

# 基于 Landsat 影像的西宁市主城区热岛效应分析

张晓莉<sup>1</sup>,赵鹏祥<sup>1\*</sup>,高凌寒<sup>1</sup>,赵选<sup>2</sup>,王辉<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院,陕西 杨陵 712100;2. 西北农林科技大学 风景园林艺术学院,陕西 杨陵 712100)

**摘要:**利用西宁市主城区 1987、2001 年和 2013 年 3 个时期的 Landsat 遥感影像反演出了不同时期的地表温度,并对地表温度进行归一化处理后得到相应时期的热岛等级分布图。结果表明,西宁市城区的热岛效应呈先减弱后增强的态势,热岛区分布逐渐集中,主要分布在城市边缘未利用地、主城区中商业区、工业区以及城市交通线路周围;热岛效应的范围在扩展,其分布与建成区的扩展范围在空间上基本相吻合,但是强度有小幅减弱;热岛效应与植被覆盖度呈负相关,植被覆盖度每增加 10%,地表温度下降约 1.23℃;建设用地及未利用地的均温最高,而水体及有植被覆盖区域均温较低;绿色植被和水体有缓解热岛效应的作用,而因建成区的扩大有大规模的不透水面是热岛效应加剧的主要原因;气候和天气因素也对热岛效应有一定的影响。

**关键词:**热岛效应;Landsat 影像;地表温度;西宁市

**中图分类号:**S718.56      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2016)03-0183-08

Analysis of Heat Island Effect Based on Landsat Images in Xining City

ZHANG Xiao-li<sup>1</sup>, ZHAO Peng-xiang<sup>1\*</sup>, GAO Ling-han<sup>1</sup>, ZHAO Xuan<sup>2</sup>, WANG Hui<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100 China; 2. College of Landscape Architecture and Arts, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi, 712100 China)

**Abstract:** To understand the heat island effect and its intensity and scope changes as well as its driving forces in Xining, this paper retrieved the land surface temperature (LST) from Landsat images of Xining in 1987, 2001 and 2013. As the Landsat image thermal band data had higher spatial-temporal resolution, it could be usually used to evaluate the heat island effect. To avoid the errors resulting from different seasons, the grade distribution of heat island at different times were derived with the land surface temperature normalization. The analysis results showed that the effect of heat island in Xining was enhancing after weakening firstly. The heat island areas were gradually centralized and mainly were unutilized lands on the edge of city, around the downtown area, industrial areas and urban traffic lines. The area of heat island expanded and the spatial distribution was basically consistent with the layout of construction land, but the intensity of heat island effect weakened slightly. The effect of heat island had negative correlation with vegetation fraction. With every 10% vegetation fraction increased, the land surface temperature drop was about 1.23℃. The mean LST of construction land and unutilized land was the highest while vegetation cover areas and water body had a lower LST. Green vegetation and water body had the role of reducing heat island effect. The masses of impervious surface were the main cause of heat island effect. Climate and weather factors also had a certain influence on heat island effect.

**Key words:**heat island effect; Landsat image; land surface temperature; Xining City

收稿日期:2015-09-10 修回日期:2016-02-20

基金项目:林业公益性行业科研专项(20110404501);陕西省林业综合实验室开放研究课题(201303)。

作者简介:张晓莉,女,在读硕士,研究方向:“3S”技术在资源与环境中的应用。E-mail:zxl901210@163.com

\* 通信作者:赵鹏祥,男,博士,硕士生导师,研究方向:从事林业遥感和地理信息系统研究。E-mail:zpx666@aliyun.com

随着城市化进程逐渐加快,工业经济的发展以及人为活动等诸多因素的综合作用对城市气候及环境产生了很大的影响,致使城市温度高于郊区或周围乡村温度,这种现象被称为“热岛效应”。由此引起的城市高温不仅影响着人们的健康及正常生活,还会加速城市空气污染,阻碍人类生活质量的提高。因此,热岛效应引起了人们的广泛关注<sup>[1]</sup>。G. Manley<sup>[2]</sup>于1958年首次提出“城市热岛”概念以来,加拿大、美国、日本及西欧等一些国家和地区的学者纷纷展开了对城市热岛效应的研究,但都是基于传统的城郊地面气象资料进行研究。直到1972年始利用ITOS-1卫星热红外波段数据得到了美国大西洋中部沿海城市的地面热场分布图,开启了运用遥感手段监测热岛效应的新方法<sup>[3]</sup>。随着高分辨率卫星遥感及GIS技术的快速发展,运用热红外遥感技术反演地表温度已成为研究热岛效应的有效手段。我国对热岛效应的研究始于20世纪80年代末,主要针对北京、上海、广州等经济发展迅速且人口聚集的大城市的热岛效应进行研究分析<sup>[4-9]</sup>。不论是从热岛效应的产生原因,还是热岛效应的发展过程及其影响方面都取得了一定的成果,程晨<sup>[10]</sup>等利用LandsatTM/ETM+数据对天津城区及滨海新区的热岛效应分布及时空变化进行分析并讨论了产生这种变化的原因<sup>[11-13]</sup>。

西宁市是典型的河谷型城市,有中国“夏都”之称,虽然夏凉秋爽,但是由于城市化进程的加快,同样存在热岛效应现象。于斌<sup>[14]</sup>等利用气象观测资料对西宁市的热岛状况进行了分析,探究了气温变化与热岛效应的关系,贾伟<sup>[15]</sup>等基于遥感手段分析了西宁市热岛效应与NDVI及NDBI的关系,但对热岛效应的影响因素分析较不全面。为了更好的了解西宁市主城区近30年的热岛效应演变规律,本研究利用1987年、2001年、2013年3a的西宁市遥感影像数据反演城区地表温度,计算城区植被覆盖度并结合气象观测资料,对西宁市城区热岛效应进行动态监测及对其成因进行分析评价,以期为城市建设及城市环境的改善提供决策依据。

## 1 研究区概况

西宁市地处黄土高原向青藏高原的过渡地带( $100^{\circ}54' - 101^{\circ}55'E$ ,  $36^{\circ}13' - 37^{\circ}25'N$ ),是青海省省会城市。本研究区为西宁市主城区,主要包括城北区、城西区、城东区、城中区4区,总面积为350km<sup>2</sup>。主城区主要在湟水上游的西宁盆地中,四面环山,湟水河自西向东贯穿全市,支流北川河、南川河呈十字相交,是典型的枝状半开放型河谷城市。

西宁市属于高原大陆性气候,气压低,夏季温和短暂,冬季漫长但无严寒,降水量少,蒸发量大,日温差大。由于西宁城区建设受河谷及盆地制约,使其迫于延河流及地形走向发展<sup>[16-17]</sup>。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 数据来源

数据分别为西宁市主城区1987年9月9日和2001年7月13日的Landsat5TM卫星影像数据、2013年6月12日的Landsat8卫星影像数据、西宁市近30a气象观测资料、西宁市主城区行政区划图。在进行地面温度反演时选用热红外波段数据,对于Landsat5为第6波段数据,对于Landsat8选用第10波段数据。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 数据预处理** 采用ENVI5.1对影像进行校正,运用最邻近点法进行像素重采样,在ArcGIS中结合西宁市城区行政区划图对影像进行剪裁,得到的影像作为源数据。

**2.2.2 植被覆盖度计算** 植被覆盖度采用混合像元分解法<sup>[18]</sup>,即植被占混合像元的比例。根据以下公式确定各像元的植被覆盖度 $P_v$ <sup>[19]</sup>:

$$P_v = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s) \quad (1)$$

式中:NDVI为归一化植被指数,NDVI<sub>v</sub>和NDVI<sub>s</sub>分别为植被和裸地的NDVI值,一般地,取NDVI<sub>v</sub>=0.7,NDVI<sub>s</sub>=0.05,当NDVI>NDVI<sub>v</sub>时,可视为完全植被覆盖,则 $P_v=1$ ;当NDVI<NDVI<sub>s</sub>时,表明无植被覆盖,则 $P_v=0$ 。

归一化植被指数(NDVI)常用于指示植被的数量特征(如盖度、植被类型、叶面积指数等),以及用于监测植被的季节性变化和土地覆盖研究<sup>[20]</sup>。计算公式如下:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (2)$$

式中:NIR和R分别为影像数据的近红外波段和红光波段的DN值。对于Landsat5,分别是4、3波段;对于Landsat8,分别为5、4波段。

**2.2.3 地表亮温反演** 亮度温度是传感器在卫星高度所观测到的热辐射强度相对应的温度。Landsat5第6( $10.40 \sim 12.50\mu m$ )和Landsat8第10( $10.6 \sim 11.2\mu m$ )波段是热红外波段,对热异常敏感,可用于热岛研究,辨别地表温度差异。受大气参数获取条件限制,目前最常用的反演地表温度的方法是基于影像的反演算法<sup>[21]</sup>。

**2.2.4 地表真实温度计算** 辐射亮温是假定地物均为黑体时的地表温度,并不能表示地表真实温度,研究表明,可根据地表地物的比辐射率来计算地表

的真实温度<sup>[22]</sup>,计算公式如下:

$$T_s = \frac{T_{\text{rad}}}{1 + (\lambda * T_{\text{rad}}/P) \ln X} \quad (3)$$

式中: $T_s$ 为地表真实温度(K); $T_{\text{rad}}$ 为辐射亮温; $\lambda$ 为热红外波段的中心波长; $P=0.01438\text{ mK}$ ; $X$ 为地表比辐射率。

**2.2.5 地表比辐射率计算** 地表比辐射率是物体向外辐射电磁波能力的表征,主要取决于地表的物质结构和遥感器的波段区间。根据前人研究<sup>[21,23]</sup>,计算地表比辐射率时,首先进行监督分类,主要分为水体、城镇与自然表面3种类型。水体像元的比辐射率赋值为0.995,城镇与自然表面的比辐射率估算可根据以下公式计算:

$$X_b = 0.9589 + 0.086P_v - 0.0671P_v^2 \quad (4)$$

$$X_s = 0.9625 + 0.0614P_v - 0.0467P_v^2 \quad (5)$$

式中: $X_b$ 、 $X_s$ 分别为城镇像元和自然表面像元的比辐射率, $P_v$ 为植被覆盖度。

**2.2.6 温度归一化** 为了研究热场分布的变化规律,由于所选取的影像数据为不同时相,不能直接用来比较,所以运用归一化公式<sup>[18]</sup>对数据进行标准化处理,将温度统一到0—1范围内进行比较。

$$N_i = \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (6)$$

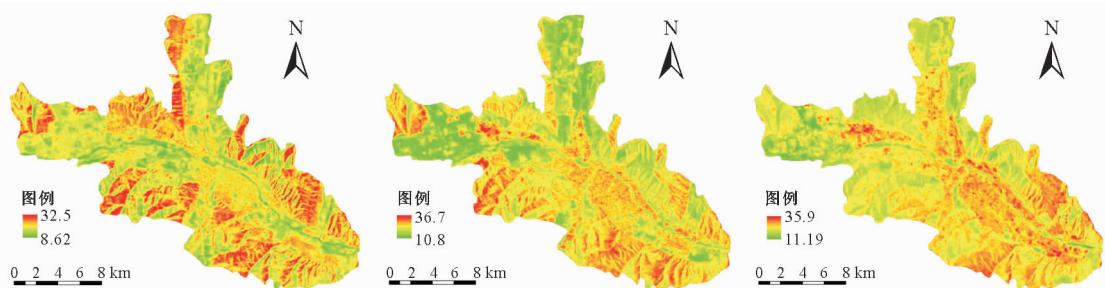
式中: $N_i$ 为第*i*个像元归一化后的值; $T_i$ 为第*i*个像元的地表温度; $T_{\min}$ 为影像中地表温度的最小值;

$T_{\max}$ 为影像中地表温度的最大值。

### 3 结果与分析

#### 3.1 西宁市城区热岛空间分布特征

基于影像反演法得到不同时期的地表温度分布(图1),将反演的地表温度进行归一化处理后,按照强绿岛(0~0.2)、绿岛区(0.2~0.4)、正常区(0.4~0.6)、热岛区(0.6~0.8)、强热岛(0.8~1.0)的分类方法平分为5个等级,则得到3 a的热岛等级分布(图2),可以看出,西宁市不同时期的热岛分布比较明显,且分布区域和范围都有所变化,没有集中的热岛分布区。将热岛等级分布图与西宁市行政区划图叠加可以看出:1987年出现明显的强热岛现象主要是城北区中部和东部,城西区南部,但是区域都不大,城东区南北部都有斑块状分布,热岛区依附在强热岛周围向外扩散,这些地区大部分是未利用地或裸地,而沿河流的市中心区域和附近村庄耕地区大部分为正常区及绿岛区。2001年较1987年有明显差异,主要表现在城北区西部和中部、城西区北部、城东东部有片状的强绿岛及绿岛区,这些地区是有大面积的耕地和园地,在影像获取时段有大片生长旺盛的绿色植被覆盖。但是在城北区南部西宁钢厂周围、城西区西部、城东区南部也有小面积块状强热岛区和热岛区。城西区西部和城东区南部的热岛区



注:从左到右分别为1987年、2001年与2013年,以下同。

图1 不同时期地表温度分布

Fig. 1 Distribution of land surface temperature at different periods

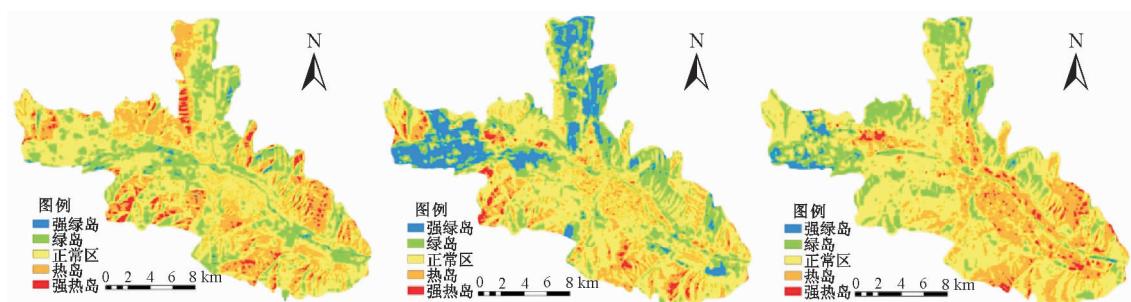


图2 不同时期热岛等级分布

Fig. 2 Grade distribution of heat island at different periods

和 1987 年相同也为裸地或未利用地。中心城区的温度上升出现斑点状热岛区。随着西宁市主城区的扩建,2013 年城区的地表温度较周围高,较 2001 年强绿岛面积明显减少,被正常区及绿岛区取代,强热岛区也出现在西宁钢厂,城北区的热岛区向北扩大取代了 2001 年的强绿岛和绿岛区,市中心由于建成区面积扩大及人口聚集等原因由斑点状热岛转变为片状的热岛区,城东区强热岛区为青海铝型材厂、电化厂,同时还出现带状热岛区和块状强热岛区,热岛效应范围逐渐扩大,呈现出多中心片状分布的态势。比较 1987 年及 2001 年,在城西区西南部和城东区南部的强热岛区有所改善,大部分变为了正常区。从整体上来说,绿岛区和强绿岛区主要为有植被覆盖区域和水域。

### 3.2 西宁市城区热岛时间分布特征

各时期的热岛效应存在明显差异(图 2,表 1),总体来说,热岛效应呈先减弱后增强的态势。1987 年西宁市的热岛区和强热岛总面积最大,分别为  $80.84 \text{ km}^2$ 、 $8.02 \text{ km}^2$ ,共占研究区总面积的

25.43%;而绿岛及强绿岛面积占 26.22%,热岛效应显著。但 2001 年的强绿岛区面积较 1987 年增加了近 6 倍,热岛区面积却有很大幅度的减小,强热岛区面积也减少了  $2.56 \text{ km}^2$ ,面积之和仅为总面积的 16.79%,减少了近 10%,热岛效应有很明显的减弱态势。而 2013 年的热岛区和强热岛区面积比例有明显增加,接近于 1987 年,同时绿岛区及强绿岛面积比例是 3 个年份中最小的,但是强热岛面积减少了  $1.78 \text{ km}^2$ ,可见热岛效应的范围在扩展但是强度却有小幅减弱。总体来看,3 a 的正常区所占面积较大,1987 年、2001 年和 2013 年其面积比例分别为 48.35%、45.83% 和 52.50%;但是 2001 年的强绿岛和绿岛区的总面积比例达 37.38%,主要分布在城北区。可见,1987 年热岛效应最强,2001 年降至最弱,随后又增强到 2013 年热岛效应强度较 1987 年有小幅减弱但是热岛范围在扩大。

从热岛效应分布的时空特征分析,西宁市城区的强热岛区范围较小且分布相对零散,而热岛区范围相对大,分布呈片状、斑点状及带状。

表 1 西宁市城区 1987 年到 2013 年热岛等级变化统计

Table 1 Grade variation of heat island of Xining from 1987 to 2013

热岛等级	1987 年		2001 年		2013 年	
	面积/ $\text{km}^2$	比例/%	面积/ $\text{km}^2$	比例/%	面积/ $\text{km}^2$	比例/%
强绿岛	7.60	2.18	48.11	13.77	8.96	2.57
绿岛	83.99	24.04	82.48	23.61	69.82	19.98
正常区	168.92	48.35	160.12	45.83	183.43	52.50
热岛	80.84	23.14	53.21	15.23	80.92	23.16
强热岛	8.02	2.29	5.46	1.56	6.24	1.79

### 3.3 西宁市热岛效应影响因素分析

3.3.1 热岛强度与植被覆盖度的关系 以河流为界将城区分为 3 个区域,分别为东北区、西北区和西南区。在 3 个区域内分别随机布设 100 个样点,并分别提取 3 个时期的 300 个样点对应像元的地表温度和植被覆盖度值数据,再进行地表温度与植被覆盖度的相关分析,绘制出二者的统计关系(图 3),并拟合出回归方程。地表温度与植被覆盖度均呈线性负相关,但是拟合直线的斜率存在差异,说明不同时期的植被覆盖度与地表温度的负相关程度存在一定差别。2013 年的拟合方程斜率最小,表明 2013 年植被覆盖度对热岛效应的影响是最明显的。计算可知,植被覆盖度每增加 10%,地表温度平均下降约  $1.23^\circ\text{C}$ ,进一步说明了植被对热岛效应有缓解和抑制作用。2001 年影像数据获取时间为 7 月份,在城北区及城西区有大片农田,植被覆盖度很大,降温效果很好,因此温度比较低。

3.3.2 天气因素对热岛效应的影响 1987 年降水

较多的是 6 月份,9 月份降水较少只有  $50 \text{ mm}$ (图 4),由于影像获取时耕地上农作物已经收获,成为裸地,地表温度明显高于耕地温度,因此部分耕地也成为了热岛区。所以 1987 年的强热岛区和热岛区基本是没有植被生长的未利用地和裸地。2001 年 7 月份虽然降水相对较多,但是经过分析当月气象数据知在影像获取日之前的降水仅有  $47 \text{ mm}$ ,且 7 月份正好处于夏季温度较高蒸发量较大,土壤的蓄水性很弱,特别是没有植被生长的裸地,所以在城北区西部巴浪沟和城西区张家湾村南部和大掌湾村周围及城东区的塔尔山村周围的未利用地及裸地成为强热岛区和热岛区。

3.3.3 热岛分布与土地利用类型的关系 不同热岛等级内各土地利用类型所占面积比例差异很大(表 2),但每个时期所反映出的基本特征极其一致。3 期的统计结果显示,未利用地及建设用地均在强热岛区和热岛区 2 个热岛等级中所占面积比例最大,尤其 1987 年未利用地在热岛区和强热岛区的面

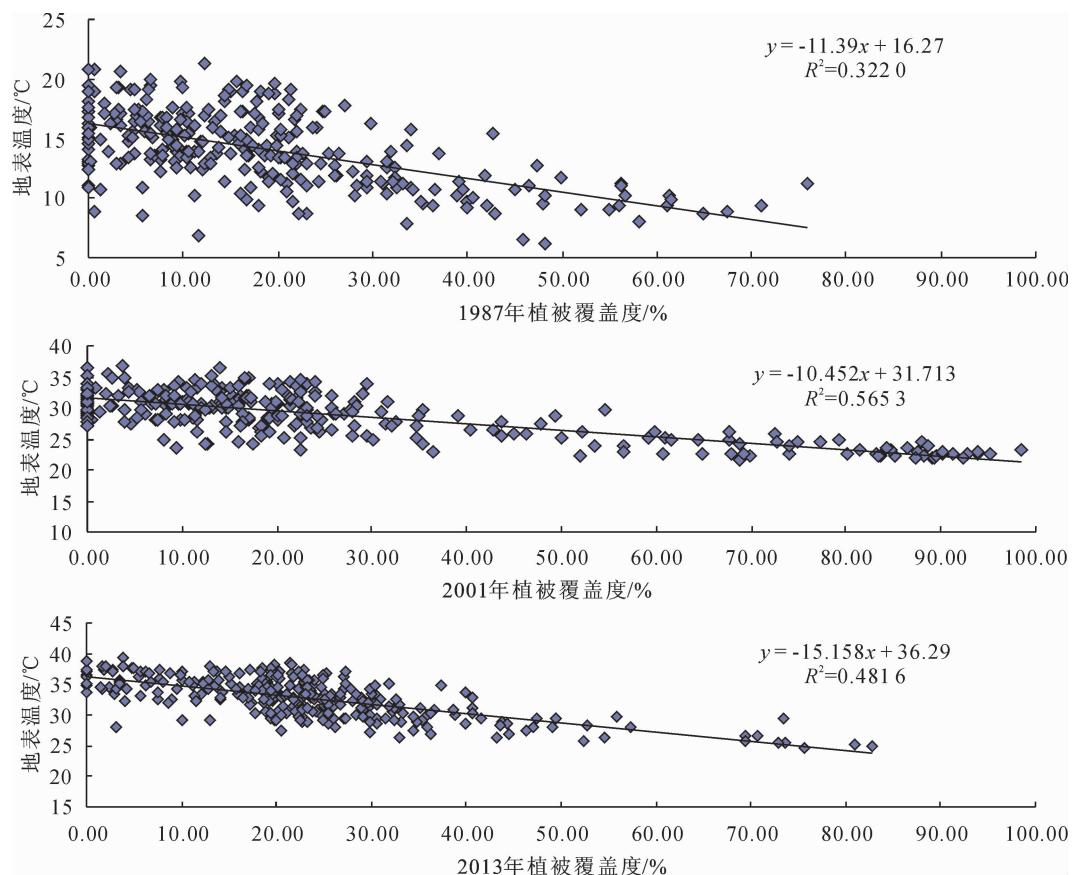


图3 地表温度与植被覆盖度的关系

Fig. 3 Correlation of land surface temperature with vegetation fraction

积比例均达到60%以上,而在2001年及2013年末利用地所占的相应比例却在逐渐减小,到2013年分别减少到23.52%和23.76%。说明因未利用地而表现出的高温面积明显减少,主要是未利用地被用于种草造林或开垦种植从而面积减少(表3)。在2013年的等级分布(图2)可看出,市区边缘的强热岛和热岛区面积大幅减少。建设用地在热岛区和强热岛区的面积比例则在持续增大,从1987年的27.37%和22.3%增加到2013年的73.83%和73.8%,与建设用地的面积比例在持续增加有关。而林地、水域、耕地及园地则在强绿岛区和绿岛区占较大的比例。可见,建设用地及未利用地对西宁市主城区的热岛效应贡献最大,且建设用地逐渐成为影响热岛效应的最主要因素,而水体、林地、耕地及园地可以缓解热岛效应,对于抑制热岛效应有十分显著的作用。

建设用地的平均地表温度最高,未利用地的平均温度仅次于建设用地,林地和耕地都有大量绿色植被覆盖而地表温度低(图5);由于水体的特性本应具有最低的温度,但因西宁市城区的湟水河被建筑包围,空气流动性降低,受其高温影响,温度偏高;同样有植被覆盖的园地也受到周围建筑群高温的影响。

响,温度较处于郊区的耕地及林地偏高。

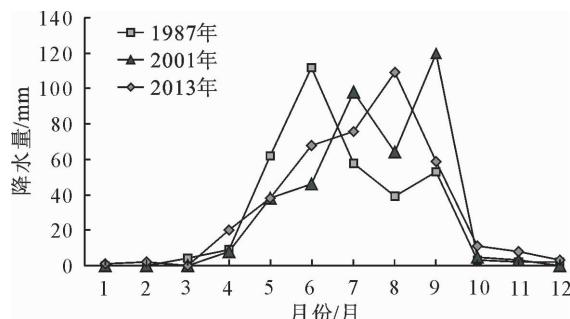


图4 西宁市不同时期降水量

Fig. 4 Different periods precipitation of Xining

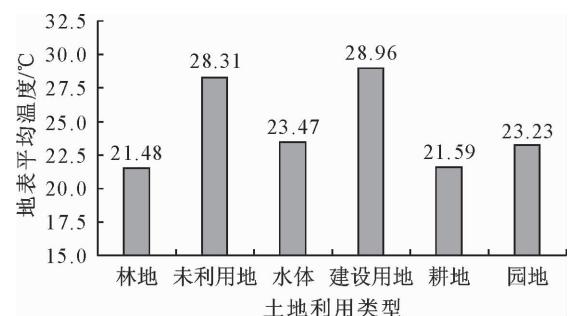


图5 2013年不同土地利用类型的地表平均温度

Fig. 5 Mean land surface temperature of different land use type in 2013

表 2 西宁市城区 1987—2013 年热岛等级内各土地利用类型所占比例

Table 2 Land use type proportion of heat island grade of Xining from 1987 to 2013

项目		林地	未利用地	水体	建设用地	耕地	园地
1987 年	强绿岛	45.48	2.15	21.50	3.15	14.73	13
	绿岛	41.66	1.16	2.03	2.82	49.52	2.82
	正常区	54.84	1.94	0.24	15.57	27.27	0.14
	热岛	5.23	64.51	0.09	27.37	2.79	0
	强热岛	7.08	69.57	0.00	22.30	1.05	0
2001 年	强绿岛	9.07	0.07	0.80	0.24	82.90	6.91
	绿岛	38.67	1.76	1.42	5.47	50.88	1.81
	正常区	58.35	5.43	0.15	25.91	10.09	0.06
	热岛	9.06	55.29	0.02	34.29	1.33	0
	强热岛	16.64	49.03	0.00	33.89	0.44	0
2013 年	强绿岛	12.08	0.05	5.38	0.16	75.55	6.78
	绿岛	66.20	0.50	2.31	1.96	18.65	10.37
	正常区	71.66	2.01	0.51	22.78	1.24	1.81
	热岛	2.44	23.52	0.11	73.83	0.05	0.05
	强热岛	2.01	23.76	0.28	73.80	0.16	0

表 3 1987—2013 年不同土地利用类型面积比例

Table 3 Area percentage of different land use types

from 1987 to 2013 %

土地利用类型	1987	2001	2013
林地	57.83	46.52	61.37
未利用地	3.47	4.70	1.94
水体	0.84	0.80	0.84
建设用地	12.65	19.21	27.05
耕地	26.38	27.41	5.77
园地	0.83	1.36	3.03

3.3.4 人类活动及城区建设对热岛效应的影响  
西宁市主城区总体建设用地面积比例在不断增加，包括居民地、商业区、学校、交通用地及工业用地等基础设施建设面积都在扩大，大规模的人工不透水面取代了自然的植被覆盖表面，使自然地面保水能力下降且蒸发量增大，而且大量的混泥土、沥青路面

对强烈的太阳辐射没有缓冲能力，吸收的大量太阳辐射直接转化为热量，因此地面温度较高（表 3）。分析后发现各区建设用地面积不断增加，主要以占用耕地为主（表 4），表现为与 1987 年相比，2001 年和 2013 年西宁市主城区建设用地以河流交汇地为核心地带逐渐向四个方向带状扩张，耕地被水泥地、建筑物及高速公路替代，尤以 2013 年最为明显，西宁市主城区城东、城中、城西、城北四区中建成区均向外扩散（图 6），其扩展范围与热岛效应的扩展范围在空间上基本一致。热岛区集中呈片状分布，面积大幅增加。1987 年西宁市的交通线路还不明显，但是随着宁大高速公路、西塔高速公路、京藏高速及兰西高速公路等交通线路的建成，到 2013 年以西宁市为中心的交通网络体系已经形成。因此，2013 年热岛区有带状分布特点。

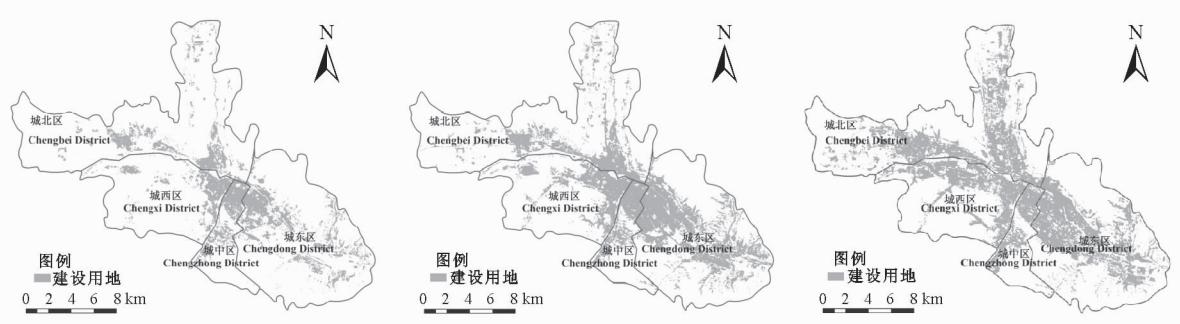


图 6 西宁市各区建设用地分布

Fig. 6 Distribution of construction land at different periods in Xining

#### 4 结论与讨论

热红外影像是利用卫星遥感方法研究城市热岛现象最有价值的资料，利用遥感影像进行地表温度

反演得到城市地表温度空间分布图，是研究热岛效应的有效方法，可为改善城市环境提供决策依据。本研究利用影像数据分析了西宁市主城区的热岛效应现象，西宁市城区的热岛效应自 1987 年到 2013 年

表4 西宁市各区建设用地面积变化统计

Table 4 Area variation of construction land and farmland in every district of Xining city from 1987 to 2013

km<sup>2</sup>

	建设用地			耕地		
	1987	2001	2013	1987	2001	2013
城北区	12.68	15.38	32.75	57.46	58.79	16.66
城东区	16.05	29.37	32.60	12.21	15.94	1.82
城中区	6.99	7.43	7.79	0.79	2.80	0.20
城西区	7.49	13.07	18.84	12.84	11.05	0.94

期间强热岛区及热岛区的总面积比例先减小再增大,呈现先减弱后增强的态势,但是强热岛区的面积却在减少且分布零散,可见热岛效应的范围在扩展但是强度却有小幅减弱。热岛效应主要分布在城市边缘未利用地、主城区中商业区、工业区以及城市交通线路周围,热岛效应的范围分布与建成区的扩展范围在空间上基本相吻合。

热岛效应与植被覆盖度呈线性负相关,植被覆盖度每增加10%,地表温度下降约1.23℃,植被对热岛效应有一定的缓解和抑制作用<sup>[24-26]</sup>。气候及天气因素对热岛效应的变化有一定的影响。于斌<sup>[14]</sup>通过气温变化与热岛效应的关系研究表明,西宁市的热岛效应在1983—1988年为增强阶段,1989—1994是减弱阶段,1995—2000年趋于平稳时期,2001—2004年有小幅下降,但是西宁市的气温在全球变化的影响下呈增温趋势,成为热岛效应逐渐增强不可忽视的因素。不同土地利用类型对热岛效应的影响不同,建设用地及未利用地的均温最高,对热岛效应贡献最大,且建设用地逐渐成为影响热岛效应最主要的因素,而水体及有植被覆盖区域均温较低,说明绿色植被和水体可以反射和吸收太阳辐射,使得下垫面增温幅度较小,起到缓解热岛效应的作用<sup>[27-28]</sup>。而建设用地由于沥青及混凝土的大量使用,有大面积的不透水面,其热容量较小,直接吸收太阳辐射使近地面及周围大气温度升高,是形成热岛现象的主要原因<sup>[29]</sup>。因此,快速的城市化进程中,城区扩建是热岛效应加剧的直接原因。

在城市建设布局时,应合理进行城市规划,建筑群的布局应尽量保持通风,促进空气流动,降低聚热能力。在修建建筑物及道路等可以选用对太阳光反射率高且热容性好的材料,降低建筑物表面和路面的吸热和热量存储能力,起到降温作用。依据植被及水体良好的降温优势,保护现有植被,适当增加绿地及水体面积仍然是缓减城市热岛效应的最有效方法。“城市热岛效应研究国际研讨会”上提出了科学的绿化指标:绿化覆盖率达到30%以上,绿地才有缓解城市热岛效应的作用;绿化覆盖率达到40%以上,热岛效应可减少3/4;绿化覆盖率达到60%以

上,热岛效应基本被控制<sup>[30]</sup>。因此,合理配置绿地与建筑用地的比率,增加绿化覆盖率,尤其是在热岛集中区域,对改善城市热岛效应有重要作用。

## 参考文献:

- [1] YUAN Y,ZHAO X L,LIU Q,*et al.* Effects of urban heat island effect on temperature variation in Yibin Station[J]. Meteorological and Environmental Research,2010,1(11):36-39.
- [2] MNALEY G. On the frequency of snowfall in metropolitan England[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society,2006,84(359):70-72.
- [3] HILL J,MÉGIER J,MEHL W. Land degradation,soil erosion and desertification monitoring in Mediterranean ecosystems [J]. Remote Sensing Reviews,1996,12(1):107-130.
- [4] 苏泳娟,黄光庆,陈修治,等.广州市城区公园对周边环境的降温效应[J].生态学报,2010,30(18):4905-4918.  
SU Y X,HUANG G Q,CHEN X Z,*et al.* The cooling effect of Guangzhou City parks to surrounding environment [J]. Acta Ecologica Sinica,2010,30(18):4905-4918. (in Chinese)
- [5] 王文杰,申文明,刘晓曼,等.基于遥感的北京市城市化发展与城市热岛效应变化关系研究[J].环境科学研究,2006,19(2):44-48.
- [6] 周纪,陈云浩,李京,等.基于遥感影像的城市热岛容量模型及其应用——以北京地区为例[J].遥感学报,2008,12(5):734-742.  
ZHOU J,CHEN Y H,LI J,*et al.* A volume model for urban heat island based on remote sensing imagery and its application:a case study in Beijing[J]. Journal of Remote Sensing,2008,12(5):734-742. (in Chinese)
- [7] 唐曦,束炯,乐群.基于遥感的上海城市热岛效应与植被的关系研究[J].华东师范大学学报:自然科学版,2008,2008(1):119-128.  
TANG X,SHU J,YUE Q. Relationship between vegetation and urban heat-island effect in Shanghai[J]. Journal of East China Normal University:Natural Science,2008,2008(1):119-128. (in Chinese)
- [8] 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.  
DAI X Y,ZHANG L Q,GUO Z Y,*et al.* Mechanism of formation of urban heat island effect and its spatial pattern in Shanghai[J]. Acta Ecologica Sinica,2009,29(7):3995-4004. (in Chinese)
- [9] 陈命勇.上海城市地温的遥感反演及气温拟合研究[D].上海:复旦大学,2012.

- [10] 程晨,蔡喆,闫维,等.基于 Landsat TM/ETM+的天津城区及滨海新区热岛效应时空变化研究[J].自然资源学报,2010,25(10):1727-1737.
- CHENG C, CAI Z, YAN W, et al. Study of temporal and spatial variation of urban heat island based on Landsat TM in central city and Binhai New Area of Tianjin[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(10): 1727-1737. (in Chinese)
- [11] 陈辉,古琳,黎燕琼,等.成都市城市森林格局与热岛效应的关系[J].生态学报,2009,29(9):4865-4874.
- CHEN H, GU L, LI Y Q, et al. Analysis on relations between the pattern of urban forests and heat island effect in Chengdu [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4865-4874. (in Chinese)
- [12] 盛辉,万红,崔建勇,等.基于 TM 影像的城市热岛效应监测与预测分析[J].遥感技术与应用,2010,25(1):8-14.
- BAI Y, WANG X Y, JIANG H M, et al. Progress of urban heat island effect[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2013, 29(2): 101-106. (in Chinese)
- [13] 白杨,王晓云,姜海梅,等.城市热岛效应研究进展[J].气象与环境学报,2013,29(2):101-106.
- JIANG H M, WANG X Y, QIANG H M, et al. Progress of urban heat island effect[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2013, 29(2): 101-106. (in Chinese)
- [14] 于斌,刘峰贵,周强,等.西宁市气温变化与热岛效应分析[J].安徽农业科学,2008,36(36):16031-16033.
- [15] 贾伟,高小红.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[J].地球信息科学学报,2014,16(4):592-601.
- JIA W, GAO X H. Analysis of urban heat island environment in a valley city for policy formulation: a case study of Xining City in Qinghai Province of China[J]. Journal of Geo-information Science, 2014, 16(4): 592-601. (in Chinese)
- [16] 王腾蛟,张镭,张博凯,等.城市下垫面对河谷城市兰州冬季热岛效应及边界层结构的影响[J].气象学报,2013,71(6):1115-1129.
- WANG T J, ZHANG L, ZHANG B K, et al. The impacts of urban underlying surface on the winter urban heat island effect and the boundary layer structure over the valley city Lanzhou[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2013, 71(6): 1115-1129. (in Chinese)
- [17] 张忠孝.青海地理[M].西宁:青海人民出版社,2003:156-158.
- [18] 黄银友,冯莉,朱榴骏,等.基于混合像元分解的 HJ-1 卫星时间序列影像城市植被信息提取[J].南京大学学报:自然科学版,2015,51(5):1058-1067.
- HUANG Y Y, FENG L, ZHU L J, et al. Vegetation information extraction based on HJ-1 satellite time-series images by pixel unmixing[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 2015, 51(5): 1058-1067. (in Chinese)
- [19] 翟志豪,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,2004,15(3):28-32.
- [20] 陈阳.基于 TM 影像的城市热岛与植被关系研究[D].上海:上海师范大学,2011.
- [21] 丁凤,徐涵秋.基于 Landsat TM 的 3 种地表温度反演算法比较分析[J].福建师范大学学报:自然科学版,2008,24(1):91-96.
- DING F, XU H Q. Comparison of three algorithms for retrieving land surface temperature from Landsat TM thermal infrared Band[J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 2008, 24(1): 91-96. (in Chinese)
- [22] WENG Q H, LU D S, JACQUELYN S. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 89(4): 467-483.
- [23] SOBRINO J A, JIM NEZ-MUNOZ J C, PAOLINI LO. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4): 434-440.
- [24] 邱海玲.北京城市热岛效应及绿地降温作用研究[D].北京:北京林业大学,2014.
- [25] 彭保发,石忆邵,王贺封,等.城市热岛效应的影响机理及其作用规律——以上海市为例[J].地理学报,2013,68(11):1461-1471.
- PENG B F, SHI Y S, WANG H F, et al. The impacting mechanism and laws of function of urban heat islands effect: a case study of Shanghai[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(11): 1461-1471. (in Chinese)
- [26] 冯焱,冯海霞.济南市城市植被与城市热环境的变化研究[J].西北林学院学报,2012,27(2):50-55.
- FENG Y, FENG H X. Vegetations variation and urban thermal environment in Jinan[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(2): 50-55. (in Chinese)
- [27] 王剑强,王志泰.基于缓解热岛效应的山地城市生态斑块研究——以贵州省贞丰县为例[J].西北林学院学报,2014,29(2):232-236.
- WANG J Q, WANG Z T. Mountainous urban ecological plaques based on relieving heat island effect——a case study in Zhenfeng County, Guizhou Province[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(2): 232-236. (in Chinese)
- [28] 雷江丽,刘涛,吴艳艳,等.深圳城市绿地空间结构对绿地降温效应的影响[J].西北林学院学报,2011,26(4):218-223.
- LEI J L, LIU T, WU Y Y, et al. Effects of structure characteristics of urban green land on the temperature-lowering in Shenzhen City[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(4): 218-223. (in Chinese)
- [29] WENG Q, LU D. A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States [J]. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 2008, 10(1): 68-83.
- [30] 陈韬.科学绿化指标可改善城市热岛效应[J].科技潮,2004(8):29-29.