

DOI: 10.5846/stxb201212141801

阳文锐, 李锋, 何永. 2003—2011 年夏季北京城市热景观变化特征. 生态学报, 2014, 34(15): 4390-4399.

Yang W R, Li F, He Y. Characteristic change and analysis of urban heat island in Beijing, China, Summer, 2003—2011. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(15): 4390-4399.

2003—2011 年夏季北京城市热景观变化特征

阳文锐^{1,*}, 李 锋², 何 永¹

(1. 北京市城市规划设计研究院, 北京 100045; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要:自北京城市总体规划(2004—2020 年)以来,城市化快速发展,强烈的人类活动改变了城市的热环境。基于 2003 年、2007 年和 2011 年夏季同时期的 TM 遥感卫星影像,采用遥感反演地温的方法,运用 RS、GIS 以及景观分析工具,对北京城市六环内的热场和热岛变化特征进行了分析。分析结果表明,2003—2011 年北京城市六环内的热场分布特征发生了很大变化,2003 年城市各环线内的植被覆盖度最低,但是夏季城市的地表辐射亮温分布差异相对较小,热岛特征也并不十分明显,随着城市建设规模扩大和用能的增加,到 2011 年,尽管城市植被覆盖度提高很快,但城市和城郊的温差达到最大,城市热岛在不断增强,热场向城市中心集聚趋势明显。通过城市热岛等级类型的景观指数分析表明,2011 年的高等级的热岛斑块分布范围和强度都明显提高,而且城市五环内高等级的热岛范围基本连成一片。由于城市人类活动的加剧各热岛等级斑块的形状更加复杂。在景观水平上的分析显示,2007 年的热景观斑块类型多,在六环内的分布均匀,破碎化程度高,至 2011 年,景观斑块的蔓延度逐渐下降,低等级的热岛斑块优势度逐渐降低。研究结论可以为城市管理决策部门制定有效的热岛效应缓解措施提供理论依据。

关键词:热场;城市热岛;植被覆盖;景观分析;北京

Characteristic change and analysis of urban heat island in Beijing, China, Summer, 2003—2011

YANG Wenrui^{1,*}, LI Feng², HE Yong¹

1 Beijing Municipal Institute of City Planning & Design, Beijing 100045, China

2 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: Urban heat island phenomenon describes the excess warmth of the urban atmosphere and surfaces compared to the non-urbanized rural surroundings. Urbanization process occupied amounts of open spaces, especially agricultural land and green space, which changes the natural land surface features into impervious lands such as buildings and paved lands. In addition, the population increases due to urbanization resulted in the increases of energy consumption. These factors impacted the urban thermal environment. Since the last City's Master Planning (2004—2020), Beijing experienced rapid urbanization, and the city expanded in larger-scale and population increased so much, which had effects on the pattern of urban heat island. Based on the landsat TM images of 2003, 2007 and 2011, we are trying to analysis the urban thermal environmental characteristics during these years. The results will support the city environmental management. Applying the method of retrieval of land surface temperature and using the tools of RS, GIS and Fragstats, The thermal environment and heat island changes in Beijing was analyzed. The results showed that at the extent of inner city sixth ring road in 2003, although the urban plant cover is the lowest among the three years, the urban heat island is not apparent because of the thermal differences between urban and rural are little. The high temperature areas are mainly distributed outside of southern

基金项目:国家自然科学基金项目(41101540, 71273254)

收稿日期:2012-12-14; 网络出版日期:2014-03-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: oydragon@163.com

third ring road and northern fifth ring road. The Fengtai and Daxin districts, and the Changpin and Shunyi districts, and inner old city core around Tiananmen Square. is also featured by high temperature. With the urban sprawling and increases of city's energy consumption, urban heat island intensity increases. In 2007, the mean temperature is highest at every ring road among three years, and the high thermal areas was located evenly inside the study area. In 2011, within sixth ring road, the plant cover is 38.9%. In spite of the urban plant cover was improved much more than ever, the thermal differences between urban and rural areas is magnified, the maximum and minimum land surface temperature difference reaches to 29.1K, and in the centre of city, the heat island is very apparent. The analysis results of landscape metrics showed that in 2007, there is a high degree of heat island landscape fragmentation. In 2011, the patches number and extent of high-level heat island increased much more than before. Furthermore, within inner fifth ring road, the high level heat island patches connected each other. Because of urban expanded, the shape of heat island patches become more complicated, the dominance of low-level heat island patches decreased, which are important for mitigating urban heat island. Some suggestions for urban planners and natural resources managers were given on mitigating the impact of urban development on heat island.

Key Words: thermal environment; urban heat island; urban plant cover; landscape analysis; Beijing

随着城市化的发展,城市的规模不断扩大和人口的急剧增加,自然地表面覆盖正逐步被人工建筑所替代,改变了当地的景观和气候条件,影响了生态系统功能和过程^[1-2],产生了诸多的生态环境问题,其中最为突出的现象之一为城市热岛效应日益显著。城市热岛是指城市地区整体或局部温度高于周围地区,温度较高的城市地区被温度较低的郊区所包围或部分包围的现象^[3]。它是由于城市建筑及人类活动导致热量在城区空间范围内集聚^[4],从而导致城市和郊区的温差明显。城市区域范围的大气温度分布与土地利用强度紧密相关,因而形成城市经典的钟型温度剖面层^[5],研究表明不透水地面的增加和城市能源的消耗是城市热岛形成的两个主要方面^[6,7]。城市热岛效应已经严重影响了城市生态环境。热岛效应会促使形成复杂的大气污染物环流,加重城区的大气污染^[8]。还会导致地表臭氧浓度升高^[9],甚至人口死亡率增加^[10]。由于夏季热岛效应形成城市热浪,城市居民更容易受到高温疾病与流行病的困扰^[11],2003年,法国14800人死于城市热浪^[12]。此外,城市内建筑内部空调使用的能源以及交通的能源需求不断增加,增加了温室气体的排放,加速了全球变暖而直接导致热岛效应越来越严重^[8]。

采用气象台站观测城市地表温度和利用遥感影像反演地表温度的方法是目前研究城市热岛主要的两种研究方法。一些学者利用气象台站的数据分析

了北京城区的城市热岛^[3,13-15]。但受到城市地区观测点数量的限制、空间上的不连续性,通过气象台站的数据拟合城市地区的地表温度具有一定的局限性^[16-17]。由于城市是一个复杂的系统,下垫面性质不断变化,不同类型下垫面的热惯性、热容量、热传导和热辐射的不同导致温度的空间差异十分明显。与气象台站实测数据相比,卫星遥感数据具有空间分辨率高、适用范围大的特点,目前遥感数据已成为研究城市热岛的主要数据来源,遥感信息技术也成为其研究的主要技术手段^[17]。

北京是我国快速城市化发展的典型区域,城市总体规划(2004—2020年)以来,城市规模不断扩大,强烈的人类活动改变了自然地表面,大量自然植被地表被水泥、沥青等硬质地表所替代,由于地表不透水面积与地表温度呈正相关^[18],加上城市能源消费的不断增长,使得城市的热岛格局和热环境特征发生了很大变化。本研究基于遥感反演地表温度的方法,分析上一版城市总体规划以来的北京城市六环内热景观及热岛变化趋势和特征,旨在为城市管理部门指定减缓城市热岛措施提供依据。

1 研究资料与研究方法

1.1 研究资料

研究范围为北京城市六环内城市区域,该范围是城市快速发展的区域,土地利用强度大,社会经济发展的自然生态资产占用迅速,对于该地区的热岛

变化特征研究具有典型意义。本文使用了具有 30 m 空间分辨率的美国陆地资源卫星 Landsat TM 影像, 2003 年 5 月 25 日、2007 年 5 月 28 日、2011 年 6 月 8 日(北京地区)三景数据,轨道号为 123/32,三景数据质量较好,云量均低于 2%。采用 Erads Imagine9.0 遥感影像处理软件对 TM 影像进行大气校正、几何校正、图像增强、合成等过程,将遥感影像与北京地形图(1:5 万)进行地理坐标配准后,在 Arcgis9.2 中进行计算并制作专题图进行分析。

1.2 研究方法

1.2.1 地面亮温反演

城市下垫面的辐射亮温是未经大气校正以像元为单位的平均地表温度,而并非实际意义的地表实际温度,由于该研究主要针对城市热岛的变化趋势进行分析,地表实际温度和地面亮温的趋势基本表现一致,所以直接采用地面亮温进行分析。

TM 遥感影像第 6 波段是以数据像元值来表示的,数值在 0—255 之间,数值越大,亮度越大。地面亮温反演方法参考 NASA 官方的 Landsat 用户手册提供的算法进行计算^[19]。

1.2.2 热场强度指数

地面亮温是地面每一个像元的温度值,为了研究城市区域范围内的热岛效应强度,本文采用热场强度指数这一监测指标。热岛效应的强弱是衡量城市与乡村或郊区之间的温差所形成的城市小气候状况的优劣,根据马蔼乃^[20]遥感信息模型研究中所提出的地理相识准则,类似地引入相对亮温来表示城市热岛效应的强度。即公式:

$$\Pi(T) = \frac{\Delta T}{T_a} = \frac{T_i - T_a}{T_a}$$

式中, $\Pi(T)$ 为各地区亮温的相似准则, T_i 为研究范围内 i 点的亮温, T_a 为城市与城郊的平均温度。

为了明确地表示城市的热岛强度,对相似准则进行等级划分,表示不同的热岛等级,采用了孙飒梅和卢昌义的划分方法(表 1)^[21]。

1.2.3 城市热岛景观指数

为定量分析城市热景观格局的变化特征,本研究采用景观生态学的指数分析方法来分析城市热岛景观的空间格局变化特征,分别从景观类型水平和景观水平选取相关的指数进行分析,分析工具采用 Fragstats 3.3。

表 1 城市热岛强度等级划分^[21]

热岛强度 Urban heat island intensity	热岛等级 The levels	热岛现象 Heat island effect
≤0	1	无
0.000—0.005	2	弱热岛
0.005—0.010	3	中等热岛
0.010—0.015	4	强热岛
0.015—0.020	5	较强热岛
≥0.020	6	极强热岛

1.2.4 植被覆盖度

表征植被状况的指数较多,但 NDVI 指数是最为广泛应用的指数之一,在植被遥感中,对于 landsat5 而言,其计算方法已经成熟,此处不再具体表述。NDVI 指数也用于计算植被覆盖度,本文利用像元二分模型估算研究区的植被覆盖度,计算公式如下:

植被覆盖度的计算公式:

$$f = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}$$

式中, $NDVI_{\min}$ 和 $NDVI_{\max}$ 为 0.5%—99.5% 置信区间的 NDVI 最小值和最大值。分别表示无植被覆盖区域和纯植被像元的 NDVI 值。

由于本研究没有获得植被 NDVI 实测数据,王浩等^[22]认为可以采用一定的置信区间对 NDVI 取值,可以消除遥感影像噪声所带来的误差。置信区间的设定取决于遥感影像的质量,本文采用 0.5% 和 99.5% 的置信区间,计算 NDVI 最大值与最小值。NDVI 指数计算和植被覆盖度的计算分别在 Erdas 和 ArcGIS 上完成。

对植被覆盖度的计算结果采用我国土壤侵蚀强度等级划分方法,将植被覆盖度分为 5 级: $f < 10\%$ 、 $10\% \leq f < 30\%$ 、 $30\% \leq f < 50\%$ 、 $f \geq 50\%$ 、 $f \geq 70\%$,从小到大依次分别记为 I、II、III、IV、V 级,生成植被覆盖度等级图进行分析。

2 结果与分析

2.1 城市地面亮温(LST)变化

从图 1 可以看出,2003—2011 年城市 LST 分布格局发生了明显的变化。2003 年夏季北京六环内平均 LST 为 292.63 K,最高 LST 为 302.95 K,最低 LST 为 284.87 K。城市中高的 LST 主要分布在城市三环外南部的丰台和大兴地区,城市北部五环之间六环

之间的昌平和顺义地区,其中西南部干涸的永定河河道下游地区高温分布比较明显,而二环内的高 LST 出现在天安门广场附近。2007 年夏季北京六环内的平均 LST 为 303.45 K,最高 LST 为 315.84 K,最低 LST 为 289.03 K。该时段的 LST 总体呈现星型的分布特征,中心城二环外围地区的热环境变化迅速,丰台、大兴、朝阳、海淀、昌平、顺义地区的高 LST 分布范围比 2003 年增长明显,二环内的东西城地区的

LST 也较 2003 年有所增加。2011 年夏季北京六环内的平均 LST 为 301.75K,最高和最低 LST 分别为 315.84 K 和 286.72 K。城市总体的 LST 分布特征相比 2007 年变化也十分明显,高 LST 分布呈现围绕中心城集聚的特点,而城市外围的高 LST 分布面积较之 2007 年减少也十分明显,其中永定河地区的高温地区基本消失,这可能与 2010 年北京市实施的永定河绿色生态发展带建设有很大关系。

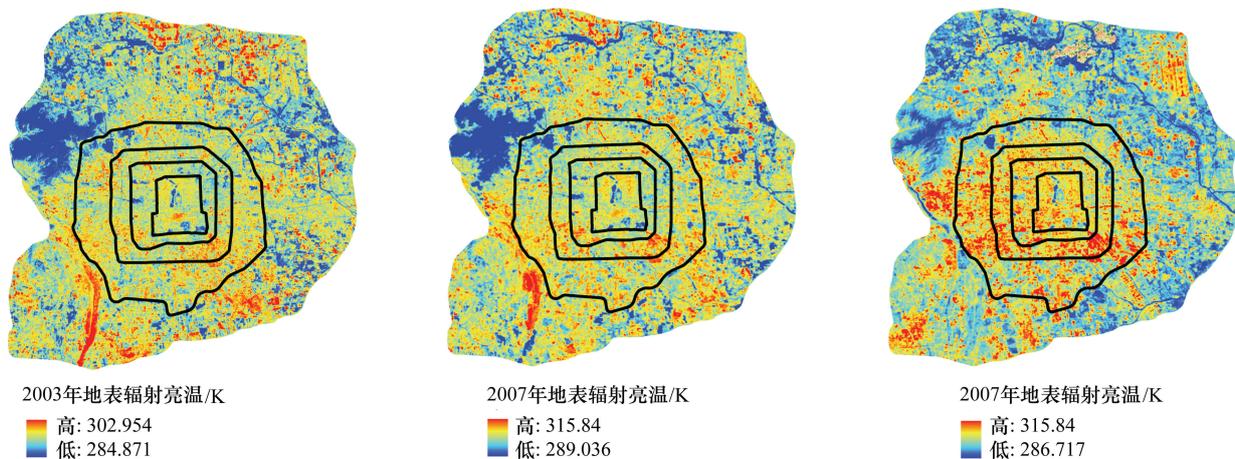


图 1 2003—2011 年城市六环 LST 变化图

Fig.1 Land surface temperature changes in study area during 2003—2011

从 2003—2011 年夏季城市 LST 的分布特征分析来看,城市高温地区和低温地区的温度差异在逐渐增大,2003 年高低温差 18 K,2007 年达到 26.8 K,而 2011 年相差达到 29.1 K。同时期的地面亮温的高温也从 2003 年的 302.95 K 上升至 2011 年的 315.84 K。但六环地区的城市平均 LST 从 2003—2011 年经历了先增高后降低的过程,2007 年是一个转折点,这与北京为举办奥运会的城市环境建设有很大关系,奥运会举办前期北京市政府相继关停了诸多大耗能工厂,典型的如首钢和焦化厂,奥运后,市政府也积极实施了改善生态环境的建设,如永定河绿色生态带建设、绿化隔离地区建设以及郊野公园建设,城市绿化覆盖率大大提高,从而使得 2011 年六环内城市整体 LST 相比 2007 年有所下降。

2.2 植被覆盖与地表辐射亮温对比分析

由图 2 可以看出,城市的绿化覆盖逐年增长,2003 年城市五环内 I 等级的植被覆盖地区分布范围较广,同时五环外地区由于保留了成片的农田,Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ等级的植被覆盖地区也较多,并且高植被覆盖度分布地区能基本连成一片,绿地之间的连通性较

好。2007 年五环内的植被覆盖度相比 2003 年有所提高,北五环外地区的植被覆盖度也大大提高,但南部地区的植被覆盖则相对减少。至 2011 年,五环内 I 等级的植被覆盖地区基本消失,但五环外围由于城市化的建设,大量农田被占用,外围的高等级的植被覆盖呈现出破碎化趋势,比较典型的是永定河下游沿岸的高等级植被覆盖逐渐向 II 类地区过渡。

为分析植被覆盖与地面亮温之间的关系,本研究提取了城市不同环线内的植被覆盖度和地面亮温值(LST)做对比分析,见表 2。

北京市六环范围内平均植被覆盖度从 2003—2011 年呈现逐年上升趋势,六环内的植被覆盖度分别为 31.6%、35%和 38.9%,城市范围的绿化建设有了明显提高。2003 年二环至六环的城市平均 LST 变化差异不大,热环境格局整体保持在同一水平。2007 年五环内平均 LST 最高,而到 2011 年,城市热岛已经比较突出,六环内的平均温度相比四环内的平均温度相差 1.66 K。从 3a 的 LST 对比分析来看,2007 年城市的各环线平均温差尽管不十分明显,但六环内的整体温度要比 2003 年和 2011 年要高。

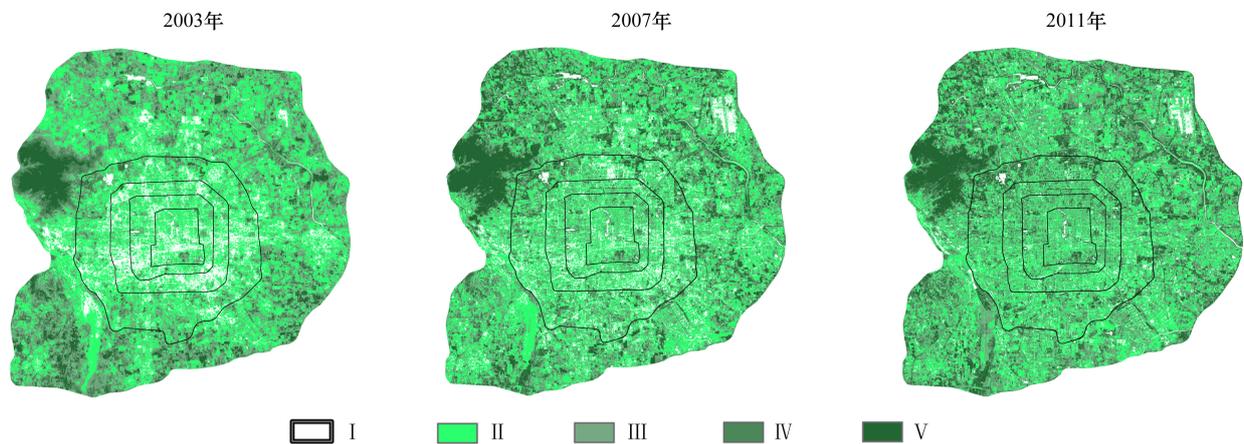


图 2 2003—2011 年城市六环内植被覆盖度图

Fig.2 Urban plants cover changes in study area during the year of 2003—2011

表 2 城市六环内植被覆盖度和地面亮温对比表

Table 2 The urban plants cover and LST in different city's ring road area

年份 Year	指标 Indicators	二环 2 nd ring road	三环 3 rd ring road	四环 4 th ring road	五环 5 th ring road	六环 6 th ring road
2003	植被覆盖/%	17.8	17.9	17.2	21.2	31.6
	平均 LST/K	292.77	292.75	292.89	292.93	292.63
2007	植被覆盖/%	25.4	25.7	25.1	27.5	35.0
	平均 LST/K	303.74	303.75	303.98	304.01	303.45
2011	植被覆盖/%	32.2	33.2	32.9	34.5	38.9
	平均 LST/K	303.10	303.26	303.41	303.06	301.75

为比较城市绿化建设和地面亮温之间的关系,采取随机采样的方法,在六环内提取了 2200 个样本(不包含水域)的植被覆盖和地面亮温值,分析两者之间的相关关系,对植被覆盖度和地面亮温进行线性回归。分析软件采用 spss 11。结果如表 3,其中 y 为地面亮温, x 为植被覆盖度。

表 3 通过相关性分析和线性回归分析发现,城

市植被覆盖度和城市的热场存在极显著的负相关关系,回归系数揭示了不同年份相同时期城市热场受植被覆盖的影响程度。对于城市土地景观来说,植被覆盖度越高,将导致更高的蒸腾率,同时加速陆地表面和大气层之间潜热与显热的交换,从而降低地表温度^[23]。

表 3 地面亮温和植被覆盖度线性回归结果

Table 3 The linear regression results of LST and plants cover

年份 Year	回归函数 Regression model	样本数 Samples	Pearson 相关系数 Pearson correlation	显著度系数 Significant Fraction	显著度 Significant level
2003	$y = -0.027x + 293.6$	2200	-0.364	0.000	**
2007	$y = -0.069x + 306.1$	2200	-0.659	0.000	**
2011	$y = -0.038x + 303.4$	2200	-0.418	0.000	**

** 在 0.01 的置信度水平上,相关性是显著的

2.3 城市热岛等级变化特征

图 3 是夏季北京城市的热岛等级变化图。2003 年,城市的热岛现象尚不十分明显,中等热岛以上等级的分布范围很小。至 2007 年,二环内中等热岛等

级增加明显,同时永定河沿岸地区和东南三环至四环之间的地区热岛等级也增加,由中等热岛向强热岛、较强热岛以及极强热岛过渡,而且,城市西南三环至五环地区的热岛强度也增加明显,五环外大兴

亦庄地区热岛相比 2003 年更加突出,北部顺义、昌平地区的热岛等级均变强。2011 年,城市的热岛现象已经十分突出,从图中可以明显看到,五环内的城市热岛范围基本连成一片,相对集中于四环以内,五环至六环之间的西南部房山良乡地区和顺义首都机

场地区热岛强度提高明显。在城市五环内弱热岛等级仅分布在部分大型绿地和水面地区。永定河绿色生态带建设实施后,永定河河道下游地区的热岛等级则相比 2007 年下降十分明显。

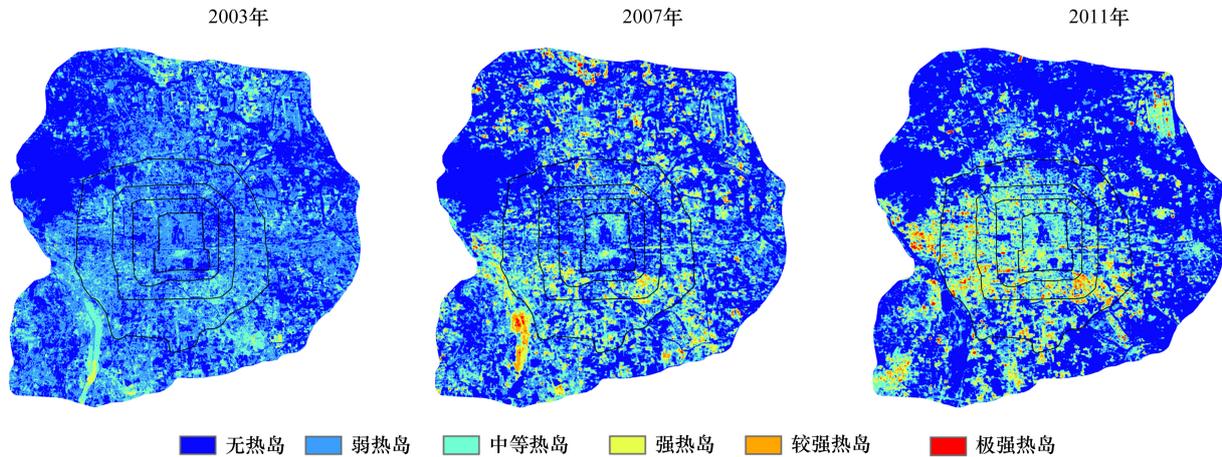


图 3 2003—2011 年北京城市六环内热岛强度分布图

Fig.3 The urban heat island intensity in study area during the year of 2003—2011

表 4 是统计的各环线内强热岛(4)等级以上分布面积所占的比例,可以看出 2011 年城市六环内的强热岛等级以上面积增加很快,其中四环内的热岛等级所占百分比最大,五环内其次。四环内 2003 年同期还尚未出现热岛,从五环至六环开始出现热岛

分布区域。至 2007 年时,各环线的强热岛以上等级的分布面积都在增加。2011 年时出现跳跃式的增长,五环内热岛面积增加明显,但六环内热岛面积相比 2007 年增加幅度相对较小。

表 4 各环线内强热岛等级以上面积比例

Table 4 The area percent of heat island in every ring road region

年份 Year	面积比例 Area percent/%				
	二环 2 nd ring road	三环 3 rd ring road	四环 4 th ring road	五环 5 th ring road	六环 6 th ring road
2003	-	-	-	0.24	0.82
2007	3.21	4.67	7.92	8.67	8.75
2011	13.64	15.71	19.62	18.41	10.02

北京市城市总体规划(2004—2020 年)提出了城市建设“两轴两带多中心”的方向,城市沿东西长安街、南北中轴线不断扩展,而且强化了城市中心城区的核心功能,同时促进了城市村镇的整合,城市建设的高度和幅度都不断提高。2003—2011 年,城市六环内建成区比例由 36.3%上升至 46.3%,同时城市能源消耗迅速增加,全市小汽车数量突破 500 万辆,能源消耗的增加和建成区面积的增加导致了城市热岛效应的增强。

2.4 城市热景观格局变化特征

2003—2011 年城市的热岛景观发生了很大变化,为定量分析城市热岛格局的变化,采用景观指数来表征城市热岛景观格局的变化特征。在景观类型上的景观指数分别采用斑块数(NP)、斑块密度(PD)、斑块类型比例(PLAND)、平均斑块面积(AREA_MN)、景观形状指数(LSI)、面积加权分形指数(FRAC_AM)和聚类指数(CLUMPY)来研究热岛景观类型的固有特性,由于对城市热岛起主导作用的为强热岛级别以上的类型,所以在热岛景观类型

上着重选择了强热岛、较强热岛和极强热岛(4、5、6) 3个级别;选取面积加权平均形状指数(SHAPE_AM)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)、蔓延度指数(CONTAG)以及景观分离度指数(DIVISION)来研究景观斑块在景观水平上的特征,表征的是各类景观在整体水平上的特征。

由表5可看出,2003年到2007年,各等级的热岛景观斑块数(NP)、斑块密度(PD)、斑块类型比例(PLAND)和平均斑块面积(AREA_MN)都增加迅速,说明在此时段内,城市强热岛等级以上的斑块在不断的增加,城市的热岛面积和热岛强度相比2003年要大。2011年强热岛等级斑块数(NP)、斑块密度(PD)相比2007年有所下降,但是较强热岛、极强热岛等级的斑块数(NP)、斑块密度(PD)比2007年要

大,尽管较强热岛和极强热岛平均斑块面积(AREA_MN)有所减少,但各级斑块类型比例在增加,导致2011年比2007年城市热岛强度和热岛范围更大。2003年至2011年,各热岛等级的景观形状指数一直呈现增长趋势,说明城市的热岛等级斑块的形状更加复杂,呈现多样化。面积加权平均分形指数(FRAC_AM)也有所增加,该指标能反映人类活动对于景观格局的影响,值越大,人类活动影响越大,说明由于城市化过程,人类活动对于热岛景观格局产生了很大的影响。聚类指数是用来指示斑块类型的分布状态的,当聚类指数(CLUMPY)接近于1时,斑块类型最大程度的聚集。从表4中可以看出,2007年各等级的聚类程度达到最大值,说明该时期的热岛斑块集聚程度高,2011年该指数略有下降。

表5 城市热岛在景观斑块类型水平上的景观指数比较

Table 5 The urban heat island (UHI) landscape metrics comparison at class level

年份 Year	等级 Levele	斑块数 NP	斑块密度 PD	斑块类型 比例/% PLAND	平均斑块面积 AREA_MN	景观形状指数 LSI	面积加权 分形指数 FRAC_AM	聚类指数 CLUMPY
2003	4	1011	0.44	0.80	1.80	32.17	1.09	0.78
	5	62	0.03	0.01	0.44	9.26	1.07	0.49
	6	10	0.00	0.00	0.64	3.29	1.03	0.69
2007	4	2711	1.19	7.01	5.88	71.41	1.13	0.82
	5	903	0.40	1.49	3.75	36.84	1.11	0.81
	6	216	0.10	0.25	2.64	15.13	1.05	0.82
2011	4	2419	1.06	7.56	7.11	86.66	1.18	0.79
	5	1335	0.59	1.97	3.35	53.29	1.13	0.76
	6	424	0.19	0.49	2.61	21.45	1.05	0.81

面积加权平均形状指数(SHAPE_AM)反映景观的规则性,值越大,景观形状越不规则。从城市热岛在景观水平上的比较(表6)可以看出,2003年,热景观斑块的形状最为丰富,到2011年热景观斑块的形状指数又相比2007年有所增加,说明热岛景观形状又呈现多样化。2007年城市热岛斑块的多样性指数(SHDI)和均匀度指数(SHEI)最高,反映了热岛景观斑块类型多,而且在城市范围内分布相比2003年和2011年要更为均匀。蔓延度指数(CONTAG)是描述景观内各斑块类型的蔓延趋势,当某种优势斑块类型形成了好的连接性,则该值较高,2003—2011年,六环内热岛景观的蔓延度下降后又有升高,总体上呈现下降趋势,低等级的热岛景观的比重下降,优势度降低。2007年景观分离度(DIVISION)达到最大

值,说明热岛斑块的破碎化程度高。

3 结论与讨论

本文以2003年、2007年、2011年夏季相同时间段的Landsat TM遥感影像为基础,运用RS和GIS工具以及景观分析软件,分析了北京城市六环内的城市热景观变化特征,得出了以下结论:

(1)2003—2011年,城市化的迅速发展,导致了北京城市六环内的热环境分布格局发生了明显变化,城市高温的范围出现了由分散到集中的转变,高温呈现围绕城市中心城集聚的特点,而且城市与城郊的温差逐步增大。

(2)城市的植被覆盖度与地表温度之间的相关性分析表明,二者之间存在显著的负相关关系。城

市的绿化建设有了明显提高,植被覆盖度逐年增长,绿化建设和城市化的发展影响着地表温度的分布。相比 2003 年,2007 年的植被覆盖度也有明显提高,

但是由于城市化发展,城市中心外围大型绿地农田被城市硬化地表占用,导致各环线内的平均温度要比 2003 年高。

表 6 城市热岛在景观水平上的景观指数比较

Table 6 The urban island intensity (UHI) landscape metrics comparison at landscape level

年份 Year	面积加权平均形状指数 SHAPE_AM	多样性指数 SHDI	均匀度指数 SHEI	蔓延度指数 CONTAG	景观分离度 DIVISION
2003	48.56	1.03	0.57	59.67	0.84
2007	18.71	1.28	0.72	52.78	0.92
2011	22.13	1.25	0.70	54.73	0.82

(3)城市的热岛等级和分布范围变化明显。至 2011 年,高等级热岛斑块(4、5、6)等级的分布范围和强度都明显提高。而且城市五环内的高热岛等级范围基本连成一片,城市中心的热岛效应更加明显。

(4)随着城市建设规模的不断扩大,人类活动强度增大,城市中高等级热岛斑块(4、5、6)的数量、密度和比例都增加迅速,而且形状更加复杂多样化,同等级类型的斑块集聚程度高。2007 年城市的热景观斑块类型最多,而且分布均匀度高,同时热景观斑块的破碎度高。热景观斑块的蔓延度呈现下降趋势,低等级热岛(1、2、3)斑块的优势度逐渐降低。

土地利用/覆盖影响着城市热岛的分布^[24-25]。遥感影像反演的地表温度是地物所释放的辐射能量,包括建筑屋顶,地面铺装,植被,裸露地表和水体,城市中高的地表温度往往出现在高比例的不透水地表地区,两者之间存在显著的线性相关关系,这些不透水地表主要包括道路和屋顶,因此,城市土地覆盖类型会成为影响地表温度的重要因素^[26]。除此以外,城市土地利用类型的在景观尺度上的空间分布也是影响城市热岛的重要因素,因为不同的城市用地类型对城市的热岛贡献存在差异,土地利用的变化会导致城市中的物质和能量的流动,这会导致城市热岛发生变化。Li^[27]等的研究表明,住宅用地对城市中热岛形成的贡献最大,其次是工业用地,而且,中低密度或低植被覆盖的住宅用地比高密度或高植被覆盖的住宅用地的温度要高,所以,建筑的空间形态以建筑密度和容积率对城市的热环境形成发挥着主导的作用^[28]。

自北京市城市总体规划(2004—2020 年)实施以来,城市化快速发展,城市城镇人口规模由 2003 年的 1151 万人增长到 2011 年的 1740 万人,城市建

设用地规模不断扩大,与此同时,城市化过程中能源消费急剧增长,2003 年全市能源消费总量 4648 万吨标煤,2011 年消费 6995 万吨标煤^[29]。尽管研究区内城市的绿化覆盖率相比 2003 年有了大幅的提升,特别是四环内绿化覆盖率提高最为迅速,提高了近 16%,但城市热岛分布面积比例却也相应的增加最为迅速。由于植被覆盖率与热岛存在显著的负相关,而城市热岛与地表覆盖类型和能源消耗直接相关,所以城市热岛比例的增加在很大程度上是由城市能源消耗导致的温室气体排放所造成的。

在景观斑块类型水平的指数分析表明,各热岛等级的景观形状指数呈现增长趋势,热岛等级斑块形状复杂化,面积加权平均分形指数和各斑块类型的比例都有增加。景观水平的分析表明,热岛斑块的多样性和均匀度指数在 2007 年达到最大,2011 年略有下降,蔓延度指数分析表明城市低等级的热岛景观优势度降低。城市用地类型的空间布局 and 地表覆盖类型将会影响到这些指标,工业企业以及大面积低密度住宅区或城中村的空间分布会影响到能源排放的空间分布,进而影响到热岛的景观指数。绿地类型(大小、植被类型)及空间分布同样会影响到热岛的景观指数。

为减缓城市的热岛效应,城市规划和管理部门需要进行多方面的考虑:(1)优化城市用地的空间布局,特别是居住用地和工业用地的空间布局;对于中低密度的城中村或老住宅区进行节能改造。加快工业用地和村庄的整合力度,集约用地。(2)疏解城市人口,降低城区人口密度,城市人口增加导致的能源消耗增加对于城市热岛的贡献有间接的关系;(3)积极推广清洁能源的利用;发展低碳交通,降低交通热源排放;(4)继续扩大城市公园绿地的比重,增加城

市植被覆盖度,对绿化的植被类型和配置进行合理设计,优化植被群落的生态效应。对于城市中的未利用地、裸地、干涸河道、滩地等进行生态恢复。(5)有条件地实施雨水收集措施,增加城市水面,水体具有“冷岛”效应,对于缓解城市热岛同样具有积极作用。

References:

- [1] Imhoff M L, Zhang P, Wolfe R E, Bounoua L. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(3): 504-513.
- [2] Buyantuyev A, Wu J G. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape Ecology*, 2010, 25(1): 17-33.
- [3] Han S Q, Guo J, Huang S L, Bian H. Study on the evolution of urban heat island in Tianjin city. *Ecology and Environment*, 2007, 16(2): 280-284.
- [4] Xiao R B, Ouyang Z Y, Li W F, Zhang Z M, Gregory T J, Wang X K, Miao H. A review of the eco-environmental consequences of urban heat islands. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2055-2060.
- [5] Stone B, Norman J M. Land use planning and surface heat island formation: A parcel-based radiation flux approach. *Atmospheric Environment*, 2006, 40(19): 3561-3573.
- [6] Stone B Jr. Paving over paradise: how land use regulations promote residential imperviousness. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 69(1): 101-113.
- [7] Alberti M. Urban patterns and environmental performance: what do we know?. *Journal of Planning Education and Research*, 1999, 19(2): 151-163.
- [8] Zeng Y, Qiu X F, Gu L H, He Y J, Wang K F. The urban heat island in Nanjing. *Quaternary International*, 2009, 208(1/2): 38-43.
- [9] Rosenfeld A H, Akabari H, Romm J J, Pomeranta M. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, 1998, 28(1): 51-62.
- [10] Stanley A C, Kenneth E K, Beth C R. Impacts and responses to the 1995 heat wave: a call to action. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1996, 77(7): 1497-1505.
- [11] Patz J A, Campbell Lendrum D, Holloway T, Foley J A. Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 2005, 438(7066): 310-317.
- [12] Dhainaut J F, Claessens Y E, Ginsburg C, Riou B. Unprecedented heat-related deaths during the 2003 heat wave in Paris: consequences on emergency departments. *Critical Care*, 2004, 8(1): 1-2.
- [13] Xie Z, Cui J L, Chen D G, Hu B K. The annual, seasonal and monthly characteristics of diurnal variation of urban heat island intensity in Beijing. *Climatic and Environmental Research*, 2006, 11(1): 69-75.
- [14] Sun J S, Shu W J. The effect of urban heat island on winter and summer precipitation in Beijing region. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2007, 31(2): 311-320.
- [15] Zhang J H, Meng Q W, Li X, Yang L M. Urban heat island variations in Beijing region in multi spatial and temporal scale. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(11): 1349-1354.
- [16] Guan J J, Zha L S. Analysis of space change and its driving force of urban thermal environment of Hefei. *Journal of Anhui Normal University: Natural Science*, 2012, 35(1): 56-62.
- [17] Xu H Q. Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 3890-3901.
- [18] Xiao R B, Ouyang Z Y, Zheng H, Li W F, Shienke E W, Wang X K. Spatial pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(2): 250-256.
- [19] Irish. Landsat 7 Science Data Users Handbook. http://www.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html, 2010.
- [20] Ma G N. Remote sensing information models of Geography and geographical mathematics. *Science of Surveying and Mapping*, 2000, 25(2): 10-14.
- [21] Sun S M, Lu C Y. Study on monitoring intensity of urban heat island and taking it as an indicator for urban ecosystem by remote sensing. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2002, 41(1): 66-70.
- [22] Wang H, Li W, Du G, Zhu X. Research on the change of grassland vegetation coverage using 3S technology in Gannan. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(3): 26-37.
- [23] Wilson J S, Clay M, Martin E, Stuckey D, Vedder-Risch K. Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86(3): 303-321.
- [24] Zhou W Q, Huang G L, Cadenasso M L. Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 102(1): 54-63.
- [25] Giridharan R, Ganesan S, Lau S S Y. Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 2004, 36(6): 525-534.
- [26] Arnfield A J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 2003, 23(1): 1-26.
- [27] Li J S, Song C H, Cao L, Zhu F G, Meng X L, Wu J G. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115

(12): 3249-3263.

- [28] Yue W Z. Study on the Urban Landscape Pattern and Its Thermal Environmental Effects Based on Remote Sense Images. Beijing: Science Press, 2008.
- [29] Beijing Bureau of Statistics. Beijing Statistical Yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2012.
- 参考文献:**
- [3] 韩素芹, 郭军, 黄岁樑, 边海. 天津城市热岛效应演变特征研究. 生态环境, 2007, 16(2): 280-284.
- [4] 肖荣波, 欧阳志云, 李伟峰, 张兆明, Gregory T J, 王效科, 苗鸿. 城市热岛的生态环境效应. 生态学报, 2005, 25(8): 2055-2060.
- [13] 谢庄, 崔继良, 陈大刚, 胡保昆. 北京城市热岛效应的昼夜变化特征分析. 气候与环境研究, 2006, 11(1): 69-75.
- [14] 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. 大气科学, 2007, 31(2): 311-320.
- [15] 张佳华, 孟倩文, 李欣, Yang L M. 北京城区城市热岛的多时空尺度变化. 地理科学, 2011, 31(11): 1349-1354.
- [16] 管菁菁, 查良松. 合肥市城市热环境的空间变化及其驱动力分析. 安徽师范大学学报: 自然科学版, 2012, 35(1): 56-62.
- [17] 徐涵秋. 基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析. 生态学报, 2011, 31(14): 3890-3901.
- [20] 马嵩乃. 地理遥感信息模型与地理数学. 测绘科学, 2000, 25(2): 10-14.
- [21] 孙飒梅, 卢昌义. 遥感监测城市热岛强度及其作为生态监测指标的探讨. 厦门大学学报: 自然科学版, 2002, 41(1): 66-70.
- [22] 王浩, 李文龙, 杜国祯, 朱晓丽. 基于 3s 技术的甘南草地覆盖度动态变化研究. 草业学报, 2012, 21(3): 26-37.
- [28] 岳文泽. 基于遥感影像的城市景观格局及其热环境效应研究. 北京: 科学出版社, 2008.
- [29] 北京市统计局. 北京统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2012.