

韩哲, 李双林. 2013. 北极海冰对 2008 年 1 月乌拉尔高压异常的影响 [J]. 气候与环境研究, 18 (5): 671–680, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.12038.
Han Zhe, Li Shuanglin. 2013. Impact of Arctic sea ice on the high pressure over the Ural Mountains during January 2008 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (5): 671–680.

北极海冰对 2008 年 1 月乌拉尔高压异常的影响

韩哲¹ 李双林²

1 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候—环境重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院大气物理研究所竺可桢—南森国际研究中心, 北京 100029

摘 要 2008 年 1 月我国南方发生了大范围的雨雪冰冻灾害天气, 造成此次灾害的一个重要原因是乌拉尔高压异常的长期维持, 而作为下垫面的海洋, 2007/2008 冬季环北欧海海冰异常偏少。观测资料合成分析表明, 乌拉尔山地区出现高压异常与巴伦支海和喀拉海的海冰偏少存在密切对应关系。利用大气环流模式试验研究了 (90°W~60°E) 区域海冰异常对大气的影 响, 模拟结果显示海冰对乌拉尔高压异常有正的贡献, 线性模式诊断表明天气尺度瞬变波是海冰影响乌拉尔高压异常的一种重要机制。

关键词 海冰 乌拉尔高压异常 瞬变波

文章编号 1006-9585 (2013) 05-0671-10

中图分类号 P461.6

中图分类号 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.12038

Impact of Arctic Sea Ice on the High Pressure over the Ural Mountains during January 2008

HAN Zhe¹ and LI Shuanglin²

1 Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract The most severe snowstorm and freezing rain event struck southern China in January 2008. One of the main reasons for the disaster was the occurrence of atmospheric circulation anomalies over middle and high latitudes, in particular, a persistent high pressure anomaly over the Ural Mountains. As the boundary layer, the Arctic sea ice near northern Europe decreased during the winter of 2007/2008. Composite analyses indicate that the positive height anomaly over the Ural Mountains is closely related to the decreased Arctic sea ice near northern Europe in January. The role of the sea ice anomaly (90°W–60°E) was investigated using atmospheric model experiments; the sea ice anomaly was found to favor high pressure over the Ural Mountains, and transient eddy forcing was one important mechanism by which the sea ice concentration anomalies influenced the atmospheric circulation anomalies.

Keywords Sea ice, High pressure anomaly over the Ural Mountains, Transient eddy

1 引言

2008 年 1 月我国南方发生了大范围的雨雪冰

冻灾害, 对国民经济造成巨大损失, 严重影响了人民群众的生产生活。造成这次雪灾的直接原因是大气环流异常(李崇银等, 2008; 孙建华和赵思雄, 2008; 陶诗言和卫捷, 2008; 王东海等, 2008; 王亚非

收稿日期 2012-03-08 收到, 2012-07-09 收到修定稿

资助项目 公益性行业(气象)科研专项 GYHY200906017、GYHY201006022

作者简介 韩哲, 男, 1983 年, 博士, 助理研究员, 主要从事海气相互作用。E-mail: hanzhe@mail.iap.ac.cn

等, 2008; 赵思雄和孙建华, 2008): (1) 乌拉尔阻塞频繁出现并长时间维持; (2) 西太平洋副热带高压增强且向西北方向伸展, 由其造成的东南风异常给我国南部地区带去大量暖湿空气; (3) 青藏高原南支槽非常活跃, 槽前的西南气流能从孟加拉湾携带大量暖湿空气, 并输送到中国南方地区; (4) 东亚大槽异常加深, 且长时间维持。正是在这种环流形势下, 来自中高纬的冷空气与来自孟加拉湾和南海的暖湿气流在我国南方交汇, 产生拉锯, 造成雨雪的频繁出现。中高纬的环流形式异常稳定使得人们很容易想到那些具有较好持续性的外部强迫, 例如海温异常, 关于海温异常对大气环流的影响不论从观测还是模拟都已有大量的工作 (常蕊等, 2008; 付建建等, 2008; 顾雷等, 2008; 刘少锋等, 2008), 海冰作为另外一项重要的外部影响因子, 其变化能改变海气热量交换, 进而影响到北半球的风暴轴 (Deser et al., 2007; Sokolova et al., 2007), 对局地 and 全球气候都有重要影响 (Dethloff et al., 2006; Gerdes, 2006)。就东亚气候而言, 已有

的研究表明冬季巴伦支海和喀拉海的海冰变化与我国气候年际和年代际变化有密切的联系。海冰偏多时, 500 hPa 位势高度场容易出现欧亚遥相关型, 进而影响冷空气活动, 从而引起东亚冬季气候的变化, 特别是当冬季此海区海冰面积异常偏少时, 东亚冬季风则偏强 (武炳义等, 1999, 2001; Wu et al., 2004)。最近的研究更是表明前期 (秋季) 的海冰异常能为东亚冬季的气候异常提供前期信号。武炳义等 (2011) 的研究表明秋冬季节海冰减少及相应的海表温度异常能导致冬季西伯利亚高压增强, 进而使得东亚出现低温异常。Liu et al. (2012) 的研究表明近年来秋冬季节北极海冰的逐年减少对东亚冬季的低温, 降雪异常起重要作用。与多年气候平均相比, 北极海冰在 2007/2008 年冬季表现出较大差异, 具体为: 北冰洋异常偏暖, 特别是环北欧海区域, 巴伦支海和喀拉海的海冰较常年偏少许多, 这种分布异常自 2007 年 11 月到 2008 年 1 月变化不大 (图 1)。那么 2007/2008 年冬季北极海冰密集度异常对欧亚中高纬度大气环

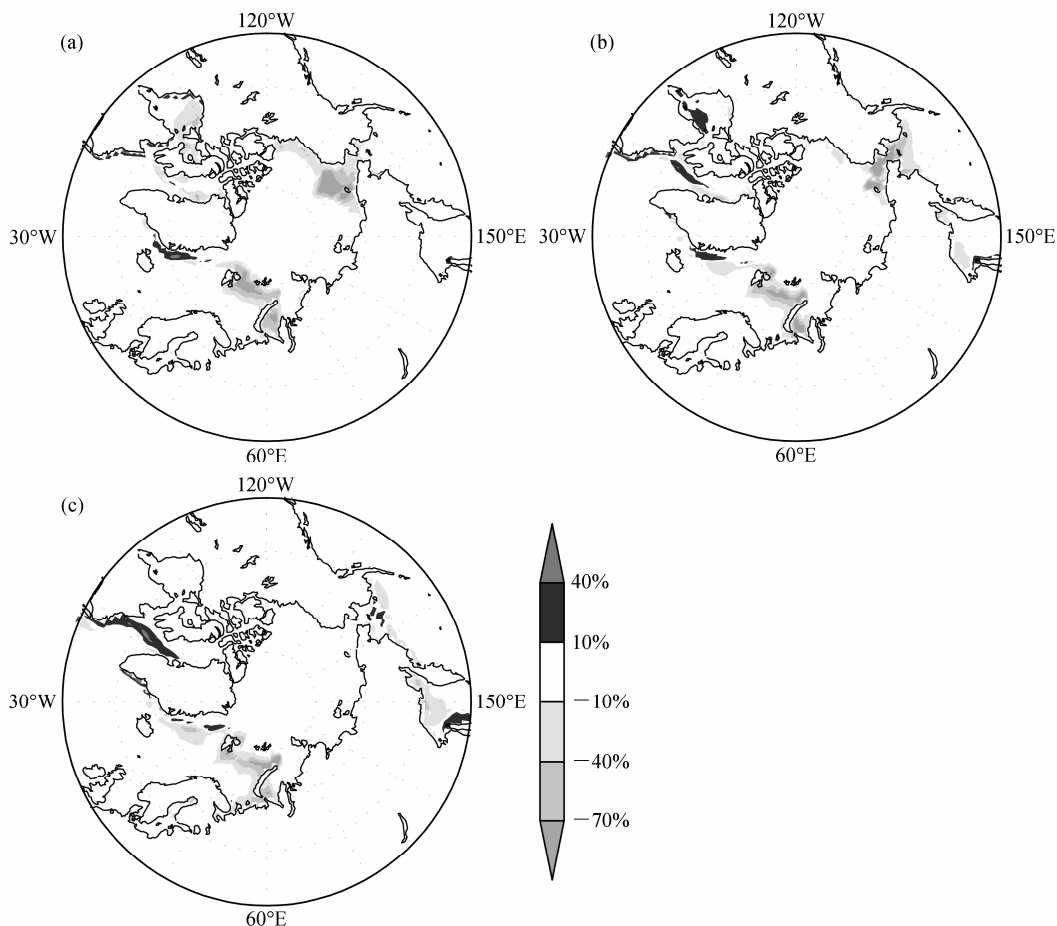


图 1 2007 年 (a) 11 月、(b) 12 月和 (c) 2008 年 1 月的海冰密集度异常

Fig. 1 The sea ice concentration anomalies in (a) November 2007, (b) December 2007, and (c) January 2008

流有怎样的影响?

2 资料、模式和试验设计

2.1 资料

高度场、风场、海平面气压和地表温度场来自 NCEP/NCAR 再分析日平均资料集 (Kalnay et al., 1996), 分辨率 2.5° (纬度) $\times 2.5^{\circ}$ (经度)。

本文采用的海冰资料为: 月平均北极海冰密集度资料, 分辨率为 1° (纬度) $\times 1^{\circ}$ (经度), 资料来自英国大气数据中心的 HadISST 资料集 (Rayner et al., 2003), 海冰密集度用 0~100% 之间的数字表示, 0 表示网格点范围内无海冰覆盖, 100% 表示网格点范围全部为冰覆盖。

大气和海冰资料的分析时段均为 1960~2008 年, 分析前首先去除它们的线性趋势。

2.2 大气环流模式及试验

ECHAM5 是德国马普气象研究所发展的第 5 代大气环流模式, 它的设计和性能可参考 Roeckner et al. (2003, 2006)。ECHAM 模式是在欧洲中期天气预报中心的天气预报谱模式基础上发展的, ECHAM 模式是一种谱模式, 它有很多水平分辨率和垂直分辨率可供用户选择。目前可以使用水平分辨率 T21、T31、T42、T63、T85、T106、T255、T319, 垂直分辨率 L19、L39、L60、L90 等选项, 模式顶层约 10 hPa, 本文中所选取的分辨率为 T42L31。

对照试验: 用具有季节变化的气候月平均海冰和海温强迫模式, 积分 19 年。

海冰试验: 模式中 11 月、12 月和 1 月份海冰在气候海冰的基础上分别加入 2007 年 11 月、12 月和 2008 年 1 月 ($90^{\circ}\text{W}\sim 60^{\circ}\text{E}$) 区域的海冰分布异常, 其余与对照试验相同。

以上每组试验均从两个不同初始场开始积分, 以减小模式结果对初始场的依赖。考虑到初始场与模式协调需要足够的时间, 只取后 18 年的结果进行分析。

2.3 线性模式

线性理论模式 (LBM): 该线性理论模式包括 5 个方程, 分别是涡度、散度、温度、质量和静力平衡方程, 其线性化的详细描述见 Branstator (1992), 该模式是一个无地形, 分辨率为 T21L10 的全球谱模式, 并且采用了水平和垂直耗散、瑞利摩擦和 Newtonian 冷却等物理过程。瑞利摩擦和牛顿阻尼在低层设为 1 d^{-1} , 其他层 10 d^{-1} 。模式积分 40 d 后

就能达到平衡态, 选取最后 3 d 的平均表示大气对外强迫响应的稳定态。本文利用线性理论模式诊断了天气尺度瞬变波对模拟的大气环流异常的贡献。

3 观测分析

首先, 求出位势高度场相对于气候态 (1971~2000 年) 的距平场。计算 1 月份位势高度距平场的标准差, 然后将位势高度距平场标准化。乌拉尔山地区的异常以关键点 (60°N , 60°E) 处的数值代表, 当关键点处的数值在 1 月份大于 1 时, 定义为乌拉尔山正异常事件, 一个正异常月份被选出。然后对所有的正异常个例进行合成, 1960~2008 年间共挑选出 10 个正异常事件。

图 2 是乌拉尔山地区出现高压异常时所有个例的各要素场合成。图 2a 显示的是一个类似波列状的高度异常合成场, 北大西洋中纬度为正异常, 冰岛至欧洲西部为负异常, 乌拉尔山为正异常中心, 日本周围为负异常, 中心位于日本以东。除乌拉尔山地区外, 图 2a 与 Li (2004) 和 Han et al. (2011) 采用相似方法得到的合成场存在一定差异。图 2b 是海平面气压场的合成, 异常的分布形式和 500 hPa 位势高度异常类似, 欧亚大陆的中高纬度为高压异常, 中心位于乌拉尔山地区, 高纬的高压异常有利于来自高纬的冷空气向南入侵我国南方地区, 造成我国的低温异常 (图 2c), 上述环流场和 2008 年 1 月南方低温异常对应的环流形式类似 (图 3), 也与当 1 月份中国南方出现极端低温事件时对应的环流形势相似 (Zhang et al., 2009)。从异常的垂直结构来看, 其呈现出相当正压结构。

图 2d 是与乌拉尔山地区正异常对应的海冰密集度异常的合成, 图 2e 是乌拉尔山地区正异常发生前 1 个月海冰密集度异常的合成。这两个月的海冰密集度异常比较相似, 如果这样的海冰分布确实对乌拉尔山地区正异常的发生有正的贡献, 那么前期海冰异常的分布可能会对其后的气候预测提供一定的前期信号。合成的海冰密集度异常与 2007/2008 年冬季有些相似, 巴伦支海的海冰较常年偏少, 而格陵兰岛附近海冰密集度有所增加, 其附近的扬马延岛 (Jan Mayen) 周围海冰面积减少。图 4 是乌拉尔山地区负异常事件对应的海冰异常的合成场, 当乌拉尔山地区为低压异常时, 海冰在巴伦支海和喀拉海较常年偏多, 除格陵兰周围外, 海

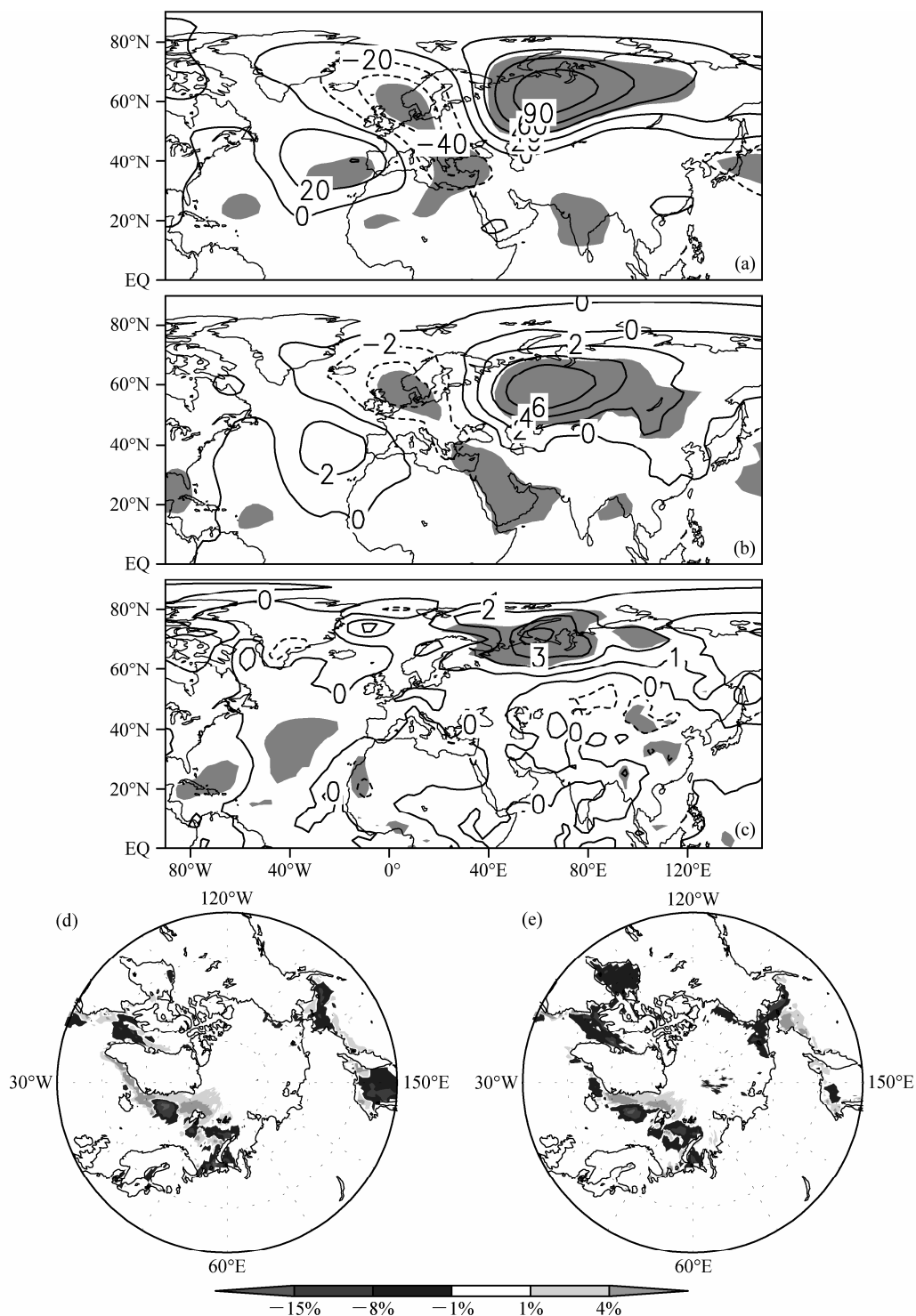


图2 1月份乌拉尔山地区为正高度异常时所有个例的合成: (a) 500 hPa 位势高度异常场 (单位: gpm); (b) 海平面气压场 (单位: hPa); (c) 地面温度异常 (单位: $^{\circ}\text{C}$); (d) 前一个月 (12月) 的海冰密集度异常; (e) 当月海冰密集度异常。(a)、(b) 和 (c) 中阴影区为通过 90% 信度检验的区域

Fig. 2 The composite (a) 500-hPa geopotential height anomalies (gpm), (b) sea level pressure anomalies (hPa), (c) surface temperature anomalies ($^{\circ}\text{C}$), sea ice concentration anomalies for (d) the previous month and (e) the current month, when there is positive geopotential height anomaly over the Ural Mountains in January. Shadings in (a, b, c) are above 90% confidence level

冰异常与乌拉尔高压异常时的海冰异常分布形势相反。对应乌拉尔山地区的正负异常, 外部强迫未

表现出完全相反的变化, 可能是由于大气环流对外部强迫的非线性响应造成的, 其原因有待于进一步

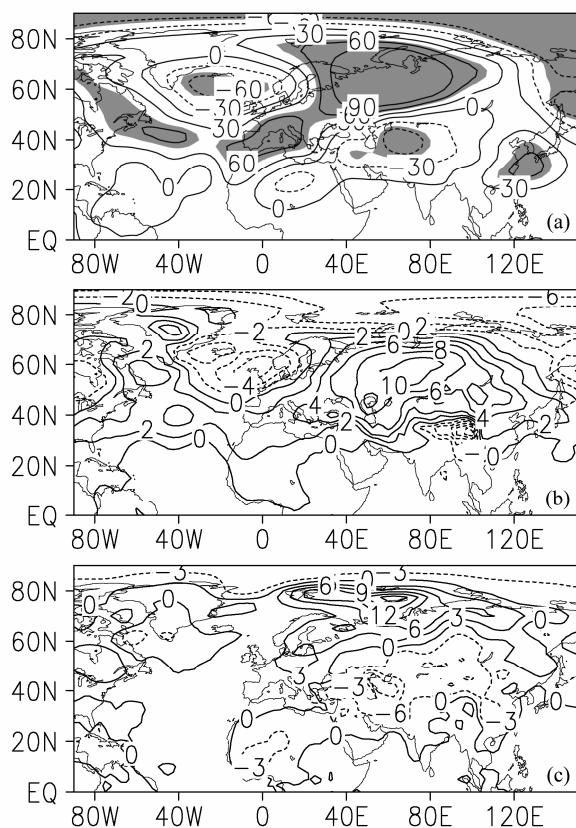


图3 2008 年 1 月 (a) 500 hPa 位势高度异常 (单位: gpm) (阴影为通过 90% 信度检验的区域)、(b) 海平面气压异常 (单位: hPa) 和 (c) 地面温度异常 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 3 (a) The 500-hPa geopotential height anomalies (gpm) (shadings are above 90% confidence level), (b) sea level pressure anomalies (hPa), and (c) surface temperature anomalies ($^{\circ}\text{C}$) in January 2008

研究。鉴于乌拉尔山地区正负异常对应的外强迫场的差异, 本文中仅考虑乌拉尔高压异常的情况。

上述分析表明当乌拉尔山地区发生高压异常时, 北极海冰总体上是偏少的, 尤其是巴伦支海和喀拉海。那么当巴伦支海和喀拉海海冰异常偏少时, 大气环流异常会有怎样的表现?

与选取乌拉尔山地区正异常事件的方法相同, 当巴伦支海和喀拉海 ($65^{\circ}\text{N}\sim 80^{\circ}\text{N}$, $40^{\circ}\text{E}\sim 75^{\circ}\text{E}$) 海冰密集度异常小于 1 个标准差时, 记为海冰异常偏少年份, 1960~2008 年间共挑选出 9 个个例, 然后对这些个例进行合成, 图 5 是合成的要素场。从图 5a 可以看到喀拉海和巴伦支海的海冰密集度较常年偏少, 北极海冰异常的分布与当乌拉尔山地区出现正异常时合成的海冰异常分布类似, 但量值大于后者。对应的 500 hPa 位势高度合成场上 (图 5b), 北大西洋呈现北大西洋涛动 (NAO) 正位相的分布, 而乌拉尔山地区虽为正异常, 但中心位于贝加尔湖东北侧, 与图 2a 存在一些差异。下面分析了造成这种差异的可能原因, Li (2004) 和 Han et al. (2011) 的研究都表明合成场中的北大西洋海温异常可能导致的高度场异常中心位于乌拉尔山地区附近, 那么上述差异可能来自于北太平洋海温异常的影响, 因为合成的海温场中 (图 5b), 除北大西洋中部的暖海温异常外, 北太平洋中部也存在明显的暖海温异常;

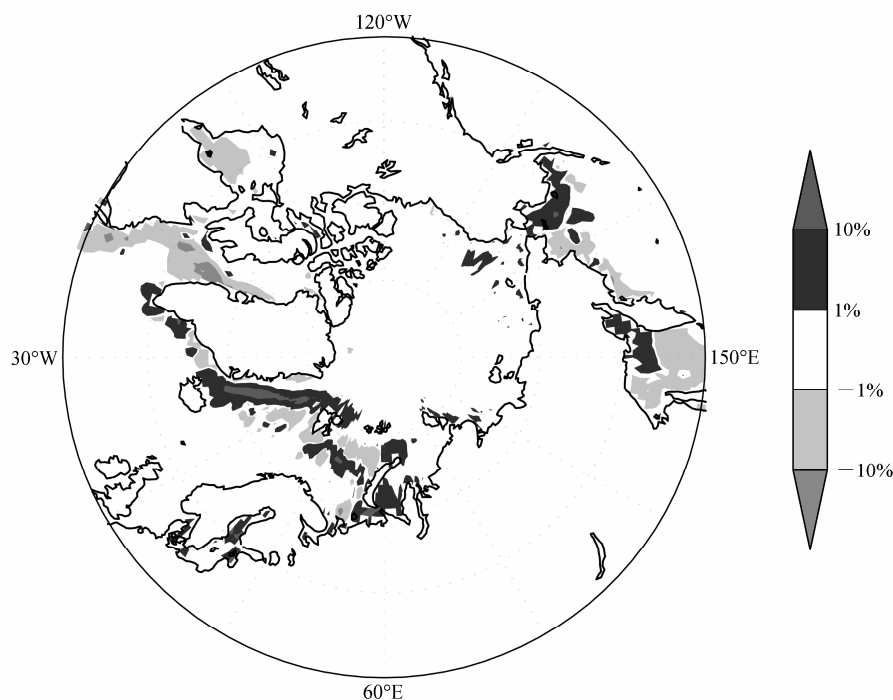


图4 1月份乌拉尔山地区为负高度异常时所有个例海冰密集度异常的合成

Fig. 4 The composite sea ice concentration anomalies when there are negative geopotential height anomalies over the Ural Mountains in January

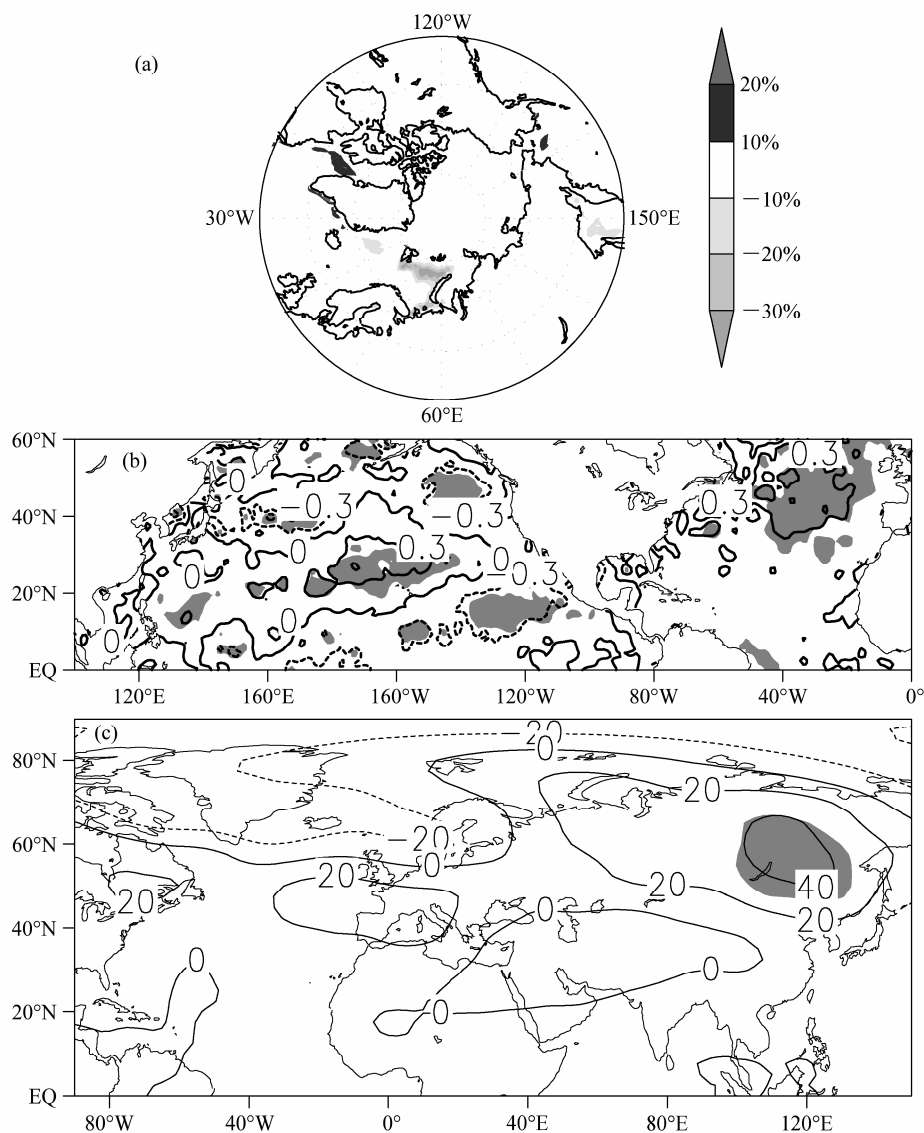


图5 1月份巴伦支海和喀拉海(65°N~80°N, 30°E~75°E)海冰覆盖异常偏少个例的合成:(a)海冰密集度异常;(b)海表温度异常(单位:°C);(c)500 hPa位势高度异常(单位:gpm)。(b)和(c)中阴影区为通过90%信度检验的区域

Fig. 5 The composite (a) sea ice concentration anomalies, (b) sea surface temperature anomalies (°C), and (c) 500-hPa geopotential height anomalies (gpm) when the sea ice concentration was less in the Barents Sea and Kara Sea during January. Shadings in (b, c) are above 90% confidence level

而且在乌拉尔山地区出现高压异常时,合成的海表温度异常在太平洋无显著异常(图略),只有北大西洋有显著的暖海温异常,所以北太平洋中部的暖海温异常可能是造成海冰偏少年高压中心偏离乌拉尔山地区附近的原因。鉴于此,通过合成方法检验了上述猜测,结果表明当北太平洋中部出现暖海温异常时,在贝加尔湖东北部确实有利于正高度异常中心的出现(图6),在一定程度上解释了同样是巴伦支海和喀拉海海冰偏少年,但是图5中欧亚大陆正高度异常中心相对于图2偏东的原因。

4 数值试验结果分析

在上一小节中,观测资料分析表明北极巴伦支海和喀拉海海冰偏少与乌拉尔山地区的高压异常存在密切联系,而2007/2008年冬季海冰密集度异常与上述合成场有类似的分布,本小节利用大气环流模式研究了2007/2008年冬季北极海冰异常对大气环流的影响。

4.1 模拟结果

2007/2008年冬季,巴伦支海和喀拉海的海冰较常年偏少许多,而格陵兰岛附近海冰密集度有所

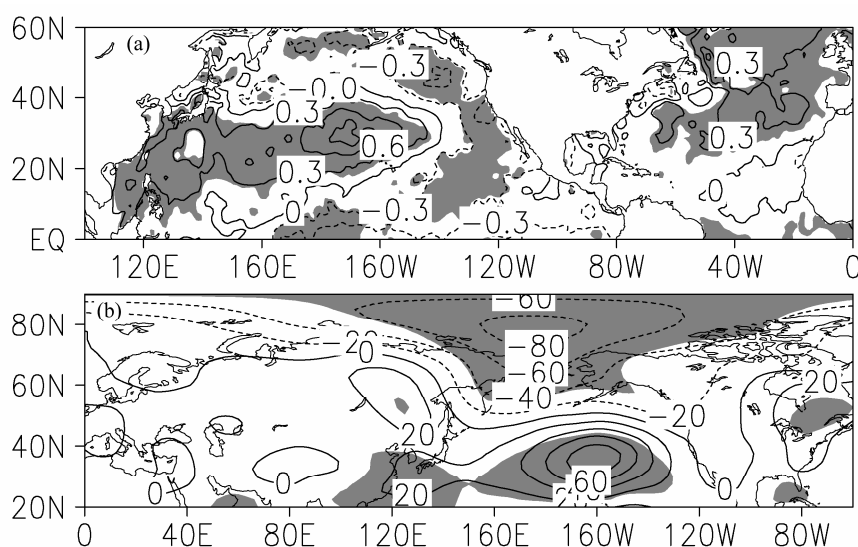


图 6 北太平洋中部出现暖海温异常时所有个例的合成: (a) 海表温度异常 (单位: $^{\circ}\text{C}$); (b) 500 hPa 位势高度异常 (单位: gpm)。阴影区为通过 90% 信度检验的区域

Fig. 6 The composite (a) sea surface temperature anomalies ($^{\circ}\text{C}$) and (b) 500-hPa geopotential height anomalies (gpm) when the sea surface temperature anomalies in the central Pacific are warmer than normal. Shadings are above 90% confidence level

增加, 而且此种分布形式从 2007 年 11 月到 2008 年 1 月变化较小, 另外此区域的海冰分布与观测合成 (图 2d) 有一定的相似性, 所以研究了 this 区域 ($90^{\circ}\text{W}\sim 60^{\circ}\text{E}$) 海冰密集度异常对乌拉尔山地区高压异常的影响。

图 7 是大气对海冰密集度异常的响应。500 hPa 位势高度场的响应如图 7a 所示, 乌拉尔山地区有非常显著的正高度异常, 与 2008 年 1 月的观测一致; 相对于观测中鄂霍次克海的负异常, 模拟的负异常偏西一些。而大西洋局地的响应除北美大陆东北部的正异常外其余信号均不明显且与观测有较大差异, 2008 年 1 月北大西洋上的环流异常可能更多的受海温异常的影响 (宗海锋等, 2008; Han et al., 2011)。图 7b 是海平面气压异常, 其分布与对流层中层的环流形式基本一样。欧亚大陆中高纬度在高压异常控制之下, 使得 60°N 以北地区主要为暖异常, 60°N 以南地区主要为冷异常 (图 7c)。

4.2 机制诊断

下垫面海洋强迫能够通过调整瞬变波活动来影响大气环流异常 (Peng and Robinson, 2001; Li, 2004; Li et al., 2006; Deser et al., 2007; Sokolova et al., 2007), 下面利用线性斜压模式诊断了模拟的瞬变波活动异常对乌拉尔高压的影响, 本文中的瞬变波是指时间尺度小于 9 d 的天气尺度波。从图 8 可以看出, 在 500 hPa 位势高度场上, 欧亚大陆中高纬度为大范围的高压异常, 其中心位于乌拉尔

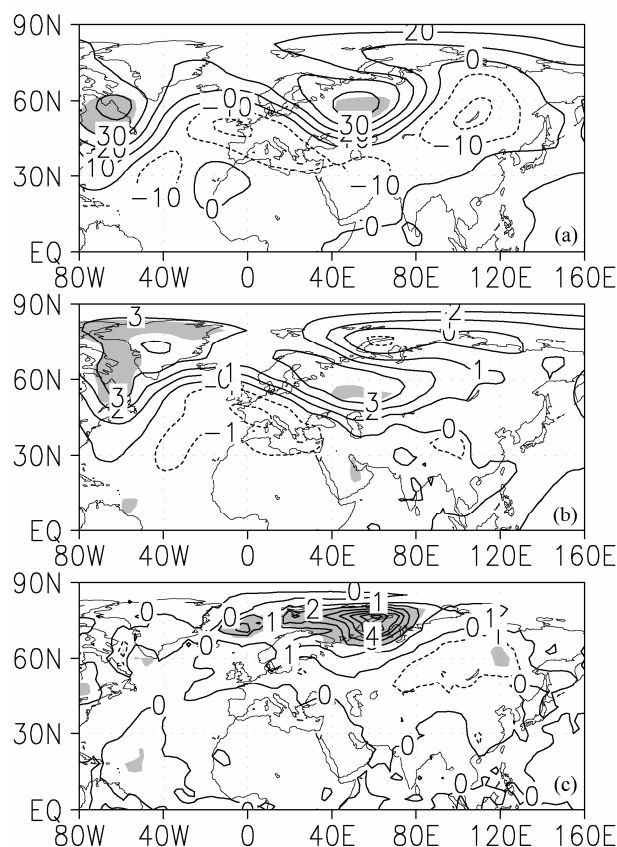


图 7 模式模拟的 1 月份 (a) 500 hPa 位势高度异常场 (单位: gpm)、(b) 海平面气压异常场 (单位: hPa) 和 (c) 地表温度异常场 (单位: $^{\circ}\text{C}$)。阴影区为通过 90% 信度检验的区域

Fig. 7 The model simulated (a) 500-hPa geopotential height anomalies (gpm), (b) sea level pressure anomalies (hPa), and (c) surface temperature anomalies ($^{\circ}\text{C}$). Shadings are above 90% confidence level

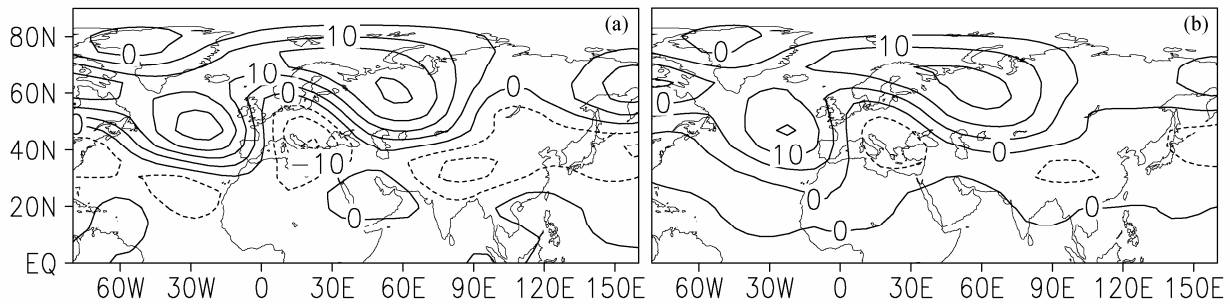


图 8 大气环流模式模拟的天气尺度瞬变波异常强迫线性模式的结果: (a) 500 hPa 位势高度场 (单位: gpm); (b) 850 hPa 位势高度场 (单位: gpm)
Fig. 8 The response of linear model for the transient eddy forcing simulated in the atmospheric circulation model experiments: (a) 500-hPa geopotential height (gpm); (b) 850-hPa geopotential height (gpm)

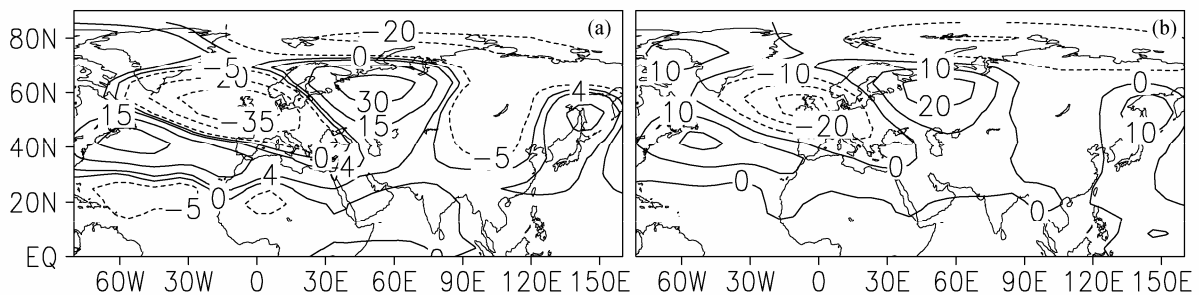


图 9 2008 年 1 月观测的天气尺度瞬变波异常强迫线性模式的结果: (a) 500 hPa 位势高度场 (单位: gpm); (b) 850 hPa 位势高度场 (单位: gpm)
Fig. 9 The response of linear model for the observational transient eddy in January 2008: (a) 500-hPa geopotential height (gpm); (b) 850-hPa geopotential heights (gpm)

山地区, 850 hPa 位势高度场上乌拉尔山地区同样存在非常强的高压异常。上述结果表明北极海冰异常能够通过调制天气尺度波活动, 进而促进乌拉尔高压的形成和维持。既然天气尺度瞬变波是海冰影响大气的一种重要机制, 那么这种机制在 2007/2008 年冬季也应该存在, 只是观测中不能区分出哪些是海冰对天气尺度瞬变波的影响。图 9 是以观测的天气尺度瞬变波作为外强迫驱动线性模式的结果, 可以看到乌拉尔山地区为正位势高度, 说明在观测中天气尺度瞬变波对乌拉尔山地区高压异常的形成和维持起重要作用, 是海冰影响乌拉尔高压异常的一种重要机制。线性模式中北大西洋上空的环流异常 (图 9) 跟 2008 年 1 月的实际状况 (图 3a) 比较相似, 呈 NAO 正位相, 但是 ECHAM5 模拟的海冰影响以及海冰通过天气尺度瞬变波的影响都与图 9 存在较大差异, 可能的原因是北大西洋的环流异常更多的受到局地海表温度异常的影响 (Han et al., 2011), Han et al. (2011) 认为海温异常能通过天气尺度波的作用对北大西洋上空的环流起正的贡献, 也就是说北大西洋暖海温异常引起的天气尺度波能部分解释观测的天气尺度波在北大西洋的作用。

5 小结与讨论

2008 年 1 月我国南方发生了大范围的雨雪冰冻低温灾害, 乌拉尔山地区高压异常的长期维持是导致灾害发生的重要原因之一。下垫面海洋, 除海温异常外, 海冰在环北欧海区域较常年偏少, 本文从观测和模式模拟两个方面研究了北极海冰密集度异常对乌拉尔高压异常的影响, 主要结论如下:

(1) 1 月份, 当乌拉尔山地区出现高压异常 (大于 1 倍标准差) 时, 哈得逊湾海冰减少, 格陵兰东部海冰增多, 巴伦支海和喀拉海冰减少, 2007/2008 年冬季海冰密集度异常与历史资料合成有一定相似性, 表明乌拉尔高压异常与 2007/2008 年冬季海冰密集度异常之间存在一定的关系。利用同样的方法分析了当巴伦支海和喀拉海海冰异常偏少时的大气环流, 在乌拉尔山地区为高压异常。观测合成中, 伴随乌拉尔山地区的高压异常, 中国大部分地区表现低温异常。

(2) 利用大气环流模式研究了 2007/2008 年冬季北极海冰对大气环流的影响, 结果显示海冰异常有利于乌拉尔山地区出现高压异常, 为 2008 年 1

月乌拉尔高压异常的长期维持提供了有利的背景条件。线性模式诊断表明天气尺度瞬变波是海冰影响乌拉尔高压异常的重要机制, 而这一影响在观测中也存在, 说明这一结果是比较可信的。

对于乌拉尔高压异常, 海冰密集度异常所起的作用相当重要, 其引起的乌拉尔高压异常的大小与北大西洋海温的影响 (Han et al., 2011) 相当。本文的研究是对 2008 年 1 月的大气环流异常形成原因的一些补充, 除了最受关注的海表温度异常外, 北极海冰异常也有利于乌拉尔高压异常的发生。2007/2008 年冬季, 在环北欧海区域海冰变化较小, 但是靠近北太平洋区域的海冰变化较大, 怎样判断海冰异常信号具有持续性是值得进一步探讨的问题。

参考文献 (References)

- Branstator G. 1992. The maintenance of low-frequency atmospheric anomalies [J]. *J. Atmos. Sci.*, 49 (20): 1924–1945.
- 常蕊, 张庆云, 彭京备. 2008. 中国南方多雪年环流特征及对关键区海温的响应 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 468–477.
- Chang Rui, Zhang Qingyun, Peng Jingbei. 2008. Response of the atmospheric circulation with heavy snow over southern China to the sea surface temperature anomaly in the key areas [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (4): 468–477.
- Deser C, Tomas R A, Peng S L. 2007. The transient atmospheric circulation response to North Atlantic SST and sea ice anomalies [J]. *J. Climate*, 20: 4751–4767.
- Dethloff K, Rinke A, Benkel A, et al. 2006. A dynamical link between the Arctic and the global climate system [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 33 (3), doi:10.1029/2005GL025245
- 付建建, 李双林, 王彦明. 2008. 前期海洋热状况异常影响 2008 年 1 月雪灾形成的初步研究 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 478–490.
- Fu Jianjian, Li Shuanglin, Wang Yanming. 2008. Influence of prior thermal state of global oceans on the formation of the disastrous snow storm in January 2008 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (4): 478–490.
- 顾雷, 魏科, 黄荣辉. 2008. 2008 年 1 月我国严重低温雨雪冰冻灾害与东亚季风系统异常的关系 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 405–418.
- Gu Lei, Wei Ke, Huang Ronghui. 2008. Severe disaster of blizzard, freezing rain, and low temperature in January 2008 in China and its association with the anomalies of East Asian monsoon system [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (4): 405–418.
- Gerdes R. 2006. Atmospheric response to changes in Arctic sea-ice thickness [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 33 (18), doi: 10.1029/2006GL027146.
- Han Z, Li S L, Mu M. 2011. The role of warm North Atlantic SST in the formation of positive height anomalies over the Ural Mountains during January 2008 [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 28 (2): 246–256.
- 李崇银, 杨辉, 顾薇. 2008. 中国南方雨雪冰冻异常天气原因的分析 [J]. *气候与环境研究*, 13 (2): 113–122.
- Li Chongyin, Yang Hui, Gu Wei. 2008. Cause of severe weather with cloud air, freezing rain, and snow over South China in January 2008 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (2): 113–122.
- Li S L. 2004. Influence of the Northwest Atlantic SST anomaly on the circulation over the Ural Mountains [J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 82 (4): 971–988.
- Li S L, Hoerling M P, Peng S L, et al. 2006. The annular response to tropical Pacific SST forcing [J]. *J. Climate*, 19: 1802–1819.
- Liu J P, Curry J A, Wang H J, et al. 2012. Impact of declining Arctic sea ice on winter snowfall [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109 (11): 4074–4079, doi: 10.1073/pnas.1114910109.
- 刘少锋, 陈红, 林朝晖. 2008. 海温异常对 2008 年 1 月中国气候异常影响的数值模拟 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 500–509.
- Liu Shaofeng, Chen Hong, Lin Zhaohui. 2008. Numerical simulation of the impact of sea surface temperature anomalies on the climate anomalies over China in January 2008 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (4): 500–509.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77: 437–471.
- Peng S L, Robinson W A. 2001. Relationships between atmospheric internal variability and the responses to an extratropical SST anomaly [J]. *J. Climate*, 14: 2943–2959.
- 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.*, 108, doi: 10.1029/2002JD002670.
- Roeckner E, Bäuml G, Bonaventura L, et al. 2003. The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: Model description [R]. Max Planck Institute for Meteorology Rep, 349, 127pp.
- Roeckner E, Brokopf R, Esch M, et al. 2006. Sensitivity of simulated climate to horizontal and vertical resolution in the ECHAM5 atmosphere model [J]. *J. Climate*, 19: 3771–3791.
- 孙建华, 赵思雄. 2008. 2008 年初南方雨雪冰冻灾害天气静止锋与层结结构分析 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 368–384.
- Sun Jianhua, Zhao Sixiong. 2008. Stationary front and stratification structure of the freezing rain and snow storm over southern China in January 2008 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (4): 368–384.
- Sokolova E, Dethloff K, Rinke A, et al. 2007. Planetary and synoptic scale adjustment of the Arctic atmosphere to sea ice cover changes [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L17816, doi:10.1029/2007GL030218.
- 陶诗言, 卫捷. 2008. 2008 年 1 月我国南方严重冰雪灾害过程分析 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 337–350.
- Tao Shiyang, Wei Jie. 2008. Snow and freezing-rain in January 2008 in the southern China [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (4): 337–350.
- 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 Donghai, Liu Chongjian, Liu Ying, et al. 2008. A preliminary analysis of features and causes of the snow storm event over the southern China in January 2008 [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 66 (3): 405–422.

- 王亚非, 李琰, 李萍云, 等. 2008. 2008 年初中国南方雪灾大尺度环流背景分析 [J]. 气象学报, 66 (5): 826–835. Wang Yafei, Li Yan, Li Pingyun, et al. 2008. The large scale circulation of the snow disaster in South China in the beginning of 2008 [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (5): 826–835.
- 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 Bingyi, Huang Ronghui, Gao Dengyi. 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]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 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研究 [J]. 气象学报, 59 (4): 414–428. Wu Bingyi, Huang Ronghui, Gao Dengyi. 2001. Numerical simulations on influence of sea-ice thickness and extent variation in Arctic on atmospheric circulation [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 59 (4): 414–428.
- Wu B Y, Wang J, Walsh J. 2004. Possible feedback of winter sea ice in the Greenland and Barents Seas on the local atmosphere [J]. Mon. Wea. Rev., 132: 1868–1876.
- 武炳义, 苏志京, 张人禾. 2011. 秋冬季节北极海冰对冬季西伯利亚高压的影响 [J]. 科学通报, 56 (27): 2335–2343. Wu Bingyi, Su Zhijing, Zhang Renhe. Effects of autumn and winter Arctic sea ice on winter Siberian High [J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56 (30): 3220–3228, doi:10.1007/s11434-011-4696-4.
- 赵思雄, 孙建华. 2008. 2008 年初南方雨雪冰冻天气的环流场与多尺度特征 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 351–367. Zhao Sixiong, Sun Jianhua. 2008. Multi-scale systems and conceptual model on freezing rain and snow storm over southern China during January–February 2008 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 351–367.
- Zhang Z Y, Gong D Y, Hu M, et al. 2009. Anomalous winter temperature and precipitation events in southern China [J]. Journal of Geographical Sciences, 19 (4): 471–488.
- 宗海锋, 张庆云, 布和朝鲁, 等. 2008. 黑潮和北大西洋海温异常在 2008 年 1 月我国南方雪灾中的可能作用的数值模拟 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 491–499. Zong Haifeng, Zhang Qingyun, Bueh Cholaw, et al. 2008. Numerical simulation of possible impacts of Kuroshio and North Atlantic sea surface temperature anomalies on the South China snow disaster in January 2008 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 491–499.