

基于 Landsat TM 的重庆都市区地表 热环境时空变化研究

陈倩, 周启刚, 金亚美

(重庆工商大学 旅游与国土资源学院, 重庆 400067)

摘要:随着城市化进程的加快、经济的高速发展,城市结构相应发生了一系列的改变,对城市的生态环境也产生了巨大的影响,城市热岛效应问题尤为突出。文章选取重庆都市区为研究对象,以 Landsat-TM1988,2000 和 2011 年三期夏季遥感影像为数据源,基于 RS 和 GIS,采用单窗口算法对地表温度进行反演,并对城市地表温度的时空变化、热中心以及城市建设用地重心迁移进行分析,探讨城市地表热环境与城市扩张及下垫面的响应关系。研究结果表明:1988—2011 年,研究区地表温度在空间上的分布存在明显差异性,区域温度整体有所上升,热环境问题日益严重;热中心与建设用地重心两者地迁移具有高度一致性;热环境效应强度与建设用地的分布情况大致呈正相关,与植被或水体的分布情况呈负相关。研究结果可为采取合理措施改善城市地表热环境效应、优化城市生态环境提供参考。

关键词:城市热环境;单窗口算法;建设用地扩张;下垫面;重庆都市区

中图分类号:X144

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)06-0084-06

Research on Temporal and Spatial Changes of Land Thermal Environment Based on Landsat TM in Chongqing Metropolitan Area

CHEN Qian, ZHOU Qi-gang, JIN Ya-mei

(School of Tourism and Land Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: With the speedup of the urbanization and economic, a series changes of urban structure happened, which had a great influence on urban ecological environment, particularly on the heat island effect. Chongqing metropolitan area was taken as study area, the three periods of TM images from 1988 to 2011 in summer were chosen as the basic data sources. Based on GIS and RS, land surface temperature was inversed by the single-window method. The temporal and spatial changes of land surface temperature, translation of heat island center and urban center were analyzed systematically in this paper. The relationship between urban thermal environment, urban expansion and city underlying surface were investigated. The results indicate that there are obvious distributions of land surface temperature from 1998 to 2011 and regional temperature increased. The effects of thermal environment become serious. The heat center has highly consistency with migration of urban center. The intensity of thermal environment effects has positive correlation with distribution of construction, but has negative correlation with distribution of vegetation cover or water area. The results can provide references for improving effects of thermal environment and optimizing ecological environment of urban area.

Key words: urban thermal environment; generalized single channel method; construction expansion; underlying surface; Chongqing metropolitan area

随着全世界工业化、城市化的迅猛发展,全球气候变暖已受到科学界和社会广泛关注^[1]。在城市化快速发展的背景下,热环境空间变化对城市生态问题

有着深远的影响^[2-3]。目前,大量研究利用热红外遥感数据反演地表温度来研究城市热环境变化过程^[4-5]。特别是近三十年以来,许多学者研究分析了

土地利用变化与地表温度、地表热环境之间的关系以及时空变化的趋势与规律^[6-9]。重庆市直辖以来,城市快速发展^[10],城市热环境效应问题突出。城市热岛效应是城市综合问题,是城市生态环境问题的主导因素之一,也是当前环境学研究的重要课题^[11],因此,开展对城市热环境的研究迫在眉睫。除此之外,城市热环境的动态研究有助于了解区域生态环境的变化过程,对城市可持续发展具有重要的理论和现实意义,并将其与建设用地的扩展进行联合分析,有利于城市结构与区域生态环境之间响应机制的理解^[12]。文章以重庆都市区为研究区,利用三期夏季遥感影像数据反演地表温度和植被覆盖率,并对城市地表热环境的时空变化、热中心的迁移、建设用地的扩张以及城市植被覆盖率的分布进行系统分析,探讨城市地表热环境与建设用地扩张及下垫面之间的响应关系。

1 研究区概况

重庆市位于我国西南部,与湖北、湖南、贵州,四川及陕西接壤,地跨东经 105°17′—110°11′、北纬 28°10′—32°13′,是长江上游地区的政治、经济、科技、文化和教育中心,也是我国综合交通枢纽和重要的经济增长极之一。重庆的经济发展迅速,2011 年重庆经济增速位居全国第一,截至 2011 年常住人口为 772.31 万人。重庆都市区包括渝中区、大渡口区、江北区、沙坪坝区、九龙坡区、南岸区、北碚区、渝北区和巴南区 9 个行政区,总面积为 5 465 km²,占全市总面积的 6.63%。研究区地貌结构复杂,以丘陵、山地为主,气候温和,属亚热带季风性湿润气候,冬暖夏热,无霜期长、雨量充沛、终年少霜雪,多雾。

重庆自直辖以来,经济、社会和文化等方面快速发展,致使城市化进程加快。随着城市的快速发展,其土地利用格局发生了改变、生态环境受到影响。下垫面性质的改变、人口的急剧增长、汽车尾气以及工业废气的大量排放,使其地表温度发生变化,出现城市热岛效应。

2 数据源与研究方法

2.1 数据源

本研究分别以 Landsat-TM 在 1988,2000,2011 年的三期夏季遥感影像数据为数据源,其轨道号为 127039,127040,128039,128040。所有影像数据采用 ALBERS 投影,中央经线采用东经 105°,双标准纬线采用分别为北纬 25°和 47°。其中 TM 影像数据 1,2,3,4,5,7 波段的空间分辨率均为 30 m,第六波段分

辨率为 120 m。同时还收集了 1988,2000,2011 年 1:10 万的研究区的土地利用现状数据以及其它相关社会经济和人口数据。

2.2 遥感影像的预处理

卫星在遥感成像时,飞行器的姿态、高度、速度、大气折射以及传感器自身性能等因素造成影像发生畸变,因而遥感影像的预处理是一个必不可少的步骤。本文主要对遥感影像进行了几何校正、辐射校正等处理,辐射校正减少因传感器的灵敏度特性引起的误差,大气校正减少大气散射和吸收带来的影响^[13]。

2.3 研究方法

2.3.1 地表温度的反演 地表温度是地表自然生态环境的一个重要物理参量^[20],目前利用遥感图像反演地表温度的方法有很多,如劈窗算法、地表温度与比辐射率分离算法、单窗口算法和普通性单通道算法^[14-15],但适宜用于 Landsat TM 反演地表温度的常用方法有 2 种,即覃志豪等^[16]提出的单窗口算法和 Jimenez-Munoz 等^[17]提出的普通性单通道算法。这两种算法都有各自的特点^[15],其差异主要在于对地表辐射率、大气平均温度、大气投射率的估算,而在实际的运用中却很多研究验证认为在大气平均温度与水汽含量较高时采用覃志豪的单窗算法进行地表温度的反演结果精度更高,而采用普通性单通道算法的结果往往会产生较大偏离^[18-19]。本文以重庆山地城市区为研究区并以夏季作为研究时点,夏季的重庆炎热湿润,因此本文采用单窗口算法对研究区的地表温度进行反演,其地表温反演具体算法如下^[16]:

$$T_s = \{A_6(1 - C_6 - D_6) + [B_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6]T_6 + D_6 \times T_a\} / C_6 \quad (1)$$

$$C_6 = \epsilon \times \tau \quad (2)$$

$$D_6 = (1 - \tau)[1 + \tau \times (1 - \epsilon)] \quad (3)$$

式中: T_s ——地表温度(K); A_6, B_6 ——常数,分别为 -67.355 35, 0.458 608; ϵ ——地表辐射率; τ ——大气透射率; T_6 ——TM6 的像元亮度温度; T_a ——大气平均温度(K)。其中, T_6 的计算公式如下^[16]:

$$T_6 = K_2 / \ln(1 + K_1 / L_\lambda) \quad (4)$$

$$L_\lambda = L_{\lambda(\min)} + [L_{\lambda(\max)} - L_{\lambda(\min)}]Q_{dn} / Q_{\max} \quad (5)$$

式中: K_1, K_2 ——发射前预设常量,针对 Landsat5-TM 遥感影像数据, $K_1 = 60.776 \text{ mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, $K_2 = 1 260.56 \text{ K}$; L_λ ——TM 传感器所接收到的辐射强度 [$\text{mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$]; $L_{\lambda(\min)}$, $L_{\lambda(\max)}$ ——最小和最大辐射强度,其中对于 Landsat5, $L_{\lambda(\min)} = 0.123 8 [\text{mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})]$, $L_{\lambda(\max)} = 1.56 [\text{mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})]$; Q_{dn} ——像元灰度值, Q_{\max} ——像元灰度最大值为 255。

在标准大气压下,大气平均温度 T_a 与近地面温度(大约距离地面 2 m) T_0 存在线性关系,并且这种关系随季节和地理位置的变化呈现出一定的规律,其公式如下^[20]:

热带平均大气(北纬 15°,年平均)

$$T_a = 17.9767 + 0.91715T_0 \quad (6)$$

中纬度夏季平均大气(北纬 45°,7月)

$$T_a = 16.0110 + 0.92621T_0 \quad (7)$$

中纬度冬季平均大气(北纬 45°,1月)

$$T_a = 19.2704 + 0.91118T_0 \quad (8)$$

根据重庆所处的地理位置东经 105°17′—110°11′,北纬 28°10′—32°13′以及遥感影像的拍摄时期为夏季等因素,文本选取公式(7)计算大气平均温度。 T_0 是根据中国气象科学数据共享服务网站中的地表温度实时监测数据确定,如表 1 所示。

表 1 1988—2011 年夏季平均湿度与近地面温度统计表

项目	1988 年	2000 年	2011 年
平均湿度/%	76.01	80.21	60.14
平均温度/K	303.82	288.42	322.78

地表辐射率的大小主要取决于遥感器的波段区间与地表物质结构^[21]。地表辐射率可分别针对水体、建设用地与自然表面进行计算,其中普遍认为水体在热波段辐射率很高,非常接近于黑体,其地表辐射率为 0.995,对于建设用地的发射率大多在 0.960~0.980 之间变动,根据重庆都市区的实际情况将建设用地的地表辐射率设置为 0.970 较为合理。自然表面地表辐射率的计算方法如下^[22]:

$$\epsilon = P_V R_{V\epsilon_V} + (1 - P_V) R_s \epsilon_s + d_\epsilon \quad (9)$$

$$R_v = 0.9332 + 0.0585 P_v \quad (10)$$

$$R_s = 0.9902 + 0.1068 P_v \quad (11)$$

$$P_v = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_s) / (\text{NDVI}_v - \text{NDVI}_s) \quad (12)$$

式中: ϵ ——自然表面的地表辐射率; P_V ——植被在该混合像元内的构成比例; R_V, R_s ——植被和裸土的温度比率; ϵ_V, ϵ_s ——植被和裸土的辐射率值,可分别取 0.986, 0.972 15; d_ϵ ——植被和裸土两种地表类型热辐射量相互作用,其中当 P_V 大于 0.5 时, $d_\epsilon = 0.003 796(1 - P_V)$,当 P_V 小于或等于 0.5 时, $d_\epsilon = 0.003 796 P_V$ 。

一般情况下,大气水分含量在 0.4~3.0 g/cm² 变动区间,大气透射率可根据不同气温条件下的水分含量来计算,根据专家的研究结果大气透射率可以通过与水分含量建立线性函数关系来计算,如表 2 所示^[23]。

由于本文的数据源为夏季遥感影像,又根据当时国家实时监测情况(中国气象监测站,重庆监测站点

在沙坪坝区),重庆早上 9:00—10:00 的大气水分含量在 0.4~1.6 之间,如表 2 示。即选择公式: $\tau = 0.974 290 \sim 0.080 07w$ 对大气透射率进行计算。

表 2 大气透射率与水分含量的函数关系表

温度	水分含量(w)	线性函数关系
高气温(35℃)	0.4~1.6	$\tau = 0.974290 \sim 0.08007w$
	1.6~3.0	$\tau = 1.031412 \sim 0.11536w$
低气温(18℃)	0.4~1.6	$\tau = 0.982007 \sim 0.09611w$
	1.6~3.0	$\tau = 1.053710 \sim 0.14142w$

2.3.2 植被覆盖度的反演 归一化植被指数(NDVI),是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子^[24],TM4 对绿色植物类别差异最敏感,TM3 叶绿素的主要吸收波段,区分植物种类与植物覆盖率。其计算公式为如下:

$$\text{NDVI} = (\text{TM4} - \text{TM3}) / (\text{TM4} + \text{TM3}) \quad (13)$$

NDVI 的值在 [-1, 1] 之间变动,无植被的裸土地区,NDVI 值很低,近于 0;而植被密度较高的区域,NDVI 的值较高,大于 0.7^[24]。

2.3.3 城市热中心模型模拟 本研究通过地表温度反演的结果设置一个阈值,提取热中心范围。首先以 Landsat TM 数据为基础,然后分别反演 1988, 2000, 2011 年地表温度。其具体的判定模型如下所示^[22]:

$$\text{ROI}_i \in \text{HI}(\text{LST}_{\text{ROI}} > (\text{LST}_{\text{mean}} + \text{Std})) \quad (14)$$

式中: ROI_i ——研究区中某一兴趣区;HI——热中心区域; LST_{ROI} ——兴趣区的平均温度; LST_{mean} ——地表平均温度;Std——地表温度标准差。并根据如下公式计算出热岛重心^[25]:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (15)$$

式中: X_i, Y_i ——特征 i 的坐标值; \bar{X}, \bar{Y} ——中心点的坐标; n ——热岛斑块的数量。

2.3.4 城市建设用地重心迁移模型 土地利用类型的重心变化能具体反映出土地利用的空间分,其研究的计算模型如下^[26]:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (c_{it} \times x_i)}{\sum_{i=1}^n c_{it}}, \quad Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (c_{it} \times y_i)}{\sum_{i=1}^n c_{it}} \quad (16)$$

式中: X_t, Y_t ——第 t 年建设用地的重心坐标; c_{it} ——第 i 块建设用地斑块的面积; x_i, y_i ——第 i 块建设用地斑块的坐标。结合各时期建设用地重心坐标,可计算出建设用地迁移率,具体公式如下:

$$V_{t_{i+1}-t_i} = \frac{\sqrt{(x_{t_{i+1}} - x_{t_i})^2 + (y_{t_{i+1}} - y_{t_i})^2}}{(t_{i+1} - t_i)} \quad (17)$$

式中: x_{t_i}, y_{t_i} ——某时期建设用地重心的坐标值; $t_{i+1} - t_i$ ——地类重心转移的时间间隔; $V_{t_{i+1}-t_i}$ ——时间为 $t_{i+1} - t_i$ 内的地类重心年迁移率。

3 结果与分析

3.1 城市地表温度时空分布变化分析

本文选取重庆都市区为研究范围,利用覃志豪提出的单窗口算法,基于 Landsat 1988—2011 年三期 TM 遥感影像反演城市地表温度,并在 ERDAS 9.1 中将结果标准化为摄氏温度,1988—2011 年重庆都市区地表温度分布图所示(附图 1)。

从附图 1 中可以看出,重庆都市区地表温度不同时间的空间分布呈现出明显的差异性,这种差异随时间而发生改变并呈现出一定规律性。

从地表温度的空间分布情况分析,并结合附图 1—2 可以看出地表温度的分布于建设用地的分布呈现出明显的相关性。高温区的分布较为集聚,主要以渝中区为分布中心以及各区县的建制镇所在区域;中温区类似同心圆分布,围绕在高温区的四周,并向各个方向延伸;低温区主要分布在水域(长江与嘉陵江)以及森林覆盖率较高的地方(主要集中在重庆都市区的四条山脉:缙云山、中梁山、铜锣山和明月山)。除此之外,从地表温度的分布结构能够发现重庆都市区内存在明显的热岛现象。

从时间序列上来分析地表温度的变化,地表温度随时间而发生改变,且体现出一定的阶段性与规律性。从总体上来分析,1988—2011 年中高温区空间分布范围逐年增大,主要以渝中区为中心向西南和东北方向逐年扩张,与建设用地扩张方向基本一致,其中 2011 年在两江新区以及南岸茶园新区出现明显的高温区。1988—2000 年份高温区空间分布主要集中在重庆市嘉陵江和长江交汇地带,这两年相比较而言,高温区在此处的分布程度呈现下降趋势,但出现了两个较为明显的新热中心(渝北区西南部和沙坪坝北部),2000—2011 年,高温区分布范围呈现明显上升趋势,新增建设用地成为高温区的集聚区域。从中温区分布情况来看,其主要分布在新增建设用地外围,1988—2000 年,中温区处于缓慢减少阶段,特别是沙坪坝区与大渡口区;2000—2010 年处于快速发展阶段。而低温区分布范围呈波动式变化,1988—2000 年,低温区分布范围减少;2000—2011 年,低温区分布范围增加,主要分布在较大型山脉及水域的两侧。由以上分析可以得出,重庆都市区在 1988—2011 年,城市热环境问题日益凸显、呈现出热岛效应。

3.2 城市建设用地重心与热岛重心迁移分析

通过 ArcGIS 软件的分析功能模块对数据进行处理,获取建设用地的重心与城市热中心的坐标。首

先从三期土地利用现状数据中提取城市建设用地信息,根据公式(13)从地表温度反演结果中提取热岛范围,并生成不同时期城市建设用地空间分布图和热中心空间分布图。然后将城市用地图斑和热中心图斑的面状信息转化为点状信息,分别得到不同时期各城市用地图斑和热中心图斑的几何中心坐标,根据公式(14)、(15)计算不同时期重庆市建设用地重心点和热岛中点的坐标,如附图 3 所示。

由附图 3 建设用地重心和热中心的迁移情况可看出,1988—2011 年建设用地与城市热中心都有较大的迁移,总体上两者的重心向都市区的东北方向迁移。1988—2000 年,城市重心点向西偏移且偏移距离较小,而热中心向东北方向偏移且偏移的距离较大;2000—2011 年共 11 a 间,建设用地重心急剧向东北偏移,说明这一阶段城市的扩展方向以向北发展为主,热中心仍然向北偏移且偏移量仍较大,这主要是由于两江新区位于研究区的东北部,在此期间两江新区作为国家综合配套改革试验新区正处于大力发展的阶段。

结合表 3 从两者重心的转移速率来分析,1988—2000 年,热中心迁移速率大于建设用地迁移速率,建设用地的迁移速率为 0.06 km/a,热中心的迁移速率为 0.53 km/a;2000—2011 年,建设用地迁移速率大于热中心迁移速率,建设用地的迁移速率为 0.41 km/a,热中心的迁移速率为 0.34 km/a。总的来说 1988—2011 年间,建设用地的迁移速率逐年加快,热中心的迁移速率逐年减慢。由此看以得出,建设用地和热中心扩张的迁移都受到区域地形地貌条件的影响,尤其是大型山脉,且对建设用地的影响更为明显。

表 3 重庆都市区建设用地和热中心迁移速率

年份	建设用地迁移速率 ($\text{km} \cdot \text{a}^{-1}$)	热中心迁移速率 ($\text{km} \cdot \text{a}^{-1}$)
1988—2000 年	0.06	0.53
2000—2011 年	0.41	0.34

由以上分析可以得出,重庆都市区近 23 a 来城市扩展方向经历了“西拓”和“北移”两个阶段。2000 年之后,由于城市向西已扩展至中梁山下,发展空间较为有限,而随着重庆市交通条件的不断改善,城市的发展越过了嘉陵江的阻隔,向北寻求新的发展空间,使得嘉陵江以北的大片区域成为城市发展的主要方向。城市扩展方向和热中心偏移方向的这种变化特征与重庆市“两江四山”的地形地貌条件是密切相关的,且城市扩展与热中心偏移密切相关。因此热中心的偏移方向也是以“北移”为主,与建设用地的扩张保持高度一致。

3.3 城市地表热环境与下垫面时空变化分析

探求城市地表热环境与下垫面之间的关系已成为研究热环境的热点之一^[27],并且城市下垫面的性质特征是形成热岛效应的主要原因之一。许多研究认为,植被有缓解热的功能、是减缓城市热环境的重要生态因子^[28-29]。本文利用林地、建设用地和水域等下垫面因子在不同地表温度下所占的比例,对城市地表热环境和下垫面之间的相关性进行分析。

在 ERDAS 9.1 中,通过空间建模的方法对地面温度进行分类,并对分类结果进行聚类统计,再做去除分析,使聚类图像中的小类组合到相邻的最大分类中,最后获取地表温度的等级分布图,并以自然断点法将其分为低温、较低温、中温、较高温以及高温 5 大类。然后运用 Arcgis 的空间统计模块将地表温度分布图与土地利用现状数据进行数据统计,获取不同地表温度级上各下垫面的分布情况,如表 4 所示。

表 4 1988—2011 年重庆都市区各下垫面在

各地表温度级的面积比例统计 %

年份	下垫面	低温	较低温	中温	较高温	高温
1988	植被	47.3	97	76	18.38	22.43
	建设用地	0.03	0.1	23	79.94	75.68
	水域	52.6	2.8	1.5	1.67	1.89
2000	植被	84.8	90	18	44.16	21.74
	建设用地	0.38	7.7	78	32.81	65.91
	水域	14.8	2.5	3.7	23.03	12.35
2011	植被	7.5	76	60	50.92	6.39
	建设用地	0.07	16	38	48.39	93.37
	水域	92.4	8.6	1.7	0.69	0.24

从表 4 可以看出,不同地表温度级上各下垫面的分布情况具有明显的差异性。随着地表温度等级的增加,林地所占比例呈现出正态分布的趋势,且 3 a 中,最大值均出现在较低温区内,分别为 97.10%, 89.77% 和 75.75%,而最小值多出现在低温区和高温区,这说明林地对较低温区和中温区的贡献最大,而对低温区和高温区的影响最小。随着温度等级的增加,2011 年建设用地所占比例持续上升,而 1988 年和 2000 年建设用地呈现出先上升后下降的波动性变化趋势;1988—2011 年,建设用地在较高温、高温以及中温的分布最大,其中在 1988 年建设用地在较高温和高温等级中所占比重均超过 70%,这表明建设用地在城市热环境效应中的贡献率是最大的。随地表温度等级的增加水域所占百分比急剧减小,1988 年和 2011 年水域所占比重的最高值均出现在低温区内,分别为 52.63% 和 92.42%,其次是较低温区,分别为 2.82% 和 8.62%,这说明水域地对低温区的贡献最大;而 2000 年,随着温度等级的升高,水域所占

比例呈现先下降再上升再下降的趋势,其中产生突变是由于河流干涸、大量滩涂裸露,从而引起地表温度升高。

由以上分析可得出,建设用地、植被覆盖率以及水域都是影响城市热中心的重要因素。其中,热岛效应的强度与建设用地的分布大致呈正相关,而与植被覆盖率或是水域的分布呈负相关;建设用地的混领土、沥青地面和各种建筑材料对城市热岛的影响相当大,建设用地面积增加,环境温度急剧上升,形成城市热岛的可能性就越大。

4 结论

本文基于 RS 和 GIS 技术,采用单窗口算法对重庆都市区 1988—2011 年的地表温度进行反演,并通过对城市地表温度的时空分布差异、热岛重心的迁移、城市建设用地重心迁移以及城市植被覆盖率的分析,探讨城市热环境与城市扩张以及城市下垫面的响应关系。得到结论如下:

(1) 1988—2011 年,重庆都市区的地表温度整体有上升的趋势、呈现出同心圆分布,热环境问题日益严重;新增建设用地容易形成新兴的热岛区。为了有效地减缓热岛效应、优化人居生态环境,应加重对新建区进行相应的绿化措施。

(2) 1988—2011 年,重庆都市区热中心的迁移与建设用地重心迁移表现出相似性,均向东北、东南方向迁移;二者的迁移均受到区域特殊的地势地貌的影响,且建设用地的迁移受到的限制更大。

(3) 建设用地、植被覆盖率以及水域都是影响城市热环境的重要因素,且热岛效应的强度与建设用地的分布大致呈正相关,与植被覆盖率或水域的分布呈负相关。

(4) 针对 Landsat TM 遥感影像,能够反映研究区夏季的温度趋势,但由于原始数据的时期无法统一到同一时刻,本文的研究结果只适用于夏季。

(5) 对于研究区城市热岛与下垫面的相关性分析,本文只是对其响应关系进行了分析而没有进行空间相关性分析。例如采用全局 Moran'S I 模型统计检验城市热岛与下垫面的空间自相关性,这有助于更加前面的认识热岛效应。同时这部分内容也是作者下一步要做的研究与探索。

参考文献:

- [1] 王艳姣,张培群,董文杰,等. 基于 MODIS 数据的重庆市地表热环境效应研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(3): 98-103.

- [2] 叶彩华,刘勇洪,刘伟东,等.城市地表热环境遥感监测指标研究及应用[J].气象科技,2011,39(1):95-101.
- [3] 季青,余明.基于 CBERS-02 IRMSS 和 MODIS 数据的地表温度反演与热环境评价[J].地理与地理信息科学,2009,25(6):78-81.
- [4] 宫阿都,江樟焰,李京,等.基于 LandsatTM 图像的北京城市地表温度遥感反演研究[J].遥感信息,2005(3):18-20.
- [5] 胡弟维,周启刚,赵予爽,等.基于 LandsatTM 的地表热环境对城市扩展的响应:以重庆市南岸区为例[J].重庆工商大学学报:自然科学版,2012,29(11):79-86.
- [6] 钱乐祥,丁圣彦.珠江三角洲土地覆盖变化对地表温度的影响[J].地理学报,2005,60(5):761-770.
- [7] 刘强,何岩,崔保山.洮儿河流域土地利用变化对地表蒸散量的影响[J].资源科学,2007,29(4):121-126.
- [8] 高志强,宁吉才,高炜.基于遥感的沿海土地利用变化及地表温度响应[J].农业工程学报,2009,25(9):274-281.
- [9] 周启刚,张叶,杨霏,等.三峡库区生态屏障带划分与土地利用现状研究:以重庆市万州区为例[J].重庆工商大学学报:自然科学版,2012,29(11):65-72.
- [10] Qigang Z, Fei Y, Zezhong M, et al. Researches on remote sensing monitoring of newly-construction land based on double-difference model in Chongqing city, China [C] // Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT), 2010 International Conference on. IEEE, 2010:786-789.
- [11] 徐旺全.基于 Landsat 热红外数据的南京市城市热岛时空效应研究[D].南京:南京林业大学,2012.
- [12] 邓玉娇,匡耀求,黄宁生,等.温室效应增强背景下城市热环境变化的遥感分析:以广东省东莞市为例[J].地理科学,2008,28(6):814-819.
- [13] 刘孝赵,熊显名,滕惠忠,等.基于 TM 遥感图像的预处理分析[J].科技创新导报,2008(9):26-27.
- [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] 陈命男,张浩,唐靖寅,等.上海城市地表热环境多时期遥感研究[J].中国环境科学,2011,31(7):1143-1151.
- [16] 覃志豪, Minghua Z, Karnieli A, et al. 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.
- [17] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data[J]. Journal of Geophysical Research, 2003,108(D22):ACL2.1-ACL2.9.
- [18] 樊辉.基于 LandsatTM 热红外波段反演地表温度的算法对比分析[J].遥感信息,2009(1):36-40.
- [19] 杜嘉,张柏,宋开山,等.基于 Landsat-5TM 的洪河湿地地表温度估算方法对比研究[J].遥感技术与应用,2009,24(3):312-319.
- [20] 叶智威,覃志豪,宫辉力.洪泽湖区的 LandsatTM6 地表温度遥感反演和空间差异分析[J].首都师范大学学报:自然科学版,2009,30(1):88-95.
- [21] 王情,张广录,王晓磊,等.基于 RS 和 GIS 的城市热岛效应分析:以石家庄市为例[J].世界科技研究与发展,2008,30(3):320-323.
- [22] 覃志豪,李文娟,徐斌,等.利用 LandsatTM6 反演地表温度所需地表辐射率参数的估计方法[J].海洋科学进展,2005,22(B10):129-137.
- [23] 刘朝顺,高炜,高志强,等.基于 ETM+ 遥感影像反演不同土地利用类型地表温度的研究[J].南京气象学院学报,2008,31(4):503-510.
- [24] 孙红雨,李兵.中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系[J].遥感学报,1998,2(3):204-210.
- [25] 周兆叶,储少林,王志伟,等.基于 NDVI 的植被覆盖度的变化分析:以甘肃省张掖市甘州区为例[J].草业科学,2009,25(12):23-29.
- [26] 李建辉,周启刚,陈倩,等.基于 RS 和 GIS 的建设用地变化研究:以重庆市主城九区为例[J].重庆工商大学学报:自然科学版,2012,29(1):76-81.
- [27] 潘竟虎,刘春雨,李晓雪.基于混合光谱分解的兰州城市热岛与下垫面空间关系分析[J].遥感技术与应用,2009,24(4):462-468.
- [28] 陈峰,何报寅,龙占勇,等.利用 LandsatETM+ 分析城市热岛与下垫面的空间分布关系[J].国土资源遥感,2008,20(2):56-61.
- [29] 张浩,王祥荣.城市绿地的三维生态特征及其生态功能[J].中国环境科学,2001,21(2):101-104.