

洪洁莉,陈丽娟,王悦颖,等,2023. 2022 年秋季我国气候异常特征及成因分析[J]. 气象,49(4):495-505. Hong J L, Chen L J, Wang Y Y, et al, 2023. Features and possible causes of abnormal climate over China in Autumn 2022[J]. Meteor Mon, 49(4): 495-505 (in Chinese).

2022 年秋季我国气候异常特征及成因分析^{*}

洪洁莉¹ 陈丽娟^{1,2} 王悦颖^{1,3} 章大全^{1,2}

1 中国气象局气候预测研究重点开放实验室, 国家气候中心, 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

3 中国气象科学研究院, 北京 100081

提 要: 2022 年秋季, 全国气候总体呈现暖干的特征, 其中南方大部出现持续高温干旱。秋季平均气温为 1961 年以来历史同期最高。秋季降水季节内变率大, 9 月全国大部降水偏少, 10 月降水总体呈现南北少、中间多, 11 月我国中东部大部降水偏多而西部大部降水偏少。9—10 月环流异常特征显示我国南方上空为偏北风距平, 来自南海和西北太平洋的水汽输送条件极差, 西北太平洋副热带高压偏强偏西, 我国南方受下沉运动控制, 有利于大部地区降水偏少、气温偏高, 出现持续干旱。海温外强迫影响分析显示, 2022 年秋季印度-太平洋暖池异常偏暖, 热带太平洋中东部偏冷, 赤道印度洋西部偏冷, 对应赤道印度洋上空纬向季风环流和太平洋上空 Walker 环流之间为显著的耦合特征。热带印度洋偶极子 (TIOD) 显著影响区域为江南西部和西南地区东南部, 厄尔尼诺-南方涛动显著影响区域是江南大部和华南北部。即 2022 年秋季我国南方降水异常偏少受到 TIOD 负位相和拉尼娜状态的协同影响。

关键词: 持续高温干旱, 西太平洋副热带高压, 季节内变化, La Niña, TIOD

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2023.032701

Features and Possible Causes of Abnormal Climate over China in Autumn 2022

HONG Jieli¹ CHEN Lijuan^{1,2} WANG Yueying^{1,3} ZHANG Daquan^{1,2}

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

2 Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD),
Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

3 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

Abstract: In boreal autumn (September—October—November, SON) of 2022, the climate of China is characterised as “warmer and drier” than normal, and most of southern part has experienced persistent high temperature and drought. The average autumn temperature in China is ranked the highest since 1961. And the intraseasonal variability of precipitation is significant, with less rainfall in most of China in September, less in the south and north of China and more in Central China in October, more in central-eastern China and less in the west of China in November. From September to October, the northerly wind anomaly is strong over southern China with worse than normal moisture transport from South China Sea and North-western Pacific. The West Pacific subtropical high (WPSH) is stronger, larger and more westward than

^{*} 国家自然科学基金项目(U2242206、41975088、42275030)、国家重点研发计划(2018YFC1506006)、国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2015CB453203)和中国气象局创新发展专项(CXFZ2022J009)共同资助

2023 年 2 月 3 日收稿; 2023 年 3 月 22 日收修定稿

第一作者: 洪洁莉, 主要从事气候诊断及预测研究. E-mail: hongjl@cma.gov.cn

通讯作者: 陈丽娟, 主要从事气候诊断及预测研究. E-mail: chenlj@cma.gov.cn

normal. Descending motion is dominant over southern China leading to less rainfall and high temperature, and thus drought condition. The influence of tropical sea surface temperature (SST) forcing shows that the warmer warm-pool in Indo-Pacific, colder SST in tropical East-Central Pacific and west equatorial Indian, correspond to the significant coupling characteristics between the zonal monsoon circulation over the equatorial Indian Ocean and the Walker circulation over the Pacific Ocean, which further play important roles in modulating drought over most of southern China. The SST anomalies in equatorial Indian and Pacific are coupled with the air-sea gearing between Indian summer monsoon and Walker circulation in Pacific. The tropical Indian Ocean dipole (TIOD) has significant influence of precipitation over the western part of Jiangnan and the southeastern part of Southwest China, while El Niño-Southern Oscillation (ENSO) mainly affects most of Jiangnan and northern South China. Therefore, the heavy drought over southern China in autumn 2022 is modulated by both the TIOD negative mode and La Niña state.

Key words: persistent high temperature and drought, West Pacific subtropical high (WPSH), intraseasonal variability, La Niña, tropical Indian Ocean dipole (TIOD)

引 言

我国处于东亚季风区,秋季是东亚夏季风环流向冬季风环流转变的过渡期,同时也是秋收秋种的重要阶段,因此秋季气候异常对我国粮食生产和人民生活安全具有重要的影响,秋季气候异常的诊断分析对于我国气候预测有重要的参考价值。进入秋季,随着东亚夏季风系统的减弱南撤,西北太平洋副热带高压(以下简称西太副高)南撤,南海和西北太平洋热带气旋活跃程度逐渐减弱,同时中高纬度冷空气活跃程度不断增强。在夏季风和冬季风的转换期,热带和副热带与中高纬环流的配置更加复杂多变,易造成我国秋季的区域性气候异常以及季节内变率增大导致的灾害。例如华西秋雨异常、江南地区秋涝或秋旱、南方高温等等,形成仅次于夏季的气象灾害(湛芸和施能,2003;张顾炜等,2016;齐冬梅等,2020)。因此加强秋季气候异常的诊断,理解不同的环流配置对秋雨异常的影响具有科学意义和防灾减灾部署价值(贾小龙等,2008;竺夏英和宋文玲,2017;支蓉等,2018;赵俊虎和王永光,2019;孙林海和王永光,2020;杨明珠和陈丽娟,2021;李多和顾薇,2022)。

在全球变暖的背景下,我国秋季气温和降水具有明显的多时间尺度变化特征(王春学等,2015;梁萍等,2019;Zhi et al,2020)。已有研究表明,秋季气候不仅受到海温等外强迫因子的影响(湛芸和施能,2003;刘宣飞和袁慧珍,2006a;2006b;顾薇等,2012;韩晋平等,2013;Gu et al,2015),还受到青藏高原热源异常(陈忠明等,2001)、西太平洋暖池热含

量(郑然等,2018)等因子的作用,以及中高纬度大气环流异常(周游等,2016;Wang and Zhou,2019)的调制,因此造成秋季复杂的年际和季节内变化特征。本文从 2022 年秋季及季内我国主要气候特征出发,通过诊断分析造成气候异常的大气环流及外强迫信号,探讨造成 2022 年秋季气候异常的可能成因,为今后的气候预测和服务提供参考。

1 资料与方法

本文使用 1961—2022 年的中国逐日气温和降水观测资料,数据来源于国家气象信息中心整编的中国地区 2400 个台站观测气候数据集(任芝花等,2012)。此外,还使用了 1961—2022 年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 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 水平分辨率的逐月大气环流再分析资料(Kalnay et al,1996)和美国国家海洋大气局(NOAA)提供的 1982—2022 年逐月海温资料(Reynolds et al,2007)。文中部分图形出自国家气候中心开发的“气象灾害影响评估系统”和新一代气候监测预测分析系统(CIPAS3.0)。如无特别说明,文中的气候态为 1991—2020 年的平均值。主要分析方法有线性相关,显著性检验为 t 检验等(黄嘉佑,2000)。

2 2022 年秋季我国主要气候异常特征

2022 年秋季(9—11 月),全国平均气温为 11.2°C ,

较常年同期(10.3°C)偏高 0.9°C (图1),为1961年以来历史同期最高。除西藏西南部局地气温偏低 $0.5\sim 1^{\circ}\text{C}$ 外,全国其余大部地区气温接近常年同期到偏高,其中长江中下游及其以南大部、吉林东部、内蒙古中西部、陕西北部、宁夏大部、甘肃中东部、新疆东部和西南部等地偏高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$,而江西西部、湖南南部、广西东北部等地甚至偏高 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ (图2a)。湖南、福建、贵州、广东、江西、广西气温均为1961年以来历史同期最高,新疆、湖北为次高。从季节内气温距平来看,各月气温距平有一定的变率,尤其是北方地区变率较大。9月,除西藏西南部和东部局部、西南地区大部、江苏南部和浙江北部等地气温偏低外,全国气温以偏高为主,其中湖南大部、江西西部、内蒙古大部、新疆大部、甘肃北部等地偏高 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ (图2b)。9月,我国南方出现了3次区域性高温过程,分别是9月5—13日、16—20日、27日至10月4日。其中9月5—13日的区域高温过程综合强度达到特强,覆盖国土面积 143万 km^2 ,影响人口达5.5亿。10月,气温高低分布不均,我国中东部地区长江以南大部气温偏高,而长江以北大部气温以偏低为主(图2c)。11月,我国大部气温偏高,其中东北地区西北部和东南部、华北东部局部和西南部、华

东、华南、华中大部、西南地区东南部等地偏高 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ (图2d)。

2022年秋季降水总体偏少,全国平均降水量为 110.6 mm ,较常年同期(121.1 mm)偏少 8.7% (图3)。降水空间分布不均,长江中下游及其以南大部、华北北部、西北地区大部、西南地区东部和南部、内蒙古大部、新疆南部等地降水偏少 $2\sim 8$ 成,局部偏少8成以上;东北地区中南部及山东大部、西藏大部等地偏多5成至2倍(图4a)。贵州、重庆降水量均为1961年以来历史同期最少,湖南为历史第三少;而西藏降水量为历史同期最多,辽宁为历史次

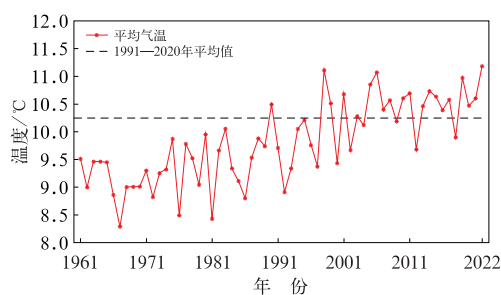


图1 1961—2022年秋季全国平均气温历年变化

Fig. 1 Time series of September, October and November (hereafter referred to as SON) mean temperature over China in 1961–2022

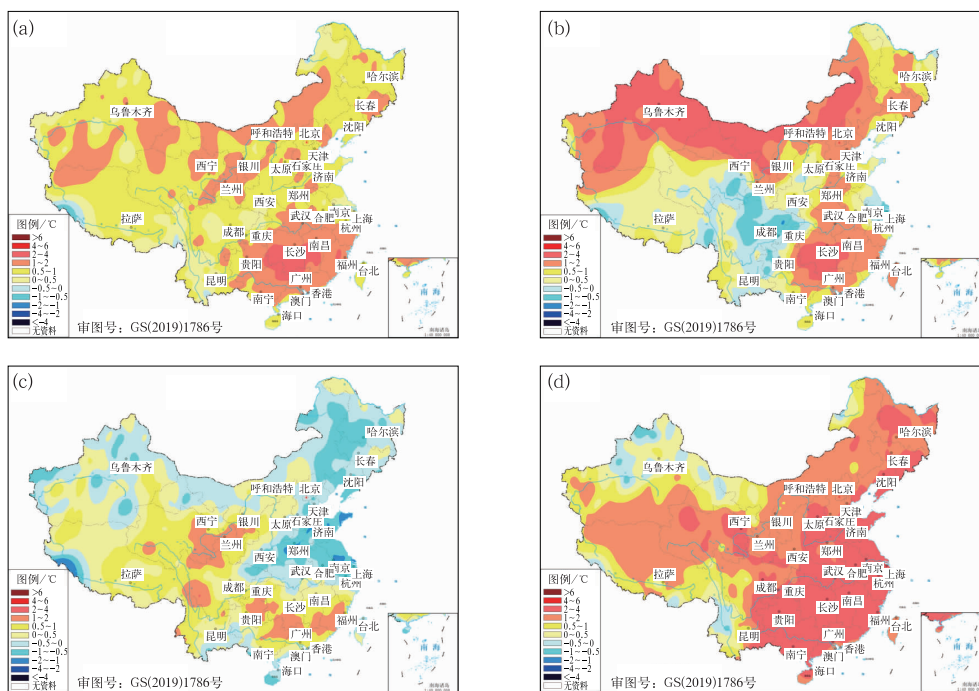


图2 我国2022年(a)秋季以及(b)9月、(c)10月和(d)11月平均气温距平分布

Fig. 2 Distributions of mean temperature anomaly in (a) SON, (b) September, (c) October, (d) November of 2022

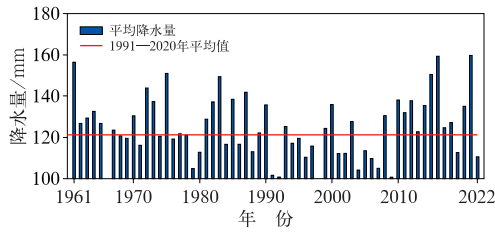


图 3 1961—2022 年秋季全国平均降水时间序列

Fig. 3 Time series of SON mean rainfall over China in 1961–2022

多。从季节内各月降水距平百分率分布(图 4b~4d)可以发现,季节内降水异常变率明显较大。9 月,除东北地区东部、华东东部沿海、西南地区东南部 and 西北部、西藏大部降水偏多外,全国大部地区降水偏少,其中内蒙古中部和西部局部、新疆南部、甘肃北部、青海西北部、华北大部、江南中西部等地降水偏少 8 成以上,总体呈现中东部和西北偏少而西南偏多的布局(图 4b)。10 月,降水总体呈现“南北少,中间多”的三极子特征;异常偏少区域为江南南部、华

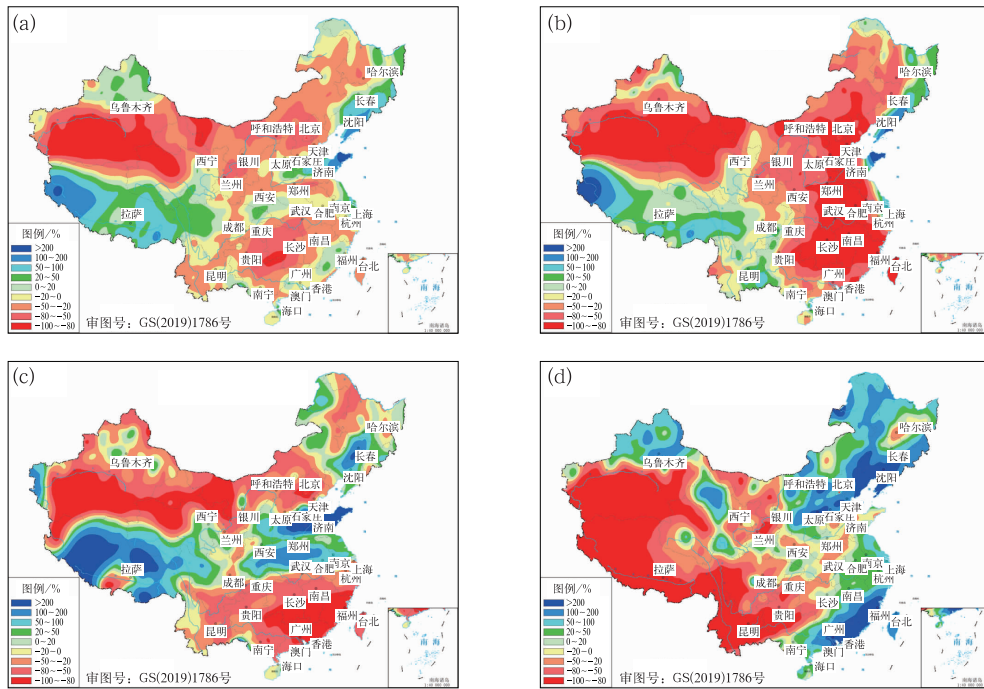


图 4 我国 2022 年(a)秋季以及(b)9 月、(c)10 月和(d)11 月平均降水距平百分率分布

Fig. 4 Distributions of mean precipitation anomaly percentage in (a) SON, (b) September (c) October, (d) November of 2022

南东北部、新疆南部、内蒙古西部、西北地区西北部局部、华北中部等地,偏少达 8 成以上;降水偏多 1 倍以上区域为黄淮、江淮西部、江汉、西藏大部、东北地区中部等地(图 4c)。11 月,我国中东部大部和新疆北部降水明显偏多,而西部大部降水偏少,总体呈现东多西少的特征(图 4d)。

华西秋雨是我国秋季独特和重要的气候事件。根据气象行业标准对华西秋雨监测的定义(中国气象局,2019),2022 年华西秋雨平均降水量为 173.9 mm,较常年(198.5 mm)偏少 12.4%,但空间分布不均。华西秋雨于 8 月 25 日开始,较常年(9 月 2 日)偏早 8 d;结束时间为 10 月 31 日,较常年(11 月 3 日)偏

早 3 d;雨期长度为 67 d,较常年(62 d)偏长 5 d。华西秋雨监测区(监测分区图见支蓉等,2018)南区(包括湖北西部、湖南西部、重庆、四川东部、贵州北部以及陕西南部)于 9 月 20 日进入秋雨季,比气候值(9 月 9 日)偏晚 11 d,结束日期较常年偏早 2 d,雨期共计 41 d,较气候值(54 d)偏短 13 d,累计降水量偏少 11.1%。华西秋雨北区(包括陕西南部大部、宁夏南部和甘肃南部)于 8 月 25 日进入秋雨季,较常年(9 月 12 日)偏早 18 d,结束日期较气候值(10 月 11 日)偏晚 20 d,雨期共计 68 d,累计降水量偏多 47.3%(表 1)。即 2022 年华西秋雨总体表现为雨期较气候值偏长、秋雨量略偏少的特征,其中南区雨

期偏短、秋雨偏少,而北区雨期偏长、秋雨偏强,呈现明显的空间不均匀性。

表 1 2022 年华西秋雨指数特征
Table 1 Indexes of autumn rainfall in West China in 2022

区域	开始时间	结束时间	持续时间/d	秋雨量/mm
北区	8 月 25 日(9 月 12 日)	10 月 31 日(10 月 11 日)	67(29)	186.2(126.4)
南区	9 月 20 日(9 月 9 日)	10 月 31 日(11 月 2 日)	41(54)	168.5(189.5)
总体	8 月 25 日(9 月 2 日)	10 月 31 日(11 月 3 日)	67(62)	173.9(198.5)

注:括号内为其气候态。

3 2022 年秋季气候异常成因分析

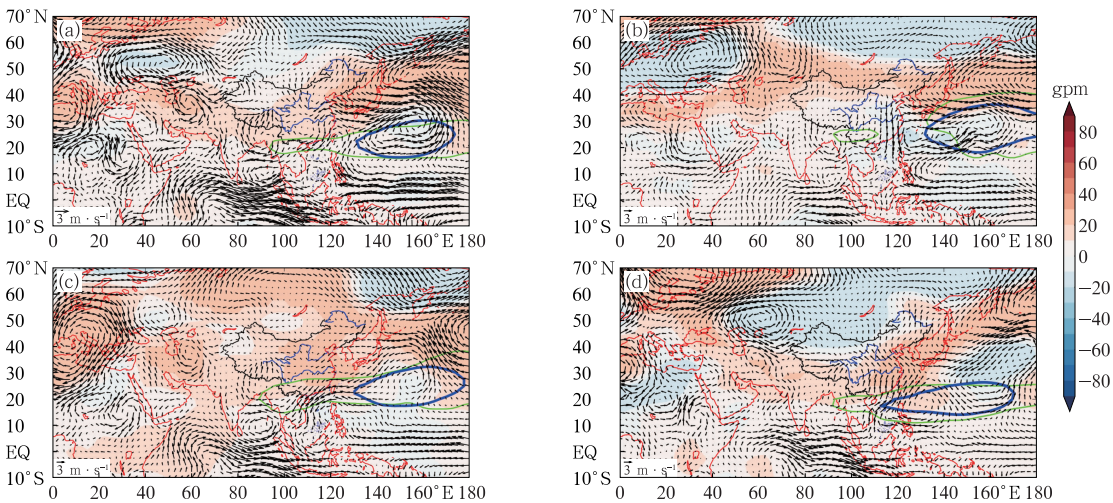
以上分析显示 2022 年秋季,我国气候总体呈现出“暖干”的特点,虽然降水异常空间分布的季节内变率特征显著,但我国南方大部降水偏少、气温偏高的特征较为稳定持续。以下重点从 2022 年秋季和季内气候异常相关的大气环流特征及海温外强迫的影响分析南方持续暖干的可能成因。

3.1 大气环流异常特征

大气环流异常是造成气候异常的直接原因。由于我国降水在 2022 年秋季内各月变率较大,所以在聚焦季节平均环流异常的同时,还需关注环流异常的季节内变化。从秋季平均 500 hPa 高度距平场(图 5a)可以看到,亚洲大陆中高纬为北低南高形势,我国大陆上空大部为正高度距平场,有利于我国

秋季气温总体显著偏高。西太副高较气候态明显偏强,西伸脊点至 100°E 及其以西,较常年明显偏西。850 hPa 风场距平显示,秋季印度洋上索马里越赤道气流异常偏强,在赤道印度洋上为西风距平,孟加拉湾为气旋性环流异常,而此气旋性环流的北部,孟加拉湾北部至我国西藏为反气旋环流,南风距平显著,为我国西藏降水偏多提供水汽来源。在赤道太平洋中西部为显著东风异常,菲律宾以东为异常反气旋,而在我国南海和台湾附近为异常气旋性环流。在此环流形势影响下,我国东部上空为北风距平,南方大部水汽来源偏弱,降水偏少。

我国南方大部在 9—10 月降水偏少(刘达和许映龙,2022;渠鸿宇等,2023),而 11 月降水偏多,与同期的大气环流异常特征密切相关。图 5b 显示 9 月,在台湾以东为显著气旋性距平环流,受该环流影响我国东部上空以北风距平为主,水汽输送条件差,不利于我国东部降水,其中南方降水也明显偏



注:绿色等值线为 5880 gpm 特征线,蓝色表示其相应气候态。

图 5 2022 年(a)秋季以及(b)9 月、(c)10 月和(d)11 月 500 hPa 位势高度距平场(填色)和 850 hPa 风场距平(风矢)

Fig. 5 The 500 hPa geopotential height anomalies (shaded), 850 hPa wind anomalies (wind vector), 5880 gpm contour (green) and its climatology (blue) in (a) SON, (b) September, (c) October, (d) November of 2022

少。10 月,在南海上空为异常气旋,我国南方上空为东北风距平(图 5c),同样水汽输送条件差,也不利于南方降水。而在 11 月,南海和菲律宾附近是异常反气旋(图 5d),这一特征与 9—10 月异常气旋性环流有明显转折,同时中高纬贝加尔湖及其以东为负高度距平,表明冷空气较为活跃,我国南方在异常反气旋引导的水汽输送和冷空气活动共同影响下,降水由前期偏少转为明显偏多。以上分析表明热带和副热带环流特征在 9—10 月较为相似,而在 11 月有明显转折。在这样环流影响下,我国南方大部从 9—10 月降水偏少转为 11 月降水偏多,出现较大的季节内变率。鉴于我国南方干旱的同时伴随着气温明显偏高,对工农业生产和人民生活产生了显著影响,将重点分析 9—10 月南方降水异常偏少的成因。

为深入认识 9—10 月南方降水异常偏少的原因,进一步分析了影响降水发生的水汽条件和垂直上升运动。由于水汽主要集中在对流层低层,而对流层中层垂直上升运动与降水关系最为紧密,因此重点分析了 9—10 月的平均 850 hPa 风场距平和 500 hPa 垂直速度距平以及水汽通量距平及其散度(图 6)。图 6a 表明我国长江以南大部受异常下沉运动控制,对流层(1000~300 hPa)整层积分水汽输送及辐合辐散场(图 6b)显示长江以南为强辐散区。在南海和菲律宾北部为异常气旋环流,我国南方受此异常气旋环流西侧影响,为偏北风至偏东北风距平,来自西北太平洋的水汽输送条件很差,不利于降水发生。西太副高总体偏强、偏西、偏北,同时其由

于西北太平洋异常气旋活动而分裂为两段,西段的西伸脊点位于 90°E 附近,同时孟加拉湾北部到我国南方大部为反气旋性距平环流,因此南方大部受到孟加拉湾北部到西北太平洋环流的共同影响,上空为异常下沉气流,造成南方大部降水偏少。此外,副热带环流异常与热带环流特征有密切联系。图 6a 与图 5a 在热带印度洋和热带中西太平洋的特征较为相似,即印度洋索马里越赤道急流偏强,赤道印度洋为西风距平,赤道中西太平洋为东风距平;伴随赤道西印度洋异常下沉运动,海洋性大陆附近上空为异常上升运动,热带西太平洋为异常下沉运动。

3.2 海温异常及演变的可能影响

湛芸和施能(2003)、刘宣飞和袁慧珍(2006a; 2006b)和韩晋平等(2013)研究表明,热带太平洋和印度洋海温异常是影响我国秋季降水异常的重要外强迫因子。在厄尔尼诺/拉尼娜年,我国秋季降水易出现南多北少/南少北多的异常分布特征(刘宣飞和袁慧珍,2006b)。热带太平洋海温分布状态与我国南方秋季降水密切相关,当东太平洋偏暖、西太平洋偏冷时,中南半岛至我国东部为显著的偏南风,加强了我国南方的水汽输送和上升运动,导致我国南方降水偏多;反之我国南方降水偏少(Gu et al, 2015)。热带印度洋偶极子往往在秋季达到峰值,对我国西南地区秋季降水产生明显影响(刘宣飞和袁慧珍, 2006a; 2006b)。

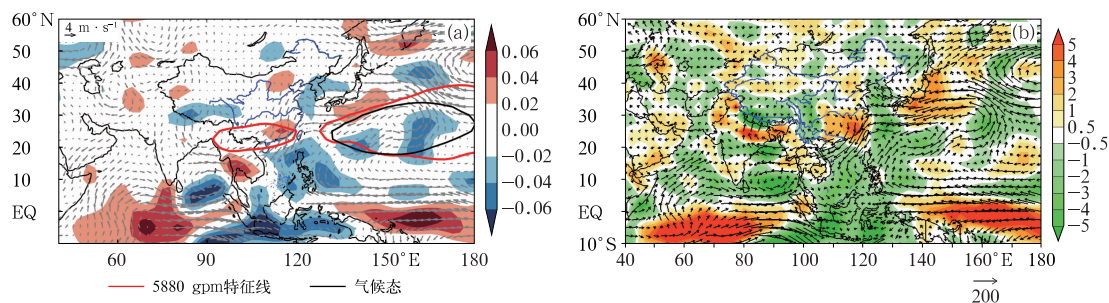


图 6 2022 年 9—10 月 (a) 500 hPa 垂直速度距平(填色,单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) 和 850 hPa 风场距平(风矢), (b) 对流层(1000~300 hPa)整层积分水汽输送通量距平(矢量,单位: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) 及辐合辐散场距平(填色,单位: $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

Fig. 6 (a) Vertical velocity anomalies (shaded, unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) at 500 hPa and wind anomalies (wind vector) at 850 hPa, (b) vertically integrated (1000—300 hPa) water vapor flux anomalies (vector, unit: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) and moisture divergence anomalies (shaded, unit: $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) in September—October 2022

2022年秋季海温距平监测(图7)显示,在热带太平洋中东部海温较常年偏冷,西太平洋偏暖,呈现西部暖而中东部冷的空间分布特征;热带印度洋为西冷东暖,印度-太平洋暖池区为暖异常。从关键区海温指数逐月演变(图8)可以看到,2022年7—10月,热带印度洋偶极子(TIOD)为显著负位相,TIOD指数低于 -1°C ;在11月之后,TIOD负位相明显衰减。同期内,热带太平洋 Niño3.4 为负值,且低于 -0.5°C ,表明热带太平洋处于拉尼娜状态。从2020年8月以来,热带太平洋经历了长时间的拉尼娜事件,出现了三次峰值。至2022年秋季,热带太平洋拉尼娜事件和热带印度洋偶极子负位相模式共存,因此在分析对大气环流的影响,尤其是对赤道 Walker 环流的影响时,需要同时关注两者的协同作用。监测显示2022年11月,TIOD 负位相强度已明显衰减,且西北太平洋低层环流在11月与9—10月特征有明显差异,所以图9a仅给出2022年9—10月赤道 Walker 环流距平。与两大洋热带海温距平分布相匹配的 Walker 环流特征显示,显著的上升支位于赤道东印度洋和赤道西太平洋,且合并为一支较为稳定显著的上升气流,而下沉支最为明显的是位于赤道中东太平洋和赤道西印度洋。这与吴国雄和孟文(1998)提出的印度洋-太平洋齿轮式耦合环流高度相似,只是海温位相相反,相应 Walker 环流的上升和下沉方向也相反。即2022年9—10月,在海洋性大陆上空为上升支,赤道印度洋对流层上空形成逆时针环流,而在赤道太平洋上空形成顺时针

环流,印度洋上季风环流和太平洋上 Walker 环流形成齿轮式耦合,环流更加稳定,影响也更加显著。上升支在经向与局地 Hadley 环流耦合。图9b表明在经向环流上,热带附近上升显著且宽广,而下沉支位于 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 附近,有利于西太副高偏强,与图6的西太副高特征显示一致。9—10月,在副热带强

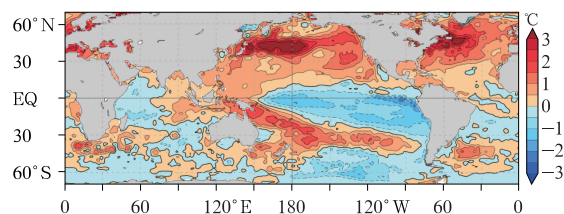


图7 2022年秋季全球海表温度距平分布

Fig. 7 Distribution of SST anomalies during SON 2022

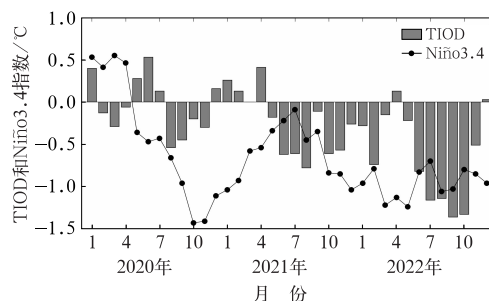
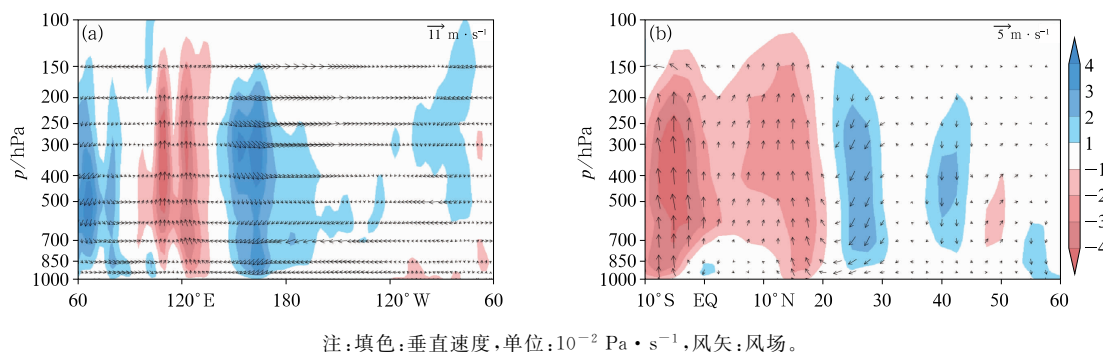


图8 2020年1月至2022年12月TIOD和Niño3.4指数逐月时间序列

Fig. 8 The monthly TIOD and Niño3.4 index from January 2020 to December 2022



注:填色:垂直速度,单位: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$,风矢:风场。

图9 2022年9—10月平均(a)赤道($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$)Walker环流和(b)沿东亚东部($120^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$)局地 Hadley 环流距平分布

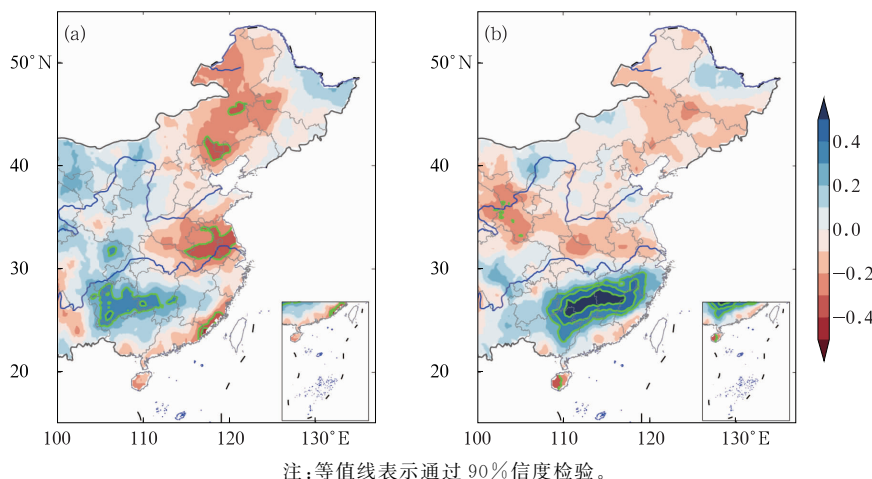
Fig. 9 (a) The Walker circulation along the equator ($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$) and (b) the local Hadley circulation along East Asia ($120^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$) anomaly in September—October 2022

下沉气流作用下,有利于我国南方大部气温偏高、降水偏少。

局地 Hadley 经向环流在我国南方下沉支加强,使得西太副高偏强,为我国南方降水偏少提供环流条件,TIOD 负位相和拉尼娜状态对此环流的加强均起到一定作用,但 TIOD 事件和 ENSO 循环对我国东部降水的空间分布有何具体影响? 图 10 给出了秋季 TIOD 和 Niño3.4 指数与同期我国降水的相关系数分布。对比图 10a 和 10b 可以发现,TIOD 事件影响我国降水异常通过信度检验的区域主要位于江南西部和西南地区东部,而厄尔尼诺/拉尼娜影响高相关区域主要在江南大部和华南北部。与图 4a

降水实况对应可以发现,2022 年秋季我国南方降水显著偏少与 TIOD 负位相和拉尼娜事件的联合发生有密切关系,其中江南西部持续降水偏少,可能与 TIOD 负位相的影响更密切。正因为两者的协同贡献,使得我国南方的干旱事件表现为面积大、强度高、持续时间长的特征。

从以上分析表明,秋季印太暖池异常偏暖,热带太平洋中东部偏冷,赤道印度洋西部偏冷,对应赤道印度洋上空纬向季风环流和太平洋上空 Walker 环流之间显著的耦合特征(图 11):印度洋上空为逆时针,太平洋上空为顺时针,上升支是海洋性大陆上空,伴随着上升支的局地 Hadley 环流的下沉支位



注:等值线表示通过 90% 信度检验。

图 10 1982—2021 年秋季(a)TIOD 指数和(b)Niño3.4 指数分别与我国秋季降水的相关系数分布(填色)

Fig. 10 Distribution of correlation coefficient (shaded) between (a) TIOD, (b) Niño3.4 and precipitation, respectively

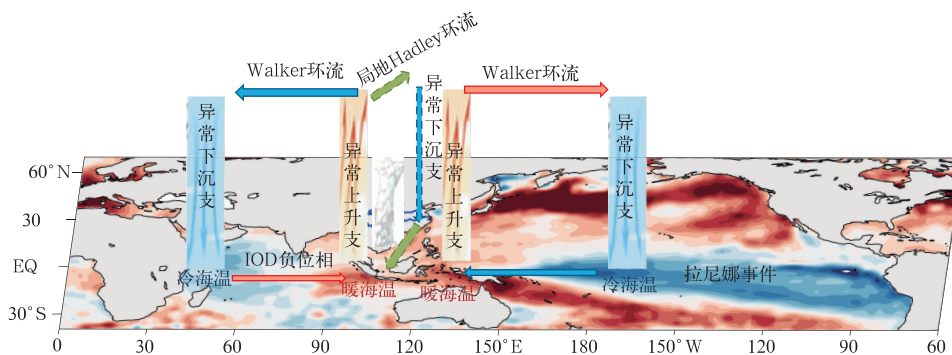


图 11 2022 年 9—10 月赤道印度洋和太平洋上空海气齿轮式耦合示意图

Fig. 11 Schematic diagrams of gearing coupling between air and sea over equatorial Indian and Pacific in September—October 2022

于我国 30°N 以南,使得我国南方大部受强下沉气流影响而降水持续偏少。

正是热带海温对副热带环流的影响相对稳定,且热带海温的可预报性较高,可以通过预测热带海温,再进一步预测我国秋季气候,尤其是南方降水和气温的异常趋势。这个思路在2022年秋季预测中有很好的实践应用,为今后热带海温对我国秋季气候的影响积累了典型年的预报经验。

4 结论和讨论

利用观测台站资料和再分析资料,回顾了2022年中国秋季气候特征,分析了相关大气环流异常,并从海温异常外强迫因子角度探寻可能的原因,得到了以下主要结论:

2022年秋季全国平均气温为 11.2°C ,较常年同期(10.3°C)偏高 0.9°C ,为1961年以来历史同期最高。2022年秋季降水总体偏少,全国平均降水量为 110.6 mm ,较常年同期(121.1 mm)偏少 8.7% 。秋季气候总体呈现暖干的特征。降水空间分布不均匀,尤其是长江中下游及其以南大部及华北北部、西北地区大部、西南地区东部和南部、内蒙古大部、新疆南部等地降水明显偏少。2022年华西秋雨总体表现为雨期较气候值偏长、秋雨量略偏少特征,但空间分布不均匀,其中秋雨北区雨期偏长、秋雨偏强,而南区雨期偏短、雨量偏少。秋季降水的季节内变率较大,9月全国大部降水偏少,10月降水总体呈现南北少、中间多的特征,长江中下游及其以南大部地区由于温高雨少,气象干旱严重。11月降水有明显转折,我国中东部大部降水偏多,而西部大部降水偏少。

大气环流异常特征是造成2022年秋季我国气候异常的直接原因。索马里越赤道气流偏强,赤道印度洋上空为西风距平,赤道太平洋中西部为显著东风异常,菲律宾以东为异常反气旋,而在我国南海和西北太平洋为异常气旋性环流。在此影响下,我国东部上空为北风距平,西北太平洋的水汽输送条件差,导致我国南方大部降水偏少。季节内环流的阶段性变化特征显著,9—10月南海为异常气旋性环流,南方上空为偏北风距平,来自南海和西北太平洋的水汽输送条件差,大部地区降水偏少。11月南

海上空转为异常反气旋,南方上空低层是西南风距平,同时贝加尔湖及其以西为负高度距平场,冷空气偏强,我国中东部大部降水增多。

海温外强迫分析表明,2022年秋季热带中东太平洋处于拉尼娜状态以及热带印度洋偶极子(TIOD)负位相的协同作用对热带和副热带大气环流产生显著的影响。秋季印度-太平洋暖池异常偏暖,热带太平洋中东部偏冷,赤道印度洋西部偏冷,对应赤道印度洋上空纬向季风环流和太平洋上空Walker环流之间显著的齿轮耦合特征:印度洋上空为逆时针,太平洋上空为顺时针,上升支是海洋性大陆上空,伴随着上升支的局地Hadley环流的下沉支位于我国 30°N 以南,使得我国南方大部受强下沉气流影响而降水持续偏少。TIOD显著影响区域为江南西部和西南地区东南部,ENSO显著影响区域是江南大部和华南北部,即TIOD的显著影响区域更偏西。2022年秋季我国南方降水异常偏少受到TIOD负位相和拉尼娜状态的协同影响。

我国秋季处于东亚夏季风向冬季风的转换季节,季节内变率大。而2022年9—10月和11月,我国南方大部降水出现明显差异,与中高纬环流以及副热带环流的季节内转变关系密切,其中11月TIOD负位相衰减迅速可能对副热带环流起到一定作用,有研究表明热带低频振荡活动的强弱和活跃位相也可能对季节内变率产生重要影响,有必要进行深入的研究。此外,本文主要从海温强迫的角度讨论其对秋季气候的影响,其他的外强迫信号也可能起到重要作用。监测显示2022年9—10月,青藏高原中东部潜热通量异常偏强(图略),对同期及后期环流的影响也值得进一步研究。

参考文献

- 湛芸,施能,2003.厄尔尼诺/南方涛动与我国秋季气候异常[J].热带气象学报,19(2):137-146. Chen Y, Shi N, 2003. El Niño/ENSO and climatic anomaly in the autumn of China[J]. J Trop Meteor, 19(2):137-146(in Chinese).
- 陈忠明,刘富明,赵平,等,2001.青藏高原地表热状况与华西秋雨[J].高原气象,20(1):94-99. Chen Z M, Liu F M, Zhao P, et al, 2001. Relationship between the surface heating fields over Qinghai-Xizang Plateau and precipitation of Southwest China in autumn[J]. Plateau Meteor, 20(1):94-99(in Chinese).
- 顾薇,李维京,陈丽娟,等,2012.我国秋季降水的年际变化及与热带太平洋海温异常分布的关系[J].气候与环境研究,17(4):467-480.

- Gu W, Li W J, Chen L J, et al, 2012. Interannual variations of autumn precipitation in China and their relations to the distribution of tropical Pacific sea surface temperature[J]. *Climatic Environ Res*, 17(4): 467-480(in Chinese).
- 韩晋平, 张人禾, 苏京志, 2013. 中国北方秋雨与热带中太平洋海表冷却的关系[J]. *大气科学*, 37(5): 1059-1071. Han J P, Zhang R H, Su J Z, 2013. Relationship between cooling of tropical Pacific sea surface temperature and autumn precipitation in China[J]. *Chin J Atmos Sci*, 37(5): 1059-1071(in Chinese).
- 黄嘉佑, 2000. 气象统计分析与预报方法: 第 2 版[M]. 北京: 气象出版社. Huang J Y, 2000. *Statistic Analysis and Forecast Methods in Meteorology*[M]. 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese).
- 贾小龙, 张培群, 陈丽娟, 等, 2008. 2007 年我国秋季降水异常的成因分析[J]. *气象*, 34(4): 86-94. Jia X L, Zhang P Q, Chen L J, et al, 2008. Causality analysis of autumn rainfall anomalies in China in 2007[J]. *Meteor Mon*, 34(4): 86-94(in Chinese).
- 李多, 顾薇, 2022. 2021 年秋季我国北方地区降水异常偏多的特征及成因分析[J]. *气象*, 48(4): 494-503. Li D, Gu W, 2022. Analysis of characteristics and causes of precipitation anomalies over Northern China in autumn 2021[J]. *Meteor Mon*, 48(4): 494-503(in Chinese).
- 梁萍, 周兵, 马悦, 等, 2019. 2017 年秋季华西秋雨的多时间尺度变化特征及成因分析[J]. *气象*, 45(8): 1104-1112. Liang P, Zhou B, Ma Y, et al, 2019. Characteristics of variability on multiple time-scales and cause analysis of autumn rainfall in West China during 2017[J]. *Meteor Mon*, 45(8): 1104-1112(in Chinese).
- 刘达, 许映龙, 2022. 2022 年 9 月大气环流和天气分析[J]. *气象*, 48(12): 1629-1636. Liu D, Xu Y L, 2022. Analysis of the September 2022 atmospheric circulation and weather[J]. *Meteor Mon*, 48(12): 1629-1636(in Chinese).
- 刘宣飞, 袁慧珍, 2006a. 印度洋偶极子与中国秋季降水的关系[J]. *南京气象学院学报*, 29(5): 644-649. Liu X F, Yuan H Z, 2006a. Relationship between the Indian Ocean dipole and autumn rainfall in China[J]. *J Nanjing Inst Meteor*, 29(5): 644-649(in Chinese).
- 刘宣飞, 袁慧珍, 2006b. ENSO 对印度洋偶极子与中国秋季降水关系的影响[J]. *南京气象学院学报*, 29(6): 762-768. Liu X F, Yuan H Z, 2006b. Effects of ENSO on the relationship between IOD and autumn rainfall in China[J]. *J Nanjing Inst Meteor*, 29(6): 762-768(in Chinese).
- 齐冬梅, 周长艳, 李跃清, 等, 2020. 2017 年秋季四川阴雨寡照特征及成因分析[J]. *气象*, 46(1): 37-49. Qi D M, Zhou C Y, Li Y Q, et al, 2020. Analysis of autumn rainy and sunless characteristics and its mechanism in Sichuan in 2017[J]. *Meteor Mon*, 46(1): 37-49(in Chinese).
- 渠鸿宇, 黄彬, 高拴柱, 等, 2023. 2022 年 10 月大气环流和天气分析[J]. *气象*, 49(1): 122-128. Qu H Y, Huang B, Gao S Z, et al, 2023. Analysis of the October 2022 atmospheric circulation and weather[J]. *Meteor Mon*, 49(1): 122-128(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).
- 孙林海, 王永光, 2020. 2019 年秋季我国气候异常及成因分析[J]. *气象*, 46(4): 566-574. Sun L H, Wang Y G, 2020. Features and possible causes of the climatic anomaly in China in autumn 2019[J]. *Meteor Mon*, 46(4): 566-574(in Chinese).
- 王春学, 马振峰, 王佳津, 等, 2015. 华西秋雨准 4 年周期特征及其与赤道太平洋海表温度的关系[J]. *大气科学*, 39(3): 643-652. Wang C X, Ma Z F, Wang J J, et al, 2015. The characteristics of Huaxi autumn rain and its relationship with sea surface temperatures over the equatorial Pacific[J]. *Chin J Atmos Sci*, 39(3): 643-652(in Chinese).
- 吴国雄, 孟文, 1998. 赤道印度洋-太平洋地区海气系统的齿轮式耦合和 ENSO 事件: I. 资料分析[J]. *大气科学*, 22(4): 470-480. Wu G X, Meng W, 1998. Gearing between the Indo-monsoon circulation and the Pacific-Walker circulation and the ENSO. Part I: data analyses[J]. *Chin J Atmos Sci*, 22(4): 470-480(in Chinese).
- 杨明珠, 陈丽娟, 2021. 2020 年秋季我国气候异常特征及成因分析[J]. *气象*, 47(4): 499-509. Yang M Z, Chen L J, 2021. Features and possible causes of abnormal climate over China in autumn 2020[J]. *Meteor Mon*, 47(4): 499-509(in Chinese).
- 张顾炜, 曾刚, 倪东鸿, 等, 2016. 西南地区秋季干旱的年代际转折及其可能原因分析[J]. *大气科学*, 40(2): 311-323. Zhang G W, Zeng G, Ni D H, et al, 2016. Decadal shift of autumn drought in Southwest China and its possible causes[J]. *Chin J Atmos Sci*, 40(2): 311-323(in Chinese).
- 赵俊虎, 王永光, 2019. 2018 年秋季我国气候异常及成因分析[J]. *气象*, 45(4): 565-576. Zhao J H, Wang Y G, 2019. Features and possible causes of the climatic anomaly in China in autumn 2018[J]. *Meteor Mon*, 45(4): 565-576(in Chinese).
- 郑然, 刘嘉慧敏, 马振峰, 2018. 夏季西太平洋暖池热含量对华西秋雨的影响及可能的物理机制[J]. *气象学报*, 76(5): 714-725. Zheng R, Liu J H M, Ma Z F, 2018. Impacts of the summertime warm pool in the West Pacific on Huaxi autumn rain and its possible physical mechanism[J]. *Acta Meteor Sin*, 76(5): 714-725(in Chinese).
- 支蓉, 陈丽娟, 竺夏英, 2018. 2017 年秋季我国北方地区降水异常偏多成因分析[J]. *气象*, 44(4): 572-581. Zhi R, Chen L J, Zhu X Y, 2018. Analysis of characteristics and causes of precipitation anomalies over northern China in Autumn 2017[J]. *Meteor Mon*, 44(4): 572-581(in Chinese).
- 中国气象局, 2019. 中国雨季监测指标 华西秋雨: QX/T 496—2019[S]. 北京: 气象出版社. China Meteorological Administration, 2019. Monitoring indices of rainy season in China—Autumn rain

- of West China: QX/T 496—2019[S]. Beijing: China Meteorological Press(in Chinese).
- 周游,管兆勇,张茜,等,2016. 秋季大气质量海陆间迁移与南北涛动年际变化不同位相配置及其对中国气温异常的影响[J]. 气象学报,74(3):367-379. Zhou Y, Guan Z Y, Zhang Q, et al, 2016. Circulation anomalies and their impacts on autumn temperature variations over China in association with different phase combinations of atmospheric mass migration between lands and oceans and inter-hemispheric oscillations[J]. Acta Meteor Sin, 74(3): 367-379(in Chinese).
- 竺夏英,宋文玲,2017. 2016年秋季中国气候特征及其可能成因[J]. 气象,43(4):495-500. Zhu X Y, Song W L, 2017. Features of climatic anomalies in China during the fall of 2016 and the possible causes[J]. Meteor Mon, 43(4):495-500(in Chinese).
- Gu W, Wang L, Li W J, et al, 2015. Influence of the tropical Pacific east-west thermal contrast on the autumn precipitation in South China[J]. Int J Climatol, 35(7):1543-1555.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Amer Meteor Soc, 77(3): 437-472.
- Reynolds R W, Smith T M, Liu C Y, et al, 2007. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature[J]. J Climate, 20(22):5473-5496.
- Wang Z Y, Zhou B T, 2019. Observed decadal transition in trend of autumn rainfall over Central China in the late 1990s[J]. J Climate, 32(5):1395-1409.
- Zhi R, Zhao J H, Zhou J, et al, 2020. Inter-decadal variation of autumn rain of West China and its relationship with atmospheric circulation and sea surface temperature anomalies[J]. Int J Climatol, 40(13):5700-5713.

(本文责编:戴洋)