

淮河流域汛期候尺度降水集中度与集中期的时序变化特征

叶正伟, 殷 鹏

(淮阴师范学院 城市与环境学院, 江苏 淮安 223300)

摘 要:降水分布的不均匀性特征是水循环研究的热点问题,也是区域旱涝防灾与水资源利用的重要依据。基于淮河流域 30 个气象测站点 1960—2014 年汛期(5—8 月)的逐日降水数据,采用降水集中度指标、趋势与突变检测以及小波周期方法,分析了淮河流域近 55 a 来汛期降水集中特性的时序变化特征。结果表明:(1) 汛期降水年际间波动频繁,变幅较大,1970s 和 1990s 为汛期雨量偏低时期,而 2000s 以来是汛期降水量最高的时代。(2) 降水集中度波动较大,呈微弱减小趋势,以 1960s 为最集中,1980s 最低,1983 年出现一次较为明显的突变过程。多年平均降水集中期出现于 7 月上旬的 38 候;集中期以 1980s 为最偏早,1990s 以来都较为偏迟,在 1990 年为明显的突变过程,此后集中期总体推后。(3) 集中度在 1960s 中期具有 2 a 左右的周期,在 1991—2004 年存在 3~5 a 左右的周期。集中期在 1970s 后段存在 2 a 左右短周期,而在 1970—1982 年存在显著的 6~9 a 左右稍长周期。集中度与集中期在 1975—1985 年还具有显著的 4~5 a 左右正相位共振周期。

关键词:淮河流域; 汛期降水; 集中度; 集中期

中图分类号:P932; P467

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)05-0295-05

Changes of Precipitation Concentration Degree and Precipitation Concentration Period in Flood Season in the Huaihe River Basin

YE Zhengwei, YIN Peng

(School of Urban and Environmental Sciences, Huaiyin Normal University, Huaian, Jiangsu 223300, China)

Abstract: Precipitation variability is a hot issue in the hydrological cycle field, and it is also the key reference for the flood and drought mitigation and water resources utilization. Daily precipitation data in the flood season of 30 meteorological stations in the Huaihe River Basin (HRB) from 1960 to 2014 were calculated. Based on the calculation of precipitation concentration index, precipitation concentration degree (PCD) and precipitation concentration period (PCP) were analyzed by the trend test methods and the wavelet analysis. The results showed that: (1) the inter-annual variation of precipitation in the HRB was large, it had a very slight increasing trend, less precipitation was observed in 1970s and the 1990s, but more precipitation was found ever since 2000s; (2) the PCD varied with an insignificant decreasing trend, the 1960s and the 1980s were the largest and lowest decades, respectively; an abrupt change of PCD occurred in 1983; the mean PCP occurred in the early July; the PCP was less in 1980s but larger since 1990s, there was an abrupt change in 1990 in the change of PCP; (3) a period of about 2 year could be checked for PCD and a period of about 3~5 years was quite stable from 1991 to 2004, a period of about 6~9 years was stable between 1970 and 1982, and a positive phase period of 4~5 years was significant for the PCD and PCP.

Keywords: Huaihe River Basin, precipitation in flood season, precipitation concentration degree, precipitation concentration period

以增暖为主要特征的全球气候变化正显著影响着全球水文循环的改变,表现为区域降水的再分配与调

整,包括降水强度、降水集中程度的非平稳性等,并由此出现极端水文事件的异常,导致旱涝灾害加剧^[1-2]。

降水集中度与集中期能很好地反映降水过程的时间非均匀性分布特征,是探讨降水量不均匀分布的重要方法,是众多学者关注气候变化下降水特征热点问题^[3-6]。降水集中度的研究可采用不同的时间尺度,包括月尺度、候尺度、日尺度等^[6-17]。早在 1980 年,Oliver 就提出了基于月尺度的降水集中度指标^[6],而月尺度的降水集中度分析在意大利、西班牙等被广泛应用^[7-9]。Martin-Vide 则重点探讨了基于日尺度的降水集中度指数,以在日尺度上描述不同强度降水对总降水的贡献^[10]。

我国学者也采用不同尺度降水集中度方法开展了相关研究,月尺度上,李英杰等分析了秦岭南北地区 1960—2014 年的降水集中度特征,认为秦岭以南降水集中度高于秦岭以北,且秦岭地区降水集中度呈显著上升趋势^[11];张录军等探讨了长江流域不同地段汛期降水的时空分布特征和变化规律^[12];张天宇等认为,在我国暴雨发生年分内,降水集中度与年降水量的正相关区与中国降水空间的分布具有较好的一致性^[13]。基于全国范围,佟晓辉等也探讨了 1960—2011 年中国日降水集中程度的时空变化特征^[14],孔锋等分析了 1951—2012 年中国降水集中度和集中期的时空格局^[15]。日尺度上的降水特性分析也普遍应用于珠江流域^[16]、澜沧江流域^[17]、淮河上游^[18]、西南地区^[19]与黄土高原^[20]等。

我国东部是季风降水变率较大的地区^[21],受气候变暖的影响亦较为突出,而地处我国南北气候分界过渡带的淮河流域,是我国降水变化异常、旱涝频发的区域,也是气候变化区域响应的典型流域,不少学者已开展了淮河流域汛期降水变化特征的研究^[22-23]。周亮广等探讨了 1951—2009 年淮河流域日尺度的降水集中度特性^[22];邢万秋等分析了淮河流域 1957—2008 年降水集中度特性的时空规律^[23];李远平等探讨了淮河上游淝河流域汛期降水集中度和集中期的变化特征^[24]。

而综合淮河流域降水集中特性的分析来看,月尺度、日尺度的研究已有所展开,但候尺度上的研究并未充分展开,且已有降水集中度特性研究的时间序列亦有待更新。因此,本文针对 1960—2014 年淮河汛期 5—8 月的降水变化,基于候尺度,采用降水集中度与集中期方法,探讨淮河流域汛期降水量的时间演化特征,为流域旱涝灾害规律的认识与区域水资源管理和利用提供科学依据。

1 研究区概况

淮河流域地处我国东部,介于长江和黄河两流域之

间,位于东经 111°55′—121°25′,北纬 30°55′—36°36′,面积为 27 万 km²(图 1)。流域西起桐柏山、伏牛山,东临黄海,南以大别山、江淮丘陵、通扬运河及如泰运河南堤与长江分界,北以黄河南堤和泰山为界与黄河流域毗邻,淮河干流发源于桐柏山太白顶北麓,依次流经河南、湖北、安徽、江苏。地貌上,淮河流域西部、西南部及东北部为山区、丘陵区,其余为广阔的平原,平原面积约占总面积的三分之二^[22-27]。气候上,淮河流域地处我国南北气候过渡带,淮河以北属暖温带区,淮河以南属北亚热带区,受季风降水影响,冬春季降水偏少,夏秋季降水丰富,冷暖和旱涝转变急剧^[22-27]。

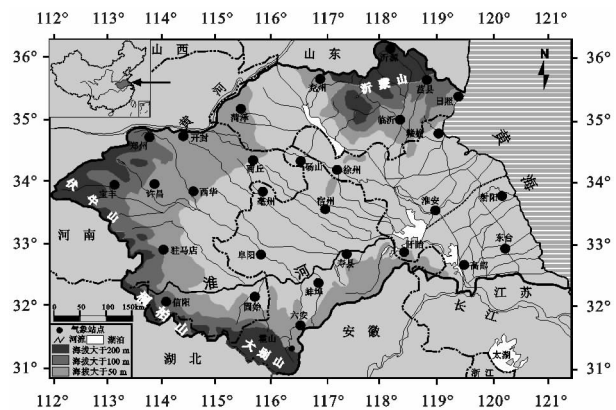


图 1 淮河流域地形与气象站点分布

2 数据处理与研究方法

2.1 数据来源

选用淮河流域 30 个气象测站点 1960—2014 年的逐日降水实测数据,站点分布见图 1。以候为尺度,研究时段为淮河流域汛期 5—8 月(第 25~49 候),获得不同站点的候降水资料。流域各个站点分布较均匀,且流域边缘皆有控制站点,可代表整体流域范围,故采用算术平均方法获得流域汛期各候的降水数值。所有数据来源于中国气象局气象数据中心的国家气象科学数据共享服务平台(<http://data.cma.cn/>)。所有数据经过质量控制,对个别观测站点存在部分年份数据不连续或缺失情况,采用与其自然环境相似的相邻站点进行替代插补。

2.2 研究方法

应用降水集中度与集中期分析淮河流域汛期降水的时间分布情况。降水集中度(Precipitation Concentration Degree, PCD)和集中期(Precipitation Concentration Period, PCP)是表征单站降水量随时间分配的参数,其定义和计算公式如下^[6,14-16]:

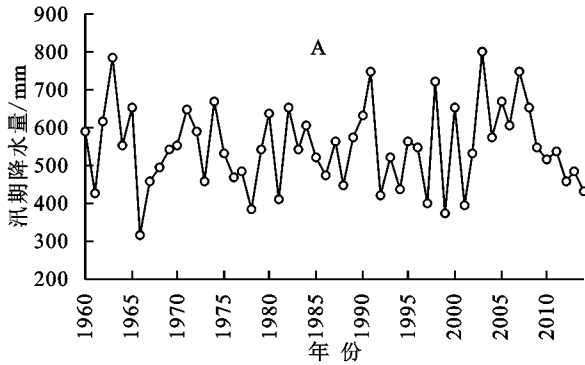
$$PCD = \frac{\sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}}{R_i} \quad (1)$$

$$PCP = \arctan(R_{xi}/R_{yi}) \quad (2)$$

式中: $R_{xi} = \sum_{j=1}^n r_{ij} \sin \theta_j$; $R_{yi} = \sum_{j=1}^n r_{ij} \cos \theta_j$; R 为某单站研究期内的总降水量; r_{ij} 代表研究期内某一候的降水量; θ_j 为研究期内各个候相应的方位角, 整个研究期的方位角为 360° , 每一候的中间日所对应的方位角为该候的方位角; i 为年份 ($i = 1960, 1961, \dots, 2014$); j 为研究时段内候的序列数 ($j = 25, 32, \dots, 49$)。

由以上公式可知, PCD 可以反映出研究期内总降水量在每一候分配的集中程度。如果在研究期内, 降水总量集中出现在某一候内, 那么它们所合成向量的模与降水总量之比为 1, 表示 PCD 为最大值, 表明降水越集中; 如果每一个候内降水量都相等, 那么它们各自的分量累加之和为 0, 则表示 PCP 是最小值, 表明降水量比较均匀。PCP 是合成向量的方位角, 指示的是每单个候降水量合成后的总体效应, 也就是向量合成后其重心所指示的角度, 反映了最大候降水量出现的时段(候)^[6, 14-16, 23-24]。

此外, 采用 Mann-Kendal 趋势分析与突变检测方法



分析 PCD 与 PCP 的时间变化特征^[28], 应用小波方法分析 PCD 和 PCP 在时序上的周期、相位关系^[29-30]。限于篇幅, Mann-Kendall 趋势分析与突变检测方法详见文献^[28]。Morlet 小波周期分析与小波相干 (Wavelet Transform Coherence, WTC) 方法详见有关文献^[29-30]。

3 结果与分析

3.1 汛期降水量的年际变化

淮河流域的降水主要是集中在汛期, 1960—2014 年流域多年 5—8 月的汛期平均降水量为 550 mm; 汛期降水年际间波动频繁(图 2A), 变幅较大, 最大汛期降水量为 2003 年的 798 mm, 最小汛期降水量为 1966 年的 314 mm。汛期降水的总体趋势为波动中微弱上升。而年代际变化上(图 2B), 1970s 和 1990s 为汛期雨量偏低时期, 尽管 1991 年淮河流域汛期出现较大洪涝。2000s 以来是汛期降水量最高的时代, 但降水量自 2007 年以来持续减少。

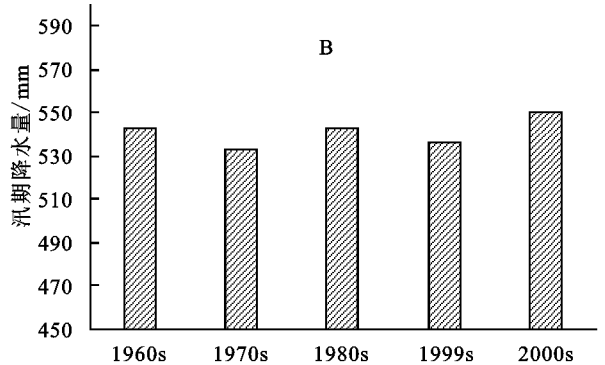


图 2 1960—2014 年淮河流域汛期降水量及其年代变化

3.2 汛期 PCD 和 PCP 的年际变化

淮河流域汛期降水集中度的变化波动较大(图 3A), 多年平均值 0.296 2, 总体呈微弱减小趋势, 变化倾向率极小, 仅为 0.01/10 a; 集中度最大的年份为 1965 年的 0.573, 最低年份为 2013 年的 0.131 6, 变幅达 0.441 3, 均方差为 0.103 6。淮河流域汛期降水集中度变幅较大, 这也是流域气象旱涝频繁的主要原因^[4, 14-15]。降水集中度的不同年代变化上, 1960s—2000s 的平均集中度分别为 0.336 4, 0.320 24, 0.250 14, 0.275 5, 0.298 1, 以 1960s 为最集中, 1980s 最低, 且 1980s 以来都略偏低。

淮河流域汛期降水集中期呈升高变化趋势(图 3B), 变化倾向率为 0.628/10 a, 多年降水集中期均值为 38 候, 也即降水集中出现于 7 月上旬, 降水集中期的均方差为 3.732 1。流域集中期最早为 1980 年的第 28 候, 最迟为 1999 年的第 46 候, 变幅相差 18 候, 这也表明淮河流域降水集中期总体波动较大, 也是淮河流域汛期旱涝发生时间上变动较大的原因。

降水集中期的年代变化上, 1960s—2000s 的平均集中度分别为 37, 37, 36.1, 40, 39.1, 以 1980s 为最偏早, 1990s 以来都较为偏迟。

3.3 汛期 PCD 和 PCP 的趋势与突变特征

淮河流域降水集中度与集中期的 Mann-Kendall 突变检测结果见图 4。

由图可知, 降水集中度在 1983 年后出现一次较为明显的突变过程(图 4A), 集中度表现为减少的过程, 但并未达到 0.05 置信度水平; 自 2005 年以来, 集中度出现多次频繁的波动过程, 但皆未明显突变。降水集中度的 Mann-Kendall 变化趋势统计量为 -1.016 3, 表明降水集中度为减小的趋势, 但变化趋势不显著。

降水集中期上(图 4B), 1990 年为较明显突变过程, 但未达到 0.05 置信度水平, 此后集中期数值为升高过程, 也即降水集中期的候数推后。而降水集中期的 Mann-Kendall 变化趋势统计值为 1.896 8, 表明集中期数值具升高趋势, 但变化趋势不显著。

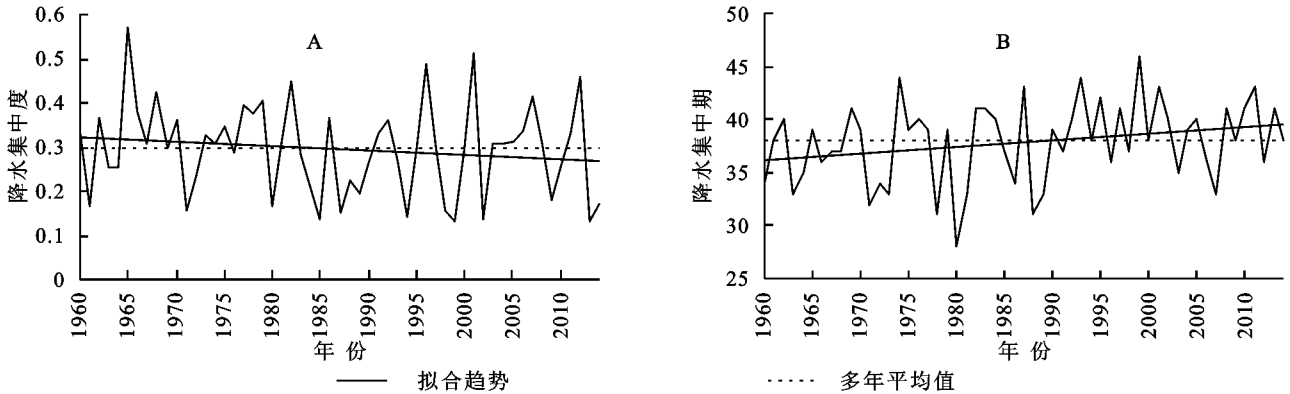


图 3 1960—2014 年淮河流域汛期 PCD(A)和 PCP(B)的年际变化

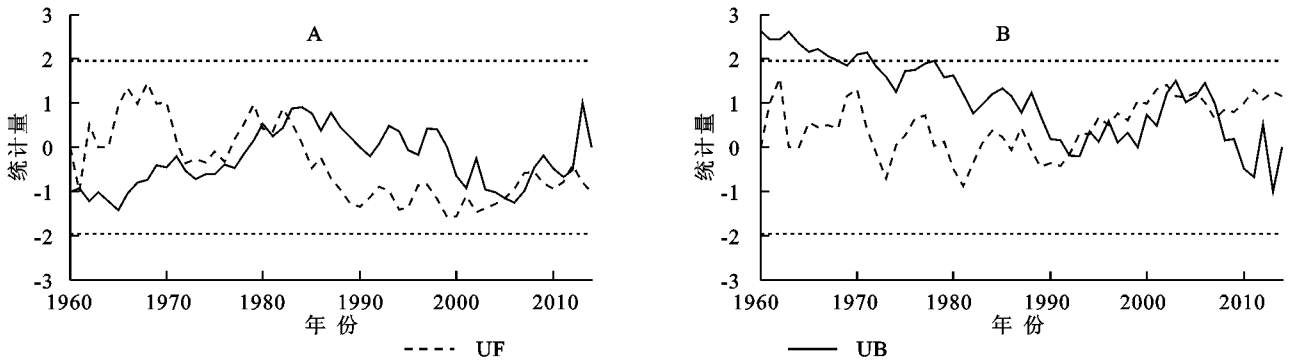


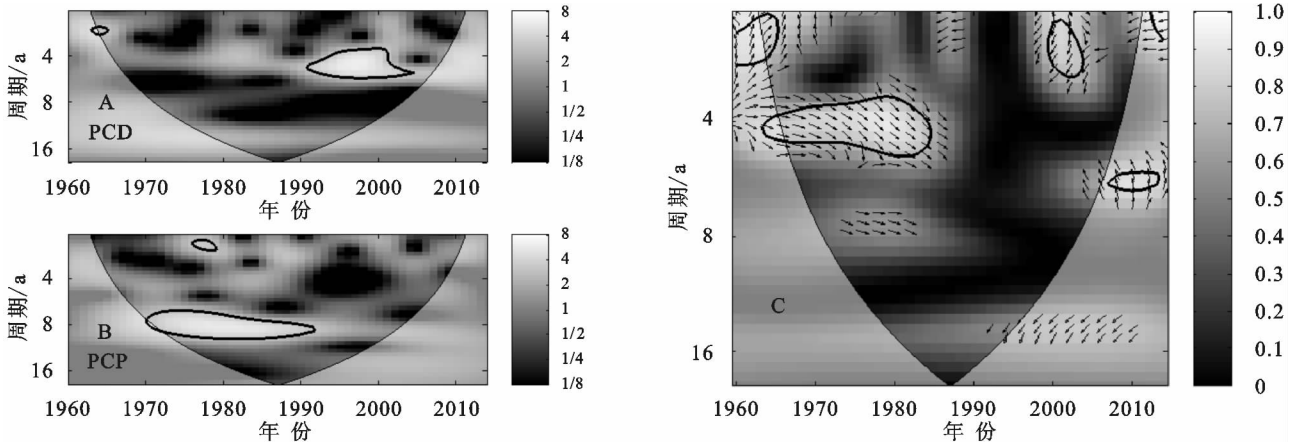
图 4 淮河汛期降水集中度(A)与集中期(B)的 Mann-Kendall 突变检测结果

3.4 汛期 PCD 和 PCP 的周期特征

周期变化上,淮河流域汛期降水集中度 PCD 在 1960s 中期具有 2 a 左右的周期(图 5A),在 1991—2004 年具有 3~5 a 左右的周期,且通过显著性水平。汛期集中期 PCP 的周期在 1970s 后段存在 2 a 左右的短周期(图 5B),而在 1970—1992 年存在显著的

6~9 a 左右周期变化,这一周期可能与东亚夏季风强弱 的变化周期存在关联^[4,21]。

小波相干分析显示(图 5C),降水集中度与集中期在 1975 年左右以及 2000 年左右存在比较显著的 2 a 左右的共振周期,而在 1975—1985 年还具有 4~5 a 左右的正相位共振周期,二者皆通过 95% 的显著性水平。



注:图 5A,5B 中,粗黑等值线包围的范围为通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平下的红噪声谱检验;细黑线为影响锥线;颜色深浅表示功率谱的强度;箭头方向反映了两者的相位关系。

图 5 淮河流域汛期降水集中度与集中期的变化周期及两者小波相干

4 结论

(1) 淮河流域汛期降水年际波动频繁,变幅较大,总体为微弱上升趋势;1970s 和 1990s 为汛期雨量偏低时期,而 2000s 以来是汛期降水量最高的时代。

(2) 降水集中度的变化波动较大,多年平均值 0.296 2,呈微弱减小趋势,以 1960s 为最集中,1980s 最低,且 1980s 以来都略偏低;降水集中度在 1983 年后出现一次较明显突变过程。降水集中期总体为不显著的升高趋势,多年平均降水集中期出现于 7 月上旬 38 候;

集中期以 1980s 最偏早,1990s 以来都较偏迟;降水集中期在 1990 年为明显的突变过程,此后集中期推后。

(3) 周期变化上,汛期降水集中度在 1960s 中期具有 2 a 左右的周期,在 1991—2004 年具有 3~5 a 左右的周期。汛期集中期在 1970s 后段存在 2 a 左右的短周期,而在 1970—1982 年存在显著的 6~9 a 左右周期变化。降水集中度与集中期在 1975 年左右以及 2000 年左右存在 2 a 左右的正相位共振周期,而在 1975—1985 年还具有 4~5 a 左右的正相位共振周期。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis: Summary for policy makers[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- [3] 汪方,田红. 淮河流域 1960—2007 年极端强降水事件特征[J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(3): 228-229.
- [4] 姜爱军,杜银,谢志清,等. 中国强降水过程时空集中度气候趋势[J]. 地理学报, 2005, 60(6): 1007-1014.
- [5] 郑永路,钟平安,万新宇,等. 淮河流域主汛期极端降水时空特征变异分析[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(5): 13-17.
- [6] Oliver J E. Monthly precipitation distribution: a comparative index[J]. Prof. Geogr., 1980, 32, 300-309.
- [7] Vergni L, Todisco F. Spatio-temporal variability of precipitation, temperature and agricultural drought indices in Central Italy[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151: 301-313.
- [8] Coscarelli R, Caloiero T. Analysis of daily and monthly rainfall concentration in southern Italy (Calabria region) [J]. J. Hydrol., 2012, 416(3): 145-156.
- [9] de Luis M, González-Hidalgo J C, Brunetti M, et al. Precipitation concentration changes in Spain 1946—2005 [J]. Natural Hazards and Earth System Science, 2011, 11: 1259-1265.
- [10] Martin-Vide J. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain [J]. International Journal of Climatology, 2004, 24: 959-971.
- [11] 李英杰,延军平,刘永林. 秦岭南北气候干湿变化与降水非均匀性的关系[J]. 干旱区研究, 2016, 33(3): 619-627.
- [12] 张录军,钱永甫. 长江流域汛期降水集中度和洪涝关系研究[J]. 地球物理学报, 2004, 47(4): 622-630.
- [13] 张天宇,程炳岩,王记芳,等. 华北雨季降水集中度和集中期的时空变化特征[J]. 高原气象, 2007, 26(4): 843-852.
- [14] 佟晓辉,刘向培,贾庆宇,等. 1960—2011 年中国日降水集中程度的时空变化特征[J]. 气候与环境研究, 2017, 22(3): 301-314.
- [15] 孔锋,方佳毅,刘凡,等. 1951—2012 年中国降水集中度和集中期的时空格局[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2015, 51(4): 404-411.
- [16] Zhang Q, Xu C Y, Gemmer M, et al. Changing properties of precipitation concentration in the Pearl River basin, China [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2009, 23: 377-385.
- [17] Shi P, Qiao X Y, Chen X, et al. Spatial distribution and temporal trends in daily and monthly precipitation concentration indices in the upper reaches of the Huai River, China [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2014, 28: 201-212.
- [18] Shi W L, Yu X Z, Liao W G, et al. Spatial and temporal variability of daily precipitation concentration in the Lancang River basin, China [J]. J. Hydrol., 2013, 495: 197-207.
- [19] 曹永兴,蔡宏珂,向卫国,等. 我国西南地区 1963—2012 年降水集中指数的变化特征[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2016, 38(10): 117-124.
- [20] 肖蓓,崔步礼,李东昇,等. 黄土高原不同气候区降水时空变化特征[J]. 中国水土保持科学, 2017, 15(1): 51-61.
- [21] 张礼平,张乐飞,曾凡平. ENSO 与中国东部夏季降水的关联[J]. 热带气象学报, 2012, 28(2): 177-186.
- [22] 周亮广,戴仕宝. 近 60 年来淮河流域强降雨时空变化特征[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(5): 847-852.
- [23] 邢万秋,王卫光,吴杨青,等. 淮河流域降雨集中度的时空演变规律分析[J]. 水电能源科学, 2011, 29(5): 1-5.
- [24] 李远平,杨太保,马建国. 渭河流域汛期降水集中度和集中期的变化特征[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 418-423.
- [25] 郑泳杰,张强,陈晓宏,等. 1951—2010 年淮河流域极端降水区域频率特征及其环流背景[J]. 武汉大学学报: 理学版, 2016, 62(4): 381-388.
- [26] 陆苗,高超,姚梦婷,等. 淮河流域极端降水概率分布模型及其应用[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 197-202.
- [27] 叶金印,黄勇,张春莉,等. 近 50 年淮河流域气候变化时空特征分析[J]. 生态环境学报, 2016, 25(1): 84-91.
- [28] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [29] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79: 61-78.
- [30] Grinsted A, Moore J C, Jevrejeva S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series [J]. Nonlinear Processes in Geophysics, 2004, 11: 561-566.