

1960—2006年重庆高温日数时空变化特征

韩世刚^{1,2} 周 浩² 何 军² 唐家萍² 盖长松²

(1. 兰州大学大气科学学院, 兰州 73000; 2. 重庆市气象局)

提 要: 利用重庆市1960—2006年35个地面气象站逐日气温资料, 分析了近47年来重庆市高温日数的时空变化特征。结果表明: 重庆市有四个主要的高温多发区, 分别在东北角的巫山、北部的万州、中部的涪陵和丰都一带以及西南角的万盛和綦江附近; 较重高温、严重高温和特别严重高温的最大值分别为21d/a、14d/a和2d/a左右。重庆市高温日主要发生在7月和8月, 其中8月的高温日数和高温强度都大于7月; 近47年全市高温日数大体呈现出“增加—减少—增加”的变化趋势; 尤其是大于40℃的高温日数变化最为明显。

关键词: 高温日数 时空变化特征 统计分析

The Spatial and Temporal Features of Chongqing High Temperature Days from 1960 to 2006

Han Shigang^{1,2} Zhou Hao² He Jun² Tang Jiaping² Gai Changsong²

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000;
2. Chongqing Meteorological Bureau)

Abstract: By using the high temperature data of 35 meteorological observation stations in Chongqing from 1960 to 2006, the spatio-temporal variation features of high temperature day (HTD) are studied. The results show that there are four regions with more HTD in Chongqing. The largest values of general, serious and special serious HTD are 21d/a, 14d/a and 2d/a respectively. The HTD occurs mainly in July and August, and there are much more HTDs in August than in July. In the recent 47 years, the HTD has an evolutionary trend of increasing-decreasing-increasing and the variation tendency of serious HTD is especially obvious.

Key Words: high temperature day (HTD) spatio-temporal variation features statistical analysis

引言

全球气候变化目前已成为科学界、各国政府和社会公众普遍关注的热点问题之一。IPCC第四次评估报告^[1]指出,近100年(1906—2005年)地球表面的平均温度上升了 0.74°C ,近50年的线性增温速率为 $0.13^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,1850年以来最暖的12个年份中有11个出现在1995—2006年。在全球气候变暖背景下,高温天气作为一种主要的气象灾害,对人类生活的影响越来越大。2003年欧洲的高温灾害导致了大量的人员死亡和经济损失;同时,近年高温气象灾害频频袭击中国南方和川渝地区,对农业、电力及人体健康造成了严重影响。有关高温的研究很多^[2-9],但全球变暖的背景下,有关高温日数气候变化的研究比较有限。有研究指出全球变暖的同时,全球的热浪(hotdays)出现了明显的异常变化^[10]。Karl等^[11-13]提出,在全球变暖的背景下,高温日数虽然逐渐增加,但最高温度与最低温度存在不对称变化。因此,研究高温日数的区域变化是研究全球变暖的一个重要方面。Zhai^[14]通过分析1951—1999年全国200个气象站的日最高气温表明:全国的高温日数整体呈现略微减少的趋势,但在中国西部的高温日数却显著增加。高荣等^[15]利用均一化的全国541个站的最高气温资料,分析了高温日数的时空变化特征。研究表明,吐鲁番盆地和江南是我国高温日数的两个高值中心;1951—2006年,中国的高温日数呈现“增加—减少—增加”的变化趋势;中国东部区域的高温日数具有3~6年的周期变化。

重庆市轮廓形似“人”字,北、东、南面均为山区,长江自西向东横贯过境,乌江和嘉陵江分别自南北汇入长江,属中亚热带湿润季风气候。夏季因地处盆地,湿度大,气温高,

为中国著名的三大“火炉”之一。在全球气候变暖的背景下,重庆市高温表现出的时空变化特征,可能会对重庆市区域自然生态系统及社会生产产生重要的影响。本文以重庆市35站的逐日最高温度资料为基础,分析了1960—2006年的高温日数的时空变化特征。这对重庆市制定区域发展政策、防灾减灾及生态建设均有一定的指导意义。

1 资料和方法

最高气温数据取自重庆市气象局逐月收集的《重庆市地面气象记录月报表》的信息化A0、A1系列数据文件。其是根据《全国地面气候资料统计方法》相关规定,进行整编统计而得。其包含重庆市35个地面气象(气候)观测站1960—2006年气候资料逐日数据集。对于早期的个别数据缺测日,认为其最高气温在 35°C 以下。35个观测站的分布如图1所示。根据2007年中国气象局最新颁布的《气象灾害预警信号发布和传播办法》,高温气象灾害分为三个级别:较重高温,连续三天日最高气温在 35°C 以上;严重高温,24小时内最高气温在 37°C 以上 40°C 以下;特别严重高温,最高气温高于 40°C 。由于重庆地处四川盆地东部,三面环山,湿度较大,盛夏感觉潮湿闷热,因此与北方城市相比,高温对市民

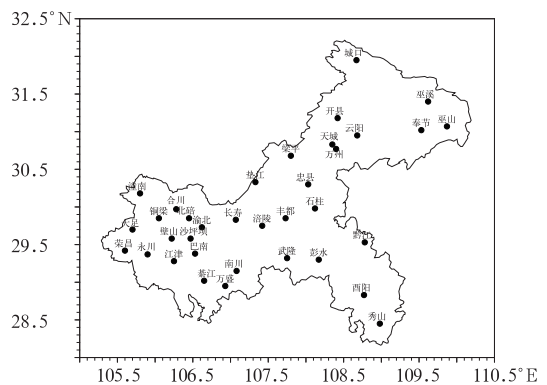


图1 35个地面气象观测站分布

的影响更大。为便于统计,本文将日最高气温在 35°C 以上就将其定义为较重高温。

本文选用了一些常用的统计方法来分析重庆市高温日数的时空变化特征。利用 Mann-Kendall 检验来分析高温日数年际变化趋势以及突变性检验。利用线性趋势分析来分析高温日数的气候倾向率。 y_i 表示某一气候变量,用 t_i 来表示对应的时间,则气象要素 y_i 随时间的趋势变化用一次线性方程表示,如公式(1):

$$y_i = at_i + b \quad i = 1, 2, 3, \dots, 47 \quad (1)$$

通常将直线斜率 a 的 10 倍称为气候倾向率,本文中 $10a$ 表示高温日数每 10 年的变化率。另外,本文还利用 EOF 方法来分离重庆市高温日数的时空模态。这些常用的统计方法本文不再赘述,具体见文献[16-17]。

2 高温日数的空间分布特征

图 2 给出了重庆市 1960—2006 年各级高温的高温日数空间分布。从图 2a 可以看出,重庆市较重高温($35^{\circ}\text{C} \leq T < 37^{\circ}\text{C}$)的年平均日数空间差异幅度较大,在 $2 \sim 21\text{d/a}$ 之间。整体上看,重庆市有 4 个较重高温日数分布区,分别在东北角的巫山、北部的万州附近、中部的涪陵和丰都一带以及西南角的万盛和綦江附近。这些区域的较重高温日数在 18d/a 左右。重庆东南部的秀山和酉阳的高温日数则不足 4d/a 。严重高温(图 2b, $37^{\circ}\text{C} \leq T < 40^{\circ}\text{C}$)整体的空间分布特征与较重高温分布略有差异。4 个多高温日数的区域虽然与较重高温大体一致,但高温日数要明显

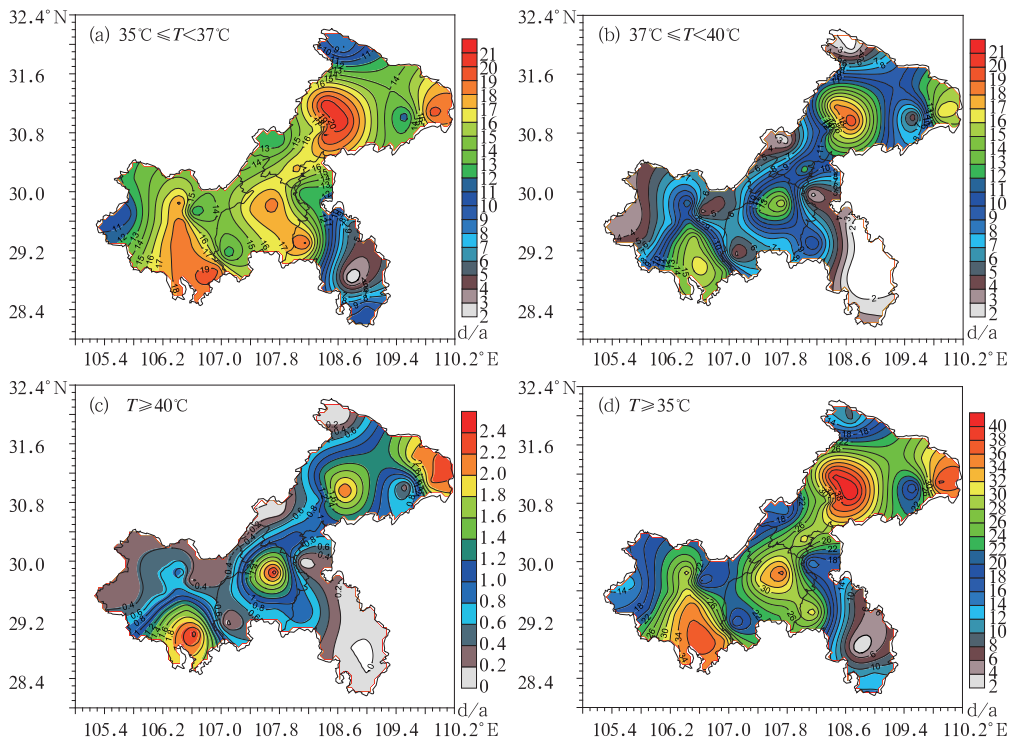


图 2 重庆市 1960—2006 年高温日数的空间分布

(a) $35^{\circ}\text{C} \leq T < 37^{\circ}\text{C}$; (b) $37^{\circ}\text{C} \leq T < 40^{\circ}\text{C}$; (c) $T \geq 40^{\circ}\text{C}$; (d) $T \geq 35^{\circ}\text{C}$

减少,除北部的万州附近严重高温日数在 18d/a 左右以外,另外 3 个高值区数值在 16d/a 左右。东南角的低值区均在 4d/a 左右。图 2c 是重庆市特别严重级别的高温日数空间分布。从图 2c 可以发现,特别严重高温的高值区和低值区与上述两个级别基本一致,但数值却急剧减小。4 个高值区的特别严重高温日数在 2.0~2.4d/a 之间,东南角的特别严重高温日数低于 0.2d/a。图 2d 给出了三个级别的累积高温日数。从图 2d 可以看出,在 4 个高温日数频繁地区,每年出现高温 20 天以上。在中国东南部地区,由于副热带高压的影响,大部分地区的高温日数在 20 天以上。重庆的高温日数要略高于中国东南部(约在 20d/a 以上),但远低于中国的新疆吐鲁番等地(约 93.4d/a)。与重庆的地形高度(图 3)对比后发现,重庆的高温日数较多可能与其地形有关,四川盆地四周高山阻挡,空气流通不畅,且重庆位于四川盆地的东南部,海拔较低,多河谷地带,故高温日数较多。重庆东南部为川鄂湘黔交界的隆褶带,海拔高度较高,高温日数较少;图 2d 中 4 个高温高值中心与地形和海拔高度也有关系,它们海拔都很低,且都处在长江沿线河谷地区或者四周高山阻挡,处在盆地底部,因此高温天气更加突出。

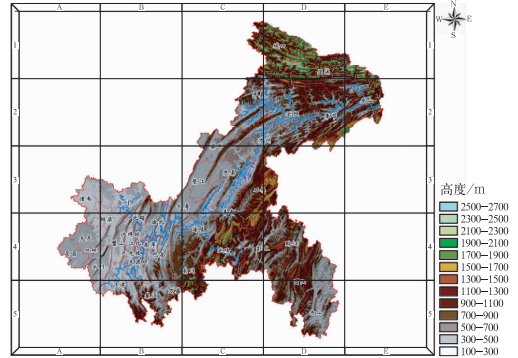


图 3 重庆市地形高度图

3 高温日数的时间分布特征

3.1 高温日数的季节变化

表 1 和图 4 给出了重庆市 1960—2006 年各级高温日数的月变化。从表 1 和图 4 可以看出,较重高温主要发生在 6、7、8 和 9 月,这 4 个月发生的高温日数约占全年的 96.1%,其中,7 月和 8 月所占比例较大且相差不多,分别占全年的 37.4%和 38.3%。严重高温主要发生在 7 月和 8 月,8 月的高温日数比例为 49.1%,几乎占全年的一半,7 月占 35.5%。特别严重高温虽然同样主要发生在 7 月和 8 月,但比例相差更为悬殊。7 月只占约 20.1%,而 8 月的比例高达 66.4%,这也是重庆 8 月更易于发生高温伏旱的原因之

表 1 重庆市高温日数的季节分布

级别	月份											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
较重高温/站次	0	0	2	177	760	2517	9156	9377	2497	26	0	0
百分比/%	0.0	0.0	0.0	0.7	3.1	10.3	37.4	38.3	10.2	0.1	0.0	0.0
严重高温/站次	0	0	0	17	161	846	5131	7085	1199	1	0	0
百分比/%	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	5.9	35.5	49.1	8.3	0.0	0.0	0.0
特别严重高温/站次	0	0	0	0	5	47	277	913	133	0	0	0
百分比/%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	3.4	20.1	66.4	9.7	0.0	0.0	0.0
总计/站次	0	0	2	194	926	3410	14564	17375	3829	27	0	0
百分比/%	0.0	0.0	0.0	0.5	2.3	8.5	36.1	43.1	9.5	0.1	0.0	0.0

一。从表 1 中还可以发现较重高温最早于 3 月发生,10 月还有出现较重高温的可能,但

比例约为千分之一;发生严重高温的最早月份为 4 月,9 月还有约 8.3% 的严重高温出

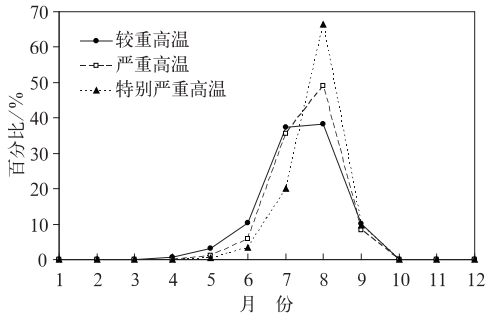


图 4 重庆市 1960—2006 年各级高温的季节变化

现,10月基本结束,1960—2006年10月仅有一次严重高温出现;特别严重高温最早出现在5月,9月还有约9.7%的比例,而10月没有出现过特别严重高温。

3.2 高温日数的年际变化特征

图 5 给出了重庆市 1960—2006 年各级高温的年高温日数变化曲线。从图 5 可以看

出,近 50 年各级高温的高温日数基本上呈现出“增加—减少—增加”的趋势;从变化幅度上看,较重高温、严重高温和特别严重高温的年高温日数变化幅度分别为 10~30d/a、5~20d/a 和 0~10d/a;利用 Mann-Kendall 方法对各级高温的年际变化序列进行突变检验,得到图 6。图 6a 给出了较重高温的 Mann-Kendall 统计量曲线。由 UF 曲线及其三阶拟

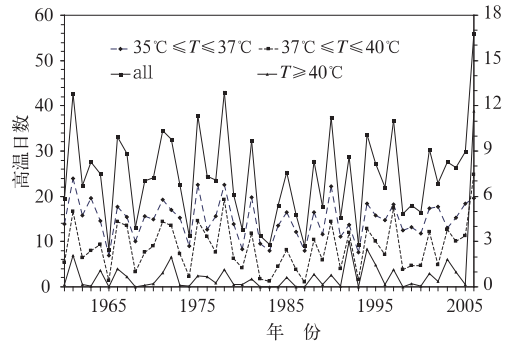


图 5 重庆市 1960—2006 年高温日数年变化曲线

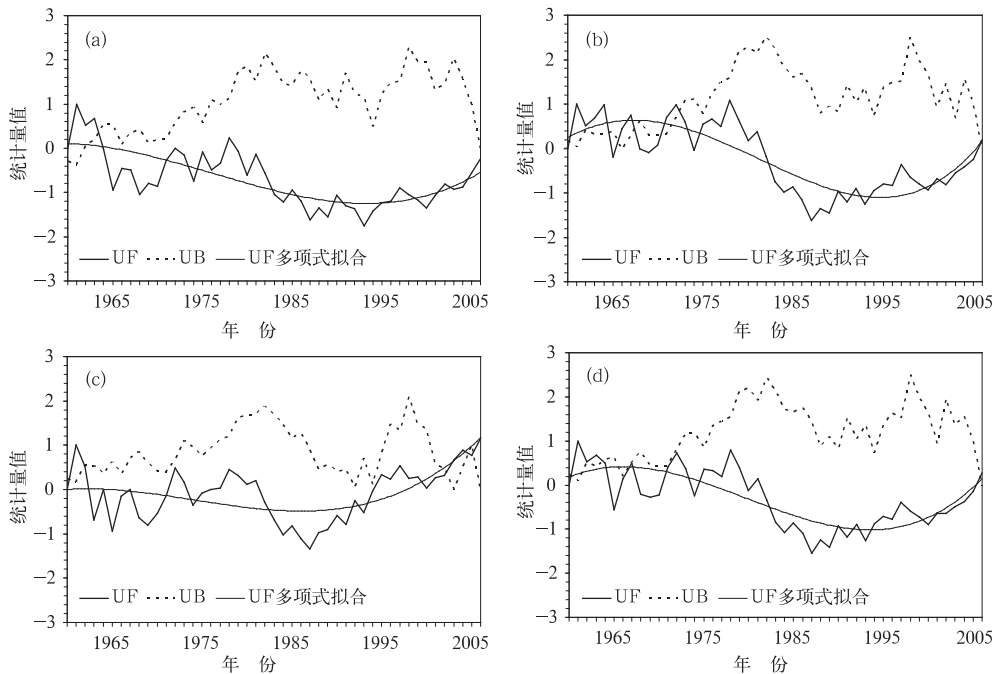


图 6 重庆市 1960—2006 年高温日数 Mann-Kendall 统计量曲线

(a) $35^{\circ}\text{C} \leq T < 37^{\circ}\text{C}$; (b) $37^{\circ}\text{C} \leq T < 40^{\circ}\text{C}$; (c) $T \geq 40^{\circ}\text{C}$; (d) $T \geq 35^{\circ}\text{C}$

(UF、UB 分别代表正向序列和反向序列;细实线为 UF 曲线的三阶多项式拟合)

合曲线可见,自 1960 年以来,重庆较重高温有一“先减少、后增加”的变化趋势,根据 UF 与 UB 曲线交点的位置,确定 1964 为突变减小的年份;1964 至 1993 年较重高温日数逐渐减小,1993 年以后高温日数开始增加。由于其显著性水平没有通过 0.05 的信度检验 ($U_{0.05}=1.96$),这说明这一变化趋势并不十分显著。图 6b 给出了较重高温的 M-K 检验情况。从 UF 曲线可以发现,严重高温的高温日数存在“增加—减少—增加”的变化趋势。由于 UF 和 UB 曲线在 0.05 信度检验临界线之间存在多个交点,无法确定发生显著突变的年份。从 UF 的三阶拟合曲线可以大致看出,1960—1968 年,严重高温日数有略微增加的趋势;1968—1994 年,严重高温日数则呈现减少的趋势;1994 年以后,严重高温日数与较重高温日数一起开始出现增加趋势。图 6c 给出特别严重高温的 M-K 检验曲线。由于从 UF 曲线及其拟合线可以看出,1960—1990 年,重庆市特别严重高温日数均在 0 值附近,没有特别明显的变化趋势;1990 年以后,高温日数开始出现缓慢增加。总的看来(图 6d),重庆的高温日数存在“增加—减少—增加”的变化趋势。

4 高温日数的时空变化特征

4.1 高温日数气候倾向系数的空间分布特征

图 7 给出了 1960—2006 年重庆市高温日数的气候倾向系数的空间分布。从图 7 可以看出重庆市高温日数的气候倾向系数大致分为三种主要类型。在重庆市的中西部一块大体呈矩形的区域内(西起大足和永川,东到

涪陵和石柱,南起江津至武隆,北到垫江和忠县),高温日数呈减少的趋势,倾向系数约为 $-1 \sim -2d/10a$;另外万州至奉节一线及秀山也呈减少的趋势;在重庆的东北区域,梁平—万州—城口—开县—云阳—巫山区域,高温日数呈显著增加的趋势,倾向系数大于 $2d/10a$;高温日数增加最为明显的北部巫溪和南部万盛,倾向系数大于 $5d/10a$ 。其余的区域,高温日数的倾向系数在 $0 \sim 1d/10a$ 左右,没有明显的变化。

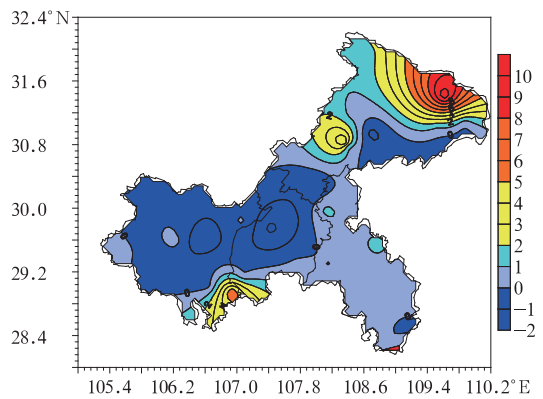


图 7 重庆市高温日数气候倾向系数的空间分布(单位: $d \cdot 10a^{-1}$)

4.2 高温日数的 EOF 分解

对重庆市 1960—2006 年 35 站高温日数利用主成分分析法进行分析,其载荷向量能够较好地反映重庆市 47 年来高温日数的时空异常变化趋势。表 2 给出了前 10 个对总方差的贡献率。表 2 中可以看出,EOF 分解的前 10 个模态的累积方差贡献百分率为 96.5%,第一模态的方差贡献百分率达到 71.0%,具有较好的收敛性。EOF 分解的时空模态的物理意义能够表示相关的时空变化特征。

表 2 EOF 分解前 10 个模态的方差贡献率和累积贡献率/%

模态 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
第 n 模态的方差贡献率	71.0	11.9	4.1	2.5	2.2	1.4	1.2	0.8	0.8	0.6
前 n 模态的累积贡献率	71.0	82.9	87.0	89.5	91.7	93.1	94.3	95.1	95.9	96.5

图 8a 给出了重庆市 1960—2006 年 35 站高温日数 EOF 分解的第一模态的空间变化特征。从图 8a 可以看出,整个重庆市的荷载向量表现为一致的正值。这说明重庆市的高温日数表现出一致的同位相变化。相比较而言,重庆中部区域的荷载值较大,高温日数较易出现异常;而东南部的酉阳、秀山以及北部的城口荷载值较小,高温日数的变化表现相对平稳。图 8b 给出了第一模态的时间变化特征及二阶拟合曲线,从中可以发现时间系数可大致分为 3 个阶段。1960—1978 年为第一阶段,此阶段内以正的时间系数为主,这说明高温日数距平主要表现为正趋势;但这一阶段的 1965、1968 和 1974 年则呈现较为明显的负值,说明这三个年份全重庆市的高温日数有明显的减少。从 1976—2000 年的这一阶段的时间系数主要表现为负值,结合图 8a 表现出来的全区一致性特征,说明这一阶段的高温日数呈现明显的负距平特征。2000 年以后,除 2002 年这一 ENSO 年份外,时间系数基本表现出显著的正距平特征。这说明进入新的千年后,重庆市高温日数开始出现明显增加趋势,尤其是 2006 年出现了较大幅度的增加。另外一个值得注意的现象是,第一阶段高温日数明显减少的 1965、1968、1974 以及 2002 年均为较强的 ENSO 年份,这些年份重庆市高温日数出现明显的负增长。这种现象可能与副高位置有关。ENSO 年份西太平洋副热带高压可能向北纬推进,正常年份在 30°N 附近的副热带高压在 ENSO 年向北推进到 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 的地区,副高脊线维持在 27°N 以北,使处于我国 35°N 以南的重庆区域降水增加,高温闷热天气有所减少;而黄河流域与华北地区则降水减少,闷热天气增多。刘春玲^[18] 研究在近半个世纪 ENSO 事件发现:在第 I 类 ENSO 影响年中,长江三角洲地区年降水量比常年偏高约 15%,高温天气有所减少。同时,并不

是所有的 ENSO 年份高温日数均有显著的变化,重庆高温可能是很多因素共同作用的结果。

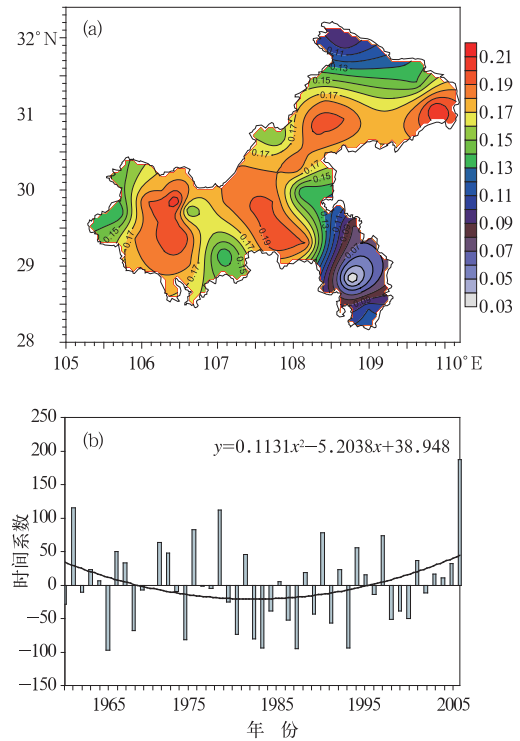


图 8 重庆市 1960—2006 年 35 站高温日数 EOF 分解的第一模态
(a)空间向量;(b)时间系数

5 结论和讨论

本文利用重庆市 35 个常规气象站 1960—2006 年的逐日温度资料,系统分析了重庆市高温日数的时空分布特征,得出如下主要结论:

(1) 1960—2006 年重庆市有 4 个高温易发区域,其中重庆市有 4 个较重高温日数分布区,分别在东北角的巫山、北部的万州附近、中部的涪陵和丰都一带以及西南角的万盛和綦江附近,数值在 18d/a 左右;严重高温的 4 个多高温日数的区域虽然与较重高温大体一致,但高温日数要明显减少,为 4d/a 左

右;特别严重高温的高值区和低值区与上述两个级别基本一致,但数值却急剧减小,东南角的特别严重高温日数低于0.2d/a。重庆的高温日数较多可能与其地形有关,四川盆地四周高山阻挡,空气流通不畅,且重庆位于四川盆地的东南部,海拔较低,多河谷地带,故高温日数较多。

(2) 从季节变化上看,重庆市高温日主要发生在7月和8月,其中8月的高温日数和高温强度都大于7月。重庆8月初的高温伏旱相对而言要更严重。

(3) 1960—2006年重庆市的高温日数从时间上看,近50年各级高温的高温日数基本上呈现出“增加—减少—增加”的趋势;从变化幅度上看,较重高温、严重高温和特别严重高温的年高温日数变化幅度分别为10~30d/a、5~20d/a和0~10d/a;但各级高温的突变年份没有特别明显的界限。

(4) 1960—2006年重庆市的高温日数EOF分解的第一模态的荷载向量表现为一致的正值,高温日数表现出一致的同位相变化。相比较而言,重庆中部区域高温日数较易出现异常,而东南部的酉阳、秀山以及北部的城口荷载值较小,高温日数的变化表现相对平稳。时间系数可大致分为3个阶段:1960—1978年为第一阶段,此阶段内以正的时间系数为主,这说明高温日数距平主要表现为正趋势,高温日数呈现一致的增加;1976—2000年的这一阶段的时间系数主要变现为负值,高温日数呈减少的趋势;2000年以后,除2002年这一ENSO年份外,时间系数基本表现出显著的正距平特征。这说明进入新的千年后,重庆市高温日数开始出现明显增加趋势,尤其是2006年出现了较大幅度的增加。

从多年预报经验来看,重庆地区的高温主要受如下一些因素影响:当副热带高压的位置较平常年份偏北和偏西时,南方的暖湿

气流不易沿副高外围输送到西南地区东部,会导致重庆地区降水偏少,气温偏高;或者当重庆地区受稳定的大陆性高压控制时,重庆上空盛行下沉气流,对流活动受到抑制,致使重庆及周围区域出现大面积、长时间的伏旱天气;重庆上游的青藏高原积雪减少,造成高原热力作用显著,输出水汽较少,高原高度场偏高,也有可能致重庆地区高温。另外一个不能忽视的因素是,近几年重庆市的城市化建设比较快,大量生长着绿色植被的地面被混凝土代替,导致了城市热岛效应的加剧,这些也有可能致重庆高温日数的增加。本文研究了重庆地区高温日数的时空变化特征,尚未从天气学或气候学的角度分析这种时空变化的原因。挑选高温日数明显增多或减少的年份,从天气分型的角度探讨变化原因,可能是提高高温预测预警准确率的一个有效途径。

参考文献

- [1] 秦大河,陈振林,罗勇,等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 63-73.
- [2] 任国玉. 地表气温变化研究的现状和问题[J]. 气象, 2003, 29(8): 3-6.
- [3] 邱新法,张喜亮,曾燕,等. 1961-2005年江苏省降水变化趋势[J]. 气象, 2008, 34(5): 82-88.
- [4] 陈正洪,史瑞琴,李松汉,等. 改进的武汉中暑气象模型及中暑指数等级标准研究[J]. 气象, 2008, 34(8): 82-86.
- [5] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年来温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19-26.
- [6] 左洪超,吕世华,胡隐樵. 中国近50年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 238-244.
- [7] 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.
- [8] 池再香,白慧. 黔东南地区近40年来气候变化研究[J]. 高原气象, 2004, 23(5): 704-708.
- [9] 林培松,李森,李保生. 近50年来海南岛西部气候变化初步研究[J]. 气象, 2005, 31(2): 51-54.

- [10] Fujibe F. An increasing trend of extremely hot days in the inland of the Kanto plain and its relation to urban effects[J]. *Japanese Progress in Climatology*, 1998;135-139.
- [11] Karl Thomas R, Philip D Jones, Richard W. Knighta, et al. A new perspective on recent global warming; asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1993, 74(6):1007-1023.
- [12] Bonan Gordon B. Observational evidence for reduction of daily maximum temperature by Croplands in the Midwest United States[J]. *Journal of Climate*, 2001, 14(11):2430-2442.
- [13] Brunetti M, Buffoni L, Maugeri M, et al. Trends of minimum and maximum daily temperatures in Italy from 1865 to 1996[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2000, 66:49-60.
- [14] Zhai P M, Pan X H. Trends in temperature extremes during 1951-1999 in China[J]. *Geophys Res Lett*, 2003, 30(17):1-4.
- [15] 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.
- [16] 黄嘉佑. *气象统计分析与预报方法*[M]. 北京: 气象出版社, 2000.
- [17] 魏凤英. *现代气候统计诊断与预测技术*[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [18] 刘春玲, 张强, 许有鹏, 等. 近半个世纪 ENSO 事件对长江三角洲地区气候的影响[J]. *气象*, 2005, 31(3):12-16.