

# 1951—2016 年四川省不同地貌单元夏季降水的 多时间尺度特性分析

孙伟<sup>1</sup>, 刘志红<sup>1</sup>, 卢晓宁<sup>1</sup>, 张娟<sup>1</sup>, 叶帮苹<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程大学, 成都 610225; 2. 四川省气象台, 成都 610072)

**摘要:**使用中国气象资源共享平台四川省 1951—2016 年的夏季(6—8 月)降水资料,并采用 GIS 技术分析了四川省夏季年代平均和夏季多年平均降水空间分布,然后利用小波分析法,线性趋势系数法分析了四川省不同地貌单元下(高山高原地带(甘孜)、山地向盆地过渡地带(广元)、中低山丘地带(宜宾)、盆地中部丘陵低山地(遂宁)及高原向盆地边缘过渡地带(雅安)夏季总降水的周期性和趋势性特征。结果表明:近 66 年四川省夏季年代平均降水空间分布不均,夏季多年平均降水量等值线走向基本上与地形高低相对,基本上处于地形越高降水越少;四川省不同地貌单元近 66 年夏季总降水存在 3 个尺度周期:主周期为 20~47 a 尺度,次周期为 2~13 a 和 10~27 a 尺度,四川省不同地貌单元夏季总降水在 2008 年开始整体进入丰水期且 2016 年后仍然处于丰水期状态。

**关键词:**夏季降水;多时间尺度;小波分析;四川省;地貌单元

中图分类号:P426.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)05-0337-06

## Multiple Time-Scale Characteristics of Variations of Summer Precipitation in Different Landform Units in Sichuan Province from 1951 to 2016

SUN Wei<sup>1</sup>, LIU Zhihong<sup>1</sup>, LU Xiaoning<sup>1</sup>, ZHANG Juan<sup>1</sup>, YE Bangping<sup>2</sup>

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;

2. Sichuan Meteorological Observatory, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** The precipitation data of summer (June–August) in Sichuan Province from 1951 to 2016 were used to analyze the spatial distribution of summer average and summer mean precipitation in Sichuan Province using GIS technology. We analyzed the periodic and trendy characteristics of summer total precipitation under the geological features of Sichuan Province under the different geomorphic units (the high mountain plateau (Ganzi), the mountainous transitional zone to the basin (Guangyuan), the mid-low mountainous area (Yibin), the hilly low mountainous area in the central basin (Suining) and the plateau (Ya'an) by using wavelet analysis, linear trend coefficient. The results showed that the spatial distribution of average precipitation over the past 66 years in Sichuan Province was uneven; from the perspective of spatial distribution of average precipitation in summer, the spatial distribution of precipitation was not uniform; the trend of multi-year mean precipitation in summer was basically opposite to the topography, due to the combined effects of climate, water vapor source and topography, the higher the terrain was, the lower the precipitation was; the summer total precipitation changes in the mountainous plateau (Ganzi) and middle-low hills (Yibin) were rapidly rising and declining rapidly, the total summer precipitation change in the transition zone from the plateau (Guangyuan) to the edge of the basin to the basin (Ya'an) was slowly and rapidly decreasing, respectively; the summer total precipitation in the hill and hilly region of central basin (Suining) was slowly

收稿日期:2017-12-14

修回日期:2018-01-09

资助项目:国家自然科学基金(41771535,41401103);四川省科技厅重点项目(2017SZ0169);四川省教育厅自然科学重点项目(17ZA0075);成都市科技惠民项目(2016-HM01-00392-SF)

第一作者:孙伟(1992—),男,青海西宁人,成都信息工程大学资环学院,硕士研究生在读,研究方向:3S 集成与气象应用。E-mail:710124006@qq.com

通信作者:刘志红(1967—),女,新疆乌鲁木齐人,成都信息工程大学资环学院教授,博士,硕士生导师,研究方向:大气遥感,气象地理信息系统工程。E-mail:wxzlh@cuit.edu.cn

increasing. There are three scale periods for total precipitation in different geomorphic units in Sichuan Province in the recent 66 years: the main period of 20~47 years, the sub-periods of 2~13 year and 10~27 year, and the total summer precipitation of different geomorphic units in Sichuan began in 2008. The wet period still lasted after 2016.

**Keywords:** summer precipitation; multiple time scales; wavelet analysis; Sichuan Province; geomorphological unit

全球气候变化近年来在当今世界已成为社会公众最为关注的问题之一,而全球气候系统以变暖为主要特征进行显著变化。据统计,1880—2012 年全球地表平均温度已上升  $0.85^{\circ}\text{C}$ 。若是这种温室效应继续增强,那么全球平均气温还将持续上升,全球变暖趋势在近 30 a 里明显加快,每 10 a 地表温度的增暖幅度高于 1850 年以来的任何时期,21 世纪的第一个 10 a 是最暖的 10 年,这种全球变暖趋势无疑将对整个社会以及全球生态系统带来巨大的影响,包括:气候系统各圈层发生改变,如冰雪覆盖面积减少,海平面上升、生物多样性改变、大气中  $\text{CO}_2$  浓度的增加以及极端气候事件发生的频率和强度增加。降水是描述某个区域、某个国家乃至全球气候系统变化的关键指标,是全球水循环中的重要因子,北半球中纬度陆地自 19 世纪以来强降水的频率在不断增加,降水量也持续增加的情况在越来越多的地区出现<sup>[1-6]</sup>。王绍武等<sup>[7]</sup>指出:西南一些地区降水量趋于减少,四川盆地东部和北缘山地降水量明显增多,盆地其他大部地区和高山高原地带(甘孜)高原降水量以减少趋势为主。王小玲等<sup>[8]</sup>指出:我国年降水量、年降水频率及平均降水强度均存在较为明显的区域变化特点。周长艳等<sup>[9]</sup>认为指出:四川盆地部分地区大气降水明显减少,导致水资源紧张。赵璇等<sup>[10]</sup>指出:四川盆地夏季降水有从西多东少向西少东多转变的趋势。胡琦等<sup>[11]</sup>指出:西北的陕西和甘肃地区以及西南的四川盆地年降水量呈显著减少的趋势。

四川省位于我国西南部,其地理坐标介于东经  $97^{\circ}21'—108^{\circ}31'$  和北纬  $26^{\circ}03'—34^{\circ}19'$ ,地跨青藏高原、横断山脉、云贵高原、秦巴山地、四川盆地几大地貌单元,地势西高东低,由西北向东南倾斜,地形复杂多样,以龙门山—大凉山一线为界,东部为四川盆地及盆缘山地,西部为高山高原地带(甘孜),其中雅安位于青藏高原东侧陡峭位置,且是高原与盆地过渡地区,因此使得高原向盆地边缘过渡地带(雅安)成为一个特殊的存在,即我国内陆地区的一个降水中心<sup>[12-15]</sup>。在跨世纪尺度的增暖背景下,降水数十年时间尺度的丰、枯特征和降水量增加、减少的变化趋势对某地区河流流量,湖泊和水库水量有着决定性作用,而这些因素直接或间接影响到工农业的供水状

况,工农业的生产发展,同时四川省部分区域处于地震断裂带上,而地震泥石流绝大多数由强降雨天气激发,且强降雨天气会引发严重涝灾,造成蔬菜大棚倒塌,农田积水排除不畅,对秋菜播种和越夏蔬菜的生长影响严重,导致蔬菜产量和品质的大幅下降,这些都直接严重影响受灾区的农业生产和社会发展<sup>[16-20]</sup>。由于地貌单元的不同,从而形成不同的气候类型,同时地貌单元的差异会对气候产生一定的影响,因此研究四川省不同地貌单元的夏季降水变化对该地区不同地貌单元的农业生产、经济建设和社会发展具有十分重大而深远的意义。

以往关于盆地降水特征的研究较多,大都为单独讨论其年际或年代际变化特征及其可能成因方面,而对四川省不同地貌单元下的夏季降水变化特征的分析相对较少,且研究年限多以 19 世纪 60 年代开始。本文在以往的研究基础上利用四川省 1951—2016 年近 66 a 的夏季(6—8 月)总降水资料,首先以 10 a 为一个年代,分析四川省夏季年代平均降水空间分布,其次用 1951—2016 年夏季降水资料做平均,分析四川省夏季多年平均降水空间分布,然后分析四川省不同地貌单元(高山高原地带(甘孜)、山地向盆地过渡地带(广元)、中低山丘地带(宜宾)、盆地中部丘陵低山地(遂宁)及高原向盆地边缘过渡地带(雅安))夏季降水的趋势性和周期性特征,并从不同的时间尺度入手,对四川省不同地貌单元夏季总降水的趋势性和周期性的时间变化特征进行更为详细的研究,以期为四川省不同地貌单元的气候变化特征提供研究依据。

## 1 资料与研究方法

### 1.1 数据源及预处理

本文选用中国气象资源共享平台国家站点的四川省 1951—2016 年夏季降水资料,从不同地貌单元出发,计算出夏季(6—8 月)总降水量,研究四川省各地貌单元的降水变化。

### 1.2 分析方法

线性回归方法<sup>[21-23]</sup>能够较全面的反映长时间降水序列的变化趋势,依据线性回归系数  $b$  和相关性  $r$  来判定降水量的变化趋势。其计算公式为:

$$y=a+bx \quad (1)$$

式中: $y$ 为气候系列数据; $x$ 为时间序列; $b$ 为线性倾向率。

小波分析法<sup>[24-27]</sup>是一种能够在长时间多尺度降水序列数据中使用的方法,它能够反映小波的周期变化,也能够更好的得到周期变化出现的具体时间年份,其表达式如下:

$$WT_f(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, a \neq 0 \quad (2)$$

式中: $WT_f(a, b)$ 是小波变换系数; $a$ 为伸缩因子; $b$ 为平移因子。

小波方差检验<sup>[28]</sup>是将时间域上的不同尺度 $a$ 的所有小波系数的平方进行积分可以确定一定时间尺度中对降水序列的演变起主要作用的周期,其表达式如下:

$$WT_p(a) = W_f(a, b)^2 \quad (3)$$

## 2 四川省夏季降水空间分布特征分析

研究区夏季总体多年平均降水量为 616.2 mm, 50, 60, 70, 80, 90, 00 年代夏季平均降水量分别为 673.70, 608.75, 588.05, 662.14, 580.33, 582.92 mm, 呈减—增—减变化。降水空间分布不均, 整体上降水的空间分布以雅安地区为最大降水中心向研究区四周递减, 50, 80, 00 年代降水空间分布均为研究区东南地区降水多于川西高原地区, 研究区东北大多数地区在 60, 70, 90 年代夏季年代平均降水量较 50, 80, 00 年代夏季年代平均降水有所减少。四川省川西北高原地势由西向东倾斜, 属于青藏高原东南缘和横断山脉的一部分, 地面海拔 4 000~4 500 m, 地势较高, 并受亚热带高原季风强弱的变化影响, 盆地西北高东南低, 导致携带大量水气的东南季风在川西地区的贡嘎雪山遇到阻挡, 造成雅安地区大量降水; 川南地区气候温暖湿润, 盆地内部蒸发的水汽无法散出, 继续聚集在盆地内部形成大量降水。夏季平均降水量在 1 000~1 250 mm 的区域均分布在雅安地区, 750~1 000 mm 的区域主要分布在川南盆地周围, 500~750 mm 的区域主要分布在川东地区, 100~500 mm 的区域主要分布在川西高原地区, 多年平均降水量等值线走向基本上与地形高低相对, 主要受气候、水汽来源和地形综合影响, 基本上处于地形越高, 降水越少。

## 3 四川省不同地貌单元夏季降水的多时间尺度特征

### 3.1 小波变换系数实部及多时间尺度特性分析

小波分析中, 小波系数实部包含着给定时间和尺度下, 相对于其他时间和尺度, 信号的强度与位相两方面信息。由于研究期间是以夏季总降水为基准面,

则小波变换系数实部在平面等值线上的正或负的量值, 反映该年夏季降水量在时间尺度上的丰、枯特性变化。小波系数为正值时表示降水量偏多为丰水期; 为负值时表示降水量偏少为枯水期<sup>[29-30]</sup>。由小波系数变换实部图(附图 9)得知, 四川省不同地貌单元(盆地中部丘陵低山地带(遂宁)、中低山丘地带(宜宾)、高山高原地带(甘孜)、山地向盆地过渡地带(广元)及高原向盆地边缘过渡地带(雅安))夏季总降水序列都存在明显的年代际和年际尺度的周期性变化。

在 2~13 a 尺度上, 四川省在不同地貌单元下有 3 个地貌单元在不同时间年份内存在较明显的尺度周期变化, 盆地中部丘陵低山地带(遂宁)和山地向盆地过渡地带(广元)夏季总降水都是在 1951—1988 年内表现出以 3 a 为变化基准的枯、丰交替规律, 而高山高原地带(甘孜)夏季总降水从 1984—2002 年变化表现出以 1 a 为基准进行丰、枯交替的规律变化。

在 10~27 a 尺度上, 中低山丘地带(宜宾)和高原向盆地边缘过渡地带(雅安)同时表现出以 7 a 为基准的枯、丰交替变化规律, 而这种变化规律分别存在于 1984—2016 年和 1951—2001 年; 在这一尺度上高山高原地带(甘孜)和山地向盆地过渡地带(广元)夏季总降水均表现出以不同时间年份间断变化的特性, 但是两个地貌单元在该尺度上的周期变化均以 19 世纪 50 年代开始, 其中高山高原地带(甘孜)从 1959—2016 年表现出明显的突变特征, 具体体现为: 1959—1969 年为丰水期, 1969—1978 年为枯水期, 1978—1987 年进入丰水期, 1987—1995 年为枯水期, 1995—2005 年为丰水期, 2005—2012 年为枯水期, 2012 年以后进入丰水期, 而山地向盆地过渡地带(广元)夏季总降水则是从 1951—1976 年内表现出明显的突变特征, 具体体现为: 1951—1956 年为枯水期, 1956—1966 年为丰水期, 1966—1976 年进入枯水期, 从中低山丘地带(宜宾)和高原向盆地边缘过渡地带(雅安)在该周期的两个不同时间尺度降水丰、枯变化中, 可以发现两个地貌单元在 19 世纪五 50 年代开始一起进入丰水期, 到 19 世纪 60 年代又一同进入枯水期, 两个地貌单元在该枯水期结束时间上前后只相差一年, 这是两个地貌单元降水丰、枯变化在该周期不同时间尺度范围上存在的相似性。

在 20~47 a 尺度上, 高山高原地带(甘孜)、盆地中部丘陵低山地带(遂宁)、山地向盆地过渡地带(广元)和中低山丘地带(宜宾)夏季总降水变化周期都表现出全域性特征, 而高原向盆地边缘过渡地带(雅安)在该尺度上并不具有全域性, 只在 1965—2016 年表现出周期变化突变特征, 其中高山高原地带(甘孜)、盆地中部丘陵低山地带(遂宁)和山地向盆地过渡地

带(广元)在研究期内都是以丰水期开始,以丰水期结束,其具体表现为:1951—1961年为丰水期,1961—1975年为枯水期,1975—1991年进入丰水期,1991—2008年为枯水期,2008年后进入丰水期;而中低山丘地带(宜宾)和高原向盆地边缘过渡地带(雅安)则是以枯水期开始,以丰水期结束,这两个地貌单元在该尺度周期变化范围分别具体表现为:中低山丘地带(宜宾)1951—1956年为枯水期,1956—1970年为丰水期,1970—1982年进入枯水期,1982—1993年为丰水期,1993—2008年进入枯水期,2008年以后进入丰水期,高原向盆地边缘过渡地带(雅安)1965—1980年为枯水期,1980—1995年为丰水期,1995—2008年进入枯水期,2008年以后进入丰水期,综合中低山丘地带(宜宾)和高原向盆地边缘过渡地带(雅安)在该尺度的降水丰、枯变化,虽然中低山丘地带(宜宾)在该周期上具有全域性特征,高原向盆地边缘过渡地带(雅安)在该周期上只存在一个52a的时间尺度,但依然可以发现两个地貌单元在降水变化方面的共性,两个地区在19世纪80年代开始一起进入丰水期,到19世纪90年代中期时又共同进入枯水期,两个地貌单元同时在2008年进入丰水期。

通过以上分析得出:四川省5个地貌单元在近66a的夏季总降水长时间序列变化中存在3个尺度周期,分别是2~13a尺度、10~27a尺度和20~47a尺度;5个地貌单元在20~47a尺度周期变化的规律中都是从2008年开始进入丰水期,且在该尺度周期上,5个研究区2016年后依然处于丰水期状态。

### 3.2 小波变换系数模平方及多时间尺度特性分析

模平方的等值线图在小波分析中就是其能量强弱图(附图10),从能量图可以得出四川省不同地貌单元66a夏季总降水在时间域的波动能量强弱变化特性,从而得出研究区时间域上能量聚集的波动变化。

在2~13a能量聚集尺度范围内,山地向盆地过渡地带(广元)的振荡范围主要在1951—1988年的时域范围内,山地向盆地过渡地带(广元)周期震荡尺度中心在5a且小波变换系数模值的平方在该时间尺度上的最高值为1.94,所以山地向盆地过渡地带(广元)在该时域范围和尺度范围内能量聚集最强,震荡最明显,盆地中部丘陵低山地带(遂宁)振荡的时域范围与山地向盆地过渡地带(广元)相同,但盆地中部丘陵低山地带(遂宁)周期震荡尺度中心在9a,高山高原地带(甘孜)的震荡范围主要集中在1984—2002年,尺度中心在3a。在该尺度范围内,3个区域振荡涉及的时域范围都较窄且能量振荡都不具有全域性,山地向盆地过渡地带(广元)比盆地中部丘陵低山地

带(遂宁)和高山高原地带(甘孜)能量聚集的强,震荡表现的也最明显。

在10~27a能量聚集尺度范围内,高原向盆地边缘过渡地带(雅安)的尺度中心和震荡范围分别为16a和1951—2001年,且高原向盆地边缘过渡地带(雅安)小波变换系数模值的平方在这该时间尺度上的最高值为0.76,与2~13a能量聚集尺度范围内的山地向盆地过渡地带(广元)相比,高原向盆地边缘过渡地带(雅安)在10~27a能量聚集尺度范围内的能量强弱表现较逊色,中低山丘地带(宜宾)的尺度中心和震荡范围分别为14a和1984—2016年,同时高山高原地带(甘孜)和山地向盆地过渡地带(广元)的振荡范围分别主要在1959—2016,1951—1976年的时域范围内,尺度中心分别在18a和21a。在该尺度范围内,4个地貌单元的能量振荡都不具有全域性,高原向盆地边缘过渡地带(雅安)的能量聚集比其他区域强,震荡情况比其他区域明显。

在20~47a能量聚集尺度范围内,盆地中部丘陵低山地带(遂宁)的尺度中心为35a,小波变换系数模值的平方在这该时间尺度上的最高值为2.50,高原向盆地边缘过渡地带(雅安)在该能量聚集尺度范围内没有表现出全域性特征,振荡范围主要在1965—2016年的时域范围内,尺度中心在27a,小波变换系数模值的平方在这该时间尺度上的最高值为2.21,山地向盆地过渡地带(广元)和高山高原地带(甘孜)的尺度中心都为33a,小波变换系数模值的平方在这该时间尺度上的最高值分别为1.86,1.32,中低山丘地带(宜宾)尺度中心与盆地中部丘陵低山地带(遂宁)相比前后相差10a,其尺度中心为25a,而小波变换系数模值的平方在这该时间尺度上的最高值为1.15,中低山丘地带(宜宾)在这该时间尺度上小波变换系数模值的平方的最高值与盆地中部丘陵低山地带(遂宁)相比前后相差超过一倍。在该尺度范围内,高山高原地带(甘孜)、盆地中部丘陵低山地带(遂宁)、山地向盆地过渡地带(广元)地区和中低山丘地带(宜宾)夏季总降水能量振荡变化都表现出全域性特征,高原向盆地边缘过渡地带(雅安)地区在该能量聚集尺度内振荡范围主要在1965—2016年,盆地中部丘陵低山地带(遂宁)的能量聚集在该尺度范围最强,震荡情况最明显,高原向盆地边缘过渡地带(雅安)次之,山地向盆地过渡地带(广元)地区,高山高原地带(甘孜)高原,中低山丘地带(宜宾)随后。

该分析与上述小波变换系数实部结果中尺度周期发生的时间范围相一致,且5个地貌单元夏季总降水在不同时间尺度下周期信号的强弱以及和时间序列中的

分布特征都具有较强的局部性,造成这种结果的原因可能是由于气温、蒸发、土壤、植被和人类活动等降水演变影响因子的耦合作用在不同阶段信号的强弱不同所致。

### 3.3 小波方差检验

利用小波方差的定义,得到5个地貌单元66 a夏季总降水距平序列的小波方差。高山高原地带(甘孜)高原、盆地中部丘陵低山地带(遂宁)地区和山地向盆地过渡地带(广元)在2~13 a尺度变化周期上出现较小峰谷。中低山丘地带(宜宾)地区、高原向盆地边缘过渡地带(雅安)地区、高山高原地带(甘孜)高原和山地向盆地过渡地带(广元)在10~27 a尺度变化周期上与2~13 a尺度一样出现较小峰谷。在20~47 a尺度变化周期上,高山高原地带(甘孜)高原、盆地中部丘陵低山地带(遂宁)地区、山地向盆地过渡地带(广元)地区、中低山丘地带(宜宾)和高原向盆地边缘过渡地带(雅安)出现较高的峰谷,该峰谷均高于2~13 a和10~27 a尺度所对应的两个较小峰谷。

该结果与上面小波变换系数实部分析以及小波变换系数模平方分析得出的结论一致,除高原向盆地边缘过渡地带(雅安)外,其余4个地貌单元66 a夏季总降水在时间域上都存在20~47 a大尺度高峰谷的主要周期,且该大尺度高峰谷主周期存在随时间推移其尺度增大的趋势,而高山高原地带(甘孜)高原、盆地中部丘陵低山地带(遂宁)地区和山地向盆地过渡地带(广元)降水周期还存在较小尺度2~13 a的次要周期,同时中低山丘地带(宜宾)地区、高原向盆地边缘过渡地带(雅安)地区、高山高原地带(甘孜)高原和山地向盆地过渡地带(广元)降水周期同样存在一个较小尺度10~27 a的次要周期,它们的变化影响着夏季5个研究区在较短时间序列降水量丰枯交替变化的规律。

## 4 四川省不同地貌单元夏季降水的线性趋势特征

四川省不同地貌单元(盆地中部丘陵低山地带(遂宁)、中低山丘地带(宜宾)、高山高原地带(甘孜)、山地向盆地过渡地带(广元)及高原向盆地边缘过渡地带(雅安))夏季总降水变化趋势采用线性回归方程进行分析,高山高原地带(甘孜)和中低山丘地带(宜宾)降水变化幅度较明显,分别处于快速上升与急速下降趋势,夏季平均降水量分别在1985年和1954年达到全时间序列最大值463.4 mm与1 052.8 mm,并且在1972年和2004年达到全时间序列最小值203.7 mm与230.3 mm;山地向盆地过渡地带(广元)和高原向盆地边缘过渡地带(雅安)分别处于缓慢、快速下降趋势,而这两个地貌单元降水变化幅度

没有高山高原地带(甘孜)和中低山丘地带(宜宾)降水变化幅度明显。

两个地貌单元的夏季平均降水量分别在1981年和1966年达到全时间序列最大值1 162.8 mm与1 636.6 mm,并且在1967年和1982年达到全时间序列最小值524.0 mm与563.0 mm,同时盆地中部丘陵低山地带(遂宁)处于缓慢上升趋势,夏季平均降水量在1952年达到全时间序列最大值812.0 mm,在2006年达到全时间序列最小值119.5 mm。

通过以上分析得出,高山高原地带(甘孜)和中低山丘地带(宜宾)夏季总降水变化分别处于快速上升与急速下降趋势,山地向盆地过渡地带(广元)、高原向盆地边缘过渡地带(雅安)夏季总降水变化分别处于缓慢、快速下降趋势,盆地中部丘陵低山地带(遂宁)夏季总降水变化处于缓慢上升趋势。

## 5 结论

(1) 从夏季年代平均降水空间分布上看,降水空间分布不均;夏季多年平均降水量等值线走向基本上与地形高低相对,主要受气候、水汽来源和地形综合影响,基本上处于地形越高,降水越少。

(2) 高山高原地带(甘孜)和中低山丘地带(宜宾)夏季总降水变化分别处于快速上升与急速下降趋势,山地向盆地过渡地带(广元)、高原向盆地边缘过渡地带(雅安)夏季总降水变化分别处于缓慢、快速下降趋势,盆地中部丘陵低山地带(遂宁)夏季总降水变化处于缓慢上升趋势。

(3) 四川省不同地貌单元(盆地中部丘陵低山地带(遂宁)、中低山丘地带(宜宾)、高山高原地带(甘孜)、山地向盆地过渡地带(广元)及高原向盆地边缘过渡地带(雅安))在近66 a的夏季总降水长时间序列变化中存在3个尺度周期,主要周期为20~47 a尺度,次要周期为2~13 a和10~27 a尺度。在2~13 a能量聚集尺度1951—1988年的时域范围内,山地向盆地过渡地带(广元)周期震荡尺度中心在5 a,与其他地貌单元相比,该地貌单元小波变换系数模值的平方在该时间尺度上的最高值为1.94;在10~27 a能量聚集尺度1951—2001年的时域范围内,高原向盆地边缘过渡地带(雅安)的尺度中心为16 a,与其他地貌单元相比,该地区小波变换系数模值的平方在这该时间尺度上的最高值为0.76;在20~47 a能量聚集尺度范围内,高山高原地带(甘孜)、盆地中部丘陵低山地带(遂宁)、山地向盆地过渡地带(广元)和中低山丘地带(宜宾)夏季总降水能量振荡变化都表现出全域性特征,高原向盆地边缘过渡地带(雅安)在该能量聚集尺度内振荡范围主

要在 1965—2016 年。高山高原地带(甘孜)、盆地中部丘陵低山地带(遂宁)、山地向盆地过渡地带(广元)、中低山丘地带(宜宾)和高原向盆地边缘过渡地带(雅安)小波变换系数模值的平方在这该时间尺度上的最高值分别为 1.32, 2.50, 1.86, 1.15, 2.21; 盆地中部丘陵低山地带(遂宁)的能量聚集在该尺度范围最强, 震荡情况最明显, 高原向盆地边缘过渡地带(雅安)次之, 山地向盆地过渡地带(广元), 高山高原地带(甘孜), 中低山丘地带(宜宾)随后。

(4) 四川省 5 个地貌单元的夏季总降水在 20~47 a 尺度周期变化的规律中整体自 2008 年开始进入丰水期, 且在该尺度周期上四川省 5 个地貌单元的夏季总降水于 2016 年后仍处于丰水期状态。

致谢: 感谢中国气象资源共享平台提供的四川省 1951—2016 年的夏季总降水资料。

#### 参考文献:

- [1] Reinman S L. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)[J]. Encyclopedia of Energy Natural Resource & Environmental Economics, 2013, 26(2): 48-56.
- [2] You Q, Kang S, Aguilar E, et al. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961—2003 [J]. Climate Dynamics, 2011, 36(11/12): 2399-2417.
- [3] Du T J. The fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change(IPCC)[J]. Political Science & Politics, 2007, 36(3): 423-426.
- [4] 龚道溢. 对气候变暖问题争议的分析[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 153-160.
- [5] 赵宗慈, 罗勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 183-184.
- [6] 董谢琼, 段旭. 西南地区降水量的气候特征及变化趋势[J]. 气象科学, 1998(3): 239-247.
- [7] 王绍武, 丁一汇, 秦大河, 等. 中国西部环境演变及其影响研究[J]. 地学前缘, 2002, 9(2): 321-328.
- [8] 王小玲, 翟盘茂. 1957—2004 年中国不同强度级别降水的变化趋势特征[J]. 热带气象学报, 2008, 24(5): 459-466.
- [9] 周长艳, 岑思弦, 李跃清, 等. 四川省近 50 年降水的变化特征及影响[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 619-630.
- [10] 赵旋, 李耀辉, 齐冬梅. 1961—2007 年四川夏季降水的时空变化特征[J]. 冰川冻土, 2013, 35(4): 959-967.
- [11] 胡琦, 董蓓, 潘学标, 等. 1961—2014 年中国干湿气候时空变化特征及成因分析[J]. 农业工程学报, 2017, 33(6): 124-132.
- [12] 曾庆存, 宇如聪, 彭贵康, 等. “雅安天漏”研究: III. 特征, 物理量结构及其形成机制[J]. 大气科学, 1994, 18(6): 649-659.
- [13] 李跃清, 张晓春. “雅安天漏”研究进展[J]. 暴雨灾害, 2011, 30(4): 289-295.
- [14] 吴泽, 范广洲, 周定文, 等. 近 60 年“雅安天漏”变化特征分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2012, 27(1): 63-70.
- [15] 周秋雪, 李跃清, 蒋兴文, 等. “雅安天漏”降水变化气候特征的分析[J]. 自然资源学报, 2016(2): 343-353.
- [16] 房玉洁, 肖天贵, 许强. 四川巴中地区引发滑坡地质灾害的强降水类型及典型案例分析[J]. 地球科学前沿, 2015, 5(3): 171-185.
- [17] 杨小凤, 朱军, 曹云刚, 等. 基于不同方法的泥石流危险性评价对比分析: 以四川汶川七盘沟泥石流为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017, 28(1): 22-29.
- [18] 胡云鹏, 邵海, 冯文凯, 等. 四川美姑洛高依达流域泥石流灾害分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017, 28(1): 67-74.
- [19] 铁永波, 胡凯衡. 基于遥感解译的典型低频泥石流形成机制研究: 以四川省宁南县矮子沟泥石流为例[J]. 灾害学, 2014, 29(3): 77-80.
- [20] 刘海知, 马振峰, 范广洲. 四川省典型区域滑坡泥石流与降水的关系[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 73-77.
- [21] 高晓容, 王春乙, 张继权, 等. 近 50 年东北玉米生育阶段需水量及早涝时空变化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 101-109.
- [22] 汪宝龙, 张明军, 魏军林, 等. 西北地区近 50 a 气温和降水极端事件的变化特征[J]. 自然资源学报, 2012(10): 1720-1733.
- [23] 刘明, 李素菊, 魏建军, 等. 1961—2010 年陕甘宁农区干旱变化规律及其对小麦潜在产量的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 147-154.
- [24] 詹存, 梁川, 赵璐. 川中丘陵区季节性干旱时空分布特征及成因分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 82-90.
- [25] 胡毅鸿, 李景保. 1951—2015 年洞庭湖区旱涝演变及典型年份旱涝急转特征分析[J]. 农业工程学报, 2017, 33(7): 107-115.
- [26] 钟科元, 郑粉莉. 1960—2014 年松花江流域降雨侵蚀力时空变化研究[J]. 自然资源学报, 2017, 32(2): 278-291.
- [27] 夏阳, 万雪丽, 严小冬, 等. 中国西南地区春季降水的时空变化及其异常的环流特征[J]. 气象学报, 2016, 74(4): 510-524.
- [28] 卢晓宁, 洪佳, 王玲玲. 近 50 年来黄河入海水沙的多时间尺度特性分析[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 115-122.
- [29] 赖成光, 陈晓宏, 王兆礼, 等. 珠江流域 1960—2012 年降雨侵蚀力时空变化特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(8): 159-167.
- [30] 林振山. 子波气候诊断技术的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 22-25.