

文章编号: 1000-0534(2009)05--09

# 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

周雅清<sup>1-2</sup>, 任国玉<sup>2</sup>

(1. 山西省晋中市气象局, 山西 晋中 030600; 2. 中国气象局气候研究开放实验室/国家气候中心, 北京 100081)

**摘要:** 利用华北地区 255 个一般站和国家基本、基准站 1961—2000 年的实测资料, 经过质量检验和均一性订正后, 将所有台站根据人口和台站地理位置分为五个类别, 分析了这五个类别台站和国家基本、基准站地面平均气温、最高、最低气温的年和季节变化趋势以及城市化对其影响。结果表明: 华北全部台站的年平均气温、最高、最低气温均呈增加趋势, 且以最低气温上升最为明显, 导致年平均日较差呈现明显下降。就城市化影响而言, 各类台站记录的平均气温、最低气温变化趋势中城市热岛效应加强因素的影响明显, 但城市化对最高气温趋势影响微弱, 个别台站和季节甚至可能造成降温。在国家基本、基准站观测的年平均气温和年平均最低气温上升趋势中, 城市化造成的增温分别为  $0.11^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$  和  $0.20^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 对全部增温的贡献率分别达 39.3% 和 52.6%。各类台站的四季平均气温和最低气温序列中城市化影响均造成增温。城市化增温以冬季为最大, 夏季最小。城市化还导致乡村站以外的各类台站日较差减小, 近 40 年华北地区国家基本、基准站年平均和秋、冬季平均气温日较差明显下降均由城市化影响造成的。

**关键词:** 华北; 地面气温; 气候变化; 城市热岛效应; 最高气温; 最低气温; 气温日较差

**中图分类号:** P457.3      **文献标识码:** A

## 1 引言

全球气候增暖已经得到公认, IPCC 第三次评估报告指出: 自 20 世纪以来, 全球表面气温变化的最佳估计是  $0.6^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>。全球最高气温和最低气温也都有所升高, 但最低气温增温更显著, 这导致气温日较差减小<sup>[2]</sup>。国内学者对近百年中国气候变化的研究表明, 我国气温变化趋势与全球大致相似, 但增暖的时段和程度有区别, 同时地域差异也比较明显<sup>[3-5]</sup>。最高温度在  $95^{\circ}\text{E}$  以西及黄河以北普遍呈增温趋势, 而在东部黄河以南却呈下降趋势, 最低气温在全国都呈增温趋势, 这使得日较差表现出明显的减少趋势<sup>[6]</sup>。

除区域气候变化自身的因素外, 城市化和土地利用等人为作用是影响地面气温变化的重要因素<sup>[7-8]</sup>。Portman<sup>[9]</sup>采用华北地区 1954—1983 年的地面气温分析发现, 城市热岛效应影响还保留在当时广泛使用的陆地地面气温序列中。任国玉等<sup>[10]</sup>

在建立区域平均气温序列时对城市热岛效应增强及其对地面气温序列的影响做了初步考虑, 但多数研究对这个问题没有给予足够关注。最近, 国内几个地区的分析进一步表明<sup>[11-19]</sup>, 城市热岛强度随时间增强因素对我国国家级气象站近几十年地面气温记录具有明显的影响, 需要在区域平均地面气温序列建立中予以订正。这些研究为今后进一步检验和订正区域地面气温序列中城市化引起的偏差奠定了基础。

但是, 近几年我国城市热岛研究多以分析单个大、中城市的气候特征为主, 缺乏区域尺度的地面气温序列中城市化影响的综合分析; 同时也主要侧重于对平均气温的分析, 对最高、最低气温及日较差的分析比较少。后者对于深入认识我国地面气温日变化趋势的非对称现象及其原因显然具有重要意义。过去的多数研究也没有对资料序列的非均一性问题进行检验和订正, 这可能使城市化影响的分析结果存在一定偏差。此外, 过去的研究中一般

收稿日期: 2008-05-21; 改回日期: 2008-10-12

基金项目: 科技部“十五”科技攻关课题(2001BA611B-01); 国家自然科学基金项目(40575039)共同资助

作者简介: 周雅清(1971—), 女, 山西人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事气候变化研究. E-mail: zhousyq@126.com

资料点覆盖还不够完全，以采用国家基本、基准站的资料分析为主，由于这些台站大多数位于不同类型城镇附近，难以确定代表背景气候场变化的乡村站点，无法准确地估计一个地区城市化对各类观测台站地面气温记录的影响。

华北区域气温的增暖和气温日较差的减小在全国范围内变化是十分显著的，研究该区域内气温趋势中城市化影响对检测和识别近百年中国变暖的原因有重要意义。本文采用华北地区所有天气和气候站的月平均气温、平均最高和最低气温资料，并对资料进行了比较严格的质量控制及非均一性检验和订正，基本消除了由于各种人为因素影响所造成质量问题和非均一性。在此基础上，分析了华北地区1961—2000年期间各类型台站平均气温和最高、最低气温的变化趋势及其城市化影响的性质和程度。

## 2 资料和方法

### 2.1 研究区域与方法

在1961年，我国气象台站的观测时制、时次以及要素日平均统计方法有所改变，这引起1961年前后地面气温资料存在较大的非均一性偏差。2000年以后，自动气象站的加入也在不同程度上引入了非均一性偏差，而对于这一偏差的检验和订正目前还没有成熟的方案。为了最大限度地避免这些人为因素影响，简化单站序列非均一性检验过程，本文将研究时段确定为1961—2000年。研究范围选在 $33^{\circ}\text{--}43^{\circ}\text{N}$ 和 $108^{\circ}\text{--}120^{\circ}\text{E}$ 之间（图1），包括河北、山东、山西省的绝大部分以及内蒙、江苏、河南、安徽和陕西的一部分。资料采用这个区域内所有观测台站（包括国家基本、基准站和一般气候站）具有全部长度记录，且连续缺测不超过一年的月平均气温、月平均最高和最低气温数据。个别台站、个别月份的缺测值由多年平均值代替，缺测记录占总记录数量的0.07%，不影响资料的可靠性。

根据华北地区的实际情况和有关台站位置的描述，确定气象台站在“乡村”，台站附近居民点人口在 $5 \times 10^4$ 以下（山东省因为情况特殊，基本无 $5 \times 10^4$ 人口以下的台站，故放宽人口条件到 $10^5$ 以下）为乡村站。将附近居民点人口 $10^4$ 以上，站址不在“乡村”的城镇台站分为4级： $10^4\text{--}10^5$ 人为小城市站， $10^5\text{--}5 \times 10^5$ 人为中等城市站， $5 \times 10^5\text{--}10^6$ 人为大城市站， $10^6$ 人以上为特大城市站。人口资料为台站所在地2000年常住人口统计数据<sup>[20]</sup>。为了

了解研究地区城市热岛效应增强因素对利用国家基本、基准站资料获得的温度序列的影响程度，特别将国家基本、基准站单独作为一类进行讨论，这一类不考虑人口因素和具体台站位置，华北地区总计选取基本、基准站95个，其中有85个台站包括在前5类中，各级别台站数分布情况如表1和图1。表1还列出了各类型台站中的代表站及其人口数量。

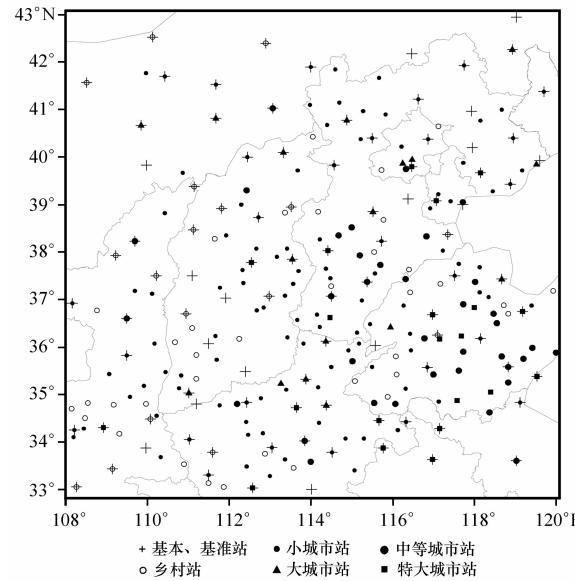


图1 华北地区各级台站的空间分布

Fig. 1 Location of stations in North China

表1 华北地区各类台站分类情况

Table 1 Number of stations of different categories in North China

	乡村站	小城市站	中等城市站	大城市站	特大城市站	基本、基准站
台站数/个	53	118	36	17	21	95
占总台站数百分比/%	21	46	14	7	8	37
代表台站	栾川	沂源	榆林	秦皇岛	北京	太原
代表站人口数(万人)	3	9	38	59	712	182

参照建立国家基本、基准站地面气温数据集时所采用的方法<sup>[21]</sup>，对通过初步质量控制的台站气温资料进行了非均一性检验和订正。检验和订正的基本步骤是：对所有台站建立年气温时间序列，即待检台站时间序列；选取周围5个与待检台站序列正相关最大的台站作为参考台站，并建立5个台站

平均的参考时间序列; 然后采用滑动 t 检验法检测待检序列和参考序列的差异序列中的不连续点; 通过台站历史沿革资料检验这些不连续点, 确定是否为人为影响所致。如果不连续点附近有过站址迁移因素影响, 则对不连续点进行订正, 否则保留原始记录; 然后以待检序列与参考序列的差异序列在不连续点前后 5 年的差值作为补偿值来订正不连续点。具有因迁站造成的不连续点和经过序列订正的台站数量见表 2。可以看出, 华北地区近 40 年月气温资料中由于台站迁移造成的非均一性现象是比较严重的。

**表 2 华北地区非均一性检验与订正情况**

**Table 2 Numbers of stations adjusted for in-homogeneities induced by relocation in North China**

	平均气温	最高气温	最低气温
非均一性订正台站数	112	92	120
占总台站数百分比/%	36	47	44

另外表 2 也说明, 从不同气温记录值检测出的断点数量和订正数量是不同的。由于台站迁移的情况比较复杂, 不仅有较远距离的迁移, 还有近距离搬迁。当迁站距离较近, 观测环境没有很大变化时, 有可能造成最低或平均气温序列不连续点, 但不一定影响到最高气温记录, 或者相反。一般情况下, 华北区域最低气温对迁站相对敏感, 这可能是由于迁站前观测场离居民区较近, 冬季夜间最低气温偏高比较明显; 当迁到相对偏僻的地方后, 尽管距离不远, 但最低气温下降明显, 出现不连续点, 而最高气温相对来说没有很大变化。平均气温介于二者之间, 有可能有明显不连续点, 也可能没有。还有其它一些特殊情况, 也会导致这种不一致性。经过仔细检查, 发现出现少数不一致的情况是合理的。

本文计算气温距平时采用 1971—2000 年作为气候参考期。区域平均气温时间序列的计算采用了经纬度网格面积加权平均法<sup>[22]</sup>。首先把研究区域分成了  $2^{\circ} \times 3^{\circ}$ (纬度  $\times$  经度) 的 20 个网格, 将每个网格内各站点的逐年距平值求算术平均得到该网格逐年的平均距平值, 然后根据网格面积大小进行权重, 得到区域平均的逐年距平值。各类台站平均气温序列的变化趋势估计采用最小二乘法, 并用 t 检验方法对线性趋势进行了显著性检验。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

全年 12 个月的平均, 而不是四个季节的平均。

## 2.2 城市化影响定义

为了定量评价城市热岛效应对气候要素变化趋势的影响, 特定义如下专用术语:

**城市化影响:** 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,  $T_r$  为乡村站的气温(日较差)变化趋势。城市化影响( $\Delta T_{ur}$ )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  $(T_u - T_r)$  的符号, 所以除数取了  $T_u$  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  $T_u < 0$ ,  $T_r < 2T_u$  时,  $E_u > 100\%$ 。这些情况视同  $E_u = 100\%$ 。同样, 当  $T_u > 0$ ,  $T_r > 2$  时, 或  $T_u < 0$ ,  $T_r > 0$  时,  $E_u < -100\%$ , 这些情况视同  $E_u = -100\%$ 。

上述情形表明, 城市站记录的气温(日较差)的变化完全是由城市热岛效应引起的。

## 3 结果分析

### 3.1 华北地区各类台站气温年、季变化特点

从 1961—2000 年华北地区各级台站年气温及日较差的变化趋势(表 3)可以看出: 近 40 年年平均气温和最低气温以大城市站的增温最为显著, 其余各类城市站次之, 乡村站增温最缓慢。这表明近 40 年华北地区平均气温和最低气温的增温显著区域主要在城市附近, 而最高气温变化各类台站差异不大。

就城市站而言, 最低气温增温幅度最为明显, 最高气温增温幅度最小, 因此日较差明显减少。而乡村站则相反, 最高气温增温略快, 最低气温增温相对较慢, 但二者的差异不大, 日较差略有增加。说明乡村站最高、最低气温增温的不对称性相对城

表 3 1961—2000 年华北地区各级台站年平均气温、最高、最低气温及日较差变化趋势(单位:  $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ )

Table 3 Trends of annual mean temperature, annual mean maximum and minimum temperatures, and daily temperature range for different categories of stations in 1961—2000. (Unit:  $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ )

	乡村站	小城市站	中等城市站	大城市站	特大城市站	基本、基准站
平均气温	0.17*	0.24**	0.28**	0.34**	0.26**	0.28**
最高气温	0.20*	0.21*	0.19*	0.22**	0.14	0.20*
最低气温	0.18**	0.36**	0.37**	0.48**	0.38**	0.38**
日较差	0.02	-0.15*	-0.18**	-0.26**	-0.24**	-0.18**

注: \* 表示通过 0.05 显著性水平检验, \*\* 表示通过 0.01 显著性水平检验

市站要弱, 而且是反位相的。

表 4 给出了华北地区基本、基准站四季气温及日较差的变化趋势。可以看出, 平均气温和最低气温春、秋、冬 3 个季节增温显著, 而夏季气温的升高幅度相对较小; 最高气温的增加只在冬季通过了显著性水平检验, 夏季还表现出微弱的下降趋势; 气温日较差春、夏和冬季呈现为显著减少趋势, 而秋季由于最高气温的明显偏高, 气温日较差没有表现出明显的变化, 但秋季的最高气温和日较差都没有通过显著性水平检验。

表 4 1961—2000 年华北地区基本、基准站四季平均气温、最高、最低气温及日较差变化趋势(单位:  $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ )

Table 3 Trends of seasonal mean temperature, annual mean maximum and minimum temperatures and daily temperature range at national stations in 1961—2000. (Unit:  $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ )

	平均	最高	最低	日较差
春季	0.24*	0.12	0.39**	-0.27**
夏季	0.09	-0.004	0.18	-0.19**
秋季	0.21*	0.22	0.21*	0.004
冬季	0.62**	0.51**	0.76**	-0.25*

注: \* 表示通过 0.05 显著性水平检验, \*\* 表示通过 0.01 显著性水平检验

从各类台站的季节变化情况看(图略), 平均气温和最低气温各季节均以大城市站的增温幅度为最大, 乡村站增温幅度最小, 夏季乡村站平均气温甚至还有略有下降。各类台站平均最高气温春、夏季变化不明显, 秋、冬季乡村站的最高气温上升甚至比城市站要显著。这说明乡村站年平均最高气温比城市站增暖快, 主要是由于秋、冬季增温迅速造成的。

图 2 给出了华北地区所有测站近 40 年内年平均气温、年平均最高和最低气温趋势的空间分布情

况。可以看出, 近 40 年华北地区年平均气温在绝大部分地区呈增加趋势, 增温强度较大的地区集中在内蒙古南部、河北大部、山东中部和安徽、江苏北部, 而山西、陕西以及河南相对增温较慢。一般情况下, 增温速率的低值和高值中心分别对应着乡村站和大中城市站, 反映了城市附近局地人类活动对地面气温记录的强烈影响。相对于平均气温, 年平均最高气温的增温区范围缩小, 强度也有所减弱。其增暖较快的区域主要分布在内蒙古中部、山西大部以及河北北部, 陕西、河南、河北中南部以及山东增暖相对缓慢。与平均气温不同, 最高气温的增温高、低值中心与台站的类型对应不甚明显, 基本呈西高东低, 北高南低态势。年平均最低气温的变化趋势空间分布与平均气温基本一致, 但增温的范围和强度明显增大。城市站密集的区域最低气温增加明显, 而乡村站附近一般增温较小。气温日较差在大部分区域为负值, 只有山西中西部、陕西东部和河南西缘有小部分区域为正值, 大体对应于年平均最高气温趋势的高值中心。从整体上看, 日较差的正、负值中心与乡村站和城市站位置基本对应, 乡村站气温日较差变化趋势很小, 一些甚至呈现弱的正趋势, 而大中城市站气温日较差一般趋于明显减小。这种减小主要与平均最低气温的显著上升有关。因此, 日较差的减少与城市化影响也有密切关系。

### 3.2 城市化影响分析

表 5 给出根据不同类型台站地面气温和日较差同乡村站比较获得的城市化影响情况。可以看出: 1961—2000 年期间年平均气温和最低气温的城市化影响都为正值, 且都通过了 0.05 或更严格的显著性水平检验, 表明城市热岛效应增强引起城市附近地面气温上升。表中显示, 年平均最低气温序列中的城市化增温最显著, 各类城市台站城市化增温都在  $0.18^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$  以上, 城市化影响贡献率均

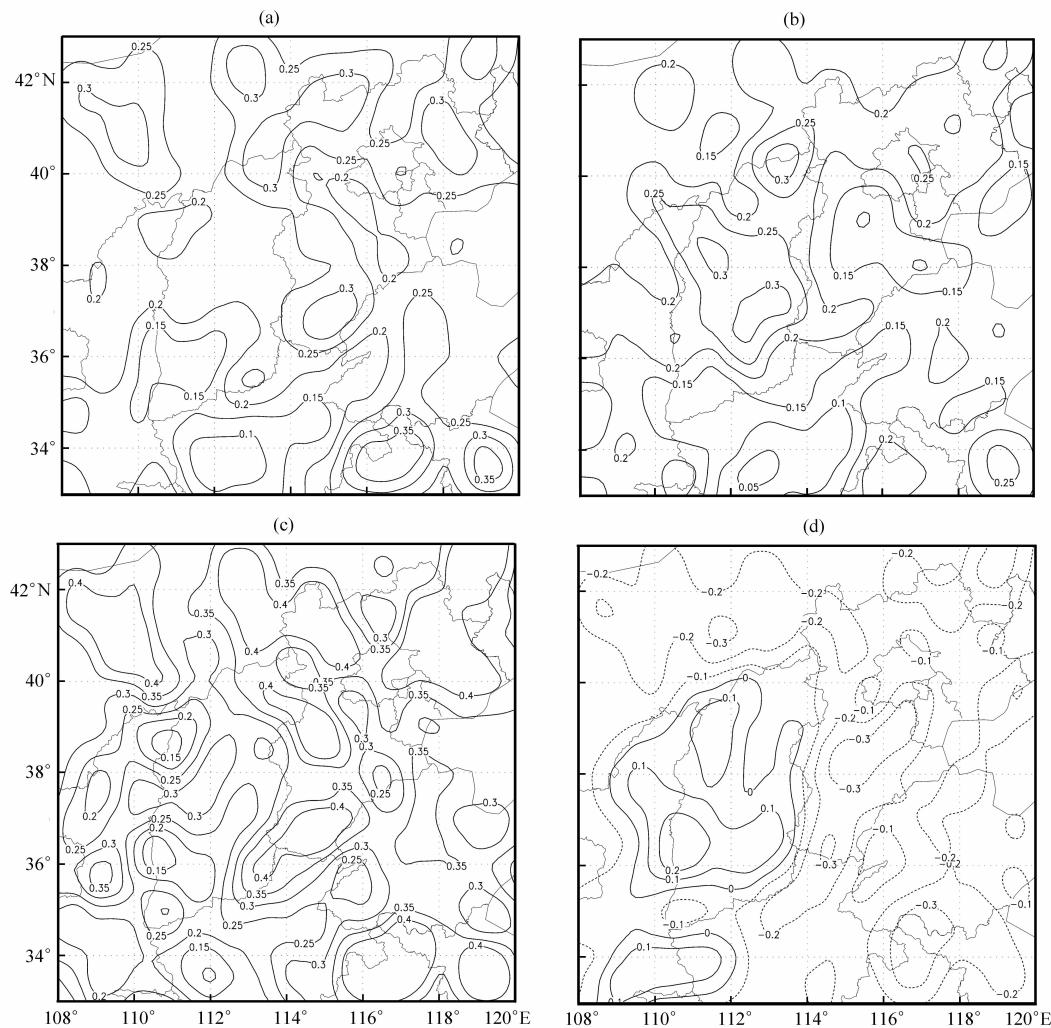


图 2 1961—2000 年华北地区年平均气温(a)、最高气温(b)、最低气温(c)及日较差(d)变化趋势的空间分布

Fig. 2 Distributions of trends of annual mean temperature(a), maximum temperature(b), minimum temperature(c) and daily range(d) in North China during 1961—2000

在 50% 以上。平均气温和最低气温序列中的城市化影响及城市化影响贡献率以大城市站为最大，小城市站最小。最高气温序列中的城市化影响不明显，且只有特大城市站通过了 0.05 显著性水平检验，城市化影响贡献率也比较小，中等城市站和特大城市站城市化影响甚至为负值。在日较差变化趋势中，城市化的影响皆为负值，均通过了 0.01 显著性水平检验。表明城市化影响致使城市站附近平均日较差明显减小。乡村站以外所有类别台站观测到的平均日较差下降均为城市化影响所致。

就国家基本、基准站来看，年平均气温序列中城市化影响达到  $0.11^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ，城市化影响贡献率为 39.3%，最低气温序列中城市化影响为  $0.20^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ，占序列全部增温趋势的 52.6%，但最高气温序列没有检测到明显的城市化影响；国

家基本、基准站年平均日较差的绝对减少及其相对于乡村站的下降都是明显的，其相对减少完全是由城市化影响造成的。

本文得到的国家级台站年平均气温增暖趋势和城市化影响程度与周雅清等<sup>[11]</sup>得到的基本一致。最高和最低气温变化趋势及其城市化影响程度则与陈正洪等<sup>[15]</sup>和谢志清等<sup>[23]</sup>具有一致性。他们分别分析了湖北省和长江三角洲地区城市发展对区域平均气温变化的影响，表明平均气温和最低气温序列中城市化影响显著，最高气温城市化影响相对较弱。但是华北地区城市化对平均气温和最低气温的影响要高于长江三角洲地区，其中最低气温高 1 倍以上，而最高气温的影响相对弱于后者。造成这种差异的原因除了乡村站的选取标准和对资料的非均一性处理不同外，北方冬季城市取暖等人为放热可

表 5 1961—2000 年和 1981—2000 年华北地区年平均气温、最高、最低气温及日较差城市化影响  
Table 5 Effects of urbanization on annual mean temperature, maximum temperature and minimum temperature trends and daily temperature range in North China during 1961—2000 and 1981—2000

		平均气温		最高气温		最低气温		日较差	
		A	B	A	B	A	B	A	B
1961—2000 年	小城市站	0.07**	29.2	0.01	4.8	0.18**	50.0	-0.17**	-100
	中等城市站	0.11**	39.3	-0.01	-5.3	0.19**	51.4	-0.20**	-100
	大城市站	0.17**	50.0	0.02	9.1	0.30**	62.5	-0.28**	-100
	特大城市站	0.09*	34.6	-0.06*	-42.9	0.20**	52.6	-0.26**	-100
	基本、基准站	0.11**	39.3	0	0	0.20**	52.6	-0.20**	-100
1981—2000 年	小城市站	0.10**	14.1	0.01	1.4	0.26*	31.7	-0.25**	-100
	中等城市站	0.16**	20.8	-0.06	-9.7	0.36*	39.1	-0.42**	-100
	大城市站	0.07**	10.3	-0.14	-25.9	0.19*	25.3	-0.34**	-100
	特大城市站	0.05*	7.6	-0.14	-25.9	0.26**	31.7	-0.40*	-100
	基本、基准站	0.11**	15.3	0	0	0.22*	28.2	-0.22**	-100

注: A: 城市化影响(单位:  $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ), B: 城市化影响贡献率(单位: %); \*, \*\* 分别表示通过 0.05, 0.01 显著性水平检验

能有利于城市热岛的形成和发展, 致使华北地区平均气温和最低气温的城市化影响增大。长江三角洲最高气温城市化影响显著可能与南方城市夏季空调的使用等有关。

表 5 同样列出了 1981—2000 年期间的城市化影响情况。与 1961—2000 年比较, 对于最低气温而言, 近 20 年除大城市站的城市化影响减小外, 其余各级城市站的城市化影响都有所增强; 对平均气温而言, 规模较小的城市站类别的城市化影响有所增强, 而规模较大的城市站类别的城市化影响则有所下降。这一结论与任春艳等<sup>[25]</sup>对西北五省区省会城市热岛效应的研究结论是一致的。西安、银川等大城市的热岛效应都在近几年出现减缓趋势。究其原因可能与小城市和中等城市后期发展较快, 人口和建城区面积快速扩大, 城市化影响增强较快, 而大城市和特大城市发展较早, 后期发展相对平稳, 城市化影响趋于缓和有关。同时, 一些乡村站近 20 年的发展也比较明显, 城镇化对其地面气温记录的影响有所增加, 这可能是造成各类城市台站和基准、基本站城市化变暖幅度相对降低的原因之一。从表 5 中还可看出, 乡村站近 20 年平均气温和最低气温的增温速率也明显增加, 导致各类城市站的城市化影响贡献率显著减小。除了部分乡村站本身的城镇化影响以外, 大尺度的环流场变化和增强的温室效应影响对于这一趋势可能也是重要的。

近 20 年城市化对最高气温的影响, 除了小城市站和基本、基准站与 40 年时期比较没有明显变

化外, 其它各类台站均反向增强了, 也就是说城市化导致这些城市站的增温减弱了。其原因有待继续研究。而气温日较差近 20 年城市化影响比近 40 年有所增强。从国家基本、基准站来看, 近 20 年城市化对地面气温变化趋势的影响与近 40 年比较差异不大, 对年平均气温增加的影响则相等。这为采用均一的线性趋势剔除方法订正长序列中的城市化影响提供了科学根据。

表 3 和表 5 还表明, 特大城市站的平均气温和最低气温的年增温并不是最显著的, 其城市化影响也不是最明显的。造成这一现象的原因还需要深入调查, 但特大城市站基本上都是国家基本、基准站, 站址选择标准相对严格, 一般距离市区较远, 台站的观测环境相对较好, 因此受到城市化的影响略小。此外, 特大城市站的城市发展速度可能已趋于平缓, 其城市热岛效应的增强趋势相对其它城市台站类型可能也相对平稳。

图 3 给出了国家基本、基准站四季平均气温、平均最高和最低气温序列中的城市化影响情况。在四个季节的平均气温、最低气温序列中, 城市化影响和城市化影响贡献率均为较大正值, 表明城市热岛效应引起台站附近四季平均气温和最低气温明显上升; 城市化影响以冬季为最大, 夏季最小, 但城市化影响贡献率则以夏、秋季为最大, 冬季最小, 表明夏、秋季记录的增温主要是由城市化影响造成的, 其中夏季平均气温的增加全部是由城市化影响引起的。平均最高气温序列中, 城市化增温在春、

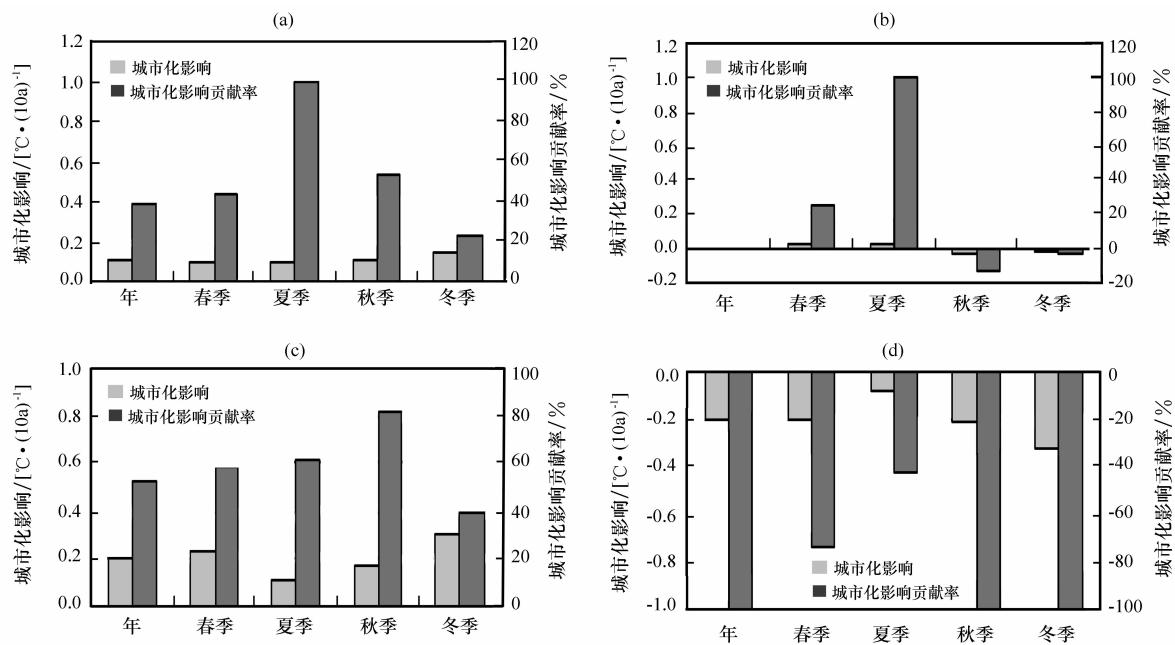


图 3 1961—2000 年华北地区国家基本、基准站四季平均气温(a)、最高气温(b)、最低气温(c)及日较差(d)序列的城市化影响和城市化影响贡献率

Fig. 3 Effects of urbanization on seasonal mean temperature(a), maximum temperature(b) and minimum temperature(c) trends and daily temperature range trend(d) for national stations in North China during 1961—2000

夏季均为正值，但在秋、冬季为负值，表明对于最高气温来说，城市化影响在春、夏季造成增温，在秋、冬季则引起降温。在季节平均日较差变化趋势中，城市化的影响在四季均为负值，即城市化致使所有季节平均日较差趋向减小，其中秋、冬季平均日较差的减小完全是由于城市化影响引起的，春季日较差的下降大部分也是由于城市化引起的。

## 4 结论

本文采用经过非均一性检验和订正的 255 个地面台站平均气温、平均最高和最低气温资料，分析了华北地区 1961—2000 年不同类型气象台站的气温变化趋势，并检验了城市化因素对这些台站气温变化趋势的影响，得到以下结论：

(1) 根据华北区全部台站和国家基准、基本站资料获得的年平均气温、最高和最低气温一般都呈增温趋势，尤其以最低气温增温最为显著。国家基本、基准站 1961—2000 年期间年平均最低气温上升  $1.52^{\circ}\text{C}$ ，年平均气温上升  $1.12^{\circ}\text{C}$ ，年平均最高气温升高  $0.8^{\circ}\text{C}$ 。结果年平均日较差在 40 年间下降了  $0.72^{\circ}\text{C}$ 。四季的平均气温、最高和最低气温变化趋势也以增温为主，其中冬季的增温幅度最大，

夏季最小。春、夏、冬 3 个季节的平均最低气温上升很快，平均最高气温增加较慢，日较差均表现为明显减少趋势。但秋季平均气温、最高和最低气温变化趋势基本相同，日较差变化趋势微弱，没有通过 0.05 统计显著性水平检验。

(2) 根据所有台站资料获得的年和季节平均气温、最低气温变化趋势空间分布中，存在若干明显的局地高、低值中心，分别与大中城市站和乡村站有较好的对应关系；最高气温趋势则基本呈西高东低、北高南低的态势，局地高、低值中心不明显。乡村站附近日较差变化趋势一般为正值或不明显，而城市台站附近日较差一般呈显著减少趋势。因此，城市化对平均气温和最低气温变化趋势、日较差变化趋势产生了明显影响。

(3) 通过对不同类型台站与乡村站气温趋势的比较分析，进一步发现城市化影响致使各类城市站和国家基准、基本站的年平均气温和年平均最低气温显著增加。年平均最低气温序列中的城市化增温最显著，各类城市台站的城市化增温都在  $0.18^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$  以上，城市化增温对全部增温贡献达到 50% 以上；在国家基本、基准站观测的年平均气温上升趋势中，城市化造成的增温为  $0.11^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ，

(10a)<sup>-1</sup>, 对全部增温的贡献率亦可达 39.3%; 各类台站的最高气温序列中不存在明显的城市化增温影响。此外, 城市化还导致乡村站以外的各类台站日较差减小, 其中国家基本、基准站年平均日较差的绝对减少以及相对于乡村站的下降都非常明显, 均由城市化影响造成的。

(4) 就季节而言, 各类台站的四季平均气温和最低气温序列中城市化影响均造成增温。城市化增温以冬季为最大, 夏季最小, 但城市化增温贡献率则以夏、秋季为最大, 冬季最小。这表明, 虽然城市化影响致使各类台站冬季平均气温和最低气温显著上升, 但大尺度的背景升温可能比城市化造成的增暖还要大, 而夏、秋季观测到的增温则主要是由城市化影响引起的。城市化对各类台站最高气温上升的影响在春、夏季比较明显, 秋、冬季城市化影响则致使平均最高气温出现微弱下降趋势。各类台站季节平均日较差变化相对于乡村站均呈现下降趋势, 其中秋、冬季的下降均由城市化影响引起的。

(5) 比较 1981—2000 年与 1961—2000 年两个时段的变化发现, 对于最低气温而言, 近 20 年除大城市站的城市化影响减小外, 其余各级城市站的城市化影响都有所增强; 对平均气温而言, 规模较小的城市站类别的城市化对平均气温和最低气温的影响有所增大增强, 而规模较大的城市站类别的城市化影响则有所下降。由于包括乡村站在内的所有类别台站近 20 年增温速率都很显著, 所以其城市化影响贡献率都明显减小。对于最高气温而言, 近 20 年城市化影响除了小城市站和基本、基准站没有明显变化外, 其它各类台站均反向增强了。对于气温日较差而言, 所有类型台站近 20 年城市化影响比近 40 年都有所增强。

由此可见, 近 20 年与整个 1961—2000 年时段城市化的影响有着比较大的差异, 深入分析年际和年代际的变化是今后有待进一步研究的问题。

## 参考文献

- [1] IPCC, 2001: Climate change 2001: The Science of Climate Change[R]//Houghton J T eds. et al. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate change, Cambridge University Press, Cambridge
- [2] Karl T R, P D Jones, R W Knight, et al. A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1993, 74(6): 1007—1023
- [3] 王绍武, 伍荣生, 杨修群, 等. 中国的气候变化[M]//秦大河, 丁一汇, 苏纪兰主编. 中国气候与环境演变(第二章). 北京: 科学出版社, 2005: 63—103
- [4] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水的变化趋势分析[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 238—244
- [5] Qian W H, Y F Zhu. Climate change in China from 1880—1998 and its impact on the environmental condition[J]. Climatic Change, 2001, 50: 419—444
- [6] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. 气象学报, 1997, 55(4): 418—429
- [7] 任国玉. 地表气温变化研究的现状和问题[J]. 气象, 2003, 29(8): 3—6
- [8] 龚道溢, 王绍武. 全球气候变暖研究中的不确定性[J]. 地学前缘, 2002, 9(2): 371—376
- [9] Portman D A. Identifying and correcting urban bias in regional time series: surface temperature in China's northern plains [J]. J Climate, 1993, 6: 2298—2308
- [10] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701—716
- [11] 周雅清, 任国玉. 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, 2005, 10(4): 743—753
- [12] 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, 25(1): 90—94
- [13] 陈沈斌, 潘莉卿. 城市化对北京平均气温的影响[J]. 地理学报, 1997, 52(1): 27—36
- [14] 初子莹, 任国玉. 北京地区城市热岛强度变化对区域温度序列的影响[J]. 气象学报, 2005, 63(4): 534—540
- [15] 陈正洪, 王海军, 任国玉, 等. 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, 2005, 10(4): 771—779
- [16] 张爱英, 任国玉. 山东省城市化对区域平均温度序列的影响[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 754—762
- [17] 程胜龙, 王乃昂. 近 70 年来兰州城市气温的变化[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 558—563
- [18] 刘学峰, 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] 何萍, 李宏波, 束炯, 等. 楚雄市城市气候特征分析—兼谈中国主要城市热岛强度对比分析[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 712—720
- [20] 中国统计局. 中国乡、镇、街道人口资料[Z]. 北京: 中国统计局出版社, 2002: 1—482
- [21] Li Q X, X N Liu, H Z Zhang, et al. Detecting and adjusting on temporal in-homogeneity in Chinese mean surface air temperature data set[J]. Adv Atmos Sci, 2003, 21(2): 260—268
- [22] Jones P D, M Hulme. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: Methods and illustrations [J]. Int J Climatol, 1996, 16: 361—377
- [23] 谢志清, 杜银, 曾燕, 等. 长江三角洲城市带扩展对区域温度变化的影响[J]. 地理学报, 2007, 62(7): 717—727
- [24] 周淑贞, 束炯编著. 城市气候学[M]. 北京: 气象出版社,

1994

影响[J]. 地理研究, 2006, 25(2): 233—241

[25] 任春艳, 吴殿廷, 董锁成. 西北地区城市化对城市气候环境的

## The Effect of Urbanization on Maximum, Minimum Temperatures and Daily Temperature Range in North China

ZHOU Ya-qing<sup>1-2</sup>, REN Guo-yu<sup>1</sup>

(1. Jinzhong Meteorological Bureau of Shanxi Province, Jinzhong 030600, China;

2. Laboratory of Climate Studies, China Meteorological Administration, National Climate Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** A data set of 255 stations including all of ordinary and national basic/reference climatological stations of North China is used to investigate the influence of enhanced urban heat island effect on the observed surface air temperature records over North China. The stations are classified into five categories according to the population of residential areas near the stations and the meta-data of specific locations of the stations. They are rural, town, middle-size city, big city and metropolis. National stations including national reference and basic stations are as an independent category. The analysis shows that all of the categories undergo a warming in terms of annual mean temperature and annual mean minimum temperature, with the national stations and urban stations experiencing more than average increase in temperature. Little change can be found in annual mean maximum temperature. Urban stations generally witness a significant drop in annual mean diurnal temperature range. Urbanization effect is obviously reflected in annual and seasonal mean surface air temperature trends as obtained from the national stations and urban stations. The urban warming is more significant for annual mean temperature and annual mean minimum temperature for the urban and national stations, with the national stations undergoing an annual urban warming of  $0.11^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$  and  $0.20^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , respectively. The contribution of the annual urban warming to the overall warming as observed from the national stations reaches 39.3% and 52.6%, respectively for annual mean temperature and annual mean minimum temperature. Wintertime registers the largest urban warming for seasonal mean temperature and minimum temperature, and the smallest urban warming is seen in summertime. Annual and seasonal mean daily temperature range of all categories of urban stations and national stations significantly decrease during the time period of 1961—2000, and the decrease is completely attributable to the urbanization effect. The drop of seasonal mean daily temperature range of the national stations for autumn and wintertime during the same period is also entirely caused by the urbanization effect.

**Key words:** North China; Surface air temperature; Climate change; Urban heat island; Maximum temperature; Minimum temperature; Daily temperature range

周雅清 先生/女士：您好！

您撰写的稿件《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》已决定在本刊 2009 年 28 卷第 5 期发表，请您在 10 月 18 日前将刊印版面费 2400 元(按篇幅计算)，汇到本刊编辑部，以便保证按期发表。

邮局汇款地址：730000 兰州市东岗西路 322 号中国科学院寒区旱区环境与工程研究所《高原气象》编辑部  
收

银行汇入，户名：中国科学院寒区旱区环境与工程研究所

帐号：**2703000909026406788**

开户行：工行兰州市高新技术产业开发区支行

收到您的汇款后将立即寄去正式报销发票。发表后再发稿酬。

