

文章编号: 2096-1618(2020)05-0560-06

西南地区近60年夏季降水的区域特征

栗运¹, 毛文书¹, 师春香², 张禄英¹, 陈妙霖¹

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 国家气象信息中心, 北京 100081)

摘要:为对西南地区近60年夏季降水的空间分布特征以及时间变化特征进行研究,利用西南地区75个气象站点1961年1月1日–2017年12月31日的逐日降水资料,采用旋转经验正交函数分解方法、线性趋势估计法、Morlet小波分析以及Mann-Kendall突变检验等分析方法。结果表明:西南地区近60a的夏季降水总体呈下降趋势,年代际变率为 $-2.893\text{ mm}/10\text{ a}$,其夏季降水在空间分布上表现出明显的地域性。据此对西南地区夏季降水进行REOF分区,可分为4个区域:I区为贵州以及重庆南部地区;II区为四川中东部地区以及重庆北部地区;III区为川西高原地区以及四川南部地区;IV区主要是云南地区。4个区域中I区以及III区夏季降水呈上升趋势,II区和IV区夏季降水有下降趋势。4个区域的夏季降水突变集中在20世纪70年代。西南地区的降水周期特征为大周期中包含小周期,并且该4个区域夏季降水以25~30 a、准15 a以及5~10 a周期最为普遍。

关键词:气象学;夏季降水;西南地区;REOF;变化趋势

中图分类号:P463.1

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2020.05.014

0 引言

根据IPCC第五次评估报告所示,从20世纪50年代以来,气候系统有明显变暖的现象,并且预计这种全球气候系统变暖的趋势将持续到2100年之后^[1]。气候系统的持续变暖必将导致海平面的上升、积雪和海冰面积的减少以及大面积的冻土退化,这些变化势必对气候系统、生态系统产生重要影响。西南地区的地貌主要由青藏高原、云贵高原、横断山区和四川盆地等构成,是世界上地形最复杂的区域之一^[2]。这种多样性的地形对全球变暖导致的气候系统异常的响应必定有区别,再加上该地区受多个不同大气环流系统的影响,导致了西南地区降水分布的不均匀性。1961年以来,西南地区干旱、高温等严重危害作物生长的气象灾害呈频发增强趋势,90年代后,更是频繁出现了干旱极端气候事件,对农业、自然生态环境以及人民的生命财产安全造成了严重危害^[3]。干旱与降水直接相关,而夏季降水占全年降水很大的比重,所以夏季降水起着至关重要的作用。因此对西南地区夏季降水的空间分布特征以及时间变化特征的研究有重要的意义。

目前国内对西南地区降水展开了一些研究,董谢琼等^[4]研究了西南地区降水量的气候特征,指出西南地区降水的空间分布受地形地貌的影响较大,空间分布不均,降水量的变化趋势,除冬季外,春、夏、秋的降水量都表现出负趋势强于正趋势。刘晓冉等^[5]研究

了西南地区降水资源的时空特征,指出近40 a西南地区的西部高原地区降水资源呈增加趋势,而东部除重庆地区外,大部分地区降水资源减少,四川盆地西部和整个西南地区东南部的降水量整体呈下降趋势。李永华等^[6]研究西南地区东部夏季降水的时空特征,指出西南地区东部夏季降水略有增加的趋势,并且年际以及年代际变化特征较为明显存在2~3 a,15 a左右的显著周期。徐静等^[7]研究了西南地区夏季降水的气候特征,指出西南地区降水具有一定的空间区别,存在东西、南北向空间特征的降水差异;50年间滇东、滇南大部、滇中东部区域、滇西局部区域降水呈现减少趋势。晏红明等^[8]研究了西太副高与西南地区降水的关系,指出副高偏西时,6月四川西部和南部、云南中北部地区降水偏少,贵州大部降水偏多;7月四川北部和东部、贵州东北部降水偏多,而云南中部和西北部降水偏少,反之亦然。王颖等^[9]研究了全球变暖背景下青藏高原季风对西南地区降水的影响,指出夏季,高原季风偏强时,降水偏多,川渝地区气象要素变化非常显著。当高原季风位置偏东时,西南地区出现较强的异常下沉运动,温度偏高,湿度减小。上述研究中要么是对西南地区年际降水进行研究,要么是对该地区局部降水进行分析,没有详细地对西南地区夏季降水进行分区分析。为了能更好地了解西南地区干旱的发生原因以及进一步了解该地区夏季降水的最新变化,采用西南地区75个气象站点近60 a的逐日降水资料,首先分析了西南地区夏季降水的空间分布特征,再利用旋转经验正交函数分解,将西南地区合理分区,进一步详细谈论各个分区夏季降水的时间变化特征。

收稿日期:2019-11-06

基金项目:国家重点研发计划基金资助项目(2018YFC1506601),国家自然科学基金资助项目(41775079、91437220)

1 资料和方法

采用西南地区 75 个气象台站 1961 年 1 月 1 日-2017 年 12 月 31 日逐日降水数据,站点分布如图 1。首先,通过每个站点 6-8 月的逐日降水数据来计算获得每个站点的夏季总降水量,再计算降水数据的距平矩阵,通过旋转经验正交函数分解 (REOF)^[10] 得出高载荷区并分析得到空间分区结果;其次,根据分区结果分别计算 1961-2017 年各个区域夏季降水的空间平均值;最后,通过线性趋势分析^[11]、MK 突变分析^[12] 以及 Morlet 小波分析法^[13] 分析各区降水的周期变化以及突变年份。

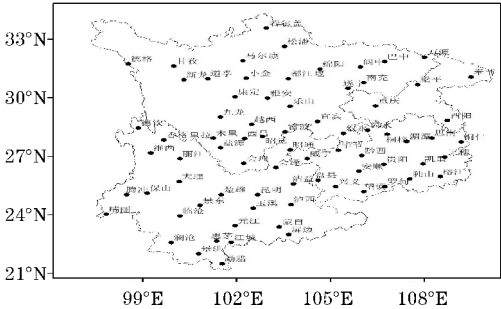
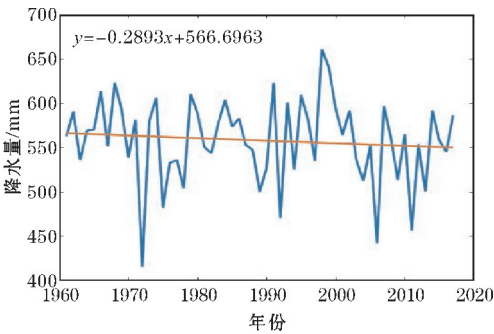


图 1 西南地区站点分布图

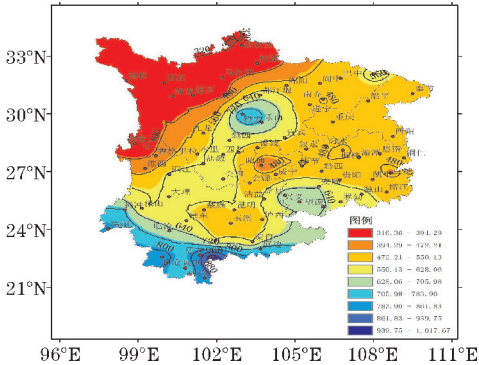
2 夏季降水的空间分布特征以及空间分区

2.1 夏季降水的空间分布特征

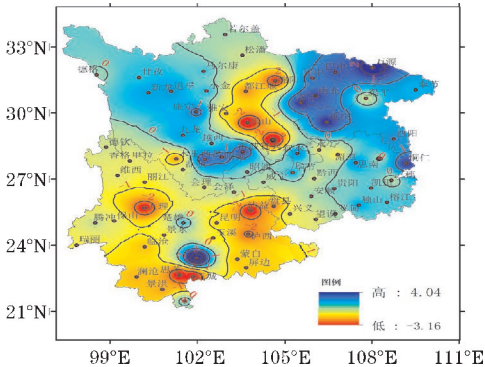
要详细了解西南地区夏季降水的区域特征,应先对西南地区夏季降水的整体空间分布和时间变化特征有所了解。图 2(a) 是西南地区夏季降水的年际变化特征,如图 2(a) 所示整个西南地区夏季降水有减小的趋势,年代际变率为 $-2.893\text{ mm}/10\text{ a}$,这与刘晓冉等^[5] 所研究的结果一致;从图 2(b) 可以得到以下几个结论:(1) 60 a 以来,西南地区夏季有 3 个降水高值区,分别位于云南南部,四川东部以及贵州西南部,这与张新主^[14] 研究西南地区水汽输送特征时,分析西南地区夏季降水的空间分结论一致,并且在高值区降水梯度也较大。(2) 降水量自东、南向西、北逐渐降低,明显可以看到,海拔高的地方降水偏少。这与西南季风,复杂的地形地貌以及影响这片区域的环流系统密切相关。从图 2(c) 可以看出在西南地区降水的年际变率自西南向东北逐渐递增;西、南地区年际变率基本为负值,而东、北部地区大都为正值。这说明西南地区夏季降水的时空变化特征具有区域不一致性,所以不能笼统的研究整块区域,而应该细化分区。



(a) 西南地区空间平均的夏季降水线性趋势



(b) 西南地区近 60 a 平均夏季降水的空间分布



(c) 为西南地区各站点降水年际变率分布

图 2 西南地区近 60 a 平均夏季降水的线性趋势

2.2 夏季降水的空间分区

为了更好地分析西南地区不同地域夏季降水的空间特征,利用夏季降水的距平数据作旋转经验正交函数分解,选取前 3 个特征向量场作为西南地区的前 3 个模态,前 3 个模态的累计方差贡献率达到 64%,能够很好地反映西南地区的空间分布特征。根据图 3(a)、(b)、(c) 图(即前 3 个模态)的高载荷区(特征值绝对值 >0.3) 以及西南地区地形、海拔等因素,将西南地区分为 4 个区域(图 3(d)): I 区主要为贵州以及重庆南部地区,该地区主要受西太副高和东亚季风的影响,降水随着副高北抬而增加,反之亦然。晏红明等^[8] 详细地研究验证了这种副高位置与西南地区降水的关系,指出副高偏西时,四川北部和东部、贵州东北部降水偏多。同时李永华等^[15] 在研究西太副高与西南地区的旱涝关系中,指出当副高脊线偏北时,西南地区东部夏季容易出现干

旱,反之,则出现洪涝的可能性大;Ⅱ区为四川东北部以及重庆东北部地区;Ⅲ区主要是四川中部平原地区以及川西高原地区,该地区主要受西南涡和高原季风影响,王颖等^[9]详细讨论了高原季风对西南地区降水的影响,高原季风偏强时,降水也偏多;Ⅳ区主要为云南地区,该地区主要受西南季风影响,西南季风从孟加拉湾带来充

沛的水汽,使得该地区降水偏多,但越往北输送,海拔越高,水汽也逐渐减小,因此降水也逐渐减小,同时张新主^[14]研究西南地区水汽输送时,指出西南地区整层大气水汽含量和净获得水汽在夏季最大,而夏季水汽主要来自孟加拉湾。

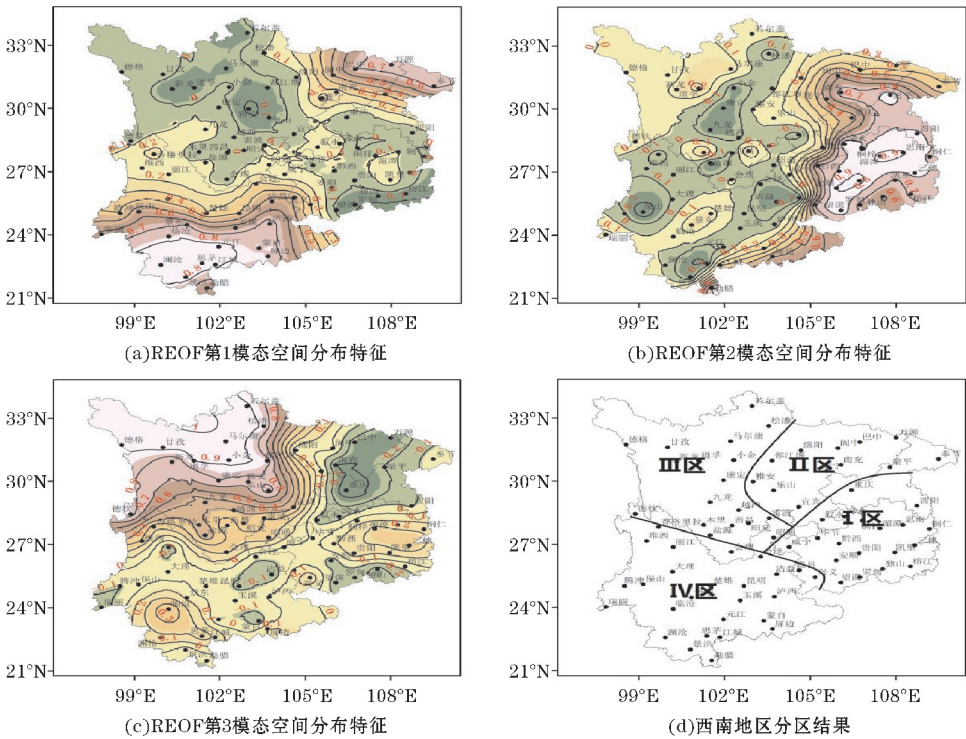


图 3 西南地区夏季降水 REOF 前 3 个模态空间分布以及分区结果

3 各区域夏季降水的时间变化特征

3.1 I 区

根据分区结果,利用各区域夏季降水的空间平均值,研究各个区域夏季降水的时间变化特征。I 区(贵州以及重庆南部地区)降水特征如图 4 所示,该区域的夏季降水有略微增加的趋势,年代际变率为 2.5 mm/10 a,这与李永华等^[6]研究西南地区东部降水特征的结果一致。20 世纪 90 年代初夏季降水量有

增加的趋势,21 世纪初期夏季降水量有减小的趋势,20 世纪 60 年代到 80 年代,降水量呈波动变化。夏季降水量的最小值出现在 70 年代初,最大值出现在 90 年代中期。该地区夏季降水在 1990 年左右发生突变,突变后呈上升趋势;在 2003 年左右发生突变,突变后呈下降趋势,两次突变的变化趋势始终未超过 0.05 的置信区间,所以变化趋势不是十分显著。该地区分别存在 15~20 a、准 10 a、5~10 a 以及准 5 a 的变化周期,20 世纪 60 年代到 80 年代这种准 10 a 和准 5 a 周期最为明显,90 年代到 21 世纪初 15~20 a 周期最为明显,而 5~10 a 周期在本世纪初最为明显。

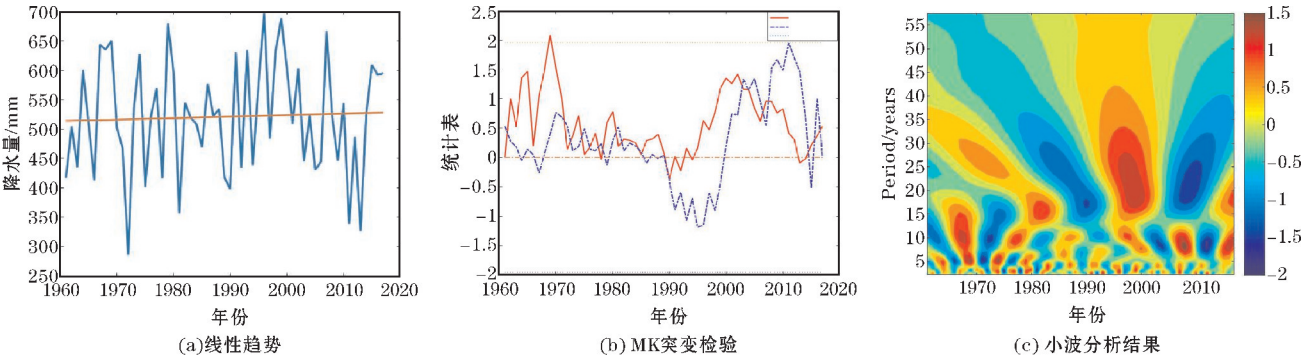


图 4 I 区的线性趋势图、MK 突变检验图以及小波分析结果图

3.2 II区

II区(四川中东部地区以及重庆北部地区)降水特征如图5(a)所示,该区域夏季降水有减小的趋势,年代际变率为 $-2.1\text{ mm}/10\text{ a}$ 。20世纪70年代末期到90年代初期夏季降水量增加的趋势比较明显,60年代到70年代中期以及90年代中期到21世纪初,降水量

都呈现出波动变化的特点,并且夏季降水的最小值出现在21世纪初。该地区夏季降水在1978年左右发生突变,突变后呈增加的趋势,但并未超过了0.05的置信区间,说明夏季降水的增加趋势不显著。该地区主要存在25~30 a以及5~10 a的变化周期,并且25~30 a以及5~10 a周期从20世纪60代到21世纪初一直存在。

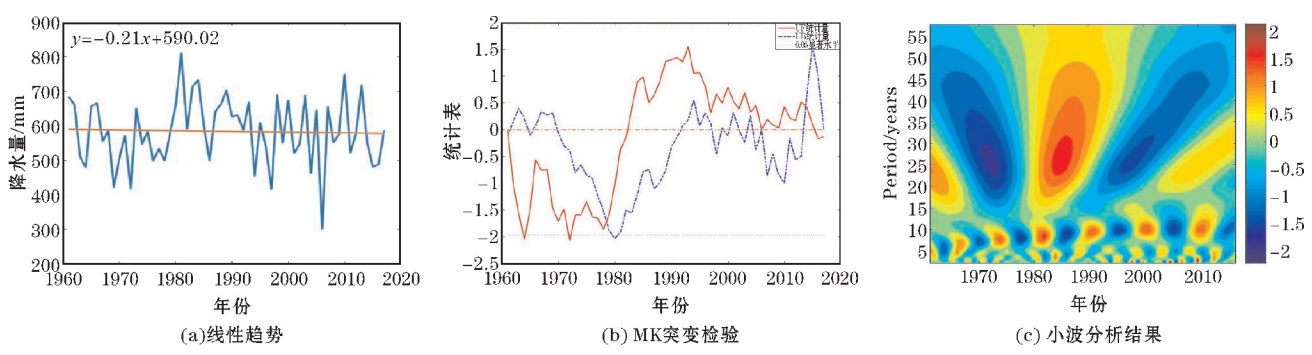


图5 II区的线性趋势图、MK突变检验图以及小波分析结果图

3.3 III区

III区主要是四川南部地区以及川西高原地区,该地区的降水特征如图6所示,整个地区的夏季降水有增加的趋势,其年代际变率为 $0.413\text{ mm}/10\text{ a}$ 。20世纪80年代初期到90年代后期该地区夏季降水有增加的趋势;60年代初期到70年代后期以及21世纪初到2017年降水则呈波动型变化。该区域夏季降水的

最小值出现在70年代初期,最大值出现在90年代末。该地区降水在1968年左右发生突变,突变后降水呈减小的趋势;在1982年左右有一个突变,突变后降水呈增加的趋势,突变后的变化趋势都没有超过0.05的置信度,所以变化均不是很显著。该区域降水周期以25~30 a、准15 a周期以及准5 a周期最为明显,并且从上世纪60年代到本世纪初25~30 a、准15 a周期以及准5 a周期一直存在。

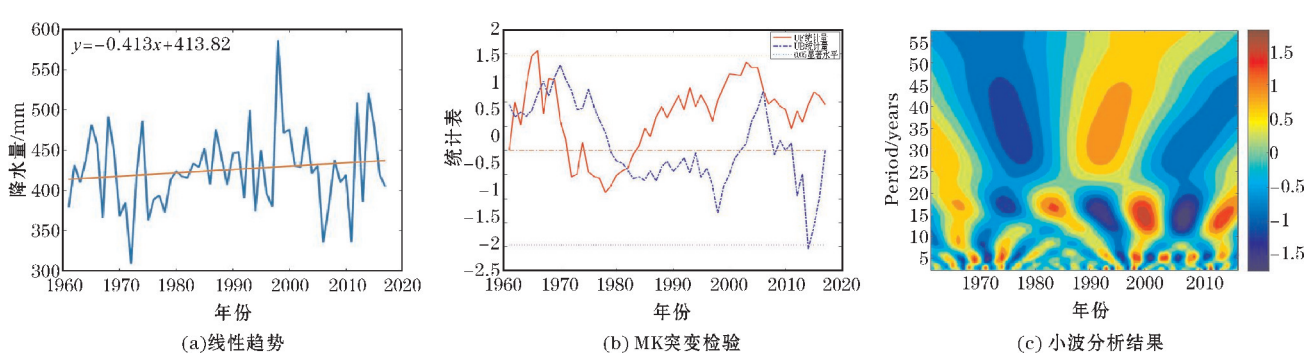


图6 III区的线性趋势图、MK突变检验图以及小波分析结果图

3.4 IV区

IV区(云南地区)的降水特征如图7所示,该区域夏季降水具有减小的趋势,年代际变率为 $-9.58\text{ mm}/10\text{ a}$,徐静等^[7]研究云南地区夏季降水的气候特征时指出50年间,滇东、滇南大部、滇中东部区域、滇西局部区域呈现降水减少趋势,这与文中分析的结果一致。20世纪70年代到90年代初降水量减小的趋势比较明显,90年代初到21世纪20年代降水有先增大后减小的趋势,而在20世纪60年代到70年代间降水呈波动变化。该区域夏季降水的最大值出现在

60年代初期,最小值出现在上世纪90年代初期。IV区夏季降水在1973年左右发生突变,而且突变后的减小趋势超过了0.05的置信区间,说明70年代到90年代初降水的减小趋势显著;同时在1998年左右也发生突变,突变后呈减小的趋势,但变化趋势未超过0.05的置信区间,说明变化不显著。同时,该地区主要存在准30 a、准15 a、5~10 a以及5 a以下的降水周期,60年代开始到21世纪初准30 a、准15 a周期最为明显,5~10 a的降水周期主要存在于20世纪70年代末到90年代初,而60年代开始到70年代初以及80年代伊始到21世纪初存在5 a以下的周期。

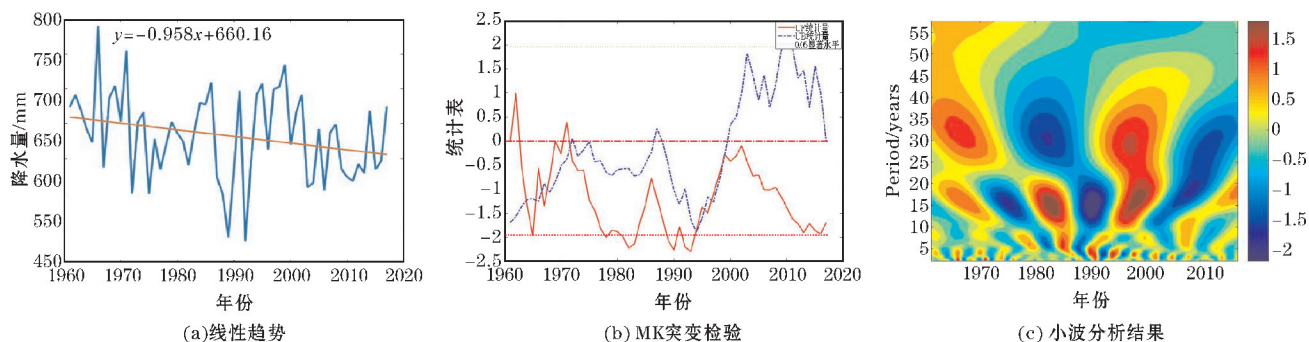


图7 IV区的线性趋势图、MK突变检验图以及小波分析结果图

4 结论和讨论

(1) 60 a 以来,西南地区夏季降水呈减小的趋势,年代际变率为 $-2.893\text{mm}/10\text{a}$ 。西南地区夏季有3个降水高值区,分别位于云南南部,四川东部以及贵州西南部,在高值区降水梯度也较大。降水由东、南向西北逐渐减小。西南地区西、南部与东、北部的降水年际变率分布大致呈相反的趋势。

(2) 根据夏季降水矩平作 REOF 分解,根据前3个模态的高载荷区,把西南地区分成4个区域:I区(贵州以及重庆南部地区)以及Ⅲ区(川西高原地区以及四川南部地区)夏季降水呈上升趋势,Ⅱ区(四川中东部地区以及重庆北部地区)和Ⅳ区(云南地区)夏季降水有下降的趋势。

(3) 西南地区4个区域夏季降水的突变年份主要集中在20世纪70年代和21世纪初:I区降水突变发生在1990年左右以及2003年左右;Ⅱ区降水突变年份在1978年左右;Ⅲ区降水突变发生在1968年左右以及1984年左右;Ⅳ区有两个突变点分别为1973年左右,1998年左右,并且在1973年突变后的减小趋势超过了0.05的置信区间,变化明显。

(4) 西南地区4个区域的降水周期特征为大周期中包含小周期,主要以25~30 a、准15 a以及5~10 a周期为主:I区主要存在15~20 a、准10 a、5~10 a以及准5 a的变化周期;Ⅱ区存在25~30 a和5~10 a周期;Ⅲ区主要存在25~30 a、准15 a以及准5 a的降水周期;Ⅳ区降水周期以准30 a、准15 a、5~10 a以及5 a以下的降水周期最为明显。

由于西南地区地形地貌的复杂性以及控制该区域的环流系统的多样性,使得该地区的降水区域分布异常。文中仅仅谈论了西南地区各个区域夏季降水的空间分布特征以及时间变化特征,对于在全球变暖的大背景下,大气环流系统对该地区降水产生的影响没做细致讨论,但是这方面的研究对指导该地区的天气预

报以及气候预测极其重要,所以对西南地区夏季降水变化与各种环流系统的变化的联系值得深究。例如,全球变暖背景下,青藏高原对变暖的响应是极为敏感的,而这种变化,对西南地区降水又有何种影响?再者,厄尔尼诺产生时,副高位置偏南偏东,对西南地区夏季降水又有如何的影响?影响机制是什么?这些问题都值得讨论。

参考文献:

- [1] 秦大河, Thomas Stocker. 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.
- [2] 徐裕华. 西南气候[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 1-5.
- [3] 西南区域气候变化评估报告[N]. 中国气象报, 2013-09-26(003).
- [4] 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.
- [5] 刘晓冉, 李国平, 范广洲, 等. 我国西南地区1960-2000年降水资源变化的时空特征[J]. 自然资源学报, 2007(5): 783-792.
- [6] 李永华, 徐海明, 白莹莹, 等. 我国西南地区东部夏季降水的时空特征[J]. 高原气象, 2010, 29(2): 523-530.
- [7] 徐静. 浅析中国西南地区近50年夏季降水的气候特征[J]. 农家参谋, 2019(4): 151.
- [8] 晏红明, 王灵. 西北太平洋副高东西变动与西南地区降水的关系[J]. 应用气象学报, 2019, 30(3): 360-375.
- [9] 王颖. 变暖背景下青藏高原季风变异及对我国西南气候的影响[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2015.
- [10] 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: 131-136.

[11] 吴洪宝. 气候变率诊断和预测方法[M]. 北京: 气象出版社,2005.

[12] 曹洁萍,迟道才,武立强,等. Mann-Kendall 检验方法在降水趋势分析中的应用研究[J]. 农业科技与装备,2008(5):35-40.

[13] RonghuiLi, NengchengChen, XiangZhang, et al. Quantitative analysis of agricultural drought propagation process in the Yangtze River Basin by using cross wavelet analysis and spatial autocorrelation[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2020,280.

[14] 张新主. 西南地区水汽输送特征分析[D]. 长沙:湖南师范大学,2011.

[15] 李永华,青吉铭,李强,等. 西南地区东部夏季旱涝的西太平洋副高特征[J]. 西南大学学报(自然科学版),2013,35(3):106-116.

Regional Characteristics of Summer Precipitation in Southwest China in Recent 60 Years

SU Yun¹, MAO Wenshu¹, SHI Chunxiang², ZHANG Luying¹, CHEN Miaolin¹

(1. College of Atmospheric Sciences, CUIT, Chengdu 610225, China; 2. National Meteorological Information Center, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the daily precipitation data of 75 meteorological stations in the southwestern region from January 1, 1961 to December 31, 2017, the spatial distribution characteristics and temporal variation characteristics of summer precipitation in the southwestern China in the past 60 years were analyzed by using the rotational empirical orthogonal function decomposition method, linear trend estimation method, wavelet Analysis and Mann-Kendall mutation analysis. The analysis results show that the summer rainfall in the entire southwestern region in the past 60 years has shown a general downward trend, with an interdecadal variability of $-2.893\text{ mm}/10\text{ a}$, and its summer precipitation shows obvious regional distribution in space. Based on this, the REOF zoning of summer precipitation in the southwestern region can be divided into 4 regions: Region I is Guizhou and southern Chongqing; Region II is central and eastern Sichuan and northern Chongqing; Region III is the western Sichuan plateau and southern Sichuan; Area IV is mainly Yunnan. Among the four regions, summer precipitation in areas I and III showed an upward trend, and summer precipitation in areas II and IV showed a downward trend. The abrupt changes in summer precipitation in the four regions were concentrated in the 1970s. The characteristics of the precipitation cycle in the southwestern region are that large cycles include small cycles, and summer precipitation in these four regions is most common at periods of 25 to 30 a, quasi 15 a and 5 to 10 a.

Keywords: meteorology; summer precipitation; southwestern region; REOF; tend