

# 江南春季降水的准2 a振荡及其与 热带海温异常的关系

詹丰兴<sup>1,2</sup>, 刘芸芸<sup>3</sup>, 何金海<sup>1,4</sup>

(1. 南京信息工程大学大气科学学院 气象灾害省部共建教育部重点实验室, 江苏 南京 210044; 2. 江西省气象局, 江西南昌 330046; 3. 国家气候中心, 北京 100081; 4. 中高纬度环流系统与东亚季风研究开放实验室, 吉林 长春 130062)

**摘要:**基于中国160站的逐月降水观测资料及NOAA扩展重建的海表温度资料,从1951~2012年逐月的历史时间序列中提取出准2 a振荡(TBO)分量,对中国江南地区春季(3~5月)降水的TBO特征及其与热带海温的关系进行了分析。结果发现:① TBO为江南春季降水最主要的年际周期,TBO分量的方差贡献占到原始序列的52.2%。② 江南春季降水与热带海温异常存在明显的时滞关系,其TBO分量与前期Nino3.4区和印度洋海面温度距平(SSTa)的相关较原始序列更为显著,且持续时间更长,说明热带海温异常对江南春季降水TBO分量的影响是非常显著的。③ 江南春季降水TBO与Nino3.4指数的时滞关系还呈现出显著的年代际转折,20世纪80年代中期之前,江南春季降水TBO分量与Nino3.4指数在滞后1~11个月内都表现出明显的正相关关系,但从80年代中期至90年代末期这种时滞关系减弱,直至21世纪以来,江南春季降水TBO与Nino3.4指数的时滞关系又重新建立。④ 通过对比分析年代际转折前后与江南春季降水TBO循环所对应的热带海温演变特征,发现在20世纪80年代中期之前,TBO分量与超前1个季节的赤道中东太平洋海温异常演变具有同步性,使得两者之间的正相关关系稳定;而1986~1999年期间,无论是赤道中东太平洋地区或者印度洋地区海温的演变,都没有表现出像之前类似的TBO循环特征,从而导致两者的相关关系减弱。也就是说,江南春季降水的TBO与中东太平洋海温时滞关系的年代际转折与赤道中东太平洋海温是否具有显著的TBO周期密切相关。

**关键词:**江南春季降水;准2 a振荡(TBO);海温异常;年代际变化

**中图分类号:**P466 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2013)08-1006-08

东亚季风区在年际尺度上存在显著的准2 a振荡周期,对中国气候异常有着重要影响<sup>[1~4]</sup>。这种准2 a周期振荡与热带平流层下层的准2 a周期振荡不同,它普遍存在于对流层的大气环流、海温以及地面气象要素中,一般将这种准2 a周期振荡称之为对流层准2 a周期振荡<sup>[5,6]</sup>(tropospheric biennial oscillation,简称TBO)。通过对观测资料的分析,黄嘉佑<sup>[7]</sup>和王建新等<sup>[8]</sup>指出中国大部分地区降水也具有明显的TBO特征。况雪源等<sup>[9]</sup>和贾建颖等<sup>[10]</sup>则分析了中国降水TBO的空间分布形态及其长期的演变特征。最近,刘芸芸和丁一汇<sup>[11]</sup>通过对亚洲-太平洋季风区多种气象变量基本模态的分

析,也证实了TBO很可能是亚洲-太平洋夏季风系统的一种固有振荡,它从年际尺度上反映了亚洲-太平洋夏季风受热带太平洋-印度洋海温的强迫表现出明显的整体一致的特征。

中国大部分地区春季的降水量远小于夏季,但江南地区春季降水量却较大,甚至与夏季降水相当,其降水多寡对南方农业生产和人民生活及工业用水有着重要影响。以往研究多集中在夏季,本文以春季降水为主要研究对象,发现在长江以南地区1951~2012年的历史时间序列中存在显著的TBO信号,针对江南春季降水TBO这一年际分量,分析江南春季降水TBO分量的变化特征;并结合对前

**收稿日期:**2013-01-05; **修订日期:**2013-04-19

**基金项目:**国家自然科学基金(41005037,41175083,41275096)、国家重点基础研究发展计划(2013CB430202)、江苏普通高校研究生科研创新计划项目(CXZZ12\_0487)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906015)和江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)资助。

**作者简介:**詹丰兴(1963-),男,江西玉山人,高级工程师,博士研究生,主要研究方向为气象灾害监测、灾害预报预测、季风与旱涝研究。E-mail: zfx8@163.com

**通讯作者:**何金海,教授。E-mail: hejhnew@nuist.edu.cn

期热带海温异常的分析,揭示其TBO分量与热带低纬地区海温异常的相互作用,以进一步加深对江南春季降水年际-年代际变化特征的认识,以期为中国南方地区春季水资源的规划和调控提供一定的参考,为短期气候预测工作提供基础。

## 1 资料和方法

本文所使用的资料包括中国气象局国家气候中心整编的160个测站逐月降水资料(其中香港、澳门和台湾地区无测站);美国国家海洋大气管理局(NOAA)发布的扩展重建的海表温度资料(ERSSTv3),水平分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ <sup>[12,13]</sup>。研究时段为1951~2012年,共62 a。主要采用包括经验正交函数(EOF)分析方法、功率谱分析、超前滞后相关分析及典型年份合成等统计方法<sup>[14]</sup>。根据二阶偏微分原理<sup>[15]</sup>可知,从变量 $P$ 的原始序列中移去三点滑动平均后的序列正好能够反映变量 $P$ 的TBO分量变化特征,且该方法简单易操作,因此本文将

利用这一方法提取时间序列中TBO信号。

## 2 长江以南春季降水的时空变化特征

春季降水主要集中在长江以南地区,因此首先选取中国 $30^{\circ}\text{N}$ 以南、 $110^{\circ}\text{E}$ 以东的中国南方地区1951~2012年春季(3~5月)平均降水进行EOF展开,图1为降水EOF第1模态及对应的时间系数,该模态解释了总方差的34.3%,主要表现为长江以南春季降水异常整体一致的分布特征,其大值区集中在气象学上的中国江南大部分地区(浙江、江西和福建,图1a,本文简称江南地区),而对应的时间系数则存在显著的年际变化特征,尤其是20世纪60年代中期至90年代初表现出以2~3 a为主的周期变化特征;同时从时间系数9年滑动平均的结果还可以看出中国南方春季降水整体一致模态也存在10~20 a的年代际变化特征(图1b)。

功率谱分析更加直观地表现出中国南方春季降水在整个分析时段的主要周期。对其EOF第1

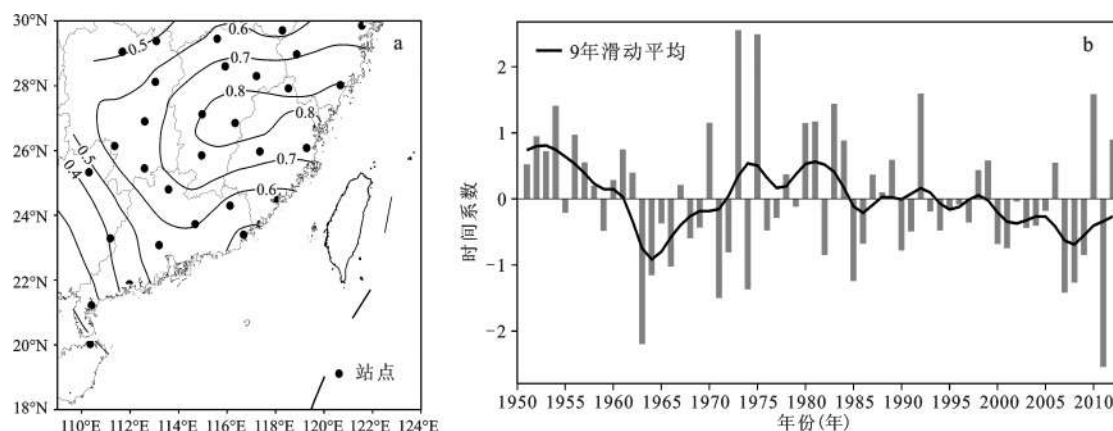


图1 1951~2012年长江以南春季降水EOF第1模态(a)及对应的时间系数(b)

Fig.1 The first EOF eigenvector of spring precipitation over south of the Yangtze River area (a) and corresponding time coefficient (b) in 1951-2012

模态的时间系数进行功率谱分析,取最大落后长度为12(分析样本长度为62,图2)。由图2可见,在1951~2012年时段内主要表现为准2~3 a的年际周期,且通过0.05显著性水平的红噪声检验。因此可以认为TBO是中国南方春季降水最为主要的年际周期,尤其在江南地区最为显著。下面就主要针对江南春季降水的TBO分量展开分析。

## 3 春季降水TBO的时空分布特征

利用二阶偏微分原理<sup>[15]</sup>提取中国160站3~5月平均降水量历史时间序列中的TBO分量,从其均方差的分布可知(图3),中国春季降水TBO分量均

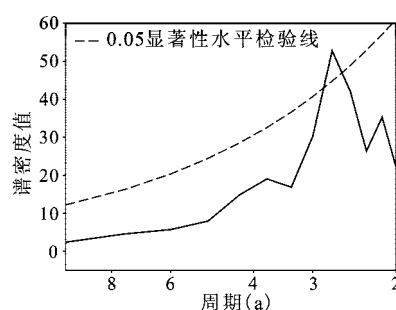


图2 1951~2012年长江以南地区春季降水的第1模态时间系数的功率谱

Fig.2 Power spectrum curve of the first EOF time coefficient of spring precipitation over south of the Yangtze River area in 1951-2012

方差最显著的区域也正是南方春季降水 EOF 第 1 模态的大值区,即江南地区(浙江、江西和福建省区),另外在广东沿海地区还存在一个高值区,但范围较小,说明在这 2 个区域春季降水的 2~3 a 周期变化显著。因此可以说,TBO 分量是中国江南地区春季降水年际时间尺度内的重要组成部分,对 TBO 的研究有助于加深对该地区春季降水年际变化的理解。

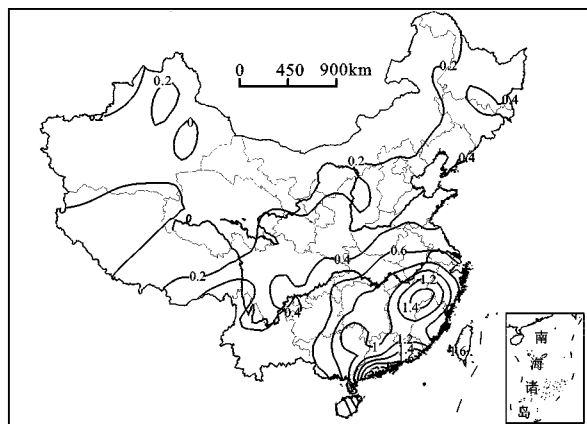


图3 1951~2012年中国春季降水TBO分量的均方差分布(mm/d)

Fig.3 Mean square deviation of spring (March, April and May, MAM)precipitation over China in 1951-2012 (mm/d)

为了进一步研究江南春季降水的TBO特征,选取均方差最为显著的江南区域平均的3~5月平均降水量代表江南春季降水的原始时间序列,利用二阶偏微分原理<sup>[15]</sup>得到其TBO分量。从该分量的时间序列可以看到(图4),尽管TBO是江南春季降水中的一个重要的年际分量,在1951~2012年整个时段内都存在,而TBO分量本身还存在一定的年代际变化特征,20世纪60年代及80年代中期至21世纪初这个时间段TBO信号相对较弱,其他时段TBO信号均较明显,尤其在70年代中期及2006年之后,TBO分量异常显著,使得TBO周期并不总是强度不变地影响着江南春雨及其相关的大气环流异常。江南春季降水TBO分量的方差贡献占到其年际以上尺度的原始序列的52.2%,这也说明TBO在江南地区春季降水中的重要性。

若将江南春季降水的TBO分量与其第1模态的时间系数(图1b)比较,也可以看到它们有着比较一致的变化特征,其相关系数达到0.85,远超过0.01的显著性水平,说明整个区域在年际尺度上均

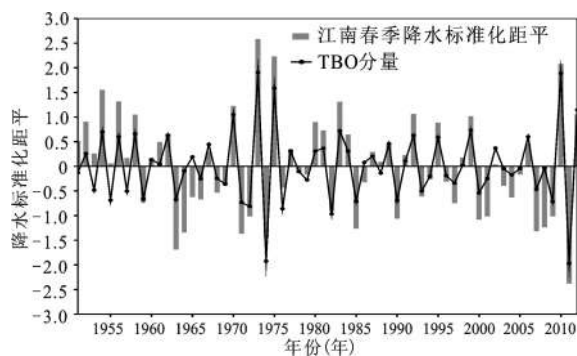


图4 1951~2012年江南春季降水的原始序列及其TBO分量

Fig.4 Raw time series of spring precipitation over Jiangnan area of China and its TBO component in 1951-2012

呈现出比较一致的准2 a变化特征。

## 4 与TBO相关的热带海温异常

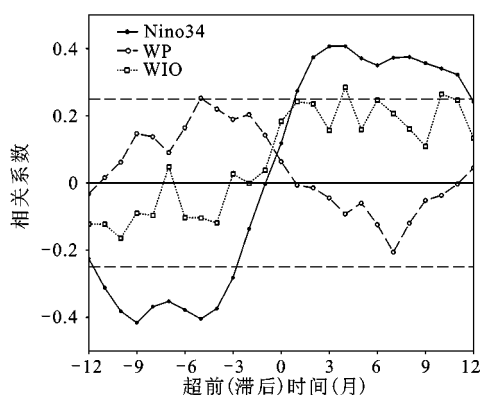
在现有的研究中,对亚洲季风区TBO产生的物理机制多针对季风降水,且还存在较大的分歧:有研究认为TBO是南海-西太平洋暖池地区海气相互作用的结果<sup>[16-18]</sup>;而Meehl等<sup>[19]</sup>则强调印度-太平洋地区的海气相互作用对TBO的贡献要大于南亚地区的陆气相互作用,且Raumusson等<sup>[20]</sup>和Yasunari<sup>[21]</sup>还强调ENSO对TBO的贡献;但也有不同的观点<sup>[2,22]</sup>,认为TBO是一种局地现象,不考虑赤道太平洋的作用,印度洋地区仍然可以出现TBO;针对该种说法,Meehl等<sup>[23]</sup>进一步指出若没有赤道太平洋ENSO的影响,亚澳季风区的TBO分量明显减弱。综上所述,可以认为季风区TBO分量的发生主要是海-陆-气相互作用的结果,其中热带海洋的贡献较为显著。因此下面主要通过分析与江南春季降水TBO相关的热带地区海温特征,试图探讨江南春季降水TBO产生的可能机制。

### 4.1 TBO与热带海温异常的时滞相关关系

为了清楚地认识江南地区春季降水与热带海温异常的演变之间有着怎样的对应关系,首先将江南区域平均的降水标准化距平的历史时间序列与几个关键海区(Nino3.4区:5°S~5°N,170°W~120°W;暖池区(WP):5°S~5°N,120°E~160°E;及热带西印度洋区(WIO):5°S~5°N,40°E~60°E)的海表面温度距平(SSTa)做超前滞后相关。从原始序列与关键海区指数的相关(图略)可知,江南春季降水与超前1~6个月的Nino3.4区指数呈现较为显著的正相关关系,与超前1~6个月的暖池SSTa则呈现反相关关系,而与前期西印度洋SSTa的相



关相对较弱,且持续性差。而江南春季降水TBO分量与前期各关键区海温指数的时滞相关,除与暖池区的关系有所减弱外,与其他关键海区的关系均较原始序列更为显著,且持续时间更长(图5),说明热带海温异常对江南春季降水TBO分量的影响是非常显著的。特别是江南春季降水的TBO分量滞后Nino3.4区SSTa大约1个月后就有所响应,且滞后相关时间可以一直持续11个月,在滞后2~4个月时相关关系最显著。



注:其中横坐标“-n(n)”表示TBO超前(滞后)关键海区的SSTa n个月,长虚线为相关系数通过0.05的显著性水平线。

图5 江南春季降水TBO分量与关键海区海温异常的时滞相关

Fig.5 The time-lag correlation between the TBO component of the precipitation over Jiangnan area of China in MAM and SST anomaly in Nino3.4 area, warm pool and western Indian ocean (-n or n on the X-coordinate are the numbers of months that the TBO of precipitation over southeast China in MAM leads or lags the SST anomaly in the key areas. The long dash lines are the 0.05 significant level lines)

## 4.2 TBO与Nino3.4指数时滞关系的年代际变化特征

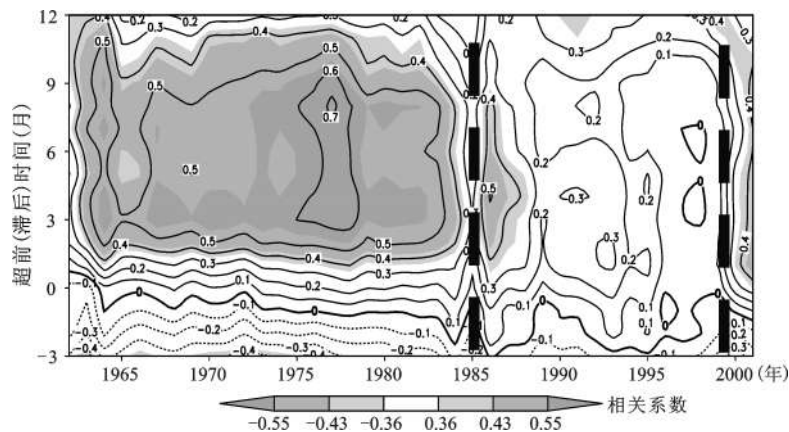
许多研究表明,过去60多a大气环流和降水等多种变量都存在显著的年代际转折特征,在20世纪70末期前后出现显著的转折点<sup>[11,24-27]</sup>。最近进一步发现,随着年代际背景的转换,各种气象变量之间的年际相关关系同时也发生了年代际转折<sup>[28-31]</sup>。考虑到江南春季降水及其TBO分量均与Nino3.4区海温的时滞关系最为显著,那么它们之间的这种相关关系是否也会发生一定的变化呢?为此,进一步计算了江南春季降水TBO分量与Nino3.4指数滑动21 a的超前滞后相关(图6),结果发现其

TBO分量与Nino3.4指数的时滞关系确实也发生了显著的年代际转折。20世纪80年代中期之前,江南春雨TBO分量与Nino3.4指数在滞后1~11个月内都表现出明显的正相关关系,其中在滞后2~4个月左右的相关关系最强,且从60年代以来一直存在;但从80年代中期至90年代末期,这种时滞关系减弱,甚至在90年代中期两者之间不存在相关性;直至21世纪以来,江南春雨TBO与Nino3.4指数的时滞关系似乎又重新建立起来。江南春季降水的TBO与热带海温异常的时滞相关关系的年代际转折,及21世纪初至今两者正相关关系的重新建立,让我们有必要进一步认识在不同年代际背景下的前期海温异常的演变特征,确定江南春季降水TBO分量与热带海温异常的时滞关系是否显著,进而为江南春季降水的短期气候预测提供一定的前期信号。

## 4.3 不同年代际背景下江南春季降水TBO对应的热带海温分布

为了解释江南春季降水TBO与Nino3.4指数的时滞关系为何在20世纪80年代中期出现了明显的年代际转折,将研究时段按照年代际转折前后分为1961~1985年和1986~1999年2个时段,然后依据图4中江南春季降水TBO分量的时间序列,选取江南春季降水典型TBO正位相年(即当年江南春季降水TBO分量大于0,且次年TBO分量小于0的年份)作为当年春季(0MAM),给出从前一年冬季(-1DJF)至下一年春季(1MAM)热带海温异常的演变图(图7)。

在1961~1985年期间,江南春季降水TBO正位相年的前期冬季(图7a),热带海洋表现为类似El Nino型最强盛时期,赤道中东太平洋海温显著偏高,印度洋海温也为全区一致偏暖型,而暖池区海温异常不明显;这种热带海温的异常分布是江南春季降水进入TBO正位相的前期信号。到当年春季(图7b),赤道中东太平洋上类似El Nino型开始衰减,而此时印度洋一致偏暖的模式依然持续,此时江南春季降水表现为异常偏多的特征;到当年夏季(图7c),赤道东太平洋的暖水区进一步缩减,并在赤道中太平洋附近开始出现异常冷水区,呈现出向类似La Nina状态发展,同时印度洋的暖水也有所减弱,并向暖池区移动;当年秋季(图7d),赤道中东太平洋类似La Nina型进一步加强发展,印度洋海温也随之减弱趋于正常,而暖池区



注:纵坐标“- $n(n)$ ”表示TBO超前(滞后)Nino3.4指数 $n$ 个月,阴影表示  
相关系数分别通过0.1、0.05和0.01显著性水平。

图6 江南春季降水TBO分量与Nino3.4指数滑动21a的超前(滞后)相关

Fig.6 Time-lag correlation with 21-years running window between the TBO component and Nino3.4 index

(- $n$  or  $n$  on the Y-coordinate are the numbers of months that TBO leads or lags Nino3.4 index)

海温变化趋势不明显。当年冬季(图7e)类似La Nina型达到盛期,表现出与前一年同期反位相的分布特征,而此时印度洋海温也出现了冷水分布,但异常程度远小于赤道中东太平洋地区,这种与前一年同期反位相的分布则是江南春季降水进入TBO负位相的前期信号。到次年春季(图7f),类似La Nina型开始衰减,印度洋海温也随之减弱,并朝着下一次类似El Nino-La Nina转换而发展,此时对应江南春雨一致偏少的分布。从江南春季降水TBO循环所对应的热带海温演变来看,热带海洋上也同样表现出TBO特征,而最显著的区域位于赤道中东太平洋地区,其次为印度洋,而暖池区异常信号不明显。赤道中东太平洋海温异常信号大约超前江南春雨一个季节左右,因此在20世纪80年代中期之前,江南春季降水TBO分量与超前1个季节(3个月左右)的赤道中东太平洋海温异常演变具有同步性,使得两者之间的正相关关系稳定。

而在1986~1999年期间热带海温演变则表现出完全不一样的特征,在江南春季降水TBO正位相年的前期冬季(图7g),赤道中东太平洋表现为异常偏暖,也呈现出类似El Nino型分布,但偏暖的区域和异常程度均较1961~1985年时期小,而印度洋区域也不再是全区一致型,而是呈现自西向东“-、+、-”的异常分布。从当年春季至冬季(图7h, i, j, k),异常信号最显著的赤道中东太平洋地区并没有像1961~1985年时期那样经历类似El Nino型向La Nina型的转换,而是赤道中东太平洋地区的

暖水异常一直持续到当年冬季;印度洋海温则维持西冷东暖的偶极型分布。直到次年春季(图7l),赤道中东太平洋地区才开始出现冷水异常,而印度洋海温偶极型也趋于结束,接近正常状态。可见,在1986~1999年期间,无论是赤道中东太平洋地区或者印度洋地区,都没有表现出像1961~1985年期间那样的TBO特征,其年际周期大于准2 a振荡。正是热带海温异常强迫与江南春季降水TBO分量的不同步性,导致了两者的相关关系在这段时期内减弱,甚至完全消失。

由上面的对比分析可知,在20世纪80年代中期之前,热带海温异常演变表现出与江南春季降水TBO较一致的年际周期特征,其中赤道中东太平洋异常信号最为显著。江南春季降水TBO分量与超前1个季节(3个月左右)的赤道中东太平洋海温异常演变具有同步性,使得两者之间的正相关关系稳定。而在1986~1999年期间,无论是赤道中东太平洋地区亦或印度洋地区,都没有表现出像1961~1985年期间那样的TBO特征,热带海温异常强迫与江南春季降水TBO分量的不同步性,导致了两者的相关关系在这段时期内减弱。也就是说,江南春季降水的TBO与中东太平洋海温时滞关系的年代际转折与赤道中东太平洋海温是否具有显著的准2 a振荡密切相关。

## 5 结 论

1) TBO作为江南春季降水最主要的年际周



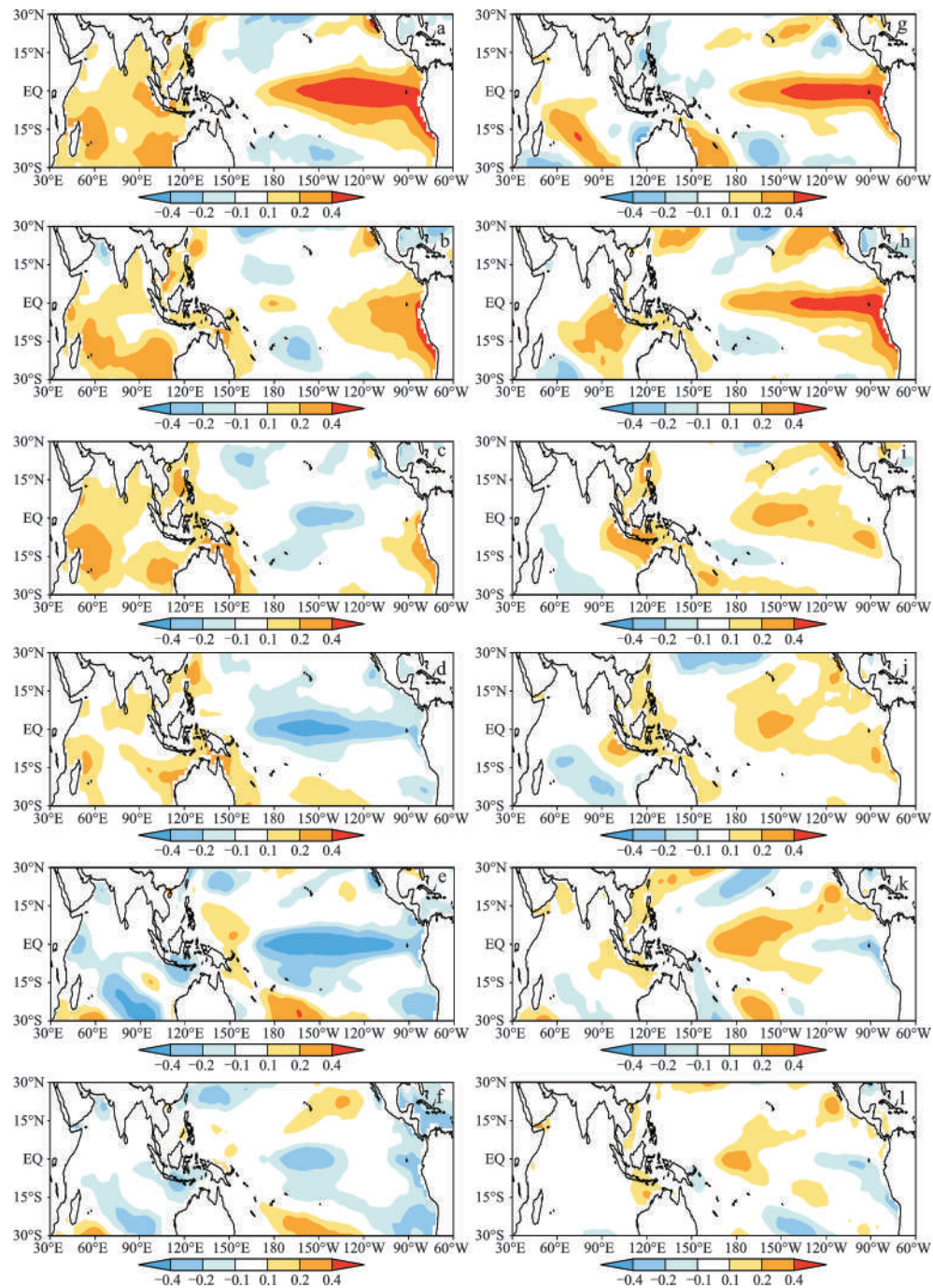


图7 与江南春季降水TBO相联系的热带SSTa(°C)演变[依次为前一年冬季(a,g)、当年春季(b,h)、当年夏季(c,i)、当年秋季(d,j)、当年冬季(e,k)、次年春季(f,l); a~f为1961~1985年, g~l为1986~1999年]

Fig.7 The tropical SST anomaly evolution which is related to the TBO cycle of the precipitation over Jiangnan area of China in spring (winter in the previous year(a, g), spring in this year(b, h); summer in this year(c, i); autumn in this year(d, j); winter in this year(e, k); spring in the next year(f, l); a-f are the period of 1961-1985; g-l are the period of 1986-1999)

期,其TBO分量的方差贡献占到原始序列的52.2%。TBO分量本身还存在一定的年代际变化特征,使得TBO周期并不总是强度不变地影响着江南春雨及其相关的大气环流异常,这为中国南方地区

水资源的规划和调控提供了一定的科学依据。

2) 江南春季降水与热带海温异常存在明显的时滞关系,其TBO分量与前期关键区SSTa的相关均较原始序列更为显著,且持续时间更长,说明

热带海温异常对江南春雨 TBO 分量的影响是非常显著的;其 TBO 分量滞后 Nino3.4 区 2~4 个月时相关关系最显著。

3) 江南春季降水 TBO 与 Nino3.4 指数的时滞关系呈现出显著的年代际转折,20 世纪 80 年代中期之前,TBO 分量与 Nino3.4 指数在滞后 1~11 个月内都表现出明显的正相关关系,其中在滞后 2~4 个月左右的相关关系最强;但从 80 年代中期至 90 年代末期,这种时滞关系减弱,直至 21 世纪以来,江南春季降水 TBO 与 Nino3.4 指数的时滞关系又重新建立。

4) 通过对比分析年代际转折前后与江南春季降水 TBO 循环所对应的热带海温演变特征,发现在 20 世纪 80 年代中期之前,江南春季降水 TBO 分量与超前 1 个季节的赤道中东太平洋海温异常演变具有同步性,使得两者之间的正相关关系稳定。而在 1986~1999 年期间,无论是赤道中东太平洋地区或者印度洋地区,都没有表现出像 1961~1985 年期间那样的准 2 a 振荡特征,从而导致了两者的相关关系在这段时期内减弱。也就是说,江南春季降水的 TBO 与中东太平洋海温时滞关系的年代际转折与赤道中东太平洋海温是否具有显著的 TBO 周期密切相关。

致 谢:感谢中国气象局短期气候预测国家级创新团队提供的技术指导,感谢南京信息工程大学硕士研究生尚可对本文图片的加工处理。

## 参考文献:

- [1] Tian S F, Yasunari T. Time and space structure of interannual variations in summer rainfall over China[J]. J. Meteor. Soc. Japan, 1992, **70**: 585-596.
- [2] Chang C P, Li T. A theory of the tropical tropospheric biennial oscillation[J]. J. Atmos. Sci., 2000, **57**: 2209-2224.
- [3] Chang C P, Zhang Y S, Li T. Interannual and interdecadal variations of the East Asian summer monsoon and tropical Pacific SSTs. Part I: Roles of the subtropical ridge[J]. J. Climate, 2000, **13**: 4310-4340.
- [4] Ding Y H. The variability of the Asian summer monsoon[J]. J. Meteor. Soc., Japan, 2007, **85**: 21-54.
- [5] Meehl G A. Influence of the land surface in the Asian summer monsoon: External conditions versus internal feedback[J]. J. Climate, 1994, **7**: 1033-1049.
- [6] Meehl G A. The South Asian monsoon and the tropospheric biennial oscillation[J]. J. Climate, 1997, **10**: 1921-1943.
- [7] 黄嘉佑. 准两年周期振荡在我国月降水量中的表现[J]. 大气科学, 1988, **12**: 267~273.
- [8] 王建新, 吕君宁, 石永贵. 长江中上游地区汛期降水的准两年振荡[J]. 南京气象学院学报, 1995, **18**: 229~233.
- [9] 况雪源, 丁裕国, 施能. 中国降水场 QBO 分布型态及其长期变率特征[J]. 热带气象学报, 2002, **18**: 359~367.
- [10] 贾建颖, 孙照渤, 刘向文, 等. 中国东部夏季降水准两年周期振荡的长期演变[J]. 大气科学, 2009, **33**(2): 397~407.
- [11] 刘芸芸, 丁一汇. 亚洲-太平洋夏季风系统的基本模态特征分析[J]. 大气科学, 2012, **36**(4): 673~685.
- [12] Smith T M., Reynolds R W, Thomas C P, et al. Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006)[J]. J. Climate, 2008, **21**: 2283-2296.
- [13] Xue Y, Smith T M, Reynolds R W. Interdecadal changes of 30-yr SST normals during 1871-2000[J]. J. Climate, 2003, **16**: 1601-1612.
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999: 244.
- [15] Hung C W. Variabilities of the Asian-Australian monsoon system from annual to interdecadal timescales[D]. Los Angeles: University of California, 2003.
- [16] Shen S, Lau K M. Biennial oscillation associated with the East Asian monsoon and tropical sea surface temperatures[J]. J. Meteor. Soc. Japan, 1995, **73**: 105-124.
- [17] Lau K M, Yang S. Climatology and interannual variability of the Southeast Asian summer monsoon[J]. Adv. Atmos. Sci., 1997, **14**: 141-162.
- [18] 黄荣辉, 陈际龙, 黄 刚, 等. 中国东部夏季降水的准两年周期振荡及其成因[J]. 大气科学, 2006, **30**(4): 545~560.
- [19] Meehl G A, Arblaster J M. The tropospheric biennial oscillation and Asian-Australian monsoon rainfall[J]. J. Climate, 2002, **15**: 722-744.
- [20] Rasmusson E M, Wang X L, Ropelewski C F. The biennial component of ENSO variability[J]. J. Mar. Syst., 1990, **1**: 71-96.
- [21] Yasunari T. Impact of Indian monsoon on the coupled atmosphere-ocean system in the tropical Pacific[J]. Meteor Atmos Phys, 1990, **44**: 29-41.
- [22] Li T, Tham C W, Chang C P. A coupled air-sea-monsoon oscillator for the tropospheric biennial oscillation[J]. J. Climate, 2001, **14**: 752-764.
- [23] Meehl G A, Arblaster J M, Loschnigg J. Coupled ocean-atmosphere dynamical processes in the tropical Indian and Pacific Ocean regions and the TBO[J]. J. Climate, 2003, **16**: 2138-2158.
- [24] 贾文雄, 何元庆, 李宗省, 等. 近 50 年来河西走廊平原区气候变化的区域特征及突变分析[J]. 地理科学, 2008, **28**(4): 525~531.
- [25] 沈柏竹, 廉毅, 杨涵涓, 等. 中国东北夏季温度年代际变化特征[J]. 地理科学, 2012, **32**(6): 739~745.
- [26] 黄荣辉, 蔡榕硕, 陈际龙, 等. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系[J]. 大气科学, 2006, **30**: 730~743.
- [27] Zhao P, Zhu Y N, Zhang R H. An Asian-Pacific teleconnection in summer tropospheric temperature and associated Asian climate variability[J]. Clim. Dyn., 2007, **29**: 293-303.

- [28] Li Q, Wei F Y, Li D L. Interdecadal variation of East Asian summer monsoon and drought/flood distribution over eastern China in the last 159 years[J]. *J. Geogr. Sci.*, 2011, **21**(4): 579-593.
- [29] 左金清, 李维京, 任宏利, 等. 春季北大西洋涛动与东亚夏季风年际关系的转变及其可能成因分析[J]. *地球物理学报*, 2012, **55**(2): 384-395.
- [30] Hu Z Z, Huang B H, Kinter III J L, et al. Connection of the Stratospheric QBO with global atmospheric general circulation and tropical SST. Part II: interdecadal variations[J]. *Clim. Dyn.*, 2012, **38**: 25-43.
- [31] 曲金华, 江志红, 谭桂容, 等. 冬季北大西洋海温年际、年代际变化与中国气温的关系[J]. *地理科学*, 2006, **26**(5): 557-563.

## Tropospheric Biennial Oscillation of the Precipitation over Jiangnan Area of China in MAM and Its Relationship with the Tropical SST Anomaly

ZHAN Feng-xing<sup>1,2</sup>, LIU Yun-yun<sup>3</sup>, HE Jin-hai<sup>1,4</sup>

(1. *School of Atmosphere Science, Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China*; 2. *Jiangxi Meteorological Administration, Nanchang, Jiangxi 330046, China*; 3. *National Climate Center, Beijing 100081, China*; 4. *Jilin Meteorological Science Institute, Laboratory of Research for Middle-High Latitude Circulation and East Asian Monsoon, Changchun, Jilin 130062, China*)

**Abstract:** Based on the 160 stations precipitation data in China and NOAA extended reconstructed SST v3b data, this article focuses on the interannual component of the tropospheric biennial oscillation (TBO), which is extracted from the original time series of monthly precipitation over southeast China in MAM from 1951 to 2012, and its relationships with the tropical sea surface temperature (SST) anomaly. It is found that: 1) As the major interannual period of the precipitation over southeast China in MAM, the variance contribution of TBO accounts for 52.2% of the original time series. 2) The time-lag correlations between the TBO of the precipitation over southeast China in MAM and SST anomaly in Nino3.4 area and Indian Ocean are more significant than its original time series, with longer correlation duration. It is indicated that the tropical SST anomaly has much significantly influence on the TBO component. 3) The time-lag correlation between them also presents the interdecadal transition. Before the middle of the 1980s, the positive time-lag correlations between the Nino3.4 index and the TBO component with lagging 1 to 11 months were obvious, while the relationships were reducing and the TBO and ENSO were practically unrelated to each other until 21<sup>st</sup> century, and the positive time-lag correlations between them were rebuilt again. 4) In the TBO cycle of the precipitation over southeast China in MAM, the evolution of tropical central and eastern Pacific SST anomaly with leading 3 months is synchronous with the TBO before the middle of the 1980s, which made the stably positive correlations between them. During 1986-1999, however, whether the tropical central and eastern Pacific SST or Indian Ocean SST, their evolutions were not presenting the characteristics similar to the TBO cycle before 1985, resulting in the correlation between them weakening. In other words, the interdecadal transition of the relationship between the TBO of precipitation over southeast China in MAM and the tropical SST anomaly is closely related to whether the SST evolution in Nino 3.4 area has the significant TBO period in the interannual time series.

**Key words:** precipitation over Southeast China in MAM; tropospheric biennial oscillation (TBO); sea surface temperature (SST) anomaly; interdecadal variability