

杨萍, 刘伟东, 侯威. 2013. 北京地区城郊极端温度事件的变化趋势及差异分析 [J]. 气候与环境研究, 18 (1): 80–86, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11081. Yang Ping, Liu Weidong, Hou Wei. 2013. Trends and difference analyses of temperature extremes in rural and urban areas in Beijing during 1979–2008 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (1): 80–86.

北京地区城郊极端温度事件的变化趋势及差异分析

杨萍^{1,2} 刘伟东² 侯威³

1 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081

2 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089

3 国家气候中心, 北京 100081

摘 要 利用北京地区城郊 16 个气象观测站 1979~2008 年逐日平均、最高和最低温度的均一化资料, 分析了近 30 年北京地区城、郊区极端温度事件发生频次(强度)的变化趋势, 并对比了城郊差异以及城市热岛强度对城郊差异的影响。研究结果显示: 从发生频次来看, 近 30 年城区极端低温事件的减小幅度 $[-5.94 \text{ d} (10 \text{ a})^{-1}]$ 高于郊区的减小幅度 $[-5.28 \text{ d} (10 \text{ a})^{-1}]$, 而极端高温事件的增加幅度在城区 $[4.33 \text{ d} (10 \text{ a})^{-1}]$ 和郊区 $[4.42 \text{ d} (10 \text{ a})^{-1}]$ 之间差别不大, 定量化的诊断结果进一步证明了城区和郊区在极端温度事件发生频次上的差别很小。从发生强度来看, 近 30 年城区极端温度事件的年平均发生强度明显高于郊区, 但在变化趋势上, 城区极端低温事件的减弱幅度略高于极端高温事件的增强幅度, 相差 $0.042 \text{ }^{\circ}\text{C} (10 \text{ a})^{-1}$, 而在郊区极端低温事件的减弱幅度却略低于极端高温事件的增强幅度, 相差 $0.052 \text{ }^{\circ}\text{C} (10 \text{ a})^{-1}$ 。城郊差异的量化分析结果表明, 极端温度事件在城区强度一般大于郊区强度, 城区与郊区强度差值均为正值(除 1982 年和 1985 年极端高温事件强度差值为负)。热岛强度与极端温度事件城郊差异的相关性统计发现, 极端温度事件发生频次和发生强度在城郊之间的差别与热岛强度均没有明显的相关特征, 该结果说明城市热岛效应对北京超大城市市区和郊区影响基本一致, 其差异性是有限的。

关键词 极端温度事件 变化趋势 城郊差异 热岛强度

文章编号 1006-9585 (2013) 01-0080-07

中图分类号 P467

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11081

Trends and Difference Analyses of Temperature Extremes in Rural and Urban Areas in Beijing

YANG Ping^{1,2}, LIU Weidong², and HOU Wei³

1 China Meteorological Administration Training Center, Beijing 100081

2 Institute of Urban Meteorology of Beijing, China Meteorological Administration, Beijing 100089

3 National Climate Center, China Meteorology Administration, Beijing 100081

Abstract The frequency and intensity of temperature extremes in Beijing was studied by using the standardized weather station data from 1979 to 2008. The differences between rural and urban areas and their relationship to the urban heat island intensity are discussed. The analysis results show that the decrease in the minimum temperature events over the urban area $[-5.94 \text{ d} (10 \text{ a})^{-1}]$ was slightly higher than that over rural areas $[-5.28 \text{ d} (10 \text{ a})^{-1}]$ over the 30-a period, while the difference of maximum temperature changes between the urban $[4.33 \text{ d} (10 \text{ a})^{-1}]$ and rural

收稿日期 2011-06-13 收到, 2012-09-17 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金 41005043, 战略性科技先导专项 XDA05090202, 全球变化研究国家重大科学研究计划 2012CB955901, 公益性行业(气象)科研专项 GYHY201106016

作者简介 杨萍, 女, 1981 年出生, 博士, 副研究员, 主要从事极端气候、城市气候方面的工作。E-mail: zz96998@163.com

[4.42 d (10 a)⁻¹] areas were much smaller. The authors also found that the frequencies of extreme events between the urban and rural areas were very small. The investigation of the intensity revealed similar trends. Although the temperature extremes over the urban area were clearly stronger than over the rural areas, in the urban area the decreasing trend of minimum temperature extremes was slightly greater [0.042 °C (10 a)⁻¹] than the increasing trend of the maximum temperature extremes, while in the rural area the decreasing trend of the minimum temperatures was slightly less [0.052 °C (10 a)⁻¹] than the increasing trend of the maximum temperatures. The study on the differences between the urban and rural areas suggested that the intensity of the temperature extremes was stronger over the urban area than that over the rural area. The difference in temperature extremes ship between the urban and rural areas was generally a positive value (except for the negative difference in maximum high temperature in 1982 and 1885). On the other hand, statistical analysis showed no correlationship between the intensity of the urban heat island and the rural-urban difference of extreme temperature events, indicating that the impact of the urban heat island on the urban and rural areas is mainly coincident for a super-city like Beijing.

Keywords Extreme temperature event, Trend, Urban-rural difference, Urban heat island

1 引言

城市是人类活动的集中体现，也是全球气候变化中最为敏感以及对极端事件承载能力最弱的地区（丁金才等，2002）。统计分析事实表明，一些特大型城市年平均温度的增暖幅度明显大于全球平均变暖的幅度（Karl et al., 1988; Yan et al., 2002; Liu et al., 2009），更大幅度的增暖有可能造成城市极端事件的发生更加频繁。关于城市气候的诸多研究中，城市热岛效应是研究得最多的问题（Jones et al., 1990, 1997）。不同时段长度、不同国家的不同城市都或多或少地受到城市热岛效应的影响（董文杰等，2001；谢庄等，2007；郭渠等，2009；王跃男等，2009）。若从对城市发展的影响以及城市对极端事件的承载能力来看，城市中极端气候事件的研究显得更为迫切和重要。分析极端事件在城市中的长期变化趋势以及城市和郊区极端温度事件的差异具有非常重要的现实意义（封国林等，2009；周雅清和任国玉，2010）。

北京城区是典型的“热岛”，其热岛强度比中国沿海城市明显，城市热岛增强的结果是造成北京冬季寒冷期缩短和夏季炎热期增强，城市高温热浪等灾害更加频繁（王喜全等，2006；郑祚芳等，2006）。对于北京地区温度的已有研究着重于热岛效应的探讨，较少有研究将极端温度事件的气候特征作为主要研究对象来分析。本文的研究是以北京地区极端温度事件为重点，讨论了近30年北京地区城郊极端温度事件的变化趋势并对城郊极端温度事件的差异进行了相关分析和

讨论。

2 资料和方法

2.1 研究资料

北京地区地处华北平原北部，西面和北面多山，东南部多平原。1978年以后，北京各气象常规台站具有较为完整的资料。Li and Yan (2010) 利用MASH方法对北京地区20个常规站的资料进行了均一化处理，形成了一套质量较为可靠的均一化资料。本文采用了该套经过均一化订正的数据集，具体为1979~2008年逐日平均温度、最高温度和最低温度的均一化资料。

2.2 方法

综合考虑站点海拔高度、地形特征、自然地理分布和人口数量，本文采用城区4站（北京、海淀、朝阳、丰台）作为城区站，郊区10站（通州、大兴、房山、门头沟、石景山、昌平、顺义、平谷、怀柔、密云）作为郊区站，对各气象要素的统计均为城区（郊区）台站的平均值。

百分位阈值法是极端温度事件较为通用的定义方法之一（严中伟和杨赤，2000，杨萍等，2010），本文中极端温度事件的定义也采用了百分位阈值法，具体如下：将1979~2008年夏季（冬季）日最高（低）温度资料按从小到大（从大到小）排序，取第90百分位作为极端高（低）温事件的上（下）阈值，超过上（下）阈值的定义为极端高（低）温事件。

本文对极端温度事件的统计分析包括年发生频次和年发生强度两个要素。定义极端温度事件年

发生次数之和为年发生频次，定义极端温度事件的温度值年总和与年发生频次的比值为年发生强度（任福民和翟盘茂，1998）。在对上述两个要素的统计分析中，采用线性倾向率、相关性分析等常用气象统计方法。

3 极端温度事件变化趋势分析

3.1 变化趋势

图 1a 和 1b 显示，极端高温事件发生频次呈现增多的趋势，2000 年达到峰值，而后出现回落，极端低温事件的发生频次呈现明显减小的趋势，这与暖冬事件呈现较好的反相关关系（陈峪等，2009）。图 1c 和 1d 显示，极端温度事件发生强度的线性增加或者减小趋势没有发生频次的变化趋势明显。

对比极端温度事件发生频次和发生强度的曲线图，可以看到两者线性变化趋势存在较大差异，线性倾向率的定量化结果如表 1。

表1 城、郊区极端温度事件的线性倾向率
Table 1 Linear trend rates of temperature extreme events between urban and rural areas

	频次[d (10 a) ⁻¹]		强度[°C (10 a) ⁻¹]	
	极端高温事件	极端低温事件	极端高温事件	极端低温事件
城区	4.33	-5.94	0.193	0.235
郊区	4.42	-5.28	0.272	0.220

表 1 显示，极端低温事件发生频次线性减小趋势大于极端高温事件的线性增加趋势，其中城区的变化幅度相差 1.61 d (10 a)⁻¹，郊区的变化幅度相差 0.86 d (10 a)⁻¹，城区的极端高温事件和极端低温事件的差别更加明显。极端低温事件发生强度在城区的减弱幅度略高于极端高温事件，相差 0.042 °C (10 a)⁻¹，而在郊区的减弱幅度却略低于极端高温事件的增强幅度，相差 0.052 °C (10 a)⁻¹。

从上述结果来看，极端高温事件和极端低温事件城郊发生频次的变化曲线几乎重合，城区极端温度事件的发生强度明显高于郊区，极端低温事件发

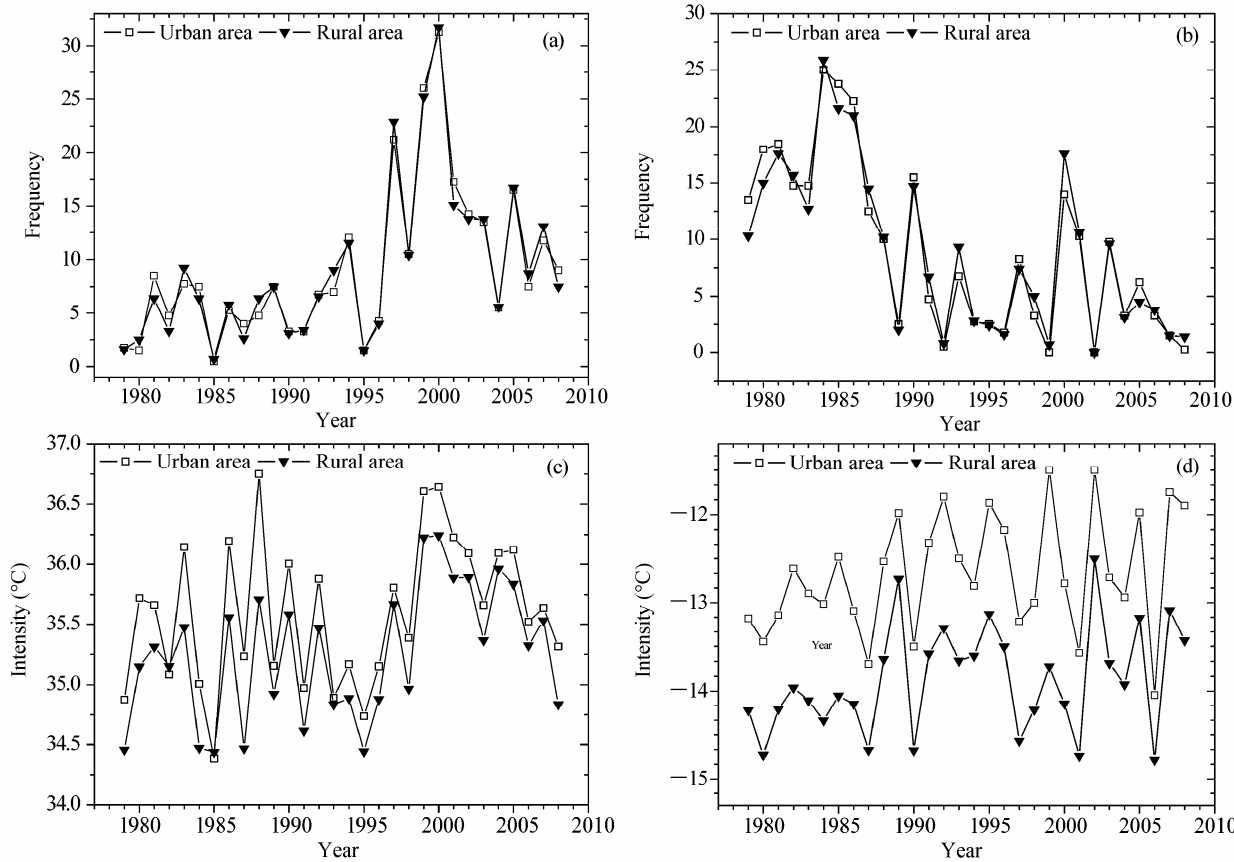


图1 1979~2008年北京城区和郊区极端高温（左列）和低温（右列）事件（a、b）发生频次和（c、d）强度的变化趋势
Fig. 1 The trends of (a, b) the frequency and (c, d) the intensity for maximum temperature extreme events (left panel) and minimum temperature extreme events (right panel)

表 2 北京地区城郊极端高（低）温事件统计要素之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficient of the frequency and intensity for temperature extreme events in urban and rural areas over Beijing

		极端高温事件				极端低温事件			
		频次		强度		频次		强度	
		城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区
极端高温事件	频次	城区	1	0.989*	0.580*	0.684*	−0.235	−0.169	0.173
		郊区	—	1	0.596*	0.699*	−0.244	−0.183	0.173
	强度	城区	—	—	1	0.921*	−0.076	−0.072	−0.005
		郊区	—	—	—	1	−0.178	−0.175	−0.091
极端低温事件	频次	城区	—	—	—	—	1	0.979*	−0.537*
		郊区	—	—	—	—	—	1	−0.539*
	强度	城区	—	—	—	—	—	—	1
		郊区	—	—	—	—	—	—	—

*为通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。

生强度的城郊差异明显高于极端高温事件。值得注意的是，无论是发生频次还是发生强度，极端高温事件从 2000 年左右呈现出较为明显的下降趋势，这可能说明了 2000 年以后该地区变暖的速度呈现出减缓的倾向。

3.2 相关性分析

表 2 给出了 1979~2008 年北京城、郊区极端高（低）温事件发生频次和发生强度之间的相关系数。从表 2 中可以得到以下结论：1）同种极端事件同种统计要素的前提下，近 30 年城区和郊区变化趋势的相关系数具有极高的相似度，其相关系数均达到 0.9 以上，其中，发生频次的相关性稍强于发生强度；2）对于同一种极端温度事件，城郊频次和强度的两两相关均呈现较大的相关性，其相关系数的绝对值均在 0.5 以上。

4 极端温度事件城郊差异的对比分析

为分析和探讨城市化对极端温度事件的相关要素造成的可能影响，本节对北京地区极端事件发生频次（强度）在城区和郊区的差异进行了对比分析和讨论。

4.1 发生频次的城郊差异

定义城、郊区发生频次差值为城区平均发生频次减郊区平均发生频次，极端高温事件和极端低温事件的频次差值均很小（如图 2 所示），在 $[-4, 4]$ 区间内变化，其中 85% 的年份其频次差值的绝对值在 2 以内。频次差值在不同值域区间内直方图统计结果（图 3）显示，极端高温事件和极端低温事件

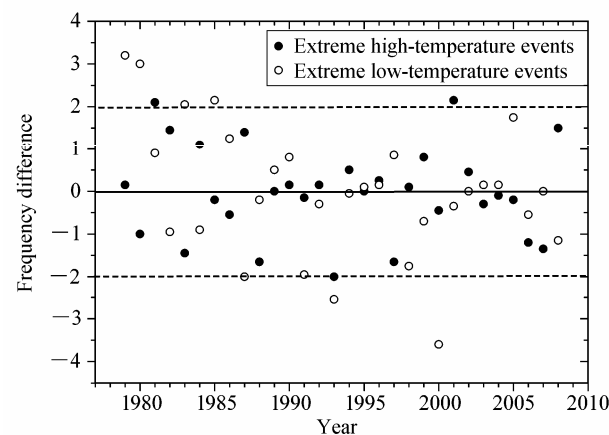


图2 极端温度事件发生频次的城郊差异

Fig. 2 The frequency difference of extreme temperature events between urban and rural areas

城、郊区频次差值的分布形态为准高斯分布，其年份最多的区间均集中在 $[-0.5, 0.5]$ 内，此统计结果在图 1 的基础上，定量刻画了城区和郊区在极端温度事件发生频次之间的差异，证明对于发生频次而言，极端温度事件的城郊差异很小。

4.2 发生强度的城郊差异

定义城、郊区发生强度差值为城区平均发生强度减郊区平均发生强度。从图 4 可以看到，与发生频次最显著的不同在于，除个别年份的极端高温事件的发生强度为负值外（1982 年和 1985 年），城区与郊区强度差值均为正值，该结果验证了城市热岛效应客观存在的事实（黄嘉佑等，2004）。总体来看，极端高温事件城、郊区差值具有较为明显的规律：自 1989 年起，城郊差异围绕着 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这一较低值附近震荡，这说明了在郊区不断城市化的过程

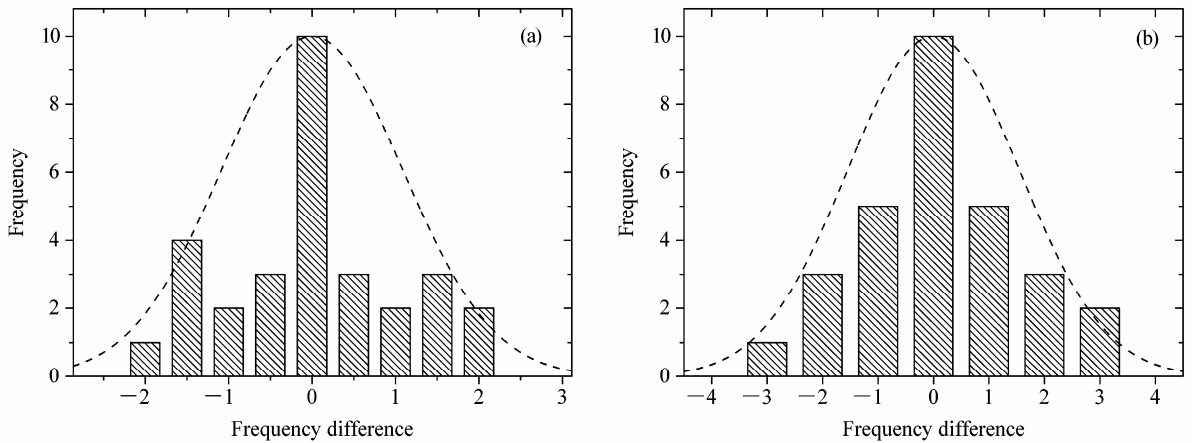


图3 (a) 极端高温事件和 (b) 极端低温事件城、郊区频次差值的统计分布
Fig. 3 The statistical features of frequency difference of (a) maximum and (b) minimum temperature extreme events between urban and rural areas

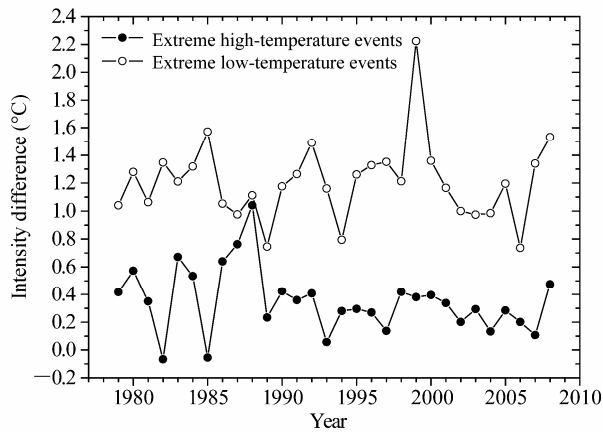


图4 极端温度事件发生强度的城、郊区差异
Fig. 4 Intensity difference of temperature extreme events between urban and rural areas

中, 极端高温事件的发生强度在郊区和城市之间的差距呈现缩小的趋势。相比而言, 极端低温事件发生强度的城郊差异大于极端高温事件, 最大值达到 2.2 °C (1999 年)。此外, 极端低温事件年际震荡较极端高温事件来说更加显著。

4.3 城市热岛强度与城郊差异的相关性分析

上述研究发现, 北京地区极端温度事件的各要素在城区和郊区之间存在着一定的差别, 过去的研究表明, 城市化造成了城、郊区之间温度的差异, 而北京地区具有明显的城市热岛效应(郑祚芳等, 2006), 城市化对北京地区极端温度事件城、郊区差异是否造成影响, 是下面重点讨论的问题。

为便于进行相关性分析, 本文按季节和研究对象定义了以下几种城市热岛强度: 城区和郊区夏(冬)季平均温度差、城区和郊区夏(冬)季最高

温度差, 城区和郊区夏(冬)季最低温度差(具体结果如图 5 所示)。

图 5 给出了近 30 年基于冬、夏季日平均、日最高和日最低温度定义下的各种城市热岛强度的统计结果, 可以看到: 基于冬季最低温度定义的热岛强度最大, 年际差异也较大, 在 0.6~1.2 °C 范围内变化; 基于夏季最高温度定义的热岛强度次之, 年际变化幅度稍小, 在 0.5~0.9 °C 之间变化, 其余几种定义下的热岛强度相差不大, 基本在 0.1~0.6 °C 之间震荡。可见, 采用不同的资料(日最高、日最低、日平均)来定义热岛强度, 结果也有较大的差别。但总的特征是一致的, 如冬季夜间的热岛强度较大, 夏季午后的热岛强度也较大, 这与王郁和胡非(2006)的研究结论吻合。

计算热岛强度与极端温度事件发生频次和强度的城郊差异的相关系数(见表 3)可以发现: 就

表3 1979~2008年北京极端事件发生频次和强度差值与夏、冬季热岛强度的相关性统计

Table 3 Coefficient relationship of the difference of the frequency and intensity for temperature extreme events in urban and rural areas and urban heat island intensity in summer and winter

季节	热岛强度	极端高温事件		极端低温事件	
		频次差值	强度差值(°C)	频次差值	强度差值(°C)
夏季	平均	0.216	—	0.378*	—
	最高	0.060	—	0.179	—
	最低	0.123	—	0.663*	—
冬季	平均	—	0.078	—	0.109
	最高	—	0.026	—	0.042
	最低	—	0.115	—	0.037

*为通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。

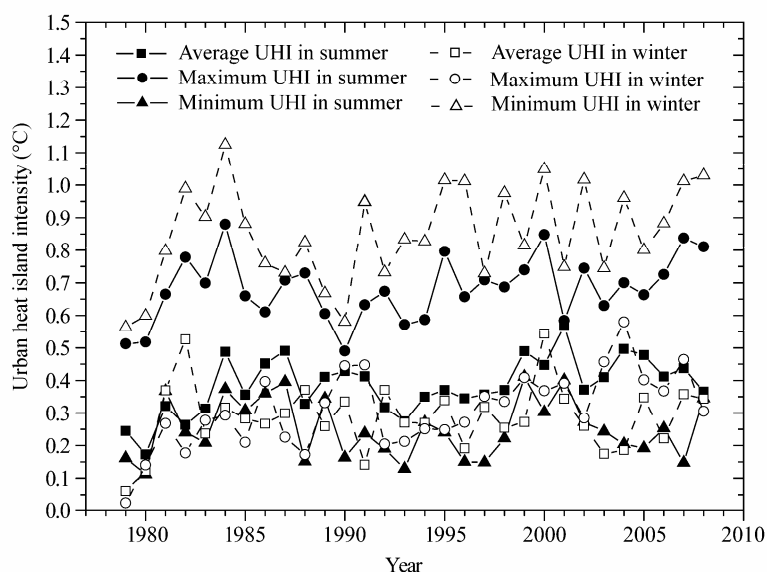


图5 1979~2008年北京城市热岛强度的年际变化

Fig. 5 Interannual variation of urban heat island intensity in Beijing during 1979–2008

发生频次而言，夏季热岛强度与极端高温事件的城郊差别、冬季热岛强度与极端低温事件的城郊差别均没有明显的相关性；就发生强度而言，夏季热岛强度对极端高温事件城郊差值的影响较大，极端低温事件的城郊差值与冬季各定义下的热岛强度不存在显著的相关性。

5 结论

本文以北京地区极端温度事件为重点，讨论了近 30 年北京地区城郊极端温度事件的变化趋势并对城郊极端温度事件的差异进行了相关分析和讨论，研究结果如下：

(1) 极端低温事件发生频次线性减小趋势大于极端高温事件的线性增加趋势，其中城区的变化幅度相差 $1.61 \text{ d} (10 \text{ a})^{-1}$ ，郊区的变化幅度相差 $0.86 \text{ d} (10 \text{ a})^{-1}$ ，极端高温事件和极端低温事件在城区内的差别更加明显。极端低温事件发生强度在城区的减弱幅度略高于极端高温事件，相差 $0.042 \text{ }^{\circ}\text{C} (10 \text{ a})^{-1}$ ，而在郊区的减弱幅度却略低于极端高温事件的增强幅度，相差 $0.052 \text{ }^{\circ}\text{C} (10 \text{ a})^{-1}$ 。

(2) 相同的前提下，北京城区和郊区极端温度事件各要素近 30 年变化趋势具有极高的相似度，其相关系数均达到 0.9 以上，其中，发生频次的相关性稍强于发生强度。

(3) 极端高温事件和极端低温事件的频次差值均很小，在 $[-4, 4]$ 区间内变化，其中 85% 的年份

其频次差值的绝对值在 2 以内。对于发生强度而言，极端高温事件自 1990 年起，城郊差值在 $0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 这一低值附近震荡，极端低温事件城郊差异在数值上大于极端高温事件，最大年份（1999 年）的城郊差值达到 $2.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 夏季热岛强度与极端高温事件发生频次的城、郊区差别、冬季热岛强度与极端低温事件发生频次的城郊差别均没有明显的相关性，夏季热岛强度对极端高温事件发生强度城郊差值的影响较大，极端低温事件则与冬季各定义下的热岛强度不存在显著的相关性。这说明城市热岛效应对北京超大城市市区和郊区影响的差别很小。

参考文献 (References)

- 陈峪, 任国玉, 王凌, 等. 2009. 近 56 年我国暖冬气候事件变化 [J]. 应用气象学报, 20 (5): 539–545. Chen Yu, Ren Guoyu, Wang Ling, et al. 2009. Temporal change of warm winter events over the last 56 years in China [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 20 (5): 39–545.
- 丁金才, 张志凯, 奚红, 等. 2002. 上海地区盛夏高温分布和热岛效应的初步研究 [J]. 大气科学, 26 (3): 157–178. Ding Jincai, Zhang Zhikai, Xi Hong, et al. 2002. A study of the high temperature distribution and the heat island effect in the summer of the Shanghai area [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 26 (3): 157–178.
- 董文杰, 韦志刚, 范丽军. 2001. 青藏高原东部牧区雪灾的气候特征分析 [J]. 高原气象, 20 (4): 402–406. Dong Wenjie, Wei Zhigang, Fan Lijun. 2001. Climatic character analyses of snow disasters in East Qinghai-Xizang Plateau livestock farm [J]. Plateau Meteorology (in

- Chinese), 20 (4): 402–406.
- Jones P D, Groisman P Y, Coughlan M, et al. 1990. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land [J]. *Nature*, 347: 169–172.
- Jones P D, Osborn T J, Briffa K R. 1997. Estimating sampling errors in large-scale temperature averages [J]. *J. Climate*, 10: 2548–2568.
- 封国林, 杨杰, 万仕全, 等. 2009. 温度破纪录事件预测理论研究 [J]. *气象学报*, 67 (1): 61–74. Feng Guolin, Yang Jie, Wang Shiquan, et al. 2009. On the prediction of record-breaking daily temperature events [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 67 (1): 61–74.
- 郭渠, 孙卫国, 程柄岩, 等. 2009. 重庆市气温变化趋势及其可能原因分析 [J]. *气候与环境研究*, 14 (6): 646–656. Guo Qu, Sun Weiguo, Cheng Bingyan, et al. 2009. The trend of temperature variation and its possible causes in Chongqing [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 14 (6): 646–656.
- 黄嘉佑, 刘小宁, 李庆祥. 2004. 中国南方沿海地区城市热岛效应与人口的关系研究 [J]. *热带气象学报*, 20 (6): 713–722. Huang Jiayou, Liu Xiaoning, Li Qingxiang. 2004. The study of relationship between heat island effect and population in cities over south of China [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 20 (6): 713–722.
- Karl T R, Diaz H F, Kukla G. 1988. Urbanization: Its detection and effect in the United States climate record [J]. *J. Climate*, 1: 1099–1123.
- Li Z, Yan Z W. 2010. Application of multiple analysis of series for homogenization to Beijing daily temperature series (1960–2006) [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 27 (4): 777–787.
- Liu W D, You H L, Dou J X. 2009. Urban–rural humidity and temperature differences in the Beijing area [J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 96: 201–207.
- 任福民, 翟盘茂. 1998. 1951–1990 年中国极端气温变化分析 [J]. *大气科学*, 22 (3): 217–227. Ren Fumin, Zhai Panmao. 1998. Study on changes of China's extreme temperatures during 1951–1990 [J]. *Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese)*, 22 (3): 217–227.
- 王喜全, 王自发, 郭虎. 2006. 北京“城市热岛”效应现状及特征 [J]. *气候与环境研究*, 11 (5): 627–636. Wang Xiquan, Wang Zifa, Guo Hu. 2006. The study of the urban heat island in Beijing city [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 11 (5): 627–636.
- 王郁, 胡非. 2006. 近 10 年来北京夏季城市热岛的变化及环境效应的分析研究 [J]. *地球物理学报*, 49 (1): 61–68. Wang Yu, Hu Fei. 2006. Variations of the urban heat island in summer of the recent 10 years over Beijing and its environment effect [J]. *Chinese Journal of Geophysics (in Chinese)*, 49 (1): 61–68.
- 王跃男, 何金海, 姜爱军. 2009. 江苏省夏季持续高温集中程度的气候特征研究 [J]. *热带气象学报*, 25 (1): 97–102. Wang Yuenan, He Jinhai, Jiang Aijun. 2009. A study on the climatic features of the summer persistence high temperature concentration in Jiangsu Province [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 25 (1): 97–102.
- 谢庄, 苏德斌, 虞海燕, 等. 2007. 北京地区热度日和冷度日的变化特征 [J]. *应用气象学报*, 18 (2): 232–236. Xie Zhuang, Su Debin, Yu Haiyan, et al. 2007. Characteristics of heating degree days and cooling degree days in Beijing [J]. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 18 (2): 232–236.
- Yan Z, Jones P D, Davies T D, et al. 2002. Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations [J]. *Climatic Change*, 53: 355–392.
- 严中伟, 杨赤. 2000. 近几十年中国极端气候变化格局 [J]. *气候与环境研究*, 5 (3): 267–272. Yan Zhongwei, Yang Chi. 2000. Geographic patterns of extreme climate changes in China during 1951–1997 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 5 (3): 267–272.
- 杨萍, 侯威, 封国林. 2010. 中国极端气候事件的群发性规律研究 [J]. *气候与环境研究*, 15 (4): 365–370. Yang Ping, Hou Wei, Feng Guolin. 2010. A study of the characteristics of the cluster extreme events in China [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 15 (4): 365–370.
- 郑祚芳, 范水勇, 王迎春. 2006. 城市热岛效应对北京夏季高温的影响 [J]. *应用气象学报*, 17 (增刊): 48–53. Zheng Zuofang, Fan Shuiyong, Wang Yingchun. 2006. Effects of urban heat island on summer high temperatures in Beijing [J]. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 17 (Suppl.): 48–53.
- 周雅清, 任国玉. 2010. 中国大陆 1956–2008 年极端气温事件变化特征分析 [J]. *气候与环境研究*, 15 (4): 405–417. Zhou Yaqing, Ren Guoyu. 2010. Variation characteristics of extreme temperature indices in mainland China during 1956–2008 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 15 (4): 405–417.