

陈海山,范苏丹,张新华. 中国近 50 a 极端降水事件变化特征的季节性差异 [J]. 大气科学学报, 2009, 32 (6): 744-751.

中国近 50 a 极端降水事件变化特征的季节性差异

陈海山¹, 范苏丹¹, 张新华²

(1. 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室, 江苏 南京 210044; 2. 聊城市气象局, 山东 聊城 252000)

摘要: 利用中国 419 个测站 1958—2007 年逐日降水资料集, 分析了近 50 a 中国不同区域年和季节极端降水事件的基本变化特征。结果表明, 多年平均极端降水事件的空间分布具有明显的纬向分布特征, 并表现出显著的季节性差异。长江以南地区是春、冬季极端降水事件发生频次较高的区域; 而年、夏季以及秋季极端降水事件发生频次在西南地区较高, 在西北东部较低。年极端降水事件频次的长期变化趋势与夏季相似, 华北和东北有增加趋势, 其他地区为弱的减少趋势; 其他季节的长期变化趋势存在明显的区域和季节性差异。年和季节极端降水事件的发生频次具有显著的年际和年代际变化特征。年极端降水事件时间序列的多项式拟合曲线的变化情况与夏季基本一致; 而其他季节的变化则存在较大差异, 表现出显著的季节性差异。

关键词: 极端降水事件; 年际和年代际变化; 长期趋势; 季节性差异

中图分类号: P466 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097 (2009) 06-0744-08

Seasonal Differences of Variation Characteristics of Extreme Precipitation Events over China in the Last 50 Years

CHEN Hai-shan¹, FAN Su-dan¹, ZHANG Xin-hua²

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, NU IST, Nanjing 210044, China;

2. Liaocheng Meteorological Bureau, Liaocheng 252000, China)

Abstract: By using the 1958—2007 daily rainfall data of 419 stations in China, the basic characteristics of seasonal extreme precipitation events over sub-region in China during the last 50 years are investigated. Results show that: (1) Evident zonal distribution and significant seasonal differences are found in the spatial distribution of the climatological extreme precipitation events. The frequency of extreme precipitation events in the south of the Yangtze River is higher in spring and winter. However, the frequency is higher over Southwest China but lower in the east of Northwest China, in annual, summer and autumn cases. (2) The longterm trend of annual extreme precipitation events is similar to that in summer. An increasing trend is also found in North China and Northeast China, but decreasing trends in other regions. (3) The frequencies of extreme precipitation events in different seasons exhibit significant interannual and interdecadal variabilities. The polynomial fitting curves of the time series of annual extreme precipitation events are consistent with that of the summer in most cases, and the variability of extreme precipitation events in other seasons shows great diversity as well as evident seasonal difference.

Key words: extreme precipitation event; interannual and interdecadal variabilities; longterm trend; seasonal difference

收稿日期: 2009-09-08; 改回日期: 2009-10-18

基金项目: 国家科技支撑计划课题 (2007BAC29B03); 江苏省“六大人才高峰”计划资助项目

作者简介: 陈海山 (1973—), 男, 云南易门人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为陆面过程、气候数值模拟与短期预测, haishan@nuist.edu.cn

0 引言

IPCC 第三次评估报告^[1]指出,气候变暖的趋势将在短期内难以逆转^[2], IPCC 第四次评估报告^[3]继续强调了全球变暖的趋势,并指出在全球变暖的大背景下,极端事件将在 21 世纪变得更加频繁、更加普遍、更加强烈^[4-6]。之前的观测与理论研究表明,与气候平均态相比,极端气候事件对气候变化更敏感,平均气候的微小变化可能引发极端气候的频率、强度较大的变化^[7-8]。因此选取适当的气候代用指数^[9-10],分析研究极端降水事件发生发展的时空特征以及规律,是极端事件评估、预测研究的重要基础性工作。

国内外学者通过对极端降水的观测研究指出,在全球变暖背景下,总降水量增大区域的强降水事件极可能有明显的增加趋势,即使平均总降水量减少或不变,也存在着强降水量及其频次增加的现象。在这方面,中外学者都做了很多工作。Tank 等^[11]、Kunkel 等^[12]、Goswami 等^[13]和 Peterson 等^[14]分别对欧洲、美国、加拿大、印度中部及加勒比海地区的极端降水事件做了分析,并得到了大致相似的结论,即在全球变暖环境下,极端事件的发生频次呈上升趋势。很多学者对近 50 a 来中国极端气候变化的情况进行了研究^[15-16],认为中国地区的极端降水变化态势与全球的态势基本一致,但表现出明显的区域性特点。翟盘茂等^[17]提出了定义极端值和极端值阈值的方法,研究了中国北方近 50 a 温度和降水极端事件的变化,结果表明华北地区强降水事件趋于减少,但西北地区强降水事件趋于增多;定义了标准化降水异常并分析全年、冬半年、夏半年日降水频次、日降水量等的长期趋势以及年际、年代际变化情况^[18]。刘学华等^[19]比较了 1961—1975 年和 1976—2000 年 2 个时段的极端降水事件,指出第 2 时段较第 1 时段的年雨日数减少,但强降水日数和平均降水强度增大,且极端降水正线性变化趋势范围比第 1 时段明显增大。翟盘茂等^[20]研究认为,我国近 50 多年降水强度普遍趋于增加,降水日数除西北地区外其他大部分地区显著减少。极端降水与总降水量变化之间的关系很密切,西北西部、长江及其以南地区极端强降水事件趋于频繁,华北地区虽然极端降水事件频数明显减少,但极端降水量占总降水量的比例仍有所增加。杨金虎等^[21-22]分析了年极端降水事件年代际的变化情况,并引入集中度和集中期两个新参数,对年内非均匀性特征进行了分

析。还有很多学者着重研究了我国各地区的极端降水事件的变化特征^[23-29]。

之前的研究大都集中在年极端降水事件上,然而极端降水事件对季节的依赖性很强,季节性差异显著,因此分析极端降水事件的季节性差异状况是很有必要的。本文将着重对各季节极端降水事件进行全面分析,详细探讨中国各地区极端降水事件的时空分布特征、气候趋势变化以及区域性年际、年代际变化特征等方面存在的差异。

1 资料与方法

采用全国 738 个测站的逐日降水资料集,考虑到资料时间序列问题,去除了由于台站本身资料缺失较多(缺测大于 5% 的站点)以及台站搬迁造成资料不连续的情况,最后选取了 419 站用于本文的分析,资料时间序列为 1958—2007 年共 50 a。图 1 为所选取 419 个站点的分布情况。

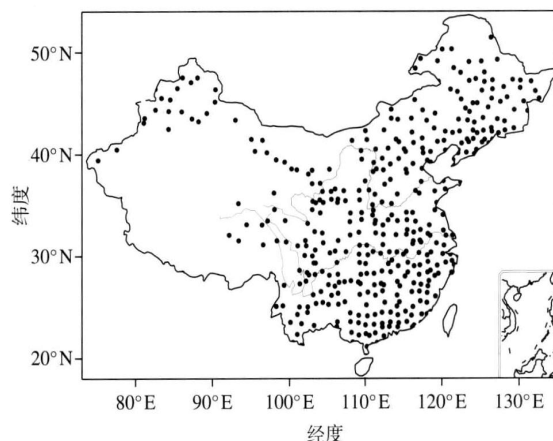


图 1 中国 419 站的分布情况

Fig 1 The geographic distribution of 419 stations in China

由于我国幅员辽阔,地形地貌多样,降水具有很强的局地性,不能绝对地规定极端降水事件标准,应考虑不同地区的气候状况和实际降水量大小。本文依据翟盘茂等^[17]对极端降水事件的定义方法,把 1958—2007 年逐年湿日(日降水量 ≥ 0.1 mm)降水量序列的第 95 个百分位值的 50 a 平均值定义为极端降水事件的阈值,当某站某日降水量超过这一阈值时,就称之为极端降水事件。具体参照 Bonsal 等^[30]的计算方法:如果某个气象要素有 n 个值,将这 n 个值按升序排列 $x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n$, 某个值小于或等于 x_m 的概率为 $P = (m - 0.31) / (n + 0.38)$ 。其中: m 为 x_m 的序号; n 为某个气象要素值的个数。第 95 个百分位值是指 $P = 95\%$ 所对应的 x_m 值。

本文采用了线性回归、多项式拟合等分析方法,此外时间序列的生成则采用了面积加权平均法^[31]。

2 极端降水事件的空间分布特征

2.1 多年平均分布特征

首先分析极端降水事件的多年平均空间分布情况。图 2 给出了年以及各季节多年平均的极端降水事件频次的空间分布。从图 2a 可以看出,四川东南部、贵州大部极端降水事件频次较大,长江以南地区也是极端降水事件发生的高值区,大都在 8 次/a 以上;新疆东部以及内蒙古西部地区则相对较少;除东

北东部地区,多年平均的年极端降水事件频次具有明显的纬向分布特征,自北向南逐渐增大,而到广东、福建等地又略有减小。春季(图 2b)的多年平均极端降水事件分布情况与年类似,总体也呈现出自北向南逐渐增大的趋势,湖北、湖南、江西、广东等地为发生频次的高值区,广西、广东等地则略少;内蒙古、甘肃西部地区极端降水事件最少。夏季(图 2c),大值区位于西藏东部以及西南地区;而低值区则位于新疆、青海、甘肃北部以及内蒙古西部。我国东部地区极端降水事件频次分布大体一致,其中华南地区发生频次较多。秋季(图 2d),高值区位于西

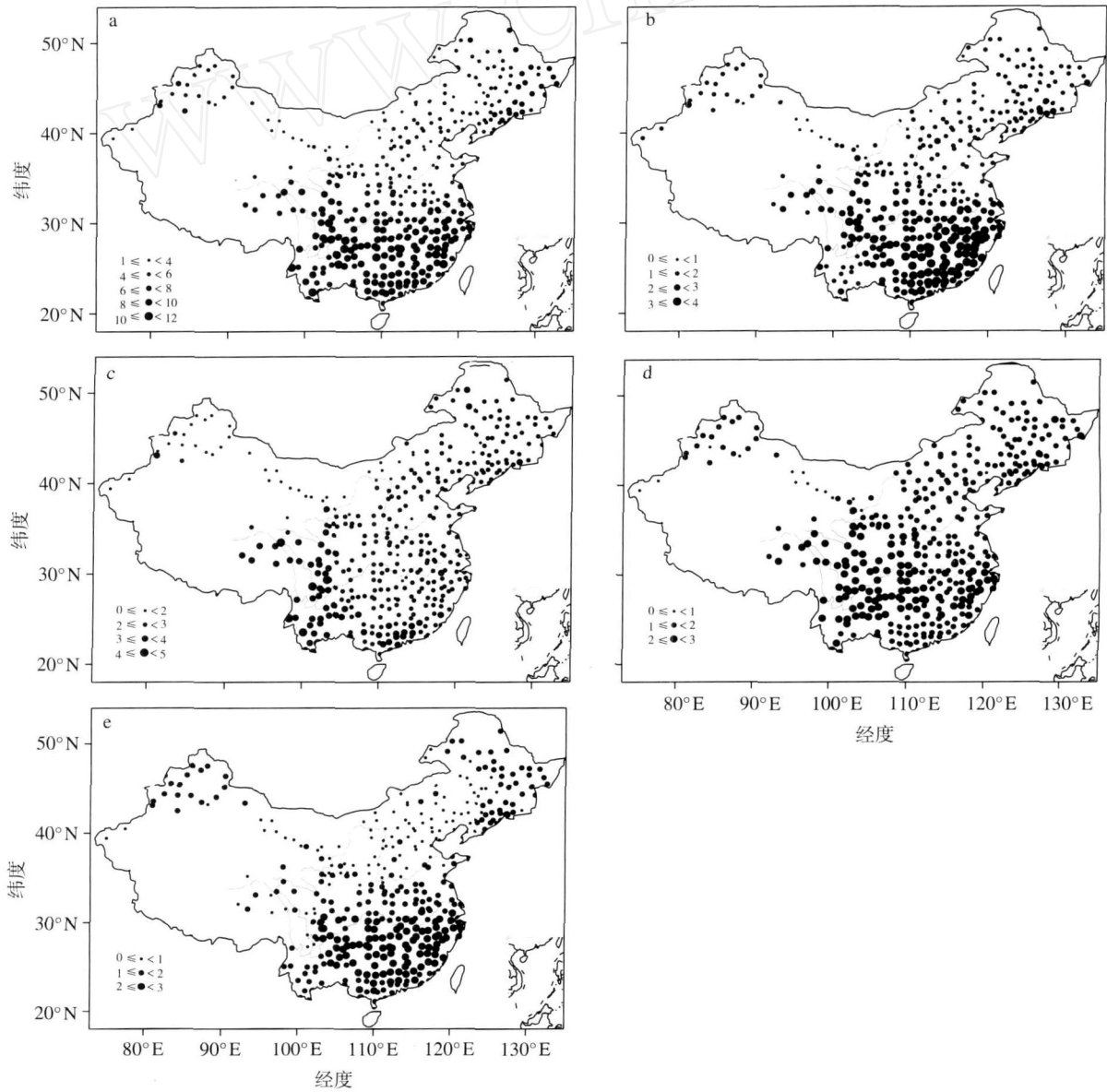


图 2 多年平均极端降水事件的空间分布 (单位:次/a) a 年;b 春季;c 夏季;d 秋季;e 冬季
Fig 2 The spatial distribution of the climatology of extreme precipitation events(units: a⁻¹) a annual; b spring; c summer; d autumn; e winter

南大部分地区,小值区位于内蒙古、甘肃西部;在我国东部地区,湖南、湖北以及福建、浙江等地极端降水事件发生频次也较多。冬季多年平均的极端降水事件频次的空间分布与春季及年的情况相似,高值区集中在长江以南大部分地区;我国华北以及整个中部地区都为低值区,极端降水事件未达 1 次/a;新疆西南部分地区为极端降水事件高发区,约 1~2 次/a。上述分析表明,年以及各季节多年平均的极端降水事件频次的空间分布大都具有自北向南逐渐

增加的分布特征,另外,东北地区以及青藏高原和新疆西部地区的分布情况在年以及各季节都非常相似。

2.2 极端降水事件的长期变化趋势

为了分析中国极端降水事件的长期趋势变化,图 3 给出了年以及各季节 50 a 的 419 站的线性趋势变化。年极端降水事件的长期趋势(图 3a)在东北、华北以及西南部分地区主要为负值,呈现总体下降的趋势;新疆西北部以及长江中下游、华南地区则

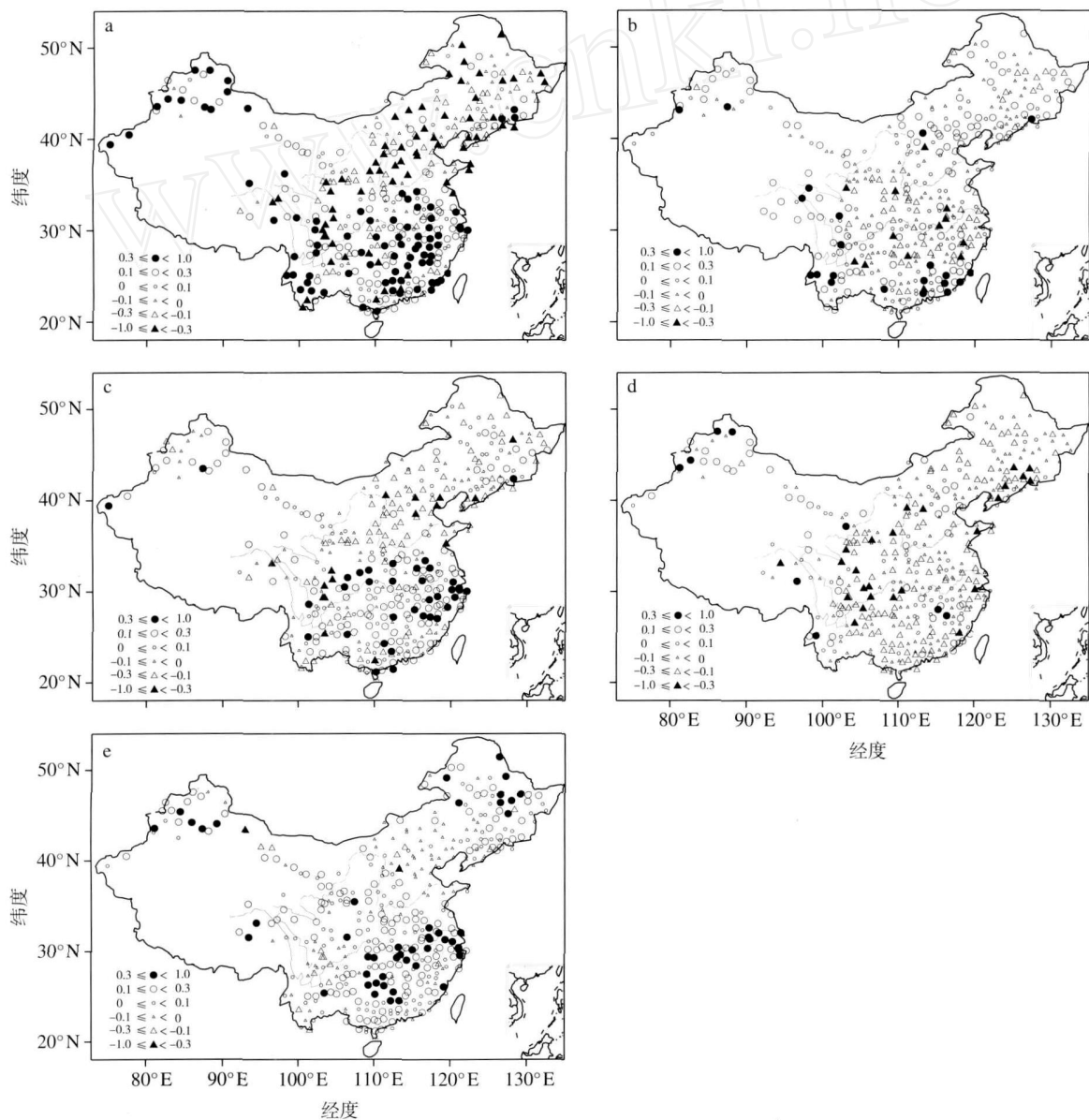


图 3 极端降水事件长期趋势的空间分布 (单位:次/(10 a);实心图标为通过 0.05 显著性水平检验的站点) a 年; b 春季; c 夏季; d 秋季; e 冬季

Fig 3 The spatial distribution of longtem trends of extreme precipitation events(units: (10 a)⁻¹; the closed marks represent stations passed the significant test of $\alpha = 0.05$) a annua; b spring; c summer; d autumn; e winter

为增加趋势,并且通过显著性检验的站点较多。春季(图 3b),黄河以南、长江以北多数站点为较小的减小趋势;河北、北京、天津以及青藏高原东部多为增加趋势;而其他地区增加趋势的站点和减小趋势的站点相间分布。春季极端降水事件发生频次通过显著性检验的站点多为增加趋势。夏季(图 3c)的极端降水事件长期变化趋势与年情况类似,只是通过显著性检验的站点较少,主要在安徽、浙江、江西等地;华北地区主要为负值区,正值区则多位于长江流域及其以南地区。秋季(图 3d),我国整个东部地区大部分站点为减小趋势,极端降水事件有减少的趋势,而新疆以及内蒙古西部多为增加趋势。冬季(图 3e),河套地区、淮河流域、长江流域以及华南整个地区都为正值,极端降水事件发生频次为增加趋势,且通过显著性检验的站点绝大多数为正值;只有河北、北京、天津以及内蒙中部地区有小范围较集中的负值区,并且减小趋势较弱。这说明冬季的极端降水事件呈现全国范围的增加趋势。

上述分析表明,由于不同季节造成极端降水的成因不同,极端降水事件的分布情况、变化规律也不尽相同,因此极端降水事件的季节性差异非常显著。

2.3 异常的空间分布特征

标准差能够反应变量围绕平均值的变化情况,因此可以用来分析变量的异常空间分布特征。图 4 给出了年和各季节的极端降水事件频次标准差的空间分布。可以看出,极端降水事件在中国各地区都表现出了明显的年际变率,并存在明显的季节性差异和区域性差异。年(图 4a)极端降水事件变率的大值区在西南、长江流域及其以南地区,说明这些地方容易出现异常极端降水事件。春季(图 4b)的情况与年情况非常相似,大值区也是出现在西南、长江流域及其以南地区,东北北部地区也有较多站点的极端降水事件年际变率较大;而在华北北部、东北南部以及内蒙古大部分地区数值都较小,年际变率不大。夏季(图 4c),变率大值区仍位于长江流域及其以南地区,西藏地区各站点也为变率大值区,华北、东北等地只有少数站点的数值较大;而内蒙古以及新疆大部分地区仍为变率小值区。秋季(图 4d),在新疆和内蒙古以及西藏东南部存在小值区,标准差在 1.0 左右;极端降水事件年际变率较大者仍为长江流域地区。冬季(图 4e),东南沿海各省的年际变率最大,标准差达到 2.0 以上;长江流域以及新疆一些站点次之;华北、东北以及中部地区则相对略小。总体来说,标准差大值区主要集中在西南、长江流域

及其以南、新疆等地区,即在这些地区极端降水事件表现出显著的年际变率。

3 区域极端降水事件时间变化特征的季节性比较

前面主要分析了极端降水事件的平均状况、气候趋势以及异常分布状况,为了更好地反映次区域极端降水事件的季节性变化特征,依据陈隆勋等^[32]的行政区域划分方法,将中国划分为 8 个区域进行全面分析,各区域时间序列的计算采用面积加权平均法。

图 5 给出了 8 个区域的年、各季节极端降水事件标准化时间序列的多项式拟合曲线,从中分析极端降水事件频次的年际和年代际变化情况。从图 5a 可以看出,东北地区年极端降水事件频次与夏季变化趋势一致,具有明显的年代际变化特征,进入 21 世纪以后先减小到最低点,之后有显著增加的趋势。春季和秋季在 20 世纪 80 年代之前变化幅度很小,在 80 年代之后,尤其是 21 世纪以来,春季极端降水事件频次呈现增加趋势,秋季则是减小趋势。而冬季的多项式拟合曲线则从 1958 年开始一直减小,直到 1964 年左右达到最低值,之后缓慢增加,90 年代之后有较大的增加趋势。西北西部地区(图 5b),年以及各季节拟合曲线在 1964 年左右都处于最低值,之后以不同幅度和变化方式随时间增加。其中秋季呈现持续稳定的增加趋势,直至 2000 年左右开始减小;其他季节极端降水事件频次为增加、减小趋势交替出现,呈现出明显年际变化特征。西北东部(图 5c),夏、冬两季在 1964 年左右有一个最低值,秋季在 1994 年也达到了一个相似的最低值。年、夏季、冬季的拟合曲线从 1958 年开始到 1964 年有一个急剧减小的趋势,之后以不同形式交替增加、减小,其中冬季的拟合曲线在 2000 年之后有一个显著增加趋势。华北地区(图 5d),年、夏季、秋季在 1958—1964 年也有一个显著的减小趋势。1964 年以后,年以及各季节的极端降水事件频次的年际变化幅度较小,年际和年代际变化不是很明显。青藏高原地区(图 5e),年与夏季以及秋季的时间序列变化趋势比较同步,在 2002 年之后存在明显的减小趋势。春季则是从 1958 年开始一直增加,到 1994 年之后增加趋势加大。冬季拟合曲线在 1978 年之后的变化幅度增大,有明显的年际变化特征。西南地区(图 5f),在 1990 年之前,年、春季、秋季的变化趋势比较一致,而夏季和冬季的变化趋势比较一致,并

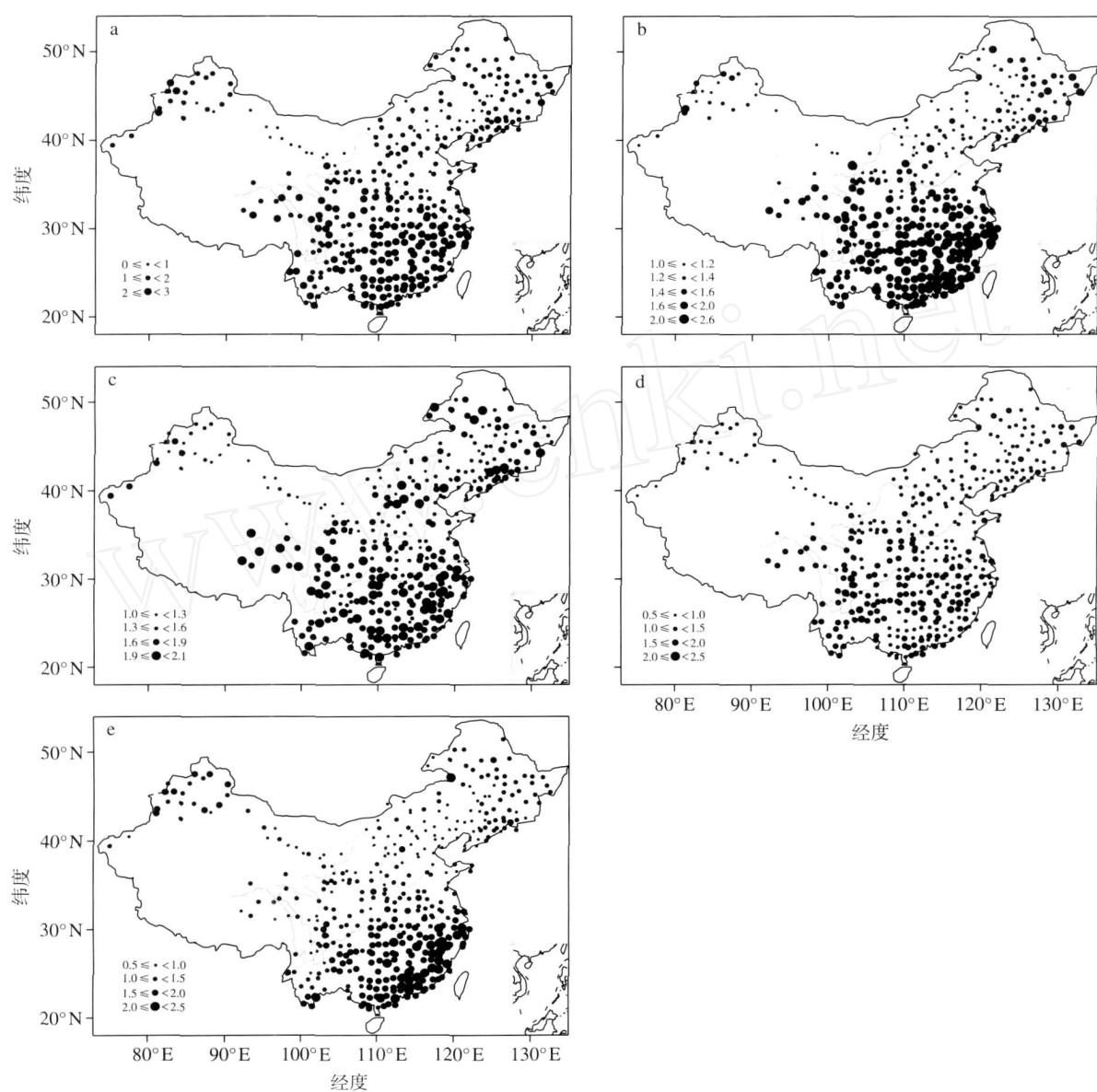


图 4 极端降水事件标准差的空间分布 (单位:次) a 年; b 春季; c 夏季; d 秋季; e 冬季
Fig 4 The spatial distribution of the standard deviations of extreme precipitation events(units: times)
a annual; b spring; c summer; d autumn; e winter

且这两类变化呈现出明显的反相变化特征。春季在 1990 年以后振幅加大,秋季则一直为缓慢减小趋势,年以及春季、夏季的拟合曲线在进入 21 世纪之后开始明显下降,只有冬季为明显的上升趋势。长江中下游地区(图 5g),在这 50 a 间,年、夏季、冬季的曲线总体呈现同步变化规律,1985 年之后振幅增大,1996 年左右达到最大值。而春季和秋季则存在明显的反相变化特征,1958 年开始,位相差由小逐渐增大到 13 a 左右,直至 2003 年,春季和秋季有共同的下降趋势。华南地区(图 5h),年与夏季的变化趋势一致,但夏季的变化幅度远大于年,尤其在 20

世纪 70 年代到 90 年代期间。春季和秋季的变化趋势也非常一致,尤其是在 70 年代之后。50 a 间冬季的变化趋势是从 1958 年开始减小,到 1964 年达到最低点,之后开始缓慢增加,直到 1996 年左右才开始减小。冬季的变化趋势与年的变化趋势也比较一致,只是存在一个 5 a 左右的位相差。

综上所述,各区域极端降水事件频次的年际和年代际变化情况不尽相同,其中大部分区域的年极端降水事件频次变化规律与夏季大体一致;而其他季节的变化特征则有显著不同,但都表现出了年际和年代际的变化特征。

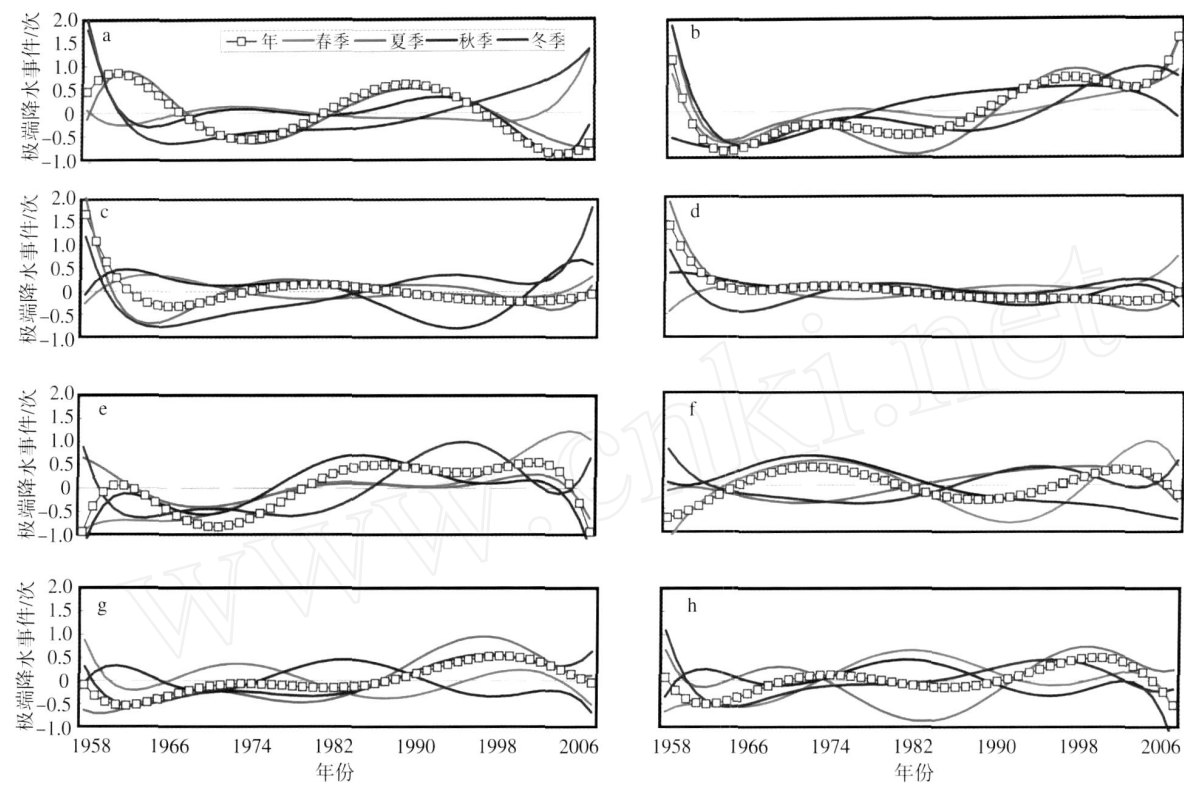


图 5 区域极端降水事件时间序列的多项式拟合曲线 a 东北地区; b 西北西部地区; c 西北东部地区; d 华北地区; e 青藏高原地区; f 西南地区; g 长江中下游地区; h 华南地区

Fig 5 The polynomial fitting curves of the time series of regional extreme precipitation events a Northeast China; b the west of Northwest China; c the east of Northwest China; d North China; e the Tibet Plateau area; f Southwest China; g the middle-lower Yangtze area; h South China

4 结论

通过对中国 419 站日降水资料的分析,揭示了中国不同季节极端降水事件的基本特征。结果表明,极端降水事件频次的变化具有明显的区域性差异和季节性差异。主要结论如下:

- (1)多年平均极端降水事件频次空间分布的主要特征为:春季和冬季发生频次大值区都位于长江以南;年、夏季以及秋季,西南地区发生频次较多,西北东部发生频次则较小;年以及各季节极端降水事件频次都表现出纬向分布特征。
- (2)年极端降水事件的长期趋势与夏季相似,在东北、华北、西南地区为减少趋势,其他地区为增加趋势。春季,长江中下游以及河套以南地区为较小的减小趋势,其他地区为增加趋势。秋季,我国整个东部地区都为减小趋势,而西部地区则为增加趋势。冬季,除了新疆东北部为减小趋势外,其他地区都为增加趋势,并且在西藏东部和新疆北部有显著增加趋势。部分地区的长期趋势通过了 0.05 显著

性水平检验,但大部分地区无显著性长期变化趋势。

(3)年以及各季节极端降水事件频次具有显著的年际和年代际变化特征,并伴随明显的区域性特征和季节性差异。各区域拟合曲线变化情况不尽相同,其中年极端降水事件频次的变化趋势与夏季基本一致,只是变化幅度有所差异;其他季节极端降水事件频次的变化则存在很大差异,具有显著的季节性差异。

本文揭示了各季节极端降水事件的一些基本特征,可为之后的工作提供一些依据。但是极端降水事件的发生过程、成因等都很复杂,且具有很强的局地性和区域性。本文只是将中国依据行政区域划分为 8 个次区域进行研究,但是,处于同一个行政区域的站点的变化情况也不可能完全一致,这需要利用更加客观可靠的分区方法来进行深入研究。

参考文献:

[1] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al IPCC: Climate change 2001: The Scientific Basis[C]//Observed climate variability and

- change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [2] 周天军,赵宗慈. 20 世纪中国气候变暖的归因分析[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 28-32.
- [3] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability [C]//Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [4] 秦大河,罗勇,陈振林,等. 气候变化科学的最新进展: IPCC 第四次评估则综合报告解析[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(6): 311-314.
- [5] 许吟隆,黄晓莹,张勇,等. 中国 21 世纪气候变化情景的统计分析[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(2): 80-83.
- [6] 胡宜昌,董文杰,何勇. 21 世纪初极端天气气候事件研究进展[J]. 地球科学进展, 2007, 22(10): 1066-1075.
- [7] Katz R W, Brown B G. Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages[J]. Climatic Change, 1992, 21(3): 289-302.
- [8] Kiktev D, Sexton D M H, Alexander L, et al. Comparison of modeled and observed trends in indices of daily climate extremes[J]. J Climate, 2003, 16(22): 3560-3570.
- [9] 王冀,江志红. 近 40 年长江中下游极端降水事件变化特征[C]//中国气象学会 2006 年年会“气候变化及其机理和模拟”分会场论文集. 成都:中国气象学会, 2006.
- [10] Frich P, Alexander L V, DellaMarta P, et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century[J]. Climate Res, 2002, 19: 193-212.
- [11] Tank A M G K, Können G P. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946—99[J]. J Climate, 2003, 16(22): 3665-3680.
- [12] Kunkel K E, Easterling D R, Redmond K, et al. Temporal variations of extreme precipitation events in the United States 1895—2000[J]. Geophys Res Lett, 2003, 30(17): 1900, doi: 10.1029/2003GL018052.
- [13] 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(5804): 1442-1445.
- [14] Peterson T C, Taylor M A, Demeritte R, et al. Recent changes in climate extremes in the Caribbean region[J]. J Geophys Res, 2002, 107(21): 4601-4609.
- [15] Han Hui, Gong Daoyi. Extreme climate events over northern China during the last 50 years[J]. Geographical Sciences, 2003, 13(4): 469-479.
- [16] Zhai Panmao, Sun Anjian, Ren Fumin, et al. Changes of climate extremes in China[J]. Climatic Change, 1999, 42: 203-218.
- [17] 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.
- [18] Zhai Panmao, Zhang Xuebin, Wan Hui, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China[J]. J Climate, 2005, 18(7): 1096-1108.
- [19] 刘学华,季致建,吴洪宝,等. 中国近 40 年极端气温和降水的分布特征及年代际差异[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 618-624.
- [20] 翟盘茂,王萃萃,李威. 极端降水事件变化的观测研究[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 144-148.
- [21] 杨金虎,江志红,王鹏祥,等. 中国年极端降水事件的时空分布特征[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(1): 75-83.
- [22] 杨金虎,李耀辉,王鹏祥,等. 中国极端强降水事件年内非均匀性特征分析[J]. 自然资源学报, 2007, 22(4): 623-633.
- [23] 王冀,江志红. 1960—2005 年长江中下游极端降水指数变化特征分析[J]. 气象科学, 2008, 28(4): 384-388.
- [24] 张金玲,王冀,甘庆辉. 1961—2006 年江淮流域极端降水事件变化特征[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(7): 3089-3091; 3146.
- [25] 韩艳凤,江志红,王冀. 东北地区夏季降水时空变化特征[J]. 气象科技, 2005, 33(2): 136-141.
- [26] 蔡敏,丁裕国,江志红. 我国东部极端降水时空分布及其概率特征[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 309-318.
- [27] 田红. 江淮地区极端气候事件的时空变化特征[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(6): 36-41.
- [28] 张庆云,卫捷,陶诗言. 近 50 年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(3): 307-318.
- [29] You Qinglong, Kang Shichang, Enric A, et al. Changes in daily climate extremes in the eastern and central Tibetan Plateau during 1961—2005[J]. Geophys Res Lett, 2008, 113, D07101, doi: 10.1029/2007JD009389.
- [30] Bonsal B R, Zhang X, Vincent L A, et al. Characteristic of daily and extreme temperature over Canada[J]. J Climate, 2001, 14(9): 1959-1976.
- [31] Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: Methods and illustrations[J]. Int J Climatol, 1996, 16: 361-377.
- [32] 陈隆勋,邵永宁,张清芳. 近 40 年我国气候变化的初步研究[J]. 应用气象学报, 1991, 2(2): 164-174.

(责任编辑:倪东鸿)