

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2020.06.10

# 1959 – 2018 年山东省降水时空分布特征与洪旱演变规律

卢书梅<sup>1,2</sup>, 杨传国<sup>1,2</sup>, 谷黄河<sup>1,2</sup>

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 水文水资源与  
水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 基于山东省 1959 – 2018 年地面气象观测站逐日降水资料, 应用反距离权重插值、Z 指数、Mann – Kendall 检验及小波分析等研究方法, 探讨近 60 年来山东省降水的时空分布特征及洪旱演变规律。结果表明: 空间分布上, 降水量存在显著的地区差异, 呈现东部多西部少且山区多于平原的空间分布格局。时间分布上, 多年平均降水量呈现下降的变化趋势, 东部沿海地区下降速率比西北内陆地区快。山东省的洪旱灾害具有年代际变化特征, 20 世纪 70 年代前, 涝灾频繁, 80 年代到 21 世纪初旱灾频繁, 21 世纪后, 主要发生偏涝, 洪旱灾害地区间差异明显。研究结果对该省防灾减灾及区域经济发展具有重要意义。

**关键词:** 降水量; 时空特征; 洪旱演变; 突变分析; 小波分析; 山东省

中图分类号: TV125; P426.616

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2020)06-0060-07

## Spatio-temporal distribution characteristics of precipitation and floods and droughts evolution in Shandong Province from 1959 to 2018

LU Shumei<sup>1,2</sup>, YANG Chuanguo<sup>1,2</sup>, GU Huanghe<sup>1,2</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Based on the daily precipitation data of meteorological stations in Shandong Province from 1959 to 2018, research methods such as inverse distance weighted (IDW), Z index, Mann – Kendall test and wavelet analysis were used to explore the spatial and temporal distribution characteristics of precipitation and floods and droughts evolution in Shandong Province in the past 60 years. The results showed that there were significant regional differences in spatial pattern of precipitation with more precipitation distributed in the eastern region and the mountain areas whereas less precipitation in the western region and the plain areas of the province. The average annual precipitation showed a decreasing trend with higher decreasing rates in the eastern coastal areas than those in the northwest. There were obvious inter-decadal variations in the flood and drought series. Before the 1970s, flood events were frequent, whereas drought events became frequent from the 1980s to the early 21st century. Since the 21st century, light floods became dominant, but spatial difference of these extreme events of floods and droughts became more remarkable. Results of the study can provide scientific support for the disaster prevention and mitigation and in turn contributes to the regional economic development of Shandong Province.

**Key words:** precipitation; spatio-temporal characteristics; floods and droughts evolution; abrupt change test; wavelet analysis; Shandong Province

## 1 研究背景

气候变暖是 20 世纪全球气候变化的显著特征<sup>[1]</sup>。

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 报

告<sup>[2]</sup>预估未来全球气候变暖仍将持续, 21 世纪末全球平均地表温度在 1986 – 2005 年的基础上将升高 0.3℃ ~ 4.8℃。在未来气候变暖的背景下, 中纬度大部分陆地地区和湿润的热带地区的强降水强度可能加大、发

收稿日期: 2019-12-19; 修回日期: 2020-03-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0402706); 公益性行业(气象)科研专项项目(GYHY201406021); 国家重点实验室自主研究项目(20185044012); 中央高校业务经费项目(2018B55114)

作者简介: 卢书梅(1997-), 女, 广西玉林人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源研究。

通讯作者: 杨传国(1981-), 男, 山东青州人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水文水资源研究。



Morlet 小波分析法主要用来分析多年平均降水量的不同时间尺度特征及洪旱演变周期,该方法是傅里叶分析法的突破与发展,通过小波实部等值线分布,既能反映气候序列不同尺度周期变化的大小,还能反映变化的时间位置,在气候分析方面具有较强的适用性<sup>[19]</sup>。

### 3 降水时空变化特征分析

#### 3.1 时间变化特征

1959-2018年山东省年降水量变化趋势和M-K突变检验结果见图2,春、夏、秋、冬四季降水量变化趋势见图3。

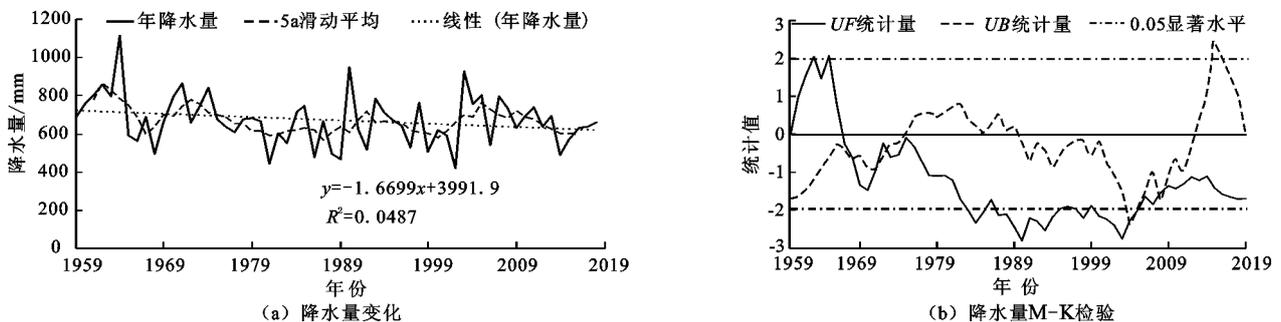


图2 1959-2018年山东省年降水量变化趋势和M-K检验图

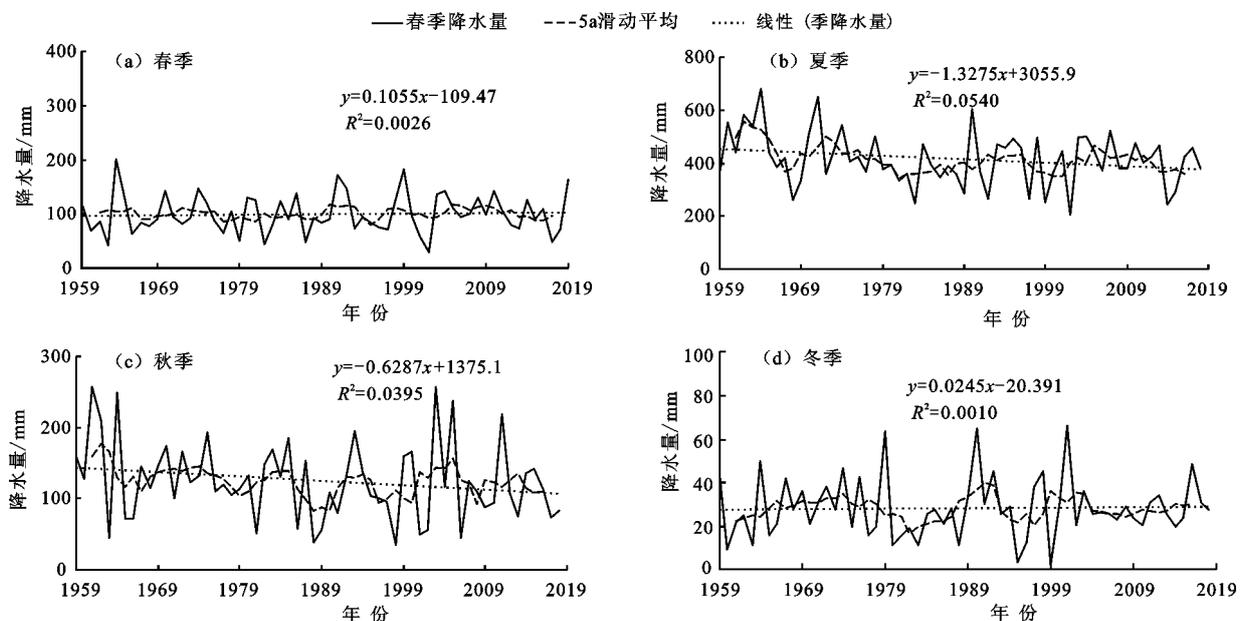


图3 1959-2018年山东省春、夏、秋、冬四季降水量变化趋势

由图2、3可知,1959-2018年山东省多年平均降水量为671.2 mm,具有显著的年代际变化特征,总体上以1.67 mm/a的速率下降,前20年下降趋势明显,但近40年降雨趋势性变化特征不显著(图2(a))。春、夏、秋、冬四季多年平均降水量分别为100.3、416.1、124.9、28.3 mm。四季平均降水量变化各不相同(图3)。冬季和春季降水无明显变化趋势;夏季降水量占全年降水量的62%,总体以1.33 mm/a的速率下降,通过了0.05的显著水平检验,且与年降水量变化特征一致;秋季降水量下降速率较夏季缓慢,为0.63 mm/a。

M-K突变检验结果(图2(b))表明,1960-

1964年 $UF > 0$ ,说明山东省降水量在此段时间内呈增加趋势,其中1961和1964年并达到0.05的显著水平;1966年之后 $UF < 0$ ,表明山东省降水量自1966年以来整体上一一直处于减少趋势,并在1974年左右发生显著性突变,由湿润期进入干早期。2000年之后全省降水量呈现增加趋势,近几年来有所减少。四季降水量的突变检验表明(图略),夏季和秋季存在突变点,突变时间在1970年代初期,降水量由多变少;冬季和春季降水量突变特征不显著。

#### 3.2 空间分布特征

利用反距离权重插值法绘出山东省1959-2018年平均降水量和倾向率的空间分布图,如图4

所示。由图 4(a)可以看出,山东省降水量在空间上呈从鲁东南部到鲁西北部递减的趋势。鲁中的泰山站因设在山顶高海拔位置,年均降水量大于 900 mm;其次是鲁南的日照、临沂以及枣庄等地区,年均降水量在 800 ~ 900 mm 之间;再次是鲁东半岛的石岛、海阳以及青岛等地区,年均降水量在 700 ~ 800 mm 之间。降水的低值中心主要位于鲁西的朝阳、聊城以及鲁北的惠民县、东营和龙口等地区,其年均降水量小于 600 mm。图 4(b)显示,山东省大部分地区的降水量呈减少的变化趋势,其中下降速率较快的有成山头、石岛、海阳等东部半岛地区,下降幅度达 4.62 ~ 5.38 mm/a;济南、兖州、枣庄下降速率

较慢,下降幅度为 0.06 mm/a 左右,而全省中部沂源山区的多年平均年降水量呈现上升趋势,上升幅度为 0.69 ~ 1.45 mm/a。从整体来看,东部的降水量下降幅度大于西部,其中成山头下降幅度最大,达 5.38 mm/a。

图 5 给出了 1959 - 2018 年山东省四季降水量变化倾向率的空间分布。由图 5 可看出,春季鲁西地区降水量略有增加,鲁东地区呈缓慢减少趋势;夏季降水量全省整体上呈现减少趋势,鲁东沿海和鲁西地区尤为显著,潍坊和枣庄夏季降水量有一定的增加;秋季降水量全省呈一致性减少趋势;而冬季全省降水量变化不显著,鲁中地区有所减少。

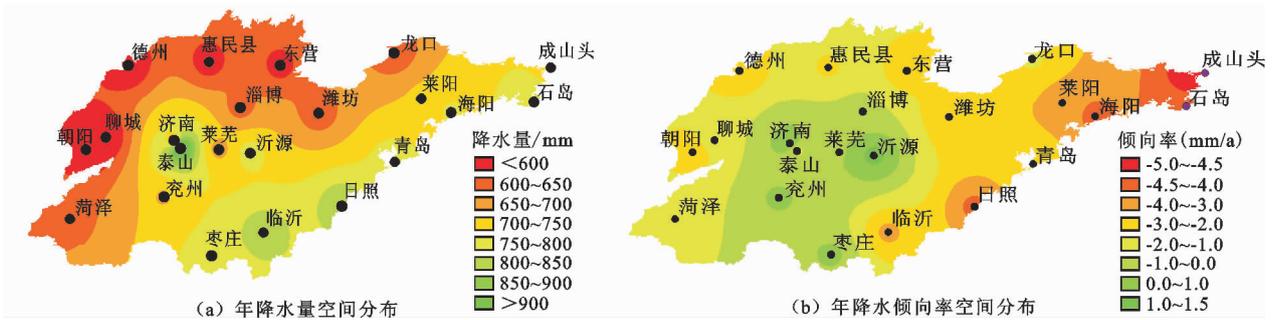


图 4 1959 - 2018 年山东省年降水量及其变化倾向率空间分布

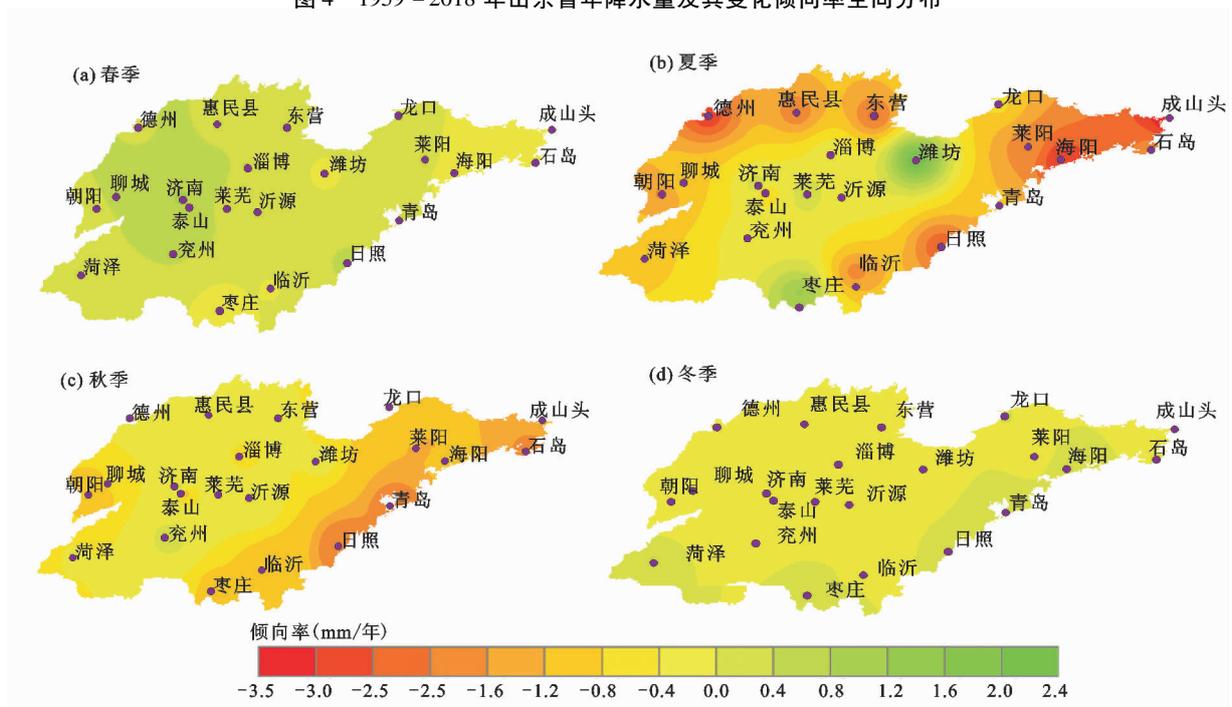


图 5 1959 - 2018 年山东省春、夏、秋、冬季降水量变化倾向率空间分布

## 4 洪旱演变及周期分析

### 4.1 洪旱时空分布特征

应用 Z 指数法对山东省 1959 - 2018 年旱涝等

级进行统计,结果见表 2。表 2 表明,1959 - 2018 年,山东省发生重涝 3 次,分别发生在 1964、1990 和 2003 年,占比为 5%,其中以 1964 年的洪涝灾害最为严重,导致山东全省成灾面积达  $279.47 \times 10^4$

$\text{hm}^2$ ,最大受灾面积达  $329.87 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,严重影响了惠民、济宁等地区人们的生产生活;发生大涝3次,分别发生在1962、1971和1974年,占比5%;发生偏涝13次,占样本序列总数的21.6%,分别发生在1960、1961等13个年份,其中1960-1961、2004-2005、2007-2008年为连续偏涝年;发生偏旱5次,占比8.3%;发生大旱6次,占比10%;发生重旱4次,占比6.7%,分别发生在1981、1986、1989、2002年,如1981年重旱事件,全省受旱面积达  $412.27 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,成灾面积  $229.47 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,受灾人口达  $2100.8 \times 10^4$ 人。

表2 1959-2018年山东省旱涝等级统计

旱涝等级	年份
重涝	1964 1990 2003
大涝	1962 1971 1974
偏涝	1960 1961 1963 1970 1973 1985 1993 1998 2004 2005 2007 2008 2011
偏旱	1966 1983 2001 2006 2015
大旱	1968 1988 1992 1997 1999 2014
重旱	1981 1986 1989 2002

计算各站点近1959-2018年不同等级旱涝事件发生次数,利用反距离权重插值法插绘出其空间分布图如图6所示。由图6可看出,重涝主要发生在鲁西、鲁南及鲁东沿海地区,其中菏泽、青岛等地重涝发生次数最多。大涝主要发生在鲁西、鲁北及鲁东南地区,其中朝阳、德州、东营、临沂等地大涝发生次数最多。重大涝灾主要发生在鲁西地区,其中尤以鲁南四湖、徒骇马颊河一带涝灾最为严重,鲁中部的泰山、沂山以及半岛地区洪灾相对较轻。旱灾主要发生在夏秋季节,与季节内降水量大小密切相关。

1959-2018年来山东省旱灾频繁,主要发生在鲁中、鲁北及半岛地区,其中沂源、朝阳、潍坊、莱阳、枣庄等地区旱灾较为严重,重旱和大旱空间分布呈反相位关系,表明全省重大旱灾分布显著。干旱主要发生在春季和夏季,有些年份出现春夏连旱,如1988、1989年等。

#### 4.2 旱涝演变周期分析

多年平均年降水量序列的小波实部等值线可以显示出降水量序列在不同时间尺度下的周期变化及其位相方面的信息,正负峰在不同时间尺度表现出最大振幅,正值对应部分洪涝期和相对较高降水期,负值对应部分干旱期。

1959-2018年山东省降水量的多时间尺度频率分布和小波方差如图7所示,四季降水量序列的实部时频分布如图8所示。

由图7可看出,存在明显的16和27a的低频周期,山东省年降水量经历了3次丰枯变化;高频周期年代际特征显著,1960年代、1990年前后和2000年代4~5a的周期突出,表明该时段旱涝灾害频繁发生。

由图8可以看出,春季5~10a的周期突出,横跨整个研究序列,15a左右的周期主要出现在1980年以前。夏季23~30a的低频周期和3~6a的高频周期最为显著,与春季类似,1980年之前也具有15a左右的周期特征;夏季降水量与年均降水量的周期变化最为相近,表明夏季降水对年降水具有较强的控制作用。秋季15a左右的周期变化最为突出,而5a左右的高频周期主要分布在1970年之前和2000年之后。冬季20a左右的周期变化最为显著,同时整个序列具有5~10a的周期变化。

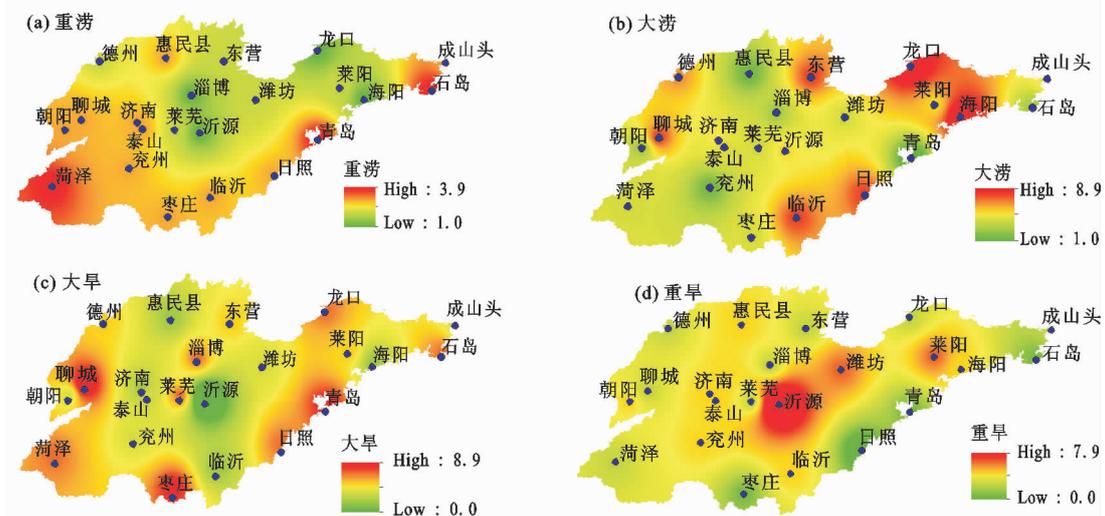


图6 1959-2018年山东省重涝、大涝、大旱、重旱发生次数的空间分布

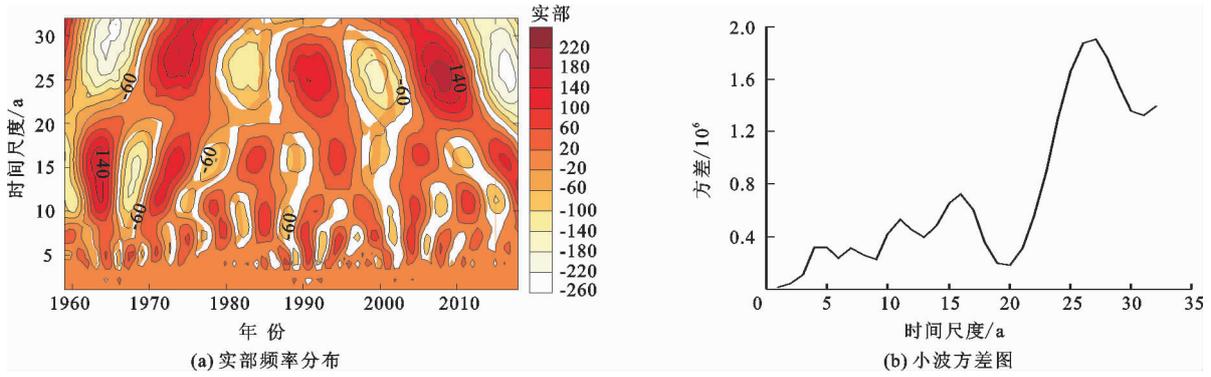


图 7 1959 - 2018 年山东省年降水量序列的实部时频分布和小波方差图

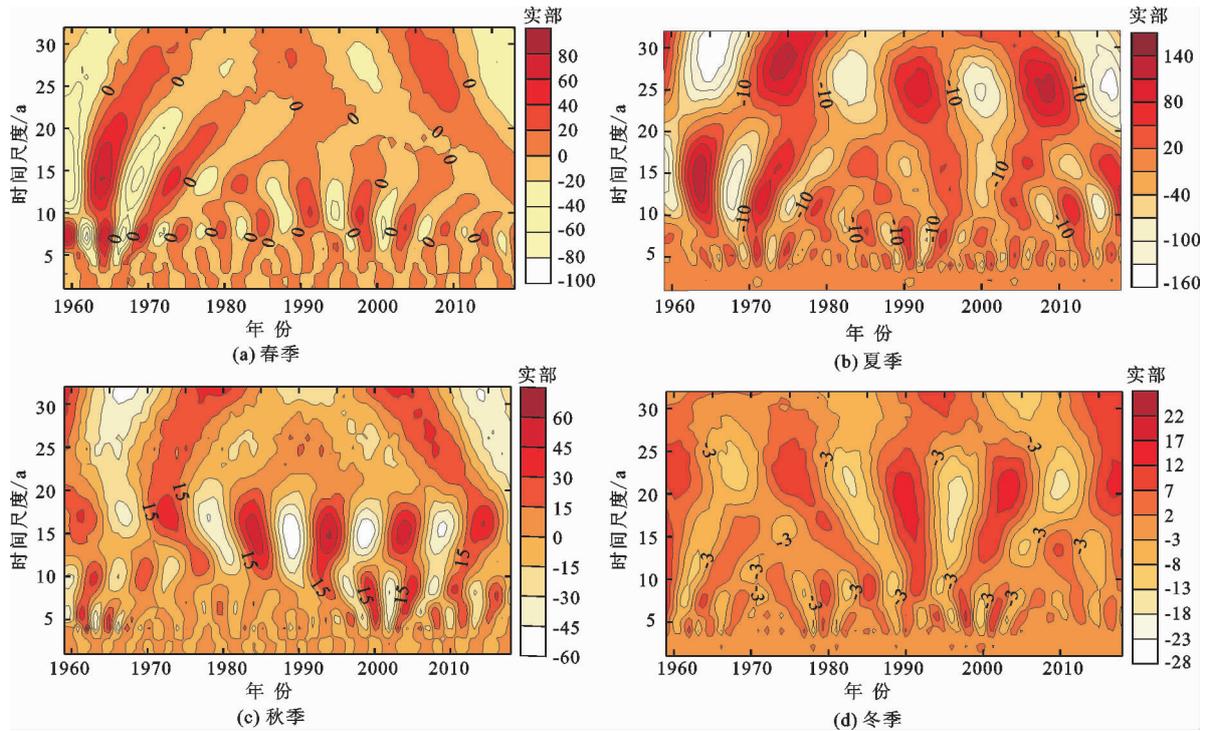


图 8 1959 - 2018 年山东省春、夏、秋、冬季降水量序列的实部时频分布

### 5 结 论

(1)1959 - 2018 年山东省年均降水量地区差异大,总体呈现从鲁东南向鲁西北递减的梯度变化趋势,而降水量线性倾向率变化则呈现西增东减的相反变化趋势,东部及南部降水量减少速度较西部与北部快。多年平均年降水量以 1.67 mm/a 的速率下降,以 1974 和 1990 年为两个时间节点,1959 - 2018 年降水量经历了“丰 - 枯 - 丰”的周期变化,其中,1970 年以前降水量较多。M - K 检验结果显示,近 60 年来山东省多年平均年降水量突变发生在 1970 年代初,前 20 年降水下降趋势显著,后 40 年降水变化总体平稳。其中夏季降水变化特征与年降水变化特征一致,秋季降水以 0.63 mm/a 的速度减

少,而春冬季降水变化趋势不显著。

(2)1959 - 2018 年山东省旱灾、涝灾发生频率较高。从年际尺度看,重大涝灾平均每 10 a 发生一次,重大旱灾平均每 7 ~ 8 a 发生一次;从季节尺度看,涝灾主要发生在 6 - 9 月份,春旱以及晚秋干旱比较严重。从空间上看,鲁西、鲁南地区是洪灾频发区,而旱灾在全省均有分布,鲁中和半岛地区是重旱灾害频发区。

(3)在洪旱演变规律方面,小波分析结果显示近 60 年来山东省多年平均年降水量序列存在 27、16 和 5 a 左右的周期,其中 27 a 时间尺度的周期振荡最强,在此时间尺度下,山东省经历了“丰 - 枯 - 丰”的周期变化;1960 年代、1990 年前后和 2000 年代洪旱灾害频繁。四季周期变化不同,夏季降水量

的周期变化与全年降水量的周期变化最相近。

### 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] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis summary for policymakers [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [3] 秦大河, STOCKER T. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 1-6.
- [4] 葛全胜, 郑景云, 郝志新, 等. 过去 2000 年中国气候变化研究的新进展[J]. 地理学报, 2014, 69(9): 1248-1258.
- [5] 黄平, 周士杰. 全球变暖下热带降水变化研究回顾与挑战[J]. 地球科学进展, 2018, 33(11): 1181-1192.
- [6] 战云健. 近百年亚洲降水变化特征及其不确定性分析[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2018.
- [7] 吴凯, 王晓琳, 许怡, 等. 中国大陆降水时空格局演变新事实[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(3): 30-36.
- [8] 郑景云, 郑斯中. 山东历史时期冷暖旱涝状况分析[J]. 地理学报, 1993, 48(4): 348-357.
- [9] 山东省水利厅水旱灾害编委会. 山东水旱灾害[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996.
- [10] 燕玉超, 张福平, 刘筱, 等. 山东省近 54 年的气候变化特征及早涝灾害响应分析[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(5): 245-252.
- [11] 刘健, 夏军, 王明森, 等. 1961-2015 年山东省降水周期变化特征[J]. 人民黄河, 2017, 39(4): 6-10.
- [12] 徐泽华, 韩美, 张广彩, 等. 山东降水时空分布变化及其影响因素[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 272-278.
- [13] 杨传国, 陈喜, 张润润, 等. 淮河流域近 500 年洪旱事件演变特征分析[J]. 水科学进展, 2014, 25(4): 503-510.
- [14] 何庆龙, 周维博, 夏伟, 等. 延安市近 60 年降水时空特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(1): 31-37.
- [15] 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.
- [16] BI Shuoben, BI Shengjie, LU Ying, et al. Temporal and spatial characteristics of droughts and floods in northern China from 1644 to 1911 [J]. Journal of Earth System Science, 2019, 128(4): 98.
- [17] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.
- [18] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟, 等. 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.
- [19] 王文圣, 丁晶, 李跃清. 水文小波分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [14] 陈崇希, 万军伟. 地下水水平井流的模型及数值模拟方法——考虑井管内不同流态[J]. 地球科学, 2002, 27(2): 135-140.
- [15] WANG Wei, ZHANG Ge. Numerical simulation of groundwater flowing to horizontal seepage wells under a river [J]. Hydrogeology Journal, 2007, 15(6): 1211-1220.
- [16] XU Jialu, CHEN Xiaomeng, GUO Qian. Analysis of water-taking effect of radial collector well in the Yellow River valley [J]. International Journal of Environmental Sciences, 2013.
- [17] 郑羽良, 王基渊, 潘治霖. 神木县合河水源地渗流井取水效果对比分析[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(1): 109-111.
- [18] 徐嘉璐, 陈泉萌, 郭倩, 等. 神木县刘家湾水源地不同取水方式对比分析[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(3): 14-17.
- [19] CHEN Jing. A contrastive analysis of different exploiting plans concerning Xiaohuiping water source regions [J]. American Association for Science and Technology, 2014, 1(2).
- [20] 潘治霖. 辐射井取水物理模拟实验研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.

(上接第 59 页)