

基于Landsat8影像的安庆市城市热岛效应分析

韦正, 孙嘉乐, 陈志敏, 郭忠臣*

(宿州学院环境与测绘工程学院, 安徽 宿州 234000)

摘要:从美国地质勘探局(United States Geological Survey, USGS)下载Landsat8卫星影像(2014/05/01和2018/04/10)作为数据来源, 安庆市市区为研究区, 采用单窗算法反演出安庆市辖区的地表温度, 并对反演结果进行归一化处理 and 分级, 对安庆市市辖区的热岛效应进行时空变化分析。在此基础上, 分析研究区内的NDBBI(归一化差值裸地与建筑用地指数), NDVI(归一化植被指数), MNDWI(改进的归一化水体指数), BSI(裸土指数)等与地表温度之间的关系。研究表明:(1)安庆市城市热岛效应显著, 城区温度明显高于周边郊区;(2)安庆市热岛效应与NDVI, MNDWI呈负相关, 与BSI, NDBBI呈正相关;(3)2014—2018年, 安庆市城市热岛效应不断增强, 热岛效应面积不断增加。

关键词:单窗算法; 地表温度; 热岛效应; BSI; NDBBI; NDVI; MNDWI

中图分类号:X16;P463.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2018)04-0066-05

Analysis of Urban Heat Island Effect in Anqing City Based on Landsat8 Satellite Image

WEI Zheng, SUN Jia-le, CHEN Zhi-min, GUO Zhong-chen*

(School of Environment Science and Surveying Engineering, Suzhou University, Suzhou, Anhui 234000, China)

Abstract: The data sources were selected from the remote sensing images (on May 1st, 2014 and April 10th, 2018) by Landsat8 satellites downloaded from the U.S. Geological Survey and the urban area of Anqing City is the study area. The paper adopted the mono-window algorithm to invert the land surface temperature of the Anqing City, and the paper normalized and graded the results, then made the spatio-temporal change analysis of urban heat island effect in the Anqing downtown area. On this basis above, the paper analyzed the relationship between the urban surface temperature and NDBBI, NDVI, MNDWI, BSI etc. The research shows: (1) Urban heat island effect in Anqing is very remarkable and temperature of downtown area is higher than that of the surrounding suburbs; (2) The heat island effect in Anqing is negatively correlated with NDVI and MNDWI, and positively correlated with BSI and NDBBI; (3) From 2014 to 2018, urban heat island effect in Anqing increased and the area of heat island effect have increased.

Keywords: mono-window algorithm; land surface temperature; urban heat island effect; BSI; NDBBI; NDVI; MNDWI

0 引言

城市的发展,一方面给人们的生活带来了便利,另一方面也对自然环境带来了诸多问题,城市热岛效应就是其中之一。国内外许多专家学者对其进行了广泛研究,例如Manley^[1]于1958年第一次提出城市热岛(Urban Heat Island, UHI)的概念; Rao^[2]于1974年第一次将遥感技术应用于城市热岛效应研究。与传统的热岛效应研究技术相比,遥感技术以其技术手段多样、经济效益高、监测范围大、

测量速度快等特点成为研究城市热岛效应的主要方法;Streutker^[3]利用大量资料研究了美国休斯敦市的热岛效应,描述了城市热岛的大小和空间范围,得出了农村温度和热岛效应的关系;李璇琼^[4]利用Landsat数据对兰州市城市热岛效应时空演化进行研究,得出了兰州市热岛效应和植被覆盖度之间的关系;方刚^[5]利用Landsat8数据对宿州市城市热岛效应进行了研究,得出了宿州市热岛效应的空间分布并分析了热岛效应与4种指数的关系;胡德勇等^[6]采用单窗算法和Landsat8 TIRS数据反演河南省郑

收稿日期:2018-09-13

基金项目:安徽省大学生创新创业训练计划项目(201710379053)。

作者简介:韦正(1995—),男,安徽潜山人,本科,研究方向:测绘工程。*为通信作者。

州市上街机场及其附近的地表温度,研究提出了针对热红外第10波段的单窗算法,并罗列了研究区多种地表条件下的温度值。

本文以Landsat8卫星影像为数据源,以ENVI遥感软件为平台,利用覃志豪等^[7]提出的单窗算法模型对安庆市城市热岛效应进行研究。在分析安庆市城市热岛效应时空变化的基础上,提出缓解安庆市城市热岛效应的措施。研究结果对安庆市建立全国绿化模范城市、国家森林城市、国家园林城市等建设具有一定的参考作用,也能为安徽省其它城市研究热岛效应提供一个范例。

1 研究区概况

安庆市坐落于皖西南长江中下游的北岸,位于29°47'~31°17'N,115°46'~117°44'E之间。安庆市气候温暖、四季分明,年平均降水量1300~1500mm,年均温度在14.5~16.6℃,无霜期248天,现辖7县(市)及3区。论文以安庆市市辖区(具体包括大观区、迎江区和宜秀区)为研究区,研究区的遥感影像如图1。

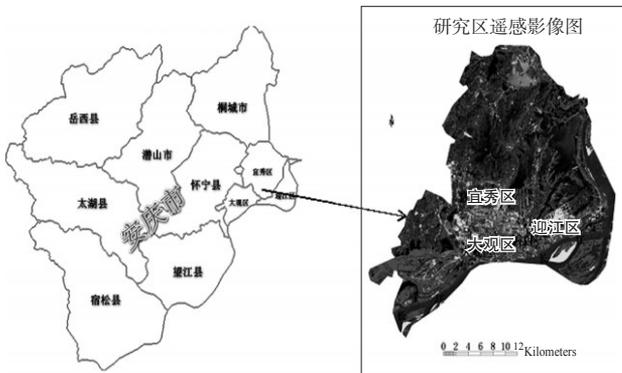


图1 安庆市市辖区的影像图

2 数据来源与数据处理方法

2.1 数据来源与预处理

论文以2014年5月1日和2018年4月10日两时相Landsat8影像为数据源,其轨道号是121,行号是39,云量是0。论文以ENVI5.3软件为平台,首先对研究区Landsat8 TIRS和OLI影像进行辐射定标处理,然后对研究区OLI影像进行大气校正处理,最后依据最新行政区划矢量边界裁剪安庆市市辖区影像。

2.2 单窗算法反演地表温度模型

2.2.1 单窗算法

覃志豪的单窗算法是针对TM传感器数据的第6波段提出来的,TIRS传感器的数据具有与其相似

的波普范围,因此单窗算法也适用于Landsat8卫星数据。计算公式^[7]为:

$$T_s = [a(1-C-D) + (b(1-C-D) + C + D)T - DT_a] / C \quad (1)$$

式中: T_s 是地表温度(K), C 和 D 是变量, $C = \varepsilon\tau$, $D = (1-\tau) + [1 + (1-\varepsilon)\tau]$,其中 ε 是地表比辐射率, τ 是大气透射率,系数 $a = -67.355351$, $b = 0.458606$, T_a 为大气平均作用温度, T 是Landsat8 TIRS中第11波段像元的亮度温度^[7]。

2.2.2 大气平均温度

温度统一采用开尔文温度,其具体表达式为: $T = t + 273.15$,单位用K来表示,中纬度夏季平均大气温度公式^[8]可用 T_a 来计算,其具体表达式为:

$$T_a = 16.0110 + 0.92621T_0 \quad (2)$$

2.2.3 大气透射率

在<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>网页中,输入研究区影像的成像时间、中心点经纬度等信息很容易查到2014年5月1日和2018年4月10日两时相影像大气透射率分别为0.81和0.84。

2.2.4 亮度温度

地表亮度温度计算公式^[8]:

$$T = K_2 / \ln(1 + K_1 / L_i) \quad (3)$$

式中: K_1 、 K_2 为常数,均可以从Landsat8头文件中获取。对于Landsat8卫星影像,亮度温度可直接在ENVI5.3中利用热红外影像通过辐射定标得到。

2.2.5 地表比辐射率

地表比辐射率(ε)可用Sobrino等^[9]提出的NDVI阈值法来计算,具体公式为:

$$\varepsilon = 0.004p_v + 0.986$$

$$P_v = [(NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s)] \quad (4)$$

式中: P_v 是研究区 λ 植被覆盖度, $NDVI$ 表示研究区归一化植被指数, $NDVI_v$ 是被植全覆盖区像元的归一化植被指数值, $NDVI_s$ 是裸土或零植被覆盖区的归一化植被指数值。

2.2.6 研究区的地表温度反演

利用公式(1)并结合4种参数对研究区地表温度进行反演,图2(封三)给出了研究区地表温度分布图。分析可知:2014年5月1日和2018年4月10日安庆市地表温度最低分别为290.60K和290.13K,最高温度分别为314.57K和311.85K,高温区相对集中于市区和居民地等人类活动频繁区域,在远离城市中心的地方,如山地、河流和农田等无建筑覆盖地区,温度相对较低。乡村地表温度明显低于城市地表温度,且反演结果整体温度分布符合热岛效应分布规律,由此可见安庆市城市热岛效应显著。

2.3 城市热岛效应分级与时空分布规律分析

利用公式(5)对地表温度进行归一化处理,并按照等差级数值将研究区热岛效应分级:0.8~1.0表示强热岛区、0.6~0.8表示热岛区、0.4~0.6表示正常区、0.2~0.4表示绿岛区、0~0.2表示强绿岛区。图3(封三)表示安庆市市辖区城市热岛效应的等级分布图,表1给出了各等级所占面积及百分比。

$$L=(T_i - T_{min})/(T_{max} - T_{min}) \quad (5)$$

式中: L 是TIRS影像中第*i*个像元亮度温度的归一化值, T_i 是第*i*个像元温度; T_{min} 代表温度最小的值, T_{max} 表示温度最大的值。

总的来说,安庆市热岛区2018年较之2014年有明显的扩张,热岛区由市中心向城市外围以及农村地区延伸;结合热岛效应等级分布图可以发现,2018年研究区中正常区、热岛区和强热岛区面积相对于2014年有非常明显的上升,并且主要集中在安庆市区中心;低温区包括乡村,山林等地,由于存在茂盛的树木和丰富的水资源,对热岛效应起到了一定的遏制作用,但是都有向高温区转变的趋势。总体来说,研究区的热岛效应2014—2018年呈现一个上升的趋势(表1)。

表1 热岛效应等级各区域面积及百分比

热岛等级	2014年		2018年	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%
强绿岛区	126.81	15.24	149.82	18.01
绿岛区	559.12	67.21	390.61	46.95
正常区	139.52	16.77	269.04	32.34
热岛区	6.33	0.76	20.37	2.45
强热岛区	0.18	0.22	2.12	0.25

3 NDVI, BSI, NDBBI, MNDWI与城市热岛效应之间的关系

3.1 指数模型

3.1.1 归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

NDVI是用来表示植被覆盖度与植被生长状态的一指标,其计算公式^[10]如下:

$$NDVI=(\varphi_5 - \varphi_4)/(\varphi_5 + \varphi_4) \quad (6)$$

3.1.2 裸土指数(Bare Soil Index, BSI)

Rikimaru等于1996年提出BSI^[11],其公式是:

$$BSI=[(\varphi_6 - \varphi_4)/(\varphi_5 + \varphi_2)]/[(\varphi_6 + \varphi_4)/(\varphi_5 + \varphi_2)] \quad (7)$$

3.1.3 归一化差值裸地与建筑用地指数(Normalized Difference Bareness and Built-up Index, NDBBI)

NDBBI是用来提取仅含裸地的建筑信息,计算公式^[12]是:

$$NDBBI=[1.5\varphi_7 - (\varphi_5 + \varphi_3)/2]/[1.5\varphi_7 + (\varphi_5 + \varphi_3)/2] \quad (8)$$

3.1.4 改进的归一化水体指数(Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI)

MNDWI是用来提取水体信息,计算式^[13]为:

$$MNDWI=(\varphi_3 - \varphi_6)/(\varphi_3 + \varphi_6) \quad (9)$$

上述各式中,($i=2, 3, 4, 5, 6, 7$)分别代表Landsat8影像第*i*波段。图4和5是安庆市市辖区4指数图。

从图4和5知,植被中NDVI和MNDWI值较高,而NDBBI和BSI值较低;裸土和建筑用地中NDBBI和BSI值较高,NDVI和MNDWI值较低;长江、河流等水体中MNDWI值较高,水体中NDVI、BSI、NDBBI值较低。

3.2 热岛效应与各指数的关系

图6(封三)给出了研究区地表温度与4种指数(NDVI、BSI、NDBBI、MNDWI)的散点图,研究地表温度与4种指数的关系。

Price和Carlson等通过热红外波段影像研究NDVI与地表温度之间的关系,发现二者之间的散点图均呈三角形,且将这种“三角形”称为“NDVI- T_s 特征空间”^[14-15]。由图6可知,安庆市市辖区的地表温度与NDVI之间的散点图也是呈三角形,与文献^[14, 15]研究结果一致,安庆市市辖区的地表温度

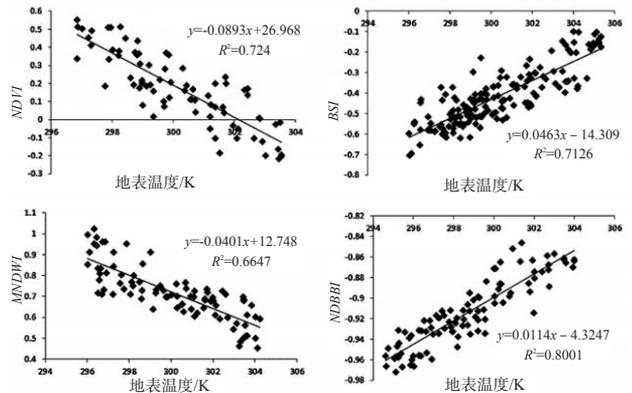


图7 2014年地表温度与4种指数的线性函数关系

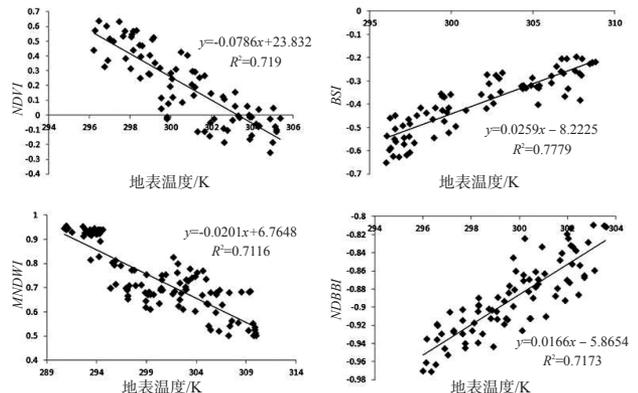


图8 2018年地表温度与4种指数的线性函数关系

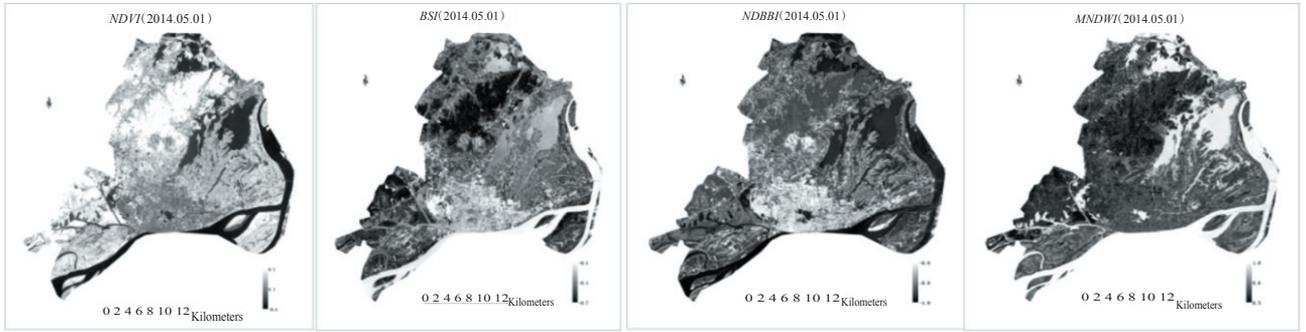


图4 2014年安庆市市辖区4种指数图

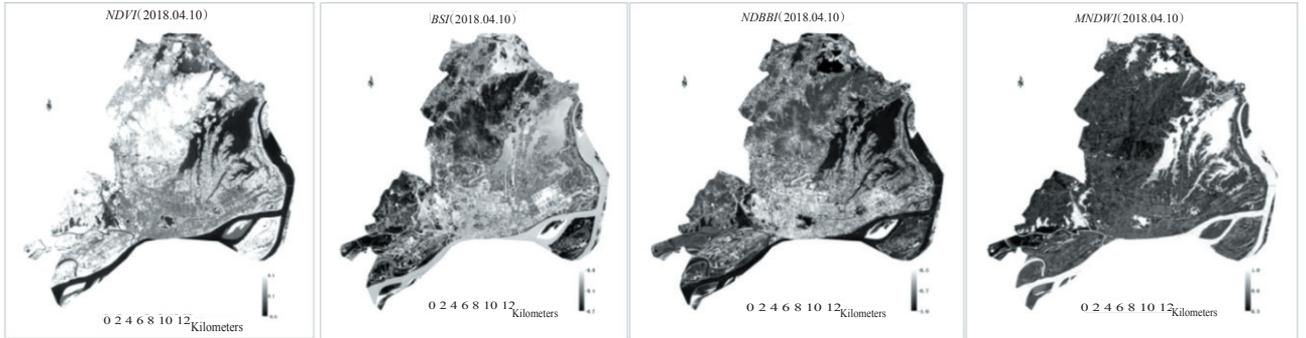


图5 2018年安庆市市辖区4种指数图

与MNDWI指数、NDVI指数均呈负相关性,而与BSI指数、NDBBI指数均呈正相关性。

为了更方便地找出NDVI、BSI、MNDWI、NDBBI等4种指数与安庆市市辖区地表温度之间的定量关系,对指数图进行随机采样和线性回归分析,找出地表温度与4种指数的关系,图7和8分别为2014年和2018年4种指数与地表温度的线性函数关系图。

由图7和8分析可知:(1)安庆市地表温度与NDVI呈负相关。经分析,2014年和2018年研究区NDVI值每上升0.1,地表温度分别减少0.81 K和0.92 K。植被越多,所在区域地表温度越低,适当加大植被覆盖可有效降低地表温度,缓解城市热岛效应;(2)安庆市市辖区地表温度与BSI、NDBBI均呈正相关。经分析,2014年和2018年研究区裸土指数每上升0.1,地表温度分别上升1.54 K和3.01 K。2014年和2018年研究区归一化差值裸地与建筑用地指数每上升0.1,地表温度分别上升7.01 K和4.32 K。不难发现裸露的地面,如裸土、城市建筑群、水泥道路等比热容小的物体对热岛效应强度有促进作用,合理规划城市发展,有效地利用土地,给建筑物覆盖比热容大的材料都有利于缓解城市热岛效应。(3)安庆市市辖区地表温度与MNDWI呈负相关。通过定量分析,2014和2018年研究区改进的归一化水体指数每上升0.1,地表温度分别减少1.66 K和3.54 K。由此可见,增大水体的覆盖面积,

给城市地面洒水,均可以有效降低地表温度,缓解城市热岛效应。

4 安庆市城市热岛效应成因分析及减缓措施

4.1 形成原因

(1)城市发展。随着安庆市经济的快速发展,城市建设也逐渐完善,基础设施(如高铁、桥梁、公路等)建设也正加快推进,工业、企业得到较好发展,城镇化居民日益增多。因此,由于建筑用地增加不可避免造成河流、湖泊、农田、山地、绿色植被的减少,导致地表温度上升,城市热岛效应增强。

(2)城市建筑物大量使用水泥、砖头和沥青等材料,在相同太阳辐射条件下,建筑物温度高,易形成城市热岛效应。

4.2 减缓城市热岛效应的措施

通过实地调研、数据分析并结合安庆市市情,减少安庆市城市热岛效应的主要措施有:

(1)增加城市水体面积。因为水的比热容大,相同条件下吸收热量多,对热岛效应会起到一定的减缓作用。

(2)加强城市绿化建设。从图2和3可以看出,植被多的地方,地表温度明显低于裸土区域。因此合理规划城市布局,种植适量的绿色植被,利用植被的蒸腾作用吸收空气中的热量,可以有效地减弱热岛效应,并且植物的光合作用能够吸收空气中的CO₂,减少温室效应带来的影响。

(3) 统筹规划城市建筑密度。合理规划城市建筑物的布局,让外面的风能够“走”进来,里面的能够“走”出去,营造一个良好的通风系统,借助于长江水汽能够很好地给城市降温。

(4) 大力倡导低碳生活。随着经济的快速发展,汽车、空调和工厂等排放出更多温室气体,从而导致研究区气温不断升高。因此,绿色、低碳的生活方式有利于降低温室效应,缓解城市热岛效应。

5 结语

(1) 2014—2018年,安庆市城市热岛效应不断

增强,热岛效应面积不断增加。

(2) 2014年5月1日安庆市地表温度最低为290.60 K,最高为314.57 K;2018年4月10日安庆市地表温度最低290.13 K,最高为311.85 K。城市中心地表温度远远高于乡村地表温度,安庆市市辖区城市热岛效应比较显著。

(3) 安庆市市辖区城市热岛效应与NDVI, MNDWI呈负相关,而与BSI, NDBBI呈正相关。研究区郊区的植被覆盖度较高,热岛效应弱;城区建筑物多,裸土面积大,热岛效应显著。

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] RAO P K. Remote Sensing of Urban Heat Islands from an Environmental Satellite[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1972,53:647-648.
- [3] STREUTKER D R. A Remote Sensing Study of the Urban Heat Island Of Houston, Texas[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002,23(13):2595-2608.
- [4] 李璇琼,李永树,卢正,等.兰州市热岛效应时空演化研究[J]. 城市发展研究, 2015,22(7):18-22.
- [5] 方刚. 基于Landsat8卫星影像和地表参数的宿州市城市热岛效应分析[J]. 土壤通报, 2014,45(5):1241-1246.
- [6] 胡德勇,乔琨,王兴玲,等.单窗算法结合Landsat8热红外数据反演地表温度[J]. 遥感学报, 2015,19(6):964-976.
- [7] 覃志豪, Arnon Karnieli. 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.
- [8] 邓书斌. ENVI遥感图像处理方法[M]. 2版. 高等教育出版社, 2014.
- [9] SOBRINO J A, JIMÉNEZ-MUÑOZ J C, PAOLINI L. Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT TM5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004,90(4):434-440.
- [10] PUREVDORJ T S, TATEISHI R, ISHIYAMA T, et al. Relationships between Percent Vegetation Cover and Vegetation Indices [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998,19(18):3519-3535.
- [11] RIKIMARU A. Landsat T M Data Processing Guide for Forest Canopy Density Mapping and Monitoring Model[C]//ITTO Workshop on Utilization of Remote Sensing in Site Assessment and Planning for Rehabilitation of Logged-over Forest. Bangkok, Thailand, 1996:1-8.
- [12] 吴志杰,赵书河. 基于TM图像的“增强的指数型建筑用地指数”研究[J]. 国土资源遥感, 2012,24(2):50-55.
- [13] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005,9(5):589-595.
- [14] TOBY N. CARLSON, ROBERT R. GILLIES, EILEEN M. PERRY. A Method to Make Use of Thermal Infrared Temperature and NDVI measurements to Infer Surface Soil Water Content and Fractional Vegetation Cover[J]. Remote Sensing Reviews, 1994,9(1):161-173.
- [15] PRICE J C. Using Spatial Context in Satellite Data to Infer Regional Scale Evapotranspiration[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 1990,28(5):940-948.
- [16] 张宇,赵伟,龙凤,等. 基于Landsat TM/TIRS的重庆市主城区热岛效应研究[J]. 水土保持研究, 2015,22(5):191-196.
- [17] 方慧婷,杨英宝,汪子豪. 长三角夏季热岛效应时空演变分析[J]. 地理空间信息, 2017,15(8):109-112.
- [18] 罗小瑞,沈非,王正,等. 合肥市热岛效应时空演变分析[J]. 安徽农学通报, 2016,22(23):91-95.
- [19] 尤承增,杨新源,束安,等. 基于Landsat数据的城市热岛效应分析与研究[J]. 环境工程, 2016(S1):1145-1150.
- [20] 周鹏,方刚,陈丽,等. 基于Landsat 8影像的马鞍山市热岛效应研究[J]. 石家庄学院学报, 2016,18(3):63-69.
- [21] 祁凯英. 单窗算法地表温度反演的初步研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2015(7):196-199.
- [22] 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.
- [23] 胡德勇,乔琨,王兴玲,等. 利用单窗算法反演Landsat 8 TIRS数据地表温度[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2017,42(7):869-876.