

中国区域持续性高温事件时空变化特征研究

王艳姣¹,任福民¹,闫 峰²

(1. 中国气象局国家气候中心, 北京 100081; 2. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091)

摘要: 采用综合考虑高温事件温度强度、持续时间和发生面积等因子的区域持续性极端高温事件(regional continual high temperature event, RCHTE)判别方法和指标体系, 分析中国近50 a RCHTE的时空变化特征。研究表明, 中国RCHTE发生强度和频次较多的地区主要位于中国西北(西北西部和内蒙古西部)和东南地区(黄淮南部、江淮、江汉、江南和华南南部等地), 而中国东北和西南地区为RCHTE少发区; 中国RCHTE发生频次、强度和影响面积在20世纪90年代前略呈减少趋势, 90年代后呈现显著增加趋势, 各指标在90年代末至21世纪初发生突变, RCHTE增加趋势更为显著。

关键词: 区域持续性高温事件; 指标体系; 时空变化

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)03-0314-08

受全球气候变化和人类活动的共同影响, 全球极端高温现象呈现出强度大、频次高、范围广等趋势。20世纪80年代以来, 广大学者针对全球不同区域气候特征差异, 对各地区极端高温(事件)变化特征和演变趋势等方面进行研究。Karl等对不同地区的极端温度和温度变率进行研究, 分析日、月、季节和年等不同时间尺度的温度极端性问题^[1-3]; Horton等研究认为1951~1990年全球平均最高温度在不同季节均表现出上升趋势^[4]; Easterling等指出日最高温度的不同变化趋势使得平均温度上升, 导致温度日较差减小^[5]。90年代末以后针对全球不同地区极端温度变化的研究大量出现, 从多种角度给出不同区域极端温度的变化特征和区域性差异^[6-13], 中国学者在极端高温方面也开展较多研究^[14-24]。综观已有的研究成果, 可以发现国内外学者对极端气温的研究主要是通过确定极端温度指数, 对不同地区极端气温的趋势变化特征和成因进行研究, 或是通过选取代表性台站, 从单一台站的角度分析研究区域极端事件。高温作为一个区域持续性事件, 目前从区域持续性角度(如高温强度、持续时间和覆盖范围等方面)研究高温事件发生、发展和消亡过程及其变化特征还处于起

步阶段^[18-20], 对区域性高温事件和相关指标定义也不尽相同, 研究结果差异大。针对已有研究存在的问题, 本文在国内外相关研究的基础上, 结合中国区域性极端高温特点, 从高温发生强度、持续时间、发生面积和连续性等方面, 对中国区域持续性高温事件进行定义和提取, 并对中国近50 a RCHTE的时空变化特征进行系统分析和研究。

1 研究数据和方法

1.1 研究数据

研究数据采用中国气象局国家气象信息中心提供的1961~2010年全国723个台站逐日最高温度资料, 其中1961~2004年资料是经过国家信息中心均一性处理后的资料^[25], 为保证资料的均一性, 将2005~2010资料和2004年以前均一化资料进行时间延续性和空间一致性的对比分析, 剔除缺测率相对较高和资料突变性较大的站点, 最终选出642个可用站点。

1.2 研究方法

在高温事件研究和业务应用中, 人们主要从高温强度、发生面积和持续时间等方面来定义和描述高温事件特征^[9,10,26-28]。在已有的高温强度指标定义

收稿日期: 2012-07-10; **修订日期:** 2012-09-15

资助项目: 国家科技支撑计划(2007BAC29B04)、国家自然科学基金(41175075)、公益性行业(气象)专项(GYHY200906041、GY-HY201206013)资助。

作者简介: 王艳姣(1976-), 女, 湖北仙桃人, 副研究员, 主要从事气候变化分析研究。E-mail:wangyj@cma.gov.cn

中,一般将绝对温度阈值设在30~35℃之间^[9,10,26,27],即日最高气温大于或等于某阈值温度(如30℃、32℃或35℃等)定义为高温日。中国气象上将日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 定义为高温日,参考中国对极端高温定义本文选取35℃作为单站极端高温阈值;在高温持续时间指标研究方面,一般将连续3~5 d或以上的高温日称为持续高温^[9,10,28],如国际气象组织将连续5 d以上的高温日定义为高温事件的持续时间指标^[28],中国气象上将连续5 d以上的高温日称为持续高温,综合国内外研究本文选取 ≥ 5 d作为高温事件持续时间指标;在高温发生面积指标定义方面,国内外学者研究相对较少,中国将相邻的5个或以上观测站点发生的高温定义为区域性高温^[29,30]。由于中国气象站点分布不均,采用反距离权重法将逐日站点数据插值成 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 栅格数据以消除站点分布不均对面积提取的影响;考虑高温发生一般为大尺度过程,选取 ≥ 10 个栅格作为高温事件的面积指标。基于以上分析对中国区域持续性高温事件判别指标定义如下:

① 温度阈值指标:日最高温度 $T_{\max} \geq 35^\circ\text{C}$;
② 面积指标:相邻10个或以上栅格发生 $T_{\max} \geq 35^\circ\text{C}$ 极端高温;③ 持续时间指标:若前1 d高温发生面积和后1 d高温发生面积有一个或以上栅格重合,就判断高温事件持续,且为同一个高温事件,连续高温日数需持续5 d或以上。

基于以上温度强度、持续时间和面积指标,定义若相邻10个或以上栅格发生 $T_{\max} \geq 35^\circ\text{C}$ 高温,连续持续5 d及以上,且在高温持续过程中前1 d和后1 d高温发生面积均有重叠,就判断为一个事件。若高温期间有1 d $T_{\max} < 35^\circ\text{C}$,或发生高温的连续栅格数小于10个且连续持续2 d,就认为一个高温事件结束。基于以上判别方法对1961~2010年中国RCHTE进行了判别,共识别出RCHTE 291个。

2 区域持续性高温事件特征指标确定

2.1 单一指标

区域持续性高温事件的特征主要体现在高温强度、影响面积、持续时间等方面,为了系统的分析中国高温事件的时空变化特征,在参考国内外相关研究的基础上^[9,19,20,26-30]定义1级指标和2级指标。1级指标为描述高温事件逐日变化量,主要包括逐日极端高温值(Q_d)、逐日累积温度强度(L_d)、逐日发生面积(A_d)等指标,各指标定义和算法如下:

1) 极端温度:高温事件演变过程中每日极端最高温度,计算公式为 $Q_d = \text{Max}(T_j), j = 1, 2, \dots, m$;

2) 逐日累积温度强度:高温事件演变过程中每日各台站 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的累积温度值,计算公式为

$$L_d = \sum_{j=1}^m (T_j - 35)。$$

3) 逐日发生面积:高温事件演变过程中每日发生面积,计算公式为 $A_d = \sum_{j=1}^m a_j$ 。

在1级指标基础上,2级指标为描述每个高温事件过程特征的量,主要包括过程极端值(Q)、过程累积强度(L)、过程平均影响面积(A)、持续天数(D)等指标,各指标定义和算法如下:

1) 过程极端强度 Q :表示一个完整高温事件持续时间内某日某站达到的最高温度,计算公式为 $Q = \text{Max}[\text{Max}(T_{i,j})], j = 1, 2, \dots, m, i = 1, 2, \dots, n$ 。

2) 过程累积强度 L :表示一个完整高温事件持续时间内逐站日最高温度大于 35°C 温度距平累积之和,计算公式为 $L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (T_{ij} - 35)$ 。

3) 过程平均影响面积 A :表示一个完整高温事件持续时间内平均每日影响面积,计算公式为

$$A = \sum_{i=1}^n a_i / n。$$

4) 持续日数 D :表示一个完整高温事件从开始到结束的时间。

以上各指标定义中, j 表示逐日发生达到极端事件阈值的站点数, i 为事件的持续日数, T_j 表示 j 台站日最高温度值, a_i 为高温事件持续期间第 i 天的影响面积。

2.2 综合强度指标

由于单一指标只能从某一方面反映区域性高温事件,无法全面体现高温事件的综合特征,因此本文构建了综合考虑高温事件强度、影响面积和持续时间等要素综合强度指标。主要选取高温事件持续过程中极端温度强度(Q)、累积温度距平(L)、事件平均每日影响面积(A)和持续日数(D)4要素作为构建综合强度指标的因子,选取加权求和作为构建综合强度指标的方案,即 $Z = a \times Q + b \times L + c \times A + d \times D$ 。在确定各单一指标加权系数方面,考虑不同单一指标间量级差别很大,首先将各单一指标按1971~2000年各指标的30 a平均值和标准差进行标准化处理,得到所有高温事件对应各单一

指标标准化序列。为体现高温事件的极端性,将事件对应的各单一指标标准化序列按由小到大排序,求取每10%百分位的指数所占的比重,选取各单一指数第90%~100%百分位的比重值,该比值表示各单一指标极值部分的极端性。将各单一指标第90%~100%百分位的比值除以4种单一指标第90%~100%百分位的比值之和,可得到各种单一指标在4种指标中所占的权重值,该值表示各单一指标极端性越强,则在综合强度中所占比重越大,即对极端事件综合强度影响越大,反之越小,通过该方法确定各指标的权重系数值分别为 $a=0.2$ 、 $b=0.34$ 、 $c=0.2$ 和 $d=0.26$ 。根据以上综合强度确定方法,可计算得到291个高温事件的综合强度 Z 值,其范围在 $-0.35\sim 3.76$ 之间,根据百分位法划分4个强度等级,分别对应为极端(10%)、重度(20%)、中度(40%)和轻度(30%)4个等级,则对应高温事件的综合强度指数 Z 的4个等级范围为:1 极端高温事件($Z\geq 2.0$); 2 重度高温事件($1.1\leq Z<2.0$); 3 中度高温事件($0.5\leq Z<1.1$); 4 轻度高温事件($Z<-0.35$)。基于以上划分标准,确定1961~2010年间中国共发生极端高温事件31次,重度高温事件59次,中度高温事件113次,轻度高温事件88次。

3 典型个例分析和检验

通过对识别出各高温事件个例综合强度进行排序,确定近50 a来排名前3位的中国RCHTE:第1位是2010年7月14日至8月5日发生在中国大部地区极端高温事件(综合指数为3.8);第2位是2000年7月7~26日发生在中国北方大部地区的事件(综合指数为3.3);第3位是2003年7月11至8月11日发生在中国南方大部地区的极端高温事件(综合指数为3.2)(表1)。已有的研究和记载指出与上述3

次RCHTE相关的时段和区域均发生极端高温天气并导致严重的经济损失和一定人员伤亡^[31-34]。

分析RCHTE方法识别出2003年事件的逐日空间演变(图1),可看出该事件于7月11日发起于中国江南地区,之后高温过程不断南扩加强,7月14~17日期间已覆盖中国江南和华南大部地区,7月18~21日高温有所减弱,7月22日高温又开始加强并北上,并于7月27日扩展至中国黄淮地区,7月27至8月3日期间一直覆盖黄河以南的大部地区,并在8月1日达到最强,8月2日高温开始减弱并南退,并于8月11日南退至华南南部结束。该事件共持续了32 d,高温期间过程极端高温值为 43.2°C ,过程累积温度距平为 $6\,354.7^{\circ}\text{C}$,过程最大发生面积为 $310.5\times 10^4\text{km}^2$ 。与该次高温发生实况及其相关研究^[33,34]对比分析表明,RCHTE方法识别出该事件的逐日空间变化、高温强度、发生时间和影响范围均比较符合高温发生实况。

4 中国区域持续性高温事件的基本特征

4.1 空间分布特征

1) 中国RCHTE频次分布特征。中国地跨纬度较大,受不同大气环流背景和下垫面性质的影响,高温事件分布表现出较强的区域性特征。统计1961~2010年中国RCHTE发生区域的经纬度范围,发现高温事件多发区主要分布在中国的西北地区(西北地区西部和内蒙古中西部,经纬度范围约为 $36\sim 48^{\circ}\text{N}$, $75\sim 106^{\circ}\text{E}$)、东南大部地区(华北至江南和华南的大部分地区以及西南的重庆等地,经纬度范围约为 $18\sim 45^{\circ}\text{N}$, $100\sim 125^{\circ}\text{E}$)。统计中国不同区域高温事件发生频次(表2)表明:1961~2010年期间,中国西北地区共发生RCHTE 174次,平均

表1 近50 a来最强3例区域持续性极端高温事件

Tabel 1 Three cases of the strongest RCHTE during the past 50 years

高温实况	区域持续性高温事件识别方法识别出区域性高温事件特征							
	开始时间	结束时间	$Q(^{\circ}\text{C})$	$L(^{\circ}\text{C})$	A ($10^4/\text{km}^2$)	$D(\text{d})$	Z	发生经纬度范围
2010年中国大部地区极端高温事件	2010-7-14	2010-8-5	46.8	8612.8	640.7	23	3.8	$20\sim 48^{\circ}30''\text{N}$, $76\sim 122^{\circ}\text{E}$
2000年中国北方大部地区极端高温事件	2000-7-7	2000-7-26	47.7	7992.3	520.3	20	3.3	$34\sim 50^{\circ}30''\text{N}$, $76\sim 134^{\circ}30''\text{E}$
2003年中国南方大部地区极端高温事件	2003-7-11	2003-8-11	43.2	6354.7	310.5	32	3.2	$18.5\sim 39^{\circ}30''\text{N}$, $104^{\circ}\sim 122^{\circ}\text{E}$

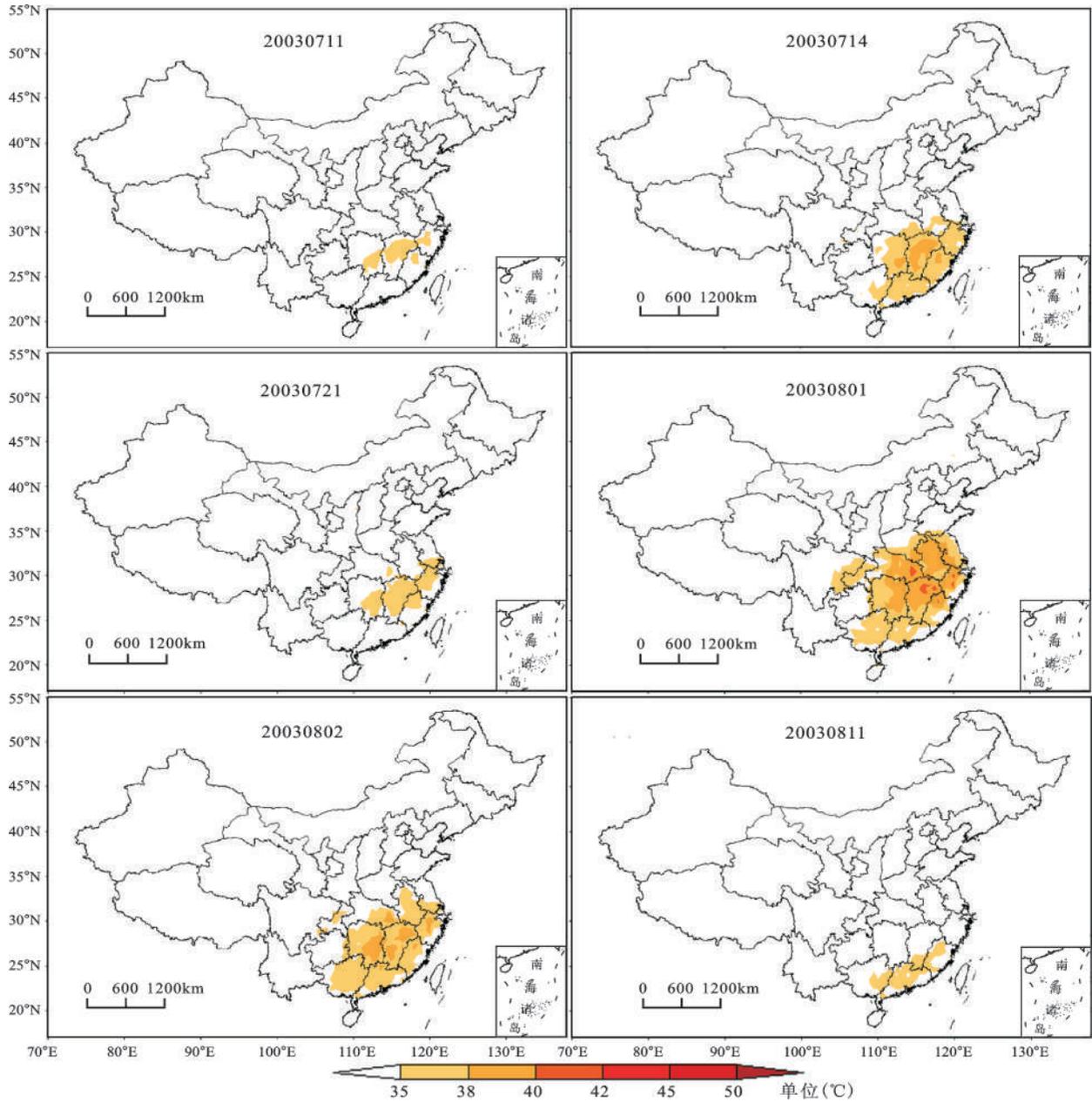


图1 2003年7月11日至8月11日发生在中国南方大部分地区RCHTE空间变化

Fig.1 Spatial variations of RCHTE occurred in most areas of southern China from July 11 to Aug 11 in 2003

表2 1961~2010年中国不同区域各等级RCHTE发生频次

Table 2 Frequencies of each grade of RCHTE in different regions of China from 1961 to 2010

地区	强度等级				合计
	极端	重要	中度	轻度	
西北地区	13	41	80	40	174
东南地区	10	14	33	45	102
全国大部	4	2	0	0	6
北方大部	4	2	0	0	6
东北地区	0	0	0	3	3
合计	31	59	113	88	291

每年发生约3.5次,其中发生极端高温事件13次,重度事件41次,中度高温事件80次,轻度高温事件40次;中国东南部共发生RCHTE 102次,平均每年发生2.0次,其中发生极端高温事件10次,重度高温事件14次,中度高温事件33次,轻度高温事件45次;覆盖中国北方大部分区域的RCHTE有6次,其中极端高温事件4次,重度高温事件2次;覆盖全国大部分地区RCHTE有6次,其中极端高温事件4次,重度高温事件2次。此外,在中国东北部发生过3次轻度RCHTE。可见中国西北和东

南地区为中国 RCHTE 多发区域,且西北地区不同等级高温事件发生频次明显高于东南地区,中国东北和西南地区为 RCHTE 少发区。

2) 中国 RCHTE 强度分布特征。统计中国 219 例 RCHTE 各台站年平均发生极端高温日数(图 2a)和累积温度距平强度(图 2b),分析表明中国 RCHTE 发生日数的空间分布和其强度分布具有较好的一致性,发生极端高温日数和强度较高地区主要位于中国西北地区西部和内蒙古西部、黄淮南部、江淮、江汉、江南和华南南部等地,各台站年平均发生极端高温日均大于等于 4 d,其中江南大部地区年均发生极端高温日数为 6~8 d,局部达到 8 d 以上,高温事件强度最大中心位于江南中东部地区;新疆大部地区年均发生极端高温日数为 6~12 d,部分地区达到 12 d 以上,高温事件强度最大中心主要位于新疆中南部地区,中国东北和西南地区 RCHTE 发生日数少,强度较弱。

4.2 时间变化特征

为了对比分析近 50 a 来中国 RCHTE 的时间变化特征,计算了综合强度指数和 4 种单一指标(频次、温度距平、发生面积和持续天数)年累积值。分析近 50 a 来各项指标时间变化(图 3、4)存在如下特征:① 从长期变化趋势来看,近 50 a 来中国 RCHTE 年综合强度值呈明显的增加趋势,增加率为 0.2/10 a,特别是 20 世纪 90 年代初以来,其增加趋势更为显著。4 种单一指标变化趋势和综合强度指数相一致,其中年频次增加率为 0.4 次/10 a,年发生日数增加率为 5.1 d/10 a。说明在全球变暖的背景下,中国 RCHTE 发生呈加剧趋势,高温事件强度、发生频次和发生面积均显著增加。② 从年代际变化来看,年累积综合强度指数和四种单一指标间变化具有较好的一致性,即在 20 世纪 60、70 年代中国 RCHTE 年累积综合强度大(分别为 1.6/a 和 1.3/a),年发生频次相对较多(5.8 次/a 和 5.2 次/a);进入 80 年代高温事件综合强度值和各单一指标均减小至最低值,年累积综合强度指数值

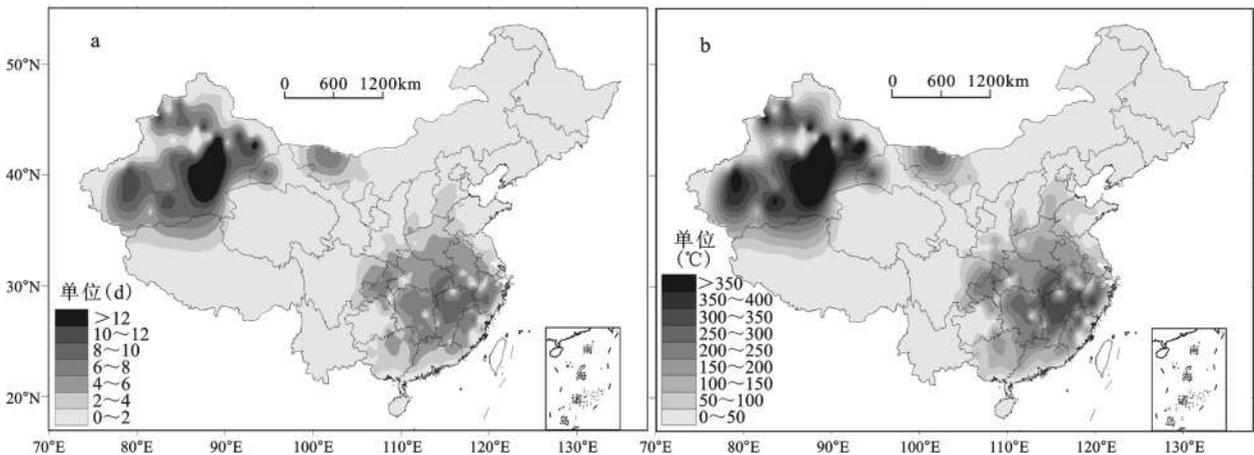


图 2 1961~2010 年中国 RCHTE 各台站年平均极端高温发生日数和累积温度距平强度空间分布

Fig.2 Distributions of annual average days of extreme temperature and accumulations of temperature anomalies of each stations for RCHTE occurred in China from 1961 to 2010

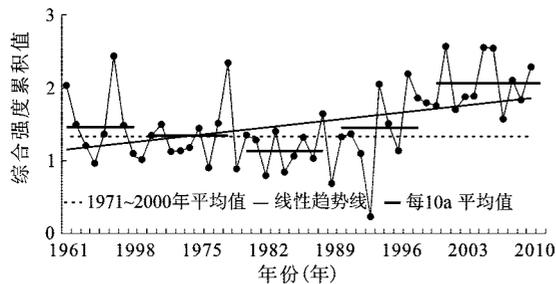


图 3 1961~2010 年中国 RCHTE 综合强度指标变化

Fig.3 Variations of the integrated index of RCHTE in China from 1961 to 2010

为 1.1/a;而 90 年代以后中国极端高温事件年累积综合强度和 4 种单一指标均明显增加,特别是 2000 年以后各项指标增加更为显著,年累积综合强度指数值分别为 1.5/a 和 2.1/a,年发生频次分别为 5.5 次/a 和 7.5 次/a。可见,中国 RCHTE 年代际变化显著,60、70 年代高温事件发生相对较多、且强度大,进入 80 年代处于极端高温事件少发期,90 年代以后极端高温事件显著增加,特别是 2000 年以后进入极端高温事件频发期。③ 在年际变化方面,采用大于综合强度指数序列 4 个标准差和小于 2 个

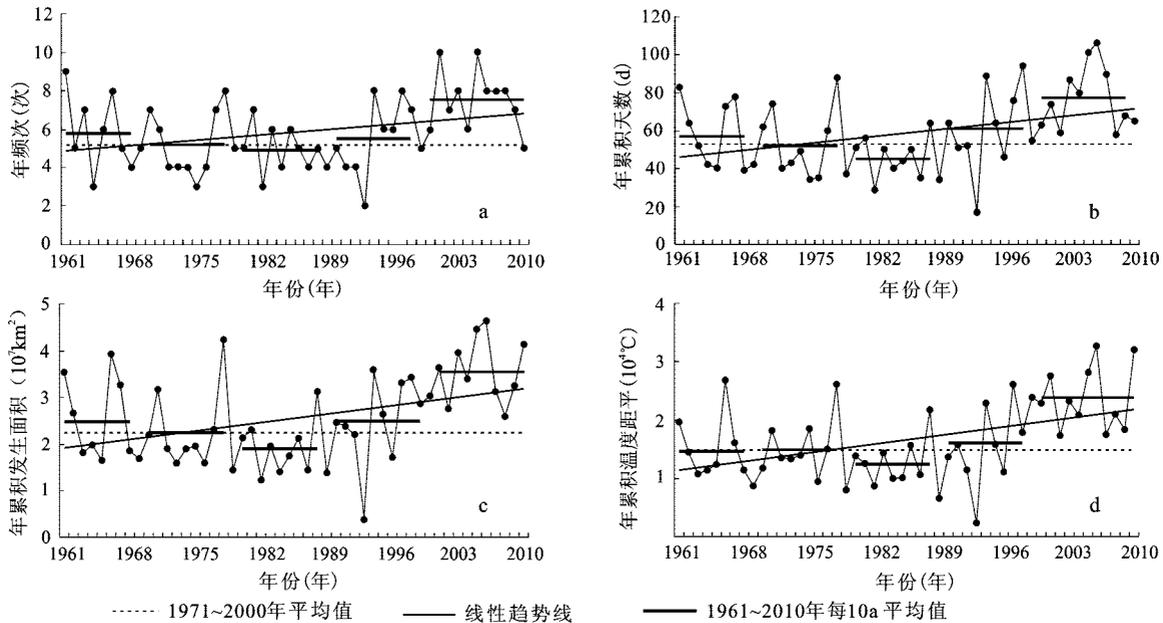


图4 1961~2010年中国RCHTE各指标变化

Fig.4 Variations of each index for RCHTE in China from 1961 to 2010

标准差为标准,确定发生RCHTE较重的年份有8 a,分别为1966、1978、1997、2001、2005、2006、2008和2010年,发生RCHTE较轻的年份有9年,分别为1964、1969、1976、1979、1982、1984、1987、1989和1993年。④ 阶段性变化和突变性检验。采用Mann-Kendall法对近50 a来中国RCHTE综合强度值和4种单一指标历史序列进行检测。分析表明,综合强度指数和4种单一指标均存在明显的阶段性变化和突变点,且变化具有较好的一致性,即在1961~1990年前后略呈下降趋势,在20世纪90年代以后呈现明显的增加趋势,其中年综合强度指数在1999年发生突变、年频次在1994年发生突变、年累积温度距平在1998年发生突变、年累积发生面积和年发生天数在2000年发生突变,突变后各指标增加趋势更为显著,年综合强度指数增加趋势在2005年超过 $\alpha=0.05$ 显著性检验,年累积温度距平、年发生面积和年发生天数3项指标在2004年超过 $\alpha=0.05$ 显著性检验,年频次增加趋势在2001年超过 $\alpha=0.05$ 显著性检验。

5 结论

基于1961~2010年全国642个气象台站日最高温度资料,利用RCHTE判别方法和相关指标体系对中国RCHTE的时空变化特征进行了系统的研究,得出以下结论:

1) 通过对典型RCHTE个例检验分析,证明RCHTE识别方法能有效的识别出近50 a中国发生的RCHTE。采用该方法确定1961~2010年间中国共发生RCHTE 291次,其中极端高温事件31次,重度高温事件59次,中度高温事件113次,轻度高温事件88次。

2) 中国RCHTE发生具有明显的空间分布特征,且发生强度和频次的空间分布具有较好的一致性,发生强度和频次较高的地区主要位于中国西北地区(西北西部和内蒙古西部)和东南地区(黄淮南部、江淮、江汉、江南和华南南部等地),而中国东北和西南地区为RCHTE少发区。

3) 分析中国RCHTE特征的时间变化表明:近50 a来中国RCHTE的年发生频次、持续时间、影响面积和强度均呈明显增加趋势,即在全球变暖背景下,中国RCHTE显著增加;从年代际变化来看,20世纪60、70年代中国高温事件发生相对较多、且高温事件发生强度、发生频次和影响面积均较大,进入80年代中国处于极端事件少发期,而90年代以后中国极端高温事件发生频次、强度和影响面积等均显著增加,特别是2000年以后中国进入极端高温事件频发期。

4) 采用Mann-Kendall法对近50 a来中国RCHTE各指标年累积值历史序列进行趋势变化和突变检验表明:中国区域性高温事件发生频次、强

度和影响面积在 20 世纪 90 年代前略有减少趋势,但 90 年代后随着全球变暖趋势的增加,中国区域性高温事件也呈现显著增加趋势,各指标在 90 年代末至 21 世纪初发生突变,高温事件增加趋势更为显著。

参考文献:

- [1] Karl T R, Williams Jr C N, Young P J, et al. A model to estimate the time of observation bias associated with mean monthly maximum, minimum and mean temperatures for the United States [J]. *J. Climate Appl. Meteorol.*, 1986b, **25**: 145-160.
- [2] Karl T R, Kukla G, Razuvayev V N, et al. Global warming: Evidence for asymmetric diurnal temperature change [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 1991, **18**(12): 2253-2256.
- [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. Am. Meteorol. Soc.*, 1993, **74**(6) : 1007-1023.
- [4] Horton B. Geographical distribution of changes in maximum and minimum temperatures [J]. *Atmospheric Research.*, 1995, **37**(1): 101-117.
- [5] Easterling D R, B Horton P, D Jones, et al. Parker. Maximum and minimum temperature trends for the globe [J]. *Science*, 1997, **277**(5324): 364-367.
- [6] Plummer N, Salinger M J, Nicholls N. Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century [J]. *Climatic Change*, 1999, **42**(1): 183-202.
- [7] Karl T R, Nicholls N, Ghazi A. Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary [J]. *Climatic Change*, 1999, **42**(1): 3-7.
- [8] Frich P, Alexander L V, DellaMarta P. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century [J]. *Clim. Res.*, 2002, **19**: 193-212.
- [9] Kysely J, Kalvova J, Kveton V. Heat waves in the south Moravian region during the period 1961-1995 [J]. *Studia geophysica et geodetica*, 2000, **44**(1): 57-72.
- [10] Nasrallah H A, Nieplova E, Ramadan E. Warm season extreme temperature events in Kuwait [J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, **56**(2): 357-371.
- [11] Vincent L A, Peterson T C, Barros V R, et al. Observed trends in indices of daily temperature extremes in south America 1960-2000 [J]. *Journal of Climate*, 2005, **18**: 5011-5023.
- [12] Sylvie P, Farida M, Carine L. Trends and climate evolution: statistical approach for very high temperatures in France [J]. *Climatic Change*, 2007, **81**(1): 331-352.
- [13] Safar M, Mohammad M S, Kurosh M, et al. Investigation of meteorological extreme events over coastal regions of Iran [J]. *Theor Appl Climatol*, 2011, **103**(3): 401-412.
- [14] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化 [J]. *气象学报*, 1997, **55**(4): 418-429.
- [15] 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.
- [16] 唐红玉, 翟盘茂, 王振宇. 1951~2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化 [J]. *气候与环境研究*, 2003, **10**(4) : 731-735.
- [17] 黄丹青, 钱永甫. 中国极端温度事件的定义和趋势分析 [J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2008, **47**(3): 112-116.
- [18] 黄丹青, 钱永甫. 极端温度事件区域性的分析方法及其结果 [J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 2009, **45**(6): 715-723.
- [19] Ding T, Qian W H. Geographical patterns and temporal variations of regional dry-wet heat wave events in China during 1960-2008 [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2011, **28**(2): 322-337.
- [20] Ding T, Qian W H Z W. Changes in hot days and heat waves in China during 1961-2007 [J]. *Internal Journal of Climatology*, 2010, **30**(10): 1452-1462.
- [21] 李志, 刘文兆, 郑粉莉. 1965~2005 年泾河流域极端温度事件变化特征 [J]. *地理科学*, 2010, **30**(3): 469-474.
- [22] 郑祚芳. 北京极端气温变化特征及其对城市化的响应 [J]. *地理科学*, 2011, **31**(4): 459-463.
- [23] 张立伟, 宋春英, 延军平. 秦岭南北极极端气温的时空变化趋势研究 [J]. *地理科学*, 2011, **31**(8): 1007-1010.
- [24] 薛红喜, 孟丹, 吴东丽, 等. 1959~2009 年宁夏极端温度阈值变化及其与 AO 指数相关分析 [J]. *地理科学*, 2012, **32**(3): 380-385.
- [25] 李庆祥, 李伟. 近半个世纪中国区域历史气温网格数据集的建立 [J]. *气象学报*, 2007, **65**(1): 1-7.
- [26] Folland C K, Miller C, Bader D, et al. Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes, Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997. Breakout Group C: Temperature Indices for Climate Extremes [J]. *Climatic Change*, 1999, **42**(1): 31-43.
- [27] Sobisek B. *Meteorological Dictionary* [M]. Academia: Prague, 1993: 594 (in Czech).
- [28] Peterson T C, Folland C, Gruza G, et al. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998-2001 [M]. World Meteorological Organisation Rep. WCDMP-NO.47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 2001: 143.
- [29] 张尚印, 王守荣, 张永山, 等. 中国东部主要城市夏季高温气候特征及预测 [J]. *热带气象学报*, 2004, **20**(6): 750-760.
- [30] 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.
- [31] 边志强. 全国异常高温酷热淮河出现暴雨洪涝——2000 年 7 月 [J]. *气象*, 2000, **26**(10): 58-61.
- [32] 马占山, 张强, 肖风劲, 等. 2003 年我国的气象灾害特点及影响 [J]. *灾害学*, 2004, **19**(增刊): 2-7.
- [33] 丁华君, 周玲丽, 查贲, 等. 2003 年夏季江南异常高温天气分析 [J]. *浙江大学学报(理学版)*, 2007, **34**(1): 100-105.
- [34] 赵庆云, 黄建平, 吕萍, 等. 2010 年夏季北半球气温异常偏高现象及其成因 [J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2011, **47**(1): 52-56.

Study on Temporal and Spatial Variations of Regional Continual High Temperature Event in China

WANG Yan-jiao¹, REN Fu-min¹, YAN Feng²

(1. *National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;*

2. *Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)*

Abstract: Affected by global climate changes and human activities, regional continual high temperature event (RCHTE) shows new trends, such as increasing intensity, higher frequency and larger range. RCHTE is one of the most serious disasters in China which does great harm to production and living conditions of human beings. It is very necessary to carry out RCHTE study synthetically and identify its temporal and spatial characteristics in China. In this paper, 642 meteorological station data of China from 1961 to 2010 were used to calculate air temperature. Intensity, area and duration of temperature were adopted to identify RCHTE. Then single index and integrated index were established to show characteristics of RCHTE. Besides, typical RCHTE case was chosen to analyze and test the methodology of RCHTE identification. Test result showed that RCHTE identify method coupled with single and integrated index can identify RCHTE correctly and effectively. On the base of the method, temporal and spatial characteristics of RCHTE in China from 1961 to 2010 are analyzed and results show that: there are 291 times RCHTE occurred in the past 50 years, including extreme RCHTE 31 times, severe RCHTE 59 times, moderate RCHTE 113 times and weak RCHTE 88 times. Distribution of RCHTE in China show obvious spatial characteristic. Moreover, spatial distribution of the intensity and frequency of RCHTE shows a good consistency. Regions with higher intensity and frequency of RCHTE mainly lie in Northwest of China (including western Northwest China and western Inner Mongolia) and Southeast China (including southern Huanghuai, Jianghuai, Jiangnan, Jiangnan and southern South China) while intensity and frequency of RCHTE in Northeast China and Southwest China are relatively lower. Temporal variations of RCHTE analyses show that RCHTE in China has obvious increasing trends over the past 50 years. The accumulation of intensity, frequency, duration and area indices of RCHTE are relatively higher in 1960s and 1970s, while the indices are lower in 1980s. Since the 1990s, the annual accumulations of each index increase significantly. Especially after 2000, RCHTE increases even more quickly. Trend and mutation test for each index of RCHTE by Mann-Kendall method show that intensity, frequency, area and duration indices of RCHTE all show slightly decreasing trends before the 1990s, but increase significantly after the 1990s with the global warming. Each index of RCHTE has mutation from the late 1990s to the early 21st century and the increase trend of RCHTE is more significant.

Keywords: Regional continual high temperature event; index system; temporal and spatial variation