

Analysis on the Change Characteristics of Summer Precipitation in Southwest China

Haining Xu, Tiangui Xiao*, Mingxin Yang, Weiyuan Zhang

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

Received: Sep. 21st, 2019; accepted: Oct. 9th, 2019; published: Oct. 16th, 2019

Abstract

This paper by using the country's 636 BGF China meteorological center station in January 1961-December 2014, the average monthly precipitation data and NCEP/NCAR monthly reanalysis data, using the empirical orthogonal function (EOF) analysis method, such as Lanczos filtering method for 54 years in southwest four seasons of year rainfall distribution and spatial distribution of summer precipitation and summer precipitation interannual decadal characteristics of analysis, the results showed that: 54 years of summer precipitation in southwest China, most of the spring and autumn rainfall times, winter precipitation at least, because the summer precipitation obviously more than other seasons, so the summer precipitation interannual/decadal characteristics and time-space distribution characteristics of targeted analysis of characteristics of interannual variability of summer precipitation exists obviously, and there are 2 to 3 years of significant cycle, at the same time also has obvious interdecadal variation characteristics, significant period of 15 years or so, in 1998, the summer precipitation in southwest China is an exception in the wave. The first, second and third load vectors of annual precipitation in southwest China respectively reflect three types of summer precipitation in southwest China, namely, northeast southwest type, north-south symmetric type and asymmetric tripole type. Summer precipitations in the southwest of the water vapor sources are mainly from the bay of Bengal and the Indian Ocean, due to the subtropical high back east, and the southwest region is located in the short-wave trough, the water vapor flowing into the southwest, at the same time, from Lake Baikal and Mongolia region air dry and cold and warm moist air flows from the bay of Bengal and the Indian Ocean in southwest region, with the lower and middle cyclonic circulation, the water vapor convergence rises, after arriving in top under the anticyclonic circulation of the control, water vapor divergence subsidence, thus forming precipitation.

Keywords

Southwest, Temporal and Spatial Characteristics, Summer Precipitation, Climatic Circulation Characteristics

*通讯作者。

西南地区夏季降水的变化特征分析

徐海宁, 肖天贵*, 杨明鑫, 张微渊

成都信息工程大学, 大气科学学院, 四川 成都

Email: *xiaotianguai@cuit.edu.cn

收稿日期: 2019年9月21日; 录用日期: 2019年10月9日; 发布日期: 2019年10月16日

摘要

本文利用中国气象中心整编的全国636站1961年1月~2014年12月的月平均降水数据和NCEP/NCAR逐月再分析资料, 采用了经验正交函数分析方法、Lanczos滤波等方法对西南地区54年四季的年降水分布特征、夏季降水的空间分布以及夏季降水的年际/年代际特征进行分析, 结果表明: 西南地区54年来夏季的降水量最多, 春季和秋季的降水量次之, 冬季的降水量最少, 由于夏季降水量明显多于其他季节, 所以, 对夏季降水的年际/年代际特征以及时空分布特征针对性分析, 夏季降水存在明显的年际变化特征, 且存在2~3年以及6~8年的显著性周期, 同时也存在明显的年代际变化特征, 显著性周期为15年左右, 在1998年, 西南地区夏季降水存在一个异常年的波峰。西南地区年降水第一、第二、第三载荷向量分别反映西南地区夏季降水三种类型, 即东北西南型、南北对称型和非对称三极型。西南地区夏季降水的水汽来源主要是来自于孟加拉湾和印度洋, 由于副高东退, 且西南地区位于短波槽中, 水汽源源不断汇入西南地区, 同时, 来自于贝加尔湖以及蒙古地区的干冷气流与来自孟加拉湾和印度洋的暖湿气流在西南地区交汇, 配合着低层和中层的气旋性环流, 水汽辐合上升到达高层之后, 在反气旋性环流的控制下, 水汽辐散下沉, 从而形成降水。

关键词

西南地区, 时空特征, 夏季降水, 气候态环流特征

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, 是中国的地理分区之一, 东临中南地区, 北依西北地区, 根据我国行政区划概念中, 西南地区包括四川省、贵州省、云南省、西藏自治区、重庆直辖市等五个省(区、市), 总面积达到 250 万平方公里。西南地区不仅在我国, 而且在世界上也是地形最复杂的区域之一, 复杂的地形区域同时也造就了西南地区多样的气候类型, 其中, 四川盆地是湿润亚热带季风气候, 气候比较柔和, 湿度较大, 多云雾; 云贵高原是低纬高原中亚热带季风气候; 高山寒带气候与立体气候, 西南地区南端还分布有少部分热带季雨林气候区, 干湿分明。西南地区是我国气候变化研究高度重视的敏感区和脆弱区之一, 世界上海拔最高的地形最复杂的青藏高原、云贵高原、横断山脉和四川盆地等构成了该区域大陆地貌的主要特征, 所以西南地区的区域气候变化的原因是非常复杂的, 其降水是气候变化的最直观的体现。

目前有很多的学者对我国西南地区的降水的时空变化特征做了研究, 例如, 刘晓冉[1]等采用 EOF、REOF、小波分析等方法得出 1961~2000 年西南地区西部的高原地区的 90 年代降水有增加的趋势, 年降水

量呈现多雨 - 少雨 - 多雨的变化过程, 而西南地区东部除重庆以外, 大部分地区降水量减少。而四川盆地东部地区的年降水量呈现少雨 - 多雨 - 少雨的变化过程, 西南地区的东南部的降水整体是呈现下降趋势。西南地区的年降水存在东西和南北相反变化的趋势。刘燕[2]、马振锋[3]等采用旋转经验正交展开法(EOF)将我国西南地区的夏季降水量场分为川西区、川东区、云南区、贵州区和四川盆地区共 5 个区域, 其中川东区、川西区和贵州区夏季降水的长期趋势不明显, 云南区和四川盆地区显著变干。熊光洁[4]等对中国西南地区近 50 年的夏季降水的空间异常分布、突变、演变规律以及周期进行了诊断分析, 发现近 50 年, 西南地区夏季降水在川东渝北地区和川西高原地区明显增加, 四川盆地明显减少, 贵北渝南地区与贵南桂北地区呈现南北相反的缓慢减少(增加)型, 云南地区呈现东西相反的平缓增加(减少)型。毛冬艳[5]等研究发现, 西南地区短时强降水集中于 4~10 月, 且呈现强度增强、频次增加的变化趋势。周秀华[6]等研究发现, 西南地区的夏季降水量的总和占全年总降水量的 75%以上, 且夏季降水量具有明显的年代际特征。孙小婷[7]研究发现, 西南地区夏季的涝期, 乌拉尔山以东的槽加深, 中高纬度的环流的经向运动增强, 东亚沿岸的脊加强, 西风带偏弱, 在垂直方向上为上升运动, 到达我国西南地区的水汽明显增多, 水汽主要从孟加拉湾经中南半岛北部达到西南地区, 南海和附近的西太平洋从偏东南方向为西南地区输送水汽, 水汽增多造成西南地区降水偏多。黄洋[8]、芦佳玉[9]等研究发现, 四川省的降雨具有“东西分界”的特征, 即西部降水少, 东部降水多。李永华[10]等研究发现, 西南地区东部的夏季降水的年际变化存在 2~3 年的显著周期, 年际变化存在 15 年左右的显著周期。张琪[11]等研究发现, 1960~2007 年西南地区降水量呈“东多西少”的分布形态, 四川盆地的雅安地区以及滇西南区是高值区, 夏季降水量有明显的准 16 年周期变化。

目前, 对西南地区年降水量的分布研究的较多, 而对西南地区夏季降水的研究较少, 本课题对西南地区夏季降水的年际/年代际变化及其成因综合分析, 能够更加清晰地了解西南地区夏季降水的规律, 从而有效的去应对夏季降水过多带来灾害。

2. 研究资料和方法

2.1. 资料概况

1) 本文采用 NCEP/NCAR 提供的 1961 年~2014 年逐月再分析资料, 要素包括 300 hPa、500 hPa、850 hPa 的 UV 风场以及 500 hPa 位势高度场, 分辨率为 2.5×2.5 。

2) 本文所采用的降水资料取自于中国气象中心整编的全国 636 站月平均降水数据, 时间段为 1961 年 1 月~2014 年 12 月, 并从中选取出西南地区(21°N ~ 34°N , 97°E ~ 110°E 为西南地区边界) 98 个站点的降水数据为研究对象。

2.2. 研究方法

2.2.1. 正交经验函数分析方法

经验正交函数分析方法[12] (empirical orthogonal function, 缩写 EOF), 也称特征向量分析(eigenvector analysis), 或者主成分分析(principal component analysis, 缩写 PCA), 是一种分析矩阵数据中的结构特征, 提取主要数据特征量的一种方法。Lorenz 在 1950 年首次将其引入气象和气候研究, 现在得到了非常广泛的应用。特征向量对应的是空间样本, 也称空间特征向量或者空间模态(EOF), 在一定程度上反映要素场的空间分布特点; 主成分对应的是时间变化, 也称时间系数(PC), 反映相应空间模态随时间的权重变化。因此称 EOF 分析为时空分解。

2.2.2. Lanczos 滤波

Lanczos 滤波器[13]的优点是它具有狭窄的过滤频带, 在一定程度上可以有效地抑制因有限截断而产生的虚假波, 在滤波器的窗口内几乎保留所有的方差, 它的滤波输出函数为:

$$y(t) = \sum_{k=-n}^n w(k) \cdot x(t-k) \quad (1)$$

上式是 $x(t)$ 、 $y(t)$ 分别是 t 时刻输入、输出的时间序列, $w(t)$ 是滤波器的权重函数, 权重函数具体为:

$$w(k) = \frac{\sin 2\pi f_{c2} k}{\pi k} \cdot \frac{\sin(\pi k/n)}{\pi k/n} \quad (k = -n, \dots, 0, \dots, n, \dots, 2n+1) \quad (2)$$

Lanczos 滤波器, 是由两个低通滤波构成, 则权重函数具体为:

$$w(k) = \frac{\sin 2\pi f_{c2} k}{\pi k} \cdot \frac{\sin(\pi k/n)}{\pi k/n} - \frac{\sin 2\pi f_{c1} k}{\pi k/n} \cdot \frac{\sin(\pi k/n)}{\pi k/n} \quad (k = -n, \dots, 0, \dots, n) \quad (3)$$

上式中 f_{c1} 和 f_{c2} 为左右两个截断频率, 主要用于滤出 f_{c1} 和 f_{c2} 两个频率之间的频带成分。

将(1)式经过傅里叶变换后:

$$y(f) = R_L(f) \cdot x(f) \quad (4)$$

式中, $y(f)$ 和 $x(f)$ 分别是输出、输入资料的傅里叶的振幅密度, $R_L(f)$ 是 Lanczos 滤波器的频率响应函数, 主要反映不同频率成分在经过带通滤波运算所引起的振幅、位相和功率的变化。Lanczos 滤波效果受资料序列长度影响, N 的增大会提高过滤性能, 但是资料序列增长会影响计算效率。

3. 西南地区季节降水时空特征分析

3.1. 西南地区四季的降水分布特征

3.1.1. 西南地区春季的降水分布特征

图 1 给出西南地区春季气候态降水量的空间分布图。西南地区春季降水量的大值区主要位于青藏高原东南部以及西南地区东部地区, 即重庆东部、贵州东部、广西。大值区的降水量在 300 mm 以上, 除此之外的大部分地区降水量较少, 位于 50~250 mm 之间。从全国的气候态降水量的空间分布来看, 春季降水量大致为东南到西北递减, 降水主要集中于我国的东南部, 降水可达 400 mm 以上。

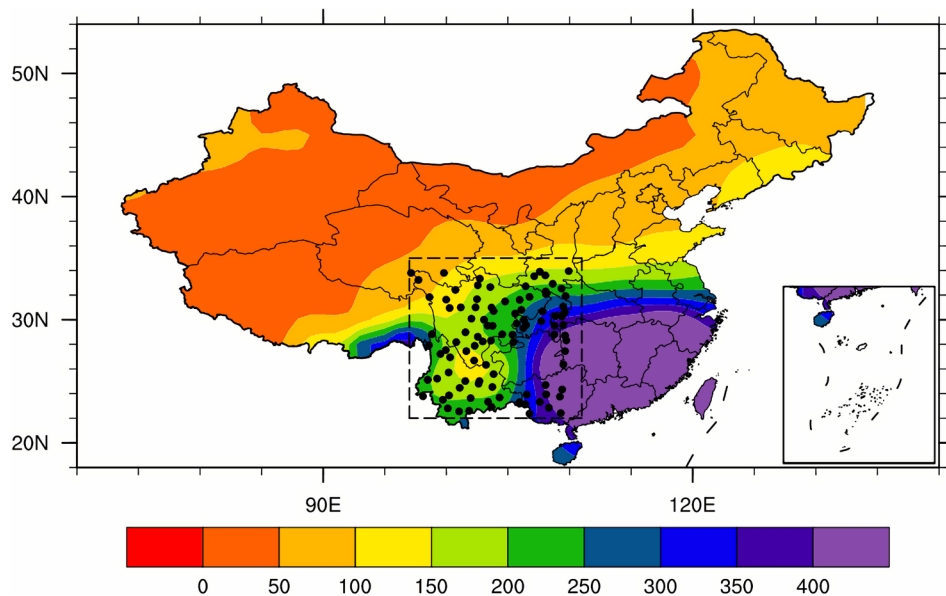


Figure 1. Spatial distribution map of spring climatic precipitation in Southwest China (unit: mm)

图 1. 西南地区春季气候态降水量的空间分布图(单位: mm)

3.1.2. 西南地区夏季的降水分布特征

图2给出西南地区夏季气候态降水量的空间分布图。从西南地区夏季降水的整体特征来看：一、西南地区整体降水量是从西南地区的西北部到东南部递减，而且西南地区高海拔地区的降水明显比低海拔地区的降水少。二、西南地区的雨区是交错分布的，在四川盆地的中部、云南的西南部以及广西的南部存在高值中心，低值区主要位于青藏高原一带和四川盆地的西北部。西南地区夏季普遍降水在 250 mm 以上，夏季降水量较多的地区主要是云南、四川盆地南部、贵州、以及广西，几乎为西南地区三分之二的地区，这些地区的降水量在 500 mm 以上。西南地区的降水分布特征与西南地区的地形结构、多变的气候、山脉走向以及影响西南的季风系统密切相关。西南地区地形结构复杂，有高原地形，也有地势平缓的盆地，不同的地形结构对当地的降水有着很大的影响。四川盆地相对于西南地区其它区域地势较平缓，该地区主要受两南季风和西南涡的影响，四川盆地相对于周边地区地势较低，有利于水汽的进入，而四川盆地的西北是青藏高原，地势较高，特殊的地形使得水汽一旦进入四川盆地就不容易散失，从而有利于四川盆地上空的水汽聚集，水汽聚集使得四川盆地上空的空气湿度较高，一经触发，则会产生丰富的降水，这种特殊的地形结构使得四川盆地地区的夏季平均降水在 500 mm 以上。贵州北部、重庆、四川东部等地区主要受东南季风影响较多，夏季降水随着副热带高压脊线的北抬而增加，随着副热带高压脊线的南退而减少。而对于沿海地区的广西地区，夏季，盛行的东南季风将洋面上的暖湿气流带到广西地区，暖湿气流与西北冷空气相遇产生丰富的降水，使得广西的夏季平均降水在 500 mm 以上。云贵高原是低纬度高原地形，主要包括云南、贵州的西南部以及广西的西部，云贵高原一带主要受西南季风的影响较多，夏季，盛行的西南季风将充沛的水汽带入高原地区，丰富的水汽条件使得云贵高原一带夏季降水在 500 mm 以上。对于西南地区最特殊的青藏高原地区，由于青藏高原长期有冰雪覆盖，温度较低，所以在夏季，青藏高原上空的大气是热源(相对于相同高度的自由大气)，因此在近地层形成了热低压，青藏高原南侧的西南季风和高原东南侧的副热带高压脊线向西伸并向北抬的作用下，暖湿气流进入高原，最终与青藏高原北侧西风槽以及西侧中东高压带来的干冷空气相汇，从而产生降水，青藏高原夏季平均降水在 300 mm 左右，因为温度过低，主要以降雪和冰川融化等方式产生水。从全国的气候态降水量的空间分布来看，夏季降水量大致为西北向东南递增，我国西北部降水极少，而我国南部降水量较多，降水量可达 500 mm 以上，沿海地区甚至达到 800 mm 以上。

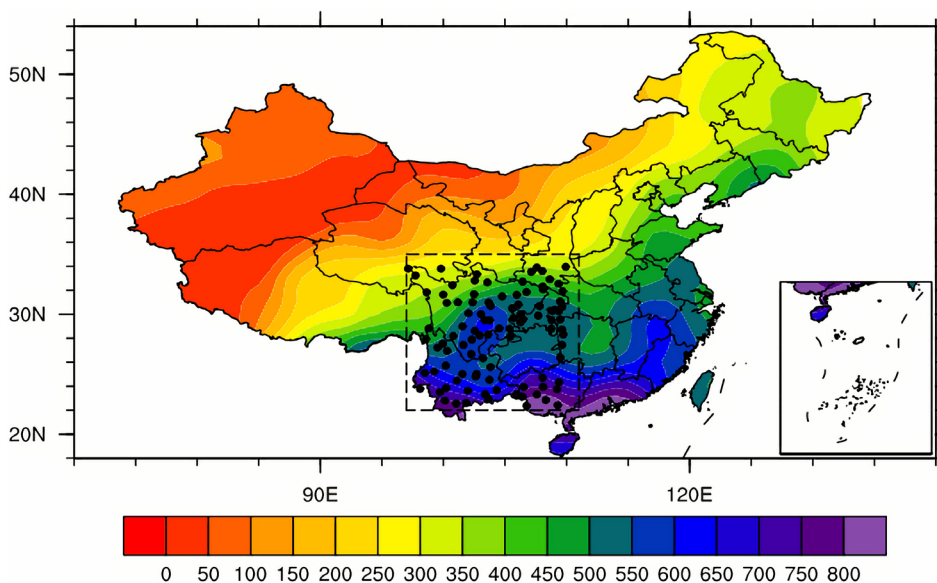


Figure 2. Spatial distribution map of summer climatic precipitation in Southwest China (unit: mm)

图 2. 西南地区夏季气候态降水量的空间分布图(单位: mm)

3.1.3. 西南地区秋季的降水分布特征

图 3 给出西南地区秋季气候态降水量的空间分布图。西南地区秋季降水量的大值区主要位于四川盆地的东部、重庆、贵州东北部、云南西南部以及广西南部，大值区的降水量在 300 mm 以上，其余地区的降水量大致为 50~250 mm。从全国的气候态降水量的空间分布来看，我国大部分地区降水量偏少，从西北向东南递增，降水主要集中于我国西南地区以及浙江沿海地区。

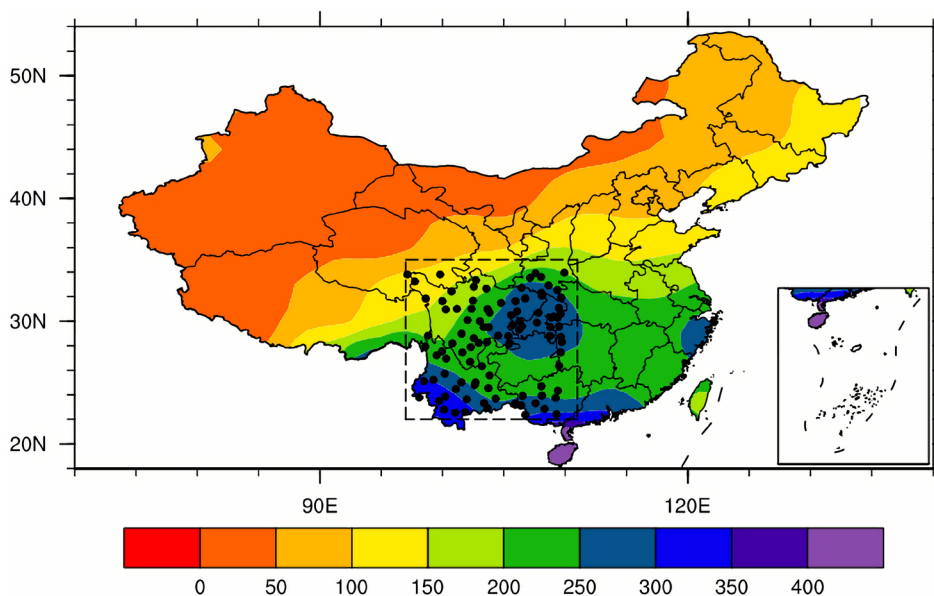


Figure 3. Spatial distribution map of climatic precipitation in autumn in Southwest China (unit: mm)

图 3. 西南地区秋季气候态降水量的空间分布图(单位: mm)

3.1.4. 西南地区冬季的降水分布特征

图 4 给出西南地区冬季气候态降水量的空间分布图。从全国的气候态降水量的空间分布来看，我国大部分地区降水量均比较少，降水大值区主要集中于湖南东部、湖北、浙江、福建北部，降水在 175 mm 以上。西南地区降水在 0~150 mm 之间，降水比较少。

综上，西南地区夏季降水量在四个季节中最多，春季和秋季次之，冬季降水量在四个季节中最少。西南地区的降水量主要集中于夏季，因此单独对西南地区夏季降水进行主要分析。

3.2. 西南地区夏季降水的年际/年代际特征及空间特征分析

图 5 给出了该地区区域平均的夏季降水时间序列。其中细实线给出了 1961~2014 年区域平均的西南地区降水距平变化，由此可见，西南地区夏季降水存在明显的年代际变化。如图 5 所示，西南地区降水距平在 0 mm 以上的为正异常，降水距平在 0 mm 以下的为负异常，因此，在 1961 年~1962 年、1964 年~1971 年、1973 年~1974 年、1979 年~1985 年、1990 年~1991 年、1993 年~1996 年、1998 年~2000 年、2001 年~2002 年、2007 年~2009 年期间，西南地区主要以正异常为主；而在 1962 年~1963 年、1971 年~1973 年、1974 年~1979 年、1987 年~1990 年、1992 年~1993 年、1996 年~1998 年、2003 年~2007 年、2009 年~2013 年期间，西南地区主要以负异常为主。

从图 5 中可以看出，不光是降水均值存在年代际的变化，西南地区的降水趋势同样存在明显的年代际变化。根据李永华[9]等的研究，西南地区东部的夏季降水的年际变化存在 2-3 年的显著周期，年际变化存在 15 年左右的显著周期，图 5 中粗虚线为带通滤波时间序列(图中序列及趋势估算基于站点数据所得)，

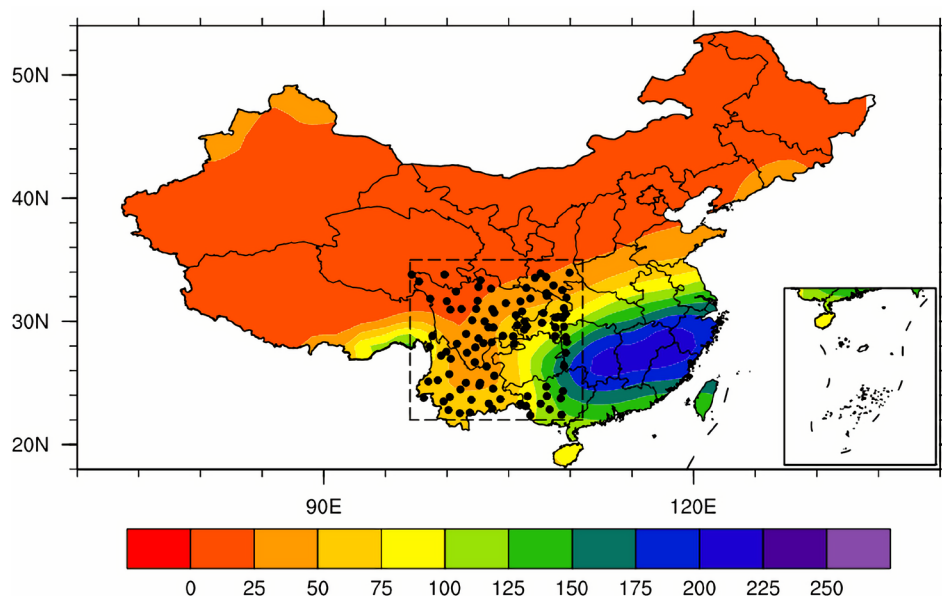


Figure 4. Spatial distribution map of winter climatic precipitation in Southwest China (unit: mm)
图 4. 西南地区冬季气候态降水量的空间分布图(单位: mm)

可以看出,西南地区夏季降水存在一个 15 年的周期振荡,大致的时间周期区间为 1966 年~1981 年(波谷)、1981 年~1996 年(波峰)、1996 年~2011 年(波谷)。由图中可见,该区域夏季降水在 1998 年开始出现明显的年代际转折。其中粗虚线显示了周期为 15 年的低通滤波时间序列,西南地区夏季降水的年代际低频信号在 1998 年处于一个降水异常的波峰。参考已有研究(Hua et al., 2017)在有限的资料长度条件下研究低频变率时,我们可将图中所示的低频变化简化为两段年代际线性趋势的转折,而转折点位于波峰(1998 年)。根据这个思路,西南地区夏季降水的低频变化可分为两个时段,即 1972~1998 期间(P1 时段),降水存在显著的增加趋势,上升趋势为 20.5 mm/10 年;1998~2011 时段(P2 时段),降水呈现出明显的下降趋势,下降趋势为 90.5 mm/10。

如图 6 给出的是西南地区夏季降水的 EOF 前三个模态及前三个模态对应的时间序列图,空间特征图主要反映某一地区降水分布的特征,时间系数代表了对应的特征向量空间分布模态的时间变化特征,系数符号决定模态的方向,正号表示与模态是同方向的,负号则表示与模态方向相同,且系数绝对值越大,表明这一时刻这一模态越典型。从图中可以看出,EOF 第一模态特征向量的方差贡献率是 30.2%, EOF 第二模态特征向量的方差贡献率是 21.7%, EOF 第三模态特征向量的方差贡献率是 9.9%,第一、第二和第三模态的累计方差贡献率达到 61.8%,前三个特征向量具有相对较大的方差贡献率,所以主要对前三个特征向量对应的空间模态及其对应的时间系数进行分析。

图 6 中, (a), (b) 分别代表的是西南地区夏季降水 EOF 的第一模态的空间特征图和时间序列图,从图 6(a)可知,模态 1 特征向量的方差贡献率是 30.2%,高于其他模态的贡献率,是西南地区夏季降水场的主要空间分布形式。西南地区夏季降水第一模态主要表现为东北西南变化型,具体表现为从四川中部偏北到重庆是分界区,分界区以北为负值区,向南为正值区,正值中心出现在云南的东部与贵州、四川交界的区域,负值中心出现在四川的东北侧,即要么四川地区北部(32°N~35°N)降水量增多,云南、贵州等地(22°N~29°N)降水量减少,要么四川地区北部(32°N~35°N)降水量减少,云南、贵州等地(22°N~29°N)降水量增多。特征向量值从东北向西南依次增多,反映西南地区夏季降水量变化也是由东北向西南递增。结合 EOF 第一模态的时间序列图 6(b)可知,西南地区夏季降水年际振荡主要以 2~4 年为主,1994 年~2000 年出现 6 年的年际振荡周期。

图 6 中, (c), (d) 分别代表的是西南地区夏季降水 EOF 的第二模态的空间特征图和时间序列图, 从图 6(c) 可知, 模态 2 特征向量的方差贡献率是 21.7%, 也是西南地区夏季降水场的主要空间分布形式。西南地区夏季降水第二模态主要表现为南北对称型, 分界区大致为四川省南部与云南交界的地区到贵州北部一带, 分界区以北为负值区, 向南为正值区, 正值中心出现在西南地区的东南角地区, 负值中心出现在四川省的北部以及东部地区, 即要么西南地区的东南角地区降水量增多, 四川省的北部以及东部地区降水量减少, 要么西南地区的东南角地区降水量减少, 四川省的北部以及东部地区降水量增多。特征向量值从北向南依次增多, 反映西南地区夏季降水量变化也是由北向南递增。结合 EOF 第二模态的时间序列图 6(d) 可知, 西南地区夏季降水主要以 2~4 年的年际振荡周期为主, 与第一模态的时间序列相比, 年际振荡仍有以 6 年为周期的振荡, 只不过出现的时间是在 1968 年~1974 年。第二模态的年际波动发生了一定的变化, 相对于第一模态的时间序列, 1990 年之后, 时间序列的偏大偏小值的转化频率有一定的增强。

图 6 中, (e), (f) 分别代表的是西南地区夏季降水 EOF 的第三模态的空间特征图和时间序列图, 从图 6(e) 可知, 模态 3 特征向量的方差贡献率是 9.9%, 低于前两个模态的贡献率, 但是在一定程度上也可以代表西南地区夏季降水场的空间分布形式。西南地区夏季降水第三模态主要表现为非对称三极型, 具体表现为在云南省的西北部以及四川盆地地区各出现一个负值中心, 在重庆、贵州以及湖北三地交界的地区出现正值中心, 云南省西北部的降水变化与四川盆地一带相同, 同时两地又与重庆、贵州以及湖北三地交界的地区降水变化相反。即要么云南省西北部与四川盆地一带降水量减少, 重庆、贵州以及湖北三地交界的地区降水量增加, 要么重庆、贵州以及湖北三地交界的地区降水量减少, 云南省西北部与四川盆地一带降水量增多。特征向量值以负值中心向四周增加, 以正值中心向四周减少。结合 EOF 第三模态的时间序列图 6(f) 可知, 西南地区夏季降水年际振荡主要以 2~4 年为主, 2000 年之后出现年际振荡以 8 年为周期, 相较于前两个模态的时间序列图, 第三模态在 1997 年之前的年际波动发生了一定的变化, 时间序列的偏小值的转化频率增强。

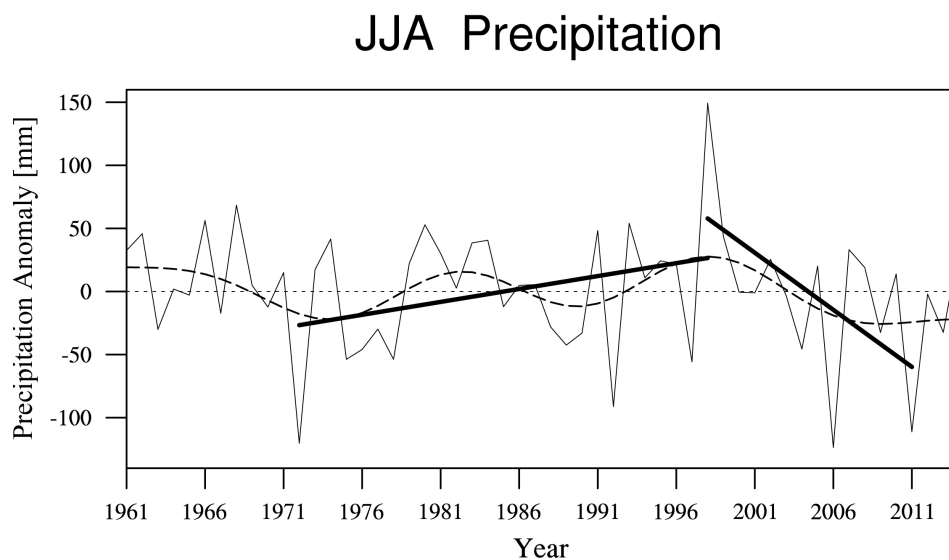


Figure 5. Anomaly variation of summer precipitation in Southwest China (fine solid line), band-pass filtering time series (thick dotted line), and sub-period (thick line: 1972-1998, P1 and 1998-2011, P2) (unit: Mm/summer rainy season)

图 5. 西南地区夏季降水的距平变化(细实线)、带通滤波时间序列(粗虚线)以及子时间段(粗直线: 1972~1998, P1 和 1998~2011, P2)的线性趋势线(单位: mm/夏雨季)

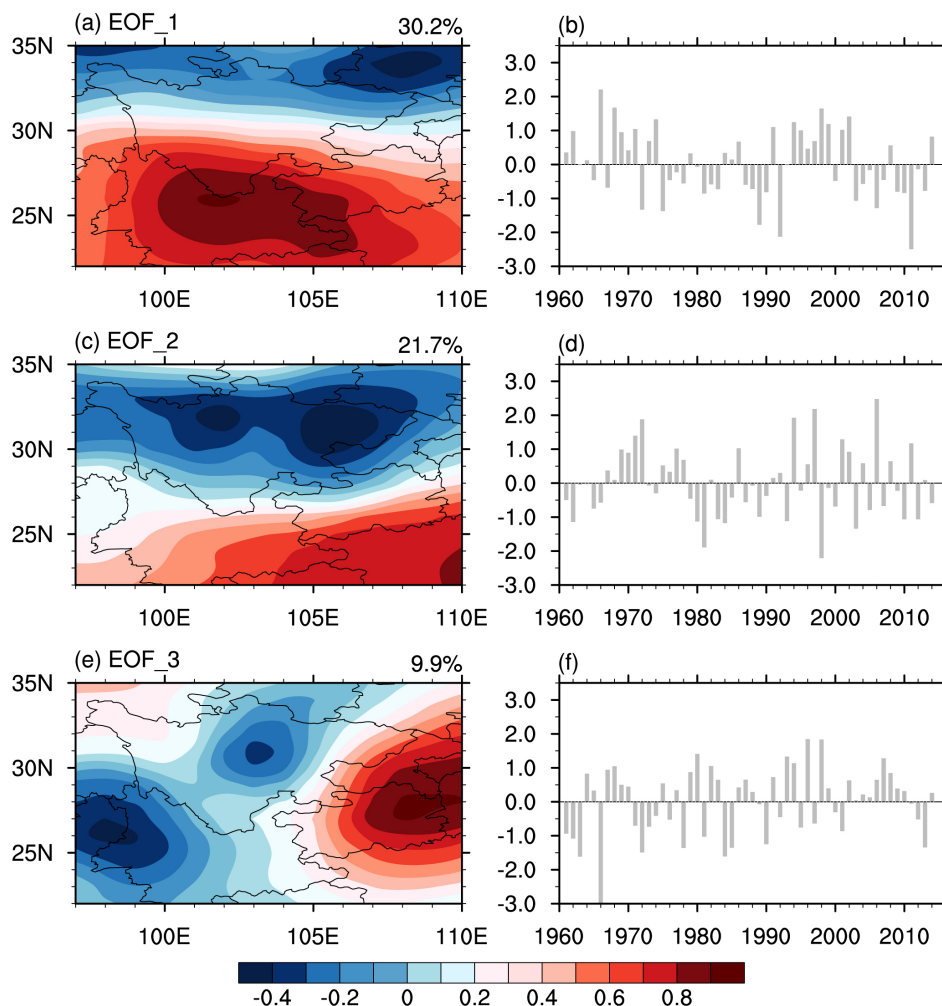


Figure 6. The first three modes of summer precipitation EOF in Southwest China ((a), (c), (e) are the first, second, and third modes, respectively) and the time series of the first three modes ((b), (d), (f))

图 6. 西南地区夏季降水 EOF 前 3 个模态((a), (c), (e)分别为第 1, 2, 3 模态)及前三个模态对应的时间序列图((b), (d), (f))

4. 西南地区夏季降水的气态环流背景分析

4.1. 西南地区夏季降水的 850 hPa 风场形势

如图 7 是西南地区夏季降水的 850 hPa 的风场气候态平均图, 图中的方框为西南地区, 西南地区从南向北由西南气流转为偏南气流, 最后转为东南气流, 由此可以看出, 西南地区以及青藏高原地区一带为异常的气旋性环流, 使得垂直方向上, 气流辐合上升, 在西南地区以南为一致的东南气流, 有利于孟加拉湾和印度洋的水汽输送到西南地区, 西南地区以东为偏西气流, 西南地区以北为西北气流, 偏西气流以及西北气流将来做高原以及我国西北干冷的气流输送到西南地区, 这样一来, 来自孟加拉湾以及印度洋的暖湿气流与来自我国西北的干冷气流交汇, 则容易产生降水。而在西南地区东部, 即东海一带, 存在明显的反气旋性环流, 使得垂直方向上, 气流辐散下沉, 使得西南地区的东边界存在明显的风切变。

4.2. 西南地区夏季降水的 500 hPa 风场形势

如图 8 是西南地区夏季降水的 500 hPa 的风场气候态平均图, 图中的方框为西南地区, 在 500 hPa 天

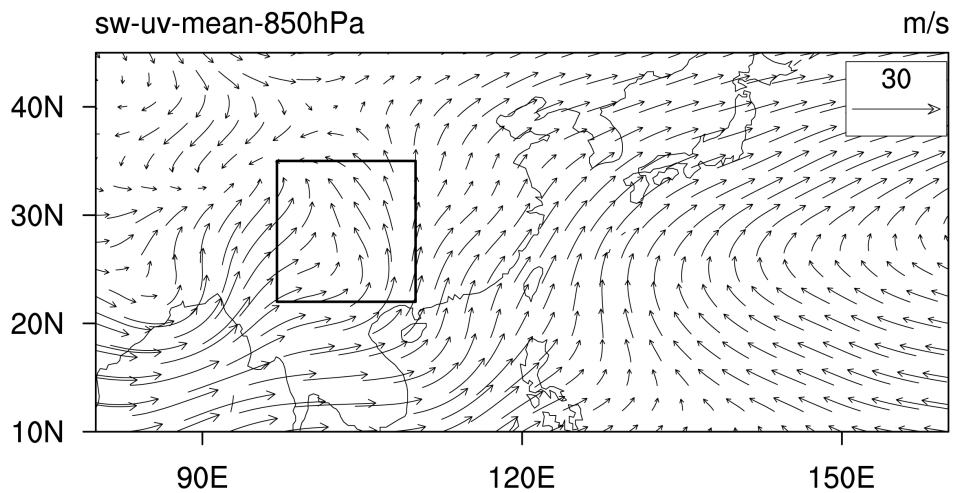


Figure 7. The 850 hPa wind field in summer in southwest China, the box is the southwest China
图 7. 西南地区夏季降水的 850 hPa 风场，图中方框为西南地区

气层中，西南地区主要为偏西气流，在孟加拉湾一带存在明显的气旋性环流，使得垂直方向上，气流辐合上升，西南气流将来自孟加拉湾以及印度洋的水汽输送至西南地区，西南地区以西的偏西气流将来自高原的干冷气流输送至西南地区，在夏季，来自孟加拉湾以及印度洋的暖湿气流遇到来自高原的干冷气流，容易形成降水。而在西南地区以东，即东海一带，洋面上依旧存在明显的反气旋性环流，使得垂直方向上，气流辐散下沉。

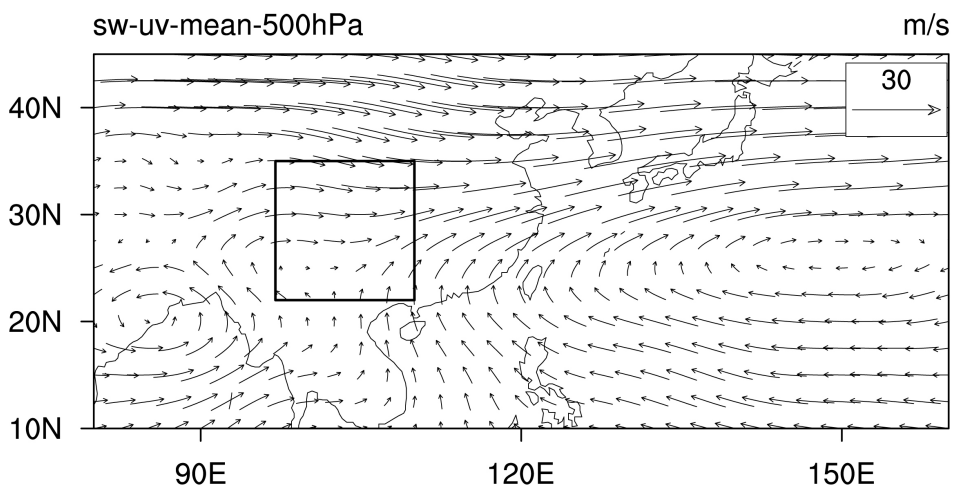


Figure 8. The 500 hPa wind field in summer in southwest China, the box is the southwest China
图 8. 西南地区夏季降水的 500 hPa 风场，图中方框为西南地区

4.3. 西南地区夏季降水的 300 hPa 风场形势

如图 9 是西南地区夏季降水的 300 hPa 的风场气候态平均图，图中的方框为西南地区，在 300 hPa 天气层中，如图，在西南地区以及青藏高原地区存在明显的反气旋性环流，使得垂直方向上，气流辐散下沉。而在西南地区以北，是一致的偏西气流，西南地区以南是一致的偏东气流，即包括西南地区、孟加拉湾、东海以及附近洋面在内的区域是处于大范围的反气旋性环流之中，使得垂直方向上，气流辐散下沉。

综上，在低层，西南地区主要是受来自孟加拉湾以及印度洋的暖湿气流，和来自高原的干冷空气影

响,在气旋性环流的控制下,水汽辐合上升。在中层,西南地区环流系统与低层大致相同,水汽主要来源于孟加拉湾、印度洋以及东海,中层依旧在气旋性环流的控制下,水汽辐合上升。在高层,西南地区处于反气旋性环流的控制中,在高低空的配置下,来自低层和中层的水汽,由于反气旋性环流的作用,水汽辐散下沉,从而形成降水。

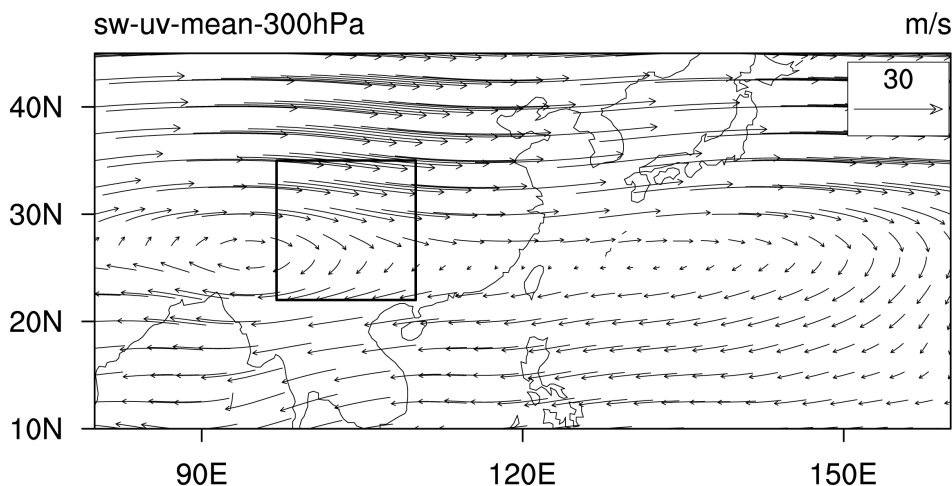


Figure 9. The 300 hPa wind field in summer in southwest China, the box is the southwest China
图 9. 西南地区夏季降水的 300 hPa 风场, 图中方框为西南地区

4.4. 西南地区夏季降水的 500 hPa 环流形势

如图 10 是西南地区夏季降水 500 hPa 的位势高度场, 图中的方框为西南地区, 在夏季, 西太平洋副热带高压是影响西南地区降水的最主要的天气尺度系统, 副热带高压的西伸加强控制整个西南地区, 则西南地区多为高温伏旱晴热少雨天气; 副热带高压东退的过程中如果配合有高原波动或者是冷空气的活动, 大多数将会造成西南地区产生降水。如图 10 所示, 在青藏高原以及孟加拉湾各存在一个高压中心, 副热带高压位于西南地区以东的地区, 副热带高压东退, 配合中高低纬的冷暖空气活动, 且西南地区位于短波槽当中, 使得冷空气源源不断地汇入西南地区, 增加了西南地区上空的气层的不稳定性, 从而产生降水。

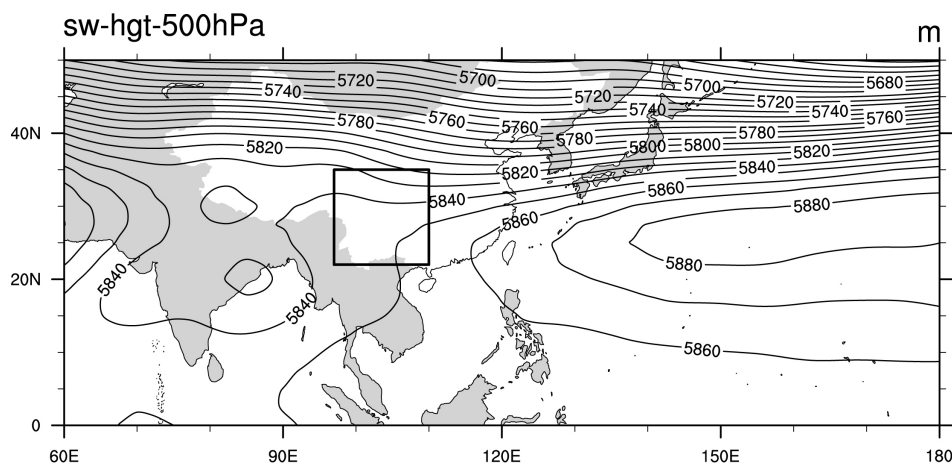


Figure 10. The 500 hPa geopotential height field of summer precipitation in southwest China, the box is the southwest China

图 10. 西南地区夏季降水的 500 hPa 位势高度场, 图中方框为西南地区

4.5. 西南地区夏季降水的整层水汽通量形势

如图 11 是西南地区夏季降水整层的水汽通量场, 图中虚线框为西南地区。孙小婷[7]研究发现, 西南地区夏季的涝期, 乌拉尔山以东的槽加深, 中高纬度的环流的经向运动增强, 东亚沿岸的脊加强, 西风带偏弱, 在垂直方向上为上升运动, 到达我国西南地区的水汽明显增多, 水汽主要从孟加拉湾经中南半岛北部达到西南地区, 南海和附近的西太平洋从偏东南方向为西南地区输送水汽, 水汽增多造成西南地区降水偏多。图 11 中, 西南气流将来自孟加拉湾以及印度洋的水汽由西南向西北输送到我国西南地区, 而西北气流将来自蒙古的干冷空气输送到我国西南地区。由于来自孟加拉湾和印度洋的暖湿气流与来自蒙古的干冷气流在西南地区交汇, 结合低中高层的风场, 由于在低层和中层, 西南地区存在气旋性环流, 使得水汽辐合上升, 而在高层, 西南地区存在反气旋性环流, 使得水汽辐散下沉, 高低空的配置以及副热带高压脊线 588 dagpm 的东退, 则西南地区会产生一定的降水。

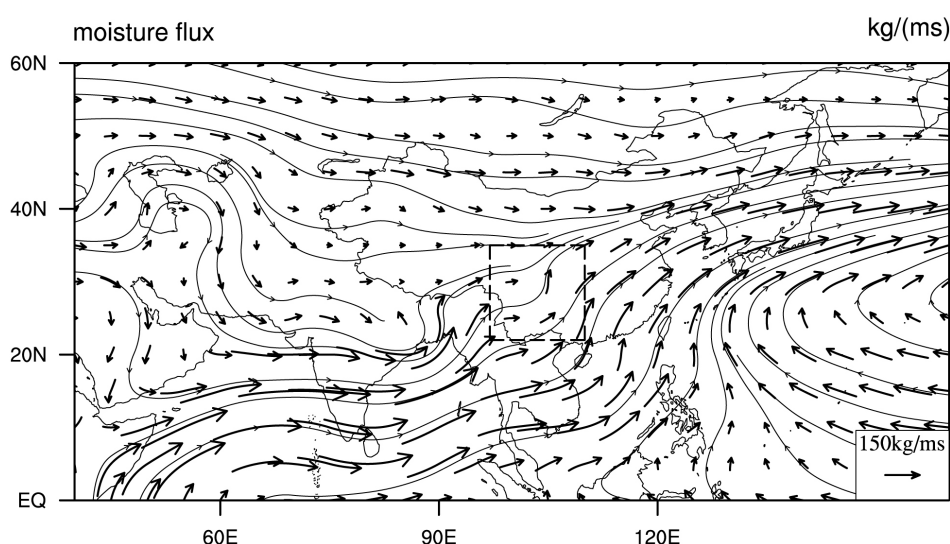


Figure 11. The water vapor flux field of the whole summer precipitation in southwest China (unit: kg/ms), the dotted box is the southwest China

图 11. 西南地区夏季降水整层的水汽通量场(单位: kg/ms), 虚线方框为西南地区

5. 结论

本文利用 1961 年~2014 年西南地区的中国气象中心整编的全国 636 站月平均降水数据以及 NCEP/NCAR 再分析资料, 通过西南地区夏季不同高度的风场, 位势高度场以及整层水汽通量分析, 对西南地区降水的四季降水分布特征、夏季降水的年际/年代际和空间分布特征及其成因进行了探讨, 得出如下结论:

1) 西南地区夏季降水量在四个季节中最, 春季和秋季次之, 冬季降水量在四个季节中最少。西南地区的降水量主要集中于夏季, 因此单独对西南地区夏季降水进行主要分析。

2) 夏季降水存在明显的年际变化特征, 且存在 2~3 年以及 6~8 年的显著性周期, 同时也存在明显的年代际变化特征, 显著性周期为 15 年左右, 在 1998 年, 西南地区夏季降水存在一个异常年的波峰。

3) 西南地区夏季年降水第一、第二、第三载荷向量分别反映西南地区夏季降水三种类型, 即东北西南型、南北对称型和非对称三极型。

4) 在低层, 西南地区主要是受来自孟加拉湾以及印度洋的暖湿气流, 和来自高原的干冷空气影响, 在气旋性环流的控制下, 水汽辐合上升。在中层, 西南地区环流系统与低层大致相同, 水汽主要来源于

孟加拉湾、印度洋以及东海, 中层依旧在气旋性环流的控制下, 水汽辐合上升。在高层, 西南地区处于反气旋性环流的控制中, 在高低空的配置下, 来自低层和中层的水汽, 由于反气旋性环流的作用, 水汽辐散下沉, 从而形成降水。

5) 在青藏高原以及孟加拉湾各存在一个高压中心, 副热带高压位于西南地区以东的地区, 副热带高压东退, 配合中高低纬的冷暖空气活动, 且西南地区位于短波槽当中, 使得冷空气源源不断地汇入西南地区, 增加了西南地区上空的气层的不稳定性, 从而产生降水。

6) 西南气流将来自孟加拉湾以及印度洋的水汽由西南向西北输送到我国西南地区, 而西北气流将来自蒙古的干冷空气输送到我国西南地区。由于来自孟加拉湾和印度洋的暖湿气流与来自蒙古的干冷气流在西南地区交汇, 结合低中高层的风场, 由于在低层和中层, 西南地区存在气旋性环流, 使得水汽辐合上升, 而在高层, 西南地区存在反气旋性环流, 使得水汽辐散下沉, 高低空的配置以及副热带高压东退, 则西南地区将会产生的降水。

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] 刘晓冉, 李国平, 范广洲, 等. 我国西南地区近 40 年降水异常的时空特征[C]//中国气象学会. 中国气象学会 2006 年年会论文集: 2006 年卷. 成都: 中国气象学会, 2006: 420-427.
- [2] 刘燕, 王谦谦, 程正泉. 我国西南地区夏季降水异常的区域特征[J]. 大气科学学报, 2002, 25(1): 105-110.
- [3] 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.
- [4] 熊光洁, 王式功, 尚可政, 等. 中国西南地区近 50 年夏季降水的气候特征[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2012, 48(4): 45-52.
- [5] 毛冬艳, 曹艳察, 朱文剑, 等. 西南地区短时强降水的气候特征分析[J]. 气象, 2018(8): 1042-1050.
- [6] 周秀华. 我国西南及周边地区气候的模拟和预估[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国气象科学研究院, 2014.
- [7] 孙小婷. 我国西南地区夏季长周期旱涝急转研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2018.
- [8] 黄洋, 陆宝宏, 张巍. 基于非参数统计分析法的四川省旱涝特征研究[J]. 人民长江, 2013, 44(11): 18-22.
- [9] 芦佳玉, 延军平, 曹永旺. 1961~2015 年西南地区降水及洪涝指数空间分布特征[J]. 长江流域资源与环境, 2017(10): 226-235.
- [10] 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.
- [11] 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]. 高原气象, 2014(2): 372-383.
- [12] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 第 4 版. 北京: 气象出版社, 2016.
- [13] Duchon, C.E. (1979) Lanczos Filtering in One and Two Dimensions. *Journal of Applied Meteorology*, **18**, 1016-1022. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1979\)018<1016:LFIOAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)018<1016:LFIOAT>2.0.CO;2)