

文章编号: 1000-2022(2001) 04-0476-07

## 冬季戴维斯海峡的海冰面积年际变化与东亚气候关系研究\*

曾 刚<sup>1</sup>, 孙照渤<sup>2</sup>, 闵锦忠<sup>1</sup>

(南京气象学院 1. 气象灾害和环境变化重点开放实验室; 2. 大气科学系, 南京 210044)

**摘 要:** 采用北极  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  海冰面积指数、海平面气压、500 hPa 高度场和中国 160 站气温等资料, 分析了戴维斯海峡海冰的年际变化与大气环流及东亚气候的关系, 结果发现: 冬季戴维斯海峡是影响东亚以及北半球气候变化的关键区之一; 该区海冰面积年际变化与 500 hPa 高度场的 WA 型、EU 型遥相关以及东亚冬季风强、弱之间存在密切的关系。冬季该区海冰偏多, 则 500 hPa 高度场在北大西洋—戴维斯海峡—西欧一带为 WA 型遥相关(美国东部高度场偏高, 北美东北部到格陵兰一带高度场偏低), 在欧亚大陆为出现 EU 型遥相关(贝加尔湖及其以东和西欧高度场偏高), 西伯利亚高压减弱, 致使东亚冬季风偏弱, 我国东北、西北和华北地区偏暖; 而冬季该区海冰偏少时, 情况正好相反。

**关键词:** 海冰, 东亚冬季风, 年际变化, 遥相关

**中图分类号:** P461.2      **文献标识码:** A

极冰是气候冰冻圈的重要组成部分, 许多研究<sup>[1-7]</sup>都已经表明: 极地海冰, 无论是南极海冰还是北极海冰的变化, 不仅与局地的高纬大气环流存在联系, 而且与中低纬以至全球的大气环流存在联系。极冰作为一种外强迫源, 首先表现在局地地区的响应, 然后通过环流的演变影响到副热带地区甚至另一半球<sup>[8]</sup>。我国学者研究发现<sup>[9-11]</sup>, 北极海冰面积变化可激发遥相关型波列影响大气环流和气候。

东亚季风是影响我国气候的关键因子。近年来, 对于极冰与东亚季风关系的研究正逐步开展。赵玉春<sup>[12]</sup>发现北极海冰存在与东亚冬、夏季风相联系的关键区。武炳义等<sup>[13]</sup>通过大量数据分析发现, 冬季喀拉海、巴伦支海海区海冰面积变化与大气 500 hPa 高度场的 EU 型遥相关以及东亚冬季风强、弱之间存在密切的关系。杨修群等<sup>[14]</sup>通过数值试验研究发现, 北极格陵兰海—巴伦支海极冰偏多, 导致亚洲夏季风环流特别是东亚季风环流增强, 我国东南部降水偏多; 东西伯利亚海—波弗特海极冰偏多, 导致东亚夏季风环流减弱, 我国东南部降水偏少, 而印度半岛季风增强。

尽管如此, 极冰变化对东亚季风影响的研究还较少, 而且讨论的海冰区多集中在格陵兰海—喀拉海一带, 是否存在与东亚季风关系更为密切的其他海冰区? 为此, 本文将主要分析冬季北极附近海冰的变化特征, 寻找冰—气关系显著的海冰特征区, 然后讨论该区海冰面积异常变

\* 国家重点基础研究发展规划 G1998040901-3 项目资助

收稿日期: 2000-07-07; 改回日期: 2001-06-12

第一作者简介: 曾 刚, 男, 1973 年 11 月生, 硕士, 助研

化与大气环流和东亚气候的关系。

本文所用的资料为: 1) 北极 1953 年 1 月~1994 年 12 月月平均海冰面积指数  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  网格点资料; 2) 国家气象中心整编的北半球 500 hPa 高度场  $10^{\circ} \times 5^{\circ}$  经纬网格点资料, 范围为 ( $10^{\circ} \text{E} \sim 180^{\circ} \text{W}$ ,  $10^{\circ} \text{S} \sim 85^{\circ} \text{N}$ ), 时间为 1953~1994 年; 3) 英国气象局整理的北半球月平均海平面气压场资料, 范围为 ( $0^{\circ} \text{E} \sim 180^{\circ} \text{W}$ ,  $20^{\circ} \text{S} \sim 80^{\circ} \text{N}$ ), 经纬网格距为  $10^{\circ} \times 5^{\circ}$ ; 时间为 1953 年 1 月~1994 年 12 月; 4) NCEP/NCAR 提供的 850 hPa 再分析气温资料, 时间为 1958 年 1 月~1997 年 12 月; 5) 中国国家气象局整编的 160 标准站气温资料, 时间为 1953 年 1 月~1994 年 12 月; 6) 施能教授提供的冬季西北利亚高压指数, 时间为 1953~1994 年; 7) 东亚冬季风强度指数参见文献[15]。

## 1 冬季戴维斯海冰面积变化与东亚冬季风的关系

### 1.1 冬季海冰特征区的确定

我们主要考虑冬季戴维斯海峡海冰对大气环流的影响。从图 1 可以看出, 冬季北极附近海冰方差大值区主要分布在戴维斯海峡、格陵兰海、巴伦支海。而且, 北极附近冬季海冰面积指数距平场自然正交展开的第 1 特征向量分布图(图略)中同样可以发现也是这 3 个区为特征值绝对值大值区。

为进一步分析海冰特征区海冰的变化规律及其与大气环流的关系, 定义 3 个海冰特征区海冰面积指数, 得到 3 个标准化序列。其中, 戴维斯海峡方差大值区域取 ( $5^{\circ} \sim 53.5^{\circ} \text{W}$ ,  $60.5^{\circ} \sim 68.5^{\circ} \text{N}$ ) 范围。

经过分析海冰特征区海冰与各自海冰区上空 500 hPa 高度场高度变化的时滞相关关系(图略)发现, 唯有戴维斯海峡海冰与其上空大气的同期关系最好, 相关系数达  $-0.688$ , 超过 0.01 的信度标准。所以, 我们主要讨论该区海冰的面积变化与东亚气候的关系。

### 1.2 冬季戴维斯海冰面积指数与东亚冬季风强度的年际变化关系

我们知道, 冬季西伯利亚高压前部的偏北气流就是亚洲稳定的东亚冬季风, 其变化主要取决于冬季西伯利亚高压和阿留申低压的变化。所以, 用冬季西伯利亚高压变化也可以来表征东亚冬季风强度变化。丁一汇<sup>[16]</sup>指出, 东亚冬季风有明显的年际变化, 且与西伯利亚高压的年际变化有关。这里采用西伯利亚高压指数来讨论与冬季戴维斯海冰变化和冬季风的关系。

冬季西伯利亚高压指数与东亚冬季风强度指数变化(图 2)表明, 两者之间存在非常好的对应关系: 若东亚冬季风强度指数为负(正), 则对应冬季西伯利亚高压偏弱(强)。两条曲线所代表的时间序列的相关系数高达  $-0.444$ , 超过 0.01 的统计显著性水平。根据东亚冬季风指数的定义所表示的含义, 当该指数高值时, 东亚大槽偏弱, 其上游西北气流偏弱, 东亚地区冷空气活动较弱, 出现弱东亚冬季风; 反之, 出现强的东亚冬季风。而冬季戴维斯海冰面积指数与冬季西伯利亚高压指数呈相反变化关系(图 3), 同时相关系数值达  $-0.426$ , 超过 0.01 的信度检验标准。说明冬季戴维斯海冰为重(轻)冰年时期, 冬季西伯利亚高压偏弱(强), 冬季风偏弱(强)。

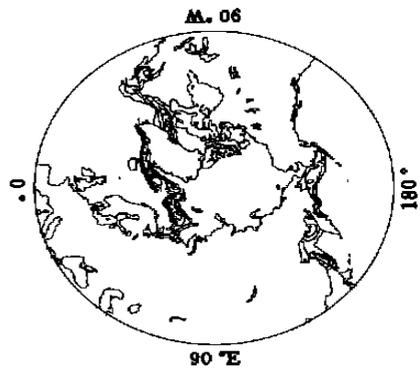


图 1 北极附近冬季海冰面积指数均方差分布  
Fig. 1 Mean square deviation of Sea Ice Concentration around Arctic in Winter

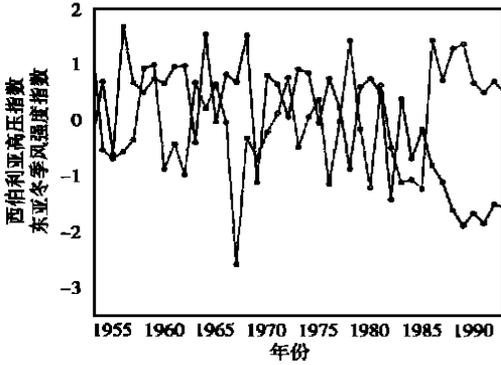


图 2 冬季西伯利亚高压指数(实线)与东亚冬季风强度指数(虚线)变化曲线  
(所有数据均经过标准化处理,样本数=41)

Fig. 2 The variations of Siberia High index (solid line) and East-Asia winter monsoon index (dashed line) (Normalized, samples=41)

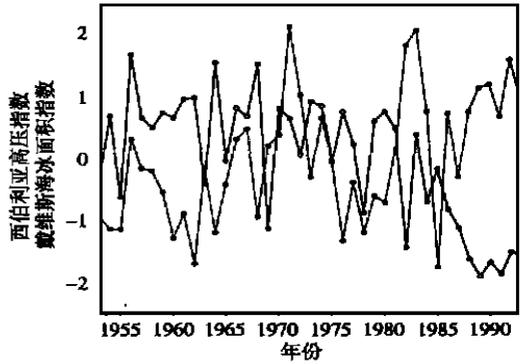


图 3 冬季西伯利亚高压指数(实线)与戴维斯海冰面积指数(虚线)变化曲线  
(所有数据均经过标准化处理,样本数=41)

Fig. 3 The variations of Siberia High index (solid line) and Sea-Ice area index over Davis Straits (dashed line) (Normalized, samples=41)

## 2 冬季戴维斯海冰异常变化与同期大气环流关系

为了更清晰地展现冬季戴维斯海冰面积异常变化对大气环流的影响,分别讨论了其变化与海平面气压场、500 hPa 高度场关系。

### 2.1 与海平面气压场关系

为分析冬季戴维斯海冰异常变化与同期海平面气压场的关系,采用了合成分析和相关分析方法。从冬季戴维斯海冰面积指数序列中分别挑出 7 个重冰年冬季(标准化指数值  $> 1$ ; 1971/72、1972/73、1982/83、1983/84、1989/90、1990/91、1992/93) 和 7 个轻冰年冬季(标准化指数值  $< -1$ ; 1953/54、1955/56、1960/61、1962/63、1976/77、1978/79、1985/86)。依据选出的重轻冰年的个例,分别进行合成分析。冬季戴维斯海冰为重冰年时期(图 4a),冰岛低压明显加深,最大降压中心位于格陵兰岛上,环绕北极的高纬地区以及欧洲东北部、亚洲大陆北部地区为降压区,在贝加尔湖南部及青藏高原地区有明显的降压中心。这表明冬季戴维斯海冰为重冰年时西伯利亚高压减弱。而在  $50^{\circ}\text{N}$  以南大西洋到里海附近以及北太平洋区、东亚东部为正距平区。在北大西洋中部、地中海附近、阿留申群岛存在正距平中心。亚洲大陆和西北太平洋的这种距平分布,特别是西伯利亚(负距平)和阿留申群岛(正距平)气压异常分布,必然使得东亚冬季风减弱。而冬季戴维斯海冰为轻冰年时期(图 4b),北半球海平面气压距平分布与图 4a 近乎完全相反,西伯利亚高压增强,阿留申低压加深,东亚冬季风必偏强。我们从冬季戴维斯海冰面积指数与同期海平面气压场相关系数分布(图略)中进一步证实了重轻冰年海平面气压场的这种距平相反分布特征。

由上分析可知,冬季戴维斯海冰为重、轻冰年时期,两者的气压距平呈相反分布,使得东亚冬季风异常也相反,即重(轻)冰年时期,西伯利亚高压偏弱(强),阿留申低压偏弱(强),东亚冬季风将偏弱(强)。

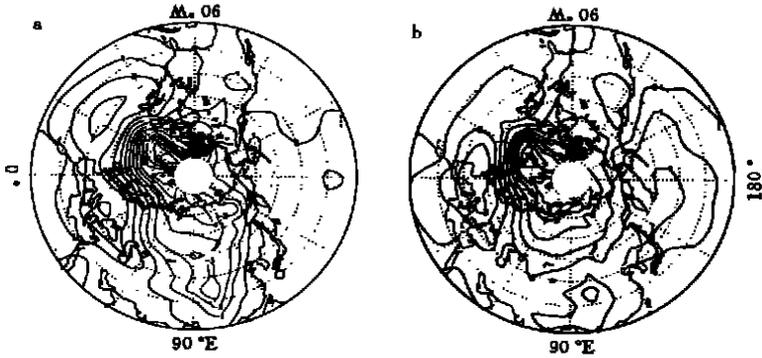


图4 冬季戴维斯海冰重冰年(a)和轻冰年(b)的海平面气压距平分布(单位: hPa)

Fig.4 Composite SLP anomalies from the winters of heavy (a) and light (b) sea ice over Davis Straits(units:hPa)

## 2.2 与500 hPa 高度场关系

图5是冬季戴维斯海冰面积指数与同期北半球500 hPa高度场的相关系数分布,可以看到,显著相关分布区在北美到西欧是典型的WA型(+ - +)分布,即美国东部为正相关区,加拿大到格陵兰的北极地区为负相关区,西欧为正相关区。欧亚大陆是EU型(+ - +)分布,即西欧是正相关,西亚和南亚为负相关区,贝加尔湖地区附近为正相关分布。说明冬季戴维斯若是重(轻)冰年,其附近为负(正)高度距平,美国东部及西欧是正(负)高度距平,西亚及南亚为负(正)高度距平,贝加尔湖地区及以东是正(负)高度距平。由此可以看出,冬季戴维斯海冰与同期500 hPa高度场相关分布中存在WA型遥相关和EU型遥相关,并通过它们来影响东亚冬季气候。



图5 冬季戴维斯海冰面积指数与同期500 hPa高度场相关系数分布(阴影区表示超过95%的统计检验)

Fig.5 The simultaneous correlation between 500 hPa height and sea ice area index of Davis Straits in winter (Shaded area indicates 95% significance level)

利用合成分析方法进一步分析冬季戴维斯海冰重、轻冰年同期500 hPa高度场距平分布。

冬季戴维斯海冰重冰年时期(图6a),加拿大北部、戴维斯海峡和格陵兰岛一带为负距平区,最大负距平中心在戴维斯海峡附近;美国东部及其以东洋面、西欧为正距平区,美国东部和西欧各有一个正距平中心。这样,在北美和大西洋地区冬季戴维斯海冰重冰年高度距平分布为WA型分布。亚洲大陆中亚地区存在负距平中心,贝加尔湖及其以东地区为一正距平中心。从而,欧亚大陆高度场距平分布为EU型(西欧(+)、中亚(-)、贝加尔湖及其以东地区(+))。冬季戴维斯海冰轻冰年时期(图6b),高度场距平分布与重冰年近乎完全相反。

为了进一步确证上述遥相关结构的存在,选取冬季戴维斯海冰与同期500 hPa高度场相关图上的5个相关系数最大的格点作为基点。5个基点位置分别为:1)130°E, 50°N; 2)60°E, 45°N; 3)10°E, 45°N; 4)50°W, 70°N; 5)70°W, 40°N。计算这5个基点与同期北半球500 hPa高度场的相关系数(图略),从中可以看出,5张基点相关图的分布形势和中心位置基

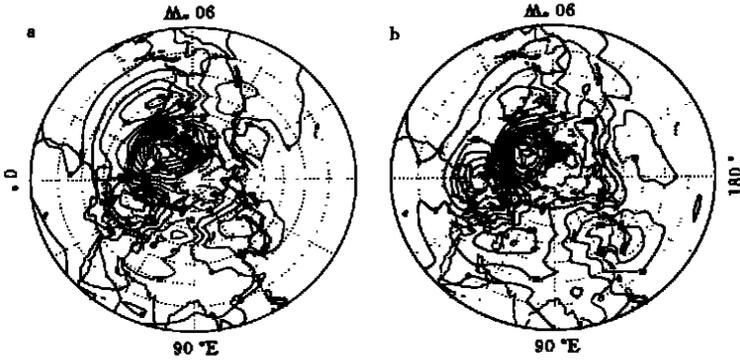


图 6 冬季戴维斯海冰(a)重冰年(b)轻冰年 500 hPa 高度场距平分布(单位:gpm)

Fig. 6 Composite height anomalies at 500 hPa from the winters of heavy(a) and light(b) sea ice over Davis Straits(units:gpm)

本重合一致, 所以可以认为图 5 是冬季戴维斯海冰激发的遥相关型。由此, 我们可以推测出冬季戴维斯海冰影响东亚冬季风的可能物理过程: 冬季戴维斯海冰偏多(少), 引起其上空的 $500\text{ hPa}$ 高度场偏低(高), 通过 WA 型遥相关波列使得西欧高度场偏高(低), 再通过 EU 型遥相关波列影响贝加尔湖及其以东地区的高度场偏高(低), 这样东亚大槽减弱(加强), 从而东亚冬季风偏弱(强)。

### 3 冬季戴维斯海冰异常对我国冬季气温的影响

通过以上分析, 我们可以看到冬季戴维斯海峡海冰面积变化对东亚冬季风有显著影响, 而东亚冬季风异常变化必然会影响我国冬季气温。冬季戴维斯重冰年时期(图 7a), 全国大部分地区增温, 特别是东北地区和西北新疆有高达  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上的正距平中心, 华北地区也有  $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上的正距平中心。而轻冰年时期(图 7b)温度距平分布则相反, 东北、西北新疆一带、华北及东部沿海一带有降温中心。说明重(轻)冰年, 全国大部分地区偏暖(冷), 特别是东北和新疆地区增温(降温)幅度较大。

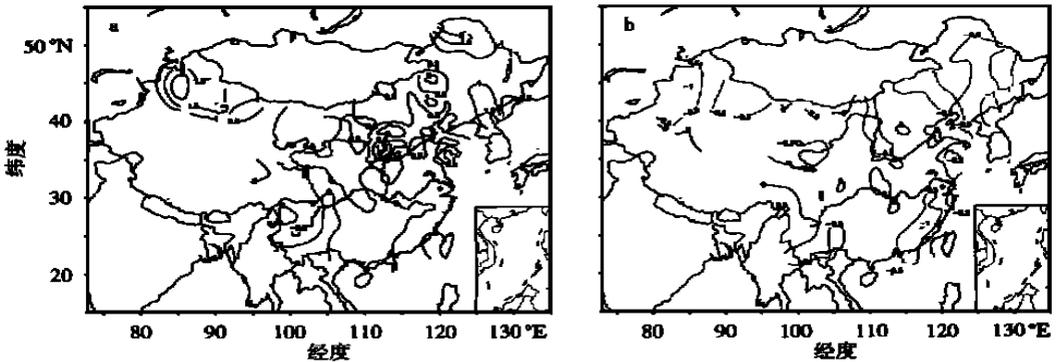


图 7 冬季戴维斯海冰重冰年(a)和轻冰年(b)中国冬季气温距平合成(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

Fig. 7 Composite winter air temperature anomalies over China from the winters of heavy(a) and light(b) sea ice over Davis Straits(units:  $^{\circ}\text{C}$ )

## 4 结 论

冬季北极附近戴维斯海冰区是影响东亚以及北半球气候变化的关键区之一, 其面积变化与大气 500 hPa 高度场的 WA 遥相关型、EU 遥相关型以及东亚冬季风强弱之间存在密切的关系。冬季该区海冰偏多, 则 500 hPa 高度场在北大西洋—戴维斯海峡—西欧一带为 WA 型遥相关型(美国东部高度场偏高, 北美东北部到格陵兰一带高度场偏低), 在欧亚大陆出现 EU 型遥相关型(贝加尔湖及其以东和西欧高度场偏高), 西伯利亚高压减弱, 致使东亚冬季风偏弱, 我国东北、西北和华北地区偏暖; 而冬季该区海冰偏少时, 情况正好相反。

本文仅得出一些初步结果, 其物理过程和动力学特征尚需进一步研究, 同时需要数值试验验证冬季戴维斯海冰异常对大气环流和气候的影响。

## 参考文献:

- [1] Clara Deser, Walsh J E, Timlin M S. Arctic sea ice variability in the context of recent atmospheric circulation trends [J]. American Meteorological Society, 2000, 13(8): 617 ~ 633
- [2] Peng Gongbing, Domroes M. Connections of the west Pacific subtropical high and some hydro climatic regimes in China with antarctic ice-snow indices [J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 1987, 37(1): 61 ~ 71
- [3] 谢 倩, 黄土松. 冬季赤道中太平洋海温和北极海冰异常对大气环流影响的研究 [J]. 气象科学, 1990, 10(4): 325 ~ 328
- [4] 彭公炳, 钱步东, 祁立新. 极地海冰变化与全球大气环流的联系 [A]. 见: 周秀骥, 陆龙骅编. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究 [C]. 北京: 气象出版社, 1996. 240 ~ 246
- [5] 彭公炳, 钱步东, 祁立新. 南极海冰对北半球大气环流的可能影响 [A]. 见: 周秀骥, 陆龙骅编. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究 [C]. 北京: 气象出版社, 1996. 247 ~ 254
- [6] 彭公炳. 气候与冰雪覆盖 [M]. 北京: 气象出版社, 1992
- [7] 方之芳. 北半球副热带高压与极地海冰的相互作用 [J]. 科学通报, 1986, 31(4): 286 ~ 289
- [8] Herman G F, Johnson W S. The sensitivity of the general circulation to Arctic sea ice boundaries: A numerical experiment [J]. Mon Wea Rev, 1978, 106(12): 1649 ~ 1664
- [9] 方之芳, 谭有邦, 隋学海. 夏季北极海冰激发的 500 hPa 遥相关型 [J]. 大气科学, 1991, 15(1): 53 ~ 60
- [10] 王春红, 蒋全荣, 余志豪. 北极 区海冰面积低频变化对北半球冬季大气环流异常的作用 [J]. 大气科学, 1997, 21(1): 123 ~ 126
- [11] 朱乾根, 田利庆. 北极海冰异常空间分布与大气遥相关型及中国气温的关系 [A]. 见: 中国科学院大气物理研究所编. 东亚季风和中国暴雨 [C]. 北京: 气象出版社, 1998. 201 ~ 209
- [12] 赵玉春. 海冰的时空演变及其与东亚冬夏季风的联系: [学位论文] [D]. 南京: 南京气象学院大气科学系, 1999
- [13] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 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, 1999, 23(3): 267 ~ 275
- [14] 杨修群, 谢 倩, 黄土松. 北极冰异常对亚洲夏季风影响的数值模拟 [J]. 海洋学报, 1994, 16(5): 34 ~ 40
- [15] 崔晓鹏, 孙照渤. 东亚冬季风强度指数及其变化的分析 [J]. 南京气象学院学报, 1999, 22(3): 321 ~ 325
- [16] 丁一汇. 东亚冬季风的统计研究 [J]. 热带气象, 1990, 6(2): 119 ~ 127

# RELATIONSHIP BETWEEN INTERANNUAL VARIATION OF DAVIS STRAITS WINTER SEA ICE EXTENT AND EAST ASIA CLIMATE

Zeng Gang<sup>1</sup>, Sun Zhaobo<sup>2</sup>, Min Jinzhong<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster and Environmental Variation;

2. Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044)

**Abstract:** Based on Arctic  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  sea ice area index, 500 hPa height, SLP and China 160 station temperature data, the relationship between the interannual variation of Davis Straits sea ice and atmospheric circulation and east Asia climate is discussed by statistical methods. Results show that the interannual variation of sea ice extent over the Davis Straits is closely associated with that of the WA and EU teleconnection patterns and the winter monsoon intensity over East Asia. When the heavy sea ice prevails in the key region, the WA teleconnection pattern is found at 500 hPa over the North Atlantic — Davis Straits — West Europe with positive 500 hPa height anomalies over east America, and negative over the NE of America — Greenland, and the EU teleconnection pattern is found over the Europe—Asia with positive 500 hPa height anomalies over the Baikal, the East Baikal, and West Europe and winter Siberia High is weakened. Therefore, the winter monsoon over east Asia will be weakened and the temperature over NE, NW and North of China will be warmed. When light sea ice occurs in the region, the results will be opposite.

**Key words:** sea ice, east Asia winter monsoon, interannual variation, teleconnection