

石涛, 杨元建, 蒋跃林, 等. 2011. 城市热岛强度变化对安徽省气温序列的影响 [J]. 气候与环境研究, 16 (6): 779–788. Shi Tao, Yang Yuanjian, Jiang Yuelin, et al. 2011. Impact of the variation of urban heat island intensity on temperature series in Anhui Province [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (6): 779–788.

城市热岛强度变化对安徽省气温序列的影响

石涛^{1,2} 杨元建^{1,3,4} 蒋跃林² 荀尚培^{1,4} 张爱民^{1,2,4}

1 安徽省气象科学研究所, 合肥 230031

2 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036

3 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

4 安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室, 合肥 230031

摘要 根据安徽省81个气象台站的资料研究了其气温序列特点, 并选取了其中46个台站, 划分为城市站、乡村站、国家基本/基准站等类别, 对1966~2005年期间平均、最高、最低气温的年、季变化进行了分析比较。结果表明: 两个时段各类型台站3项气温的增温率、热岛增温率、热岛增温贡献率均表现为城市站最大, 国家基本/基准站次之, 乡村站最小。城市热岛对各类型台站年平均气温的贡献率在21.1%~37.8%之间浮动, 国家基本/基准台站受其影响较大。城市站和国家基本/基准站的热岛增温率为秋季最大, 春季和夏季次之, 冬季最小; 城市站和国家基本/基准站的热岛增温贡献率夏季最大, 秋季次之, 冬季和春季略小。因此, 安徽省城市热岛效应对城市站和国家基本/基准站气温序列影响较为复杂并不容忽视。

关键词 热岛强度 气温序列 热岛增温率 贡献率

文章编号 1006-9585 (2011) 06-0779-10 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Impact of the Variation of Urban Heat Island Intensity on Temperature Series in Anhui Province

SHI Tao^{1,2}, YANG Yuanjian^{1,3,4}, JIANG Yuelin², XUN Shangpei^{1,4}, and ZHANG Aimin^{1,2,4}

1 Anhui Institute of Meteorological Sciences, Hefei 230031

2 School of Resource and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036

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

4 Key Laboratory of Atmospheric Sciences and Satellite Remote Sensing of Anhui Province, Hefei 230031

Abstract Using the data of 81 weather stations of Anhui Province, the characteristics of temperature series were analyzed. The selected 46 stations were classified into urban stations (US), rural stations (RS), and basic/reference stations (BS). The seasonal and annual variations of mean, maximum, and minimum temperatures at the 46

收稿日期 2010-06-03 收到, 2011-09-12 收到修定稿

资助项目 科技部科技基础性工作专项 2007FY110700, 安徽省国际科技合作计划项目 07080703005, 2010 年安徽省气象局硕博科研启动基金

作者简介 石涛, 男, 1987 年出生, 硕士, 主要从事卫星遥感与气候环境变化研究。E-mail: stahau1987@163.com

通讯作者 杨元建, E-mail: yyj1985@mail.ustc.edu.cn

stations were analyzed during 1966–2005. The results show that warming rate of temperature, warming rate of urban heat island (UHI), and contributive rate of UHI at US, BS, and RS were the maximum, the second, and the minimum, respectively. The contribution rates of UHI effect on annual mean temperature fluctuated from 21.1% to 37.8%. With the UHI effect on the seasonal warming, the maximum warming rates of UHI at US and BS occurred in autumn, followed by spring and summer, and the minimum occurred in winter; the maximum contributive rates of UHI at US and BS occurred in summer, followed by autumn, and in winter and spring they were a little smaller. It is suggested that the impacts of the variation of UHI intensity on temperature series are complicated and cannot be ignored in Anhui Province.

Key words urban heat island intensity, temperature series, warming rate of urban heat island, contributive rate

1 引言

政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第三次评估报告 (Folland et al., 2001) 中指出, 20 世纪中期以来的变暖由人类活动引起的可能性在 66% 以上, 而 IPCC 第四次评估报告 (Trenberth et al., 2007) 中为可能性在 90% 以上。目前的气候变化不仅是自然的变化, 在很大程度上可能还与人类活动有密切关联 (Folland et al., 2001; Trenberth et al., 2007; 杨元建等, 2011), 其中热岛效应是一个重要的表现。现在普遍认为 (Kalnay and Cai, 2003; Hua et al., 2008; Ren et al., 2008), 热岛效应是指在气温上, 城区气温高、郊区气温低的现象。IPCC 第四次评估报告 (Trenberth et al., 2007) 指出: 在大陆尺度和半球尺度上, 城市化对气温序列的影响可以忽略不计 (Parker, 2004, 2006)。Peterson (2003) 的研究认为城市热岛对气温序列的影响甚小。然而 Kalnay and Cai (2003) 发现气温日较差减小率的一半起因于城市化和其他土地利用的变化, 强调了城市化的热岛效应和其他土地利用变化对全球增暖的重要贡献。我国学者已对不同地区的热岛强度 (周淑贞和束炯, 1994) 与气温变化之间的关系做了大量研究, 赵宗慈 (1991) 在对中国 39 年气温变化与城市化影响的研究中认为, 中国的城市化影响已相当显著; 刘学峰等 (2005) 的研究表明, 河北省的热岛强度对季节平均气温增暖的作用是夏季最大、冬季最小, 全省年平均气温的增温率分布较为均匀; 陈正洪等 (2005) 的研究认为, 湖北省的热岛强度对季节平均气温增暖的作用是夏季最小, 其他季节相差不多, 全省年

平均气温的增温率分布较为均匀; 白虎志和任国玉 (2006) 认为, 甘肃省的热岛强度对季节平均气温增暖的作用是冬季最大、秋季最小, 全省年平均气温的增温率“中间大、两头小”; 华丽娟等 (2006) 利用中国东部地区 1961~2000 年 61 个大城市站点和 169 个小城镇站点的逐日最高、最低温度资料, 对比分析了大城市和小城镇的最高、最低温度和日较差极端值以及相对极端值变化特征, 结果表明我国东部存在一定的城市化增暖现象。可见, 我国城市热岛效应对气温序列影响确实存在, 并存在典型的地域特征。

目前针对安徽全省范围内热岛效应对气温序列影响方面的研究甚少。本文选取安徽省 46 个台站 1966~2005 年的历史气温资料, 分析全省气温的变化特点, 统计出各类型台站 3 项气温要素的增温速率的年、季变化规律, 从而得出各台站气温变化序列中热岛效应引起的变化对其总增温的贡献率。

2 资料与方法

安徽省共有地面气象台站 81 个, 其中国家基准气候站 3 个, 每天观测 8 次 (每 3 小时观测 1 次); 国家基本气象站 21 个, 每天观测 4 次 (02、08、14、20 时, 北京时间, 下同); 国家一般气象站 57 个, 每天观测 3 次 (08、14、20 时)。

选取年平均、年最高、年最低气温 3 项气温要素, 针对 1966~2005 年的全省 81 个站点气温的变化趋势特征做了分析:

$$Y_i = a_0 + a_1 t_i, \quad (1)$$

其中, Y_i 为气温要素; t_i 为时间; a_0 为截距, a_1 为线性趋势项, 把 $a_1 \times 10$ 作为趋势系数 [单位:

$^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}]$ 。

为消除海拔高度等地理因子的影响,文中气温数据采用距平处理(陈正洪等,2005;周雅清和任国玉,2005)。具体方法如下:

$$T_d = T - \bar{T}, \quad (2)$$

其中, T_d 为台站的年平均气温距平值, T 为台站的年平均气温, $\bar{T}$ 为台站 1966~2005 年气温均值。

有研究(Karl et al., 1988; Karl and Jones, 1989; Wang et al., 1990; 周雅清和任国玉, 2005; 华丽娟等, 2006; Hua et al., 2008; Jones et al., 2008; Ren et al., 2008)表明,分析城市热岛效应的影响,关键在于确定受到热岛效应影响较小的乡村站来作对比。根据白志虎和任国玉(2006)的研究方法,本文在确定城市站、乡村站时,主要以 2005 年安徽的人口资料(安徽省统计局,2006)、台站的地理位置及其气温变化率为主要依据。具体选取方法如下:

(1) 根据安徽的实际情况,把台站所在居民点的固定人口在 10 万以上的作为城市站(US),10 万以下的作为乡村站(RS)。

(2) 参考台站的具体位置及搬迁历史,城市站是指观测站点位于城市环境内,乡村站是指观测站点远离城市,同时应满足选取台站的搬迁次数尽量少(Liu et al., 2007)。

(3) 乡村站的增温率应明显小于周边站点,而城市站的增温率则反之。根据以上标准,最终选取了 7 个城市站(2005 年平均人口为 73 万;1986 年平均人口为 39 万)、24 个乡村站(2005 年平均人口为 9 万;1986 年平均人口为 5 万)、24 个国家基本/基准站(BS),作为分析研究对象。从图 1 中可以看出,站点的空间分布相对比较均匀,站与站之间水平距离普遍在 20~50 km,属于 β -中尺度范围,资料的代表性较好,且数据都经过地面数据质量控制和均一性检验(温华洋等,2008)。

US 和 RS 确定后,定义各类台站的气温变化率与 RS 的年平均气温变化率之差为其区域热岛增温率,热岛增温率在其气温总变化率中所占的比例为热岛增温贡献率。当 RS 气温变化率为负,且 US 和 BS 为正时,热岛增温率直接记为 100%(陈正洪等,2005;初子莹和任国玉,2005)。

3 结果与分析

3.1 年平均气温变化

利用 1966~2005 年全省 46 个台站的历史资料,对其平均值进行统计,近 40 年安徽年平均气温在 14~17 $^{\circ}\text{C}$ 之间波动变化。由图 2 可知,在全球变暖的背景下,全省平均气温显著上升,气温变化率为 0.0292 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$,其趋势系数为 0.292 $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。

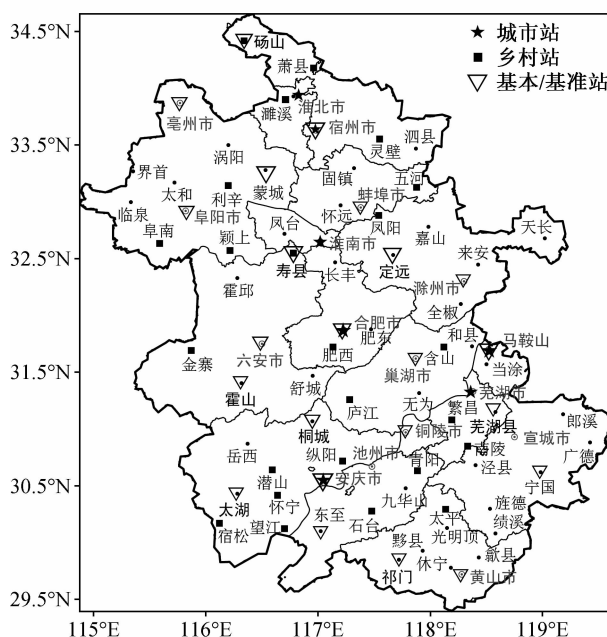


图 1 安徽省城市站、乡村站和基本/基准站分布

Fig. 1 The location of urban stations, rural stations, and basic/reference stations in Anhui Province

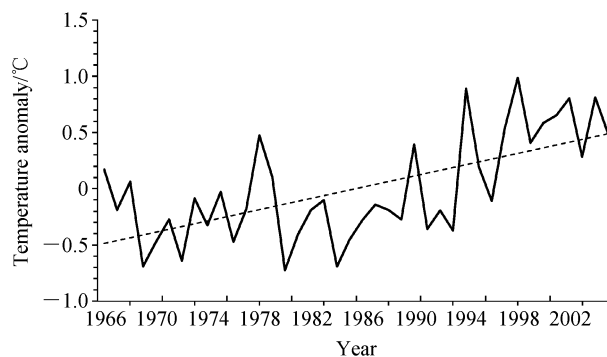


图 2 安徽省 1966~2005 年间年平均气温距平变化

Fig. 2 The variation of annual mean temperature anomalies in Anhui Province during 1966 - 2005

利用历史资料,计算出每个台站近 40 年的平均气温以及全省近 40 年的平均气温 (15.87°C),由此得到近 40 年安徽省各台站平均气温相对全省平均气温距平的空间分布 (图 3)。由图 3 可知,全省以淮河、长江、大别山等为界,气温分布差异较为明显,安徽省南部气温明显大于北部,呈梯度状增加,尤以安庆地区最为明显。同时,可以看出,淮南市、宿州市、合肥市、芜湖市、安庆市等地的等值线较为密集,也就是说这些城市的增温速率较大。

3.2 不同类型台站增温率的年变化分析

从图 4 可以看出,各类型台站的气温距平变化趋势是一致的,都呈现出波动上升的变化趋势。但各类站点的近 40 年的增温率却不尽相同,其中,US 的年平均、年最高、年最低气温的增温率分别为 $0.380^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 、 $0.272^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 、 $0.546^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$,BS 的年平均、年最高、年最低气温的增温率分别为 $0.308^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 、 $0.265^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 、 $0.417^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$,RS 的年平均、年最高、年最低气温的增温率分别为 $0.243^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 、 $0.200^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 、 $0.310^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。

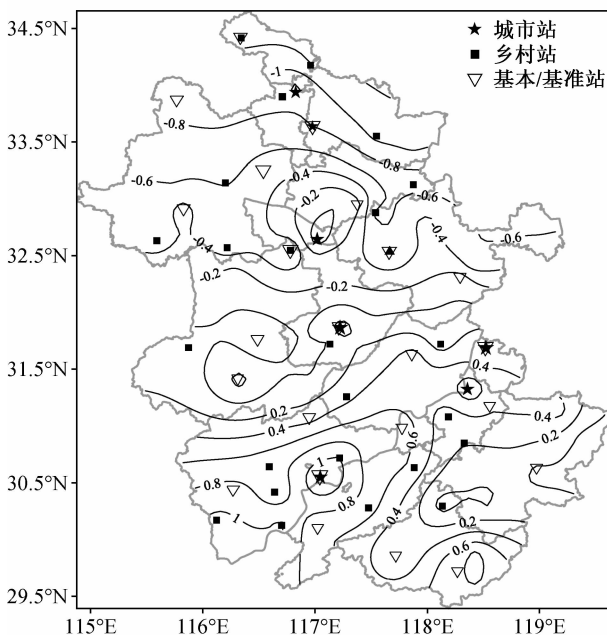


图 3 安徽省各台站 1966~2005 年平均气温相对全省平均气温距平 (单位: $^{\circ}\text{C}$) 的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of annual mean temperature anomalies ($^{\circ}\text{C}$) in Anhui Province during 1966 - 2005

$^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。US 的增温率明显高于 BS 和 RS 的增温率,说明在 1966~2005 年间,US 受到热岛效应的影响已相当显著。同时,BS 的增温率又略高于 RS 的增温率,这是由于 BS 的增温率没有剔除城市化对气温的影响。从台站搬迁的历史资料来看,很多 BS 由于台站搬迁或城市化,其一部分已经位于城市环境之内,另一部分正在被城市所包围,在安徽省的平均气温序列构建过程中,资料一般来源于 BS,这可能会使研究结果偏高。

1966~1985 年间,US、BS 与 RS 的变化趋势相差不多。而在 1986~2005 年间,各类型台站的增温率都大幅增大,且 US、BS 与 RS 的差值也在增大,说明 US、BS 的热岛强度也在逐步增强。

3.3 不同类型台站增温率的季节变化分析

下面分别给出了安徽省 1966~1985 年、1966~2005 年和 1986~2005 年 3 个时间段的 US、RS 和 BS 平均增温速率。从表 1 可以看出,1966~1985 年间 US、BS 的增温率与 RS 的差值有正有负,绝对值很小,且四季和不同气温要素的规律性不强;而在表 2 中两者的差值皆为正值,差值很大,说明安徽省 1986 年以后存在明显的热岛效应。安徽省各地区的城市化主要是在 80 年代后期,与我国这个时期的城市化迅速发展一致 (高红燕等, 2009)。为突出说明 1986 年后的城市化对安徽近 40 年的气温序列都有显著的影响,根据刘学峰等 (2005) 和陈正洪等 (2005) 的研究方法,下文重点分析 1966~2005 年和 1986~2005 年两个时段内的热岛效应。

1966~2005 年和 1986~2005 年两个时段的 US、BS、RS 各气温要素增温率的季节变化规律均为 $\text{US} > \text{BS} > \text{RS}$; 同一类型台站的不同气温要素的变化规律为最低气温增温率 $>$ 平均气温增温率 $>$ 最高气温增温率。对比表 2 和表 3 可见,1966~2005 年,3 类台站各气温要素冬季的增温率最高,夏季最小,春季和秋季相当;1986~2005 年,3 类台站各气温要素春季的增温率最高,秋季其次,冬季和夏季相当。在增温迅速的近 20 年中,除了冬季各气温要素的增温率变化不大外,其他季节 3 类台站各气温要素的增温率都较近 40 年的增温率有了明显的上升。同时,US、BS 与 RS 的差值也正在增大,说明近 20 年中春季、夏季、秋季各台站的热岛效应均在加剧。

表 1 安徽省 1966~1985 年城市站、乡村站和基本/基准站平均、最高、最低气温增温速率
Table 1 Warming rates of mean temperature, maximum temperature, and minimum temperature for urban stations, rural stations, and basic/reference stations in Anhui Province during 1966 – 1985 $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$

	平均气温增温率			最高气温增温率			最低气温增温率		
	US	BS	RS	US	BS	RS	US	BS	RS
冬季	0.417	0.444	0.423	0.486	0.481	0.437	0.590	0.498	0.584
春季	−0.026	−0.004	−0.121	0.049	−0.033	0.039	0.017	0.010	−0.166
夏季	−0.571	−0.423	−0.546	−0.842	−0.632	−0.939	−0.027	0.199	−0.099
秋季	0.102	0.115	0.128	−0.335	−0.389	−0.419	0.589	0.639	0.581
年	−0.020	0.033	−0.029	−0.161	−0.143	−0.221	0.292	0.337	0.225

表 2 安徽省 1986~2005 年城市站、乡村站和基本/基准站平均、最高、最低气温增温速率
Table 2 Warming rates of mean temperature, maximum temperature, and minimum temperature for urban stations, rural stations, and basic/reference stations in Anhui Province during 1986 – 2005 $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$

	平均气温增温率			最高气温增温率			最低气温增温率		
	US	BS	RS	US	BS	RS	US	BS	RS
冬季	0.670	0.531	0.419	0.430	0.355	0.301	0.933	0.713	0.528
春季	1.134	0.949	0.813	1.125	0.886	0.790	1.185	1.068	0.965
夏季	0.657	0.474	0.324	0.644	0.463	0.310	0.832	0.548	0.391
秋季	0.890	0.686	0.528	0.699	0.672	0.505	1.144	0.842	0.635
年	0.837	0.660	0.521	0.724	0.594	0.476	1.023	0.792	0.629

表 3 安徽省 1966~2005 年城市站、乡村站和基本/基准站平均、最高、最低气温增温速率
Table 3 Warming rates of mean temperature, maximum temperature, and minimum temperature for urban stations, rural stations, and basic/reference stations in Anhui Province during 1966 – 2005 $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$

	平均气温增温率			最高气温增温率			最低气温增温率		
	US	BS	RS	US	BS	RS	US	BS	RS
冬季	0.593	0.529	0.471	0.460	0.444	0.405	0.738	0.664	0.654
春季	0.426	0.357	0.295	0.379	0.375	0.349	0.572	0.376	0.254
夏季	0.089	0.029	−0.036	−0.046	−0.034	−0.176	0.293	0.232	0.068
秋季	0.412	0.319	0.243	0.297	0.275	0.222	0.583	0.399	0.266
年	0.380	0.308	0.243	0.272	0.265	0.200	0.546	0.417	0.310

3.4 增温率的空间分布

从图 5a 可知, 1966~2005 年间, 安徽省的年平均气温增温率在 $0.151^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ (灵璧) ~ $0.467^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ (宿州市) 之间, US 的增温率在 $0.400^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 左右, RS 的增温率在 $0.250^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 左右。全省年平均气温增温率分布较为均匀, 南北相差不大。同时, 在淮北、宿州、安庆、芜湖等城市形成了高值中心, 说明这些城市的热岛效应对年平均气温序列存在一定的影响。不同的是, 1986~2005 年期间大部分台站的增温率都有了明显的提高, 可知近 20 年增温迅速 (图 5b), 并且淮北市、宿州市、淮南市、

马鞍山的等值线密度较图 5a 更为密集, 说明上述城市近 20 年热岛效应对年平均气温的影响进一步加强。然而, 安庆市、芜湖市等地的等值线疏密程度相对图 5a 并没有太大变化, 有的还变得相对稀疏, 说明这些城市的热岛效应出现了弱化, 这可能有两方面的原因: 1) 芜湖市、安庆市均位于长江沿岸, 市区水体面积较大, 在一定程度上缓解城市热岛。2) 近 20 年来, 作为“乡村站”的观测环境也在发生变化, 这些乡镇的城市化速率在提高, 使得大、中城市站和小城市站的热岛增温率数值在下降。由此可以看出, 在热岛效应的研究中, “乡村站”的选择始终是一个难点。因

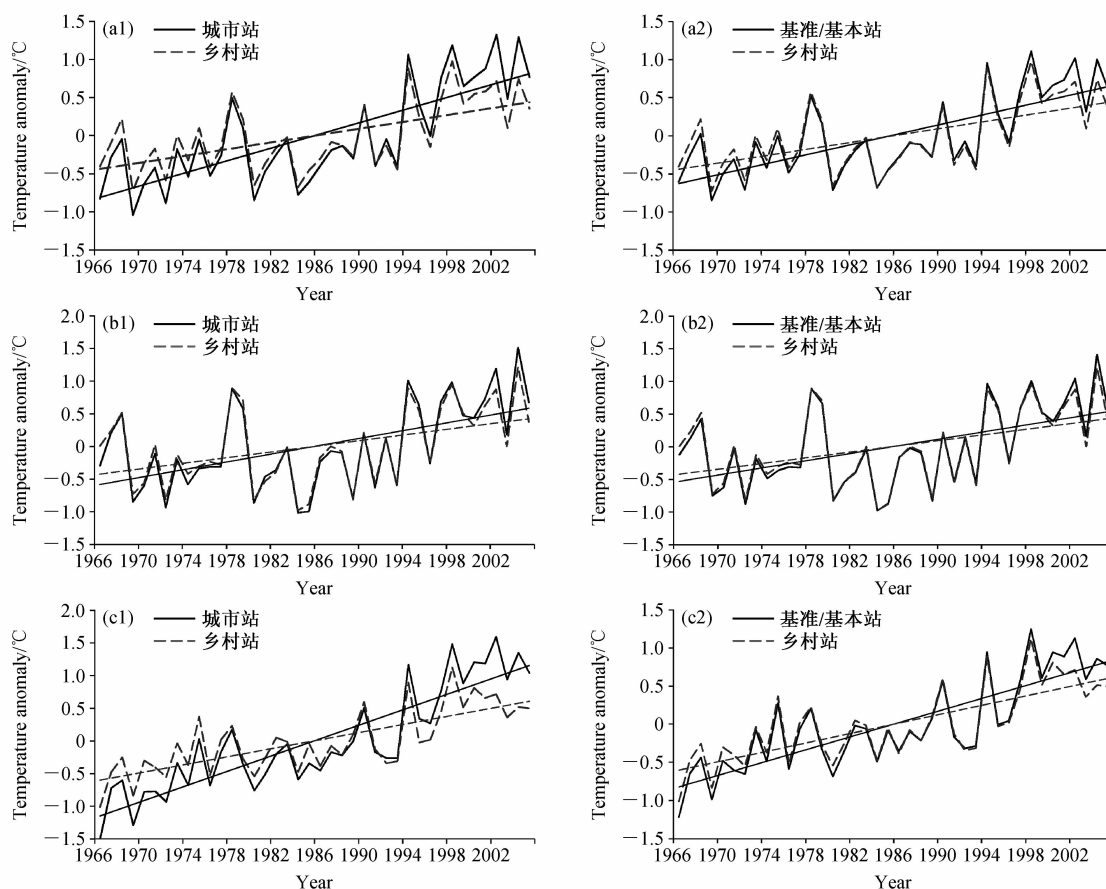


图4 安徽省城市站、乡村站、基本/基准台站 1966~2005 年 (a1、a2) 年平均气温距平、(b1、b2) 年最高气温距平、(c1、c2) 年最低气温距平

Fig. 4 Anomalies of (a1, a2) annual mean temperature, (b1, b2) annual maximum temperature, and (c1, c2) annual minimum temperature for urban stations, rural stations, and basic/reference stations in Anhui Province during 1966 - 2005

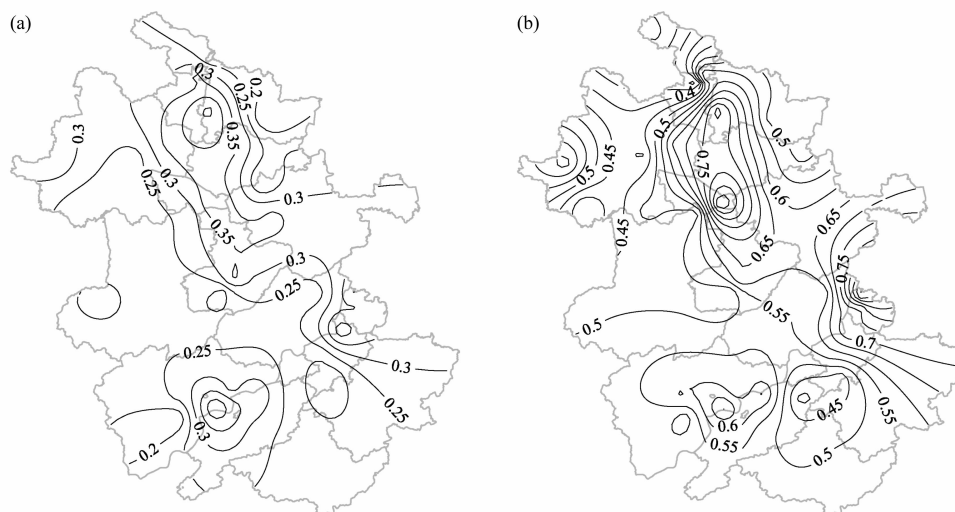


图5 (a) 1966~2005 年和 (b) 1986~2005 年安徽省年平均气温增温率 [单位: $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$] 空间分布

Fig. 5 Spatial distributions of warming rates of annual mean temperature [$^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$] in Anhui Province (a) from 1966 to 2005 and (b) from 1986 to 2005

此,本文得到的各类城市台站和国家台站的热岛增温率和贡献率可能偏小。

从图 6a 可知,安徽省年最高气温的增温率在 $0.037^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ (利辛) $\sim 0.470^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ (芜湖市) 之间,安徽南部地区年最高气温的增温率明显高于安徽北部地区,呈现出由北向南递增的规律。同时,全省各城市并未出现明显的高值中心,即在过去 40 年中,热岛效应对最高气温的影响不大。在图 6b 中,年最高气温增温率

的分布与图 6a 大致相同,各台站的增温率都有了显著的提高,可以看出近 20 年年最高气温增温较为迅速。同时,全省各城市站都出现了高值中心,说明在近 20 年中,热岛效应对年最高气温产生了一定的影响。总体上看,年最高气温的增温率 and 其所受到的热岛效应的影响小于年平均气温。

从图 7a 可知,安徽省年最低气温的增温率在 $0.118^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ (肥西) $\sim 0.753^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ (淮北市) 之间,安徽南部地区年最低气温的增温

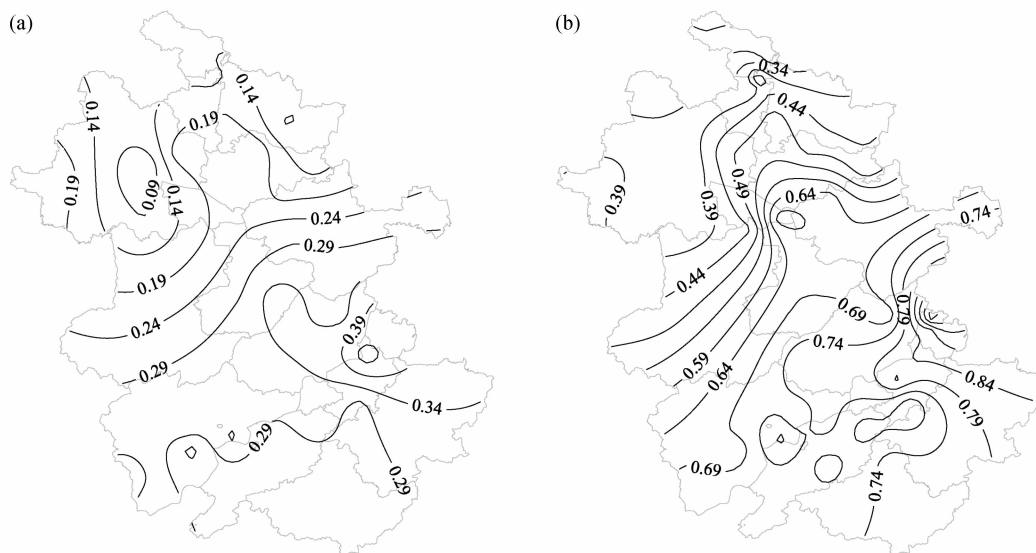


图 6 同图 5, 但为年最高气温增温率

Fig. 6 Same as Fig. 5, but for warming rates of annual maximum temperature

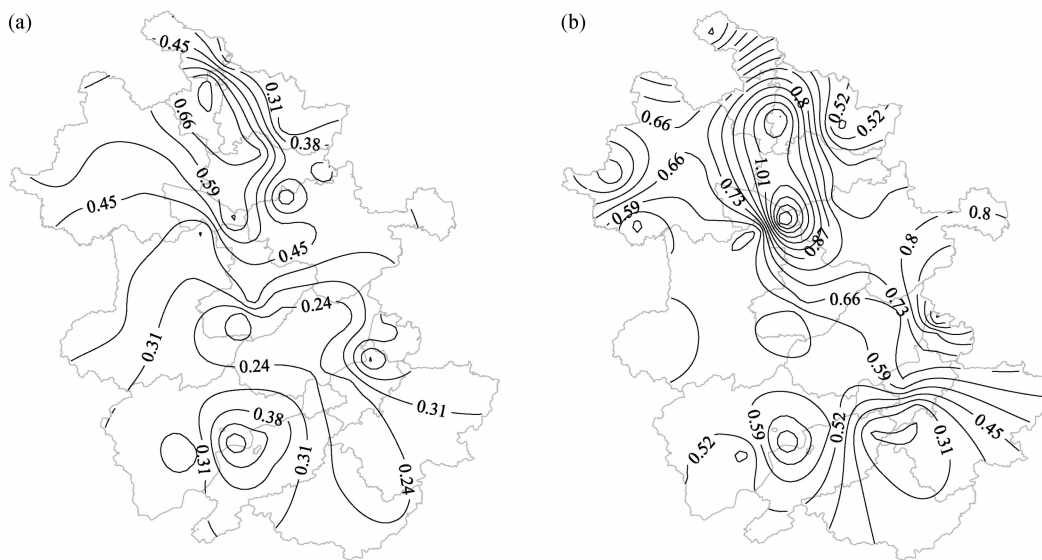


图 7 同图 5, 但为年最低气温增温率

Fig. 7 Same as Fig. 5, but for warming rates of annual minimum temperature

率明显低于安徽北部地区,呈现出从北向南递减的规律,这与年最高气温的增温速率分布相反。同时,全省各城市站出现了高值中心,说明在过去 40 年中,热岛效应对年最低气温存在一定的影响。从图 7 可见,各台站的增温率都有了显著的提高,同样近 20 年的年最低气温的增温也非常迅速。同时,全省各城市站的等值线密度较图 7a 更为密集,说明在近 20 年中,热岛效应对年最低气温的影响进一步增强。总体上看,年最低气温的增温率和其所受到的热岛效应的影响大于平均气温。

3.5 平均气温热岛增温率和热岛增温贡献率

由表 4 可知,在 1966~2005 年间,安徽省 US 平均气温的热岛增温率为 $0.137^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,BS 为 $0.065^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,US 和 BS 平均气温的增暖中分别有 36.1% 和 21.1% 是由城市化引起的。从季节上看,US 和 BS 的热岛增温率为秋季最大,冬季最小;US 和 BS 的热岛增温贡献率夏季最大,秋季次之,冬季和春季略小。在表 5 中,

表 4 安徽省 1966~2005 年城市站和基本/基准站平均气温的热岛增温率和贡献率

Table 4 The warming rates of average air temperature and the contributions to the total amounts of temperature of urban heat island for urban stations and basic/reference stations in Anhui Province during 1966 - 2005

	增温率/ $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$		贡献率	
	城市站	基本/基准站	城市站	基本/基准站
冬季	0.122	0.058	20.60%	11.00%
春季	0.131	0.062	30.80%	17.40%
夏季	0.124	0.064	100%	100%
秋季	0.169	0.076	41.00%	23.80%
年	0.137	0.065	36.10%	21.10%

表 5 安徽省 1986~2005 年城市站和基本/基准站平均气温的热岛增温率和贡献率

Table 5 The warming rates of average air temperature and the contributions to the total amounts of temperature of urban heat island for urban stations and basic/reference stations in Anhui Province during 1986 - 2005

	增温率/ $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$		贡献率	
	城市站	基本/基准站	城市站	基本/基准站
冬季	0.251	0.112	37.5%	21.1%
春季	0.321	0.136	28.3%	14.3%
夏季	0.333	0.150	50.7%	31.6%
秋季	0.362	0.158	40.7%	23.0%
年	0.316	0.139	37.8%	21.1%

近 20 年间 US 和 BS 的热岛增温率和热岛增温贡献率的规律和过去 40 年大致相同,但各站的热岛增温率都有了显著的提高,表明 US 和 BS 的热岛效应得到了加强,而各站的热岛增温贡献率变化不大,说明各台站的增暖受到温室效应、大尺度环流和其他因素较大的影响(刘学峰等,2005)。

4 结论与讨论

4.1 讨论

(1) 由于本文所选取的乡村站不可避免地要受到城市化的影响,因此,各台站的热岛增温率和热岛增温贡献率都是最小估计值。

(2) 城市站和基本/基准站夏季的热岛增温贡献率在 1966~2005 年达到 100%。这是因为对应乡村站的增温率为负值 $[-0.036^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}]$,这和很多学者的研究结果类似(陈正洪等,2005;刘学峰等,2005;周雅清和任国玉,2005;唐国利和丁一汇,2006)。在全球变暖的背景下,受大气环流和其他因素的影响,这些地区出现雨水增多、云量增加、日照时间减少的现象,这可能是使部分台站夏季温度呈下降趋势的主要原因(唐国利和丁一汇,2006)。

(3) 本文得到的结论与其他研究不尽相同,如:安徽省存在明显的热岛效应时段主要是 1986 年以后,与华丽娟等(2006)和高红燕等(2009)的结果类似;城市站和国家基本/基准站的热岛增温率为冬季最小,与刘学峰等(2005)研究河北省的结论类似;而白虎志和任国玉(2006)的研究表明甘肃省冬季的热岛增温率最大。可见,安徽省热岛效应对气温序列的影响存在显著的地域和时空特征。

(4) 本文分析了安徽省最高气温、最低气温、平均气温的季节、年际变化特征,验证了安徽省热岛效应的存在及其对气温序列的影响,下一步我们将根据华丽娟等(2006)的研究方法,进一步引入日较差极端值和相对极端值变化来完善安徽省热岛效应对气温序列的影响。

4.2 结论

在全球变暖的趋势下,分析研究了城市化对台站增暖的影响,得出了各台站不同时期不同季节增温率的变化规律,主要结论如下:

(1) 1966~2005 年期间, 安徽乡村站(背景值)的平均气温和最高气温在夏季呈下降趋势。

(2) 1966~2005 年全省年平均气温均有不同程度的增加, 各类型台站的年平均、年最高、年最低气温的增温率最大为城市站, 基本/基准站次之, 乡村站最小, 且后 20 年各台站的增温速率尤为显著, 说明安徽省 1986 年以后存在明显的热岛效应。

(3) 1966~2005 年和 1986~2005 年期间, 城市站、基本/基准站、乡村站各气温要素增温率的季节变化规律均为城市站>基本/基准站>乡村站。同一类型台站的不同气温要素的季节变化规律是年最低气温增温率>年平均气温增温率>年最高气温增温率。同时, 1966~2005 年期间 3 类台站各气温要素冬季的增温率最高, 夏季最小, 春季和秋季相当; 1986~2005 年期间 3 类台站各气温要素春季的增温率最高, 秋季其次, 冬季和夏季相当。

(4) 近 40 年, 全省年平均气温的增温率南北分布相差不大; 年最高气温的增温率呈现出由南向北递减的分布; 年最低气温的增温率呈现出由南向北递增的分布。其中, 3 项气温要素增温率的高值中心均分布在城市站周围。

(5) 近 40 年, 全省城市站和基本/基准站的热岛效应在不断加强, 但对台站增暖的贡献变化却不大。热岛强度的季节差异明显: 城市站和基本/基准站的热岛增温率为秋季最大, 春季和夏季次之, 冬季最小; 城市站和基本/基准站的热岛增温贡献率夏季最大, 秋季次之, 冬季和春季略小。

致谢 安徽省气候中心的唐为安先生和两位审稿专家对本文提出了有益建议, 在此一并感谢。

参考文献 (References)

安徽省统计局. 2006. 安徽统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 107-109. Anhui Statistical Bureau. 2006. Anhui Statistical Yearbook [M] (in Chinese). Beijing: China Statistics Press, 107-109.

白虎志, 任国玉. 2006. 城市热岛效应对甘肃省气温序列的影响 [J]. 高原气象, 25 (1): 91-94. Bai Huzhi, Ren Guoyu. 2006. The effect urban heat island on change of regional mean temperature in Gansu Province [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 25 (1): 91-94.

陈正洪, 王海军, 任国玉. 2005. 湖北省城市热岛强度变化对区域气温序列的影响 [J]. 气候与环境研究, 10 (4): 771-779. Chen Zhenghong, Wang Haijun, Ren Guoyu. 2005. Effects of urban heat island magnitude on average surface air temperature series in Hubei Province, China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 771-779.

初子莹, 任国玉. 2005. 北京地区城市热岛强度变化对区域气温序列的影响 [J]. 气象学报, 63 (4): 534-540. Chu Ziyang, Ren Guoyu. 2005. Change in urban heat island magnitude and its effects on mean air temperature record in Beijing region [J]. Acta Meteorology Sinica (in Chinese), 63 (4): 534-540.

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 [J]. 地理学报, 64 (9): 1093-1101. Gao Hongyan, Cai Xinling, He Hao, et al. 2009. The impact of urbanization on the surface temperature in Xi'an [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 64 (9): 1093-1101.

华丽娟, 马柱国, 曾昭美. 2006. 中国东部地区大城市和小城镇极端气温及日较差变化对比分析 [J]. 大气科学, 30 (1): 80-92. Hua Lijuan, Ma Zhuguo, Zeng Zhaomei. 2006. The comparative analysis of the changes of extreme temperature and extreme diurnal temperature range of large cities and small towns in eastern China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (1): 80-92.

Hua L J, Ma Z G, Guo W D. 2008. The impact of urbanization on air temperature across China [J]. Theor. Appl. Climatol., 93: 179-194.

Folland C K, Karl T R, Christy J R, et al. 2001. Observed climate variability and change [M] // Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al, Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 101-110.

Jones P D, Lister D H, Li Q. 2008. Urbanization effects in large-scale temperature records: With an emphasis on China [J]. J. Geophys. Res., 113, D16122, doi: 10.1029/2008JD009916.

Kalnay E, Cai M. 2003. Impact of urbanization and land-use change on climate [J]. Nature, 423: 528-531.

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.

Karl T R, Jones P D. 1989. Urban bias in area-averaged surface air temperature trends [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 70: 265-270.

刘学峰, 于长文, 任国玉. 2005. 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, 10 (4): 763-770. Liu Xuefeng, Yu Changwen, Ren Guoyu. 2005. Change in urban heat island magnitude and its effects on surface mean air temperature record in Hebei Province, China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 763

- 770.
- Liu W, Ji C, Zhong J, et al. 2007. Temporal characteristics of the Beijing urban heat island [J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 87 (1-4): 213-221.
- Parker D E. 2004. Large-scale warming is not urban [J]. *Nature*, 432: 290-290.
- Parker D E. 2006. A demonstration that large-scale warming is not urban [J]. *J. Climate*, 19: 2882-2895.
- Peterson T C. 2003. Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found [J]. *J. Climate*, 16: 2941-2959.
- Ren G Y, Zhou Y Q, Chu Z Y, et al. 2008. Urbanization effects on observed surface air temperature trends in North China [J]. *J. Climate*, 15: 1333-1348.
- 唐国利, 丁一汇. 2006. 近 44 年南京温度变化的特征及其可能原因的分析 [J]. *大气科学*, 30 (1): 56-68. Tang Guoli, Ding Yihui. 2006. The changes in temperature and its possible causes in Nanjing in recent 44 years [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 30 (1): 56-68.
- Trenberth K E, Jones P D, Ambenje P, et al. 2007. Observations: Surface and atmospheric climate change [M] // *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon S, Qin D, Manning M, et al, Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 237-245.
- Wang W C, Zeng Z, Karl T R. 1990. Urban heat island in China [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 17: 2377-2380.
- 温华洋, 吴必文, 惠军. 2008. 安徽省气温序列的均一性检验 [J]. *气象与灾害*, (2): 12-14. Wen Huayang, Wu Biwen, Hui Jun. 2008. The homogeneity test of temperature sequences in Anhui [J]. *Meteorology and Disaster (in Chinese)*, (2): 12-14.
- 杨元建, 荀尚培, 石涛, 等. 2011. 基于遥感的合肥土地利用变化对气温序列影响分析 [C] // 杨军. 2010 年卫星遥感应用技术交流论文集. 北京: 气象出版社, 185-194. Yang Yuanjian, Xun Shangpei, Shi Tao, et al. 2011. Impact of land-use change on temperature in Hefei city based on remote sensing [C] // Yang Jun. *Proceedings of 2010 Workshop on Satellite Remote Sensing Application Technology (in Chinese)*. Beijing: China Meteorological Press, 185-194.
- 赵宗慈. 1991. 近 39 年中国的气温变化与城市化影响 [J]. *气象*, 17 (4): 14-16. Zhao Zongci. 1991. The changes of temperature and the effects of the urbanization in China in the last 39 years [J]. *Meteorological Monthly (in Chinese)*, 17 (4): 14-16.
- 周淑贞, 束炯. 1994. 城市气候学 [M]. 北京: 气象出版社, 244-345. Zhou Shuzhen, Su Jiong. 1994. *Climatology of City [M] (in Chinese)*. Beijing: China Meteorological Press, 244-345.
- 周雅清, 任国玉. 2005. 华北地区地表气温观测中城镇化影响的检测和订正 [J]. *气候与环境研究*, 10 (4): 734-753. Zhou Yaqing, Ren Guoyu. 2005. Identifying and correcting urban bias for regional surface air temperature series of North China over period of 1961-2000 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 10 (4): 743-753.