

钱海, 龙安胜, 彭杰. 贵州夏季降水异常及其与海温异常的关系[J]. 海洋气象学报, 2024, 44(3): 1-10.
QIAN Hai, LONG Ansheng, PENG Jie. Summer precipitation anomaly in Guizhou and its relationship with SST anomaly [J].
Journal of Marine Meteorology, 2024, 44(3): 1-10. DOI: 10.19513/j.cnki.hyqxxb.20230530001. (in Chinese)

贵州夏季降水异常及其与海温异常的关系

钱海¹, 龙安胜², 彭杰¹

(1. 黔西市气象局, 贵州 黔西 551599; 2. 惠水县气象局, 贵州 惠水 550699)

摘要 利用贵州1961—2018年夏季 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 格点月降水资料和全球逐月海面温度(以下简称“海温”)资料,分析了贵州夏季降水量的时空分布特征及其与前期海温的联系,并合成分析了海温异常影响大气环流异常从而对降水量产生的影响。结果表明:(1)贵州夏季和夏季各月降水量均无显著趋势变化,降水量从东北部的中部向西南逐渐增加,并且贵州夏季降水异常主要有全区一致型、南北反向型和东西反向型3个模态。(2)贵州夏季降水异常与北赤道暖流区、加利福尼亚冷流区、北太平洋中纬度海域的海温异常联系密切。(3)北赤道暖流区和加利福尼亚冷流区的显著时段是上一年6—11月,其中7月影响最为显著,影响范围主要是贵州东部及南部;北太平洋中纬度海域是上一年6—7月,其中7月影响最为显著,影响范围主要是贵州东北部及东南部。(4)关键海区海温与贵州降水偏少年的联系不如偏多年密切。

关键词 经验正交函数(EOF)分析;相关分析;合成分析;海温(SST)

中图分类号: P426.6; P732 文献标志码: A 文章编号: 2096-3599(2024)03-0000-00
DOI: 10.19513/j.cnki.hyqxxb.20230530001

Summer precipitation anomaly in Guizhou and its relationship with SST anomaly

QIAN Hai¹, LONG Ansheng², PENG Jie¹

(1. Qianxi Meteorological Bureau, Qianxi 551599, China; 2. Huishui Meteorological Bureau, Huishui 550699, China)

Abstract Based on the monthly summer precipitation data of $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ in Guizhou from 1961 to 2018 and the monthly global sea surface temperature (SST) data, this paper analyzes the spatial and temporal distribution characteristics of summer precipitation in Guizhou and its relationship with the previous SST, and synthetically analyzes the influence of SST anomaly on atmospheric circulation anomaly and thus on precipitation. The results are as follows. (1) There is no significant trend change in summer precipitation and monthly summer precipitation in Guizhou, the precipitation gradually increases from the middle of the northeastern part to the southwestern part, and the summer precipitation anomalies in Guizhou mainly have three modes: uniform regional type, north-south opposite type and east-west opposite type. (2) The summer precipitation anomalies in Guizhou are closely related to the SST anomalies in the North Equatorial Current zone, the California Current zone and the mid latitude of the North Pacific Ocean. (3) The significant period of the North Equatorial Current zone and the California Current zone (the mid latitude of the North Pacific Ocean) is from June to November (from June to July) of last year, in which July has the most significant influence, and the range of influence is mainly in the eastern (northeastern) part and southern (southeastern) part of Guizhou. (4) The relationship between SST in key sea areas

收稿日期: 2023-05-30; 修回日期: 2024-02-19

第一作者简介: 钱海, 男, 助理工程师, 主要从事综合气象业务, 1947711298@qq.com。

and the years of less precipitation in Guizhou is not as close as that between SST in key sea areas and the years of more precipitation.

Keywords empirical orthogonal function (EOF) analysis; correlation analysis; synthetic analysis; sea surface temperature (SST)

引言

气候变化及其成因是目前大气科学领域研究的热点^[1-3]。贵州位于中国云贵高原东侧,旱涝灾害严重,且是一个农业大省,降水异常对经济建设及工农业生产都有非常大的影响。对于贵州夏季降水,前人对其特征进行了分析。赵志龙等^[4]指出,贵州多年平均降水由东部和南部向西北部逐渐递减,且近57年来降水中心有明显东移现象。陈静等^[5]指出,贵州极端降水阈值的空间分布存在差异,南部多于北部,东部多于西部,且极端降水时间整体呈现上升趋势。孔德璇等^[6]对贵州近40 a主汛期降水的时空变化以及其异常年低频特征进行分析,得出贵州主汛期降水有明显的年代际变化特征。

在影响气候异常的许多因子中,海气相互作用以及海面温度(以下简称“海温”)的变化是引起短期气候变化的重要因子^[7-11]。对于贵州夏季降水异常成因,Cao等^[12]指出副热带南印度洋偶极子会通过影响环流异常进而影响中国西南地区的夏季降水异常。Wang等^[13]指出热带西北太平洋海温对西南地区秋季降水年际变化有遥相关影响。王芬等^[14]认为影响贵州降水异常的主要环流系统有南亚高压、印度西南季风、西太平洋副热带高压(以下简称“西太副高”)、中高纬度西风带扰动系统等,并且还受印度洋海温、太平洋海温等因子的影响。许可等^[15]认为同期印度洋海温距平(sea surface temperature anomaly, SSTA)分布场与贵州夏季降水显著相关,西印度洋索马里海区的SSTA与贵州夏季降水关系最为密切。王芬等^[16]通过分析前期北太平洋海温与贵州夏季降水耦合,探讨了前期海温异常对贵州夏季降水的可能影响机制。李忠燕等^[17]认为环流异常和海温异常与贵州夏季降水的变化有密切联系。陶威^[18]研究了厄尔尼诺-南方涛动(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)形态变异对于中国西南地区降水的影响。

以往研究多以一片海域海温作为指标对降水异常进行分析,此文基于前人的研究,通过计算前一年夏季到同期春季全球海温场与贵州夏季降水的相关

系数,对比夏季旱、涝年的SSTA空间分布差异,找出影响的关键海区,锁定关键海区经纬度,用关键海区来寻找海温对贵州降水影响的关键时段及影响范围,并将其中关键时段的海温关键区用来进行海温异常年的合成分析,以认识贵州夏季降水的时空分布规律及降水异常成因,有助于为研究和预报贵州夏季降水提供依据。

1 资料和方法

1.1 资料

所用资料包括:(1)降水量资料来源于1961—2018年的中国地面降水月值格点资料集,该资料集基于国家气象信息中心基础资料专项最新整编的中国地面2472个台站的降水资料,利用ANUSPLIN软件的薄盘样条法(thin plate spline, TPS)进行空间插值,生成1961—2018年的水平分辨率 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的中国降水月值格点资料。(2)海温资料选取英国气象局哈德莱中心提供的1960—2018年全球逐月海温资料,空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。(3)美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)提供的再分析月平均位势高度场、风场和相对湿度资料,空间分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。

1.2 方法

文中对贵州夏季近58 a降水量作经验正交函数(empirical orthogonal function, EOF)分析,以认识贵州夏季降水时空分布规律;并将贵州夏季降水EOF第一模态时间系数与夏季(前一年6—8月)、秋季(前一年9—11月)、冬季(前一年12月—当年2月)及春季(当年3—5月)全球海温求相关,找出影响贵州夏季降水关键海区和关键时段,对关键海区海温异常年所对应的夏季降水及相关气象要素场进行合成分析,以认识贵州夏季降水异常的成因。

2 贵州夏季降水的基本特征和异常时空分布特征

2.1 降水时间分布

贵州夏季总降水量多年平均值为558 mm,其

中6、7、8月降水量分别为216、186、156 mm,6月贡献最大,达39%,8月贡献最小,为28%,7月占夏季总降水量的33%。图1分别给出了1961—2018年贵州夏季降水距平及月降水距平变化,结合线性趋势曲线可以看出,贵州夏季降水距平随时间无明显变化趋势,11 a滑动曲线显示1991—2002年降水偏多,2003—2013年降水偏少。6月,

降水距平随时间变化呈弱上升趋势,其中1981—1991年降水偏少,1992—2005年降水偏多。7月,降水距平随时间无明显变化趋势,其中1987—2005年降水偏多。8月,降水距平随时间变化呈弱下降趋势,其中2003—2013年降水偏少。以上线性趋势均未通过0.05显著性检验,即趋势变化并不显著。

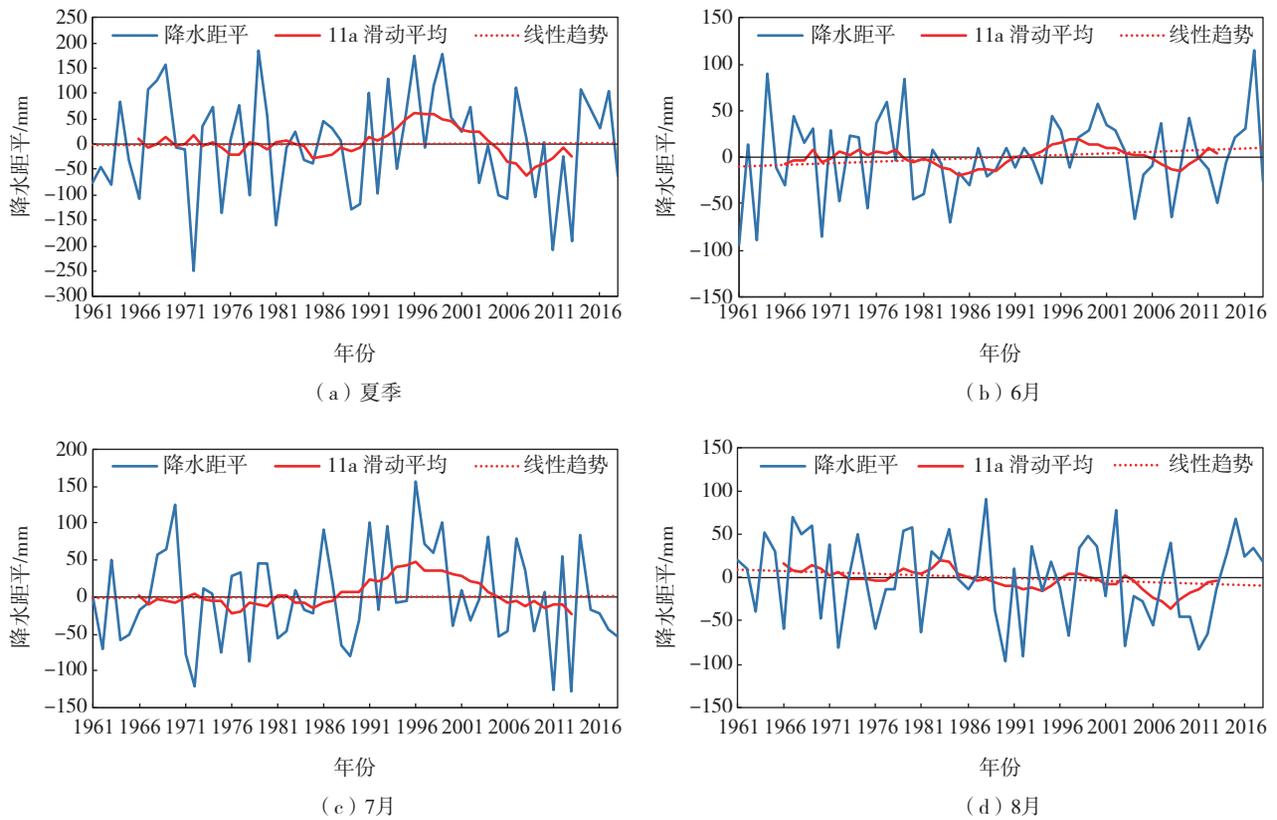


图1 1961—2018年贵州夏季降水距平时间分布

Fig.1 Time distribution of summer precipitation anomaly in Guizhou from 1961 to 2018

2.2 降水量气候态分布

图2给出了1961—2018年贵州夏季总降水量及各月降水量气候态空间分布情况。总体来看,夏季降水量分布有以下特点:(1)大致都是从东北向西南逐渐增加,但从东北部边界到东北部的中部则与之相反,并且在西南部有2个多雨区,东南部有1个多雨区;(2)少雨区在6、7、8月不断向西南方向移动和扩大,且少雨区中心值在不断减小。此结果与胡建龙等^[19]的研究结果一致,主要是由于贵州降水受地形影响明显,降水量和暴雨日数高值区多出现在山脉迎风坡及平原和山脉的过渡地区。

2.3 降水的 EOF 分析

夏季总降水距平 EOF 分析通过蒙特卡洛检验的是前4个模态,其方差贡献如表1所示。由于第4个模态所占贡献太小,所以选取前3个模态进行分析。图3为1961—2018年贵州夏季降水距平的 EOF 前3个模态分析。第一主模态解释方差约为60.02%,由图3可以看出第一主模态整体表现为正异常,夏季降水表现为全区变化的一致性,其中正异常中心位于贵州南部。结合时间系数的11 a滑动曲线可看出,1991—2002年夏季降水整体偏多,2003—2013年夏季降水整体偏少,具有明显的年代际特征。由时间系数的线性趋势来看,夏季降水随时间无明显变化。第

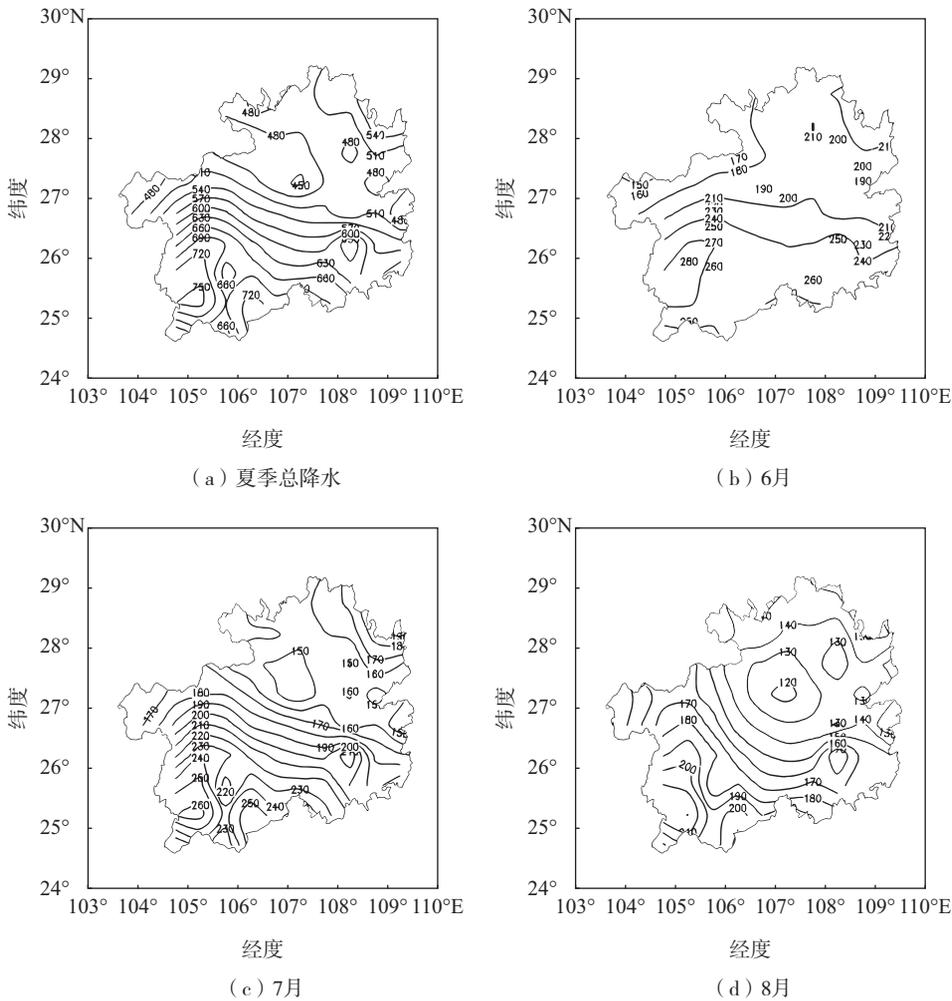
二主模态的解释方差约为 13.07%, 呈现一个大致南北向的“+ -”偶极子分布, 零线基本将贵州分成南北两个部分, 北部为负异常、南部为正异常, 同理可看出, 1966—1976 年夏季降水北部偏少、南部偏多, 1977—1988 年夏季降水北部偏多、南部偏少, 具有明显的年代际特征。夏季南部降水随时间呈微弱的下降趋势, 北部有微弱上升趋势。第三主模态解释方差约为 6.99%, 呈现一个大致东西走向的“+ -”偶极子分布, 零线大致把贵州分成东西两个部分, 西部负异常,

东部正异常, 同理可看出, 1977—1987 年降水西部偏多, 东部偏少。夏季东部降水随时间呈上升趋势, 西部随时间呈下降趋势。

表 1 夏季总降水距平 EOF 前 3 个模态的方差贡献率

Table 1 Variance contribution rate of three leading EOF modes of summer total precipitation anomaly 单位: %

模态	模态 n 的方差贡献率	前 n 个模态累计方差贡献率
模态 1	60.02	60.02
模态 2	13.07	73.09
模态 3	6.99	80.08



等值线—降水量, 单位: mm。

图 2 1961—2018 年多年平均贵州夏季降水量空间分布

Fig.2 Spatial distribution of multi-year average summer precipitation in Guizhou from 1961 to 2018

3 贵州夏季降水异常与前期全球海温的关系

上述分析表明, 贵州夏季总降水距平 EOF 分析第二模态及后面模态的方差贡献在 20% 以下, 贡献

较小, 贵州夏季降水变化以第一模态为主, 为全区一致变化。故对 EOF 第一模态时间系数与前一年夏季到当年春季海温的相关系数进行分析。

由前一年夏季(图 4a)可知, 在北赤道暖流区和加利福尼亚冷流区有一个显著正相关区域, 剩

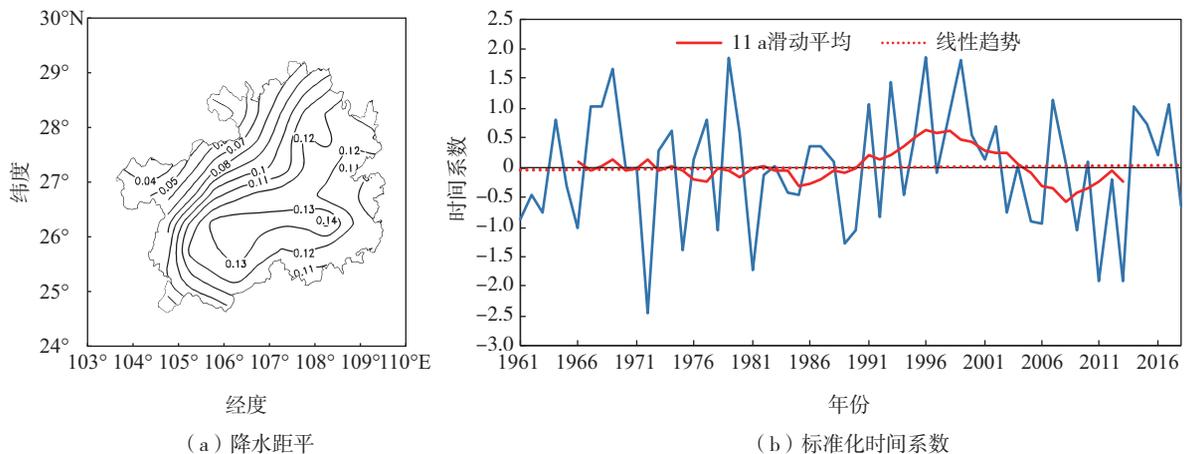
余显著正相关区域在南印度洋(30°~90°E, 40°~50°S)区域、印度尼西亚以东海域以及一些比较分散的区域,而显著负相关区域在北太平洋中纬度海域。前一年秋季(图4b),位于南印度洋(30°~90°E, 40°~50°S)区域的显著正相关区域消失,北赤道暖流区和加利福尼亚冷流区的显著正相关仍然维持,印度尼西亚以东的海域显著正相关区域略有加强,北太平洋中纬度海域的显著负相关区域消失。前一年冬季(图4c),北赤道暖流区、加利福尼亚冷流区的显著正相关区域开始缩小,印度尼西亚以东的海域显著正相关区域略有南移,澳大利亚东南方向的海域出现显著负相关区域。当年春季(图4d),太平洋上的显著正相关区域基本消失,在索马里海区、阿拉伯海和孟加拉湾区域出现显著正相关区域,澳大利亚东南方向的显著负相关区域消失。综上,贵州夏季降水与各个海区海

温之间存在着不同时间上的显著相关,其中北赤道暖流区域、加利福尼亚冷流区域显著正相关持续时间较长,达到6个月以上。

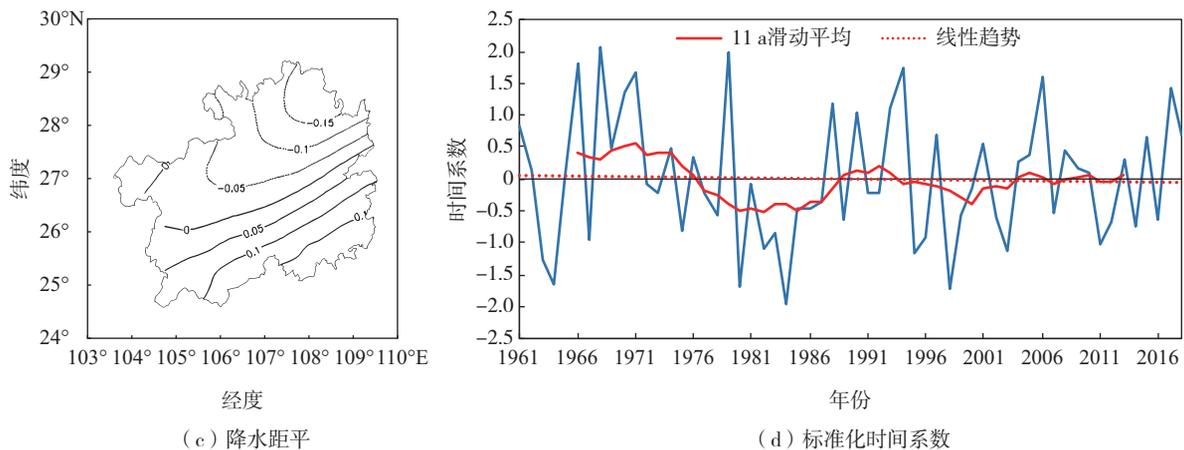
为了进一步分析海温异常对贵州夏季降水的影响,苗秋菊等^[20]指出,在选择影响区域性降水的海温关键区时,应该使海温关键区满足“高相关”和“反相位”两个条件。因此,将通过早、涝年的海温距平分布来进一步选择海温关键区。

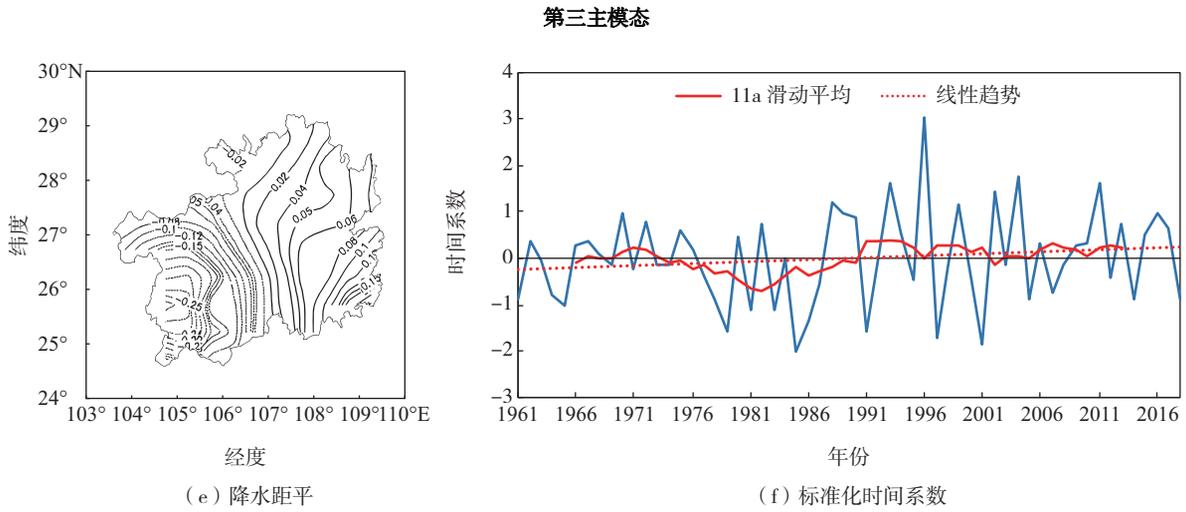
按照夏季降水距平 EOF 第一模态时间系数正负1倍标准差标准选取涝早年。选出夏季涝年共11 a,分别是1967、1968、1969、1979、1991、1993、1996、1999、2007、2014和2017年;夏季旱年为10 a,分别是1966、1972、1975、1978、1981、1989、1990、2009、2011和2013年。对选择出来的夏季早、涝年的前一年夏季、秋季、冬季、同期春季的海温进行合成分析。

第一主模态



第二主模态





黑色实等值线—降水正距平, 黑色虚等值线—降水负距平, 单位: mm。

图3 1961—2018年贵州夏季降水距平 EOF 模态和标准化时间系数

Fig.3 EOF mode and standardized time coefficient of summer precipitation anomaly in Guizhou from 1961 to 2018

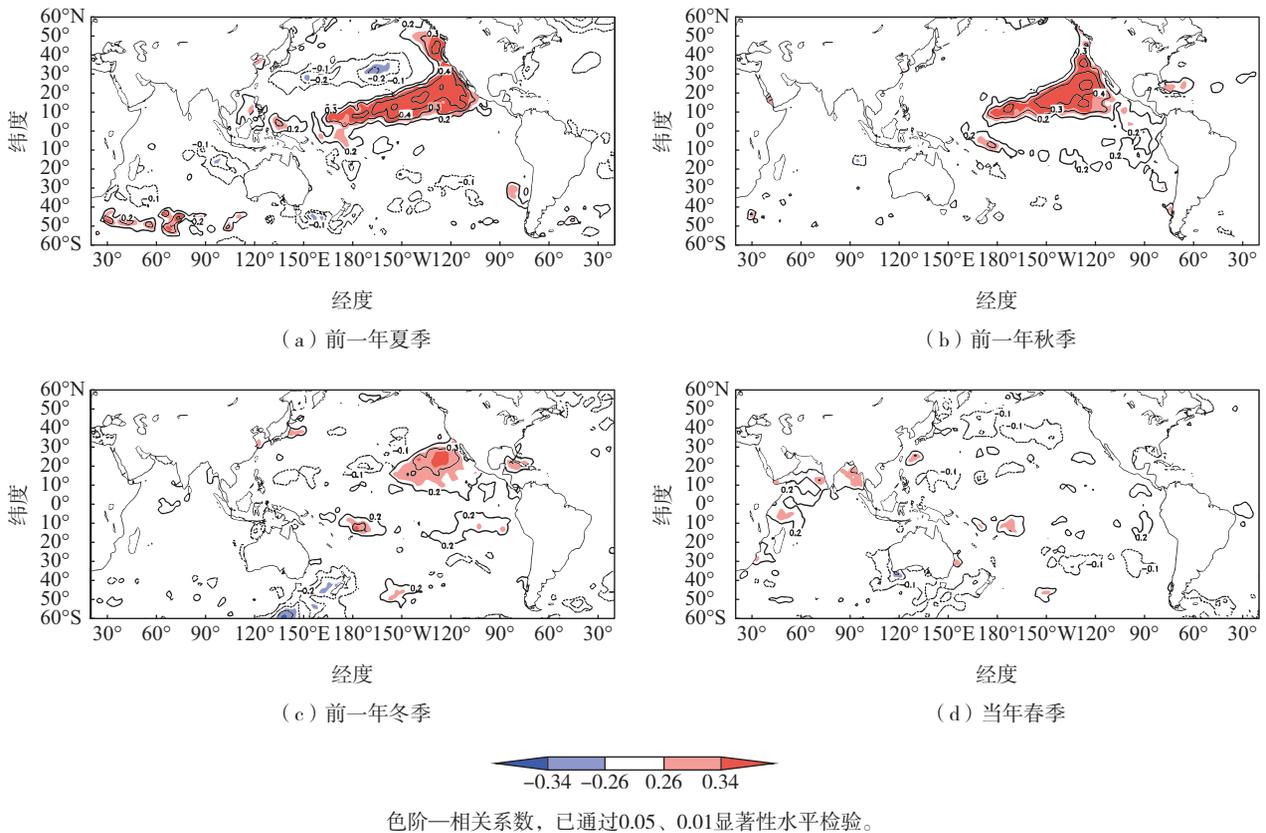


图4 夏季降水距平 EOF 第一模态时间系数与前一年夏季到当年春季 SST 的相关系数分布

Fig.4 Distribution of correlation coefficient between time coefficient of the first EOF mode of summer precipitation anomaly and SST from the previous summer to the next spring

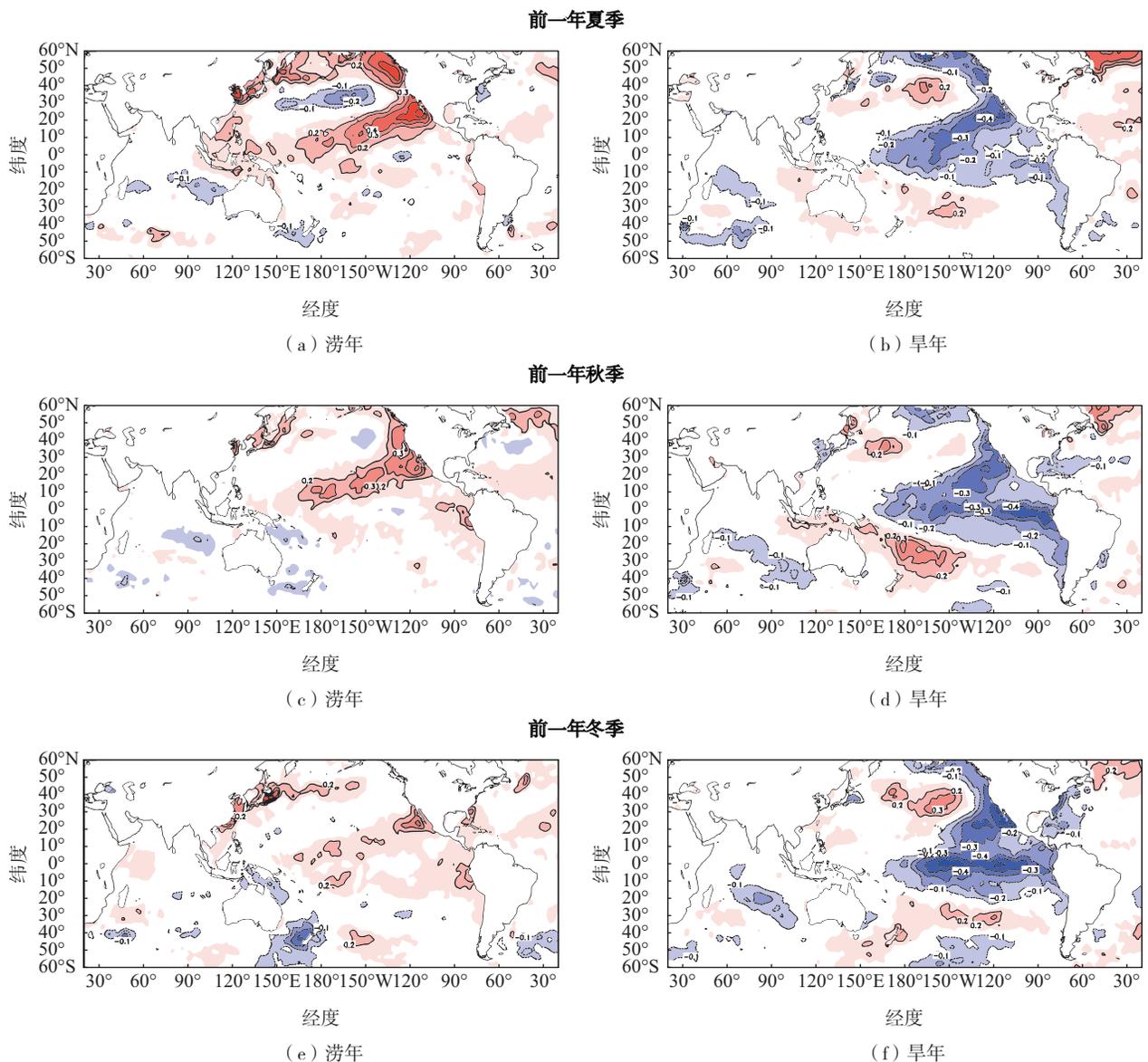
由夏季涝年的合成分析(图 5a、c、e、g)来看, 加利福尼亚冷流区、北赤道暖流区在前一年夏季、秋季海温比常年偏高, 中心值超过 0.4 °C, 在前一

年冬季以及同期春季海温偏高区域明显缩小, 海温异常不明显, 北太平洋中纬度海域在前一年夏季海温比常年偏低, 中心值小于-0.3 °C, 在前一年

秋季、冬季、当年春季海温异常不明显。结合图4可以看出,加利福尼亚冷流区、北赤道暖流区前一年夏季、秋季海温偏高时,贵州夏季降水偏多,北太平洋中纬度海域前一年夏季海温偏低时,贵州夏季降水偏多。由夏季旱年的合成分析(图5b、d、f、h)可以看出,加利福尼亚冷流区、北赤道暖流区、赤道中东太平洋区域在前一年夏季、秋季、冬季,以及当年春季均出现海温比常年偏低的现象,其中赤道中东太平洋区域在图4中未出现明显的显著相关区,王芬等^[16]指出这可能是由于赤道中东太平洋海温异常导致 ENSO 事件在贵州夏季降水异常中表现为降水偏多年与 El Niño 事件关系不密切,而降水偏少年与 La Niña 事件关系较密切。其中加利福尼亚冷流区和北赤道暖流区在前一年

夏季到冬季海温距平中心达到 $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,在北太平洋中纬度海域前一年夏季、冬季、当年春季海温比常年偏高,中心值达到 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。

通过以上分析可知,北太平洋中纬度海域 ($180^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{W}$, $30^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$) 与加利福尼亚冷流区 ($140^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{W}$, $10^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$)、北赤道暖流区 ($140^{\circ}\text{W}\sim 160^{\circ}\text{E}$, $5^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$) 的海温距平分布在夏季降水的涝年和旱年具有明显“反相位”特征。其中,加利福尼亚冷流区与北赤道暖流区持续时间较长,北太平洋中纬度海域在前期夏季表现较为明显。因此,结合显著相关分布(图4)和夏季旱涝年的海温距平分布(图5),选择前期夏季北赤道暖流和加利福尼亚冷流区综合为第一海温关键区,北太平洋中纬度海域为第二海温关键区。



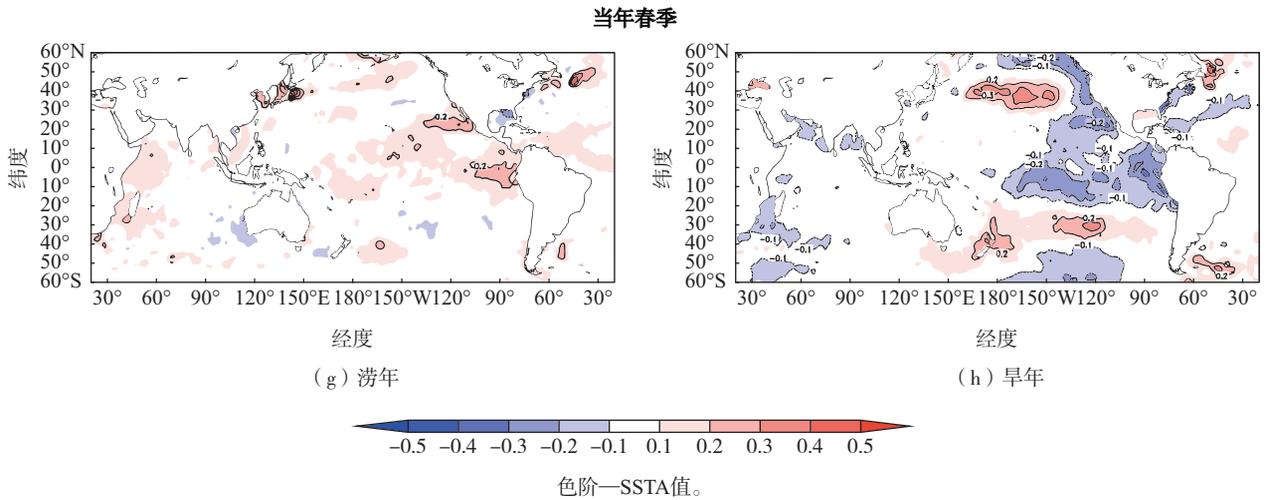


图5 夏季旱、涝年的前一年夏季到当年春季 SSTA 分布合成
 Fig.5 Synthetic map of SSTA distribution from the previous summer to the spring of summer drought and flood years

4 海温关键区与夏季降水的相关分析和回归分析

4.1 时间相关

由于区域降水的响应常落后于海温信号,因此将前面确定的两个海温关键区从前一年夏季到当年春季每月区域平均海温距平分别与夏季降水距平 EOF 分析的第一模态时间系数求相关,得到相关系数(图6)。可以看出,加利福尼亚冷流和北赤道暖流区域与夏季降水全部为正相关,在上一年6—11月,相关系数均通过0.05的显著性检验,其中上一年7月的相关系数最大,为0.47,上一年12月—当年1月虽然未通过0.05显著性检验,但相关系数接近0.26,当年3—5月相关性最差,相关系数小于0.2。北太平洋中纬度海域海温与夏季降水基本均为负相关,上一年6—7月的相关系数已通过0.05显著性检验,其中7月的相关性最强,相关系数为-0.34,在7月之后相关性骤降。

4.2 空间相关

根据前面确定的两个海温关键区以及影响的关键时段,取关键区海温距平平均值作为该关键区的一个海温指数,将两个海温关键区分别与贵州夏季降水求相关,得出相关系数分布(图7)。可以看到,北赤道暖流与加利福尼亚冷流与夏季降水显著正相关,贵州大部分区域已通过0.05显著性检验,仅有西北部以及北部的部分区域未通过0.05的显著性检验,而通过0.01显著性检验的区域主要在东部和

南部(图7a)。前期夏季北太平洋中纬度海域与夏季降水显著负相关,通过0.01和0.05的检验的区域主要位于东北和东南部(图7b)。

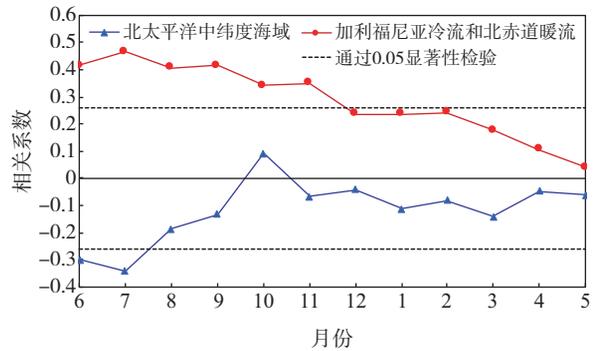


图6 前一年6月—当年5月两个海温关键区区域平均 SSTA 与夏季降水距平 EOF 分析的第一模态时间系数的相关系数
 Fig.6 Correlation coefficient between regional average SSTA of two key SST areas and time coefficient of the first EOF mode of summer precipitation anomaly from the previous June to the next May

4.3 回归分析

对两个关键海区海温距平与贵州夏季降水进行逐步回归(北太平洋中纬度海域这一因子未通过显著性检验,这应该是由图7b中的显著相关区域较小导致的),得出线性回归方程为:

$$Y = 112.62 \times X + 562.4. \quad (1)$$

式中: X 为北赤道暖流和加利福尼亚冷流的海温距平平均值, Y 为贵州夏季区域平均降水预测值。回归方程已通过0.05的显著性检验,表明北赤道暖流

和加利福尼亚冷流的海温异常对贵州夏季降水异常有重要贡献。

由图 8 可以看出, 每年回归值与实测降水量形态正、负年份并不完全对应, 这是由于贵州夏季降水

成因很复杂, 仅用一个海温关键区是不能解释所有年份的。贵州夏季降水受许多因子的影响, 如印度洋、南太平洋海域的海温, 以及青藏高原的积雪分布, 还有前期的大气环流形势等等。

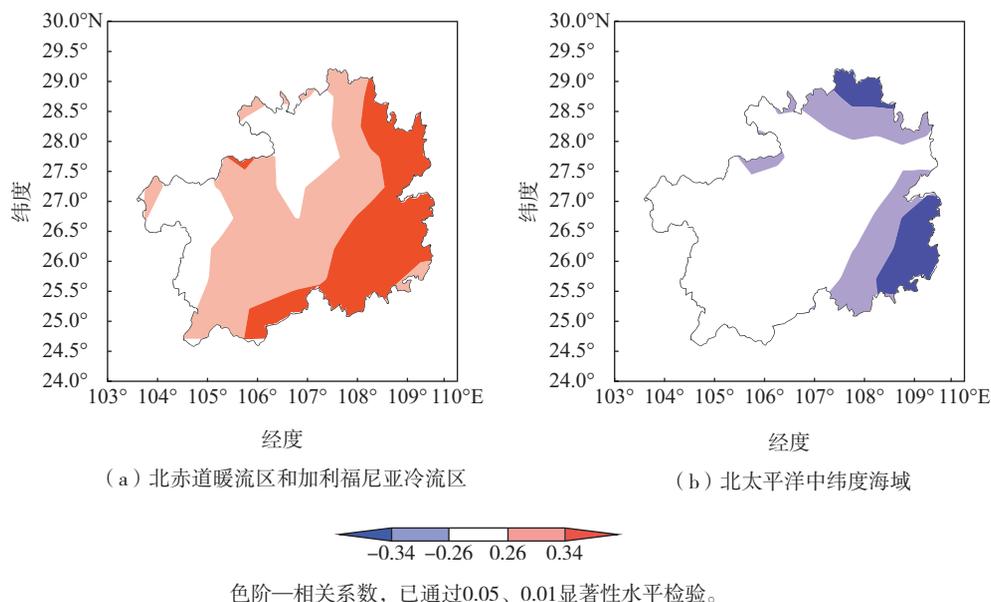


图 7 关键海区 SSTA 平均值与贵州夏季降水的相关场

Fig.7 Correlation field between average SSTA in key sea areas and summer precipitation in Guizhou

5 加利福尼亚冷流区与北赤道暖流区海温异常年的合成分析

将前一年 6—11 月的加利福尼亚冷流区和北赤道暖流区的海温距平求平均, 经过去趋势后, 做标准化处理, 按照正负 1 倍标准差标准来选取正、负异常年。挑选出 8 个正异常年 (1964、1968、1969、1991、1993、1998、2015、2016 年) 和 8 个负异常年 (1972、1974、1976、2000、2009、2011、2012、2013 年)。对比之前用夏季降水距平 EOF 分析第一模态的时间系数选取降水偏多偏少年份, 可以看出选取年份并不一致, 8 个正异常年对应 4 个降水偏多年, 占 50%, 8 个负异常年对应 4 个降水偏少年, 占 50%。

选取海温正、负异常年, 进行夏季降水距平百分率的合成分析。在正异常年 (图 9a) 中, 贵州夏季降水整体是偏多的, 其中大部分区域通过了 0.05 显著性检验, 东南部、中西部以及北部部分地区通过了 0.01 的显著性检验, 大值中心位于贵州的中西部和东南部, 降水偏多 20% 以上, 其中东南部降水偏多达 25%。在负异常年 (图 9b) 中, 贵州夏季降水整体偏少, 仅有西南部部分区域通过了 0.05 和 0.01 的显

著性检验, 中心值位于贵州西南部, 降水偏少 15% 以上。

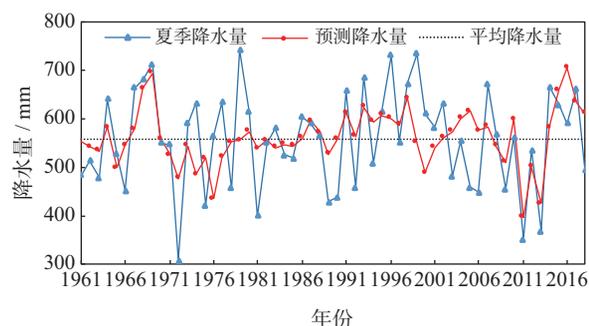


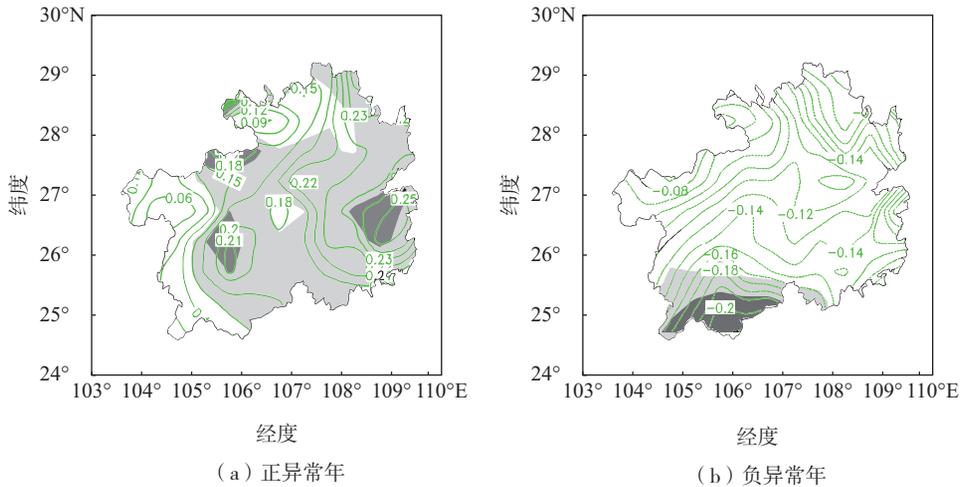
图 8 1961—2018 年利用关键海区 SSTA 回归降水量与实测降水量变化

Fig.8 Variation of observed precipitation and regressed precipitation using SSTA in key sea areas from 1961 to 2018

选取海温正、负异常年, 进行 500 hPa 高度场距平合成分析。在正异常年 (图 10a) 中, 北太平洋中纬度区域表现为负距平, 其中心位于山东半岛至日本群岛。贝加尔湖西北侧和西伯利亚东部分别有一个正距平中心, 贝加尔湖高压脊加强和山东半岛至日本群岛高空槽加深有利于引导冷空气南下。在中

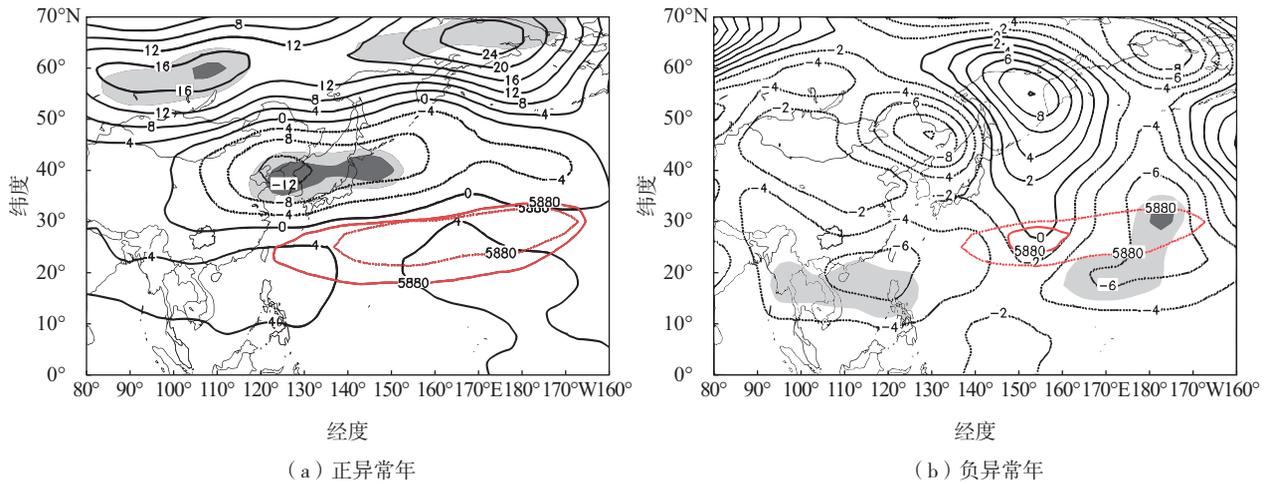
国 30°N 以北,中东部基本为负距平,30°N 以南区域为正距平,贵州位于 30°N 以南区域。500 hPa 等压面相较于常年有所抬升,空气柱的厚度有所增加,西太副高对比常年有所加强。588 线位置比常年偏西,范围较常年扩大,有利于输送暖湿气流和北方来的干冷气流汇合。在负异常年(图 10b)中,贝加尔

湖区域表现为负距平,不利于引导冷空气南下,且贵州地区 500 hPa 等压面相较于常年有所下降,西太副高位置为负距平,并有所减弱。588 线位置比常年偏东,范围较常年缩小。综上,加利福尼亚冷流和北赤道暖流海温升高时,有利于贵州地区产生降水,反之不利于产生降水。



绿色等值线—降水距平占比; 浅灰、深灰色区域—已通过0.05、0.01显著性水平检验。

图 9 加利福尼亚冷流和北赤道暖流海温正、负异常年贵州夏季降水距平百分率合成
Fig.9 Synthesis of summer precipitation anomaly percentage in Guizhou in years of positive and negative SST anomaly in the California Current and the North Equatorial Current



红色实、虚等值线—5880 gpm 线位置和平均位置; 黑色实、虚等值线—高度场正、负距平, 单位: gpm; 浅灰、深灰色区域—已通过0.05、0.01显著性水平检验。

图 10 海温正、负异常年夏季 500 hPa 高度场距平合成
Fig.10 Synthesis of summer 500-hPa geopotential height anomaly in years of positive and negative SST anomaly

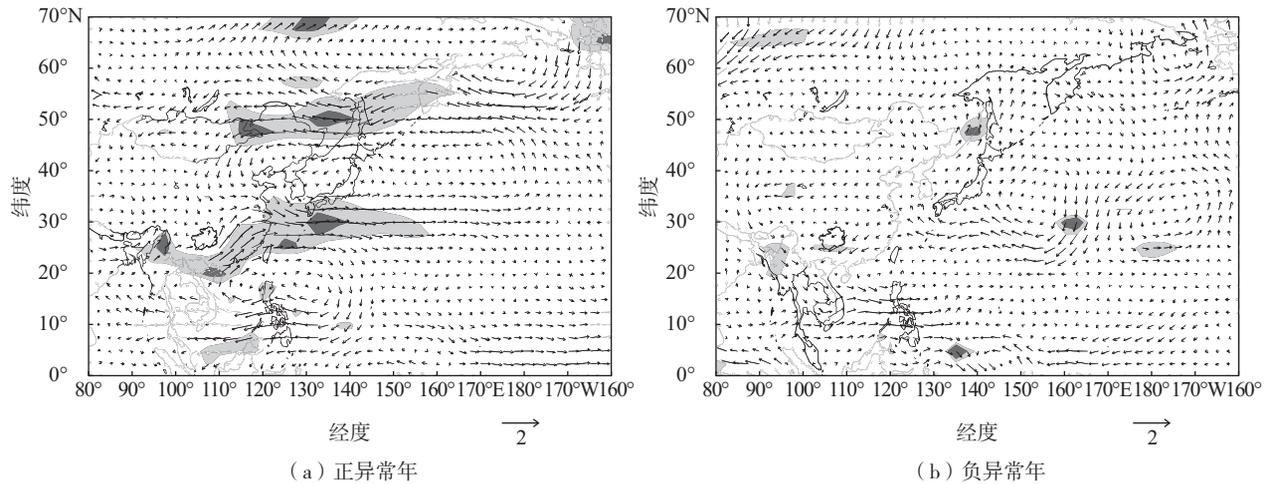
选取海温正、负异常年,进行 850 hPa 风场距平合成分析。在正异常年(图 11a)中,西太平洋副热带地区出现异常反气旋,这与图 10a 中的西太副高为正距平相吻合。异常的反气旋与印度和缅甸异常

西南风为贵州带来了暖湿气流,中纬度西太平洋和中国东北地区形成一个巨大的异常气旋,气旋的西部为贵州带来了北方的干冷空气,有助于干湿气流汇合上升产生降雨。同理,在负异常年(图 11b)中,

西太平洋副热带地区出现异常气旋, 贵州位于气旋的西北部, 带来了干冷空气, 不利于产生降水。

选取海温正、负异常年, 进行 1 000~300 hPa 整层水汽通量距平合成分析。在正异常年(图 12a)中, 在印

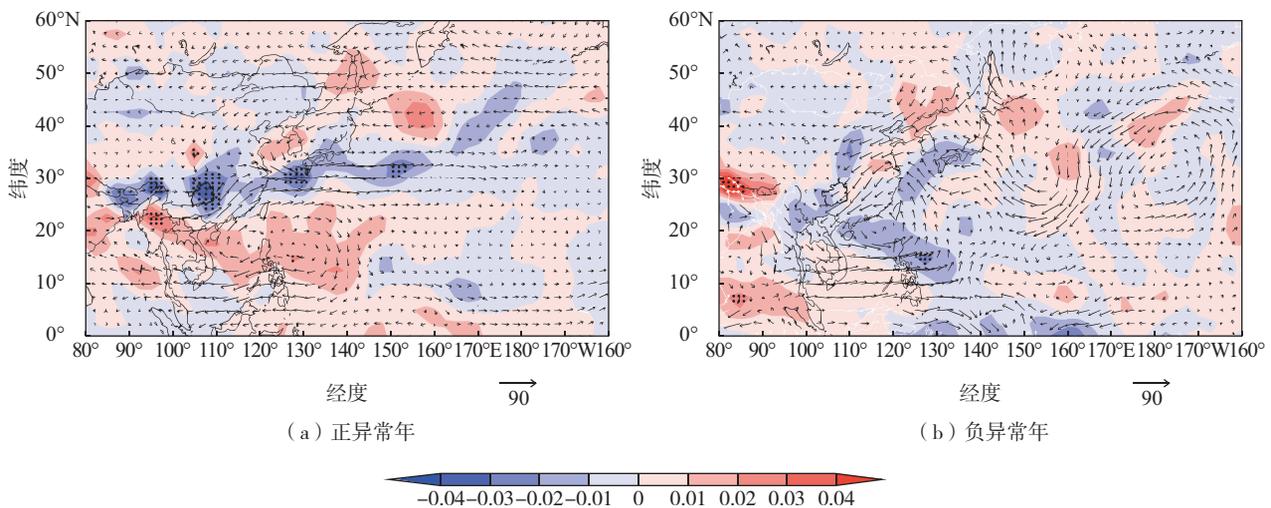
度, 缅甸及西太平洋副热带地区出现异常输送, 贵州位于水汽异常辐合区, 且贵州大部区域已通过 0.05 显著性检验, 与图 7a 相对应, 有利于产生降水。而在负异常年(图 12b)中, 贵州区域均未通过 0.05 显著性检验。



风矢—风场, 风速单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; 浅灰、深灰色区域—已通过 0.05、0.01 显著性水平检验。

图 11 海温正、负异常年夏季 850 hPa 风场距平合成

Fig.11 Synthesis of summer 850-hPa wind anomaly in years of positive and negative SST anomaly



箭头—水汽通量距平, 单位为 $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$; 色阶—水汽通量散度距平, 单位为 $10^{-3} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$; 打点区域—已通过 0.05 显著性检验。

图 12 海温正、负异常年与平均年夏季 1 000~300 hPa 整层水汽通量距平的合成

Fig.12 Synthesis of summer whole-layer water vapor flux anomaly at 1 000–300 hPa between years of positive/negative SST anomaly and average year

6 结论与讨论

(1) 对时空分布而言, 1961—2018 年贵州夏季总降水和夏季各月降水量均无显著趋势变化, 且在夏季降水量中, 6 月贡献最大, 8 月贡献最小。贵州夏季总降水和 6、7、8 月降水大致都是从东北向西南

逐渐增加, 但从东北部边界到东北部的中部呈减少趋势, 在西南部有 2 个多雨区, 东南部有 1 个多雨区, 东北部少雨区在 6、7、8 月不断向西南方向移动和扩大, 且少雨区中心值在不断减小。

(2) 贵州夏季降水距平 EOF 分析结果表明, 第一主模态在空间上表现为全区的一致性, 第二主模

态在空间上近似南北反向型,第三主模态在空间上近似东西反向型。

(3) 贵州夏季降水与北太平洋中纬度海域(180°~150°W, 30°~35°N)、加利福尼亚冷流区(140°W~110°W, 10°~50°N)和北赤道暖流区(140°W~160°E, 5°~20°N)的海温联系密切,其中北赤道暖流区与加利福尼亚冷流区与夏季降水呈显著正相关,北太平洋中纬度海域呈显著负相关,在旱涝年具有明显的“反相位”特征。

(4) 北赤道暖流区和加利福尼亚冷流区对贵州夏季降水影响的显著时段是上一年6—11月,其中7月影响最为显著,影响范围主要在东部和南部;北太平洋中纬度海域对夏季降水影响的显著时段是上一年6—7月,其中7月影响最为显著,影响范围主要为东北部和东南部,影响区域较小。

(5) 通过海温异常年的合成分析可知,北赤道暖流和加利福尼亚冷流区海温与贵州夏季降水偏多年的联系较为密切,与降水偏少年的联系不如降水偏多年。当海温异常升高时,西太副高比常年偏西偏强,山东半岛至日本群岛高空槽加深,贝加尔湖高压脊加强,有利于冷暖气流交汇,有利于降水;反之亦然。

在研究贵州夏季降水的成因中,分析了海温异常与夏季降水的关系,对未来研究贵州夏季降水有一定的参考意义。但并未进行物理机制的分析,且仅靠海温一个因子来完全解释贵州夏季降水存在局限性,要较为全面地解释贵州夏季降水异常的原因,还需要考虑其他因子。

参考文献:

- [1] CHEN W, LAN X Q, WANG L, et al. The combined effects of the ENSO and the Arctic Oscillation on the winter climate anomalies in East Asia[J]. *Chin Sci Bull*, 2013, 58(12): 1355-1362.
- [2] LI Y H, XU H M, LIU D. Features of the extremely severe drought in the east of Southwest China and anomalies of atmospheric circulation in summer 2006[J]. *Acta Meteorol Sin*, 2011, 25(2): 176-187.
- [3] ZHANG W J, JIN F F, ZHAO J X, et al. The possible influence of a nonconventional El Niño on the severe autumn drought of 2009 in Southwest China [J]. *J Climate*, 2013, 26(21): 8392-8405.
- [4] 赵志龙, 罗娅, 余军林, 等. 贵州高原 1960—2016 年降水变化特征及重心转移分析[J]. *地球信息科学学报*, 2018, 20(10): 1432-1442.
- [5] 陈静, 龙俐, 段莹. 近 53 a 贵州极端降水事件气候分析[J]. *贵州气象*, 2015, 39(4): 12-15.
- [6] 孔德璇, 杨春艳, 刘莉娟, 等. 近 40 a 贵州主汛期降水时空变化及其异常年低频特征分析[J]. *中低纬山地气象*, 2018, 42(5): 14-19.
- [7] 金大超, 管兆勇, 霍利微, 等. 春季南印度洋海温异常对两广夏季降水异常的可能影响[C]//中国气象学会. 第 35 届中国气象学会年会: S7 东亚气候、极端气候事件变异机理及气候预测. 合肥: 中国气象学会, 2018: 87-107.
- [8] 伯忠凯, 胡桂芳, 徐玮平. 山东 5 月降水异常环流型及其与海温异常的联系[J]. *海洋气象学报*, 2021, 41(2): 119-125.
- [9] 唐红玉, 吴遥, 董新宁, 等. 赤道印度洋偶极子对重庆夏季降水的影响分析[J]. *海洋气象学报*, 2020, 40(2): 52-61.
- [10] 顾伟宗, 陈丽娟, 伯忠凯. 印度洋海面温度对黄淮地区夏季降水影响的年代际变化研究[J]. *海洋气象学报*, 2020, 40(4): 89-96.
- [11] 褚颖佳, 郭飞燕, 尹承美, 等. 东部型和中部型厄尔尼诺事件对山东夏季降水的不同影响[J]. *海洋气象学报*, 2020, 40(4): 97-104.
- [12] CAO J, YAO P, WANG L, et al. Summer rainfall variability in low-latitude highlands of China and subtropical Indian Ocean dipole[J]. *J Climate*, 2014, 27(2): 880-892.
- [13] WANG L, CHEN W, ZHOU W, et al. Teleconnected influence of tropical Northwest Pacific sea surface temperature on interannual variability of autumn precipitation in Southwest China[J]. *Climate Dyn*, 2015, 45(9/10): 2527-2539.
- [14] 王芬, 张娇艳, 谷晓平, 等. 西太平洋副热带高压不同特征指数与贵州夏季降水的关系[J]. *暴雨灾害*, 2017, 36(4): 348-356.
- [15] 许可, 严小冬. 印度洋海温异常对贵州夏季降水的影响[J]. *贵州气象*, 2005, 29(增刊 1): 12-14.
- [16] 王芬, 曹杰, 唐浩鹏, 等. 前期北太平洋海温异常对贵州夏季降水的影响[J]. *高原气象*, 2014, 33(4): 925-936.
- [17] 李忠燕, 严小冬, 张娇艳, 等. 贵州省近 40 a 夏季旱涝及其异常成因初步分析[J]. *贵州气象*, 2016, 40(2): 1-7.
- [18] 陶威. ENSO 形态变异对我国西南地区降水的影响[D]. 成都: 成都信息工程大学, 2018.
- [19] 胡建龙, 周文钰, 张东海, 等. 基于区域站的贵州省夏季降水分布特征简析[J]. *吉林农业*, 2019(23): 107-108.
- [20] 苗秋菊, 徐祥德, 张雪金. 长江中下游旱涝的环流型与赤道东太平洋海温遥相关波列特征[J]. *气象学报*, 2002, 60(6): 688-697.