

林建,杨贵名. 2014. 近 30 年中国暴雨时空特征分析. 气象, 40(7):816-826.

近 30 年中国暴雨时空特征分析^{* 1}

林 建 杨贵名

国家气象中心, 北京 100081

提 要: 利用 1981—2010 年全国 2400 多个站的降水资料, 分析了暴雨过程和暴雨日的年、季、月气候分布及变化特征, 结果表明 21 世纪以来南方地区暴雨过程明显增多, 但以短持续性强降水过程为主, 尽管总暴雨日较多, 但总降水量不及 20 世纪 90 年代。年(月)降水量与年(月)暴雨日数变化趋势基本一致, 但在江南春雨阶段平均雨量大, 暴雨日数相对较少。最大年暴雨日数分布与年平均暴雨日数分布极为相似, 呈现出南多北少东多西少的特点, 但数值上是平均暴雨日数的两倍, 甚至更多, 并且受地形影响, 呈现出多中心特点。由于受影响的天气系统不同, 即使是同一省的不同地区最大月平均暴雨日数出现的时间也不尽相同。2000 年以后暴雨日数总体呈增加趋势, 一年中暴雨开始时间早, 结束晚, 暴雨出现的时段较以往更长。在近年来极端降水事件及次生灾害频发的背景下, 详细了解暴雨的年、季、月平均分布、最大值分布及时空变化特征, 可以为定量强降水的预报提供更好的气候背景参考。

关键词: 暴雨, 气候特征, 定量降水预报

中图分类号: P467

文献标志码: A

doi: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2014. 07. 005

Spatio-Temporal Characteristics of Rainstorm in China During 1981—2010

LIN Jian YANG Guiming

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: In term of precipitation data of 2400 stations from 1981 to 2010, annual, seasonal and monthly distribution and evolution characteristics of rainstorm were analyzed. The results show that the processes of rainstorm have been increased evidently since 21 century especially in the south of China, but the duration is relatively short. Rainstorm days have been increased, but the amount of precipitation is not as much as in 1990s. Variation trend of the annual (monthly) precipitation amount is in accordance with that of rainstorm days, but rainfall is averagely more while the rainstorm days are less during spring rainfall phase over the south of Yangtze River. Distribution of the maximum annual rainstorm days is very similar with that of the annual mean rainstorm days, revealing the feature of more in south and east but less in north and west. Maximum annual rainstorm days are more than double of annual average rainstorm days with multi-centers due to the effect of topography. The months of maximum monthly rainstorm days over different regions of the same province are incompletely same as the result of the impact of different weather systems. Generally, rainstorm days have been increased since 2000, rainstorm begins earlier, ends latter and lasts longer than before. Nowadays, as the extreme rainfall events and secondary disasters happen frequently, it is conducive for the forecast of quantitative precipitation forecast (QPF) to learn the spatio-temporal distribution and evolution features of rainstorm.

Key words: rainstorm, climatic characteristics, quantitative precipitation forecast (QPF)

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306002)和中国气象局暴雨团队共同资助
2013 年 2 月 28 日收稿; 2013 年 5 月 16 日收修定稿
第一作者: 林建, 从事短期天气预报和定量降水预报研究. Email: linjian@cma.gov.cn

引 言

IPCC 第二次 (IPCC, 1995)、第三次 (IPCC, 2001) 科学评估报告概括了极端降水事件变化的观测研究成果, IPCC 第四次 (IPCC, 2007)、第五次 (IPCC, 2014) 科学评估报告指出, 大多数陆地上的强降水事件发生频率有所上升。极端降水变化的研究 (刘小宁, 1999; 陈海山等, 2009; 苏布达等, 2006; 邹用昌等, 2009; 杨金虎等, 2008; 王志福等, 2009; 王冀等, 2008; 闫俊霞等, 2010; 李丽平等, 2010; 张天宇等, 2007; 翟盘茂等, 2003; 2007) 表明, 我国极端降水的变化与 IPCC 科学评估报告的结论相同, 在气候变暖的背景下, 极端降水发生频率和强度具有增加的趋势; 半数以上的大城市极端降水强度和频数的变化趋势比周围大 (王萃萃等, 2009)。近 40~50 年安徽、黑龙江、湖北、宁夏、云南等各省以及南方和中国暴雨的气候特征研究表明 (谢五三等, 2011; 高振铎等, 2011; 许莉莉等, 2011; 彭贵芬等, 2009; 丁永红等, 2007; 张艳梅等, 2008; 刘九夫等, 2008; 陈朝基, 2011; 鲍名等, 2006; 徐桂玉等, 2002, 伍红雨等, 2011), 大部分地区夏季暴雨呈增加趋势, 且存在明显的年际、年代际变化。极端降水频率和强度的增加, 加上我国大部分地区地形复杂、天气形势多变, 因降水而引发的山洪、滑坡泥石流等气象灾害呈明显上升趋势。进入 21 世纪以来, 我国每年汛期洪涝灾害造成的经济损失, 大多集中在江河支流和中小河流地区, 因中小河流和山洪地质灾害造成的死亡人数占汛期因灾死亡人数的 70% 以上。然而已有的极端降水和暴雨气候特征分析或者针对某一省, 或者针对全国基本站点, 而我国地形复杂, 基本站点无法很好地反映实际降水的真实分布。因此, 随着近年来极端强降水事件的频发, 了解全国强降水的精细化气候分布特征, 为定量降水预报、山洪地质灾害和中小河流防汛预警提供气候背景和参考, 降低暴雨及其相关灾害给国计民生、社会发展带来的损失, 具有重要的现实意义。气候平均 (即所谓正常的气候) 的传统定义, 是某一气象要素连续 30 年的数学平均 (WMO, 1989)。本文将利用 1981—2010 年全国 2400 多个站降水资料, 从暴雨预报需求的角度出发, 详细分析暴雨过程及暴雨日的气候分布和变化特征, 为定量预报强降水提供更多的参考信息。

1 资料整理和说明

本文使用的资料是中国气象局气象信息中心提供的全国 2467 站逐日及逐 12 h 降水观测资料。由于资料集中每个站点观测记录的时间长度不同, 我们选择资料记录包含 1981—2010 年的台站共 2340 个, 但其中有 35 站个别年 (月) 资料缺失, 资料长度不足 30 a (但一般大于 20 a), 为了气候特征分布的完整性, 在计算过程中按实际年数计算其气候平均。文中西北地区包括新疆、西藏、青海、甘肃、宁夏; 西南地区包括陕西、四川、重庆、贵州、云南; 南方地区包括鄂苏皖及长江以南地区; 北方是指河南、山东及以北地区。

1.1 暴雨日及暴雨过程标准

某站某日降水量 $R \geq 50$ mm 定义为一个暴雨日, 其日界 20—20 时; 某日降水量 $R \geq 50$ mm 的测站 ≥ 10 个且分布在相邻区域, 则定义为一个区域暴雨日; 降水量连续 2 d 或以上达到区域暴雨日标准, 则定义为一个暴雨过程 (本文统计的是大范围的暴雨过程, 不包括短历时局地暴雨过程)。

1.2 最大日降水量或暴雨日数定义

最大日降水量是指某站在 1981—2010 年 30 年中 24 h 降水量的最大值; 最大年暴雨日数是指某站 30 年中年暴雨日数的最大值; 最大月平均暴雨日数是指某站在 30 年平均的 1—12 月月平均暴雨日数中的最大值; 最早 (晚) 暴雨日是指某站在 30 年中发生暴雨的最早 (晚) 日期。

2 暴雨过程气候变化特征

近 40~50 年中国大部分地区夏季暴雨呈增加趋势 (谢五三等, 2011; 高振铎等, 2011; 许莉莉等, 2011; 彭贵芬等, 2009; 丁永红等, 2007; 张艳梅等, 2008; 刘九夫等, 2008; 陈朝基等, 2011; 鲍名等, 2006; 徐桂玉等, 2002, 伍红雨等, 2011), 这些研究基本上是从暴雨日的角度做出的研究。为了了解暴雨过程的气候变化特征, 根据 1.1 节的标准, 对 1981—2010 年 30 年发生在中国的暴雨过程进行了统计。

2.1 暴雨过程年际变化特点

统计结果表明,1981—2010 年 30 年发生在中国的暴雨过程共 806 次,暴雨过程的年际变化呈准 4 年的周期振荡,20 世纪 90 年代暴雨过程相对偏少,进入 21 世纪暴雨过程明显增多,南方地区尤为显著(图 1),这与 IPCC 科学评估报告(IPCC,2007;2013)和翟盘茂等(2007)的结论是基本一致的。从图 1 还可以看出,南方地区暴雨过程明显多于北方,但变化趋势南北方基本一致,全国的趋势与南方暴雨过程更接近。北方暴雨在 20 世纪 90 年代末期年际振荡要较南方明显一些。

2.2 暴雨过程的月际变化及持续时间

不同区域暴雨过程出现的时间有些差异,如图 2,华南、江南暴雨过程主要出现在 3—11 月,江淮、黄淮主要出现在 4—8 月,其中西南地区暴雨主要发生在 5—9 月,而华北、东北、西北地区东部暴雨发生时间主要在 6—8 月。

近 30 年的统计表明,全国暴雨过程主要出现在 4—10 月(月平均暴雨次数 2 次以上),暴雨持续时间一般在 2~3 d,占总暴雨过程的 70.3%(567 次)。持续时间 4~5 d 的暴雨过程大多出现在 5—10 月,占总暴雨过程的 22.5%(181 次);持续时间 6 d 以上的暴雨过程一般出现在 5—8 月,占 7.2%(58 次),这种暴雨往往发生在稳定的大尺度环流背景下,伴随西南涡东移北上或南压,影响范围较广,持续时间较长。另外,受台风影响,江南、华南以及东部沿海暴雨过程也可能持续较长时间。对南方地区来说,有时候暴雨过程偏少,但持续时间较长,如 1982、1985、1991、1992、1996 和 2003 年等。一般来说,南方暴雨持续时间长于北方暴雨(朱乾根等,2007)。

为了了解暴雨日的具体分布,下面第 3、4 节将给出暴雨日的年、月、季分布特征。

3 年平均暴雨日数及最大日降水量的分布特征

3.1 年平均暴雨日数分布

从图 3 可见,中国年平均(1981—2010 年)暴雨日数从东南向西北减少,淮河流域及其以南大部地

区以及四川东部、重庆等地普遍在 3 d 以上,其中华南大部及江西等地达 5~9 d,广西防城港一带、广东阳江上川岛附近及海丰、陆丰附近、海南东南部琼中到万宁一带年平均暴雨日数在 10~15 d;黄河中下游、海河流域、辽河流域等地一般有 1~3 d;中国西部地区偶有暴雨发生。其中华南暴雨日的分布与文献(朱乾根等,2007)统计的 1959—1979 年华南前汛期的降水量和暴雨量的分布是一一对应的。

3.2 不同区域年平均暴雨日数与年平均降水量

图 4 给出了不同地区年平均降水量与年平均暴雨日数的时间序列对比,除了西北地区(相关系数仅 0.21)以外,西南、南方和北方地区年平均降水量与年平均暴雨日数的趋势是一致的,都呈准 3~4 a 的周期变化,两者相关系数在 0.74~0.90(通过了 0.01 的显著性水平检验),其中南方地区又以华南的相关性最高($r=0.9$),其次是鄂苏皖地区($r=0.87$)(图略),西南地区相关略低($r=0.78$);东北地区年平均降水量与年平均暴雨日数的相关性($r=0.83$)高于华北地区($r=0.74$);全国平均的年降水量与年暴雨日数的相关系数为 0.76,说明我国东部地区的年平均降水量与暴雨的发生有密切的关系。

李聪等(2012)研究表明近 60 年来我国各区域年平均降水量大多为减少趋势,从图 4 同样可以看到这样的特征,但值得注意的是,1986—2002 年南方地区年平均降水量是持续上升的,2003、2004 年跌入低谷,2004 年后又呈阶段增加趋势,年际振荡较 20 世纪 90 年代更为明显,总降水量远低于 20 世纪 90 年代。相对应地,南方地区 20 世纪 90 年代及 2004 年后两个阶段暴雨日数都较多,并均呈阶段增加趋势。尽管 2004 年以来总降水量远低于 20 世纪 90 年代,但暴雨日并没有明显减少(仅比 1998、1999 年少)。统计发现 20 世纪 90 年代尽管暴雨过程少,但持续时间较长的暴雨过程较多,总暴雨日多,因而总降水量大,2004 年后暴雨过程频发,但以短持续性降水过程居多(李建等,2008),总暴雨日多,但总降水量不及 20 世纪 90 年代。这跟近年来极端降水事件频发的结论也是一致的(IPCC,2007;2013;刘小宁,1999;陈海山等,2009;苏布达等,2006;邹用昌等,2009;杨金虎等,2008;王志福等,2009;王冀等,2008;闫俊霞等,2010;李丽平等,2010;张天宇等,2007;翟盘茂等,2003;2007)。

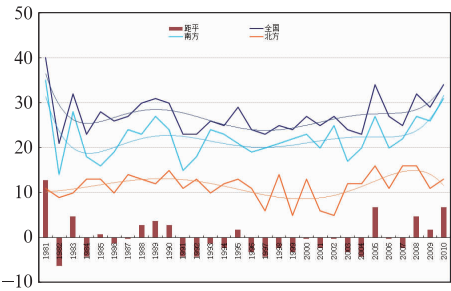


图 1 不同区域暴雨过程数(粗折线,细曲线为相应的多项式拟合)及全国暴雨过程数距平(柱状)的年际变化(1981—2010 年)
Fig. 1 Annual variations of rainstorm processes (thick line, thin line are polynomial fitting) over different regions and their anomalies (column) in China from 1981 to 2010

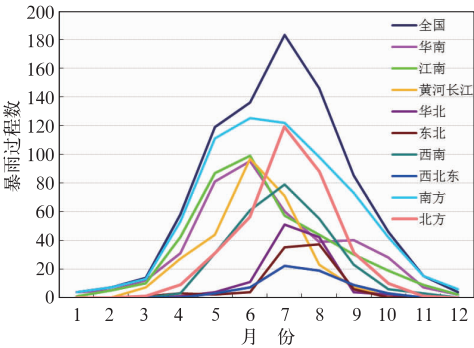


图 2 1981—2010 年不同区域暴雨过程月际变化
Fig. 2 Monthly variation of rainstorm processes over different regions from 1981 to 2010

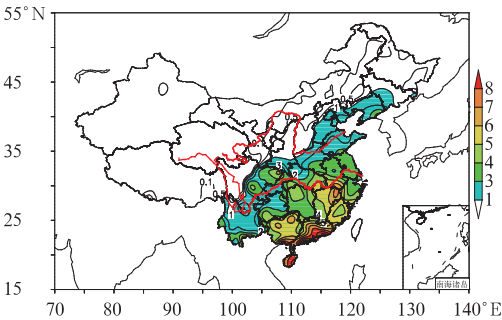


图 3 1981—2010 年年平均暴雨日数分布(单位: d)
Fig. 3 Distribution of annual mean rainstorm days from 1981 to 2010 (unit: d)

3.3 最大年暴雨日数及时间分布

中国年暴雨日数最大值分布(图 5)与年平均暴雨日数分布(图 3)极为相似,呈现出南多北少,东多

西少的特点,但是数值上却是平均暴雨日数的两倍,甚至更多。长江中下游以南大部分地区最大年暴雨日数一般为 10~15 d,安徽西南部、江西东北部、福建西北部、广东北部偏南、南部沿海及海南中东部为 15~20 d,局地 21~25 d;东北、华北、黄淮地区、江汉地区及西南东部等地为 3~10 d。暴雨日数最大值分布受地形影响明显,呈现多中心,其特点是迎风坡多于背风坡,长白山区西南侧、泰山西南侧、大别山区西南侧、大巴山南侧以及南岭山脉南侧、武夷山西侧均是年暴雨日数最大值的多发区。华南沿海的几个暴雨日数大值中心也都与地形关系密切,分别位于粤西沿海一天露山南坡到珠江口、粤中内陆—粤北山区南部边缘的丘陵地带、粤西沿海—莲花山南麓以及北部湾沿海。

从最大年暴雨日数发生的时间(图 6)来看,内蒙古中部东部、黑龙江中部偏东、吉林西部、辽宁中

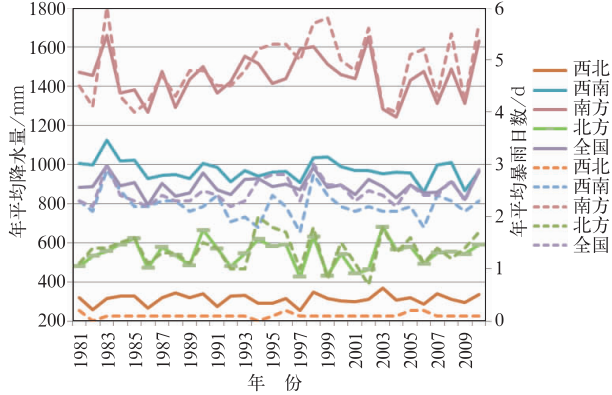


图 4 1981—2010 年不同区域年平均降水量(左侧坐标,实线)与年平均暴雨日数(右侧坐标,虚线)序列
Fig. 4 Variation of annual precipitation (left coordinate, solid line) and rainstorm days (right coordinate, dashed line) over different regions from 1981 to 2010

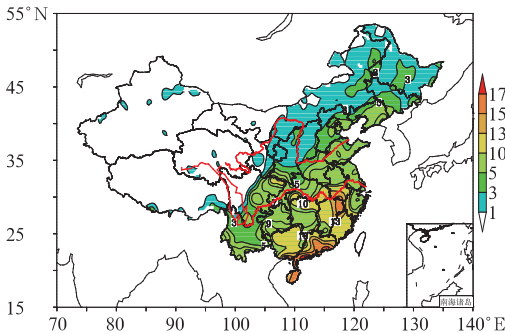


图 5 1981—2010 年年暴雨日数最大值分布(单位: d)
Fig. 5 Distribution of maximum annual rainstorm days from 1981 to 2010 (unit: d)

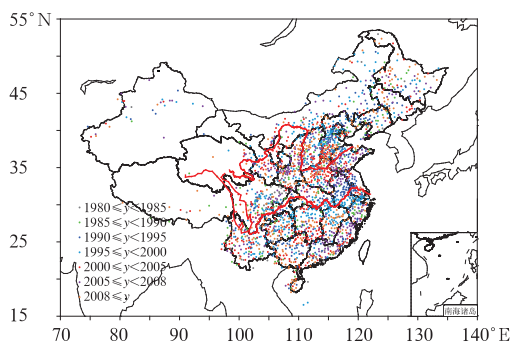


图 6 1981—2010 年最大年暴雨

日数的时间分布

Fig. 6 Temporal distribution of maximum annual rainstorm days from 1981 to 2010

南部、河北中部、北京、陕西南部、四川盆地、长江中下游地区及华南北部等地最大年暴雨日数集中发生在 2000 年前,其中四川盆地西部主要出现在 20 世纪 80 年代的 1981 和 1983 年,长江下游主要发生在 1991 年,而江南北部主要出现在 90 年代后期,如 1999 年。其余大部分地区最大年暴雨日都发生在 2000 年以后,比较集中的地区有西北地区东部(甘肃南部、宁夏、陕西)、山西、黄淮及江南中南部。这跟翟盘茂等(2003)的研究结论“我国西北部地区极端降水事件的出现呈明显的增长趋势”是一致的。就连新疆西部、天山地区及西藏东部这些很少发生暴雨的地方也开始出现暴雨,说明全国年暴雨日数总体呈增加趋势。黄淮最大年暴雨日数大多发生在 2003、2005 和 2007 年淮河大水年,沿江大多发生在 1983、1991 和 1999 年长江大水年,河北、北京等地最大值发生在 1994、1996 年。

3.4 最大日降水量分布及变化趋势

中国最大日降水量的分布(图 7)同样呈东多西少,南多北少的态势。辽宁以南,河北遵化、石家庄、河南驻马店、湖南桑植一线以东大部地区及四川盆地最大日降水量有 200~300 mm,上述大部地区都出现过特大暴雨(日降水量 ≥ 250 mm);内蒙古东部、东北大部、西北东部及山西、云南、贵州等地为 100~200 mm;西北大部和内蒙古西部最大日降水量为 25~100 mm。 >400 mm 的最大日降水量主要出现在四川盆地西部、长江中下游沿江、江南东部沿海及华南南部沿海,与文献(朱乾根等,2007;陶诗言等,1980)中 1953—1977 年的统计分布基本一致,但最大日降水量都没有超过 700 mm,而历史上著

名的“63·8”、“75·8”最大日降水量在 950 和 1060 mm(陶诗言等,1980)。

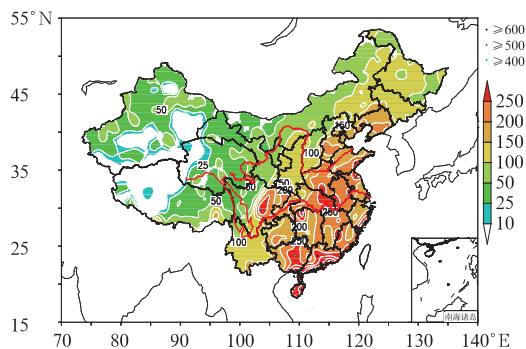


图 7 1981—2010 年最大日降水量分布

(小圆点表示 ≥ 400 mm)

Fig. 7 Distribution of maximum daily precipitation from 1981 to 2010

(Dot indicates maximum daily precipitation ≥ 400 mm)

最大日降水量呈逐渐增加趋势,大多发生在 1995 年以后,2000 年以后增加趋势更为明显,尤其是青海、重庆、黄淮、江淮等地(图略)。由于地形等因素影响,最大日降水量大多发生在夜间,全国大部分地区最大日降水量出现在夜间的比例在 60% 以上,新疆、内蒙古、青海及黑龙江等地最大日降水主要出现在白天时段(图略)。

4 暴雨日数的月、季分布特征

4.1 暴雨日数月分布特征

就全国来说,各月均有暴雨发生,其中 1 月暴雨可能发生在广西东部和广东西部,月平均暴雨日仅 0.1 d,2 月暴雨往东往北扩,主要位于华南东部和江南南部,云南西北部也开始出现暴雨;3 月开始,暴雨范围加大,强度也有所加强,华南大部、江南中东部都可能出现暴雨,广东北部和福建西部月平均暴雨日增大到 0.5 d,云南西北部暴雨日也在增加(图略)。

4 月开始暴雨明显增多(图 8a),范围也向西向北有所扩展,整个华南、江南、贵州东部、重庆北部和东部、湖北中南部、河南南部及安徽中南部都有可能发生暴雨。1981—2010 年 30 年间鄂东南、湘东北、皖西南以及江西大部、闽西北、广东大部和桂东暴雨日在 10 d 以上,多年月平均暴雨日 0.5 d,广东局地可达 1 个暴雨日;5 月(图 8b),随着南海季风爆发,

暴雨区明显北推,暴雨日数也逐渐增多。云南西部和南部、四川盆地、重庆、贵州以及黄淮大部、江淮都可能出现暴雨,但主要的暴雨区仍在华南、江南及长江中游一带,30 年暴雨日在 10 d 以上,多年月平均暴雨日 0.5 d,而江西东部、福建西部及广西广东大部暴雨日在 15 d 以上,多年月平均暴雨日大于 1 d。

6 月(图 8c),随着梅雨季节的开始,江淮一带暴雨日逐渐增加,同时暴雨区北扩到华北东部、内蒙古东部和东北中南部。1981—2010 年 30 年间江淮及其以南大部分地区暴雨总日数均在 15 d 以上,江南、华南大部地区达到了 30 d(月均暴雨日 1 d)以上,江西东北部和广东东部沿海地区达 60 d 以上,月平均暴雨日达 2 d 以上。7 月(图 8d),全国暴雨的范围达最大,北至内蒙古中东部,西至宁夏及陇东。随着副热带高压(以下简称副高)西伸北抬,江南大部受副高控制,暴雨日明显减少,华南沿海及西部由于热带气旋的影响,月平均暴雨日仍在 1 d 以上;主要的暴雨区北抬到四川盆地、汉水及江淮和黄淮南部,月均暴雨日在 1 d 以上,7 月下旬随着华北、

东北雨季的开始,华北东部和东北地区南部暴雨日也逐渐增多,月均 0.5 个暴雨日,辽宁东南部能达 1 个暴雨日。8 月(图 8e)暴雨区范围与 7 月相当,但暴雨日明显减少。由于南方受副高的控制暴雨日的月分布呈两条明显的带状,一个是江南东部沿海到华南的一条雨带,与热带气旋的增多有关,另一个是从四川盆地、西北地区东南部、汉水、江淮直到东北地区 and 内蒙古中东部,可能跟西南涡沿高空槽前气流东移北上有关。

9 月(图 8f)随着副高的南撤,暴雨区明显南压,暴雨日数也明显减少。华北、东北发生暴雨的可能性明显减小。黄河以南、四川盆地以东大部地区 30 年间发生暴雨的总日数为 3~9 次,四川盆地东北部、江南东部沿海、华南南部沿海发生暴雨的总日数为 15~30 d,月均暴雨日 0.5~1 d。10 月汉水及江淮以南大部地区仍有可能发生暴雨,但发生频率很小。由于受热带系统和冷空气的共同作用,海南 9—10 月发生暴雨的概率较高,月均 1~2 个暴雨日。11、12 月江南、华南仍有发生暴雨的可能。

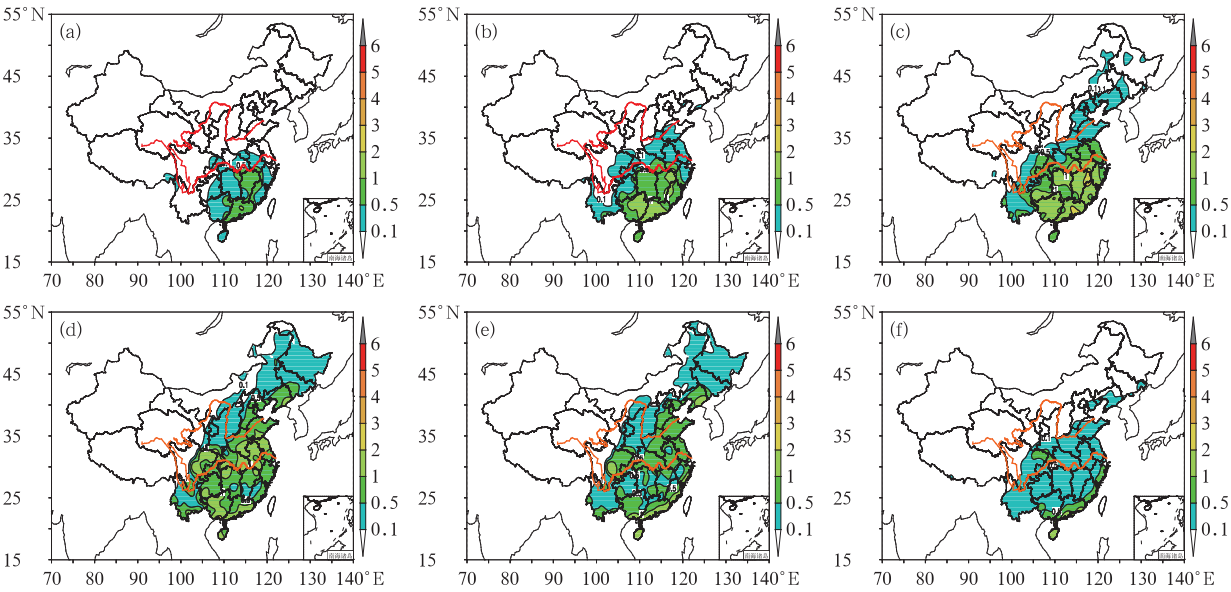


图 8 1981—2010 年 30 年平均暴雨日数月分布 (单位: d)

(a)4 月, (b)5 月, (c)6 月, (d)7 月, (e)8 月, (f)9 月

Fig. 8 Distribution of monthly mean rainstorm days from 1981 to 2010 (unit: d)

(a) April, (b) May, (c) June, (d) July, (e) August, (f) September

4.2 暴雨日数季节分布特征

如图 9a,春季暴雨主要发生在江南中东部、华

南大部,暴雨日一般在 1~2 d,但西南地区东部(云贵及四川盆地)、江淮、黄淮、华北南部和东部、辽宁大部暴雨日数不足 1 d;夏季(图 9b)是中国降水最

集中的季节,也是暴雨发生频率最高、范围最广的季节,东北地区南部、华北东部以南,陕西南部、四川盆地及其以东大部地区夏季暴雨日都在 1~2 d,四川盆地西部和东北部、湖南西北部、湖北西南部和东部、安徽西南部、江西东北部、贵州西南部、广西西北部和东南部以及广东中南部、福建和浙江东部沿海、辽宁东部等地暴雨日在 3~4 d,其中广西东南部沿海、广东南部沿海局地暴雨日在 5~8 d 不等。新疆沿天山地区、陇东陇南、宁夏、陕西大部、内蒙古中东部

部都可能出现暴雨,但平均不足一个暴雨日。
秋季(图 9c),随着雨带的南移,暴雨范围明显减小。尽管中东部大部有出现暴雨的可能,但秋季平均暴雨日都不足 1 d,只是在四川盆地东北部、江南东部沿海、华南东部沿海暴雨日在 1 d 以上,海南秋季暴雨相对比较明显,一般在 2~4 d,东南部局地达 5~6 d。冬季(图 9d)在云南中南部、江南、华南大部也都有暴雨发生的可能,冬季平均来说不足一个暴雨日。

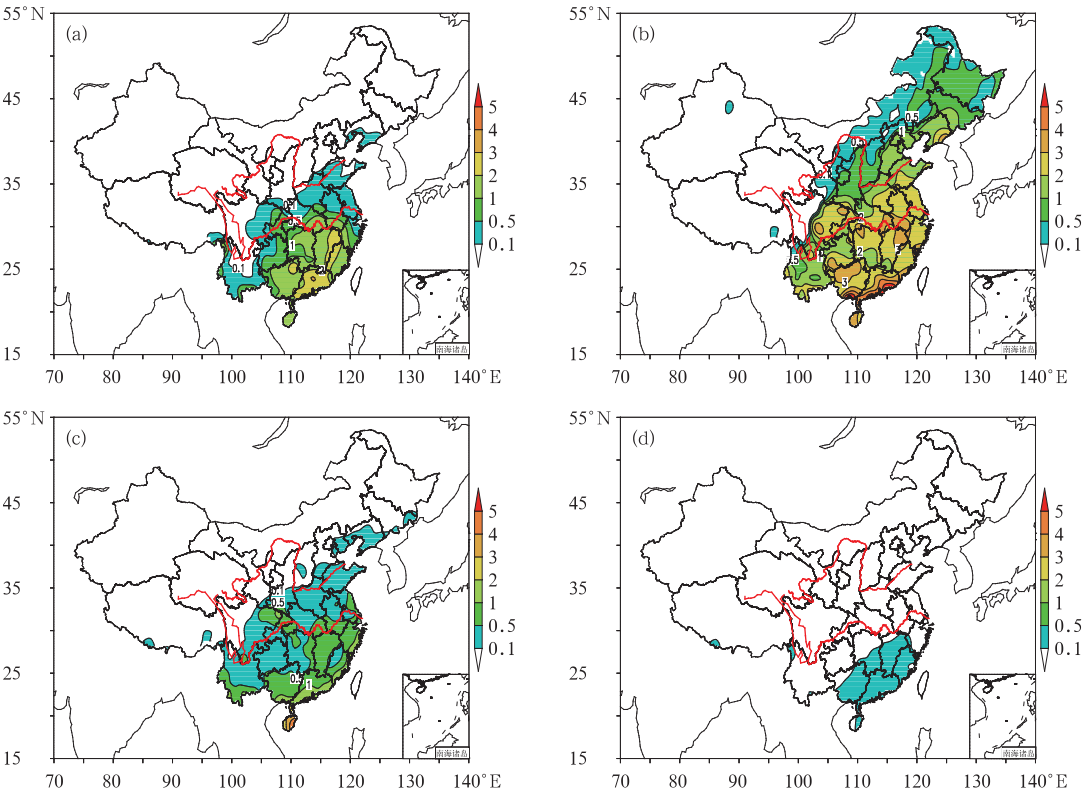


图 9 1981—2010 年 30 年平均暴雨日数季节分布 (单位: d)
(a)春季, (b)夏季, (c)秋季, (d)冬季

Fig. 9 Distribution of seasonal mean rainstorm days from 1981 to 2010 (unit: d)
(a) spring, (b) summer, (c) autumn, (d) winter

前面 2~4 节给出了暴雨日的平均气候特征,对于中长期预报来说了解暴雨的气候背景是非常重要的,但对于短期定量降水而言,仅有气候平均特征是远远不够的,尤其是近年来极端降水事件越来越频繁,如果不了解暴雨日的变化特征,在预报中很容易受到平均特征的束缚,而对大的极值降水出现漏报。下面将给出暴雨日数的月平均、月最大及最早(晚)特征分布,以供预报员参考。

5 暴雨日数月变化特征

5.1 暴雨日数的月平均变化特征

近 30 年区域平均暴雨日的月际变化(图 10)大致反映出暴雨由南向北推进的过程,一般暴雨日峰值出现在 6—7 月。华南、江南 3 月开始暴雨日逐渐

增加,华南前汛期明显增多,6 月达到峰值,月平均暴雨日数在 1.2 d 以上;西南及鄂苏皖地区 4 月开始出现暴雨,5 月逐渐增多,7 月达到峰值,月平均暴雨日数在 1 d 以上;华北东北一般在 6 月开始出现暴雨,7 月达到峰值(月平均暴雨日数不足 1 d),8 月次之。7 月由于副高的控制,华南江南暴雨日会迅速减少,8 月副高北抬,鄂苏皖地区暴雨日也随之减少,东北地区暴雨日较多。9 月之后,副高南撤,北方暴雨日迅速减少;由于华西秋雨及热带系统的影响,西南、华南、江南地区 9—10 月月平均暴雨日数仍在 0.5 d 以上。

另外,从不同区域 30 年平均月降水量与月暴雨日数的时间序列(图 10)对比可以看出,西北地区以外的其他区域月平均降水量与月平均暴雨日数相关都非常明显,相关系数在 0.89~0.98(通过 0.01 显著性水平检验),其中江南地区(图略)的相关性相对较低($r=0.89$),尤其是在江南春雨阶段暴雨日数相对较少,但平均雨量并不小。就全国平均而言,月平均降水量与月平均暴雨日数的相关系数达 0.99。

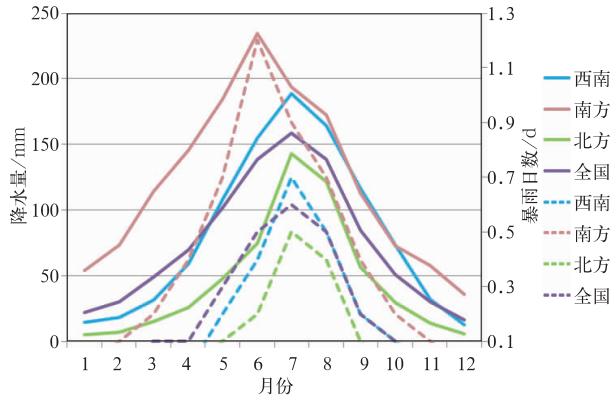


图 10 1981—2010 年不同区域 30 年平均逐月降水量(左侧坐标,实线)与逐月平均暴雨日数(右侧坐标,虚线)
Fig. 10 Monthly variation of monthly mean precipitation (left coordinate, solid line) and rainstorm days (right coordinate, dashed line) over different regions from 1981 to 2010

5.2 最大月平均暴雨日数分布特征

图 11 给出了最大月平均暴雨日数的分布,云南、贵州北部、湖南南部、陕西南部、湖北西部及山东北部、河北中南部、北京、东北中南部地区多年月平均的极端暴雨日为 0.5~1 d,四川盆地及黄河以南大部地区多年月平均的极端暴雨日为 1~1.5 d,盆

地西部、湖北东部、江西大部、华南大部在 1.5 d 以上,其中盆地西部、江西东北部、广西西北部、广东中部和南部、海南西部在 2 d 以上。

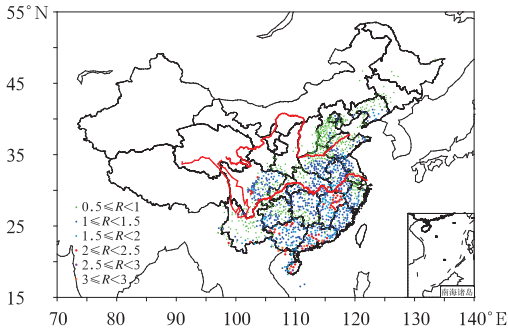


图 11 1981—2010 年最大月平均暴雨日数的分布(单位: d)
Fig. 11 Distribution of extreme monthly mean rainstorm days from 1981 to 2010 (unit: d)

从区域 30 年平均暴雨日的月际变化(图 10)可以粗略地看出中国大部分地区暴雨日的峰值出现在 6—7 月。图 12 给出了最大月平均暴雨日数的月分布,可以更清楚地看到中国各地暴雨出现峰值的分布差异。华南、江南暴雨发生最多的是在 6 月,但华南北部、江南南部部分地区月平均最多暴雨发生在 5 月,华南南部、江南东部沿海由于受热带系统影响在 7—8 月暴雨发生的频率最高,而海南受秋季热带系统影响更明显,一般在 9—10 月暴雨最多。四川盆地、西北地区东南部及长江以北其余地区一般在 7—8 月暴雨发生频率达最高。贵州南部和东部与江南一致,最多暴雨日出现在 6 月,北部与四川盆地东部、重庆一致,一般在 7 月。云南平均暴雨日最多的月份可能在 6—8 月,云南西部在 3 和 10 月

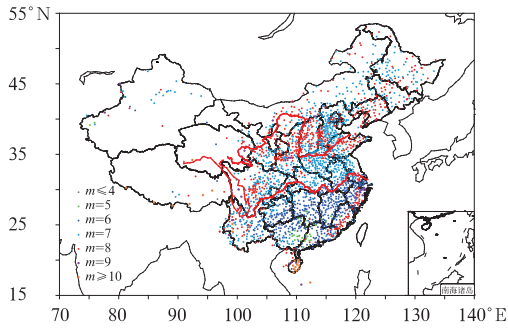


图 12 1981—2010 年月平均最多暴雨日数的月分布
Fig. 12 Temporal distribution of maximum monthly mean rainstorm days from 1981 to 2010

也有可能。江淮黄淮大部一般在 7 月达到最高频率。新疆西部和沿天山地区在 6—7 月暴雨发生频率最高。西藏南部 10 月受孟湾低值系统和高原冷空气的影响发生暴雨的频率最高。

5.3 最早、最晚暴雨日发生时间

从暴雨日的月分布和月际变化可以大致看出就全国来说各月均有暴雨发生,但不同地区发生暴雨的时段有明显的差别。为了分析不同地区暴雨发生的早晚及年际变化,图 13 给出了暴雨日发生最早、最晚的时间(年、月)分布,江南南部、华南大部、河北东北部、辽宁西部在 20 世纪 80 年代发生暴雨最早,云南、长江中下游、华北南、黄淮在 2000 年后发生暴雨较早(图 13a)。四川盆地中西部、云南北部、长江沿线、江南大部、甘肃南部、陕西、华北大部在 2000 年以后发生暴雨最晚(图 13b)。可见,2000 年以后在云南、长江中下游、江南、华北南部一带暴雨开始的时间越来越早,结束越来越晚,全年暴雨出现的时段越来越长。丁永红等(2007)对宁夏的暴雨研究也发现暴雨开始时间提早,结束时间推后的特点。

云南南部、江南东部、华南大部最早暴雨出现在 1 月,长江中下游、江南西部及东南部暴雨最早出现

在 2 月,江淮最早在 3 月出现暴雨,川东、贵州、河北东部、辽宁西部及黄淮一带最早在 4 月出现暴雨,云南中北部和川南、陕西、山西、河北及东北中北部最早在 5—6 月,新疆、高原东部、甘肃南部及河套附近暴雨最早出现在 6—7 月(图 13c)。云南南部、江南大部、华南大部暴雨最晚出现在 12 月,长江中下游、江淮最晚出现在 11 月,云南北部、陕西南部、黄淮、河北东部、北京、辽宁西部等地暴雨最晚在 10 月结束,四川南部和西部暴雨一般在 9 月结束,而东部要到 10—11 月。新疆、西北地区东部、山西、河北西部和北部、内蒙古及东北等地暴雨结束较早,一般在 7—9 月由北向南相继结束(图 13d)。

总之,北方暴雨出现的时间短于南方暴雨,出现晚、结束早,这跟早期文献(朱乾根等,2007)对华北东北降水的研究是一致的。但 2000 年后华北暴雨出现的时间较之前更长了,从 5 月一直到 10 月。黄河以南南方暴雨出现的时间则相对较长,川东、黄淮、江淮、长江中下游从 3—4 月出现最早的暴雨到 10—11 月最晚的暴雨时间长达 7~8 个月;江南、华南从 1—2 月最早出现到最晚 12 月,几乎全年都可能出现暴雨。

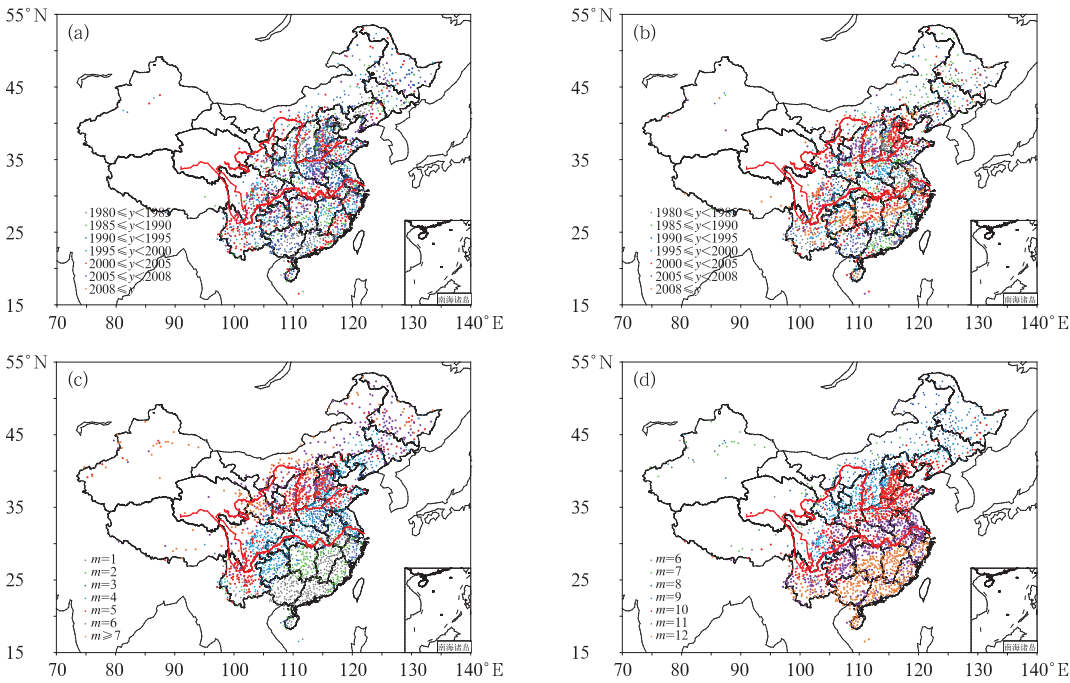


图 13 1981—2010 年最早(a, c)、最晚(b, d)暴雨日出现的年(a, b)、月(c, d)分布
Fig. 13 Temporal distribution of earliest (a, c) and latest (b, d) rainstorm from 1981 to 2010
(a, b) year, (c, d) month

6 结 论

利用1981—2010年全国2400多个站降水资料分析了暴雨过程及暴雨日的年、季、月气候分布及变化特征,得到以下结论:

(1) 1981—2010年30年发生在全国各地的暴雨过程共806次,20世纪90年代暴雨过程相对偏少,21世纪暴雨过程明显偏多。暴雨过程主要出现在4—10月,持续时间为2~3 d的占70%以上,4~5 d的暴雨过程大多出现在5—10月(占22.5%);6 d以上的暴雨过程一般集中在5—8月(占7.2%)。

(2) 中国年平均暴雨日数从东南向西北减少,淮河流域及其以南大部地区在3 d以上,华南大部及江西等地达5~9 d,华南沿海一带年平均暴雨日数在10~15 d;我国东部地区的降水量与暴雨日数存在很好的相关,其中江南地区的相关性相对较低,尤其是在江南春雨阶段平均雨量大,但暴雨日数相对较少。而江南、华南暴雨日数总体呈线性增加趋势。

(3) 最大年暴雨日数分布与年平均暴雨日数分布极为相似,呈现出南多北少东多西少的特点,但数值上是平均暴雨日数的两倍,甚至更多。受地形影响,最大年暴雨日数呈现出多中心特点。大于400 mm的最大日降水量主要出现在四川盆地西部、长江中下游沿江、江南东部沿海及华南南部沿海。

(4) 由春到夏,随着副热带高压的西伸北抬,暴雨区由华南向西向北逐渐推进,5月随着南海季风爆发,暴雨区明显北推,暴雨日数也逐渐增多。6月随着梅雨季节的开始,江淮一带暴雨日数逐渐增加,同时暴雨区北扩到华北及东北中南部。夏季,尤其是7月,是中国降水最集中的季节,也是暴雨发生频率最高、范围最广的季节。9月随着副高的南撤,暴雨区明显南压,北方暴雨日数明显减少。

(5) 由于不同地区受影响的天气系统不同,最大月平均暴雨日数出现的时间也不尽相同,华南、江南暴雨发生最多的一般在6月,但华南北部、江南南部部分地区极端暴雨发生在5月,华南南部、江南东部沿海由于受热带系统影响在7—8月暴雨发生的频率最高,而海南受秋季热带系统影响更明显,一般在9—10月暴雨最多。

(6) 2000年以后暴雨日数总体呈增加趋势,暴雨开始早,结束晚,一年中暴雨出现的时间较之前更长。华北暴雨从5月一直到10月;黄河以南至长江中下游从3—4月出现最早的暴雨到10—11月出现最晚的暴雨时间长达7~8个月;江南、华南出现最早在1—2月,最晚在12月,几乎全年都可能出现暴雨。

参考文献

- 鲍名,黄荣辉. 2006. 近40年我国暴雨的年代际变化特征. 大气科学, 30(6):1057-1067.
- 陈朝基. 2011. 中国1951—2000年特大暴雨气候特征. 安徽农业科学, 39(3):1605-1606.
- 陈海山,范苏丹,张新华. 2009. 中国近50a极端降水事件变化特征的季节性差异. 大气科学学报, 32(6): 744-751.
- 丁永红,王文,陈晓光,等. 2007. 宁夏近44年暴雨气候特征和变化规律分析. 高原气象, 26(3):630-636.
- 高振铎,姜德君,李治民. 2011. 近50a黑龙江省暴雨的气候特征. 黑龙江气象, 28(1):5-8.
- 李聪,肖子牛,张晓玲. 2012. 近60年中国不同区域降水的气候变化特征. 气象, 38(4):419-424.
- 李建,宇如聪,王建捷. 2008. 北京市夏季降水的日变化特征. 科学通报, 53(7):829-832.
- 李丽平,章开美,王超,等. 2010. 近40年华南前汛期极端降水时空演变特征. 气候与环境研究, 15(4): 443-450.
- 刘九夫,张建业,关铁生. 2008. 20世纪我国暴雨和洪水极值的变化. 中国水利, 2:35-37.
- 刘小宁. 1999. 我国暴雨极端事件的气候变化特征. 灾害学, 14(1): 54-59.
- 彭贵芬,刘瑜. 2009. 云南各量级雨日的气候特征及变化. 高原气象, 28(1):214-219.
- 苏布达,姜彤,任国玉,等. 2006. 长江流域1960—2004年极端强降水时空变化趋势. 气候变化研究进展, 2(1): 9-14.
- 陶诗言,等. 1980. 中国之暴雨. 北京:科学出版社, 8-45.
- 王萃萃,翟盘茂. 2009. 中国大城市极端降水事件变化的初步分析. 气候与环境研究, 14(5):553-560.
- 王冀,江志红,严明良,等. 2008. 1960—2005年长江中下游极端降水指数变化特征分析. 气象科学, 28(4):384-388.
- 王志福,钱永甫. 2009. 中国极端降水事件的频数和强度特征. 水科学进展, 20(1):1-9.
- 伍红雨,杜尧东,秦鹏. 2011. 华南暴雨的气候特征及变化. 气象, 2011, 37(10):1262-1269.
- 谢五三,田红. 2011. 近50年安徽省暴雨气候特征. 气象科技, 39(2): 160-164.
- 徐桂玉,杨修群. 2002. 我国南方暴雨一些气候特征的统计分析. 气候与环境研究, 7(4):447-456.
- 许莉莉,蔡道明,吴宜进. 2011. 1959-2008年湖北省暴雨的气候变化

特征. 长江流域资源与环境, 20(9):1143-1148.

闫俊霞, 张建峰, 王涛. 2010. 1961-2008 年华南区域极端降水变化趋势. 安徽农业科学, 38(22):11819-11820.

杨金虎, 江志红, 王鹏祥. 2008. 中国年极端降水事件的时空分布特征. 气候与环境研究, 13(1):75~83-83.

翟盘茂, 潘晓华. 2003. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化. 地理学报, 58(增刊):1-10.

翟盘茂, 王萃萃, 李威. 2007. 极端降水事件变化的观测研究. 气候变化研究进展, 3(3):144-148.

张天宇, 程炳岩, 刘晓冉. 2007. 近 45 年长江中下游地区汛期极端强降水事件分析. 气象, 33(10):80-87.

张艳梅, 江志红, 王冀, 等. 2008. 贵州夏季暴雨的气候特征. 气候变化研究进展, 4(3):182-186.

朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 2007. 天气学原理和方法 (第四版). 北京:气象出版社. 343-350.

邹用昌, 杨修群, 孙旭光, 等. 2009. 我国极端降水过程频数时空变化的季节差异. 南京大气学报, 45(1): 98-109.

IPCC. 1995. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press, 1-572.

IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge UK: Cambridge University Press, 1-785.

IPCC. 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.

IPCC. 2014. Climate change 2013: The physical science basis. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press, in Press.

WMO. 1989. Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals, CDP-No. 10, WMOTD/No. 341, Geneva: World Meteorological Organization.