

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2018.05.002

基于质心分析的淮河流域降水时空分布特征

方国华¹,张 钰¹,闻 昕^{1,2},林榕杰¹,马 莹³

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098;
2. 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;
3. 水利部淮河水利委员会沂沭泗管理局, 江苏 徐州 221000)

摘要:为定量表征淮河流域降水量非均匀性特征,建立年降水质心时间指标,以概化年内降水过程时间分布,从时域、空域、频域3个维度解析流域近55 a降水质心时间的总体格局与演变规律。结果表明:各典型站点近55 a降水质心时间序列中全部存在28 a的第一主周期;年降水质心时间序列突变年份多发生于1975—1989年,突变主要集中于淮河上中游地区;年降水质心时间序列多呈现不显著的增加趋势,说明流域大部分地区年降水集中期有微弱的后移倾向;年降水质心时间随纬度增加而呈现明显的后推趋势,流域南北地区年降水质心时间可相差20 d左右,经度变化对年降水质心时间没有明显影响;淮河流域暴雨与大雨质心时间普遍迟于其他等级年降水质心时间,流域年降水质心时间对暴雨、大雨较为敏感。

关键词:降水;降水等级;质心时间;时域;空域;频域;不均匀性;淮河流域

中图分类号:TV125 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2018)05-0384-06

Spatial and temporal distribution characteristic of precipitation in the Huaihe River Basin based on centroid analysis

FANG Guohua¹,ZHANG Yu¹,WEN Xin^{1,2},LIN Rongjie¹, MA Ying³

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;
3. Yishusi Management Bureau of Huaihe River Conservancy Commission, Xuzhou 221000, China)

Abstract: In order to quantitatively characterize the non-uniformity of precipitation in the Huaihe River Basin, the centroid time of annual precipitation was established to generalize the time distribution of precipitation process. The overall pattern and evolution characteristics of precipitation concentration period in the past 55 years was analyzed from three aspects: time domain, space domain and frequency domain. The results show that: (a) the first main period of the centroid time of annual precipitation is 28 years in all selected stations, the mutation mostly happened in the southern area of the upper reaches of Huaihe River around from the late 1970s to the mid or late 1980s, and the time series of centroid time of annual precipitation has an increasing trend but not significant, which indicates that there was a slight backward in most areas of the watershed. (b) The centroid time of annual precipitation has a significant backward trend with the increase of the latitude, and the difference is about 20 days from the south to the north. The change of centroid time of annual precipitation has no correlation with the longitude, which explains that no obvious difference exists between the east and the west. (c) The centroid time of storm and heavy rain is

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0405900);国家自然科学基金(51609061);江苏省水利科技项目(2014012);江苏高校优势学科建设工程资助项目(Y511001)

作者简介: 方国华(1964—),女,教授,博士,主要从事水资源规划及利用研究。E-mail: hhufgh@163.com

通信作者: 闻昕,副教授。E-mail: njwenxin@163.com

引用本文: 方国华,张钰,闻昕,等. 基于质心分析的淮河流域降水时空分布特征[J]. 河海大学学报(自然科学版),2018,46(5):384-389.
FANG Guohua,ZHANG Yu,WEN Xin, et al. Spatial and temporal distribution characteristic of precipitation in the Huaihe River Basin based on centroid analysis[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2018,46(5):384-389.

generally later than the other grade of annual precipitation, to which the centroid time of annual precipitation is sensible.

Key words: precipitation; precipitation grade; centroid time; time domain; space domain; frequency domain; non-uniformity ; Huaihe River Basin

降水是影响流域水循环最活跃的因素,是构成水资源的主要来源和全球气候变化的敏感因子。受大气环流和下垫面变化的影响,降水具有显著的时空分异特征,分析降水时空变化规律,定量识别降水不均匀性,是优化水资源配置、研究区域气候变化水文响应的基础工作^[1]。淮河流域地理位置特殊,气候条件复杂多变,水患突出。年降水过程的时间分配不均是流域旱涝灾害的主要成因,其对区域水资源开发利用具有重要影响^[2]。

为了解淮河流域降水演变特征,已有学者开展了大量研究工作。张翔等^[3]采用 Hurst 系数法和信息熵方法分析了淮河流域降雨时空变化规律,结果表明 Hurst 系数与空间信息熵呈现区域差异性,时间熵与纬度具有较明显的负线性相关关系。郑泳杰等^[4]使用年降水总量、年降水总天数、年平均降水天数等降水指标,对降水时间序列的变化趋势进行分析,结果表明淮河流域降水强度增加,短历时降水对总降水量贡献率增大,短历时洪水及长历时干旱风险增加。王月等^[5]从成因角度研究不同厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)事件对流域降水过程时空演变特征的影响,结果表明不同的 ENSO 事件对降水事件产生不同的影响。顾万龙等^[6]对降水的年内分配不均匀性、降水集中度、集中期及其变化幅度进行分析,结果表明淮河流域降水在年际与年内分配方面具有明显的不均匀性,大部分地区的气候旱涝与降水集中度存在明显相关关系。袁喆等^[7]利用集中期和集中度等指标定量分析降水年内非均匀特性,结果表明淮河流域降水为雨热同季,整年降水过程集中在 6 月下旬至 7 月上旬,表现为淮河水系降水相对较均匀,而沂沭泗河水系降水年内分配较为集中。

目前,关于淮河流域降水时空演变特征的已有研究中,包括从 Hurst 系数、信息熵、年降水总量与总天数、降水强度、降水集中度与集中期以及不同厄尔尼诺事件对流域降水事件的影响方面展开,本文采用年降水质心时间作为唯一表征年内降水发生时间的评价指标,分析淮河流域 1961—2015 年降水集中时间的时空分异规律。关于质心时间的研究,Rouger^[8]指出用上下游洪水过程线质心时间之差表示洪水传播时间,并推导出了洪水过程线质心时间矩法计算过程。Stewart 等^[9]定义了年内融雪径流质心时间,并给出具体计算方法,该时间用于概化年内融雪径流过程,并集中反映主要径流发生时间。胡勇等^[10]构建了基于质心时间的降水不均匀性计算方法,并分析全国范围内降水质心的时空变化规律。笔者以年降水质心时间为评价指标,以期更加全面揭示淮河流域降水结构的时空演变特征,进一步探索区域水循环的变异规律。

1 研究区域概况

淮河流域位于长江、黄河两大流域之间,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,北以黄河南堤和沂蒙山与黄河流域毗邻,地跨河南、安徽、江苏和山东 4 省,流域面积约 27 万 km²。流域上游地区水系河道比降大,中下游地区平原河道比降小,如遇暴雨,上游山地、丘陵河道的洪水迅速集流到平原地区,极易造成平原地区的洪涝灾害。干流中游的行蓄洪区,由于人类活动的影响,其泄洪、蓄洪能力大大减弱,对流域地表水文过程也产生了重要影响。另外,淮河干流洪水自西向东泄流的同时,暴雨落区也大体自西向东移动,导致“雨洪同向”。淮河流域河道汇流、洪水泄流以及水文气象的特点,决定了流域降水过程的变化对流域洪涝影响较大。研究区域以黄河故道为界分为淮河和沂沭泗河两大水系,共 4 个水资源二级分区,详见表 1。

表 1 淮河流域水资源分区

Table 1 Water resource partitions of the Huaihe River Basin km ²				
二级分区 代码	水资源二级分区	总面积	平原区 面积	山区 面积
E01	淮河上游(王家坝以上)	30 588	15 714	14 874
E02	淮河中游(王家坝至洪泽湖出口)	128 784	85 264	43 520
E03	淮河下游(洪泽湖出口以下)	30 660	29 157	1 503
E04	沂沭泗河	78 925	48 294	30 631

2 数据来源与方法选择

2.1 数据来源

选取淮河流域 27 个地面气象观测站,其中淮河水系 22 个,沂沭泗水系 5 个,淮河流域典型气象站地理

降水质心时间在 1975—1989 年间突变发生的主要原因,这与淮河流域降水集中度在 20 世纪 70 年代、80 年代发生突变相一致^[18]。

表 2 淮河流域各典型台站年降水质心时间时域规律

Table 2 Time domain law of representative stations in the Huaihe River Basin

所属水系	所属水资源二级区	站点名称	周期性/a	趋势性/(d·a)	突变性
淮河水系	淮河上游	驻马店	28,18,13,4	0.068 229	1977 年,1987 年
		信阳	28,18,13	0.035 585	1985—1986 年
	淮河中游	开封	28,13,7	-0.045 400	1987 年
		郑州	28,13,6	-0.003 600	
		商丘	28,18,13,7	0.053 438	
		砀山	28,18,13,4	0.091 144	1977—1978 年,1987 年
		徐州	28,18	0.116 905	1978 年,1980 年,1985 年,1987 年
		许昌	28,18,13,7	0.040 788	1977 年
		宝丰	28,18,13,7	-0.075 340	
		亳州	28,18,4	0.077 530	
		西华	28,18,13	0.025 965	1975 年,1987 年
		宿州	28,18	0.178 957	1979 年,1987 年,1994 年
		盱眙	28,6	0.016 019	
		蚌埠	28,18,5	-0.013 790	
		阜阳	28,18,4	0.024 241	
		寿县	28,13	0.007 251	
		固始	28,18	-0.009 920	
		六安	28,7	-0.055 490	
		霍山	28,18,7	-0.034 970	
	淮河下游	射阳	28,18,6	0.097 745	2004 年
		东台	28,6	-0.124 850	
		高邮	28,7	0.146 282	
沂沭泗水系	沂沭泗河	沂源	28	0.058 295	
		莒县	28,18	0.074 979	
		兖州	28,18,13	-0.001 540	
		日照	28,18,6	0.021 621	
		赣榆	28,18	0.051 654	

3.2 空域分析

为从空间角度识别淮河流域年降水质心时间的变化情况,对年降水质心时间随经、纬度之间的变化进行线性拟合,如图 2~3 所示。

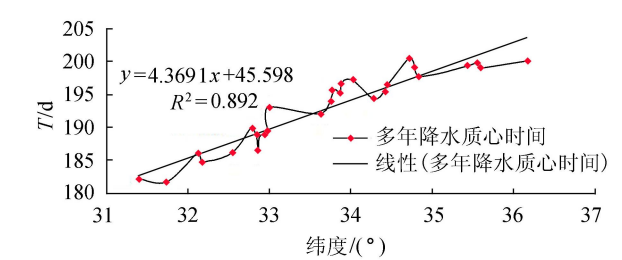


图 2 淮河流域多年降水质心时间纬向分布

Fig.2 Latitudinal variation of centroid time of precipitation in the Huaihe River Basin

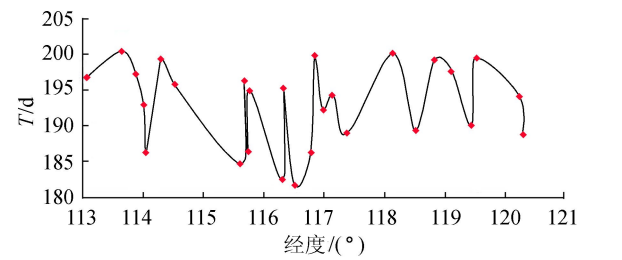


图 3 淮河流域多年降水质心时间经向分布

Fig.3 Longitudinal variation of centroid time of precipitation in the Huaihe River Basin

由图 2 可知:流域年降水质心时间与地理纬度具有明显相关关系,随着纬度增加,年降水质心时间逐步延迟;流域南部的六安站多年降水质心时间均值为 182 d,而流域北部的郑州站多年降水质心时间均值为 201 d,相差 19 d,这与“淮河流域年内降水集中期,从南向北慢慢延迟,南北差异达到 20 d 左右”^[6]结论一致,同时反映了淮河流域作为南北气候过渡带的特征。

降水是发生在对流层内的一种自然现象,对流运动的强弱多因纬度和季节的不同而不同,一般不受经度变化的影响。由图 3 可知:年降水质心时间沿经度方向没有明显变化,以寿县站为界,寿县以西(包括寿县)

共 15 个站点多年降水质心时间均值为 192 d,寿县以东 12 个站点多年降水质心时间均值为 195 d,流域东西部年降水质心时间平均水平相差 3 d。

3.3 频域分析

根据降水强度划分原则,将淮河流域年降水依次定义为暴雨、大雨、中雨、小雨及微雨,从频域角度分析降水结构特征,揭示不同强度降水的年降水质心时间分布特征。通过分析年降水以及不同强度等级降水年际质心时间变差系数的相关关系,定量判别年降水质心时间的决定因子。

3.3.1 典型站点各等级降水质心时间分布情况

典型气象站点不同强度等级年降水质心时间分布情况如图 4 所示。

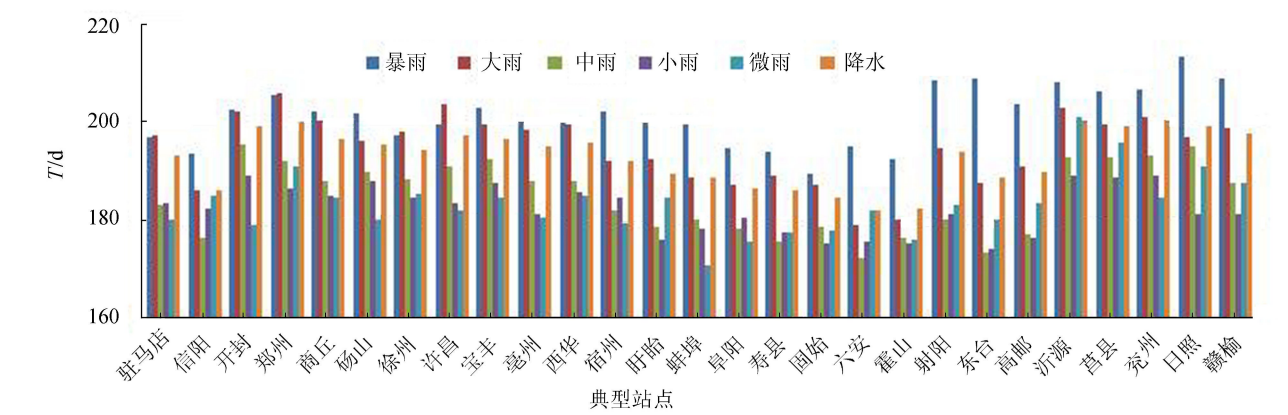


图 4 典型站点不同等级降水质心分布

Fig. 4 Distribution of centroid time of different precipitation intensity at representative stations

由图 4 可知,淮河流域暴雨、大雨质心时间普遍迟于其他等级降水,暴雨、大雨年降水质心时间与总量年降水质心时间在南北方向上大致呈现相同规律,即由南到北逐步推迟;淮河下游及沂沭泗河流域暴雨质心时间普遍迟于淮河上中游地区。

3.3.2 识别年降水质心时间决定因子

每个典型气象台站分别具有年降水以及各强度等级降水质心时间变差系数,27 个完整台站构成 6 组变差系数序列。首先使用单样本 Kolmogorov-Smirnov (KS) 检验,证明 6 组序列均满足正态分布,然后采用皮尔逊 (Pearson) 相关分析检测序列的相关性水平,6 组变差系数序列相关性检验结果见表 3。

由表 3 可知,淮河流域大雨、暴雨年降水质心时间变差系数序列具有中等程度相关性,说明流域大雨、暴雨等级降水事件发生情况具有一定水平的相依性;年降水质心时间变差系数与暴雨、大雨降水质心时间变差系数具有强相关性,说明年内大雨及暴雨降水事件的发生时间对年降水质心时间起着决定作用。

4 结 论

- a. 淮河流域各典型站点 1961—2015 年降水质心时间序列中全部存在 28 a 的第一主周期,第二主周期主要存在 2 个:18 a、13 a;年降水质心时间序列突变年份多发生于 1975—1989 年之间,突变主要集中于淮河上中游地区;年降水质心时间序列多呈现不显著的增加趋势,说明流域大部分地区年降水集中期有微弱的后移倾向。
- b. 年降水质心时间随纬度的增加而呈现明显的后推趋势,流域南部北部年降水质心时间可相差 20 d 左右;年降水质心时间与流域经度变化没有相关关系,流域东西部不存在明显差异。

表 3 各强度及总量降水质心时间变差系数的皮尔逊相关系数
Table 3 Pearson correlation coefficient of variation coefficients for the centroid time of general precipitation and different precipitation intensity

等级	暴雨	大雨	中雨	小雨	微雨	总量
暴雨	1					
大雨	0.458 6	1				
中雨	-0.028 3	-0.117 5	1			
小雨	0.059 0	-0.197 4	-0.353 2	1		
微雨	0.327 9	-0.044 7	-0.001 2	0.398 1	1	
总量	0.732 7 **	0.705 8 **	0.062 6	-0.005 2	0.346 1	1

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

c. 淮河流域暴雨与大雨质心时间普遍迟于其他等级年降水质心时间,暴雨、大雨年降水质心时间与年降水质心时间在南北方向上呈现相同规律,即由南到北逐步推迟;流域年降水质心时间对暴雨、大雨较为敏感。

参考文献:

[1] 宋晓猛,张建云,刘九夫,等. 北京地区降水结构时空演变特征[J]. 水利学报,2015,46(5):525-535. (SONG Xiaomeng, ZHANG Jianyun,LIU Jiufu,et al. Spatial and temporal evolution of precipitation structures in Beijing [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2015,46(5):525-535. (in Chinese))

[2] 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. Drought trend characteristics of the Huai River Basin over the past 60 years and its relationship with extreme precipitation [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2012,43(10):1179-1187. (in Chinese))

[3] 张翔,宋晨,吴绍飞. 淮河流域降雨时空变异与信息熵分析[J]. 中国科技论文,2014,9(5):551-554. (ZHANG Xiang, SONG Chen,WU Shaofei. Spatial and temporal variations of rainfall in Huai River Basin and information entropy analysis [J]. China Science and Technology Paper,2014,9(5):551-554. (in Chinese))

[4] 郑泳杰,张强,陈晓宏. 1961—2005 年淮河流域降水时空演变特征分析[J]. 武汉大学学报(理学版),2015,61(3):247-254. (ZHENG Yongjie,ZHANG Qiang,CHEN Xiaohong. Analysis of spatial and temporal evolution characteristics of precipitation in the Huai River Basin from 1961 to 2005 [J]. Journal of Wuhan University(Natural Science Edition),2015,61(3):247-254. (in Chinese))

[5] 王月,张强,张生,等. 淮河流域降水过程时空特征及其对 ENSO 影响的响应研究[J]. 地理科学,2016,36(1):128-134. (WANG Yue,ZHANG Qiang,ZHANG Sheng,et al. Spatial and temporal characteristics of precipitation processes in Huai River Basin and their response to ENSO effects [J]. Scientia Geographica Sinica,2016,36(1):128-134. (in Chinese))

[6] 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. Analysis on distribution law of intra precipitation in Huai River Basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2010,19(4):426-431. (in Chinese))

[7] 袁喆,杨志勇,郑晓东,等. 近 50 年来淮河流域降水时空变化特征分析[J]. 南水北调与水利科技,2012,10(2):98-103. (YUAN Zhe,YANG Zhiyong,ZHENG Xiaodong,et al. Analysis of temporal and spatial characteristics of precipitation in the Huai River Basin in recent 50 years [J]. South-to-North Water Transfer and Water Science &Technology,2012,10(2):98-103. (in Chinese))

[8] ROUGER M. Analytical hayami solution for the diffusive wave flood routing problem with lateral inflow [J]. Hydrological Processes,1996,10:1209-1227.

[9] STEWART I T,CAYAN D R,DETTINGER M D. Changes in snowmelt runoff timing in western North America under a “business as usual” climate change scenario [J]. Climatic Change,2004,1/2/3(62):217-223.

[10] 胡勇,绪正瑞,韩冬梅,等. 基于质心分析的我国降水时空演变特征[J]. 南水北调与水利科技,2014,12(3):10-16. (HU Yong,XU Zhengrui,HAN Dongmei,et al. Chinese precipitation temporal and spatial evolution characteristics based on centroid analysis [J]. South-to-North Water Transfer and Water Science & Technology,2014,12(3):10-16. (in Chinese))

[11] MARINEZ M D,LANA X,BURGUENO A,et al. Spatial and temporal daily rainfall regime in Catalonia (NE Spain) derived from four precipitation indices,1950—2000[J]. International Journal of Climatology,2007,27:123-138.

[12] HUANG G,WEN G H. Spatial and temporal variations of light rain events over China and the mid-high latitudes of the Northern Hemisphere[J]. Chinese Science Bulletin,2013,58(12):1402-1411.

[13] 杨金虎,李耀辉,王鹏祥,等. 中国极端强降水事件年内非均匀性特征分析[J]. 自然资源学报,2007,22(4):623-633. (YANG Jinhu,LI Yaohui,WANG Pengxiang,et al. The heterogeneity characteristics analysis of extreme heavy precipitation event years [J]. Journal of Natural Resources,2007,22(4):623-633. (in Chinese))

[14] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482-492. (FU Congbin,WANG Qiang. Definition and detection of climate change [J]. Chinese Journal of Atmospheric Science,1992,16(4):482-492. (in Chinese))

[15] 张应华,宋献方. 水文气象序列趋势分析与变异诊断的方法及其对比[J]. 干旱区地理,2015,38(4):652-665. (ZHANG Yinghua,SONG Xianfang. Hydrological meteorological sequence trend analysis and variation diagnosis method and its comparison [J]. Arid Land Geography,2015,38(4):652-665. (in Chinese))

[16] 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.

[17] 张一驰,吴凯,于静洁,等. 华北地区 1951—2009 年气温、降水变化特征[J]. 自然资源学报,2011,26(11):1930-1941. (ZHANG Yichi,WU Kai,YU Jingjie,et al. Characteristics of temperature and precipitation in North China from 1951 to 2009 [J]. Journal of Natural Resources,2011,26(11):1930-1941. (in Chinese))

[18] 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(2):149-158. (WANG Hui,WANG Qianqian. The precipitation anomalies and its circulation characteristics of Huai River Basin near 49 years [J]. Meteorological Science,2002,22(2):149-158. (in Chinese))