

文章编号: 2096-1618(2017)02-0192-08

热带大气季节内振荡对华南后汛期降水的影响

李星星¹, 陈权亮¹, 姚世博^{1,2}

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 中国科学院大气物理研究所 竺可桢-南森国际研究中心, 北京 100029)

摘要:为研究 MJO 对中国华南后汛期(7-9月)降水的影响。采用合成分析方法,使用一套中国区域高分辨率降水格点数据(CN05.1)与实时热带大气季节内振荡(MJO)指数。结果表明,随着 MJO 对流活动中心从热带印度洋进入太平洋,华南后汛期降水呈现明显差异。当 MJO 对流活动传至东印度洋并有部分向北延伸时(第3位相)或进入西太平洋(第7、8位相)时,华南后汛期出现较大的降水正异常;当对流活动中心处于西印度洋(第2位相)或处于南海及西太平洋(第4、5位相)时,出现降水负异常。进一步研究显示,MJO 主要是通过引起大尺度环流、水汽输送异常进而影响华南后汛期降水。

关键词:大气科学;气候变化;热带大气季节内振荡;华南后汛期;实时热带大气季节内振荡指数;降水;水汽积分

中图分类号:P461

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcui.2017.02.013

0 引言

20世纪70年代初,Madden和Julian首先在坎顿岛利用探空资料发现热带大气中存在30~60天的周期性变化^[1],随后发现几乎整个热带大气都存在这种低频振荡^[2]。随着大气季节内振荡在全球范围内被发现,处在热带地区的大气季节内振荡被称为Madden-Julian振荡,即MJO^[3]。许多研究表明,MJO不仅可以直接影响热带地区的天气气候异常,如MJO可以影响全球不同地区洪涝、台风等天气现象和调制季风、ENSO等气候系统^[4];对热带外许多地区的降水亦有着重要作用,诸如影响东亚^[5]、澳大利亚^[6]、北美^[7]、非洲^[8]等区域的降水。

降水的延伸期季节尺度预报是降水预报面临的难题,MJO的时间尺度恰好介于天气预报尺度与气候预测尺度之间,且MJO的发生有一定的前期信号^[9],因此,许多研究也试图利用MJO与降水的关系,提高对降水的预报能力^[5,10]。早期对MJO的研究多采用滤波的方法,但这种方法无法应用到预报当中。因此,Wheeler与Hendon在前人设计的指数^[11]基础上,提出RMM指数^[6]。此后,这一指数被广泛用于MJO与降水关系的研究中^[12-14],并且将根据RMM指数反映的MJO活动情况,用于降水的季节内预测。

华南地区位于中国东南低纬度地区,受东亚季风影响,降水丰富,时间主要集中在4-9月。雨季降雨呈现双峰型特征,4-6月出现第一峰值为前汛期,7-9月出现第二峰值为后汛期^[15]。两个汛期降水占年总降水量的70%以上,这一时期又是华南易发生洪涝灾害天气的时期,前人研究指出华南后汛期在1992年经历了一次极端降水由减少趋势到增加趋势的转变,后汛期极端旱涝事件增多^[16-17],双峰型高值中心特征减弱,华南后汛期期间7月的降水增多^[18]。除此之外,前人对华南后汛期暴雨结构、年际变化特征做了研究^[19-20]。

近年来,中国也有一些利用RMM研究固定时间、特定区域降水与MJO之间关系的工作^[21-23],但是所使用的降水资料都是基于中国台站的观测,受站点数量的影响,这些工作分析的降水分布存在着一定的局限性。除此之外,鲜有MJO对华南后汛期降水影响的相关研究。近期,吴佳和高学杰利用中国区域2416个台站的地面观测资料,制作了一套高分辨率的逐日数据集^[24]。因此,有必要采用这套资料进行MJO对华南后汛期降水的影响及相关机理的研究与分析。

1 资料和方法

1.1 资料

使用实时热带大气季节内振荡指数(RMM)^[6]作

收稿日期:2016-10-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41475037);四川省青年基金资助项目(2014JQ0019)

为 MJO 活动的指标量,它是对逐日热带地区高低层(200 hPa,850 hPa)纬向风与向外长波辐射(outgoing long radiation, OLR)做联合 EOF(empirical orthogonal function)分解,取前两模态的时间系数分别为 RMM1 和 RMM2。RMM1 与 RMM2 所构建的二维向量即为 RMM 指数,以 RMM 指数的模为振幅,表征 MJO 活动的强弱;以方位角区分位相。活动位相与 MJO 对流活动中心位置存在一定对应关系。使用 RMM 指数来自于澳大利亚气象局,有关 RMM 指数的数据、计算方法及应用的详细信息请参见 <http://www.bom.gov.au/climate/mjo/>。

降水资料选用的是基于中国气象局所属的 2416 个观测站数据,使用“距平逼近”插值方法得到的一套分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 日平均降水资料(CN05.1)^[24]。截取 $20^{\circ}\text{N} \sim 28^{\circ}\text{N}$ 、 $110^{\circ}\text{E} \sim 122^{\circ}\text{E}$ 范围为华南地区^[15]。大气环流资料采用 NCEP/NCAR 提供的 OLR、高度场、风场、垂直速度场和比湿场的日平均再分析资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。OLR 资料虽然从 1974 年开始,但在 1978 年有大量缺测,降水资料截止于 2014 年,故研究时段选取为 1979–2014 年,共 36 年。后汛期定义为每年的 7–9 月^[15]。

1.2 方法

利用 RMM 指数的模定义 MJO 事件的强弱,将振

幅大于 0.9 定义为强 MJO 事件,反之定义为弱事件^[11]。由于弱 MJO 事件中,MJO 活动较弱或无 MJO 活动,对华南降水影响较小,因此将只讨论强 MJO 事件对华南后汛期降水的影响。对于其他数据的处理采用合成分析的方法。首先对各变量去除气候平均,然后参照 RMM 指数所显示的位相,将不同变量按位相进行合成,得到各位相不同物理量的分布情况,从而分析 MJO 对华南后汛期降水的影响及其原因。

2 MJO 各位相演变特征

图 1 表示不同 MJO 位相合成的 OLR 异常。当 MJO 活跃于第 1 位相时,热带西印度洋附近出现 OLR 负异常;第 2 位相,对流活动范围在印度洋逐渐扩大;到了第 3 位相,对流活动中心前部向南北两个方向延伸,南支伸向马来西亚,而北支经由印度次大陆伸向华南、华东等地;第 4–6 位相对流活动主体经由海洋大陆进入西太平洋,并在这一地区加强,热带印度洋地区逐渐被 OLR 正距平取代;从第 7 位相开始,对流活动中心减弱,并移出南海,此时对流已北传至 15°N 左右,热带印度洋及海洋大陆已由 OLR 正距平占据;到了第 8 位相,西太平洋 MJO 活动减弱,基本消亡,一个 MJO 周期的传播过程结束。

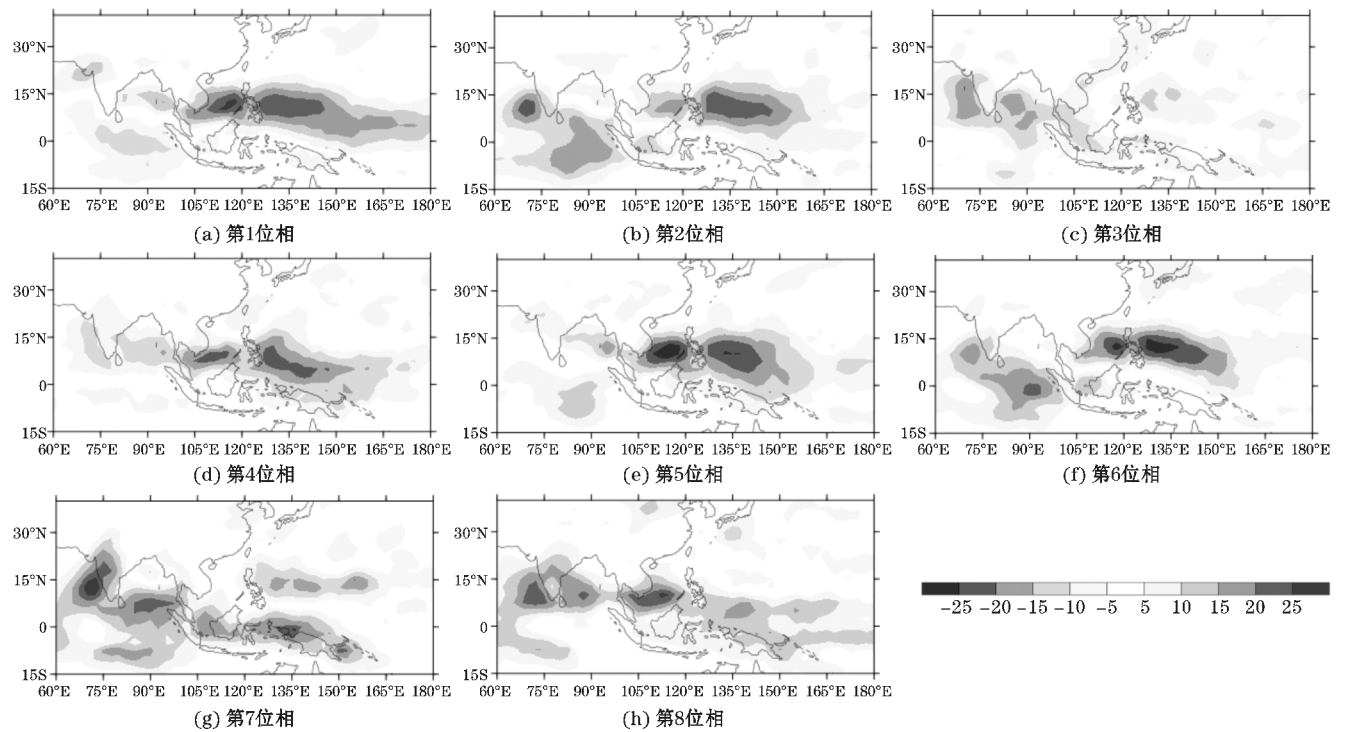


图 1 1979–2014 年 7–9 月 OLR 异常在 MJO 的 8 个位相合成

需要指出的是,在 MJO 发展的各个阶段,对流活动中心不仅表现明显的东传特征,同时表现北半球夏季季节内振荡(boreal summer interseasonal oscillation, BSISO)北传的特征^[25-26]。这种北传的特征在第3位相及5-8位相中表现较为明显。

3 MJO 对华南后汛期降水的影响

如图2所示,华南后汛期降水气候态的空间分布呈现由沿海到内陆递减的分布特征,最大降水区以带状形式分布于广东沿海一带,最大降水中心超过8 mm/d。最小降水中心分布在湖南中部,降水量介于3~3.5 mm/d。福建东南部、广东和广西降水的空间分布梯度很大,而江西与湖南降水的空间分布梯度较小。

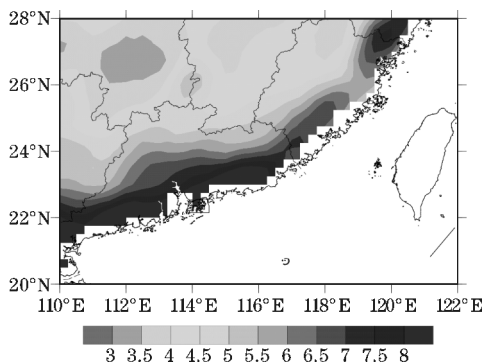


图2 1979-2014年华南地区7-9月日平均降水气候态

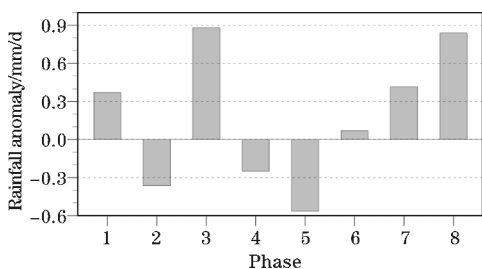


图3 1979-2014年华南地区7-9月日区域平均降水异常在MJO的8个位相的合成

随着MJO活动中心东移,华南地区的降水也出现显著的差异。图3给出了不同MJO位相,华南后汛期区域平均降水异常特征。第1、3、6、7、8位相呈现降水正距平,其中第3位相达到最大降水正距平,为0.89 mm/d,而第5位相有最大负距平,为-0.56 mm/d。除第3位相外,伴随着MJO活动的向东传播,华南降水呈现先减少后增加的变化趋势。

与上述区域平均降水的变化特征相对应,在MJO

不同位相,降水异常场的空间分布也存在明显的差异。如图4所示,MJO第1位相时,华南大部分地区为较弱的降水正距平,仅在少部分地区出现较弱的负距平。第2位相与第1位相几乎相反,全区大部分地区呈现较弱的降水负距平,仅在广东部分地区出现弱的正距平。而到了第3位相,全区大多为降水正距平,且在广东西部、广西西部出现很强的降水正距平。第4位相比较强的降水负距平出现在湖南大部分地区 and 两广交界,较强的正异常中心位于广东东部,其余地区呈现较弱的正距平。第5位相,降水的正负距平区与第4位相相比,向东北移动,除少部分地区为正距平外,其余均为明显的负距平。第6位相降水负异常迅速减弱缩小,中心位于广东沿海地区,正异常南扩增强。第7位相正异常继续东扩、北传,最大值位于湖南与两广交界处,负异常位于华南东北部与南部沿海地区。第8位相,华南大部分地区被降水正异常覆盖,湖南、两广、福建都存在一个降水大值中心。简而言之,MJO中心在东移、北传过程中,第3、8位相降水正异常最明显,第5位相降水负异常最显著。

4 MJO 各位相大尺度背景场的变化

4.1 500 hPa 环流场的变化

异常的天气气候现象总是和异常的大气环流紧密相连。选取500 hPa高度场与其异常场及风场异常对500 hPa环流场进行讨论。图5给出了MJO不同位相合成的500 hPa位势高度及其环流异常。第1位相,东亚大槽加深,槽前有一定的北风异常。南海出现位势高度的正异常和异常的反气旋式环流。第2位相,东亚大槽处于气候平均态位置,槽前的北风异常消失,伴有较弱南风异常;处在南海的高度场正异常中心扩大并向北伸展。第3-4位相,由于东亚大槽区域出现正的高度场异常,东亚大槽填塞、变浅,大槽南部伴有反气旋式南风异常;南海处的正变高中心减弱、消失。第5位相,东亚大槽处正变高中心且反气旋式南风异常依然存在;南海出现负变高中心,有气旋式风场异常与之配合,并减弱东移,之后(第7位相)与北部出现的负变高区域融合。第6-8位相,亚洲北部开始出现负变高中心,这个负变高中心持续加强,导致东亚大槽持续加深,并在槽区出现气旋式北风异常,有利于北方冷空气向南入侵。

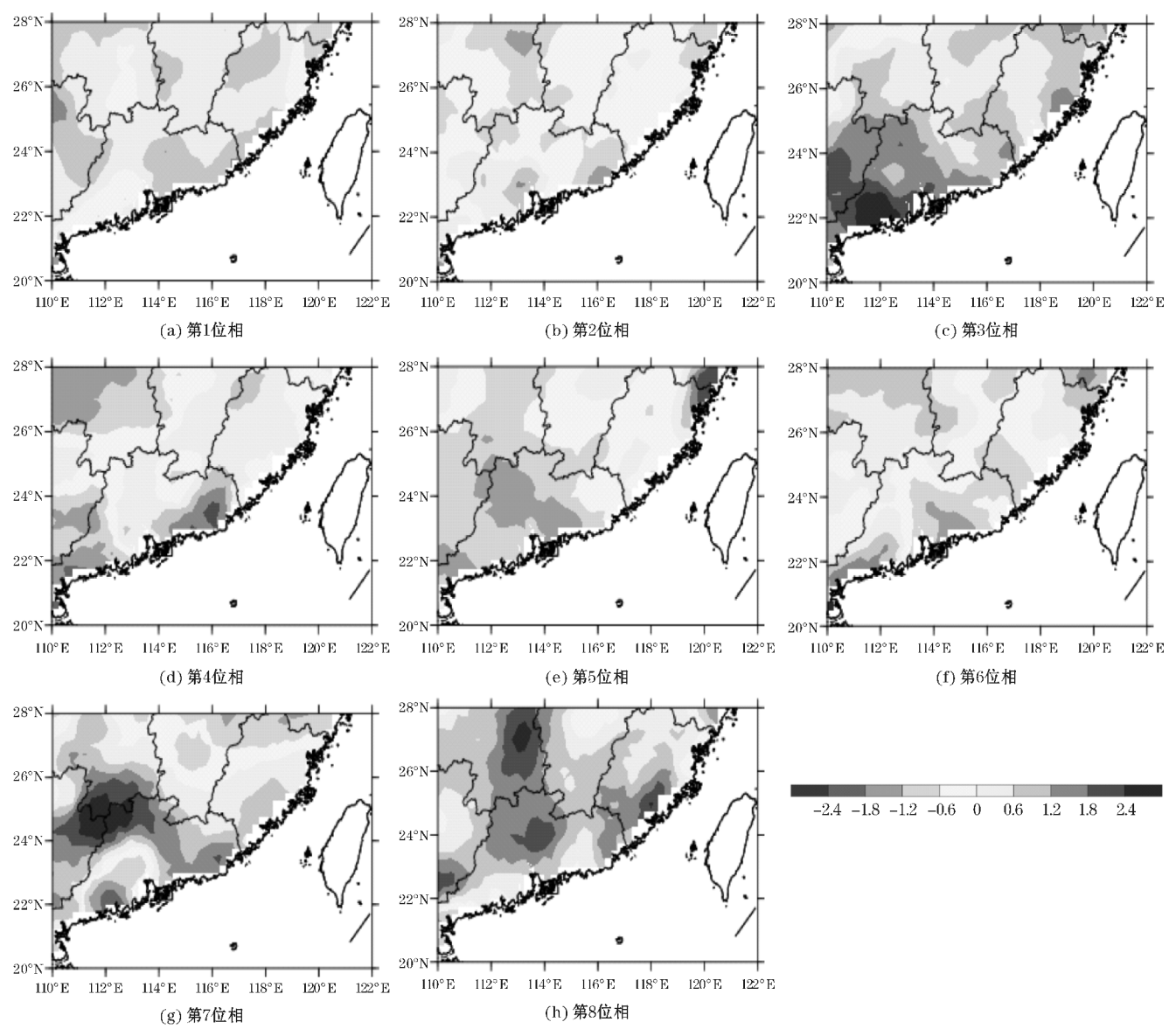


图 4 1979–2014 年华南地区 7–9 月降水异常在 MJO 的 8 各位相的合成

上述结果表明华南后汛期期间,东亚大槽与 MJO 活动关系密切,当对流活跃中心从印度洋东移至西太平洋时,东亚大槽变浅;当对流活跃中心穿越南海并东移减弱消失时,东亚大槽加深。东亚大槽的这种变化特征将引起槽区冷空气活动的变化。

4.2 水汽通量与垂直水汽积分的变化

降水的形成与水汽的输送、垂直水汽积分有着密切的关系,因此这部分主要研究整层水汽通量与垂直水汽积分在 MJO 活动期间的变化情况。如图 6 所示,第 1 位相,500 hPa 高度场正异常与反气旋式水汽输送异常的主体在西太平洋,西伸至中南半岛,较强的水汽输送出现在华南上空,但华南地区处于水汽积分负距

平区。第 2 位相,高度场正变高与反气旋式水汽输送南撤,水汽输送正异常变小,水汽积分负距平面积在华南扩大。第 3 位相,正变高与反气旋式水汽输送减弱,但华南上空为水汽积分正异常。第 4 位相,偏北的水汽输送异常迅速减弱,且在华南东南出现水汽积分负异常。第 5 位相,南海出现负变高,华南地区出现偏东的水汽输送异常,华南东北部仍存在水汽积分负异常。第 6、7 位相,西太平洋上的负变高与气旋式水汽输送北移,东亚大槽开始加深,引导冷空气向南入侵,华南上空水汽积分异常由负变正。第 8 位相,东亚大槽附近负变高达到最强,槽后冷空气持续向南入侵,此时华南处在水汽积分正异常区,十分有利降水的形成。

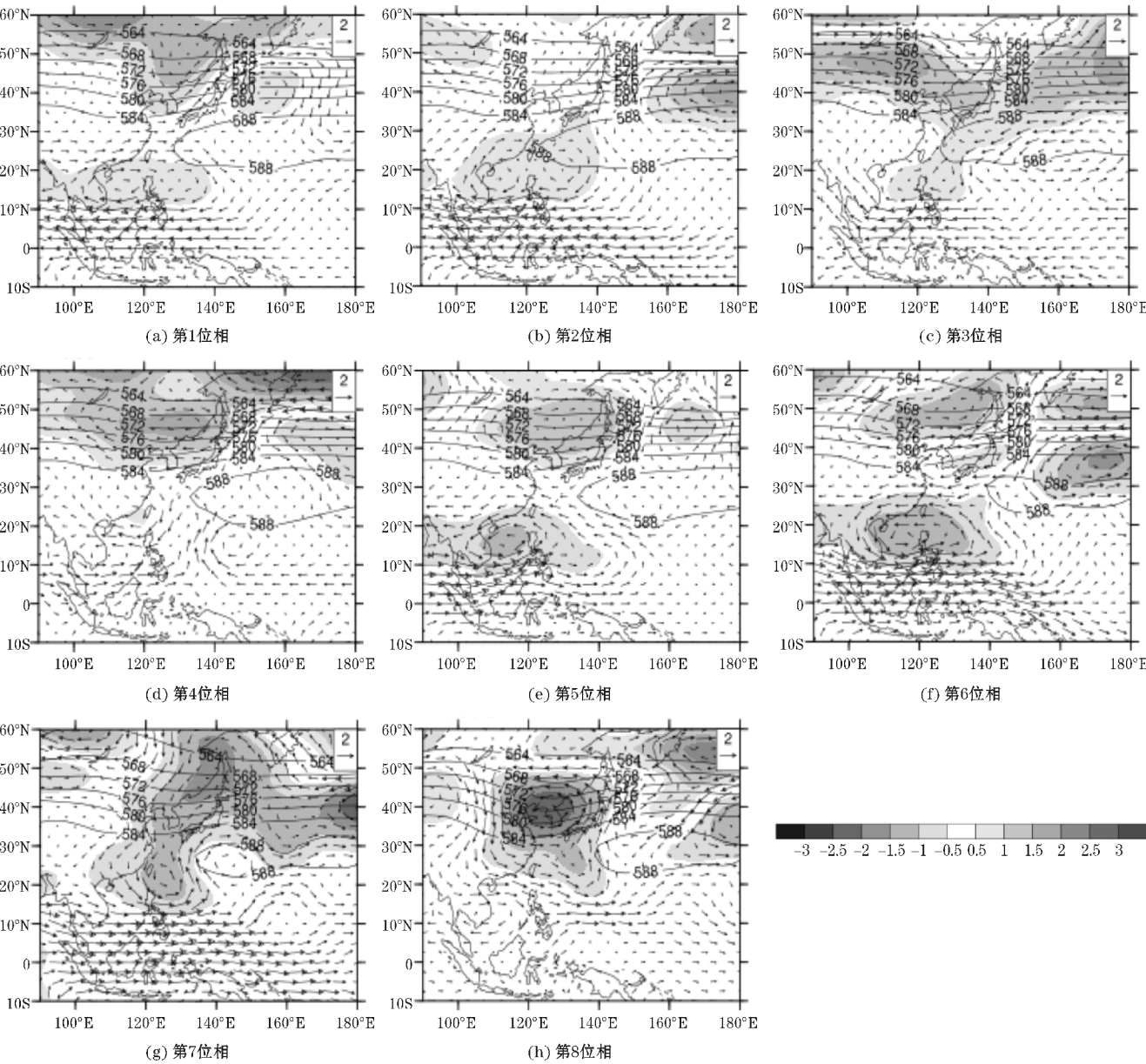


图5 1979-2014年7-9月500 hPa位势高度场、异常场与风场异常在MJO的8个位相合成

4.3 垂直运动的变化

垂直运动是决定降水多寡的重要因素,同时也与降水存在很好的对应关系。第1位相,异常上升中心位于华南地区,但较强的下沉运动异常开始向北移动,且华南地区低层已有下沉异常入侵;第2位相,下沉运动异常中心继续向北移动,低层的下沉异常区扩大;第3位相,华南上空垂直上升异常突然变强;随后第4、5位相,又迅速转变为下沉异常;第6-8位相,华南上空逐渐发展为上升异常,至第8位相,整个垂直上升异常中心都处在华南地区。

上述分析表明在MJO活跃中心移动的过程中,高

度场、风场、水汽与垂直速度均发生了季节内变化。除第3位相以外,华南后汛期降水经历了先减少后增加的变化过程;东亚大槽经历了先填塞后加深的过程;风场异常也从西南风异常转变为北风异常。因此,可以推测华南后汛期降水在除第3位相外的MJO活跃位相中,均是由于MJO活动影响了高度场、风场、水汽及垂直速度场,从而影响了后汛期的降水。而当MJO发展到第3位相时,由于对流即将通过海洋大陆,同时南海地区出现正变高,阻碍了对流活动的东传,使对流活动前部分为两支,一支向南,传至马来西亚,另一只向北,传至华南上空,从而直接给华南带来了充沛的降水。

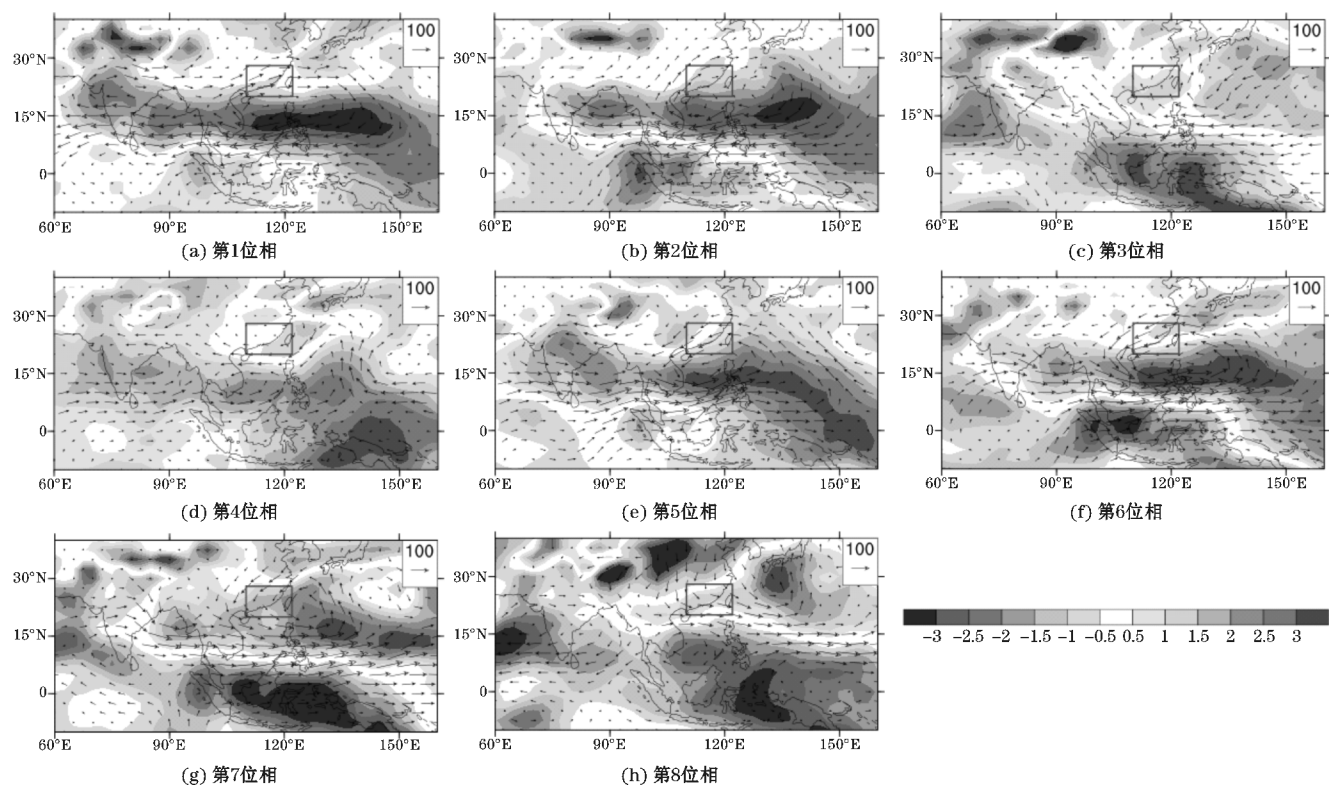


图 6 1979-2014 年 9-10 月水汽通量异常与垂直水汽积分异常在 MJO 的 8 个位相合成

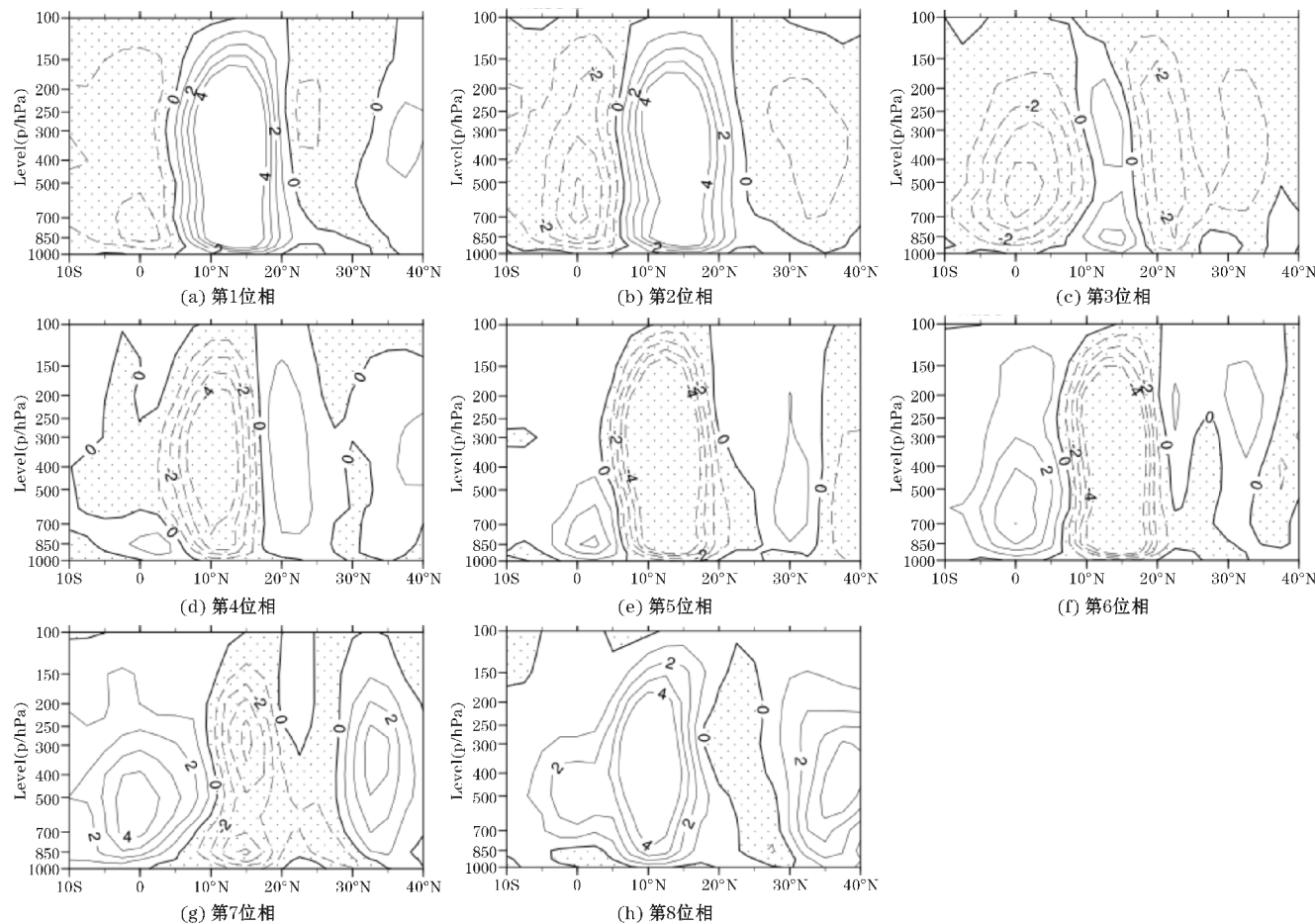


图 7 1979-2014 年 7-9 月 110°E ~ 122°E 垂直速度异常的经向-高度剖面在 MJO 的 8 个位相合成(打点代表上升运动,单位:0.005 Pa/s)

5 结论与讨论

基于一套高分辨中国区域的降水资料,利用 RMM 指数,研究了 MJO 对华南后汛期(7-9月)降水的影响。结果表明 MJO 可通过间接或直接两种方式影响华南后汛期降水。在 MJO 对流活动直接影响下(第3位相),将给华南带来最大降水正异常,区域平均降水异常达到0.89 mm/d。在 MJO 对流活动间接影响下,当 MJO 对流活动经由南海时(第5位相),区域平均降水达到最大负异常,为-0.56 mm/d;当 MJO 活跃消亡时(第8位相),区域平均降水达到次大正异常为0.83 mm/d。

华南后汛期降水的季节内变化与 MJO 活动情况和大尺度环流背景场的季节内变化息息相关。当 MJO 异常活跃中心到东印度洋时(第3位相),部分北伸将引起华南后汛期降水增强。除此之外,MJO 异常活跃中心东移时,相应的东亚大槽、华南地区水汽和垂直运动也发生变化:当活跃中心位于海洋大陆时(第4、5位相),东亚大槽填塞,异常北风减弱,华南水汽积分为负异常,垂直运动为异常下沉,使华南后汛期降水减少;当对流活动中心移至西北太平洋并减弱消失时(第7、8位相),东亚大槽加深,异常北风加强,华南水汽积分为正异常,垂直运动转变为异常上升,有利与华南后汛期降水的增加。

需要说明的是,华南后汛期降水的变化有着多方面的因素。仅从 MJO 通过影响相应的环流背景场来解释对华南后汛期降水的作用,为华南后汛期降水的预报提供一定的依据。并且没有阐述 MJO 引起环流变化的机制,并且其他系统也或多或少对华南后汛期降水产生影响,如 ENSO、IOD、台风等,需要进一步研究。

参考文献:

- [1] Madden R A, Julian P R. Detection of a 40-50 day oscillation in zonal wind in the tropical Pacific [J]. J. Atmos. Sci., 1971, 28: 702-708.
- [2] Madden R A, Julian P R. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period [J]. J. Atmos. Sci., 1972, 29: 1109-1123.
- [3] 李崇银. 大气低频振荡[M]. 北京: 中国气象出版社, 1991.
- [4] Zhang C. Madden-Julian oscillation: Bridging weather and climate[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2013, 94: 1849-1870.
- [5] Zhang L N, Wang B Z, Zeng Q C. Impact of the Madden-Julian oscillation on summer rainfall in Southeast China [J]. J. Climate, 2009, 22: 201-216.
- [6] Wheeler M C, Hendon H H. An all-season real-time multivariate MJO Index: Development of an index for monitoring and prediction [J]. Mon. Wea. Rev., 2004, 132(8): 1917-1932.
- [7] Lorenzo D J, Hartmann D L. The effect of the MJO on the North American monsoon [J]. J. Climate, 2006, 19: 333-343.
- [8] Pohl B, Matthews A J. Observations changes in the lifetime and amplitude of the Madden-Julian oscillation associated with interannual ENSO sea surface temperature anomalies [J]. J. Climate, 2007, 20: 2659-2674.
- [9] Ling J, Zhang C, Bechtold P. Large-scale distinctions between MJO and Non-MJO convective initiation over the Tropical Indian ocean [J]. J. Atmos. Sci., 2013, 70: 2696-2712.
- [10] Waliser D E, Lau K M, Stern W, et al. Potential predictability of the Madden-Julian oscillation [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2003, 84: 33-50.
- [11] Fiona L, Hendon H H. Empirical extended-range prediction of the Madden-Julian oscillation [J]. Mon. Wea. Rev., 2000, 128: 2528-2543.
- [12] Donald A, Meinke H, Power B, et al. Near-global impact of the Madden-Julian oscillation on rainfall [J]. Geophys. Res. Lett., 2006, 33.
- [13] Wheeler M C, Hendon H H, Cleland S, et al. Impacts of the Madden-Julian oscillation on Australian rainfall and circulation [J]. J. Climate, 2009, 22: 1482-1498.
- [14] 喻琴昆, 肖天贵, 金荣花. 热带 MJO 活动对四川地区 2000-2010 年夏季降水的影响[J]. 成都信息工程大学学报, 2016, 31(2): 228-236.
- [15] 王遵娅, 丁一汇. 中国雨季的气候学特征[J]. 大气科学, 2008, 32: 1-13.
- [16] 张婷, 魏凤英. 华南地区汛期极端降水的概率分布特征[J]. 气象学报, 2009, 67: 442-451.
- [17] 李丽平, 许冠宇, 成丽萍, 等. 华南后汛期极端降水特征及变化趋势[J]. 大气科学学报, 2012, 35(5): 570-577.

- [18] 高辉,蒋薇,李维京. 近20年华南降水季节循环由双峰型向单峰型的转变[J]. 科学通报, 2013,58:1438-1443.
- [19] 鲍玉章,刘东霞. 华南后汛期暴雨结构预测[J]. 成都信息工程学院学报, 2005, 20: 205-212.
- [20] 吴尚森,黄成昌,薛惠娴. 华南后汛期降水的年际变化[J]. 热带气象, 1990, 6: 348-356.
- [21] 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: 560-570.
- [22] 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: 207-214.
- [23] 李汀,严欣,琚建华. MJO 活动对云南5月降水的影响[J]. 大气科学, 2012, 36: 1101-1111.
- [24] 吴佳,高学杰. 一套格点化的中国区域逐日观测资料以及与其他资料的对比[J]. 地球物理学报, 2013, 56: 1102-1111.
- [25] Zhao C B, Zhou T J, Song L C, et al. The boreal summer intraseasonal oscillation simulated by four Chinese AGCMs participating in the CMIP5 project [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2014, 31: 1167-1180.
- [26] 林爱兰, Li Tim, 李春晖, 等. 热带海气相互作用对大气 BSISO 年际振荡的影响[J]. 海洋学报, 2011, 33: 62-73.

Impact of the Madden-Julian Oscillation on Post-flood Season Precipitation in South China

LI Xing-xing¹, CHEN Quan-liang¹, YAO Shi-bo^{1,2}

(1. Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Nansen-Zhu International Research Center, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: In this paper, to investigate the impact of the Madden-Julian Oscillation (MJO) on the post-flood season precipitation (July to September) in South China the gridded daily precipitation data with high resolution over China (CN05.1) and the Real-time Multivariate MJO (RMM) index. The composite analyses reveals fundamental differences of the post-flood season precipitation during MJO convection eastward phase, initiation over the tropic Indian Ocean and eastward propagation into the Pacific Ocean. The positive precipitation anomalies were starkest while MJO convection activity is centered over the eastern Indian Ocean with northward propagation in part preferentially (phase3) or reaches the western Pacific Ocean (phase7, phase8). The negative precipitation anomalies associate with the MJO convection mostly manifested over the western Indian Ocean (phase2), the South China Sea (phase4), as well as the Western Pacific (phase5). Further research shows that post-flood season precipitation is affected through variations of large-scale atmospheric circulation together with the moisture transportation, which is induced by MJO convection.

Keywords: atmospheric science; climate change; Madden-Julian Oscillation (MJO); Post-flood of South China; Real-time Multivariate MJO (RMM) index; precipitation; water vapor integral