

李景林, 郑玉萍, 李悦, 等. 乌鲁木齐—昌吉地区城市化对温度的影响及热岛效应分析[J]. 高原气象, 2010, 29(6): 1609—1618

乌鲁木齐—昌吉地区城市化对温度的影响及热岛效应分析

李景林¹, 郑玉萍², 李悦³, 李霞⁴,
张山清², 陈洁², 许嘉钰⁵, 陈义珍⁶

(1. 新疆兴农网信息中心, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 乌鲁木齐市气象局, 新疆 乌鲁木齐 830002;
3. 乌鲁木齐气象卫星地面站, 新疆 乌鲁木齐 830009; 4. 中国气象局 乌鲁木齐沙漠气象研究所,
新疆 乌鲁木齐 830002; 5. 清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084; 6. 中国环境科学研究院, 北京 100015)

摘 要: 利用乌鲁木齐—昌吉地区 3 个城市气象站和 3 个郊区气象站 1976—2008 年的气温观测资料, 分析了乌鲁木齐及周边城市发展的热岛效应。结果表明, 33 年来乌鲁木齐—昌吉地区城市化对城市地面平均气温具有显著影响, 气温随年代递增率城市大于农村, 城市和郊区年平均气温递增率分别为 0.79 和 $0.38^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$; 城市气温的极端性趋于弱化, 近 33 年地面气温递增的最主要表现是城市平均最低气温明显上升, 城市和郊区年平均最低气温的递增率分别为 1.12 和 $0.41^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$; 城市气温日较差呈明显的下降趋势, 郊区却略呈上升趋势; 城市寒冷日数减少的趋势大于农村, 城市采暖季最低气温随年代的递增趋势最为显著, 采暖季城市和农村平均最低气温的递增率分别是 1.46 和 $0.57^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$; 年平均热岛强度递增率为 $0.71^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 冬季为 $1.06^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 秋、春和夏季分别为 0.63 , 0.57 和 $0.46^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。热岛强度夜间强、白天弱, 02:00, 08:00, 14:00 和 20:00 的平均热岛强度分别为 2.9 , 2.9 , 0.0 和 3.0°C , 其中 02:00 和 08:00 热岛强度递增率分别是 1.17 和 $1.13^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 20:00 为 $0.70^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 冬季没有逆温的状况下, 市区高温区与繁华区相吻合, 城区中心的温度比郊区高 $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。

关键词: 乌鲁木齐—昌吉地区; 城市化; 温度; 热岛效应

文章编号: 1000-0534(2010)06-1609-10 **中图分类号:** P463.3 **文献标识码:** A

1 引言

国内最新研究表明, 1906—2005 年中国年平均气温的上升幅度为 $(0.78 \pm 0.27)^{\circ}\text{C}^{[1]}$ 。升温速率约为 $0.08^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 与同期全球值相当或略强^[2]。在全球变暖的背景下, 强烈的人类活动和快速的城市化, 对城市气候产生了深远的影响, 这种影响最突出的表现形式是出现了城市热岛效应^[3]。我国许多学者对城市热岛现象已进行了深入的研究^[4-21], 结果表明, 中国经济发展和快速的城市化已经对气象观测资料序列产生了明显的影响。城市化规模与城市热岛呈正相关, 城市热岛与绿地面积、绿地空间分布、绿地的构成以及长势呈负相关^[22-23]。乌鲁木齐近 30 年来城市建设突飞猛

进^[24], 沈涛等^[25]利用遥感方法研究认为, 热岛强度的分布与城市建城区基本一致, 并且与植被分布有密切关系, 植被覆盖度小的地区热岛效应较为强烈, 地面热量辐射大, 大气烟尘浑浊的地区(如工业区)易产生热岛效应。李珍等^[26]对 1961—2004 年乌鲁木齐市和达坂城的气温资料进行了对比研究, 认为近 40 多年来乌鲁木齐城市化过程中, 热岛效应的强度存在减弱的趋势; 夏季降水量的增加可能对城市气温的降低产生了影响。城市绿地面积和灌溉量的增加也可能对乌鲁木齐气温, 尤其是对夏季气温的降低起到了一定的作用。

本文试图通过乌鲁木齐—昌吉地区 3 个大、中、小城市和 3 个农牧区气象站的长期观测资料, 分析乌鲁木齐及周边城市发展对温度的影响和热岛

收稿日期: 2010-05-18; 改回日期: 2010-10-05

基金项目: 环保公益性行业科研专项(200909007); 新疆气象局科研项目(200309); 中国沙漠科学气象基金项目(Sqj20080014)共同资助

作者简介: 李景林(1957—), 男, 甘肃武威人, 高级工程师, 主要从事气象信息服务研究. E-mail: li_jinglin@126.com

强度随年代的演变趋势及其可能影响的主要因子,以证实气象站在城市中的位置不同,所受城市化的影响也不同。

2 研究区概况、资料和方法

2.1 研究区概况

乌鲁木齐—昌吉地区境内地形总的可分为山地和平原两大地貌单元,地形比较复杂,各气象站点之间海拔高度相差较大,各区域人口密度和城市化程度不同,城市环境对气象要素的影响也不尽相同。采用赵宗慈^[27],唐国利等^[4]的分类方法,用城市人口的数量作为城市规模的划分指标,城市人口数>100 万为大城市,50~100 万为次大城市,10~50 万为中等城市,10 万以内为小城镇。选择乌鲁木齐—昌吉地区主城区的乌鲁木齐市、昌吉市、米泉市(2007 年归属乌鲁木齐市,与东山区合并,成立米东区,本文仍将米泉作为一个县级市来对待)分别代表大城市、中等城市和中小城市(图略),其中昌吉站和米泉站均位于城市中心的繁华区,海拔高度接近城市平均海拔高度,而乌鲁木齐站位于城市的东南角,海拔高度 931 m,比市区平均海拔高度高 200 m 左右;选择人口少、发展相对缓慢、位于城市周边的达坂城区、呼图壁县、小渠子乡 3 个气象站作为不受城市化影响或影响较小的郊区站。2007 年以来乌鲁木齐市气象局陆续在头屯河区、高新区、黑山头、新农大、水磨沟、红雁池、乌拉泊等地建立了在线自动观测气象站,为研究城市气候提供了较丰富的资料。

2.2 资料和方法

利用乌鲁木齐、昌吉、米泉达坂城区、呼图壁县及小渠子乡站共 6 个测站 1976—2008 年 33 年的逐日 02:00,08:00,14:00,20:00(北京时,下同)的气温资料,统计分析各站的月、年平均气温、平均最高气温、平均最低气温、年气温日较差、全年

≥0℃ 积温、<0℃ 负积温和最高气温≥35℃ 的炎热日数、最低气温<-20℃ 的寒冷日数等温度特征量。

对各气象站之间的年、月、旬平均气温时间序列进行相关分析,各站之间年平均气温相关系数如表 1 所示(月、旬相关系数略)。相关分析表明,6 个测站两两之间的相关性显著,均>0.75(当 α=0.01,相关系数检验值为 0.45),当 2 个站的要素时间序列之间的相关系数超过某一信度(如 99%)时,则可认为一个时间序列的变化可以代表另一个时间序列,这两个时间序列的气象要素同属一个气候区^[5]。同时,天气预报业务工作的实践证明这 6 个测站的天气变化受同一天气系统影响,属于同一气候区。

用 3 个城市站气温的平均值代表城市温度,3 个郊区站气温的平均值代表郊区温度,城市平均气温与郊区平均气温的差值定义为城市热岛强度^[5-6,28],即:

$$T_{\text{城市}} = (T_{\text{乌市}} + T_{\text{昌吉}} + T_{\text{米泉}})/3,$$

$$T_{\text{郊区}} = (T_{\text{小渠子}} + T_{\text{达坂城}} + T_{\text{呼图壁}})/3,$$

$$\text{城市热岛强度为 } UHI = T_{\text{城区}} - T_{\text{郊区}}.$$

采用线性趋势分析^[29]来估算城市和郊区的气温、气温日较差、炎热日数、寒冷日数、积温及城市热岛强度随时间的变化趋势,揭示城市化进程对温度的影响。通常用一次直线方程来描述气候要素的变化趋势^[30-31],回归方程的相关系数作为显著性程度的判定依据^[31]。

乌鲁木齐市冬季大气边界层结构复杂,逆温天数占冬季天数的 91%^[32]。为了分析乌鲁木齐市没有逆温时的温度分布状况,2008 年 1 月连续在乌鲁木齐市北部的植物园、中部的儿童公园(环境监测站)、南部的南公园释放系留探空,结合乌鲁木齐市探空站的资料,选择全天没有逆温的日期计算各

表 1 乌鲁木齐等 6 站 1976—2008 年年平均气温相关系数

Table 1 The correlation coefficients of annual mean temperature at six stations from 1976 to 2008

	乌鲁木齐	昌吉	米泉	小渠子	达坂城	呼图壁
乌鲁木齐	1.0000					
昌吉	0.9326	1.0000				
米泉	0.9805	0.9526	1.0000			
小渠子	0.8881	0.7635	0.8649	1.0000		
达坂城	0.9552	0.8663	0.9455	0.9024	1.0000	
呼图壁	0.9369	0.8492	0.9596	0.8630	0.9458	1.0000

时次、各区域、各高度层的气温直减率，将乌鲁木齐市不同海拔高度气象站的温度订正到乌鲁木齐市基本气象站的等高面上(海拔 931 m)，利用经高度订正后的加密自动气象站资料分析没有逆温状况下乌鲁木齐市热岛中心与城市繁华区的对应关系。

由于小波分析在时频两域都具有表征信号局部特征的能力，可以对信号进行多尺度细化分析，近年来小波分析在气候系统的多时间尺度分析研究中应用较多^[33-34]，本文采用 Morlet 小波研究分析城市热岛强度近 33 年的特征尺度和变化周期。

3 城市化进程对气温时间序列的影响

3.1 年、季平均气温变化趋势

表 2 给出了乌鲁木齐等 6 站 1976—2008 年各季平均温度变化若干统计。由表可见，昌吉市气温逐年递增最为明显，其次是米泉市，第三是乌鲁木齐市，这 3 个城市的年、季平均气温时间序列与年份的相关系数均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。

3 个城市代表站中，各季节增温的情况不同。昌吉市冬季气温递增率最为明显，春季第二，秋季第三，夏季最小；米泉和乌鲁木齐则以春季最为明显，秋季第二，冬季第三，夏季最小。主要原因是：昌吉市地势平坦，气象站建在城市中间，是很典型的城市气候代表站，其气温观测值受城市环境影响较大，这是昌吉市气象站温度值逐年递增率大于乌鲁木齐市的原因之一。冬季城市繁华区供热耗能大、排放大，建筑物对外热辐射大，低空大气层结稳定，近地面风速是冬季的最小，市中心的热量不

易与郊区交换，城市化进程加大热岛效应，导致气象站气温观测值逐年递增率最大；春、秋季耗能较冬季小，建筑物对外热辐射也比冬季小。风速也较冬季大些，市中心的热量容易向四周扩散，热岛效应故被削弱，所以，春、秋季昌吉市气象站的气温观测值逐年递增率比冬季小；夏季能耗相对小于其他季节，低空风速较大、湍流较强、扩散交换快，是夏季昌吉市气象站温度观测值逐年递增率最小的原因。

乌鲁木齐市城市化程度高，但地形复杂，海拔高度相差大，气象站位于城市的东南边缘，风速较市中心区大些，随着城市化程度的提高，城市热岛强度随年代的增加而递增，气象站气温观测值受热岛效应的影响要小于市中心区，是乌鲁木齐市气象站温度逐年递增率小于昌吉市和米泉的主要原因。冬季逆温出现频率高、强度大，1 月份 07:00 近地面逆温出现频率为 66%，20:00 出现频率为 41%，近地面逆温有削弱城市热岛效应的作用，且近地层大气层结稳定，风速很小，市中心的热量不易向周边扩散，位于城市边缘的乌鲁木齐站的气温观测值受城市热岛效应的影响较小，是乌鲁木齐站冬季平均温度逐年递增率小于春、秋季的主要原因。

米泉市规模最小，但进入 1990 年代后发展速度非常快^[24]，1995 年总人口为 4.8 万，到 2007 年改为乌鲁木齐市米东新区时人口已剧增到 29.8 万，成为乌鲁木齐市副中心，是新疆最大的制造业基地、新疆重要的化工工业城和重要的出口加工基地。由于城市快速发展对环境温度影响很大，气象

表 2 乌鲁木齐等 6 站 1976—2008 年各季平均温度变化若干统计

Table 2 The statistic of mean air temperature change at 6 stations in all seasons from 1976 to 2008									
	站名	乌鲁木齐	昌吉	米泉	小渠子	达坂城	呼图壁	城市综合	郊区综合
春季	相关系数	0.540 *	0.630 *	0.550 *	0.416 *	0.446 *	0.486 *	0.759 *	0.462 *
	递增率	0.97	1.21	0.98	0.59	0.58	0.86	1.05	0.68
夏季	相关系数	0.435 *	0.654 *	0.502 *	0.485 *	0.426 *	0.160	0.616 *	0.381 *
	递增率	0.30	0.50	0.34	0.32	0.21	0.10	0.38	0.21
秋季	相关系数	0.440 *	0.603 *	0.491 *	0.331	0.296	0.322	0.526 *	0.328
	递增率	0.68	1.04	0.79	0.41	0.35	0.49	0.84	0.42
冬季	相关系数	0.358 *	0.635 *	0.388 *	0.115	0.379 *	0.261	0.522 *	0.186
	递增率	0.62	1.43	0.68	0.17	0.19	0.50	0.91	0.29
全年	相关系数	0.662 *	0.829 *	0.688 *	0.483 *	0.524 *	0.522 *	0.747 *	0.528 *
	递增率	0.64	1.05	0.67	0.35	0.34	0.45	0.79	0.38

注：* 表示相关系数通过了 0.05 的显著性水平检验，温度递增率单位：℃ · (10a)⁻¹

站位于市区，站址在米泉市中心的西南缘侧，且在下风方，气象站的温度观测值也与昌吉市一样受城市环境影响很大，所以米泉市气象站的温度逐年递增率大于乌鲁木齐市气象站，且与乌鲁木齐市一样，春、秋季递增率大于冬季。

由表 2 还可见，3 个县、区及乡级气象站的气温随年代递增的幅度就比城市小得多，但代表县城的呼图壁气象站的温度逐年递增率又大于代表区及乡的达坂城和小渠子气象站。达坂城 2002 年由乡改为区但气象站周围的环境没有发生变化，是典型的农业区代表，小渠子气象站是典型的牧区草场代表，资料几乎不受人为环境影响。

综合来看，33 年来城市增温明显大于郊区，城市气温平均以 $0.79^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的速率递增，而郊区的气温递增率为 $0.38^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ，城市和郊区均以春季增温最明显，夏季气温增幅最小，不同之处在于城市冬季增温也很显著，仅次于春季，明显高于秋季，而郊区冬季增温不显著，增幅小于秋季。

3.2 平均最高、最低气温及日较差变化特征

从 33 年平均最高气温的变化趋势来看，城市和郊区均呈明显的增温趋势，年平均最高气温的递增率分别为 0.52 和 $0.53^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ，郊区略高于城市。从最高气温季节变化来看，城市和郊区基本一致，都是春季增温最明显，其次是秋季和冬季，夏季增幅最小。从最低气温的变化情况来看，城市和郊区均呈明显的增温趋势，且城市增幅远大于郊

区，城市年平均最低气温的递增率为 $1.12^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ，而郊区为 $0.41^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。从最低气温季节变化情况来看，城市和郊区存在很大的区别：城市表现为冬季增温最明显，递增率为 $1.44^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ；其次是春季和秋季，递增率分别为 1.26 和 $1.07^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ；夏季递增率最小，为 $0.71^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。而郊区则表现为春季最低气温增幅最大，递增率为 $0.69^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ；秋、冬季次之，分别为 0.44 和 $0.38^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ；夏季增幅最小。

由表 3 可看出：郊区各季节气温日较差逐年平均值均呈缓慢的上升趋势，年、春、夏、秋、冬季气温日较差值的气候倾向率分别是 $0.12, 0.08, 0.08, 0.29$ 和 $0.002^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。秋季最大，冬季几乎没有变化。城市各季节气温日较差逐年平均值均呈较明显的下降趋势，年、春、夏、秋、冬季气温日较差下降的气候倾向率分别是 $0.60, 0.36, 0.52, 0.42$ 和 $1.02^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。冬季城市的气温日较差值减小趋势最明显。郊区人口数量及环境变化不大，气象观测站的周边环境影响因素基本没有变化，而城市人口和城市建设飞速发展，能源消耗逐年上升，导致城市的最低气温呈明显的递增趋势，尤其是冬季采暖耗能大，日最低气温上升趋势非常明显。中国气温变化研究最新进展^[2] 成果显示，在近 50 年来，中国地面气温的增加主要是平均最低气温明显上升的结果，全国范围内极端最低气温也明显升高，而极端最高气温升高不显著。本研

表 3 1976—2008 年城市和郊区最高、最低温度和日较差变化趋势
Table 3 The change trends of maximum, minimum temperatures and daily range in urban and suburban districts from 1976 to 2008

		最高温度		最低温度		日较差	
		城市	郊区	城市	郊区	城市	郊区
春季	相关系数	0.493 *	0.471 *	0.678 *	0.501 *	−0.519 *	0.137
	倾向率	0.90	0.77	1.26	0.69	−0.36	0.08
夏季	相关系数	0.295	0.463 *	0.724 *	0.420 *	−0.723 *	0.171
	倾向率	0.19	0.33	0.71	0.25	−0.52	0.08
秋季	相关系数	0.389 *	0.451 *	0.635 *	0.350 *	−0.577 *	0.359 *
	倾向率	0.63	0.72	1.07	0.44	−0.42	0.29
冬季	相关系数	0.258	0.25	0.653 *	0.231	−0.890 *	0.003
	倾向率	0.42	0.39	1.44	0.38	−1.02	0.00
全年	相关系数	0.585 *	0.603 *	0.847 *	0.553 *	−0.883 *	0.285
	倾向率	0.52	0.53	1.12	0.41	−0.6	0.12

注：说明同表 2

究认为：在乌鲁木齐—昌吉地区，由于城市化发展造成城市最低气温的上升比最高气温显著，从而使城市的日较差趋于减小，同时气温的极端性趋向弱化。农村气温的极端性却略有加强趋势，最高气温上升趋势比最低气温明显一些，造成日较差呈上升趋势。

3.3 采暖季和非采暖季气温变化特征

上述分析表明，由于郊区人口及环境随时间的变化不大，气象观测站周边环境因素变化不显著，而城市人口和城市建设飞速发展，能源消耗逐年上升，导致城市增温明显高于郊区，尤其是采暖耗能较大的冬、春、秋季增温十分显著，因此，很有必要进一步对比分析采暖季(10月15日至次年4月15日)和非采暖季(4月16日至10月14日)城市和郊区气温变化特征。在此仅对最高和最低气温进行分析。

分析发现城市和郊区采暖季和非采暖季的气温均随年代的推移均呈上升趋势。

采暖季：城市最低气温随年份的递增率远远大于郊区，分别是 1.46 和 $0.57^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ (图 1c)；城市最高气温逐年递增率略高于郊区，分别是 0.75 和 $0.59^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ (图 1a)；冬半年采暖对城市环

境增温的贡献率非常大，农村气温增暖的气候倾向率可以代表气候变暖的大背景，城市的增温有一部分是城市热岛效应所致。

非采暖季：城市最低气温逐年递增率大于郊区，分别是 0.77 和 $0.26^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ (图 1d)；城市最高气温逐年递增率略低于郊区，分别是 0.29 和 $0.31^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ (图 1b)；非采暖季城市的工业发展和汽车数量增长较农村快得多，在热岛效应的影响下，城市的最低气温较农村增温速率快；对西部干旱的乌昌地区而言，城市由于逐步扩大绿化和喷、滴灌面积，对抑制极端最高气温的上升有一定的作用，使得非采暖季城市最高气温递增率小于农村(农村气象观测站周边环境相对没有变化)。

3.4 历年炎热日数、寒冷日数和积温的变化特征

分别统计了城市站和郊区站逐年炎热日数和寒冷日数之和的变化趋势(图 2)，逐年城市炎热日数是指乌鲁木齐市、昌吉市、米泉市 3 个城市气象站逐年日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的平均日数。逐年城市寒冷日数是指 3 个城市气象站逐年日最低气温 $\leq -20^{\circ}\text{C}$ 的平均日数。类似地，可定义小渠子、达坂城和呼图壁 3 个郊区气象站逐年郊区炎热日数和郊区寒冷日数。

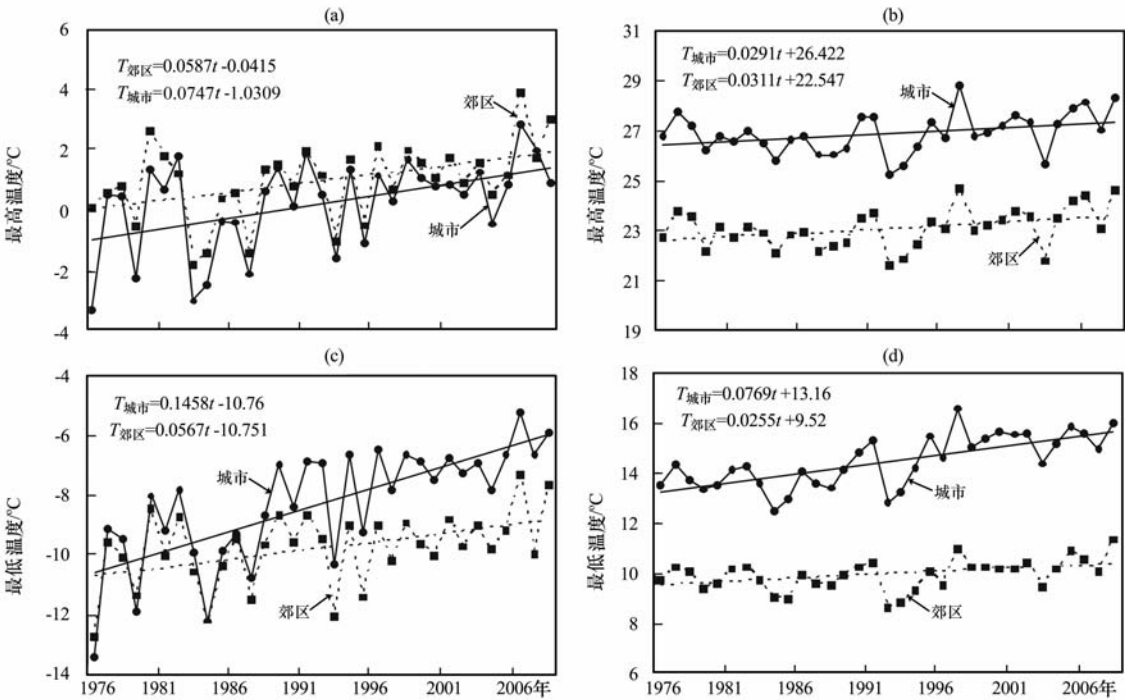


图 1 1976—2008 年间采暖季与非采暖季最高及最低温度变化特征

(a) 采暖季最高温度, (b) 非采暖季最高温度, (c) 采暖季最低温度, (d) 非采暖季最低温度

Fig. 1 The variation features of minimum and maximum temperatures in heating and non-heating seasons during 1976—2008. (a) maximum temperature in heating season, (b) maximum temperature in non-heating season, (c) minimum temperature in heating season, (d) minimum temperature in non-heating season

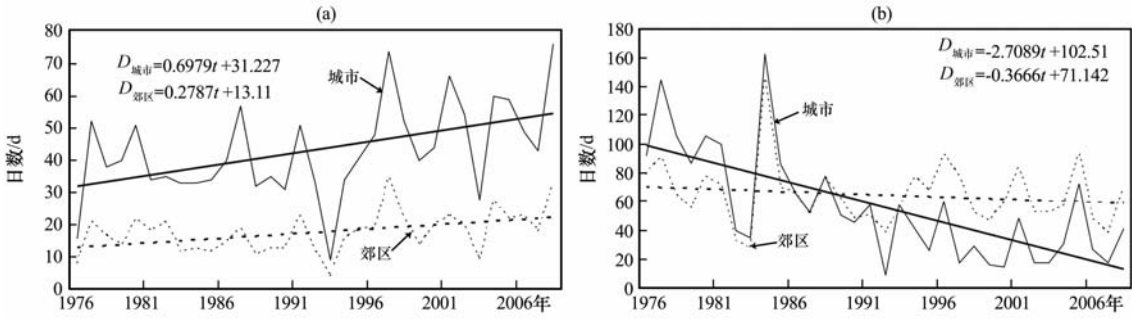


图 2 1976—2008 年间城市和郊区历年炎热日数和寒冷日数变化趋势

(a) 炎热日, (b) 寒冷日

Fig. 2 The variation trends of hot and cold day numbers in urban and suburban districts in calendar years during 1976—2008. (a) hot day numbers, (b) cold day numbers

分析城市和郊区的炎热日数和寒冷日数发现, 随着年代增加, 城市和郊区的炎热日数都呈增加趋势, 气候倾向率分别是 7.0 和 $2.8 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$; 城市和郊区的寒冷日数都呈减少趋势, 递减率分别是 27.1 和 $3.7 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。随着时间的推移, 城市冬季的寒冷日数明显减少, 这与城市冬季最低气温显著上升的变化趋势相符。受城市化快速发展的影响, 城市冬季的寒冷日数递减速率明显快于郊区, 城市的平均寒冷日数, 1976—1985 年为 96 天, 1986—1995 年为 49 天, 1996—2008 年为 32 天; 郊区站平均寒冷日数变化: 1976—1985 年为 72 天, 1986—1995 年为 60 天, 1996—2008 年为 64 天。

进一步分析逐年城市和郊区日平均气温 $<0^\circ\text{C}$ 的负积温变化趋势可看出, 城市的负积温绝对值减小趋势非常明显, 而郊区的减小趋势却不显著, 城市和郊区负积温递减率分别为 138 和 $46^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$; 城市和郊区 $>0^\circ\text{C}$ 的正积温都呈递增趋势, 递增的气候倾向率分别是 142 和 $61^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。这说明在城市化进程快速推进的影响下, 城市的热量增加速度比农村快得多。受全球气候变暖的大背景和城市化进程的双重影响, 城市冬季的寒冷程度随着年代的推移在逐渐减弱, 冬季变得越来越暖和。

4 城市热岛强度变化特征

4.1 采暖季和非采暖季热岛强度变化特征

用最低气温的城郊差值来分析城市热岛强度, 从 1976—2008 年 33 年来热岛强度随着时间的推移呈逐渐增强趋势, 年平均热岛强度递增率为 0.71°C

$\cdot (10\text{a})^{-1}$; 季节分布表现为冬季递增趋势最明显, 递增率为 $1.06^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$; 秋季、春季和夏季的热岛强度递增率分别为 0.63 , 0.57 和 $0.46^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。由图 3 可看出, 采暖季热岛强度随年份递增率为 $0.89^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$; 非采暖季热岛强度递增率为 $0.55^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。由于城市的城市化程度逐年提高, 采暖季的能耗也随之增多、排放加大; 建筑面积不断扩大, 相对于大气环境来说, 建筑物的墙体成为散热体, 在诸多因素影响下使得采暖季的热岛强度随年代的递增率较非采暖季大 $0.34^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。可以说, 冬半年采暖对城市气温升高, 增大热岛强度的贡献率为 $0.34^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。从图 3 还可看出, 热岛强度在 2000 年后出现弱化现象, 这可能与城市加强大气污染和城市环境治理, 扩大绿化、喷灌面积和不断实行墙体保温有着密切的关系^[26—35]。

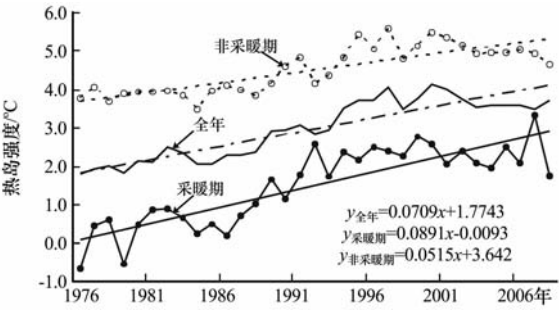


图 3 1976—2008 年间城市热岛强度历年变化趋势

Fig. 3 The change trend of urban heat-island intensity in calendar years during 1976—2008

4.2 冬季热岛强度的日变化特征

冬季最低气温城乡差值逐年递增率大于其它季节。利用多年1月份逐日02:00, 08:00, 14:00和20:00 4个时次的气温资料分析热岛强度的日变化, 热岛强度表现为夜间强、白天弱, 02:00, 08:00, 14:00和20:00的平均热岛强度分别为2.9, 2.9, 0.0和3.0℃。城市由于建筑物密集、沥青和水泥地面比郊区的土壤、植被具有更小的热容量和更快的吸收率, 使得城市大气在日间储存了较多的热量; 城市CO₂等气体在一定程度上阻挡了地面长波辐射的外逸, 同时城市人为热源的释放远比郊区多, 因此造成同一时间城区气温普遍高于郊区。日间由于太阳辐射增温使得城郊近地层湍流加强, 热量的垂直和水平交换比夜间快, 因此造成城市热岛较弱; 夜间城市空气中大量的CO₂等温室气体及颗粒污染物更多地吸收地面长波辐射, 加热大气使空气中的热量不易很快散失, 因此夜间城市、郊区温差迅速增大。从4个时次热岛强度的多年变化趋势来看, 02:00和08:00热岛强度逐年递增趋势非常明显, 递增率分别是1.17和1.13℃·(10a)⁻¹, 20:00较为明显, 递增率为0.70℃·(10a)⁻¹, 14:00热岛强度随年份递增呈略减趋势, 递减率为0.11℃·(10a)⁻¹(图4)。

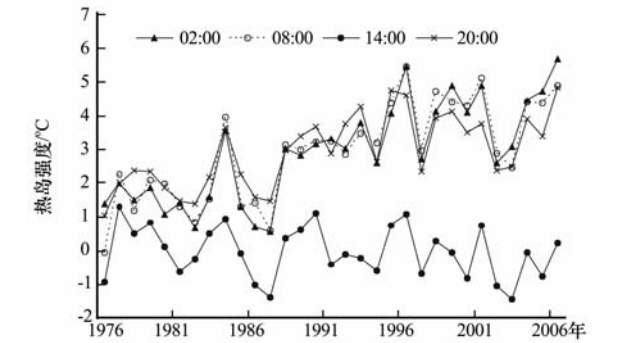


图4 1976—2008年间城市热岛强度日变化
Fig. 4 The daily change of urban heat-island intensity during 1976—2008

4.3 冬季无逆温情况下的温度分布

乌鲁木齐地形复杂, 冬季逆温天数占91%, 07:00和19:00都存在逆温的天数占逆温日数的80%, 绝大部分逆温层是全天维持^[30, 32, 34], 冬季1月份, 07:00出现贴地逆温频率为66%, 19:00为41%^[32]。近地面地逆温具有弱化城市热岛效应的作用, 为了排除逆温和地形对城市热岛效应的影响, 分析冬季城市人为因素对温度的影响, 本文通

过分析没有逆温情况下的温度分布个例来说明冬季城市热岛效应。文中选择乌鲁木齐市北部、中部和南部1800 m以下全天没有逆温的2008年1月18日, 计算3个区域各时次不同高度的温度垂直递减率, 将乌鲁木齐市加密气象观测站的温度值按各自所在区域的递减率订正到乌鲁木齐市基本气象站的等高面上(海拔931 m), 利用经高度订正后的加密气象站资料分析乌鲁木齐市气温的水平分布状况。图5为乌鲁木齐2008年1月18日02:00 931 m等高面上的等温线图。由图可见, 在没有逆温的情况下, 热中心与城市繁华区的对应很好, 城区中心的温度比城市边缘高3~4℃。这说明在冬季没有逆温时, 乌鲁木齐市夜间热岛效应非常明显。

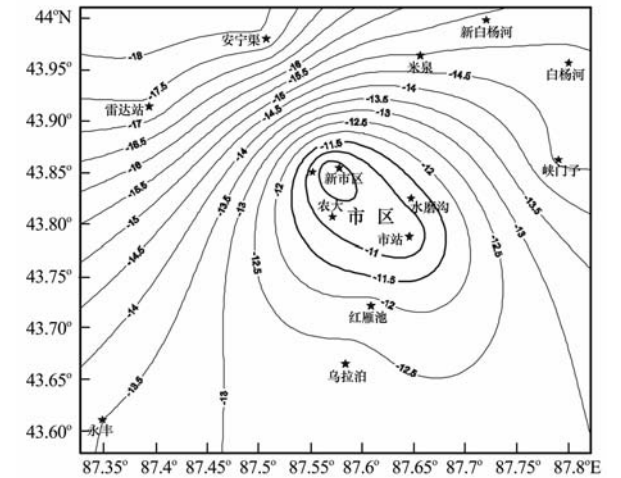


图5 2008年1月18日02:00乌鲁木齐市温度分布
Fig. 5 Temperature distribution in Urumqi at 02:00 on January 18, 2008

4.4 热岛强度递增对城市气温周期性变化的影响

对乌鲁木齐—昌吉地区城市和郊区1976—2008年采暖季和非采暖季的最低气温进行Morlet小波分析, 结果表明, 城市采暖季和非采暖季的最低气温均存在明显的8~9年的振荡周期。采暖季气温周期性信号逐年增加而减弱(图7a)。郊区气温变化周期性信号明显强于城市, 也存在明显的逐年递减的现象(图7b)。1994年以前, 周期性信号强于1994年以后。非采暖季, 城市和郊区最低气温的周期性信号均比较平稳, 郊区和城市都存在8~10年周期(图7d, e)。热岛强度周期性信号较采暖季弱, 同时采暖季存在明显的递减现象(图7c, f)。从图7还可看出, 非采暖季1976—2004年城市和郊区最低气温变化存在4~5年的周期。采暖季, 郊区1976—1980年代末, 温度变化存在3~4

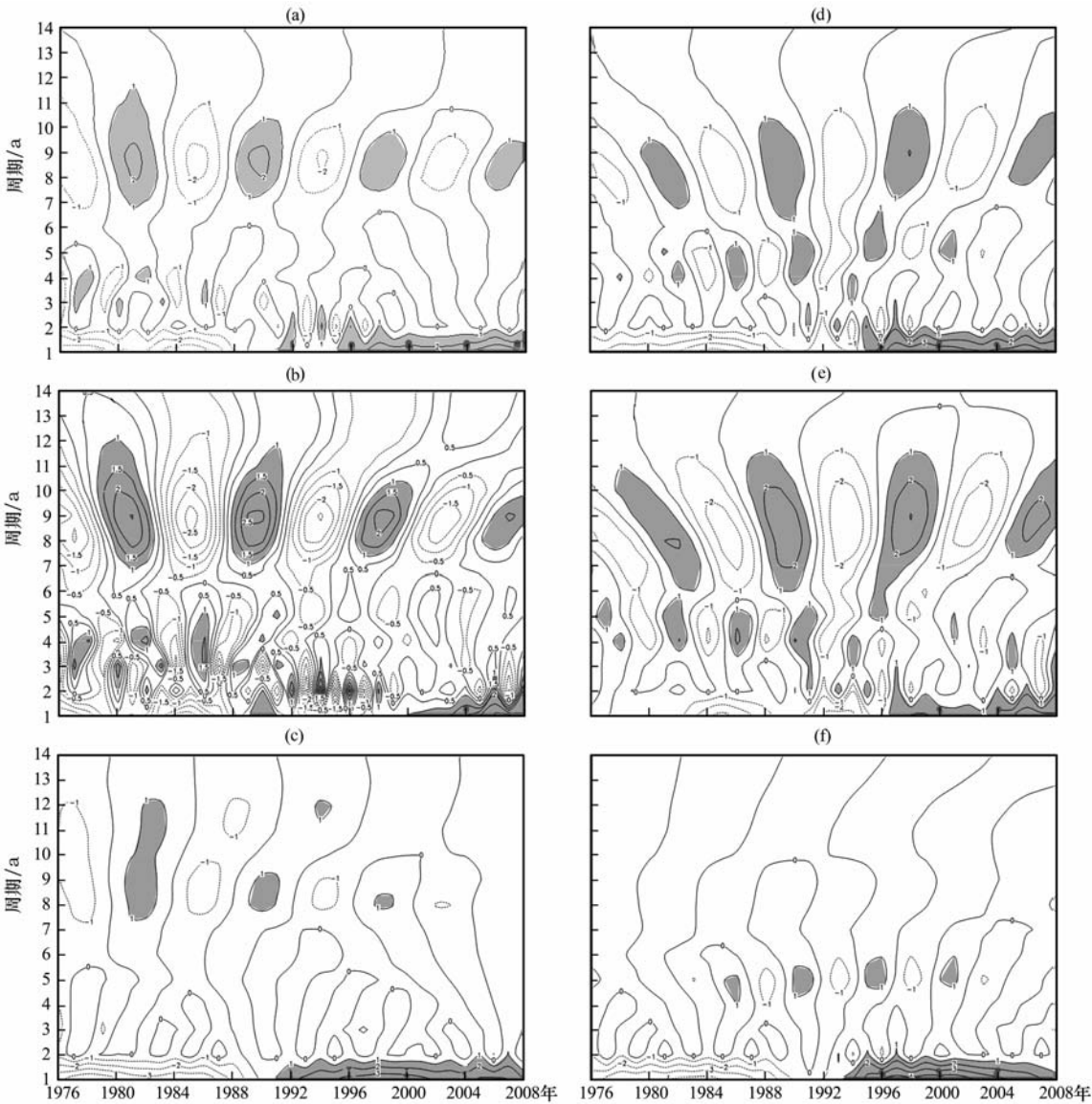


图 6 乌鲁木齐—昌吉地区 1976—2008 年间郊区和城市最低气温小波分析

(a) 城市采暖季, (b) 郊区采暖季, (c) 采暖季热岛强度, (d) 城市非采暖季, (e) 郊区非采暖季, (f) 非采暖季热岛强度

Fig. 6 The wavelet analysis of minimum temperature in urban and rural districts in Urumqi-Changji during 1976—2008. (a) urban heating season, (b) rural heating season, (c) the heat-island intensity of heating season, (d) urban non-heating season, (e) rural non-heating season, (f) the heat-island intensity of non-heating season

年的周期,城市 1970 年代末周期性信号变得十分弱或消失,说明城市化采暖季排放能耗不断加大,打破了城市最低气温的周期性规律。从最低气温小波变换结构还可推测,未来 4~5 年间乌鲁木齐—昌吉地区采暖季最低气温的变化将处于 8~9 年振荡周期的负半周期内,预计最低气温将处于相对偏低阶段。

5 结论与讨论

(1) 城市化因素对乌鲁木齐—昌吉地区城市

地面平均气温具有显著影响,气温递增率城市远大于农村,城乡温度差值递增率冬季大于其它季节。城市和郊区年平均气温递增率分别为 0.79 和 $0.38^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,年平均最低气温递增率分别为 1.12 和 $0.41^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,年平均最高气温递增率城市和郊区相当。城市年平均温度和年平均最低温度递增率比仅受大范围气候变化影响的农村大 0.41 和 $0.71^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,城市年平均增温比农村快 2 倍~3 倍;一年四季中城市与农村温度递增率差值最大的季节是冬季,春、夏、秋、冬季城市和

农村平均气温递增率比值分别为 1.5, 1.8, 2.0 和 3.1, 平均最低气温递增率比值分别为 1.8, 2.8, 2.4 和 3.8, 冬季城市增温比农村快 3 倍~4 倍。

(2) 乌鲁木齐—昌吉地区城市气温的极端性趋于弱化。近 33 年地面气温的递增最主要表现是城市平均最低气温明显上升的结果, 城市气温日较差的时间序列表现为明显的下降趋势, 冬季气温日较差减小趋势最明显, 郊区气温日较差的时间序列略呈上升趋势; 城市和农村的炎热日数略呈上升趋势, 城市寒冷日数减少的趋势大于农村, 对城市而言, 与温度相关的极端事件强度和发生频率呈现降低趋势或稳定态势, 与低温有关的极端事件强度和频率趋向减弱, 而与高温相关的极端事件强度和频率没有明显增强, 地面气温正在趋向温和, 极端性弱化; 城市的负积温绝对值减小趋势非常明显, 而郊区却不明显。

(3) 冬半年采暖能耗逐年增加对城市增温和城市热岛效应增强的贡献率非常大。乌鲁木齐—昌吉地区冬半年采暖耗能增大, 建筑物墙体温度高于大气环境温度, 燃煤造成的空气污染对城市热岛效应增强起了很大作用。城市和郊区最高、最低气温都表现为采暖季增温明显大于非采暖季, 且采暖季城市增温明显大于郊区, 尤其是城市采暖季最低气温随年代的递增趋势最为显著。

(4) 热岛强度随城市发展呈明显递增趋势。近 33 年来年平均热岛强度递增率为 $0.71^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 冬季热岛强度递增率为 $1.06^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 秋季、春季和夏季分别为 0.63 , 0.57 和 $0.46^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。热岛强度的日变化表现为夜间强、白天弱, 其中 02:00 和 08:00 热岛强度逐年递增趋势非常明显, 递增率分别是 1.17 和 $1.13^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 20:00 为 $0.70^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 14:00 热岛强度逐年呈略减趋势, 递减率为 $-0.11^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。冬季没有逆温情况下, 乌鲁木齐市热中心与繁华区吻合密切, 城区中心地带的温度比边缘高 $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。

(5) 城市化对温度变化周期性的影响, 城市采暖季和非采暖季的最低气温均存在明显的 $8\sim 9$ 年的振荡周期。采暖季气温周期性信号逐年增加而减弱。从最低气温小波变换结构还可推测, 未来 $4\sim 5$ 年里乌鲁木齐—昌吉地区采暖季最低气温的变化将处于 $8\sim 9$ 年振荡周期的负的半周期内, 预计最低气温将处于相对偏低阶段。

(6) 气温的气候倾向率与测站所处的位置有关, 气象站位于城市中间的大于城市边缘的, 县城

大于乡镇。昌吉市气温递增最为明显, 年平均气温递增率为 $1.05^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 其次是米泉市、乌鲁木齐市, 年平均气温递增率分别为 0.67 和 $0.64^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。

参考文献

- [1] 唐国利, 丁一汇, 王绍武, 等. 中国近百年温度曲线的对比分析[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(2): 71—78.
- [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] 彭少麟, 周凯. 城市热岛效应研究进展[J]. 生态环境, 2005, 14(4): 574—579.
- [4] 唐国利, 丁一汇. 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, 2006, 30(1): 56—68.
- [5] 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应[J]. 地球物理学报, 2005, 48(1): 39—45.
- [6] 季崇萍, 刘伟东, 轩春怡. 北京城市化进程对城市热岛的影响研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(1): 69—77.
- [7] 程胜龙. 城市化对兰州气温变化影响的定量分析[J]. 气象, 2005, 31(6): 29—34.
- [8] 曹爱丽, 张浩, 张艳, 等. 上海近 50 年气温变化与城市化发展的关系[J]. 地球物理学报, 2008, 51(6): 1663—1669.
- [9] 杨英宝, 江南. 近 50a 南京市气温和热岛效应变化特征[J]. 气象科学, 2009, 29(1): 88—91.
- [10] 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.
- [11] 李文莉, 李栋梁, 杨民. 近 50 年兰州城乡气温变化特征及其周末效应[J]. 高原气象, 2006, 25(6): 1161—1167.
- [12] 朱家其, 汤绪, 江源. 上海市城区气温变化及城市热岛[J]. 高原气象, 2006, 25(6): 1154—1160.
- [13] 张尚印, 徐祥德, 刘长友, 等. 近 40 年北京地区强热岛事件初步分析[J]. 高原气象, 2006, 25(6): 1148—1153.
- [14] 方锋, 白志虎, 赵红岩, 等. 中国西北地区城市化效应及其在增暖中的贡献率[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 579—585.
- [15] 李书严, 陈洪滨, 李伟. 城市化对北京地区气候的影响[J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1102—1110.
- [16] 赵志敏. 城市化进程对城市热岛效应因子的对比分析[J]. 中国环境监测, 2008, 24(6): 77—79.
- [17] 戎春波, 刘红年, 朱焱. 苏州夏季城市热岛现状及影响因子分析研究[J]. 气象科学, 2009, 29(1): 84—87.
- [18] 郭军, 李明财, 刘德义. 近 40 年来城市化对天津地区气温的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 29—34.
- [19] 苗曼倩, 唐有华. 长江三角洲夏季海陆风与热岛环流的相互作用及城市的影响[J]. 高原气象, 1998, 17(3): 280—289.
- [20] 陈榛妹. 兰州的城市热岛效应[J]. 高原气象, 1991, 10(1): 83—87.
- [21] 陈燕, 蒋维楣, 吴润, 等. 利用区域边界层模式对杭州市热岛的模拟研究[J]. 高原气象, 2004, 23(4): 519—528.
- [22] 王文杰, 申文明, 刘晓曼, 等. 基于遥感的北京市城市化发展与城市热岛效应变化关系研究[J]. 环境科学研究, 2006, 19(2): 44—49.
- [23] 王勇, 李发斌, 李何超, 等. RS 与 GIS 支持下城市热岛效应与

绿地空间相关性研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(4): 81—87.

[24] 乌鲁木齐统计局. 乌鲁木齐市统计年鉴—2008[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2008.

[25] 沈涛, 袁春琼, 刘玉安. 乌鲁木齐市热岛强度分布与植被覆盖相互关系的遥感研究[J]. 新疆气象, 2004, 27(1): 28—30.

[26] 李珍, 姜逢清, 胡汝骥. 1961—2004 年乌鲁木齐城市化过程中的冷化效应[J]. 干旱区地理, 2007, 30(2): 231—239.

[27] 赵宗慈. 近 39 年中国的气温变化与城市化影响[J]. 气象, 1991, 17(4): 14—17.

[28] 李兴荣, 胡非, 舒文军. 北京冬季城市热岛特征及强弱热岛影响因子研究[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(4): 432—438.

[29] 丁裕国, 江志红. 气象数据时间序列信号处理[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 194—201.

[30] 张家宝, 史玉光. 新疆气候变化及短期气候预测研究[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 10—105.

[31] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 1—74.

[32] 刘增强, 郑玉萍, 李景林, 等. 乌鲁木齐市低空大气逆温特征分析[J]. 干旱区地理, 2007, 30(4): 519—525.

[33] 林振山, 邓自旺. 子波气候诊断技术的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 85—210.

[34] 李远平, 杨太保. 柴达木盆地近 50 年来气温、降水的小波分析[J]. 干旱区地理, 2007, 30(5): 708—713.

[35] 刘学锋, 于长文, 任国玉. 河北省城市热岛效应强度变化对区域平均温度序列的影响[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 763—770.

Impact of the Urbanization on Temperature in Urumqi-Changji Areas and Its Heat-Island Effect Analysis

LI Jing-lin¹, ZHENG Yu-ping², LI Yue³, LI Xia⁴,
ZHANG Shan-qing², CHEN Jie², XU Jia-yu⁵, CHEN Yi-zhen⁶

(1. Information Centre of Xinjiang Xingnong-Net, Urumqi 830002, China; 2. Urumqi Meteorological Bureau, Urumqi 830002, China; 3. Urumqi Meteorological Satellite Ground Station, CMA, Urumqi 830009, China; 4. Urumqi Institute of Desert Meteorology, CMA, Urumqi 830002, China; 5. The Environmental Science and Engineering Department of Tsinghua University, Beijing 100084, China; 6. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100015, China)

Abstract: By means of the long-term data observed from three urban meteorological stations and three meteorological stations in Urumqi-Changji area, the impact of Urumqi and its surrounding city developing on the temperature and the evolutive trend of urban heat-island with the age were analyzed. The results showed that the urbanization factor has affected obviously in Urumqi-Changji areas since recent 33 years, the increase rate with decade of temperature in city are far larger than that in the rural area and the increase rates of mean temperature were 0.79 and $0.38^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, respectively; the extremity of urban temperature tended in weaken, the the increase rate of temperature in recent 33 years was the mean minimum temperature in city to increase obviously, and the increase rates of urban and rural districts were 1.12 and $0.41^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, respectively; the daily range of temperature in city obviously decrease, but in rural district increase slightly; the decreased trend of cold days in city was far larger than in rural district, the minimum temperature in heating season increased with the age is the most obviously in city, the mean minimum temperature in heating season in urban and rural districts are 1.46 and $0.57^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, respectively. The increase rate of mean annual heat-island intensity is $0.71^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, for season but talk to be 0.63 , 0.57 , 0.46 and $1.06^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ in spring, summer, autumn and winter, respectively. The features of heat-island intensity displayed that nighttime is stronger and daytime is weaker; their intensities are 2.9 , 2.9 , 0.0 and 3.0°C at $02:00$, $08:00$, $14:00$ and $20:00$, respectively, thereinto the increase rates of heat-island intensity are 1.17 , 1.13 and $0.70^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ at $02:00$, $08:00$ and $20:00$ respectively; when the inversion conditions isn't in winter, the high temperature area coincide with in prosperous area in city, the temperature in city centre is higher by $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ than the edge of city.

Key words: Urumqi-Changji areas; Urbanization; Temperature; Heat-island effect