

肖冰霜, 马玉霞, 赵天保等. 2016. 基于均一化资料的中国大陆极端温度的长期趋势. 气象, 42(3): 339-346.

基于均一化资料的中国大陆极端温度的长期趋势^{*}

肖冰霜¹ 马玉霞¹ 赵天保² 颜书豪³

¹ 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000

² 中国科学院大气物理研究所东亚气候-环境重点实验室, 北京 100029

³ 94783 部队 61 分队, 长兴 313111

提 要: 近百年来, 全球气候变暖。这与暖日和暖夜增加, 冷日和冷夜减少相关联。文章研究结果进一步证实了这一发现。本文基于 1960—2012 年中国大陆 542 个台站均一化气温资料, 通过将中国大陆划分为 8 个次区域, 利用百分位定义法计算了极端温度指数序列, 同时, 运用时间趋势分析法, 对中国大陆各区域极端温度和极端温度指数的时空分布及变化趋势特征进行了分析。结果表明: 在全球变暖的背景下, 从地理分布而言, 中国大陆在过去 53 年除西南地区外, 大部分地区最低和最高温度有显著的升高趋势, 其中, 东北温度升高最为明显; 从季节而言, 冬季极端温度升高最为明显, 夏季升高最少; 最低温度明显升高, 最高温度也有所升高, 但是最低温度的升高幅度更大。冷夜和冷日出现频率呈减少趋势, 暖夜和暖日出现频率呈增加趋势, 其中以冷夜指数变化最为突出, 均呈现一种区域差异的现象。本文利用更新的资料验证了前人的工作, 也进一步分区分析, 结果可为更多地区评估以及进一步的相关研究提供参考。

关键词: 均一化资料, 中国大陆, 极端温度, 长期趋势

中图分类号: P467

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.3.009

Long-Term Trends in Extreme Temperature over China Mainland Based on Homogenized Dataset

XIAO Bingshuang¹ MA Yuxia¹ ZHAO Tianbao² YAN Shuhao³

¹ College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000

² Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for East Asia, Institute of Atmospheric Physics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

³ Unit 61, No. 94783 of People's Liberation Army (PLA), Zhejiang, Changxing 313111

Abstract: The world has become warmer over the past century, which is associated with the increase of hot days and warm nights, and the reduction of cool days and cold nights. Based on the homogenized daily temperature data from 542 Chinese stations during 1960—2012, this paper calculated the several extreme temperature indicators series, by dividing China into 8 sub-regions, and using percentile method of defining extreme high and low temperature threshold. Meanwhile, using time-trend analysis, we analyzed the spatio-temporal distribution and varying tendency features of extreme temperatures and the indices in China. The results show that with the global warming, the increasing trends of the minimum and the maximum temperature are all statistically significant over most regions of China, except in Southwest China, during the last 53 years, of which temperature increases most in Northeast China. The increase of seasonal extreme temperature is the most in winter, but the least in summer. Minimum temperature is significantly

^{*} 交通安全与健康出行气象保障服务专题—2015、南京信息工程大学气候变化与公共政策研究院开放课题(14QHA013)、中央高校基本业务费专项经费(LZUJBKY-2013-M03)和国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2012CB955303)共同资助

2015 年 6 月 19 日收稿; 2016 年 1 月 12 日收修定稿

第一作者: 肖冰霜, 从事气候变化及其影响研究. Email: xiaobsh14@lzu.edu.cn

通信作者: 马玉霞, 从事气候变化及其影响研究. Email: mayuxia07@lzu.edu.cn

increased, so is the maximum temperature, but the increasing magnitude of the minimum temperature is higher than that of the maximum counterpart. The frequency of cold days and cold nights show a decreasing trend, while the warm nights and warm days has increased. The change of cold night index is most prominent, presenting the phenomenon of regional differences. These results can provide some reference for regional assessment and further researches.

Key words: homogenized data, Chinese mainland, extreme temperature, long-term trend

引 言

在 1880—2012 年期间全球温度升高了 0.85°C [0.65 至 1.06] $^{\circ}\text{C}$ 。在北半球,1983—2012 年可能是过去 1400 年中最暖的 30 年(IPCC,2013)。在全球持续变暖的背景下,2014 年世界上许多地方出现了显著的气候异常和极端天气气候事件(李清泉等,2015)。全球平均海表面温度也创历史新高。研究表明,1906—2005 年中国年平均温度的上升幅度为 $(0.78\pm 0.27)^{\circ}\text{C}$ (唐国利等,2009)。我国的平均最高气温和平均最低气温以冬季增暖最明显(任国玉等,2010),无论是年还是季节,平均最低气温增暖明显大于平均最高气温(王绍武等,2005;翟盘茂等,2007;陈正洪,2009;陈少勇等,2011)。而平均最高温度在中国没有特别显著的趋势,高温事件出现频率的上升趋势有明显的区域差异(马柱国等,2003;唐红玉等,2005)。当然,除了气温平均值的变化以外,气温变率的变化对极端气温事件也是有影响的,政府间气候变化专门委员会(IPCC)关于极端事件特别报告(IPCC,2012)总结极端温度变化对平均温度移动和变率变化的响应,指出变率变化对极端温度比平均温度移动对其影响更大。Alexander 等(2006)、Caesar 等(2006)和 Mantou 等(2001)研究表明超过 70% 全球陆面区域已有明显转变,与近 50 年来极端变暖和变冷事件频率改变所伴随的表面极端温度变暖有关。极端事件会充分影响人类活动如农业、人体健康、城市发展和规划与水资源管理。例如,1998 年夏季中国长江流域的洪涝、2003 年夏季欧洲大陆的热浪、2005 年美国遭遇的 Katrina 飓风的袭击等,这些都是在社会上产生重大影响的由极端天气引发的灾难性事件(胡宜昌等,2007)。受大气环流异常以及海洋和海冰等外强迫因素的共同影响,2014 年世界范围内出现了显著的气候异常和极端事件,其中北半球部分地区多次受到天气气候极

端事件的袭击(崔童等,2015;王朋岭等,2015)。还有 2008 年初我国南方发生了低温冰冻雨雪的极端天气异常给湖南、湖北、安徽、江西、广西、贵州等 20 个省(区)造成重大灾害,受灾人数达 1 亿多人,直接经济损失达 1500 多亿元(马宁等,2011)。可以发现近几十年来,极端事件出现频率增加,强度愈强,但对我国过去 100 年时期极端气温变化的研究还非常少(郭军等,2011)。因此,探测过去和目前气候趋势重要的是要有长期连续可靠的均一化资料,而认识气候变化是预报极端天气和极端气候的基础(钱维宏,2008)。

在中国大陆,从过去几十年的表面温度可以观察到长期变暖趋势和极端气候事件频率增加。最高温度除夏季外,其他季节增温明显;最低温度各季增温都很明显,尤其是冬季(董丹宏等,2015)。中国北方冷日和冷夜频率已大幅减少(Zhai et al,1999;2003),中国东部夏季日极端低温出现也减少(Gong et al,2004)。此外,暖夜和暖日频率也普遍增加(Zhai et al,2003),但是高温天气出现频率(日最高温度高于 35°C)在中国东部明显减少(Zhai et al,1999)。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。台站观测的长序列气候数据记录不可避免地存在由观测仪器改变、观测方式改变、台站迁移等非气候因素造成的不连续点。然而,大部分气候变化研究工作仍然使用原始的没有经过均一化处理的观测数据,导致研究结论存在较大的不确定性(曹丽娟等,2011)。

针对所研究中国极端温度的长期趋势,本文使用一套均一化的逐日气温资料,通过将中国大陆划分为 8 个次区域,分析比较区域增暖的差异,进一步统计极端温度指数(冷夜、暖夜、冷日、暖日)并研究其长期趋势。

1 资料与方法

1.1 资料

Li 等(2009)通过 MASH 方法,对我国 549 个基准站和基本站 1960—2008 年逐日平均、最高和最低温度序列进行了检验与订正。这些均一化的数据目前已更新到 2012 年。本文选用 1960 年 1 月 1 日至 2012 年 12 月 31 日中国大陆 542 个台站的均一化平均气温、日最高气温和日最低气温资料。

1.2 方法

“气候”在很大程度上具有概率性。从这个意义上说,一切气候事件(包括极端气候事件)的诊断、模拟和预测,其理论基础必然涉及到气候及其变化的基本概率属性。地球上任何地点或地区乃至全球气候所发生的变化,都是指:表征气候的某种变量其围绕着相应的平衡状态的概率分布形态有了某种改变。而在其概率分布的两端尾部大约 10%(或 5%)概率以内所对应的小概率事件及其分位数正是所谓的“极端天气和气候”的统计特征状况(丁裕国等, 2009)。

通常分析 1、5、10、25、50、75、90、95 和 99 百分位数。由 ETCCDMI 所提供的极端气候指标体系的各种指数,共计 27 项。在这些指标中共有 11 项与降水有关,16 项与温度有关。其中,冷夜(TN10p)、冷日(TX10p)、暖夜(TN90p)、暖日(TX90p)指数的极端低(高)温阈值采用序列的第 10(90)个百分位值。在全球变暖的背景下,为更加针对性说明极端温度的变化趋势,本文将 1960—2012 年某站 53 年中同一日的最低温度和最高温度资料按升序排列,分别得到该日最低温度和最高温度的第 5 和第 95 个百分位值,然后用其与某站某年某日的最低温度和最高温度分别进行比较,最后统计得到冷夜(日最低温度低于该日最低温度的第 5 个百分位值)、冷日(日最高温度低于该日最低温度的第 5 个百分位值)、暖夜(日最低温度高于该日最高温度的第 95 个百分位值)、暖日(日最高温度高于该日最高温度的第 95 个百分位值)指数。

本研究主要基于中国及按地形和海拔等因素所

划分的 8 个次区域(图 1),划分区域的经纬度分别为(43°N,110°~130°E)、(35°~43°N,110°E)、(35°N,78°~119°E)、(23°~35°N,106°E)、(27°N,106°~120°E)、(28°~43°N,96°E),分别研究了中国和 8 个次区域极端温度和极端温度指数,对比分析了各区域的变化趋势,并得到了增暖在中国各区域的差异。

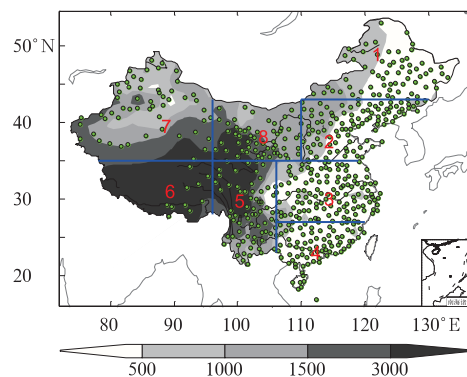


图 1 所有测站的地理分布及所划分的 8 个次区域图(单位:m)

Fig. 1 Geographic distribution of all stations and 8 sub-regions with topography (unit:m)

为便于分析,本文将闰年 2 月 29 日的气温数据赋 NAN 值,使每年都保持 365 d 观测值。这样做可能影响个别年份的极端温度指数计算,但不会改变长期趋势分析结果。其次,将均一化资料中的日最低和日最高温度数据处理为 1960—2012 年的距平资料,得到极端温度的年代趋势的空间分布和年际时间序列,并运用趋势系数法分析极端温度的长期变化特征。最后统计出极端温度指数分析其长期变化特征。

2 极端温度的长期趋势

2.1 极端温度年代趋势的空间分布

图 2 为 1960—2012 年中国最低和最高温度趋势的空间分布。可以发现,在 1960—2012 年中国的极端温度年代趋势基本都在 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 以上,即近 53 年来最低和最高温度都在升高,符合中国总体变暖的趋势。在冬季(图 2c),黄河以北地区最低温度趋势达 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$,黄河以南地区最低温度趋势为 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 左右;由图 2d 可知,

中国西北大部分地区、华北地区局部和东北小兴安岭最高温度显著增加,通过 0.05 的显著性水平检验,趋势为 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 以上,其中小兴安岭和祁连山一带存在极大值,而其他地区最高温度趋势未通过显著性水平检验;对于夏季(图 2e)而言,最低温度在内蒙古自治区和黑龙江大范围及新疆北部地区存在极大值,为 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$,而在中国中部地区未通过 0.05 的显著性水平检验;在图 2f 中,最高温度在内蒙古毗邻黑龙江省及西藏局地多处出现了大值,为 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$,在中国中部大部分地区出现极小值,为 $-0.2\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$,出现小幅降低,但未通过 0.05 的显著性水平检验;对比可知,冬季极端温度年代趋势变暖最为明显,其中,最低温度升高的明显高于最高温度的升高,相对而言,夏季的极端温度升高较少。因此,中国大陆总体变暖,尤以冬季变暖最为明显,极端温度增暖具有区域差异;夏季,东部的日极端低温天气出现也会有所减少,中东局部地区高温天气有所缓解。

表 1 为中国 8 个次区域过去 53 年内最低和最

高温度的年代变化趋势,中国大陆整体上最低和最高温度都向高值移动,符合总体变暖,而且最低温度升高明显高于最高温度的升高,从季节方面发现,冬季最低/最高温度升高最为明显,夏季升高得最少;从地理分布方面可以发现,中国 8 个次区域 Region 1、Region 2、Region 3、Region 4、Region 5、Region 6、Region 7、Region 8 的最低和最高温度的年代趋势分别 $0.492/0.235$ 、 $0.389/0.187$ 、 $0.273/0.135$ 、 $0.209/0.099$ 、 $0.266/0.176$ 、 $0.327/0.208$ 、 $0.430/0.228$ 和 $0.372/0.257\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$,并且绝大部分区域通过 0.05 的显著性水平检验。可知,最低和最高温度在 Region 1、Region 2、Region 7、Region 8 区域升高最为明显,而在 Region 4、Region 5 区域升高最不明显。因此,冬季变暖最为明显,东北变暖最严重,华北、西北变暖较严重,西南地区和中国中部局部地区变暖较不明显。同时,对比中国东西部地区的最低和最高温度,也可以发现东部总体变暖较西部地区明显。

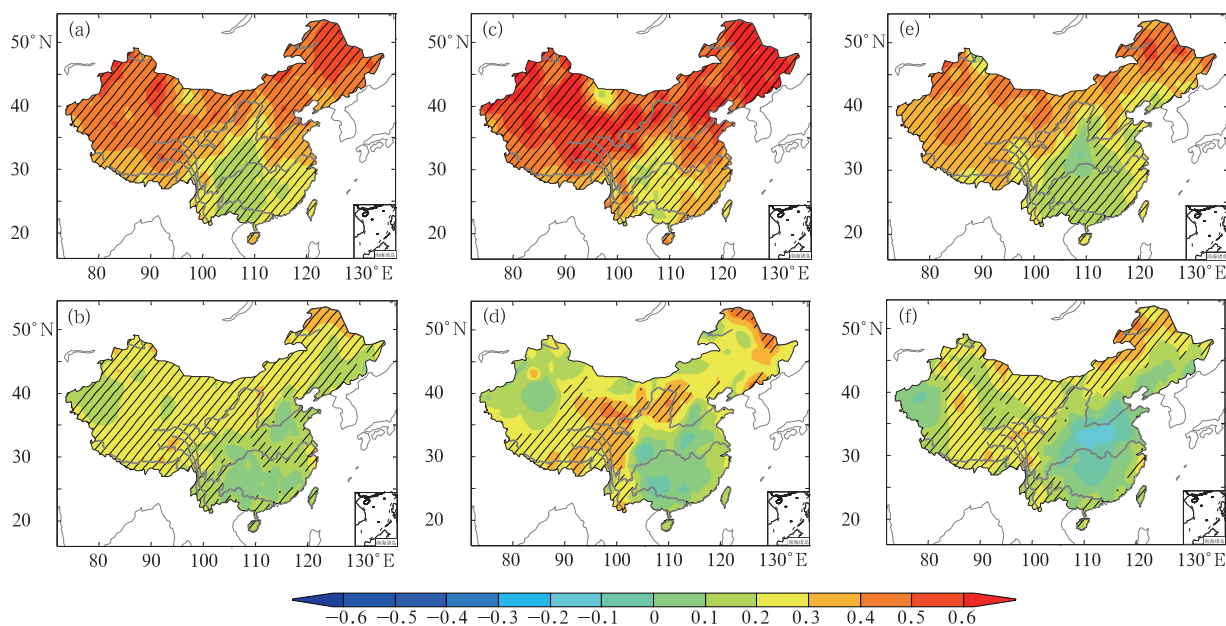


图 2 1960—2012 年中国全年(a,b)、冬季(c,d)、夏季(e,f)的最低(a,c,e)和最高(b,d,f)温度趋势[单位: $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$]的空间分布
(点划线区域通过 0.05 显著性水平检验)

Fig. 2 Spatial distribution of (a,b) annual, (c,d) winter, and (e,f) summer trends for the minimum temperature (a,c,e) and the maximum temperature (b,d,f) in China during 1960—2012
[unit: $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$]
(Stippled areas have passed the 0.05 significant level test)

表 1 中国 8 个次区域最低/最高温度的年代趋势[单位: $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$]

Table 1 The trends of the $T_{\min}/T_{\max}$ [unit: $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$] over 8 sub-region for the period of 1960–2012			
	年	冬季	夏季
Region 1	0.492/0.235	0.602/0.268	0.403/0.233
Region 2	0.389/0.187	0.534/0.253	0.267/0.096
Region 3	0.273/0.135	0.376/0.097	0.173/−5.6056×10^{−5}
Region 4	0.209/0.099	0.316/0.070	0.174/0.072
Region 5	0.266/0.176	0.358/0.223	0.223/0.179
Region 6	0.327/0.208	0.413/0.238	0.282/0.198
Region 7	0.430/0.228	0.582/0.230	0.377/0.191
Region 8	0.372/0.257	0.505/0.306	0.274/0.140

* 加粗表示通过 0.05 显著性水平检验。

2.2 极端温度的年际时间序列

图 3 为 1960—2012 年中国最低和最高温度全年、冬季、夏季的距平序列时间演变。由图 3 可知,总体上,最低和最高温度的趋势线斜率为正,通过 0.05 显著性水平检验,即随着时间变化,最低和最高温度呈明显上升趋势,并且这种上升趋势伴随着升高和降低的小波动过程,是波动上升的,同时,最低温度的趋势线明显较最高温度趋势线陡峭,从而,最低温度升高得较最高温度升高明显。对比图 3 中全年(绿色)、冬季(蓝色)、夏季(红色)可以发现,最低和最高温度的冬季趋势线较全年和夏季上升更为剧烈,说明在冬季的增暖趋势最强,在夏季的增暖趋势较弱,但是全年仍保持增暖趋势。图 3a 中,中国最低温度呈上升趋势,从季节方面可以发现,最低温度在冬季上升幅度最大,并且在上升过程中,出现较大波动,其中,三个大的波谷分别出现在 1968、1977 和 1985 年。图 3b 中,中国最高温度虽然也呈上升

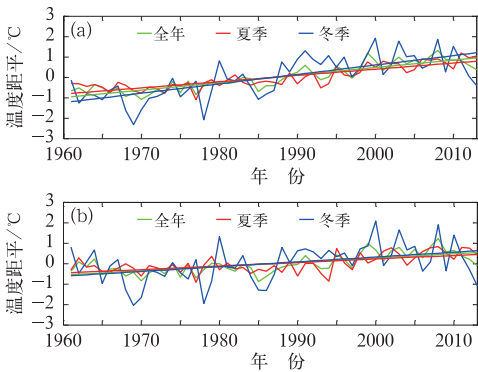


图 3 1960—2012 年中国极端温度全年、冬季和夏季的距平序列时间演变
(a)最低温度,(b)最高温度

Fig. 3 Anomalies of annual, winter, and summer of extreme temperature in China during 1960–2012

(a) minimum temperature, (b) maximum temperature

趋势,但是其上升趋势比较平缓,并且也存在小波动现象。因此,中国总体变暖,最低温度增加明显高于最高温度增加,从季节而言,冬季增暖高于夏季。

3 极端温度指数的长期趋势

3.1 极端温度指数年代趋势的空间分布

图 4 为 1960—2012 年中国极端温度指数趋势的空间分布。从整体上看,极端气温指数的空间分布基本特征大体一致。图 4a 中,冷夜指数(TN10p)在中国东北和西北地区出现了极小值,为 $-8 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 以下,在重庆、湖北、陕西三省(市)交界地区和云南省局部出现了大值,为 $-4 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 以上,因而,在全国范围内,冷夜指数表现为一致减少趋势;图 4b 中,暖夜指数(TN90p)除重庆市出现极小值为 $2 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 外,其他地区显著增加;而图 4c 中,冷日指数(TX10p)除长沙和重庆局部增加为 $2 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 外,普遍减少,其中,黑龙江和内蒙古北部地区及西藏南部地区存在极小值,为 $-6 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$;图 4d 中,暖日指数(TX90p)除山东减少为 $-2 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 外,普遍增加,其中,甘肃西部、新疆东部、西藏南部和云南局部存在极大值,为 $6 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$;而且冷日、暖日指数在中国中部未通过 0.05 的显著性水平检验。冷夜指数与其他极端气温指数相比变化幅度最明显,西北和东北地区的变化最大,平均值在 $-8 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 以上。从空间变化发现,极端气温指数基本上保持一致的增加或减少的变化趋势,变化基本上是由北向南变化率逐渐减小,暖夜指数的变化情况有所不同,在西南地区出现了变化的大值区(王冀等,2008),因此,极端温度指数在中国也具有区域差异。

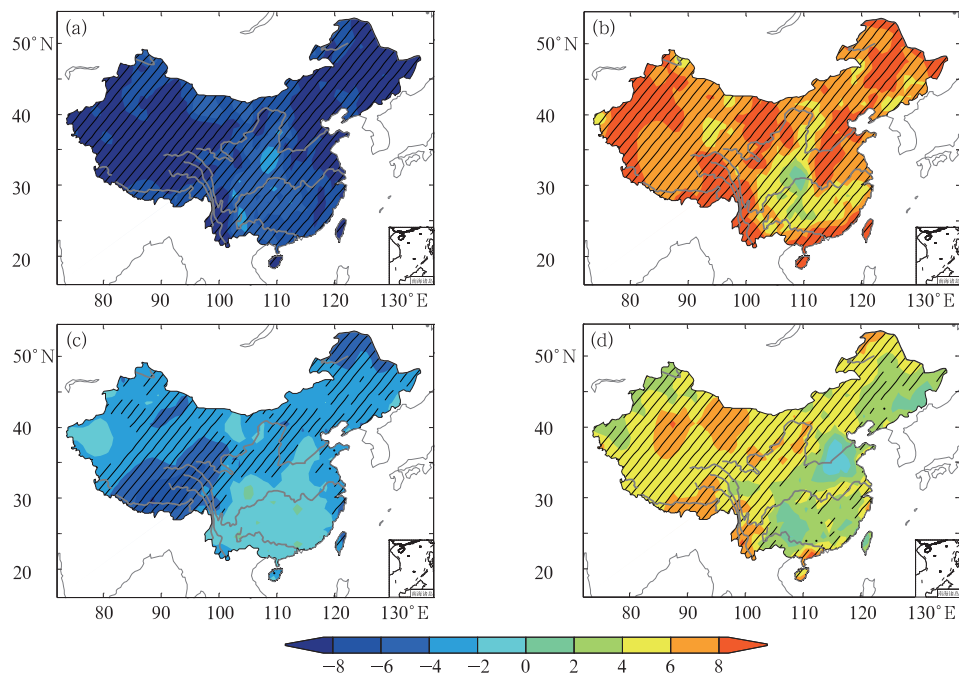


图 4 1960—2012 年中国极端温度指数趋势的空间分布[单位: $\text{d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$]
(a)冷夜(TN10p)指数,(b)暖夜(TN90p)指数,(c)冷日(TX10p)指数,(d)暖日(TX90p)指数
(点划线区域通过 0.05 显著性水平检验)

Fig. 4 Spatial distribution of extreme temperature index's [unit: $\text{d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$] linear trends in China during 1960—2012
(a) cold nights (TN10p), (b) warm nights (TN90p), (c) cold days (TX10p), (d) warm days (TX90p)
(Stippled areas have passed the 0.05 significant test)

表 2 为中国 8 个次区域各个指数的年代趋势。分别对比各区域的温度指数发现,Region 1、Region 2、Region 3、Region 4、Region 5、Region 6、Region 7、Region 8 区域冷夜指数的年代趋势分别为 -7.956 、 -7.686 、 -6.57 、 -6.354 、 -6.714 、 -7.452 、 -7.992 和 $-6.372 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,通过 0.05 的显著性水平检验;其冷日指数的年代趋势分别为 -2.916 、 -2.646 、 -1.476 、 -0.756 、 -2.16 、 -3.402 、 -3.132 和 $-2.412 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,部分未通过 0.05 的显著性水平检验;其暖夜指数的年代趋势分别为 7.038 、 6.588 、 5.994 、 6.282 、 7.002 、 7.326 、 7.092 和 $6.624 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,通过 0.05 的显著性水平检验;其暖日指数的年代趋势分别为 3.492 、 2.772 、 2.520 、 3.420 、 4.914 、 4.230 、 4.896 和 $5.130 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,部分未通过 0.05 的显著性水平检验。因此,中国北方(Region 1、Region 2、Region 6、Region 7、Region 8)冷日和冷夜指数已大幅减少,暖夜和暖日指数也呈普遍增加趋势。然而,中国中部地区(Region 3、Region 4)各温度指数变化相对不明显。更多变暖的极端事件意味着热浪频率的增加。有进一步研究表明北半球中高纬度地区霜冻日

数(FD)降低与气候变暖有关(翟盘茂等,2004)。

表 2 中国 8 个次区域各指数的年代趋势
[单位: $\text{d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$]

Table 2 Trends of indices for 8 sub-regions
[unit: $\text{d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$]

	TN10p	TN90p	TX10p	TX90p
Region 1	-7.956	7.038	-2.916	3.492
Region 2	-7.686	6.588	-2.646	2.772
Region 3	-6.570	5.994	-1.476	2.520
Region 4	-6.354	6.282	-0.756	3.420
Region 5	-6.714	7.002	-2.160	4.914
Region 6	-7.452	7.326	-3.402	4.230
Region 7	-7.992	7.092	-3.132	4.896
Region 8	-6.372	6.624	-2.412	5.130

*: 加粗表示通过 0.05 显著性水平检验。

3.2 极端温度指数的年际时间序列

图 5 为 1960—2012 年中国冷夜、暖夜、冷日、暖日指数距平序列时间演变。由图 5 可知,冷夜和冷日指数趋势线斜率为负,暖夜和暖日指数趋势线斜率为正,均通过 0.05 的显著性水平检验,即冷夜指数和冷日指数呈减少趋势,暖夜和暖日指数呈增加趋势。图 5a 和 5c 中,可以发现在 1975 年之前,冷

夜和冷日指数有小的波动上升到达波峰之后又波动下降,在1975年之后急剧减少。而在图5b和5d中,可以发现暖夜和暖日指数持续增加。分别对比图5a和5c、图5b和5d可以发现,冷夜变化趋势最为明显,暖夜次之,相比之下冷日和暖日变化趋势最

不明显。因此,随着时间变化,冷夜指数减少,暖夜指数增加,中国气候逐渐变暖。换言之,高温发生频率增加,低温发生频率减少,但最低温度升高的明显高于最高温度升高的。

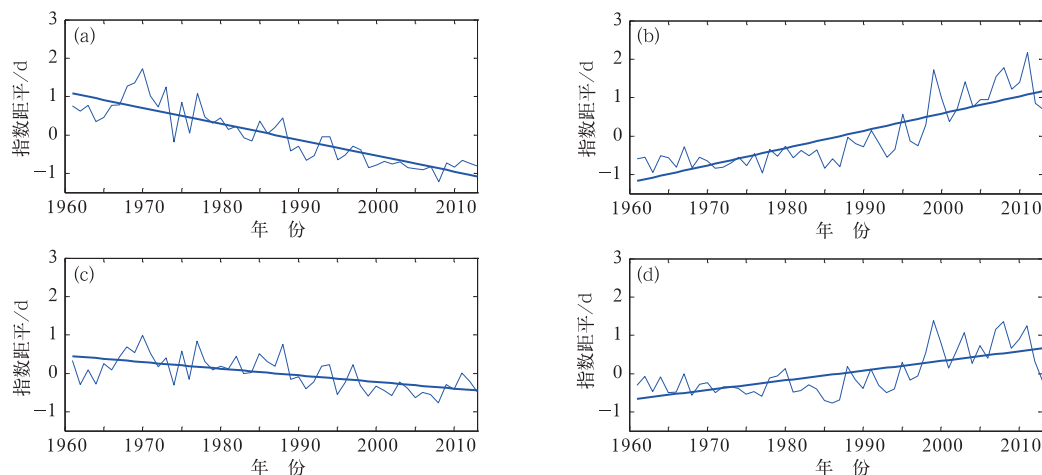


图5 1960—2012年中国极端温度指数距平序列时间演变

(a)冷夜指数,(b)暖夜指数,(c)冷日指数,(d)暖日指数

Fig. 5 Anomalies of extreme temperature index in China during 1960—2012

(a) cold nights (TN10p), (b) warm nights (TN90p),

(c) cold days (TX10p), (d) warm days (TX90p)

4 结论与讨论

(1)与全球气候变暖的大背景相对应,1960—2012年中国总体变暖,最低温度和最高温度都升高,但是最低温度升高较最高温度明显。从季节方面而言,冬季极端温度升高最为明显,夏季升高得最少;从地理分布而言,各区域极端温度升高存在明显差异,其中,中国东北最低/最高温度升高最为明显,中国西南地区升高不显著。因此,中国在过去53年除西南地区外,大部分地区最低和最高温度有统计显著的升高趋势,极端温度增暖具有很大区域差异。

(2)同时,冷夜明显减少而暖夜明显增加;冷日普遍减少而暖日普遍增加。四个百分位指数尤以冷夜指数变化最为突出。因此,随着时间变化,冷夜指数减少,暖夜指数增加,中国气候逐渐变暖。换言之,高温发生频率增加,低温发生频率减少,最低温度升高的明显高于最高温度升高的。此外,中国北方冷日和冷夜指数已大幅减少,暖夜和暖日指数也显著增加,而中国中部地区各极端温度指数年际变

化较不显著,极端温度指数具有区域差异。

(3)此外,Zhou等(2011)和周雅清等(2014)研究表明,城市热岛效应使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。王君等(2013)研究指出,城市化效应对暖夜的显著影响主要体现在晚春初夏季节,而对冷夜的影响几乎贯穿全年。不同学者由于计算指数趋势方法不同,城市化影响在数值上略有差异。因此,本文中极端温度指数的长期变化趋势和具有区域差异性,部分原因可以归结于极端事件本身具有很强的年际变率和未对城市化对极端温度指数趋势的影响进一步研究。

最近五十多年,地球气候明显地受到了人类活动的影响,而变化的气候又通过各种途径影响人类的生产和生活。21世纪人类必须高度重视并积极应对气候变化及与其相伴随的各种极端天气气候事件(翟盘茂,2011)。然而目前对极端气候事件的监测和预测业务能力非常有限,对于极端气候事件变化规律和形成机理仍然不清楚(任福民等,2014)。因此,我们必须利用连续可靠的均一化资料,把握极

端温度的长期趋势,这是监测和预测极端天气气候事件的基础。

致谢:感谢中国科学院大气物理研究所东亚气候-环境重点实验室严中伟老师提供均一化气温资料。

参考文献

- 曹丽娟,严中伟. 2011. 地面气候资料均一性研究进展. 气候变化研究进展, 7(2): 129-135.
- 陈少勇,王劲松,任燕,等. 2011. 近 49 年中国西北地区极端低温事件的演变特征. 高原气象, 30(5): 1266-1273.
- 陈正洪. 2009. 湖北省四季气温变化与季节变化. 长江流域资源与环境, 18(2): 185-185.
- 崔童,王东阡,李多,等. 2015. 2014 年夏季我国气候异常及成因简析. 气象, 41(1): 121-125.
- 丁裕国,江志红. 2009. 极端气候研究方法导论. 北京: 气象出版社, 17-18.
- 董丹宏,黄刚. 2015. 中国最高、最低温度及日较差在海拔高度上变化的初步分析. 大气科学, 39(5): 1011-1024.
- 郭军,任国玉,任雨. 2011. 近 100 年天津平均气温与极端气温变化. 高原气象, 30(5): 1399-1405.
- 胡宜昌,董文杰,何勇. 2007. 21 世纪初极端天气气候事件研究进展. 地球科学进展, 22(10): 1066-1075.
- 李清泉,王安乾,周兵,等. 2015. 2014 年全球重大天气气候事件及其成因. 气象, 41(4): 497-507.
- 马宁,李跃凤,琚建华. 2011. 2008 年初中国南方低温雨雪冰冻天气的季节内振荡特征. 高原气象, 30(2): 318-327.
- 马柱国,符淙斌,任小波,等. 2003. 中国北方年极端温度的变化趋势与区域增暖的联系. 地理学报, 58(Z1): 11-20.
- 钱维宏. 2008. 认识气候变化与极端气候预报. 科学, 60(5): 12-16.
- 任福民,高辉,刘绿柳,等. 2014. 极端天气气候事件监测与预测研究进展及其应用综述. 气象, 40(7): 860-874.
- 任国玉,封国林,严中伟. 2010. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望. 气候与环境研究, 15(4): 337-353.
- 唐国利,丁一汇,王绍武,等. 2009. 中国近百年温度曲线的对比分析. 气候变化研究进展, 5(2): 71-78.
- 唐红玉,翟盘茂,王振宇. 2005. 1951—2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化. 气候与环境研究, 10(4): 728-735.
- 王冀,江志红,丁裕国,等. 2008. 21 世纪中国极端气温指数变化情况预估. 资源科学, 30(7): 1084-1092.
- 王君,严中伟,李珍,等. 2013. 近 30 年城市化对北京极端温度的影响. 科学通报, 58(33): 3464-3470.
- 王朋岭,周兵,柳艳菊,等. 2015. 2014 年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响. 气象, 41(4): 489-496.
- 王绍武,伍荣生,杨修群,等. 2005. 中国的气候变化//秦大河等. 中国气候与环境演变(上卷). 北京: 科学出版社, 63-103.
- 翟盘茂. 2011. 全球变暖背景下的气候服务. 气象, 37(3): 257-262.
- 翟盘茂,王志伟,邹旭恺. 2007. 全国及主要流域极端气候事件变化//任国玉. 气候变化与中国水资源. 北京: 气象出版社, 91-112.
- 翟盘茂,章国材. 2004. 气候变化与气象灾害. 科技导报(北京), (7): 11-14.
- 周雅清,任国玉. 2014. 城市化对华北地区极端气温事件频率的影响. 高原气象, 33(6): 1589-1598, doi: 10. 7522/j. issn. 1000-0534. 2013. 00153.
- Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. J Geophys Res, 111, D05109. DOI: 10. 1029/2005JD006290.
- Caesar J, Alexander L, Vose R. 2006. Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: Creation and analysis of a new gridded data set. J Geophys Res, 111, D05101. DOI: 10. 1029/2005JD006280.
- Gong D-Y, Pan Y-Z, Wang J-A. 2004. Changes in extreme daily mean temperatures in summer in eastern China during 1955—2000. Theor Appl Climatol, 77(1-2): 25—37.
- IPCC. 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation//Field C B, Barros V, Stocker T F, et al. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge University Press, 582.
- IPCC. 2013. Summary of Policymakers of Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Li Z, Yan Z W. 2009. Homogenized daily mean/maximum/minimum temperature series for China from 1960-2008. Atmos Oce Sci Lett, 2: 236-242.
- Mantou M J, Della-Marta P M, Headlock R, et al. 2001. Trend in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the south Pacific, 1961-1998. Int J Climatol, 21: 269-284.
- Zhai P M, Sun A J, Ren F M, et al. 1999. Changes of climate extremes in China. Climatic Change, 42: 203-218.
- Zhai P M, Pan X. 2003. Trends in temperature extremes during 1951—1999 in China. Geophys Res Lett, 30(17): 1913.
- Zhou Y, Ren G. 2011. Change in extreme temperature event frequency over mainland China, 1961-2008. Climate Res, 50: 125-139. DOI: 10. 3354 /cr01053.