

黄宏涛, 吴荣军, 王晓云, 等. 2016. 城市化对珠三角地区气温及日较差的可能影响. 气象, 42(7): 847-856.

城市化对珠三角地区气温及日较差的可能影响^{*1}

黄宏涛¹ 吴荣军¹ 王晓云^{2,3} 刘勇洪⁴ 房小怡⁴ 杜吴鹏⁴ 程 宸⁴

¹ 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044

² 中国气象局气象探测中心, 北京 100081

³ 中国气象局华云气象科技集团公司, 北京 100081

⁴ 北京市气候中心, 北京 100089

提 要: 利用珠三角地区 27 个国家基本、基准气象站近 50 年(1963—2012 年)的实际观测资料, 结合地理信息系统数据分析了珠三角地区平均气温, 平均最高和最低气温的年、季节及日较差的变化趋势以及城市化影响。分析表明: 近 50 年珠三角地区年平均气温、平均最高和最低气温均呈现增加的趋势, 日较差除从化、增城、珠海和上川岛呈现弱的正趋势外, 其余地区呈现下降趋势。城市化对广州、佛山、惠州年平均气温和平均最低气温的影响均为正值, 对日较差的贡献率均为负值, 日较差的减小是由城市化造成的, 就季节变化而言, 城市化影响以秋季最大。改革开放后(1979—2012 年)平均气温、平均最高和最低气温强增温区域比近 50 年范围扩大、强度增加, 年平均最高气温增温明显, 日较差的正值区域比近 50 年范围扩大、强度增加, 主要出现在珠三角北部一带, 高值中心达到 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 。就城市化而言, 广州平均气温、平均最高和最低气温的城市化影响比近 50 年都有所降低, 而佛山、惠州的平均气温、平均最低气温城市化影响均增大。

关键词: 珠三角, 城市化, 平均最高气温, 平均最低气温, 日较差

中图分类号: P461

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.07.008

Effect of Urbanization on Temperature and Diurnal Temperature Range in Pearl River Delta

HUANG Hongtao¹ WU Rongjun¹ WANG Xiaoyun^{2,3} LIU Yonghong⁴
FANG Xiaoyi⁴ DU Wupeng⁴ CHENG Chen⁴

¹ Application of Meteorological Institute, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

² Meteorological Observation Centre of CMA, Beijing 100081

³ Huayun Meteorological Corporation of Science and Technological of CMA, Beijing 100081

⁴ Beijing Municipal Climate Centre, Beijing 100089

Abstract: Combined with the geographic information data, a data set of 27 stations over the Pearl River Delta Region including all of ordinary and national basic climatological stations was used to analyze the annual and seasonal trend and urbanization effect for mean temperature, mean minimum temperature, mean maximum temperature and diurnal temperature range, respectively. The main results are as follows. In 1963—2012, all the weather stations underwent evident warming in terms of annual mean temperature, annual mean maximum temperature and annual mean minimum temperature, and witnessed significant decrease in annual mean diurnal temperature range except Conghua, Zengcheng, Zhuhai and Shangchuan Dao. In Guangzhou, Foshan and Huizhou, the contribution of the annual urban warming was positive for the

* 中国气象局气候变化专项(CCSF201506)、高分气象遥感应用示范系统(一期)(32-Y301308-9001-13)和北京市气象局城市气候评估创新团队建设计划共同资助

2015 年 9 月 10 日收稿; 2016 年 2 月 2 日收修定稿

第一作者: 黄宏涛, 主要从事气象生态城市气候与环境研究. Email: hhtuangliu@163.com

通信作者: 吴荣军, 主要从事气象生态污染生态研究. Email: wurj@nuist.edu.cn

mean temperature and mean maximum temperature. However, the contribution rate of urbanization was negative for the diurnal temperature range, indicating that the reduction of daily temperature range is mainly caused by the urbanization. As for the season, urbanization effect in fall is the strongest. Since the reform and opening policy was implemented, the range of warming areas has become expanded and the strength of warming become much stronger than the counterpart in the recent 50 years in the respect of annual mean temperature, mean maximum temperature and mean minimum temperature. Especially the warming of annual mean maximum temperature is much evident. For the diurnal temperature range, the positive regions have also increased, mainly distributing in northern area of the Pearl River Delta with maximum rate of $0.25\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$. Compared with the situation in the recent 50 years, the annual mean temperature, mean maximum temperature and mean minimum temperature has decreased in Guangzhou while the annual mean temperature and mean minimum temperature has increased in Foshan and Huizhou.

Key words: Pearl River Delta, urbanization, mean maximum temperature, mean minimum temperature, diurnal temperature range

引 言

IPCC 第五次评估报告指出,100 多年来全球地面平均温度上升了 $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$, 全球气候变暖已成为气候变化的主要趋势(Stocker et al, 2013)。温度升高除区域气候变化自身的因素外,城市化导致下垫面土地利用改变是不可忽视的重要因素(Vose et al, 2004; Cai et al, 2004; Marshall et al, 2004)。Karl 等(1993)对全球气温研究发现,1951—1990 年最低气温增长速率为 $0.21\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。Vose 等(2005)研究发现,1950—2004 年全球最低和最高气温增长速率分别 0.204 和 $0.141\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$, 日较差为 $0.063\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。Fumiaki(1995)对日本地区研究表明,城市化使日本地区平均增温速率为 $0.2\sim 0.5\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。Choi 等(2003)对韩国区域研究表明,1968—1999 年城市化使小城市增温速率为 $0.35\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$, 大城市区域为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。

中国区域和全球范围内总体变化趋势基本一致,但增温速率高于世界同期水平(史培军等, 2014)。在国内,多位学者对气温变化进行了研究,Zhou 等(2004)结合人口和植被覆盖指数(NDVI)资料计算中国东南部气温变化趋势,分析了城市化对气温的影响,得出气温日较差的变化趋势为 $-0.13\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。Zhang 等(2005)研究了中国东部气温变化趋势与城市化及土地利用的关系,得到城市化对平均气温变化趋势的贡献为 $0.12\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。Ren 等(2008)对中国北方地区研究表明,大

城市区域平均气温增温速率为 $0.16\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$, 小城市为 $0.07\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。Yang 等(2011)研究 1981—2007 年城市化对中国东部平均气温的影响,得到气温变化趋势为 $0.14\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$, 城市化贡献率为 24.2%。Ren 等(2014)研究中国大陆气温表明,城市化对气温日较差影响显著,在春、冬季尤为明显。周雅清等(2009)对华北地区研究发现,城市化对平均气温、平均最低气温影响显著,对国家基准站造成的增温分别为 0.11 和 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$, 对增温的贡献率分别达 39.3% 和 52.6%。张爱英等(2010)研究发现,城市化造成的国家站地面气温增暖偏差异常显著,应予以订正。司鹏等(2010)对中国东北部地区研究发现,城市热岛对气温的贡献较小。杨鹏等(2013)对石家庄地区研究表明,城市热岛强度变化与城市化进程呈现同步变化趋势。杨萍等(2013)利用自动站资料研究了城区、郊区气温的日变化差异及季节特征。刘伟东等(2014)研究 1978—2012 年城市化对北京地区气温变化的影响发现,日平均气温、最低气温在秋季影响最显著,日最高气温在夏季影响最大。韦玮等(2014)研究了我国前冬和后冬气温年际变化的特征及联系。董李丽等(2015)利用逐日气温资料和再分析大气环流资料研究了我国春季气温的时空变化特征。白莹莹等(2015)对重庆地区研究发现,城市化对平均气温、最低气温是增温影响,而对最高气温呈现降温效果。任国玉等(2015)研究城市化对石家庄气温的影响发现,平均最低、最高气温概率密度均向高温方向偏移,冷夜日数和暖夜日数的城市化影响分别为 -1.13 和 $1.48\text{ d} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。李易芝等(2015)研究

表明近 52 年长株潭地区呈现增温趋势,城市化对年平均气温、平均最高、最低气温的城市化影响贡献率分别为 24.0%、21.2%、15.2%,对年平均气温影响最大。改革开放后,珠三角地区城市化发展迅速,人类活动使城市下垫面发生很大变化。因此,本研究以珠三角地区为研究对象,研究平均气温、平均最高和最低气温及日较差变化趋势和城市化的可能影响,以期为更好地研究城市化与气温之间的关系提供参考,为改善城市环境质量和公共健康条件提供理论依据,为城市规划部门和环境管理部门提供决策支持。

1 资料与方法

1.1 研究区域与方法

珠三角城市群是我国乃至世界上最活跃的经济区之一,该地区的城市化效应日益显著。该研究的研究范围包括肇庆市、江门市、佛山市、广州市、中山市、珠海市、东莞市、深圳市和惠州市 9 个地级市所包括区域。由于珠三角地区常住人口较多,根据珠三角地区的实际情况,将人口为 1×10^8 人及以上的城市列为特大城市站,以广州为代表;人口 $5 \times 10^7 \sim 1 \times 10^8$ 人为大城市站,以佛山为代表;人口

$3 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7$ 人为中等城市,以惠州为代表;人口 6×10^5 人以下为郊区,以从化为代表。人口资料为台站所在地 2010 年常住人口统计数据(广东省统计局,2011)。选择近 50 年(1963—2012 年)该地区 27 个气象站(图 1)月值数据集并结合地理信息系统数据,研究珠三角地区城市化的发展对平均气温、平均最高和最低气温及日较差的可能影响,并选定具有代表性的 4 个站点(详细信息见表 1)详细研究平均气温、平均最高和最低气温及日较差的变化趋势以及城市化的可能影响。季节划分方法是:上一年 12 月至当年 2 月为冬季,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,年平均是当年 12 个月的平均。

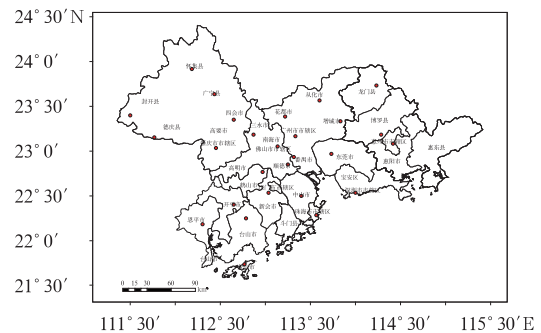


图 1 珠三角地区各台站的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of weather stations in the Pearl River Delta

表 1 珠三角地区代表台站信息

Table 1 Information of representative stations in the Pearl River Delta

	特大城市	大城市	中等城市	郊区
代表地区	广州	佛山	惠州	从化
代表站	广州站	南海站	惠阳站	从化站
台站所在地常住人口数/万人	1270	719	459	59
台站海拔高度/m	41	3.1	22.3	38.3
经纬度	23°10'N, 113°20'E	22°51'N, 113°15'E	23°05'N, 114°25'E	23°34'N, 113°36'E

1.2 数据资料

数据集所用基础数据来源于国家气象信息中心“地面基础气象资料建设专项的中国国家级地面气象站基本气象要素月值数据集(V1.0)”,该数据集使用 RHtest(PMFT/PMT)方法对气温月值序列做均一性检验订正,对检出的不连续点利用台站元数据信息进行逐点查证,同时结合元数据分析和气候资料序列合理性分析对各台站资料序列的均一性状况进行综合判断,该数据集经过了严格的质量控制,除东莞气象站缺测少量数据用平均值替代外,其他

站数据完整性和数据质量较好。

1.3 城市化影响定义

城市化影响(周雅清等,2009):是指由于城市热岛效应加强因素引起的城市附近台站地面气温(日较差)的线性趋势变化。设 T_u 为城市站的气温(日较差)变化趋势, T_r 为郊区站的气温(日较差)变化趋势。城市化影响(ΔT_{ur})为

$$\Delta T_{ur} = T_u - T_r \quad (1)$$

城市化影响贡献率:是指城市化影响对城市附近台站气温(日较差)趋势变化的贡献率,即城市化

影响在城市附近台站气温(日较差)趋势变化中所占的比率。设 E_u 为城市化影响贡献率,可用下式表示:

$$E_u = \Delta T_{ur} / |T_u| = (T_u - T_r) / |T_u| \quad (2)$$

由于 T_u 可能为负值,而 E_u 的正负取决于 T_u 和 T_r 的符号,所以除数取 T_u 的绝对值。 E_u 可能出现以下 3 种情况:(1) 当 $T_u > T_r$ 时, $E_u > 0$, 表明城市化影响为增温或使其增加;(2) 当 $T_u = T_r$ 时, $E_u = 0$, 表明城市化影响为 0;(3) 当 $T_u < T_r$ 时, $E_u < 0$, 表明城市化影响为降温或使其减小。显然,当 $T_u > 0, T_r < 0$ 时,或者当 $T_u < 0$ 或者 $T_r < 2T_u$ 时, $E_u > 100\%$ 。这些情况视同 $E_u = 100\%$ 。同样,当 $T_u > 0, T_r > 2T_u$ 时或 $T_u < 0, T_r > 0$ 时, $E_u < -100\%$, 这些情况视同 $E_u = -100\%$ 。

2 结果分析

2.1 珠三角地区气温年际变化趋势分析

1963—2012 年珠三角地区城市站、郊区站年气温及日较差变化趋势(表 2)可以看出,近 50 年城市站年平均气温、平均最低气温的变化趋势都高于郊区站,表明近 50 年珠三角地区的增温主要集中在城市附近。主要原因可能是城市热岛效应引起的(寿亦萱等,2012;白杨等,2013)。近 50 年城市站平均最高气温变化趋势小于年平均气温和最低气温,郊区从化站平均最高气温变化趋势最大为 $0.22 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。由此可以看出,珠三角地区平均气温、平

均最低气温显著增长区域主要发生在城市站附近,而郊区及乡村地带平均最高气温增长更显著。近 50 年城市站日较差均为负,说明日较差有减小的趋势,城市化对平均最低气温影响高于平均最高气温,这与王学峰等(2010)对昆明地区研究得出的结论一致。

由表 2 还可以看出,改革开放后,广州年平均最低气温比近 50 年的增长趋势略微降低,可能是 1996 年广州站迁站周围观测环境相对较好,受城市化影响较小造成的(广东省气象局,2010),而其他均增加,与很多研究得出的结论一致(郭家林等,2005;司鹏等,2010;曹广真等,2010)。改革开放后佛山年平均气温变化趋势最大,广州和惠州年平均最高气温的变化趋势较大,由于佛山年平均最高气温的增长率比近 50 年提高 40%,比年平均气温、平均最低气温增长率高,由此可以看出,改革开放后城市站年平均最高气温的变化最明显,这与长株潭地区平均气温变化最显著的研究结论不一致(李易芝等,2015)。可能是因为两地区纬度位置以及大气环流的差异形成不同的气候类型,海陆分布的差异改变了气温的地带性分布。

从 2003—2012 年珠三角地区城市站、郊区站气温及日较差变化趋势可以看出:近 10 年平均气温、平均最高气温变化趋势都小于 0,平均最高气温变化趋势最明显,广州、佛山、惠州、从化的变化趋势分别为 -1.50 、 -1.21 、 -1.05 和 $-0.99 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,而年平均最低气温仅惠州略微增加,从化变化趋势为 $0.77 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,可能是因为新世纪以来

表 2 珠三角地区年平均气温、平均最高气温和最低气温及日较差变化趋势 [单位: $^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$]

Table 2 Variation trends of annual mean temperature, mean maximum temperature, mean minimum temperature, and diurnal temperature range in the Pearl River Delta [unit: $^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$]

年代	气温	广州	佛山	惠州	从化
近 50 年 (1963—2012 年)	平均气温	0.23**	0.37**	0.23**	0.16**
	平均最高气温	0.21**	0.25**	0.14*	0.22**
	平均最低气温	0.25**	0.32**	0.32**	0.15**
	日较差	-0.04	-0.07*	-0.18**	0.07
改革开放后 (1979—2012 年)	平均气温	0.24**	0.50**	0.33**	0.27**
	平均最高气温	0.36**	0.35**	0.37**	0.46**
	平均最低气温	0.23*	0.37**	0.33**	0.15**
	日较差	0.13*	-0.02	0.04	0.31*
近 10 年 (2003—2012 年)	平均气温	-1.48*	-0.7	-0.53	-0.04
	平均最高气温	-1.50**	-1.21*	-1.05*	-0.99*
	平均最低气温	-1.18	-0.16**	0.03	0.77
	日较差	-0.32	-1.05**	-1.08*	-1.76*

注: * 和 ** 分别表示通过 0.05 和 0.01 显著性水平检验。

Note: * and ** denote passing through the test at 0.05 and 0.01 significance level respectively.

珠三角地区生态城市的建设,科学合理的利用了周边地区由明显的海陆风和山谷风形成的环境容量,优化工业布局,改善了区域的大气环境状况,使气温降低(王晓云等,2005)。

2.2 珠三角地区气温季节变化趋势分析

1963—2012年珠三角地区四季平均气温、平均最高和最低气温及日较差变化趋势(表3)可以看出,近50年广州、佛山、惠州四季平均气温、最低气温的增温幅度均高于从化站,且增温速率均大于 $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,大城市佛山增温最明显,广州、佛山春季和夏季平均最高气温的增温速率高于从

化,而惠州四季平均最高气温变化趋势均低于从化,这与表3中年平均最高气温惠州低于从化的变化一致,但春季大部分未通过显著性检验,可能主要是春季为冬季和夏季的中间季节,气温变化浮动大。四季气温增高过程中,除广州平均最高气温夏季升温最快外,其他都是秋、冬季增温最快。由分析可以看出,珠三角地区增温主要集中在秋、冬季,一方面原因可能是受城市化影响增温较快,另一方面原因是秋季和冬季一般在高压系统控制之下,天气系统较稳定,晴朗少云,风速小,日辐射达到全年最大,更有利于热量的积聚(窦浩洋等,2010)。

表3 1963—2012年珠三角地区四季平均气温、平均最高和最低气温及日较差变化趋势 [单位: $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$]

Table 3 Variation trends of seasonal mean temperature, mean maximum temperature, minimum temperature and diurnal temperature in the Pearl River Delta in 1963—2012 [unit: $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$]

城市	气温	春季	夏季	秋季	冬季
广州	平均气温	0.15	0.23**	0.24**	0.25*
	平均最高气温	0.16	0.28**	0.22**	0.22
	平均最低气温	0.15	0.22**	0.27**	0.33**
	日较差	0.01	0.06	-0.05	-0.11
佛山	平均气温	0.24**	0.30**	0.51**	0.42**
	平均最高气温	0.20	0.27**	0.31**	0.26
	平均最低气温	0.27*	0.23**	0.50**	0.37**
	日较差	-0.07	0.04	-0.19**	-0.11
惠州	平均气温	0.12	0.18**	0.29**	0.30**
	平均最高气温	0.01	0.19**	0.20*	0.18
	平均最低气温	0.22**	0.23**	0.35**	0.41**
	日较差	-0.21*	-0.04	-0.15*	-0.23*
从化	平均气温	0.09	0.17**	0.17**	0.20*
	平均最高气温	0.14	0.24**	0.26**	0.26
	平均最低气温	0.06	0.13**	0.14	0.23**
	日较差	0.08	0.11**	0.12	0.03

注: * 和 ** 分别表示通过 0.05 和 0.01 显著性水平检验。

Note: * and ** denote passing through the test at 0.05 and 0.01 significance level respectively.

2.3 珠三角地区气温及日较差空间变化趋势分析

图2给出了珠三角地区所有气象观测站近50年(1963—2012年)年平均气温、平均最高和最低气温及日较差变化趋势空间分布情况。分析表明,近50年珠三角地区年平均气温均呈现增加趋势,增温速率在 $0.11\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 以上,强增温区域主要集中在广州西部、佛山、东莞、深圳以及中山和江门北部区域,深圳、番禺、顺德增温速率达到 $0.34\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,而龙门、封开地区增温相对较弱。增温高值和低值中心分别对应着经济发达、城市化高的大城市区域和郊区乡村地带(与表5对应),这也说明城市化的快速

发展影响地面气温序列。相对于年平均气温,年平均最高气温强增温区域范围减小,强度略微降低,增温幅度在 $0.11\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 以上,强增温区域主要集中在花都—三水—顺德、番禺—中山一线,增温速率在 $0.27\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 以上,增温相对缓慢区域主要分布在珠三角东部和西北部一带,年平均最高气温与城市的发展程度没有明显的对应关系,东莞、深圳最高气温的变化率相对较低。年平均气温和年平均最高气温都是中部区域高于四周,并呈现南高北低的态势。相对于年平均气温和平均最高气温,平均最低气温的高增温区域范围明显扩大,强度增强,深圳达到 $0.56\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,珠三角东北部、西

北部和珠海地区增温缓慢。大部分区域气温日较差为负值,深圳的日较差达到 $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,只有从化、增城、珠海、上川岛呈现弱的正趋势。日较差的减小主要与年平均最低气温的显著上升有关。

图 3 给出了珠三角地区所有气象站改革开放后(1979—2012 年)年平均气温、平均最高、最低气温及日较差变化趋势的空间分布情况。分析表明,改革开放后年平均气温呈现明显增加趋势,大部分区

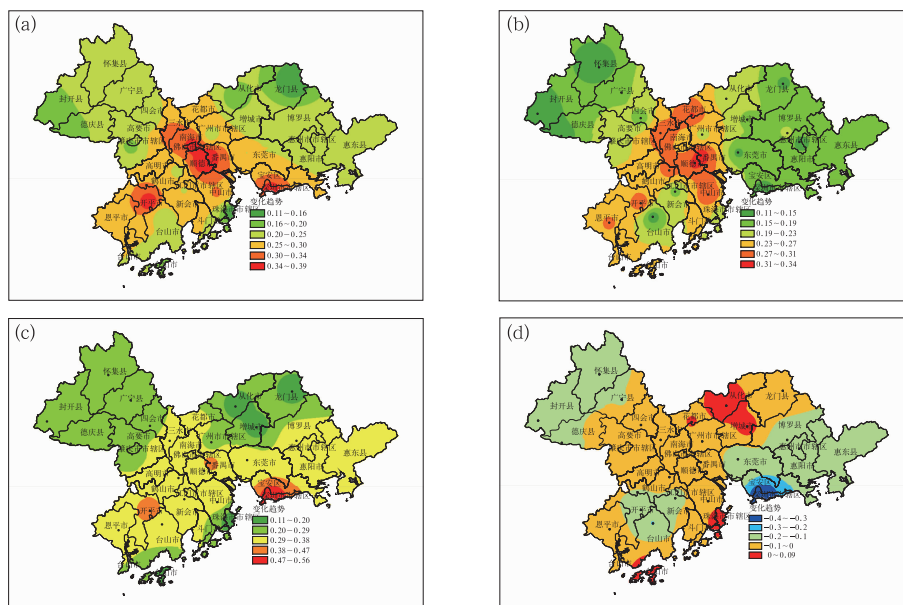


图 2 1963—2012 年珠三角地区年平均气温(a)、年平均最高气温(b)、年平均最低气温(c)及日较差(d)变化趋势的空间分布[单位: $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$]

Fig. 2 Distributions of trends of annual mean temperature (a), maximum temperature (b), minimum temperature (c) and diurnal temperature (d) in the Pearl River Delta in 1963—2012 [unit: $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$]

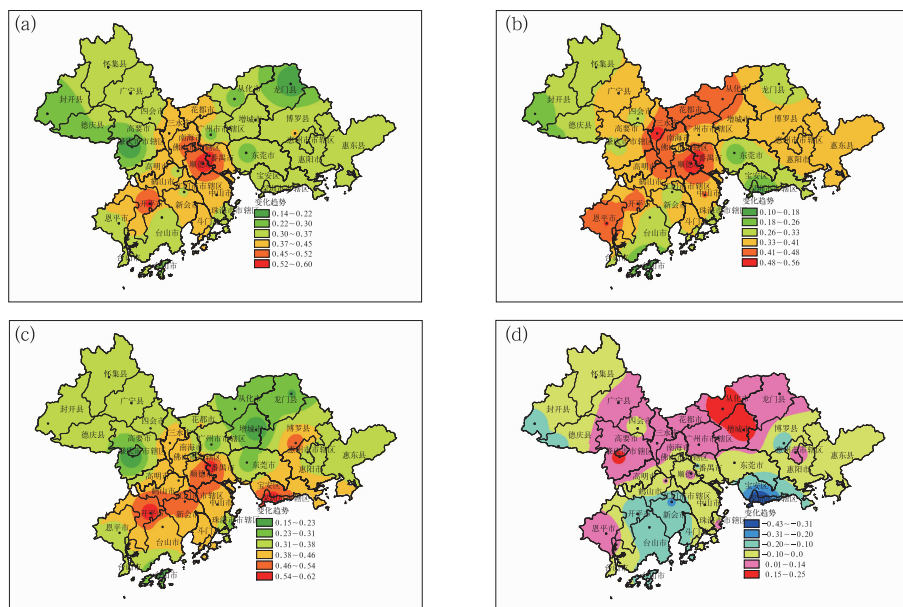


图 3 同图 2, 但为 1979—2012 年

Fig. 3 Same as Fig. 2, but in 1979—2012

域增温速率在 $0.30\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 以上,强增温区域主要集中在番禺、顺德、开平地区,增温速率达到 $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 以上,而龙门、肇庆西南部地区增温相对较弱。相对于年平均气温,平均最高气温强增温区域范围增加,但强度略微减小,大部分区域增温幅度在 $0.26\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 以上,只有在上川岛和深圳地区增温小于 $0.18\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,强增温区域主要集中在从化—花都—三水—顺德—番禺一带及恩平、开平地区,增温速率在 $0.41\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 以上。相对于年平均气温和年平均最高气温,年平均最低气温增温强度较强,大部分区域增温速率在 $0.31\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 以上,强增温区域主要集中在深圳和番禺—顺德—江门市辖区—开平一带,深圳、番禺、开平增温速率达到 $0.54\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,而龙门、从化、增城、东莞、高要地区增温相对较慢。气温日较差在珠三角大部分区域为正值,高值中心达到 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,高值和低值中心差值达到 $0.68\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 。

由图2、图3对比发现,改革开放后,珠三角地区年平均气温、平均最高、最低气温强增温区域比近50年范围扩大、强度增强,且年平均最高气温增温明显。可能是改革开放后珠三角地区经济逐步发展,城市化进程不断加快,城市规模迅速扩张、城市人口增加、城市结构和功能以及环境改变等造成气温升高。日较差的正值区域比近50年范围扩大、强度增加,是因为城市化对年平均最高气温增温比最低气温增温显著。

2.4 珠三角地区城市化的可能影响及贡献率分析

表4给出了广州、佛山、惠州近50年(1963—

2012年)地面气温和日较差城乡站比较获得的城市化的可能影响情况。由表4分析得出:1963—2012年广州、佛山、惠州平均气温、平均最低气温城市化贡献率均为正值,表明城市热岛可引起城市地面气温升高。佛山城市化影响最明显,城市化贡献率均达到100%,表明佛山的气温升高完全是由城市化引起的。广州、惠州年平均最高气温的城市化贡献率均为负值,最高气温增温速率城市区域小于郊区乡村地带,与崔林丽等(2008)在长三角地区的研究结果一致。在日较差变化趋势中,城市化贡献率均为-100%,说明城市化对平均最低气温的影响大于最高气温,日较差减小完全是城市化引起的。

表4还给出了广州、佛山、惠州改革开放后(1979—2012年)地面气温和日较差城郊站比较获得的城市化的可能影响情况。可以看出,除广州平均气温城市化贡献率为-11.1%,广州、佛山、惠州平均气温、平均最低气温城市化贡献率均为正值,且平均最低气温的城市化贡献率最显著。城市化对平均最高气温贡献率均为负值,说明改革开放后郊区平均最高气温的增温更明显。

比较1963—2012和1979—2012年两个时段得出:改革开放后,广州平均气温、平均最高、最低气温的城市化影响比近50年均降低,而佛山、惠州的平均气温、平均最低气温城市化影响均提高,可能是1996年广州站迁站后周围观测环境相对较好,因此受城市化影响较小(广东省气象局,2010),此外,佛山、惠州后期城市化发展较快,人口和建城区面积快速扩大,城市化影响增强较快。改革开放后广州、佛山、惠州平均最高气温城市化影响的变化趋势明显小于近50年,平均最低气温城市化影响不明显,日

表4 珠三角地区年平均气温、平均最高和最低气温及日较差城市化的可能影响
Table 4 Possible effect of urbanization on annual mean temperature, maximum temperature, minimum temperature trends and diurnal temperature range in the Pearl River Delta

年代	气温	广州		佛山		惠州	
		X/ $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	Y/%	X/ $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	Y/%	X/ $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	Y/%
近50年 (1963—2012年)	平均气温	0.07	43.8	0.21	100	0.07	43.8
	平均最高气温	-0.01	-4.5	0.03	13.6	-0.08	-36.4
	平均最低气温	0.10	66.7	0.17	100	0.17	100
	日较差	-0.11	-100	-0.14	-100	-0.25	-100
改革开放后 (1979—2012年)	平均气温	-0.03	-11.1	0.23	85.2	0.06	22.2
	平均最高气温	-0.10	-21.7	-0.11	-23.9	-0.09	19.7
	平均最低气温	0.08	53.3	0.22	100	0.18	100
	日较差	-0.18	-58.1	-0.33	-74.2	-0.27	-87.1

注: X为城市化影响, Y为城市化贡献率。

Note: X indicates urbanization effect, Y indicates the contribution rate of urbanization.

较差比近 50 年均减小,说明改革开放后日较差的减小主要是城市化对最高气温影响降低所致。日较差的城市化贡献率相比近 50 年减小,日较差的减小部分原因是由城市化引起的。

表 5 给出了广州、佛山、惠州近 50 年(1963—2012 年)地面气温四季城乡站比较所得的城市化的可能影响情况。1963—2012 年广州、佛山、惠州四季平均气温、平均最低气温序列中,城市化影响均为正值,表明城市热岛效应使台站附近四季气温有上升的趋势。平均气温、平均最高、最低气温的城市化影响均以秋季最大(与表 3 对应),与周雅清等(2009)对华北地区和高红艳等(2009)对西安地区研

究结果不同,两个地区城市化影响分别为冬季和春季最显著,这可能是北方地区冬季和春初实行供暖,燃烧燃料放出大量热量有利于城市热岛的形成和发展。在平均最高气温序列中,广州春、夏季以及佛山四季城市化影响均为正值,而惠州均为负值,这表明城市化对广州在春、夏季以及佛山四季造成增温,惠州则造成降温。在季节平均日较差变化趋势中,城市化影响在四季均为负值,城市化影响致使日较差均减小,城市化影响率为-100%,进一步说明日较差减小完全是由城市化引起的,与表 4 近 50 年的研究结果一致。

表 5 1963—2012 年珠三角地区各季节平均气温、平均最高和最低气温及日较差城市化的可能影响

Table 5 Possible effect of urbanization on seasonal mean temperature, maximum temperature, minimum temperature trends and diurnal temperature range in the Pearl River Delta

季节	气温	广州		佛山		惠州	
		X/°C · (10 a) ⁻¹	Y/%	X/°C · (10 a) ⁻¹	Y/%	X/°C · (10 a) ⁻¹	Y/%
春	平均气温	0.06	66.7	0.15	100	0.03	33.3
	平均最高气温	0.02	14.3	0.06	42.9	-0.13	-92.9
	平均最低气温	0.09	100	0.21	100	0.16	100
	日较差	-0.07	-100	-0.15	-100	-0.29	-100
夏	平均气温	0.06	66.7	0.06	35.3	0.01	5.9
	平均最高气温	0.04	16.7	0.03	12.5	-0.05	-20.8
	平均最低气温	0.09	100	0.10	76.9	0.10	76.9
	日较差	-0.05	-100	-0.07	-100	-0.15	-100
秋	平均气温	0.07	41.2	0.34	100	0.12	70.2
	平均最高气温	-0.04	-15.4	0.05	19.3	-0.06	-23.1
	平均最低气温	0.13	92.9	0.36	100	0.21	100
	日较差	-0.17	-100	-0.31	-100	-0.27	-100
冬	平均气温	0.05	25	0.22	100	0.10	50
	平均最高气温	-0.05	-19.2	0	0	-0.08	-30.8
	平均最低气温	0.10	43.5	0.14	60.9	0.18	78.3
	日较差	-0.15	-100	-0.14	-100	-0.26	-100

注:说明同表 4。

Note: illustration same as Fig. 4.

3 结论和讨论

本文采用 27 个地面台站月平均气温、平均最高气温、最低气温和城市化资料,分析珠三角地区 1963—2012 和 1979—2012 年气温及日较差变化趋势以及城市化的可能影响,得到以下结论:

(1) 近 50 年(1963—2012 年)珠三角地区平均气温、平均最高、最低气温都呈增长趋势,广州、佛山、惠州平均最低气温较最高气温增温明显,而改革开放后(1979—2012 年)广州、惠州、从化平均最高气温的增温最明显。

(2) 近 50 年珠三角地区平均气温变化趋势的高值和低值中心与大中城市站和郊区站有较好的对应关系,年平均气温和平均最高气温中部区域高于四周,呈现南高北低的态势。气温日较差大部分区域为负值,只在从化、增城、珠海、上川岛呈现弱的正趋势。改革开放后,年平均气温、平均最高、最低气温强增温区域比近 50 年范围扩大、强度增强,年平均最高气温增温明显,日较差的正值区域比近 50 年范围扩大、强度增加。

(3) 近 50 年广州、佛山、惠州平均气温、平均最低气温城市化贡献率均为正值。改革开放后平均最高气温的城市化贡献率均为负值,除广州平均气温

城市化贡献率为负值,广州、佛山、惠州平均气温、平均最低气温城市化贡献率均为正值,且平均最低气温的城市化贡献率最显著。比较1963—2012和1979—2012年两个时段发现,改革开放后,广州平均气温、平均最高、最低气温的城市化影响比近50年都有所降低,而佛山、惠州的平均气温、平均最低气温城市化影响均增大。

近10年(2003—2010年)珠三角地区的气温下降趋势明显,与近50年和改革开放后差异明显,深入分析近代年际变化及原因是今后研究的重点。站点选取是造成分析结果不同的主要原因(Ren et al, 2007),文中郊区站是根据人口数据选取的,结合下垫面选取郊区站能更好的研究城市化对气温的影响,郊区站还不是典型的乡村站,得到的城市化影响可能是低估的,站点的选取是未来研究的一个重点。不同地区、不同时间城市化只是引起气温序列变化的一个原因(Jones et al, 2008; Fujibe, 2009),在对珠三角地区的研究中也出现上述情况,因此,城市化和气候变化及其他因素的综合研究将是未来研究的重点。此外,城市化使下垫面发生改变,定量研究城市化对气温的影响也将是未来研究的重点,利用卫星遥感等手段将可以更精确地研究城市下垫面改变对气温的影响。

参考文献

- 白杨,王晓云,姜海梅,等. 2013. 城市热岛效应研究进展. 气象与环境学报, 29(2): 101-106.
- 白莹莹,程炳岩,王勇,等. 2015. 城市化进程对重庆夏季高温炎热天气的影响. 气象, 41(3): 319-327.
- 曹广真,侯鹏,毛显强,等. 2010. 北京市城市化对地表温度时空特征的影响. 气象, 36(3): 19-26.
- 崔林丽,史军,杨引明,等. 2008. 长江三角洲气温变化特征及城市化影响. 地理研究, 27(4): 775-786.
- 董李丽,李清泉,丁一汇,等. 2015. 全球变暖背景下我国春季气温的时空变化特征. 气象, 2015, 41(10): 1177-1189.
- 窦浩洋,张晶晶,赵昕奕,等. 2010. 珠江三角洲城市热岛空间分布及热岛强度研究. 地域研究与开发, 29(4): 72-77.
- 高红燕,蔡新玲,贺皓,等. 2009. 西安城市化对气温变化趋势的影响. 地理学报, 64(9): 1093-1102.
- 广东省气象局. 2010. 广东省基层气象台站. 北京: 气象出版社, 28-29.
- 广东省统计局. 2011. 广东省2010年第六次全国人口普查主要数据公报(第2号). http://www.gdstats.gov.cn/tjgb/t20110511_83329.htm.
- 郭家林,王永波. 2005. 近40年哈尔滨的气温变化与城市化影响. 气象, 31(8): 74-76.
- 李易芝,罗伯良,周碧,等. 2015. 城市化进程对湖南长株潭地区气温变化的影响. 干旱气象, 33(2): 257-262.
- 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.
- 任国玉,张雷,卞韬,等. 2015. 城市化对石家庄站日气温变化的影响. 地球物理学报, 58(2): 398-410.
- 史培军,孙劭,汪明,等. 2014. 中国气候变化区划(1961—2010年). 中国科学 地球科学, 44(10): 2294-2306.
- 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.
- 司鹏,李庆祥,李伟,等. 2010. 城市化进程对中国东北部气温增暖的贡献检测. 气象, 36(2): 13-21.
- 王晓云,汪光焘,陈鲜艳,等. 2005. 珠江三角洲城镇群发展规划与大气环境研究. 城市规划, 29(12): 29-32.
- 王学锋,周德丽,杨鹏武. 2010. 近48年来城市化对昆明地区气温的影响. 地理科学进展, 29(2): 145-150.
- 韦玮,王林,陈权亮,等. 2014. 我国前冬和后冬气温年际变化的特征与联系. 大气科学, 38(3): 524-536.
- 杨鹏,陈静,侯晓玮. 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,肖子牛,刘伟东,等. 2013. 北京气温日变化特征的城郊差异及其季节变化分析. 大气科学, 37(1): 101-112.
- 张爱英,任国玉,周江兴,等. 2010. 中国地面气温变化趋势中的城市化影响偏差. 气象学报, 68(6): 957-966.
- 周雅清,任国玉. 2009. 研究了城市化对华北地区最高、最低气温和日较差变化趋势的影响. 高原气象, 10(5): 1158-1166.
- Cai M, Kalnay E. 2004. Climate (communication arising): Impact of land-use change on climate. Nature, 427(6971): 213-214.
- Choi Y, Jung H S, Nam K Y, et al. 2003. Adjusting urban bias in the regional mean surface temperature series of South Korea, 1968—99. Int J Climatol, 23(5): 577-591.
- Fujibe F. 2009. Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan. Inter J Climatol, 29(12): 1811-1822.
- Fumiaki F. 1995. Temperature rising trends at Japanese cities during the last hundred years and their relationships with population, population increasing rates and daily temperature ranges. Meteor Geophys, 46(2): 35-55.
- Jones P D, Lister D H, Li Q. 2008. Urbanization effects in large-scale temperature records, with an emphasis on China. J Geophys Res: Atmos (1984—2012), 113(D16): 280-288.
- Karl T R, Knight R W, Gallo K P, et al. 1993. A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. Bull Amer Meteor Soc, 74(6): 1007-1023.
- Marshall C H, Pielke Sr R A, Steyaert L T, et al. 2004. The impact of anthropogenic land-cover change on the Florida peninsula sea breezes and warm season sensible weather. Mon Wea Rev, 132(1): 28-52.
- 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. Geophys Res Lett, 34(5): L05711.

- Ren G Y, Zhou Y Q. 2014. Urbanization effect on trends of extreme temperature indices of national stations over Mainland China, 1961-2008. *J Climate*, 27(6):2340-2360.
- Ren G Y, Zhou Y Q, Chu Z Y, et al. 2008. Urbanization effects on observed surface air temperature trends in North China. *J Climate*, 21(6):1333-1348.
- Stocker T F, Qin D, Plattner G K, et al. IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. New York Cambridge University Press.
- Vose R S, Easterling D R, Gleason B. 2005. Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004. *Geophys Res Lett*, 32(23):L23822.
- Vose R S, Karl T R, Easterling D R, et al. 2004. Climate (communication arising): Impact of land-use change on climate. *Nature*, 427(6971):213-214.
- Yang X, Hou Y, Chen B. 2011. Observed surface warming induced by urbanization in east China. *J Geophys Res: Atmospheres* (1984—2012), 116(D14):263-294.
- Zhang J Y, Dong W J, Wu L Y, et al. 2005. Impact of land use changes on surface warming in China. *Adv Atmos Sci*, 22(3):343-348.
- Zhou L, Dickinson R E, Tian Y, et al. 2004. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China. *P Nat Acad Sci US Amer*, 101(26):9540-9544.