

黄群芳, 陆玉麒. 2017. 短期大规模人口流动对上海市城市热岛效应的影响 [J]. 气候与环境研究, 22 (6): 708–716. Huang Qunfang, Lu Yuqi. 2017. Effects of short-term massive human migration during the Chinese New Year on the urban heat island effect in Shanghai [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 22 (6): 708–716, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2017.17041.

短期大规模人口流动对上海市城市热岛效应的影响

黄群芳^{1,2} 陆玉麒^{1,2}

1 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023

2 南京师范大学江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023

摘要 城市热岛效应是一种非常重要的局地气候现象, 随着全球变暖和城市化快速发展, 城市热岛效应受到越来越多的关注和研究。以往的研究表明人口聚集和人口数量对城市热岛效应和区域城市气候会产生显著的影响。但是, 人口短期的快速迁移流动对城市气候是否存在影响以及影响的程度多大尚不清楚。本文利用世界上每年最大规模的人类迁徙——春节人口流动来探讨人口短期快速流动对国际化大都市上海城市热岛效应的影响。研究结果表明, 2000~2015年上海市春节周日最高温、日均温和日最低温城市热岛强度分别为0.35 °C、0.90 °C和1.53 °C, 相对于背景场(春节前2~4周和春节后2~4周的平均值), 分别低了0.16 °C、0.11 °C和0.15 °C, 相对变化分别为31.4%、10.9%和8.9%。由此可见, 人口短期快速迁移流动是影响热岛效应和城市气候一个重要因素, 但是人口流动对城市热岛效应的影响是复杂的, 其效应与气候背景、天气状况、城市规模、城市人口流动特征及分布甚至城市烟花爆竹燃放(通过影响气溶胶、云量及废热影响城市热岛效应)等因素交织在一起, 未来仍需开展进一步的深入研究。

关键词 大规模人口流动 城市热岛 上海 春节

文章编号 1006-9585 (2017) 06-0708-09

中图分类号 P461⁺.8

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2017.17041

Effects of Short-Term Massive Human Migration during the Chinese New Year on the Urban Heat Island Effect in Shanghai

HUANG Qunfang^{1,2} and LU Yuqi^{1,2}

1 College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023

2 Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing Normal University, Nanjing 210023

Abstract Urban heat island (UHI) is a very important local climate phenomenon. With the rapid development of global warming and urbanization, UHI effect has received more attention and research. Previous studies have shown that population aggregation and population size have a significant impact on UHI effect and regional urban climate. However, whether and to what extent the massive human migration can affect the urban climate remain unclear. The world's largest annual human migration, i.e. the population movement around the Chinese New Year (CNY), is taken as an example in the present study to investigate the effects of massive human migration on UHI during the CNY holiday for the period of 2000–2015 in Shanghai. It was found that the daily maximum (ΔUHI_{\max}), mean (ΔUHI_{mean}), and minimum (ΔUHI_{\min})

收稿日期 2017-03-15; **网络预出版日期** 2017-09-15

作者简介 黄群芳, 女, 1979年出生, 博士研究生, 主要从事城市与区域发展研究。E-mail: flyingfangzi@163.com

通讯作者 陆玉麒, E-mail: luyuqi@nynu.edu.cn

资助项目 国家自然科学基金重点项目 41430635, 江苏高校优势学科建设工程资助项目

Funded by National Natural Science Foundation of China (Grant 41430635), Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions

surface temperature difference between urban and nearby rural stations averaged over the period 2000–2015 during the CNY week were 0.35 °C, 0.90 °C, and 1.53 °C, respectively, which were 0.16 °C (31.4%), 0.11 °C (10.9%), and 0.15 °C (8.9%) lower than those during the background period (2–4 weeks before and 2–4 weeks after the CNY week), respectively. Our findings highlight the important role of massive human migration on urban climate based on a case study in Shanghai. Meanwhile, the results also indicate that the influences of human migration on urban climate are complex, which are often intertwined with local background climate, weather condition, city size, and the characteristics and pattern of human migration and even firework prohibition (by means of impacting the aerosols, cloud cover, and waste heat release). Therefore further studies on this issue are necessary.

Keywords Massive human migration, Urban heat island, Shanghai, Chinese New Year

1 引言

城市热岛效应是人类活动对城市气候影响的最突出特征和城市热环境的突出表现形式,其本质是人口聚集和人口迁移形成的生产生活活动对城市热环境造成的影响。人口由乡村进入到城市,一方面需要更多的住房,在城市土地有限的前提下,城市建筑不得不向高空方向发展,形成了城市特有、共有的高窄“铅笔”式建筑,从而改变了原有的城市空间形态,既影响了城市的粗糙结构和湍流特征,又减少了城市夜间地面辐射热损失,从而促进了城市热岛的形成(Rizwan et al., 2008)。另一方面,在建造更多住房、建设更方便舒适的城市环境过程中,大量的绿地被侵占,更多的土地被不透水路面替代,这减少了地—气间蒸发蒸腾潜热释放,加剧了城市的增温效应(Rahman et al., 2015)。此外,城市为方便居民生产生活而铺设的铺装路面、墙面反射率低,导热率和热容量高,这会使城市地区白天大量吸收太阳短波辐射,从而导致白天城市热岛效应的形成。另外,更多的人口带来了更密集的生产生活活动,使工厂、机动车辆、空调、新陈代谢释放的人为热更多,而生产活动加剧的空气污染、特别是气溶胶也产生了类似温室效应的影响,一定程度上加剧了城市热岛效应的形成(Cao et al., 2016)。城市热岛效应造成城市气温显著高于周边农村地区,在全球气候变暖背景下往往加剧了夏季高温热浪的形成和危害(Tan et al., 2010),给城市居民的生产生活甚至健康和生命都带来许多非常不利的影 响,如 2003 年的高温给欧洲带来了 22000~50000 的热死亡病例(Baldi, 2014)。因此,气候变化、城市环境、城市规划等学术界一直很关注城市热岛效应变化特征及城市人口对城市热岛效应的影响研究

(Huang and Lu, 2017): Oke (1973) 分析了圣劳伦斯低地 10 个不同人口规模的居民点城市热岛强度与人口、风速的关系,发现晴朗天气下的城市热岛强度与人口的对数成正比、与风速成反比。Tran et al. (2006) 研究了亚洲 12 个巨型城市的城市热岛强度与城市人口总数和人口密度的关系,也发现城市热岛强度与城市人口总数呈正相关关系。在其他城市、城市群的研究中也观测到城市增温率与城市人口、人口密度之间存在显著的正相关(Fujibe, 2009; Zhang et al., 2010; Elsayed, 2012; Huang and Lu, 2015)。例如,彭保发等(2013)研究发现上海市的城市热岛强度与人口规模、人口密度分别呈二次函数的关系。然而,这些都是对既定人口迁移结果的研究,而人口迁移过程会对城市热岛效应造成什么样的影响以及造成多大影响学术界关注较少。

理论上,人口的迁移流动会改变城市生产活动以及人为热释放、温室气体和气溶胶的排放量,从而影响城市热岛效应的强度和分布,对区域和全球气候都产生重要影响(张井勇和吴凌云, 2016)。而当今社会的现状就是,随着社会的进步、经济的发展、基础设施的完善和地理行政限制的减少,世界范围内和中国内部的人口迁移流动越来越频繁。世界旅游组织报告显示,出境旅游人次由 1980 年的 2.78 亿增加到 2000 年的 6.74 亿以及 2015 年的 11.86 亿(www.unwto.org [2016-09-20]);我国国内旅游人次由 80 年代中期的 2 亿增加到 2000 年的 7.44 亿及 2015 年的 40 亿(http://www.cnta.gov.cn/[2017-01-17])。国家统计局的数据也显示,我国高等教育学校(机构)学生数由 2000 年的 718.82 万增加到 2015 年的 2882.75 万(http://www.stats.gov.cn/[2017-01-17]);全国农民工总量由 2008 年的 2.25 亿增加到 2015 年的 2.78 亿,外出农民工由 2008 年的 1.40 亿增加到 2015 年的 1.68 亿(http://www.mohrss.gov.cn/[2017-01-17])。可以预见,未

来几十年世界和中国范围内的人口迁移流动可能会继续保持快速增加的趋势,研究人口迁移流动对城市热环境的影响可为城市天气预报、城市高峰电量预测、能源调控提供理论依据,为我国制定缓解城市热岛效应的相关措施提供参考依据,并提高国家和各地区应对快速气候变化的能力。

中国独特的文化、习俗形成了独特的“春运”现象,大量的人口在春节前集中离开大城市,然后在春节后陆续返回,中国春节期间的人口流动成为了世界上每年最大规模的人类迁移。据中华人民共和国交通运输部统计(<http://www.mot.gov.cn/> [2017-01-17]),近年来春节期间的客流量达到 30 亿人次,这意味着春节期间为探讨大规模人口短期快速迁移流动对城市气候的影响提供了独特的视角和时间窗口。最近, Zhang and Wu (2015)、Zhang et al. (2015)、Wu et al. (2015) 和吴凌云等 (2016) 的研究表明,春节期间大规模的人口迁出或迁入会显著减弱或增强城市热岛强度。然而,已有的研究地区除了三亚,都集中在北方地区(北京、郑州、哈尔滨),其他气候背景区的城市热岛强度是否受人口迁移流动的影响、其影响程度、具体影响机制尚不清楚;且已有的 3 个案例中,春节人口流动对城市热岛效应的影响也表现出不同的特点,如哈尔滨城市热岛的减弱主要发生在春节周,而北京和郑州不仅春节周、春节前后一周城市热岛强度也发生了明显的降低,此外,哈尔滨、郑州在春节后城市热岛强度恢复到正常水平,而北京则并没有(Wu et al., 2015; Zhang et al., 2015; 吴凌云等, 2016)。由此可见,大规模短期快速人口迁移流动对城市气候是否存在影响以及影响的程度如何,目前尚无定论,还需要更多的数据资料来加以验证,开展更为广泛的探讨。

上海市是我国最大的国际化大都市,发达的经济、现代化的生活、良好的发展机遇吸引了大量外来人口进入。从 2012 年以来,上海市外来常住人口占总人口的比例一直在 40%及以上,2015 年末上海市外来常住人口达 981.65 万(常住人口达 2415.27 万);如果算上半年以下的流动人口,上海市外来人口占总人口一半左右。出于回家团圆、探亲访友以及旅游度过佳节等目的,大量的流动人口以及拥有上海户籍的人口在春节期间离开、春节后返回,这意味着春节期间约有一半的人群要离开上海,事实上,360 大数据证实 2017 年春节期间上海

的人口净迁出率达到 56.76% (唐梦葭, 2017)。因此,上海是探讨春节期间大规模人口迁移流动对城市热岛效应影响的很好案例。据此,本文利用上海市 11 个气象台站的多年逐日气象数据研究 2000~2015 年间春节人口流动对上海市城市热岛效应的影响。

2 数据和方法

本文采用 11 个气象站点 2000~2015 年的日平均气温、日最高气温、日最低气温、日平均风速、日平均相对湿度、日平均降水量、日平均总云量数据均来自中国气象数据网(<http://data.cma.cn/> [2017-01-16])。11 个气象台站均处于同样气候背景下,海拔相差很小(站点空间分布和基本信息见表 1 和图 1、2)。根据来自上海市统计局的人口密度分布情况(图 1)和上海市土地利用类型空间分布特征(图 2),把徐家汇站归为城市站,闵行、宝山、浦东、嘉定、松江作为郊区站,青浦、金山、奉贤、南汇、崇明作为乡村站(表 1)。城市热岛强度用徐家汇站和 5 个乡村站平均值的差值表示。为了对所用的温度数据进行质量控制,文中参照 Wu and Zhang (2017) 的研究结果剔除了降水日的温度数据。文中用到的社会统计数据均来自于上海及相关城市 2016 年的统计年鉴或城市社会统计公报。

表 1 上海市各气象台站基本信息

Table 1 Basic information of meteorological stations in Shanghai

站名	纬度	经度	海拔/m	站点类型	位置
徐家汇	31.20°N	121.43°E	4.6	国家一般气象站	城市地区
闵行	31.10°N	121.37°E	5.5	国家一般气象站	城郊区
宝山	31.40°N	121.45°E	5.5	国家基本气象站	城郊区
浦东	31.23°N	121.53°E	4.4	国家一般气象站	城郊区
松江	31.03°N	121.23°E	4.2	国家一般气象站	城郊区
嘉定	31.37°N	121.25°E	4.4	国家一般气象站	城郊区
青浦	31.13°N	121.12°E	4.0	国家一般气象站	乡村地区
金山	30.73°N	121.35°E	5.2	国家一般气象站	乡村地区
奉贤	30.88°N	121.50°E	4.6	国家一般气象站	乡村地区
南汇	31.05°N	121.78°E	5.0	国家一般气象站	乡村地区
崇明	31.67°N	121.50°E	4.5	国家一般气象站	乡村地区

春节是农历新年,它的公历日期每年都会发生变化。2000~2015 年,春节日期发生在 1 月 22 日至 2 月 19 日。本文定义春节为+1 天,春节前一天为-1 天,春节后一天为+2 天,以此类推。中国

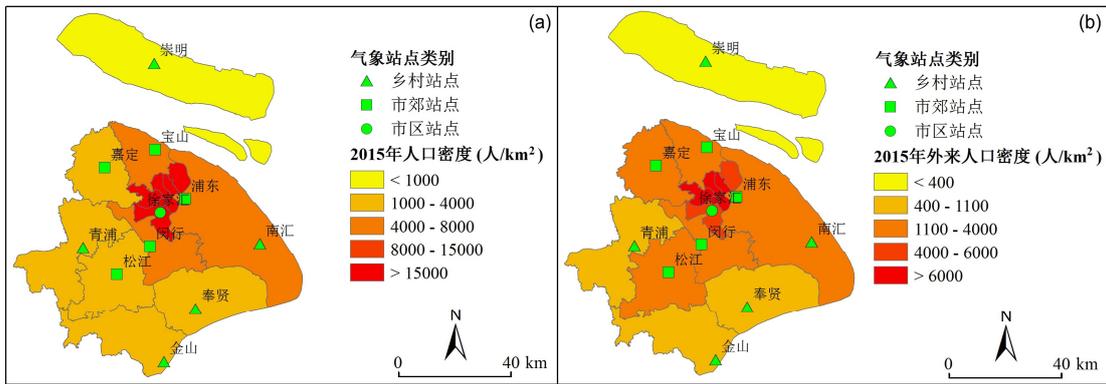


图 1 上海市 2015 年 (a) 总人口密度和 (b) 外来人口密度分布
Fig. 1 (a) The population density and (b) floating population density in Shanghai in 2015

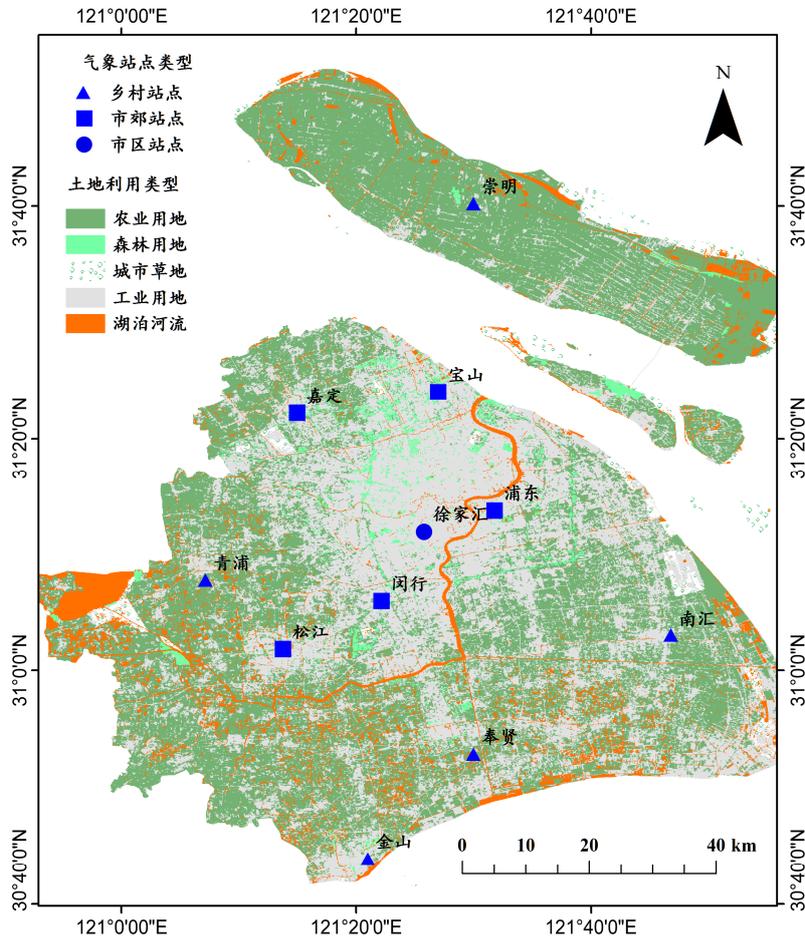


图 2 上海市土地利用类型分布和气象站位置
Fig. 2 Distribution of land use type and location of the meteorological stations in Shanghai

春节的法定假期为 7 天，考虑民间注重除夕吃团圆饭的习俗，本文定义除夕至正月初六为春节周（+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。本文的研究时段（表 2）共为 9 周，包括春节周及春节周前后各 4 周。考虑到

春节周前后一周的人口流动量较大，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（表 1）。

为了排除春节周天气状况对研究结果带来的干扰，我们比较了徐家汇站和乡村站（崇明、金山、

表 2 2000~2015 年研究时段的日期选择

Table 2 Dates of the Chinese New Year (CNY), CNY weeks, 28 days before the CNY days (day -28), and 34 days after the CNY days (day +35) during 2000-2015

年份	春节日期	春节周起止日期	研究起止日期	年份	春节日期	春节周起止日期	研究起止日期
2000	2000-02-05	2000-02-04~02-10	2000-01-07~03-09	2008	2008-02-07	2008-02-06~02-12	2008-01-09~03-11
2001	2001-01-24	2001-01-23~01-29	2000-12-26~2001-02-26	2009	2009-01-26	2009-01-25~01-31	2008-12-28~2009-02-28
2002	2002-02-12	2002-02-11~02-17	2002-01-14~03-17	2010	2010-02-14	2010-02-13~02-19	2010-01-16~03-19
2003	2003-02-01	2003-01-31~02-06	2003-01-03~03-06	2011	2011-02-03	2011-02-02~02-08	2011-01-05~03-08
2004	2004-01-22	2004-01-21~01-27	2003-12-24~2004-02-24	2012	2012-01-23	2012-01-22~01-28	2011-12-25~2012-02-25
2005	2005-02-09	2005-02-08~02-14	2005-01-11~03-14	2013	2013-02-10	2013-02-09~02-15	2013-01-12~03-15
2006	2006-01-29	2006-01-28~02-03	2005-12-31~2006-03-03	2014	2014-01-31	2014-01-30~02-05	2014-01-02~03-05
2007	2007-02-18	2007-02-17~02-23	2007-01-20~03-23	2015	2015-02-19	2015-02-18~02-24	2015-01-21~03-24

奉贤、青浦和南汇的平均值) 研究期内的天气背景 (表 3)。除了平均风速城乡站差别较大, 其相对差值达 48.0% 以外, 降水、相对湿度和总云量城乡站相差不大, 其差值在 3.6%~8.0% 之间。总体来说, 城市站风速较低, 云量较小、相对湿度较小, 这有利于城市热岛效应的形成。

表 3 上海市城乡站 2000~2015 年研究时段内的风速、降水、相对湿度和总云量

Table 3 The averaged daily wind speed, precipitation, relative humidity, and cloud cover at urban and rural stations during 2000-2015

	风速/m s ⁻¹		日降水量/mm		相对湿度		总云量	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
徐家汇	1.42	0.72	2.53	5.79	70.1%	13.7%	59.1%	38.7%
乡村站均值	2.73	1.07	2.44	5.53	76.2%	11.5%	62.9%	36.4%
崇明	3.00	1.24	2.22	5.39	76.2%	12.0%	61.6%	37.8%
金山	2.72	1.09	2.64	6.20	77.2%	12.0%	63.5%	37.9%
奉贤	2.67	1.17	2.44	5.79	77.7%	11.5%	62.6%	37.7%
青浦	2.48	1.09	2.44	5.60	72.8%	12.2%	62.2%	38.0%
南汇	2.80	1.26	2.46	5.77	77.1%	11.6%	64.4%	37.5%

3 结果与分析

图 3 给出了上海市 2000~2015 年多年平均的春节周及前后各四周的城市热岛强度, 包括日最高温度 ($\Delta UHII_{max}$)、日均温度 ($\Delta UHII_{mean}$)、日最低温度 ($\Delta UHII_{min}$) 的城乡温度差。三者展示了不同的特点, 就 $\Delta UHII_{max}$ 而言, 节后城市热岛强度为 0.48~1.00 °C, 显著高于春节周, 且其强度逐周持续上升, 很好地反应了春节周的人口流动带来的影响; 然而春节前的情况较复杂, 除了一 2 周和 -1 周热岛强度略高于春节周, 其他两周都比春节周低, -3 周的热岛强度甚至比春节周下降了 37.1%。

$\Delta UHII_{mean}$ 的多年变化反映了春节周城市热岛强度低于背景场的特点: 春节周前 2~4 周的城市热岛强度为 1.00~1.13 °C, 春节周的前一周降低到 0.94 °C, 春节周进一步降低到 0.90 °C, 春节后一周热岛强度继续降低, 春节后第二周开始恢复, 春节周 3~4 周几乎恢复至春节周前的水平。 $\Delta UHII_{min}$ 的情况和 $\Delta UHII_{mean}$ 类似, 只是其强度比 $\Delta UHII_{mean}$ 大许多, 其值在 1.43~1.87 °C 间变化, 但总体而言春节周和背景场的值差别不大。从春节周前后的变化来看, 与 $\Delta UHII_{max}$ 的变化相反, $\Delta UHII_{mean}$ 和 $\Delta UHII_{min}$ 都是春节后的值小于春节前的值, 且 $\Delta UHII_{min}$ 春节前后一周的值比春节周更低。

为了更直观反映春节周人口流动对城市热岛强度的影响, 我们进一步比较了上海市 2000~2015 年平均的春节周与背景场城市热岛强度的差值 (背景场-春节周) (表 4)。从表中可以看出, 春节周的 3 个值都比背景场低, 两者的差别在 $\Delta UHII_{max}$ 这个指标上体现最显著, 相对变化达 31.4%; 两者在 $\Delta UHII_{mean}$ 、 $\Delta UHII_{min}$ 两个指标上相差较小, 分别为 0.11 °C 和 0.15 °C, 相对变化仅占 10.9% 和 8.9%。

为了反映人口流动量对城市热岛强度的影响,

表 4 上海市 2000~2015 年多年平均春节周和背景场的日最高温度热岛强度、日均温度热岛强度和日最低温度热岛强度值及其差值 (背景场-春节周)

Table 4 Statistics of $\Delta UHII_{max}$, $\Delta UHII_{mean}$, $\Delta UHII_{min}$ during the CNY week (week +1) and the background period averaged over 2000-2015

	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
$\Delta UHII_{max}$	0.35	0.51	0.16	31.4%
$\Delta UHII_{mean}$	0.90	1.01	0.11	10.9%
$\Delta UHII_{min}$	1.53	1.68	0.15	8.9%

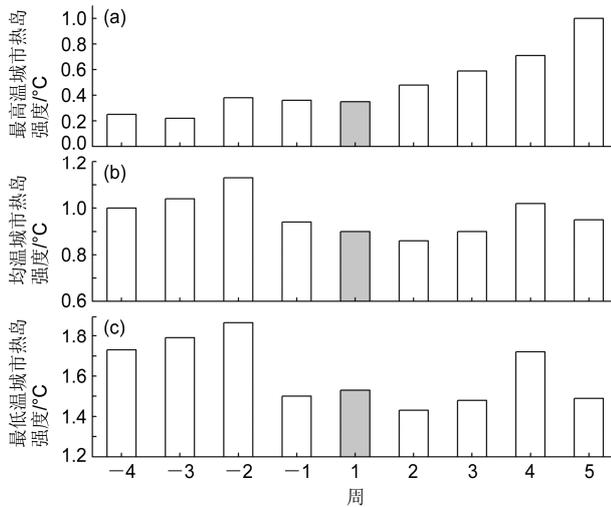


图3 上海市 2000~2015 年平均的春节周及前后 4 周的城市热岛强度：(a) 最高温城市热岛强度 ($\Delta UHII_{max}$)；(b) 均温城市热岛强度 ($\Delta UHII_{mean}$)；(c) 最低温城市热岛强度 ($\Delta UHII_{min}$)。中间灰色为春节周，用+1 周来表示，春节前一周分别表示为-1 周和+2 周，以此类推

Fig. 3 Weekly means of (a) $\Delta UHII_{max}$, (b) $\Delta UHII_{mean}$, and (c) $\Delta UHII_{min}$ during weeks -4 to +5 averaged over the period of 2000-2015. The CNY week is denoted by week +1, and 1 week before and 1 week after the CNY week are denoted by week -1 and week +2, and so on. The background period is defined as week -4 to week -2 and week +3 to week +5

我们比较了 2000~2015 年间春节周与背景场热岛强度差值(背景场-春节周)的年度变化(图 4)和外来人口数量及其比重的年度变化(图 5)。图 4a 显示,在 2000~2015 年的 16 年间,春节周的 $\Delta UHII_{max}$ 除了 2003 年、2006 年、2011 年和 2014 年外,其余年份都低于背景场,降低的幅度为 0.02~0.61 °C,相对变化为 3.3%~111.6%。而 $\Delta UHII_{min}$ 的年度变化中(图 4c),16 年中有 6 年春节周的值高于背景场,不同年份间的差值达 2.55 °C,相对变化达 150.1%。 $\Delta UHII_{mean}$ 类似于 $\Delta UHII_{min}$ 的年度变化(图 4b),16 年中有 5 年春节周的值高于背景场,最大可高于背景场 0.73 °C,相对变化达 98.6%。尽管 $\Delta UHII_{max}$ 、 $\Delta UHII_{mean}$ 和 $\Delta UHII_{min}$ 的年度变化幅度不同,三者展示了相同的变化趋势,三者受人口流动影响大和影响小的年份一致,说明人口流动对城市热岛效应的影响可能与背景气温的影响交织在一起。图 4 和图 5 的结果表明,人口流动对城市热岛效应的影响与人口流动数量之间不存在线性关系,其值并没有随着人口流动量的增加而逐年增长。

4 结论与讨论

城市热岛主要受气候天气条件、城市地表覆盖和土地利用变化以及人为热排放等要素的影响(Morris et al., 2001; Menberg et al., 2013; 彭保发等, 2013; 王频和孟庆林, 2013)。其中城市人为热排放来自于工业生产和汽车尾气排放的废热、建筑的能量消耗和生物的新陈代谢,其值大小与人口数量及人类活动紧密相关。上海是一个人口达 2400 多万的国际性大都市,尽管春节期间也有大量游客来上海旅游,带来部分人口流入,但其春节期间人口净流出可高达 1000 多万(唐梦霞, 2017),如此大规模的人口迁出,将通过减少来自工业生产、交通运输以及居民生活等人类活动的人为热释放,从而减少春节期间的城市热岛强度。以往的研究表明,上海城市热环境空间格局影响因素中,人口分布因子和工业生产因子贡献占主导(岳文泽和徐建华, 2008),并且上海常住人口规模、能源消耗强度均与城市热岛强度呈现显著的负相关(彭保发等, 2013)。春节期间大的气候、天气条件和城市土地利用变化基本可以忽略,因此可以推断上海春节期间城市热岛短期变化主要受制于人口数量减少引起的人为热排放(包括工业生产、交通运输、建筑能耗和人体新陈代谢等)降低所致。我们的结果也证实了春节期间短期人口流动对城市热岛效应的影响,数据显示 2000~2015 年平均的春节周日最高、日平均和日最低温的城市热岛强度与背景场相比分别降低了 0.16 °C、0.11 °C 和 0.15 °C,相对变化分别为 31.4%、10.9%和 8.9%。

本文的研究结果表明,上海春节期间的人口流出减弱了城市热岛效应,但与北京(Zhang et al., 2015)、郑州(吴凌云等, 2016)和哈尔滨(Wu et al., 2015)的结果相比,其影响程度小、特点不同。首先,上海市春节期间城市热岛强度受人口流动影响幅度小。人口流动影响最大的日最高温热岛强度变化幅度为 31.4%,日均温和日最低温的热岛强度变化幅度在 10%左右或低于 10%;而其他 3 个城市除了郑州日最高温变化幅度为 16%外,其他值的变化幅度都在 27%以上。这样的差异与城市所处的气候背景有关,上海属于亚热带季风气候,冬季不需进行集中供暖,而哈尔滨、北京、郑州均处于我国北方地区,为温带季风气候,受供暖导致的人为热释放

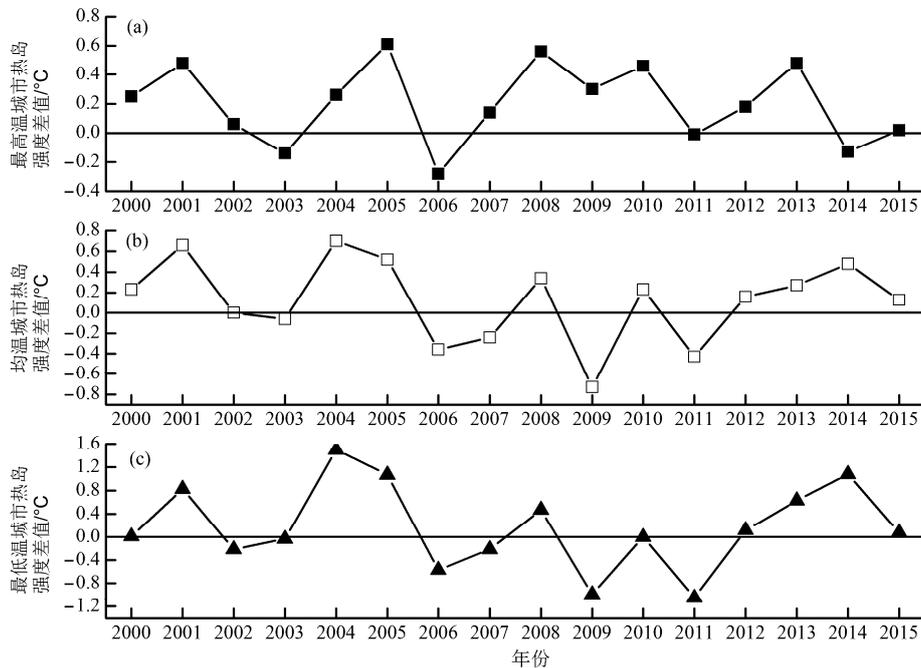


图4 上海市2000~2015年期间春节周与背景场城市热岛强度差值(背景场-春节周)的年际变化:(a) $\Delta UHII_{max}$; (b) $\Delta UHII_{mean}$; (c) $\Delta UHII_{min}$
Fig. 4 Interannual variability and linear trends of difference between the CNY week averages and the background averages (the background averages minus the CNY week averages) for the period of 2000–2015 in Shanghai: (a) $\Delta UHII_{max}$; (b) $\Delta UHII_{mean}$; (c) $\Delta UHII_{min}$

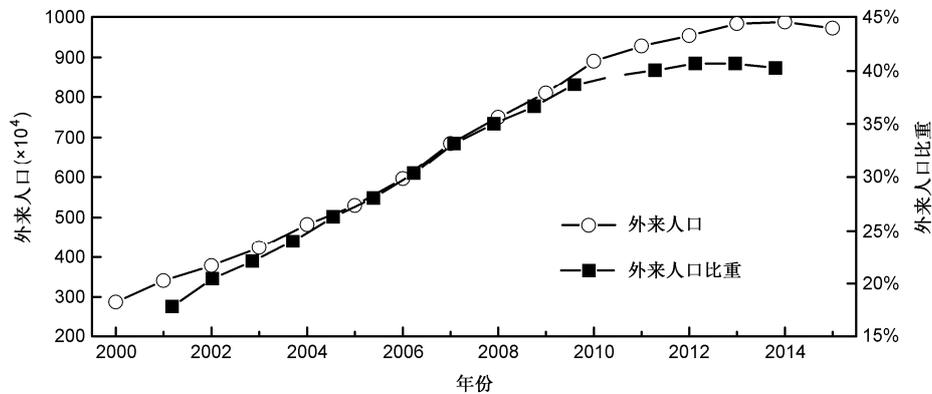


图5 上海市2000~2015年期间外来人口数量及其比重的年际变化
Fig. 5 Interannual variability of Shanghai's migrant population and its percentage in the total population for the period of 2000–2015

影响大。其次,这样的结果也与城市规模、人类活动密度以及人口迁移流动的规模和时空分布有关,上海市人口密度大(2015年上海、北京、郑州、哈尔滨的人口密度分别为3809、1323、1285、198人/平方公里)、绿化率低(2015年上海、北京、郑州、哈尔滨的绿化率分别为38.5%、59%、40.3%、46%) (数据来源于4个市2016年的统计年鉴或统计公报)、建筑密度大、高窄建筑多,即城市下垫面和城市内部形态对上海市城市热岛的形成起决定性作用,在这样的背景下,城市人口迁移流动影响所

占份额相对较小。

此外,从春节周城市热岛强度的分布特点来看,郑州和哈尔滨是日最低温热岛强度受人口流动的影响最大,而北京和上海则是日最高温热岛强度受人口流动影响大。4种主要的人为热排放中,工业生产、建筑和新陈代谢排热因人口流动带来的影响白天夜晚一致,而交通人为热则主要发生在白天。相关研究表明,北京(佟华等,2004)、上海(顾莹和束炯,2014)交通人为热是城市人为热排放的重要热源,上海从2000年起,交通人为热所

占比重就超过民用人为热, 占据人为热源的第二位。我们通过高德地图监控了上海市 2017 年 1 月 9 日 (农历腊月十二) 至 2 月 23 日 (农历正月二十七) 早晚高峰 (08:30 和 18:00, 北京时间, 下同) 的交通流量变化 (图略), 可以发现: 从春节假期开始前那周的周一 (2017 年 1 月 23 日, 农历腊月二十六) 开始, 交通拥堵状况有所缓解; 除夕前一天 (2017 年 1 月 26 日) 早高峰只有个别路段有拥堵; 从 1 月 26 号晚上开始到 2 月 2 日 (农历初六) 市区交通完全畅通无阻; 假期后第一天 (2 月 3 日) 个别路段拥堵, 4 日拥堵加剧, 6~10 日拥堵程度不断增加, 至 13 日 (农历十七) 路况恢复至正常水平。上海市 2017 年春节前后交通流量的变化反映了春节前后城市人口数量的变化, 体现了人口流出对白天交通人为热释放的影响, 很好解释了日最高温热岛强度春节周与背景场差值大的原因。

本文和以往北京 (Zhang et al., 2015)、郑州 (吴凌云等, 2016) 和哈尔滨 (Wu et al., 2015)、三亚 (Zhang and Wu, 2015) 的研究结果均表明人口迁移流动是影响城市气候的一个重要因素, 然而上海市春节期间日均温和日最低温城市热岛强度受人口流动影响不明显, 且春节周日最高温、日均温与日最低温热岛强度与背景场差值年际变化大、与春节周的人口流动量并不存在显著线性关系, 这说明人口流动对城市热岛效应的影响是复杂的, 其效应与气候背景、天气状况、城市规模、城市人口流动特征及分布甚至城市烟花爆竹燃放禁止与否 (通过影响气溶胶、云量及废热影响城市热岛效应) 等因素交织在一起, 其结果不可同一而论, 还需要更多其他城市的探讨。此外, 大城市内部的人口特别是外来流动人口分布不均, 春节期间人口流动对城市热岛效应的影响势必对城市的不同区域影响不一。因此, 未来更准确的研究结果将依赖城市高密度自动站观测数据或遥感数据来进一步分析不同时空尺度上人口流动对城市热岛效应的影响, 从而提高地区、国家乃至全球城市应对全球气候变化特别是夏季热浪冲击的能力。

致谢 感谢南京信息工程大学游庆龙教授为本文撰写提供了部分数据。

参考文献 (References)

Baldi M. 2014. Climate extremes in urban area and their impact on human health: The summer heat waves [C]// EGU General Assembly Conference.

Vienna, Austria: EGU.

Cao C, Lee X, Liu S D, et al. 2016. Urban heat islands in China enhanced by haze pollution [J]. *Nature Communications*, 7: 12509, doi: 10.1038/ncomms12509.

Elsayed I S M. 2012. Effects of Population Density and Land Management on the Intensity of Urban Heat Islands: A Case Study on the City of Kuala Lumpur, Malaysia [M]. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 267–283.

Fujibe F. 2009. Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan [J]. *International Journal of Climatology*, 29 (12): 1811–1822, doi: 10.1002/joc.1822.

顾莹, 束炯. 2014. 上海近 30 年人为热变化及与气温的关系研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 23 (8): 1105–1110. Gu Ying, Shu Jiong. 2014. Variation of anthropogenic heat in Shanghai in recent 30 years and its relation to air temperature [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin (in Chinese)*, 23 (8): 1105–1110, doi: 10.11870/cjlyzyyhj201408009.

Huang Q F, Lu Y Q. 2015. The effect of urban heat island on climate warming in the Yangtze River delta urban agglomeration in China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12 (8): 8773–8789, doi: 10.11870/cjlyzyyhj201408009.

Huang Q F, Lu Y Q. 2017. Urban heat island research from 1991 to 2015: A bibliometric analysis [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 1–13, doi: 10.1007/s00704-016-2025-1.

Menberg K, Blum P, Schaffitel A, et al. 2013. Long-term evolution of anthropogenic heat fluxes into a subsurface urban heat island [J]. *Environ. Sci. Technol.*, 47 (17): 9747–9755, doi: 10.1021/es401546u.

Morris C J G, Simmonds I, Plummer N. 2001. Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city [J]. *J. Appl. Meteor.*, 40 (2): 169–182, doi: 10.1175/1520-0450(2001)040<0169:QOTIOW>2.0.CO;2.

Oke T R. 1973. City size and the urban heat island [J]. *Atmos. Environ.*, 7 (8): 769–779, doi: 10.1016/0004-6981(73)90140-6.

彭保发, 石忆邵, 王贺封, 等. 2013. 城市热岛效应的影响机理及其作用规律——以上海市为例 [J]. *地理学报*, 68 (11): 1461–1471. Peng Baofa, Shi Yishao, Wang Hefeng, et al. 2013. The impacting mechanism and laws of function of urban heat islands effect: A case study of Shanghai [J]. *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 68 (11): 1461–1471, doi: 10.11821/dlxb201311002.

Rahman M A, Armson D, Ennos A R. 2015. A comparison of the growth and cooling effectiveness of five commonly planted urban tree species [J]. *Urban Ecosystems*, 18 (2): 371–389, doi: 10.1007/s11252-014-0407-7.

Rizwan A M, Dennis L Y C, Liu C. 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 20 (1): 120–128, doi: 10.1016/S1001-0742(08)60019-4.

Tan J G, Zheng Y F, Tang X, et al. 2010. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai [J]. *International Journal of Biometeorology*, 54 (1): 75–84, doi: 10.1007/s00484-009-0256-x.

唐梦霞. 2017. 2017 年春节“空城指数”东莞成全国第一上海排第六 [N]. *南方日报*. Tang Mengxia. 2017. The “empty index” during the 2017 Spring Festival [N] (in Chinese). *South Daily*.

- 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.
- Tran H, Uchihama D, Ochi S, et al. 2006. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8 (1): 34–48, doi: 10.1016/j.jag.2005.05.003.
- 王频, 孟庆林. 2013. 城市人为热及其影响城市热环境的研究综述 [J]. 建筑科学, 29 (8): 99–106. Wang Pin, Meng Qinglin. 2013. Review on research of anthropogenic heat emission and its influence on urban thermal environment [J]. Building Science (in Chinese), 29 (8): 99–106, doi: 10.3969/j.issn.1002-8528.2013.08.021.
- 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: 10.3878/AOSL20140087.
- 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.
- Wu L Y, Zhang J Y. 2017. Assessing population movement impacts on urban heat island of Beijing during the Chinese New Year holiday: Effects of meteorological conditions [J]. Theoretical and Applied Climatology, 1–8, doi: 10.1007/s00704-017-2043-7.
- 岳文泽, 徐建华. 2008. 上海市人类活动对热环境的影响 [J]. 地理学报, 63 (3): 247–256. Yue Wenze, Xu Jianhua. 2008. Impact of human activities on urban thermal environment in Shanghai [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 63 (3): 247–256, doi: 10.11821/xb200803003.
- 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 (17): 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 (11): 1038–1041, doi: 10.1007/s11434-015-0809-9.
- 张井勇, 吴凌云. 2016. 人类影响气候研究的一个新观点: 人口迁移流动的作用 [J]. 科学通报, 61 (15): 1629–1631. Zhang Jingyong, Wu Lingyun. 2016. A new view of human impacts on the climate: The role of population movements [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 61 (15): 1629–1631, doi: 10.1360/N972015-01079.
- Zhang K X, Wang R, Shen C C, et al. 2010. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island during rapid urbanization in Shanghai, China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 169 (1–4): 101–112, doi: 10.1007/s10661-009-1154-8.