

近60年来淮河流域强降雨时空变化特征

周亮广^{1,2}, 戴仕宝^{1,2}

(1. 滁州学院, 安徽 滁州 239000; 2. 安徽省地理信息集成应用协同创新研究中心, 安徽 滁州 239000)

摘要: 基于1951年-2009年淮河流域44个气象站逐日降水资料, 运用小波分析、Mann-Kendall突变检验法、克里金插值等方法对研究区暴雨集中度(PCD)、集中期(PCP)、暴雨量及降水总量进行时空变化特征分析。研究表明: 淮河流域近60年来暴雨PCD和PCP增减幅度不明显, 但暴雨量和降水总量呈明显的增长趋势, 增长速度分别为2.64 mm/10 a和15.17 mm/10 a; 变化周期上, 暴雨集中度(PCD)主要呈现出5 a和10 a左右的震荡, 暴雨集中期(PCP)呈现出明显的5 a和15 a左右的周期震荡, 暴雨量和降水总量呈现出6~10 a的变化周期; 暴雨集中度(PCD)、集中期(PCP)、降水总量和暴雨量都存在明显的突变年份; 暴雨集中度空间分布上具有明显的不均衡性, 基本从西向东, 从南向北集中度呈增大趋势, 年降水量较多的区域, 降水集中度相对偏高, 同样地年暴雨量较大的区域降水暴雨集中度相对偏高; 暴雨集中期主要集中在7月中下旬, 并且总体上在年内呈现从西北向东南暴雨集中期逐步推后; 暴雨量与暴雨频次的相关系数达0.96, 即两者具有类似的时空变化特征。

关键词: 暴雨; 降水集中度(PCD); 降水集中期(PCP); 时空特征; 淮河流域

中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)05-0847-06

Spatial and temporal variation characteristics of heavy rainfall in the Huaihe River Basin in recent 60 years

ZHOU Liang guang^{1,2}, DAI Shi bao^{1,2}

(1. Chuzhou University, Chuzhou 239000, China; 2. Collaborative Innovation Center of Geography Information Integration Application in Anhui Province, Chuzhou 239000, China)

Abstract: Based on the daily precipitation data at 44 stations in the Huaihe River Basin from 1951 to 2009, we analyzed the spatial and temporal variation patterns of Precipitation Concentration Degree (PCD) and Precipitation Concentration Period (PCP) of rainstorm, heavy rainfall, and total precipitation in the study area using the methods such as wavelet analysis, Mann-Kendall mutation test, and kriging interpolation. The results showed that (1) the increasing trend of the rainstorm PCD and PCP is insignificant, but the amount of rainstorm and total precipitation show a significantly increasing trend with the rate of 2.64 mm/10 a and 15.17 mm/10 a, respectively; (2) the periodicity of the PCD is approximately 5 years and 10 years, the periodicity of PCP is approximately 5 years and 15 years, and the periodicity of rainstorm and total precipitation is approximately 6 to 10 years in recent 60 years; (3) there are obvious mutation years for the PCD, PCP, rainstorm, and total precipitation; (4) the spatial distribution of rainstorm PCD is uneven in the river basin with the increasing trend from west to east and from south to north, and the PCD is higher in the area with heavier rainfall and higher total precipitation; (5) rainstorm PCP occurs mostly in the middle to late July, and it is pushed back from northeast to northwest within a year; and (6) the correlation coefficient between the rainstorm amount and rainstorm frequency is up to 0.96, so they have similarly spatial and temporal variations in the Huaihe River Basin.

Key words: rainstorm; Precipitation Concentration Degree (PCD); Precipitation Concentration Period (PCP); spatial and temporal characteristics; Huaihe River Basin

在气候变暖背景下, 全球降水格局发生重大调整, 强降雨或极端降水频率显著增加, 可能的暴雨等极端降水事件也

趋于增多^[1]。大量研究成果表明中国近50年来年总降水量虽无显著极端变化倾向^[2-3], 但多处气象站点大到暴雨的雨

收稿日期: 2014-05-29 修回日期: 2015-09-04 网络出版时间: 2015-09-25

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150925.1236.006.html>

基金项目: 安徽高校人文社科重点研究基地项目(SK2015A176); 滁州学院科技创新团队支持计划项目(CXTD201105); 安徽省地理信息集成应用协同创新研究中心项目资助。

作者简介: 周亮广(1981-), 男, 山东桓台人, 讲师, 主要从事为水文水资源与GIS方面研究。E-mail: spring_8102@126.com

量和日数比重逐渐增加^[4-5]。尤其 20 世纪 90 年代以来大江大河流域强降水事件趋于集中,大范围严重旱涝事件出现频率显著增强,强降水事件时空集中程度的变化可能是水旱灾害加重的重要原因之一^[6-7]。

淮河流域介于长江和黄河两流域之间,地处东亚季风区,降水年际变化明显。受特殊的气候和地理要素影响,旱涝灾害频繁。2001 年以来,淮河流域夏季降水急剧增加,如 2003 年、2005 年和 2007 年相继出现连续极端强降水过程。研究表明,淮河流域汛期降水实际上就是东亚夏季风推进的产物^[8-9],其旱涝异常与全球大尺度环流异常密切相关^[10-12]。与严重旱涝事件密切相关的降水时空集中程度随气候变化背景下趋势如何等问题已经引起人们普遍关注^[13-14]。因此研究淮河流域强降水及其变化,对淮河流域水资源防灾减灾、工农业生产和人民生活具有重大意义。

1 数据和方法

1.1 数据来源

本文所用的数据来源于 2010 年统计的各省、市、自治区气候资料处理部门逐月上报的《地面气象记录月报表》的信息化资料,选择 1951 年-2009 年记录淮河流域五省(河南、安徽、山东、江苏及湖北) 44 个测站近 60 年的逐日降水量资料(图 1)。

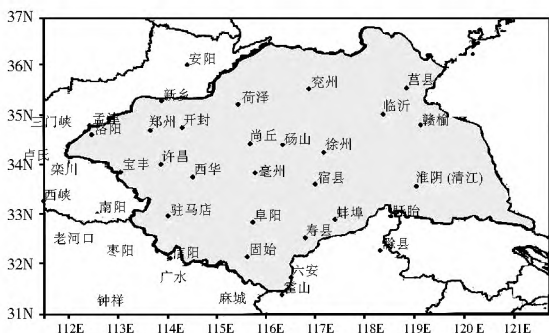


图 1 淮河流域站点分布

Fig. 1 Distribution of precipitation stations in the Huaihe River Basin

表 1 逐月方位角(θ_j)

Tab. 1 Monthly angle range (θ)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
角度($^{\circ}$)	0~ 30	31~ 60	61~ 90	91~ 120	121~ 150	151~ 180	181~ 210	211~ 240	241~ 270	271~ 300	301~ 330	331~ 360

1.2.3 Manr Kendall 突变分析

为了突出较长时期变化的信号,首先对 PCD 、 PCP 和雨季降水量的时间序列作二项式平滑,滑动步长取 5 a。与传统的滑动平均法比较,二项式系数加权平均平滑法的优点是,平滑后的新序列与原序列长度是相等的;其当前项系数最大,向前后逐渐减少,保存了当前项自身及附近项的相对特征,在保留序列的局部特征方面,其平滑效果接近小波分析。其次,采用 Manr Kendall 法对平滑后的新序列进行突变检验^[16]。 PCD 、 PCP 和雨季降水量的 Manr Kendall 统计曲线中,平滑实线为降水的顺序统计曲线,虚线为降水的逆序统计曲线,并给定显著性水平为 0.05,临界线为 1.96% (两条直线)。若平滑实线或虚线的值大于 0,则表明序列呈

1.2 分析方法

1.2.1 暴雨集中程度分析方法

应用姜爱军^[15]等提出的表征单站降雨量时间分配特征的参数—降雨集中度和集中期,来描述不同强度降水过程非均匀分配特征及其累积效应。

本文对暴雨的研究具体方法如下:对一个区域的暴雨年内分配表示方法,大致采用各月暴雨量占年降水量的百分比,用等值线的方式进行标示。利用向量分析的原理定义单站降水量时间分配特征的参数。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,由此定义暴雨集中度(PCD)和集中期(PCP)。

$$PCD = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} / R_i \quad (1)$$

$$PCP = \arctan(R_x / R_y) \quad (2)$$

$$R_x = \sum_{j=1}^N r_{ij} \cdot \sin\theta_j, R_y = \sum_{j=1}^N r_{ij} \cdot \cos\theta_j \quad (3)$$

式中: R_i 为某测站第 i 年研究时段内总降水量; r_{ij} 为研究时段内某月暴雨量; i 为年份($i = 1951, 1961, \dots, 2009$); j 为研究时段内的月序($j = 1, 2, \dots, N$); θ 为第 j 月对应的方位角(整个研究时段的方位角为 360° ,做法为一年作为一个圆周,每月平均分配,一月相当于 30° ,如表 1)。

显然,式(1)中 PCD 能够反映降水总量在研究时段内各月的集中程度,取值在 0.0~1.0 之间, PCD 值越接近 1.0,表明降水总量越集中在某一月内;相反 PCD 值接近 0,表明各月的降水量比较平均。式(2)计算了合成向量的方位角,表示向量合成后重心所指示的角度,反映一年中的最大降水量出现的时段,如果每日平均分配方位角,暴雨时间分辨率可以具体到日。

1.2.2 暴雨集中程度的周期变化及突变分析

为了进一步研究 60 年来淮河流域暴雨集中程度的年际及年代际变化特征,对年暴雨量、集中度和集中期的时间序列进行 Morlet 小波分析,小波函数采用墨西哥帽子波;利用 Manr Kendall 突变检验法来分析淮河流域暴雨量、 PCD 和 PCP 的年际变化特征。

上升趋势;值小于 0 则表明呈下降趋势。当它们超过临界线时,表明上升或下降趋势明显。如果统计曲线在临界线之间出现交点,则交点对应的时刻便是突变开始的时间。

1.2.4 暴雨时空集中程度的气候趋势分析

为研究暴雨特征参数近 60 年来的变化趋势,利用文献[17]的计算气候趋势系数 r_{xt} ,即 n 个时刻(年)的要素序列与自然数列 1, 2, 3, ..., n 的相关系数。

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (i - \bar{i})^2}} \quad (4)$$

式中: n 为年数; x_i 为第 i 年要素值; \bar{x} 为其样本均值; $t = (n+1)/2$ 。 r_{xt} 为正(负)时,表示该要素在所计算的时段,有线性增(降)的

趋势。

2 淮河流域暴雨集中程度变化分析

2.1 暴雨集中程度时间变化

根据式(1)至式(3),计算淮河流域1951年-2009年的PCD和PCP,结果见图2。可以看出,PCD变化基本在0.15~0.3之间,平均为0.23,有下降趋势,但基本保持稳定,反映出淮河流域

暴雨降水量占全年降水的百分率基本不变(图2(a)、图2(b));但降水量呈逐年递增趋势(图2(d)),增长速度为15.17 mm/a,在0.5水平上显著,而且暴雨量也呈逐年递增趋势(图2(c))。由图2(b)可以看出,淮河流域暴雨集中中期基本在210°~250°间波动,基本稳定在228.9°,即集中在7月中旬左右。可见,淮河流域近60年来的暴雨PCD和PCP增减幅度不大,但暴雨量和降水总量有递增趋势,后者增幅大于前者。

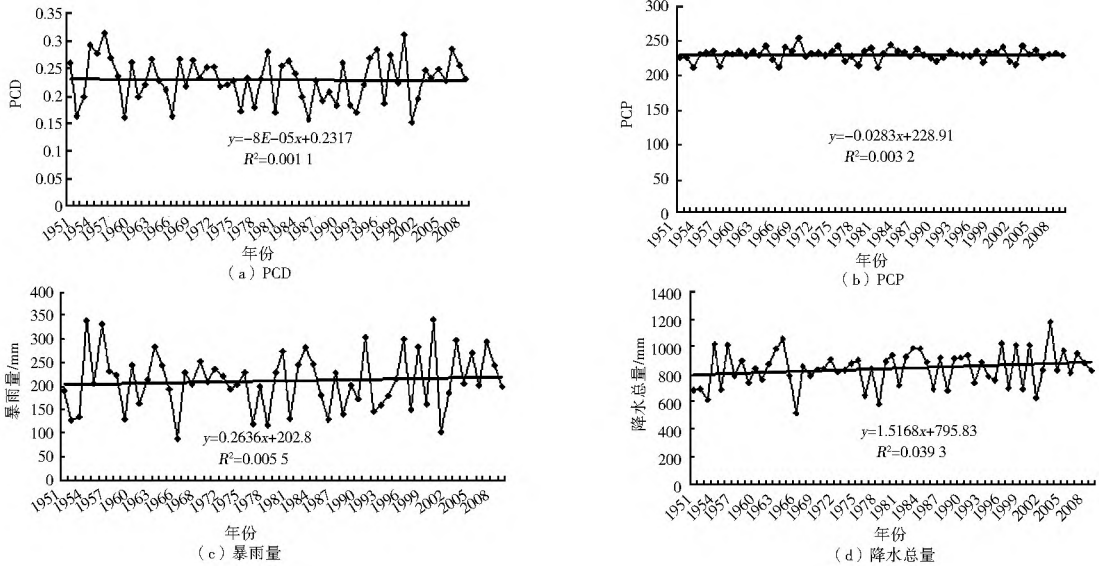


图2 淮河流域1951年-2009年降水量及暴雨集中程度变化

Fig. 2 Variations of annual precipitation and rainstorm concentration degree in the Huaihe River Basin from 1951 to 2009

2.2 暴雨集中程度的周期变化及突变分析

2.2.1 暴雨集中程度的周期变化

对淮河流域近60年来暴雨集中度和集中期、暴雨量、年降水量进行Morlet小波分析,结果发现:

PCD主要呈现出5a左右和10a左右的周期震荡,其中20世纪70年代早晚期、80年代早期和90年代后期10a左右的周期震荡明显(图3(a));

PCP呈现出明显的5a和15a左右的周期震荡,其中

20世纪50年代到70年代,5a的震荡周期明显,20世纪70年代以后又呈现出15a的震荡周期(图3(b))。

暴雨量呈现出6~10a的变化周期,其中20世纪50年代、70年代早期和后期、80年代早期基本在10a左右的周期,20世纪60年代和90年代维持在6a左右的周期(图3(c))。

降雨总量与暴雨量的周期变化相类似,基本呈现在6~10a周期震荡,同时在20世纪60年代也呈现出20a左右的周期(图3(d))。

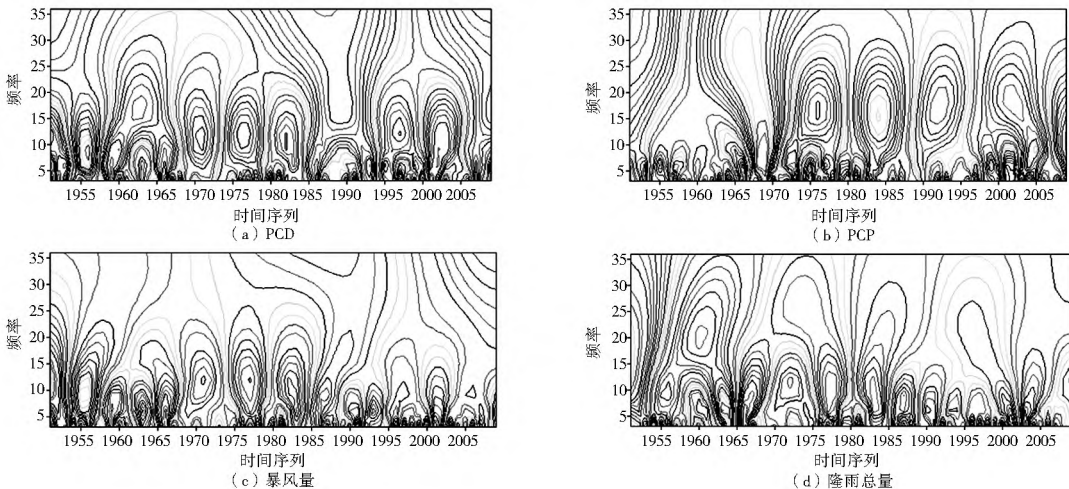


图3 淮河流域近60年PCD、PCP,暴雨量和降雨总量小波分析

Fig. 3 Wavelet analysis of PCD, PCP, rainstorm amount, and total precipitation in the Huaihe River Basin in recent 60 years

2.2.2 暴雨集中程度的Mann-Kendall突变分析

采用Mann-Kendall法对平滑后暴雨PCD、PCP、暴雨量和降水总量的新序列进行突变检验,图4为其统计曲线图。

可以看出,60年来淮河流域暴雨集中度呈下降趋势,且存在明显的突变点,突变时间在1968年(1968年前PCD基本在24%以上,1968年都低于24%)(图4(a));而集中期则呈明

显的上升趋势,有明显的突变点出现在 1964 年(1964 年前 PCP 在 227 以下,之后都在该值之上)(图 4(b));暴雨量亦呈现出明显的上升趋势,出现 1958 年、1980 年和 2006 年三个突变点(1958 年暴雨量由原来的减少转为增加趋势,1958 年到 1980 年为暴雨量明显的增加期,1980 年到 2006 年为暴雨的增幅波动期,2006 年后暴雨又呈现明显的增加趋势)(图 4(c));降水总量的变化亦呈现出明显的增加趋势,与顾万龙^[18]的研究结果相一致,其突变点出现在 1972 年(1972 年以前降水总量在 800 mm 以上,以后都在 800 以上),且在 2006 年超过了临界线(图 4(d)),与暴雨量的变化趋势、突变点均一致。

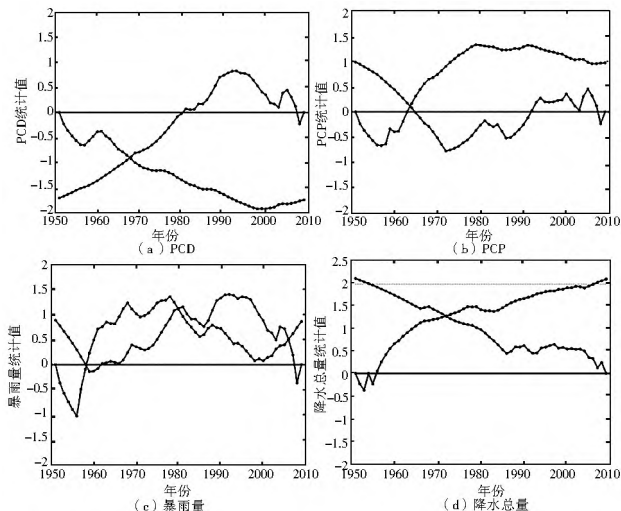


图 4 淮河流域 PCD 、 PCP 、暴雨量和降水总量的 Mann-Kendall 统计曲线

Fig. 4 Statistical curves of Mann-Kendall test for PCD , PCP , rainfall amount, and total precipitation

2.3 暴雨集中程度的空间分布及变化

(1) 暴雨量的空间分布变化特征。

从淮河流域暴雨量分布图(图 5)可以看出,淮河流域暴雨量呈现从东部和西南部逐渐向西部和西北方向降低,在东部赣榆和西南部信阳一带为暴雨量的最大值,可达 280~334 mm,而西部靠近洛阳、孟津一带低值区仅有 87~166 mm。除西边暴雨中心外,总体上呈现由东南向西北递减的趋势。

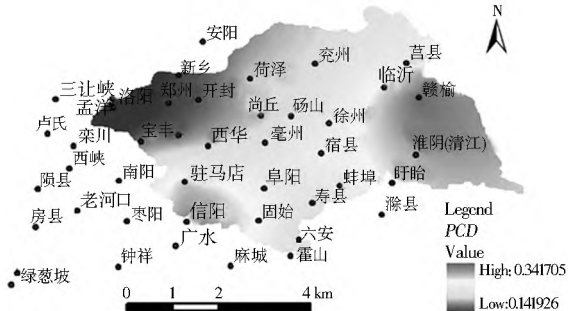


图 5 淮河流域暴雨量空间分布

Fig. 5 Distribution of rainstorm in the Huaihe River Basin

(2) 暴雨集中度的空间变化特征。

基于淮河流域 44 个站点近 60 年暴雨集中度见图 6,可以看出,淮河流域暴雨集中度空间分布上具有明显的不均衡性,在 0.14~0.34 之间,基本呈现从西向东,从南向北集中度逐渐增大趋势,东部地区比西部地区暴雨更加集中,北部地区比南部地区更加集中。流域西部孟津一带、南部霍山一带降水集中度最

低,基本在 0.14~0.20 之间;而东部赣榆、淮阴一带暴雨集中度最大,达 30%~34% 以上;北部兖州一带也在 24%~30% 之间;流域中部暴雨集中程度在 24% 左右呈现东西呈降低趋势平行过度。可见,总体上暴雨量较大的区域降水集中度相对偏高,暴雨量最小的地区暴雨集中度也最低。

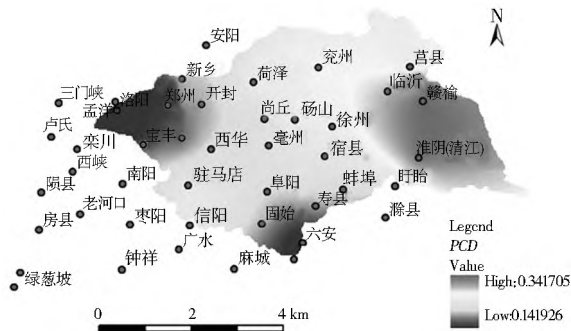


图 6 淮河流域暴雨集中度(PCD)空间分布

Fig. 6 Distribution of rainstorm PCD in the Huaihe River Basin

(3) 暴雨集中中期空间变化特征。

从淮河流域暴雨集中中期空间分布图(图 7)可以看出,淮河流域总体降水集中期在 215.58~239.73,暴雨的集中期主要集中在 7 月份,西北地区菏泽到孟津一带暴雨集中期主要集中在 7 月上旬,到流域中部基本在 7 月中旬过度到东部地区 7 月下旬,并且总体上暴雨集中期在年内呈现从西北向东南在时间上逐步推后。

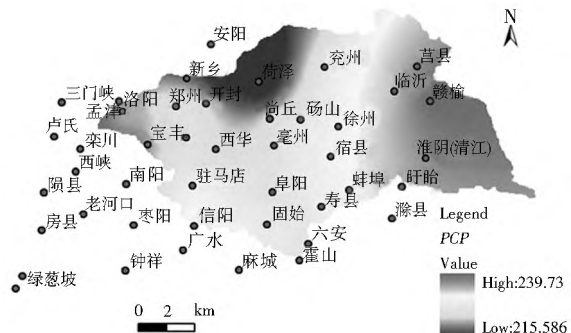


图 7 淮河流域暴雨集中期(PCP)空间分布

Fig. 7 Distribution of rainstorm PCP in the Huaihe River Basin

2.4 暴雨集中程度的气候趋势分析

根据式(4)计算得出淮河流域暴雨集中度 PCD 趋势系数(-0.033)和集中期 PCP 趋势系数(0.056)(表 2),两者系数都非常小,而且未通过 0.05 水平显著性检验,可见,暴雨集中程度增减趋势并不明显;但暴雨量和降水总量的气候趋势系数分别为 0.735 和 0.762(通过 0.01 水平信度检验),暴雨量和降水总量都呈现出明显的增长趋势(其气候倾向率分别为 2.64 mm/(10a) 和 15.17 mm/(10a),见图 8),降水总量的增长速度强于暴雨量。

表 2 淮河流域降雨及暴雨集中程度趋势系数

Tab. 2 Trend coefficients of PCD , PCP , rainfall amount, and total precipitation

指标	集中度 (PCD)	集中期 (PCP)	暴雨量	降水总量
趋势系数	-0.033	0.056	0.735	0.762
Sig. (2 tailed)	0.805	0.672	0.000	0.000

3 暴雨频次集中程度分析

以上主要通过分析暴雨量与暴雨集中程度来反映淮河流域暴雨的分布与变化,若要全面反映暴雨时空分布还有一个重要指标即暴雨频次。图9为暴雨量与暴雨频次的折线图。可以看出,暴雨量与暴雨频次的相关系数0.96,在0.001水平上高度相关。可见,淮河流域暴雨频次的集中程

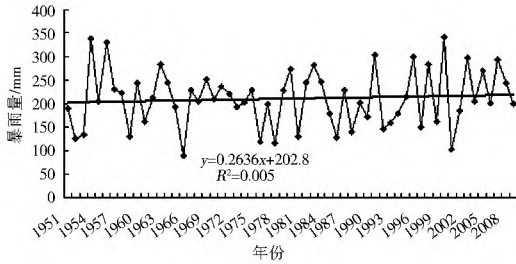


图8 暴雨量和降水总量气候倾向率

Fig. 8 Climate tendency rates of rainstorm amount and total precipitation

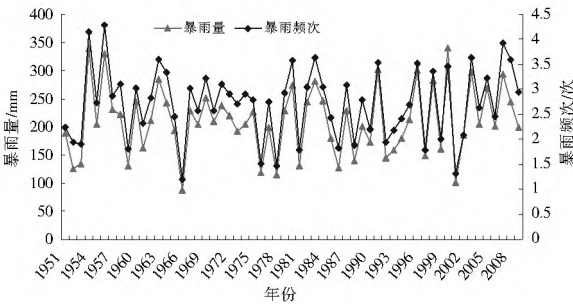
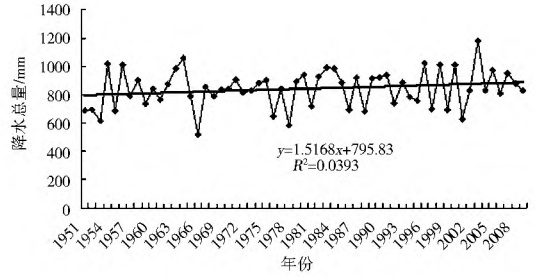


图9 淮河流域暴雨量和暴雨频次时间变化

Fig. 9 Variations of rainstorm amount and rainstorm frequency in the Huaihe River Basin

(2) 淮河流域近60年来暴雨集中度(*PCD*)主要呈现出5a和10a左右的震荡;暴雨集中期(*PCP*)呈现出明显的5a和15a左右的周期震荡;暴雨量和降水总量呈现出6~10a的变化周期。淮河流域暴雨集中度(*PCD*)、集中期(*PCP*)、降水总量和暴雨量都存在明显的突变年份。

(3) 淮河流域暴雨集中度空间分布上具有明显的不均衡性,基本从西向东,从南向北集中度呈增大趋势,集中度上东部地区高于西部,北部地区高于南部,年降水量较多的区域,降水集中度相对偏高。可见,总体上年暴雨量较大的区域降水集中度相对偏高,暴雨量最小的地区暴雨集中度也最低。

(4) 淮河流域暴雨集中期主要集中在7月中下旬,并且总体上在年内呈现从西北向东南暴雨集中期逐步推后。

(5) 暴雨量与暴雨频次的相关系数达0.96,可以推断,淮河流域暴雨频次的集中程度与暴雨量的集中程度应具有类似的时空变化特征。

参考文献(References):

[1] IPCC, 2001: Climate Change 2001. Houghton J T (ed.), Contribution of working group I to the Third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, NY, USA, 156-159.
 [2] ZHAI Panmao, PAN Xiaohua. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of

度与集中期与暴雨量的集中程度具有类似的时空变化特征。

4 结论

(1) 淮河流域近60年来暴雨*PCD*和*PCP*变化幅度不大,暴雨集中度(*PCD*)多年平均为0.23,暴雨集中期(*PDP*)基本稳定在228.91度,即集中在7月中旬左右。但暴雨量和降水总量有递增趋势,增幅上降水总量还要大于暴雨量。

the 20th century. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(suppl.): 1-10.

[3] DING Yihui, Dai Xiaosu. Temperature variation in China during the last 100 years. Meteorological Monthly, 1994, (12): 19-26.
 [4] 陈晓燕, 尚可政, 王式功, 等. 近50年中国不同强度降水日数时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2010, 27(5): 766-772. (CHEN Xiaoyan, SHANG Kezheng, WANG Shigong, et al. Analysis on the spatiotemporal characteristics of precipitation under different intensities in China in recent 50 years[J]. Arid Zone Research, 2010, 27(5): 766-772. (in Chinese))
 [5] 陈峪, 陈鲜艳, 任国玉. 中国主要河流域极端降水变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(4): 265-269. (CHEN Yu, CHEN Xiaoyan, REN Guoyu. Variation of extreme precipitation over large river basins in China[J]. Advances in Climate Change Research, 2010, 27(5): 766-772. (in Chinese))
 [6] ZHAI Panmao, REN Fumin, ZHANG Qiang. Detection of trends in China's precipitation extremes. Acta Meteorologica Sinica, 1999, 57(2): 208-216.
 [7] LI Jishun, WANG Angsheng, Chen Jiatian. Spatial temporal variation of precipitation leads to the serious flood and drought in Yangtze River valley. Disaster Reduction in China, 2000, 9(4): 27-40.
 [8] 尹东屏, 沈树勤, 曾明剑, 等. 淮河下游暴雨和非暴雨天气特征分析[J]. 气象科技, 2005, 33(4): 324-329. (YIN Dongping, SHEN Shuqin, ZENG Mingjian, et al. Comparative analysis of characteristics of synoptic patterns with and without heavy rainfall in downstream of Huaihe river meteorological science and Technology[J]. Meteorological Science and Technology, 2005, 33(4): 324-329. (in Chinese))
 [9] 丁一汇. 1992年江淮流域持续性特大暴雨研究[M]. 北京: 气象出版社, 1993. (DING Yihui. Research on the sustained heavy rain over the Jianghuai basin in 1992[M]. Beijing: Meteorological Press, 1993. (in Chinese))
 [10] 王慧, 王谦谦. 近49年来淮河流域降水异常及其环流特征[J]. 气象科学, 2002, 22(6): 149-158. (WANG Hui, WANG Qianqian. Precipitation anomalies and the features of atmospheric circulation in the Huaihe river basin[J]. Scientia Meteo

- orologica Sinica, 2002, 22(6): 149-158. (in Chinese)
- [11] 陶诗言, 徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征[J]. 气象学报, 1962, 32(1): 1-10. (TAO Shiryan, XU Shuying. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in Yangtze and Hwaiho valleys in summer[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1962, 32(1): 1-10. (in Chinese))
- [12] HE JH, ZHOU B, WEN M, et al. Vertical circulation structure, interannual variation features and variation mechanism of western Pacific subtropical high[J]. Adv. Atmos. Sci., 2001, 18(4): 497-510.
- [13] 刘可晶, 王文, 朱烨, 等. 淮河流域过去 60 年干旱趋势特征及其与极端降水的联系[J]. 水利学报, 2012, 43(10): 1179-1187. (LIU Kejing, WANG Wen, ZHU Ye, et al. Trend of drought and its relationship with extreme precipitation in Huaihe river basin over the last 60 years[J]. Journal of Water Conservancy, 2012, 43(10): 1179-1187. (in Chinese))
- [14] 纳丽, 李欣, 朱晓炜. 宁夏夏季降水集中程度与旱涝关系的研究[J]. 干旱气象, 2012, 30(2): 215-219. (NA Li, LI Xin, ZHU Xiaowei. Relationship between summer precipitation concentration degree and drought/flood in Ningxia[J]. Journal of Arid Meteorology, 2012, 30(2): 215-219. (in Chinese))
- [15] 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. (JIANG Aijun, DU Yin, XIE Zhizheng, et al. Climatic trends of heavy precipitation spatial and temporal concentration in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(6): 1007-1014. (in Chinese))
- [16] 丁明军, 郑林, 杨续超. 1961-2007 年鄱阳湖周边地区气温变化趋势分析[J]. 中国农业气象, 2010, 31(4): 517-521. (DING Mingjun, ZHENG Lin, YANG Xuchao. Trend analysis of long term temperature time series in the area around Poyang Lake from 1961 to 2007[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(4): 517-521. (in Chinese))
- [17] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236. (WANG Zunya, DING Yihui, HE Jinhai, et al. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years. [J] Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(2): 228-236. (in Chinese))
- [18] 顾万龙, 王纪军, 朱业玉, 等. 淮河流域降水量年内分配变化规律分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(4): 426-431. (GU Wanlong, WANG Jijun, ZHU Yeyu, et al. Annual distribution of precipitation over the Huaihe river basin[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(4): 426-431. (in Chinese))
- (上接第 846 页)
- [9] Mu Xingmin, Zhang Lu, McVicar TR, et al. Estimating the impact of conservation measures on streamflow regime in catchments of the Loess Plateau[J]. China. Hydrological Progress, 2007, 21(16): 2124-2134.
- [10] 曹洁萍, 迟道才, 武力强, 等. Mann-Kendall 检测方法在降水趋势分析中的应用研究[J]. 农业科技与装备, 2008(5): 34-37. (CAO Jieping, CHI Daochai, WU Liqiang, et al. Mann-Kendall examination and application in the analysis of precipitation trend[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2008(5): 34-37. (in Chinese))
- [11] 王文圣, 丁晶, 李跃清. 水文小波分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. (WANG Wensheng, DING Jing, LI Yueqing, et al. Wavelet Analysis in Hydrology[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2005. (in Chinese))
- [12] 穆兴民, 李靖, 王飞, 等. 黄河天然径流量年际变化过程分析[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(2): 1-5. (MU Xingmin, LI Jing, WANG Fei, et al. Analysis on the annual natural runoff variety process of the Yellow River[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment, 2003, 17(2): 1-5. (in Chinese))
- [13] 蔡晓禾, 廖廓, 池艳珍, 等. 福建雨季降水时空非均匀分布特征分析[J]. 福建农业学报, 2014, 29(4): 378-384. (CAI Xiaohu,
- LIAO Guo, CHI Yanzhen, et al. Analysis on character of precipitation during rainy season in Fujian Province[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2014, 29(4): 378-384. (in Chinese))
- [14] 陈莹, 陈兴伟. 福建省近 50 年旱涝时空特征演变—演变标准化降水指数分析[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(3): 57-63. (CHEN Ying, CHEN Xingwei. Evolution of spatiotemporal characteristics of flood and drought in Fujian Province for recent 50 years: an SPI-based analysis[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(3): 57-63. (in Chinese))
- [15] 秦年秀, 姜丹, 许崇育. 长江流域径流趋势变化及突变分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(5): 589-594. (QIN Nianxiu, JIANG Tong, XU Chongyu, et al. Trends and abrupt analysis on the discharge in the Yangtze Basin[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(5): 589-594. (in Chinese))
- [16] 李玲. 福建省雨季降水异常规律及其成因的初步分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2006. (LI Ling. The preliminary analysis of the anomaly regularity and the cause responsible in the raining season in Fujian Province[D]. Nanjing: Nanjing university of information science & technology, 2006. (in Chinese))