

尹志聪, 王亚非. 2011. 江淮夏季降水季节内振荡和海气背景场的关系 [J]. 大气科学, 35 (3): 495–505. Yin Zhicong, Wang Yafei. 2011. The relationship between the intraseasonal oscillation of summer rainfall over the Yangtze–Huaihe River basin and its air–sea background field [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (3): 495–505.

江淮夏季降水季节内振荡和海气背景场的关系

尹志聪^{1,2} 王亚非²

1 北京市气象局, 北京 100089

2 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

摘 要 本文利用 1954~2005 年中国 740 站逐日降水资料和 NCEP/NCAR 再分析资料, 分析江淮夏季降水季节内振荡 (ISO) 的年际变化, 并讨论了异常年的海气背景特征。诊断分析的结果表明: (1) 当江淮夏季降水 ISO 活跃时, 江淮流域、孟加拉湾、南海及其以东海域和日本南部海区上空大气都表现出显著的季节内振荡特征。在江淮夏季降水不活跃年, 上述区域的 ISO 都相对较弱, 而赤道印度洋和赤道西太平洋上空大气的 ISO 则较活跃年更显著。(2) 降水 ISO 活跃年降水极端位相, 低层大气中从南海延伸至高纬度的低频 Rossby 波列非常显著, 中心位于南海、日本以东海区和阿拉斯加湾。而高层大气也在中高纬度地区表现出类似 Rossby 波列形势分布, 中心分别位于乌拉尔山附近、贝加尔湖北部、鄂霍次克海北部和库页岛东部海区。活跃年大气中的低频波列振幅较强, 位相特征显著, 传播路径清晰。而在 ISO 不活跃年, 高空和低空大气中的低频 Rossby 波列都非常不清晰。(3) 江淮流域夏季降水 ISO 强度与前期黑潮和同期南海 SST 存在显著的正相关。数值试验的结果表明: 前期黑潮 (或同期南海) 显著的 SST 正异常会增强大气中的季节内振荡, 并通过低频 Rossby 波列向外输送, 致使该 Rossby 波列振幅增强, 位相特征更为清晰。此外, 江淮流域夏季降水 ISO 在 ENSO 次年存在显著的增强。

关键词 降水 季节内振荡 Rossby 波 黑潮 南海 ENSO

文章编号 1006-9895 (2011) 03-0495-11

中图分类号 P461

文献标识码 A

The Relationship between the Intraseasonal Oscillation of Summer Rainfall over the Yangtze–Huaihe River Basin and Its Air–Sea Background Field

Yin Zhicong^{1, 2} and Wang Yafei²

1 *Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089*

2 *State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*

Abstract Based on the 740 stations' daily rainfall datasets in China from 1954 to 2005 and the NCEP/NCAR reanalysis data, the interannual variability of the intraseasonal oscillation (ISO) of summer rainfall over the Yangtze–Huaihe River basin was analysed and the associated air–sea features were discussed. The results are as follows: (1) when the ISO of summer rainfall is more active, the 30–60-day oscillation is significant in atmosphere over the Yangtze–Huaihe River basin, the Bay of Bengal, the South China Sea and the sea area southeast of Japan. In contrast, when the ISO is inactive, the 30–60-day oscillation is not significant over the above-mentioned areas. But, the ISO in the atmosphere over the equatorial Indian Ocean and the equatorial western Pacific is more significant than that in

收稿日期 2010-06-11, 2010-10-08 收修定稿

资助项目 中国气象科学研究院灾害性天气重点实验室资助项目 2009LASWZF04, JICA 中日政府间合作项目, 科技部项目 2009DFB20540

作者简介 尹志聪, 男, 硕士, 主要从事低频振荡和中期以及延伸期预报等研究。E-mail: cong84@163.com

通讯作者 王亚非, E-mail: yfwang@cams.cma.gov.cn

the active years. (2) In the extreme phases of ISO active years, the low-frequency Rossby wave was very significant in the low layer, centered at the South China Sea, the sea area east of Japan, and the Gulf of Alaska. Analogously, there was a significant Rossby wave in the high layer, centered at the Ural Mountains, Lake Baikal, the Sea of Okhotsk, and Sakhalin. (3) The ISO intensity showed significant positive correlation with SST in pre-spring Kuroshio and simultaneous South China Sea. The numerical experiments showed that the positive SST anomaly in pre-spring Kuroshio (simultaneous South China Sea) could excite low-frequency responds in the atmosphere which extended via the Rossby wave train and enhanced the amplitude and phase characteristics of this wave train. Moreover, the ISO intensity of summer rainfall is more active in the year after ENSO.

Key words rainfall, intraseasonal oscillation, Rossby wave, Kuroshio, South China Sea, ENSO

1 引言

江淮流域是我国旱涝发生比较频繁的地区,而旱涝的形成又取决于降水在时间和空间上的分布。前人的研究多将夏季降水作为整体来讨论该年的旱涝特征(黄荣辉,1990,丁一汇等,2007),但是在有些年份里降水表现出显著的季节内振荡(ISO, intraseasonal oscillation)(王遵娅和丁一汇,2008a),即在一段时间内多雨,而另一段时间少雨。降水的时间不均匀性往往导致江淮流域在短时间内经历旱涝两种极端天气(吴志伟等,2006)。通常降水的短期气候预测只能针对未来一段时间内的平均降水作出预测,而中期预报的有效期为7~10天。季节内振荡介于月、季之间,可以很好地填补中期预报和短期气候预测的之间的缝隙。对江淮流域夏季降水的季节内振荡的研究可以提高降水延伸期预报的能力。例如,王遵娅和丁一汇(2008a)的研究指出季节内振荡对中国东部雨季的持续和推进具有明显的调制作用,其中长江中下游及其以南地区以30~60天周期为主。

江淮夏季降水的低频振荡存在显著的年际变化,涝年降水低频振荡周期较早年长,涝年以30~60天周期为主,而旱年以10~30天周期为主(王遵娅和丁一汇,2008b)。降水低频周期的年际变化是大气环流及外强迫相互作用的结果,可以在大气环流以及外强迫中找到相应的信号。通过对向外长波辐射(OLR)、经向风等参数季节内振荡的分析,发现在江淮流域涝年夏季,南海、江淮流域及其以北的中高纬地区有强的ISO活动,表现出明显较强的振幅,并且有更清晰的传播特征(Yang and Li, 2003)。大量的数值试验结果表明,外强迫源对大气中低频振荡有显著的影响。李崇银和龙振夏(1992)以及肖子牛和李崇银(1992)的系列研究认

为,赤道东太平洋和黑潮冬季海温异常会在大气中激发出显著的30~60天响应,认为外强迫是大气季节内振荡产生的原因之一。陆维松等(1998)、邱明宇等(2006)也曾指出外强迫源的变化对中高纬大气周期有调制作用。

前人在研究江淮夏季降水季节内振荡的年际变化时,往往和降雨量联系起来,仅在极端旱涝年进行个例分析来讨论相应的环流特征。此外,海温异常对江淮夏季降水ISO年际变化的影响却很少受到关注。本文将采用较长时间尺度的资料讨论江淮夏季降水季节内振荡的年际变化及异常年海—气背景特征,并对物理机制给出简单的解释。

2 资料和方法

本文所用的资料包括:(1)中国气象局信息中心资料室整编的中国740测站1954~2005年的逐日降水资料。由于这些站点的建站时间不同,资料长度不一,且存在很多缺测,本文在对数据进行分析之前,进一步对资料进行了处理。我们根据胡娅敏等(2008)的定义,选取江淮流域47个站点作为江淮降水代表站。(2)1954~2005年NCEP/NCAR再分析资料中的逐日风场和高度场(水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$)。(3)1954~2005年NOAA扩展重建海表面温度($2^{\circ} \times 2^{\circ}$)。

本文所使用的方法主要包括Lanczos时间滤波器、Mann-Kendall检验以及一些相关合成分析。

3 江淮夏季降水ISO的年际和年代际变化

为了更好地讨论江淮夏季降水ISO活动强度的年际变化,我们定义夏季降水ISO活动指数(IAI, ISO Active Index)为夏季降水的30~60天变化方差(Ren and Huang, 2003),即先对每年夏

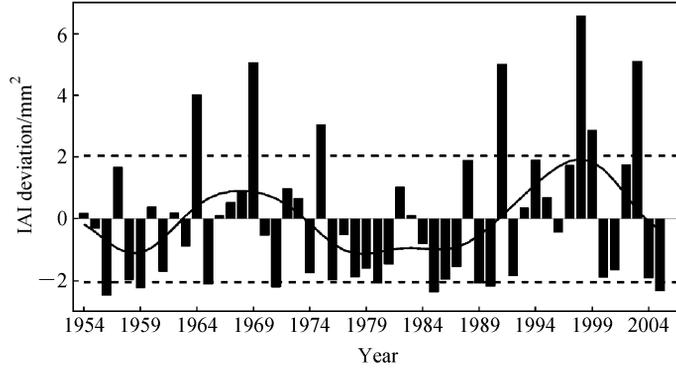


图1 1954~2005年IAI的距平序列(单位: mm²)。实线: 准9年滤波后序列; 虚线: 一个标准差
Fig. 1 The deviation series of IAI (mm²) from 1954 to 2005 and its 9-year filtered series (solid curve). The dashed lines denote one standard deviation

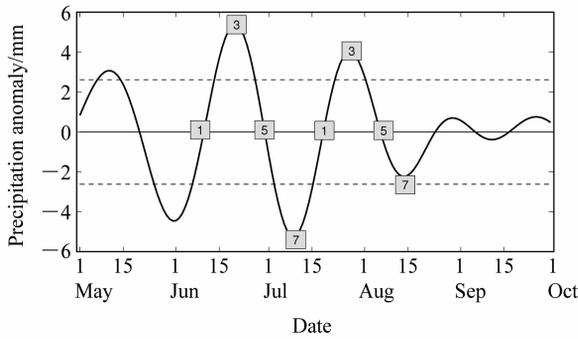


图2 30~60天滤波的1998年5~9月的降水距平(单位: mm)。数字: 该时间点的位相顺序; 虚线: 一个标准差
Fig. 2 The 30-60 day filtered rainfall anomaly in 1998. The numbers denote the phase sequence numbers and the dashed lines denote one standard deviation

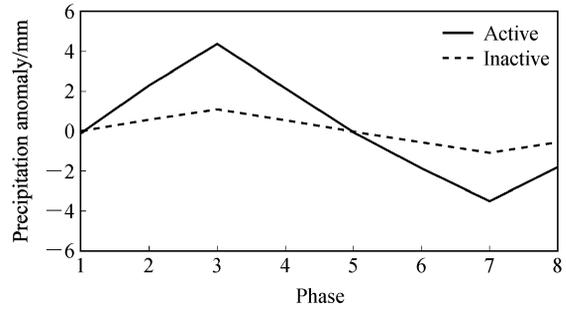


图3 ISO活跃年(实线)和不活跃年(虚线)滤波后降水序列位相合成图(单位: mm)
Fig. 3 The phase composites of filtered rainfall series in ISO active (solid line) and inactive (dashed line) years

季降水进行30~60天滤波之后, 再对所得序列求方差所得到的结果。当IAI较大时, 表明该序列变化的振幅大, 振荡剧烈。图1给出的是1954~2005年IAI年际距平, 可以发现: 近52年来, 江淮夏季降水季节内振荡的活动强度存在显著的年际变化, 最强的季节内振荡出现在1998年。1954~2005年IAI指数和江淮夏季降水量之间的相关系数达到0.299, 超过95%的信度检验, 即江淮夏季涝年降水ISO显著, 而早年ISO不显著, 这与以前的研究是一致的(王遵娅和丁一汇, 2008a)。从图1的准9年滤波曲线可以清楚地看出, IAI还存在显著的年代际变化, 在1970年代中期到1990年代初的这段时间内, 大部分年份IAI保持为负距平, ISO处于一种不活跃的状态。在1990年代初IAI变为显著的正距平, ISO变得活跃起来, 在降水逐日变化中的作用变得更为显著。对IAI的Mann-Kendall检验(图略)也表明, 指数序列在1990年代初发生

突变, 同时, 江淮夏季降水的ISO变得活跃起来。将IAI距平绝对值超过一个标准差的年份分别定义为ISO的活跃年和不活跃年, 则ISO的活跃年(不活跃年)有1964、1969、1975、1991、1998、1999和2003年(1956、1959、1965、1971、1980、1985、1989、1990和2005年)。图2为对1998年5~9月江淮流域逐日降水进行30~60天滤波之后的序列, 可以发现在1998年有两次季节内循环非常明显。将夏季峰(谷)值超过一个标准差的降水循环划分为8个位相, 其中第3位相对应正降水最大, 对总降水的贡献最大, 而第7位相对应负降水最大, 第1和第5位相为正位相和负位相转换阶段, 其他位相表示ISO的振幅值达到该循环的最大值或最小值一半的时间, 1998年共可以得到一个有16个样本的位相序列(简称TC)(Chen and Yen, 2000)。按照同样的方法对每一年的30~60天滤波后的降水序列进行位相划分, 并选取显著的降水循环。在某些年份, 为了保持循环的完整性, 时间范围延伸到5~9月。图3给出了ISO活跃年

和不活跃年降水的位相合成序列，活跃年的降水振幅要明显强于不活跃年，降水峰值超过±4 mm 的范围，而不活跃年没有超过±1.1 mm 的范围。对每一年的降水进行合成，结果非常相似（图略），这也在振幅这个层面上说明江淮夏季降水 ISO 的年际变化显著。

4 江淮夏季降水 ISO 异常年大气背景特征

为了考察江淮夏季降水 ISO 和大气中 ISO 之间的关系，对 1979~2005 年江淮夏季降水 ISO 活跃和不活跃两种情况下 OLR 的 30~60 天变化方差进行了合成（图 4）。当江淮夏季降水 ISO 活跃时，江淮流域、孟加拉湾、南海及其以东海域和日本南部海区上空都表现出显著的季节内振荡特征。在江淮夏季降水不活跃年，上述区域的 ISO 都相对较弱，而赤道印度洋和赤道西太平洋上空大气的 ISO

则较活跃年更显著。活跃年大气中 ISO 的显著区域从热带向中纬度呈西南—东北向延伸，基本涵盖了对江淮夏季降水起主要作用的环流系统，这些环流系统的年际变化和江淮夏季降水 ISO 的年际变化之间存在紧密的联系。

图 5 给出的是 ISO 活跃年和不活跃年的第 3 位相和第 7 位相 850 hPa 风场合成图。在 ISO 活跃年的第 3 位相，850 hPa 风场表现为从南海延伸至中高纬度的低频 Rossby 波列的形式，中心位于南海、日本岛东部和阿拉斯加地区，此外还有两个气旋性异常位于贝加尔湖和我国华北地区上空。低频波列西段的反气旋和气旋异常分别位于南海和日本东面，调节西太平洋副热带高压（西太副高）明显偏向西南，进入南海上空，且强度增强。南海反气旋后部的异常西南风为江淮流域输送了大量的暖湿空气，并且和华北地区气旋性异常后部的西北气流交汇，促使江淮切变线形成。第 7 位相的低频波列位

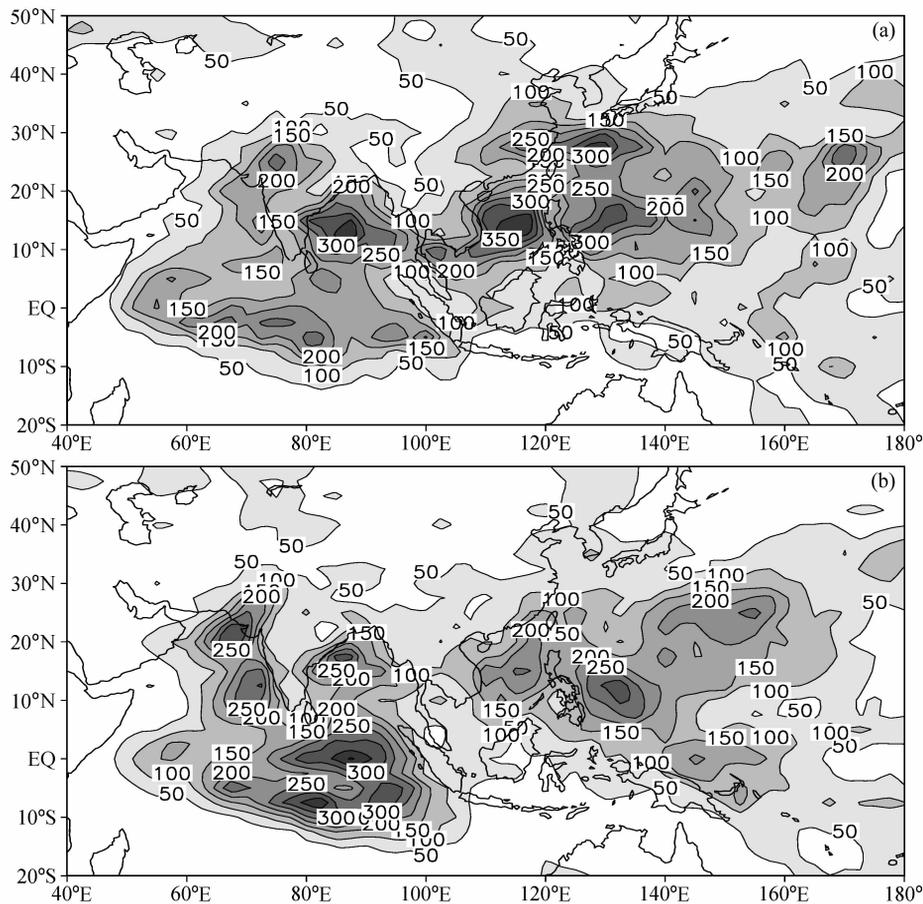


图 4 江淮夏季降水 ISO (a) 活跃年和 (b) 不活跃年 30~60 天 OLR 的方差分布 (单位: K^2)。阴影: 方差超过 $50 K^2$ 的区域

Fig. 4 The variance of OLR on 30~60-day band in ISO (a) active and (b) inactive years (units: K^2). The shaded areas denote variance exceeding $50 K^2$

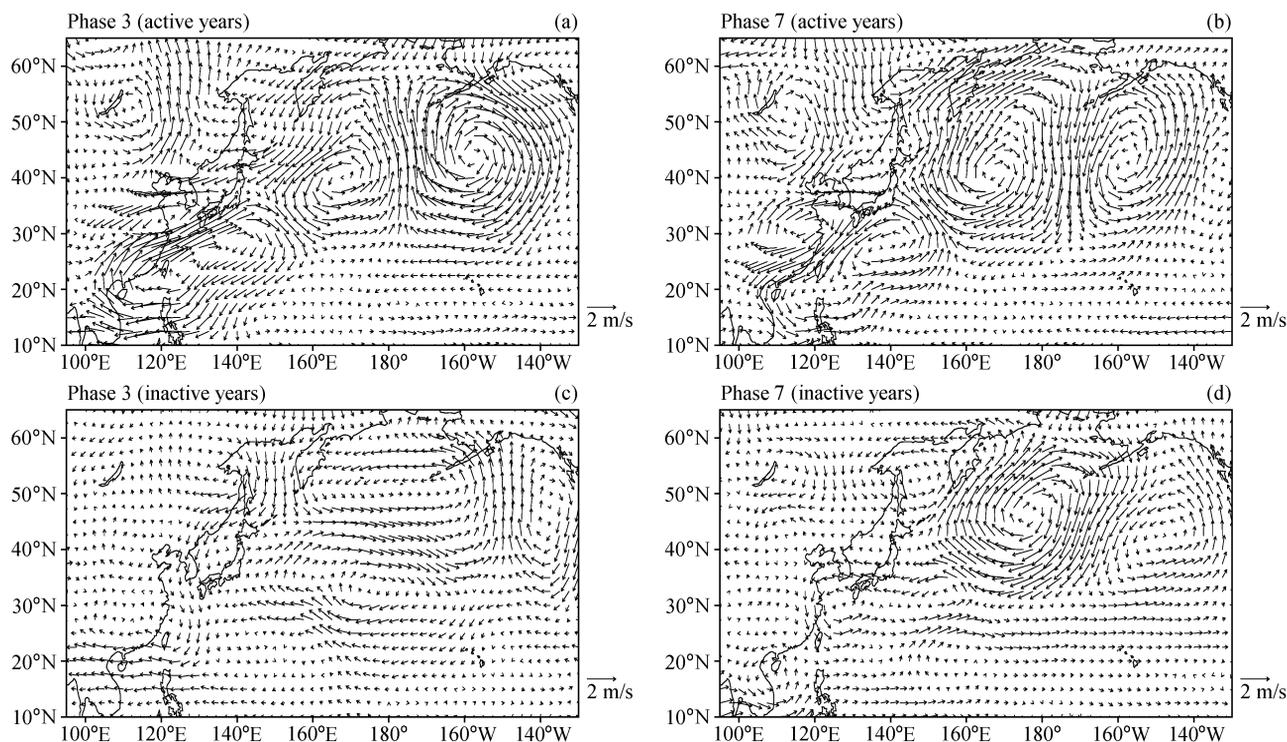


图5 江淮降水 ISO (a、b) 活跃年和 (c、d) 不活跃年的 (a、c) 第 3 位相和 (b、d) 第 7 位相的 850 hPa 风场 (单位: m/s)

Fig. 5 Composites of 850-hPa wind for (a, c) phase 3 and (b, d) phase 7 in the ISO (a, b) active and (c, d) inactive years

相完全转换, 路径和中心相对固定, 贝加尔湖和我国华北上空也被反气旋性异常所占据。波列西段的反气旋和气旋异常位置互换, 导致西太副高也减弱退出南海。南海上空为气旋性异常, 和华北反气旋异常相配合, 在江淮上空低层形成气流辐散, 不利于降水的产生。由此可以看出, 在低频 Rossby 波列的位相转换过程中, 波列西段的反气旋和气旋对共同作用, 调控西太副高周期性地进入或退出南海, 对低频降水产生影响。但是, 在江淮夏季降水 ISO 不活跃年, 低频 Rossby 波列以及贝加尔湖和我国华北上空的低频系统则非常不明显。

与低层环流不同的是, 高层大气中和江淮夏季降水相关的低频系统主要出现在中高纬度地区 (如图 6)。降水 ISO 活跃年第 3 位相, 300 hPa 高度场上表现为“+ - + -”的类似 Rossby 波列形势分布, 中心分别位于乌拉尔山附近、贝加尔湖北部、鄂霍次克海北部和库页岛东部海区。这样的环流形式不仅有利于高纬 Rossby 波能量向中纬度的传播, 而且有利于环流形势的稳定维持和干冷空气的南下侵入江淮流域。第 7 位相时, 低频波列位相完全转换, 路径和中心相对固定。但是, 在降水 ISO

不活跃年, 高层大气中的低频系统也非常不明显。因此, 江淮夏季降水 ISO 活跃年大气中的 30~60 天振荡较常年显著增强, 第 3 位相环流增加该位相的季节内降水正距平, 而第 7 位相则抑制降水的产生, 产生更大的降水负距平, 增大了季节内降水的振幅, 即增强了江淮夏季降水 ISO 的强度。从上述分析可以发现, 降水的 ISO 活跃位相对应的流场通常符合实际降水量大 (即多雨年) 所对应的流场类型, 但在概念和实际统计上却是存在显著不同的, 这从另一个角度说明了降水的 ISO 在江淮夏季降水中是非常显著的。

5 江淮夏季降水 ISO 异常年前期海温场的特征

5.1 海温异常与江淮夏季降水 ISO 的相关关系

Wallace and Blackmon (1983) 指出: 海温等外源强迫被认为是产生大气低频振荡的重要机制之一, 同时热带地区和中国近海的海温异常对江淮夏季降水都具有重要的影响。那么, 热带地区和中国近海的海温异常是否会对江淮夏季降水的季节内振荡产生影响? 为了探讨江淮夏季降水 ISO 强度和和

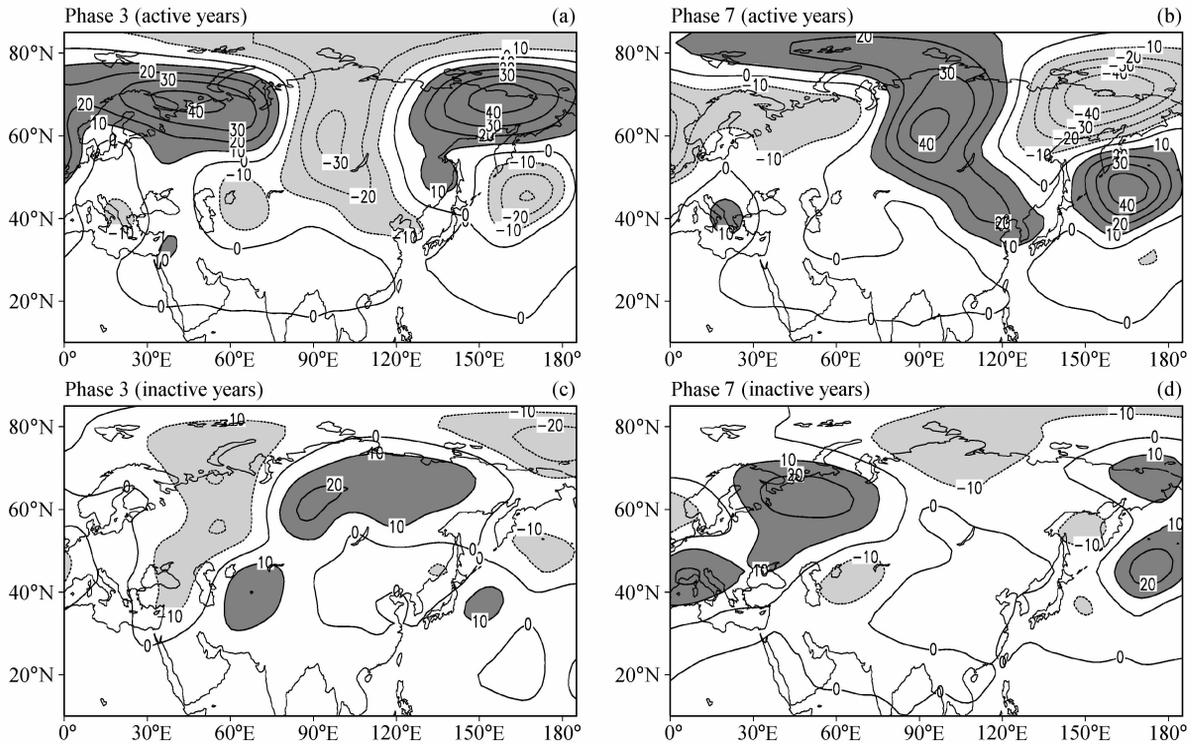


图6 同图5, 但为 300 hPa 高度场距平 (单位: gpm)

Fig. 6 Same as Fig. 5, but for 300-hPa geopotential height anomaly (gpm)

海温场的关系, 我们计算了 1954~2005 年的 IAI 和前期及同期 SST 的相关系数 (图 7)。在热带海域范围内, 从前年夏季开始到同年春季, 赤道中东太平洋的 SST 和 IAI 一直保持着显著的正相关关系, 即在 ENSO 次年, 江淮流域夏季降水存在显著的增强。与中国近海海温的相关性方面, 从前期冬季开始中纬度日本南部黑潮区开始出现正相关区域, 随着时间的推移该正相关区域逐渐变强扩展至黑潮及其延伸区。到同期夏季时, 该正相关中心向南退到 30°N 以南, 160°E 以西的范围内。而处于较低纬度的南海 SST 和 IAI 从前期秋季开始一直保持较为显著的相关性, 但直到同期夏季相关区域才扩展到西太平洋暖池区, 开始显著影响江淮夏季降水 ISO 活动。所以, 当前期黑潮区或者同期南海海温偏高时, 江淮夏季降水的 ISO 一般偏强, 反之则 ISO 偏弱。

通过前面的分析, 低层大气中的低频 Rossby 波列和江淮夏季降水 ISO 之间存在紧密的联系。非常有意思的是, 低频 Rossby 波列西段的两个中心分别与前期春季黑潮延伸区以及同期夏季南海及以东海区这两个正相关中心相重合。根据李崇银

(2000) 的研究, 前期黑潮地区持续海温正异常对其上空大气产生不均匀加热, 为对流的发展提供了足够的热量, 可以在大气中激发 30~60 天的低频响应, 并且该激发效用在大气中存在 1~2 个月的延迟。同期南海海温异常对江淮夏季降水的季节内振荡的影响也非常明显, 当南海及其东部海域海温存在正异常时, 大气中会产生季节内响应, 并以低频 Rossby 波的形式向中高纬度传播。所以, 当前期春季黑潮或同期南海存在 SST 正异常时, 大气中都会产生 30~60 天周期响应, 具体表现为低频 Rossby 波列的强度会显著增强。

5.2 海温异常数值试验

为验证上述诊断分析的结果, 并讨论其物理机制, 下面进行三组数值试验。我们采用国际理论物理中心 (ICTP) 发展的区域气候模式 RegCM3.0 进行模拟, 通过检验该模式在东亚具有很好的适应性 (李巧萍和丁一汇, 2004)。模拟中选择水平分辨率为 60 km, 南北有 76 个格点, 东西跨越 128 个格点, 以 (30°N , 133°E) 作为模拟区域中心, 采用 Lambert 投影。模拟区域覆盖了青藏高原大部和中国东部海区在内的广大区域 (图 8)。由于采用了较

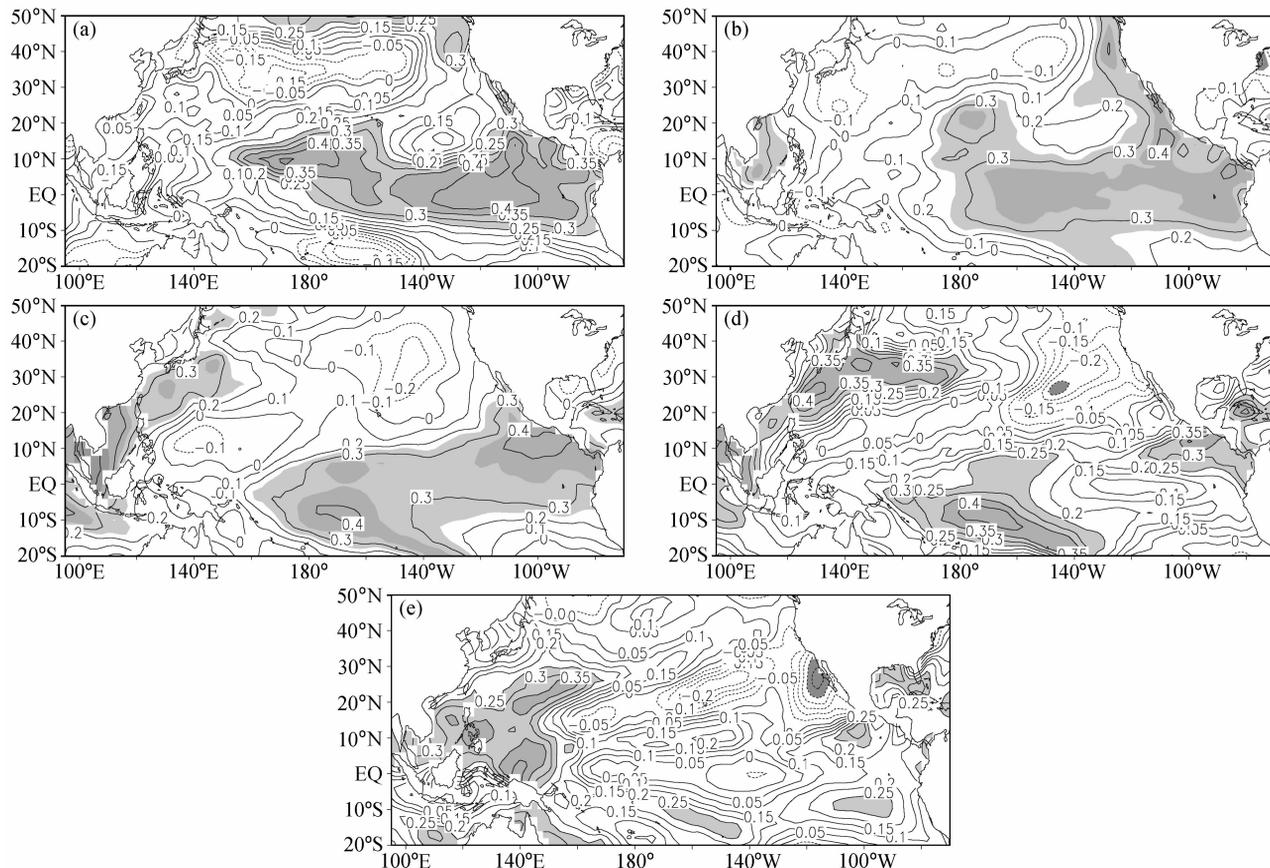


图7 太平洋海温 [前期夏季 (a)、前期秋季 (b)、前期冬季 (c)、前期春季 (d) 和同期夏季 (e)] 和 IAI 的相关系数分布。阴影表示超过 95% 信度检验

Fig. 7 The correlations between SST in the Pacific in (a) pre-summer, (b) pre-autumn, (c) pre-winter, (d) pre-spring, and (e) simultaneous summer and IAI. The shaded areas denote the confidence level over 95%

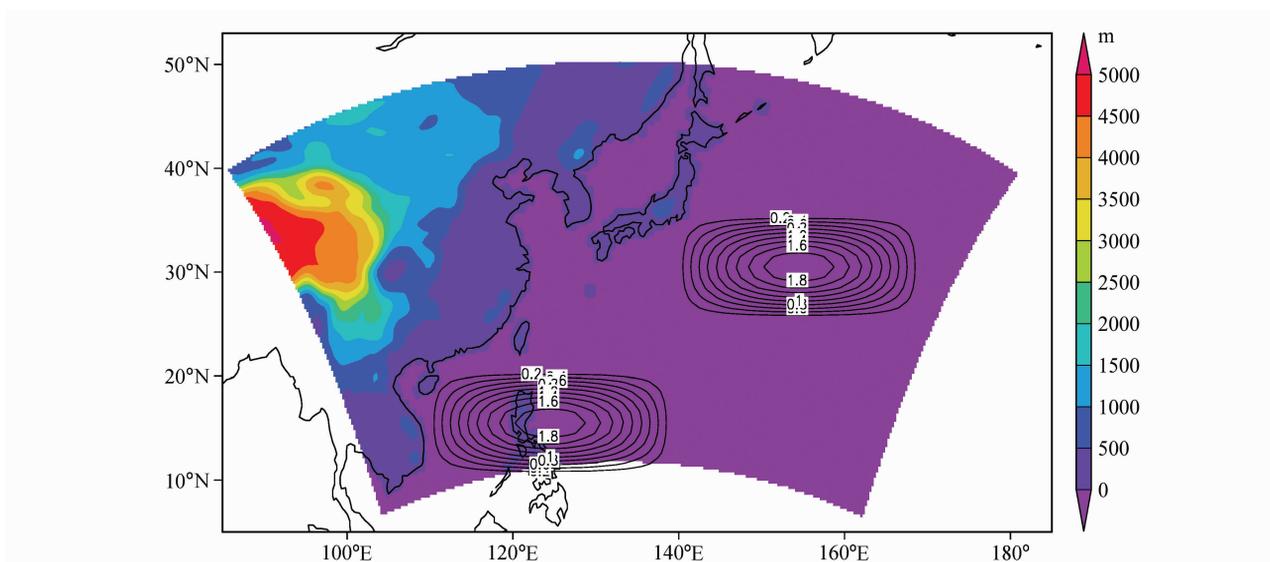


图8 模拟区域、地形分布和海温异常范围

Fig. 8 Regional model domain and topography. The SST anomaly (SSTA) areas were also showed

高的分辨率,模式能够很好地描述山脉、岛屿、海岸线等复杂地形,这对改进模式的模拟能力有很重要的作用。行星边界层方案采用 Holtslag 方案,陆面过程采用生物圈—大气圈传输方案 (BATS),垂直方向分为 18 层,模式顶层气压为 50 hPa,积云对流参数化方案采用 Grell 积云参数化方案。模式侧边界条件采用指数张弛方案,缓冲区为 12 个格点。初始条件和侧边界条件由 1971~2000 年气候平均的 ERA40 再分析资料提供,每 6 小时更新一次。海温来自于 1971~2000 年气候平均 NOAA 的最优插值海温 (OISST) 资料,每月更新一次。模式运行时间包括 3 月 1 日 00 时至 9 月 1 日 00 时,共 6 个月。为了清楚地分析中国近海 SST 对江淮夏季降水 ISO 强度的影响,通过在关键海区添加不同程度的海温异常设计了以下敏感性试验:

(1) 控制试验:海温强迫采用气候平均态,其他同上所述,简记为 CTL 试验。

(2) 海温增强试验:将中心强度为 1°C 、 1.5°C 、 2°C 、 2.5°C 、 3°C 的海温异常加入到关键海区,分别记为试验 P1、P1.5、P2、P2.5、P3。海温正异常按照双余弦规律向外衰减。

(3) 海温增强试验:将中心强度为 -3°C 、 -2.5°C 、 -2°C 、 -1.5°C 、 -1°C 的海温异常加入到关键海区,分别记为试验 N3、N2.5、N2、N1.5、N1。海温负异常按照双余弦规律向外衰减。

其中,当海温异常在春季 (3~5 月) 加入,并且关键海区为黑潮时,简称为 KUR 试验。当海温异常在夏季 (6~8 月) 加入,并且关键海区为南海时,简称为 SCS 试验。当综合考虑春季黑潮和夏季南海 SST 共同作用时,简称为 KS 试验。

可以发现,当在春季黑潮延伸区加入正海温异常时 (图 9a),江淮夏季降水 IAI 都是正距平,最大的正距平出现在 KUR-P2 试验中。结果表明,当春季黑潮区海温异常偏高时会引起江淮流域夏季降水 ISO 的增强。但是,当加入模式的海温异常变为负值时,模拟的 IAI 并没有随之改变为负距平,而是小于 1 的正距平。在 SCS 试验中,当夏季南海加入正海温异常时,降水 IAI 都是正距平,最大值出现在 SCS-P1.5 试验。当加入海温负异常时,模拟的 IAI 表现为随海温异常的增强而增强的负距平。前期黑潮和同期夏季南海以相同强度都加入海温异常,江淮夏季降水 ISO 强度变化大于单独考虑两者

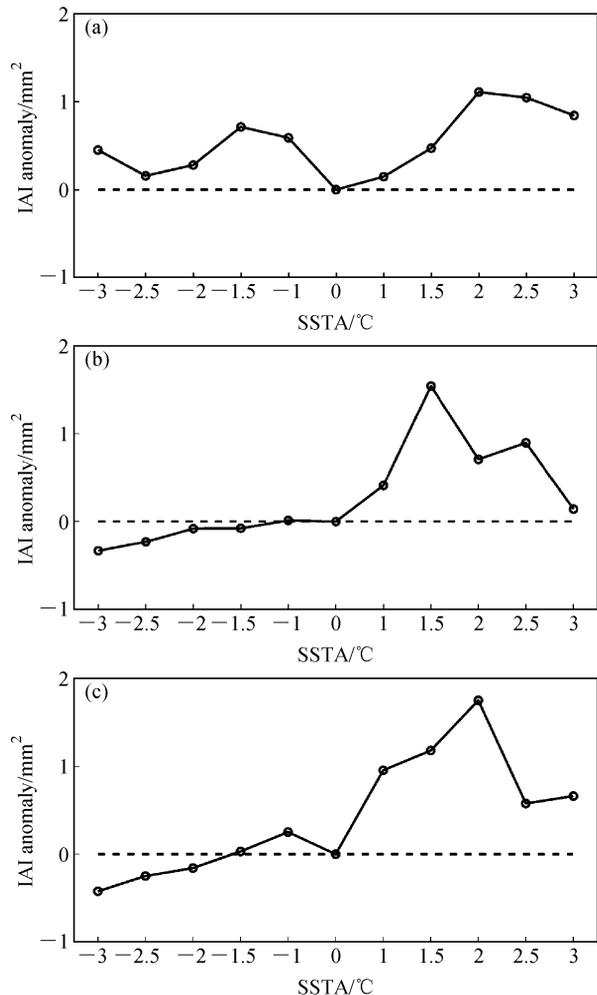


图 9 当加入不同强度海温异常时江淮夏季降水 IAI 距平 (单位: mm^2): (a) KUR 试验; (b) SCS 试验; (c) KS 试验

Fig. 9 The effect of SSTA with varying intensity on IAI anomaly (mm^2) of summer rainfall over the Yangtze - Huaihe River basin: (a) Expt KUR; (b) expt SCS; (c) expt KS

之一的情况。当加入正海温异常时,降水 IAI 都是正距平,最大值出现在 KS-P2 试验中。在三组海温异常试验当中,江淮夏季降水 ISO 对正海温异常都出现增强的响应,对副热带海温负异常存在线性减弱的响应,但对中纬度海温负异常却没出现相应的减弱响应。

控制实验中夏季 500 hPa 位势高度 30~60 天变化方差如图 10 所示,最大的方差出现在副热带太平洋地区。图 11 给出了 KUR-P2、SCS-P1.5 和 KS-P2 试验中夏季 500 hPa 位势高度 30~60 天变化方差距平,从图中可以清楚地看到,三个试验都在中国东部、中国近海以及日本东南海域表现为显著的正距平,这些正距平区域覆盖了图 5 中对江淮

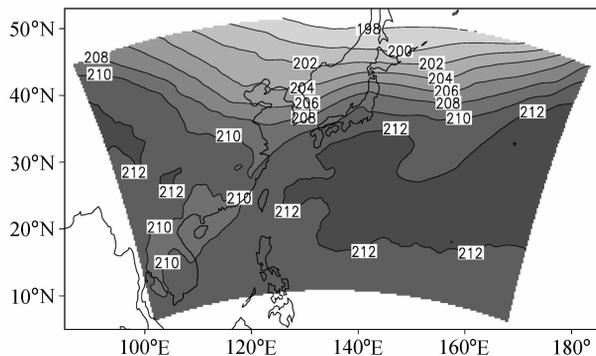


图 10 控制试验中夏季 500 hPa 位势高度场 30~60 天变化的方差 (单位: 10^3gpm^2)
Fig. 10 The variance of 500-hPa geopotential height on 30-60-day band in the control run (units: 10^3gpm^2)

夏季降水 ISO 年际强度有显著影响的关键系统。在 KUR-P2 试验中, 前期春季黑潮区存在 2°C 的正海温异常, 当模式运行到夏季时, 该异常不仅增强了局地上空大气中的 ISO, 还增强了西南侧中低纬大气的 ISO。在 SCS-P1.5 和 KS-P2 试验中, 正海温异常也在 KUR-P2 相同区域增强了大气的 ISO。这表明前期春季黑潮和同期南海 SST 异常都可以影响中国东部、中国近海以及日本东南海域上空大气中的 ISO。当海温存在显著的正异常时, 持续加热向大气输送了大量的热量, 上方空气柱的低频能量增加。继而, 该低频扰动通过低频 Rossby 波列向外输送, 致使该 Rossby 波列振幅增强, 位相特征更为清晰。两者的区别在于黑潮 SST 异常对大气低频振荡的激发效用存在一定时间的延迟。

6 结论与讨论

江淮夏季降水的季节内振荡存在显著的年际变化特征, 本文通过对 1954~2005 年江淮流域的逐日降水资料进行分析, 讨论了江淮夏季降水 ISO 的年际变化和异常年的海气背景特征, 得到以下结论:

(1) 当江淮夏季降水 ISO 活跃时, 江淮流域、孟加拉湾、南海及其以东海域和日本南部海区上空大气都表现出显著的季节内振荡特征。在江淮夏季降水不活跃年, 上述区域的 ISO 都相对较弱, 而赤道印度洋和赤道西太平洋上空大气的 ISO 则较活跃年更显著。这些区域上空大气环流 ISO 的活跃与否和江淮夏季降水 ISO 的显著性存在紧密的关

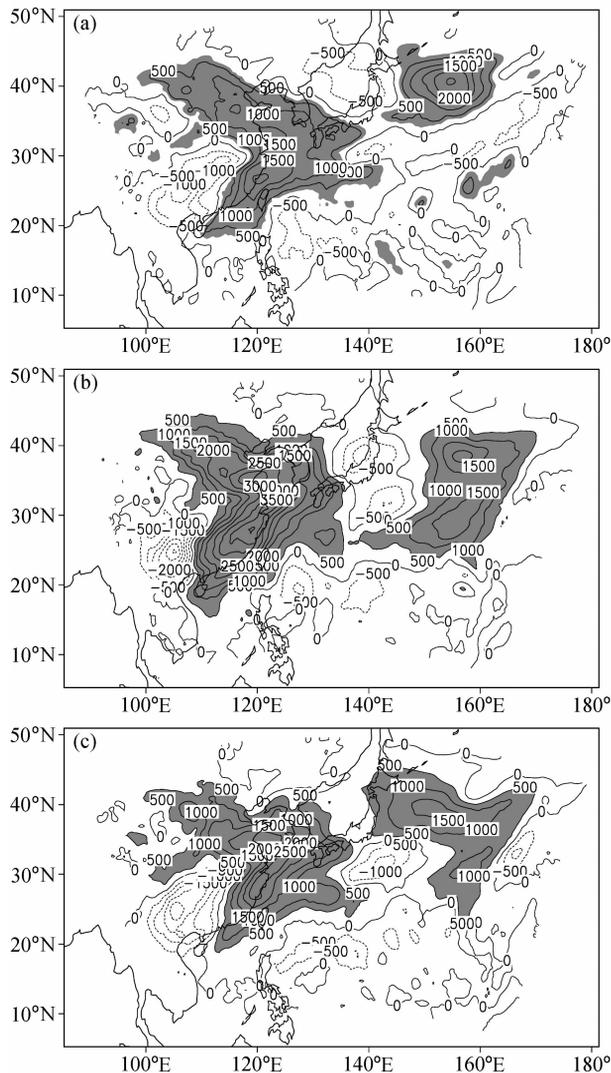


图 11 (a) KUR-P2、(b) SCS-P1.5 和 (c) KS-P2 试验中夏季 500 hPa 位势高度场 30~60 天变化的方差距平 (相对于控制试验) (单位: gpm^2)。阴影: 方差距平超过 500gpm^2 的区域
Fig. 11 The variance anomalies of 500-hPa geopotential height on 30-60-day band for expts (a) KUR-P2, (b) SCS-P1.5, and (c) KS-P2 (units: gpm^2). The shaded areas denote variance anomalies exceeding 500gpm^2

系。

(2) 降水 ISO 活跃年, 低层大气中从南海延伸至高纬度的低频 Rossby 波列振幅较强, 位相特征显著, 传播路径清晰。第 3 位相 850 hPa 风场中低频波列西段的反气旋和气旋异常分别位于南海和日本东南面, 调节西太副高明显偏向西南, 同时在江淮流域上空形成水汽辐合。300 hPa 高度场上表现为“+ - + -”的类似 Rossby 波列形势分布, 中心分别位于乌拉尔山附近、贝加尔湖北部、鄂霍次克

海北部和库页岛东部海区。第 7 位相的高低层大气中的低频波列路径和中心相对固定,位相完全转换,不利于降水的产生。而在 ISO 不活跃年,高空和低空大气中的低频 Rossby 波列都非常不清晰。

(3) 中国近海 SST 也能够显著影响江淮夏季降水的 ISO 强度: ①前期黑潮 SST 正异常可以在中国东部、中国近海以及日本东南海域上空大气中产生 30~60 天低频响应,但是该增强效用存在 1~2 个月的延迟。②同期南海 SST 正异常也可以增强中国东部、中国近海以及日本东南海域上空大气中 30~60 天低频振荡,进而增强江淮夏季降水的 ISO。

关于中国近海 SST 对江淮夏季降水季节内振荡强度影响的物理机制较为复杂,特别是在讨论中纬度黑潮负海温异常的作用时,并没有出现与正海温异常相反的变化。Pitcher et al. (1988) 曾用大气环流模式 CCM 讨论了中纬度海温异常对大气环流的影响,指出大气对中纬度海温异常的响应表现出显著的非线性,当施加的海温异常符号改变时,响应并不是直接转换为相反的符号。魏东等 (2007) 采用 NCAR CAM3 讨论大气环流对日本东部近海域海温异常响应的试验也得到了类似的结果。中纬度海气相互作用的过程十分复杂,所以要揭示黑潮影响中国夏季降水季节内振荡的物理机制尚需深入研究,不仅要考虑海气相互作用,还要考虑中高纬度系统的相互作用。此外,江淮流域夏季降水 ISO 在 ENSO 次年存在显著的增强,一种可能的解释是 ENSO 次年大气能量由准定常状态向低频状态转换,增强了大气中的季节内振荡 (李崇银, 2000), 进而导致夏季降水的季节内振荡也随之增强。但是,以上两个现象的物理解释非常复杂,还需要进一步的统计分析和数值模拟研究。

当然,江淮夏季降水的低频振荡存在两个显著周期,分别是 10~25 天的准双周振荡和 30~60 天的季节内振荡,那么,两者之间存在哪些异同点? 尹志聪和王亚非 (2011) 的研究指出,江淮梅雨降水准双周振荡活跃年,高空和低空也存在显著的低频 Rossby 波列,但波列系统的尺度较小。准双周振荡的强度和前期春季黑潮区 SST 也存在显著的正相关,但与南海 SST 以及 ENSO 事件却没有显著的相关性。江淮夏季降水的两个显著周期之间的关系是一个比较复杂的问题,还有待于进一步的研究。

致谢 感谢两位审稿专家提出的建设性意见。

参考文献 (References)

- Chen Tsing-Chang, Yen Ming-Cheng. 2000. Interaction between the summer monsoons in East Asia and the South China Sea: Intra-seasonal monsoon modes [J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 57 (9): 1373-1392.
- 丁一汇, 柳俊杰, 孙颖, 等. 2007. 东亚梅雨系统的天气—气候学研究 [J]. *大气科学*, 31 (6): 1082-1101. Ding Yihui, Liu Junjie, Sun Ying, et al. 2007. A study of the synoptic-climatology of the Meiyu system in East Asia [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 31 (6): 1082-1101.
- 胡娅敏, 丁一汇, 廖菲. 2008. 江淮地区梅雨的新定义及其气候特征 [J]. *大气科学*, 32 (1): 101-112. Hu Yamin, Ding Yihui, Liao Fei. 2008. A study of updated definition and climatological characters of Meiyu season in the Yangtze-Huaihe region [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 32 (1): 101-112.
- 黄荣辉. 1990. 引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及其物理机制的研究 [J]. *大气科学*, 14 (1): 108-117. Huang Ronghui. 1990. Studies on the teleconnections of the general circulation anomalies of East Asia causing the summer drought and flood in China and their physical mechanism [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese)*, 14 (1): 108-117.
- 李崇银, 龙振夏. 1992. 冬季黑潮增暖对我国东部汛期降水影响的数值模拟研究 [M]. 北京: 科学出版社. Li Chongyin, Long Zhenxia. 1992. Study on Effect of Numerical Simulation of the Kuroshio Warming in Winter on the Rainfall of Flood Season in East China (in Chinese) [M]. Beijing: Science Press.
- 李崇银. 2000. 气候动力学引论 [M]. 北京: 气象出版社, 149-157. Li Chongyin. 2000. Introduction of Climatic Dynamics (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 149-157.
- 李巧萍, 丁一汇. 2004. 区域气候模式对东亚季风和降水降水多年模拟与性能检验 [J]. *气象学报*, 62 (2): 140-153. Li Qiaoping, Ding Yihui. 2004. Multi-year simulation of the East Asian monsoon and precipitation in China using a regional climate model and evaluation [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 62 (2): 140-153.
- 陆维松, 马淑杰, 陶丽. 1998. 非绝热加热对中高纬大气低频振荡的调频作用 [J]. *南京气象学院学报*, 21 (3): 336-345. Lu Weisong, Ma Shujie, Tao Li. 1998. Frequency modulation effect of diabatic heating on atmospheric low-frequency oscillation in the extratropical latitudes [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese)*, 21 (3): 336-345.
- Pitcher E J, Blackman M L, Bates G T, et al. 1988. The effects of the North Pacific sea surface temperature anomalies on the January climate of a general circulation model [J]. *J. Atmos. Sci.*, 45 (2): 173-188.
- 邱明宇, 陆维松, 王尚荣. 2006. ENSO 事件与北半球中高纬低频

- 振荡 [J]. 热带气象学报, 22 (5): 454 - 460. Qiu Mingyu, Lu Weisong, Wang Shangrong. 2006. ENSO Episodes and low-frequency oscillation in the extra-tropical latitude of the northern hemisphere [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 22 (5): 454 - 460.
- Ren Baohua, Huang Ronghui. 2003. 30 - 60-day oscillations of convection and circulation associated with the thermal state of the western Pacific warm pool during boreal summer [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 20: 781 - 793.
- Wallace J M, Blackmon M L. 1983. Observations of Low-frequency Atmosphere Variability. Large-Scale Dynamical Processes in the Atmosphere [M]. London: Academic Press. 55 - 91.
- 王遵娅, 丁一汇. 2008a. 夏季长江中下游旱涝年季节内振荡气候特征 [J]. 应用气象学报, 19 (6): 710 - 715. Wang Zunya, Ding Yihui. 2008. Climatic features of intraseasonal oscillations of summer rainfalls over mid - lower reaches of the Yangtze River in the flood and drought years [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 19 (6): 710 - 715.
- 王遵娅, 丁一汇. 2008b. 中国雨季的气候学特征 [J]. 大气科学, 32 (1): 1 - 13. Wang Zunya, Ding Yihui. 2008. Climatic characteristics of rainy seasons in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (1): 1 - 13.
- 魏东, 王亚非, 董敏. 2007. NCAR CAM3 模式大气环流对日本东部附近海域海温异常的响应 [J]. 热带气象学报, 23 (5): 435 - 443. Wei Dong, Wang Yafei, Dong Min. 2007. Response of atmospheric circulation of NCAR CAM3 model to the sea surface temperature anomaly off the East coast of Japan [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 23 (5): 435 - 443.
- 吴志伟, 何金海, 李建平, 等. 2006. 长江中下游夏季旱涝并存及其异常年海气特征分析 [J]. 大气科学, 30 (4): 570 - 577. Wu Zhiwei, He Jinhai, Li Jianping. 2006. The summer drought - flood coexistence in the middle and lower reaches of the Yangtze River and analysis of its air - sea background features in anomalous years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (4): 570 - 577.
- 肖子牛, 李崇银. 1992. 大气对外强迫低频遥响应的数值模拟 I. 对赤道东太平洋 SSTA 的响应 [J]. 大气科学, 16 (6): 707 - 717. Xiao Ziniu, Li Chongyin. 1992. Numerical simulation of the atmospheric low-frequency teleresponse to external forcing. Part I: Anomalous SSTA in the equatorial eastern Pacific Ocean [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 16 (6): 707 - 717.
- Yang Hui, Li Chongyin. 2003. The relation between atmospheric intraseasonal oscillation and summer severe flood and drought in the Changjiang - Huaihe River basin [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 20 (4): 540 - 553.
- 尹志聪, 王亚非. 2011. 梅雨准双周振荡的年际变化及其前期强信号 [J]. 大气科学学报 (待刊). Yin Zhicong, Wang Yafei. 2011. Interannual variability of the Meiyu quasi-biweekly oscillation over Yangtze - Huaihe River valley and analyses of its previous strong influence signal [J]. Transactions of Atmospheric Sciences (in press).