

文章编号:2096 - 5389(2018)03 - 0044 - 07

# 中国东部夏季降水特征及其与西太副高的关系

肖艳林<sup>1</sup>, 池再香<sup>1</sup>, 杨冬冬<sup>2</sup>, 陈 蕴<sup>3</sup>, 孔德璇<sup>1</sup>

(1. 贵州省六盘水市气象局, 贵州 六盘水 553000; 2. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044;  
3. 贵州省水城县气象局, 贵州 水城 553001)

**摘 要:** 利用中国东部 160 个气象观测站 1951—2012 年夏季(6—8 月)的月平均降水资料, 采用 EOF 分析方法, 分析中国东部夏季降水的时空分布特征及其与西太平洋副热带高压的关系。结果表明: 中国东部夏季降水大值区具有从华南—江淮流域—华北—东北的分布特征。EOF 第 1 模态空间分布为长江以北与黄河以南之间存在一个降水大值雨带, 而 EOF 第 2 模态显示出以长江为界, 长江以南降水量偏少, 长江以北降水量偏多, 且呈反位相。在西太平洋副热带高压强度较强的年份, 江淮流域降水量偏少, 华北地区降水量偏多; 西太平洋副热带高压强度较弱的年份, 江淮流域降水量偏多, 华南地区降水量偏少。

**关键词:** 夏季雨带变化; EOF 方法; 西太平洋副热带高压; 中国东部

**中图分类号:** P426.61<sup>+</sup>4 **文献标识码:** B

## The Characteristics of Summer Precipitation in Eastern China and its Relationship with the WPSH

XIAO Yanlin<sup>1</sup>, CHI Zaixiang<sup>1</sup>, YANG Dongdong<sup>2</sup>, CHEN Yun<sup>3</sup>, KONG Dexuan<sup>1</sup>

(1. Liupanshui Meteorological Bureau of Guizhou Province, Liupanshui 553000, China;  
2. Nanjing University of Information & Technology, Nanjing 210044, China;  
3. Shuicheng Meteorological Bureau of Guizhou Province, Shuicheng 553001, China)

**Abstract:** Using the 160 weather stations ' Summer (June - August) monthly precipitation data during 1951 to 2012, and EOF analysis was adopted to analyze summer rainfall in eastern China temporal and spatial distribution of precipitation and the subtropical high through the synthesis analysis diagram analysis of the rain belt summer monsoon rainfall distribution type and its relationship with the West Pacific subtropical high. The results show that the large area of summer precipitation in eastern China has the characteristics of distribution from the south China - Jianghuai watershed - north China - northeast China. EOF first modal space distribution for the north of the Yangtze river and south of the Yellow River, a large precipitation value between the rain belt, the second modal and EOF show is bounded to the Yangtze river, south of the Yangtze river, precipitation, precipitation, the more the north of the Yangtze river and the opposite phase. In the year of the high intensity of subtropical high pressure in western Pacific, the precipitation in Jianghuai river basin was less than that, and the precipitation in north China was much higher. The western Pacific subtropical high pressure strength is weak, the precipitation in the Jianghuai river basin is much higher, and the precipitation in south China is less.

**Key words:** changes of summer rainfall; EOF methods; WPSH; eastern of China

收稿日期: 2017 - 11 - 01

第一作者简介: 肖艳林(1989—), 女, 助工, 主要从事天气预报及服务工作, E-mail: 1542280456@qq.com。

资助项目: 中国气象局预报员专项(CMAYBY2016-066); 滇黔准静止锋背景下的贵州晴雨预报方法研究。

## 1 引言

中国东部降水具有明显的地域和季节性差异特点,中国东部夏季降水雨带分布类型的研究,在实际应用上有很重要的意义<sup>[1]</sup>,陶诗言等<sup>[1-2]</sup>研究表明:中国东部雨带具有明显的3个阶段分布特征,第1阶段为4—6月华南前汛期降水,第2阶段为6月中旬—7月初的江淮梅雨,第3阶段为7月中旬—8月上旬的华北和东北地区降水。雨带的变化对中国东部旱涝分布具有十分重要的影响<sup>[3]</sup>。廖荃荪等<sup>[4-6]</sup>把中国东部夏季降水的雨带分为3个类型,第1类型雨带主要位于黄河流域及其以北地区,而江淮流域少雨;第2类型雨带主要分布在黄河与长江之间,而黄河以北地区和长江以南地区少雨;第3类型雨带主要分布在长江流域以南地区,而淮河以北地区和东南沿海少雨。雨带的变化是造成某地区洪涝或干旱灾害天气的主要原因,对生产生活影响较大。陈隆勋等<sup>[7]</sup>研究指出,造成南涝北旱的主要原因是南海夏季风的异常。李新周等<sup>[8]</sup>通过分析大气环流与中国北方干旱的年代际变化关系,得出北方干旱化的主要原因是由于东亚夏季风减弱造成的。张顺利等<sup>[9]</sup>通过研究指出,青藏高原冬、春季积雪的日益增加是导致南涝北旱分布格局的主要原因。张琮等<sup>[10-11]</sup>通过研究得出了南亚高压强度变化与西北、西南地区的降水关系十分密切。马端良<sup>[12]</sup>通过分析得到了南亚高压脊点位置的变化与中国东部夏季降水有较好的关系。池再香等<sup>[13]</sup>通过研究得出了西太平洋副热带高压位置的变化对贵州黔东南地区夏季局地暴雨落区具有较好的指示意义。王芬等<sup>[14]</sup>分析贵州黔西南5—6月暴雨天气发生时,200 hPa受南亚高压控制,500 hPa处于西太平洋副热带高压边缘,并有高空槽影响。Yu等<sup>[15]</sup>指出东亚地区对流层上部的降温可以导致西太平洋副热带高压位置偏南,造成中国东部出现南涝北旱的现象。赵平等<sup>[16]</sup>指出夏季东亚大陆中纬度和西太平洋副热带地区的气压年际变化与长江流域降水异常有显著的关系。因此,西太平洋副热带高压(简称西太副高,下同)南北位置异常变化对中国东部夏季降水有着重要影响。本文通过分析中国东部夏季(6—8月)降水分布特征及其与西太副高的关系,对中国东部夏季降水的雨带变化及其预报具有十分重要的意义。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料来源

降水资料为中国东部地区160个气象观测站

1951—2012年6—8月的月平均降水量;西太副高资料为1951—2012年NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料中的500 hPa高度场数据,其范围为 $0^\circ \sim 40^\circ \text{N}$ ,  $100^\circ \text{E} \sim 160^\circ \text{W}$ 。

### 2.2 方法

利用EOF研究方法,将某气候变量场的观测资料以矩阵形式给出:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 $m$ 为空间点, $n$ 为时间序列长度。

然后把 $X$ 分解为时间函数( $Z$ )和空间函数( $V$ ),其表达式为:

$$X = VZ \quad (2)$$

或

$$x_{it} = \sum_{k=1}^p v_{ik} z_{kt} = v_{i1} z_{1t} + v_{i2} z_{2t} + \cdots + v_{ip} z_{pt} \quad (3)$$

上式中,把第 $i$ 个格点上的第 $t$ 次观测值看作是 $p$ 个空间函数( $z$ )和时间( $V$ )函数的线性组合。

其中:

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{m1} & z_{m2} & \cdots & z_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$v_j = (v_{1j}, v_{2j}, \cdots, v_{mj})^T \quad (6)$$

第 $t$ 个空间场表示为:

$$\begin{bmatrix} x_{1t} \\ x_{2t} \\ \vdots \\ x_{mt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} \\ v_{21} \\ \vdots \\ v_{m1} \end{bmatrix} z_{1t} + \begin{bmatrix} v_{12} \\ v_{22} \\ \vdots \\ v_{m2} \end{bmatrix} z_{2t} + \cdots + \begin{bmatrix} v_{1m} \\ v_{2m} \\ \vdots \\ v_{mm} \end{bmatrix} z_{mt} \quad (7)$$

式中,把 $m$ 个空间典型场表示第 $t$ 个场,按不同的权重线性叠加而成。 $V$ 的每一列分别表示一个空间典型场。

## 3 中国东部夏季降水气候特征

华南4月份开始进入汛期(俗称前汛期),造成这种现象主要是降水发生在西太副高北侧的西风带中,到5月中旬降水量迅速增加,华南处于前汛期的盛期;5月中旬之后,受东亚季风的影响,大雨带移至华南沿海地区,降水量继续增加。

图1给出了中国东部夏季降水分布情况。由图1a可知,6月降水大值区主要出现在华南地区,其降水量在200 mm以上。华南南岭以南存在一个大雨带,其中心为250 mm;华南武夷山—长江下游以南地区也存在一个大雨带,其中心值达300 mm。由此可知,6月雨带的分布属于第3类型雨带,即雨带主要位于长江流域以南,而淮河以北少雨。由图1b看出,长江以北和黄河以南存在两个降水大值区,一个分布在长江中下游与黄河下游之间,且呈东西向带状分布,从沿海伸向武汉附近,其中心为200 mm以上;另一个分布在重庆巫山附近,其中心为200 mm。将这两个降水中心看作一个大雨带,即长江以北与黄河以南地区降水量偏多,表明江淮流域进入梅雨期;而长江以南和黄河以北降水量偏少,其降水量在150 mm以下;但黄河以北地区7月份降水量比6月份明显增多,其降水量由50~100 mm增加到100~150 mm。综上所述,7月雨带的分布属于第2类型雨带。7月降水气候态图反映了江淮地区进入梅雨期。梅雨期间,长江中下游地区多阴雨天气,雨量充沛,相对湿度较大,日照时间短,降水具有连续性特征。由图1c看出,华南南部为降水大

值区,其中心为200 mm;东北地区降水明显增多,长春一带的降水量由7月份的100 mm增加到150 mm;长江中下游、黄河流域和华南北部降水量减少,说明江淮流域已出梅。由此可见,8月雨带的分布属于第1类型雨带,即黄河以北地区降水量偏多,黄河以南地区以及长江流域降水量偏少,东北地区处于雨季。由图1d看出,中国东部夏季降水具有空间分布不均的特点,由东南沿海向西北内陆逐渐减少。夏季降水大值区主要集中在华南南部、云贵高原、四川盆地,其降水量达600 mm以上;其次为长江中下游以及浙江、福建等沿海地区,其降水量在500 mm以上;再次为华北和东北地区,其降水量为300~400 mm;降水量最少为中国东部地区的西北部,其降水量在200 mm以下。

综上所述,6月份,雨带位于华南地区,江淮流域、华北、东北地区降水量偏少。7月份,雨带位于江淮流域,江淮地区处于梅雨期,而长江以南地区降水量偏少,但华北、东北地区的降水量比6月份有所增加。8月份,雨带位于华北—东北地区,江淮流域和华南地区的降水量明显减少。

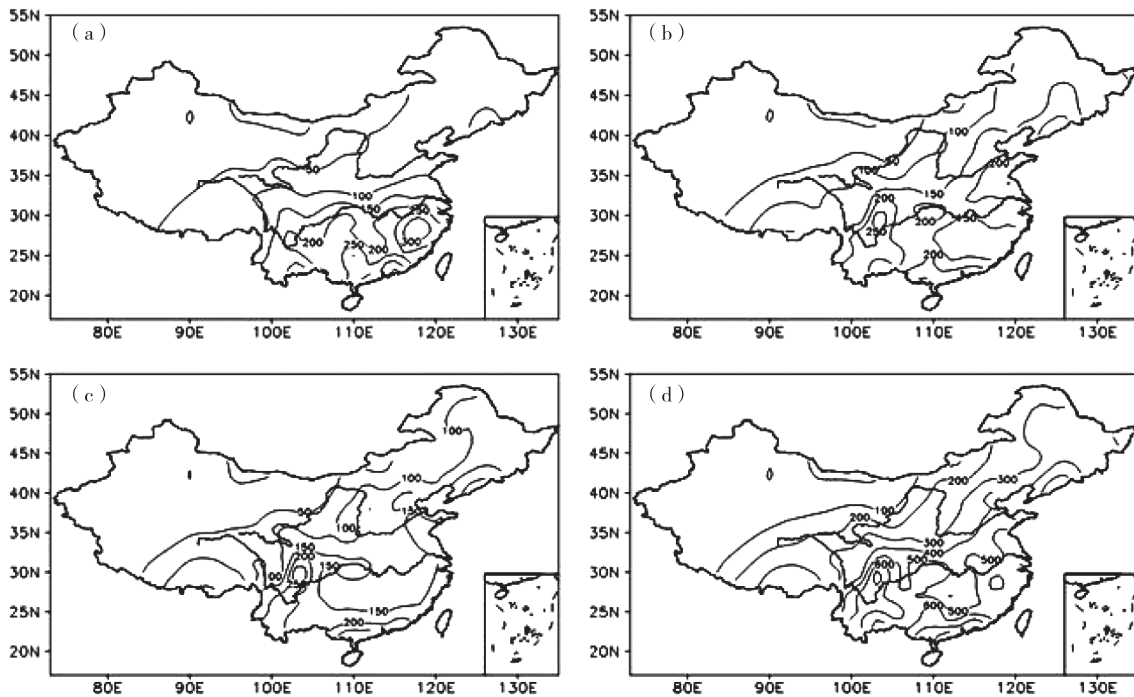


图1 中国东部6月(a)、7月(b)、8月(c)和夏季(d)降水量分布(单位:mm)

Fig. 1 Distribution of precipitation in June(a), July(b), August(c) and summer(d) in eastern China(unit: mm)

## 4 中国东部夏季降水与西太副高的关系

### 4.1 降水第1模态时空分布特征

利用EOF方法,得到中国夏季降水EOF第1模

态(图2)。由图2a看出,在长江以北与黄河以南有降水大值中心存在,且呈带状分布,降水正中心可达0.15,表明该区域降水量偏多;华南为负值区,负值中心(-0.1)在武夷山附近,同时,华北地区也为

负值区,其负值中心为  $-0.1$ ,表明华南和华北地区降水量偏少。由此可见,江淮流域的降水变化与长江以南和黄河以北地区的降水呈反位相。由图 2b 看出,降水存在一个准 3~5a 的振荡周期;2000 年之前,降水随时间序列振幅较大,说明夏季降水变

化也较大,基本上是每 3 a 或 5 a 中国东部夏季降水就出现一个大值年或一个小值年,说明旱涝分布比较明显;2000 年之后,降水随时间序列振幅较小,说明夏季降水变化也较小,旱涝灾害不明显。

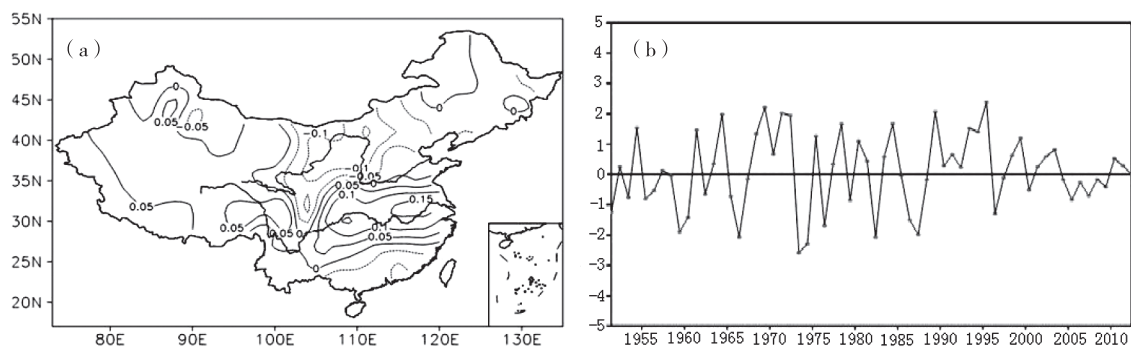


图2 中国夏季降水 EOF 第 1 模态(a)及其时间序列分布(b)

Fig. 2 EOF first modal(a) and its time series distribution(b) of Chinese summer precipitation

4.1.1 第一模态时间序数大值年降水与西太副高的关系 在降水 EOF 第 1 模态的时间序列中,以 1.8 为标准,把序列值  $> 1.8$  的降水定为大值年。在 62 a 中,降水大值年分别是 1964 年、1969 年、1971 年、1972 年、1989 年和 1995 年,并对 6 个大值年夏季降水距平及其对应的 500 hPa 高度场做合成。由图 3a 看出,江淮流域和黄河以北地区降水量偏多,

华南和东北地区降水量偏少,与中国东部夏季降水 EOF 分析的第 1 空间模态相吻合。由图 3b 看出,西太副高的中心位置在  $25^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 、 $165^{\circ}\sim 175^{\circ}\text{E}$  之间,副高范围(588 dagpm 线)较小,说明副高强度偏弱,导致江淮流域降水量偏多,而华南和东北地区的降水量偏少。

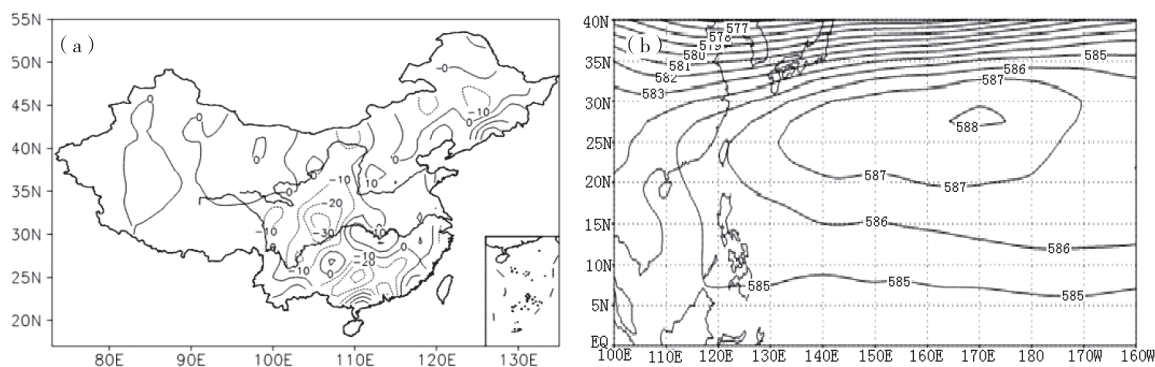


图3 EOF 的第 1 模态时间序数大值年份 160 个气象观测站降水合成(a)及其 500 hPa 高度场合成(b)(单位:mm,dagpm)

Fig. 3 EOF the first modal time ordinal number of large value year 160 meteorological observation stations precipitation synthesis (a) and its 500 hPa height(b) (unit: mm,dagpm)

4.1.2 第 1 模态时间序数小值年降水与西太副高的关系 在降水 EOF 第 1 模态的时间序列中,以  $-1.8$  为标准,把序列值  $< -1.8$  的降水定为小值年。在 62 a 中,降水小值年分别是 1959 年、1966 年、1973 年、1974 年、1982 年和 1987 年,并对 6 个小值年夏季降水距平及其对应的 500 hPa 高度场做合成。由图 4a 看出,中国东部夏季降水有 3 个大值区,一个分布在两广地区,一个分布在四川盆地,还

有一个分布在华北—东北一线;而长江以北与黄河以南地区存在一个降水小值区,该降水小值区从山东一直向内陆延伸至陕西、重庆,其中心值达  $-30$  mm。由图 4b 看出,西太副高的中心位置在  $22^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$ 、 $145^{\circ}\sim 172^{\circ}\text{E}$  之间,副高范围(588 dagpm 线)较大,说明副高强度偏强,导致华南和华北—东北地区降水量偏多,而江淮流域降水量偏少。

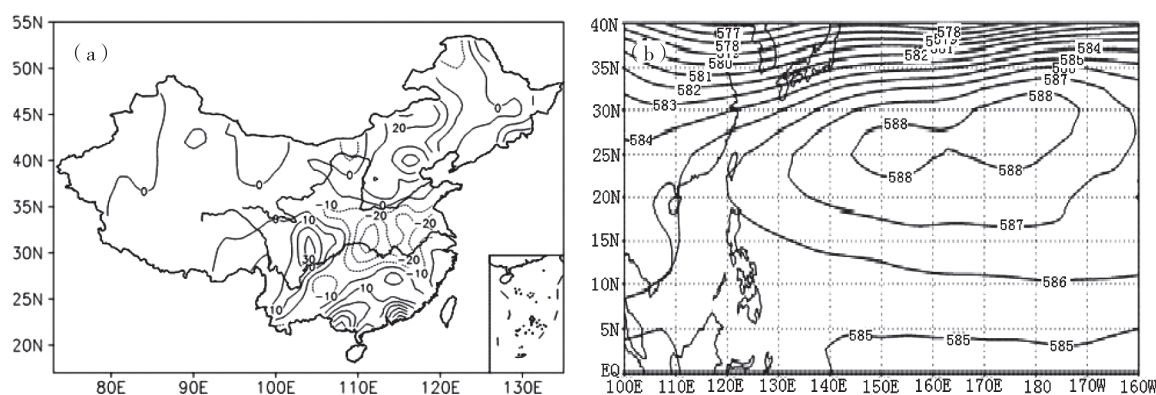


图 4 EOF 的第 1 模态时间序数小值年份 160 个气象观测站降水合成(a)及其 500 hPa 高度场合成(b) (单位:mm,dagpm)

Fig. 4 EOF the first modal time ordinal number of small year 160 meteorological observation stations precipitation synthesis(a) and its 500 hPa height(b) (unit: mm,dagpm)

#### 4.2 降水第 2 模态时空分布特征

利用 EOF 方法,得到中国夏季降水 EOF 第 2 模态(图 5)。由图 5a 看出,华北与长江流域存在降水大值区,其中心值为 0.1,且呈自西向东带状分布,该带状比第 1 模态范围大,基本上覆盖了整个华北地区—长江流域,表明华北地区和长江流域降水量偏多;长江以南地区降水处于负值区,其负值中心位于南岭—武夷山一带,其负值中心为 -0.15,表明长江以南地区降水量偏少。由此可见,降水是以长

江为界,长江以北降水量偏多,长江以南降水量偏少,且它们之间呈反位相。由图 5b 看出,中国东部夏季降水存在 1 个准 2~3a 的振荡周期。1990 年之前,降水的时间序列振幅较大,表示夏季降水的变化也较大,基本上是每隔 2a 或 3a 中国东部夏季降水就有一个大值年或一个小值年发生,说明旱涝分布明显;1990 年之后,降水的时间序列振幅较小,表示夏季降水年际变化较小,说明旱涝灾害不明显。

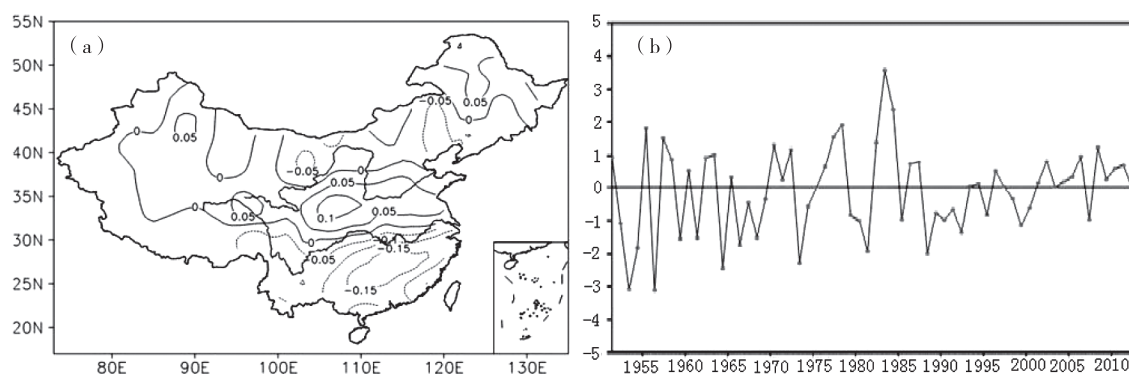


图 5 中国夏季降水 EOF 第 2 模态(a)及其时间序列分布(b)

Fig. 5 EOF second modal (a) and its time series distribution (b) of Chinese summer precipitation

4.2.1 第 2 模态时间序数大值年份降水与西太副高的关系 在降水 EOF 第 2 模态的时间序列中,以 1.8 为标准,把序列值 > 1.8 的降水定为大值年。在 62a 中,降水大值年分别是 1955 年、1978 年、1983 年和 1984 年,并对 4 个大值年夏季降水距平及其对应的 500 hPa 高度场做合成。由图 6a 看出,长江以北与黄河以南降水量偏多,而黄河以北、长江以南

降水量偏少,与中国东部夏季降水 EOF 分析的第 2 空间模态基本一致。由图 6b 看出,西太副高的中心位置在 25~27.5°N、155~165°E 之间,副高范围(588 dagpm 线)较小,说明副高强度偏弱,导致江淮流域降水量偏多,而华南和东北地区的降水量偏少,与第 1 模态得出的结论一致。



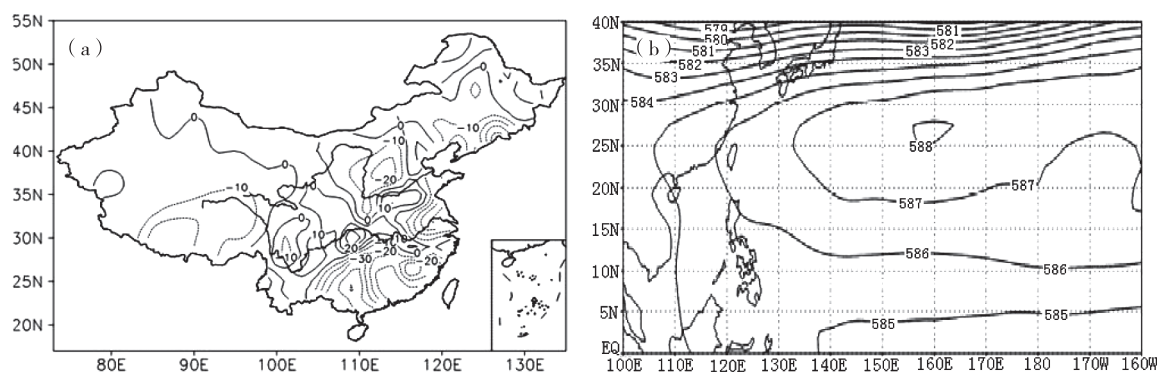


图6 EOF的第2模态时间序数大值年份160个气象观测站降水合成(a)及其500hPa高度场合成(b)(单位:mm,dagpm)

Fig.6 EOF the second modal time ordinal number of large value year 160 meteorological observation stations precipitation synthesis(a) and its 500hPa height(b) (unit: mm,dagpm)

4.2.2 第2模态时间序数小值年份降水与西太副高的关系 在降水 EOF 第2模态的时间序列中,以 $-1.8$ 为标准,把序列值 $< -1.8$ 的降水定为小值年。在62a中,降水小值年分别是1953年、1954年、1956年、1964年、1973年和1981年,并对6a夏季降水距平及其对应的500 hPa高度场做合成。由图7a看出,在华北太行山脉—重庆巫山有一个降水

大值区,其中心值为50mm,长江流域降水距平为20mm;而山东和长江以南地区存在降水小值区,其中心值为 $-20$ mm。由图7b看出,西太副高的中心(587 dagpm线)位置在 $135^{\circ}\text{E}$ 以东地区,说明西太副高位置偏南、强度偏弱,导致长江以北地区降水量偏多,长江以南地区降水量偏少。

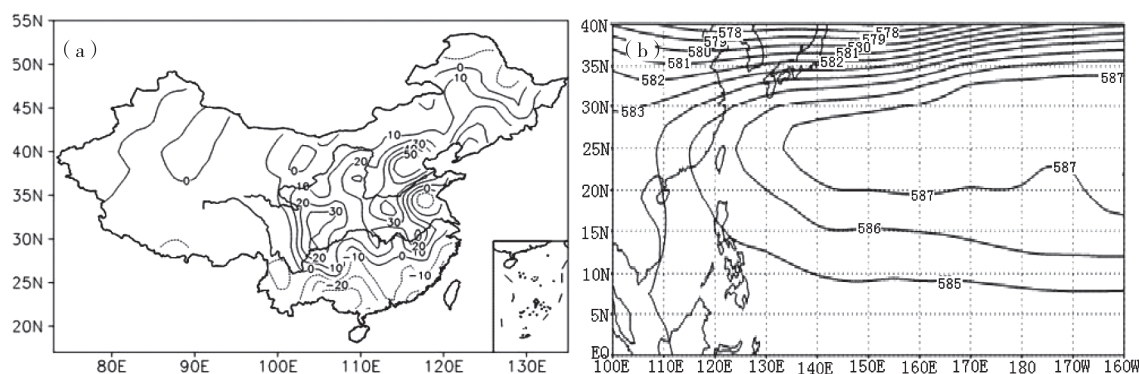


图7 EOF的第2模态时间序数小值年份160个气象观测站降水合成(a)及其500hPa高度场合成(b)(单位:mm,dagpm)

Fig.7 EOF the second modal time ordinal number of small year 160 meteorological observation stations precipitation synthesis(a) and its 500hPa height(b) (unit: mm,dagpm)

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

①中国东部雨带6月份位于华南地区,江淮流域、华北和东北地区降水量偏少;7月份雨带北抬至江淮流域,江淮地区处于梅雨期,而长江以南地区降水量偏少,但华北和东北地区的降水量比6月份有所增加;8月份雨带继续北抬到华北—东北地区,华北和东北地区降水量偏多,而江淮流域和华南地区的降水量明显减少。夏季降水具有空间分布不均的特点,由东南沿海向西北内陆逐渐减少,以华

南南部、云贵高原、四川盆地降水量(600 mm以上)为最多,以中国东部地区的西北部降水量(200 mm以下)为最少。

②中国东部夏季降水第1模态表现为长江以北与黄河以南地区降水量偏多,而华南和华北地区降水量偏少,且降水存在一个准3~5a的振荡周期,同时夏季降水的变化对西太副高的位置、强度有较好的响应。2000年之前,中国东部夏季旱涝灾害特征明显;2000年之后,中国东部夏季旱涝灾害特征不明显。

③中国东部夏季降水第2模态表现为华北—长

江流域降水量偏多,而长江以南地区降水量偏少,且降水存在一个准 2~3a 的振荡周期,同时夏季降水的变化对西太副高的位置、强度有较好的响应。1990 年之前,中国东部夏季旱涝灾害特征明显;1990 年之后,中国东部夏季旱涝灾害特征不明显。

## 5.2 讨论

Menon 等<sup>[17]</sup>研究表明雨带位置通常位于西太副高脊线以北的 6~10 个纬距处,且雨带的走向大致和脊线平行。本文根据 EOF 方法研究得到的两种模态表明,中国东部夏季雨带位置的变化与西太副高的位置、强度变化有密切关系,西太副高位置的变化对雨带位置的变化影响较大,西太副高位置的不正常变化往往会造成中国东部各区域的旱涝变化,但第 2 模态下合成分析的西太副高较弱,而华北地区降水偏多,长江以南地区降水偏少,这与常识相悖,有待进一步开展研究。

## 参考文献

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980:1-7.
- [2] 张顺利,陶诗言. 青藏高原积雪对亚洲夏季风影响的诊断及数值研究[J]. 大气科学,2001,25(3):372-390.
- [3] 黄荣辉,陈际龙,周连童. 东亚气候系统与中国重大气候灾害[M]. 北京:气象出版社,2003:1-18.
- [4] 廖荃荪,赵振国. 东亚阻塞形势与西太平洋的关系及其对中国降水的影响[M]. 北京:气象出版社,1990,125-135.
- [5] 廖荃荪,赵振国. 中国东部夏季降水分布的季节预报方法[J]. 应用气象学报,1992,(增刊):1-9.
- [6] 赵振国,廖荃荪. 冬季北太平洋涛动与中国夏季降水[M]. 气象出版社,1992,18(2):11-15.
- [7] 陈隆勋,周秀骥,李维亮,等. 中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制[J]. 气象学报,2004,62(5):634-645.
- [8] 李新周,马柱国,刘晓东. 中国北方干旱化年代际特征与大气环流的关系[J]. 大气科学,2006,30(2):277-284.
- [9] 张顺利,陶诗言. 青藏高原积雪对亚洲夏季风影响的诊断及数值研究[J]. 大气科学,2001,25(3):372-390.
- [10] 张琼,左洪超,李强,等. 夏季南亚高压的气候变化特征及其对中国降水的影响[J]. 高原气象,2010,29(3):671-679.
- [11] 戴卫帮. 南亚高压异常对云南汛期降水的影响[J]. 贵州气象,2015,39(4):27-31.
- [12] 马端良. 南亚高压与我国东部夏季降水的关系[J]. 贵州气象,2017,41(1):23-29.
- [13] 池再香,白慧,黄红,等. 夏季黔东南州局地暴雨与西太副高环流的关系[J]. 高原气象,2008,27(1):176-183.
- [14] 王芬,吴古会,郑丹宣,等. 黔西南近 10a 初夏暴雨形成机理分析[J]. 贵州气象,2017,41(1):9-16.
- [15] Yu R C, Wang B, Zhou T J. Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia. Geophys Res Lett,31, L22212, doi:10.1029/2004GL021270,2004.
- [16] 赵平,周自江. 东亚副热带夏季风指数及其与降水的关系[J]. 气象学报,2005,63(6):933-941.
- [17] Menon S, Hansen J, Nazarenko L, et al. Climate effects of black carbon aerosols in China and India. Science,2002,297:2250-2253.