

河谷地形下兰州市城市热岛效应的时空演变研究

张建明, 王鹏龙, 马 宁, 张 超

(兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 基于1999年和2010年的Landsat ETM+和TM影像, 以单窗算法反演了兰州市地表温度, 研究兰州市最近10 a的城市热岛时空分布以及演变特征。研究结果表明: 兰州市城市热岛的空间分布与延展与城市建城区的扩展相一致, 热岛范围不断扩大, 次中温和中温区大面积减少, 相应的次高温和高温区大面积增加, 热岛强度明显增强; 除了城市下垫面覆盖类型, 黄河低温带亦逐渐成为影响城市热岛分布的重要因子。各土地利用类型的平均温度均有所升高, 建设用地和未利用地温度最高, 对热岛效应贡献最大, 是城市热岛的主要贡献因子, 绿地和水体能够很好的缓解热岛效应。地表温度与信息指数NDVI、MNDWI、NDBI、NDBaI在兰州市河谷空间格局上显著相关, 存在很好的对应关系。

关 键 词: 河谷盆地; 城市热岛; 时空演变; 兰州市

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)12-1530-08

城市化和工业化造成的人口聚集会引起一系列的生态环境问题^[1]。从19世纪早期, 英国学者Howard L^[2]最早注意到伦敦市中心的气温较郊区高的现象以来, 这种由于热量分布差异导致的城市高密度区气温高于周边郊区气温的“城市热岛”效应研究, 近几十年来已经在不同纬度、不同类型的城市地区广泛开展^[3]。研究典型地区城市热岛的时空演变及其成因, 揭示城郊气候变化对全球变暖的响应特征及差异, 是全球变化区域响应的重要内容, 亦可为提出减缓城市热岛效应措施提供理论依据, 已经成为国内外学者关注的焦点^[4-6]。

利用气象数据研究城市热岛效应是传统的方法^[7-10], 尽管传统方法为研究长时间尺度的城市热岛效应演变提供了可能, 然而, 由于气象站点分布有限, 限制了城市热岛效应空间分布的研究。随着遥感技术的发展, 通过遥感影像反演地表温度或亮温来研究城市热岛效应受到重视, 对北京^[11]、上海^[12]、西安^[13]、成都^[14]等地的研究发现, 这些平原型城市中心均具有很强的热岛效应, 而且日趋显著。

兰州是典型的河谷型城市, 快速的城市化引起日益突出的城市热岛等环境问题。白虎志^[15]、马玉霞^[16]等利用气象数据研究了兰州市城市热岛效

应及其时间变化, 发现热岛效应有增强的趋势; 李国栋等^[17]用数值模拟的方法研究了兰州市夏季的城区热岛效应; 潘竟虎等^[18]利用单时相遥感影像反演了兰州市城区的地表温度, 并利用景观指数分析讨论了在不同土地利用的空间组合下, 地表温度(LST)和归一化植被指数(NDVI)的空间差异及相互关系。但是, 对于河谷型城市的热岛效应的时空演变模式, 以及在空间格局上地表温度与土地利用的关系研究还不多见。基于此, 本文以兰州市中心城区为研究区, 利用遥感影像反演地表温度, 定量评估快速城市化对城市热环境的影响, 以为城市规划中的生态环境规划提供有意义的参考。

1 数据和研究方法

1.1 研究区概况

兰州市地处陇西黄土高原西部, 青藏高原的东北缘, 地理位置为35°34'20"N~37°07'07"N、102°35'58"E~104°34'29"E, 辖五区三县。近10 a兰州市经历了快速的城市化, 1999年底, 市辖区人口为178.08万人, 到2009年底时, 已达210.47万人^[19]。本研究选取主城区部分, 即城关、七里河、安宁和西固4个城区部分, 面积235 km², 位于南北两山之间

收稿日期: 2011-09-06; 修订日期: 2012-06-13

基金项目: 国家基础科学人才培养基金(J1030519)资助。

作者简介: 张建明(1964-), 男, 陕西勉县人, 副教授, 从事环境遥感与地学建模方面的教学与科研工作。E-mail: jmzhang@lzu.edu.cn.

的黄河谷地,并沿黄河呈东西向带状延伸,是典型的河谷型城市。兰州属于典型的大陆性干旱气候,雨量少而集中,多年平均降水量324.8 mm,年蒸发量1486 mm,年平均气温9.3℃^[18]。由于主城区位于河谷盆地之中,空气流动性差且有大量工业废气排放,致使空气质量较差。

1.2 数据获取与预处理

采用1999年7月18日的Landsat7 ETM+和2010年8月25日的Landsat5 TM(130/35)为遥感数据源,气象数据来自甘肃省气象局。图像预处理在ENVI4.7中完成。参照1:5万地形图,采用多项式变换、最邻近点重采样几何精校正2010年TM影像,然后将1999年影像配准到2010年影像。在校正过程中均选取了超过30个控制点,误差RMS小于30 m。根据城市土地利用的功能特征和研究需要,将研究区土地利用类型划分为建设用地、未利用地、绿地和水体4种类型,在ArcGIS9.3中采用目视判读、人工解译得到两期的土地利用类型数据。在两期分类结果中均随机取得50个采样点,对照两期的1:5万地形图和谷歌高分辨率影像,对1999年和2010年两期分类结果进行了精度分析,总体精度分别为87.4%和88.7%,满足研究需要。

1.3 地表温度反演

1.3.1 亮度温度计算

对于TM/ETM+₆影像采用下面公式将亮度值DN₆转换为大气顶部辐射亮度L₆:

$$\text{TM: } L_6 = L_{\min} + (L_{\max} - L_{\min}) \times Q_{DN} / Q_{\max} \quad (1)$$

$$\text{ETM+: } L_6 = L_{\min} + (L_{\max} - L_{\min}) \left(\frac{Q_{DN} - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) \quad (2)$$

然后利用公式(3)将辐射亮度转化成亮度温度T₆:

$$T_6 = K_2 / \ln(1 + K_1 / L_6) \quad (3)$$

式(1)(2)和(3)中L_{min}、L_{max}为热红外波段中最小和最大辐射值,可在图像头文件中获得。本文对TM₆影像L_{min}、L_{max}分别取1.238(w/m²·sr·μm)和15.303(w/m²·sr·μm);ETM+₆影像L_{min}、L_{max}分别取3.200(w/m²·sr·μm)和12.650(w/m²·sr·μm)。Q_{DN}为像元亮度值,Q_{min}、Q_{max}为最小、最大亮度值,这里取Q_{min}=1和Q_{max}=255^[20];K₁、K₂为常数^[20]:TM₆影像K₁=607.76(w/m²·sr·um)、K₂=1260.56K;ETM+₆影像K₁=666.09(w/m²·sr·um)、K₂=1282.71K。

1.3.2 地表温度反演

由于受到大气状况、地形、地表热特性等因素

的干扰,星上亮度温度与实际地表温度差距较大。Sugita^[21]研究认为在天气晴朗干燥的情况下,亮度温度和地表温度的误差在5~10℃,而空气湿度较大时,这一误差可达15℃以上。本文采用覃志豪提出的单窗算法反演地表温度,这种算法依据地表辐射传输方程而不需要大气校正,当大气参数估计误差不是很大时,用单窗算法反演地表温度的精度<1.5℃^[22],当有实测大气探空数据时,误差可减小到0.9K^[23]。公式为^[24]:

$$T_s = [a_6(1 - C_6 - D_6) + (b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6)T_a - D_6T_a] / C_6 \quad (4)$$

式(4)中,a₆=-67.35535,b₆=0.458608,C₆、D₆是中间变量,C₆=ε₆τ₆,D₆=(1-τ₆)[1+τ₆(1-ε₆)],T_a为大气平均作用温度^[22]:T_a=16.0110+0.9262T₀;τ₆为大气透射率,可根据大气水汽含量(w)估计^[22]:当w在0.4~1.6g/cm²:τ₆=0.974290-0.08007w,当w为1.6~3.0g/cm²时:τ₆=1.031412-0.11536w,大气水汽含量根据杨景梅等的模型估算^[25]:w=0.189e+0.342,e为绝对水汽压(hpa),可表示为^[26]:e=0.6108×exp[17.27(T₀-273)/(237.3+T₀-273)]×RH。其中,T₀和RH为近地面气温和相对湿度,采用兰州气象台观测资料,T₀:1999年7月18日取302.35K,2010年8月25日取302.25K;RH:1999年7月18日为64%,2010年8月25日为51%。

对于比辐射率的估算,前人做过一些研究^[23,27-29],本文研究区主要为城镇,覃志豪^[27]的算法充分考虑了城镇类型,所以采用该方法估算比辐射率。首先把两期影像按地表覆盖划分成3种像元类型:水面、城镇和自然表面,然后用下面的方法估算:

水体取ε_w=0.995;自然像元分为3部分:当NDVI<0.05时为完全裸土,取ε_s=0.972;当NDVI>0.7时,为完全植被ε_v=0.986;当NDVI∈[0.05,0.7]时,

$$\varepsilon = P_v R_v \varepsilon_v + (1 - P_v) R_s \varepsilon_s + d\varepsilon \quad (5)$$

$$\text{当为城镇像元时, } \varepsilon = P_v R_v \varepsilon_v + (1 - P_v) R_m \varepsilon_m + d\varepsilon \quad (6)$$

其中,R_v=0.9332+0.0585P_v,R_s=0.9902+0.1068P_v,R_m=0.9886+0.1287P_v,ε_m=0.970,R_v、R_s和R_m分别为植被、裸土和建筑物的温度比率,ε_m为建筑物的表面发射率^[27];研究区地形相对平坦,所以dε(地表各类型之间的相互影响)忽略。P_v为植被覆盖度,当地表为完全裸土时取0;当为完全植被时取1;当NDVI∈[0.05,0.7]时,为混合像元,用下式计算^[30]:

$$P_v = [(NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s)]^2 \quad (7)$$

式(7)中, $NDVI_s$ 、 $NDVI_e$ 分别取0.05和0.7^[27]。

1.3.3 信息指数NDVI、MNDWI、NDBI、NDBaI的提取

以2010年为例,分析土地利用/覆盖在空间格局上和地表温度的关系,根据兰州市的空间形态,在NW-SE方向上,以NW为正方向,每隔1km选取特征剖面,共选取37条特征剖面(图1),并计算特征剖面的土地利用/覆盖信息指数和地表温度。各信息指数包括:归一化植被指数^[31](NDVI)、改进的归一化差异水体指数^[32](MNDWI)、归一化建筑指数^[33](NDBI)和归一化裸土指数^[34](NDBaI)。



图1 研究区特征剖面位置

Fig.1 Location of feature profiles in study area

2 结果与讨论

2.1 城市热岛的空间分布特征

从兰州市地表温度的空间分布(图2),结合土地利用数据(图略)可以得出,兰州市城市热岛的空间分布与延展基本与城市建成区的布局相一致,这体现了城市扩展带来的土地覆盖类型的改变对城市热岛分布的决定作用。城市热岛基本集中在工商业集中和人口密集的地区,温度由这些地区向周围逐渐降低。此外,随着城市规模的扩展和河谷内城市整体建筑密度的增大,城市热岛呈现出以黄河为低温带,在一定范围内,温度有由

黄河向两岸逐渐降低的趋势,距离黄河低温带较远的城区,温度较高。这种现象在1999年还不明显,而2010年已比较明显,可见在1999年城市下垫面覆盖类型是影响兰州市城市热岛空间分布的关键因子,但随城市化进程,河谷内整体建筑密度的增大,下垫面覆盖类型以建设用地为主,差异减小,黄河低温带亦逐渐成为影响兰州市热岛空间分布的一个重要因子。

从图2可以看出,1999年地表温度比较高的区域很小,主要集中在黄河南岸商业繁华和人口密集的城关区、七里河区,还有西固工业区,热岛效应较弱,大部分区域温度都比较低;2010年城市高温区面积明显增加,城市热岛效应加强,大部分城区温度都比较高。与1999年相比,高温区不再是孤立的区域,随城市的扩展,高温区都连成了一片,城关区、七里河区、西固区和安宁区都普遍存在高温区。尤其是在东岗镇、九州台、沙井驿和八里窑等地方温度变化最大,这是由于城市的发展,使原来城市边缘的土地利用/覆盖发生了变化,由非建设用地转变为建设用地所致。黄河及两岸的绿化带形成了明显的长条形的相对低温带。

对两期的温度数据的特征统计发现,1999年的温度数据处于夏季中期,温度在13.93~42.30℃之间,平均温度26.54℃;2010年温度数据处于夏末,温度在13.91~38.93℃之间,平均温度29.10℃。1999年的标准差比2010年大,是由于土地覆盖类型差异较大,下垫面均匀性小,导致了比2010年较复杂的热力景观空间格局。

2.2 城市热岛的时空演变特征

尽管本文1999年的ETM+和2010年TM数据均为夏季,但直接比较地表温度仍会有差别,因此采用正规化方法将地表温度分布范围统一到0和1之间,进一步消除时间的影响。其正归化公式如下^[35]:

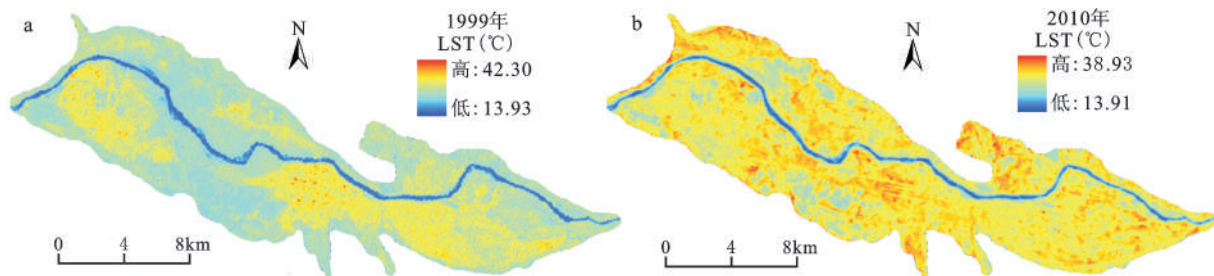


图2 兰州市地表温度的空间分布

Fig.2 Spatial pattern of LST in Lanzhou City

$$N_i = \frac{Ts_i - Ts_{\min}}{Ts_{\max} - Ts_{\min}} \quad (8)$$

式(8)中, N_i 表示第*i*个像元正归化后的值, Ts_i 为第*i*个像元的地表温度值, $Ts_{\min}$ 为地表温度的最小值, $Ts_{\max}$ 为地表温度的最大值。

正归化后,为了便于对比分析,两期地表温度数据按照相同的域值等间距划分为:低温、次中温、中温、次高温和高温区5个区间,利用GIS软件,制成地表温度等级图(图3)。

对各温度等级的面积统计可知,1999~2010年,次中温和中温区大面积减少,相应地次高温和高温区大面积增加。2010年次高温区和高温区面积分别增加了71.65 km²和55.64 km²,占研究区总面积的30.46%和23.66%,这表明兰州市近10 a来城市热岛范围有很大的扩展。与此对应,次中温和中温区面积减少了59.14 km²和65.13 km²,占研究区的25.14%和27.69%,这主要是非建设用地随城市发展转变为建设用地和建设用地建筑密度增加与经济繁荣所致。低温区则主要是黄河和部分公园坑塘,面积变化不大。

2.3 城市热岛和土地利用/覆盖的关系

2.3.1 地表温度和土地利用/覆盖类型的关系

不同下垫面覆盖类型的地表温度有很大差异,对城市热岛效应贡献不同^[36]。经统计不同土地利用/覆盖的地表温度情况(表1),可以看出:建设用地的地表平均温度最高,其次是未利用地,绿地

和水体的地表平均温度比较低。究其原因,城市建设用地一般由砖石、沥青、水泥和混凝土等组成,有良好的导热性和低比热容,热传导深度大,对太阳辐射的吸收能力强。加之建筑高大密集,使得城市内部热流通不畅,热量难以快速有效地向周边扩散,导致地表温度很高;未利用地主要是裸地和开发用地,导热性较好,比热容较低,因此,在接受太阳辐射后温度上升较快;绿色植被的根系结合土壤能有效地保持水分,使水分通过持续蒸发的形式将地面存储的热量以潜热方式输送到大气,减少地面储热对气温增高的贡献。此外,植被叶面的蒸腾作用作为地—气潜热交换的有效途径,降低了地—气感热作用,故而绿地温度较低;水体由于比热容大,接受太阳辐射后温度上升慢,热辐射值最低,因此温度最低。整体看来,2010年各类土地利用类型的实际温度和正归化后的值均比1999年大,可见,随着城市的发展,以及下垫面土地利用的变化,城市热岛效应明显增强。

同时,计算得到1999年和2010年两期的土地利用/覆盖变化转移矩阵(表2),可以看出,1999~2010年,城区土地利用/覆盖发生了很大变化,建设用地和未利用地大幅度增加,而绿地和水域相应减少,而如表1,建设用地和未利用地的平均温度比较高,绿地和水体的平均温度相对较低,可见,随城市化发展,区域土地利用/覆盖变化是城市热环境改变的重要驱动力。

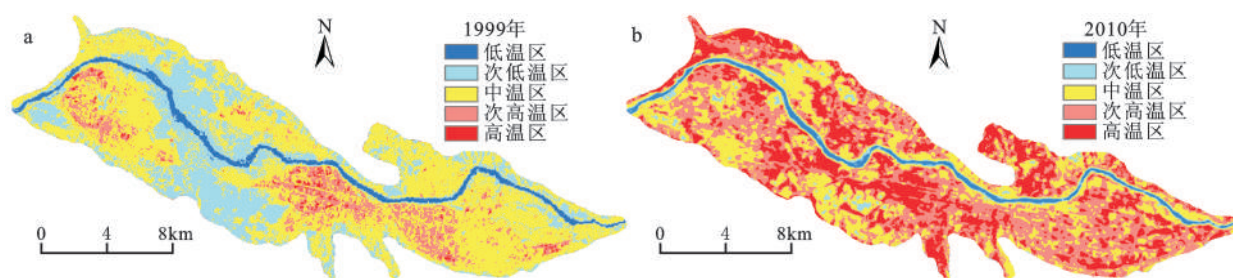


图3 兰州市1999年和2010年温度等级

Fig.3 LST grade of Lanzhou in 1999 and 2010

表1 各土地利用/覆盖类型的地表温度特征

Table 1 Average LST and normalized LST (mean±S.D) associated with land covers in 1999 and 2010

土地类型	1999年		2010年	
	实际(℃)	正归化	实际(℃)	正归化
建设用地	28.81±2.69	0.53±0.09	30.16±2.02	0.65±0.08
未利用地	26.55±2.32	0.45±0.07	27.97±5.97	0.57±0.23
绿地	24.99±1.79	0.40±0.06	26.48±2.53	0.51±0.10
水体	18.23±3.14	0.16±0.11	18.79±3.13	0.17±0.12

表2 1999年和2010年土地利用/覆盖转移矩阵(km²)Table 2 The transfer matrix of land covers from 1999 to 2010 (km²)

1999 年	2010 年				1999 年合计
	建设用地	未利用地	绿地	水域	
建设用地	105.45	4.84	4.22	0.34	114.85
未利用地	5.06	4.57	0.52	0.02	10.17
绿地	35.72	27.42	33.07	0.30	96.51
水域	1.77	0.31	2.39	9.30	13.77
2010 年合计	148.00	37.14	40.20	9.96	
变化比例/%	28.86	265.19	-58.35	-27.67	

为衡量不同土地利用/覆盖类型对地表温度的贡献,计算两期数据不同的温度区间各种土地利用/覆盖类型的面积比例组合(表3),可以看出,在高温区,建设用地和未利用地占有绝对优势,随着温度的降低,两者所占比例明显减少,水体和绿地的比重逐渐增加。说明建设用地和未利用地对地表温度有巨大贡献,是城市热岛强度的主要贡献因子。水体和绿地在两期的低温区和次中温区分别占据很大比例,说明水体和绿地可以显著降低地表温度,水体和绿地的这种降温作用对分割和控制城市热岛效应分布具有重要的实际意义,因此,合理的规划水体和绿地有助于缓解城市热岛效应。

2.3.2 地表温度和各信息指数的空间关系

前人关于地表温度和土地利用/覆盖的定量关系已经做了一些研究,有学者得出地表温度和NDVI为坐标的散点图呈三角形,称为T_s/NDVI空间^[37-39];有学者在特定的域值范围内,基于统计方法,以一定的间隔(域值间隔0.01)构建了地表温度和信息指数NDVI、NDWI/MNDWI、NDBI、NDBaI的特征空间,均存在很好的定量关系^[36,39,40],但是地表温度和各信息指数在特定地形空间格局上是否具有一定关系,研究还不多见。本文重点分析地表温度和各信息指数在河谷型城市兰州市的空间格局上

的关系,以反映河谷地形对城市热岛效应的影响。如前文,在沿河谷空间上提取了37条特征剖面,并提取每个剖面上各信息指数和地表温度(LST)的平均值,其中由于水体的特殊性,NDVI和温度正相关^[41],先将水体掩膜处理,然后取得NDVI和相应的地表温度(LST'),最后得到它们随距离的空间分布(图略),可以得出,地表温度(LST)和去除水体后的地表温度(LST')分布趋势大体相同,NDVI和LST'以及MNDWI和LST的空间分布有很好的对应关系;NDBI、NDBaI和LST的空间分布也存在对应关系。因此,对各信息指数和相对应地表温度做回归分析(图4),定量分析各信息指数在河谷空间格局上和地表温度的关系。图4a表明,地表温度(LST')和NDVI在兰州市河谷空间格局上存在负相关关系,相关系数 R^2 为0.520($p<0.001$);图4b表明,地表温度(LST)和NDBI在河谷空间格局上存在正相关关系,相关系数 R^2 为0.810($p<0.001$);图4c表明,地表温度(LST)和MNDWI在河谷空间格局上不是简单的线性关系,相关系数 R^2 为0.731($p<0.001$),地表温度随MNDWI先缓慢增大,到达峰值后随MNDWI的增大逐渐减小,说明河谷空间上地表温度和水体的关系较复杂;图4d表明,地表温度(LST)和NDBaI在河谷空间格局上亦不是简单的线性关系,相关系数

表3 1999和2010年各温度等级区不同土地利用/覆盖面积比例(%)

Table 3 Land covers proportion of LST grade in 1999 and 2010 (%)

土地类型	低温区		次中温区		中温区		次高温区		高温区	
	1999 年	2010 年	1999 年	2010 年	1999 年	2010 年	1999 年	2010 年	1999 年	2010 年
建设用地	3.76	1.79	13.18	12.69	61.20	45.46	97.88	79.02	98.69	71.74
未利用地	0.33	0.99	3.11	2.77	5.85	9.96	1.12	15.32	0.79	26.77
绿地	4.21	3.81	79.09	57.21	32.55	44.09	0.93	5.61	0.22	1.32
水域	91.70	93.41	4.62	27.34	0.40	0.49	0.07	0.05	0.30	0.17

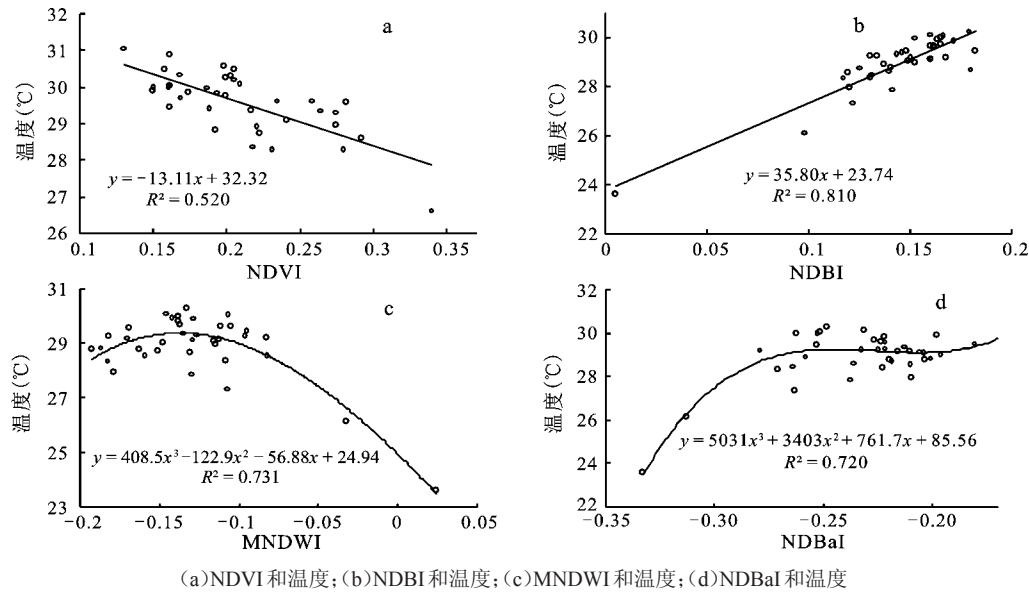


图4 地表温度和各指数在空间上的关系:

Fig.4 Relationships between LST (LST') and index values

R^2 为 0.720 ($p < 0.001$), 地表温度随 NDBaI 的增大的速率有差异, 先较小, 当 NDBaI 逐渐增大时趋于平稳, 可见在河谷城市中裸土指数增大到一定程度时, 地表温度将逐渐稳定。

3 结 论

本文利用 GIS 和 RS 方法, 研究了兰州市河谷内的城区近 10 a 的城市热岛效应的时空分布以及演变特征, 得出以下结论:

1) 兰州市城市热岛的空间分布与延展基本与城市建成区的布局相一致, 随城市的发展, 热岛范围不断扩大, 次中温和中温区大面积减少, 相应地次高温和高温区大面积增加, 热岛强度明显增强。除了城市下垫面覆盖类型, 黄河低温带亦逐渐成为影响兰州市城市热岛空间分布的重要因子;

2) 1999~2010 年, 各土地利用/覆盖的平均温度均有所升高, 不同土地利用/覆盖类型的地表温度差异较大, 建设用地和未利用地温度最高, 对热岛效应贡献最大, 是城市热岛效应的主要贡献因子, 绿地和水面能够很好的缓解热岛效应;

3) 地表温度和信息指数 NDVI、MNDWI、NDBI、NDBaI 在兰州市河谷空间格局上显著相关, 存在很好的对应关系, 建立了两者间的定量关系。

本文揭示了河谷型城市兰州市的热岛效应的分布和演变特征, 分析了地表温度和各信息指数在河谷空间格局上的分布和对应关系。对于黄河

低温带对城市热岛效应的分布和演变, 以及河谷地形对城市热岛效应的影响没有进行深入探讨以及量化, 这将是以后研究的重点。

参考文献:

- [1] 徐祥德, 汤 绪. 城市化环境气象学引论[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [2] Howard L. The Climate of London, Deduced from Meteorological Observations[M]. London: Joseph Rickerby, Printer, 1833.
- [3] 周淑贞, 束 炯. 城市气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1994.
- [4] 徐永明, 覃志豪, 朱 焱. 基于遥感数据的苏州市热岛效应时空变化特征分析[J]. 地理科学, 2009, 29(4): 529~534.
- [5] 赵云升, 杜 嘉, 宋开山, 等. 基于卫星遥感的夏季长春市城区热场分析[J]. 地理科学, 2006, 26(1): 70~74.
- [6] Priyadarsini R, Hien W K, Wai David C K. Microclimatic modeling of the urban thermal environment of Singapore to mitigate urban heat island[J]. Solar Energy, 2008, 82(8): 727-745.
- [7] 宫阿都, 徐 捷, 赵 静, 等. 城市热岛研究方法概述[J]. 自然资源学报, 2008, 17(6): 96~99.
- [8] 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应[J]. 地球物理学报, 2005, 48(1): 39~45.
- [9] Morris C J G, Simmonds I, Plummer N. Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city[J]. Journal Applied Meteorology, 2001, 40(2): 169-182.
- [10] 张 玲, 徐宗学, 阮本清. 北京城市热岛效应对气温和降水量的影响[J]. 自然资源学报, 2006, 21(5): 746~755.
- [11] Zhang X X, Wu P F, Chen B. Relationship between vegetation greenness and urban heat island effect in Beijing City of China [J]. Procedia Environmental Sciences, 2010, 2: 1438-1450.

- [12] Li J J, Wang X R, Wang X J, et al. Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of the Shanghai metropolitan area, China[J]. *Ecological Complexity*, 2009, **6**: 413-420.
- [13] 张 瑜. 基于 Landsat 5 TM 数据的西安市城市化进程与热岛效应关系研究[D]. 西安: 西北大学, 2009: 34~47.
- [14] 夏 佳, 但尚铭, 陈刚毅. 成都市热岛效应演变趋势与城市变化关系研究[J]. *成都信息工程学院学报*, 2007, **22**(S1): 6~11.
- [15] 白虎志, 任国玉, 方 锋. 兰州城市热岛效应特征及其影响因子研究[J]. *气象科技*, 2005, **33**(6): 492~496.
- [16] 马玉霞, 王式功, 魏海茹. 兰州市近 50 年城市热岛强度变化特征[J]. *气象科技*, 2009, **37**(6): 660~664.
- [17] 李国栋, 王乃昂, 张俊华, 等. 兰州市城区夏季热场分布与热岛效应研究[J]. *地理科学*, 2008, **28**(5): 709~714.
- [18] 潘竟虎, 冯兆东, 相得年, 等. 河谷型城市土地利用类型及格局的热环境效应遥感分析——以兰州市为例[J]. *遥感技术与应用*, 2008, **23**(2): 202~207.
- [19] 国家统计局. 中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2000, 2010.
- [20] 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**: 893-903.
- [21] Sugita M, Brutsaert W. Comparison of land surface temperatures derived from satellite observations with ground truth during FIFE[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, **14**: 1659-1676.
- [22] 覃志豪, LI W J, ZHANG M H, 等. 单窗算法的基本大气参数估计方法[J]. *国土资源遥感*, 2003, **56**(2): 37~43.
- [23] Sobrino J A, Jimenez J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, **90**: 434-446.
- [24] Qin Z, Karnieli A, Berliner P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, **22**: 3719-3746.
- [25] 杨景梅, 邱金恒. 我国可降水量同地面水汽压关系的经验表达式[J]. *大气科学*, 1996, **20**(5): 620~626.
- [26] 贾仰文, 王 浩, 倪广恒, 等. 分布式流域水文模型原理与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [27] 覃志豪, 李文娟, 徐 斌, 等. 利用 LANDSAT TM6 反演地表温度所需地表辐射率参数的估计方法[J]. *海洋科学进展*, 2004, **22**(S1): 129~137.
- [28] Van De Griend A A, Owe M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, **14**: 1119-1131.
- [29] Valor E, Caselles V. Mapping land surface emissivity from NDVI application to European, African, and South American areas[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1996, **57**(3): 167-184.
- [30] Carlson T N, Ripley D A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, **62**: 241-252.
- [31] Purevdorj T, Tateishi R, Ishiyama T, et al. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices[J]. *International Journal of Remote Sensing* 1998, **19**: 3519-3535.
- [32] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. *遥感学报*, 2005, **9**(5): 589~595.
- [33] 查 勇, 倪绍祥, 杨 山. 一种利用 TM 图像自动提取城镇用地信息的有效方法[J]. *遥感学报*, 2003, **7**(1): 37~40.
- [34] Zhao H M, Chen X L. Use of normalized difference bareness index in quickly mapping bare areas from TM/ETM+ imagery[C]. *IEEE*, 2005, (3): 1666-1668.
- [35] 徐涵秋, 陈本清. 不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J]. *遥感技术与应用*, 2003, **18**(3): 129~33.
- [36] Chen X, Zhao H, Li P, et al. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, **104**: 133-146.
- [37] Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover[J]. *Remote Sensing Reviews*, 1994, **9**: 161-173.
- [38] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, **79**: 213-24.
- [39] 历 华, 柳钦火, 邹 杰. 基于 MODIS 数据的长株潭地区 NDBI 和 NDVI 与地表温度的关系研究[J]. *地理科学*, 2009, **29**(02): 262~267.
- [40] 历 华, 曾永年, 柳钦火. 基于遥感的长沙市城市热岛与土地利用/覆盖变化研究[J]. *国土资源遥感*, 2008, (4): 47~52.
- [41] 岳文泽, 徐建华, 徐丽华. 基于遥感影像的城市土地利用生态环境效应研究——以城市热环境和植被指数为例[J]. *生态学报*, 2006, **26**(5): 1450~1460.

Spatial-temporal Evolution of Urban Heat Island Effect in Basin Valley

—A Case Study of Lanzhou City

ZHANG Jian-ming, WANG Peng-long, MA Ning, ZHANG Chao

(College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: With the progress of urbanization, Urban Heat Island (UHI) has been becoming a key factor in deteriorating the urban ecological environment. Studying spatial-temporal evolution and its cause of typical area's UHI and quantitatively evaluating effect from rapid urbanization on urban heat environment will provide theoretical foundation for relieving UHI effect and also have some useful reference value for ecological environment planning of urban planning. Based on LandsatETM+ and TM images of Lanzhou in 1999 and 2010, with the aid of GIS and RS, this article has retrieved the land surface temperature (LST) of Lanzhou City by Qin's mono-window algorithm, and then analyzed spatial-temporal pattern and evolution characters of UHI in Lanzhou City in this decade, and the results show that: 1) The spatial pattern and stretch of UHI are consistent with distribution of built district in Lanzhou City. With the expansion of built district, UHI area constantly expanded and the area of less medium temperature and medium temperature had a large reduction, accordingly, the area of less high temperature and high temperature had a large increase, and consequently UHI intension obviously enhanced. Also, as building density of urban area has been increasing gradually, besides land use/covers type, low temperature belt caused by the Yellow River has been becoming a key factor in affecting the spatial pattern of UHI, and within a certain distance, it has the trend that LST tends to go down from the Yellow River to both sides. 2) From 1999 to 2010, average LST of each land use/cover type had a increase, and LST of different land use/cover type had obvious difference. LST of urban construction land and unused land was the highest, and they had the largest contribution to UHI effect, that is to say, they are the main contribution factor, on the contrary, green land and waterbody can reduce LST significantly, therefore, rational planning can effectively relieve the UHI effect. 3) This article has achieved 37 profiles from southeast to northwest of basin valley and calculated their land use index values (NDVI, MNDWI, NDBI and NDBaI) and LST, the results show that there existed significant correlation and corresponding relations between LST and the four land use indices.

Key words: basin valley; Urban Heat Island (UHI); spatial-temporal evolution; Lanzhou City