

文章编号: 1001-8166(2007)07-0673-12

近 40 年中国平均气候与极值气候变化的概述*

钱维宏,符娇兰,张玮玮,林 祥

(北京大学大气科学系,北京 100871)

摘 要:随着中国气象局对近 50 年来逐日气象观测资料的释放,人们从不同的角度对中国平均气候和极端气候的分布特征有了更多的了解。从目前研究的结果来看,这些认识需要有一个集成,即需要有一个总体的归纳和解释。通过中国近 40 年来的温度极值和降水极值事件的分析认识到全球增暖和区域环流异常决定着气候极值事件的分布格局。与全球增暖相联系的是:我国微量降水在空间上表现为一致的减少趋势,我国北方寒潮事件显著减少,冷夜和冷日的减少与暖夜和暖日的增多并存,以及极端强降水有增多的趋势。与东亚季风气流和西风带气流异常对应的我国有效降水在区域分布上发生了显著变化,东部季风区中的“北涝南旱”从 1970 年代末转型为“南涝北旱”,与华南的偏干一起形成了东部季风区降水从华南、长江到华北的“-、+、-”异常分布型,但华南在 1991 年出现了转湿的突变;东北和西北先后从 1983 年和 1987 年前后转为暖湿气候。极端温度和极端降水趋势的空间分布与平均温度和平均降水趋势的空间分布一致。

关 键 词:平均气候;极端气候;全球增暖;环流变化;集成分析

中图分类号: P467 **文献标识码:** A

1 引 言

气候是一段(一个月以上)时间内天气的总和特征。这个总和在统计意义上既包含了平均状态,也反映了极端情况,如极端高温和极端低温等。为分辨起见,我们认定前者为平均气候,而后者为极端气候。近年来,中国气象局公布了近 50 年来的逐日气象观测记录。无疑,这些资料的公布有助于人们对我国平均气候变化和极端气候变化的认识。虽然公布的资料跨度是从 1951 年开始,但早期的站点相对较少,到 1961 年以后才基本稳定在 700 个站点以上。基于这 40 多年的逐日观测资料,人们可以分析平均气候和极端气候的区域差异、趋势和突变等变化。关于平均气候的区域差异、变化趋势和突变点等的研究较多;我国极端气候研究较早把文章发表到国外的是翟盘茂等^[1]的工作。近年来对极端气

候的研究日益增多;极端气候依赖于极端天气事件;极端天气事件是指某一地点或地区在统计分布上不常或极少发生的事件。而极端气候是指某一时段内天气事件的平均状况是极端的或者极端天气事件在该时段内持续发生^[2]。极端天气事件的确认可以根据经验,或对社会、经济有重大影响来判断。但为了定量研究还是要从气象要素上给定一个阈值来判别^[3],如大于 100 mm 的日降水为大暴雨极端事件。IPCC 第 4 次报告^[2]则基于气象要素的概率分布,定义小于等于第 10 个(大于等于第 90 个)百分位的事件为极端事件。当然,也可以取标准方差作为极端事件的判据^[4],如温度距平小于 -2 (标准方差)为异常低温事件等。平均气候、极端气候和气候变率之间是相互关联的,如平均温度升高很可能导致极端高温事件的增加,而气候变率增大也会增加极端高温与极端低温事件的发生概率和强度。实际研

* 收稿日期: 2007-04-18;修回日期: 2007-06-08

* 基金项目:国家自然科学基金项目“东亚夏季风北缘活动带的年代际变率及其成因研究”(编号:40475032);国家重点基础研究发展计划项目“印度洋海气相互作用及其对亚洲季风异常的影响”(编号:2006CB403602)资助。

作者简介:钱维宏(1957-),男,江苏东台人,教授,主要从事季风和海气相互作用方面的研究。E-mail: qianwh@pku.edu.cn

究中往往又很难弄清楚极端气候的变化到底是由于平均气候变化或变率变化,还是二者共同作用所致的^[5]。本文主要关注中国范围内平均气候变化与极端气候变化间的联系。

随着观测资料的日益增多,气象工作者对我国的平均气候和极端气候事件做了很多的研究和探索。在平均气候研究方面人们认识到 20 世纪 70 年代末在我国东部的季风区中夏季降水型发生了变化,即长江流域降水增多,而华北降水减少,这种降水型的变化认为是夏季风减弱的结果^[6]。施雅风等^[7]根据多种信息提出了西北西中部气候从 1987 年出现了向暖湿转型的突变。在极端气候研究方面,翟盘茂等^[1,8-16]较系统地对我国的极端气候事件进行了研究,结果表明我国华北地区强降水事件趋于减少,西北地区强降水事件则增多,而我国平均最高温度呈现北方增暖明显,南方变化不明显或呈现弱降温趋势,最低气温呈现变暖趋势。马柱国等^[17]分析得到我国北方霜冻日数在近 50 年有明显的减少趋势,且霜冻日的平均温度显著升高,这预示着区域温度的升高主要体现在霜冻日的温度变化。他们又分析得到 20 世纪 90 年代极端干旱频率显著增加,极端干旱的频发区对应增温明显^[18]。华丽娟等^[19]分析了大城市和小城镇极端温度与温度日较差的差异,结果表明,大、小城市暖日、暖夜天数增加,而冷日、冷夜天数减少,大城市日较差的极端值均比小城镇小,但都呈显著下降的趋势。严中伟等^[20]利用中国 61 个站点的气象观测资料分析得到北方干旱化问题主要反映在微量降水事件的显著减少。严中伟等^[21]又通过对北京—上海平均和极端温度变化趋势的对比研究发现,虽然平均温度变化一致,极端事件的变化却存在着很大的区域差异性。

全球增暖与区域极端气候的关系也有了一些研究^[22,23]。IPCC 第 4 次报告^[2]指出:单个极端事件很难用人类活动即温室气体的增加来解释,但是模式模拟得出的结论告诉我们,人类活动的影响会使得极端事件出现的概率增倍。高学杰等^[24]对东亚地区的模拟表明:在 CO₂ 增倍的条件下,极端事件在暖期增加,冷期减少,暴雨雨日也增加。

以上列举了与我国平均气候和极端气候研究有关的重要成果,本文结合我们自己的研究来归纳与集成这些成果,并试图回答以下几个问题:

(1) 中国气候变化的客观分区,以及不同区域的时间突变点。

(2) 在全球增暖的背景下,中国哪些气象要素

响应了该变化。

(3) 我国极端气候变化对平均气候变化的贡献。

2 中国区域气候变化

受资料长度的限制,本文所关注的中国区域气候变化只包括区域气候突变点的确认和变化趋势的分析。我国区域气候变化研究多用站点资料,用得最多的是 50 年来的我国 160 个站点降水和温度资料。在研究区域气候变化,如长江中下游或华北的年际和年代际干湿变化时,用哪些站点的记录来反映这些区域的降水变化特征存在很大的随意性。在长江中下游选择 5 个点与选择 18 个点或 30 多个点将会使同一年的降水出现不同的距平。用中国 486 个站的 41 年(1960—2000)逐日降水资料, Qian 等^[25]根据一个改进的分层聚类分析法(modified hierarchical clustering method)从季节变化和年际变化两个方面给出了中国降水的分区。从中国降水的季节推进上来看,中国可分为 9~22 个区。而对于年降水和夏季降水,中国大陆上最多可以划分 40 个区。基于 5 个分区的结果得到了不同区域的时间序列,并进行了突变检验分析。新疆区域在 92°E 以西,检测到的年降水增加的突变点出现在 1987 年(图 1a),与施雅风等^[7]得到的突变时间一致。年降水的东北分区是从 115°E 以东的渤海以北区域,降水增加的突变点出现在 1983 年(图 1b)。新疆和东北夏季降水的突变时间与年平均降水的突变点相同。夏季只有长江下游降水增加的突变在 1979 年(图 1c)达到了显著水平且在 1990 年前后继续增多,而华北夏季降水在 70 年代一直处于减少的趋势上(图 1d),没有出现显著的突变。华南的夏季降水在 70 年代末经历了一个突变减少的过程,但 1991 年(图 1e)华南降水又经历了突变增加的过程。这是目前我们能够用近 40 年观测资料检测到的降水变化的突变点,1979 年在长江下游,1983 年在东北,1987 年在新疆和 1991 年在华南。

利用多年平均的逐日降水资料,图 2 分别给出了过去 41 年和 22 年的 4 mm/d 降水向北推进时间线^[26]。从图 2a 可以看出降水线的向北推进有 4 个阶段,第一个阶段降水线稳定在长江下游达一个月,第二阶段稳定在淮河流域的时间较短,第三阶段降水线稳定在黄河中下游达一个月,第四阶段降水线达到最北的位置,时间出现在 7 月下旬到 8 月。此后,降水不再向北推进。降水向北推进扫过的地区



图 1 降水的突变检验分布

Fig 1 The results of the t-test calculated with different timescales from 5 to 20 years

(a)新疆;(b)东北;(c)长江下游;(d)华北;(e)华南;其中(a)、(b)为年降水,(c)、(d)、(e)为夏季降水^[25];图例中向上、向下的箭头及对应的填充图形分别表示正、负线性趋势达到了 0.01 和 0.05 的显著水平

Annual precipitation in (a) the Xinjiang region, (b) Northeast China, and summer precipitation in (c) the lower Yangtze River, (d) North China, and (e) South China. Values 0.01 or 0.05 indicate significance level for the t-test. Positive values (or arrows) denote the series transition from a below-normal to above-normal precipitation, and negative values denote the reverse transition.

区被认为是中国副热带季风区。降水线达到最北的位置被称为季风边缘^[27]。这样,中国的东南部就是季风区,而降水时间线不能到达的地区为非季风区。季风边缘具有年际和年代际变化的特征。图 2b 为 1979—2000 年季风推进过程,与图 2a 比较可以看出,后 22 年季风明显减弱,季风边缘的位置向南撤退了几个纬度,4 mm/d 降水线不能到达河套的大部分地区。此外,向北推进的过程也发生了很大的变化,要么 4 mm/d 降水日期线长期维持在长江下游,要么直接推进到最北的位置。

根据近 40 年资料检测到的长江中下游降水年代际突变发生在 1979 年,图 3 给出了 1979 年前后夏季 1979—2000 年平均降水与 1961—1978 年夏季

平均降水的差^[26]。从图 3 中看出,1979 年以后东部季风区中夏季降水在长江中下游和东北地区增多,而在华南和华北减少,即降水年代际异常在东部季风区中呈现“-、+、-、+”的分布型。这篇文章进一步计算了中国东部季风区的南风水汽输送,发现水汽输送的突变减少也是发生在 1979 年。于是,该文又分别计算了 1968—1978 年和 1979—1998 年平均的对流层下层的水汽输送场。结果表明,1979 年前低层水汽可以输送到东部季风区的中蒙边境,即水汽可以输送到华北地区,长江中下游受副高控制。1979 年后有较多水汽输送到长江中下游地区,华北地区被一环流脊控制,新疆地区的水汽流线也较密,东北处于西风带槽底流线密集区附近。流线的上述

www.cnki.net

图 2 滑动平均的 4 mm/d 降水相对 1 月 1 日向北推进的日期线^[26]

**Fig 2 Dates of shifting 4 mm/d isochrones in running mean precipitation
(as dates from the 1st January) averaged for two periods**

(a) 1960—2000 年; (b) 1979—2000 年

(a) 1960-2000; (b) 1979-2000

图 3 中国 486 站夏季 (JJA) 1979—2000 年平均降水与 1961—1978 年夏季平均降水的差^[26]

Fig 3 Precipitation differences of two periods with 1979-2000 minus 1961-1978 for a summer mean, based on 486 stations

分布能够很好地解释我国降水型的年代际分布。由于青藏高原的存在,其北部的西风带气流及其水汽输送与高原东部西南季风气流及其水汽输送在我国东部地区会发生年代际的相互作用,因而决定着我国东部季风区降水型的分布。

利用我国 1961—2000 年年平均降水和年平均温度资料,计算得到了我国年平均降水和年平均温度的趋势^[28](图 4)。年平均降水的趋势也具有区域特征,从东北北部,经过内蒙古到我国西北的新疆

和高原地区年降水有增加的趋势,我国东南地区年平均降水也为增加的趋势,而东北的南部、黄河流域和长江中游到我国广西沿海为降水减少的趋势。我国新疆部分地区的年平均降水增加达到了每 10 年 10 个百分点。我国的年平均温度趋势基本都是增加的,尤其以北方地区的增温最为明显。35°N 以北、高原和南方沿海的很多站,气温增加达到了每 10 年 0.25~0.5,这相当于过去的 40 年中增加了 1~2。

图 5 给出的是过去 40 年我国夏季温度和夏季

图 4 1961—2000 年年平均温度和年平均降水百分率的趋势^[28]

Fig 4 Trends of annual mean temperature and precipitation percentage from 1961 to 2000 in China

圆圈大小为不同的温度趋势(°C/10a),深灰和浅灰分别表示降水增加和降水减少的趋势(%/10a),

正方形和菱形分别指示增加和减少的趋势达到了 0.05 的显著水平

The circle size denotes the magnitude of temperature trends(°C/10a). Dark gray and light gray colors denote the increasing and decreasing trends(%/10a) of precipitation percentage. Squares and diamonds indicate statistical significance at the 0.05 level for the upward and downward trends, respectively

图 5 同图 4,但为夏季(6、7、8 月)平均温度(°C/10a)和夏季平均降水百分率(%/10a)的趋势^[28]

Fig 5 As in Fig 4, except for the trends of summer (JJA) mean temperature (°C/10a) and precipitation percentage (%/10a)

降水的趋势。与年平均降水的趋势大致一致,从东北北部经过内蒙古到新疆的夏季降水是增加的,长江中下游的降水也是增加的。其中新疆和长江下游地区的夏季降水增加达到了每 10 年 10 个百分点。降水减少的趋势在黄河中下游(华北)和我国南方沿海地区。华北夏季降水减少也达到了 5~10 个百分点。夏季温度的趋势除了长江中下游存在有负的趋势外,我国北方、西北、高原和南方沿海都为正的趋势。我们对长江中下游的降温趋势的解释是,夏季的降水增加导致了温度的降低。

3 全球增暖对中国气候的影响

近半个世纪以来中国的气温变化与全球的气温变化一样,是普遍升高的,中高纬度的升温速率比低纬大。第三次 IPCC 报告^[5]指出全球对流层低层和

地面的温度普遍上升,而对流层上层和平流层的温度在下降。近地面的温度上升使云底高度上升,即凝结高度上升。凝结产生的小降水要经过一个较高温度的非凝结层,则小的雨滴被蒸发,地面上能够观测到的小降水事件会减少。事实上,随着地面温度的升高,痕量(小于 0.1 mm/d)和微量(大于 0.1 mm/d,小于 1.0 mm/d)雨日,无论在夏季,还是冬季都有减少的趋势。图 6 是夏季小于 1 mm 雨日事件在过去 45 年(1961—2005)的变化趋势^[29]。图 5 和图 6 有一个很好的对应关系,在夏季温度增加明显的地区微量雨日的减少趋势也大。它们之间大的趋势分布在高原东部和华北与东北地区。此外,大于 100 mm/d 的大暴雨在长江和黄河流域也表现为增多,这证明了 Goswami 等^[30]的观念,随着全球增暖极端强降水事件增多了。

图 6 同图 4, 但为夏季小于 1 mm/d 的降水事件(包括了有降水记录但无量的痕量降水事件)雨日变化趋势^[29](单位: d/10a)

Fig 6 As in Fig 4, except for trends (days/decade) of light rain events in mainland China for summer (JJA) from 1961 to 2005

全球增暖中,冬季和中高纬度增暖更快,这导致了北半球中纬度地区大气南北温度梯度的减小和大气斜压性的减小。于是,中纬度大气中的扰动也减少了,如气旋频次的减少和因气旋引起的沙尘暴天气的减少^[31]。天气扰动的减少也导致了冬季(10月到次年 4 月)我国寒潮天气的减少。图 7 是过去 45 个冬季(1960—2005)1 日(24 h)和 2 日(48 h)内最低温度下降 10~15 年次数的趋势变化^[32]。中国北方和华东地区寒潮次数普遍减少。

冬季 24 小时升压频次趋势和冬季大风频次趋

势如图 8 中所示。升压频次减少的趋势并达到信度水平的站点集中在河套—华北和华中地区,很多点上在过去的 40 年中减少了 1~2 次。全国大风次数普遍减少,北方比南方减少的多,东部比西部减少的多。

4 极端气候对平均气候的贡献

我们进一步考察极端气候对平均气候的贡献。降水极端事件的表达方式大致可以分为绝对极值和相对极值。绝对极值,如日雨量大于 50 mm 的暴雨



图 7 同图 4, 但为 1960—2005 年冬季 (10 月到次年 4 月) (a) 1 日 (24h), (b) 2 日 (48h) 内最低温度下降 10 ~ 15 降温年次数的趋势 (次 /10a) 变化^[32]

Fig 7 As in Fig 4, except for (a) 1-day and (b) 2-days minimum temperature drop of 10 ~ 15 in the winter (October to April) from 1960 to 2005

和大于 100 mm 的大暴雨等。这种大的暴雨可以导致局部灾害, 称为极端事件。但在我国西北干旱地区, 25 mm 的日雨量也会成灾。为了真实地表示小概率的极端气候事件, 人们可以用相对极值的表示方法。图 9 是降水量大于气候分布第 90 个百分位的极端降水日数的多年趋势。这个分布显示, 在长江中游和黄河流域有减少的趋势, 而其两侧, 包括新疆和长江下游—江南地区为增加的趋势。比较图 4 与图 9 可以看出, 极端降水事件频次的趋势与平均降水量趋势的地理分布是基本一致的。

在 1961—2000 年期间, 夏季极端降水最大连续

3 天、5 天和 10 天降水值多年趋势具有相同的区域分布。图 10 给出的是夏季最大连续 10 天降水趋势。与夏季平均降水的趋势 (图 5) 基本一致, 从东北北部经过内蒙古到新疆的夏季最大连续降水是增加的, 长江中下游的最大连续降水也是增加的, 华北和华南部分地区是减少的。

从上面的综合看出从东北南部经过华北到长江上游的平均降水减少带, 新疆和长江中下游的平均降水增加趋势都与各自区域上极端降水的趋势一致。但从分级降水的趋势变化来看, 微量雨日是普遍减少的。我们把大于 1 mm/d 的降水称为有效降

www.cnki.net

图 8 同图 7, 但为冬季 1 日升压频次 (a) 和大风频次 (b) 的变化趋势 (单位: 次 /10a)^[32]

Fig 8 As in Fig 7, except for 1-day (a) pressure rise and (b) strong wind (units: times/10a)

图 9 同图 4, 但为大于气候分布第 90 个百分位的极端降水 (事件) 日数的趋势 (d/10a)^[28]

Fig 9 As in Fig 4, except for the trends (d/10a) of days with the daily rainfall exceeding the 90th percentile



图 10 同图 4,但为夏季最大连续 10 天降水值的多年趋势 (mm /10a)^[28]

Fig 10 As in Fig 4, except for trends (mm /10a) of the greatest 10-day ra infalls per year for summer (JJA)

图 11 同图 4,但为夏季有效降水雨日的趋势分布 (d/10a)^[29]

Fig 11 As in Fig 4, except for trends (d/10a) of summer ra in days graded from effective ra infall

水或有效雨日。图 11 给出了夏季有效雨日趋势在全国的分布。在西北的新疆等地以及长江中下游地区表现为显著的增加趋势,而在长江流域上游、云贵高原、黄河流域下游以及环渤海地区为显著的减少趋势。新疆地区的有效降水主要来自小雨的贡献,长江中下游有效降水主要来自大—暴雨的贡献,而华北的有效降水是来自大雨的贡献。有效降水雨日的趋势与大气环流的变化有关^[29]。

我们再考察极端温度(图 12)对平均温度的贡

献。过去 40 多年来,我国温度的极端变化趋势表现为温度日较差(DTR)在普遍减小,很多站点减小的趋势到达 0.5 /10a^[33]。我们定义小于第 10 个百分位的日最高温度、日最低温度分别为冷日、冷夜,而将大于第 90 个百分位的日最高温度、日最低温度定义为对应的暖日、暖夜。基于该定义的研究结果表明:冷日在我国北方地区减少普遍达到了 0.05 的显著水平。暖日增加显著的地区主要在黄河流域、东北北部及周边地区。冷夜是全国普遍减少的,很

www.cnki.net

图 12 同图 4, 但为极端温度事件的变化趋势 (d/10a)^[33]

Fig 12 As in Fig 4, except for trends (d/10a) of extreme temperature events separated from

(a) 冷日, (b) 暖日, (c) 冷夜和 (d) 暖夜

(a) cool-day, (b) warm-day, (c) cool-night, and (d) warm-night

多站点达到每 10 年减少 10 天, 而暖夜则普遍增加。夜间温度比日间温度的增加趋势大, 可能是温度日较差普遍呈减小趋势的主要原因。温度日较差的减小, 暖日和暖夜的增多, 冷日和冷夜的减少都对应着平均温度升高在我国的分布结构。

5 结 语

本文通过集成以往的研究, 得出了下列结论。

(1) 利用中国近 40 年近 500 站逐日降水资料, 以 4 mm/d 降水的日期推进线可以较好地得到中国东部季风区所覆盖的范围。4 mm/d 降水日期线到达最北和最西北的时间在 7 月底, 它的位置就是我国夏季风的边缘线。4 mm/d 到达的最北位置具有年际与年代际的变化, 1979—2000 年以来东亚季风明显减弱, 平均 4 mm/d 降水线到达的最北位置大幅度南退。

(2) 近 40 年来我国平均温度普遍升高。降水变化呈现区域差异。区域降水突变点各有不同。新疆和东北的降水增多突变分别出现在 1987 年和 1983 年, 长江中下游和华南降水增多的突变发生在 1979 年和 1991 年, 而华北降水是连续的减少。以 1979 年的突变点为例, 前后的夏季降水差在东部季

风区从华南—长江—华北表现为“-、+、-”的降水异常型分布。

(3) 在全球增暖的背景下中国的微量雨日普遍减少, 大暴雨事件增多, 与寒潮事件有关的降温、升压、大风频次也是减少的。中高纬度温度升高普遍大于低纬度地区。冬季升温大于夏季。低层大气的温度升高使小降水容易蒸发, 以致观测到的微量雨日减少。东亚地区南北温差的减小使得大气斜压性减小, 气旋等扰动的减少。气旋减少又会导致寒潮、沙尘暴和大风频次的减少。

(4) 极端气候变化对平均气候变化的贡献是人们关注的问题。温度日较差的减小, 暖日和暖夜的增多, 冷日和冷夜的减少都对应着平均温度升高在我国的分布结构。从东北南部经过华北到长江上游地区的极端降水减少带对应着平均降水的减少带。新疆和长江中下游极端降水的增加趋势对应着这些地方平均降水的增加趋势。气候增暖下的平均气候与极端气候的模拟应该考虑到我国的这些分布特征。

参考文献 (References):

- [1] Zhai PM, Sun A J, Ren FM, *et al* Changes of climate extremes

- in China[J]. *Climate Change*, 1999, 42(1): 203-218.
- [2] Sokmon S, Qin Dahe, Manning M, *et al* Climate Change 2007: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [3] Zhai Panmao, Ren Fumin, Zhang Qiang Detection of trends in China's precipitation extremes [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1999, 57(2): 208-216. [翟盘茂,任福民,张强. 中国降水极值变化趋势检验 [J]. 气象学报, 1999, 57(2): 208-216.]
- [4] Gong Daoyi, Wang Shaowu, Zhu Jinhong Arctic Oscillation influence on daily temperature variance in winter over China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(5): 487-492. [龚道溢,王绍武,朱锦红. 北极涛动对我国冬季日气温方差的显著影响 [J]. 科学通报, 2004, 49(5): 487-492.]
- [5] Houghton J T, Ding Yihui, Griggs D J, *et al* Climate Change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [6] Wang Zunya, Ding Yihui, He Jinhai, *et al* An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2004, 62(2): 228-236. [王遵亚,丁一汇,何金海,等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析 [J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236.]
- [7] Shi Yafeng, Shen Yongping, Li Dongliang, *et al* Discussion on the present climate change from warm-dry to warm-wet in Northwest China[J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(2): 152-164. [施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨 [J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.]
- [8] Zhai PM, Pan X H. Trends in temperature extremes during 1951-1999 in China[J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(17): 1913-1916.
- [9] Zhai PM, Zhang X B, Wan H, *et al* Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China[J]. *Journal of Climate*, 2005, 18(7): 1096-1108.
- [10] Zhai Panmao, Pan Xiaohua Change in extreme temperature and precipitation over Northern China during the second half of the 20th century[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(suppl): 1-10. [翟盘茂,潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化 [J]. 地理学报, 2003, 58(增刊): 1-10.]
- [11] Zhai Panmao, Ren Fumin On changes of China's maximum and minimum temperatures in the recent 40 years[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, 55(4): 418-429. [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.]
- [12] Ren Fumin, Zhai Panmao Study on changes of China's extreme temperature during 1951-1990 [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1998, 22(2): 217-226. [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): 217-226.]
- [13] Zhai Panmao, Zou Xukai Change in temperature and precipitation and their impacts on drought in China during 1951-2003[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2005, 1(1): 16-18. [翟盘茂,邹旭恺. 1951—2003 年中国气温和降水变化及其对干旱的影响 [J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 16-18.]
- [14] Pan Xiaohua, Zhai Panmao Analysis of surface air temperature extremum [J]. *Meteorological Monthly*, 2002, 28(10): 28-31. [潘晓华,翟盘茂. 气候极端值的选取与分析 [J]. 气象, 2002, 28(10): 28-31.]
- [15] Tang Hongyu, Zhai Panmao, Wang Zhenyu On change in mean maximum temperature, minimum temperature and diurnal range in China during 1951-2002 [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2005, 10(4): 728-735. [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, 2005, 10(4): 728-735.]
- [16] Wang Yawei, Zhai Panmao, Tian Hua Extreme high temperatures in Southern China in 2003 under the background of climate change[J]. *Meteorological Monthly*, 2006, 32(10): 27-33. [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.]
- [17] Ma Zhuguo Variation of frost days and its relationship to regional warming in Northern China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(suppl): 31-37. [马柱国. 中国北方地区霜冻日的变化与区域增暖相互关系 [J]. 地理学报, 2003, 58(增刊): 31-37.]
- [18] Ma Zhuguo, Hua Lijuan, Ren Xiaoba The extreme dry/wet events in Northern China during recent 100 years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(suppl): 69-74. [马柱国,华丽娟,任小波. 中国近代北方极端干湿事件的演变规律 [J]. 地理学报, 2003, 58(增刊): 69-74.]
- [19] Hua Lijuan, Ma Zhuguo, Zeng Zhaomei The comparative analysis of the changes of extreme temperature and extreme diurnal temperature range of large cities and small towns in Eastern China [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 2006, 30(1): 80-92. [华丽娟,马柱国,曾昭美. 中国东部地区大城市和小城镇极端温度及日较差变化对比分析 [J]. 大气科学, 2006, 30(1): 80-92.]
- [20] Yan Zhongwei, Yang Chi Geographic patterns of extreme climate changes in China during 1951-1997 [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2000, 5(3): 265-270. [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): 265-270.]
- [21] Yan ZW, Yang C, Jones P Influence of inhomogeneity on the estimation of mean and extreme temperature trends in Beijing and Shanghai [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, 18(3): 309-322.
- [22] Deng Ziwan, Ding Yuguo, Chen Yeguo Effects of global warming on the probability of extreme high temperature event in the Yangtze Delta [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2000, 23(1): 42-47. [邓自旺,定裕国,陈业国. 全球气候变化对长江三角洲极端高温事件概率的影响 [J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(1): 42-47.]
- [23] Ma Zhuguo, Fu Congbin, Ren Xiaobo, *et al* Trend of annual extreme temperature and its relationship to regional warming in Northern China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(suppl), 11-20. [马柱国,符淙斌,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 (增刊): 11-20.]
- [24] Gao Xuejie, Zhao Zongci, Giorgi F. Changes of extreme events in regional climate simulation over East Asia[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2002, 19 (5): 927-942.
- [25] Qian W H, Qin A M. Precipitation division and climate shift in China from 1960 to 2000[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2007 (in press).
- [26] Qian W H, Lin X, Zhu Y F, et al Climatic regime shift and decadal anomalous events in China[J]. *Climate Change*, 2006, doi: 10.1007/s10584-006-9234-z
- [27] Hu Haoran, Qian Weihong The identification of the northern boundary of East Asian Monsoon[J]. *Progress in Natural Science*, 2007, 17 (1): 57-65. [胡豪然, 钱维宏. 东亚夏季风北边界的确认 [J]. 自然科学进展, 2007, 17 (1): 57-65.]
- [28] Qian W H, Lin X. Regional trends in recent precipitation indices in China[J]. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2005, 90 (3/4): 193-207.
- [29] Qian W H, Fu J L, Yan Z W. Decrease of light rain events in summer associated with a warming environment in China during 1961-2005[J]. *Geophysical Research Letters*, 2007 (in press).
- [30] Goswami B N, Venugopal V, Sengupta D, et al Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment[J]. *Science*, 2006, 314: 1 442-1 445.
- [31] Qian W H, Quan L S, Shi S Y. Variations of the dust storm in China and its climatic control[J]. *Journal of Climate*, 2002, 15: 1 216-1 229.
- [32] Qian W H, Zhang W W, Yan Z W. Decreasing trends of cold surge events over China in a warming environment[J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, submitted
- [33] Qian W H, Lin X. Regional trends in recent temperature and indices in China[J]. *Climate Research*, 2004, 27 (2): 119-134.

Changes in Mean Climate and Extreme Climate in China During the Last 40 Years

QIAN Wei-hong, FU Jiao-lan, ZHANG Wei-wei, LIN Xiang

(Department of Atmospheric Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: This paper reviewed the changes in mean climate and extreme climate in China during the last 40 years based on the daily observational records of the recent 50 years, provided by China Meteorological Administration. Accompanying the global warming, decreasing trends observed from those events of light rain, cold surge, cold days, and cold nights, while increasing trends found from extreme strong rainfall, warm nights and warm days. Effective rainfall occupied regional anomalous distributions that were affected by westerly flow and monsoon flow. In the eastern monsoon region, transition of summer rainfall from below normal to above normal in the lower Yangtze River in 1979 was accompanied with dry trends in North China and South China. A new transition of summer rainfall from below normal to above normal in South China was observed in 1991 while other two transitions to wet climate occurred in 1983 over Northeast China and in 1987 over the Xinjiang region. Trend distributions of extreme temperature and extreme precipitation were good agreement with that of mean temperature and mean precipitation in China.

Key words: Mean climate; Extreme climate; Global warming; Change of circulation; Integrated analysis