

李想,王永光,2023. 2022/2023 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,49(7):881-891. Li X, Wang Y G, 2023. Atmospheric circulation characteristics of northern hemisphere in winter 2022/2023 and its impact on weather and climate of China[J]. Meteor Mon, 49(7):881-891 (in Chinese).

2022/2023 年冬季北半球大气环流特征 及对我国天气气候的影响^{*}

李 想 王永光

国家气候中心, 北京 100081

提 要: 2022/2023 年冬季全国平均气温较常年同期偏高 0.2℃, 我国大部地区气温偏高; 全国平均降水量较常年同期偏少 24.6%, 空间上呈现北多南少的分布形势。东亚冬季风标准化指数为 0.25, 较常年同期略偏强; 西伯利亚高压标准化强度指数为 0.47, 较常年同期略偏强; 冬季北极涛动指数为 -0.6, “前负后正”的阶段特征显著; 西太平洋副热带高压强度指数为 -45.6 gpm, 较常年同期偏弱; 冬季欧亚大陆中高纬地区 500 hPa 为西高东低的环流形势, 我国除华北、东北高度场偏低外, 其余地区高度场偏高。冬季大气环流具有显著的季节内变化特征, 12 月为异常经向型环流, 2 月转为纬向型环流; 对应冬季风也表现为前强后弱的变化趋势。北大西洋海温三极子 (NAT) 与乌拉尔山 500 hPa 高度场相关结果显示, 8 月、9 月 NAT 与 12 月乌拉尔山地区高度场呈显著负相关, 前期 NAT 异常负位相 (正位相) 有利于前冬东亚经向环流加强 (减弱)。

关键词: 东亚冬季风, 北大西洋海温, 相关分析

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2023.060801

Atmospheric Circulation Characteristics of Northern Hemisphere in Winter 2022/2023 and Its Impact on Weather and Climate of China

LI Xiang WANG Yongguang

National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: In the winter of 2022/2023, the average temperature in China was 0.2℃ higher than normal, and the temperature in most of China was warmer than normal. The average precipitation was 24.6% less than normal, showing a spatial distribution pattern of more in the north and less in the south of China. The standardized East Asia winter monsoon index was 0.25, slightly stronger than normal. The standardized Siberian high intensity index was 0.47, which was also slightly stronger than normal. The Arctic oscillation index of the winter was -0.6 with a significant phased characteristic feature of being negative in the earlier winter and positive in the later winter. The intensity index of Northwest Pacific subtropical high was -45.6 gpm, which was weaker than normal. In winter 2022/2023, the 500 hPa geopotential height field in the middle and high latitudes of Eurasia was high in the west and low in the east. The geopotential height field in North China and Northeast China was at a lower altitude, but the geopotential height field in other regions of China was higher. The winter atmospheric circulation had significant intraseasonal variation characteristics, with the strong meridional circulation in December 2022 and the zonal circulation in

^{*} 国家自然科学基金项目 (NSFC42175048)、国家重点研发计划 (2018YFC1505600) 和国家气候中心能源气候服务团队建设项目 (NC-CCXTD003) 共同资助

2023 年 4 月 20 日收稿; 2023 年 6 月 8 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: 王永光, 主要从事短期气候预测研究. E-mail: ygwang@cma.gov.cn

February 2023. The corresponding winter monsoon also showed the trend of strong in earlier winter but weak in later winter. Correlation analysis of sea surface temperature and height fields shows that there was a significant negative correlation between the North Atlantic sea surface temperature (NAT) in August and September and the height fields of Ural Mountains Region in December. The abnormal negative phase (positive phase) of NAT in the early stage was conducive to the strengthening (weakening) of the meridional circulation in East Asia in the earlier stage of winter.

Key words: East Asia winter monsoon, North Atlantic sea surface temperature (NAT), correlation

引 言

我国位于东亚季风区,东亚冬季风的异常对我国冬季的天气气候有着直接的影响(朱乾根,1990;黄荣辉等,2014)。作为北半球冬季最活跃的大气环流系统之一,东亚冬季风与全球范围的大气环流变化紧密联系,季风的强度、季节和年际变化均与大气环流的异常密切相关,冬季风偏强时,对流层中低层乌拉尔山阻塞高压和西伯利亚近地面高压偏强,高压前部偏北气流引导中高纬冷空气南下,不仅导致我国中东部大部地区气温偏低(丁一汇等,2004;Li et al,2021),同时极易发生寒潮,引发剧烈的低温冷冻灾害,给国民经济尤其是农林、畜牧、交通运输、电力等行业及人民生命财产安全造成严重的危害(郑国光,2019)。反之当东亚冬季风偏弱时,乌拉尔山阻塞高压和西伯利亚高压均偏弱,冷空气被阻挡在中高纬地区,我国则容易出现暖冬(Chang and Lun,1982;高辉,2007;聂羽等,2016)。

近年来,对东亚冬季风的研究日趋成熟,东亚冬季风的异常变化与海温、北极海冰等外强迫因子的异常密切相关。ENSO(El Niño-southern oscillation)作为热带太平洋海气耦合年际变率的主要模式,是全球气候最显著的年际变率气候现象,有关冬季风和 ENSO 的关系已有很多研究(陈文等,2018;Dai et al,2015),研究发现 El Niño 事件发生期间,通常东亚冬季风偏弱,而 La Niña 发生期间,东亚冬季风容易偏强。除了来自热带的 ENSO 信号外,东亚冬季风的年际变化还受到中高纬异常信号的显著影响。Wu et al(2015)研究了秋、冬季北极海冰异常与东亚冬季风的关系时发现,秋季北极海冰的异常偏少容易引起东亚冬季风强度偏强。进一步研究发现,前期夏季北极大气环流的偶极模态与冬季西伯利亚高压的强度存在联系,即当夏季北极大气环

流偶极模态负位相时,易导致冬季西伯利亚高压偏强,反之偏弱(Yu and Wu,2023)。

另外,由于北大西洋暖流是最主要的向北极输送热量的洋流,秋季北大西洋暖流偏强会导致北极海冰异常偏少,因此北大西洋海温与冬季风的关系也受到了越来越多的关注。利用北大西洋海温资料和大气再分析资料,聂羽等(2016)分析了秋季北大西洋海温三极子和北大西洋涛动(North Atlantic oscillation,NAO)之间的关系,发现从次季节的角度两者有很好的相关关系。还有研究发现秋、冬季大西洋海温异常能够激发出定常波列,引起乌拉尔山地区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;Luo et al,2016;Chen et al,2019)。这些研究强调了北大西洋暖流对东亚冬季风偏强的重要作用。

近年来国家气候中心每年都及时开展冬季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;支蓉和郑志海,2022;赵俊虎等,2020;韩荣青等,2021)。2022/2023 年冬季(2022 年 12 月至 2023 年 2 月),东亚冬季风强度较常年同期(文中所用多年平均时段为 1991—2020 年平均)略偏强,西伯利亚高压强度接近常年同期,我国平均气温较常年同期偏高,但气温的波动性较大,具有前冬冷后冬暖的特征,前冬偏冷时段主要发生在 2022 年 12 月,除东北北部、西南地区及青藏高原气温较常年同期偏高外,我国其余大部地区气温偏低,全国有多个国家气象站日最低气温达到极端事件监测标准。冬季全国平均降水量较常年同期明显偏少,尤其是南方地区偏少更为明显。对于 2022/2023 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?除了 ENSO 循环外,是否还有其他因子可能与前冬气温异常偏低有关,包括相互之间存在怎样的关系?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)台站气温和降水资料来源于“中国地面基本气象要素日值数据集(V3.0)”,该数据集由中国气象局国家气象信息中心整编,包含了中国 2474 个基准、基本、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的数据,其中冬季指当年 12 月至次年 2 月的 3 个月平均;(2)在分析海温的特征时用到的海温观测资料为 NOAA 提供的月尺度全球最优插值海温分析资料 OISST V2(Reynolds et al, 2007),水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,海温资料长度为 1981 年 1 月至 2023 年 2 月;(3)大气环流资料为 NCEP/NCAR 提供的逐日、逐月再分析资料(Kalnay et al, 1996),水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,大气环流资料长度为 1948 年 1 月至 2023 年 2 月;(4)北极涛动(Arctic oscillation, AO)逐月和逐日标准化指数来自美国 CPC/NCEP (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)。文中所指气候态为 1991—2020 年平均。分析中采用的东亚冬季风强度指数、西伯利亚高压指数、西太平洋副热带高压(以下简称西太副高)各项指数、Niño3.4 指数、北大西洋海温三极子(North Atlantic triple, NAT) EOF 模态投影指数均来自国家气候中心的“气候与气候变化监测预测系统”。东亚冬季风强度指数采用的是朱艳峰(2008)的定义,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 $50^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ 、 $80^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ 范围内的 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。NAT(Wu et al, 2009; Zuo et al, 2013)的计算方法是将 1981 年 1 月至 2010 年 12 月期间的北大西洋($0^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ 、 $80^{\circ} \text{W} \sim 0^{\circ}$)海温距平场(去除线性趋势)EOF 第一模态作为投影模态,月海温距平场在去除全球海温增暖影响后投影到该模态上,将得到的投影指数以 1981—2010 年期间的平均值和标准差为基准做标准化处理,即得到标准化的 NAT 指数。文中部分图形由国家气候中心开发的“气候与气候变化监测预测系统”和“气象灾害影响评估系统”制作。

2 2022/2023 年冬季我国气候异常特征

2.1 2022/2023 年冬季我国气温异常特征

2022/2023 年冬季,全国平均气温为 -2.9°C ,较常年同期(-3.1°C)偏高 0.2°C (图 1a)。从全国冬季气温距平的空间分布来看(图 1b),河北北部、内蒙古东北部、黑龙江北部、贵州西部、新疆西部和北部等地气温偏低 $0.5 \sim 2^{\circ} \text{C}$,全国其余大部地区气温接近常年同期或偏高,其中吉林中部、四川西北部和西南部、云南西南部、西藏大部、青海南部等地气温偏高 $1 \sim 2^{\circ} \text{C}$ 。

2022/2023 年冬季气温阶段性起伏大,前冷后暖,冬季 3 个月的全国平均气温分别为 -4.2 、 -4.4 和 0.3°C ,其中 2022 年 12 月较常年同期偏低 1.2°C ,2023 年 1 月和 2 月分别较常年同期偏高 0.4°C 和 1.6°C 。由逐月气温的空间分布可见,2022 年 12 月

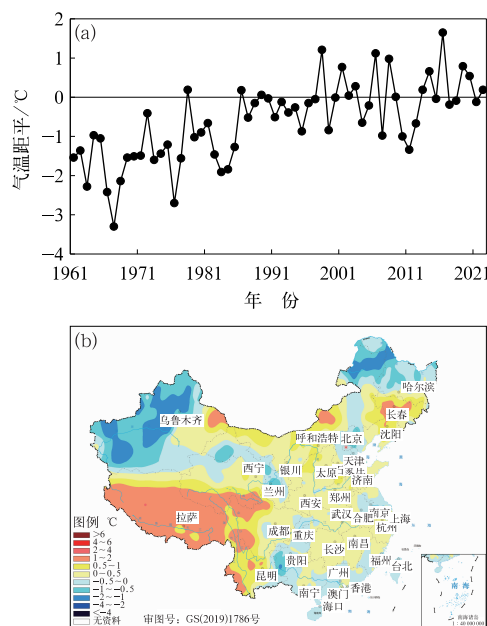


图 1 (a)1961/1962—2022/2023 年冬季全国平均气温距平历年变化及 (b)2022/2023 年冬季全国气温距平分布
Fig. 1 (a) Time series of winter mean temperature anomalies over China during 1961/1962—2022/2023 and (b) distribution of temperature anomalies over China in winter 2022/2023

(图 2a),除东北北部、西南、西藏等地气温较常年同期偏高外,全国其余大部地区偏低;2023 年 1 月(图 2b),除内蒙古东北部、东北北部、西南地区东南部、西北、新疆等地气温偏低外,其余地区气温偏高;2 月(图 2c)全国大部分地区气温偏高。从旬时间尺度来看(图 2d),2022 年 12 月各旬平均气温均偏低,2023 年 1 月上旬偏高 2.0°C ,为 1961 年以来历史同期第五高,1 月下旬偏低 0.8°C ,2 月增温迅速,上旬偏高 2.1°C ,为 1961 年以来历史同期第五高。根据

国家气候中心冷空气监测标准(王遵娅等,2017),2022/2023 年冬季共有 12 次冷空气过程影响我国,冷空气累计日数为 31 d(表 1),次数较常年同期(10.7 次)偏多。其中一般性冷空气过程 7 次,强冷空气过程 2 次,寒潮和全国型寒潮过程合计 3 次。全国有 168 个国家气象站日最低气温达到极端事件监测标准,其中黑龙江呼中(-49.8°C)、新林(-48.3°C)等 13 个站突破当地历史极值。全国有 169 个国家气象站日降温幅度达到极端事件监测标准,其中黑

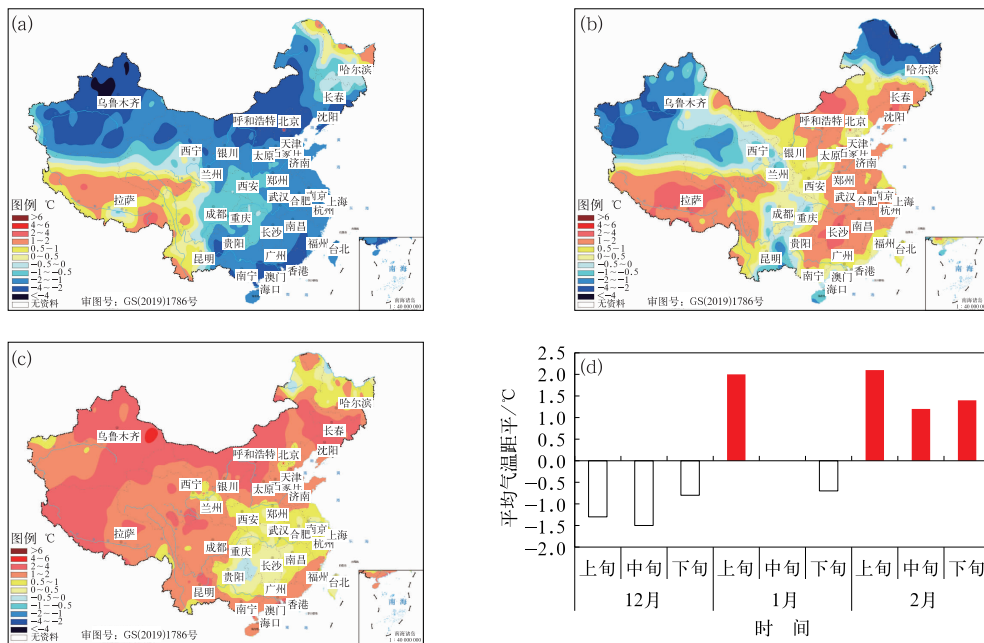


图 2 (a)2022 年 12 月,2023 年(b)1 月和(c)2 月全国平均气温距平分布,
(d)2022/2023 年冬季逐旬全国平均气温距平

Fig. 2 Distribution of temperature anomalies over China in (a) December 2022,
(b) January and (c) February 2023 and (d) dekadal mean temperature
anomalies over China in winter 2022/2023

表 1 2022/2023 年冬季冷空气过程

Table 1 Cold air events over China in winter 2022/2023

序号	开始时间/年-月-日	结束时间/年-月-日	持续天数/d	冷空气类型
1	2022-12-11	2022-12-12	2	一般冷空气过程
2	2022-12-17	2022-12-19	3	强冷空气过程
3	2022-12-22	2022-12-23	2	一般冷空气过程
4	2022-12-26	2022-12-27	2	一般冷空气过程
5	2023-1-13	2023-1-16	4	全国型寒潮过程
6	2023-1-20	2023-1-21	2	寒潮过程
7	2023-1-23	2023-1-25	3	全国型寒潮过程
8	2023-1-28	2023-1-29	2	一般冷空气过程
9	2023-2-2	2023-2-4	3	一般冷空气过程
10	2023-2-13	2023-2-15	3	一般冷空气过程
11	2023-2-19	2023-2-21	3	强冷空气过程
12	2023-2-25	2023-2-26	2	一般冷空气过程

龙江桦川(14.9°C)、安徽马鞍山(14.2°C)等 23 个站突破当地日降温幅度历史极值。1 月 22 日 07 时黑龙江漠河市阿木尔镇劲涛气象站最低气温达到 -53°C ,刷新我国有完整气象记录以来历史最低气温值。

2.2 2022/2023 年冬季我国降水异常特征

2022/2023 年冬季,全国平均降水量为 31.8 mm,较常年同期(42.1 mm)偏少 24.5%(图 3a)。与常年同期相比,北京、河北大部、山西中部和北部、内蒙古西部、陕西北部、甘肃中部、青海东北部、宁夏、新疆西南部等地降水量偏多 2 成至 2 倍,局地偏多 2 倍以上;全国其余大部地区降水以偏少为主,其中山东东部、湖北东南部、广西西部和北部、四川南部、云南大部、西藏中部、青海南部、新疆东部等地偏少 5~8 成,局地偏少 8 成以上(图 3b)。

2022 年 12 月,除内蒙古西部、黑龙江东部、浙江东南部、福建东北部、四川南部、贵州、云南、新疆

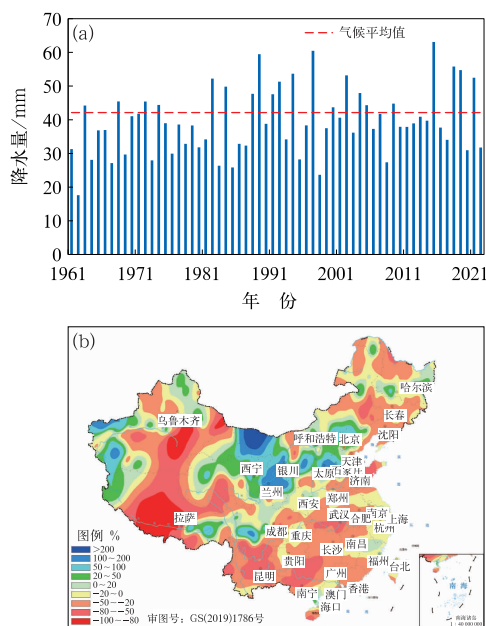


图 3 (a)1961/1962—2022/2023 年冬季全国平均降水量历年变化和(b)2022/2023 年冬季全国降水量距平百分率分布

Fig. 3 (a) Time series of winter mean precipitation over China during 1961/1962—2022/2023 and (b) distribution of precipitation anomaly percentage in winter 2022/2023

北部等地降水较常年同期偏多外,我国其余大部地区降水偏少。全国平均降水量为 7.5 mm,较常年同期(11.9 mm)偏少 37.0%(图 4a)。2023 年 1 月,北京、天津、河北、山西、内蒙古大部、辽宁、吉林东南部、安徽北部、广东大部、广西东南部、海南、西藏西部、青海西部、新疆大部等地降水较常年同期偏多,我国其余地区降水偏少。全国平均降水量为 8.8 mm,较常年同期(14.3 mm)偏少 38.5%(图 4b)。与冬季前 2 个月相比,2 月降水偏多的地区明显增多,其中北京、河北、山西、黑龙江西南部、四川西部、西藏东部、陕西北部、甘肃中东部、青海北部、新疆东部和西部偏多 1 倍以上,部分地区偏多 2 倍。全国平均降水量为 15.5 mm,接近常年同期(16.1 mm)(图 4c)。

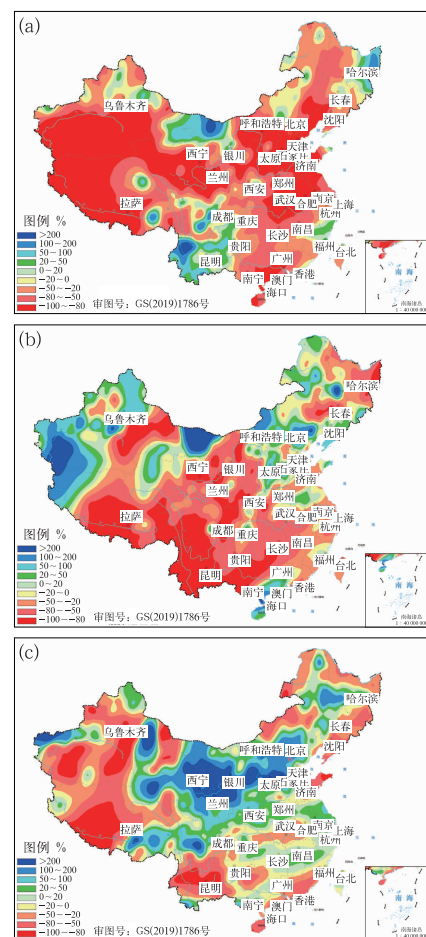


图 4 (a)2022 年 12 月,2023 年(b)1 月和(c)2 月全国降水量距平百分率分布

Fig. 4 Distribution of the precipitation anomaly percentages over China in (a) December 2022, (b) January and (c) February 2023

3 2022/2023 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

2022/2023 年冬季,欧亚大陆中高纬地区 500 hPa 高度场呈西高东低的分布形势(图 5a),贝加尔湖以西到欧洲均为高度场正距平控制,贝加尔湖以东到亚洲东北部为高度场负距平。我国除华北和东北地区高度场偏低外,其余地区均为高度场正距平控制。另外,热带地区高度场为负距平。在 700 hPa 平均风场距平场上(图 5b),孟加拉湾附近为反气旋式环流异常,冬季南支槽不活跃,我国东部大陆为偏东风异常控制,来自西南的水汽输送较弱,是我国冬季大部地区降水异常偏少的直接原因。对冬季 AO 的

监测结果显示,整个冬季 3 个月的平均 AO 指数为 -0.6 ,同时 AO“前负后正”的阶段特征显著(图 5c),表现为 12 月和 1 月负指数,2 月转为正指数。对西太副高的监测显示,其冬季大部分时间强度偏弱(图 5d)、面积偏小(图略)、脊线位置略偏北(图略)。

2022/2023 年冬季大气环流具有显著的季节内变化特征:2022 年 12 月(图 6a),欧亚中高纬地区 500 hPa 高度场呈西高东低分布,乌拉尔山地区高度场为正距平控制,东亚大部地区为高度场负距平,同时极地地区高度场为正距平,对应 AO 为强的负位相,这种环流分布有利于极地冷空气南下影响我国,导致 12 月我国大部地区气温异常偏低。12 月副热带地区高度场偏低,西太副高强度偏弱,印度北部至孟加拉湾高度场为正距平,即南支槽强度偏弱,水汽输送偏少,这是我国大部地区降水异常偏少的

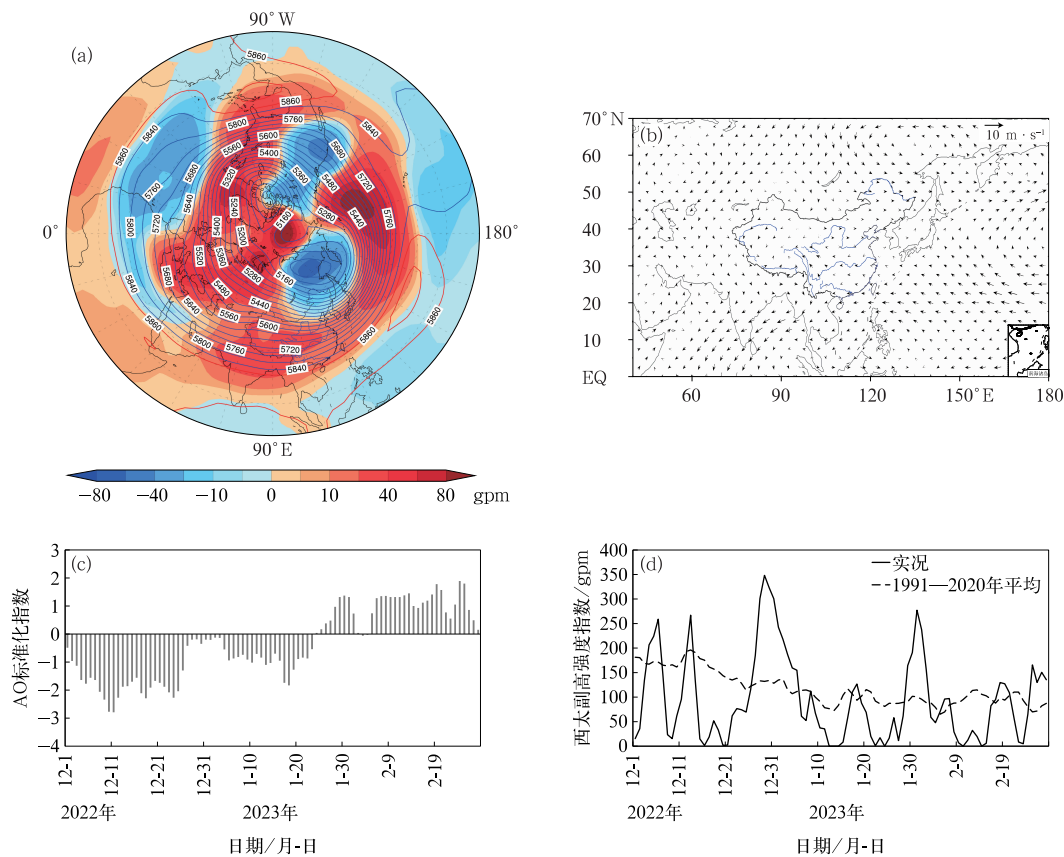


图 5 2022/2023 年冬季(a)平均 500 hPa 位势高度场(等值线,单位:gpm)及距平场(填色),
(b)700 hPa 风场距平(风矢),(c)AO 指数和(d)西太副高强度指数逐日演变

Fig. 5 (a) The 500 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and anomalies (colored),
(b) 700 hPa wind anomalies (wind vector), and (c, d) daily variations of (c) Arctic oscillation
and (d) intensity index of Northwest Pacific subtropical high in winter 2022/2023

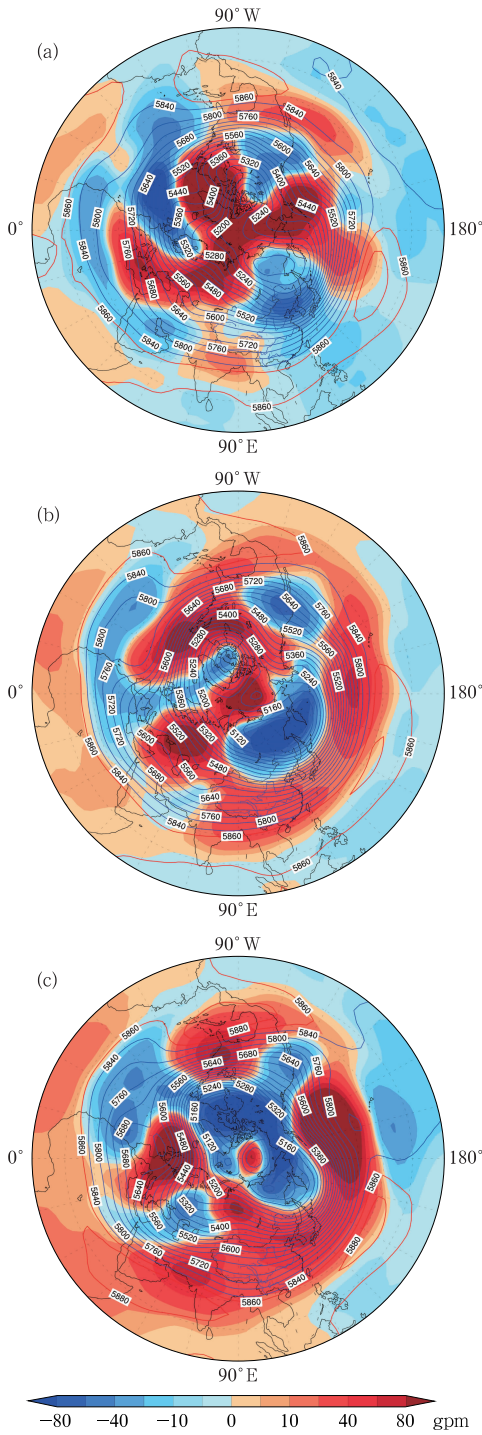


图 6 (a)2022 年 12 月,2023 年(b)1 月和(c)2 月平均 500 hPa 位势高度场(等值线,单位:gpm)及距平场(填色)

Fig. 6 The monthly mean geopotential height (contour, unit: gpm) and anomalies (colored) at 500 hPa in (a) December 2022, (b) January and (c) February 2023

直接原因。2023 年 1 月欧亚中高纬地区 500 hPa

仍为西高东低的环流形势,乌拉尔山地区高度场为正距平,贝加尔湖以东地区为高度场负距平,我国除华北、东北高度场偏低外,其余地区高度场均为正距平,这种环流形势下冷空气影响偏北,因此我国南方大部地区气温偏高。进入 2 月之后,环流形势进一步向纬向型调整,极地高度场为负距平,AO 也由前期的负位相转变成正位相,乌拉尔山地区高度场正距平明显减弱,我国上空高度场为正距平,这种环流形势不利于极地冷空气南下影响我国,导致我国 2 月气温较常年同期明显偏高。

3.2 东亚冬季风活动特征

东亚冬季风是东亚气候系统的重要组成部分,其强弱对中国冬季的气候异常有重要影响。2022/2023 冬季,冬季风标准化强度指数值为 0.25,西伯利亚高压标准化强度指数为 0.47。两个指数均显示 2022/2023 年冬季东亚冬季风强度较常年同期略偏强,但弱于 2021/2022 年冬季(图 7a,7b),这与我国冬季气温整体接近常年同期但较去年冬季偏高的特征对应。

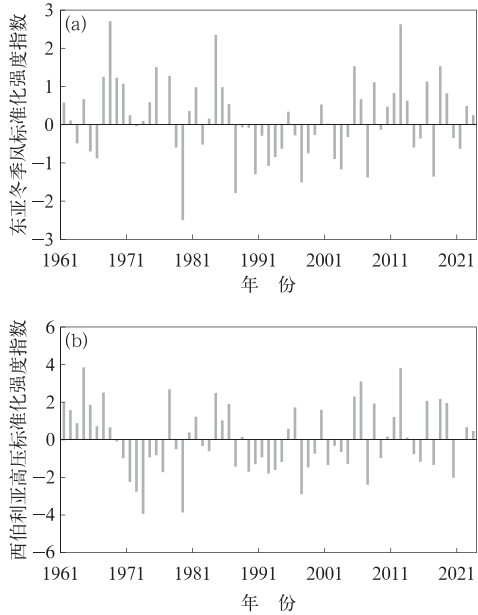


图 7 1961/1962—2022/2023 冬季

(a)东亚冬季风标准化强度指数和
(b)西伯利亚高压标准化强度指数历年变化
Fig. 7 Variations of (a) East Asia winter monsoon standardized intensity index and (b) Siberian high standrdized intensity index in winters of 1961/1962—2022/2023

为了进一步分析冬季气候的阶段变化特征,计算分析了东亚冬季风和西伯利亚高压强度指数的逐候演变特征(图 8)。2022/2023 年冬季东亚冬季风指数的逐候演变与我国冬季气温的阶段变化特征一致。2022 年 12 月冬季风处于异常偏强的状态,对应乌拉尔山地区高度场异常偏高,欧亚中高纬环流为西高东低的异常经向型分布,AO 也处于明显的负位相。2023 年 1 月上半月,随着环流形势的调整,冬季风强度指数异常偏弱,我国气温明显回升,但下半月冬季风强度再次加强,加之前期气温回升明显,因此下半月共有 3 次寒潮过程影响我国。进入 2 月之后,冬季风强度再次转弱,尽管在 2 月第 3 候冬季风短暂加强,但由于整月欧亚中高纬环流基本以纬向型环流为主,AO 也由前期的负位相转为正位相,同时我国上空高度场为正距平控制,锋区位置偏北,最终使 2 月全国气温显著偏高。综合来看,东亚冬季风阶段性特征与我国平均气温的季节内变化特征表现为明显的反相关关系。

4 2022 年 12 月我国异常偏冷成因分析

2022/2023 年冬季全国平均气温较常年同期偏高,但气温的阶段变化特征明显,前冷后暖起伏大,尤其在 2022 年 12 月,除青藏高原外,全国大部地区气温异常偏低,其中华北中北部、东北东南部、华南东南部、新疆大部等地偏低 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。这种现象与同期欧亚中高纬大气环流形势密切相关。乌拉尔山地区 500 hPa 高度场受正异常控制,欧亚中高纬维持较强的经向型环流,有利于极地冷空气南下影响我国。那么,是什么原因导致 12 月乌拉尔山地区高度场偏高,以及能否找到前期的预测信号呢?

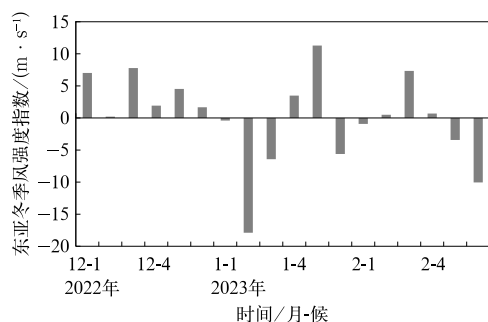


图 8 2022/2023 冬季东亚
冬季风强度指数逐候演变

Fig. 8 Pentad variation of East Asia winter monsoon intensity index in winter 2022/2023

研究表明,由于大气具有典型的非线性特征,对于季节和季节内时间尺度的气候预测一直是一个巨大的挑战,尤其冬季气候受到以大气内部动力为主的中高纬系统影响,其预报难度更大(丁一汇, 2011)。韦玮等(2014;2020)认为引起冬季季内气温变化的主要因子为大气内部遥相关型,在前后冬冷暖相反的年份,对流层中层斯堪的纳维亚遥相关型是季节内冬季风环流一致加强或减弱的主要原因。对华北地区冬季季内极端冷暖快速反转事件的机理研究发现,源于喀拉海附近的 Rossby 波可在欧亚大陆高层形成波列从而造成新西伯利亚平原—东亚的偶极型冷暖中心向东南方向传播,造成暖转冷事件。而在冷转暖事件中,Rossby 波起源于北欧(Ma and Zhu, 2020)。马锋敏等(2022)通过对中国冬季气温不同年代际的季节内变化特征及成因分析发现,从年代际的时间尺度看,1986 年之后前冬和后冬的环流差异集中在欧亚大陆中高纬地区,导致我国北方地区季节内反位相变率增大。

NAO 作为北半球中高纬地区大气环流变化的重要组成部分,一直以来备受学者关注。Yao et al (2023)从位涡梯度的角度分析了 2022 年 11—12 月北半球出现极端强降温事件的可能原因,认为北半球中高纬出现位涡梯度异常时,NAO 由正位相向负位相转变,导致乌拉尔山地区 12 月阻塞高压活跃,引导极地冷空气南下使我国大部地区气温异常偏低。Nie et al(2019)研究了秋季 NAT 和 NAO 的关系,发现从次季节的角度来看,两者有很好的相关关系。那么秋季的 NAT 与冬季的中高纬大气环流有无联系呢?对 NAT 的逐月监测可以发现(图 9),投影模态的 NAT 指数在秋季尤其是 9 月和 10 月

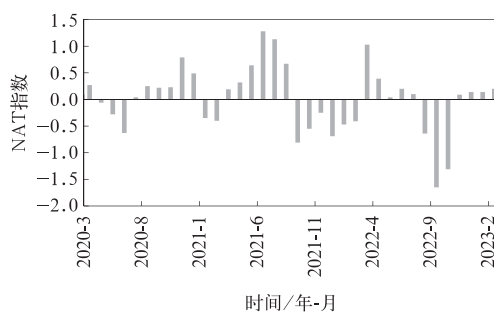


图 9 2020 年 3 月至 2023 年 2 月
NAT 指数逐月演变

Fig. 9 Monthly variation of NAT index from March 2020 to February 2023

出现异常的负位相,其异常程度超过了1倍标准差。那么秋季的 NAT 异常能否对冬季的北半球环流产生影响呢?利用 NAT 与乌拉尔山地区平均高度场进行超前滞后相关(图 10),结果表明 8 月、9 月的 NAT 与 12 月乌拉尔山地区的 500 hPa 平均高度场为显著的负相关关系,并通过了 0.05 的显著性水平检验,说明当 8 月、9 月的 NAT 为负位相时,有利于 12 月乌拉尔山地区高度场出现正距平。而和 1 月、2 月的相关结果显示并没有类似 12 月的显著的负相关关系。这与 2022 年 8 月、9 月 NAT 持续异常负位相,12 月乌拉尔山地区高度场正距平,欧亚遥相关型正位相这一事实相符。正是 12 月乌拉尔山地区高度场持续受正距平控制,有利于冷空气南下,导致我国大部地区气温偏低。

5 结论与讨论

本文利用站点观测资料和再分析资料,详细分析了 2022/2023 年冬季我国气温、降水的主要气候特征、大尺度大气环流异常、东亚冬季风季节及季节内特征,并讨论分析了前冬 12 月导致我国气温异常偏低的可能原因,得出以下结论:

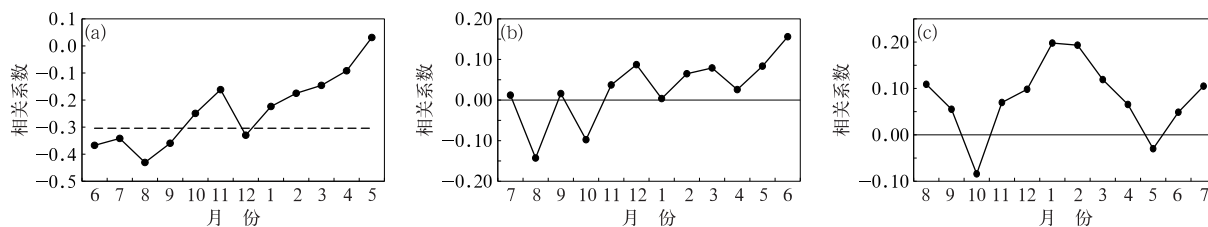
(1) 2022/2023 年冬季,全国平均气温为 -2.9°C ,较常年同期偏高 0.2°C ,全国大部地区气温较常年同期偏高,尤其青藏高原平均偏高 1°C 以上。全国平均降水量为 31.8 mm,较常年同期偏少 24.5%,全国降水距平百分率空间上呈现北多南少的分布形势。从气温和降水的季内变化特征来看,冬季气候表现为明显的“冷干”向“暖湿”的转变特征。

(2) 2022/2023 年冬季欧亚大陆中高纬地区

500 hPa 高度场呈西低东高的分布形势,我国除华北和东北高度场偏低外,其余地区均为高度场偏高,冬季 AO 3 个月平均为 -0.6 。冬季风标准化强度指数和西伯利亚高压强度指数表明冬季风强度较常年同期略偏强,但弱于 2021/2022 年冬季。2022/2023 年冬季大气环流表现为明显的季节内变化特征,在前冬欧亚中高纬环流表现为典型的经向型环流特征,AO 为强的负位相,冬季风强度异常偏强;之后环流形势逐渐向纬向型调整,2023 年 2 月乌拉尔山高度场正距平明显减弱,我国上空为高度场正距平,同时极地转为高度场负距平控制,对应 AO 也转变为正位相,冬季风强度偏弱。另外,西太副高和印缅槽在整个冬季强度偏弱,不利于对我国尤其是南方地区的水汽输送。

(3) 冬季全国平均气温较常年同期偏高,但阶段性特征非常明显,前冷后暖起伏大,尤其在 2022 年 12 月,除青藏高原外,全国大部地区异常偏低。前期 8 月和 9 月的 NAT 与 12 月乌拉尔山地区的高度场呈显著的负相关关系,当 8 月、9 月的 NAT 为负位相时,有利于 12 月乌拉尔山地区出现高度场正距平,而前期 NAT 与 1 月、2 月的乌拉尔山地区高度场没有显著的相关关系。

近年来,我国冬季季节内气温变化的“冷—暖”或“暖—冷”现象频繁发生。本文发现 2022 年 8 月和 9 月 NAT 异常负位相有利于同年 12 月乌拉尔山地区高度场出现正距平。这一分析结果可能对冬季预测尤其是前冬的环流形势预测具有参考意义。Nie et al(2019)从次季节角度开展了秋季 NAT 对中高纬大气影响的机理研究,但是从更长的跨季节的时间尺度 NAT 与大气环流的影响机理,未来还需要开展进一步的研究工作。



注:虚线表示通过 0.05 的显著性水平检验。

图 10 1991—2022 年(a)12 月,(b)1 月和(c)2 月乌拉尔山 500 hPa 平均高度场与逐月 NAT 超前滞后相关

Fig. 10 Lead/lag correlation between 500 hPa Ural Mountains Region mean geopotential height and the monthly NAT index in (a) December, (b) January and (c) February of 1991—2022

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).
- 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,2011. 季节气候预测的进展和前景[J].气象科技进展,1(3):14-27. Ding Y H, 2011. Progress and prospects of seasonal climate prediction[J]. Adv Meteor Sci Technol, 1(3):14-27(in Chinese).
- 丁一汇,李崇银,何金海,等,2004. 南海季风试验与东亚夏季风[J].气象学报,62(5):561-586. Ding Y H, Li C Y, He J H, et al, 2004. South China Sea Monsoon Experiment (SCSMEX) and the East-Asian monsoon[J]. Acta Meteor Sin, 62(5):561-586(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).
- 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).
- 黄荣辉,刘永,皇甫静亮,等,2014. 20 世纪 90 年代末东亚冬季风年代际变化特征及其内动力成因[J].大气科学,38(4):627-644. Huang R H, Liu Y, Huangfu J L, et al, 2014. Characteristics and internal dynamical causes of the interdecadal variability of East Asian winter monsoon near the late 1990s[J]. Chin J Atmos Sci, 38(4):627-644(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).
- 马锋敏,陈丽娟,李想,等,2022. 中国冬季气温不同年代际的季节内变化特征及成因分析[J].大气科学,46(3):573-589. Ma F M, Chen L J, Li X, et al, 2022. Characteristics and causes of intraseasonal variation of winter temperature in China under different interdecadal scale[J]. Chin J Atmos Sci, 46(3):573-589(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).
- 王遵亲,司东,段丽娜,2017. 冷空气过程监测指标[M].北京:气象出版社. Wang Z Y, Si D, Duan L N, 2017. Monitoring Indices of Cold Air Processes[M]. Beijing: China Meteorological Press(in Chinese).
- 韦伟,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).
- 韦伟,王林,陈权亮,等,2020. 我国前冬和后冬的划分及其气温的年际变异[J].大气科学,44(1):122-137. Wei W, Wang L, Chen Q L, et al, 2020. Definition of early and late winter and associated interannual variations of surface air temperature in China[J]. Chin J Atmos Sci, 44(1):122-137(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).
- 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).
- 郑国光,2019. 中国气候[M].北京:气象出版社:114-115. Zheng G G, 2019. Climate of China[M]. Beijing: China Meteorological Press:114-115(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).
- 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).
- 朱乾根,1990. 我国的东亚冬季风研究[J].气象,16(1):3-10. Zhu Q G, 1990. A review of studies on East Asia winter monsoon in China[J]. Meteor Mon, 16(1):3-10(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).
- Chang C P, Lun K M, 1982. Short-term planetary-scale interactions over the tropics and midlatitudes during northern winter. Part I:

- contrasts between active and inactive periods[J]. *Mon Wea Rev*, 110(8):933-946.
- Chen Z, Wu R G, Wang Z B, 2019. Impacts of summer North Atlantic sea surface temperature anomalies on the East Asian winter monsoon variability[J]. *J Climate*, 32(19):6513-6532.
- Dai A G, Fyfe J C, Xie S P, et al, 2015. Decadal modulation of global surface temperature by internal climate variability[J]. *Nat Climate Change*, 5(6):555-559.
- 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.
- Li X, Gao H, Ding T, 2021. Cold surge invading the Beijing 2022 Winter Olympic Competition Zones and the predictability in BCC-AGCM model[J]. *Atmos Sci Lett*, 22(8):e1039. DOI:10.1002/asl.1039.
- Luo D H, Xiao Y Q, Diao Y N, et al, 2016. Impact of Ural blocking on winter warm Arctic-cold Eurasian anomalies. Part II: the link to the North Atlantic oscillation[J]. *J Climate*, 29(11):3949-3971.
- Ma S M, Zhu C W, 2020. Opposing trends of winter cold extremes over Eastern Eurasia and North America under recent arctic warming[J]. *Adv Atmos Sci*, 37(12):1417-1434.
- Nie Y, Ren H L, Zhang Y, 2019. The role of extratropical air-sea interaction in the autumn subseasonal variability of the North Atlantic oscillation[J]. *J Climate*, 32(22):7697-7712.
- Reynolds R W, Smith T M, Liu C Y, et al, 2007. Daily high-resolution-blended analysis for sea surface temperature[J]. *J Climate*, 20(22):5473-5496.
- 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.
- Wu Z W, Wang B, Li J P, et al, 2009. An empirical seasonal prediction model of the East Asian summer monsoon using ENSO and NAO[J]. *J Geophys Res Atmos*, 114(D18):D18120. DOI:10.1029/2009JD011733.
- Yao Y, Zhou W Q, Gong Z H, et al, 2023. Extreme cold events in North America and Eurasia in November—December 2022: a potential vorticity gradient perspective[J]. *Adv Atmos Sci*, 40(6):953-962.
- Yu Q K, Wu B Y, 2023. Summer arctic atmospheric circulation and its association with the ensuing East Asian winter monsoon variability[J]. *J Geophys Res Atmos*, 128(3):e2022JD037104. DOI:10.1029/2022JD037104.
- Zuo J Q, Li W J, Sun C H, et al, 2013. Impact of the North Atlantic Sea surface temperature tripole on the East Asian summer monsoon[J]. *Adv Atmos Sci*, 30(4):1173-1186.

(本文责编:张芳 何晓欢)