

城市化对大都市郊区气象站气温记录的影响

金凯¹, 王飞^{1,2,3}, 夏磊^{2,3}, 穆兴民^{1,2,3}

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;
2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: [目的] 探讨城市化对城市附近地区气温变化的影响, 了解区域尺度的气候及环境变化。[方法] 基于北京市及天津市附近气象站 1973—2008 年地面气温观测资料, 综合城市规模、气象站与城市相对位置关系及风向因素, 对气温的年变化和季节变化以及城市热岛(UHI)效应对城市附近气象站地面气温观测的影响程度(城市影响指数)进行分析, 并估算气象站地面气温序列中的城市化影响偏差。[结果] (1) 由于城市化的影响, 1973—2008 年北京站远比天津站升温迅速, 二者年平均气温的升温速率分别为 0.65 和 0.17 °C/10 a; (2) UHI 对同一气象站的影响在不同季节差异很大, 但总体上北京站所受影响远比天津站严重; (3) 北京站及天津站地面气温序列中的城市化影响偏差巨大, 且城市化对北京站及天津站年最低气温的增温贡献率最大, 分别达 56% 和 100%。[结论] 在进行区域气候及环境变化研究时, 应当对城市附近地区的城市化影响予以关注。

关键词: 北京; 天津; 气温变化; 城市化; 城市热岛

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0302-07

中图分类号: P423.3

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.056

Impacts of Urbanization on Air Temperature Observed by Suburban Stations Located Nearby Large Cities

JIN Kai¹, WANG Fei^{1,2,3}, XIA Lei^{2,3}, MU Xingmin^{1,2,3}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: [Objective] The aim of this study is to explore the effect of urbanization on temperature change in regions nearby cities in order to realize the climate and environment change in regional scale. [Methods] Based on the temperature data recorded by meteorological stations nearby Beijing and Tianjin cities during 1973—2008, annual and seasonal temperature variations and the impact of urban heat island(UHI) on meteorological stations(known as urban impact indicator, U_{ii}) were analyzed, with the consideration of urban size, relative position of meteorological station to city and winds. The bias in surface air temperature records was estimated as well. [Results] (1) Due to the influence of urbanization, the warming rate in Beijing station was faster than that in Tianjin station during 1973—2008, and the warming rate reached to 0.65 °C/10 a and 0.17 °C/10 a in Beijing station and Tianjin station, respectively. (2) The impacts of UHI on the same station were different in different seasons, and this impact was much more severe in Beijing station, compared to Tianjin station. (3) Urbanization had a strong influence on the surface temperatures in Beijing and Tianjin stations, and urbanization contributed the most to the warming of annual minimum temperature, and the contribution rate reached to 56% and 100% in two cities, respectively. [Conclusion] The impact of urbanization needs to be considered when studying regional climate change in the areas nearby cities.

Keywords: Beijing City; Tianjin City; temperature change; urbanization; UHI

收稿日期: 2014-12-28

修回日期: 2015-03-03

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于相同气候条件的人类活动对河流水沙影响定量评价: 以黄土高原延河流域为例”(41171420); 中国科学院知识创新工程重点部署项目(KZZD-EW-04); 中国科学院西部之光人才培养计划联合学者项目([2013]165)和科技基础性工作专项(2014 FY210100)

第一作者: 金凯(1988—), 男(回族), 山东省平邑县人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用变化影响评估。E-mail: jinkai-2014@outlook.com。

通信作者: 王飞(1971—), 男(汉族), 陕西省户县人, 博士, 副研究员, 博士生导师, 主要从事水土保持环境监测与影响评价, 气候变化环境影响评价与适应对策等研究。E-mail: wafe@ms.iswc.ac.cn。

政府间气候变化专门委员会(IPCC)第5次评估报告指出,在过去130 a间(1880—2012年)全球平均陆地和海洋表面温度升高了 $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$,而在北半球,1983—2012年可能是过去1400 a中最暖的30 a^[1]。任国玉等^[2]对1951—2004年中国600余个观测站资料分析表明,54 a来全国年平均气温显著上升,变化倾向率达 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。由此可见,近几十年来中国乃至全球范围的地表平均气温均显著升高。国内外学者认为,增强的温室效应及土地利用变化(如城市化)是人类活动引起气候变暖的主要途径。

城市热岛(UHI)效应作为城市化对气温影响的最主要表现形式^[3],严重影响着城市附近气象站的气温观测,因此国内外许多专家学者早已开始了对地面气温序列中的城市化影响检测^[4-5]。张爱英等^[4]采用中国614个国家级气象站和138个参考站1961—2004年的月平均气温资料进行对比分析,结果表明,44 a来中国大陆国家级站城市化增温率为 $0.076\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,占全部增温率的27.33%。而Li等^[5]基于中国第5次人口普查数据和均一化平均地表气温资料对中国近50 a来的UHI增温贡献进行了研究,发现1954—2001年UHI对全部增温的贡献不足 $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对中国东部地区的城市化增温研究发现,1979—2008年由于城市化造成的气温增暖为 $0.66\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ^[6]。多数研究采用城乡温度对比的方法,需要对站点进行严苛的筛选,而台站的遴选标注不同使得研究的结果存在较大差异。此外,诸如气象台站迁移、台站分布不均匀、研究区域和尺度不同等问题也使我们对于气候变化的认识存在很大不确定性。

此外,大多数研究对UHI影响气象站气温序列的相关因素考虑不足。经过城市的风可将大量的热排放携带至城市下风向区域,从而影响位于下风向区域的气象站对气温的观测^[7]。Knight等^[8]发现观测到的气温数值与观测点到Manchester城市中心的距离呈反比。热岛强度的增加与城市建成区面积的扩张也有密切的联系^[9]。综上所述,城市化对城市附近气象站气温观测的影响不仅与城市规模有关,还与气象站与城市的相对位置关系及风向因素有关。

因此,本研究遴选处于同一地理位置且气候环境相近的城市及其附近气象站,综合上述3种因素来量化和描述UHI效应对城市附近气象站气温观测的影响,即城市化影响指数(U_{ii})。由于所选气象站的背景气候相近,两站所观测的气温变化差异可归结为受城市化影响的差异。通过在地面气温序列差异与城市化影响指数差异之间建立函数关系,可定量估算地面气温序列中的城市化影响偏差,其结果对于帮助我们合理剔除城市附近台站地面气温序列中的城市化

影响具有实际意义,更有助于我们了解区域尺度的气候及环境变化。

1 研究区概况

北京市位于北纬 $39^{\circ}56'$,东经 $116^{\circ}20'$,天津市位于北京市东南约100 km处。两市中心城区均处于华北平原,毗邻渤海湾,地理环境及气候条件相似,为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候,四季分明,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,春、秋短促。1973—2008年北京和天津市的平均气温分别为 12.6 和 $12.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

近半个世纪以来,北京及天津市的城市建设取得了长足发展,城市规模不断扩大。2012年北京市辖14个区、2个县,全市建成区面积为 $1\ 261\text{ km}^2$,非农业人口数达1039万人;天津市辖13个区、3个县,其中,市辖区建成区总面积为 722.1 km^2 。北京和天津市是目前中国北方地区经济最为发达的2个城市。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据

选用北京站(54 511站)和天津站(54 527站)2个国家基本站,所用气象资料包括《全国地面气候资料日值数据集》、《全国气象站点月值数据集》和《中国地面气候标准值年值数据集》,均下载自中国气象数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)。其中,所用数据包括16方位风向数据、平均日气温(T_{mean})、平均日最低气温(T_{min})、平均日最高气温(T_{max})。所有资料均经过了严格的质量控制,且无缺测情况。

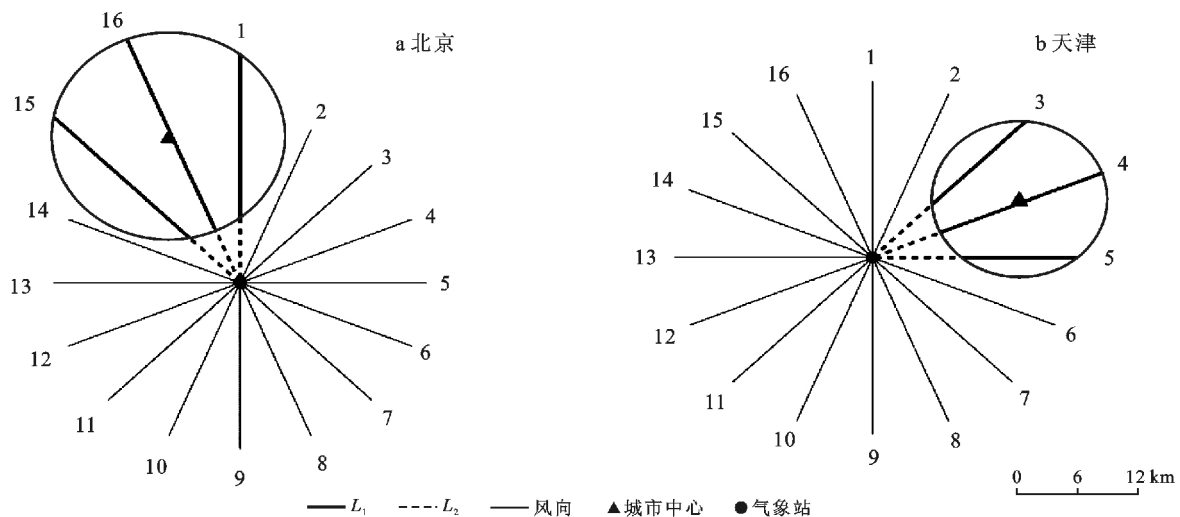
此外,本文所用建成区面积来自北京统计信息网(<http://www.bjstats.gov.cn/>)提供的《北京统计年鉴》和天津统计信息网(<http://www.stats-tj.gov.cn/Index.htm>)提供的《天津统计年鉴》。其中,北京市建成区面积仅为首都功能核心区(东城区、西城区)、城市功能拓展区(朝阳区、丰台区、石景山区、海淀区)的建成区面积总和,不包括距离市中心较远、城市化水平较低的城市发展新区和生态涵养发展区;天津市建成区面积同样仅为中心城区(和平区、河西区、南开区、河东区、河北区、红桥区)的建成区面积总和。

2.2 方法

2.2.1 风频及温度变化 采用日最大风速的风向作为当日的主风向,分别计算1973—2009年春(3—5月)、夏(6—8月)、秋(9—11月)、冬(12月至次年2月)4个季节的16方位风向频率,并在Excel中绘制风向玫瑰图,比较各季节主风向的差异。利用1973—2008年气象数据,分别计算和分析2个气象站各季节及全年的气温变化趋势及全部增温。

2.2.2 城市对气象站气温观测的影响 城市扩展常以原有城区为基础呈环状或团块状蔓延^[10],因此本研究以城市几何中心为圆心,将城市形状概化为与建成区面积相等的圆。其中,北京和天津市的城市几何中心分别选为天安门(39.92°N,116.40°E)和天津火车站(39.13°N,117.20°E)。北京站和天津站分别位于北京市东南附近区域和天津市西南附近区域。北京站与天津站分别距城市中心 19.3 和 16.3 km;2008 年北京市与天津市的城市半径分别为 16.8 和 9.4 km,北京站与天津站到城市边界的最短距离分别为 2.5 和 6.9 km。

U_{ii} 计算公式:



注:风向采用 16 方位法统计,由 i 表示($i=1,2,\dots,16$);城市轮廓:以城市中心为圆心,将城市形状概化为与建成区面积相等的圆; K_i :风频系数; F_i :风频(%); L_1 :城市区域沿某一风向对气象站的影响长度(km); L_2 :气象站沿某一风向到城市边缘的距离(km); L_{max} :最大影响长度(为一定值,km),利用 L_{max} 可以对 K_i 进行归一化处理。

图 1 北京市及天津市 2000 年城市区域、城市中心及附近气象站风向玫瑰图

2.2.3 城市化贡献 借鉴张爱英等^[4]的研究,本文将城市化引起的增温幅度定义为城市化增温($^{\circ}\text{C}$);将 36 a 来气象站地面实测气温的升温幅度定义为全部增温($^{\circ}\text{C}$);将城市化增温与全部增温的比值定义为城市化增温贡献率,简称贡献率(%).

本研究将按以下步骤对城市化贡献进行计算:

- (1) 计算 36 a 的北京—天津气象站年气温差值及年 U_{ii} 差值,并运用对数方程建立二者之间的函数关系;
- (2) 将 2008 和 1973 年的 U_{ii} 值分别带入方程并求差值,求得城市化增温;
- (3) 城市化增温与全部增温的比值即为城市化增温贡献率。若城市化增温大于全部增温,则城市化增温贡献率视为 100%。

3 结果与分析

3.1 气温变化与风向频率

3.1.1 气温变化 表 1 显示,北京站 1973—2008 年

$$U_{ii} = \sum K_i \times F_i$$

$$K_i = \frac{L_1}{L_1 + L_2} \times \frac{L_1}{L_{max}}$$

本研究将城市对气象站气温观测的影响定义为城市影响指数(urban impact indicator, 简称为 U_{ii}),其计算公式及示意图见图 1。由于气象站与城市中心的距离保持不变,根据 U_{ii} 计算公式可知,随着城市的扩张(半径增大), L_1 逐渐增大, L_2 逐渐缩小,导致 K_i 逐渐变大。而 U_{ii} 的数值不仅与 K_i 有关,还与“ i ”风向的频率密切相关。利用 1973—2008 年北京站及天津站各年和各季节风频以及对应年份的建成区面积可计算相应的 U_{ii} 值。

增温迅速,且冬季升温最快;年 T_{mean} , T_{min} 和 T_{max} 的增温率分别为 0.65, 0.80 和 0.45 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$,均达到极显著性水平($p < 0.01$)。北京站年和各季节的 T_{min} 升温最快, T_{max} 升温最慢。天津站增温较为缓慢且显著性不高,其春季升温最快,年 T_{mean} , T_{min} 和 T_{max} 的增温率分别为 0.17, 0.09 和 0.23 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$ 。与北京站相反,天津站的年 T_{min} 升温最慢,年 T_{max} 升温最块。总体上,北京站和天津站各季节的气温变化差异很大, T_{mean} , T_{min} 和 T_{max} 的变化幅度也明显不同。

3.1.2 风向频率 北京及天津气象站观测的 4 个季节的盛行风差别较大(图 2):北京站春季和夏季主要盛行南偏西风,秋季盛行风由南偏西风和北风主导,冬季盛行风则由北风及北偏西风主导;天津站春、秋、冬 3 个季节的盛行风均为北偏西风,但春、秋两季的南偏西风也较为盛行,夏季东南风较为盛行。北京站位于北京市东南附近区域(图 1 a),因此 1, 15, 16 这 3

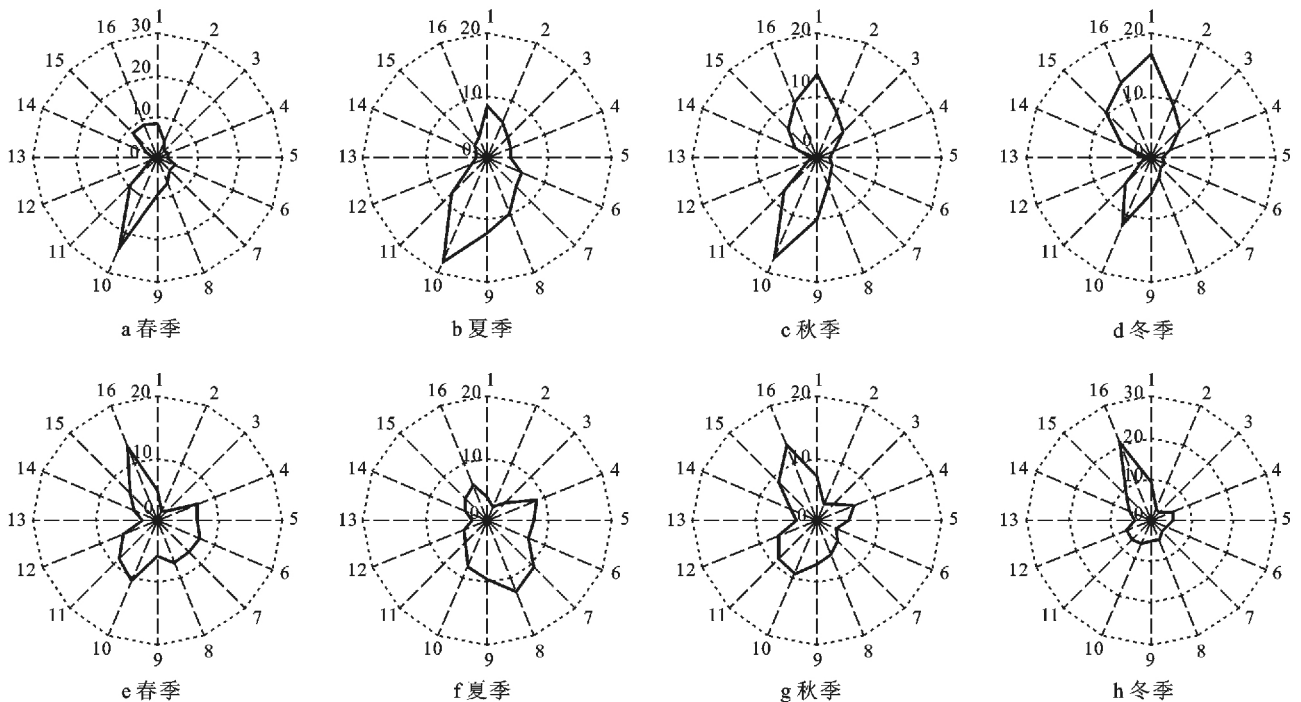
个风向最有可能将城区热排放输送至气象站所在区域,影响其气温观测;天津站位于天津市西南附近区域(图 1b),因此 3,4,5 这 3 个风向最有可能将城区热排放输送至气象站所在区域。经统计,北京站 1,15,16 这 3 个风向在冬季(40%)的总风频远大于夏季

(15%),天津站 3,4,5 这 3 个风向在夏季(20%)的总风频大于冬季(14%),这可能是导致北京站冬季升温远高于夏季、天津站夏季升温略高于冬季的原因之一。此外,各季节盛行风及其风频的差异也会使城市附近不同区域的环境气温出现差异。

表 1 1973—2008 年北京气象站与天津气象站气温变化

温度	北京气象站			天津气象站			
	气温趋势/($^{\circ}\text{C} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$)	R^2	显著性	气温趋势/($^{\circ}\text{C} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$)	R^2	显著性	
全年	T_{mean}	0.65	0.689	**	0.17	0.156	*
	T_{min}	0.80	0.748	**	0.09	0.045	
	T_{max}	0.45	0.452	**	0.23	0.188	**
春季	T_{mean}	0.68	0.402	**	0.40	0.241	**
	T_{min}	0.89	0.580	**	0.31	0.183	**
	T_{max}	0.49	0.216	**	0.43	0.173	*
夏季	T_{mean}	0.59	0.466	**	0.30	0.174	*
	T_{min}	0.65	0.630	**	0.20	0.118	*
	T_{max}	0.51	0.300	**	0.35	0.172	*
秋季	T_{mean}	0.60	0.377	**	0.11	0.017	
	T_{min}	0.71	0.452	**	-0.03	0.001	
	T_{max}	0.34	0.126	*	0.26	0.080	#
冬季	T_{mean}	0.71	0.388	**	0.22	0.077	
	T_{min}	0.92	0.524	**	0.15	0.039	
	T_{max}	0.37	0.108	#	0.33	0.100	#

注: $T_{\text{mean}}, T_{\text{min}}, T_{\text{max}}$ 分别代表平均日气温、平均日最低气温、平均日最高气温; #, *, ** 代表分别在 0.1, 0.05 和 0.01 水平(双侧)上显著相关。



注: 风频为 1973—2008 年平均值, 单位%; 16 方位由 1~16 的数字表示, 其中, 1 代表正北方位。

图 2 北京站(a-d)与天津站(e-h)四季风向玫瑰图

3.2 城市对气象站的影响

36 a 来,北京站年 U_{ii} 和季节 U_{ii} 均呈上升趋势,1973 年 U_{ii} 年值仅为 4%,至 2008 年达到 21%,为 1973 年的 5 倍多,增幅达 17%(图 3 a)。同一年中季节 U_{ii} 相差很大,其中,冬季 U_{ii} 普遍较大,夏季 U_{ii} 普遍较小,春、秋季 U_{ii} 介于其间。以冬季 U_{ii} 为例,1973 年约为 7%,至 2008 年达 31%,增幅为 24%,而 2008 年春、秋季 U_{ii} 接近 23%,夏季 U_{ii} 仅为 8%,约为冬季 U_{ii} 的 1/4。天津站 U_{ii} 呈现缓慢增加趋势(图 3 b),

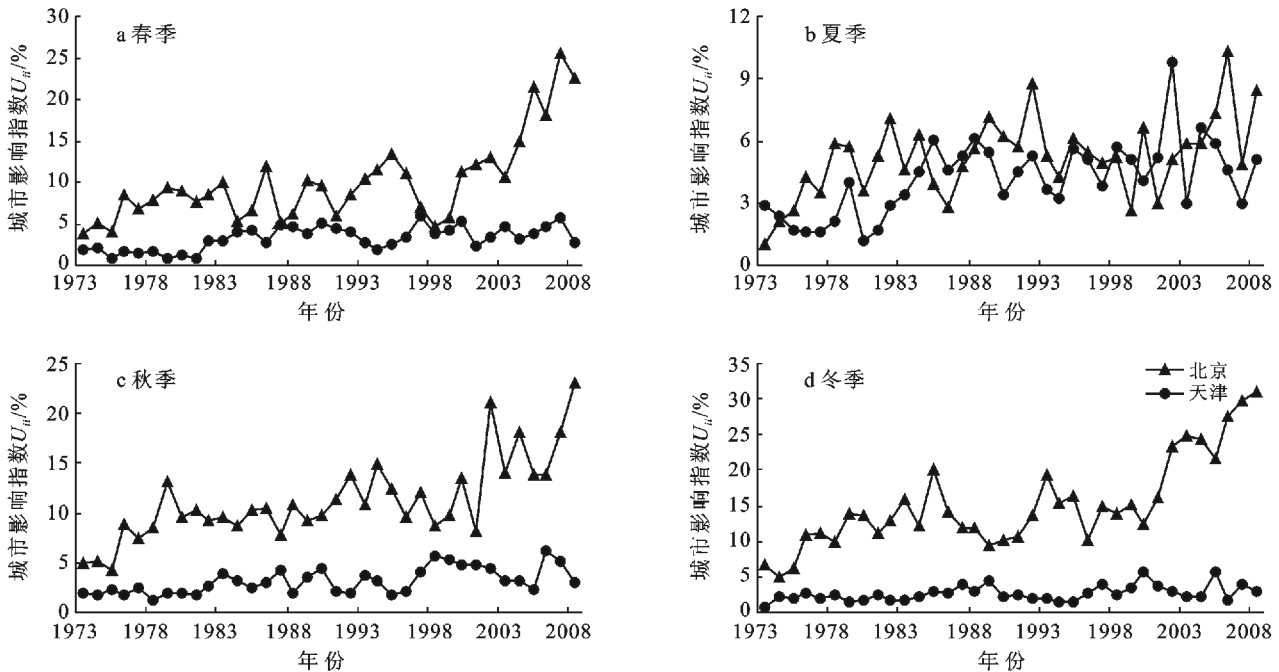


图 3 1973—2008 年北京站与天津站四季城市影响指数(U_{ii})季节变化趋势

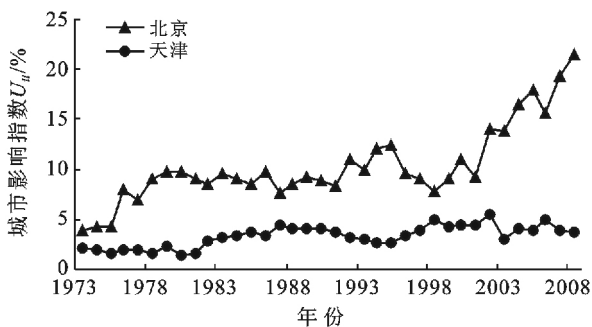


图 4 1973—2008 年北京站与天津站
年城市影响指数(U_{ii})年变化趋势

3.3 城市化对全部增温的贡献

表 2 显示,北京站与天津站年 T_{min} , T_{mean} 和 T_{max} 差值与年 U_{ii} 差值的对数拟合方程均达到极显著水平 ($p < 0.01$),且 T_{min} 差值与年 U_{ii} 差值的拟合方程拟合度最高 ($R^2 = 0.311$),其次为 T_{mean} 差值与年 U_{ii} 差值, T_{max} 差值与年 U_{ii} 差值的相关系数最小,说明城市化对最低气温的影响最为显著。

36 a 来,年 U_{ii} 仅增加约 2%,春、秋季 U_{ii} 增加 1%,夏、冬季 U_{ii} 增加 2%。与北京站相反,同一年中其夏季 U_{ii} 普遍较大,而冬季 U_{ii} 普遍较小。

总之,在北京市及天津市城市化过程中,UHI 对北京站及天津站气温观测的影响程度在逐年增强(图 4),且分别在冬季和夏季最为严重。然而,天津站夏季 U_{ii} 最大也不过 10%,不足北京站冬季 U_{ii} 最大值的 1/3,说明天津站周围区域的环境温度所受 UHI 的影响较之北京站弱。

近 36 a 来,北京站 T_{mean} , T_{min} 和 T_{max} 的城市化增温分别为 0.95, 1.58 和 0.37 $^{\circ}\text{C}$,城市化增温贡献率分别为 42%, 56% 和 23%(表 2);天津站年 T_{mean} , T_{min} 和 T_{max} 的城市化增温分别为 0.30, 0.49 和 0.11 $^{\circ}\text{C}$,城市化增温贡献率分别为 51%, 100% 和 14%。可见,北京站及天津站地面气温序列中的城市化偏差很大,说明其受城市化影响极为严重。

4 讨论

本研究以北京市及天津市为例,分析了城市附近气象站 1973—2008 年的实测气温变化及城市化增温贡献,旨在探讨城市发展对附近地区环境气温的影响。结果表明,近 36 a 来北京站升温速率远大于天津站, T_{mean} 的气温倾向率分别为 0.65 和 0.17 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$ 。然而,由于两气象站均在城区附近,其地面气温记录不可避免地受到城市化影响,这对评估区域气候及环境变化带来极大的不确定性。

表 2 1973—2008 年城市化对北京站及天津站地面气温的增温贡献

气温	对数方程	R^2	北京气象站			天津气象站		
			全部增温 ^①	城市化增温 ^②	贡献率 ^③	全部增温 ^①	城市化增温 ^②	贡献率 ^③
T_{mean}	$y=0.5599 \ln(x)-1.2629$	0.3067**	2.28**	0.95	42%	0.58*	0.30	51
T_{min}	$y=0.9281 \ln(x)-2.5205$	0.3110**	2.79**	1.58	56%	0.32	0.49	100
T_{max}	$y=0.2151 \ln(x)-0.5534$	0.2199**	1.56**	0.37	23%	0.79**	0.11	14

注:①全部增温($^{\circ}\text{C}$):指 36 a 来气象站地面实测气温的升温幅度,根据表 1 中的气温变化率计算而来;②城市化增温($^{\circ}\text{C}$):指城市化引起的气象站地面气温的增温幅度;③贡献率(%):指城市化增温与全部增温的比值。 T_{mean} 、 T_{min} 和 T_{max} 分别代表平均气温、平均最低气温、平均最高气温。*、** 分别代表在 0.05 和 0.01 水平(双侧)上显著相关。

目前,计算城市化增温的方法有很多种,但结果存在很大差异。例如,司鹏等^[11]采用均一化订正后的地面观测气温资料及 NCEP/DOE 再分析温度数据对北京市 1979—2006 年的城市化增温进行了研究,结果表明,平均气温的城市化增温贡献率分别为 34.4% 和 73.5%。郑祚芳等^[12]认为 UHI 是导致北京地区 1971—2002 年气温增暖的主要因子,占总增暖比重的 47.5%~61.2%。林学椿等^[13]指出 1960—2000 年的北京市 UHI 增温率为 $0.31^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,即近 40 a 由 UHI 导致的升温幅度达 1.24°C 。造成研究结果出现差异的原因主要有以下两点:首先,城市/乡村站的分类标准不统一。利用人口数据和夜晚灯光数据对气象站进行分类的阈值选取存在主观性。例如,基于夜晚灯光数据, Peterson^[14]采用调整过的温度数据发现 UHI 对美国的气温变化没有显著影响。相反,基于人口数据和 OLS 夜晚灯光数据, Stone^[15]认为 UHI 对美国大城市在 1951—2000 年的升温贡献为 $0.05^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。其次,选择城市/乡村站的数量及比例不同。不同比例的城市/乡村站能够造成估计气候变暖趋势和热岛效应强度的差异^[13]。况且,我们很难在城市站附近找到纯粹的乡村站^[5]。例如北京和上海,随着城市的扩张以及本研究提出的风的影响,附近台站都或多或少地受到城市化的影响。

然而,本研究提出的新的研究方法避免了城市/乡村站的选取。由表 2 可知,36 a 来(1973—2008)天津站年平均气温序列中的城市化影响偏差为 $0.083^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,这与唐国利等^[4]计算的我国西南地区大中城市站 $0.086^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的年平均热岛增温率相当。理论上,采用包含了一定城市化影响的乡村站气温序列计算城市化增温,所得结果应低于实际。利用卫星观测的土地利用数据, Wang 等^[16]将中国的气象站按城市化影响程度分成 3 类:严重、中等、轻微,发现 1980—2009 年城市化对第 I 类和第 II 类气象站的增温贡献率分别为 41% 和 21%,均低于本研究北京站 42% 的贡献率。王文等^[17]分析了北京市城区和郊区 11 个气象站年平均温度变化的差异,发现 1980—

2008 年北京市 UHI 强度上升了 0.83°C ,这与张佳华等^[18]的研究结果接近,但均低于北京站的 0.95°C (表 2)。

与以往研究相比,本研究针对城市郊区气象站进行研究,揭示了城市化对城市附近地区环境气温变化的影响。这不仅避免了城乡站对比法中对参考站的遴选问题,而且比采用单一指标(如人口、面积)估算城市化影响更为准确。根据表 2 中对数方程的显著性可知, U_{ii} 能很好地反映城市化对地面气温序列的影响程度。由于计算 U_{ii} 综合考虑的 3 个因素(城市规模、气象站位置、风向风频)是所有城市/郊区气象站都存在的问题,因此本研究所用北京及天津气象站具有代表性,并可进一步应用于更大范围的城市化影响研究中,为有效订正台站地面气温序列中的城市化影响偏差提供可靠依据。然而,需要指出的是,虽然本研究考虑了城市规模,但对热岛强度考虑不足,诸如风速^[18]、城市建筑密度^[19]、温室气体排放^[1]等因素也可能会对研究结果产生影响,因此,本研究所用方法仍有待进一步完善。

5 结论

(1) 36 a 来,北京站升温迅速,而天津站升温较为缓慢,且气温的季节变化差异较大,这与北京市及天津市的城市化发展及风向的季节变化密切相关。

(2) 近年来大城市 UHI 对附近气象站气温观测的影响巨大,36 a 来北京站及天津站 U_{ii} 均呈上升趋势,但不同季节间差异显著。北京站 U_{ii} 在冬季最强、夏季最弱;天津站 U_{ii} 在夏季最强、冬季最弱。

(3) 北京站及天津站地面气温序列受城市化影响极为严重,其中城市化对北京站及天津站年最低气温的增温贡献率最高,分别达 56% 和 100%。因此,在进行区域气候及环境变化研究时,要特别注意城市附近地区的城市化影响。

[参 考 文 献]

- [1] Stocker T F, Qin D, Plattner G K, et al. Climate change 2013: The physical science basis. Working

- Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge, Eng; Cambridge University Press:2013.
- [2] 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.
- [3] 唐国利, 任国玉, 周江兴. 西南地区城市热岛强度变化对地面气温序列影响[J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 722-730.
- [4] 张爱英, 任国玉, 周江兴, 等. 中国地面气温变化趋势中的城市化影响偏差[J]. 气象学报, 2010, 68(6): 957-966.
- [5] Li Q, Zhang H, Liu X, et al. Urban heat island effect on annual mean temperature during the last 50 years in China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2004, 79(3-4): 165-174.
- [6] 戴一枫, 刘屹岷, 周林炯. 中国东部地区城市化对气温影响的观测分析. 气象科学, 2011, 31(4): 365-371.
- [7] 郑祚芳, 高华, 王在文, 等. 城市化对北京夏季极端高温影响的数值研究[J]. 生态环境学报, 2012, 21(10): 1689-1694.
- [8] Knight S, Smith C, Roberts M. Mapping Manchester's urban heat island [J]. Weather, 2010, 65(7): 188-193.
- [9] 刘学锋, 阮新, 谷永利. 石家庄地区气温变化和热岛效应分析[J]. 环境科学研究, 2005, 18(5): 11-14.
- [10] 方修琦, 章文波, 张兰生, 等. 近百年来北京城市空间扩展与城乡过渡带演变[J]. 城市规划, 2002, 26(4): 56-60.
- [11] 司鹏, 李庆祥, 轩春怡, 等. 城市化对北京气温变化的贡献分析[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(4): 138-144.
- [12] 郑祚芳, 郑艳, 李青春. 近 30a 来城市化进程对北京区域气温的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 26-29.
- [13] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 北京城市化进程与热岛强度关系的研究[J]. 自然科学进展, 2005, 15(7): 882-886.
- [14] Peterson T C. Assessment of urban versus rural in situ-surface temperatures in the contiguous United States: No difference found[J]. Journal of Climate, 2003, 16(18): 2941-2959.
- [15] Stone B. Urban and rural temperature trends in proximity to large US cities: 1951-2000 [J]. International Journal of Climatology, 2007, 27(13): 1801-1807.
- [16] Wang Fang, Ge Quansheng. Estimation of urbanization bias in observed surface temperature change in China from 1980 to 2009 using satellite land-use data [J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(14): 1708-1715.
- [17] 王文, 张薇, 蔡晓军. 近 50 a 来北京市气温和降水的变化[J]. 干旱气象, 2009, 27(4): 350-353.
- [18] 张佳华, 孟倩文, 李欣, 等. 北京城区城市热岛的多时空尺度变化[J]. 地理科学, 2011, 31(11): 1349-1354.
- [19] Heusinkveld B G, Steeneveld G J, van Hove L W A, et al. Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2014, 19(2): 677-692.

(上接第 301 页)

- [10] 朱良君, 张光辉, 任宗萍, 等. 4 种土壤入渗测定方法的比较[J]. 水土保持通报, 2012, 32(6): 163-167.
- [11] 吕刚, 吴祥云. 土壤入渗特性影响因素研究综述[J]. 中国农学通报, 2008, 24(7): 494-499.
- [12] 刘洁, 李贤伟, 纪中华, 等. 元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性[J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2331-2340.
- [13] 徐凤兰, 魏坦, 刘爱琴, 等. 杉木泡桐混交幼林地土壤的物理性质[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17(3): 285.
- [14] 钱永平. 邓恩桢根系生态学研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- [15] 石培礼, 吴波, 程根伟, 等. 长江上游地区主要森林植被类型蓄水能力的初步研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 351-360.
- [16] Yemefack M, Jetten V G, Rossiter D G. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems [J]. Soil & Tillage Research, 2006, 86(1): 84-98.
- [17] 吴玉红, 田霄鸿, 同延安, 等. 基于主成分分析的土壤肥力综合指数评价[J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 173-180.
- [18] 张志永, 张卓文, 陈玉生, 等. 5 种主要森林类型涵养水源能力比较研究[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(2): 171-175.
- [19] 陈慈禄. 泡桐毛竹混交林混交效果试验研究[J]. 西南林学院学报, 2003, 23(2): 31-33.
- [20] 郭培培, 江洪, 余树全, 等. 亚热带 6 种针叶和阔叶树种凋落叶分解比较[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15(5): 655-659.
- [21] 潘辉, 黄石德, 张金文, 等. 试论福建省桉树人工林的生态问题及其对策[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(3): 605-609.
- [22] 黄宇, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 不同人工林生态系统林地土壤质量评价[J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2199-2205.