0577-6619/2009/67(3)-0442-51 *Acta Meteorologica Sinica* 气象学报

华南地区汛期极端降水的概率分布特征*

张 婷 魏凤英
ZHANG Ting WEI Fengying

中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京,100081
State Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, *China*
2008-06-02 收稿,2008-09-11 改回.

Zhang Ting, Wei Fengying. 2009. Probability distribution of precipitation extremes during raining seasons in South China. *Acta Meteorologica Sinica*, 67(3):442－451

Abstract Based on the daily precipitation data at 71 stations in South China and the NCEP/NCAR reanalysis monthly mean SLP (Sea Level Pressure) data in the Southern Hemisphere during 1960－2005, the probability distribution of precipitation extremes during the rainy seasons (April-June and July-September) in South China was investigated by using statistical methods, such as the Le Page test and the GEV (General Extreme Value) analysis, The influences of the Australian High and the Mascarene High in the southern Hemisphere on the heavy precipitation days of the south china were also examined. The results show that an abrupt change of precipitation trend in South China occurred around 1992, from a descendent trend to an ascending trend. After the abrupt change, precipitation extremes and the daily maximum precipitation both weakened reduced in the first rainy season (April-June) but significantly enhanced in the second rainy season (July-September). The spatial distribution of precipitation extremes in every fifty years exhibited a similar pattern to that of the daily maximum precipitation and the heavy precipitation days, i. e, in the first rainy season it showed "negative-positive-negative"from south to north and in the second rainy season it became "positive-negative". After 1992, the spatial distribution of the daily maximum precipitation variation were agreed with that of the heavy precipitation days. On the interdecadal time scale, when the Australian High and the Mascarene High were stronger, precipitation extremes would be less than normal in the first rainy season and more than normal in the second rainy season.
Key words South China, Precipitation extremes, Probability distribution, Australian High, Mascarene High

摘 要 利用1960—2005年华南地区71个测站的逐日降水量资料和NCEP/NCAR南半球月平均海平面气压场再分析资料,采用Le Page检验、广义极值分布等统计诊断方法,研究了华南地区近46 a前汛期(4—6月)和后汛期(7—9月)极端降水的时空变化及概率分布特征。并讨论了南半球澳大利亚高压和马斯克林高压强度指数与华南汛期暴雨日数间年代际变化的关系。结果表明:(1)1992年华南地区降水发生了由减少趋势到增多趋势的突变,降水趋势发生突变后前汛期极端降水量和日极端降水强度有所下降,而后汛期则是显著增强。(2)华南汛期年平均日最大降水量、50 a一遇日最大降水量极值和暴雨日数的空间分布特征相似,即前汛期的空间分布自南向北呈现"低—高—低"的分布趋势,后汛期呈现由沿海到内陆的"高—低"的分布趋势。(3)1992年发生突变后,前、后汛期年平均日最大降水量和年平均暴雨日数显著增加和减少的空间分布基本一致。(4)就年代际变化而言,南半球澳大利亚高压和马斯克林高压的强度变化是华南汛期降水异常的重要气候背景,即当两高压处在同时增强时期时,华南前汛期极端降水处于偏少阶段,后汛期则处于偏多阶段。
关键词 华南地区,极端降水,概率分布,澳大利亚高压,马斯克林高压
中图法分类号 P468 P467

---

* 资助课题:灾害天气国家重点实验室科研业务基金和公益性行业(气象)科研专项"东亚副热带季风变异及其对我国旱涝影响机理"项目(GYHY200706005)。
作者简介:张婷,主要从事气候诊断研究。
通讯作者:魏凤英,主要从事气候研究。weify@cams.cma.gov.cn

1　引　言

华南地区位于欧亚大陆的东南边缘,季风气候极为显著(鹿世瑾,1990)。由于季风进退和强度的年际差异,使得华南地区的降水变率很大。华南地区年降水量分布呈双峰型,峰值分别出现在4—6月和7—9月,称为前汛期和后汛期(何有海等,1998),这两个汛期的降水量占全年总降水量的70%以上。华南地区又是中国发生雨涝最严重的地区之一,其中1959、1962、1968、1973、1994、1997年等夏季华南地区出现了范围较大的严重洪涝(史学丽等,2000)。20世纪90年代末以来,华南地区又接连遭受持续性的干旱。关于华南汛期降水的变化规律及成因研究已有许多成果。吴尚森等(1990,1992)发现华南前、后汛期降水均存在准3年的振荡周期,夏季西太平洋副热带高压轴线南北位置和脊点西伸位置的年际变化与华南后汛期降水有密切关系。何有海(1998)的研究指出,华南后汛期降水存在明显的年际变化,且地区间差异明显,后汛期降水异常与热带西太平洋的海水温度、南海地区大气的对流活动以及登陆中国东南沿海地区的热带气旋的频数有关。

极端强降水的频率和强度的变化,直接导致洪涝灾害的发生。对于极端降水事件的研究引起越来越多学者的关注。钱维宏等(2007)研究表明:在全球变暖的背景下中国的微量雨日普遍减少,大暴雨事件增多。翟盘茂等(1999,2007)的研究表明,降水日数除西北地区外其他大部分地区显著减小,平均降水强度普遍趋于增加;中国的降水极值变化还反映出明显的区域性特点,极端降水与降水量变化之间的关系很密切。蔡敏等(2007)认为,近50年来中国东部极端降水趋势虽无明显变化,但其时空差异较大。苏布达等(2006,2007)的分析表明45年来长江流域极端强降水量、降水强度与日数在中下游地区呈现显著的增加趋势,极端强降水日数显著增加和减少的空间分布与极端强降水的空间分布相一致。谢志清等(2005)分析了长江三角洲的极端降水特征,张永领等(2003)则研究了黄淮地区降水极值特征的几种型式。

然而,对于华南地区极端降水尤其是汛期极端降水的研究还不多见。因此,本文利用华南地区1960—2005年71个测站的逐日降水量资料,借助于Le Page检验和广义极值分布等统计诊断方法,研究华南地区近46年前、后汛期极端降水量、日最大降水量极值、暴雨日数等变量的时空概率分布特征。并在此基础上分析南半球环流系统与华南汛期极端降水年代际变化的关系。

2　资料和分析方法

2.1　资　料

本文所使用的降水资料是国家气象信息中心提供的华南地区4个省(广东、广西、福建、海南)1960—2005年71个测站(图1)的逐日降水量资料。利用逐日降水量资料统计计算出以下序列:

(1) 1960—2005年华南地区71个测站平均的逐年降水量;

(2) 1960—2005年各测站逐年前汛期(4—6月)和后汛期(7—9月)的降水总量;

(3) 1960—2005年各测站逐年前汛期(4—6月)和后汛期(7—9月)的日最大降水量;

(4) 由于华南地区降水强度一般较大,泄洪条件一般较好,因此,24 h降水量≥80 mm才称为暴雨(寿绍文等,2002),所以统计出1960—2005年各测站逐年前汛期和后汛期逐日降水量≥80 mm的日数,统称为暴雨日数。

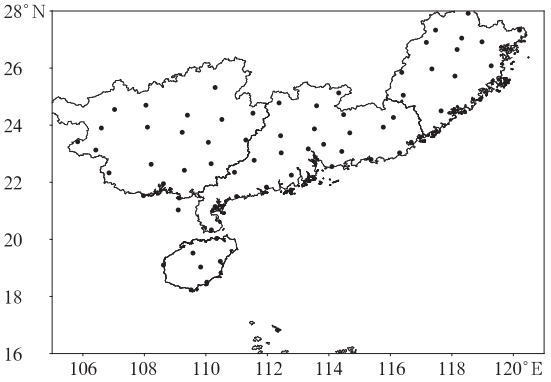


图1　华南地区站点分布

Fig. 1　Distribution of the 71 stations in South China

另外,本文还使用了NCEP/NCAR 1960—2005年南半球月平均海平面气压(Sea Level Pressure, SLP)场再分析资料,分辨率为2.5°×2.5°。据此计算澳大利亚高压和马斯克林高压的强度指数。

2.2　分析方法

2.2.1　Le Page检验法

本文在检测年降水量气候突变时使用Le Page检验法(魏凤英,2007)。Le Page是一种无分布双

样本的非参数检验方法,其统计量是由标准的 Wilcoxon 检验和 Ansarity-Bradley 检验之和构成。基本思想是视序列中的两个子序列为两个独立总体,经过统计检验,如果两子序列有显著差异,则认为在划分子序列的基准点时刻出现了突变。假设基准点之前的子序列样本量为 n_1,之后的子序列样本量为 n_2,n_{12}为 n_1 和 n_2 之和。在 n_{12}范围内计算秩序列 Z_i:

$$Z_i=\begin{cases}1 & \text{最小值出现在基准点之前}\\ 0 & \text{最小值出现在基准点之后}\end{cases} \tag{1}$$

构造一秩统计量

$$W=\sum_{i=1}^{n_{12}} iZ_i \tag{2}$$

方程(2)是两子序列的累计数,其均值和方差分别为

$$\begin{cases}E(W)=\dfrac{1}{2}n_1(n_1+n_2+1)\\ V(W)=\dfrac{1}{12}n_1n_2(n_1+n_2+1)\end{cases} \tag{3}$$

再构造一秩统计量

$$A=\sum_{i=1}^{n_1} iZ_i+\sum_{i=n_1+1}^{n_{12}}(n_{12}-i+1)Z_i \tag{4}$$

方程(4)前半部分是基准点之前子序列的累计数,后半部分是基准点之后子序列的累计数。A 的均值和方差分别为

$$\begin{cases}E(A)=\dfrac{1}{4}n_1(n_1+n_2+2)\\ V(A)=\dfrac{n_1n_2(n_1+n_2-2)(n_1+n_2+2)}{48(n_1+n_2-1)}\end{cases} \tag{5}$$

至此,可以构成联合统计量(WA 记为 C)

$$C=\frac{[W-E(W)]^2}{V(W)}+\frac{[A-E(A)]^2}{V(A)} \tag{6}$$

当样本量足够大时,C 渐进具有自由度为 2 的 χ^2 分布。当 C_i 值超过临界值时,表明第 i 时刻前时段的样本与第 i 时刻后的样本之间存在显著性差异,认为 i 时刻发生了突变。

2.2.2 广义极值分布

气象要素是一个随机变量,极值是随机变量的某种函数,可以借用统计推断的手段寻求气候极值的分布模型,推断一定重现期的可能极值(苏布达等,2007)。本文研究极端降水概率分布特征时使用的是广义极值分布(GEV)。广义极值分布包含了 Gumbel、Frechet 及 Weibull 分布,是一个较为完整的极值分布体系,能够避免单独采用某一分布的不足。广义极值的分布函数为(Kotz, 2000; Coles, 2001)。

$$\Phi(x)=\exp\left\{-\left[1+\gamma\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-\frac{1}{\gamma}}\right\}I(x) \tag{7}$$

式中 μ、σ 分别为尺度参数和位置参数;γ 为形状参数;$I(x)$为示性函数,即

$$I(x)=\begin{cases}1 & \text{当}\left[1+\gamma\left(\dfrac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]>0\\ 0 & \text{否则}\end{cases} \tag{8}$$

当 $\gamma=0$ 时,为 Gumbel 分布,即极值 I 型;当 $\gamma>0$ 时,为 Frechet 分布;当 $\gamma<0$ 时为 Weibull 分布。

广义极值分布的参数估计采用比较流行的极大似然法(张秀芝,1996;董双林,2001;刘聪等,2006):设$\{x_1,x_2\cdots x_n\}$为相互独立且具有相同的概率分布 $F(x)$,那么其参数的极大似然估计可通过下列对数似然函数求得。

$$L(\theta)=L(\mu,\sigma,\gamma)=-n\ln\sigma-\sum_{i=1}^{n}\left[1+\gamma\left(\frac{x_i-\mu}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{\gamma}}\right]-\left(1+\frac{1}{\gamma}\right)\sum_{i=1}^{n}\ln\left[1+\gamma\left(\frac{x_i-\mu}{\sigma}\right)\right] \tag{9}$$

式中 $\theta=(\mu,\sigma,\gamma)$,而使得上述函数达到最大值的点 $\hat{\mu}$、$\hat{\sigma}$、$\hat{\gamma}$ 即为相应参数的极大似然估计。

要计算 T 年一遇的极值 x_p,T 即为 x_p 的重现期,相应极值出现频率 $p=1/T$,x_p 的计算公式为

$$x_p=\mu-\frac{\sigma}{\gamma}\left[1-\ln\left\{-(1-p)\right\}^{-\gamma}\right] \tag{10}$$

在求得参数的极大似然估计后,将有关参数的估计值代入上式,由此可解出需要的频率 $p=P(x\geqslant x_p)$所对应的估计值 $\hat{x}_p$。

2.2.3 潜在非平稳气候序列趋势分析

利用 Mann(2004)提出的潜在非平稳气候序列趋势分析方法,对华南汛期降水进行趋势分析。首先使用 Butterworth 低通滤波平滑器对降水序列进行平滑,然后利用滑动序列的模、斜率和粗糙度边界约束方案计算出序列两端的平滑值,最后计算利用上述 3 种方案得到平滑序列的均方误差(MSE)。最小 MSE 的平滑序列就是最优的平滑方案。

3 华南汛期降水量的气候特征

为了对华南降水的气候特征有一总体了解,我们利用 Le Page 统计检验对华南地区的逐年降水量进行了突变分析。由图 2 可以看出,Le Page 统计值在1992年出现了最大值,并且超过了0.05的显著

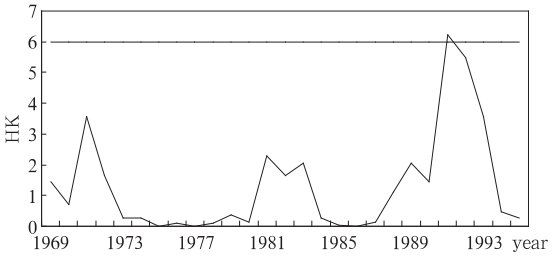


图 2　华南地区年降水量的 Le Page 检验
(直线代表 0.05 的显著性水平)

Fig. 2　Le Page statistics of annual precipitation in South China (straight line: 0.05 significance level)

性水平。表明:华南地区降水趋势在 1992 年经历了一次比较明显的突变,年降水量由减少的趋势突变到增加的趋势。这不仅与中国大范围气候变暖的大背景相一致,也与钱维宏等(2007)所研究的华南在 1991 年出现了转湿突变的结论基本一致。

由于理论极值是实际极值的数学期望,而实际的极值只是理论的一次抽样。因此,理论极值特征反映了序列极值的平均特征。50 年一遇、100 年一遇极值指的是强降水概率为 1/50 和 1/100 的可能最大降水量。我们利用广义极值分布拟合降水量重现期的可能极值,得到华南汛期降水量的重现水平,以此研究前汛期(4—6月)和后汛期(7—9月)降水量极值的概率分布特征。从表 1 汛期降水量极值的重现水平可以看出,前汛期各级别重现水平间的差异显著低于后汛期,并且 50 年一遇和 100 年一遇极值的重现水平在后汛期明显高于前汛期,而 20、10 和 5 年一遇极值的重现水平后汛期明显要低于前汛期。表明:前汛期降水量的年际变率小于后汛期;最强降水量主要发生在后汛期,可能是强台风登陆东南沿海带来的强降水造成的,台风带来的降水比前汛期的季风环流降水更集中,强度更大。

从前面的分析可知,华南地区的降水趋势在 1992 年发生了气候突变,降水趋势的变化必然导致极值重现水平的变化。因此,我们将降水趋势突变前的 1960—1991 年和突变后 1992—2005 年两个时段前、后汛期降水量的各级极值重现水平进行对比分析(图 3)。由图 3a 可以看出,前汛期 1992—2005 年 100、50、20 年一遇降水量极值的重现水平与 1960—1991 年同级别的重现水平相比有所下降,10 和 5 年一遇极值的重现水平有所增加;而后汛期(图 3b)1992—2005 年时段各级别降水量极值的重现水平与 1960—1991 年相比均有了显著提高。由此可知:20 世纪 90 年代以来就汛期降水量而言,前汛期极端降水的强度有所下降,后汛期极端降水的强度显著增强;突变后前、后汛期极端降水量强度的差异变大。

表 1　华南汛期降水量极值的重现水平(单位:mm)

Table 1　Theoretical precipitation extremes in every 5 to 100 a during the rainy seasons in South China (unit: mm)

出现时间	100 a	50 a	20 a	10 a	5 a
前汛期	878.9989	861.1088	829.6695	797.6772	754.9844
后汛期	961.5294	893.1581	806.0171	741.7644	677.5024

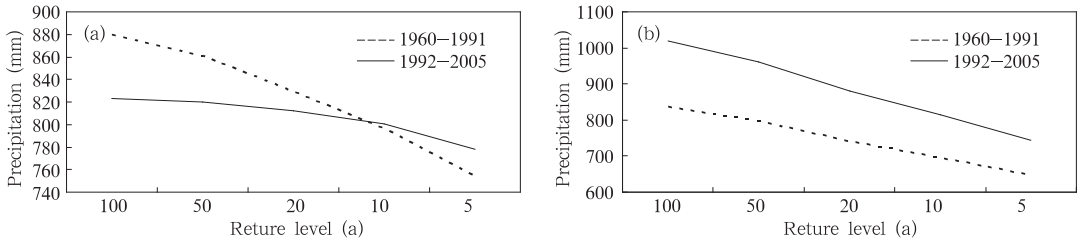


图 3　突变前后华南地区汛期降水量的重现水平 (a. 前汛期, b. 后汛期)

Fig. 3　Differences of the theoretical precipitation extremes in the periods before and after 1992 during the rainy seasons in South China (a. the first rainy season; b. the second rainy season)

4　华南汛期极端降水量的时空分布特征

研究发现,极端强降水的频次和强度对汛期旱涝的形成起到重要作用。因此,了解华南地区极端强降水的变化规律是十分必要的。

4.1　华南汛期日最大降水量概率分布特征

采用 GEV 分布拟合出华南地区前汛期(4—6月)和后汛期(7—9 月)71 个测站平均的日最大降水

量出现100年一遇、50年一遇、20年一遇、10年一遇、5年一遇极值的重现水平(表2)。由表2可以看到,华南地区前、后汛期平均的日最大降水量极值各级别重现水平之间的差异非常小,后汛期各级别的重现水平均略大于前汛期的重现水平,说明就华南地区整体而言,后汛期日极端降水强度略大于前汛期。

我们仍以降水趋势发生突变的1992年为分界点,对1960—1991年和1992—2005年两时段华南地区平均的汛期日最大降水量极值的重现水平进行对比分析(图4)。由图4a可以看出,突变后的1992—2005年平均日最大降水量100、50、20年一遇极值的重现水平与1960—1991年时段同级别极值的重现水平相比有所下降,10和5年一遇的重现水平有所增加;而后汛期(图4b)突变后的1992—2005年平均日最大降水量各级别极值的重现水平与1960—1991年相比有了显著提高。表明,突变后的90年代以来华南平均日最大降水量极值的强度在前汛期有所下降,后汛期则显著增强。

表2 华南日最大降水量极值的重现水平(单位:mm)

Table 2 Theoretical daily maximum precipitation extremes in every 5 to 100 a during the rainy seasons in South China (unit:mm)

出现时间	100 a	50 a	20 a	10 a	5 a
前汛期	118.9088	117.2673	114.323	111.2631	107.1119
后汛期	121.7763	119.9442	116.7895	113.6436	109.5212

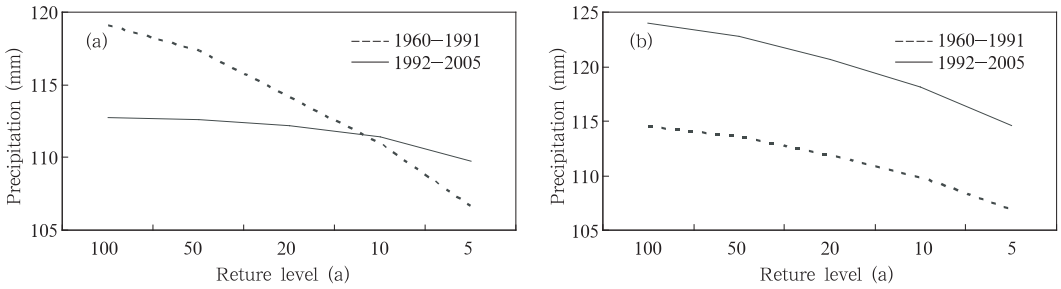


图4 突变前后华南汛期日最大降水量的重现水平(a. 前汛期, b. 后汛期)

Fig. 4 Same as Fig. 3 but for the theoretical daily maximum precipitation extremes

4.2 华南汛期日最大降水量的空间分布特征

由前汛期日最大降水量空间分布(图5a)可以看出,前汛期近46年平均日最大降水量自海南—两广沿海地区—福建及两广内陆呈"低—高—低"的分布趋势。高值区由广西南部的桂林—东兴—钦州延伸至广东南部沿海的阳江—上川岛—汕尾—惠来的狭长地带,这一区域的年平均最大日降水量在120 mm以上,其中广东的阳江近46年平均日最大降水量最大,接近180 mm。其次,广西的东兴和广东的上川岛多年平均日最大降水量也比较大,达到160 mm。均明显高于前汛期华南地区平均日最大降水量100年一遇极值的重现水平119 mm。其余地区的年平均日最大降水量在50—100 mm,其中福建东北部的福鼎、福州、九仙山,广东西北部内陆的罗定、东北部的玉华、梅县,广西的那坡、南宁、百色以及海南的东方、儋州多年平均日最大降水量较小,低于80 mm。由前汛期日最大降水量1992—2005年的平均减去1960—1991年平均的差值空间分布(图5b)可以看出,自20世纪90年代以来日最大降水量年平均强度在两广南部的阳江、桂林和广东北部韶关及福建的南平呈显著增加趋势,尤其是广东的阳江地区,年平均日最大降水量增加最多,超过了60 mm;而广东东南部沿海的汕头和佛冈以及海南的西沙年平均日最大降水量强度减少趋势明显,减少超过25 mm,海南的西沙减少最显著,减少了近50 mm。

后汛期近46年平均的日最大降水量(图5c)呈自南部海南及两广沿海向北部内陆逐渐减少的分布,广西南部沿海的东兴多年平均日最大降水量最大,超过190 mm。两广及福建北部大部地区的年平均日最大降水量较小,在80 mm以下,尤其是福建北部地区,甚至不到50 mm。从后汛期日最大降水量1992—2005年平均减去1960—1991年平均的

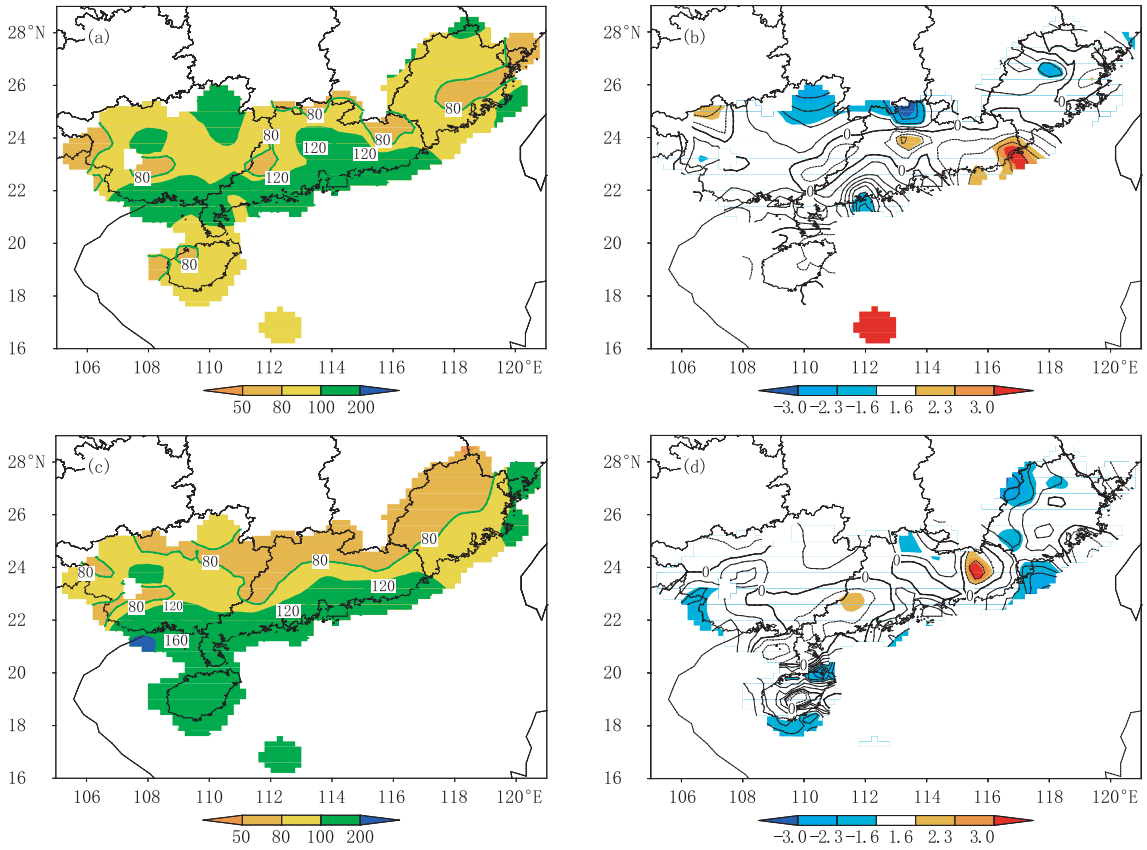


图 5　华南汛期日最大降水量的空间分布

(a、c. 前、后汛期，b、d. 前汛期两时段、后汛期两时段差值;单位:mm;差值图中的阴影是通过检验的 U 值,1.6、2.3、3.0 分别对应 0.05、0.01、0.001 的显著性水平的 U 值,以下差值图同)

Fig. 5　Spatial distributions of the daily maximum precipitation during the rainy seasons in South China

(a. the first rainy season; b. difference before and after the abrupt change in the first rainy season; c. the second rainy season; d. difference before and after the abrupt change in the second rainy season; unit: mm)

差值空间分布(图 5d)可以看出,自发生突变后的 90 年代以来,后汛期华南沿海地区特别是海南沿海,年平均日最大降水量呈明显增加趋势。另外,福建偏西地区、广东北部的韶关附近和广西西部靖西地区也出现增加趋势,但不及沿海地区显著,海南的海口增加最明显,增加了近 60 mm。华南中部的玉华、罗定是年平均日最大降水量明显减少的区域。

4.3　华南汛期日最大降水量 50 年一遇降水极值的空间分布

分析华南汛期日最大降水量 50 年一遇降水极值的空间分布(图 6)可知,与日最大降水量的分布类似,华南前汛期日最大降水量 50 年一遇的降水极值的分布总体上仍呈现海南沿海小,两广及福建沿海大,内陆小的"低—高—低"的分布趋势,且地区差异较大(图 6a)。尤其广东阳江地区为日降水极值中心,甚至超过了 500 mm。两广沿海地区的日降水极值也在 300 mm 以上。海南及内陆地区 50 年一遇的日降水极值相对较小,特别是广西的那坡、南宁,广东西北内陆的罗定、连州,福建的福鼎、九仙山日降水极值甚至在 150 mm 以下。华南地区后汛期日最大降水量 50 年一遇降水极值的空间分布总体呈现沿海大,内陆小的"高—低"的分布趋势,南北极值差异较大(图 6b)。日最大降水极值中心为海南西部的儋州、东方地区,超过了 500 mm。其次广西东部沿海的北海、东兴日最大降水极值也较大,其他沿海地区日降水极值也在 300 mm 以上。福建地区日降水极值相对较小,福建北部内陆地区和广西西部地区甚至不到 150 mm。

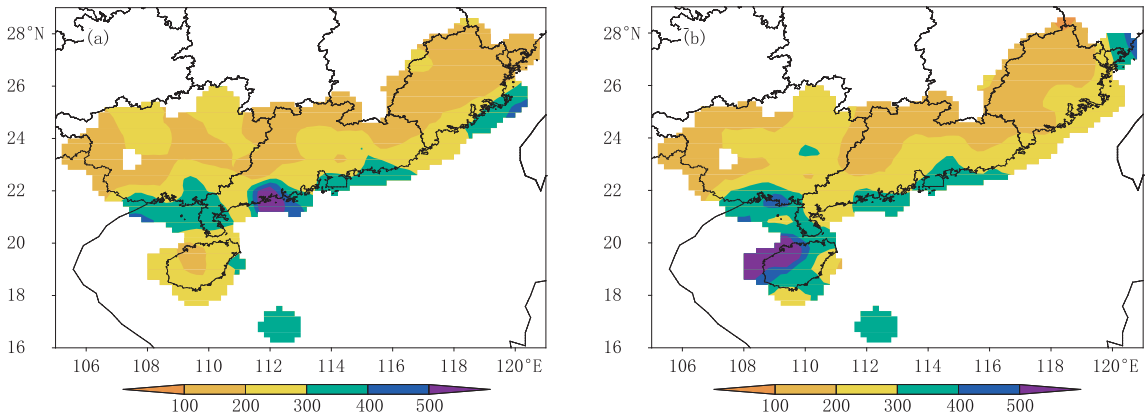


图 6 华南汛期日最大降水量 50 年一遇降水极值的空间分布（a. 前汛期，b. 后汛期；单位：mm）

Fig. 6 Spatial distributions of the theoretical daily maximum precipitation extremes (mm) in every 50 a during the rainy seasons in South China(a. the first rainy season; b. the second rainy season)

4.4 华南汛期暴雨日数的分布特征

极端强降水的日数是研究极端强降水的另一个重要指标。为此，我们计算出华南各站逐年前汛期（4—6 月）和后汛期（7—9 月）发生暴雨（≥80 mm）的总日数。

由华南前汛期近 46 年平均的暴雨日数分布（图 7a）可见：年平均暴雨日数整体上自南向北也呈现“低—高—低”的分布趋势。广东南部的阳江及广西的东兴为暴雨日数最大的两个中心，暴雨日数均在 2.5 d 以上；另外，广东中部及南部的大部分地区出

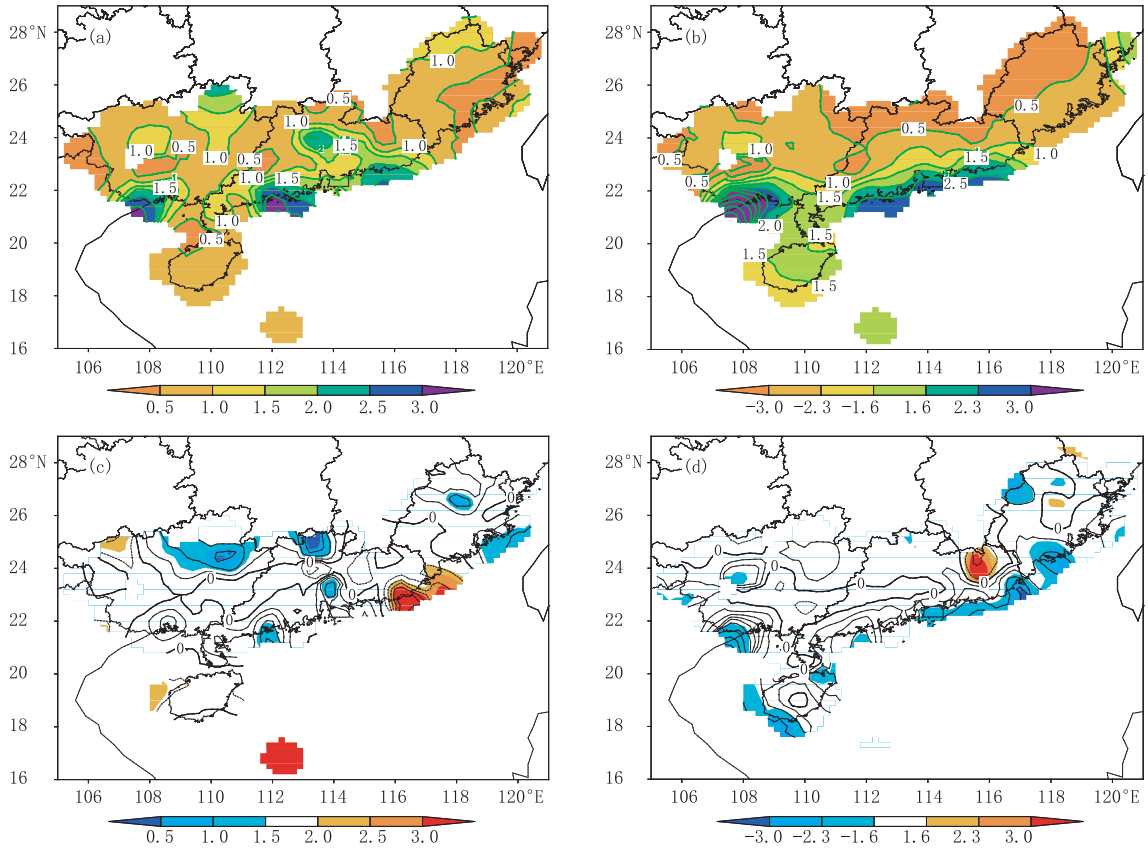


图 7 华南汛期年平均暴雨日数的空间分布

（a. 前汛期，b. 前汛期两时段差值，c. 后汛期，d. 后汛期两时段差值；单位：d）

Fig. 7 Same as Fig. 5 but for the multi-year mean heavy precipitation days (unit: d)

现暴雨日数也较多,均在 1.5 d 以上。广西西北沿海、两广交界处的罗定、那坡,广东北部年平均暴雨日数较少,平均不到 0.5 d;福建的福州、福鼎年平均暴雨日数最少,还不到 0.3 d。从华南前汛期 1992—2005 年年平均暴雨日数减去 1960—1991 年年平均暴雨日数的差值分布(图 7b)可以看出:20 世纪 90 年代以来广东南部的阳江、增城增加趋势最为明显,接近 1 d;广东北部的韶关、广西北部的蒙山和福建的南平也是年平均暴雨日数增加比较明显的地区。广东的惠来是年平均暴雨日数减少最明显的地区,减少日数接近了1.5 d,其次是海南的西沙地区减小 0.66 d。

从华南后汛期年平均暴雨日数的空间分布(图 7c)可以看出:后汛期年平均暴雨日数自东南沿海向西北内陆递减。广西的东兴—钦州—北海—涠洲岛地区和广东南部的阳江—上川岛—深圳—汕尾—惠来两个狭长的沿海地区是年平均暴雨日数大值中心,均在 2 d 以上。广州北部的南雄、韶关及福建北部地区年平均暴雨日数最少,均在 0.25 d 以下。从华南后汛期 1992—2005 年年平均暴雨日数减去 1960—1991 年年平均暴雨日数的差值分布(图 7d)可见,后汛期在降水趋势发生突变后华南的海南及两广沿海地区暴雨日数都呈现增加的趋势,特别是广西沿海地区的东兴、广东的汕头以及海南的三亚地区增加的趋势十分明显。广东的玉华、梅县年平均暴雨日数减少最为明显,接近 0.5 d。

5　南半球环流年代际变化对华南汛期极端降水的影响

研究表明,南半球环流系统的异常活动对中国降水异常有很大的影响(何敏等,2006;施能等 1995;袁潮霞等 2005)。华南地处北半球低纬度地区,属副热带季风气候区,其气候变化受到南半球大气环流的影响。这里首先考察华南降水趋势发生突变的 1992 年前后两时段南半球环流形势的差异。

以 1992 年为分界点,绘制出降水趋势突变后的 1992—2005 年减去突变前 1960—1991 年的南半球标准化海平面气压场的差值分布(图 8)。由图 8a 华南前汛期 SLP 差值场分布可以看出,突变后南半球中低纬 SLP 显著增强,两个强度中心分别位于澳大利亚地区及其东侧的南太平洋和西侧的南非副热带大陆及马斯克林群岛附近,SLP 增强趋势最为明显,*U*-检验结果表明,这些区域的差值均超过0.05 的显著性水平,甚至达到了 0.001 的显著性水平(图中阴影部分)。由图 8b 华南后汛期 SLP 差值场分布可见,与前汛期的 SLP 差值分布类似,在中低纬也有两个 SLP 显著增强的区域,但中心位置略有变化。一个中心由前汛期的澳大利亚地区向北转移到了后汛期的印度尼西亚到澳大利亚北部地区,另一个位于南非副热带大陆及马斯克林群岛附近的 SLP 增强中心位置没有变化,但中心强度更强,增加趋势更加明显。

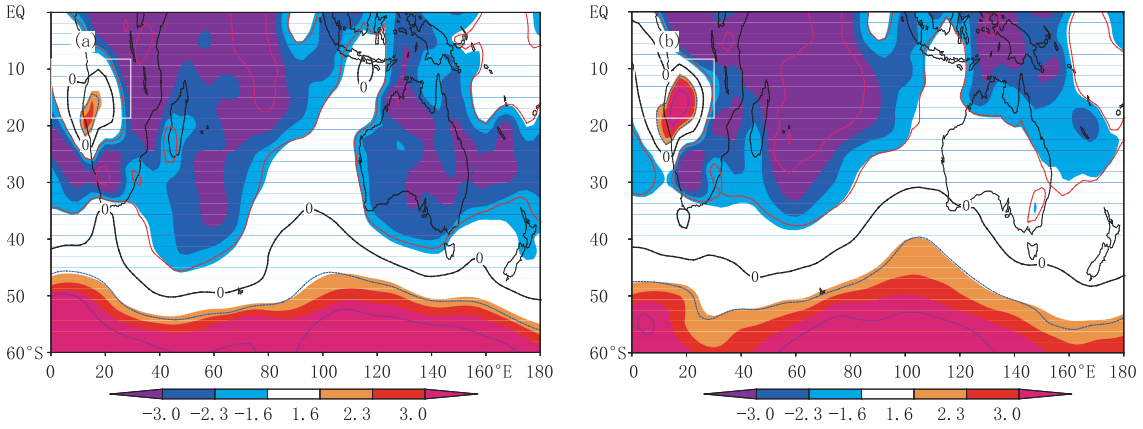


图 8　华南降水突变前后两时段南半球标准化 SLP 差值图

(a. 前汛期, b. 后汛期; 单位:hPa; 阴影区为通过 0.05 显著性检验的区域)

Fig. 8　Spatial distributions of the normalized SLP (hPa) difference before and after 1992 during (a) the first rainy season and (b) the second rainy season

(Areas with confidence over 0.05 are shaded)

上述分析表明,澳大利亚高压和马斯克林高压强度的年代际变化,与华南汛期降水的年代际变化有一定的联系。我们分别选取(25°—35°S,120°—150°E)和(25°—35°S,40°—90°E)格点范围内的海平面气压区域平均值,用其标准化后的数值代表澳大利亚高压(澳高)和马斯克林高压(马高)强度指数(薛峰等,2003)。华南地区的暴雨日数和日最大降水量间有很好的相关关系,前、后汛期两者的相关系数均为0.96。因此我们以暴雨日数来代表极端降水。

利用潜在非平稳气候序列趋势分析方法,分别提取华南前、后汛期暴雨日数以及同期马高和澳高强度指数的年代际分量。分别计算前、后汛期暴雨日数的年代际分量与同期马高和澳高强度指数年代际分量的相关系数(表3)。由表3可以清楚地看出,华南暴雨日数与马高和澳高强度指数序列的年代际变量在前汛期存在显著的负相关关系,后汛期存在显著的正相关关系,相关系数均超过了0.05的显著性水平,甚至有的超过了0.001的显著性水平。即当马高和澳高强度处在明显增强的年代际背景下,华南前汛期极端降水处在明显减少时期,后汛期极端降水增加。

表3 华南汛期暴雨日数与马高和澳高强度年代际分量的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between the heavy precipitation days and the indexes of the Australian High and the Mascarene High on the interdecadal time scale

	马斯克林高压	澳大利亚高压
前汛期	−0.5974	−0.4480
后汛期	0.6803	0.3235

6 结 论

(1) 华南地区年降水量在1992年经历了一次由减少趋势到增加趋势的突变。近46年来华南地区后汛期极端降水总量和日最大降水量极值的强度均强于前汛期。降水趋势发生突变的1992年之后,前汛期极端降水量和日最大降水量极值的强度有所下降,而后汛期则显著增强,前、后汛期极端降水强度差异加大。

(2) 华南年平均日最大降水量、50年一遇日最大降水量极值和暴雨日数的空间分布特征相似,即前汛期的空间分布自南向北呈现"低—高—低"分布趋势,后汛期呈现由沿海到内陆的"高—低"分布趋势。

(3) 华南地区的日最大降水量和年平均暴雨日数间有很好的相关关系,1992年发生突变后,前、后汛期日最大降水量和年平均暴雨日数显著增加和减少的空间分布基本一致。

(4) 澳大利亚高压和马斯克林高压强度的年代际变化是华南汛期降水年代际异常的重要气候背景,前汛期暴雨日数与马高和澳高强度年代际变化存在显著的负相关关系,后汛期暴雨日数与两高压强度指数年代际变化存在显著的正相关关系。即当马高和澳高强度处在明显增强的年代际背景下,华南前汛期极端降水处在明显减少时期,后汛期极端降水增加。至于澳大利亚高压和马斯克林高压系统是通过怎样的途径影响华南降水的?这两个系统与南海季风爆发、东亚夏季风强度有怎样的关系等这些深层次的物理机制问题还有待下一步的研究。

References

Cai Min, Ding Yuguo, Jiang Zhihong. 2007. Extreme precipitation experimentation over eastern China based on L-moment estimation. Plateau Meteor (in Chinese), 26(2): 309-317

Coles S. 2001. An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. New York: Springer Verlag, 36-78

Dong Shuanglin. 2001. Gust extremes in China and its statistical study. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 59(3): 327-333

He Min, Sun Linhai, Ai Wanxiu. 2006. The relationship and influence mechanism between circulation anomaly in Southern Hemisphere and summer precipitation distribution in China. J Applied Meteor Sci (in Chinese), 17(4): 394-402

He Youhai, Guan Cuihua, Lin Xigui, et al. 1998. Oscillation and distribution of rainfall during second rainy season in South China. J Tropical Meteor (in Chinese), 14(4): 359-363

Kotz S, Nadarajah S. 2000. Extreme Value Distributions-theory and Applications. London: Imperial College Press, 17-84

Liu Cong, Qin Weiliang, Jiang Zhihong. 2006. Computation of design basic wind velocity and its confidence limits based on generalized extreme value distribution. J Southeast University (Natural Science Edition) (in Chinese), 36(2): 331-334

Lu Shijin. 1990. Climate in South China (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 67-70

Mann M E. 2004. On smoothing potentially non-stationary climate time series. Geophys Res Lett, 31: L07214

Qian Weihong, Fu Jiaolan, Zhang Weiwei. 2007. Change in mean climate and extreme climate in China during the last 40 years. Adv Earth Sci (in Chinese), 22(7): 673-684

Shi Neng, Zhu Qiangen. 1995. The climatic features of the Austral-

ian high and the Mascarene high in Southern hemisphere and their influence on summer precipitation in Eastern China. Scientia Meteor Sinica (in Chinese), 15(2):20-27

Shi Xueli, Ding Yihui. 2000. A study on extensive heavy rain processes in South China and the summermonsoon activity in 1994. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 58(6):666-678

Shou Shaowen, Li Shenshen, Wang Shanhua, et al. 2002. The Analysis in Synoptic (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 140-141

Su Buda, Jiang Tong, Ren Guoyu. 2006. Observed trends of precipitation extremes in the Yangtze River Basin during 1960 to 2004. Adv Climate Change Res (in Chinese), 2(1):309-317

Su Buda, Marco Gemmer, Jiang Tong, et al. 2007. Probability distribution of precipitation extremes over the Yangtze River Basin during 1960 to 2005. Adv Climate Change Res (in Chinese), 3(4):208-213

Wei Fengying. 2007. Modern Climatic Statistical Diagnosis and Forecasting Technology (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 51-54, 66-69

Wu Shangsen, Huang Chengchang, Xue Huixian. 1990. On interannual variation of precipitation during the second rainy season in South China (in Chinese). J Tropical Meteor, 6(4):348-356

Wu Shangsen, Liang Jianyin. 1992. Temporal and spatial characteristics of the drought and flood during the rainy season in South China. J Tropical Meteor (in Chinese), 8(1):87-92

Xie Zhiqing, Jiang Aijun, Du Yin, et al. 2005. Spatial-temproal features of annual extremes of heavy precipitation processes in the Yangtze River Delta. J Nanjing Inst Meteor (in Chinese), 28(2):267-274

Xue Feng, Wang Huijun, He Jinhai. 2003. Interannual variability of Mascarene High and Auatralian High and their influence on the East Asian summer rainfall over East Asia. Chinese Sci Bull (in Chinese), 48(3):287-291

Yuan Chaoxia, Qian Yongfu. 2005. The relationship between the north China summer precipitation and the previous circulation anomaly at high latitude in South Hemisphere. J Tropical Meteor (in Chinese), 21(6):570-578

Zhai Panmao, Ren Fumin, Zhang Qiang. 1999. Detection of trends in China's precipitation extremes. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 57(2): 208-215

Zhai Panmao, Wang Cuicui, Li Wei. 2007. A review on study of change in precipitation extremes. Adv Climate Change Res (in Chinese), 3(3):144-148

Zhang Xiuzhi. 1996. Parameter estimate method application of weibull distribution. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 54(1): 108-116

Zhang Yongling, Cheng Bingyan, Ding Yuguo. 2003. Statistical features of rainfall extremes in Huang-Huai area. J Nanjing Inst Meteor (in Chinese), 26(1):70-75

附中文参考文献

蔡敏,丁裕国,江志红. 2007. 我国东部极端降水时空分布及其概率特征. 高原气象,26(2):309-317

董双林. 2001. 中国的阵风极值及其统计研究. 气象学报, 59(3): 327-333

何敏,孙林海,艾弦秀. 2006. 南半球环流异常与我国夏季旱涝分布关系及其影响机制.应用气象学报, 17(4):394-402

何有海,关翠华,林锡贵等. 1998. 华南后汛期降雨量的振动和分布. 热带气象学报,14(4):359-363

刘聪,秦伟良,江志红. 2006. 基于广义极值分布的设计基本风速及其置信限计算. 东南大学学报,36(2):331-334

鹿世瑾. 1990.华南气候. 北京:气象出版社,67-70

钱维宏,符娇兰,张玮玮等.2007. 近40年中国平均气候与极值气候变化的概述. 地球科学进展,22(7):673-684

施能,朱乾根. 1995. 南半球澳大利亚、马斯克林高压气候特征及其对我国东部夏季降水的影响. 气象科学, 15(2):20-27

史学丽,丁一汇. 2000. 1994年中国华南大范围暴雨过程的形成与夏季风活动的研究. 气象学报,58 (6):666-678

寿绍文,励申申,王善华等. 2002. 天气学分析. 北京:气象出版社:140-141

苏布达,姜彤,任国玉. 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

苏布达,Marco Gemmer,姜彤等. 2007.1960—2005年长江流域降水极值概率分布特征. 气候变化研究进展, 3(4):208-213

魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版). 北京:气象出版社, 51-54, 66-69

吴尚森,黄成昌,薛惠娴. 1990. 华南后汛期降水的年际变化. 热带气象, 6(4):348-356

吴尚森,梁建茵. 1992. 华南前汛期旱涝时空分布特征. 热带气象, 8(1):87-92

谢志清,姜爱军,杜银等. 2005. 长江三角洲降水过程年极值分布特征研究. 南京气象学院学报, 28(2):267-274

薛峰,王会军,何金海. 2003. 马斯克林高压与澳大利亚高压的年际变化及其对东亚夏季风降水的影响. 科学通报, 48(3):287-291

袁潮霞,钱永甫. 2005. 南半球高纬地区前期环流异常和我国华北地区夏季降水的联系. 热带气象学报, 21(6):570-578

翟盘茂,任福民,张强. 1999. 中国降水极值变化趋势检测. 气象学报, 57(2):208-215

翟盘茂,王翠翠,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

张秀芝. 1996. Weibull分布参数估计方法及其应用. 气象学报, 54 (1):108-116

张永领,程炳岩,丁裕国. 2003. 黄淮地区降水极值统计特征的研究. 南京气象学院学报, 26(1):70-75