

1951 年—2014 年重庆市主城区 降水变化特征分析

——以沙坪坝区为例^①

张晓惠¹, 谢世友^{1,2}, 任伟¹

1. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715

摘要: 利用重庆市沙坪坝区 1951 年—2014 年的月降水资料, 采用线性回归法、Mann-Kendall 突变检验、Morlet 小波分析等方法对重庆市主城区降水的年度及季节变化趋势、突变及周期特征进行研究, 研究表明: 近 64 年来重庆市主城区年降水以及春、夏、冬季降水均呈不显著的增加趋势, 秋季降水趋于减少; 突变检验发现, 年降水不存在突变, 春季降水在 1952 年和 1966 年发生了突变, 夏、冬季降水突变分别发生在 1972 年、1956 年, 秋季降水突变发生在 1956 年和 1992 年, 此外, 年降水量存在 22~24 a、4~5 a 的周期变化, 春季降水变化周期为准 23 a、4~5 a, 夏季为 16~18 a, 秋季为准 18 a, 冬季降水则以 12~14 a、4~6 a 的周期变化为主。未来除秋季降水偏多外, 重庆市主城区降水进入相对少雨期。

关键词: Morlet 小波分析; 突变检验; 降水; 重庆

中图分类号: P467

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)04-0104-06

降水是区域气候特征最直接的反映, 对水资源、生态系统状况和社会经济发展等有着重要影响, 同时降水在时间变化上的不稳定性也是引起洪涝、旱灾的直接原因。为掌握降水的变化规律, 国内学者对此进行了深入的研究^[1-8]。重庆市地处长江、嘉陵江两江交汇处, 洪涝灾害频发。针对重庆地区的降水, 周浩^[9]对重庆市年降水量的线性趋势和周期变化进行了分析; 刘毅等^[10]研究了重庆市夏秋季降水的多时间尺度特征; 简虹等^[11]对重庆年降水和汛期降水进行了小波分析。这些研究, 主要针对年降水时间序列进行分析, 对季节降水研究较少, 且存在选取时间序列短、没有指出周期特征及趋势预测等问题。本文选取 1951 年—2014 年重庆市沙坪坝区的月降水数据, 分析重庆市主城区年降水及四季降水的变化特征, 并对未来短期内降水趋势进行了预测。

1 研究区概况

沙坪坝区位于四川盆地东部、重庆市主城区西部, 东滨嘉陵江, 西抵缙云山, 辖区面积 396.2 km², 为重庆主城核心区; 气候为中亚热带季风性湿润气候, 温和多雨; 地貌以低山丘陵为主, 属川东平行岭谷区的一部分。气象观测场地理坐标 106°28' E, 29°35' N, 海拔高度 251.9 m, 该观测站自 1951 年建站以来从未经历搬迁, 数据记录连续齐全, 无缺失。

^① 收稿日期: 2015-01-30

基金项目: 国家科技支撑计划(2011BAC09B01, 2006BAC01A16); 重庆市自然科学基金重点项目(CSTC2009BA0002); 中央高校基本业务费专项资金(XDJK2015C006, SWU114058)。

作者简介: 张晓惠(1989-), 女, 河南平顶山人, 硕士研究生, 主要从事地貌环境与应用地理方向的研究。

通信作者: 谢世友, 教授, 博士研究生导师。

2 资料与方法

2.1 资料来源与预处理

本文选取沙坪坝国家基本气象站 1951 年—2014 年的月降水观测资料(数据来源于国家气象数据共享网 <http://cdc.cma.gov.cn/index.jsp>),通过 Excel 软件统计得到逐季、逐年的降水数据及相应的距平值。季节划分标准为:春季(3 月—5 月)、夏季(6 月—8 月)、秋季(9 月—11 月)、冬季(12 月—次年 2 月)。

2.2 研究方法

采用线性回归法对降水序列进行线性拟合,计算相应的气候倾向率,进行趋势分析;然后采用 Mann-Kendall 检验法对气象要素进行突变检验,判断突变年份;再运用 Morlet 小波分析提取降水序列的周期。

2.2.1 线性回归法

用 y 表示降水序列, x 表示时间序列,建立 y 与 x 之间的一元线性回归模型:

$$y = bx + a$$

式中 b 为线性趋势; $10b$ 为要素每 10 a 的降水倾向率,用于定量分析降水的线性趋势。

2.2.2 突变检验

气候突变是指气候从一种稳定态(或稳定持续的变化趋势)跳跃式地转变到另一种稳定态(或未定持续的变化趋势)的现象,它表现为气候在时空上从一个统计特性到另一个统计特性的急剧变化^[12]。对于气候突变的检验方法及原理,魏凤英^[13]做过详细说明。本文选用 Mann-Kendall 突变检验,其优点是不需要样本服从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,监测范围宽,定量化程度高。

2.2.3 小波变换

小波变换是在 20 世纪 80 年代中后期逐渐发展起来的一种数学分析方法,被认为是傅里叶分析方法的突破性进展^[14]。小波变换结果不仅可以显示气候序列变化的尺度,还可以显示变化的时间位置,对气候预测十分有用。本文采用 MATLAB 小波分析工具箱中的 Morlet 小波对降水序列进行连续小波变换。

3 结果分析

3.1 降水变化趋势分析

3.1.1 降水的年际变化

由图 1 可知,64 年间重庆市主城区年降水量变化范围在 738~1 508 mm 之间,年平均降水量为 1 087 mm,气候倾向率为 0.53 mm/a,降水量整体上略有增加,不同于四川盆地年降水减少的趋势^[15]。春、冬季降水气候倾向率分别为 0.20 mm/a、0.12 mm/a,无明显的变化趋势;夏季降水的气候倾向率为 0.87 mm/a,高于年降水的增加强度;而秋季降水趋于减少,为-0.68 mm/a,与全国秋季降水变化趋势相一致^[16-17]。

3.1.2 降水的年代际变化

由表 1 可知,重庆市主城区降水的年代际特征主要体现在 20 世纪 80 年代之前的春、夏两季降水上。春季降水经历了五六十年代的少雨期,七十年代的多雨期,八十年代的少雨期,之后降水持续偏多;夏季降水五六十年代偏少,之后持续偏丰,2000 年—2009 年间达到最多;秋季降水在 1951 年—1999 年间一直较正常年份偏多,但整体上趋于减少,尤其是 21 世纪最初的十年呈现出较强的减少趋势;冬季降水自 20 世纪 90 年代以来一直偏少,但整体上波动不大。进入 2010 年—2014 年,年降水和春、夏、冬季降水都进入少雨期(图 1)。

表 1 重庆市年、季降水量距平的年代际变化 mm

季节	年 代						
	1951 年— 1959 年	1960 年— 1969 年	1970 年— 1979 年	1980 年— 1989 年	1990 年— 1999 年	2000 年— 2009 年	2010 年— 2014 年
春	-0.23	0.23	-0.21	-0.39	-0.14	0.54	0.48
夏	-0.22	-0.01	0.25	-0.52	-0.06	0.08	1.13
秋	-0.17	-0.11	-0.18	-0.35	0.15	0.49	0.37
冬	-0.13	-0.24	0.03	-0.24	0.10	0.41	0.11
年	-0.18	-0.03	-0.03	-0.37	0.01	0.38	0.52

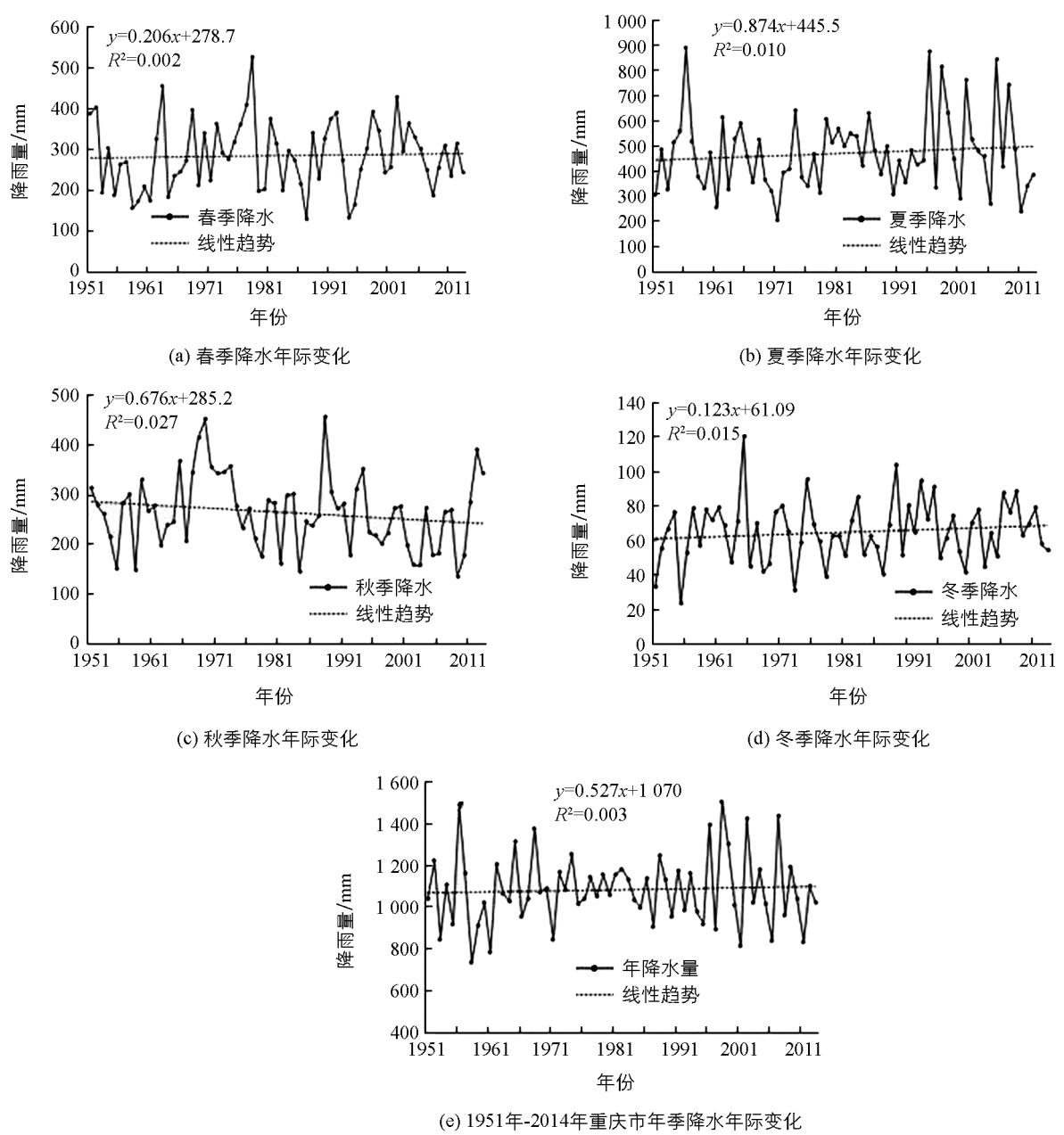


图 1 重庆市主城区年降水及四季降水的年际变化图

3.2 降水突变检验

M-K 突变分析发现, 在 0.05 显著水平下, 除年降水外, 四季降水均存在突变. 春季降水第一次突变发生在 1952 年, 是降水减少的趋势, 第二次突变发生在 1966 年, 突变后降水增加; 夏季降水突变在 1972 年, 降水增多; 秋季降水 1956 年发生突变, 降水增加趋势显著, 1992 年发生降水减少的突变; 冬季降水在 1956 年经历一次突变, 出现短暂的降水增加, 1961 年后降水无明显增减趋势(图 2).

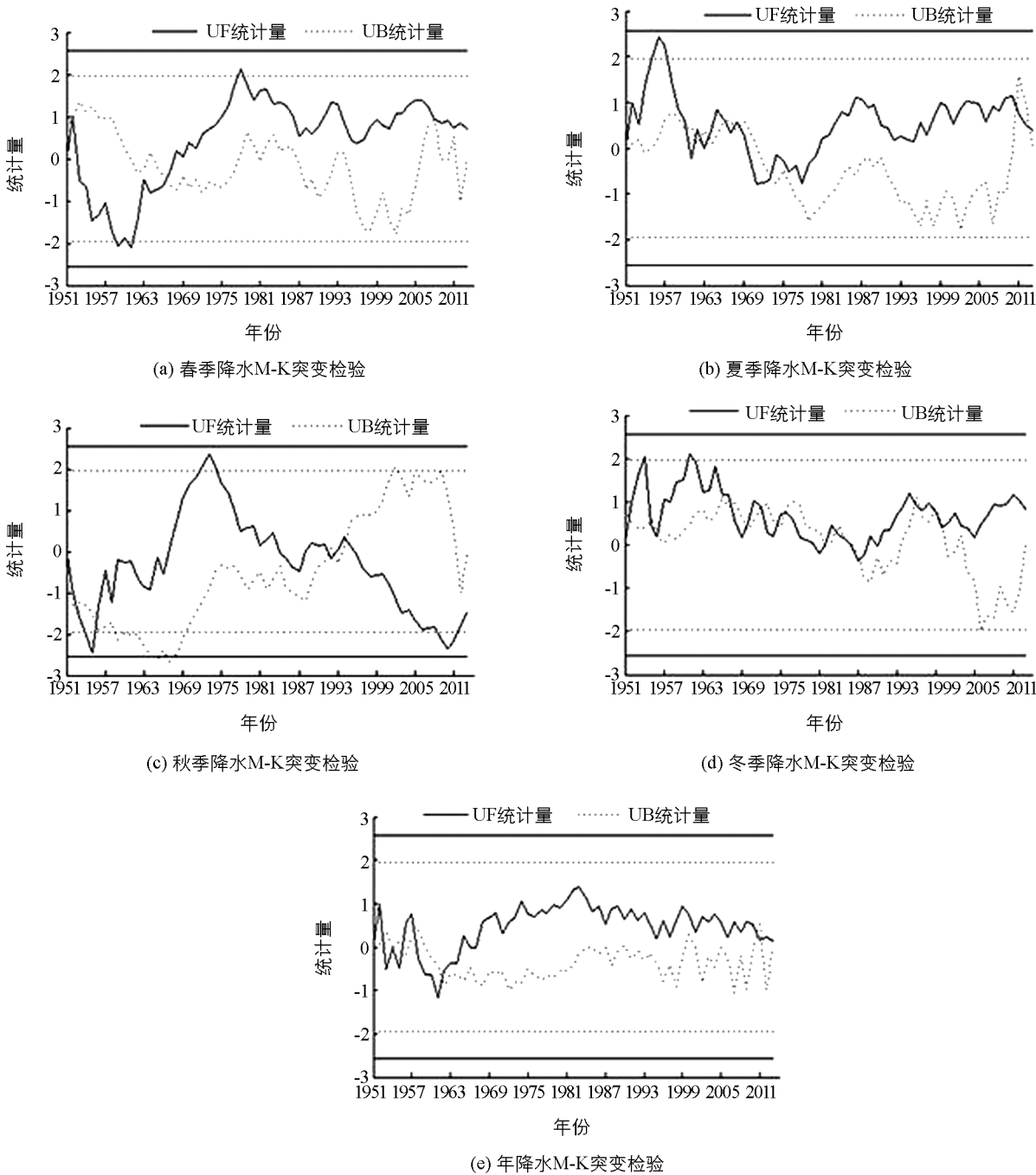
3.3 降水变化周期分析

降水距平的小波分析图中(图 3), 正值代表降水偏多, 负值代表降水偏少, 等值线的闭合中心对应降水丰欠中心. 图中形成的多个尺度正负相间的振荡中心, 显示重庆市降水在近 64 年存在多个不同尺度的周期变化.

图 3(e)显示, 重庆市主城区年降水在年代际尺度(10 年以上)上存在明显的 22~24 a 周期信号, 经历少—多—少—多—少的交替循环, 而且直到 2014 年等值线也未闭合, 说明未来年降水将持续偏少; 1986 年以前存在 11~13 a 的周期, 之后消失, 出现了 6~8 a 的周期信号, 同时还存在 4~5 a 的周期.

图 3(a)显示, 重庆市主城区春季降水存在准 23 a、9~11 a、4~5 a 的周期, 其中第一主周期经历少—

多—少—多 4 个明显的交替循环,并在 1975 年达到多雨的最强信号。



实直线表示 0.001 显著水平,虚直线表示 0.05 显著水平。

图 2 1951 年—2014 年重庆市主城区降水 M-K 突变检验

图 3(b)显示,重庆市主城区夏季降水一直存在 16~18 a 的周期,降水经历多—少—多—少的交替,其中降水最多时段为 1996 年—2008 年,此外还存在 8~10 a 的周期,1976 年之后消失,1995 年重新出现。未来一段时间夏季降水将偏少。

图 3(c)显示,重庆市主城区秋季降水存在准 18 a 的周期,经历少—多—少—多—少的交替,其中最强信号出现在 1986 年—1997 年间,此外在 2009 年又呈现新的多雨信号,且未来一段时间秋季降水仍将偏多。年际尺度上,1984 年之后出现准 5 a 的周期信号。

图 3(d)显示,重庆市主城区冬季降水存在的 22~24 a 的周期信号在 1984 年之后消失,12~14 a 的周期信号一直存在,并经历降水少—多—少—多—少—多的交替变化,此外,还存在 5~6 a 的年际尺度上的

周期振荡. 未来短期内冬季降水将经历相对少雨期.

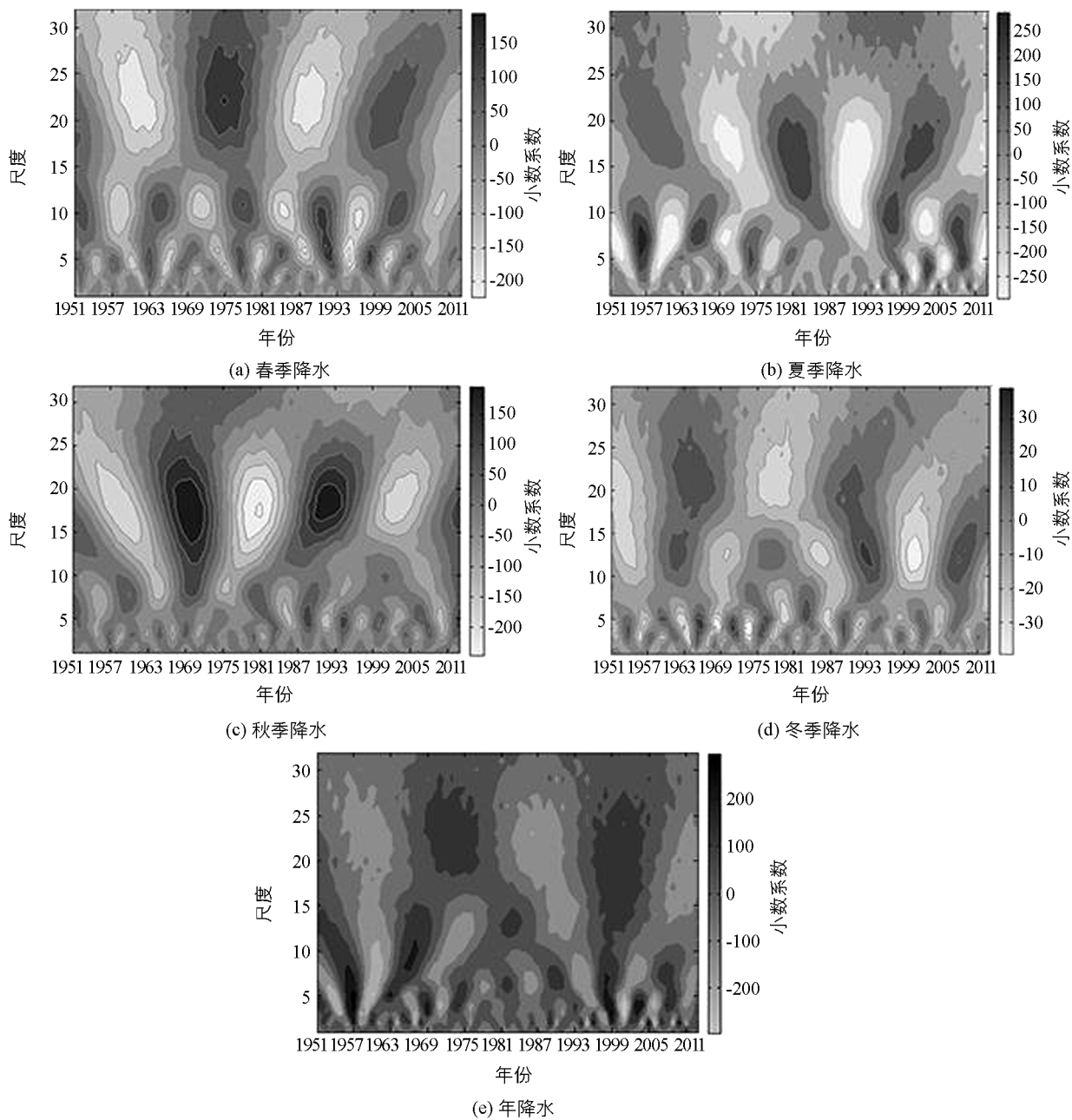


图 3 1951 年—2014 年重庆市主城区四季及年降水距平小波分析图

4 结论与讨论

- 1) 除秋季降水减少外, 重庆市主城区年降水量以及春、夏、冬季降水均呈微弱的增加趋势, 气候倾向率分别为 0.53 mm/a , 0.20 mm/a , 0.87 mm/a , 0.12 mm/a .
- 2) 在 0.05 显著性水平下, 年降水不存在突变, 春季降水突变在 1952 年和 1966 年, 夏季降水突变在 1972 年, 秋季降水突变在 1956 年和 1992 年, 冬季降水突变在 1956 年.
- 3) 重庆市城区降水具有显著的周期特征. 年降水存在 $22\sim24\text{ a}$ 、 $4\sim5\text{ a}$ 的周期, 春季降水周期为准 23 a 、 $9\sim11\text{ a}$ 、 $4\sim5\text{ a}$, 夏季降水存在 $16\sim18\text{ a}$ 周期, 秋季降水存在准 18 a 的强显著周期. 冬季降水存在 $12\sim14\text{ a}$ 、 $4\sim5\text{ a}$ 的周期.
- 4) 未来一段时间, 除秋季降水偏丰外, 重庆市主城区春、夏、冬季降水和年降水将偏少.

参考文献:

- [1] 贺伟, 布仁仓, 熊在平, 等. 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势 [J]. 生态学报, 2013, 33(2): 0519—0531.
- [2] 邵晓梅, 许月卿, 严昌荣. 黄河流域降水序列变化的小波分析 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2006, 42(4): 503—509.
- [3] 许月卿, 李双成, 蔡运龙. 基于小波分析的河北平原降水变化规律研究 [J]. 中国科学 D 辑(地球科学), 2004, 34(12): 1176—1183.
- [4] 姜晓艳, 刘树华, 马明敏, 等. 东北地区近百年降水时间序列变化规律的小波分析 [J]. 地理研究, 2009, 28(2): 354—362.
- [5] 邱海军, 曹明明, 曾彬. 基于小波分析的西安降水时间序列的变化特征 [J]. 中国农业气象, 2011, 32(1): 23—27.
- [6] 牛存稳, 张利平, 夏军. 华北地区降水量的小波分析 [J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 66—70.
- [7] 陈忠, 陈华芳, 王建力, 等. 重庆市降水量的时空变化 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2003, 28(4): 644—649.
- [8] 张天宇, 程炳岩, 李永华, 等. 重庆主城区近百余年来降水的变化特征 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2011, 36(6): 99—104.
- [9] 周浩, 杨宝钢, 程炳岩. 重庆近 46 年气候变化特征分析 [J]. 中国农业气象, 2008, 29(1): 23—27.
- [10] 刘毅, 杜小玲. 重庆夏、秋季降水异常的多时间尺度特征 [J]. 贵州气象, 2003(5): 15—18.
- [11] 简虹, 骆云中, 谢德体. 基于 Mann-Kendall 法和小波分析的降水变化特征研究——以重庆市沙坪坝区为例 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2011, 36(4): 217—222.
- [12] 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.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 1999: 69—70.
- [14] 孙然好, 潘保田, 牛最荣, 等. 河西走廊近 50 年来地表水资源时间序列的小波分析 [J]. 干旱区地理, 2005, 28(4): 455—459.
- [15] 马振锋, 彭骏, 高文良, 等. 近 40 年西南地区的气候变化事实 [J]. 高原气象, 2006, 25(4): 633—642.
- [16] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬, 等. 近四十年我国气候变化的初步分析 [J]. 应用气象学报, 1991, 2(2): 164—174.
- [17] 翟盘茂, 任福民, 张强. 中国降水极值变化趋势检测 [J]. 气象学报, 1999, 57(2): 208—216.

The Characteristics of Variation in Precipitation in Chongqing Urban Area from 1951 to 2013 ——A Case Study of Shapingba District

ZHANG Xiao-hui¹, XIE Shi-you^{1,2}, REN Wei¹

1. School of Geography Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Key Laboratory of the Three-Gorges Reservoir Region's Eco-Environment of the
Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Based on the monthly precipitation data from 1951 to 2013 observed at Chongqing Shapingba National Meteorological Station, the annual, seasonal and inter-annual variations of precipitation, and their trends, abrupt changes and periodic oscillations were analyzed with the methods of linear regression method, Mann-Kendall test and Morlet wavelet analysis. The results indicated that the annual, spring, summer, and winter precipitation in Chongqing urban area showed a weak increasing trend during the past 63 years while autumn precipitation was in a decreasing trend. According to the Mann-Kendall analysis, annual precipitation had no obvious sudden change. Abrupt changes of precipitation in spring appeared in 1952 and 1966, while that for autumn precipitation in 1956 and 1992. Summer and winter precipitation occurred once each, in 1972 and 1956, respectively. In the wavelet analysis, periodic oscillations were observed. The annual precipitation mainly fluctuated with the interval of 22—24 a and 4—5 a, while spring precipitation with 23a and 4—5 a, summer precipitation with 16—18 a, autumn precipitation with 18 a, and winter rainfall with 12—14 a and 4—6 a, suggesting that the precipitation in Chongqing urban area will be less in the next period according to the decadal feature and periodic signals.

Key words: Morlet wavelet analysis; abrupt change test; precipitation; Chongqing

