

# Study on the Variation Characteristic of Summer Precipitation over the Southwest China in 1969-2018

Jun Fan

Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan  
Email: fanjuncuit@126.com

Received: Jun. 29<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jul. 13<sup>th</sup>, 2020; published: Jul. 20<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Using the monthly observational precipitation data in 122 stations over southwest China (SWC), Hadley global sea surface temperature (SST) data and NCAR/NCEP monthly reanalysis data, the variation characteristic and summer precipitation of SWC and its possible causes are analyzed by the linear trend, empirical orthogonal function (EOF) and correlation analysis methods. The results show that the climate mean value of summer precipitation of SWC reaches to 535.1 mm, with positive trends during past 50 years. EOF analysis shows that the first mode of summer precipitation shows a south-north reverse distribution, and the second mode presents the southwest-northeast reverse distribution, and the third mode shows the northwest-southeast reverse distribution. The time series of EOF modes have significant interannual and interdecadal changes. Correlation analysis shows that precipitation in SWC is closely related to a variety of influencing factors such as near-surface high pressure, 200 hPa westerly jet, 500 hPa western Pacific subtropical high, northeast low vortex, and 850 hPa wind. In addition, the summer precipitation in SWC is also influenced by the SST in the middle and low latitudes of eastern Pacific. When the SST in early winter over the east and the west Pacific was than normal, the more summer precipitation in southwest China could be observed.

## Keywords

Southwest China, Summer Precipitation, Atmospheric Circulation, Sea Surface Temperature

---

# 1969~2018年西南地区夏季降水变化特征分析

樊俊

成都信息工程大学, 四川 成都  
Email: fanjuncuit@126.com

## 摘要

利用西南地区122个台站逐月降水量资料、Hadley全球海表温度资料以及NCAR/NCEP月平均再分析资料,通过线性趋势法、EOF分析和相关分析等方法,分析了西南地区夏季降水变化特征及其原因,结果表明:近50年西南地区夏季降水气候平均值为535.1 mm,整体呈增加趋势。EOF分析表明西南地区夏季降水第一模态为南-北反向空间分布,第二模态为西南-东北反向分布,第三模态为西北-东南反向分布,且各模态时间系数均具有显著的年际和年代际变化。相关分析表明西南地区夏季降水的变化与低层冷高压、200 hPa西风急流、500 hPa西太平洋副热带高压、东北低涡、850 hPa风场等多种因素有关。此外,西南地区夏季降水还与太平洋海温存在密切联系,前期冬季中低纬东太平洋海温和同期西太平洋海温偏高时,西南地区夏季降水偏多。

## 关键词

西南地区, 夏季降水, 大气环流, 海温

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

随着近几十年全球气温的快速上升,我国极端天气气候事件频发,发生的严重气象灾害对国家经济社会发展产生了严重危害,降水异常的旱涝又会给人们生活、农业生产和社会经济生产带来了极大影响,而在全年的降水之中,夏季降水占全年降水量的大部分比例。因此,探讨西南地区夏季降水的变化及其影响因素有重要意义。我国西南地区地处青藏高原东部,青藏高原强大的热力和动力作用对其周边地区天气气候产生了重要影响。西南地区天气气候还受太平洋、南海以及孟加拉湾等海洋的影响,海洋蒸发为西南地区提供了丰沛的水汽来源。此外,西南地区地貌类型多样,地形复杂,同时受到多种季风协同影响,经常发生决定强降水,因此是我国降水最复杂的区域之一[1]。

多年来,许多学者对西南地区夏季降水开展了深入研究,取得了不少成果。熊光洁等[2]对西南地区的逐日降水资料分析之后发现,大致可以将该地区的夏季降水划成七个区域和五种类型,并且还发现了各个区域的降水类型都不相同。杜银等[3]研究了西南地区夏季降水量的变化特征,指出南亚高压是影响西南夏季降水的重要环流。晏红明等[4]研究了西北太平洋副热带高压位置变化对西南降水的影响。殷方圆等[5]发现西南季风偏弱可能会造成西南地区夏季降水量减少。刘燕等[6]采用旋转经验正交展开方法将西南地区夏季降水分为五个区域,并发现各区域都存在显著的年代际变化特征。李聪等[7]发现近60年来西南地区年降水量明显减少,且西南地区秋冬春季干旱连续增多可能是由于孟加拉湾季风结束较早导致。范思睿等[7]指出西南地区春季降水在1980年代后发生了突变。周秀华等[8]分析了西南周边地区夏季降水与季风活动的关系和夏季旱涝时期的环流背景。万云霞等[9]通过合成分析、主分量分析和趋势分析等探讨了云南秋季降水的变化特点和成因。齐冬梅等[10]指出我国夏季降水的旱涝分布与副高的位置变化和强弱有着紧密联系,并且在影响西南地区降水的天气系统中,副高是最主要的天气系统。张宇等[11]指出

当西南地区夏季降水偏少时, 南亚高压的位置偏东, 副高和南亚高压都偏强。李露露等[12]发现在西南地区降水偏多年, 副高脊线位置东缩, 势力较弱, 有利于副高南侧的西南风带来的暖湿气流和冷空气在西南地区交汇。陈忠明等[13]应用天气学和统计学方法, 分析了 1998 年夏季西南低涡活动的主要特征, 从而解释长江上游的暴雨大多与西南低涡有关; 李国平等[14]对一次与西南低涡有关的四川特大暴雨过程进行了湿位涡诊断分析, 结果表明暴雨变化趋势与湿位涡变化趋势大致相同, 位涡变率的正负转换对预报大暴雨的形成和减弱有一定的指示意义。张雪琦和白爱娟[15]应用非地转湿  $Q$  矢量理论, 对 2015 年一次川东地区持续性暴雨进行了分析。

总体而言, 以往关于西南地区降水的研究主要关注年降水量或各季节降水变化特征, 而对于造成西南地区降水异常原因的研究还有待深入, 为进一步认识西南地区夏季降水变化特征及其成因, 合理安排西南地区工农业生产, 促进社会经济发展, 本文分析了西南地区夏季降水特征变化及可能原因。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 资料

采用中国气象局提供的 1969~2018 年西南地区(重庆、四川、云南和贵州四省)122 个气象台站观测的逐月累积降水量资料、英国气象局哈德莱中心提供的全球海表温度(Surface sea temperature, SST)资料以及美国气象环境预报中心和美国国家大气研究中心(NCAR/NCEP)联合研制的水平风场、气温、位势高度和海平面气压月平均再分析数据。

### 2.2. 方法

采用线性趋势法分析 1969~2018 年西南地区夏季降水的年代际变化趋势。利用经验正交分解方法(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析西南地区夏季降水的时空变化特征, EOF 方法可将气象要素场分解为与时间或空间相关两个部分, 其优点是可以较好反映出降水的空间分布特征, 且前几个模态集中反映了气象要素场的主要信息, 能最大可能解释气象数据的方差变化, 该方法没有固定的函数形式, 且展开收敛速度较快, 可以对空间分布不规则的台站数据进行分解, 因此是目前主流的气象统计诊断方法[16]。采用相关分析方法分析西南地区夏季降水与海温、海平面气压等不同变量间的相关关系。将西南地区夏季降水区域平均值定义为西南地区夏季降水指数。

## 3. 研究结果

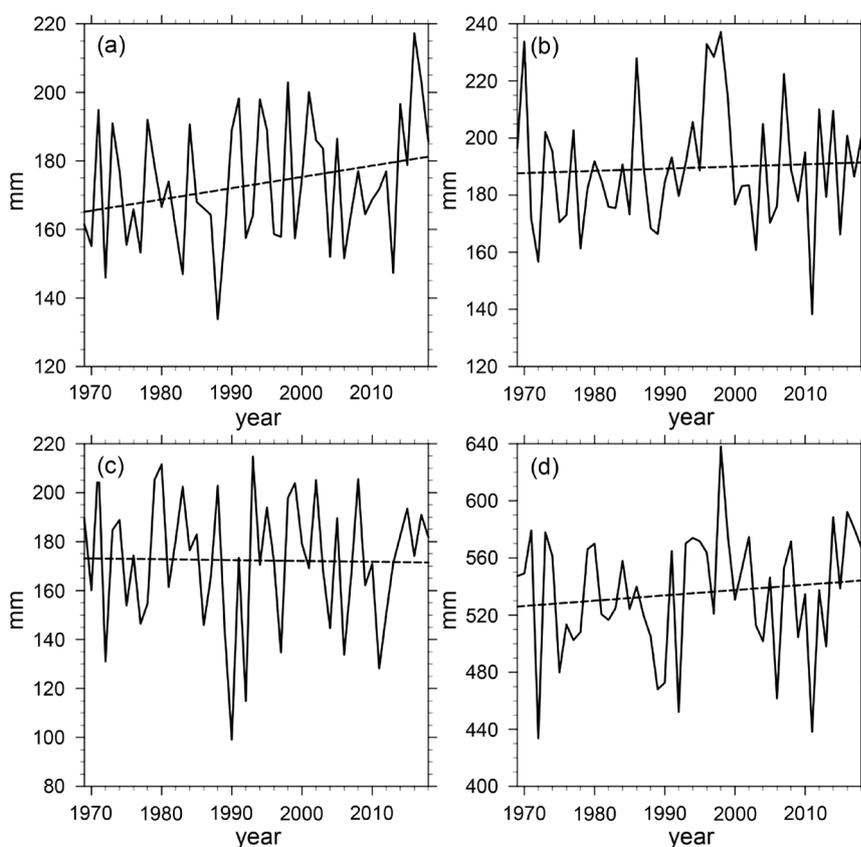
### 3.1. 西南地区夏季降水量的时空变化特征

#### 3.1.1. 年际和年代际特征

图 1 为西南地区区域平均的 6~8 月以及夏季累积降水量变化曲线所示。由图 1(a)可知, 西南地区 6 月降水量的多年平均值为 173.2 mm, 且近 50 年中, 6 月降水量的最大值出现在 2016 年, 达到 217.3 mm, 最少的年份出现在 1998 年, 仅为 133.8 mm, 二者相差 83.5 mm。由线性趋势结果还可看出, 6 月降水量的线性倾向率为 3.2 mm/10a, 表明近 50 年来, 西南地区 6 月降水量整体上有缓慢增加的趋势。西南地区 7 月降水量的气候平均值为 189.6 mm (图 1(b)), 较 6 月增加 16.4 mm, 是夏季三个月中降水量最多的月份。近 50 年来, 7 月降水量最大值为 237.2 mm, 出现在 1998 年, 最小值则仅有 138.3 mm, 出现在 2011 年, 其 50 年间降水量的线性倾向率为 0.77 mm/10a, 同样表明西南地区 7 月降水在近 50 年中整体上有增加趋势。西南地区 8 月降水量的多年平均值为 172.3 mm (图 1(c)), 降水量最大出现在 1993 年, 达到 214.7 mm, 1990 年降水量最少, 仅有 99.0 mm, 8 月降水量的线性倾向率为 -0.34 mm/10a, 表明西南地

区近 50 年来 8 月降水整体上呈线性减少趋势。进一步对西南地区夏季累积降水量变化趋势进行分析(图 1(d))。由图可见,西南地区夏季降水量的气候平均值为 535.1 mm,其中降水最多的年份为 1998 年,降水量达到 638.0 mm,降水最少的年份为 1972 年,仅有 433.7 mm,其线性倾向率达到 3.7 mm/10a,可见,西南地区夏季降水量整体上有增加趋势。

为分析西南地区夏季降水的年代际变化特征,以 10 年为一个年代,将 1969~2018 年分为第一(1969~1978 年)、第二(1979~1988 年)、第三(1989~1998 年)、第四(1999~2008 年)和第五(2009~2018 年)共 5 个年代,分别计算其十年平均值。西南地区第一年代(1969~1978 年)平均的夏季降水量(525.2 mm)最少,而第三年代(1989~1998 年)平均的夏季降水量(539.6 mm)最多,二者相差 14.4 mm。从年代际变化来看,西南地区夏季降水量在第一年代到第三年代际位增加趋势,而在第四年代突然减少,第五年代际与第四年代际差异不大。总体来看,夏季西南地区降水呈现年代际增加的趋势。



**Figure 1.** Time series of (a) June, (b) July, (c) August and (d) summer accumulated precipitation with linear trends of the southwest China

**图 1.** 西南地区(a) 6、(b) 7、(c) 8 月和(d) 夏季降水量及线性趋势

### 3.1.2. EOF 分析

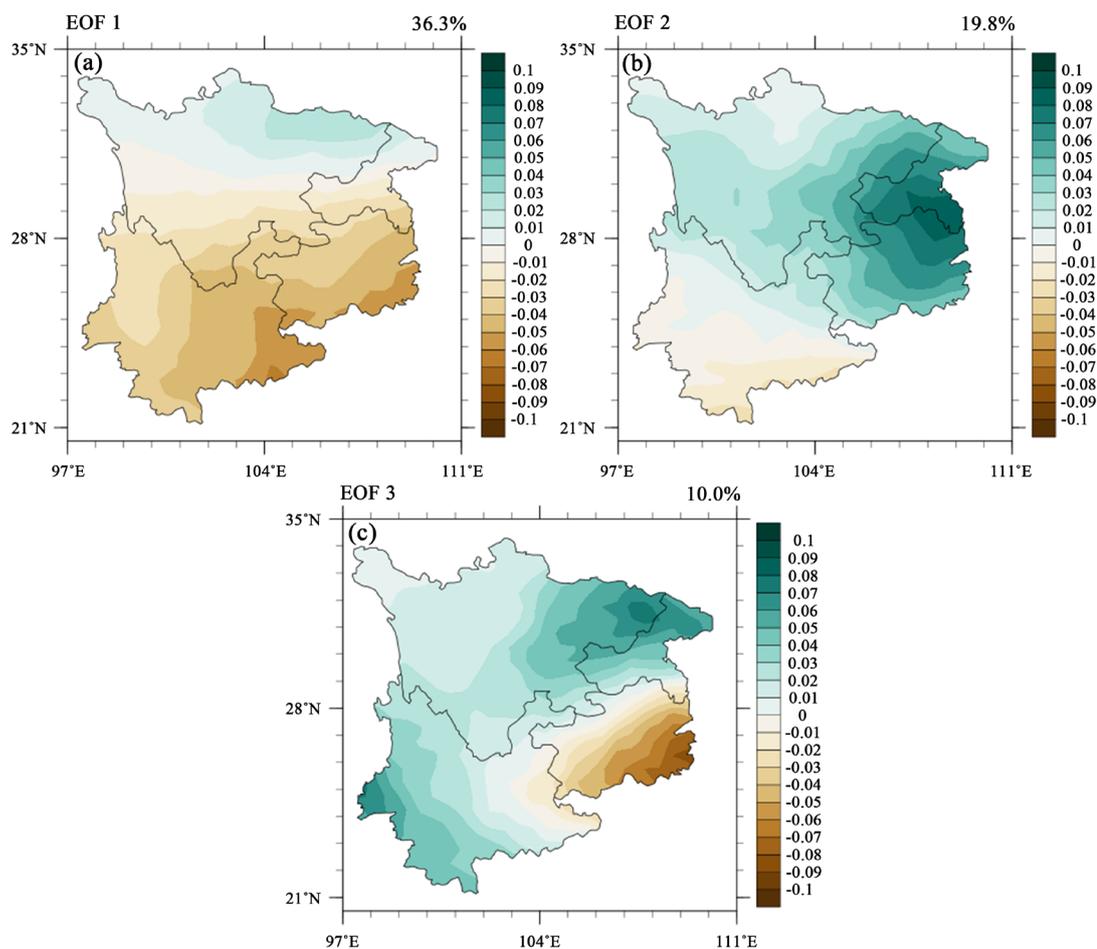
采用 EOF 方法对 1969~2018 年西南地区夏季降水进行分解,并取前三个模态进行分析。EOF 分解前三个模态方差贡献率分别为 36.3%、19.8%和 10.0%,累计方差贡献率达到 66.1%。因此前三个模态可以代表西南地区夏季降水的主要时空变化特征。

EOF 分解的前三个模态的空间分布见图 2。由图 2(a)可以发现,第一模态主要反映了西南地区夏季降水南 - 北反向的空间分布,等值线负值中心主要在云南东南部和贵州东南部,而正值中心则位于川北

广元一带, 正负分界线分布在 31.0°N 附近, 等值线大致具有自北向东南方向递减的趋势, 表明在夏季当西南地区北部降水偏多(少)时, 南部降水偏少(多)。

第二模态(图 2(b))主要反映了西南地区夏季降水东北 - 西南反向的空间分布, 负值中心主要位于云南南部西双版纳地区, 正值中心在重庆与贵州东部交界地区, 正负分界线在云南与四川、重庆交界附近, 即西南地区东北部夏季降水偏多(少)时, 西南部降水偏少(多)。

第三模态(图 2(c))主要反映了西南地区夏季降水西北 - 东南反向的空间分布, 负值中心位于黔东南地区, 正值中心分别位于四川西北部与重庆北部交界处和云南西部陇川县, 表明当四川、重庆和云南西部降水偏多(少)时, 贵州和云南东北部降水偏少(多)。



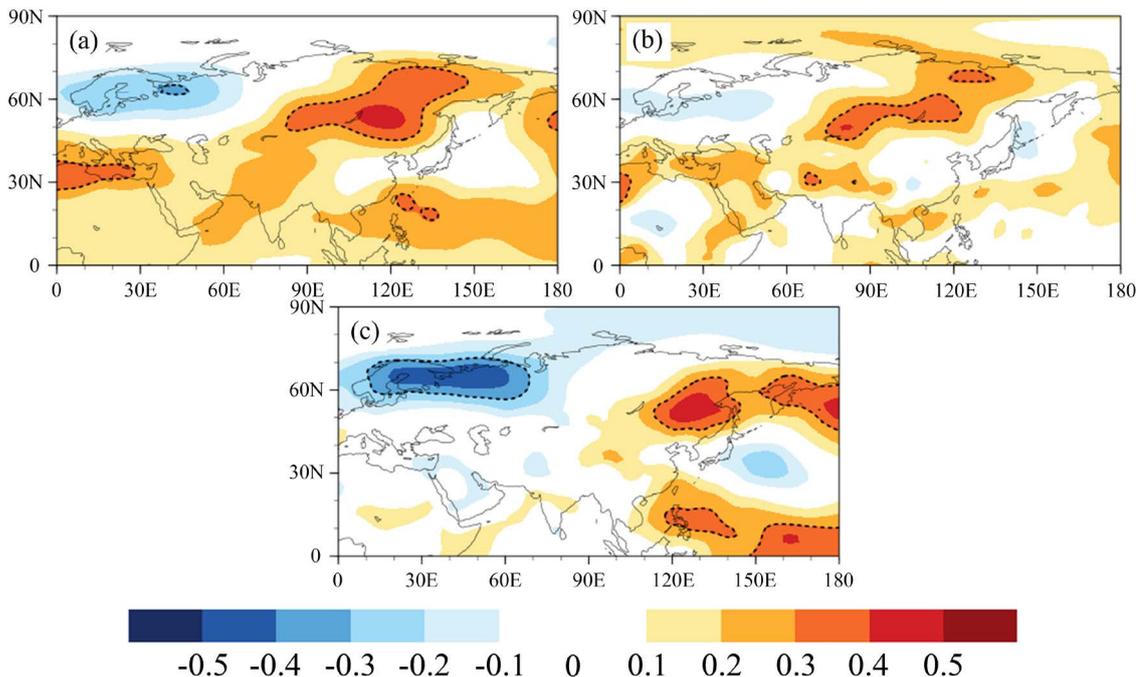
**Figure 2.** The (a) first, (b) second and (c) third mode of summer precipitation in southwest China  
**图 2.** 西南地区夏季降雨量 EOF 结果(a) 第一模态, (b) 第二模态和(c) 第三模态

## 3.2. 西南地区夏季降水变化成因分析

### 3.2.1. 与大气环流的关系

图 3 为西南地区夏季降水指数与 500 hPa 高度场、850 hPa 温度场和海平面气压场的相关系数分布。由降水指数与 500 hPa 位势高度场的相关分布空间图(图 3(a))可见, 相关系数在北半球大部分地区为正值分布, 正相关中心区域分别位于地中海、东亚地区和西太平洋地区, 负相关中心则分布在新地岛以西地区, 表明西南地区夏季降水与相关区域对流层中层高度场变化有关。从降水与 850 hPa 温度的相关系数

空间分布(图 3(b))可见, 北半球 850 hPa 温度场与西南地区夏季降水指数基本均为呈正相关关系, 正相关中心位于巴尔喀什湖、贝加尔湖和青藏高原以西地区, 而西南地区东部存在部分较弱的负相关区, 表明当巴尔喀什湖、贝加尔湖和青藏高原以西地区 850 hPa 温度场偏高(偏低)时, 西南地区夏季降水偏多(偏少)。进一步分析西南地区夏季降水与北半球海平面气压场的关系(图 3(c))。由图可知, 我国东北地区、菲律宾、西太平洋和北太平洋地区海平面气压与西南地区夏季降水指数呈正相关关系, 而欧洲大陆与西南地区夏季降水指数呈负相关关系。可见, 表明当欧洲北部海平面气压偏低, 中国东北、西太平洋和北太平洋地区海平面气压偏高冷高压活动频繁时, 有利于冷空气南下, 对应西南地区夏季降水偏多。

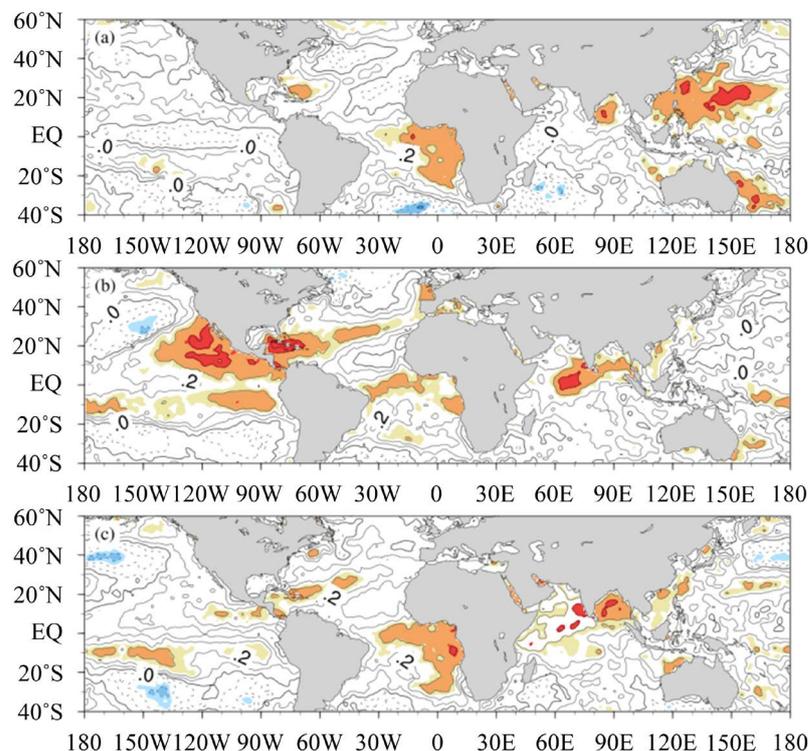


**Figure 3.** The spatial distribution of correlation coefficients between summer precipitation index of southwest China and (a) 500 hPa geopotential height, (b) 850 hPa air temperature and (c) Sea level pressure

**图 3.** 西南地区夏季降水指数与(a) 500 hPa 高度场、(b) 850 hPa 温度场和(c) 海平面气压场相关系数空间分布

### 3.2.2. 与海温的关系

海洋是陆地最主要的水汽来源, 当海温升高时, 大量的水汽、感热和潜热能量被释放到大气中, 使大气环流发生变化, 从而影响降水。计算西南夏季降水指数与同期和前期冬春季海温的相关系数(图 4)。由西南地区夏季降水与同期海温相关系数分布图(图 4(a))中可以看出, 西太平洋地区大部分区域呈现为正相关, 正相关中心位于西太平洋菲律宾附近洋面和澳大利亚以东, 此外, 南半球大西洋东部地区也存在正相关区, 表明当夏季西太平洋和南半球东大西洋海温偏高时, 西南夏季降水偏多。由于海温具有巨大的热容量, 海温异常可对后期气候产生影响, 因此进一步分析了西南夏季降水指数与前期冬季和春季海温的关系。从前期冬季相关系数分布(图 4(b))可见, 低纬东太平洋存在明显的正相关区, 表明当低纬东太平洋前冬海温偏高时, 西南夏季降水偏多, 这可能与前期冬季发生厄尔尼诺有关。此外, 印度洋、中低纬东太平洋和大西洋也存在正相关区域。由西南夏季降水与前期春季海温的相关系数分布(图 4(c))可知, 中纬度太平洋为负相关区域, 大西洋、印度洋、西太平洋和低纬东太平洋等地区为正相关区域。总体来看, 当前期冬季大西洋、北印度洋和中低纬东太平洋区域海温偏高(低), 以及前期春季印度洋和低纬中东太平洋区域的海温偏高(低), 同时期夏季西太平洋区域的海温偏高(低)时, 西南地区降雨偏多(少)。



**Figure 4.** The spatial distribution of SST correlation coefficients between summer precipitation index of southwest China and (a) Summer, (b) Previously winter, and (c) Previously spring

**图 4.** 西南地区夏季降水指数与(a) 同期夏季、(b) 前期冬季和(c) 前期春季海温相关系数分布

#### 4. 结论

利用西南地区 122 个台站逐月降水量资料、Hadley 海表温度资料和 NCAR/NCEP 再分析资料, 通过多种统计诊断方法, 分析了西南地区夏季降水变化特征及其原因, 结果表明:

- 1) 近 50 年西南地区夏季降水气候平均值为 535.1 mm, 整体呈增加趋势。
- 2) EOF 分析表明西南地区夏季降水第一模态为南 - 北反向空间分布, 第二模态为西南 - 东北反向分布, 第三模态为西北 - 东南反向分布, 且各模态时间系数均具有显著的年际和年代际变化。
- 3) 相关分析表明西南地区夏季降水的变化与低层冷高压、200 hPa 西风急流、500 hPa 西太平洋副热带高压、东北低涡、850 hPa 风场等多种因素有关。
- 4) 西南地区夏季降水还与太平洋海温存在密切联系, 前期冬季中低纬东太平洋海温和同期西太平洋海温偏高时, 西南地区夏季降水偏多。

#### 基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, BKJX2019042, BKJX2019047, BKJX2019056, BKJX2019062, BKJX2019081, BKJX2019089, BKJX2019120 和 JY2018012)支持。

#### 参考文献

- [1] 徐裕华. 西南气候[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 131-156.
- [2] 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, 2012, 48(4): 45-52.
- [3] 杜银, 谢志清. 中国西南地区夏季降水的年际变化及与南亚高压的关系[J]. 四川气象, 2002, 22(4): 8-13.

- 
- [4] 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.
- [5] 殷方圆, 殷淑燕. 1960-2012年我国夏季降水的时空分布特征[J]. 陕西师范大学学报, 2015, 43(3): 74-79.
- [6] 刘燕, 王谦谦, 程正泉, 等. 我国西南地区夏季降水异常的区域特征[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(1): 105-110.
- [7] 李聪, 肖子牛, 张晓玲. 近60年中国不同区域降水的气候变化特征[J]. 气象, 2012, 38(4): 419-424.
- [8] 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.
- [9] 万云霞, 朱保林, 张万诚, 等. 云南秋季降水的变化特征及其成因分析[J]. 云南大学学报, 2016, 38(1): 62-71.
- [10] 齐冬梅, 周长艳, 李跃清, 等. 西南区域气候变化原因分析[J]. 高原山地气象研究, 2012, 32(1): 35-42.
- [11] 张宇, 李耀辉, 魏林波, 等. 南亚高压与西太平洋副热带高压对我国西南地区夏季降水异常的影响[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 464-470.
- [12] 李露露, 肖天贵, 杨明鑫. 西南地区降水异常的时空分布特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2019, 8(6): 698-709.
- [13] 陈忠明, 徐茂良, 闵文彬, 等. 1998年夏季西南低涡活动与长江上游暴雨[J]. 高原气象, 2003, 22(2): 162-167.
- [14] 李国平, 刘行军. 西南低涡暴雨的湿位涡诊断分析[J]. 应用气象学报, 1994(3): 354-360.
- [15] 张雪琦, 白爱娟. “15·8”川东西南涡暴雨的 $Q$ 矢量分析[J]. 高原山地气象研究, 2015, 35(3): 32-38.
- [16] 康丽华, 陈文, 魏科. 我国冬季气温年代际变化及其与大气环流异常变化的关系[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(3): 330-339.