

重庆极端高温的变化特征及其 对区域性增暖的响应

张天宇 程炳岩 刘晓冉 向波 王勇

(重庆市气候中心, 401147)

提 要: 利用重庆1961—2006年31个站逐日最高温度资料,统计出年极端高温发生频次、年极端高温强度、年极端最高温度,分析了它们近46年来的变化情况。结果表明:近46年来重庆年极端高温发生频次呈西减东增的趋势,但增加/减少趋势并不显著。年极端高温的强度和年极端最高气温均在不断增强。年极端高温发生频次的增加对于重庆区域增暖的响应最显著,而年极端最高温度的升高比年极端高温频次的增加对重庆区域性增暖的响应偏弱,但又比年极端高温强度的增强对重庆区域性增暖的响应程度要偏强。

关键词: 年极端高温 年极端最高气温 气候变化

Variability of Extreme High Temperature and Response to Regional Warming over Chongqing

Zhang Tianyu Cheng Bingyan Liu Xiaoran Xiang Bo Wang Yong

(Chongqing Climate Center 401147)

Abstract: Based on the daily maximum temperature data in 1961—2006 from 33 stations in Chongqing, spatial distribution feature and long-term change tendency of annual extreme high temperature frequency and intensity and annual extreme maximum temperature are analyzed. The result shows that in recent 46 years the trend of annual extreme high temperature frequency is decreasing in the western part of Chongqing and increasing in the eastern part, but the increase/decrease trend is not significant. In the recent 46 years the annual extreme high temperature intensity and annual extreme maximum temperature strengthen gradually. Increasing tendency of annual extreme high temperature frequency in response to regional warming of Chongqing is most

资助项目:中国气象局气候变化专项(CCSF2007-24),中国气象局业务专项“高温热浪监测预警业务系统”,重庆市气象局科技计划项目(200705)“重庆极端高温干旱发生规律及气候趋势预估研究”,重庆市气象局科技计划项目(200618)“重庆市气候变化评估研究”共同资助

收稿日期:2007年9月28日; 修定稿日期:2007年12月28日

remarkable. Increasing tendency of annual extreme maximum temperature in response to regional warming of Chongqing is stronger than annual extreme high temperature intensity.

Key Words: annual extreme high temperature annual extreme maximum temperature climatic change

引 言

重庆市地处长江上游,与长江中游相邻,是长江上游与长江中下游的过渡地带,位于亚洲季风区,属于气候脆弱带,气候灾害频繁,特别是高温伏旱危害最大、频率最高。重庆素有“火炉”之称,盛夏高温严重影响人们的生产生活,带来重大经济损失。极端温度作为一种极端气候事件,近年来各国气象学者已从不同的角度作了研究,Karl 等^[1-4]对全球最高、最低温度研究结果表明,近 40 年在全球变暖过程中,表现出明显的日夜温度变化的不对称性,并使得日较差呈变小的趋势。在中国,对极端温度的变化研究同样已作了不少的工作,任福民等^[5]和 Zhai. P 等^[6]的工作比较系统地分析了中国区域极端温度的时空变化的某些特征,他们的工作指出了中国区域极端事件的季节特征和区域差异;马柱国等^[7]对中国北方年极端温度变化趋势的研究表明,近 50 年来在中国北方干旱和半干旱地区最低温度发生的频率显著减少,而上世纪 90 年代之前,绝大多数地区最高温度发生的频率没有明显的变化趋势,但近 10 年来却有一个明显的增加趋势;翟盘茂等^[8]对中国北方近 50 年温度极端事件变化的研究指出,中国北方夜间温度极端偏低的日数显著变小,白天温度极端偏高的日数则趋于增多。贺哲等^[9]针对 2005 年 6 月 22—23 日郑州出现的 40℃ 以上的极端高温天气成因进行了分析。杨馥祯等^[10]研究海南岛极端天气事件频率变化,初步表明海南岛极端天气事件频率变化与气候变暖有一定的内在

关系。王亚伟等^[11]分析近 40 多年来我国南方地区最高气温的变化特征表明 1961—2004 年间,江南、华南地区年平均最高气温和年平均气温均有增加趋势,但夏季极端高温事件($\geq 35^\circ\text{C}$ 日数)并没有显著增加的趋势。尽管前人对中国极端温度已经作了大量的工作,但对重庆极端温度尤其是极端高温变化的详细研究目前还不多见,本文在以上前人工作的基础上试图对重庆极端高温的频次、强度及极端最高气温的变化以及对区域性增暖的响应做一分析研究,旨在揭示重庆极端高温事件发生的规律和特点,作为预报和服务的参考,以提高减灾防灾的能力。

1 资料及年极端高温的定义

气温资料来自重庆 34 个站的逐日最高气温资料,统计发现 34 个站中巫溪站因多次迁站资料可信度不高,万盛站资料是从 1966 年开始的,永川站在 1969 年整个夏季资料都缺测,故不考虑这 3 个站,最后选取了重庆 31 个站 1961—2006 年 46 年逐日最高气温资料。本文参考了文献[8, 12-14]的极端气温的定义,专门根据每一个测站的逐日最高气温定义了不同地区年极端高温的阈值。其具体方法是:把 1961—2000 年逐年日最高气温序列的第 95 个百分位值的 40 年平均值定义为极端高温的阈值,当某站某日最高气温超过了极端高温的阈值时,就称该日出现了极端高温事件。

图 1 给出的是重庆市分区示意图(图 1a)以及极端高温阈值分布图(图 1b),从中发现,极端高温阈值的分布存在很大的空间

差异。重庆东南部、东北部以北以及西部以西的小部分地区(浅阴影)阈值均在 34°C 以下,而綦江沿江地区、中部的丰都、东北部开县、云阳和巫山(深阴影)阈值均在 36°C 以上,其余地区阈值在 $34\sim 36^{\circ}\text{C}$ 之间。结合重庆海拔高度的分布(图 1c)发现,极端高温阈值的分布可能主要取决于海拔高度和纬度,其次也与局地地形和下垫面有关,表现为低

海拔的站点极端高温阈值高于高海拔站点,随海拔升高极端高温阈值逐渐下降。

2 极端高温的频次变化

图 2a 为重庆近 46 年来极端高温发生频次多年平均的空间分布,由图可知,重庆年极端高温发生频次各站多年平均值在 21~26 天之间,发生频次最多的地区为东南部的万州、西北部的长寿和西南部的璧山,均超过了 25 天;而东南部以南、东北部以东及以北地区为发生频次相对较少的地区,多年平均在 21~22 天;其余地区均集中在 23~24 天。对比图 1c,发现与重庆地区海拔高度的分布同样存在比较好的对应关系,低海拔区对应着极端高温发生频次偏多,高海拔区对应着极端高温发生频次偏少。

为了搞清楚重庆年极端高温发生频次的年际变化特征,图 2b 给出了各站近 46 年来年极端高温发生频次气候倾向率的空间分布图(阴影区为负值区),发现重庆东西部趋势基本是相反的。东部地区除了小部分地区为减少趋势外,均为增加趋势;而西部地区基本全为减少趋势。其中西北部的渝北和中部的涪陵,每 10 年的减少率在 2 天以上,为全区之最。西部的潼南、大足和沙坪坝及中部的丰都次之,每 10 年的减少率均超过了 1 天,但未达到 2 天。而表现为增加趋势的地区仅仅是东北部的城口、东南部的石柱和黔江增长率大于 1 天/10 年,其他地区的增长率均小于 1 天/10 年。因此,总体上可以认为近 46 年来重庆年极端高温发生频次呈西减东增的趋势,但增加/减少趋势并不是很显著。

对 1961—2006 年重庆 31 个站逐年极端高温发生频次进行 EOF 分解表明,其特征可通过相应的载荷量场来描述。图 3 给出了年极端最高气温经 EOF 分解的第 1 个载荷向量场,此向量方差占总方差的 83.57%,其特

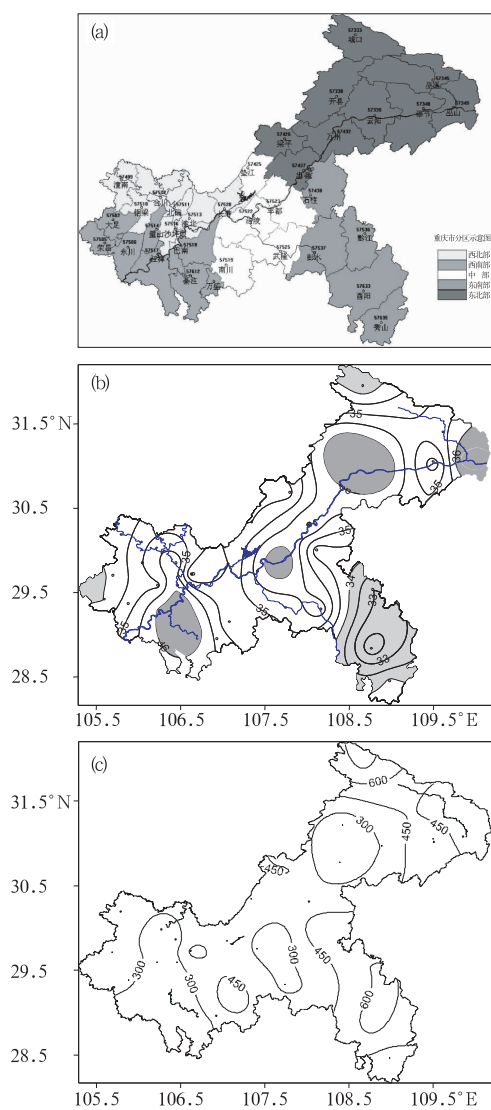


图 1 重庆市分区示意图(a)、极端高温阈值分布图(b)以及海拔高度分布图(c)

图 b 中浅阴影区为 $\leq 34^{\circ}\text{C}$ 区域,深阴影区为 $\geq 36^{\circ}\text{C}$ 区域

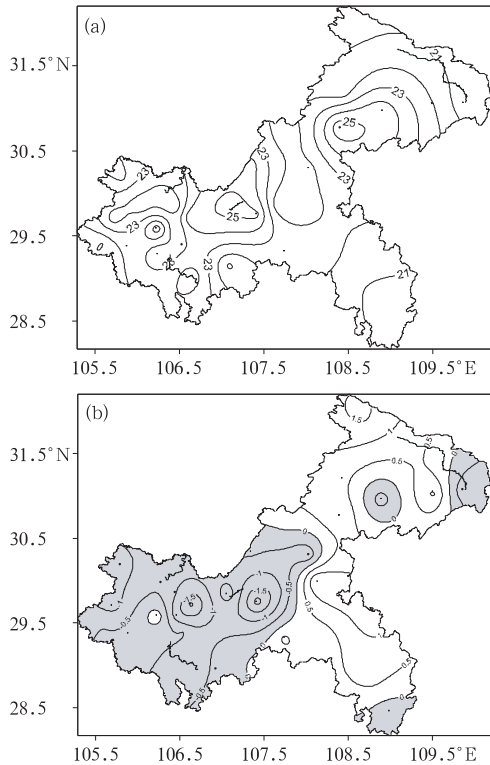


图 2 年极端高温发生频次多年平均(a)、年极端高温发生频次的气候倾向率($\times 10$) (b)空间分布

征非常具有代表性。EOF 的第一载荷向量分布表明(图 3a),全区为一致的正值区,是重庆极端高温空间变化的最主要分布类型。表明尽管重庆地形复杂,但极端高温发生频次的空间分布仍有很好的 consistency。文献[15]研究表明虽然重庆地区不同区域之间的气候差异较大,但它们夏季的月降水在一定程度上还是受某些因子的共同影响和控制。重庆处于亚热带季风气候区,主要受西风带系统和副热带系统的影响,造成全市旱、涝趋于一致。年极端高温主要集中在夏季,故年极端高温发生频次分布的一致性与受到这两个系统的影响是密切相关的。除此之外,造成这种分布还要考虑地形作用和下垫面条件的影响。

图 3b 为年极端高温发生频次 EOF 第一模态对应的标准化时间系数及其线性趋势、9

点二项式平滑曲线。由图可知,20 世纪 60 年代初期到 1970 年代末期极端高温日数主要以偏多为主,而从 1980 年代到 2002 年极端高温日数主要以偏少为主,2003 年至今均为偏多年。9 点二项式平滑曲线表明 20 世纪 70 年代后期极端高温日数呈显著减少趋势,而 1980 年代前期后转为显著增加趋势。从整个时间段来看,极端高温日数的线性趋势为很弱的下降趋势(见图 3b 中的直线)。由于重庆极端高温日数主要集中在夏季,故极端高温日数出现较多的时期,反映了这段时期重庆夏季高温酷热严重,而极端高温日数相对较少则反映出凉夏年份较多。为了搞清楚极端高温发生频次的周期变化特征,对其 EOF 第一模态对应的时间序列进行了小波分析,从 Morlet 小波变换系数(实部)等值线

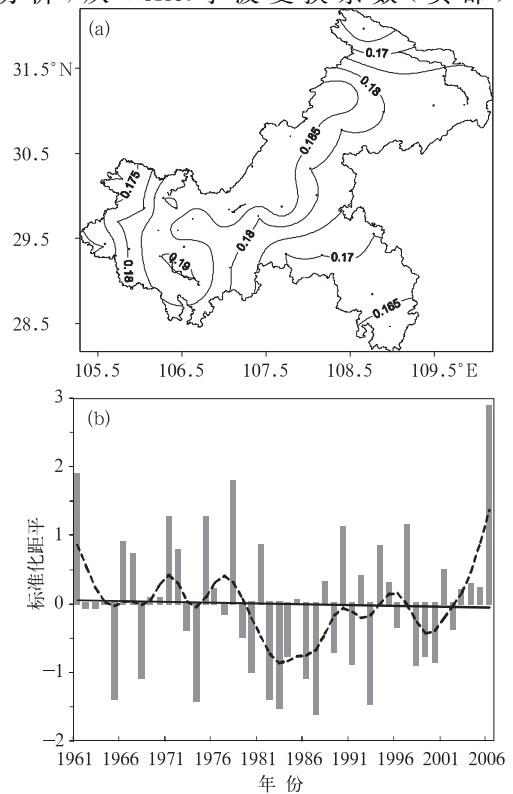


图 3 年极端高温发生频次 EOF 第一模态(a)及其对应的标准化时间系数(b) 直线为线性趋势、虚线为 9 点二项式平滑

图(图略)可以发现,近46年一直存在着16年和9年左右的年代际变化周期,相比较16年左右的周期振幅更强。年际变化周期以3年左右和5年左右的周期比较显著。

3 极端高温的强度变化

本文定义超过阈值的所有极端高温的平均值来表示极端高温的强度。图4给出了多年平均的年极端高温强度及其气候倾向率的空间分布。从中发现,重庆东南部及最北部小部分地区极端高温的强度表现得比较弱,为 35°C 以下;而西南部綦江附近地区、中部长江沿江地区及东北部以东地区(图4a中阴影区域)极端高温的强度相对较强,均在

37°C 以上。其中位于中部的丰都、东北部的云阳和巫山强度表现最强,均超过了 38°C ;其余地区的强度在 $35\sim 37^{\circ}\text{C}$ 之间。

从图4b重庆年极端高温强度的气候倾向率发现,除了中部地区和东南部地区的个别站(图4b中阴影区域)表现为下降趋势外,几乎整个重庆均表现为增加趋势。图4c是重庆全区平均年极端高温强度的逐年变化,从整个时间段来看,极端高温强度的线性趋势(直线)为增长趋势,其增长率为 $0.05^{\circ}\text{C}/10$ 年。2006年重庆严重的高温热浪,强度位历年之最强。对比图3b,9点二项式平滑曲线表明重庆极端高温强度与频次的年代际变化是基本一致的,尤其是20世纪70年代后期以后的变化。

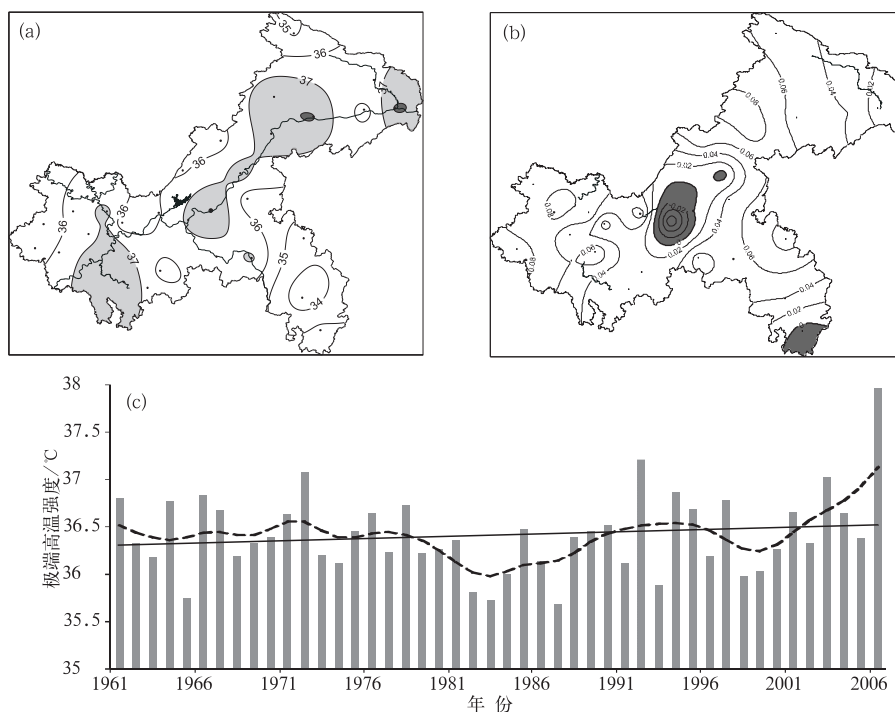


图4 年极端高温强度(a)年极端高温强度的气候倾向率($\times 10$) (b)的空间分布以及全区域平均极端高温强度的逐年变化(c,直线为线性趋势、虚线为9点二项式平滑)

4 极端最高气温的变化特征

重庆地区多年平均极端最高气温(图略)

与极端高温强度(图4a)的空间分布几乎是完全一致的,东南部部分地区及最北部小部分地区极端最高温度为 37°C 以下;而西南部綦江附近地区、中部长江沿江地区及东北部

以东地区极端最高温度均在 39°C 以上,其中位于中部的丰都、东北部的云阳和西南部的綦江极端最高温度表现为最高,均超过了 40°C ;其余地区的极端最高温度为 $37\sim 39^{\circ}\text{C}$ 之间。对比极端最高气温(图略)与极端高温强度(图 4b)的气候倾向率的空间分布,发现近 46 年极端高温强度趋势变化的空间分布与年极端最高温度趋势变化的空间分布也是基本一致的。除了中部的涪陵和东南部的秀山站表现为下降趋势外,几乎整个重庆的极端最高温度都表现为增加趋势。其中位于东北部的开县、城口和丰节,东南部的黔江,中部的武隆以及西南部的璧山和江津,增长率为 $2^{\circ}\text{C}/10$ 年,为增长率相对较强的地区。

5 极端高温的变化对区域性增暖的响应

5.1 近 46 年来重庆平均温度的变化

已有的研究结果指出^[16],从 19 世纪以来全球平均表面温度增加了 0.6°C ,增暖主要发生在两个阶段。最近的一个时段(1976 年以来)全球是同步的,但存在较大的地域差异。图 5 给出的是近 46 年来重庆全区年平均气温的距平曲线。近 46 年来重庆年平均气温上升趋势为 $0.12^{\circ}\text{C}/10$ 年,超过了近 50 年全球平均气温的上升趋势(约 $0.09^{\circ}\text{C}/10$ 年)。从 1997 年到 2006 年近 10 年连续正距平,增温幅度非常大;尤其是 2006

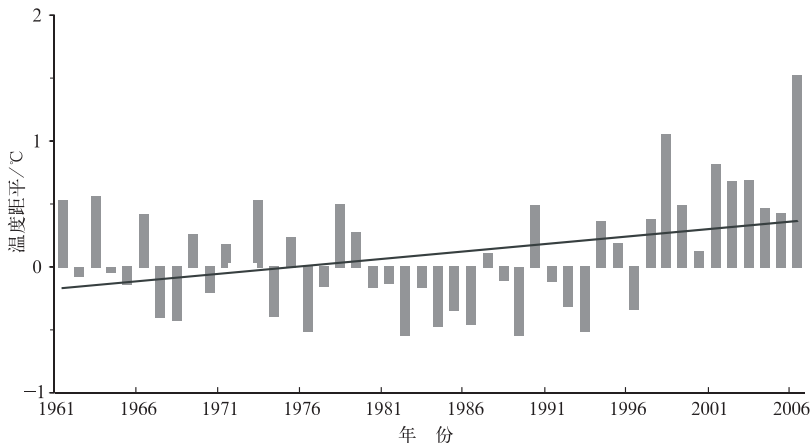


图 5 1961—2006 年重庆全区年平均气温的距平曲线(相对于 1961—2000 年的平均值)
直线为线性趋势

年重庆发生的严重的高温热浪,年平均温度超出平均值约 1.5°C ,为历年之最。造成近 10 年重庆平均气温如此增幅的原因应该是多方面的,重庆直辖 10 年(1997—2006 年)来,城市的飞速发展导致温室气体的排放量大量增加,致使大气温度升高,故城市化应该被考虑为一个最主要的原因之一。

5.2 极端高温发生频次与强度的变化、极端最高气温的变化对区域性增暖的响应

为了进一步了解重庆极端高温频次、强

度和最高温度的变化同区域性增暖的联系,图 6 给出了近 46 年重庆年极端高温发生频次、强度、最高温度同年平均温度的相关系数的空间分布,发现三者与年平均温度都呈显著的正相关。通过比较,重庆区域所有站点年极端高温发生频次同年平均温度的相关系数均通过了 99% 的信度检验(图 6a);而年极端高温强度同年平均温度相关图(图 6b)中发现通过了 99% 信度的区域主要集中在东北部以东、乌江附近及西北部分地区,通过

99%信度的站点占总站点比例为 48.4%, 通过 95%信度站点比例为 77.4%; 从年极端最高温度同年平均温度的相关图(图 6c)中发现,除了北部个别站点、中部部分地区、西部长江和嘉陵江沿江地区未通过 99%信度外,其他区域均通过了 99%信度检验。通过 99%信度的站点占总站点比例为 67.7%, 通过 95%信度站点比例为 90.3%。

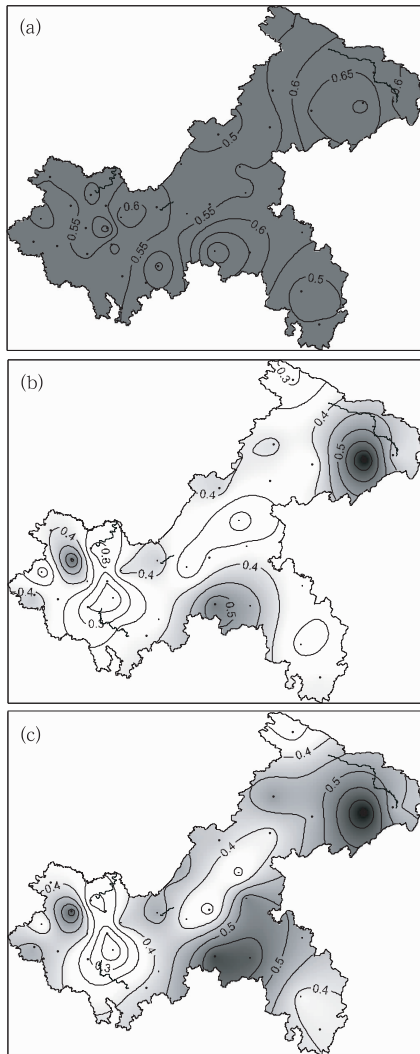


图 6 年极端高温发生频次(a)、年极端高温强度(b)和年极端最高温度(c)同年平均温度的相关系数的空间分布
阴影区域为通过了 99%的信度检验

对比三者与年平均温度的相关系数发现,三者对于重庆区域增暖的响应相对最显著的地区都主要集中在东北部以东地区、乌江沿江附近地区以及西部嘉陵江以西的部分地区。

为了进一步验证重庆极端高温发生频次、强度以及最高温度对重庆区域增暖响应的程度,将所有站的平均温度、极端高温发生频次、强度、最高温度进行区域平均,然后分别求极端高温发生频次、强度、最高温度同年平均温度的相关系数(表 1),从中发现区域平均后年极端高温发生频次同年平均温度的相关系数最高,其次是年极端最高温度,相对最小的是年极端高温强度。但区域平均后三者同年平均气温的相关系数均通过了 99%信度检验。由此认为,年极端高温发生频次的增加对于重庆区域增暖的响应最为显著,而年极端最高温度的升高比年极端高温频次的增加对重庆区域性增暖的响应偏弱,但又比年极端高温强度的增强对重庆区域性增暖的响应程度要偏强。

表 1 重庆区域平均的年极端高温发生频次、强度、最高温度同年平均温度的相关系数

	年极端高温 发生频次	年极端高温 强度	年极端最高 温度
年平均温度	0.578	0.433	0.472

注:46年95%信度临界值是0.291;99%信度临界值是0.376

6 结论与讨论

(1) 重庆年极端高温阈值的分布、年极端高温发生频次的分布与重庆地区海拔高度的分布存在比较好的对应关系,低海拔区对应着高温阈值高值区,极端高温发生频次偏多;高海拔区对应着高温阈值低值区,极端高温发生频次偏少。近 46 年来重庆年极端高温发生频次呈西减东增的趋势,但增加/减少趋势并不是很显著。

(2) 重庆近 46 年来年极端高温的强度

和年极端最高气温均在不断增强。

(3) 多年平均年极端高温的强度与年极端最高气温的空间分布是几乎一致的,近 46 年极端高温强度趋势变化与极端最高温度趋势变化的空间分布也是基本一致的。除了中部地区和东南部地区的个别站表现为下降趋势外,几乎整个重庆均表现为增加趋势。

(4) 重庆年极端高温发生频次、强度、最高温度对于重庆区域增暖的响应在空间上表现出很好的一致性,东北部以东地区、乌江沿江附近地区以及西部嘉陵江以西的部分地区为三者对于重庆区域增暖相对最显著的地区。重庆年极端高温发生频次的增加对于重庆区域增暖的响应最显著,而年极端最高温度的升高比年极端高温频次的增加对重庆区域性增暖的响应偏弱,但又比年极端高温强度的增强对重庆区域性增暖的响应程度要偏强。

由于极端天气的变化比较复杂,不同的极端天气也有不同的影响机制,但总的来说可能与全球变暖有关。从统计学角度讲,气候平均值的变化可能会直接影响到极端值的变化,例如温度平均值的变化会直接影响到极端高温、低温事件。从物理机制讲,温室气体的大量排放,致使大气温度升高,与温度有关的极端事件就会增多或减少。重庆直辖 10 年来,城市的飞速发展可能成为重庆平均气温急剧增加的直接或间接原因,而重庆极端高温的频次、强度及最高温度等都将随着平均气温的变化而发生变化。此外,重庆极端高温的变化可能还要考虑其他因素,例如可能与自然变化具有十分紧密的关系等,更具体的原因尚有待进一步探讨。

参考文献

- [1] Karl, T R, Kulda G, Razuvayev V N, et al. Global Warming: Evidence for asymmetric diurnal temperature change[J]. *Geophys Res Lett*, 1991, 18, 2253-2256.
- [2] Horton B. Geographical distribution of change in maximum and minimum temperatures[J]. *Amos Res*. 1995, 37, 101-117.
- [3] Karl T R, Jones P D, Knight R W, et al. A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1993, 74(6), 1007-1023.
- [4] Cooter E J, LeDuk S K. Recent frost data trends in the northern United states[J]. *Int J Climatology*, 1993, 15:65-75.
- [5] 任福民, 翟盘茂. 1951—1990 年中国极端温度变化分析[J]. *大气科学*, 1998, 22(2):217-227.
- [6] Zhai P M, Sum A J, Ren Furnin et al. Changes of climate extremes in China[J]. *Climatic Change*. 1999, 42:203-218.
- [7] 马柱国, 符宗斌, 任小波, 等. 中国北方年极端温度的变化趋势与区域增暖的联系[J]. *地理学报*, 2003, 58(增):11-20.
- [8] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 a 温度和降水极端事件变化[J]. *地理学报*, 2003, 58(增):1-10.
- [9] 贺哲, 李平, 乔春贵, 等. 郑州极端高温天气成因分析[J]. *气象*, 2007, 33(3):68-75.
- [10] 杨馥祯, 吴胜安. 近 39 年海南岛极端天气事件频率变化[J]. *气象*, 2007, 33(3):107-113.
- [11] 王亚伟, 翟盘茂, 田华. 近 40 年南方高温变化特征与 2003 年的高温事件[J]. *气象*, 2006, 32(10):27-33.
- [12] Mantou M J, Della-Marta P M, Haylock M R, et al. Trend in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the south Pacific: 1961—1998[J]. *Int J Climator*, 2001, 1:269-284.
- [13] 潘晓华, 翟盘茂. 近五十年中国极端温度和降水事件变化规律的研究[D]. 中国气象科学研究院硕士学位论文, 2002.
- [14] 严中伟, 杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局[J]. *气候与环境研究*, 2000, 5(3):267-272.
- [15] 刘毅, 何金海, 王黎娟. 近 40 a 重庆地区夏季降水的气候特征[J]. *气象科学*, 2005, 25(5):490-498
- [16] IPCC: Climate Change 2001, The Scientific Basis, Observed Climate Variability and Change. In: Houghton J T, Ding Y, Griggs et al. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [C]. Cambridge University Press, 2001, 881.