

# 基于 Landsat TM/TIRS 的重庆市 主城区热岛效应研究

张宇<sup>1</sup>, 赵伟<sup>2</sup>, 龙凤<sup>2</sup>, 黄婧<sup>2</sup>, 刘婷<sup>2</sup>

(1. 重庆工商大学 环境与生物工程学院, 重庆 400067; 2. 重庆工商大学 旅游与国土资源学院, 重庆 400067)

**摘要:**使用 Landsat 数据对 2001—2013 年重庆市主城热岛进行研究,选取 2001 年、2007 年的 TM、2013 年的 TIRS 三期夏季影像,采用单窗算法反演出地表温度。在此基础上,对主城热岛时空演化的整体特征、热岛强度进行分析,得出以下结论:(1) 重庆市高温地表主要分布在主城建成区内,由过去呈一点向多点、零散向成片的分布,发展至目前呈多片块、多中心均衡分布,并有持续向外扩展的趋势;(2) 市区内绿化较好或有水体覆盖区域,对城市高温起到一定的缓解作用,而长江、嘉陵江表面温度与陆上地表温度相差较大;(3) 13 年间交通线路的发展带动了周围地区及周边区县的城市化发展,使得传统的高温区温度有所降低,在交通路线所能达到的地方形成新的高温区;(4) 2001 年热场变异指数为 0.63,2007 年为 0.49,2013 年达到 0.66,较高的热场变异指数使得重庆市热岛强度处于较高水平。

**关键词:**热岛效应;单窗算法;Landsat TM/TIRS

中图分类号:P463.3; TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0191-06

## Study of Urban Heat Island Based on Landsat TM/TIRS in the Central Area of Chongqing City

ZHANG Yu<sup>1</sup>, ZHAO Wei<sup>2</sup>, LONG Feng<sup>2</sup>, HUANG Jing<sup>2</sup>, LIU Ting<sup>2</sup>

(1. Department of Environmental and Biological Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 2. School of Tourism and Land Resource, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

**Abstract:** Landsat data from 2001 to 2013 were used to study Chongqing City urban heat island, and summer images of 2001, 2007 and 2013 were selected to calculate the surface temperature via mono-window algorithm. On this basis, temporal and spatial variations of urban heat island in Chongqing City were analyzed. The results showed that: (1) high surface temperature areas of Chongqing distributed in urban area, from the past, it distributed from one to multi points, scattered to the plots, developed the present more balanced distribution of pieces, multi center, and had continued to expand outward trend; (2) those areas covered with green vegetation and water could alleviate high-temperature in downtown, and it differed quite largely between the Yangtze River, Jialing River and land surface in temperature; (3) development of transport routes led to the development of the nearby areas of the city and counties during the 13 years, decreased the traditional high-temperature areas, shaped new high-temperature areas where the traffic route can be reached; (4) the thermal field variability index was 0.63 in 2001, was 0.49 in 2007, and had reached 0.66 in 2013, ranking Chongqing high in China. The thermal field variability index changes differently in different areas during the study time. The urban heat island should be remained where it eased or be monitored where it enhanced or added.

**Keywords:** urban heat island effect; Mono-window algorithm; Landsat TM/TIRS

城市热岛(Urban Heat Island, UHI)是指城市污染以及人工废热的排放等使城市温度明显高于郊区,发展到一定规模,由于城市下垫面性质的改变、大气区,形成的类似高温孤岛现象<sup>[1]</sup>。随着人口不断增

收稿日期:2014-11-18

修回日期:2015-01-20

资助项目:教育部人文社科项目(13YJCZH268);重庆市决策咨询与管理创新项目(cstc2013jccx A0158);重庆市教委科技项目(KJ120726);重庆工商大学青年博士资助项目“丘陵山地区旱灾综合风险评估及管理对策研究:以重庆市为例”(1351009)

第一作者:张宇(1990—),男,广东惠州人,硕士研究生,研究方向为环境规划与管理。E-mail:imwuqingde@163.com

通信作者:赵伟(1982—),男,江苏连云港人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事 3S 技术与国土资源环境、土地政策研究。E-mail:zhao-wei811330@163.com

长,城市化水平不断提高,城市热岛不断加剧,使原本炎热的夏日变得更加酷热难耐,增加高温灾害的发生率,并提升人类患心血管疾病的机率,对人类健康造成直接危害<sup>[2]</sup>。同时使能源消耗增加,环境质量下降,大气污染物分布特征改变,严重影响城市物候生态平衡。

开展城市热岛效应的研究最早可以追溯到 19 世纪初期,Howard 在对伦敦城区和郊区的气温进行同时间的对比观测后,首次发现了这种城区气温比其四周郊区气温高的现象。国外针对城市热岛效应的研究主要集中在形成机制和缓解机制两个方面<sup>[3-4]</sup>,以 MODIS 和 Landsat TM/ETM+ 数据为主<sup>[5-6]</sup>,国内有关城市热岛效应的研究可以分为两个层面:从研究区域和尺度范围看,东部沿海发达地区和大中型城市研究成果较多<sup>[7-11]</sup>,研究尺度上从中小型城市到区域性尺度不等<sup>[12-13]</sup>;从数据和方法来看,基于遥感影像反演地表温度的单窗算法和劈窗算法得到了广泛的应用<sup>[14-18]</sup>,基于气象资料的空间数据内插法也取得了丰硕的成果<sup>[19-21]</sup>。

重庆作为长江上游最为重要的经济发展中心城市,直辖至今社会经济已经进入了一个高速发展期,城市化进程十分迅速,大规模的城市建设,工业企业发展导致城市热容量增大,城市下垫面温度增高,城乡温度差异增大,城市热岛强度加剧。本文基于 Landsat TM/TIRS 数据、采用覃志豪<sup>[22-23]</sup>的单窗算法,对重庆主城 9 区 2001 年以来城市热岛效应的时空变化特征开展综合研究,以期对重庆城市环境可持续发展提供借鉴。

## 1 研究区概况

重庆市位于中国内陆西南部、长江上游地区,地貌以丘陵、山地为主,坡地面积较大,有“山城”之称。重庆地势由南向北向长江河谷逐级降低,西北部和中部以丘陵、低山为主,东北部靠大巴山,东南部连武陵山,属于亚热带湿润季风气候,具有冬暖夏热、雨量充沛、湿润多云雾的气候特点,是全国著名的“火炉”城市。重庆主城包含渝中、江北、沙坪坝、南岸等 9 个城区,是重庆市的中心城区,是长江上游地区经济文化中心、西南地区重要交通枢纽、国家重要的制造业基地。由于主城位于长江和嘉陵江交汇处,都市经济圈效应明显,因而作为本文研究划定的主要区域。

## 2 数据及处理

### 2.1 数据来源及预处理

选取 2001 年、2007 年、2013 年夏季卫星影像作为

研究数据。由于 2013 年 7 月影像数据成像质量不佳,对中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)提供的 2013 年气温日值数据进行统计发现,6 月、7 月气温日值数据均值分别为 30.9、34.5℃,标准差分别为 0.73、1.11,时间序列相关系数为 0.85。由于热岛效应研究对象为城乡温度差异,因此可以选择 6 月份影像作为研究数据,其中 2001 年、2007 年数据为 Landsat TM 影像,2013 年为 Landsat OLI/TIRS 影像,图像质量较好,云层较少,满足重庆市主城温度反演的要求。所有数据均下载自“地理空间数据云”(<http://www.gscloud.cn/>)。

本研究采用 ENVI 5.0 对基础影像进行前期数据处理,包括辐射定标、大气校正、镶嵌、裁剪等几个步骤。大气校正为了消除大气和光照等因素对地物反射的影响,获得地物反射率、辐射率、地表温度等真实物理模型参数,包括消除大气中的水蒸气、氧气、二氧化碳、甲烷和臭氧等对地物反射的影响;消除大气分子和气溶胶散射的影响<sup>[24]</sup>。使用 FLAASH 大气校正工具进行大气校正,大气校正之前先进行辐射定标,将其像元灰度值(Digital Number, DN)转换为对应的热辐射强度值(Radiance)。

大气校正后的影像,有效消除了大气和薄云对影像的影响,校正后的图像更清晰,经过镶嵌、裁剪,得到预处理影像,为后面温度反演提供基础数据。

### 2.2 地表温度反演

本文使用单窗算法对重庆市主城 9 区地表温度进行反演。单窗算法(Mono-window Algorithm,简称 MW 算法)是由覃志豪等<sup>[22-23]</sup>根据 TM6 波段地表热辐射在大气传输的特性建立的利用 TM 第 6 波段反演地表温度的算法,该算法仅需要 3 个地表参数,即地表比辐射率  $\epsilon_6$ 、大气平均作用温度  $T_a$  和大气透射率  $\tau_6$ 。地表温度( $T_s$ )的计算公式为:

$$T_s = \frac{a(1-C_6-D_6)+[b(1-C_6-D_6)+C_6+D_6]T_{\text{sensor}}-D_6 T_a}{C_6} \quad (1)$$

$$C_6 = \epsilon_6 \tau_6 \quad (2)$$

$$D_6 = (1-\epsilon_6)[1+(1-\epsilon_6)\tau_6] \quad (3)$$

式中: $T_s$ ——地表温度(K); $a, b$ ——常量,一般情况下(地表温度在 0~70℃ 范围内)分别取值为 -67.355 351, 0.458 606<sup>[19]</sup>;  $T_{\text{sensor}}$ ——传感器上的亮度温度; $C_6, D_6$ ——中间变量。

### 2.3 反演参数获取

(1) 亮度温度计算。根据普朗克定律,可以将辐射亮度值转化为亮度温度。

对于 Landsat 5,可以用下式求得影像像元亮度温度<sup>[5]</sup>:

$$T_{\text{sensor}} = \frac{1260.56}{\ln\left[1 + \frac{60.776}{0.1238 + 0.00563256\text{DN}_{\text{TM6}}}\right]} \quad (4)$$

式中:  $\text{DN}_{\text{TM6}}$ ——TM6 的像元 DN 值,  $0 \leq \text{DN}_{\text{TM6}} \leq 255$ ;  $T_{\text{sensor}}$ ——亮度温度值(K)。

对于 Landsat 8, 计算亮度温度的公式为<sup>[25]</sup>:

$$T_{\text{sensor}} = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (5)$$

式中:  $T_{\text{sensor}}$ ——亮度温度(K);  $L_\lambda$ ——辐射亮度值; Landsat 8 TIRS 热红外波段 10 的  $k_1$  字段为 K1\_CONSTANT\_BAND\_10,  $k_2$  字段为 K2\_CONSTANT\_BAND\_10; 同时热红外波段 11 参数也类似。  $k_1, k_2$  字段的值可以直接从影像头文件中获取, 视为已知的值。

(2) 地表比辐射率。本文使用混合像元分解法估算地表比辐射率<sup>[26]</sup>, 将地表划分为水体、城镇、自然表面 3 种地物类型。根据前人的研究成果<sup>[26]</sup>, 将水体像元的比辐射率赋值为 0.995, 自然表面  $\epsilon_s$  和城镇像元  $\epsilon_m$  的比辐射率的估算公式如下:

$$\epsilon_s = 0.9625 + 0.0614\text{FV} - 0.0461\text{FV}^2 \quad (6)$$

$$\epsilon_m = 0.9589 + 0.086\text{FV} - 0.0671\text{FV}^2 \quad (7)$$

$$\text{FV} = \frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_s}{\text{NDVI}_v - \text{NDVI}_s} \quad (8)$$

$$\text{NDVI} = \frac{\beta_4 - \beta_3}{\beta_4 + \beta_3} \quad (9)$$

式中:  $\text{FV}$ ——植被覆盖度, 当像元的  $\text{NDVI} > 0.7$  时,  $\text{FV}$  取值为 1, 当  $\text{NDVI} < 0.05$  时,  $\text{FV}$  取值为 0;  $\text{NDVI}$ ——归一化植被指数;  $\text{NDVI}_v, \text{NDVI}_s$ ——完全被植被覆盖、无植被覆盖的像元  $\text{NDVI}$  值, 植被覆盖茂密时, 取  $\text{NDVI}_v = 0.7$ , 而裸土覆盖时, 取  $\text{NDVI}_s = 0.05$ ;  $\beta_3, \beta_4$ ——红波段和近红外波段的反射率。

(3) 大气平均作用温度和大气透射率。覃志豪给出了大气平均作用温度和大气透射率的估算方法。考虑到重庆市主城区所在纬度为北纬  $29^\circ - 30^\circ$ , 且遥感成像时间为夏季, 因而采用中纬度夏季大气剖面模型计算大气平均作用温度  $T_a$ , 公式为<sup>[23]</sup>:

$$T_a = 16.0110 + 0.92621T_o \quad (10)$$

大气透射率  $\tau_6$  与大气水分含量  $\omega$  关系最为紧密, 其计算公式如表 1 所示。

根据前人的研究, 得到大气水分含量与地面水汽压的计算公式<sup>[2]</sup>:

$$\omega = 0.19604e + 0.04691 \quad (11)$$

$$e = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27(T_o - 273.15)}{237.3 + T_o - 273.15}\right) \text{RH} \quad (12)$$

式中:  $e$ ——绝对水汽压(kPa);  $\text{RH}$ ——相对湿度;  $T_o$ ——气温单位(K)。

表 1 大气透射率与大气水分含量关系

大气剖面	水分含量/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ )	大气透射率估算方程
高气温	0.4~1.6	$\tau_6 = 0.974290 - 0.08007\omega$
	1.6~3.0	$\tau_6 = 1.031412 - 0.11536\omega$
低气温	0.4~1.6	$\tau_6 = 0.982007 - 0.09611\omega$
	1.6~3.0	$\tau_6 = 1.053710 - 0.14142\omega$

### 3 结果与分析

#### 3.1 结果与检验

根据单窗算法以及上文所涉及的参数, 使用 ENVI 软件反演出 3 期重庆市主城 9 区地表温度, 统计其最大值、最小值、平均值、标准差, 如表 2 所示。

表 2 研究区地表温度统计数据  $^\circ\text{C}$

成像时间	最大值	最小值	平均值	标准差
2001-7-26	68.53	24.90	42.17	4.62
2007-7-24	37.98	17.49	25.46	1.89
2013-6-16	40.00	15.18	24.11	2.51

从以下两个方面对表 2 反演结果 LST 进行验证:

(1) 使用台站号为 57516, 经纬度为  $29^\circ 35' \text{N}$ ,  $106^\circ 28' \text{E}$ , 位于沙坪坝的国家基本气象站点地表温度实测数据对气象站点所在遥感影像像元的温度进行对比验证。该气象站点提供其所在位置 2001 年、2007 年、2013 年温度数据分别为 42.47, 26.35,  $24.13^\circ\text{C}$ , 与该点像元反演 LST 差值分别为  $-1.35, -2.44, -1.27^\circ\text{C}$ , 说明该点及附近的反演精度较为理想; 2000 年冬—2001 年 6 月以来, 重庆市降雨普遍减少, 日照偏多, 湿度偏低, 致使重庆大部遭受了十多年来最严重的冬干、春旱连夏旱, 6 月中旬—8 月上旬, 又出现连续高温天气, 遭受 30 年来罕见的特大伏旱袭击, 降水较常年同期正常偏少约 6 成, 蒸发量比常年同期增大  $20\% \sim 70\%$ , 日照时数相比同期增加  $30\% \sim 70\%$ <sup>[27]</sup>, 持续的高温 and 伏旱袭击使得研究时段内 2001 年温度比 2007 年、2013 年明显偏高。

(2) 使用 MODIS LST 产品, 选取 3 个典型温度区, 即低温、中温、高温区(图 1)对 3 期影像反演的结果进行验证。由于一个 MODIS 像元对应约  $8 \times 8$  景大小的 TM 像元, 因此在选取像元时, 应尽量选择均质区, 并对  $8 \times 8$  景的 TM 像元取平均值, 作为像元评价单元, 其结果如表 3 所示。

由表 3 可知, 3 期影像在中温区和高温区比较结

果较相近,差别 2~3℃,低温区相差稍大,最大值在 2001 年,为 3.77℃。整体对比结果较为满意,在精度要求不高的情况下,3 期影像的温度反演结果可以作为下文数据分析的基础。

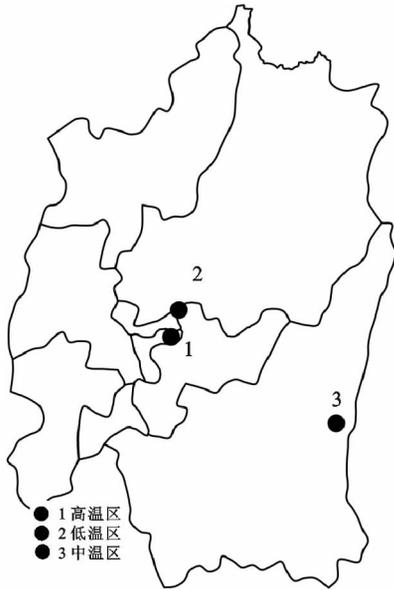


图 1 检验点在影像上的位置

根据各时相整个区域的地表温度统计出来的平均值和标准差对反演出的地表温度图像进行温度等

级的划分,将整个区域的地表温度分为 5 个温度区间,划分标准如表 4 所示。

表 3 温度对比统计

温度区	2001 年		2007 年		2013 年	
	TM/TIRS	MODIS	TM/TIRS	MODIS	TM/TIRS	MODIS
高温区	49.97	47.13	26.21	27.11	27.33	28.86
中温区	43.65	41.09	22.34	22.88	24.78	23.91
低温区	28.12	24.35	18.50	15.27	16.30	13.56

### 3.2 地表温度特征分析

地表温度的高低取决于不同的地表覆盖类型<sup>[27]</sup>。由附图 10 可知,低温区主要为以长江、嘉陵江为主体的水体覆盖区域以及海拔较高,植被覆盖密集,距离市区较远的山地为主;中温区占据研究区图幅的大部,包括主城区绿化较好的公园、园林以及大部分郊区的绿地、水田、低山、自然地表等;较高温和高温区域,主要分布在市区内,与城市轮廓相适应。为了能够定性定量地了解热岛分布及其扩展状况,采用目视解译手段,提取 3 时段重庆主城区建成区,并以建成区作为研究范围,对其温度时空变化开展进一步研究。

表 4 温度等级划分

低温区	较低温区	中温区	较高温区	高温区
$T_s < u - std$	$u - std < T_s < u - 0.5std$	$u - 0.5std < T_s < u + 0.5std$	$u + 0.5std < T_s < u + std$	$T_s > u + std$

注:  $T_s$  为地表温度,  $u$  为平均值,  $std$  为标准差。

采用前文提到的分区方式对研究子区进行细分,并统计研究子区各地表温度等级的平均温度及面积(表 5),结合图表,可以看出:

(1) 2001—2013 年重庆市城市内较高温和高温地区随着城市规模的扩张而扩大,呈单中心—多组团发展态势,高温区面积明显增大。2001 年重庆市城市建成规模较小,西抵中梁山,东至铜锣山,南北向两江(长江、嘉陵江)交汇处聚集。城市建成区为高温区,面积达到 230.38 km<sup>2</sup>;2007 年主城城市规模基本在 2001 年发

展而来,较高温地表面积增长 25.72 km<sup>2</sup>,高温地表面积增长 104.87 km<sup>2</sup>,增幅明显,过去以渝中半岛为中心的高温区密度有所下降,而主城至江北机场一带,由过去零散点连接成片,成为跨南北分布的大面积高温带。同时,歌乐山、南山以外,也有部分零散的高温区;2013 年重庆市城市规模建成已跨越歌乐山和南山,整体上呈多中心、多片块均衡交错分布,高温区相比 2007 年增加 71.22 km<sup>2</sup>,较高温区增加 80.20 km<sup>2</sup>,可见城市规模与城市地表温度的高低呈一定的相关关系。

表 5 城市建成区地表温度等级统计

地表温度等级	2001 年		2007 年		2013 年	
	平均温度/℃	面积/km <sup>2</sup>	平均温度/℃	面积/km <sup>2</sup>	平均温度/℃	面积/km <sup>2</sup>
低温	31.28	37.37	20.70	64.67	19.79	111.28
较低温	38.95	11.33	24.06	38.88	22.24	125.10
中温	44.48	74.32	25.61	168.92	24.14	280.20
较高温	46.79	50.92	26.87	76.74	26.01	156.94
高温	51.82	230.38	29.52	335.25	28.87	406.47

(2) 重庆市主城有两江环绕,由于本研究选取的影像均成像于夏季,正值长江汛期,两江交汇处有较

强的水流量。由表 2 可知,2001 年、2007 年、2013 年城市地面平均温度比低温水体高 20.54, 8.82,

9.08℃左右。两江江畔楼房较多,楼高较高,拉开了与江面的垂直距离,楼顶充当地表下垫面,直接接受太阳短波辐射,使得楼顶温度较高,水面、陆地形成鲜明的冷—热分布格局;而由附图 10 可看出,市内绿化较好或有水体覆盖区域,包括位于渝中半岛北、临近嘉陵江畔的鹅岭公园、佛图关公园,位于沙坪坝的彩云湖国家湿地公园等园林用地,成为高温带中细小零散的较低温点,对城市高温现象有一定的缓解作用。

(3) 交通线路的发展,既缓解了市区内人口密度大、交通繁忙带来的局部高温、通风不畅的现象,又带动了交通路线周围地区及周边区县的城市化发展。查询重庆市统计年鉴,得到 3 年重庆市交通设施发展数据,如表 6 所示,2001 年重庆市道路总长度为 3 512 km,2001—2013 年道路长度翻了一翻,道路面积和立交桥数量增加超过 3 倍;3 年的道路面积长度比分别为 1.34,1.74,1.96,道路宽度增加,显著提高了道路承载力,加速了城市化向周边的扩展。从 2002 年底内环高速公路建成通车、2009 年底绕城高速公路全线开通以及轻轨交通的成熟运行至今,主城已形成“二环八射”的高速公路系统。

表 6 重庆市交通设施数据统计

项目	2001 年	2007 年	2013 年
道路长度/km	3512	5547	7660
道路面积/万 m <sup>2</sup>	4723	9643	15000
立交桥数/座	84	168	260

### 3.3 热岛强度分析

热场变异指数在本研究中能更直观地表示热岛强度的大小及变化,其公式为<sup>[28]</sup>:

$$HI(T) = \frac{T - T_{MEAN}}{T_{MEAN}} \quad (13)$$

式中:HI(T)——热场变异指数;T——研究区某点的地表温度;T<sub>MEAN</sub>——研究区域的平均地表温度。

采用阈值法将热场变异指数 HI(T)分为 4 级,如表 7 所示。

表 7 热场变异指数 HI(T)阈值划分方法

等级	热场变异指数	热岛效应强度
1	≤0.05	无
2	0.05~0.10	弱
3	0.10~0.20	中
4	>0.20	强

通过分析,结合上文,可以看出,从热场变异指数 HI(T)看,2001 年热场变异指数较高,最高值达到 0.63,2007 年有所缓和,最高值降至 0.49。2013 年最高值升至 0.66。可以看出,2001 年发生干旱,加之热

岛密集,因此强度较大;2007 年处于城市扩展过渡阶段,热岛强度向外延伸,有所降低;至 2013 年城市规模发育成熟,HI(T)在现有强度的基础上持续增强,达到 3 期强度的最高值,并有继续升高趋势。

根据地表覆盖类型和热场变异指数 HI(T),选取典型区域,结合图 2,分析其热岛强度的变化。具体包括:1 朝天门广场—解放碑商圈、2 江北华新街—观音桥商圈—重庆北火车站、4 两路口—南岸南坪商圈一带、5 杨家坪—石桥铺—沙坪坝商圈四地在 2001 年为强热岛发生地,但到了 2007 年、2013 年热岛强度有所缓和,保持在中等强度;3 江北—江北国际机场成片、6 九龙坡—大渡口工业产业园两地都从 2001—2007 年由中热岛强度升至强热岛,并保持该状态至今;7 大学城一带、8 茶园—长生桥镇在 2001 年无热岛效应,到 2007 年升至弱,到 2013 年,7 地、8 地分别升至中等热岛和强热岛,成为这些年新增的热岛区。

使用热场变异指数对热岛强度进行分析,目前已有了一定的研究成果,但主要用于界定热岛等级的范围。陈云<sup>[25]</sup>在使用 Landsat 8 数据研究厦门市热岛强度时,得到的 HI(T)值范围为-0.30~0.30,其中 HI(T)大于 0.2 的地表为强热岛区域;刘宇鹏等<sup>[29]</sup>在研究长沙市热岛的时空分析时,得到的 HI(T)值范围为-0.18~0.44,并设定 HI(T)大于 0.1 的区域为强热岛区;刘玉安等<sup>[28]</sup>在研究武汉市热环境时,使用多年夏季地表温度数据提取热场变异复合指数 TCI,分为 6 个等级,0.015~0.020 为强热岛效应区,超过 0.020 为极强热岛区,指出武汉市主城区 TCI 值均超过 0.015;张勇等<sup>[13]</sup>在分析北京和无锡地表温度中,也将 HI(T)值划分为 6 级,分级方法与刘玉安相似,用以评价研究区热岛效应强度,但未指出 HI(T)值的范围。

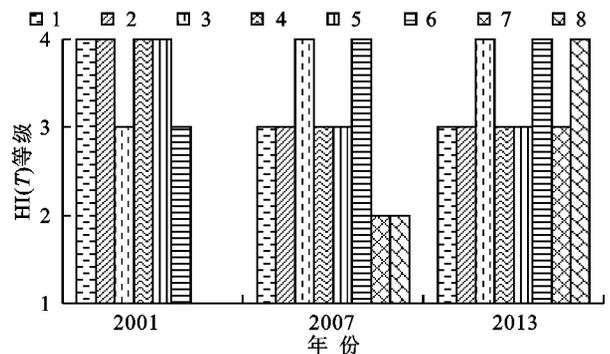


图 2 2001—2013 年各区域 HI(T)等级统计

定量分析 3 期影像 HI(T)值,不仅能了解热岛强度的等级分布,而且能够在横向上对各城市热岛强度大小有一个具体的把握。“山城”、“雾都”重庆地形

地貌十分复杂,高楼林立,桥梁众多,城市景观格局较为立体,孕育了独特的城市热环境,使得重庆市热场变异指数值处于较高水平。

## 4 结论

本文使用 Landsat 影像数据研究 2001 年、2007 年、2013 年 3 期重庆市主城热岛,借鉴覃志豪的单窗算法,得到比较理想的地表亮温结果。在此基础上,对主城热岛时空演化的整体特征、热岛强度进行分析,得到以下结论:

(1) 2001—2013 年重庆市高温地表主要分布在主建成区内,与城市轮廓相似,由过去呈一点向多点、零散向成片的分布,发展至目前呈多片块、多中心均衡分布,并有持续向外扩展的趋势。时间上整体呈单点—多组团的变化特征。

(2) 市区内绿化较好或有水体覆盖区域,对城市高温起到一定的缓解作用,而长江、嘉陵江表面温度与陆上地表温度相差较大。

(3) 交通线路的发展,既缓解了市区内人口密度大、交通繁忙带来的局部高温、通风不畅的现象,又带动了交通路线周围地区及周边区县的城市化发展。

(4) 2001 年热场变异指数达到 0.63,2007 年为 0.49,2013 年为 3 期最高,达到 0.66,较高的热场变异指数使得重庆市热岛强度在我国处于较高水平;研究时间范围内不同地区热岛强度均有不同程度的变化,对热岛强度有所缓和的地区应继续保持,对热岛强度增强和新增的区域应加以监控。

利用 Landsat 影像研究城市热环境,已经取得相当丰硕的成果。虽然 Landsat 影像空间分辨率高,但时间分辨率低。由于影像数据的缺失,本文仅对重庆市 3 期影像夏季的热岛进行了分析,难以做到对当日日夜及不同季节城市热环境情况的监测。重庆市具有独特的山地丘陵地貌,地形坡度、坡向、山体阴影等对地表温度造成很大影响,如何消除这些和区分这些因素与城市化的贡献,是本文需要进一步研究解决的问题。

### 参考文献:

[1] Manley G. On the frequency of snowfall in metropolitan England[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1958, 84(359): 70-72.

[2] 郭振华. 基于 TM/ETM+数据的成都市城市热岛效应研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2012.

[3] Sailor D J, Lu L. A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38

(17): 2737-2748.

- [4] Silva H R, Phelan P E, Golden J S. Modeling effects of urban heat island mitigation strategies on heat-related morbidity: A case study for Phoenix, Arizona, USA [J]. International Journal of Biometeorology, 2010, 54(1): 13-22.
- [5] Gallo K P, McNab A L, Karl T R, et al. The use of a vegetation index for assessment of the urban heat island effect [J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14(11): 2223-2230.
- [6] 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.
- [7] 刘伟东, 杨萍, 尤焕苓, 等. 北京地区热岛效应及日较差特征[J]. 气候与环境研究, 2013, (2): 171-177.
- [8] 乔治, 田光进. 北京市热环境时空分异与区划[J]. 遥感学报, 2014, 18(3): 715-734.
- [9] 程晨. 天津市中心城区和滨海新区热岛效应研究[D]. 天津: 南开大学, 2011.
- [10] 张正栋, 蒙金华. 基于城市热岛效应的城市降温通道规划研究: 以广州市为例[J]. 资源科学, 2013, 35(6): 1261-1267.
- [11] 但尚铭, 安海锋, 但玻, 等. 基于 AVHRR 和 DEM 的重庆城市热岛效应分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(7): 680-685.
- [12] 饶胜, 张惠远, 金陶陶, 等. 基于 MODIS 的珠江三角洲地区区域热岛的分布特征[J]. 地理研究, 2010, 29(1): 127-136.
- [13] 张勇, 余涛, 顾行发, 等. CBERS-02IRMSS 热红外数据地表温度反演及其在城市热岛效应定量化分析中的应用[J]. 遥感学报, 2006, 10(5): 789-797.
- [14] 白洁, 刘绍民, 扈光. 针对 TM/ETM+遥感数据的地表温度反演与验证[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 148-154.
- [15] 李成范, 刘岚, 周廷刚, 等. 基于定量遥感技术的重庆市热岛效应[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(1): 60-65.
- [16] 罗小波, 陈丹, 刘明皓, 等. 基于 HJ-1B/IRS 的重庆市热岛效应监测应用[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(6): 833-839.
- [17] 王建凯, 王开存, 王普才. 基于 MODIS 地表温度产品的北京城市热岛(冷岛)强度分析[J]. 遥感学报, 2007, 11(3): 330-339.
- [18] 闫峰, 覃志豪, 李茂松, 等. 基于 MODIS 数据的上海市热岛效应研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2007, 32(7): 576-580.
- [19] 邹敏. 重庆主城区绿地对城市热岛效应影响的多尺度研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [20] 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.

- 山东农业大学学报:自然科学版,2007,38(1):155-158.
- [6] 姚鸿文. 基于 QuickBrid 影像的深圳市绿地信息提取及其景观格局的动态分析[D]. 南京:南京林业大学,2008.
- [7] 韩周林,梁玉喜,孙大江. 基于 Quickbird 影像的成都市高新区绿地景观格局研究[J]. 中国农学通报,2010,26(17):238-241.
- [8] 杨威,陈秋晓. 基于 Quickbird 影像的中小城市绿地景观格局分析:以乐清市为例[J]. 浙江大学学报:理学版,2011,38(6):716-721.
- [9] 包玉,王志泰,王志杰. 喀斯特地区城镇绿地景观格局空间梯度分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2012,36(3):85-90.
- [10] 陈利顶,刘洋,吕一河,等. 景观生态学中的格局分析:现状、困境与未来[J]. 生态学报,2008,28(11):5521-5531.
- [11] 高峻,杨名静,陶康华. 上海城市绿地景观格局的分析研究[J]. 中国园林,2000,16(1):53-56.
- [12] 李秀珍,布仁仓,常禹,等. 景观格局指标对不同景观格局的反应[J]. 生态学报,2004,24(1):123-134.
- [13] 布仁仓,胡远满,常禹,等. 景观指数之间的相关分析[J]. 生态学报,2005,25(10):2764-2775.
- [14] Schumaker N H. Using landscape indices to predict habitat connectivity[J]. Ecology,1996,77(4):1210-1225.
- [15] He H S, Dezonio B E, Mladenoff D J. An aggregation index (AI) to quantify spatial patterns of landscapes [J]. Landscape Ecology,2000,15(7):591-601.
- [16] 陈利顶,傅伯杰,徐建英,等. 基于“源—汇”生态过程的景观格局识别方法:景观空间负荷对比指数[J]. 生态学报,2003,23(11):2406-2413.
- [17] 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.
- [18] 曹宇,欧阳华,肖笃宁,等. 基于 APACK 的额济纳天然绿洲景观空间格局分析[J]. 自然资源学报,2004,19(6):776-785.
- [19] 宋冬梅,肖笃宁,张志城,等. 甘肃民勤绿洲的景观格局变化及驱动力分析[J]. 应用生态学报,2003,14(4):535-539.
- [20] Lu Y, Fu B. Ecological scale and scaling[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001,21(12):2096-2105.
- [21] Zhang N. Scale issues in ecology: Concepts of scale and scale analysis[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006,26(7):2340-2355.
- [22] 林孟龙,曹宇,王鑫. 基于景观指数的景观格局分析方法的局限性:以台湾宜兰利泽简湿地为例[J]. 应用生态学报,2008,19(1):139-143.
- [23] 傅伯杰. 景观生态学原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2011.
- [24] 钞振华,王军. 基于遥感技术的南通市市区绿地现状研究[J]. 南通大学学报:自然科学版,2010,9(2):59-63.

~~~~~

(上接第 196 页)

- [21] 孙继松,舒文军. 北京城市热岛效应对冬夏季降水的影响研究[J]. 大气科学,2007,31(2):311-320.
- [22] 覃志豪. 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.
- [23] 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.
- [24] 邓书斌. ENVI 遥感图像处理方法[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [25] 陈云. 基于 Landsat 8 的城市热岛效应研究初探:以厦门市为例[J]. 测绘与空间地理信息,2014,(2):123-128.
- [26] 涂梨平. 利用 Landsat TM 数据进行地表比辐射率和地表温度的反演[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [27] 桑琰云. 重庆市旱灾及其经济损失研究[D]. 重庆:西南师范大学,2004.
- [28] 刘玉安,唐志勇,程涛,等. 基于 HJ-1B 数据的武汉市 LST 反演及热环境分析[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(4):526-532.
- [29] 刘宇鹏,杨波,陈崇. 基于遥感的长沙市城市热岛效应时空分析[J]. 遥感信息,2011(6):73-78.