

文章编号: 2096-1618(2020)04-0439-08

# 2016年夏季中国降水的低频振荡特征及其与热带海洋大气低频振荡的联系

王祉苏, 巩远发

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**针对2016年夏季长江中下游流域和东北地区降水异常偏多的现象,利用美国国家海洋大气局的逐日向外长波辐射(OLR)观测资料和中国气象局国家气象中心的逐日降水资料,采用小波分析和SVD方法,分析这两个地区降水的低频变化特征和热带海洋低频振荡与中国低频降水的关系。结果表明:(1)2016年夏季,长江中下游流域和东北区域降水都有明显的30~60 d的季节内振荡,两个地区的低频降水在夏季呈反位相变化,当长江中下游流域低频降水增多(减少)时,东北区域低频降水减少(增多)。(2)热带海洋低频OLR场与中国低频降水场SVD分析第一模态显示:受热带海洋低频对流活动的影响,当赤道以北的热带海洋和印度尼西亚地区对流活动减弱(增强)时,中国东北地区低频降水增多(减少),长江中下游流域低频降水减少(增多)。

**关键词:**气象学;气象与气候;低频振荡;夏季降水;热带海洋;对流活动;长江中下游

**中图分类号:** P461

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2020.04.013

## 0 引言

很多研究表明,中国降水具有明显的低频振荡特征,并且不同地区、不同时间降水的低频振荡特征有明显不同。朱乾根等<sup>[1]</sup>研究了1998年夏季中国南部低频降水分布和传播特征,发现1998年低频降水5个大值区和三类低频降水的特征;曹鑫等<sup>[2]</sup>发现在夏季中国东南地区的持续性低频降水多发生在6月中上旬和7月初,表现为明显的准双周振荡;冯海山等<sup>[3]</sup>研究表明夏半年在中国东南部存在低频降水的大值区,其中10~50 d的低频降水贡献较大。有学者用华南多年降水资料分析了华南前汛期低频降水的特征,分析指出其同时兼有季节内振荡和准双周振荡的特征<sup>[4-5]</sup>。针对个别年份,信飞等<sup>[6]</sup>发现1997年华南前汛期以准双周振荡为主,后汛期无明显的低频振荡特征。苗芮等<sup>[7]</sup>研究2010年华南汛期降水,发现前汛期和后汛期低频降水低频特征有所不同,前汛期表现为10~20 d准双周振荡,后汛期以20~50 d的季节内振荡为主。有关长江流域,王遵娅等<sup>[8]</sup>分析了1951-2004年中国典型旱涝年夏季长江中下游的降水,发现低频降水的主要周期在旱年和涝年有所不同,在涝年低频降水主要表现为季节内振荡,而旱年低频降水有明显的10~30 d准双周振荡的特征。毛玉江等<sup>[9]</sup>分析指出1991年江淮梅雨主要周期为15~35 d。李进等<sup>[10]</sup>对1998年长江中下游强降水分析发现5月以前低频降水的主周期为12~24 d,

而在6-8月低频降水的主周期为30~60 d。

Madden等<sup>[11-12]</sup>利用坎顿岛纬向风资料,在热带太平洋地区最早发现了大气的低频振荡现象,不仅在热带太平洋地区,之后全球热带地区都被证实存在这样的振荡。热带大气低频振荡(MJO)对全球其他地区的大气环流与气候有重要影响,它的活动影响了亚洲季风的建立,对亚洲季风的异常同样起重要作用,同时也与中国降水联系紧密<sup>[13-14]</sup>。随后的研究发现通过遥相关的作用,热带大气低频振荡能引起中国东部地区的持续性降水改变。袁为等<sup>[15]</sup>研究发现MJO能够激发PNA型,影响经向风场从而引起中国东南地区冬季降水的异常。白旭旭等<sup>[16]</sup>研究发现随着MJO的传播,MJO所处的位置不同,对流活动能通过影响大尺度环流场从而影响中国东部地区春季降水发生变化。Zhang等<sup>[17]</sup>利用RMM-MJO指数及合成分析方法研究发现当MJO在从印度洋向西太平洋传播的过程中,中国东南部异常偏多的夏季降水受此影响逐渐转为偏少,同时副高位置和东南水汽输送情况也随之改变。Chen等<sup>[18]</sup>研究指出,最早在西北太平洋西部生成的低频气旋环流系统西传,在长江中下游与起源于南海自北向南传播的低频环流汇合,可以引起持续性梅雨出现并形成长江洪涝发生。沈雨旻<sup>[19]</sup>发现北半球夏季热带大气季节内振荡的信号在中国长江及华南区域最高,同时中国南方低频降水异常分布随大气季节内振荡的活动区域的改变而发生改变。魏恒<sup>[20]</sup>利用台站资料和再分析资料发现,夏半年长江中下游地区降水受热带印度洋大气低频活动的影响,结合低频振荡

收稿日期:2020-02-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41775079);国家自然科学基金重大研究计划资助项目(91537214)

的传播特征和大尺度环流场,解释了热带印度洋大气低频振荡较强(弱)时,长江中下游降水增多(减少)的原因。孙丹等<sup>[21]</sup>也解释了季节内振荡活动强度表现为明显的波动变化特征,当振荡强度处于波峰时,降水处于集中阶段,当活动处于波谷时,对应着降水的间歇阶段,证明了季节内振荡活动可以调节和控制中国东部大尺度降水。章丽娜等<sup>[22]</sup>研究发现中国华南前汛期的降水也受热带大气低频振荡的影响,华南地区的降水距平受MJO的活跃中心位置的影响,当活跃中心从印度洋移入西太平洋时,降水距平由正转负。

20世纪80年代以来,发生过1982/1983年和1997/1998年以及2015/2016年这3次超级厄尔尼诺事件,前2次厄尔尼诺事件发生时,全球多地均出现了显著的天气气候异常,中国在1983年和1998年夏季降水均出现明显的异常增多现象,长江流域出现了明显的洪涝灾害<sup>[18, 23-25]</sup>。2016年夏季处于超强厄尔尼诺的衰减期,受此影响与常年同期相比,2016年夏季全国平均降水量偏多5.6%,是自1961年以来最多的一年,其中长江中下游偏得最多,多达27%,梅雨期的降雨量较常年同期偏多1倍,南方频繁发生暴雨,给国民经济造成带来不利影响,损失严重<sup>[26-29]</sup>。从低频降水变化的角度出发,对2016年夏季中国不同地区降水的低频变化特征进行了分析,并结合其与热带海洋低频振荡的耦合关系,进一步加深对2016年夏季降水异常变化的认识。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

选用2016年美国国家海洋大气局(NOAA)的逐日向长外长波辐射(OLR)资料,该资料是由美国NOAA极轨气象卫星搭载AVHRR传感器得到,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ;降水资料来源于中国气象局国家信息中心,时间范围是为1979年1月1日-2016年12月31日,为了保证数据的可靠性和连续性,选取其中805个台站逐日降水资料用来分析。

### 1.2 方法

小波分析不仅能分析出时间序列的显著周期,同时还可以分辨出在局部时间段频率气候序列的变化特征。利用墨西哥帽小波分析方法分析中国夏季降水的低频变化特征,考虑到小波分析的边界影响,选取2016年1月1日-2016年12月31日的降水资料,首先扣除其大于90d的季节变化趋势(即傅立叶变换的1~4波),再进行小波变换,选取其中5~9月的结果来分析2016年夏季降水的低频振荡变化特征。在

确定低频降水变化的显著周期后,用Lanczos滤波器分别对2016年OLR场和降水场进行带通滤波。然后用奇异值分解(SVD)的方法,对滤波后的热带海洋低频OLR场和中国地区低频降水场进行SVD分解,分析二者之间的相互关联。

## 2 中国降水低频变化特征

### 2.1 2016年夏季中国降水的异常特征

首先分析2016年夏季中国降水的异常特征。图1是相较于1980-2010年夏季气候平均的2016年夏季中国降水距平百分率的分布。从图1可以看到,中国东部降水自南至北主要可以分为5个异常的降水带,其中最明显的降水异常偏多的区域有2个,分别为长江中下游地区和中国东北到华北部分地区。其中东北到华北的内蒙古东部、陕西及河北地区降水普遍较常年同期偏多20%~40%,长江中下游地区较常年同期偏高最多,最大值中心在安徽和江苏地区,偏多达60%~70%。东北西部、山东半岛和华南部分地区的降水则较常年偏少;西部的新疆、甘肃西北部及西藏高原降水异常偏多、青海大部则是降水偏少。

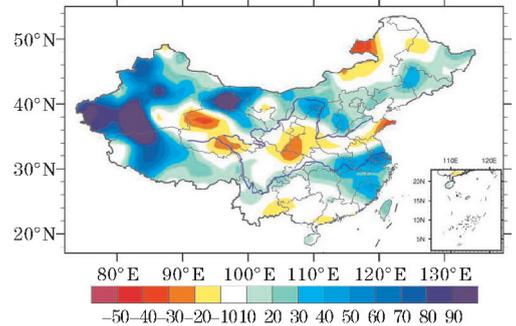
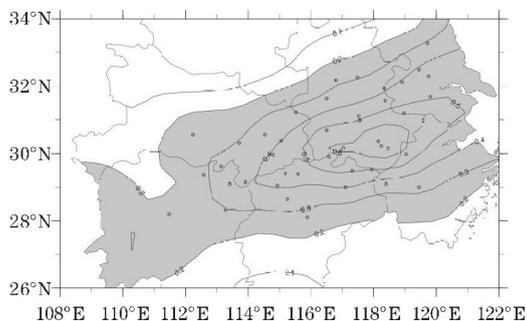


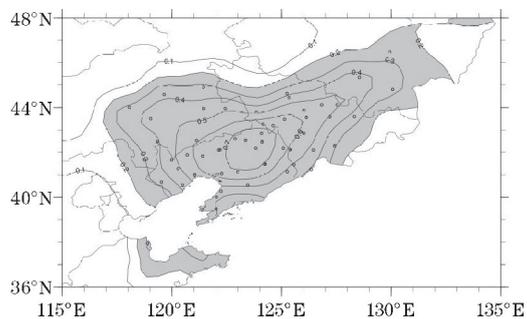
图1 2016年夏季中国降水量距平百分率

### 2.2 长江中下游和东北地区降水的低频变化特征

针对上述中国东部两个降水异常偏多的区域,为了探究其区域降水的低频变化特征,首先计算2016年5-9月中国的累计降水量,以累计降水量最大的安徽黄山站和辽宁沈阳站为基点,分别计算其与中国805个台站降水量的单点相关系数,发现在长江中下游和东北偏南地区分别有一个显著的相关区域,表明这两个区域在2016年夏季的降水是系统性降水。因此,结合地理位置选出如图2所示相关系数大于0.3的长江中下游区域( $110^{\circ} \text{E} \sim 120^{\circ} \text{E}$ ,  $28^{\circ} \text{E} \sim 34^{\circ} \text{N}$ )43个代表站点和东北区域( $110^{\circ} \text{E} \sim 135^{\circ} \text{E}$ ,  $35^{\circ} \text{N} \sim 55^{\circ} \text{N}$ )56个代表站点,分别提取这两个地区有代表性的站点,计算区域平均降水的时间序列,分析夏季降水的低频振荡变化特征。



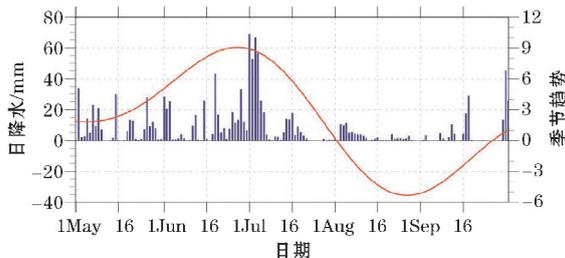
(a) 长江中下游流域



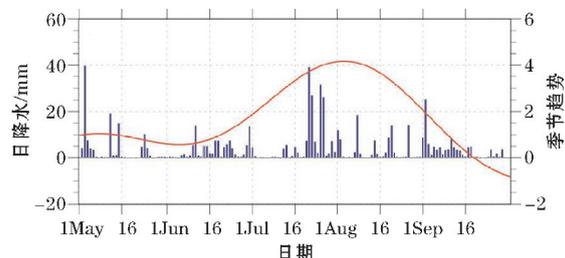
(b) 东北区域

图2 以安徽黄山站和辽宁沈阳站为基点的2016年夏季降水量单点相关系数分布(阴影区表示通过0.05信度的显著性检验,○为选取的代表站点)

图3是根据选取的2016年夏季长江中下游流域和东北区域代表性站点平均降水的日平均变化和季节变化趋势。从图3(a)可以看出整个夏季长江中下游流域降水变化趋势为先增加后减少,在5-7月降水比较集中,7月初降水在此期间达到最多,7月1日的平均降水量高达68 mm。7月中旬后降水少,在9月中旬和下旬分别有两次较强的降水过程。从图3(b)可以看出整个夏季东北区域主要有4次持续降水的过程,分别为5月上旬,6月中旬至7月初,7月下旬至8月



(a) 长江中下游流域

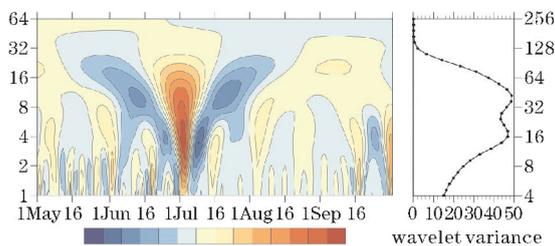


(b) 东北区域

图3 2016年5月1日-9月30日长江中下游流域和东北区域代表站点平均的日降水量和季节趋势

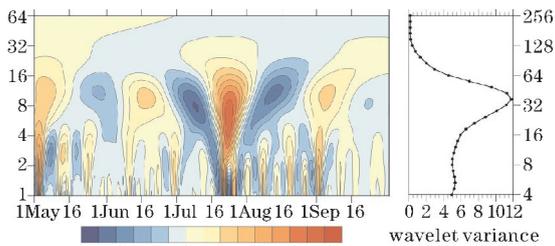
中旬和9月上旬,其中7月下旬至8月中旬的降水持续时间最长且降水量最大,在7月21日平均降水量达39 mm。东北区域整个夏季降水有明显的强弱交替,表现为季节内振荡变化。从图3的季节趋势可以看出在整个夏季,东北区域降水峰值相较长江中下游流域在时间上约有一个月的滞后,这也符合中国夏季降水带的自南向北移动的特征。

为进一步分析长江中下游流域和东北区域降水的低频变化特征,用小波分析的方法分别分析其频域和时域的变化情况。如图4(a)所示,在小波变换尺度因子8~16 d的时间尺度上,夏季长江中下游流域降水在2016年6月底至7月初和7月中旬至8月上旬,出现了2次完整的降水强弱过程转换,最强降水出现在7月初;在小波变换尺度因子2~4 d的时间尺度上主要有1次强降水过程和6次弱降水过程,最强降水出现在7月初。由小波方差图(图4b)可知,长江中下游流域降水表现为42 d左右季节内振荡,同时有18 d左右准双周振荡的特征。从图4(c)可以看出,夏季东北区域降水类似于长江中下游流域的降水,同样也是先增强后减弱的过程,在小波变换尺度因子8~16 d的时间尺度上有4次完整的降水强弱过程转换,在7月下旬出现一次最强降水过程。由小波方差图(图4d)可知,与长江中下游流域不同,夏季东北降水仅有一个36 d左右季节内振荡变化。



(a) 长江中下游流域小波变换

(b) 长江中下游小波方差



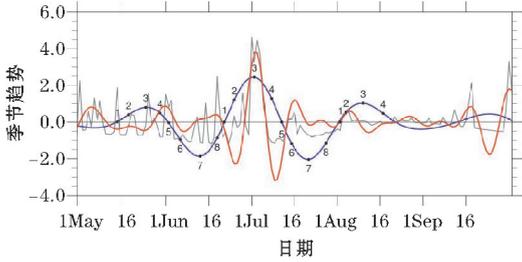
(c) 东北区域小波变换

(d) 东北区域小波方差

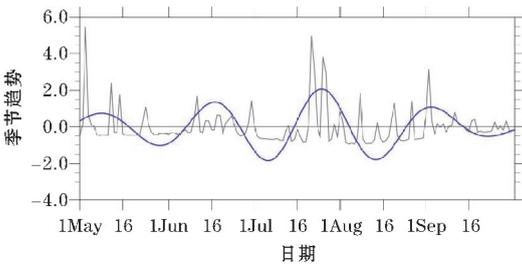
图4 2016年5月1日-9月30日降水与其季节变化趋势之差的小波变换和其不同频域的方差

基于小波分析的结果,对长江中下游流域区域平均的日降水进行10~30 d和30~60 d的带通滤波(图5a),对东北区域区域平均的日降水进行30~60 d的带通滤波(图5b)。从图5(a)可以看出长江中下游流域两个带通滤波后的时间序列均在6月下旬至7月上旬振荡最为明显。从图5(b)可以看出东北区域降水

低频振荡振幅变化相对较小,在7月下旬振荡最为明显。两个地区的波动的过程与其小波分析的结果基本一致,振荡的演变和降水对应关系良好,两个地区最强降水阶段都处于振荡的最强时期。对比长江中下游流域和东北区域带通滤波结果,可以看出在2016年夏季两个地区30~60 d降水低频率序列在同一时间基本为相反位相,说明在长江中下游流域低频降水增多(减少)时,东北区域则是低频降水减少(增多)的变化。



(a) 长江中下游流域



(b) 东北区域

图5 2016年5月1日-9月30日长江中下游流域和东北区域剔除季节变化趋势的时间序列(黑线)和30~60 d(蓝线)及10~30 d(红线)带通滤波降水

### 2.3 2016年夏季不同位相低频降水的演变

结合小波分析和带通滤波的结果,长江中下游流域和东北区域低频降水的主要周期为30~60 d且位相相反。参照毛玉江等<sup>[9]</sup>,以长江中下游流域30~60 d带通滤波后的低频降水时间序列为基准,选取图5(a)中5月中旬到8月中旬的2.5个周期,将每个周期划分为8个相位,在第1~8位相合成分析中国805个台站降水的30~60 d低频分量,如图6所示。其中第1(5)为由低频降水少或负(多或正)位相向低频降水多或正(少或负)位相的转换位相,第3(7)位相对应于低频降水最多(最少)位相,其余位相为过渡位相。

从图6可以看出,第1位相(图6a)黄河流域和华南大部分地区为低频降水负位相,低频降水少,河套东部最少;东北大部分地区处于低频降水多的位相,其中辽宁和吉林交界处低频降水较多;长江中下游流域主要为较弱低频降水正位相。

第2位相(图6b)河套以东和华南的江西、福建和广东仍然是低频降水少的地区;东北区域由低频降水较多位相向降水少位相变化,仅在黑龙江北部和吉林北部小范围地区为低频降水多的地区;这个位相长江中下游流域低频降水迅速增加,范围扩大,从湖南北部到长江口形成一个低频降水多带状区域,最大中心在安徽南部。

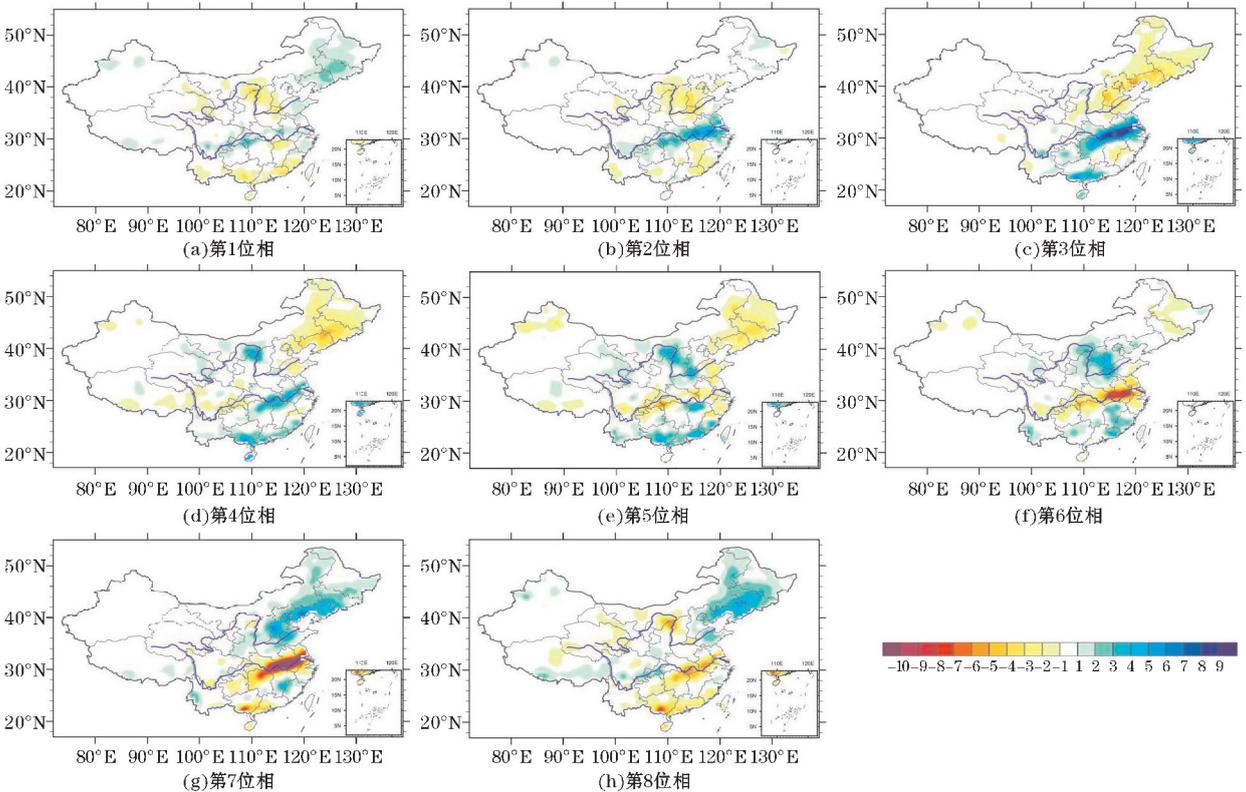


图6 2016年夏季中国区域30~60 d低频降水合成图

第3位相(图6c)河套及两广沿海地区开始由低频降水少向低频降水多转换;东北大部分地区均为低频降水少的位相,低频降水少的范围达到最大,低频降水的小中心位于辽宁西南部;长江中下游流域低频降水带的降雨量继续增加,低频降水量达到最多,最大中心在湖北安徽之间;江南地区为低频降水少的区域。

第4位相(图6d)河套部分地区低频降水增加,在内蒙古与山西和陕西交界处最大;东北地区维持大范围的低频降水少区域,小中心略向东北方向移动到辽宁与吉林交界处;长江中下游流域低频降水带的降雨量开始减少。

与第1~4位相相比,第5~8位相中国的低频降水变化情况与其基本相反,仅范围和强度变化略有不同。关注的两个重点区域中,东北地区在第5位相(图6f)的低频降水少开始向低频降水多的位相转换,到第7位相(图6g)和第8位相(图6h),从东北到华北大部分地区都是低频降水多的区域;在第5位相,长江中下游流域表现出与东北地区相反变化,长江中下游流域低频降水迅速减小,到第6位相(图6f),从湖南东北部到安徽成一个低频降水少的带状区域,第7位相(图6g)长江中下游流域低频降水少的带状区域到最大,最少低频降水中心也在湖北安徽一带。

综合第1~8位相长江中下游流域和东北区域的低频降水变化情况来看,长江中下游流域在第2位相开始出现低频降水多的区域,在第3位相低频降水最大,随后低频降水多区域减小,在第6位相转为明显的低频降水少区域,第7位相低频降水最小;东北区域的变化基本相反,但与长江中下游流域有一些位相差异,在第3和第4位相都维持大范围的低频降水少区域,第7和第8位相是大范围低频降水多区域。因此,这一部分的位相合成的低频降水变化过程与图5带通滤波的结果有很好的一致性,能更清楚地表明二者的差异。

### 3 热带 OLR 低频振荡对中国降水的影响

热带海洋大气有明显的低频变化特征<sup>[11-12]</sup>,为了进一步探究2016年夏季中国区域降水低频变化与热带海洋大气低频振荡之间是否存在关联,采用SVD分解方法分析在此期间热带印度洋和太平洋(40°E~150°W,30°S~30°N)30~60d的低频OLR场与中国区域805个台站的30~60d低频降水场的耦合关系。以热带海洋低频OLR场为左场,中国区域低频降水场为右场,计算得到前两个模态方差贡献分别为42.53%和32.47%,均通过了95%的显著性水平检验,时间系数的相关系数分别为0.99和0.98。由于前两个模态方差贡献足够大,能很好地反映热带海洋大气低频振荡与中国低频降水的关系,所以仅对前两个模态进行分析。

从图7(a)中可以看出第一模态的赤道以北的热带海洋除东海以东,孟加拉湾和阿拉伯海的大部分区域为影响中国低频降水的正相关区域,赤道以南澳大利亚以北的印度尼西亚为主要的正相关区域,其余地区与中国低频降水呈负相关。从图7(b)可以看出,黄河流域以及东北大部分地区(除黑龙江北部部分地区)为正相关区域,长江中下游流域及其以南地区(除江西和云南西南部)为负相关区域。这说明当赤道以北的热带海洋和印度尼西亚地区OLR低频振荡为正(负)位相,即对流活动弱(强)时,黄河流域及东北地区低频降水增多(减少),长江中下游流域低频降水减少(增多)。从时间系数的相关系数(图7c)可以看出左场与右场时间变化对应很好,可以看出从5月初开始热带海洋低频OLR相对于中国低频降水有超前变化,从6月中旬到8月初超前变化减小,8月后二者变化基本一致。

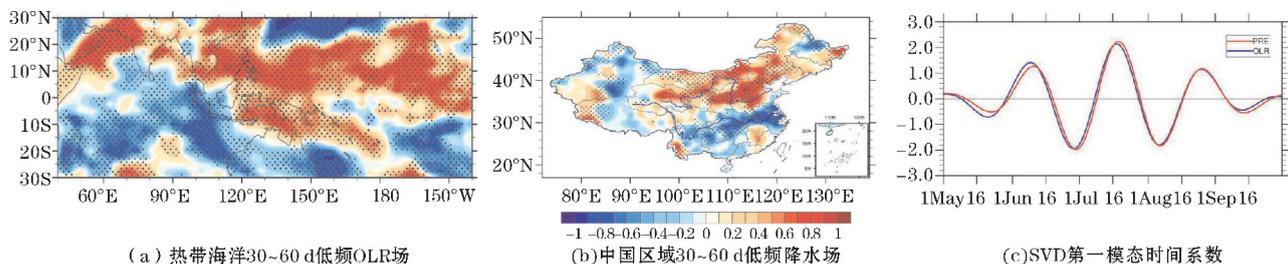


图7 2016年夏季热带海洋低频OLR场与中国区域低频降水场SVD的第一模态异类相关图及时间系数

(打点区域表示达到95%的置信水平,蓝线为左场,红线为右场)

从图8(a)可以看出第二模态的热带海洋呈现出由北至南正负关键区交替的特征,最强的正相关区域位于南海至菲律宾及其以东地区,最强的负相关区域

位于北印度洋至印度尼西亚地区及其以东地区,赤道以南的热带海洋主要是弱的正相关区域。从图8(b)可以看出中国主要分为东西两个关键区域,东北区域及

内蒙古西部部分地区为正相关区域,西部的青海、新疆东南部、西藏东北部、甘肃和内蒙古西部为负相关区域。除此之外新疆北部和西藏南部为正相关区域,广西地区为弱的负相关区域。这说明当南海至菲律宾以东地区 OLR 低频振荡为正(负)位相,即对流活动弱(强)时,东北地区低频降水增多(减少),西部的青海、

甘肃和内蒙古西部等地低频降水减少(增多)。从时间系数的相关系数(图 8c)可以看出左场与右场的时间变化序列同样有很好的对应,可以看出从 5 月初开始至 8 月上旬热带海洋低频 OLR 相对于中国低频降水有滞后的变化,从 8 月上旬到 9 月上旬二者变化基本一致。

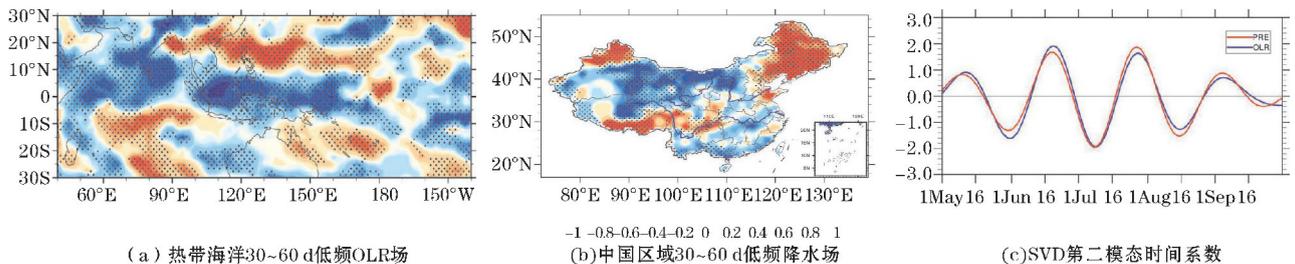


图 8 2016 年夏季热带海洋低频 OLR 场与中国区域低频降水场 SVD 的第二模态异类相关图及时间系数

(打点区域表示达到 95% 的置信水平,蓝线为左场,红线为右场)

## 4 结论和讨论

综合分析结果,主要结论有:

(1) 2015/2016 年超强 ENSO 后的 2016 年夏季,长江中下游流域和东北地区都出现了降水异常偏多的现象,并且其区域平均日降水都有显著的低频振荡变化特征,但其变化明显不同。长江中下游流域平均日降水既有明显的 30~60 d 的季节内振荡,又存在准双周振荡,而东北区域以 30~60 d 的季节内振荡为主;并且两个地区的 30~60 d 低频降水在夏季呈反位相变化,即当长江中下游流域低频降水是增多(减少)过程时,东北区域低频降水则是相反的减少(增多)过程。综合低频降水 8 个位相合成夏季中国的低频降水变化过程,还可以更清楚地表明,东北区域低频降水的减少(增多)过程是滞后于长江中下游流域低频降水增多(减少)过程的。

(2) 2016 年夏季,热带海洋低频对流活动的变化与中国夏季低频降水密切相关。热带海洋低频 OLR 场与中国区域低频降水场 SVD 分析第一模态表明,当印度洋及印度尼西亚以西地区为对流活动增强区,从印度以南至印度尼西亚和西北太平洋地区为对流活动减弱区时,长江中下游地区低频降水增多,东北地区低频降水减少,反之亦然;热带海洋低频 OLR 相对于中国低频降水变化略有超前。第二模态显示,当南海及其以东地区为对流活动增强区,北印度洋至印度尼西亚及其以东地区为对流活动减弱区时,中国东北地区低频降水减少,西部青海及其以北的周围地区低频降水增加,反之亦然。热带海洋低频 OLR 相对于中国低

频降水变化略有滞后。

仅研究了 2016 年中国夏季降水的低频变化特征及其与热带海洋大气低频振荡的联系的一个个例,就低频降水变化而言,与同是 1997/1998 年超强 ENSO 后 1998 年夏季降水的低频变化<sup>[18]</sup>不同,2016 年夏季不仅长江中下游流域降水有 30~60 d 的季节内振荡变化,还有东北地区与之几乎相反的降水季节内振荡变化,其中的原因值得进一步研究。另外,在以往的研究中,许多学者指出中国东南部低频降水主要表现为准双周振荡<sup>[31-33]</sup>,2016 年长江中下游流域低频降水包含了准双周和 30~60 d 季节内振荡两个频带的变化,仅对 30~60 d 低频降水进行探讨,长江中下游流域准双周低频降水的成因值得进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 朱乾根,徐国强. 1998 年夏季中国南部低频降水特征与南海低频夏季风活动[J]. 气象科学, 2000(3): 239-248.
- [2] 曹鑫,任雪娟,杨修群,等. 中国东南部 5-8 月持续性强降水和环流异常的准双周振荡[J]. 气象学报, 2012, 70(4): 766-778.
- [3] 冯海山,翟盘茂. 中国东部区域性持续性强降水的低频特征及其海洋热力背景[J]. 热带气象学报, 2016, 32(3): 385-398.
- [4] 李晓帆,唐振飞,杨婷,等. 华南前汛期低频降水的水汽输送特征[J]. 气象与减灾研究, 2017, 40(2): 83-91.
- [5] 李丽平,杨春艳,孔德璇. 华南前汛期典型涝年

- 低频降水特征及其与低频水汽输送的关系[J]. 热带气象学报,2017,33(3):299-312.
- [6] 信飞,肖子牛,李泽椿. 1997年华南汛期降水异常与大气低频振荡的关系[J]. 气象,2007(12):23-30.
- [7] 苗芮,温敏,张人禾. 2010年华南前汛期持续性降水异常与准双周振荡[J]. 热带气象学报,2017,33(2):155-166.
- [8] 王遵娅,丁一汇. 夏季长江中下游旱涝年季节内振荡气候特征[J]. 应用气象学报,2008,19(6):710-715.
- [9] 毛江玉,吴国雄. 1991年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡[J]. 气象学报,2005(5):762-770.
- [10] 李进,丁婷,孙林海,等. 1998年长江中下游地区暴雨过程大气低频扰动场分析[J]. 气象与环境学报,2016,32(4):23-31.
- [11] Madden R A. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific[J]. Journal of Atmospheric Sciences,1971,28(5):702-708.
- [12] Madden R A, Julian P R. Description of Global-Scale Circulation Cells in the Tropics with a 40-50 Day Period [J]. Journal of Atmospheric Sciences,1972,29(6):1109-1123.
- [13] 穆明权,李崇银. 1998年南海夏季风的爆发与大气季节内振荡的活动[J]. 气候与环境研究,2000(4):375-387.
- [14] 施宁,朱盛明. 春季热带地区 OLR 低频振荡及其与长江中下游连阴雨[J]. 大气科学,1991(2):53-62.
- [15] 袁为,杨海军. Madden-Julian 振荡对中国东南部冬季降水的调制[J]. 北京大学学报(自然科学版),2010,46(2):207-214.
- [16] 白旭旭,李崇银,谭言科,等. MJO 对我国东部春季降水影响的分析[J]. 热带气象学报,2011,27(6):814-822.
- [17] Zhang L, Wang B, Zeng Q. Impact of the Madden-Julian Oscillation on Summer Rainfall in Southeast China[J]. Journal of Climate,2009,22(2):201-216.
- [18] Chen L, Zhu C, Wen W, et al. Analysis of the characteristics of 30 - 60 day low-Frequency oscillation over asia during 1998 SCSMEX[J]. Advances in Atmospheric Sciences,2001,18(4):623-638.
- [19] 沈雨旸. 东亚季风区热带大气季节内振荡北传与我国南方夏季降水的关系[D]. 北京:中国气象科学研究院,2015.
- [20] 魏恒. MJO 对东亚夏季风降水及爆发的影响[D]. 南京:南京信息工程大学,2015.
- [21] 孙丹,琚建华,吕俊梅. 2003年东亚季风季节内振荡对我国东部地区降水的影响[J]. 热带气象学报,2008,24(6):641-648.
- [22] 章丽娜,林鹏飞,熊喆,等. 热带大气季节内振荡对华南前汛期降水的影响[J]. 大气科学,2011,35(3):560-570.
- [23] 徐良炎,陈国珍,李小泉. 1983年我国天气气候特点和北半球主要环流特征[J]. 气象,1984(4):22-25.
- [24] 杨蓉,巩远发,谢启玉,等. 1997-1998年青藏高原大气低频振荡及对降水影响[J]. 应用气象学报,2015,26(4):397-408.
- [25] 张瑛,陈隆勋,何金海,等. 1998年夏季亚洲地区低频大气环流的特征及其与长江中下游降水的关系[J]. 气象学报,2008(4):577-591.
- [26] 袁媛,高辉,柳艳菊. 2016年夏季我国东部降水异常特征及成因简析[J]. 气象,2017,43(1):115-121.
- [27] 邵颢,周兵. 2015/2016年超强厄尔尼诺事件气候监测及诊断分析[J]. 气象,2016,42(5):540-547.
- [28] 翟盘茂,余荣,郭艳君,等. 2015/2016年强厄尔尼诺过程及其对全球和中国气候的主要影响[J]. 气象学报,2016,74(3):309-321.
- [29] 曹艳察,张涛. 2016年6月大气环流和天气分析[J]. 气象,2016,42(9):1154-1160.
- [30] Zhou W, Chan J C L. Intraseasonal oscillations and the South China Sea summer monsoon onset [J]. International Journal of Climatology,2005,25(12):1585-1609.
- [31] 王黎娟,庞玥,于波,等. 江淮流域梅雨期持续性强降水及其 10~30 d 低频环流特征[J]. 热带气象学报,2014,30(5):851-860.
- [32] Yang J, Wang B, Wang B, et al. Biweekly and 21~30 d Variations of the Subtropical Summer Monsoon Rainfall over the Lower Reach of the Yangtze River Basin [J]. Journal of Climate,2010,23(5):1146-1159.
- [33] 占瑞芬,孙国武,赵兵科,等. 中国东部副热带夏季风降水的准双周振荡及其可能维持机制[J]. 高原气象,2008,27(增1):98-108.

# The Low-frequency Oscillation Characteristics of Precipitation in China and its Relation to the Low-frequency Oscillation of Tropical Ocean in Summer 2016

WANG Zhisu, GONG Yuanfa

(College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610025, China)

**Abstract:** In view of the phenomenon of anomalous large precipitation in the middle and lower reaches of Yangtze river and Northeast China in the summer of 2016, based on daily outgoing longwave radiation (OLR) data from National Oceanic and Atmospheric Administration and daily precipitation data from National Meteorological Information Center, the wavelet analysis method and the SVD method were used to analyze the characteristics of low-frequency precipitation in these two regions and the relationship between low-frequency oscillations in tropical oceans and low-frequency precipitation in China. The results show that: (1) In the summer of 2016, precipitation in the Yangtze River Basin and Northeast China exhibits a noticeable 30-60-day intra-seasonal oscillation feature, and low-frequency precipitation in the two regions presents opposite variation tendency of phase. When the low-frequency precipitation in the Yangtze River Basin shows positive (negative) anomalies, the low-frequency precipitation in the Northeast China displays negative (positive) anomalies. (2) The low-frequency OLR in tropical oceans and the first mode of SVD analysis of low-frequency SVD in China show that: when the convective activities in the tropical oceans north of the equator and the convective activities in Indonesia are weakened (intensified), low-frequency precipitation in Northeast China increases (decreases), and low-frequency precipitation in the Yangtze River Basin decreases (increases).

**Keywords:** meteorology; meteorology and climate; low-frequency oscillation; summer precipitation; tropical ocean; convective activity; middle and lower reaches of Yangtze River