

# 江苏省主汛期降水特征分析

方应学<sup>1</sup>, 钟华昱<sup>2</sup>, 方国华<sup>2</sup>, 黄显峰<sup>2</sup>

(1. 南水北调江苏生态环境有限公司, 江苏 南京 210019; 2. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:**根据江苏省1951—2020年的月降水资料,采用Mann-Kendall检验、滑动 $T$ 检验和小波分析等方法,对江苏省主汛期(6—9月)降水的趋势性、突变点与周期性进行分析。研究表明江苏省不同城市按月降水量的峰值特征可分为3类,各区域主汛期月平均降水量年际上呈现增长趋势,但变化趋势并不显著;各区域主汛期月平均降水量在2013年前后发生较为明显的变异,变异后的降水量呈增加趋势;各区域主汛期月平均降水量具有较为相似的周期变化过程,第1主周期均为13 a左右。

**关键词:**降水; 汛期; 时空变异; 检验分析

中图分类号:TV125

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2023)01-0059-0003

## Analysis on precipitation characteristics over Jiangsu Province during flood seasons

FANG Yingxue<sup>1</sup>, ZHONG Huayu<sup>2</sup>, FANG Guohua<sup>2</sup>, HUANG Xianfeng<sup>2</sup>

(1. South-to-North Water Diversion Jiangsu Ecological Environment Co., Ltd., Nanjing 210019, China;

2. College of water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Based on the monthly precipitation data of Jiangsu Province from 1951 to 2020, this paper uses Mann-Kendall test, sliding  $t$  test and wavelet analysis to analyze the trend, mutation point and periodicity of precipitation in the main flood season (June–September) of Jiangsu Province. The results show that the peak characteristics of monthly precipitation in different cities of Jiangsu Province can be divided into three categories. The monthly average precipitation in the main flood season of each region shows an increasing trend, but the trend is not significant. The monthly average precipitation in the main flood season of each region had obvious variation around 2013, and the precipitation increased after variation. The monthly average precipitation in the main flood season of each region has a similar periodic variation process, and the first main cycle is about 13 years.

**Key words:** precipitation; flood season; spatiotemporal variability; check and analysis

## 1 概 述

受人类活动和气候变化的双重影响,水循环发生明显变化<sup>[1]</sup>。降水作为重要的气候因素,其长期

演变规律对区域水资源有着长远影响,并影响着地区干旱和洪涝等自然灾害事件的发生。降水是反映气候特征的最主要指标之一,对其变化趋势进行研究具有重要意义。

收稿日期: 2022-10-14

基金项目: 江苏省水利科技项目(2020005)

作者简介: 方应学(1989—),女,本科,主要从事水资源管理保护等工作。E-mail: fangyingxue@126.com

本文基于江苏省1951—2020年的月降水资料,采用Mann-Kendall检验、滑动 $T$ 检验和小波分析等方法,对江苏省主汛期(6—9月)降水的趋势、突变点与周期进行分析,以期为全省洪涝灾害防御提供理论参考。研究方法主要是通过选取全省14个站点的1951—2020年逐月降水数据,采用IDW法先插值成格点数,再分区域平均计算得到各市的逐月平均降水量数据。

## 2 研究方法

### 2.1 Mann-Kendall 趋势检验法

Mann-Kendall 趋势检验法是水文气象领域常用的趋势性检验方法<sup>[2]</sup>,假定 $X_i(i=1,2,\cdots,n)$ 为时间序列长度,正态分布的统计量为 $Z$ 。当统计变量 $Z>0$ 时,说明序列有上升趋势;当 $Z<0$ 时,说明序列有下降趋势。在给定 $\alpha$ 的置信水平时,如果 $|Z|>Z_{1-\alpha/2}$ ,则说明序列存在显著变化趋势。

### 2.2 Mann-Kendall 突变检验法

Mann-Kendall 突变检验法<sup>[2]</sup>针对时间序列 $X_i(i=1,2,\cdots,n)$ 构造秩序列 $S$ , $S$ 表示第 $i$ 个样本中 $X_i>X_j(1\leq j\leq i)$ 的累计数。在时间序列独立随机的假定下,计算 $S$ 的均值 $E(S)$ 、方差 $\text{Var}(S_k)$ 和统计量 $UF_k$ ,将 $UF_k$ 按上述方法绘制逆序系列的统计量 $UB_k$ 曲线,当2个统计量序列出现交叉点且该交叉点位于置信区间内,则认为该点是时间序列发生突变的时刻。

### 2.3 滑动 $T$ 检验

滑动 $T$ 检验<sup>[3]</sup>作为水文气象领域常用的突变性检验方法,通过设滑动点前后2段序列总体的分布函数分别为 $G_1(x)$ 和 $G_2(x)$ ,从中分别抽取容量为 $m_1$ 和 $m_2$ 的2个子序列样本 $x_1$ 和 $x_2$ 。由 $T$ 服从 $t$ 分布,在给定 $\alpha$ 的置信水平时,查 $t$ 分布表可得临界值 $t_{\alpha/2}$ 。当 $T>t_{\alpha/2}$ 时,说明存在显著性差异;当 $T<t_{\alpha/2}$ 时,

说明显著差异不存在。

## 2.4 Morlet小波分析法

采用Morlet小波分析法<sup>[4]</sup>计算降水序列的小波方差, $\Psi(t)$ 为小波函数,其可通过尺度的伸缩和时间轴上的平移构成一簇函数系。降水序列数据大多是离散的,设函数 $f(k\Delta t)$ , $(k=1,2,\cdots,n;\Delta t$ 为取样的间隔时间),将小波系数的平方值在 $b$ 域上积分,便可得到小波方差 $\text{Var}(a)$ 。

## 3 实例分析

### 3.1 月降水时间变化特征

#### 3.1.1 月降水量年内变化

通过绘制各城市月降水量年内变化图(图1),发现站点按主汛期(6—9月)月降水量的峰值分布可分为3类(I、II、III区)。I区呈现7月单峰型,即在7月达全年峰值,如图1(a)所示,对应城市主要位于江苏省中部和北部地区。II区呈现6月单峰型,如图1(b)所示,对应城市位于江苏省南部地区。III区为6—7月均匀型降水区,即在这2个月份降水量最大且基本相等,如图1(c)所示,对应城市位于江苏省南部地区。

#### 3.1.2 月降水量年际变化

将江苏各城市按照上述降水年内变化类型分为3类区域,将各区域所包含城市的月平均降水量按照地理加权平均,得到各区域的月平均降水量。将江苏省主汛期(6—9月)月平均降水量和各区域主汛期月平均降水量分别生成降水序列曲线和趋势线,可知江苏省主汛期月平均降水量和各区域主汛期月平均降水量都存在明显的丰枯更替和周期震荡。II区和III区主汛期的降水量总体高于江苏省和I区平均降水量,各区域的降水量年际上呈现增长趋势,II区和III区的增长趋势较为明显,I区仅呈现微弱增长趋势。

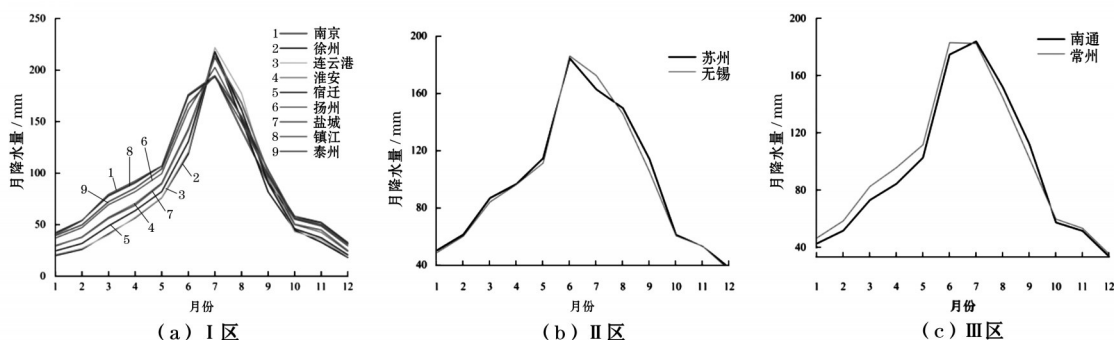


图1 月平均降水的年内变化类型

### 3.2 主汛期降水趋势与突变分析

全省、Ⅰ区、Ⅱ区和Ⅲ区的主汛期月平均降水量序列所得的 $|Z|$ 值分别为1.41、0.40、1.55和1.31,进一步验证了上述降水年际变化趋势的分析结论,同时各区域计算得到的 $|Z|$ 值均小于1.96,说明各区域的降水序列趋势性并不显著。对全省、Ⅰ区、Ⅱ区和Ⅲ区的主汛期月平均降水量序列进行突变分析,可知各区域的降水量序列统计量曲线存在不止一个交点,且除Ⅰ区以外,其余区域均超过边界,说明可能存在较为明显的变异年份,但突变年份不唯一。根据各区域的交点进行分析,各区域降水量在2013年前后发生较为明显的变异,且变异后的主汛期降水量呈增加趋势。

对全省、Ⅰ区、Ⅱ区和Ⅲ区的主汛期月平均降水量序列分别进行滑动 $T$ 检验。由统计量曲线可知,江苏省主汛期平均月降水量和Ⅰ区的 $T$ 统计量未超过显著性水平的临界值,表明长系列降水量并未发生明显突变。Ⅱ区和Ⅲ区在1963—1964年超过显著性水平的临界值,结合Mann-Kendall趋势检验分析结果,Ⅱ区和Ⅲ区的降水序列可能存在多个突变年份。

### 3.3 主汛期降水周期分析

小波系数绝对值越大,表明其所对应尺度的周期性在该时段越明显。由全省、Ⅰ区、Ⅱ区和Ⅲ区的主汛期月平均降水量序列小波系数方差图(图2)

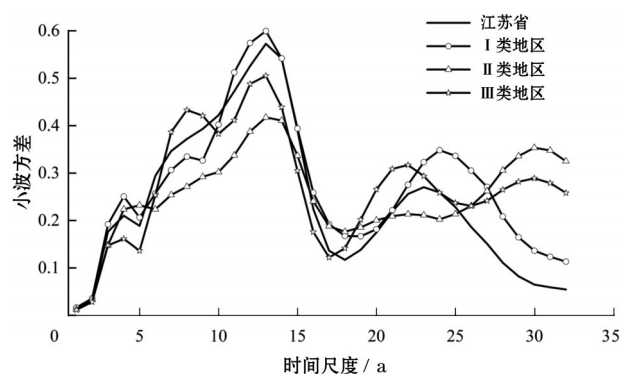


图2 主汛期降水变化小波方差

可知,各区域的主汛期平均降水量具有较为相似的周期变化过程。江苏省降水变化的第1、第2和第3主周期分别为13 a、23 a和4 a,Ⅰ区降水变化的第1、第2和第3主周期分别为13 a、24 a和4 a,Ⅱ区降水变化的第1、第2和第3主周期分别为13 a、30 a和5 a,Ⅲ区降水变化的第1、第2和第3主周期分别为13 a、8 a和22 a。整体而言,江苏各区域降水变化主周期为13 a左右。

## 4 结 论

本文采用Mann-Kendall检验、滑动 $T$ 检验和小波分析等方法,对江苏省主汛期月降水量的趋势性、突变性与周期性进行分析。江苏省内各城市汛期降水峰值特征主要有3种类型,将其划分为3个主要区域,即7月主峰型(Ⅰ区)、6月主峰型(Ⅱ区)和6—7月均匀型(Ⅲ区)。各区域的降水量年际上呈现增长趋势,Ⅱ区和Ⅲ区的增长趋势较为明显,Ⅰ区仅呈现微弱增长趋势。对各区域主汛期降水量进行突变检验可知,江苏省各区域降水量在2013年前后发生较为明显的变异,且变异后的主汛期降水量呈增加趋势。各区域的主汛期平均降水量具有较为相似的周期变化过程,各区域的第1、第2和第3主周期相近,江苏各区域降水变化第1主周期均为13 a左右。

### 参考文献:

- [1] 蔡宜晴,李文辉,于泽兴,等. 长江源区降水时空演变规律[J]. 长江科学院院报,2022,39(5):28-35.
- [2] 钟华昱,黄强,杨元园,等. 变化环境下汉江径流时空演变规律分析[J]. 人民珠江,2020,41(5):123-131.
- [3] 管新建,张一鸣,孟钰,等. 径流序列突变检验与环境流量组成:以淮河干流王家坝为例[J]. 水土保持研究,2020,27(1):353-359.
- [4] 徐东坡,李金明,周祖昊,等. 1956—2018年中国降水特征的时空分布规律研究[J]. 水利水电技术,2020,51(10):20-27.