

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).

2024 年秋季中国气候异常及成因分析^{*}

李 多¹ 章大全^{1,2} 孙 冷¹

1 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

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 NCEP/NCAR 再分析数据集和中国 2400 个站的气候观测数据,对 2024 年秋季我国气候异常特征及其成因进行分析。2024 年秋季中国平均气温为 1961 年以来历史同期最高;平均降水量较常年同期略偏多,空间分布总体呈现“北多南少”型特征。西北太平洋生成和登陆我国的台风个数均较常年偏多,台风移动路径以西北行为主。秋季东亚中高纬位势高度距平场总体呈现“西低东高”的环流特征,西太平洋副热带高压总体较常年偏强,西伸脊点偏西,脊线位置 9 月异常偏北、10 月略偏北、11 月接近常年,导致我国气温显著偏高。西太平洋海面温度偏高,南海和菲律宾以东区域上空为低层正涡度区且垂直风切变偏小,菲律宾北部至日本海以南区域低层假相当位温显著偏高,上述热力及动力条件均有利于秋季台风生成偏多;8 月底至 9 月 MJO 东传,海洋性大陆至西太平洋地区对流活动加强有利于副热带高压脊线位置异常偏北,从而牵引台风移动路径偏北。此外,秋季赤道中东太平洋海温偏低,南海夏季风撤退的异常偏晚也有利于 2024 年秋季台风生成个数偏多、路径偏北。

关键词: 秋季气候异常,台风,中高纬度大气环流,西北太平洋副热带高压,MJO

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2025.021901

Features and Possible Causes of the Climatic Anomaly in China in Autumn 2024

LI Duo¹ ZHANG Daquan^{1,2} SUN Leng¹

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

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

Abstract: Based on the NCEP/NCAR reanalysis datasets and climate observation from 2400 stations of China, the characteristics of climatic anomaly over China in autumn 2024 and the possible causes are analyzed. The results denote that, in autumn 2024, the mean temperature in China peaked the record in the same period since 1961 and the average precipitation was slightly more than the climatic mean, with the spatial distribution generally characterized by “more in the north and less in the south”. In autumn, the typhoons generated in the Northwest Pacific and the landing typhoons in China were more than normal, and their paths were mainly in the northwest direction. The circulation in the mid-high latitudes in East Asia showed the feature of “low in the west and high in the east”. The West Pacific subtropical high (WPSH) was stronger and more westward than usual overall, and its ridge line swung frequently in the meridional direction, that is, the ridge line was abnormally further north than usual in September, slightly north

^{*} 国家重点研发计划(2024YFC3013100)、国家自然科学基金项目(42175047、41975091)、中国气象局创新发展专项(CXFZ2024J004)、上海市科技计划项目(23DZ1204704)、中国长江电力股份有限公司科研项目(2423020054)和贵州新气象科技有限责任公司“揭榜挂帅”项目(2024-N69)共同资助

2025 年 1 月 9 日收稿; 2025 年 2 月 19 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: 章大全, 主要从事短期气候预测研究. E-mail: zhangdq@cma.gov.cn

than usual in October and close to normal position in November, which led to the abnormal warming in China. The SST in the West Pacific was higher than normal. The South China Sea and its eastern area were the positive vorticity area with small vertical wind shear, and the significantly higher pseudo-equivalent temperature in the lower level from the northern Philippines to the south of the Sea of Japan, were conducive to the formation of abnormally more typhoons in autumn. The strengthening of convection activity from the maritime mainland to the West Pacific brought by MJO eastward spread from the end of August to September was beneficial to the abnormal northward position of the subtropical high, which made the typhoon track by north in autumn. In addition, the abnormally lower SST in the equatorial Middle East Pacific and the unusually late retreat of the summer monsoon in the South China Sea all contributed to the frequent occurrence and northward track of typhoons in autumn 2024.

Key words: abnormal autumn climate, typhoon, mid-high latitude atmospheric circulation, West North Pacific subtropical high, MJO

引 言

中国地处东亚季风区,具有鲜明的季风气候特征。秋季是夏季风向冬季风转换的过渡时期。在这一阶段,伴随着东亚夏季风系统的减弱南撤、季风槽南移、西北太平洋副热带高压(以下简称西太副高)季节性的向东/向南移动,来自中高纬度地区的冷空气势力也逐渐开始活跃。受季节转换期环流变化等因素影响,我国秋季气温降水的季节内变率增大,易出现区域性气候异常,从而导致气象灾害的发生发展,例如长江中下游高温、西南地区秋旱及华西秋雨异常等(郑然等,2018;李俊等,2020;马思源等,2023)。因此,加强对大气环流和外强迫因子对秋季气候异常影响机制的诊断分析,不仅有助于认识和理解秋季气候异常现象的发生规律和异常成因,同时也为应对气象灾害、保障生产经济提供重要的指导依据(贾小龙等,2008;肖科丽等,2015;竺夏英和宋文玲,2017;柳龙生和高拴柱,2018;支蓉等,2018;赵俊虎和王永光,2019;杨明珠和陈丽娟,2021;李多和顾薇,2022;洪洁莉等,2023;赵玉衡等,2024)。

《第四次气候变化国家评估报告》(巢清尘等,2023)指出,近六十年来我国增温幅度超过全球水平,年降水量总体呈微弱增加趋势,其中秋季气温增温趋势明显(韩通等,2009;程书波等,2023),华北、西北等北方地区秋季降水有增加趋势(刘抗等,2014;马潇祎和范可,2023;纪贺等,2024)。前人的研究表明,秋季气候异常往往是由多重因子联合作用的结果,既受到外强迫因子如热带海温、西太平洋暖池热含量、青藏高原热力作用等的影响(顾薇等,

2012;韩晋平等,2013;Gu et al,2015;郑然等,2018),也受到中高纬度大气环流等大气内部的调制影响(周游等,2016;Wang and Zhou,2019)。2024年秋季(9—11月),全国平均气温较常年同期偏高 1.5°C ,为1961年以来历史同期最高,其中9月全国平均高温日数创历史同期新高,川渝及长江中游等地初秋遭受高温干旱;降水总体偏多,呈“北多南少”分布;台风活动频繁,登陆强度大、影响重。本文将从上述2024年秋季主要气候异常特征出发,重点讨论和分析相关大气环流特点及可能的海温外强迫因子,探讨造成2024年中国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 资料和方法

本文使用了1961—2024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,本文还使用了1961—2024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 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 水平分辨率的位势高度场、矢量风场、湿度场等要素的逐日/逐月再分析资料(Kalnay et al,1996)、美国国家海洋大气局(NOAA)提供的1982—2024年逐月海温资料(Reynolds et al,2007)。西太平洋副热带高压指数(刘芸芸等,2012)及Niño3.4区指数(Ren et al,2018)均来自于国家气候中心。文中部分图形出自国家气候中心开发的新一代“气候监测预测分析系统(CIPAS3.1)”及“气象灾害影响评估系统”。如无特别说明,文中的气候常年值为1991—2020年的平均值。

2 2024 年秋季中国主要气候特征

2.1 气 温

2024 年秋季(9—11 月),中国平均气温为 11.8℃,较常年同期(10.3℃)偏高 1.5℃(图 1a),为 1961 年以来历史同期最高(次高值为 2023 年秋季 11.3℃)(图 1a)。从气温距平的空间分布看,全国大部地区气温较常年偏高 1~2℃,其中华中中部、华东中部、西南地区东北部、西北地区南部等地偏高

2~4℃。辽蒙津晋陕甘青豫苏皖浙沪鄂川渝贵 16 个省(自治区、直辖市)平均气温均为 1961 年以来历史同期最高,宁夏鲁闽赣湘粤云藏 9 个省(自治区)为次高(图 2a)。重庆开州(43.1℃,9 月 4 日)、江津(42.9℃,9 月 4 日)等 375 个国家气象站日最高气温突破或持平于当地秋季历史极值。但在秋季平均气温显著偏高的气候背景下,全国仍出现了 10 次冷空气过程(与常年同期持平),其中 10 月有 5 次,较常年同期偏多 1.4 次;11 月出现 3 次寒潮天气过程,较常年同期偏多 1 次。9 月 29 日至 10 月 3 日的寒潮过程为历史同期(10 月上旬)第二强,中东部

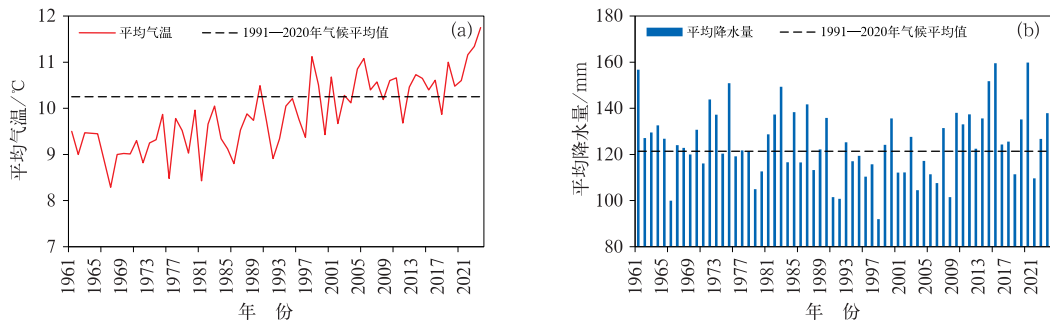


图 1 1961—2024 年秋季中国(a)平均气温及(b)平均降水量历年变化

Fig. 1 Time series of autumn (September, October, November)

(a) mean temperature and (b) mean precipitation over China during 1961–2024

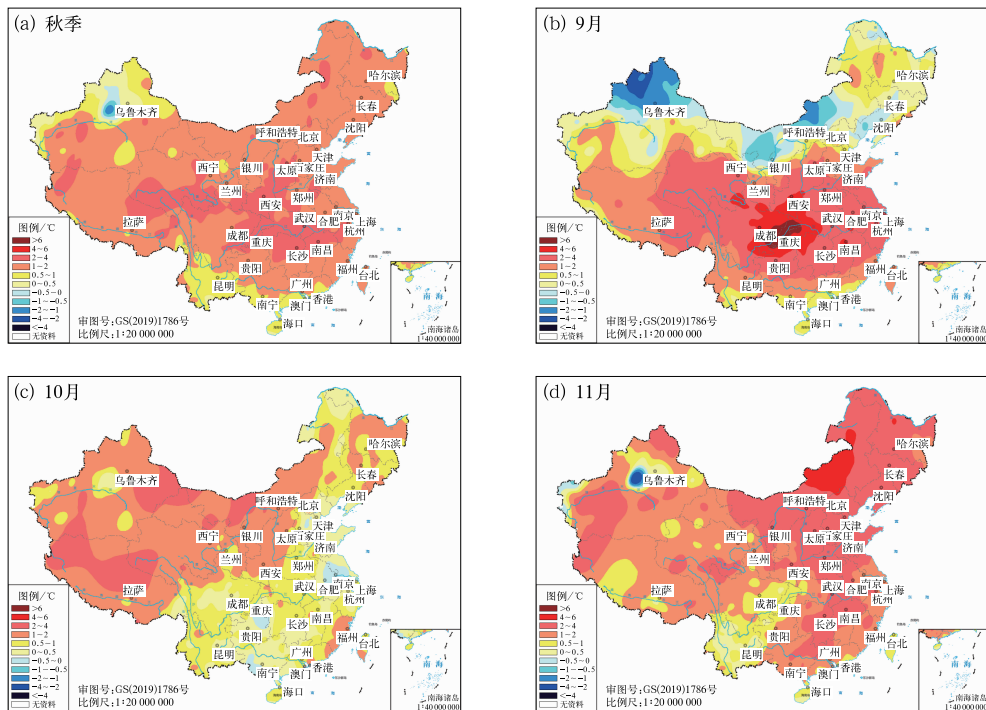


图 2 2024 年秋季中国平均气温距平分布

Fig. 2 Distribution of mean temperature anomaly over China in autumn 2024

地区过程最大降温普遍有 $8\sim 14^{\circ}\text{C}$,部分地区超过 14°C ,内蒙古和甘肃部分地区出现低温冷冻灾害和雪灾。11月23—27日,我国北方出现大范围强降温,过程最大降温幅度普遍有 $8\sim 12^{\circ}\text{C}$,东北和内蒙古东部的部分地区超过 14°C ;中东部地区伴随大范围雨雪天气,其中内蒙古东北部、黑龙江中北部等地出现大暴雪或特大暴雪。黑吉辽蒙冀陕甘川渝等地共76个站出现极端日降温事件,黑龙江双城(17.5°C ,10月15日)、重庆綦江(14.3°C ,9月30日)等12个国家气象站日降温幅度突破历史极值。

9月,全国平均气温为 18.5°C ,较常年同期(16.9°C)偏高 1.6°C ,为1961年以来历史同期最高。全国大部地区气温较常年偏高(图2b),其中南方地区出现持续高温天气,华南北部、江南大部及川渝地区高温影响较重,108个国家气象站日最高气温达到极端事件监测标准,其中湖北远安(42.6°C)等5个站达到或突破历史极值。10月,全国平均气温为 11.6°C ,较常年同期(10.6°C)偏高 1.0°C 。全国大部地区气温接近到偏高常年同期(图2c),海南、广东、西藏共有17个国家气象站日最高气温突破10月历史极值。11月,全国平均气温为 6.6°C ,较常年同期(4.9°C)偏高 1.7°C ,为1961年以来历

史同期最高。全国大部地区气温接近常年同期到偏高(图2d),其中华北、东北、内蒙古大部、华东北部和华西部、华中中南部等地偏高 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$,吉辽青藏云桂等地共有74个国家气象站日最高气温突破11月历史极值。

2.2 降水

2024年秋季,中国平均降水量为 137.9 mm ,较常年同期(121.4 mm)偏多 13.6% (图1b)。降水量距平百分率的空间分布总体呈现“北多南少”的分布特征:内蒙古大部、东北中南部、华东部、西北地区大部、新疆中北部及西藏西南部等地偏多5成至2倍,局地偏多2倍以上,其中内蒙古、青海降水量为历史同期最多;华中大部、华东西南部、华南中部、新疆西部和南部、西藏中东部等地降水偏少2~5成,局地偏少5成以上(图3a)。全国共有91个国家气象站日降水量突破当地秋季历史极值。秋季共发生9次暴雨过程,较常年同期偏多1.9次,其中5次暴雨过程由台风活动引起。

9月,全国平均降水量为 78.7 mm ,较常年同期(65.3 mm)偏多 20.5% 。西北地区大部、华北地区北部及内蒙古大部等地的降水量较常年偏多5成至

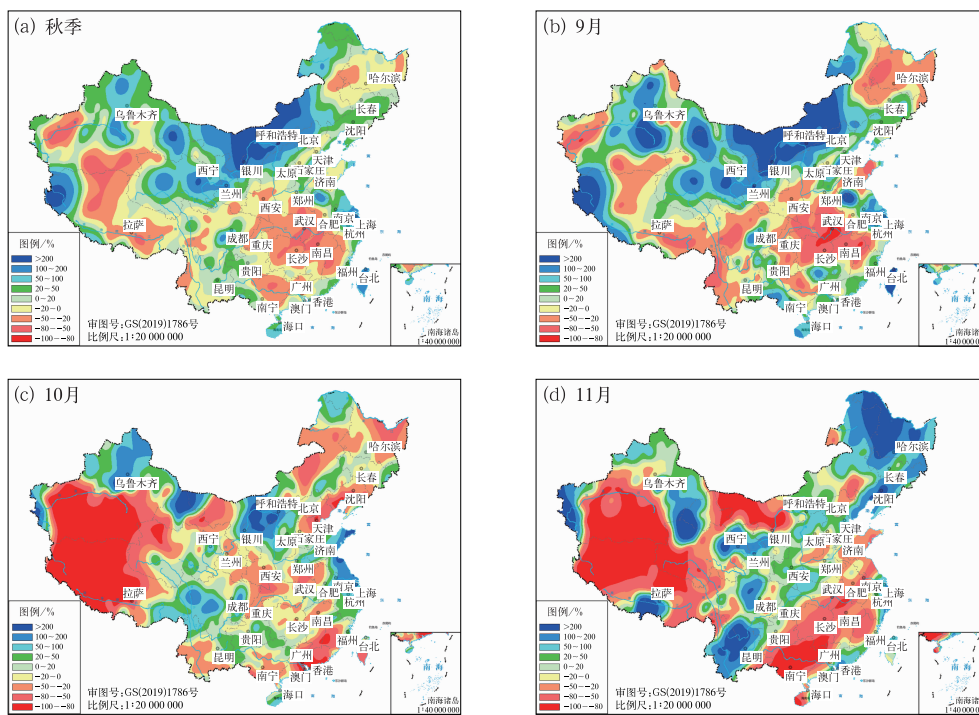


图3 2024年秋季中国降水量距平百分率分布

Fig. 3 Distribution of mean precipitation anomaly percentage over China in autumn 2024

1 倍,部分地区偏多 2 倍以上;东北北部、长江流域、西南地区西部等地降水偏少(图 3b)。10 月,全国平均降水量为 39.0 mm,较常年同期(35.6 mm)偏多 9.55%。内蒙古中部、华东中部和北部、华南中北部、西南地区西北部和东南部、新疆北部、西藏东部等地降水较常年偏多 2~5 成,部分地区偏多 1 倍以上;华北东部、东北北部和南部、内蒙古东部、华东南部、西藏中西部、新疆南部等地降水偏少(图 3c)。11 月,全国平均降水量为 34.1 mm,较常年同期(27.4 mm)偏多 24.5%。东北大部、华北北部和东部、西南地区中南部、西北地区中东部、西藏南部等地降水偏多 2 成至 2 倍,局地偏多 2 倍以上;内蒙古西部、华东大部、华中中南部、华南中西部、西藏中西部、新疆南部等地降水偏少(图 3d)。

根据气象行业标准对华西秋雨监测的定义(中

国气象局,2019),2024 年华西秋雨于 9 月 29 日开始,10 月 23 日结束,雨季长度为 24 d,总雨量为 108.6 mm(表 1)。与常年相比,开始时间偏晚 27 d,为 1961 年以来最晚开始时间,结束时间偏早 11 d;雨季长度偏短 38 d,为 1961 年以来历史第二短,仅次于 1970 年(16 d);雨量偏少 45%,为 1961 年以来历史第三少,仅次于 1998 年(78.6 mm)和 1970 年(107.3 mm)。其中北区(包括陕西南部大部、宁夏南部和甘肃南部)为空雨季(1961 年以来北区共出现过三年空雨季,其他两年分别为 1997 年和 2015 年);南区秋雨(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 29 日开始,10 月 23 日结束,雨季长度为 24 d,总雨量为 122.3 mm;与常年相比,开始时间偏晚 20 d,结束时间偏早 10 d,雨季长度偏短 30 d,雨量偏少 35%。

表 1 2024 年华西秋雨指数特征

Table 1 Indexes of autumn rainfall in West China in 2024

华西地区	开始时间	结束时间	持续时间/d	秋雨量/mm
北区	—	—	—	—
南区	9 月 29 日(9 月 9 日)	10 月 23 日(11 月 2 日)	24(54)	122.3(189.5)
全区	9 月 29 日(9 月 2 日)	10 月 23 日(11 月 3 日)	24(62)	108.6(198.5)

注:—为空雨季,括号内为其气候态。

2.3 台风活动及其影响

2024 年秋季,西北太平洋和南海共有 15 个台风生成,较常年同期(10.7 个)偏多 4.3 个;有 6 个登陆我国,较常年同期(2.3 个)偏多 3.7 个。

9 月,有 8 个台风编号,为 1949 年以来历史同期第三多,仅次于 1966 年和 1967 年(各 9 个),其中 3 个登陆我国,为 1949 年以来同期次多,仅次于 1952 年(4 个)。其中,2024 年第 11 号台风摩羯先后登陆海南和广东,是秋季登陆我国的最强台风,超强台风级强度维持 64 h,海南遭受狂风暴雨袭击,文昌市龙楼镇出现 17 级以上($66.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)阵风,海口市演丰镇过程降水量达 525.3 mm。此外,第 13 号台风贝碧嘉和第 14 号台风普拉桑先后在上海登陆,其中“贝碧嘉”为 1949 年以来登陆上海强度最大的台风,华东中部及华中东北部等地出现强风雨,浙江舟山局地风速达 15~17 级。

10 月,生成台风 3 个(1 个热带风暴、1 个台风、1 个超强台风),接近常年同期;2 个超强台风登陆我国(登陆强度分别为台风级和强台风级),登陆个数较常年同期(0.6 个)明显偏多,为 1949 年以来同期最多,登陆强度明显偏强。其中,第 18 号台风山陀

儿以台风级($38\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,13 级)登陆台湾高雄市,给我国沿海地区及台湾岛带来强风雨天气,台湾岛东部和南部出现暴雨到大暴雨,局地特大暴雨。此外,受第 20 号台风潭美和冷空气的共同影响,浙江、广东、海南岛等地沿海出现大风天气,浙江、台湾、海南部分地区出现强降雨。第 21 号台风康妮(超强台风级)于 31 日 14 时前后登陆台湾台东县,登陆时中心附近最大风力有 15 级($48\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。

11 月热带气旋再次进入活跃期,编号台风 4 个,为 1949 年以来同期第五多[最多为 1991 年和 2019 年(6 个),次多为 1964 年和 1983 年(5 个)];其中有 3 个超强台风,为 1955 年以来同期最多;11 月 10—12 日还首次出现了 4 个台风同时活动的罕见现象。第 25 号超强台风天兔为最后一个登陆我国的台风,其于 11 月 16 日登陆台湾高雄市(热带风暴级),较常年(10 月 3 日)偏晚 44 d,为 2005 年以来最晚的终台。

3 气候异常的可能成因

以上分析表明,2024 年秋季我国气候异常最明显的特征是气温异常偏高、台风异常活跃。下文将

根据2024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信号的影响分析成因。

3.1 秋季气温异常偏高成因分析

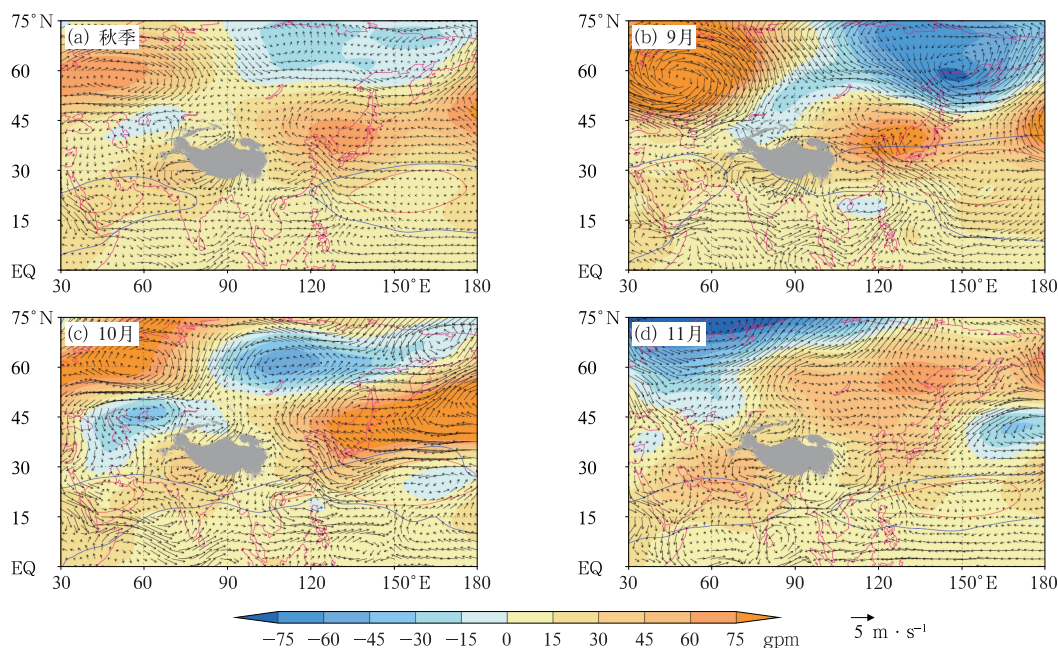
从2024年秋季平均的500 hPa位势高度场距平可以看出(图4a):东亚中高纬度总体呈现“西低东高”型环流特征,里海及其以东地区为弱的负位势高度距平控制,而东北亚地区为正位势高度距平中心,我国大部分地区上空为高度场正距平,整体环流状况不利于中高纬冷空气南下影响我国;西太副高面积偏大、强度偏强、位置偏西,这样的高低纬度环流配置有利于气温的显著偏高。此外,在全球变暖背景下,我国秋季平均气温呈现显著的增暖趋势(图1a),这种增温趋势再叠加2024年秋季大气环流条件,造成秋季我国大部地区的气温异常偏高。但气温仍显示出季内不同阶段的不同特征,这主要受到大气环流的月际变化影响。

9月,乌拉尔山附近地区受高压脊控制,巴尔喀什湖西北侧至贝加尔湖以北地区为低压槽区控制,东北亚至鄂霍次克海地区主要受位势高度场正距平控制(图4b),这样的环流配置有利于巴尔喀什湖附近的低槽活跃东移,带来的西路冷空气主要影响我

国西北部地区,从而造成9月新疆北部、内蒙古中西部的气温相对偏低。同期,西太副高偏强、偏西,脊线位置异常偏北(图5a),黄河以南至华南北部的大部地区处于副高控制之下,盛行下沉气流,导致气温异常偏高。

10月,乌拉尔山附近及东北亚至鄂霍次克海的异常高压扩张连接,截断了巴尔喀什湖至贝加尔湖以北的低压槽区,欧亚上空主要体现纬向型环流特点(图4c),导致我国北方大部地区气温异常偏高。随着西太平洋副热带高压的季节性南撤,10月其脊线总体位于 24.8°N 以南(图5a),南方地区的高温较上月缓解,气温以接近常年至略偏高为主。

11月,欧亚地区纬向型环流特点的特征更加显著,500 hPa位势高度场距平主要呈现“西低东高”型环流分布,里海及其以北地区为异常低压槽区控制,而巴尔喀什湖以东至日本海为宽广的异常高压控制区,我国受正位势高度距平控制,气温再次达到历史同期最高值。但受到西伯利亚高压阶段性偏强(图5b)的影响,月内气温冷暖起伏较大,特别是在16—18日和25—27日两次全国型强冷空气过程的影响下,北方多地气温普遍下降 $12\sim 16^{\circ}\text{C}$,内蒙古东北部、黑龙江中北部等地出现大暴雪或特大暴



注:红色、蓝色等值线分别为气候平均和2024年的5880 gpm特征等值线,

阴影为青藏高原区域。

图4 2024年秋季500 hPa位势高度场距平(填色)及850 hPa风场距平(风矢)

Fig. 4 500 hPa geopotential height anomaly (colored) and 850 hPa wind anomaly (wind vector) in autumn 2024

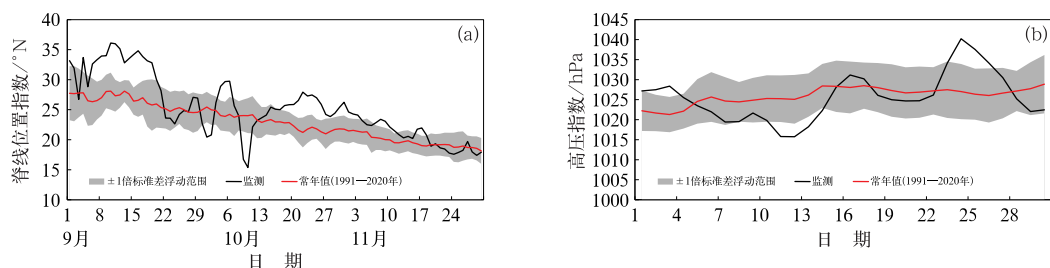


图 5 2024 年(a)秋季西太副高脊线位置指数及(b)11 月西伯利亚高压指数序列

Fig. 5 Time series of (a) WPSH ridge position index in autumn and (b) Siberian high index in November 2024

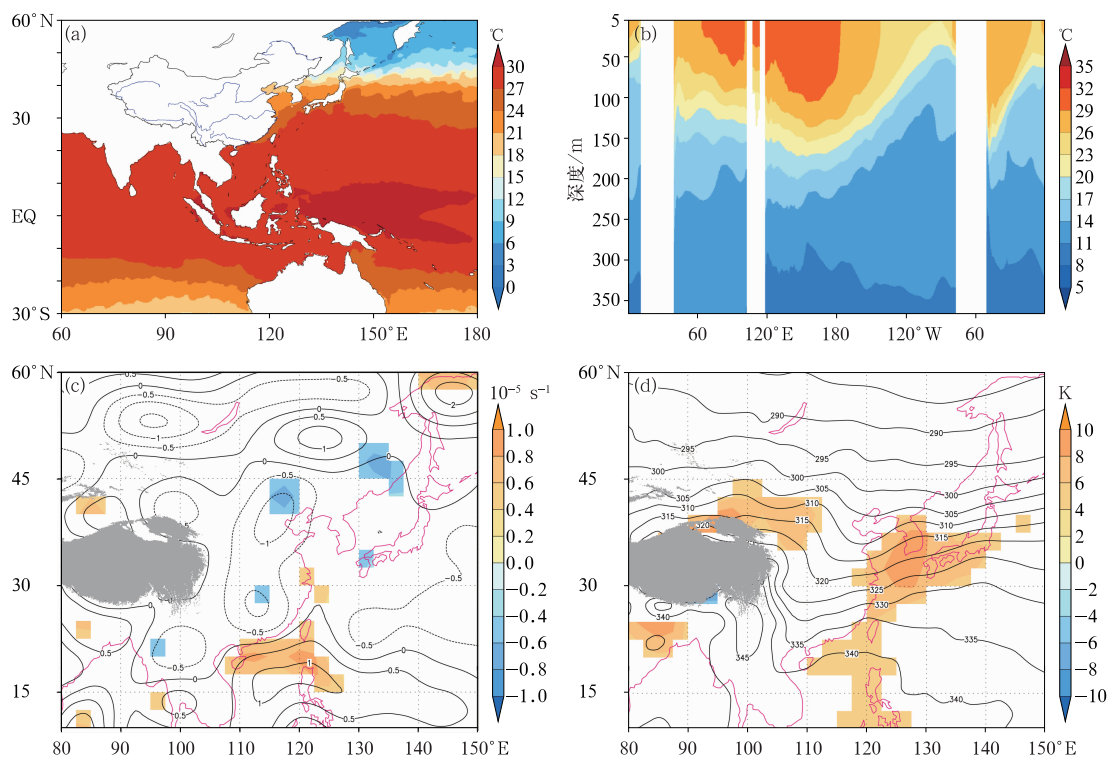
雪,对电力设施、交通运输等造成不利影响。

3.2 秋季台风活动异常成因分析

西北太平洋地区是全球台风最为活跃的海域 (Webster et al, 2005; Knutson et al, 2010; Yu et al, 2016)。海面温度(SST)的偏高、对流层中低层的正涡度和相对湿度偏大、低层风场垂直切变较弱等都是适宜台风形成的主要条件 (Palmen, 1948; Gray,

1968)。

监测表明:2024 年秋季 30°N 至赤道的西太平洋平均 SST 在 27°C 以上(图 6a),且 100 m 以上的次表层海温普遍超过 26°C (图 6b)。SST 足够高且混合均匀的暖洋面可以给热带气旋的生成提供必要的能量源以及对流发展所需要的热通量,因此秋季西太平洋的海洋热力条件非常有利于台风的活跃。南海及其以东洋面低层为正涡度区域,且较气候态



注:图 c,d 阴影为青藏高原区域,填色代表通过了 0.05 的显著性水平检验。

图 6 2024 年秋季(a)西太平洋 SST 空间分布, (b) $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 次表层 SST 剖面, (c) 850 hPa 涡度分布 (等值线和填色) 及 (d) 850 hPa 假相当位温分布 (等值线和填色)

Fig. 6 (a) Spatial distribution of SST in West Pacific, (b) $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ sub-surface SST profile, (c) the vorticity (contour and colored) and (d) distribution of pseudo-equivalent potential temperature (contour and colored) at 850 hPa in autumn 2024

显著偏高,这能够为热带气旋的生成提供有利的初始动力条件(图 6c)。从菲律宾群岛北上至日本海南部的我国近海地区低层假相当位温较气候态显著偏高,说明 2024 年秋季低层大气处于异常暖湿的状态,可增加降水率和高层加热量,增强积雨云的发展,从而有利于台风的形成(图 6d)。

200~850 hPa 风场的垂直切变(VWS)是影响西北太平洋上台风生成的关键因子之一。由于较大的 VWS 不利于台风高层暖心的建立及气旋式环流的加强,从而不利于热带气旋的形成和发展(Li et al, 2013),而较小的 VWS 有利于热带气旋的加强(高拴柱等, 2012),因此西北太平洋上的台风通常生成在 VWS 较小的环境场中。本文分析的 VWS 定义为:

$$VWS = \sqrt{(U_{200} - U_{850})^2 + (V_{200} - V_{850})^2}$$

式中: U_{200} 、 U_{850} 分别代表 200 hPa、850 hPa 上的纬向风, V_{200} 、 V_{850} 分别代表 200 hPa、850 hPa 上的经向风。

计算结果显示(图 7):2024 年秋季,南海至菲律宾以东洋面的 VWS 绝对值普遍小于 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。研究表明,使得台风快速增强的 VWS 主要在 $4 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间(谢礼江等, 2013),这说明从 VWS 条件来看也倾向于有利台风的频繁生成。

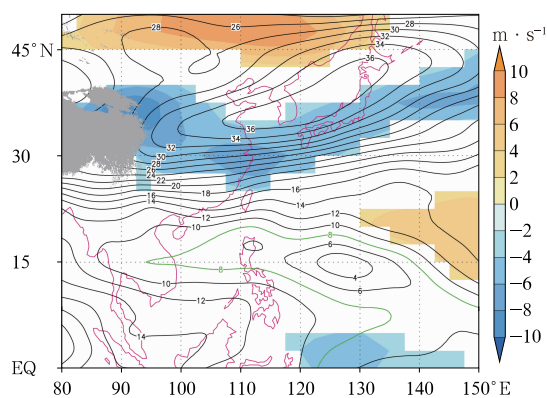
西太副高是影响台风等天气过程的重要系统之一。何立富(2008)研究表明,近二十年北行台风的

破坏力和频数的增加与西太副高的控制范围和脊线位置密切相关,西太副高控制范围的北抬有利于引导台风向纬度更高的区域移动,导致我国东海、朝鲜半岛等地受台风影响的频率上升(Ho et al, 2021)。

由 2024 年逐月西太副高平均脊线位置可见(图 8),夏季(6—8 月)西太副高位置总体偏南,而 9—10 月的显著偏北,特别是 9 月西太副高脊线平均位置为 31.6°N ,为 1961 年以来历史同期次高值(仅次于 2007 年同期的 31.7°N)。由于台风常活动于西太副高的南侧和西侧,副高南侧的偏东气流和西侧的偏南气流可引导台风向西向北移动(董美莹等, 2006),因此 2024 年 9 月异常偏北的西太副高一方面提供了更大空间有利于台风生成数量偏多,另一方面通过其边缘气流的牵引作用使得台风转向点倾向于偏北,导致台风活动的高频区向北偏移。

非绝热加热可通过影响西太副高的规律性南北移动,从而使得其季节性移动出现异常(高睿等, 2015)。由 7—8 月和 9—10 月西太副高脊线与向外长波辐射(OLR)的相关系数空间分布可见(图略),这两个时段海洋性大陆至西太平洋地区(30°N 以北地区)均为显著负(正)相关,说明当西太副高北侧的对流活动强于南侧时其倾向于南撤,而南侧对流加强时倾向于北进。对 MJO 的监测显示(图 9),8 月底出现一次 MJO 东传,于 9 月中下旬传播至海洋性大陆-西太平洋地区,且强度明显偏强。这次 MJO 东传引起的南海—菲律宾岛对流活动较前期的显著增强有利于西太副高位置的异常北抬。

西太副高位置异常与海洋的热力异常具有紧密联系(曹杰等, 2009; 黄露等, 2012)。从其脊线与同期 SST 相关系数的空间分布可见:夏季自阿拉伯海至菲律宾以东海域的 SST 是影响西太副高脊线最显著的区域,该区域 SST 偏低有利于其脊线位置偏北(图 10a),而 2024 年夏季该区域为 SST 正异常区域,不利于西太副高位置偏北(图 10c);而秋季影响



注:阴影为青藏高原区域,填色代表通过了 0.05 的显著性水平检验。

图 7 2024 年秋季 200~850 hPa 垂直风切变场空间分布(等值线和填色)

Fig. 7 Spatial distribution of VWS between 200 hPa and 850 hPa in autumn 2024 (contour and colored)

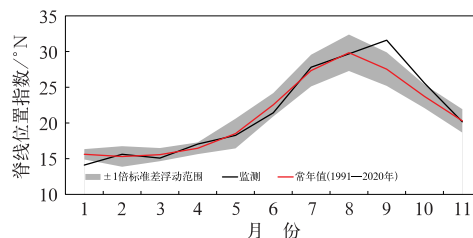
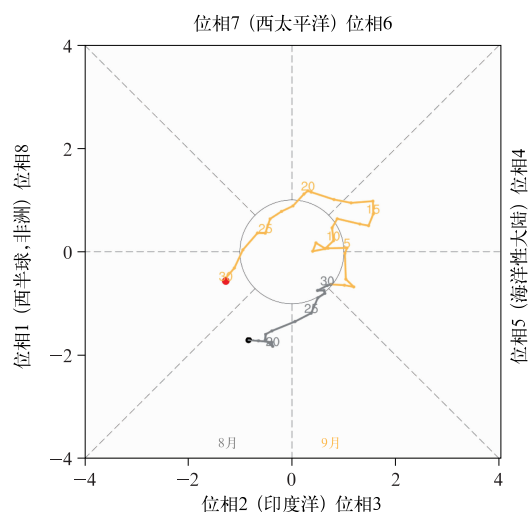


图 8 2024 年逐月西太副高脊线位置指数序列

Fig. 8 Time series of monthly WPSH ridge position index in 2024



注: 数字为日期, 灰色为 8 月, 黄色为 9 月, 黑点为起始点, 红点为终点。

图 9 2024 年 8—9 月 MJO 位相图
Fig. 9 MJO phase diagram from August to September 2024

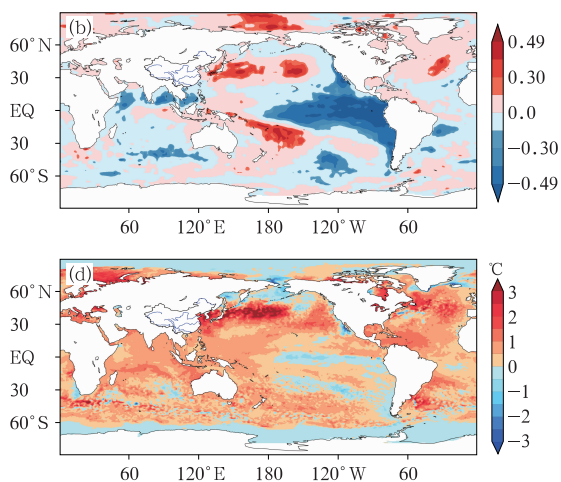
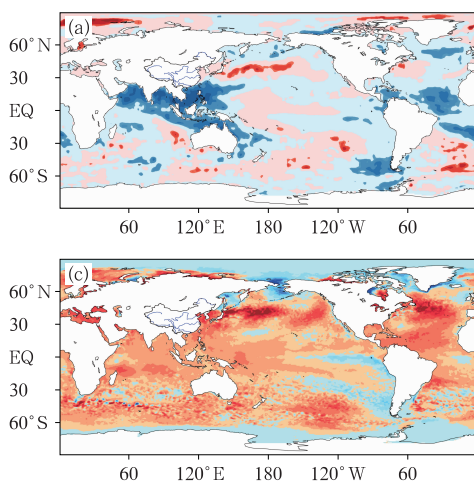


图 10 (a, b) 1981—2024 年 (a) 夏季、(b) 秋季西太副高脊线位置指数与全球 SST 相关系数及
(c, d) 2024 年 (c) 夏季、(d) 秋季全球 SST 距平的空间分布

Fig. 10 Spatial distribution of (a, b) correlation coefficient between the WPSH ridge position index and the SST in (a) summer and (b) autumn of 1981–2024, and (c, d) observed SSTA in (c) summer and (d) autumn 2024

4 结论和讨论

本文利用台站观测资料和再分析资料,回顾了 2024 年秋季中国主要气候异常特征,在此基础上分析了相关大气环流特征,并从海温外强迫因子角度探讨了可能成因,主要结论如下:

(1) 2024 年秋季,中国平均气温为 11.8℃,为

西太副高脊线的主要 SST 相关区为中纬度西北太平洋(正相关)和赤道中东太平洋(负相关)(图 10b), 2024 年秋季中纬度西北太平洋 SST 异常偏高,且赤道中东太平洋呈现类拉尼娜型分布(图 10d),表明秋季 SST 模态总体有利于西太副高脊线异常偏北。

此外,近年来有研究指出,南海夏季风的撤退早晚会对秋季台风的频数、强度及生成位置产生重要影响(Hu et al, 2020a; Chen et al, 2022)。Hu et al (2020b)的研究表明:南海季风的结束时间与秋季西北太平洋生成的热带气旋数量存在正相关关系,即若南海季风结束时间较常年偏迟,则该年秋季台风的生成频数往往倾向于偏多。2024 年南海夏季风于 11 月第 6 候结束,较常年(9 月第 6 候)偏晚 12 候,为 1951 年以来最晚,后期依然活跃的热带系统有利于秋季台风生成异常偏多,终台偏晚。

1961 年以来历史同期最高。全国大部地区气温偏高 1~2℃,其中华中中部、华东中部、西南地区东北部、西北地区南部等地偏高 2~4℃。中国平均降水量为 131.5 mm,较常年同期偏多 13.4%,空间分布总体呈现“北多南少”型特征。台风活动的极端性强,生成个数显著偏多,盛行西北行路径。

(2) 大气环流异常特征是造成 2024 年秋季我国气候异常的直接原因。欧亚中高纬位势高度距平场

总体呈现“西低东高”分布特征,里海及其以东为弱的负位势高度距平控制,而东北亚为正位势高度距平中心,我国大部分地区上空为高度场正距平。9月,乌拉尔山附近受高压脊控制,巴尔喀什湖西北侧至贝加尔湖以北地区为低压槽区控制,有利于巴尔喀什湖附近的低槽活跃东移,带来的西路冷空气主要影响我国西北部地区,造成9月新疆北部、内蒙古中西部的气温相对偏低;受异常偏北偏强的西太副高影响,黄河以南至华南北部的大部分地区气温异常偏高。10—11月,乌拉尔山附近及东北亚至鄂霍次克海地区的异常高压扩张连接,截断了巴尔喀什湖至贝加尔湖以北地区的低压槽区,欧亚地区主要体现纬向型环流特点,导致气温持续偏高。

(3)2024年秋季,30°N至赤道的西太平洋海表温度及100 m以上的次表层海温及普遍超过26℃,南海及其以东洋面低层为正涡度区域,菲律宾群岛北部至日本海以南地区的低层假相当位温较气候态显著偏高,南海至菲律宾以东洋面的垂直风切变小于 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,均有利于秋季台风生成个数异常偏多。8月底至9月的MJO东传伴随的海洋性大陆至西太平洋地区对流活动的加强有利于西太副高位置的异常偏北,从而引导秋季台风移动路径偏北。此外,秋季赤道中东太平洋海温偏低,南海夏季风撤退的异常偏晚,也有利于2024年秋季台风生成频次偏多、路径偏北。

本文在总结2024年秋季中国主要气候特征的基础上,从中高纬度环流配置、西太副高季内特征、低层动力及热力条件等因素对气候异常进行了机理诊断,但对海温影响今年秋季西北太平洋台风活动异常的讨论还比较初步,其内在机制还有待进一步研究。

参考文献

- 曹杰,尤亚磊,黄玮,2009. 夏季西太副高脊面年际变化与太平洋海温关系的研究[J]. 高原气象,28(2):411-418. Cao J, You Y L, Huang W, 2009. Relationship between the interannual variation of western Pacific subtropical high ridge surface in summer and the sea surface temperature of pacific[J]. Plateau Meteor, 28(2):411-418(in Chinese).
- 巢清尘,李秉珂,崔童,等,2023. 中国气候变化科学认识进展及未来展望——中国《第四次气候变化国家评估报告·第一部分》解读[J]. 中国人口·资源与环境,33(1):74-79. Chao Q C, Li R K, Cui T, et al, 2023. Scientific progress and future prospects in climate change: an interpretation of Part 1 of China's Fourth National Assessment Report on Climate Change[J]. China Popul Resour Environ, 33(1):74-79(in Chinese).
- 程书波,李冲,岳颖,等,2023. 1961—2020年我国中部地区气温和降水时空变化特征[J]. 水利水电技术,54(6):75-86. Cheng S B, Li C, Yue Y, et al, 2023. Temporal and spatial variation characteristics of temperature and precipitation in central China from 1961 to 2020[J]. Water Resour Hydrop Eng, 54(6):75-86(in Chinese).
- 董美莹,薛根元,郑沛群,2006. 2004年西北太平洋热带气旋的活动特点与成因研究[J]. 热带气象学报,22(5):498-504. Dong M Y, Xue G Y, Zheng P Q, 2006. Study on the characteristics of tropical cyclones activity over the western North Pacific in 2004 and the cause of formation[J]. J Trop Meteor, 22(5):498-504(in Chinese).
- 高睿,郭换换,郭胜利,2015. 冬季西太平洋副热带高压脊线位置异常与热带对流异常的关系[J]. 科学技术与工程,15(6):120-126. Gao R, Guo H H, Guo S L, 2015. The relationship between the ridge line position of the Western Pacific subtropical high and the tropical convection anomaly in January[J]. Sci Technol Eng, 15(6):120-126(in Chinese).
- 高栓柱,吕心艳,王海平,等,2012. 热带气旋莫兰蒂(1010)强度的观测研究和增强条件的诊断分析[J]. 气象,38(7):834-840. Gao S Z, Lyu X Y, Wang H P, et al, 2012. An observational and diagnostic analysis on the intensity and intensity changes of Typhoon Meranti (1010)[J]. Meteor Mon, 38(7):834-840(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).
- 韩通,陈少勇,高蓉,等,2009. 气候变暖背景下中国东部季风区秋季气温的变化特征[J]. 资源科学,31(10):1740-1748. Han T, Chen S Y, Gao R, et al, 2009. Climate warming of the mean autumn air temperature of the east monsoon area in China[J]. Resour Sci, 31(10):1740-1748(in Chinese).
- 何立富,陈双,郭云谦,2020. 台风利奇马(1909)极端强降雨观测特征及成因[J]. 应用气象学报,31(5):513-526. He L F, Chen S, Guo Y Q, 2020. Observation characteristics and synoptic mechanisms of Typhoon Lekima extreme rainfall in 2019[J]. J Appl Meteor Sci, 31(5):513-526(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).

- 黄露,何金海,卢楚翰,2012. 关于西太平洋副热带高压研究的回顾与展望[J]. 干旱气象,30(2):255-260. Huang L, He J H, Lu C H, 2012. Review and outlook of researches about western Pacific subtropical high[J]. J Arid Meteor, 30(2):255-260 (in Chinese).
- 纪贺,殷睿,尹海蛟,等,2024. 京津冀地区近 50 a 降水时空变化分析[J]. 海河水利,(4):4-11. Ji H, Yin R, Yin H J, et al, 2024. Spatiotemporal changes of precipitation across the Beijing-Tianjin-Hebei Region from 1973 to 2022[J]. Haihe Water Resour,(4):4-11(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).
- 李俊,袁媛,王遵娅,等,2020. 2019 年长江中下游伏秋连旱演变特征[J]. 气象,46(12):1641-1650. Li J, Yuan Y, Wang Z Y, et al, 2020. Evolution characteristics of continuous drought in late summer and autumn in the middle and lower reaches of Yangtze River Valley in 2019[J]. Meteor Mon, 46(12):1641-1650 (in Chinese).
- 柳龙生,高拴柱,2018. 2018 年 9 月大气环流和天气分析[J]. 气象,44(12):1635-1640. Liu L S, Gao S Z, 2018. Analysis of the September 2018 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon,44(12):1635-1640(in Chinese).
- 刘抗,李照荣,张宇,2014. 1971—2010 年中国西北地区秋季降水变化特征[J]. 中国沙漠,34(3):805-813. Liu K, Li Z R, Zhang Y, 2014. Variation of autumn precipitation in northwest China in 1971—2010[J]. J Desert Res,34(3):805-813(in Chinese).
- 刘芸芸,李维京,艾锐秀,等,2012. 月尺度西太平洋副热带高压指数的重建与应用[J]. 应用气象学报,23(4):414-423. Liu Y Y, Li W J, Ai W X, et al, 2012. Reconstruction and application of the monthly western Pacific subtropical high indices[J]. J Appl Meteor Sci,23(4):414-423(in Chinese).
- 马思源,金燕,张思,等,2023. 厄尔尼诺/南方涛动事件对云南秋季气象干旱的不同影响分析[J]. 干旱气象,41(6):860-872. Ma S Y, Jin Y, Zhang S, et al, 2023. Different impacts of El Nino/Southern Oscillation events on autumn meteorological drought in Yunnan Province[J]. J Arid Meteor, 41(6):860-872 (in Chinese).
- 马潇祎,范可,2023. 近几十年中国西北夏秋季干湿年代际变化及成因初步分析[J]. 大气科学,47(4):943-956. Ma X Y, Fan K, 2023. Initial examination of interdecadal shifts and causes of summer and autumn dryness and wetness in Northwest China over recent decades[J]. Chin J Atmos Sci, 47(4):943-956 (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).
- 肖科丽,赵国令,方建刚,等,2015. 陕西汛期降水年际增量预测新技术研究[J]. 气象,41(3):328-335. Xiao K L, Zhao G L, Fang J G, et al, 2015. Study on interannual increment forecasting approach for rainy season precipitation in Shaanxi[J]. Meteor Mon,41(3):328-335(in Chinese).
- 谢礼江,邱新法,王伟,2013. 西北太平洋热带气旋快速增强与环境垂直风切变统计分析[J]. 热带地理,33(3):242-249. Xie L J, Qiu X F, Wang W, 2013. Rapid intensification of tropical cyclones and vertical wind shear over the Northwest-Pacific[J]. Trop Geogr,33(3):242-249(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).
- 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).
- 赵玉衡,王悦颖,陈丽娟,等,2024. 2023 年秋季我国气候异常特征及成因分析[J]. 气象,50(4):499-513. Zhao Y H, Wang Y Y, Chen L J, et al, 2024. Features and possible causes of abnormal climate over China in autumn 2023[J]. Meteor Mon, 50(4):499-513(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).
- Chen W, Hu P, Huangfu J L, 2022. Multi-scale climate variations and mechanisms of the onset and withdrawal of the South China Sea summer monsoon[J]. Sci China Earth Sci, 65(6):1030-1046.
- Gray W M, 1968. Global view of the origin of tropical disturbances and storms[J]. Mon Wea Rev, 96(10):669-700.
- 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.
- Ho C H, Park C K, Yun J, et al, 2021. Asymmetric expansion of summer season on May and September in Korea[J]. Asia-Pacific J Atmos Sci, 57(3):619-627.
- Hu P, Huangfu J L, Chen W, et al, 2020a. South China Sea summer monsoon withdrawal and the synoptic-scale wave train over the western North Pacific[J]. Int J Climatol, 40(13):5599-5611.
- Hu P, Huangfu J L, Chen W, et al, 2020b. Impacts of early/late South China Sea summer monsoon withdrawal on tropical cyclone genesis over the western North Pacific[J]. Climate Dyn, 55(5):1507-1520.
- 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.
- Knutson T R, McBride J L, Chan J, et al, 2010. Tropical cyclones and climate change[J]. Nat Geosci, 3(3):157-163.
- Li Z, Yu W D, Li T, et al, 2013. Bimodal character of cyclone climatology in the Bay of Bengal modulated by monsoon seasonal cycle[J]. J Climate, 26(3):1033-1046.
- Palmen E, 1948. On the formation and structure of tropical cyclones [J]. Geophysics, 3:26-38.
- Ren H L, Lu B, Wan J H, et al, 2018. Identification standard for ENSO events and its application to climate monitoring and prediction in China[J]. J Meteor Res, 32(6):923-936.
- 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.
- Webster P J, Holland G J, Curry J A, et al, 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment[J]. Science, 309(5742):1844-1846.
- Yu J H, Li T, Tan Z M, et al, 2016. Effects of tropical North Atlantic SST on tropical cyclone genesis in the western North Pacific[J]. Climate Dyn, 46(3):865-877.

(本文责编:王婷波)