

doi: 10.13866/j.azr.2016.04.24

# 近 25 a 银川市城市化进程中热力景观格局演变分析<sup>①</sup>

吕荣芳<sup>1</sup>, 王浩<sup>1</sup>, 王鹏龙<sup>2</sup>, 张建明<sup>1</sup>

(1. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院资源环境科学信息中心, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**以西北地区快速城市化进程中的银川市为例,定量分析城市化水平,划分城市化的不同阶段;基于 Landsat 影像反演地表温度,划分热力景观类型,从景观和斑块尺度对不同阶段的热力景观组成、形态和异质性进行分析,研究不同土地利用类型对热环境的贡献度。结果表明:银川市存在明显的热岛效应,热岛分布与建成区和裸地分布基本一致,从市中心到城郊呈现明显的温度下行趋势;不同土地利用类型的温度场具有明显差异,平均温度排序为:裸地 > 建设用地 > 绿地 > 水体;不同城市化阶段中土地利用类型的热贡献度不同,土地利用格局影响城市热环境,绿地和裸地的空间分布对地表温度的影响更大。

**关键词:**城市化; Landsat8 TIRS; 地表温度; 热贡献度; 景观格局; 银川

城市是人类在改造和适应自然环境的过程中建立起来的人工生态系统,也是自然-经济-社会复合系统<sup>(1)</sup>。城市化过程对区域的生态与环境产生深刻影响,首先在空间上体现为自然景观被城市景观所替代的过程<sup>(2-3)</sup>,通过影响生态系统的物质循环和能量流动,改变区域环境的整体状况<sup>(4)</sup>。城市热环境效应是其中的重要内容之一,表征人为活动与自然系统之间的能量交换状况<sup>(5)</sup>,是城市化影响区域气候的重要例证<sup>(6)</sup>,也是理解城市区域的生态系统如何响应景观演变的重要依据<sup>(2)</sup>。城市化过程中人口迅速膨胀,规模迅速扩大,城市下垫面和冠层结构急剧变化,人为热排放迅速增多,对区域热环境产生巨大影响。自 20 世纪 50 年代以来,城市热岛效应已逐渐成为城市气候学研究的热点问题之一。国内外学者利用常规气象观测、地面遥感监测、数值模拟等研究方法,对城市热岛形成机制、热岛效应强度和时空变化特征,城市热岛效应危害以及热岛效应缓解对策等进行了广泛的研究<sup>(7)</sup>,主要集中在以下 3 个方面:城市热岛的形态与结构、过程与变化、机制与模拟<sup>(8-9)</sup>。这些研究多集中于中东部大城市,对西部城市较少涉及,有关城市化发展不同阶段中热力景观格局和土地利用状况及热力景观格局的定量关系研究则更少见。本文以西北地区快速城市化进程中的银川市为例,定量分析不同阶段中热

环境景观的总体分布特征和格局演变特征、不同土地利用类型的热环境效应以及土地利用与热力景观格局的相关关系,以期对银川市的热岛效应缓解提供依据。

## 1 研究区概况

银川市是新亚欧大陆桥沿线的重要商贸城市,属西北地区中心城市之一。银川市地处 37°29′ ~ 38°53′N, 105°49′ ~ 106°53′E, 现辖 3 区 2 县 1 市。本研究选取了兴庆区、金凤区、西夏区和贺兰县、永宁县位于平原的部分区域,面积为 2 385 km<sup>2</sup>。银川市属中温带大陆性气候,四季分明,春迟夏短,昼夜温差大,雨雪稀少,蒸发强烈,气候干燥,风大沙多。年平均气温 8.5 °C,年平均降水量 200 mm,无霜期 185 d。

## 2 研究数据与方法

### 2.1 数据获取与处理

从美国地质调查局(USGS)网站下载 Landsat 影像(表 1),数据预处理包括对影像进行投影坐标的转换、去条纹处理、几何校正、辐射定标、大气校正,利用研究区边界进行裁剪。根据不同土地利用类型的热力性质和研究需要,参考国家土地利用类型划

① 收稿日期: 2014-08-12; 修订日期: 2015-03-04

基金项目: 国家自然科学基金(41371176); 教育部春晖计划项目(Z2011027)

作者简介: 吕荣芳(1991-),女,硕士研究生,主要从事城市地理和景观生态研究。E-mail: lvrf13@lzu.edu.cn

通讯作者: 张建明。E-mail: jmzhang@lzu.edu.cn

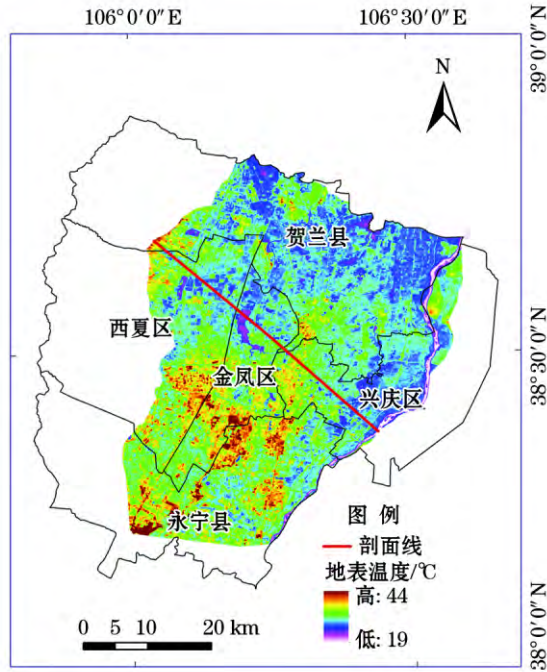


图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Geographical location of the study area

表 1 银川市所用遥感数据

Tab. 1 The acquired remote sensing data

成像时间	卫星/传感器	轨道号	空间分辨率/m
1989-09-17	Landsat4/TM	129/33	可见光、近红外 30, 热红外 120
2000-07-13	Landsat7/ETM <sup>+</sup>	129/33	可见光、近红外 30, 热红外 60, 全色波段 15
2013-09-11	Landsat8/OLI&TIRS	129/33	可见光、近红外 30, 全色波段 15

分标准, 将研究区划分为绿地、建设用地、水体和裸地等 4 种类型。在 Arc GIS 10.1 中通过目视解译获得土地利用分类图。

### 2.2 单波段地表温度计算

对于 1989 年和 2000 年的影像数据, 因为只有一个热红外数据, 所以, 对地表温度的反演采用覃志豪单窗算法。算法如下<sup>(10)</sup>:

$$LST = \{ a_6(1 - C_6 - D_6) + (b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6) T_6 - D_6 T_a \} / C_6 \quad (1)$$

式中:  $a_6 = -67.355351$ ,  $b_6 = 0.458608$ ;  $C_6$ 、 $D_6$  是中间变量,  $C_6 = \varepsilon_6 \tau_6$ ,  $D_6 = (1 - \tau_6)$ <sup>(11)</sup>;  $T_6$  为亮度温度, 可求算;  $LST$  为地表温度 (K);  $T_a$  为大气平均作用温度;  $\tau_6$  为大气透射率;  $\varepsilon_6$  为地表比辐射率。

首先计算亮度温度, 算法如下:

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

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

式中:  $L_{\min}$ 、 $L_{\max}$  为热红外波段中最小和最大辐射值, 可在遥感影像元数据文件中获得;  $L_6$  为大气顶部辐射亮度;  $T_6$  为像元的亮度温度 (K);  $K_1$ 、 $K_2$  为卫星发射前预设的常量<sup>(11)</sup>。

然后计算 2 期影像的大气平均作用温度, 利用中纬度夏季平均大气作用温度估算模型。

$$T_a = 16.0110 + 0.92621T_0 \quad (4)$$

式中:  $T_0$  为当地平均近地面气温。经计算, 1989 年 9 月 17 日,  $T_a = 287.53$ ; 2000 年 7 月 13 日,  $T_a = 292.90$ 。

覃志豪等<sup>(12-13)</sup>运用大气模拟程序 LOWTRAN7 模拟大气水分含量变化与大气透射率变化之间的关系, 研究发现, 可以建立一些简单的方程, 用来进行 TM6 的大气透射率估算。整层大气的水汽总量  $w$  可表示为<sup>(14)</sup>:

$$w = 0.132 + 0.172e \quad (5)$$

$$e = 0.6108 \times \exp \left[ \frac{17.27(T_0 - 273)}{273.3 + T_0 - 273} \right] \times RH \quad (6)$$

式中:  $e$  为绝对水汽压 (hPa);  $RH$  为相对湿度;  $T_0$  为近地面大气温度 (K)。

根据上述方法, 结合气象数据, 估算了 2 个时相的大气透射率 (表 2)。

表 2 大气透射率估算结果

Tab. 2 Estimated results of Atmospheric transmittance

	$T_0$ /°C	相对湿度 /%	水汽压 /hPa	大气水汽含量 /(g·cm <sup>-2</sup> )	透射率
1989-09-17	20	0.48	11.22	2.06249	0.79348
2000-07-13	25.8	0.56	18.60	3.33166	0.64410

采用 Sobrino 的植被指数混合模型算法, 估算地表比辐射率<sup>(11, 15)</sup>。

### 2.3 双波段地表温度计算

劈窗算法最初是为反演海面温度开发的, 具体地说是针对 NOAA/AVHRR 的 4 和 5 通道设计的。随着遥感研究的深入, 逐步转移到陆地表面温度的反演<sup>(16)</sup>。前人关于劈窗算法的研究有很多, 覃志豪等<sup>(17)</sup>对比分析了多种劈窗算法。Landsat 8 的 2 个热红外波段和 NOAA/AVHRR 的 4 和 5 通道的波长

范围基本一致,本文采用 Sobrino 等<sup>(18-19)</sup>算法进行计算。其简化公式如下:

$$LST = T_{10} + 1.40(T_{10} - T_{11}) + 0.32(T_{10} - T_{11})^2 + 0.83 + (57 - 5W)(1 - \varepsilon) - (161 - 30W)(\varepsilon_{10} - \varepsilon_{11}) \quad (7)$$

式中:  $LST$  为地表温度(K);  $T_{10}$  和  $T_{11}$  为第 10 波段和第 11 波段反演的亮度温度;  $W$  为大气水汽含量( $g \cdot cm^{-2}$ );  $\varepsilon = (\varepsilon_{10} + \varepsilon_{11})/2$ ,  $\varepsilon_{10}$  和  $\varepsilon_{11}$  为波段 10 和 11 的比辐射率。式中未知量主要有亮度温度、地表比辐射率和大气水汽含量。

首先是反演地表的亮度温度,公式如下:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (8)$$

$$T = K_2 / \ln \left( \frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right) \quad (9)$$

式中:  $T$  为地表亮度温度;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $M_L$ ,  $A_L$  都可以从影像头文件中获得;  $Q_{cal}$  为影像灰度值。

然后是计算大气的水汽含量, Li 等<sup>(20)</sup>提出了劈窗的协方差和方差比的方法来反演大气可降水汽含量。公式如下:

$$W = c_1 + c_2 \tau_5 / \tau_4 \quad (10)$$

其中:

$$\frac{\tau_5}{\tau_4} = \frac{\sum_{k=1}^N (T_{4k} - \bar{T}_4) (T_{4k} - \bar{T}_5)}{\sum_{k=1}^N (T_{4k} - \bar{T}_5)^2}$$

$$c_1 = 28.097 - 15.674 \sec(vza) + 3.392 \sec^2(vza)$$

$$c_2 = -28.487 + 16.144 \sec(vza) - 3.501 \sec^2(vza)$$

式中:  $vza$  为观测天顶角。

地表比辐射率的计算主要根据 NDVI 阈值法<sup>(11,15)</sup>进行估算。将地表分为水体/植被/裸土区 3 个不同区域,建立比辐射率反演模型。

## 2.4 热力景观类型划分

鉴于热岛研究主要侧重的是下垫面温度相对强弱的空间分布特征,而季节的不同改变的只是亮温的强度(即亮温大小),并不改变亮温的空间分布<sup>(21)</sup>。因此,根据标准差分类法<sup>(22-23)</sup>将研究区划分为强热岛、弱热岛、常温区、弱冷岛和强冷岛 5 个等级,如表 3 所示。

## 2.5 城市化水平与景观演变动态度

结合前人研究成果<sup>(24-25)</sup>在影响城市化进程的诸多因素中,选取人口城市化水平( $X_1$ )、产业结构( $X_2$ )、居民生活水平( $X_3$ )、经济水平( $X_4$ )、服务设

表 3 热力景观类型划分标准

Tab. 3 Classification standards of thermal landscapes

热力景观类型	范围/°C	类型定义
1	$< T - 1.5T_{sd}$	强冷岛
2	$T - 1.5T_{sd} \sim T - 0.5T_{sd}$	弱冷岛
3	$T - 0.5T_{sd} \sim T + 0.5T_{sd}$	常温区
4	$T + 0.5T_{sd} \sim T + 1.5T_{sd}$	弱热岛
5	$> T + 1.5T_{sd}$	强热岛

$T$  为地表温度;  $T_{sd}$  为标准差。

施水平( $X_5$ ) 5 项量化指标反映城市化发展,构建城市化发展指标  $k$  和城市化年均发展水平指标  $Y$ 。

$$X'_i = X_i / \max X_i \quad (11)$$

$$k = \sum X'_i \quad (12)$$

$$Y = (k_{j+m} - k_j) / m \quad (13)$$

式中:  $X_i$  为某年  $i$  指标的原始值;  $\max X_i$  为该指标 1989—2012 年的最大值;  $X'_i$  为该指标的标准化值,  $i = 1, 2, \dots, 5$ ;  $j$  为年份。

动态度指数综合考虑了研究时段内土地利用类型间的转移,其着眼点在于变化的过程而非结果。计算公式为<sup>(26)</sup>:

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{ij}}{\sum_{i=1}^n LU_i} \times 100\% \quad (14)$$

式中:  $LU_i$  为研究期初  $i$  类土地利用类型面积;  $\Delta LU_{ij}$  为研究时段内  $i$  类土地利用类型转为  $j$  类( $j \neq i$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ) 土地利用类型的面积<sup>(27)</sup>。

## 2.6 不同土地利用类型的热效应定量评价方法

热效应贡献度( $H$ )指不同温度的地类对区域平均温度的影响程度,即对区域热环境的贡献。计算公式如下<sup>(28)</sup>:

$$H = H' / \sum_{i=1}^n H' \times 100\% \quad (15)$$

$$H' = \sum_{j=1}^{n_0} (T_j - T_0) \times n_0 / T_0 N \times 100\% \quad (16)$$

式中:  $T_j$  为地类  $i$  中高于研究区平均温度的第  $j$  个像元的温度;  $T_0$  为研究区的平均温度;  $n_0$  为地类  $i$  中温度高于区域平均温度的像元数量;  $N$  表示研究区土地面积(用像元数表示);  $H'$  为初始热效应贡献度。

热单元权重指数  $D_1$  表示高于平均温度的地块面积在本土地利用类型中所占的比重,区域热单元权重指数  $D_2$  表示高于平均温度的地块占区域总面积的比重,计算方法如下:

$$D_1 = n_0 / N_i \times 100\% \quad (17)$$

$$D_2 = n_0 / N \times 100\% \quad (18)$$

式中:  $N_i$  表示地类  $i$  的面积(用像元数表示)。

运用上述方法,在 ENVI5.0(SP3) 和 Arc GIS 软件平台上,分别对银川市 1989 年、2000 年和 2013 年的遥感影像进行处理,反演银川市的地表温度,对反演得到的地表温度进行标准差处理,并进行密度分割,得到了 1989 年、2000 年和 2013 年银川市热力景观类型的分布图。利用 Fragstats 4.0 软件对热力景观类型图进行景观格局指数计算,然后进行分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 银川市城市化发展进程分析

城市化进程在空间上体现为建设用地面积不断扩张的过程。在城市化的不同发展阶段,景观演变也相应地体现出不同的特征<sup>(2)</sup>。1978—2011 年银川市城市化水平不断提高,提高的速度不断增大(图 2)。采用景观演变动态度<sup>(29)</sup>表示不同城市化阶段景观变化程度的差异。就本文的研究时段而言,研究区在 1989—2000 年景观总体动态度为 35.09%,城市化年均发展水平指数为 0.061 3; 2000—2013 年分别为 39.64% 和 0.188 8,表明了 2 个阶段的城市化与景观变化特征存在差距。1989—2000 年是银川市城市化低速发展阶段,景观演变速度相对缓慢,大片的裸地被开发,转变为耕地和建设用地; 2000—2013 年为银川市城市化高速发展阶段,景观变化剧烈,城市建设用地迅速扩张,由传统农业地区迅速转变为高速城市化地区。

#### 3.2 银川市热环境空间格局

银川市城区温度明显高于周边郊区,但建成区内部并不全是高温区域,反而有许多温度较低区域,主要是绿地和水体所致。主城区西南部大面积的裸

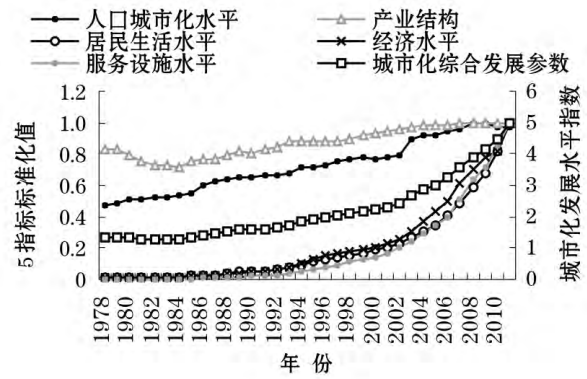


图 2 1978—2011 年银川市城市化发展水平综合指数及其 5 指标标准化数值

Fig. 2 Comprehensive index and normalized values of five indexes of urbanization in Yinchuan from 1978 to 2011

地和研究区西北部的贺兰山山前未利用地形成了高温区域,此外,还有东北部的黄河河漫滩未利用地。除了一些坑塘湖泊,黄河亦是一条很明显的低温带。研究区中有很大大一部分为耕地和草地,地表温度低,建成区和大面积的裸地地表温度较高,明显高于周围绿地(图 1)。

利用 Arc GIS 的空间剖面工具在 2013 年的地温栅格图上以 NW-SE 方向(起点: 106°2'34"E, 38°40'47"N 终点: 106°26'17"E, 38°22'31"N)作一剖面,可明显观察到地温随下垫面的变化态势以及从市中心向郊区温度的明显下行趋势(图 3)。

#### 3.3 不同土地利用类型的热环境效应

不同土地利用类型对城市热环境的贡献不同<sup>(30-32)</sup>。将土地利用类型栅格图和银川市地表温度栅格图进行空间叠加,得到各种土地利用类型地表温度平均值和标准差。由表 4 可知,各土地利用类型地表温度平均值排序为:裸地 > 建设用地 > 绿地 > 水体。建设和裸地的标准差不断减小,而

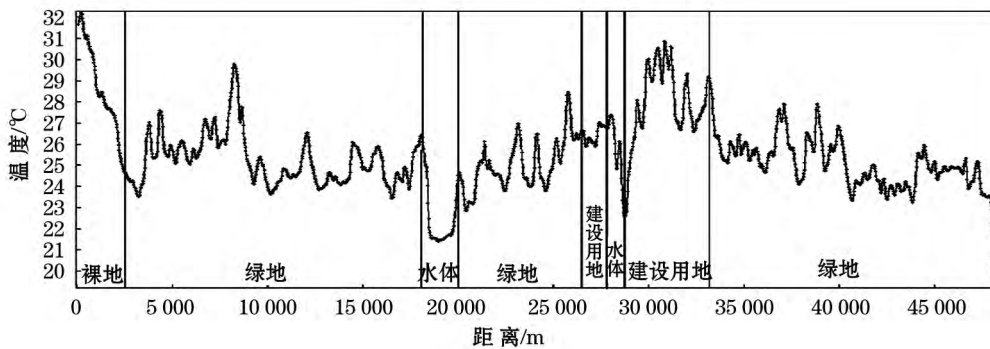


图 3 地表温度空间分布剖面图

Fig. 3 Profile of LST distribution

表 4 不同土地利用类型地表温度变化状况

Tab. 4 Change of LST in different land use types

类型	平均值/℃			标准差/℃		
	1989年	2000年	2013年	1989年	2000年	2013年
建设用地	21.974	21.151	28.116	3.864	2.155	1.810
裸地	26.113	23.614	29.657	4.295	2.566	2.582
绿地	20.254	18.894	25.632	3.644	1.634	1.721
水体	18.586	18.017	22.292	3.175	1.569	2.220

绿地和水面则是先减小后增大,表明建设用地和裸地的温度不均一性降低,绿地和水体的温度不均一性先降低后升高。

由表 5 可知,在低速城市化阶段,对银川市热效应贡献度最大的地类为裸地,且热贡献度不断增大。而在高速城市化阶段,最大地类从裸地变为绿地,绿地的热贡献度由 1989 年的 32.27 降低为 2000 年的 14.03,而后升高到 2013 年的 34.45。在城市化所有阶段中,建设用地的贡献度迅速增加,水体的贡献度则不断减少。导致这种格局的原因除去影像获取时间差异外,在低速城市化阶段,大量裸地被开发为建设用地和绿地,建设用地的热贡献度因而增大。基于裸地和绿地的热力性质不同,在绿地大量增多的情况下,裸地的热贡献度增大而绿地的热贡献度减小。在高速城市化阶段,建设用地面积迅速增加,

热贡献度继续增大。分析不同地类的热单元权重指数值,发现裸地和建设用地中温度超过平均温度的地块较多,绿地次之,水域最少。区域热单元权重指数值表明,绿地和建设用地中高于平均温度的地块比重较大,且不断增大,裸地的比重在 2000—2013 年降低明显,水域则持续降低。

### 3.4 城市化不同阶段热力景观变化

#### 3.4.1 城市化低速发展阶段(1989—2000年)

1989—2000 年是银川市城市化低速发展时期,景观层次上热力景观斑块形状趋于复杂化,破碎化程度上升,蔓延度降低,连通性升高,多样性降低;斑块类型水平上,斑块密度均呈增大趋势,相似临接比例度均呈减小趋势;弱冷岛、常温区和强热岛的平均形状指数降低,强冷岛和弱热岛降低;强冷岛和常温区的景观面积百分比升高,而弱冷岛、弱热岛和强热岛的景观面积百分比降低,其中弱冷岛和常温区的景观面积百分比相较于其他类型较大。在城市低速化发展时期,大量的裸地被开发,耕地和建设用地面积增加,大块的斑块不断破碎,所有类型的热景观斑块破碎化程度增大,形状趋于复杂化,同类和不同类的热景观斑块间的连接度均降低,各类热景观斑块间面积比例差异减小(图 4,表 6,表 7)。

表 5 不同地类的热效应贡献度指数

Tab. 5 Thermal effect contribution index of different land use types

	热效应贡献度指数			热单元权重指数			区域热单元权重指数		
	1989年	2000年	2013年	1989年	2000年	2013年	1989年	2000年	2013年
建设用地	17.77	26.26	34.44	51.49	73.44	85.34	8.90	12.69	13.05
裸地	47.31	59.38	30.95	84.11	90.94	95.47	13.48	14.57	7.47
绿地	32.27	14.03	34.45	23.06	25.28	29.65	12.88	14.12	21.95
水域	2.65	0.33	0.17	13.71	5.22	4.29	1.48	0.57	0.12

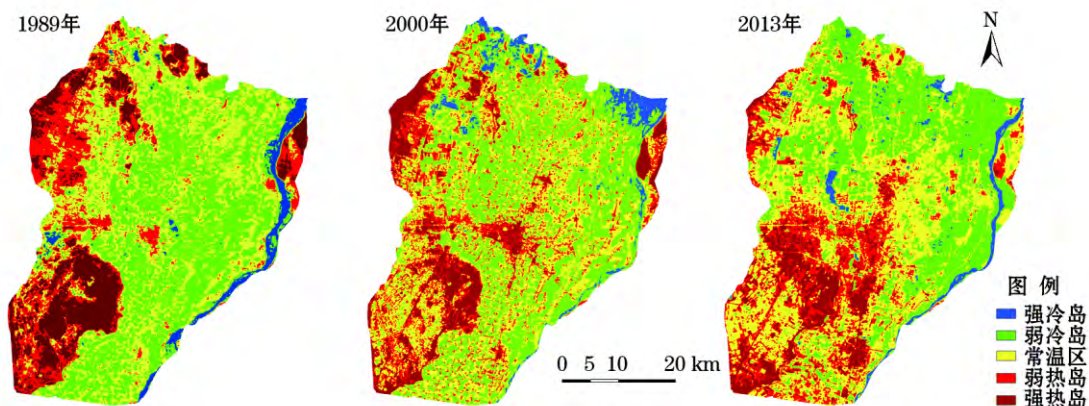


图 4 银川市 3 a 热力景观格局空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of thermal landscapes in the study area in 3 years

表 6 景观尺度水平指数动态变化

Tab. 6 Dynamic change of level indexes at landscape scale

年份	边缘密度 ( $m \cdot hm^{-2}$ )	面积加权分 维数	斑块密度 /100 $hm^2$	蔓延度指数 /%	散布与并列指数 /%	香农多样性 指数
1989	39.909 6	1.281 7	1.911 7	48.776 8	46.819 9	1.397 2
2000	67.840 6	1.300 5	5.378 5	45.992 9	49.890 4	1.362 6
2013	42.437 3	1.286 0	2.348 5	50.090 7	51.662 5	1.339 1

表 7 斑块类型尺度水平指数动态变化

Tab. 7 Dynamic change of level indexes at patch type scale

	斑块面积比例/%			斑块密度/100 $hm^2$			平均形状指数			相似邻接比例度/%		
	1989 年	2000 年	2013 年	1989 年	2000 年	2013 年	1989 年	2000 年	2013 年	1989 年	2000 年	2013 年
强冷岛	3.29	3.47	2.54	0.06	0.22	0.11	1.31	1.33	1.28	95.69	92.54	93.53
弱冷岛	34.77	33.32	31.89	0.56	1.53	0.57	1.35	1.30	1.35	94.56	92.21	95.37
常温区	33.71	38.35	39.49	0.64	1.23	0.59	1.39	1.31	1.37	92.93	89.19	93.73
弱热岛	15.72	15.18	17.68	0.41	1.68	0.65	1.33	1.38	1.39	92.75	83.30	90.08
强热岛	12.51	9.68	8.41	0.25	0.71	0.43	1.35	1.28	1.28	95.86	92.26	92.92

### 3.4.2 城市化高速发展阶段(2000—2013 年)

2000—2013 年是银川市城市化高速发展时期,景观层次上热力景观形状趋于规则化,破碎化程度降低,蔓延度升高,连通性升高,多样性降低;在斑块类型水平上,破碎度降低,相似邻接比例度升高;强冷岛、弱冷岛和强热岛的面积比重降低,而常温区和弱热岛的面积比例升高;强冷岛和强热岛的形状指数降低,斑块形状趋于规则化,而弱冷岛、常温区和弱热岛的形状指数升高,形状趋于复杂化。在城市高速化阶段,建设用地迅速扩张,小斑块迅速连接聚集成大斑块,研究区整体和各类斑块的破碎度均降低,不同类型斑块间的连通性升高,相同类型热景观斑块的集聚度升高,各类热景观斑块面积比重差异降低,冷岛和强热岛的优势度降低,常温区和弱热岛的优势度升高,温度偏高地区面积增大,温度极端部分斑块形状趋于规则化,中间部分的斑块形状则趋于复杂化(图 4 表 6 表 7)。

### 3.5 热力景观格局指数与地表温度的关系

景观格局指数可以量化描述景观格局和变化

过程,因此,建立土地利用景观格局指数与地表温度的关系,以反映土地利用变化对地表温度的影响。

在研究区中生成  $5 km \times 5 km$  的网格,挑选覆盖城区及其周围的 39 个样本,批量裁剪 3 期土地利用图,利用 Fragstats 软件计算每个样本的类型水平和景观水平的相应景观格局指数,并在 Arc GIS 中统计每个网格对应的地表平均温度,分析景观格局指数和地表温度的关系。

从表 8 可以看出,地表温度与各景观水平上格局指数没有较为显著的相关性,而各景观格局指数之间有不同程度的显著相关性,可见,在整个景观水平上地表温度与景观格局指数之间没有很好的整体相关性。

从表 9 可以看出,绿地和裸地的景观格局指数与地表温度之间的相关系数较大,表明绿地和裸地的空间布局对地表温度的影响更大。对于绿地,地表温度与其斑块密度成正相关,与斑块类型面积、最大斑块指数、边缘密度和散布及并列指数成负相关。表明在一定区域范围内,绿地斑块的面积越大,最大

表 8 地表温度和景观格局指数的相关系数

Tab. 8 Correlation coefficients between LST and landscape pattern index

年份	斑块密度	最大斑块指数	边缘密度	周长面积比分维数	蔓延度	香农多样性指数	香农均匀度指数
1989	-0.206	-0.151	0.018	-0.005	-0.142	0.123	0.161
2000	-0.282	-0.005	-0.077	-0.053	0.008	-0.011	0.007
2013	-0.366*	0.161	-0.214	-0.099	0.197	-0.190	-0.186

\* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

表 9 地表温度与不同土地利用类型的景观格局指数的相关系数

Tab.9 Correlation coefficients between LST and landscape pattern index of different land use types

土地利用类型	年份	斑块面积	斑块密度	最大斑块指数	边缘密度	散布与并列指数
建设用地	1989	0.103	-0.232	0.088	0.054	0.181
	2000	0.170	-0.230	0.202	0.027	-0.101
	2013	0.279	-0.573**	0.286	-0.407*	0.342
裸地	1989	0.931**	-0.061	0.916**	0.571**	0.591**
	2000	0.702**	-0.272	0.725**	0.206	0.519**
	2013	0.830**	-0.428	0.837**	0.832**	0.084
绿地	1989	-0.963**	0.416**	-0.934**	-0.091	-0.397*
	2000	-0.755**	0.247	-0.719**	-0.101	-0.432**
	2013	-0.812**	0.314	-0.815**	-0.196	-0.135
水体	1989	-0.581**	-0.494**	-0.605**	-0.226	0.161
	2000	-0.348*	-0.522**	-0.379*	-0.382*	-0.024
	2013	-0.476*	-0.057	-0.466*	-0.199	0.148

\* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关,\*\* 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

斑块越大,破碎化程度越低,边缘形状越复杂,同类斑块间的连通性越高,则该区域的地表平均温度越低。对于裸地,地表温度与其斑块面积、最大斑块指数、边缘密度和散布及并列指数成正相关,与斑块密度成负相关。表明在一定区域范围内,裸地斑块的面积越大,破碎化程度越低,最大斑块越大,边缘形状越复杂,同类斑块间的连通性越高,则该区域的地表平均温度越高。另外,裸地和绿地的变化特征正好相反,这与二者的热力性质有关。

## 4 结论

(1) 银川市城内存在明显的热岛效应,热景观格局总体分布与建成区和裸地分布基本一致。通过对不同地类温度的统计分析,得到不同土地利用类型地表温度为:裸地 > 建设用地 > 绿地 > 水体。由剖面线可知,从市中心向郊区温度呈现明显的下行趋势。

(2) 1989—2013 年银川市的城市化以 2000 年为界划分为城市化低速发展阶段和城市化高速发展阶段,不同城市化阶段中银川市的热力景观格局变化特征不同,不同土地利用类型的热环境效应变化也不同。

(3) 对热力景观格局指数和地表温度进行相关性分析,绿地和裸地的空间布局对地表温度的影响更大,地表温度与裸地类型的景观格局指数的相关关系和地表温度与绿地类型的景观格局指数的相关

关系相反。

## 参考文献(References):

- (1) 陈爱莲,孙然好,陈利顶.基于景观格局的城市热岛研究进展(J).生态学报,2012,32(14):4553-4565.(Chen Ailian,Sun Ranhao,Chen Liding.Studies on urban heat island from a landscape pattern view:A review(J).Acta Ecologica Sinica,2012,32(14):4553-4565.)
- (2) 谢苗苗,王仰麟,李贵才,等.不同城市化阶段景观演变的热环境效应动态:以深圳西部地区为例(J).地理研究,2009,28(4):1085-1094.(Xie Miaomiao,Wang Yanglin,Li Guicai,et al.Thermal environment effect dynamic of landscape changes in different urbanization phases:A case study of western Shenzhen(J).Geographical Research,2009,28(4):1085-1094.)
- (3) 岳文泽.基于遥感影像的城市景观格局及其热环境效应研究(D).上海:华东师范大学,2005:1-3.(Yue Wenzhe.Research on Urban Landscape Pattern and Thermal Environment Effect Based on Remote Sensing Data(D).Shanghai:East China Normal University,2005:1-3.)
- (4) 邬建国.景观生态学——格局、过程、尺度与等级(M).北京:高等教育出版社,2000:6-11.(Wu Jianguo.Landscape Ecology:Pattern,Process,Scale and Level(M).Beijing:High Education Press,2000:6-11.)
- (5) Voogta J A,Oke T R.Thermal remote sensing of urban climate(J).Remote Sensing of Environment,2003,86:370-384.
- (6) 张小飞,王仰麟,吴健生,等.城市地域地表温度-植被覆盖度量关系分析:以深圳市为例(J).地理研究,2006,25(3):369-377.(Zhang Xiaofei,Wang Yanglin,Wu Jiansheng,et al.Study on land surface temperature vegetation cover relationship in urban region:A case in Shenzhen city(J).Geographical Research,2006,

- 25(3):369-377.)
- (7) 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.(Bai Yang,Wang Xiaoyun,Jiang Haimei,et al. Progress of urban island effect(J). Journal of Meteorology and Environment,2013,29(2):101-106.)
- (8) 潘竟虎,任皓晨,秦晓娟,等.嘉峪关市瞬时热力场空间格局的遥感分析(J).城市环境与城市生态,2007,20(5):39-42.(Pan Jinghu,Ren Haochen,Qin Xiaojuan,et al. Analysis on instantaneous spatial pattern of thermal force field in Jiayuguan City(J). Urban Environment & Urban Ecology,2007,20(5):39-42.)
- (9) 苏伟忠,杨英宝,杨桂山.南京市热场分布特征及其与土地利用/覆被关系研究(J).地理科学,2005,25(6):697-703.(Su Weizhong,Yang Yingbao,Yang Guishan. Distributional characteristics of urban thermal space and relations with land use/cover of Nanjing(J). Scientia Geographica Sinica,2005,25(6):697-703.)
- (10) Sobrino J A,Jimenez-Munoz J C,Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM5(J). Remote Sensing of Environment,2004,90(4):434-440.
- (11) Sobrino J A,Jimenez-Munoz J C,Soria G,et al. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors(J). IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2008,46(2):316-327.
- (12) 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(18):3719-3746.
- (13) 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,2003,15(2):37-43.(Tan Zhihao, Li Wenjuan,Zhang Minghua,et al. Estimating of the essential atmospheric parameters of mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat TM6(J). Remote Sensing for Land & Resources,2003,15(2):37-43.)
- (14) 杨景梅,邱金桓.用地面湿度参量计算我国整层大气可降水量及有效水汽含量方法的研究(J).大气科学,2002,26(1):9-22.(Yang Jingmei,Qiu Jinheng. A method for estimating precipitable water and effective water vapor content from ground humidity parameters(J). Chinese Journal of Atmospheric Science,2002,26(1):9-22.)
- (15) 孙志伟,唐伯惠,吴焯,等.通用劈窗算法的 NOAA-18(N) AVHRR/3 数据地表温度遥感反演与验证(J).地球信息科学学报,2013,15(3):431-439.(Sun Zhiwei,Tang Bohui,Wu Ye,et al. Retrieval and validation of land surface temperature with general split-window algorithm from NOAA-18(N) AVHRR/3 data(J). Journal of Geo-Information Science,2013,15(3):431-439.)
- (16) 毛克彪,覃志豪,施健成,等.针对 MODIS 影像的劈窗算法研究(J).武汉大学学报,2005,30(8):703-707.(Mao Kebiao,Tan Zhihao,Shi Jiancheng,et al. The research of split-window algorithm on the MODIS(J). Geomatics and Information Science of Wuhan University,2005,30(8):703-707.)
- (17) 覃志豪,Zhang Minghua,Arnon Karnieli.用 NOAA-AVHRR 热通道数据演算地表温度的劈窗算法(J).国土资源遥感,2001,13(2):33-42.(Tan Zhihao,Zhang Minghua,Arnon Karnieli. Split window algorithms for retrieving land surface temperature from NOAA-AVHRR data(J). Remote Sensing for Land & Resources,2001,13(2):33-42.)
- (18) Sobrino J A,Li Z L,Becker M P S F. Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ASTER data(J). International Journal of Remote Sensing,1996,17(11):2089-2114.
- (19) Sobrino J,Raissouni N. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco(J). International Journal of Remote Sensing,2000,21(2):353-366.
- (20) Li Z L. A new approach for retrieving perceptible water from ATER2 split-window channel data over land area(J). International Journal of Remote Sensing,2003,24:5095-5117.
- (21) 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.(Xu Hanqiu,Chen Benqing. An image processing technique for the study of urban heat island change using different seasonal remote sensing data(J). Remote Sensing Technology and Application,2003,18(3):129-133.)
- (22) 李少青,陈学业,莫宏伟.长沙都市区热力景观空间格局分析(J).地理与地理信息科学,2012,28(6):81-84.(Li Shaoqing,Chen Xueye,Mo Hongwei. Analysis on spatial gradients pattern of thermal environment landscape in Changsha metropolitan area(J). Geography and Geo-Information Science,2012,28(6):81-84.)
- (23) Weng Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect(J). American Society for Photogrammetry and Remote Sensing,2003,69(5):555-556.
- (24) 安瓦尔·买买提明,张小雷,杨德刚.新疆和田地区城市化与土地利用变化的定量分析(J).中国人口·资源与环境,2009,19(6):137-141.(Anwaer Maimaitiming,Zhang Xiaolei,Yang Degang. Urbanization and land use change in Hotian district,Xinjiang(J). China Population,Resources and Environment,2009,19(6):137-141.)
- (25) 李雪铭,张春花,张馨,等.城市化与城市人居环境关系的定量研究:以大连市为例(J).中国人口·资源与环境,2004,14(1):91-96.(Li Xueming,Zhang Chunhua,Zhang Xin,et al. Quantitative research on urbanization and environment for human settlements-take Dalian as an example(J). China Population,Resources and Environment,2004,14(1):91-96.)
- (26) 胡召玲,杜培军,赵昕.徐州煤矿区土地利用变化分析(J).地理学报,2007,62(11):1204-1214.(Hu Zhaoqing,Du Peijun,



- Zhao Xin. Land use changes in Xuzhou coal mining area (J). *Acta Geographica Sinica* 2007 62(11):1 204 – 1 214. )
- (27) 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论 (J). *地理学报* 2003 58(5):643 – 650. (Zhu Huiyi, Li Xiubin. Discussion on the index method of regional land use change (J). *Acta Geographica Sinica* 2003 58(5):643 – 650. )
- (28) 刘宇, 匡耀求, 吴志峰, 等. 不同土地利用类型对城市地表温度的影响: 以广东东莞为例 (J). *地理科学* 2006 26(5):597 – 602. (Liu Yu, Kuang Yaoqiu, Wu Zhifeng, et al. Impact of land use on urban land surface temperature: A case study of Dongguan, Guangdong Province (J). *Science Geographica Sinica* 2006 26(5):597 – 602. )
- (29) 胡召玲, 杜培军, 赵昕. 徐州煤矿区土地利用变化分析 (J). *地理学报* 2007 62(11):1 204 – 1 214. (Hu Zhaoling, Du Peijun, Zhao Xin. Land use changes in Xuzhou coal mining area (J). *Acta Geographica Sinica* 2007 62(11):1 204 – 1 214. )
- (30) 周红妹, 周成虎, 葛伟强, 等. 基于 RS 和 GIS 的城市热场分布规律研究 (J). *地理学报* 2001 56(2):189 – 197. (Zhou Hongmei, Zhou Chenghu, Ge Weiqiang, et al. The surveying on thermal distribution in urban based on GIS and Remote Sensing (J). *Acta Geographica Sinica* 2001 56(2):189 – 197. )
- (31) Li J H. Study of relation between land-cover conditions and temperature based on Landsat/TM data (J). *Remote Sensing Technology and Application* 1998 13(1):18 – 28.
- (32) 张新乐, 张树文, 李颖, 等. 城市热环境与土地利用类型格局的相关性分析: 以长春市为例 (J). *资源科学* 2008 30(10):1 564 – 1 570. (Zhang Xinle, Zhang Shuwen, Li Ying, et al. Correlation between urban thermal environment effect and land use pattern in Changchun (J). *Resources Science* 2008 30(10):1 564 – 1 570. )

## Evolution of Thermal Landscape Pattern in Urbanization of Yinchuan City in Recent 25 Years

LV Rong-fang<sup>1</sup>, WANG Hao<sup>1</sup>, WANG Peng-long<sup>2</sup>, ZHANG Jian-ming<sup>1</sup>

(1. College of Earth and Environment Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China;

2. Information Center for Resources and Environment Sciences, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China)

**Abstract:** Based on the Landsat images and statistical data, in this paper the urbanization process and thermal landscape dynamics of Yinchuan City were analyzed. The objectives of this study were as follows: ① To analyze the spatial and dynamic characteristics of urban thermal landscapes based on the landscape pattern index; ② To assess the influence of the urbanization process on the thermal landscapes; ③ To understand the relationship between the land use pattern and the land surface temperature (LST) based on the distribution index. The results showed that there was a significant heat-island effect in Yinchuan City, and the high temperature area was consistent with the built-up area and the unused land. LST declined from the downtown to the suburbs, and an obvious difference of the dynamic characters of the thermal landscapes could be identified at the different stages of urbanization. LST for various land use had obvious discrepancies, the mean LST for the land use types was in a descending order of unused land, construction land, green land and water body. Different land use types had different thermal distribution at different stages of urbanization. The land use pattern influenced the urban thermal environment, especially the spatial distribution of green land and unused land affected LST more significantly.

**Key words:** urbanization; Landsat8 TIRS; the land surface temperature (LST); thermal distribution degree; landscape pattern; Yinchuan