

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2016.02.006

高密度城区公园降温效应与模拟预测研究 ——以天津中心城区为例

贾琦^{1,2}, 运迎霞¹, 尹泽凯¹

(1.天津大学建筑学院,天津 300072;2.郑州轻工业学院环境设计系,郑州 450002)

摘要:在当前快速城镇化背景下,大量城镇人口导致各大城市人口密度不断增加,高密度的城区热岛现象开始加剧。公园绿地作为城市生态系统的重要组成部分,在缓解热岛方面具有重要作用。本研究以天津中心城区 8 处较大的公园绿地为实证对象,基于 2013 年 Landsat8 ETM+ 影像,通过单窗算法分析其降温效应。研究表明:公园面积及植被覆盖度是热岛效应最重要的影响因素,水体比例也在很大程度上影响着地表温度;各公园的最大降温强度和降温距离差异较大,降温强度温差约 2.72 °C,降温距离相差 195 m;城区面积较大的公园降温效应更明显,水体比例高于 30% 或植被覆盖度高于 10 的公园降温效应较理想;并在研究结论的基础上构建了公园的降温效应模型。研究成果为天津中心城区及类似高密度城区的公园绿地规划提供了有效技术支持。

关键词:公园;降温效应;地表温度;模拟预测;天津市

中图分类号:P463.3

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2016)02-044-07

Study on cooling effect of high density urban park and its simulations & predictions ——Taking Tianjin center city as an example

JIA Qi^{1,2}, YUN Yingxia¹, YIN Zekai¹

(1.School of architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, P.R.China;

2.School of Environment Design, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, P.R.China)

Abstract: Rapid urbanization results in the increase of population density of large cities. And urban heat island effect becomes severe. Park green spaces, as an important component of the city ecosystem, play a significant part in alleviating heat island. We choosed 8 large parks of Tianjin center city as empirical objects, used single window algorithm and analyzed their cooling effect based on Landsat8 ETM + image in 2013. The results show that the coverage areas of the parks and vegetation coverage ratio are the most important factors influencing the urban heat island effect, and also water ratio has a great influence on the surface temperature. The maximum cooling intensity and cooling distance of the 8 parks differ largely with each other. The cooling intensity temperature difference is about 2.72 °C and the cooling distance is 195 m. Parks with larger area has more obvious cooling effect, especially when the water ratio is higher than 30% or the vegetation coverage higher than level 10. A model of Parks' cooling effect is deducted based on

收稿日期:2015-07-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51278330);国家留学基金委项目“健康城镇化”(留金欧[2013]6004号)。

Supported by National Natural Science Foundation of China(51278330) and Sustainable Urbanization Model of China of China Scholarship Council (CSC Europe No.[2013]64).

作者简介:贾琦(1985-),男,天津大学博士研究生,主要从事城镇化与低碳城市的研究,(E-mail)jqitju@sina.com。

the conclusion of the study. The results of the research provides effective technical support for the planning of park green space in Tianjin center city and similar high density urban areas.

Keywords: parks; cooling effect; surface temperature; simulation; Tianjin city

在当前快速城镇化背景下,中国的城镇化率由2000年的36.22%迅速增至2013年的53.37%,大量的城镇人口导致各大城市人口密度不断增加,城市空间不断外延,热岛现象开始加剧,尤其在高密度中心城区,热岛问题更加严重^[1-4]。在其作用下,不仅会引起城市自然生态环境发生变化,而且还将加剧大气污染,导致高温热浪等气象灾害,直接危及人类健康甚至生命。因此,相关缓解城市热岛的研究对于当前中国的城镇化健康发展、改善人居环境和低碳生态城市建设具有极其重要的现实意义。

基于遥感的城市热岛相关研究,最早是由Rao^[5]在1972年提出,由于能够进行大面积、同步和动态实时监测地面热场的变化特征,因而国内外学者多借用遥感影像(TM/ETM+、ASTER、MODIS、HJ-1B、AVHRR等)地表温度反演并分析城市热岛现象^[6-11]。公园绿地作为城市生态系统的重要组成部分,在缓解热岛方面具有重要的作用。当前关于绿地降温的研究,就城市尺度而言,主要集中在公园绿地的空间特征与热岛效应的关系方面,侧重于缓解热岛大小的分析,而较少关注两者的作用机理,对其降温效应的模拟预测研究仍有待深入探讨和验证,以便能够有效指导相关的城市规划决策。

因此,针对当前公园绿地与热岛的相互作用及模拟预测研究的不足,笔者在2013年Landsat8 ETM+影像反演地表温度的基础上,以天津中心城区8处较大的公园绿地为实证对象,分析其降温效应,并构建公园降温模型,以期为天津中心城区及类似高密度城区的公园绿地规划提供技术支持。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域

天津市(38°34′-40°15′N,116°43′-118°04′E)地处华北平原北部,是中国北方最大的沿海开放城市,海河自北向南贯穿城区。全市总面积为11 916.85 km²,中心城区面积173 km²,人口密度21 963 人/km²。天津市属暖温带半湿润季风气候,年均温度约13.8℃,最热月7月份最高温度为37.9℃,年均降水量736.5 mm,年均湿度54%。统计数据表明:天津市夏季平均温度近年来持续上升,至2013年7月已高达31℃,最大瞬时热岛效应可达8℃^[12]。基于此,天津市于2013年初开始计划在城区配置14处以上公园绿地,以缓解当前的热岛问题。这里,主要选取天津中心城区规模较大的长虹生态园、水上公园、人民公园、北宁公园、河东公园、西沽公园、天津迎宾馆绿地和二宫公园共计8处公园绿地作为实证研究对象,对其降温效果进行分析。

1.2 数据来源

本文数据主要包括2013年7月24日Landsat8 ETM+遥感影像(TIRS10/11热波段空间分辨率100m)和2013年9月2日的SPOT影像(分辨率为2.5 m),其中前者基于热红外波段反演地表温度(图1(b)),后者用于公园绿地下垫面类型特征的提取(图1(a)),辅助分析平台涉及遥感影像分析软件ENVI5.0、地理信息系统ArcGIS9.3、统计分析软件SPSS20和景观指数分析软件Fragstats3.3等。

2 研究方法

2.1 地表温度反演

反演方法上采用覃志豪的单窗算法^[13],首先,基于ENVI5.0平台分别对ETM+影像的第10波段(TIRS热红外传感器数据)和多光谱数据进行辐射定标和大气校正,随后,计算地表比辐射率。

$$F = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}), \quad (1)$$

$$\epsilon_1 = 0.9625 + 0.0614F - 0.0461F^2, \quad (2)$$

$$\epsilon_2 = 0.9589 + 0.0860F - 0.0671F^2, \quad (3)$$

式中: F 为植被覆盖度值;NDVI为归一化植被指数; ϵ_1 和 ϵ_2 分别为自然表面像元和城镇像元的地表比辐射率值。

最后计算地表辐射亮度并求得地表真实温度,最终地表温度反演结果如图1(b)所示。

$$B(T_s) = [L_c - 3.39 - 0.72(1 - \epsilon) \times 4.01] / 0.72\epsilon, \quad (4)$$

$$T_s = K_2 / \ln(K_1 / B(T_s) + 1), \quad (5)$$

式中: T_s 为地表真实温度, $B(T_s)$ 为地表辐射亮度, L_c 为热红外辐射亮度, ϵ 为地表辐射率。对于 Landsat8 ETM+, $K_1 = 774.89 \text{ w}/(\text{m}^2 \cdot \text{Sr} \cdot \mu\text{m})$, $K_2 = 1\,321.08 \text{ K}$ 。

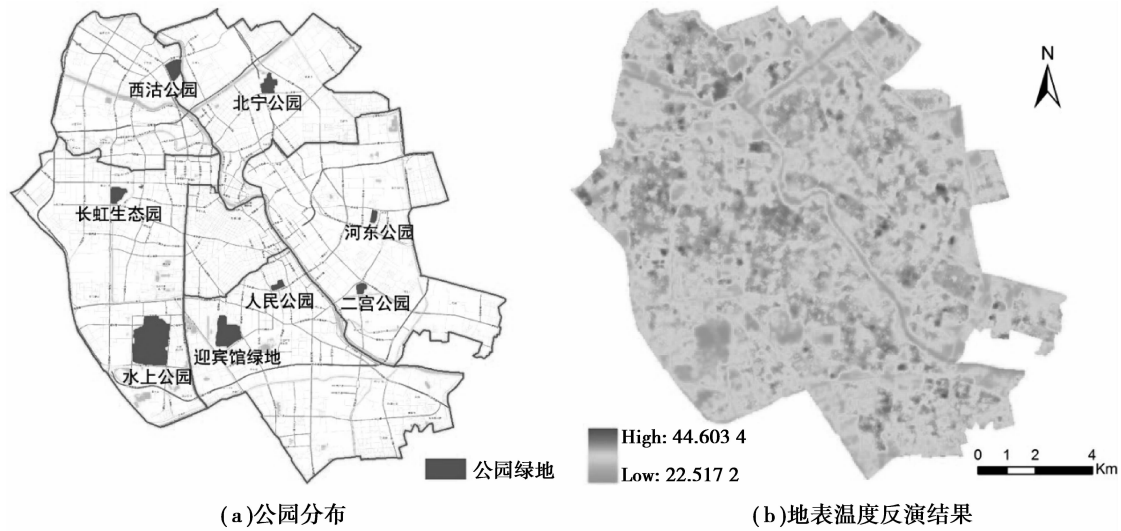


图 1 研究区公园分布及地表温度反演结果图

Fig.1 Park distribution and inversion figure result of LST in study area

2.2 公园降温技术流程

2.2.1 公园下垫面类型信息提取及缓冲区设定

基于 ArcGIS9.3 平台,将 2013 年 9 月 2 日 SPOT 高分辨率影像与 ETM+ 影像配准,并通过目视判读提取所涉及 8 处公园绿地的下垫面类型,然后与地表温度反演结果叠置分析。分别提取公园范围及周边 30、60、90、120、150、180、210、240、270、300、330、360、390、420、450 m 缓冲区边界及温度数据,通过空间分析模块的 Zonal Statistics 统计公园内部及各缓冲区范围内平均地表温度、最低温度和面积等数据。

2.2.2 公园景观特征

基于 SPSS20 和 Fragstats3.3 软件,分析公园的景观特征与地表平均温度和最低温度间的关系。具体涉及公园面积、植被覆盖度(公式(1))、水体比例、形状指数(公式(6))等指标,进而找出影响公园降温效应的主要因子,以便为降温模型建立提供依据。

$$S = \frac{0.25P}{\sqrt{A}}, \quad (6)$$

式中: P 为斑块周长; A 为斑块面积。

2.2.3 公园降温强度及模型构建

通过公园周边 450 m 范围内各缓冲区平均温度分布情况,分析各公园降温强度,并建立定量模型,分析其平均降温距离与降温大小,解释相关影响因子,最终构建公园降温强度模型,并对结果进行验证。

3 结果分析

3.1 公园景观特征与降温效应

对选择的天津中心城区 8 处公园斑块分别基于遥感影像提取各自的植被覆盖度、总面积、水体比例、形状指数和平均及最低温度,统计结果见表 1,然后应用 SPSS 软件进一步分析公园景观特征与地表温度的相关关系。

分析结果发现:公园面积、植被覆盖度与地表平均温度的 Pearson 相关系数分别达到 -0.87 和 -0.84 ,而与地表最低温度的相关系数也高达 -0.91 和 -0.88 。这表明公园面积与其植被覆盖度和地表温度呈极强的负相关;将水体比例与地表平均温度做 Pearson 相关分析,得出相关系数为 -0.49 ,与地表最低温度相关系数

为-0.71。表明水体比例与地表平均温度呈一般程度负相关,与最低温度呈较强负相关;将公园形状指数与地表平均和最低温度做 Pearson 相关分析,其相关系数均在 0.2 左右,表明公园形状指数与地表温度存在较低程度的正相关。

综上所述可知:公园的面积及植被覆盖度是影响公园地表温度的最重要的影响因子。另外,公园内水体比例也在很大程度上影响着地表温度,尤其是最低温度。因此,在进行公园规划设计过程中,基于缓解城市热岛的情况下,不仅应考虑公园自身面积,提高植被覆盖度,同时还应适当增加公园内水体比例,在形状上尽可能向不规则方向规划设计。

表 1 天津中心城区公园景观特征参数信息

Table 1 The characteristics of LST change of different distance far away from eight parks

公园名称	植被覆盖度	总面积/hm ²	水体比例/%	形状指数	平均温度/℃	最低温度/℃
长虹生态园	4.73	25.95	18.93	1.14	29.64	26.34
水上公园	13.52	189.38	43.44	1.16	27.13	22.52
人民公园	1.90	10.94	22.24	1.33	30.95	27.55
北宁公园	7.25	28.98	23.51	1.23	29.96	26.61
西沽公园	2.03	30.79	8.54	1.23	29.25	26.04
河东公园	3.20	9.34	0.00	1.24	29.76	28.05
天津迎宾馆绿地	11.07	70.21	31.86	1.26	27.99	23.93
二宫公园	4.01	12.30	26.87	1.16	30.93	27.90

3.2 公园降温强度

由图 2 可看出,通过三次多项式拟合曲线可较好地反映 8 个公园的降温效应。 R^2 均高于 0.89,在公园周边一定距离内均存在明显的降温效果,各公园的降温曲线拐点各有不同,表明其降温强度存在较大差异。

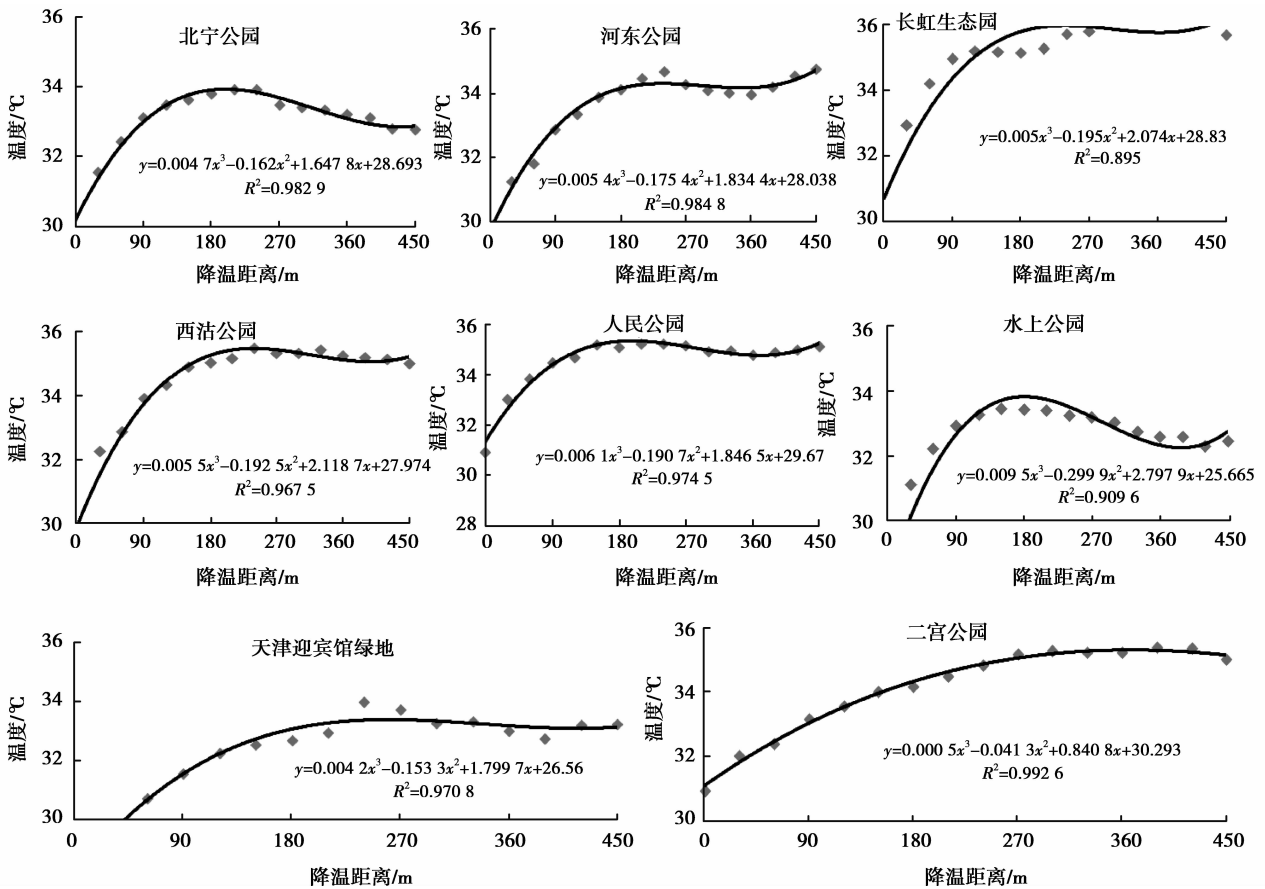


图 2 城区 8 处公园绿地随距离温度变化特征

Fig.2 The characteristics of LST change of different distance far away from eight parks

其中,北宁公园、河东公园、长虹生态园、西沽公园和人民公园的温度变化曲线相似,均出现了在较短距离(0~270 m)温度迅速上升的趋势,且随后渐趋平缓。通过调研发现:以上公园建成历史较早,周边多以高层居住区为主,通风效果不高,在峰值(270 m)以外,温度变化则更多地开始受下垫面土地利用性质所影响;水上公园较之其他公园较为特殊,其平均地表温度为所有公园中最低(27.13 ℃),且降温强度最高(6.68 ℃),但从降温曲线来看,其最大降温距离最低,仅有 209 m。这归因于周边的建筑密度较低且紧邻南翠屏公园、天塔湖景区和天津奥体中心,故在峰值以外温度多受以上公园景区影响,温度出现了较大幅度的波动;此外,天津迎宾馆绿地和二宫公园的温度变化曲线较类似,总体随距离增加温度缓慢上升的趋势,最大降温距离分别为 296 m 和 404 m,归因于两者均位于中心城区外围地带,通风效果好且周边多为多层和低层建筑。

3.3 公园降温影响因子分析

图 3 所反映的 8 处公园的最高降温强度(指公园降温曲线中的最高值与公园自身温度的差值)和最大降温距离(指公园降温曲线中的最高值对应的 x 轴的距离)可知:各公园的最大降温强度(3.96~6.68 ℃)和降温距离(209~404 m)差异较大,降温强度温差约 2.72 ℃,降温距离相差 195 m。就公园面积来看,与最高降温强度的相关系数为 0.62,表明公园面积越大,对周边降温效应越明显,结合表 1 和图 3 发现,城区面积较大的水上公园、天津迎宾馆绿地和二宫公园的降温效应普遍高于其他面积较小的公园。但在一般公园绿地规划中,受制于土地价值等因素,很难通过增加面积的手段来缓解热岛问题,因此,应更多考虑公园内部水体比例和植被覆盖度与形状等因子。

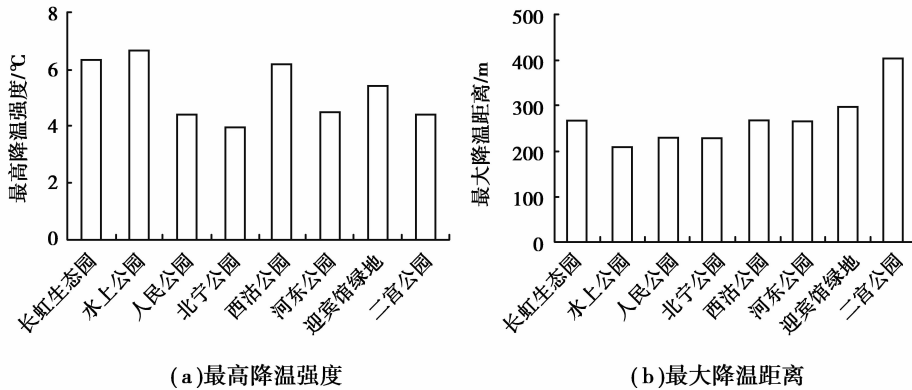


图 3 城区 8 个公园的最高降温强度和最大降温距离分异

Fig.3 Difference between the highest cooling intensity and maxmium cooling distance for eight parks

从水体比例和植被覆盖度来看,水上公园和天津迎宾馆绿地的水体比例均高于 30%且植被覆盖度高于 10,在最高降温强度上均高于其他公园(长虹生态园和西沽公园由于紧邻城市热源,故在降温强度上偏高)。其他在两者因子稍低的公园降温效果不明显,如北宁公园的植被覆盖度(7.25)和水体比例(23.51%)相对其他公园处于较高水平,但降温效果并不理想。

就公园形状指数而言,与最高降温强度和最大降温距离的 Pearson 相关系数分别为-0.47 和-0.32,表明形状特征与降温效应呈较弱的负相关,形状指数越高,温度越低,降温效应越明显(如天津迎宾馆绿地、西沽公园)。但由于天津中心城区较大的公园数量有限,所选样本数量并不多,关于具体较详细的定量分析统计仍需进一步验证。

3.4 公园降温预测模型构建

基于以上分析,分别选择公园总面积的自然对数(Ln-Area)、植被覆盖度的自然对数(Ln-F)、水体比例的自然对数(Ln-Water)和形状指数(SHAPE)作为自变量,建立公园降温预测模型。基于 SPSS 20 进行回归分析结果如式(7)所示,然后通过预测模型计算降温强度并与实际值比较(表 2),误差均值为-0.07 ℃,最大误差不超过-0.67 ℃。

$$Y_{\text{最大降温强度}} = 1.452 \times \text{Ln-Area} - 1.458 \times \text{Ln-F} + 0.048 \times \text{Ln-Water} - 7.509 \times \text{SHAPE} + 11.621, R^2 = 0.84.$$

(7)

表2 天津中心城区公园降温强度模型预测
Table 2 Prediction model of cooling intensity for parks in Tianjin

公园名称	最大降温强度/℃	Ln-Area	Ln-F	Ln-Water	SHAPE	降温强度	
						模型值	实际误差
长虹生态园	6.35	3.26	1.55	2.94	1.14	5.68	-0.67
水上公园	6.68	5.24	2.60	3.77	1.16	6.91	0.22
人民公园	4.42	2.39	0.64	3.10	1.33	4.32	-0.09
北宁公园	3.96	3.37	1.98	3.16	1.23	4.54	0.58
西沽公园	6.21	3.43	0.71	2.14	1.23	6.43	0.22
河东公园	4.52	2.23	1.16	—	1.24	3.86	-0.66
天津迎宾馆绿地	5.44	4.25	2.40	3.46	1.26	5.00	-0.44
二宫公园	4.42	2.51	1.39	3.29	1.16	4.69	0.27

4 结 论

以 Landsat8 ETM+影像反演地表温度,并结合高分辨率 SPOT 影像提取天津中心城区 8 处主要公园绿地,重点分析了其对周边环境的降温效应,并得出如下结论:

1) 公园面积及植被覆盖度是热岛效应最重要的影响因子。另外,水体比例也在很大程度上影响着地表温度。

2) 各公园的最大降温强度(3.96~6.68 ℃)和降温距离(209~404 m)差异较大,降温强度温差约 2.72 ℃,降温距离相差 195 m。其中,北宁公园、河东公园、长虹生态园、西沽公园和人民公园的温度变化曲线相似,最大降温距离均在 270 m 以内,天津迎宾馆绿地和二宫公园的温度变化总体随距离增加而缓慢上升,最大降温距离分别为 296 m 和 404 m。

3) 就公园面积来看,城区面积较大的水上公园、天津迎宾馆绿地和二宫公园的降温效应普遍高于其他面积较小的公园,对周边降温效应更明显;从水体比例和植被覆盖度来看,水体比例高于 30% 或植被覆盖度高于 10 的公园降温效应较理想。

4) 研究选取的公园总面积的自然对数、植被覆盖度的自然对数、水体比例的自然对数和形状指数为自变量预测的降温模型达到了一定的精度,误差范围较小。

笔者所选天津中心城区的公园数量不算多,部分研究结果的精确性仍有待进一步商榷。针对国内的高密度城区受地域及城市所处位置、规模大小等多因素限制,本研究成果局限于天津中心城区,是否在其他类似城区适用有待验证。另外,如需更精确有效地从公园绿地角度缓解高密度城区热岛现象,则需要对整个区域乃至外围地带公园绿地分布进行多年份、分季节跟踪分析,从而从城市尺度建立较为完善地可有效缓解热岛的公园绿地系统规划。

参考文献:

- [1] 潘竞虎,韩文超.兰州中心城区用地扩展及其热岛响应的遥感分析[J].生态学杂志,2011,30(11):2597-2603.
PAN Jinghu, HAN Wenchao. Urban expansion and its heat island response in Lanzhou City based on remote sensing analysis[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(11): 2597-2603. (in Chinese)
- [2] 陈志强,何瑞婷,白丽月.福州核心区对城市热岛效应的影响[J].云南民族大学学报(自然科学版),2014,23(1):28-31.
CHEN Zhiqiang, HE Ruiting, BAI Liyue. Influence of the urban core on urban heat island effects in Fuzhou city[J]. Journal of Yunnan University of Nationalities (Natural Sciences Edition), 2014, 23(1): 28-31. (in Chinese)
- [3] 贾宝全,邱尔发.基于 TM 卫星遥感影像的西安市城市热岛效应变化分析[J].干旱区研究,2013,30(2):347-355.
JIA Baoquan, QIU Erfa. Dynamic change of urban heat island effect in Xi'an based on TM images[J]. Arid Zone Research,

- 2013,30(2):347-355.(in Chinese)
- [4] 张佳华,孟倩文,李欣.北京城区城市热岛的多时空尺度变化[J].地理科学,2011,31(11):1349-1354.
ZHANG Jiahua,MENG Qianwen,LI Xin,et al.Urban heat island variations in Beijing region in multi spatial and temporal scales[J].Scientia Geographica Sinica,2011,31(11):1349-1354.(in Chinese)
- [5] Rao P K.Remote sensing of urban “heat islands” from an environment satellite[J].Bulletin of Remote Sensing,1972,53:647-648.
- [6] 刘帅,李琦,朱亚杰.基于 HJ-1B 的城市热岛季节变化研究:以北京市为例[J].地理科学,2014,34(1):84-88.
LIU Shuai,LI Qi,ZHU Yajie.Study on seasonal variation of urban heat island with HJ-1B satellite imagery:A case study of Beijing[J].Scientia Geographica Sinica,2014,34(1):84-88.(in Chinese)
- [7] 杨鹏,陈静,侯晓玮,等.基于多源数据的城市热岛效应研究:以石家庄地区为例[J].气象,2013,39(10):1304-1313.
YANG Peng,CHEN Jing,HOU Xiaowei,et al.Study of urban heat island based on multi-source data:By the example of the Shijiazhuang Area[J].Meteorological Monthly,2013,39(10):1304-1313.(in Chinese)
- [8] 张杨,江平,陈奕云,等.基于 Landsat TM 影像的武汉市热岛效应研究[J].生态环境学报,2012,21(5):884-889.
ZHANG Yang,JIANG Ping,CHEN Yiyun,et al.Study on heat island effect in Wuhan city based on Landsat TM remote sensing[J].Ecology and Environment Sciences,2012,21(5):884-889.(in Chinese)
- [9] 葛伟强,周红妹,杨何群.基于 MODIS 数据的近 8 年长三角城市群热岛特征及演变分析[J].气象,2010,36(11):77-81.
GE Weiqiang,ZHOU Hongmei,YANG Hequn.Characteristics analysis on heat island effect in Yangtze delta urban agglomerations in recent 8 years by MODIS data[J].Meteorological Monthly,2010,36(11):77-81.(in Chinese)
- [10] 赁常恭,王宣吉.用气象卫星信息探测川西平原的城市热岛群[J].遥感信息,1990(1):10-13.
LIN Changgong,WANG Xuanji.Detecting urban heat islands in the west part of Sichuan province with meteorological satellites information[J].Remote Sensing Information,1990(1):10-13.
- [11] 但尚铭,但玻,许辉熙,等.环形热岛格局演变过程的遥感分析[J].长江流域资源与环境,2011,20(9):1125-1130.
DAN Shangming,DAN Bo,XU Huixi,et al.Analysis about evolution of annular urban heat island based on remote sensing[J].Resources and Environment in the Yangtze Basin,2011,20(9):1125-1130.(in Chinese)
- [12] 朱军.天津大学研究显示空调是城市热岛效应元凶[N/OL].中国建设报,2013-09-03 [2014-12-01].<http://www.chinajsb.cn/bz/content/2013-09/03/content-103353.htm>.
ZHU Jun.A study carried out by Tianjin University shows urban heat island effect is mainly caused by air conditioners[N/OL].China Construction,2013-09-03 [2014-12-01].<http://www.chinajsb.cn/bz/content/2013-09/03/content-103353.htm>.(in Chinese)
- [13] 覃志豪,Zhang M H,Karnieli A,等.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.
QIN Zhihao,Zhang M H,Karnieli A,et al.Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM6 data[J].Acta Geographica Sinica,2001,56(4):456-466.(in Chinese)

(编辑 郑洁)