

吴凌云, 张井勇, 远芳. 2016. 春节人口迁移的气候效应: 以郑州为例 [J]. 气候与环境研究, 21 (1): 41–46. Wu Lingyun, Zhang Jingyong, Yuan Fang. 2016. Climatic effects of mass human migration during the Chinese new year holiday: A case study in Zhengzhou city [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 21 (1): 41–46, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2015.15056.

春节人口迁移的气候效应: 以郑州为例

吴凌云¹ 张井勇² 远芳³

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心, 北京 100029

3 中国气象局国家气象信息中心, 北京 100081

摘要 目前, 我们对人类活动通过温室气体、气溶胶和土地利用对气候产生重要影响已经获得了很多认识。但是, 人口迁移流动在多大程度上能够影响气候尚不清楚。中国春节期间的人口大迁移是世界上每年最大规模的人类迁徙。利用城市站和参考站的气温差表示城市热岛强度, 以一个典型中国中部大城市—郑州为例, 研究了春节人口大迁移对城市热岛效应的影响。结果表明, 2005~2013 年平均的春节周日平均、日最高和日最低温度郑州站与中车站的差分别为 0.16 °C、0.29 °C 和 -0.03 °C, 比春节周前 2~4 周和春节周后 2~4 周的平均值低了 0.50 °C、0.06 °C 和 0.66 °C。相对变化而言, 日平均、日最高和日最低温度的差分别降低了 76%、16% 和 105%。春节周日平均和日最低温度的差的变化都通过了 99% 的信度检验。

关键词 春节 人口迁移 城市热岛 气温 郑州

文章编号 1006-9585(2016)01-0041-06

中图分类号 P461⁺.8

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2015.15056

Climatic Effects of Mass Human Migration during the Chinese New Year Holiday: A Case Study in Zhengzhou City

WU Lingyun¹, ZHANG Jingyong², and YUAN Fang³

1 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3 National Meteorological Information Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

Abstract The human impacts on the climate through emissions of greenhouse gases and aerosols, as well as land use changes, are widely recognized. However, to what extent mass human migration can affect the climate remains largely unknown. The population movements around the Chinese New Year (CNY) represent the world's largest annual human migration. In the present study, we investigate the role of mass human migration in influencing the urban heat island (UHI) during the CNY holiday for the period 2005–2013 in Zhengzhou city, a typical large city in central China. It is found that the UHI effects expressed as daily mean (ΔT_{mean}), maximum (ΔT_{max}), and minimum (ΔT_{min}) surface air temperature differences between the stations of Zhengzhou and Zhongmou, averaged over the period 2005–2013 during the CNY week, are 0.16 °C, 0.29 °C and -0.03 °C, respectively; and these values are 0.50 °C (76%), 0.06 °C (16%) and 0.66 °C (105%) lower than

收稿日期 2015-03-13; 网络预出版日期 2015-09-16

作者简介 吴凌云, 女, 1975 年出生, 助理研究员, 主要从事陆—气相互作用的研究。E-mail: wuly@lasg.iap.ac.cn

通讯作者 张井勇, E-mail: zjy@mail.iap.ac.cn

资助项目 国家自然科学基金项目 41275089, 国家自然科学基金青年基金项目 41305071, 国家重点基础研究发展计划项目 2012CB955604

Funded by National Natural Science Foundation of China (Grants 41275089 and 41305071), National Basic Research Program of China (2012CB955604)

those during the background period (2–4 weeks before the CNY week and after the CNY week), respectively. Changes in ΔT_{mean} and ΔT_{min} are both significant at the 99% confidence level by the Student's *t*-test.

Keywords Chinese New Year holiday, Mass human migration, Urban heat island, Surface air temperature, Zhengzhou city

1 引言

目前,人类活动通过温室气体、气溶胶和土地利用对气候产生重要影响已经得到广泛关注 (IPCC, 2013; 张井勇和吴凌云, 2014)。但是,人口迁移流动在多大程度上能够影响气候尚没有引起足够的重视。春节是中国最重要和最隆重的传统节日,是中华民族阖家团聚、辞旧迎新的佳节。春节期间的人口大迁移被称为世界上每年最大规模的人类迁徙。在春节前,大量人口从大城市离开,而春节后又返回大城市。在春节假期,许多大城市的人口数量骤减。据估计,2013年全国春运客流量达到了约 34×10^8 人次。如此有规律的春节大规模人口迁移流动,为我们提供了一个独特的机会来分析现代大规模人口迁移流动对城市气候的影响。

城市热岛效应是城市气候最显著的特点之一 (Howard, 1818; Balchin and Pye, 1947; Landsberg, 1970; Oke, 1982)。城市的热岛强度经常会超过最近一百年以来全球平均气温增暖的幅度,或与此相当 (IPCC, 2013)。国内外研究者对城市热岛的强度、时空分布、成因等进行了广泛研究,取得了一系列重要的研究进展 (Taha, 1997; Li et al., 2004; Zhou et al., 2004; 王郁和胡非, 2006; Ren et al., 2007; Grimm et al., 2008; Miao et al., 2009; 蒋维楣等, 2010)。

郑州是河南省省会城市,地处华北平原南部,黄河下游地区。2013年人口约为 919×10^4 人, GDP (国内生产总值) 达到 6202×10^8 元,是一个典型的中部大城市 (数据来源于国家统计局, [http://data.stats.gov.cn/\[2015-08-12\]](http://data.stats.gov.cn/[2015-08-12]))。外来流动人口是郑州市人口的重要组成部分。据统计,2013年外省流入河南的人口中的41%的流入到郑州市,省内跨市流动人口中的60%流入到郑州市 (2013年河南人口发展报告, [http://www.ha.stats.gov.cn/hntj/tjfw/tjfx/qsfx/ndfx/webinfo/2014/04/1397722155096301.htm\[2015-08-12\]](http://www.ha.stats.gov.cn/hntj/tjfw/tjfx/qsfx/ndfx/webinfo/2014/04/1397722155096301.htm[2015-08-12]))。本文以郑州为例,研究了2005~2013年春节人口大迁移对城市热岛效应的影响。

2 资料与方法

本文采用的气象站点日平均气温、日最高气温、日最低气温、日平均风速、日平均相对湿度、日平均总云量的观测数据,是从中国气象局获得。我们用城市站和参考站的气温差来表示城市热岛强度 ($\Delta T = T_u - T_r$, 其中下标 *u* 和 *r* 分别代表城市站和参考站)。用郑州站 ($34^\circ 43' \text{N}$, $113^\circ 39' \text{E}$, 海拔 110.4 m) 来代表城市站,中牟站 ($34^\circ 43' \text{N}$, $113^\circ 58' \text{E}$, 海拔 78.1 m) 代表参考站。郑州站处在郑州城区,周围主要为高层建筑、道路等;而参考站中牟站处在中牟县西部的郊区,周边主要为农田和低矮的建筑物。由于中牟站在2004年进行了迁站 (河南省气象局, 2012), 因此我们的研究时期为2005~2013年。

春节是农历新年,它的阳历日期每年都会变化。2005~2013年,春节日期发生在1月23日~2月18日。中国春节的法定假期为7d,本文定义正月初一到初七为春节周 (+1周)。春节周的前1周为-1周,春节周的后1周为+2周,以此类推。本文的研究时期共为9周,包括春节周及春节周前后各4周。定义春节周前2~4周 (-4周~-2周) 和春节周后2~4周 (+3~+5周) 共6周的平均值为背景场。

由于研究时期内春节节日发生在1月下旬到2月中旬,我们比较了1月和2月郑州站和中牟站的气候背景场 (表1)。就平均风速而言,两个站的数值都比较小,在1.67~2.13 m/s。中牟站的风速在1月和2月分别比郑州站小了0.28 m/s和0.22 m/s。中牟站的相对湿度比郑州站稍微大了一些,而总云量则相对小了一些。

表1 郑州站和中牟站2005~2013年平均1月、2月的风速、相对湿度、总云量

Table 1 The averaged daily wind speed, relative humidity, and cloud cover for January and February at Zhengzhou and Zhongmou stations during the period of 2005–2013, respectively

	风速/ m s^{-1}		相对湿度		总云量	
	1月	2月	1月	2月	1月	2月
郑州站	1.95	2.13	52.27%	56.76%	53.20%	66.11%
中牟站	1.67	1.91	58.83%	62.22%	52.49%	60.64%

3 结果

图 1 给出了郑州 2005~2013 年平均的春节周及其前后 4 周的城市热岛强度, 包括日平均 (ΔT_{mean})、日最高 (ΔT_{max}) 和日最低温度 (ΔT_{min}) 的郑州站与中牟站的差。就 ΔT_{mean} 而言, 春节周前的 2~4 周的城市热岛强度为 0.64~0.79 °C。春节周的前 1 周大幅下降到 0.28 °C, 在春节周进一步降低到最低值 0.16 °C。春节周后 1 周又开始上升, 达到 0.34 °C。春节周后的 2~4 周又恢复到春节周前 2~4 周的相似强度。 ΔT_{min} 在春节周前后 2~4 周与 ΔT_{mean} 大小相似, 但是, 在春节周比 ΔT_{mean} 低得多, 呈现微弱的冷岛效应 (春节周 ΔT_{min} 为 -0.03 °C)。 ΔT_{max} 在春节周及其前后 1 周的值比其他周要低,

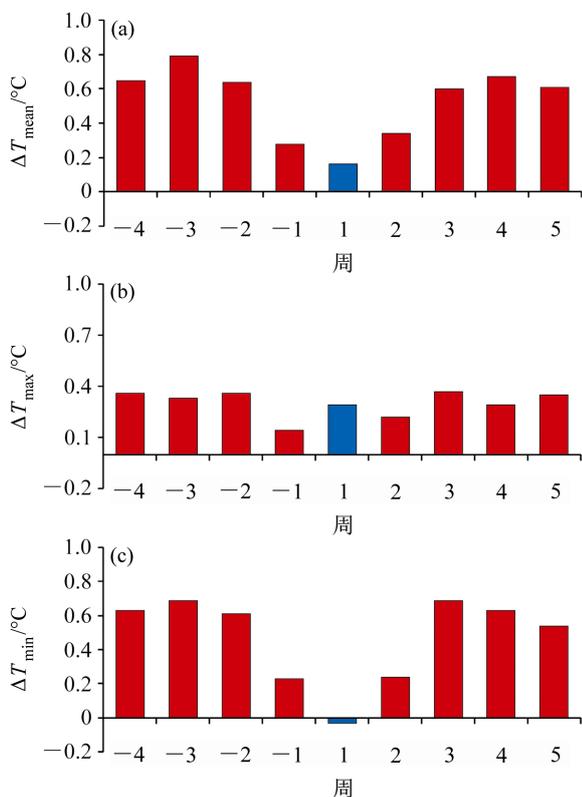


图 1 郑州 2005~2013 年平均的春节周及其前后 4 周的城市热岛强度 (郑州站与中牟站的温度差): (a) 日平均温度差 (ΔT_{mean}); (b) 日最高温度差 (ΔT_{max}); (c) 日最低温度差 (ΔT_{min})。中间蓝色为春节周, 用 +1 周末表示, 春节前后 1 周分别为 -1 周和 +2 周, 以此类推
Fig. 1 Weekly means of (a) ΔT_{mean} , (b) ΔT_{max} , and (c) ΔT_{min} (ΔT_{mean} , ΔT_{max} , and ΔT_{min} represent the daily mean, maximum, and minimum temperature difference between the stations of Zhengzhou and Zhongmou) during weeks -4 to +5 averaged over 2005-2013. The blue bar in the middle represents the CNY (Chinese New Year) week and is denoted as week +1, and one week before and one week after the CNY week as week -1 and week +2, and so on

但是他们之间的差别远低于 ΔT_{mean} 和 ΔT_{min} 的差别。

由于春节周前后 1 周的人口迁移流动的影响比较大, 我们定义春节周前后 2~4 周共 6 周的平均值为背景场。我们进一步对比了郑州市 2005~2013 年平均的春节周与背景场的城市热岛强度差别 (表 2)。就 ΔT_{mean} 而言, 春节周比背景场降低了 0.50 °C, 相对变化为 76%。春节周的 ΔT_{max} 和 ΔT_{min} 比背景场分别降低了 0.06 °C 和 0.66 °C, 相对变化为 16% 和 105%。 ΔT_{max} 和 ΔT_{min} 的不对称变化导致了温度日较差的城市站与参考站的差 (ΔDTR) 变化。 ΔDTR 从背景场的 -0.29 °C 变化到春节周的 0.32 °C, 相差 0.61 °C, 相对变化高达 211%。春节周 ΔT_{mean} 、 ΔT_{min} 和 ΔDTR 的变化都通过了 99% 的信度检验。

表 2 郑州 2005~2013 年平均的春节周和背景场的日平均 (ΔT_{mean})、日最高 (ΔT_{max})、日最低温度 (ΔT_{min}) 和温度日较差 (ΔDTR) 的郑州站与中牟站的差及其差值。我们定义春节周前 2~4 周 (-4~-2 周) 和春节周后 2~4 周 (+3~+5 周) 共 6 周的平均值为背景场

Table 2 The urban heat island (UHI) effects expressed as ΔT_{mean} , ΔT_{max} , ΔT_{min} , and ΔDTR differences between the stations of Zhengzhou and Zhongmou, averaged over the period 2005-2013 during the CNY week, background period, the UHI differences between the CNY week and background period, and the change in the UHI effects during the CNY week relative to the background period. The CNY week is denoted as week +1, one week before and after as week -1 and week +2, and so on. The background period is defined as 2-4 weeks before the CNY week (weeks -4 to -2) and 2-4 weeks after the CNY week (weeks +3 to +5)

	城市热岛强度		城市热岛强度变化	
	春节周/°C	背景场/°C	春节周与背景场差值/°C	相对变化
ΔT_{mean}	0.16	0.66	-0.50*	76%
ΔT_{max}	0.29	0.34	-0.06	16%
ΔT_{min}	-0.03	0.63	-0.66*	105%
ΔDTR	0.32	-0.29	0.61*	211%

*代表通过 99% 信度的 t 检验。

由于春节周前后 1 周也受到人口迁移流动的明显影响, 表 3 给出了 2005~2013 年平均的春节周及前后 1 周 (共 3 周) 与背景场的城市热岛强度的差别。 ΔT_{mean} 、 ΔT_{max} 和 ΔT_{min} 在春节周及前后 1 周比背景场分别低了 0.41 °C、0.12 °C 和 0.49 °C, 相对变化为 62%、35% 和 78%。 ΔDTR 比背景场高了 0.36 °C, 相对变化为 124%。这些变化都通过了 98% 的信度检验。其中, ΔT_{max} 比春节周与背景场的差更明显, 相对变化也更大。

表3 郑州2005~2013年平均的春节周及前后1周(-1周~+2周共3周)和背景场的 ΔT_{mean} 、 ΔT_{max} 、 ΔT_{min} 和 ΔDTR 的郑州站与中牟站的差及其差值

Table 3 The UHI effects expressed as ΔT_{mean} , ΔT_{max} , ΔT_{min} , and ΔDTR differences between the stations of Zhengzhou and Zhongmou, averaged over the period 2005–2013 during the CNY week and one week before and after the CNY week (weeks -1 to +2), the background period, the UHI differences between the CNY week and background period, and the change in the UHI effects during the CNY week relative to the background period

	城市热岛强度		城市热岛强度变化	
	春节周及前后1周/ $^{\circ}\text{C}$	背景场/ $^{\circ}\text{C}$	春节周及前后1周与背景场差值/ $^{\circ}\text{C}$	相对变化
ΔT_{mean}	0.25	0.66	-0.41*	62%
ΔT_{max}	0.22	0.34	-0.12**	35%
ΔT_{min}	0.14	0.63	-0.49*	78%
ΔDTR	0.07	-0.29	0.36*	124%

*, **代表通过99%、98%信度的t检验。

我们进一步检查了2005~2013年期间春节周、春节周及前后1周(共3周)与背景场城市热岛强度差别的年际变化(图2)。结果表明,在2005~2013年的9年间,春节周的 ΔT_{mean} 除了2012年外,

其余年份都低于背景场,降低的幅度为0.31~1.12 $^{\circ}\text{C}$ 。类似于 ΔT_{mean} 的年际变化, ΔT_{min} 除了2012年春节周的值略高于背景场,其他年份均低于背景场,最大可达1.34 $^{\circ}\text{C}$ 。相比较来讲, ΔT_{max} 春节周与背景场的差别都不大,9年中有6年低于背景场。春节周及前后1周的 ΔT_{mean} 与 ΔT_{max} 在所有年份都低于背景场。春节周及前后1周的 ΔT_{min} 除了在2011年比背景场略高0.03 $^{\circ}\text{C}$,其他年份都低于背景场。影响春节周及前后1周与背景场城市热岛强度差别的年际变化的原因可能包括气象条件、春节日期、人口迁移流动数量、人为热组成等因素。

4 结论与讨论

中国春节期间的人口迁移流动是世界上每年最大规模的人类迁徙,具有人次多和周期短的特点。本文利用这一独特的机会,以郑州为例,研究了春节人口大迁移对城市热岛效应的影响。结果表明2005~2013年平均的春节周日平均、日最高和日最低温度城市站与参考站的差(城市热岛强度)与背景场相比分别降低了0.50 $^{\circ}\text{C}$ 、0.06 $^{\circ}\text{C}$ 和0.66 $^{\circ}\text{C}$,

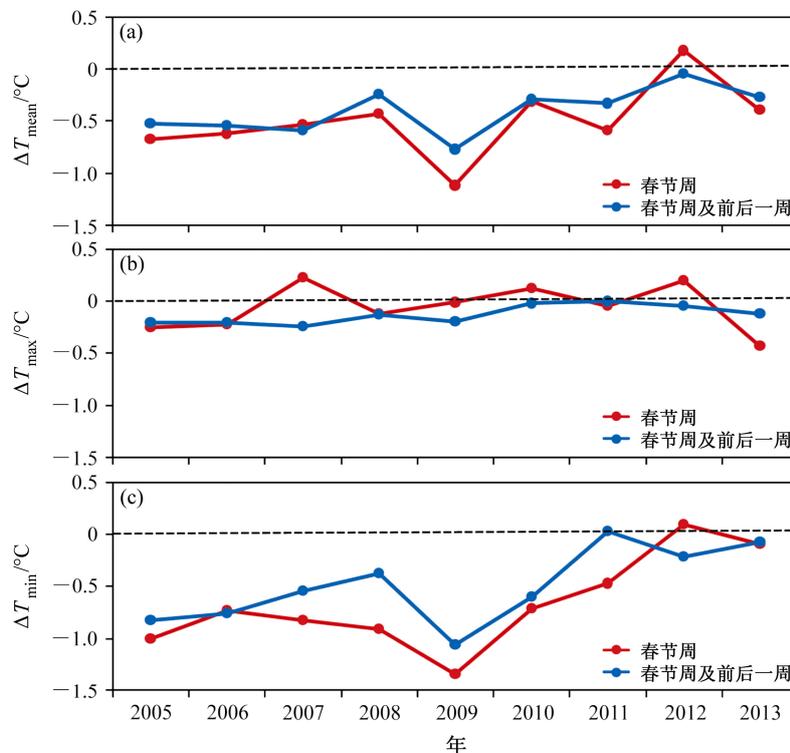


图2 郑州2005~2013年期间春节周及春节周和春节前后1周与背景场城市热岛强度(郑州站与中牟站的温度差)差别的年际变化:(a) ΔT_{mean} ; (b) ΔT_{max} ; (c) ΔT_{min}

Fig. 2 Interannual variation in the differences between the CNY week (or the CNY week and one week before and after) averages and the background period averages for the period 2005–2013 in (a) ΔT_{mean} , (b) ΔT_{max} , and (c) ΔT_{min}

相对变化为 76%、16%和 105%。日最高、日最低温度城市站与参考站的差的不对称变化导致了温度日较差城市站与参考站的差的变化,从背景场的 -0.29°C 变化到春节周的 0.32°C , 相对变化高达 211%。春节周日平均、日最低温度和温度日较差城市站与参考站的差的变化都通过了 99%的信度检验。春节周及前后 1 周的日平均、日最高、日最低温度和温度日较差相对背景场的变化与春节周的变化符号相同,但是变化幅度有所不同。春节周及前后 1 周的所有温度变量的变化都通过了 98%的信度检验。

春节期间郑州城区人口的大规模移出减少了人类活动,进而减少了来自于工厂生产、交通运输、居民生活等人为热的释放及影响一些其他的过程,明显减弱了城市热岛。另外,节日期间燃放烟花爆竹也可能对城市热岛产生一定的影响(洪盛茂等, 2003; 王占山等, 2015)。前面的研究表明,人为热对夜晚温度影响大,白天温度影响小,这也许是造成春节期间人口迁移对城市站与参考站日最低温度的差比日最高温度的差影响更大的原因(佟华等, 2004; Fan and Sailor, 2005)。

本文研究表明,郑州春节人口大迁移显著减弱了城市热岛效应。我们前面的研究表明,这种显著的减弱也发生在我国东部超大型或大型城市,例如北京、哈尔滨(Wu et al., 2015; Zhang et al., 2015)。同时,春节期间的旅游人口的增加使得旅游热点城市例如三亚的热岛效应增强(Zhang and Wu, 2015)。这些结果共同表明中国春节期间的人口大迁移是影响城市气候的一个重要因素。

不同城市的气候背景、人为热释放、人口迁移流动的时空分布等会有差异,因此春节人口迁移流动对城市热岛效应的影响在不同城市呈现出不同的特点。在哈尔滨,城市热岛的减弱主要发生在春节周,而在郑州春节周及前后 1 周都发生了明显的变化。哈尔滨和郑州的城市热岛强度在春节后都恢复到了春节前相似的强度,北京城市热岛春节后则没有。另外,城市各功能区之间,人口迁移流动的影响也会有所不同。将来,应利用高密度的自动站观测资料和其他数据对各个城市进行更深入的分析,并研究人为热释放、气象条件、人口迁移流动的时空分布等过程的影响。研究结果有望为提高春节期间精细化温度预报提供帮助,也为城市规划、设计和管理提供科学依据。随着社会经济的不断发展、城市化程度的不断提高、交通工具的不断改善等,中

国和世界的人口迁移流动不断加速,我们的研究结果建议着人口迁移流动在未来将增加影响城市气候。

参考文献 (References)

- Balchin W G V, Pye N. 1947. A micro-climatological investigation of bath and the surrounding district [J]. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 73: 297–323, doi: 10.1002/qj.49707331706.
- Fan H L, Sailor D J. 2005. Modeling the impacts of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia: A comparison of implementations in two PBL schemes [J]. *Atmos. Environ.*, 39 (1): 73–84, doi: /10.1016/j.atmosenv.2004.09.031.
- Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, et al. 2008. Global change and the ecology of cities [J]. *Science*, 319: 756–760, doi: 10.1126/science.1150195.
- 河南省气象局. 2012. 河南省基层气象台站简史 [M]. 北京: 气象出版社, 1–52. Henan Meteorological Bureau. 2012. Brief History of Henan Basic Meteorological Station (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1–52.
- 洪盛茂, 何曦, 祁国伟, 等. 2003. 杭州市区春节期间空气质量变化特点 [J]. *气象科技*, 31 (6): 340–344. Hong Shengmao, He Xi, Qi Guowei, et al. 2003. Various characteristics of air quality during Spring Festival in Hangzhou urban area [J]. *Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 31 (6): 340–344, doi: 10.3969/j.issn.1671-6345.2003.06.004.
- Howard L. 1818. *The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis London, Vol II* [M]. London: Cambridge University Press, 384pp.
- IPCC. 2013. Anthropogenic and natural radiative forcing [M]// *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Myhre G, Shindell D, Bréon F-M, et al, Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 659–740, doi: 10.1017/CBO9781107415324.018.
- 蒋维楣, 苗世光, 张宁, 等. 2010. 城市气象与边界层数值模拟研究 [J]. *地球科学进展*, 25 (5): 463–473. Jiang Weimei, Miao Shiguang, Zhang Ning, et al. 2010. Numerical simulation on urban meteorology and urban boundary layer [J]. *Advances in Earth Science (in Chinese)*, 25 (5): 463–473, doi: 10.11867/j.issn.1001-8166.2010.05.0463.
- Landsberg H E. 1970. Man-made climate changes [J]. *Science*, 170: 1265–1274, doi: 10.1126/science.170.3964.1265.
- Li Q X, Zhang H, Liu X, et al. 2004. Urban heat island effect on annual mean temperature during the last 50 years in China [J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 79: 165–174, doi: 10.1007/s00704-004-0065-4.
- Miao S G, Chen F, LeMone M A, et al. 2009. An observational and modeling study of characteristics of urban heat island and boundary layer structures in Beijing [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48: 484–501, doi: 10.1175/2008JAMC1909.1.
- Oke T R. 1982. The energetic basis of the urban heat island [J]. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 108: 1–24.

- Ren G Y, Chu Z Y, Chen Z H, et al. 2007. Implications of temporal change in urban heat island intensity observed at Beijing and Wuhan stations [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 34 (5): L05711, doi: 10.1029/2006GL027927.
- Taha H. 1997. Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat [J]. *Energy and Building*, 25 (2): 99–103, doi: 10.1016/S0378-7788(96)00999-1.
- 佟华, 刘辉志, 桑建国, 等. 2004. 城市人为热对北京热环境的影响 [J]. *气候与环境研究*, 9 (3): 409–421. Tong Hua, Liu Huizhi, Sang Jianguo, et al. 2004. The impact of urban anthropogenic heat on Beijing heat environment [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 9 (3): 409–421, doi: 10.3969/j.issn.1006-9585.2004.03.001.
- 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, doi: 10.3321/j.issn:0001-5733.2006.01.009.
- 王占山, 张大伟, 李云婷, 等. 2015. 2014 年春节期间北京市空气质量分析 [J]. *环境科学学报*, 35 (2): 371–378. Wang Zhanshan, Zhang Dawei, Li Yunting, et al. 2015. Analysis of air quality in Beijing city during Spring Festival period of 2014 [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae (in Chinese)*, 35 (2): 371–378, doi: 10.13671/j.hjkxxb.2014.0798.
- Wu L Y, Zhang J Y, Shi C X. 2015. Mass human migration and the urban heat island during the Chinese New Year holiday: A case study in Harbin city, Northeast China [J]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 8 (2): 63–66, doi: 10.1080/16742834.2015.11447238.
- 张井勇, 吴凌云. 2014. 陆—气相互作用对东亚气候的影响 [M]. 北京: 气象出版社, 1–138. Zhang Jingyong, Wu Lingyun. 2014. Impacts of Land–Atmosphere Interactions on Climate over East Asia (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1–138.
- Zhang J Y, Wu L Y. 2015. Modulation of the urban heat island by the tourism during the Chinese New Year holiday: A case study in Sanya city, Hainan Province of China [J]. *Science Bulletin*, 60: 1543–1546, doi: 10.1007/s11434-015-0864-2.
- Zhang J Y, Wu L Y, Yuan F, et al. 2015. Mass human migration and Beijing's urban heat island during the Chinese New Year holiday [J]. *Science Bulletin*, 60: 1038–1041, doi: 10.1007/s11434-015-0809-9.
- Zhou L M, Dickinson R E, Tian Y H, et al. 2004. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101: 9540–9544, doi: 10.1073/pnas.0400357101.