

近60年淮河流域子流域面雨量气候特征分析

王东勇 安晶晶 王皓 靳莉莉 童金 王根
(安徽省气象台, 合肥 230031)

摘要: 淮河位于我国南北气候过渡带, 是我国七大江河中旱涝灾害最为严重的区域, 分析淮河流域各子流域降水气候特征, 将有助于开展其防洪抗旱工作。文中以淮河流域所有雨量站1960—2018年逐日降水观测资料为基础, 计算选取流域内及各子流域面雨量。重点分析了每年面雨量, 年、月气候特征及5 d滑动面雨量累计值, 研究得到淮河流域各子流域降水气候特征存在显著差异, 淮河水系主要雨季集中在6月15日前后至7月下旬, 沂沭泗水系雨季主要集中在6月底至7月底, 但在沂河上游和沭河上游8月中旬存在降水集中期。从前后近30年资料对比分析, 年平均面雨量大部分有不同程度增加的趋势, 且淮河流域5 d面雨量极值与局地洪水过程存在很好的对应关系, 基于5 d面雨量可作为一个判断指标, 应用于实际业务中。

关键词: 淮河流域, 面雨量, 气候特征, 雨量站, 防洪抗旱

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.05.021

Analysis of the Climatic Characteristics of the Area Rainfall in the Sub-Basins of the Huaihe River Basin in the Past 60 Years

Wang Dongyong, An Jingjing, Wang Hao, Jin Lili, Tong Jin, Wang Gen
(Anhui Meteorological Observatory, Hefei 230031)

Abstract: Huaihe River is located in the climate transition zone between the north and the south of China. It is the most serious drought and flood disaster area among the seven major rivers in China. The analysis of the rain climate characteristics of each sub basin of the Huaihe River Basin will be helpful to carry out its flood control and drought relief work. Based on the daily rain observation data of all rainfall station in the Huaihe River Basin from 1960 to 2018, this paper calculates and selects the area rainfall of Huaihe River Basin and its sub units. Based on the analysis of the annual and monthly rain characteristics and the accumulated value of the 5-day moving rain, it is found that there are significant differences in the rain climate characteristics of each sub-basin of the Huaihe River Basin. The main rainy season of the Huaihe River system is from around June 15 to late July. The main rainy season of the Yihe-Shuhe-Sihe River system is from the end of June to the end of July, but there is a rain concentration period in the upper reaches of the Yihe River and the upper reaches of the Shuhe River in the middle of August. According to the comparative analysis of the data in the front and back 30 years, the annual average areal rainfall has the trend of increasing in different degrees, and there is a good corresponding relationship between the extreme value of 5-day areal rainfall in Huaihe River Basin and the local flood process. The 5-day areal rainfall can be used as a judgment index in practical operation.

Keywords: Huaihe River basin, areal rainfall, climatic characteristics, rainfall station, flood control and drought Relief

0 引言

淮河是我国七大江河流域面积较小的河流, 其地理位置位于南北气候过渡带, 气候条件复杂。淮河流域位于111°55′—121°20′E, 30°55′—36°20′N, 西起桐柏山、伏牛山, 东邻黄海, 南以大别山、江淮丘陵、通扬运河和如泰运河南堤与长江流域分界, 北以黄河南堤

和沂蒙山脉与黄河流域毗邻, 流域面积27万km²。流域内以废黄河为界, 分为淮河和沂沭泗河两大水系, 面积分别为19万和8万km²。淮河干流发源于桐柏山区, 流经河南、安徽、江苏, 在三江营流入长江, 洪河口以上为上游, 洪河口以下到洪泽湖出口中渡为中游, 中渡以下为下游入江水道。沂沭泗河水系发源于沂蒙山, 由沂河、沭河、泗河组成。

受东亚季风活动影响, 淮河流域极易发生大范围洪涝灾害, 平均2~3年发生一次。近十几年来众多学者^[1-30]开展了淮河流域暴雨和洪涝气候特征分析研究, 基于气候态分析得出, 淮河流域极端降水呈增多

收稿日期: 2020年6月12日; 修回日期: 2020年08月04日
第一作者: 王东勇(1966—), Email: AMO_wangdongyong@163.com
资助信息: 中国气象局决策气象服务专项经费研究项目 (JCZX2020007)

趋势，发生极端性洪水的风险在加大。2003年、2005年淮河大水之后，陶诗言等^[31]对2007年梅雨锋降水进行了大尺度特征分析。赵思雄等^[32]对2007年淮河流域致洪暴雨进行了中尺度系统特征分析。

面雨量是经典的水文学概念，它是指某一时段内一定面积上的平均雨量，因其能客观反映降水对确定流域的影响，故其是洪水预报的重要参数。21世纪以来气象工作者一直关注面雨量的分析与应用研究^[33-39]，如徐晶等^[33]对比了一些计算方案，其中较为常用的有泰森多边形法和算术平均法。基于流域面雨量分析子流域气候特征的研究相关文献报道较少^[40-41]。开展淮河流域面雨量研究各子流域极端降水气候特征，有助于提高流域面雨量预报水平，为有效开展流域防汛提供科学依据。

1 流域子流域划分和资料

1.1 淮河流域子流域划分

面雨量这一概念的由来，是为了水文模型计算水量，根据淮河流域汇流特点，这里将子流域的划分与水文控制站相对应，如淮河干流息县有一个重要水文控制站，根据高程信息，划分出淮河上游大坡岭至息县为一子流域，息县水文站水位与该子流域面雨量直接相关。同样原理将淮河流域划分为15个子流域，其中淮河水系10个子流域（标记为“1~10”），沂沭泗水系5个子流域（标记为“11~15”），见图1。流域内山丘区面积约占1/3，平原面积约占2/3。从不同坡度可以看出，流域西部为伏牛山区（子流域5）、桐柏山区（子流域1、2、3）和西南部大别山区（子

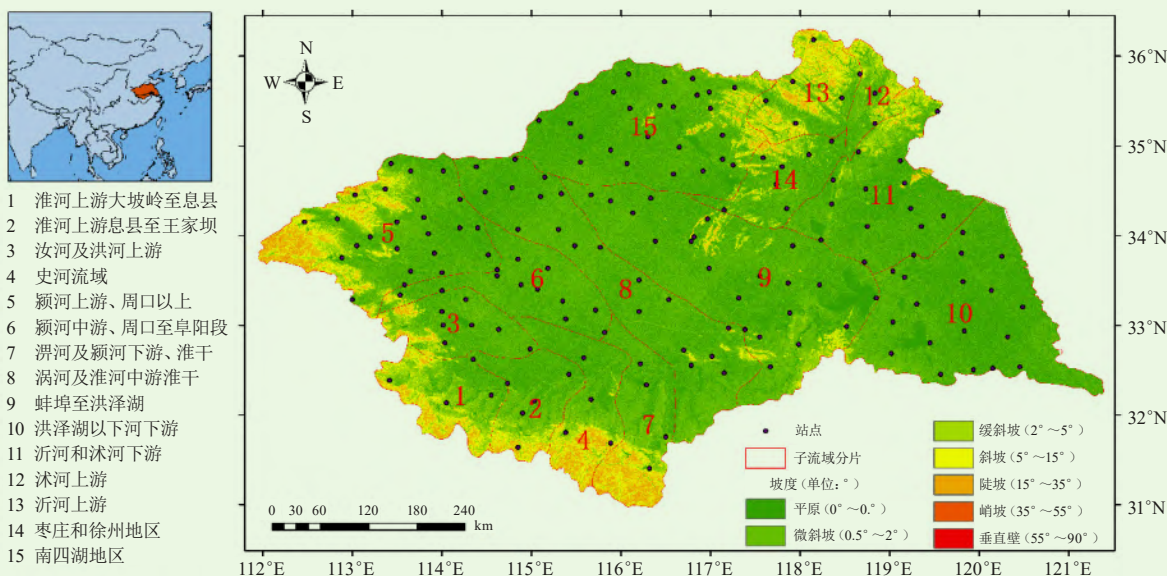


图1 淮河流域15个子流域划分及坡度

Fig. 1 Division of fifteen sub-basins over Huaihe River basin and slope

流域4、7），东北部为沂蒙山区（子流域12、13），其余为广阔平原（子流域6、8、9、10、11、14、15）。

1.2 资料来源

地面降水观测资料采用国家气象信息中心提供的淮河流域全部常规气象站逐日降水（20—20时）观测调整编资料，时间段为1960—2018年。在淮河流域172个国家级气象站中，1960年后观测资料较为完整，各年份站点数见表1。此172个台站在流域15片区内分布较均匀，特别是洪汝河上游、淮河上游、大别山区及沂沭河上游等小片区内台站建站早、数据完整度高、站点数分布合理，具有较强代表性，所以各子流域面雨量可采用算术平均法。

表1 各年份站点数一览

Table 1 list of rainfall stations in each year

年份	站点数	年份	站点数	年份	站点数
1960	138	1966—1967	160	1979—1982	169
1961	149	1968	161	1983—1987	170
1962	151	1969	162	1988	168
1963	153	1970—1976	164	1989—1999	169
1964	155	1977	167	2000—2008	170
1965	157	1978	168	2009—2018	172

2 淮河流域各子流域面雨量分布特征

2.1 年累计面雨量和主汛期面雨量特征分析

图2给出了1960—2018年近60年各区面雨量年均值分布。有5个子流域面雨量均值超过1000 mm，分别

是4区史河流域1150 mm, 7区渭河流域及颍河下游、淮干1105 mm, 1区淮河上游大坡岭到息县1076 mm, 2区淮河上游息县到王家坝区间1046 mm, 10区洪泽湖以下、淮河下游1005 mm。此5个子流域全部位于流域南部, 而流域正北部15区南四湖地区最小, 仅为681 mm, 也是唯一少于700 mm的区域。图2这一分布与各区所处纬度呈显著负相关。对比前30年(1960—1989年)和后29年(1990—2018年)各区面雨量年均值以及主汛期面雨量得到, 虽然各区数值略有变化, 但总体分布形势没有显著变化, 见图3。全年来看15个子流域有11个增多或略有增多, 4个减少或略有减少, 减少的各区域分别位于流域上游的1、3、5区和12区沭河上游。对比图3a和3b, 前后有子流域5、11和14, 汛期和全年变化不一致, 但变化量并不大。



图2 1960—2018年淮河流域年均总面降水量分布(单位: mm)
Fig. 2 Distribution of total annual area rainfall in the Huaihe River basin from 1960 to 2018 (unit: mm)

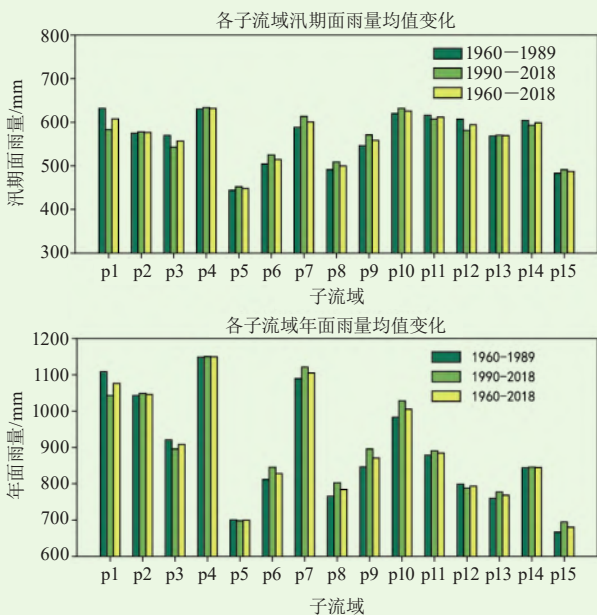


图3 各子流域年面雨量均值和主汛期面雨量对比图
Fig. 3 Comparison of mean annual area rainfall and main flood season from June to September in each sub-basins

对比图4主汛期(6—9月)面雨量, 分布略有不同, 超过600 mm的子流域分别是4区、10区、11区、1区和7区, 最少的5区448 mm位于流域西北部。总体来看呈现东南向西北逐渐递减。



图4 1960—2018年6—9月主汛期淮河流域年均面降水量分布(单位: mm)

Fig. 4 Annual average area rainfall distribution of Huaihe River basin in the main flood season from June to September, 1960 to 2018 (unit: mm)

由汛期降水占全年降水比值可知, 超过70%的4个子流域(12~15区)全部位于流域北部的沂沭泗地区。与此相反, 汛期降水占全年降水比值少于60%的1、2、4、7区全部位于桐柏山区和大别山区。流域西南全年降水分布较均匀, 而东北部沂沭泗地区全年降水主要集中在主汛期6—9月。

2.2 各子流域月面雨量特征及降水峰值时间分布

图5给出了各子流域面雨量逐月分布。全部15个区均是7月降水最多, 其次是8月, 仅2区淮河上游息县至王家坝区间和7区渭河和颍河下游6月为次多。即淮河流域多数各区降水集中在7—8月, 其次是6月。

为进一步分析各子流域的降水集中时段, 图6给出了6—9月(淮河流域汛期)5 d滑动累计面雨量时序变化。由图6可知, 淮河水系的各子流域主要降水时间均始于6月15日前后, 而沂沭泗水系主要降水开始略晚一些, 大约在6月底前后。对比各子流域出现降水峰值时间, 可得到整个流域降水峰值发生在6月底至7月下旬初, 表现为峰值时间较长的单峰型。而各子流域峰值型与出现时间也有所差异。子流域淮河水系1~9区, 降水峰值时间分布与全流域均值相近, 峰值持续时间较长, 大约持续1个月。而在10区淮河下游, 表现峰值较窄, 强降水峰值在7月上旬至中旬前期, 峰值较高, 但持续时间略短, 大约15 d左右。而流域北部, 降水峰值略晚于南部, 特别是流域东北部12区沭河上游、13区沂河上游, 出现了显著的双峰形态, 分别为7月上旬至7月底和8月中旬前后。这一特征与流域其他区域差异显著。对比各子流域5 d降水量

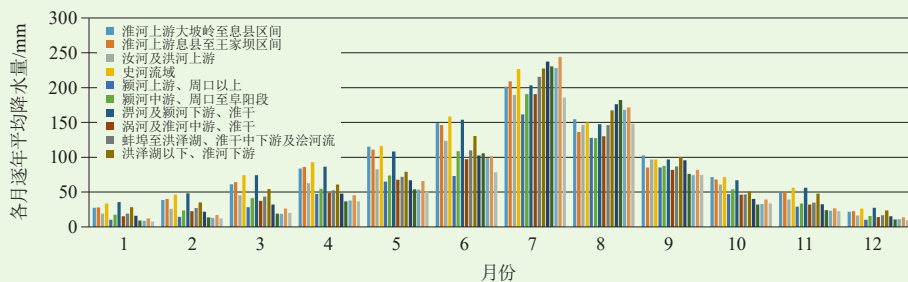


图5 1960—2018年1—12月各子流域面雨量分布

Fig. 5 Area rainfall distribution of each drainage basin from January to December, 1960 to 2018

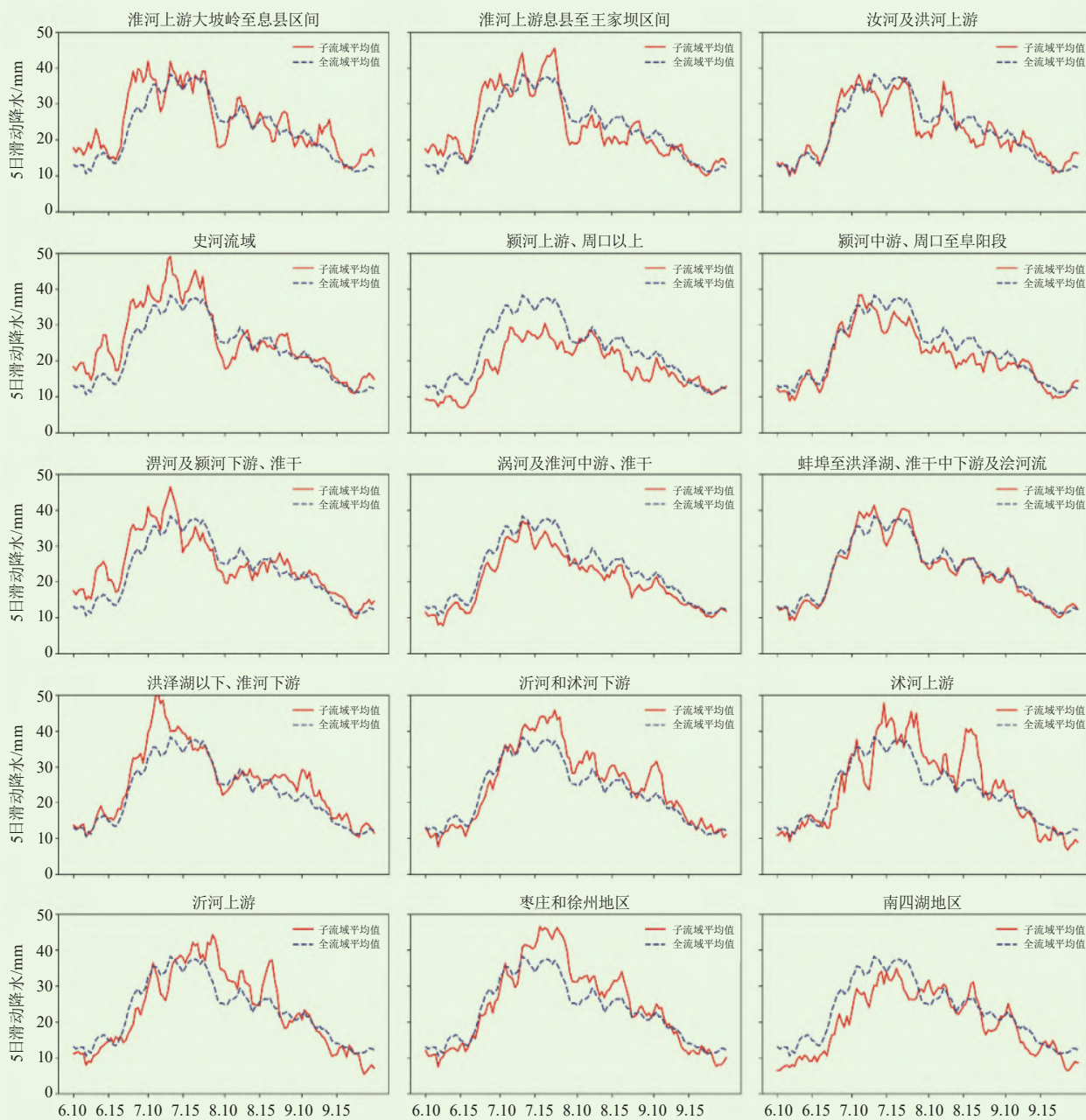


图6 1960—2018年淮河流域各子流域5 d降水量滑动累计平均

Fig. 6 5-days rainfall moving cumulative average of each sub basin of Huaihe River Basin from 1960 to 2018

滑动累计均值可知，子流域2区、4区、7区、10~14区降水峰值显著高于流域平均值，这些区域多数是流域南部和东北部山区，只有5区，颍河上游显著低于全流域平均值。

3 淮河流域各子流域面雨量极端降水分布特征

为了研究各子流域极端降水情况，文中统计了逐

年各子流域5 d滑动降水面雨量超过100 mm的次数，见图7。近60年中出现频次最高的是1区淮河上游大坡岭至息县，共计108次，每年约1.8次，其次是2区、4区每年达到1.6次，12区沭河上游每年达到1.5次。与前3名相比，沭河上游所有超过100 mm的过程全部集中在6—9月，而其他三区每年有约0.3次超过100 mm的过程发生在非汛期。即这3个子流域在非汛期，特



图7 逐年各子流域5 d滑动降水量超过100 mm次数分布

Fig. 7 Distribution of more than 100 mm times of 5-days moving rainfall in each sub basin year by year

别是5月和10月也有发生极端降水的可能。发生频次最低的是8区涡河及淮河中游、淮干，每年仅有约0.6次，且全部集中发生在6—9月。下面给出了各流域历史过程降水量排名前5名的统计数据，见表2。

对比淮河干流王家坝水文站近60年排名第一的水位发生在1968年7月16日，为30.35 m，由表2可知，此

次洪水主要发生在淮河干流上游1区、2区和4区，流域其他区域降水不明显，表明是一次区域性大洪水。而王家坝水文站近60年排名第二的水位发生在2007年7月11日，为29.59 m，由全流域性降水造成，特别是由上游降雨叠加中下游高水位顶托引起。中下游子流域9区面雨量排名第2。1991年7月11日淮河中游正阳

表2 P1~P15流域历史过程降水量前5名时间及降水量(单位: mm)
Table 2 Top 5 time and rainfall of historical process rain in p1—p15 Basin (unit: mm)

流域	排名1		排名2		排名3		排名4		排名5	
	日期	降水量	日期	降水量	日期	降水量	日期	降水量	日期	降水量
P1	19680716	497.1	19600629	284	19890809	279.7	20050710	262.7	20020624	247.9
P2	19680717	423.6	19600629	267.6	19820723	259.5	20020627	242.1	19710613	231.6
P3	19750808	544.4	19820723	278.2	19980702	261.7	19820814	246.3	20030704	245.8
P4	19680717	337.7	20020727	291.2	19820723	258.2	19690715	250.6	19800720	246
P5	19750808	249.6	20000707	227.9	19650712	188.4	19710629	187.3	19820804	176.6
P6	20030704	264	20000628	263.6	19720704	259.8	19050710	257.8	19840910	250.7
P7	19910710	261.6	19750819	238.4	19910615	220.2	20030711	213.7	20150630	204.9
P8	20180819	199.4	19990708	174.5	20030704	158.3	20040719	157.3	19650713	153.3
P9	20180819	254.4	20070707	210.7	20030704	203.5	20060703	200.2	19650703	195.2
P10	19910710	252.7	20060704	248.3	20070709	227.1	19830722	210.2	19650822	208.8
P11	20000831	317.7	19740814	259.3	19830722	221.5	19930805	210.5	19900807	208.9
P12	19740814	394.7	19620714	375.1	19600630	302.1	19700730	253	19650713	246.2
P13	19700726	292.3	20120710	219.8	19630723	214.7	19740814	211.6	19970821	208.6
P14	19720706	269.7	20060703	227.5	19930805	219.9	19740813	201.9	20030716	200.4
P15	20180820	198.8	20060703	195.3	19710629	171.1	20030716	162.3	19930805	159.9

关水位26.52 m, 为近60年来排名第三。对比表2, 子流域7区和10区都出现了近60年面雨量第1位, 正阳关的高水位由全流域强降水引起, 特别是由淮河下游和淮河山区强降水造成。由表2可分析出导致沂沭泗最大洪水归因于1974年8月13—14日沂沭上游、下游同时出现了极端强降水。此外由表2可进一步得出, 强降水出现时间主要集中在6月中下旬至7月, 即淮河流域主汛期, 如1968、1991、2003、2005、2007年等。而也有少数强降水极值出现在8月, 甚至延伸至9月, 此种情况多数是由汛后台风或台风低压引起的强降水导致的, 如3区洪汝河上游降水量为544.4 mm、5区颍河上游为249.4 mm, 由台风“妮娜(1975)”减弱后的低压引发。从强降水出现的时间来看, 除了需要关注汛期持续强降水以外, 同时也要关注汛后台风及台风低压的影响。

从极端降水风险来看, 图8给出了1960—2018年各子流域5 d滑动降水最大值分布。大部分极值超过200 mm, 超过300 mm的区域主要位于淮河上游1~4区, 淮河上游、洪汝河上游、史河流域, 沂河和沭河流域也有300 mm左右极值区, 最大沭河上游达到394.7 mm。从风险高发区域来看, 气象服务重点需要关注流域西部伏牛山区、西南部大别山区、桐柏山区及流域东北部沂蒙山区。

4 结论与展望

通过统计与分析淮河流域各子流域降水水面雨量不同时间尺度的特征, 文中主要结论如下。

1) 淮河流域各子流域年降水量分布与各区所处



图8 1960—2018年各子流域5 d滑动降水最大值分布
Fig. 8 Distribution of maximum value of 5-days moving rainfall in each sub basin from 1960 to 2018

纬度呈显著负相关, 而主汛期降水量表现为自东南向西北逐渐递减, 从年代变化来看, 流域内大部分(11个区)降水略呈增多趋势, 但并不显著。

2) 淮河流域各子流域降水最集中期多数在7—8月, 仅流域西南部少数区集中在6—7月。从降水峰值开始时间分析, 淮河水系的各子流域主要降水时间均始于6月15日前后, 而沂沭泗水系主要降水开始略晚一些, 大约在6月底前后。

3) 子流域淮河水系1~9区, 降水峰值时间分布与全流域均值接近, 峰值持续时间较长, 大约1个月左右。而在10区淮河下游, 降水峰值较窄, 强降水峰值在7月上旬至中旬前期, 峰值较高, 但持续时间大约仅15 d左右。流域北部, 降水峰值略晚于南部, 特别是区域东北部12区沭河上游、13区沂河上游, 出现了显著的双峰形态。

4) 5 d面雨量超过100 mm的次数, 出现频次最高的是1区淮河上游大坡岭至息县, 每年约1.8次, 其次是2区、4区每年达到1.6次, 另外在12区沭河上游每年达到1.5次。

5) 5 d面雨量极值主要由汛期集中强降水和汛后台风暴雨引起, 同时它与局地洪水过程存在很好的对应关系, 高风险区域位于伏牛山区、桐柏山区、大别山区以及沂蒙山区。

文中以淮河流域所有雨量站近60年逐日降水观测资料为基础, 分析了淮河流域面雨量气候特征等, 得到了较多有益的结论, 如5 d累积面雨量与历史资料对比分析, 它与历史资料的极值资料的排序, 可以初步分析它将带来的影响, 这一指标可应用于实际业务预报中。后期将基于大气再分析、数值天气预报模式资料和卫星反演降水等资料开展淮河流域降水产生机理等研究, 并基于格点资料得出较多区域特征信息, 以更好地开展公共气象服务, 服务于民生。

参考文献

- [1] 夏军, 余敦先, 张永勇, 等. 近50年来淮河流域极端降水的时空变化及统计特征. 地理学报, 2011, 66(9): 1200-1210.
- [2] 王会军, 范可. 东亚季风近几十年来的主要变化特征. 大气科学, 2013, 37(2): 313-318.
- [3] 徐群, 张艳霞. 近52年淮河流域的梅雨. 应用气象学报, 2007, 18(2): 147-157.
- [4] 刘可晶, 王文, 朱焯, 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. 水利学报, 2012, 43(10): 1179-1187.
- [5] 张正涛, 高超, 刘青, 等. 不同重现期下淮河流域暴雨洪涝灾害风险评价. 地理研究, 2014, 33(7): 1361-1372.
- [6] 卢燕宇, 吴必文, 田红, 等. 基于Kriging插值的1961—2005年淮河流域降水时空演变特征分析. 长江流域资源与环境, 2011, 20(5): 567-573.
- [7] 汪方, 田红. 淮河流域1960—2007年极端强降水事件特征. 气候变化研究进展, 2010, 6(3): 228-229.
- [8] 王芳. 淮河流域洪涝灾害评估研究. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [9] 魏凤英, 张婷. 淮河流域夏季降水的振荡特征及其与气候背景的联系. 中国科学(地球科学), 2009, 39(10): 1360-1374.
- [10] 李想. 我国十大江河流域降水和温度长期变化趋势的研究. 北京: 中国气象科学研究院, 2005.
- [11] 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. 长江流域资源与环境, 2010, 19(4): 426-431.
- [12] 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. 水电能源科学, 2011, 29(5): 1-5.
- [13] 郝玲. 淮河流域暴雨时空演变特征及灾害风险评估. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [14] 王珂清, 曾燕, 谢志清, 等. 1961—2008年淮河流域气温和降水变化趋势. 气象科学, 2012, 32(6): 47-53.
- [15] 任国玉, 战云健, 任玉玉, 等. 中国大陆降水时空变异规律: I 气候学特征. 水科学进展, 2015, 26(3): 299-310.
- [16] 董全, 陈星, 陈铁喜, 等. 淮河流域极端降水与极端流量关系的研究. 南京大学学报(自然科学版), 2009, 45(6): 790-801.
- [17] 高超, 陈实, 翟建青, 等. 淮河流域旱涝灾害致灾气候阈值. 水科学进展, 2014, 25(1): 36-44.
- [18] 谢五三, 王胜. 近40 a淮河流域暴雨特征分析. 暴雨灾害, 2010, 29(4): 377-380.
- [19] 程华琼. 淮河流域暴雨的时空变化及成因和预报物理模型. 北京: 中国气象科学研究院, 2004.
- [20] 杨志勇, 袁喆, 马静, 等. 近50年来淮河流域的旱涝演变特征. 自然灾害学报, 2013, 22(4): 32-40.
- [21] 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. 生态环境学报, 2016, 25(1): 84-91.
- [22] 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. 南水北调与水利科技, 2012, 10(5): 13-17, 31.
- [23] 陈小凤, 王再明, 胡军, 等. 淮河流域近60年来干旱灾害特征分析. 南水北调与水利科技, 2013, 11(6): 20-24.
- [24] 陆志刚, 张旭晖, 霍金兰, 等. 1960—2008年淮河流域极端降水演变特征. 气象科学, 2011, 31(增刊): 74-80.
- [25] 叶金印, 黄勇, 张春莉, 等. 近50 a淮河流域汛期降水日数和强度的分布与变化特征. 湖泊科学, 2013, 25(4): 583-592.
- [26] 王胜, 田红, 徐敏, 等. 1961—2008年淮河流域主汛期极端降水事件分析. 气象科技, 2012, 40(1): 87-91.
- [27] 周丽萍, 王宗敏, 杨海波, 等. 安徽省淮河流域近56年来气候时空变化的R/S分析. 水电能源科学, 2014, 32(2): 11-14.
- [28] 周亮广, 戴仕宝. 近60年来淮河流域强降雨时空变化特征. 南水北调与水利科技, 2015, 13(5): 847-851.
- [29] 陆阳, 尹剑, 邹逸江, 等. 淮河流域近50年来气候变化及突变分析. 世界科技研究与发展, 2016, 38(4): 814-820.
- [30] 张庆云, 郭恒. 夏季长江淮河流域异常降水事件环流差异及机理研究. 大气科学, 2014, 38(4): 656-669.
- [31] 陶诗言, 卫捷, 张小玲. 2007年梅雨锋降水的大尺度特征分析. 气象, 2008, 34(4): 3-15.
- [32] 赵思雄, 张立生, 孙建华. 2007年淮河流域致洪暴雨及其其中尺度系统特征的分析. 气候与环境研究, 2007, 12(6): 713-727.
- [33] 徐晶, 林建, 姚学祥, 等. 七大江河流域面雨量计算方法及应用. 气象, 2001, 27(11): 13-16.
- [34] 李武阶, 王仁乔, 郑启松. 几种面雨量计算方法在气象和水文上的应用比较. 暴雨灾害, 2000, 10: 62-67.
- [35] 方慈安, 潘志祥, 叶成志, 等. 几种流域面雨量计算方法的比较. 气象, 2003, 29(7): 23-26.
- [36] 徐晶, 姚学祥. 雨量估算技术综述. 气象, 2007, 33(7): 15-21.
- [37] 熊秋芬, 王丽, 郑启松, 等. 三峡区间面雨量预报方法及其预报试验. 气象, 2000, 26(10): 19-23.
- [38] 姚学祥, 徐晶. 2003年淮河流域大水期间体积降水量的研究. 气象学报, 2004, 62(6): 803-813.
- [39] 朱红芳, 王东勇, 朱鹏飞, 等. GRAPES模式在淮河流域面雨量预报中的应用. 气象, 2007, 33(3): 76-82.
- [40] 王景才, 郭佳香, 徐蛟, 等. 近55年淮河上中游流域气候要素多时间尺度演变特征及关联性分析. 地理科学, 2017, 37(4): 611-619.
- [41] 李才媛, 谌伟, 金琪. 近30多年汉江流域面雨量时空变化特征分析. 湖北气象, 2004, (4): 6-9.