, Gourmelon F. Satelite multi sensor data analysis off urban surface temperatures and land cover[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2003, 58(1-2):43-54.
- [2] 乔玉良,杨永明.红外遥感寻找地下热水方法探究[J].气象与 环境科学,2008,31(4):12-14.
- [3] 石玉立.中巴地球资源卫星数据反演地表温度产品设计[J].气 象与环境科学,2009,32(1):5-8.
- [4] 刘桂芳,卢鹤立.全球变暖背景下的中国西部地区气候变化研 究进展[J].气象与环境科学,2009,32(4):69-73.
- [5] 拉 巴,拉巴卓玛,陈 涛.基于 MODIS 影像的西藏典型内陆 湖泊变化研究及成因分析[J].气象与环境科学,2011,34(3): 37-40.
- [6] 张沛东,张秀梅,李 健.对虾行为生态学研究进展 [].环境因 子对对虾行为习性的影响[J].应用生态学报,2006,17(2):340-344.
- [7] Luo J, Zhang J, Huang W, et al. Preliminary study on the relationship between land surface temperature and occurrence of yellow rust in winter wheat[J]. Disaster Advances, 2010,3(4):288-292.
- [8] 热伊莱·卡得尔,玉素甫江·如素力,高 倩,等.新疆焉耆盆地 地表温度时空分布对 LUCC 的响应[J].农业工程学报,2016,32 (20):259-266.
- [9] 王宾宾,马耀明,马伟强.青藏高原那曲地区 MODIS 地表温度 估算[J].遥感学报,2012,16(6):1289-1309.
- [10] 李 慧,王鹏新.基于 Terra MODIS 和 NOAA AVHRR 数据 的条件植被温度指数干旱监测及其对比分析[J].干旱区资源 与环境,2013,27(3):61-66.
- [11] A. Retalis, D. Paronis, K. Lagouvardos, et al. The heat wave of June 2007 in Athens, Greece – Part 1: Study of satellite derived land surface temperature[J]. Atmospheric Research, 2010,98(2-4):458-467.
- [12] Prasanjit Dash, Frank-M. Göttsche, Folke-S. Olesen, et al. Separating surface emissivity and temperature using two-channel spectral indices and emissivity composites and comparison with a vegetation fraction method[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 96(1):1-17.
- [13] 王之夏,南卓铜,赵 林,等.MODIS地表温度产品在青藏高原 冻土模拟中的适用性评价[J].冰川冻土,2011,33(1):132-143.
- [14] 张宏群,杨元建,荀尚培,等.安徽省植被和地表温度季节变化 及空间分布特征[J].应用气象学报,2011,22(2):232-240.
- [15] 王建凯,王开存,王普才.基于 MODIS 地表温度产品的北京城 市热岛(冷岛)强度分析[J].遥感学报,2007,11(3):330-339.
- [16] 覃志豪, Zhang Minghua, Arnon Kamieli, 等.用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法[J].地理学报,2001,56(4):456-466.
- [17] 马耀明,刘东升,王介民,等.卫星遥感敦煌地区地表特征参数 研究[J].高原气象,2003,22(6):513-536.
- [18] PRICE J C. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7 Advanced very high Resolution Ra-

diometer[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1984, 89(D5):7231-7237.

- [19] Changin R I, Liu Q, Hua L I, et al. Improved split window algorithm to retrieve LST from Terra/MODIS data[J]. Journal of Remote Sensing, 2013, 17(4):830-840.
- [20] 于文凭,马明国.MODIS 地表温度产品的验证研究——以黑河 流域为例[J].遥感技术与应用,2011,26(6):705-712.
- [21] Georgy V Mostovoy, Roger L King, K Raja Reddy, et al. Statistical estimation of daily maximum and minimum air temperatures from MODIS LST data over the state of Mississippi[J]. GI science and Remote Sensing, 2006,43(1):78-110.
- [22] Vancutsem C, Ceccato O, DinkuI 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, 114:449-465.
- [23] 周成虎,罗格平,李 策,等.博斯腾湖环境变化及其与焉耆盆

地绿洲开发关系研究[J].地理研究,2001,20(1):15-23.

- [24] 邱 冰,姜加虎,孙占东,等.基于统计降尺度模型的博斯腾湖 流域未来气温和降水变化趋势分析[J].资源科学,2010,32 (6):1133-1140.
- [25] Yusufujiang R, LI L H, Sajjad A, et al. Dynamics model to simulate water and salt balance of Bosten Lake in Xinjiang, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2015,74(3):2499-2510.
- [26] 喻 元,白建军,王建博,等.基于 MOD16 的关中地区实际蒸 散发时空特征分析[J].干旱地区农业研究,2015,33(3):245-253.
- [27] 管延龙,王让会,李 成,等.基于 MODIS 数据的天山区域地 表温度时空特征[J].应用生态学报,2015,26(3):681-688.
- [28] 阿依苏力坦·麦麦提艾力.博斯腾湖流域土地利用/覆被变化 及其驱动因子分析[D].乌鲁木齐:新疆师范大学,2014.
- [29] 乔 丽,吴林荣,张高健.中国近 50a 地表温度时空变化特征 分析[J].水土保持通报,2015,35(5):323-326.

(上接第236页)

参考文献:

- [1] 王劲松,李耀辉,王润元,等.我国气象干旱研究进展评述[J]. 干旱气象,2012,30(4):497-508.
- [2] 翟盘茂, 邹旭恺. 1951—2003 年中国气温和降水变化及其对干 旱的影响[J]. 气候变化研究进展, 2005, (1): 16-18.
- [3] 杨修群,谢 倩,朱益民,等.华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型[J].地球物理学报,2005,48(4):789-797.
- [4] 张 强,黄荣辉,王 胜,等.西北干旱区陆 气相互作用试验
 (NWC ALIEX)及其研究进展[J].地球科学进展,2005,20(4):
 427-441.
- [5] 王效科,欧阳志云,肖 寒,等.中国水土流失敏感性分布规律 及其区划研究[J].生态学报,2001,21(1):14-19.
- [6] 李树岩,刘荣花,马志红.基于降水距平的黄淮平原夏玉米干旱 评估指标研究[J].干旱地区农业研究,2012,30(3):252-256.
- [7] 袁文平,周广胜.标准化降水指标与Z指数在我国应用的对比 分析[J].植物生态学报,2004,28(4):523-529.
- [8] 冯建设,王建源,王新堂,等.相对湿润度指数在农业干旱监测 业务中的应用[J].应用气象学报,2011,22(6):766-772.
- [9] 李伟光,易 雪,侯美亭,等.基于标准化降水蒸散指数的中国 干旱趋势研究[J].中国生态农业学报,2012,20(5):643-649.
- [10] Koleva E, Alexandrov V. Drought in the Bulgarian low regions during the 20th century[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2008,92

(1-2):113-120.

- [11] 李柏贞,周广胜.干旱指标研究进展[J].生态学报,2014,34 (5):1043-1052.
- [12] 唐红玉,王志伟,史津梅,等. PDSI 和 Z 指数在西北干旱监测 应用中差异性分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):6-11.
- [13] 徐玲玲,王建林,宋艳玲,等.基于订正后的 CI 指数分析近 50 年干旱对山西省玉米产量的影响[J].干旱地区农业研究, 2013,31(3):227-233.
- [14] 陈志昆,张书余.地形在降水天气系统中的作用研究回顾与展 望[J].干旱气象,2010,28(4):460-466.
- [15] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]//Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Boston, MA: American Meteorological Society, 1993.
- [16] 米湘成,张金屯.山西高原植被与土壤分布格局关系的研究[J].植物生态学报,1999,23(4):336-344.
- [17] 黄晚华,杨晓光,李茂松,等.基于标准化降水指数的中国南方
 季节性干旱近 58a 演变特征[J].农业工程学报,2010,26(7):
 50-59.
- [18] 竹磊磊,常 军,张善强,河南夏季干旱气候特征分析[J].气 象与环境科学,2012,35(1):49-55.
- [19] 茅海祥,王 文.中国南方地区近 50a 夏季干旱时空分布特征 [J].干旱气象,2011,29(3):283-288.