

# 北极海冰与 ENSO 事件在准四年时间尺度上的可能联系\*

朱艳峰<sup>1)</sup> \*\* 陈隆勋<sup>2)</sup>

1) (中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

2) (中国气象科学研究院, 北京 100081)

**摘 要** 分析了北极海冰的变化规律及其与 ENSO 循环在准四年时间尺度上的可能联系。结果表明 (59.5~179.5°E, 60.5~89.5°N) 的高纬海域范围内 (包括喀拉海、拉普捷夫海及东西伯利亚海, 简称为 A 区) 的北极海冰变化以 9 月份变率最大并具有准四年周期, 在这个周期段上 A 区极冰与 Niño 3 区的海温变化有明显的位相差。当 Niño 3 区 SST 滞后海冰约 16 个月时, 两者达到最大负相关。A 区的 9 月海冰面积指数和 SST 的时滞相关系数分布表明, 次年 4 月开始在赤道东太平洋区域出现一显著负相关区, 次两年的 2 月负相关达到最大, 之后减弱消失。这表明 9 月 A 区海冰面积偏小, 则次年春季以后出现 El Niño 现象。海冰与环流相关分析表明, 其相互影响机制可能是由于少冰年的弱冷源效应, 使得该地区上空气旋环流发展, 并通过中高纬相互作用促进北太平洋西北部及东亚沿岸距气旋式环流的发展, 有利于赤道异常西风形成从而触发和维持 El Niño 事件的产生和发展。

**关键词:** 北极海冰; 准四年振荡; 厄尔尼诺; 海—冰—气相互作用

## 1 引言

近年来, 许多学者都指出气候异常除了外在异常的强迫作用外, 更主要的是气候系统内部各要素之间的相互作用。在这方面, 除了人类活动造成环境化学成分和生态异常外, 作为自然因子的陆面、大气和海洋的相互作用十分重要。目前, 关于海气相互作用的研究很多, 并认为 ENSO 形成的主要原因是海气相互作用的结果, 但也有许多与 ENSO 相联系的现象不能从海气相互作用的过程来解释。这主要是影响海洋的大气运动, 除了受海洋的影响外, 还受陆面活动的很大影响。陆面过程如何通过大气影响海洋, 以及海洋如何通过大气影响陆面过程, 应该是一个重要的研究课题。一些研究指出陆气过程可能在海—陆—气相互作用中起重要作用<sup>[1~3]</sup>。

极地海冰在海—陆—气相互作用中的重要性已愈来愈受到人们的重视。黄土松等<sup>[4]</sup>和倪允琪等<sup>[5]</sup>指出年际尺度的北极海冰异常对大气的影响可以产生与赤道太平洋

2001-10-31 收到, 2002-03-07 收到再改稿

\* 国家自然科学基金资助项目 49775270 和中国科学院知识创新工程重要方向项目 2KXC2-SW-210 共同资助

\*\* 现在通讯地址: 中国气象局国家气候中心, 北京 100081.

海温同等重要的作用。陈隆勋等<sup>[6]</sup>有关海冰的模拟试验表明, 极冰范围的扩大加强了高纬度地区外部强迫作用, 使低层气温降低, 并导致局地 and 全球气候的一系列变化。极冰影响低纬大气的途径和过程也是十分重要的问题, 在这方面, Yasunari<sup>[7]</sup>指出西伯利亚冰雪覆盖可能影响中亚气压, 然后影响赤道环流, 从而影响印度洋和太平洋赤道海温。

近来的一些研究成果表明极冰变化与季风及 ENSO 之间存在联系<sup>[8,9]</sup>。Gloersen<sup>[10]</sup>分析指出海冰面积变化具有准两年和准四年的变化周期, 这与 ENSO 事件的周期有较好的一致性。Mysak 等<sup>[11]</sup>研究表明在北大西洋涛动 (NAO) 和 ENSO 事件均很强的 1972/1973、1982/1983 和 1991/1992 年期间, 哈得孙湾及巴芬湾—拉布拉多海域的冰盖面积比常年大。武炳义等<sup>[12]</sup>则讨论了冬季格陵兰、喀拉海和巴伦支海海冰年际变化与 ENSO 事件的关系, 认为当海冰面积变化超前大气变化 3 年时, 可以诱发大气高度场产生 PNA 型异常, ENSO 事件都发生在海冰面积变化速度为极值点的冬季。他们还指出冬季该区域海冰面积变化可通过影响冷空气活动, 引起副热带高压位置的变化, 从而导致海温的异常<sup>[13]</sup>。

上述的研究成果说明, 北极海冰和热带海洋之间存在相互联系, 但北极冰与 ENSO 循环在准四年尺度上的关系还有待于进一步研究。因此, 本文将对北极海冰的变化规律作进一步分析, 并试图寻找其准四年变化的信号, 以期能与 ENSO 的准四年循环建立某种联系。首先我们分析了北极海冰时空分布的基本特征, 其次分析北极海冰变化与 SST 变化之间的联系及北极海冰变化与大气环流的关系, 讨论海—冰—气三者之间循环的位相关系及其可能的联系途径。

## 2 资料及方法介绍

本文的研究时段是从 1961~1994 年, 使用的资料包括:

- (1) 英国哈德莱气候中心提供的逐月的  $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$  的 GISST 北半球海冰密集度资料 (Global Sea-Ice and Sea Surface Temperature)。
- (2) SST 资料 ( $7.5^{\circ} \times 4.5^{\circ}$ ) 为夏威夷大学整理, 王斌教授提供。
- (3) NCEP/NCAR 的月平均再分析的高度场和风场资料。
- (4) 国家气象中心提供的南方涛动指数。

在本文中我们将某一区域海冰面积总数定义为该区域的海冰面积指数。可由以下公式计算得到单位面积上的海冰面积指数:

$$I_a = R^2 \times \cos\varphi \times \Delta\varphi \times \Delta\lambda \times (\pi/180)^2 \times \rho,$$

其中,  $I_a$  为单位面积上的海冰面积指数,  $R=6370$  km,  $\varphi$  为纬度,  $\rho$  为单位面积的海冰密集度大小。

奇异谱分析是近年来被广泛应用的一种统计分析工具, SSA 的最重要应用是重建成分 (reconstructed components, 简称 RC), 主要用于气候变率分析及预报中提取周期信号<sup>[14]</sup>。对于一个  $N$  维的时间序列  $x$ , 当取窗口长度为  $M$  时, 它的第  $k$  个分量的重建序列  $y$ , 可以根据以下公式重建:

$$y_i = (R_A x)_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^m \sum_{k \in A} a_{i-j}^k E_j^k, \quad \text{当 } M \leq i \leq N - M + 1,$$

$$y_i = (R_A x)_i = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i \sum_{k \in A} a_{i-j}^k E_j^k, \quad \text{当 } 1 \leq i \leq M - 1,$$

$$y_i = (R_A x)_i = \frac{1}{N - i + 1} \sum_{j=i-n+m}^m \sum_{k \in A} a_{i-j}^k E_j^k, \quad \text{当 } N - M + 2 \leq i \leq N,$$

其中,  $E^k$  是原序列  $x$  的滞后自协方差矩阵的特征向量,  $a_i^k$  是  $E^k$  表示的时间型在原序列的  $x_{i+1}, x_{i+2}, \dots, x_{i+M}$  时段的权重。

### 3 北极海冰时空分布的基本特征分析

北极海冰具有显著的季节和年际变化,从多年的平均变化情况来看,3月份的海冰面积最大,9月份最小(图略),其中秋季冰面的增长率大于春末夏初的下降率。这种季节变化特点主要是由于太阳辐射特性及海洋具有较大的热惯性的作用结果。为了考虑各月极冰变化程度的大小,我们分析了逐月冰面积指数变化的方差和变差系数,由图1可看出9月份的方差和变差系数最大,这表明夏秋之交,海冰面积的年际变化最剧烈。

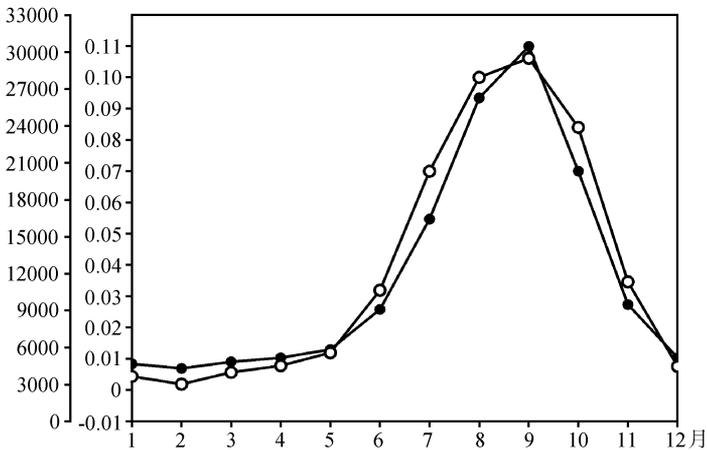


图1 各月冰面积变化的方差和变差系数

纵坐标为各月冰面积指数变化的均方差(实心点)和变差系数(空心点)

在气候系统中,海冰、海表温度及大气三者之间的相互作用十分复杂。海冰的变化主要是由于海冰的凝结、融化和移动引起的,其中海冰的凝结、融化与海温、气温等有关,而海冰的移动则与大气环流和洋流相联系。由于海陆配置的不同,不同区域的极冰变化规律及其冰—气、冰—海之间相互作用的过程也不尽相同。以往已有涉及这方面的研究内容<sup>[15]</sup>。

武炳义等<sup>[12,13]</sup>指出,冬季格棱兰、喀拉海和巴伦支海海冰是影响东亚及其北半球气候变化的关键区之一,并可能通过诱发高度场产生PNA型异常,从而与ENSO事件相联系,但他们没有指出二者在准四年周期上的联系。Gloersen<sup>[10]</sup>利用1978~1987年

的 SMMR (scanning multichannel microwave radiometer) 资料分析指出海冰面积变化具有准两年和准四年的变化周期, 但不同的区域的极冰周期特征有较大差异。我们希望用更长时段的海冰资料分析其周期变化特征及其与 ENSO 事件在准四年循环上的可能联系。首先在对整个北半球海冰进行分析的基础上, 考虑了海陆分布的特点, 通过对北极海冰各区的周期分析, 最后选定了 (59.5~179.5°E, 60.5~89.5°N) 的高纬海域范围内 (包括喀拉海、拉普捷夫海及东西伯利亚海, 以下简称 A 区) 的海冰变化进行讨论。

在分析 A 区极冰面积指数的周期变化特征之前, 为了进一步消除季节变化的影响, 对海冰面积指数进行了 13 点平滑处理。功率谱分析表明 A 区的极冰面积指数序列在 50 个月附近存在一谱峰, 并通过 99% 的信度检验 (序列长度为 408, 滞后长度取 100)。此外, 还对北极 A 区的极冰面积指数序列进行了奇异谱分析。从奇异谱分析结果来看, 第一分量代表了趋势项, 它的第二、三分量对应着准四年振荡 (其方差贡献分别为 15.6% 和 14.7%)。图 2 为第二、三分量的重建曲线。上述分析表明该区域的海冰变化具有较显著的准四年周期。

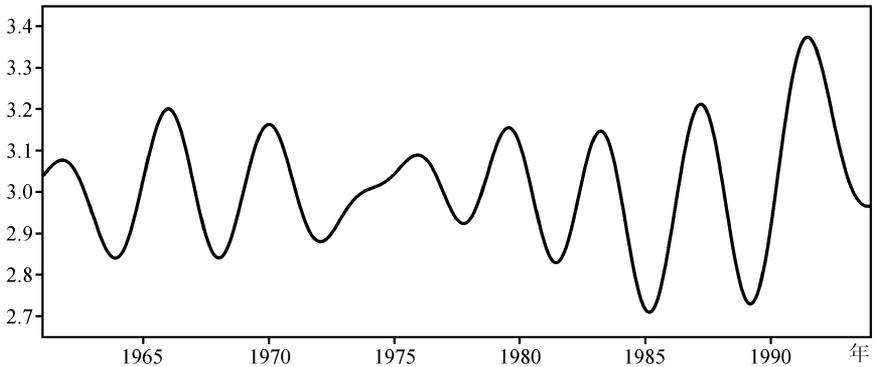


图 2 A 区北极海冰面积指数的奇异谱分析的第二、三分量的重建

与整个北半球海冰面积变化特征相似, A 区极冰面积变化也表现为 3 月冰面积最大, 9 月份最小, 其中从 10 月份到第二年 3 月是海冰面积增长期, 从 4 月开始到 9 月份是海冰面积下降期。定义当年 3 月与 9 月的冰面积差为当年的融冰量指数, 当年 3 月与前一年 9 月的冰面积差为当年的结冰量指数。分别计算了融冰量及结冰量与各月的冰面积之间的相关。表 1 列出了当年融冰面积与当年逐月的冰面积变化之间的相关。

表 1 当年融冰面积与当年 3~9 月的冰面积变化之间的相关

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
融冰			0.12	0.12	-0.20	-0.44	-0.50	-0.80	-0.90			

从表 1 来看, 一年之中融冰面积的大小与 9 月份冰面积的大小有最大负相关, 即 9 月的冰面积越大则该年的融冰面积越小, 反之亦然。由图 1 可知, 冬季冰面积的变化小, 而夏秋之交尤其是 9 月, 极冰的冰面积变化大, 因此, 一年的融冰面积大小就几乎决定于 9 月份的冰面积大小。

表 2 列出了当年结冰面积与前一年及当年逐月的冰面积变化之间的相关。从表 2

可以看出, 结冰面积的大小与上一年 9 月份冰面积的大小有最大的相关。综上所述, 9 月份的冰面积异常状况可以表示该年的 A 区冰盖面积大小的异常情况。对 A 区极冰面积变化进行滞后相关分析, 滞后自相关函数变化说明极冰的异常变化可持续半年左右。

表 2 当年结冰面积与前一年 9 月至当年 3 月的冰面积变化之间的相关

月	9	10	11	12		1	2	3
前一年	-0.90	-0.25	0.20	-0.05	当年	0.27	0.31	0.11

#### 4 北极海冰与 Niño 3 区 SST 变化的联系分析

从前面的分析中可知北极 A 区的海冰面积指数存在准四年的周期变化。我们知道赤道东太平洋 SST 变化的中心频率是准四年左右, 因此很自然就想知道北极 A 区的海冰面积变化与赤道东太平洋海温的变化是否有联系, 以及它们之间的关系又是怎样。

首先采用了交叉谱分析技术对北极 A 区的海冰面积指数与 Niño 3 区的 SST 指数进行分析。交叉谱是一个复数谱, 它可以写成以下振幅和位相的形式  $S(\omega) = A(\omega)e^{-i\theta(\omega)}$ , 其中  $A(\omega)$  称为振幅谱,  $\theta(\omega)$  为位相差谱。对于两个长度为 408 个月的时间序列, 取最大滞后长度  $m=90$  进行分析, 结果表明, 两者相互作用的振幅谱的谱峰位于 45 个月左右, 在这个周期段上它们的凝聚谱  $P=0.73$ , 该值远大于 0.39 (在  $F$  检验中,  $P_\alpha=0.39$  为通过  $\alpha=0.05$  信度的临界值), 说明这两个序列在准四年的周期段上有显著的相关。其后, 又对北极 A 区的海冰面积指数与南方涛动指数进行同样分析, 结果也表明它们在准四年的周期段上显著相关。

上述分析指出 A 区极冰面积指数和 Niño 3 指数在准四年的循环周期上有显著相关, 那它们之间具体的相关分布如何呢? 将 A 区极冰面积指数和 Niño 3 指数做超前、滞后分析 (对 340 个样本而言, 图 3) 可以发现 SSTA 超前于海冰大致 6 个月时达到最大正相关 (+0.10), 滞前海冰约 16 个月时达到最大负相关 (-0.34), 它们之间的正负相关极不对称, 可以说海冰和 SSTA 之间的关系主要体现在负相关上。

上面对海冰与 SSTA 总体的相关特性进行了分析, 但具体到每个月份, 海冰和

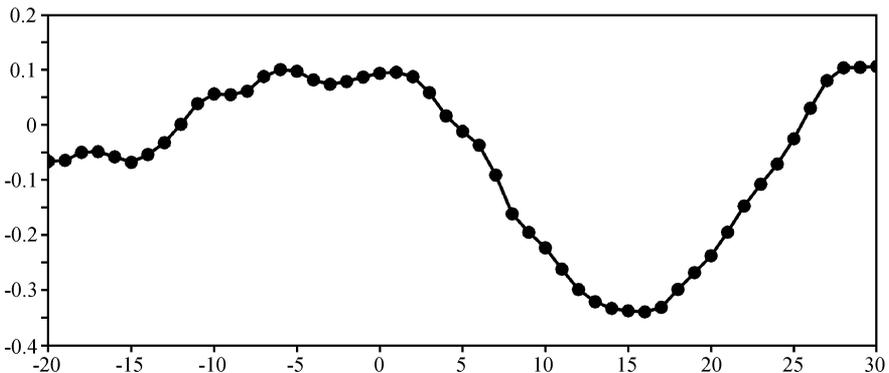


图 3 A 区极冰面积指数和 Niño 3 指数做超前、滞后相关图

20 表示海冰超前 Niño 3 指数 20 个月, -20 表示海冰滞后 Niño 3 指数 20 个月

SSTA 之间的相关是不同的, 那么它们之间是否存在相关作用的关键月份? 为此, 应用交叉相关函数方法, 求算了逐月 A 区极冰面积与 Niño 3 区 SST 指数之间的时滞相关矩阵。将相关系数  $R(t, \tau)$  表示为  $t$  和  $\tau$  的函数,  $t$  是 A 区极冰面积作用月份,  $\tau$  是 Niño 3 区 SST 指数作用月份, 列出 A 区极冰面积与 Niño 3 区 SST 指数的时滞相关矩阵  $R$ 。结果表明 9 月的极冰面积指数与 SSTA 有最好的相关, 表 3 列出了它们之间的时滞相关矩阵  $R$ , 第 1 列 “-2” 表示为当年 9 月极冰与前两年的逐月 SSTA 的相关系数, “0” 则表示当年 9 月极冰与同年的逐月 SSTA 的相关系数。当  $|R| = 0.35$  时, 通过  $\alpha = 0.05$  的相关检验; 当  $|R| = 0.42$  时, 通过  $\alpha = 0.01$  的相关检验。

表 3 A 区极冰面积与 Niño 3 区 SST 指数的时滞相关 (当  $|R| \geq 0.35$  时加下划线)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-2	-0.28	-0.32	<u>-0.41</u>	-0.31	-0.04	0.05	0.09	0.06	0.03	0.16	0.15	0.11
-1	0.14	-0.01	0.01	-0.09	0.09	0.08	0.16	0.09	0.07	0.11	0.14	0.11
0	0.13	0.14	0.10	0.05	0.08	0.05	0.01	0.01	0.05	0.04	0.06	0.03
1	-0.09	-0.26	-0.34	<u>-0.43</u>	<u>-0.45</u>	<u>-0.46</u>	<u>-0.47</u>	<u>-0.45</u>	<u>-0.48</u>	<u>-0.47</u>	<u>-0.46</u>	<u>-0.49</u>
2	<u>-0.50</u>	<u>-0.54</u>	<u>-0.54</u>	<u>-0.46</u>	-0.29	-0.05	0.09	0.17	0.15	0.19	0.25	0.28

从上述表格我们可以发现 9 月 A 区的冰面积指数与次年 4 月开始直到后两年 4 月份的 Niño 3 区的 SST 指数有显著相关, 其相关系数的峰值出现在次年到次两年的冬春季, 最大相关系数达 -0.55。对于大多数的 El Niño 事件而言, 其 SST 增暖大多从春季开始, 冬季时达到最强。因此从相关分析的结果来看, 9 月份冰量小的第二年的春夏开始出现 El Niño 事件, 并在其后的冬春季达到成熟位相。对照图 4, 9 月份冰面积的谷值年份, 如 1968、1971、1985、1990 年的第二年均发生 El Niño 事件。

为了进一步了解 9 月极冰面积指数变化与海温场之间的相关演变, 我们又分析了海温场从超前两年到滞后两年之间, 与 9 月极冰面积指数的逐月相关分布场。图 5 为 9 月极冰面积指数变化与次年 5 月到次两年 7 月的海温场之间的相关演变图, 每隔两个月画一幅图, 其中图 5a 是指 9 月极冰面积指数变化与次年 5 月海温场的相关, 图 5g 则指 9 月极冰面积指数变化与次两年 5 月海温场之间的相关, 其余依此类推。图中阴影区为  $|R| \geq 0.35$  的区域 (画图时将  $R \times 100$ ), 因为当  $|R| = 0.35$  时, 通过  $\alpha = 0.05$

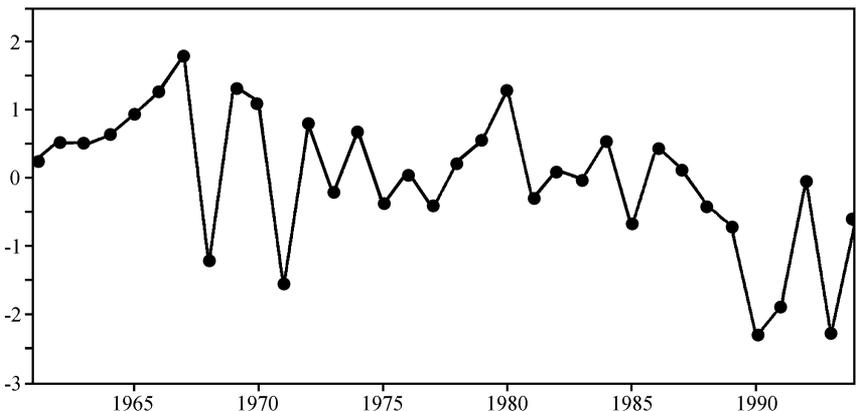


图 4 9 月 A 区冰面积指数标准化距平变化曲线, 纵坐标为 9 月 A 区冰面积指数标准化距平值

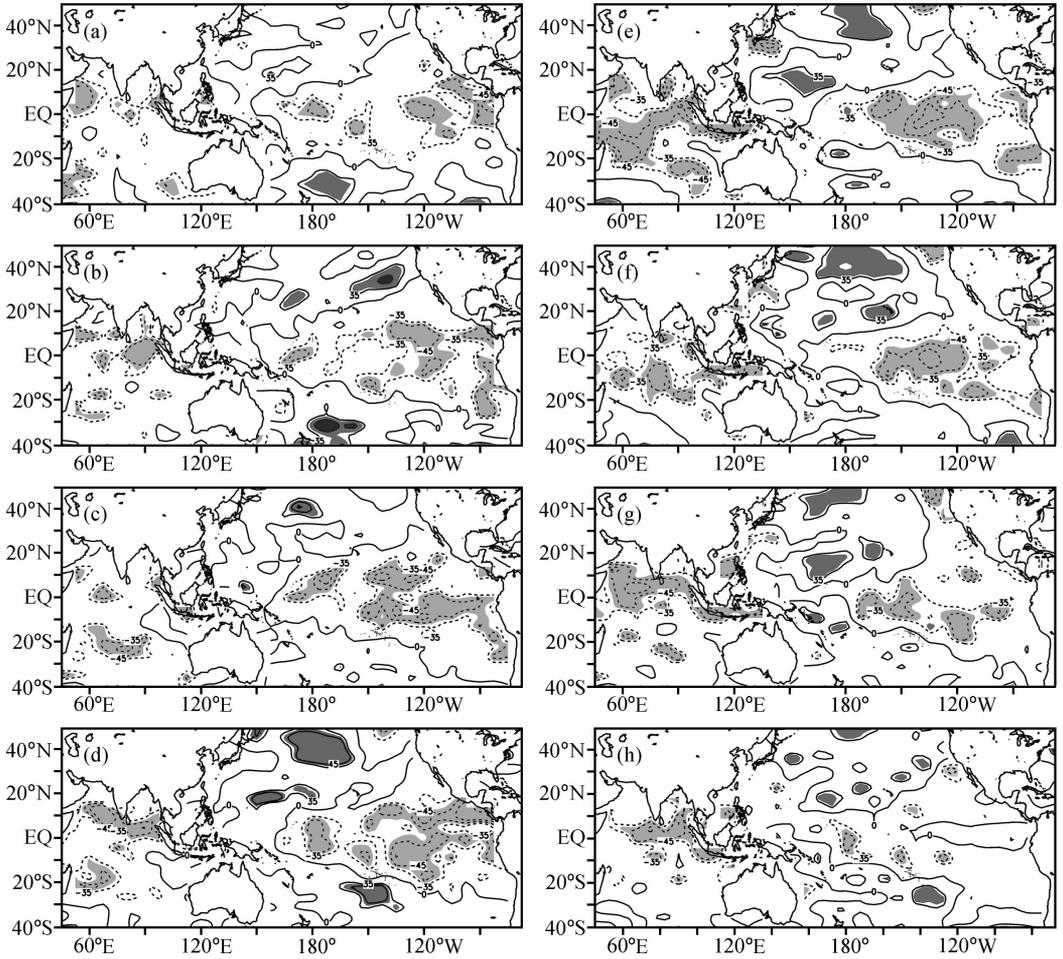


图5 北极A区的9月海冰面积指数与次年5月到次年7月的海温场的超前滞后相关演变图

(a) 次年5月; (b) 次年7月; (c) 次年9月; (d) 次年11月; (e) 之后两年1月;  
(f) 之后两年3月; (g) 之后两年5月; (h) 之后两年7月

的相关检验, 所以当  $|R| \geq 0.35$  即可认为它们之间相关显著。从图5中可以发现从次年5月开始赤道东太平洋开始出现一显著负相关区, 赤道中太平洋也出现显著负相关, 此后这两个相关区域不断扩大, 其中东太平洋的相关区域向西扩展, 而中太平洋的相关区则略向东移动, 次年1月时这两个区域合并, 整个赤道中东太平洋为显著负相关区。次年5月以后, 该相关区迅速向南衰退。

A区的海冰被亚欧大陆包围, 它与太平洋海温不能直接相互影响, 它们之间相互联系的可能途径是通过高低纬大气之间相互作用来实现, 因此以下将分析A区海冰变化与大气环流之间的联系。

## 5 A区北极海冰与大气环流变化的联系分析

在上一节中我们主要分析了北极A区海冰变化与Niño3区海温之间的相关关系,

现在则主要分析 A 区极冰变化与气温、高度场及风场之间的联系。

从 1000 hPa 的温度场与 9 月极冰面积指数超前滞后的逐月相关分布可知 (图 6), 9 月份的海冰面积变化与前期 5~7 月该地区上空 1000 hPa 的气温有显著的负相关 (见图 6 中 b、c), 也就是说该地区前期温度越高, 9 月份 A 区海冰面积越小。由前两节分析可知, 9 月是海冰面积变化最为剧烈的一个月, 它的面积大小不仅可以表示该地区夏、秋季节的冰覆盖的大小, 而且还影响来年春季的冰覆盖面积。冰覆盖面积越大,

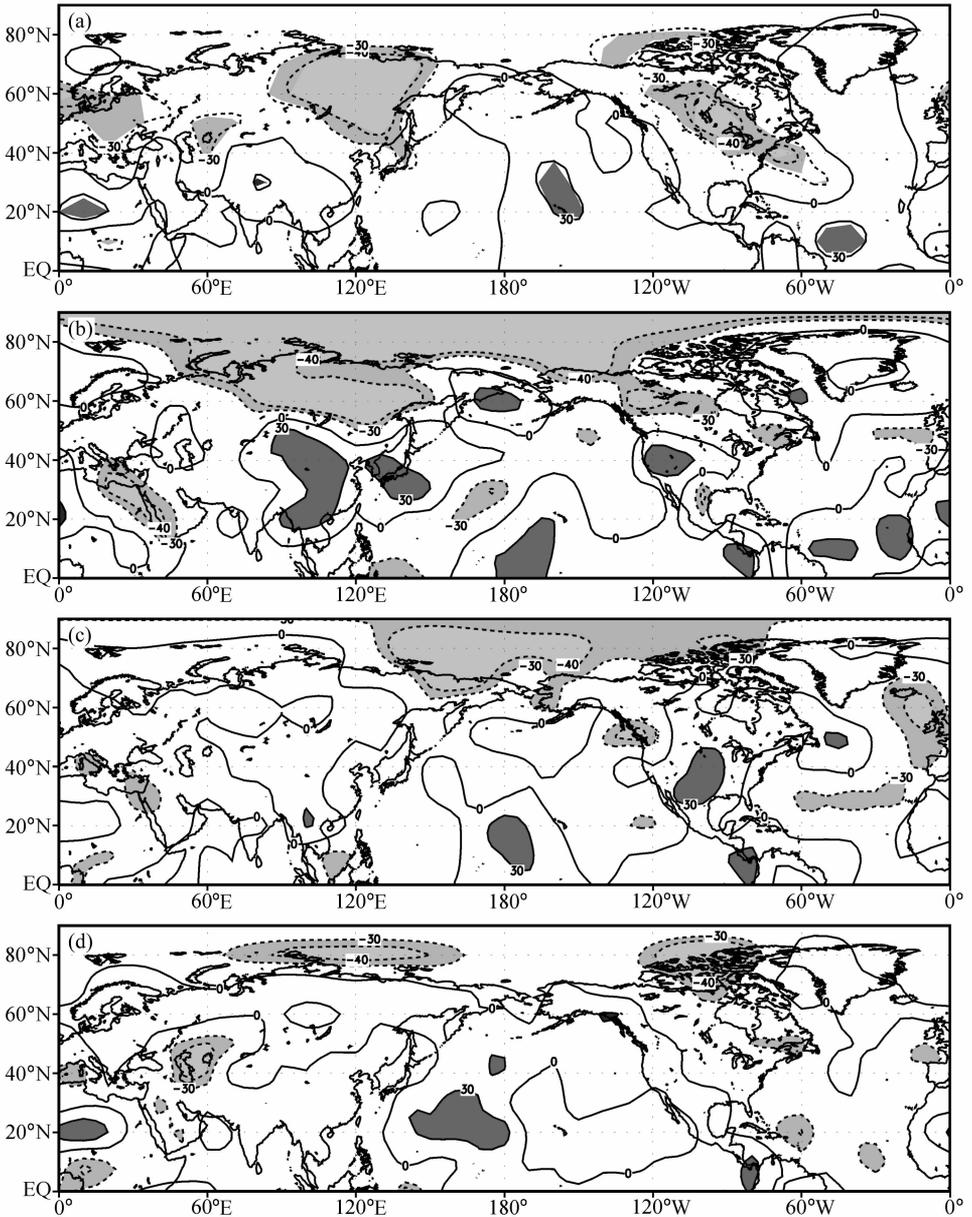


图 6 9 月极冰面积指数与同期及前期 1000 hPa 的温度场的相关分布

(a) 当年 3 月; (b) 当年 5 月; (c) 当年 7 月; (d) 当年 9 月

说明该地区的地表冷源越强,相应也会影响到大气环流的演变。根据图 4,选取 1968、1971、1977、1985、1990 共 5 个 9 月冰面积最小的谷值年,及 1966、1967、1969、1970、1980 共 5 个 9 月份冰面积最大的峰值年,分别进行 850 hPa 流场的合成分析(图 7、图 8)。

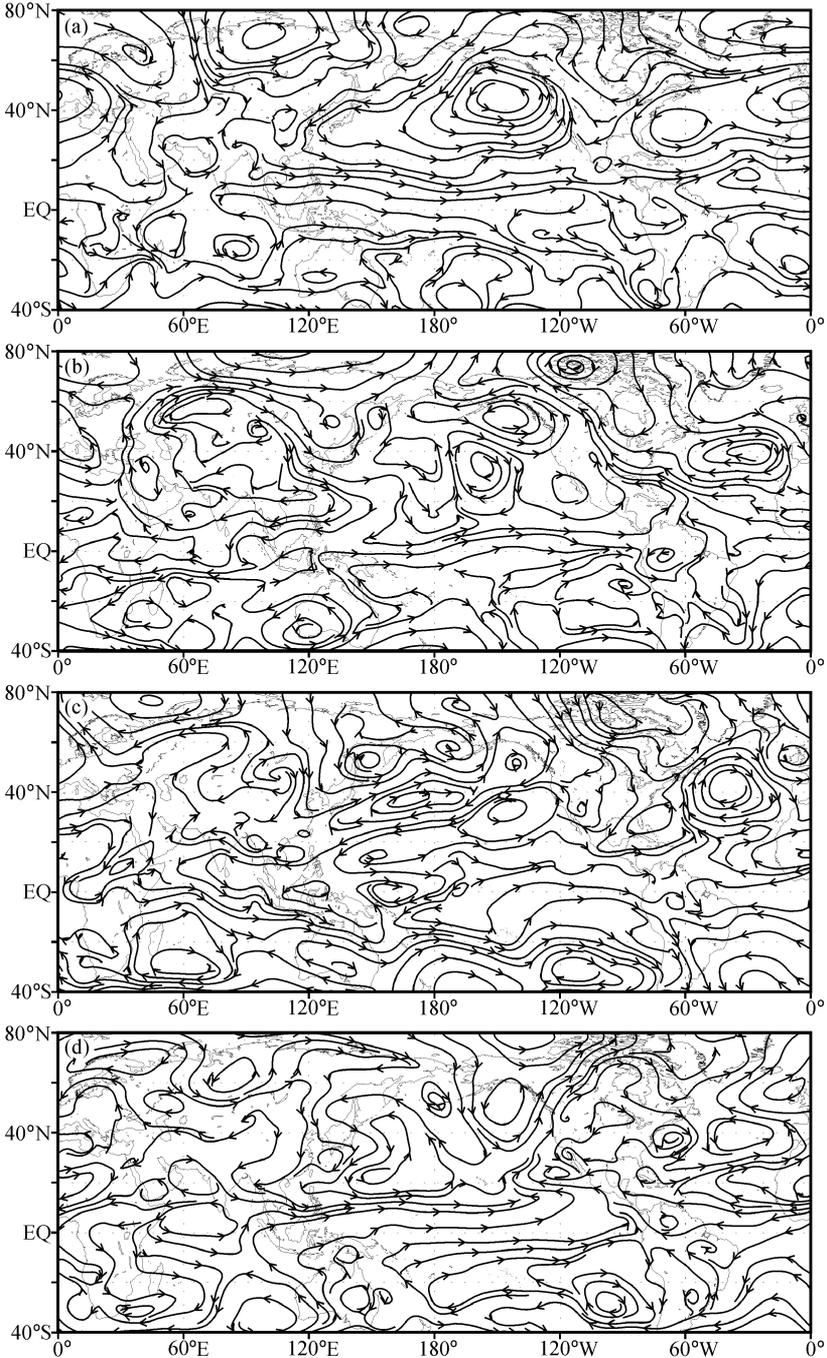


图 7 少冰年的次年的 850 hPa 的距平流场合成图

(a) 次年 2 月; (b) 次年 4 月; (c) 次年 6 月; (d) 次年 8 月

图 7 为 9 月少冰年的次年 850 hPa 的距平流场合成图。由图 7 可见, 在少冰年的次年 2 月北极 A 区上空有一气旋性距平环流, 在阿拉斯加湾亦有一气旋性距平环流 (图 7a)。这一阶段, 东亚沿岸为异常北风控制, 表明冬春季该地区冷空气活动频繁, 这对 El Niño 事件有触发作用<sup>[16]</sup>。4 月开始, 原位于 A 区上空的气旋性距平环流逐渐向东南方向移动, 从冬春季直到夏季期间亚洲大陆的东部均为异常北风控制, 这个异常北风

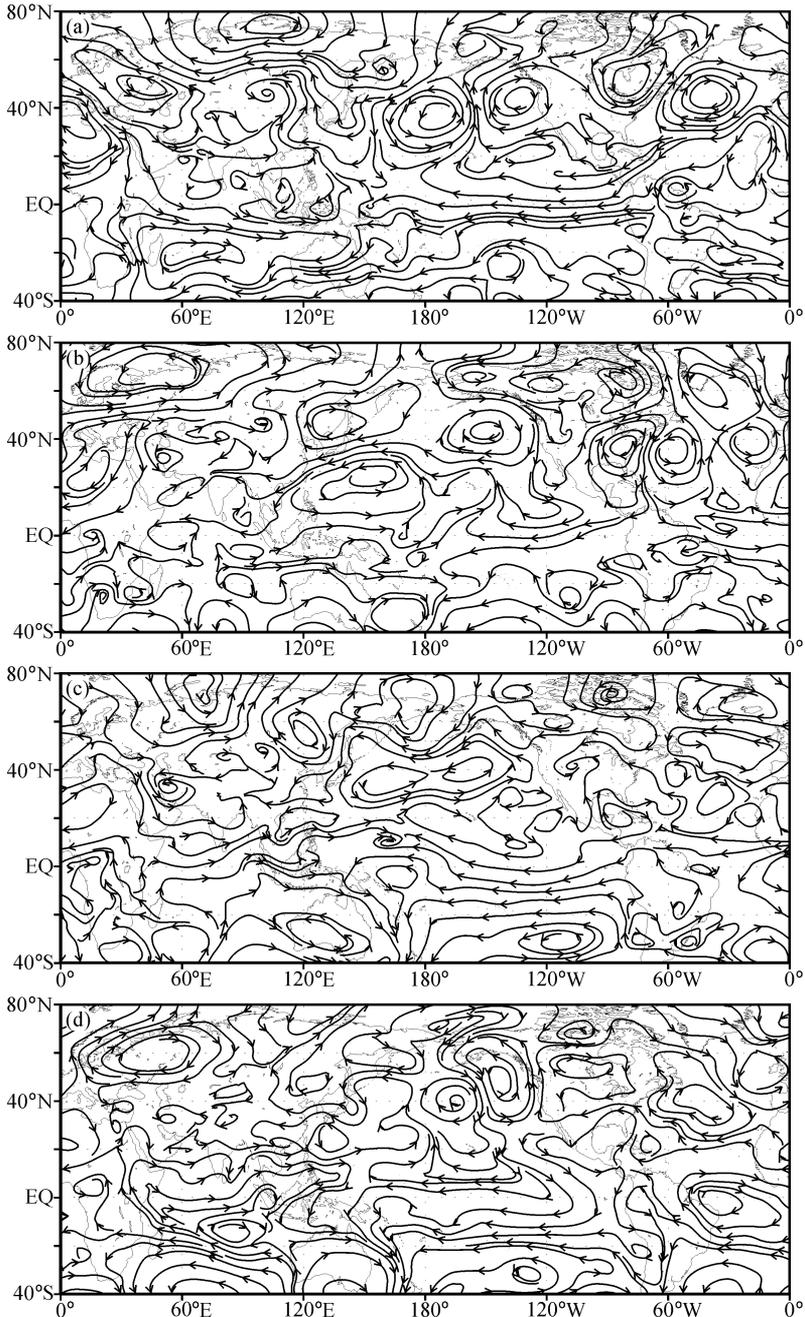


图 8 多冰年的次年的 850 hPa 的距平流场合成图, 其余同图 7

与来自南半球的异常南风在赤道辐合,加强了该地区的西风异常并有利于西风异常向东传播,从而有利于 El Niño 事件的发生、发展(图 7b~d)。图 8 是多冰年的次年的 850 hPa 的距平流场合成图。与少冰年相反,在多冰年的次年 2 月北极 A 区上空有一反气旋性距平环流,在阿拉斯加湾亦有一反气旋性距平环流(图 8a),这一时期,东亚沿岸为异常南风控制,表明东亚冬季风偏弱。从 4 月开始原位于 A 区上空的反气旋性距平环流逐渐向东南方向移动,与图 7 相反,赤道太平洋地区为异常东风控制(图 8b~d),促使赤道东太平洋海温降低。

从上述分析,可将 A 区极冰变化与大气环流、赤道东太平洋的海温变化的可能联系总结如下:当 A 区 9 月海冰面积偏小时,由于海冰异常可持续半年左右,在该年冬季及次年春季 A 区的海冰也持续偏少,下垫面的冷源偏弱,使得北极 A 区上空有一距平气旋环流,在此期间亚洲大陆的东部为异常北风,它与来自南半球的异常南风在赤道西太平洋地区辐合,加强该地区的西风异常并有利于西风异常向东传播,从而引起赤道东太平洋海温的升高。在 9 月多冰年,情况则反之,在 A 区上空是反气旋性距平环流,亚洲大陆的东部为异常南风,这种环流型可能有利于赤道西太平洋东风异常的发展,促使赤道东太平洋海温降低。

通过分析,给出了北极海冰与 ENSO 事件在准四年时间尺度上的可能联系。同时,我们也要注意,ENSO 是一个复杂的现象,它不仅是海—陆—气相互作用的结果,也是南北半球相互作用的结果。

## 6 小结

本文分析了北半球极冰的变化特征及其与海温和大气环流之间的联系,主要结论如下:

(1) 北极 A 区的海冰(59.5~179.5°E, 60.5~89.5°N 的高纬海域范围内,包括喀拉海、拉普捷夫海及东西伯利亚海)变化特点为 3 月份冰面积最大,9 月份冰面积最小,在一年之中 8、9 月冰的变率最大。9 月份冰面积的异常状况可以很好地表示该地区海冰面积变化的年异常。

(2) A 区海冰和 Niño 3 区 SST 指数均有较明显的准四年振荡,并且在该周期上有明显的交叉相关。

(3) A 区海冰面积指数与 Niño 3 区 SST 指数的超前滞后相关分析表明,两者相互作用的正负相关并不对称,其中 SST 滞后海冰约 16 个月时,两者达到最大负相关。分析结果还表明,9 月 A 区的海冰面积指数与次年春季开始的 Niño 3 区 SST 有显著负相关,其中最大负相关出现在次年 1~2 月。

(4) A 区夏秋季节少冰年的次年从春季开始,北太平洋西北部及东亚沿岸有一距平气旋性环流,有利于赤道异常西风加强和维持 El Niño 事件发展。

本文从统计分析和合成分析的角度讨论北极关键区海冰变化与 ENSO 循环的关系,对进一步研究和诊断北极海冰对 ENSO 的影响关系提供了重要统计关系。由于冰—气之间相互影响的动力学和热力学过程十分复杂,对于极冰变化与 ENSO 循环相互联系的动力学机制还有待于进一步研究。

## 参 考 文 献

- 1 Zhu Yanfeng, and Chen Longxun, Study on the quasi-4-year oscillation of air/sea interaction, *Acta Meteorologica Sinica*, 2000, **14**(3), 293~306.
- 2 Zhao Ping, and Chen Longxun, Interannual variability of atmospheric heat source/sink over Qinghai-Xizang Plateau and its relation to circulation, *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18**(1), 106~116.
- 3 何金海、谭言科、祝从文, 亚洲季风和 ENSO 准四年周期振荡的诊断研究, 亚洲季风机制研究新进展, 陈隆勋等主编, 北京: 气象出版社, 1999, 149~159.
- 4 黄士松、杨修群、谢倩, 北极海冰对大气环流的影响, *气象学报*, 1992, **50**, 1~14.
- 5 Ni Yunqi, Zhang Qin, and Li Yuedong, A numerical study for mechanism of the effect of north summer arctic ice cover on the global short-range climate change, *Acta Meteorologica Sinica*, 1992, **6**(4), 15~24.
- 6 Chen Longxun, and Miao Qun, Numerical experiments for climate variability of monsoon under the united effects of antarctic ice cover and sea surface temperature, *Acta Meteorologica Sinica*, 1996, **10**, 23~34.
- 7 Yasunari, T., Zonally propagating modes of the global east-west circulation associated with the Southern Oscillation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1985, **63**, 1010~1019.
- 8 武炳义、高登义、黄荣辉, 冬季北极关键区海冰变化对东亚季风的影响, *大气科学*, 1999, **23** (3), 267~275.
- 9 Zhu Congwen, and Chen Longxun, The interannual variation characteristics of arctic sea ice cover-ENSO-East Asian monsoon and the interrelationship at quasi four years time scale, *Adv. Atmos. Sci.*, 1999, **16**(4), 641~645.
- 10 Gloersen, P., Modulation of hemispheric sea-ice cover by ENSO events, *Nature*, 1995, **373**, 503~506.
- 11 Mysak, L. A., R. G. Ingram, J. Wang et al., The anomalous sea-ice extent in Hudson Bay, Baffin Bay and the Labrador Sea during three simultaneous NAO and ENSO episodes, *Atmos. Ocean*, 1996, **34**(2), 313~343.
- 12 武炳义、高登义、黄荣辉, 冬季格陵兰、喀拉海和巴伦支海海冰年际变化与 ENSO 事件, *科学通报*, 1997, **42** (18), 1979~1981.
- 13 武炳义、黄荣辉、高登义, 冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积变化对后期北太平洋海温的影响, *气候与环境研究*, 1999, **4** (2), 165~175.
- 14 Keppenne, C. L., and M. Ghil, Adaptive filtering and prediction of the Southern Oscillation index, *J. Geophys. Res.*, 1992, **97D**, 20449~20454.
- 15 Fang Zhifang, and J. M. Wallace, The relationship between the wintertime blocking over Greenland and sea ice distribution over northern Atlantic, *Adv. Atmos. Sci.*, 1993, **10**, 453~464.
- 16 李崇银. 频繁的强大东亚大槽活动与 El Niño 发生, *中国科学 (B 辑)*, 1988, **18** (6), 667~674.

## Potential Relationship between Arctic Sea-Ice and ENSO Events on Timescales of Quasi-Quadrennial-Year

Zhu Yanfeng<sup>1)</sup>, and Chen Longxun<sup>2)</sup>

1) (*State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 10029*)

2) (*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

**Abstract** The variation of arctic sea-ice cover and its relationships with ENSO events on the timescale of quasi-quadrennial-year oscillation (QQO) have been studied. Results show that the QQO signal exists in variability of arctic sea-ice cover in high latitude region (59.5°~179.5°E, 60.5°~89.5°N; include Kara Sea, Laptev Sea, and East Siberia Sea). In this period, sea ice variation lags Niño 3 SSTA obviously, negative correlation between arctic sea-ice cover and Niño 3 SSTA reaches maximum while the latter lags behind the former about 16 months. Distribution of correlation coefficient shows that a negative region appears over the eastern equatorial Pacific in the next April, and negative value reaches maximum in the next to next February, and weakens following. It indicates that El Niño occurs in the next spring while the light sea-ice cover emerges in September. Further studies suggest that abnormal cyclone over high latitude Asian may be aroused by light arctic sea-ice cover, and followed by the development of abnormal cyclone from the coast of eastern Asia to northwestern Pacific through middle-high latitude interaction. It will help to strengthen the westerly anomalies over tropical and development of El Niño.

**Key words:** Arctic sea ice; quasi-quadrennial-year oscillation; El Niño; ocean-ice-atmosphere interaction