

# 1960~2014年北京极端气温事件变化特征

李双双,杨赛霓

(北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室减灾与应急管理研究院,北京 100875)

**摘要:**基于北京1960~2014年逐日最高温、最低温、平均气温实测数据,采取RHtest方法对气温序列进行均一性检验和修订。在此基础上选取16个极端气温指标,分析了北京市极端气温变化趋势和突变特征,探讨了冷暖极端气温指数对北京气候暖化的贡献。结果表明:① 1960~2014年北京气温暖化趋势明显,最低温增温速率远快于最高温,修订后增长速率为:最高温( $0.17^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ) < 平均温( $0.30^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ) < 最低温( $0.51^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ );② 冷昼日数、冷夜日数、霜冻日数、冰冻日数、冷持续日数分别以 $-1.43\text{ d}/10\text{a}$ 、 $-6.56\text{ d}/10\text{a}$ 、 $-3.95\text{ d}/10\text{a}$ 、 $-1.18\text{ d}/10\text{a}$ 、 $-4.83\text{ d}/10\text{a}$ 的趋势减小;③ 暖昼日数、暖夜日数、夏季日数、热夜日数、暖持续日数、生物生长季以 $2.12\text{ d}/10\text{a}$ 、 $5.27\text{ d}/10\text{a}$ 、 $1.22\text{ d}/10\text{a}$ 、 $5.43\text{ d}/10\text{a}$ 、 $0.84\text{ d}/10\text{a}$ 、 $1.96\text{ d}/10\text{a}$ 的趋势增加;④ 日最高(低)气温极高值、日最高(低)气温极低值和气温日较差的倾向率分别为 $0.21^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.34^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.31^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.73^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $-0.33^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ;⑤ 极端最低气温的变暖幅度大于极端最高气温,夜指数的变暖幅度大于昼指数,冷指数的变幅大于暖指数。极端气温冷指数、夜指数、低温指数的快速变化是近年来北京市气候暖化的最直接体现。

**关键词:**气候变化;极端气温;变化趋势;北京

**中图分类号:**p468.0+21

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-0690(2015)12-1640-08

IPCC第五次评估报告指出,气候系统变暖依然是毋庸置疑的事实。1951~2012年全球平均地表温度升温速率为 $0.12^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,1980~2012年为工业革命以来最暖的30 a<sup>[1]</sup>。第二次气候变化国家评估报告指出,1960~2009年中国年均地表平均气温上升了 $1.38^{\circ}\text{C}$ ,比全球或北半球同期平均增温速率明显偏高<sup>[2]</sup>。月尺度、季节尺度上极端气温事件对近50 a全球气温暖化具有关键性影响<sup>[3]</sup>。20世纪60年代夏季极端气温典型覆盖区占全球陆地面积不到1%,当前已快速上升为10%<sup>[4]</sup>,极端破纪录气温事件亦在增多<sup>[5]</sup>。气候变暖不仅直接影响温度极值变化,而且已经导致高温干旱和暴雨洪涝等极端气候事件的发生频率与强度出现加剧的趋势,并将继续产生长远而巨大的影响,特别是对气候变化的敏感区和脆弱区<sup>[6]</sup>。

随着经济全球化的迅猛发展和城市化进程的全面推进,城市在现代社会中的中心地位和主导作用更加凸显,既是环境资源问题的高发地和社会矛盾的集结场,又是引领和带动全社会实现可

持续发展的引擎和支点<sup>[7]</sup>,更是气候变化响应的敏感区和脆弱区。目前,中国正处在城市化率由30%~60%之间的城市化快速推进期,是城市面临可持续发展压力和问题比较集中的敏感时期,也是城市可持续发展基础和能力建设最为特殊的时期。关注城市极端气候事件变化规律,揭示快速城市化与极端气候强度加大、频度增高的内在机理,对构建区域风险防范体系,设定不同的防灾减灾标准,快速评价城市灾害损失,完善城市自然灾害防御应急机制具有重要实践意义。

北京位于华北平原北端,是黄土高原、内蒙古高原向华北平原的过渡地带,气候属于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,冬夏较长<sup>[8]</sup>。近几十年,北京作为全国政治、经济、文化和国际交流中心,城市化进程举世瞩目。由于城市建筑密度与高度迅速增大,形成了一个非常复杂的立体下垫面,加之人类活动共同作用,城市气候系统具有明显的独特性<sup>[9]</sup>。在全球气候变暖的大背景下,对北京极

**收稿日期:**2014-10-15;**修订日期:**2015-02-21

**基金项目:**地表过程模型与模拟创新研究群体科学基金项目(41321001)和国家重点基础研究发展计划(2012CB955402)资助。

**作者简介:**李双双(1988-),男,陕西潼关人,博士研究生,主要研究全球变化与区域灾害防治。E-mail: lss40609010@126.com

**通讯作者:**杨赛霓,教授。E-mail: yangsaini@bnu.edu.cn

端气候的研究显得尤为重要,受到了国内外众多学者广泛的关注<sup>[8-11]</sup>,并开展了一系列有意义的工作。在前人研究基础上,修订气候序列,丰富极端气温事件指标体系,对北京极端温度变化特征进行分析,以期科学适应、减缓和应对气候变化,有效地评估极端气候事件的影响提供一些理论依据。

1 资料来源与研究方法

1.1 资料来源

本文逐日平均气温、日最高气温、日最低气温数据来源于中国气象科学数据共享服务网,为建立均一、稳定的气温序列,将数据资料时段统一为1960~2014年,经整理后55 a气温资料具有较好的连续性。

1.2 研究方法

1.2.1 极端气温指标定义

本研究对极端气温指数定义标准是基于世界气象组织(WMO)气候委员会(CCI)、全球气候研究计划(WCRP)气候变化和可预测性计划(CLIVAR)气候变化检测、监测和指标专家组(ETCCDMI)确定的“气候变化检测和指标”(Expert Team on Climate Change Detection and Indices),该方法已被国内外学者在研究极端气候事件中广泛应用<sup>[12-15]</sup>。在此定义16个极端气温指标,包括四大类:相对指数、绝对指数、极值指数和持续指数(表1)。

1.2.2 RHtest均一性检验方法

在气候变化研究中,均一性的长序列资料是研究的基础,有益于真实可靠地评估历史气候趋势和变率,尤其是对于气候态和极端事件的研究非常重要<sup>[17]</sup>。记录显示北京站自1960年以来曾有5次迁站(1965年、1969年、1970年、1981年和1997年),2004年观测方式由人工观测转为自动化记录。最近2次迁站:1981~1996年在动物园(现为城区),1997年后迁到现在气象站所在地大兴观象台(现为郊区)。由于热岛效应,1997年之后气温比同期原址气温明显偏低<sup>[18]</sup>。由于台站的迁移、仪器的变化、观测方式的改变等非气候因素,北京站气候序列不可避免的存在不均一现象,需要进行均一化处理。

为了建立真实的气候序列,国内外学者在气候资料均一化检验和修订方面开展了大量的探索性工作<sup>[19]</sup>,现阶段国际上发展较为成熟的均一性方法有:匈牙利气象局 Szentimrey 发展的 MASH 方法和加拿大环境部 Wang 等建立的 RHtest 方法<sup>[20]</sup>,其已被广泛运用于中国气候资料的均一性研究。本文选择 RHtest 方法对北京气温序列进行均一化检验。在构建修订序列上,城市热岛效应对北京超大城市市区和郊区影响基本一致,其差异性是有限的<sup>[21]</sup>。在此我们扩大修订范围,选取北京周围20 km 和 50 km 区站点构建修订序列(图1)。对比

表1 极端气温指标的定义

Table 1 The definition of extreme temperature indices

分类	缩写	极端气温指标	定义	单位
相对指数	$TX_{10\%}$	冷昼日数	年日最高温 < 1960~2013年第10个百分位数值日数	d
	$TN_{10\%}$	冷夜日数	年日最低温 < 1960~2013年第10个百分位数值日数	d
	$TX_{90\%}$	暖昼日数	年日最高温 > 1960~2013年第90个百分位数值日数	d
	$TN_{90\%}$	暖夜日数	年日最低温 > 1960~2013年第90个百分位数值日数	d
绝对指数	$ID$	冰冻日数	年内日最高温 < 0℃日数	d
	$FD$	霜冻日数	年内日最低温 < 0℃日数	d
	$SU$	夏季日数	年内日最高温 > 25℃日数	d
	$TR$	热夜日数	年内日最低温 > 20℃日数	d
极值指数	$TX_n$	最高温极低值	年日最高温的最小值	℃
	$TN_n$	最低温极低值	年日最低温的最小值	℃
	$TX_s$	最高温极高值	年日最高温的最大值	℃
	$TN_s$	最低温极高值	年日最低温的最大值	℃
持续指数	$WSDI$	暖持续日数	年日最高温 > 1960~2013年第90个百分位值连续6 d日数	d
	$CSDI$	冷持续日数	年日最低温 < 1960~2013年第10个百分位值连续6 d日数	d
	$GSL$	生物生长季	首次气温连续6 d > 5℃与首次连续6 d < 5℃间隔日数	d
	$DTR$	气温日较差	年内日最高温与最低温的差值	℃

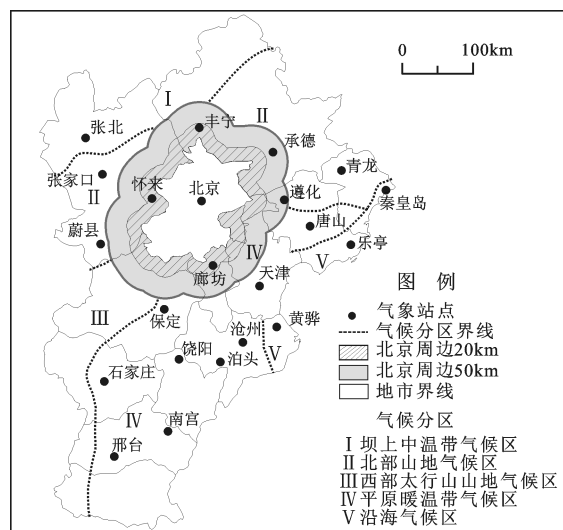


图1 研究区气候区划及气象站点分布

Fig.1 The climate regionalization and the distribution of meteorological station in study area

修订效果发现:20 km区修订效果优于50 km区,能更好反映迁站和观测手段改变对气候序列的影响。基于此,本文选取20 km区内丰宁、怀来和廊坊3站均值作为均一化参考序列。

## 2 结果分析

### 2.1 北京极端气温变化特征

1960~2014年北京市年均温、年均最高温和年

均最低温分别为12.5℃、18.0℃和7.3℃。修订后年均温、年均最高温和年均最低温分别为13.2℃、18.5℃和8.3℃,平均气温有所上升。在变化趋势上,近55 a北京原始数据和修订数据年均温、最高温和最低温均呈明显上升趋势( $p < 0.01$ )(图2),其增长速率分别为:0.17℃/10a(最高温-修订) < 0.21℃/10a(最高温-原始) < 0.30℃/10a(年均温-修订) < 0.38℃/10a(华北最高温) < 0.42℃/10a(年均温-原始) < 0.51℃/10a(最低温-修订) < 0.61℃/10a(最低温-原始) < 0.68℃/10a(华北最低温)。修订后数据增温幅度有所下降,且最低温上升速度亦低于华北地区变化<sup>[22]</sup>。

### 2.2 北京极端气温相对指数变化特征

北京极端气温相对指数包括冷昼、冷夜、暖昼和暖夜日数4个基于相对(浮动)阈值指标,其主要反映极端气温在昼夜冷暖的变化特征。图3为1960~2014年北京极端气温相对指数年际变化趋势。可以看出,近55 a北京冷昼和冷夜呈明显的下降趋势,修订后下降速率分别为1.43 d/10a和6.56 d/10a,远高于全球1960~2011年冷昼(0.67 d/10a)和冷夜(1.09 d/10a)下降速率<sup>[13]</sup>。而暖昼和暖夜则呈上升趋势,修订后上升速率分别为2.12 d/10a和5.27 d/10a,高于全球1960~2011年暖昼(0.80 d/10a)和暖夜(1.17 d/10a)上升速率<sup>[13]</sup>,并且冷夜日数下降快于冷昼,暖夜日数上升快于暖昼。

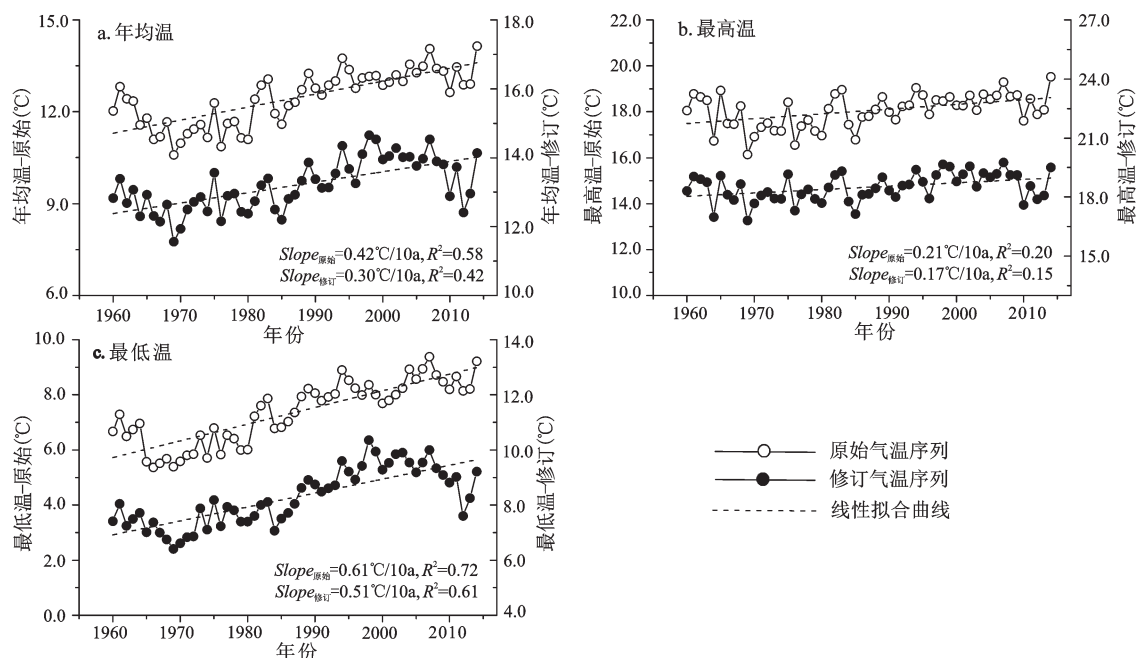


图2 1960~2014年北京气温变化曲线

Fig.2 The change of temperature in Beijing during 1960-2014



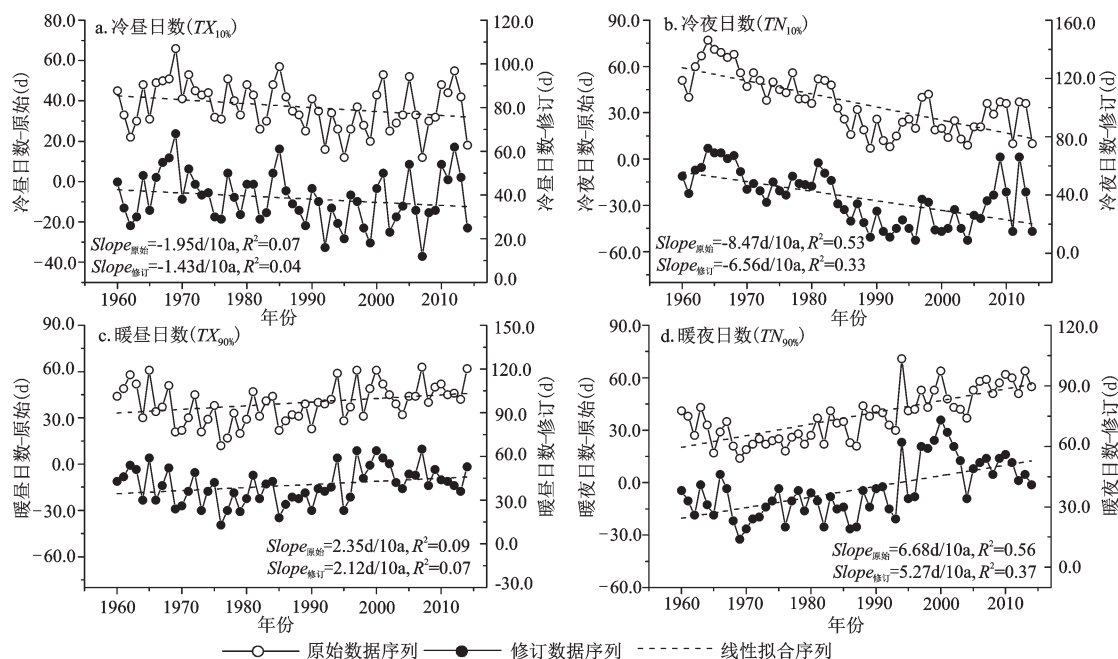


图3 1960~2014年北京极端气温相对指数年际变化趋势

Fig.3 Relative indices change trend of annual extreme temperature events in Beijing during 1960-2014

### 2.3 北京极端气温绝对指数变化特征

北京极端气温相对指数包括夏季、霜冻、热夜和冰冻日数4个基于原始观测数据和固定阈值的指数,主要反映极端气温在季节冷暖的变化特征。从1960~2014年北京极端气温绝对指数年际变化趋势可以看出(图4),近55 a北京夏季和热夜表现出明显的上升趋势,修订后上升速率分别为1.22 d/10a和5.43 d/10a,远高于全球1960~2011年夏季(0.47 d/10a)和热夜日数(0.91 d/10a)上升速率<sup>[13]</sup>。而霜冻和冰冻日数则呈明显的下降趋势,修订后霜冻日数(3.95 d/10a)下降速率高于全球变化(1.80 d/10a),冰冻日数(1.18 d/10a)则低于全球(1.23 d/10a)下降速率<sup>[13]</sup>。近55 a北京热夜上升趋势快于夏季日数,霜冻日数下降快于冰冻日数。

### 2.4 北京极端气温极值指数变化特征

北京极端气温极值指数包括日最高气温极值、日最低气温最低值、日最高气温极高值和日最低气温极高值4个年内日最高(低)气温的极大(小)值的指数,主要反映极端气温在极点的变化特征。图5为1960~2014年北京极端气温极值指数年际变化趋势。从图中可以看出,近55 a北京最高气温的极高值、最高气温的极低值、最低气温的极高值和最低气温的极低值均表现出明显的上升趋势,修订后上升速率分别为0.21℃/10a、0.31℃/

10a、0.34 d/10a和0.73 d/10a,除最高温极低值外(0.21℃/10a),其他指标均高于全球极值指标上升速率<sup>[13]</sup>。其中,日最低气温极低值增温速率最为明显,可见极端气温的最低值持续上升是北京气候暖化的主导因素。

### 2.5 北京极端气温持续性指数变化特征

北京极端气温持续性指数包括暖持续日数、冷持续日数、生物生长季和气温日较差等,主要反映极端气温在持续时间的变化特征。图6为1960~2014年北京极端气温持续和范围指数年际变化趋势。从图中可以看出,近55 a北京暖持续日数和生物生长季均呈增加趋势,修订后暖持续日数上升速率(0.84 d/10a)低于全球暖持续日数(1.18 d/10a),生物生长季(1.96 d/10a)高于全球(1.01 d/10a)上升速率<sup>[13]</sup>,而冷持续日数与气温日较差则有减小趋势,修订后下降速率分别为-4.83 d/10a和-0.33℃/10a,远高于全球冷持续日数(0.62 d/10a)和日较差(-0.09℃/10a)下降速率<sup>[13]</sup>。

### 2.6 北京冷暖极端气温指数对比分析

为了更清楚地描述北京极端气温变化特征,选取冷暖极端气温指数,对比全球和长江流域极端气温变化幅度,以期探究快速城市化进程对极端气温变化的影响。表2为1960~2014年北京极端气温指数变化幅度对比。从表中可以看出,修

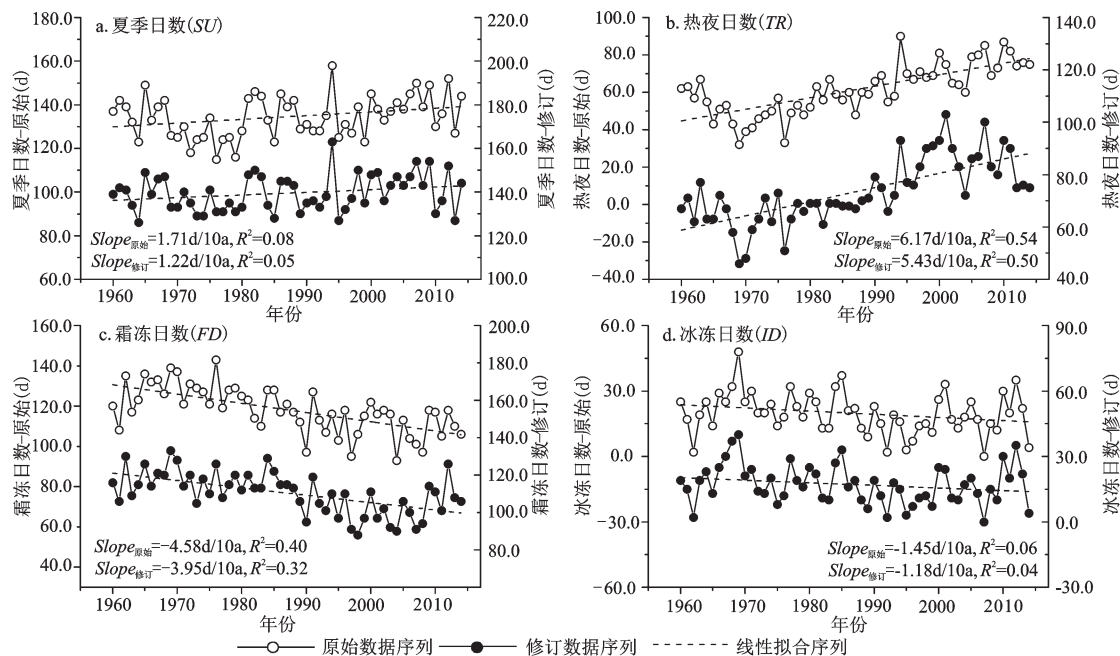


图4 1960~2014年北京极端气温绝对指数年际变化趋势

Fig.4 Absolute indices change trend of annual extreme temperature events in Beijing during 1960-2014

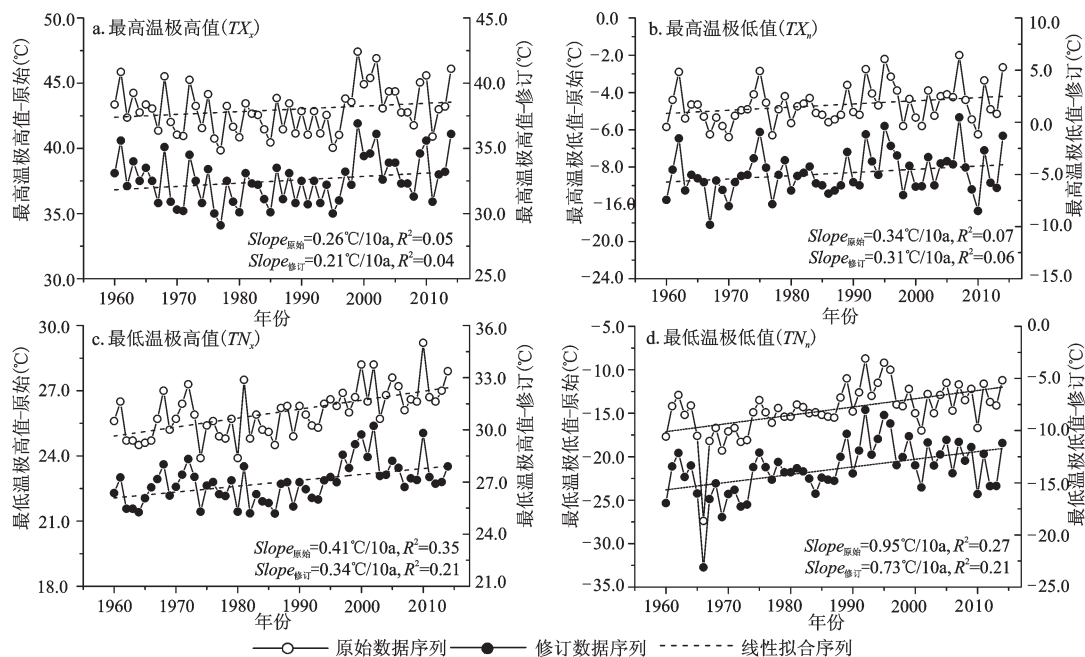


图5 1960~2014年北京极端气温绝对指数年际变化趋势

Fig.5 Extremal indices change trend of annual extreme temperature events in Beijing during 1960-2014

订后冷指数 ( $TN_{10\%}$ 、 $TX_n$ 、 $TN_n$ 、 $CSDI$ ) 变暖幅度大于暖指数 ( $TN_{90\%}$ 、 $TX_x$ 、 $TN_x$ 、 $WSDI$ )，夜指数 ( $TN_{90\%}$ 、 $TN_{10\%}$ ) 变暖幅度大于昼指数 ( $TX_{90\%}$ 、 $TX_{10\%}$ )，极端低温指数 ( $TX_n$ 、 $TN_n$ ) 上升幅度要大于极端高温指数 ( $TX_x$ 、 $TN_x$ )，这种变化的原因主要是由于冬季比夏

季较大的变暖幅度造成的，其物理机制可能是中国北方冬季空气中的水汽含量小于夏季，冬季燃煤取暖温室气体大量排放。因此，冬季温室气体的辐射强迫效应增强进而引起更大幅度的升温<sup>[15]</sup>。

对比长江流域和北京地区极端气温变幅，可

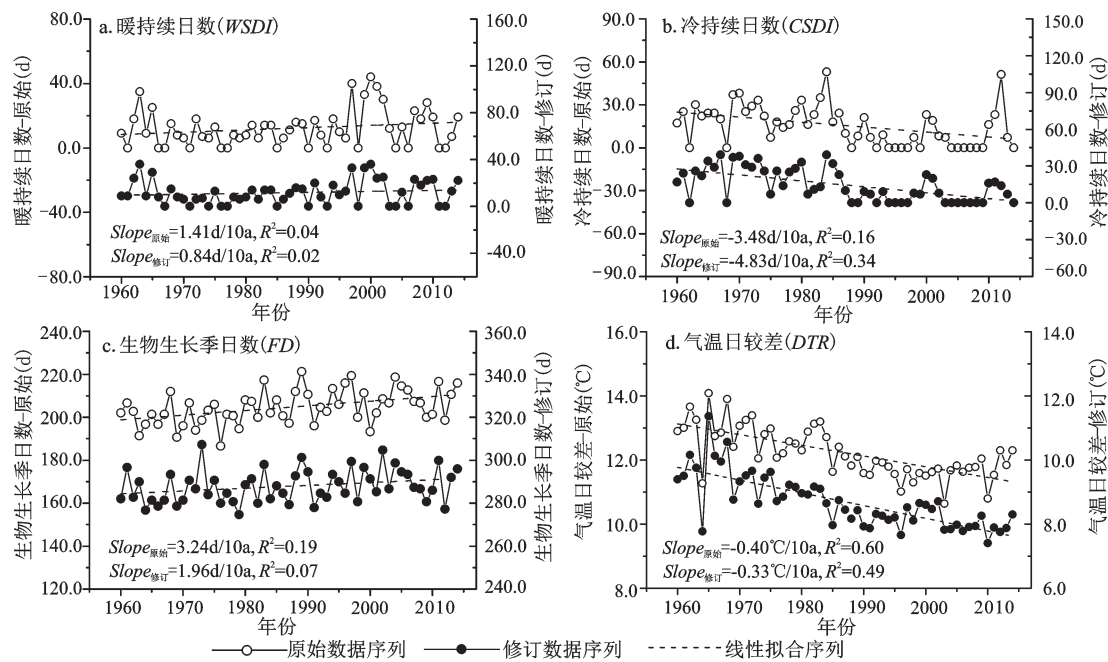


图6 1960~2014年北京极端气温持续性指数年际变化趋势

Fig.6 Durative indices change trend of annual extreme temperature events in Beijing during 1960-2014

表2 1960~2014年北京极端气温指数变化幅度的对比

Table 2 The comparison of extreme temperature index change of Beijing in 1960-2014

冷暖指数对比	北京 (1960~2014年)		全球 (1960~2011年)	长江流域 (1962~2011年)	对比指标
暖昼↑>冷昼↓	○	△	○	○	abs(冷)
冷夜↓>暖夜↑	○	△	-	-	abs(冷)
夏季↑>冰冻↓	○	△	-	○	abs(夏)
最高极低↑>最高极高↑	○	△	○	○	rel(低)
最低极低↑>最低极高↑	○	△	○	○	rel(低)
冷持续↓>暖持续↑	○	△	-	-	abs(冷)
暖夜↑>暖昼↑	○	△	○	○	abs(夜)
冷夜↓>冷昼↓	○	△	○	○	abs(夜)
热夜↑>霜冻↓	○	△	-	-	abs(夜)

注:abs为变化幅度的绝对值对比;rel为变化幅度的真实值对比;○为原始数据指标对比条件符合;△为修订数据指标对比条件符合;-为指标对比条件不满足。长江流域极端气温指数数据来源于参考文献[16],全球极端气温指数数据来源于参考文献[13]。

以发现北京极端气温变化更具有典型性,所有指数均符合对比条件,且变化幅度也要大于长江流域(中国南方)。You等<sup>[15]</sup>选取了12个极端气温指数在全国尺度下研究了极端气温的变化情况,亦得出北方极端气温的变化趋势更为明显的结论。对比北京和全球极端气温变化状况,可以发现全球极端气温指数冷夜、冰冻、霜冻、暖持续日数下降速率高于暖夜、夏季、热夜、冷持续日数上升速率,与北京极端气候变化不一致,而在这些指标

上,长江流域变化与全球具有一致性,这可能与北京所处的纬度较高、快速城市化进程导致的热岛效应、冬季燃煤取暖方式以及三者空间尺度差异有关。

### 3 结论与讨论

本文选取16个极端气温指标,分析了1960~2014年北京市极端气温变化趋势,探讨了冷暖极端气温指数对北京气候暖化趋势的贡献。得到结



论如下:

1) 1960~2014年北京气温暖化趋势明显,最高温和最低温均呈明显上升趋势,增长速率为:  $0.17^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  (最高温-修订)  $< 0.21^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  (最高温-原始)  $< 0.30^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  (年均温-修订)  $< 0.42^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  (年均温-原始)  $< 0.51^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  (最低温-修订)  $< 0.61^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  (最低温-原始),修订后数据增温幅度有所下降,但是增温趋势依然明显。

2) 1960~2014年北京极端最低温的变暖幅度大于极端最高气温,夜指数的变暖幅度大于昼指数,冷指数的变幅要大于暖指数。极端气温冷指数、夜指数、低温指数的快速下降是北京气候暖化最直接体现。

关于北京极端气温事件的研究,还有许多值得探讨的问题。① 构建极端气温灾害链;近十年来对灾害链的研究得到了越来越多的关注,国内外学者做了大量的探讨<sup>[23~25]</sup>,在此系统分析极端高温的灾害链式结构,理清极端高温灾害链类型,明确灾害链成灾机制,对构建城市综合防灾减灾体系有重要的理论意义;② 评价极端气温区域健康风险;如李国星、郭玉明等研究了夏季最低温对心脑血管疾病急诊的影响,发现夏季最低气温升高可以导致心脑血管疾病急诊数的增加<sup>[26]</sup>,气温暖化对人体健康风险大大增加,评价极端气温变化对人体健康的影响具有重要的现实意义;③ 预估极端气温变化趋势。相对于工业化革命前期,全球年平均地表气温上升  $2^{\circ}\text{C}$  的时间和相应的气候变化受到了广泛关注,特别是包括欧盟成员国在内的许多国家和国际组织已经将避免  $2^{\circ}\text{C}$  全球变暖作为温室气体减排的首要目标<sup>[27,28]</sup>,尽管还存在很多争议,但是从科学评估和应对气候变化角度,采用多模式集合方法预估全球变化  $2^{\circ}\text{C}$  情景下北京极端气温事件的变化,对有效制定相关气候变化决策具有重要的意义,值得进一步探索。

## 参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis, the summary for policymakers of the working group I contribution to the fifth assessment report[M]. New York: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 第二次气候变化国家评估报告编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [3] Coumou D, Robinson A. Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes[J]. Environmental research letters. 2013, 8(3): 34018-34024.
- [4] Hansen J, Sato M, Ruedy R. Perception of climate change[J]. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America. 2012, 109(37): 2415-2423.
- [5] Coumou D, Robinson A, Rahmstorf S. Global increase in record-breaking monthly-mean temperatures[J]. Climate Change, 2013, 118(3-4): 771-782.
- [6] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: Special report of the intergovernmental panel on climate change[M]. New York: Cambridge University Press, 2012.
- [7] 刘金祥. 可持续发展理念视角下的我国城市化[N]. 中国科学报. 2012-9-3.
- [8] 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.
- [9] 郑祚芳. 北京极端气温变化特征及其对城市化的响应[J]. 地理科学, 2011, 31(4): 459~463.
- [10] 郑祚芳, 张秀丽, 高 华. 北京气候变暖与主要极端气温指数的归因分析[J]. 热带气象学报, 2012, 28(2): 277~283.
- [11] 丁海燕, 郑祚芳, 刘伟东. 北京 1960-2008 年升温趋势和季节变化. 气候变化研究进展[J]. 2010, 6(3): 187~191.
- [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] Donat M G, Alexander L V, Yang H. Global land-based datasets for monitoring climatic extremes[J]. Bulletin of the American Meteorological Society. 2013, 94(7): 997-1006.
- [14] Vincent L A, Peterson T C, Barros V R, et al. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South American 1960-2000[J]. Journal of Climate, 2005, 23(18): 5011-5023.
- [15] You Q L, Kang S C, Aguilar E, et al. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961-2003[J]. Climate Dynamics, 2011, 36(11/12): 2399-2417.
- [16] 王 琼, 张明军, 王圣杰, 等. 1962-2011 年长江流域极端气温事件分析[J]. 地理学报, 2013, 68(5): 611~625.
- [17] 曹丽娟, 严中伟. 地面气候资料均一性研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2011, 7(2): 129~135.
- [18] 李庆祥. 气候资料均一性研究导论[M]. 北京: 气候出版社, 2011.
- [19] Costa A C, Soares A. Homogenization of climate data: Review and new perspectives using geostatistics[J]. Mathematical Geoscience, 2009, 41(3): 291-305.
- [20] Wang X L, Wen Q H, Wu Y. Penalized maximal T-test for detecting undocumented mean change in climate data series [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2007, 46(6): 916-931.
- [21] 杨 萍, 刘伟东, 候 威. 北京地区城郊极端温度事件的变化趋势及差异分析[J]. 气象与环境研究, 2013, 18(1): 80~86.
- [22] 王 冀, 蒋大凯, 张英娟. 华北地区极端气候事件的时空变化规律分析[J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 166~173.
- [23] 肖盛燮. 灾变链式理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [24] 史培军. 五论灾害系统研究的理论与实践[J]. 自然灾害学

- 报.2009,18(5):1~9.
- [25] 蒙古军,杨 倩.灾害链孕源断链减灾国内研究进展[J].安全与环境学报,2012,12(6):246~251.
- [26] 李国星,郭玉明,王佳佳,等.2004-2006年北京夏季最低气温对心脑血管疾病急诊数的影响[J].环境与健康杂志,2009,26(8):659~663.
- [27] 郎咸梅,隋 月.全球变暖2℃情景下中国平均气候和极端气候事件变化预估[J].科学通报,2013,58(8):734~742.
- [28] Wang H J,Sun J Q,Chen H P, et al. Extreme climate in China: facts,simulation and projection[J].Meteorologische Zeitschrift, 2012,21(3):279-304.

## Changes of Extreme Temperature Events in Beijing During 1960-2014

LI Shuang-shuang, YANG Sai-ni

(State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Based on daily average, maximum and minimum temperature observed by the China Meteorological Administration at meteorological station in Beijing from 1960 to 2014. Sixteen indices of extreme temperature are studied. Applying the method of Rhtest, the series that have breakpoints are adjusted and the trends of the series are analyzed, the annual temperature trend has changed obviously and the homogeneity is improved well. The results showed that: 1) In general, the temperature increment is obvious in Beijing during 1960-2014, with generally stronger increases in minimum temperature than in maximum temperature, as for climate inclination rate after adjustment: the maximum temperature ( $0.17^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ) < the average temperature ( $0.30^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ) < the minimum temperature ( $0.51^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ); 2) The frequency of cold days, cold nights, frost days, ice days and cold spell duration days is found to have significantly decreased by  $-1.43$ ,  $-6.56$ ,  $-3.95$ ,  $-1.18$  and  $-4.83$  d/10a days/decade respectively. 3) While the occurrence of warm days, warm nights, summer days, tropical nights, warm spell duration days and growing season length shows statistically significant increasing trends at rates of  $-2.12$ ,  $5.27$ ,  $1.22$ ,  $5.43$ ,  $0.84$  and  $1.96$  d/10a days/decade respectively. 4) The tendency rate of annual minimum value of daily maximum (minimum) temperature, annual maximum value of daily maximum (minimum) and diurnal temperature range is  $0.18$ ,  $0.23$ ,  $0.46$ ,  $0.73$  and  $-0.36^{\circ}\text{C}/\text{decade}$  respectively. 5) The magnitudes of changes in cold indices (cold nights, ice days, frost days, cold spell duration days) are obviously greater than those of warm indices (warm nights, warm spell duration days, summer days). The change ranges of night indices (warm nights and cold nights) are larger than those of day indices (warm days and cold days). The change ranges of minimum-temperature-related indices (annual minimum value of daily maximum, annual minimum value of daily minimum) are larger than those of maximum-temperature-related indices (annual maximum value of daily maximum and annual maximum value of daily minimum). This explains the stronger warming in the past 55 years in Beijing due to the change of night indices, cool indices and minimum-temperature-related indices.

**Key words:** climate change; temperature extremes; variation tendency; Beijing