

小清河流域不同等级降水时空变化特征分析

徐震,董明明,陈德陪

(山东省水文中心,山东 济南 250002)

【摘要】为揭示小清河流域降水时空变化规律及趋势,文章选用流域内 21 个站点 1978—2022 年的逐日降水数据,利用线性分析、反距离权重插值和重标极差(R/S)分析法对不同等级降水进行时空分布分析。结果表明:近 45a 小清河流域不同等级降水量和降水日数均呈增长趋势;各等级降水量和降水日数空间分布基本一致;中雨对年降水量的贡献率最高,为 28.62%,小雨对年降水日数的发生率最高,为 72.85%;不同等级降水量和年降水量的相关系数随降水等级的提高而增大,降水日数相关系数则相反;各等级降水量和降水日数均呈现不同程度正相关持续性,即未来变化趋势与过去基本一致。

【关键词】降水量;降水日数;小清河流域;降水等级

【中图分类号】TV213.4

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-01-0004-05

Temporal and Spatial Variation Characteristics of Precipitation of Different Grades in the Xiaoqing River Basin

XU Zhen, DONG Mingming, CHEN Depei

(Hydrological Center of Shandong Province, Jinan, Shandong 250002, China)

Abstract: To reveal the temporal and spatial variation laws and trends of precipitation in the Xiaoqing River Basin, daily precipitation data from 21 stations in the basin from 1978 to 2022 were selected. Linear analysis, inverse distance weighted interpolation, and rescaled range (R/S) analysis were used to analyze the temporal and spatial distribution of precipitation of different grades. The results show that in the recent 45 years, the precipitation amount and precipitation days of different grades in the Xiaoqing River Basin have shown an increasing trend; the spatial distribution of precipitation amount and precipitation days of each grade is basically consistent; moderate rain has the highest contribution rate to annual precipitation, accounting for 28.62%, and light rain has the highest occurrence rate of annual precipitation days, accounting for 72.85%; the correlation coefficient between precipitation amount of different grades and annual precipitation increases with the improvement of precipitation grade, while the correlation coefficient of precipitation days is the opposite; the precipitation amount and precipitation days of each grade show positive correlation persistence to varying degrees, that is, the future variation trend is basically consistent with the past.

Key words: Precipitation amount; Precipitation days; Xiaoqing River Basin; Precipitation grade

小清河位于山东省中部,自西向东流经 5 市 12 区(县、市),全长约 237 km,流域面积 10 336 km²,属于暖温带大陆性季风气候,多年平均降水量 610 mm。小清河作为鲁中地区的重要河流,对区域社会经济发展带动作用明显。因此,研究小清河流域降水时空变化特征对维护流域水安全及水资源可持续管理具有重要作用^[1]。本文采用 1978—2022 年小清河流域 21 个站点逐日降水数据,基于反距离权重差值、重标极差(R/S)分析法

等方法对流域内不同等级降水的降水量和降水时间的时空分布规律进行研究,为流域内旱涝灾害防治提供参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

研究使用的降水数据来源于山东省水文中

收稿日期:2025-06-12

作者简介:徐震(1994—),男,工程师

心,采用小清河流域黄台桥、大陈家庄、南曹范、大站、白云湖、九户、岔河、博山、淄川、罗村、王村、马尚、新城、石村、太河水库、辛店、白兔丘、西刘桥、口埠、西王高、羊角沟共 21 个站点 1978—2022 年逐日降水数据,研究区域站点分布均匀,能够代表小清河流域降水的一般情况,站点位置如图 1 所示。

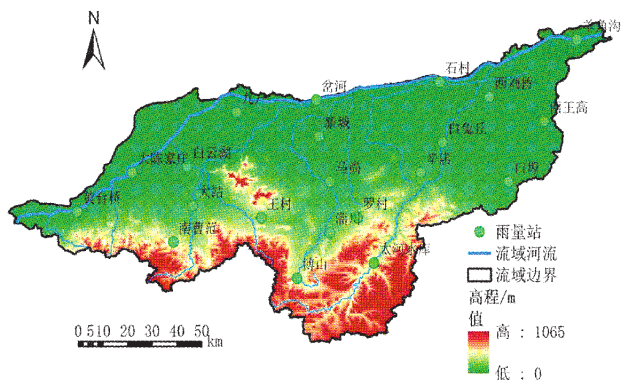


图 1 小清河流域雨量站点空间分布

1.2 研究方法

根据国家标准《降水量等级》(GB/T28592—2012)将小清河流域降水等级按照日降水量大小的不同划分为:小雨(0.1~9.9 mm)、中雨(10.0~24.9 mm)、大雨(25.0~49.9 mm)、暴雨(≥ 50.0 mm) 4 个等级。降雨大于 0.1 mm 的日数称为降雨日,微量降水日不计算在内,固体降水转换成液体降水计算在内。采用降水发生率和贡献率探讨不同等级降水对年总降水的影响,降水发生率是指某一等级降水日数与年总降水日数比值,降水贡献率是指某一等级降水量与年总降水量比值。重标极差(R/S)分析法是对长序列数据进行研究的一种分形理论,通过计算赫斯特(Hurst)指数 H 来表示降水序列的持续性, H 取值从 0~1,当 $0 < H < 0.5$,则表明具有反持续性,当 $0.5 < H < 1$,则表明具有正持续性,当 $H = 0.5$ 时,表明降水序列变化是随机的,前后变化无关联^[2-3]。

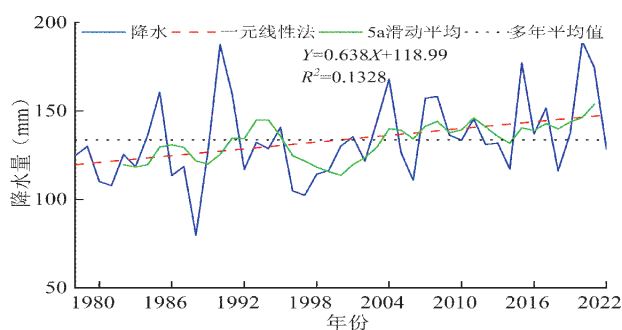
2 结果与分析

2.1 时间变化特征

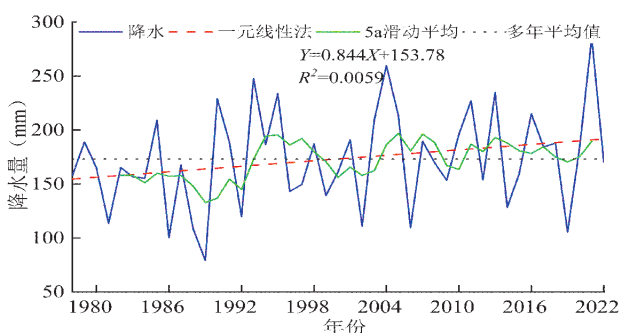
2.1.1 降水量

小清河流域 1978—2022 年不同等级降水量情况如图 2 所示。

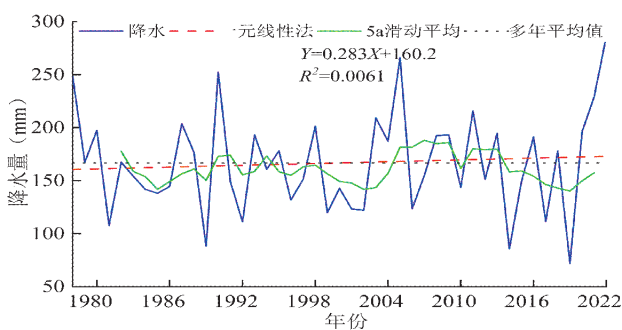
由图 2 可知,1978—2022 年小清河流域小雨降水量多年平均为 133.7 mm,最低为 1988 年的



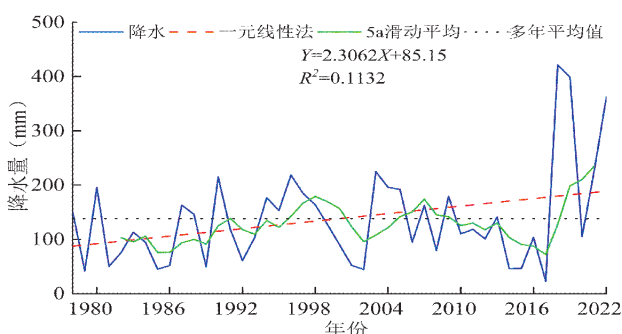
(a) 小雨降水量



(b) 中雨降水量



(c) 大雨降水量



(d) 暴雨降水量

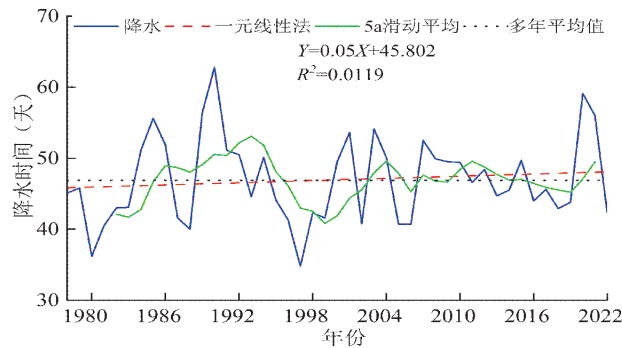
图 2 不同等级降水量变化

79.8 mm,最高为 1990 年的 187.6 mm,高低值相差 107.8 mm;中雨多年平均为 173.2 mm,最低为 1989 年的 79.2 mm,最高为 2021 年的 285.5 mm,高低值相差 206.3 mm;大雨多年平均为 166.7 mm,最低为 2019 年的 71.9 mm,最高为 2022 年的 286.1 mm,高低值相差 214.2 mm;暴雨多年平均

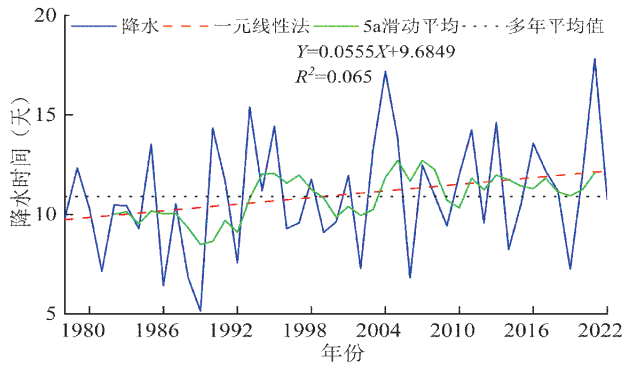
为 138.2 mm,最低为 2017 年的 22.9 mm,最高为 2018 年的 421.3 mm,高低值相差 398.4 mm。各等级降水多年均值表现为:中雨(173.2 mm)>大雨(166.7 mm)>暴雨(138.2 mm)>小雨(133.7 mm),可以看出中雨、大雨对年降水量的贡献较大。从变化趋势上来看,小雨、中雨、大雨和暴雨的降水量均呈增长趋势,增长速率表现为:暴雨(2.306 mm/a)>中雨(0.844 mm/a)>小雨(0.638 mm/a)>大雨(0.283 mm/a),表明流域内年降水量受暴雨降水量的影响越来越大。

2.1.2 降水日数

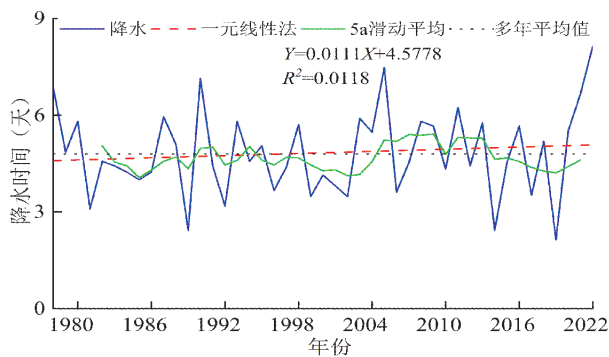
小清河流域 1978—2022 年不同等级降水时间变化如图 3 所示。



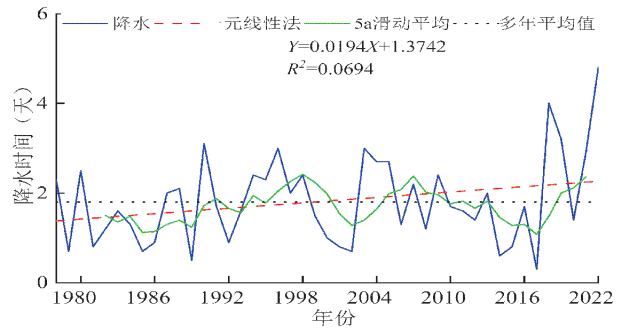
(a)小雨日数



(b)中雨日数



(c)大雨日数



(d)暴雨日数

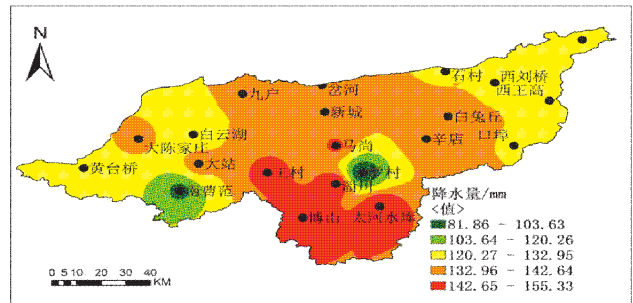
图 3 不同等级降水时间变化

由图 3 可看出,小清河流域小雨降水天数多年平均为 47.0 d,最低为 1997 年的 34.8 d,最高为 1990 年的 62.8 d;中雨多年平均为 11.0 d,最低为 1989 年的 5.1 d,最高为 2021 年的 17.8 d;大雨多年平均为 4.8 d,最低为 2019 年的 2.1 d,最高为 2022 年的 8.1 d;暴雨多年平均为 1.8 d,最低为 2017 年的 0.3 d,最高为 2022 年的 4.7 d。可以看出小雨降水日数最大,占比高达 72.8%。从变化趋势上来看,不同等级降水日数均呈增长趋势,增长速率表现为:中雨(0.055 d/a)>小雨(0.050 d/a)>暴雨(0.019 d/a)>大雨(0.011 d/a)。

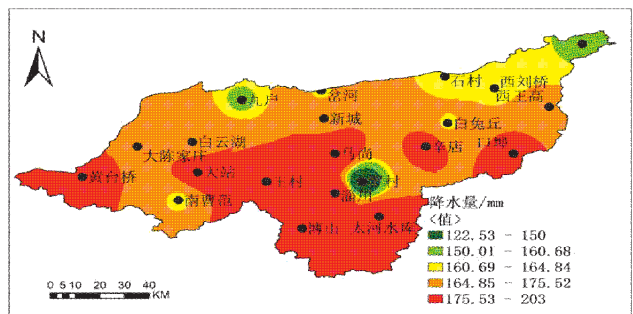
2.2 空间变化特征

2.2.1 降水量

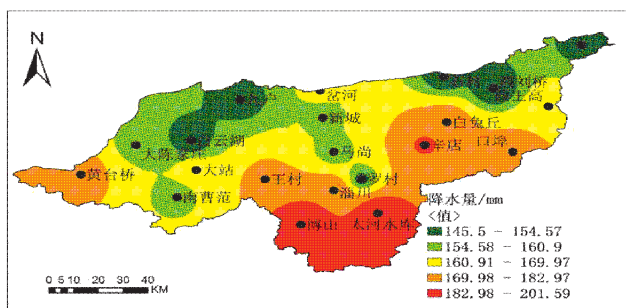
小清河流域 1978—2022 年不同等级降水量空间分布如图 4 所示。



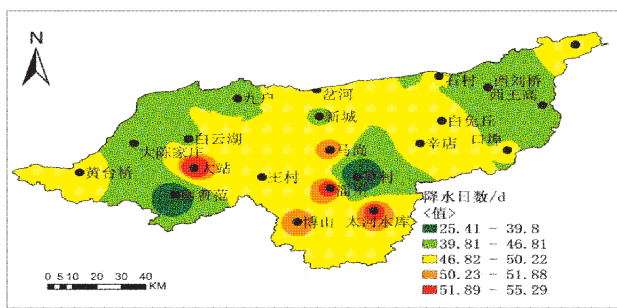
(a)小雨降水量



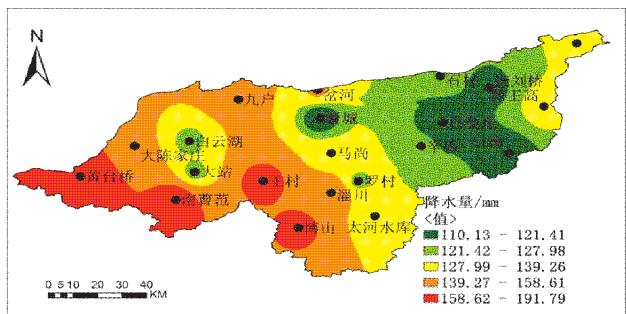
(b)中雨降水量



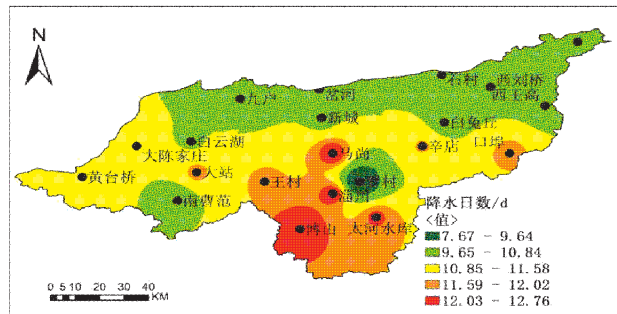
(c)大雨降水量



(a)小雨降水日数



(d)暴雨降水量



(b)中雨降水日数

图 4 不同等级降水量空间分布

由图 4 可知,小雨降水量由上游到下游呈先增后减趋势,罗村、南曹范 2 个站点小雨降水量较少;中雨、大雨降水量空间分布大体一致,总体呈由南向北递减趋势,罗村、九户 2 个站点中雨降水量较少,地势高的博山、太河水库等站点较其他相对平原站点降水量明显偏多;暴雨降水量空间分布总体呈由上游向下游递减趋势,大站、白云湖暴雨降水量较周围站点略少,暴雨量空间分布相对其他等级降雨分布具有较强的层次性。

2.2.2 降水日数

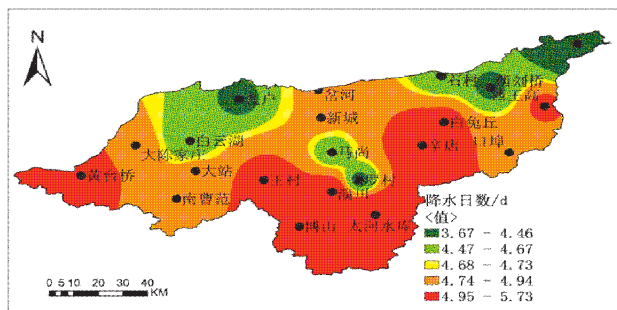
不同等级降水日数空间分布如图 5 所示。

由图 5 可以看出,各等级降水日数与降水量空间分布大体相同;罗村站小雨、中雨的降水日数较周围站点降水日数偏少,地势高的博山、太河水库等站点较其他相对平原站点中雨、大雨降水日数偏多,大站、白云湖暴雨降水日数较周围站点偏少,暴雨日数的空间分布层次性较强。

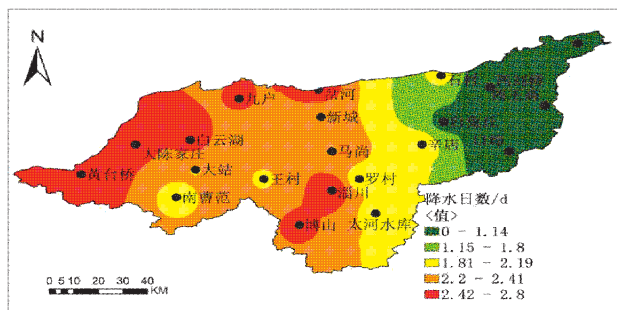
2.3 不同等级降水对年总降水的影响

不同等级降水对年降水的贡献率与发生率如图 6 所示。

由图 6 (a) 可知,中雨的贡献率最大为 28.62%,其次是大雨(27.36%)、小雨(22.82%)、暴雨(21.20%)。从变化趋势来看:暴雨的贡献率呈上升趋势;小雨、中雨和大雨的贡献率呈下降趋势



(c)大雨降水日数



(d)暴雨降水日数

图 5 不同等级降水时间空间分布

势,其中大雨下降速率最大。图 6(b)可以看出,降水发生率随着降水等级的提高而下降,具体表现为:小雨(72.85%)>中雨(16.85%)>大雨(7.47%)>暴雨(2.82%);从变化趋势来看:中雨、暴雨的发生率呈上升趋势;小雨、大雨的发生率呈下降趋势。

不同等级降雨指标与年降雨指标相关性见表 1。

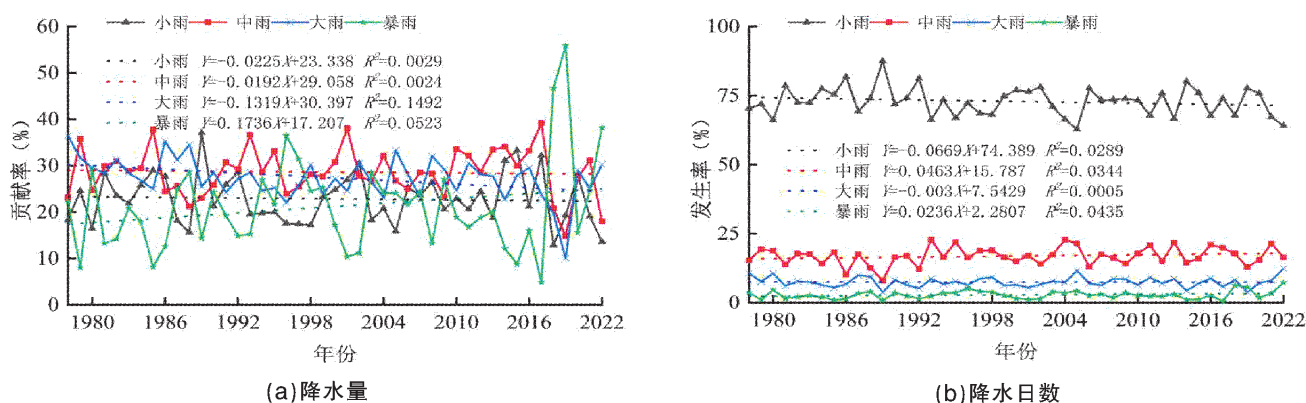


图6 不同等级降水对年降水的贡献率与发生率

表1 不同等级降雨指标与年降雨指标相关性

降水指标	不同等级降水量				不同等级降水日数			
	小雨	中雨	大雨	暴雨	小雨	中雨	大雨	暴雨
年总降水量	0.391**	0.700**	0.780**	0.786**	-	-	-	-
年总降水日数	-	-	-	-	0.844**	0.706**	0.490**	0.224

注:**表示在0.01级别(双尾),相关性显著。

由表1可知,除暴雨日数与年降雨日数相关性较差外,其他等级降水量、降水日数与年降水量、降水日数呈现极显著正相关。可以看出,年降水量与不同等级降水量的相关系数随降水等级的提高而增大,与暴雨降水量相关系数最大为0.786,表明小清河流域年降水量变化受暴雨降水量影响较大;年降水日数与不同等级降水日数的相关系数随降水等级的提高而减小,与小雨降水日数相关系数最大为0.844;表明总降水日数变化受小雨降水日数影响较大。

2.4 R/S 分析

基于R/S分析法得出不同等级降水量、降水日数的Hurst指数H,见表2。由表2可知,中雨、大雨正相关持续性强度较弱,小雨、暴雨与年降水正相关持续性强度较弱;从降水日数趋势来看,大雨正相关持续性强度较弱,小雨、中雨和暴雨降水时间正相关持续性强度很弱。结合降水量与降水日数变化趋势可知,未来小清河流域不同等级降

表2 不同等级降雨指标与年降雨指标相关性

降水等级	降水量		降水时间	
	H	强度	H	强度
小雨	0.61	较弱	0.56	很弱
中雨	0.57	很弱	0.57	很弱
大雨	0.57	很弱	0.61	较弱
暴雨	0.61	较弱	0.55	很弱
年降水	0.61	较弱	0.53	很弱

水量、降水日数均呈现不同程度的增加趋势。

3 结语

文章基于小清河流域内21个站点近45a的逐日降水数据,对流域内不同等级降水进行时空变化分析。结果表明:1)研究期内小清河流域不同等级降水量、降水日数均呈增长趋势。2)暴雨降水量、降水日数空间分布总体呈由上游向下游递减趋势,小雨空间分布由上游到下游呈先增后减趋势,中雨、大雨空间分布大体一致,由南向北递减。3)中雨对年降水量的贡献率最高,为28.62%,小雨对年降水日数的发生率最高,为72.85%;相关性分析表明,不同等级降水量和年降水量的相关系数随降水等级的提高而增大,降水日数相关系数则相反。4)通过R/S分析法得出Hurst指数显示,不同等级降水量、降水日数均呈现正相关持续性,结合趋势分析,表明未来变化趋势与过去基本一致。

参考文献

[1] 尹占娥,田鹏飞,迟潇潇.基于情景的1951—2011年中国极端降水风险评估[J].地理学报,2018,73(3):405-413.
 [2] 王文圣,丁晶.随机水文学(2版)[M].北京:中国水利水电出版社,2008.
 [3] 杨倩,刘登峰,孟宪萌,等.1960—2017年山西省降水和气温的时空变化特征分析[J].人民珠江,2019,40(6):27-33.

(责任编辑 崔春梅)