第 63 卷第 6 期
2005 年 12 月

气 象 学 报
ACTA METEOROLOGICA SINICA

Vol. 63, No. 6
December 2005

春季南半球环状模与长江流域夏季降水的关系：Ⅱ 印度洋和南海海温的“海洋桥”作用*

南素兰

（兰州大学大气科学学院，兰州，730000；中国科学院大气物理研究所
大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室，北京，100029）

李建平

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

摘　　要

用回归、合成、相关、ESVD 等方法分析了春夏季印度洋、南海海温异常在春季南半球环状模（SAM）与夏季长江中下游降水关系中的作用。研究发现春季南半球环状模指数（SAMI）正（负）异常时，同期南印度洋中高纬、北印度洋海域海温出现了明显正（负）异常，这种海温的正（负）异常在夏季依然存在，并且北印度洋的海温异常得到加强。对印度洋和南海海域详细划分区域后的进一步分析表明春季南半球热带外大气环流（SAM）异常可以强迫南印度洋中高纬海域海温发生明显异常。这种异常可以持续到夏季，而且表现出传播特性，即：南印度洋中高纬海温异常可以传播到北印度洋（包括阿拉伯海和孟加拉湾）和南海海域，加强这些海域的海温异常。对东亚夏季风与夏季海温关系的分析表明：东亚夏季风异常对应的夏季北印度洋、南海海温异常与春季 SAM 异常对应的夏季北印度洋、南海海温异常的形势相似，符号相反。说明印度洋、南海海温是春季 SAM 影响夏季长江中下游降水的一个“桥梁”。基本思路为：强（弱）春季 SAM 可以引起南印度洋中高纬海域海温的偏高（偏低）；南印度洋中高纬海域偏高（偏低）的海温从春季持续到夏季并且传播到阿拉伯海、孟加拉湾、南海海域；这些海区偏高（偏低）的海温可以导致东亚夏季风减弱（加强），而东亚夏季风减弱（加强）是长江中下游降水偏多（偏少）的一种有利条件。

关键词： 南半球环状模，长江流域降水，印度洋、南海海温，海洋桥。

1　引　言

中国地处东亚季风区，降水具有强的季节、年际以及年代际变化，对社会经济、环境和生态有很大影响。长江流域汛期降水预测是中国夏季降水预测的重点和难点，也是气象学家长期以来研究的重要课题。过去几十年的研究取得了丰硕的成果，逐步总结出海温（ENSO 现象）、冰雪覆盖、地温、亚洲季风、青藏高原位势高度、西太平洋副热带高压、东亚阻塞形势、准两年振荡（QBO）、大气活动中心、太阳活动、天文和地球物理等影响因子[1]。但是实践也证明影响长江流域汛期降水的因素非常广泛，非常复杂，可能有些重要的因子还没有揭示出来[2]。如龚道溢等[3]近来发现了 5 月份北极涛动与长江流域夏季降水存在显著的相关，为长江流域夏季降水预测提供了一个新因子。

南半球环状模（SAM），也称南极涛动（AAO），是南半球热带外地区中纬度与高纬极区气压场上纬向对称的南北方向上的“跷跷板”型式，是南半球热带外大气环流时空运动和变化的最主要模态[4]。SAM 的异常不仅影响南半球中高纬海-气-海冰等气候子系统[5,6]，而且对北半球中低纬气候异常产生一定的作用，例如：南素兰等[7]新近发现春季 SAM 和长江中下游夏季降水之间存在显著的正相

* 初稿时间：2005 年 4 月 13 日；修改稿时间：2005 年 5 月 23 日。
资助课题：国家自然科学基金项目（40221503，40275025）和 CAS 项目（ZKCX2-SW-210）。
作者简介：南素兰：女，1979 年生，博士，从事南半球环状模和长江流域降水方面的研究工作。E-mail：nsl@mail.iap.ac.cn.

关关系，即：春季 SAM 偏强的年份，夏季长江中下游降水容易偏多；反之，降水容易偏少。但是具体春季 SAM 通过什么样的途径和机制影响长江流域夏季降水并没有解决。本文通过对南印度洋中高纬以及北印度洋海域的海温在春季 SAM 与夏季长江中下游降水关系中所起作用的分析，试图给出一种春季 SAM 影响长江中下游夏季降水的可能途径和机制。关于印度洋海温的研究工作已经很多，如太平洋、印度洋海温异常与南海季风爆发的关系[8,9]，与季风环流及长江中下游梅雨期旱涝的关系[10]，印度洋偶极子[11]以及对大气环流的影响[12]，北半球东西印度洋海温纬向梯度异常对菲律宾附近对流以及中纬地区环流的影响[13,14]等。但是过去的研究主要集中在热带地区，本文将要说明南印度洋中高纬、北印度洋海域的海温异常可能在春季 SAM 与中国夏季长江中下游降水关系中发挥了至关重要的“桥梁”作用。

2 资料说明

本文所用资料主要有以下几种：(1)中国气象局提供的中国 160 台站降水数据集(1951～2001 年)；(2)东亚夏季风指数采用动态标准化季节变率[15,16](1958～1999 年)；(3)海温资料是 Reynolds 和 Smiths 扩展重建的 SST 资料，分辨率为 2°×2°，所取时间段为 1951～2001 年；(4)NCEP/NCAR 再分析资料的逐月海平面气压场(MSLP)，850，500 hPa 位势高度场、风场(1958～2000 年)，水平分辨率为 2.5°×2.5°；(5)南半球环状模指数(SAMI)(1951～2001 年)是标准化的纬向平均海平面气压(SLP)在 40°S 与 70°S 的差，是对龚道溢和王绍武[4]定义的南极涛动指数(标准化的纬向平均 SLP 在 40°S 与65°S的差值)的改进，因为纬向平均的 SLP 在 40°S 与 70°S 的相关系数高于在 40°S 与 65°S 的相关系数。本文中的春季和夏季分别指的是北半球的 4～5 月和 6～8 月。

3 前期春季 SAM 异常与同期及后期夏季印度洋、南海海温的关系

在 1951～2001 年中，将春季 SAMI 超过一个标准差的年份归为春季 SAM 偏强年份；SAMI 低于一个负的标准差的年份归为春季 SAM 偏弱的年份。在春季 SAM 异常合成的同期海温的差值分布(图 1a)表明，南印度洋高纬地区以及中纬度澳大利亚西南海域、马斯克林周围地区都为显著的正值覆盖，在北印度洋也有小范围的正值。到了夏季(图 1b)，阿拉伯海、孟加拉湾、南海南部的大范围地区都为正值覆盖，相对春季强度加大，范围扩张。而且南印度洋中高纬的正值也一直持续到夏季。说明前期春季 SAM 与同期南印度洋的中高纬地区海温异常有显著的正相关关系，春季 SAM 偏强的年份对应同期南印度洋中高纬海域海温偏高，并且可以持续到夏季；北印度洋的阿拉伯海和孟加拉湾、中国南

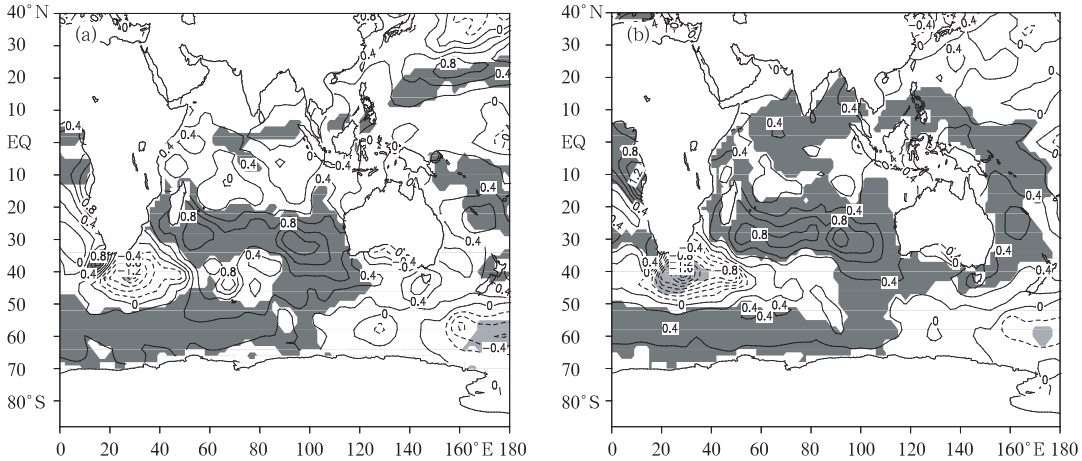

图 1 春季 SAMI 异常合成的春季(a)，夏季(b)印度洋、南海 SST 的合成差

(阴影区表示达到 95% 显著性 t 检验的区域，等值线间隔 0.2 ℃)

Fig. 1 Composite differences of the SSTs in the IO and SCS in the spring (a) and summer (b) between the spring high and low SAMI years

(The shading indicates significance at the 95% t-test confidence level. The counter interval is 0.2 ℃)

海地区的海温夏季明显比春季偏高。春季 SAM 偏弱的年份，情况相反。

为了确定春季 SAM 与同期春季及后期夏季印度洋、南海海温的关系，对春季南半球热带外 MSLP 和春、夏季印度洋、南海 SST 作 SVD 分析。图 2a 是春季南半球热带外 MSLP 与同期印度洋、南海海温 SVD 分解的第 1 模态。这一模态解释了总平方协方差的 75%，两时间系数的相关系数是 0.76（超过 95%的显著性检验）。异质相关图的 MSLP 场上，极地地区是显著的负异常，中纬度是显著正异常，表现出 SAM 正位相特征。相对应海温场上，南印度洋中高纬、北印度洋都为显著的正相关覆盖。说明春季 SAM 偏强对应同期南印度洋中高纬以及北印度洋海温显著升高；春季 SAM 偏弱时，情况相反。图 2b 是春季南半球热带外 MSLP 与夏季印度洋、南海 SST 的 SVD 第 1 模态，解释了总平方协方差的 86%，时间系数的相关系数为 0.75（超过了 95%的显著性检验）。与春季相比，海温场上南半球高纬地区相关中心由春季的 0.4 变为夏季的 0.6，非洲南部的中纬度地区负相关显著，阿拉伯海、孟加拉湾显著区域扩大，西太平洋显著区域收缩。总体上当春季 SAM 偏强时同期印度洋海温异常偏高，这种偏高的海温能持续到夏季，并且北印度洋海温异常的强度夏季比春季加强。春季 SAM 偏弱时，情况相反。

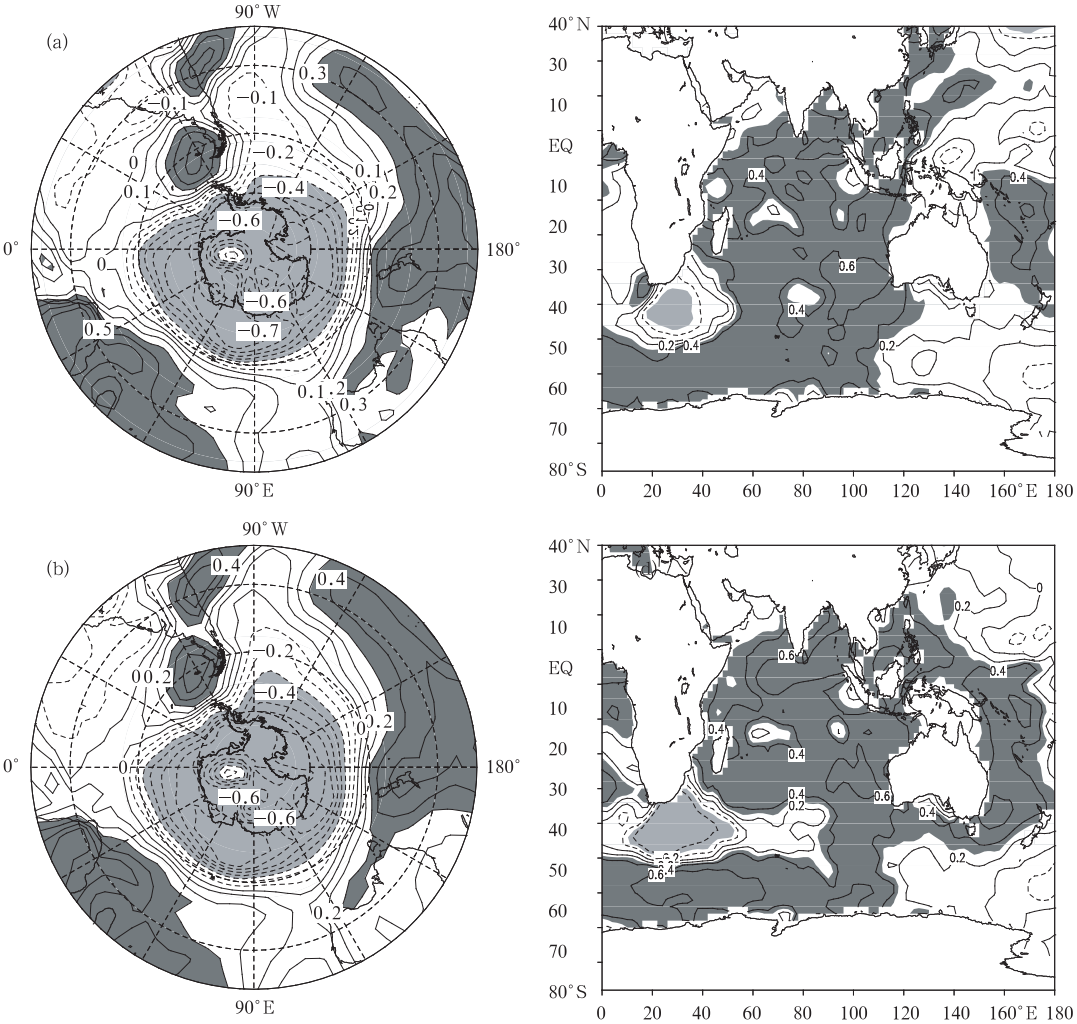

图 2　春季南半球 10°S 以南 MSLP（左）分别与春季（a）和夏季（b）印度洋、南海 SST（右）的 SVD 第 1 模态异质相关（左图从 10°S 开始间隔 20°S，阴影区为超过 95%信度检验的区域）

Fig. 2　Heterogeneous correlation patterns of the leading SVD mode for the spring SH SLP anomalies to the south of 10°S and the same term (a) and the following summer (b) SSTs in the IO and SCS (The areas with positive (negative) correlation coefficients being significantly at the 95% confidence level are shaded dark (light). The latitude lines in the left panels are at a 20-degree interval starting from 10°S at the edges)

4 春季SAM异常时印度洋各海区SST之间的关系

从前面分析可以得到在北印度洋特别是阿拉伯海、孟加拉湾从春到夏显著区域范围扩大，强度加强。春季SAM异常是否引起了南印度洋中高纬地区海温异常，这一异常信号持续到夏季并且通过某种过程传递到阿拉伯海、孟加拉湾和南海海域？

为方便研究首先对印度洋划分区域。通过上面的分析知道春季SAM异常对应的同期及后期夏季的海温异常主要在南印度洋高纬、中纬、北印度洋地区，而且表现出很强的纬向特征。所以首先粗略地将印度洋划分为3个区域(图3)，A_1：南印度洋高纬海区(64°～50°S，36°～110°E)；A_2：南印度洋中纬海区(36°～20°S，52°～112°E)；A_3区：北印度洋海区(0°～6°N，50°～94°E)。用这些区域平均的海温代表各区域的海温。从春季SAMI与这3个海区SST的超前滞后相关(图4)中可以看出，从上一年12月到次年2月3个海区的相关系数远低于3～9月的相关系数。海温超前春季SAMI的相关系数小于海温滞后春季SAMI的相关系数，说明其中主要的物理过程是大气对海洋的强迫作用，而不是海洋对大气的强迫。

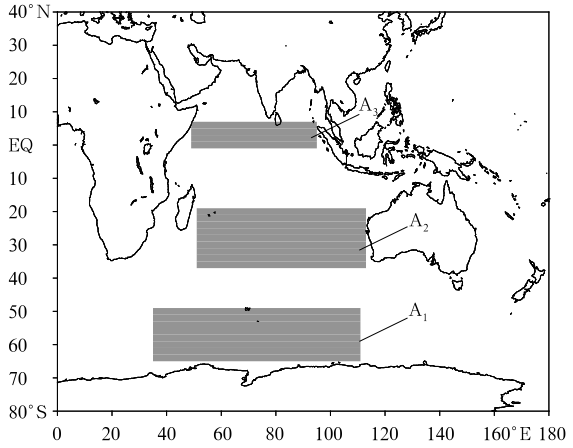

图3 南印度洋高纬(A_1)、中纬(A_2)、北印度洋(A_3)海区分布

Fig. 3 Sea regions locations of the high (A_1) and middle (A_2) latitudes in SIO and NIO (A_3)

春季SAMI与同期及后期3个海区海温距平符号一致性的统计表明，1951～2001年(51 a)，春季SAMI距平为正(负)，同期A_1，A_2，A_3区海温距平为正(负)的年数分别是33，40，35 a，所占比率分别为64.7%，78.4%，68.6%。春季SAMI距平为正(负)，随后夏季A_1，A_2，A_3区海温距平为正(负)的年数分别是36，39，37 a，所占比率分别为70.6%，76.5%，72.5%。这些数据表明春季SAM偏强(偏弱)时，同期及后期夏季3个海区的海温容易偏高(偏低)。1951～2001年中3个海区春、夏季海温距平符号一致的年数有39，45，38 a，分别占总年份的76.5%，88.2%，74.5%，表明几个海区从春到夏的海温距平持续性很强，这同前面的结论一致。

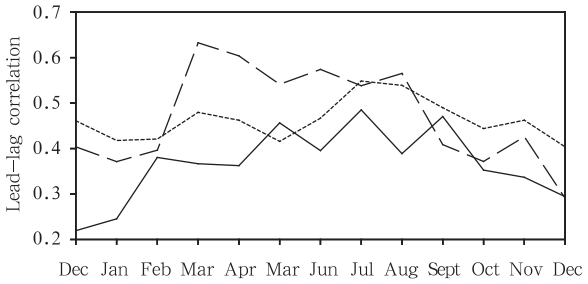

图4 A_1(实线)、A_2(长虚线)、A_3(短虚线)区SST与春季SAMI的超前滞后相关

Fig. 4 Lead-lag correlation between the spring SAMI and the SSTs in A_1 (solid line), A_2 (long dashed line) and A_3 (short dashed line) from last December to this December

为了进一步确定各海区海温的关系，根据大气活动中心和季风活动区域对印度洋、南海重新划分区域，划为6个海域(图5)，B_1：南印度洋高纬地区

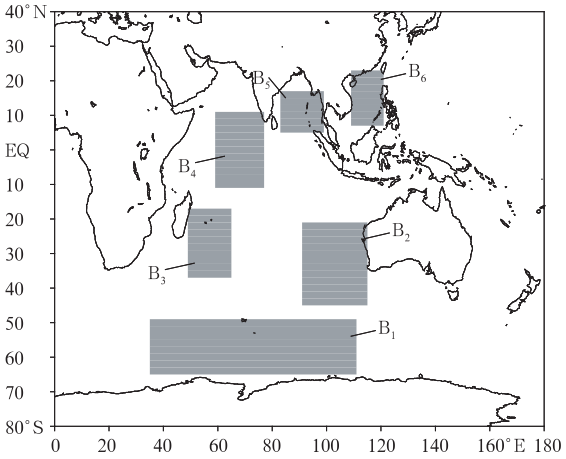

图5 南印度洋高纬(B_1)、澳大利亚西南(B_2)、马斯克林附近(B_3)、阿拉伯海(B_4)、孟加拉湾(B_5)和南海(B_6)海区分布

Fig. 5 Sea regions locations of the high latitudes of the SIO (B_1), southwest of Australia (B_2), the neighborhood of Mascarene (B_3), the Arabian Sea (B_4), Bay of Bengal (B_5) and South China Sea (B_6)

(64°～50°S，36°～110°E)；B_2：澳大利亚西南海域(44°～22°S，92°～114°E，)；B_3：马斯克林周围地区(36°～18°S，50°～64°E)；B_4：阿拉伯海区(10°S～10°N，60°～76°E)；B_5：孟加拉湾(6°～16°N，84°～98°E)；B_6：南海海域(8°～22°N，110°～120°E)。

将印度洋、南海划为 6 个海区后春季 SAMI 异常时同期及后期夏季的海温距平一致性的统计表明：1951～2001 年春季各海区海温距平的符号与春季 SAMI 距平符号一致的年数分别有 33，37，34，34，34，31 a，占总年数的 64.7%，72.5%，66.7%，66.75%，66.7%，60.8%；夏季各海区海温距平符号与春季 SAMI 距平符号一致的年数分别有 36，43，36，37，35，32 a，占总年数的 70.8%，84.3%，70.6%，72.5%，68.6%，62.7%。这些数据表明春季 SAM 偏强(偏弱)，同期及后期夏季 6 个海区海温偏高(偏低)的比率相当高。另外，51 a 中 6 个海区春、夏季海温距平符号一致的年数分别有 38，39，42，43，41，44 a，占总年数的 74.5%，76.5%，82.4%，84.3%，80.4%，86.3%，表明各海区从春到夏海温异常的持续性很强。

图 6 是春季 SAMI 异常合成的 3～9 月 6 个海区海温累积距平。春季 SAMI 正异常年份(图 6a)，6 条曲线均表现出单调上升趋势，说明春季 SAM 正异常时 6 海区海温在这几个月都是持续正异常。春季 SAM 负异常年份(图 6b)6 条曲线均表现出单调下降的趋势，6 海区的海温在这几个月都是持续负异常，从而进一步印证了前面得出的结论：从春到夏印度洋、南海海温异常的持续性很强。

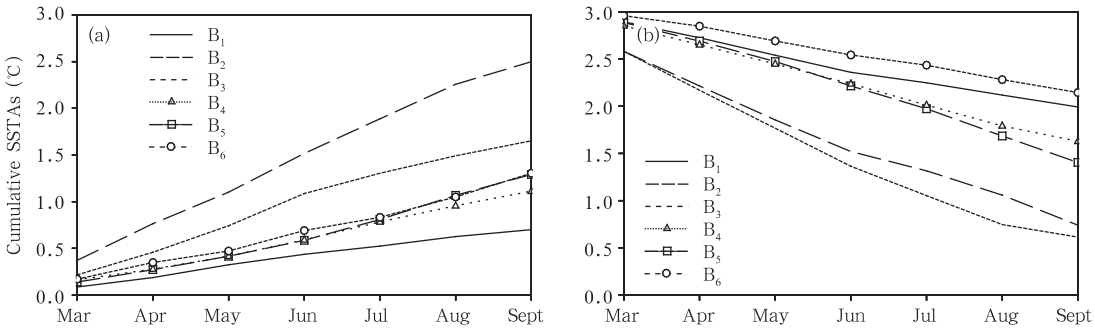

图 6　春季 SAMI 正(a)，负(b)异常合成的 3～9 月 6 个海区 SST 累积距平

Fig. 6　Cumulative SSTAs (℃) of B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 and B_6 from March to September based on the spring high (a) and low (b) SAMI years

春季 SAMI 与海温的超前滞后相关图(图 7)上，超前相关系数明显小于滞后相关系数。说明两者之间的关系是大气强迫海洋而不是海洋强迫大气。高相关中心在南印度洋高纬地区、澳大利亚西南海域和马斯克林附近海域，主要集中于 3～9 月。阿拉伯海、孟加拉湾和南海海域相关系数高值区有向右上方倾斜的趋势，说明在南印度洋的高纬地区、澳大利亚西南海域和马斯克林海域的海温异常从春到夏不仅有很强的持续性，而且这种海温异常可以通过阿拉伯海、孟加拉湾的海温异常传递到南海海域。

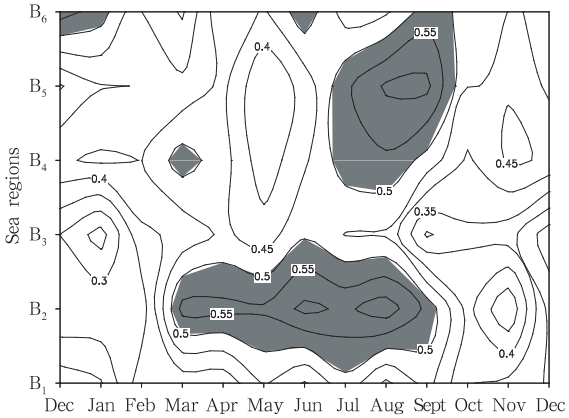

图 7　6 个海区 SST 与春季 SAMI 的超前滞后相关
(图中阴影区表示相关系数超过 0.5)

Fig. 7　Lead-lag correlation between the spring SAMI and the SSTs in the sea regions of B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 and B_6 from last December to this December
(The correlation coefficients above 0.5 are shaded)

图 8 是春季 SAMI 异常时从春到夏季 6 个区域的海温合成差，南印度洋高纬、澳大利亚西南海域和马斯克林附近海域的大值中心主要在 4～6 月，6 月以后数值变小，但仍然很高。4～6 月以后，随着月份向后的推移，高值中心也向阿拉伯海、孟加拉湾和南海海域倾斜。表 1 是春季 SAMI 正负异常年份合

成的4～9月印度洋、南海6个海区海温合成差 t 检验统计量值。表中每个海区统计量值最大的3个月份用黑体与其他月份区别。如果不考虑 B_1 区的9月份，B_6 区的6月份，4～9月统计量最大值从 B_1，B_2 海区向 B_3，B_4，B_5，B_6 海区推移。说明伴随春季SAM异常最显著的海温异常随时间的推移在地域上有传递的特性。这些都进一步证明上面的结论：春季SAM强迫南印度洋中高纬地区的海温发生异常，这种异常从中高纬地区（南印度洋高纬地区、澳大利亚西南海域和马斯克林附近海域）向北印度洋的阿拉伯海、孟加拉湾和南海海域传播。

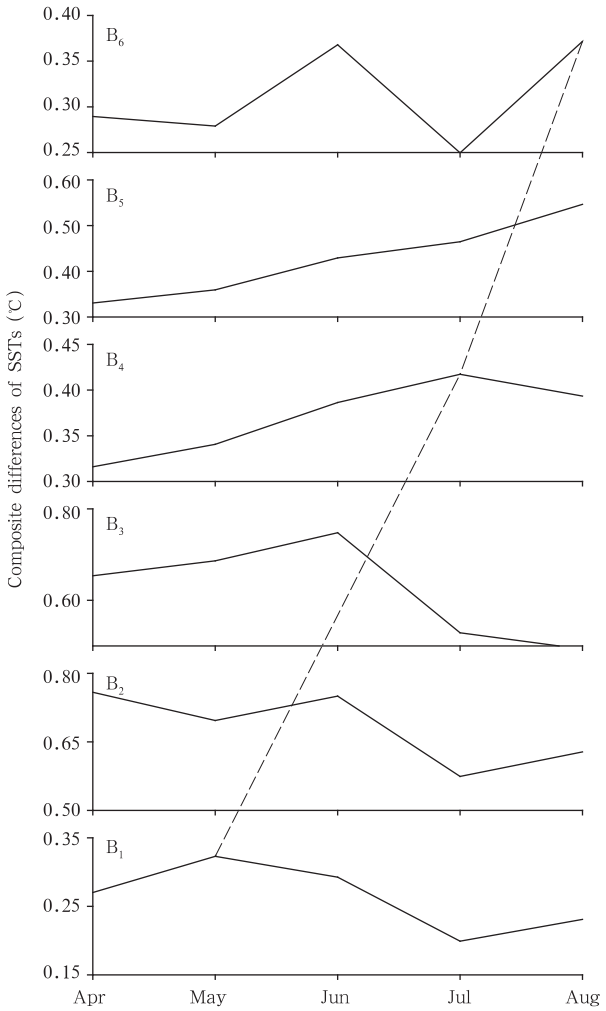

图8 春季SAMI异常对应的4～8月6个海区SST合成差

Fig. 8 Composite differences of SSTs in B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 and B_6 from April—August between the spring high and low SAMI years

表1 春季SAMI正负异常对应的印度洋、南海6个海区SST均值差的 t 检验统计量

Table 1 The t-test statistics variable values of the differences of SSTs means in the B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 and B_6 from April to September between the spring high and low SAMI years

海区	4月	5月	6月	7月	8月	9月
B_1	**3.546**	**4.155**	2.827	2.836	2.583	**3.177**
B_2	**4.578**	**4.072**	**7.519**	3.451	5.045	3.948
B_3	3.361	**3.660**	**4.000**	**3.375**	3.106	2.153
B_4	3.296	3.287	**4.345**	**5.307**	**4.714**	3.980
B_5	3.203	2.974	4.094	**6.069**	**6.622**	**5.549**
B_6	2.429	2.495	**4.252**	2.621	**2.706**	**3.904**

ESVD能体现不同变量场耦合模态随时间的演变特征，为了进一步明确春季SAM对同期南印度洋中高纬地区海温的强迫以及因此强迫引起的南印度洋中高纬地区海温异常随时间推移在地域上的变化，对春季南半球热带外MSLP与4～8月印度洋、南海的SST作ESVD分析。图9是对两者ESVD的第一模态，这一模态解释了平方总方差的60%。异质相关图上，南半球热带外MSLP的第一模态解释了平方总方差的21%，在南极大陆及附近周围地区表现为显著的负相关，而中纬度地区是显著的正相关，并且呈纬向分布，是SAM的正位相特征。4～8月印度洋、南海SST的异质相关分别解释了平方总方差的19.5%，20.4%，22.8%，21.2%，19.8%。4月份印度洋、南海海温对春季MSLP第一模态（即SAM正位相）高响应区除了在北印度洋、南海有部分显著区域外，主要显著区在南印度洋的高纬、澳大利亚西南以及南印度洋的中纬度地区，中心位于澳大利亚西南海域；到5月份显著区域大致仍分布在北印度洋、南海的部分区域以及南印度洋的高纬地区、澳大利亚西南海域和南印度洋的中纬度地区，但是相关中心明显北抬。6月份与4，5月份海温场分布出现了明显的差异，纬向分布特征明显，并且南印度洋中、高纬异常明确区分开来，相关中心由4，5月份澳大利亚西南海域继续向北推进。更为重要的是：在阿拉伯海、孟加拉湾和南海由4，5月的部分显著区域扩展到6月份的大范围显著相关，而且相关中心由0.4发展到0.5。7月份海温的异常分布保持了6月份的大致分布特征。8月份南印度洋的显著相关区域向远离南极大陆的方向开始收缩，中纬度的显著区整体向北发展，阿拉伯海和孟加拉湾的高相关区联成一体。以上分析进一步印证了前面的结论：春季SAM异常可以强迫南印度

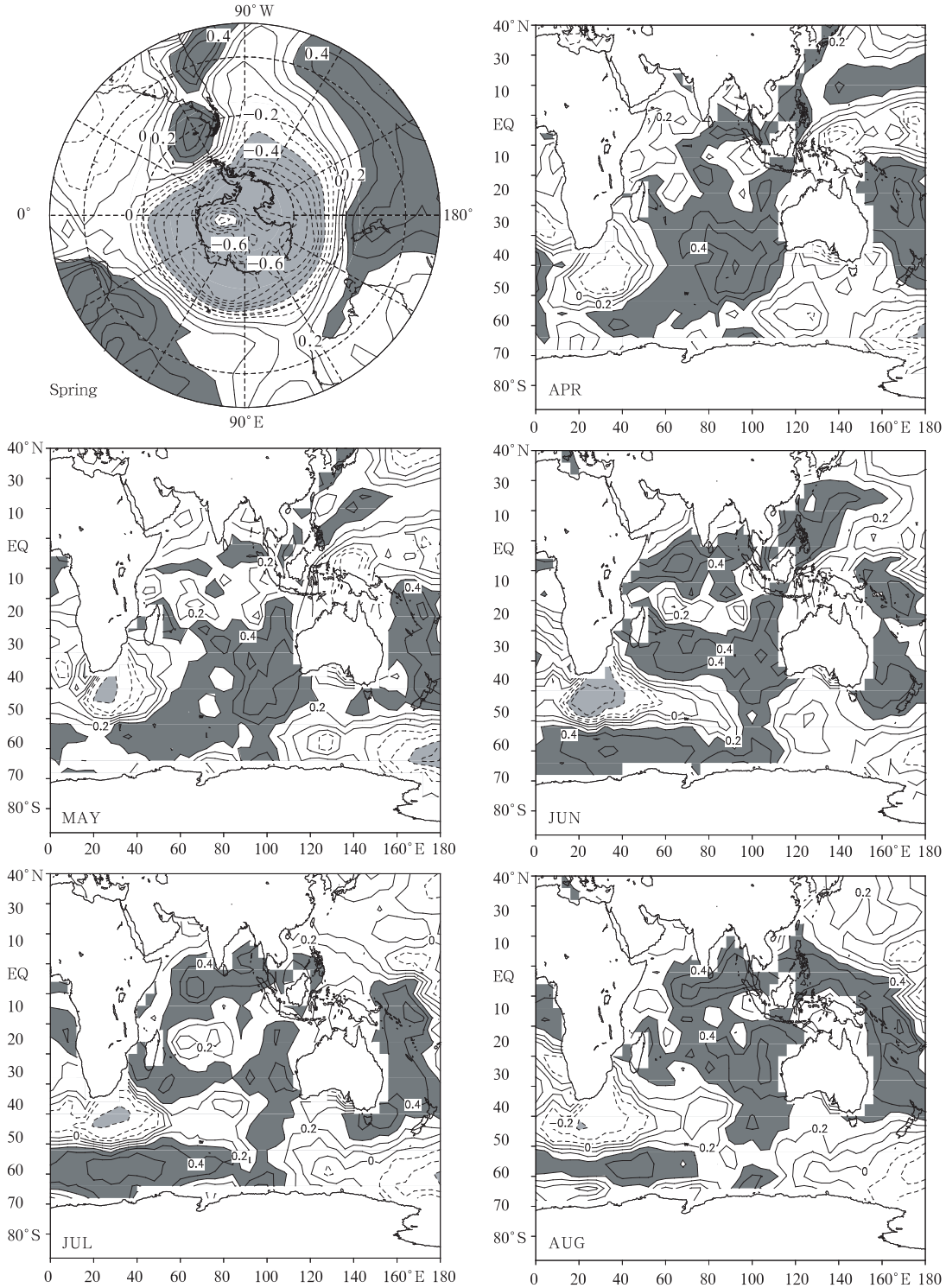

图 9　春季南半球 10°S 以南 MSLP 与 4～8 月印度洋、南海 SST 的 ESVD 第一模态异质相关

（极地投影图从 10°S 开始间隔 20°S，等值线间隔为 0.1，阴影区为超过 95%信度检验的区域）

Fig. 9　Heterogeneous correlation patterns of the leading ESVD mode for the spring SH SLP anomalies to the south of 10°S (top left panel) and the SSTs in the IO and SCS from April—August

(The areas with positive (negative) correlation coefficients being significantly at the 95% confidence level are shaded dark (light). The latitude lines in the top left panel are at a 20° interval starting from 10°S at the edges)

洋的中高纬海温，使之发生异常，海温的这种异常不仅能持续到夏季而且向北推进到阿拉伯海、孟加拉湾和南海海域。

5 北印度洋、南海海温与东亚夏季风

上述分析表明春季SAM能强迫南半球中高纬地区的海温发生异常，这种异常从春到夏能由南向北传播到北印度洋以及南海地区。但是北印度洋、南海地区的海温异常同长江中下游地区降水之间的关系又是怎样的呢？从文献[17]中得知与春季SAM异常对应的东亚夏季风异常是导致中国长江中下游降水异常的重要原因。所以接下来有必要分析东亚夏季风同北印度洋、南海海温的关系。

东亚夏季风指数同中国160台站夏季降水的相关分析表明：相关分布型从华北到长江流域到华南地区表现为"＋－＋"的形势。在长江流域表现为显著的负相关，说明这个东亚夏季风指数可以反映出中国夏季降水形势，特别是长江流域降水异常：东亚夏季风偏弱，长江中下游降水容易偏多；反之，情况相反[18]。

图10是东亚夏季风指数同夏季海温的相关分布：阿拉伯海、孟加拉湾、南海南部海域是显著的负相关区域，南印度洋的中纬、高纬地区分布形势与春季SAMI与夏季海温异常的相关分布形势一致。说明东亚夏季风偏弱对应的夏季北印度洋、南海海温

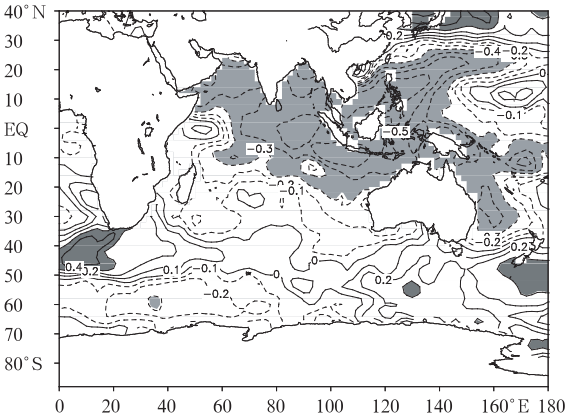

图10 东亚夏季风与夏季印度洋、南海SST的相关分布(1958～1999年)

(阴影区表示超过95%信度检验。等值线间隔为0.1)

Fig. 10 Correlation between East Asia Monsoon and SSTs in the IO and SCS in the summer for the period of 1958－1999(The positive (negative) correlation coefficients that are significant at the 95% confidence level are shaded. The contour interval is 0.1)

异常偏高；反之，海温偏低。南印度洋中高纬地区的相关形势表明春季SAM偏强导致的夏季南印度洋中高纬地区的海温异常分布也有利于东亚夏季风减弱；反之，有利于东亚夏季风加强。

6 总结与讨论

总的来说春季南半球环状模(SAM)影响长江中下游夏季降水是一个海-气相互作用的问题。春季偏强(偏弱)的SAM强迫南印度洋中高纬地区海温升高(降低)，随着时间从春到夏的推移南印度洋中高纬地区的海温异常可以传播到阿拉伯海、孟加拉湾和南海海域，导致这些地区海温偏高(偏低)。而这些海区偏高(偏低)的海温有利于东亚夏季风偏弱(偏强)，从而造成长江中下游夏季降水偏多(偏少)。分析表明印度洋、南海海温作为一"桥梁"在春季南半球环状模影响夏季长江中下游降水过程中发挥了非常重要的作用。因此，春季南半球环状模影响夏季长江中下游降水的一种可能的物理机制是春季大气中SAM的异常信号被储存在南印度洋中，通过其较强的记忆性，在夏季又影响到北印度洋和南海，进而导致东亚夏季风环流异常。

上述研究发现了长江中下游夏季降水的一个前期预报因子：春季南半球环状模(SAM)，并给出了春季SAM影响夏季长江中下游降水的一种可能途径：印度洋、南海海温的"桥梁"作用。但是春季SAM强迫南印度洋中高纬地区海温的过程以及南印度洋中高纬地区的海温异常通过什么物理过程和动力机制传播到北印度洋、南海地区还不清楚。另外，这只是春季SAM影响夏季长江中下游降水的一种可能机制，有可能春季SAM通过其他途径影响夏季长江中下游地区的降水。这些问题都有待进一步的深入研究。

参考文献

[1] 王绍武. 现代气候学研究进展. 北京：气象出版社，2001. 232～249

Wang Saowu. The Modern Climatology Evolvement. Beijing: China Meteorological Press, 2001. 232～249

[2] 陈兴芳，赵振国. 中国汛期降水预测研究及应用. 北京：气象出版社，2000. 65～92

Chen Xinfang, Zhao Zhenguo. Precipitation Prediction Research and Its Application in Flood Season in China. Beijing: China Meteorological Press, 2000. 65－92

[3] 龚道溢，朱锦红，王绍武. 长江流域夏季降水与前期北极涛动的显著相关. 科学通报，2002，47(7)：546～549
Gong Daoyi, Zhu Jinhong, Wang Shaowu. Significant relationship between spring AO and the summer rainfall along the Yangtze River. Chinese Science Bulletin，2002，47(11)：948－951

[4] Gong D Y, Wang S W. Definition of Antarctic oscillation index. Geophys Res Lett, 1999, 26: 459－462

[5] Hall H A, Visbeck M. Synchronous variability in the Southern Hemisphere atmosphere, sea ice, and ocean resulting from the annular mode. J Climate, 2002, 15: 3043－3057

[6] Renwick J A. Southern hemisphere circulation and relations with sea ice and sea surface temperature. J Climate, 2002, 15: 3058－3068

[7] Nan S L, Li J P. The relationship between the summer precipitation in the Yangtze River valley and the boreal spring Southern Hemisphere annular mode. Geophys Res Lett, 2003, 30(24): 2266, doi:10.1029/2003GL018381

[8] 陈永利，白学志，赵永平. 南海夏季风爆发与热带海洋海温和大气环流异常变化关系的研究. 气候与环境研究，2000，5(4)：388～399
Chen Yongli, Bai Xuezhi, Zhao Yongping. A study on the relationships between the onset of the South China Sea summer monsoon and the anomalies tropical ocean and the atmospheric circulations. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 2000, 5(4): 388－399

[9] 赵永平，吴爱明. 南海-热带东印度洋海温异常对南海夏季风影响的数值试验. 热带气象学报，2003，19(1)：27～35
Zhao Yongping, Wu Aiming. Numerical experiments for the influences of SST anomalies over the South China Sea-eastern tropical Indian Ocean on the South China Sea monsoon. Journal of Tropical Meteoro (in Chinese), 2003, 19(1): 27－35

[10] 金祖辉，沈如桂. 长江中下游涝梅和旱梅年海温场和热带环流系统的特征. 见：气象科学技术集刊(东亚夏季风)(11). 北京：气象出版社，1987. 83～88
Jin Zuhui, Shen Rugui. The SST pattern in the northern Indian Ocean and the South China Sea and the precipitation in the Mei-Yu period. In: Collected Papers of Meteorological Science and Technology (Summer Monsoon and Drought/Floods) (11), Beijing: China Meteorology Press, 1987. 83－88

[11] Saji N H, Goswami B N, Vinayachandran P N, et al. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. Nature, 1999, 401: 360－363

[12] Li C Y. Interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Nino events. Adv Atmos Sci, 1990, 7: 107－116

[13] 罗绍华，金祖辉. 北印度洋和南海海温异常与季风环流及长江中下游梅雨期旱涝关系的探讨. 见：气象科学技术集刊(季风论文专集)(10). 北京：气象出版社，1987. 41～50
Luo Shaohua, Jin Zuhui. An investigation on sea-surface temperature anomalies in northern Indian Ocean and the South China Sea and drought/flood during Mei-Yu period. In: Collected Papers of Meteorological Science and Technology (Monsoon Meteorology) (10). Beijing: China Meteorological Press, 1987. 41－50

[14] 闵锦忠，孙照渤，曾刚. 南海和印度洋海温异常对东亚大气环流及降水的影响. 南京气象学院学报，2000，23(4)：542～548
Min Jinzhong, Sun Zhaobo, Zeng Gang. Effect of south China Sea and Indian ocean SSTA on east Asian circulation and precipitation. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2000, 23(4): 542－548

[15] Li J P, Zeng Q C. A unified monsoon index. Geophys Res Lett, 2002, 29(8), doi: 10. 1029/2001GL013874

[16] Li J P, Zeng Q C. A new monsoon index and the geographical distribution of the global monsoons. Adv Atmos Sci, 2003, 20: 299－302

[17] 南素兰，李建平. 春季南半球环状模与长江流域夏季降水的关系：Ⅰ 基本事实. 气象学报，2005，63(6)：837～847
Nan Sulan, Li Jianping. The relationship between the summer precipitation in the Yangtze River valley and the boreal spring Southern Hemisphere annular mode: Part I Basic facts. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2005, 63(6): 837－847

[18] 郭其蕴，蔡静宁，邵雪梅等. 1873～2000 年东亚夏季风变化的研究. 大气科学，2004，28(2)：206～215
Guo Qiyun, Cai Jingning, Shao Xuemei, et al. Studies on the variations East Asian summer monsoon during AD 1873－2000. Chinese Journal of Atmospheric Sci (in Chinese), 2004, 28(2): 206－215

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE SUMMER PRECIPITATION IN THE YANGTZE RIVER VALLEY AND THE BOREAL SPRING SOUTHERN HEMISPHERE ANNULAR MODE: Ⅱ THE ROLE OF THE INDIAN OCEAN AND SOUTH CHINA SEA AS AN "OCEANIC BRIDGE"

Nan Sulan

(*College of Atmospheric Science*, *Lanzhou University*, *Lanzhou* 730000; *National Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics* (*LASG*), *Institute of Atmospheric Physics*, *Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100029)

Li Jianping

(*National Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics* (*LASG*), *Institute of Atmospheric Physics*, *Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100029)

Abstract

The role of SSTs in the Indian Ocean (IO) and South China Sea (SCS) in the relationship between the summer precipitation in the Yangtze River valley and the boreal spring Southern Hemisphere annular mode (SAM) was examined by applying regression, composite, correlation and extended singular value decomposition (ESVD). When the boreal spring Southern Hemisphere annular mode index (SAMI) is anomalous, significant SSTA occurs in the middle and high latitudes of South Indian Ocean (SIO) and North Indian Ocean (NIO), which may continue to the summer time and enhance in NIO. Based on the partition in the IO and SCS, the further analyses reveal the extratropical Southern Hemisphere atmospheric circulation anomalies (SAM) in the boreal spring may force SST and induce SSTA in the middle and high latitudes of SIO, which may continue to the summer. The anomalies may propagate from the middle and high latitudes of SIO to NIO (including the Arabian Sea and Bay of Bengal) and SCS and reinforce the SSTA in these regions. The study on relation between East Asian summer monsoon (EASM) and SST indicates that the summer SSTA in NIO according to EASM is similar to that according to the boreal spring SAM, but the signs are opposite. It indicates that the SSTA in the IO and SCS is a bridge between the boreal spring SAM and summer precipitation in the Yangtze River valley. The basic process is that the strong (weak) boreal spring SAM may lead to the high (low) SSTs in the middle and high latitudes in SIO, which propagate to the Arabian Sea, Bay of Bengal and SCS in which the high (low) SSTs conduce to the above- (below-) than normal summer precipitation in the Yangtze River valley by EASM.

Key words: Southern Hemisphere Annular Mode (SAM), Precipitation, Yangtze River valley, SST in the Indian Ocean and South China Sea, Oceanic bridge.