

王雯燕,王 丽,李国平,等. 陕西省汛期极端降水时空演变特征[J]. 干旱气象,2016,34(6):952-957, [WANG Wenyan, WANG Li, LI Guoping, et al. Temporal and Spatial Characteristics of Extreme Precipitation in Flood Season in Shaanxi Province During 1961-2013[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(6):952-957], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-06-0952

## 陕西省汛期极端降水时空演变特征

王雯燕<sup>1,2</sup>,王 丽<sup>1</sup>,李国平<sup>2</sup>,鲁渊平<sup>1</sup>,唐文哲<sup>1</sup>

(1. 陕西省西安市气象局,陕西 西安 710016;

2. 成都信息工程大学大气科学学院,四川 成都 610225)

**摘 要:**基于陕西省78个气象站1961—2013年汛期(5—9月)逐日降水资料,统计了陕西汛期极端降水阈值,并利用线性倾向率、Morlet小波分析、经验正交函数分解(EOF)等方法研究分析了汛期极端降水事件的时空演变特征。结果表明:(1)陕西汛期极端降水阈值为 $25.5 \sim 57.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ,平均 $33.4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ,空间上以秦岭为界,以南大部分站点高于平均值,以北低于平均值。(2)汛期极端降水事件频次月际变化较为集中,7月最多,5月最少;年及年代际变化较大,1975—1981年呈增加趋势,1982—1993年呈下降趋势,1993年以后又呈上升趋势,但整体上呈微弱增加趋势,其中关中、陕南地区汛期极端降水事件频次年及年代际变化与全省变化趋势基本一致,而陕北地区年际变化较小,与全省差异较大。(3)各分区汛期极端降水事件频次均存在多时间尺度特征,陕南、关中大尺度和中尺度的时间周期性基本一致,大尺度周期 $24 \sim 32 \text{ a}$ ,中尺度周期 $6 \sim 10 \text{ a}$ ,而小尺度周期略有不同;陕北完全不同,大尺度周期 $26 \sim 30 \text{ a}$ ,中尺度周期 $15 \sim 18 \text{ a}$ 。(4)陕西汛期极端降水事件频次的第1模态是陕北北部与其他地区呈反位相变化,第2模态是以秦岭为界的南北反相变化,第3模态是关中与陕南、陕北反相变化。

**关键词:**极端降水;汛期;陕西;百分位法;EOF

**文章编号:**1006-7639(2016)-06-0952-06 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-06-0952

**中图分类号:**P426.6

**文献标识码:**A

### 引 言

在全球气候变暖背景下,极端降水事件增多,严重影响人们的生产生活,受到越来越多的关注。翟盘茂<sup>[1]</sup>、杨金虎<sup>[2]</sup>等研究认为中国极端降水事件的时间变化存在明显的区域性差异,由此根据行政区划、水文流域、气候特征分类的相关研究纷纷开展<sup>[3-6]</sup>。陕西极端降水研究也逐步进行,杨文峰等<sup>[7]</sup>定义日降水量 $>25.0 \text{ mm}$ 作为强降水事件,分析了1961—2004年陕西强降水日数的变化特征;姜创业<sup>[8]</sup>、蔡新玲<sup>[9]</sup>等用1971—2000年逐年日降水资料的第95个百分位的30 a平均值定义极端降水事件,分析了陕西年极端强降水事件的时空演变特征,取得一定进展。陕西极端降水多集中在5—9月,上述研究多集中在年降水资料方面,而对汛期极端降水变化规律方面还没有进一步研究;加之,陕西

气候类型多样,分气候区进行的研究很少;另外,进入21世纪以来,陕西降水呈现新的特点,异常频率增加,导致灾害时有发生,如2013年8月陕北发生持续性极端降水,造成滑坡、塌方等次生地质灾害,带来严重的经济损失和社会影响。因此,利用最新气候资料、分气候区研究汛期极端降水变化特征就显得十分有意义。本文利用陕西1961—2013年国家级气象台站汛期(5—9月)逐日有效降水资料,在确定各站极端降水阈值的基础上,运用多种统计诊断方法探讨53 a陕西汛期极端降水的时空变化特征。

### 1 资料与方法

#### 1.1 资 料

所用资料来源于陕西省气象局信息中心整编的全省78个气象站1961—2013年5—9月的逐日降水量(日降水量 $\geq 0.1 \text{ mm}$ ),经过严格的质量控制。

收稿日期:2015-09-29;改回日期:2015-12-14

基金项目:公益性行业专项(GYHY201306045)和全国新增千亿斤粮食气象保障工程项目“自动土壤水分观测网保障系统”共同资助

作者简介:王雯燕(1972-),女,陕西大荔人,高级工程师,主要从事综合观测数据分析应用研究. E-mail: xawwy@163.com

根据陕西气候和地形特点,参照陕西省短期天气预报技术手册<sup>[10]</sup>中关于全省预报区域的界定方法,将78站分为3个区,其中陕北16站,关中38站,陕南24站,站点分布及各分区如图1所示。

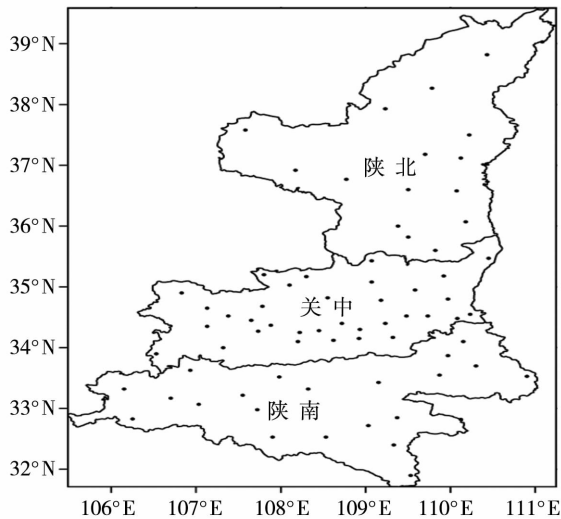


图1 陕西78个气象站点的空间分布及分区

Fig. 1 The spatial distribution of 78 meteorological stations and region division in Shaanxi Province

## 1.2 方法

陕西南北跨度大,南北端纬度相差 $7.13^{\circ}$ ,多年平均降水量最少的站点为 $328.0\text{ mm}$ ,最多的为 $1287.0\text{ mm}$ ,降水量最多的台站是最少的3.9倍,因此定义极端降水时,考虑南北降水量差异较大,用统一固定的暴雨量值(日降水量 $\geq 50.0\text{ mm}$ )不能真实反映各地极端降水的变化情况。极端降水是小概率事件,本文采用百分位法<sup>[11]</sup>定义各台站极端降水事件的阈值。具体算法为:将每个台站1961—2013年5—9月的日降水量按升序排列,取序列第95个百分位的日降水量作为该站气候极端降水阈值,当某日降水量超过阈值,就统计为1次极端降水事件,月内发生极端降水事件的天数称为月频次,年内发生极端降水事件的天数称为年频次,极端降水量为每年极端降水事件的降水量总和。

采用四次多项式拟合、线性倾向率<sup>[12-14]</sup>、Morlet小波分析<sup>[15]</sup>和经验正交函数分解(Empirical Orthogonal Function, EOF)<sup>[16]</sup>等方法分析极端降水事件的月、年及年代际变化,以及周期性和时空分布特征等。

## 2 结果分析

### 2.1 汛期极端降水阈值的空间分布

统计表明,陕西汛期极端降水阈值平均为

$33.4\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ,相当于大雨量级。从空间上看(图2),极端降水阈值自南向北逐渐递减,且以秦岭(图2中虚线)为界,南北差异明显。秦岭以南大部分站点的阈值高于平均值,等值线大致呈东西走向且密集,其中镇巴站最大,阈值为 $57.5\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ,超过暴雨强度;秦岭以北的阈值小于平均值,且变化小,关中和陕北中南部大部分站点的阈值在 $30\sim 33\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 之间,陕北北部的志丹、衡山、榆林、神木、府谷一带阈值在 $27\sim 30\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ,陕北西北部的定边阈值最小,仅为 $25.49\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 。这与姜创业等<sup>[8]</sup>的研究结果大体一致,但因研究资料的时间长度和百分位定义方法不同,本文各站极端降水阈值略大。

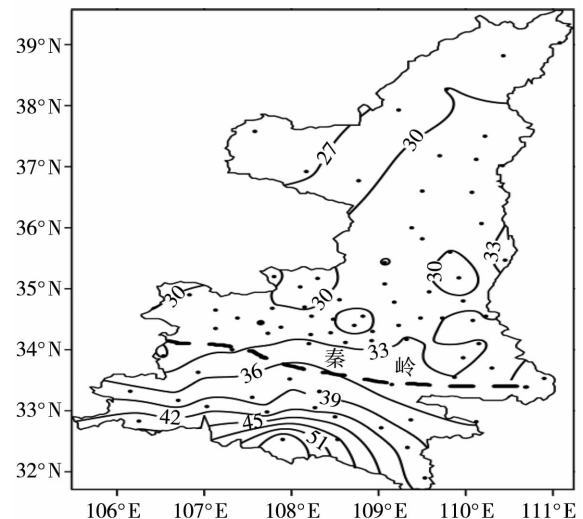


图2 1961—2013年陕西汛期极端降水阈值的空间分布(单位: $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ )

Fig. 2 The spatial distribution of extreme precipitation threshold in Shaanxi Province in flood season from 1961 to 2013 (Unit:  $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ )

### 2.2 汛期极端降水事件的月际变化

图3给出1961—2013年陕西省及各分区汛期各月极端降水事件的累计频次。可以看出,全省汛期极端降水发生时间主要集中在7—8月,其中,7月占事件总数的30%,8月次之,占比28.5%,5月发生最少,仅占7%。汛期各月出现极端降水事件最多的年份不同,5月在1983年出现频次最多,共121次;6月在2002年频次最多,共96次;7月在1998年频次最多,共143次;8月在1981年频次最多,共178次;9月在2011年频次最多,达250次。各分区中,陕南和陕北汛期极端降水的月际分布与全省相似,7月最多,5月最少;关中略有不同,8月出现极端降水事件的频次最多,占总数的29.2%,7月次之。

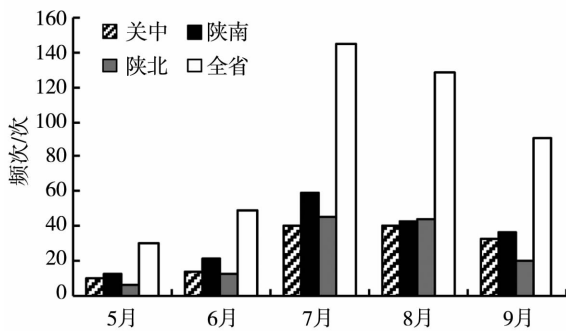


图3 1961—2013年陕西全省及各分区汛期极端降水事件频次月变化

Fig. 3 The monthly variations of frequency of extreme precipitation in Shaanxi Province in flood season from 1961 to 2013

### 2.3 汛期极端降水事件的年及年代际变化

对陕西全省及各分区 1961—2013 年汛期极端降水频次的时间序列进行趋势分析。由拟合曲线可知(图 4a), 全省汛期极端降水频次的年际变化较大, 极端降水事件 1993 年最少(110 次), 2011 年最多(450 次), 整体呈微弱的线性增加趋势, 气候倾向率为  $8.63 \text{ 次} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ , 且有明显的阶段性波动特征, 1975—1981 年呈增加趋势, 1982—1993 年呈明显下降趋势, 1993 年以后又呈上升趋势, 尤其 2008 年以后上升趋势明显。

从 3 个分区拟合趋势曲线(图 4b)可以看出, 关中地区汛期极端降水事件频次年际波动最大, 1980 年代中期以前呈增加趋势, 之后至 1990 年代末期为下降趋势, 2000 年以后增加明显, 整体上呈不明显的线性增加趋势。其中, 极端降水事件 2011 年最多(219 次), 1969 年最少(35 次); 陕南地区汛期极端降水事件频次年际波动次之, 1960 年代中期以前、1980 年代中后期—1990 年代末期为下降变化趋势,

而 1960 年代中期—1980 年代中期、2000 年以后为增加变化趋势, 但长期变化为增加趋势, 线性气候倾向率为  $4.78 \text{ 次} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  (未通过  $\alpha = 0.05$  的信度检验)。其中, 2011 年发生频次最多(184 次), 1966 年最少(30 次); 陕北地区汛期极端降水事件频次年际变化较小, 且阶段性变化特征与陕南、关中差异较大, 1960 年代初期发生较多, 随后波动减小, 至 2000 年以后略有增加, 但整体呈微弱下降趋势, 线性气候倾向率为  $-0.23 \text{ 次} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ , 其中, 1964 年发生频次最多(66 次), 1974 年最少(15 次)。综上所述, 近 53 a 来关中、陕南地区的汛期极端降水事件变化特征较为相似, 年际波动幅度大, 年代际变化近乎一致, 而陕北地区则无明显变化。

### 2.4 汛期极端降水事件的周期

为进一步了解 1961—2013 年各分区汛期极端降水事件的周期性变化特征, 对各分区汛期极端降水事件频次的时间序列进行 Morlet 小波变换, 绘制小波系数实部等值线图(图 5)。可以看出, 各分区汛期极端降水事件频次的周期性变化均存在多个时间尺度特征。陕南存在大、中、小 3 个时间尺度周期。其中, 在  $24 \sim 32 \text{ a}$  的大时间尺度上, 表现为少—多—少—多 4 个阶段, 1961—1977 年、1991—2002 年为极端降水相对偏少期, 而 1978—1990 年、2002—2013 年为相对偏多期, 主周期在  $28 \text{ a}$  左右; 1980 年代中期以前, 有  $6 \sim 10 \text{ a}$  的中尺度周期嵌套在大时间尺度变化中, 其后演变为  $15 \text{ a}$  左右的周期, 表现为 4 个阶段, 2010—2013 年为极端降水偏多期;  $2 \sim 3 \text{ a}$  的短小周期主要发生在极端降水事件相对偏多的 1980 年代。关中也存在 3 个时间尺度的周期, 大时间尺度周期变化和陕南基本一致, 中小尺度周期略有不同,  $6 \sim 10 \text{ a}$  的中尺度周期变化一直存在, 1980 年代后出现  $3 \sim 5 \text{ a}$  的小尺度时间周期。

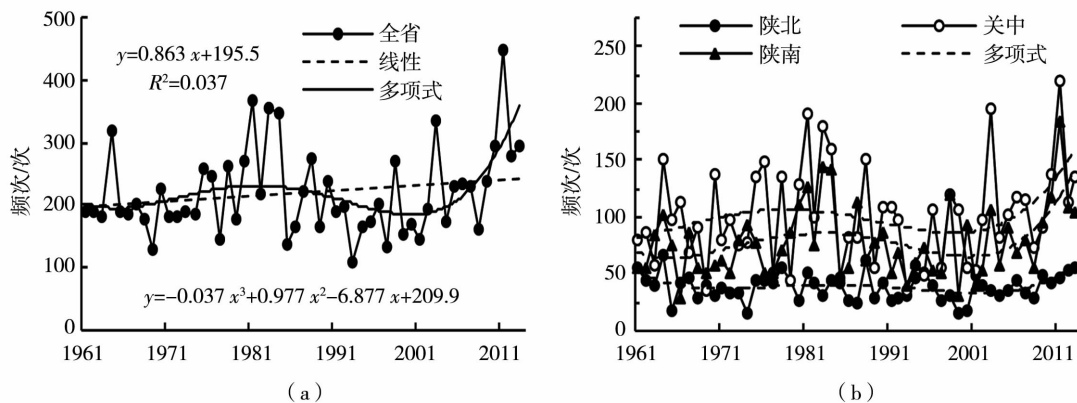


图4 1961—2013年陕西全省(a)和各分区(b)汛期极端降水事件的年际变化

Fig. 4 The annual variations of extreme precipitation frequency in flood season in whole area (a) and subarea (b) of Shaanxi Province from 1961 to 2013

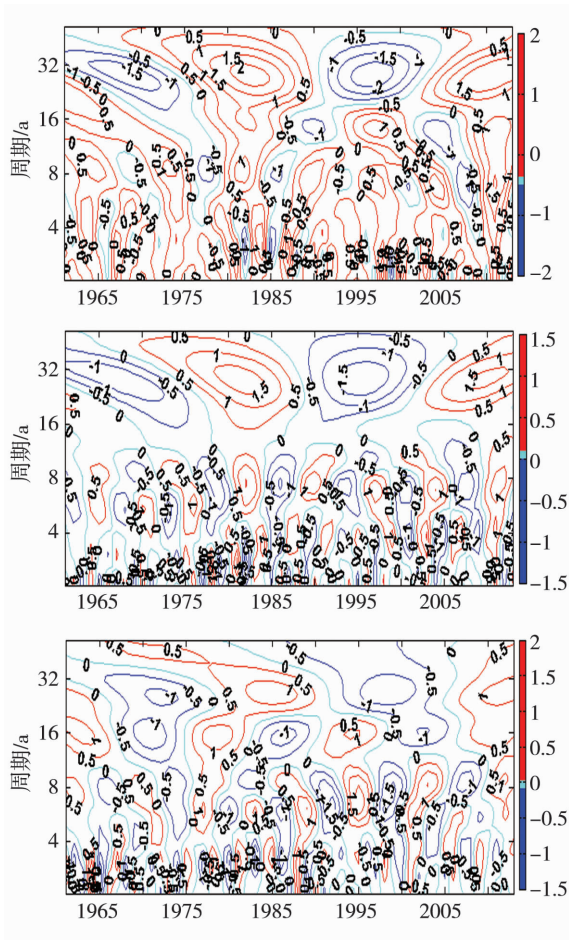


图5 1961—2013年陕南(上)、关中(中)及陕北(下)地区汛期极端降水事件频次的Morlet小波系数实部

Fig. 5 The real part of Morlet wavelet coefficients of extreme precipitation frequency in flood season in southern (the top), central (the middle) and northern (the bottom) Shaanxi Province from 1961 to 2013

陕北与陕南、关中完全不同,变化周期存在4个时间尺度,在26~30 a的大时间尺度上,存在多—少—多—少—多5个阶段,1961—1967年、1978—1993年、2005—2013年为相对偏多期,1968—1977年、1994—2004年为相对偏少期,主周期在27 a左右;大时间尺度内嵌套着15~18 a、6~10 a和2~4 a的3个中小时间尺度周期。其中,15~18 a的周期主要发生在2000年前,之后减弱消失;6~10 a的周期1980年代前不明显,之后有所加强,2010年后为较多期;2~4 a的周期在1990年代前特征明显,之后明显减弱。上述分析表明,无论是大尺度还是嵌套其中的中小尺度变化周期,2010—2013年各分区汛期极端降水事件都处于增多时期。

### 2.5 汛期极端降水的异常分布特征

对陕西省78个站1961—2013年汛期极端降水事件频次进行EOF分解,得出前5个模态的解释方差分别为28.5%、9.3%、6.7%、4.9%、4.2%,累积方差贡献为53.6%,其中,第1—3模态对方差贡献率较大,累积方差达44.5%,较其他模态显著,因此下面主要分析前3个特征向量场的空间结构特征及时间变化(图6,图中实线为正值区,虚线为负值区)。

在第1模态的空间分布上,除陕北北部为负值区外,其余地区全部为正值区,正值中心在关中,这种空间异常模态说明关中、陕南的汛期极端降水28.5%的情况下受同一大尺度天气系统影响,变化趋势基本一致,这一模态主要是由于陕西独特的地形影响造成,即陕西位于青藏高原东北方向,地形复杂,渭河河谷平原海拔较低,向北地势持续上升,西风气流受高原阻挡,北部到达陕北后容易形成反气旋,南部进入关中、陕南后容易形成气旋。第2模态

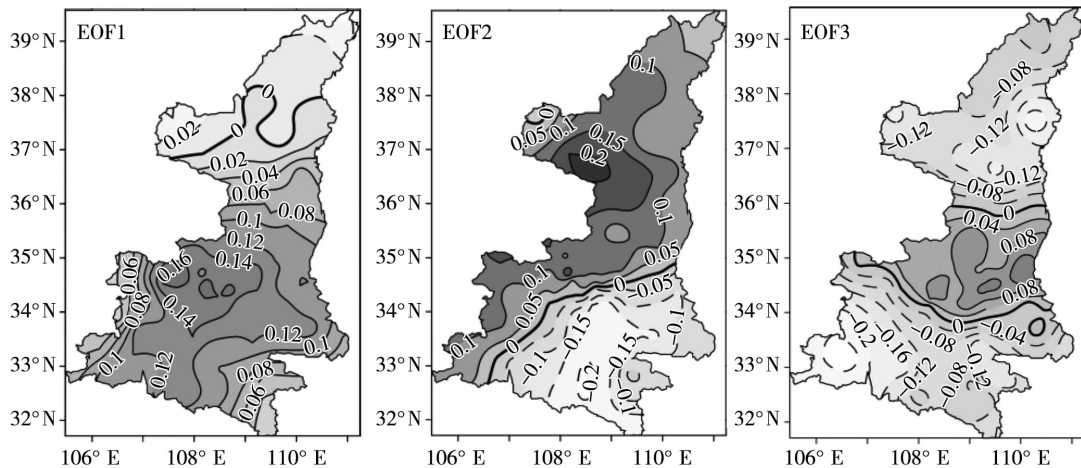


图6 1961—2013年陕西汛期极端降水事件频次 EOF 分解前3个模态空间分布

Fig. 6 Spatial distributions of the first three modes of extreme precipitation frequency in flood season decomposed by EOF in Shaanxi Province from 1961 to 2013

的空间分布是以秦岭为分界线,北部为正值,南部为负值,呈现出南北相反分布模态,正值中心在陕北志丹,负值中心在陕南镇巴、石泉、宁陕一带,这种异常模态与夏季副热带高压(以下简称副高)活动有关,当夏季副高位置偏南、偏东时,陕西东南部多雨,西部和北部少雨;当夏季副高位置偏北、偏西时,陕西西部、北部多雨,东南部少雨。第3模态的空间分布中,关中为正值区,负值区在陕南和陕北,研究表明<sup>[17-18]</sup>,这种模态与东亚季风活动有关,西南方向的暖湿气流输送和秦巴山脉迎风坡的阻挡作用使得渭河河谷平原极端降水异常,呈反位相变化。

图7为1961—2013年陕西极端降水事件EOF分解的第1时间系数序列,数值大小表示当年极端降水事件偏离平均态的程度,数据明显偏离平均状态即可判断为异常<sup>[19]</sup>,本文以偏离平均值2个标准差作为划分极端事件异常多(少)的标准。结合EOF分解的空间分布,受第1模态天气形势影响,陕西汛期极端降水异常年份有:2011年和2013年为极端降水异常偏多年,其中2011年正异常尤其突出,是标准差的3.1倍;受第2模态影响的极端降水异常年份有:1966、1974、1981和1987年,其中1966、1981年为异常多年份,1974、1987年为异常少年份,且1987年异常少较为突出,是标准差的2.3倍,在第2模态天气形势控制下正、负异常出现概率相同;受第3模态影响的极端降水异常年份较少,只有1963年表现为负异常,其值仅为标准差的2倍。

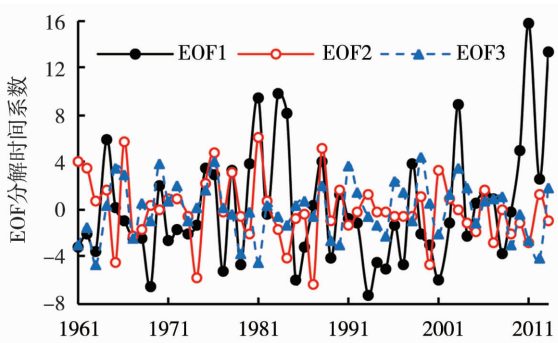


图7 1961—2013年陕西汛期极端降水事件频次EOF分解的前3个模态时间系数

Fig. 7 The time coefficients of the first three modes of extreme precipitation frequency in flood season decomposed by EOF in Shaanxi Province from 1961 to 2013

### 3 结论

(1)1961—2013年,陕西汛期极端降水阈值为 $25.5 \sim 57.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ,平均为 $33.4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ,相当于大雨量级,空间上以秦岭为界,以南大部分站点高

于平均值,以北低于平均值。

(2)陕西汛期极端降水事件月际变化较为集中,7月最多,占极端事件总次数的30%,8月次之,5月极端降水事件最少,占总次数的7%;年际各月中,2011年9月汛期极端降水事件发生站次最多。

(3)1961—2013年,陕西汛期极端降水事件频次总体呈微弱增加趋势,年际变化较大,1975—1981年呈增加趋势,1982—1993年呈下降趋势,1993年以后又呈上升趋势,尤其2008年后上升趋势明显,其中,1993年汛期极端降水事件频次最少,2011年最多;关中、陕南汛期极端降水事件年及年代际变化和全省变化趋势基本一致,而陕北年际变化较小,与全省、关中、陕南差异较大。

(4)1961—2013年,各分区汛期极端降水事件频次均存在多时间尺度特征,陕南、关中大尺度和中尺度的时间周期基本一致,主周期 $24 \sim 32 \text{ a}$ ,次周期 $6 \sim 10 \text{ a}$ ,而小尺度时间周期略有不同,陕南只在1980年代出现过 $2 \sim 3 \text{ a}$ 的周期,关中一直存在着 $3 \sim 5 \text{ a}$ 的周期;陕北周期振荡相对较弱,主周期为 $26 \sim 30 \text{ a}$ ,次周期为 $15 \sim 18 \text{ a}$ ;2010—2013年各分区汛期极端降水事件都处于增多时期。

(5)陕西汛期极端降水事件的第1模态是陕北北部与其他地区反位相变化,第2模态是以秦岭为界的南北反相变化,第3模态是关中与陕南、陕北反相变化。第1模态天气系统影响下汛期极端降水事件正异常发生在2011和2013年,2011年正异常尤其突出;第2模态影响下的极端降水事件正负异常出现概率相同,1987年负异常较为突出;第3模态影响下的极端降水异常事件较少。

### 参考文献

- [1] 翟盘茂,王翠翠,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.
- [2] 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.
- [3] 张文,寿绍文,杨金虎. 长江中下游地区汛期极端降水量的异常特征分析[J]. 气象,2007,33(3):61-67.
- [4] 尤焕苓,刘伟东,任国玉. 1981~2010年北京地区极端降水变化特征[J]. 气候与环境研究,2014,19(1):69-77.
- [5] 杨素英,孙凤华,马建中. 增暖背景下中国东北地区极端降水事件的演变特征[J]. 地理科学,2008,28(2):224-228.
- [6] 任玉玉,任国玉. 1960~2008年江西省极端降水变化趋势[J]. 气候与环境研究,2010,15(2):462-469.
- [7] 杨雪峰,郭大梅. 陕西省强降水日数变化特征[J]. 干旱区研究,2011,28(5):866-870.
- [8] 姜创业,蔡新玲,吴素良,等. 1961—2009年陕西省极端强降水事件的时空演变[J]. 干旱区研究,2011,28(1):151-157.

- [9] 蔡新玲,吴素良,贺皓,等. 变暖背景下陕西极端气候事件变化分析[J]. 中国沙漠,2012,32(4):1095-1101.
- [10] 杜继稳. 陕西省短期天气预报技术手册[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [11] 郑祚芳,王在文,高华. 北京地区夏季极端降水变化特征及城市化的影响[J]. 气象,2013,39(12):1635-1641.
- [12] 施能,陈家其,屠其璞. 中国近100年四个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报,1995,53(4):531-539.
- [13] 施能. 北半球冬季大气环流遥相关型的长期变化及其与我国气候变化的关系[J]. 气象学报,1996,54(6):675-683.
- [14] 施能. 气象统计预报[M]. 北京:气象出版社,2009.
- [15] 邵晓梅,许月卿,严昌荣. 黄河流域降水序列变化的小波分析[J]. 北京大学学报(自然科学版),2006,42(4):503-509.
- [16] 万相均,任志远,张翀. 陕西省气温与降水变化时空分布研究[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(6):140-147.
- [17] 方建刚,侯建忠,陶建玲,等. 秦岭地区秋季降水的气候特征分析[J]. 气象科学,2008,28(4):415-420.
- [18] 王晓玲. 近50年陕南、关中降水年际变化特征[J]. 陕西气象,2012(3):18-21.
- [19] 潘晓华,翟盘茂. 气候极端值的选取与分析[J]. 气象,2002,28(10):28-31.

## Temporal and Spatial Characteristics of Extreme Precipitation in Flood Season in Shaanxi Province During 1961-2013

WANG Wenyan<sup>1,2</sup>, WANG Li<sup>1</sup>, LI Guoping<sup>2</sup>, LU Yuanping<sup>1</sup>, TANG Wenzhe<sup>1</sup>

(1. Xi'an Meteorological Bureau of Shaanxi Province, Xi'an 710016, China; 2. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** Based on the daily precipitation data of 78 meteorological stations in Shaanxi Province from May to September during 1961-2013, the thresholds of extreme precipitation in flood season were statistically studied. And on this basis the temporal and spatial characteristics of extreme precipitation in flood season from 1961 to 2013 in Shaanxi Province were analyzed by using linear trend, Morlet wavelet and empirical orthogonal function (EOF) methods. The results are as follows: (1) The thresholds of extreme precipitation in flood season in Shaanxi Province were from 25.5 to 57.5 mm · d<sup>-1</sup>, the average was 33.4 mm · d<sup>-1</sup>, and that decreased gradually from the south to the north in space. The thresholds of extreme precipitation in the south of Qinling Mountains were higher than the average, while that in the north of Qinling Mountains were less than the average. (2) The frequency of extreme precipitation in flood season in Shaanxi Province was mainly located in July, while that in May was the least. The annual and decadal variations of extreme precipitation in flood season were obvious during 1961-2013, and the frequency of extreme precipitation increased from 1965 to 1981, decreased from 1982 to 1993, and increased again after 1993, but appeared a weak increasing trend on the whole. The variation trends of extreme precipitation frequency in central Shaanxi plain and southern Shaanxi during 1961-2013 were consistent with the whole of Shaanxi, while that in northern Shaanxi was relatively smaller. (3) There were multiple scale periods for extreme precipitation frequency in flood season during 1961-2013. The large-scale and meso-scale periods of extreme precipitation frequency in southern Shaanxi were same as the central Shaanxi, were respectively 24-32 a and 6-10 a, but the small-scale periods of them were lightly different, the former was 2-3 a in the 1980s, the latter was 3-5 a throughout. However the periods in northern Shaanxi were different to other areas, the large-scale period was 26-30 a and meso-scale period was 15-18 a. (4) The variations of extreme precipitation in the north of northern Shaanxi were opposited to other regions under the first mode of extreme precipitation events, that in the north of Qinling Mountains were opposited to the south of Qinling Mountains under the secondary spatial mode, and that in central Shaanxi plain were opposited to the north and south of Shaanxi under the third spatial mode.

**Key words:** extreme precipitation; flood season; Shaanxi; percentile method; EOF