

宿州市1970~2023年降雨量变化特征分析

陈鹤婷

安徽省宿州水文水资源局, 安徽 宿州

收稿日期: 2024年11月29日; 录用日期: 2024年12月18日; 发布日期: 2025年2月27日

摘要

为研究宿州市多年降雨特征,根据宿州市1970~2023年的日降雨资料,采用累积距平、M-K突变分析法和Morlet小波分析法对宿州市四季降雨量进行突变和周期性分析。结果表明,宿州市年内降雨量分配不均,主要集中在夏秋两季,不同季节降雨量分别占全年降雨量的13.9% (春)、47.4% (夏)、30.8% (秋)、7.9% (冬);春季降雨没有明显突变年份,夏季降雨的突变点为2008年,秋季降雨显著突变时间区域为1985~1987年,冬季降雨的突变点为2001年。年降雨存在2a左右的主周期振荡规律,整体降雨周期性变化不明显。

关键词

宿州市, 降雨特征, 累积距平, 周期性, M-K突变分析法

Analysis of the Characteristics of Rainfall Variation in Suzhou City from 1970 to 2023

Heting Chen

Suzhou Bureau of Hydrology and Water Resources, Suzhou Anhui

Received: Nov. 29th, 2024; accepted: Dec. 18th, 2024; published: Feb. 27th, 2025

Abstract

In order to study the characteristics of precipitation in Suzhou, based on the daily precipitation data of Suzhou city from 1970 to 2023, by using the method of cumulative departure, the M-K mutation test method, and Morlet wavelet analysis, the seasonal precipitation in Suzhou city is analyzed mutation and periodicity. The results show that the precipitation distribution throughout the year is highly uneven. It is mainly concentrated in summer and autumn. The precipitation in different seasons accounts for the annual precipitation of 13.9% (spring), 47.4% (summer), 30.8% (autumn) and 7.9% (winter). There is no obvious precipitation mutation in spring.

作者简介: 陈鹤婷(1989-), 女, 汉族, 吉林松原人, 大学本科, 工程师, 主要从事水文测验工作。Email: 153894597@qq.com

文章引用: 陈鹤婷. 宿州市 1970~2023 年降雨量变化特征分析[J]. 水资源研究, 2025, 14(1): 31-38.
DOI: 10.12677/jwrr.2025.141004

The summer precipitation mutation point is 2008, the autumn precipitation mutation time is from 1985 to 1987, and the winter precipitation mutation point is 2001. The average annual precipitation has a main period oscillation period of 2 years. The periodicity of the whole precipitation is not obvious.

Keywords

Suzhou City, Rainfall Characteristics, Cumulative Departure, Periodicity, M-K Mutation Test Method

Copyright © 2025 by author(s) and Wuhan University.

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

随着社会经济的快速发展和气候变化的日益加剧，降雨量的变化及区域分布的不确定性显著增加，不同地区的降雨特征也呈现出显著差异[1]。降雨作为影响水资源分布和气象灾害的重要因子，其时空变化规律的研究逐渐成为学术界关注的重点[2]。宿州市是安徽省气象灾害较为频繁的地区之一，降雨变化对农业生产、旱涝预警以及区域防灾减灾具有重要影响。深入研究宿州市的降雨时空变化规律，不仅有助于提升该市中长期气候预测能力，还能为应对气象灾害提供科学依据。

本文基于宿州市 1970~2023 年的降雨监测数据，运用累积距平、M-K 突变分析法和 Morlet 小波分析法，系统分析了该地区降雨时间序列的突变性和周期性，并较为全面地描述了宿州市降雨的时空变化特征及未来可能的变化趋势。研究结果可为宿州市农业生产优化、旱涝灾害预警及区域防灾减灾提供理论支持，为应对气候变化及其影响提供科学参考。

2. 数据与方法

2.1. 研究区域概况与数据来源

宿州市位于安徽省东北部(图 1)，地处淮北平原北部和黄淮海平原南端，属于暖温带的湿润半湿润季风气候区，处于南北冷暖空气交汇的过渡地带，季风特征明显，气候的冷暖变化及旱涝转换十分显著。宿州四季分明，气候差异较大，冬季寒冷且持续时间长，约四个月；夏季炎热，梅雨期较长；春秋两季短暂，气候宜人，雨量适中，空气湿润。多年平均降雨量为 859.5 mm，年际降雨波动较大，最大年降雨量是最小年降雨量的 3.2 倍。全年降雨较为集中，且多以大雨、暴雨和特大暴雨形式出现，易引发洪涝灾害。本文基于宿州市埇桥区宿县闸和沱河闸两个雨量站 1970~2023 年的日降雨量数据开展研究。

2.2. 研究方法

2.2.1. 累积距平法

累积距平法是一种直观判断样本数据变化趋势的方法[3]。当累积距平值曲线呈下降趋势时，表示距平值在减少；而曲线呈上升趋势时，说明距平值在增加。通过观察累积距平值曲线的走势，可以有效判断水文气象的变化趋势以及变化的强度。

$$\hat{x}_n = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

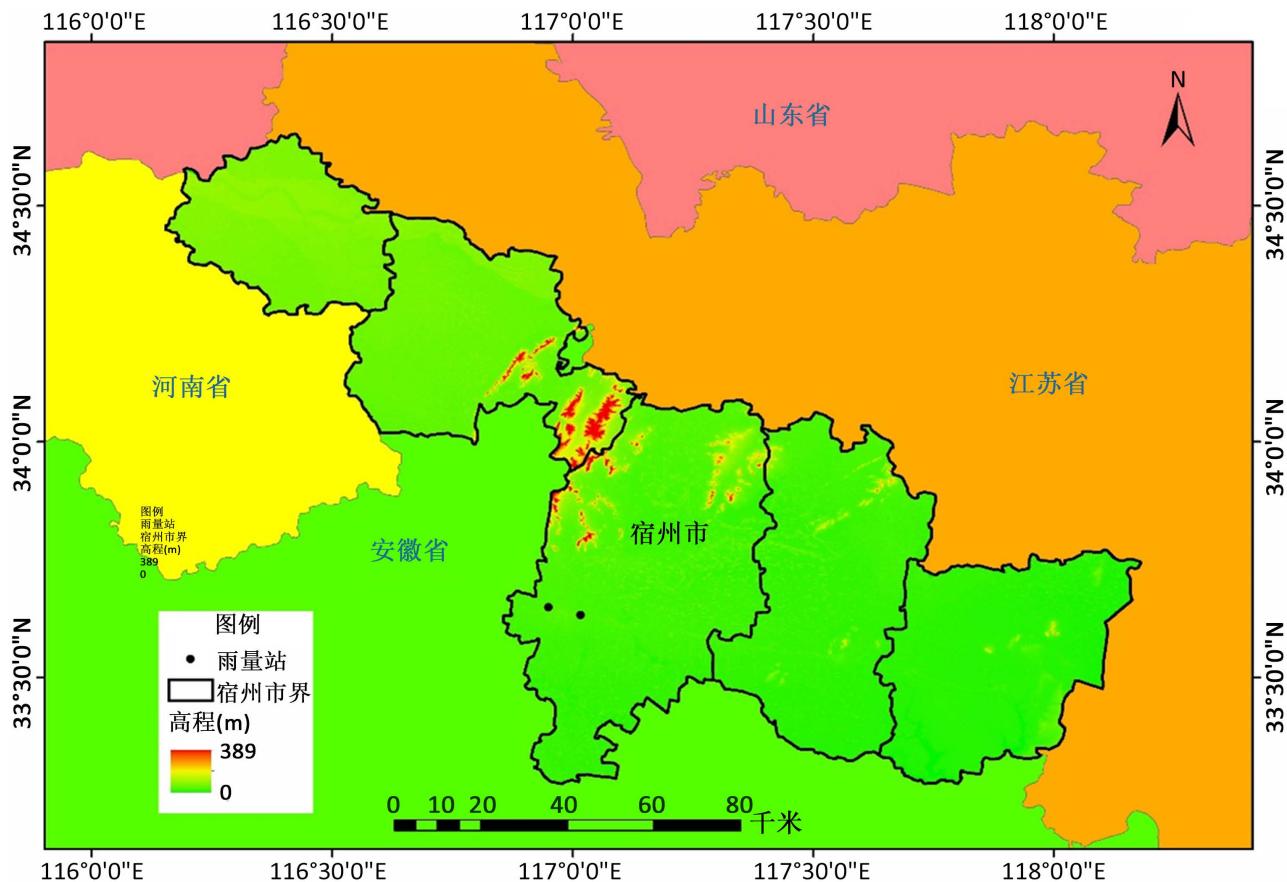


图 1. 宿州市地理位置

式中： x_i 为第 i 时刻的观测值； \bar{x} 为所有观测值的平均值； n 为观测值的总数； \hat{x}_n 为累积距平，即从第 1 个观测值到第 n 个观测值的偏差累计和。

2.2.2. Mann-Kendall 检验法

Mann-Kendall 检验法[4] (简称 M-K 法)是由 Mann 和 Kendall 提出的一种非参数统计检验方法，也称无分布检验，用于识别数据序列是否存在显著趋势，该方法通过比较时间序列中各个数据点的顺序，来判断整体趋势的方向和显著性。其最大的优点是计算简单，不会受到少数异常值的影响，不需要保持一定的分布，已广泛应用于水资源演变特征分析[5]-[9]。根据统计量 Z 的大小来判断序列变化的程度。当 $|Z|$ 为 1.96 时，达到 95% 的显著性水平。

2.2.3. Morlet 小波分析法

小波分析的原理是利用一簇小波函数逼近对象函数，从而对原始信号进行多尺度的放大，通常用于水文上反映时间序列的变化周期及不同时间尺度的变化趋势，并能定性地估计时间序列的发展趋势[10]。降雨具有连续的、多时间尺度的变化特征，采用 Morlet 小波进行小波分析，通过计算不同时间尺度下的小波系数反映系统在该时间尺度下的变化特征。通过对小波系数进行分析，可以识别年降雨量时间序列的多时间尺度周期性[11]。

3. 降雨量的时间变化特征分析

宿州市年内降雨量主要集中在夏秋两季，不同季节降雨量分别占全年降雨量的 13.9% (春)、47.4% (夏)、30.8% (秋)、7.9% (冬)。宿州市 1970~2018 年各季节的降雨量如图 2 所示。

根据图 2(a)显示, 1970~2023 年期间, 宿州市春季多年平均降雨量为 119 mm, 最大降雨量出现在 1998 年, 为 308 mm, 最小降雨量出现在 2000 年, 仅为 21 mm。总体来看, 春季降雨量呈现下降趋势, 趋势率为每 10 年减少 7.83 mm。除 1974 年、1978 年、1984 年、1998 年、2000 年和 2003 年外, 其余年份的春季降雨量都围绕多年平均值波动。由图 2(b)可知, 同一时间段内, 宿州市夏季的多年平均降雨量为 408 mm, 最高值为 1996 年的 871 mm, 最低值为 1992 年的 221 mm。夏季降雨量呈现上升趋势, 趋势率为每 10 年增加 11.35 mm。通过线性趋势分析, 该地区的夏季降雨量在研究期间表现出“平 - 多 - 少”的变化模式。1995 年以前, 夏季降雨量在平

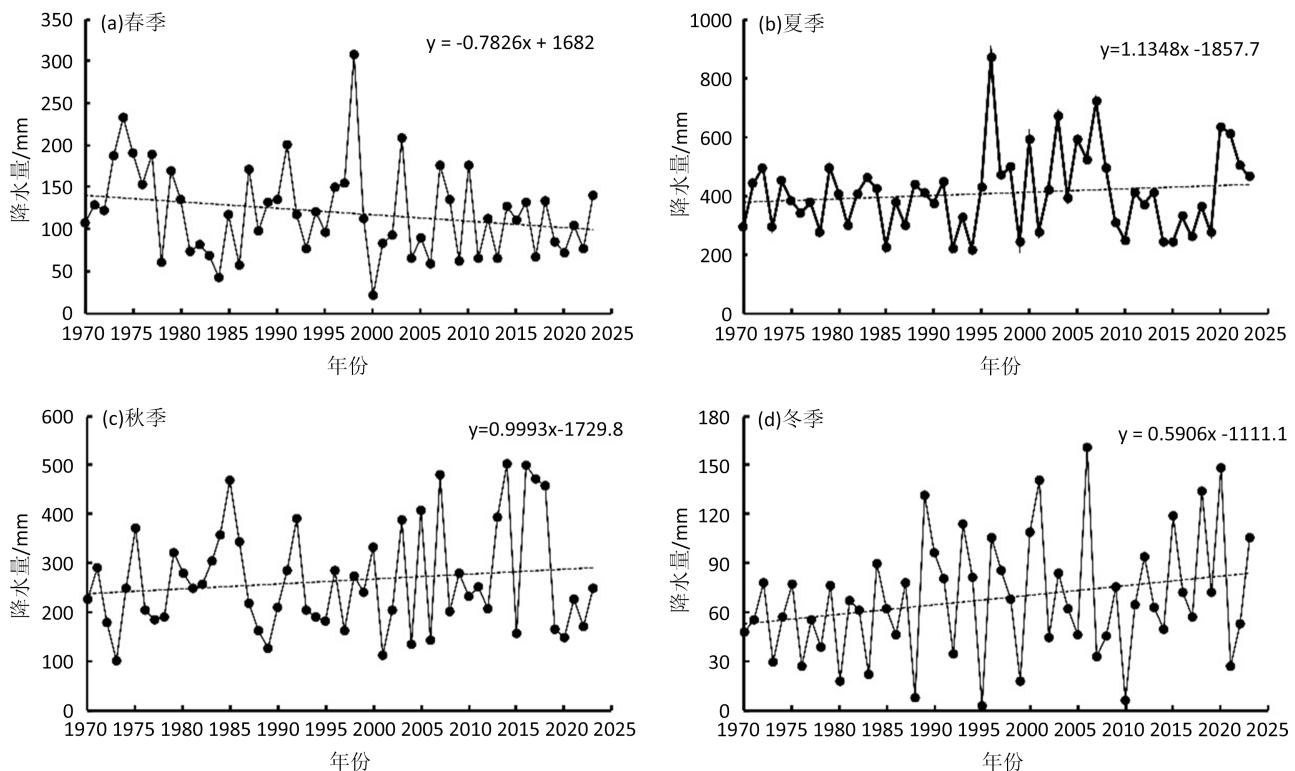


图 2. 宿州市 1970~2023 年各季节的降雨量

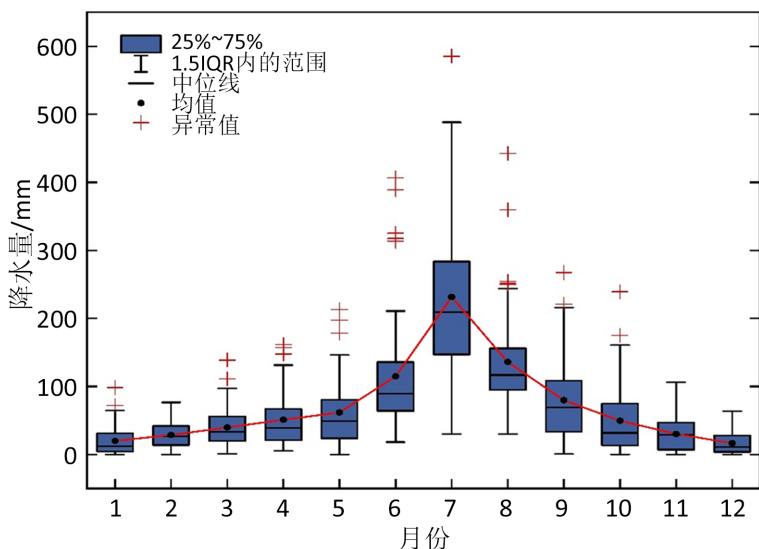


图 3. 1970~2023 年降雨量年内分布特征

均值上下波动；1996 年至 2008 年间，除了个别年份外，大部分年份的夏季降雨量均高于平均值；而在 2009 年至 2020 年期间，夏季降雨量普遍低于多年平均水平。

根据图 2(c)显示，1970~2023 年间，宿州市秋季多年平均降雨量为 265 mm，最高降雨量出现在 2014 年，为 504 mm，而最低降雨量出现在 1973 年，仅为 101 mm。总体来看，秋季降雨量呈现上升趋势，趋势率为每 10 年增加 9.99 mm。从线性趋势图可以看出，该地区秋季降雨经历了“增加 - 减少 - 增加 - 减少”的波动变化。由图 2(d)可以看出，同期内，宿州市冬季的多年平均降雨量为 68 mm，最大降雨量出现在 2006 年，为 161 mm，最小降雨量出现在 2010 年，仅为 6 mm。冬季降雨量总体上也呈现上升趋势，趋势率为每 10 年增加 5.91 mm。

图 3 展示的是宿州市 1970~2023 年降雨量年内分布特征。从图 3 可以看出，年内降水主要集中在 6~9 月份，最大值发生在 7 月份。1~5 月份降水总体上在小幅增加，而 10~12 月份降水总体上呈下降趋势。

4. 降雨量的突变与周期性分析

4.1. 累计距平值

应用累积距平法分析宿州市不同季节降雨量和年降雨量的变化情况，结果如图 4 所示。

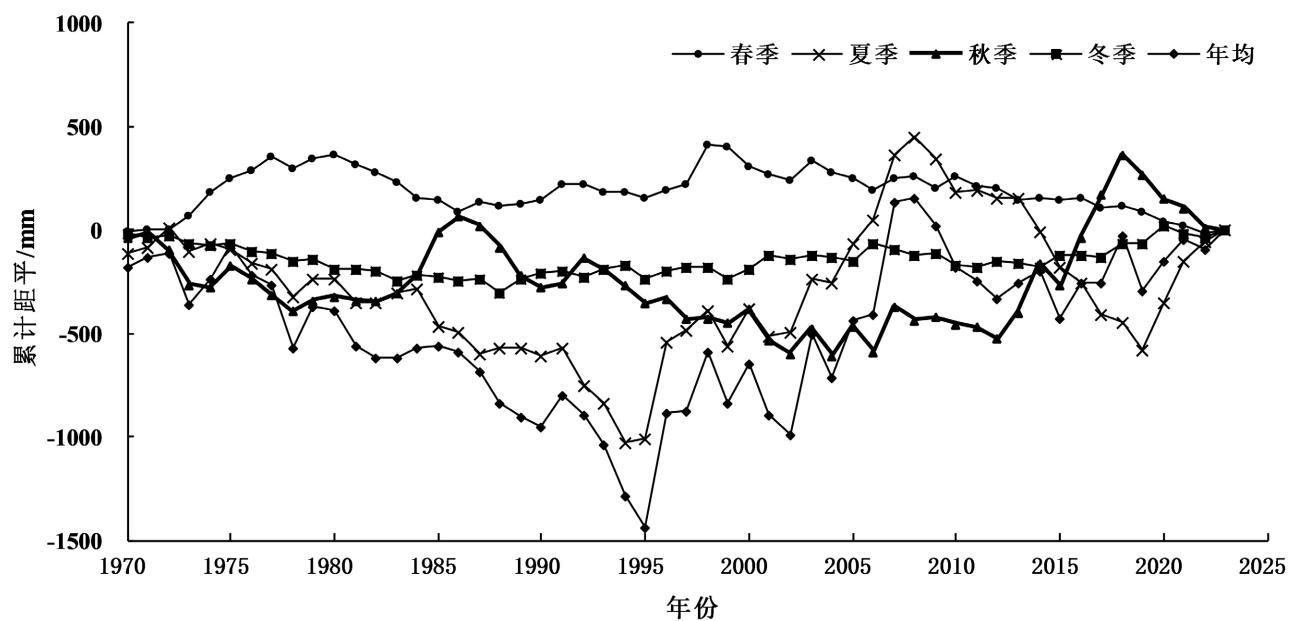


图 4. 宿州市 1970~2023 年各季节和年降雨量累积距平曲线

由图 4 可知，该时段内夏季降雨的突变点主要出现在 1994 年和 2008 年，秋季降雨的突变点分别为 1978 年、1986 年和 2012 年，年降雨的突变点集中在 1995 年、2007 年和 2012 年，而春季和冬季降雨未出现显著突变点。

4.2. M-K 检验

采用 Mann-Kendall 检验法对宿州市各季节降雨量和年降雨量时间序列进行突变检验，结果如图 5 和图 6 所示。

根据图 5(a)显示，1970 年至 1980 年期间，UF 值大于 0，表明宿州市春季降雨量在此期间呈上升趋势，而在其余年份，UF 值均小于 0，表明降雨量呈下降趋势。在 ± 1.96 的临界线内，UF 和 UB 曲线在 1980 年、1990 年和 1992 年相交，但 UF 曲线始终未超过可信度线，表明春季降雨没有出现明显的突变年份。由图 5(b)可知，宿州市夏季降雨在 1970~1975 年、1997~2016 年以及 2021~2023 年呈现上升趋势，而其余年份则呈下降趋势。在 ± 1.96 的临界线内，UF 曲线在 2008 年突破可信度线，因此夏季降雨在 2008 年发生了显著的突变。

宿州市 1970~2023 年降雨量变化特征分析

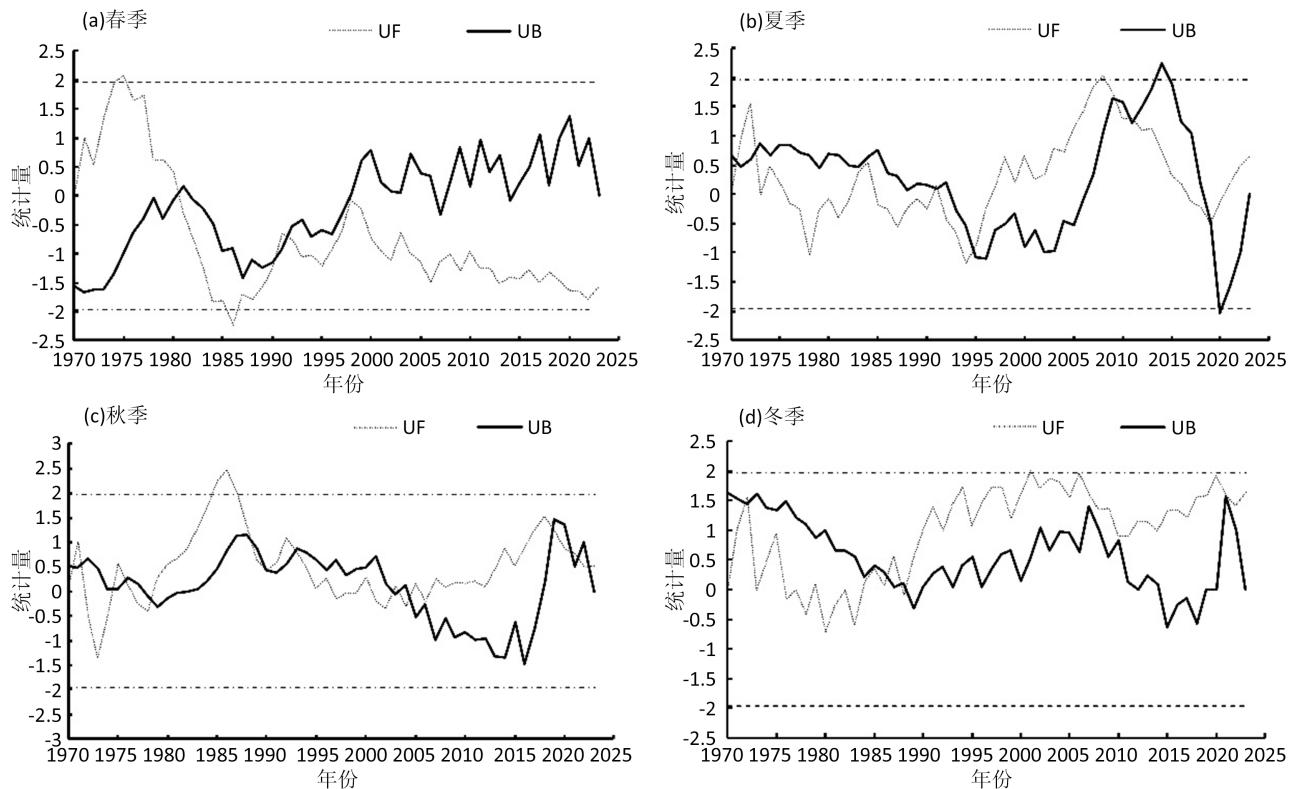


图 5. 宿州市 1970~2023 年各季节降雨量 M-K 曲线

由图 5(c)可以看出,宿州市秋季降雨在 1979~1996 年和 2007~2023 年整体呈上升趋势,而在 1971 年、1975 年、1976 年和 2000 年等年份,降雨量较前后年份有所增加,其余年份则大多表现为下降趋势。在 ± 1.96 的临界线内,UF 曲线在 1985~1987 年之间突破可信度线,表明秋季降雨的显著突变发生在 1985~1987 年。由图 5(d)可知,宿州市冬季降雨在 1972~1975 年、1984~1987 年以及 1989~2023 年整体呈上升趋势,而在 1979 年等年份,降雨量较前后年份有所增加,其余年份则大多呈下降趋势。在 ± 1.96 的临界线内,UF 曲线在 2001 年突破可信度线,表明冬季降雨在 2001 年发生了显著的突变。

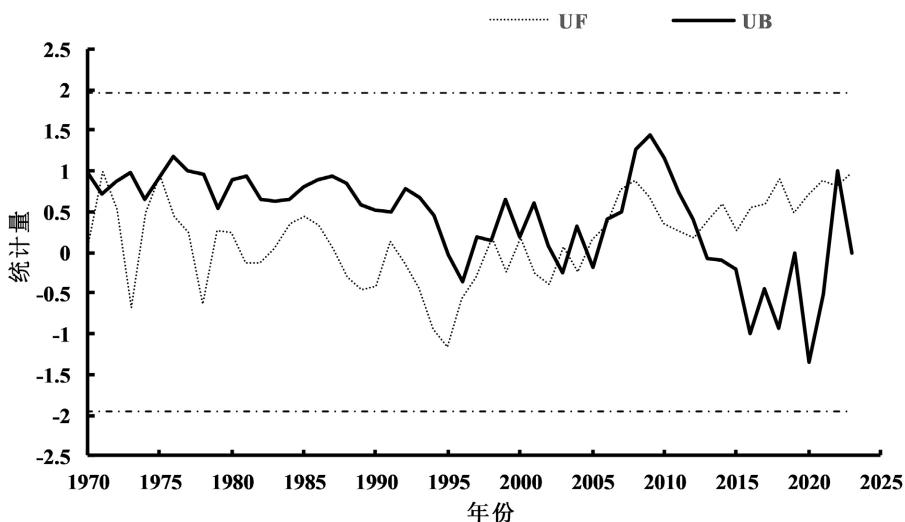


图 6. 宿州市 1970~2023 年降雨量 M-K 曲线

根据图 6 可以看出, 1974~1977 年、1983~1987 年以及 2005~2023 年期间, UF 值为正, 表明年降雨量在这些年份呈上升趋势。而其余年份 UF 值为负, 说明年降雨量在这些时期处于下降趋势。在 ± 1.96 的临界线范围内, UF 和 UB 曲线在 1971 年、1972 年、2003 年、2004 年、2005 年、2007 年、2013 年和 2022 年相交。然而, UF 曲线始终未超过可信度线, 因此, 在显著性水平为 0.05 时, 年降雨量未出现显著的突变。

4.3. 多年平均降雨量时间序列的周期性分析

采用 Morlet 小波分析法对 1970~2023 年宿州市年降雨量进行周期性分析, 年降雨量小波系数实部等值线如图 7 所示, 年降雨量小波方差如图 8 所示。

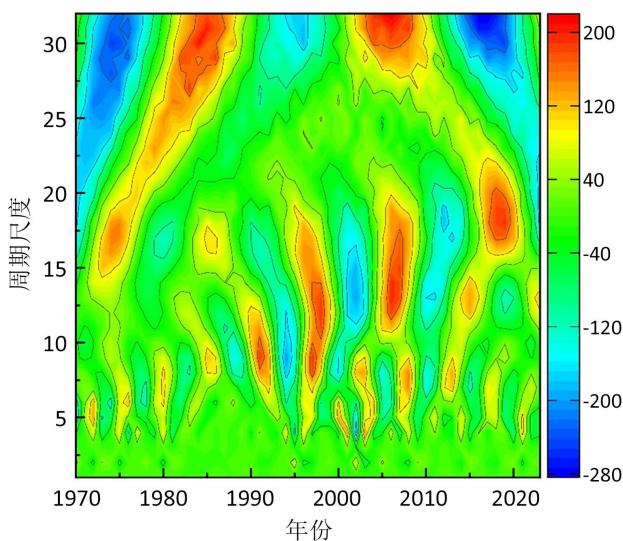


图 7. 1970~2023 年降雨量小波系数实部等值线图

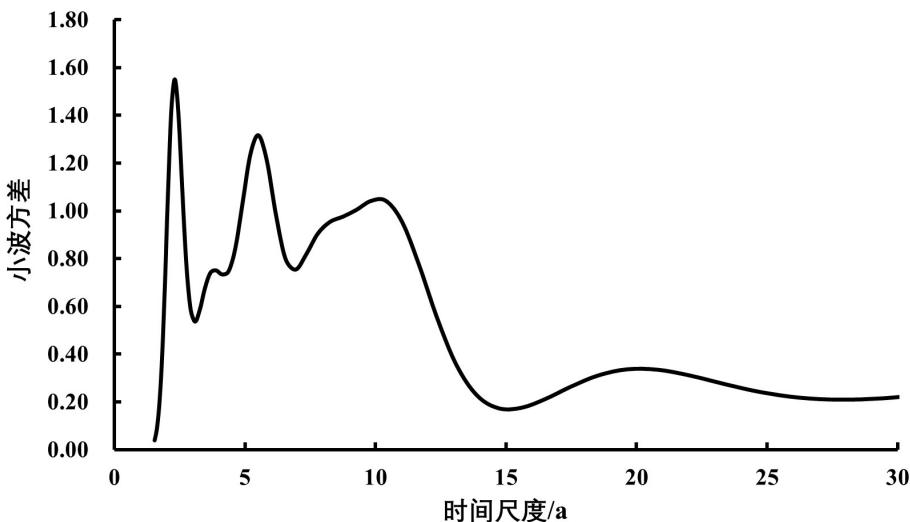


图 8. 1970~2023 年降雨量小波方差

由图 7 和图 8 可以可见, 宿州市 1970~2023 年降雨量在 2a、6a、10a 的时间尺度上均出现峰值, 且 2a 的时间尺度对应的方差最大, 说明 1970~2023 年宿州市降雨变化在 2a 的主周期振荡规律, 反映了宿州市降雨在整个时间尺度内的变化特征。但由于小波方差峰值相对较小, 1970~2018 年宿州市年降雨量周期性不明显。

5. 结论

1) 宿州市的年内降雨主要集中在夏秋两季，不同季节的平均降雨量占多年平均降雨量的比例分别为：春季 13.9%、夏季 47.4%、秋季 30.8% 和冬季 7.9%。其中，春季、秋季和冬季的降雨变化呈现典型的多峰型，而夏季的降雨变化则表现为单峰型。

2) 采用不同的突变检测方法对宿州市 1970~2023 年各季节和年降雨量进行突变分析，结果有所差异，主要是由于各突变检测方法对数据的灵敏度不同。因此，在实际分析中应综合多种方法，通过合理分析后得出结论。综合分析表明，春季和年降雨没有明显的突变年份，夏季降雨显著的突变发生在 2008 年，秋季的突变时段为 1985~1987 年，冬季则在 2001 年出现显著突变。

3) 宿州市年降雨量存在大约 2α 的主要周期振荡规律，但由于小波方差峰值较低，宿州市 1970~2023 年的年降雨量周期性不明显。

基金项目

安徽省高校优秀青年科研项目(2024AH030053)。

参考文献

- [1] 刘惠英, 任洪玉, 张平仓, 等. 香溪河流域近 60 年来降雨量变化趋势及突变分析[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 283-286.
- [2] 郭利丹, 鄢波, 周海炜, 等. 1951-2014 年哈尔滨市极端降水事件变化特征分析[J]. 水电能源科学, 2017(5): 7-9.
- [3] 陆文秀, 刘丙军, 陈俊凡, 等. 近 50a 来珠江流域降水变化趋势分析[J]. 自然资源学报, 2014, 29(1): 80-90.
- [4] MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 1945, 13(3): 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- [5] 林凯荣, 何艳虎, 雷旭, 等. 深圳市 1960-2009 降雨时空变化分析[J]. 中国农村水利水电, 2013(3): 18-23.
- [6] 王乐, 刘德地, 李天元, 等. 基于多变量 M-K 检验的北江流域降水趋势分析[J]. 水文, 2015, 35(4): 85-90.
- [7] 张晓伟, 蒋任飞, 乔睿至. 南盘江流域水资源演变特征与对策分析[J]. 人民珠江, 2016, 37(8): 10-14.
- [8] 韩昕泽, 宋松柏, 孟雪, 等. 1994-2021 年陕西省水资源分布演变特征[J]. 水资源与水工程学报, 2023, 34(6): 79-87+97.
- [9] 徐丽丽, 杜龙仓, 李伟, 等. 2000-2020 年中国地下水开采时空演变特征[J]. 水资源保护, 2023, 39(4): 79-85+93.
- [10] 刘增进, 李东琴, 张海涛, 等. 霞曲流域 1956-2010 年降水趋势分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2015, 36(4): 12-14.
- [11] 王文圣, 丁晶, 李跃清, 等. 水文小波分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.