

李多,刘芸芸,2022. 2022 年春季我国气候异常特征及成因分析[J]. 气象,48(10):1343-1353. Li D, Liu Y Y, 2022. Features and possible causes of climate anomalies in China in spring 2022[J]. Meteor Mon, 48(10):1343-1353(in Chinese).

2022 年春季我国气候异常特征及成因分析^{*}

李 多¹ 刘芸芸^{1,2}

1 国家气候中心,中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081

2 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京 210044

提 要: 利用气象台站观测资料、NCEP/NCAR 大气再分析资料和 NOAA 的海温资料,采用相关、合成分析等方法分析和讨论了 2022 年春季我国的气候主要特征和成因诊断。2022 年春季,我国季风雨带进程总体呈现偏早的特点。全国平均气温为 12.1℃,为 1961 年以来历史同期最高值。全国平均降水量为 154 mm,接近常年同期,但旱涝分布差异显著,其中西南地区降水量为 1961 年以来历史同期最高值。通过对同期的环流分析发现,对流层中高层形成的自乌拉尔山以北经青藏高原至中南半岛“—+—”的西北—东南向异常环流形势,使得低层风场上低纬异常偏东气流及南下的异常东北—偏北气流在西南地区辐合,有利于水汽向西南地区的输送和冷暖空气在西南地区的交汇,从而导致 2022 年春季西南地区降水的异常偏多。此外,自 2021 年秋季开始并一直持续发展的中东太平洋拉尼娜事件是西南地区春季降水异常偏多的重要外强迫因子,而拉尼娜事件结束的早晚会对春季西南地区降水异常产生不同的影响。2022 年春季持续发展的拉尼娜事件使得上述异常环流型更为典型,更有利于西南地区的降水偏多。

关键词: 春季气候异常,西南降水,水汽输送,拉尼娜事件

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2022.090401

Features and Possible Causes of Climate Anomalies in China in Spring 2022

LI Duo¹ LIU Yunyun^{1,2}

1 Laboratory for Climate Studies, National Climate Centre, CMA, Beijing 100081

2 Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters,
Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract: Based on the meteorological observation data, NCEP/NCAR atmospheric reanalysis data and NOAA SST data, this paper analyzes the main climate characteristics and discusses the cause diagnosis in China in the spring of 2022 by using correlation and synthesis analysis methods. The results show that in spring 2022 (March—April—May, MAM), the process of monsoon rain belt in China is earlier generally. China experienced the warmest spring since 1961, with an average temperature reaching 12.1℃. The MAM precipitation averaged (154 mm) in China was close to normal, but the precipitation reached unprecedentedly high values in Southwest China, showing distinguished spatial diversity. A northwest-southeast anomalous circulation pattern “—+—” was formed in the middle-upper troposphere, which started from the north of Ural Mountains, via the Tibetan Plateau, and to the Indo-China Peninsula. Such pattern allowed the low-latitude anomalous easterly airflow to converge with southward northeast-northerly airflow in Southwest China, which further facilitated water vapor transport and intersection of cold and warm air,

^{*} 国家自然科学基金项目(42175056)、中国气象局创新发展专项(CXFZ2022J031、CXFZ2022J009)和中国长江三峡集团有限公司项目(0704181)共同资助

2022 年 7 月 21 日收稿; 2022 年 9 月 4 日收修定稿

第一作者:李多,主要从事短期气候预测研究. E-mail: liduo@cma.gov.cn

通讯作者:刘芸芸,主要从事短期气候预测研究. E-mail: liuyunyun@cma.gov.cn

finally causing abnormally more precipitation in Southwest China in spring 2022. In addition, the La Niña event (autumn 2021 begins) acted as an important forcing factor for excessive spring precipitation in Southwest China. The sustained development of the La Niña in spring 2022 led to more typically anomalous circulation patterns than normal development, exacerbating the excessive precipitation in Southwest China.

Key words: spring climatic anomaly, precipitation over Southwest China, water vapor transport, La Niña event

引 言

我国属于典型的东亚季风区,气候受季风影响显著。春季是冬季风环流系统向夏季风环流系统过渡的时期,此时中高纬冷空气与低纬暖湿气流的交汇易造成大气层结不稳定能量的加强,给很多地区带来阶段性强降水、强对流等极端天气气候事件。我国春季气候具有典型的年际变化特征,华南前汛期、南海夏季风爆发、西南雨季等气候事件和关键进程也均在这一季节发生,这对春季农作物的播种会产生重要影响(龚志强等,2017;王遵娅等,2018;刘芸芸和陈丽娟,2019;洪洁莉和郑志海,2020;刘芸芸和高辉,2021)。因此,分析我国春季气候特征和诊断气候异常成因对于气候预测服务具有重要意义。

已有大量学者围绕我国春季气候异常的成因展开研究。白旭旭等(2012)认为 MJO 的不同位相对中国东部地区降水影响截然不同:当 MJO 位于 2~3 位相时大气罗斯贝波列响应将形成有利于长江中下游地区春季降水偏多的形势;而当 MJO 位于 6~7 位相时不利于东部地区降水。Tian and Yasunari (1998)和赵平等(2008)均认为春季东亚地区海陆热力差异对江南地区的春雨形成具有重要作用。春季南支槽偏强则长江中部及西南地区降水易偏多(李依瞳等,2017)。另外,海温外强迫因子与中国春季降水也有密切关系。厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)是热带太平洋最强的年际变化信号(Bjerknes, 1969;Neelin et al, 1998),同时也是影响全球气候和气候变化的强信号,其发生发展可导致全球大气环流发生变化,并通过调节大气环流(如西北太平洋副热带高压)影响东亚季风活动从而引起东亚和我国的降水异常(Huang et al, 2004; Wang et al, 2000; Wu et al, 2003; 苏明峰和王会军, 2006; 薛峰和刘长征, 2007; Xue and Liu, 2008; Liu et al, 2019)。ENSO 对春季降水的影响可通过影响春季副热带高压和低层风场异常实现(李宏毅等, 2013; Wu et al, 2003),但不同类型厄尔尼诺事件对次年春季降水的

分布影响有很大区别,如中部型厄尔尼诺次年春季华南地区降水易偏少,这与传统型厄尔尼诺影响是完全不同的(Feng and Li, 2011)。此外,西太平洋的海温异常可通过垂直环流影响华南地区春季降水(徐超和乔云亭, 2018)。冬季印度洋海温偏暖时,东亚大槽易偏弱偏东,有利于来自低纬的暖湿气流在长江中下游及其以北地区形成水汽辐合,从而导致春季降水偏多(王建波等, 2006; 程慧萍和贾晓静, 2014)。

2022 年春季,中国整体呈现气温偏高、旱涝分布不均的特点,其中西南地区降水为 1961 年以来同期最多。西南地区位于青藏高原东南侧,具有纬度较低、地势较高、地形复杂、包含多种气候带、干湿季节分明的特点(丁一汇, 2013; 晏红明等, 2018)。春季是西南旱季的最后阶段,其降水在该地区旱涝异常分布中担任着承前启后的重要作用。此时也是西南大部地区水稻、玉米等农作物栽种的关键时期,这一时期的降水不但直接影响该地区主汛期开始的早晚,更对区域旱涝灾害的发生及农业生产有重要影响。蒋兴文等(2007)、李永华等(2010)指出,影响西南地区降水的水汽主要来源为孟加拉湾、中国南海及青藏高原地区。西南地区上空的负位势高度距平区及其以北的正距平区构成的纬向异常波列有利于春季降水发生(苗春生等, 2014),南支系统的强度及冷空气路径等异常环流形势也是影响该地区降水的重要因素(池再香等, 2012; 黄荣辉等, 2012; 郑健萌等, 2014)。此外,ENSO 也可通过影响孟加拉湾气旋环流异常从而影响西南地区春季降水(杨亚力等, 2011)。ENSO 事件强度与西南地区旱涝等级存在负相关关系(陈艳等, 2021; 刘琳等, 2019); 拉尼娜年云南地区雨季开始趋于偏早,春季降水趋于偏多(琚建华和陈琳玲, 2003)。

从上述研究可见,影响中国春季气候异常(特别是降水异常)的因素非常复杂。针对 2022 年春季的气候,本文将首先全面系统地总结其异常特征、季节进程和相关气候灾害特点,再从大气环流和海温外强迫等方面重点分析造成 2022 年春季西南地区降

水异常偏多的可能成因。

1 资料和方法

本文采用了由国家气象信息中心整编的 1961 年 1 月 1 日至 2022 年 5 月 31 日中国 2400 个台站的逐日气温和降水观测数据集(任芝花等, 2012); 美国国家环境预报中心和美国国家大气研究中心(NCEP/NCAR)提供的 1961—2022 年的逐月大气再分析资料(Kalnay et al, 1996), 水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$; 美国国家海洋大气局(NOAA)提供的 1982—2022 年最优插值全球海表温度(SST)逐月资料(OISSTv2.1; Reynolds et al, 2002), 水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。本文所用的热带 Niño3.4 海温指数为($5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ} \sim 170^{\circ}\text{W}$)区域平均的海表温度距平(SSTA), 热带印度洋海盆一致模(IOBW)指数为($20^{\circ}\text{S} \sim 20^{\circ}\text{N}$, $40^{\circ} \sim 110^{\circ}\text{E}$)区域平均的 SSTA(Chambers et al, 1999)。文中春季指北半球春季(3—5 月, 下同), 所有变量的气候常年值为 1991—2020 年的平均值; 西南地区指包括云南、四川、重庆、贵州在内的三省一市。

2 2022 年春季我国主要气候特征

2.1 季节进程和气象灾害

2022 年春季, 我国季风雨季进程较常年明显偏早。华南前汛期于 3 月 24 日开始, 较常年(4 月 9 日)偏早 16 d。南海夏季风于 5 月第 3 候爆发, 较常年(5 月第 4 候)偏早 1 候。西南雨季于 5 月 14 日开始, 较常年(5 月 27 日)偏早 13 d。

随着夏季风的季节性推进, 南方出现明显强降水过程, 尤其以 5 月 9—14 日和 27—30 日的两次区域性暴雨过程呈现累计降水量大、影响范围广、持续时间长的突出特点(图略)。9—14 日, 西南大部、长江以南及陕西西南部等地累计降水量一般有 25~100 mm, 部分地区超过 100 mm, 长江以南大部分地区降水日数在 4~6 d; 27—30 日, 暴雨过程主要影响西南大部、华中南部及华南等地, 累计降水量一般有 25~100 mm, 局地超过 100 mm。受强降水影响, 云南遭受暴雨洪涝灾害及其诱发的地质灾害。

2.2 气温

2022 年春季, 全国平均气温为 12.1°C , 较常年

同期(10.9°C)偏高 1.2°C , 为 1961 年以来历史同期最高值(图 1a); 从空间分布来看, 除云南东部和华南西南部外, 全国大部地区气温较常年同期偏高 0.5°C 以上, 其中东北东部、内蒙古中西部、黄淮大部、江淮、西北大部、西藏大部、新疆等地气温偏高 $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$, 新疆和西藏部分地区偏高 2°C 以上(图 1b)。春季季内变化显著。3 月, 全国平均气温为 7.2°C , 为 1961 年以来历史同期最高值, 大部地区气温偏高 $2 \sim 4^{\circ}\text{C}$ (图 2a)。4 月, 南方部分地区出现气温偏低区, 主要集中在华南和西南, 其中云南中西部和四川南部偏低 $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$; 而东北中部和南部、华北大部、黄淮、江汉、新疆大部和西藏地区气温偏高 $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$, 部分地区偏高 $2 \sim 4^{\circ}\text{C}$ (图 2b)。5 月, 南方低温区的范围和程度均较 4 月进一步扩大加强, 特别是江南南部、华南大部和西南东部气温偏低 $2 \sim 4^{\circ}\text{C}$; 此外东北大部、华北等地气温也较常年同期偏低, 我国气温整体呈现“西高东低”的特征(图 2c)。进一步从南方地区(包含江南、华南和西南地区)逐日气温变化来看, 季内气温起伏波动特征明显, 其中 3 月上、中旬和 4 月上旬气温异常偏高, 偏高幅度超过 2°C , 而 4 月中、下旬和 5 月气温均较常年偏低, 最大偏低幅度超过 4°C (图 2d)。

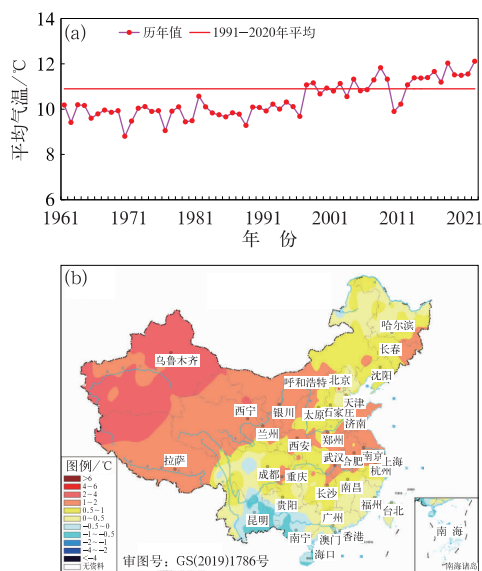


图 1 (a)1961—2022 年春季全国平均气温历年变化和 (b)2022 年春季全国平均气温距平分布

Fig. 1 (a) Time series of air temperature averaged from March to May (MAM) in China during 1961—2022, and (b) distribution of air temperature anomaly over China in MAM 2022

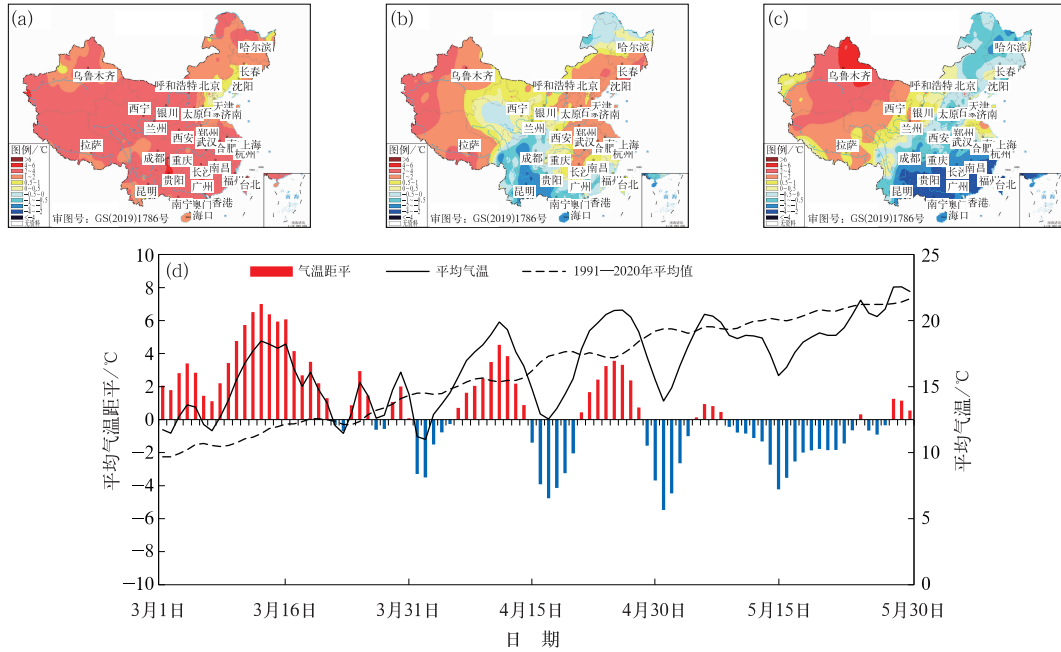


图 2 2022 年(a)3 月、(b)4 月、(c)5 月全国平均气温距平分布,(d)春季南方地区平均的逐日气温序列
Fig. 2 Distribution of temperature anomalies over China in (a) March, (b) April and (c) May 2022 and (d) evolution of the daily temperature and its anomaly averaged in southern China in MAM

2.3 降水

2022 年春季,全国平均降水量为 154 mm,较常年同期(143.3 mm)偏多 7.5%(图 3a)。春季降水在空间分布上的区域差异很大:其中东北南部、内蒙古大部、华北东部、黄淮大部、西北地区东部、新疆西南部 and 东部等地降水量偏少 2~8 成,局部偏少 8 成以上;东北北部、华北西北部、江淮大部、江汉大部、华南西部、西南大部、西北地区中部、西藏中东部等地降水量偏多,其中西南地区降水普遍偏多 5 成至 1 倍以上(图 3b)。西南平均降水量为 291.8 mm,为 1961 年以来历史同期最高值,超过气候平均值(218.2 mm)2 倍标准差以上(图 4d)。从季节内逐月降水演变来看:3 月,我国降水总体呈现“东多西少”的分布,其中西南地区东北部 and 南部降水偏多,而中西部降水偏少(图 4a)。4 月,我国主要降水偏多区位于东北中北部、江汉、江南中西部、西南地区大部,其中西南地区降水普遍偏多 5 成至 1 倍以上(图 4b)。5 月,我国降水呈现“南多北少”的分布,其中西南大部降水偏多 5 成以上(图 4c)。

由上可见,2022 年春季全国平均气温较常年同期明显偏高,雨季进程明显偏早,西南地区降水异常偏多。下文将针对西南地区降水异常偏多的特点,从大气环流和可能的强迫因子等方面做进一

步的成因分析。

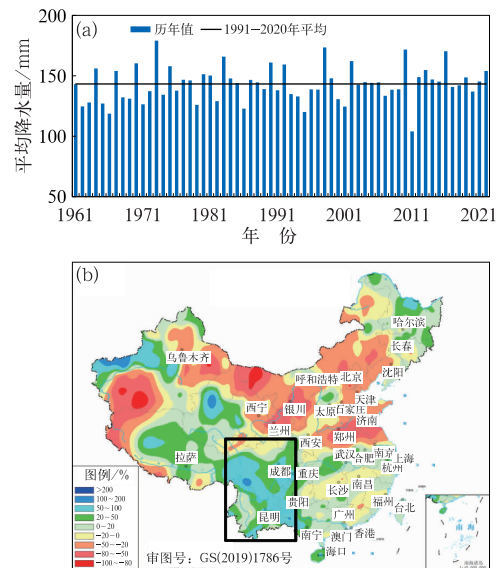


图 3 (a) 1961—2022 年春季全国平均降水量历年变化和(b)2022 年春季全国降水距平百分率空间分布(黑色方框为西南地区,下同)

Fig. 3 (a) Time series of MAM mean precipitation in China during 1961—2022, and (b) distribution of precipitation anomaly percentage over China in MAM 2022

(Black box represents Southwest China, the same below)

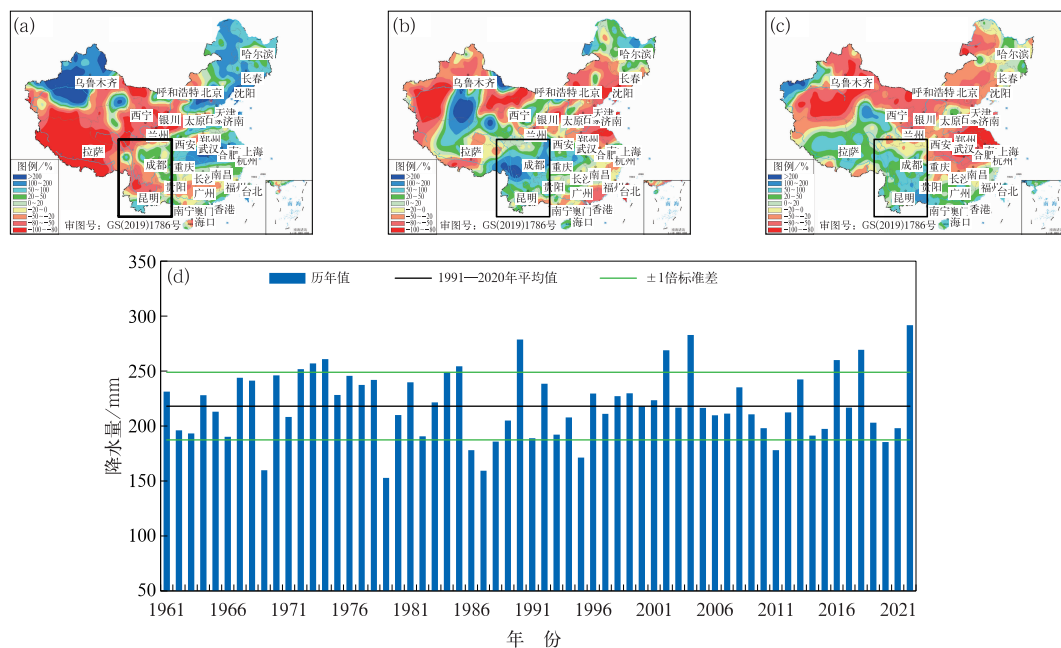


图 4 2022 年(a)3 月、(b)4 月、(c)5 月全国平均降水量距平百分率分布，
(d)1961—2022 年春季西南地区平均降水量历年变化

Fig. 4 Distribution of precipitation anomaly percentage over China in (a) March, (b) April and (c) May 2022, and (d) time series of MAM mean precipitation in Southwest China during 1961—2022

3 2022 年春季我国西南地区降水异常偏多的成因分析

3.1 大气环流异常特征

图 5a 为 2022 年春季 500 hPa 位势高度距平场分布。亚洲中高纬环流总体呈现“两槽一脊”的分布特征，乌拉尔山为低槽区，有利于西路冷空气南下及导致西南地区东部多雨(王遵娅等，2018)。我国中东部至青藏高原均为显著正位势高度距平控制，有利于气温的总体偏高(图 1b)。而低纬阿拉伯海东部至菲律宾地区为负位势高度距平控制，有利于南支槽阶段性活跃，并将低纬暖湿气流向北输送，与北方冷空气在西南地区频繁交汇而形成阶段性强降水过程(图 5a)。为了确定影响西南地区降水偏多的典型环流形势，计算了 1981—2021 年西南春季降水序列与同期 500 hPa 高度场的相关分布，从乌拉尔山以北经青藏高原至中南半岛呈现“一十—”的西北—东南向异常环流型时，对应西南地区降水异常偏多(图 5c)。2022 年春季的这种环流异常分布与西南地区降水偏多的典型环流形势一致。

对流层低层(700 hPa)风场上，2022 年春季中南半岛至南海地区维持着一个异常气旋性环流，该气旋东北侧的东南—偏东气流，与位置偏北偏东的西太平洋副热带高压西侧的偏南引导气流共同作用，将南海和西太平洋上的暖湿水汽向西南地区输送。与此同时，绕经青藏高原东部的异常东北—偏北气流南下与上述低纬暖湿气流在西南地区辐合，为该地区的降水提供冷暖空气交汇的有利条件(图 5b)。由西南地区降水序列线性回归得到的低层水平风场也证实，异常的偏东气流与偏北气流在西南地区的交汇是造成降水偏多的典型环流条件(图 5d)。

降水异常的发生通常包括水汽输送条件异常和动力上升运动异常两个方面。2022 年春季水汽输送距平场的分布显示(图 6a)，在低层异常风场的引导下，西南地区同时受到偏东气流、越赤道气流及北方冷空气南下的共同影响，成为显著的水汽通量辐合区，导致西南地区降水偏多。同期 500 hPa 的垂直速度分布图可见(图 6b)，2022 年春季西南地区，特别是云南西部至四川南部地区为显著的上升运动区，配合充足的水汽供应，为西南地区降水的形成提供了有利的动力条件。

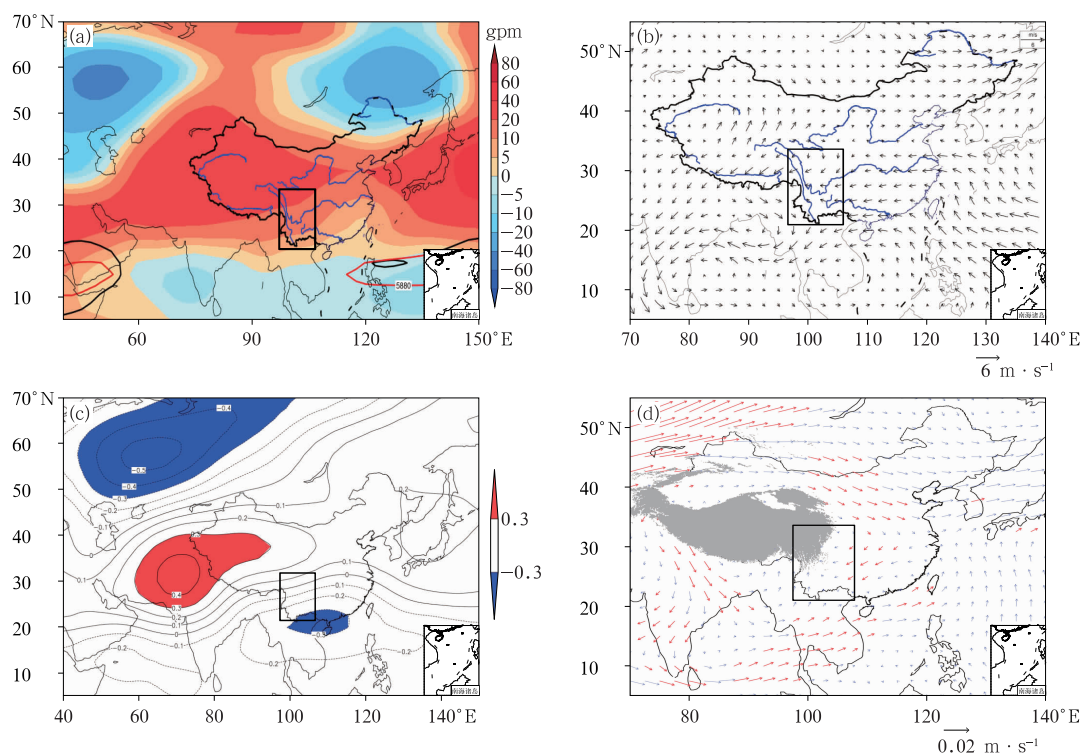


图 5 2022 年春季(a)500 hPa 位势高度距平场及(b)700 hPa 水平风场,
(c)1981—2021 年西南地区降水量与同期 500 hPa 位势高度场的相关系数空间分布,
(d)经春季西南地区降水回归的 700 hPa 水平风场
(图 5c 中, 填色区域为通过 0.1 显著性水平检验区域; 图 5d 中, 红色风矢通过 0.1 显著性水平检验,
灰色阴影表示海拔超过 3000 m 的青藏高原)

Fig. 5 (a) The 500 hPa geopotential anomalies and (b) 700 hPa horizontal wind anomalies in MAM 2022, (c) spatial distribution of correlation coefficient between MAM mean precipitation and 500 hPa geopotential height anomaly in Southwest China, and (d) regression of the 700 hPa vector wind anomalies onto MAM precipitation in Southwest China during 1981—2021
(In Figs. 5c, 5d, colored area and red wind vector have passed the significance test at 0.1 level; the grey shadow in Fig. 5d denotes the Tibetan Plateau with the altitude exceeding 3000 m)

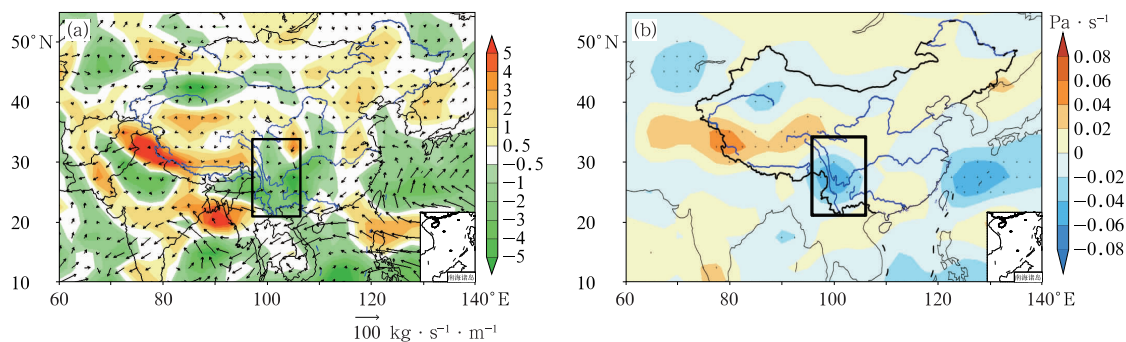


图 6 2022 年春季整层积分(地表至 300 hPa)(a)水汽通量距平(矢量)及水汽
输送通量散度距平场(填色, 单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$), (b)500 hPa 垂直速度距平场
(图 6b 中打点区域为通过 0.1 显著性水平检验区域)

Fig. 6 (a) The anomalies of moisture flux integrated from surface to 300 hPa (vector) and divergence (colored, unit: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) and (b) 500 hPa vertical velocity anomaly field in MAM 2022
(Dotted area has passed the significance test at 0.1 level in Fig. 6b)

西南降水典型异常年的环流合成场上也呈现出一致的特征。以 1981—2021 年春季西南地区降水大于/小于气候值 1 倍标准差为标准(图 4d),可得到 5 个降水异常偏多年(2004、1990、2018、1985 和 2002 年)和 5 个降水异常偏少年(2020、2021、2014、1995 和 1987 年)。西南降水异常年的环流差值场(异常偏多年与异常偏少年之差)(图 7)显示:对流层中高层(500 hPa)乌拉尔山以北和中南半岛存在两个显著的负异常环流中心(蓝色阴影区),分别有利于北方高纬地区冷空气向西南地区入侵及南支槽阶段性活跃向西南地区输送水汽;对流层低层(700 hPa)风场上中南半岛存在气旋性差值环流(矢量箭头表示),西南地区受异常偏东风影响,水汽输送条件较好;中高层和低层环流的共同作用,导致西南地区的南部及西部出现上升运动显著区(蓝色虚线区),从而有利于降水的发生。

3.2 热带海温异常及其可能影响

图 8 给出了 2022 年春季海表温度距平分布及

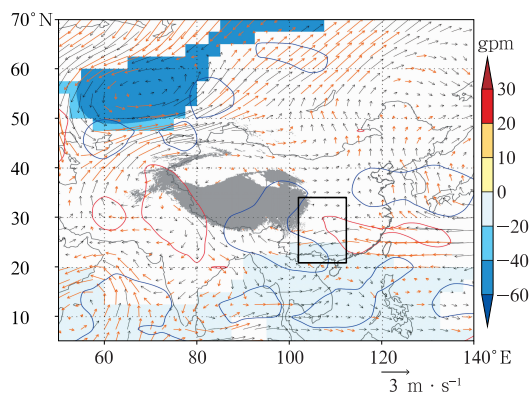


图 7 春季西南降水异常偏多年与异常偏少年的环流差值场:500 hPa 位势高度(填色)、500 hPa 垂直速度(等值线,单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)和 700 hPa 风场(风矢)
(色标、等值线、橙色风矢所示区域均代表通过 0.1 显著性水平检验,红色等值线:下沉,蓝色等值线:上升;阴影为海拔大于 3000 m 的青藏高原区域)

Fig. 7 Composite differences of 500 hPa geopotential height anomaly (colored), 500 hPa vertical velocity (contour, unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) and 700 hPa wind (wind vector)
(Colored area, contour and orange vector have passed the significance test at 0.1 level; the red/blue contours represent the sinking/rising motion areas respectively; shading area presents the sea level above 3000 m in Tibetan Plateau)

关键区海温指数的逐月演变。赤道中东太平洋自 2021 年 9 月开始的拉尼娜事件一直持续发展(图 8a),且冷水中心强度低于 -1.5°C (图 8b);另一方面,IOBW 指数自 2021 年秋季以来总体在 0°C 附近波动(图 8a),并且 2022 年春季热带印度洋海温接近常年至略偏暖(图 8b),表明热带印度洋海温在此期间无明显异常信号。春季西南地区降水序列与同期全球 SSTA 的相关系数分布显示,在赤道中东太平洋和热带南印度洋存在两个显著负相关区,当赤道中东太平洋和热带南印度洋的海温偏冷时,有利于西南春季降水偏多。因此可以认为,2022 年赤道中东太平洋持续的拉尼娜事件是导致西南春季降水偏多的一个重要外强迫因子,这与 Liu et al(2022)研究结果一致。

但从一些西南春季降水的个例分析中也发现,并非所有拉尼娜年西南地区降水都偏多(Liu et al, 2022)。2021 年春季处于与 2022 年相似的海温背景下,但西南地区降水却异常偏少(刘芸芸和高辉, 2021)。导致这种差异的原因有可能与拉尼娜事件在春季结束早晚有一定关系。通常,拉尼娜事件结束于春季至夏初,将事件是否于 3 月结束为标准划分为拉尼娜结束偏早和偏晚年两类,2000 年以来共有 4 个结束偏早年(2001、2012、2018 和 2021 年)和 4 个结束偏晚年(2000、2008、2011 和 2022 年)。从两类拉尼娜开始年至次年逐月 Niño3.4 指数的演变来看,结束偏早年的峰值多出现在开始年的秋末冬初,之后海温逐步回升,到次年春末 Niño3.4 指数基本已接近 0°C (图 9a);而结束偏晚年的峰值多出现在开始年的冬季后期,到次年春末 Niño3.4 指数仍然在 -0.5°C 以下(图 9b)。两类拉尼娜对应的春季降水距平百分率分布在西南地区存在较大差别(图 9c,9d)。在拉尼娜结束偏晚年里,春季全国降水的分布特征更符合对拉尼娜次年的典型响应,即北方和西南地区降水偏多、江南降水偏少(龚道溢和王绍武,1999;Gong and Wang, 1999),这与今年春季西南降水异常特征相符。

与拉尼娜结束偏早年(图 10a,10c)相比,在拉尼娜结束偏晚年的春季自乌拉尔山北部经青藏高原至中南半岛的“一十一”的环流形势更为典型,且低纬地区的负位势高度距平通过显著性水平检验(图 10b,10d);低层的水平风场显示,西南地区处于偏北—东北异常气流与偏东异常气流的交汇区,水汽条件及冷暖空气交汇条件均较结束偏早年更有利

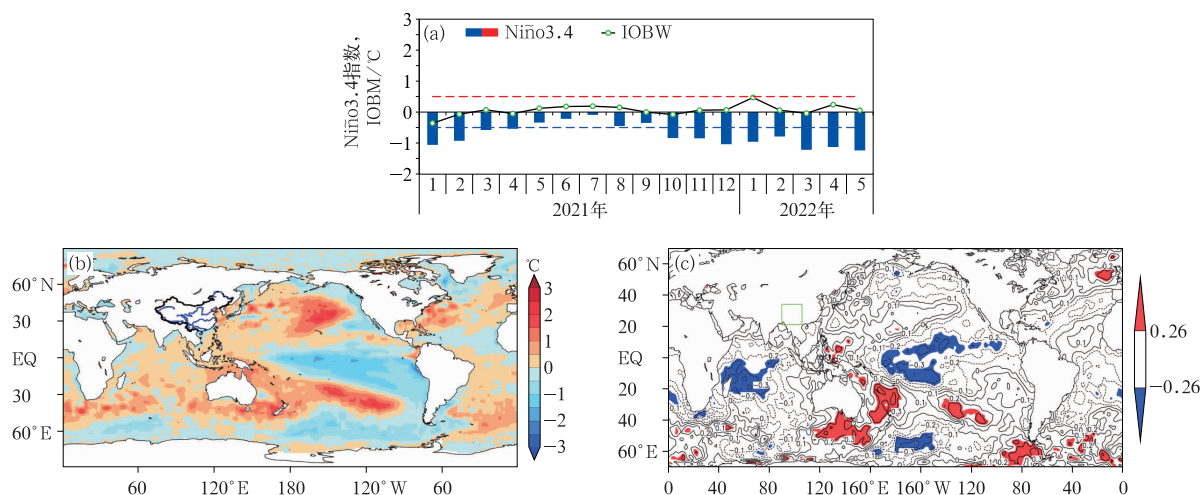


图 8 (a)2021 年 1 月至 2022 年 5 月 Niño3.4 与 IOBW 海温指数逐月变化, (b)2022 年春季全球海表温度距平分布, (c)1981—2022 年西南地区降水量与同期海表温度的相关系数空间分布 (填色区域为通过 0.1 显著性水平检验区域)

Fig. 8 (a) Time series of monthly Niño3.4 and IOBW indices from January 2021 to May 2022, (b) distribution of the global sea surface temperature anomaly in MAM 2022, (c) spatial distribution of correlation coefficient between MAM precipitation in Southwest China and SSTA during 1981–2022 (Colored area has passed the significance test at 0.1 level)

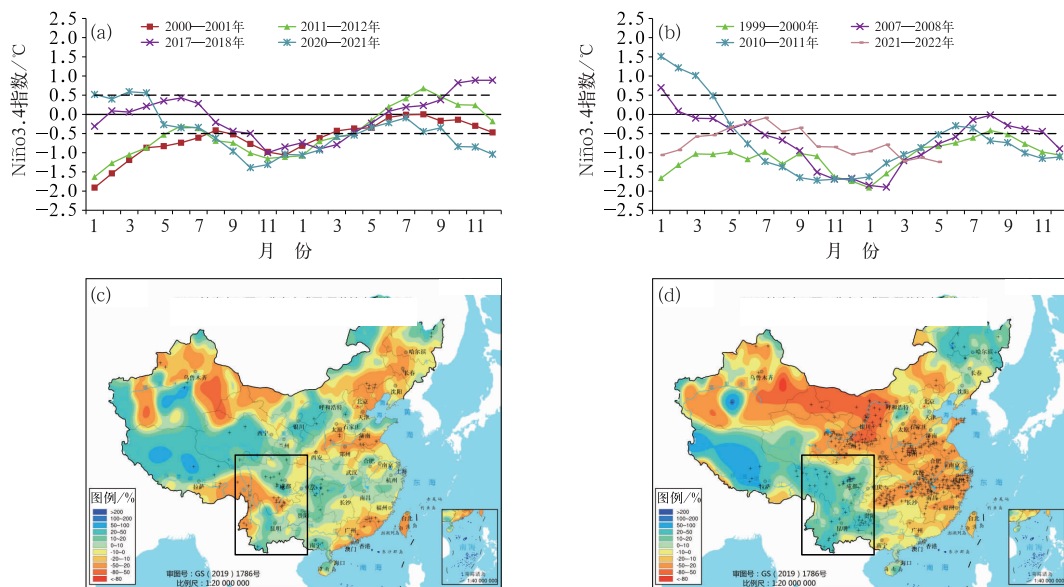


图 9 拉尼娜结束(a,c)偏早年和(b,d)偏晚年(a,b)Niño3.4 指数演变特征及(c, d)对应的春季降水量距平百分率合成

Fig. 9 (a, b) Evolution characteristics of Niño3.4 indices of the years with La Niña ending (a, c) before and (b, d) after March and (c, d) the corresponding composite of MAM precipitation anomaly percentage

于降水的发生(图 10b,10d)。

从上面的分析可见, ENSO 事件及其事件结束早晚时间都对会春季西南地区降水异常产生不同的

影响。2022 年春季持续发展的拉尼娜事件进一步加剧了西南地区异常偏多的降水。

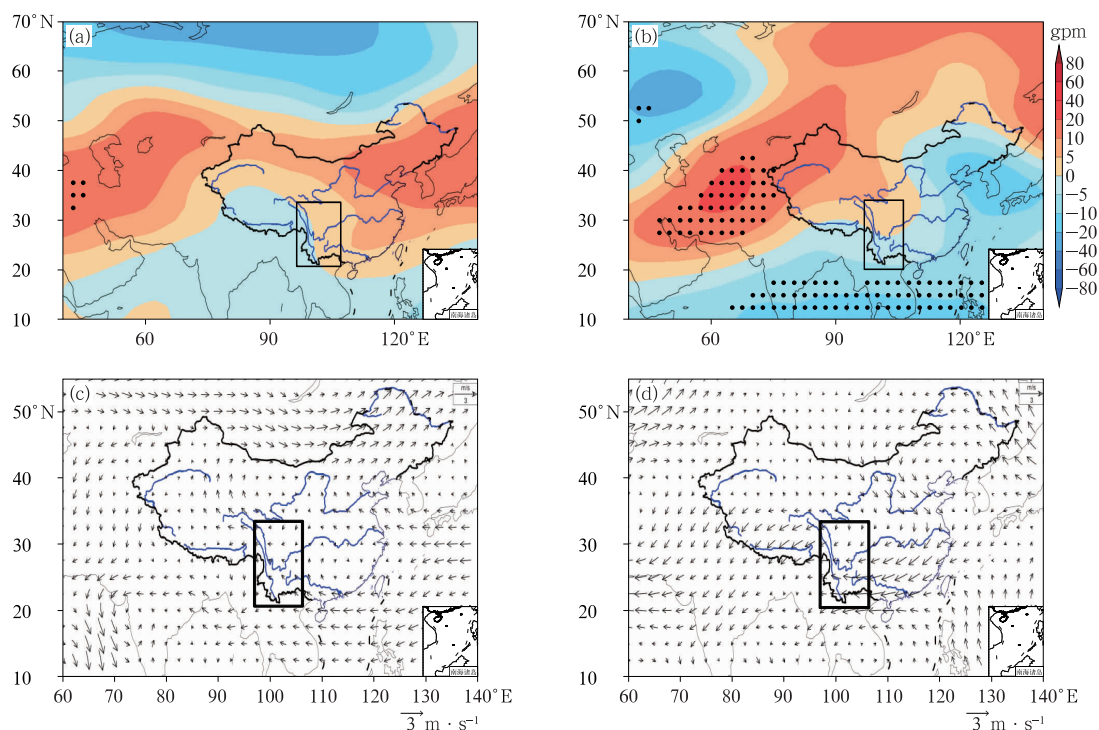


图 10 拉尼娜结束(a,c)偏早年 and (b,d)偏晚年(a, b)500 hPa 位势高度距平场(打点区域为通过 0.1 显著性水平检验区域)及(c,d)700 hPa 距平风场(风矢)

Fig. 10 Composite of (a, b) 500 hPa geopotential anomalies (Dotted area has passed the significance test at 0.1 level) and (c, d) 700 hPa horizontal wind anomalies (wind vector) in the years with La Niña ending (a, c) before and (b, d) after March, respectively

4 结论与讨论

利用全国 2400 个站的降水和气温观测资料、NCEP/NCAR 大气再分析资料和 NOAA 的海温资料等,总结了 2022 年春季我国主要气候异常特征,并初步分析了导致西南地区降水异常偏多的可能成因。主要结论如下:

(1)2022 年春季我国季风雨带的推进时间与常年相比偏早。全国平均气温为 12.1°C ,较常年同期(10.9°C)偏高 1.2°C ,为 1961 年以来历史同期最高值。除云南东部和华南西部外,全国大部地区气温较常年同期偏高 0.5°C 以上,其中东北东部、华东中北部、华中东部、西北大部及新疆和西藏大部、内蒙古中西部等地气温偏高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$,新疆和西藏部分地区偏高 2°C 以上。春季全国平均降水量为 154 mm,较常年同期(143.3 mm)偏多 7.5%。春季降水空间分布不均,东北中北部、西南大部降水显著偏多,华北东部、黄淮、西北地区东部降水显著偏少。

(2)2022 年西南地区春季降水量为 291.8 mm,为 1961 年以来历史同期最高值。分析发现,自乌拉

尔山以北经青藏高原至中南半岛“一十一”的西北—东南向异常环流型与西南地区降水异常偏多密切相关,对应低层风场上,低纬异常偏东气流及南下的异常东北—偏北气流在西南地区辐合,从而给这里带来丰沛的降水。

(3)从海洋外强迫因素看,2022 年春季持续的拉尼娜事件对西南地区降水异常偏多有重要影响。进一步对比分析了拉尼娜事件结束偏早和偏晚年的差异,发现在结束偏晚年,自乌拉尔山北部经青藏高原至中南半岛的“一十一”的环流形势更为典型,对应低层水平风场在西南地区的辐合也更为明显,有利于西南地区降水偏多。

需要指出的是,本文仅从大尺度环流和赤道中东太平洋海洋外强迫信号分析了这些因子对春季西南地区降水异常偏多的可能影响。但造成西南地区降水异常的成因比较复杂,除 ENSO 的作用外,青藏高原的热力和动力异常、热带的 MJO 等都可能对西南地区降水异常产生影响,我们也会在今后工作中做进一步深入研究,以期更加全面地分析和揭示西南地区春季降水的异常特征和相应机理诊断,为短期气候预测提供依据。

参考文献

- 白旭旭,李崇银,李琳,2012. MJO对中国春季降水影响的数值模拟研究[J]. 气象学报, 70(5): 986-1003. Bai X X, Li C Y, Li L, 2012. Numerical simulation study of the Madden-Julian Oscillation influences on spring precipitation in China[J]. Acta Meteor Sin, 70(5): 986-1003(in Chinese).
- 陈艳,张万诚,陶云,等,2021. 低频振荡对2015年春季云南东部降水异常的影响[J]. 气象, 47(7): 805-816. Chen Y, Zhang W C, Tao Y, et al, 2021. Influence of low-frequency oscillation on abnormal precipitation over eastern Yunnan Province in spring 2015[J]. Meteor Mon, 47(7): 805-816(in Chinese).
- 程慧萍,贾晓静,2014. 印度洋冬季海温异常对中国春季降水的影响[J]. 高原气象, 33(3): 733-742. Cheng H P, Jia X J, 2014. Influence of sea surface temperature anomalies of Indian Ocean in winter on precipitation over China in spring[J]. Plateau Meteor, 33(3): 733-742(in Chinese).
- 池再香,杜正静,陈忠明,等,2012. 2009—2010年贵州秋、冬、春季干旱气象要素与环流特征分析[J]. 高原气象, 31(1): 176-184. Chi Z X, Du Z J, Chen Z M, et al, 2012. Analyses on meteorological elements and general circulation of drought in Guizhou Province in autumn-winter-spring from 2009 to 2010[J]. Plateau Meteor, 31(1): 176-184(in Chinese).
- 丁一汇,2013. 中国气候[M]. 北京: 科学出版社: 557. Ding Y H, 2013. China's Climate[M]. Beijing: Science Press: 557(in Chinese).
- 龚道溢,王绍武,1999. 近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响[J]. 科学通报, 44(3): 315-320. Gong D Y, Wang S W, 1999. Impacts of ENSO on rainfall of global land and China[J]. Chin Sci Bull, 44(3): 315-320(in Chinese).
- 龚志强,宋文玲,王东阡,等,2017. 2017年春季我国主要气候特征及其成因分析[J]. 气象, 43(10): 1296-1301. Gong Z Q, Song W L, Wang D Q, et al, 2017. Features and causes for the climate anomalies in spring 2017[J]. Meteor Mon, 43(10): 1296-1301(in Chinese).
- 洪洁莉,郑志海,2020. 2020年春季我国气候特征及成因分析[J]. 气象, 46(10): 1375-1384. Hong J L, Zheng Z H, 2020. Features and possible causes for the boreal spring climate anomalies in 2020[J]. Meteor Mon, 46(10): 1375-1384(in Chinese).
- 黄荣辉,刘永,王林,等,2012. 2009年秋至2010年春我国西南地区严重干旱的成因分析[J]. 大气科学, 36(3): 443-457. Huang R H, Liu Y, Wang L, et al, 2012. Analyses of the causes of severe drought occurring in Southwest China from the fall of 2009 to the spring of 2010[J]. Chin J Atmos Sci, 36(3): 443-457(in Chinese).
- 蒋兴文,李跃清,李春,等,2007. 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, 26(3): 476-484. Jiang X W, Li Y Q, Li C, et al, 2007. Characteristics of summer water vapor transportation in Sichuan Basin and its relationship with regional drought and flood[J]. Plateau Meteor, 26(3): 476-484(in Chinese).
- 据建华,陈琳玲,2003. ENSO对云南地区降水影响的年代际变化[J]. 热带气象学报, 19(2): 191-196. Ju J H, Chen L L, 2003. The influence of ENSO events upon Yunnan precipitation and its interdecadal variations[J]. J Trop Meteor, 19(2): 191-196(in Chinese).
- 李宏毅,林朝晖,宋燕,等,2013. 我国华南3月份降水异常的可能影响因子分析[J]. 大气科学, 37(3): 719-730. Li H Y, Lin Z H, Song Y, et al, 2013. Analysis of the possible factors that influence March precipitation anomalies over South China[J]. Chin J Atmos Sci, 37(3): 719-730(in Chinese).
- 李依瞳,赵琳娜,巩远发,等,2017. 春季南支槽与中国降水的关系及成因[J]. 成都信息工程大学学报, 32(3): 282-288. Li Y T, Zhao L N, Gong Y F, et al, 2017. The relationship and formation of springtime southern branch trough and precipitation in China[J]. J Chengdu Univ Inform Technol, 32(3): 282-288(in Chinese).
- 李永华,徐海明,高阳华,等,2010. 西南地区东部夏季旱涝的水汽输送特征[J]. 气象学报, 68(6): 932-943. Li Y H, Xu H M, Gao Y H, et al, 2010. The characteristics of moisture transport associated with drought/flood in summer over the east of the southwestern China[J]. Acta Meteor Sin, 68(6): 932-943(in Chinese).
- 刘琳,徐宗学,杨晓静,2019. 西南地区旱涝演变与 ENSO 事件的关系[J]. 资源科学, 41(11): 2144-2153. Liu L, Xu Z X, Yang X J, 2019. Relationship between drought/flood and ENSO events in Southwest China[J]. Resources Sci, 41(11): 2144-2153(in Chinese).
- 刘芸芸,陈丽娟,2019. 2019年春季我国主要气候异常特征及可能成因分析[J]. 气象, 45(10): 1483-1493. Liu Y Y, Chen L J, 2019. Features and possible causes for the spring climate anomalies in 2019[J]. Meteor Mon, 45(10): 1483-1493(in Chinese).
- 刘芸芸,高辉,2021. 2021年春季我国气候异常特征及可能成因分析[J]. 气象, 47(10): 1277-1288. Liu Y Y, Gao H, 2021. Features and possible causes of climate anomalies in China in spring 2021[J]. Meteor Mon, 47(10): 1277-1288(in Chinese).
- 苗春生,赵文宁,王坚红,等,2014. 近53 a 云南东部春季旱涝及其环流距平波列影响[J]. 干旱区研究, 31(2): 250-260. Miao C S, Zhao W N, Wang J H, et al, 2014. Influences of drought, flood and zonal circulation anomaly over east Yunnan Province in spring in recent 53 years[J]. Arid Zone Res, 31(2): 250-260(in Chinese).
- 任芝花,余予,邹凤玲,等,2012. 部分地面要素历史基础气象资料质量检测[J]. 应用气象学报, 23(6): 739-747. Ren Z H, Yu Y, Zou F L, et al, 2012. Quality detection of surface historical basic meteorological data[J]. J Appl Meteor Sci, 23(6): 739-747(in Chinese).
- 苏明峰,王会军,2006. 中国气候干湿变率与 ENSO 的关系及其稳定性[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 36(10): 951-958. Su M F, Wang H J, 2006. The relationship between climate change rate and ENSO in China and its stability[J]. Sci China Series D Earth Sci, 36(10): 951-958(in Chinese).

- 王建波,张苏平,李春,等,2006.华北5月降水年际变化特征及其成因[J].气象科学,26(4):405-411. Wang J B, Zhang S P, Li C, et al, 2006. Characteristics of interannual variation of the may rainfall in North China and its reason[J]. Sci Meteor Sin, 26(4): 405-411(in Chinese).
- 王遵娅,柳艳菊,丁婷,等,2018.2018年春季气候异常及可能成因分析[J].气象,44(10):1360-1369. Wang Z Y, Liu Y J, Ding T, et al, 2018. Features and possible causes for the climate anomalies in spring 2018[J]. Meteor Mon, 44(10): 1360-1369(in Chinese).
- 徐超,乔云亭,2018.中国南方春季降水年际变化强度的年代际变化及其与海温异常的联系[J].气象科学,38(3):281-292. Xu C, Qiao Y T, 2018. The interdecadal change in the intensity of interannual variation of spring precipitation over southern China and its relationship with the SST anomaly[J]. J Meteor Sci, 38(3): 281-292(in Chinese).
- 薛峰,刘长征,2007.中等强度 ENSO 对中国东部夏季降水的影响及其与强 ENSO 的对比分析[J].科学通报,52(23):2798-2805. Xue F, Liu C Z, 2007. The influence of moderate ENSO on summer rainfall in eastern China and its comparison with strong ENSO[J]. Chin Sci Bull, 52(23): 2798-2805(in Chinese).
- 晏红明,李清泉,王东阡,2018.云南雨季的时空特征及与大气环流变化的关系[J].热带气象学报,34(1):12-22. Yan H M, Li Q Q, Wang D Q, 2018. Studies on spatial-temporal characteristics of Yunnan rainy season and its relationship with atmospheric circulation[J]. J Trop Meteor, 34(1): 12-22(in Chinese).
- 杨亚力,杜岩,陈海山,等,2011. ENSO 事件对云南及临近地区春末初夏降水的影响[J].大气科学,35(4):729-738. Yang Y L, Du Y, Chen H S, et al, 2011. Influence of ENSO event on rainfall anomaly over Yunnan Province and its neighboring regions during late spring-early summer[J]. Chin J Atmos Sci, 35(4): 729-738(in Chinese).
- 赵平,周秀骥,陈隆勋,等,2008.中国东部-西太平洋副热带季风和降水的气候特征及成因分析[J].气象学报,66(6):940-954. Zhao P, Zhou X J, Chen L X, et al, 2008. Characteristics of subtropical monsoon and rainfall over eastern China and western North Pacific and associated reasons[J]. Acta Meteor Sin, 66(6): 940-954(in Chinese).
- 郑建萌,张万诚,马涛,等,2014.云南北端干旱和多雨年5月异常环流的合成特征[J].高原气象,33(4):916-924. Zheng J M, Zhang W C, Ma T, et al, 2014. Composite characteristics of the abnormal circulation in May between extreme drought years and rainy years of Yunnan[J]. Plateau Meteor, 33(4): 916-924(in Chinese).
- Bjerknes J, 1969. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific[J]. Mon Wea Rev, 97(3): 163-172.
- Chambers D P, Tapley B D, Stewart R H, 1999. Anomalous warming in the Indian Ocean coincident with El Niño[J]. J Geophys Res Oceans, 104(C2): 3035-3047.
- Feng J, Li J P, 2011. Influence of El Niño Modoki on spring rainfall over South China[J]. J Geophys Res, 116(D13): D13102.
- Gong D Y, Wang S W, 1999. Impacts of ENSO on rainfall of global land and China[J]. Chin Sci Bull, 44(9): 852-857.
- Huang R H, Chen W, Yang B L, et al, 2004. Recent advances in studies of the interaction between the East Asian winter and summer monsoons and ENSO cycle[J]. Adv Atmos Sci, 21(3): 407-424.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Am Meteor Soc, 77(3): 437-472.
- Liu Y Y, Ke Z J, Ding Y H, 2019. Predictability of East Asian summer monsoon in seasonal climate forecast models[J]. Int J Climatol, 39(15): 5688-5701.
- Liu Y Y, Hu Z Z, Wu R G, et al, 2022. Causes and predictability of the 2021 spring southwestern China severe drought[J]. Adv Atmos Sci, 39(10): 1766-1776.
- Neelin J D, Battisti D S, Hirst A C, et al, 1998. ENSO theory[J]. J Geophys Res Oceans, 103(C7): 14261-14290.
- Reynolds R W, Rayner N A, Smith T M, et al, 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate[J]. J Climate, 15(13): 1609-1625.
- Tian S F, Yasunari T, 1998. Climatological aspects and mechanism of spring persistent rains over central China[J]. J Meteor Soc Jpn, 76(1): 57-71.
- Wang B, Wu R G, Fu X, 2000. Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? [J]. J Climate, 13(9): 1517-1536.
- Wu R G, Hu Z Z, Kirtman B P, 2003. Evolution of ENSO-related rainfall anomalies in East Asia[J]. J Climate, 16(22): 3742-3758.
- Xue F, Liu C Z, 2008. The influence of moderate ENSO on summer rainfall in eastern China and its comparison with strong ENSO [J]. Chin Sci Bull, 53(5): 791-800.

(本文责编:王婷波)