

吕卓卓,支蓉,2026. 2025 年秋季中国气候特征及北方秋涝成因分析[J]. 气象,52(4):492-502. Lyu Z Z, Zhi R, 2026. Analysis of climate features over China and the possible causes of flood in northern China in Autumn 2025[J]. Meteor Mon,52(4):492-502(in Chinese).

2025 年秋季中国气候特征及北方秋涝成因分析*

吕卓卓 支蓉

国家气候中心,中国气象局气候预测研究重点开放实验室,北京 100081

提 要: 基于中国 2374 个台站的观测数据、NCEP/NCAR 再分析数据集等资料,对 2025 年秋季中国气候异常时空特征和成因进行了分析。2025 年秋季全国气温总体偏高,北方地区气温呈现“暖—冷—暖”的季内变化,南方地区“前暖后冷”。全国平均降水量为 1961 年以来历史同期最多,降水时空分布不均,秋季前期华北南部、华东北部、华中北部、西北地区东部等地降水量大范围偏多、极端性突出,形成严重的秋涝;华西秋雨开始早、结束晚、雨期长、降水量历史最多。北方秋涝的形成与东亚大气环流异常密切相关,西太平洋副热带高压(简称副高)异常偏强且脊线位置极端偏北、黄海上空低层反气旋异常偏强构成了有利的水汽输送条件,是北方秋涝形成的基本环流背景;副高在经向上极端稳定少动,是北方秋涝形成的另一关键环流特征。此外,秋季赤道中东太平洋处于由中性偏冷向拉尼娜状态发展的阶段,并伴随印度洋偶极子极端负位相,两者通过大气遥相关、局地经纬向环流耦合等途径,协同作用于东亚环流异常配置,是 2025 年我国北方秋涝的重要海洋外强迫信号。

关键词: 北方秋涝,西太平洋副热带高压,赤道中东太平洋海温,热带印度洋偶极子

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2026.030901

Analysis of Climate Features over China and the Possible Causes of Flood in Northern China in Autumn 2025

LYU Zhuozhuo ZHI Rong

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

Abstract: Based on observations from 2374 meteorological stations in China and the NCEP/NCAR reanalysis dataset, the spatio-temporal characteristics and causes of climate anomalies over China during autumn 2025 are analyzed. It was generally warmer than normal across China in autumn 2025, with the northern region of China exhibiting an intraseasonal “warm—cold—warm” temperature variation and the southern region showing a “warm in the early stage and cold in the late stage” pattern. The national average precipitation was the most since 1961 for the same period, with an uneven spatio and temporal distribution. In the early autumn, large-scale excessive precipitation with prominent extremeness occurred in southern North China, northern East China, northern Central China, and eastern Northwest China, finally leading to serious autumn flood. The autumn rain in West China started early, ended late and had a long duration, with the precipitation amount ranking the top in history. The formation of autumn flood in northern China was closely correlated to East Asian atmospheric circulation anomalies. The abnormally strong western Pacific subtropical high (WPSH) with an extremely northward ridge line, coupled with a robust low-level

* 国家自然科学基金项目(42505041、42475019、41975088)、国家自然科学基金联合基金项目(U2242206、U2442206)和国家重点研发计划(2024YFF0809204)共同资助

2026 年 1 月 13 日收稿; 2026 年 2 月 10 日收修定稿

第一作者:吕卓卓,主要从事短期气候预测研究. E-mail:lvzhuozhuo_xy@163.com

通讯作者:支蓉,主要从事短期气候预测研究. E-mail:z_rongphy@126.com

anticyclone over the Yellow Sea, provided favorable water vapor transport conditions, serving as the basic circulation background for the autumn flood in northern China. Additionally, the extreme meridional stability of the WPSH (i. e., little north-south movement) was another key circulation feature contributing to the flood. Furthermore, during the autumn, the equatorial central-eastern Pacific was in a developmental stage from cold water conditions to La Niña, accompanied by an extreme negative phase of the tropical Indian Ocean dipole (TIOD). The two factors, through pathways such as atmospheric teleconnections and local meridional-zonal circulation coupling, worked synergistically in influencing the anomalous configuration of the East Asian circulation, forming as an important oceanic external forcing background for the autumn flood in northern China in 2025.

Key words: autumn flood in northern China, western Pacific subtropical high, sea surface temperature in the equatorial central-eastern Pacific, tropical Indian Ocean dipole

引言

中国地处东亚季风区,大部地区气候受季风进程影响显著。秋季作为东亚夏季风向冬季风转换的关键过渡期,是我国秋收秋种、水资源调配与生态环境养护的重要时段,其气候异常直接影响农业生产稳定性、能源供需平衡及公众生产生活安全。在这一阶段,中高纬度冷空气活动逐渐活跃,同时伴随着夏季风系统的减弱、西太平洋副热带高压(简称副高)的季节性东移、南撤,中高纬度冷空气与低纬度暖湿气流交汇频繁,使得中国秋季气温降水呈现较大的季节内变率。在全球变暖背景下,气候系统不稳定性增强,进一步加剧了秋季气候异常的复杂性,区域性气象灾害(如南方高温、秋旱、秋涝、连阴雨等)的发生更为频繁,具备更强的影响强度和致灾性(孙照渤等,2016;Liu and Zhou, 2021; Gu et al, 2022; Zeng et al, 2026),并呈现出不同于传统认知的新特征,如北方地区秋季“夏雨秋下”“秋行夏令”等极端降水现象频发(梁苏洁等,2019;车少静等,2021;Wu et al, 2025),给秋季气候预测服务带来了更大的挑战。因此,加强对秋季气候特征和关键影响因子的诊断分析,有助于深入理解气候异常发生发展机理,同时也为气象防灾减灾、保障经济生产提供重要的科学指导依据。

前人研究表明,秋季气候异常及其季节内变化往往是大气内部过程与外部强迫多因子共同作用的结果,其中,热带大气季节内振荡、中高纬度大气环流异常配置等可以通过调控季风进程和强弱,影响中国气温和降水异常的时空分布(赵佳玉等,2016;周游等,2016;李多等,2025);而海温异常、青藏高原

热力条件、北极海冰范围等外强迫因子,则能通过大气与下垫面的热动力反馈、激发大气遥相关波列等机制,对中国秋季气候产生远程调控作用(陈忠明等,2001;Gu et al, 2015;Sun et al, 2022;罗红羽等, 2023)。2025年秋季,中国平均气温较常年偏高,降水量为历史同期最多,9月至10月中旬中国长江以北地区降水量大范围偏多,极端性显著,发生了严重秋涝。据应急管理部统计,由于降水长时间持续,10月华北、黄淮一带、华西地区农作物受灾面积达 $3.644 \times 10^5 \text{ hm}^2$,直接和间接灾害损失严重(https://www.mem.gov.cn/xw/yjglbgzdt/202511/t20251111_585250.shtml)。

本文将在分析2025年秋季中国气候特征的基础上,研究9月至10月中旬中国北方秋涝的可能成因,探讨影响2025年北方秋涝的关键环流异常特征及极端性特征,分析海温异常外强迫信号对2025年北方秋涝形成是否具有影响及影响途径与作用机理。

1 资料和方法

本研究所使用的数据资料包括:(1)1961—2025年中国逐日气温和降水台站观测资料,数据源自国家气象信息中心整编的中国地区2374个台站观测气候数据集(任芝花等,2012;2015);(2)美国气象环境预报中心和美国国家大气研究中心(NCEP/NCAR)提供的1981—2025年水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的逐日/逐月大气再分析资料(Kalnay et al, 1996),涉及位势高度、经向风和纬向风、湿度等;(3)美国国家大气和海洋局提供的1982—2025年高精度最优插值全球海温逐月资料(Reynolds et al, 2007)。

本文部分图形、环流和海温指数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(CIPAS 3.1)”,采用的分析方法主要有线性相关、合成分析等,显著性水平检验方法为 Student's *t* 检验(黄嘉佑,2000)。文中秋季指北半球秋季(9—11月),所用气候值为 1991—2020 年平均值。

2 2025 年秋季中国气候特征

2.1 气温

2025 年秋季,中国平均气温为 11.1℃,较常年同期偏高 0.8℃(图 1)。从空间分布来看,除新疆北部等地气温略偏低外,中国大部地区气温较常年同期偏高,其中东北地区大部、内蒙古中东部部分地区、华东中部和南部、华中南部、西南地区西部和西藏东部等地气温偏高 1~2℃,局部偏高 2~4℃(图 2)。

秋季各月气温均较常年偏高,但存在一定的季节内阶段性变化,整体来看,北方地区气温呈现“暖—冷—暖”的季内变化,南方地区“前暖后冷”。9月,中国平均气温为 18.1℃,较常年同期偏高 1.2℃,为 1961 年以来历史同期第四高。与常年同期相比,除新疆北部、河南和湖北北部等地气温略偏低外,全国其余大部地区偏高,其中东北地区大部、江南大部等地偏高 2~4℃,局部偏高 4~6℃(图 3a)。10月,全国平均气温为 11.0℃,较常年同期偏高 0.4℃。中国整体呈现“北冷南暖”的空间格局,东北地区、内蒙古大部、华北东部、华东北部、华中中部和北部、新疆北部等地气温较常年同期偏低,其中黑龙江、吉林西部、辽宁西南部、内蒙古东部、河北南部、天津南部、山东西部、河南中部、湖北北部、新疆北部等地偏低 1~2℃,局地偏低 2~4℃;长江

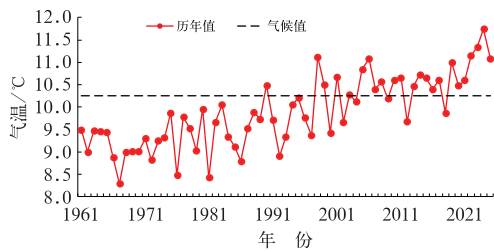


图 1 1961—2025 年秋季中国平均气温历年变化
Fig. 1 Time series of autumn (September—November) average temperature over China during 1961—2025

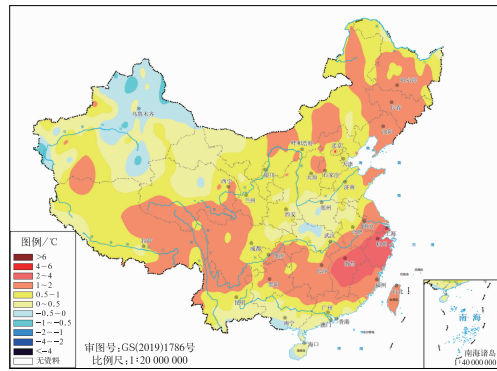


图 2 2025 年秋季中国平均气温距平分布
Fig. 2 Distribution of average temperature anomaly over China in autumn 2025

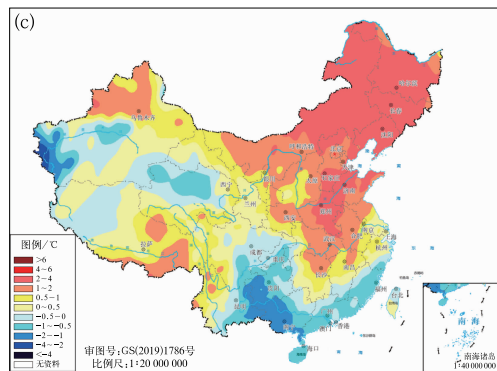
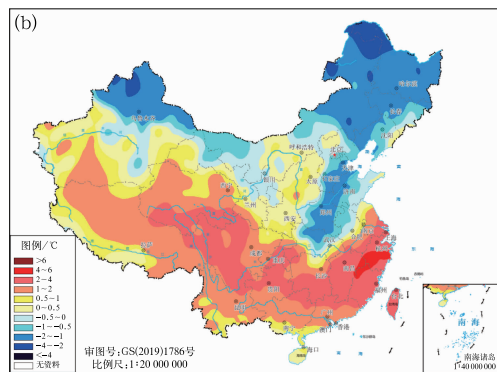
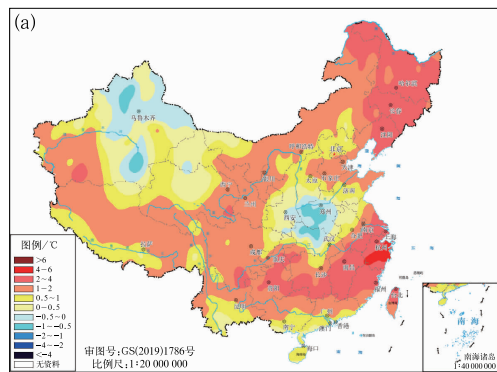
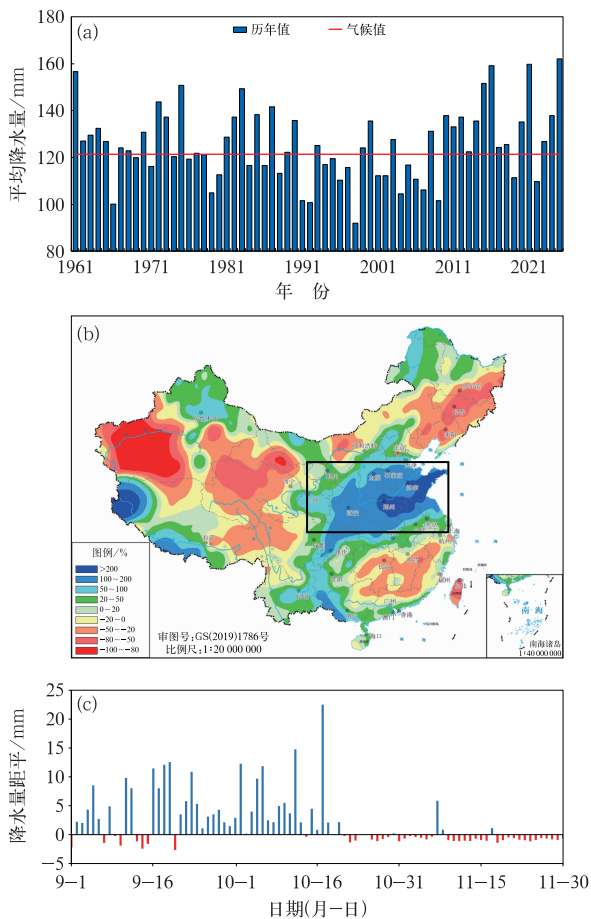


图 3 2025 年(a)9月,(b)10月,(c)11月全国平均气温距平分布
Fig. 3 Distribution of average temperature anomaly over China in (a) September, (b) October, (c) November 2025

以南大部分地区及青藏高原大部地区气温偏高(图3b)。11月,全国平均气温为4.2℃,较常年同期偏高0.9℃。中国东部地区“北暖南冷”,除华东南部、华南气温偏低外,其余大部地区气温偏高1℃以上。在中国西部地区,西南地区东部、西北地区西部和新疆南部等地气温偏低,其余大部地区气温偏高1℃以内(图3c)。

2.2 降水

2025年秋季,中国平均降水量为162.1 mm,较常年同期偏多33.7%,为1961年以来历史同期最多(图4a)。全国降水空间分布不均,中东部地区自



注:图b中黑色框为秋涝区范围
(31°~38°N, 105°~123°E), 下同。

图4 (a)1961—2025年秋季全国平均降水量历年变化及(b,c)2025年秋季(b)中国降水量距平百分率空间分布和(c)秋涝区平均降水量距平逐日演变

Fig. 4 (a) Time series of autumn average precipitation over China during 1961—2025, and (b) distribution of precipitation anomaly percentage over China and (c) the daily variation of average precipitation anomaly in flood area in autumn 2025

北向南呈“多-少-多-少-多”的降水异常分布,东北地区北部、内蒙古东部、华北大部、华东中部和北部、华中中部和北部、华南南部等地降水量偏多,其中河北南部、山西南部、山东、江苏北部、安徽北部、河南、湖北北部等地降水量偏多1倍以上,局地偏多2倍以上;东北地区中部和南部、华东南部、华中南部、华南北部等地降水量偏少。在中国西部地区,西南地区东部和南部、西北地区东部、西藏西部和南部、新疆北部等地降水量偏多,其余地区降水量偏少(图4b)。从图4b可看出,以黄淮为中心,长江以北秋季出现了大范围降水量异常偏多(称为北方秋涝)。本文计算了北方秋涝发生的主要区域(31°~38°N、105°~123°E;图4b中黑色方框所示,以下简称秋涝区)的区域平均逐日降水量距平(图4c),由图4c可看出,北方秋涝的发生具有明显的阶段性特征,在9月至10月上中旬(称为秋季前期)降水量持续性偏多,而从10月下旬至11月(称为秋季后期),降水发生明显转折,转为持续性偏少。

秋季前期,中国平均降水量为134.9 mm,较常年同期偏多48.1%,为1961年以来历史同期最多;从空间分布来看(图5a),与整个秋季(图4b)极为相似,其中秋涝区降水量距平百分率为175.1%,位列1961年以来历史第一(图5c)。秋季后期,中国平均降水量为27.2 mm,较常年同期偏少10.3%;中国中东部地区降水异常的空间分布特征发生明显调整,秋涝区降水量由前期的极端偏多转为明显偏少(图5b,图4c)。

华西秋雨是中国西部地区秋季典型的连阴雨现象,是中国雨季的重要组成部分。根据气象行业标准对华西秋雨监测的定义(中国气象局,2019),2025年华西秋雨监测区平均降水量为387.1 mm,较常年偏多95%,为1961年以来历史最多。从分区情况看,北区秋雨量较常年偏多221.1%,南区秋雨量较常年偏多99.2%,均为1961年以来历史最多;且南、北区雨季均呈现开始偏早、结束偏晚、雨期偏长的特征(表1)。

3 2025年北方秋涝成因分析

由上述分析可知,2025年中国秋季降水在季内呈现明显的时空不均匀性,秋季前期长江以北较大范围内降水的持续性、极端性偏多特征尤为突出,发生了严重的北方秋涝。以下将从大气环流变化及海

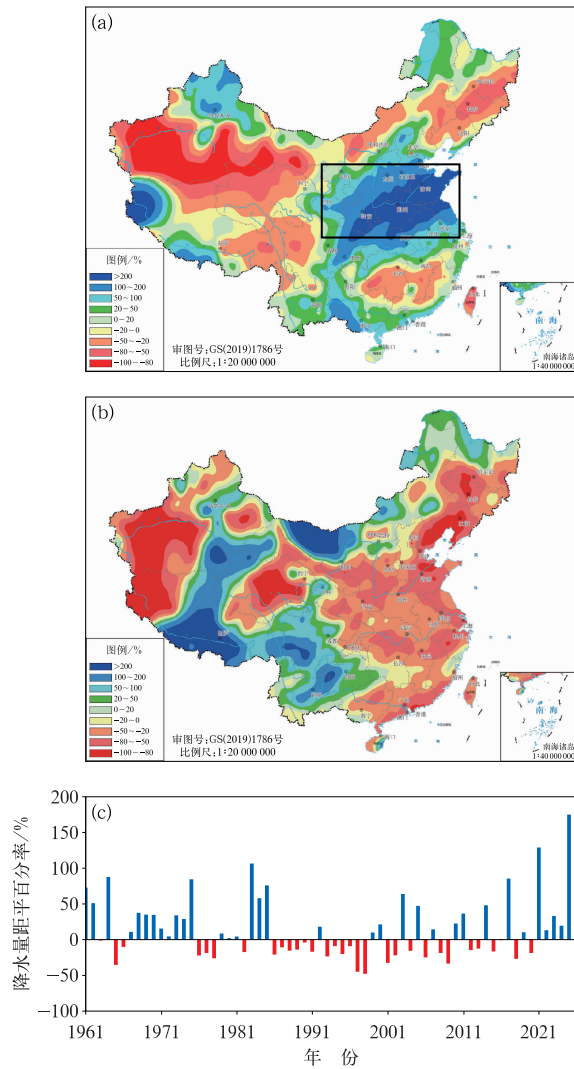


图 5 2025 年秋季(a)前期、(b)后期中国平均降水量距平百分率分布及(c)1961—2025 年中国秋涝区秋季前期降水量距平百分率历年变化

Fig. 5 (a, b) Distribution of precipitation anomaly percentage over China in (a) early autumn and (b) late autumn 2025, and (c) time series of precipitation anomaly percentage in flood area in early autumn during 1961—2025

温外强迫影响的角度,对 2025 年中国秋季前期北方秋涝成因进行重点分析。

3.1 大气环流异常特征及影响分析

由 2025 年秋季前期的 500 hPa 位势高度距平场和 850 hPa 风场距平(图 6a)可以看出,东亚中纬度存在以朝鲜半岛南部为中心的西北太平洋高压脊异常;黄海、东海北部洋面上空至华东、华中上空低层风场呈现强的反气旋环流异常,促使来自副热带西太平洋的暖湿水汽向北输送加强(图 6b);贝加尔湖至巴尔喀什湖之间是明显的低槽区,有利于冷空气南下影响我国。受上述环流异常形势的影响,黄淮、江淮、华北地区、西北地区东部等地存在大范围的水汽通量辐合区(图 6b),其是形成严重北方秋涝的直接原因。

副高脊线位置指数的逐日变化和秋季前期的历年变化(图 7a,7b)显示,副高脊线位置在 2025 年秋季前期持续异常偏北,平均位置为 27.8°N ,位列 1961 年以来历史同期第三。由秋季前期副高脊线位置指数与同期降水量距平的相关系数分布(图 7c)可看出,副高脊线位置与降水量在华北南部、黄淮、江淮东部和西北地区中东部等地存在显著的正相关关系,而在江南地区存在显著负相关关系,其与 2025 年秋季前期我国中东部地区的降水实况(图 5a)有很大的相似性,由此可见,当副高异常偏北时,有利于北方地区降水量的大范围偏多,这是造成 2025 年中国北方秋涝的重要环流成因。

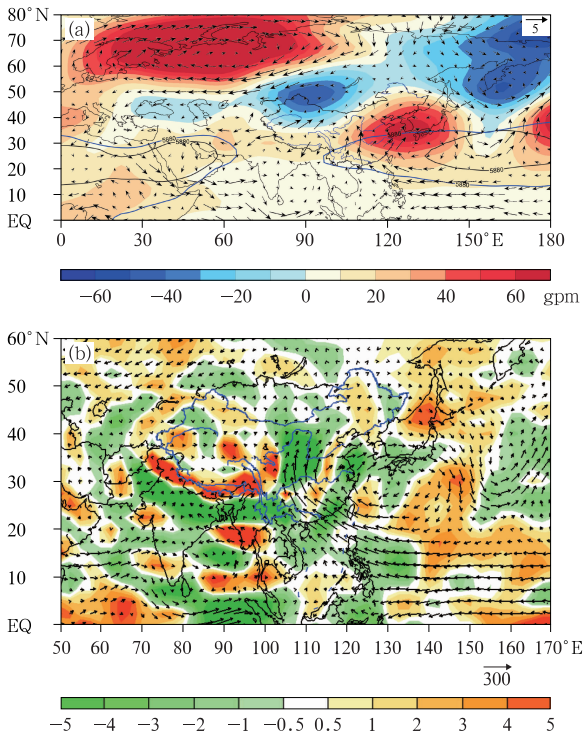
2025 年北方秋涝不仅具有空间范围广的特点,在降水量级上也呈现出明显的极端性特征。秋季前期的副高除极端偏北外,还表现出明显的阶段性经向稳定特征,南北摆动幅度极小(图 7a)。为进一步探究降水的极端性异常与环流的可能联系,本文计算了秋季前期副高逐日脊线位置的方差并定义为副高脊线位置方差指数,同时将秋涝区区域平均降水量进行标准化处理,被称为标准化秋涝区降水量指数。图 8a 给出了 1981—2025 年上述两个指数的散点分布,二者的相关系数为 -0.28 (通过 0.10 显著性水平检验)。2025 年秋涝区降水极端性最强,达

表 1 2025 年华西秋雨指数特征

Table 1 Characteristics of autumn rainfall indices in West China in 2025

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26日(10月11日)	62(29)	405.9(126.4)
南区	9月8日(9月9日)	11月11日(11月2日)	64(54)	377.4(189.5)
总体	8月25日(9月2日)	11月11日(11月3日)	78(62)	387.1(198.5)

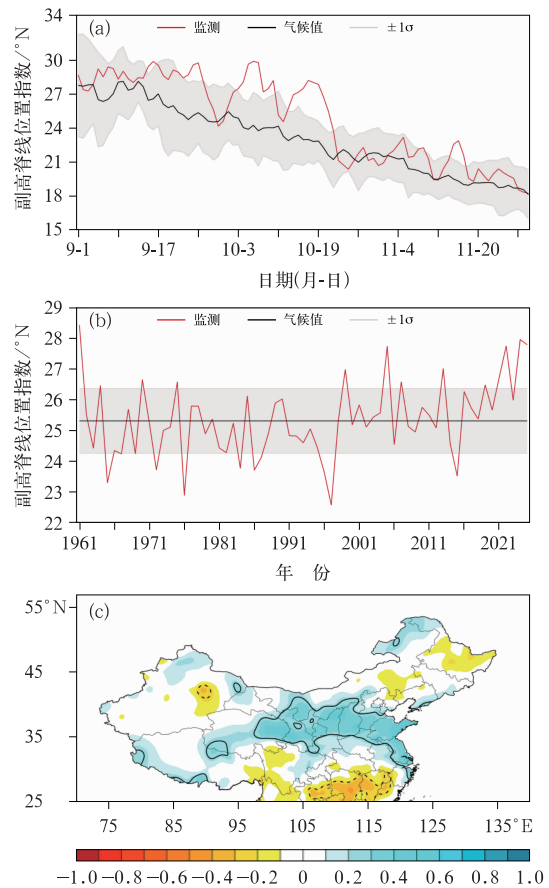
注:括号内为气候态。



注:图 a 中蓝色、黑色等值线分别为 2025 年和气候态 5880 gpm 线。

图 6 2025 年秋季前期(a)500 hPa 位势高度距平场(填色)和 850 hPa 风场距平(风矢,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), (b)1000~300 hPa 对流层整层积分水汽输送距平场(箭矢,单位: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)及水汽输送辐合辐散距平场(填色,单位: $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
Fig. 6 (a) The 500 hPa geopotential height anomaly (colored) and 850 hPa wind anomaly (vector, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), and (b) vertically integrated (1000—300 hPa) water vapor flux anomaly (vector, unit: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) and moisture divergence anomaly (colored, unit: $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) in early autumn 2025

到+3.5 倍标准差,与此同时,副高脊线位置方差指数达到 1981 年以来历史同期最小值,从极端性的角度来看是非常匹配的。图 8b 给出了秋季前期副高脊线位置方差指数与同期降水量距平相关系数的空间分布,在华东中部和北部、华中中部和北部至西北地区东部一带呈现显著负相关,表明副高脊线位置变率越小、经向上越稳定少动,越有利于上述地区降水量偏多。由图 8b 可知,副高脊线位置方差指数与同期降水量距平相关系数显著负相关区域与 2025 年秋季涝区重合度较高,进一步证实了 2025 年秋季前期副高在经向上的极端稳定少动是造成我国出现严



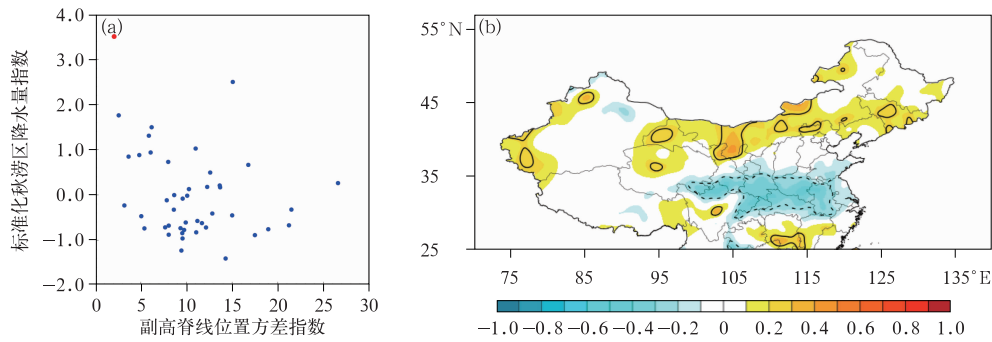
注:图 c 中等值线代表通过 0.10 显著性水平检验。

图 7 (a)2025 年秋季逐日和(b)1961—2025 年秋季前期逐年的副高脊线位置指数演变及 (c)1981—2025 年秋季前期副高脊线位置指数与同期降水量距平相关系数空间分布
Fig. 7 (a) Daily evolution of the western Pacific subtropical high (WPSH) ridge position index in autumn 2025, (b) time series of WPSH ridge position index in early autumn during 1961—2025, and (c) distribution of the correlation coefficient between the WPSH ridge position index and the precipitation anomaly in early autumn during 1981—2025

重北方秋涝的关键环流特征。

3.2 海温异常及演变对北方秋涝的可能影响

已有研究表明,中国秋季气候异常受到来自海温状况的调控作用,其中热带太平洋与印度洋的海温异常是重要的驱动因素(Ying et al, 2017; 梁苏洁等, 2019; 张玲等, 2021)。作为在热带气候系统中季节到年际变化的主导模态,厄尔尼诺-南方涛动(简称 ENSO)能够通过海气相互作用和大气遥相关等



注:图 a 中红点代表 2025 年,图 b 中等值线代表通过 0.10 显著性水平检验。

图 8 1981—2025 年秋季前期(a)副高脊线位置方差指数和标准化秋涝区降水量指数散点图,(b)副高脊线位置方差指数与同期降水量距平相关系数空间分布

Fig. 8 (a) Scatter plot of the WPSH ridge position variance index and the standardized precipitation index for flood area in early autumn, and (b) distribution of the correlation coefficient between the WPSH ridge position variance index and the precipitation anomaly in early autumn during 1981–2025

途径,显著影响中国秋季降水季节和季节内变率(Zhang et al, 2016; Yuan and Wang, 2019; 任宏利等, 2020)。国家气候中心的监测表明,赤道中东太平洋海温在 2025 年夏季维持中性偏冷状态,进入秋季后冷水明显加强发展,10 月 Niño3.4 指数达到 -0.5°C ,赤道中东太平洋进入拉尼娜状态。图 9a 为 2025 年 9—10 月海温距平场分布,热带太平洋呈现西部较常年偏暖而中东部偏冷的空间特征,冷水异常中心偏低超过 -0.5°C ,平均 Niño3.4 指数为 -0.46°C (图 9b)。除 ENSO 的异常演变外,热带印度洋偶极子(TIOD)事件通常在秋季达到强度峰值,其冷暖海温的空间配置对中国秋季降水同样具有显著的调制作用(刘宣飞和袁慧珍, 2006; 刘扬和刘屹岷, 2016; Zhang et al, 2022)。9—10 月, TIOD 呈现显著负位相特征, TIOD 指数为 -0.94°C , 位列 1982 年以来的历史同期第二低值(图 9b), 热带印度洋海温呈“西冷东暖”的空间型分布(图 9a)。

为研究赤道中东太平洋的冷水发展和 TIOD 的强负位相异常对大气环流和中国中东部降水异常的影响,本文选取 9—10 月 ENSO 由中性偏冷向拉尼娜状态发展的年份(1996 年、2001 年、2005 年、2008 年、2013 年、2017 年、2021 年和 2024 年)和 TIOD 处于较强负位相的年份(指数值低于 -0.5°C ; 1989 年、1990 年、1992 年、1996 年、1998 年、2005 年、2010 年、2016 年、2021 年和 2022 年),分别对环流和降水进行合成分析(图 10)。结果表明,在赤道中东太平洋拉尼娜发展背景下(图 10a),海洋性大陆

以东的反气旋环流异常显著加强,同时位于东亚东部中纬度的高压异常增强发展,伴随对流层低层显著的反气旋式风场异常,从而在东亚沿岸形成反气旋环流系统的接力式联结,有利于副高控制范围异常偏北,并加强热带西太平洋向长江以北地区的暖湿水汽输送。在中高纬度,由欧洲北部的高压脊到贝加尔湖附近的低槽,再到东亚东部中纬度的高压脊,在欧亚大陆形成了“正—负—正”型高度场异常

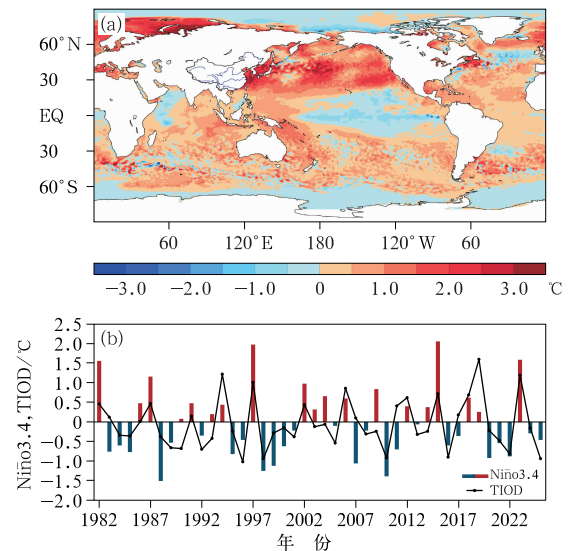
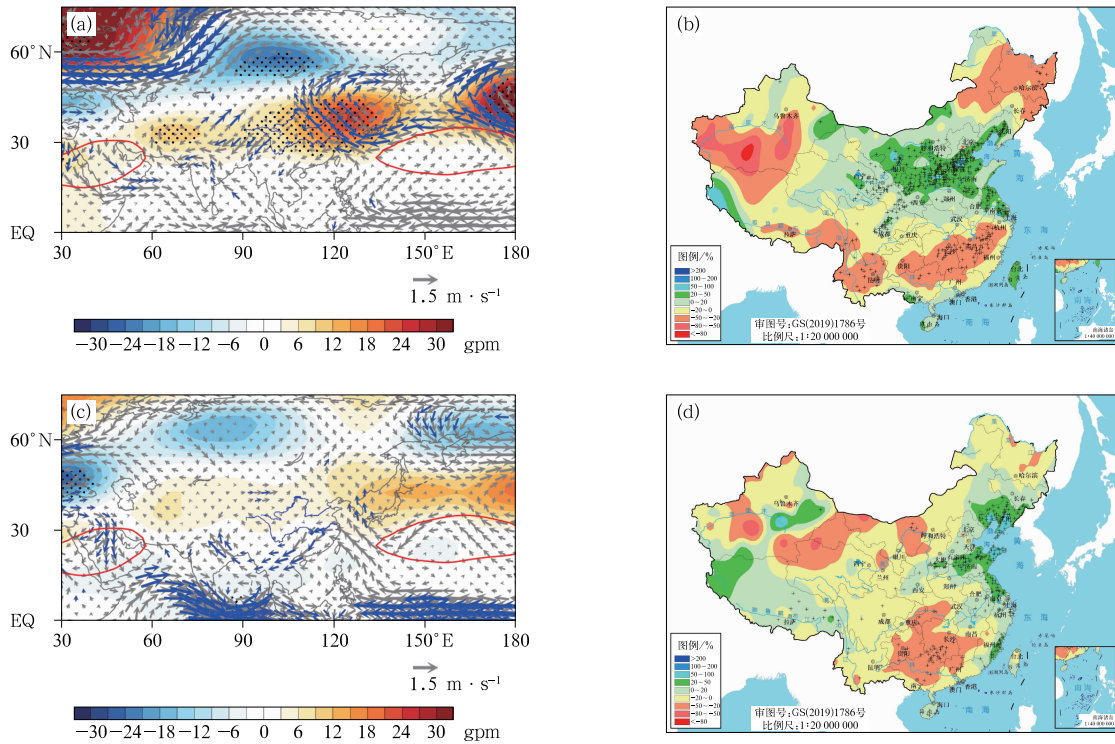


图 9 (a) 2025 年 9—10 月全球海温距平场和(b)1982—2025 年 9—10 月 Niño3.4 指数、TIOD 指数历年变化
Fig. 9 (a) Distribution of sea surface temperature (SST) anomalies in September–October 2025, (b) time series of the Niño3.4 index and TIOD index in September–October during 1982–2025



注:图 a、图 c 中打点区域和蓝色箭头及图 b、图 d 中带有“+”区域均表示通过 0.10 显著性水平检验,红色等值线为气候态 5880 gpm 线。

图 10 (a,b) ENSO 状态由中性偏冷向拉尼娜发展年份和(c,d) TIOD 处于较强负位相年份的秋季前期(a,c) 850 hPa 水平风场距平(风矢)、500 hPa 位势高度距平(填色)和(b,d)降水量距平百分率的合成结果

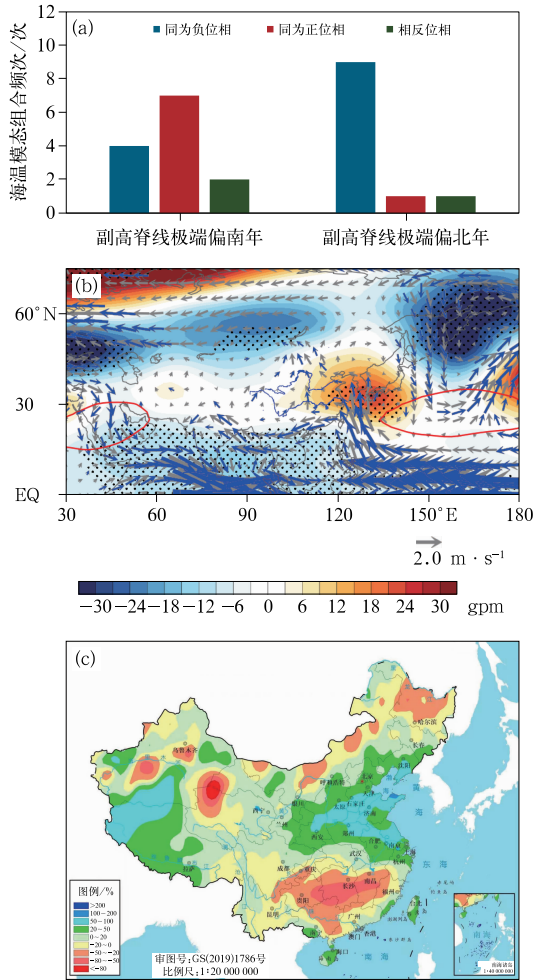
Fig. 10 Composite results of (a, c) 850 hPa wind anomaly (vector) and 500 hPa geopotential height anomaly (colored) and (b, d) precipitation anomaly percentage in early autumn with (a, b) ENSO shifting from neutral-to-cooler to La Niña and (c, d) TIOD in strong negative phase

分布的大气遥相关波列,与 2025 年秋季前期的环流实况较为一致(图 6a),这可能与 Xie et al(2016)提出的 ENSO 的位相变化能够通过激发沿大圆路径向西传播的遥相关波列,实现对东亚中纬度环流调制的作用机制密切相关。在这种环流配置下,中国北方地区形成自华东中北部至西北地区中东部呈纬向分布的大范围显著多雨带(图 10b)。

在 TIOD 处于较强负位相的背景下(图 10c),海洋性大陆以东和日本海附近同样存在反气旋异常显著加强,反气旋外围的偏南气流较图 10a 更为偏东,对增强东亚沿岸一带的水汽输送起到关键作用,进而有利于黄淮、江淮东部等地降水量显著偏多(图 10d)。

由前文分析可见,赤道中东太平洋冷水发展和强负位相 TIOD 影响下的环流和降水异常均与 2025 年秋季环流和降水实况较为相符,这表明热带

印度洋和太平洋海温异常是 2025 年秋季中国北方秋涝的重要外强迫信号。另外,有研究指出与热带印度洋和太平洋海温距平分布相匹配的 Walker 环流呈现明显的印度洋—太平洋齿轮式耦合特征,即海洋性大陆上空为上升支,赤道印度洋、太平洋上空分别形成逆时针、顺时针环流,这种印度洋季风环流与太平洋 Walker 环流的耦合能够提升环流稳定性及影响强度,热带区域上升运动显著且范围宽广,同时在经向上与局地 Hadley 环流耦合,其位于 30°N 附近的下沉支有利于副高偏强并维持稳定(吴国雄和孟文,1998;洪洁莉等,2023)。为进一步探究不同区域海温异常对环流及降水的协同影响,对秋季前期副高脊线极端偏南年(脊线位置指数小于-0.5 倍标准差)和极端偏北年(脊线位置指数大于+0.5 倍标准差)两类情景下 ENSO 和 TIOD 的海温异常组合模态进行分类统计(图 11a),结果表明两类情



注:图 b 中打点区域和蓝色箭头表示通过 0.10 显著性水平检验,红色等值线为气候态 5880 gpm 线。

图 11 副高脊线极端偏南、偏北年(a)ENSO 和 TIOD 位相组合的发生频次,(b,c)秋季前期(b)850 hPa 水平风场距平(风矢)、500 hPa 位势高度距平(填色)和(c)降水量距平百分率在 ENSO 和 TIOD 同为正(负)位相的典型年份合成差值分布

Fig. 11 (a) Occurrence frequency of ENSO and TIOD phase combinations in the years with extremely southward and northward position of the WPSH ridge, (b) 850 hPa wind anomaly (vector) and 500 hPa geopotential height anomaly (colored) and (c) composite differences of precipitation anomaly percentage with both positive (negative) phases between ENSO and TIOD during early autumn in the typical years

景下海温异常配置具有明显的差异:在副高极端偏南年份,ENSO 和 TIOD 同为正位相的出现概率最高,占比达到 54%;在副高极端偏北年份,海温异常配置的优势模态更加突出,绝大部分年份都呈现

ENSO 和 TIOD 同为负位相的海温异常配置模态,发生概率超过 80%。进一步计算了同为负位相(1984 年、1985 年、1989 年、1992 年、1996 年、1998 年、2001 年、2010 年、2016 年、2021 年和 2022 年)与同为正位相(1982 年、1987 年、1994 年、1997 年、2002 年、2006 年、2012 年、2015 年、2018 年和 2023 年)两类典型海温背景年份的环流合成差值,结果表明,当同为负位相时,秋季前期的副高显著偏西、偏北、偏强,西北太平洋反气旋及其西侧的偏南风异常更为显著(图 11b),由此引起的北上水汽输送加强了北方降水异常偏多程度(图 11c)。因此,热带太平洋和印度洋海温异常的协同作用,是导致 2025 年秋季前期副高异常偏北,造成中国北方严重秋涝的关键海温外强迫信号。

4 结论与讨论

本文分析了 2025 年中国秋季气候特征,并从关键大气环流因子和热带海温异常外强迫影响的角度重点探讨秋季前期北方严重秋涝的可能成因,得到以下主要结论。

(1)2025 年秋季,中国平均气温为 11.1℃,较常年同期偏高 0.8℃;秋季各月气温均较常年偏高,但存在一定的季节内阶段性变化。全国平均降水量为 162.1 mm,较常年同期偏多 33.7%,为 1961 年以来历史同期最多,降水时空分布不均,秋季前期,以黄淮为中心的中国北方较大范围地区发生严重秋涝。华西秋雨表现出开始早、结束晚、雨期长、雨量历史最多的特征。

(2)大气环流系统异常是北方严重秋涝的直接成因。秋季前期副高脊线位置极端偏北,位列 1961 年以来历史第三,黄海附近上空呈现强的反气旋异常,贝加尔湖至巴尔喀什湖之间存在明显的低槽区,环流异常配置是造成 2025 年北方秋涝的直接原因。从极端性的角度进一步分析表明,与北方秋涝区降水呈显著负相关的副高脊线位置方差指数在 2025 年秋季前期为历史同期最小,表明副高在经向上极端稳定少动,这是造成 2025 年明显秋涝的另一关键环流特征。

(3)热带海温异常是导致 2025 年秋季前期环流异常进而造成北方秋涝的重要外强迫信号。北方降水显著偏多与赤道中东太平洋由中性偏冷向拉尼娜状态的发展以及 TIOD 极端负位相的同时发生有密

切关系,热带印度洋、太平洋海温异常信号的影响叠加,有利于副高极端偏北及西北太平洋反气旋异常的形成。

值得注意的是,本文重点从关键大气环流系统特征和热带印度洋、太平洋海温外强迫协同作用两方面分析了2025年中国北方秋涝的成因。但实际上影响我国秋季气候异常的因素非常复杂,副高的极端偏北和季节内的极端稳定形成的深层次机制及其可预报性来源尚需深入探讨。此外,2025年秋季中国高影响极端气候事件频发,例如江南地区早秋极端高温、黄淮至江淮一带秋季前期到后期的旱涝急转等,这些事件的成因和机理仍有待于进一步研究。

参考文献

- 车少静,李想,丁婷,等,2021. 秋行夏令:2021年10月初北方致灾性持续暴雨及水汽极端性分析[J]. 大气科学学报,44(6):825-834. Che S J, Li X, Ding T, et al, 2021. Typical summer rainstorm occurred in mid-autumn: analysis of a disastrous continuous rainstorm and its extreme water vapor transport in northern China in early October 2021[J]. Trans Atmos Sci, 44(6): 825-834(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).
- 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).
- 黄嘉佑,2000. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京:气象出版社. Huang J Y, 2000. Meteorological Statistical Analysis and Forecasting Methods[M]. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese).
- 李多,章大全,孙冷,2025. 2024年秋季中国气候异常及成因分析[J]. 气象,51(4):496-507. Li D, Zhang D Q, Sun L, 2025. Features and possible causes of the climatic anomaly in China in autumn 2024[J]. Meteor Mon, 51(4):496-507(in Chinese).
- 梁苏洁,丁一汇,段丽瑶,等,2019. 近46年北京津冀地区“夏雨秋下”现象及其成因初探[J]. 大气科学,43(3):655-675. Liang S J, Ding Y H, Duan L Y, et al, 2019. A study on the phenomenon of mid-summer precipitation delays until early autumn and associated reasons in Beijing-Tianjin-Hebei during 1970-2015[J]. Chin J Atmos Sci, 43(3):655-675(in Chinese).
- 刘宣飞,袁慧珍,2006. 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, 2006. Effects of ENSO on the relationship between IOD and autumn rainfall in China[J]. J Nanjing Inst Meteor, 29(6): 762-768(in Chinese).
- 刘扬,刘屹岷,2016. 我国西南地区秋季降水年际变化的空间差异及其成因[J]. 大气科学,40(6):1215-1226. Liu Y, Liu Y M, 2016. Spatial pattern and causes of interannual variability of autumn rainfall in Southwest China[J]. Chin J Atmos Sci, 40(6): 1215-1226(in Chinese).
- 罗红羽,于海鹏,胡泽勇,等,2023. 青藏高原热源对我国旱区气候异常影响研究进展[J]. 高原气象,42(2):257-271. Luo H Y, Yu H P, Hu Z Y, et al, 2023. Progress of the impact of the Qinghai-Xizang Plateau heat sources on climate anomalies in drylands of China[J]. Plateau Meteor, 42(2):257-271(in Chinese).
- 任宏利,郑飞,罗京佳,等,2020. 中国热带海-气相互作用与 ENSO 动力学及预测研究进展[J]. 气象学报,78(3):351-369. Ren H L, Zheng F, Luo J J, et al, 2020. A review of research on tropical air-sea interaction, ENSO dynamics, and ENSO prediction in China[J]. Acta Meteor Sin, 78(3):351-369(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).
- 任芝花,张志富,孙超,等,2015. 全国自动气象站实时观测资料三级质量控制系统研制[J]. 气象,41(10):1268-1277. Ren Z H, Zhang Z F, Sun C, et al, 2015. Development of three-step quality control system of real-time observation data from AWS in China[J]. Meteor Mon, 41(10):1268-1277(in Chinese).
- 孙照渤,黄艳艳,倪东鸿,2016. 我国秋季连阴雨的气候特征及大气环流特征[J]. 大气科学学报,39(4):480-489. Sun Z B, Huang Y Y, Ni D H, 2016. Climate and circulation characteristics of continuous autumn rain in China[J]. Trans Atmos Sci, 39(4): 480-489(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).
- 张玲,马茜雅,袁晓钰,等,2021. 热带印度洋-太平洋海温主模态对中国南部秋季降水异常的影响[J]. 大气科学学报,44(6):954-964. Zhang L, Ma X Y, Yuan X Y, et al, 2021. Modulations of different SST patterns in tropical Indo-Pacific on autumn precipitation anomaly in southern China[J]. Trans Atmos Sci, 44(6): 954-964(in Chinese).
- 赵佳玉,马振峰,范广洲,2016. 热带大气季节内振荡对华西秋雨的影响[J]. 高原气象,35(6):1487-1497. Zhao J Y, Ma Z F, Fan G Z, 2016. Impact of the Madden-Julian oscillation on autumn rainfall in West China[J]. Plateau Meteor, 35(6): 1487-1497 (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).
- 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).
- Gu W, Chen L J, Wang Y G, et al, 2022. Extreme precipitation over northern China in autumn 2021 and joint contributions of tropical and mid-latitude factors[J]. Adv Climate Change Res, 13(6): 835-842.
- 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 Am Meteor Soc, 77(3): 437-472.
- Liu Z C, Zhou W, 2021. The 2019 autumn hot drought over the middle-lower reaches of the Yangtze River in China: early propagation, process evolution, and concurrence[J]. J Geophys Res Atmos, 126(15): e2020JD033742.
- 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.
- Sun B, Wang H J, Li H X, et al, 2022. A long-lasting precipitation deficit in South China during autumn-winter 2020/2021: combined effect of ENSO and Arctic sea ice[J]. J Geophys Res Atmos, 127(6): e2021JD035584.
- Wu Y Y, Zhang J, Qu J H, et al, 2025. Intensified clustered extreme precipitation in the North China in the early autumn and the association with Arctic ice loss[J]. Climate Dyn, 63(7): 287.
- Xie S P, Kosaka Y, Du Y, et al, 2016. Indo-western Pacific Ocean capacitor and coherent climate anomalies in post-ENSO summer; a review[J]. Adv Atmos Sci, 33(4): 411-432.
- Ying K R, Zheng X G, Zhao T B, et al, 2017. Identifying the predictable and unpredictable patterns of spring-to-autumn precipitation over eastern China[J]. Climate Dyn, 48(9): 3183-3206.
- Yuan C X, Wang D, 2019. Inter-decadal variations in El Niño-Southern Oscillation impacts on the autumn precipitation in the eastern China[J]. Int J Climatol, 39(14): 5316-5326.
- Zeng J N, Li H X, Wang H J, et al, 2026. Influences of summer northeastern Arctic sea ice on September compound heatwave and drought events in the South China[J]. Geophys Res Lett, 53(3): e2025GL118053.
- Zhang Q, Wang Y, Singh V P, et al, 2016. Impacts of ENSO and ENSO Modoki+ regimes on seasonal precipitation variations and possible underlying causes in the Huai River Basin, China[J]. J Hydrol, 533: 308-319.
- Zhang Y, Zhou W, Wang X, et al, 2022. IOD, ENSO, and seasonal precipitation variation over Eastern China[J]. Atmos Res, 270: 106042.

(本文责编: 侯翠梅)