

支蓉,郑志海,2022. 2021/2022 年冬季中国气候异常特征及南方降水异常偏多成因分析[J]. 气象, 48(7):925-935. Zhi R, Zheng Z H, 2022. Characteristics of climate anomalies over China in Winter 2021/2022 and causes for precipitation anomalies over southern China[J]. Meteor Mon, 48(7):925-935(in Chinese).

2021/2022 年冬季中国气候异常特征及 南方降水异常偏多成因分析^{*}

支 蓉 郑志海

国家气候中心,中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081

提 要: 2021/2022 年冬季,东亚冬季风较常年同期偏强,西伯利亚高压偏强,我国平均气温较常年同期偏低,在空间型上整体表现为“北暖南冷”的异常分布,全国平均降水量较常年同期偏多,尤其是青藏高原、西南、华南等地偏多较为明显。冬季北极涛动长时间维持正位相,有利于乌拉尔山阻塞高压偏弱;而鄂霍次克海阻塞高压异常活跃,500 hPa 高度场上正距平中心从鄂霍次克海向西延伸至贝加尔湖—巴尔喀什湖附近;此外,冬季北极涛动正位相还通过南欧亚遥相关型的间接途径影响东亚冬季气候,造成中东急流偏强,高原高度场持续偏低,与赤道中东太平洋的 La Niña 事件相配合,使得东亚地区 500 hPa 高度场整体呈现近似“北高南低”的距平分布,我国冬季平均气温在空间型上整体表现为“北暖南冷”的异常分布,南方地区降水异常偏多。在季节内变化方面,我国冬季气温呈现“前冬暖、后冬冷”的特点,主要与东亚冬季风“前冬偏弱、后冬偏强”的季节内变化特征密切相关。

关键词: 东亚冬季风,北极涛动,La Niña,中东急流,高原高度场

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2022.061701

Characteristics of Climate Anomalies over China in Winter 2021/2022 and Causes for Precipitation Anomalies over Southern China

ZHI Rong ZHENG Zhihai

Laboratory of Climate Studies, National Climate Centre, CMA, Beijing 100081

Abstract: The East Asian winter monsoon and the Siberian high were both stronger than normal during the 2021/2022 winter. Temperature over China was colder than normal in winter, and the overall spatial feature was “warmer in Northern China and colder in Southern China”. Precipitation over China was more than normal, especially in the Qinghai-Tibetan Plateau, Southwest China and South China. The Arctic Oscillation maintained a positive phase for a long time in winter, in favorable for the weak Ural Mountain blocking high. The Okhotsk blocking high was abnormally active, and the center of the positive anomaly at the 500 hPa height field extended westward from the Sea of Okhotsk to Lake Baikal-Lake Balkhash. In addition, the positive phase of the Arctic Oscillation in winter also affected East Asia by an indirect way of the southern Eurasian teleconnection, leading to a stronger Middle East jet stream and a persistently lower height field in Tibetan Plateau. Coordinated with the La Niña event, the 500 hPa height field over East Asia presented a “higher in the north and lower in the south” pattern, thus temperature over China showed

^{*} 国家自然科学基金面上项目(41975088、41875101)、国家自然科学基金气象联合基金项目(U2142207)和国家重点研发计划(2017YFC1502303)共同资助

2022 年 4 月 13 日收稿; 2022 年 6 月 17 日收修定稿

第一作者:支蓉,主要从事短期气候预测研究. E-mail:zhirong@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

an anomalous distribution of “warmer in the Northern China and colder in Southern China”, and precipitation over Southern China was more than normal. Temperature over China was “warmer in the earlier winter and colder in the later winter”, which was closely related to the intraseasonal variation of the East Asian winter monsoon, which was “weaker in the earlier winter and stronger in the later winter”.

Key words: East Asian winter monsoon, Arctic Oscillation, La Niña, the Middle East jet stream, height field over the Tibetan Plateau

引 言

东亚冬季风是东亚气候系统的重要组成部分,对中国和整个东亚地区冬季的气候异常有重要影响。东亚冬季风起源于西伯利亚高压,其强度主要取决于西伯利亚高压的发展程度(丁一汇,2013)。东亚冬季风偏强时,西伯利亚高压和阿留申低压偏强,东亚大槽加深,继而引导极地冷空气南下,使得我国除东北北部和西南地区以外的大部分地区气温偏低,易发生强降温、强降雪等天气、气候灾害(郭其蕴,1994;高辉,2007;Huang et al, 2007;陈文等,2013)。

ENSO(El Niño-Southern Oscillation)作为热带太平洋海-气耦合系统年际变率的主要模态,对我国冬季气候存在显著影响(陈文,2002;Li,1989;陶诗言和张庆云,1998;穆明权,2001;王会军和贺圣平,2012;Webster and Yang,1992;Shi and Qian,2018)。大量研究揭示了 ENSO 与东亚冬季风强度存在明显的反向变化关系,即大多数 El Niño/La Niña 事件盛期的冬季东亚冬季风偏强/偏弱,这种反向关系主要是通过激发罗斯贝波导致菲律宾海附近对流层低层出现异常反气旋/气旋性环流实现的,并往往导致我国南方地区降水偏多/偏少(穆明权和李崇银,1999;Zhang et al,1996;Wang et al,2000;袁媛等,2014;Wang and Zhang,2002)。但值得注意的是,ENSO 对中国气候异常的影响也存在很大的不确定性,例如 Wang and He(2012)的研究表明 ENSO 和东亚冬季风的年际关系存在年代际变化,且 ENSO 对东亚冬季风的影响表现出明显的不对称性(Hoerling et al,1997;徐需强等,2016)等。

除了来自热带的 ENSO 信号外,东亚冬季气候异常还受到中高纬度异常信号的显著影响。例如,秋、冬季大西洋海温异常能够激发出定常波列,引起下游乌拉尔山阻塞高压的生成和发展,导致西伯利亚高压加强,使得东亚冬季风异常(李崇银和顾薇,

2010);秋、冬季北极海冰异常也是东亚冬季风的重要影响因子,且二者间的关系往往受到前期夏季北极大气环流状态的调制(Wu et al,2011;2015);贺圣平和王会军(2012)研究表明,年代际尺度上,20 世纪 80 年代中期以来北极涛动(Arctic Oscillation, AO)的显著增强可能是造成东亚冬季风偏弱的重要原因;而年际尺度上,AO 对东亚冬季气候的影响同样不容忽视,一方面,AO 可通过冬季北大西洋风暴路径的纬向变化以及相关的温度、降水 and 气旋活动,对北美、欧亚和北非的气候产生强烈的影响,冬季 AO 负位相对应的大气环流异常有利于东亚冬季风的加强和气温偏低,并且往往带来较强的寒潮事件;另一方面,它也可能通过南欧亚遥相关型影响东亚地区,高原的高度场是该遥相关型的中心之一,因此对我国西南地区降水产生影响(徐寒列等,2012;Li et al,2019)。例如,2007/2008 年冬季,虽然热带太平洋发生了一次 La Niña 事件,但我国南方地区降水却表现出异常偏多的特征,并发生了严重的低温雨雪冰冻灾害,王东海等(2008)、Wen et al(2009)研究表明,AO 对此有重要影响。

除了季节平均特征,东亚冬季风的季节内变率及其影响也广受关注。例如,李崇银(1988)、Chan and Li(2004)研究表明,东亚冬季风具有较为显著的 30~60 d(或准 40 d)以及 10~20 d 周期性特征。近年来,由于中国冬季季节内气温变化的“冷-暖(暖-冷)急转”现象频繁发生,给短期气候预测带来巨大的挑战(丁一汇等,2008;布和朝鲁等,2018;司东等,2016;聂羽等 2016)。对此,国内外众多专家和学者开展了大量研究:如韦玮等(2014)的研究表明,前冬出现全国型偏暖(冷)或北冷南暖(北暖南冷)的气温异常时,后冬出现类似或相反气温异常的概率分别在 50%左右;董文杰等(2003)、黄嘉佑和胡永云(2006)及 Cohen et al(2014)的研究较为一致地指出,中国前、后冬气温变化趋势呈现明显的非对称性;Li et al(2021)的研究表明,20 世纪 90 年代末以来,中国 12 月和 1 月平均气温的反转现象发生频

率大大增加,这一现象可能主要受到中部型 ENSO 事件的影响,而西伯利亚高压是二者相联系的重要媒介;Ding et al(2021) 的研究指出,9—10 月北极海冰偏少将有利于后冬 1—3 月中国北方,尤其是东北地区气温偏低;Xu et al(2021)的研究则指出,前冬 11—12 月北极海冰减少将会造成后冬 1—2 月东亚大槽加深,有利于东亚冬季风的增强。

近年来,国家气候中心在每年都及时开展气候异常特征的分析及成因诊断工作(丁婷等,2017;章大全和宋文玲,2018;支蓉和高辉,2019;赵俊虎等,2020;韩荣青等,2021)。2021/2022 年冬季,东亚冬季风整体偏强,西伯利亚高压偏强,全国平均气温较常年同期(1991—2020 年平均,下同)偏低,空间型上整体表现为“北暖南冷”的异常分布,气温偏低的区域主要集中在青藏高原、西南、华南等地,全国其余地区气温接近常年同期至偏高;同时,东亚冬季风呈现“前冬偏弱、后冬偏强”的季节内变化特征,受其影响,我国冬季气温也呈现出“前冬暖、后冬冷”的阶段性特征;冬季全国平均降水量较常年同期偏多,尤其是青藏高原、西南、华南等地偏多较为明显。2021/2022 年我国冬季气温异常空间分布及阶段性特征与东亚大气环流之间有着怎样的联系?在热带太平洋 La Niña 发展的背景下我国南方降水却异常偏多的原因为何?本文将针对以上问题展开分析。

1 资料和方法

本文使用的资料主要有:(1)中国气象局国家气象信息中心整编的“中国地面基本气象要素日值数据集(V3.0)”逐日气温和降水观测资料,包含了中国 2474 个基本、基准和一般气象站 1951 年 1 月以来气温、降水的日值数据,并在逐日数据的基础上计算得到逐月和季节平均数据,其中冬季指当年 12 月至次年 2 月的三个月平均,如 2021/2022 年冬季为 2021 年 12 月至 2022 年 2 月。(2)国家气候中心提供的 160 个站月降水观测资料。(3)大气环流资料为 NCEP/NCAR 逐月再分析资料(Kalnay et al, 1996),水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。文中所指气候态为 1991—2020 年平均。

东亚冬季风强度指数采用的是朱艳峰(2008)的定义,即将 $25^{\circ} \sim 35^{\circ} \text{N}$ 、 $80^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ 范围内 500 hPa 纬向风的平均值减去 $50^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ 、 $80^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ 范围

内 500 hPa 纬向风的平均值,并对差值进行标准化处理。西伯利亚高压指数定义为 $40^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ 、 $80^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ 范围内海平面气压的面积加权平均值,结果同样进行标准化处理。AO 指数和高原高度场指数均来源于国家气候中心“气候与气候变化监测预测系统”。

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”。

2 2021/2022 年冬季我国气候异常特征

2.1 2021/2022 年冬季我国气温异常特征

2021/2022 年冬季,全国平均气温为 -3.2°C ,较常年同期(-3.0°C)偏低 0.2°C (图 1a)。从气温距平空间分布来看,气温偏低的区域主要集中在青藏高原、西南、华南、华中南部、东北北部等地,其中青藏高原大部、华南西部等地偏低 2°C 以上;全国其余地区气温接近常年同期至偏高(图 1b)。

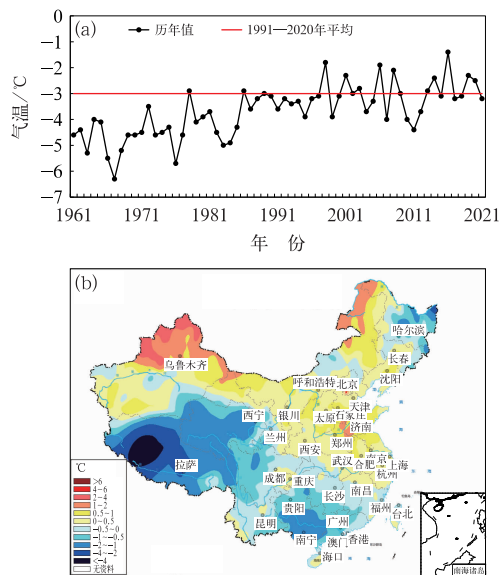


图 1 (a)1961/1962—2021/2022 年冬季
全国平均气温历年变化及
(b)2021/2022 年冬季全国气温距平分布

Fig. 1 (a) Time series of winter mean temperature over China during 1961/1962–2021/2022 and (b) distribution of temperature anomalies of China in winter 2021/2022

2021/2022 年冬季,我国气温整体表现为“前冬暖、后冬冷”的阶段变化特征;除西藏地区整个冬季表现为持续异常偏冷外,全国其余大部分地区气温季节内波动特征明显。2021 年 12 月和 2022 年 1 月,全国平均气温分别为 -2.3°C 和 -4°C ,均较常年同期(-3°C 和 -4.8°C)明显偏高,偏高的异常程度分别位列 1981 年以来同期第九位和第八位;除西藏及东北北部等地气温持续较常年同期偏低外,全国其余大部地区气温较常年同期偏高(图 2a、2b)。2022 年 2 月,气温迅速转低,全国整体以一致偏冷为主要特征(图 2c);全国平均气温为 -3.2°C ,较常年同期(-1.2°C)偏低 2°C ,位列 1981 年以来同期第六位,为 2009 年以来同期最冷;内蒙古中西部、青藏高原大部、西南地区南部、江南、华南等地气温偏低 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$,其中内蒙古中部、华南西部等地偏低超过 4°C 。从冬季全国平均气温距平逐候演变曲线也可以明显看出 2021/2022 年冬季我国气温呈“前冬暖、后冬冷”的季节内进程特点,2021 年 12 月至 2022 年 1 月,气温维持接近常年至偏暖的状态,仅 12 月第 6 候气温明显较常年同期偏低;进入 2 月,全国平均气温呈现较常年同期持续明显偏低的特点,其

中 2 月第 5 候较常年同期偏低达 4.5°C (图 2d)。

2.2 2021/2022 年冬季我国降水异常特征

2021/2022 年冬季,全国平均降水量为 52.5 mm,较常年同期(42.1 mm)偏多 24.7%,位列 1981 年以来第八位(图 3a)。除新疆、西北地区西部、东北地区南部、华东北部等地降水较常年同期偏少外,全国其余大部地区降水接近常年同期至偏多。其中西北地区东部、西藏大部、西南地区大部、华中南部、华南等地降水偏多超过 5 成,局部超过 1 倍(图 3b)。

2021 年 12 月,降水偏多的区域主要位于 105°E 以西,我国东部地区整体以降水偏少为主;月平均降水量为 8.7 mm,较常年同期(11.9 mm)偏少 26.9%(图 4a)。2022 年 1 月,降水偏多的区域较前期明显东扩,我国东部长江中下游及其以北地区降水明显偏多;月平均降水量为 18.2 mm,较常年同期(14.3 mm)偏多 27.3%,位列 1981 年以来历史第八位(图 4b)。2022 年 2 月, 105°E 以西地区降水持续明显偏多,东部地区降水偏多的区域明显较 1 月有所南压,主要位于江南南部至华南;此外,受 2 月 13 日前后一次强降雪过程影响,华北北部至内

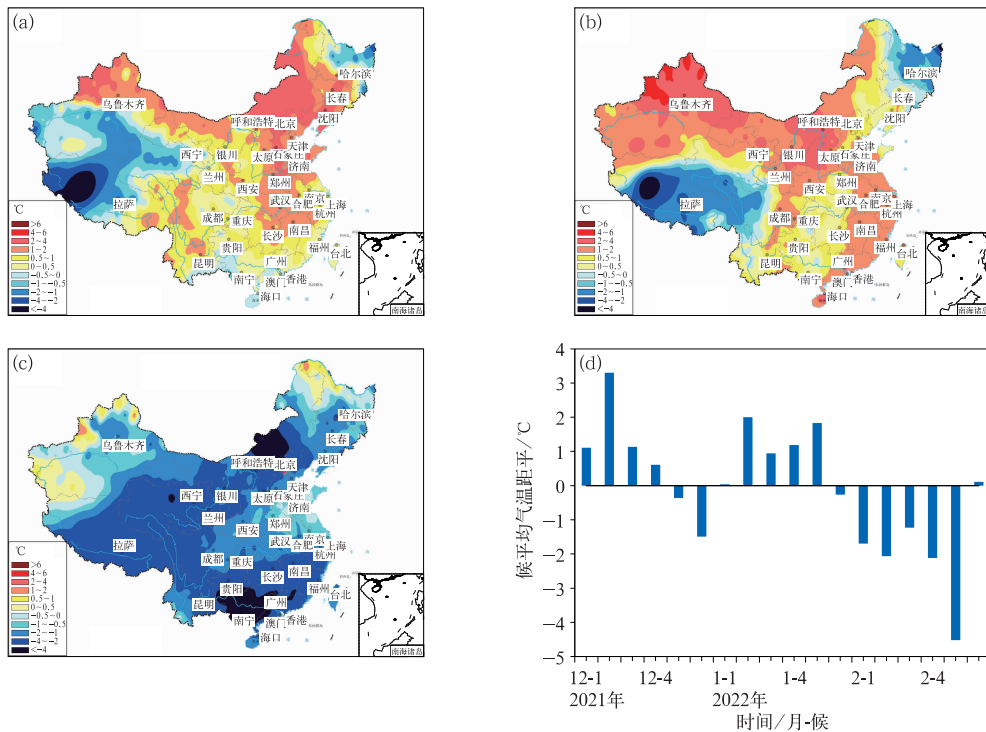


图 2 (a)2021 年 12 月、2022 年(b)1 月和(c)2 月全国气温距平分布,

及(d)2021/2022 年冬季逐候全国平均气温距平

Fig. 2 Distribution of temperature anomalies of China in (a) December 2021, (b) January and (c) February 2022 and (d) pentad mean temperature anomalies over China in winter 2021/2022

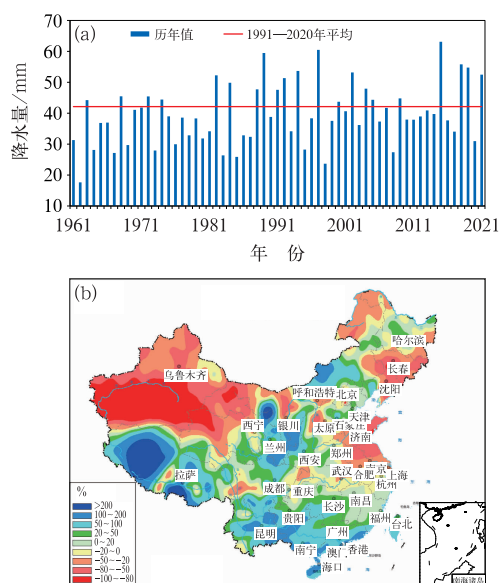


图3 同图1,但为(a)降水量和(b)其距平百分率
Fig. 3 Same as Fig. 1, but for (a) precipitation and (b) its anomaly percentage

蒙古中部等地降水也表现为偏多的特征;2月全国平均降水量为25.5 mm,较常年同期(16.3 mm)偏多56.4%,位列1981年以来历史第四位(图4c)。

3 2021/2022年冬季北半球大尺度环流及东亚冬季风活动特征

3.1 北半球大尺度环流背景

2021/2022年冬季,AO维持正位相的时间超过2/3(图5c),有利于乌拉尔山阻塞高压的偏弱(李崇银和顾薇,2010),500 hPa高度场上乌拉尔山附近呈现负距平特征(图5a);而鄂霍次克海阻塞高压则异常活跃,且高度场正距平中心向西延伸至贝加尔湖—巴尔喀什湖附近(图5a),不利于东路冷空气南下,因此冬季影响我国的冷空气路径整体以偏西为主。青藏高原附近为高度场负距平中心(图5a),从高原高度场指数逐候演变来看,整个冬季大约有2/3的时间高原高度场维持在较常年同期偏低的状态(图5d)。东亚地区高度场整体呈现“北高南低”的距平分布(图5a),环流指向度较大,有利于来自中高纬度地区的冷空气南下影响我国。低层风场上(图5b),印度北部及孟加拉湾附近为明显的气旋式环流异常,冬季南支槽活动较为活跃,西南向水汽输送持续偏强;西北太平洋高度场整体呈现负距平为

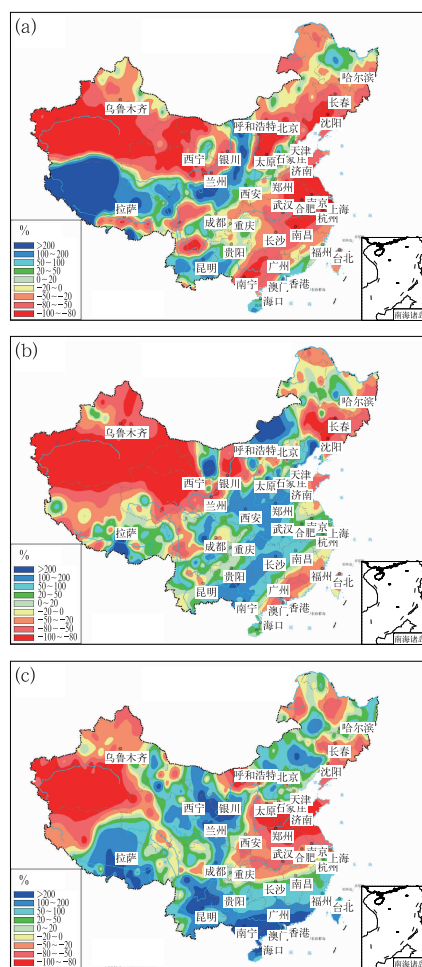


图4 (a)2021年12月、2022年(b)1月和(c)2月全国降水量距平百分率分布
Fig. 4 Distribution of precipitation anomaly percentage of China in (a) December 2021, (b) January and (c) February 2022

主的特征(图5a),西太平洋副热带高压(以下简称副高)总体偏弱。持续的西南向水汽输送和不断南下的冷空气相结合是我国南方地区降水异常偏多的直接原因。

2021/2022年冬季大气环流具有显著的季节内变化特征:2021年12月至2022年1月(图6a),欧亚中高纬地区以纬向型环流为主,乌拉尔山附近为高度场负距平,贝加尔湖—巴尔喀什湖及我国中东部大部分地区为高度场正距平,东亚大槽整体略偏弱,呈现较典型的冬季风偏弱的特征,不利于冷空气南下,我国大部地区气温较常年同期偏高。而2022年2月(图6b),环流形势较前期发生明显变化,乌拉尔山附近高度场转为正距平,青藏高原高度场负距平进一步加强,贝加尔湖—巴尔喀什湖以南的东

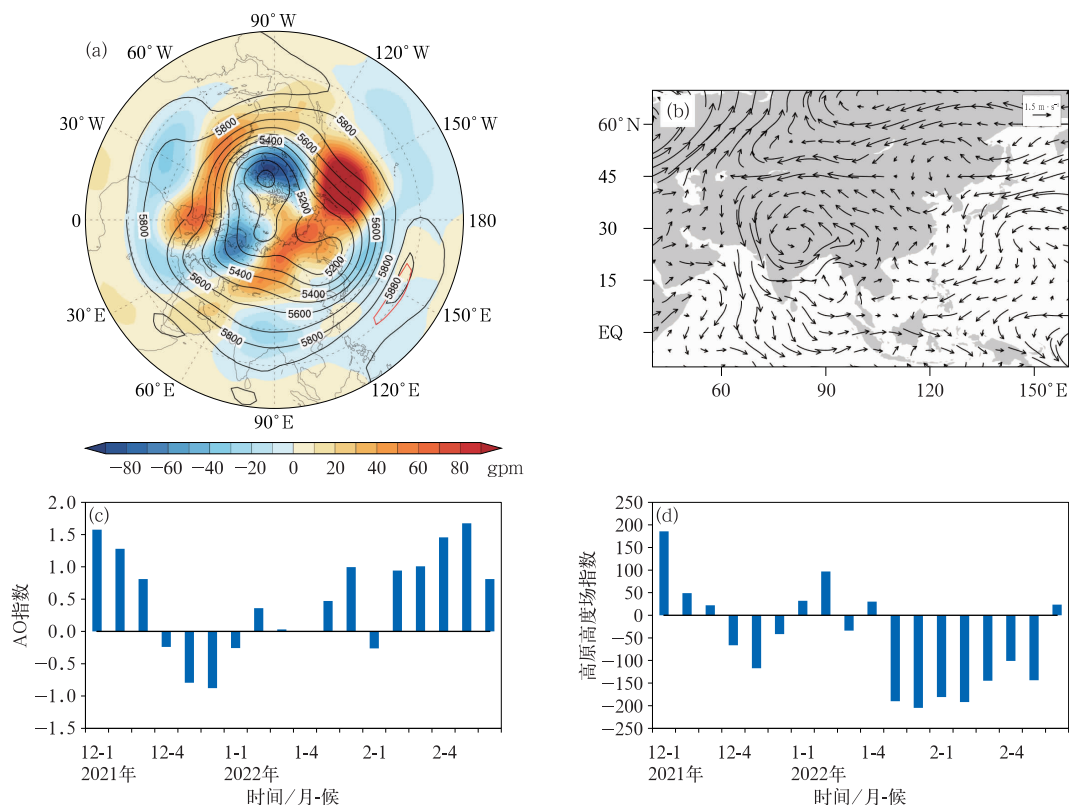


图 5 2021/2022 年冬季(a)平均 500 hPa 高度场(等值线,红色等值线为气候平均的 5880 gpm,下同)和距平场(填色),
(b)700 hPa 风场距平(风矢),(c)AO 指数和(d)高原高度场指数逐候演变

Fig. 5 (a) The 500 hPa geopotential height (contours, red contour: climatological 5880 gpm) and anomalies (colored),
(b) 700 hPa wind anomalies (vector), (c, d) pentad variation of (c) Arctic Oscillation and (d) geopotential height over the Tibetan Plateau indices in winter 2021/2022

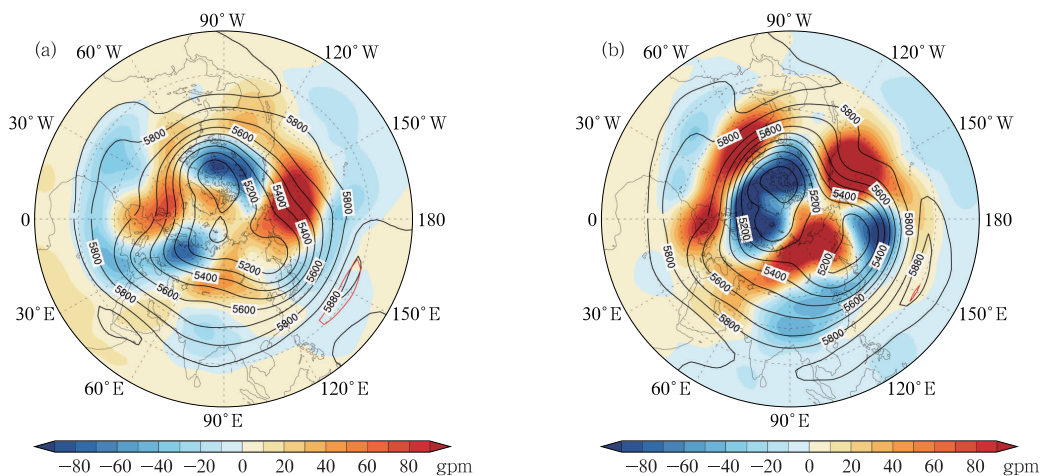


图 6 (a)2021 年 12 月至 2022 年 1 月及(b)2022 年 2 月平均
500 hPa 高度场(等值线,单位:gpm)和距平场(填色)

Fig. 6 The 500 hPa mean geopotential height (contours, unit: gpm) and anomalies (colored)
(a) from December 2021 to January 2022 and (b) in February 2022

亚大部地区为高度场负距平所控制,东亚地区整体呈现“北高南低”的高度场异常分布,环流经向度明显加大,冷空气活跃且较为持续,我国大部地区气温较常年同期偏低。

3.2 东亚冬季风活动特征

东亚冬季风标准化强度指数和西伯利亚高压标准化强度指数均显示 2021/2022 年冬季平均东亚冬季风较常年同期偏强(图 7a,7b),这与我国冬季气温整体偏低的特征很好对应。为了进一步分析冬季气候的阶段变化特征,图 7c 和 7d 分别给出了东亚冬季风和西伯利亚高压强度指数的逐候演变,二者一致反映出东亚冬季风季节内“前弱后强”的阶段特征。1 月第 5 候之前,东亚冬季风整体持续偏弱,受其影响,全国平均气温在此期间也维持以偏暖为主的特征(图 2d);1 月第 5 候之后,东亚冬季风转入持续偏强的状态,与之相对应,全国平均气温也从前期持续偏暖转为后期持续偏冷的状态(图 2d)。总体而言,东亚冬季风阶段性特征与全国平均气温的季节内进程特征的反相关系异常清晰,充分显示出 2021/2022 年冬季东亚冬季风对我国冬季气温的直接和显著影响,这与前人的研究结果也是一致的

(丁婷等,2017;章大全和宋文玲,2018;支蓉和高辉,2019;赵俊虎等,2020;韩荣青等,2021)。

4 2021/2022 年冬季我国南方降水异常成因分析

一般而言,La Niña 事件盛期的冬季,由于西北太平洋盛行异常气旋式环流,往往导致向我国的水汽输送条件偏差,我国南方地区冬季降水以偏少为主。但 2021/2022 年冬季,虽然处于 La Niña 事件盛期的背景下,我国南方地区降水却表现出异常偏多的特征,以云南为例,冬季平均降水量为 94.4 mm,较常年同期偏多 70.9%,位列 1981 年以来历史第四位;广东、广西冬季平均降水量为 267.9 mm,较常年同期偏多 86.3%,同样位列 1981 年以来历史第四位。显然,2021/2022 年冬季我国南方降水的异常特征不能仅用 ENSO 影响来解释,其背后还有其他的关键影响因子值得进一步探讨。

2021/2022 年冬季高原高度场持续偏低,南支槽活跃,使得我国南方地区水汽输送条件较好,降水偏多。图 8a 进一步给出了冬季高原高度场与降水的相关分布,可以看出高原高度场与我国西南和华

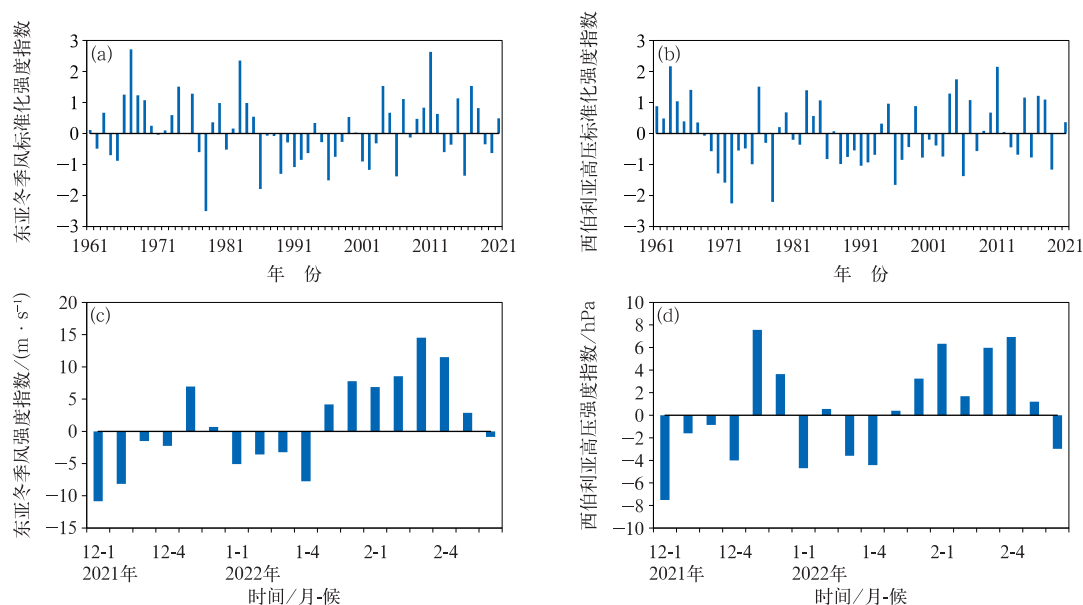


图 7 (a,b)1961/1962—2021/2022 冬季标准化强度指数历年变化和(c,d)2021/2022 年冬季强度指数逐候演变
(a,c)东亚冬季风,(b,d)西伯利亚高压

Fig. 7 Variations of (a, b) standardiza index for winter during the period of 1961/1962—2021/2022,
and (c, d) pantad index for winter in 2021/2022
(a, c) East Asia winter monsoon, (b, d) Siberian high

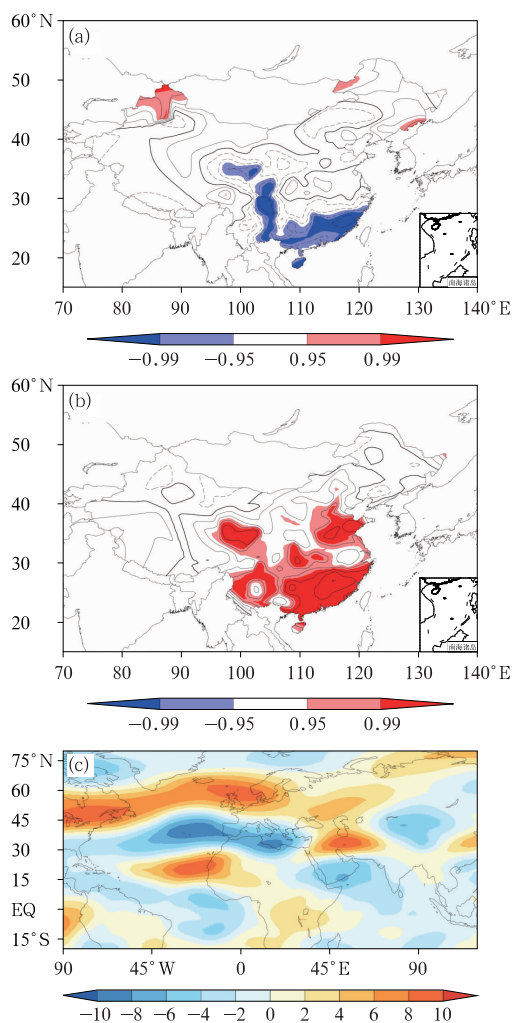


图8 1961/1962—2021/2022年冬季(a)高原高度场指数,(b)中东急流指数与降水的相关分布(填色区为通过0.05和0.01显著性水平检验的区域),
(c)2021/2022年冬季200 hPa纬向风距平场

Fig. 8 Patterns of correlation between (a) the height index and (b) Middle East jet stream and the precipitation for winter during the period of 1961/1962–2021/2022 (Colored areas have passed the significance test at levels of 0.05 and 0.01), (c) 200 hPa zonal wind anomalies in winter 2021/2022

南地区的降水呈现显著的负相关关系。有研究表明,AO长时间维持正位相,有利于出现南欧亚遥相关型的正位相(徐寒列等,2012;Li et al,2019),表现为在欧洲西南部和阿拉伯海以及亚洲东北部为高度场正距平,而在中东和青藏高原地区为高度场负距平。该遥相关波列以副热带西风急流为波导传播,在AO正位相维持的情况下,200 hPa纬向风距平场上有一支由北大西洋指向阿拉伯海北部的波列

(图8c),中东急流偏强。图8b进一步给出了中东急流与降水的相关分布,可以看出,中东急流指数与我国南方地区降水呈现显著的正相关关系,表明中东急流偏强有利于我国南方地区降水偏多。有研究指出,中东急流偏强有利于冷空气从偏西路径影响青藏高原及我国南方地区,青藏高原至孟加拉湾附近高度场偏低,低层风场上呈现异常气旋式环流(图5b),南支槽活跃,西南向水汽输送偏强,与不断南下的冷空气相结合,最终造成冬季我国南方地区降水异常偏多(Yang et al,2004;张自银等,2008;Wen et al,2009;倪东鸿等,2010a;2010b;Mao et al,2011;Yang,2011)。2008年1月我国南方发生持续性低温雨雪冰冻天气过程也与该遥相关波列密切相关(Wen et al,2009;徐寒列等,2012)。

5 结论与讨论

(1)2021/2022年冬季,全国平均气温较常年同期偏低;从气温距平的空间分布来看,整体呈现“北暖南冷”的异常分布;从季节内进程来看,整体表现出“前冬暖、后冬冷”的阶段性变化特征。冬季我国南方地区降水量较常年同期明显偏多。

(2)2021/2022年冬季,AO长时间维持正位相,乌拉尔山阻塞高压偏弱,鄂霍次克海阻塞高压偏强,青藏高原附近高度场长时间维持负距平,导致东亚地区环流经向度较大,影响我国的冷空气路径以偏西为主,我国冬季气温偏低的区域主要集中在青藏高原、西南、华南、华中南部等地,整体呈现“北暖南冷”特征。环流具有显著的季节内变化特征,2021年12月至2022年1月,东亚中高纬地区以纬向型环流为主,西伯利亚高压偏弱,东亚冬季风偏弱,我国大部地区气温偏高;而2022年2月,环流形势较前期有明显变化,西伯利亚高压偏强,东亚冬季风偏强,东亚地区环流经向度明显加大,冷空气活跃且较为持续,我国大部地区气温较常年同期偏低。

(3)2021/2022年冬季,虽然处于La Niña事件盛期的背景下,我国南方地区降水却表现出异常偏多的特征,究其原因,主要是因为AO长时间维持正位相,在对流层高层激发出一支由北大西洋指向阿拉伯海北部的波列,使得中东急流偏强,形成了以副热带西风急流为波导的南欧亚遥相关型,有利于高原高度场持续偏低,导致冷空气从偏西路影响青藏高原及我国南方地区;青藏高原至孟加拉湾附近为

异常气旋式环流所控制,南支槽活跃,西南向水汽输送偏强,与不断南下的冷空气相结合,最终造成冬季我国南方地区降水异常偏多。

近年来,中国冬季季节内气温变化的“冷-暖(暖-冷)急转”现象频繁发生,已有工作研究了中部型 ENSO 以及北极海冰等下垫面异常的影响,但这些影响机制并不能很好地解释 2021/2022 年中国冬季气温的阶段特征,下垫面异常信号对东亚冬季风及我国冬季气温季节内变率的影响还需要在今后的研究中进一步深入探讨。

另一方面,本文的研究表明,2021/2022 年冬季 AO 持续正位相,并通过副热带西风急流造成青藏高原高度场偏低,是我国南方地区降水偏多的重要原因,然而,AO 影响我国冬季气候的途径不止一条,比如直接影响北半球高纬度环流、通过中东急流影响中纬度环流、影响准定常行星波等(Li et al, 2019),在冬季 AO 出现异常的情况下,如何预判优势的影响途径,目前的研究还相对较少,值得进一步探讨。

参考文献

- 布和朝鲁,彭京备,谢作威,等,2018. 冬季大范围持续性极端低温事件与欧亚大陆大型斜脊槽系统研究进展[J]. 大气科学, 42(3):656-676. Bueh C, Peng J B, Xie Z W, et al, 2018. Recent progresses on the studies of wintertime extensive and persistent extreme cold events in China and large-scale tilted ridges and troughs over the Eurasian Continent[J]. Chin J Atmos Sci, 42(3):656-676(in Chinese).
- 陈文,2002. El Niño 和 La Niña 事件对东亚冬、夏季风循环的影响[J]. 大气科学, 26(5):595-610. Chen W, 2002. Impacts of El Niño and La Niña on the cycle of the East Asian winter and summer monsoon[J]. Chin J Atmos Sci, 26(5):595-610(in Chinese).
- 陈文,魏科,王林,等,2013. 东亚冬季风气候变异和机理以及平流层过程的影响[J]. 大气科学, 37(2):425-438. Chen W, Wei K, Wang L, et al, 2013. Climate variability and mechanisms of the East Asian winter monsoon and the impact from the stratosphere[J]. Chin J Atmos Sci, 37(2):425-438(in Chinese).
- 丁婷,王永光,柯宗建,等,2017. 2016/2017 年冬季北半球大气环流及对我国冬季气温的影响[J]. 气象, 43(7):887-893. Ding T, Wang Y G, Ke Z J, et al, 2017. Northern Hemisphere atmospheric circulation in winter 2016/2017 and its impact on temperature in China[J]. Meteor Mon, 43(7):887-893(in Chinese).
- 丁一汇,2013. 中国气候[M]. 北京:科学出版社:576. Ding Y H, 2013. Chinese Climate[M]. Beijing: Science Press:576(in Chinese).
- 丁一汇,王遵娅,宋亚芳,等,2008. 中国南方 2008 年 1 月罕见低温雨雪冰冻灾害发生的原因及其与气候变暖的关系[J]. 气象学报, 66(5):808-825. Ding Y H, Wang Z Y, Song Y F, et al, 2008. Causes of the unprecedented freezing disaster in January 2008 and its possible association with the global warming[J]. Acta Meteor Sin, 66(5):808-825(in Chinese).
- 董文杰,符淙斌,温刚,等,2003. 全球变化的区域响应和适应[C]// 大气科学发展战略——中国气象学会第 25 次全国会员代表大会暨学术年会论文集. 北京:中国气象学会. Dong W J, Fu C B, Wen G, et al, 2003. Regional response and adaptation to global change[C]// Proceedings of the 25th National Congress of Chinese Meteorological Society and Academic Annual Conference. Beijing: Chinese Meteorological Society(in Chinese).
- 高辉,2007. 东亚冬季风指数及其对东亚大气环流异常的表征[J]. 气象学报, 65(2):272-279. Gao H, 2007. Comparison of four East Asian winter monsoon indices[J]. Acta Meteor Sin, 65(2):272-279(in Chinese).
- 郭其蕴,1994. 东亚冬季风的变化与中国气温异常的关系[J]. 应用气象学报, 5(2):218-225. Guo Q Y, 1994. Relationship between the variations of East Asian winter monsoon and temperature anomalies in China[J]. Quart J Appl Meteor, 5(2):218-225(in Chinese).
- 韩荣青,石柳,袁媛,2021. 2020/2021 年冬季中国气候冷暖转折成因分析[J]. 气象, 47(7):880-892. Han R Q, Shi L, Yuan Y, 2021. Analysis on the causes of cold and warm transition in China during the winter of 2020/2021[J]. Meteor Mon, 47(7):880-892(in Chinese).
- 贺圣平,王会军,2012. 东亚冬季风综合指数及其表达的东亚冬季风年际变化特征[J]. 大气科学, 36(3):523-538. He S P, Wang H J, 2012. An integrated East Asian winter monsoon index and its interannual variability[J]. Chin J Atmos Sci, 36(3):523-538(in Chinese).
- 黄嘉佑,胡永云,2006. 中国冬季气温变化的趋向性研究[J]. 气象学报, 64(5):614-621. Huang J Y, Hu Y Y, 2006. Trends of winter temperatures in China[J]. Acta Meteor Sin, 64(5):614-621(in Chinese).
- 李崇银,1988. 频繁的强大东亚大槽活动与 El Niño 的发生[J]. 中国科学(B 辑), 28(6):667-674. Li C Y, 1988. Frequent activities of strong East Asian trough and the occurrence of El Niño[J]. Sci China (Ser B), 28(6):667-674(in Chinese).
- 李崇银,顾薇,2010. 2008 年 1 月乌拉尔阻塞高压异常活动的分析研究[J]. 大气科学, 34(5):865-874. Li C Y, Gu W, 2010. An analyzing study of the anomalous activity of blocking high over the Ural Mountains in January 2008[J]. Chin J Atmos Sci, 34(5):865-874(in Chinese).
- 穆明权,李崇银,1999. 东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息 I. 观测资料分析[J]. 大气科学, 23(3):276-285. Mu M Q, Li C Y, 1999. ENSO signals in the interannual variability of East-Asian winter monsoon. Part I: observed data analyses[J]. Chin J Atmos Sci, 23(3):276-285(in Chinese).
- 穆明权,2001. 东亚冬季风异常与 ENSO 循环关系的进一步研究[J]. 气候与环境研究, 6(3):273-285. Mu M Q, 2001. A further research on the cyclic relationship between anomalous East-Asian

- winter monsoon and ENSO[J]. Climatic Environ Res, 6(3): 273-285(in Chinese).
- 倪东鸿, 孙照渤, 李忠贤, 等, 2010a. 冬季中东急流与中国气候异常的联系[J]. 气象科学, 30(3): 301-307. Ni D H, Sun Z B, Li Z X, et al, 2010a. Relation of Middle East jet stream and China climate anomaly in winter[J]. Sci Meteor Sin, 30(3): 301-307(in Chinese).
- 倪东鸿, 孙照渤, 李忠贤, 等, 2010b. 冬季中东急流时空变化特征及其与中国气候的关系[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 11(3): 354-359. Ni D H, Sun Z B, Li Z X, et al, 2010b. Spatio-temporal characteristics of the Middle East jet stream and its relationship with China climate in winter[J]. J PLA Univ Sci Technol (Nat Sci Ed), 11(3): 354-359(in Chinese).
- 聂羽, 孙冷, 王东阡, 等, 2016. 2015/2016 年前冬至隆冬北半球中高纬度暖冷急转及环流特征初析[J]. 气象, 42(10): 1223-1229. Nie Y, Sun L, Wang D Q, et al, 2016. Possible causes for the sudden drop of air temperature in the Northern Hemisphere from early to mid winter[J]. Meteor Mon, 42(10): 1223-1229(in Chinese).
- 司东, 马丽娟, 王朋岭, 等, 2016. 2015/2016 年冬季北极涛动异常活动及其对我国气温的影响[J]. 气象, 42(7): 892-897. Si D, Ma L J, Wang P L, et al, 2016. Anomalous activity of Arctic Oscillation in winter 2015/2016 and its impact on temperature in China[J]. Meteor Mon, 42(7): 892-897(in Chinese).
- 陶诗言, 张庆云, 1998. 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应[J]. 大气科学, 22(4): 399-407. Tao S Y, Zhang Q Y, 1998. Response of the Asian winter and summer monsoon to ENSO events[J]. Sci Atmos Sin, 22(4): 399-407(in Chinese).
- 王东海, 柳崇健, 刘英, 等, 2008. 2008 年 1 月中国南方低温雨雪冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析[J]. 气象学报, 66(3): 405-422. Wang D H, Liu C J, Liu Y, et al, 2008. A preliminary analysis of features and causes of the snow storm event over the southern China in January 2008[J]. Acta Meteor Sin, 66(3): 405-422(in Chinese).
- 韦玮, 王林, 陈权亮, 等, 2014. 我国前冬和后冬气温年际变化的特征与联系[J]. 大气科学, 38(3): 524-536. Wei W, Wang L, Chen Q L, et al, 2014. Interannual variations of early and late winter temperatures in China and their linkage[J]. Chin J Atmos Sci, 38(3): 524-536(in Chinese).
- 徐寒列, 李建平, 冯娟, 等, 2012. 冬季北大西洋涛动与中国西南地区降水的不对称关系[J]. 气象学报, 70(6): 1276-1291. Xu H L, Li J P, Feng J, et al, 2012. The asymmetric relationship between the winter NAO and the precipitation in Southwest China[J]. Acta Meteor Sin, 70(6): 1276-1291(in Chinese).
- 徐需强, 冯娟, 陈文, 2016. ENSO 冷暖位相影响东亚冬季风与东亚夏季风联系的非对称性[J]. 大气科学, 40(4): 831-840. Xu P Q, Feng J, Chen W, 2016. Asymmetric role of ENSO in the link between the East Asian winter monsoon and the following summer monsoon[J]. Chin J Atmos Sci, 40(4): 831-840(in Chinese).
- 袁媛, 李崇银, 杨崧, 2014. 与厄尔尼诺和拉尼娜相联系的中国南方冬季降水的年代际异常特征[J]. 气象学报, 72(2): 237-255. Yuan Y, Li C Y, Yang S, 2014. Decadal anomalies of winter precipitation over southern China in association with El Niño and La Niña[J]. Acta Meteor Sin, 72(2): 237-255(in Chinese).
- 章大全, 宋文玲, 2018. 2017/2018 年冬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(7): 969-976. Zhang D Q, Song W L, 2018. Northern Hemisphere atmospheric circulation characteristics in 2017/2018 winter and its impact on weather and climate in China[J]. Meteor Mon, 44(7): 969-976(in Chinese).
- 张自银, 龚道溢, 郭栋, 等, 2008. 我国南方冬季异常低温和异常降水事件分析[J]. 地理学报, 63(9): 899-912. Zhang Z Y, Gong D Y, Guo D, et al, 2008. Anomalous winter temperature and precipitation events in southern China[J]. Acta Geogr Sin, 63(9): 899-912(in Chinese).
- 赵俊虎, 宋文玲, 柯宗建, 2020. 2019/2020 年冬季我国暖湿气候特征及成因分析[J]. 气象, 46(7): 982-993. Zhao J H, Song W L, Ke Z J, 2020. Characteristics and causes analysis of the warm and wet winter in China in 2019/2020[J]. Meteor Mon, 46(7): 982-993(in Chinese).
- 支蓉, 高辉, 2019. 2018/2019 年冬季北半球大气环流特征及对我国冬季气温异常的影响[J]. 气象, 45(7): 1019-1027. Zhi R, Gao H, 2019. Northern Hemisphere atmospheric circulation characteristics in winter 2018/2019 and its impact on temperature anomalies in China[J]. Meteor Mon, 45(7): 1019-1027(in Chinese).
- 朱艳峰, 2008. 一个适用于描述中国大陆冬季气温变化的东亚冬季风指数[J]. 气象学报, 66(5): 781-788. Zhu Y F, 2008. An index of East Asian winter monsoon applied to description the Chinese mainland winter temperature changes[J]. Acta Meteor Sin, 66(5): 781-788(in Chinese).
- Chan J C L, Li C Y, 2004. The East Asia winter monsoon[M] // Chang C P. East Asian Monsoon. Singapore: World Scientific: 54-106.
- Cohen J, Screen J A, Furtado J C, et al, 2014. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather[J]. Nat Geosci, 7(9): 627-637.
- Ding S Y, Wu B Y, Chen W, 2021. Dominant characteristics of Early Autumn arctic sea ice variability and its impact on winter Eurasian Climate[J]. J Climate, 34(5): 1825-1846.
- Hoerling M P, Kumar A, Zhong M, 1997. El Niño, La Niña, and the nonlinearity of their teleconnections[J]. J Climate, 10(8): 1769-1786.
- Huang R H, Chen J L, Huang G, 2007. Characteristics and variations of the East Asian monsoon system and its impacts on climate disasters in China[J]. Adv Atmos Sci, 24(6): 993-1023.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Am Meteor Soc, 77(3): 437-470.
- Li C Y, 1989. Warmer winter in eastern China and El Niño[J]. Chin Sci Bull, 34(4): 1801-1805.
- Li H, Fan K, He S P, et al, 2021. Intensified impacts of central Pacific ENSO on the reversal of December and January surface air

- temperature anomaly over China since 1997[J]. *J Climate*, 34(5):1601-1618.
- Li J P, Zheng F, Sun C, et al, 2019. Pathways of influence of the Northern Hemisphere Mid-high latitudes on East Asian climate: a review[J]. *Adv Atmos Sci*, 36(9):902-921.
- Mao R, Gong D Y, Yang J, et al, 2011. Linkage between the Arctic Oscillation and winter extreme precipitation over central-southern China[J]. *Climate Res*, 50(2-3):187-201.
- Shi J, Qian W H, 2018. Asymmetry of two types of ENSO in the transition between the East Asian winter monsoon and the ensuing summer monsoon[J]. *Climate Dyn*, 51(9):3907-3926.
- 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 B, Zhang Q, 2002. Pacific-East Asian teleconnection. Part II: how the Philippine Sea anomalous anticyclone is established during El Niño development[J]. *J Climate*, 15(22):3252-3265.
- Wang H J, He S P, 2012. Weakening relationship between East Asian winter monsoon and ENSO after mid-1970s[J]. *Chin Sci Bull*, 57(27):3535-3540.
- Webster P J, Yang S, 1992. Monsoon and ENSO: selectively interactive systems[J]. *Quart J Roy Meteor Soc*, 118(507):877-926.
- Wen M, Yang S, Kumar A, et al, 2009. An analysis of the large-scale climate anomalies associated with the snowstorms affecting China in January 2008[J]. *Mon Wea Rev*, 137(3):1111-1131.
- Wu B Y, Su J Z, Zhang R H, 2011. Effects of autumn-winter Arctic sea ice on winter Siberian high[J]. *Chin Sci Bull*, 56(30):3220-3228.
- Wu B Y, Su J Z, D'Arrigo R, 2015. Patterns of Asian winter climate variability and links to Arctic sea ice[J]. *J Climate*, 28(17):6841-6858.
- Xu M, Tian W S, Zhang J K, et al, 2021. Impact of sea ice reduction in the Barents and Kara seas on the variation of the East Asian trough in late winter[J]. *J Climate*, 34(3):1081-1097.
- Yang H, 2011. The significant relationship between the Arctic Oscillation (AO) in December and the January climate over South China[J]. *Adv Atmos Sci*, 28(2):398-407.
- Yang S, Lau K M, Yoo S H, et al, 2004. Upstream subtropical signals preceding the Asian summer monsoon circulation[J]. *J Climate*, 17(21):4213-4229.
- Zhang R H, Sumi A, Kimoto M, 1996. Impact of El Niño on the East Asian monsoon: a diagnostic study of the '86/87 and '91/92 events[J]. *J Meteor Soc Japan*, 74(1):49-62.

(本文责编:王婷波)