

El Niño 期间印度洋海温异常对 亚洲气候的影响*

肖子牛 孙绩华

(云南省气象台, 昆明 650034)

李崇银

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

摘要 El Niño 事件发生时, 赤道东太平洋海温出现高达 $2\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的正异常, 同时, 印度洋海温也会出现异常。但每次 El Niño 事件期间, 印度洋异常海温的结构是不相同的, 翘翘板型的海表温度结构, 是印度洋海温异常的一种典型分布。利用 IAP-GCM 9L 模式, 我们对 El Niño 期间, 印度洋东冷西暖异常海温分布对气候的影响, 特别是对亚洲气候的影响, 作了数值模拟研究。模拟研究的结果表明, 印度洋海温主要影响孟加拉湾、中南半岛、印尼、印度次大陆及中国大陆南部地区的气候变化。在 El Niño 发生期间, 东冷西暖的印度洋海温结构, 加大了东太平洋海温异常给东亚季风区带来的影响, 它使中南半岛到印尼更加干旱, 中国华北到山东半岛的降水减少, 而使中国西南到华南的降水明显增加。在其影响下, 东亚地区的雨带呈纬向分布, 形成旱涝相间的纬向带状异常分布型, 使模式模拟结果与中国旱涝的实际分布更加接近。同时, 在对高度场、流场的分析中可以看到, 印度洋东冷西暖海温分布使夏季副高位置偏南, 印度洋到南海的西南风减弱, 在中国西南到华南为气旋性环流控制, 这些特征与降水分布是一致的。模拟试验表明, 印度洋海温异常对我国 El Niño 期间降水异常的分布型有重要影响。

关键词: 海温异常; 数值模拟; 旱涝分布

1 引言

海洋温度异常对全球天气气候产生的影响一直是大气科学研究的重点, 许多观测事实和数值试验研究表明, 大气外强迫通过大气内部的动力学过程是造成气候异常的主要原因, 其中以热带 SSTA 的强迫对气候异常的影响尤为显著^[1~3]。近几年来, 人们对赤道东太平洋和西太平洋暖池的 SSTA 对大气环流或气候异常影响的研究取得了许多进展, 如我国的东北低温、长江中下游降水、副热带高压的变化等均与赤道东太平洋 SSTA 有密切联系^[4~6]。

亚洲是世界上最大的季风区, 源于印度洋的西南季风对东亚季风系统和印度季风系统都有重要的影响。从海气相互作用的事实来看, 印度洋的 SSTA 同样会影响到大气系统及天气气候的变化, 从而产生天气气候的异常。早在 70 年代, Shukla^[7]和

1999-03-09 收到, 1999-06-28 收到修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论的研究”、云南省科委基金 97D033Q 和中国科学院大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室共同资助

Washington 等^[8]就研究过印度洋海温异常对夏季印度季风的影响,以后我国学者对印度洋海温异常对我国夏季风的影响也作过资料分析和数值模拟的研究工作。陈烈庭^[9,10]的分析研究指出,西印度洋的海温不仅有明显的年际变化,而且与东赤道太平洋海温有密切的正相关关系。在 El Niño 年,东赤道太平洋海温异常偏暖时,西印度洋冷水区的海温也都显著偏高;而在反 El Niño 年则相反,西印度洋冷水区的海温也都明显偏低。进一步的研究还发现,在 El Niño 期间,印度洋东暖西冷的海温梯度是减弱的,而在非 El Niño 时期这种温度梯度是加强的。陈烈庭等的研究表明,热带印度洋和太平洋海温距平的纬向分布基本上存在两种主要类型:一种是东太平洋和西印度洋海温偏低,而西太平洋和东印度洋海温偏高的反 El Niño 型;另一种是与之相反的 El Niño 分布型。陈月娟^[11]曾用环流模式研究了印度洋关键区海温对我国夏季风及降水的影响,其研究结果表明,当西印度洋和阿拉伯海海温升高时,印度西南季风增强,进入我国的西南季风减弱,而东南季风增强;我国西南地区夏季降水减少,而华东、长江流域和华南等地降水量增加。虽然对印度洋海温异常过去曾做过一些工作,但对 SSTa 的研究多是针对太平洋来展开的^[12~15],对印度洋的研究还比较少。尤其是 1997 年的强 El Niño 发生后,人们发现,印度洋的 SSTa 也极为清楚,但印度洋 SSTa 的作用,特别是对于 El Niño 强迫的影响还是一个很不清楚的问题。国际“气候变化及可预报性研究 (CLIVAR)”计划已明确提出,要将 ENSO 信息及影响扩展到全球范围^[16]。因此探讨印度洋 SSTa 对 El Niño 影响的作用也是深入认识 ENSO 及其影响的重要问题。

本文利用 IAP-GCM 9L 模式,对 El Niño 期间,印度洋东冷西暖的异常海温分布在气候异常中的作用,特别是在亚洲气候异常中的作用,进行了数值模拟研究。模拟研究结果表明,印度洋海温异常在 El Niño 造成的气候影响中有重要作用。

2 模式和模拟

数值模拟的方法能较为客观地研究 El Niño 期间印度洋海温异常的作用,本文采用的 IAP-GCM 9L 模式,是中国科学院大气物理研究所由 2 层大气环流模式发展的 9 层模式,该模式能较好地描述大气环流的基本状况及其变化,对亚洲季风的的活动也有较好的模拟能力^[17]。IAP-GCM 9L 把月平均海温作为外边界条件进行积分计算。为了研究热带 SSTa 的影响,我们把赤道东太平洋海温正异常作为 El Niño 事件的标志,取理想的赤道东太平洋海温异常场如图 1a 所示。根据陈烈庭^[9]的研究,东冷西暖的印度洋海温距平结构是 El Niño 期间的典型海温分布。因此,我们在理想的太平洋海温异常场的基础之上,再加上一个东冷西暖结构的印度洋海温异常场,作为 El Niño 期间有印度洋海温异常作用的海温场,其分布如图 1b 所示。在本模拟实验中,从模式的 4 月 21 日开始加入异常海温场。

数值试验分为控制试验和异常试验。控制试验中其海表温度为月平均气候值。为了减少模式初始场以及其他因素对模拟结果的影响,我们首先取了 5 个不同的初始场分别进行积分,得到 5 个输出场,取平均后得到控制积分输出场,记为 C 场。然后同样用这 5 个初始场,修改赤道东太平洋海温,使其类似 El Niño 事件的异常海温,同样分别作 5 次积分,取平均后得到太平洋海温异常强迫时的输出场,记为 P 场。

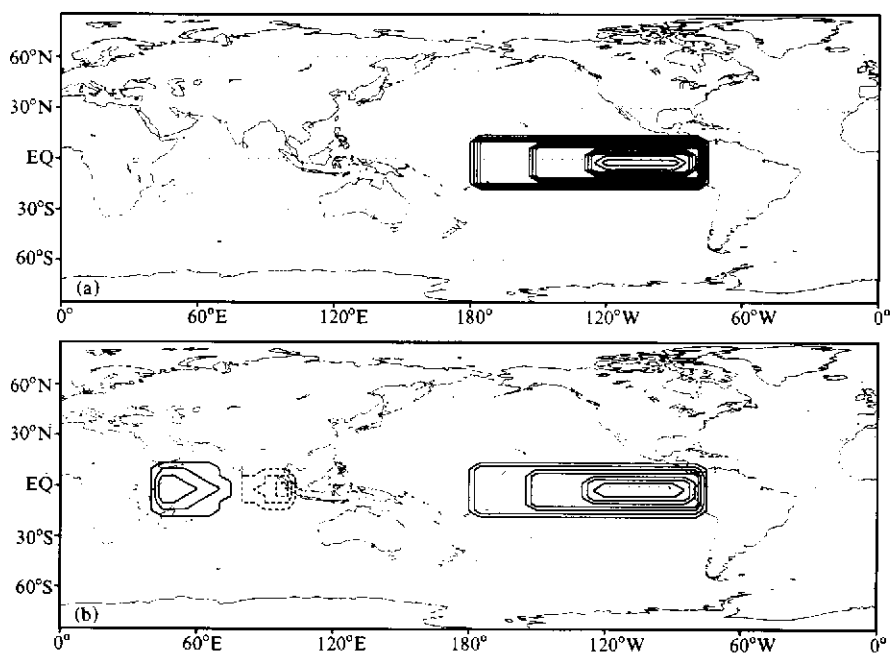
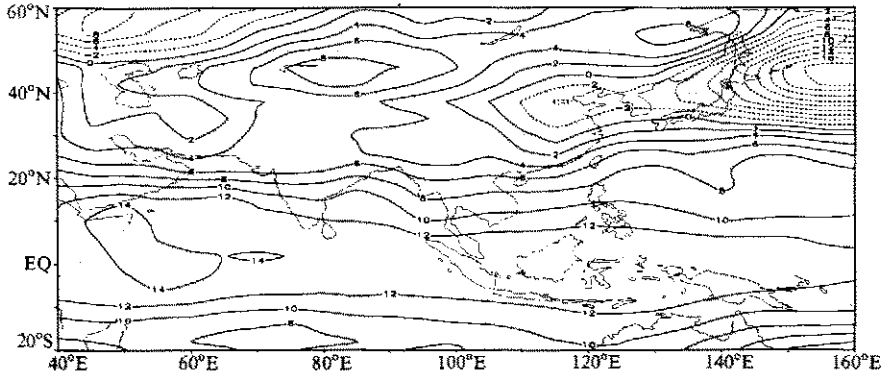


图1 海温异常场
(a) 太平洋 (等值线间距 0.25 ℃); (b) 印度洋和太平洋强迫场 (等值线间距 0.5 ℃)

最后再用这 5 个初始场, 修改赤道东太平洋海温及印度洋海温, 使其类似 El Niño 事件期间太平洋海温及印度洋的异常海温, 分别作 5 次积分, 取平均后得到 El Niño 事件期间有印度洋海温异常强迫时的输出场, 记为 I 场。这样, 由 P 减 C 场我们可以得到东太平洋海温异常强迫时大气的异常响应场, 用来反映 El Niño 对气候的影响; 由 I 减 C 场则可以得到 El Niño 事件期间太平洋及印度洋的异常海温对气候的共同影响; 而 I 场减 P 场可以表征印度洋海温异常强迫对 El Niño 影响的作用。

3 El Niño 影响的数值模拟

同已有的数值模拟类似, 当模式加入赤道东太平洋异常海温后, 全球气候系统出现了明显的异常响应。分析 P 场减 C 场得到的异常响应场, 我们可以看到, 亚洲地区的天气气候也出现了很大的异常响应。图 2 为 6~8 月 500 hPa 高度响应场, 同多年平均的 500 hPa 高度场相比, 图 2 显示赤道东太平洋海温异常偏暖使夏季副高减弱偏南的重要特征。同时, 从 6~8 月 850 hPa 平均流场可以看到, 印度洋到中南半岛的季风环流减弱, 如图 3。与多年平均状况相比, 印度洋 15°N 以南的赤道低纬地区平均状况为强劲的西南风控制, 加入赤道东太平洋异常海温后出现异常东风, 减弱了印度洋及南亚地区的西南季风。同时从图中还可以看到, 澳大利亚北部到印度尼西亚南部出现与气候平均状况相反的西风异常, 华北到中国西部地区则出现与气候平均状况相反的偏北风异常, 从而使这些地区的夏季风减弱; 而在南海、华南沿海及中国东部地区, 异常风与气



4 有印度洋海温异常时的模拟结果

当模式同时加入赤道东太平洋异常暖海温和东冷西暖结构的印度洋海温异常场后,大气的响应场会有什么不同呢? 让我们首先考察其降水场。图 5 为 6~8 月降水响应场,从图中可以注意到,亚洲地区降水负距平区主要位于赤道东印度洋,孟加拉湾、中南半岛地区;而降水正距平区主要位于中国华南至西南一带。与图 4 相对照可以发现,在考虑印度洋异常海温的作用后,赤道印度洋东部的降水负异常明显增大,其负中心由 65°E 附近东移到 90°E 附近,印度尼西亚的负降水距平区明显向北扩展了 10 个纬距左右,南海中南部已为负距平区。而同时中国东部的正距平区明显南压,主要降水正距平在中国华南到西南一带,中心值明显增大。我国淮河以北地区为负降水距平控制。因此,El Niño 期间印度洋异常海温对中南半岛、印度尼西亚、中国东部地区的降水异常有重要作用。另外值得注意的是,在只有赤道东太平洋异常海温作用时,中国南方的降水正距平区域为一块状结构;当加入印度洋异常海温后,中国南方的降水正距平区域及黄河流域的降水负距平区域为纬向带状分布。这种分布型与中国旱涝的实际分布更为接近^[18]。

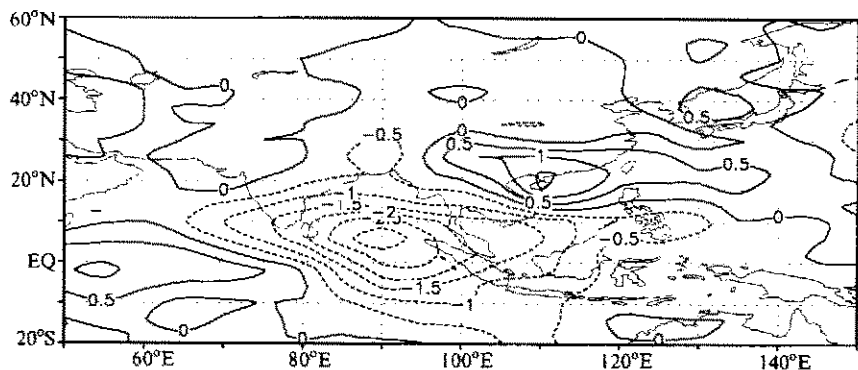


图 5 在东太平洋和印度洋异常海温作用下 6~8 月降水响应场 (单位: mm/d)

图 6a 给出了 6~8 月 850 hPa 平均异常矢量风场。从图中可以看到,在印度洋赤道及低纬地区出现与季风环流反向的异常环流,在印度次大陆的南部为偏东风控制,孟加拉湾和中南半岛为异常西北气流,而在中国的华南地区为一个气旋性环流控制。这样的风场分布显示着夏季风被削弱,使印度南部、孟加拉湾和中南半岛干旱,中国华南多雨。图 6b 为 6~8 月 850 hPa 平均流场,从流场图可以更清楚地看到上述的特征,孟加拉湾和南海南部为反气旋环流控制,这些特征与异常降水的分布是一致的。

从 500 hPa 高度响应场来看,加入印度洋异常海温后,500 hPa 高度响应场的基本特征没有太大改变(图略),仍然是使夏季副高减弱偏南,欧亚大陆西风槽偏弱。

因此,从整体作用来看,在赤道东太平洋异常暖海温和东冷西暖结构的印度洋海温异常的共同强迫下,亚洲地区气候出现了更大的异常响应。季风更加减弱,中南半岛和印度尼西亚出现更明显干旱,中国南部多雨,位于中国的多雨区和少雨区呈纬向带状分布。

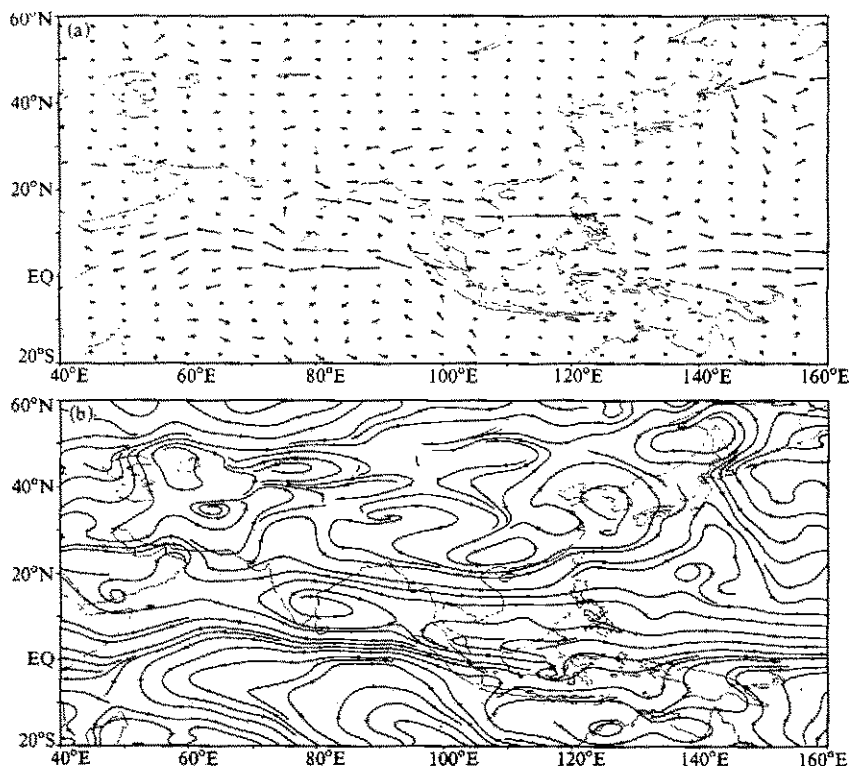


图 6 在东太平洋和印度洋异常海温作用下 6~8 月 850 hPa 平均异常矢量风场 (a) 和流场 (b)

5 El Niño 期间印度洋海温异常的作用

为了进一步考察印度洋异常海温的作用, 图 7 给出了用 I 场减去 P 场得到的 6~8 月异常降水场。从图 7 中我们可以看到, 在赤道东太平洋暖海温异常期间, 具有东冷西暖结构的印度洋海温异常使得赤道西印度洋地区出现强的正降水距平区, 而孟加拉湾到印度尼西亚为降水负距平区控制, 中国的华南到西南地区有一个降水正距平中心, 而中国的东部处于负距平区域。这清楚地表明了印度洋异常海温对孟加拉湾、中南半岛南部及印度尼西亚旱涝的重要作用; 它对我国华南及西南地区多雨, 华东和华北少雨的异常气候也有重要作用; 但对 El Niño 引起印度地区降水偏少却有一定的缓解作用。

同样可以看一下印度洋异常海温对流场的作用, 图 8a 为 I 场减去 P 场得到的 6~8 月 500 hPa 异常矢量风场。从中我们可以注意到图 6 中所显示的主要特征, 如低纬地区从印度尼西亚到印度南部的东风异常和孟加拉湾北部到中南半岛的西风异常。这种相同的特征说明, 印度洋异常海温通过改变大气环流对这些地区的天气气候变化起着主要的作用。

图 8b 为 6~8 月 850 hPa 异常流场。从图 8b 首先可以看到, 与风场一致, 在孟加拉湾到中南半岛有一个明显的反气旋环流系统, 这一反气旋环流系统是图 3 中没有的, 但却与图 6 中的环流非常接近, 可以推测, 这是由印度洋异常海温作用形成的。同时可

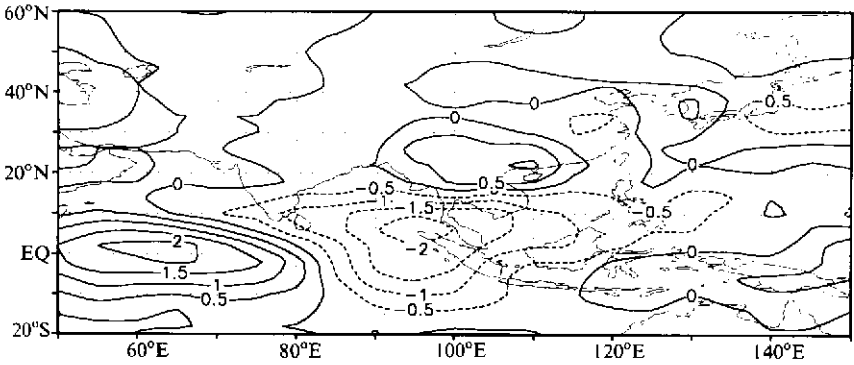


图 7 El Niño 期间印度洋海温异常作用下 6~8 月异常降水场 (单位: mm/d)

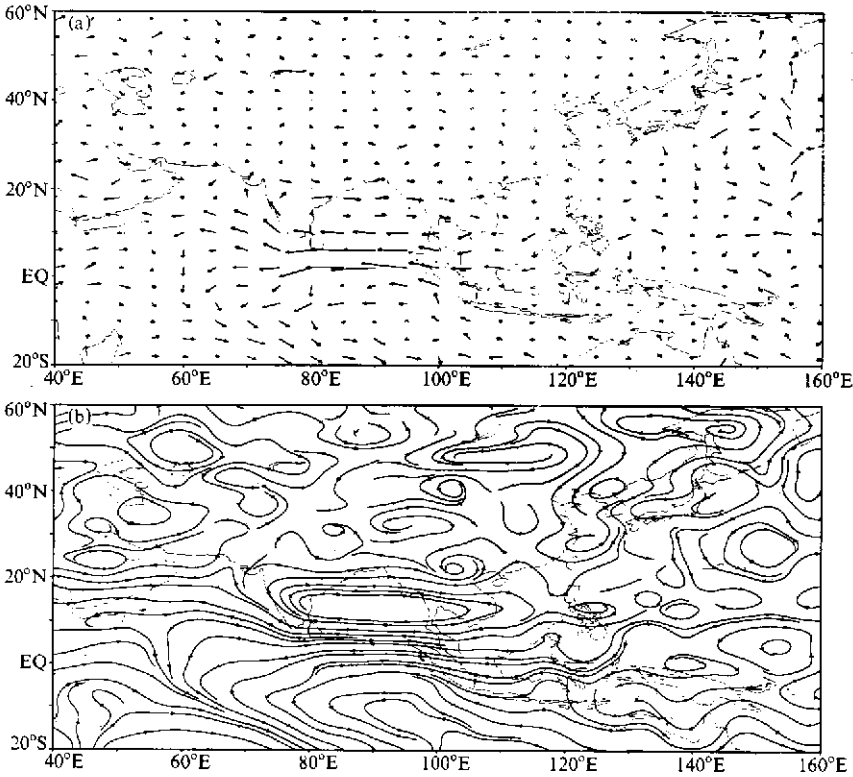


图 8 El Niño 期间印度洋异常海温作用下 6~8 月 850 hPa 平均异常
(a) 矢量风场; (b) 流场

以说明, 在 El Niño 期间, 这一地区的大气环流对印度洋海温极为敏感, 其特征主要受印度洋海温结构的影响。在这个反气旋环流的控制下, 中南半岛地区干旱少雨; 而在西北印度洋地区 850 hPa 异常流场与图 6 和图 3 中的流场几乎相反, 为气旋性环流控制, 同时在西南印度洋地区 850 hPa 异常流场与图 6 相同而与图 3 中的流场几乎相反, 在这一流场的控制下, 西印度洋地区出现强的正降水距平区。

在南海南部到印度尼西亚出现与气候平均状况相反的东风异常, 这也是图 3 中所没有的, 因此图 6 中印度尼西亚地区的东风异常可能是由于印度洋异常海温造成的, 从而

使这些地区更加干旱。对照降水异常分布图可以发现, El Niño 期间印度洋海温的异常作用使印度尼西亚干旱区加强并向北扩展。在图 8b 中我们还可以看到, 中国华南西部到西南为一个气旋性环流控制, 华北到山东半岛为一个反气旋环流控制, 正是在其作用下, 图 6 中中国东部为反气旋环流控制, 而位于华南地区的气旋性环流加强并向西扩展。这一流场分布与降水场的纬向带状分布是一致的。

从以上的模拟结果我们可以看到, 热带地区的海温异常对亚洲的天气气候有着重要的影响。从总体效果上说, 赤道东太平洋海温异常和印度洋海温异常有类似的作用, 它们都使亚洲夏季风减弱, 减少印度夏季的降水而增加中国南部的降水量。但是印度洋海温对亚洲气候的影响又有其独特的重要作用。特别是对孟加拉湾、中南半岛南部及印度尼西亚的干旱有重要影响。此外对 El Niño 期间中国的旱涝分布也有重要作用, 它可能是形成我国在 El Niño 期间降水异常纬向带状分布的重要原因。

6 小结

热带海温异常对全球气候的变化有着重要的作用, 在针对赤道东太平洋海温异常的气候影响进行了众多的研究以后, 对印度洋海温的作用进行深入研究是很有必要的, 由于印度洋对亚洲季风的重要影响, 印度洋海温异常对亚洲的气候也有其重要而独特的影响。本文通过对 El Niño 期间一种典型的印度洋海温异常对亚洲气候的影响进行了的数值模拟研究, 结果表明:

(1) 印度洋海温异常与赤道东太平洋海温异常一样, 对亚洲天气气候有重要的影响。

(2) El Niño 期间, 印度洋海温异常对印度尼西亚及中南半岛南部的干旱起主要的影响作用, 而对印度地区因 El Niño 造成的少雨有一定的缓解作用。

(3) El Niño 期间, 印度洋海温异常对形成中国华南到西南地区的多雨带有重要作用; 尤其对于形成东亚地区多雨和少雨区的纬向带状分布型有重要作用。

(4) 在赤道东太平洋 SSTA 和印度洋 SSTA 共同作用下模拟得到的东亚季风和我国东部降水异常与观测较为相似, 因此, 在考虑 ENSO 的同时, 也要注意印度洋海温的作用。

由于气候变化受到多种因素的影响, 以及海气耦合作用的复杂性和海温异常变化的多样性, 本文的结果虽有一定意义, 但还仅是一些初步的结果。对于印度洋海温的作用, 还需做更多的研究。

参 考 文 献

- 1 Wallace, J. M. and M. L. Blackmon, Observation of low-frequency atmosphere variability, *Large-Scale Dynamical Processes in the Atmosphere*, Ed. by B. J. Hoskins and R. Pearce, Academic Press, 1983, 55~94.
- 2 肖子牛、李崇银, 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, *大气科学*, 1992, 16(6), 707~717.
- 3 Keshavamurty, R. N., Response of the atmosphere to sea surface temperature anomalies over the equatorial Pacific and the teleconnections of the Southern Oscillation, *J. Atmos. Sci.*, 1982, 39, 1241~1259.
- 4 符淙斌、滕星林, 我国夏季的气候异常与埃尔尼诺/南方涛动现象的关系, *大气科学(特刊)*, 1988, 133~141.

- 5 李崇银, El Niño事件与中国东部气温异常, 热带气象, 1989, 5, 210~219.
- 6 黄荣辉、孙凤英, 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响, 大气科学, 1994, 18(2), 141~151.
- 7 Shukla, J., Effect of Arabian Sea surface temperature anomaly on Indian summer monsoon: A numerical experiment with the GFDL Model, *J. Atmos. Sci.*, 1975, 32, 503~511.
- 8 Washington, W. M., R. M. Chervin, and G. V. Rao, Effects of a variety of Indian Ocean surface temperature anomaly patterns on the summer monsoon circulation: experiments with the NCAR general circulation model, *Pure and Applied Geophysics*, 1977, 115, 1335~1356.
- 9 陈烈庭, 热带印度洋-太平洋海温纬向异常及其对亚洲夏季风的影响, 大气科学特刊, 1988, 142~148.
- 10 陈烈庭, 阿拉伯海-南海海温距平纬向差异对长江中下游降水的影响, 大气科学, 1991, 15, 33~42.
- 11 陈月娟, 我国夏季风和降水与临近海洋水温关系的数值试验, 气候变化若干问题研究, 北京: 科学出版社, 1992, 157~167.
- 12 杨修群等, 全球大气/热带太平洋耦合距平模式中由ENSO增暖引起的全球大气环流异常, 大气科学, 1996, 20(2), 129~137.
- 13 Wallace, J. M. and J. Shukla, Numerical simulation of the atmosphere response to equatorial Pacific sea surface temperature anomalies, *J. Atmos. Sci.*, 1983, 40, 1613~1630.
- 14 Wallace, J. M. and Horel, J.D., Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the southern oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, 1981, 109, 813~829.
- 15 陈月娟、丁明, 太平洋海温异常对其上空环流影响的分析及数值试验, 大气科学, 1992, 16(5), 592~600.
- 16 CLIVAR Scientific Steering Group, A study of Climate Variability and Predictability (CLIVAR) Science Plan, WMO / TD No.690, 1995, WCRP~89.
- 17 Liang Xinzong, Description of a nine-level grid-point atmospheric general circulation model, *Adv. Atmos. Sci.*, 1996, 13, 269~298.
- 18 叶笃正、黄荣辉, 长江黄河流域旱涝规律和成因研究, 济南: 山东科技出版社, 1996.

Influence of the Indian Ocean SSTA on Asian Climate during an ENSO Period

Xiao Ziniu and Sun Jihua

(Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 65004)

Li Chongyin

(State Key Laboratory of Numerical Modeling Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmosphere Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract During the ENSO event period, the Indian Ocean SST will be anomalous almost simultaneously. But the spatial structure of the SSTA in the Indian Ocean varies from time to time. The seesaw structure is a typical pattern of the Indian Ocean SSTA. Based on the IAP-GCM 9L model developed in the Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, the SSTA pattern with a warm SST in the western Indian Ocean and a cold SST in the East Indian Ocean was simulated during an ENSO period. And its effect on the Asian climate was studied. The results indicate that the Indian Ocean SSTA would mainly influence the climates of Bengal, Indo-China, Indonesia, India and China. During the ENSO period, the SSTA pattern with warm west and a cold east SST in the Indian Ocean will enhance the climate anomalousness brought by the eastern Pacific Ocean SSTA. Especially, it makes Indo-China drier and reduces the precipitation over the northern China. But it obviously increases the precipitation over the area from southwest China to southeast China. So, the precipitation will be concentrated in a zonal region around the Changjiang River drainage area and forms zonal drought and flood pattern which is close to the fact. Therefore, during ENSO period, the Indian Ocean SSTA is important to Asian climate especially to the anomalous precipitation pattern of China.

Key words: sea surface temperature anomaly; numerical simulation; drought and flood pattern