

# 1961—2014年重庆市降水量的时空变化特征\*

段祥佩<sup>1</sup>, 魏兴萍<sup>1</sup>, 刘 迅<sup>2</sup>

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 401331; 2. 重庆南开中学 国际课程中心高 2021 级, 重庆 400030)

**摘要:**【目的】深入了解重庆市降水量的时空分布格局。【方法】运用 GIS 中 Kriging 空间插值法、气候倾向率、累积距平法、Mann-Kendall 突变检验、Morlet 小波分析等方法, 研究重庆市 34 个气象站点 1961—2014 年的日降水量的时空变化特征。【结果】重庆市年降水量在 862.11~1 436.55 mm 之间, 气候倾向率为  $-3.043 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。季节降水量分布与年均降水量的趋势一致; 秋季降水量下降速率最大, 下降速率为  $-1.566 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。1961—2014 年重庆市年降水量出现准 5 a 的周期变化, 20 世纪 70 年代为年降水量最多的年代, 1984—1986 年出现了年降水量由多到少的突变。年平均降水量和季节平均降水量呈现武陵山东侧较多, 盆地地区较少的特征。不同强度降水量时空特征为: 年中雨量占全年降水量比重最大, 总量约为 297.00~437.77 mm, 下降的速率也最大, 为  $-1.439 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 年中雨量较大值出现武陵山东侧; 年暴雨量较少, 总量较高值出现在盆地东北部地区。【结论】1961—2014 年重庆市年降水量出现明显下降的趋势, 各季节降水量下降趋势存在差异; 降水量呈现中部少, 南北部多的空间分布格局。

**关键词:** 降水量; 突变检验; 小波分析; PMFT; 重庆市

**中图分类号:** P467

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-6693(2018)06-0040-09

中国国土辽阔, 各地区受季风环流、自然地理环境与人类活动的影响, 气候变化具有区域差异性。气候变化影响最为敏感的气象要素是气温和降水<sup>[1-2]</sup>。其中, 降水不仅是重要的气象要素, 还是重要的水文要素。降水量的变化对全球变暖具有加剧作用, 并且降水量的变化尤其是极端天气的出现会导致滑坡、泥石流等自然灾害的发生。降水量的时空分布差异影响着全球及各国的社会和经济的发展。通过对降水量时空变化趋势的分析, 对预测未来降水量的变化也具有重要意义。邓智成<sup>[3]</sup>通过研究合肥市降水量时空特征, 得出年降水量呈现上升趋势, 四季降水分布不均, 降水量空间分布基本呈现由北向南逐渐递增的趋势。刘政鸿<sup>[4]</sup>研究得出陕西省年降水量时间上存在“增加—减少—增加”波段形态变化, 空间上呈现北少南多分布格局。张琪<sup>[5]</sup>等人研究得出, 西南地区降水量呈现弱减少趋势, 降水量分布整体呈现“东多西少”的分布形态, 降水量高值区位于四川盆地的雅安地区和滇西南区。唐亦汉等人<sup>[6]</sup>研究表明珠江流域西部年降雨有减少趋势, 流域大部分的降雨日数则有增加趋势, 降雨具有季度、月份集中性。

由于重庆特殊的地形条件和地理位置, 因而当地天气系统具有经向和纬向过渡性的特点<sup>[7]</sup>。加之重庆特有的山地丘陵地形使之具有明显的局域性特征和特定的区域气候代表性, 因此, 研究重庆地区的降水量时空变化具有重大的实际意义。周浩等人<sup>[8]</sup>研究表明重庆市年降水量与年均气温变化趋势均不明显, 降水和气温在各年代的变化特征存在较好的对应关系。孙宇辉等人<sup>[9]</sup>研究表明时间上重庆市年均气温波动上升、年降水量波动下降、湿润指数略有下降, 空间上降水量和湿润指数有东南到西北趋于干旱的趋势, 气温呈现由西南到东北升高。这些研究重点在于对年均气温与降水量的相互关系的研究, 并没有在年、季节及不同强度的降水量方面进行深入的研究。因此, 本研究对 1961—2014 年重庆市年降水量、季节降水量和不同强度降水量做出趋势分析、突变检验和周期分析, 基于 Kriging 空间插值等方法, 分析重庆市降水量的空间分布与时间变化特征, 为研究局域降水量变化提供理论支撑。并且, 通过对重庆市降水量时空特征的进一步认识, 也可为当地防灾减灾、农业生产、生态环境保护等研究与实践提供理论依据。

\* 收稿日期: 2017-01-04 修回日期: 2018-09-30 网络出版时间: 2018-10-25 10:42

资助项目: 国家自然科学基金青年项目(No. 41202135); 重庆市科学技术委员会基础与前沿研究计划项目(No. cstc2016jcyjA0150)

第一作者简介: 段祥佩, 女, 研究方向为水土保持与生态建设, E-mail: jzxydxp@163.com; 通信作者: 魏兴萍, 女, 教授, 博士, E-mail: xingpingwei@126.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20181025.1042.028.html>

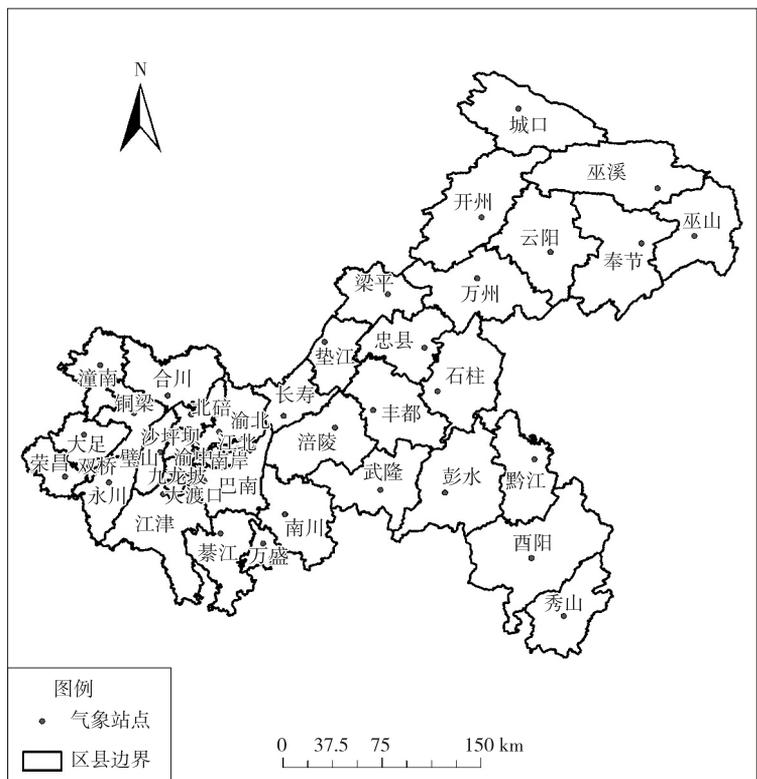
### 1 研究区概况

重庆市位于东经 105°11′~110°11′、北纬 28°10′~32°13′<sup>[10]</sup>,辖区南北宽 450 km,东西长 470 km,幅员面积约 82 402.95 km<sup>2</sup>。重庆市地处长江上游地区的四川盆地东南部,四周环山,地跨长江中下游平原与青藏高原之间的过渡地带。地势起伏较大,地貌复杂多变,西北部和中部以低山与丘陵为主,东北部和东南部连接大巴山脉和武陵山脉<sup>[10]</sup>。大巴山脉呈现西北—东南走向,海拔最高达到 2 000 m,武陵山脉呈东北—西南走向,海拔一般在 1 000 m 以上。地势自南向北顺延长江河谷逐级降低。重庆市纬度较低,受亚热带季风及地形等影响,属于亚热带季风性湿润气候<sup>[11]</sup>。主要气候特点可以概括归纳为:冬暖春早,夏热秋凉;空气湿润,降水充沛;太阳辐射弱,日照时间短;多云雾,少霜雪;光温水同季,立体气候明显<sup>[11]</sup>。

### 2 资料与方法

#### 2.1 资料及数据处理

本研究的数据来源于重庆市气象部门提供的 1961—2014 年重庆市 34 个气象站点(图 1)的日降水量数据。本研究选取的各气象站点建站时间普遍较长,站点分布较为均匀,因此各站点的数据具有代表性、完整性和准确性。对于某些站点出现的个别缺测数据则进行插值处理,主要是通过邻近站点多元线性回归进行插补。当然,各站点所测数据因受仪器变动、站点迁移、观测手段的变化等人为因素的干扰,也会导致气候序列产生不均一的现象。为此,本研究采用 RHtest 软件包并运用 PMFT 方法(惩罚最大 F 检验方法)<sup>[12-13]</sup>对气候要素逐日降水量进行了均一性检验和订正,之后将订正好逐日气象数据进行统计,得出季节和年平均气象数据。本研究中季节的划分方法为:春季为 3—5 月,夏季为 6—8 月,秋季为 9—11 月,冬季为 12 月—翌年 2 月。对不同强度降水进行划分,其中日降水量小于 10 mm 为小雨,日降水量 10.0~24.9 mm 为中雨,日降水量 25.0~49.9 mm 的为大雨,日降水量 50.0~99.9 mm 的为暴雨,日降水量 100.0~250.0 mm 为大暴雨,超过 250.0 mm 的称为特大暴雨。重庆市历史上有过大暴雨、特大暴雨的情况,但由于 1961—2014 年间只有个别年份出现过这类情况,不能对比分析,故本研究将这两种强度的降水均计入暴雨。



注:底图来源于重庆测绘信息地理网“重庆市地图”,审图号:渝 S(2015)022 号

图 1 重庆市气象站点分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in Chongqing

#### 2.2 研究方法

运用气候倾向率、突变检验与小波分析研究 1961—2014 年重庆市降水量的时间变化特征,采用 Kriging 空间插值法分析上述时期重庆市降水量的空间变化特征。按 Kriging 插值法,对重庆市 34 个气象站点测得的降水量年平均值和各季节平均值进行内插,得到降水量的空间分布图。根据结果分析的需要,本研究把重庆市分为渝东北、渝中部、渝东南与渝西南共 4 个部分。渝东北包括城口、巫溪、巫山、开州、云阳、奉节、万州等区县;渝中部包括梁平、忠县、石柱、垫江、丰都、长寿、涪陵、武隆等区县。渝东南包括彭水、黔江、酉阳和秀山共 4 个区县;渝西南包括重庆主城区和主城区周边的区县。

2.2.1 气候倾向率 对降水量按照时间序列进行线性趋势估计,建立一元线性回归方程: $y = bx + c$ 。式中: $y$  为降水量; $b$  为降水量变化趋势; $x$  为时间; $c$  为常数。当  $b > 0$  时,表示降水量呈增加趋势; $b < 0$  时,表示降水量呈下

降趋势<sup>[14-15]</sup>。

2.2.2 累积距平分析 累积距平也是一种常用的、由曲线直观判断变化趋势的方法。对于气象序列  $p$ , 它的某一时刻  $t$  的累积距平表示为:  $\hat{X} = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}), t=1, 2, \dots, n$ 。其中  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 。将  $n$  个时刻的累积距平值全部算出, 即可绘出累积距平曲线趋势分析<sup>[14]</sup>。

2.2.3 Mann-Kendall 法 Mann-Kendall 法<sup>[14]</sup>是一种非参数统计检验方法。对于具有  $n$  个样本量的时间序列  $x$ , 构造一秩序列:  $s_k = \sum_{i=1}^k r_i, k=2, 3, \dots, n$ 。其中  $r_i = \begin{cases} +1, & \text{当 } x_i > x_j \\ 0, & \text{当 } x_i \leq x_j \end{cases}, j=2, 3, \dots, i$ 。可见, 秩序列  $s_k$  是第  $i$  时刻数值大于第  $j$  时刻数值个数的累计数。

在时间序列随机独立的假定下, 定义统计量  $U_{F_k} = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{\text{var}(s_k)}}, k=1, 2, \dots, n$ 。其中  $U_{F_1} = 1, E(s_k), \text{var}(s_k)$  是累积数  $s_k$  的均值和方差, 在  $x_1, x_2, \dots, x_n$  相互独立, 且有相同连续分布时, 它们可由  $E(s_k) = \frac{k(k-1)}{4}, \text{var}(s_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72}, k=2, 3, \dots, n$  算出。  $U_{F_i}$  为标准正态分布, 它是按时间序列  $x$  的顺序  $x_1, x_2, \dots, x_n$  计算出的统计量序列, 给定统计学意义水平  $\alpha$ , 查正态分布表, 若  $|U_{F_i}| > U_\alpha$ , 则表明气候序列呈具有统计学意义的变化趋势。按时间序列逆序  $x_n, x_{n-1}, \dots, x_1$ , 再重复上述过程, 同时使  $U_{B_k} = -U_{F_k}, k=n, n-1, \dots, 0$ 。如果  $U_F$  和  $U_B$  两条曲线出现交点, 且交点位于置信区间内, 那么交点对应的时刻即是突变开始的时刻。这一方法的优点在于不仅计算简便, 而且可以明确突变开始的时间, 并指出突变区域。因此, 是一种常用的突变检测方法。

2.2.4 小波分析 小波分析来源于经典傅里叶分析的本质是将任意一个关于时间  $t$  模糊不清的信号, 通过频域分析便可以清晰明了地描述信号的频率特性。小波变换定义为:

$$W_f(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \bar{\Psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = \langle f(t), \Psi_{a,b}(t) \rangle。$$

式中,  $W_f(a, b)$  是小波系数,  $a$  是伸缩因子, 决定小波宽度;  $b$  是平移因子, 是反映小波位置移动的参数,  $\Psi$  叫基本小波或母小波。小波方差为<sup>[14]</sup>:  $\text{var}(a) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_f(a, b)|^2 db$ 。在一定的时间尺度下, 小波方差能反映时间序列中所包含的各种时间尺度(周期)及强弱(能量大小)随尺度的变化过程的变化特性, 对应峰值处的尺度即为该序列的主要时间尺度, 即主要周期<sup>[16-18]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 降水量时间变化

3.1.1 年降水量和季节降水量的年际变化 由图 2 可知, 1961—2014 年重庆市年降水量呈现下降趋势。重庆市年降水量倾向率为  $-3.043 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , 所呈现的变化趋势与全国年降水量波动减少的趋势相同<sup>[19]</sup>。1961—2014 年重庆市年降水量在  $862.11 \sim 1436.55 \text{ mm}$  之间, 极大值为 1998 年的  $1436.55 \text{ mm}$ , 极小值为 2001 年的  $862.11 \text{ mm}$ , 极差值为  $574.44 \text{ mm}$ , 极值比为 1.66。从图 2 中还可以看到: 少雨年出现在 1961, 1966, 1990, 1997, 2001 和 2006 年; 多雨年为 1967, 1968, 1974, 1982, 1998 与 2014 年; 其他年份降水量较稳定。

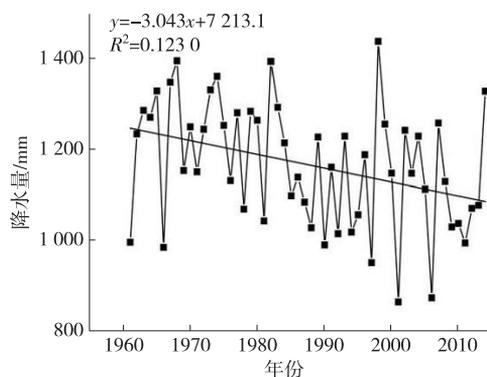


图 2 重庆市年降水量变化

图 3 显示 1961—2014 年重庆市降水量主要集中于夏季, 在  $242.15 \sim 793.46 \text{ mm}$  之间, 约占全年降水总量的  $40\% \sim 50\%$ 。1961—2014 年重庆市夏季降水量呈减少趋势, 倾向率为  $-0.286 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  (图 3b); 春季、秋季与冬季的降水量均表现为减少的趋势, 秋季降水减少幅度最大, 为  $-1.566 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。春季降水量减少幅度为

Fig.2 Variation of the annual precipitation in Chongqing

$-0.831 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , 冬季降水为  $-0.320 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  (图 3a, c, d)。总体来看,重庆市季节降水量均出现下降趋势,这与西南地区降水量变化趋势一致<sup>[5]</sup>。

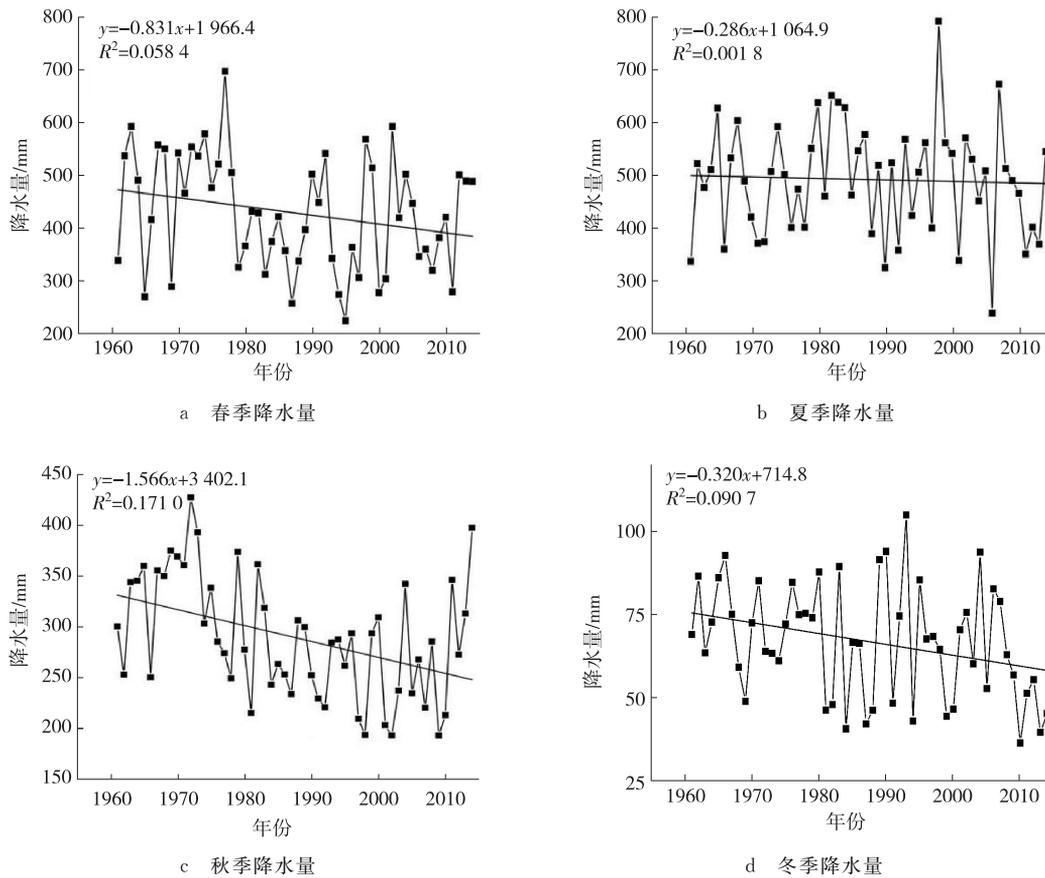


图 3 重庆市季节降水量变化

Fig. 3 Variation of the seasonal precipitation in Chongqing

3.1.2 年降水量和季节降水量的年代际变化 表 1 显示,1961—2014 年重庆市降水量的年代际变化呈明显减少的趋势。2000—2009 年和 2010—2014 年为重庆市降水量偏少的两个时间阶段,与多年平均值分别相差  $-61.82$ ,  $-63.43 \text{ mm}$ ;1970—1979 年重庆市降水量较为丰沛。表 1 还显示 1961—2014 年重庆市季节降水量的年代际变化也呈明显减少趋势,其中夏季和秋季的降水量减少趋势尤为明显,而且夏季降水量在各个时间阶段均为减少趋势。

表 1 重庆市年、季节降水量距平年代际变化

Tab. 1 The decade change of annual, seasonal precipitation anomaly in Chongqing

mm

时间阶段	降水量距平					时间阶段	降水量距平				
	年	春季	夏季	秋季	冬季		年	春季	夏季	秋季	冬季
1961—1969	44.57	3.91	-78.75	32.87	5.58	1990—1999	-34.89	-8.77	-69.09	-36.84	2.58
1970—1979	70.44	46.97	-111.60	47.71	5.78	2000—2009	-61.82	-15.59	-85.57	-40.84	1.15
1980—1989	13.42	-28.88	-20.36	-12.32	-4.43	2010—2014	-63.43	4.72	-144.35	18.84	-21.32

3.1.3 不同强度降水量的年际变化 由图 4 可知,1961—2014 年重庆市年中雨量范围为  $297.00 \sim 437.77 \text{ mm}$ ,且占全年降水量的  $1/3$ 。除年中雨量外,在年降水量中所占比例较多的为年小雨量。年暴雨量所占比例最少,多年平均暴雨量都在  $200 \text{ mm}$  左右。年中雨量减少幅度最大,为  $-1.439 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ;其次是年小雨量,减少幅度为  $-1.042 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ;年大雨量减少幅度较小,为  $-0.847 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ;年暴雨量则呈增大趋势,增大幅度为  $0.423 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

3.1.4 不同强度降水量的年代际变化 表 2 显示,1961—2014 年重庆市不同强度降水量的年代际变化总体上呈减少趋势。其中年小雨量、年中雨量和年大雨量减少的趋势较为明显,年中雨量在 1990—1999 年、2000—2009 年和 2010—2014 年减少幅度达-12.45,-18.40 和-25.86 mm。年暴雨量的减少趋势则相对不明显,而且在 2010—2014 年还呈明显增大的趋势。

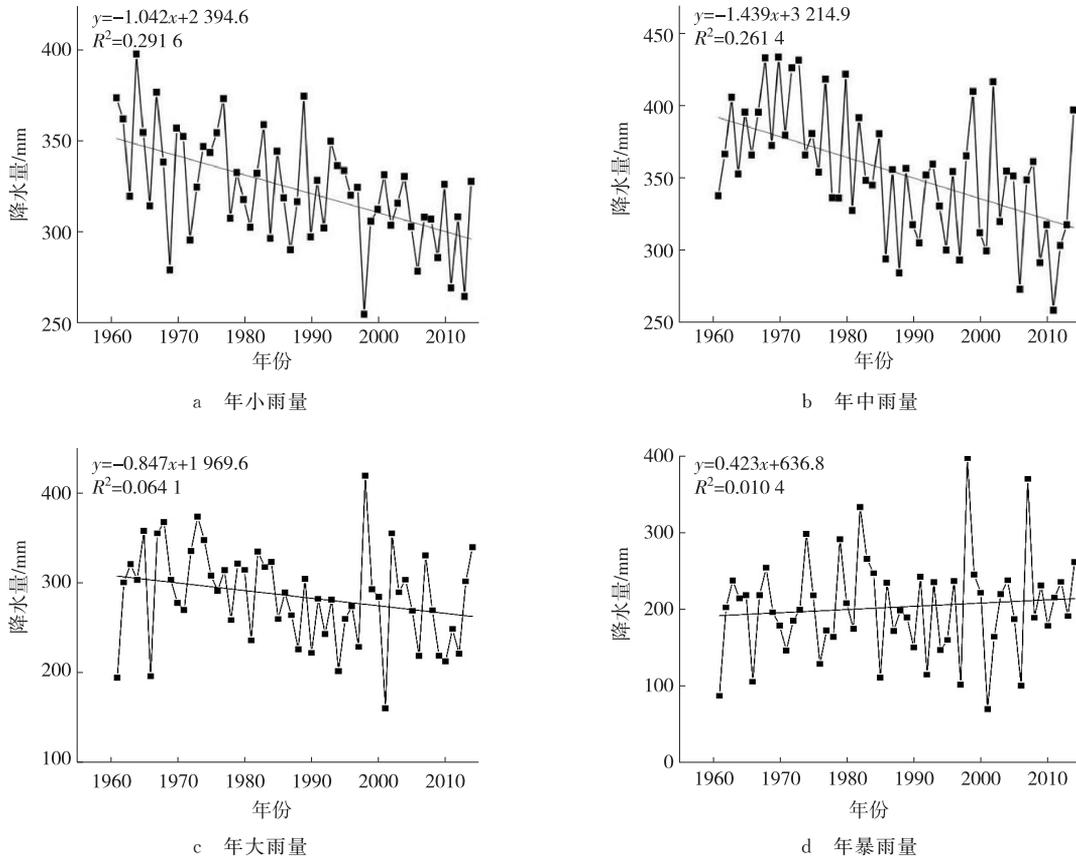


图 4 重庆市不同强度降水量变化

Fig. 4 Variation of the precipitation of different intensity in Chongqing

表 2 重庆市不同强度降水量距平年代际变化

Tab. 2 The decade change of the Precipitation of different intensity in Chongqing

mm

时间阶段	降水量距平				时间阶段	降水量距平			
	小雨	中雨	大雨	暴雨		小雨	中雨	大雨	暴雨
1961—1969	9.79	12.71	13.60	6.89	1990—1999	-6.11	-12.45	-14.58	-3.34
1970—1979	17.42	35.02	24.57	-8.15	2000—2009	-13.81	-18.40	-15.18	-7.32
1980—1989	3.82	-0.66	1.76	6.92	2010—2014	-22.23	-25.86	-17.05	23.67

3.2 降水量的突变检验

3.2.1 年降水量和季节降水量突变检验 对 1961—2014 年重庆市年降水量进行 Mann-Kendall 突变检验,从图 5 可以看出  $U_F$  曲线呈现波动下降的趋势,在 2005 年以后超过置信区间。在置信区间内, $U_F$  曲线与  $U_B$  曲线出现了一次相交,出现在 1985—1990 年间。图 6 显示重庆市年降水量从 1961 年开始呈现波动上升的趋势,1985 年前后出现波动下降的现象,1995—2005 年间下降的趋势减缓。从突变检验与累积距平两种方法中得出重庆市 1984—1986 年间出现了降水量从多到少的突变。同样地,对 1961—2014 年重庆市季节降水量进行 Mann-Kendall 突变检验,结果表明,春季、夏季、秋季和冬季的降水量突变时间分别是 1979 年、2010 年、1980 年和 2009 年。

3.2.2 不同强度降水量突变检验 对 1961—2014 年重庆市不同强度降水量进行 Mann-Kendall 突变检验,其中有关年小雨量的检验结果如图 7 所示。从图 7 可见,年小雨量  $U_F$  曲线呈现波动下降的趋势,下降趋势越过了置

信区间; $U_F$  线在置信区间内与  $U_B$  线相交了两次,分别在 1985—1987 年间与 1995—1996 年间。从年小雨量累积距平曲线中可看出,年小雨量在 1960 年开始上升趋势,到 1995—1996 年间达到最大值,之后出现了下降的趋势(图 8)。综合两种方法,得出年小雨量的突变时间为 1995—1996 年。同样地,本研究得出了年中雨量、年大雨量和年暴雨量的突变时间为 1985 年、1985 年和 1983 年。

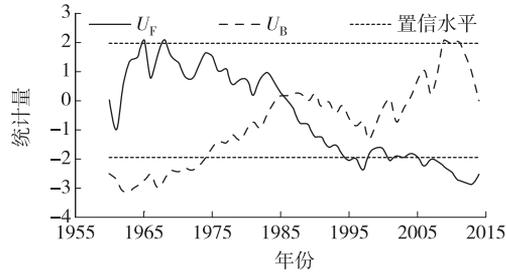


图 5 重庆市年降水量 Mann-Kendall 突变判别曲线

Fig. 5 Mann-Kendall test curve of annual precipitation in Chongqing

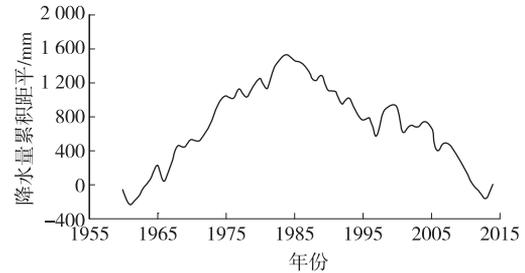


图 6 重庆市年降水量累积距平曲线

Fig. 6 Cumulative departure curve of annual precipitation in Chongqing

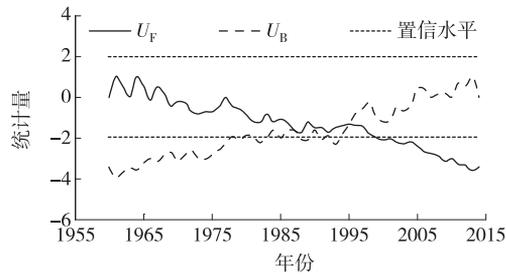


图 7 重庆市小雨降水量 Mann-Kendall 突变判别曲线

Fig. 7 Mann-Kendall test curve of the light rainfall in Chongqing

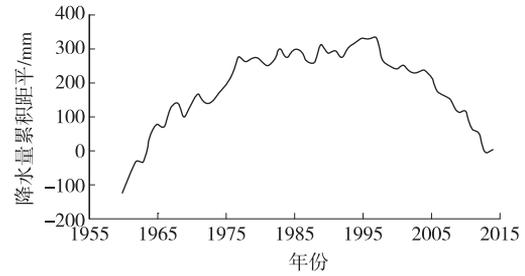
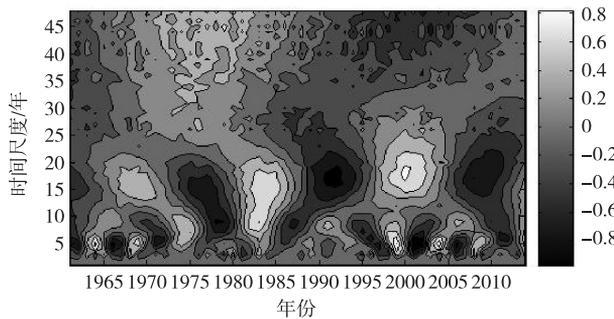


图 8 重庆市小雨降水量累积距平曲线

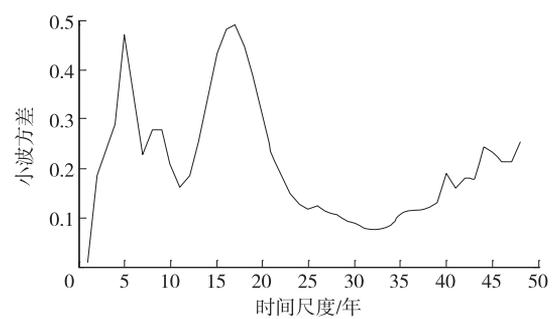
Fig. 8 Cumulative departure curve of the light rainfall in Chongqing

### 3.3 降水量的周期变化

用小波分析方法对 1961—2014 年重庆市年降水量变化进行分析,结果如图 9a, b 所示,其中正值区表示降水量偏多而负值区表示降水量偏少。其中,在 1961—2014 年重庆市的年降水量变化周期分布中,主要存在 14~20 a, 6~10 a 和 4~6 a 共 3 种时间尺度。这 3 种尺度的周期变化较为强烈且分布密集。从图 9b 可以看出时间尺度在 5, 8 和 18 a 存在极值:其中以极值 5 a 作为强振荡周期,8 和 18 a 为次显著振荡周期。在 1961—1970 年间,5 和 8 a 周期的振荡最剧烈;在 1961—1990 年间,以 5 a 周期振荡最剧烈。在 18 a 的准周期变化中,1982 年出现在正相位内,2001 年出现在负相位内,这与 1982 年的洪涝与 2001 年的干旱是一致的。在 21 世纪初,图 9a 中出现负值区,表明降水量偏少。



a 小波实部



b 小波方差

图 9 年降水量周期分析小波实部与小波方差

Fig. 9 Wavelet real part and wavelet variance in annual precipitation cycle analysis

同样地,对 1961—2014 年重庆市的季节降水量变化周期分析结果表明,春季、夏季、秋季和冬季的降水量变化分别以 15,18,24 和 14 a 为主要周期。由于秋季降水量下降速率最大,主要对它进行周期分析,结果发现其中出现了 4,10 和 24 a 的周期变化,且 24 a 的尺度变化为强周期振荡。从准 24 a 周期振荡中,20 世纪 70 年代到 70 年代中期是秋季降水量偏多的时期,进入 21 世纪之后秋季降水量偏少的年份又有出现。

此外,对 1961—2014 年重庆市的不同强度降水量变化进行周期分析,得到年小雨量、年中雨量、年大雨量和年暴雨量变化分别以 3,27,4 和 4 a 为主要周期。

### 3.4 降水量空间特征

3.4.1 年平均降水量和季节平均降水量空间特征 1961—2014 年重庆市年平均降水量的空间分布如封三彩图 10a 所示。从该图可以看出:年平均降水量在空间上规律的呈现由中部向南北部递增的趋势,年平均降水量的高值中心位于武陵山脉的东侧,为 1 300 mm 以上,这可能与山脉东侧是迎风坡因而受夏季东南季风的影响有关;次中心位于渝东北地区,位于大巴山脉的南部。降水较少的地区为渝西南地区与渝中部地区,这可能与两地位于武陵山脉的西南部且属于背风坡有关。尤其是潼南和大足两地,降水量仅达到 1 000 mm。总体来看,由于重庆位于封闭的盆地,受山谷风以及季风影响,降水比较充沛,年平均降水量在 1 037.74~1 343.36 mm。

封三彩图 10b,c,d,e 分别为 1961—2014 年重庆市各个季节平均降水量空间分布图。可以看出,夏季平均降水量总体偏高,降水量最低值也在 417.52 mm 以上,低值中心位于武陵山的西侧背风坡,降水量均未超过 470 mm。各地春季平均降水量也较高,高值中心位于武陵山脉东部迎风坡,基本可达 400 mm 以上。秋季平均降水量比春季平均降水量较少,高值中心位于大巴山脉的西北部,这可能是受西风带影响所致。而在武陵山脉的东部,由于夏季的东南季风消失,故而降水减少。除渝东南个别区县冬季平均降水量达到 90 mm 以外,其余各地冬季平均降水量基本维持 60 mm 左右,而渝东北地区的冬季平均降水量远不足 60 mm。

3.4.2 多年平均不同强度降水量空间特征 封三彩图 10f,g,h,i 是重庆市 1961—2014 年平均不同强度降水量的空间分布图。可以看出,小雨主要分布在渝西南与渝东南,位于武陵山的东侧以及四川盆地的大部分,次中心出现在武陵山东侧,平均年小雨量达到 330 mm 以上。中雨在全年的总降水量中作出了最主要的贡献,而且武陵山东侧出现高于 400 mm 的平均年中雨量高值中心。在盆地中部,平均年中雨量也达到了 350 mm 以上。多地平均年大雨量均达到 200 mm 以上,而渝西南部的盆地地区则较少。暴雨则较为集中地出现在渝东北地区,平均年暴雨量也达到了 100 mm 以上。总的来看,各地的不同强度降水量以中雨和小雨为主。

## 4 讨论与结论

本研究结果表明:在时间变化上,1961—2014 年重庆市的年降水量呈现下降的趋势,与其他学者的研究结果基本一致<sup>[6]</sup>,但是变化速率略有不同。这可能与本研究选取的时间序列的起止时间以及原始序列的订正方法不同有关。在空间分布上,由于与本研究类似的研究较少,故不再进行比较和分析。在全球气候变化的趋势下,中国各地的降水量均有下降,但是各地下降程度不同。由于重庆市位于盆地地区,四周环山较为封闭,而且地形复杂,地势起伏较大以及受城市热岛效应的影响,因此降水量呈现下降趋势。重庆市降水量的分布受地形限制;且在夏季受东南季风影响,武陵山脉东侧降水多;冬季受西风影响,武陵山脉西侧降水多。

本研究利用 1961—2014 年重庆市 34 个气象站点降水量的数据、利用气候倾向率、突变检验和周期分析等方法,分析了重庆市降水量时间和空间变化特征。对重庆市年降水量、季节降水量和不同强度降水量进行时间和空间特征分析,得出以下结论:

1) 时间变化特征表现为:重庆市年降水量在 862.11~1 436.55 mm 之间,气候倾向率为  $-3.043 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ,总体呈现下降趋势。其中,秋季降水量的下降速率最快;夏季降水量最大占全年降水量的 40%左右,最高占全年降水量的 60%。1980—1989 年出现了年降水量最多的年代,1984—1986 年出现了年降水量由多到少的突变。多年来的年暴雨量变化不大,年小雨量与年大雨量呈现下降趋势,而年中雨总量的下降趋势较为明显。不同强度降水量在 1980—1989 年间达到最大值,1985 年前后出现了不同强度降水量的突变。

2) 小波分析结果表明:重庆市年降水量呈现准 5 a 的周期变化。不同强度降水量中,比重较大的中雨呈现准 27 a 的强显著周期。

3) 空间变化特征表现为:年平均降水量空间分布上武陵山东侧较多,而盆地地区较少;季节平均降水量在空

间上的分布与前者略有区别,但总体空间分布趋势一致;平均年中雨量比重较大且多集中在武陵山东侧地区,而平均年暴雨量最少且主要出现在四川盆地东北部。

### 参考文献:

- [1] JIANG T, SU B D, HARTMANN H. Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze river basin, 1961—2000[J]. *Geomorphology*, 2007, 85(3/4): 143-154.
- [2] TARBARI H, TALAEE P H. Temporal variability of precipitation over Iran: 1966—2005[J]. *Journal of Hydrology*, 2011, 396(3/4): 313-320.
- [3] 邓智成. 1963—2012年合肥市降雨量时空变化特征研究[J]. *江苏第二师范学院学报*, 2017, 33(6): 25-29.
- DENG Z C. On temporal and spatial variation characteristic of precipitation in Hefei city from 1963 to 2012[J]. *Journal of Jiangsu Second Normal University*, 2017, 33(6): 25-29.
- [4] 刘政鸿. 陕西省近50年来降水量时空变化特征分析[J]. *水土保持研究*, 2015, 22(2): 107-112.
- LIU Z H. Analysis of spatiotemporal variation characteristics of precipitation in the past five decades in Shaanxi province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2015, 22(2): 107-112.
- [5] 张琪, 李跃清. 近48年西南地区降水量和雨日的气候变化特征[J]. *高原气候*, 2014, 33(2): 372-383.
- ZHANG Q, LIU Y Q. Climatic variation of rainfall and rain day in Southwest China for last 48 years[J]. *Plateau Meteorology*, 2014, 33(2): 372-383.
- [6] 唐亦汉, 陈晓宏. 近50年珠江流域降雨多尺度时空变化特征及其影响[J]. *地理科学*, 2015, 35(4): 476-482.
- TANG Y H, CHEN X H. Multi-scale spatio-temporal characteristics and influence of precipitation variation in Zhujiang river basin during the last 50 years[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(4): 476-482.
- [7] 林德生, 吴昌广, 周志翔, 等. 三峡库区近50年来的气温变化趋势[J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(9): 1037-1043.
- LIN D S, WU C G, ZHOU Z X, et al. Trends of air temperature variation in Three Gorges reservoir area from 1960 to 2006[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(9): 1037-1043.
- [8] 周浩, 杨宝钢, 程炳岩. 重庆市近46年气候变化特征分析[J]. *中国农业气象*, 2008, 29(1): 23-27.
- ZHOU H, YANG B G, CHENG B Y. Analysis of characteristics climate change over last 46 years in Chongqing[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2008, 29(1): 23-27.
- [9] 孙宇辉, 韦杰, 黄小燕. 近50年重庆市气候干湿变化时空特征[J]. *长江科学院院报*, 2016, 33(5): 11-17.
- SUN Y H, WEI J, HUANG X Y. Spatio-temporal characteristics of dry-wet condition in Chongqing in the past five decades[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2016, 33(5): 11-17.
- [10] 俞亮源. 基于DPSIR模型的重庆市岩溶生态环境安全评价研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- YU L Y. Study of Chongqing karst ecological security evaluation based on DPSIR model[D]. Chongqing: Southwest University, 2013.
- [11] 周珺. 基于遥感数据的重庆市净初级生产力(NPP)时空特征研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- ZHOU J. The analysis of temporal and spatial characteristics of net primary productivity(NPP) in Chongqing based on remote sensing data[D]. Chongqing: Southwest University, 2013.
- [12] 张高杰, 何金海, 周自江, 等. RHtest方法对我国降水资料的均一性检验试验[J]. *气象科技*, 2012, 40(6): 914-921.
- ZHANG G J, HE J H, ZHOU Z J, et al. Homogeneity Study of precipitation data over China using rhtest method[J]. *Meteorological Science and Technology*, 2012, 40(6): 914-921.
- [13] WANG X L. Penalized maximal  $F$ -test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change[J]. *Journal Atmospheric and oceanic Technology*, 2008, 25(3): 368-384.
- [14] 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.
- WEI F Y. Modern technology of statistics diagnosis and forecast for climate[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007.
- [15] 张剑明, 黎祖贤, 章新平. 长沙近50年来降水的多时间尺度分析[J]. *水文*, 2007, 27(6): 78-80.
- ZHANG J M, LI Z X, ZHANG X P. Multiple Time scale analysis of precipitation in changsha city during last 50 years[J]. *Journal of China Hydrology*, 2007, 27(6): 78-80.
- [16] GAO W, LI B L. Wavelet analysis of coherent structures at the atmosphere-forest interface[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1993, 32(11): 1717-1725.
- [17] 郑爱勤, 王文科, 段磊, 等. 渭河流域基流及降雨的多尺度特征和突变分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(6): 144-148.
- ZHENG A Q, WANG W K, DUAN L, et al. Multiscale characteristics and abrupt change of base flow and precipitation series of Wei river[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012, 26(6): 144-148.
- [18] 米热古力·艾尼瓦尔, 海米提·依米提, 买买提吐尔逊·艾则孜, 等. 基于小波分析的伊塞克湖水位变化特征[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(1): 168-182.

MIREGULI AINIWAER, HAIMITI YIMITI, MAIMAITITUERXUN AIZEZI, et al. Water level variations of Issyk-Kul lake based on wavelet analysis[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(1): 168-182.

[19] 王遵娅, 丁一汇, 何金梅, 等. 近 50 年来中国气象变化特征

的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236.

WANG Z Y, DING Y H, HE J M, et al. An Updating analysis of the climate change in China in recent 50 years [J]. Acta Meteorology Sinica, 2004, 62(2): 228-236.

## Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

### Spatial and Temporal Characteristics of Precipitation in Chongqing from 1961 to 2014

DUAN Xiangpei<sup>1</sup>, WEI Xingping<sup>1</sup>, LIU Xun<sup>2</sup>

(1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

2. Class 2021 Chongqing Nankai Secondary School International Studies Center, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** [Purposes] In order to understand the spatial and temporal distribution patterns of precipitation in Chongqing city. [Methods] The temporal and spatial variation characteristics of precipitation were studied with daily precipitation data of 34 meteorological stations in Chongqing from 1961 to 2014, by using the Kriging spatial interpolation method of GIS, climate tendency rate, cumulative anomaly method, Mann-Kendall test method and Morlet wavelet analysis methods. [Findings] The annual precipitation of Chongqing varied between 862.11 mm and 1 436.55 mm and it decreased by  $-3.043 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ . In addition, all the seasonal precipitation showed decreasing trend. And the decreasing rate of precipitation in autumn ( $1.566 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ) was higher than the one in other seasons. The climate change interval analysis revealed that the annual precipitation fluctuated significantly with the interval of 5 years. The precipitation in 1970s was more than that in the other decades, and the abrupt change from more to less in annual precipitation occurred from 1984 to 1986. The annual precipitation was higher in the east of Wuling mountain area and lower in the basin area. The moderate rainfall is the heaviest in the annual precipitation, which varied between 297.00 mm and 437.77 mm. The rate of moderate rainfall was the largest which decreased by  $1.439 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ . The higher value of the annual moderate rainfall happens in the east of Wuling mountain area and the higher value of the annual rainstorm emerges in the northeast of basin area, with low ratio of annual rainstorm precipitation. [Conclusions] The annual precipitation showed a obvious decrease trend from 1961 to 2014, There were differences in the decreasing trend of precipitation in four seasons. The higher value of precipitation happens in the middle of Chongqing city and the lower value of precipitation happens in the north and south of Chongqing city.

**Keywords:** precipitation; Mann-Kendall test method; wavelet analysis; PMFT; Chongqing

(责任编辑 方 兴)