

梁梅 吴立广. 中国东部地区夏季极端高温的特征分析. 气象科学 2015 35(6):701-709.

LIANG Mei, WU Liguang. Analysis on features of summer extreme high temperature in eastern China. Journal of the Meteorological Sciences, 2015 35(6):701-709. doi:10.3969/2014jms.0077

中国东部地区夏季极端高温的特征分析

梁梅 吴立广

(南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室 南京 210044)

摘要 利用中国东部地区 449 个气象站的日最高气温资料,应用趋势分析法等,分析了 1960—2012 年夏季极端高温日数、持续高温日数的时空变化特征。分析发现:北方地区、华南地区和杭州湾周围地区两个高温指数都呈现增加趋势,长江与黄河之间的中部地区都减小。而在长江下游南部地区极端高温日数显著增加,但持续高温日数却明显减少。从季节特征上看,淮河以北的地区两个高温指数主要集中在 6、7 月;而以南的区域主要集中在 7、8 月。各个地区的这两个高温指数与降水日数均呈现显著的负相关,但南北有明显的差异,北方地区负相关的在年际变率以及 5 a 尺度都很显著,而中部地区则只在年际尺度上显著。杭州湾与华南地区持续高温日数与降水日数的相关体现在 5 a 尺度上。北方极端高温的显著增加与该地区降水日数与降水量明显减少密切相关。西北太平洋副热带高压显著的西伸,与东南地区的两个高温指数的变化有关。

关键词 气温; 极端高温; 季节内分布; 东部地区

分类号: P467

doi:10.3969/2014jms.0077

文献标识码: A

Analysis on features of summer extreme high temperature in eastern China

LIANG Mei WU Liguang

(Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract By using the daily maximum temperature data from 449 meteorological stations over eastern China, and with trend analysis method, the spatial and temporal variation characteristics of the extreme high temperature days and the continuous high temperature days in summer during 1960 – 2012 were investigated. Results show that both the two high temperature indices over northern China, southern China and Hangzhou Bay surrounding areas increase significantly, while over the central regions between the Yangtze River and Yellow River, they both consistently decrease. However, in lower reaches of the Yangtze River, the extreme high temperature days increase significantly while the continuous high temperature days decrease. As far as seasonal features are concerned, the two indices mainly concentrate in June and July over the north of the Huaihe river and in July and August over the south of the Huaihe river. Furthermore, the two indices in each region demonstrate significantly negative correlation with the precipitation days, but obvious differences exist between the North China and South China. The negative correlation is significant in relation to the interannual variability and 5a decadal scale, while in central regions, it merely belongs to interannual scale. The correlations between the continuous high temperature

收稿日期(Received): 2014-03-28; 修改稿日期(Revised): 2014-09-15; 网络出版日期(Published on-line): 2015-07-22

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1243.P.20150722.1648.004.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41275093); 江苏省特聘教授项目

通信作者(Corresponding author): 吴立广(WU Liguang). liguang@nuist.edu.cn

days and the precipitation days over Hangzhou Bay and South China are found only on 5a decadal scale. In North China, the significant increasing of the extreme high temperature events is closely related with the decreasing rainy days and precipitation amount. The variations of the two indices in Southeast China can be explained by the significantly westward extending of the Northwest Pacific subtropical high.

Key words Temperature; Extreme high temperature; Intraseasonal distribution; Southern China

引言

随着气候变暖,高温、热浪(持续性高温)等极端高温事件频繁发生,严重影响人们的健康、社会的经济发展,这使得极端高温事件的变化在全球范围内受到广泛关注^[1]。包括 IPCC 在内的许多研究组织一直致力于通过研究极端事件(包括极端高温事件)的变化趋势及变率,来更好的理解过去以及未来全球气候的变化。模拟结果表明极端高温将表现为更频繁、更强、更持久^[2]。和全球其他地区一样,高温、持续性高温事件在中国许多地区显著增加^[3]。2013 年夏季,中国江淮、江南、重庆遭遇罕见的、持续的高温,湖南、浙江部分地区连续 30 d 日最高气温超过 35 °C,局地日最高气温超过 40 °C。因此,深入的研究中国极端高温的时空变化特征及影响因子对减缓极端高温的危害,为气候评估、预测提供参考信息具有重要的实际价值^[4]。

近 100 a 来中国的增暖趋势与北半球以及全球情况大致相似,但在具体的变化过程和幅度上又与全球变化存在明显差异^[5]。中国极端高温时间上不仅具有显著的突变,而且年际变率明显^[6-8]。WEI *et al*^[7]进一步研究发现,在 1990s 中期,中国极端高温日数和平均最高温度显著的增加。在区域性分析上,DING *et al*^[3]分析指出:中国东南沿海地区和北方地区高温日数与持续高温事件显著增加,但是在长江下游地区部分站点却显著减小。虽然高温日数定义有所差异,但中国北方地区和东南沿海高温日数变化趋势与文献^[6-7]的研究结果基本一致,而黄淮流域和江淮流域的变化趋势却各有所差异。GONG *et al*^[6]指出江淮流域高温日数呈现减小的趋势,但是并没有通过显著性检验。SU *et al*^[9]分析却认为长江中下游夏季极端高温日数基本没有变化。因此,这个区域高温日数以及持续高温的变化至今还不是很清楚,这还有待进一步研究。GONG *et al*^[6]由高空大气环流分析,指出中国北方的增暖与东亚北部上空的低层至中层的反气旋有关,而南方的增暖则与西北太平洋副高有关。Ito *et al*^[10]进一步指出,在蒙古上空异常反气旋的控制下伴随着北

方地区降水偏少、土壤湿度降低从而感热通量增大。MENG *et al*^[11]认为,土壤湿度对高温日数和持续高温有显著影响,干的土壤条件会加剧夏季的极端高温。

本文从极端高温以及持续高温这两个方面进行分析,深入了解中国东部地区夏季极端高温的时空变化特征。此外,对中国极端高温的研究,前人多集中在年际及年代际尺度变化^[6-7,12],也有一部分学者针对不同季节的差异^[13],但基本上是把某个季节作为整体来研究。前人对于夏季逐月分布的季节内差异特征的分析还不足^[14-15],本文针对这些不足进行补充分析。为了更好地理解极端高温的变化规律,后面进一步分析各地区极端高温与降水的关系,尝试从极端高温与降水的相关关系来分析南北地区极端高温与降水的差异。

1 资料和方法

1.1 资料处理

主要采用中国气象科学数据共享网提供的地面气候资料日值数据集(v3.0),包含日最高气温、日最低气温和日平均气温和 20—08 时、08—20 时以及 20—20 时累计降水量。资料采集点包括全国 824 个国家级基准、基本站,资料年代为 1960—2012 年共 53 a。研究区域为中国大陆 100°E 以东的地区(不包括海南,台湾地区)。考虑到高温天气一般出现在盛夏,因此研究时段选取 6、7、8 月。

资料经过质量控制,筛选条件包括:(1) 1960—2012 年资料连续;(2) 缺测日数少;(3) 极值控制;(4) 剔除台站迁移较明显(球面移差 $d_{ij} \geq 20$ km 或海拔移差 $h_{ij} \geq 50$ m)的站点资料,具体计算如下:

设 λ 为测站纬度, φ 为测站经度, h 为高度, R 为地球半径, i, j 为资料序列年份编号, 则

$$d_{ij} = R \cos[\sin\varphi_i \sin\varphi_j \cos\varphi_i + \cos\varphi_j \cos(\lambda_j - \lambda_i)] \quad (1)$$

$$h_{ij} = |h_j - h_i| \quad (2)$$

经过筛选,气温资料总共有 449 站,降水资料有 448 个站(仅少 58531 站),站点分布如图 1 所示。

另外,采用 NCEP/NCAR 全球月平均再分析资料分析与极端高温和降水相关的大气环流背景,分辨为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

1.2 研究方法

ETCCDMI (Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices) 定义了 27 个指数,其中 16 个与温度有关,11 个与降水有关。这些指数从强度、持续事件的频数以及持续时间等不同方面分析极端高温和极端降水事件。Frich et al [16] 定义 10 个不同指数定量的描述极端事件的强度和频数,5 个与温度有关,5 个与降水有关,被广泛地使用于全球性或区域性的极端事件研究中 [17]。结合中国情况,采用以下 2 类指数描述夏季极端高温变化:

(1) 极端高温日数; (2) 持续高温日数。引用百分位值作为极端值的阈值来定义极端高温日。极端高温日阈值定为,把某站 1960—2012 年 6—8 月所有日最高温度(缺测除外)升序排列,温度序列的第 95 个百分位值定义为极端高温日的阈值,当该站某日最高温度等于或超过这一阈值时,当天为极端高温日。每年所有极端高温日加起来称为该站点的极端高温日数。为了取得一定的样本数分析持续高温日数,持续高温日数定义为:连续 3 d 或以上日最高温度等于或高于第 90 个百分位值的最长日数。这两类指数从高温的程度和持续性两个方面描述夏季高温的特点,同时也解决了东部南北地域性差异问题。

使用的趋势分析是根据最小二乘法原理计算得到,趋势检验方法是 Mann-Kendall (M-K) 统计检验 [18]。相关显著性检验均是考虑自由度的双边显著性检验。

从图 1 中可以看出,东部的 449 个观测站分布基本均匀,内蒙古地区地广人稀台站分布相对稀疏一点。由于中国地形复杂,各站点海拔高度有一定差异。除了西南、西北部分地区海拔较高以外,东部站点大部分处于中国的地形的第三阶梯,海拔高度在 1 000 m 以下,因此在后面的分析中不考虑海拔高度的影响。东部地区存在如泰山、黄山等一些海拔较高的站点,这些站点极端高温的阈值跟平原台站有较大差别,但是后面的分析表明并不影响总体的分布特征。

2 夏季极端高温的趋势分析

2.1 极端高温日的阈值和持续高温日数气候平均的空间分布

图 2a 给出 1960—2012 年夏季极端高温日阈值

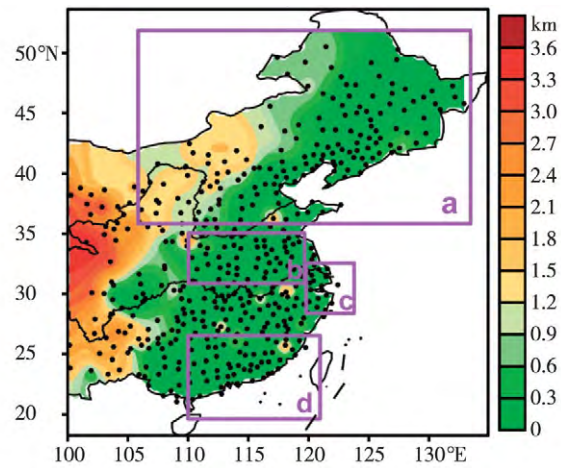


图 1 中国东部地区 449 站的站点(黑点)和海拔高度(阴影,单位:km)空间分布 (a、b、c、d 4 个区域为后面所分析的 4 个地区)

Fig. 1 Spatial distribution of 449 stations (black dots) and altitude (shadow, unit: km) in East China (a, b, c, d stand for region division used in the following sections)

的空间分布。由于地形、太阳辐射和雨带等影响,极端高温阈值基本呈现东高西低、南高北低的分布。极端高温阈值在 $21 \sim 39^{\circ}\text{C}$ 范围内变化,阈值高达 38°C 及以上的站点有 18 个,基本分布在长江流域,从东到西分别是浙江、湖北、重庆。其次长江流域以南的湖南、江西、福建北部,在 37°C 以上。华南地区阈值较江淮流域低,在 35°C 左右,而华北北部、东北地区在 $30 \sim 34^{\circ}\text{C}$ 之间。 105°E 以西的地区由于海拔较高的原因,阈值普遍较低,基本上都在 30°C 以下,后面着重讨论温度高于 30°C 的地区。可见,如果取 35°C 为标准定义极端高温日,南方 35°C 低于 95% 的标准,而北方地区高于 95% 的标准。利用 90% 的标准定义极端高温日数,其阈值的空间分布型与 95% 的标准相似,只是数值上有所差异,故不再列出 90% 标准的阈值空间分布图。图 2b 为 1960—2012 年持续高温日数的气候平均分布。持续高温日数的大值中心分布在华东地区,其中长江流域持续高温日数基本高达 3 d。华南地区持续高温日数在 2~3 d 之间,而淮河以北的地区在 1.5~3 d。结合两类指数发现,长江流域是极端高温日阈值和持续高温日数的大值中心所在地,传统的三大火炉重庆、武汉、南京都分布在该区域,而杭州湾附近地区阈值最高、持续时间最长。

2.2 夏季极端高温日数和持续高温日数变化趋势

图 3 给出 1960—2012 年极端高温日数和持续高温日数变化趋势空间分布,除了长江下游地区有所不同,两类指数的空间分布大致相同。根据极两

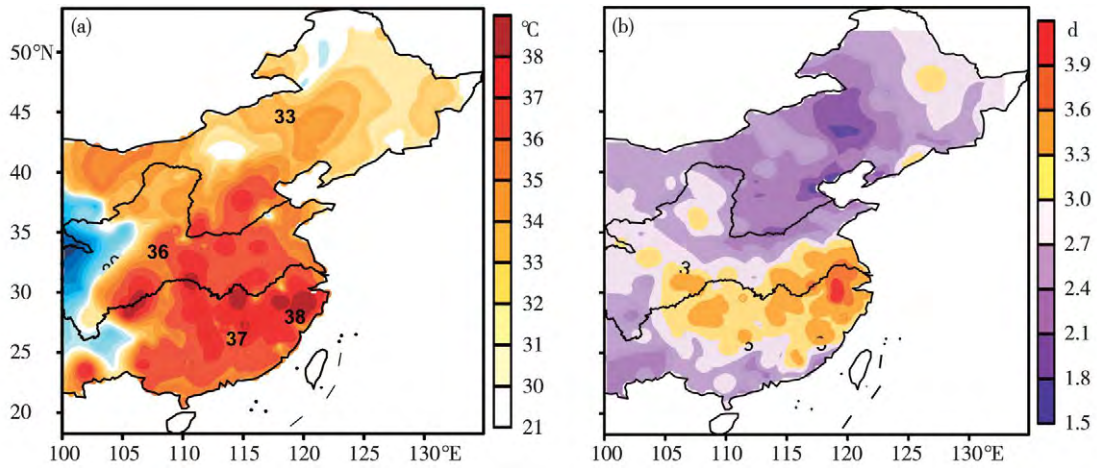


图2 1960—2012年极端高温日的阈值(a,单位:℃)和持续高温日数气候平均(b,单位:d)的空间分布
 Fig.2 Spatial distribution of threshold (a, unit: ℃) of the extreme high temperature days and the climatic average continuous high temperature days (b, unit: d) during 1960 - 2012

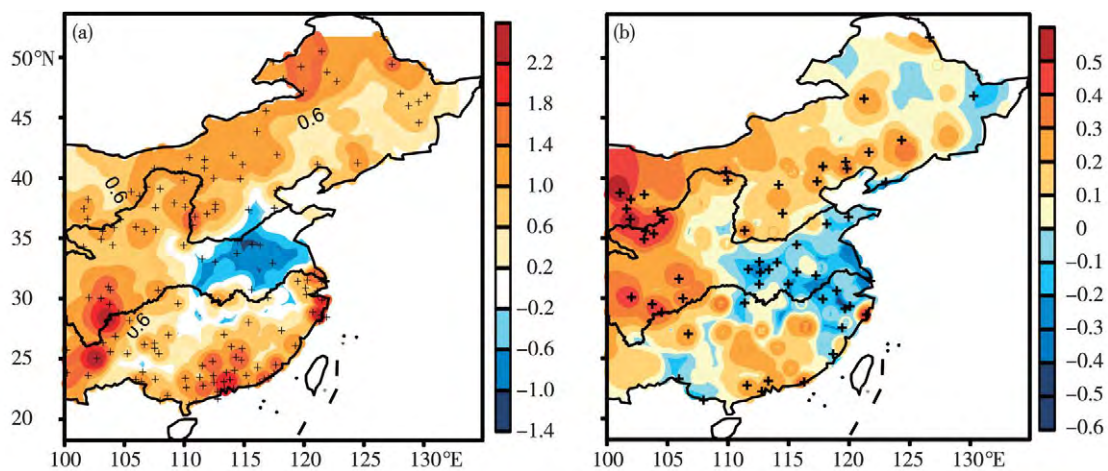


图3 1960—2012年极端高温日数(a)和持续高温日数(b)变化趋势
 (+号表示通过0.05显著性水平,单位:d/10a)
 Fig.3 Trends of the extreme high temperature days (a) and the continuous high temperature days
 (b) in eastern China from 1960 to 2012 (Symbols indicate that trends are confident at the 0.05 level; unit: d/10a)

类指数变化趋势的空间分布特点,把中国东部地区分成北方地区、中部地区、杭州湾附近、华南地区4个区域进行分析,区域划分如图1中a、b、c、d4个矩形所示。从图3a可看出,极端高温日数的趋势表现出明显的地域性差异,总体呈“+ - +”经向分布。其中杭州湾附近、珠江入海口地区增加趋势显著,且通过0.05信度检验的站点集中分布。减小趋势的站点主要分布在长江和黄河之间,南起云贵高原、黄土高原和大兴安岭这一带状区域的增加趋势也比较明显。虽然极端高温定义的标准有差异,但趋势空间分布与前人结果基本一致^[6,11]。图2b为持续高温日数的变化趋势,空间分布上与极端高温日数大体相同,不同之处主要表现在长江下游的江西、安徽、江苏等省份持续高温日数明显减小,而极端高温

日数却增加。值得注意的是,杭州湾附近地区持续高温事件频数是增多的(图略)。杭州湾地区夏季降水日数与降水量都是增加的(图4)。前人的研究指出长江下游的杭州湾地区降水强度明显增大,体现为大雨、暴雨等极端降水事件频发^[19]。降水日数和降水量的增多、降水强度的增大,可能在一定程度上打断高温的持续性,体现为持续高温事件频发,但每次持续的时间有所减小。表1中给出长江以南部分大城市的具体信息,证实了以上的分析。其中上海站的持续高温日数以-0.31 d/10a减小,而持续高温事件频数以0.14/10a增加,表明了杭州湾附近地区持续高温更频发但持续时间有所减小。

总体来说,北方地区和长江以南地区极端高温日数以及持续高温日数都呈现增加趋势,而且,用不

表 1 1960—2012 年部分城市极端高温日数和持续高温事件的统计结果

Table 1 Statistical results of the extreme high temperature days and the continuous high temperature events in part of cities during 1960 - 2012

站号	极端高温日数		持续高温变化/(d/10a)		
	阈值/℃ (95%)	趋势/ (d/10a)	阈值/℃ (90%)	日数变化 趋势	事件变化 趋势
上海	35.8	1.07*	34.9	-0.31	0.14
南京	36.3	-0.46	35.5	-0.19	-0.02
重庆	37.4	0.51	37.4	0.23	0.10
杭州	37.4	1.19*	36.6	0.11	0.29*
福州	37.4	1.47*	36.6	0.24	0.34*
广州	35.7	2.12*	35.1	0.29*	0.46*

*表示 $P < 0.05$ 通过 95% 置信水平检验

同的方法(绝对温度或不同阈值)定义极端高温日数和持续高温日数都呈现增加趋势。特别指出,杭州湾地区持续高温变化方式与北方地区有所不同,表现为持续高温更频发而持续时间有所减小。中部地区与其他地区不同,极端高温日数和持续高温日数都在减少。

2.3 极端高温日数和持续高温日数的季节内变化特征与变化趋势的空间分布

前面分析可知,夏季东部地区两类指数有明显的变化趋势,但是夏季包括 6、7、8 月,而各地区雨带推进月份不同导致温度升高时间不同、变化幅度也不同。因此,很有必要详细分析 6、7、8 月这两类指数的季节内分布特征以及变化趋势。

图 5 上行图阴影代表 6、7、8 月极端高温日数的

气候分布,符号表示变化趋势通过 95% 置信水平检验的站点。从各月的空间分布上看,极端高温日数的存在明显的次季节尺度分布和地域性差异,其中 6 月和 8 月呈现相反的空间分布形态。中国北方地区包括黄淮流域、华北、东北区域的极端高温日数集中在 6 月和 7 月,每月高温日数都在 2 d 以上,8 月份较少。夏季华北平原和东北平原升温较其他地区早,6 月份日最高气温较早地达到极端高温日的阈值。结合变化趋势可知,6、7 月北方地区的极端高温日数呈现显著上升趋势。中部地区是南北方的分界区域,从 6 月和 8 月极端高温日数的分布可知,极端高温日数南北梯度明显。该地区高温日数变化与北方地区不同,表现为明显的减少,而减小的趋势主要发生在 7、8 月。中国东南地区、重庆附近地区的极端高温日数集中在 7、8 月份,平均每月 2 d 以上。进一步分析可知,这两个地区又有差别,东南地区的极端温度主要发生在 7 月,高温天数达 3 d 以上,东部沿海城市达 3.5 d。而重庆附近地区主要集中在 8 月,高值中心在重庆的西部,为 3.5 d。结合变化趋势分析,长江以南的东南沿海高温日数增加主要发生在 7、8 月份,而 6 月变化不明显。其中杭州湾附近、珠江入海口区域最显著。

图 5 下行图为持续高温日数 6、7、8 月的气候分布和变化趋势。持续高温日数各月气候平均的空间分布与极端高温日数大致相同。北方地区 6、7 月持续高温时间均比 8 月长,且这 2 个月持续高温日数明显的增大。中部地区同样呈现南北梯度,且减小趋势也主要发生在 7、8 月。7 月,长江中下游及以南地区持续高温时间最长,长达 3 d 以上。7 月整个

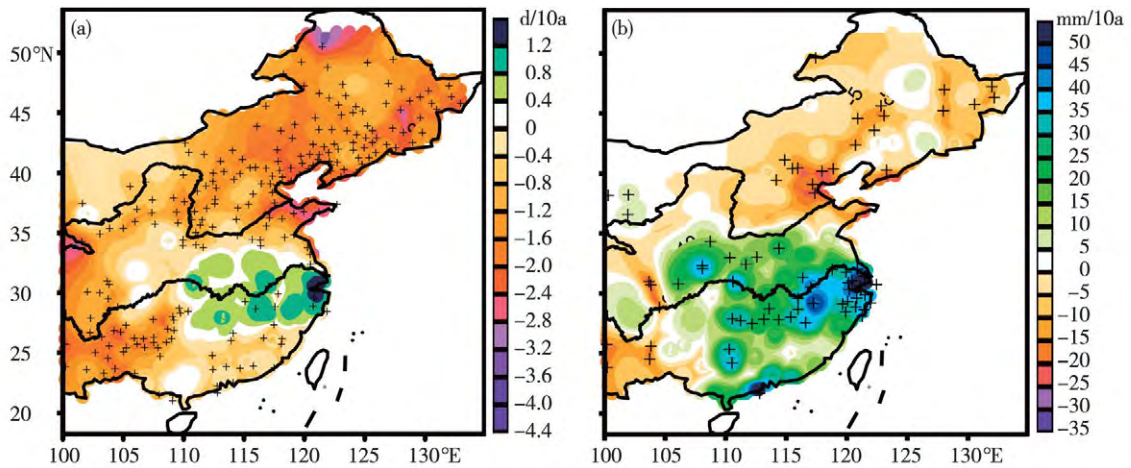


图 4 1960—2012 年夏季降水日数(a,单位:d/10a)和降水量(b,单位:mm/10a)变化趋势空间分布(十字符为通过信度为 0.05 显著性检验)

Fig. 4 Trends of rainy days (a, unit: d/10a) and total precipitation amount (b, unit: mm/10a) in eastern China in summer during 1960 - 2012 (Symbols(+) indicate that trends are confident at the 0.05 level)

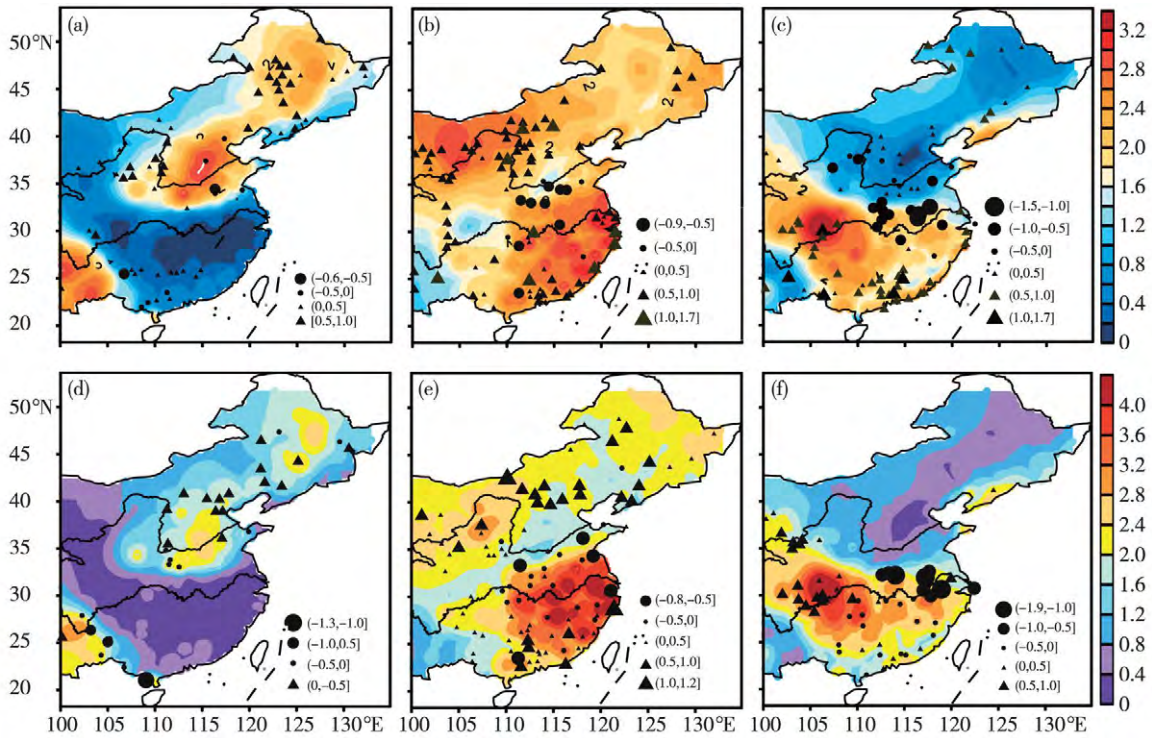


图5 1960—2012年6、7、8月的极端高温日数(上)和持续高温日数(下)气候平均分布(阴影)和变化趋势(单位:°C/10a)(符号分别表示通过0.05(上行)、0.1(下行)显著性检验)(a, d)6月;(b, e)7月;(c, f)8月

Fig. 5 Climatic average distribution (shadow) and variation trends of the extreme high temperature days (upper) and the continuous high temperature days (below) in June (a, d), July (b, e) and August (c, f) during 1960 - 2012 (Symbols indicate that trends are confident at the 0.05 (upper) and 0.1 (lower) levels, respectively)

东部地区持续高温日数的变化趋势空间分布与整个夏季比较一致。8月重庆附近地区持续高温日数明显高于其他地区,且呈现增大的趋势。

综上所述,极端高温日数与持续高温日数具有明显的季节内分布和变化趋势。北方地区极端高温日主要发生在6、7月,并且6、7月份极端高温日数和持续高温日数都显著的增加。中部地区极端高温日数减小主要由7、8月造成,但持续高温日数减小主要发生在8月份。南方地区极端高温日主要发生在7、8月,且这两个月的极端高温日数也显著增加,而持续高温日数变化趋势的空间分布整体性较极端高温日数差。各个地区极端高温日数与持续时间的季节内尺度分布特征与雨带的推进密切相关。

从图5对极端高温日数季节内差异分析可知,夏季不同地区极端高温日数主要发生月份不同。为了进一步分析各地区的年际变化,图6给出4个地区的各月以及整个夏季的极端高温日数年际变化曲线。图6a显示北方地区6—7月年际变化与整个夏季基本一致,这两个月的极端高温日数占整个夏季的86%,且极端高温日数以0.60 d/10a的速率升高,与整个夏季0.66 d/10a很接近。从5点平滑曲线分析可知,1990s中期之前,该地区极端高温日数

变化不明显,之后极端高温日数显著增加。中部地区与其他地区明显不同,极端高温日数呈现减少趋势,但是并没有通过0.05显著性检验。中部地区极端高温日数主要集中在7、8月,年际变化与整个夏季基本一致(图6b)。中部地区极端高温日数主要集中在1960s—1970s,1980年后期极端高温日数基本没有明显的变化。杭州湾附近地区7、8月极端高温日数占整个夏季的98%,几乎包括整个夏季的极端高温日(图6c)。2000年之前该地区极端高温日数一直处于波动的变化,之后显著增加。华南地区7、8月极端高温日数占整个夏季90%,而增长速率为0.81 d/10a,是增长速率最大的区域(图6d)。该地区极端高温日数的年际变化与杭州湾附近一样较为一致。

3 夏季高温与降水和大气环流的关系

尽管各区域极端高温日数和持续高温日数有明显的变化趋势,但是仍具有强的年际振荡,其中影响因素之一就是降水。一般情况下,极端高温日以及持续高温事件难以在雨天发生,降水日数与极端高温事件有很强的相关^[3,20]。图4给出1960—2012年夏季降水日数和总降水量趋势空间分布。黄河以

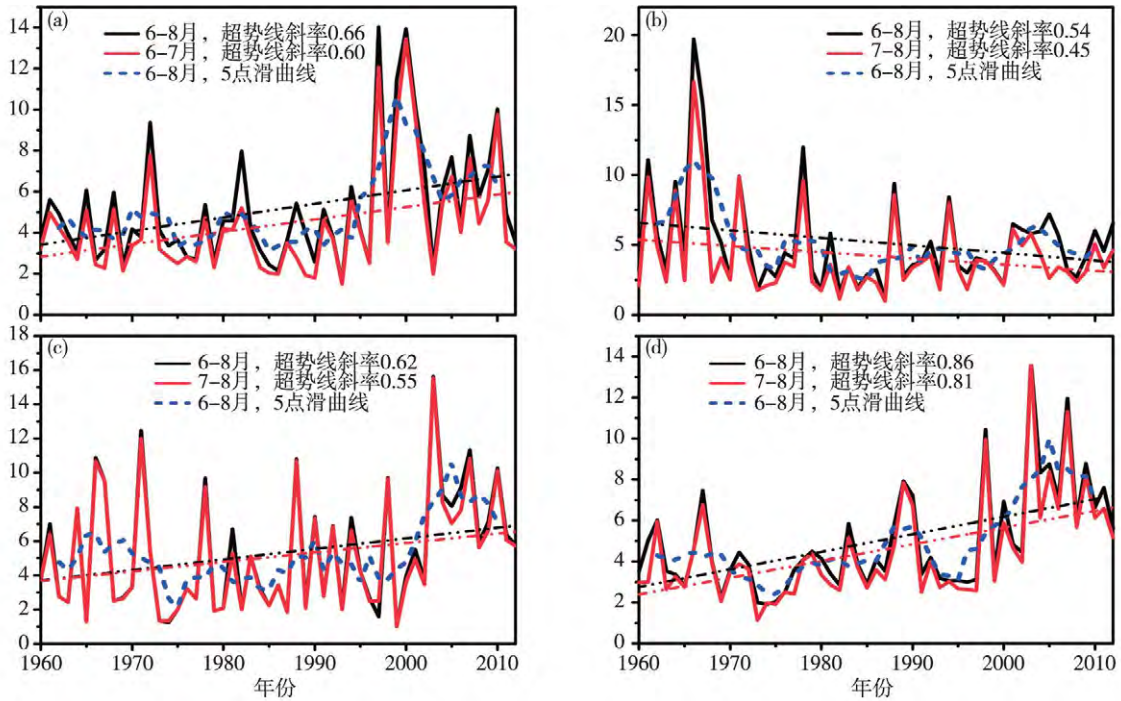


图6 北方地区(a)、中部地区(b)、杭州湾附近地区(c)、华南地区(d)集中月极端高温日数(红实线)与整个夏季的极端高温日数(黑实线)的时间曲线以及变化趋势(点虚线; d/10a)(蓝色虚线代表夏季极端高温日数的5点平滑曲线)

Fig.6 Time series (black solid line) and trends (dotted line; d/10a) of regional average numbers of the extreme high temperature days (red solid line) in the main months and the extreme high temperature days in the whole summer (JJA, black). (Blue dashed lines represent the 5 years running mean extreme high temperature days in summer

北地区、华南地区降水日数明显减少,而江淮流域增多,其空间分布型与持续高温日数相反。而总降水量的空间分布型呈现南涝北旱的局面与降水日数有所不同。

结合前面的分析,北方地区用6、7月的极端高温日数、持续高温日数分别与6、7月的降水日数求相关,而中部、杭州湾附近以及华南地区用7、8月的极端高温日数、持续高温日数与7、8月降水日数计算相关。特别指出,4个区域持续高温日数与降水日数集中月份的相关系数比整个夏季的相关高出0.1~0.3,但极端高温日数与降水日数相关相差不大。表2给出各区域极端高温日数(持续高温日数)与降水日数的相关关系。各个区域的两个高温指数均

与降水日数都有较好的负相关,但各地区有差异。北方地区极端高温日数、持续高温日数与降水日数都具有显著的负相关,相关系数分别为-0.79、-0.78。经过去除变化趋势或者5点平滑处理后,相关仍然显著,这说明两个高温指数与降水日数的相关在年尺度和5a尺度上都很明显。但中部地区不同,中部地区两个高温指数与降水日数的相关均体现在年际变率上,5点平滑处理后相关则不显著。杭州湾地区与华南地区持续高温日数与降水日数相关体现在5a尺度上。近50a来由于夏季风的减弱^[21],北方地区降水日数与降水量明显的减少(图4),这是造成北方夏季极端高温日数和持续高温日数显著增大的主要原因之一^[22],其他因子有待

表2 图1中a、b、c、d 4个区域平均的极端高温日数(持续高温日数)与降水日数的相关关系

Table 2 The correlation coefficient between the extreme high temperature days(continuous high temperature days) and rainy days in region a, b, c and d shown in Fig. 1

	北方区域		中部区域		杭州湾附近区域		华南区域	
	极端	持续	极端	持续	极端	持续	极端	持续
原时间序列	-0.79**	-0.78**	-0.51**	-0.55**	-0.58**	-0.64**	-0.56**	-0.59**
去除趋势后	-0.76**	-0.63**	-0.52**	-0.41*	-0.57**	-0.27	-0.54**	-0.26
5点平滑后	-0.84**	-0.81**	-0.16	-0.26	-0.51*	-0.43*	-0.48*	-0.44*

*、** 分别代表通过0.05、0.001的显著性检验

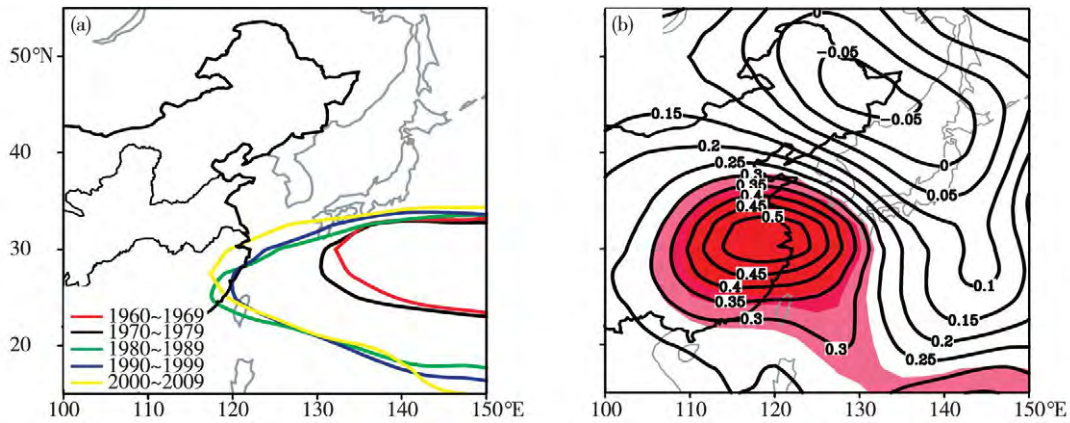


图7 1960—2009年7—8月500 hPa高度场上每10 a的587 dagpm平均位置(a)和东南地区极端高温日数与500 hPa平均高度场的相关系数(b, 等值线)(阴影表示通过信度为0.05%显著性检验)

Fig.7 The average position of 587 dagpm per decade (a) at 500 hPa height field in July, August during 1960-2009 and correlation coefficient (b, contour) between the extreme high temperature days in Southeast China and 500 hPa height field (Shaded areas indicate that trends are confident at 0.05% level)

进一步探讨。两个高温指数与降水日数相关的南北差异亦需要深入的探讨。

50多年来东南地区极端高温日数明显的增加,近10 a尤为显著。西北太平洋副热带高压是影响中国天气的很重要大气环流系统之一,对应着东亚夏季风环流的减弱,作为东亚夏季风重要组成成员的西太平洋副热带高压在1970s末显著的西伸加强(图7a),由原来130°E西伸到120°E附近,且1980s以后西太副高一直维持在华东地区上空。与此相对应,东南地区极端高温日数与7—8月500 hPa平均高度场呈现明显的相关(图7b)。副高的显著西伸,加强杭州湾附近和东南沿海地区下沉运动,这可能是造成东南地区极端高温日数显著的增加有利条件之一。

4 结论与讨论

(1) 长江中下游地区是极端高温日的阈值和持续高温日数大值中心所在地,阈值基本在37℃以上,而气候平均上的持续高温时间长达3 d以上。

(2) 极端高温日数变化趋势的空间分布总体呈“+ - +”经向分布,北方、东南地区、重庆附近增长明显,而中部地区呈现减少趋势。

(3) 持续高温日数变化趋势的空间分布与极端高温日数稍有不同,具体表现在而长江下游地区持续高温日数明显减小。但杭州湾地区极端高温变化方式与北方地区有所不同,表现为持续高温更频发而持续时间有所减小。

(4) 极端高温日数和持续高温日数季节内分布存在明显的南北差异。北方地区极端高温日数主要

集中在6、7月份;而中部地区、杭州湾地区、华南地区集中在7、8月份。持续高温日数各月气候平均的空间分布与极端高温日数大致相同。淮河以北的地区6、7月持续高温时间均比8月长,而以南区域则是7、8月高温比6月持久。

(5) 中国东部地区极端高温的分布和变化与东亚夏季风和大气环流紧密联系。各个地区的极端高温日数和持续高温日数均与降水日数呈现显著的负相关,但南北有明显的差异。北方地区两个高温指数与降水日数的负相关在年际变率以及5 a尺度都很显著,而中部地区则只在年际尺度上显著。杭州湾与华南地区持续高温日数与降水日数的相关体现在5 a尺度上。由于夏季风减弱,北方地区降水日数与降水量明显减小,这是该地区极端高温日数与持续高温日数显著的增长主要原因。而东南地区极端高温日数显著的增多与西北太平洋副热带高压的明显西伸有关。

中部地区50多年来夏季是一个变冷的时期,这可能与气溶胶的浓度和云量覆盖有关^[23]。中国东北地区、东南沿海地区以及西南地区极端温度异常与全球温度异常有较好的相关^[24],但这些极端事件是否是全球变暖背景下,大气环流调整的结果还有待进一步研究。

致谢:非常感谢中国气象科学数据共享网提供的逐日气温资料和降水资料。

参 考 文 献

- [1] Bonsal B R, ZHANG X, Vincent L A, et al. Characteristics of daily and extreme temperature over Canada. *J. Climate*, 2001, 14 (9): 1959-1976.
- [2] Tebaldi C, Hayhoe K, Arblaster J M, et al. Going to the extremes: an intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change*, 2006, 79 (3-4): 185-211.
- [3] DING Ting, QIAN Weihong, YAN Zhongwei. Changes in hot days and heat waves in China during 1961-2007. *Int. J. Climatol.*, 2010, 30(10): 1452-1462. doi: 10.1002/joc.1989.
- [4] 陈海山, 施思, 周晶. BCC 气候模式对中国近 50a 极端气候事件的模拟评估. *大气科学学报*, 2011, 34(5): 513-528.
CHEN Haishan, SHI Si, ZHOU Jing. Evaluation of recent 50 years extreme climate events over China simulated by Beijing Climate Center(BCC) climate model. *Trans. Atmos. Sci. (in Chinese)*, 2011, 34(5): 513-528.
- [5] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化. *气象*, 1994, 20(12): 19-26.
DING Yihui, DAI Xiaosu. Temperature variation in China during the last 100 years. *Meteorological Monthly (in Chinese)*, 1994, 20(12): 19-26.
- [6] GONG D Y, PAN Y Z, WANG J A. Changes in extreme daily mean temperatures in eastern China during 1955-2000. *Theor. Appl. Climatol.*, 2004, 77(1-2): 25-37.
- [7] WEI Ke, CHEN Wen. Climatology and trends of high temperature extremes across China in summer. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2009, 2(3): 153-158.
- [8] WEI Ke, CHEN Wen. An abrupt increase in the summer high temperature extreme days across China in the mid-1990s. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2011, 28(5): 1023-1029.
- [9] SU B, JIANG T, JIN W. Recent trends in observed temperature and precipitation extremes in the Yangtze River basin, China. *Theor. Appl. Climatol.* 2006, 83(1-4): 139-151.
- [10] Ito H, Johnson N C, XIE Shangping. Subseasonal and interannual temperature variability in relation to extreme temperature occurrence over East Asia. *J. Climate*, 2013, 26(22): 9026-9042. doi: 10.1175/JCLI-D-12-00676.
- [11] MENG Lei, SHEN Yanjun. On the relationship of moisture and extreme temperatures in East China. *Earth Interactions*, 2013, 18(1): 1-12. doi: 10.1175/2013EI000551.1.
- [12] 潘敖大, 范苏丹, 陈海山. 江苏省近 45a 极端气候的变化特征. *气象科学*, 2010, 30(1): 87-92.
PAN Aoda, FAN Sudan, CHEN Haishan. Characteristic of extreme climate change over Jiangsu province in the last 45a. *Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 2010, 30(1): 87-92.
- [13] 王珂清, 曾燕, 谢志清, 等. 1961-2008 年淮河流域气温和降水变化趋势. *气象科学*, 2012, 32(6): 671-677.
WANG Keqing, ZENG Yan, XIE Zhiqing, et al. Change trend of temperature and precipitation in Huaihe River Basin from 1961 to 2008. *Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese)*, 2012, 32(6): 671-677.
- [14] LI Hongmei, FENG Lei, ZHOU Tianjun. Multi-model projection of July-August climate extreme changes over China under CO₂ doubling. Part II: Temperature. *Adv. Atmos. Sci.*, 2011, 28(2): 448-463. doi: 10.1007/s00376-010-0052-x.
- [15] ZHU Jian, HUANG Danqing, ZHOU Peng, et al. Simulating the response of non-uniformity of precipitation extremes over China to CO₂ increasing by MIROC-Hires model. *J. Trop. Meteorol.*, 2013, 19(4): 331-339.
- [16] Frich P, Alexander L V, Della-Marta P, et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Res.*, 2002, 19(3): 193-212.
- [17] Long D, Scanlon B R, Fernando D N, et al. Are temperature and precipitation extremes increasing over the U. S. high plains? *Earth Interactions*, 2012, 16(16): 1-20.
- [18] Kundzewicz Z W, Robson A. Detecting trend and other changes in hydrological data. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2002.
- [19] 王小玲, 翟盘茂. 1957~2004 年中国不同强度级别降水的变化趋势特征. *热带气象学报*, 2008, 24(5): 459-466.
WANG Xiaoling, ZHAI Panmao. Changes in China's precipitation in various categories during 1957-2004. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 2008, 24(5): 459-466.
- [20] ZHU Jian, HUANG Danqing, ZHANG Yaocun, et al. Decadal changes of Meiyu rainfall around 1991 and its relationship with two types of ENSO. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 2013, 118(17): 9766-9777. doi: 10.1002/jgrd.50779.
- [21] ZHOU Tianjun, GONG Daoyi, LI Jian, et al. Detecting and understanding the multi-decadal variability of the East Asian summer monsoon—recent progress and state of affairs. *Meteorologische Zeitschrift*, 2009, 18(4): 455-467.
- [22] 章大全, 张璐, 杨杰, 等. 近 50 年中国降水及温度变化在干旱形成中的影响. *物理学报*, 2010, 59(1): 655-663.
ZHANG Daquan, ZHANG Lu, YANG Jie, et al. The impact of temperature and precipitation variation on drought in China in last 50 years. *Acta Physica Sinica (in Chinese)*, 2010, 59(1): 655-663.
- [23] REN Guoyu, DING Yihui, ZHAO Zongci, et al. Recent progress in studies of climate change in China. *Adv. Atmos. Sci.*, 2012, 29(5): 958-977.
- [24] HUANG Danqing, QIAN Yongfu, ZHU Jian. Trends of temperature extremes in China and their relationship with global temperature anomalies. *Adv. Atmos. Sci.*, 2010, 27(4): 937-946. doi: 10.1007/s00376-009-9085-4.