

# 华南夏季风降水开始日的异常与前冬大气环流和海温的关系

谷德军 梁建茵 郑彬 林爱兰 李春晖

中国气象局热带海洋气象研究所/热带季风重点实验室, 广州 510080

**摘 要** 利用 1951~2004 年 NCEP/NCAR 再分析资料及 ERSST 海温资料, 研究了华南夏季风降水开始日期的变化特征及其与前期冬季大气环流和海温的关系。小波分析表明, 夏季风降水开始日期具有明显的年际和年代际变化, 年际变化以准 2~3 年变化为主, 年代际变化周期约 16 年。华南夏季风降水开始偏早年在大气环流上的前兆信号表现为前期冬季乌拉尔山阻塞高压偏强、东亚大槽较深, 阿留申低压偏强, 冷空气活动偏强。冬季, 鄂霍次克海附近的海温异常为华南夏季风降水开始迟早有物理意义的、稳定正相关前兆信号。合成分析表明, 冬季鄂霍次克海附近 SST 正异常时, 5 月 100 hPa 青藏高原高压偏东偏北偏弱, 异常偏西风控制华南; 850 hPa 环流在华南表现为东北风, 华南受冷空气影响为主, 华南夏季风降水开始日期偏晚。相反时, 若冬季鄂霍次克海附近 SST 负异常, 5 月 100 hPa 青藏高原高压偏西偏南偏强, 异常偏东风控制华南; 850 hPa 环流在华南表现为偏南风, 华南受热带系统影响为主, 华南夏季风降水开始日期偏早。并提出冬季中高纬度地区冷空气活动影响华南夏季风降水开始日异常的物理机制。

**关键词** 夏季风降水 年代际变化 前兆信号 青藏高原 冷空气活动

**文章编号** 1006-9895 (2008) 01-0155-10

**中图分类号** P426

**文献标识码** A

## Variation of Starting Date of Summer Monsoon Rain in South China and Its Relation to Atmospheric Circulation and SST in the Preceding Winter

GU De-Jun, LIANG Jian-Yin, ZHENG Bin, LIN Ai-Lan, and LI Chun-Hui

*Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology/Key Open Laboratory for Tropical Monsoon, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080*

**Abstract** The variation characteristics of starting date of summer monsoon rain in South China and its relation to atmospheric circulation and SST in the preceding winter are studied using NCEP/NCAR reanalysis data and ERSST (Extended Reconstruction of global Sea Surface Temperatures) data during 1951-2004. The wavelet analysis exhibits significant interannual and interdecadal variation in the sequence of SDSMR (Starting Date of Summer Monsoon Rain). The interannual variation is dominated by quasi-bi-triennium periodic oscillation and the period of interdecadal variation is about 16 years. But the interdecadal variation became weaker from the early 1990s. The Ural Mountains blocking high is stronger, the East Asia trough is deeper, the Aleutian low is stronger and the cold air activity is stronger during the preceding winter for years of earlier SDSMR. The sea surface temperature (SST) anomalies near the Okhotsk Sea are stable precursory signal with positive correlation for SDSMR and can last for winter and spring. The composite analysis shows that the Tibetan high is weaker and is located east and north, anomalous westerly controls South China at 100 hPa in May, and the SDSMR is later when the SST anomalies near the

**收稿日期** 2006-08-09, 2006-12-22 收修定稿

**资助项目** 广东省自然科学基金资助项目 04003915, 国家自然科学基金资助项目 40675054

**作者简介** 谷德军, 男, 1966 年出生, 副研究员, 主要从事季风和海气相互作用、气候变化研究。E-mail: djg@grmc.gov.cn

Okhotsk Sea is positive. The northeast wind prevails in South China at 850 hPa meanwhile, so the cold air dominates South China. Contrarily, when the SST anomalies near the Okhotsk Sea is negative, the Tibetan high is stronger and is located west and south, anomalous easterly controls South China at 100 hPa in May and the SDSMR is earlier. The southerly prevails in South China at 850 hPa, so the tropical circulation system dominates South China. The precursory signals for SDSMR in atmospheric circulation and SST are consistent. A possible physical process is as follows. The stronger cold air during winter increases the total wind speed and cools SST near the Okhotsk Sea through enhanced surface evaporation. The negative SST anomalies during winter in the Okhotsk Sea make the Okhotsk Sea blocking high weaken during spring, East Asia trough becomes weaker, and hence the cold air activity affecting eastern China during spring becomes weaker. So South China is easily affected by the tropical synoptic system, SDSMR is earlier, and vice versa.

**Key words** summer monsoon rain, interdecadal variation, precursory signals, Tibetan high, cold air activity

## 1 引言

4~6 月是广东的主要雨季, 俗称前汛期。前汛期的雨季盛期、暴雨集中期及防汛最紧张时段均出现在 5~6 月。例如 1994 年 6 月中旬, 华南发生大范围持续性致洪暴雨, 导致珠江流域的西江、北江同时发生 50 年一遇的特大洪涝, 两广直接经济损失高达 540 亿<sup>[1]</sup>; 2005 年 6 月广东的河源、龙门等地遭受四百年一遇的特大暴雨袭击, 西江、北江发生百年一遇的洪水灾害, 给国民经济也造成不少损失。据谢炯光等<sup>[2]</sup>统计, 广东 5~6 月出现连续暴雨(持续 3 天以上的暴雨过程)的几率达 87%, 而 4 月出现连续暴雨的几率只有 13%。文献<sup>[3]</sup>的统计也表明, 连续暴雨以每年 5 月底至 6 月初出现的几率最大。早在 1980 年代初, 沈如桂等<sup>[4]</sup>就指出, 前汛期初期的华南降水“北强南弱”的气候特征与西风带南支气流及南海高压脊北侧偏西气流相联系; 而随着南海夏季风的建立和加强, 华南前汛期降水由“北强南弱”转为“北弱南强”分布。陈隆勋等<sup>[5, 6]</sup>也指出, 东亚地区自春到夏存在副热带季风雨季和热带季风雨季, 相应的华南前汛期降水可分为前期的锋面降水和后期的夏季风降水。池艳珍等<sup>[7]</sup>对华南前汛期不同降水时段的特征分析也表明, 锋面降水时段主要集中在 4 月, 为典型的由冬到夏过渡的环流形势, 夏季风降水时段盛期主要集中在 6 月。左瑞亭等<sup>[8]</sup>利用模式计算结果发现西风带和热带的降水性质有着本质差别, 前者与风暴轴有关, 为大尺度抬升凝结降水, 后者受控于大气层结, 为对流性降水。由此可以看出, 华南前汛期初期降水和后期降水具有完全不同的性质, 应该将它们区分开来。

据李春晖等的研究<sup>[9]</sup>, 南海夏季风向北推进影响到华南地区的时间存在明显的差异, 最早的可以一天就推进影响到华南地区, 最晚的却要 42 天。故南海夏季风爆发后并不意味着华南夏季风降水的开始, 直到南海夏季风推进到华南地区, 才开始出现季风降水, 从而造成华南前汛期降水的第二峰值。因此, 有必要直接深入研究华南夏季风降水开始日的变化规律并寻找其前兆信号, 对做好前汛期后期的夏季风降水开始的预测及对防汛抗洪具有重大意义。

郑彬等<sup>[10]</sup>分析了气候平均状态下锋面降水和季风降水期间大气性质和特征的差异, 得到华南夏季风降水开始日期的基本判据: 华南地区 100 hPa 纬向风由西风转为东风并维持 5 天以上, 并利用该判据得到 1951~2004 年逐年华南前汛期锋面降水和季风降水的划分日期。合成分析的结果表明, 该判据能将锋面降水和季风降水期间大气特点的显著差别区分开来。郑彬等<sup>[11]</sup>研究表明, 华南前汛期的锋面降水和季风降水分布主要有三种类型——全区旱涝型、西南涝(旱)东北旱(涝)型、东南涝(旱)西北旱(涝)型; 各分布型的时间系数与 850 hPa 风场的相关结果表明不同的分布对应着不同的低层环流形势; 统计结果显示华南前汛期锋面降水的分布形式与季风降水的分布形式有一定的对应关系。本文基于郑彬等<sup>[10]</sup>确定的逐年华南前汛期锋面降水和夏季风降水的划分日期(以下简称为夏季风降水开始日)时间序列, 研究华南夏季风降水开始迟早的变化特征及其在前期冬季大气环流和海温场的前兆信号, 并研究这些前兆信号影响华南夏季风降水开始迟早的物理过程。

## 2 资料和方法

本文所用资料如下: ① 郑彬等<sup>[10]</sup>确定的逐年华南夏季风降水开始日期时间序列; ② 重建的海表温度资料 ERSST<sup>[12, 13]</sup> (ftp: //ftp. ncdc. noaa. gov/pub/data/ersst-v2/), 水平分辨率为  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ ; ③ NCEP/NCAR 全球  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  的月平均 100 hPa 风场、500 hPa 高度场和 850 hPa 风场资料<sup>[14]</sup>。

采用的研究方法有以墨西哥帽为小波母函数的小波分析、相关分析和合成分析等。小波变换主要用于研究华南夏季风降水开始日期变化特征, 相关分析主要用于研究华南夏季风降水开始日期与前期大气环流及海温场的关系, 合成分析用于研究前期冬季海温异常对应的 5 月份大气环流异常。

## 3 华南夏季风降水开始日变化特征

图 1a 为华南夏季风降水开始日期的逐年距平、线性倾向变化及其高斯 9 点平滑变化曲线。零值代表 1951~2004 年华南夏季风降水开始日期的平均值 (5 月 30~31 日)。可见, 华南夏季风降水开始日期具有较明显的年际和年代际变化特征, 逐年的开始日期差异也较大: 最早的为 1951 年 5 月 13 日, 最晚的为 1996 年 6 月 19 日, 相差达 37 天。从线性倾向变化直线可见, 夏季风降水开始日期有逐渐变晚的趋势。线性倾向值  $b=0.11$ , 反映近 54 年来夏季风降水开始日期以  $0.11 \text{ d/a}$  的线性倾向变晚; 相关系数为 0.251, 可以通过  $\alpha=0.1$  显著性水平检验, 说明变晚趋势较明显。另外, 从高斯 9 点

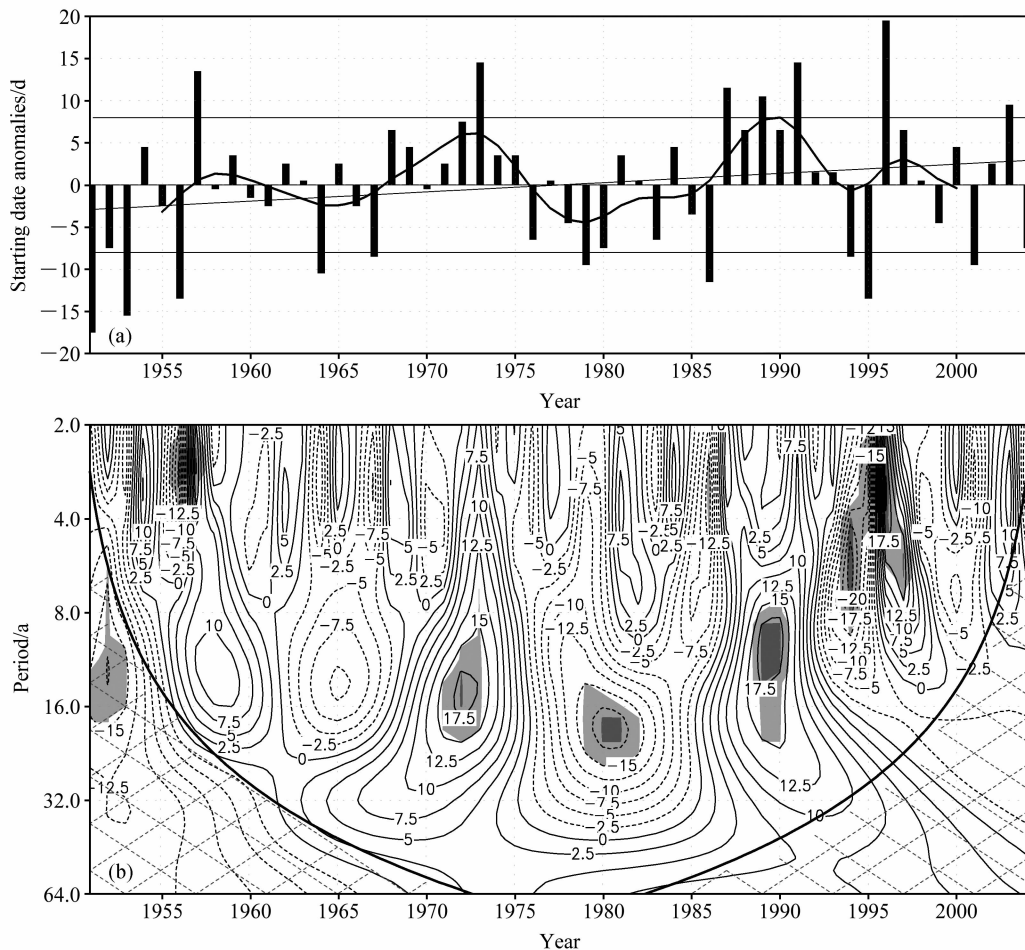


图 1 华南夏季风降水开始日期距平序列 (a, 斜直线为线性拟合趋势线, 实横线为 1 倍标准差值, 实曲线为高斯 9 点平滑曲线) 及其小波变换 (b, 交叉平行网状线为受边界影响区域, 浅阴影和深阴影为通过  $\alpha=0.1$  和  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验)

Fig. 1 (a) The anomalies of the starting date of summer monsoon rain over South China (tilting line is for linear fitting trend, solid horizontal line for one-time standard deviation, solid curve line for 9-point Gaussian smoothing) and (b) its wavelet transform (the cross-hatched regions on both bottoms indicate the areas with boundary effects, light and dark shadings pass the test at  $\alpha=0.1$  and  $0.05$  significance levels respectively)

平滑变化曲线可见,夏季风降水开始日期具有较明显的年代际变化特征。即 1950 年代前中期夏季风降水开始日期偏早,1950 年代末~1960 年代前期正常,1960 年代后期~1970 年代前期偏晚,1970 年代后期~1980 年代前期偏早,1980 年代后期~1990 年代前期偏晚,1990 年代中期~2000 年代前期正常。

夏季风降水开始日期序列的标准差  $\sigma=8$ , 本文取距平值  $\geq \sigma$  为夏季风降水开始日期偏晚年; 距平值  $\leq -\sigma$  为偏早年。则夏季风降水开始日期偏早年

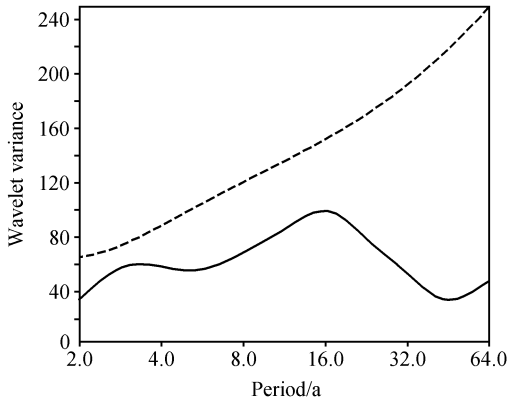


图 2 1951~2004 年华南夏季风降水开始日期的小波方差 (虚线为  $\alpha=0.05$  的显著性水平)

Fig. 2 The wavelet variance of the starting date of summer monsoon rain over South China from 1951 to 2004 (dashed line is for  $\alpha=0.05$  significance level)

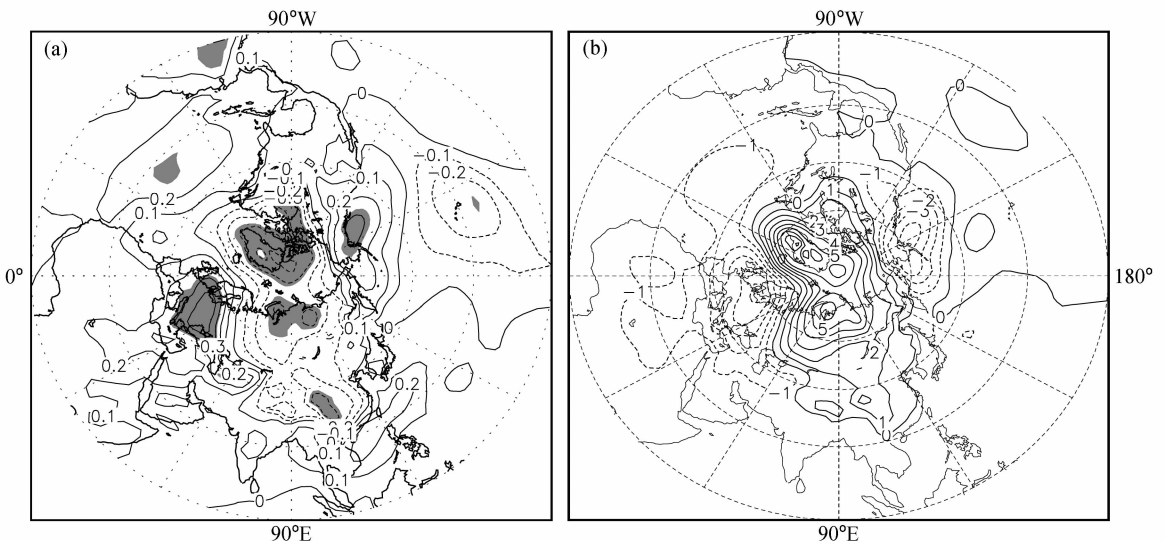


图 3 (a) 华南夏季风降水开始日期与前期冬季北半球海平面气压场的相关系数 (阴影区通过  $\alpha=0.05$  的显著性检验); (b) 华南夏季风降水开始日期异常偏早年与偏迟年前期冬季气压场差值 (单位: hPa)

Fig. 3 (a) Correlation coefficient between the starting date of summer monsoon rain over South China and sea level pressure in the Northern Hemisphere in the preceding winter (shaded areas pass  $\alpha=0.05$  significance level test) and (b) composite difference of sea level pressure (hPa) in the preceding winter between the earlier and later years of the starting date of summer monsoon rain

有 10 年: 1951、1953、1956、1964、1967、1979、1986、1994、1995 和 2001 年; 夏季风降水开始偏晚年有 8 年: 1957、1972、1973、1987、1989、1991、1996 和 2003 年。

从图 1b 小波系数的分布可见,夏季风降水开始日期具有明显的准 2~3 年和 10~18 年的年代际周期振荡。其中准 2~3 年振荡主要出现在 1950 年代前中期、1960 年代中期、1980 年代中期、1990 年代中期及 2000 年代前后; 准 10~18 年的年代际变化在 1950 年代~1990 年代初一直存在。1990 年代中期的变化特征以 4~5 年为主。1970 年代~1990 年代初的年代际变化都通过了 95% 的显著性检验。从小波方差图 (图 2) 可见,华南夏季风降水开始日期的主要周期为 2~3 年和 16 年; 从功率谱 (图略) 可以看出, 13 年、2.9 年和 2.4 年为明显的峰值。功率谱确定的低频周期 13 年和小波方差方法确定的低频周期 16 年不一致, 是由于功率谱在低频段分辨率较低所导致。故华南夏季风降水开始日期具有明显的准 2~3 的年际和 16 年的年代际周期振荡。

#### 4 华南夏季风降水开始迟早与前期冬季大气环流的关系

图 3 给出了华南夏季风降水开始日期与前期冬

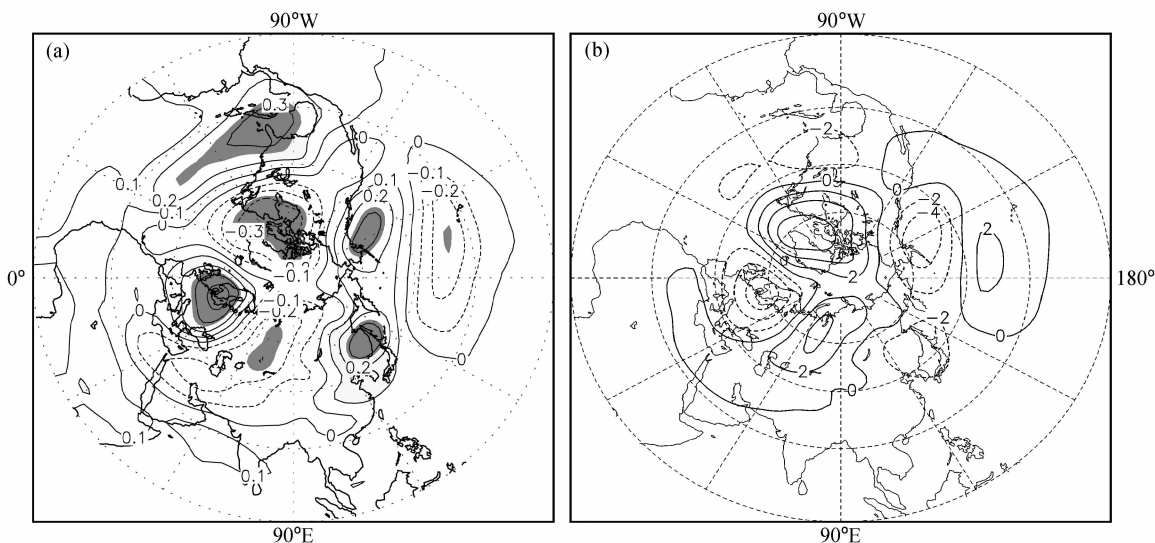


图 4 (a) 华南夏季风降水开始日期与前期冬季 500 hPa 高度场的相关系数 (阴影区通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验); (b) 华南夏季风降水开始偏早与偏晚年前期冬季 500 hPa 高度场差值 (单位: dagpm)

Fig. 4 (a) Correlation coefficient between the starting date of summer monsoon rain over South China and 500 hPa geopotential height in the Northern Hemisphere in the preceding winter (shaded areas pass  $\alpha=0.05$  significance level test) and (b) composite difference of 500 hPa geopotential height (dagpm) in the preceding winter between the earlier and later years of the starting date of summer monsoon rain

季 (12~2 月) 北半球海平面气压的相关系数及异常迟早年前期冬季的海平面气压差。从图 3a 可见, 显著相关区主要出现在中高纬度地区。显著的负相关跨越北极, 最好相关区域在北美北部的加拿大到格陵兰岛, 相关系数达  $-0.41$ 。另外, 在西伯利亚和中国中北部还有两个显著负相关区。两个显著正相关区分别在欧洲西部和阿留申群岛附近, 相关系数分别为  $0.43$  和  $0.3$ 。从图 3b 可见, 异常偏迟与偏早年的海平面气压差值有类似的分布, 北极区, 海平面气压明显正异常, 并且在  $60^{\circ}\text{N}\sim 80^{\circ}\text{N}$  范围内有两个显著的正异常中心, 分别位于新地岛附近和美洲东岸。两个显著的负异常中心分别位于欧洲西部和阿留申群岛。根据地转关系, 亚洲大陆的高压异常和北太平洋的低压异常使得东亚地区盛行偏北风, 反映出冷空气活动较强。

图 4a 为从华南夏季风降水开始日期与前期冬季北半球 500 hPa 高度场的相关系数分布。从图 4a 可见, 北美的加拿大至格陵兰为明显的负相关区, 在乌拉尔山附近也为一显著负相关区; 而在欧洲西部、鄂霍次克海、北美西岸和美国东南部为显著的正相关区。在西半球有类似于负相位的太平洋-北美型 (PNA) 遥相关分布; 在东半球有类似于负相位的欧亚-太平洋型 (EUP) 遥相关分布。从华南夏

季降水开始早年与降水开始晚年前期冬季 500 hPa 高度场差值 (图 4b) 可以明显看出, 负异常出现在北太平洋和大西洋偏东地区, 我国东北至日本为明显的负异常; 而正异常主要出现在加拿大至格陵兰及乌拉尔山附近。反映了华南夏季风降水偏早年的前期冬季乌拉尔山阻塞高压偏强, 东亚大槽较深, 冷空气活动偏强。

## 5 华南夏季风降水开始迟早与前期海温场的关系及 5 月大气环流异常

郑彬等<sup>[10]</sup>已分析出华南夏季风降水开始日前后大气环流存在明显的差异。由于海温异常是大气环流异常的重要外强迫之一, 而且大气环流异常对海温异常的响应存在一定的滞后性, 故研究华南夏季风降水开始迟早与前期海温场的关系有可能找到一些对预报有意义的前兆信号。通过研究前兆信号对应的后期大气环流场异常, 不但可以验证前兆信号的可信度, 还可以提供一些物理上合理的解释。

### 5.1 华南夏季风降水开始迟早与前期冬季海温场的关系

图 5 给出了华南夏季风降水开始日期与前期冬季 12~2 月逐月海温场的相关系数。可见, 从前期冬季 12 月到 2 月, 北太平洋的鄂霍次克海附近

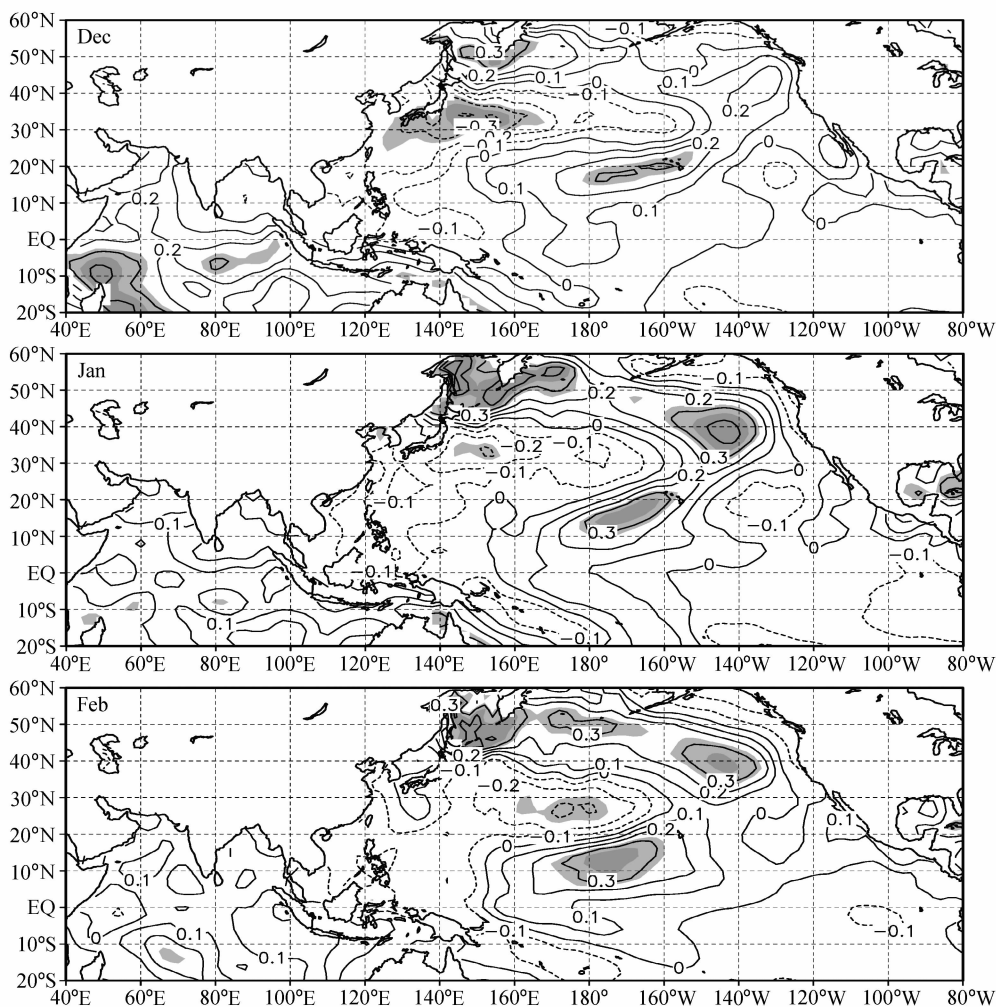


图5 华南夏季风降水开始与前期冬季各月海温的相关。浅、深阴影为通过  $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.01$  的显著性水平检验区

Fig. 5 The correlation between the starting date of monsoon rain over South China and monthly SST during the preceding winter (Light and dark shadings pass the test at  $\alpha=0.05$  and  $\alpha=0.01$  significance levels)

( $45^{\circ}\text{N}\sim 55^{\circ}\text{N}$ ,  $140^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{E}$ ) 区域的海表面温度与华南夏季风降水开始日期呈稳定的显著正相关, 通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验。另外还可见, 在 ( $10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ,  $180^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{W}$ ) 区域也存在以稳定的正相关区。

冬季, 鄂霍次克海附近海温与华南夏季风降水开始早晚呈正相关, 说明华南夏季风降水开始早, 前期冬季鄂霍次克海附近海温较低。这与前面得到的华南夏季风降水开始早对应的东亚地区前期冬季冷空气强的结论是一致的。已有研究表明, 在中纬度海域, 海洋对大气的异常加热主要受冷空气强度左右<sup>[15]</sup>。最明显的证据是, 冬季海洋对大气加热的年份不是水温高而是水温低、气温更低的年份<sup>[16]</sup>, 海温的变化是对海洋失热多少的响应。强

冷空气把更多的极地干冷空气携带南下且增大了风速, 通过增加蒸发而降低冬季的鄂霍次克海附近的海温。

图6给出了前期冬季(12~2月)平均的鄂霍次克海附近海温序列。鄂霍次克海附近的冬季平均海温约  $1.7^{\circ}\text{C}$ , 标准差为  $0.45^{\circ}\text{C}$ 。以超过一倍标准差为异常年份, 则 1984、1991、1996、1997、1998 和 2004 为海温偏暖年; 1951、1952、1953、1954、1955、1956、1961、1966 和 1979 为海温偏冷年。二者基本以 1970 年代末为界, 反映出该区海温可能受太平洋年代际变化(PDO)影响<sup>[17]</sup>。

冬季鄂霍次克海平均 SST 与夏季风降水开始日序列的相关系数为 0.456, 通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验。冬季鄂霍次克海平均 SST 序列与夏

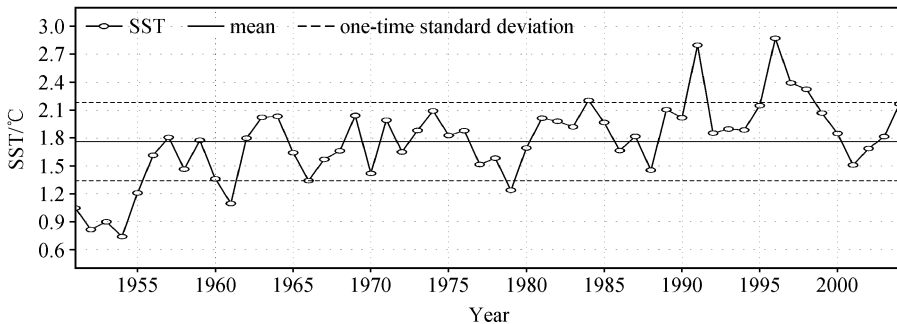


图 6 1951~2004 年鄂霍次克海附近 (45°N~55°N, 140°E~160°E) 的冬季平均海温  
Fig. 6 Winter (DJF) mean SST around the Okhotsk Sea (45°N–55°N, 140°E–160°E) from 1951 to 2004

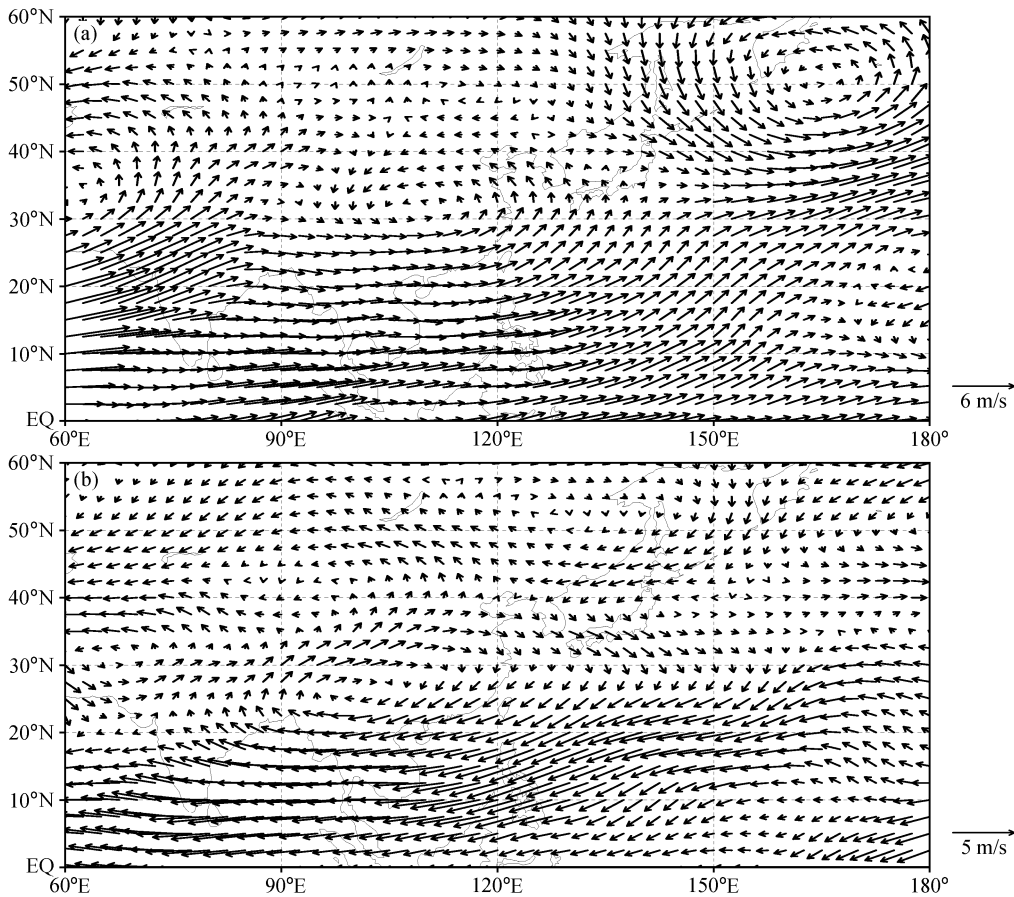


图 7 冬季鄂霍次克海海温异常时 5 月 100 hPa 合成环流偏差：(a) 正异常；(b) 负异常  
Fig. 7 The deviation of 100 hPa circulation during May for (a) positively and (b) negatively anomalous SSTs in the Okhotsk Sea

季风降水开始日序列都有一定的线性趋势，去掉线性趋势项后，两序列的相关系数为 0.423，也通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验。冬季鄂霍次克海平均 SST 与夏季风降水开始日序列之间的相关主要表现在年际变化还是年代际变化上？采用 9 点平滑方法做滤波，年代际尺度上两序列的相关系数为 0.57（此时序列样本数为 46，比原序列的样本

数少 8）；年际尺度上两序列的相关系数为 0.474。可见，两序列在年代际尺度上的相关更好一些，但两种时间尺度上的相关都通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验。

### 5.2 冬季鄂霍次克海附近海温场异常对后期大气环流的影响

根据上节确定的显著相关区海温变化的异常

年,采用合成分析的方法研究显著相关区海温异常对应的后期大气环流异常。目的表现在两方面:其一,验证海温场前兆信号的真实性和可信度,因为相关得到的结果未必可靠;其二,分析前兆信号区的海温通过何种途径影响华南夏季风降水的开始。前文已知,平均的华南夏季风降水开始日期为5月底,所以我们研究前期冬季海温异常所对应的5月份平均大气环流。若华南地区5月100 hPa纬向风偏差为东风,则认为华南夏季风降水开始早;反之,若华南地区5月100 hPa纬向风偏差仍为西风控制,则认为华南夏季风降水开始晚。

图7为前期冬季鄂霍次克海海温异常年时5月份100 hPa合成环流偏差。可以看出,当冬季鄂霍次克海SST正异常时,合成的5月份100 hPa青藏高原偏东偏北偏弱,偏差场上表现为以(32.5°N, 110°E)为中心的气旋式环流,该环流使得异常的偏西风控制华南,季风降水开始日期偏晚。相反时,若冬季鄂霍次克海SST负异常,合成的5月

100 hPa青藏高原偏西偏南偏强,偏差场上表现为以(27.5°N, 105°E)为中心的反气旋式环流,该环流使得异常的偏东风控制华南,季风降水开始日期偏早。

冬季鄂霍次克海正、负海温异常对应的5月份500 hPa高度场之差(图略)表现为乌拉尔山和贝加尔湖阻塞高压都很强,而鄂霍次克海以东为高度场负异常。鄂霍次克海处于强气压梯度力中心,从而在东亚沿岸产生强烈偏北风。对应的5月份850 hPa环流偏差见图8,当冬季鄂霍次克海SST正异常时,整个东亚地区以偏北风为主,华南盛行东北风,反映出华南仍受北方冷空气的影响。若冬季鄂霍次克海SST负异常,5月850 hPa环流在东亚地区基本相反,盛行偏南风。华南盛行西南风,受南部热带天气系统影响为主。

对10个华南夏季风降水日开始偏早年及8个偏晚年分别作5月份的850 hPa环流合成偏差(图略)表明,对华南夏季风降水开始日偏晚年,我国

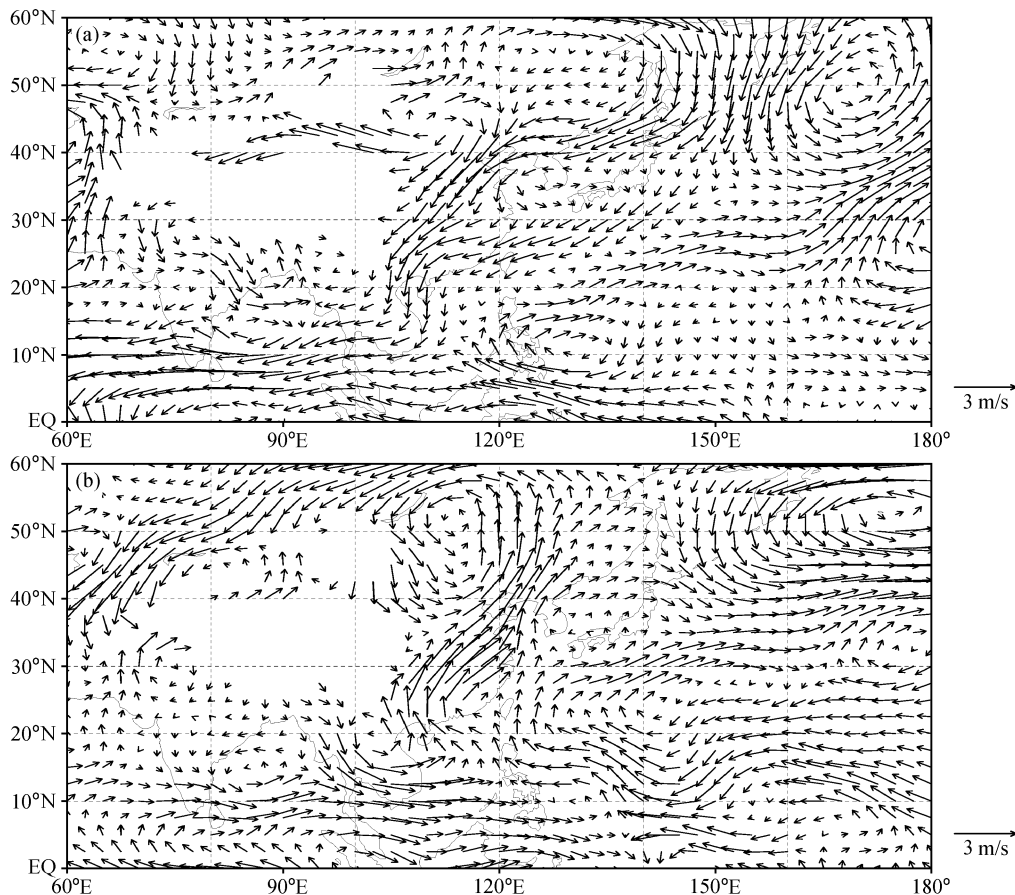


图8 同图7, 但为850 hPa

Fig. 8 Same as in Fig. 7, except for 850 hPa

东部地区受冷空气活动影响明显, 偏北风可达 $25^{\circ}\text{N}$ 左右; 对华南夏季风降水开始日偏早年, 我国东部地区受热带天气系统影响明显, 偏南风可达 $40^{\circ}\text{N}$ 左右, 而冷空气活动影响弱。这一结果与以冬季鄂霍次克海异常为参考点合成的 5 月 850 hPa 环流偏差场在中国东部地区的表现基本一致, 说明冬季鄂霍次克海海温异常是华南夏季风降水日开始偏早或偏晚有物理意义的前兆信号。

冬季鄂霍次克海附近海温异常是如何影响到华南夏季风降水开始迟早的? 我们知道, 虽然中高纬度的海气相互作用是以大气环流异常影响海洋为主, 但受冬季大气环流异常影响已经变化的冬季海温对后期大气环流的影响还是存在的。Liu 和 Wu<sup>[18]</sup>从统计和完全耦合的海气环流模式研究都表明, 后期大气对冬季海温异常的响应是暖脊(warm-ridge)型的, 即春季大气对冬季北太平洋海温正异常的响应是正压的脊; 对海温负异常的响应是正压的槽。因此, 对应到冬季鄂霍次克海附近海温负异常, 后期春季将有一个异常的正压槽叠加在鄂霍次克海阻塞高压上, 即鄂霍次克海阻塞高压将减弱。根据 Wang 等<sup>[19]</sup>提出的与鄂霍次克海阻塞高压有关的遥相关, 当鄂霍次克海阻塞高压减弱时, 日本上空 500 hPa 高度场为正异常, 即东亚大槽减弱, 从而使得影响我国东部的冷空气活动减弱。所以, 当冬季鄂霍次克海附近海温为负异常时, 后期春季鄂霍次克海阻塞高压将减弱, 东亚大槽减弱, 春季影响我国东部的冷空气减弱, 相对来说华南地区更易受热带系统控制, 夏季风降水开始日期偏早。反之, 当冬季鄂霍次克海附近海温正异常, 后期春季鄂霍次克海阻塞高压将加强, 东亚大槽加深, 春季影响我国东部的冷空气加强, 华南地区在春末时更易受北方冷空气的影响, 夏季风降水开始日期偏晚。

## 6 结论

通过上述研究, 本文得到如下结论:

(1) 1951~2004 年平均的华南夏季风降水开始日为 5 月 30~31 日, 呈 1.1 d/10 a 的弱变晚趋势。小波变换分析表明, 华南夏季风降水开始日有明显的年际和年代际变化, 年际变化以准 2~3 年变化为主; 年代际变化周期约 16 年, 但 20 世纪 90 年代初以后年代际变化趋于减弱。

(2) 华南夏季风降水开始偏早年在大气环流上的前兆信号表现为前期冬季乌拉尔山阻塞高压偏强、东亚大槽较深, 阿留申低压偏强, 反映了冷空气活动偏强。

(3) 前期冬季鄂霍次克海海表温度异常为华南夏季风降水开始迟早的稳定正相关前兆信号, 基本能维持冬春两季。冬季鄂霍次克海 SST 正异常时, 5 月 100 hPa 上的青藏高压偏东偏北偏弱, 异常的偏西风控制华南; 850 hPa 环流反映华南受冷空气影响为主, 华南夏季风降水开始日期偏晚。相反, 若冬季鄂霍次克海附近 SST 负异常, 5 月 100 hPa 上的青藏高压偏西偏南偏强, 异常的偏东风控制华南; 850 hPa 环流反映华南受热带系统为主, 华南夏季风降水日期开始偏早。

(4) 华南夏季风降水开始日异常在大气环流和海温场上的前兆信号是一致的。一个可能的物理过程是, 冬季的强冷空气增大了风速, 通过增加蒸发而降低冬季的鄂霍次克海附近的海温, 冬季鄂霍次克海附近的海温负异常使得春季的鄂霍次克海阻塞高压减弱, 东亚大槽减弱, 春季影响我国东部地区的冷空气活动减弱, 华南地区更易于受热带天气系统影响, 华南夏季风降水开始偏早; 反之亦然。

## 参考文献 (References)

- [1] 薛纪善主编. 1994 年华南夏季特大暴雨研究. 北京: 气象出版社, 1999  
Xue Jishan (Editor in chief). *The Great Rainstorm over South China during Summer in 1994* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1999
- [2] 谢炯光, 纪忠萍, 谷德军, 等. 广东省前汛期连续暴雨的气候背景及中期环流特征. 应用气象学报, 2006, **17** (3): 354~362  
Xie Jiongguang, Ji Zhongping, Gu Dejun, et al. The climatic background and medium-range circulation features of continuous torrential rain from April to June in Guangdong. *J. Applied Meteor. Sci.* (in Chinese), 2006, **17** (3): 354~362
- [3] 广东省热带海洋气象研究所编著. 广东前汛期暴雨. 广州: 科学普及出版社广州分社, 1984. 1~19  
Guangdong Institute of Tropical and Oceanic Meteorology. *Rainstorm in Flood Season in Guangdong* (in Chinese). Guangzhou: Science Popularization Press, 1984. 1~19
- [4] 沈如桂, 陶全珍, 赖莹莹, 等. 华南前汛期对对流层高低空的低纬环流变动和降水. 全国热带夏季风学术会议文集-1982. 昆明: 云南人民出版社, 1983. 10~20

- Shen Rugui, Tao Quanzhen, Lai Yingying, et al. The circulation change in lower and upper troposphere in lower latitudes and the rainfall during the pre-typhoon rain-season. *Article Collection of the National Symposium on Tropical Summer Monsoon - 1982* (in Chinese). Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1983. 10 ~ 20
- [5] 陈隆勋, 朱乾根, 罗汉邦, 等. 东亚季风. 北京: 气象出版社, 1991. 362pp
- Chen Longxun, Zhu Qian'gen, Luo Huibang, et al. *East Asia Monsoon* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1991. 362pp
- [6] 陈隆勋, 李薇, 赵平, 等. 东亚地区夏季风爆发过程. 气候与环境研究, 2000, **5** (4): 345~355
- Chen Longxun, Li Wei, Zhao Ping, et al. On the process of summer monsoon onset over East Asia. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5** (4): 345 ~ 355
- [7] 池艳珍, 何金海, 吴志伟. 华南前汛期不同降水时段的特征分析. 南京气象学院学报, 2005, **28** (2): 163~171
- Chi Yanzhen, He Jinhai, Wu Zhiwei. Features analysis of the different precipitation periods in the pre-flood season in South China. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2005, **28** (2): 163~171
- [8] 左瑞亭, 曾庆存, 张铭. 季风及季风与西风带相互关系的数值模拟研究, 大气科学, 2004, **28** (1): 7~22
- Zuo Ruiting, Zeng Qingcun, Zhang Ming. A numerical simulation of monsoon and the correlation between monsoon and westerlies. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2004, **28** (1): 7~22
- [9] 李春晖, 梁建茵, 郑彬, 等. 南海夏季风北推时间及相关环流变化特征. 应用气象学报, 2007, **18** (2): 202~210
- Li Chunhui, Liang Jianyin, Zheng Bin, et al. The time difference that the South China Sea summer monsoon affected the southern China and the characteristic of the related circulation change. *J. Appl. Meteor. Sci.* (in Chinese), 2007, **18** (2): 202~210
- [10] 郑彬, 梁建茵, 林爱兰, 等. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 I. 划分日期的确定. 大气科学, 2006, **30** (6): 1207~1216
- Zheng Bin, Liang Jianyin, Lin Ailan, et al. Frontal rain and summer monsoon rain during pre-rainy season in South China. Part I: Determination of the division dates. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2006, **30** (6): 1207~1216
- [11] 郑彬, 谷德军, 李春晖, 等. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 II. 空间分布特征. 大气科学, 2007, **31** (3): 495~504
- Zheng Bin, Gu Dejun, Li Chunhui, et al. Frontal rain and summer monsoon rain during pre-rainy season in South China. Part II: Spatial patterns. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2007, **31** (3): 495~504
- [12] Smith T M, Reynolds R W. Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854 - 1997). *J. Climate*, 2003, **16**: 1495~ 1510
- [13] Smith T M, Reynolds R W. Improved extended reconstruction of SST (1854 - 1997). *J. Climate*, 2004, **17**: 2466 ~ 2477
- [14] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40 year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**: 437~471
- [15] 赵永平, McBean G A. 北太平洋海洋异常加热主要型及其与海面水温的关系. 海洋与湖沼, 1991, **22** (1): 84~92
- Zhao Yongping, McBean G A. The dominant patterns of the marine anomaly heating of North Pacific and their relations to sea surface temperature. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (in Chinese), 1991, **22** (1): 84~92
- [16] 赵永平, 张必称, 井立才. 冬季东海黑潮海气热量交换对长江中下游汛期降水的影响. 海洋与湖沼, 1983, **14** (3): 256~262
- Zhao Yongping, Zhang Bicheng, Jing Licai. The influence of the sea - air heat exchange over the Kuroshio in the East China Sea in winter on the precipitation in the middle and lower reaches of Changjiang River in flood season. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (in Chinese), 1983, **14** (3): 256~262
- [17] Mantua N J, Hare S R, Zhang Y, et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, **78**: 1069~1079
- [18] Liu Z, Wu L. Atmospheric response to North Pacific SST: The role of ocean - atmosphere coupling. *J. Climate*, 2004, **17** (9): 1859~1882
- [19] Wang Y F, Yasushi F, Kuranoshin K. A teleconnection pattern related with the development of the Okhotsk High and the northward progress of the subtropical high in the East Asian summer. *Adv. Atmos. Sci.*, 2003, **20** (2): 237~244