

# 北京城区城市热岛的多时空尺度变化

张佳华<sup>1</sup> 孟倩文<sup>1</sup> 李 欣<sup>1</sup> ,YANG Li-min<sup>2</sup>

(1. 中国气象科学研究院,北京 100081; 2. USGS/EROS Data Center, Sioux Falls, South Dakota 57198, USA)

**摘要:**利用气象台站数据分析北京城郊气温和城市热岛(UHI)强度的年变化及风速对北京 UHI 的影响;同时分析北京 5 个城市站点 UHI 在不同季节的日变化特征。结果表明,近 44 a 来北京市区与郊区的多年平均气温和 UHI 强度均呈增加的趋势。风速的降低促进北京城区的 UHI 出现增加趋势。风速对 UHI 的季节变化影响也很显著。2005 年北京 UHI 日变化呈现了明显的夜间强、日间弱的特征,尤以天安门和公主坟站点的 UHI 日变化明显;冬季 UHI 强度比其他季节相应时次的 UHI 都强,且冬季 UHI 日变化幅度最大,夏季日变化幅度最小。

**关 键 词:**北京;城市热岛;气温;风速;热岛日变化

**中图分类号:** P463.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2011)11-1349-06

随着城市化的发展,城市规模不断扩大,城市气温增加明显,城市热岛现象也越来越突出<sup>[1~3]</sup>。城市热岛(urban heat island, UHI)作为 21 世纪人类面临的主要问题之一,已引起研究人员的极大关注<sup>[4~8]</sup>。近几十年来,国内外的学者从微观及宏观角度对 UHI 效应的时空分布、形成机制及影响等方面进行了一系列的分析。Gaffin<sup>[9]</sup>通过分析 New York 1900 年以来的气温数据发现城市中央公园的 UHI 强度从 1900 年的 2℃ 增加到了现在的 2.5℃。Zeng<sup>[10]</sup>研究发现南京夏季的 UHI 强于冬季,夜间 UHI 强于日间。随着城市规模的扩大,UHI 在增大。郑祚芳<sup>[11]</sup>利用 2004 年自动站逐时观测资料分析北京 UHI 的时空分布特征。Zhang 等<sup>[12]</sup>通过卫星遥感资料分析北京 2001 年不同季节、白天和夜晚 UHI 变化和成因。林学椿等<sup>[13]</sup>研究了北京地区的大尺度气温变化及其 UHI 效应的演变。气象条件可以显著的影响 UHI 强度,如 Gedzelman<sup>[14]</sup>对纽约进行中尺度气象和气候分析发现城郊温差在干燥、晴朗微风的夜晚最大。城郊温差在海风和冷锋作用下会强烈减弱。

综上,针对城市热岛的年、月、季节变化规律国内外均有很多研究。但是通过更详细的气温小时值分析 UHI 日变化则比较少。谢庄<sup>[15]</sup>分析几种极端天气事件的逐时及平均热岛强度的变化。但是

由于只选取城区和郊区的单个台站计算热岛强度,数据的代表性不强,有待进一步深入研究,本文在前人研究的基础上,利用多年北京城郊气象资料、结合精细的气象站点小时观测资料,研究北京多年城、郊气温变化和 UHI 动态、UHI 与风速的关系以及北京典型城、郊站点的 UHI 日变化的季节变化特征。

## 1 研究区概况和数据处理

### 1.1 概 况

北京位于中国的北部,华北平原北沿上,除东南部与天津市接壤外,其余被河北省环绕,北部是燕山山脉,西部是太行山脉,南面是华北大平原。北京属于典型的温带大陆性季风气候,一年四季分明,春季干旱少雨,夏季炎热多雨,秋季凉爽少雨,冬季寒冷干燥。北京中国的首都,是世界闻名的历史、文化名城,是全国的政治、经济、交通和文化中心。近 50 a 来北京城市人口增加 6.5 倍,基本建设投资增加近 390 倍,房屋增加 40 倍。目前北京市常住人口达到 2 200 万,建成区面积为 1 289.3 km<sup>2</sup>。随着城市规模的扩大,城市下垫面性质和格局也发生巨大变化,这些变化深刻影响着北京的城市热环境。

收稿日期:2011-01-16; 修订日期:2011-03-16

基金项目:全球变化研究国家重大科学研究计划课题(No. 2010CB951302)资助。

作者简介:张佳华(1966-),内蒙古集宁人,研究员,博士生导师,主要从事气候变化、生态与城市环境遥感研究。E-mail: zhangjh@cma.gov.cn

通讯作者:孟倩文。E-mail: mengqianwen@163.com

## 1.2 数据与处理

本文利用 1960 ~ 2003 年北京 12 个常规气象站的观测资料研究城郊气温和 UHI 的年变化,包括北京城市站(编号 54511, 116.28°E, 39.93°N, 海拔 54.7 m),该站位于城市化影响的核心区,11 个典型郊区站(均远离城市,代表郊区气温)的年平均气温资料。为减少因海拔高度相差很大所带来的影响,采用平均背景气温直减率,即每升高 100 m 气温下降 0.65℃,把 11 个郊区站的气温订正到海平面高度。UHI 定义为城区温度与郊区温度的差值,即  $UHI = T_U - T_S$  ( $T_U$  为城市气温,  $T_S$  为郊区气温),其中郊区气温用 11 个郊区站的气温平均值代表。温度距平计算为每年温度与多年平均温度的差,5 a 滑动平均计算为:

$$\bar{T}_i = (T_{i-2} + T_{i-1} + T_i + T_{i+1} + T_{i+2}) / 5$$

式中  $i$  为某年平均温度,它可以较好地反映年代的变化特征。

选取北京市气象局提供的 2005 年自动站逐时气温资料研究城区 UHI 的日变化,自动气象站数据可靠性非常高,可以较准确的反映该地点附近的各气象要素状况。郊区站选取顺义、延庆、怀柔、密云上甸子、房山 5 个站点(周围下垫面均为农田),城市站选取北京人口密集和交通枢纽地区,包括天安门、公主坟、四元桥、先农体育馆、东直门 5 个站点(周围下垫面均为城市用地)。对以上自动气象站气温资料的校正,方法如下:① 去除明显错误的

数据资料;② 对缺测资料一般采用线性插值;③ 对每天长时间(4 h 以上)缺测资料不参加统计。选取的几个站点数据较完整准确,需要校正的数据很少。以城郊不同季节的日逐时平均气温同步温差作为反映此时间尺度下的 UHI 强度指标(其中分别用 1、4、7 和 10 月的月平均温度代表冬、春、夏、秋 4 个季节温度)。具体是计算 5 个郊区站各小时气温的平均值作为郊区的气温,并用 5 个城区的典型台站与郊区站平均温度的差计算得了各城区的 UHI 强度。

## 2 结果与分析

### 2.1 北京地区气温和 UHI 的年变化趋势

1) 北京地区城郊气温的年变化。图 1、2 为 1960 ~ 2003 年北京市城区和郊区年平均气温的距平变化及 5 a 滑动平均曲线。图 1 可知:20 世纪 60 年代中期至 80 年代初期,北京城区气温相对偏低,80 年代初期到 90 年中期出现一个小波峰,90 年后气温继续上升,维持在 13℃ 以上。郊区在 90 年代以前气温大小不断波动变化趋势不明显,90 年代后开始逐年上升。总的来说,市区气温比相应年份郊区平均气温要高,升温幅度也大于郊区;其线性趋势分别为 0.45℃/10 a、0.21℃/10 a。

2) 北京地区城市热岛的年变化。图 3 可知,北京 UHI 变化呈现明显的阶段性,20 世纪 60 年代北京 UHI 平均值为 0.58℃,70 年代较小,UHI 平均

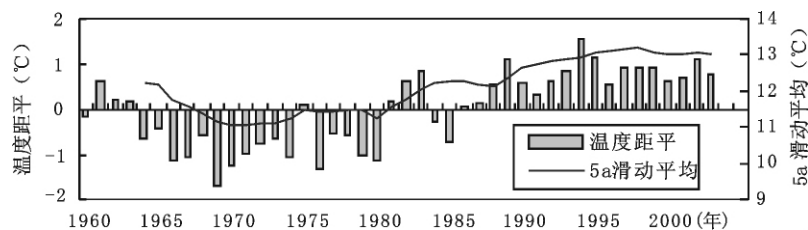


图 1 北京城市温度距平及 5 a 滑动平均曲线

Fig. 1 The temperature departure and 5a moving average curve of Beijing urban area

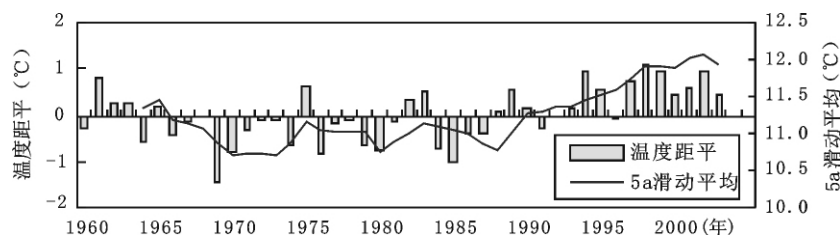


图 2 北京郊区温度距平及 5 a 滑动平均曲线

Fig. 2 The temperature departure and 5a moving average curve of Beijing suburb area

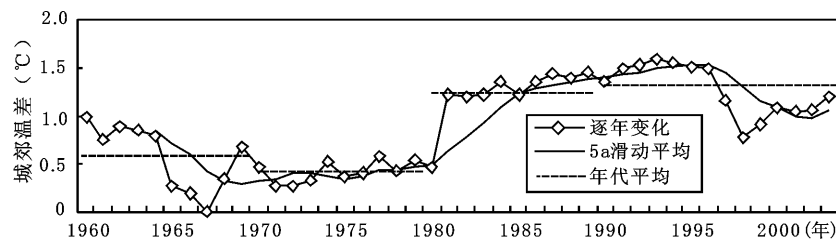


图3 1960~2003年北京城郊逐年气温差及5a滑动平均曲线

Fig. 3 The annual change of difference of temperature between Beijing urban and suburb and the 5a moving average curve from 1960 to 2003

值为  $0.42^{\circ}\text{C}$ , 1980 年以后开始迅速增大, UHI 升高到  $1.23^{\circ}\text{C}$ , 自 90 年代以来, UHI 继续增加, 其值为  $1.32^{\circ}\text{C}$ ; 总体来看, 北京 UHI 以波动形式增长, 其线性趋势为  $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。从 1960~1965 年 UHI 强度减弱可能的原因包括城市风速增加(图 4)和北京城市建设缩减时期对应<sup>[16]</sup>。20 世纪 80 年代改革开放以来, 北京城市人口城市基础设施投资总额、房屋竣工面积和住房竣工面积都有很大增长, 城市化水平不断提高<sup>[16~19]</sup>。这与 1980 年以后的 UHI 的迅速加剧有相当密切的联系, 随着城市经济社会的发展和人口、规模急剧膨胀, 人为作用影响将越来越大。

3) 北京风速的年变化及与城市热岛强度的关系。图 4 为北京 54 511 站 1960~2003 年年平均风速的逐年变化特征。北京多年的年平均风速为  $2.5\text{ m/s}$ , 且有逐年减小趋势, 尤其 1972 年以来, 年平均风速逐年减小的趋势比较明显, 主要是由于城市发展, 该城市站周围建筑物不断增加, 密度增加, 导致城市下垫面粗糙度增大, 使城区风速不断减小<sup>[16]</sup>。而前面分析可知, 北京的 UHI 强度有逐年增加的趋势, 通过两者相关性的分析, 可知风速与热岛强度的相关系数达  $R$  到  $-0.6118$ , 说明风速的减小促进 UHI 强度增大。

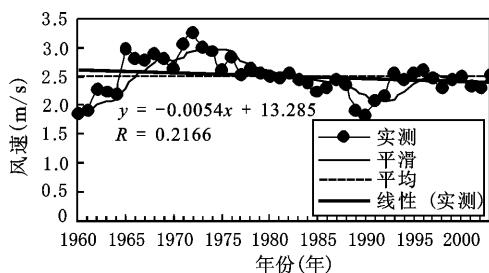


图4 北京年平均风速的变化趋势

Fig. 4 The variation trend of annual wind speed in Beijing from 1960 to 2003

利用 1975~2006 年的月平均风速计算得多年的月平均风速值, 通过分析北京月平均 UHI 强度和月平均风速变化可进一步研究风速对 UHI 强度季节变化的影响。图 6 显示, 北京 UHI 在夏季较大, 秋季次之, 春季最小。而平均风速在春季较大, 夏季较小, 春季风速较大时, 对 UHI 有一定缓解作用, 而夏季风速较小时, UHI 则比较强。

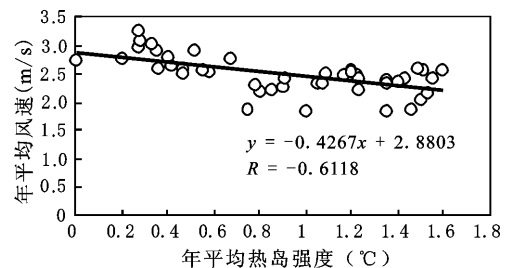


图5 北京热岛强度与年平均风速的相关关系

Fig. 5 The relationship between intensity of UHI and the observed annual wind speed of Beijing

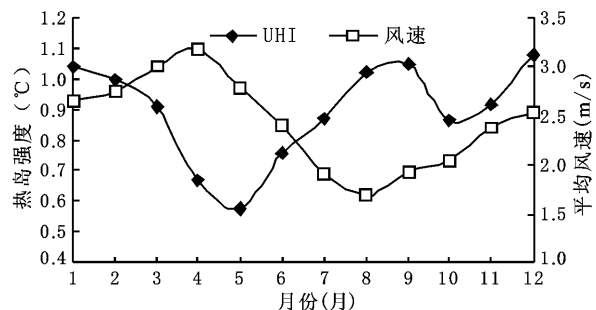
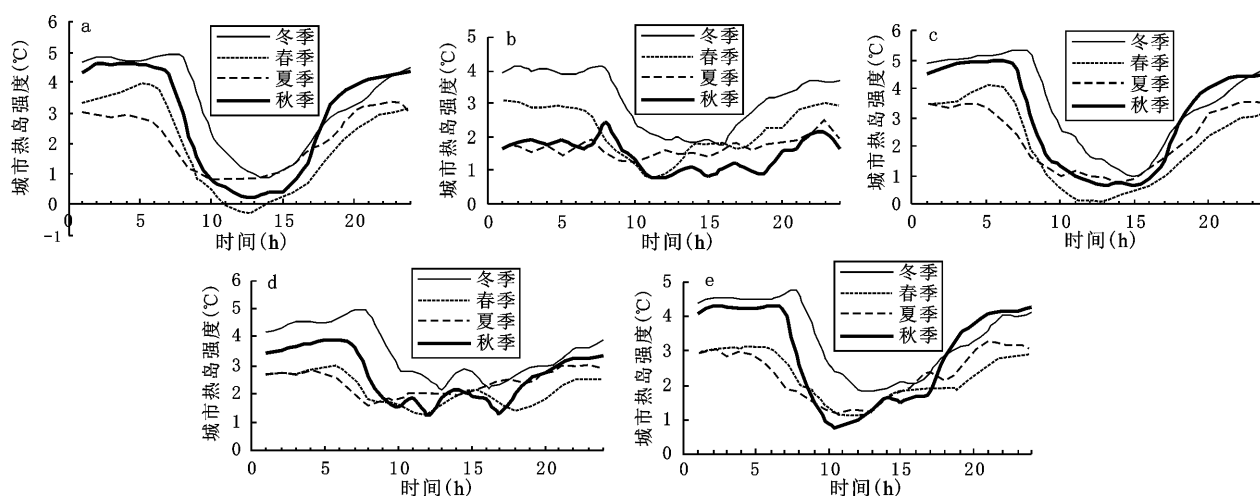


图6 平均热岛强度、平均风速逐月变化

Fig. 6 The monthly average intensity of UHI and the monthly average wind speed of Beijing

## 2.2 北京 UHI 强度的日变化

1) 北京城市站不同季节 UHI 强度的日变化。图 7a-e 显示, 北京各站在相应季节的 UHI 日变化趋势基本一致。其中天安门和公主坟 UHI 强度



a. 天安门; b. 四元桥; c. 公主坟; d. 先农体育馆; e. 东直门

图 7 2005 年北京 5 个城市站点的四季的逐时 UHI 变化

Fig. 7 Hourly variations of intensity of UHI in four seasons from 5 urban meteorological stations in 2005

日变化最明显。强 UHI 时段主要在夜间 22~07 时; UHI 较弱的时段在白天的 08~21 时之间, 其中强 UHI 时段的 UHI 强度在  $1.5^{\circ}\text{C}$  以上, 弱 UHI 时段的 UHI 强度在  $0^{\circ}\text{C}$  以上。这是由于城市下垫面主要是水泥地面和沥青路面, 热容量比郊区的农田下垫面要大, 日出后太阳辐射的加热作用使郊区迅速升温, 使得温差明显缩小, 太阳辐射的增加也导致了近地面湍流交换作用的加强, 更有助于城市和郊区空气的混合, 因此使得白天城郊温差逐渐缩小甚至减小为 0。午后太阳辐射开始减小, 郊区地面大气降温速率和幅度远大于城区, 导致 UHI 强度逐渐增强, 近地面湍流交换作用的减弱, 加之夜间城市温室效应更明显, 更促使夜间强 UHI 形成和维持。

观察午夜到凌晨 5 点曲线部分, 发现冬季是 UHI 最强的季节, 其中冬季可达  $4^{\circ}\text{C}$  以上, 夏季最弱, 但是夜间热岛强度 (除四元桥站点外) 也大于  $2^{\circ}\text{C}$ 。四元桥站夏季 UHI 低的原因可能是该站位于四元桥, 周围的风速较大, 但详细的分析有待进一步研究。冬季 UHI 日变化曲线起伏较大, 夏季曲线较平稳。春季, 郊区的植被覆盖较低, 且降水很少, 土壤湿度也降低, 这样郊区气温较高, 加之上面的分析, 春季又是北京多风的季节, 风速越大, 城市与郊区温差也越小, 都导致其 UHI 在四季中较弱。而秋季月份北京风速较小, 这可能也是其热岛强度较大的原因。虽然冬季风速也较大, 但由于城市人为热排放, 使冬季城市热岛强度表现最强。

2) 四季 UHI 的日变化。对 5 个站点进行平均得到 UHI 在各个季节平均的日变化特征 (图 8)。冬季 UHI 强度比其他季节相应时次的 UHI 强度都强, 夜间 UHI 达到  $4^{\circ}\text{C}$  以上, 白天 UHI 在  $1.8^{\circ}\text{C}$  以上。昼夜最大 UHI 强度差冬季最大, 为  $3.1^{\circ}\text{C}$ , 夏季最小, 为  $1.6^{\circ}\text{C}$ , 即冬季 UHI 强度日变化幅度最大, 夏季日变化幅度最小。

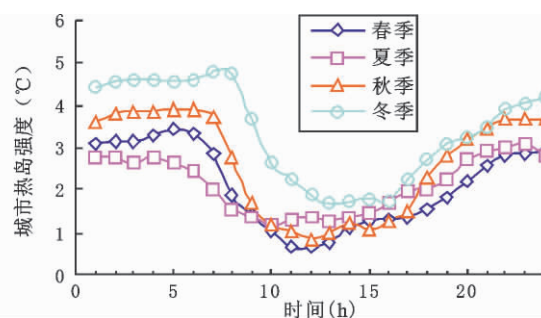


图 8 2005 年不同季节 5 站平均 UHI 逐时变化

Fig. 8 Hourly variations of average intensity of UHI in four seasons from 5 urban meteorological stations in 2005

### 3 结 论

通过对北京多年城市和郊区的温度变化趋势、月平均风速的变化特征以及不同季节 UHI 的日变化的研究, 本文得出以下结论:

1) 北京市区与郊区的多年年平均温度的变化趋势大致相当, 呈增加趋势。市区的气温比对应年份的郊区平均气温要高, 增温变率也大于郊区, 线

性趋势分别为 $0.45$ 、 $0.21^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。城郊的温差也呈增加的趋势,以 $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的速度增加。

2) 形成 UHI 效应的因素分为外部因素和内部因素,风速是影响 UHI 的一个外部因素,通过对风速的分析可以部分解释北京的 UHI 状况。北京的 UHI 强度有逐年增加的趋势,风速与 UHI 强度的相关系数达到 $-0.6118$ ,说明风速的变化对于 UHI 强度有一定的影响,风速的减小导致 UHI 强度的增大。UHI 强度与平均风速有一定的负相关关系。春季风速较大时,对 UHI 有一定的缓解作用,而夏季风速较小时, UHI 强度则比较强。

3) UHI 日变化呈现出明显的夜间强,白昼弱的特征,冬季热岛强度比其他季节相应时次的热岛强度都强,夜间 UHI 达到 $4^{\circ}\text{C}$ 以上,白天 UHI 在 $1.8^{\circ}\text{C}$ 以上。冬季 UHI 日变化幅度最大,夏季 UHI 日变化幅度最小。而夜间 UHI 最弱的季节是夏季,白天 UHI 最弱的季节为春季。

4) 对于不同的站点,由于其位置的差异导致的下垫面的不同及周围环境、人群等的影响, UHI 的变化又出现一些不稳定性。对于 UHI 变化中出现的非周期性的解释还需进一步补充,或者利用多年的数据得到更精确结果。

## 参考文献:

- [1] Wang W C, Zeng Z M, Thomas R K. Urban heat islands in China [J]. *Geophysical Research Letters*, 1990, **17**: 2377–2380.
- [2] Weng Q H, Yang S H. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city [J]. *Journal of Environmental Management* 2004, **70**: 145–156.
- [3] 任永建, 陈正洪, 肖 莺, 等. 武汉区域百年地表气温变化趋势研究 [J]. *地理科学* 2010, **30**(2): 278–282.
- [4] Rizwan A M, Dennis Y C L, Liu C H, et al. A review on the generation, and mitigation of Urban Heat Island [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, **20**: 120–128.
- [5] 岳文泽, 徐丽华. 城市土地利用类型及格局的热环境效应研究——以上海市中心城区为例 [J]. *地理科学* 2007, **27**(2): 243–248.
- [6] 苏伟忠, 杨英宝, 杨桂山. 南京市热场分布特征及其与土地利用/覆被关系研究 [J]. *地理科学* 2005, **25**(6): 697–703.
- [7] 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.
- [8] 赵云升, 杜 嘉, 宋开山, 等. 基于卫星遥感的夏季长春市城区热场分析 [J]. *地理科学* 2006, **26**(1): 70–74.
- [9] Gaffin S R, Rosenzweig R, Khanbilvardi R, et al. Variations in New York city's urban heat island strength over time and space [J]. *Theoretical and Applied Climatology* 2008, **94**: 1–11.
- [10] Zeng Y, Qiu X F, Gu L H. The urban heat island in Nanjing [J]. *Quaternary International* 2009, **208**: 38–43.
- [11] 郑祚芳, 刘伟东, 王迎春. 北京地区城市热岛的时空分布特征 [J]. *南京气象学院学报* 2006, **29**(5): 694–699.
- [12] Zhang Jiahua, Hou Yingyu, Li Guicai, et al. The diurnal and seasonal characteristics of urban heat island variation in Beijing city and surrounding areas and impact factors based on remote sensing satellite data [J]. *Science In China Series D( Earth Sciences)*, 2005, **48**( Supp. II): 220–229.
- [13] 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应 [J]. *地球物理学报* 2005, **48**(1): 39–45.
- [14] Gedzelman S D, Austin S, Cermak R, et al. Mesoscale aspects of the Urban Heat Island around New York City [J]. *Theoretical and Applied Climatology* 2003, **75**: 29–42.
- [15] 谢 庄, 崔继良, 陈大刚. 北京城市热岛效应的昼夜变化特征分析 [J]. *气候与环境研究* 2006, **11**(1): 69–75.
- [16] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 北京城市化进程与热岛强度关系的研究 [J]. *自然科学进展* 2005, **15**(7): 882–886.
- [17] 张佳华. 城市热环境遥感 [M]. 北京: 气象出版社 2010.
- [18] 刘 宇, 匡耀求, 吴志峰, 等. 不同土地利用类型对城市地表温度的影响——以广东东莞为例 [J]. *地理科学* 2006, **26**(5): 597–602.
- [19] 武鹏飞, 王茂军, 张学霞. 北京市植被绿度与城市热岛效应关系研究 [J]. *北京林业大学学报* 2009, **31**(5): 54–60.

## Urban Heat Island Variations in Beijing Region in Multi Spatial and Temporal Scales

ZHANG Jia-hua<sup>1</sup>, MENG Qian-wen<sup>1</sup>, LI Xin<sup>1</sup>, YANG Li-min<sup>2</sup>

( 1. *Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China*; 2. *U. S. Geological Survey / Earth Resources  
Observation and Science Data Center, Sioux Falls, South Dakota 57198, U. S. A.* )

**Abstract:** The annual variation of intensity of urban heat island ( UHI ) , the impact of wind speed on UHI , and the diurnal variations of five urban sites in different seasons were studied in the paper by using the meteorological data. The result shows that annual average temperature appears an increasing trend in Beijing urban and suburb areas for the past 44 years. The intensity of UHI also shows an increasing trend. There is a negative correlation between the UHI and synchronous wind speed in Beijing region , and the decrease of wind speed led to the increase of UHI intensity. Results also show that diurnal change of UHI of Beijing is significant in 2005 , the UHI is strong at night and weak in the noon. The strongest UHI appears generally in winter seasons and the amplitude of UHI diurnal variation in winter is the largest , and the smallest in summer.

**Key Words:** Beijing , urban heat island; air temperature; wind speed; UHI diurnal variation