沙 漠 与 绿 洲 气 象
Desert and Oasis Meteorology
第 18 卷 第 2 期
2024 年 4 月

车少静,高辉,韩世茹,等.秋季喀拉海海冰对 2020 和 2021 年 12 月京津冀冷暖反相的影响[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(2):132-137.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2024.02.017

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

秋季喀拉海海冰对 2020 和 2021 年 12 月京津冀冷暖反相的影响

车少静[1],高　辉[2*],韩世茹[1],李晓帆[1],杜浩昱[1]
(1.河北省气候中心,河北　石家庄 050021;2.国家气候中心,北京 100081)

摘　要:京津冀 2020 年 12 月气温异常偏低,而 2021 年 12 月异常偏高。这两年冬季均处在拉尼娜背景下,但秋季喀拉海海冰异常有明显差异,可能是京津冀这两年 12 月气温异常潜在的外强迫信号。这 2 年秋季喀拉海海冰通过中高纬温度经向梯度差异引起大气环流异常,进而导致京津冀 12 月气温异常。2020 年秋季喀拉海海冰异常偏少,导致 12 月西伯利亚高压偏强,乌拉尔山阻塞高压亦偏强,欧亚地区为典型的经向环流,造成京津冀 12 月气温异常偏低,而 2021 年的秋季海冰和 12 月环流形势均与 2020 年相反。

关键词:京津冀;初冬气温;秋季海冰;喀拉海
中图分类号:P461　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1002-0799(2024)02-0132-06

京津冀是我国北方经济规模最大的地区。受东亚冬季风影响,冬季寒潮、大风、暴雪等低温灾害,对京津冀地区的天然气、电力等能源供应,农作物生长发育,以及交通运输等社会经济和人类生活均产生重要影响,因此,开展京津冀冬季气温预测有重要意义。以往的研究多关注整个冬季平均气温的异常,而京津冀冬季气温除了一致的偏冷和偏暖外,在月尺度上常常出现前后冬相反甚至冷暖交替的现象,而且随着对大气变化规律认识的不断深入,以及社会经济发展对精细化气候预测需求的增加,冬季气温季节内变化特征及其影响机制的研究逐步成为现阶段的热点问题。京津冀 1991—2020 年 11、12、1、2 月 30 a 平均气温分别为 4.3、-2.4、-4.2 和-0.5 ℃,初冬的 12 月气温较 11 月显著下降,且较后冬的 2 月气温偏低 1.9 ℃,因此对初冬气温需要更多的关注。

对于冬季气温的多时间尺度变化特征及其影响环流系统诊断一直是我国气象科技工作者重点关注内容之一。自涂长望[1]开创性工作之后,大量研究表明,同期的中高纬度环流异常是导致我国冬季气温异常的直接原因,其中东亚冬季风、西伯利亚高压、东亚大槽、北极涛动、西太平洋副热带高压等环流系统对我国冬季冷暖有很好的指示意义[2-11],上述研究成果为冬季气温的季节预测提供了很好的参考。

大气环流的异常与外强迫因子密切相关,通过研究外强迫信号可以更早的预测未来气候。ENSO 作为全球气候最显著的年际变率气候现象,其与冬季大气环流异常以及冬季气温异常的关系,前人进行了大量的研究,早期的研究通常认为,ENSO 处在暖位相时(即厄尔尼诺事件),东亚冬季风偏弱,我国气温易偏暖;反之,当处于 ENSO 冷位相时(即拉尼娜事件),东亚冬季风偏强,我国冬季气温偏低。而近年的研究则发现,全球气候变暖后,ENSO 与我国冬季气温转为不显著相关[11-12],不同的 ENSO 分布形态对冬季大气环流影响存在差异[13-14],陈文等[15]研究表

收稿日期:2022-09-06;**修回日期**:2023-03-01
基金项目:国家自然科学基金(NSFC42175048);国家重点研发计划(2018YFC1505604);河北省气象局科研开发项目(21ky02);延伸期重要天气过程智能预测技术创新团队
作者简介:车少静(1976—),女,正高级工程师,主要从事短期气候预测研究。E-mail:checlimate@sina.com
通信作者:高辉(1976—),男,研究员,主要从事短期气候预测研究。E-mail:gaohui@cma.gov.cn

明东亚冬季温度和降水异常显著的依赖于 ENSO 和北极涛动的不同位相配置。可见,ENSO 对我国冬季气温的影响及其物理机制是复杂多变的。2020 和 2021 年 12 月均在拉尼娜事件的背景下,但京津冀表现为冷暖反相特征,2020 年 12 月气温异常偏低,2021 年则异常偏高。显然,对这两年 12 月气温异常反位相而言,拉尼娜并非直接强迫因子。

北极海冰的异常通过改变反照率以及大气和海洋之间的热量、动量和水汽交换平衡,可以引起大尺度大气环流变化,进而对气候产生重要影响。大量观测事实证明,20 世纪后期以来,北极海冰急剧消融,北极近地表气温迅速上升,其变暖速度是全球增暖的 2~3 倍,是 21 世纪欧亚极端冷事件显著增多的重要影响因子[16-18],其影响机制与引起的环流异常有关[19-23]。2020 和 2021 年秋季喀拉海海冰表现出相反的异常特征,因此,本文分析了这两年初冬京津冀气温异常与前期秋季喀拉海海冰异常的关系,以及喀拉海海冰对初冬气温异常的可能影响机制,以期为初冬气温预测提供依据。

1 资料与方法

本文所用 1961—2021 年北京市、天津市和河北省 172 站月平均气温资料来自国家气象信息中心。同时段逐月海冰密集度数据源自美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的 SST V2 数据集,分辨率为 1°×1°。2020 和 2021 年 12 月大气环流资料源自美国 NCEP/NCAR 的全球再分析数据集,要素包括 500 hPa 位势高度、850 hPa 风场、海平面气压、近地面气温(σ=0.995 层的温度)和 12 个等压面层气温,分辨率为 2.5°×2.5°。根据世界气象组织规定,本文选取 1991—2020 年平均值作为气候态。应用 *T* 检验对相关分析结果进行显著性检验。

2 2020 和 2021 年 12 月京津冀气温与北极海冰的关系

2020 年 12 月京津冀平均气温距平为-1.4 ℃,超过 1 倍标准差,为 2006 年以来第二冷年。2021 年 12 月气温距平为 2.0 ℃,为 1961 年以来最暖的一年。由 2020 和 2021 年 12 月气温距平空间分布(图 1)可知,2020 年 12 月京津冀气温偏低,中北部地区偏低 1 ℃以上,但 2021 年 12 月京津冀大部地区偏高 1 ℃以上,中南部大部偏高超过 2 ℃,河北省 75 个气象站月平均气温为历史同期最高。

通过 1982—2021 年前期 5—12 月北极海冰密集度与 12 月气温去除线性趋势后的相关系数,发现 7—12 月喀拉海附近的海冰密集度与 12 月气温呈显著正相关关系,通过了 0.05 的显著性检验,10 月的显著相关区范围最大,选取显著相关的区域(73°~85°N,60°~120°E)作为关键区,计算关键区海冰密集度的标准化值。由图 2a 可知,2020 年 5—12 月关键区海冰密集度均异常偏小,去除线性趋势后的标准化值均小于 1,其中 5—10 月均为 1982 年以来同期最低值(图 2b),有利于 12 月气温偏低,且与 2020 年 12 月气温异常偏低的观测实况结果一致。2021 年夏、秋季关键区海冰密集度有显著的变化,去除线性趋势后,夏季总体偏小,秋季迅速转为偏大,10 月标准化值为 0.66,11 和 12 月超过了 1.0,10、11、12 月分别为 2018、2015 和 2011 年以来最大的一年。由图 2b 可知,虽然在 2000 年以来北极关键区海冰总体呈减少的背景下,2021 年 10 月海冰密集度偏小,去除线性趋势后,海冰密集度偏大,2021 年 10—12 月海冰持续显著偏多有利于 12 月京津冀气温偏高,亦和实况一致。可见,2020 和 2021 年秋季喀拉海海冰异常特征均持续到 12 月,并且对京津冀 12 月气

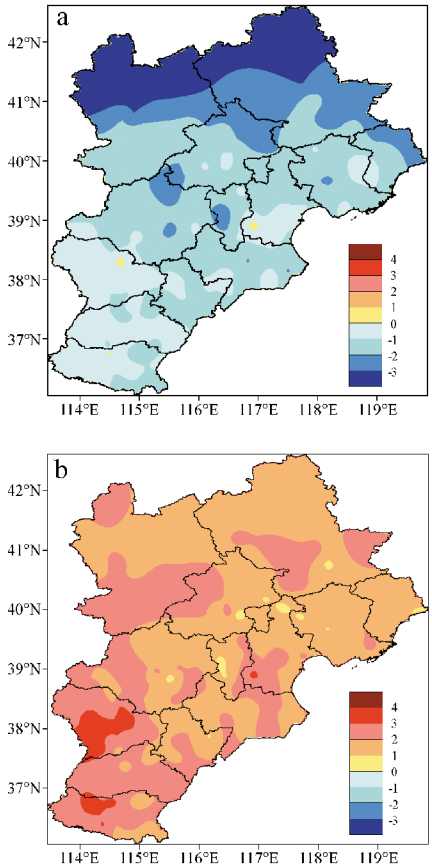

图 1 京津冀 12 月平均气温距平空间分布

(a 为 2020 年,b 为 2021 年;单位:℃)

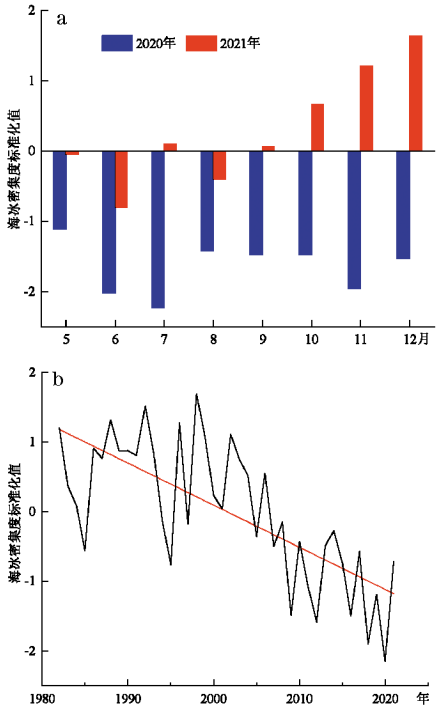

图 2　2020 和 2021 年 5—12 月去除线性趋势后(a)和 1982—2021 年 10 月(b,红色直线为线性趋势线)的喀拉海海冰密集度标准化值变化

温的指示作用较好。

3　喀拉海海冰对 2020 和 2021 年 12 月气温影响的可能机制

大气环流特征是某地气候的直接影响因子。为了分析喀拉海关键区海冰对 2020 和 2021 年 12 月大尺度环流的影响,图 3 给出了 2020 和 2021 年 12 月的大气环流特征以及 1982—2021 年 10 月关键区海冰密集度与 12 月大气环流去除线性趋势后的相关系数分布图。由图 3a 可以看出,2020 年 12 月欧亚地区呈典型的经向环流特征，海平面气压距平场和 500 hPa 位势高度距平场均为西高东低分布。110 °E 以西的中高纬欧亚大陆主要受正海平面气压距平控制,中心大于 12 hPa;500 hPa 高度正距平中心位于东欧平原,最大距平值超过 180 gpm,负距平中心位于切尔斯基山脉附近。此环流配置型表明西伯利亚高压和阿留申低压均偏强，乌拉尔山高压和东亚槽偏强偏深，有利于强劲且深厚的冷空气从新地岛附近经西伯利亚东南下，导致京津冀地区受西北风距平影响,气温偏低。2021 年 12 月欧亚地区则为典型的纬向环流分布(图 3b),海平面气压距平场从北向南为“正—负—正”分布,负距平范围自西向东贯穿了 40°~60°N，表明西伯利亚高压偏弱,北方冷空气活动偏弱；从 500 hPa 高度场距平分布来看,欧亚大部分地区为正位势高度距平,中心位于巴尔喀什湖附近,京津冀位势高度距平在 20~30 gpm,负位势高度距平位于切尔斯基山脉附近和东欧平原,东亚槽显著偏北。这种环流配置不利于北方冷空气南下影响京津冀,导致京津冀月平均气温为 1961 年以来最高。10 月喀拉海海冰与 12 月海平面气压和500 hPa 位势高度场的相关系数总体均呈“北负南正”的分布(图 3c),与海平面气压负相关通过0.05 显著性检验的区域在巴伦支海—西伯利亚—贝加尔湖地区,中心位于新地岛南部附近,显著正相关区主

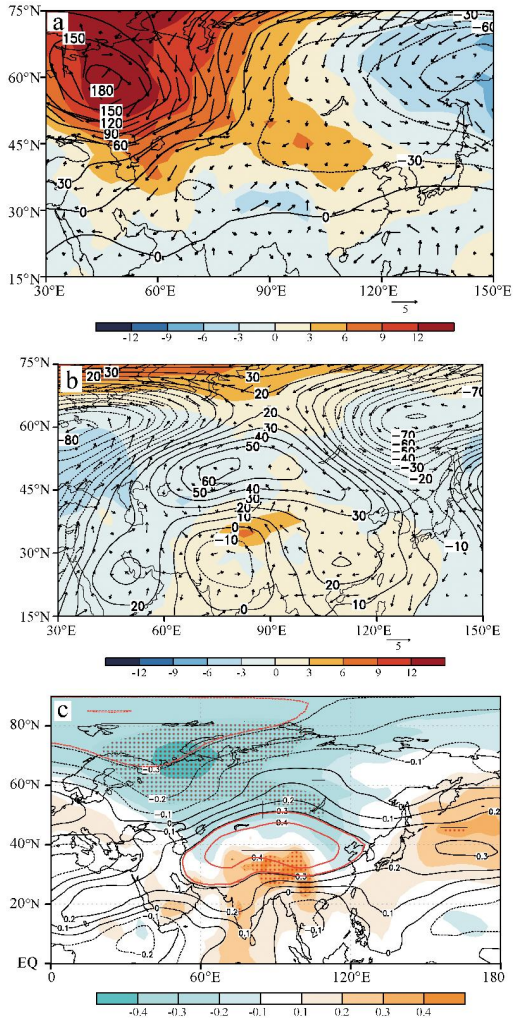

图 3　2020 年(a)和 2021 年(b)12 月海平面气压距平(阴影,单位:hPa)、500 hPa 位势高度距平(等值线,单位:gpm)和 850 hPa 风场距平(矢量,单位:m/s),10 月喀拉海关键区海冰密集度与 12 月 500 hPa 位势高度场(等值线,红色线表示通过 0.05 的显著性检验)和海平面气压(阴影,打点区域表示通过 0.05 的显著性检验)的相关系数分布(c)

要位于青藏高原地区和西北太平洋上；与 500 hPa 位势高度场显著负相关区主要位于 90°E 以西的北极地区，显著正相关区主要位于巴尔喀什湖至青藏高原的亚洲大陆地区。由12 月环流对前期喀拉海海冰的响应结果可以得出,2020 年夏、秋季喀拉海海冰持续偏少，有利于西伯利亚高压和乌拉尔山高压脊偏强,这些特征与图 3a 中 2020 年 12 月环流场分布相似，导致强冷空气经西伯利亚地区东南下影响京津冀,气温偏低。2021 年 10 月以后的北极海冰偏多,有利于欧亚中高纬度地区海平面气压偏低,巴尔喀什湖、贝加尔湖以南到青藏高原地区 500 hPa 位势高度偏高,这与图 3b 中 2021 年 12 月环流场分布特征相似,从而导致京津冀气温极端偏高。

为了分析秋季喀拉海海冰对 12 月大尺度环流特征的可能影响机制,绘制了 2020 和 2021 年 12 月欧亚近地面气温及距平分布图(图 4),这两年 12 月近地面气温距平分布特征差异显著,2020 年 12 月北极海冰偏少时,70°~90°N 温度偏高,北极附近偏高 4 ℃以上，喀拉海附近的−15 ℃线向东扩展至新地岛以东,亚洲地区−25 ℃线北界在 80°N 以南,低于−30 ℃区域主要位于东西伯利亚地区;35°~70°N 亚洲大陆气温总体偏低，大部地区偏低2 ℃以上，呈显著的“暖北极—冷欧亚”分布,即中高纬经向温度梯度减小。2021 年 12 月北极海冰偏多时,60°~80°N 温度偏低,喀拉海附近的−15 ℃线穿过新地岛,亚洲地区−25 ℃线北界在 80°N 以北，低于−30 ℃区域较2020 年显著偏大，向西扩至中西伯利亚地区;20~60°N 欧亚大陆,除青藏高原附近温度偏低外,其他大部地区温度偏高 1 ℃以上,呈“冷北极—暖欧亚”分布特征,即中高纬经向温度梯度增大。

图 5 为沿 113°~120°E 平均的各层气温标准化值的纬度—高度剖面图。由于气温值随高度上升而下降,各气压层间数值有很大差异,为了减小各层气温数值差异影响，文中对 1 000~100 hPa 的每层气温进行标准化处理。2020 年 12 月 60°N 以北,对流层低层气温为正值，正值区域高度由南向北逐渐增大,异常中心位于80°~90°N 的 925 hPa,中心气温标准化值超过 1.5;20°~60°N,对流层中低层为负值,异常中心气温标准化值低于−1.5，且负值区域随高度降低向南倾斜，表明冷空气在对流层中低层向南侵袭显著;20°N 以南从地面到 200 hPa 以下的对流层均为正值。2021 年 12 月极地的近地层正值区域明显较 2020 年 12 月偏北,至 75°N 左右;60°~75°N 对流层中低层为负值,负值随高度升高向北倾斜;30°~

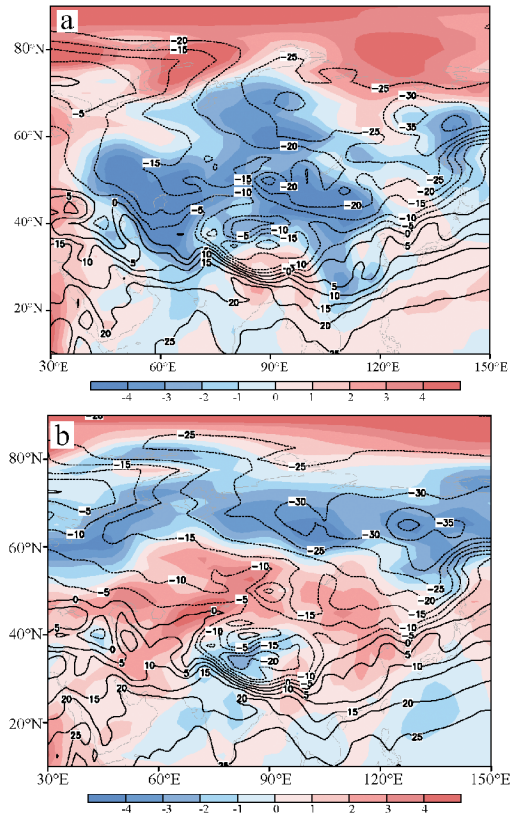

图 4　12 月近地面气温(等值线)及距平(阴影)
(a 为 2020 年,b 为 2021 年;单位:℃)

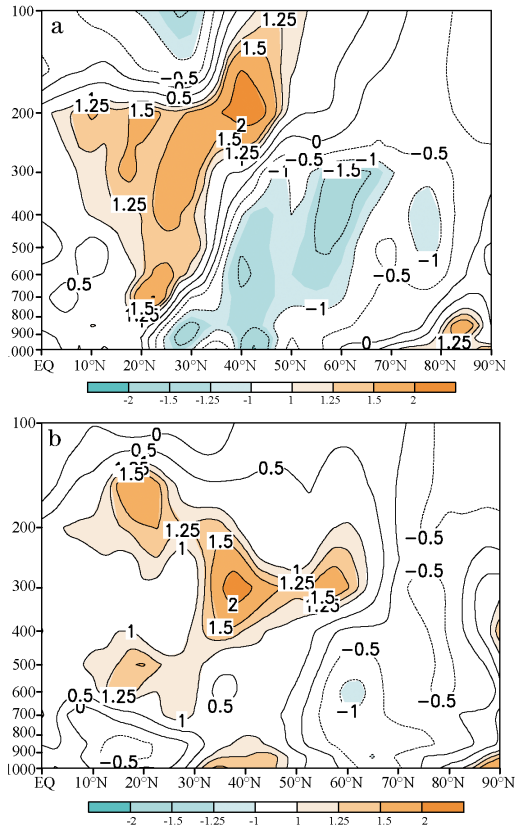

图 5　沿 113°~120°E 平均的各层 12 月气温标准化值
(a 为 2020 年,b 为 2021 年)

50°N 整个对流层气温标准化值均为正值;1 000~925 和 300 hPa 附近存在 2 个正值中心，异常中心气温标准化值分别超过 1.25 和 2。京津冀地区显著的高温或低温往往表现为对流层中低层较深厚的偏暖或偏冷一致性变化,与 2020 年相比,2021 年中纬度地区对流层中低层显著偏暖,60°~80°N 的高纬度地区对流层低层偏冷，即在对流层中低层中高纬经向温度梯度显著偏大。前人研究[24-26]表明,北极海冰偏多(少) 时,欧亚中高纬对流层低层经向温度梯度变大(小),通过大气斜压性而对对流层大气环流产生影响,引起乌拉尔山地区阻塞高压减弱(加强),西伯利亚高压减弱(增强),这样的环流特征与图 3 相符,导致京津冀气温偏高(低)。

4 结论

利用京津冀地区 172 站气温资料、再分析大气环流资料和海冰资料,分析了 2020 和 2021 年 12 月京津冀气温的异常特征，以及喀拉海海冰的可能影响,得到了以下结论:

(1)在拉尼娜背景下,京津冀 2020 和 2021 年 12 月气温出现了冷暖反相的变化特征,2020 年 12 月气温异常偏低,而 2021 年 12 月气温异常偏高。

(2)2000 年以来,北极海冰总体呈年代际减少的趋势,2020 年喀拉海关键区海冰密集度持续偏小,5—10 月均为 1982 年以来同期最低值,2021 年 10—12 月喀拉海关键区海冰密集度去除线性趋势后持续偏大,11 和 12 月偏多超过了 1 倍标准差。

(3)秋季喀拉海海冰异常可能是影响 2020、2021 年京津冀 12 月气温异常的显著外强迫信号。秋季喀拉海海冰偏多(少)时,欧亚中高纬温度经向梯度变大(小),引起乌拉山阻塞高压减弱(增强),西伯利亚高压减弱(增强),导致京津冀 12 月气温偏高(偏低)。

本文主要分析了秋季喀拉海海冰对京津冀 12 月气温异常的影响,Wu 等[27]指出秋季北极海冰对冬季西伯利亚高压的影响还依赖于夏季北极偶极子风场模态(AD 模态),2020 和 2021 年夏季 AD 模态分别为显著的负位相和正位相，进一步增强了冬季西伯利亚高压的偏强和偏弱。此外,ENSO 作为影响全球气候最重要的年际信号，其在这两年的作用还需要深入分析，有关学者研究了 ENSO 与北极海冰偏少(北极增暖)对冬季异常低温的协同作用[28],武炳义等[29]通过对 2011/2012 和 2015/2016 年冬季大气环流异常分析也指出 2015/2016 年冬季强厄尔尼诺事件并不能掩盖来自北极海冰和大气环流的影响。

参考文献:

[1] TU C W.Wave motion of China's and world's weather and its long-term forecast of China's summer drought and flood[J].Meteorol Monogr,1937,13(11):647-697.

[2] DING T,GAO H,YUAN Y.Pre-signal and influencing sources of the extreme cold surges at the Beijing 2022 Winter Olympic Competition Zones[J].Atmosphere,2020,11(5):436-451.

[3] DING T,GAO H,LI X.Increasing occurrence of extreme cold surges in North China during the recent global warming slowdown and the possible linkage to the extreme pressure rises over Siberia[J].Atmos Res,2021,248:105-198.

[4] 陈颖,李维京,史红政,等.不同气候背景下新疆冬季极端冷(暖)事件的变化特征[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(4):17-24.

[5] 陈颖,杨智敏,张旭.增暖背景下新疆冷冬与极端低温事件的联系[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(5):1-8.

[6] 范可,刘辉.近百年东亚冬季气温及其大气环流变化型态[J].大气科学,2013,37(2):383-394.

[7] 贺圣平,王会军.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,2012,36(3):523-538.

[8] 黄玲,毛炜峄,刘红霞.冬季北极涛动异常与新疆气温变化的关系[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(4):47-52.

[9] 蓝柳茹,李栋梁.西伯利亚高压的年际和年代际异常特征及其对中国冬季气温的影响[J].高原气象,2016,35(3):662-674.

[10] 刘艳,郑育琳,陈颖.北疆冬季气温季节内变化及其环流特征[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(3):103-111.

[11] 李维京,李怡,陈丽娟,等.我国冬季气温与影响因子关系的年代际变化[J].应用气象学报,2013,24(4):385-396.

[12] 王会军,贺圣平.ENSO 和东亚冬季风之关系在 20 世纪 70 年代中期之后的减弱[J].科学通报,2012,57(19):1713-1718.

[13] 汪子琪,张文君,耿新.两类 ENSO 对中国北方冬季平均气温和极端低温的不同影响[J].气象学报,2017,75(4):564-580.

[14] 祁莉,泮琬楠.东亚气温前冬与后冬反相的变化特征及可能影响因子[J].大气科学,2021,45(5):1039-1056.

[15] 陈文,兰晓青,王林,等.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,2013,58:634-641.

[16] COHEN J,FURTODO J C,BARLOW M A,et al.Arctic warming,increasing snow cover and widespread boreal winter cooling[J].Environmental Research Letters,2012,7(1):014007.

[17] JOHNSON N C,XIE S P,KOSAKA Y,et al.Increasing

occurrence of cold and warm extremes during the recent global warming slowdown[J].Nature Communications, 2018,9(1):1724.

[18] ZHANG R N,SUN C H,ZHANG R H,et al.Role of Eurasian snow cover in linking winter-spring Eurasian coldness to the autumn Arctic Sea ice retreat[J].Journal of Geophysical Research-Atmospheres Section,2019, 124(16):9205-9221.

[19] LUO D H,XIAO Y Q,YAO Y,et al.Impact of Ural blocking on winter warm Arctic-cold Eurasian anomalies. Part Ⅰ:Blocking-induced amplification[J].Journal of Climate,2016,29(11):3925-3947.

[20] KUG J S,JEONG J H,JANG Y S,et al.Two distinct influences of Arctic warming on cold winters over North America and East Asia [J].Nature Geoscience, 2015,8(10):759-762.

[21] WU B Y,SU J Z,ZHANG R H.Effects of autumn-winter Arctic sea ice on winter Siberian High[J].Chinese Science Bulletin,2011,56(30):3220-3228.

[22] 李言蹊,陈海山.冬季亚洲中纬度极端低温事件与巴伦支—北极异常增暖的关系及联系机制[J].大气科学, 2021,45(4):889-900.

[23] 杨冬东,张录军,周舒,等.北半球冬季极端低温事件变化及其与秋季海冰的联系[J].高原气象,2020,39(1):102-109.

[24] 张建军,张剑明,赵新宇,等.秋季北极海冰变化对长江中下游地区冬季气温的影响[J].干旱气象,2021,39(1): 8-14.

[25] 张国宏.秋季巴伦支海海冰与中国京津冀地区 2 月气温变化的联系[J].干旱气象,2022,40(2):187-194.

[26] 游灿,李艳,宋文君.1978—2017 年秋季北极海冰对中国大陆地区冬季极端低温事件的影响[J].兰州大学学报(自然科学版),2022,58(4):510-527.

[27] WU B Y,YANG K,FRANCIS J A.Summer Arctic dipole wind pattern affects the winter Siberian High[J]. International Journal of Climatology,2016,36(13):4187-4201.

[28] ZHENG F,YUAN Y,DING Y H,et al.The 2020/21 extremely cold winter in china influenced by the Synergistic Effect of La Niña and Warm Arctic[J].Advances in Atmospheric Sciences,2022,39(4):546-552.

[29] 武炳义,杨琨.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,2016,74(5):683-696.

Impact of the Autumn Kara Sea Ice on Opposite Temperature Anomalies in December of 2020 and 2021 in Beijing-Tianjin-Hebei Region

CHE Shaojing[1],GAO Hui[2],HAN Shiru[1],LI Xiaofan[1],DU Haoyu[1]

(1.Hebei Climate Center,Shijiazhuang 050021,China;
2.National Climate Center,Beijing 100081,China)

Abstract The temperature is abnormally low in December 2020 in Beijing-Tianjin-Hebei region, while has the opposite trend in December 2021.Although La Niña occurring during both winter,there are obvious differences in the Kara Sea sea ice anomaly in autumn,which may be the potential external forcing signal of the opposite temperature trends.The sea ice in the Kara Sea caused the atmospheric circulation anomaly through the difference of the meridional gradient of temperature in the middle and high latitudes,which led to the temperature anomaly in December in Beijing,Tianjin and Hebei.Sea ice was anomalous less in the key areas of the Kara Sea in autumn of 2020,leading to intensified Siberian high and the blocking high in the Ural Mountains and a typical dimensional pattern prevailing over Eurasian continent in December 2020,which favored low temperatures in Beijing-Tianjin-Hebei region.Sea ice in autumn of 2021 and atmospheric circulation in December 2021 were opposite to the trend of 2020.

Key words Beijing-Tianjin-Hebei Region; early winter temperature; autumn sea ice; Kara Sea