

周雅清, 任国玉. 城市化对华北地区极端气温事件频率的影响[J]. 高原气象, 2014, 33(6): 1589-1598, doi: 10.7522/j.issn.1000-0534.2013.00153.

城市化对华北地区极端气温事件频率的影响

周雅清¹, 任国玉²

(1. 山西省晋中市气象局, 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: 通过分析和对比华北区域(33°N-43°N, 108°E-120°E)国家站和乡村站1961-2008年极端气温指数的变化趋势发现, 近48年与最低气温相关的指数的时间序列变化趋势国家站较乡村站明显, 与最高气温相关的指数两者时间演变基本一致。气温指数中冷指数突变一般发生在20世纪80年代末, 暖指数突变要晚一些, 出现在90年代中后期。城市化加剧了冷指数日数的减少和暖指数日数的增加, 同时也使最低气温的极值明显升高。与最低气温相关的指数城市化影响比与最高气温相关的更显著, 两者城市化影响贡献率都在50%以上。极值指数和冷夜日数城市化增温效应一般在春、冬季更明显, 而冷(暖)昼日数和暖夜日数则是夏季受城市化影响更显著。

关键词: 极端气温指数; 城市化影响; 最高气温; 最低气温

文章编号: 1000-0534(2014)06-1589-10 中图分类号: P467 文献标志码: A

doi: 10.7522/j.issn.1000-0534.2013.00153

1 引言

近100年, 全球的年平均表面温度升高了0.74℃^[1], 同期中国大陆地区年平均地面气温增加0.6℃左右^[2]。全球大部分陆地地区极端冷事件发生频率显著减少, 而极端暖事件发生频率明显增加, 其中极端冷事件频率的变化趋势比极端暖事件更为明显^[3-6]。针对中国地区的研究表明, 影响中国的寒潮和低温事件频率和强度有显著下降趋势; 异常冷夜(昼)天数、霜冻日数一般显著减少, 偏冷的气候极值减轻; 与异常偏暖相关的暖夜(昼)日数明显增加, 但与高温相关的极端气候事件频率和强度变化一般较弱, 高温事件频数和偏热的气候极值未见显著趋势变化^[7-16]。

对于全球和区域气温变化的原因, 目前已有共识, 一般认为主要和人类活动长期向大气中排放温室气体有关, 但其他因子也起到一定作用^[1]。在气温变化原因的识别过程中, 还有很多问题需要解决。其中一个重要的问题是, 城市热岛效应的影响究竟在多大程度上还保留在目前的近地面气温序列中^[17]。不少学者评价了全球、半球和不同尺度区

域平均气温序列城市化影响问题, 尽管在全球尺度上仍存在不同看法^[18-19], 但在东亚东区和中国大陆地区, 目前已经积累了充分的证据, 表明城市化对基于现有观测资料的近地面气温趋势变化产生了显著的影响^[20-29]。张爱英等^[28]研究指出, 1961-2004年期间中国范围内国家基准气候站和基本气象站地面年平均气温序列中的城市化增温贡献达到27.33%。

目前城市化对地面气温观测记录的影响研究多针对平均气温和平均最高、最低气温, 对基于最高和最低气温资料的极端气温指数的研究较少。张雷等^[30]分析发现, 城市化因素对北京观象台记录的20世纪60年代初以来主要极端气温指数趋势变化具有控制性的影响。Zhou et al^[15]在对中国大陆1961-2008年极端气温指数变化进行分析后, 简要讨论了华北地区平均极端气温指数序列中的城市化偏差, 发现在利用国家基准气候站和基本气象站(下称国家站)资料获得的与最低气温相关的冷(暖)指数序列中, 存在明显的城市化影响。

本文在以前分析工作^[15]的基础上, 进一步比较分析华北地区国家站和乡村站极端气温指数的时

收稿日期: 2013-06-21; 定稿日期: 2013-10-21

资助项目: 公益性行业(气象)专项(GYHY201206012); 山西省科技攻关项目(20110311041); 山西省自然科学基金(2009011045-1)

作者简介: 周雅清(1971-), 女, 山西原平人, 高级工程师, 主要从事气候变化研究. E-mail: zhouyqxs@126.com

间演变特征,评价主要极端气温指数序列中的城市化影响性质和程度,为开展区域性气候变化监测和检测研究提供科学认识和基础资料。

2 资料和方法

2.1 研究区域和资料

所用国家站逐日最高、最低气温资料取自国家气象信息中心整编的近50年中国均一化历史气温数据集^[31-32],资料时段为1961—2008年,研究区域在33°N—43°N,108°E—120°E之间(图1)。乡村站的选取依据任国玉等^[33]地面气温参考站点遴选的原则和方法,并对乡村站中一般站资料按照国家站整编资料时采用的质量控制和均一化方法进行处理。根据序列长度不少于48年、缺测不超过2%的原则,选取国家站84个,乡村站24个,如图1所示。

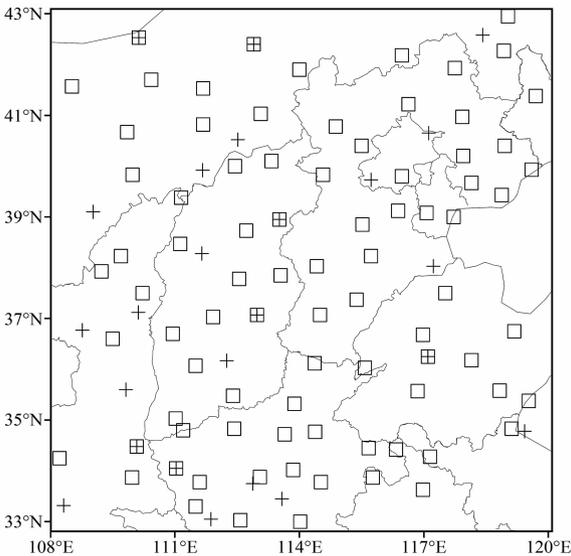


图1 所选华北地区气象站分布
方框为国家站,十字为乡村站

Fig. 1 Distribution of the selected weather stations in North China. Squares indicate the national stations and crosses are the rural stations

2.2 极端气温指数定义

采用的12个极端气温指数沿用ETCCDMI(气候变化检测、监测和指数专家小组)的定义。以1971—2000年为参考期,使用Rclimdex软件^[34]计算逐站极端气温指数时间序列和线性趋势,并对趋势的统计显著性进行评估。

将极端气温指数分为三种类型^[12]。第一类是基于原始观测数据和固定阈值的指数,简称绝对指数,包括霜冻日数、夏季日数、结冰日数和炎热夜

数。该4项指数中,当某站在48年中有2/3的年份没有出现某项极端气温事件记录时,该站不参与该项指数的趋势和时间序列的统计分析。在华北地区,霜冻日数和结冰日数不存在以上情况,夏季日数有2站,炎热夜数有11站符合以上条件,在相关指数计算中被剔除;第二类为日最高(低)气温的极值,简称极值指数,包括日最高(低)气温的极大(小)值;第三类为基于相对(浮动)阈值的指数,简称相对指数,包括冷昼(夜)、暖昼(夜)日数等。为了方便与其他研究结果的对比,将原来定义中超过(低于)上(下)阈值的百分比转换为超过(低于)上(下)阈值的日数。

2.3 分析方法

线性趋势的计算采用最小二乘法,趋势统计显著性检验采用Kendall-Tau非参数检验方法,气候突变检测采用Mann-Kendall方法^[35-36](下称M-K检验),判断城市化影响是否显著采用相关系数显著性检验^[36]。华北地区区域平均极端气温指数时间序列参照Jones网格面积加权平均法^[37]建立,经纬度网格为2.5°×2.5°。季节的划分采用春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)和冬季(12月—次年2月)。

2.4 城市化影响

为了定量评价城市化对国家站极端气温指数变化趋势的影响,参照文献^[25]定义下列术语。

城市化影响是指国家站极端气温指数线性趋势中城市热岛效应因素导致的变化,用 ΔX_{ur} 表示,即:

$$\Delta X_{ur} = X_u - X_r \quad (1)$$

其中: X_u 为国家站极端气温指数的变化趋势; X_r 为乡村站极端气温指数的变化趋势。

城市化影响贡献率是指通过显著性检验的城市化影响在国家站极端气温指数趋势变化中所占的比率,用 E_u 表示,即:

$$E_u = |\Delta X_{ur}/X_u| \times 100\% \\ = |(X_u - X_r)/X_u| \times 100\% \quad (2)$$

3 结果分析

3.1 极端气温指数趋势变化

利用上述资料和方法计算得到近48年华北地区极端气温指数的变化趋势,可见霜冻和结冰日数显著减少,夏季日数和炎热日数明显增加;极端最高(最低)气温的极大(极小值)都呈现出升高趋势;冷夜(昼)日数减少、暖夜(昼)日数增加。国家站

表 1 1961—2008 年华北区域极端气温指数城市化影响年变化

Table 1 Urbanization effect on trends of extreme temperature indices in North China during 1961—2008

指数类型	指数名称	指数代码	线性趋势		城市化影响	城市化影响 贡献率/%
			国家站	乡村站		
绝对指数	霜冻日数	FD0	-4.232 **	-1.855 **	-2.377 **	56.2
	夏季日数	SU25	2.375 **	2.209	0.166	-
	结冰日数	ID0	-2.468 **	-2.590 **	0.122	-
	炎热夜数	TR20	2.298 **	0.459	1.839 **	80.0
极值指数	极端最高气温	TXx	0.051	0.084	-0.033	-
	最低气温极大值	TNx	0.268 **	0.118 *	0.150 **	56.0
	最高气温极小值	TXn	0.338 *	0.300	0.038	-
	极端最低气温	TNn	0.615 **	0.225	0.390 **	63.4
相对指数	冷夜日数	TN10p	-8.870 **	-4.427 **	-4.443 **	50.1
	冷昼日数	TX10p	-3.440 **	-3.291 **	-0.149	-
	暖夜日数	TN90p	8.362 **	3.854 **	4.508 **	53.9
	暖昼日数	TX90p	4.076 **	4.308 **	-0.232	-

注: 绝对指数、相对指数的线性趋势和城市化影响的单位为 $d \cdot (10a)^{-1}$; 极值指数的线性趋势和城市化影响的单位为 $^{\circ}C \cdot (10a)^{-1}$; *, ** 分别表示通过 0.05、0.01 显著性水平检验; “-”表示城市化影响未通过 0.05 显著性水平检验, 则不计算城市化影响贡献率

的变化趋势与乡村站是同向的, 对于大多数极端指数而言, 国家站指数变化幅度要大(表 1)。

从绝对指数距平的时间演变(图 2)中可看出, 霜冻日数在国家站和乡村站随时间都是减少的, 国

家站减少更显著; 经 M-K 检验发现(图 3), 国家站霜冻日数从 20 世纪 80 年代开始呈现减少趋势, 90 年代初减少趋势达到 0.05 显著性水平, 1994 年前后出现突变点。乡村站则是 90 年代之前以波动

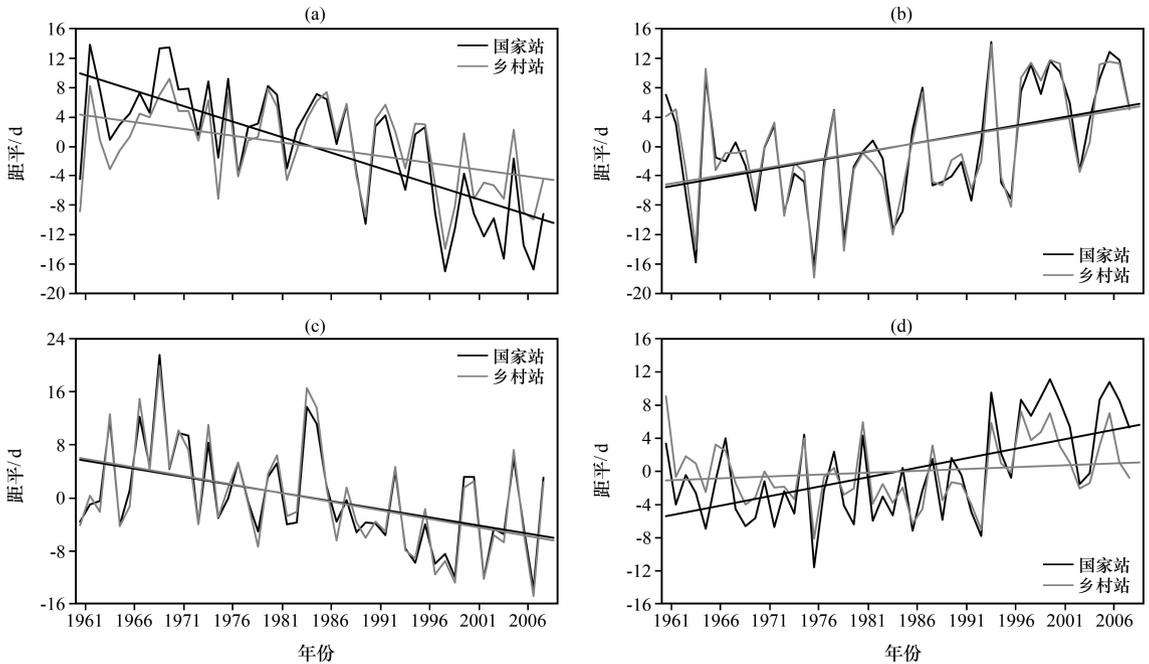


图 2 1961—2008 年华北地区国家站和乡村站绝对极端气温指数距平序列时间演变

(a) 霜冻日数, (b) 夏季日数, (c) 结冰日数, (d) 炎热夜数, 直线为趋势线

Fig. 2 Anomalies of absolute indices of national stations and rural stations in North China during 1961—2008. (a) frost days, (b) summer days, (c) ice days, (d) tropical nights.

Straight lines are linear trends

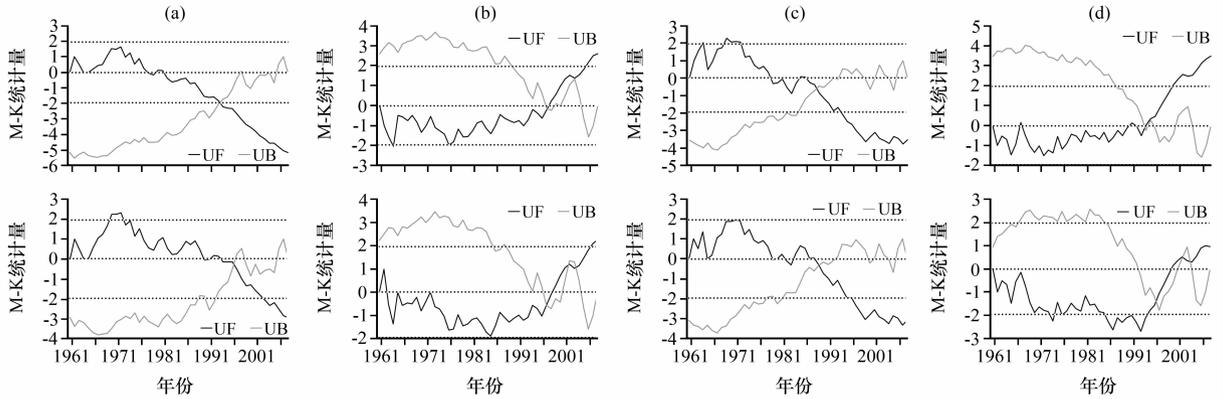


图3 1961—2008年华北地区国家站(上)和乡村站(下)绝对极端气温指数序列的M-K统计量曲线
(a)霜冻日数,(b)夏季日数,(c)结冰日数,(d)炎热夜数

Fig. 3 The Mann-Kendall abrupt detection of absolute indices of national stations(up) and rural stations(down) in North China during 1961—2008. (a) frost days, (b) summer days, (c) ice days, (d) tropical nights

变化为主,之后开始减少,21世纪减少显著,1996年前后存在突变。夏季日数是增多的趋势,国家站和乡村站时间演变基本一致,都是在20世纪60—90年代为振荡变化,90年代末后发生多次突变,出现了增长趋势,但趋势都不显著。结冰日数在国家站和乡村站表现出一致的减少趋势,从M-K曲线看,两者20世纪80年代前趋势变化都不明显,从80年代后期开始减少,90年代中期减少趋势达

到0.05显著性水平,其突变点都出现在1989年前后。炎热夜数在国家站是增多趋势,从20世纪90年代中期突变后增多,21世纪突破0.05显著性水平;在乡村站趋势不明显,从M-K的曲线也可以看出,21世纪前期振荡变化,之后有一个上升趋势,但没有达到0.05显著性水平。

从极值指数距平的时间演变(图4)和M-K统计值曲线(图5)看,极端最高气温在国家站和乡村

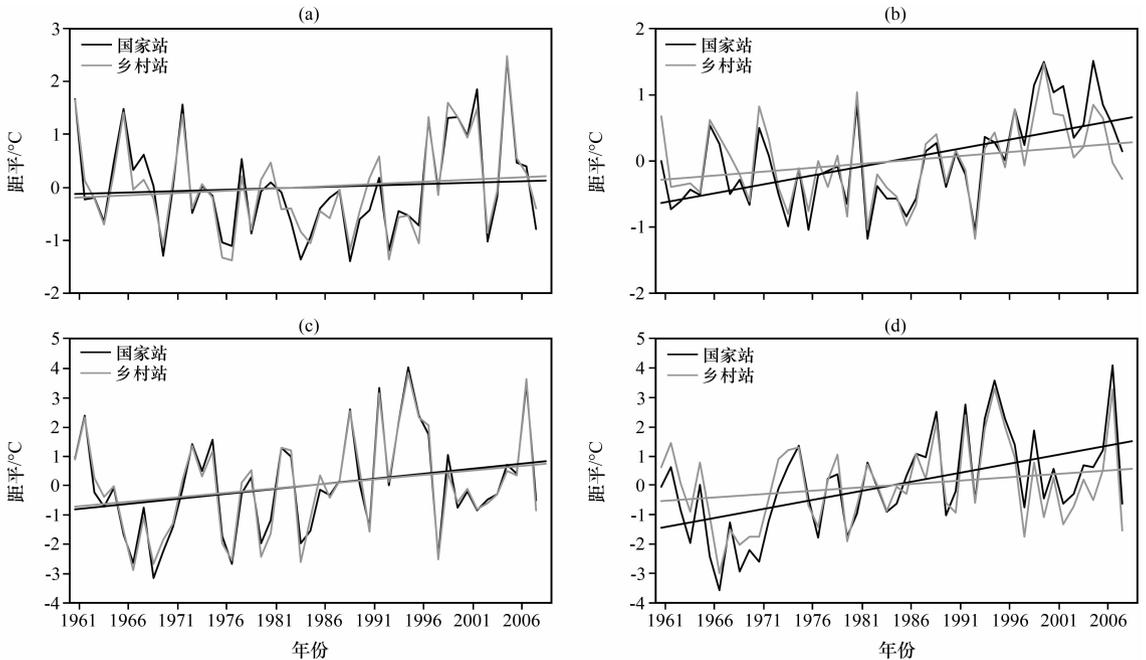


图4 1961—2008年华北地区国家站和乡村站极值指数距平时间演变

(a)极端最高气温,(b)最低气温极大值,(c)最高气温极小值,(d)极端最低气温,直线为趋势线

Fig. 4 Anomalies of extreme value indices of national stations and rural stations in North China during 1961—2008. (a) the maximum of daily maximum temperature T_{\max} , (b) the maximum of daily minimum temperature T_{\min} , (c) the minimum T_{\max} , (d) the minimum T_{\min} . Straight lines are linear trends

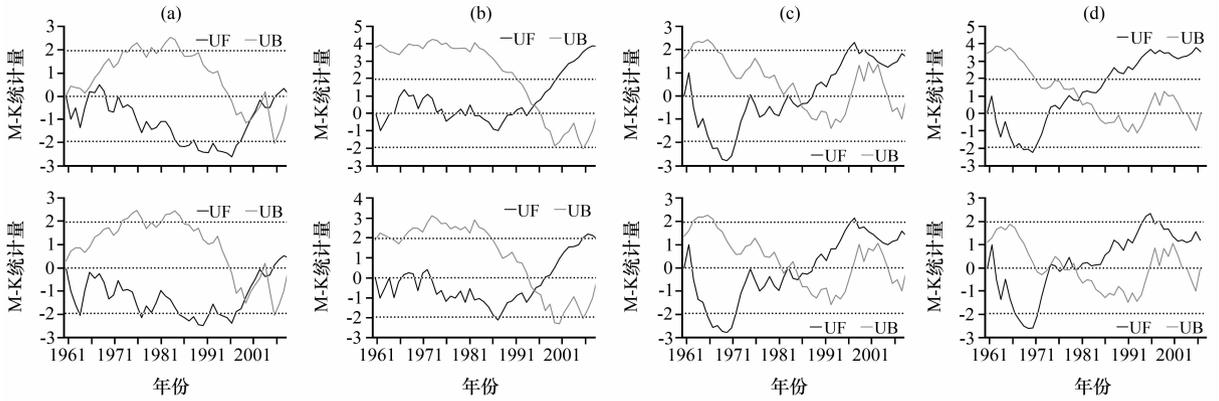


图 5 1961—2008 年华北地区国家站(上)和乡村站(下)极值指数的 M-K 统计量曲线

(a) 极端最高气温, (b) 最低气温极大值, (c) 最高气温极小值, (d) 极端最低气温

Fig. 5 The Mann-Kendall abrupt of extreme value indices of national stations(up) and rural stations(down) in North China during 1961–2008. (a) the maximum T_{\max} , (b) the maximum T_{\min} , (c) the minimum T_{\max} , (d) the minimum T_{\min}

站都没有明显变化趋势。最高气温极小值有弱的升高趋势,但基本未达到显著性水平。最低气温极大值在国家站和乡村站都有微弱上升,国家站上升趋势相对明显,开始上升的时间也偏早,从 20 世纪 90 年代中期开始呈增长趋势,进入 21 世纪后增长趋势明显,突变时间出现在 1994 年前后;乡村站则是从 20 世纪 90 年代后期开始增长,21 世纪增长趋势明显,突变时间也出现在 1994 年前后。极端最

低气温在国家站自 20 世纪 70 年代以来升高,1981 年前后发生突变,80 年代后期升高趋势达到 0.05 显著性水平;在乡村站开始升高时间偏晚,且存在多个突变点,但大部分时段没有达到 0.05 显著性水平,其时间演变较国家站平缓得多。

从相对指数距平的时间演变(图 6)看,冷夜日数在国家站和乡村站都明显减少,但乡村站变化趋势较缓。根据 M-K 统计值曲线(图 7)可以看出,

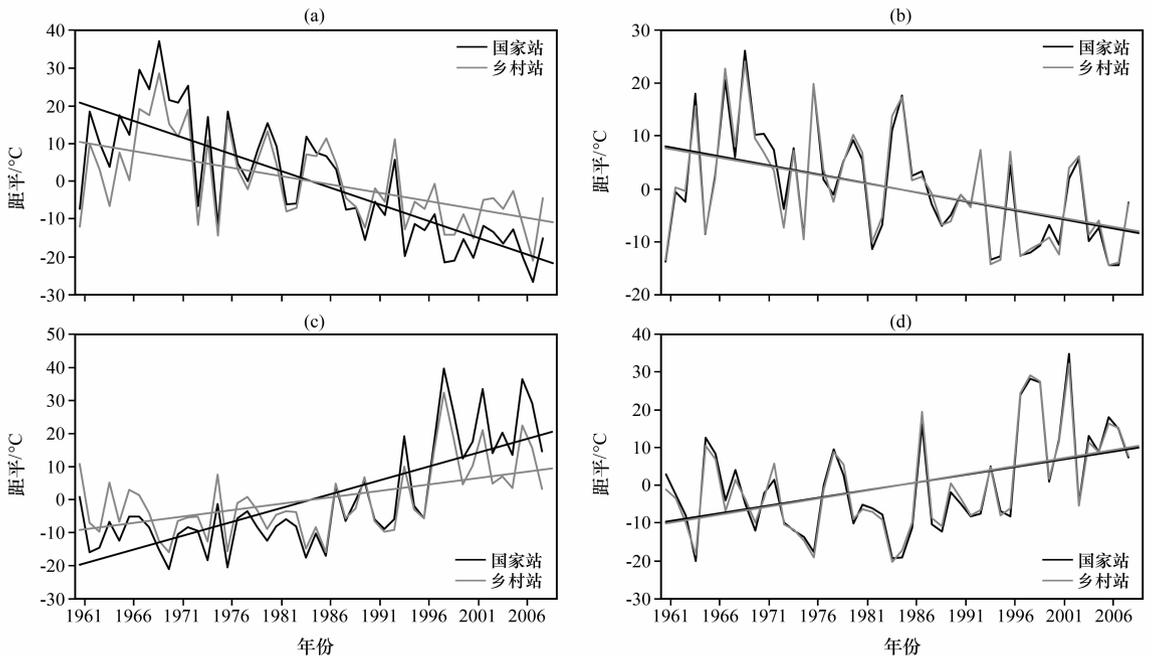


图 6 1961—2008 年华北地区国家站和乡村站相对指数距平时间演变

(a) 冷夜日数, (b) 冷昼日数, (c) 暖夜日数, (d) 暖昼日数, 直线为趋势线

Fig. 6 Anomalies of relative indices of national stations and rural stations in North China during 1961–2008. (a) cool nights, (b) cool days, (c) warm nights, (d) warm days. Straight lines are linear trends

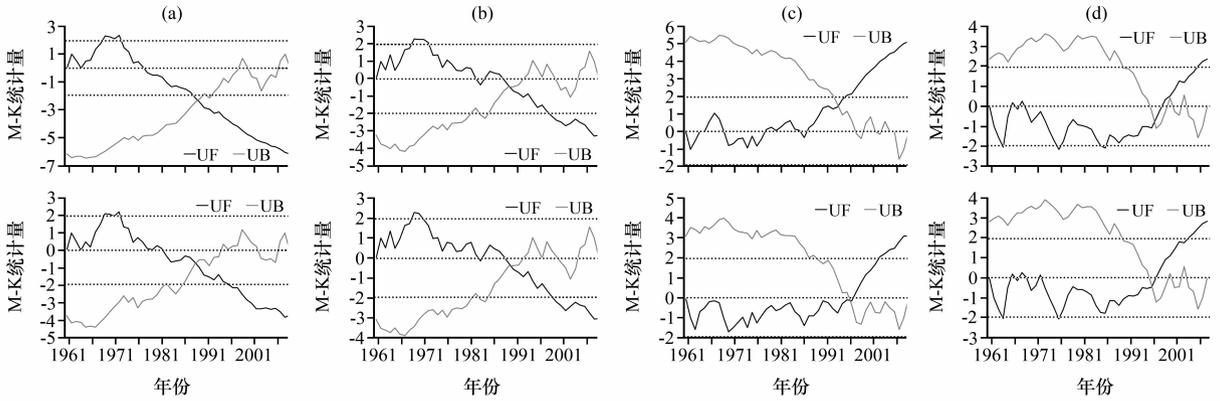


图7 1961—2008年华北地区国家站(上)和乡村站(下)相对指数的M-K统计量曲线

(a) 冷夜日数, (b) 冷昼日数, (c) 暖夜日数, (d) 暖昼日数

Fig. 7 The Mann-Kendall abrupt of relative indices of national stations(up) and rural stations(down) in North China during 1961–2008. (a) cool nights, (b) cool days, (c) warm nights, (d) warm days

国家站和乡村站冷夜日数都是从20世纪70年代减少,在1989年前后发生突变,但国家站冷夜日数减少自80年代后期就达到0.05显著性水平,而乡村站则是到90年代中期才达到0.05显著性水平。冷昼日数在国家站和乡村站随时间变化较为一致,都是自20世纪80年代后期开始减少,90年代后期减少趋势显著,突变点都在1989年前后。暖夜日数为增加的趋势,在国家站是从20世纪80年代后期开始增加,1994年前后出现突变,1995年以后增加的趋势都达到0.05显著性水平;乡村站则是在20世纪90年代后期才开始增加,1997年前后出现突变,进入21世纪后达到0.05显著性水平,显著增加的时间偏晚,且其增加趋势也比国家站弱。暖昼日数在国家站和乡村站都表现出明显的增加趋势,且两者的时间变化也较一致,都是从20世纪90年代后期开始增加,21世纪以后达到0.05显著性水平,突变点在1997年前后。

综上所述,近48年华北区域极端暖指日数明显增加,冷指日数明显减少,而极端指数的极值都呈上升的趋势,与最低气温相关的指数的变化一般比与最高气温相关的指数变化要显著;国家站的时间变化趋势也较乡村站明显。气温指数中冷指数突变一般发生在20世纪80年代末,暖指数突变要晚一些,出现在90年代中后期。

3.2 国家站极端气温指数序列中的城市化影响

由上述分析可知,近48年华北区域国家站极端气温指数趋势变化一般较乡村站幅度更大。通过对比该区域内国家站和乡村站极端气温指数趋势的变化,期待定性、定量了解城市化对华北极端气候

变化的影响,为进一步检测、识别中国以及更大区域极端气候变化原因进行试验性研究。

从表1中还可看出,绝对指数中国家站霜冻日数减少比乡村站明显,城市化影响为负值,城市化影响贡献率为56.2%,表明城市化加剧了霜冻日数的减少,国家站霜冻日数的减少有一半以上是由城市化造成的。国家站夏季日数增加比乡村站明显,城市化影响为正值,但未达到0.05显著性水平,表明城市化对夏季日数影响不显著。国家站结冰日数和乡村站差异不大,城市化影响也不显著。国家站炎热夜数明显增多,乡村站变化不大,城市化影响为正值,城市化影响为80%,表明国家站炎热夜数的增多有80%是由城市化影响增强导致的。

就极值指数而言,在国家站和乡村站极端最高气温和最高气温极小值趋势变化差异不大,城市化影响都不明显。最低气温极大值和极端最低气温的城市化影响为正值,贡献率分别为56%和63.4%,表明最低气温受城市化影响较大,其极值的升高有6成左右是城市化影响造成的。

就相对指数而言,冷(暖)夜日数的城市化影响都显著,城市化影响贡献率都在50%以上,表明城市化使冷夜日数的减少和暖夜日数的增多更显著,而冷(暖)昼日数的趋势变化中没有检测到明显的城市化影响。

综上所述,城市化加剧了冷指日数的减少和暖指日数的增加,同时也使最低气温的极值明显升高。与最低气温相关的指数城市化影响较与最高气温相关的要显著许多,其城市化影响贡献率都在50%以上,且都达到0.01显著性水平。这说明在

表 2 1961—2008 年华北区域城市化影响代表台站个例分析

Table 2 Case analysis of the urbanization effect in North China during 1961—2008

测站	经度 /°E	纬度 /°N	变化趋势											
			绝对指数/[d · (10a) ⁻¹]				极值指数/[°C · (10a) ⁻¹]				相对指数/[d · (10a) ⁻¹]			
			霜冻 日数	夏季 日数	结冰 日数	炎热 夜数	极端最 高气温	最低气温 极大值	最高气温 极小值	极端最 低气温	冷夜 日数	冷昼 日数	暖夜 日数	暖昼 日数
北京	116.47	39.80	-4.33*	2.44*	-2.39*	4.15*	0.24	0.21*	0.43*	0.95*	-13.21*	-4.64*	10.91*	7.08*
霞云岭	115.73	39.73	0.12	1.72	-2.61*	-2.32*	0.09	-0.10	0.40	0.18	1.17	-3.10*	-1.79	5.62*
上甸子	117.12	40.65	-1.10	1.99	-3.67*	-0.84	0.29	-0.01	0.38	0.06	-0.29	-2.74	2.08	6.97*
太原	112.55	37.78	-4.14*	3.7*	-3.51*	1.67*	0.28*	0.33*	0.09	0.65*	-8.87*	-5.15*	9.82*	7.08*
岚县	111.65	38.28	-1.26	3.37*	-5.03*	-	0.25	0.24*	0.36	-0.18	-4.85*	-4.74*	2.63*	6.97*
五台山	113.52	38.95	-2.38*	-	-1.94*	-	0.19	0.07	0.78*	1.01*	-5.73*	-2.12	4.56*	4.45*
呼和浩特	111.68	40.82	-5.44*	3.85*	-3.96*	2.08*	0.20	0.57*	0.27	1.25*	-15.95*	-4.75*	13.51*	7.08*
凉城	112.52	40.52	-3.06*	3.42*	-2.99*	-	0.08	0.13	0.08	0.06	-8.03*	-4.42*	5.77*	5.66*
朱日和	112.90	42.40	-3.41*	3.19*	-3.56*	1.62*	0.25	0.32*	0.46	0.67*	-8.54*	-3.65*	6.64*	3.91*

注：“-”表示该台站没有该项指数，*表示达到0.05显著性水平

华北区域国家站与最低气温相关的气温极端指数的变化中，城市化影响显著，如果剔除城市化的影响，这些指数的变化幅度将显著减小。而与最高气温相关的指数中未检测出明显的城市化影响。

选取华北区域3个大城市站为代表，分析其与周围乡村站极端指数的差异(表2)。从表2中可看出，城市站绝对指数中冷指数明显减少，暖指数明显增加，对应的乡村站大致也呈现相应变化，但变化幅度大部分相对要小；城市站极值指数均为上升趋势，且大部分达到0.05显著性水平，而对应的乡村站虽然也以上升趋势为主，但大部分没有达到0.05显著性水平，其增幅一般比城市站小；相对指数城乡差异尤其明显，城市站冷昼(夜)明显减少，暖昼(夜)显著增多，其增(减)趋势都达到0.05显著性水平；乡村站冷昼(夜)和暖昼(夜)变化与城市站基本一致，但趋势明显比城市站弱。

考察极端指数线性趋势的四季变化发现(图略)，国家站极值指数除夏季最高气温极小值略降低外，其余均为升高趋势，与最低气温相关的指数所有季节的变化趋势都达到0.01显著性水平，而与最高气温相关的指数仅秋季的极端最高气温和冬季的最高气温极小值分别达到0.01和0.05显著性水平。乡村站极值指数四季变化与国家站基本相似，但通过显著性检验的比国家站少，与最低气温相关的指数升高幅度较国家站小。

国家站相对指数冷指数明显减少，暖指数明显增多，与最低气温相关的指数所有季节的变化趋势

都达到0.01显著性水平，与最高气温相关的指数除夏季冷(暖)昼日数外，其余都达到0.05显著性水平。乡村站除夏季冷昼日数增多外，其余指数的四季变化与国家站相似，冷(暖)夜变化趋势较国家站弱。

从城市化影响(表3)中可看出，极值指数中极端最高气温城市化影响四季均为负值，但仅冬季达到0.05显著性水平。最高气温极小值城市化影响以正值为主，仅春季达到0.05显著性水平。最低气温极大值的城市化影响四季均为正值，除秋季以外，其余季节城市化影响均达到0.01显著性水平。极端最低气温城市化影响都是正值，且都达到0.01显著性水平。极值指数城市化增温效应春、冬季相对显著。

相对指数中冷(暖)昼日数的城市化影响仅夏季达到0.05显著性水平。而冷(暖)夜日数四季城市化影响都达到0.01显著性水平。冷夜日数城市化影响冬季最大，春、秋季次之，但城市化影响贡献率以秋季最大，达62.6%，表明秋季冷夜日数的减少有6成以上是由城市化增温效应造成的；暖夜日数城市化影响则是夏季最显著。值得注意的是，城市化对夏季暖昼日数的增加起到明显的抑制作用。究其原因，考虑与城市热岛环流导致上升气流加强、城市污染严重、上空含有较多凝结核等导致市区云量多、白天最高温度升不上去有关。

综上所述，国家站极值指数四季变化基本以升高趋势为主，相对指数则是冷指日数减少、暖指日

表 3 1961—2008 年华北区域极值指数和相对指数城市化影响四季变化

Table 3 Urbanization effects for seasonal extreme value index and relative index in North China during 1961—2008

极值指数	季节	城市化影响 /[$^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$]	城市化影响 贡献率/%	相对指数	季节	城市化影响 /[$\text{d} \cdot (10\text{a})^{-1}$]	城市化影响 贡献率/%
极端最高气温	春季	-0.069	-	冷夜日数	春季	-4.643 **	51.9
	夏季	-0.050	-		夏季	-2.981 **	44.0
	秋季	-0.057	-		秋季	-4.593 **	62.6
	冬季	-0.099 *	-33.3		冬季	-4.977 **	36.9
最低气温极大值	春季	0.218 **	75.2	冷昼日数	春季	-0.219	-
	夏季	0.118 **	48.0		夏季	-0.746 **	100.0
	秋季	0.070	-		秋季	0.051	-
	冬季	0.154 **	24.7		冬季	0.151	-
最高气温极小值	春季	0.079 *	34.3	暖夜日数	春季	5.068 **	52.7
	夏季	0.011	-		夏季	5.503 **	69.8
	秋季	-0.004	-		秋季	3.871 **	54.7
	冬季	0.012	-		冬季	3.552 **	38.6
极端最低气温	春季	0.383 **	80.3	暖昼日数	春季	-0.469	-
	夏季	0.242 **	41.7		夏季	-0.825 *	-39.6
	秋季	0.212 **	30.7		秋季	0.354	-
	冬季	0.343 **	48.0		冬季	0.071	-

注：*、** 分别表示达到 0.05 和 0.01 显著性水平；“-”表示城市化影响未达到 0.05 显著性水平的不计算城市化影响贡献率

数增多，与最低气温相关的指数变化更为显著。城市化对与最高气温相关的指数影响不明显，却显著加剧了与最低气温相关的指数变化趋势，极值指数和冷夜日数城市化增温效应一般在春、冬季更明显，冬季气候逐渐变得温和，冷(暖)昼日数和暖夜日数则是夏季受城市化影响更显著。

4 结论和讨论

利用经过非均匀性检验和订正的华北区域 84 个国家站和 24 个乡村站逐日最高、最低气温，分析了 1961—2008 年该区域极端气温指数的变化趋势及城市化影响对这些指数的影响情况，得到以下主要结论：

(1) 极端暖指日数明显增加，冷指日数明显减少，而极端指数的极值都呈上升趋势，与最低气温相关的指数变化一般比与最高气温相关的指数变化要显著；国家站的时间变化趋势也较乡村站明显。气温指数中冷指数突变一般发生在 20 世纪 80 年代末，暖指数突变要晚一些，在 90 年代中后期。

(2) 从年变化来看，城市化加剧了冷指日数的减少和暖指日数的增加，同时也使最低气温的极值明显升高。与最低气温相关的指数城市化影响较

与最高气温相关的要显著许多，其城市化影响贡献率都在 50% 以上，且都达到 0.01 显著性水平。这说明在华北地区国家站与最低气温相关的气温极端指数变化中，城市化影响显著，如果剔除城市化的影响，这些指数的变化幅度将显著减小。而与最高气温相关的指数中未检测到明显的城市化影响。

(3) 从四季变化来看，国家站极值指数四季变化基本以升高趋势为主，相对指数则是冷指日数减少，暖指日数增多，与最低气温相关的指数变化更为显著。城市化对与最高气温相关的指数影响不明显，却显著加剧了与最低气温相关的指数的变化趋势，极值指数和冷夜日数城市化增温效应一般在春、冬季更明显，冷(暖)昼日数和暖夜日数则是夏季受城市化影响更显著。

从 Zhou et al^[15] 和本文的研究都可以看出，华北地区与最低气温相关的极端气温指数变化趋势中存在明显的城市化影响。城市热岛增强效应使得该区域冷指日数的减少和暖指日数的增加更加明显，并使得最低气温的极值显著升高。与 Zhou et al^[15] 研究结果相比，本文城市化影响在数值上略有差异，主要原因在于本文计算各指数区域平均的趋势的方法与前者不同。本文是先将逐站指数的时间序

列区域平均后求取趋势作为区域的趋势, 而 Zhou et al^[15]则是将逐站各指数的趋势直接区域平均得到整个区域的趋势。

根据本文结论, 华北区域国家站与最低气温相关的极端气温指数的年变化趋势中城市化影响贡献率都在 50% 以上, 如果去掉城市热岛影响, 那么这部分极端气温指数的变化将明显减弱。需要指出的是, 由于作为背景站的乡村站选取非常困难, 真正没有受到城市化影响的台站很少, 目前能够做到的只能是尽最大可能, 选择那些代表性相对较好的站点, 但一些参考站仍不可避免地坐落于乡镇甚至小城市等居民区附近, 其气候也不免要受到一些城市化的影响。因此本文给出的国家站极端气温变化中城市热岛增温贡献率只是最低估计值。准确估计城市化对区域极端气温序列的影响还需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007. The Physical Science Basis[R]. Solomon S, Qin D, Manning M, et al. eds. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007: 996.
- [2] 气候变化国家评估报告编委会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 80-105.
- [3] Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation[J]. J Geophys Res, 2006, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
- [4] Alexander L V, Tapper N, Zhang X, et al. Climate extremes: Progress and future directions[J]. Int J Climatol, 2009, 29: 317-319.
- [5] Zhang X, Zwiers F W, Hegerl G C, et al. Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends[J]. Nature, 2007, 448: 461-465.
- [6] Choi G, Collins D, Ren G, et al. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asian-Pacific network region, 1955-2007[J]. Int J Climatol, 2009, 29(13): 1906-1925.
- [7] Zhai P, Pan X. Trends in temperature extremes during 1951-1999 in China[J]. Geophys Res Lett, 2003, 30, doi: 10.1029/2003GI018004.
- [8] 胡宜昌, 董文杰, 何勇. 21 世纪初极端天气气候事件研究进展[J]. 地球科学进展, 2007, 22(10): 1066-1075.
- [9] 丁一汇, 任国玉. 中国气候变化科学概论[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 281.
- [10] 郭军, 任国玉, 任雨. 近 100 年天津平均气温与极端气温变化[J]. 高原气象, 2011, 30(5): 1399-1405.
- [11] 陈少勇, 王劲松, 任燕, 等. 近 49 年中国西北地区极端低温事件的演变特征[J]. 高原气象, 2011, 30(5): 1266-1273.
- [12] 周雅清, 任国玉. 中国大陆 1956-2008 年极端气温事件变化特征分析[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 405-417.
- [13] 任国玉, 封国林, 严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 337-353.
- [14] Ren G, Chen Y, Zou X, et al. Change in climatic extremes over mainland China based on an integrated extreme climate index[J]. Climate Res, 2011, 50: 113-124, doi: 10.3354/cr01023.
- [15] Zhou Y, Ren G. Change in extreme temperature event frequency over mainland China, 1961-2008[J]. Climate Res, 2011, 50: 125-139, doi: 10.3354/cr01053.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Jones P D, Groisman P Y, Coughlan M, et al. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land[J]. Nature, 1990, 347: 169-172.
- [19] Peterson T C. Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found[J]. J Climate, 2003, 16(18): 2941-2959.
- [20] Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate[J]. Nature, 2003, 423: 528-531.
- [21] Ren G, Zhou Y, Chu Z, et al. Urbanization effect on observed surface air temperature trend in North China[J]. J Climate, 2008, 21(6): 1333-1348.
- [22] 郑祚芳, 高华, 王在文, 等. 北京地区降水空间分布及城市效应分析[J]. 高原气象, 2014, 33(2): 522-529, doi: 10.7522/j.issn.1000-0534.2012.00193.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 杜予罡, 唐国利, 王元. 近 100 年中国地表平均气温变化的误差分析[J]. 高原气象, 2012, 31(2): 456-462.
- [30] 张雷, 任国玉, 刘江, 等. 城市化对北京气象站极端气温指数趋势变化的影响[J]. 地球物理学报, 2011, 54(5): 1150-1169.
- [31] Liu X N, Li Q X. Research of the inhomogeneity test of climatological data series in China[J]. Acta Meteor Sini, 2003, 17(4): 492-502.
- [32] Li Q X, Liu X N, Zhang H Z, et al. Detecting and adjusting temporal inhomogeneity in Chinese mean surface air temperature data[J]. Adv Atmos Sci, 2004, 21(2): 260-268.
- [33] 任国玉, 张爱英, 初子莹, 等. 我国地面气温参考站点遴选的依据、原则和方法[J]. 气象科技, 2010, 38(1): 79-85.

- [34] Zhang X B, Yang F. RClimDex (1.0) user manual[Z]. <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>, 2004.
- [35] Von Storch H, Zwiers F W. Statistical analysis in climate research[M]. New York: Cambridge University Press, 2003: 484.
- [36] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第2版. 北京: 气象出版社, 2007.
- [37] Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: Methods and illustrations[J]. *Int J Climatol*, 1996, 16: 361–377.

Urbanization Effect on Long – Term Trends of Extreme Temperature Events in North China

ZHOU Yaqing¹, REN Guoyu²

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

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

Abstract: An analysis of urbanization effect on the long-term trends of extreme temperature events as observed from the national meteorological stations over North China is made in the period of 1961 – 2008. It is found that the minimum-related extreme temperature indices of both the national stations and the rural stations exhibit statistically significant trends, but those from the national stations are more significant. The abrupt shifts of the cold extreme temperature indices generally occur in 1980s, and those of the warm extreme temperature indices mostly occur in middle to late 1990s. Urbanization leads to significant decrease(increase) in days of cold(warm) extreme indices and significant increase in extreme values of minimum temperature for the national stations. More significant urbanization effects are registered for the extreme indices related to minimum temperature than for those related to maximum temperature, with the urbanization contributions for the formers all above 50%. Urbanization effects on trends of extreme value indices and cold nights are generally larger in spring and winter-time. Changes in cold(warm) days and warm nights due to urbanization, however, are more significant in summertime.

Key words: Extreme temperature indices; Urbanization effect; Maximum temperature; Minimum temperature