

清水江流域近60a降水变化特征分析

袁芳菊*, 杨胜忠#

黔东南州气象局, 贵州 凯里

收稿日期: 2022年8月2日; 录用日期: 2022年8月29日; 发布日期: 2022年9月5日

摘要

通过对清水江流域内11个国家级气象站1962~2021年近60a降水气象资料, 采用M-K突变检验、小波分析等方法对年降水量和汛期降水量进行时空变化特征分析, 得出清水江流域多年平均降水量为1235.2 mm, 降水量主要集中在汛期4~9月, 占年降水量的74.9%。多雨区位于流域上游和下游, 少雨区位于中游。汛期4~9月降水量各月分布不均, 6月份最多, 9月份最少。近60a年平均降水量和汛期降水量变化趋势不显著, 存在减少和增加交替趋势, 没有发生突变。年降水量和汛期降水量周期及振荡时间尺度基本一致, 主要存在15~35a和2~3a的准周期, 降水量存在少-多-少-多-少-多3次少多交替振荡的周期变化过程, 比较显著的周期为24a和2a。

关键词

清水江, 降水, 变化趋势, M-K突变, 小波分析

Analysis of Precipitation Variation Characteristics in Qingshui River Basin in Recent 60 Years

Fangju Yuan*, Shengzhong Yang#

Qiandongnan Meteorological Bureau, Kaili Guizhou

Received: Aug. 2nd, 2022; accepted: Aug. 29th, 2022; published: Sep. 5th, 2022

Abstract

Based on the precipitation data of the 11 basic weather station in Qingshui River Basin from 1962 to 2021, the M-K mutation test and wavelet analysis were used to analyze the temporal and spatial

*第一作者。

#通讯作者。

variation characteristics of annual precipitation and flood season precipitation. The results show that the average annual precipitation in the Qingshui River Basin is 1235.2 mm, and the precipitation is mainly concentrated in the flood season from April to September, accounting for 74.9% of the annual precipitation. The rainy areas are located in the upstream and downstream of the basin, and the less rain areas are located in the midstream. Precipitation is unevenly distributed from April to September in flood season, with the maximum in June and the minimum in September. In the past 60 years, the variation trend of annual average precipitation and flood season precipitation was not significant, and there was an alternating trend of decrease and increase, without mutation. The period and oscillation time scale of annual precipitation and precipitation in flood season are basically the same, and there are mainly quasi-periods of 15~35a and 2~3a. The precipitation has a periodic variation process of less-more-less-more-less-more three times less-more alternating oscillation, and the relatively significant periods are 24a and 2a.

Keywords

Qingshui River, Precipitation, Variation Trend, M-K Mutation, Wavelet Analysis

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

清水江流域属于长江水系, 发源于贵州省都匀市, 干流全长 459 km, 流域面积 17,145 km², 主要流经都匀市、麻江县、凯里市、台江县、剑河县、锦屏县, 在天柱县流出贵州省。流域面还涉及贵定、丹寨、黄平、雷山、施秉等县。清水江流域作为黔东南第一大河, 水能资源丰富, 对黔东南的工农业生产和社会经济有着十分重要的作用, 贵州第四大水库三板溪水库建立在清水江主干锦屏县境内, 水库大坝坝高 185.5 m, 库容 41 亿立方米, 湖面面积 85 km², 对洪水的调节具有十分重要的作用。降水的气候变化特征一直受到国内外气象专家的关注, 马丽娟[1]研究指出: 全球山地年降水在过去几十年没有明显趋势; 预计未来北半球许多山地年降水将增加 5%~20%, 但极端降水变化的区域和季节差异较大。陈子凡[2]研究指出: 西南地区在 1969~2020 年整体呈现降水频率和强度增大, 极端降水增多的趋势。同时, 粟运等[3] [4] [5] [6] [7]对西南地区和贵州省降水作了深入的研究。由于研究的时间和空间尺度不同, 其结论也存在一定的差异性。本文利用清水江流域贵州省境内 11 个国家级气象站 1962~2021 年近 60a 降水气象资料进行时空变化特征分析, 为预防洪水灾害和合理开发水能资源提供科学参考依据。

2. 资料与方法

2.1. 资料来源

资料来源于贵州省黔东南州气象局, 包括 1962~2021 年清水江干流和主要支流流域面内都匀、麻江、凯里、黄平、福泉、雷山、台江、施秉、剑河、锦屏、天柱共 11 个县市国家级气象站降水量资料, 有年降水量、月降水量、年日最大降水量和面雨量。黄平和施秉站不在流域内, 但其流域面内包括两县部分面积, 在研究时, 也将两站资料包括在内。

2.2. 面雨量计算

面雨量计算方法较多[8] [9] [10] [11] [12], 常用的主要方法有平均法、泰森多边形法、距离最近代表

站法、插值法等。其中, 平均法使用简单, 使用效果较好, 本文选用平均法作为面雨量的计算, 面雨量即为流域 11 个站点的平均降水量。

2.3. M-K 突变检验

M-K 突变检验称 Manner-Kendal 检验法[13] [14] [15] [16], 是一种气候诊断和预测技术, 应用 M-K 检验法可以判断气候序列中是否存在气候突变, 如果存在, 可确定出突变发生的时间。该方法常用于气候变化影响下的降水、干旱频次趋势检测等。在本研究中, 主要用于分析清水江流域 1962~2021 年近 60a 来的平均降水量突变情况。

2.4. Morlet 小波分析

在气象时间序列研究中, Morlet 小波分析[17] [18]主要用于时间序列的消噪和滤波, 信息量系数和分形维数的计算, 突变点的监测和周期成分的识别以及多时间尺度的分析等, 充分反映时间序列在不同时间尺度中的变化趋势, 对时间序列未来发展趋势进行定性估计。在本研究中, 主要用于对清水江流域 1962~2021 年近 60a 来的面雨量进行小波变化计算, 得到小波系数和小波方差, 确定时间序列中不同时间尺度扰动的相对强度和周期。

3. 分析结果

3.1. 空间分布特征

清水江流域都匀至天柱等 11 县市 11 个站点降水量为 1025.6~1451.9 mm, 主要出现一个少雨区和两个多雨区, 少雨区分布在清水江流域中游福泉、黄平、剑河、施秉和台江, 最小值施秉; 两个多雨区分别分布在流域上游发源地和下游贵州省出口处, 最大值为都匀站。全年丰雨期主要集中在汛期 4~9 月, 流域多年平均值为 769.3~1125.6 mm, 占全年降水量的 74.9%。汛期降水量同样存在中游少, 上游和下游多的分布格局, 最大值出现在都匀站, 最小值出现在施秉站。详情见图 1。

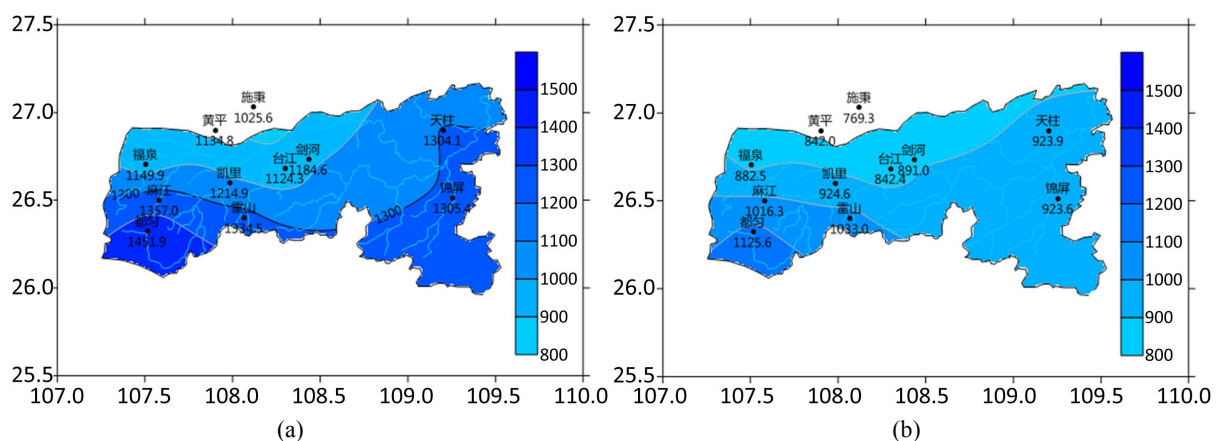


Figure 1. Precipitation distribution in the Qingshui River Basin; (a) Annual precipitation; (b) Flood season precipitation

图 1. 清水江流域降水量分布图; (a) 年降水量; (b) 汛期降水量

清水江流域汛期 4~9 月降水量与年降水量分布一致, 流域上游和下游属于多雨区, 中游属于少雨区。11 站历年平均各月降水量分布不均, 6 月份最多, 220.3 mm, 9 月份最少, 92.5 mm; 4~9 月 11 站月最大平均降水量 376.7 mm, 最大值都匀站达 486.1 mm, 出现在 6 月, 最小值为 282.9 mm, 出现在 4 月; 4~9 月 11 站月最小平均降水量为 33.4 mm, 最小值仅 4.9 mm, 出现在 9 月份, 7 月份次之, 为 7.1 mm, 降水

的分布不均容易造成干旱和洪涝。4~9 月降水量详情见表 1。

Table 1. Precipitation of each station in Qingshui River Basin from April to September
表 1. 清水江流域 4~9 月各月各站降水量

	都匀	福泉	黄平	剑河	锦屏	凯里	雷山	麻江	施秉	台江	天柱
4 月平均	125.4	101.8	113.3	126.2	138.9	117.5	123.5	116.3	108.4	110.8	134.4
4 月最大	281.0	248.6	313.7	260.5	284.3	324.3	280.8	299.2	255.0	237.7	326.6
4 月最小	39.8	32.9	33.3	22.7	49.4	31.2	45.1	41.4	30.3	23.7	43.3
5 月平均	213.7	176.0	179.4	186.1	208.9	195.1	223.4	205.7	161.6	179.5	201.6
5 月最大	438.8	388.0	390.0	379.2	492.2	335.6	502.8	353.0	311.2	306.0	393.7
5 月最小	76.3	78.3	69.5	85.4	83.5	81.1	96.2	80.2	82.5	89.3	94.5
6 月平均	283.0	213.2	198.9	203.2	211.3	221.1	258.2	250.1	182.1	188.6	213.8
6 月最大	819.7	448.0	440.2	433.3	427.2	433.8	562.1	546.7	345.5	323.7	567.4
6 月最小	68.7	28.5	61.6	80.3	57.9	33.6	56.5	45.1	41.3	92.9	55.9
7 月平均	228.3	166.4	142.0	160.3	155.0	175.5	189.4	202.6	131.1	142.1	155.2
7 月最大	618.2	417.7	418.2	520.1	522.8	497.6	533.8	439.9	347.1	319.4	473.3
7 月最小	8.3	22.5	9.3	1.9	7.1	7.6	13.2	2.6	0.7	3.4	1.6
8 月平均	165.2	127.2	116.1	134.3	123.2	130.3	150.7	129.0	100.7	132.1	129.6
8 月最大	357.9	352.0	264.3	304.6	337.6	287.7	440.4	270.1	242.3	297.1	316.0
8 月最小	14.1	7.5	14.3	16.4	11.3	6.4	20.0	12.6	10.8	14.5	9.7
9 月平均	110.0	97.9	92.3	81.0	86.3	85.2	87.8	112.6	85.4	89.4	89.3
9 月最大	388.7	302.6	304.3	299.1	297.4	278.1	347.4	458.6	284.0	303.5	272.7
9 月最小	9.3	14.3	3.9	0.6	2.3	3.1	3.5	10.7	1.9	3.0	1.1

3.2. 趋势特征

1962~2021 年近 60a 清水江流域年平均降水量为 1235.2 mm, 时间序列变化趋势不显著, 见图 2(a), 与全球山地降水趋势[1]相近, 但各年振荡较大, 最大降水量 1616.9 mm, 出现在 2015 年, 最小值 911.5 mm, 出现在 2005 年, 多雨年与少雨年相差 705.4 mm。从年降水距平来分析, 见图 2(b), 主要出现 3 种情况, 一是正距平和负距平交替振荡, 出现在 1980 年以前, 即 1962~1967 年和 1973~1982 年; 二是正距平集中期, 即连续多雨期, 出现在 1968~1972 年、1990~2000 年、2013~2021 年; 三是负距平集中期, 即连续少雨期, 出现在 1983~1989 年和 2001~2012 年。

近 60a 清水江流域年平均汛期降水量为 924.9 mm, 逐年变化趋势与逐年年降水量变化趋势基本一致, 但振荡更显著, 最大值 1215.4 mm, 出现在 2015 年, 最小值 591.8 mm, 出现在 2011 年。逐年汛期降水距平趋势与年降水量大致相同, 但也存在一些明显差异。正距平和负距平交替出现的年份为 1972~1984 年、1992~2004 年; 正负距平交替出现的同时, 也存在明显的正距平集中期和负距平集中期, 正距平集中期主要出现在 1967~1980 年、1993~2000 年和 2013~2021 年; 负距平集中期主要出现在 1962~1966 年、1981~1992 年和 2001~2012 年。正距平集中期和负距平集中期存在交替出现的现象。

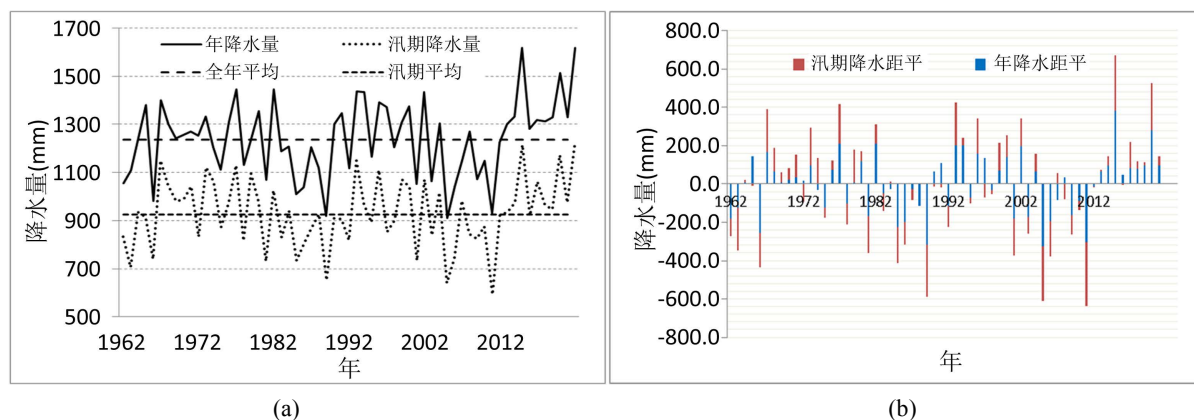


Figure 2. Annual precipitation anomalies from 1962~2021; (a) Precipitation variation trend; (b) Precipitation anomaly
图 2. 1962~2021 年逐年降水距平图; (a) 降水量变化趋势; (b) 降水量距平

对 1962~2021 年近 60a 时间序列降水量进行 M-K 突变检验, 见图 3, α 取值为 0.01, 置信水平区间 $[-2.58, 2.58]$ 。图 3(a) 为年降水量, 从图中可以看出, UF 值在 1962~1984 年、1996~2005 年和 2017~2021 年持续出现正值, 说明有持续增长趋势, 其中, 1962~1984 年和 2017~2021 年 UF 和 UB 存在交点, 但交点没有通过 0.01 信度的检验, 不具有突变性。1996~2005 年 UF 和 UB 不存在交点, 也不存在突变。UF 值在 1985~1995 年和 2006~2016 年出现负值, 说明有持续减少趋势, 两个时段 UF 和 UB 都没有交点, 说明不具有突变性。总的来说, 清水江流域近 60a 年降水量有增加和减少趋势, 但没有发生突变。图 3(b) 为年汛期降水量, 同样, UF 值在 1967~1984 年持续出现正值, 说明有持续增长趋势, 但 UF 和 UB 值交点之后没有通过 0.01 信度检验, 不具有突变性。UF 值在 1985~2019 年持续出现负值, 说明有持续减少趋势, UF 和 UB 值没有出现交点, 说明没有发生突变。通过分析得出, 清水江流域近 60a 年汛期降水量有增加和减少趋势, 但没有发生突变。

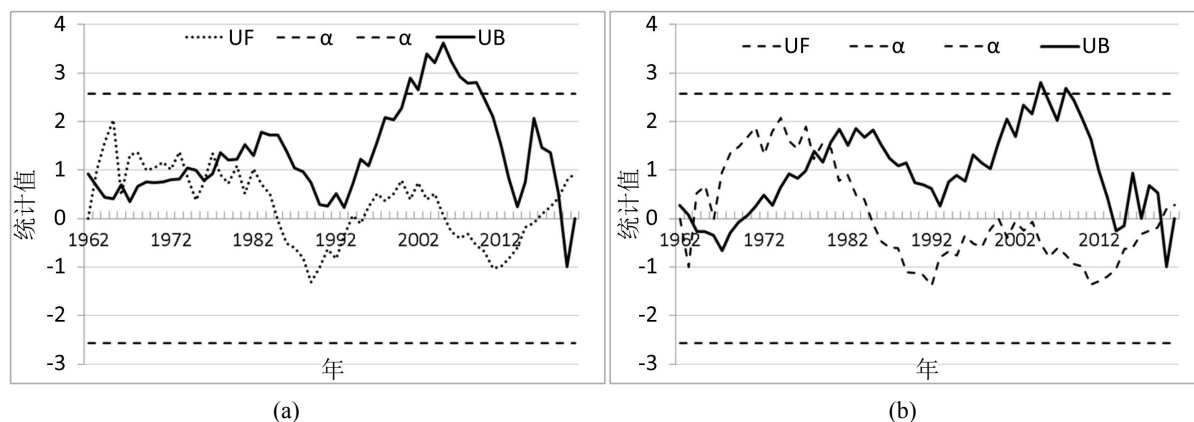


Figure 3. M-K mutation test of precipitation form 1962~2021; (a) Annual precipitation; (b) Flood season precipitation
图 3. 1962~2021 年降水量 M-K 突变检验; (a) 年降水量; (b) 汛期降水量

3.3. 周期特征

对清水江流域 1962~2021 年近 60a 年降水量和年汛期降水量时间序列利用小波方法计算小波系数和小波方差, 绘制 Morlet 小波变换系数实部等值线图, 见图 4。图 4(a) 为年降水量, 图 4(b) 为年汛期降水量, 从图中可以看出, 两图中周期及振荡时间尺度基本一致, 主要存在 2~3a 的短周期和 15~35a 的长周期, 其中 15~35a 的长周期较为明显和稳定, 是贯穿整个时间序列的主要时间尺度, 降水量存在少 - 多 -

少-多-少-多 3 次少多交替振荡的变化过程。根据小波方差计算结果可知, 1962~2021 年共出现 2 个较为明显的方差极值, 分别为 24a 和 2a, 说明两个周期降水演变规律最为显著。

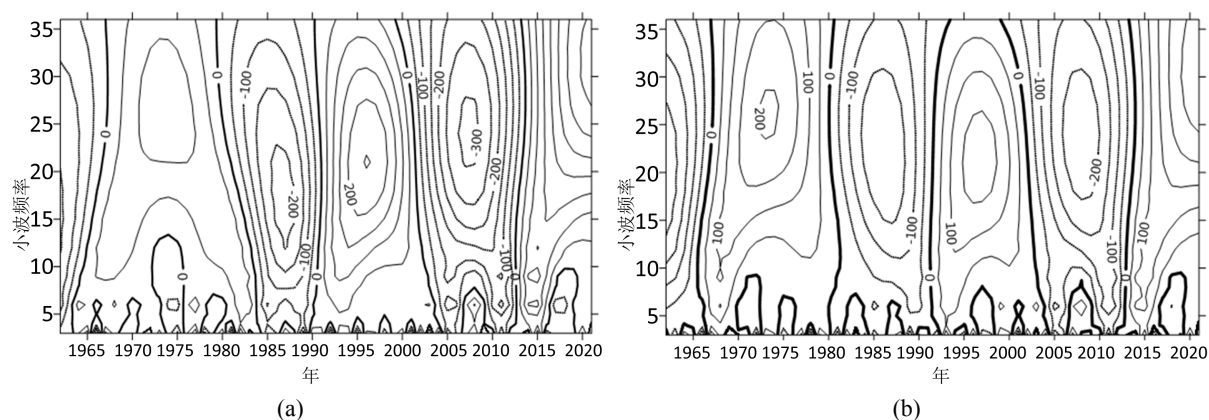


Figure 4. Wavelet analysis of precipitation from 1962~2021; (a) Annual precipitation; (b) Flood season precipitation
图 4. 1962~2021 年降水量小波分析; (a) 年降水量; (b) 汛期降水量

4. 结论与讨论

通过对清水江流域内 11 个国家级气象站 1962~2021 年近 60a 降水气象资料, 采用 M-K 突变检验、小波分析等方法对年降水量和汛期降水量进行时空变化特征分析, 得出以下结论:

1) 清水江流域 11 个站多年平均降水量为 1025.6~1451.9 mm, 其中多雨区位于流域上游和下游, 少雨区位于中游。汛期 4~9 月降水量与年降水量分布一致, 流域上游和下游属于多雨区, 中游属于少雨区; 11 站历年平均各月降水量分布不均, 6 月份最多, 9 月份最少。

2) 清水江流域 1962~2021 年近 60a 年平均降水量为 1235.2 mm, 时间序列变化趋势不显著, 但各年振荡较大, 存在 3 个正距平集中期和 3 个负距平集中期。清水江流域近 60a 年降水量和汛期降水量出现减少和增加交替趋势, 但没有发生突变。

3) 清水江流域 1962~2021 年近 60a 年降水量和汛期降水量周期及振荡时间尺度基本一致, 主要存在 15~35a 和 2~3a 的准周期, 降水量存在少-多-少-多-少-多 3 次少多周期交替振荡的变化过程, 比较显著的周期为 24a 和 2a。

通过以上分析可知, 清水江流域降水量具有空间分布明显, 年际变化趋势不显著, 周期性等特点, 对于沿江城镇村寨防洪和干旱预防具有十分重要的指导意义。清水江上游降水量丰富, 防洪主要考虑本地降水, 中游地区降水少, 水位的上涨主要由上游和本地降水决定, 必要时优先考虑上游降水量。在少雨年, 中游地区较容易出现干旱, 特别是黄平和施秉县, 有条件的情况可开展人工增雨作业; 下游地区由于河面相对宽大, 有两个中大型水库, 自我调节能力强, 主要考虑上游和中游洪水洪峰叠加出现的水位急涨过程。降水量的周期性对于未来年降水量预报也具有一定的参考性。根据周期性结论预测, 2021 年年降水量处于 2a 周期性偏多年, 由此可预估 2022 年年降水量比 2021 年偏少。同时根据 24a 的周期可预估, 在未来 12a 里, 年降水量将处于一个逐渐减少并维持少雨期的趋势。

基金项目

黔东南州科技计划项目黔东南科合 J 字[2018] 089 号: 黔东南地形因子对短时强降水落区影响研究; 黔东南州科技计划项目黔东南科合 J 字[2021] 76 号: 强降水对清水江流域水库调度和水灾隐患点的影响研究共同资助。

参考文献

- [1] 马丽娟, 效存德, 康世昌. 全球主要山地气候变化特征和异同——IPCC AR6 WGI 报告和 SROCC 综合解读[J/OL]. 气候变化研究进展: 1-20. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5368.P.20220421.0826.002.html>, 2022-04-21.
- [2] 陈子凡, 王磊, 李谢辉, 等. 西南地区极端降水时空变化特征及其与强 ENSO 事件的关系[J]. 高原气象, 2022, 41(3): 604-616.
- [3] 粟运, 毛文书, 师春香, 等. 西南地区近 60 年夏季降水的区域特征[J]. 成都信息工程大学学报, 2020, 35(5): 560-565.
- [4] 李刚, 李崇银, 周文, 等. 西南地区春季及其各月降水的气候特征分析[J]. 气候与环境研究, 2020, 25(6): 575-587.
- [5] 彭菊, 周秋文, 韦小茶, 等. 贵州省 1960~2014 年降水量时空变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2019, 30(5): 148-154.
- [6] 李勇, 刘秀明, 王世杰, 曹乐, 张志才. 1961-2017 年贵州降水时空变化特征[J]. 水土保持研究, 2019, 26(6): 145-150.
- [7] 肖蕾, 杜小玲, 武正敏, 等. 贵州省短时强降水时空分布特征分析[J]. 暴雨灾害, 2021, 40(4): 383-392.
- [8] 张涛, 王祥, 杨欣玥, 等. 面雨量计算方法对水文模拟的影响[J]. 人民长江, 2017, 48(19): 42-47.
- [9] 王汉东, 黄璨瑶, 朱思蓉, 等. 三峡区间面雨量空间插值方法对比分析[J]. 水利信息化, 2021(1): 26-29.
- [10] 王增凯, 马超, 王晓鹏, 等. 不同量级降水推算面雨量的算法浅析[J]. 地下水, 2019, 41(4): 166-167.
- [11] 谢勇, 王巧霞, 曹立志, 等. 等雨量线法在中小流域设计洪水面暴雨计算中的工程应用探讨[J]. 四川水利, 2021, 42(5): 136-141.
- [12] 袁定波, 艾萍, 洪敏, 等. 基于地理空间要素的雅砻江流域面雨量估算[J]. 水科学进展, 2018, 29(6): 779-787.
- [13] 杨向权, 肖静. 基于 Mann-Kendall 的海南岛降水变化趋势及突变分析[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(2): 27-30.
- [14] 苏万磊. 基于 Mann-Kendall 的秦皇岛市降水多时间尺度分析[J]. 水利科技与经济, 2020, 26(11): 23-26.
- [15] 林思平, 高震东, 王秋霜, 等. 基于 Mann-Kendall 检验和小波分析的南昌降水变化特征研究[J]. 科技风, 2021(7): 125-126.
- [16] 梁冰, 李子平. 基于 Mann-Kendall 和小波分析的信宜降水变化特征研究[J]. 科学技术创新, 2020(27): 25-26.
- [17] 苏万磊. 基于小波分析的海河流域降水周期及趋势分析[J]. 水利科学与寒区工程, 2020, 3(6): 73-75.
- [18] 戴翠贤, 贾斯, 王君, 等. 基于小波变换的三门峡市年降水序列多时间尺度分析[J]. 河南科学, 2022, 40(2): 270-275.