

河谷型城市热岛空间分布格局演变及对策 ——以西宁市区为例

贾伟,高小红*

(青海师范大学生命与地理科学学院,青藏高原环境与资源教育部重点实验室,西宁 810008)

摘要 城市热岛效应直接反映着城市的气候特征,这对于研究由城市化发展与环境改变引起的城市气温的变化及保护城市的生态环境具有重要的现实意义。本文利用 Landsat TM 影像、气象台站资料,基于 GIS 的空间分析技术及单窗算法,对河谷型城市西宁市的地表温度进行反演,分析了地表温度与 NDVI、NDBI 的空间对应关系。结果表明:西宁市存在明显的城市热岛效应,热场分布及延伸与西宁市空间扩展布局相一致,热岛范围呈逐年增长的趋势;低、中温区的热岛面积大幅度减少,高温区的热岛范围显著增加;热岛效应冬季最强,夏季次之,秋季有明显减弱的趋势。在河谷型城市的空间格局上,地表温度与 NDVI 呈负相关关系、与 NDBI 呈正相关关系。最后,依据热岛时空演化、成因分析和策略研究的思路,从不同角度提出了缓解城市热岛效应的措施和对策,为未来西宁市热环境的改善提供科学参考和决策支持。

关键词 城市热岛;单窗算法;河谷型城市;定量反演;西宁市区

DOI:10.3724/SP.J.1047.2014.00592

1 引言

城市化进程导致自然景观地带的地表物理特征及土地利用状况转变为城市用地,使得大量植被消失,引起了局地气候环境的变化^[1-2]。城市热岛效应(Urban Heat Island Effect)是一种由于城市建筑及人类活动,导致热量在城区空间范围内聚集的现象^[3]。19世纪初,英国化学家 Lake Howard 对比了同时代的伦敦市城郊的气温情况,发现城区气温高于郊区^[4],这是人类首次对城市热岛效应的记载与研究。1972年,Rao^[5]首次利用 ITOS-1 热红外数据(10.2~12.5 μm)对美国中部沿海城市的地表温度进行了研究。至此,越来越多的学者开始利用热红外遥感来研究城市热岛^[6-9]。目前,热红外波段 TM6 (10.4~12.5 μm)可较准确地反演地表温度,成为城市热力环境研究中应用最多的遥感数据之一。覃志豪等^[10]根据热辐射传输方程,建立了一个精度较高且简单易行的适用于 TM6 数据的反演地表温度的

单窗算法。该算法需要3个基本参数(地表比辐射率、大气透过率和大气平均作用温度)来反演地表温度,将地表和大气对地表热传导的影响概括到演算公式中,消除了大气热辐射自身及大气对地表热辐射传导的影响^[11-12]。YANG Jun 等^[13]利用 HJ-1B 卫星图像反演北京市的城市热岛,得出通过覃志豪等^[10]的单窗算法反演出的地表温度与 MODIS 温度图像可以很好匹配起来。黄妙芬等^[14]对北京城区地表温度进行反演,结果表明,覃志豪等^[10]提出的单窗算法与基于探空数据的辐射传输方程法,研究结果具有较好的一致性,达到了较好的反演精度。

目前,我国学者对大城市的热岛问题研究较多^[15-17],对城市化快速发展的中小城市及河谷型城市的热岛问题研究较少。就河谷型城市而言,张建民^[18]等利用热红外遥感对兰州市的热岛效应进行了研究,发现兰州市存在较明显的热岛效应且呈逐年扩展的趋势;蒲禹君^[3]等利用气象站资料对天水

收稿日期 2013-11-07;修回日期:2014-02-19.

基金项目 国家自然科学基金项目(40861022)。

作者简介 贾伟(1988-),男,内蒙古人,硕士生,研究方向为遥感与地理信息系统应用。E-mail:jiawei1212@126.com

*通讯作者:高小红(1963-),女,陕西人,博士,教授,研究方向为遥感与地理信息系统应用。

E-mail:xiaohonggao226@gmail.com

市城、郊温度差异进行了系统分析,结果表明,冬季是热岛现象最强的季节。西宁市地处青海湟水谷地、南北两山对峙之间,东西狭长、南北短,属典型的河谷型城市,虽与兰州市和天水市一样,均属河谷型城市,但在形态结构上与它们有很大的不同,其地形条件更为复杂。

本文基于单窗算法,以 Landsat TM 数据、气象台站资料为数据源,对西宁市的地表温度进行反演,从时空角度进行定性、定量研究,探索研究区近 15a 来城市热岛效应变化规律,最后,将依据热岛效应产生机理提出相应的缓解对策。

2 研究区与数据源分析

研究区西宁市位于青藏高原东北部,青藏高原与黄土高原过渡地带,黄河一级支流湟水的中上游河谷盆地,地处北纬 $36^{\circ}12'27''\sim 37^{\circ}30'09''$,东经 $100^{\circ}47'56''\sim 101^{\circ}56'49''$ 。其行政范围包括西宁市区、湟源、湟中及大通县,总面积 7665 km^2 ,是青海省政治、经济、文化、科技、交通中心和主要工业基地(图 1)。地势由西北向东南倾斜,地形由丘陵、山地和冲积平原组成,平均海拔为 2261 m 。气候属于高原大陆性半干旱、干旱气候。根据西宁市 1961–2010 年气象站点统计,年降水量 $194.67\sim 536.85\text{ mm}$,年平均气温 $4.91\sim 7.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[19]。湟水及其支流南川河、北川河分别从西、南、北三面汇于市区,自西向东流经市区,城市空间具有沿河流呈带状扩展的特征^[20]。西宁市区面积 350 km^2 ,2012 年末,西宁市常住人口为 224.74 万人,其中市区人口为 152.20 万人,经济

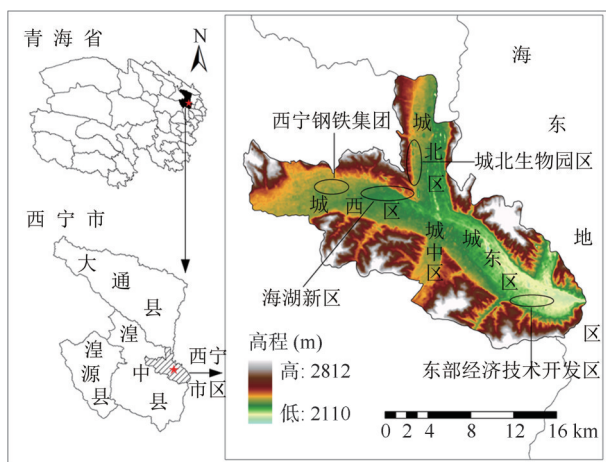


图1 研究区位置

Fig.1 Location map of the study area

总量达 851.09 亿元,人均 GDP 达到 38 034 元,基尼系数为 0.357,处于相对合理的区间^[21]。

研究数据采用成像时间分别为 1996 年 8 月 16 日、2001 年 7 月 13 日、2007 年 7 月 14 日、2009 年 3 月 13 日、2010 年 7 月 22 日和 2011 年 9 月 11 日的 Landsat 5 TM 影像,以及由中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)提供的与影像日期相对应之气象地面观测站资料(主要包括站点气压、气温、相对湿度及降水等数据)。

本文以 2011 年影像为基准,采取影像到影像的方法,对其余 5 期影像进行几何配准(配准后像元误差控制在 0.5 个像元内),并通过影像的头文件获取各波段的最大和最小光谱辐射值、影像的拍摄时间及太阳高度角,对所有影像进行辐射定标,定标后采用 FLAASH 模型进行大气校正,完成辐射校正。对处理后的影像利用西宁市区行政边界矢量图进行裁剪,生成工作底图为后续工作使用。

3 河谷型城市热岛效应分析

3.1 地表温度(LST)反演方法

利用 Landsat TM 热红外波段,根据覃志豪^[10–12]等提出的单窗算法,反演地表温度。首先,通过热红外波段像元灰度值(DN 值)计算出绝对热辐射值,然后,推算所对应的亮度温度。传感器所接收到的辐射强度与其 DN 值的关系见式(1):

$$L_{(\lambda)} = L_{\min(\lambda)} + (L_{\max(\lambda)} - L_{\min(\lambda)}) \frac{Q_{dn}}{Q_{\max}} \quad (1)$$

式中, $L_{(\lambda)}$ 为 TM 传感器所接收到的辐射强度 ($\text{mWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{um}^{-1}$); $L_{\max(\lambda)}$ 和 $L_{\min(\lambda)}$ 为 TM 传感器所接收到的最大和最小辐射强度,即相对应于 $Q_{\max} = 255$ 和 $Q_{dn} = 0$ 时的辐射强度,对于 Landsat 5,发射前已预设 TM6 的常量为: $L_{\max(\lambda)} = 1.530\text{ mWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{um}^{-1}$, $L_{\min(\lambda)} = 0.1238\text{ mWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{um}^{-1}$; Q_{dn} 为 TM6 数据的 DN 值, Q_{\max} 为最大的 DN 值($Q_{\max} = 255$)。

一旦求得 $L_{(\lambda)}$,其所对应的像元亮度温度可用式(2)计算:

$$T_6 = K_2 / \ln(1 + K_1 / L_{(\lambda)}) \quad (2)$$

式中, T_6 为 TM6 的像元亮度温度(K); K_1 和 K_2 为传感器发射前预设的常量,对于 Landsat 5, $K_1 = 60.776\text{ mW cm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{um}^{-1}$, $K_2 = 1260.56\text{ K}$ 。

通过像元的亮度温度 T_6 来推算该像元的实际地表温度,见式(3):

$$T_s = [a_6(1 - C_6 - D_6) + [b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6]$$

$$T_6 - D_6 T_a / C_6 \tag{3}$$

式中, T_s 为地表真实温度(K); T_a 为大气平均作用温度(K); a_6 、 b_6 为常量, 一般情况下(地表温度在 273.15~343.15K 范围内), 取值 $a_6 = -67.355351$, $b_6 = 0.458606$; C_6 和 D_6 是中间变量。 T_a 、 C_6 、 D_6 分别由式 (4)、(5)、(6) 计算得到。

$$T_a = \sum_{z=0}^m [T_0 - R_t(z)(T_0 - 217)] R_w(z) \tag{4}$$

$$C_6 = \varepsilon_6 \tau_6 \tag{5}$$

$$D_6 = (1 - \varepsilon_6)[1 + (1 - \varepsilon_6)\tau_6] \tag{6}$$

式中, m 为考虑的大气剖面层数; T_0 为地面附近的气温(K), $R(z)$ 是气温在该地高度为 z 处的降低率; $R_w(z)$ 是该地高度大气水分含量占大气总水分含量的比率; ε_6 为地表比辐射率。对此, 首先, 通过监督分类的方法将研究区分为建筑、水体、植被和裸土(自然表面土地)^[22], 然后, 根据式(7)–(9)计算; τ_6 为大气透射率, 由水汽含量^[23]换算而得, 估算方程见式(10)、(11)。

(1) 水体

$$\varepsilon = 0.995 \tag{7}$$

(2) 对于自然表面土地

$$\varepsilon = P_v R_v \varepsilon_v + (1 - P_v) R_s \varepsilon_s + d\varepsilon \tag{8}$$

(3) 城镇地表比辐射率的估计方法

$$\varepsilon = P_v R_v \varepsilon_v + (1 - P_v) R_m \varepsilon_m + d\varepsilon \tag{9}$$

式中, R_v 、 R_s 和 R_m 分别是植被、裸土和建筑物表面的温度比率; ε_v 、 ε_s 和 ε_m 分别是植物、裸土和建筑表面在 TM6 波段区间内的辐射率; P_v 是植被构成比例。其详细的计算方法见文献[11]。

$$w = 0.189p + 0.342 \tag{10}$$

$$p = 0.6108 \cdot \exp \frac{17.27(T_0 - 273.15)}{237.3 + T_0 - 273.15} \cdot RH \tag{11}$$

式中, w 为水汽含量; p 是绝对水汽压(kPa); RH

为相对湿度。

基于以上公式, 便可得到本文 T_a 、 τ_6 的计算方法。夏季 $T_a = 16.0110 + 0.92621T_0$, $\tau_6 = 0.974290 - 0.08007w$; 冬季 $T_a = 19.2704 + 0.91118T_0$, $\tau_6 = 0.982007 - 0.09611w$, 所用到的观测数据及反演结果数据见表 1。利用 ArcGIS 10.0 软件对不同时段的地表温度反演, 得到西宁市区地表温度反演分布图(图 2)。

3.2 不同时相的 LST 正规化处理

由于 6 幅影像的获取时间为不同年份、不同季节, 难以直接用单窗算法反演获得的地表温度进行比较。故采用归一化方法^[9]将研究区的地表温度统一到 0–1 之间, 以研究不同季相的城市热岛在时间上的差异。归一化过程见式(12):

$$N_i = \frac{T_{s_i} - T_{s_{\min}}}{T_{s_{\max}} - T_{s_{\min}}} \tag{12}$$

式中, N_i 表示第 i 个像元归一化后的值; T_{s_i} 表示第 i 个像元的 LST; $T_{s_{\min}}$ 表示 LST 的最小值; $T_{s_{\max}}$ 表示 LST 的最大值。

正规化处理后, 利用 ENVI 5.0 中的密度分割技术, 对处理后的地表温度进行等级划分, 将其平均划分为低温区、次中温区、中温区、次高温区和高温区 5 个等级。在 ArcGIS 10.0 中绘制出西宁市地表温度等级图(图 3), 不同年份各地表温度等级的面积统计见表 2。

3.3 城市热岛空间分布格局演变分析

3.3.1 城市热岛时空演变特征分析

依据所选影像的成像日期, 可大致分为 3 个季节进行分析, 把 2009 年 3 月影像作为冬季数据; 2011 年 9 月影像作为秋季数据; 其余 4 期影像划分为夏季数据。从季节变化角度来看, 根据西宁市地

表 1 西宁市城市热岛效应定量反演结果及相关数据

Tab.1 The inversion result of quantitative remote sensing on land surface temperature and related data in Xining City

日期	观测数据		反演参数			LST 定量反演	
	平均气温 (K)	相对湿度	大气平均作用温 度(K)	大气透 射率	NDVI(均值)	平均地表温 度(K)	标准差
1996-08-16	290.45	69	285.0287	0.926088	0.372558	308.43	2.72
2001-07-13	291.25	61	285.7697	0.927551	0.394763	309.66	3.11
2007-07-14	289.55	54	284.1951	0.931517	0.448654	309.02	3.01
2009-03-13	267.05	61	262.6010	0.944797	0.098554	281.87	3.64
2010-07-22	293.45	64	287.8073	0.923621	0.430700	310.56	2.86
2011-09-11	287.05	68	281.8796	0.930402	0.312257	307.59	2.41

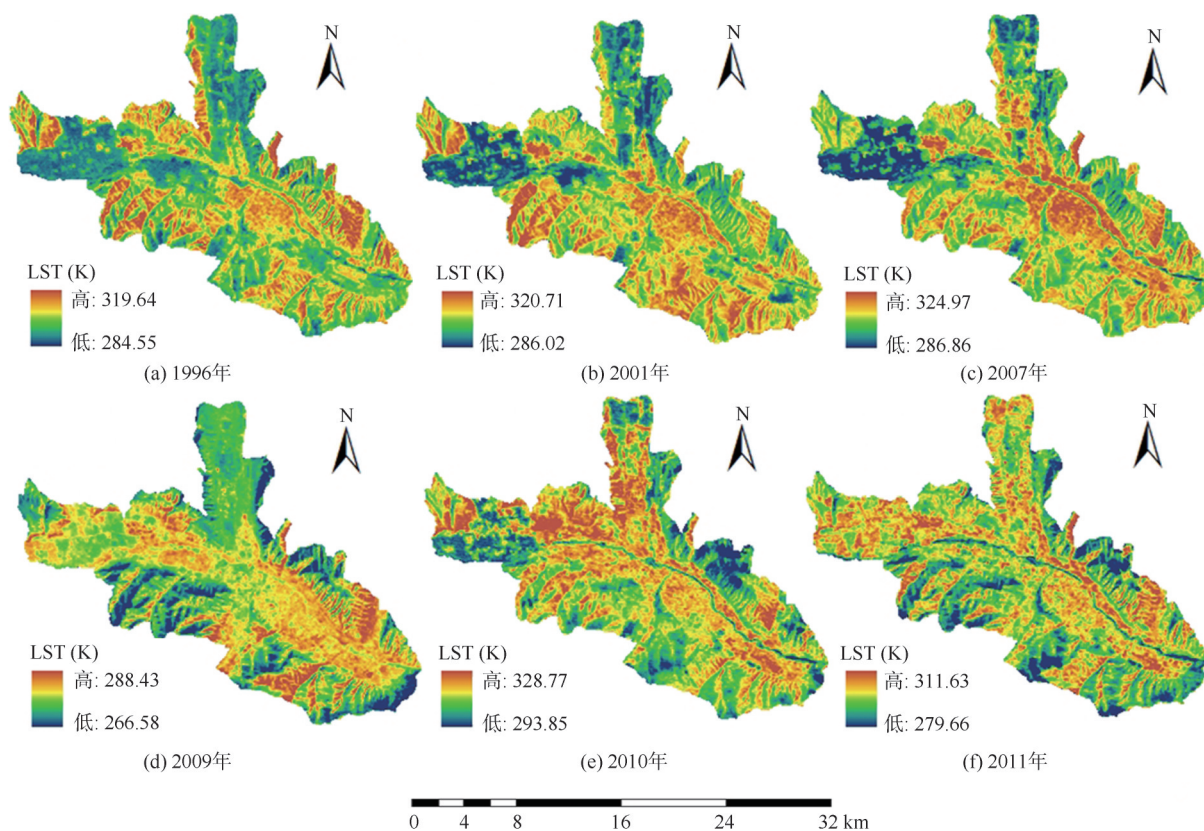


图2 1996–2011年西宁市地表温度(LST)反演图

Fig.2 The inversion result of land surface temperature in Xining City from 1996 to 2011

表温度等级分布(图3),结合西宁市地表温度(LST)分布(图2),冬季热场主要分布于东西向的河谷内,城北区多被次中温、中温所覆盖,是由于西宁市冬季盛行西北风,而城北区位于风口位置,受风力因素影响较大。而夏、秋季节热场的分布与西宁市空间扩展布局相一致,在空间上呈现出高度的一致性。

从年际变化角度来看,1996年热源主要分布在3个位置:(1)位于市中心高温区,人口居住稠密,能源消耗多,释放到大气中的热量高,城区建筑物密集,建筑材料热传导率及热扩散率大,在接收太阳辐射后,能迅速扩散到周围大气中,使得城区热岛非常明显^[24];(2)位于城西的西宁钢铁集团区,能耗大、热源强度高,出现了一个明显的小范围高温分布区;(3)位于城市周边郊区西部、西北部、西南部、南部及东北部的裸土区,呈零散状分布,裸土地表主要由黄土等沙质物构成,吸热较快,温度较高。

1996–2001年,除前2个高温区周边的热场有所增强外,城市周边不同热源变化也有较大的不同,即东北部边缘热源减弱,而城市南部和西南部

热源加强。究其原因:一方面,20世纪90年代中期至2001年西宁市发展较为缓慢;另一方面,裸土多分布于河谷两侧的山坡上,该地形较河谷谷地而言,空气对流较强、风速较大、湍流交换较迅速^[3],这些因素均会影响裸土分布区的地表温度。

2001–2007年,城市中心热场温度明显增强,同时城西区、城北区、城东区也出现高温区域,但分布范围小且比较零散,如各大型商业区及公共场所均表现出较高的地表温度。这是因为2000年以后,随着西部大开发战略的实施,西宁市城市化速度加快,空间扩展主要依托其河谷地形格局向西、北、东3个方向展开:向西,沿现有发展轴,建设海湖新区;向北,改造旧区,建设高科技生物产业园区;向东,以经济技术开发区建设为核心,建设现代具有高原特色的产业园区。因此,导致这些地区的建筑物密度高,居住人口增加,城市热岛增强。

2007年以后,城市热场较前2个阶段有很大不同,热场逐渐向西、北偏移;到2010年,高温区主要分布于城西的海湖新区、西钢,城北区的高科技生物产业园区、城东经济技术开发区和位于城市边缘

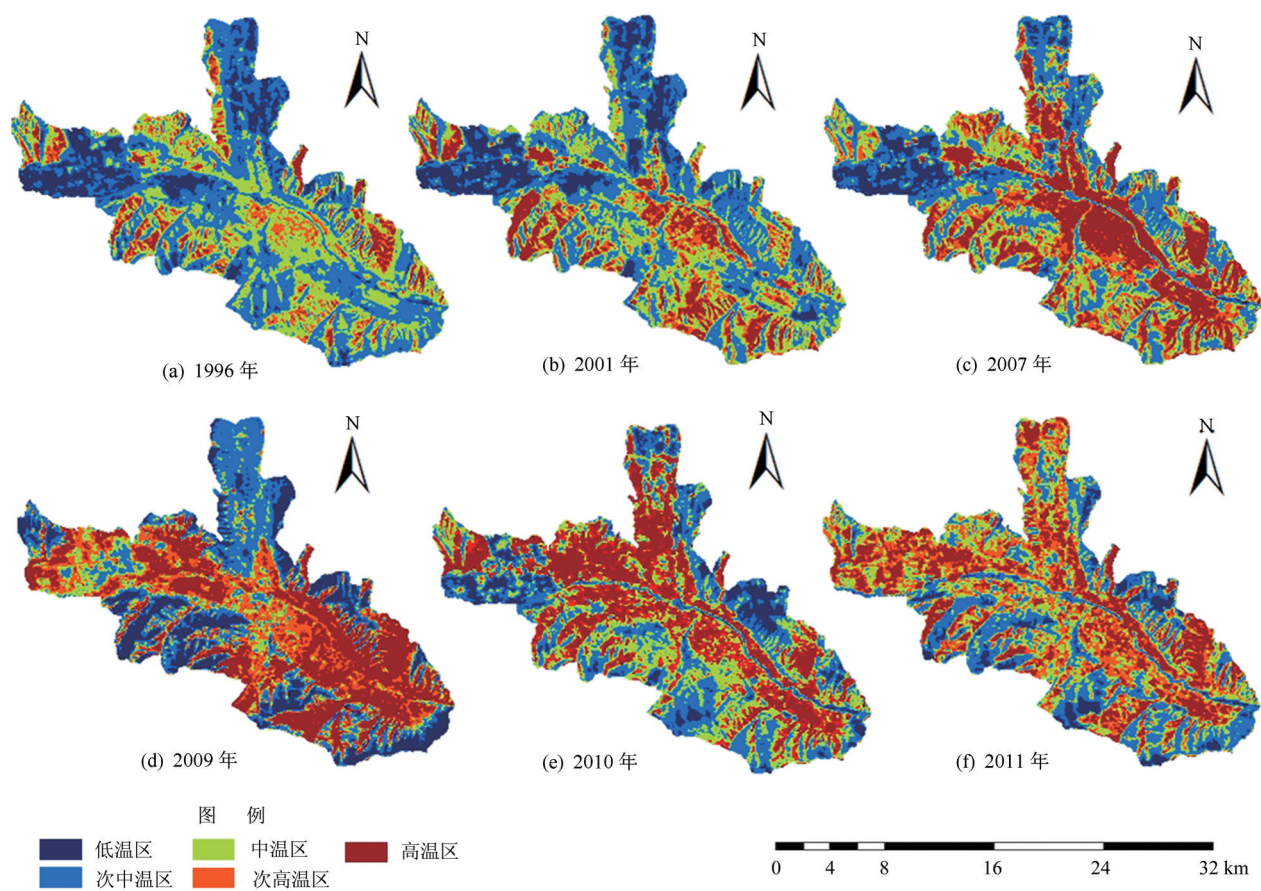


图3 1996-2011年西宁市地表温度等级图
Fig.3 The grade of land surface temperature in Xining City from 1996 to 2011

表2 1996-2011年西宁市各地表温度等级的面积统计
Tab.2 The level of land surface temperature area in Xining City from 1996 to 2011

日期	低温区面积(km ²)	次中温区面积(km ²)	中温区面积(km ²)	次高温区面积(km ²)	高温区面积(km ²)
1996-08-16	46.4	142.7	105.3	35.9	18.3
2001-07-13	45.9	127.1	89.7	46.0	39.9
2007-07-14	29.4	99.4	72.7	59.3	87.8
2009-03-13	50.8	81.2	49.9	64.2	102.5
2010-07-22	31.0	80.4	88.3	56.3	92.6
2011-09-11	19.1	85.8	85.0	85.1	73.6

的裸土分布区(由于2009年影像为冬季数据,故在此不进行对比分析)。新城区的建筑物主要是以高层为主,且大多数仍在施工中,这些地区污染物相对较多,在较稳定的天气条件下,大气污染物强烈吸收地面长波辐射,增大了城市大气中的热量,有利于热岛的形成^[25]。

3.3.2 城市热岛效应定量分析

从图3西宁市地表温度等级分布,并结合各地

表温度等级的面积变化(表2)可看出,夏季的4期数据中,1996-2010年,中心城区热岛效应总体空间分布格局发生了较大变化。1996年,西宁市城市热岛范围(次高温区、高温区)非常小,热岛面积为54.2 km²,其中高温区面积为18.3 km²,仅分布于城市中老城区部分零散区域及西钢一带;到2001年,热岛面积达到了85.9 km²,其中高温区面积为39.9 km²,增速达一倍以上,新增热岛范围主要分布于老城区

建成区内,以起初的零散区域为圆心向四周扩散,覆盖了老城区一半以上的区域;到2007年,除了主城区的热岛范围显著扩大外,城北、城西2个区也出现了较强的热岛效应,热岛面积扩大到147.1 km²,其中高温区面积较2001年增加了47.9 km²;到2010年,热岛效应的影响范围进一步扩大,蔓延至研究区全境,城市热场分布向西、北偏移,当日的热岛面积达到148.9 km²。表明西宁市夏季的热岛效应非常明显,这是由于夏季正当高温季节,郊区植被覆盖度较好,土壤水分接近饱和,温度升高相对较慢,而市区存在大量的建筑物,温度上升较快,使得城郊之间的温度差异较大,有利于热岛的形成^[25]。总体来看,西宁市在过去的15a间热岛面积增加了94.7 km²,其中高温区面积增加尤为迅速,达到74.3 km²,热岛增加面积占整个研究区面积的近2/7。

由2009年3月的影像可以看出,冬季热场主要分布于河谷区(建成区),与河谷的走向完全一致,并且当日的热岛面积为166.7 km²,其中高温区面积为102.5 km²,是所选影像中热岛面积最大的一期,这主要是由河谷型城市独特的地形分布格局造成的。西宁市区地处湟水谷地,此地形特点使河谷区气温高于周边区域,再加上冬季取暖释放到大气中的热量高,排放的热量废气徘徊在城市上空不易稀释扩散,吸引了周围地区热量向中心聚集^[26]。因此,对于河谷型城市而言,冬季的热岛效应尤为明显。2011年9月,热岛范围多集中于次中温、中温和次高温分布区,高温区仅分布于西钢、城东的国家级经济开发区和位于城市边缘的裸土分布区,高温区面积仅为73.6 km²,说明西宁市秋季的热岛效应较夏季有明显减弱的趋势。秋季大气层结构相对稳定,晴天增多,云量较少,风速较小,同时郊区的植被开始干枯,地面裸露,有利于地面的辐射冷却,故没有特别明显的热岛效应。

3.3.3 地表温度(LST)与NDVI、NDBI的关系分析

不同的土地覆盖类型热力性质有着明显差异,其对城市热岛效应贡献也不相同。本研究选取归一化植被指数(NDVI)和归一化建筑用地指数(NDBI)与地表温度进行相关性分析。NDVI对影像中植物生长状态,以及植被空间分布密度有很好的指示作用,是红波段与近红外波段反射率比值($SR = NIR/RED$)的一种变换形式。NDBI源于对NDVI的深入分析,低密度植被覆盖区不仅具有植被的光谱特性,而且具有城镇用地的光谱特性,利

用这一特性可以提取城镇建设用地。因此,这2个指数均与不同的土地利用/覆盖类型有一定的对应关系,如城市用地的NDVI值很低,NDBI值较高;而林地的NDVI值很高,NDBI值很低。历华等^[27]、张建民等^[18]均利用地表温度和各信息指数进行相关性分析,通过提取特征剖面上各信息指数(NDVI、NDBI、MNDWI等)和地表温度的均值进行了分析,得出地表温度和各信息指数存在很好的相关关系。本文在以上研究的基础上,选用4期夏季影像,将整个研究区的地表温度与NDVI、NDBI进行相关性分析(图4),探讨河谷型城市空间格局下这2个指数与地表温度的相关性。

从图4(a)NDVI和与表温度相关关系图可以看出,在检验系数 ρ 小于0.01水平上,1996、2001、2007和2010年的决定系数分别为0.565、0.643、0.589和0.607,两者呈现明显的负相关关系,即植被指数越高,城市的地表温度越低。可见,植被覆盖度会影响城市的地表温度,植被可通过蒸腾作用来减少土壤或地表中的热量,植被覆盖度越大,其蒸腾作用越强烈,土壤或地表中的热量减少得越明显。可见城市内部绿地植被在分割城市热岛和缓解热岛效应方面有着显著作用。图4(b)为NDBI和地表温度相关关系图,图中显示在检验系数 ρ 小于0.01水平上,1996、2001、2007和2010年决定系数分别为0.610、0.622、0.641和0.689,两者呈现明显的正相关关系,即建筑物指数越高,地表温度越高,表明建筑物的密集程度也是影响地表温度的一个重要因子^[28]。究其原因,城市地表一般被水泥等不透水层表面所覆盖,吸热较快,表现出较高的地温,说明建筑物对地表温度起增温作用。西宁市河谷平原面积较少,故环境容量也较小,城市规模的迅速扩展,导致城区建筑密度相对较高而植被覆盖较低,使得城区地表温度明显高于郊区。

4 西宁市城市热岛效应减缓对策

随着西宁市城市化进程的逐步加快,城市下垫面的性质发生了明显的改变,居住、商业,以及基础设施用地等取代了城市周边原有的自然植被和农田,致使其热力性质变化显著。再加上交通和工商业等人类活动所释放的热量增多,热岛高温区正向海湖新区、城东经济开发区和城北生物园区等城市边缘延伸,对西宁市目前及其未来的生态环境、经

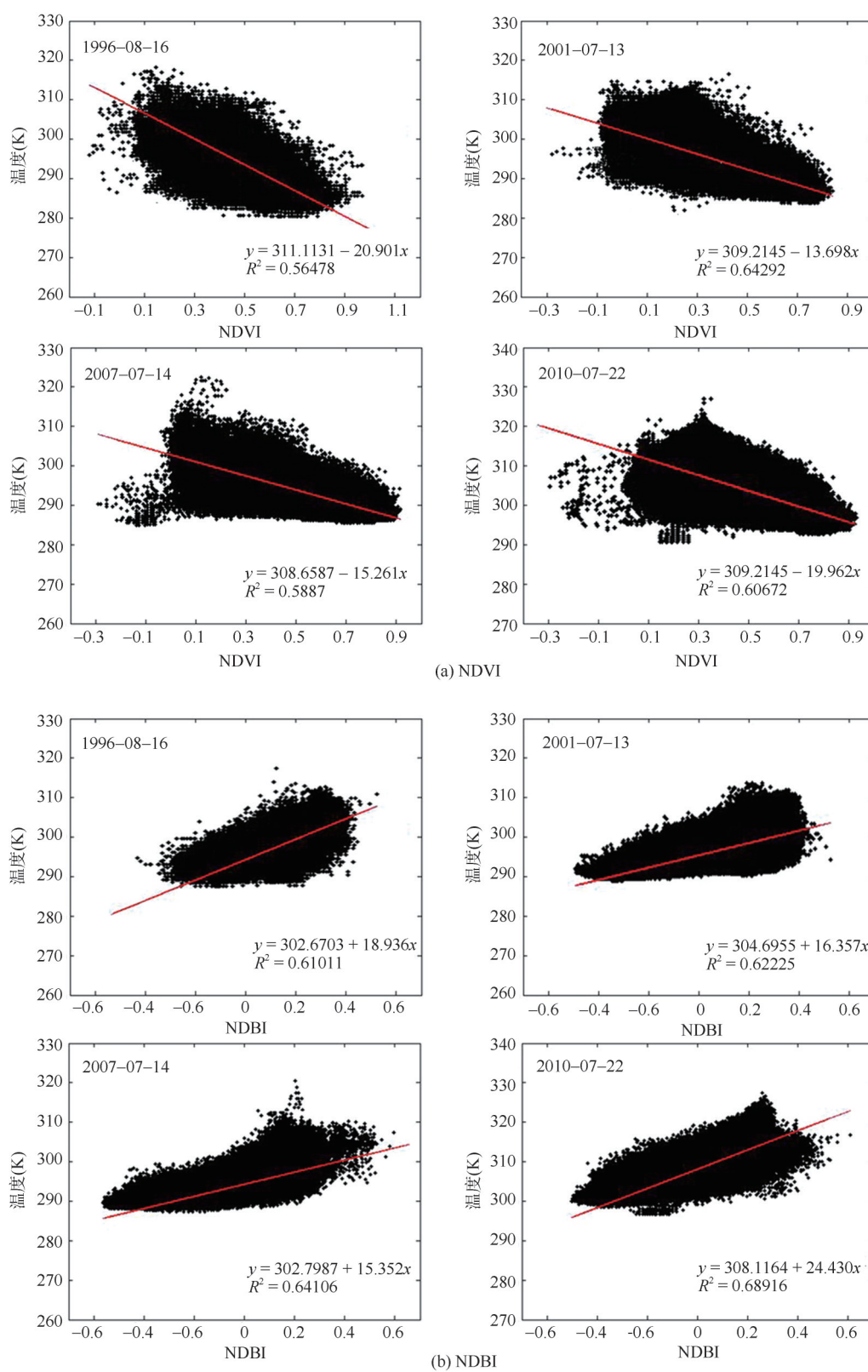


图4 地表温度(LST)与NDVI、NDBI的关系

Fig.4 Relationships between land surface temperature and NDVI, NDBI

济发展和人类居住产生了极大的负面影响,因此,及时有效地减缓城市热岛效应,对保护城市居民健康和城市生态环境具有重要的现实意义。

4.1 以“绿岛”改善“热岛”效应

研究发现,城市内部绿地植被可以通过保持土壤和空气中的水分的特性来缓解热岛效应^[29]。公园和林地具有良好的降温作用,因此,对西宁市的绿化,要将传统的集中绿化转变为均匀布置。对于商业用地(如商业巷、大十字-王府井商业服务中心、水井巷、北山家具市场等地)和密度高的居住区,应大量种植林荫树,适当种植攀援类植物,并尽可能对建筑物顶部进行绿化;对于城市公共用地,可以适当增加草坪绿化园,多种植对阳光有遮挡作用的高大乔灌木等植被;在已开发的新型居住设施及产业园区如海湖新区、城东经济开发区和城北生物园区等地应着重实施公路两旁的绿化带建设、增建公园绿地、居住区建设景观绿化等,既可很好地美化西宁市的环境,又可起到缓减城市热岛的作用。

4.2 优化城市用地功能布局、降低人为热排放

充分利用工业郊区化的内在驱动力,今后应逐步将城北的高耗能、高污染的工厂、企业搬迁至生态容量较高、河谷下风向的城市边缘区域。提高城西工业用地的单位面积利用率,积极引导企业采用先进环保设备及技术,从而降低工业热的排放量。同时,保护好城南的生态农业示范区,不应将该区域开发为商业用地。对于旧城区内稠密的老居住区和商业中心,建立良好的通风散热体系,利用有限的空间布置小型绿化园。就河谷型城市而言,封闭的地形环境使得冬季的城市热岛效应尤为明显,因此,应使用清洁能源(太阳能、天然气等)逐步替代高污染的能源(煤、石油等),严格控制私有汽车数量,尽可能地减少人为热排放,如汽车尾气排放、城市居民取暖等,以有效改善城市热岛效应。

4.3 以城市空间职能的“空间置换”战略缓解城区热岛效应

面对河谷型城市用地日益紧张的局面,城市未来发展中科学、合理规划和设计也是减缓城市热岛的重要举措之一。近期应采取“空间置换”战略,通过合理集聚、适度扩散的方式来缓解西宁盆地内可利用空间几近饱和的状态。如现有的商业服务中心多位于旧城区,人口集聚,用地紧张,使用前几种

方法改造实施较为困难,所以,可考虑在海湖新区等新型居住区发展新的大型商业中心(如王府井百货、万达购物广场等),通过人流疏散的方式来缓解旧城区的热岛效应,同时也可以满足新型居住区居民的生活需求。

4.4 人工造湖(河)以抑制热岛产生,调节气温

从水体分布情况来看,城市热场较高区域被湟水河及南、北川河分割成独立的几块,说明水体不但可以抑制热岛的产生,还能有效地对热岛进行切割,通过增加水体来降低地表温度,但是,城市空间布局已基本成型,且人工造湖的成本较高、难度较大,该措施实施具有空间位置局限性。西宁市最强劲的热源位于西宁钢铁集团,该区域人口居住较少,且周边多为荒地,在该地增挖人工河流、湖泊是缓解该区域热岛的极为有效的措施。另外,在大型居住区、公园等有条件的地区,可通过合理规划增加水面面积来增强城市降温增湿功能,使其能够更好地发挥城市气温“调节器”的作用。

综上所述,西宁市在未来的规划设计中,应制订科学的发展战略,合理确定城市规模与性质。将可再生能源与建筑物进行一体化建设,建立新型城市居住-服务区,将老城区人口有机疏散,把城市空间职能结构调整与生态环境治理很好地结合,实现城市与生态环境共生,从源头上减缓西宁市的热岛效应。

5 结论

(1)单窗算法对 Landsat TM 的热红外通道计算得到河谷型城市的地表温度空间分布,较准确地反演出西宁市地表温度变化,为河谷型城市环境整治提供科学依据。

(2)1996-2011年西宁市的城市热岛呈逐步扩展的趋势,在空间上与城市扩张格局呈现出高度的一致性。西宁市由于其独特的地形条件,热岛效应冬季最强,夏季次之,秋季有明显减弱的趋势。

(3)河谷型城市的地表温度与NDVI和NDBI在空间上具有良好的相关性,地表温度与NDVI呈负相关关系,与NDBI呈正相关关系。研究表明,通过增加植被和水体的方式来分割城市中的不透水地表,可达到明显的降温效果。

(4)今后须长期关注快速的城市化及迅速扩展

的城市规模所带来的热岛效应问题。从不同角度提出缓解城市热岛效应的措施和对策,以改善西宁市的热环境。

参考文献:

- [1] 朱焱,朱莲芳,徐永明,等.基于 Landsat 卫星资料的苏州城市热岛效应遥感分析[J].高原气象,2010,29(1):244-250.
- [2] 周淑贞,束炯.城市气候学[M].北京:气象出版社,1994,102-104.
- [3] 蒲禹君,蒲金涌.西北中等城市热岛效应变化特征——以天水市为例[J].环境工程技术学报,2011,1(5):376-382.
- [4] Howard L. The Climate of London, Deduced from Meteorological Observation[M]. London: Joseph Rickerby, Printer, 1833.
- [5] Rao P K. Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite[J]. Bulletin Brazilian Mathematical Society, 1972,53:647-648.
- [6] Roth M. Satellite-derived urban heat island from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology[J]. International Journal of Remote Sensing, 1989,10:1699-1720.
- [7] Ichinose T, Hanaki K, Shimodozono K. Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo[J]. Atmospheric Environment, 1999,33(24/25):3897-3909.
- [8] Deosthali V. Impact of rapid urban growth on heat and moisture islands in Pune City, India[J]. Atmospheric Environment, 2000,34(17):2745-2754.
- [9] 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):129-133.
- [10] 覃志豪, Zhang M H, Arnon K, 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.
- [11] 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(3):28-32.
- [12] 覃志豪, Li W J, Zhang M H, 等.单窗算法的大气参数估计方法[J].国土资源遥感,2003(2):37-43.
- [13] Yang J, Gong P, Zhou J X, *et al.* Detection of the urban heat island in Beijing using HJ-1B satellite imagery[J]. Science China Earth Sciences, 2010(53):67-73.
- [14] 黄妙芬,邢旭峰,王培娟,等.利用 LANDSAT/TM 热红外通道反演地表温度的三种方法比较[J].干旱区地理, 2006,29(1):132-137.
- [15] 武鹏飞,王茂军,张学霞.基于归一化建筑指数的北京市城市热岛效应分布特征[J].生态环境学报,2009,18(4):1325-1331.
- [16] 叶柯,覃志豪.基于 MODIS 数据的南京市夏季城市热岛分析[J].遥感技术与应用,2006,21(5):426-431.
- [17] 戴晓燕,张利权,过仲阳,等.上海城市热岛效应形成机制及空间格局[J].生态学报,2009,29(7):3995-4004.
- [18] 张建民,王鹏龙,马宁,等.河谷地形下兰州市城市热岛效应的时空演变研究[J].地理科学,2012,32(12):1530-1537.
- [19] 冯仕超,高小红,亢健,等.西宁市 30 多年来土地利用-土地覆被变化及城市扩展研究[J].干旱区研究,2012,29(1):129-136.
- [20] 蒲光昕,李玲琴,柏家平,等.西宁市城市用地时空扩展研究[J].国土资源科技管理,2011,28(4):19-24.
- [21] 西宁统计信息网.统计管理-统计信息-2012 年西宁市常住人口/2012 年西宁市非公有制经济/[EB/OL]. <http://xntjj.xining.gov.cn/Default.html>, 2013-02-20.
- [22] 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.
- [23] 贾仰文,王浩,倪广恒.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,2005,121-123.
- [24] 薛晓娟,孟庆岩,王春梅,等.北京市热岛效应时空变化的 HJ-1B 监测分析[J].地球信息科学学报,2012,14(4):474-450.
- [25] 杨沈斌,赵小艳,申双和,等.基于 Landsat TM /ETM+ 数据的北京城市热岛季节特征研究[J].大气科学学报,2010,33(4):427-435.
- [26] 杨永春.中国西部河谷型城市发展及其环境问题[J].山地学报,2004,22(1):40-47.
- [27] 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.
- [28] 武鹏飞,王茂军,张学霞.基于归一化建筑指数的北京市城市热岛效应分布特征[J].生态环境学报,2009,18(4):1325-1331.
- [29] 田鹏飞,蔡娜佳,张玲,等.热岛效应与地表参数的相关性分析及水体对热岛的影响研究[J].资源与环境科学, 2013(13):232-235.

Analysis of Urban Heat Island Environment in a Valley City for Policy Formulation: A Case Study of Xining City in Qinghai Province of China

JIA Wei and GAO Xiaohong*

(College of Life and Geographical Sciences, Key Laboratory of Ministry of Education on Environment and Resource in Qinghai-Tibetan Plateau, Qinghai Normal University, Xining 810008, China)

Abstract: Urban thermal environment is an important part of urban ecosystem, and urban heat island (UHI) effect directly reflects the climate characteristics of the city. It has an important practical significance to analyze comprehensively the urban heat island for studying urban air temperature change resulting from urbanization and environment change, and protecting urban eco-environment. Taking the valley city of Xining as a case study area, six Landsat 5 TM scenes were adopted from USGS website, and meteorological station data were obtained from China Meteorological Data Sharing Service System respectively. Firstly, the six Landsat 5 TM scenes were preprocessed by using ArcGIS 10.0 and ENVI 5.0 and the meteorological station data was processed using EXCEL software. Secondly, based on mono-window algorithm, the land surface temperature (LST) of the study area was retrieved. Then, all LST retrieval results obtained from the six Landsat 5 TM scenes were normalized to 0–1 for comparing the temporal differences of varied urban heat island. Thirdly, all normalized results were divided into five equal interval levels based on density separation technology of ENVI 5.0 software. Finally, the correlations between LST and NDVI as well as LST and NDBI were analyzed respectively. The results show that an obvious urban heat island effect exists in Xining city from 1996 to 2011. In addition, the spatial distribution pattern and extension of the urban heat island is consistent with urban sprawl. The urban heat island area is respectively 54.2 km² in August 1996, 85.9 km² in July 2001, 147.1 km² in July 2007, 166.7 km² in March 2009, 148.9 km² in July 2010, and 158.7 km² in September 2011, showing an expanding trend from 1996 to 2011 in general. Specifically, the heat island area has reduced substantially in the low and medium LST sub-region, whereas the heat island area has increased significantly in the high LST sub-region. The heat island effect is the strongest in winter, and it decreases evidently in the summer, then the autumn. In the spatial pattern of valley city, the land surface temperature is negatively correlated with NDVI, and positively correlated with NDBI. According to the spatio-temporal evolution of urban heat island, with the adoption of analysis of causes and strategic thinking, the constructive strategies and measures to alleviate urban heat island effect are proposed from different aspects, thus providing a scientific reference for decision making to improve the thermal environment of Xining City in the future.

Key words: urban heat island; mono-window algorithm; quantitative inversion; Xining City; valley city

*Corresponding author: GAO Xiaohong, E-mail: xiaohonggao226@gmail.com