

渭干河—库车河三角洲绿洲地表温度时空变化特征研究

周梅^{1,2}, 张飞^{1,2,3}, 姜红涛^{1,2}, 张严峻^{1,2}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学 智慧城市与环境建模普通高校重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘 要:采用单窗算法,利用 1989 年和 2011 年两期 Landsat 数据对渭干河—库车河三角洲绿洲的地表温度进行反演,并与实时陆面地表温度进行对比检验,其反演精确度分别为 94.9%和 95.9%。在此基础上,分析了不同时期渭干河—库车河三角洲绿洲地表温度分布格局,并将反演的地表温度划分为 6 个等级:低温区 9.9~13.9℃,次低温区 13.9~19.9℃,中温区 19.9~25.9℃,次高温区 25.9~31.9℃,高温区 31.9~37.9℃和极高温区 37.9~41.9℃。通过两期图像的反演可以得出:(1) 从时间尺度上来看:1989 年的温度低于 2011 年,比 2011 年多一个低温区;2011 年比 1989 年多出高温区和极高温区两个温度段,1989 年和 2011 年的最低温和最高温的温度差分别为 5.13℃和 13.51℃;(2) 从空间尺度上来看,各温度区间的分布范围发生了巨大变化;(3) 由于戈壁、沙漠在日照下增温比绿洲快得多,因此,绿洲的温度基本符合中心低,四周高的“冷岛”现象。此研究对进一步理解渭干河—库车河土壤—植被—大气系统能量交换状况具有重要意义。

关键词:单窗算法; TM 影像; 热环境; 时空变化

中图分类号:S161.2⁺2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)06-0151-07

Analysis on Spatiotemporal Changes of Land Surface Temperature in the Delta Oasis of Weigan and Kuqa River

ZHOU Mei^{1,2}, ZHANG Fei^{1,2,3}, JIANG Hong-tao^{1,2}, ZHANG Yan-jun^{1,2}

(1. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046,

China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

3. Key Laboratory of Smart City and Environmental Modeling, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: The mono-window algorithm and TM data were used to retrieve land surface temperature in the typical oasis of the Weigan River-Kuqa River between 1989 and 2011, and the actual land surface temperature was used to verify the calibrated results. The temperature is divided into low temperature zone of 9.9~13.9℃, secondary low temperature zone of 13.9~19.9℃, medium temperature zone of 19.9~25.9℃, secondary high temperature zone of 25.9~31.9℃, high temperature zone of 31.9~37.9℃, and extremely high temperature zone of 37.9~41.9℃. The results show that: (1) on the time scales, the surface temperature of water body was the lowest and the bare land and desert had the highest temperature, the temperature is lower in 1989 than 2011, there is no low temperature zone in 2011 and there are no high temperature zone and extremely high temperature zone in 1989, the lowest temperature is 10.65℃ in 1989, and it was 15.78℃ in 2011, the highest temperature is 29.30℃ in 1989, and it was 41.82℃ in 2011; (2) on the spatial scales, land surface temperature changes in the study area showed that the temperature had a huge changes; (3) the gobi and desert were warming far more quickly than the oasis, as a result, the temperature of the oasis was lower than the surrounding which results in a ‘cold spot’ phenomenon. This is very significant in terms of further understanding of the energy exchange status of soil-plant-atmosphere system and the differences of regional heat distribution in arid and semi-arid area of the northwest China.

Key words: mono-window algorithm; TM image; heat environment; spatial-temporal changes

收稿日期:2013-03-22

修回日期:2013-09-23

资助项目:新疆维吾尔自治区高校科研计划青年教师科研培育项目(XJEDU2012S03)

作者简介:周梅(1989—),女,四川内江人,在读硕士,主要从事干旱区资源与环境遥感应用研究。E-mail:zhoumei51@126.com

通信作者:张飞(1980—),男,陕西凤翔人,副教授,主要从事干旱区资源与环境遥感应用研究。E-mail:zhangfei3s@163.com

地表温度(Land Surface Temperature, LST)是表征地表生物物理的参数,是全球物质能量循环、气候变化、能量平衡的重要影响因素,同时也是人类研究地—气相互作用、地球各圈层之间物质能量流动机制的依赖参数之一,是目前遥感定量研究的热点^[1],是研究地表与大气之间能量与物质交换的重要参数^[2-3],主要应用于城市“热岛效应”和绿洲“冷岛效应”方面的研究。

绿洲是干旱区独特的自然景观,是人们生产、生活的载体,是干旱地区有稳定水源可以对土地进行灌溉、适于植物生长的地方。夏季,在高温戈壁、沙漠包围下的绿洲热环境直接影响着各类生物对环境舒适度的感受,也影响着人们的生产、生活质量。对绿洲空间热环境进行研究是深入了解绿洲—沙漠间,以及绿洲内部物质能量流动机理的重要手段。近年来,地球的气温增加给整个地球的生态环境带来了巨大的影响,在全球气候变暖背景下,新疆气候变化与全球变暖具有同步性,分析生态环境非常脆弱的干旱区绿洲地表温度的变化特征具有很强的现实意义。

地表温度的获取主要有常规的定点实验观测方法和遥感反演方法。常规观测方法由于空间分布的不均匀和观测条件的限制,较难推算城市地表温度分布的变化情况,而利用热红外波段快速、同步地获取地表一定空间尺度上的温度信息是定量遥感的重要内容之一^[4]。自20世纪60年代初期发射TIROS-II以来,学者们就用卫星遥感数据反演地表温度。利用卫星遥感数据提取海洋温度的研究在70年代已较为成熟,可以在全球范围内达到1K的精度^[5]。陆地地表温度反演也取得了很大的进展,对Landsat卫星等只有一个热红外波段的数据,先后提出了单波段、分裂窗和多波段等遥感反演方法^[6]。单窗算法、单通道算法直接包含大气与地表比辐射率影响,简单易行且精度较高,而单窗算法反演地表温度的精度相对较高^[7-8]。而近年来,针对干旱区绿洲的热环境研究也陆续开展^[9-12],但是对绿洲地表温度时空变化的研究还比较少。所以,本文利用覃志豪单窗算法,选择干旱区典型绿洲——渭干河—库车河三角洲绿洲作为研究靶区,深入分析1989—2011年地表温度的时空动态变化,为进一步理解全球温度上升、我国西北干旱、半干旱区域地表热量分布差异特征以及渭干河—库车河土壤—植被—大气系统能量交换状况提供参考。

1 研究区概况

渭干河—库车河三角洲绿洲(以下简称渭—库绿洲)位于新疆维吾尔自治区南部的塔里木盆地,属渭

干河—库车河流域,在行政上隶属阿克苏地区管辖。范围包括库车、沙雅和新和3个县,土地总面积523.76万hm²。年均降水量为46.4~64.5mm,其中,沙雅地区最低,库车地区最高,年均蒸发量为1992.0~2863.4mm,干燥度系数为44.37,属于干旱与极端干旱地区。年平均气温为10.5~14.4℃,极端最高气温为40.1~41.5℃,极端最低气温为-28.7~-26.8℃^[13]。经济结构以农业为主,是库车、沙雅和新和3个县经济发展的核心地带,是新疆的主要棉产区之一及阿克苏地区最大的灌溉区。2003年该区共有人口约75.59万人,人口密度达14.4人/km²,远超过联合国教科文组织提出的干旱区人口临界指标(7人/km²),加剧了绿洲环境资源压力。

2 研究方法

2.1 数据获取和处理

选用1989年9月25日和2011年9月6日当地时间9:30 Landsat 5 TM数据,根据无云、雾和积雪等的影响,图像质量好。计算地表温度前,必须先进行辐射定标,得到卫星热红外传感器探测的大气层顶表观反射率^[14-15],以消除传感器系统误差。为了精确地提取研究区的信息,采用相应计算公式^[16-17]求取表观发射率,由于研究区为平原区,地形较为平坦,故未作地形辐射校正。然后,将影像进行几何精校正,利用研究区1:5万地形图对TM影像各波段进行校正,采用控制点—多项式拟合校正法,采用高斯—克吕格投影模式及三次卷积内插法重采样进行图像点的精密校正(选择的GCP点的误差均小于0.5个像元)。像元大小为30m×30m。再按研究区范围进行图像切割,图像大小为1.37×10⁷个像元,边界范围为:左上角41°51′30.64″N,82°07′51.18″E,右上角41°49′58.54″N,83°40′28.28″E,左下角41°04′47.53″N,82°07′2.75″E,右下角40°55′17.81″N,83°38′14.72″E,研究区面积为12344.336km²。

2.2 参数计算

利用遥感分析绿洲热场分布关注的是其温度分异状况,温度是一个重要的环境参数^[18],TM第6波段记录的DN值也主要取决于地表温度的高低。覃志豪^[19]、田辉等^[20]使用一个热红外波段基于大气辐射传输方程和对普朗克方程的线性化,推导出了一个简单可行且精度较高的专门用于从TM6波段数据反演地表温度的方法——单窗算法。

2.2.1 辐射亮度 L 的计算 辐射亮度是大气层顶传感器接受的辐射亮度,其计算公式为^[21]:

$$L_r = \text{Bias} + (\text{Gain} \times \text{DN}) \quad (1)$$

式中: Bias——偏移; Gain——增益; DN——像元值。

2.2.2 表观反射率的计算 尽管大气辐射原理是相同的,但由于传感器本身性能和参数的不同,所获取的遥感数据进行大气校正的具体方法也有所差别。本文主要采用 COST 模型进行大气校正^[22]:

$$\rho=\pi d^2(L-L_p)/(E_0\cos\theta_zT_z)$$
 (2)

式中: ρ ——地面相对反射率; d ——日地天文单位距离; L ——大气顶层的辐射亮度; L_p ——大气层辐射值; E_0 ——大气顶层的太阳辐照度; θ_z ——太阳天顶角; T_z ——大气透射率。

2.2.3 反演算法 单窗算法反演地表温度的公式如下:

$$T_s=\{a(1-C-D)+[b(1-C-D)+C+D]\times T_6-DT_a\}/C$$
 (3)

式中: T_s ——地表温度(K); a, b ——变量, 分别为-67.355 351, 0.458 608; T_6 ——卫星高度上传感器所探测到的像元亮度温度(K); T_a ——大气平均作用温度(K); C, D ——中间变量, 分别用下式计算:

$$C=\epsilon\tau$$
 (4)

$$D=(1-\tau)[1+(1-\epsilon)\tau]$$
 (5)

式中: ϵ ——地表比辐射率; τ ——大气透射率。

2.2.4 算法参数的获取

(1) 大气平均作用温度 T_a ^[23]。在标准大气状态下, 大气平均作用温度 T_a 与地面附近气温 T_0 存在的线性关系见表 1。

表 1 大气平均作用温度估算

大气类型	估算方程
美国 1976 平均大气	$T_a=25.9396+0.88045T_0$
热带平均大气(15°N, 年平均)	$T_a=17.9769+0.91715T_0$
中纬度夏季平均大气(45°N, 7 月)	$T_a=16.011+0.92621T_0$
中纬度冬季平均大气(45°N, 1 月)	$T_a=19.2704+0.91118T_0$

(2) 地表比辐射率 ϵ ^[24]。推算地表温度的要素之一是地表比辐射率。地表比辐射率对地表温度反演精度的影响很大, 是重要的误差源之一。研究表明, 发射率 0.01 的相对误差, 能导致地表温度 0.75 K 的误差。由此引起的误差对反演精度的影响比大气的两倍还要大。地表比辐射率主要取决于地表的物质结构和遥感器的波段区间。TM 6 波段区间为 10.45~12.6 μm 。地球表面不同区域的地表结构虽然很复杂, 但从卫星像元的尺度来看, 可以大体视作由 3 种类型构成: 水面、城镇和自然表面。对于地表温度反演来说, 自然表面通常占图像的比例最大, 因而也是我们考虑的重点。

Griend 等^[25]发现地表比辐射率与植被指数高度相关, 并建立了地表比辐射率和归一化植被指数

(NDVI)之间的统计关系模型:

当自然地表 NDVI 值在 0.157~0.727 时, 地表比辐射率计算公式为:

$$\epsilon=1.0094+0.047\ln(\text{NDVI})$$
 (6)

该模型应用范围较广, 但存在两个问题: 第一, 不同区域地表自然属性的差异导致该模型不具有普适性。第二, 不能解决混合像元问题。

Sobrinoa^[26]提出基于地表覆盖类型的加权混合模型, 以土壤和植被比辐射率已知为前提, 用 NDVI 对地表分类, 并给出地表相对均一、平坦条件下的比辐射估算方程, 即

$$\epsilon=\begin{cases} 0.973 & \text{NDVI}<0.2 \\ \epsilon_vP_v+\epsilon_s(1-P_v) & 0.2\leq\text{NDVI}\leq0.5 \\ 0.986 & \text{NDVI}>0.5 \end{cases}$$
 (7)

式中: ϵ ——地表比辐射率; ϵ_v ——植被比辐射率; ϵ_s ——裸土比辐射率, 查阅相关资料获取 $\epsilon_v=0.986$, $\epsilon_s=0.973$; P_v ——植被覆盖度, 通过归一化植被指数 NDVI 来计算:

$$P_v=[(\text{NDVI}-\text{NDVI}_s)/(\text{NDVI}_v-\text{NDVI}_s)]^2$$
 (8)

式中: $\text{NDVI}_v, \text{NDVI}_s$ ——植被和裸土的 NDVI 值。

对影像像元进行统计, 选取植被茂密区均值作为 NDVI_v 的值; 同理, 选取裸土区像元均值作为 NDVI_s 的值, 当 $\text{NDVI}\leq\text{NDVI}_s$ 时, 认为植被覆盖率 $P_v=0$; 当 $\text{NDVI}\geq\text{NDVI}_v$ 时, 认为 $P_v=1$ 。

(3) 大气透射率^[27]。地表热辐射在大气中的传导会受到气压、气温、气溶胶含量、大气水分含量等的作用而产生衰减, 因此准确地求算大气透射率需要较详细的大气剖面数据, 但这些数据一般很难获取。研究表明, 大气透射率的变化主要取决于大气水分含量的动态变化, 其它因素因其动态变化不大且对大气透射率的变化没有显著影响^[28], 因此, 水分含量就成为大气透射率估计的主要考虑因素, 其计算方法见表 2, 本文采用高气温并且水蒸气在 0.4~1.6 g/cm² 间对应的方程。

表 2 TM6 大气透射率估算方程

大气剖面	水分含量 w / (g · cm ⁻²)	大气透射率估计 方程
高气温(35°)	0.4~1.6	$T=0.97429-0.08007w$
	1.6~3.0	$T=1.031412-0.11536w$
低气温(18°)	0.4~1.6	$T=0.982007-0.09611w$
	1.6~3.0	$T=1.05371-0.14142w$

3 结果与分析

3.1 研究区地表亮度温度的计算

基于得到的研究区遥感影像第 6 波段的辐射亮

度,根据公式(9)计算研究区地表像元的亮度温度^[29]:

$$T_6=K_2/\ln(1+K_1/L)$$
 (9)

式中: T_6 ——地表像元亮度温度(K); K_1 , K_2 ——常量, $K_1=607.76\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{sr}\cdot\mu\text{m})$ 和 $K_2=1\,260.56\text{ K}$; L ——传感器接受的辐射强度。

3.2 温度反演及精度验证

采用单窗算法计算地表温度,其中,大气平均作用温度依据表 1 中的中纬度夏季平均大气(北纬 45 度,7 月)公式推算;大气透射率依据表 2,水分含量取

值为 $0.4\sim1.6(\text{g}/\text{cm}^2)$,大气透射率估计方程为 $T=0.97429-0.08007w$ 推算。依据表 3 和公式(6)、(7)计算比辐射率,将上述参数带入(3)式进行计算,即可得到渭—库三角洲绿洲 1989 年 9 月 25 日和 2011 年 9 月 6 日的地面温度。并绘制出地表温度反演空间分布图(图 1)。

表 3 单窗算法计算研究区地表温度参数表

年份	大气平均作用温度/K	大气透射率
1989	276.3223205	0.885897
2011	284.0098635	0.885897

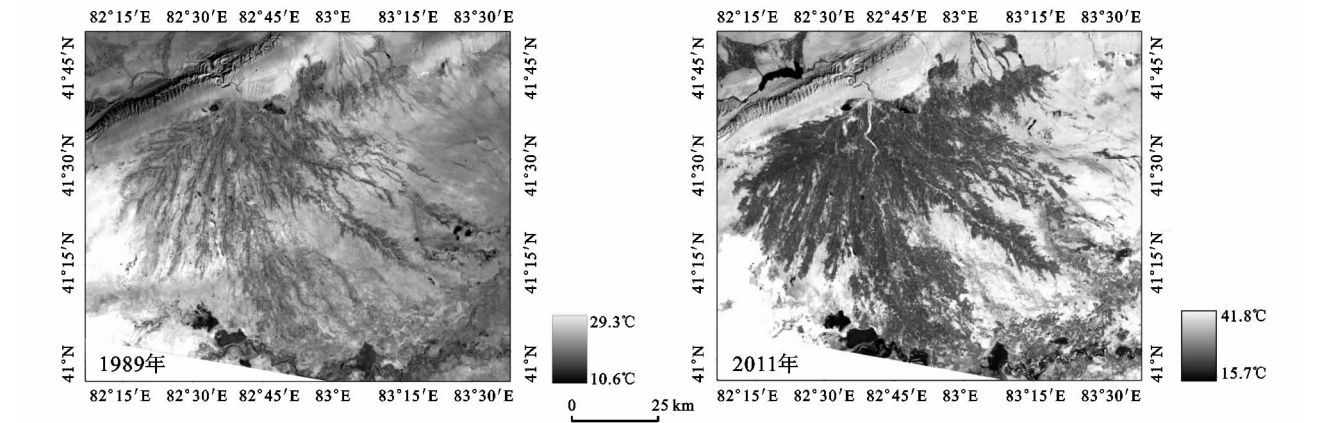


图 1 研究区反演温度空间分布

由图 1 可以看出,1989 年最低和最高温度分别为 10.6°C 和 29.3°C ,2011 年最低和最高温度分别为 15.7°C 和 41.8°C 。绿洲中心温度都低于周边,均呈现“冷岛”效应;1989 年高温出现在绿洲西南部,而 2011 年绿洲高温沿着东北—西南方向分布,但各温度相互交错,体现出土地利用/土地覆被的复杂性。

将库车、沙雅、新和县气象站的实测温度数据的均值与反演的地表温度均值进行对比,结果如表 4 所示,可以看出,1989 年和 2011 年温度反演的精度分别为 94.9% 和 95.6%,说明采用单窗算法进行温度反演基本可行。

表 4 单窗算法反演结果精度

项目	1989 年 9 月 25 日	2011 年 9 月 6 日
实测值/ $^{\circ}\text{C}$	20.00	27.60
反演值/ $^{\circ}\text{C}$	18.98	28.80
差值/ $^{\circ}\text{C}$	1.02	1.20
精确度/%	94.90	95.60

为进一步分析各温度区间在绿洲的分布状况,绘制温度等级分布图(图 2);同时,为了更好地说明地表温度与土地利用/土地覆被的关系,做出土地利用图(图 3),其中,1989 年的总体分类精度和 Kappa 系数分别为 95.69% 和 0.94;2011 年的总体分类精度和 Kappa 系数分别为 94.37% 和 0.87。由图 2—3 可以

得出:(1) 从土地利用/土地覆被和温度关系的角度来看,1989 年的土地利用/土地覆被类型与地表温度分布图不能明确区分,说明土地利用类型比较复杂,相对比较分散,各类型间的温度变化小;而 2011 年的温度分布图中土地利用/土地覆被类型和地表温度分布基本保持一致,说明土地利用类型单一,相对比较集中,各类型间的温度变化大;(2) 两期图像中耕地温度都相对较低,1989 年绿洲周边的裸地、盐渍地、耕地及耕地周边林地的温度同在一个温度区间,而 2011 年的耕地和林地不在同一温度区间,绿洲周边的裸地、盐渍地的温度分别处于高温区和极高温区,并且水体作为了一个单独温度区间;(3) 1989 年的温度相对于 2011 年整体偏低,比 2011 年多一个低温区 ($9.9\sim13.9^{\circ}\text{C}$),2011 年的温度相对于 1989 年整体偏高,多出了高温区 ($31.9\sim37.9^{\circ}\text{C}$) 和极高温区 ($37.9\sim41.9^{\circ}\text{C}$) 两个温度区间。

同时,又对两期图像中的各个类别面积进行统计(表 5),从表 5 中可知:(1) 1989 年的温度集中在低温区、次低温中温区和次高温区 4 个温度段,其中次低温区的面积最大,占总面积的 71.23%,其次是中温区,占总面积的 22.15%;(2) 2011 年的温度集中在次低温区、中温区、次高温区、高温区和极高温区 5

个温度段,其中高温区的面积最大,占总面积的40.30%,其次是次高温区,占总面积的30.85%;(3)1989—2011年,低温区、高温区和极高温区变化最大,在1989年反演的结果中没有高温区和极高温区,在2011年反演的结果中没有低温区;(4)1989—2011年,次低温区由71.23%减少到0.56%,面积减少了8723.772 km²,中温区由22.15%增加

23.78%,面积增加了201.817 8 km²,次高温区由2.18%增加到30.85%,面积增加了3540.029 km²。由于全球温度上升具有一致性,干旱区的升温现象又高于我国东部和全球上升温度的平均值,因此,1989—2011年的22 a间,渭—库绿洲的地表温度发生了巨大变化。此外,绿洲温度的升高与绿洲人口增加、经济的迅速发展有着密切的关系。

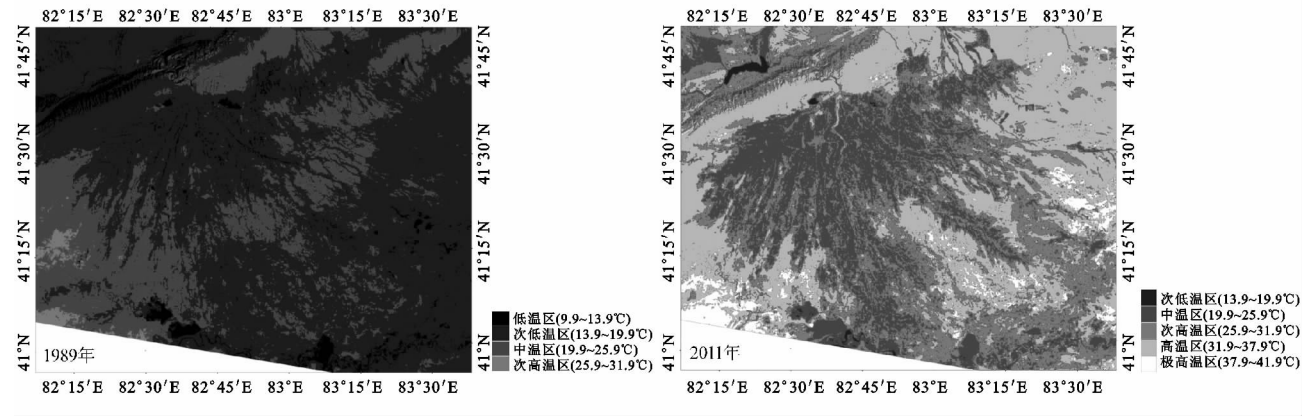


图2 研究区地表温度等级

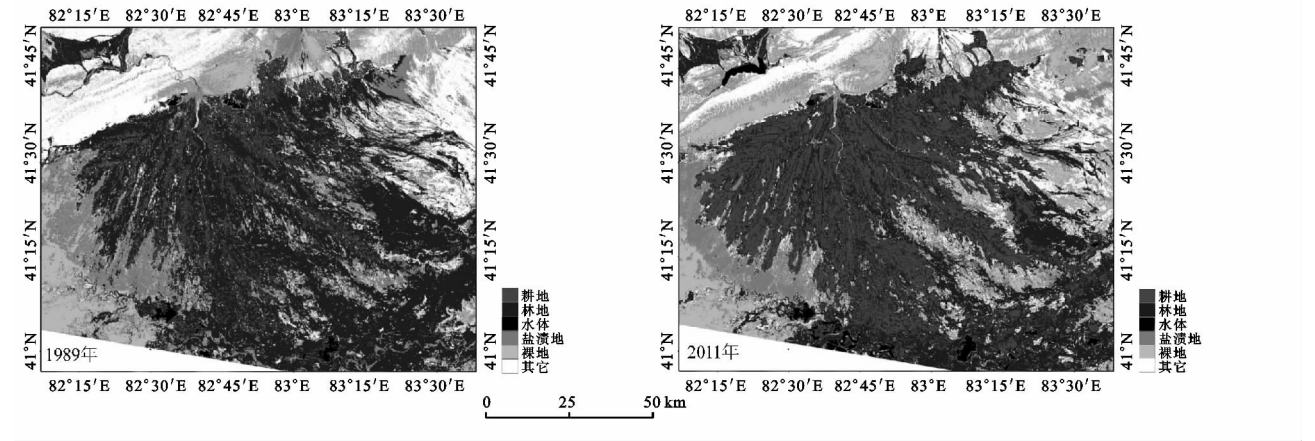


图3 研究区土地利用

表5 各温度等级面积统计

温度等级	1989 年		2011 年		面积差/ km ²
	面积/km ²	占总面积的百分比/%	面积/km ²	占总面积的百分比/%	
低温区	548.082	4.44	—	—	548.082
次低温区	8793.049	71.23	69.277	0.56	8723.772
中温区	2734.348	22.15	2936.165	23.79	201.817
次高温区	268.857	2.18	3808.886	30.85	3540.029
高温区	—	—	4974.876	40.30	4974.876
极高温区	—	—	555.132	4.50	555.132

为了能够更直观地表达各个温度区间与像元的关系,绘制温度频率直方图。由图4得出:(1)1989年最低温度为10.65℃,最高温度为29.30℃;26℃以下的像元占绝大部分,主要是山区、水体、耕地以及林地;26~42℃的像元数目较少,主要为东南林地、盐碱地和戈壁荒漠;低温区与中温区间的过渡像元较少,

直方图中表现为“陡崖”状上升。(2)2011年最低温度为15.78℃,最高温度为41.82℃;20℃以下的像元数目出现较少,主要是水体;23~28℃出现一个峰值,其地类主要为耕地;其中33~38℃又出现一个峰值,主要是盐碱地、戈壁荒漠;低温区与中温区间的过渡像元较少,直方图中表现为“陡崖”状上升。

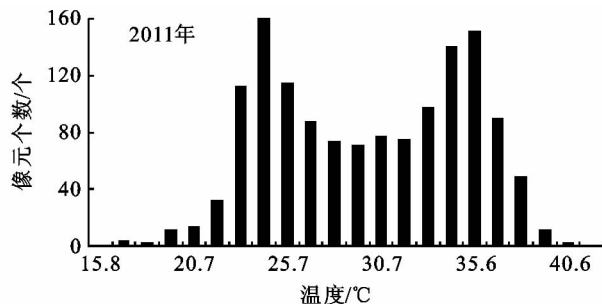
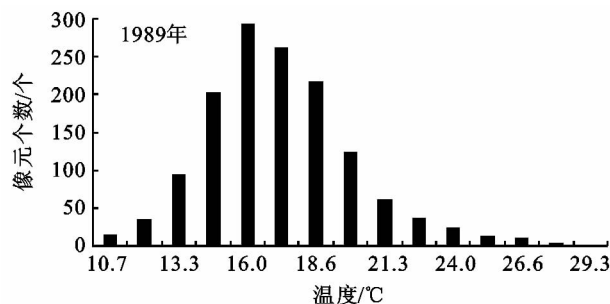


图4 研究区地表温度直方图

4 结论与讨论

利用渭一库绿洲 1989—2011 年两期 Landsat TM 影像,通过 TM 6 热红外波段反演地表温度,分析渭一库绿洲热场时空分布特征、空间差异。得出如下结论:

(1) 从时间尺度上来看,绿洲地表温度年际变化明显:1989 年研究区内最低温度 10.65℃,最高温度 28.31℃,平均温度 18.98℃。温度低于 19.9℃的占 75.67%,19.9~31.9℃占 23.66%;2011 年研究区内最低温度 15.78℃,最高温度 41.82℃,平均温度为 28.80℃。温度低于 19.9℃的占 0.56%,19.9~31.9℃占 54.63%,大于 31.9℃的占 44.8%,最高温和最低温的温差分别达到 13.51℃和 5.13℃。基本符合近年来渭一库绿洲地区 9 月白天的实时地表温度状况。

(2) 从空间尺度上来看,绿洲的热场分布空间差异明显,两期图像均呈现典型的“冷岛”效应:绿洲周边的高温荒漠、戈壁和裸地包围低温耕地、林地和水体等。而不同的年份,绿洲内部各地类的温度范围不同:1989 年,水体的温度在 8.5~13.5℃之间,耕地的温度在 12.5~16.5℃之间,林地比耕地的温度稍高,荒漠、戈壁的温度最高,整体呈现出由中心低温向四周高温呈辐散状。2011 年,水体的温度在 16.5~22.5℃之间,耕地的温度在 21.5~26.5℃之间,林地比耕地的温度稍高,荒漠、戈壁的温度最高,从耕地到荒漠、戈壁,温度陡增。并且各温度区间的面积发生了明显的变化:1989 年次低温度所占面积最大,其比例为 71.23%,2011 年次低温区的面积仅占总面积的 0.56%;低温区仅存在于 1989 年,而高温区和极高温区仅存在于 2011 年,由此可见,从 1989 年至 2011 年,绿洲温度整体大幅上升。

随着渭一库绿洲经济的快速发展,人类活动的不断增强,绿洲土地利用/土地覆被方式的多样化,植被分布对地表温度的影响不断在变化,作为生态脆弱带的渭一库绿洲,合理地布局和发展城镇建设并注重植被保护,对绿洲的可持续发展有着重要的意义。

参考文献:

- [1] 王天星. 地表参数遥感定量反演及其在城市热环境研究中的应用[D]. 福州: 福建师范大学, 2008.
- [2] 刘振华, 赵英时. 基于遗传算法的不同光照条件下植被和土壤组分温度反演[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 161-166.
- [3] 罗菊花, 张竞成, 黄文江, 等. 基于单通道算法的 HJ-1B 与 Landsat-5TM 地表温度反演一致性研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(12): 3285-3289.
- [4] 甘甫平, 陈伟涛, 张绪教, 等. 热红外遥感反演陆地表面温度的研究进展[J]. 国土资源遥感, 2006, 67(1): 6-11.
- [5] Becket F. The impact of emissivity on the measurement of land surface temperature from a satellite [J]. International Journal of Remote Sensing, 1987, 8(10): 1509-1522.
- [6] 朱怀松, 刘晓猛, 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.
- [7] 张兆明, 何国金, 肖荣波, 等. 利用 TM6 数据反演陆地表面温度新算法研究[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(6): 547-550.
- [8] 孟宪红, 吕世华, 张宇, 等. 使用 LANDSAT-5TM 数据反演金塔地表温度[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 721-726.
- [9] 李金香, 塔西甫拉提·特依拜, 雷磊, 等. 干旱区典型绿洲热场分布规律研究: 以渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J]. 中国沙漠, 2011, 31(4): 992-1000.
- [10] 潘竟虎, 张伟强. 张掖绿洲冷岛效应时空格局的遥感分析[J]. 干旱区研究, 2010, 27(4): 481-486.
- [11] 武坚, 孟宪红, 吕世华. 基于 MODIS 数据的金塔绿洲地表温度反演[J]. 高原气象, 2009, 28(3): 523-529.
- [12] 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 塔里木河上游典型绿洲地表热环境遥感研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(4): 111-116.
- [13] 钱云, 郝毓灵. 新疆绿洲[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000.
- [14] Dash P, Götsche F M, Olesen F S, et al. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends [J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(13): 1565-1592.

2563-2594.

[15] Franca G B, Cracknell A P. Retrieval of land and sea surface temperature using NOAA-11 AVHRR data in north-eastern Brazil[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(8): 1695-1712.

[16] 池宏康,周广胜,许振柱,等. 表观反射率及其在植被遥感中的应用[J]. 植物生态学报, 2005, 29(1): 74-80.

[17] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(5): 893-903.

[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] 覃志豪, Zhang M H, Arnon Karnie li, 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.

[20] 田辉,文军,马耀明,等. 利用 ASTER 资料估算黑河中游沙漠和绿洲地区夏季地表温度[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 544-553.

[21] 李玉环,王静,吕春燕,等. 基于 TM/ETM+ 遥感数据的地面相对反射率反演[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2005, 36(4): 545-551.

[22] 赵少华,秦其明,张峰,等. 基于环境减灾小卫星(HJ-1B)的地表温度单窗反演研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(6): 1552-1556.

[23] 丁凤,徐涵秋. TM 热波段图像的地表温度反演算法与实验分析[J]. 地球信息科学, 2006, 8(3): 125-130.

[24] 覃志豪,李文娟,徐斌,等. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J]. 国土资源遥感, 2004, 61(3): 28-41.

[25] Van De Griend A A, Owe M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surface[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14(6): 1119-1131.

[26] Sobrinoa J A, Jim énez-M unoz J C, Pao lini L. Land surface temperature retrieval from landsat TM5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4): 434-440.

[27] 覃志豪, LI Wenjuan, ZHANG Minghua, 等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感, 2003, 56(2): 37-43.

[28] 李净. 基于 Landsat-5TM 估算地表温度[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(4): 322-326.

[29] 方永侠,申双和,韩莹,等. 基于 TM 影像的不同季节北京城市热环境研究[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(4): 487-493.

.....

(上接第 150 页)

[17] 吐尔逊·哈斯木,曼尼萨汗·吐尔隼,阿依先木·司马义. 塔里木河流域水资源利用对于流土地沙漠化的影响分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(8): 58-62.

[18] 徐海亮,宋郁东,陈亚宁. 塔里木河下游生态输水后地下水位变化规律研究[J]. 水科学进展, 2004, 15(2): 224-232.

[19] 郭忠升,李耀林. 植被生长与土壤水关系调控起始期[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5721-5723.

[20] 韩路,王海珍,曹新川. 塔里木河流域土地荒漠化的现状、成因及防治对策[J]. 干旱区资源与环境, 2001, 15(2): 16-21.

[21] 李红军,杨兴华,王敏仲,等. 塔里木河流域沙尘暴变化的多尺度特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(10): 77-83.

[22] 刘晏良. 塔里木河中下游实地踏勘报告[M]. 北京: 中国统计出版社, 2000.

[23] 许有鹏,杨戊,周寅康,等. 塔里木盆地水资源开发与环境保护分析[J]. 干旱区研究, 2002, 19(1): 7-11.

[24] 阿依先木·司马义,吐尔逊·哈斯木,曼尼萨汗·吐尔隼,等. 人类活动对土地沙漠化的影响研究: 以塔里木河下游为例[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 56-60.

[25] 童玉芬,吴彩仙,王渤元. 新疆塔里木河流域人口增长、水资源与沙漠化的关系[J]. 人口学刊, 2006(1): 37-40.

[26] 王让会,宋郁东,樊自立,等. 3S 技术在新疆塔里木河下游生态环境动态研究中的应用[J]. 南京林业大学学报, 2000, 7(4): 59-63.

[27] 毛炜峰,高前兆,秦莉,等. 塔里木河干流输水运行对河流生态功效的分析[J]. 干旱区地理, 2008, 31(4): 604-614.