

刘伟东, 尤焕苓, 孙丹. 2016. 1971—2010 年京津冀大城市热岛效应多时间尺度分析. 气象, 42(5):598-606.

# 1971—2010 年京津冀大城市热岛效应 多时间尺度分析<sup>\*1</sup>

刘伟东<sup>1</sup> 尤焕苓<sup>2</sup> 孙丹<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089

<sup>2</sup> 北京市气象服务中心, 北京 100089

**提 要:** 利用 1971—2010 年均一化的京津冀区域逐日气温数据与质量控制后的 2011 年自动站逐时气温数据, 分析了北京、天津和石家庄热岛效应的多尺度时间变化特征。结果表明, 三个城市平均、最高和最低气温的热岛效应呈非对称性特征, 最强为最低气温的热岛效应, 其次为平均气温的热岛效应, 最弱为最高气温的热岛效应。北京平均气温的热岛效应最强, 其次为天津, 石家庄相对较弱, 石家庄平均气温的热岛效应近 40 年呈显著上升趋势, 每 10 年达 0.13℃。石家庄最高气温的热岛效应最强, 其次为北京, 最小为天津, 近 40 年北京最高气温的热岛效应呈缓慢上升趋势, 每 10 年增加 0.06℃, 石家庄变化不明显, 天津呈微弱下降趋势。最低气温的热岛在北京最强, 其次为天津, 最小为石家庄, 近 40 年北京最低气温热岛效应天津呈明显上升趋势, 每 10 年增加 0.18℃, 其次为石家庄, 北京呈微弱下降趋势。三个城市的平均气温、最低气温的热岛效应季节变化通常表现为夏季较弱, 冬季最强。三个城市最高气温的热岛效应季节变化差异较大, 北京 10 月热岛效应最弱, 其他月份变化不大; 天津热岛效应 6 月最弱, 在 1 或 12 月最强; 石家庄 4 和 5 月热岛效应最强, 10 月热岛效应最弱。由 2011 年自动站数据得到的平均气温热岛效应与 1971—2010 年的 40 年平均得到的平均气温的热岛效应季节变化具有类似的规律。2011 年自动站热岛效应在一天中表现为白天热岛强度较低, 而夜间热岛强度较高。

**关键词:** 京津冀, 热岛效应, 气温, 变化

**中图分类号:** P467

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.05.009

## Multi-Time Scale Analysis of Megacities Heat Island Effect in Beijing-Tianjin-Hebei Region from 1971 to 2010

LIU Weidong<sup>1</sup> YOU Huanling<sup>2</sup> SUN Dan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089

<sup>2</sup> Beijing Meteorological Service Center, Beijing 100089

**Abstract:** Based on a homogenized daily air temperature dataset from 1971 to 2010 and quantity controlled hourly air temperature data of Beijing-Tianjin-Hebei Region in 2011, the multiscale temporal characteristics of urban heat island effect for Beijing, Tianjin and Shijiazhuang are analyzed in this paper. The results show that the urban heat island effect on the mean, maximum, minimum air temperature is asymmetrical. The heat island effect on the minimum temperature is the strongest, followed by the effect on the mean temperature and the effect on the maximum temperature is the weakest. The mean temperature in Beijing is affected by urban heat island effect most significantly, followed by Tianjin's. Shijiazhuang's heat island effect is relatively weak, but showing the trend of significantly increasing during the late 40 years, up to 0.13℃ every 10 years. For the maximum temperature, urban heat island effect in Shijiazhuang is the strongest, followed by Beijing's. Tianjin's heat island effect is relatively weak. Beijing's heat island effect

\* 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05090202)及国家自然科学基金项目(40975066 和 41375069)共同资助  
2015 年 5 月 12 日收稿; 2016 年 3 月 10 日收修定稿  
第一作者: 刘伟东, 主要从事城市气候、城市遥感等研究. Email: wdliu@ium.cn

on maximum temperature increases slowly during the 40 years, being  $0.06^{\circ}\text{C}$  every decade. No significant change in Tianjin. Shijiazhuang's heat island effect shows a weak downward trend. For the minimum temperature, Beijing's heat island effect is the strongest, then is Tianjin's. Shijiazhuang's heat island effect is the weakest. Tianjin's heat island effect on lowest temperature increases in the 40 years,  $0.18^{\circ}\text{C}$  every decade. Tianjin has no significant change, followed by the Shijiazhuang's. Beijing's heat island effect shows a slight downward trend. Generally, the three cities heat island effect intensities for mean and maximum air temperature are characterized by weak in summer and strongest in winter, for maximum temperature, they are different with change of seasons. The seasonal heat island effect from automatic weather station is similar to the heat island effect calculated from the data in 1971—2010. The heat-island effect in a day is characterized by low during the daytime and high during the nighttime.

**Key words:** Beijing-Tianjin-Hebei, urban heat island effect, air temperature, changes

## 引言

京津冀区域作为我国快速城市化和经济高速发展的区域之一,其热环境问题及其相关的气候环境问题较为突出(吴庆梅等,2012;东高红等,2013;郑祚芳等,2013;刘伟东等,2014),研究该区域大城市的热岛效应对该区域的生态环境建设有重要的现实意义。已有较多研究基于长时间序列气象资料对各地城市热岛日、月、季、年变化等进行了分析(寿亦萱等,2012;杨萍等,2012;石涛,2013;王腾蛟等,2013;Santamouris, 2014; 谢志清,2015),其中在京津冀区域单个城市的热岛效应也有较多研究(宋艳玲等,2003;郑祚芳等,2006;Liu et al, 2007;韩素芹等,2007;胡妹婧等,2009;卞韬等,2012;黄利萍等,2012;杨鹏等,2013;Yang et al, 2013;刘伟东等,2013)。宋艳玲等(2003)利用气候资料分析了北京城区与郊区平均气温日、季、年际和年代变化特征,发现1961—2000年市区与郊区温差达 $3^{\circ}\text{C}$ 左右,热岛效应明显增强。刘伟东等(2013)分析北京地区自动站数据,发现热岛强度最大时刻在夜间和凌晨,白天尤其是午后热岛强度最低,冬季热岛效应最强,而4—7月热岛效应较弱。郑祚芳等(2006)分析了北京城市热岛的时空分布特征,结果表明无论冬、夏季,北京的城市热岛在空间分布上均表现出多中心结构。热岛强度冬季大于夏季、夜间大于白天,热岛中心随时间存在漂移现象。韩素芹等(2007)分析了天津市1964—2003年热岛演变特征,天津城市热岛效应以 $0.11^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 速率加强。黄利萍等(2012)应用2008年天津市14个自动气象站资料分析了天津热岛效应,结果表明天津市热岛强度的日

变化、月变化和年、季特征显著,天津市热岛强度与城郊站的选择方法有密切关系。杨鹏等(2013)分析了石家庄城市热岛空间特征,发现夏、秋季白天和四季晚上石家庄城市热岛效应明显,春、冬季白天有时出现“冷岛”效应。卞韬等(2012)采用城乡气温对比和线性趋势分析方法,探讨了石家庄城市热岛强度特征,结果表明石家庄热岛效应明显,且在最低气温热岛效应上表现更突出,热岛强度1月最大,7月最小,热岛强度具有明显的日变化特征。上述研究对我国深入开展城市热岛效应研究奠定了良好的基础。

虽然以上很多研究利用历史气候资料对北京、天津和石家庄等地的热岛效应进行了有益的探索,但我国近几十年长序列气候数据记录不可避免地存在由观测仪器改变、观测方式改变、台站迁移等非气候因素造成的不连续点(李庆祥等,2010)。如当观测点从城市中心位置向郊区迁移时,通常会使得地面平均气温值比迁站前减小(Li et al, 2009),迁站对最低气温的均一性影响大于最高气温(李庆祥等,2005; Zhang et al, 2014; 张媛等,2014)。均一性的长序列资料是研究气候变化的基础,没有经过均一化处理的观测数据可能导致研究结论存在较大的不确定性。另外以往研究也缺乏对北京、天津和石家庄热岛效应多尺度的系统分析和对比分析。因此,本文基于京津冀1971—2010年均一化处理后的气温数据和经过质量控制后的2011年自动站气温数据,对京津冀区域大城市的热岛效应多时间尺度特征进行对比分析,以期揭示京津冀区域大城市热岛效应的异同,为京津冀城市群热环境影响评估、城市设计和规划,以及城市热环境改善提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

因京津冀区域城市化迅速,许多气象站点出现过搬迁等情况,气温数据有不连续现象,造成因观测资料导致的热岛效应研究的不确定性。因此,本研究采用了国家气象信息中心发布的“地面基础气象资料建设”专项“中国国家级地面气象站均一化气温日值数据集(V1.0)”中的 1971—2010 年逐日最高、最低和平均气温均一化数据。该数据集采用近年来国内外应用较为广泛的 RHtest 均一性检验方法订正,具有较好的数据完整性和数据质量。在计算热岛强度方面可减小以往观测资料没有经过均一化处理的缺点。自动站采用经过质量控制后的 2011 年京津冀气温逐时观测数据。

### 1.2 方法

站点的选择对热岛强度的计算结果影响很大。

本文采用具有较长观测序列的国家级气象观测站点分析京津冀大城市热岛效应(表 1)。北京城区和郊区站点的选择主要依据王君等(2013)通过聚类分析方法得到的站点分类,本文以通州、丰台为北京城区代表,以怀柔、平谷、密云、房山为郊区代表。天津热岛分析采用黄利萍等(2013)分类,本文以天津城市监测站为城区代表,武清、北辰、静海为郊区代表。石家庄城市和郊区站的选择采用卞韬等(2012)研究石家庄热岛的选择站点,石家庄为城区站代表,藁城、元氏和新乐站为郊区站代表。通过分析站点位置与改进的 MODIS(IGBP 分类)土地利用分类(www.umb.edu/spectralmass/terra\_aqua\_modis/landcover),可以看出各站点所处的下垫面土地利用类型能较好地代表城区或是郊区(图 1)。人口数据来源于 2010 年第六次全国人口普查主要数据公报(www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/rkpcgb/)。人口密度为该站点所在区县的人口数量与该区县面积的比值。

热岛强度(urban heat island intensity, UHII)以对应城市的城区各站气温的平均与郊区各站气温的平均的差值来表示。热岛强度的变化趋势利用线

表 1 城区站与郊区站的位置及描述

Table 1 Location and description of urban and rural weather stations

| 站名    | 行政区 | 站点类别 | 纬度/°N | 经度/°E  | 海拔/m | 所处位置 | 人口/万人 | 人口密度<br>/人·km <sup>-2</sup> |
|-------|-----|------|-------|--------|------|------|-------|-----------------------------|
| 丰台    | 北京  | 一般站  | 39.87 | 116.25 | 55.2 | 城区   | 211   | 6906                        |
| 通州    | 北京  | 一般站  | 39.92 | 116.63 | 43.3 | 城区   | 118   | 1306                        |
| 怀柔    | 北京  | 一般站  | 40.37 | 116.63 | 75.7 | 郊区   | 37    | 175                         |
| 平谷    | 北京  | 一般站  | 40.17 | 117.12 | 32.1 | 郊区   | 41.6  | 387                         |
| 密云    | 北京  | 一般站  | 40.38 | 116.87 | 71.8 | 郊区   | 46.8  | 210                         |
| 房山    | 北京  | 一般站  | 39.68 | 116.13 | 39.2 | 郊区   | 94.5  | 468                         |
| 天津城市站 | 天津  | 一般站  | 39.07 | 117.20 | 2.2  | 城区   | 87    | 22905                       |
| 武清    | 天津  | 一般站  | 39.38 | 117.02 | 4.5  | 郊区   | 95    | 603                         |
| 北辰    | 天津  | 一般站  | 39.23 | 117.13 | 3.4  | 郊区   | 67    | 1415                        |
| 静海    | 天津  | 一般站  | 38.92 | 116.92 | 5.5  | 郊区   | 65    | 438                         |
| 石家庄   | 河北  | 基本站  | 38.03 | 114.42 | 81.0 | 城区   | 60    | 10946                       |
| 藁城    | 河北  | 一般站  | 38.03 | 114.83 | 53.5 | 郊区   | 77.5  | 927                         |
| 元氏    | 河北  | 一般站  | 37.77 | 114.52 | 66.4 | 郊区   | 42    | 621                         |
| 新乐    | 河北  | 一般站  | 38.35 | 114.68 | 70.8 | 郊区   | 48.8  | 929                         |

性倾向估计方法计算,以倾向值表示变化程度,单位为  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$ 。线性倾向计算方法如下:

用  $y_i$  表示样本量为  $n$  的气候变量,用  $x_i$  表示  $y_i$  所对应的时间,则自变量  $x_i$  和因变量  $y_i$  之间可建立一个线性回归方程,其表现形式为:

$$\hat{y}_i = a + bx_i \quad (1)$$

需要指出的是, $x_i$  是自变量, $\hat{y}_i$  是因变量的  $y_i$

的估计值,又称理论值。实际观测值  $y_i$  和理论值  $\hat{y}_i$  的关系是: $y_i = \hat{y}_i + \epsilon_i$ ,式中  $\epsilon_i$  称为离差,反映了因各种偶然因素、观察误差及被忽略的其他影响因素带来的随机误差。

要确定  $\hat{y}_i = a + bx_i$ ,主要是确定  $a$  和  $b$ ,可通过最小二乘法对  $a$  和  $b$  进行估计。

其基本思路是让  $\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 = \text{最小}$ 。

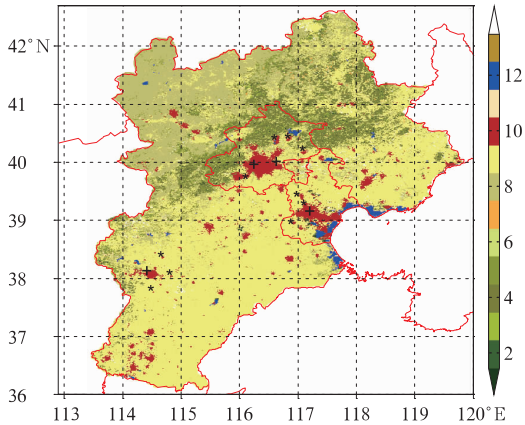


图 1 研究区域与观测站分布

[“+”代表城区站,“\*”代表郊区站;改进的

MODIS(IGBP 分类)20 类土地利用分类:

- 1 为常绿针叶林, 2 为落叶针叶林, 3 为落叶阔叶林, 4 为混合林,
- 5 为闭合灌丛, 6 为稀疏灌丛, 7 为有林草地, 8 为草原, 9 为草地,
- 10 为城市, 11 为农田, 12 为水体, 13 为苔原]

Fig. 1 Study area and locations of weather stations in Beijing-Tianjin-Hebei

[“+” represents urban stations, “\*” represents rural stations; Modified International Geosphere Biosphere

Programme (IGBP) MODIS 20-category vegetation

- land-use data: 1. evergreen needle leaf forest, 2. deciduous
- needle leaf forest, 3. deciduous broadleaf forest, 4. mixed
- forest, 5. closed shrubland, 6. open shrubland, 7. wooded
- tundra, 8. grassland, 9. pasture, 10. urban and built-up,
- 11. cropland, 12. water bodies, 13. tundra]

求解方程组,可得  $a$  和  $b$ :

$$\begin{cases} b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \\ a = \bar{y} - b\bar{x} \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $a$  为回归常数,  $b$  为回归系数, 通常又称为趋势系数或倾向值。统计学上把  $y$  与  $x$  的直线相关的程度称为  $x$  与  $y$  的相关系数, 记为  $R$ , 即:

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad (3)$$

可通过对相关系数的检验判断变化趋势是否显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 北京、天津、石家庄热岛强度年际变化规律

北京、天津和石家庄平均气温热岛强度在 1971—2010 年近 40 年总体呈现上升趋势, 但没有明显的同升同降规律(图 2)。北京热岛强度最强, 近 40 年热岛强度平均为 1.26℃, 呈缓慢上升趋势, 每 10 年增加 0.07℃, 2001 年热岛强度达最强, 为

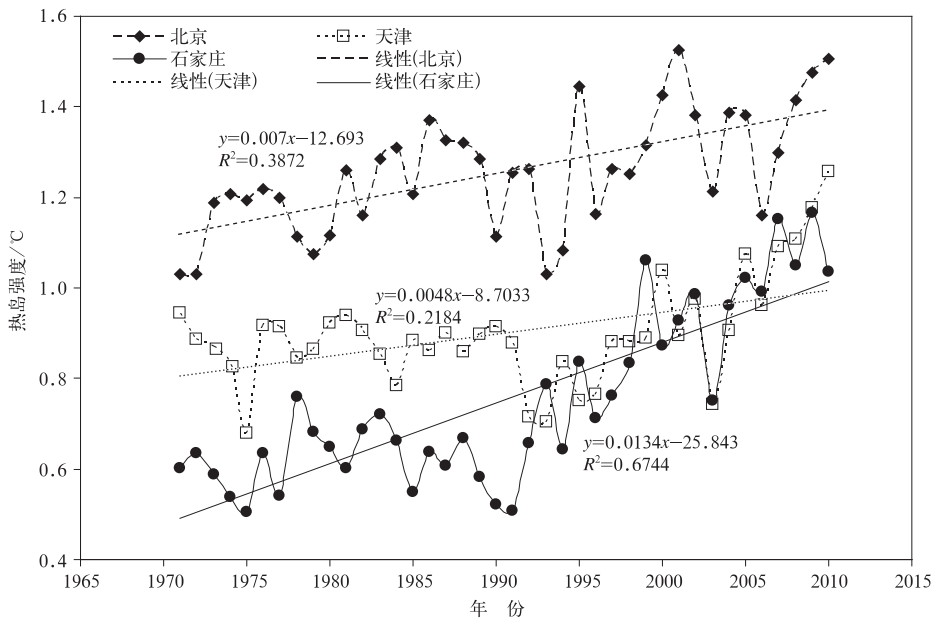


图 2 1971—2010 年北京、天津和石家庄平均气温热岛强度变化趋势

Fig. 2 The variation and linear trend of mean air temperature UHII from 1971 to 2010 in Beijing, Tianjin and Shijiazhuang

1.52℃,1993年热岛强度最低,为1.03℃。天津近40年热岛强度平均为0.9℃,每10年增加0.048℃,1971—1991年热岛强度变化不大,1992—2010年热岛强度呈明显上升趋势,2010年热岛强度达最大,为1.26℃,1993年热岛强度最小,为0.7℃。石家庄近40年热岛强度平均为0.75℃,增加趋势最为明显,每10年增加0.134℃,2009年热岛强度最大,为1.16℃,1975年热岛强度最小,为0.5℃,同天津热岛强度变化类似,1971—1991年变化不大,而在1992—2010年则表现出明显的上升趋势。总体看来,三地热岛强度均呈增加趋势,并通过0.01显著性水平检验,三个城市热岛效应的变化具有较明显的局地特征,这可能与不同地区的城市化发展情况和所处的地理位置有关,其中以北京热岛效应最强,天津次之,石家庄最弱;但从近40年变化趋势看,石家庄热岛效应增加最为明显,其次为北京,最后是天津。从1992—2010年,热岛强度北京变化趋势平缓,而天津、石家庄则有显著的增强趋势。

最高气温的热岛强度比平均气温的热岛强度明显偏小,在三个城市也有明显不同(图3),北京最高气温热岛强度变化起伏较大,近40年呈缓慢上升趋势,每10年以0.061℃增加,热岛强度平均为0.303℃,其中1971—1987年增加趋势明显,1972年出现最高气温的“凉岛效应”(即城区温度比郊区温度低的现象),热岛强度为-0.11℃,1987年热岛

强度达最大,为0.62℃。天津的热岛强度呈下降趋势,近40年热岛强度平均为0.20℃,每10年下降0.043℃,其中1971—1988年下降趋势明显,1989—2010年没有明显变化,1971年热岛强度最大,为0.49℃,1993年出现凉岛效应,热岛强度为-0.01℃。石家庄热岛强度变化趋势不明显,近40年平均热岛强度为0.40℃,1972年热岛强度最大,为0.58℃,1977年热岛强度最小,为0.18℃。总体来看,最高气温与平均气温的热岛强度变化有较大不同,石家庄最强,北京次之,天津最弱,而最高气温热岛强度的变化趋势是北京呈上升趋势,天津呈下降趋势,两个城市热岛强度变化均通过0.01显著性水平检验。石家庄最高气温热岛强度变化趋势不明显。这说明最高气温热岛效应与平均气温热岛效应呈非对称性变化,三个城市最高气温热岛效应局地性较强。

三个城市的最低气温热岛强度显著高于最高气温和平均气温的热岛强度(图4),其变化趋势与最高、最低气温的热岛效应也有显著不同。北京最低气温热岛强度近40年呈下降趋势,每10年降低0.08℃,平均热岛强度为2.04℃,1973年热岛强度最大,为2.4℃,2006年热岛强度最小,为1.53℃。天津热岛强度近40年呈明显上升趋势,每10年升高0.18℃,平均热岛强度为1.63℃,2010年热岛强度最大,为2.24℃,1975年热岛强度最小,为

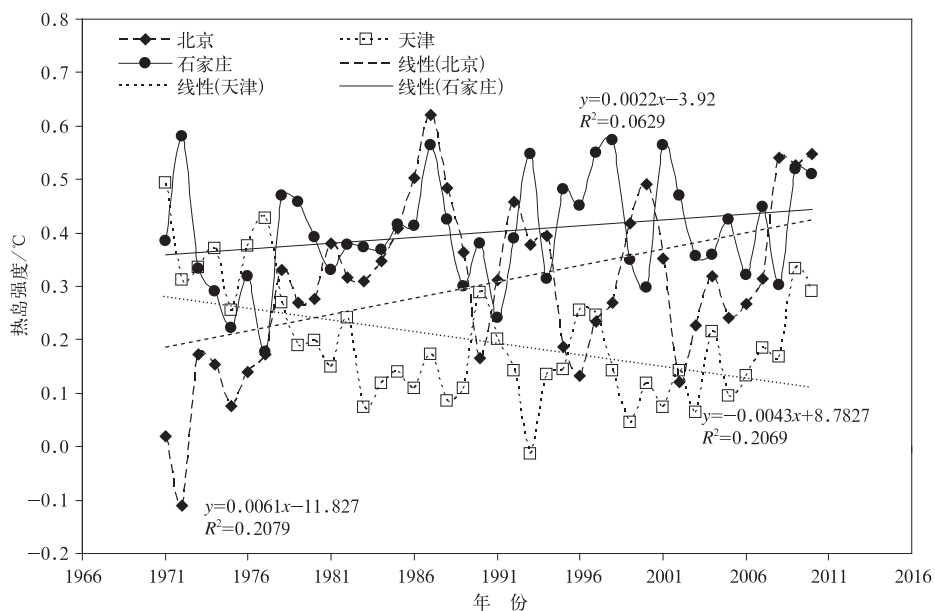


图3 同图2,但为最高度气温

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for maximum air temperature

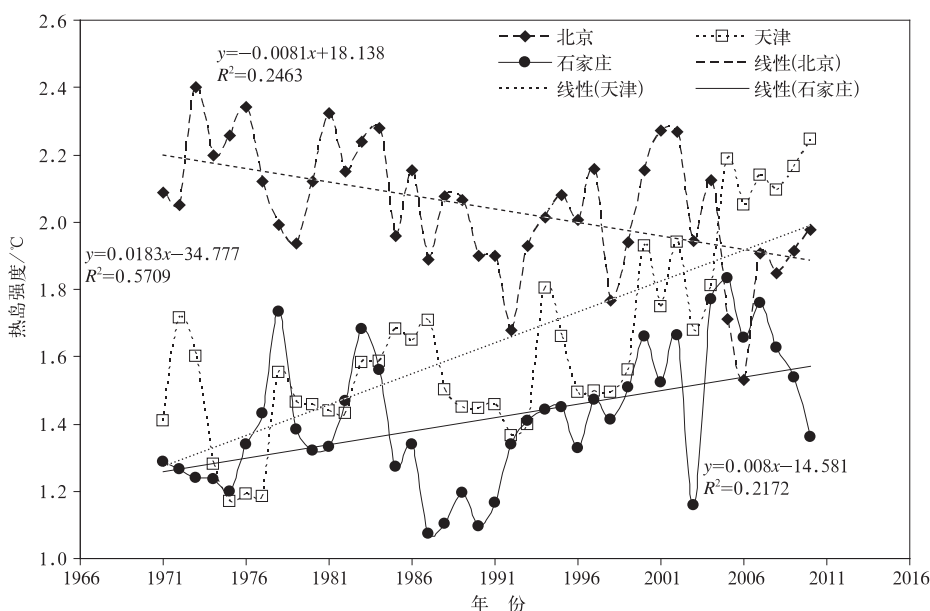


图 4 同图 2, 但为最低气温

Fig. 4 Same as Fig. 2, but for minimum air temperature

1.17℃。石家庄热岛强度近 40 年呈缓慢上升趋势, 每 10 年升高 0.08℃, 平均热岛强度为 1.42℃, 2005 年热岛强度最大, 为 1.83℃, 1987 年热岛强度最小, 为 1.07℃。三个城市热岛强度变化趋势均通过 0.01 的显著性水平检验。

从三个城市平均、最高和最低气温热岛强度对比(表 2)可知, 最低气温热岛强度与平均气温、最高气温热岛强度差异较大, 最低气温热岛强度值最大, 平均气温热岛强度值次之, 最高气温热岛强度值最小。北京的平均气温热岛强度值、最低气温热岛强度值在三个城市中最高, 石家庄最高气温热岛强度值在三个城市中最高, 石家庄平均温度热岛强度增加趋势最明显, 北京的最高气温热岛强度增加最明显, 天津的最低气温增加最明显。石家庄的最高气温热岛强度和北京的最低气温热岛强度呈减小趋势, 这说明三个城市最高气温、最低气温和平均气温

的热岛效应呈明显的非对称性变化。造成最高、最低气温热岛强度差异原因可能在于, 日落后城区建筑存储热能不断释放, 加上人为释放热, 致使地面大气降温速率远小于郊区, 造成城乡最低气温差别大, 形成强的城市热岛效应。而白天热岛强度弱的原因在于日出后太阳辐射的加热作用引起城乡地面大气均迅速增温, 而建筑物由于热容量大、对阳光具有遮蔽作用, 城区近地面大气升温速率小于乡村; 同时, 城区可透水性地面少, 蒸散潜热调节气温的作用弱, 再加上人为释放热, 白天城区最高气温比乡村要高, 但午后大气热力稳定度减弱、地面风速增加, 导致城乡最高气温的差异明显小于夜间最低气温(张雷等, 2015)。天津由于受海陆风影响较大, 在海陆风日, 天津市热岛强度的日变化幅度增大, 白天的海风能使城市降温, 削弱热岛强度, 从而使得夜间热岛的出现时间发生延迟, 而夜间的陆风则能使夜间热岛强

表 2 北京、天津、石家庄热岛强度及变化趋势

Table 2 UHII and variation trend for Beijing, Tianjin and Shijiazhuang

| 城市  | 平均气温热岛强度   |                                 | 最高气温热岛强度   |                                 | 最低气温热岛强度   |                                 |
|-----|------------|---------------------------------|------------|---------------------------------|------------|---------------------------------|
|     | 热岛强度<br>/℃ | 变化趋势<br>/℃·(10 a) <sup>-1</sup> | 热岛强度<br>/℃ | 变化趋势<br>/℃·(10 a) <sup>-1</sup> | 热岛强度<br>/℃ | 变化趋势<br>/℃·(10 a) <sup>-1</sup> |
| 北京  | 1.26       | 0.07*                           | 0.30       | 0.06*                           | 2.04       | -0.08*                          |
| 天津  | 0.90       | 0.05*                           | 0.20       | -0.04*                          | 1.63       | 0.18*                           |
| 石家庄 | 0.75       | 0.13*                           | 0.40       | 0.02                            | 1.42       | 0.08*                           |

注: “\*”代表通过 0.01 的显著性水平检验。

Note: “\*” denote passing through 0.01 significance level of tests.



度增大(黄利萍等,2013)。

## 2.2 北京、天津、石家庄热岛强度逐月变化规律

近 40 年平均气温热岛强度有明显的逐月变化规律(图 5a)。通常均表现为夏季较弱,而冬季最强。北京热岛强度在 6 月最小,天津热岛强度在 5 月最小,石家庄热岛强度则在 7 月最低,最高值则均出现在 12 或 1 月。最高气温热岛强度没有显著的变化规律(图 5b),北京 10 月热岛强度最小,其他月份变化不明显;天津热岛强度 6 月最小,在 1 或 12 月最高;石家庄热岛强度 4 和 5 月最大,10 月热岛强度最小。最低气温与平均气温热岛强度具有相似

的变化规律(图 5c),也表现在夏季最小,冬季最大,最小值一般出现在 7 月,最大值出现在 1 或 12 月。2011 年自动站得到的逐月热岛效应(图 5d)总体上趋势与 1971—2010 年平均气温热岛的逐月变化相似,具有明显的季节变化规律,如北京在 4—8 月热岛强度较低,8 月为最低,而在冬季 1 或 12 月热岛强度较高,最高值出现在 1 月。天津热岛强度类似于北京,即在冬季较强,而在夏季 4—8 月较弱,最低值出现在 6 月,最高值出现在 1 月。石家庄的热岛强度在夏、秋季较弱,而在春、冬季热岛强度较强,最低值出现在 10 月,最高值出现在 1 月。

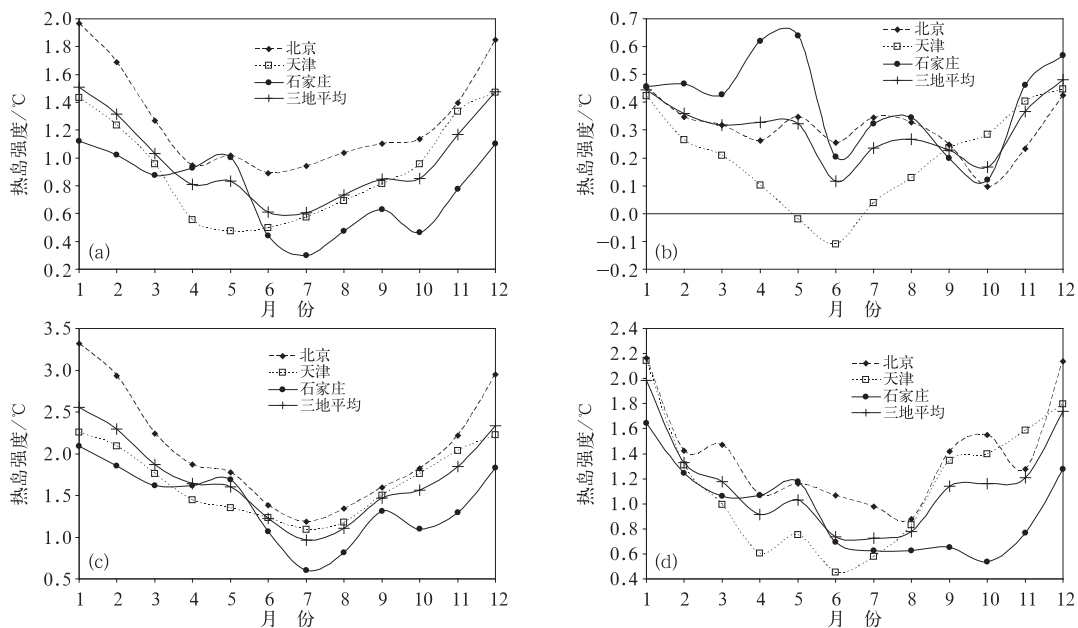


图 5 1971—2010 年平均气温(a)、最高气温(b)、最低气温(c)热岛强度与 2011 年自动站平均气温热岛强度平均(d)逐月变化

Fig. 5 UHII varied with month from 1971—2010 for weather station (a) mean air temperature, (b) maximum air temperature, (c) minimum air temperature and 2011 for automatic weather stations (d) mean air temperature

## 2.3 北京、天津、石家庄热岛强度日变化规律

由于 1971—2010 年国家级站点没有逐时观测数据,因此采用 2011 年自动站逐时数据分析热岛强度的日变化特征(图 6)。北京、天津、石家庄均表现为白天热岛强度较低,而夜间热岛强度较强的日变化特征。北京、天津热岛强度通常在凌晨达到最大,而石家庄的热岛强度略有不同,在 08 时左右达到最大,夜间也较强。石家庄和天津的热岛强度均在 15 或 16 时达到最低值,而北京地区则在 13 或 14 时达

到最低值。对于北京和天津,07—11 时热岛强度迅速降低,而在 16—20 时,热岛强度则迅速增加,呈现极为明显的日变化特征,石家庄地区热岛效应的增大或减小也有类似的趋势,但增加或减小的速率小于天津和北京。

图 7a~7c 分别为 2011 年北京、天津和石家庄热岛强度随时间变化的等值线图,总体上三地的热岛强度分布类似,即在 10—17 时热岛强度较低,在 6—8 月热岛强度较低,春季或秋季的白天热岛均最低,而夏季的白天并不是热岛强度最低的时段。各

地也存在明显区别,北京地区的热岛强度最高值出现在 12 月的 20 时至次日 07 时左右,热岛强度可达 3℃左右,最低值出现在 3—4 月和 10 月的 13 时左右,最小值可达 -0.3℃,呈现“凉岛效应”。总体看,春季的白天热岛强度最低,冬季的夜间热岛强度最高。天津和石家庄的热岛效应与北京类似,天津的热岛强度最大值出现在 1 月的 03—08 时,最大可达 3℃左右,最小热岛强度出现在 3—6 月的 13—17 时左右,最小值可达 -0.5℃左右,呈“凉岛”效应。石家庄的热岛强度最高值出现在 1 月的 05—07 时,热岛强度可达 2.5℃以上,在 7—11 月的 14—16 时,热岛强度最低,最低值可达 -0.08℃,出现出“凉岛”效应。可见三地热岛效应虽然类似,但仍然各具特点。刘伟东等(2013)和 Yang 等(2013)通过分析北京城区不同地带城市热岛效应,发现北京热岛效应

有明显的日变化周期,最低气温出现前后热岛效应很强,而最高气温出现的午后热岛效应偏弱。本文和先前的研究从不同角度揭示了城市热岛效应的日变化情况。

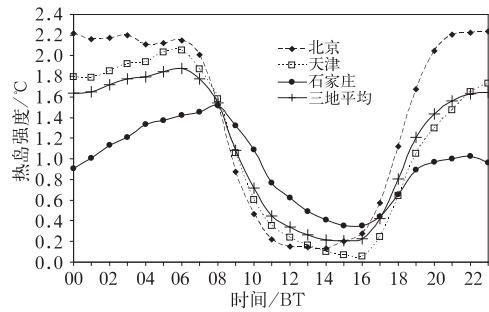


图 6 自动站热岛强度日变化趋势  
Fig. 6 Diurnal variation of automatic weather station UHII in 2011

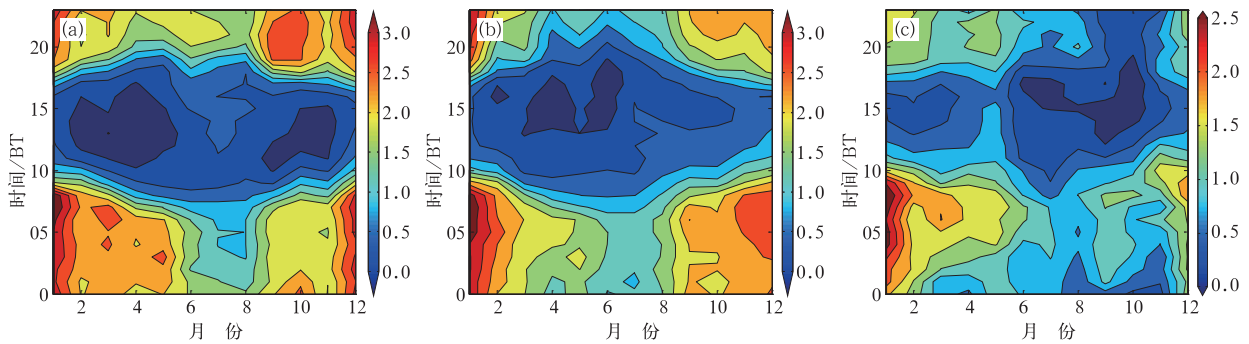


图 7 2011 年北京(a)、天津(b)和石家庄(c)热岛强度变化特征(单位:℃)

Fig. 7 Variation features of the UHII distribution in (a) Beijing, (b) Tianjing, (c) Shijiazhuang in 2011 (unit: ℃)

### 3 结论与讨论

本文通过利用 1971—2010 年均一化后的京津冀区域逐日气温数据,采用以往文献中京津冀区域城市气候研究中城区与郊区站点的分类,得到了北京、天津和石家庄热岛效应的多尺度时间变化特征。得到如下结论:

北京、天津和石家庄平均气温热岛强度自 1971—2010 年近 40 年总体呈现上升趋势,但没有明显的同升同降规律。三个城市的平均气温的热岛强度以北京为最强,天津次之,石家庄最弱,但从近 40 年变化趋势看,石家庄热岛效应增加最为明显,其次为北京,最后是天津。最高气温热岛强度在石家庄最强,北京次之,天津最弱,近 40 年北京最高气温热岛强度呈上升趋势,在天津呈下降趋势,石家庄变化趋势不明显。三个城市的最低气温的热岛强度

显著高于最高气温和平均气温的热岛强度,近 40 年北京最低气温热岛强度呈下降趋势,天津呈较明显上升趋势,石家庄近 40 年热岛效应呈缓慢上升趋势。

平均气温热岛强度有明显的逐月变化规律。通常均表现为夏季较弱,而冬季最强。北京热岛强度在 6 月最小,天津热岛强度在 5 月最低,石家庄热岛强度则在 7 月最低,最高值则均出现在 12 或 1 月。最高气温热岛强度没有显著的变化规律。最低气温与平均气温具有相似的变化规律,也表现在夏季最低,冬季最高,最低值一般出现在 7 月,最高值出现在 1 或 12 月。由 2011 年自动站得到的逐月热岛效应总体上与 1971—2010 年平均气温热岛的逐月变化相似,具有较明显的季节变化规律。

热岛强度具有较明显的日变化特征。北京、天津、石家庄均表现为白天热岛强度较弱,而夜间热岛强度较强,在白天热岛强度最低。北京、天津热岛强



度通常在凌晨达到最大,而石家庄的热岛强度略有不同,在 08 时左右达到最大,石家庄和天津的热岛强度均在 15 或 16 时达到最低值,而北京地区则在 13 或 14 时达到最低值。对于北京和天津,07—11 时热岛强度显著降低,而在 16—20 时,热岛强度则显著增加。

城市热岛效应是一个复杂的研究问题。因北京、天津与石家庄地区地理位置不同,选取的城区与郊区站点存在差异,因此各地的热岛强度绝对值仅代表各地热岛强度,在一定程度上可供比较参考,但并不能完全说明某地热岛强度一定比另一地强或弱,热岛效应因观测站点的选取具有较大的不确定性。而各地热岛强度的变化规律和变化趋势则受站点选择的影响相对较小,具有一定的可比性,也显示出一定的规律性。同时,北京、天津、石家庄热岛效应变化既有一定的相同,也存在较大的差异,影响热岛效应的因素很多,热岛效应既受当地气候背景影响(如海陆风、山谷风等),又与当地经济社会发展有密切的关系(如城市下垫面分布、人为热和大气气溶胶排放等),城市人为热释放直接决定了城市热岛效应的强度,城市化发展导致的大气气溶胶和城市下垫面的发展变化也在一定程度上影响了城市地表能量平衡和近地面气温,形成局地的气温差异,影响城市热岛强度。因此,对于城市群热岛效应的研究,其关键在于城市和郊区代表站点的选取,代表站点的选取直接影响到所计算的热岛强度。未来,随着加密自动气象站观测站网布局的改进和完善及其资料的长期积累,能够结合城市下垫面、人为热等信息有效改进城市热岛效应研究在站点选取方面的局限性,同时也可研究精细化的城市气候特征提供可靠的数据基础。

## 参考文献

- 卞韬,任国玉,张翠华,等. 2012. 石家庄气象站记录的城市热岛效应及其趋势变化. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 4(5): 402-408.
- 东高红,刘一玮,孙蜜娜,等. 2013. 城市热岛与海风锋叠加作用对一次局地强降水的影响. 气象, 39(11): 1422-1430.
- 韩素芹,郭军,黄岁樑,等. 2007. 天津城市热岛效应演变特征研究. 生态环境, 16(2): 280-284.
- 胡妹婧,胡德勇,李小娟,等. 2009. 京津冀都市圈热环境空间格局遥感分析. 国土资源遥感, (3): 94-99.
- 黄利萍,苗峻峰,刘月琨,等. 2012. 天津城市热岛效应的时空变化特征. 大气科学学报, 35(5): 620-632.
- 黄利萍,苗峻峰,刘月琨,等. 2013. 天津地区夏季海陆风对城市热岛日变化特征影响的观测分析. 大气科学学报, 36(4): 417-425.
- 李庆祥, Matthew J M, Claude N W J, 等. 2005. 利用多模式对中国气温序列中不连续点的检测. 气候与环境研究, 10(4): 736-742.
- 李庆祥,董文杰,李伟,等. 2010. 近百年中国气温变化中的不确定性估计. 科学通报, 55(16): 1544-1554.
- 刘伟东,杨萍,尤焕苓,等. 2013. 北京地区热岛效应及日较差特征. 气候与环境研究, 18(2): 171-177.
- 刘伟东,张本志,尤焕苓,等. 2014. 1978—2008 年城市化对北京地区气温变化影响的初步分析. 气象, 40(1): 94-100.
- 石涛,杨元建,马菊,等. 2013. 基于 MODIS 的安徽省代表城市热岛效应时空特征. 应用气象学报, 24(4): 484-494.
- 寿亦萱,张大林. 2012. 城市热岛效应的研究进展与展望. 气象学报, 70(3): 338-353.
- 宋艳玲,张尚印. 2003. 北京市近 40 年城市热岛效应研究. 中国生态农业学报, 11(4): 126-129.
- 王君,严中伟,李珍,等. 2013. 近 30 年城市化对北京极端温度的影响. 科学通报, 58(33): 3464-3470.
- 王腾蛟,张镭,张博凯,等. 2013. 城市下垫面对河谷城市兰州冬季热岛效应及边界层结构的影响. 气象学报, 71(6): 1115-1129.
- 吴庆梅,杨波,王国荣,等. 2012. 北京地形和热岛效应对一次  $\beta$  中尺度暴雨的作用. 气象, 38(2): 174-181.
- 谢志清,杜银,曾燕,等. 2015. 上海城市群化发展显著增强局地高温热浪事件. 气象学报, 73(6): 1104-1113.
- 杨鹏,陈静,侯晓玮,等. 2013. 基于多源数据的城市热岛效应研究——以石家庄地区为例. 气象, 39(10): 1304-1313.
- 杨萍,刘伟东. 2012. 城市热岛效应的研究进展. 气象科技进展, 2(1): 25-30.
- 张雷,任国玉,任玉玉. 2015. 单次极端高温过程中城市热岛效应的识别. 气候与环境研究, 20(2): 167-176.
- 张媛,任国玉. 2014. 无参考序列条件下地面气温观测资料城市化偏差订正方法:以北京站为例. 地球物理学报, 57(7): 2197-2207.
- 郑祚芳,刘伟东,王迎春,等. 2006. 北京地区城市热岛的时空分布特征. 南京气象学院学报, 29(5): 694-699.
- 郑祚芳,王在文,高华. 2013. 北京地区夏季极端降水变化特征及城市化的影响. 气象, 39(12): 1635-1641.
- Li Z, Yan Z W. 2009. Homogenized daily mean/maximum/minimum temperature series for China from 1960—2008. Atmos Oceanic Sci Letter, 2(4): 237-243.
- Liu W, Ji C, Jiang X, et al. 2007. Temporal characteristics of the Beijing urban heat island. Theor Appl Climatol, 87(12134): 213-221.
- Santamouris M. 2014. On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. Energ Buildings, 82: 100-113.
- Yang P, Ren G, Liu W, et al. 2013. Spatial and temporal characteristics of Beijing urban heat island intensity. J Appl Meteor Climatol, 52(8): 1803-1816.
- Zhang L, Ren G, Ren Y, et al. 2014. Effect of data homogenization on estimate of temperature trend: a case of Huairou station in Beijing Municipality. Theor Appl Climatol, 115(3/4): 365-373.