

苗长明,郭品文,丁一汇,等. 2013. 江南南部初夏汛期降水特征 I:降水集中期及其变化[J]. 大气科学学报,36(4):399-408.

Miao Chang-ming, Guo Pin-wen, Ding Yi-hui, et al. 2013. Characteristics of the early summer rainy season precipitation in southern part of the south of Yangtze River valley I: Precipitation concentration period and its variation[J]. Trans Atmos Sci, 36(4):399-408. (in Chinese)

江南南部初夏汛期降水特征 I:降水集中期及其变化

苗长明^{1,2}, 郭品文¹, 丁一汇³, 樊高峰⁴, 刘樱⁴

(1. 南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044; 2. 杭州市气象局, 浙江 杭州 310051;

3. 国家气候中心, 北京 100081; 4. 浙江省气候中心, 浙江 杭州 310002)

摘要:利用 1961—2010 年江南地区 200 个气象站的逐日降水资料,对江南地区初夏降水量的时空分布及其演变特征进行分析。结果表明,在江南南部存在显著的初夏降水集中区,位于 27.5~29.5°N 的纬向带状区域内;江南南部初夏降水具有季节内相对独立的集中时段,平均发生在 6 月 10—30 日。近 50 a 江南南部初夏降水量和暴雨日数没有出现显著的增加或减少趋势性变化,但初夏最长连续降雨日数有弱的减少趋势。江南南部初夏降水具有显著的 2~3 a 和 5~6 a 周期震荡,另外还在 1979、1987 和 2001 年出现过 3 次突变变化。

关键词:江南南部;初夏;降水集中期;降水集中区

中图分类号:P462 文献标志码:A 文章编号:1674-7097(2013)04-0399-10

Characteristics of the early summer rainy season precipitation in southern part of the south of Yangtze River valley I: Precipitation concentration period and its variation

MIAO Chang-ming^{1,2}, GUO Pin-wen¹, DING Yi-hui³, FAN Gao-feng⁴, LIU Ying⁴

(1. School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China; 2. Hangzhou Meteorological Bureau, Hangzhou 310051, China;

3. National Climate Centre, Beijing 100081, China; 4. Zhejiang Climate Centre, Hangzhou 310002, China)

Abstract: Floods occurred frequently in southern part of the south of Yangtze River valley during early summer from middle May to middle July. Based on the daily precipitation data from 200 stations in the south of Yangtze River valley during 1961—2010, this paper studies the temporal-spatial distributions and evolution characteristics of the early summer precipitation. Results show that, as the transition for the Early Rainy Season in South China to the Meiyu period in the Yangtze-Huaihe River Basin, the East Asia summer monsoon rain belt takes a stay over southern part of the south of Yangtze River valley, which brings about the distinct precipitation concentration period and concentrated region during the early summer. The concentrated region lies between 27.5—29.5°N, around the boundary of Zhejiang, Jiangxi, Fujian and Anhui provinces about. The precipitation concentration period occurs from 10 to 30 June. The early summer precipitation and rainstorm days have not conspicuous increase or decrease trend but the longest continuous rain days are reduced slightly in this region in recent 50 years. The early summer precipitation has significant 2—3 and 5—6 years periodical oscillations, and there are three abrupts occurred in 1979, 1987 and 2001.

Key words: southern part of the south of Yangtze River valley; early summer; precipitation concentration period; precipitation concentrated region

0 引言

在浙江省防汛工作中,把5月1日—7月15日确定为梅汛期。事实上,浙江南部、西部和北部梅汛期内的降水早晚不一、旱涝不同。每年初夏季节,在浙江北部入梅之前,西南部地区为暴雨多发期,常造成重大洪涝自然灾害。薛根元等(2005)指出,浙江西南部的梅汛期降雨与中、北部地区的特点不同,当浙江中北部地区进入梅雨期时,浙江西南部地区的降水就已经不明显了。浙江省西南部、江西东部一带(以下称江南南部)是我国防汛重要区域之一,系统研究该地区初夏降水气候特征具有重要意义。

目前,已有不少研究注意到了江南地区降水的气候独立性。黄荣辉等(1999)根据地理环境和气候特征把全国划分成7个区域,其中把江淮流域、长江中下游流域和闽赣地区作为3个独立的区。毛文书等(2006)发现江淮梅雨期的暴雨在南北区不同,其中南区暴雨异常峰值主要集中在6月,北区暴雨异常峰值主要集中在7月,南区暴雨雨季比北区来得早。竺夏英等(2008)指出江淮地区梅雨期降水存在经向非均匀分布特征,梅雨存在江南地区与淮河流域降水的反位相关关系。金大超等(2010)分析了华东地区夏季6—8月降水的空间分布,把东部降水分成5个区,其中第Ⅱ区的范围基本上对应于江南地区。近年来一些关于梅雨的研究,提出了将江淮梅雨分为江南和淮河两个阶段或两个区(江志红等,2006;毛文书等,2008;马音等,2011)。

另外,研究表明中国东部地区降水特别是长江中下游地区极端降水呈显著增长趋势(Qian et al., 2003;梅伟和杨修群,2005;Zhai et al., 2005;苏布达等,2006;张永领等,2006);同时长江中下游梅雨还存在2~3 a、6 a、8~9 a的周期和22~23 a、35~38 a等长周期的变化(魏凤英和谢宇,2005;Zhang et al., 2005;宗海锋等,2005)。而且,中国东部地区降水和梅雨还存在气候突变(徐群,1998;Gong and Ho, 2002;胡娅敏等,2008;司东等,2010),长江中下游和华东地区汛期暴雨等极端日降水事件在20世纪80年代末以后明显偏多(朱宵峰等,2008;韩洁等,2012;李明刚等,2012)。关于华南和广东极端降水的研究(李晓娟等,2012;陆虹等,2012)也发现,从20世纪80年代中后期起极端强降水频次有由少变多的趋势,尤其在6月大到暴雨频数有较明

显的上升趋势。

江南南部介于华南和江淮之间,关于该地区初夏降水气候特征的专题研究并不多。本文利用多种统计方法分析江南地区初夏降水的时空集中性,并对近50 a江南南部初夏降水进行多尺度分析和突变检验,研究江南南部初夏降水集中期及其变化特征。

1 资料和方法

1.1 资料

中国东部地区夏季风雨季是在南海季风爆发后才开始的。一般认为东亚夏季风转换和南海季风爆发是在5月中旬发生的(何金海等,1996;Qian et al., 2003;Zhang et al., 2004)。因此,选取5月16日—7月15日为江南初夏汛期降水研究时段。

选取(114~122°E, 26~32°N)为研究范围,重点关注以28°N附近为中心的江南南部地区。20世纪50年代中后期,我国地面气象观测网站建设快速发展。50年代末到60年代初,较高密度的站网布局形成并基本上稳定运行至今,因此,在研究范围内选择1961—2010年资料完整的200个气象站,采用逐日降水资料进行研究。

1.2 方法

采用的主要统计分析方法有线性趋势分析、降水集中期(precipitation concentration period, PCP)分析、旋转经验正交分解函数REOF(rotated empirical orthogonal functions, REOF)分析、Morlet小波分析及Mann-Kendall突变检验等。

Mann-Kendall突变检验法是一种非参数统计检验方法(魏凤英,2007)。首先对于时间序列构造一个秩序列,在时间序列随机独立的假定下,定义了两个统计量 UF 和 UB ,即基于所研究的秩序列分别按时间顺序和逆序定义的统计量,当 UF 和 UB 两条曲线出现交点,交点对应的时刻便是突变开始的时间。

PCP的概念和方法是Zhang and Qian(2003)提出的,并且在我国的降水季节分布等研究中得到应用(张录军和钱永甫,2004;姜爱军等,2005)。把一年内所有降水日看作向量,一年天数(365 d)看作一个圆周(360°),将某日降水量作为该日降水矢量的模,该日日序(从0算起)与 0.986° (即 $360^\circ/365$)的积为该日降水矢量方向,将一次连续降水过程按

日降水矢量累加,得到一次降水过程矢量,定义矢量模为降水过程集中度,矢量方向为过程降水集中期。每个月(旬或候)的中值都可以同样计算。

为分析江南地区初夏(5月16日—7月15日,下同)降水的集中发生时段,把一个候的降水量数值看作向量的长度,而对应的候则当作向量的方向,由此定义初夏降水集中期(PCP)。 R_{xi} 、 R_{yi} 分别为某测站研究时段内总降水量在 x 、 y 轴方向的分量, R_i 为某测站研究时段内总降水量, r_{ij} 为研究时段内某候降水量, θ_j 为研究时段内各候对应的方位角(整个研究时段的方位角设为 360°), i 为年份($i = 1961, 1962, \dots, 2010$), j 为研究时段内的候序($j = 1, 2, \dots, 12$)。

$$I_{PCP} = \arctan(R_{xi}/R_{yi})。$$

其中: $R_{xi} = \sum_{j=1}^N (r_{ij} \cdot \sin\theta_j)$; $R_{yi} = \sum_{j=1}^N (r_{ij} \cdot \cos\theta_j)$ 。

PCP 计算了合成向量的方位角,可标示向量合成后重心指示的角度,反映研究时段内最大候降水量出现时间。

2 江南初夏降水分布及其 50 a 变化趋势

2.1 江南地区初夏降水的气候平均分布

江南地区 50 a 平均的初夏降水量在 300 mm 以上(图 1a),其中超过 500 mm 的范围形成了一个以闽浙赣皖四省交界为中心的江南初夏降水集中区,位于(116~119°E, 26~30°N)区域内,中心在闽浙赣交界区的江西东部一侧。降水总量标准差(图 1b)分布与此基本对应,中心外的等值线经向一致性更明显,中心在江西鹰潭和上饶之间。

江南地区 50 a 平均的初夏暴雨日数(图 1c)及其标准差(图 1d)分布也同样集中在江南南部。初夏期间,闽浙赣皖四省交界为中心的江南南部地区暴雨日数平均在 3 d 以上(图 1c),中心大致位于(117~118°E, 28~29°N)区域内。

2.2 江南地区初夏降水近 50 a 的变化趋势

近 50 a 来,东亚夏季风降雨的雨带位置和时间都有一定变化(黄荣辉等,1999;Ding et al., 2008)。

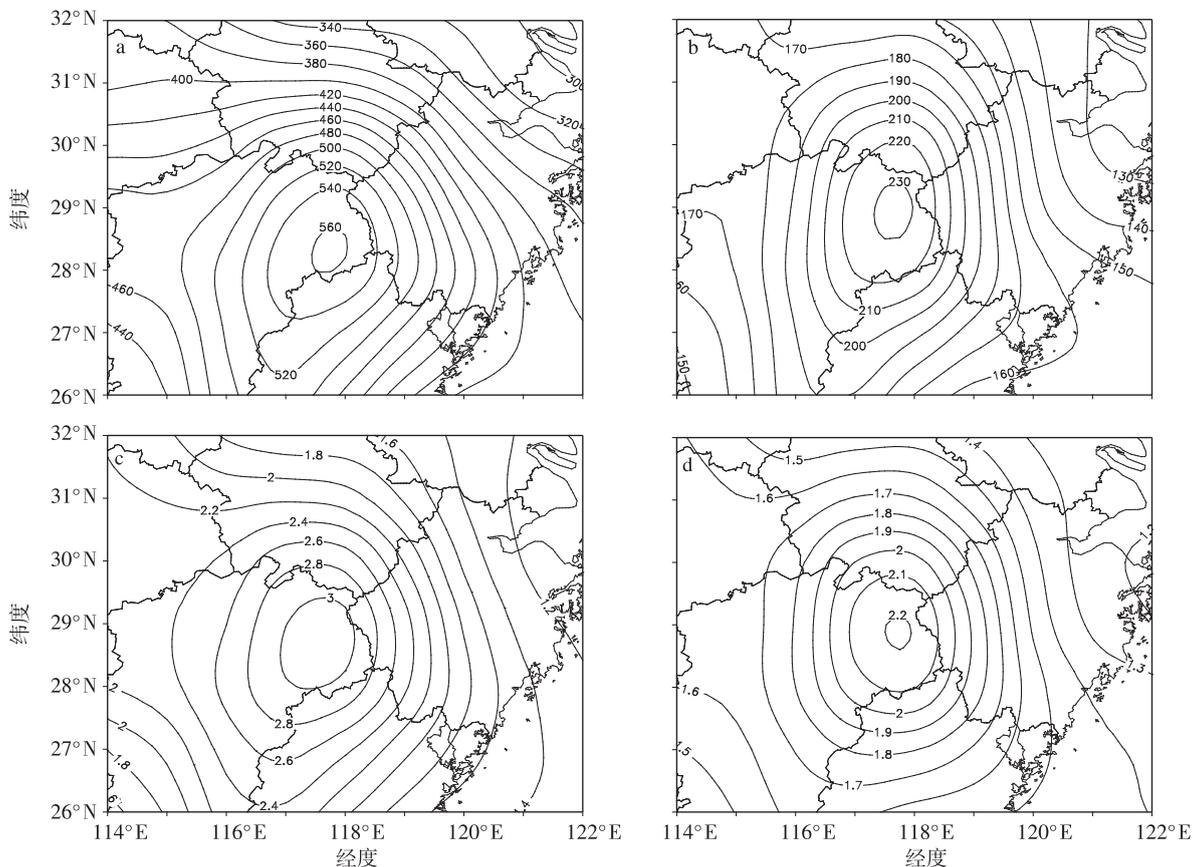


图 1 1961—2010 年江南地区初夏降水量(a;单位:mm)及其标准差(b;单位:mm)和暴雨日数(c;单位:d)及其标准差(d;单位:d)的平均分布

Fig. 1 Distributions of the early summer (a) precipitation(units:mm) and (b) its standard deviation(units:mm), and (c) rain-storm days(units:d) and (d) its standard deviation(units:d) in the south of Yangtze River valley from 1961 to 2010

Yamamoto and Sakurai (1999) 指出,在全球气候变化背景下,总降水量增加的区域其极端降水事件的增多更明显。

江南地区的南部和北部初夏降水具有不同的变化趋势。由图 2 可见,近 50 a 江南地区初夏降水量和暴雨日数都呈南部减少、北部增多的变化特征,从安徽南部到长三角地区为增加区,福建北部为减小区,但江南南部地区初夏总降水量、暴雨日数恰处在过渡地区,没有显著的增加或减少趋势变化。与总降水量、暴雨日数不同的是,江南地区的初夏最长连续降雨日数几乎全部呈现减少趋势,特别是福建北部、江西南部、浙江东南部等地区的减少趋势明显,线性趋势系数通过了 0.1 信度的显著性检验。

3 江南地区初夏降水集中期

3.1 江南地区初夏雨带的自南而北演变过程

通过对江南地区初夏降水 50 a 平均逐日降水量进行时间剖面分析,分析江南南部地区不同纬度上逐日降水量分布的演变过程,进一步揭示江南初

夏降水的雨带位置变化地域性和时段性特征。

图 3 是江南地区 26~30°N 各纬度带上初夏逐日降水量的分布,反映了江南地区初夏降水的地域性演变特征。5 月 26 日和 5 月 31 日出现弱的降水峰值,117°E 附近在 8 mm 以上,中心超过 10 mm,但 28°N 附近的降水很弱,特别是随后出现了降雨间歇,因此,这个阶段虽然南海季风已经爆发,但并不是江南初夏雨季的开始。6 月 10 日开始,进入初夏降水集中阶段。

26~27°N 处在江南地区最南端,平均日降水量以 117°E 为中心向东西两个方向呈减少分布。连续降水发生在 6 月 10—25 日,其中最强阶段在 6 月第 4 候期间,10 mm 范围覆盖了 114~122°E 整个研究区域,在 116~117°E 区域的集中降水区平均日降水量超过 15 mm。

27~28°N 是整个江南地区初夏逐日平均最大降水量发生区,并且反映了江南南部初夏雨季的平均发生过程。6 月 10 日 117~119°E 首先出现大于 10 mm 的降水,随后很快加强,117~118°E 出现

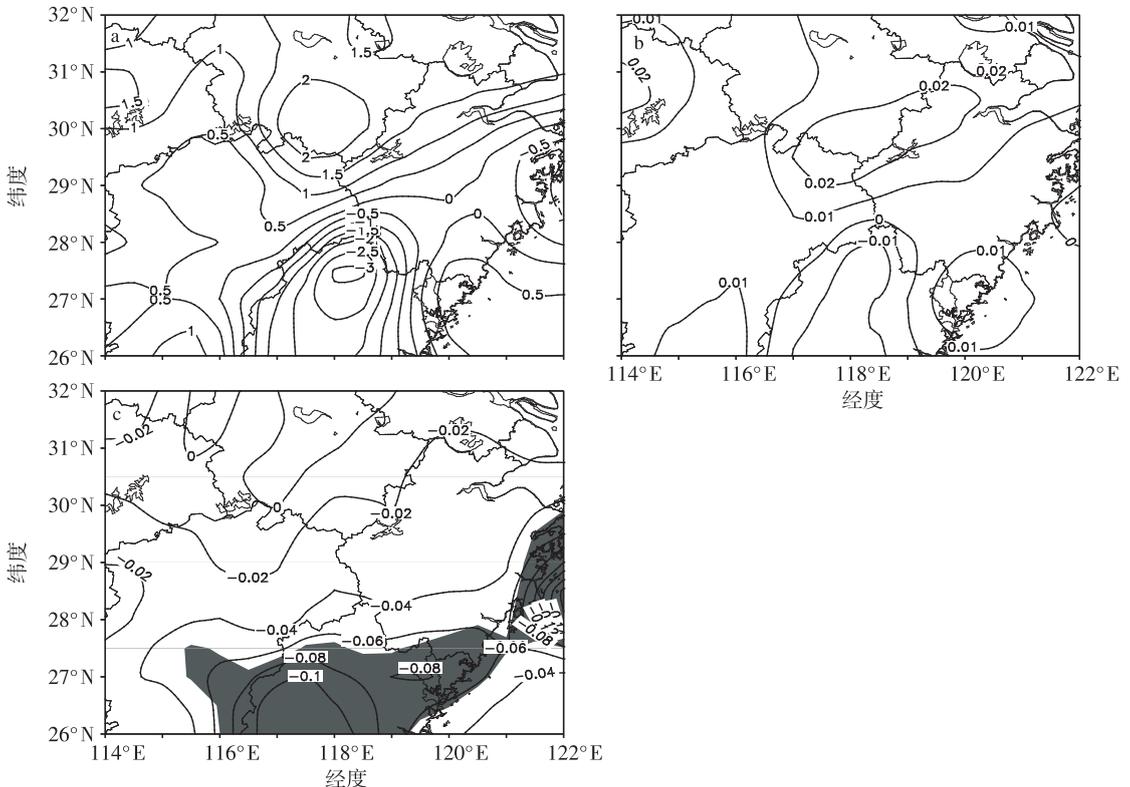


图 2 1961—2010 年江南地区初夏降水量(a;单位: $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)、暴雨日数(b;单位: $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$)和最长连续降雨日数(c;单位: $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$)的线性趋势系数分布(阴影区表示线性趋势系数通过 0.1 信度的显著性检验)

Fig. 2 Linear trend coefficients of the early summer (a) precipitation (units: $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$), (b) rainstorm days (units: $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$) and (c) longest continuous rain days (units: $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$) in the south of Yangtze River valley from 1961 to 2010 (shadings overlay significantly more than 0.1 significant test)

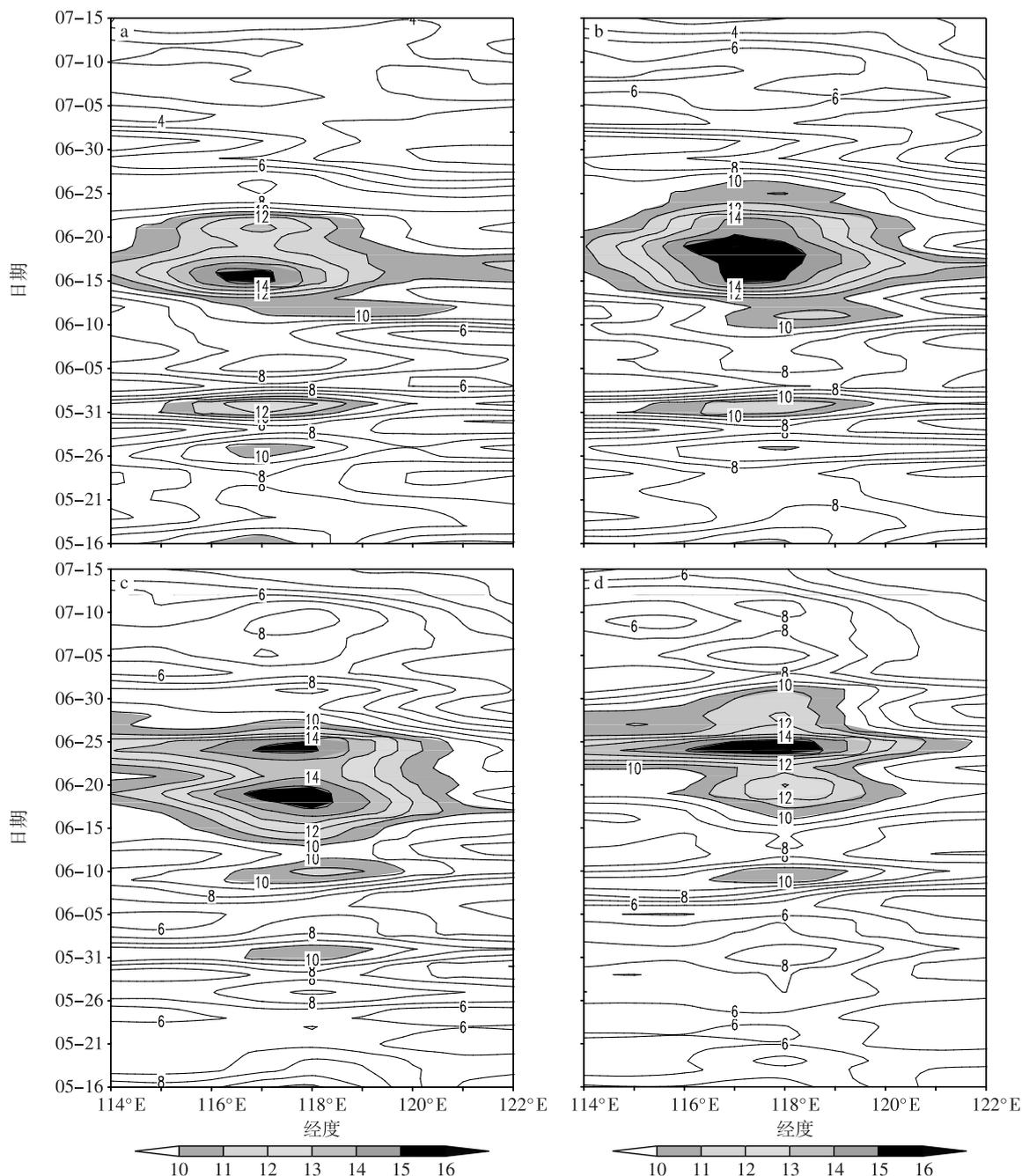


图 3 1961—2010 年江南南部地区初夏逐日降水量的时间—经度剖面(单位:mm;阴影区表示降水量大于 10 mm) a. 26 ~ 27°N; b. 27 ~ 28°N; c. 28 ~ 29°N; d. 29 ~ 30°N

Fig. 3 The time-longitude profiles of the early summer precipitation in southern part of the south of Yangtze River valley from 1961 to 2010(units:mm;shadings indicate precipitation more than 10 mm) a. 26—27°N; b. 27—28°N; c. 28—29°N; d. 29—30°N

14 mm 以上的降水区, 117°E 的最强降水中心峰值超过 16 mm。6 月 26 日以后快速减弱。

在 28 ~ 29°N 区域内, 一个明显变化是降水中心最大值从 117°E 移到 118°E。6 月 10 日雨带建立后先减弱再加强, 在 6 月第 4—5 候出现超过 15 mm 的降水峰值, 主要发生区在 116 ~ 119°E, 6 月 30 以后快速减弱。

在 29 ~ 30°N 区域内, 降水的时空分布发生了显著变化, 14 mm 以上强度的降水发生时间很短, 雨季在 6 月第 4 候开始, 晚于 29°N 以南的江南南部, 但同样在 6 月 30 以后快速减弱结束, 因此这个纬度上的降水时段兼具了江南南部初夏雨季和长江流域梅雨的双重时间特征, 显然属于雨带的过渡区, 与前述结果一致。

3.2 江南地区初夏降水季节内 REOF 分析

50 a 平均逐日降水量的剖面分析,显示出江南地区初夏雨带位置在 28°N 为中心的地域集中性和 6 月中、下旬的时段集中性特征,表明了江南南部地区是一个初夏雨涝灾害高风险区。为进一步对江南地区初夏降水的时空集中性特征作出客观分析,对该地区初夏降水量进行季节内 REOF 分析。

对江南地区 200 个气象站各站初夏逐日降水量计算 50 a 平均,建立降水量的季节内分布 60 d 序列,通过降水量的季节内 REOF 分析,提取的空间分布就表示了降水季节内演变分布形态的一致区,时间系数可以表现出相应分布形态的发生时段。

图 4 是初夏逐日降水量 REOF 的前 4 种型态分布,方差贡献分别为 29%、27%、18% 和 5%,累计方差贡献达到 79%。第一模态高荷载值区在长江下游地区,反映了长江下游特别是长三角地区太湖流域梅雨的独特性,在 6 月 28 日前后和 7 月 5 日前后有主副双峰值。第二模态高荷载值区中心在福建西北部及江西南部一小部分,峰值在 6 月 15 日前后。第三模态表现为江南南部地区为中心分布,高荷载值区在 30°N 以南,呈纬向带状分布,中心区与上述江南南部地区初夏降水集中区基本一致,峰值在 6 月 23 日前后。第四模态高荷载值区在安徽北部及湖北东部,高荷载值区主要在 31°N 以北,峰值在 7 月 10 日前后。

如果把 4 种模态的高荷载值区按自南而北顺序排列,则相应的时间系数峰值于 6 月中旬至 7 月上旬先后出现,也就是说雨带自南而北推进。从荷载值的梯度分布来看,每种分布型态的边界区梯度都很大,说明这种分布型态的降水量在区域内外差异很大,各模态独立性较强,也就是说,江南地区初夏降水有明显的区域独立性。

3.3 江南地区初夏降水集中期分析

通过 50 a 平均降水量的时间剖面分析,发现江南南部初夏降水主要发生在 6 月 10—30 日。这反映了降水量的气候分布,那么在这个时段内,历年江南南部初夏降水集中期的稳定性如何?

通过对江南地区初夏的降水集中期(图 5)进行分析,发现降水集中期呈现出随时间自南而北推进的季风气候特征,同时也表现出江南南部初夏降水的独立性。在闽浙赣交界以南的江西南部、浙江南部和福建北部地区,降水集中期在初夏第 5—6 候(6 月 15 日之前),但这一带降水集中期的等值线密

集、梯度大,表明雨带在这里维持的持续性较低,向北推进较快。闽浙赣交界以北、浙赣皖交界以南,也就是江南南部地区,降水集中期以初夏第 7 候(6 月 16—20 日)为主,等值线密度比南部明显减小,也就是说降水集中时段相同或接近的范围较大,具有明显的雨带稳定特征。进入安徽、浙江北部,降水集中期以初夏第 8 候(6 月 20—25 日)为主,等值线密度进一步减小,此时长江下游地区处于梅雨期。

从历年平均初夏降水集中期的变化(图 6)可以看出,江南地区初夏降水集中期主要发生在 6 月中、下旬,仅有个别年出现在 6 月上旬,历年平均为 6 月第 4 候。近 50 a 降水集中期在 6 月中旬的占 66%,集中性非常明显。集中期出现最早的年份是 1971 年,其次是 1961、1978 和 2000 年,降水集中期都在 6 月第 1 候;出现最晚的年份是 1997 年,其次有 1966 和 1969 年,降水集中期都在 6 月第 6 候。总体上,江南初夏降水具有较稳定的独立雨季时段特征,但存在年代际变化。降水集中期在 20 世纪 70 年代、90 年代出现了剧烈的波动,降水集中期年际间早晚变化处于不稳定阶段。

4 江南南部初夏降水的多尺度分析和突变检验

为分析江南南部初夏降水近 50 a 的多尺度变化,首先对江南地区初夏降水量(标准化处理)逐年序列进行 REOF 分析,发现其第一模态的荷载分布(图 7)与图 4g 所示的江南地区初夏降水季节内 REOF 第三模态的结果一致,表现为整个江南地区呈一致性正分布,高荷载值区(大于 0.5)在江南南部,即 121°E 以西, $27.5 \sim 29.5^{\circ}\text{N}$ 区域内,呈纬向带状分布,以 117°E 、 28.5°N 为中心。这种分布是江南初夏雨季的典型降水分布。以下取第一模态时间系数进行小波分析和突变检验。

江南地区 1961—2010 年初夏降水量 REOF 第一模态时间系数的 Morlet 小波分析结果(图 8)显示,江南南部初夏降水具有明显的多时间尺度周期震荡,并且显著性具有强弱变化。2~3 a 周期处于一条高值带内,20 世纪 70 年代前期、90 年代中期都超过了 95% 的显著性检验;5~8 a 周期也处在一个高值带,其中 5~6 a 周期在 20 世纪 80 年代后期到 90 年代中期持续超过 95% 的显著性检验;准 22 a 周期虽是一条非常明显的高值带,但可能是资料边界的影响。

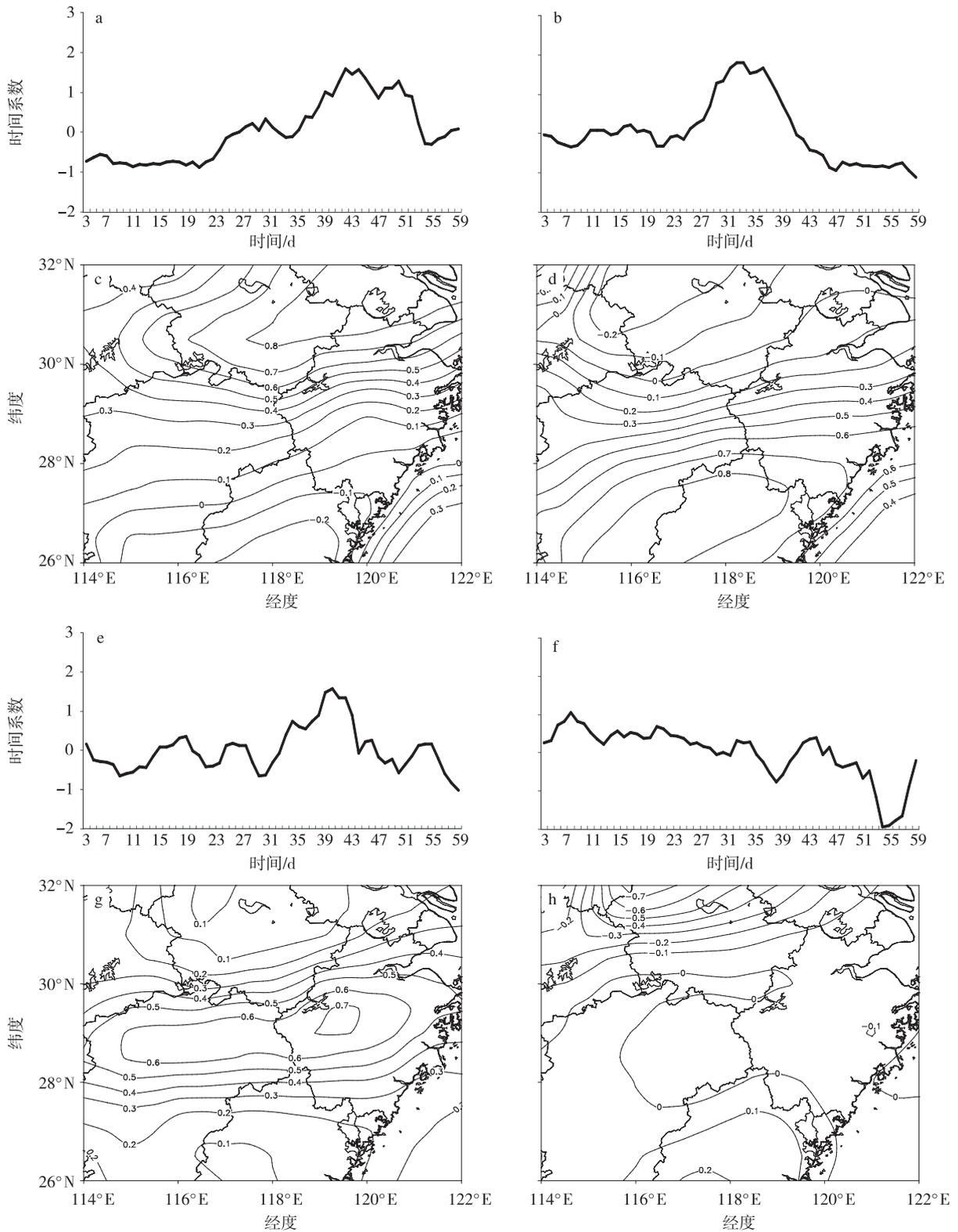


图 4 1961—2010 年江南地区初夏逐日降水量 REOF 的第一(a,c)、第二(b,d)、第三(e,g)、第四(f,h)模态的时间系数(a, b,e,f;5 d 滑动平均)和特征向量(c,d,g,h)

Fig. 4 (a, b, e, f) Time coefficients (5-day running mean) and (c, d, g, h) eigenvectors of (a, c) the first, (b, d) second, (e, g) third, and (f, h) fourth REOF modes of daily precipitation during the early summer in the south of Yangtze River valley from 1961 to 2010

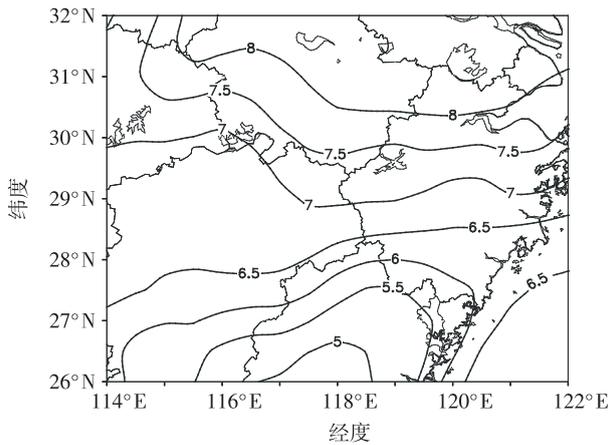


图 5 1961—2010 年江南地区初夏降水集中期的分布 (图中数字表示“候”,即以 5 月 16—20 日为第 1 候开始计数,6 月 11—15 日即为第 6 候)

Fig. 5 Distribution of precipitation concentration period in the south of Yangtze River valley in the early summer of 1961—2010 (the serial numbers rank from the pentad of 16—20 May, which is the first pentad. For example, 6 denotes the pentad of 11—15 June, which is the sixth pentad)

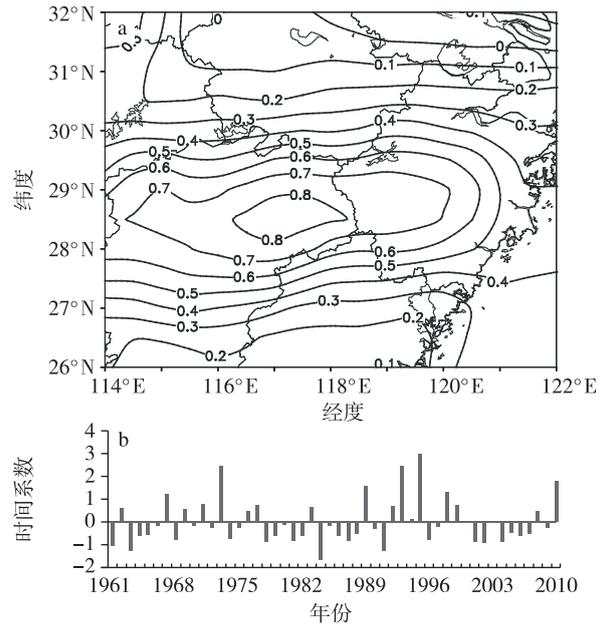


图 7 1961—2010 年江南地区初夏降水量 REOF 第一模态的特征向量 (a) 和时间系数 (b)

Fig. 7 (a) Eigenvector and (b) time coefficient of the first REOF mode of the early summer precipitation in the south of Yangtze River valley from 1961 to 2010

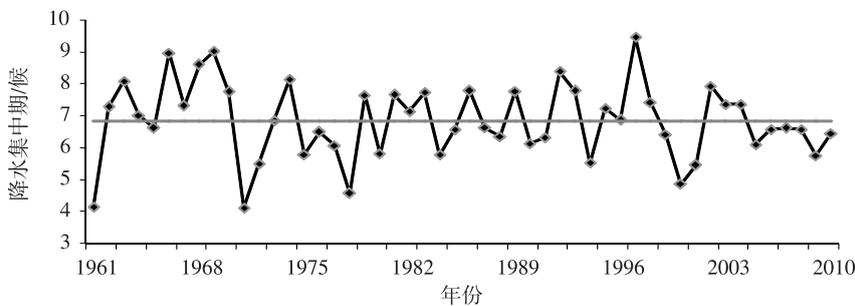


图 6 1961—2010 年江南地区初夏降水集中期的逐年变化 (图中纵坐标数字表示“候”,即以 5 月 16—20 日为第 1 候开始计数,6 月 11—15 日即为第 6 候)

Fig. 6 Yearly variation of precipitation concentration period in the south of Yangtze River valley during the early summer from 1961 to 2010 (the serial numbers rank from the pentad of 16—20 May, which is the first pentad. For example, 6 denotes the pentad of 11—15 June, which is the sixth pentad)

对江南地区初夏降水量的 REOF 第一个模态时间系数进行 Mann-Kendall 检验 (图 9), 结果发现顺序统计量 UF 和逆序统计量 UB 曲线出现交点, 即存在年代际突变。近 50 a 来, 江南南部降水在 20 世纪 70—80 年代期间呈现减少趋势, 1988 年以后转向增加, 但 1999 年开始再次转向减少; UF 和 UB 在 1979、1987 和 2001 年出现交点, 即江南南部初夏降水的突变转折时间。这 3 次突变的时间, 与中国东部地区降水和江淮梅雨的突变研究成果 (胡娅敏等, 2008; 朱宵峰等, 2008; 韩洁等, 2012; 李明刚等,

2012) 所发现的突变时间是一致的。

5 结论与讨论

1) 初夏是江南南部地区降水集中和暴雨多发的季节。以闽浙赣皖四省交界为中心的江南南部 ($116 \sim 119^{\circ}E$, $26 \sim 30^{\circ}N$) 区域内, 初夏 (5 月 16 日—7 月 15 日) 降水量的 50 a 平均达 500 mm 以上, 暴雨日 3 d 以上, 是防汛重点地区。

2) 江南南部初夏降水具有时间上较稳定的雨季时段, 主要发生在 6 月 10—30 日。近 50 a 降水

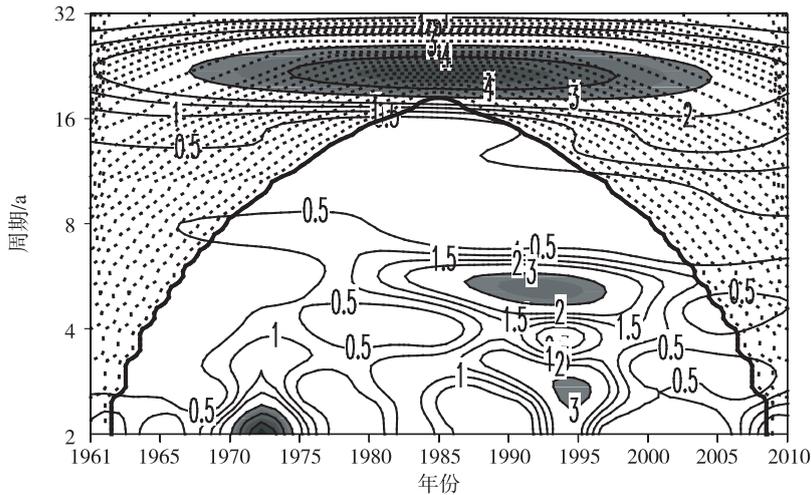


图8 1961—2010年江南地区初夏降水量 REOF 第一模态时间系数的 Morlet 小波分析(阴影区表示通过了95%的显著性检验)

Fig. 8 Morlet wavelet analysis for the time coefficient of the first REOF mode of the early summer precipitation in the south of Yangtze River valley from 1961 to 2010 (Shaded areas pass the significance test at 95% confidence level)

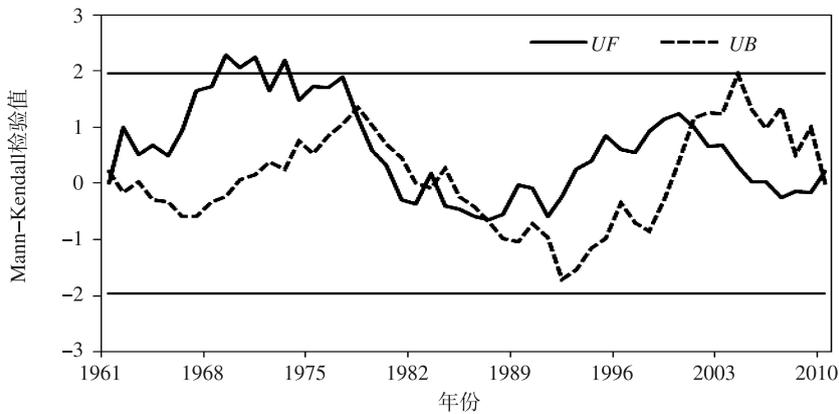


图9 1961—2010年江南地区初夏降水量 REOF 第一模态时间系数的 Mann-Kendall 检验

Fig. 9 Mann-Kendall test for the time coefficient of the first REOF mode of the early summer precipitation in the south of Yangtze River valley from 1961 to 2010

集中期发生在6月中旬的占66%,集中性非常明显。

3)近50 a江南南部初夏降水量和暴雨日数没有显著的增加或减少趋势,但初夏最长连续降雨日数呈现减少趋势。同时,近50 a江南南部初夏降水发生了3次突变,突变转折点在1979、1987、2001年。

4)江南南部初夏降水具有明显的多时间尺度周期震荡。20世纪80年代后期到90年代中期持续存在显著的5~6 a周期,20世纪70年代前期、90年代中期有显著的2~3 a周期。

可见,东亚夏季风雨带向北推进过程中,在江南南部地区有一个稳定的滞留时段,从而形成了具有独特的地域范围和时段特征的江南南部初夏降水集中期。从防汛工作实际需要,有必要参照梅雨指标建立江南南部初夏雨季指标,并深入探讨雨季早晚强弱的变化特征及其发生发展过程,为江南南部初夏汛期降水的短期气候预测提供理论和技术支持。

参考文献:

韩洁,管兆勇,李明刚. 2012. 夏季长江中下游流域性极端日降水事件的环流异常特征及其与非极端事件的比较[J]. 热带气象学报,

- 28(3):367-378.
- 何金海,朱乾根,Murakami M. 1996. TBB 资料揭示的亚澳季风区季节转换及亚洲夏季风建立的特征[J]. 热带气象学报,12(1):34-42.
- 胡娅敏,丁一汇,廖菲. 2008. 江淮地区梅雨的新定义及其气候特征[J]. 大气科学,32(1):101-112.
- 黄荣辉,徐予红,周连童. 1999. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J]. 高原气象,18(4):465-476.
- 姜爱军,杜银,谢志清,等. 2005. 中国强降水过程时空集中度气候趋势[J]. 地理学报,60(6):1007-1014.
- 江志红,何金海,李建平,等. 2006. 东亚夏季风推进过程的气候特征及其年代际变化[J]. 地理学报,61(7):675-686.
- 金大超,管兆勇,蔡佳熙,等. 2010. 近 50 年华东地区夏季异常降水空间分型及与其相联系的遥相关[J]. 大气科学,34(5):947-961.
- 李明刚,管兆勇,韩洁,等. 2012. 近 50 a 华东地区夏季极端降水事件的年代际变化[J]. 大气科学学报,35(5):591-602.
- 李晓娟,简茂球,方一川,等. 2012. 广东省前汛期大到暴雨频数的时空变化特征[J]. 气象,38(11):1339-1347.
- 陆虹,陈思蓉,郭媛,等. 2012. 近 50 年华南地区极端强降水频次的时空变化特征[J]. 热带气象学报,28(2):219-227.
- 马音,陈文,王林. 2011. 中国夏季淮河和江南梅雨期降水异常年际变化的气候背景及其比较[J]. 气象学报,69(2):334-343.
- 毛文书,王谦谦,王永忠,等. 2006. 近 50 a 江淮梅雨期暴雨的区域特征[J]. 大气科学学报,29(1):33-40.
- 毛文书,王谦谦,李国平,等. 2008. 近 50 a 江淮梅雨的区域特征[J]. 气象科学,28(1):68-73.
- 梅伟,杨修群. 2005. 我国长江中下游地区降水变化趋势分析[J]. 南京大学学报:自然科学,41(6):577-589.
- 司东,丁一汇,柳艳菊. 2010. 中国梅雨雨带年代际尺度上的北移及其原因[J]. 科学通报,55(1):68-73.
- 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[J]. 气候变化研究进展,2(1):9-14.
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京:气象出版社:63-66.
- 魏凤英,谢宇. 2005. 近百年长江中下游梅雨的年际及年代际振荡[J]. 应用气象学报,16(4):492-499.
- 徐群. 1998. 近 46 年江淮下游梅雨期的划分和演变特征[J]. 气象科学,18(4):315-328.
- 薛根元,顾骏强,周锁铨,等. 2005. 浙江梅雨分型与梅汛期前期北半球大气环流演变关系研究[J]. 科技导报,23(8):24-28.
- 张录军,钱永甫. 2004. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究[J]. 地球物理学报,47(4):622-630.
- 张永领,高全洲,丁裕国,等. 2006. 长江流域夏季降水的时空特征及演变趋势分析[J]. 热带气象学报,22(2):161-168.
- 竺夏英,何金海,吴志伟. 2008. 长江中下游入梅指数及早晚梅年的海气背景特征[J]. 大气科学,32(1):113-122.
- 朱宵峰,钱永甫,宁亮,等. 2008. 长江下游地区汛期暴雨气候特征分析[J]. 热带气象学报,24(2):136-146.
- 宗海锋,张庆云,彭京备. 2005. 长江流域梅雨的多尺度特征及其与全球海温的关系[J]. 气候与环境研究,10(1):101-114.
- Ding Y H, Wang Z Y, Sun Y. 2008. Interdecadal variation of the summer precipitation in China and its association with decreasing Asian summer monsoon. Part I: Observed evidences[J]. Int J Climatol, 28(9):1139-1161.
- Gong D Y, Ho C H. 2002. Shift in the summer rainfall over the Yangtze River valley in the late 1970s[J]. Geophys Res Lett, 29(10), 1436. doi:10.1029/2001GL014523.
- Qian W, Hu Q, Zhu Y, et al. 2003. Centennial-scale dry-wet variation in East Asia[J]. Climate Dyn, 21(1):77-89.
- Yamamoto R, Sakurai Y. 1999. Long-term intensification of extremely heavy rainfall intensity in recent 100 years[J]. World Resource Rev, 11(2):271-281.
- Zhai P M, Zhang X Z, Wan H, et al. 2005. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China[J]. J Climate, 18(7):1096-1108.
- Zhang Lujun, Qian Yongfu. 2003. Annual distribution features of the yearly precipitation in China and their interannual variations[J]. Acta Meteor Sinica, 17(2):146-163.
- Zhang Y X, Zhai P M, Qian Y F. 2005. Variations of Meiyu indicators in the Yangtze-Huaihe River Basin during 1954—2003[J]. Acta Meteor Sinica, 19(4):479-484.
- Zhang Z Q, Chan J C L, Ding Y H. 2004. Characteristics, evolution and mechanisms of the summer monsoon onset over Southeast Asia[J]. Int J Climatol, 24:1461-1482.

(责任编辑:张福颖)