

李易芝, 罗伯良, 周 碧. 城市化进程对湖南长株潭地区气温变化的影响[J]. 干旱气象, 2015, 33(2): 257–262. [LI Yizhi, LUO Boliang, ZHOU Bi. Impact of Urbanization on Air Temperature Change in the Changsha–Zhuzhou–Xiangtan Region of Hu’nan[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(2): 257–262], doi:10.11755/j.issn.1006–7639(2015)–02–0257

城市化进程对湖南长株潭地区气温变化的影响

李易芝, 罗伯良, 周 碧

(气象防灾减灾湖南省重点实验室, 湖南省气象科学研究所, 湖南 长沙 410118)

摘 要:利用 1961~2012 年湖南省长株潭地区 8 个气象站的逐日气温观测数据, 以郊区站作为背景场, 分析了长株潭地区城市化对年和季平均气温、最高气温、最低气温的影响, 在此基础上结合 1990 年代后长沙市人口、GDP 及建成区面积, 探讨了城市化进程与城乡温差的关系。结果表明: 近 52 a 来长株潭地区呈现增温趋势, 年平均气温、最高气温、最低气温的城市化影响贡献率分别为 24.0%、21.2%、15.2%, 城市化对长株潭地区年平均气温影响最大, 年最高气温次之, 年最低气温影响最小。城市化贡献率的最大值都出现在夏季, 而其最小值平均气温和最低气温出现在冬季, 最高气温出现在春季。城乡温差与长沙市人口、GDP 呈显著正相关, 相关系数分别为 0.69、0.41, 表明城市化进程对城区的气温变化有显著影响。

关键词:城市化; 长株潭地区; 气温

文章编号:1006–7639(2015)–02–0257–06 doi:10.11755/j.issn.1006–7639(2015)–02–0257

中图分类号:P423.3⁺4

文献标识码:A

引 言

城市化发展对区域及全球气候变化的影响是人们广泛关注的问题。2013 年 IPCC 第 5 次评估报告^[1]指出, 近 130 多 a(1880~2012 年)地球表面平均温度上升了 0.85℃, 2003~2012 年平均温度比 1850~1900 年平均温度上升了 0.78℃, 全球气候呈现出以变暖为主要特征的显著变化。近百年来, 中国年平均气温升高了 0.5~0.8℃, 预计 21 世纪我国气候将继续明显变暖^[2]。其中导致过去 50 a 气候变暖的主要原因中人类活动的可能性在 90% 以上^[3–5], 而人类活动主要表现在土地利用的变化、城市化发展和温室气体排放等方面^[6]。

城市化发展对区域气温变化的影响国外已有很多研究^[7–10]。Choi^[11]、Kalnay^[12]等研究发现, 过去 10 a 东亚国家城市化进程对年、季平均温度趋势有影响。Guo 等^[13]研究了城市化对中国大陆极端温度指数的影响, 发现气温日较差有显著降低的趋势, 最大降幅发生在冬季和春季, 且冷夜和暖夜分别有降低和上升的趋势。国内学者针对不同城市(群)

采取不同方法也进行了一些研究^[14–26]。Zhang 等^[14]分析城市化进程对中国大陆地表空气温度的影响, 指出城市站年平均温度有增暖趋势, 城市化贡献率达 27%。朱家其、黄利萍^[20–21]等采用城市乡村比较法分析了上海、天津市的城市热岛时空变化特征以及与城市化发展的关系。陈静林等^[23]运用 OMR 方法分析了城市化进程对珠江三角洲地区气温变化的影响。纳丽^[24]、段春锋^[25]等以高山站作为气候变化背景场来分析城市化对气温变化趋势影响。董春卿等^[26]通过高分辨率卫星夜间灯光数据获取最新城市地表分布, 并利用 WRF 模式对太原地区的一次高温过程进行数值模拟研究, 探讨城市下垫面扩张对大气边界层的影响。

长株潭(长沙、株洲、湘潭)城市群位于湖南省中东部, 是湖南省经济发展的核心增长极, 也是全省发展的创新源及产业结构升级的先导区。近十年, 随着长株潭城市群城市化进程的进一步加快, 城市规模迅速膨胀、人口急剧增长、建筑物越来越密集、机动交通工具成倍增长的同时, 极端天气气候事件频现, 严重影响了城市居民生产生活。因此, 本文利

收稿日期: 2014–05–16; 改回日期: 2014–08–20

基金项目: 湖南省气象局重点攻关课题“城市化进程对长株潭地区大气与环境的影响”资助

作者简介: 李易芝(1988–), 女, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事气候分析工作。E-mail: girl.lyz@163.com

用 1961 ~ 2012 年湖南省长株潭区域 8 个气象站的逐日平均气温、最高气温及最低气温资料,采用城郊对比法分析城市化对长株潭地区年和季平均气温、最高气温、最低气温的影响,从而了解不同时期长株潭的气温变化特征以及城市化发展对长株潭地区气温的影响。

1 方 法

采用最小二乘回归分析方法对长株潭地区城市站、郊区站及热岛效应的年、季平均气温、最高气温、最低气温变化趋势进行统计分析,并用 t 检验方法进行显著性检验。其中,3 ~ 5 月为春季,6 ~ 8 月为夏季,9 ~ 11 月为秋季,12 月至次年 2 月为冬季;城市代表站由马坡岭、株洲、湘潭 3 站表示,郊区代表站由宁乡、韶山、湘乡、醴陵、浏阳 5 站表示。

为定量评价长株潭地区城市化对气温的影响,定义如下术语:

(1)城市热岛强度:表征城市小气候影响下城区与郊区温差的程度,其表达式为:

$$T_D = T_U - T_R \quad (1)$$

式中, T_D 为城市热岛强度, T_U 为城区各站气温的平均值, T_R 为郊区各站气温的平均值。

(2)城市化影响:指由于城市化因素引起的气温趋势变化。其表达式:

$$\Delta T_D = \Delta T_U - \Delta T_R \quad (2)$$

式中, ΔT_U 为城市站气温变化趋势, ΔT_R 代表气候变化背景场郊区站的气温变化趋势。

(3)城市化影响贡献率:指城市化对城市附近台站气温变化的贡献率,即城市化影响在城市台站

气温变化趋势中所占的百分比。其表达式为:

$$E = \Delta T_D / |\Delta T_U| = (\Delta T_U - \Delta T_R) / |\Delta T_U| \quad (3)$$

其中 E 有 3 种情况:①当 $\Delta T_U > \Delta T_R$ 时, $E > 0$,表明城市化影响为增温或使其增加;②当 $\Delta T_U = \Delta T_R$ 时, $E = 0$,表明城市化影响为 0;③当 $\Delta T_U < \Delta T_R$ 时, $E < 0$,表明城市化影响为降温或使其减小。这里将 $E > 100\%$ 的情况视同 $E = 100\%$ 。同样,将 $E < -100\%$ 的情况视同 $E = -100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 年气温变化空间分布特征

图 1 给出了长株潭地区 1961 ~ 2012 年多年平均气温、最高气温、最低气温变化趋势的空间分布。可以看出,长株潭地区年平均气温均呈现一致增加的趋势,增温趋势高值带呈西北—东南向。其中马坡岭站年平均气温升温趋势最明显,气候倾向率达 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,其次是株洲和宁乡站,分别为 $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.16\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,而湘乡站的增温趋势相对最弱,仅为 $0.07\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。年平均最高气温的变化趋势与年平均气温的变化趋势相同,亦都呈现增加趋势,马坡岭站仍为增温最明显的站点,气候倾向率达 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,其次为株洲和湘乡站。可见,最高气温增温趋势的分布呈现出由城市站向四周减弱的空间特征。与年平均气温对比,年平均最低气温的变化趋势相同,空间分布相似。除城市站年平均最低气温增温趋势较强以外,郊区宁乡(城镇化建设明显)、浏阳、醴陵(老工业区)站也表现出较为明显的增温趋势,表明城市化进程对年最低气温的影响不显著。

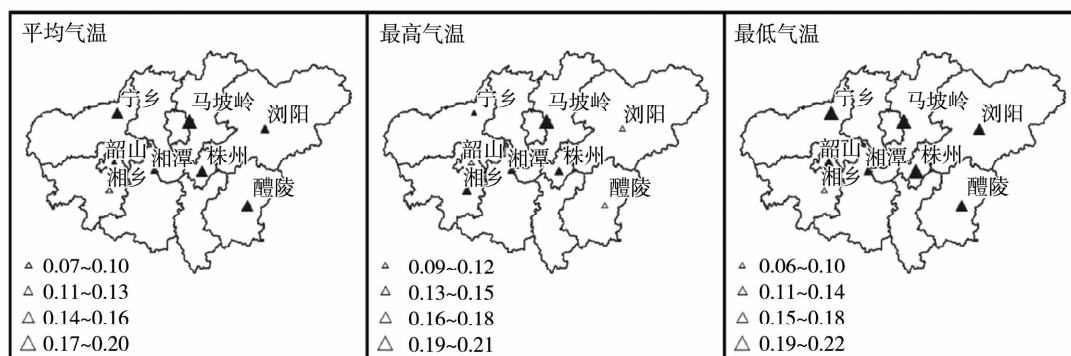


图 1 长株潭地区 1961 ~ 2012 年平均气温、最高气温和最低气温变化趋势空间分布(单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)
(实心的通过 0.05 的显著性检验)

Fig. 1 The spatial distributions of variation trend of annual mean temperature, maximum temperature and minimum temperature during 1961 - 2012 in Changsha - Zhuzhou - Xiangtan region (Unit: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)
(the solid areas passed the 0.05 significance level test)

2.2 城市热岛的年变化特征

图2为1961~2012年长株潭地区城市、郊区气温距平及其城市热岛强度的年序列。可以看出,城市年平均气温、最高气温、最低气温距平的变化趋势与郊区气温距平变化趋势基本一致,都有较明显的增温趋势,从20世纪90年代中期开始城市的增温趋势比郊区增温更持续。

由图2a可知,城市平均气温与背景平均气温的差值序列在1996年由负距平转为正距平,呈现明显的上升趋势,其升温幅度为 $0.035\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。而表征城市热岛强度的年最高气温(图2b)和最低气温(图2c) T_D 变化总体也呈现上升的趋势。其中,最高气温的 T_D ,

1990年以前以负距平为主,之后以正距平为主,升温幅度为 $0.031\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ (通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验);最低气温的 T_D ,2000年以前以负距平为主,之后均为正距平,升温幅度为 $0.026\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ (通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验),不如平均气温和最高气温升温趋势明显,且升温不同步。可见,城市化进程对长株潭地区平均气温的影响最大,最高气温次之,对最低气温的影响最小,城市化影响贡献率分别为24.0%、21.2%、15.2%。另外还发现,在20世纪90年代以前,由于长株潭地区城乡差距较小,热岛效应不明显,而后年平均气温、最低气温城郊之差有明显的负距平向正距平转换,热岛效应明显。

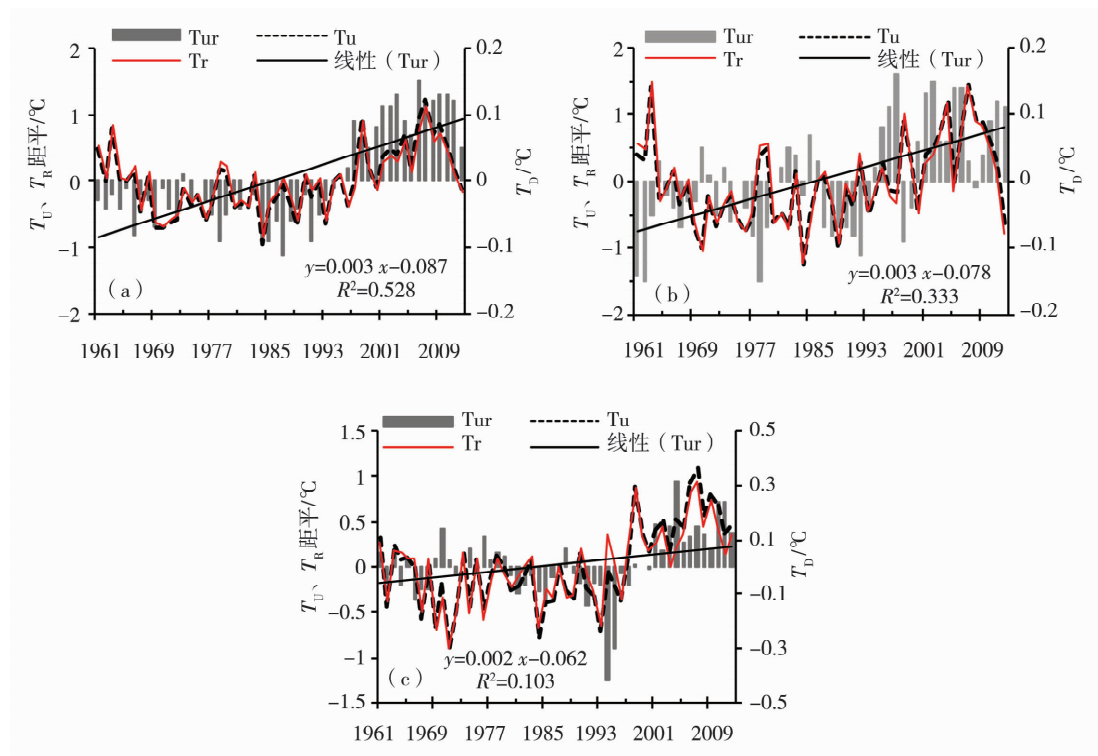


图2 长株潭地区1961~2012年城市、郊区气温距平及其城市热岛强度年变化
(a)平均气温,(b)最高气温,(c)最低气温

Fig.2 The annual changes of temperature anomaly in urban and suburb and intensity of urban heat island in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan region from 1961 to 2012
(a) mean temperature, (b) maximum temperature, (c) minimum temperature

2.3 城市热岛的季节变化特征

表1给出了长株潭地区1961~2012年四季城郊气温及其城市热岛强度的变化趋势。从平均气温来看,城区四季平均气温均呈现上升趋势,其中增温趋势春季最大(通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验),其次是冬季,夏季增温趋势最弱。郊区四季平均气温变化趋势不尽相同,春、秋、冬季平均气温变化均呈上升趋势,而夏季平均气温变化呈下降趋势(如浏

阳、韶山、湘乡站)。其中增温趋势也是春季最大,冬季次之。城市热岛强度四季变化趋势除冬季出现负值外,春、夏、秋季均为正效应,城市化贡献率夏季最大,其次是秋季,冬季最小,且为负贡献。

就最高气温而言,城市和郊区夏季最高气温的变化趋势与其它季节相反,均呈现降温趋势。其中城、郊增温趋势春季最大,分别为 $0.332\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.295\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ (均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验),依

次为秋季和冬季,且增温幅度均为城市大于郊区,而夏季降温幅度为郊区大于城市。四季城市热岛强度的变化趋势夏季最大,为 $0.043\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,其次为春季,冬天变化趋势最弱,仅为 $0.019\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。城市化贡献率各季节均为正贡献,其中夏季最大,秋季和冬季相差不大,春季最小。

对最低气温来说,城市和郊区四季变化趋势相同,均为增温趋势,但增温趋势最大的季节与平均气温、最高气温有所不同,冬季的增温趋势最大,分别

为 $0.261\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.247\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,其次是春季,夏季和秋季的增温趋势相对较小,且增温幅度仍为城市大于郊区。城市热岛强度变化趋势最大值出现在秋季和夏季,分别为 $0.046\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.030\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,春、冬季较小。城市化贡献率秋季和夏季较高,分别为 31.5% 和 26.1% ,春季和冬季相对较小,分别为 8.5% 和 5% 。表明城市化对春季和冬季最低气温影响相对较小。

表1 1961~2012年长株潭地区气温变化趋势及其城市化影响贡献
Tab.1 The changed trends of temperature and corresponding contribution of urbanization in Changsha - Zhuzhou - Xiangtan region during 1961 - 2012

时段	气温要素	线性趋势/ $(^{\circ}\text{C}/10\text{ a})$			贡献率/%
		T_U	T_R	T_D	
春	平均气温	0.246 **	0.204 **	0.041 **	16.7
	平均最高气温	0.332 **	0.295 **	0.036 **	10.8
	平均最低气温	0.176 **	0.160 **	0.015	8.5
夏	平均气温	0.036	-0.019	0.055 **	100.0
	平均最高气温	-0.033	-0.076	0.043 **	100.0
	平均最低气温	0.115 *	0.085 *	0.030 *	26.1
秋	平均气温	0.155 *	0.105	0.050 **	32.3
	平均最高气温	0.183 *	0.157	0.026 *	14.2
	平均最低气温	0.146 *	0.100	0.046 **	31.5
冬	平均气温	0.163	0.169	-0.006	-3.7
	平均最高气温	0.128	0.109	0.019 *	14.8
	平均最低气温	0.261 **	0.247 **	0.013	5.0

注:** 通过0.01的显著性检验,* 通过0.05的显著性检验

2.4 城市化进程及与城市热岛的关系

长株潭3市历来是湖南经济社会快速发展的地区,特别是2007年被国务院批准为全国“两型社会”综合配套改革试验区后,城市化进程进一步加速。鉴于长沙为长株潭城市群核心城市,故以长沙市作为长株潭城市群的代表城市,用城镇人口比重(城市化水平)、GDP、建成区面积3个城市化指标表征1990年代以来长株潭地区的城市化进程。由图3可见,1990年代以后长沙市人口呈现稳定的持续增长,人口从1993年的555.42万增加到2012年的660.62万,城市化水平从1993年的29.6%增加到2013年的70.60%(图3a),GDP自1990年代以来

呈指数形式增长(图3b),尤其是2007年以后GDP持续快速增长。与城市化相伴的建成区面积在1990年仅为 101 km^2 ,到2012年增至 315.8 km^2 ,20多a翻了3倍(图4),城市规模不断扩大。结合图2发现,城市热岛增强时间点与城市化快速发展期时间上基本一致。

为了进一步说明城市化进程对气温变化的影响,计算了长沙市人口、GDP与城乡气温差间的相关系数,发现城乡气温差与长沙市人口的相关系数达0.69,通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验,与GDP的相关系数为0.41,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,表明城市化进程对城市区域的气温变化有显著影响。

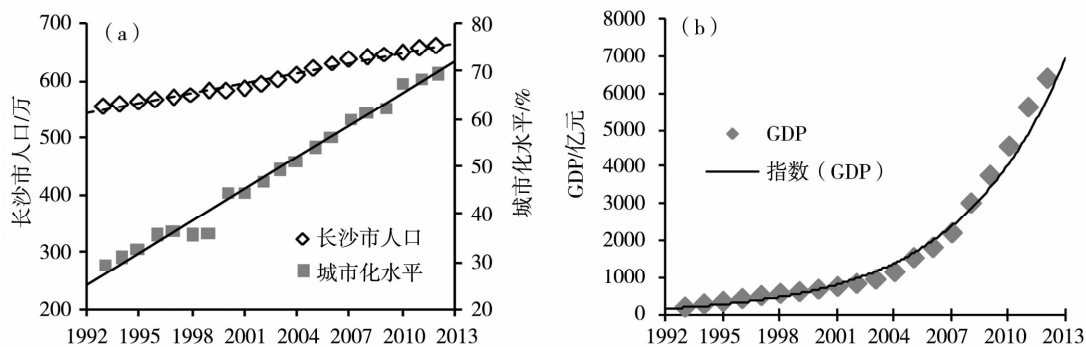
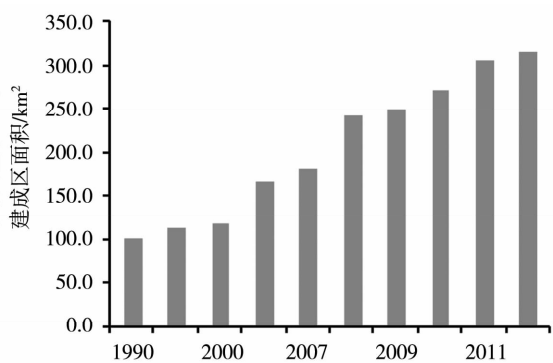


图3 长沙市1993~2012年人口、城市化水平(a)及GDP(b)变化趋势

Fig. 3 The change of population, urbanization level (a) and GDP (b) in Changsha during 1993–2012

图4 1990年代以后主要年份
长沙市建成区面积变化Fig. 4 The change of built-up urban area of
Changsha in main years after the 1990s

3 结论

(1) 近52 a间长株潭地区年平均气温城区增温趋势明显,马坡岭站增温最显著,气候倾向率为 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,增温大值带呈西北—东南向分布;年最高气温升温趋势城市站比郊区站明显,且整体呈现从城市站向乡村站减弱的分布形式;年最低气温的增温趋势空间分布与平均气温的相似。

(2) 城市化进程对长株潭地区年平均气温影响最大,年最高气温次之,对年最低气温的影响最小,城市化影响贡献率分别为24.0%、21.2%、15.2%。20世纪90年代以后,城市化对长株潭地区年平均气温和最高气温增温影响显著。

(3) 城市化对长株潭地区四季气温增温作用各异,城市化贡献率的最大值都出现在夏季,而其最小值平均气温和最低气温出现在冬季,最高气温出现在春季。

不同区域的气候变化不仅受全球气候大背景的影响,还受到地形、下垫面如城市化等因素的影响。

本文所得到的结论只针对长株潭城市化对气温变化的影响,其对降水、湿度、能见度的影响将另文研究。

参考文献:

- [1] 王绍武,罗勇,赵宗慈,等. IPCC第5次评估报告问世[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(6): 436–439.
- [2] 秦大河,陈振林,罗勇,等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 63–73.
- [3] 蒋样明,彭光雄,邵小东. 自然驱动是全球气候变化的重要因素[J]. 气象与环境科学, 2011, 34(2): 7–13.
- [4] Karl T R. Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1993, 76(6): 1007–1023.
- [5] Manabe S, Wetherald R T, Stouffer R J. Summer dryness due to an increase of atmospheric CO_2 concentration[J]. Climatic Change, 1981, 3: 347–386.
- [6] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [7] Wang W C, Zeng Z, Karl T R. Urban heat islands in China[J]. Geophys Res Lett, 1990, 17: 2377–2380.
- [8] Karl T R, Diaz H F, Kukla G. Urbanization: its detection and effect in the United States climate record[J]. J Climate, 1988, 1: 1099–1123.
- [9] Karl T R, Jones P D. Urban bias in area-averaged surface air temperature trends[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1989, 70: 265–270.
- [10] Karl T R, Jones P D. Comments on “Urban bias in area-averaged surface air-temperature trends” Reply to GM Cohen[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1990, 71: 571–574.
- [11] Choi J, Chung U, Yun J I. Urban-effect correction to improve accuracy of spatially interpolated temperature estimates in Korea[J]. J Appl Meteor, 2003, 42: 1711–1719.
- [12] Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land use change on climate[J]. Nature, 2003, 423: 528–531.
- [13] Guo Y R, Ya Q Z. Urbanization Effect on Trends of Extreme Temperature Indices of National Stations over Mainland China, 1961–2008[J]. Journal of Climate, 2014, 27: 2340–2360.
- [14] Zhang A Y, Ren G Y, Zhou J, et al. Urbanization effect on surface air temperature trends over China (in Chinese)[J]. Acta Me-

- teor Sin, 2010, 68: 957 – 966.
- [15] 周雅清, 任国玉. 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[J]. 高原气象, 2009, 28(5): 1158 – 1166.
- [16] 余华, 张慧琴, 包荣刚. 新疆吐鲁番市 1952 ~ 2012 年气温变化特征及城市化影响[J]. 干旱气象, 2014, 32(2): 215 – 219.
- [17] 白虎志, 任国玉, 张爱英, 等. 城市热岛效应对甘肃省温度序列的影响[J]. 高原气象, 2006, 5(1): 90 – 94.
- [18] 刘学锋, 于长文, 任国玉. 河北省城市热岛强度变化对区域地表平均气温序列的影响[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 763 – 770.
- [19] 郭凌曜. 城市化对局地气候的影响分析[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(3): 37 – 42.
- [20] 朱家其, 汤绪, 江灏. 上海市城区气温变化及城市热岛[J]. 高原气象, 2006, 5(6): 1154 – 1160.
- [21] 黄利萍, 苗峻峰, 刘月琨. 天津城市热岛效应的时空变化特征[J]. 大气科学学报, 2012, 5(5): 620 – 632.
- [22] 郭丽香, 章新平, 吴华武. 城市化对湖南长沙气温的影响[J]. 干旱气象, 2012, 30(3): 380 – 386.
- [23] 陈静林, 杜尧东, 孙卫国. 城市化进程对珠江三角洲地区气温变化的影响[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(2): 123 – 131.
- [24] 纳丽, 许建秋, 任少云, 等. 城市化对固原气温变化趋势的影响[J]. 干旱气象, 2013, 31(4): 738 – 743.
- [25] 段春锋, 缪启龙, 曹雯, 等. 以高山站为背景研究城市化对气温变化趋势的影响[J]. 大气科学, 2012, 36(4): 811 – 822.
- [26] 董春卿, 郭媛媛, 赵桂香, 等. 太原城市下垫面扩张对边界层特征影响的个例研究[J]. 干旱气象, 2014, 32(6): 916 – 925.

Impact of Urbanization on Air Temperature Change in the Changsha – Zhuzhou – Xiangtan Region of Hu'nan

LI Yizhi^{1,2}, LUO Boliang^{1,2}, ZHOU Bi^{1,2}

(1. Hu'nan Province Key Laboratory of Preventing – Diminishing Meteorological Disasters, Changsha 410118, China;
2. Institute of Meteorological Science of Hu'nan Province, Changsha 410118, China)

Abstract: Based on the daily air temperature data of 8 meteorological observation stations in the Changsha – Zhuzhou – Xiangtan region of Hu'nan Province from 1961 to 2012, the effects of urbanization on seasonal and annual mean, maximum and minimum temperature were analyzed through suburban station as background field, firstly. Then combined the population, GDP and build – up area in Changsha after the 1990s, the relationship between urbanization and difference of air temperature between urban and rural was discussed. The results showed that temperature had an obvious increase trend in the Changsha – Zhuzhou – Xiangtan region during 1961 – 2012, the effect of urbanization was significant on climate warming, and the contribution of urbanization to warming of annual mean, maximum and minimum temperature accounted for 24.0%, 21.2%, 15.2% respectively. Therefore, the impact of urbanization in the Changsha – Zhuzhou – Xiangtan region on annual average temperature was the most, while on annual minimum temperature was the least. Moreover, the contributions of urbanization to all temperature in summer were the most, while that to average and minimum temperature in winter and maximum temperature in spring were the least. There were significantly positive correlations between urbanization and population, GDP, and coefficients were 0.69 and 0.41 respectively, which indicated that the urbanization process had a remarkable influence on temperature change in urban.

Key words: urbanization; the Changsha – Zhuzhou – Xiangtan Region; air temperature