

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.05.029

三峡库区万州热岛演变与城市形态关系^①

李 远¹, 王万鸿², 赵 宇¹, 刘 磊¹

1. 西南大学 园林园艺学院, 重庆 400715; 2. 重庆市风景园林规划研究院, 重庆 401147

摘要: 研究了三峡库区万州城市热岛演变规律及其与城市形态格局的关系. 利用 1996—2014 年夏季 Landsat TM/ETM+/OLI_TIRS 系列遥感影像来反演万州地表温度, 研究其热岛的时空分布及变化特征, 提出组团式热岛重心扩散模式; 同时提取万州中心城区土地利用类型, 量化热岛效应与城市形态布局的关系, 指出应提倡城市组团式的发展方式, 完善各组团内的各种基础设施, 减少不必要的通勤, 从而最终达到降低热岛效应的目的.

关键词: 三峡移民工程; 城市热岛; 时空演替; 城市形态

中图分类号: TU984

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)05-0190-07

城市热岛(Urban Heat Island, UHI)是指由城市化引起的城市地表及大气温度高于周边非城市环境的一种现象^[1]. 随着现代化城市的发展, 其规模不断地扩大, 人口数量急剧地增加, 城市的自然地表正在逐步被人工建筑物所替代, 这一系列的改变影响了生态系统功能和过程, 产生了诸多的环境问题, 其中最为突出的现象之一是城市热岛面积进一步扩大. 随着遥感技术的快速发展和广泛应用, 地表温度已成为城市热环境研究的有效手段之一, 它能很好地对地表热力空间结构及相关自然地表过程进行定量监测^[2]. 通过研究, 发现众多学者大多把目光集中在北京、上海等特大城市, 对于三峡库区移民城市的研究鲜见. 本研究以重庆市万州区为对象, 分析其热岛的分布演变情况和城市形态指数的相关关系, 为该地区的城市规划和可持续发展提供科学决策依据.

1 研究区域概述

万州区地处长江上游, 重庆东北部(图 1), 三峡库区腹心, 面积 3 457 km², 位于东经 107°55′22″~108°53′25″, 北纬 30°24′25″~31°14′58″. 为了准确地反映万州城区热岛演变和方便统计制图, 本次研究范围采用《重庆市万州城市总体规划(2003-2020)——2011 年修改》确定的中心城区范围(图 2). 万州区有着三峡库区城市典型性的地理环境和社会生产生活方式, 选址也遵循着三峡库区城市的一般规律, 位于支流与长江的交汇处, 沿着地形有机地而后展开^[3]. 在三峡工程建设的过程中, 万州是库区移民任务最重的城市, 其原有城市功能的完整性和半淹没城市的复杂性也是最高的^[4], 所以其研究价值也相对较高.

2 研究概况

2.1 研究内容

通过对获取的万州区近 18 年的夏季遥感影像数据进行处理分析, 研究万州区城市热岛的时空变化情况以及与城市空间形态格局的关系.

① 收稿日期: 2016-08-17

基金项目: 重庆市建设科技项目(城科学 2015 第 1-21 号).

作者简介: 李 远(1990-), 女, 山东冠县人, 硕士研究生, 主要从事园林规划设计的研究.

通信作者: 刘 磊, 副教授.

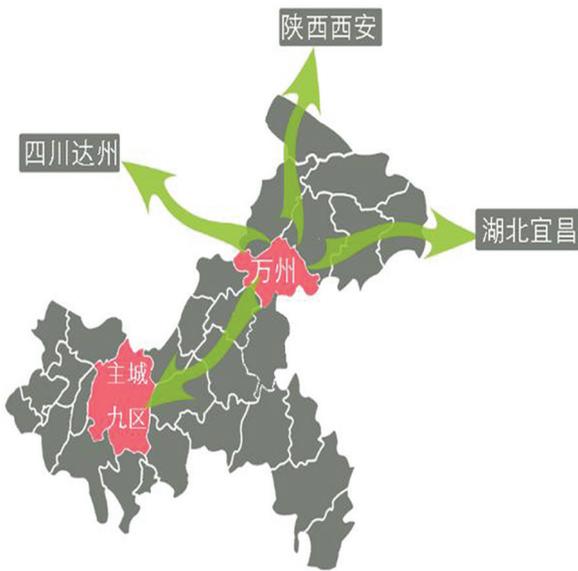


图 1 万州区位图



图 2 万州行政区划图

本文研究的遥感影像数据来源于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>), 选取了 1996, 2006, 2011 年的 Landsat5 TM, 以及 2001 年的 Landsat7 ETM+ 和 2014 年的 Landsat8 OLI_TIRS 影像, 共 5 年 Landsat 系列影像, 具体参数见表 1.

表 1 Landsat TM/ETM+/OLI_TIRS 遥感影像数据参数列表

数据标识	传感器	条带号	行编号	中心纬度	中心经度	云量	日期
LT51270391996226CLT00	TM	127	39	30.279 4	107.734 7	8.06	1996/8/13
LE71270392001199SGS00	ETM+	127	39	30.307 0	107.556 9	3.16	2001/7/18
LT51270392006221IKR00	TM	127	39	30.295 9	107.643 5	0	2006/8/9
LT51260392011228BKT00	TM	126	39	30.306 1	109.174 6	9.06	2011/8/16
LC81270392014211LGN00	OLI_TIRS	127	39	30.306 4	107.659 4	4.87	2014/7/18

2.2 研究方法

2.2.1 地表温度反演

本研究获取的影像数据为 Landsat TM/ETM+/OLI_TIRS 数据. 通常利用其热红外波段来反演地表温度, 其主要过程为: ① 数据预处理: 辐射定标、几何校正、研究区裁剪; ② 相关辅助数据的查找与确定: 大气上行辐射以及下行辐射、大气透过率等; ③ 获取地表比辐射率值; ④ 计算同温度下黑体的辐射亮度值; ⑤ 利用普朗克公式的反函数反演地表温度; ⑥ 将反演得到的地表温度减去 273.15 转化为摄氏度的地表实际温度. 其中, 在反演 2001 年地表温度时使用 ETM+ 的热红外波段的高增益状态数据 (Band62)^[5]. 根据 USGS 的建议, 把第 10 波段作为单波段热红外数据进行使用, 故此反演 2014 年地表温度时使用 OLI_TIRS 的第 10 波段 (Band10).

2.2.2 地表土地分类

利用 TM/ETM+/OLI_TIRS 的中红外波段、近红外波段和绿波段组合, 在 ENVI5.1 中定义合理的感兴趣区域 (Region of Interest, ROI), 利用监督分类 (Supervised Classification, SC) 方法对研究区域内的土地划分为水体、植被和城镇 3 个类别, 最后结合目视解译, 确定最终的水体、植被和城镇类别.

2.2.3 城镇热岛强度分析

参照热岛强度定义, 本研究将热岛强度定义为城镇区域内影像中每个像元的地表温度与郊区平均地表温度的差值^[6]. 其方法为: ① 将研究区域内除城镇土地类型外的其余区域作为郊区; ② 利用反演的地表温

度, 分别提取郊区和城镇区域内影像中每个像元的地表温度; ③ 计算郊区平均地表温度; ④ 城镇区域内影像中每个像元的地表温度减去郊区的平均地表温度, 得到城镇相对于郊区的地表热岛强度. 公式为

$$I_{UHI_{xy}} = T_{xy} - T_{mean} \quad (1)$$

式中: $I_{UHI_{xy}}$ 表示城镇区域内空间位置 x, y 像元的热岛强度; T_{xy} 表示城镇区域内空间位置 x, y 像元的地表温度; T_{mean} 表示郊区平均地表温度.

3 结果与分析

3.1 城市化进程中热岛空间分布与重心演变

3.1.1 城市化进程中热岛空间分布变化

将城镇区域内的 I_{UHI} 划分为强热岛、次强热岛、中热岛、弱热岛和无热岛 5 个类别, 其分类标准见表 2. 万州区 1996—2014 年间热岛强度等级分布情况见图 3.

表 2 城市热岛等级划分标准

$I_{UHI}/^{\circ}\text{C}$	热岛等级	$I_{UHI}/^{\circ}\text{C}$	热岛等级
$I_{UHI} \leq 0$	无热岛	$4 < I_{UHI} \leq 6$	次强热岛
$0 < I_{UHI} \leq 2$	弱热岛	$I_{UHI} \geq 6$	强热岛
$2 < I_{UHI} \leq 4$	中热岛		

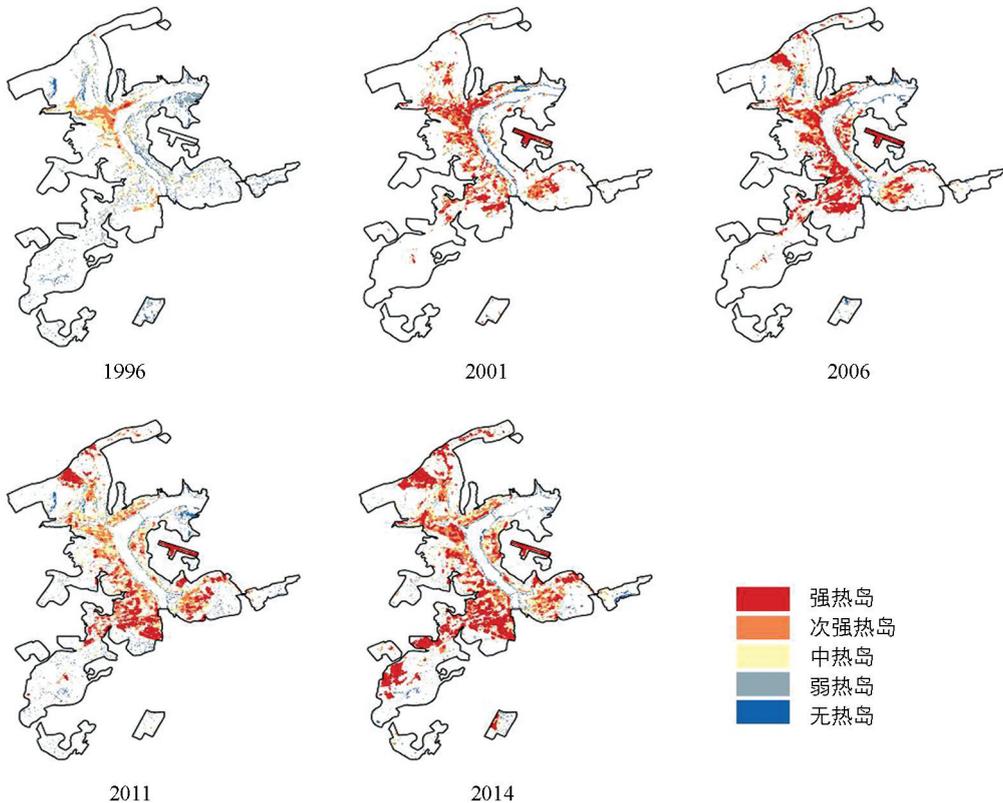


图 3 万州近 18 年热岛强度等级分布图

本研究主要关注热岛总面积和强热岛面积变化. 万州 1996—2014 年间各热岛强度等级面积情况见表 3.

1996 年, 城市热岛总面积与强热岛面积较小, 强热岛主要分布在高笋塘街道、太白街道和钟鼓楼街道. 而此时, 三峡移民工程正处于建设初期, 移民新区的建设项目正在启动, 万州将要被淹没的区域仍然发挥着重要的城市功能. 至 2001 年, 城市热岛覆盖范围迅速扩大, 热岛总面积比 1996 年提高 43%, 强热岛面积比 1996 年提高 45.3 倍. 强热岛主要分布在高笋塘街道、太白街道和钟鼓楼街道等老城区, 并沿着长江一路南下, 扩散到龙都街道, 同时突破了沿长江单侧发展的局面, 扩散到百安坝街道. 此时, 三峡移民工程处

于建设中期,库区移民和大量城市迁建工作如火如荼地进行,万州迎来了城市发展的高峰期.至 2006 年,热岛总面积比 2001 年提高 17%,强热岛面积比 2001 年提高 62%.老城苎溪河入口附近热岛逐渐分散,龙都街道高温区域面积增加,百安坝街道高温区域进一步扩大.此时,正值三峡移民工程建设后期,城市建设步伐减慢,万州移民高潮逐渐进入尾声,城市进入相对比较稳定的建设发展期.至 2011 年,热岛总面积比 2006 年提高 18%,强热岛面积比 2006 年下降 28%,主要分布在天子园、盐化园和五桥园等工业园内.而此时,整个三峡工程竣工,移民工程带动城市发展的阶段结束,城市暂时缺乏切实的发展动力,城市处于平稳发展时期.至 2014 年,热岛总面积比 2011 年提高 26%,强热岛面积比 2011 年提高 91%.强热岛区域继续向城市周边发展,主要集中在万州的几个工业园区内,老城区内零星出现强热岛斑块.与此同时,万州城市总体规划确立“南北并进”的发展战略和同步推进旧城改造与新区建设.万州开始寻求新的城市发展增长点,并确立了“提档提速、扩容增量”的目标,至此万州建设迅速增长,随之而来的是城市热岛总面积增加.

表 3 各级热岛面积统计

年份	强热岛/ hm ²	次强热岛/ hm ²	中热岛/ hm ²	弱热岛/ hm ²	热岛总面积/ hm ²
1996	21.65	443.92	692.06	873.58	2 031.22
2001	1 002.57	1 248.17	533.79	120.68	2 905.21
2006	1 621.20	1 007.02	574.00	211.14	3 413.36
2011	1 172.96	1 413.84	1 113.23	336.39	4 036.41
2014	2 237.84	1 608.93	958.32	281.14	5 086.24

注:热岛总面积=强热岛面积+次强热岛面积+中热岛面积+弱热岛面积.

通过分析,发现随着万州城市化进程加快,热岛总面积持续增加,热岛总面积和城市化进程保持高度一致;而强热岛面积却在 2006—2011 年期间出现下降趋势,这说明万州强热岛不会因为城市化进程的加快而一味地增加.

3.1.2 热岛重心演变过程

通过对万州热岛的分布和变化分析,将热岛重心演变过程分为 4 个阶段:在第 1 个阶段,中心斑块逐渐向周边蔓延,热岛面积增长速度明显;在第 2 个阶段,老城区中心斑块逐渐变小,重心沿长江往下发展,逐渐连成片;在第 3 个阶段,热岛重心发生明显的转移,由老城区逐渐向城市周边转化;在第 4 个阶段,热岛重心逐渐以组团形式向城市南、北方向发展,由于老城区的改造,旧城也出现了分散小斑块.扩散过程见图 4.

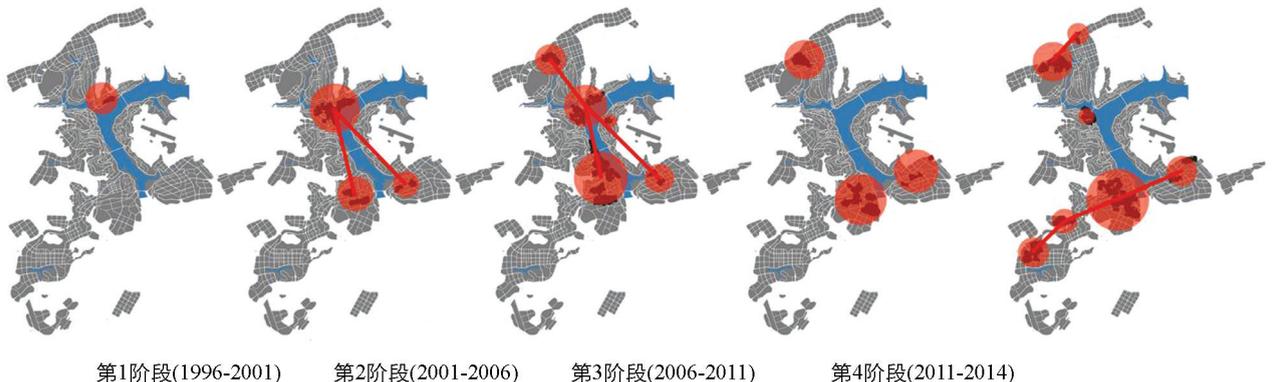


图 4 万州热岛扩散过程

通过分析,发现万州热岛的演变过程具有其典型性,即为组团式扩散模式,这种模式不会像北京、上海等平原大城市,围绕着中心斑块往外扩散,逐渐发展成为“摊大饼”的模式^[7].组团式热岛扩散模式的演变特点有以下两点:① 中心城区强热岛面积逐渐下降;② 强热岛重心以组团形式逐渐向城市周边扩散.图 4 中第 3,4 个阶段能明显观察出来,中心城区强热岛慢慢分散、消失,逐渐向城市周边转移.

3.2 热岛演变与城市形态关系研究

热岛效应本身是城市化进程中带来的城市问题,如若把城市形态格局与热岛演变结合起来研究,会更

直观地了解城市形态演变对热岛产生的影响, 对以后城市形态结构规划提供建议. 本研究利用监督分类法提取 1996—2014 年期间万州土地利用情况(图 5).

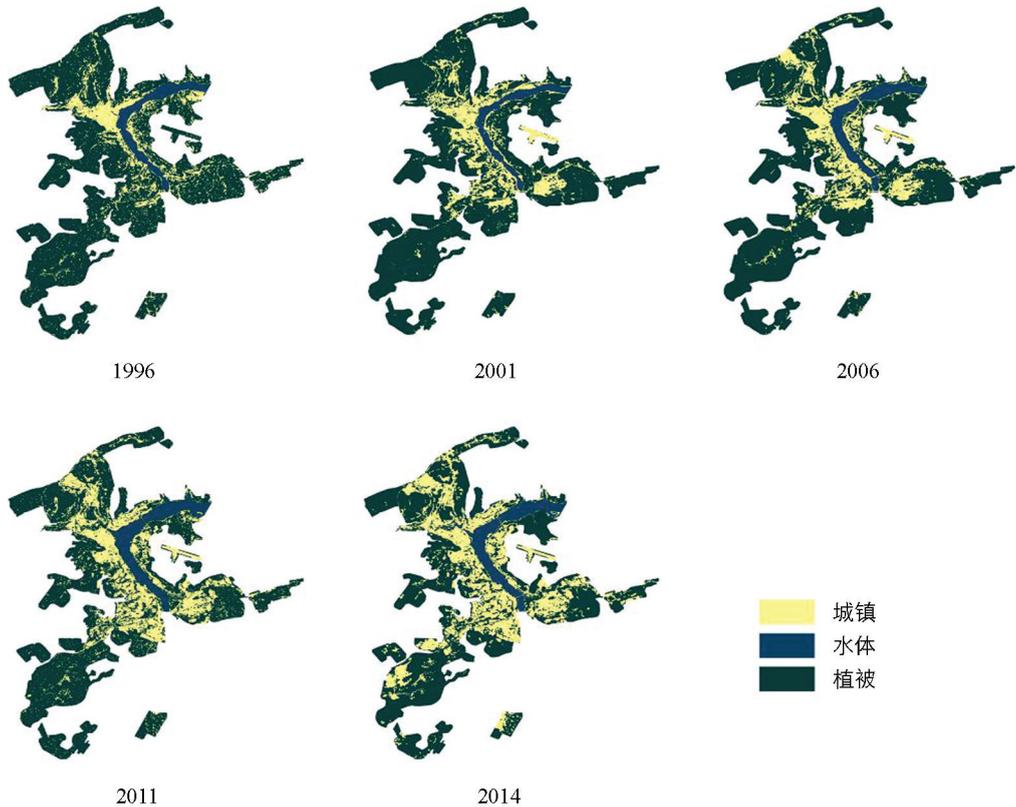


图 5 万州土地利用分类图

本研究选择景观格局指数来评价城市形态格局^[8], 提取图 5 中城镇用地, 利用 Fragstats4.2, 进行景观尺度水平计算^[9], 选择其中和热岛强度密切相关的指数, 即通过相关性大于 0.5、显著性小于 0.05 的验证, 得出三大类 4 个指数: 第一类为面积指数: 核心斑块总面积(TCA); 第二类为离散聚合指数: 分离度指数(SPLIT)、聚集指数(AI); 第三类为连接度指数: 斑块内聚力指数(COHESION). 通过与强热岛面积、热岛总面积进行相关分析, 研究其回归方程式, 得到城市形态指数与热岛变化之间的关系. 利用 Fragstats4.2 计算出近 18 年万州城市形态指数(表 4).

表 4 万州城市形态指数

指数	1996 年	2001 年	2006 年	2011 年	2014 年
TCA	1 108.08	1 733.49	2 224.53	2 617.02	3 515.49
SPLIT	10.24	3.18	3.14	3.22	2.35
AI	72.04	80.18	84.56	82.64	86.90
COHESION	94.49	98.92	99.01	98.88	99.44

在 SPSS19.0 中计算出 1996—2014 年万州城市形态指数与其相应年份的热岛总面积函数关系式(表 5).

表 5 万州城市形态指数和热岛总面积函数关系

指数	热岛总面积回归方程式	R^2	相关性	显著性
TCA	$y=1.2672x+656.38$	0.99	0.99	0.00
SPLIT	$y=-271.56x+4696.1$	0.59	-0.77	0.00
AI	$y=180.32x-11159$	0.80	0.89	0.00
COHESION	$y=430.12x-38721$	0.59	0.77	0.00

在 SPSS19.0 软件中计算出 1996—2014 年万州城市形态指数与其相应年份的强热岛面积函数关系式(表 6).

表 6 万州城市形态指数和强热岛面积函数关系

指数	强热岛回归方程式	R^2	相关性	显著性
TCA	$y=0.82879x-645.01$	0.85	0.92	0.03
SPLIT	$y=-216.45x+2169$	0.75	-0.87	0.03
AI	$y=139.77x-10147$	0.95	0.97	0.04
COHESION	$y=345.03x-32653$	0.75	0.86	0.03

第一类为面积指标. TCA 是核心面积总和, 即每个斑块从周长向里, 超过一定范围内的部分斑块的面积之和, TCA 与热岛总面积和强热岛面积成线性正相关关系, 且与热岛总面积相关性更强, 其相关性和函数值均为 0.99. 随着万州城区的扩展, 各个组团内城市建设由点向面发展, 小斑块逐步发展为大斑块, 大斑块不断兼并融合小斑块, 导致大斑块占比越来越大, 其 TCA 的值也越来越大, 热岛也逐渐递增. 今后在城市规划建设时应适当控制中心区域大斑块的面积, 防止其无限恶性扩大, 控制整体建设用地的总面积, 实行节约型用地.

第二类为离散聚合度指标. SPLIT 为分离指数, 万州城区斑块分离度呈现衰减的趋势, 与热岛总面积和强热岛面积均成负相关关系, 即随着斑块离散度的下降, 其热岛效应逐渐上升; 而 AI 指数为聚集指数, 万州 AI 指数和 SPLIT 指数整正好相反, 与热岛总面积和强热岛面积均成正相关关系, 即随着斑块之间越来越聚集, 热岛效应变得越来越强. 这些指标的变化, 说明了万州城区格局离散和聚合的演变直接影响了其热岛效应, 通过对 2 个指数的函数值和相关性分析, 发现离散聚合度指数与强热岛面积相关性更为明显. 在今后城市规划设计时, 首先考虑在城镇建设用地密集的地方, 增加各斑块之间离散度, 让绿地和水体就有机会进来, 使强热岛面积下降; 其次在生态承载力范围内, 有计划地发展一定数量的一级卫星城镇和农村增加城市整体的离散度, 即以组团形式发展城市副中心.

第三类为连接度指标. 包括 COHESION, 它表示斑块内聚力指数, 即斑块自然状态下的连接度, 随着 COHESION 值增大, 其各斑块之间的连通性变得越来越强, 能量流和物质流交换变得越来越频繁, 万州 COHESION 指数呈现上升趋势, 其与热岛总面积和强热岛面积都成正相关线性关系, 这个关系理解为在城市中由于各组团内部服务设施无法满足人们工作娱乐的需求, 人们必须到其他组团来满足生活的需要, 于是组团之间的交流变得频繁, 连通性变得越来越大, 其无形之间增加了各组团之间交通压力, 增加了碳的排放量, 增加热岛效应. 所以在今后城市规划设计时应完善各组团内的服务设施, 尽量减少通勤的距离和次数, 使人们就近解决日常生活所需.

通过以上分析发现, 热岛总面积和面积指标相关性更大, 而强热岛面积与离散聚合度、连接度指标相关性更大, 说明热岛总面积和城市扩张有关系, 而强热岛面积和城市内部空间布局有关系. 故此, 在城市规划时一方面加强城市规模的控制, 即控制城市发展的范围, 控制中心城区斑块的面积, 避免中心城区人口和设施的过度密集, 导致城市热岛总面积增加; 另一方面结合实际合理规划城市发展布局, 对于万州为代表的三峡库区城市应坚持“多中心”组团式的发展模式^[10], 增加城市的离散度, 平衡组团内各项用地面积, 能够在组团内提供相当数量的工作岗位和各类服务设施, 缩短通勤距离, 同时在组团外围增加一定宽度的隔离带, 包括生态绿地和水体, 增加城市组团与自然环境的接触面^[11], 这样对缓解热岛效应有着重要作用.

4 总 结

该研究主要分析了万州近 18 年以来的城市热岛演变格局以及与万州城市形态的关系. 首先研究了万州热岛演变情况以及热岛组团式重心扩散模式. 其次通过对万州热岛与其城市形态的关系指数分析, 发现面积指标中的 TCA 与热岛总面积和强热岛面积成正相关函数关系; 而离散度和聚合度指标中 SPLIT 与热岛总面积和强热岛面积成负相关函数关系, AI 与热岛总面积和强热岛面积为正相关函数关系; 而连接度指标中的 COHESION 与热岛总面积和强热岛面积呈正相关函数关系. 相对而言, 面积指标和热岛总面积相关性更大一些, 而离散聚合度指标、连接度指标和强热岛面积变化相关性更强一些. 说明了在城市规划时应控制城市建设规模, 同时提倡组团式发展方式, 完善各组团内的基础设施供给, 减少不必要的通勤, 从而最终达到降低热岛的目的.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 韩贵锋,颜文涛,赵珂,等.近20年来重庆市主城区地表热岛的时空变化[J].环境科学研究,2012,25(6):615-621.
- [3] 赵万民.三峡库区新人居建设十五年进展:1994-2009[M].南京:东南大学出版社,2011:340.
- [4] 谭欣.三峡库区人居环境建设十年跟踪——库区中心城市万州案例研究[学位论文][D].重庆:重庆大学,2006.
- [5] 刘春国,卢晓峰,高松峰. Landsat-7 ETM+热红外波段高低增益状态数据反演亮度温度比较研究[J].河南理工大学学报(自然科学版),2011,30(5):561-566.
- [6] 葛荣凤,王京丽,张力小,等.北京市城市化进程中热环境响应[J].生态学报,2016,36(19):6040-6049.
- [7] 钱敏蕾,徐艺扬,李响,等.上海市城市化进程中热环境响应的空间评价[J].中国环境科学,2015,35(2):624-633.
- [8] 郑新奇,付梅臣.景观格局空间分析技术及其应用[M].北京:科学出版社,2010:93-144.
- [9] 文海军,邓洪平,黄琴,等.10年来金佛山自然保护区景观格局变化研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2015,40(7):170-176.
- [10] 张星星,刘勇,杨朝现.重庆山地城市空间扩展形态的定量研究[J].西南大学学报(自然科学版),2015,37(10):119-124.
- [11] 黄初冬,陈前虎,彭卫兵,等.杭州市“热岛效应”与城市功能布局的关联分析[J].规划师,2011,27(5):46-49.

Relationship Between the Evolution of Urban Heat Island Effect and Urban Form Layout in Wanzhou of the Three Gorges Reservoir Area

LI Yuan¹, WANG Wan-hong², ZHAO Yu¹, LIU Lei¹

1. School of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Research Institute of Landscape Planning, Chongqing 401147, China

Abstract: Using the Summer Landsat TM/ETM+/OLI_TIRS remote sensing images from 1996 to 2014, retrieval of the land surface temperature of Wanzhou was made to study the spatial-temporal distribution and variation characteristics of the urban heat island, and a group-type heat island centroid diffusion model was proposed. Meanwhile, the information of land-use types of the central urban area of Wanzhou was extracted for a quantitative research of the relationship between heat island effect and urban layout. In conclusion, urban planners and decision-makers should advocate the city group development model, improve the infrastructure in each group, reduce unnecessary commuting and finally reach the aim of reducing the heat island effect.

Key words: the Three Gorges resettlement project; urban heat island (UHI); spatial-temporal evolution; urban form layout