

# 湖北省降水及旱涝时空分布特征分析

李烁阳<sup>1</sup>, 刘小燕<sup>1</sup>, 杨贵羽<sup>2</sup>, 段娜<sup>3</sup>

(1. 内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018;

2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 3. 河北工程大学 水电学院, 河北 邯郸 056021)

**摘要:**为更加全面地了解湖北省降水和旱涝时空分布特征,基于湖北省30个雨量站资料,采用M-K趋势检验、Morlet小波、Z值法及EOF等分析计算方法,对全省1960—2013年降水变化显著性、周期性及空间分布变化进行了研究,并分析了湖北省单站旱涝、区域旱涝等级、空间旱涝分布及30个站点旱涝Z值空间分布模态。结果表明:全省近50年降水量整体呈略微减少的趋势,但减少趋势不显著,降水倾向率为2.92 mm/10 a,空间上呈现东南部和西南部较多,且中东部地区降水呈增加的演变趋势;在此驱动下,全省呈现出旱涝交替频发,东南部易发生涝灾,西北地区易发生旱灾的整体特征;且通过旱涝Z值的EOF正交分解分布图发现,全省旱涝分布呈一致型、西北和东南方向相反型和自西北向东南呈“三明治”型的规律,其贡献率分别为50.23%,16.14%,5.59%。

**关键词:**降水;旱涝;Z值法;时空分布;EOF分析

**中图分类号:**P426.6;P338<sup>+</sup>.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2019)02-0202-06

## Analysis of Spatial and Temporal Distribution of Precipitation and Drought in Hubei Province

LI Shuoyang<sup>1</sup>, LIU Xiaoyan<sup>1</sup>, YANG Guiyu<sup>2</sup>, DUAN Na<sup>3</sup>

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University,

Hohhot 010018, China; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. College of Water Conservancy and Hydropower of Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056021, China)

**Abstract:** To more comprehensively understand the spatial and temporal distribution characteristics of precipitation and drought and flood in Hubei Province, based on the data of 30 rainfall stations in Hubei Province, the M-K trend test, wavelet analysis, Z value and EOF method were used to analyze and calculate the data. The variation of rainfall, periodicity and spatial distribution in the 1960—2013 years of the province were analyzed. The regional drought and flood level, the spatial distribution of drought and flood and the spatial distribution pattern of drought and flood Z value in 30 stations were also analyzed in Hubei Province. The results indicated that the precipitation decreasing in the last 50 years had been decreasing slightly. But the decrease trend was not significant. The precipitation decreasing tendency was 2.92 mm/decade. There was more precipitation in the southeast and southwest and the trend of precipitation increased in the eastern and central regions. In this drive, the alternating droughts and floods occurred frequently in the province. The southeast was prone to flooding and the northwest region was prone to drought. According to the EOF orthogonal decomposition distribution map of drought and flood Z value, there were three types of distribution of drought and flood in Hubei Province, which was uniform on provincial scale, opposite in the northwest and southeast directions, and ‘sandwich’ type from northwest to southeast. Their contribution rates were 50.23%, 16.14%, 5.59%, respectively.

**Keywords:** precipitation; flood and drought; Z index; spatial and temporal distribution; EOF

随着全球气候变化,区域降水量的时空分布格局受到影响,进而影响区域旱涝的演化特征<sup>[1]</sup>。湖北省

位于我国长江流域,降水量时空分布不均,旱涝频发。面对旱涝灾害频发的现实,掌握降水量的时空演化及

旱涝事件的演变特征,对于应对气候变化、洪涝预警管理具有重要意义。目前有关旱涝的研究主要基于降水量定义的旱涝标准。气象部门一般以降水量的多少作为划分旱涝的标准,为揭示区域的旱涝变化提供了很好的借鉴。与此同时,鞠笑生等<sup>[2]</sup>对几种计算旱涝方法进行比较计算,发现 $Z$ 值法计算旱涝指标能更确切地反映区域旱涝的程度。一些研究者也利用 $Z$ 值法分别计算黑龙江、长江上游区以及珠江流域等地区旱涝的年际变化规律、空间分布特征,很好地揭示了区域旱涝分布特征<sup>[3-5]</sup>。为揭示湖北省旱涝特点,本文在前人的研究基础上,比较系统地分析湖北省长系列降水及早涝时空分布特征及联系。在分析降水演变特点的基础上,采用 $Z$ 值法针对湖北省1960—2013年的旱涝情况进行分析,并利用ArcGIS中反距离加权插值方法(IDW)及EOF分析对旱涝空间分布特征及空间分布模态进行深入讨论。

## 1 研究区概况

湖北省位于我国中部,介于东经 $108^{\circ}21'—116^{\circ}07'$ ,北纬 $29^{\circ}05'—33^{\circ}20'$ ,全省国土总面积 $18.59$ 万 $\text{km}^2$ 。地跨长江和汉江两大水系,省内水系发达。湖北省光能充足、热量丰富、无霜期长、降水充沛、雨热同季、气候湿润是典型的亚热带季风气候。降水量较大,季节变化明显,夏季最多,冬季最少。湖北省是我国旱涝灾害发生最严重的省份之一<sup>[6-8]</sup>,在变化气候环境下,研究湖北省旱涝时空分布规律对防洪抗旱工作提供理论依据并对促进社会经济的可持续性发展具有重要指导意义。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料

本文数据来源于中国气象数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn>),通过对湖北省气象站降水量数据资料筛选,本文选取代表性较强、降水系列资料较全的30个站点1960—2013年逐日降水量数据,再进行分类汇总成逐月数据进行分析计算。站点位置如附图12所示。

### 2.2 研究方法

2.2.1 Mann-Kendall 趋势检验 假设1:时间序列数据 $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,是 $n$ 个独立随机变量同分布样本;假设2 双边检验。对所有 $i < j \leq n$ ,且 $i \neq j$ , $x_i$ 和 $x_j$ 的分布不同<sup>[9]</sup>。检验统计量 $S$ 为:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (1)$$

$S$ 服从正态分布,均值为0,系列方差为:

$$\text{var} = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (2)$$

$$U = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ (S+1)/\sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

在检验中,给定置信水平 $\alpha$ ,若 $|U| \geq U_{1-\alpha/2}$ ,则不接受假设1,即在置信水平 $\alpha$ 上,时间序列数据具有明显的上升或下降趋势。 $U > 0$ 表示增加趋势, $U < 0$ 表示减少趋势。

2.2.2 Morlet 小波分析法 Morlet 小波是反映水文、气候时间序列多尺度变化特征的一种分析工具,多用于分析时间序列周期及变化趋势等。小波理论可以将原始非平稳的序列转化为比较平稳的时间序列,再对处理后的序列进行分析,可以得出比较清晰的在不同时间尺度下时间序列的变化趋势及多种变化周期<sup>[10-11]</sup>。

对于时间序列,小波变换为

$$W_f(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \bar{\varphi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (4)$$

式中: $a$ 为尺度因子; $b$ 为时间因子; $\bar{\varphi}(t)$ 为母小波; $W_f(a, b)$ 为变换系数。

在实际分析中,时间序列通常是离散的,其离散形式为:

$$W_f(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \Delta t \sum_{k=1}^n f(k\Delta t) \bar{\varphi}\left(\frac{k\Delta t - b}{a}\right) \quad (5)$$

式中: $k=1, 2, \dots, n$ ;  $\Delta t$ 为时间间隔。 $W_f(a, b)$ 可以反映时域参数 $a$ 和 $b$ 频域参数; $a$ 越大,频率的分辨率越高,时域的分辨率越低。 $W_f(a, b)$ 随着参数 $a$ 和 $b$ 的变化而变化; $b$ 为横轴; $a$ 为纵轴,可以做出 $W_f(a, b)$ 的二维等值线图。

小波方差为时间域上关于尺度 $a$ 的所有小波变换系数的平方进行积分,表示 $a$ 尺度下周期波动的能量大小。其公式为:

$$\text{var}(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |W_f(a, b)|^2 db \quad (6)$$

2.2.3 降水 $Z$ 值法  $Z$ 值是一种对旱涝程度反映比较准确,评价单站旱涝情况较好的指标;对单站 $Z$ 值进行进一步处理可以反映区域旱涝程度<sup>[12-15]</sup>。具体计算,考虑到通常某一时段的降水量一般并不服从正态分布,其概率密度分布为:

$$P(R) = [\beta T(\gamma)]^{-1} \left[ \frac{(R-\alpha)}{\beta} \right]^{\gamma-1} e^{-\frac{(R-\alpha)}{\beta}} \quad (7)$$

根据文献<sup>[16-17]</sup>,首先对降雨量 $P$ 进行正态化处理,可将概率密度函数 Person-III 型分布转换为以 $Z$ 为变量的标准正态分布,其转换公式为:

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left( \frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (8)$$

$$C_s = \frac{1}{n\sigma^3} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^3 \quad (9)$$

$$\varphi_i = \frac{(P_i - \bar{P})}{\sigma} \tag{10}$$

式中： $C_s$  为降水量偏态系数； $\varphi_i$  为标准化变量； $P_i$  为降水量； $\bar{P}$  为降水量平均值； $\sigma$  为降水量标准差。

然后，根据降水量正态处理后的变量  $Z$  值服从正态分布曲线的特点，通过  $Z$  值对旱涝等级进行划分，见表 1。

表 1 Z 值对应旱涝等级

等级	Z 值	类型
1	$Z > 1.645$	极涝
2	$1.037 < Z \leq 1.645$	大涝
3	$0.842 < Z \leq 1.037$	偏涝
4	$-0.482 < Z \leq 0.842$	接近正常
5	$-1.037 < Z \leq -0.842$	偏旱
6	$-1.645 < Z \leq -1.037$	大旱
7	$Z < -1.645$	极旱

另外，根据单站旱涝指标，进一步计算确定区域旱涝指标<sup>[2]</sup>，具体计算公式如下：

$$\begin{cases} I = \frac{100(2n_1 + n_2 + n_3)}{n} \\ L = \frac{100(2n_7 + n_5 + n_6)}{n} \end{cases} \tag{11}$$

式中： $L$  和  $I$  为旱涝指标； $n_1, n_2, n_3, n_5, n_6, n_7$  分别为该区域内  $Z$  指数为 1, 2, 3, 5, 6, 7 级的站数。根据该指标划分区域旱涝等级见表 2。

2.2.4 正交函数分解 正交函数(EOF)分解在多元统计分析中又称主成分分析，EOF 最早是由统计学家 Pearson 在 1902 年提出来的，在 70 年代初引用我国气候领域。在气象领域空间分布往往是由许多监测点进行检测，这给直接研究时空分布变化特征的研究带来困难<sup>[18]</sup>。EOF 分析是利用较少的几种空间分布模态对原气象变量场进行描述，基本涵盖原变量场的信息。通常以向量场的贡献率来表示。其优点在于 EOF 没有固定的函数、可以在有限区域对随机分布的站点分解、容易将变量场的信息集中于几个分布模态上、分离出来的变量场具有物理意义。

表 2 区域旱涝指标等级划分

等级	旱涝指标	类型
1	$I > 50$	极涝
2	$35 \leq I \leq 50$	大涝
3	$3 < (I - L) < 35$	偏涝
4	$(I - L)$ 或 $(L - I) < 3$	接近正常
5	$3 < (L - I) < 35$	偏旱
6	$35 \leq L \leq 50$	大旱
7	$L > 50$	极旱

对于研究区域将监测点和检测时间组合为矩阵

$$X = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{h1} & \cdots & a_{hn} \end{pmatrix}$$
，其中每一行代表不同的监测点，

每一列代表不同的检测时间，对矩阵  $X$  进行标准化处理并求其协差阵  $Y$ 。

$$Y = X' \times X \tag{12}$$

利用如下公式，对其协差阵  $Y$  其特征向量及特征值，其中  $A$  矩阵为包含协差阵  $Y$  的特征值的对角矩阵， $B$  矩阵为对应的  $Y$  矩阵特征值的特征向量。

$$YB = BA \tag{13}$$

对于  $A$  矩阵中的每一个特征值，均有一个对应的特征向量，这些特征向量即为分解开的经验正交函数，将其按照监测站坐标绘制到图上为不同的空间分布模态。其中第  $i$  特征向量的贡献率为  $\frac{\lambda_i}{\sum \lambda}$ ，其中  $\lambda_i$  为第  $i$  个特征值， $\sum \lambda$  为所有特征值之和。

3 结果与分析

3.1 降水量时空变化特征

3.1.1 降水量年际演变分析 反距离权重(IDW)插值法是降水量空间插值方法之一，具有能够综合反映插值点与样点之间距离的对插值点的贡献，认为离插值点越近的样本点赋予的权重越大，其权重贡献与距离成反比的特点。为此，本文采用此方法，在 ArcGIS 10.0 中对 30 个站点逐月降水资料进行降水量空间插值获得湖北省逐月面降水量。以此为基础进行全省逐月和逐年降水演变特征分析。

全省年降水量变化在 700~1 600 mm 之间波动，最大值出现在 1983 年，最小值出现在 1966 年，最大值与最小值相差 800 mm 左右，多年平均降水量为 1 135.78 mm。近 54 a 降水量总体呈 2.9 mm/10 a 减少趋势，利用 M-K 检验方法对湖北省年降水量变化趋势显著性进行分析，经计算发现  $|U| = 0.47 < 1.96$ ，没有通过信度 95% 显著性检验，降水减少趋势不显著<sup>[19]</sup>。从图 1 中不同年代降水量变化可知，全省呈现出 1980s、1990s 年代较多年平均降水量偏大，且 1980 年代最大达 1 200.81 mm，较平均值多 5.73%；1960s、1970s、2000—2009 年、2010—2013 年平均降水量少于多年平均值。

为进一步揭示全省降水量在时间尺度变化的多样性。本文采用 Morlet 小波分析方法进行多时间尺度变化分析。由降水量 Morlet 小波实部等值线(图 2)可见(图中实线表示正相位，代表降雨量处于偏丰状态，虚线表示负相位，代表降雨量处于偏枯状态)全省降水量存在多种尺度的周期变化规律，其中相对比较明显的特征时间尺度分别为 25~31 a、19~24 a、

11~15 a, 8~10 a。在 8~10 a 时间尺度上, 降水的丰枯交替比较平稳, 具有全局性; 在 11~15 a 尺度上, 从 60—80 年代周期震荡较弱, 从 80 年代开始表现出比较明显的丰枯交替周期; 在 19~24 a 尺度上, 周期震荡呈现出比较规律的丰枯交替变化; 在 25~31 a 尺度上, 明显地可以看出湖北省降水经历了丰→枯→丰→枯→丰的交替循环。

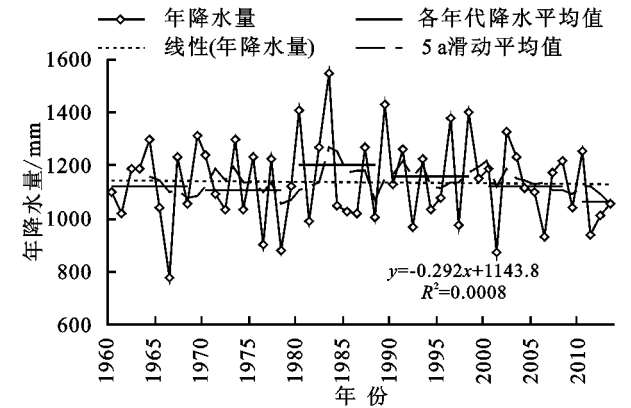


图 1 1960—2013 年湖北省降水量系列及 5 年滑动平均过程

另外, 通过小波方差大小的波动, 进一步揭示了全市降水的周期震荡强度。由图 3 可见, 小波方差中存在 28, 22, 10, 5 a 峰值, 28 a 尺度为最大峰值, 是降水变化第一主周期, 第二、三、四主周期分别为 22, 10, 5 a。几个主周期控制着降水的变化周期, 从侧面验证了实部等值线图中的一个震荡周期。图 4 小波实部过程

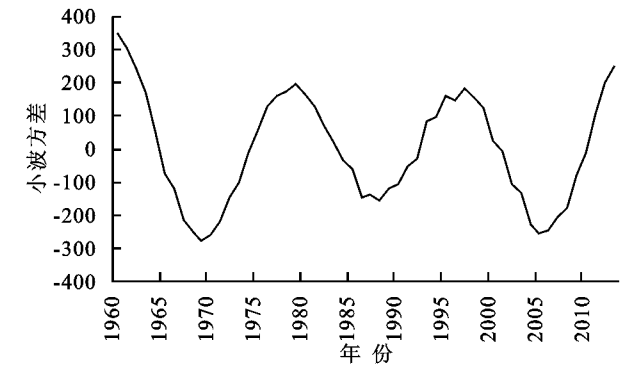


图 4 年降水量变化的 28 a 和 22 a 特征时间尺度小波实部过程线

3.1.2 降水量空间分布分析 在平均降水量空间分布上(附图 13), 1960—2013 年全省降水量整体呈南部降水量大于北部降水量, 东部降水量大于西部降水量, 自西北向东南部和向西南部降水量逐渐增加呈“人字型”分布特征。降水量较多的东南部和西南部降水量在 1 000 mm 以上, 局部地区降水量可达 1 400 mm, 降水量最小的西北部年平均降水量为 800 mm 左右。

结合 30 个站点 30 个降水倾斜率(mm/10 a)的 IDW 法进行插值(附图 14), 1960—2013 年全省中东部地区呈现出降水量增加的趋势, 在监利、武昌、麻城一带及秭归地区降水量增加最大, 局部地区降水倾向率可达 30 mm/10 a。除个别地区外西部整体降水倾

线也反映了丰—枯周期变化的特性, 即, 在 28 a 时间尺度下, 3 个丰—枯周期变化, 降水的变化周期约为 18.5 a。在 22 a 尺度下, 经历了约 4 个丰—枯变化, 平均周期为 14 a。

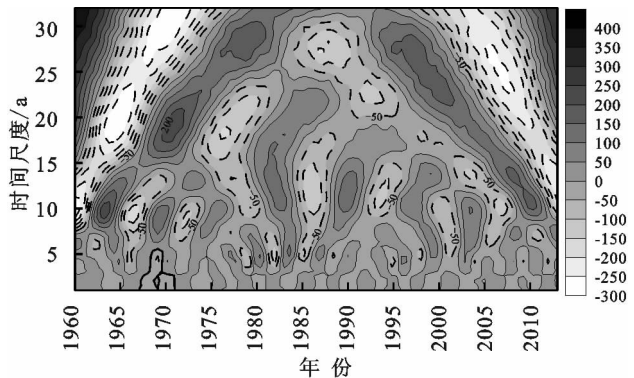


图 2 小波实部等值线

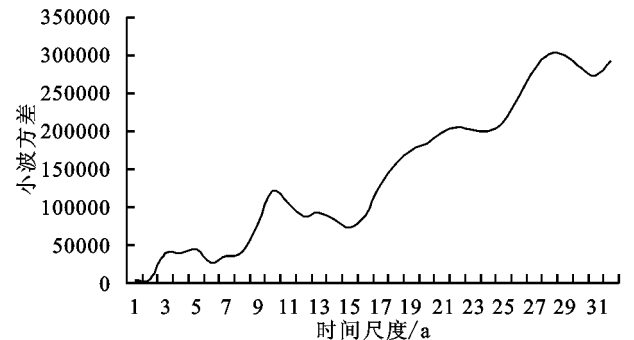


图 3 小波方差



向率为负值, 降水呈减少趋势, 西南地区降水减少较为明显, 个别地区减少可达 35 mm/10 a。

3.2 旱涝时空分布特征

3.2.1 区域旱涝等级变化分析 根据表 2 确定的区域旱涝指标与划分标准对湖北省 1960—2013 年旱涝等级情况进行统计分析发现, 基本上呈现每 1.6 a 一次极涝, 1.5 a 一次极旱, 出现极涝和极旱的频率相当。其中, 发生极涝较多的年代为 80, 60, 90 年代分别 3 次、2 次、2 次; 发生极旱较多的年代为 70 年代和 2000—2009 年均 2 次。与湖北省旱涝灾害统计的结果较为一致<sup>[7]</sup>。湖北省旱涝频发, 由此可见, 湖北省旱涝发生频繁。旱涝灾害是影响湖北省农业、经济社会发展的重要因素。

表 3 旱涝等级统计

旱涝等级	次数						总计
	1960—1969 年	1970—1979 年	1980—1989 年	1990—1999 年	2000—2009 年	2010—2013 年	
极涝	2	1	3	2	1	0	9
大涝	1	2	1	1	2	1	8
偏涝	2	2	1	1	3	0	9
正常	0	0	0	1	1	0	2
偏旱	3	3	2	3	1	1	13
大旱	1	0	2	1	0	1	5
极旱	1	2	1	1	2	1	8

但是在气候变化和人类活动的影响下,全省旱涝演变存在差异。由图 5 可知,湖北省整体呈现旱涝交替发生,但近 50 a 向略微偏旱发展。其中 60,70 年代初期发生干旱等级较低,情况并不严重,相对比较平稳,但极涝情况时有发生;1985—1990 年旱涝等级均较低,未发生极旱情况,仅发生 1 次极涝情况;2000 年以后,出现了 3 次极旱灾害,发生洪涝的情况较为稳定,发生洪涝的等级多集中于偏涝、大涝,极涝只出现了 1 次。结合湖北省降水量的变化趋势可见,年际旱涝等级变化规律与降水丰枯变化具有高度的一致性,说明湖北省旱涝的变化主要依赖于降水量的变化。

3.2.2 旱涝空间分布特征 在 ArcGIS 10.0 中采用 IDW 插值法对 1960—2013 年湖北省 30 个雨量站点大涝与大旱级别以上发生的频率(次/10 a)插值分析了大涝和大旱以上级别旱涝频次的空间分布。对于洪涝如图 6A 所示,全省发生极涝和大涝灾害的频率为 1.111~2.037 次/10 a,较容易发生洪涝灾害的地区主要分布在恩施及其西北部和武汉地区及其东南部。发生大旱的频率为 0.741~2.222 次/10 a,易发

地区主要分布于西北部,此外,黄石、来凤、麻城等地区也较易发生干旱。宜昌上游部分的旱涝情况与刘志雄等<sup>[4]</sup>对长江上游旱涝时空分布的研究较为相似。从整体分布来看,湖北省东南部较易发生洪涝,中部、西北地区较易发生干旱。湖北省中部较易发生干旱;东南部地区发生洪涝的频率大于干旱;老河口、襄樊等地区干旱和洪涝的发生几率均较大,但更易发生干旱。这与附图 14 降水演变的分布图较为吻合。说明湖北省干旱洪涝的驱动仍以气候变化为主要驱动因素。

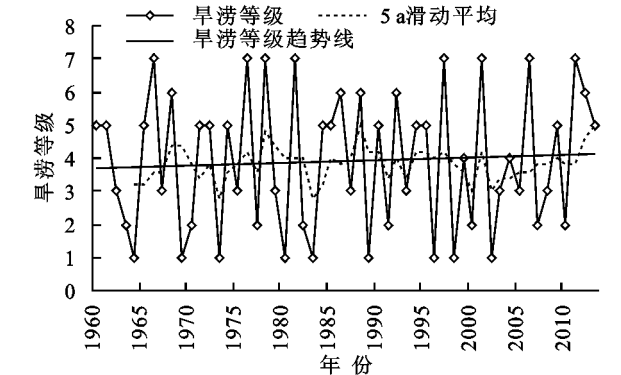


图 5 区域旱涝等级变化

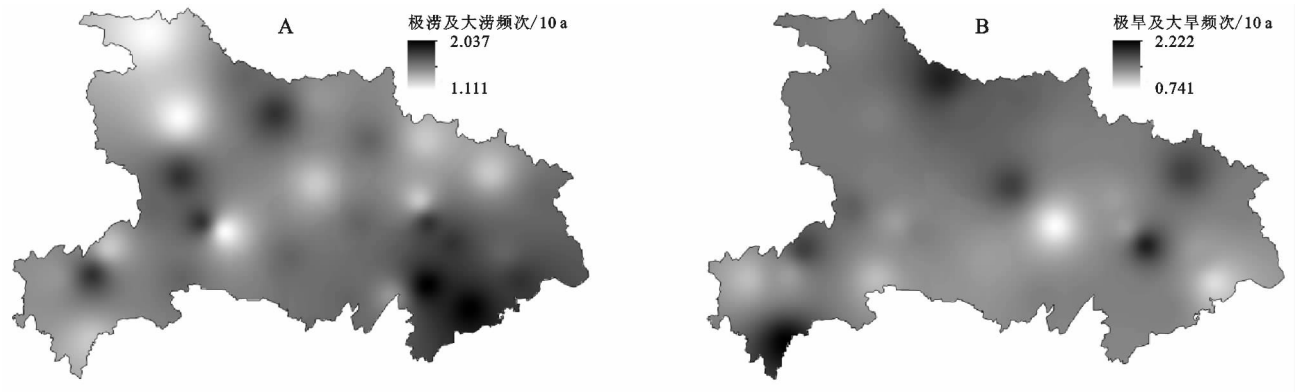


图 6 大涝和大旱级别以上频次空间分布

3.2.3 旱涝空间分布模态分析 研究旱涝 Z 值的时空分布情况,其中包含时间变量和空间变量。在时间上,若将其每一年进行插值计算将有 54 个空间分布情况即时间变量有 54 种指标。不同时间变量指标和不同空间变量指标具有一定相关性,使得 Z 值所反映的信息在一定程度上有所重叠。而经验正交函数(EOF)是将不同研究变量的多个研究指标进行重

新组合成新的互相无关的几个综合指标来代替原来指标。即“降维思想”。因此,根据湖北省 30 个站点 1960—2013 年降水情况计算旱涝 Z 值,对其进行 EOF 分析,可以利用少数的几种分布模态代表原始 Z 值的空间分布特征。

由表 4 可以看出,湖北省 1960—2013 年旱涝 Z 指数的前 7 个特征向量的特征值、方差贡献率及累计方差

贡献率。前 7 个特征向量累计贡献率为 85.57%,前 3 个特征向量累计贡献率为 71.97%,因此前 3 个特征向量可以代表湖北省旱涝 Z 值的空间变化特征。

附图 15 为旱涝 Z 值 EOF 的前 3 个特征向量的空间分布图。第一特征向量均为正值,取值范围为 0.11~0.23(图中标注为特征向量值乘 100),说明湖北省第一种旱涝分布呈现出一致的旱涝分布形式。其中,较大值位于湖北省中部及西南部,反映了这些区域旱涝变化率较大,属于旱涝比较敏感区域。第一特征向量的贡献率为 50.23%,与降水变化倾向率十分吻合,降水的分布不均匀导致区域旱涝的发生。第二特征向量取值范围为-0.3~0.3,正值区和负值区分界线位于湖北省中部呈东北方向,将湖北省分割成西北负值区和东南正值区,反映了西北部和东南部相反的旱涝发生趋势,且自分界线向西北或者东南方向这种趋势表现更为明显。第三特征向量范围为-0.25~0.5,正值区位于西北部、南部及东南部,负值区位于“利川—巴东—钟祥—武汉—麻城”呈带状分布,整体分布模态类似于“三明治”两侧分布态势相同与中间分布态势相反。

表 4 湖北省旱涝 Z 值前 7 个特征向量的贡献率和累积贡献率							
特征向量	1	2	3	4	5	6	7
特征值	14.68	4.72	1.63	1.55	0.95	0.77	0.70
贡献率/%	50.23	16.14	5.59	5.32	3.25	2.64	2.40
累积方差贡献率/%	50.23	66.38	71.97	77.28	80.53	83.17	85.57

4 结 论

- (1) 湖北省 1960—2013 年降水减少趋势不明显;在降水系列中存在多个时间尺度周期分别为 28,22,10,5 a,在其中第一主周期为 28 a 尺度,经历了约 3 个丰一枯变化,周期约为 18.5 a。在降水空间分布上,东南部和西南部降水较多,西北部年降水量较少;在降水倾向率上,中东部地区降水呈增加趋势,总体西部降水呈减少趋势,其中西南地区降水减少较多。
- (2) 在年际旱涝变化上,呈现出旱涝交替发生的特征,旱涝发生比较频繁,交替变化过程中向稍微偏旱的趋势发展。旱涝等级的变化与降水丰枯变化具有十分相似的规律,说明较大范围性的强降水特别是区域性的暴雨,是造成洪涝灾害的主要因素。
- (3) 发生大涝与极涝和大旱与极旱的频率分别为 1.111~2.037,0.741~2.222 次/10 a;西北地区较易发生干旱,恩施及其西北部和武汉地区及其东南部等地较容易发生洪涝。
- (4) EOF 分析得出旱涝空间分布模态,第一特征向量贡献率为 50.23%,全区旱涝出现一致性结果;第二特

- 征向量的贡献率为 16.14%,自湖北省中部呈东北方向的分界线将湖北省分割成西北部和东南部相反的两种旱涝分布模态;第三特征向量贡献率为 5.59%,西北部—中部—南部及东南部呈现出旱—涝—旱或涝—旱—涝的分布态势。
- 参考文献:
- [1] 秦大河. 气候变化科学与人类可持续发展[J]. 地理科学进展,2014,33(7):874-883.
- [2] 鞠笑生,杨贤为. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报,1997,8(1):26-33.
- [3] 顾金普,王双银,龚家国,等. 黑龙江省降水及旱涝时空演变特征[J]. 水电能源科学,2017,35(2):17-20.
- [4] 刘志雄,肖莺. 长江上游旱涝指标及其变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(3):310-314.
- [5] 陈云,郭霖,叶长青,等. 珠江流域旱涝时空演变规律分析[J]. 中国农村水利水电,2018(2):113-120.
- [6] 叶柏年,陈正洪. 湖北省旱涝若干问题及其防灾减灾对策[J]. 气象科技,1998,26(3):12-16.
- [7] 姜海如,杨柏松,吴世经,等. 中国气象灾害大典湖北卷[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [8] 陈前江,延军平. 1970 年以来湖北省气候变化与旱涝灾害响应分析[J]. 江汉大学学报:自然科学版,2015,43(4):308-316.
- [9] 康淑媛,张勃,柳景峰,等. 基于 Mann-Kendall 法的张掖市降水时空分布规律分析[J]. 资源科学,2009,31(3):501-508.
- [10] 韩知明,贾克力,杨芳,等. 基于 Morlet 小波的呼伦湖流域降水多时间尺度分析[J]. 水土保持研究,2018,25(1):160-166.
- [11] 王晓琳. 基于小波分析的邯郸山区水文特性分析与预测[D]. 河北邯郸:河北工程大学,2012.
- [12] 何艳虎,陈晓宏,林凯荣,等. 东江流域近 50 年旱涝时空演变特征[J]. 地理科学,2014,34(11):1391-1398.
- [13] 谭桂容,孙照渤,陈海山. 旱涝指数的研究[J]. 南京气象学院学报,2002,25(2):153-158.
- [14] 谢平,陈晓宏,王兆礼. 湛江地区旱涝特征分析[J]. 水文,2010,30(1):89-92.
- [15] 袁文平,周广胜. 标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报,2004,28(4):523-529.
- [16] Jr D S R, Stedinger J R. Bayesian MCMC flood frequency analysis with historical information[J]. Journal of Hydrology, 2005,313(1):97-116.
- [17] 江和文,郭婷婷,包颖,等. 辽宁省近 50 年旱涝灾害的时空特征分析[J]. 水土保持研究,2012,19(2):29-33.
- [18] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [19] 高媛,刘敏,周博. 近 50 年湖北省降水变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(1):167-172.