

# 2015/2016 冬季北极世纪之暖与超级厄尔尼诺对东亚气候异常的影响

贺圣平<sup>①②③</sup>, 王会军<sup>①②③\*</sup>, 徐鑫萍<sup>①</sup>, 李靖祎<sup>①</sup>

① 南京信息工程大学 气象灾害教育部重点实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044;

② 中国科学院 气候变化研究中心, 北京 100029;

③ 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

\* 联系人, E-mail: wanghj@mail.iap.ac.cn

2016-10-08 收稿, 2016-11-06 接受

国家重点研发计划(2016YFA0600703); 国家自然科学基金资助项目(41505073)



**摘要** 利用 1980—2016 年美国国家海洋与大气管理局气候预测中心的 ENSO 指数和 NCEP/NCAR 再分析资料, 研究了 2015/2016 年冬季北极增暖和超级厄尔尼诺对东亚气候的影响。2015/2016 年冬季热带中东太平洋爆发了超级厄尔尼诺事件, 尽管大气环流出现了对 ENSO 的响应特征(如西北太平洋反气旋异常, 东亚南部南风异常), 但东亚(尤其是我国东北、华北地区)1 月的气温却明显偏低。分析表明, 此次东亚气温偏低现象可能与 2016 年 1 月北极显著增暖有关。1980—2016 年 1 月再分析资料的统计诊断分析结果显示, 巴伦支海—喀拉海气温的升高会引起局地大气的上升运动异常, 之后在下游(70~90°E 附近)向南运动, 并在西伯利亚地区(60~100°E, 50~70°N)下沉, 使得西伯利亚高压增强, 其东侧的北风异常导致东亚气温偏低。基于 Niño3.4 指数、北极温度指数, 采用多元线性拟合所得到的 2016 年 1 月东亚气温的回报结果与观测气温之间的空间系数为 0.71, 表明 2016 年 1 月北极增暖以及热带中东太平洋的厄尔尼诺事件能够从一定程度上解释东亚气温偏低的现象。

## 关键词

北极增暖  
超级厄尔尼诺  
东亚气温  
西伯利亚高压

东亚地处欧亚大陆东部, 紧邻太平洋和印度洋。独特的海陆热力差异使得该地气候呈现为典型的季风气候特征。东亚冬季风是北半球冬季最为活跃的气候系统之一。它的系统成员包括西伯利亚高压、阿留申低压、东亚大槽、东亚急流以及东亚对流层低层的偏北风(贺圣平和王会军, 2012)。东亚冬季气候与东亚冬季风活动存在直接的联系: 当东亚冬季风偏强时, 高纬地区的干冷空气向南爆发, 经常给东亚冬季带来寒潮、冰冻、暴风雪等典型的灾害性天气(王会军和范可, 2013; 丁一汇等, 2014)。东亚气候的变率与很多因子有关, 例如北极涛动(贺圣平和王会军, 2012)、南极涛动(范可和王会军, 2006, 2007)。厄尔尼诺—南方涛动(ENSO, El Niño-

Southern Oscillation) 作为海—气相互作用的重要信号, 与全球以及区域尺度气候均存在显著联系(何溪澄等, 2008; 王会军等, 2012)。因此, ENSO 对东亚冬季风的影响一直以来受到学术界的广泛关注。Li(1990) 研究指出, 当厄尔尼诺事件发生时, 北半球大气环流表现为 Ferrel 环流、中纬度西风急流加强, 使得东亚锋面位置偏北, 这些大气环流形势不利于寒潮向南爆发。因此, 冬季厄尔尼诺事件会导致东亚冬季风偏弱, 东亚冬季偏暖。Zhang et al.(1996) 指出, 厄尔尼诺可以抑制赤道西太平洋上空的对流活动, 在东亚沿海地区引起南风异常, 从而使东亚冬季风强度偏弱。另有研究表明, 冬季我国南海地区的北风强度与 ENSO 指数存在显著的统

**引用格式:** 贺圣平, 王会军, 徐鑫萍, 等, 2016. 2015/2016 冬季北极世纪之暖与超级厄尔尼诺对东亚气候异常的影响[J]. 大气科学学报, 39(6): 735-743.

He S P, Wang H J, Xu X P, et al., 2016. Impact of Arctic warming and the super El Niño in winter 2015/2016 on the East Asian climate anomaly[J]. Trans Atmos Sci, 39(6): 735-743. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20161008002. (in Chinese).

计关系:异常偏强(弱)的北风通常对应于厄尔尼诺(拉尼娜)事件、强(弱)南方涛动指数(Zhang et al., 1997)。数值模拟研究表明,热带地区与 ENSO 有关的海气相互作用对于东亚冬季风年际变率的模拟至关重要(Gollan et al., 2012)。大量研究工作一致表明,当冬季发生厄尔尼诺事件时,东亚冬季风偏弱,东亚冬季偏暖。

另一方面,作为全球气候系统中重要的组成部分,北极气候系统的变化对欧亚气候也存在显著影响(Li and Wang, 2013, 2014; Zhou and Wang, 2014; Chen and Wang, 2015)。通过反射太阳辐射、改变大气和海洋之间的热量、动量和水汽交换平衡,北极海冰的异常可以引起大尺度大气环流的变化,进而对气候产生重要影响。早在 20 世纪 50 年代,著名气象学家陶诗言先生就曾根据天气预报经验,总结出几乎所有侵袭我国的寒潮天气的冷源都可以追溯到北冰洋(陶诗言, 1959)。研究表明,秋季海冰的异常与东亚冬季气候也存在紧密的联系。当秋季巴伦支海—喀拉海海冰异常偏少时,该海域表层的感热和潜热通量出现明显异常,海洋的非绝热加热过程在大气中激发准静止 Rossby 波,导致下游西伯利亚高压偏强,从而使得欧洲至远东地区冬季显著偏冷(Honda et al., 2009)。北极秋季海冰的迅速减少很可能是欧亚冬季频繁出现的极寒、暴雪等极端天气主要原因之一(Liu et al., 2012)。近些年,北极增暖的气候效应也成为了研究热点。北极增暖会削弱南北温度梯度,使得输送大西洋暖湿气团的西风减弱,导致欧亚中高纬地区冬季偏冷(Outten and Esau, 2012)。

尽管针对 ENSO、北极海冰或北极增暖的研究已经有很多,但依然存在一个问题:当北极增暖与厄尔尼诺事件同时发生时,东亚冬季气温是偏高还是偏低?例如,2015 年冬季,热带中东太平洋爆发了超级厄尔尼诺事件;在此期间,北极出现了“世纪之暖”,即 12 月 29 日北极气温从  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  升至  $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。Kug et al. (2015) 的研究表明,冬季巴伦支海—喀拉海地区气温异常与未来 30 d 以内东亚气温的异常都存在显著的负相关关系。因此,本文将主要探讨此次北极“世纪之暖”与超级厄尔尼诺对东亚 1 月气温的潜在影响。

## 1 资料和方法

本文使用的资料包括 NCEP/NCAR 再分析日资料(4 个时次),主要为表面气温、850 hPa 纬向风

和经向风;月平均表面气温、海平面气压、纬向风、经向风、垂直速度以及位势高度等要素。资料选取的时段为 1980—2016 年。北极温度指数(ATI, Arctic Temperature Index)定义为( $30\sim 70^{\circ}\text{E}$ ,  $70\sim 80^{\circ}\text{N}$ )范围内表面气温的区域平均值(Kug et al., 2015)。Niño3.4 指数采用美国国家海洋与大气管理局的气候预测中心发布的数据。

为了诊断北极增暖与东亚变冷的遥相关关系,本文采用了水平波作用通量( $F_x, F_y$ ),计算方法根据 Takaya and Nakamura(2001)推导的计算公式,波作用通量可以描述准定常 Rossby 波的能量频散特征。

$$F_x = \frac{p \cos \Phi}{2|U|} \left( \frac{u}{a^2 \cos \Phi} \left[ \left( \frac{\partial \Psi'}{\partial \lambda} \right) - \Psi' \frac{\partial^2 \Psi'}{\partial \lambda^2} \right] + \frac{v}{a^2 \cos \Phi} \left[ \frac{\partial \Psi'}{\partial \lambda} \frac{\partial \Psi'}{\partial \Phi} - \Psi' \frac{\partial^2 \Psi'}{\partial \lambda \partial \Phi} \right] \right);$$

$$F_y = \frac{p \cos \Phi}{2|U|} \left( \frac{u}{a^2 \cos^2 \Phi} \left[ \frac{\partial \Psi'}{\partial \lambda} \frac{\partial \Psi'}{\partial \Phi} - \Psi' \frac{\partial^2 \Psi'}{\partial \lambda \partial \Phi} \right] + \frac{v}{a^2 \cos \Phi} \left[ \left( \frac{\partial \Psi'}{\partial \Phi} \right) - \Psi' \frac{\partial^2 \Psi'}{\partial \Phi^2} \right] \right)。$$

其中: $p$ 为气压; $U$ 为风速大小的气候态; $u$ 为纬向风的气候态, $v$ 为经向风的气候态; $\Phi$ 为纬度, $\lambda$ 为经度; $a = 6\,378\,388\text{ m}$ ,为地球半径;地转流函数  $\Psi' = gz/f_0$ ,  $z$  为位势高度,  $g = 9.8\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , 为重力加速度,  $f_0 = 2\Omega \sin \Phi$  ( $\Omega$  为地球自转速度)。

另外,为探讨北极增暖和厄尔尼诺对东亚温度的共同影响,本文采用了多元线性回归方法。其基本原理是,假定某个格点  $i$  的气温异常  $T_i$  与北极温度指数 ATI、Niño3.4 指数的关系是线性的;基于 1980—2015 年的观测值,可以得到一个回归模型,记为  $T'_i = b_0 + b_1 \times I_{AT} + b_2 \times I_{Ni\text{ño}3.4}$ ,  $T'_i$  为  $T_i$  的估值;最后,将 2016 年 ATI、Niño3.4 的观测值代入回归方程,即可得到 2016 年温度异常的估值(如图 1d 所示)。

## 2 2016 年 1 月大尺度大气环流特征及其与北极世纪之暖和超级厄尔尼诺的关系

美国国家航空航天局在线监测数据显示,2015 年冬季北极气温曾出现过一天之内急升  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  的情况。图 2a—2l 显示的是 NCEP/NCAR 再分析资料中 2015 年 12 月 29 日 00 时—12 月 31 号 18 时(世界时,下同)北极地区表面气温(阴影)和 850 hPa 风场(箭头)的情况。可以看出,29 日 00 时,北极极点

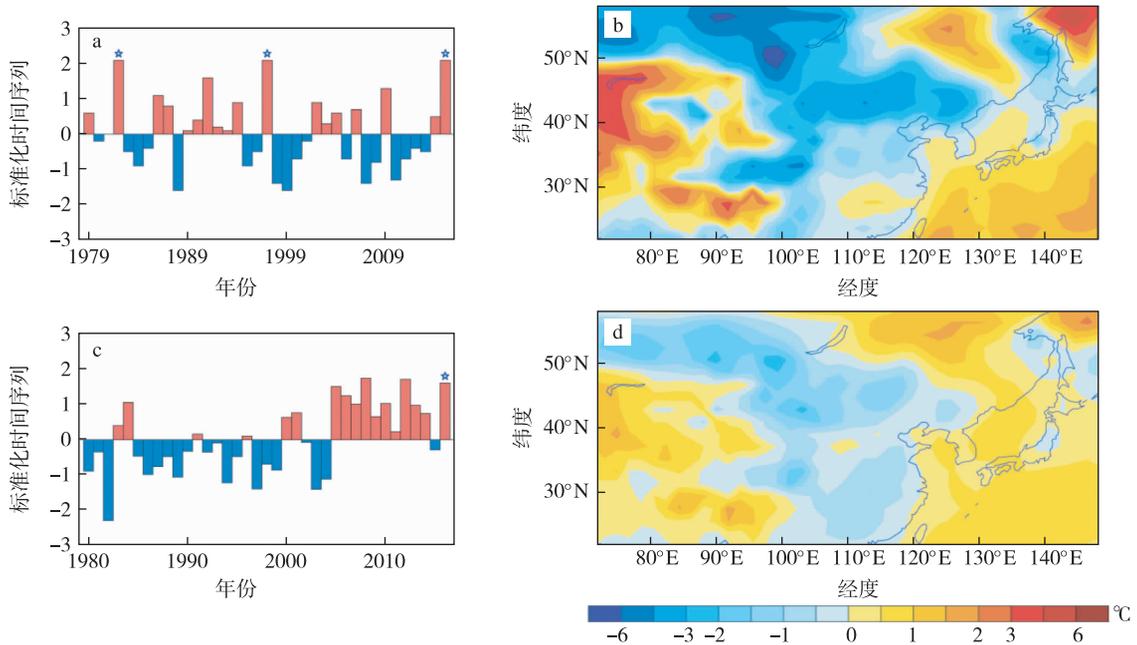


图1 1979—2015 年冬季 Niño3.4 指数(a)和 1980—2016 年 1 月标准化的北极温度指数(ATI;b),以及 2016 年 1 月东亚表面气温的距平(c;℃)和基于 Niño3.4 指数和北极温度指数线性拟合的 2016 年 1 月表面气温异常(d;℃)

Fig.1 (a,b) Standardized time series of (a) Niño3.4 during winter 1979—2015 and (b) ATI(Arctic temperature index) during January 1980—2016;(c) surface air temperature over East Asia in January 2016;(d) linear fit of the January 2016 surface air temperature anomaly(℃) with regard to Niño3.4 and ATI

附近的气温为 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。随着来自北大西洋的暖流逐渐加强(箭矢),临近北大西洋的极区气温迅速上升,在 29 日 18 时气温已上升到  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上。这是有卫星探测以来,首次在 12 月的北极发现  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上的温度。此外,巴伦支海—喀拉海的表面气温也出现了迅速升温的过程(图 2a—2l, 阴影)。与此同时,赤道中东太平洋爆发了超级厄尔尼诺事件,其强度与 1982/1983、1997/1998 年的强度相当(图 1a)。那么,此次北极“世纪之暖”和赤道中东太平洋超级厄尔尼诺事件对大尺度大气环流的影响如何呢?

图 3a 给出了 2016 年 1 月 850 hPa 水平风场(箭矢)以及风速大小(阴影)的异常。可以看到,在副热带西北太平洋有一个明显的反气旋环流异常;在我国华南、南海随之出现南风异常,表明北风偏弱。同时,东北太平洋分布一个气旋异常。上述特征与厄尔尼诺年大气环流的异常非常一致(Wang et al., 2000)。尤其是西北太平洋的高压异常(对应反气旋环流异常)以及东北太平洋的低压异常(对应气旋异常)的出现(图 3b),表明 2016 年 1 月亚太地区的大气环流确实受到了超级厄尔尼诺事件的影响。按照已有的研究经验,此时东亚的气温应该显著偏高。然而,观测事实显示,2016 年 1 月东亚大

部分地区(我国东北、华北、华东,朝鲜、韩国以及日本中部)的气温却偏低;部分地区较气候态偏低  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上(图 1c)。这种温度异常与风场异常不一致的现象可以从东亚冬季风系统南、北分量来解释。Chen et al.(2014) 研究指出,东亚冬季风的异常存在中纬度分量与高纬度分量,即南、北分量,其关键范围分别为( $105\sim 135^{\circ}\text{E}$ ,  $10\sim 25^{\circ}\text{N}$ ;图 3a:蓝色实线方框)和( $110\sim 125^{\circ}\text{E}$ ,  $30\sim 50^{\circ}\text{N}$ ;图 3a:蓝色虚线方框)。南分量受 ENSO 影响,即厄尔尼诺事件发生时,南风量偏弱。2016 年 1 月,东亚冬季风的南分量表现为西南风异常,表明北风确实偏弱(图 3a:蓝色实线方框)。然而北分量并不受 ENSO 影响。从这个角度讲,在超强厄尔尼诺事件的背景下,我国华北地区依然出现明显的北风异常并不奇怪(图 3b:蓝色虚线方框)。因此,2016 年 1 月东亚气温偏低很可能是冬季风北风分量偏强所致。为了进一步确定引起 2016 年 1 月大气环流异常的能量频散源,图 3c 给出了同期 500 hPa 位势高度场异常(阴影)以及相应的波作用通量(箭矢)。可以看出,在东亚的上游巴伦支海—喀拉海至贝加尔湖有一个显著的正高度异常中心;同时,该地区明显为波作用通量的一个频散源,并向下游传播至东亚地区。研究表明,

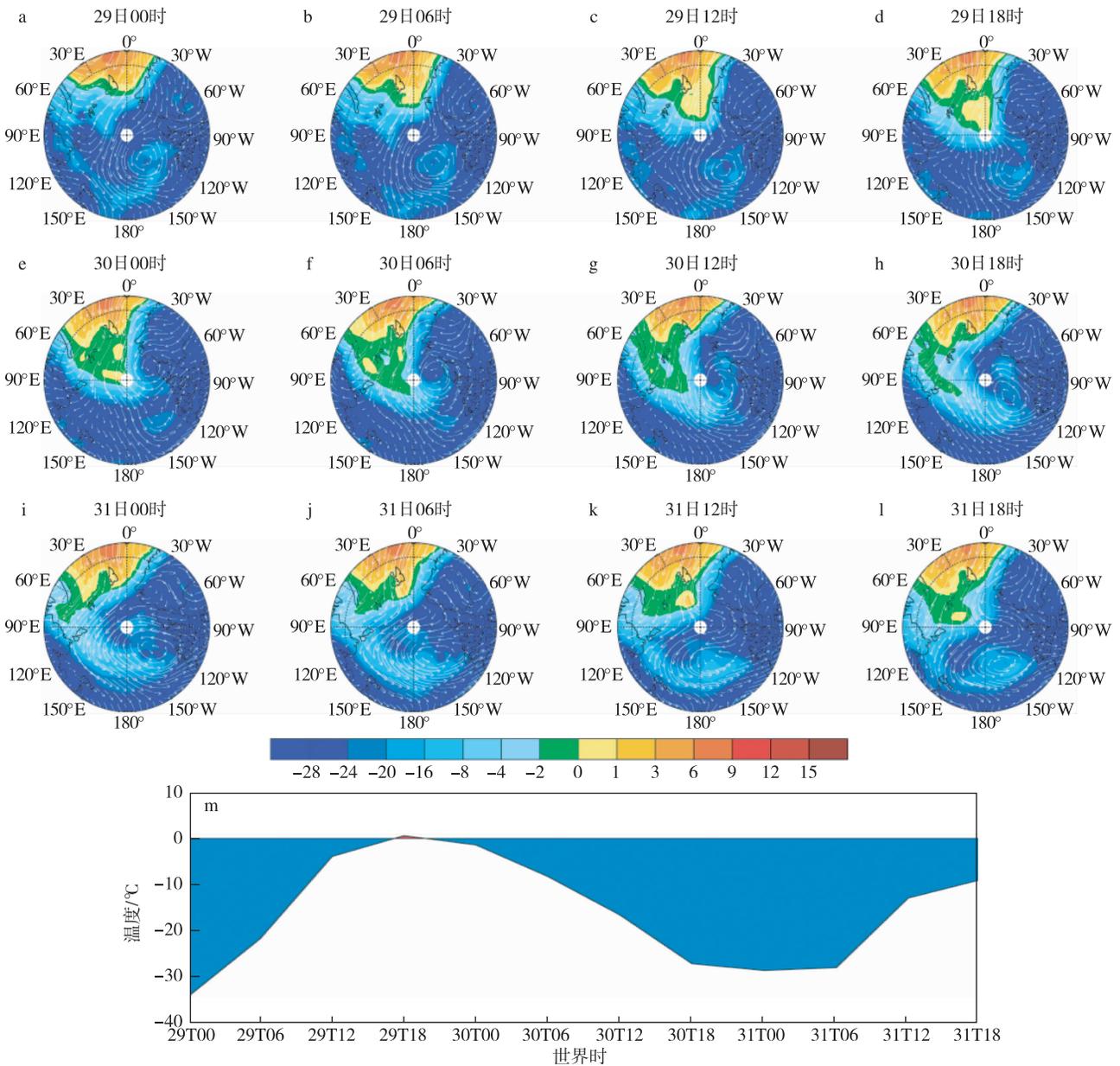


图2 NCEP/NCAR再分析资料中2015年12月29日00时—12月31日18时北极地区表面气温(阴影; °C)和850 hPa风场(箭头;  $m \cdot s^{-1}$ )的情况(a—l)以及极点附近(85°N以北, 0°~30°E)表面气温的时间演变(m)

Fig.2 Surface air temperature (shaded; °C) and 850 hPa wind velocity (vectors;  $m \cdot s^{-1}$ ) in the Arctic (a—l) from 0000 UTC 29 December 2016 to 1800 UTC 31 December 2016; (m) temporal evolution of area-averaged surface air temperature over the area north of 85°N, within 0°—30°E

冬季大气环流的这种异常分布型与北极增暖存在显著的联系(Kug et al., 2015)。因此,2016年1月东亚的气候异常可能与北极巴伦支海—喀拉海地区温度异常偏高有关。

### 3 北极增暖与东亚气候的关系及可能机制

为了说明1月北极增暖与东亚气温的关系,图4a给出了北极气温指数ATI与同期气温间的线性

相关关系(线性回归分析中,变量均已去除长期线性趋势;下同)。由图4可知,当北极增暖时,东亚气温明显降低。对应北极温度指数升高一个标准差的情况,东亚气温普遍降低0.6 °C以上;部分地区降温幅度可达2 °C。从大气环流场看,当北极增暖时,在西伯利亚地区出现一个显著的高压异常中心,即西伯利亚高压偏强;气压偏高幅度为1.2~3.6 hPa(图4b:阴影)。对应海平面气压场的变化,在贝加尔湖的西北方向分布有一个明显的反气旋环流异常

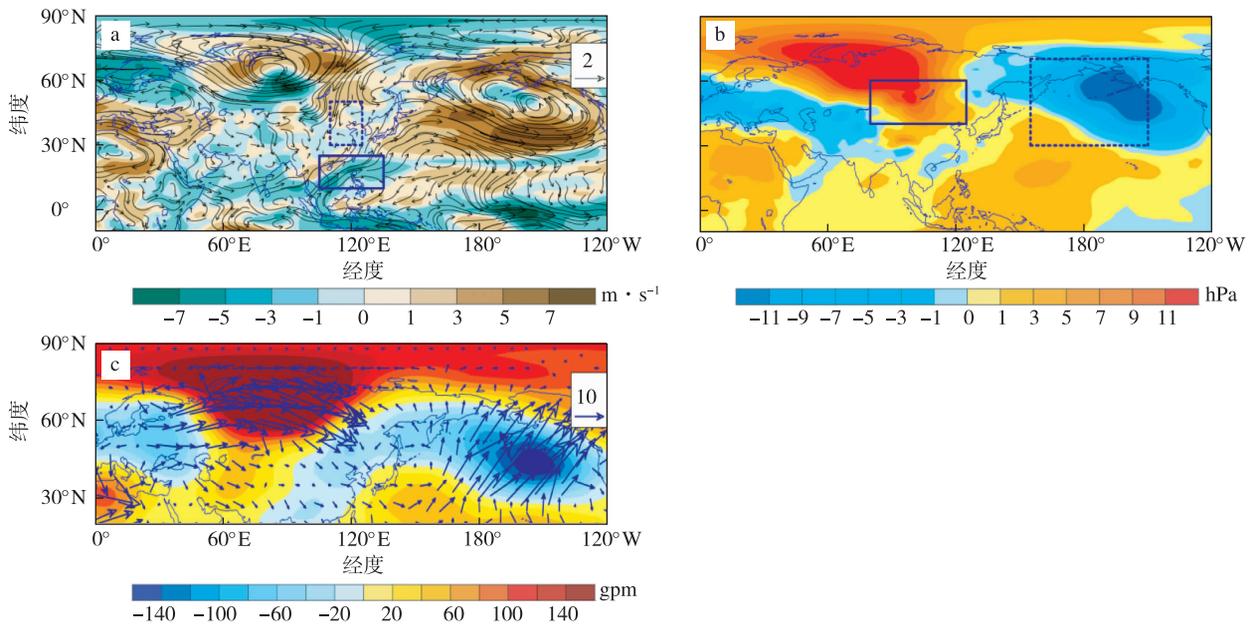


图3 2016年1月850 hPa水平风场(箭头)以及风速大小(阴影; $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )的异常(a),海平面气压异常(b;hPa),以及500 hPa高度场异常(阴影;gpm)以及波作用通量( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ )的空间分布(c;异常是指相对于1981—2010年气候平均态的距平;下同)

Fig.3 The (a) 850 hPa wind velocity (vectors) and speed (shaded areas;  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) anomaly, (b) sea level pressure anomaly (hPa), and (c) 500 hPa geopotential height anomaly (shaded areas; gpm) and Rossby wave activity flux ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ ), in January 2016 (anomalies are relative to the climatology of 1981—2010; similar hereinafter)

(图4b:箭头)。随之出现在贝加尔湖东北侧的北风异常有利于高纬地区的冷空气南下,导致东亚气温降低。

那么,北极增暖是如何引起欧亚大尺度环流异常呢?研究表明,西伯利亚高压的增强与该地区上空大气的下沉运动有关(丁一汇等,1991)。因此,

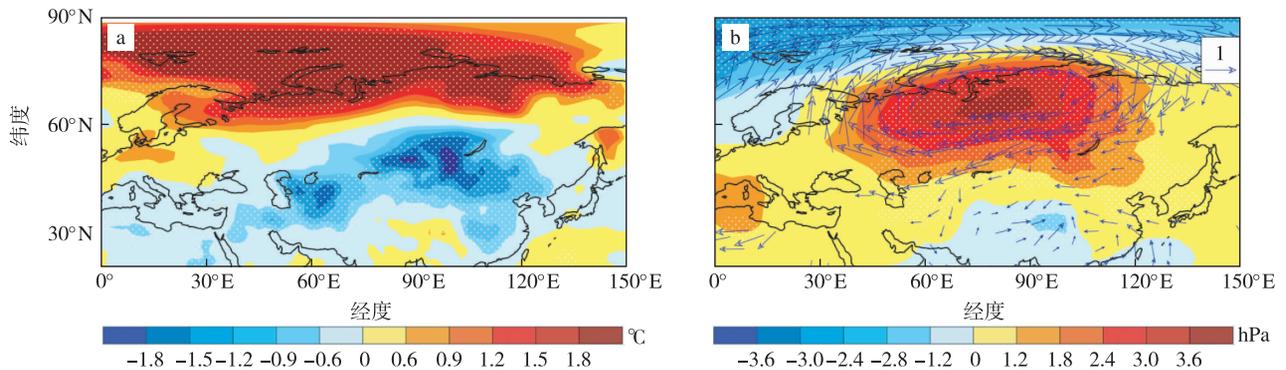


图4 1980—2016年1月标准化北极温度指数(ATI)线性回归的同期表面气温(阴影; $^{\circ}\text{C}$ )和海平面气压(阴影;hPa)(a)以及850 hPa水平风场(箭头; $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )(b)(打点区域表示表面气温异常和海平面气压异常通过95%置信水平检验;风场只画通过95%置信水平检验的值)

Fig.4 Regressions of (a) surface air temperature (shaded areas;  $^{\circ}\text{C}$ ) and (b) sea level pressure (shaded areas; hPa) and 850 hPa horizontal wind (vectors;  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), during January 1980—2016, onto the simultaneous ATI (regression coefficients of surface air temperature and sea level pressure significant at the 95% confidence level are stippled; arrows are significant at the 95% confidence level)

为了探讨北极增暖与欧亚大陆垂直运动的关系,图5进一步给出了垂直速度投影至北极温度指数ATI的线性回归系数的剖面。显然,当巴伦支海—喀拉海地区气温升高时,其上空出现显著的上升运动异常,并向东倾斜(图5a);在科氏力作用下,在东侧( $70 \sim 90^{\circ}\text{E}$ )转向南部运动(图5c),并在西伯利亚

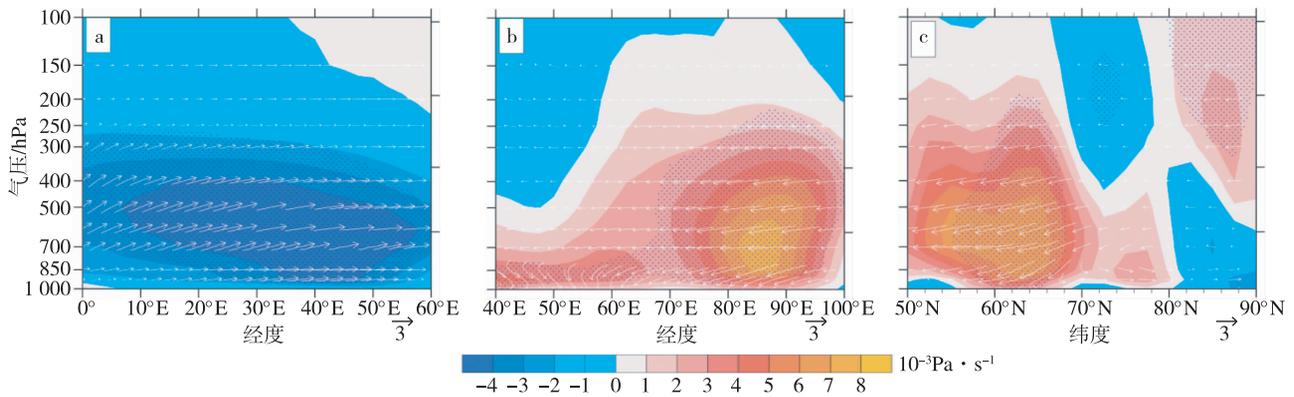


图5 1980—2016年1月标准化北极温度指数(ATI)线性回归的同期垂直环流(箭头; $m \cdot s^{-1}$ )以及垂直速度(阴影; $\times 10^{-3} Pa \cdot s^{-1}$ )(打点区域表示垂直速度异常通过95%置信水平检验)  
a.75~85°N平均;b.60~70°N平均;c.70~90°E平均

Fig.5 Regressions of vertical circulation(vectors; $m \cdot s^{-1}$ ) and vertical velocity(shaded areas; $\times 10^{-3} Pa \cdot s^{-1}$ ) averaged along (a)75—85°N,(b)60—70°N,and (c)70—90°E,onto the simultaneous ATI during January 1980—2016(regression coefficients of vertical velocity significant at the 95% confidence level are stippled)

地区下沉(图5b;60~100°E;图4c;50~70°N)。下沉运动异常引起低层大气的辐散异常,使得西伯利亚高压加强(图4b)。

为进一步验证北极增暖与东亚气候的遥相关关系,图6给出了对应北极温度异常时,500 hPa和200 hPa的流函数以及波作用通量,主要用来诊断准定常 Rossby 波的频散特征。从流函数的空间型看,其波列特征非常明显。一个显著的正异常中心分布在巴伦支海上空;同时,显著的负异常中心位于中国中部地区。从波作用通量的传播看,其能量频散源主要分布在巴伦支海附近,与低层热力异常的区域相吻合。能量向东南方向频散,并传播至东亚地区。可见,北极温度的异常通过激发准定常 Rossby 波,将能量向下游频散,进而引起东亚地区的大气环流和温度的异常。

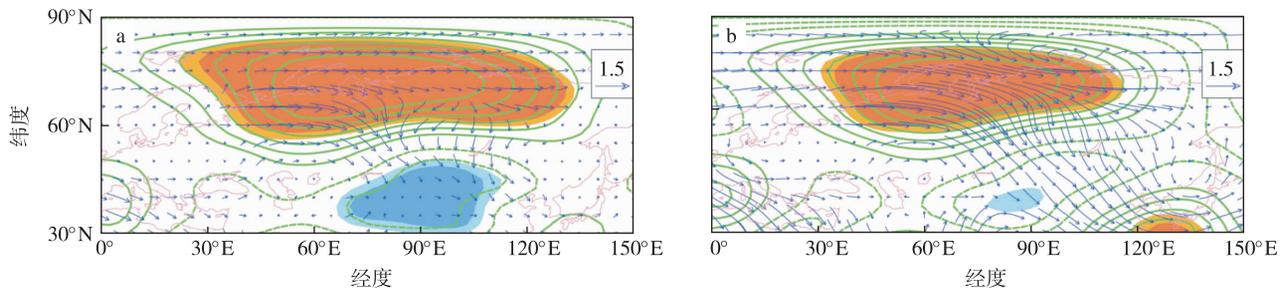


图6 1980—2016年1月标准化北极温度指数(ATI)线性回归的同期流函数(等值线; $\times 10^6 m^2 \cdot s^{-1}$ )以及波作用通量(箭头; $m^2 \cdot s^{-2}$ )(阴影表示流函数异常通过95%置信水平检验) a.500 hPa;b.200 hPa

Fig.6 Regressions of streamfunction anomaly(contours; $\times 10^6 m^2 \cdot s^{-1}$ ) and wave activity flux(vectors; $m^2 \cdot s^{-2}$ ) onto the simultaneous ATI during January 1980—2016 at (a)500 hPa and (b)200 hPa(regression coefficients of streamfunction significant at the 95% confidence level are shaded)

综上所述,2016年1月东亚的大气环流、温度异常是由北极增暖和热带超级厄尔尼诺共同造成。尽管超级厄尔尼诺激发了西北太平洋反气旋异常并使得东亚南部出现南风异常;但是,由于北极增暖显著,使得东亚北部的北风显著偏强,从而导致东亚1月气温依然偏低。为了进一步证明该结论,图1d给出了基于 Niño3.4 指数、北极温度指数 ATI,通过多元线性拟合所得到的2016年1月东亚气温的回报结果。可以看出,东亚气温的回报结果与观测结果(图1b)的空间分布型非常相似;两者的空间相关系数为0.71。可见,2016年1月北极增暖以及热带太平洋的厄尔尼诺事件能够从一定程度上解释东亚气温偏低的现象。

#### 4 结论和讨论

ENSO 与东亚气候的联系一直是气候学研究的

热点问题。以前大部分的研究结论均认为,冬季厄尔尼诺事件会导致东亚冬季风偏弱,东亚冬季偏暖。2016 年冬季,赤道中东太平洋的爆发了超强厄尔尼诺事件,然而东亚 1 月的气温却明显偏低。针对此次异常现象,本文采用统计方法、动力诊断等探讨了其中的可能原因。通过分析得到的主要结论如下:

1) 2016 年 1 月大气环流确实存在对厄尔尼诺事件的明显响应,如西北太平洋反气旋,东北太平洋低压异常,东亚南部南风异常。

2) 基于 1980—2016 年 1 月再分析资料的统计分析结果显示,当北极地区巴伦支海—喀拉海气温偏高时,东亚气温显著偏低。对应北极气温升高 1 个标准差的变化,东亚气温降低幅度在 0.6 ~ 1.8 °C。

3) 巴伦支海—喀拉海偏高的气温异常主要通过引起局地大气的上升运动异常,并向南运动至西伯利亚地区(60~100°E,50~70°N)后下沉,使得西伯利亚高压增强,从而导致东亚气温偏低。准定常 Rossby 波的频散特征也表明,北极增暖与东亚气候

异常之间存在明显的遥相关波列。

4) 2016 年 1 月北极显著增暖,导致西伯利亚高压偏强,东亚北部北风偏强,因而东亚气温偏低。

5) 基于 Niño3.4 指数、北极温度指数多元线性拟合所得到的 2016 年 1 月东亚气温异常的空间分布与观测结果非常相似,两者的空间系数为 0.71,表明 2016 年 1 月北极增暖以及热带太平洋的厄尔尼诺事件能够从一定程度上解释东亚气温偏低的现象。

由此可见,在关注热带中东太平洋海温对东亚冬季气候影响的同时,不能忽略北极气候系统的作用。尤其是近些年北极增暖的放大效应,经常对欧亚冬季气候尤其是极端气候事件产生显著的影响。另外,高纬地区乌拉山阻塞高压对欧亚冷空气的活动也具有重要作用。2015/2016 年冬季出现在北极的世纪之暖过程中,阻塞高压起到了积极的推动作用。因此,阻塞高压很可能成为未来“北极增暖欧亚变冷”课题中重要的研究对象之一。

致谢:感谢 NOAA 提供的资料在线下载服务。

## 参考文献 (References)

- Chen H P, Wang H J, 2015. Haze days in North China and the associated atmospheric circulations based on daily visibility data from 1960 to 2012 [J]. *J Geophys Res*, 120. doi:10.1002/2015JD023225.
- Chen Z, Wu R, Chen W, 2014. Impacts of autumn Arctic sea ice concentration changes on the East Asian winter monsoon variability [J]. *J Climate*, 27: 5433-5450.
- 丁一汇, 温市耕, 李运锦, 1991. 冬季西伯利亚高压动力结构的研究 [J]. *气象学报*, 49(4): 430-439. Ding Y H, Wen S G, Li Y J, 1991. A study of dynamic structures of the Siberian High in winter [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 49(4): 430-439. (in Chinese).
- 丁一汇, 柳艳菊, 梁苏洁, 等, 2014. 东亚冬季风的年代际变化及其与全球气候变化的可能联系 [J]. *气象学报*, 7(5): 835-852. Ding Y H, Liu Y J, Liang S J, et al., 2014. Inter-decadal variability of the East Asian winter monsoon and its possible linkage with global climate change [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 7(5): 835-852. (in Chinese).
- 范可, 王会军, 2006. 南极涛动的年际变化及其对东亚冬春季气候的影响 [J]. *中国科学 D*, 36(4): 385-391. Fan K, Wang H J, 2006. Interannual variability of the Antarctic Oscillation and its influence on the East Asian winter and spring climate [J]. *Science in China D*, 36(4): 385-391. (in Chinese).
- 范可, 王会军, 2007. 南极涛动异常及其对冬春季北半球大气环流影响的数值模拟试验 [J]. *地球物理学报*, 50(2): 397-403. Fan K, Wang H J, 2007. Simulation of the AAO anomaly and its influence on the Northern Hemispheric circulation in boreal winter and spring [J]. *Chin J Geophys*, 50(2): 397-403. (in Chinese).
- Gollan G, Greatbatch R J, Jung T, 2012. Tropical impact on the East Asian winter monsoon [J]. *Geophys Res Lett*, 39(17): 128-136.
- 何溪澄, 丁一汇, 何金海, 2008. 东亚冬季风对 ENSO 事件的响应特征 [J]. *大气科学*, 32(2): 335-344. He X C, Ding Y H, He J H, 2008. Response characteristics of the East Asian winter monsoon to ENSO events [J]. *Chin J Atmos Sci*, 32(2): 335-344. (in Chinese).
- 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 [J]. *大气科学*, 36(3): 523-538. He S P, Wang H J, 2012. An integrated East Asian winter monsoon index and its interannual variability [J]. *Chin J Atmos Sci*, 36(3): 523-538. (in Chinese).
- Honda M, Inoue J, Yamane S, 2009. Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters [J]. *Geophys Res Lett*, 36: 262-275.
- Kug J S, Jeong J H, Jang Y S, et al., 2015. Two distinct influences of Arctic warming on cold winters over North America and East Asia [J]. *Nature Geoscience*, 8. doi:10.1038/NGeo2517.
- Li C Y, 1990. Interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño events [J]. *Adv Atmos Sci*, 7(1): 36-46.
- Li F, Wang H J, 2013. Autumn sea ice cover, winter Northern Hemisphere annular mode, and winter precipitation in Eurasia [J]. *J Climate*, 26(11): 3968-3981.

- Li F, Wang H J, 2014. Autumn Eurasian snow depth, autumn Arctic sea ice cover and East Asian winter monsoon [J]. *Int J Climatol*, 34 ( 13 ): 3616-3625.
- 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*, 109( 11 ): 4074-4079.
- Outten S D, Esau I, 2012. A link between Arctic sea ice and recent cooling trends over Eurasia [J]. *Climatic Change*, 110: 1069-1075.
- Takaya K, Nakamura H, 2001. A formulation of a phase-independent wave-activity flux for stationary and migratory quasigeostrophic eddies on a zonally varying basic flow [J]. *J Atmos Sci*, 58: 608-627.
- 陶诗言, 1959. 十年来我国对东亚寒潮的研究 [J]. *气象学报*, 30( 3 ): 226-230. Tao S Y, 1959. Studies on cold spells in East Asia from 1949 to 1959 [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 30( 3 ): 226-230. ( in Chinese ).
- Wang B, Wu R, Fu X, 2000. Pacific-east Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? [J]. *J Climate*, 13: 1517-1536.
- 王会军, 范可, 2013. 东亚季风近几十年来的主要变化特征 [J]. *大气科学*, 37( 2 ): 313-318. Wang H J, Fan K, 2013. Recent changes in the East Asian monsoon [J]. *Chin J Atmos Sci*, 37( 2 ): 313-318. ( in Chinese ).
- 王会军, 范可, 郎咸梅, 等, 2012. 我国短期气候预测的新理论、新方法和新技术 [M]. 北京: 气象出版社: 226. Wang H J, Fan K, Lang X M, et al., 2012. *Advances in climate prediction theory and techniques of China* [M]. Beijing: China Meteorological Press: 226. ( in Chinese ).
- Zhang R, 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*, 74: 49-62.
- Zhang Y, 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: 2605-2619.
- Zhou M Z, Wang H J, 2014. Late winter sea ice in the Bering Sea: Predictor for maize and rice production in Northeast China [J]. *J Appl Meteor Climatol*, 53: 1183-1192.

## Impact of Arctic warming and the super El Niño in winter 2015/2016 on the East Asian climate anomaly

HE Shengping<sup>1,2,3</sup>, WANG Huijun<sup>1,2,3</sup>, XU Xinping<sup>1</sup>, LI Jingyi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

<sup>2</sup>Climate Change Research Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

<sup>3</sup>Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

The influence of El Niño on the East Asian climate has been studied extensively. Generally, East Asia is warmer than normal in winter when El Niño occurs. During winter 2015/2016, an extreme El Niño event took place—one that was almost the strongest since records began. However, the winter of 2015/2016 was not much warmer than usual. By contrast, East Asia was even colder than normal in January 2016. At the same time, the Arctic experienced extreme warming in winter 2015/2016, which might have had an influence on the winter climate of East Asia. Therefore, in this study, the influences of Arctic warming and the super El Niño during winter 2015/2016 on the East Asian winter climate was investigated using the ENSO index of the Climate Prediction Center of NOAA, along with NCEP/NCAR reanalysis data, for the period 1980—2016. In winter 2015/2016, a super El Niño emerged in the central tropical Pacific. In January 2016, there was a dominant anomalous anticyclone over the western North Pacific and an anomalous cyclone over the Northeast Pacific. Meanwhile, a southerly anomaly was observed over East Asia, which was confined to the area south of 30°N. This meant that there was a particularly evident response of atmospheric circulation in January 2016 to the forcing of ENSO. However, significantly warmer conditions were not observed over East Asia as expected. On the contrary, it was much colder than normal in January. It is interesting to find that the northerly wind in the domain (30—50°N, 110—125°E) was stronger in January 2016, which could explain the colder conditions over East Asia. The Rossby wave activity in January 2016 indicates a wave source over the Barents-Kara seas, suggesting that the colder conditions over East Asia might have been related to the Arctic warming that occurred in January 2016. To address this issue, an Arctic

temperature index was defined as the area-weighted mean in the Barents-Kara seas ( $70^{\circ}\text{N}$ — $80^{\circ}\text{N}$ ,  $30^{\circ}\text{E}$ — $70^{\circ}\text{E}$ ). The statistical results from the reanalysis data during 1980—2016 revealed that the warming in the Barents-Kara seas was concurrent with a significant negative temperature anomaly over East Asia. The teleconnection between the Arctic and East Asian temperature was well supported by an obvious southeastward propagation of Rossby waves. Further analysis suggested that the warming in the Barents-Kara seas could induce anomalous ascending motion in situ. The anomalous ascending motion extended eastwards (around  $70^{\circ}\text{E}$ — $90^{\circ}\text{E}$ ) and turned southwards due to the Coriolis force, and finally descended in Siberia ( $50^{\circ}\text{N}$ — $70^{\circ}\text{N}$ ,  $60^{\circ}\text{E}$ — $100^{\circ}\text{E}$ ). As the air mass accumulated over Siberia, the Siberian high was intensified, leading to anomalous northerly flow in its east, which favored the cold conditions over East Asia. To verify the combined effect of the Arctic warming and El Niño, a statistical prediction model was established via the multivariate linear regression of surface air temperature (SAT) onto the Arctic temperature index and Niño3.4 index. It was found that the hindcasted SAT anomaly over East Asia in January 2016 resembled the observed counterpart well, with a spatial correlation coefficient of 0.71. This implied that the Arctic warming and super El Niño during winter 2015/2016 can to some extent explain the colder than expected conditions in East Asia.

**Arctic warming; super El Niño; East Asian temperature; Siberian high**

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20161008002

(责任编辑:张福颖)