

小清河流域降水时空分布及变化特征分析

陈 勇^{1,2}

(1.东营市水文中心,山东 东营 257000;2.东营市黄河三角洲水文生态重点实验室,山东 东营 257000)

【摘 要】基于小清河流域9处国家基本雨量站2006—2024年逐日降水数据,利用数理统计、降水集中度与集中期、累积距平法、小波分析等方法,探究流域降水的时空分布及变化特征。结果表明:流域年内降水分配呈现单峰型格局,主要集中于7—8月,年内变化剧烈;年际尺度上,降水总量保持稳定,下游极端性最强;降水集中度在2015年达历史最低后持续上升,显示降水年内分配由均匀化向集中化转变;流域降水在2018年前后经历由整体偏枯向偏丰的转折;预示流域降水量偏多的趋势可能持续至2029年前后。

【关键词】小清河流域;降水集中度;降水集中期;累积距平法;小波分析

【中图分类号】TV213.4

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-08-0007-04

Analysis on Temporal and Spatial Distribution and Variation Characteristics of Precipitation in Xiaoqing River Basin

CHEN Yong^{1,2}

(1. Hydrology Center of Dongying Municipality, Dongying, Shandong 257000, China;

2. Key Laboratory of Hydrology and Ecology of the Yellow River Delta, Dongying, Shandong 257000, China)

Abstract: Based on daily precipitation data from 9 national basic rainfall stations in the Xiaoqing River Basin during 2006—2024, it adopted the following methods such as mathematical statistics, precipitation concentration degree and concentration period, cumulative anomaly method, and wavelet analysis, to investigate the temporal and spatial distribution and variation characteristics of precipitation in the basin. The results show that the intra annual precipitation distribution presents a unimodal pattern, mainly concentrated in July and August with drastic intra annual variation. On the inter annual scale, total precipitation remains stable while the lower reaches witness the strongest precipitation extremity. The precipitation concentration degree reached its historical minimum in 2015 and has kept rising since then, indicating that intra annual precipitation distribution has shifted from homogenization to concentration. The basin experienced a transition from generally dry to flood around 2018, which suggests that the trend of above average precipitation may last until around 2029.

Key words: Xiaoqing River Basin; Precipitation concentration degree; Precipitation concentration period; Cumulative anomaly method; Wavelet analysis

在全球气候变暖背景下,极端降水事件显著增加,揭示流域降水格局的演变规律已成为水文学与气象学研究的重要议题^[1]。小清河流域作为山东省重要的经济与农业区,其水资源供需矛盾日益突出,该研究基于流域9处国家基本雨量站近20年的逐日降水资料,从年内分配、年际变化、集中度与集中期、周期性等多个维度,揭示流域降水时空分布及变化特征,为流域洪涝灾害形

成机理和防灾减灾提供科学依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

小清河流域位于鲁北平原南部,地理坐标为东经116°50′~118°45′,北纬36°15′~37°20′,流域

收稿日期:2026-03-26

作者简介:陈勇(1986—),男,工程师

面积 10 433 km²,约占全省总面积的 1/15。小清河是一条具有防洪、排涝、灌溉、航运、景观等多功能的人工运河,自西向东流经济南、淄博、滨州、东营、潍坊 5 市的 10 个县(市、区),于寿光市羊角沟注入渤海莱州湾,全长 229 km。小清河流域具有显著的暖温带大陆性季风气候特征:四季分明,年内温差较大,多年平均降水量为 641.5 mm。冬季干燥少雨,以东北风与西北风为主;夏季炎热多雨,以东南风和西南风为主,期间冷暖空气交汇频繁,构成全年主要的暴雨洪水期。

1.2 数据来源

根据水利部《淮河流域水文资料》(第 5 卷第 7 册)可获得小清河流域邵而、黄台桥、大陈家庄等 9 处国家基本雨量站逐日降水量数据,该资料严格按部颁“规范”“标准”“规定”整编,水文数据可靠性、代表性、一致性较高。研究区雨量站信息见表 1。

表 1 研究区国家基本雨量站信息表

序号	站名	站址	设站时间	备注
1	邵而	济南市历城区党家庄镇邵而村	1965.4	上游
2	黄台桥	济南市历城区华山镇前进桥	1931.7	上游
3	大陈家庄	济南市历城区遥墙镇大陈家庄	1964.5	上游
4	北凤	济南市章丘区埠村镇北凤村	1976.7	上游
5	魏桥	滨州邹平市魏桥镇魏桥村	2005.1	中游
6	九户	滨州市邹平县九户乡九户	1965.6	中游
7	岔河	滨州市桓台县马桥乡岔河村	1951.7	中游
8	石村	东营市广饶县石村镇石村	1954.7	下游
9	羊角沟	潍坊寿光市羊角沟镇	1951.8	下游

2 研究方法

2.1 不均匀系数(Cv)与极值比

不均系数(Cv)是评价数据时空分布差异的

重要指标,反映降水量分配的均衡性,公式为降水量标准差与均值的比值^[2]。极值比是指水文气象时间序列(年降水量)中最大值与最小值的比值,反映了降水在年际或年内尺度上的变化幅度,是衡量变化剧烈程度的关键指标。

2.2 集中度和集中期

降水集中度(PCD)和集中期(PCP)^[3]是根据向量分析原理进而表示区域降水量时间分配特征的参数。该方法能够定量揭示降水在特定时期内的集中强度及其发生的时间窗口,是分析降水时间分布格局的有效工具。

2.3 累积距平法

累积距平法是一种诊断时间序列突变点的方法,直观反映了序列对平均状态的偏离趋势,而曲线上的显著转折点即对应着序列趋势发生突变的时刻,计算公式为:

$$C(t)=\sum_{i=1}^t(X_i-\bar{X}) \quad (1)$$

式中: X_i 为第*i*时段的降水量,mm; $\bar{X}$ 为年降雨量均值,mm; $C(t)$ 为累积至时间*t*的距平和。

2.4 小波分析法

小波分析法^[4]作为一种多尺度信号处理工具,凭借其动态调整时频窗口的特性,能够精准刻画水文时间序列的非平稳特征。该研究利用 MATLAB2020b 中的小波分析工具,以 Morlet 小波函数对延伸处理后的降水序列进行变换,进而分析其时间尺度特征。

3 结果与分析

3.1 年内分配变化

小清河流域各分区月降水极值与多年平均月降水量占比见表 2。

表 2 小清河流域多年月降水年内分配百分比 %

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
上游	0.7	1.9	1.7	4.9	8.2	11.8	28.6	26.0	7.0	4.5	3.8	1.0
中游	0.8	1.8	1.8	4.5	8.0	12.8	27.5	24.5	7.9	5.2	4.0	1.1
下游	0.9	2.1	2.0	4.7	8.4	11.4	23.9	29.6	6.1	5.2	4.4	1.3
全流域	0.8	1.9	1.8	4.7	8.2	12.1	27.0	26.3	7.1	4.9	4.0	1.1

由表 2 可知,流域年内降水空间分布格局较为一致。上游月最大降水量 192.1 mm(占全年 28.6%)、最小值 4.7 mm(0.7%);中游分别为 173.0 mm(27.5%)与 5.1 mm(0.8%);下游分别 185.9 mm(29.6%)与 5.9 mm(0.9%);全流域分别

为 174.4 mm(27.0%)与 5.2 mm(0.8%)。结合年内分配曲线(图 1)分析,流域年内降水分配呈现高度一致的单峰型格局,峰值均出现在 7 月,其中 12 月至次年 7 月为上升期,8—11 月为减少期。降水季节不均衡性突出,表现为夏季(6—8 月)高度

集中、冬季(12—次年2月)偏少。

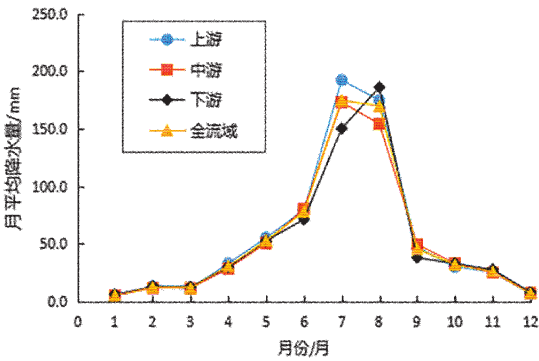


图1 小清河流域 2006—2024 年降水年内分配曲线

3.2 年际变化特征

小清河流域上、中、下游及全流域降水不均匀系数(Cv)的年际变化具有显著同步性,如图2所示。

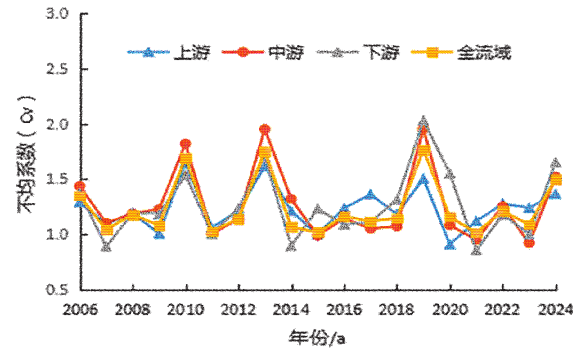


图2 小清河流域降水年不均匀系数年际变化曲线

由图2可知,各分区系数范围依次为:上游 0.91~1.65、中游 0.92~1.95、下游 0.86~2.03、全流域 1.02~1.77,均在 2021 年附近达到历史最低值,且此后整体呈上升趋势,表明气候影响下降水分配趋于集中化;从波动强度看,下游变化最剧烈(极差 1.17),全流域(极差 0.75)与中游(极差 0.74)次之,上游最稳定(极差 0.74)。

2006—2024 年小清河流域降水量特征值统计见表3。

由表3可知,2006—2024 年小清河流域降水量在年际尺度上,全流域及分区年降水量不均匀系数均高于 1.2,且变幅较小,表明了降水总量

的长期稳定性;但极端事件时空分异显著:上游极值(2021 年丰水极值 1 086.4 mm,2014 年枯水极值 487.3 mm),下游极值(2018 年丰水极值 1 017.7 mm,2014 年枯水极值 296.7 mm)。空间维度上,多年平均降水量自上游至下游递减 6%,反映地形降低对水汽的再分配效应。

3.3 降水集中度

小清河流域上、中、下游及全流域的降水集中度(PCD)变化趋势如图3所示。

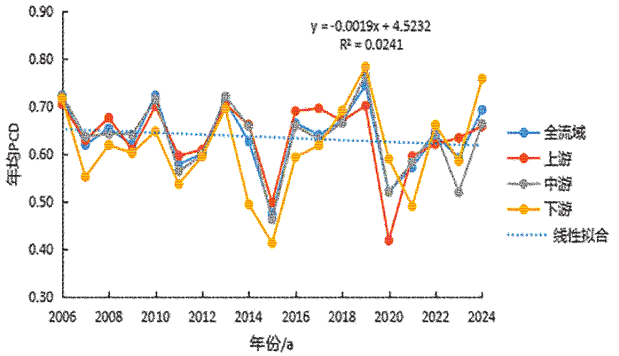


图3 2006—2024 年小清河流域降水集中度(PCD)时间变化

由图3可知,小清河流域上、中、下游及全流域的降水集中度在时空分布上呈现高度协同性,仅存在局部细微差异。研究显示,上游、中游、下游的降水集中度范围分别为 42%~70%、46%~77%、41%~78%,全流域介于 47%~74%之间。2015 年前后成为关键转折点,流域各分区降水集中度均在此阶段降至历史最低值,且此后呈现持续性上升趋势,说明降水年内分配格局由均匀向集中化演变。从空间对比看,下游区域集中度高于上游及中游,表明该分区可能更易发生短时强降水事件。

3.4 降水集中期

2006—2024 年小清河流域降水集中期(PCP)变化曲线如图4所示。

由图4可知,降水量集中期(PCP)位于 177.1°~257.8°(即 5 月下旬至 8 月中旬)之间,最早与最晚出现日期相差约 80 d,年际波动显著。

表3 2006—2024 年小清河流域降水量特征值统计表

区间	年际不均系数	最大		最小		极值比	多年平均降水量/mm
		年降水量/mm	对应年份	年降水量/mm	对应年份		
上游	1.24	1 086.4	2021	487.3	2014	2.23	665.1
中游	1.27	954.7	2022	413.2	2014	2.31	632.7
下游	1.27	1 017.7	2018	296.7	2014	3.43	627.2
全流域	1.24	949.2	2021	401.9	2014	2.36	645.2

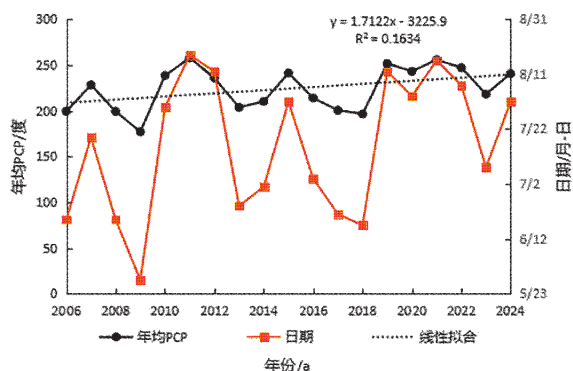


图4 2006—2024年小清河流域降水集中期(PCP)时间变化

统计显示,68%的年份 PCP 集中于7—8月主汛期。近20年来,流域 PCP 呈显著的波动上升趋势($4.2^\circ/\text{a}$),表明降水集中期存在明显的推迟趋势。

3.5 累积距平曲线

小清河上、中、下游及全流域年降水量累积距平曲线,如图5所示。

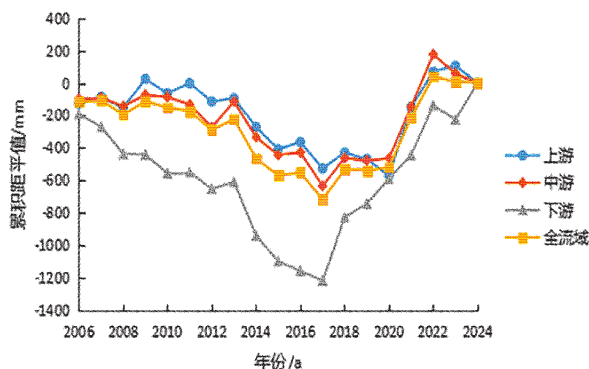


图5 2006—2024年小清河流域年降水量累积距平曲线

由图5可知,上游:2006—2018年,累积距平在 $-500\sim 0\text{ mm}$ 区间波动,呈现微弱下降趋势,说明降水量与多年平均“持平或小幅波动”,年际距平差异小;2020年后,曲线逐渐上升,2022年接近 0 mm ,后期略有波动;反映后期降水量距平由“持平”转向“偏丰”。

中游:2006—2018年,累积距平在 $-500\sim 0\text{ mm}$ 区间波动,整体偏枯,但幅度小于上游;2017年后,曲线快速上升,2022年接近 200 mm 达峰值,后期略有回落,说明后期水量距平“由枯转丰”且增长显著。

下游:2006—2016年,累积距平持续下降,2016年约 $-1\,200\text{ mm}$ 达最低点,是四分区中前期枯水最严重的区域。2013—2017年,斜率陡峭,说明这一时期下游年际距平多为负、且绝对值大,降水量远低于多年平均值。2017—2022年,曲线

快速上升,2022年回到接近 -100 mm ;反映下游后期水量距平由“极枯”快速转为“偏丰”。

全流域:2006—2017年,累积距平在 $-700\sim 100\text{ mm}$ 区间波动,整体偏枯与中游趋势相似,但更平缓。2017年后,曲线随上游、中游、下游的增长而上升,2022年接近 0 mm ,后期稳定。反映流域前期“整体偏枯”,后期随下游、中游转丰而“由枯转平”,下游的极端波动对流域累积趋势影响显著。

4 结论

1)小清河流域降水年内分配极其不均匀,呈单峰型格局,主要集中在7—8月,降水量约占全年53%。年际尺度上,流域及分区年降水量呈不显著上升趋势,降水总量保持相对稳定,年际不均匀系数介于1.24~1.27之间。累积距平曲线表明,流域在2018年前后发生了一次由整体偏枯向偏丰的转折。

2)小清河流域多年平均降水量呈现“上高下低”的空间分布特征,自上游(665.1 mm)向中游(632.7 mm)、下游(627.2 mm)递减约6%。空间差异性显著,上游表现为强度集中型,中游趋势与全流域最为接近;下游表现为波动剧烈型,其降水极值比高达3.43,且年际变化最不稳定,是流域旱涝急转与短时强降水事件的高风险区。

3)小清河流域降水集中度(PCD)在2015年达到历史最低值后持续上升,表明流域降水年内分配正由相对均匀向集中化演变。降水集中期(PCP)多年平均值对应7月中下旬,且其值呈波动上升趋势,揭示流域最大降水中心出现的时间有滞后趋势。

参考文献

- [1] 商守卫,王磊之,王银堂,等.1960—2019年成都地区极端降水时空演变特征分析[J].水资源保护,2023,39(3):195-204.
- [2] 沈龙,吴南,罗煜宁,等.气候变化下1960—2020年长江源区水文气象要素变化趋势[J].水资源保护,2026,42(1):22-29,69.
- [3] 王义安,王忠芹,陈红兵,等.湖北宜昌市降水时空分布特征及其变化趋势研究[J].中国防汛抗旱,2026,36(3):37-43.
- [4] 李原园,李云玲,郭旭宁,等.1956—2016年中国降水量时空分布规律及变化特征[J].水科学进展,2025,36(1):1-17.

(责任编辑 崔春梅)