

Spatial and Temporal Distribution Characteristics and Analysis of Precipitation Anomalies in Southwest China

Lulu Li, Tiangui Xiao*, Mingxin Yang

School of Atmospheric Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: *xiaotiangui@cuit.edu.cn

Received: Oct. 3rd, 2019; accepted: Oct. 18th, 2019; published: Oct. 25th, 2019

Abstract

In this paper, the daily precipitation observation data from 1981 to 2016 from 353 stations in southwest China were used to study the anomalous precipitation in southwest China. Firstly, the spatial and temporal distribution characteristics of precipitation in southwest China in the past 36 years were studied. Using NCL mapping software, according to EOF analysis and wavelet analysis, it can be concluded that the precipitation in southwest China in the past 36 years presented an increasing trend in time and an inverse distribution from east to west in space. Combined with wavelet analysis to further discuss the time distribution, it is concluded that the annual precipitation in southwest China has an inter-annual change, and there is a significant 2-4a cycle change from 1992 to 2002. Since large-scale atmospheric circulation also has a 2-4a change period, it can be considered that there is an important relationship between precipitation anomaly and atmospheric circulation anomaly in southwest China. According to the standard deviation of the first mode time series obtained by EOF analysis, the precipitation anomaly was selected as juvenile anomaly. Based on the reanalysis data of NCEP/NCAR, the analysis of meteorological factor fields at different heights is made, and the conclusion is drawn that the precipitation anomaly in southwest China is closely related to the circulation configuration of high and low layers.

Keywords

Precipitation Anomalies, EOF, Wavelet Analysis, Composite Analysis

西南地区降水异常的时空分布特征分析

李露露, 肖天贵*, 杨明鑫

成都信息工程大学, 大气科学学院, 四川 成都
Email: *xiaotiangui@cuit.edu.cn

收稿日期: 2019年10月3日; 录用日期: 2019年10月18日; 发布日期: 2019年10月25日

*通讯作者。

摘要

本文利用西南地区的353个站点所取得的1981~2016年的逐日降水观测资料,对西南地区的异常降水进行研究。首先研究了西南地区降水在这36年的时空分布特征,利用NCL绘图软件,根据EOF分析以及小波分析可以得出,西南地区在这36年降水在时间上呈现增多趋势,在空间上呈东西反向分布。结合小波分析对时间分布作进一步的探讨,得出结论,西南地区年降水量存在年际变化,于1992~2002年间存在显著的2-4a周期变化。由于大尺度大气环流亦存在2-4a变化周期,因此可以认为西南地区产生降水异常与大气环流异常存在重要联系。根据EOF分析得出的第一模态时间序列的标准差为标准,选定降水异常偏多年和异常偏少年。利用NCEP/NCAR的再分析资料,分别对不同高度的气象要素场作合成分析,分析得出西南地区产生降水异常与高低层环流配置有着重要联系。

关键词

降水异常, EOF, 小波分析, 合成分析

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

西南地区[1]位于青藏高原东南部。本文中提及的西南地区为云、贵、川、渝三省一市(不包括西藏地区),大致范围为 $21^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $97^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 。本文所指的西南地区根据地形条件可以大致分为三个部分:四川盆地、云贵高原和青藏高原高山山地区。西南地区的气候可以依此分为三类:四川盆地湿润北亚热带季风气候、云贵高原低纬高原中亚热带季风气候和高山寒带气候与立体气候分布区。

赵庆云[2] (1999)采用西北五省90个站点的逐日降水资料,利用EOF和REOF将西北区降水异常区划为8个区,因为降水区域的划分与西北区气候相吻合,因此有利于西北区降水异常的预测,但是对于西南地区降水研究较少。董谢琼[3] (1998)对云南、贵州、四川、重庆地区的1951~1995年的76个站点的逐日降水资料进行分析,着重研究了西南地区年降水量趋势分布,但是欠缺降水异常的时空分布特征的研究。张琪[4] (2014)对西南地区97个站从1960~2007年日降水资料进行趋势分析、周期讨论以及EOF分区,得出了雨日的分布时空特征,但是形成这一分布的成因没有讨论。孙小婷[5] (2017)利用1961~2015年日观测资料,人为地定义了一个西南地区夏季长周期旱涝急转指数,根据文中定义的旱涝急转指数,确定旱涝急转年,并根据获得的旱涝急转年进行环流分析和水汽输送异常分析。夏阳[6] (2016)利用西南地区97个站点的逐日降水资料,再结合再分析资料,对西南地区春季降水的时空分布特征及异常降水的形成原因进行了分析。周莉[7] (2018)等对湖南省88个站的观测资料进行合成分析,指出大尺度大气环流的变异是引起中国东部降水异常的主要原因。研究西南地区降水量变化对地表河流的径流量有着直接影响,可以为洪涝灾害的预测和防治提供参考,并且西南地区异常降水的时空分布特征对研究降雨量和环境温度的年际变化和年代际变化对全球气候变化有重要意义。

西南地区全年主要以小雨为主,其降水天数占总天数的75%,而降水量贡献较多的降水类型则是以大到暴雨为主,其降水量占全年总降水量的50%以上,并且西南地区降水的局地变化强烈,西南地区的年降水量整体呈“东多西少”的分布特征。本文将通过选用中国气象局国家气象信息中心提供的1981年

~2016 年西南地区 353 站逐日降水资料, 以及 NCEP/NCAR 提供的分辨率为 2.5×2.5 的 1981 年~2016 年风、位势高度、比湿、海平面气压等气象要素的月平均再分析资料对西南地区降水异常时空分布特征进行分析, 旨在通过对西南地区异常降水进行研究, 为其提供一定的理论分析依据。

2. 中国西南地区降水的时空分布特征

2.1. 降水数据的相关性分析及显著性检验

本文主要对西南地区降水进行研究。如图 1 为所选用的西南地区 353 个站点, 并且表明了西南地区区域平均降水与区域内的 353 个站点降水的相关分布特征。从图 1 中可以看出, 除了四川北部以及云南北部等较少区域外, 绝大部分区域包括四川东部、重庆、贵州、云南南部地区的降水分布相关系数通过了 99% 的显著性检验, 云南西部和四川盆地南部等区域亦通过了 95% 置信度的显著性检验, 而四川北部和南部与云南东北部紧邻地区的相关性较差, 但是因为绝大部分地区均通过了显著性检验, 所有仍然可以认为所选的西南地区内降水变化存在着较为显著的一致性, 因此这个区域范围选择是合理的。

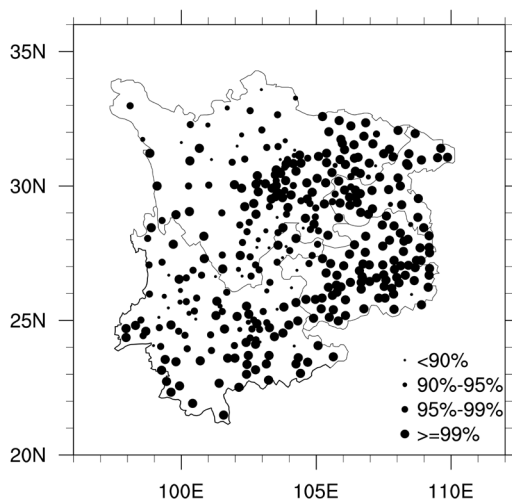


Figure 1. The correlation between the time series of regional average precipitation in Southwest China and precipitation at various sites in the area (Different size dots represent statistical t-tests with significant levels of confidence)

图 1. 西南地区区域平均降水的时间序列与区域内各站点降水的相关分布(不同大小圆点表示通过不同置信度水平显著性的统计 t 检验)

2.2. 西南地区年降水量时间分布特征及周期分析

为了研究西南地区年降水的总体时间分布, 先将站点的逐日降水资料处理成年降水资料。基于年降水数据的前提, 把西南地区作为一个研究整体, 对西南地区年降水量随时间变化的情况进行分析。将西南地区区域范围内的 353 个站点按年份进行求和, 得到西南地区区域降水的时间序列, 采用距平百分率画图, 以便更直观的反映降水随时间的变化。

西南地区所有站点 1981 年至 2016 年降水平均值之和为 383,254.8 mm, 其距平百分率如图 2 所示。从图中可以看出, 西南地区年降水总体呈现增长趋势, 相关系数超过 0.05 ($r = 0.504205$) 显著性水平, 因此趋势显著性上升。按照降水多寡可以将 1998 年作为分界线划分为两个阶段。第一阶段为 1981~1998 年前后, 该时期西南地区降水明显偏少, 在 1981 年达到谷值, 降水量偏少量低于平均值接近 40%, 在 1982 年低于平均值接近 36%。在第一阶段这 18 年中, 仅有 5 年的降水距平百分率高于平均值。第二

阶段为 1999~2016 年, 该时期西南地区降水量明显增加, 这个阶段的降水情况与第一阶段截然相反。在这 18 年中, 有 15 年的降水距平百分率高于平均值, 仅 2003 年、2005 年和 2010 年这三年的降水较平均情况偏少。在第二阶段, 2001 年降水量达到峰值, 降水偏多量超过平均值约 30%。2006~2016 年中, 除了 2010 年降水略低于平均值, 其余年份降水持续偏多, 但是偏多的程度远不及 2001 年, 偏多量均在 20% 以内。

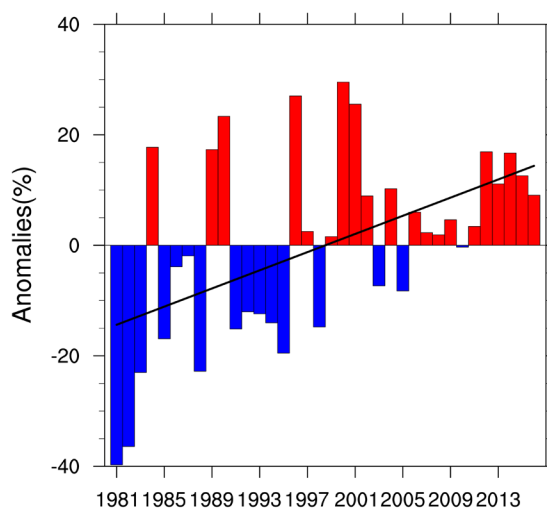


Figure 2. Regional precipitation anomaly percentage
图 2. 区域降水量距平百分率

2.3. 西南地区年降水量时间分布特征及周期分析

为了进一步分析西南地区年降水的时空分布特征[8], 对该区域各站 36 年的年降水做距平标准化处理, 然后进行经验正交函数分解, 取前 3 个模态进行分析。根据 North 检验可以得出这前三个特征向量均通过了显著性检验。表 1 为 EOF 分解得出的前 3 个特征向量的方差贡献率及累计方差贡献率分布, 可以看出这前 3 个特征向量可以解释西南地区年降水总方差的 61.2%, 这说明取前 3 个特征向量已经能够基本体现西南地区年降水时空变化的典型空间分布特征。

对西南地区的年降水量进行 EOF 分解后, 获得的第一模态的方差贡献率大致为 37.4%, 其基本能够代表西南地区年降水最主要的空间分布特征。图 3(a)中显示西南地区总体呈现“西负东正”的相关分布特征, 零线大致位于云南中部 - 贵州西北部 - 四川东北部一线, 正载荷向量中心主要位于云南省南部、贵州省南部、重庆北部以及四川省东北部地区, 载荷值达 0.008, 载荷负值中心主要位于四川省西北部。正大值中心和负大值中心对应区域降水变率较大, 为旱涝异常的敏感地带。

第二模态的方差贡献率为 14.1%。如图 3(b)所示, 西南地区总体载荷呈“北正南负”分布特征。其中, 载荷正值中心主要位于四川东北部及重庆北部, 载荷值达到 0.012。负值中心在集中位于云南中部, 载荷值达到-0.008。这两大区域降水变率大, 为旱涝异常的敏感地带。

西南地区的年降水量通过 EOF 分解之后, 对应的第三特征向量的方差贡献率为 9.7%。如图 3(c)所示, 西南地区整体呈“负正负正”的分布特征。四川盆地北部存在着明显的负值中心, 而四川南部存在明显的正值中心; 云南载荷分布与四川一致, 只是降水变率小于四川, 也就是对旱涝异常的敏感程度弱于四川; 重庆的载荷分布与四川相反, 呈“北正南负”分布形式; 贵州省呈一致的降水偏多或者偏少。

Table 1. The variance contribution rate of the first three eigenvectors of annual precipitation EOF analysis in Southwest China
表 1. 西南地区年降水量 EOF 分析前 3 个特征向量的方差贡献率

模态	1	2	3
方差贡献率%	37.4	14.1	9.7
累积方差贡献率%	37.4	51.5	61.2

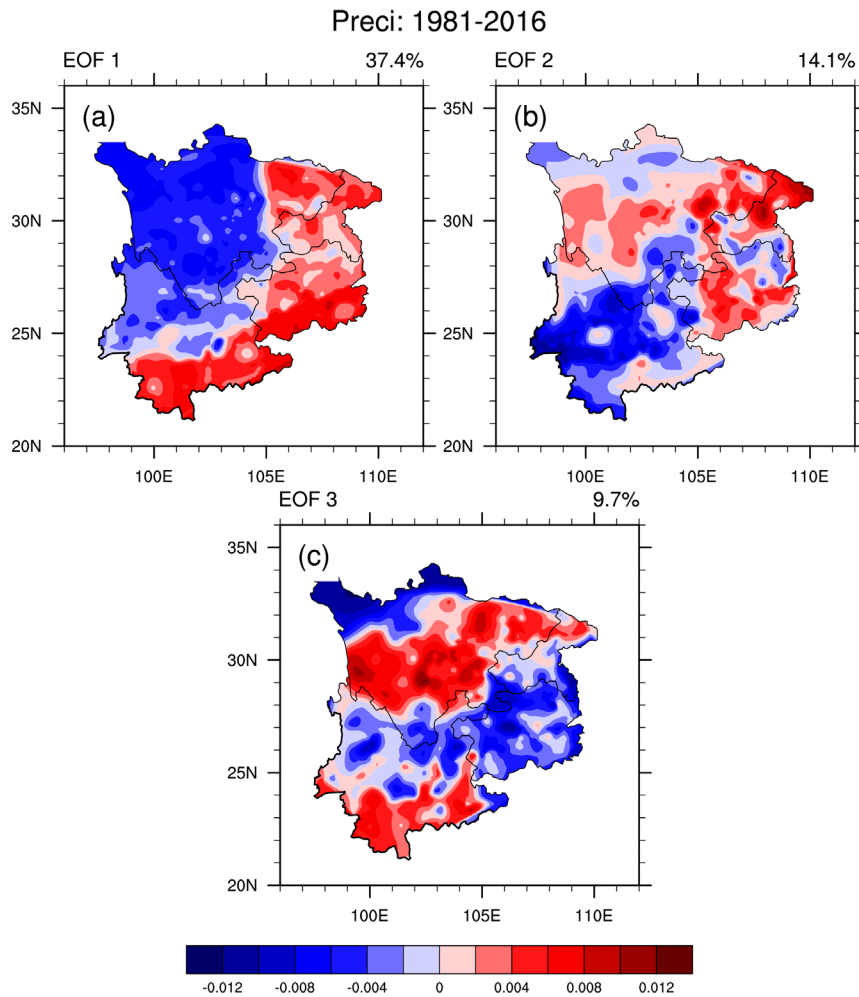


Figure 3. The first (a), second (b), and third (c) load vector fields of annual precipitation in southwest China
图 3. 西南地区年降水量的第一(a)、第二(b)、第三(c)载荷向量场

2.4. 西南地区年降水量的时间分布特征

从第一时间系数 PC1 (图 4(a))可以看出, 西南地区的正负位相不均匀分布有显著的年际变化特征。黑色实线为线性趋势, 1981~2016 年降水总体呈上升趋势并且通过 90% 置信度的显著性检验, 1986 年之前和 2005 年之后的振幅较大, 因此东西异常的程度也偏大。1991~1994 年间呈现降水持续偏少的负异常, 是一段降水年际变化较小的早期, 1996 年、2001 年降水异常增多, 此后降水就呈波动变化。黑色虚线表示为通过 13 年滑动平均。由黑色虚线可以看出, 除 1989~1991 年、2009~2010 年为明显降水偏少年, 1990 年、2000~2007 年为降水偏多年, 其余年份降水保持正常。为了能够更加详细的获取此模态周期变化规律, 因此进行小波分析。阴影区为显著性区域, “碗” 状曲线上部为信度区间范围。如图 5(a)所示, PC1

存在 2-4a 变化周期在 1992-2002 年表现最为显著。

从第二时间系数 PC2 (图 4(b))可以看出, 1981~2016 年降水总体呈上升趋势且通过了 90% 的显著性检验, 1992 年之前和 2000 年之后的时间系数振幅较大, 所以南北异常程度也偏大。根据 13 年滑动平均来看, 1993 以前, 2010 年以后为降水偏少的负异常, 1994~2009 年间呈现降水持续偏多的正异常。从图 4(b) 中可以大致反映出西南地区“北正南负”分布特征具有显著的年际变化特征。为了能够更加详细的获取周期变化特征, 对该模态的时间系数的小波方差进行分析。如图 5(b)所示, PC2 存在 2-4a 变化周期在 21 世纪前十年的后期最为显著。如图 4(c)得, 第三时间系数 PC3 呈增强趋势, 但是并未通过 90% 置信度的显著性检验。由图 5(c)可知, 第三模态对应的时间系数在 1997~2008 年间存在一个 2-4a 变化周期。

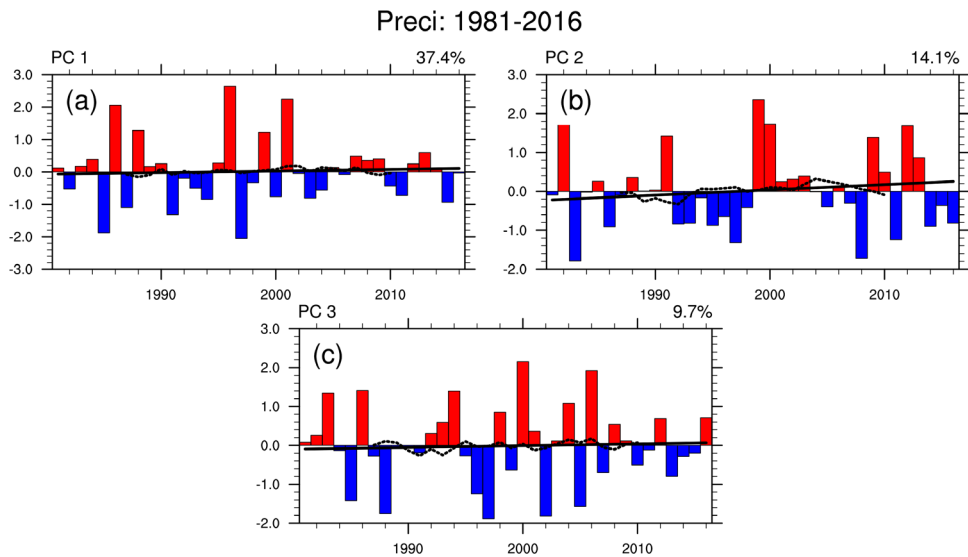


Figure 4. Time series of the first three modes
图 4. 前三个模态的时间序列

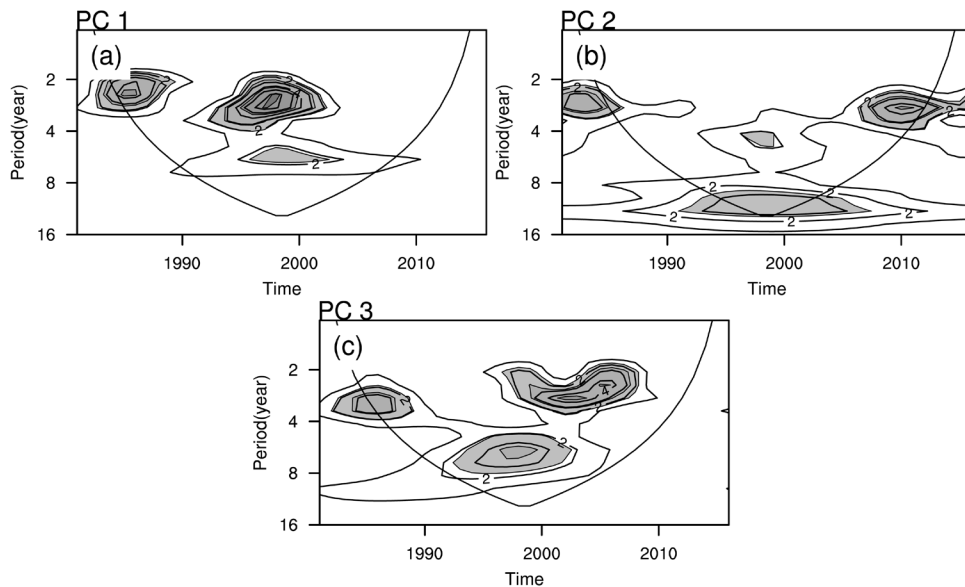


Figure 5. Wavelet analysis of the first three modal time series
图 5. 前三个模态时间序列的小波分析

综上所述, 西南地区年降水量空间上总体呈西负东正分布, 西南地区降水东西反位相变化。正负载荷分界线在云南中部基本与纬线平行, 在四川东部基本与经线平行。时间分布上, 西南地区年降水气候倾向率总体以正值为主, 这表明西南地区降水表现为上升趋势。大尺度大气环流固有周期为 2-4a, 根据小波分析可以得出, 前三个模态都具有显著的 2-4a 周期变化, 因此大尺度大气环流极有可能是降水存在 2-4a 周期变化的内在原因[9]。

3. 西南地区降水异常的环流特征

由上文的分析中可以看出, 西南地区年降水量的前三个模态均具有显著的 2-4a 周期变化, 和大尺度大气环流固有周期相同, 由此可以得出大气环流异常是异常降水发生的必要条件[10]。因为夏季是一年中产生降水相对较多的季节, 这个季节集中了一年中大部分降水。因为地形原因, 除四川盆地西部高原地区降水较少, 其他地区降水量均在 500 mm 以上。还有研究表明, 造成中国夏季降水异常的大尺度大气环流系统主要包括: 南亚高压、西风急流, 西太平洋副热带高压等。所以下文将会主要针对西南地区夏季(6~8 月)降水异常偏多年、降水异常偏少年的气象要素场进行合成分析, 分析其对应环流特征, 以便了解此区域降水异常的主要大气环流背景[11]。

由于 EOF 分解获得的第一特征向量方差贡献率高达 37.4%, 所以选取第一模态相应的时间系数, 计算其相应的标准差, 选取时间系数大于 1 倍标准差的年份定义降水偏多年, 此方法得到的降水偏多年有 5a, 分别为 1986、1988、1996、1999 和 2001 年; 时间系数小于 1 倍标准差的年份定义降水偏少年, 降水偏少年共 4a, 分别为 1985、1987、1991 和 1997a。下文主要是对降水异常典型年份的相关气象要素进行合成分析。

3.1. 高层环流特征

前期已经有很多研究[12]表明, 中高纬度地区对应的东亚副热带西风急流是导致东亚旱涝灾害的一个重要环流系统。本文用 200 hPa 纬向风来表征副热带西风急流的强度大小[13], 把(30°~50°N, 90°~110°E)作为西风急流活动区域。从图 6 可以看出, 副热带西风急流在上文标定范围内, 表现为负异常, 此区域表现为差值东风, 即表示西南地区在降水异常偏多年时, 副热带西风急流位置相对于降水偏少年偏南。根据 Shin 等(2005)通过对暴雨过程个例研究, 得出相应结论: 高空的西风急流入口区南侧容易产生高空的辐散区, 利用抽吸作用, 造成空气的抬升, 有利于气旋生成。西南地区恰处于其急流轴入口区, 由此

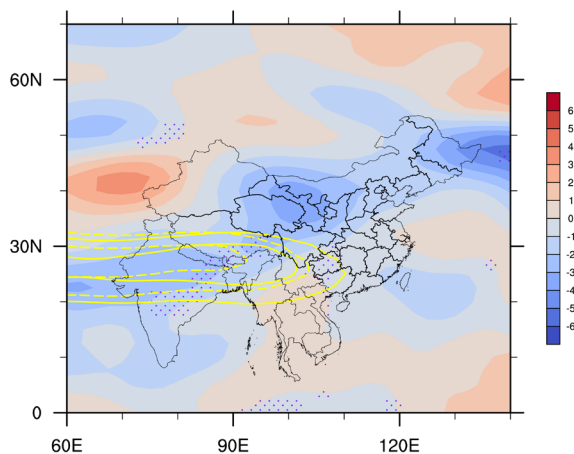


Figure 6. 200 hPa U-wind difference field (shadow, unit m/s) and pass 90% confidence test (dot). The yellow contour marks the South Asian high (The dotted line is the year with more precipitation, and the solid line is the year with less precipitation)
图 6. 200 hPa 纬向风差值场(阴影, 单位 m/s)及通过 90% 的信度检验(圆点); 黄色等值线标记出的为南亚高压(虚线为降水偏多年, 实线为降水偏少年)

可以解释西南地区降水偏多原因。进一步证实西南地区辐合辐散情况, 可以通过 200 hPa 散度场可以看到(图 7), 西南地区除四川外, 大部分地区为正值, 其中云南南部通过了显著性检验, 这些地区高层为辐散区, 其中以云南南部地区最为显著, 利用抽吸作用, 有利于低层辐合, 形成上升气流, 有利于降水。四川主要为负值, 对应高层辐合, 低层辐散, 为下沉气流, 不利于降水。

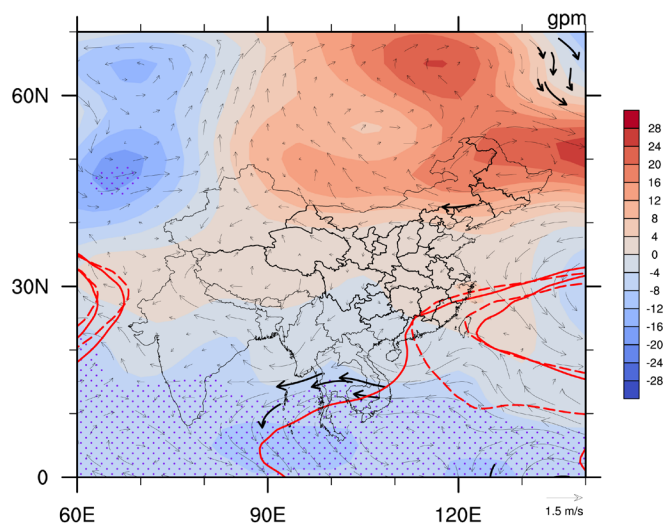


Figure 7. 200 hPa divergence field (shadow) and pass 90% confidence test (dots)
图 7. 200 hPa 散度场(阴影)及通过 90% 的信度检验(圆点)

降水偏多年, 南亚高压的强度较弱, 中心位势高度为 12,552.08 gpm, 位置偏西, 向东延伸至最远处到达云南北部(103°E 左右), 贵州、重庆以及云南南部未受南亚高压控制, 因青藏高原地形阻挡气流分流, 干冷北支气流和湿润南支气流交汇在这些地区, 这些区域易产生降水, 而受南亚高压控制的地区因下沉气流影响, 不易产生降水。在降水偏多年时, 南亚高压势力较强, 中心位势高度约为 12,557.43 gpm, 高压脊向东延伸至贵州以东, 整个西南地区均受南亚高压控制, 不利于降水。

3.2. 中层环流特征

图 8 给出了在 500 hPa 高度时, 降水偏多年与降水偏少年的位势高度差值场关系图。由图 8 可以看出, 在我国北方地区位势高度正异常, 且我国东北部存在一个大值中心, 说明北方地区降水偏多年比降水偏少年阻塞高压活动更加频繁。我国南方地区位势高度存在负异常, 即在降水偏多年时, 这片地区低槽活动较为频繁, 其南下带来的冷空气与西太平洋副热带高压南侧的西南气流交汇于西南地区[14]。30°N 以南地区, 存在一个高度场负异常, 说明西太平洋副热带高压中心在降水偏多年时强度更小。根据图 8 中分别标出的降水偏多年、偏少年对应的副高位置得知, 在降水偏多年时, 副高势力较弱, 中心位势高度仅为 5883.305 gpm, 脊线位置东缩至东部沿海地区, 这有利于来自北方的冷空气与由副高南侧的西南风带来的暖湿气流在西南地区交汇, 形成降水; 在降水偏少年时, 副高势力偏强, 中心位势高度达到 5888.835 gpm, 脊线位置西伸至 90°E 附近, 但是位置偏南, 西南地区主要受副高北侧的偏北风控制, 不利于降水。

3.3. 低层环流特征

东亚夏季风是影响亚洲夏季气候的主要环流系统[15], 从 850 hPa 风场(图 8)和图 9 可以较好的看出低层风场的辐合辐散情况。由降水偏多年与降水偏少年的 850 hPa 风场差值场(图 8)可以看出, 风场与 500 hPa 高度场匹配。东部地区自南向北分别被反气旋、气旋、反气旋、气旋控制, 其中 20°~40°N 为较大的气旋控

制,其西侧偏北气流将北方的冷空气向南方输送。为进一步讨论涡度场分布情况,在图 10 涡度差值场中可以看出,在降水偏多年,孟加拉湾附近、我国华南地区以及青藏高原地区存在显著的反气旋异常,不利于低涡的发展,但有利于将来自海洋或青藏高原的暖湿气流输送往中部且与偏北气流在西南地区交汇,为降水提供了动力辐合条件;西南地区除四川南部以及云南北部小块区域,其余地区涡度差值为正,有利于低涡的发展。而由图 9 散度场可知,虽然西南地区没有通过显著性检验,但是四川西部,云南散度差值为正,为降水偏多年散度值大于降水偏少年,该地区对应辐散区,存在下沉气流,不利于降水;重庆、贵州、四川东部为负值,表现了降水偏多年散度值小于降水偏少年,对应辐合区,对应上升气流,有利于降水。总体来说,在降水偏多年时,850 hPa 风场、散度场、涡度场相配合,有利于降水形成。

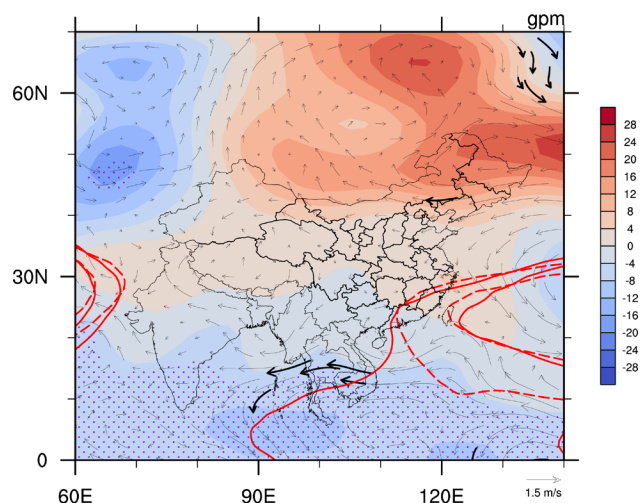


Figure 8. Summer 500 hPa potential height difference field (shadow, unit: gpm) and pass 90% reliability test (dot). 850 hPa wind field (arrow, unit: m/s) and passed the 90% reliability test (bold arrow). The red contour marks the Western Pacific Subtropical High (The dotted line is the year with more precipitation, and the solid line is the year with less precipitation)

图 8. 夏季 500 hPa 位势高度差值场(阴影, 单位: gpm)及通过 90% 的信度检验(圆点)。850 hPa 风场(箭头, 单位: m/s)及通过 90% 的信度检验(加粗箭头)。红等值线标记出的为西太平洋副热带高压(虚线对应降水偏多年, 实线对应降水偏少年)

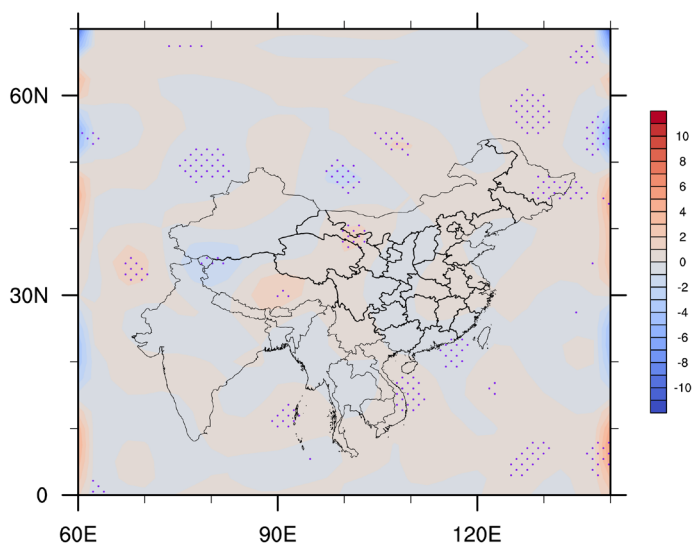


Figure 9. 850 hPa divergence field (shadow) and pass 90% confidence test (dots)

图 9. 850 hPa 散度场(阴影)及通过 90% 的信度检验(圆点)

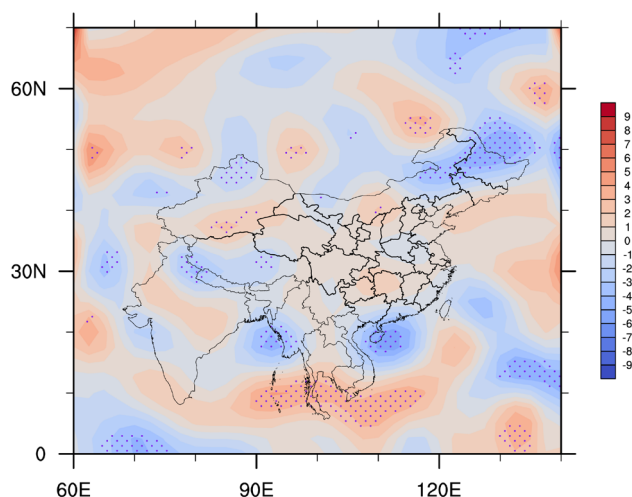


Figure 10. 850 hPa vorticity field (shadow) and pass 90% reliability test (dot)
图 10. 850 hPa 涡度场(阴影)及通过 90%的信度检验(圆点)

3.4. 水汽输送异常

有研究指出[16],影响西南地区降水的水汽源主要为孟加拉湾、青藏高原与中国东部海洋等地,并且由于大气中的水汽主要集中在 850~700 hPa [17],因此取 850 hPa 及整层的水汽通量以及水汽通量散度作合成分析,在计算整层水汽通量时,仅计算地面 1000 hPa 到 300 hPa 高空共 7 层。由 850 hPa 水汽通量图可知(图 11),图中的水汽辐合差值的中心主要位于孟加拉湾,而水汽输送辐散差值中心主要位于青藏高原地区,这个表现为较强的反气旋式水汽输送环流。在水汽通过量散度图上,西南地区总体呈西部辐散,东部辐合的分布特征。与此同时,在整层大气的水汽通量散度图(图 12)可以看出,相对于 850 hPa 图上的东西相反的分布特征,图 12 上西南地区主要以水汽辐散为主,主要的显著辐散的区域为青藏高原东部,孟加拉湾的辐合不显著。因此,青藏高原地区的水汽输送是西南地区降水偏强的关键原因。青藏高原上的水汽是由偏北风输送至西南地区。

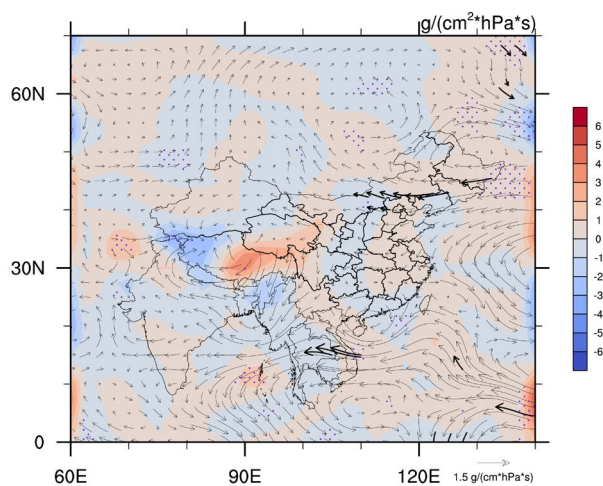


Figure 11. 850 hPa water vapor flux divergence difference field (shadow, unit: $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$) and passed the 90% reliability test (dot). Water vapor flux difference field (arrow, unit: $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$) and passed the 90% reliability test (bold arrow)
图 11. 850 hPa 水汽通量散度差值场(阴影,单位: $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$)及通过 90%的信度检验(圆点)。水汽通量差值场(箭头,单位: $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$)及通过 90%的信度检验(加粗箭头)

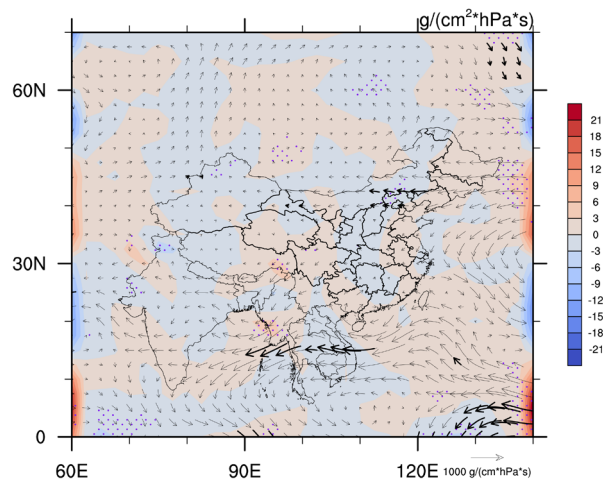


Figure 12. The entire layer of water vapor flux divergence difference field (shadow, unit: $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$) and passed the 90% reliability test (dot). Water vapor flux difference field (arrow, unit: $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$) and passed the 90% reliability test (bold arrow)

图 12. 整层水汽通量散度差值场(阴影, 单位: $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$)及通过 90%的信度检验(圆点)。水汽通量差值场(箭头, 单位: $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$)及通过 90%的信度检验(加粗箭头)

4. 结论

本文使用了西南地区共 353 站的逐日降水资料和 NCEP/NCAR 再分析资料,采用经验正交函数(EOF)、小波分析和合成分析等方法研究了西南地区 1981~2016 年降水的年际变化特征和时空分布特征。基于这些方法,对中国西南地区年降水量的时间分布特征和空间分布特征进行了分析,并从动力条件和水汽条件出发,研究了西南地区年降水发生异常时的环流背景,得到以下结论:

1) 根据经验正交函数分解后第 1 模态的方差贡献率为 37.4%, 这与第 2、第 3 模态的方差贡献率有显著区别。因此根据第 1 模态特征,将西南地区降水总体分为两个区,呈现东西反位相变化的空间分布特征。降水高值区主要位于贵州南部和云南中南部,降水低值区主要分布于四川北部地区。第 1 模态对应的时间系数表明,西南地区 1981~2016 年降水呈显著上升趋势,其还具有明显的年际变化,周期为 2-4a 为主。由于大尺度环流的固有周期也为 2-4a, 所以得出结论西南地区降水异常的内在原因为大尺度大气环流异常。

2) 从 200 hPa 纬向风场、散度场和南亚高压位置等条件可以分析得出,西南地区降水偏多(偏少)年主要是由于西风急流位置偏北(南),西南地区处于急流轴入口端右(左)侧,对应高层辐散(辐合),有(不)利于降水。南亚高压的位置和强度也影响着西南地区降水状况。南亚高压在降水异常偏少年势力比降水偏多年强劲,位置也偏东,使得西南地区整体受南亚高压控制,以上升气流为主,不利于降水。

3) 从 500 hPa 位势高度场、西太平洋副热带高压位置可知,我国呈北正南负的环流异常分布。副高位置在降水异常偏多(偏少)年,强度弱(强),位置偏东(西且南),为降水异常提供了条件。

4) 从 850 hPa 风场、散度场、涡度场和水汽输送等条件分析可以看出,在降水偏多(偏少)年,西南地区对于气旋式辐合(反气旋式辐散)地区与 200 hPa 上散度场相匹配,低层辐合(辐散),对于高层辐散(辐合),有(不)利于降水。从 850 hPa 水汽通量场以及整层水汽通量场可知,西南地区的水汽主要是由青藏高原和孟加拉湾等地区,配合环流场,有利于降水。

本文从西风急流、南亚高压、副热带高压、多层风场、高度场以及水汽输送场等找出了能够影响西南地区异常降水的环流因子。但是本文仍然存在诸多不足,比如,风场、散度场的显著性不够明显;没有讨论降水异常年海温的特征;西太平洋副热带高压以及高层西风急流与位势高度差值场的相互联系仍需进一步讨论。

基金项目

国家科技支撑计划(2015BAC03B05)、大学生创新创业训练计划(S201910621034)、大学生创新创业训练计划(201810621168)支持。

参考文献

- [1] 徐裕华. 西南气候[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 5-14.
- [2] 赵庆云. 西北区降水时空特诊分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1999, 35(4): 124-128.
- [3] 董谢琼. 西南地区降水量的气候特征及变化趋势[J]. 气象科学, 1998, 18(3): 240-247.
- [4] 张琪. 近 48 年西南地区降水量和雨日的气候变化特征[J]. 高原气象, 2014, 33(2): 372-383.
- [5] 孙小婷. 我国西南地区夏季长周期旱涝急转及其大气环流异常[J]. 大气科学, 2017, 41(6): 1332-1342.
- [6] 夏阳. 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.
- [7] 周莉. 湖南省夏季极端降水异常时空特征及其成因分析[J]. 气象科学, 2018, 38(6): 838-848.
- [8] 周后福. 基于 EOF 和 REOF 分析江淮梅雨量的时空分布[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2006, 29(1): 79-82.
- [9] 杨秋明. 中国降水准 2a 主振荡模态与全球 500hPa 环流联系的年代际变化[J]. 大气科学, 2006, 30(1): 131-145.
- [10] 周秀华, 肖子牛. 我国西南周边地区夏秋季节降水变化及相应环流特征分析[J]. 大气科学, 2015, 39(4): 653-666.
- [11] Yang, X., *et al.* (2016) Variations of Spring Precipitation over Southwest China and Characteristic Circulations for Precipitation Anomalies. *Acta Meteorologica Sinica*, **74**, 510-524.
- [12] 方晓洁. 东亚夏季 200hPa 西风急流时空分布特征与我国夏季降水关系的初步分析[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(2): 11-15.
- [13] 卫玮. 夏季东亚高空西风急流气候变化特征分析[C]//中国气象学会. 第 27 届中国气象学会年会论文集. 北京: 中国气象学会, 2010: 1-16.
- [14] 尚雷. 中国东部夏季降水与西太副高之联系[C]//贵州省科学技术协会. 贵州省气象学会 2013 年学术年会论文集. 贵阳: 贵州省气象学会, 2013: 9.
- [15] 李菲. 青藏高原夏季风强弱变化及其对亚洲地区降水和环流的影响——2008 年个例分析[J]. 大气科学, 2011, 35(4): 694-706.
- [16] 蒋兴文. 四川盆地夏季水汽输送特征及其对旱涝的影响[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 476-484.
- [17] 李秀珍. 华南秋、冬、春季水汽输送特征及其与降水异常的联系[J]. 热带气象学报, 2010, 26(5): 626-632.