

ENSO 对其后东亚季风活动影响的 GCM 模拟研究*

龙振夏 李崇银

(中国科学院大气物理研究所, LASG 国家重点实验室, 北京 100080)

摘 要

将 1~3 月赤道东太平洋海表水温距平(SSTA)引入大气环流模式,模拟研究了 ENSO (厄尔尼诺和拉尼娜)对其后东亚季风活动的影响。结果表明,由于 SSTA 在大气中强迫激发了大气低频振荡,使得 ENSO 对其后的东亚季风活动仍有明显影响。厄尔尼诺之后的夏季,西太平洋副热带高压偏强偏北且西伸明显,中国东部降水偏少,尤其是华北地区;厄尔尼诺之后的冬季,东亚大槽偏深,冬季风偏强。拉尼娜之后的夏季,中国长江下游为异常副热带高压单体控制,江淮流域雨量偏少;拉尼娜之后的冬季,东亚大槽偏弱,东亚冬季风偏弱。厄尔尼诺的影响比拉尼娜的影响略强,两者的影响并非完全反相。

关键词:海表水温距平(SSTA), ENSO, 东亚季风, 数值模拟。

1 引 言

一系列的资料分析和诊断研究表明,厄尔尼诺对大气环流及全球许多地方的天气气候异常有重大的影响^[1~4],中国气候变化和异常同厄尔尼诺事件的关系也有不少研究^[5~10]。对于某一大范围地区的气候变化或异常来讲,厄尔尼诺或者说 ENSO 虽然不是唯一因素,但也是重要因素之一,在某些地区还是最重要的因素。正是由于 ENSO 在气候变化中的重要性,以及人们目前对其认识局限,1996 年开始实施的国际 CLIVAR(气候变化及可预报性研究)计划中,ENSO 影响及其预报是重要的研究课题。1997 年发生了有记录以来最强的一次厄尔尼诺事件,并对全球造成了严重灾害,ENSO 及其影响的研究更在全世界掀起了新的高潮。

为了深入地了解厄尔尼诺对气候的影响,已有一些数值模拟工作研究大气对赤道东太平洋海温异常(厄尔尼诺)的响应^[11~13],得到了一些有意义的与观测相当一致的结果。中国学者也就厄尔尼诺对中国气候变化的影响进行了一些数值模拟试验^[14~16],但是基本上只是讨论厄尔尼诺年的影响情况,有的模拟因积分时间短,只能认为数值模拟结果是大气“瞬时响应”,而且模拟研究大多是针对厄尔尼诺情况(赤道东太平洋为 SST 正距平),很少研究拉尼娜(赤道东太平洋为 SST 负距平)的影响,更没有进一步讨论 ENSO 对其后的影响。

* 初稿时间:1998 年 3 月 10 日;修改稿时间:1998 年 6 月 8 日。

资助课题:国家“九五”攀登项目——“南海季风试验”和中国科学院 KZ951-B1-408 项目。

季风尤其是东亚季风的的活动,不仅直接影响东亚和西北太平洋地区的天气气候,并且对全球环流和气候变化都有一定的作用。因此,在国际 CLIVAR 计划中季风是重要研究课题,特别是东亚季风与 ENSO 的相互关系^[17]。

本文的目的在于用 GCM 数值模拟研究 ENSO(包括厄尔尼诺和拉尼娜)对其后东亚季风活动的影响,也就是研究赤道东太平洋 SSTA 在冬季达最大之后的 1 年(有人也称 ENSO 的次年)东亚季风气候的变化特征。在已有的数值模拟研究中^[18],已经指出,由于大气中低频模的被激发,大气对赤道东太平洋海温异常的强迫响应将会持续相当长的时间,或者说在 ENSO 结束之后,它对于大气环流和气候的影响仍将持续较长时间。由于 ENSO 是一种强信号,在气候预测时应加以考虑。

2 模式及数值试验

因计算条件的限制,本文研究仍采用 IAP 的低分辨大气环流模式(AGCM),它是垂直方向两层,水平为 $4^\circ(\text{纬度}) \times 5^\circ(\text{经度})$ 的格点模式,具体细节可见专门版本^[19]。此模式虽然分辨率不高,但因为设计中的一些特殊考虑,使其在气候模拟和预测试验中都显示了较强的能力^[20,21],国际模式比较试验表明它对季风活动有很好模拟效果^[22]。

厄尔尼诺和拉尼娜都以赤道东太平洋海表水温距平(SSTA)为其主要标志,研究 ENSO 对气候的影响,需要在模式中引入赤道东太平洋地区的 SSTA;对于厄尔尼诺情况,假定赤道东太平洋有正 SSTA,对于拉尼娜情况,假定有负 SSTA。SSTA 的具体分布为:在 $170 \sim 80^\circ\text{W}$, $14^\circ\text{N} \sim 14^\circ\text{S}$ 的矩形区有 0.5°C 以上的距平,其中 $170 \sim 80^\circ\text{W}$, $10^\circ\text{N} \sim 10^\circ\text{S}$ 的矩形区有 1.5°C 以上的距平,而在 $130 \sim 90^\circ\text{W}$, $6^\circ\text{N} \sim 6^\circ\text{S}$ 的矩形区有 2.5°C 的距平。这种 SSTA 的分布基本反映了厄尔尼诺或拉尼娜时的平均 SST 异常情况。

本文数值试验有 3 种,一是对照(控制)试验(EC),用 IAP-GCM 模式 25 a(前面几十年积分不算)稳定积分的第 2 和 3 年代替,数值积分过程中 SST 是随时间变化的气候值;二是异常试验 1(EP1),与 EC 试验不同,在数值积分中 1~3 月份在赤道东太平洋有正的 SSTA,而在其他月份同 EC;三是异常试验 2(EP2),它与 EP1 类似,但 1~3 月份赤道东太平洋有负的 SSTA。上述 3 个试验都从 1 月份开始数值积分到第 2 年的 2 月份;按一般模拟研究大气响应的方法,异常试验结果与对照试验结果的差值(EP-EC)就表示大气对外强迫的响应,在本文中也就表示 ENSO 对其后大气环流和气候的影响。

3 厄尔尼诺对其后东亚季风活动的影响

厄尔尼诺对当年气候异常的影响人们已有不少研究,这里将讨论厄尔尼诺结束年(平均来讲厄尔尼诺一般在 3~5 月份结束)东亚季风气候异常变化的模拟结果,也就是 EP1 与 EC 试验的差。

3.1 对东亚夏季风活动的影响

赤道东太平洋 1~3 月份 SST 正距平所引起的 500 hPa 高度异常的夏季形势如图 1 所示,其中图 1a 为 6 月份的异常形势,以亚洲和西太平洋 $20 \sim 42^\circ\text{N}$ 被明显的正距平带所控制为主要特征,显示出的西太平洋副热带高压偏强且西伸明显;图 1b 所示的 7 月份异常形势则主要表现为由中国西南到日本北部为负距平带;图 1c 与图 1a 有共同点又有区

别, 10~35°N 为正距平带, 但日本以东也有一正距平区。6~8 月 500 hPa 高度异常的演变显示了季节内振荡的特征; 而夏季(6~8 月)平均的异常形势(图 1d)表明西太平洋副热带高压偏强偏北的特征, 而且副热带高压西伸到大陆十分明显, 中国东北地区为明显负距平控制。

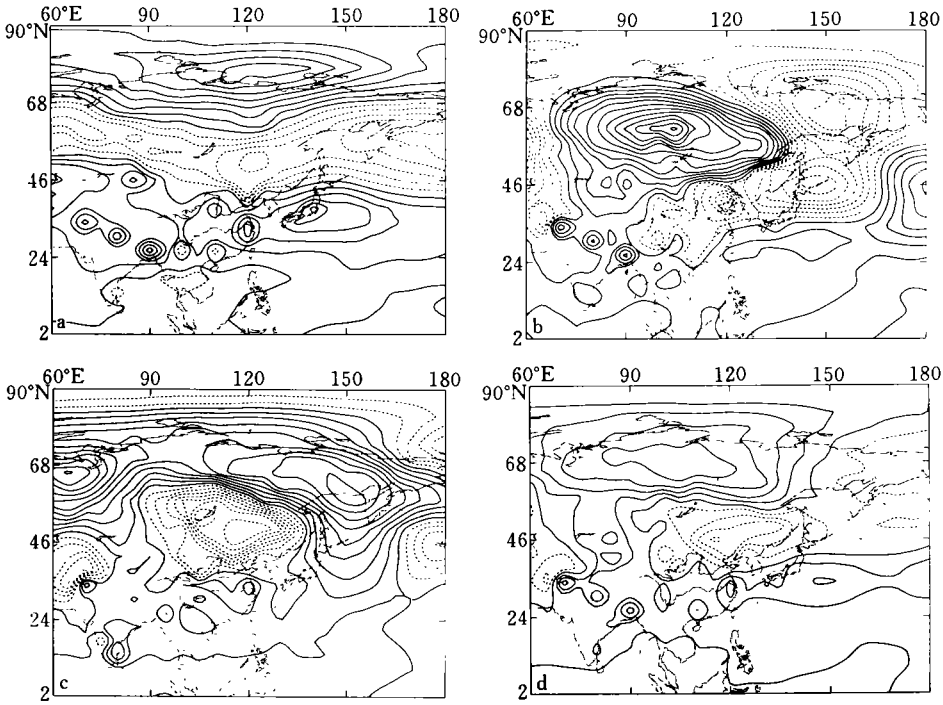


图 1 1~3 月赤道东太平洋正 SSTA 所引起的亚洲及西太平洋地区 500 hPa 高度的异常形势
(a, b, c 和 d 分别为 6, 7, 8 及 6~8 月平均的情况; 等值线间隔为 10gpm)

同 500 hPa 情况类似, 1~3 月的赤道东太平洋 SSTA 正距平也引起了夏季 850 hPa 流场的明显异常, 由图 2 所示的 6~8 月平均的亚洲及西太平洋地区 850 hPa 异常矢量风的分布形势可见, 西太平洋和中国东部(22~38°N)分别为一反气旋环流控制, 同样表明了西太平洋副热带高压和大陆副热带高压都比较强; 中国东北地区和菲律宾以东分别为气旋性环流所控制。

由于引起了上述大气环流形势的持续异常, 中国东部地区的夏季降水也出现了明显异常。图 3a 和图 3b 分别给出了中国江淮流域(26~34°N, 115~125°E)和华北地区(34~42°N, 115~125°E)平均降水量异常的时间演变。可以看到, 在中国江淮地区, 6 月份出现降水负距平, 7 月份降水偏多, 8 月份降水偏少; 而在中国华北地区, 6 月份降水也偏少, 7 月份相对正常, 8 月份降水明显偏少。就整个夏季而言, 1~3 月赤道东太平洋的正 SSTA 将引起中国东部汛期降水量偏少, 尤其是华北地区。上述降水量异常的出现同大气环流形势的异常吻合得十分清楚而且合理。

3.2 对东亚冬季风活动的影响

赤道东太平洋 1~3 月 SST 正距平所带来的影响持续到下一个冬季也仍然很明显,

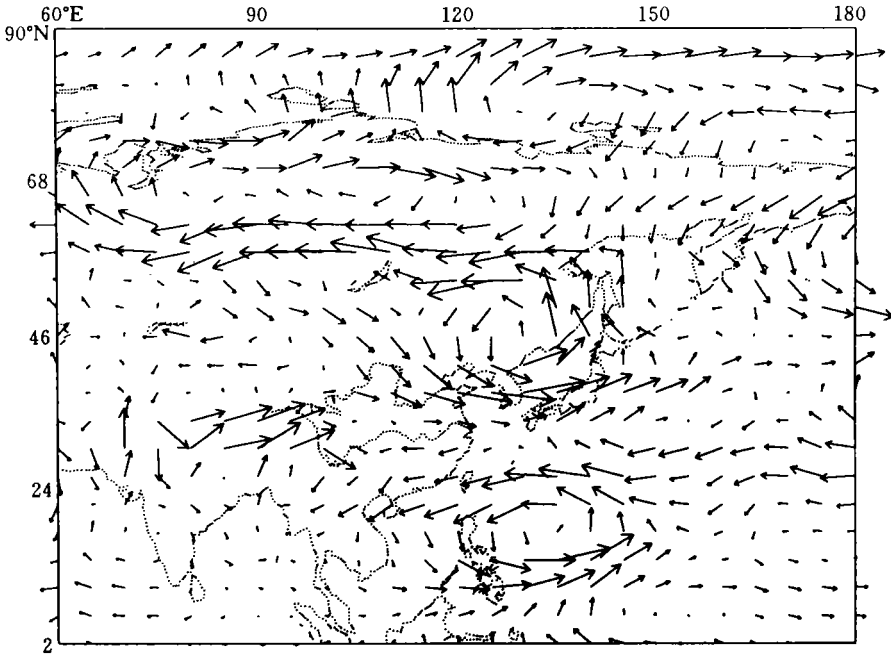


图2 1~3月赤道东太平洋正SSTA所引起的亚洲及西太平洋地区
6~8月平均850 hPa矢量风异常的形势
(图中最长箭头表示3.7m/s风速)

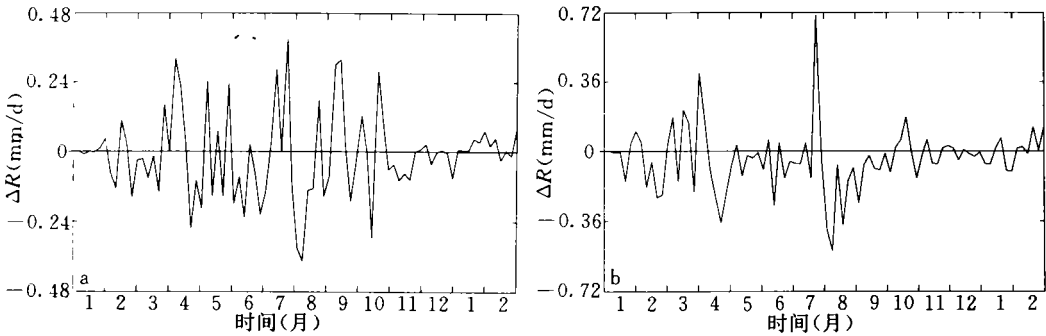


图3 1~3月赤道东太平洋正SSTA造成旬平均降水量异常的时间演变
(a. 中国江淮(26~34°N, 115~125°E)地区; b. 华北(34~42°N, 115~125°E)地区)

对东亚冬季风活动也有相当的作用。图4a给出了1~3月份赤道东太平洋正SSTA所引起的500 hPa高度在下一冬季(12~2月)平均的异常形势,在亚洲及西太平洋地区500 hPa高度距平的最大绝对值在50gpm以上;而且整个东亚地区为负距平控制,表明引起了东亚大槽的异常加深,东亚冬季寒潮活动将偏强。图4b是与图4a相应的850 hPa矢量风的异常形势,很明显东亚地区在45°N以南有异常偏北风,表明东亚冬季风较常年偏强。

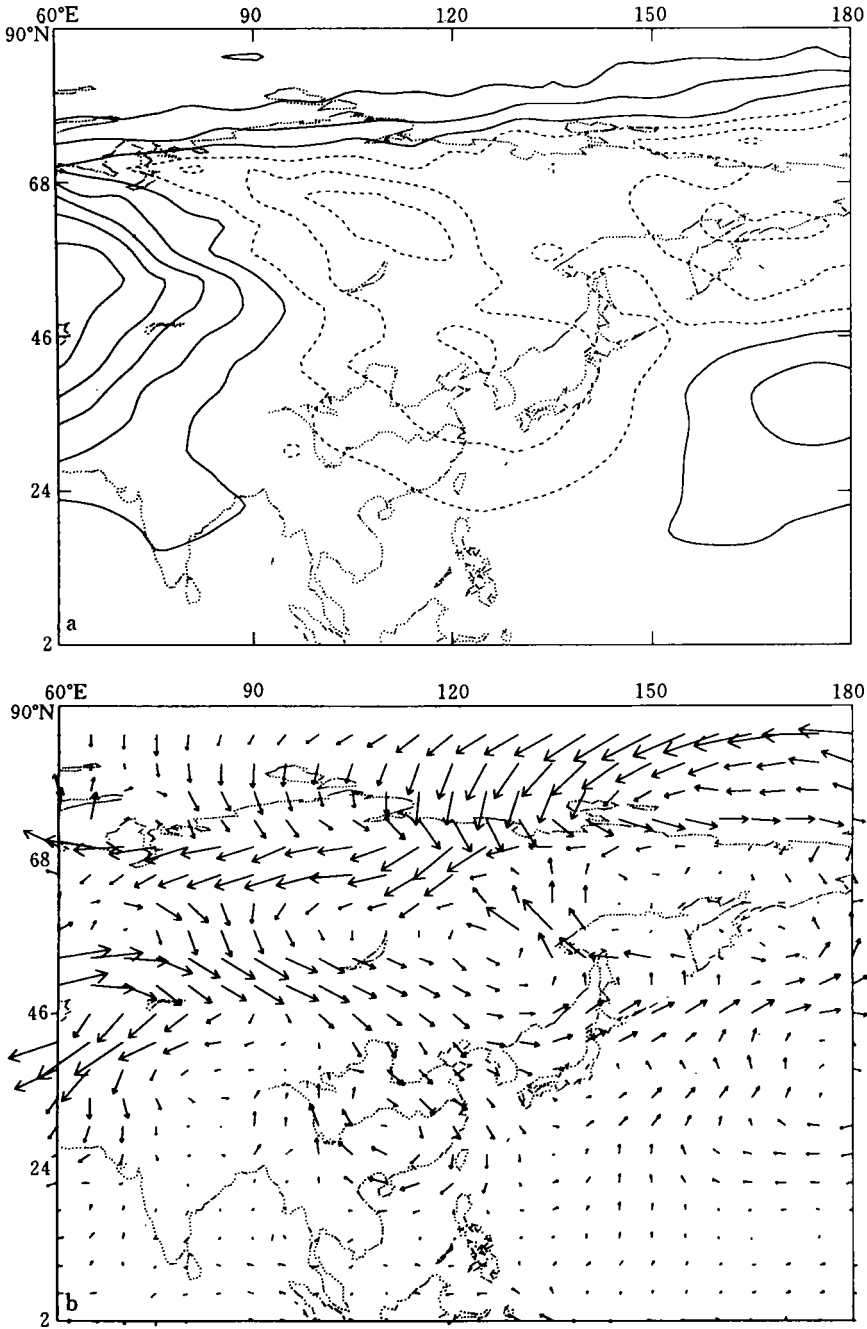


图 4 1~3 月赤道东太平洋正 SSTA 所造成的下一个冬季(12 月~次年 2 月) 亚洲和西太平洋地区大气环流的异常

(a. 500 hPa 高度距平, 等值线间隔分别为 $\pm 10\text{gpm}$; b. 850hPa 矢量风异常, 最长箭头为 4.5m/s)

同图 4 所示的大气环流异常相对应, 因寒潮活动偏强, 东亚地区冬季气温平均也偏低。图 5 是中国东部地区($26\sim 38^\circ\text{N}$, $120\sim 125^\circ\text{E}$)因 1~3 月赤道东太平洋正 SSTA 所造

成的平均地面气温异常的时间演变。可以看到,中国东部地区的气温受到了相当大的影响,最大距平达 7°C 左右,在 12 月到次年的 2 月,平均气温为负距平,这种气温偏低现象同 500hPa 东亚大槽平均偏强以及对流层低层有偏强北风的配合相当合理。同时,这里还要顺便指出,由图 5 可见在夏季(6~8 月)中国东部地区气温为正距平,这种夏季气温偏高又正好同夏季副热带高压偏强且西伸明显的异常环流形势有十分合理的配合。

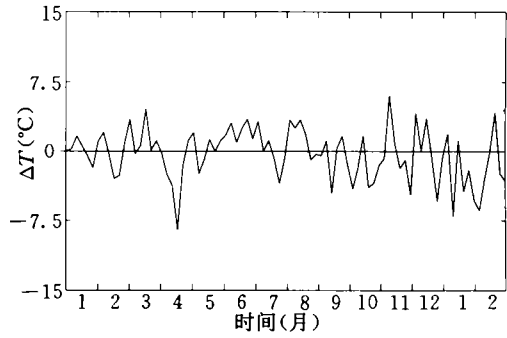


图 5 1~3 月赤道东太平洋正 SSTA 所造成的中国东部($26^{\circ}\sim 38^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$)地区气温距平的时间演变

4 拉尼娜对其后东亚季风活动的影响

有的研究表明,在厄尔尼诺和拉尼娜爆发年,两者对西太平洋台风活动以及对中国东北夏季温度有着完全相反的影响,一般是在厄尔尼诺(拉尼娜)年,西太平洋台风频数偏少(多),东北地区夏季气温偏低(高)^[6,7]。上节讨论了厄尔尼诺结束后东亚季风活动仍有明显异常,这里将分析拉尼娜结束后东亚季风活动的情况。

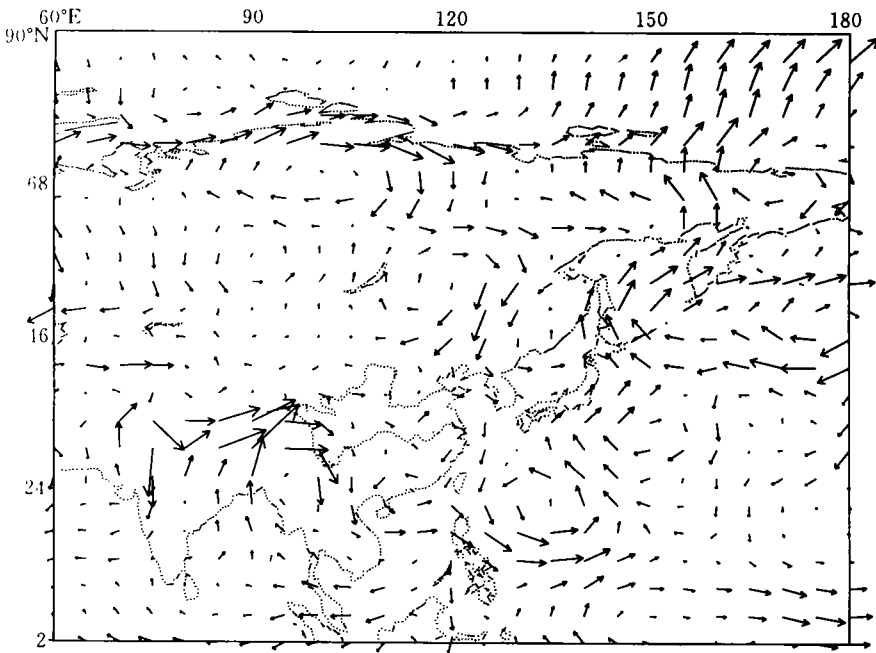


图 6 1~3 月赤道东太平洋负 SSTA 所造成的亚洲及西太平洋地区 850hPa 矢量风异常的形势
(图中最长箭头表示 4.0m/s 风速)

4.1 对东亚夏季风活动的影响

赤道东太平洋海温负距平(负 SSTA)同样对东亚夏季的大气环流和气候有明显的影 响,其异常形势既不同于正 SSTA 的情况,也并不与正 SSTA 的影响完全相反。在赤道东太平洋正 SSTA 的影响下,夏季亚洲及西太平洋地区的 500 hPa 高度距平主要表现为纬 向带状的特征;而在负 SSTA 的影响下,夏季亚洲及西太平洋地区的 500 hPa 高度距平却 主要呈东北-西南向带状形势,中国华南到日本以东洋面为正距平带,孟加拉湾到库页岛 为负距平带,印度北部到贝尔加湖以东地区为正距平带,中国江南及西太平洋各有异常副 热带高压中心(图略)。同 500 hPa 高度距平相对应,850 hPa 的流场图则表明中国东北到 菲律宾以东洋面为一气旋性涡度带,它的西边(中国长江下游)和东边各有弱的异常反气 旋(图 6)。这些与图 2 所示的异常形势(30°N 附近有一明显纬向反气旋涡度带)明显不同; 同时,比较图 6 与图 2 还可以看到,在正 SSTA 影响下,蒙古到中国山东一带对流层低层 夏季有异常西北风,而在负 SSTA 影响下,上述地区风速较小,风向偏东。

在赤道东太平洋负 SSTA 影响下, 中国东部地区夏季降水也有明显异常, 江淮流域(26~34°N, 115~125°E)和 华北地区(34~42°N, 115~125°E)平均降 水量距平的时间演变如图 7 所示。可以 看到在汛期(6~8 月),江淮流域降水平 均偏少;华北地区降水平均处于正常, 但 7 月降水偏多明显,8 月偏少明显。也 就是说,赤道东太平洋 1~3 月有负 SS- TA 情况下,夏季中国江淮流域降水可 能偏少,而华北夏季降水平均正常,但 7 月多雨而 8 月少雨。

4.2 对东亚冬季风活动的影响

赤道东太平洋 1~3 月负 SSTA 所 引起的 500 hPa 高度在下一个冬季(12 月~次年 2 月)平均的异常形势如图 8a 所示,其主要特征是中国东部到日本以 东洋面为正距平控制,而在 150°E~ 180°有强负距平区。这种形势意味着东 亚大槽位置异常偏东,东亚寒潮较弱。 同 500hPa 异常形势相对应,850hPa 的 异常流场显示出中国东部到日本一带 有一反气旋性环流,黄河以南中国大部地区有异常偏南风,冬季风明显偏弱(图 8b)。

在 1~3 月赤道东太平洋负 SSTA 的影响下(在拉尼娜结束之后),下一个冬季的东亚 冬季风将偏弱,这种异常特征在模拟的地面气温异常的时间演变图上也可以清楚看到,因 为在 12~2 月期间中国东部,尤其是在 40°N 以北地区,有明显的气温正距平(图略)。

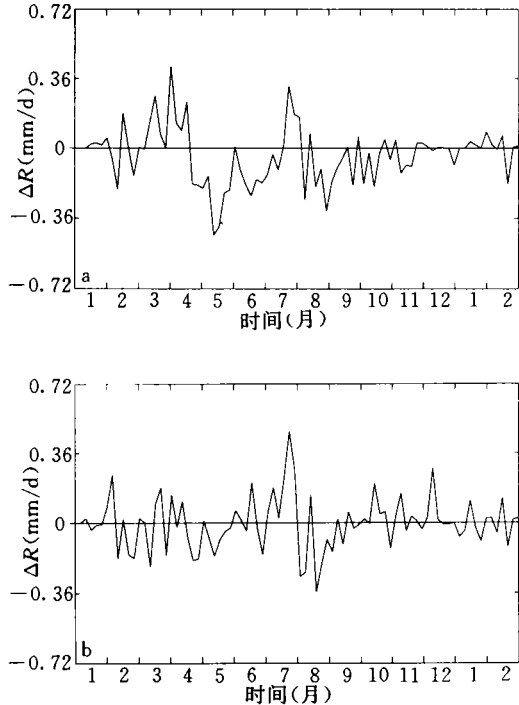


图 7 1~3 月赤道东太平洋负 SSTA 所造成的 旬平均降水量距平的时间演变

(a. 中国江淮(26~34°N, 115~125°E)流域
b. 华北(34~42°N, 115~125°E)地区)

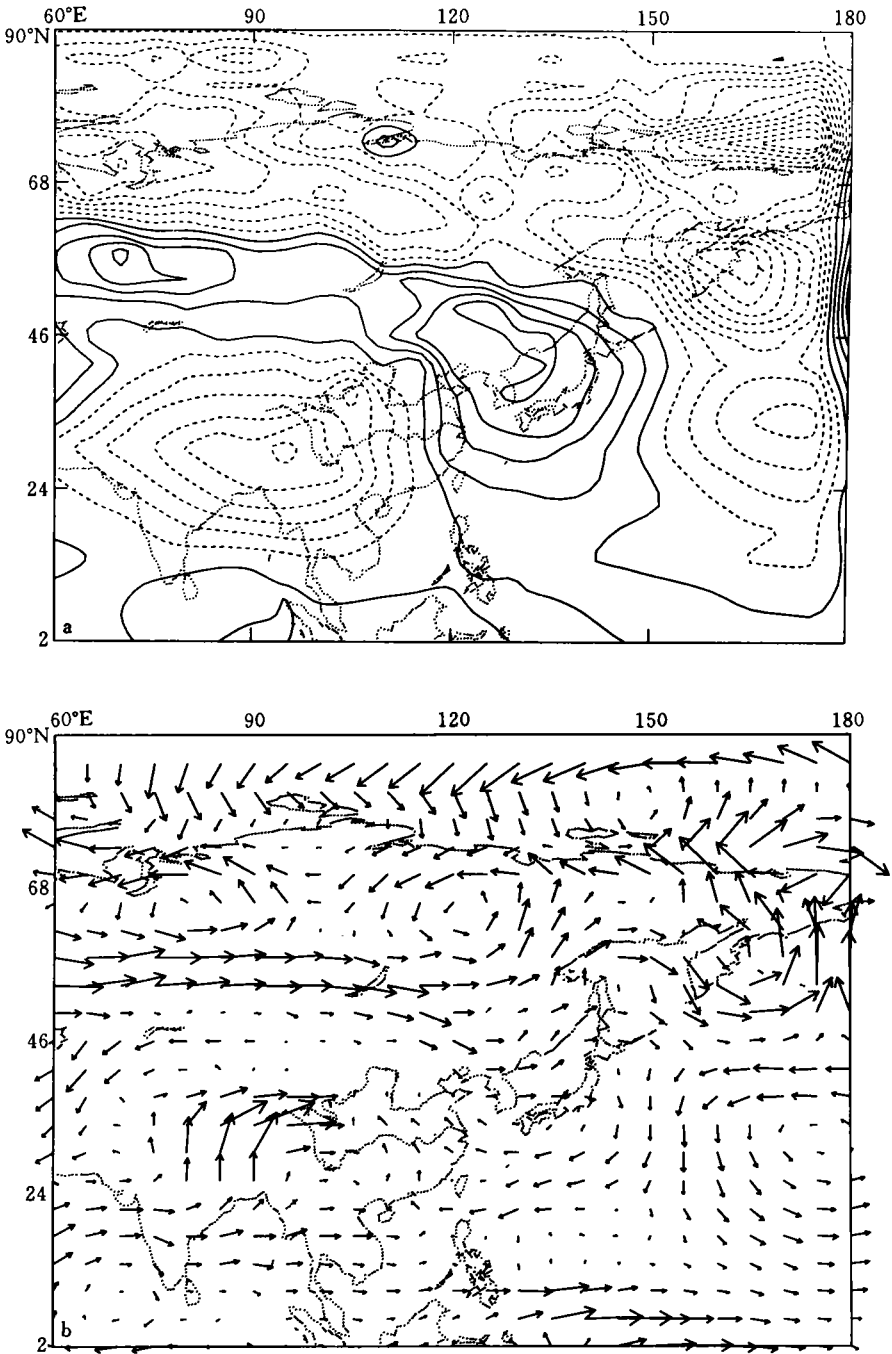


图8 1~3月赤道东太平洋负SSTA所造成的下一个冬季(12月~次年2月)
亚洲和西太平洋地区大气环流的异常

(a. 500hPa 高度距平,等值线间隔分别为±4gpm;b. 850hPa 矢量风异常,最长箭头表示 3.4m/s 风速)

5 讨论和结语

1)对于本文的数值模拟结果,人们可能提出这样的问题,为什么1~3月份的赤道东太平洋海温异常(SSTA)还会在其后的夏季,甚至冬季造成大气环流和气候的异常呢?关于这个问题,我们在已有的研究中(文献[18]等)已给予了分析研究,即大气对赤道东太平洋SSTA这类外源强迫的响应主要表现为低频遥响应。或者说由于SSTA的强迫,在大气中激发了低频波(主要是30~60d振荡)的不稳定发展,正是由于大气中被激低频波的存在和活动,也就使得SSTA的影响可以持续相当长的时间。

本文的数值模拟试验也激发出了大气低频波的活动,这从500 hPa高度异常和850 hPa风场异常的时间演变都极为清楚地反映出来。作为一个例子,图9给出了1~3月赤

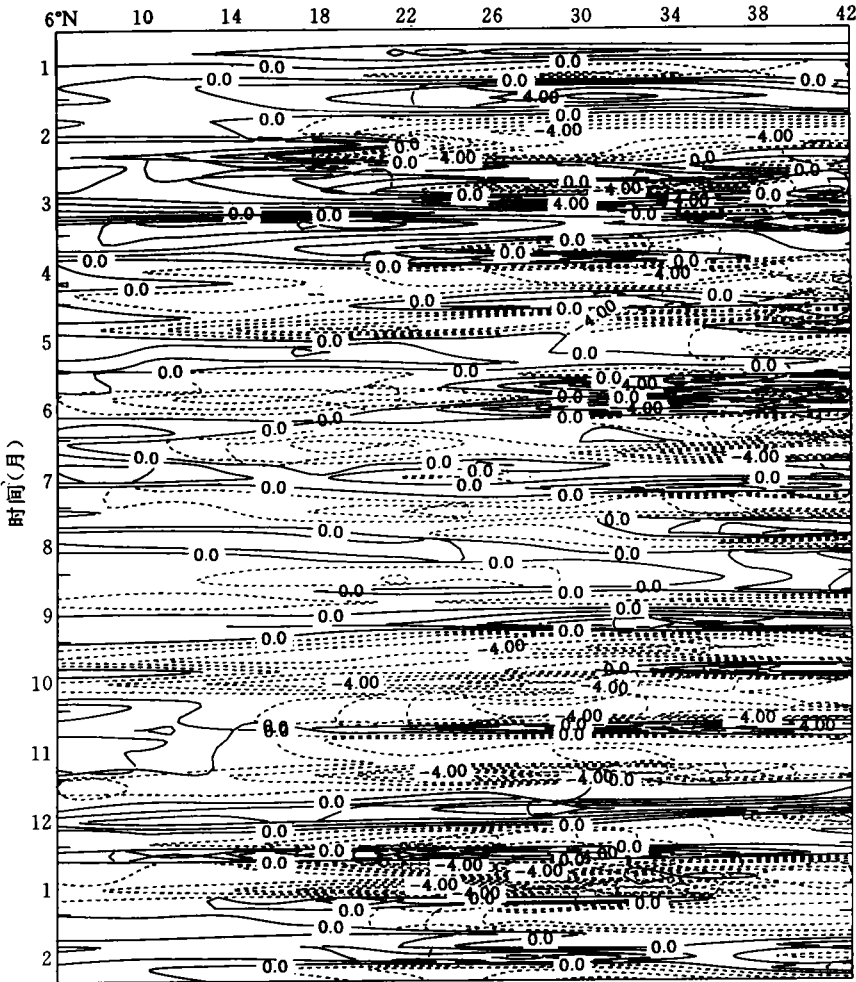


图9 1~3月赤道东太平洋正SSTA所激发的东亚地区(110~130°E)850 hPa
经向风异常的时间-纬度剖面
(实线和虚线分别表示南风 and 北风,等值线间隔为1m/s)

道东太平洋正 SSTA 所激发的东亚地区(110~130°E)850 hPa 经向风分量的时间-纬度剖面,图中十分清楚地表明了南风 and 北风异常相互交替的低频振荡特征;而且直到 12 月~次年 2 月,低频模的振幅仍然相当强,并没有减弱的现象。

2) 本文用 1~3 月赤道东太平洋 SSTA 作为异常强迫进行了数值模拟试验,也可以认为是厄尔尼诺(拉尼娜)之后大气环流和气候的异常变化试验。其结果表明,ENSO 对其后的东亚季风活动仍有重要的影响,厄尔尼诺之后的夏季,西太平洋副热带高压偏强偏北,且西伸明显,中国东部汛期降水偏少,尤其是华北地区;厄尔尼诺之后的冬季,东亚大槽明显偏深,东亚冬季风偏强。拉尼娜之后的夏季,中国东部为异常大陆副热带高压环流单体控制,江淮流域降水偏少;拉尼娜之后的冬季,东亚大槽偏弱,东亚冬季风也偏弱。

3) 从本文的数值模拟可以看到,厄尔尼诺和拉尼娜对其后东亚季风活动都有一定的影响,但有两点值得注意:其一是强度上,相同大小的距平,但正的 SSTA 影响要略强一些,说明厄尔尼诺比拉尼娜所造成的影响更明显。其二是相位上,正负距平所造成的异常并不完全反相,说明拉尼娜对大气环流和气候的影响并不完全与厄尔尼诺的影响相反;但初步分析表明,两者对东亚冬季风的影响近于反相。

4) 本文的结果只是 SSTA 单因子对其后东亚季风活动的影响,与观测初步比较的结果是,相当一部分结果(尤其是冬季)同观测较为一致。但因东亚季风活动还有其他因素的作用,而且在实际观测中厄尔尼诺和拉尼娜相继发生与两者相隔几年才发生其影响又有所不同。因此,ENSO 发生之后东亚季风活动异常的观测资料分析还有待进一步研究。

参考文献

- 1 Van Loon H, Madden R A. The southern oscillation, Part I: Global associations with pressure and temperature in northern winter. *Mon Wea Rev*, 1981, 109: 1150-1162
- 2 Rasmusson E M, Wallace J M. Meteorological aspects of the El Nino/Southern Oscillation. *Science*, 1983, 222: 1195-1202
- 3 McBride J L, Nicholls N. Seasonal relationships between Australian rainfall and the Southern Oscillation. *Mon Wea Rev*, 1983, 111: 1998-2004
- 4 Ropelewski C F, Halpert M S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Nino/Southern Oscillation. *Mon Wea Rev*, 1987, 115: 1606-1626
- 5 臧恒港,王绍武. 赤道东太平洋水温对低纬大气环流的影响. *海洋学报*, 1984, 6: 16~24
- 6 李崇银. 厄尔尼诺与西太平洋台风活动. *科学通报*, 1985, 30: 1087~1089
- 7 李崇银. 中国东部地区的暖冬与厄尔尼诺. *科学通报*, 1988, 33: 283~286
- 8 陈烈庭. 东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响. *大气科学*, 1977, 1: 1~12
- 9 符综斌,腾星林. 我国夏季的气候异常与厄尔尼诺/南方涛动现象的关系. *大气科学(特刊)*, 1988, 133~141
- 10 黄嘉佑. 赤道东太平洋海温与我国夏季雨日的相关矩分析. *气象学报*, 1989, 47: 475~478
- 11 Shukla J. Predictability of time average, Part II: Influence of the boundary forcings, problems and prospects in long- and medium-range forecasting. New York: Springer-Verlag, 1982. 109-206
- 12 Cubasch H. The response of the ECMWF model to the El Nino anomaly in extended range prediction experiments. *Proceedings of the Eighth Annual Climate Diagnostics Workshop*, 1983, 189-195
- 13 Ju J, Slingo J. The Asian summer monsoon and ENSO. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1995, 121, 1133-1168
- 14 Ni Yunqi, Lin Wuyin. Numerical study of short-range climate oscillation with various time scales forced by El Nino during the northern summer. *Acta Meteor Sin*, 1990, 4: 305-324

- 15 陈月娟, 丁明. 太平洋海表温度异常对大气环流的影响及其数值试验. 大气科学, 1992, 16: 592~600
- 16 Ni Yunqi, et al. Numerical study for potential predictability of short-term anomalous climate change caused by El Niño. *Advan Atmos Sci*, 1993, 10: 1-10
- 17 CLIVAR Scientific Steering Group. A Study of Climate Variability and Predictability (CLIVAR Science Plan). WMO/TD No. 690, WCRP-89, 1995
- 18 李崇银, 肖子牛. 赤道东太平洋增暖对全球大气 30~60 天振荡的激发. 科学通报, 1991, 36: 1157~1160
- 19 Zeng Q, Zhang X, Liang X, et al. Documentation of IAP two-level atmospheric general circulation model. TRO-44, DOE/ER6034-HI, United States Department of Energy, 1989
- 20 袁重光, 杨芳林, 李旭等. 汛期预测的集合预告模拟研究. 大气科学, 1996, 20: 593~598
- 21 Wang Huijun. On the modelling study of monsoon. *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, 11: 119-128
- 22 Sperber K R, Palmer T N. Interannual tropical rainfall variability in global circulation model simulation associated with the atmospheric model intercomparison project. PCMDI report, No 28, UCRL-ID-121725, 1995

NUMERICAL SIMULATION OF THE ENSO INFLUENCES ON EAST-ASIAN MONSOON ACTIVITIES AFTERWARDS

Long Zhenxia Li Chongyin

(*LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Abstract

Introducing SSTA in the equatorial eastern Pacific into the GCM during January - March, a simulation study about ENSO (El Niño and La Niña) influences on East-Asian monsoon activities is completed. The results show that the influences of ENSO on the after-ward monsoon activities in East Asia are in existence owing to atmospheric low frequency oscillation excited by SSTA. After El Niño event, in the summer, the subtropical high in the western Pacific will be stronger and its location will be to north and west, the precipitation is less in Eastern China, particularly in Huabei region; In the winter, the aerotrough in East Asia will be deepening, the winter monsoon will be stronger. After La Niña, in the summer, there is a subtropical high center over the lower reaches of Changjiang River, so that the precipitation is less in Changjiang-Huai River basin; in the winter, the aerotrough will be weaker, the winter monsoon is weaker. It is also shown that the influence of El Niño is stronger than that of La Niña on the climate and their influences are not the exact opposite.

Key words: Sea surface temperature anomaly (SSTA), ENSO, East-Asian monsoon, Numerical simulation.