第14卷第3期	气 候 与 环 境 研 究	Vol. 14	No. 3
2009 年 5 月	Climatic and Environmental Research	May	2009

胡轶佳,钟中,倪天君,等. 2009. 东亚季风区夏季海气系统位相关系的特殊性 [J]. 气候与环境研究,14 (3): 293-300. Hu Yijia, Zhong Zhong, Ni Tianjun, et al. 2009. The specific characteristics of the phase relationship of air-sea system over East Asian monsoon region in summer [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (3): 293-300.

# 东亚季风区夏季海气系统位相关系的特殊性

# 胡轶佳1 钟 中1 倪天君2 王晓丹1

1 解放军理工大学气象学院,南京 211101
 2 73602部队91分队,南京 211100

**摘 要**利用 28 年的月平均降水、海面温度(SST)、向外长波辐射(OLR)、表层潜热通量和海平面气压 资料,通过同期相关、超前一滞后相关和回归分析,揭示了东亚季风区夏季海气相互作用的特殊性,即由于东 亚夏季风的爆发导致西太平洋暖池、中国南海以及黑潮区的海气系统位相关系发生改变,使秋冬春季降水与 SST 的正相关(海洋影响大气为主)转化为夏季降水与 SST 的负相关(大气影响海洋为主)。同时还分析了东 亚季风区夏季大气影响海洋的几种可能机制,并揭示了不同机制在各海区的重要性。 关键词 海气相互作用 东亚季风 相关分析 回归分析

**文章编号** 1006-9585 (2009) 03-0293-08 中图分类号 P732.6 文献标识码 A

## The Specific Characteristics of the Phase Relationship of Air-Sea System over East Asian Monsoon Region in Summer

HU Yijia<sup>1</sup>, ZHONG Zhong<sup>1</sup>, NI Tianjun<sup>2</sup>, and Wang Xiaodan<sup>1</sup>

1 Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101

2 73602 Army, 91 Unit, Nanjing 211100

**Abstract** With the monthly precipitation, sea-surface temperature (SST), outgoing longwave radiation (OLR), sea surface pressure for 28 years, the particularities of the air-sea interaction in East Asian summer monsoon region have been revealed through the diagnostic methods including the concurrent anomaly correlation analysis, the lead-lag correlation analysis, and the regression analysis. It is found that attributed to the eruption of the East Asian summer monsoon, the phase relationship between precipitation and SST over the Pacific warm pool, South China Sea, and Kuroshio Current region alters from the positive correlation (the ocean dominates atmosphere primarily) in the spring, autumn and winter into the negative correlation in the summer (the atmosphere dominates ocean primarily). The possible mechanisms through which the atmosphere dominates ocean are analyzed, and the importance of each mechanism over different ocean regions is also discussed.

Key words air-sea interaction, East Asia monsoon, correlation analysis, regression analysis

**收稿日期** 2007-11-14 收到, 2009-03-10 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40675065 和国家重点基础研究发展规划项目 2007CB411805

作者简介 胡轶佳,女,1980年出生,博士,主要从事区域气候和海气相互作用研究。E-mail: huyijiacat0214@163.com

# 1 引言

自从 Bjerkness (1966, 1969) 首次把海洋和 大气结合起来研究两者之间的耦合作用以来,海 气相互作用已成为气候领域中最重要的研究课题 之一。由于大气系统演变速度快,自身无法产生 持续数月的异常,而海洋的巨大热容量可以给大 气系统提供持续到数月以上的"记忆"从而影响 大气状况,因此,很多研究工作都把海洋作为气 候形成和变异的重要外强迫源。该方面的研究工 作按时滞关系划分,主要包括海洋对同期和后期 大气系统的影响(赵永平等,1996;王蕾等, 2004);按时间尺度划分,主要包括年际、年代际 等季节以上尺度的海气相互作用(李峰等,2001; 李崇银等,2003;谭言科等,2003);按地域分布 划分,主要研究大气与海洋的遥相关作用(费亮 等, 1993; 李东辉等, 2006; 王蕾等, 2006); 按 研究方法划分,涉及到观测分析和数值模拟研究 等方法 (Zhou et al, 2002; 张学洪等, 2003)。 但上述工作多研究大气对前期或同期海温异常 (SSTA)的响应,而大气影响海洋方面的研究尚 不多见。其实,已经有很多学者指出过大气对海 洋的重要影响,如 Zhao et al. (1989)和赵永平 等(1991, 1997)的研究表明,在低纬海域, SS-TA 是造成海气能量交换异常的主要原因。而在中 纬度海域,特别是黑潮和湾流及邻近海域,海气 能量交换异常主要受大气环流状态所制约。李崇 银等(2005)和普业等(2006)指出,强的东亚 冬季风异常会引起赤道西太平洋的西风异常,从 而导致 El Niño 的发生,说明大气异常可导致海 温异常。Wang et al. (2004, 2005) 通过对全球降 水与海温的超前、滞后相关分析以及大气模式模 拟结果与耦合模式模拟结果的对比分析发现,在 亚洲一太平洋夏季季风区 (APSM) (5°N~30°N, 70°E~150°E),大气对海洋的影响超过海洋对大 气的影响。Wu et al. (2005, 2007)将大气变量、 海温之间的相关程度与大气、海面温度 (SST) 倾向之间的相关程度进行对比,发现局地海气相 互作用有 3 种不同的机制,其中在热带印度-西 太平洋地区的暖/雨季,大气强迫占主导地位。

亚洲季风系统是全球大气环流系统中的重要 成员,而东亚季风系统直接影响我国的天气气候 变化。季风主要是海陆热力差异和全球行星风系 季节变化的产物,海洋与季风系统有着密切联系。 因此海气相互作用对季风异常有着重要作用,研 究东亚季风区海气相互作用的特殊性对于我国的 气候研究和预测具有重要意义。本文在 Wang 等 (2004,2005)和 Wu等(2005,2007)工作的基 础上,通过诊断分析,进一步揭示东亚夏季各海 区海气相互作用的特殊性以及大气影响海洋的机 制在各海区的重要性。

## 2 资料和方法

本文所用资料为 CMAP 月平均降水资料 (2.5°×2.5°),英国 Hadley 中心的月平均 SST 资 料 (1°×1°), NCEP 月平均地面风场、向外长波 辐射 (OLR) 和温度资料 (2.5°×2.5°),以及 NCEP 月平均潜热通量、太阳短波辐射强度等资 料 (1.875°×1.875°)。为统一起见,将所有资料 都插值到全球 2.5°×2.5°网格上,资料时间长度 为 1979~2006 年,共28 年。将每年的春季 (3~ 5月)、夏季 (6~8月)、秋季 (9~11月)、冬季 (12月~次年 2月)资料取出连成 4 个季节的 28 年月平均资料 (北半球季节,下同),每个季节的 资料时间长度为 84 个月。采用的分析方法包括距 平相关、滞后相关和统计回归等。

# 3 东亚季风区夏季海气系统的位相 关系

### 3.1 全球各季节海气相互作用特征及东亚季风区 夏季海气相互作用的特殊性

图 1 是全球各季节月平均 SST 和降水距平相 关系数分布。通常认为降水与 SST 正相关反映海 洋对大气的强迫是主要的(王谦谦等,1995),而 降水与 SST 负相关则表明大气对海洋的影响更大 一些(Wang et al.,2004,2005)。从图 1 可以看 出,赤道低纬的大部分海域常年为正相关区,可 见在这些海域,海洋对大气的强迫是主要的,这 也是为什么很多大气环流模式在观测 SST 的强迫 下对低纬海域的降水模拟技巧较高的原因(Ebi-



图 1 全球各季节降水与 SST 的距平相关系数分布(阴影区代表相关系数<0的区域,达到 95% 信度水平的相关系数值为±0.215): (a) 春季;(b) 夏季;(c) 秋季;(d) 冬季

Fig. 1 Global correlation coefficients between the SST and precipitation anomalies for four seasons (the shadings represent the areas with negative correlation coefficients (the correlation coefficient reaching 95% confidence level is  $\pm 0.215$ ); (a) spring, (b) summer; (c) autumn; (d) winter

suzaki et al., 1995; Liang et al., 1997)。中高纬 SST 与降水的相关系数分布随季节则会发生一些 变化,其中春季和秋季的相关系数分布比较类似 (图 1a、1c),中高纬海域为大片负相关区,显示 出中高纬海域海气相互作用与低纬海域有所不同。 冬季和夏季,南、北半球中高纬海域相关系数基 本呈反位相分布。夏季,北半球中高纬海域的相 关系数分布以负值为主;而南半球中高纬海域的 相关系数以正值为主,负值区面积很小。冬季, 北半球中高纬海域的相关系数分布变成以正值为 主,而南半球相关系数变成正值与负值区相间分 布。因此,春季、秋季和夏季中高纬海域大气对 海洋的影响比较大。而冬(夏)季,北(南)半 球中高纬海域海洋对大气的强迫作用更显著。另 外从图 1b 还以看到, 夏季北半球西风漂流区为 SST 和降水的负相关区,这个负相关区沿东亚邻 海向南延伸, 使得南海、西太平洋暖池以及黑潮 的大部分海区也成为 SST 和降水负相关区。南海 和西太平洋暖池区都属于低纬海域,秋冬春季节 都是正相关区, 而夏季变成负相关区, 表现出一 定的特殊性。因此,只将海洋作为外强迫的大气 环流模式有可能错误地表达东亚海域海气系统之 间的位相关系,东亚地区海气相互作用的特殊性 有可能是造成东亚气候模拟困难的原因之一。

为进一步揭示东亚夏季风区海气相互作用的特 殊性,本文选取西太平洋暖池(WP)(0°~15°N,  $130^{\circ}E \sim 150^{\circ}E$ )、黑潮区(KC)( $15^{\circ}N \sim 32^{\circ}N$ , 120°E~150°E)、中国南海 (SCS) (5°N~20°N, 110°E~120°E)、中北太平洋 (MNP)(30°N~60°N, 150°E~120°W)、孟加拉湾(BOB) (0°~20°N, 80°E~100°E)、阿拉伯海 (AS) (0°~20°N, 50°E~ 80°E)以及中东太平洋(MEP)(10°S~10°N, 180° ~90°W) 等几个关键海区,对 SST 和降水之间的 相互关系进行进一步分析。表1是各季节上述几 个关键海域降水与 SST 的区域平均相关系数,从 表中可以看出,在孟加拉湾、阿拉伯海以及中东 太平洋,降水与 SST 始终是正相关关系,其中, 中东太平洋的正距平相关系数最大,即在这些海 域 SST 对大气的强迫是主要的,且中东太平洋海 洋对大气的强迫作用最强。在中北太平洋,春季和

表 1 各季节关键海域降水与 SST 的区域平均相关系数 Table 1 Area-Averaged correlation coefficients in the key sea-areas of each season

	WP	KC	SCS	MNP	BOB	AS	MEP
春季	0.341	0.425	0.379	-0.222	0.271	0.351	0.447
夏季 -	-0.063 -	-0.175 -	-0.086	-0.088	0.060	0.414	0.413
秋季	0.053	0.208	0.011	-0.354	0.038	0.202	0.409
冬季	0.397	0.282	0.217	0.202	0.096	0.211	0.517

秋季降水与 SST 都是负相关,夏季为弱的负相 关,冬季变成正相关。而西太平洋暖池、黑潮区 以及中国南海这几个东亚海域相关系数的季节变 化与其他几个区域有着明显区别,即夏季呈负相 关关系,其他季节都是正相关。

表 2 是西太平洋暖池、黑潮区和中国南海这 3 个特殊海域 5~9 月降水与 SST 超前和滞后 1 个月 的区域平均相关系数。从中可见,当降水超前 SST 1 个月时,除黑潮区外,两者的负相关性增 强,即黑潮区同期大气对海洋的影响较大,而在 西太平洋暖池区和中国南海,前期大气对海洋的 影响较大。当 3 个海区降水滞后 SST 1 个月时, 降水与 SST 则呈正相关关系,因此虽然前期和同 期大气对海洋的影响较大,但海洋对大气的影响 也是同时存在的,SSTA 对后期的大气状况有 影响。

#### 3.2 东亚季风区夏季大气影响海洋的可能机制

图 2 是东亚夏季降水、OLR、海平面气压、 潜热和风速等变量以东亚季风区夏季风指数为参 考序列的回归场,它们可以反映东亚夏季各变量 与夏季风之间的关系,以及东亚夏季季风区内的 气候特征。这里的夏季风指数采用 Wang 等 (2001)提出的东亚夏季风指数(WNPMI,  $I_{wnpm}$ ),定义为 $I_{wnpm} = U - U'$ ,其中,U 和 U'分别 为(5°N~15°N,100°E~130°E)和(20°N~30°N, 110°E~140°E)的850 hPa 区域平均纬向风。

表 2 西太平洋暖池、黑潮区和中国南海 5~9 月降水与 SST 超前和滞后 1 个月的区域平均相关系数

Table 2Lead-lag correlation between monthly SST and pre-cipitation anomalies for May through September in WP, KCand SCS

	WP	KC	SCS
$\mathbf{P}^{+1}$	-0.127	-0.128	-0.177
$\mathrm{D}^{-1}$	0.172	0.201	0.127

注: P<sup>+1</sup>和 D<sup>-1</sup>分别表示超前和滞后1个月

从图 2 可以看到,在东亚夏季风盛行时,25°N 以南的海区(包括南海北部、黑潮区南部以及西 太平洋暖池区) 有一大片正的降水距平区(图 2a),由于降水增强对应于对流增强,云量增多, OLR 减小,因此 OLR 在这片区域为负距平区 (图 2b)。到达海面的太阳辐射通量由于云量增多 而减少,因而在东亚夏季季风区内基本都是负距 平(图 2c)。从图 2d 还可以看出,有两个风速距 平大值区,一个位于中国南海和西太平洋暖池, 另一个位于中国东海至日本以南洋面。两个风速 距平大值区分别是西南风和东北风,呈气旋性辐 合,近东西向的辐合带位于 20°N 附近。与辐合带 对应的这片区域内气压异常偏低(图 2e),低压距 平中心位于(20°N, 130°E)附近。而对比图 2a 和图 2e 可以看到,低压距平中心比降水距平中心 偏北,两者并不重合。通常情况下,西风异常对 应于潜热通量增加(Fu et al., 2003),因此将图 2f 与图 2d 对比可以发现,表层潜热通量正距平区 与西南风的风速距平大值区基本相对应,可见由 于季节性西风增强,导致海洋向大气的潜热输送 增加,形成潜热通量正距平区。

图 3 为东亚夏季 SST 与 OLR、太阳短波辐 射、潜热通量、海平面气压以及风速之间的相关 系数分布。Fu et al. (2003)的研究表明, SST 变化受净表层热通量影响比较大, 而净表层热通 量主要取决于太阳短波辐射通量和表层潜热通量 之差。由图 3a 可知,与 SST 和降水的相关分布相 似,SST 与 OLR 在中国南海、西太平洋暖池、黑 潮区以及中北太平洋的大部分海域都是正相关, 而在 20°N 以南, SST 与 OLR 的正相关区对应着 SST 与太阳短波辐射的正相关区(图 3b)。结合 图 2b 和 2c 可知, SST 与太阳短波辐射的正相关 区位于 OLR 的负距平区和太阳短波辐射的负距平 区内,说明在这片正相关区内,由于降水增多导 致 OLR 减小,向下的太阳短波辐射减少,海洋表 面吸收的热量减少,SST降低。从图 3c还可以看 出,在15°N以南的海区内有一个表层潜热通量与 SST 的负相关区,而结合图 2d 和 2f 可知,这片 负相关区的大部分海区位于风速的大值区和潜热 的正值区,可见由于风速增大,增强了海洋表层 的蒸发冷却,海表的潜热通量增大,也导致 SST 降低。图 3d 中, 在中国南海以及菲律宾以东洋

3 期

No. 3



图 2 以 WNPMI 为参考序列的回归场: (a) 降水(单位: mm·d<sup>-1</sup>); (b) OLR(单位: W·m<sup>-2</sup>); (c) 太阳短波辐射通量(单位: W·m<sup>-2</sup>); (d) 表面风速(单位:m·s<sup>-1</sup>)和风矢; (e) 海平面气压(单位:hPa); (f) 表层潜热通量(W·m<sup>-2</sup>) Fig. 2 Regressed variables in the summer referred to WNPMI: (a) Precipitation (mm  $\cdot$  d<sup>-1</sup>), (b) OLR (W  $\cdot$  m<sup>-2</sup>); (c) Solar radiation flux  $(\mathbf{W} \cdot \mathbf{m}^{-2})$ ; (d) Surface wind speed  $(\mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^{-1})$  and arrows; (e) SLP (hPa); (f) Surface latent heat flux  $(\mathbf{W} \cdot \mathbf{m}^{-2})$ 

面,海平面气压与 SST 呈正相关,而结合图 2e 可 知,这片正相关区位于海平面气压的负距平区中, 即在这片区域,海平面气压降低,气旋性环流增 强,这将通过海洋上层的 Ekman 抽吸提高温跃 层,升高的温跃层和加强的上升流会进一步导致 SST 降低,所以这个区域的海平面气压与 SST 呈 正相关。表层风速与海温在东亚近海基本都是负 相关(图 3d),结合图 2d 和前面的分析可知,在 西南风速大值区, 表层蒸发增加导致 SST 降低。 而在东北风速大值区,东北风通过表层风应力对 表层海流的拖曳, 使中高纬的表层冷水南流(或 抑制了向北的暖洋流)降低了 20°N~35°N 的 SST。

综合以上的分析结果可以发现,与 SST 强迫 大气的机制不同,在夏季东亚海洋季风区的不同

海域,大气可通过以下几种机制影响海洋:1) (10°N~20°N, 140°E以西)的海区,由于降水增 多,对流旺盛,云量增多,OLR减少,向下的太 阳短波辐射减少,海洋吸收的热量减少,SST 降 低; 2) (10°N~20°N, 140°E 以西) 的海区, 气 压降低, 气旋性涡度增强, 进而通过海洋上层的 Ekman 抽吸提高温跃层,升高的温跃层和加强的 上升流会降低 SST; 3) 10°N 以南,季节性西风 增强,海表蒸发增强,海洋表层的蒸发冷却导致 SST 降低; 4) (20°N~35°N, 160°E 以西) 的海 区,东北风通过表层风应力对表层海流的拖曳, 将中高纬的冷水带到低纬(或抑制了向北的暖洋 流),降低了 20°N~35°N 的 SST。上述几种机制 分别表现于东亚不同海域,但都和东亚夏季风的 活跃有关,因此,东亚夏季风系统的存在可能是



图 3 海温与(a) OLR、(b) 太阳短波辐射、(c) 潜热、(d) 海平面气压以及(e) 风速之间的距平相关系数分布(超过 95% 显著性 检验的正相关区或负相关区用阴影标出)

Fig. 3 correlation coefficients between the SST and (a) OLR, (b) Solar radiation flux, (c) Latent heat flux, (d) SLP, and (e) wind speed anomalies

东亚夏季海气相互作用具有特殊性的主要原因 之一。

## 4 结论与讨论

本文利用 28 年的月平均降水、SST、OLR、 海平面气压等资料,通过同期相关、滞后相关和 回归分析研究了东亚季风区夏季海气相互作用的 特殊性和不同海区大气影响海洋的可能机制,得 到以下结论:

中高纬海域和低纬海域的海气相互作用机制 不同,对于低纬海域来说,海洋对大气的强迫是 主要的;对于中高纬海域来说,在春季和秋季, 大气对海洋的影响是主要的,而在冬(夏)季, 北(南)半球中高纬海域海洋对大气的作用更显 著。与全球海气相互作用表现出来的大体规律不同,东亚季风区夏季的海气相互作用表现出一定的特殊性,即由于东亚夏季风的爆发导致西太平洋暖池、中国南海以及黑潮区的海气相互作用机制发生改变,使其他季节以海洋影响大气为主转化为夏季大气影响海洋为主。虽然前期和同期大气对海洋的影响较大,但海洋对大气的影响也同时存在,SSTA仍然可以影响后期的大气状况。

在东亚夏季季风区的不同海区,与 SST 强迫 大气的机制不同,大气也可通过减少到达海洋表 面的太阳短波辐射,增强海表的气旋性涡旋,增 加海表的蒸发冷却以及表面风应力拖曳等机制降 低 SST。但每种机制的作用范围不同,在有些区 域,可以有两种机制共同起作用,如在(10°N~ 20°N,140°E 以西),大气可以通过减少到达海洋 表面的短波辐射,增强海表的气旋性涡旋,使海 洋在表面获得净热通量减少的同时,Ekman 抽吸 产生的上升流引起冷水上翻,也使 SST 降低。而 在有些区域,只有一种机制单独起作用,如在 10°N附近,大气主要是通过西风增强,从而增强 海表的蒸发冷却降低 SST。在 20°N~35°N 之间的 海区,大气则主要通过东北风的风应力拖曳,使 中高纬的表层冷水南流(或抑制向北的暖流),从 而降低 SST。总之,在这几种机制的共同作用下, 才形成(0°~35°N, 160°E 以西)特殊的 SST 与 降水负相关区。

东亚季风区天气气候复杂多变,利用各种数 值模式对东亚季风气候的模拟和预测能力往往低 于全球其他气候区。例如参加 AMIP 计划的所有 大气环流模式对东亚季风区的模拟都相对较差, 主要表现在模式对东亚地区雨带强度和季节性演 变特征模拟能力不足(Yu et al., 2000)。许多学 者的研究表明,虽然区域气候模式可以更细致地 刻画东亚区域气候的特征,但模拟结果中仍然存 在很多缺陷,例如对降水的模拟仍存在一定的不 确定性 (Sasaki et al., 2000; 胡轶佳等, 2008)。 其部分原因可能在于模拟研究中只把 SST 作为外 强迫,忽视了大气对海洋的影响。而只把 SST 作 为外强迫,易导致降水和 SST 之间的正相关关 系,但东亚海域夏季降水和 SST 却以负相关为 主,可见气候模式往往错误的描述了东亚海域降 水和 SST 之间的位相关系,这可能是大气环流模 式和区域气候模式对东亚气候模拟能力偏弱的原 因之一。因此,构建正确描述东亚海气系统位相 关系的海气耦合模式,并在此框架下改进其他物 理过程,是提高东亚区域气候模拟能力的重要 途径。

#### 参考文献 (References)

- Bjerkness J. 1966. A possible response of the atmosphere Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature [J]. Tellus, 18 (4): 820-829.
- Bjerkness J. 1969. Atmosphere teleconnection from the equatorial Pacific [J]. Mon. Wea. Rev., 97 (3) : 163 172.
- Ebisuzaki W. 1995. The potential predictability in a 14-year GCM simulation [J]. J. Climate, 8: 2749-2761.
- Fu X H, Wang B. 2003. Coupling between northward-propaga-

ting, intraseasonal oscillations and sea surface temperature in the Indian ocean [J]. J. Atmos. Sci., 15: 1734-1753.

- 费亮,王玉清. 1993. 赤道东太平洋海温与长江下游地区降水异常的相关分析 [J]. 气象学报, 51 (4): 442 447. Fei Liang, Wang Yuqing. 1993. The correlation analysis between the sea temperature on the equatorial east Pacific and the anomalous rainfall in the lower reaches of the Yangtze River [J]. Acta Meterologica Sinica (in Chinese), 51 (4): 442 - 447.
- 胡轶佳,钟中,闵锦忠,等. 2008. 两种积云对流参数化方案对 1998 年区域气候季节变化模拟的影响研究 [J]. 大气科学,31 (1):90-100. Hu Yijia, Zhong Zhong, Min Jinzhong, et al. 2008. Impacts of cumulus parameterization scheme on the seasonal variation simulation of regional climate [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese),31 (1):90-100.
- 李崇银, 咸鹏. 2003. 北太平洋海温年代际变化与大气环流和气候 的异常 [J]. 气候与环境研究, 8 (3): 258-273. Li Chongyin, Xian Peng. 2003. Interdecadal variation of SST in the north Pacific and the anomalies of atmospheric circulation and climate [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 8 (3): 258-273.
- 李崇银,裴顺强,普业. 2005. 异常东亚冬季风对赤道西太平洋纬 向风的动力作用 [J]. 科学通报, 50 (11): 1136 - 1141. Li Chongyin, Pei Shunye, Pu Ye. 2005. Dynamical effect of anomalous East Asian winter monsoon on the west Pacific zonal wind anomalies [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 50 (11): 1136 - 1141.
- 李峰,何金海. 2001. 东亚夏季风与北太平洋 SSTA 关系的年代际 变化及其机制研究 [J]. 南京气象学院学报,24(2):199-206. Li Feng, He Jinhai. 2001. Study on interdecadal relation features of north Pacific SSTA with east Asian summer monsoon as well as its mechanism [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 24(2): 199-206.
- 李东辉,谭言科,张瑰,等. 2006. 东亚冬夏季风对热带印度洋秋 季海温异常的响应 [J]. 热带海洋学报,25 (4):6-13. Li Donghui, Tan Yanke, Zhang gui, et al. 2006. Responses of East Asian winter and summer monsoons to autumn sea surface temperature anomalies in tropical Indian Ocean [J]. Journal of Tropical Oceanography (in Chinese), 25 (4):6-13.
- Liang X Z, Sperber K, Wang W C, et al. 1997. Predictability of SST forced climate signals in two atmospheric general circulation models [J]. Climate Dyn., 13 (6): 391-415.
- 普业, 裴顺强, 李崇银, 等. 2006. 异常东亚冬季风对赤道西太平 洋纬向风异常的影响 [J]. 大气科学, 30 (1): 69-79. Pu Ye, Pei Shunqiang, Li Chongyin, et al. 2006. Influence of anomalous East Asian winter monsoon on zonal wind anomalies over the Equatorial Western Pacific [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (1): 69-79.
- Sasaki H, Sato Y, Adachi K, et al. 2000. Performance and evaluation of the MRI regional climate model with the spectral boundary coupling method [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 78: 477 - 489.

- 谭言科,张人禾. 2003. 热带印度洋海温的年际异常及其海气耦合特征. 大气科学,27 (1): 53-66. Tan Yanke, Zhang Renhe. 2003. Features of the interannual Variation of sea surface temperature anomalies and the air-sea interaction in tropical Indian ocean [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27 (1): 53-66.
- Wang B, Fan Z, Lau K M. 2001. Interannual variability of the Asian summer monsoon: Contrasts between the Indian and the western North Pacific East Asian monsoons [J]. J. Climate, 14: 4073 – 4090.
- Wang B, Kang I S, Lee J Y. 2004. Ensemble simulations of Asian-Australian monsoon variability by 11 AGCMs [J]. J. Climate, 17: 803-818.
- Wang B, Ding Q H, Fu X H, et al. 2005. Fundamental challengein simulation and prediction of summer monsoon rainfall [J]. Geophys. Res. Lett., 32, L15711, doi:10.1029/2005GL022734.
- 王谦谦,钱永甫,徐海明,等. 1995. 1991 年太平洋海温异常对 降水影响的数值试验 [J].南京气象学院学报,18 (2): 200 – 206. Wang Qianqian, Qian Yongfu, Xu Haiming, et al. 1995. Numerical study of influence on rainfall of 1991 Pacific SST anomaly [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 18 (2): 200 – 206.
- 王蕾,张人禾,黄嘉佑. 2004. 春季海温对中国夏季降水影响的诊断研究和预测试验 [J]. 气象学报,62(6):851-859. Wang lei, Zhang Renhe, Huang Jiayou. 2004. Diagnostic analyses and hindcast experiments of spring sst on summer precipitation in China [J]. Acta Meterologica Sinica (in Chinese), 62(6):851-859.
- 王蕾,张人禾. 2006. 不同区域海温异常对中国夏季旱涝影响的诊断研究和预测试验 [J]. 大气科学, 30 (6): 1147 1159.
  Wang Lei, Zhang Renhe. 2006. Diagnostic researches and fore-casting experiments of the various regional sea surface temperature anomaly on summer precipitation in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (6): 1147 1159.
- Wu R G, Kirtman B P. 2005. Roles of Indian and Pacific Ocean air sea coupling in tropical atmospheric variability [J]. Climate Dyn., 25: 155 - 170.

- Wu R G, Kirtman B P. 2007. Regimes of seasonal air sea interaction and implications for performance of forced simulations [J]. Climate Dyn., 29: 393 - 410.
- Yu Rucong, Li Wei, Zhang Xuehong, et al. 2000. Climate features related to eastern China summer rainfalls in the NCAR CCM3 [J]. Adv. Atmos. Sci, 17: 503 – 518.
- 张学洪, 俞永强, 宇如聪, 等. 2003. 一个大洋环流模式和相应的 海气耦合模式的评估 I. 热带太平洋年平均状态 [J]. 大气科 学, 27 (6): 949 - 970. Zhang Xuehong, Yu Yongqiang, Yu Rucong, et al. 2003. Assessments of an OGCM and the relevant CGCM. Part I. Annual mean simulations in the tropical Pacific ocean [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27 (6): 949-970.
- Zhao Y P, McBean G A. 1989. Principal North Pacific heating anomaly patterns and their relations to the atmospheric circulation [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 7 (2): 123 – 134.
- 赵永平, McBean G A. 1991. 北太平洋海洋异常加热主要型及其 与海面水温的关系 [J]. 海洋与湖沼, 22 (1): 84-92. Zhao Yongping, McBean G A. 1991. The dominant patterns of the marine anomaly heating of north Pacific and their relations to sea surface temperature [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica (in Chinese), 22 (1): 84-92.
- 赵永平, McBean G A. 1996. 黑潮海域海洋异常加热时对后期北 半球大气环流影响的分析 [J]. 海洋与湖沼, 27 (3): 246-250. Zhao Yongping, McBean G A. 1996. Influence of the kuroshio region marine heating anomaly on the north hemisphere atmospheric circulation in the following seasons [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica (in Chinese), 27 (3): 246-250.
- 赵永平,陈永利,翁学传. 1997. 中纬度海气相互作用研究进展 [J]. 地球科学进展,12 (1):32-36. Zhao Yongpng, Chen Yongli, Weng Xuechuan. 1997. Advances in the mid latitude air sea interaction research [J]. Advance in Earth Sciences (in Chinese), 12 (1):32-36.
- Zhou Tianjun, Yu Rucong, Li Zaoxin. 2002. ENSO-dependent and ENSO-independent variability over the mid-latitude North Pacific: Observation and air-sea coupled model simulation [J]. Adv. Atmos. Sci., 19 (6): 1127 - 1147.