

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^{*}

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

利用统计方法对春季(4~5月)南半球环状模(SAM)与夏季(6~8月)中国降水的关系作了分析,发现春季南半球环状模指数(SAMI)与夏季长江中下游降水之间存在显著的正相关关系。春季 SAM 偏强的同期对流层下层在欧亚大陆存在一以蒙古高原和天山山脉为中心的异常反气旋对,从中国东北到华南中纬度地区均为异常的偏北气流控制。这种环流异常形式可以持续到夏季并加强,致使东亚夏季风减弱;春季 SAM 偏强,夏季西太平洋副热带高压西部脊强度加强,位置偏西,这些异常环流都有利于长江中下游地区降水偏多。另外,春季 SAM 偏强,夏季长江中下游地区水汽含量增大,向上的垂直运动得到加强,为该地区降水偏多提供了基本的水汽条件。春季 SAM 偏弱时,夏季东亚大气环流和水汽条件相反。因此,春季 SAM 为夏季长江中下游汛期降水提供了一有用的前期信号。

关键词: 南半球环状模, 长江流域降水, 正相关, 东亚大气环流。

1 引 言

20 世纪 20,30 年代, Walker^[1]指出在海平面气压场上穿过智利、阿根廷的气压变化与威德尔海和别林斯高普海的气压变化呈“跷跷板”形式。随后的工作^[2~5]表明对南半球热带外海面气压(SLP)的 EOF 分解的第一特征向量在南北方向上表现出中纬度地区与高纬极区纬向对称的“跷跷板”式的反相变化特征,被龚道溢和王绍武^[5]称为南极涛动,即:南半球环状模(SAM)^[6]。目前研究主要揭示了 SAM 的结构特征,季节变化以及与 SAM 相联系的南半球气候系统的变化^[7~11]。但是这些工作很少涉及到 SAM 对北半球气候系统的影响。SAM 是南半球热带外大气环流时空变化的主要模态,这样一个半球尺度的大气环流异常很可能对北半球的天

气、气候产生一定的影响。最近南素兰等^[12]发现春季南半球环状模和长江中下游夏季降水存在显著的正相关关系,在与周天军和宇如聪的私人通信中获悉他们也得到相似的结论:南半球环状模是继北半球环状模(北极涛动)^[13]之后发现的又一影响长江流域夏季降水的前期信号。本文将在文献[12]的基础上采用最新的资料通过对前期和后期大气环流和水汽条件的变化进一步讨论春季 SAM 与中国夏季长江中下游地区降水以及东亚梅雨的关系。

2 资料和方法

所用大气环流资料为逐月的 NCEP/NCAR 再分析资料(1951~2004 年),水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,全球共 144×73 个网格点,基本要素为海平面气压场(MSLP)、位势高度场、水平风场、垂直速度、

* 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(ZKXC2-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.

比湿和相对湿度;降水为中国 160 个台站逐月降水资料(1951~2004 年),另外还用到了 NCEP/NCAR 高斯网格的降水率资料(1958~1999 年);南半球环状模指数(SAMI,1951~2004 年)是标准化的纬向平均 SLP 在 40°S 与 70°S 的差,是对龚道溢和王绍武^[5]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 春季 SAM 与长江中下游夏季降水

从春季 SAMI 与夏季中国降水的相关系数分布(图 1)可见,江南北部的长江中下游地区是显著正相关,超过 90% 显著性检验的台站包括:南京、上海、屯溪、九江、汉口、岳阳、宁波、衢县、浦城、贵溪、南昌、长沙、芷江、遵义、贵阳、恩施和酉阳等 17 个。说明前期春季 SAM 表现为正位相时,随后的夏季长江中下游降水偏多的概率比较大;反之,长江中下游降水偏少的概率比较大。

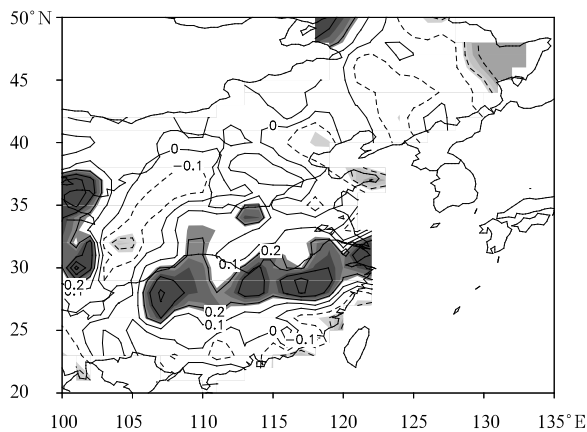


图 1 春季(4~5 月)SAMI 与夏季(6~8 月)中国降水的相关(1951~2004 年)

(实线表示正相关,虚线表示负相关;等值线间隔为 0.1;阴影区颜色由浅到深表示超过 80%,90%,95% 的显著性检验)

Fig. 1 Correlation between the spring (April–May) SAMI and summer (June–August) precipitation in China for the period 1951–2004

(The positive (negative) correlation coefficients that are significant at the 80%, 90%, 95% confidence level are shaded, the contour interval is 0.1)

另外,春季 SAMI 与 NCEP 资料的夏季降水率相关图(图 2)中,不仅在中国的长江中下游地区表

现为显著的正相关,而且高相关区可以延伸到韩国南部以及日本,覆盖了通常所说的梅雨区域。说明春季 SAM 作为南半球大气环流变化的主要模态同夏季东亚地区梅雨有显著的相关,春季 SAM 偏强随后的东亚地区容易出现涝梅;反之,情况相反。但是由于站点资料的稀缺,以下的分析主要考虑的还是春季 SAM 与夏季长江中下游地区降水的关系。

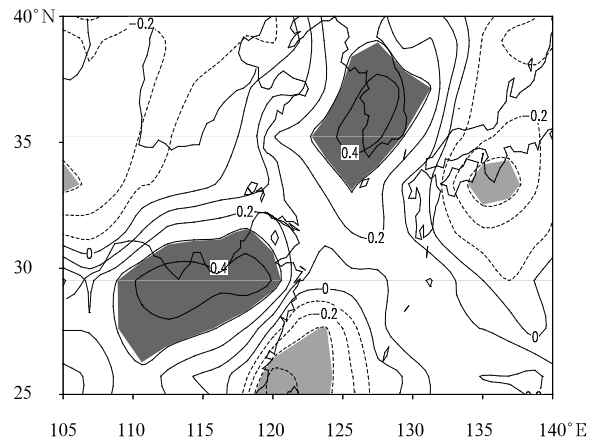


图 2 春季(4~5 月)SAMI 与夏季(6~8 月)

NCEP 降水率的相关分布(1958~1999 年)

(实线表示正相关,虚线表示负相关,等值线间隔为 0.1;

阴影区表示超过 95% 的显著性检验区域)

Fig. 2 Correlation between the spring (April–May)

SAMI and summer (June–August) precipitation

rate from NCEP for the period 1958–1999

(The positive (negative) correlation coefficients that are significant at the 95% confidence level are shaded

dark (light); the contour interval is 0.1)

图 1 中超过 90% 显著性检验的阴影区域覆盖了长江中下游的 17 个台站,将这 17 个台站的平均降水量作为反映长江中下游夏季降水的一个指标,即:长江中下游降水指数。春季 SAMI 与长江中下游降水指数的时间序列(图 3)既呈现出线性变化趋势,也表现出明显的年际变化特征。1951~2004 年,两序列的相关系数为 0.456,去掉线性趋势后的相关系数为 0.39,依然可以达到 99% 信度检验。在 1951~2004 年的 51 a 中春季 SAMI 为正距平的年数有 26 a,其中有 15 a 随后的夏季长江中下游地区降水距平为正,占总年份的 57.7%;春季 SAMI 为负距平的年数有 28 a,其中有 20 个年份随后的夏季长江中下游降水距平为负,占总年份的 71.4%。春季 SAMI 超过 1 个标准差的年数有 11 a,其中有 7 a 随后的夏季长江中下游地区降水距平为正。春季

SAMI 低于负的一个标准差的年数有 9 a, 这 9 个春季随后的夏季长江中下游降水距平均为负。1951~2004 年, 长江中下游夏季降水距平为正的年数有 23 a, 其中有 15 a 前期春季 SAMI 距平为正, 所占百分率为 65.2%; 长江中下游降水距平为负的年数有 31 a, 其中有 20 a 前期春季 SAMI 距平为负, 所占百分率为 64.5%。因为长江中下游夏季降水超过(低于

负的)1 个标准差的年数比较少, 所以选取超过(低于负的)0.5 个标准差作为参考。统计表明: 长江中下游夏季降水超过 0.5 个标准差的年数有 11 a, 其中有 7 a 前期春季 SAMI 距平为正, 所占百分率为 63.6%; 长江中下游夏季降水低于负的 0.5 个标准差的年数有 18 a, 其中前期春季 SAMI 距平为负的年数有 15 a, 所占百分率为 83.3%。

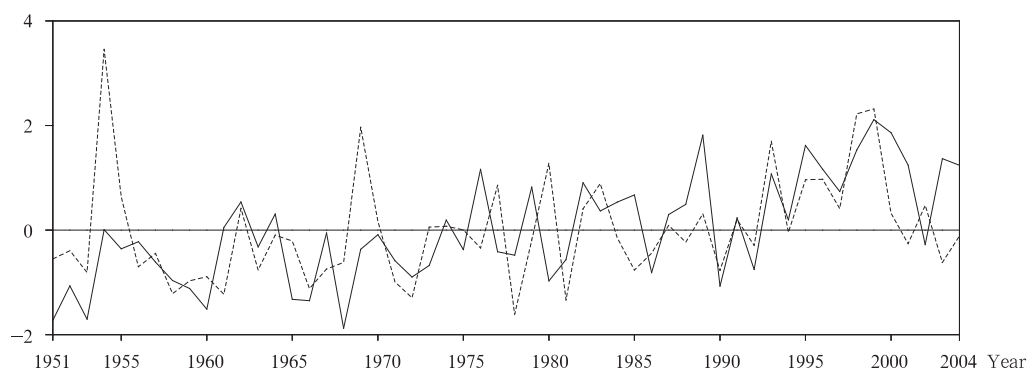


图 3 春季 SAMI(实线)和夏季长江中下游降水指数(虚线)序列
(为了便于比较,两序列经过了标准化处理)

Fig. 3 Normalized time series of the spring SAMI (solid line) and the summer rainfall index in the middle and lower reaches of the Yangtze River valley (dashed line)

1951~2004 年, 将春季 SAMI 超过一个标准差的年份归为春季 SAM 偏强年份; SAMI 低于负的一个标准差的年份归为春季 SAM 偏弱的年份。对春季 SAMI 正负异常年份对应的夏季中国 160 台站降水合成表明: 长江中下游降水在 1951~2004 年平均降水量为 177.20 mm, 春季 SAMI 正异常年份随后的夏季平均降水量为 207.16 mm, 比正常年份偏高 29.95 mm; 春季 SAMI 负异常年份随后的夏季平均降水量为 146.19 mm, 比正常年份偏低 31.02 mm。正负异常年份降水量的差值为 60.97 mm, 超过了 95% 的显著性水平。对应的降水距平合成图(图略)中春季 SAMI 正异常年份的夏季沿长江中下游降水为带状的正距平分布, 中心值达 60 mm, SAMI 负异常年份沿长江中下游地区是负距平分布, 中心值为 -40 mm。差值图上, 长江中下游地区是带状的正异常分布, 异常中心达到 100 mm。这些都说明春季 SAM 偏强的年份随后的夏季长江中下游地区降水容易偏多, 而春季 SAM 偏弱的年份随后的夏季长江中下游地区的降水容易偏少。

为了进一步确定春季 SAM 同夏季长江中下游降水的耦合关系, 采用了 SVD 方法^[14,15]。气象要

素左场取 1951~2004 年春季 10°S 以南 MSLP, 右场是 1951~2004 年夏季中国 160 站降水量, 作 SVD 之前两变量都经过标准化处理。图 4 是 SVD 分解的第一模态对应的同质和异质相关型, 这个模态解释了总平方协方差的 42%, 两变量场对应的时间系数的相关是 0.72(超过 95% 的信度检验)。同质相关图中, 南半球中、高纬地区分别表现出环状的显著正、负相关, 这正是 SAM 的正位相特征, 说明第一模态主要反映了 SAM 的异常情况。而中国降水的高相关中心位于长江中下游区域, 说明第一模态主要反映的是长江中下游降水异常情况。异质相关图上, 南极大陆及附近地区是负显著相关区, 中纬度大部分是正显著相关区, 表现为 SAM 的正位相特征。长江中下游是显著正相关, 相关系数高达 0.4。说明春季 SAM 的正位相结构与夏季长江中下游降水偏多的情况相对应; 春季 SAM 负位相结构与夏季长江中下游地区降水偏少的情况相对应。这些同上面春季 SAMI 与夏季降水的相关分析一致, 进一步说明春季 SAM 偏强, 随后的夏季长江中下游容易偏涝; 反之, 容易偏旱。

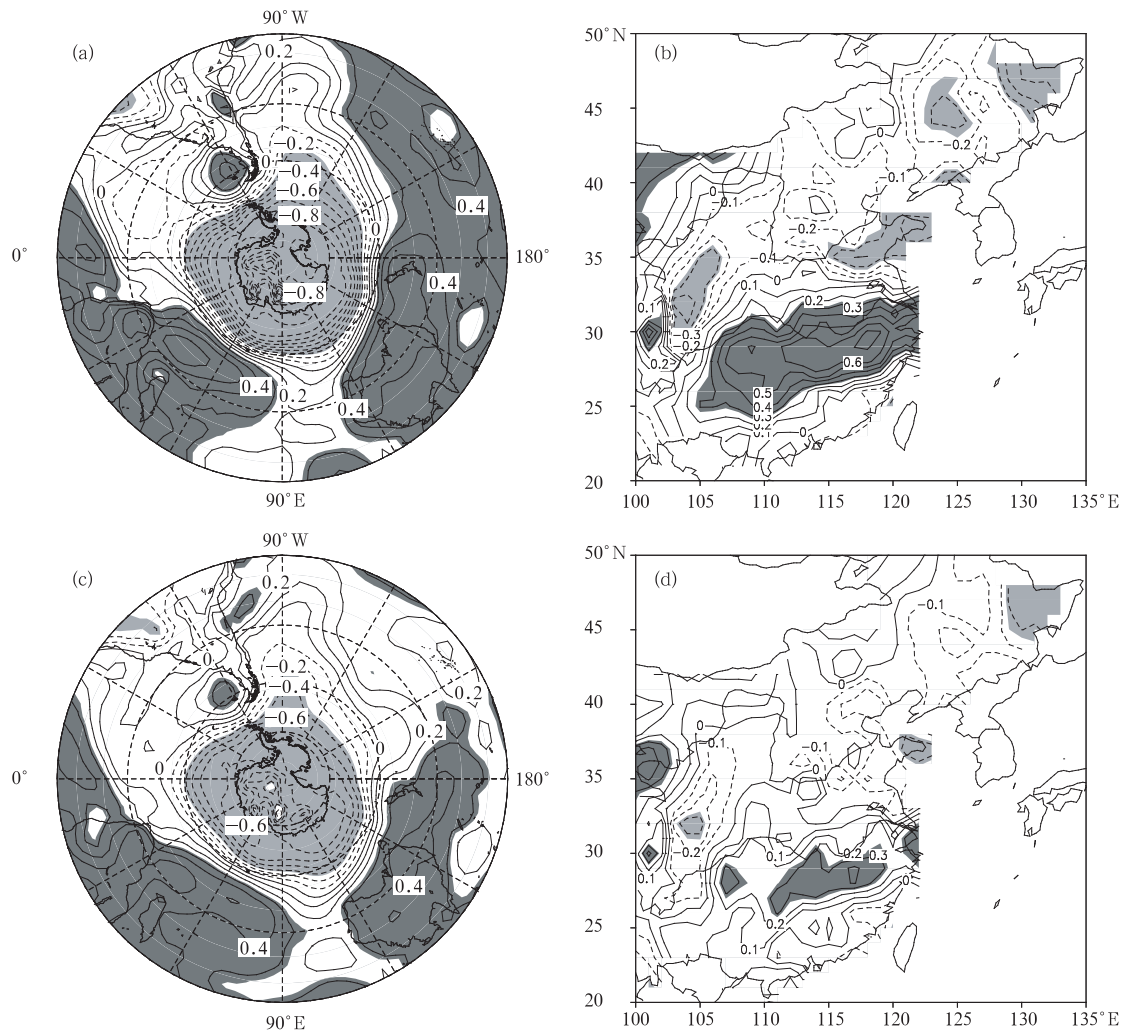


图4 春季南半球 10°S 以南 MSLP(左)与中国夏季降水(右)SVD 的第一模态

(a,b. 是同质相关图,c,d. 是异质相关图;等值线间隔为 0.1;阴影区是相关系数超过 95% 信度检验的区域;
a,c. 从 10°S 开始间隔 20°S;对应的时间系数的相关系数为 0.72,超过了 95% 信度检验)

Fig. 4 The leading SVD mode for the spring SH SLP anomalies to the south of 10°S
(left) and the summer precipitation in China (right)

(The homogeneous correlation patterns(a,b), the heterogeneous correlation patterns(c,d). The areas with positive (negative) correlation coefficients being significant at the 95% confidence level are shaded dark (light). The latitude lines in the left panels are at a 20° interval starting from 10°S at the edges. The temporal correlation coefficient between the corresponding expansion coefficients is 0.72, which is significant above 95% confidence level. The contour interval is 0.1)

4 春季 SAM 与春夏季东亚大气环流异常

春季 SAMI 正异常合成的同期 850 hPa 风场距平(图 5a)表明:中纬度欧亚大陆被一异常反气旋环流对控制,中心一个位于天山附近,另一个位于蒙古高原。异常的偏北气流从东亚沿岸的中纬度一直延伸到长江中下游以及华南地区。中纬西风带在亚洲区域盛行偏北的异常经向气流,促使高纬冷空气能

抵达中低纬地区。春季 SAMI 负异常合成的同期 850 hPa 风场距平(图 5b)表明:欧亚大陆以天山山脉和蒙古高原为中心是异常的气旋性环流,在中国东部地区表现为异常偏南风。西风带经向气流偏弱,不利于冷空气南下。这些同夏季降水异常对应的春季风场异常一致,说明与春季 SAM 异常响应的同期东亚对流层底层环流异常提供了长江中下游夏季降水异常的前期环流条件。

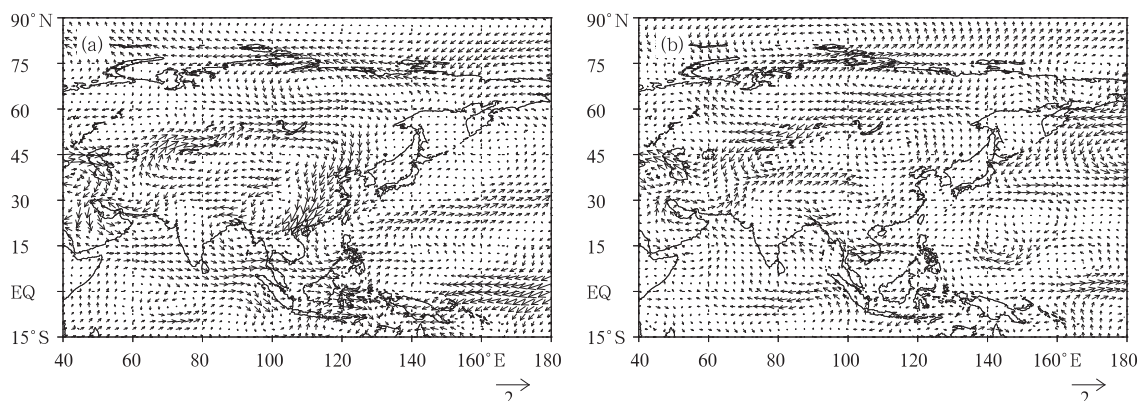


图 5 春季 SAMI 正异常(a)和负异常(b)合成的春季 850 hPa 水平风距平矢量(单位:m/s)

Fig. 5 Composite of the spring 850 hPa horizontal wind field (in m/s) based on the spring high (a) and low (b) SAMI years which are defined in the text

图 6 是春季 SAMI 异常合成的同期 850 hPa 位势高度距平极差分布,与图 5 对应,北半球欧亚大陆以天山山脉和蒙古高原为中心表现为位势高度的正异常,异常中心高达 30 gpm,这是北半球中高纬超过显著性检验的最突出的区域,说明春季 SAM 与东亚地区天气要素场的异常(850 hPa 位势高度、水平风场)存在很强的关系。另外,南印度洋是显著正异常区,在文献[16]中将要说明该地区是春季 SAM 影响夏季长江中下游降水的关键区。

图 7a 给出春季 SAMI 正异常合成的夏季 850 hPa 风场距平,北半球中高纬地区的异常偏北气流,有利于冷空气南下到欧亚大陆。图 5a 中以天山山脉和蒙古高原为中心的异常反气旋环流对持续到夏季,东亚沿岸异常强的偏北气流一直延伸到长江中下游地区、华南以及南海,东亚夏季风减弱,有利于长江中下游地区降水偏多^[17~19]。春季 SAMI 负异常合成的 850 hPa 风场距平(图 7b)中,北半球中高纬地区盛行纬向环流,不利于冷空气南下。春季蒙

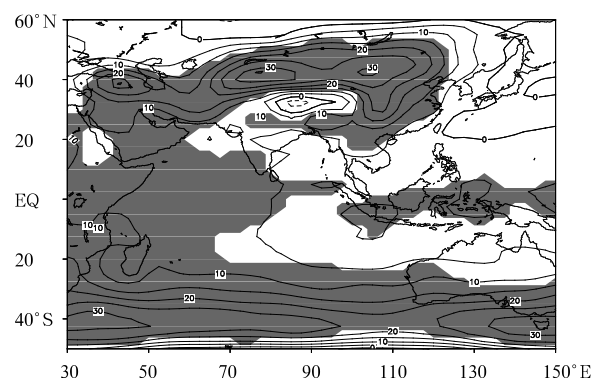


图 6 春季 SAMI 异常合成的春季 850 hPa 位势高度极差分布

(等值线间隔为 5 gpm,阴影区为 t 检验达到 99% 显著性水平)

Fig. 6 Composite difference for the spring 850 hPa geopotential height between the spring high and low SAMI years which are defined in the text

(The shading indicates significance at the 99% t -test confidence level. The contour interval is 5 gpm)

古高原附近的气旋性异常一直持续到夏季,东亚沿岸从华南到60°N都是异常偏南气流,东亚夏季风加

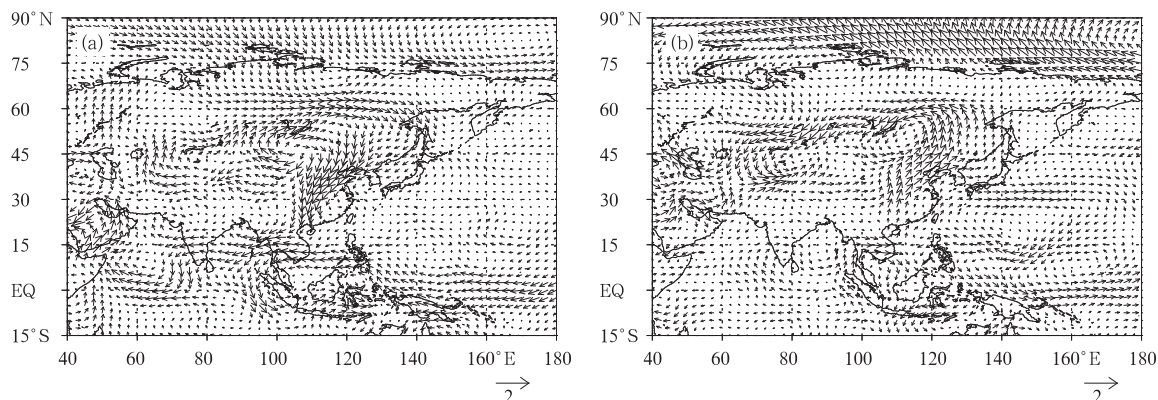


图 7 春季 SAMI 正异常(a)和负异常(b)合成的夏季 850 hPa 水平风距平矢量(单位:m/s)

Fig. 7 Composite of the summer 850 hPa horizontal wind field (m/s) based on the spring high (a) and low (b) SAMI years which are defined in the text

强,有助于长江流域降水偏少。

春季 SAMI 异常合成的夏季 850 hPa 高度距平极差(图 8)表明:北半球中高纬地区位势高度的显著异常区域主要分布在以天山山脉和蒙古高原为中心的欧亚大陆,中心值在蒙古高原附近由春季的 30 gpm 加强到夏季的 50 gpm,与图 7a 中以蒙古高原为中心的反气旋性异常相对应,显著区域相对春季向南向北伸展,说明春季的异常环流到了夏季进一步加强。另外,在中国南海位势高度加强,西太平洋副热带高压西部脊加强。这些都为长江中下游夏季降水偏多提供了有利的环流条件^[20]。

西太平洋副热带高压的季节性移动与中国东部雨带的季节性北移有着密切的关系,它的位置和强度都是影响中国东部地区降水的重要因素之一。图 9 给出了春季 SAM 异常年份合成的夏季西太平洋地区的高度场。图中特别标出了 588 dagpm 线和纬向风速为 0 的线,两条线的西侧交叉点被认为是副热带高压西伸脊点。春季 SAMI 正异常对应的西伸脊点在 140°E 以西,而负异常对应的西伸脊点在 140°E 附近,说明春季 SAM 偏强随后的夏季西太平

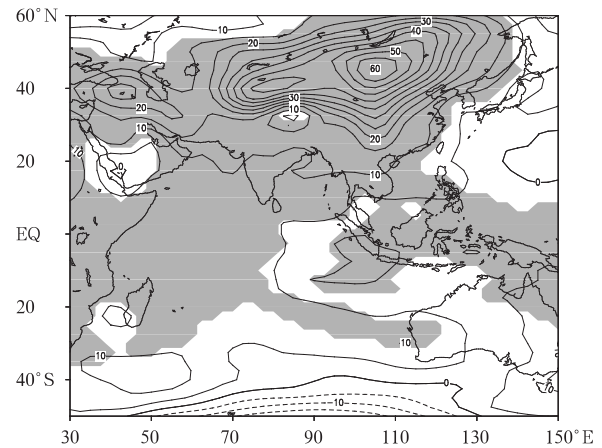


图 8 春季 SAMI 异常合成的夏季 850 hPa 位势高度极差分布
(等值线间隔为 5 gpm,阴影区为 t 检验达到 99% 显著性水平)

Fig. 8 Composite difference of the summer 850 hPa geopotential height between the spring high and low SAMI years which are defined in the text (The shading indicates significance at the 99% t -test confidence level. The contour interval is 5 gpm)

洋副热带高压位置偏西。这有利于长江中下游夏季降水^[21,22];春季 SAM 负异常时,情况相反。

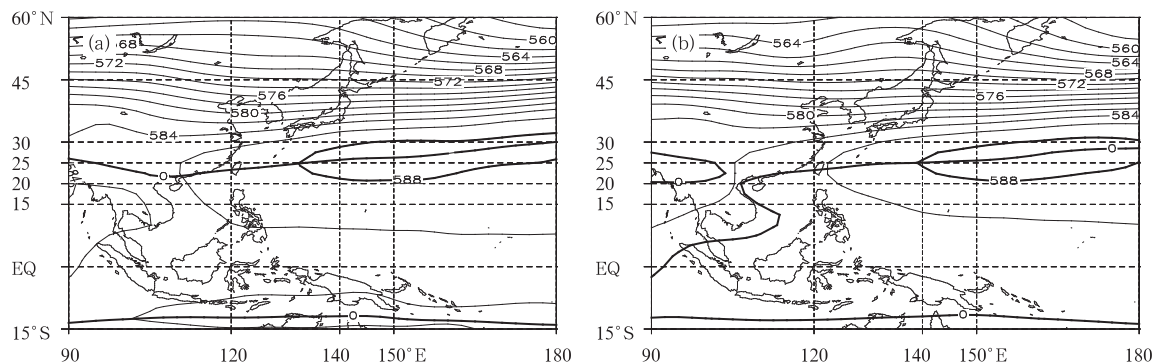


图 9 春季 SAMI 异常合成的夏季东亚地区 500 hPa 位势高度场

(a. 春季 SAMI 正异常的情况; b. 春季 SAMI 负异常的情况)

(标有 0 的粗实线表示纬向风速为 0,标有 588 的粗实线表示 588 dagpm,等值线间隔为 2 dagpm)

Fig. 9 Composite of the summer 500 hPa geopotential height based on the spring high (a)

and low (b) SAMI years (The solid lines marked by 0 and 588 represent the zonal wind velocity and 588 dagpm. The contour interval is 2 dagpm)

总之,春季 SAM 偏强的年份同期东亚地区就有明显的大气环流异常:对流层下层欧亚大陆高纬地区盛行经向环流,有利于冷空气南下。以蒙古高原和天山为中心有一异常的反气旋对,东亚沿岸从中国东北到华北一直到华南都是异常偏北气流,这

样的环流形势持续到夏季并加强,造成东亚夏季风减弱,而夏季风偏弱是长江中下游降水偏多的有利条件。另外,夏季西太平洋副热带高压位置偏西,西部脊加强,也有利于长江流域降水偏多;春季 SAM 偏弱的年份,情况相反。

5 春季 SAM 与夏季长江中下游水汽异常

图 10 是春季 SAMI 异常合成的夏季垂直速度、相对湿度分别沿 $25.0^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$ 和 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 的垂直剖面。图 10a,b 中长江中下游地区对流层主要为负异常,并且除了底层外都达到了 95% 的显著性检验;图 10c,d 中长江中下游地区对流层中低层均为正异常,中部还达到了 95% 的显著性检验。春季

SAMI 异常合成的夏季相对湿度剖面图(图略)与比湿异常情况相似。说明春季 SAMI 正异常时随后的夏季长江中下游对流层比湿、相对湿度增大,水汽含量增大;向上的垂直运动加强,对流加强,为该地区降水增多提供了基本的水汽条件;反之,比湿、相对湿度减小,水汽含量减少,向上的垂直运动受到抑制,不利于该地区降水增加。

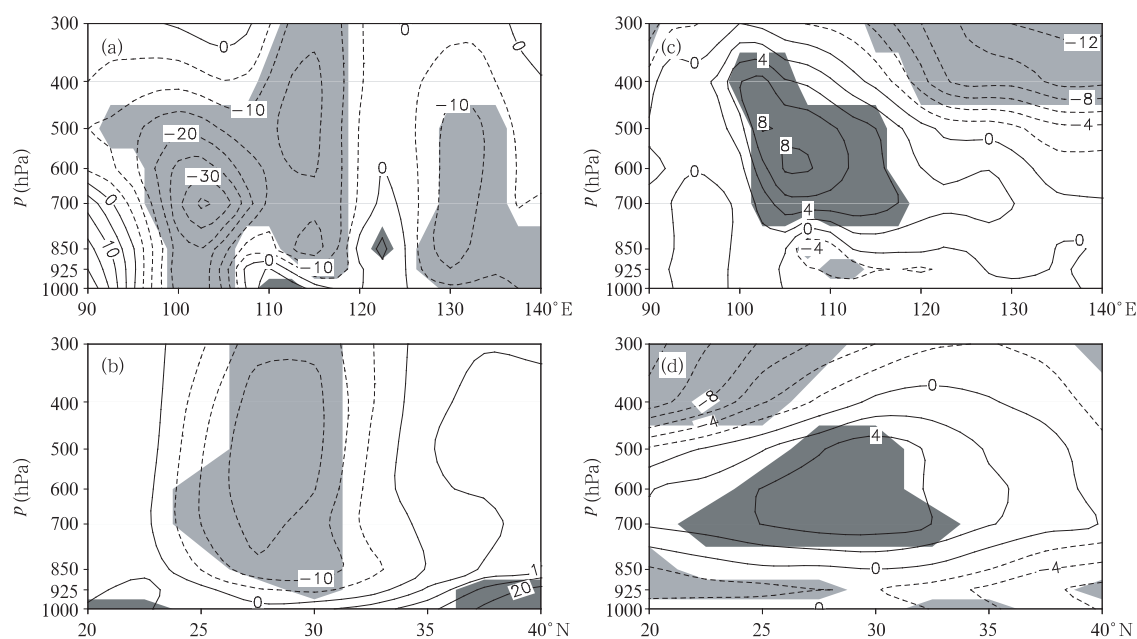


图 10 春季 SAMI 异常对应的夏季垂直速度(a,b;单位: 10^{-3} Pa/s)、相对湿度(c,d;单位: %)合成差的垂直剖面
(a,c, 沿 $25^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$ 的经度-气压剖面; b,d, 沿 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 的纬度-气压剖面;
阴影为 t 检验达到 95% 显著性水平的区域)

Fig. 10 Composite difference of the summer vertical velocity (a) and (b) (unit: $10 \times 3 \text{ Pa/s}$) and the relative humidity (c) and (d) (unit: %) between the spring high and low SAMI years
(a,c, the longitude-pressure cross sections between $25^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$. b, d, the latitude-pressure cross sections between $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$. The values in the shaded areas are significant at the 95% t -test confidence level)

图 11 是春季 SAMI 异常合成的夏季 600 hPa 长江中下游区域平均 ($25.0^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$) 的比湿、相对湿度、垂直速度距平的时间演变。春季正负 SAMI 异常对应的比湿在 5 月份都是负距平,6 月份春季 SAMI 正异常年份对应的比湿为弱的正距平;春季 SAMI 负异常年份对应的比湿为弱的负异常。到了 7,8 月份春季 SAMI 正异常对应的比湿距平为明显的正异常, SAMI 负异常年份对应的比湿距平为明显的负异常。9 月份春季 SAMI 正负异常年份对应的比湿距平均为负异常,并没有明显的差异。这些说明春季 SAM 对长江中下游比湿

的影响主要发生在夏季,春季 SAM 偏强有利于随后夏季长江中下游水汽含量增大,有利于该地区降水增多;反之,不利于该地区降水增多。相对湿度的时间演变同比湿类似,不过,春季 SAM 异常后,6 月份比湿异常对比并不太明显,对比最明显的是在 7,8 月份,9 月份对比也不明显。总的来说春季 SAM 异常对长江中下游水汽含量的影响主要在夏季的 7,8 月份。垂直速度的时间演变图上,5,9 月份春季 SAMI 不论正异常年份还是负异常年份对应的垂直速度都是正异常,并没有明显的区别。6~8 月,春季 SAMI 正异常对应的夏季长江中下游垂直速度为

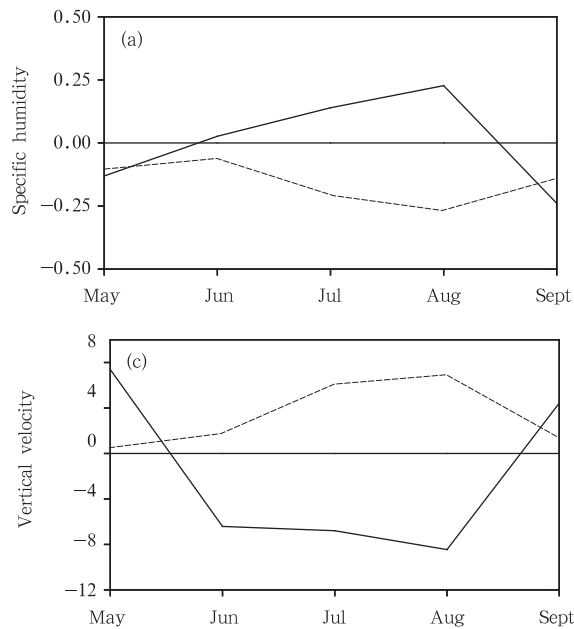


图 11 春季 SAMI 异常合成的 5~9 月 600 hPa 长江中下游区域平均 ($25.0^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$) 的 (a) 比湿 (g/kg)、(b) 相对湿度 (%)、(c) 垂直速度 (10^{-3} Pa/s) 距平的时间演变 (实线: 春季 SAMI 正异常情况; 虚线: 春季 SAMI 负异常情况)

Fig. 11 Composites of the May–September specific humidity (g/kg) (a), relative humidity (%) (b), vertical velocity (10^{-3} Pa/s) (c) averaged in the Yangtze River valley ($25.0^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$) based on the spring high (solid line) and low (dashed line) SAMI years

负异常, 向上的垂直速度加强, 促进对流运动, 有利于降水增多; 春季 SAMI 负异常年份对应的夏季长江中下游垂直速度为正异常, 向上的垂直速度减弱, 对流运动减弱, 致使该地区降水减少。

上述分析表明春季 SAM 偏强, 随后的夏季长江中下游地区具备了降水增多的水汽条件; 而春季 SAM 偏弱, 随后的夏季长江中下游地区的水汽条件不利于该地区降水增多。

6 总结与讨论

本文分析了春季南半球环状模 (SAM) 与随后夏季长江中下游降水之间的关系, 结果表明两者之间存在显著的正相关关系。春季 SAM 偏强, 随后的夏季长江中下游地区降水容易偏多; 反之, 降水容易偏少。当春季 SAM 偏强时, 东亚夏季风减弱, 西太平洋副热带高压位置偏西, 为长江中下游夏季降水偏多提供大尺度环流条件; 另外, 春季 SAM 偏强, 随后的夏季长江中下游地区向上的垂直速度加强、水汽含量增大, 又为该地区降水偏多提供有利的水汽条件。春季 SAM 偏弱时, 情况相反。因此, 春季 SAM 的强度可以看作是长江中下游汛期降水预报的一个有用信号。从本文的分析得知春季 SAM 通过东亚夏季风对长江流域夏季降水产生影响, 但是春季 SAM 具体通过什么途径和机制影响东亚夏季风的呢? 文献[16]将从印度洋和南海海温“海洋桥”的角度给出一种可能的解释。当然, 这仅仅是一种可能的机制, 春季 SAM 还可能通过其他途径影

响东亚夏季风或者影响长江流域的夏季降水, 这些都有待于进一步的深入研究。

参考文献

- [1] Walker G T. World weather. Quart J Roy Meteor Soc, 1928, 54: 79–87
- [2] Kidson J W. Eigenvector analysis of monthly mean surface data. Mon Wea Rev, 1975, 103: 182–186
- [3] Rogers J R, van Loon H. Spatial variability of sea level pressure and 500 mb height anomalies over the Southern Hemisphere. Mon Wea Rev, 1982, 110: 1375–1392
- [4] Thompson D W J, Wallace J M. Annular modes in the extratropical circulation, Part I: Month-to-month variability. J Climate, 2000, 13: 1000–1016
- [5] Gong D Y, Wang S W. Definition of Antarctic oscillation index. Geophys Res Lett, 1999, 26: 459–462
- [6] Limpasuvan V, Hartmann D L. Eddies and the annular modes of climate variability. Geophys Res Lett, 1999, 26: 3133–3136
- [7] Mo K C. Relationships between low-frequency variability in the Southern Hemisphere and sea surface temperature anomalies. J Climate, 2000, 13: 3599–3610
- [8] Sexton D M H. The effect of stratospheric ozone depletion on the phase of the Antarctic Oscillation. Geophys Res Lett, 2001, 28: 3697–3700
- [9] Hall 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
- [10] Silvestri G E, Vera C S. Antarctic oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. Geophys Res Lett, 2003, 30 (21): 2115, doi: 10.1029/

- 2003GL018277
- [11] Lefebvre W, Goosse H, Timmermann R, et al. Influence of the Southern Annular Mode on the sea ice-ocean system. *J Geophys Res*, 2004, 109 (C09006), doi: 10.1029/2004JC002403
- [12] 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
- [13] 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 Sci Bull*, 2002, 47(11):948~951
- [14] Overland J, Preisendorfer R. A significance test for principal components applied to a cyclone climatology. *Mon Wea Rev*, 1982, 110: 1~4
- [15] Wallace J M, Smith C, Bretherton C S. Singular value decomposition of wintertime sea surface temperature and 500-mb height anomalies. *J Climate*, 1992, 5: 561~576
- [16] 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: II 印度洋和南海海温的“海洋桥”作用. *气象学报*, 2005, 63(6):848~858
Nan Sulan, Li Jianping. The relationship between the summer precipitation in the Yangtze River valley and the boreal spring Southern Hemisphere annular mode: Part II The role of the Indian Ocean and South China Sea as an “Oceanic Bridge”. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 2005, 63(6):848~858
- [17] 赵汉光, 张先恭. 东亚季风和我国夏季雨带的关系. *气象*, 1996, 22(4):8~12
Zhao Hanguang, Zhang Xiangong. The relationship between the summer rain belt in China and the East Asian monsoon. *Meteorological Monthly (in Chinese)*, 1996, 22(4):8~12
- [18] 施能, 朱乾根, 吴彬贵. 近 40 年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常. *大气科学*, 1996, 20(5):575~583
Shi Neng, Zhu Qiangeng, Wu Bingui. The East Asian summer monsoon in relation to summer large scale weather-climate anomaly in China for last 40 years. *Sci Atmos Sinica (in Chinese)*, 1996, 20(5): 575~583
- [19] 张庆云, 陶诗言. 夏季东亚热带和副热带季风与中国东部汛期降水. *应用气象学报*, 1998, 9(增刊):17~23
Zhang Qingyun, Tao Shiyan. Tropical and subtropical monsoon over East Asia and its influence on the rainfall over eastern China in summer. *Quart J Appl Meteor (in Chinese)*, 1998, 9(Suppl): 17~23
- [20] 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 Saohua, 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
- [21] 陈烈庭, 吴仁广. 中国东部夏季雨带类型与前期北半球 500 hPa 环流异常的关系. *大气科学*, 1998, 22(6): 849~857
Chen Lieting, Wu Renguang. Relationship between summer rainbelt patterns in the Eastern China and 500 hPa circulation anomalies over the Northern Hemisphere. *Sci Atmos Sinica (in Chinese)*, 1998, 22(6): 849~857
- [22] 吴国雄, 丑纪范, 刘屹岷等. 副热带高压形成和变异的动力学问题. 北京: 科学出版社, 2002. 47
Wu Guoxiong, Chou Jifan, Liu Yimin, et al. Dynamics of the Formation and Variation of Subtropical Anticyclones. Beijing: Science Press, 2002. 47

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE SUMMER PRECIPITATION
IN THE YANGTZE RIVER VALLEY AND THE BOREAL SPRING
SOUTHERN HEMISPHERE ANNULAR MODE:
I BASIC FACTS

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 relationship between the boreal spring (April–May) southern hemisphere annular mode (SAM) and the following summer (June–August) rainfall in China was examined statistically. The results show there are a significantly positive correlation between the boreal spring SAM index (SAMI) and the following summer precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River valley. In the spring, a pair of anomalous anticyclones exists in the Mongolia Plateau and Tianshan Mountains respectively while there is spring strong SAM. Meanwhile the anomalous northerlies prevail from the middle latitudes of East Asia to South China throughout northeast of China. These anomalous circulations may continue to the following summer and weaken East Asian summer monsoon (EASM). The west ridge of western Pacific subtropical high strengthens and extends westward in summer following the spring strong SAM. These circulation anomalies are related to the above normal precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River valley. Moreover, the spring strong SAM is followed by increased ascending vertical velocity, specific humidity and relative humidity, which provide necessary water vapor conditions for increasing the summer precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River valley, and vice versa. The boreal spring SAM variation provides a potential valuable signal for predicting the summertime precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River valley.

Key words: Southern hemisphere annular mode (SAM), Precipitation, Yangtze River valley, Positive correlation.