蔡榕硕，陈际龙，谭红建. 2011. 全球变暖背景下中国近海表层海温变异及其与东亚季风的关系［J］. 气候与环境研究，16（1）：94－104.
Cai Rongshuo, Chen Jilong, Tan Hongjian. 2011. Variations of the sea surface temperature in the offshore area of China and their relationship with the East Asian monsoon under the global warming［J］. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16（1）：94－104.

全球变暖背景下中国近海表层海温变异及其与东亚季风的关系

蔡榕硕[1,2] 陈际龙[2] 谭红建[1,2]

1 国家海洋局第三海洋研究所，国家海洋局海洋—大气化学与全球变化重点实验室，厦门 361005
2 中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心，北京 100190

摘 要 利用长时间序列 HadISST、ERA-40 高分辨率的海洋大气再分析资料和经验正交函数（EOF）及回归分析等方法，分析了近 50 年来中国近海表层海温（SST）、东亚季风的时空变化特征及两者的关系。结果表明：中国近海冬、夏季 SST 有明显的年际和年代际变化，并均在 1980 年代中期发生了位相转折，之后呈现显著的上升趋势。其中，冬季的主要升温区位于东海，而夏季则位于黄海，冬季升温明显强于夏季。进一步分析发现，1955～2006 年冬季东海的 SST 上升了 1.96 °C，1971～2006 年夏季黄海的 SST 上升了 1.10 °C。其次，东亚冬、夏季风低空风场也有显著的年际和年代际变化。东亚冬、夏季风低空风场除有 2～4 a 的年际振荡周期外，分别自 1980 年代和 1970 年代末以来出现明显的年代际减弱趋势。第三，中国近海 SST 对东亚季风 EOF 模态时间系数的回归分析表明，中国近海冬季 SST 与东亚冬季风年代际变异的关系要强于与东亚季风年际变异的关系，且东亚冬季风年代际减弱有利于中国近海特别是东海及附近海域 SST 的年代际上升，而中国近海夏季 SST 与东亚夏季风年代际变异则没有明显关系。中国近海 SST 与东亚季风年际变异的相关区域主要为南海区域，冬季比夏季更为明显，且南海冬、夏季 SST 与经向南北风和副热带反气旋（高压）的年际变异有明显关系。

关键词 中国近海 海表温度 东亚季风 时空特征
文章编号 1006－9585（2011）01－0094－11 **中图分类号** P47 **文献标识码** A

Variations of the Sea Surface Temperature in the Offshore Area of China and Their Relationship with the East Asian Monsoon under the Global Warming

CAI Rongshuo[1,2], CHEN Jilong[2], and TAN Hongjian[1,2]

1 *Key Laboratory of Global Change and Marine－Atmospheric Chemistry, Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen* 361005
2 *Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100190

Abstract Based on the long time series of mean Sea Surface Temperature (SST) and high-resolution wind field reanalysis data such as HadISST and ERA-40 reanalysis data, the variations of the SST in the offshore area of China

收稿日期 2009－09－30 收到，2010－11－20 收到修定稿
资助项目 国家重点基础研究发展计划项目 2009CB421400，中国科学院知识创新工程领域前沿项目 IAP09319，国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费专项资金 2008001，国家海洋局科研项目“我国沿海及近海区域对气候变化的响应与对策”
作者简介 蔡榕硕，男，博士，研究员，主要从事海洋环境和气候变化研究。E-mail：rscai@163.com

and their relationship with the East Asian Monsoon (EAM) in winter (December to the next February) and summer (June to August) are analyzed using the Empirical Orthogonal Function (EOF) and linear regression analysis methods. The results show that: 1) The SST in the offshore area of China in winter or summer exhibited significant interannual and interdecadal variations, and experienced a climate shift in the mid-1980s. The areas with the strongest increase in SST are located in the East China Sea (ECS) in winter and in the Yellow Sea in summer. The SST increased by 1.96 °C in winter for the period of 1955 - 2005 and 1.10 °C in summer for the period of 1971 - 2006. 2) The EAM has displayed distinct interannual and interdecadal variations with a weakening trend since the end of the 1980s in winter, and since the end of the 1970s in summer. In addition, the linear regression analysis indicates the relationship of the SST to EAM in winter on interdecadal timescale is closer than that on interannual timescale. The interdecadal weakening trend of EAM in winter contributes to the rise in SST in the offshore areas of China, particularly significant in the ECS. Moreover, the related areas of winter or summer mean SST on the interannual timescale in the offshore area of China to the EAM are located in the South China Sea (SCS), and the relationship in winter is much more obvious than that in summer. It is found that the interannual variation of SST in the SCS has obvious relation to the anomalies of the meridional southward and northward winds over the SCS and zonal migration of the subtropical anticyclone over the western Pacific.

Key words　China Sea, sea surface temperature, East Asian monsoon, spatial and temporal characteristics

1　引言

全球变暖及区域响应已成为当前各国政府面临的重要科学问题之一。研究表明，近百年的气候变暖有 3 次突变式的增温现象，分别发生在 1895 年、1925 年和 1980 年前后（Wang and Ye, 1993），但中国大陆的气温和降水变化与北半球乃至全球的变化趋势并不完全一致（黄荣辉等，1998；Huang et al.，2003；周连童和黄荣辉，2003），且中国近海的海温与全球其他海域的变化也有所不同。因此，近百年来的气候变暖不仅是大气科学的问题，也是包括海洋科学在内诸多学科关注的焦点。

中国近海包括渤海、黄海、东海和南海，是西北太平洋的边缘海，自北向南呈弧状分布，跨越了温带、亚热带和热带。其中，渤海和北黄海受大陆气候影响明显，南黄海和东海受外海暖流（黑潮及其分支）的影响较大，而南海地处亚热带和热带，具有热带深海的特征。近几十年来，全球变暖背景下中国近海及沿岸的海表温度（Sea Surface Temperature，SST）均有较明显的变化（于慎余等，1994；阎俊岳和李江龙，1997；张秀芝等，2005；蔡榕硕等，2006，2009），特别是 1976 年后中国近海的 SST 有明显的上升，并以中国东海为显著（蔡榕硕等，2006），而南海的 SST 也有明显的上升趋势（蔡榕硕等，2009）。

在海气相互作用中，海洋主要向大气输送热量和水汽，而大气向海洋提供动量，影响海洋环境。中国近海地处东亚强季风区，并有广阔的大陆架，除南海的中南部外，近海大部分海域的水深呈自西北向东南倾斜、深度浅（200 m 以内）、坡度平缓等特点（孙湘平，2006）。这使得东亚季风对中国近海环境有较强的作用，成为影响中国近海 SST 的重要因子之一。虽然影响中国近海 SST 变化的因子众多，但以往的研究大多侧重于局部海域海温变化与 ENSO 等气候因子的关系（钮智旺，1994；谭军等，1995），且由于东亚季风系统的变化，不仅有年循环现象，更有明显的年际和年代际变化（Chen and Graf，1998，2000；黄荣辉等，2006；蔡榕硕等，2006）。蔡榕硕等（2006）就中国近海环境对 1976 年前后全球变暖的响应作了研究，然而有关中国近海 SST 变异及其与东亚季风的关系迄今仍缺乏深入研究。因此，探讨在全球变暖背景下中国近海 SST 的时空变化特征及其与东亚季风的关系，将有利于深入认识中国近海环境对全球变暖的响应特征，对于中国近海环境与生态的保护也有重要意义。

为此，本文利用长时间序列和高分辨率的海温资料和风场资料［主要为英国 Hadley 中心的 1955～2006 年 HadISST 的 1°（纬度）×1°（经度）海温资料和 1957 年 9 月至 2002 年 8 月 ERA-40 的

2.5°（纬度）×2.5°（经度）再分析风场资料]，分析中国近海冬、夏季 SST 和东亚季风低空风场的时空变化特征，并探讨两者之间的关系，以期进一步认识中国近海 SST 对东亚季风的响应特征。

2 中国近海表层温度的时空特征

为了解中国近海 SST 的时空变化特征，首先分析了 1971～2000 年中国近海 SST 的气候态分布，然后再研究中国近海 SST 的时空特征及其长期变化。

2.1 中国近海表层温度的气候态特征

图 1a 和 1b 分别是中国近海冬季（12 月至次年 2 月）、夏季（6～8 月）SST 在 1971～2000 年间的气候态分布。冬季，我国近海平均的 SST 大致呈南高北低、离岸高近岸低以及温度梯度大等特点。其中，除了位于 10°N 以南的西太平洋暖池的海温最高（大于 28 ℃）外，南海的海温为 24～28 ℃，而渤海仅为 3～4 ℃。夏季，我国近海平均的 SST 普遍升高，也呈南高北低的分布特征。其中，南海的 SST 最高（约为 29 ℃），而渤海的 SST 最低（约为 23 ℃）。夏季的温度梯度远小于冬季。显然，我国近海 SST 的这种季节性特征与季风的季节性转换是紧密相关的。

2.2 中国近海表层温度的时空变异特征

本文应用经验正交函数（Empirical Orthogonal Function，EOF）法分析了近 50 年中国近海冬、夏季表层温度距平场（Sea Surface Temperature Anomaly，SSTA）的变化特征。结果表明，中国近海冬季和夏季 SSTA 场第一模态的方差贡献分别为 51.9%和 43.6%，解释了中国近海冬、夏季 SST 的主要变异信息。因此，本文主要讨论冬、夏季 SSTA 场第一模态的时空特征。

2.2.1 冬季

由图 2a 的空间场分布可见，全海域 SSTA 位相一致，强信号主要分布在中国近海，并以东海及附近海域最为显著。时间系数（图 2b）表明，这种 SSTA 空间型有明显的年际和年代际变化特征，在 1970 年代末与 1990 年代末之间有显著的增强趋势。综合图 2a 和 2b 可知，中国近海 SST 负异常大约在 1980 年代中期出现位相转折变为 SST 正异常，之后表现出明显的上升趋势，最大升温区位于东海及附近海域。

2.2.2 夏季

如图 3a 的空间场分布所示，全海域 SSTA 位相一致。其中，强信号出现在黄海和日本海。同样，由图 3b 的时间系数可见，夏季 SSTA 的空间型有明显的年际和年代际变化特征，SST 在 1970 年代末与 1990 年代末之间有显著的增强趋势。由图 3a 和 3b 可知，中国近海夏季 SST 负异常在 1980 年代中期发生位相转折变为 SST 正异常，之后呈现明显的上升趋势，最大升温区域位于黄海和日本海。

综上分析，中国近海冬、夏季 SSTA 场第一

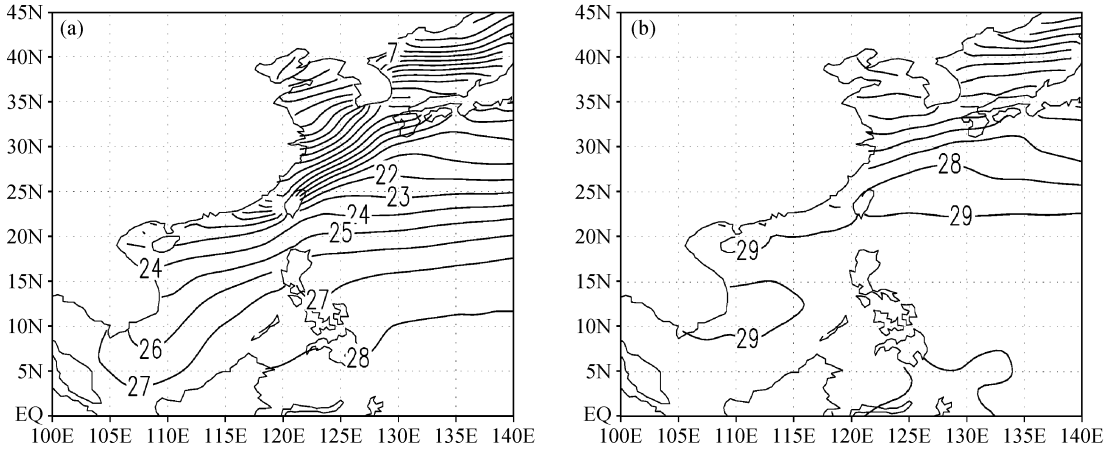

图 1 中国近海（a）冬季、(b）夏季 SST 的 1971～2000 年气候平均（单位:℃）

Fig. 1 Climatological mean of the (a) winter and (b) summer Sea Surface Temperature (SST) in the offshore area of China for the period of 1971－2000 (units: ℃)

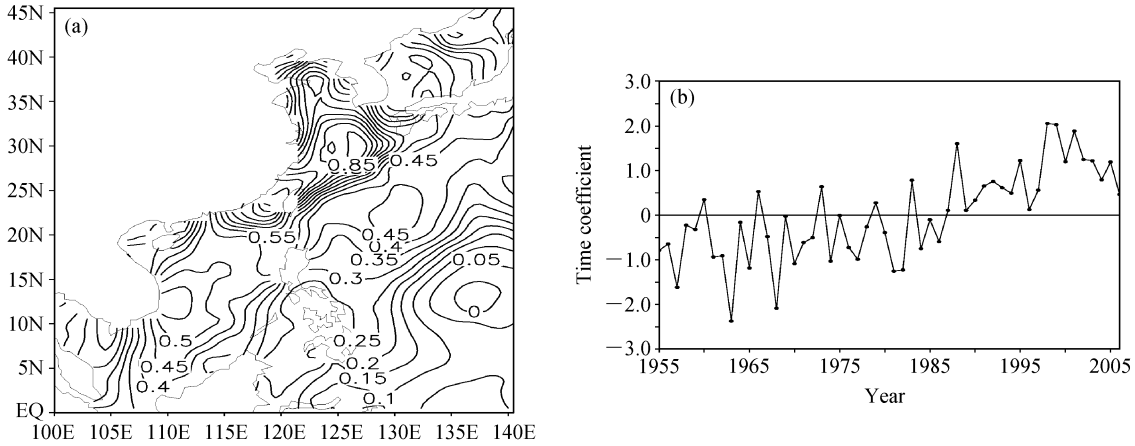

图 2　1955～2006 年中国近海冬季 SSTA 场的 EOF 第一模态的（a）空间分布和（b）时间系数

Fig. 2　(a) Spatial pattern and (b) time coefficient of the first leading Empirical Orthogonal Function (EOF) mode for winter Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA) in the offshore area of China for the period of 1955 – 2006

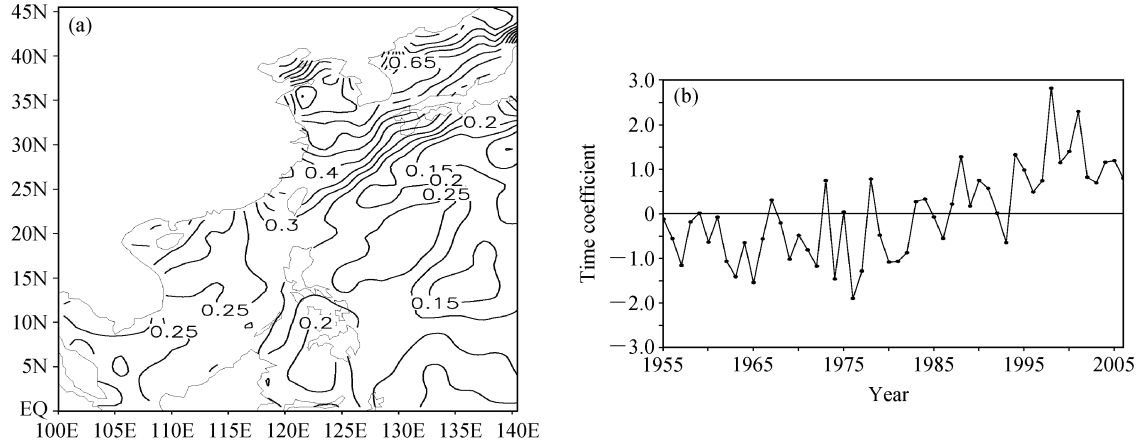

图 3　同图 2，但为夏季

Fig. 3　Same as Fig. 2，but for summer

模态的空间型均表现为全海域位相一致，对应的时间系数揭示了中国近海全域冬、夏季 SST 有明显的年际和年代际变化特征，并且两者时间系数的同期相关值高达 0.78，超过 99%的信度检验。由此可见，冬季与夏季 SSTA 的年际和年代际变化特征相似，但 SSTA 变化的显著区域有所不同，冬季以东海及附近海域最为显著，而夏季则以黄海和日本海最为明显。

2.3　中国近海表层温度的长期变化趋势

由上述分析（图 2a 和图 3a）可见，东海是冬季 SSTA 信号最显著的区域（27°N～32°N，122°E～127°E），夏季 SSTA 信号最显著的区域则位于黄海（32°N ～37°N，120°E ～125°E）。因此，为进一步了解中国近海冬、夏季 SST 振荡信号最为显著海区 SST 的长期变化趋势，将上述海域 1955～2006 年间冬、夏季平均 SST 时间序列看成是由时间 t 为自变量构成的一些简单函数的线性组合（章基嘉和葛玲，1983），即

$$y(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + c_4 t^4 + c_5 t^{1/2} + c_6 t^{-1} + c_7 t^{-1/2} + c_8 t^{-2} + c_9 \mathrm{e}^{-t} + c_{10} \ln t, \quad (1)$$

其中，t 为时间变量（单位：a），以 1955 年为其起始点，即 $t=1, 2, \cdots, 52$；$c_0 \sim c_{10}$ 为回归系数。利用逐步回归分析法得到冬、夏季上述海域 SST 的最佳回归方程分别为

冬季 SST：

$$y = 15.46525 + 7.2749966 \times 10^{-4} t^2, \quad (2)$$

夏季 SST：

$$y = 23.50874 + 1.5130692 \times 10^{-7} t^4. \quad (3)$$

图 4 给出了由公式（2）和（3）得到的冬、夏季上述海域平均 SST 的长期变化趋势曲线。统计结果显示，在 1955～2006 年间，冬季东海的 SST 上升了 1.96 ℃（图 4a），而在 1955～1970 年间的夏季，黄海的 SST 基本保持不变，但在 1971～2006 年间则上升了 1.10 ℃（图 4b）。

3 东亚季风低空风场的时空特征

为了解中国近海区域低空风场的时空特征，首先统计了 1971～2000 年间东亚季风区 925 hPa 风场的气候态分布，再分析东亚季风低空风场的时空变异特征。

3.1 东亚季风低空风场的气候态特征

从图 5a 可见，中国近海上空冬季风的风力远比东部陆地上的风力强，中国大陆北部，渤海、黄海和东海以及朝鲜半岛、日本海至副热带西北太平洋的上空都盛行西北风，而在中国大陆南部、东海西南部、南海、中印半岛、东南亚和热带西北太平洋上空则盛行东北风。由图 5b 可见，夏季中国东部陆地上的风力较海上风力稍弱，这与冬季类似，在中国东部陆地，渤海、黄海和东海上

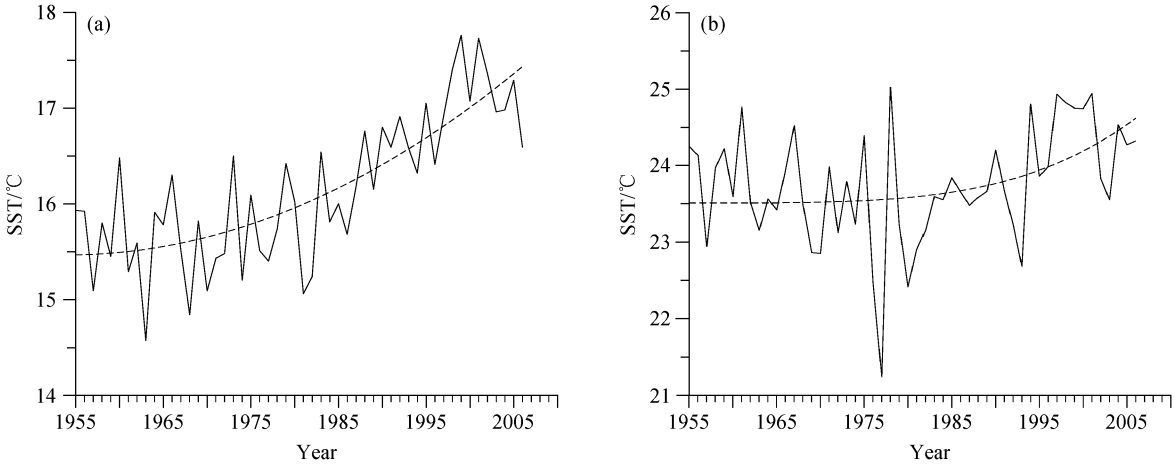

图 4 1955～2006 年中国近海（a）冬季和（b）夏季最大升温区 SST 的长期变化趋势（虚线）

Fig. 4 Long-term trends (dashed lines) of the (a) winter and (b) summer mean SST over the remarkable warming regions in the offshore area of China for the period of 1955－2006

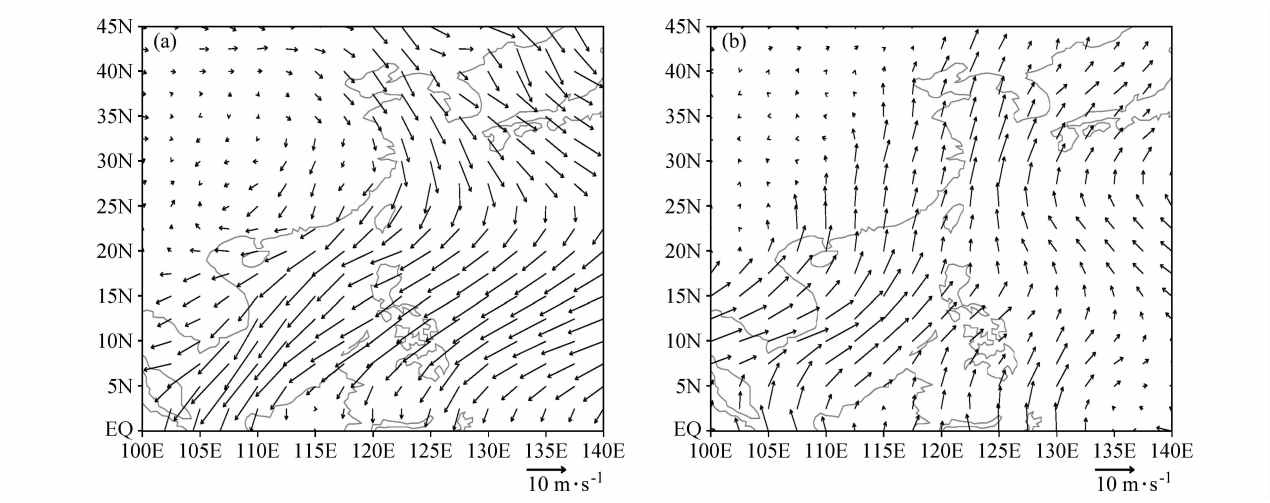

图 5 东亚季风区（a）冬季和（b）夏季 1971～2000 年气候平均的 925 hPa 风场

Fig. 5 Climatological mean of the 925-hPa wind fields in (a) winter and (b) summer over the East Asian monsoon region for the period of 1971－2000

空盛行偏南风，在南海和东南亚上空盛行西南风，而在热带西太平洋的赤道外海域的上空盛行东南风。

如图 5a 所示，冬季风来自中纬度大陆地区，使得中国近海上空盛行干冷的偏北气流，而夏季风则来自于热带海洋，导致中国近海上空盛行暖湿的偏南气流。通过海气界面热量和动量的直接交换，冬、夏季低空气流性质和流向的季节转换必然是影响中国近海 SST 季节性区域特征（见图 1）的主要因素。

3.2　东亚季风低空风场的时空变异特征

本文利用 ERA-40 再分析资料集的 925 hPa 风场资料，运用矢量 EOF 方法，分析了近 50 年来东亚季风区冬、夏季低空风场的时空变化。

3.2.1　冬季

对东亚季风区冬季 925 hPa 环流距平作矢量 EOF 分解，第一、二模态的方差贡献分别为 35.4%和 16.1%，解释了冬季低空季风环流距平场约 51.5%的信息。因此，本文主要讨论前两个模态的时空特征。

从图 6a 可知，受菲律宾东侧的反气旋式异常环流控制，中国近海全域上空主要表现为经向风南风距平，从南到北距平风场逐步减弱，而中国大陆的风场距平相对较小。结合图 6b 所示的时间系数可知，强（弱）东亚冬季风年际变异主要以菲律宾东侧气旋式（反气旋式）异常环流的振荡为特征，而在中国近海上空主要表现为经向风的年际振荡。

中国近海的渤海、黄海和东海以及相邻的西北太平洋主要表现为偏北风距平，而在南海北部的距平风场则较小，其南部近岸处有较强的东北风距平。EOF 第二模态（图 7）还表明冬季风在 1980 年代初中期发生了明显的年代际变化，并呈年代际减弱趋势。

3.2.2　夏季

对东亚季风区夏季 925 hPa 环流距平作矢量 EOF 分解得出，第一模态和第二模态的方差贡献分别为 37.8%和 15.1%，解释了夏季低空季风环流距平场约 52.9%的信息。因此，以下主要讨论前两个模态的时空特征。

从图 8a 可知，受西北太平洋副热带反气旋式异常环流控制，中国东部为西南风距平，黄海、东海主要为西风距平，南海主要为东风距平。结合图 8b 可知，强（弱）东亚夏季风变异主要以西北太平洋副热带反气旋式（气旋式）异常环流的年际振荡为特征。

如图 9 所示，中国近海仅东海有较强的偏西风距平，其他海域均较弱，相邻的西北太平洋副热带区域出现一个反气旋距平风场，其时间系数有明显的年代际变化。EOF 第二模态反映了夏季风的年代际变化特征，自 1980 年代末以来，在长江口以北海域为偏北风距平，而长江口以南海域为偏南风距平，两者在长江流域及长江口附近海域辐合。

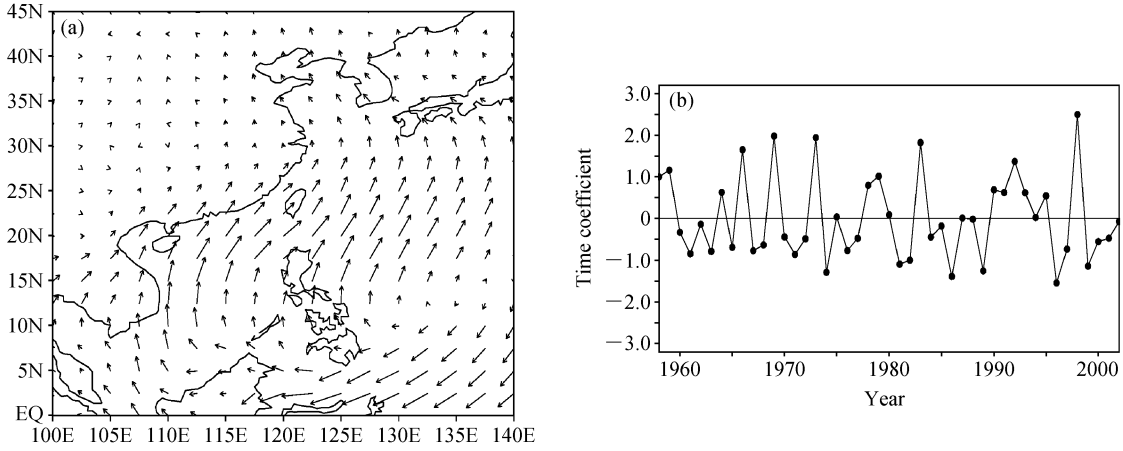

图 6　1958～2002 年东亚冬季 925 hPa 风场距平 EOF 第一模态的（a）空间分布与（b）时间系数

Fig. 6　(a) Spatial pattern and (b) time coefficient of the first leading EOF mode for 925-hPa winter wind anomaly over the East Asian monsoon region for the period of 1958－2002

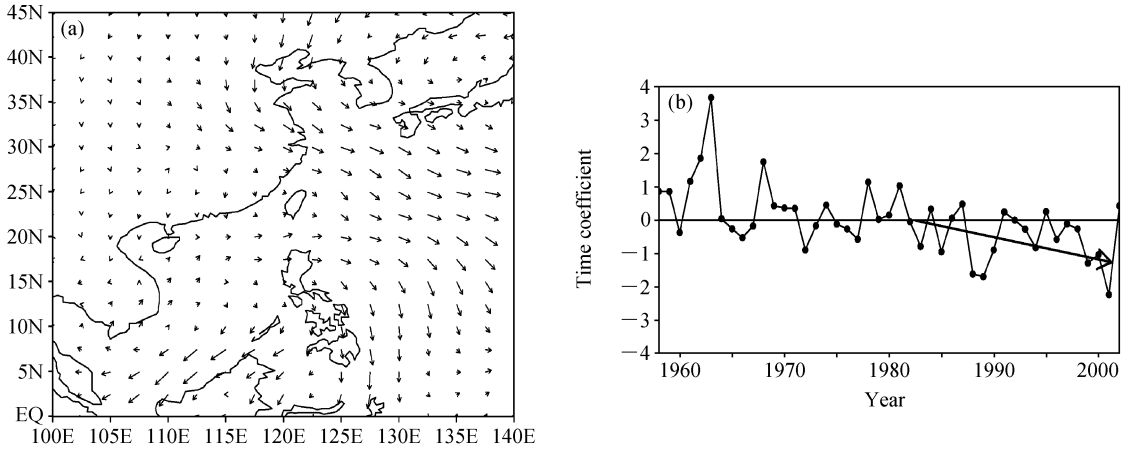

图 7 同图 6，但为 EOF 第二模态

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for the second leading EOF mode

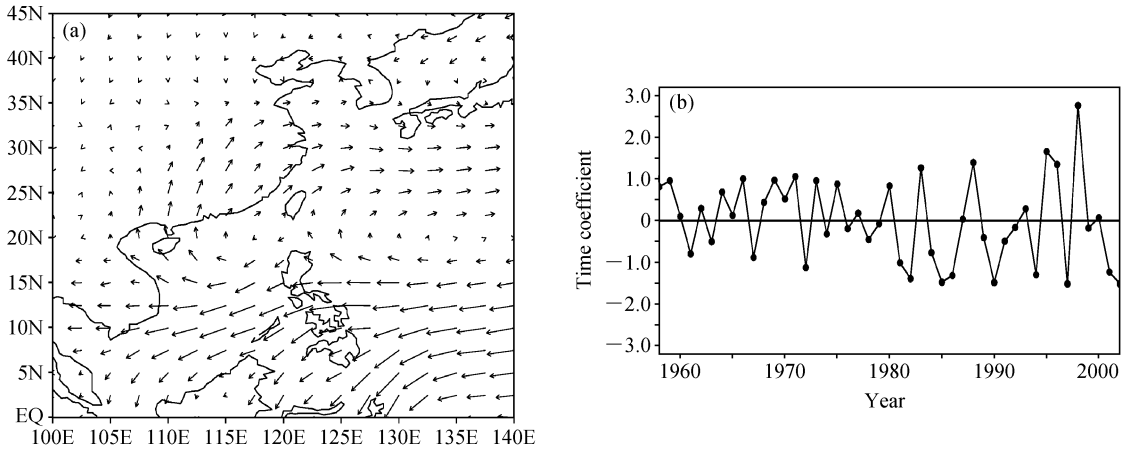

图 8 1958～2002 年东亚夏季 925 hPa 环流距平 EOF 第一模态的（a）空间分布与（b）时间系数

Fig. 8 (a) Spatial pattern and (b) time coefficient of the first leading EOF mode for 925-hPa summer wind anomaly over the East Asian monsoon region for the period of 1958－2002

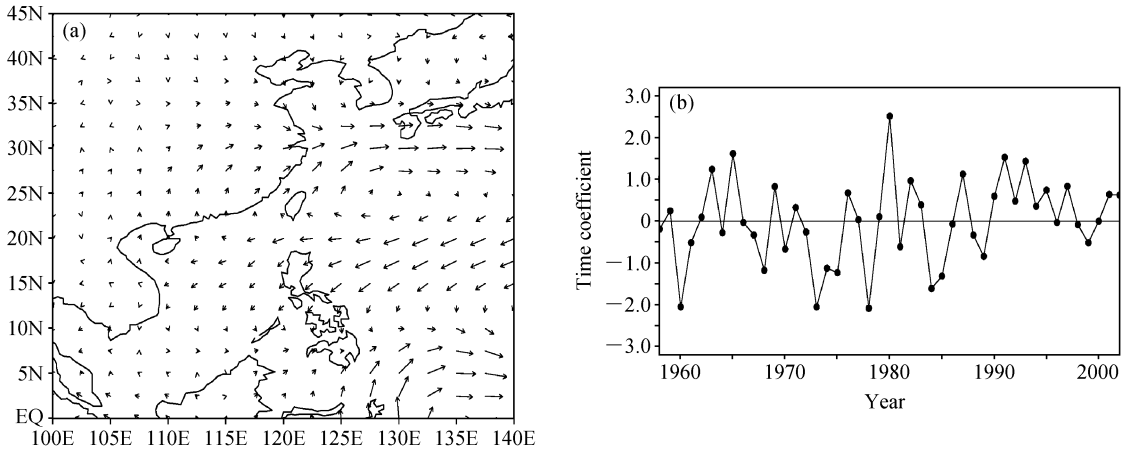

图 9 同图 8，但为 EOF 第二模态

Fig. 9 Same as Fig. 8, but for the second leading EOF mode

综上所述，东亚季风区冬、夏季低空环流距平 EOF 第一模态主要表现为反气旋式风场距平和气旋式风场距平的年际振荡，第二模态则表现出明显年代际变化特征，且揭示了东亚冬、夏季风的年代际减弱现象。

4　中国近海 SST 对东亚季风变异的响应特征

由于在海气相互作用中，大气主要通过风应力向海洋提供动量，影响海水运动，重新分配海洋的热含量。因此，为认识中国近海 SST 变异与东亚季风的关系，本文进一步分析了冬、夏季中国近海 SST 对同期东亚季风低空风场 EOF 模态时间系数的回归关系（见图 10 和图 11）。

如图 10a 所示，中国近海全域 SST 与东亚冬季风 EOF 第一模态时间系数（PC1）（即年际振荡）为正相关，仅南海大部区域通过显著相关性检验，即表明南海大部分区域 SST 与同期东亚冬季风的显著关联。由图 6a 所示的南海低空风场为南风距平，结合图 6b 清楚可见，南海低空风场主要处于经向南北风的年际振荡中。因此，图 10a

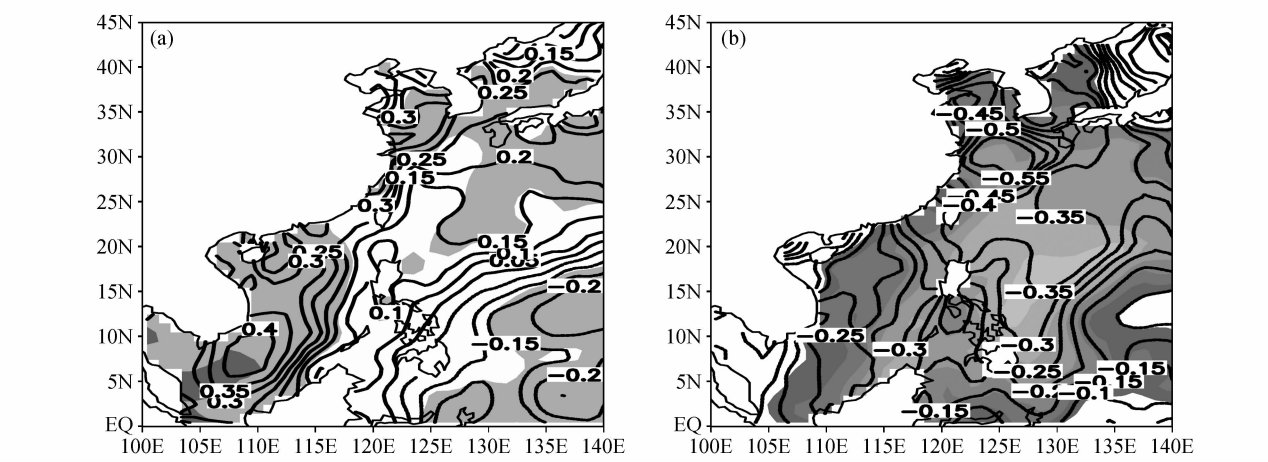

图 10　中国近海冬季 SST 分别对东亚冬季低空 925 hPa 风场 EOF 的回归系数（等值线）：(a) 第一模态对应的时间系数 PC1；(b) 第二模态对应的时间系数 PC2。阴影区信度超过 95%

Fig. 10　Regression patterns for the SST in the offshore area of China for 925-hPa winter wind anomaly over the East Asian monsoon region：(a) Corresponding principal components of the first leading mode (PC1)；(b) corresponding principal components of the second leading mode (PC2). Shading areas are above 95% confidence level

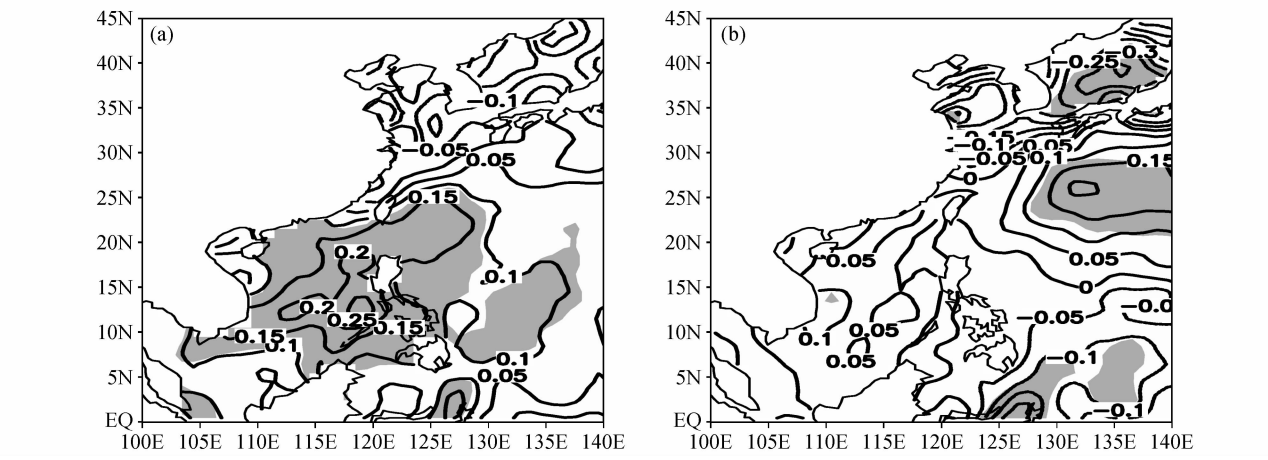

图 11　同图 10，但为夏季

Fig. 11　Same as Fig. 10，but for summer

显示，当南海盛行南风距平时，南海 SST 表现为正异常，而当南海盛行北风距平时，SST 表现为负异常。这与蔡榕硕等（2009）指出的南海 SST 的年际变化主要是由经向风异常和副高纬向变动引起的结果相一致，即当南海上空出现偏北风异常时，南海的 SST 将下降；反之，SST 将上升。

由图 10b 可见，中国近海全域 SST 对东亚冬季风 EOF 第二模态时间系数（PC2）的回归关系表现为负相关，并以东海及附近海域为显著，且全域均通过了相关性检验。这表明中国近海尤其是东海及附近海域的 SST 与东亚冬季风年代际变化有显著负相关。对照图 2 和图 10b 清楚可见，伴随近 30 年来东亚冬季风的年代际减弱，中国近海特别是东海及附近海域冬季的 SST 有明显的持续上升趋势。

由图 11a 可见，以东海含台湾海峡的南部为界将中国近海划分为南北部海域，则相应海域 SST 与东亚夏季风 EOF 第一模态时间系数（即年际变异）的关系分别为正、负相关，但主要为南海中部和北部及菲律宾附近海域的正相关通过显著性检验。而由图 8 可见，南海中北部及菲律宾附近海域的风场变异表现为反气旋和气旋距平风场的年际振荡。因此，南海 SST 对东亚夏季风年际振荡的响应关系可能较冬季更复杂，即夏季南海中北部上空为反气旋性距平风场时，SST 偏高；夏季南海中北部上空为气旋性距平风场时，SST 偏低。这与蔡榕硕等（2009）指出的南海 SST 的年际变化与副热带高压存在着显著的同期相关关系是一致的，即当副高面积增大、强度增强并西伸显著时，南海的 SST 将升高；反之则降低。另外，蔡榕硕等（2009）指出，南海 SST 的年际变化除了由经向风异常和副热带高压纬向变动引起的原因外，还与 ENSO 的循环有密切关系，南海 SSTA 场的年际振荡主要发生在 ENSO 期间。从图 11b 可见，中国近海全域 SST 与东亚夏季风 EOF 第二模态（年代际变化）的关系回归分析基本未通过相关性检验，即中国近海 SST 与东亚夏季风的年代际变化无明显关系。

综上分析，中国近海冬季 SST 与东亚冬季风的年代际变化的关系要显著于与年际变异的关系，这主要表现为东亚冬季风年代际减弱有利于中国近海全域特别是东海及附近海域 SST 的年代际上升，而中国近海夏季 SST 与东亚夏季风的年代际变化则没有明显关系。其次，无论是冬季还是夏季，中国近海 SST 对同期东亚季风年际振荡的响应区域主要为南海大部分或中北部区域。其中，冬季当南海上空出现偏南风异常时，南海的 SST 将上升，这可能是因为南风有利于驱动暖流北上；反之，SST 将下降。夏季，南海中北部区域盛行反气旋性距平风场时，SST 上升；反之，SST 下降。换言之，当副热带高压面积增大、强度增强并西伸显著且控制南海时，南海的 SST 将升高；反之则降低。

中国近海冬季 SST 与东亚冬季风的年代际变化有较显著关系，这可能是因为近 30 年来东亚冬季风有年代际减弱的趋势，东亚寒潮（特别是强寒潮）发生的频次明显减少，出现了趋势性的暖冬（Wang et al.，2009），我国近海（渤海、黄海、东海和南海）海面风力有很大的减弱（蔡榕硕等，2006），这既使得东亚冬季风驱动中国大陆沿岸流南下的能力出现年代际偏弱，又由于 1976 年之后，黑潮的热输送有长期的线性增加趋势（张启龙等，2008；齐庆华等，2010），在此背景下，冬季中国近海尤其是东海及附近海域出现了明显的年代际海温上升现象。然而中国近海 SST 与东亚夏季风年代际变化的关系似乎不明显，这可能与夏季外来洋流黑潮对中国近海 SST 的作用更明显有关，即入侵中国陆架浅海的暖流及其热输送对近海 SST 的影响可能要强于季风的作用，但有待进一步的研究。

此外，上述分析还表明，冬季南海 SST 对季风年际振荡的关系要明显于夏季。这可能与南海夏季 SST 的年际变化受到了 ENSO 循环、副热带高压和外来洋流黑潮等多种因素的影响有关，其具体影响过程和机制还需进一步深入研究。

5 结论与讨论

本文分析了中国近海 SST 和东亚季风低空风场的时空变化特征，以及中国近海 SST 与同期东亚季风低空风场的相互关系，得到以下几点结论和认识：

（1）中国近海 SSTA 的 EOF 第一模态表现出全海域同位相距平信号，并有显著的年际和年代际变化特征。中国近海冬、夏季 SST 均在 1980 年

代中后期发生明显的位相转折，并在近 30 年呈现出显著的上升趋势。其中，冬季主要升温区在东海，1955～2006 年间升温 1.96 ℃；夏季主要升温区在黄海，1971～2006 年间增温 1.10 ℃。

（2）东亚季风低空风场的 EOF 第一模态有明显的年际和年代际变化特征，即冬、夏季风低空风场各自有 3～4 a 和 2～3 a 的年际振荡周期，并分别在 1980 年代中后期和 1970 年代末起有明显的年代际变弱趋势特征。

（3）中国近海 SST 对同期东亚季风年际和年代际变异的回归分析表明：冬季中国近海 SST 与东亚冬季风年代际变异的关系要显著于与年际变异的关系，这表现为随着东亚冬季风年代际的减弱，中国近海尤其是东海及附近海域 SST 有明显的上升，而夏季中国近海与东亚夏季风的年代际变异则没有明显关系。

（4）冬季中国近海特别是东海及附近海域 SST 的年代际上升现象可能是由于东亚冬季风和中国近海海面风力的年代际减弱以及外海洋流黑潮的热输送有长期的线性增加趋势等引起的。

（5）中国近海冬、夏季 SST 与同期东亚季风年际变异关系较为显著的区域分别为南海大部和中北部区域，均表现为正相关。其中，冬季，当南海上空出现偏南风异常时，南海的 SST 将上升，反之 SST 将下降；夏季，南海中北部区域盛行反气旋性距平风场时，SST 上升，反之 SST 下降。且 SST 与冬季风年际变异的关系又要明显于夏季。这可能与南海夏季 SST 的年际变化受到了 ENSO 循环、副热带高压和外来洋流黑潮等多种因素的影响有关。

本文初步分析了中国近海 SST 与东亚季风的时空变异特征及两者之间的关系，然而中国近海 SST 变化受多气候因子（如东亚季风、ENSO、太平洋年代际振荡和黑潮等）的影响。因此，东亚季风对中国近海 SST 的具体影响过程和机制还需从海气相互作用、陆架海与相邻大洋环流的相互作用以及近海动力学等角度，并通过动力学理论、观测事实和数值实验等方面作深入的研究。

参考文献（References）

蔡榕硕，陈际龙，黄荣辉. 2006. 我国近海和邻近海的海洋环境对最近全球气候变化的响应［J］. 大气科学，30（5）：1019－1033. Cai Rongshuo，Chen Jilong，Huang Ronghui. 2006. The response of marine environment in the offshore area of China and its adjacent ocean to recent global climate change［J］. Chinese Journal of Atmospheric Sciences（in Chinese），30（5）：1019－1033.

蔡榕硕，张启龙，齐庆华. 2009. 南海表层水温场的时空特征与长期变化趋势［J］. 台湾海峡，28（4）：559－568. Cai Rongshuo，Zhang Qilong，Qi Qinghua. 2009. Spatial and temporal oscillation and long-term variation in sea surface temperature field of the South China Sea［J］. Journal of Oceanography in Taiwan Strait（in Chinese），28（4）：559－568.

Chen Wen，Graf Hans-F. 1998. The interannual variablility of East Asian winter monsoon and its relationship to global circulation［R］. Max－Planck-Institute fur Meteorologie，Report No. 250，1－35.

Chen Wen，Graf Hans-F. 2000. The interannual variability of East Asian winter monsoon and its relationship to the summer monsoon［J］. Adv. Atmos. Sci.，17：48－60.

黄荣辉，徐予红，周连童. 1998. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势［J］. 高原气象，18：465－476. Huang Ronghui，Xu Yuhong，Zhou Liantong. 1998. The interdecadal variation of summer precipitations in China and the drought trend in North China［J］. Plateau Meteorology（in Chinese），18：465－476.

Huang Ronghui，Zhou Liantong，Chen Wen. 2003. The propresses of recent studies on the variabilities of East Asian monsoon and their causes［J］. Adv. Atmos. Sci.，20：55－69.

黄荣辉，蔡榕硕，陈际龙，等. 2006. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其东亚气候系统的关系［J］. 大气科学，30（15）：1020－1033. Huang Ronghui，Cai Rongshuo，Chen Jilong，et al. 2006. Interdecadal variations of drought and flooding disaster in China and their association with the East Asian climate system［J］. Chinese Journal of Atmospheric Sciences（in Chinese），30（5）：730－743.

钮智旺. 1994. 南海表层水温的长周期振荡及其与 El Niño 的关系［J］. 海洋学报，16（2）：43－49. Niu Zhiwang. 1994. The long-term oscillation of SST in the South China Sea and its relationship with El Niño［J］. Acta Oceanologica Sinica（in Chinese），16（2）：43－49.

齐庆华，蔡榕硕，张启龙. 2010. 源区黑潮热输送低频变异及其与中国近海 SST 异常变化的关系［J］. 台湾海峡，29（1）：106－113. Qi Qinghua，Cai Rongshuo，Zhang Qilong. 2010. Low-frequency variability of the heat transport in source area of Kuroshio and its relation to SST in China Seas［J］. Journal of Oceanography in Taiwan Strait（in Chinese），29（1）：106－113.

孙湘平. 2006. 中国近海区域海洋［M］. 北京：海洋出版社，4. Sun Xiangping. 2006. Regional Marine in China Seas［M］（in Chinese）. Beijing：China Ocean Press，4.

谭军，周发琇，胡敦欣，等. 1995. 南海海温异常与 ENSO 的相关性［J］. 海洋与湖沼，26（4）：377－382. Tan Jun，Zhou

Faxiu, Hu Dunxin, et al. 1995. The correlation between SST anomaly in the South China Sea and ENSO [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica (in Chinese), 26 (4): 377-382.

Wang Lin, Huang Ronghui, Gu Lei, et al. 2009. Interdecadal variations of the East Asian winter monsoon and their association with quasi-stationary planetary wave activity [J]. Journal of Climate, 22: 4860-4872.

Wang Shaowu, Ye Duzheng. 1993. Analysis of global warming during the last one hundred years. Preceedings of International Workshop on Climate Variabilities [C] // Ye Duzheng, et al. Beijing: China Meteorological Press, 23-32.

阎俊岳，李江龙. 1997. 东海及邻近地区百年来的温度变化 [J]. 海洋学报，19 (6): 121-126. Yan Junyue, Li Jianglong. 1997. Variation of sea surface temperature in the last 100 years in the East China Sea and its adjacent seas [J]. Acta Oceanologica Sinica (in Chinese), 19 (6): 121-126.

于慎余，周发琇，傅刚，等. 1994. 南海表层水温低频振荡的基本特征 [J]. 海洋与湖沼，25 (5): 546-551. Yu Shenyu, Zhou Faxiu, Fu Gang, et al. 1994. Basic features of the SST low frequency oscillation in the South China Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica (in Chinese), 25 (5): 546-551.

章基嘉，葛玲. 1983. 中长期天气预报基础 [M]. 北京：气象出版社，360-361. Zhang Jijia, Ge Ling. 1983. Long-term Weather Forecast Foundation [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 360-361.

张启龙，侯一筠，齐庆华，等. 2008. 东海黑潮热输送变异与经向风异常 [J]. 海洋科学进展，26 (2): 126-134. Zhang Qilong, Hou Yijun, Qi Qinghua, et al. 2008. Variations in the Kuroshio heat transport in the East China Sea and meridional wind anomaly [J]. Advances in Marine Science (in Chinese), 26 (2): 126-134.

张秀芝，裘越芳，吴迅英. 2005. 近百年中国近海海温变化 [J]. 气候与环境研究，10 (4): 799-807. Zhang Xiuzhi, Qiu Yuefang, Wu Xunying. 2005. The long-term change for sea surface temperature in the last 100 years in the offshore sea of China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 799-807.

周连童，黄荣辉. 2003. 关于我国夏季气候年代际变化特征及其可能成因的研究 [J]. 气候与环境研究，8 (3): 274-290. Zhou Liantong, Huang Ronghui. 2003. Research on the characteristics of interdecadal variability of summer climate in China and its possible cause [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 8 (3): 274-290.