

# 秋季北极海冰对中国冬季气温的影响<sup>\*</sup>

谢永坤 刘玉芝 黄建平

XIE Yongkun LIU Yuzhi HUANG Jianping

半干旱气候变化教育部重点实验室,兰州大学,兰州,730000

Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change of the Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

2013-12-30 收稿,2014-05-08 改回.

谢永坤,刘玉芝,黄建平. 2014. 秋季北极海冰对中国冬季气温的影响. 气象学报, 72(4): 703-710

Xie Yongkun, Liu Yuzhi, Huang Jianping. 2014. The influence of the autumn Arctic sea ice on winter air temperature in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 72(4): 703-710

**Abstract** Based on the sea ice data, the surface climate data in China, the circulation index and the NCEP/NCAR reanalysis data, the influence of the autumn Arctic sea ice on the mean surface air temperature, daily mean temperature variability and frequency of extreme cold event for winter in China was examined. The analysis shows that, in generally, the warmer winter in China occurs under more autumn Arctic sea ice years and colder winter with high frequency of extreme cold event occurs in the years of less autumn Arctic sea ice. Through influencing the polar vortex of Northern Hemisphere and the Eastern Asia winter monsoon and the Siberian high, the autumn Arctic sea ice plays an important role for mean winter air temperature in China, in which the autumn Arctic sea ice affects the frequency of extreme cold events through its influence on the frequency of the extreme high Siberia high. The composite analysis shows that there is stronger north wind over the high latitude area of Eurasia and it is colder in China and over the mid-high latitude region north of China during the years of less autumn Arctic ice, which induces colder winters and extreme cold events in China with the southward breakout of cold air from Arctic and the high latitudes.

**Key words** Arctic sea ice, Winter air temperature, Daily air temperature variability, Extreme cold weather

**摘 要** 利用海冰资料、中国地面气候资料、环流特征量资料及 NCEP/NCAR 再分析资料,研究了秋季北极海冰变化对中国冬季平均气温、日气温变率以及异常低温天气的影响。分析结果表明,秋季北极海冰异常偏多年中国冬季常为暖冬;异常偏少年中国冬季常为冷冬,且异常低温天气出现频率更高,常发生低温灾害事件。秋季北极海冰通过影响后期的北半球极涡、东亚冬季风和西伯利亚高压进而影响中国冬季的平均气温,且通过影响冬季异常强西伯利亚高压的出现频次,影响中国冬季异常低温天气的发生频次。合成分析结果表明,秋季北极海冰异常偏少年的冬季,中国以北亚欧大陆高纬度的偏北风较强,且中国及其以北的中高纬度地区空气异常偏冷,导致极地和高纬度的冷空气易向南爆发,造成中国冬季气温偏低,异常低温天气频发。

**关键词** 北极海冰, 冬季气温, 日气温变率, 异常低温天气

**中图法分类号** P461.6, P466

## 1 引 言

北极海冰是全球气候变化的指示器,全球变暖在北极地区表现最为明显,即北极影响放大(Arctic

Amplification, AA) 现象(Overland, et al, 2004)。观测研究表明,近年来夏季的北极海冰覆盖范围加速缩小(Serreze, et al, 2007; Comiso, et al, 2008),多年冰不断减少(Comiso, 2012),海冰厚度也不断减

\* 资助课题:国家重大科学研究计划项目(2012CB955301)和高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目(708088)。

作者简介:谢永坤,主要从事气候变化研究。E-mail: mdeinsku@gmail.com

通讯作者:黄建平,主要从事全球气候变化研究。E-mail: hjp@lzu.edu.cn

小(Kwok, et al, 2009)。一系列研究表明, 北极海冰的变化对北半球气候有重要影响。Francis 等(2012)研究表明, 北极影响放大现象导致北半球中高纬度对流层低层的经向温度梯度以及 1000—500 hPa 等压面层间厚度的经向梯度减小, 引起罗斯贝波向东传播的速度降低, 从而导致北半球中纬度极端天气事件多发。但 Screen 等(2013)指出, 北极影响放大对北半球中纬度天气的影响存在区域差异以及不确定性。同时, 大量研究表明, 秋季北极海冰覆盖范围的变化对冬季北半球的天气存在滞后影响。Francis 等(2009)及 Hopsch 等(2012)研究指出, 秋季北极海冰覆盖范围的变化影响北半球冬季的天气形势, 但这种影响存在区域差异。Honda 等(2009)研究表明, 欧亚大陆冬季的异常寒冷天气与秋季北极海冰覆盖范围的极小值有关。此外, Liu 等(2012)研究表明, 在秋季北极海冰异常偏少年, 冬季北半球的海平面气压场表现出类似但又区别于典型负相位北极涛动(AO)的分布型, 在这种环流型及海冰减少提供更多水汽的共同作用下, 北半球冬季的气温偏低且降雪显著增多。

关于北极海冰对中国天气及气候的影响, 中国学者做了大量研究。武炳义等(1999, 2001, 2011a, 2011b)的研究分别表明, 冬季喀拉海和巴伦支海的海冰面积与同期的东亚冬季风强弱成反相关关系; 冬季巴伦支海海冰面积与后期春季的北太平洋中部海平面气压成正相关而与阿留申低压强度成反相关, 且与后期夏季的亚洲大陆热低压强度、西太平洋副热带高压强度以及东亚夏季风均为正相关; 秋冬季北极海冰面积与冬季西伯利亚高压强度为负相关而与亚欧大陆中高纬度地表温度为正相关, 且 9 月的海冰面积可为西伯利亚高压强度的预测提供前期信号; 春季北极海冰可作为东亚夏季风和中国夏季降水变化的先兆因子。高清清等(2011)和解小寒等(2006)研究表明, 冬季北极海冰异常与同期的中国气温、西伯利亚高压、阿留申低压以及东亚冬季风的变化关系密切。王小兰等(1992)和柏晶瑜等(2000)分别讨论了长江汛期水情和华北地区旱涝等灾害性天气与北极海冰的关系。

目前, 国际上关于北极海冰对北半球天气及气候的影响方面比较一致的研究结论是, 北极海冰确实影响着北半球的天气及气候变化, 但这种影响存在区域差异。而中国关于北极海冰对中国天气及气

候的影响的大量研究中, 缺乏专门针对秋季北极海冰异常对中国冬季气温的滞后影响的研究。并且, 近年来, 中国频繁出现冷冬及冬季低温灾害天气, 其产生原因及机制亦无定论。所以, 在中外一系列研究的基础上, 针对中国气候变化及天气灾害研究的需要, 选取中国为研究区域, 使用中国的地面观测资料等数据, 详细分析了秋季北极海冰变化对中国冬季的平均气温、日气温变率以及异常低温天气发生频次的影响, 以期揭示中国出现冷冬及低温灾害天气的可能原因。

## 2 资料和方法

### 2.1 资料

海冰资料采用美国国家冰雪资料中心(NSIDC)提供的海冰密集度(Near-Real-Time DMSP SSM/I-SSMIS Daily Polar Gridded Sea Ice Concentrations), 及海冰范围(Sea Ice Extent)观测资料, 海冰密集度及海冰范围的具体定义见 Parkinson 等(1999)。海冰资料的时间范围是 1978 年至今, 海冰密集度的空间分辨率是 25 km (Maslanik, et al, 1999; Fetterer, et al, 2002)。中国区域的日气温资料采用中国气象局提供的中国地面气候资料日值数据集(V3.0), 该数据源于中国 824 个基准站及基本气象站的站点观测, 时间范围从 1951 年 1 月 1 日至今。中国区域的月平均气温数据采用中国气象局提供的中国地面气候资料月值数据集, 该数据源于中国 756 个基本、基准地面气象观测站及自动站的站点观测, 时间范围从 1951 年 1 月至今。并且使用了中国气象局国家气候中心气候系统诊断预测室制作的 74 项环流特征量资料中的亚洲极涡面积指数(王遵娅等, 2009)。海平面气压的日资料以及月平均资料、近地面气温的月平均资料、850 和 500 hPa 的风场及温度的月平均资料及 500 hPa 的位势高度资料均采用美国国家环境预报中心美国国家大气研究中心提供的再分析数据(NCEP/NCAR Reanalysis I), 时间范围是 1948 年至今, 不同气象要素数据的空间分辨率不同(Kalnay, et al, 1996)。

### 2.2 研究方法

利用中国地面气候资料日值数据集(V3.0)的日气温数据计算了中国冬季日气温距平的标准差, 用来表征中国冬季气温的日变率(龚道溢等, 2004)。本研究中, 冬季一致选取为当年 11 月至次年 3 月,

共 5 个月(Huang, et al, 2012)。同时,统计日气温距平为负且绝对值小于 2 倍冬季日气温距平标准差的天数,作为冬季异常低温天气发生的频次(龚道溢等, 2004)。

利用 NCEP/NCAR 再分析资料里的海平面气压数据,以( $40^{\circ}$ — $60^{\circ}$ N,  $70^{\circ}$ — $120^{\circ}$ E)范围内的区域平均海平面气压代表西伯利亚高压的强度(龚道溢等, 2002),计算了冬季异常强西伯利亚高压的频次(龚道溢等, 2004)。冬季异常强西伯利亚高压的频次定义为整个冬季西伯利亚高压强度的日距平为正且大于 2 倍西伯利亚高压强度的日距平标准差的天数。

利用 NCEP/NCAR 再分析资料里的近地面气温、海平面气压和 500 hPa 位势高度 3 种数据,计算了东亚冬季风指数(晏红明等, 2009)。东亚冬季风指数的计算方法有 20 多种,根据邵鹏程等(2012)的研究,选取了与其他各种东亚冬季风指数的相关性最好的一个指数来表征东亚冬季风强度,该指数综合考虑了海平面气压场、500 hPa 位势高度场以及近地面气温 3 个要素,具体定义见晏红明等(2009)。

本研究中,主要采用相关分析方法与合成分析方法研究秋季北极海冰的异常变化对中国冬季天气的影响,以及影响途径和机理。由于主要研究秋季北极海冰范围的异常变化对中国冬季天气造成的影响,所以文中的相关分析均采用去趋势相关分析。

### 3 结果分析

已有研究(Francis, et al, 2009; Honda, et al, 2009; Hopsch, et al, 2012; Liu, et al, 2012)表明,秋季北极海冰与北半球冬季气温关系密切。并且,通过对各月北极海冰范围与中国冬季各月气温进行相关分析发现,9、10 月的北极海冰范围与中国冬季气温的相关最显著。故本研究中,一致使用 9 和 10 月平均的北极海冰范围代表秋季北极海冰范围。根据所用各种资料的时间范围,选取研究时段为 1979—2011 年。

#### 3.1 秋季北极海冰的变化

图 1 是秋季北极海冰范围的时间序列,图中虚线为其最小二乘线性趋势线。图 1 显示 1979—2011 年秋季北极海冰范围明显减小。图 2 是秋季北极海冰密集度线性变化趋势分布,图中的变化趋势用 1979—2011 年海冰密集度的变化趋势相对于

前 5 年(1979—1983 年)平均的海冰密集度所占的百分比表示,图中大片的蓝色区域为无海冰区。图 2 显示多年来秋季北极海冰变化明显,特别是俄罗斯、美国及加拿大以北靠近陆地的大片海域海冰密集度变化近百分之百,即在秋季这些区域的海冰已经基本消失。这种秋季海冰的大范围变化通过海-冰-气的相互作用,可能对中国的气候及天气产生重要影响。

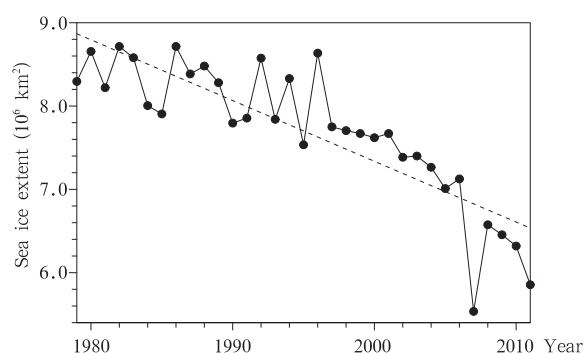


图 1 秋季(9—10 月)北极海冰范围的时间序列

Fig. 1 Temporal series of the Arctic sea ice extent in autumn (September to October)

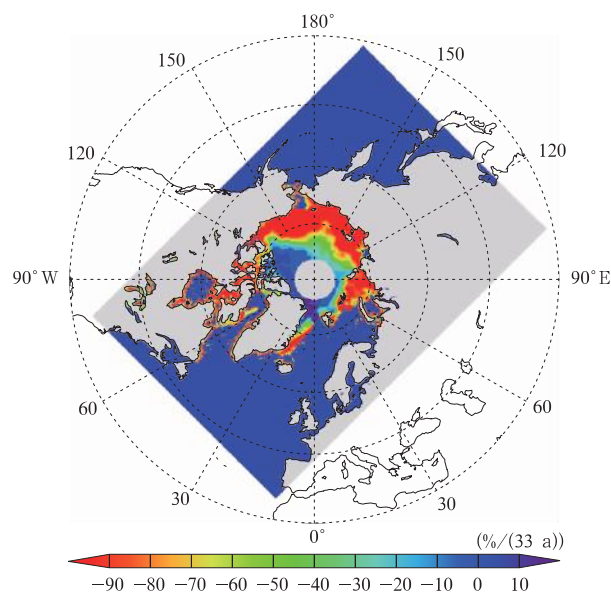


图 2 秋季(9—10 月)北极海冰密集度线性变化趋势分布  
(变化趋势以相对于前 5 年(1979—1983 年)

平均的海冰密集度所占的百分比表示)  
Fig. 2 Distribution of the linear trend of the Arctic sea ice concentration in autumn (September to October)  
(The trend is expressed as the percentage relative to the mean sea ice concentration of first five years (1979 - 1983))

### 3.2 秋季北极海冰与中国冬季平均气温及日气温变率的关系

图3是秋季北极海冰范围与中国冬季平均气温的去趋势相关系数分布,选取的时段为1979—2011年共33 a。所用资料为756个测站的中国地面气候资料月值数据集,剔除在研究时段有缺测的站点,最终分析图中的601个站点。图中通过95%置信度水平显著性检验的站点用黑色或白色的叉号标记。图3显示,秋季北极海冰范围与中国各地冬季平均气温相关性最好的区域在华北、华东、东南以及西南和西北的部分地区,且为显著的正相关。在西藏、青海以及东北的部分地区为负相关,但相关不显著。图3中两者的显著正相关表明,秋季北极海冰异常偏多的年份,中国冬季气温异常偏高,异常偏少的年份,中国冬季气温异常偏低。故去除长期变化趋势后,秋季北极海冰异常偏多的年份中国经常出现暖冬,如根据王凌等(2007)的统计结果,1979—2005年的暖冬有11个,其中只有1990年的秋季北极海冰偏少,其他年份均为秋季北极海冰偏多,且处于秋季北极海冰范围正异常峰值的年份有7个。秋季北极海冰偏少的年份中国冬季容易出现冷冬,如近几年中国冬季偏冷。

同时,本研究中分析了秋季北极海冰范围与中国冬季日气温变率的去趋势相关系数分布,结果(图略)显示,秋季北极海冰范围与中国冬季的日气温变率相关很弱,表明秋季北极海冰对中国冬季日气温变率影响较小。

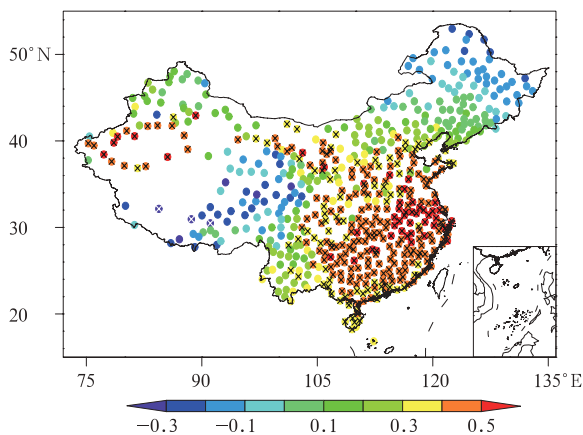


图3 秋季(9—10月)北极海冰范围与中国冬季(11月—次年3月)平均气温的去趋势相关系数分布  
Fig. 3 Correlation coefficient between the detrended autumn (September to October) Arctic sea ice extent and the mean winter (November to March) surface air temperature in China

### 3.3 秋季北极海冰与中国冬季异常低温天气频次的关系

图4为秋季北极海冰范围与中国冬季异常低温天气频次的相关系数分布。所用资料为824个测站的中国地面气候资料日值数据集(V3.0),剔除在研究时段内有缺测的站点,最终分析图中的517个站点。图4显示秋季北极海冰范围与中国各地冬季的异常低温天气发生频次的显著相关区域在华北、东南、西南以及西北和内蒙古的部分地区,且为负相关。在西藏、青海以及西南的部分地区为微弱的正相关。图4中两者显著的负相关表明,秋季北极海冰异常偏多的年份,中国冬季异常低温天气的发生次数偏少,异常偏少的年份,中国冬季异常低温天气的发生次数偏多。

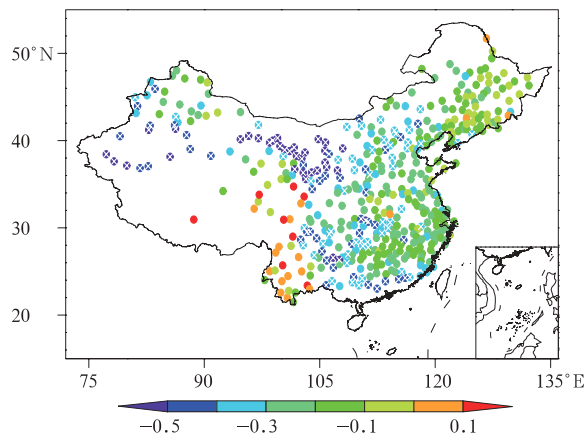


图4 秋季(9—10月)北极海冰范围与中国冬季(11月—次年3月)异常低温天气频次的去趋势相关系数分布

Fig. 4 Correlation coefficient between the detrended autumn (September to October) Arctic sea ice extent and the extreme cold weather of winter (November to March) in China

### 3.4 秋季北极海冰影响中国冬季气温的机制分析

秋季北极海冰通过对后期北半球大气环流的作用,影响中国冬季气温。秋季北极海冰对北半球冬季环流系统持续的滞后影响主要通过海洋的调节过程产生。Bintanja等(2013)、Overland等(2010)以及Screen等(2010)研究表明,夏秋季北极海冰融化后的开阔水域能够吸收大量的太阳辐射,但这些能量并没有立即使海洋表面温度升高而是储存于海洋内,并且在随后的冬季释放到大气中,从而导致冬季明显的北极影响放大现象。该现象进一步引起北半

球中高纬度经向温度梯度和气压梯度、罗斯贝波以及水汽和能量输送等的变化,从而影响到北半球的环流系统(Francis, et al, 2012; Honda, et al, 2009; 谢永坤等, 2013)。此外,冬季北极影响放大现象引起的水汽输送变化还可以导致北半球降雪的变化,从而通过地表辐射过程的变化引起局地温度场以及气压场变化(Jeong, et al, 2011; Liu, et al, 2012)。目前关于北极海冰对大气环流影响的研究,主要针对其对北极涛动、北大西洋涛动等大气涛动(武炳义等, 2004; Higuchi, et al, 1999; Huang, et al, 1998, 2006)、北半球对流层中部环流系统(贾建颖等, 2006)、北半球大气活动中心(武炳义等, 2011a; 朱乾根等, 1997)和异常环流(季明霞等, 2008)以及季风

系统(武炳义等, 1999)等的影响。大气涛动中影响中国冬季气温的主要是北极涛动(龚道溢等, 2003),但目前对北极涛动与北极海冰相互作用的研究并无一致的结论(Comiso, et al, 2008),并且秋季北极海冰异常时的大气环流型并不是典型的北极涛动(Liu, et al, 2012);北半球对流层中部环流系统中受北极海冰直接影响的为北半球极涡;在多个北半球冬季大气活动中心,只有西伯利亚高压对中国冬季气温的影响显著(朱乾根等, 1997);冬季影响中国的季风系统是东亚冬季风,故选取北半球极涡、西伯利亚高压以及东亚冬季风这3种环流系统,对秋季北极海冰影响中国冬季气温的机制进行分析。

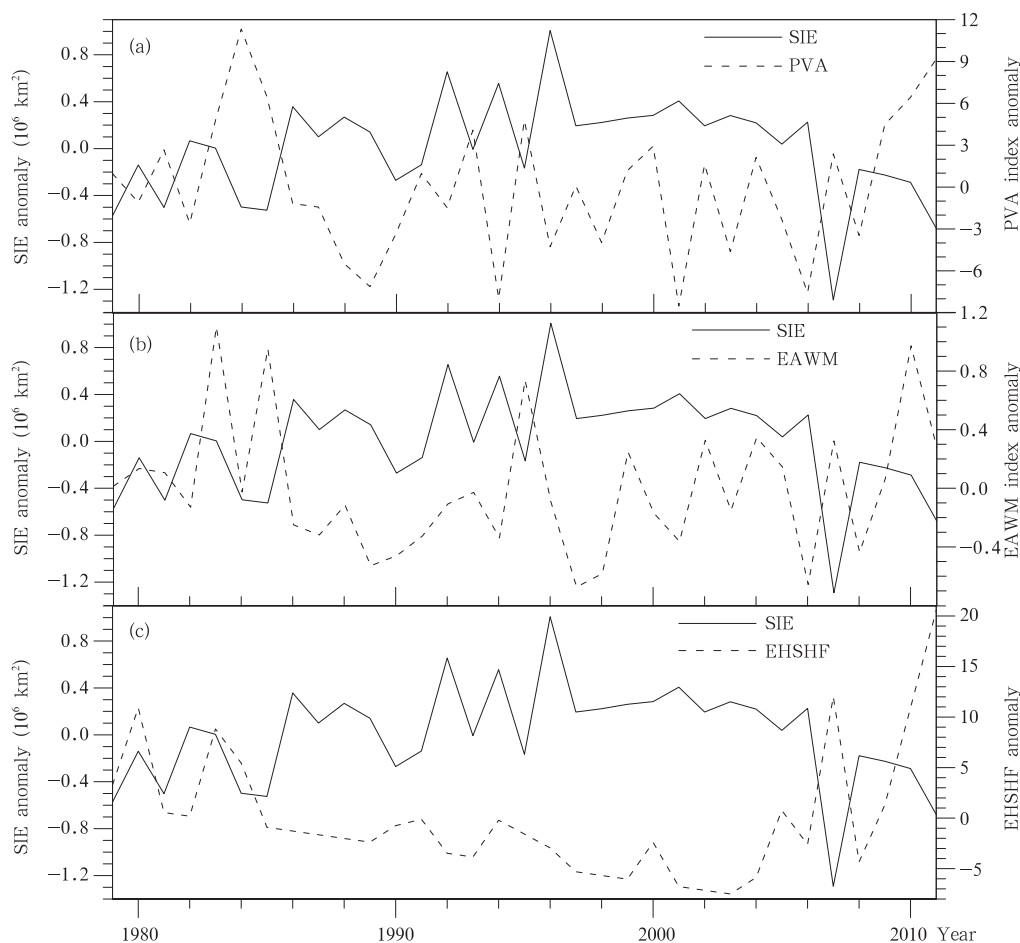


图5 秋季(9—10月)北极海冰范围与冬季(11月—次年3月)亚洲极涡面积指数(a)、东亚冬季风指数(b)以及冬季异常强西伯利亚高压频次(c)的去趋势距平时间序列

Fig. 5 Temporal series of the detrended anomalies of autumn (September to October) Arctic Sea Ice Extent (SIE) and the Polar Vortex Area (PVA) index (a), the East Asian Winter Monsoon (EAWM) index (b), and the Extreme High Siberia High Frequency (EHSHF) (c) of winter (November to March)



本研究中主要使用极涡面积指数以及极涡强度指数对其进行描述,但极涡强度指数与北极海冰的关系纷繁复杂(贾建颖等,2006),故只选极涡面积指数进行研究。图 5a 是秋季北极海冰范围与冬季亚洲极涡面积指数 1979—2011 年的去趋势距平的时间序列。图 5a 显示秋季北极海冰范围与冬季亚洲极涡面积指数为明显的负相关关系,其相关系数为  $-0.59$ (表 1),通过了 99% 置信度水平的显著性检验。图 5a 中两者的负相关表明,秋季北极海冰异常偏多时,冬季亚洲极涡的面积偏小,秋季北极海冰异常偏少时,冬季亚洲极涡的面积偏大。以往研究表明,极涡面积的变化直接影响极地和高纬度冷空气向低纬度的爆发,导致冬季北半球极涡面积减小时中国大部分地区气温随之升高,反之亦然(顾思南等,2006;沈柏竹等,2012)。故秋季北极海冰可以通过影响后期北半球极涡面积的变化影响中国冬季气温。

北半球极涡是北极海冰能够直接影响的环流系统,但对中国冬季天气产生最直接影响的环流系统是西伯利亚高压。一系列研究表明,西伯利亚高压的强度与中国冬季气温成显著的负相关关系(龚道溢等,1999;朱乾根等,1997)。武炳义等(2011a)研究表明,在 1979—2010 年,9 月的北极海冰范围与冬季西伯利亚高压强度成显著的负相关关系,其去趋势相关系数达  $-0.6$ (表 1),通过了 99% 置信度水平的显著性检验。这表明,秋季北极海冰异常偏多时,西伯利亚高压偏弱,导致中国冬季平均气温偏高;异常偏少时,西伯利亚高压偏强,导致中国冬季平均气温偏低。

东亚冬季风是北半球冬季最为活跃的环流系统之一,东亚冬季风直接影响中国冬季的气温变化(贺圣平等,2012;刘舸等,2013)。图 5b 是秋季北极海冰范围与东亚冬季风指数(EAWM)1979—2011 年去趋势距平的时间序列。图 5b 显示秋季北极海冰范围与东亚冬季风指数成明显的负相关,其相关系数为  $-0.37$ (表 1),通过了 95% 置信度水平的显著性检验。图 5b 中两者的负相关表明,秋季北极海冰异常偏多时,东亚冬季风偏弱;异常偏少时,东亚冬季风偏强。由于东亚冬季风偏强时,中国大部分地区的冬季平均气温偏低(贺圣平等,2012;刘舸等,2013),故秋季北极海冰可以通过对东亚冬季风的作用,影响中国冬季天气。

异常低温天气由环流系统的异常变化引起,故选取冬季对中国气温影响最显著的环流系统—西伯利亚高压为研究对象进行分析。图 5c 是秋季北极海冰范围与冬季异常强西伯利亚高压发生频次(EHSHF)1979—2011 年去趋势距平的时间序列。图 5c 显示秋季北极海冰与冬季异常强西伯利亚高压频次成显著的负相关,相关系数为  $-0.64$ (表 1),通过了 99% 置信度水平的显著性检验。图 5c 中两者的负相关表明,秋季北极海冰偏多时,异常强西伯利亚高压出现的频次偏少,反之亦然。由于异常强的西伯利亚高压容易导致大量冷空气向中国输送,常引起寒潮等异常低温天气(王遵娅等,2006;张自银等,2008),故秋季北极海冰可以通过影响冬季异常强西伯利亚高压出现的频次对中国冬季异常低温天气的发生频次造成影响。

表 1 冬季(11 月—次年 3 月)的 4 种环流特征量与秋季(9—10 月)北极海冰范围的去趋势相关系数

Table 1 The correlation coefficients between the detrended autumn(September to October)Arctic sea ice extent and the four circulation indexes of winter (November to March)

环流特征量	相关系数
亚洲极涡面积指数	$-0.59^{**}$
东亚冬季风指数	$-0.37^{*}$
西伯利亚高压强度	$-0.60^{**}$ (武炳义, 2011a)
异常强西伯利亚高压频次	$-0.64^{**}$

注\*:代表通过 95% 显著性水平检验, \*\* 代表通过 99% 显著性水平检验

为了直观地分析秋季北极海冰异常时,北半球冬季环流形势的特点。分别选取秋季北极海冰范围的去趋势距平大于 0.6 倍标准差的年份和小于  $-0.6$  倍标准差的年份为多冰年和少冰年进行合成分析。多冰年为 1986、1988、1992、1994、1996、1999、2000、2001 和 2003 年,少冰年为 1979、1981、1984、1985、1990、2007、2010 和 2011 年。图 6 为少冰年减去多冰年的冬季 850 hPa 高度的风场以及温度场的差值分布,图中填充色代表温度差,红色箭头表示风场的矢量差。500 hPa 的合成分析结果(图略)与 850 hPa 类似。由图 6 可见,少冰年减去多冰年的风场的矢量差在亚欧大陆西北部表现为明显的反气旋式结构,这表明少冰年在该处有较强的反气旋式环流。在这一偏强反气旋式环流系统的影响下,少冰年减去多冰年的风场的矢量差在中国以北的高纬度地区为偏南指向,表明少冰年时中国以北高纬度的偏北风较强,从而有利于冷空气向中国的

输送。并且图6显示,在中国及其以北中高纬度地区高空的气温明显偏低,故南下到中国的冷空气异常偏冷,造成中国冬季的平均温度偏低,并且异常低温天气频发,容易发生低温灾害。

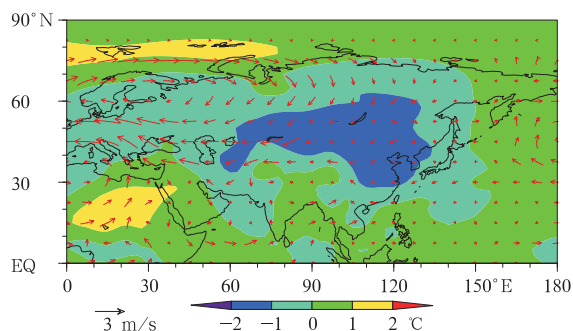


图6 少冰年减去多冰年的冬季(11月—次年3月) 850 hPa的风场以及温度场的差值分布

Fig. 6 Difference of 850 hPa wind field (vector) and temperature field (shading) in winter (November to March) (less ice years minus ice years)

#### 4 结论与讨论

近几十年来秋季北极海冰范围减小趋势明显,特别是在俄罗斯、美国及加拿大以北靠近陆地的大片海域秋季的海冰已经基本消失。

秋季北极海冰范围与中国各地冬季的平均气温在华北、华东、东南以及西南和西北的部分地区为显著正相关,在西藏、青海以及东北的部分地区为不显著的负相关。秋季北极海冰异常偏多时,中国冬季常为暖冬,异常偏少时,中国冬季多为冷冬。

秋季北极海冰范围与中国各地冬季的异常低温天气的发生频次在华北、东南、西南以及西北和内蒙古的部分地区为显著负相关,在西藏、青海以及西南的部分地区为微弱的正相关。秋季北极海冰异常偏多时,中国大部分地区冬季异常低温天气发生频次较少;异常偏少时,中国大部分地区冬季异常低温天气发生的较为频繁。

秋季北极海冰通过对后期北半球极涡、西伯利亚高压以及东亚冬季风的作用影响中国冬季气温。秋季北极海冰异常偏多时,冬季的亚洲极涡偏小、西伯利亚高压偏弱且东亚冬季风偏弱,这种环流形势下中国冬季受高纬度冷空气的影响较小,故常为暖冬。秋季北极海冰异常偏少时,冬季的亚洲极涡偏大、西伯利亚高压偏强且东亚冬季风也偏强,这种环流形势下中国冬季易受高纬度冷空气影响,故中国

常为冷冬,且异常低温天气频发。此外,秋季北极海冰异常偏少时,冬季常出现异常强西伯利亚高压,从而导致中国易受强冷空气的影响,发生异常低温天气。

合成分析结果表明,在少冰年的冬季,中国以北的亚欧大陆高纬度偏北风较强,且中国及其以北的中高纬度地区的空气异常偏冷,从而导致少冰年极地和高纬度的冷空气易向中国侵袭,造成中国冬季偏冷,且异常低温天气频繁。由于冬季的异常低温天气容易产生灾害,故异常少冰年中国冬季的天气变化更应得到关注。

需要指出,本研究中对秋季北极海冰影响中国冬季气温的机制分析主要从秋季北极海冰对影响中国冬季气温的主要环流系统的滞后影响入手。但文中并没能详细讨论秋季北极海冰影响中国冬季气温的完整过程。其中,秋季北极海冰产生滞后影响所涉及的一些海洋过程、海-气相互作用过程以及降雪变化导致的陆-气相互作用过程等方面(Bintanja, et al, 2013; Jeong, et al, 2011; Liu, et al, 2012),还需要通过观测和模式模拟的结合进行后续的深入研究。

#### 参考文献

- 柏晶瑜, 徐祥德, 苗秋菊. 2000. 北极海冰“强信号”影响域. 气象学报, 58(4): 485-491
- 高明清, 孙照渤, 倪东鸿. 2011. 冬季北极海冰与中国同期气温的关系. 气象与减灾研究, 34(4): 7-15
- 龚道溢, 王绍武. 1999. 西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究. 地理学报, 54(2): 125-133
- 龚道溢, 朱锦红, 王绍武. 2002. 西伯利亚高压对亚洲大陆的气候影响分析. 高原气象, 21(1): 8-14
- 龚道溢, 王绍武. 2003. 近百年北极涛动对中国冬季气候的影响. 地理学报, 58(4): 559-568
- 龚道溢, 王绍武, 朱锦红. 2004. 北极涛动对我国冬季日气温方差的显著影响. 科学通报, 49(5): 487-492
- 顾思南, 杨修群. 2006. 北半球绕极涛动的变异及其与我国气候异常的关系. 气象科学, 26(2): 135-142
- 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. 大气科学, 36(3): 523-538
- 季明霞, 黄建平, 王绍武等. 2008. 冬季中高纬地区阻塞高压活动及其气候影响. 高原气象, 27(2): 415-421
- 贾建颖, 孙照渤. 2006. 北极海冰和北半球 500 hPa 极涡的相互关系. 南京气象学院学报, 29(1): 75-81
- 刘舸, 宋文玲, 朱艳峰. 2013. 一个反映中国大陆冬季气温变化的东亚冬季风指数的统计预测方法. 气象学报, 71(2): 275-285
- 邵鹏程, 李栋梁. 2012. 东亚冬季风指数的分类和比较. 气象科学, 32(2): 226-235
- 沈柏竹, 廉毅, 张世轩等. 2012. 北极涛动、极涡活动异常对北半球

- 欧亚大陆冬季气温的影响. 气候变化研究进展, 8(6): 434-439
- 王凌, 张强, 陈峪等. 2007. 1956—2005 年中国暖冬和冬季温度变化. 气候变化研究进展, 3(1): 26-30
- 王小兰, 彭公炳, 范钟秀等. 1992. 长江上、中游汛期水情与北极海冰面积的关系. 气象学报, 50(1): 126-128
- 王遵娅, 丁一汇. 2006. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能原因. 大气科学, 30(6): 1068-1076
- 王遵娅, 丁一汇. 2009. 夏季亚洲极涡的长期变化对东亚环流和水汽收支的影响. 地球物理学报, 52(1): 20-29
- 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. 大气科学, 23(3): 267-275
- 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 2001. 北极海冰的厚度和面积变化对大气环流影响的数值模拟. 气象学报, 59(4): 414-428
- 武炳义, 卞林根, 张人禾. 2004. 冬季北极涛动和北极海冰变化对东亚气候变化的影响. 极地研究, 16(3): 211-220
- 武炳义, 苏京志, 张人禾. 2011a. 秋-冬季节北极海冰对冬季西伯利亚高压的影响. 科学通报, 56(27): 2335-2343
- 武炳义, 张人禾. 2011b. 东亚夏季风年际变率及其与中、高纬度大气环流以及外强迫异常的联系. 气象学报, 69(2): 219-233
- 解小寒, 杨修群. 2006. 冬季北极海冰面积异常与中国气温变化之间的年际关系. 南京大学学报(自然科学版), 42(6): 549-561
- 谢永坤, 刘玉芝, 黄建平等. 2013. 雪冰反馈对北半球经向温度梯度的影响. 地球科学进展, 28(11): 1276-1282
- 晏红明, 周文, 杨辉等. 2009. 东亚冬季风指数的定义及其年际年代际异常. 大气科学学报, 32(3): 367-376
- 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. 地理学报, 63(9): 899-912
- 朱乾根, 施能, 徐建军等. 1997. 近百年北半球冬季大气活动中心的长期变化及其与中国气候变化的关系. 气象学报, 55(6): 750-758
- Bintanja R, Van der Linden E C. 2013. The changing seasonal climate in the Arctic. Nat Sci Rep, 3: 1556, doi: 10. 1038/srep01556
- Comiso J C, Parkinson C L, Gersten R, et al. 2008. Accelerated decline in the Arctic sea ice cover. Geophys Res Lett, 35(1): L01703, doi: 10. 1029/2007GL031972
- Comiso J C. 2012. Large decadal decline of the Arctic multiyear ice cover. J Climate, 25(4): 1176-1193
- Fetterer F, Knowles K, Meier W, et al. 2002. updated 2009. Sea Ice Index. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. Digital media
- Francis J A, Chan W H, Leathers D J, et al. 2009. Winter Northern Hemisphere weather patterns remember summer Arctic sea-ice extent. Geophys Res Lett, 36(7): L07503, doi: 10. 1029/2009GL037274
- Francis J A, Vavrus S J. 2012. Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes. Geophys Res Lett, 39(6): L06801, doi: 10. 1029/2012GL051000
- Higuchi K, Huang J P, Shabbar A. 1999. A wavelet characterization of the North Atlantic Oscillation variation and its relationship to the North Atlantic sea surface temperature. Int J Climatol, 19(10): 1119-1129
- Honda M, Inoue J, Yamane S. 2009. Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters. Geophys Res Lett, 36(8): L08707, doi: 10. 1029/2008GL037079
- Hopsch S, Cohen J, Dethloff K. 2012. Analysis of a link between fall Arctic sea ice concentration and atmospheric patterns in the following winter. Tellus A, 64: 18624
- Huang J P, Higuchi K, Shabbar A. 1998. The relationship between the North Atlantic Oscillation and El Niño-Southern Oscillation. Geophys Res Lett, 25(14): 2707-2710
- Huang J P, Mingxia J, Higuchi K, et al. 2006. Temporal structures of the North Atlantic Oscillation and its impact on the regional climate variability. Adv Atmos Sci, 23(1): 23-32
- Huang J, Guan X, Ji F. 2012. Enhanced cold-season warming in semi-arid regions. Atmos Chem Phys, 12(12): 5391-5398
- Jeong J H, Ou T, Linderholm H W, et al. 2011. Recent recovery of the Siberian High intensity. J Geophys Res, 116: D23102, doi: 10. 1029/2011JD015904
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull Amer Meteor Soc, 77(3): 437-471
- Kwok R, Rothrock D A. 2009. Decline in Arctic sea ice thickness from submarine and ICESat records; 1958-2008. Geophys Res Lett, 36(15): L15501, doi: 10. 1029/2009GL039035
- Liu J P, Curry J A, Wang H J, et al. 2012. Impact of declining Arctic sea ice on winter snowfall. Proc Natl Acad Sci USA, 109(11): 4074-4079
- Maslanik J, Stroeve J. 1999. updated daily. Near-Real-Time DMSP SSM/I-SSMIS Daily Polar Gridded Sea Ice Concentrations, 1 January 1979 to 27 February 2013. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. Digital media
- Overland J E, Spillane M C, Percival D B, et al. 2004. Seasonal and regional variation of Pan-Arctic surface air temperature over the instrumental record. J Climate, 17(17): 3263-3282
- Overland J E, Wang M. 2010. Large-scale atmospheric circulation changes are associated with the recent loss of Arctic sea ice. Tellus A, 62(1): 1-9
- Parkinson C L, Cavalieri D J, Gloersen P, et al. 1999. Arctic sea ice extents, areas, and trends, 1978 - 1996. J Geophys Res, 104(C9): 20837-20856
- Screen J A, Simmonds I. 2010. Increasing fall-winter energy loss from the Arctic Ocean and its role in Arctic temperature amplification. Geophys Res Lett, 37(16): L16707, doi: 10. 1029/2010GL044136
- Screen J A, Simmonds I. 2013. Exploring links between Arctic amplification and mid-latitude weather. Geophys Res Lett, 40(5): 959-964
- Serreze M C, Holland M M, Stroeve J. 2007. Perspectives on the Arctic's shrinking sea-ice cover. Science, 315(5818): 1533-1536