

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).

2019/2020 年冬季我国暖湿气候特征及成因分析^{*}

赵俊虎 宋文玲 柯宗建

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: 2019/2020 年冬季, 我国大部分地区气温显著偏高, 降水异常偏多, 气候总体表现为“暖湿”的异常特征。异常成因分析表明: 2019/2020 年东亚冬季风强度较常年同期偏弱, 西伯利亚高压异常偏弱, 季节内冬季风强度阶段性变化特征显著; 北极极涡收缩于极地, 强度偏强, AO 为异常偏强的正位相, 乌拉尔山阻塞高压活动偏弱, 东亚槽偏弱, 欧亚中高纬以纬向环流为主; 西太平洋副热带高压强度偏强、位置偏西偏北, 印缅槽阶段性活跃, 二者有利于太平洋和印度洋水汽向我国输送。受北半球环流异常的影响, 我国冬季出现了“暖湿”的异常特征。进一步对东亚冬季风偏弱的可能原因分析表明: 2019 年秋冬季赤道中太平洋暖海温发展, 2019 年 10 月至 2020 年 1 月 Niño3.4 指数均大于 0.5°C , 这种类中部型 El Niño 海温异常有利于激发偏强、偏北的西北太平洋反气旋, 进而抑制了东亚冬季风的发展和南下; 此外, 冬季北半球极涡收缩于极地, 强度偏强, AO 持续异常偏强的正位相, 均不利于乌拉尔山阻塞高压的发展, 且东亚大槽明显偏弱, 共同导致了欧亚中高纬地区以纬向环流为主, 东亚冬季风偏弱。

关键词: 东亚冬季风, 大气环流, 暖湿, 海温异常

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2020.07.010

Characteristics and Causes Analysis of the Warm and Wet Winter in China in 2019/2020

ZHAO Junhu SONG Wenling KE Zongjian

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

Abstract: The temperature in most areas of China was significantly higher than normal, and the precipitation was more than normal in the 2019/2020 winter. The main causes are as follows. The East Asian winter monsoon (EAWM) and Siberian high were both weaker than normal during the 2019/2020 winter, with significant intraseasonal variation of EAWM. The Arctic polar vortex (APV) was contracting in the polar region, with a strong intensity. The Arctic oscillation (AO) was in a positive phase with a strong intensity. The activity of Ural blocking high and the East Asian trough were all weak. The Euro-Asia was controlled by zonal circulation. The West Pacific subtropical high (WPSH) was significantly stronger than normal with westward and northward position. India-Burma trough (IBT) was active periodically. The WPSH and IBT were beneficial to water vapor transportation from Pacific Ocean and Indian Ocean to China. Diagnostic analysis of possible mechanism for weak EAWM in the 2019/2020 winter indicates that the warm SST in the equatorial Pacific in the fall and winter of 2019 and aroused strong and northward anticyclone

^{*} 国家重点研发计划(2018YFA0606301、2018YFC1506005)和国家自然科学基金面上项目(41875093、41975098、41775078、41705074)共同资助

2020 年 3 月 16 日收稿; 2020 年 5 月 22 日收修定稿

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

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

in the northwestern Pacific, suppressing the development and southward invasion of the EAWM. In addition, the strong APV, and positive AO were not conducive to the development of Ural blocking high. And the East Asian trough was obviously weak. All these elements jointly lead to the zonal circulation in the middle and high latitudes of Euro-Asia and the weak EAWM.

Key words: East Asian winter monsoon (EAWM), atmospheric circulation, warm and wet, SSTA

引 言

东亚冬季风是季风系统的重要组成部分,它的变化和异常对东亚地区,尤其是我国冬季的天气、气候有重要的影响(朱乾根,1990;朱艳峰,2008;黄荣辉等,2014)。东亚冬季风主要来自亚洲大陆腹地西伯利亚,东亚冬季风的强度也主要取决于对流层低层西伯利亚高压发展的程度(丁一汇,2013)。东亚冬季风偏强年,西伯利亚高压和阿留申低压偏强,东亚大槽偏深,有利于引导极地冷空气南下,导致我国除青藏高原以外的大部分地区气温偏低,易发生强降温、强降雪、霜冻及寒潮等天气、气候灾害(郭其蕴,1994;Zhang et al,1997;陈文等,2013b)。例如2008年1月,由于东亚冬季风的异常,我国南方发生了严重的低温、雨雪、冰冻灾害,造成了严重的经济损失(丁一汇等,2008);2012年1月下旬开始的持续性极寒天气席卷了整个欧亚大陆,给多个国家带来严重损失,我国北方也发生了严重的低温、雪灾、冰冻灾害(兰晓青和陈文,2013)。而当东亚冬季风异常偏弱年,我国易出现暖冬,例如2016/2017年冬季,东亚冬季风异常偏弱,我国平均气温较常年同期偏高 1.9°C ,为1961年以来最暖的冬季(丁婷等,2017)。

因此,东亚冬季风的年际和年代际变异及其影响机制及其与我国天气、气候的联系,是我国气象领域重要的研究课题之一。研究表明,东亚冬季风有显著的3~4 a周期年际变化(黄荣辉等,2007),同时还有显著的年代际变化,1988年之后东亚冬季风经历了一次明显变弱的年代际变化,中国东部和北部经历了连续多年的暖冬(Wang et al,2009)。20世纪90年代末之后,东亚冬季风发生了由偏弱转为偏强的年代际变化,我国冬季低温、雨雪、冰冻灾害频繁发生(黄荣辉等,2014)。东亚冬季风的年际、年代际异常与海温、北极海冰等外强迫因子的变化密

切相关。ENSO作为热带太平洋海气耦合系统年际变率的主要模态,其与东亚冬季风异常的关系已有不少研究(李崇银,1989;穆明权和李崇银,1999;李崇银和穆明权,2000;陶诗言和张庆云,1998;陈文,2002;Shi and Qian,2018)。大量研究揭示了东亚冬季风强度的异常与ENSO的发生存在明显的联系,大多数El Niño事件爆发后东亚冬季风偏弱,而大多数La Niña爆发后东亚冬季风偏强,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中低层出现异常的反气旋或气旋环流实现的(Zhang et al,1996;Wang et al,2000;Wang and Zhang,2002;袁媛等,2014)。但ENSO和东亚冬季风的年际关系也不稳定,二者关系在20世纪70年代中期之后明显减弱(Wang and He,2012)。El Niño和La Niña对东亚冬季风的影响还表现出明显的不对称性,La Niña期间东亚冬季风的异常在统计上并不显著(Hoerling et al,1997;徐需强等,2016),且受到北太平洋年代际振荡(PDO)的调制作用(Wang et al,2008)。此外,秋冬季大西洋海温异常能够激发出定常波波列,引起下游乌拉尔山阻塞高压的建立和发展,导致西伯利亚高压加强影响东亚冬季风的异常(李崇银和顾薇,2010)。北极海冰异常也是东亚冬季风的重要影响因子。冬季喀拉海、巴伦支海海区海冰面积变化与东亚冬季风强度存在密切的关系:海冰偏多,东亚冬季风偏弱;海冰偏少,情况则相反(武炳义等,1999)。但海冰影响也存在较大的不确定性,秋冬季巴伦支海—喀拉海海冰异常偏少,既可以加强冬季西伯利亚高压(东亚冬季风偏强),也可以导致东亚冬季风偏弱,这种不确定性与夏季北极大气环流状态等因素有关(武炳义,2018)。

综上所述,影响东亚冬季风和我国冬季气候的物理因子复杂多变,不同年份的主导影响因子也不完全不同,给预测带来了较大的困难和挑战。提高冬季气候预测水平,就需要对异常年份的成因进行

深入分析和再认识。对每年冬季气候异常成因的分析,也是我国气候预测人员一直坚持的一项研究工作(王东阡等,2015;司东等,2016;宋文玲和袁媛,2017;丁婷等;2017;章大全和宋文玲,2018;支蓉和高辉,2019)。2019/2020年冬季,我国气温总体偏高,为暖冬年份,降水异常偏多,“暖湿”特征显著。那么,我国气候异常的原因是什么?北半球大气环流异常与我国天气气候有什么样的联系?东亚冬季风偏弱的可能原因是什么?本文将针对以上问题展开分析,并试图揭示我国“暖湿”和东亚环流异常的可能原因,为今后的气候预测和服务提供参考。

1 资料和方法

本文使用的资料主要有:

(1)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)”的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月以来的气温、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;大气环流资料为NCEP/NCAR逐日、逐月再分析资料(Kalnay et al,1996),水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;海温观测资料为NOAA提供的全球逐月海温资料(Reynolds et al,2007),水平分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$;大气环流和海温资料长度均为1948年1月至2020年2月;北极海冰资料为英国Hadley中心提供的北极海冰密集度数据(Rayner et al,2003)。

(2)东亚冬季风指数、西伯利亚高压指数、北极涛动(AO)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、EMI(El Niño Modoki index)来自国家气候中心的“气候与气候变化监测预测系统”。其中东亚冬季风指数采用的是朱艳峰(2008)定义的指数,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,并进行标准化处理。

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”及“气候与气候变化监测预测系统”。气候常年值为1981—2010年的平均值,冬季

指的是前一年12月至次年2月,例如2019/2020年冬季为2019年12月至2020年2月。

2 2019/2020年冬季我国气候异常特征

2019/2020年冬季,全国平均气温为 -2.25°C ,较常年同期(-3.34°C)偏高 1.09°C ,为1961年以来第五高值,仅次于2016/2017、1998/1999、2006/2007和2008/2009年冬季(图1a),为暖冬年份。从气温距平的空间分布来看,气温呈现青藏高原偏低、全国其余大部地区偏高的分布,这种分布正是中国冬季气温距平EOF分解典型的第一模态正位相特征(康丽华等,2009)。新疆北部、内蒙古西部、华北地区西南部、黄淮东部、江淮东部、江南南部和东部、及华南大部等地气温偏高 2°C 以上(图1b)。山东、江苏、安徽、浙江、广东和上海6省(市)经历了历史最暖冬季,江西、福建和宁夏3省(区)冬季气温为历史同期次高,山西、河南、湖北、湖南和陕西5省为第三高。

根据国家气候中心冷空气监测标准(王遵娅等,2019),2019/2020年冬季共有11次冷空气过程影响我国,冷空气累积日数为32 d(表1),次数接近常年同期(10.7次)。其中一般性冷空气过程4次,强冷空气过程4次,全国型强冷空气过程和寒潮合计3次,其中2月14—17日的全国型寒潮过程,持续时间长、影响范围大(影响全国84.04%站点)、降温幅度大,我国西北地区和中东部地区出现大范围雨雪和大风、强降温天气,湖北及江南、华南的部分地区还出现冰雹、雷电等强对流天气。

2019/2020年冬季,除了东北地区以外,全国其余大部分地区气温季节内波动不明显。从冬季我国气温的逐月距平图可见,青藏高原持续3个月气温偏低,东北气温在2019年12月偏低(图2a),而在2020年1月和2月持续偏高,全国其余大部分地区整体呈现出持续偏暖特征(图2b和图2c)。此外,1月气温异常的空间分布特征与2月相似。从全国平均气温逐日演变看,季内除2019年12月上旬和2020年2月中旬后期气温偏低外,其余大部分时间气温普遍偏高,其中2020年2月下旬气温偏高 3.55°C 。东北地区平均气温逐日演变与全国平均略

有差异,东北地区在 2019 年 12 月 1—7 日、12 月 18 日至 2020 年 1 月 1 日期间大部分时间、2 月 3—8 日气温较常年同期偏低,其余大部分时间偏高。

2019 年冬季,全国平均降水量为 54.7 mm,较常年同期(41.2 mm)偏多 33%,为 1961 年以来历史同期第五多(图 3a)。从空间分布来看,除东北地区北部、西北地区东部部分地区、新疆中西部、西藏西部、福建东南部等地降水较常年同期偏少外,我国其余大部地区降水偏多,其中内蒙古中部、东北地区中西部、华北东部和西南部、黄淮等地偏多 1 倍以上(图 3b)。

华北地区冬季降水量达 23.0 mm,较常年同期偏多 1.2 倍,为历史同期次多(仅少于 1989/1990 年冬季)。北京冬季降水量达 38.0 mm,较常年同期偏多 3.4 倍,为历史同期最多。2020 年 2 月 13—14 日的降雨(雪)过程中,华北地区共有 28 个站日降水量超过当地冬季单日降水量的历史极值。

冬季降水存在明显的季节内变化。2019 年 12 月,降水异常偏多主要在我国东北部地区,内蒙古、华北北部和东部、东北中南部、东部沿海地区、江南

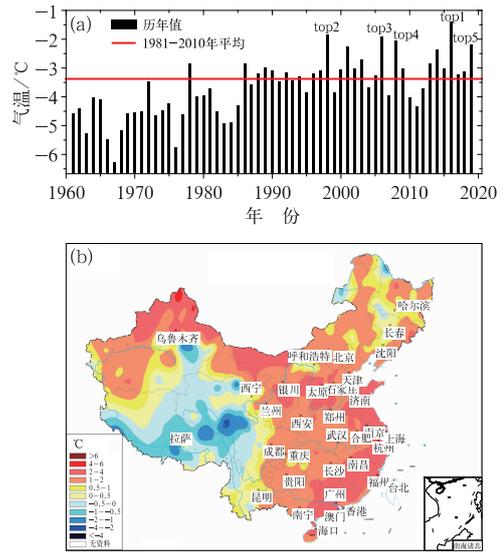


图 1 1961/1962—2019/2020 年冬季全国平均气温历年变化(a)及 2019/2020 年冬季全国气温距平(b,填色)分布

Fig. 1 Time series of winter mean temperature over China during 1961/1962—2019/2020 (a) and distribution of temperature anomalies (colored) in winter 2019/2020 (b)

表 1 2019/2020 年冬季冷空气过程

Table 1 Cold air events in the 2019/2020 winter

序号	开始日期/年-月-日	结束日期/年-月-日	持续日数/d	冷空气类型
1	2019-12-1	2019-12-4	4	一般冷空气过程
2	2019-12-17	2019-12-19	3	全国型强冷空气过程
3	2019-12-26	2019-12-28	3	一般冷空气过程
4	2019-12-30	2020-1-1	3	寒潮过程
5	2020-1-7	2020-1-9	3	强冷空气过程
6	2020-1-11	2020-1-12	2	强冷空气过程
7	2020-1-24	2020-1-26	3	强冷空气过程
8	2020-1-30	2020-1-31	2	一般冷空气过程
9	2020-2-3	2020-2-4	2	强冷空气过程
10	2020-2-14	2020-2-17	4	全国型寒潮过程
11	2020-2-26	2020-2-28	3	一般冷空气过程

及高原东部降水明显偏多,其中内蒙古大部、东北大部偏多 2 倍以上,其余地区降水偏少(图 4a);2020 年 1 月,降水偏多范围最大,除了新疆西部和南部、东北、华南南部等地降水偏少以外,全国其余大部分地区降水异常偏多,其中西北地区东部、西南地区西南部、华北西部、黄淮、江汉和江淮等地偏多 2 倍以上(图 4b);2 月,降水大体呈西北大部偏少、全国其余大部地区偏多的分布特征,其中内蒙古东部、华北东部和东北大部偏多 2 倍以上(图 4c)。

从东北地区(黑龙江、吉林和辽宁)和华北地区(山西、河北、北京、天津、河南、山东)冬季逐日平均降水量变化来看,两个地区降雪过程频繁,其中华北地区有四次较强的降雪过程,分别发生在 2019 年 12 月 15—16 日、2020 年 1 月 5—7 日、2 月 14—15 日和 24—28 日;东北地区也有四次较强的降雪过程,分别发生在 2019 年 12 月 16—17 日、29—30 日、2020 年 2 月 14—16 日和 21—22 日(图 4d)。

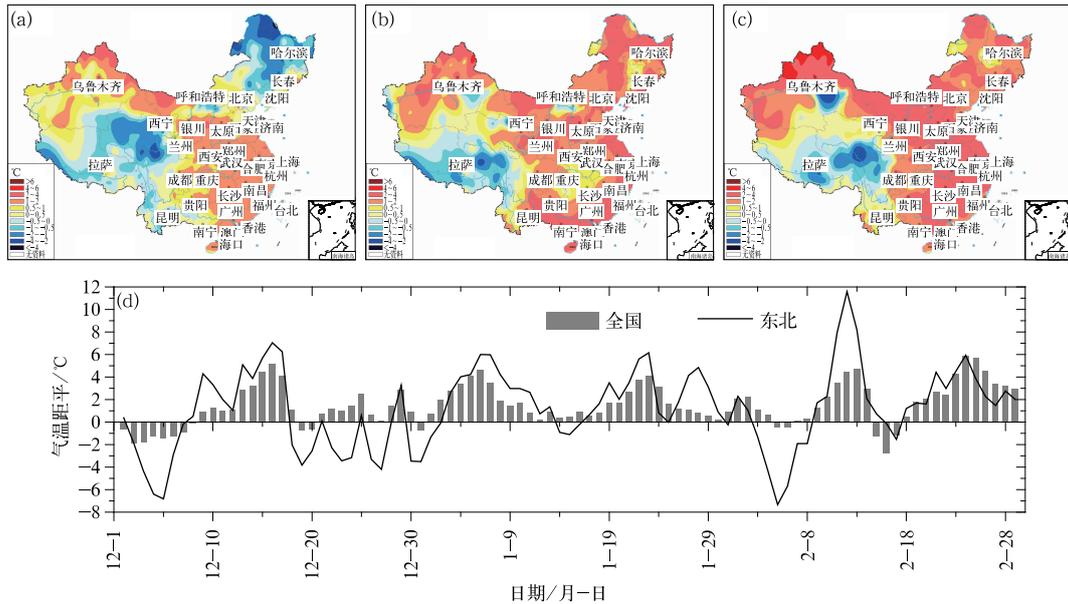


图 2 2019 年 12 月 (a)、2020 年 1 月 (b) 和 2 月 (c) 全国气温距平分布 (填色), 及 2019/2020 年冬季全国和东北逐日平均气温距平 (d)

Fig. 2 Distribution of temperature anomalies (colored) of China in December 2019 (a), January 2020 (b), February 2020 (c) and daily mean temperature anomalies over China and Northeast China in the 2019/2020 winter (d)

3 2019/2020 年冬季北半球大气环流异常特征

3.1 北半球大尺度环流

2019/2020 年冬季, 在北半球 500 hPa 高度场上, 中高纬度槽脊幅度较小, 两个浅槽分别位于西北太平洋和北大西洋上空 (图 5a)。距平场上, 极地至高纬度 ($60^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{N}$) 以负高度距平为主, 60°N 以南为正高度距平, 东亚地区的正高度距平中心位于朝鲜半岛至日本岛一带, 表明北半球极涡收缩于极地、强度偏强, 东亚槽强度明显偏弱, 欧亚中高纬以纬向环流为主, 不利于极地和高纬冷空气南下影响我国。西太副高强度异常偏强 (1961 年以来历史第三, 仅次于 1997/1998、2015/2016 年冬季)、西伸脊点偏西 (西伸脊点为 90°E , 和 1997/1998、2015/2016 年冬季并列历史第一)、脊线偏北 (脊线位于 16.9°N , 较常年同期偏北 1.2°N , 为 1961 年以来历史第六)。

东亚 850 hPa 风场距平显示, 40°N 以北的中高纬地区、我国东部均为南风距平, 我国东部地区至日本岛受反气旋距平环流控制, 反气旋距平中心位于日本海, 我国东部地区的南风距平异常偏强, 有利于

南海和西北太平洋的水汽向我国东部地区输送 (图 5b)。从国家气候中心印缅槽强度的逐日监测和季节平均监测结果 (图略) 可见, 冬季印缅槽强度接近常年同期, 但季节内阶段性异常活跃, 为我国西南地区提供了充足的水汽。

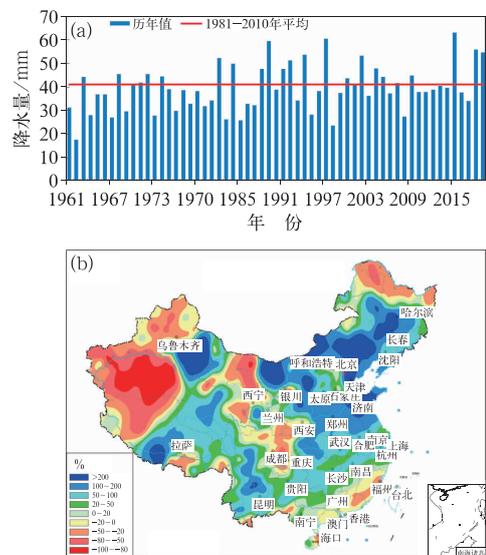


图 3 同图 1, 但为降水量及其距平百分率
Fig. 3 Same as Fig. 1, but for precipitation and its anomaly percentage

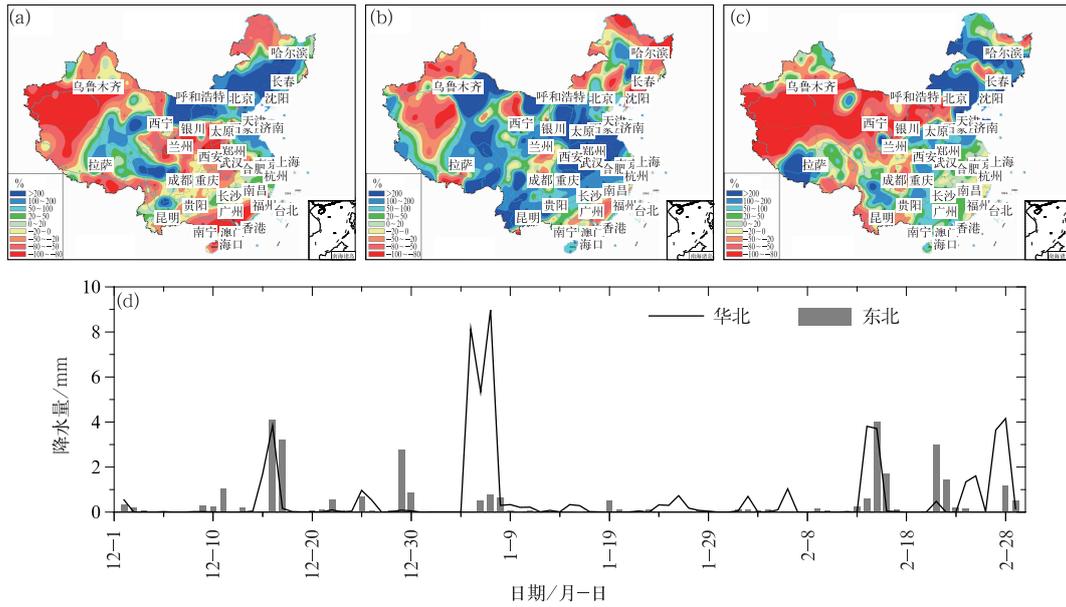


图 4 同图 2,但图 4a~4c 为降水距平百分率,图 4d 为东北和华北降水量
 Fig. 4 Same as Fig. 2, but for precipitation anomaly percentage in Figs. 4a–4c, precipitation in Fig. 4d in Northeast China and North China

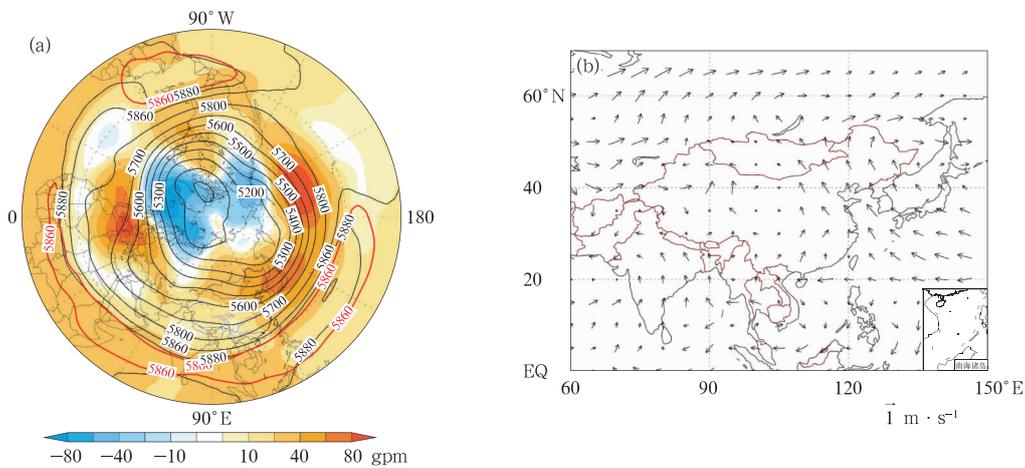


图 5 2019 年冬季平均 500 hPa 高度场(等高线,单位:gpm)和距平场(填色)(a,红色等值线表示气候平均的 5860 gpm)和 850 hPa 风场距平(b)
 Fig. 5 The 500 hPa geopotential height (contours, unit: gpm) and anomalies (colored) (a, red contour: the climatology of 5860 gpm geopotential height) and 850 hPa wind anomalies in the 2019 winter (b)

从冬季季节内逐月环流演变来看,副热带地区环流季节内变化不大,西太副高持续偏强、偏西、偏北;而欧亚中高纬地区环流季节内变化则较明显。2019 年 12 月(图 6a),北极 500 hPa 高度场为显著的正异常,欧亚中高纬呈“西高东低”的分布,乌拉尔山至贝加尔湖西部高度场为显著的正异常,贝加尔湖经内蒙古东部至鄂霍次克海高度场为负异常,西北太平洋至朝鲜半岛高度场为显著的正异常,东亚

槽偏弱。这种环流型在贝加尔湖至我国东北地区的经向度较大,有利于东路冷空气阶段性活跃,影响我国东北地区,使得内蒙古东部及东北大部气温偏低。从 850 hPa 风场距平图(图 6d)可见,菲律宾为气旋环流,我国东部江南以北地区至日本岛处于反气旋式异常环流控制之下,我国东部地区主要受南风距平的影响,有利于水汽向我国北方地区输送,导致我国东部沿海地区、华北和东北等地降水异常偏多。

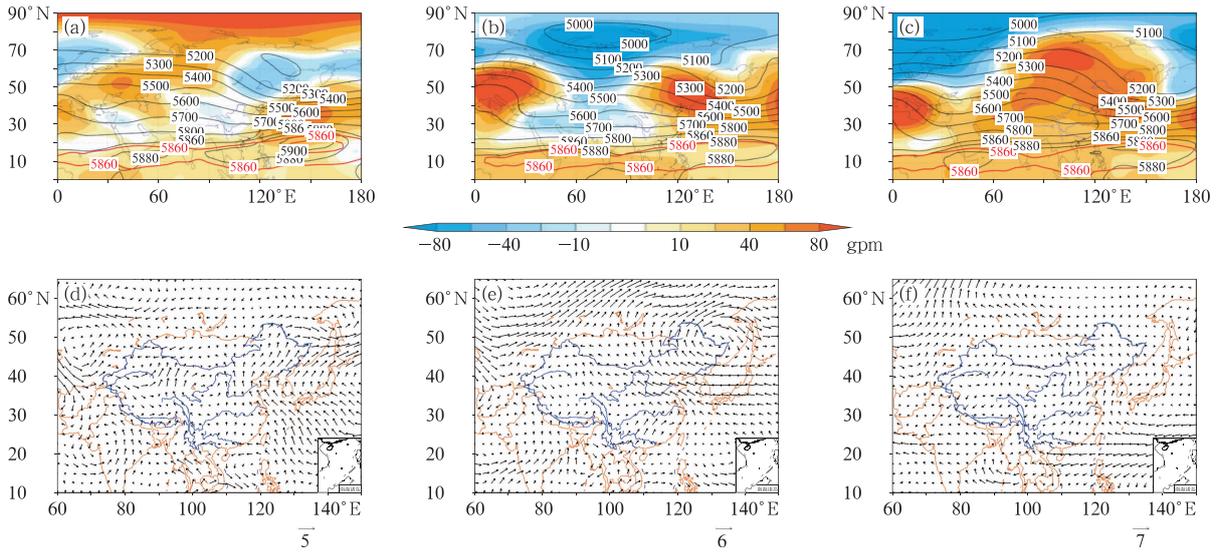


图 6 2019 年 12 月 (a,d)、2020 年 1 月 (b,e) 及 2 月 (c,f) 平均 500 hPa 高度场(等号线,单位:gpm)和距平场(a~c,填色),850 hPa 风场距平(d~f,单位: $m \cdot s^{-1}$)
(图 6a~6c 中红色等值线表示气候平均 5860 和 5880 gpm)
Fig. 6 The 500 hPa geopotential height (contours, unit: gpm) and anomalies (colored) (a~c) and 850 hPa wind anomalies (d~f, unit: $m \cdot s^{-1}$) in December 2019 (a, d), January 2020 (b, e) and February 2020 (c, f) (red contour in Figs. 6a~6c: the climatological 5860 gpm and 5880 gpm)

2020 年 1 月(图 6b),北半球极地和中高纬环流形势发生了明显的调整,北极 500 hPa 高度场转为显著的负异常,欧亚呈“十一十”的分布,西欧和贝加尔湖以东地区为正高度距平,乌拉尔山至我国新疆、青藏高原为负高度距平,我国中东部地区为正高度距平。欧亚中高纬调整为以平直的纬向型环流为主,冷空气活动较弱,有利于我国除了青藏高原以外的大部分地区气温偏高。低层风场也有明显的调整。阿拉伯海至孟加拉湾为西风距平,菲律宾反气旋加强,我国长江以南为西南风距平,东北地区上空为显著的反气旋距平,长江以北地区为显著的东南风距平,有利于水汽在我国中东部地区辐合(图 6e),导致我国中东部大部地区降水异常偏多。

2 月(图 6c),北极 500 hPa 高度场维持负异常,欧亚中高纬转为明显的“西低东高”的分布,欧洲至乌拉尔山为负距平,乌拉尔山以东至西北太平洋为大范围显著的正高度距平,我国受正高度距平的控制,大部分地区气温异常偏高。西北太平洋为大范围的反气旋距平环流,中心位于日本岛,我国东北地区为南风距平,中东部大部地区为西南风距平(图 6f),有利于印度洋西南水汽和西北太平洋水汽沿着反气旋向我国中东部地区输送,导致我国西南

地区和中东部大范围降水异常偏多。

3.2 东亚冬季风活动特征及影响

2004 年冬季以来,东亚冬季风整体处于偏强的年代际背景下,西伯利亚高压的年代际特征整体也以偏强为主,且偏强的年份异常程度较为显著,偏弱的年份异常程度较弱。但 2019 年冬季二者均偏弱,东亚冬季风标准化指数为-0.24,较常年同期偏弱,西伯利亚高压标准化指数为-1.04,较常年同期异常偏弱(图 7)。

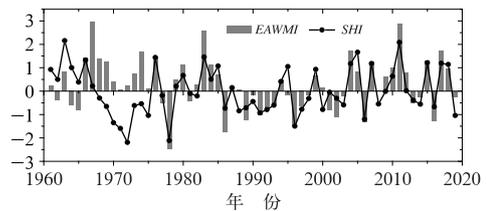


图 7 1961/1962—2019/2020 年冬季东亚冬季风强度(EAWMI)和西伯利亚高压强度(SHI)标准化指数历年变化
Fig. 7 Variation of standardized East Asian winter monsoon (EAWMI) index and Siberian high (SHI) intensity index in the 1961/1962—2019/2020 winters

从 2019/2020 年冬季东亚冬季风强度(图 8a)、西伯利亚高压强度(图 8b)逐候实况监测及全国逐候气温距平图(图略)可见,三者季节内表现出阶段性演变特征。2019 年 12 月前 4 候东亚冬季风和西伯利亚高压异常变化一致,而后 2 候东亚冬季风异常偏强,西伯利亚高压则异常偏弱。结合 12 月全国逐候气温距平可见,12 月第 4 候和第 5 候我国内蒙古东部、华北北部、东北地区和青藏高原气温偏低,全国其余大部分地区气温异常偏高,即东亚冬季风偏强主要影响到了我国东北部地区。2020 年 1 月,东亚冬季风月内波动大,第 2 候和第 3 候异常偏强,其余各候异常偏弱,西伯利亚高压第 2 候略偏强,其余各候强度明显偏弱,全国绝大部分地区逐候气温均偏暖,表明冬季风第 2 候和第 3 候异常偏强对我国气温的影响并不显著,气温回升迅速;2020 年 2 月,东亚冬季风和西伯利亚高压逐候变化一致,第 1、第 3 和第 4 候偏强,而第 2、第 5 和第 6 候偏弱,月内全国平均气温总体偏高,仅上旬前期内蒙古东部和东北地区异常偏低,中旬中期内蒙古中西部和西北地区气温偏低,即东亚冬季风阶段性偏强主要影响到了我国北方地区。

除了东亚冬季风异常以外,AO 的异常对我国北方(尤其是内蒙古东部和东北地区)气温也有重要的影响(陈文和康丽华,2006;康丽华等,2009;陈文

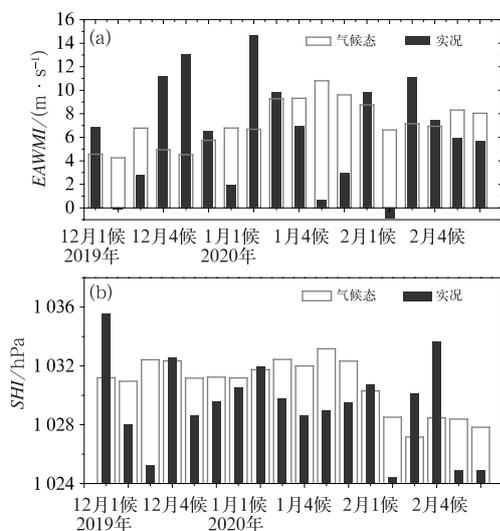


图 8 2019/2020 年冬季东亚冬季风强度(a)和西伯利亚高压强度(b)逐候演变
Fig. 8 Pentad variation of EAWMI (a) and SHI (b) in the 2019/2020 winter

等,2013a)。2019 年冬季 AO 标准化指数为 1.77,为 1961 年以来历史第二高值,仅次于 1988 年(2.45),即 AO 为异常偏强的正位相(图 9)。季节内,除了 2019 年 12 月 15—28 日为弱的负位相以外,其余大部分时间维持正位相(图 10)。结合图 2d 可见,12 月 AO 负位相期间,我国东北地区气温也整体偏低。

4 2019/2020 年东亚冬季风异常的可能原因

4.1 海温对东亚冬季风的影响

海陆热力差异是季风形成的重要原因,因此海洋或陆地热力状况的改变往往会引起季风的异常。ENSO 作为年际尺度上热带海气系统的最强信号,对东亚冬季风有重要的影响(李崇银和穆明权,2000;陈文,2002)。2019 年 7 月弱的中部型 El Niño 事件结束,8 月之后赤道中太平洋暖海温维持。从 2019/2020 年冬季全球海温距平场空间分布可见,赤道太平洋为大范围的正距平,中心位于日界线附近,中心强度大于 1℃(图 11)。从 Niño3.4 指数和 EMI 指数的逐月演变可见,2019 年 10 月至 2020 年 1 月,Niño3.4

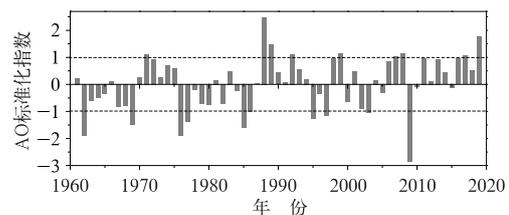


图 9 1961/1962—2019/2020 年冬季 AO 标准化指数历年变化

Fig. 9 Variation of standardized AO index in 1961/1962—2019/2020 winter

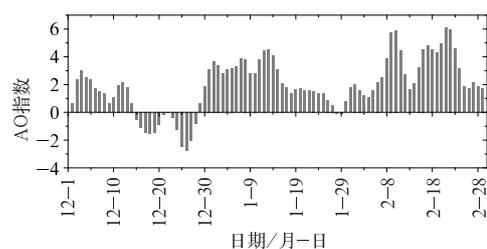


图 10 2019/2020 年冬季 AO 指数逐日演变
Fig. 10 Daily variation of AO index in the 2019/2020 winter

指数均大于 0.5°C , 2 月为 0.37°C ; 2019 年 7—11 月, EMI 指数均大于 0.5°C , 冬季三个月减小(图 12)。研究表明, 在 El Niño(La Niña) 盛期冬季东亚冬季风往往偏弱(偏强), 这一影响主要是通过 EN-SO 在对流层低层激发西北太平洋反气旋(气旋)和南风(北风)异常来实现的(Zhang et al, 1996; Wang et al, 2000; 陈文, 2002)。2019 年 12 月, 南海至菲律宾上空表现为气旋式环流异常, 中国东部至西北太平洋大范围地区为反气旋环流异常, 中心位于日本岛, 东亚沿岸为南风异常, 有利于东亚冬季风偏弱(图 6d); 2020 年 1 月, 南海至菲律宾上空表现为反气旋式环流异常, 副热带环流形势对类中部型 El Niño 型海温响应明显, 西太副高异常偏强、偏西、略偏北; 同时东亚中高纬受反气旋式异常环流控制, 东亚地区以南风异常为主(图 6e)。2020 年 2 月, 南海至菲律宾上空为较强的东风距平, 副热带西北太平洋反气旋范围较大、位置偏北, 中国东部受反气旋式环流影响, 为异常偏强的南风距平。与东部型 El Niño 年不同的是, 中部型 El Niño 年菲律宾反气旋位置相对偏北, 对应的中层西太副高位置也偏北。2019 年冬季副高也符合这一特征, 冬季三个月西太副高脊线距平分别为 1.5°N 、 0.4°N 和 1.5°N 。西太

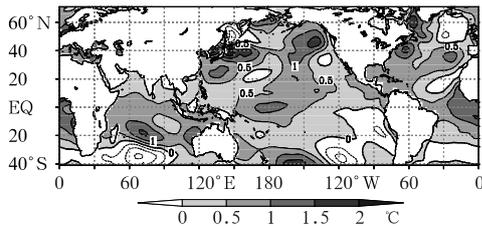


图 11 2019/2020 年冬季全球海温距平场(阴影)

Fig. 11 Distribution of sea surface temperature (SST) anomalies in the 2019/2020 winter (shaded)

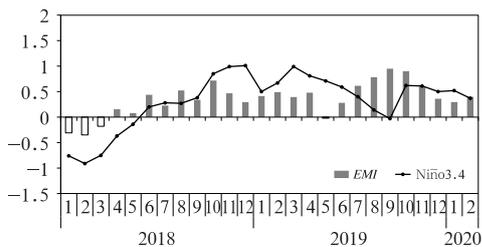


图 12 EMI 指数和 Niño3.4 指数(单位: $^{\circ}\text{C}$) 逐月演变

Fig. 12 Variation of monthly EMI index and Niño3.4 index (unit: $^{\circ}\text{C}$)

副高异常偏强、偏西和偏北, 导致东亚地区受南风距平控制, 进而削弱了东亚冬季风的强度。

4.2 北极极涡和北极涛动对中高纬环流的影响

2019/2020 年冬季欧亚中高纬环流异常的一个显著特征是隆冬和后冬(2020 年 1—2 月)乌拉尔山为负高度距平, AO 长时间维持正位相。研究表明, 冬季乌拉尔山阻塞高压与 AO 和北半球极涡强度表现为显著的负相关关系(李崇银和顾薇, 2010), 即北半球极涡偏强和 AO 的正位相均有利于乌拉尔山阻塞高压的偏弱。国家气候中心大气环流指数监测显示, 2020 年 1—2 月北半球极涡偏强, 尤其是 2 月极涡异常偏强(图略)。2020 年 1—2 月, AO 维持异常偏强的正位相(图 10)。即 2019/2020 年隆冬和后冬北半球极涡偏强、AO 持续正位相均有利于乌拉尔山阻塞高压的偏弱, 欧亚中高纬度纬向环流形势维持, 导致东亚冬季风偏弱。

5 结论与讨论

综合上述分析得到以下结论:

(1) 2019/2020 年冬季, 我国“暖湿”特征显著。全国平均气温为 -2.25°C , 较常年同期偏高 1.09°C , 为 1961 年以来第五高值, 为暖冬年份。从气温距平的空间分布来看, 气温呈现青藏高原偏低、全国其余大部地区偏高的分布, 这种分布正是中国冬季气温距平 EOF 分解典型的第一模态的正位相特征。全国平均降水量较常年同期偏多 33%, 为 1961 年以来第五多, 从空间分布来看, 全国大部分地区降水异常偏多。

(2) 2019/2020 年冬季, 东亚冬季风强度较常年同期偏弱, 西伯利亚高压明显偏弱, 季内冬季风强弱转换阶段性特征显著。冬季北半球极涡收缩于极地, 强度偏强, AO 为异常偏强的正位相, 乌拉尔山阻塞高压活动偏弱, 东亚槽强度偏弱, 欧亚中高纬以纬向环流为主。西伯利亚高压强度异常偏弱, 东亚大部地区受南风异常的控制, 东亚冬季风强度偏弱, 不利于引导极地冷空气南下影响我国, 导致我国大部分地区气温异常偏高; 西太副高异常偏强、偏西、偏北, 有利于西北太平洋水汽向我国输送, 此外印缅槽阶段性活跃, 有利于印度洋水汽向我国西南地区输送, 导致冬季我国大部分地区降水异常偏多。

(3) 2019 年 7 月弱的中部型 El Niño 事件结束,

8月之后赤道中太平洋仍维持暖海温,2019年10月至2020年1月,Niño3.4指数均大于 0.5°C 。类中部型 El Niño 的海温异常有利于激发西北太平洋反气旋,且位置偏北,进而抑制了东亚冬季风的发展和南下;此外,冬季北半球极涡收缩于极地,强度偏强,AO持续正位相,均不利于乌拉尔山阻塞高压的发展,且东亚大槽偏弱,共同导致东亚地区以纬向环流为主。

研究表明,秋冬季北极海冰密集度异常是冬季西伯利亚高压异常的重要因子(武炳义等,1999;武炳义,2018)。9月巴伦支海—喀拉海区域平均的海冰密集度与冬季西伯利亚高压呈显著负相关(图13,扣除线性趋势后二者相关系数为 -0.51)。武炳义和杨琨(2016)进一步分析指出,前期夏季北极大气环流的动力和热力状态不仅影响夏、秋季北极海冰,而且对海冰偏少影响亚洲冬季气候变率有重要的调节作用。2019年夏季北极大气低层表现为反气旋式环流异常,上空对流层中、低层的气温异常偏高,均有利于加强海冰对冬季大气环流变率的负反馈。因此,导致了9月北极海冰异常偏少(历史排位倒数第三,仅次于2012年和2007年;去除线性趋势后仍为负距平)。但巴伦支海—喀拉海关键区区域平均的海冰密集度去除线性趋势后接近常年,冬季西伯利亚高压却异常偏弱。即2019/2020冬季西伯利亚高压异常偏弱似乎不是巴伦支海—喀拉海关键区海冰影响所致,那么西伯利亚高压异常偏弱的原因是什么?此外,极涡、AO的异常受什么影响?极地和中高纬环流的异常及其物理机制,涉及到极地和中高纬陆气相互作用、大气内部相互作用

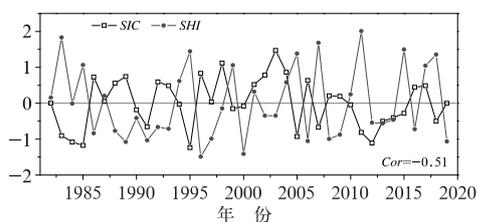


图13 9月巴伦支海—喀拉海海区($76^{\circ}\sim 83^{\circ}\text{N}$, $30^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$)平均海冰密集度(SIC)指数与冬季西伯利亚高压强度标准化指数的年际变化

Fig. 13 Correlation between sea ice concentration (SIC) index of September in Barents Sea—Kara Sea region ($76^{\circ}\sim 83^{\circ}\text{N}$, $30^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$) and standardized SHI in winter

等复杂的过程,还需要进一步深入分析。

参考文献

- 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,康丽华,2006. 北极涛动与东亚冬季气候在年际尺度上的联系: 准定常行星波的作用[J]. 大气科学, 30(5): 863-870. Chen W, Kang L H, 2006. Linkage between the Arctic oscillation and winter climate over East Asia on the interannual timescale: roles of quasi-stationary planetary waves[J]. Chin J Atmos Sci, 30(5): 863-870 (in Chinese).
- 陈文,兰晓青,王林,等,2013a. ENSO 和北极涛动对东亚冬季气候异常的综合影响[J]. 科学通报, 58(8): 634-641. Chen W, Lan X Q, Wang L, et al, 2013a. The combined effects of the ENSO and the Arctic oscillation on the winter climate anomalies in East Asia[J]. Chin Sci Bull, 58(8): 634-641 (in Chinese).
- 陈文,魏科,王林,等,2013b. 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, 2013b. 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).
- 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).
- 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]. Quar J Appl Meteor, 5(2): 218-225 (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).
- 黄荣辉,魏科,陈际龙,等,2007. 东亚2005年和2006年冬季风异常

- 及其与准定常行星波活动关系的分析研究[J]. 大气科学, 31(6):1033-1048. Huang R H, Wei K, Chen J L, et al, 2007. The East Asian winter monsoon anomalies in the winters of 2005 and 2006 and their relations to the quasi-stationary planetary wave activity in the Northern Hemisphere[J]. Chin J Atmos Sci, 31(6):1033-1048(in Chinese).
- 康丽华, 陈文, 王林, 等, 2009. 我国冬季气温的年际变化及其与大气环流和海温异常的关系[J]. 气候与环境研究, 14(1):45-53. Kang L H, Chen W, Wang L, et al, 2009. Interannual variations of winter temperature in China and their relationship with the atmospheric circulation and sea surface temperature[J]. Clim Environ Res, 14(1):45-53(in Chinese).
- 兰晓青, 陈文, 2013. 2011~2012 年冬季欧亚大陆低温严寒事件与平流层北极涛动异常下传的影响[J]. 大气科学, 37(4):863-872. Lan X Q, Chen W, 2013. Strong cold weather event over Eurasia during the winter of 2011/2012 and a downward Arctic oscillation signal from the stratosphere[J]. Chin J Atmos Sci, 37(4):863-872(in Chinese).
- 李崇银, 1989. 中国东部地区的暖冬与厄尔尼诺[J]. 科学通报, 34(4):283-286. Li C Y, 1989. Warmer winter in eastern China and El Niño[J]. Chin Sci Bull, 34(21):1801-1805(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).
- 李崇银, 穆明权, 2000. 东亚冬季风-暖池状况-ENSO 循环的关系[J]. 科学通报, 45(7):678-685. Li C Y, Mu M Q, 2000. Relationship between East Asian winter monsoon, warm pool situation and ENSO cycle[J]. Chin Sci Bull, 45(16):1448-1455(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).
- 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).
- 宋文玲, 袁媛, 2017. 强厄尔尼诺背景下 2015/2016 年冬季气候预测的不确定性分析[J]. 气象, 43(10):1249-1258. Song W L, Yuan Y, 2017. Uncertainty analysis of climate prediction for the 2015/2016 winter under the background of super El Niño event[J]. Meteor Mon, 43(10):1249-1258(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]. Chin J Atmos Sci, 22(4):399-407(in Chinese).
- 王东阡, 崔童, 司东, 等, 2015. 2014/2015 年东亚冬季风活动特征及其可能成因分析[J]. 气象, 41(7):907-914. Wang D Q, Cui T, Si D, et al, 2015. Features and possible causes for East Asian winter monsoon in 2014/2015[J]. Meteor Mon, 41(7):907-914(in Chinese).
- 王遵娅, 司东, 段丽瑶, 2019. 冷空气过程监测指标: QX/T 393-2017[S]. 北京: 中国气象出版社. Wang Z Y, Si D, Duan L Y, 2019. Monitoring indices of cold air processes: QX/T 393-2017[S]. Beijing: China Meteorological Press(in Chinese).
- 武炳义, 2018. 北极海冰融化影响东亚冬季天气和气候的研究进展以及学术争论焦点问题[J]. 大气科学, 42(4):786-805. Wu B Y, 2018. Progresses in the impact study of Arctic sea ice loss on wintertime weather and climate variability over East Asia and key academic disputes[J]. Chin J Atmos Sci, 42(4):786-805(in Chinese).
- 武炳义, 黄荣辉, 高登义, 1999. 冬季北极喀拉海、巴伦支海海冰面积变化对东亚冬季风的影响[J]. 大气科学, 23(3):267-275. Wu B Y, Huang R H, Gao D Y, 1999. The impact of variation of sea-ice extent in the Kara Sea and the Barents Seas in winter on the winter monsoon over East Asia[J]. Chin J Atmos Sci, 23(3):267-275(in Chinese).
- 武炳义, 杨琨, 2016. 从 2011/2012 和 2015/2016 年冬季大气环流异常看北极海冰以及前期夏季北极大气环流异常的作用[J]. 气象学报, 74(5):683-696. Wu B Y, Yang K, 2016. Roles of Arctic sea ice and the preceding summer Arctic atmospheric circulation anomalies in the atmospheric circulations anomalies of 2011/2012 and 2015/2016 winters[J]. Acta Meteor Sin, 74(5):683-696(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).
- 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).
- Hoerling M P, Kumar A, Zhong M, 1997. El Niño, La Niña, and the nonlinearity of their teleconnections[J]. J Clim, 10(8):1769-1786.
- 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.
- Rayner N A, Parker D E, Horton E B, et al, 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late Nineteenth Century[J]. J Geophys Res Atmos, 108(D14):4407.
- Reynolds R W, Smith T M, Liu C Y, et al, 2007. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature[J]. J Clim, 20(22):5473-5496.
- 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]. Clim Dyn, 51(9/10):3907-3926.
- Wang B, Wu R G, Fu X H, 2000. Pacific-East Asian teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate? [J]. J Clim, 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 Clim, 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.
- Wang L, Chen W, Huang R H, 2008. Interdecadal modulation of PDO on the impact of ENSO on the East Asian winter monsoon[J]. Geophys Res Lett, 35(20):L20702.
- Wang L, Huang R H, Gu L, 2009. Interdecadal variations of the East Asian winter monsoon and their association with quasi-stationary planetary wave activity[J]. J Clim, 22(18):4860-4872.
- Zhang R, Sperber K R, Boyle J S, 1997. Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: results from the 1979-95 NCEP/NCAR reanalysis[J]. Mon Wea Rev, 125(10):2605-2616.
- 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 Ser II, 74(1):49-62.