

文章编号: 2096-1618(2021)03-0349-06

1971–2018 年重庆地区高温的气候特征

刘毅¹, 周国兵¹, 孙俊², 张亚萍¹, 张霞³

(1. 重庆市气象台, 重庆 401147; 2. 四川省气象干部培训学院, 四川 成都 610072; 3. 河南省气象台, 河南 郑州 450003)

摘要:为研究重庆地区高温特征, 利用 1971–2018 年重庆地区 34 个观测站资料, 采用气候趋势系数和小波分析等方法详细分析重庆地区高温天数和极端最高气温的时空演变特征。结论如下: (1) 近 48 a 重庆地区高温天气非常显著, 除重庆东南部的酉阳、黔江及秀山, 其余地区极端最高气温均在 40 °C 以上。 (2) 重庆的高温分布与台站的海拔高度有较密切关系, 表现为长江和山谷中相对较多, 随着海拔的上升, 高温天数逐渐减少。 (3) 重庆高温年际变化显著, 高温天气在 3–10 月均可以产生, 5–9 月为高温出现集中期, 7、8 月为高温的频发期, 其中 8 月的高温日数最多, 重庆大部分站点的高温日数及极端最高气温增加趋势非常显著。 (4) 重庆年高温日数存在准 14 ~ 15 a, 6 ~ 7 a 的周期振荡; 重庆年极端最高气温存在 8 ~ 9 a 周期振荡, 主要出现在 1995–2008 年。

关键词:气象学; 气候; 高温日数; 极端最高气温; 演变

中图分类号: P468.0+21

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcui.2021.03.018

0 引言

1906–2005 年, 全球气候产生了重大改变, 其特征是变暖^[1]; 全球平均地表温度上涨了 0.74 °C。中国是全球变暖特点最清楚的国度之一。近年来, 中国一些地域和省(市)也经常出现异常高温、热浪等事情。丁一汇、高荣、任福民等^[2–4]对中国长时间序列的温度变化做了详细的分析, 丁一汇等发现虽然中国的变动趋势与北半球的变暖趋势类似, 但详细进程和范围变化与全球变化之间存在显著区别。肖安等^[5]选用基于超热因子(EHF)的热浪指标并加以拓展, 对中国 1958–2013 年的高温、热浪气候事件的变动进行分析。史军、李艳等^[6–7]等分别对华北、华东等区域的高温气候特征、变化规律及预报模型做了研究。史军等研究指出, 中国东部高温日数呈北少南多的空间形式; 张德宽等^[8]使用最优子集回归以及均生函数等多种模型, 设计有较强适应性和将来趋势的展望模型; 叶殿秀等^[9]分析了三峡大坝库区的高温天数、极端高温以及高温过程的时空演变特征; 程炳岩等^[10]剖析了三峡水库库范围内高温的空间、时间演变特性。

刘梅、杨建玲等^[11–12]分别对东部、西部部分省区高温天气特征做了较为细致的分析; 刘梅等指出江苏高温日的地理分布从东北向西南逐渐增加, 苏南沿江

其他地域的高温日显著高于东北沿海区域; 雷正翠等^[13]指出江苏南部区域高温日数年际改变大, 最高数值与最低数值相差达 48 d, 年平均最高气温呈现 15 a 年代际周期变化特征; 杨建玲等研究指出宁夏高温日数的年际、年代际异常对应中高纬度大范围大气环流异常; 刘汉华等^[14]也对不同水准的浙江区域高温进行统计判辨; 伍红雨等^[15]研究指出广东月平均高温日数在 7、8 月变化最大, 特别是在 1990 年之后增加极其明显; 连志鸾等^[16]基于石家庄区域 17 个站 8 个自动站的相对湿度和温度数据, 应用 EOF 方法剖析高温和闷热天气的分布特征。

重庆的形状像一个“人”(图 1), 北部、东部和南部都是山区。长江从西向东穿过边境。由于其在盆地和高湿度的区域, 因而也是中国三大著名的“火炉”之一。高温是重庆地域一个重要的气候特色; 程炳岩、江玉华等^[17–18]对重庆地区的高温特征、成因以及预报方法等进行了一些研究; 程炳岩等指出重庆地区夏季高温事件具有明显的年代际变化和区域差异; 江玉华等指出, 重庆高温是一个客观的气候规律, 其演变具有近 100 年的周期性振荡特征; 韩世刚等^[19]分析了近 47 a 来重庆市高温日数的时空变化特征; 郭渠等^[20]探讨重庆高温天数的空间分布特点, 对多高温年和少高温年 7–8 月的环流特点进行了剖析。

近 10 a 来重庆高温改变明显, 但是从当前的研讨来看, 对重庆地域高温的讨论相对较少, 特别是利用近年来观测数据对重庆地区长序列高温天数和极端高温变

收稿日期: 2020-05-05

基金项目: 重庆市气象局智能预报预测创新团队资助项目(ZH-CXTD-201803); 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室重点专项资助项目(四川省重点实验室 2018-重点-11)

化特征的系统研究较少。为此,利用 1971–2018 年重庆地区 34 个台站的最高温度资料,分析了重庆地区高温和极端高温的时空演变特性。有助于深入了解重庆极端高温气候变化规律,提高夏季高温天气预测水平,在重庆防灾减灾和生态建设中发挥一定的指导作用。

1 资料及方法

1.1 资料

数据来源于重庆市气象局提供的 1971 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 31 日 34 个气象台站的日最高气温观测数据。数据已经过质量控制,具有很高的可信度。重庆 34 个国家级测站的地理分布如图 1 所示。多年平均值选择了 1981–2010 年的平均值^[23]。按照 2007 年中国气象局颁布的“气象灾害预警信号的传播方法”,将高温气象灾害区分为 3 个等级:较重高温(35 ℃)、严重高温(37 ℃)、特别严重高温(40 ℃)。重庆处于四川盆地东部边缘区域,北部、东部和南部均为山区,夏季常处于高温、高湿状态。因而,同北方的城市相比,高温对市民的影响更为明显。为了便于统计,将最高气温达到 35 ℃以上的一天定义为一个高温日。

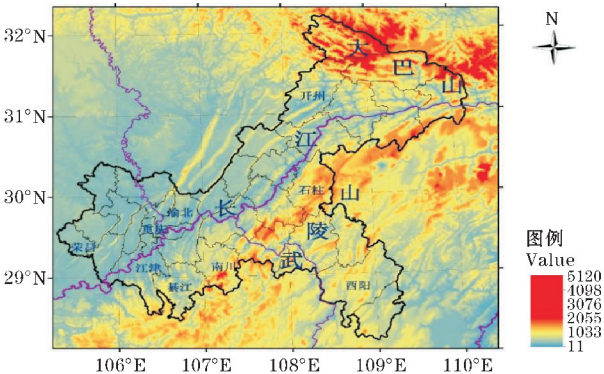


图1 重庆国家基本气象站地理分布及地形图

1.2 方法

1.2.1 气候趋势系数和倾向率

气候趋势系数反映了某一气候要素长久趋势的方向和范围. 其中年复一年的时间是一个递增的序列,采用 1,2,⋯,n 表示. 假设 n 次相应的温度(降水)序列与年际时间序列关联明显,则温度(降水)的气候趋势有明显的增减趋势。按自然数排列的气候趋势系数 R_{xt} 为

$$R_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{i})^2}} \quad (1)$$

其中, X_i 是第 i 年要素值; \bar{X} 为其样本均值; $\bar{i} = (n+1)/2$, n 为年数。 R_{xt} 值为正(负)时表示该要素在所计算的 n 年内有线性增(降)的趋势。 $(r_{xt}\sqrt{n-2}/\sqrt{1-r_{xt}^2})$ 符合自由度 $n-2$ 的 t 分布,从而检验这种气候趋势是否有意义,还是一种随机振动。按照回归理论,气候趋势系数与气候倾向率有为

$$a_i = r_{xt}(s_x/s_t) \quad (2)$$

式中: a_i 表示气候倾向率; s_x 和 s_t 分别是气象要素序列与自然数列的均方差。

1.2.2 小波分析

小波分析,是由法国地质学家莫利特(Morlet)于 1984 年在解析地震波的局部性质时引入的。进入 20 世纪 90 年代,小波分析已经成为许多学科的热点,并被普遍运用于其他科技领域。曼-肯德尔(Mann-Kendall)方法最初是由曼-肯德尔在 1945 年开发的;当时,它不是用来探测气候突变的,而只是用来探测序列的变化趋势;古森斯等将这种方法应用于逆序,从而开发了一种检测气候突变的新方法。

2 结果与分析

2.1 高温的空间分布

2.1.1 高温日数

图 2(a)给出了高温日数分布图,可以看出,在过去的 48 年里,重庆地区的平均高温日数呈现出很大的空间差异。东北和中部河滨河谷地区高温日数较多,而东南、东北高海拔地区和西部地区高温日数较少(图 2a)。有 3 个高值中心,东北地区以云阳、开州为中心,西南地区以万盛、綦江为中心,中部地区以丰都、彭水为中心;年平均高温日数超过 30 d。而东南部的酉阳和黔江的年平均高温日数都在 8 d 以下。年高温日数最多的站是云阳,多年平均为 41.7 d,其次是开州、巫溪和万盛,高温日数分别为 41.3 d、40.6 d 和 40.1 d。与重庆的地形高度(图 1)对比可见,重庆的高温日数可能与其地形有关。四川盆地周围的山脉阻挡了空气的流动。重庆地处四川盆地东南部,海拔低,山谷多,高温日数多。重庆东南部是四川、湖北、湖南、贵州交界处的褶皱带,海拔较高,高温日数较少。图 2(a)中的 3 个高温中心也和地形以及海拔高度有关,它们都位于长江流域或者被山脉包围位于盆地底部,因而高温天气异常显著。

2.1.2 极端高温

近 48 a 重庆地域极端最高气温超出 41 ℃ 的台站有 29 个,主要分布在重庆中西部区域及东北部大部地

区;极端最高气温在42℃以上的站点达到26个,极端最高气温超过43℃的站点有12个,极端最高气温超出44℃的台站有5个,分别是北碚、铜梁、江津、綦江、万盛,其中綦江极端最高气温高达44.5℃,时间分别为2006年8月15日和2006年9月1日(图2b);重庆地域极端最高气温小于40℃的站点有3个,位于重庆东南部,分别是黔江、秀山和酉阳,其中酉阳历年极端最高气温为37.5℃。总体上看,重庆地区除去东南部的酉阳、秀山及黔江之外,其它地区极端最高气温均在40℃以上,尤其是沿江河谷及西部海拔较低的地区。

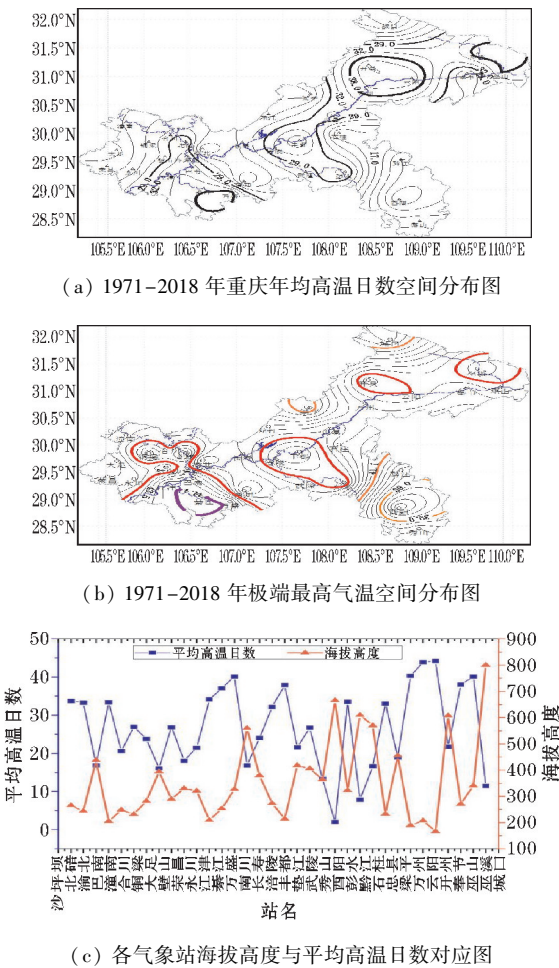


图2 1971–2018年重庆年均高温日数、极端最高气温空间分布图及各气象站海拔高度与平均高温日数对应图

2.1.3 平均高温日数与海拔高度的关系

图2(c)是重庆地区各气象观测站的海拔高度和近48年大于等于35℃的平均高温日图。可以看出,高温日数与海拔高度基本成反比关系,沿江地域各气象站的海拔较低,大多在300 m以下,高温日数较多。东南山区及城口、奉节等海拔高度较高,海拔500 m以上地区包括南川、酉阳、黔江、石柱、奉节、城口等。这些地域夏天气温低,天气凉快;同时,必须指出海拔、气象观测站点所在地的局部地区地形、地表状况、周围地

形以及城市或郊区等因素都会影响气温和高温天数的多少。整体来看,重庆地区的高温分布与海拔高度相关性明显,表现出沿江和溪谷区域相对多发,随着海拔的上升,高温天数逐渐减少。

2.2 高温的时间演变

2.2.1 高温日数的年代际距平、年际变化

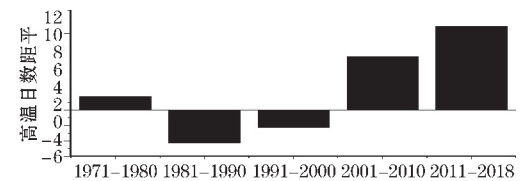
以重庆市1981–2010年平均年高温日数为常年值^[11](24.4 d),分析了重庆地区1971–2018年(2011–2018年)高温日数的年代际异常(图3a)。事实说明,除了20世纪80年代和90年代的微小负异常外,重庆地区其他时期的高温日均为正异常(异常值分别为-4.2 d和-2.3 d)。2011–2018年,高温日的正异常最高(异常值为10.9 d),其次是2001–2010年(异常值为7.0 d)。重庆区域高温日数的年代际变动也已被程炳岩等^[10]研究发现,20世纪的80年代和90年代,三峡库区高温日数为弱负异常(异常值分别为-2.05 d和0.81 d),其他时期高温日数为正异常。21世纪8年间,高温日正异常最高,异常值为5.28 d,其次是70年代,异常值为2.95 d。可以看出,结论与上述研究基本一致。

图3(b)显示了重庆每年35℃以上温度的历史演变。可以看出,重庆的高温演化具有非常显著的年际变化。从年际变动来看,高温年际变化是明显的。在1978年、2006年、2011年、2013年和2018年,整个地区35℃以上的高温在122 d以上,2006年达到158 d,而1983年、1987年和1993年,整个区域的高温不超过30 d。

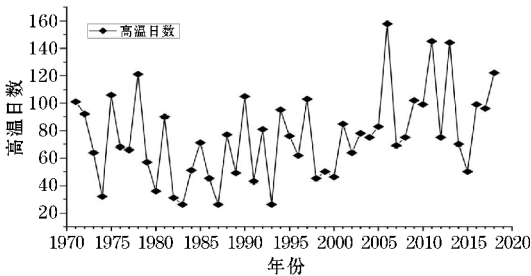
图3(c)为近48 a重庆高温日数曼-肯德尔检验结果图,可见,重庆高温日数在曼-肯德尔统计曲线中在2005年相交,说明年际突变发生在21世纪10年代初期,这也印证了图3(b)2005年以来连续多年出现极端高温的情况。

2.2.2 高温的年内(月际)变化

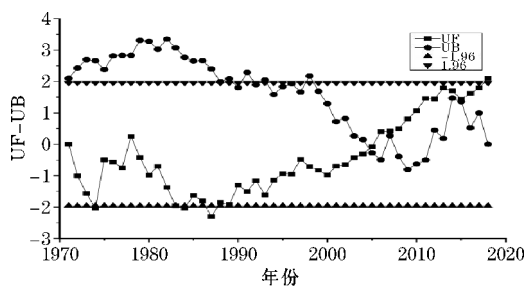
统计数据表明,重庆地区的高温一般出现在3–10月,5–9月为高温出现相对集中期,7、8月为高温的频发期(图4),其中8月的高温日数最多,平均为11.4 d,共占年高温日数的43%,其次为7月(9.8 d),共占年高温日数的37%。9月和6月分别为2.4 d和2.2 d,占年高温日数的比例分别为9%、8%。高温最早出现在3月下旬(1973年3月26日万盛出现35.8℃高温,是重庆最早)。重庆在10月后仍会发生高温天气,东北部及中西部沿江河谷区域均可以呈现,高温最晚出现的时间在10月中旬(2013年10月12日开州出现35.8℃的高温,为重庆最晚)。



(a) 重庆高温日数的年代际距平



(b) 重庆平均高温日数逐年变化



(c) 高温日数突变分析

图3 1971–2018年重庆高温日数的年代际距平、平均高温日数逐年变化及高温日数突变分析

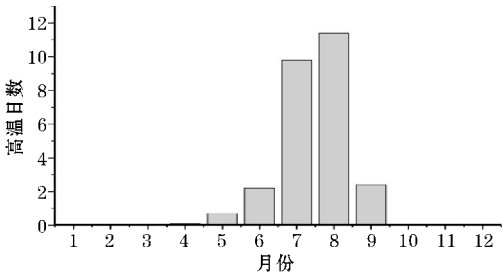


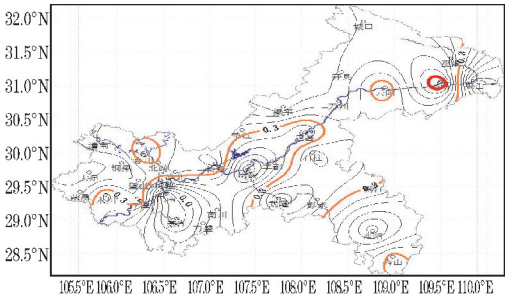
图4 重庆平均高温日数月际变化

2.2.3 高温日数及极端最高气温的变化趋势

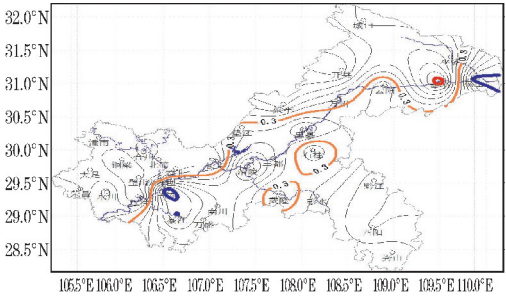
从图5(a)可以看出,重庆站的大部分年高温日数呈显著上升趋势。大多数区域大于0.20,有3个相对较大的高值中心。西部地区(以大足、铜梁为中心)、东北部地区(以奉节为中心)和东南部地区(以武隆为中心的)的趋势系数达到0.6~0.8。通过0.001显著性检验表明,重庆地区大部分站点的高温日增长趋势尤为显著。

从图5(b)可以看出,重庆各站的年极端最高气温在除巴南、酉阳和巫山以外的所有地区都呈上升趋势,而巴南、酉阳和巫山是负增长较弱的地区。东北部和西部大部分区域的趋势系数0.4~0.8。大值中心分别位于奉节、梁平和铜梁地区。趋势系数分别为0.75、

0.66和0.61,通过了0.001的显著性检验。



(a) 重庆高温日数趋势系数分布图



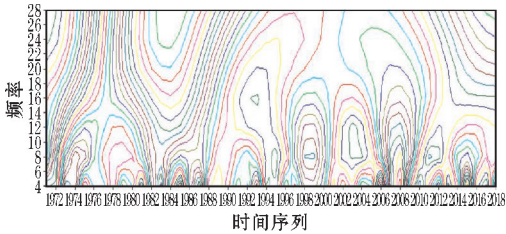
(b) 重庆极端高温趋势系数分布图

图5 重庆高温日数趋势系数和极端高温趋势系数分布图

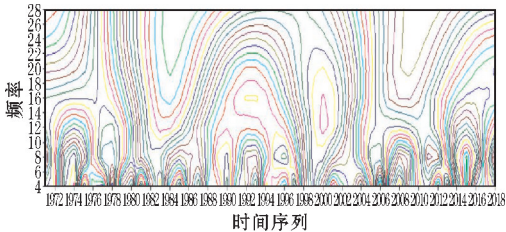
2.2.4 高温的小波分析

为研究重庆1971–2018年高温日数的时频特性,对代表站点的高温日数序列做了小波分析。由图6(a)可见,重庆年高温日数存在准14~15 a、6~7 a的周期振荡。1982–2002年14~15 a振荡周期比较清楚;6~7 a周期变化特点在1972–1978年、2010–2018年较清楚。同时还存在3~4 a的短周期。

由图6(b)可见,重庆年极端最高气温存在8~9 a周期振荡,1995–2008年以8~9 a周期为主;另外还存在一个3~4 a的短周期。



(a) 重庆高温日数小波分析



(b) 重庆极端最高气温小波分析

图6 1971–2018年重庆高温日数和极端最高气温小波分析

3 结论与讨论

(1)总体上看,近48 a重庆地区高温天气十分显著。除去东南部的酉阳、秀山及黔江之外,其他地区极端最高气温均在40℃以上,尤其是沿江河谷及西部海拔较低的地区。

(2)重庆地区的高温分布与海拔高度关系密切,沿江及溪谷为相对多发地带,海拔高度与高温天数呈反相关。

(3)重庆区域高温的演变具有较明显的年际演变特性。重庆地域高温在3–10月均可以产生,5–9月为高温出现集中期,7、8月为高温的频发期,其中8月的高温日数最多,重庆大部分站点的高温日数及极端最高气温增加趋势非常显著。

(4)重庆年高温日数存在准14~15 a、6~7 a的周期振荡。重庆年极端最高气温存在8~9 a周期振荡,主要出现在1995–2008年。

初步分析了重庆地区1971–2018年极端最高温度和高温日数的特性及其变化趋势。重庆夏天高温易发区域为沿长江及乌江流域,均涉及到该地区的地形,高温日数及极端高温的频数与海拔高度是负相关关系。在近48 a中,重庆的高温日数和持续高温事件发生频率在20世纪80年代和90年代为弱负异常,而在其他时期,高温日数为正异常。上述研究有助于了解重庆高温的总体特征,但高温过程的成因尚未涉及。据研究,南亚高压是造成重庆高温的强大系统,而另一些人以为,在中国西南地区夏季气温异常主要是由西北太平洋副热带高压的西伸最远位置决定的。然而,西北太平洋副热带高压和南亚高压如何相互作用进而导致重庆高温,具体机理究竟如何还需要进一步研究。另外,全球变暖、城市化进程以及热岛效应等对重庆地区高温日数及极端最高气温在气候上呈现增加趋势是否有影响也是一项有意义的研究。

参考文献:

[1] 编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京:科学出版社,2007.

[2] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象,1994,20(12):943–952.

[3] 高荣,王凌,高歌. 1956–2006年中国高温日数的变化趋势[J]. 气候变化研究进展,2008,4(3):177–181.

[4] 任福民,翟盘茂. 1951–1990年中国极端气温变

化分析[J]. 大气科学,1998,22(2):217–227.

- [5] 肖安,周长艳. 基于超热因子的中国热浪事件气候特征分析[J]. 气象,2017,43(8):943–952.
- [6] 史军,丁一汇,崔林丽. 华东地区夏季高温期的气候特征及其变化规律[J]. 地理学报,2008,63(3):237–246.
- [7] 李艳,栗晗,叶培龙,等. 1980–2010年华北地区极端高温天气气候事件特征分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2014,50(6):832–837.
- [8] 张德宽,姚华栋,杨贤为,等. 华北区年高温日数区域平均方法及趋势分析[J]. 高原气象,2006,25(4):750–753.
- [9] 叶殿秀,邹旭恺,张强,等. 长江三峡库区高温天气的气候特征分析[J]. 热带气象学报,2008,24(2):200–204.
- [10] 程炳岩,郭渠,张一,等. 三峡库区高温气候特征及其预测试验[J]. 气象,2011,37(12):1544–1552.
- [11] 刘梅,彭晓燕,李进喜,等. 1961年至2007年江苏省高温气候特征分析[J]. 资源科学,2011,33(10):1991–1998.
- [12] 杨建玲,冯建民,阎军,等. 宁夏高温气候特征及其大气环流异常分析[J]. 中国沙漠,2012,32(5):1417–1425.
- [13] 雷正翠,吴建秋,蒋薇,等. 苏南地区高温特征[J]. 气象科技,2018,46(1):155–162.
- [14] 刘汉华,张子涵,彭霞. 1951–2013年浙江省高温气候特征分析[J]. 科技通报,2016,32(1):59–64.
- [15] 伍红雨,杜尧东. 近49年广东高温的气候特征及其变化规律[J]. 热带气象学报,2011,27(3):427–432.
- [16] 连志鸾,王丽荣. 石家庄高温的天气气候特征及其预报流程[J]. 气象,2003,29(10):17–21.
- [17] 程炳岩,孙卫国,郭渠,等. 重庆地区夏季高温的气候特征与环流形势分析[J]. 西南大学学报(自然科学版),2010,32(1):73–80.
- [18] 江玉华,程炳岩,邓承之,等. 重庆市严重伏旱气候特征分析[J]. 高原山地气象研究,2009,29(1):31–38.
- [19] 韩世刚,周浩,何军. 1960–2006年重庆高温日数时空变化特征[J]. 气象,2009,35(9):68–76.
- [20] 郭渠,孙卫国,程炳岩. 重庆近48年来高温天气气候特征及其环流形势[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(1):52–59.
- [21] 施洪波. 华北地区高温日数的气候特征及变化

规律[J]. 地理科学,2012,32(7):866–871.

[22] 张尚印,宋艳玲,张德宽,等. 华北主要城市夏季高温气候特征及评估方法[J]. 地理学报,2004,59(3):383–390.

[23] 白莹莹,董新宁,张弛,等. 重庆市气候监测背景手册[M],重庆:重庆市气候中心,2014:26–30.

Climatic Characteristics of High Temperature in Chongqing from 1971 to 2018

LIU Yi¹, ZHOU Guobing¹, SUN Jun², ZHANG Yaping¹, ZHANG Xia³

(1. Chongqing Meteorological Station Chongqing 401147, China;2. Sichuan Meteorological Cadres Training Institute Chengdu 610072;3. Henan Meteorological Station Zhengzhou 450003, China)

Abstract: In order to study the characteristics of high temperature in Chongqing, based on the data of 34 observation stations in Chongqing from 1971 to 2018, the temporal and spatial evolution characteristics of high temperature days and extreme maximum temperature in Chongqing were analyzed in detail by means of climate trend coefficient and wavelet analysis. The conclusions are as follows: (1) the high temperature weather in Chongqing is very significant in recent 48 years, except Youyang, Qianjiang and Xiushan in the southeast of Chongqing, the extreme maximum temperature in other areas is above 40 °C. (2) the distribution of high temperature in Chongqing is closely related to the altitude of the station, which shows that there are relatively more in the Yangtze River and valleys, and the days of high temperature decrease gradually with the increase of altitude. (3) the interannual variation of high temperature in Chongqing is significant, and the high temperature weather can be produced between March and October. The period from May to September is a concentration period of high temperature. , and high temperature occurs frequently in July and August, among which the number of high temperature days is the most in August. The increasing trend of high temperature days and extreme maximum temperature at most stations in Chongqing is very significant. (4) the number of annual high temperature days in Chongqing has a quasi-14 ~ 15 a periodic oscillation of 6 ~ 7 a, and the annual extreme maximum temperature in Chongqing has an 8 ~ 9 a periodic oscillation, mainly appears from 1995 to 2008.

Keywords: meteorology; climate; high temperature days; extreme maximum temperature; evolution