

李想,郑志海,2025. 2024 年夏季中国气候异常特征及成因分析[J]. 气象, 51(1):110-121. Li X, Zheng Z H, 2025. Characteristics and possible causes of the climate anomalies over China in summer 2024[J]. Meteor Mon, 51(1):110-121(in Chinese).

2024 年夏季中国气候异常特征及成因分析^{*}

李 想 郑志海

国家气候中心, 北京 100081

提 要: 2024 年夏季, 中国降水偏多、气温偏高。全国平均气温 22.3℃, 为 1961 年以来历史同期第一, 高温天气过程偏早、范围广、极端性强; 降水空间分布上呈“东多西少”分布, 东北南部、内蒙古中部、华北东部、华东北部、华中北部和西南部、西北地区东部等地降水较常年同期偏多 5 成至 1 倍。夏季台风生成个数和登陆个数均偏少。2023 年 5 月开始的中等强度 El Niño 事件在 2024 年 5 月结束并向冷海温发展, 2023/2024 年冬季以来, 热带印度洋和北大西洋海温均为历史同期最暖, 热带三大洋的异常海温分布有利于夏季西太平洋副热带高压增强, 将充沛的太平洋和印度洋水汽输送到中国东部, 使得东部季风区降水大范围偏多, 强降水过程多。

关键词: 气候异常, 季节内变化, 西太平洋副热带高压, 副热带西风急流

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2024.111301

Characteristics and Possible Causes of the Climate Anomalies over China in Summer 2024

LI Xiang ZHENG Zhihai

National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: In the summer of 2024, the overall climate of China was characterized by high temperature with more rainfall. The national average summer temperature ranked the first highest since 1961. The high temperature processes occurred earlier than normal, influenced more regions and had strong extremes. The overall precipitation was generally above normal, with a distribution of more in eastern China and less in western China. The precipitation was more than the normal by 50% to 100% in the southern part of Northeast China, central Inner Mongolia, eastern part of North China, northern part of East China, northern and southwestern parts of Central China, and eastern part of Northwest China. During this summer time, both the generated typhoons and the landfall typhoons were less than normal. The moderate intensity El Niño which began in May 2023 ended in May 2024 and transitioned to La Niña. At the same time, since the winter of 2023/2024, sea surface temperatures in the tropical Indian Ocean and North Atlantic have been at historical highs. The unusual distribution of tropical sea temperatures has been conducive to strengthening the Western Pacific subtropical high, which transported abundant moisture from Pacific Ocean and Indian Ocean to eastern China, resulting in widespread precipitation and frequent heavy precipitation processes in the eastern monsoon region of China.

Key words: climate anomaly, seasonal variation, Western Pacific subtropical high, subtropical westerly jet

^{*} 国家自然科学基金气象联合基金项目(U2142207、U2342205)、国家自然科学基金面上项目(42175078)、国家气候中心能源气候服务团队建设(NCCCTD003)和中国长江电力股份有限公司项目(2423020054)共同资助

2024 年 10 月 15 日收稿; 2024 年 11 月 29 日收修定稿

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

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

引 言

中国位于东亚季风区,受东亚季风系统影响,气候年际变化率大,使得中国成为世界上自然灾害最严重的国家之一。每年夏季(6—8月)是中国的主汛期,也是中国各流域防汛抗旱的关键时段,由汛期气候异常导致的严重旱涝灾害,会给生产生活、防灾减灾造成巨大损失(张庆云等,2003a;2003b;黄荣辉等,2006)。受气候变暖影响,气候异常和极端天气气候事件发生频次增多(IPCC,2021),灾害性极端气候事件对人民生活和社会经济平稳运行造成了严重威胁(张霞等,2021)。因此,认识中国夏季旱涝特征及异常分布,加深对东亚夏季风的机理研究,对提高汛期气候预测的准确率,具有非常重要的意义。

中国夏季气候受到多因子的影响和控制,既受太平洋、印度洋和大西洋海温异常、青藏高原和欧亚积雪分布(李延等,2023)、南北极海冰以及土壤湿度等外强迫信号的影响,也与北半球大气环流系统位置和强度异常密切相关(张庆云和陶诗言,1999;Wu et al,2009;闵锦忠等,2016;武炳义,2024)。来自海洋的非绝热加热是大气运动的重要能源,在约占地球总面积一半的热带地区,海洋的感热和潜热通量是最大的。El Niño-Southern Oscillation(ENSO)作为年际变化最重要的信号来源,其对包括东亚在内的气候有着显著的影响(陈文等,2018;黄刚等,2024)。有研究表明,赤道东太平洋 El Niño 事件发生时,东亚夏季风往往偏弱,东亚夏季出现阻塞形势的可能性较大,西太平洋副热带高压(以下简称西太副高)增强,中国夏季主要雨带位置南移(赵振国,1999;任宏利等,2024)。然而,2000年以来,ENSO的海温分布形态、触发机制、演变规律和气候影响均发生了明显变化(Ashok et al,2007;Yuan and Yang,2012;Yuan et al,2012;Hu et al,2020;Ding et al,2022),ENSO对东亚气候的影响研究面临新的挑战。除了 ENSO 外,印度洋和大西洋对东亚夏季气候的影响也受到越来越多的关注(Liu et al,2019;Feng et al,2021)。2023年5月开始的 El Niño 事件于2024年5月结束,为中等强度,热带印度洋和热带大西洋的海温为1961年以来的历史最暖。因此,在异常的海温背景下,加强对夏季重大气候异常事件的成因诊断分析,明确外强迫因子和大气内部动力过程对气候异常的影响(郑志海和王永光,

2018;顾薇和陈丽娟,2019;丁婷和高辉,2020;刘芸芸等,2021;赵俊虎等,2022;章大全等,2023a;支蓉等,2024a),对于提升短期气候预测准确率有重要作用。

2024年夏季中国气候状况偏差,涝重于旱,洪涝灾害强度强、影响重,降水空间分布上呈现“东多西少”的特征,东部季风区降水整体偏多,其中东南部、内蒙古中部、京津冀大部、黄淮、江淮北部、西北地区东部等地降水较常年同期偏多5成以上,长江流域、淮河流域、太湖流域、辽河流域、海河流域等多个流域均出现阶段性明显汛情。夏季台风生成和登陆个数均偏少。中国大部分地区气温偏高,全国平均气温 22.3°C ,较常年同期偏高 1.1°C ,为1961年以来历史同期最高。从夏季的季节内变化特征来看,梅雨期(6月10日至7月21日)南方降水偏多,北方降水偏少,而华北雨季(7月22日至8月31日),北方降水偏多,南方多地降水偏少、高温持续,导致多地出现“旱涝急转”。初夏华北、黄淮等地高温过程多,盛夏南方地区高温过程多。本文针对中国2024年夏季气候进行分析,对导致中国东部季风区降水偏多和南方地区高温的影响因子及外强迫信号源进行了诊断,得出结果可以为今后汛期预测业务工作提供参考。

1 资料和方法

主要使用以下资料:(1)由中国气象局国家气象信息中心整编发布的“中国地面基本气象要素日值数据集(V3.0)”中的逐日降水和气温观测资料,共包含中国2374个气象站自1951年1月以来逐日降水和气温数据(任芝花等,2012);(2)由国家气候中心业务系统“气候监测预测分析系统(CIPAS3.1)”中下载的海温指数和积雪指数;(3)来自美国国家海洋与大气局的全球逐月海温和大气环流再分析资料(Reynolds et al,2007),其中海温再分析资料的水平分辨率为 $2^{\circ}\times 2^{\circ}$,大气再分析资料的水平分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 。文中分析西太副高的基本特征时,采用了刘芸芸等(2012)定义的西太副高判别指标。副热带西风急流中心强度和位置计算选取 $10^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 、 $90^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$ 区域范围200 hPa纬向风和经向风数据。

文中部分图形来源于国家气候中心研发并在气候业务中长期应用的“气象灾害影响评估系统”和

“气候监测预测分析系统(CIPAS3.1)”。文中冬季为前一年 12 月至当年 2 月,春季和夏季分别为当年 3—5 月和 6—8 月,气候态为 1991—2020 年平均。

2 2024 年夏季中国气候异常特征

2.1 中国东部季风区雨季进程及台风

2024 年,南海夏季风于 5 月第 6 候爆发,较常年(5 月第 4 候)偏晚。中国东部季风区雨季进程的监测显示,雨季进程表现出华南前汛期开始日期偏早、梅雨和华北雨季开始日期接近常年或略偏晚的特征。具体而言,华南前汛期 4 月 4 日开始,偏早 5 d;7 月 3 日结束,偏早 1 d;雨期偏长 4 d。江南梅雨 6 月 10 日开始,偏晚 1 d;7 月 3 日结束,偏早 7 d;雨期为 23 d,偏短 8 d。长江中下游梅雨 6 月 17 日开始,偏晚 3 d;7 月 15 日结束,偏早 1 d;雨期为 28 d,偏短 4 d。江淮梅雨 6 月 19 日开始,偏早 4 d;7 月 21 日结束,偏晚 7 d;雨期为 32 d,偏长 11 d。华北雨季 7 月 22 日开始,偏晚 4 d;8 月 31 日结束,偏晚 14 d;雨期偏长 10 d。从各个雨季的雨日监测来看,华南前汛期、三个区域的梅雨、华北雨季的雨日均偏多,其中华南前汛期偏多 40.0%,江南梅雨偏多 10.8%,长江中下游梅雨偏多 51.1%,江淮梅雨偏多 58.1%,华北雨季偏多 82.8%。

2024 年夏季,西北太平洋及南海有 9 个台风生成,较常年同期偏少 2.1 个。有 3 个台风登陆中国,较常年同期偏少 1.7 个,2 号台风马力斯 6 月 1 日在广东登陆,初台登陆日期较常年(6 月 27 日)偏早 26 d。

2.2 降水异常及流域汛情

2024 年夏季中国气候状况总体偏差,涝重于旱,全国平均降水量 352.4 mm,较常年同期(331.7 mm)偏多 6.2%,为 1961 年以来第六多(图 1a)。全国降水空间上总体呈“东多西少”分布,东北地区中南部、华北北部和东部、华东北部及内蒙古中东部、河南东部、江西西部、湖南东部、广西东北部、新疆西部等地降水偏多 2 成至 1 倍;西北地区西北部及内蒙古西部、新疆东南部、西藏中北部和东部、重庆西南部、贵州西部、海南大部等地降水偏少 2~5 成,新疆东南部和西藏中北部等地偏少 5 成以上(图 1b)。北京、辽宁、山东降水量均为 1961 年以来历史同期第三多。

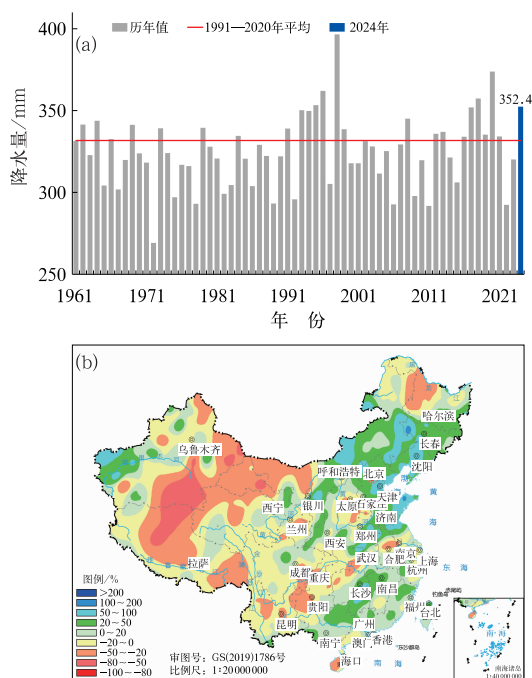


图 1 (a)1961—2024 年夏季中国平均降水量距平历年变化,(b)2024 年夏季全国降水量距平百分率分布

Fig. 1 (a) Time series of precipitation anomaly in China in summer from 1961 to 2024, and (b) spatial distribution of precipitation anomaly percentage in China in summer 2024

共有包括河南社旗、湖南衡山、湖北咸宁等 58 个气象站的日降水量突破历史极值。

2024 年夏季各流域降水量以偏多为主,其中辽河流域降水量为历史同期第二多。从各大流域来看,除太湖流域降水量(539.1 mm)较常年同期偏少 4.2%外,其余各流域降水均偏多,其中辽河流域降水量(560.3 mm)偏多 48.6%,为 1961 年以来历史同期第二多(第一多为 1985 年,575.3 mm);淮河流域(603.7 mm)、海河流域(435.0 mm)、松花江流域(409.1 mm)、珠江流域(788.2 mm)、黄河流域(265.9 mm)和长江流域(537.7 mm)降水分别偏多 31.6%、29.9%、18.5%、5.1%、4.1%和 1.0%。

2024 年夏季,中国降水具有“前多后少”的阶段性变化特点(图 2a)。6 月全国平均降水量为 115 mm,较常年同期(102.8 mm)偏多 11.9%;7 月全国平均降水量为 140 mm,较常年同期(121.7 mm)偏多 15.0%;8 月全国降水量较 6 月和 7 月有所减少,全国平均降水量为 97.3 mm,较常年同期(107.2 mm)偏少 9.2%。从空间分布特征来看,6 月中国东部季

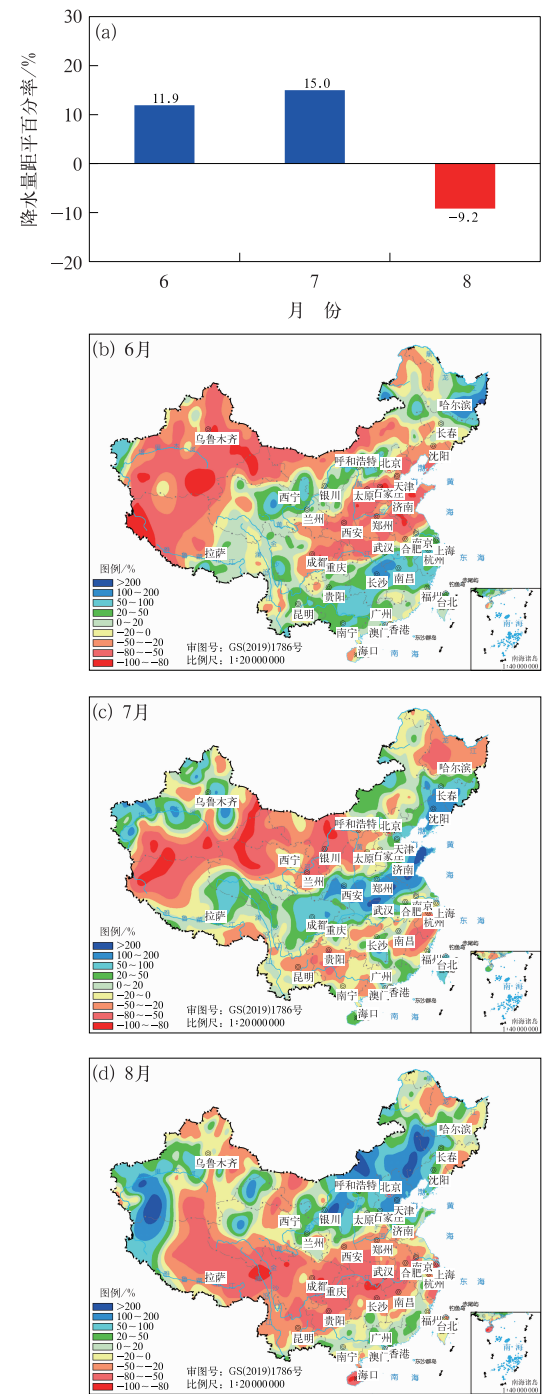


图 2 2024 年夏季中国逐月(a)全国面积加权平均降水量距平百分率, (b~d)降水量距平百分率空间分布
Fig. 2 (a) Monthly weighted precipitation anomaly percentage averaged in China in summer 2024, and (b—d) spatial distribution of precipitation anomaly percentage in China in (b) June, (c) July and (d) August 2024

风区降水整体呈“北少南多”的异常分布,季风区主雨带主要位于江南和华南西部等地,另外黑龙江东部、西南地区南部和北部、西北地区中部等地降水也较常年同期偏多(图 2b)。7 月,中国东部季风区主雨带位置较 6 月明显北抬,长江以北地区降水偏多,中国东部降水整体呈“北多南少”的异常分布,东北中南部、京津冀东部、江淮、黄淮、江汉、西南地区北部等地降水偏多 5 成以上,局部偏多超过 1 倍(图 2c)。8 月季风雨带北抬到了东北西部、内蒙古中东部、华北、黄淮、西北地区东部等地,上述地区降水较常年同期偏多 5 成以上。但在江淮、江汉、江南等地降水显著偏少,部分地区降水偏少 5 成以上。此外,在华南大部、新疆西部等地降水也较常年同期偏多(图 2d)。

2.3 气温异常及极端高温

2024 年夏季中国气候暖湿特征明显,全国平均气温 22.3℃,较常年同期(21.2℃)偏高 1.1℃,为 1961 年以来历史同期最高(图 3a)。空间分布上,

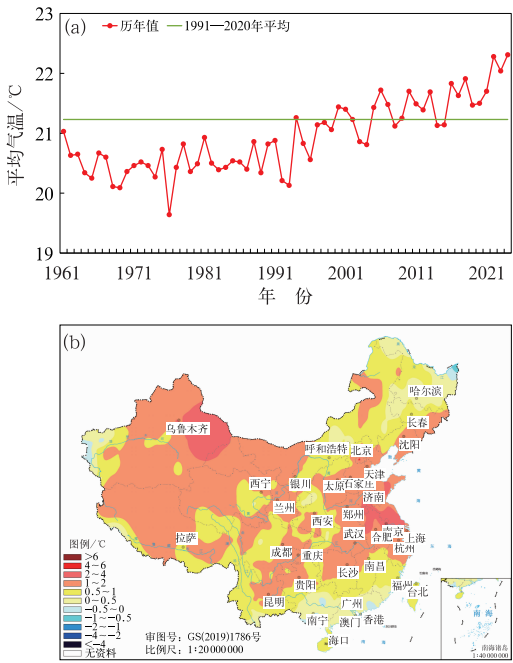


图 3 (a)1961—2024 年夏季中国平均气温历年变化,(b)2024 年夏季全国平均气温距平分布
Fig. 3 (a) Time series of summer temperature averaged in China in summer from 1961 to 2024, and (b) spatial distribution of averaged temperature anomaly in China in summer 2024

除广东、广西和黑龙江部分地区气温接近常年同期外,全国其余大部地区较常年同期偏高 $0.5 \sim 2^{\circ}\text{C}$,江苏大部、安徽北部、新疆东部等地偏高 $2 \sim 4^{\circ}\text{C}$ (图 3b)。有 18 个省(自治区、直辖市)气温为历史同期前三高,其中山东、山西和新疆均为最高。

夏季,中国平均高温日数为 1961 年以来历史同期第二多(仅少于 2022 年同期)。高温过程开始时间较常年偏早,6 月 9—15 日出现首次区域性高温过程,较常年偏早 4 d。影响范围广,华北大部、华东、华中、华南、西北东部及新疆大部、内蒙古中西部、四川盆地等地出现大范围高温天气,全国有 20% 以上的县(市)出现 40°C 及以上高温。极端性强,全国有 96 个国家级气象观测站日最高气温达到或突破历史极值(图 4a);新疆托克逊(47.9°C)、重庆北碚(43.6°C)、河南温县(43.4°C)等 9 个站日最高气温达到或超过 43°C 。全国有 59 个国家级气象观测站连续高温日数达到或突破历史极值(图 4b)。7 月初之后,中国南方发生大范围高温天气过程,其综合强度为 1961 年以来历史同期第二强,仅弱于

2022 年(章大全等,2023b),江南东部连续高温日数有 15~20 d,江西东南部、湖南东南部、福建北部等地超过 20 d,浙江义乌(42.8°C)等 68 个国家级气象观测站日最高气温达到或突破历史极值。重庆北碚 8 月 20 日至 9 月 1 日最高气温连续 13 d 接近或突破 40°C ,超过 2022 年同期(9 d),为历史最强。

3 夏季气候异常成因分析

3.1 季节平均的大尺度环流背景

2024 年夏季,亚洲 100 hPa 高度场上均为高度场正距平控制(图 5a),南亚高压强度较常年同期偏强、面积偏大,对比实况 16 780 gpm 位势高度线(图 5a 蓝线)和气候态 16 780 gpm 位势高度线(图 5a 绿线)可以发现,南亚高压的东部脊点较气候态明显偏东。在 500 hPa 高度场上(图 5b),欧亚中高纬度地区呈现“两槽一脊”的高度场异常分布,贝加尔湖为高度场正距平,巴尔喀什湖以西及鄂霍次克海地区为高度场负距平,中国受高度场正距平控制,有利于中国夏季气温偏高,对比实况 5880 gpm 位势高度线(图 5b 蓝线)和气候态 5880 gpm 位势高度线(图 5b 绿线)不难发现,西太副高强度偏强、面积偏大,西伸脊点偏西、北界偏北。850 hPa 风场距平分布(图 5c)显示,西太平洋对流层低层盛行反气旋式环流,菲律宾、南海上空为东南风距平,中国东部地区大部为西南风距平控制,有利于水汽向中国东部季风区输送,同时 1000~300 hPa 整层水汽辐合辐散场(图 5d)也显示,中国东部大部分地区水汽辐合。总体来说,2024 年夏季,中国东部季风区高层为辐散场控制,中层的西太副高异常偏强,低层南风距平控制利于水汽输送,高低层大气环流异常导致了我国东部季风区降水明显偏多。

3.2 梅雨期降水异常偏多的成因

2024 年夏季中国降水呈现显著的阶段性变化特征,6 月 10 日至 7 月 21 日为梅雨期,从各个区域上看,江南和长江中下游两个区域的梅雨期较常年分别偏短 8 d 和 4 d,江淮区梅雨期较常年偏长 11 d。尽管江南和长江中下游两个区域的梅雨期较常年偏短,但从梅雨量的监测结果显示,三个区域的梅雨量均较常年偏多,尤其是长江中下游和江淮区域梅雨

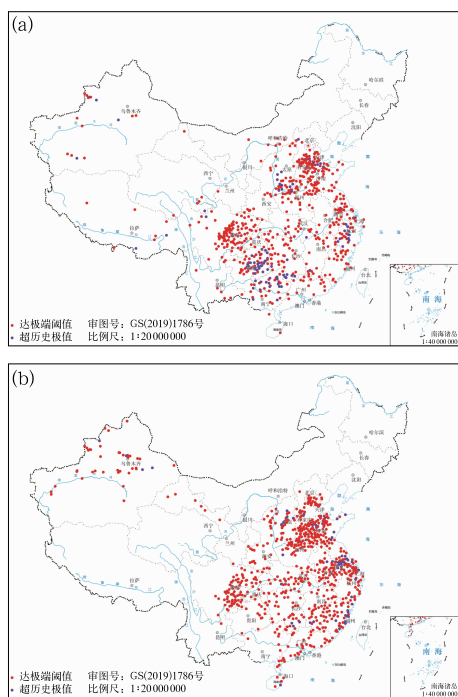
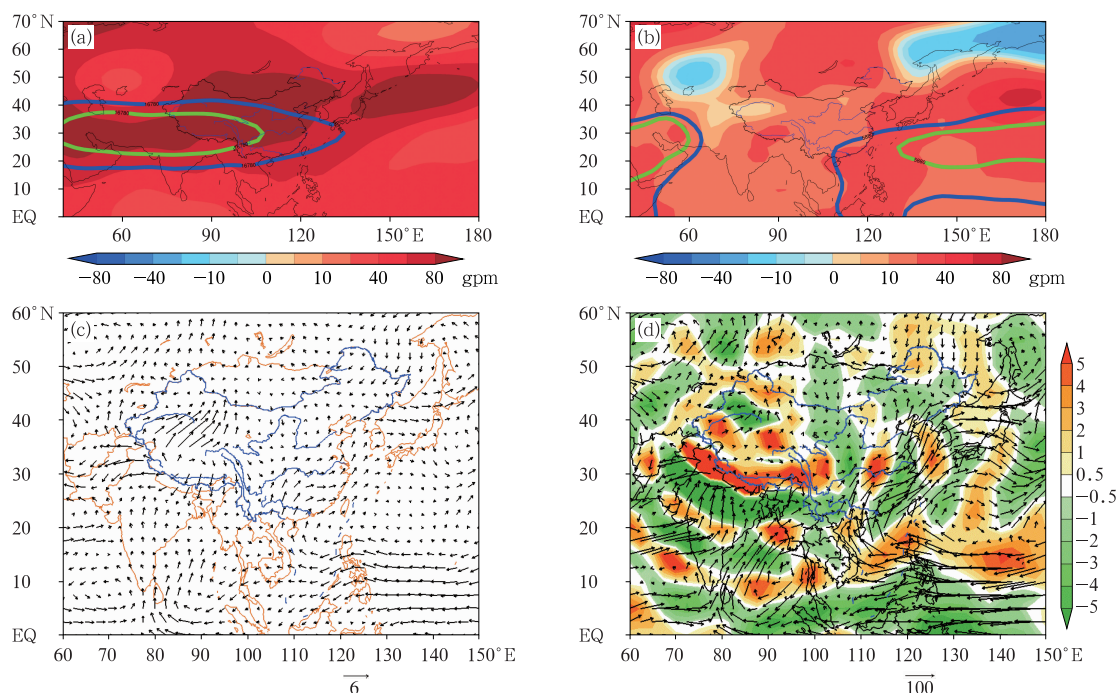


图 4 2024 年夏季中国出现(a)极端高温事件和(b)极端连续高温日数事件的站点分布

Fig. 4 Distribution of stations with (a) extreme high temperature events and (b) extreme continuous high temperature days in China in summer 2024



注:图 a 中绿色、蓝色等值线分别表示气候态、2024 年夏季平均的 16780 gpm 线,

图 b 中绿色、蓝色等值线分别表示气候态、2024 年夏季平均的 5880 gpm 线。

图 5 2024 年夏季平均大气环流距平场

(a) 100 hPa 位势高度场(等值线,单位:gpm)及距平场(填色), (b) 500 hPa 位势高度场(等值线,单位:gpm)及距平场(填色), (c) 850 hPa 距平风场(风矢,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), (d) 1000~300 hPa 整层水汽通量(箭矢,单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)和水汽通量散度(填色,单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

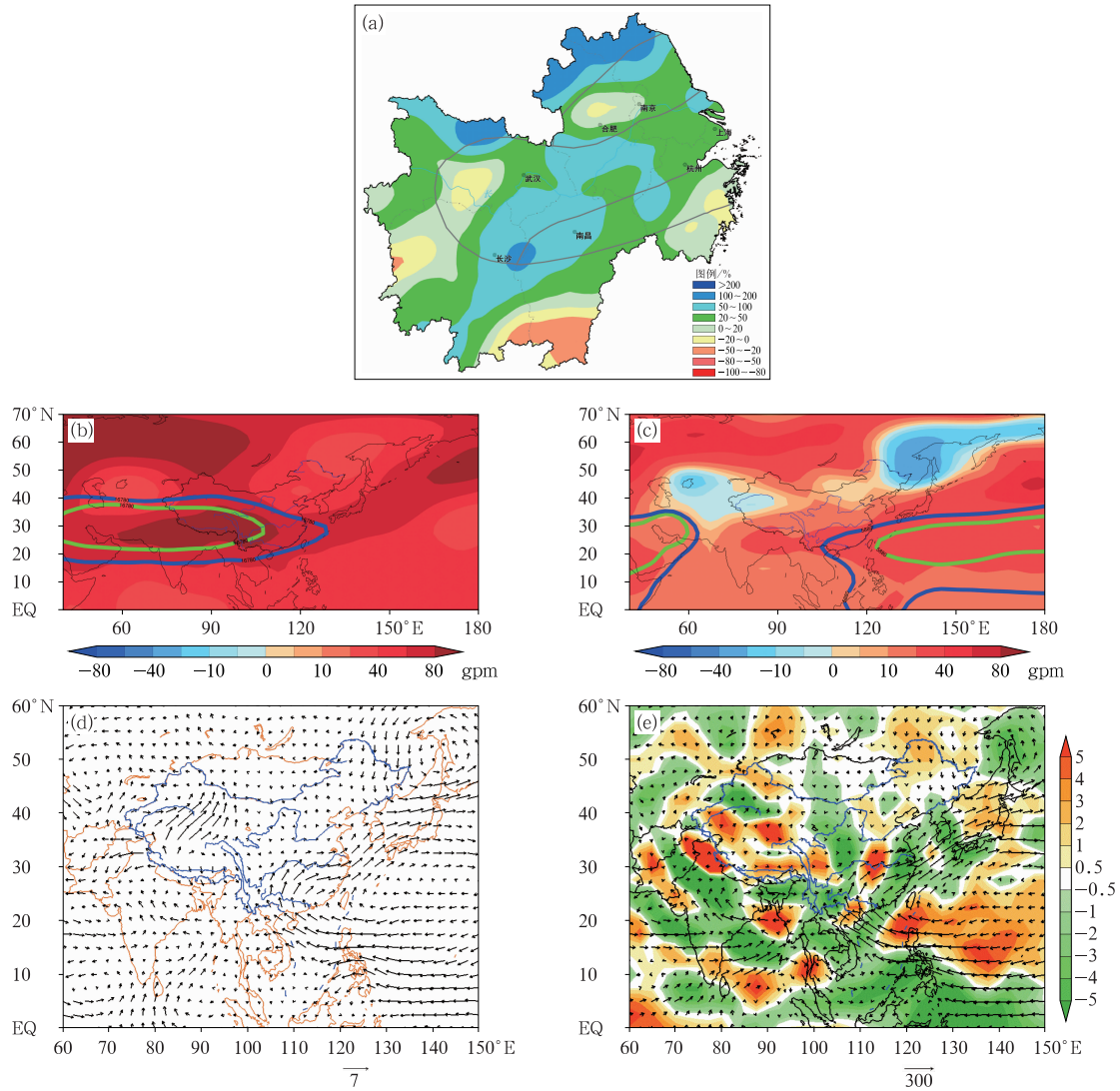
Fig. 5 Average atmospheric circulation anomaly in summer 2024

(a) 100 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and its anomaly field (colored), (b) 500 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and its anomaly field (colored), (c) 850 hPa horizontal wind anomaly (wind vector, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), (d) vertically integrated water vapor flux (vector, unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and its corresponding divergence (colored, unit: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) from 1000 hPa to 300 hPa

量异常偏多。从 2024 年梅雨期的降水量距平百分率的空间分布(图 6a)可以看出,梅雨区大部降水较常年同期偏多,其中江苏北部和东南部、安徽北部和南部、湖北东南部和北部、浙江西部、江西西北部、湖南东部等地偏多 5 成至 1 倍,部分地区偏多 1 倍以上。梅雨期间,在 100 hPa 高度距平场上(图 6b),亚洲大部分地区为高度场正距平,南亚高压偏强,16780 gpm 位势高度线的分布也显示南亚高压面积较常年同期偏大,东部脊点更加偏东;在 500 hPa 高度距平场上(图 6c),亚洲中高纬地区为“两槽一脊”的分布形势,巴尔喀什湖和东北亚地区为高度场负距平控制,受其影响,东北冷涡和高原低值系统在梅雨期间异常活跃,引导冷空气频繁南下,同时期西太副高偏强、偏西,5880 gpm 位势高度线的北侧位置正好位于江南地区;在低层 850 hPa 风场(图 6d)上,西太平洋大部地区被菲律宾反气旋控制,梅雨区

受西南风距平控制,有利于水汽向梅雨区输送,在整层水汽通量场上(图 6e)梅雨区水汽辐合。梅雨期间大气环流的高层辐散、低层辐合,加之高纬度冷空气频繁南下,与西太副高和季风环流引导的水汽输送相配合,导致梅雨区域内水汽通量异常辐合,使得梅雨量较常年显著偏多。

梅雨是东亚夏季风的重要成员,受到 ENSO 循环及西太平洋热力状况、印度洋海温异常、北大西洋海温异常等的影响(黄荣辉等,2003;高辉和王永光,2007;Wang et al, 2000;霍达等,2024)。ENSO 作为全球最显著的热带年际气候模态,通过西北太平洋-蒸发-反馈机制(Wu et al, 2017)、印度洋电容器效应(Xie et al, 2016)影响西北太平洋反气旋异常,进而调控梅雨降水。不同类型的 ENSO 事件,会对梅雨造成差异性影响(陈文等,2018;Zhou et al, 2019)。北大西洋海温异常可以通过热带和热带外



注:图 b 中绿色、蓝色等值线分别表示气候态、2024 年夏季平均的 16780 gpm 线,
图 c 中绿色、蓝色等值线分别表示气候态、2024 年夏季平均的 5880 gpm 线。

图 6 2024 年 6 月 10 日至 7 月 21 日 (a) 梅雨区降水量距平百分率分布, (b~e) 平均大气环流距平场 (b) 100 hPa 位势高度场 (等值线, 单位: gpm) 及距平场 (填色), (c) 500 hPa 位势高度场 (等值线, 单位: gpm) 及距平场 (填色), (d) 850 hPa 距平风场 (风矢, 单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), (e) 1000~300 hPa 整层水汽通量 (箭矢, 单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) 和水汽通量散度 (填色, 单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

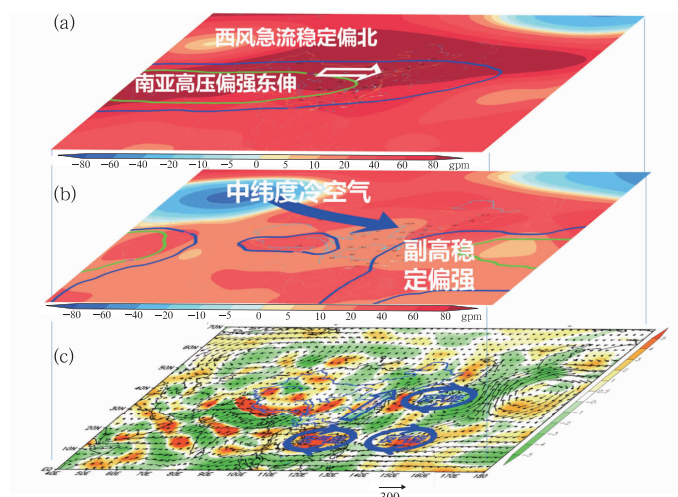
Fig. 6 (a) Distribution of precipitation anomaly percentage in Meiyu region, (b) 100 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and its anomaly field (colored), (c) 500 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and its anomaly field (colored), (d) 850 hPa horizontal wind anomaly (wind vector, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), (e) vertically integrated water vapor flux (vector, unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and its corresponding divergence (colored, unit: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) from 1000 hPa to 300 hPa from 10 June to 21 July 2024

两条路径调控东亚环流形势, 进而影响梅雨降水 (Yang et al, 2023)。发生在赤道中东太平洋的 El Niño 事件在 2023/2024 年冬季达到峰值, 同时热带印度洋海温和热带北大西洋海温均为历史最暖, 在三大洋海温异常偏高的共同作用下, 2024 年夏季西北太平洋菲律宾反气旋环流异常, 有利于水汽向梅雨区输送, 梅雨区域内水汽通量异常辐合, 使

得梅雨量较常年显著偏多。

3.3 华北雨季降水异常偏多的成因

2024 年华北雨季于 7 月 22 日开始, 8 月 31 日结束, 整个雨季长 40 d, 较常年偏长 10 d, 累计降水量也较常年偏多 8 成。图 7 给出了 2024 年华北雨季期间高低层的大气环流形势配置。在 100 hPa 位



注:图 a 中绿色、蓝色等值线分别表示气候态、2024 年夏季平均的 16780 gpm 线,
图 b 中绿色、蓝色等值线分别表示气候态、2024 年夏季平均的 5880 gpm 线。

图 7 2024 年 7 月 22 日至 8 月 31 日平均大气环流距平场

(a) 100 hPa 位势高度场(等值线,单位:gpm)及距平场(填色),(b) 500 hPa 位势高度场
(等值线,单位:gpm)及距平场(填色),(c) 1000~300 hPa 整层水汽通量(箭头,单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
和水汽通量散度(填色,单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 7 Average atmospheric circulation anomaly from 22 July to 31 August 2024

(a) 100 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and its anomaly field (colored),
(b) 500 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and its anomaly field (colored),
(c) vertically integrated water vapor flux (vector, unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and its
corresponding divergence (colored, unit: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) from 1000 hPa to 300 hPa

势高度场上,南亚高压偏强并且东伸,副热带西风急流强度偏强,急流的中心位置偏北且稳定维持;在 500 hPa 位势高度场上,亚洲中高纬地区呈“西低东高”的分布形势,巴尔喀什湖以西为高度场负距平中心,有利于引导西路冷空气频繁南下,同时西太副高偏强、偏西、偏北,5880 gpm 位势高度线位于华北南部和黄淮一带;低层 850 hPa 风场上西太平洋地区和中国黄海以东地区均为反气旋式环流,引导水汽向华北地区输送,并与冷空气在华北地区交汇,最终导致华北雨季暴雨过程偏多,降水量异常偏多。

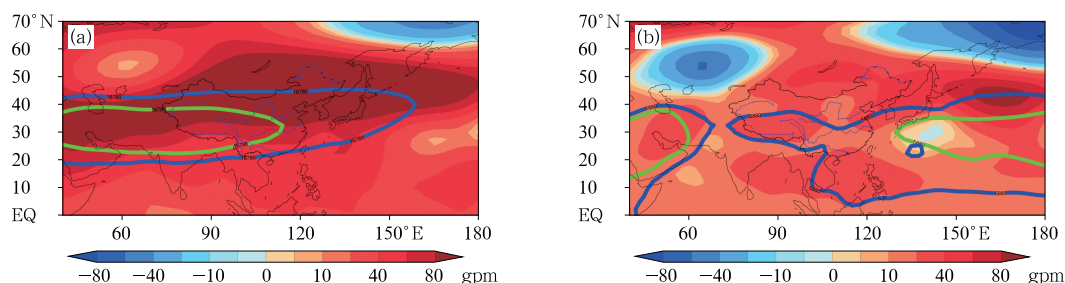
华北雨季是东亚夏季风季节性北推过程中的重要阶段,雨季的长短和雨量多寡,都与夏季风雨带的进退、移动和停滞有关(竺可桢,1934;施能等,1996;张庆云等,2003a)。大气环流的变化和海表温度异常对华北雨季都有着重要的影响。丁一汇和刘芸芸(2008)研究发现印度夏季风系统与华北雨季密切相关,当印度夏季风强(弱)时,华北雨季容易出现降水偏多(少)。研究还发现,华北雨季降水异常与热带东太平洋海表温度变化显著相关(陈文等,2006;赵树云等,2017),华北雨季降水异常偏多年通常发生

在 El Niño 事件结束且当年转为 La Niña 事件的年份,而华北雨季降水异常偏少年通常发生在赤道中东太平洋冷水位相结束且当年发展成 El Niño 事件的年份。于晓澄等(2019)分析发现华北雨季与副热带西风急流、副热带高压、东亚夏季风各层环流系统的演变密切相关。2024 年夏季赤道中东太平洋海温正处于 El Niño 事件的衰减并向 La Niña 事件发展阶段,因此,2024 年华北雨季降水偏多体现了海温外强迫的响应。

3.4 盛夏南方高温过程的成因

2024 年夏季中国平均气温为 1961 年以来最高,6—8 月逐月的中国平均气温均较常年同期偏高,尤其是 8 月平均气温偏高最为明显,8 月长江中游至下游地区平均高温日数达到了 15 d 以上,较常年同期显著偏多,部分地区偏多 10 d 以上(图略)。因此为了分析中国南方地区连续高温天气的成因,下文将重点分析 8 月的大气环流形势。

2024 年 8 月平均的亚洲 100 hPa 位势高度距平场(图 8a)显示,亚洲大部分地区为高度场正距平控



注:图 a 中绿色、蓝色等值线分别表示气候态、2024 年 8 月平均的 16780 gpm 线,
图 b 中绿色、蓝色等值线分别表示气候态、2024 年 8 月平均的 5880 gpm 线。

图 8 2024 年 8 月平均大气环流距平场

- (a) 100 hPa 位势高度场(等值线,单位:gpm)及距平场(填色),
(b) 500 hPa 位势高度场(等值线,单位:gpm)及距平场(填色)

Fig. 8 Average atmospheric circulation anomaly in August 2024

- (a) 100 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and its anomaly field (colored),
(b) 500 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and its anomaly field (colored)

制,高度场正距平中心数值超过 80 gpm,对比实况的 16780 gpm 位势高度线(图 8a 蓝线)和气候态的 16780 gpm 位势高度线(图 8a 绿线)可以发现,南亚高压的东部脊点较气候态明显偏东。在 500 hPa 高度场上(图 8b),欧亚中高纬度地区呈现“两槽一脊”的距平分布,贝加尔湖为高度场正距平,乌拉尔山地区及鄂霍次克海地区为高度场负距平,中国为高度场正距平控制,有利于中国气温偏高,对比实况 5880 gpm 位势高度线(图 8b 蓝线)和气候态 5880 gpm 位势高度线(图 8b 绿线)可以看出,西太副高强度偏强、面积偏大,西伸脊点偏西、北界偏北,8 月平均的 5880 gpm 位势高度线完全覆盖在南方大部分地区上空。同时 8 月的南亚高压中心强度是 1961 年以来最强;8 月逐日东亚副热带西风急流纬度中心位置较常年同期异常偏北,偏北的幅度甚至超过了一倍的方差。

中国夏季高温事件发生的机理研究已有很多(章大全等,2023b;支蓉等,2024b)。8 月对流层高层的南亚高压强度异常偏强并东伸,中层西太副高也异常偏强并且西伸,中国南方大部分地区受西太副高控制,盛行下沉气流。同时西风急流位置异常偏北,使中国季风雨带位于北方地区,长江中游和下游地区干旱少雨,最终导致长江中游和下游地区发生连续高温天气。

4 结论和讨论

2024 年夏季中国气候状况偏差,涝重于旱,降

水空间分布上呈现“东多西少”的特征,东部季风区降水整体偏多,部分地区偏多 5 成以上。赤道中东太平洋的东部型 El Niño 事件从 2023 年 5 月开始持续至 2024 年 4 月,持续时间为 12 个月,强度为中等。同时,2024 年春季夏季热带印度洋和热带大西洋海温持续偏暖。环流特征体现了 El Niño 衰减的影响,对流层中层西太副高强度偏强、面积偏大、西伸脊点偏西、北界偏北,西太平洋对流层低层盛行反气旋式环流,中国东部地区大部为西南风距平控制,有利于水汽向中国东部季风区输送,高低层大气环流异常导致了夏季中国东部季风区降水异常偏多。

2024 年夏季中国气候异常存在着显著的季节内变化特征,6 月中旬至 7 月中旬,梅雨期南方降水偏多,北方降水偏少;7 月下旬华北雨季开始后,北方大部地区降水转为偏多,而南方多地出现降水偏少、高温持续的特点,最终导致中国多地在今年夏季出现典型的“旱涝急转”现象。这与今年夏季副热带西风急流中心强度偏强,中心位置偏北且阶段性特征明显有关。初夏东北冷涡活跃,引导东路冷空气南下并与西太副高外围的东南水汽交汇,是导致初夏至盛夏梅雨区降水异常偏多的主要原因。7 月下旬,东亚夏季风系统进一步向北推进,500 hPa 位势高度场上 5880 gpm 位势高度线推进至华北南部到黄淮一带,低层风场上在西太平洋地区和中国黄海以东地区均为反气旋式环流,引导水汽向中国北方地区输送,并与中高纬冷空气在北方地区交汇,导致北方地区暴雨过程偏多,降水量异常偏多。同时,随

着东亚夏季风系统的向北推进,异常偏强且西伸的西太副高控制了中国南方大部分地区,高层南亚高压的稳定东伸,南方地区盛行下沉气流,使得长江中下游地区出现持续高温天气。

ENSO 事件是中国汛期气候异常可预报性的重要来源。2023 年 5 月开始的中等强度 El Niño 事件在 2024 年 5 月结束,强度列历史第五位。研究表明,El Niño 事件会通过电容器效应、遥相关效应等机制使得热带印度洋和北大西洋海温增暖(Annamalai et al,2010;Cai et al,2019;Wang,2019),2023/2024 年冬季,热带印度洋和北大西洋海温均为历史最暖。三大洋的海温异常均非常显著,且均有利于增强西太副高,使得西太副高异常强盛,将充沛的太平洋和印度洋水汽输送到中国东部,使得东部季风区降水大范围偏多,强降水过程多。然而,El Niño 事件向 La Niña 事件转换的速度,以及印度洋和大西洋海温在季风推进的不同阶段贡献也存在差异,今年梅雨期南方降水偏多,北方降水偏少,而在华北雨季期间,北方降水偏多,南方多地降水偏少、高温持续,导致多地出现“旱涝急转”。因此,需要加强三大洋的协同作用对中国汛期气候异常影响机理研究,尤其是认识三大洋在东亚夏季风推进过程中的贡献和作用,这是进一步提升汛期预测能力的关键。

参考文献

- 陈文,丁硕毅,冯娟,等,2018. 不同类型 ENSO 对东亚季风的影响和机理研究进展[J]. 大气科学,42(3):640-655. Chen W, Ding S Y, Feng J, et al, 2018. Progress in the study of impacts of different types of ENSO on the East Asian monsoon and their mechanisms[J]. Chin J Atmos Sci, 42(3):640-655(in Chinese).
- 陈文,康丽华,王玗,2006. 我国夏季降水与全球海表温度的耦合关系分析[J]. 气候与环境研究,11(3):259-269. Chen W, Kang L H, Wang D, 2006. The coupling relationship between summer rainfall in China and global sea surface temperature[J]. Climatic Environ Res, 11(3):259-269(in Chinese).
- 丁婷,高辉,2020. 2019 年夏季东亚大气环流异常及对我国气候的影响[J]. 气象,46(1):129-137. Ding T, Gao H, 2020. Atmospheric circulation in East Asia in summer 2019 and its influence on climate of China[J]. Meteor Mon, 46(1):129-137(in Chinese).
- 丁一汇,刘芸芸,2008. 亚洲-太平洋季风区的遥相关研究[J]. 气象学报,66(5):670-682. Ding Y H, Liu Y Y, 2008. A study of the teleconnection in the Asian Pacific monsoon region[J]. Acta Meteor Sinica, 66(5):670-682(in Chinese).
- 高辉,王永光,2007. ENSO 对中国夏季降水可预测性变化的研究[J]. 气象学报,65(1):131-137. Gao H, Wang Y G, 2007. On the weakening relationship between summer precipitation in China and ENSO[J]. Acta Meteor Sin, 65(1):131-137(in Chinese).
- 顾薇,陈丽娟,2019. 2018 年夏季海洋大气特征及对我国气候的影响[J]. 气象,45(1):126-134. Gu W, Chen L J, 2019. Characteristics of atmospheric and oceanic condition and their influences on summer climate of China in 2018[J]. Meteor Mon, 45(1):126-134(in Chinese).
- 黄刚,胡开明,唐颖苏,等,2024. 从能量学角度理解气候背景场对 ENSO 热带和热带外遥相关的影响[J]. 大气科学,48(1):218-227. Huang G, Hu K M, Tang H S, et al, 2024. Understanding the influence of background mean-state field on ENSO tropical and extratropical teleconnection from an energetic perspective[J]. Chin J Atmos Sci, 48(1):218-227(in Chinese).
- 黄荣辉,陈际龙,周连童,等,2003. 关于中国重大气候灾害与东亚气候系统之间关系的研究[J]. 大气科学,27(4):770-787. Huang R H, Chen J L, Zhou L T, et al, 2003. Studies on the relationship between the severe climatic disasters in China and the East Asia climate system[J]. Chin J Atmos Sci, 27(4):770-787(in Chinese).
- 黄荣辉,蔡榕硕,陈际龙,等,2006. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系[J]. 大气科学,30(5):730-743. Huang R H, Cai R S, Chen J L, et al, 2006. Interdecadal variations of drought and flooding disasters in China and their association with the East Asian climate system[J]. Chin J Atmos Sci, 30(5):730-743(in Chinese).
- 霍达,马杰,马殿博,2024. 2024 年 6 月大气环流和天气分析[J]. 气象,50(9):1153-1160. Huo D, Ma J, Ma D B, 2024. Analysis of the June 2024 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon, 50(9):1153-1160(in Chinese).
- 李延,陈斌,徐祥德,2023. 青藏高原冬春积雪异常对中国东部夏季降水频次和强度变化的影响[J]. 大气科学,47(4):1231-1246. Li Y, Chen B, Xu X D, 2023. Impacts of winter and spring snow anomalies over the Tibetan Plateau on summer precipitation frequency and intensity in eastern China[J]. Chin J Atmos Sci, 47(4):1231-1246(in Chinese).
- 刘芸芸,李维京,艾祝秀,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).
- 刘芸芸,王永光,柯宗建,2021. 2020 年夏季我国气候异常特征及成因分析[J]. 气象,47(1):117-126. Liu Y Y, Wang Y G, Ke Z J, 2021. Characteristics and possible causes for the climate anomalies over China in summer 2020[J]. Meteor Mon, 47(1):117-126(in Chinese).
- 闵锦忠,赵悦晨,郝立生,2016. 华北雨季监测及对应环流变化特征[J]. 干旱区地理,39(3):539-547. Min J Z, Zhao Y C, Hao L S, 2016. Monitoring of rainy season and characteristics of corresponding circulation changes in North China[J]. Arid Land Geogr, 39(3):539-547(in Chinese).
- 任宏利,刘芊仪,刘明竑,等,2024. 基于时空综合分型的 El Niño 事件对中国东部降水的影响差异[J]. 大气科学学报,47(4):521-532.

- Ren H L, Liu Q Y, Liu M H, et al, 2024. Different impacts of two types of El Niño events on precipitation in eastern China based on spatiotemporal diversity[J]. *Trans Atmos Sci*, 47(4): 521-532(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).
- 施能, 朱乾根, 吴彬贵, 1996. 近 40 年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常[J]. *大气科学*, 20(5): 575-583. Shi N, Zhu Q G, Wu B G, 1996. The East Asian summer monsoon in relation to summer large scale weather-climate anomaly in China for last 40 years[J]. *Chin J Atmos Sci*, 20(5): 575-583(in Chinese).
- 武炳义, 2024. 北极-中纬度联系与北极海冰变化的关系研究新进展[J]. *大气科学*, 48(1): 108-120. Wu B Y, 2024. Recent progresses in the study of the arctic midlatitude connection and its association with Arctic sea ice loss[J]. *Chin J Atmos Sci*, 48(1): 108-120(in Chinese).
- 于晓澄, 赵俊虎, 杨柳, 等, 2019. 华北雨季开始早晚与大气环流和地表温度异常的关系[J]. *大气科学*, 43(1): 107-118. Yu X C, Zhao J H, Yang L, et al, 2019. The relationship between the onset date of the rainy season in North China and the atmospheric circulation and SST[J]. *Chin J Atmos Sci*, 43(1): 107-118(in Chinese).
- 章大全, 袁媛, 韩荣青, 2023a. 2022 年夏季我国气候异常特征及成因分析[J]. *气象*, 49(1): 110-121. Zhang D Q, Yuan Y, Han R Q, 2023a. Characteristics and possible causes of the climate anomalies over China in summer 2022[J]. *Meteor Mon*, 49(1): 110-121(in Chinese).
- 章大全, 袁媛, 韩荣青, 2023b. 2022 年汛期气候预测效果评述及先兆信号分析[J]. *气象*, 49(3): 365-378. Zhang D Q, Yuan Y, Han R Q, 2023b. Overview of climate prediction for the summer 2022 in China and its precursors[J]. *Meteor Mon*, 49(3): 365-378(in Chinese).
- 张庆云, 陶诗言, 1999. 夏季西太平洋副热带高压北跳及异常的研究[J]. *气象学报*, 57(5): 539-548. Zhang Q Y, Tao S Y, 1999. The study of the sudden northward jump of the subtropical high over the Western Pacific[J]. *Acta Meteor Sin*, 57(5): 539-548(in Chinese).
- 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭, 2003a. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流[J]. *气象学报*, 61(5): 559-568. Zhang Q Y, Tao S Y, Chen L T, 2003a. The inter-annual variability of East Asian summer monsoon indices and its association with the pattern of general circulation over East Asia[J]. *Acta Meteor Sin*, 61(5): 559-568(in Chinese).
- 张庆云, 陶诗言, 张顺利, 2003b. 夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件[J]. *大气科学*, 27(6): 1018-1030. Zhang Q Y, Tao S Y, Zhang S L, 2003b. The persistent heavy rainfall over the Yangtze River Valley and its associations with the circulations over East Asian during summer[J]. *Chin J Atmos Sci*, 27(6): 1018-1030(in Chinese).
- 张霞, 杨慧, 王新敏, 等, 2021. “21·7”河南极端强降水特征及环流异常性分析[J]. *大气科学学报*, 44(5): 672-687. Zhang X, Yang H, Wang X M, et al, 2021. Analysis on characteristic and abnormality of atmospheric circulations of the July 2021 extreme precipitation in Henan[J]. *Trans Atmos Sci*, 44(5): 672-687(in Chinese).
- 赵俊虎, 陈丽娟, 章大全, 2022. 2021 年夏季我国气候异常特征及成因分析[J]. *气象*, 48(1): 107-121. Zhao J H, Chen L J, Zhang D Q, 2022. Characteristics and causes for the climate anomalies over China in summer 2021[J]. *Meteor Mon*, 48(1): 107-121(in Chinese).
- 赵树云, 陈丽娟, 崔童, 2017. ENSO 位相转换对华北雨季降水的影响[J]. *大气科学*, 41(4): 857-868. Zhao S Y, Chen L J, Cui T, 2017. Effects of ENSO phase-switching on rainy-season precipitation in North China[J]. *Chin J Atmos Sci*, 41(4): 857-868(in Chinese).
- 赵振国, 1999. 中国夏季旱涝及环境场[M]. 北京: 气象出版社: 68-72. Zhao Z G, 1999. Summer Drought and Flood and Their Associated Circulation Anomalies over China[M]. Beijing: China Meteorological Press: 68-72(in Chinese).
- 郑志海, 王永光, 2018. 2017 年夏季北半球大气环流特征及对我国天气气候的影响[J]. *气象*, 44(1): 199-205. Zheng Z H, Wang Y G, 2018. Northern Hemisphere atmospheric circulation characteristics in summer 2017 and its impact on weather and climate in China[J]. *Meteor Mon*, 44(1): 199-205(in Chinese).
- 支蓉, 高辉, 孙冷, 2024a. 2023 年夏季我国气候异常特征及成因分析[J]. *气象*, 50(1): 115-125. Zhi R, Gao H, Sun L, 2024a. Characteristics and possible causes of climate anomalies over China in summer 2023[J]. *Meteor Mon*, 50(1): 115-125(in Chinese).
- 支蓉, 高辉, 孙冷, 2024b. 2023 年汛期气候预测效果评述及先兆信号分析[J]. *气象*, 50(3): 377-386. Zhi R, Gao H, Sun L, 2024b. Overview of climate prediction for the summer 2023 in China and its precursors[J]. *Meteor Mon*, 50(3): 377-386(in Chinese).
- 竺可桢, 1934. 东南季风与中国之雨量[J]. *地理学报*, (1): 1-27. Chu C C, 1934. The enigma of southeast monsoon in China[J]. *Acta Geogr Sin*, (1): 1-27(in Chinese).
- Annamalai H, Kida S, Hafner J, 2010. Potential impact of the tropical Indian Ocean-Indonesian seas on El Niño characteristics[J]. *J Climate*, 23(14): 3933-3952.
- Ashok K, Behera S K, Rao S A, et al, 2007. El Niño Modoki and its possible teleconnection[J]. *J Geophys Res: Oceans*, 112(C11): C11007.
- Cai W J, Wu L X, Lengaigne M, et al, 2019. Pantropical climate interactions[J]. *Science*, 363(6430): eaav4236.
- Ding R Q, Tseng Y H, Di Lorenzo E, et al, 2022. Multi-year El Niño events tied to the North Pacific Oscillation[J]. *Nat Commun*, 13(1): 3871.
- Feng J Q, Wang F J, Yu L J, et al, 2021. Revisiting the relationship between Indo-Pacific heat content and South China Sea summer

- monsoon onset during 1980–2020[J]. *Int J Climatol*, 41(3): 1998–2016.
- Hu Z Z, Kumar A, Huang B H, et al, 2020. The interdecadal shift of ENSO properties in 1999/2000: a review[J]. *J Climate*, 33(11): 4441–4462.
- IPCC, 2021. Summary for policymakers[M]//IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on the Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Liu J P, Ren H L, Li W J, et al, 2019. Diagnosing the leading mode of interdecadal covariability between the Indian Ocean sea surface temperature and summer precipitation in southern China[J]. *Theor Appl Climatol*, 135(3/4): 1295–1306.
- 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 B, Wu R G, Fu X H, 2000. Pacific-East Asian teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate[J]. *J Climate*, 13(9): 1517–1536.
- Wang C Z, 2019. Three-ocean interactions and climate variability: a review and perspective[J]. *Clim Dynam*, 53(7/8): 5119–5136.
- Wu B, Zhou T J, Li T, 2009. Seasonally evolving dominant interannual variability modes of East Asian climate[J]. *J Climate*, 22(11): 2992–3005.
- Wu B, Zhou T J, Li T, 2017. Atmospheric dynamic and thermodynamic processes driving the western North Pacific anomalous anticyclone during El Niño. Part II: formation processes[J]. *J Climate*, 30(23): 9637–9650.
- 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.
- Yang Y, Zhu Z W, Shen X Y, et al, 2023. The influences of Atlantic sea surface temperature anomalies on the ENSO-independent interannual variability of East Asian summer monsoon rainfall[J]. *J Climate*, 36(2): 677–692.
- Yuan Y, Yang S, 2012. Impacts of different types of El Niño on the East Asian climate: focus on ENSO cycles[J]. *J Climate*, 25(21): 7702–7722.
- Yuan Y, Yang S, Zhang Z Q, 2012. Different evolutions of the Philippine Sea anticyclone between the eastern and central Pacific El Niño: possible effects of Indian ocean SST[J]. *J Climate*, 25(22): 7867–7883.
- Zhou X Y, Liu F, Wang B, et al, 2019. Different responses of East Asian summer rainfall to El Niño decays[J]. *Climate Dyn*, 53(3/4): 1497–1515.

(本文责编:王婷波)