

# 1960~2009年青海省降水量变化研究

赵渭娟, 杨晨

青海师范大学数学与统计学院, 青海 西宁

收稿日期: 2024年6月1日; 录用日期: 2024年6月21日; 发布日期: 2024年6月30日

## 摘要

基于1960~2009年青海省27个气象站点逐年降水数据, 利用5年移动平均法、Mann-Kendall检验法等, 分析了研究区降水量的变化特征。结果表明: (1) 年降水量变化呈上升趋势, 变化倾向为0.4721 mm/年; (2) 各区域的降水量年际变化5个自治州和一个地级市呈现上升趋势, 一个自治州和一个地级市呈现下降趋势, 整体来看, 青海省多年平均降水量的分布总体上呈现出自西向东、自西北向东南递增的规律; (3) 青海省地区1960~2009年的年降水有发生突变, 且突变年份较多, 主要集中在1974~1985, 2004~2006年间。

## 关键词

青海省, 降水量, 趋势变化, 突变分析

# Study on Precipitation Change in Qinghai Province from 1960 to 2009

Weijuan Zhao, Chen Yang

College of Mathematics and Statistics, Qinghai Normal University, Xining Qinghai

Received: Jun. 1<sup>st</sup>, 2024; accepted: Jun. 21<sup>st</sup>, 2024; published: Jun. 30<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Based on the annual precipitation data of 27 meteorological stations in Qinghai Province from 1960 to 2009, the change characteristics of precipitation in the study area were analyzed by using 5-year moving average method and Mann-Kendall test method. The results showed that: (1) the annual precipitation showed an upward trend, and the trend was: 0.4721 mm/year; (2) The inter-annual variation of precipitation in each region showed an upward trend in 5 autonomous prefectures and 1 prefecture-level city, and a downward trend in 1 autonomous prefecture and 1 prefecture-level city. On the whole, the average annual precipitation in Qinghai Province generally

increased from west to east and from northwest to southeast; (3) Abrupt changes occurred in annual precipitation in Qinghai Province during 1960~2009, and the abrupt changes occurred in many years, mainly during 1974~1985, 2004~2006.

## Keywords

Qinghai Province, Precipitation, Trend Change, Mutation Analysis

Copyright © 2024 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

近年来, 全球各地气象灾害时有发生, 这给全球的经济增长、社会发展以及人类的生命财产安全带来极大的威胁, 气候变化改变了各种气象灾害发生的频率和强度, 这使得气象变化受到人们越来越多的关注, 现已成为社会关注热点之一。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告(AR6)解读中指出, 在全球变暖的趋势影响下, 21 世纪全球陆地的年平均降水将增加(高信度), 且降水变化呈显著的区域性和季节性差异(高信度) [1]。中国位于亚洲东部, 太平洋西岸, 幅员辽阔, 从南至北划分为六个温度带, 经度从东经 72 度到 135 度跨度较广, 距海远近参差较大, 地势高低各不相同, 地形及山脉走向复杂多样, 因而各地降水情况也迥然有别, 降水量从东南向西北逐渐减少, 各地年平均降水量差异很大, 因此研究某地区的降水量相关知识是气候研究的重要课题之一, 这对当地的农业生产、经济发展及水资源调度等有一定的指导作用。

在全球气候变暖的背景下, 关于降雨量相关问题的研究开始引起大家的高度关注和重视, 学者们从不同视角对问题展开了分析和研究, 并取得了较多的研究成果。这些成果大致可以分为两类, 一部分学者通过结合地形、海拔等因素, 从气候角度对某地区短时间降雨特征进行了统计分析, 指出暴雨的日变化特征具有明显的区域性差异, 此类研究多集中于气候变化机理以及预报方法方面, 以期达到为预报预测和防灾、减灾提供有效参考依据的目的。另一部份学者结合气候等特征对区域性的年降水量变化趋势及突变进行了分析, 指出所研究区域的年降水时空分布特征、降水变化规律等, 研究多集中在变化趋势和突变检验方面, 研究结果可为所研究区域的农业生产、水资源规划、生态建设等提供一些理论和数据支持。

学者们对我国一些地区的气温、降水等进行了研究, 主要包括降水量的时间变化趋势、降水量的空间格局和降水突变分析。有的学者通过分析某地区多年多个气象站的逐日降水量数据, 从大雨日数、年降水量、连续干旱日数等指数空间总结了研究区的降水时空分布特征。如时延锋等研究分析了沂蒙山区 60 年间极端降水在时间和空间上的变化特征, 结果表明研究区年降水量及极端降水事件并没有出现明显下降的趋势, 但是在 2010 以后, 强降雨日数、强降水量和极强降水量都出现了上升的趋势, 其他指数也有着各自明显的分布格局[2]。蒋琳等对滁州市近五十年降水特征进行了分析, 发现其近 50 年的降水量变化存在年际尺度和年代际尺度, 年降水量有着空间和时间上的特征, 通过分析汛期各级雨量频数及汛期暴雨降水研究了汛期降水量特征[3]。有的学者通过分析某地区多年多个气象站的逐月或逐年降水量数据, 从降水的时间变化特征、年降水量的突变检测和年降水量的周期变化规律分析了研究区降水的变化特征 [4]-[11]。如郎泽东等利用安吉气象站多年逐月均温及平均降水资料, 分析研究区的年度及季度气温、降

雨的基本特征,发现该研究区气候发展方向不利于安吉小鲵的生存[12]。敬文茂等采用多种方法对祁连山北麓及其附近地区气温和降水从时间和空间尺度上进行了分析,结果表明气温和降水均呈现上升趋势,且有显著的空间特征和变化周期[13]。

上述研究多数采用较少的气象站点和较长的时间数据分析研究区的整体降水特征,研究方法多采用 Mann-Kendall 检验法、累积距平法、Morlet 小波变换法等进行趋势分析和突变分析。本文选取移动平均法处理数据进行趋势预测,该方法对原时间序列的波动有一定的修匀作用,削弱了原序列中短期偶然因素的影响,从而呈现出现象发展的变动趋势,具有简单易懂,易于实现的优点。Mann-kendall 突变检验是一种非参数突变检验方法,具有高效、便捷、适用范围广等优点。虽然上述研究方法已经比较成熟,但鲜有学者针对青海省历年的降水量变化特征展开研究[12]。因此,本研究选取青海省 27 个气象站点,根据 1960~2009 年各站点的年降水量资料,基于上述方法对研究区 50 年间的降水情况进行了分析,希望对该地区的气候变化研究和农业生产有所帮助。

## 2. 研究区概况和数据来源

### 2.1. 研究区概况

青海省位于中国西北内陆,青藏高原的东北部,北部和东部与甘肃相邻,西北邻新疆维吾尔自治区,南部和西南部与西藏自治区相接,东南部与四川省接壤,整体介于北纬  $31^{\circ}36' \sim 39^{\circ}19'$ ,东经  $89^{\circ}35' \sim 103^{\circ}04'$  之间,全省平均海拔 3000 米以上,全省总面积 72.23 万平方公里,辖 2 个地级市,6 个自治州(图 1)。青海省地形复杂多样,以高原、山地、盆地为主,青海省属于高原大陆性气候,具有气温低,昼夜温差大,降水少且集中,太阳辐射强等特点冬季严寒而漫长,夏季凉爽而短促。青海省河湖众多,是长江,黄河、澜沧江的发源地,由三江源自然保护区,素有“中华水塔”的美誉,水资源非常丰富。



Figure 1. Thiessen polygon map of Qinghai Province  
图 1. 青海省泰森多边形图

### 2.2. 数据来源

本文采用 1960~2009 年逐年气象资料来源于青海省 27 个气象站,其中包括 17 个百年气象站,数据质量较好。所选各气象站的基本信息见表 1。

**Table 1.** Basic information of the 27 selected meteorological stations  
**表 1.** 所选 27 个气象站基本信息

气象站名 称	地理位置			降雨量特征值/mm			
	经度(°)	纬度(°)	海拔/m	均值	最大值	最小值	标准差
茫崖	90.8500	38.2500	2944.8	39.3517	88.2500	10.0833	6.5032
冷湖	93.3333	38.7500	2770.0	13.2967	37.0833	2.6667	7.6352
托勒	98.4167	38.8000	3367.0	244.5100	337.0000	150.5833	43.4891
野牛沟	99.5833	38.4167	3320.0	343.9550	501.9167	229.0833	54.9472
祁连	100.2500	38.1833	2787.4	338.5567	477.5833	257.5833	43.9808
大柴旦	95.3667	37.8500	3173.2	73.2100	139.0833	28.0833	26.9019
德令哈	97.3667	37.3667	2981.5	147.8433	272.1667	67.0833	48.9937
刚察	100.1333	37.3333	3301.5	316.9000	429.8333	216.7500	44.5453
门源	101.6167	37.3833	2850.0	435.9467	608.9167	317.3333	55.3799
格尔木	94.9000	36.4167	2807.6	35.1867	84.8333	9.5000	13.4332
诺木洪	96.4167	36.4333	2790.4	37.2717	76.1667	14.6667	14.6588
都兰	98.1000	36.3000	3191.1	165.0800	281.3333	89.3333	45.4549
恰卜恰	100.6167	36.2667	2835.0	265.0167	435.4167	183.8333	48.5564
西宁	101.7500	36.7167	2295.2	319.9517	451.0000	163.5000	65.2135
贵州	101.4333	36.0333	2237.1	211.2133	322.9167	112.5000	46.8297
民和	102.8500	36.3167	1813.9	288.8583	477.6667	165.5000	66.2772
伍道梁	93.0833	35.2167	4612.2	235.8917	357.8333	113.5833	47.0373
兴海	99.9833	35.5833	3323.2	301.7183	442.4167	178.4167	58.5728
托托河	92.4333	34.2167	4533.1	239.4567	419.1667	135.5833	58.4814
杂多	95.3000	32.9000	4066.4	444.3400	584.0000	343.0833	59.1035
玉树	97.0167	33.0167	3681.2	404.4183	531.9167	268.0833	59.0392
玛多	98.2167	34.9167	42723	263.9600	404.6667	153.3333	54.3034
清水河	97.1333	33.8000	4415.4	425.8300	558.2500	285.2500	53.1212
达日	99.6500	33.7500	3967.5	459.0383	582.2500	344.2500	59.2128
河南	101.6000	34.7333	3500.0	487.3133	739.9167	320.0833	77.3975
久治	101.4833	33.4333	3628.5	621.4267	859.0000	412.0833	85.9591
囊谦	96.4833	32.2000	3643.7	445.8100	615.5833	308.8333	70.2601

### 3. 研究方法

#### (1) 移动平均法

在简单平均数法基础上,按顺序逐期增减新旧数据,计算前后时刻的一共  $2k + 1$  个观测值的平均值,借以减弱时间序列的滑动周期,起到消除偶然变动因素影响的作用,依此找到事物的发展趋势,并据此进行预测的方法,计算方法如下[5]。

$$M_j = \frac{1}{2k+1} \sum_{i=-k}^k x_{i+j} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

上式中,  $x_i$  为原序列数值,在此指年降水量, mm;  $M_j$  为新序列数值, mm;  $n$  为原序列长度;  $k$  为滑动长度。本文采用 5 年移动平均法来分析,即取  $k = 2$ 。

#### (2) Mann-kendall 突变检验法

Mann-Kendall 检验是一种被世界气象组织推荐并被广泛应用的非参数趋势检验方法,它最早是由 Mann 和 Kendal 提出的,现在许多学者利用该方法对降水、径流、气温和水质等要素的时间序列变化趋势和突变点进行了分析。突变检验的计算方法如下[13]。

对任意待检序列  $X_t (t=1, 2, \dots, n)$ , 定义统计量  $S$ :

$$S_K = \sum_{i=1}^k r_i \quad (2)$$

$$r_i = \begin{cases} 1, & x_i > x_j \\ 0, & x_i < x_j \end{cases}, 1 \leq j \leq i, (j=1, 2, \dots, i; k=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中,  $S_k$  为样本序列  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  中第  $i$  个样本大于第  $j$  个样本的累计数。

在时间序列样本随机独立的假定下, 定义信度水平统计量  $U_{F_k}$ :

$$U_{F_k} = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}} \quad (4)$$

$$E(S_k) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (5)$$

$$\text{Var}(S_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (6)$$

式中,  $U_{F_k}$  为正态分布;  $E(S_k)$  和  $\text{Var}(S_k)$  为  $S_k$  的均值和方差。

将原始样本序列的逆序  $\{x_n, x_{n-1}, \dots, x_1\}$  重复以上步骤, 即可获得变化度统计量:

$$U_{B_k} = -U_{F_k}, k = n+1-k$$

将时间尺度上的  $x$  顺序  $x_1, x_2, \dots, x_n$  作为基数的统计量  $U_{F_k}$  呈正态分布, 在进行显著性检验时, 设定显著水平  $\alpha$ , 若  $|U_{F_k}| > U_\alpha$ , 则时间序列  $x$  变化趋势明显[13]。本文中取  $\alpha = 0.05$ , 对应的  $U_\alpha$  为 2.576。当  $U_{F_k}$  和  $U_{B_k}$  的变化曲线在临界范围内有交点时, 该交点所对应的时间即为突变的起始时间。

## 4. 结果分析

### 4.1. 年降水量趋势性特征

采用 5 年滑动平均法对青海省 1960~2009 年间年降水序列进行趋势拟合, 结果如图 2 所示。青海省的平均年降水为 281.63 mm, 多年最大降水量为 351.82 mm, 出现在 1989 年, 多年最小年降水量为 237.92 mm, 出现在 1962 年, 年降水量变化呈上升趋势, 变化倾向为 0.4721 mm/年。

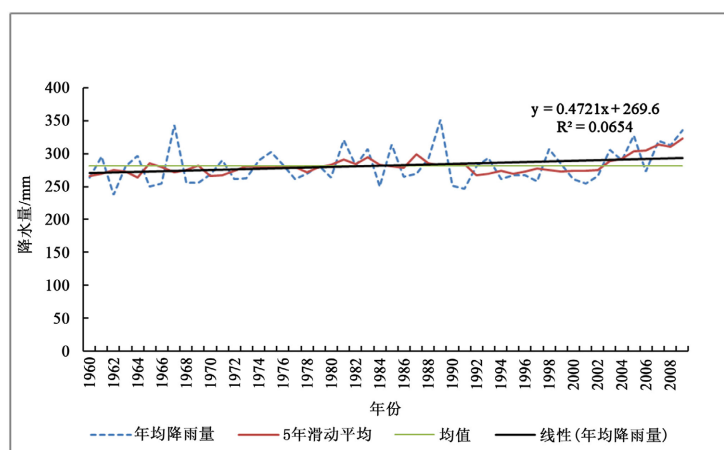


Figure 2. Interannual variation of precipitation

图 2. 降水量年际变化

图3显示了年降水量的分布特性。结果表明,青海省历年来的年降水量主要集中在250~270 mm和280~330 mm之间,此区间发生频数总和为44,占总频数的88%,250 mm以下和330 mm以上的较少发生频数总和为6,仅占总频数的12%。

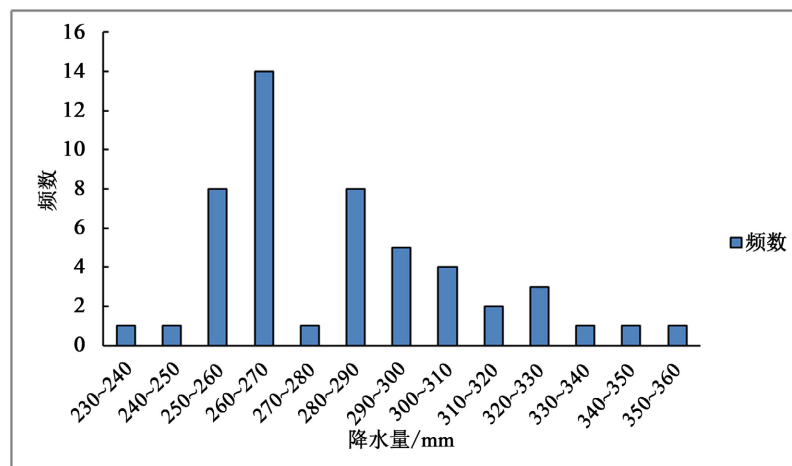


Figure 3. Precipitation distribution histogram

图3. 降水量分布直方图

#### 4.2. 年降水量空间分布

研究区域1960~2009年降水序列线性趋势如图4所示。从图4中可以看出,各区域的降水量年际变化不是很大、波动有的区域较为显著,有的区域较为平稳,海西蒙古族藏族自治州、海北藏族自治州、西宁市、海南藏族自治州、玉树藏族自治州和果洛藏族自治州年降水量整体上呈增长趋势,黄南藏族自治州和海东市降水量整体上呈减少趋势。其中,海西蒙古族藏族自治州年降水量平均增长速率为0.61 mm/年、海北藏族自治州为0.68 mm/年、西宁市为1.40 mm/年、海南藏族自治州为0.45 mm/年、玉树藏族自治州为0.52 mm/年、果洛藏族自治州为0.23 mm/年、黄南藏族自治州为-1.31 mm/年、海东市为-0.26 mm/年。

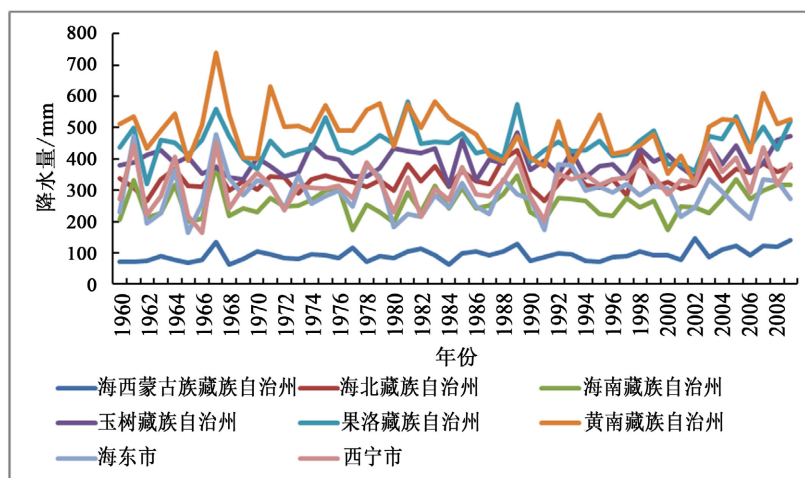


Figure 4. Interannual variation of precipitation in various regions

图4. 各区域降水量年际变化



研究时段内, 各区域的多年平均降水量、最大年降水量及年份、最小年降水量及年份、极值比等见表 2。对于多年平均降水量, 可以将其划分为四个阶梯, 果洛藏族自治州和黄南藏族自治州属于第一阶梯, 即 400 mm 以上, 海北藏族自治州、西宁市和玉树藏族自治州属于第二阶梯, 在 300~400 mm, 海南藏族自治州和海东市属于第三阶梯, 在 200~300 mm, 海西蒙古族藏族自治州属于第四阶梯, 在 100 mm 以下, 其中黄南藏族自治州多年平均降水量最大, 海西蒙古族藏族自治州多年平均降水量最小。整体来看, 青海省多年平均降水量的分布总体上呈现出自西向东、自西北向东南递增的规律, 这可能与各区域当地地形以及气候有关。

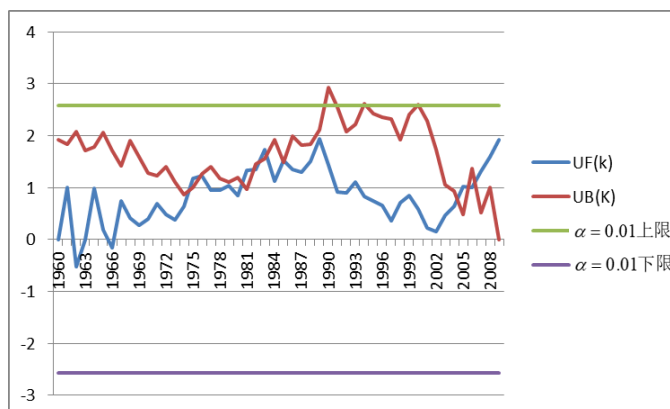
**Table 2.** Characteristics of precipitation series in each region

**表 2.** 各区域降水序列特征

研究区域	多年平均降水量/mm	最大年降水量/mm	最大值出现年份	最小年降水量/mm	最小值出现年份	极值比
海西蒙古族藏族自治州	93.84	147.61	2002	62.10	1968	2.38
海北藏族自治州	335.72	427.95	1989	264.85	1962	1.62
海南藏族自治州	259.32	376.97	1967	173.61	1977	2.17
玉树藏族自治州	391.26	483.25	1989	314.53	1984	1.54
果洛藏族自治州	448.14	582.89	1981	320.61	1962	1.82
黄南藏族自治州	487.31	739.92	1967	320.08	2002	2.31
海东市	288.86	477.67	1967	165.50	1965	2.89
西宁市	319.95	451.00	1967	163.50	1966	2.76

### 4.3. 年降水量的突变分析

用 Mann-kendall 突变检验法对青海地区 1960~2009 年的年降水进行突变检验分析(图 5), 从下图可以看到信度水平统计量  $UF(k)$  和变化度统计量  $UB(k)$  的变化过程, 99% 置信区间的阈值为  $\pm 2.576$ , 观察发现, 年降水量的  $UF(k)$  和  $UB(k)$  曲线交点较多, 主要出现在 1974~1985, 2004~2006 年间, 且突变点均位于置信区间内, 表明降水量突变不明显,  $UF(k)$  曲线几乎整位于 0 值以上, 表明降雨量呈现增加的趋势,  $UF$  曲线在 1988 年前呈现波动上升的趋势, 之后呈现波动下降趋势, 2002 年之后又呈现出波动上升的趋势,  $UF$  曲线在置信区间(图 5 中两条横线区间)内与  $UB$  曲线有较多交点, 由此判断研究区年降水在 1960~2009 年之间有发生突变。



**Figure 5.** Mann-Kendall mutation analysis of annual precipitation in Qinghai from 1960 to 2009

**图 5.** 1960~2009 年青海地区年降水的 Mann-Kendall 突变分析

## 5. 结语

基于所选的青海省 27 个气象站 1960~2009 逐年降水数据, 以年降水量为特征变量, 采用移动平均法进行趋势分析, 各区域对比进行空间特征分析, 采用移动平均法进行趋势预测, Mann-Kendall 检验法进行突变检验, 得到以下结论。

(1) 从趋势性角度看, 青海省 1960~2009 年多年平均年降水量为 281.63 mm, 整体变化呈上升趋势, 变化倾向为 0.4721 mm/年。

(2) 从空间角度看, 青海 2 个地级市, 6 个自治州中, 有 4 个自治州和一个地级市 1960~2009 年降水量年际变化整体上呈增长趋势各区域的, 一个自治区和一个地级市降水量呈减少趋势。整体来看, 青海省多年平均降水量的分布总体上呈现出自西向东、自西北向东南递增的规律, 这可能与各区域当地地形以及气候有关。

(3) 从突变性角度看, 青海省年降雨存在突变现象, 且突变发生在 1974~1985, 2004~2006 年间, UF 曲线几乎整位于 0 值以上, 呈现上升 - 下降 - 上升趋势。研究结果有助于我们更好的了解青海省多年来的降水趋势和突变性变化特征, 可为当地相关部门优化水资源配置等提供理论参考。

## 基金项目

青海省自然科学基金资助项目(No.2019-ZJ-920)。

## 参考文献

- [1] 周天军, 陈梓明, 陈晓龙, 左萌, 江洁, 胡帅. IPCC AR6 报告解读: 未来的全球气候——基于情景的预估和近期信息[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(06): 652-663.
- [2] 时延锋, 李福孟, 王志峰, 李炳旭, 张志斌, 李福林. 1961-2020 年沂蒙山区极端降水时空变化特征[J]. 水资源与水工程学报, 2022, 33(5): 17-26.
- [3] 蒋琳, 贾天山, 熊世为, 凌遵斌, 华俊玮, 荀静. 1970-2019 年滁州市降水特征分析[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(5): 177-180+192.
- [4] 龚浩哲, 侯婷. 1961-2021 年舟山群岛年降水序列变化趋势及突变分析[J]. 水利水电快报, 2022, 43(12): 21-26.
- [5] 季平, 莫林谋. 1975-2017 年绵阳市降水量变化规律研究[J]. 水利技术监督, 2022(11): 74-78+104.
- [6] 龚成麒, 董晓华, 魏冲, 欧阳习军, 吴寒雨. 1978-2018 年青藏高原降水区划及各区降水量时空演变特征[J]. 水资源与水工程学报, 2022, 33(5): 96-108.
- [7] 刘松, 陈立华, 丁星臣, 廖卫红. 西江流域主要水文站近 40 年径流变化分析研究[J]. 人民长江, 2021, 52(S2): 52-55.
- [8] 王澄海, 张晟宁, 李课臣, 张飞民, 杨凯. 1961-2018 年西北地区降水的变化特征[J]. 大气科学, 2021, 45(4): 713-724.
- [9] 李晔, 曼吾拉·卡德尔. 1991-2020 年新疆降水的时空变化特征[J]. 广东气象, 2022, 44(3): 42-45+53.
- [10] 丁思聪, 常佩静. 阿拉善地区近 50 年降水量和降水日数的变化特征分析[J]. 农业灾害研究, 2022, 12(5): 130-132.
- [11] 王国强, 姜基春, 焦峰. 1951-2016 年延安市安塞区降水变异特征分析[J]. 人民黄河, 2022, 44(2): 36-40.
- [12] 郎泽东, 俞立鹏, 杨宇博, 夏诺, 李黎, 沈家晓, 王嘉芑, 张登荣. 1970-2019 年安吉小鲵栖息地气温和降水的变化特征[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2022, 21(4): 433-439.
- [13] 敬文茂, 任小凤, 赵维俊. 1965-2018 年祁连山北麓及其附近地区气温与降水变化的时空格局[J]. 高原气象, 2022, 41(4): 876-886.