

文章编号: 2096-1618(2016)02-0228-09

# 热带 MJO 活动对四川地区 2000 ~ 2010 年 夏季降水的影响

喻琴昆<sup>1</sup>, 肖天贵<sup>1</sup>, 金荣花<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 国家气象中心, 北京 100081)

**摘要:**为了探讨热带 MJO 对四川地区夏季降水的影响,利用 NCEP/NCAR 再分析资料、澳大利亚气象局监测的实时 MJO 指数及中国 756 个国家气象站逐日降水资料,分析 2000 ~ 2010 年夏季 MJO (Madden-Julian Oscillation) 与四川降水的对应关系,结果表明,MJO 位于不同位相时对四川降水的影响不同,且强弱 MJO 事件在相同位相对四川降水的影响也不同;当 MJO 位于第 1、4、7、8 位相时,四川地区夏季降水主要分布在西南部及东部局部地区,当 MJO 活动中心位于第 2、3、5 位相时,四川降水主要分布在东北部;当 MJO 位于第 1、2、6 位相时,四川单站降水距平百分率为正,位于其他位相时为负。强弱 MJO 事件对四川降水的影响差异主要在第 6、7 位相;当强 MJO 对流活动中心位于第 2 位相时,四川降水距平百分率分布范围最广,降水距平百分率最高可达 75% 以上,位于第 7 位相时,四川单站降水距平百分率为负。而当弱 MJO 活动中心位于第 6、7 位相时,正降水距平百分率在四川分布最广,单站日平均降水距平百分率分别达 31.22% 和 15.64%。

**关键词:**大气科学;气候变化;MJO;夏季降水;MJO 指数;MJO 位相;四川地区

**中图分类号:**P426.6

**文献标志码:**A

## 0 引言

10 ~ 30 天时间尺度的延伸期预报是目前天气-气候无缝隙预报体系的一个重要发展方向,主要应用于强降水、台风、寒潮及灾害的预估<sup>[1-2]</sup>。大气季节内振荡是衔接天气-气候的直接纽带,现阶段对于延伸期预报方法研究就主要是根据季节内振荡的传播进行<sup>[3-6]</sup>,目前应用较多的延伸期预报方法是孙国武提出的低频天气图法和根据 MJO (Madden-Julian Oscillation) 振荡(30 ~ 60 天周期)传播的延伸期预报法<sup>[7-8]</sup>。对于 MJO 的形成机理,目前已有很多研究<sup>[9-12]</sup>,Wheeler 和 Hendon 提出了一种可用于描述热带 MJO 对流活动的 MJO 指数,并根据 MJO 强对流活动中心从西半球/非洲东部至西半球/非洲西部所处的不同位置定义了 8 个位相<sup>[13]</sup>,中国对 MJO 的实时监测业务也进行了相关研究<sup>[14-15]</sup>。

当热带 MJO 活跃于不同位相时对中国不同地区的降水、台风等影响也不同,所以利用 MJO 进行强降水预报、提高台风延伸期预报的可预报性具有重要作用<sup>[18-19]</sup>。相关研究表明,当春季 MJO 位于中东印度洋时,易造成长江中下游地区降水偏多,位于中南半

岛-印尼群岛一带时,将造成华南地区降水偏多<sup>[16-17]</sup>。热带 MJO 对中国沿海一带的影响机制主要是 MJO 主体在东传过程中所激发的热带对流在孟加拉湾和南海两条通道上的北传,并影响孟加拉湾和南海的水汽输送,加之孟加拉湾和南海海区气旋环流的有利配置,易造成中国南部沿海一带发生降水<sup>[20-21]</sup>。但目前利用 MJO 讨论对中国天气-气候的影响主要集中在长江中下游、江淮流域以及华南地区的研究,而针对热带 MJO 对四川的降水过程的影响及相关性研究还比较少。

自进入 21 世纪 10 年代以来,四川夏季洪涝灾害及降水量比 20 世纪 90 年代多,相继出现多次暴雨、降雪、滑坡泥石流等重大地质、气象灾害,如 2001 年四川盆地发生 8 次降温、2 次区域性大风灾害性天气、3 次寒潮过程,9 月 18 日川西北出现大暴雨;2004 年 9 月 3 日川渝地区出现特大暴雨,2005 年 7 月 7 日发生四川大暴雨事件,2006 年夏季川渝地区穿线严重旱灾;2008 年出现全国性雪灾,主要降雪影响地区比往年偏南,四川地区灾情严重,还有 2009 年 7.30 暴雨事件、2010 年频繁遭受强降雨袭击,洪涝灾害频繁,且地震灾区屡次发生严重的山洪泥石流灾害等。若能对四川地区重大灾害性天气在延伸期预报时限内预报出来,对提高预报水平及气象防灾减灾具有重要意义。主要在热带 MJO 对中国降水影响研究的基础上,讨论 2000 ~ 2010 年热带 MJO 活动对四川夏季降水的影响,为通过热带 MJO 监测、预报以对四川强降水过程进行延伸

收稿日期:2015-07-20

基金项目:国家科技支撑资助项目(2015BAC03B05);国家自然科学基金重点资助项目(91337215);国家重点基础研究发展计划资助项目(2013CB733200);四川省应用基础研究计划资助项目(2013JY0063)

期预报奠定一定的理论基础。

## 1 资料和方法

(1) 欧洲中心 (ECMWF)  $0.75 \times 0.75$  分辨率的逐日再分析资料, 主要包括温度、经向风、纬向风、相对湿度、比湿和气压等气象要素, 时间范围为 2000~2010 年逐年 6 月 1 日~8 月 31 日;

(2) 中国 756 个气象站逐日降水资料, 其中包括四川地区 49 个国家站, 时间为 2000~2010 年逐年 6 月 1 日~8 月 31 日;

(3) NCEP/NCAR 提供的逐日 OLR 再分析资料, 水平分辨率为  $2.5 \times 2.5$ ;

(4) 澳大利亚气象局官方网站提供的实时监测的 MJO 指数序列 (包括 RMM 指数序列 1、2, 记为  $RMM1$ 、 $RMM2$ )、MJO 振幅以及 2000~2010 年逐年 6 月 1 日~8 月 31 日逐日位相。

MJO 指数是最早由 Wheeler 和 Hendon 提出的一种用于描述热带低频振荡 (MJO) 的指数, 其原理是利用  $15^{\circ}\text{S} \sim 15^{\circ}\text{N}$  范围内平均 850 hPa、200 hPa 纬向风场及 OLR 经多变量正交经验函数方法 (MV-EOFs) 构建 MJO 空间模态, 再将 850 hPa、200 hPa 纬向风及 OLR 实时监测数据投影到该空间模态, 将所得到的主成分  $RMM1$  和  $RMM2$  作为 MJO 指数, 并利用  $RMM1$  和  $RMM2$  序列构成如图 1 所示的二维空间, 该二维空间就决定了 MJO 的 8 个位相, 各位相点离圆心的直线距离则为 MJO 的强度 (振幅), 可由  $RMM = \sqrt{RMM1^2 + RMM2^2}$  计算所得。MJO 的 8 个位相分别代表了热带 MJO 对流活动中心在从西向东一个完整的 MJO 周期中所处的不同位置, 1~8 位相分别代表 MJO 活动中心从赤道西印度洋为起源 (第 1 位相), 沿赤道向东传播, 分别位于印度洋 (2、3 位相)、印尼群岛 (4 位相)、西太平洋 (5~6 位相)、太平洋中部、东部 (7 位相) 和西半球 (8 位相)。

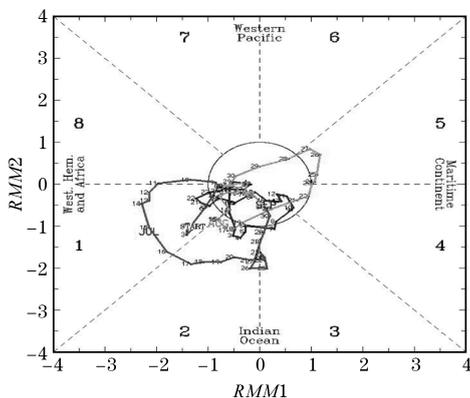


图 1 2010 年 7 月 1 日~9 月 30 日逐日 MJO 位相图

从中国 756 个国家气象站的逐日降水资料中提取出四川 49 个国家站 2000 年~2010 年夏季 6~8 月逐日降水数据, 并对其日平均降水量分布特征进行分析。然后根据澳大利亚气象局提供的热带大气低频振荡 (MJO) 位相与逐日降水数据对应, 分析各个位相对应的四川降水情况, 并利用 MJO 振幅确定强弱 MJO 事件, 探讨强弱 MJO 对流活动位于不同位相对四川盆地降水分布和降水量影响。文中主要利用降水距平百分率来讨论四川地区降水的变化特征, 降水距平百分率计算公式为

$$f = \frac{a - b}{b} \times 100\%$$

其中,  $a$  为实际观测值,  $b$  为降水量的气候平均值, 降水距平百分率反映了某一时段降水与同期平均状态的偏离程度。最后, 利用欧洲中心和 NCEP/NCAR 中心提供的逐日气象要素再分析资料, 讨论夏季矢量风、水汽通量及 OLR 分布情况, 并分析 MJO 对流活动中心位于不同位相时, 根据 OLR 距平分布和 850 hPa 矢量风距平分布情况, 讨论四川地区对流活动情况及风场变化。

## 2 MJO 不同位相及强弱对四川降水分布的影响

受青藏高原夏季强大热源、西南涡以及孟加拉湾西南季风等众多因素的影响, 四川汛期主要集中于 5~9 月<sup>[22-25]</sup>。选取 2000~2010 年四川夏季 (6~8 月) 逐日降水资料计算得到四川省夏季日平均降水量。如图 2 所示, 2000~2010 年四川夏季日平均降水最大值为 11 mm/d, 大值中心位于雅安东部, 四川地区整体降水分布呈西北东南向递增分布, 降水大值区主要集中在中部、南部以及东北部, 西北地区降水较少, 夏季日平均降水量仅 3 mm/d。

### 2.1 MJO 不同位相对四川降水的影响

为了讨论热带 MJO 强对流活动中心对四川降水的影响, 利用四川 2000~2010 年夏季逐日降水资料计算得到夏季日平均降水距平百分率在 MJO 活动 1~8 位相的合成 (图 3), 并讨论 MJO 在各位相的活动分别与四川降水分布的关系。图中数字表示近 11 年夏季 MJO 强对流中心位于不同位相的天数。从图中可以看出, 在 21 世纪 10 年代的夏季, 热带 MJO 活动在第 1、2 位相活动最为频繁, 分别为 202 天和 213 天。当 MJO 活动中心位于第 1、4、7、8 位相时, 四川地区降水主

要分布在西南部及东部局部地区,当 MJO 活动中心位于第 2、3、5 位相时,四川降水主要分布东北部,但第 2 位相正降水距平分布范围较第 3、5 位相更广。而当 MJO 强对流活动中心位于第 6 位相时,四川降水最充沛,且正降水距平百分率分布范围较大,仅有西北部部分地区和南部小局部地区为负降水距平。结合四川 2000 ~ 2010 年 1 ~ 8 位相单站日平均降水距平百分率合成图来看,当 MJO 强对流活动中心位于第 2 位相和第 6 位相时四川降水量最大,大部分地区呈现降水正距平,第 2 位相的正降水距平主要分布于四川中部、北部地区,仅南部和西南部地区降水偏少;第 6 位相的四川降水距平百分率分布大致与第 2 位相的降水距平百分率分布相反,负降水距平位于四川西北部和南部、东部局部地区,平均单站降水距平百分率分别为 8.6 % 和 11.5 %,当 MJO 对流活动位于第 7 和第 8 位相时,

四川降水最少,两位相对应的降水距平分布相似,降水主要集中在四川西部和南部,平均单站降水距平百分率分别为 -10.2 % 和 -21.7 %。总体来看,当 MJO 强对流活动中心位于第 1、2、6 位相时,四川整体降水偏多,当位于第 3、4、5、7 和 8 位相时,四川整体降水偏少。

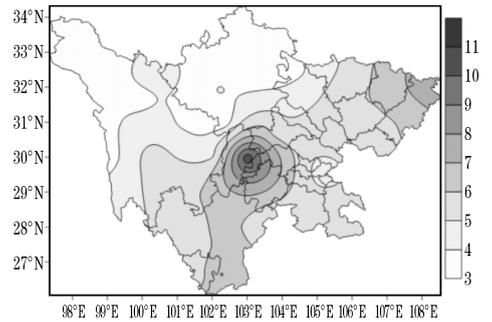


图 2 2000 ~ 2010 年夏季每日平均降水分布

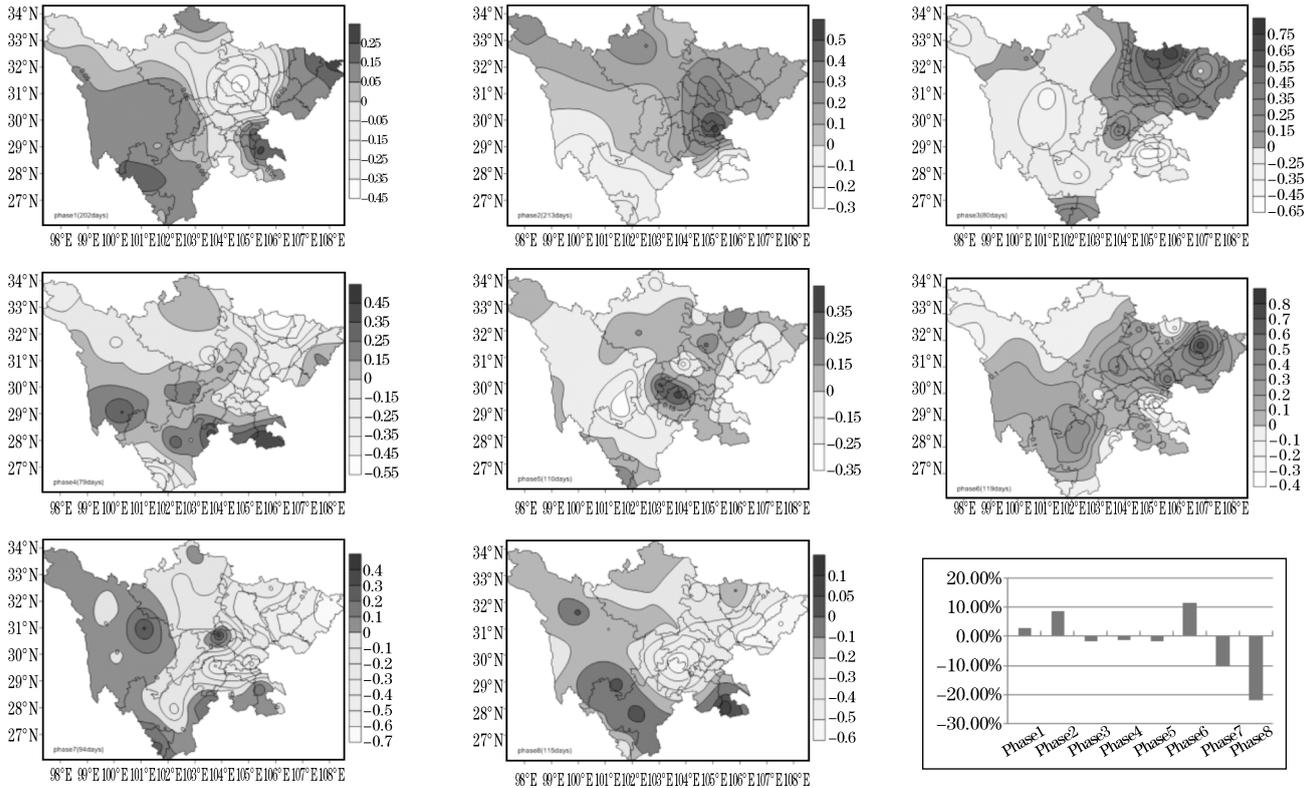


图 3 2000 ~ 2010 年四川夏季日平均降水距平百分率在 MJO 1 ~ 8 位相的合成及 1 ~ 8 位相单站日平均降水距平百分率合成

### 2.2 强弱 MJO 对四川降水的影响

根据 Wheeler 定义的 MJO 指数计算 MJO 的强度振幅公式:  $RMM = \sqrt{RMM1^2 + RMM2^2}$ , 定义  $RMM$  大于 1 时为强 MJO 事件, 小于 1 时为弱 MJO 事件<sup>[4,13]</sup>, 即在图 1 中, 点在圆圈以外则为强 MJO 事件, 在圆圈以内则为弱 MJO 事件。分别对强弱 MJO 事件对应的

1 ~ 8 位相降水距平作合成, 以此探讨强弱 MJO 在不同位相对四川降水的影响。

图 4 为 2000 ~ 2010 年四川夏季日平均降水距平百分率在强 MJO 1 ~ 8 位相的合成, 从图 4 可以明显看出, 当强 MJO 活动中心位于第 2 位相时, 四川大部分地区降水距平为正, 负降水距平主要位于四川南部攀枝花、凉山彝族自治州及甘孜州南部得荣附近。当强

MJO 活动中心位于第 7、8 位相时,除南部局部地区区域外,四川地区降水均呈降水负距平。结合强 MJO 事件 1 ~ 8 位相单站日平均降水距平百分率合成可以看出,当强 MJO 活动中心位于第 1 ~ 6 位相时,四川单站日平均降水距平为正,其中第 2 位相所对应的单站日平均降水距平值最大,达 11.5 %。当位于第 7、8 位相时,单站日平均降水距平为负,降水距平分别为 -20.6 %、-24.1 %。第 1 位相对应的四川降水主要分布在西部和东北部,负距平区域主要分布在雅安、乐山、成都宜宾一带,负值中心位于东部德阳,单站日平均降水距平为 2.68 %。第 3 位相对应降水呈东西分布,降水正距平区位于东部,负距平区位于西部和中

部,及东部的泸州和宜宾,但降水正距平较大,最大值达 80 % 以上,但由于东西部降水差异较大,导致单站日平均降水距平为 -1.76 %。第 4 位相对应的降水分布较为复杂,四川北部和南部降水偏多,东北部、西北部、南部攀枝花附近及东部遂宁、资阳和内江降水偏少,降水最大正距平百分率达 85 %。MJO 活动位于第 5 位相时,四川降水大致呈不规则的西南-东北分布,其中东部和东北部、西南小片区域降水距平为正,单站日平均降水距平为 -1.76 %。第六位相对应的降水正距平主要分布在四川西南部和东部,西北部和南部、东北地区局部区域降水距平为负。

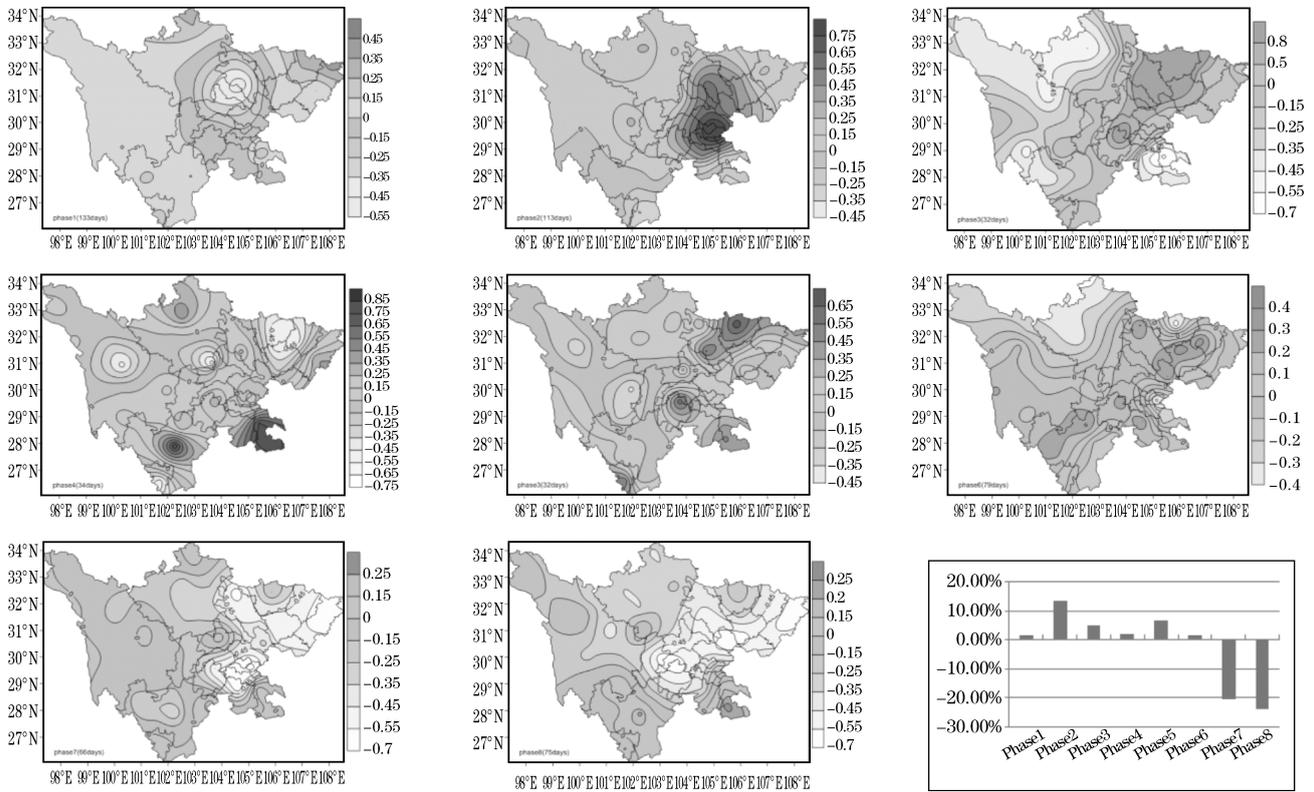


图 4 2000 ~ 2010 年四川夏季日平均降水距平百分率在强 MJO 1 ~ 8 位相的合成及强 MJO 1 ~ 8 位相单站日平均降水距平百分率合成

从 2000 ~ 2010 年四川夏季日平均降水距平百分率在弱 MJO 1 ~ 8 位相的合成图(图 5)可以看出,当 MJO 对流活动中心位于第 6、7 位相时,四川降水正距平百分率分布范围最广:第 6 位相,除四川西南部和东南部局部区域,降水距平均为正;当弱 MJO 位于第 7 位相时,负降水距平仅分布在四川东北部的巴中、广元、南充、达州、广安及南部的冕宁地区,其他地区降水距平均为正,且第 6、7 位相所对应的日平均降水距平百分率最高分别达 166.1 % 和 101.6 %。当 MJO 活动中心位于第 1 位相和第 4 位相时,四川南部降水偏多,北部降水偏少,降水正距平主要分布于四川甘孜西部、中部雅安及东部内江和资阳地区。位于第 2、3 位相

时,四川降水正距平主要分布在四川北部,南部降水偏少,且第 3 位相中四川东北部的广元沿西南方向,经绵阳东南部、德阳、成都地区为负降水距平。在第 5 位相和第 8 位相时,四川大部分地区降水距平为负,第 5 位相时,降水正距平中心位于四川西北部和四川中部雅安、眉山一带,西北部的石渠也存在以降水正距平中心;第 8 位相降水正距平区域带的降水强度差异不大,主要位于四川偏东北部的广元、绵阳及甘孜东部、阿坝西北部地区。结合单站日平均降水距平百分率在弱 MJO 1 ~ 8 位相的合成,发现 MJO 位于 1、2、6、7 位相时,四川单站日平均降水距平为正,位于第 6 位相时降水距平百分率高达 31.22 %。而位于其他位相时,四

川单站日平均降水距平为负,且位于第8位相时,降水距平最低,为-17.11%,第5位相的单站日平均降水

距平为-13.41%。

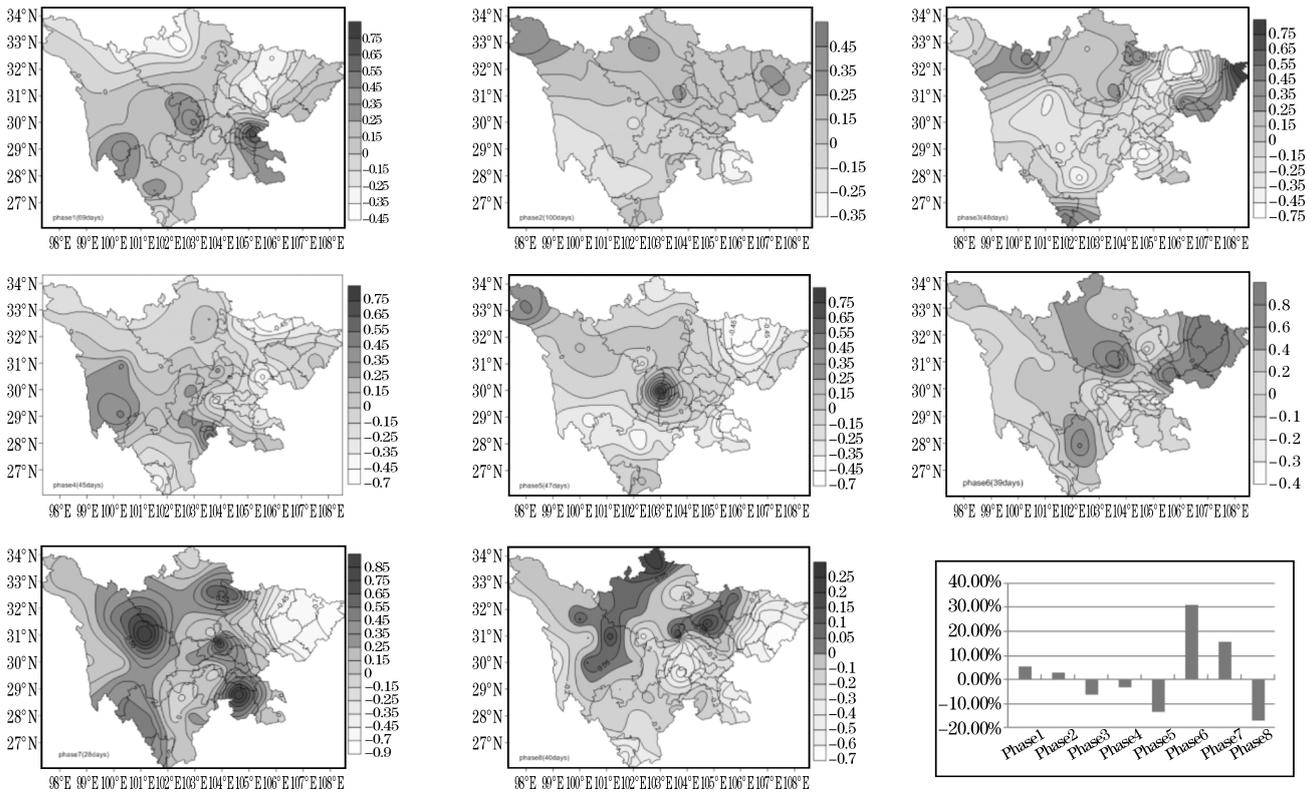


图5 2000~2010年四川夏季日平均降水距平百分率在弱MJO1~8位相的合成及弱MJO1~8位相单站日平均降水距平百分率合成

对比2000~2010年夏季单站降水距平百分率在1~8位相及强弱MJO的1~8位相上的合成可以发现,当强MJO对流活动中心位于第7、8位相时,四川单站日平均降水距平为负,且降水距平百分率均低于-20%,第1~6位相,四川单站日平均降水距平均为正,其中在第2位相时降水距平百分率最大,为13.45%。弱MJO对应的1~8位相的单站降水距平分布相对于强MJO活动要复杂一点,当MJO对流活动中心位于第1、2、6、7位相时,四川单站日平均降水距平为正,其中在第6位相和第7位相时,单站降水距平百分率最大,分别为31.22%和15.64%;位于第3、4、5、8位相时,降水距平为负,其中位于第5位相和第8位相时,降水距平百分率最小,分别为-13.41%和-17.11%。综合强弱MJO对流活动中心所处位相对四川降水分布的影响来看,当MJO对流活动中心位于第1、2、6位相时,四川单站日平均降水距平为正,第6位相降水距平百分率超过10%,位于第3、4、5、7、8位相时,降水距平为负,第8位相时降水距平百分率低于-20%。所以,整体来看,热带强弱MJO活动中心所处位置对四川降水的影响略有差异,尤其当强MJO对流活动中心位于第6位相时,对四川降水有正的积极影响,弱MJO位于第3、4、5位相时,对四川降水有负

的影响。

需要指出的是,由于受西南涡和夏季风的影响,加之川西高原地形等作用,使得MJO位于不同位相对四川不同区域降水的影响较为复杂,就导致了各个位相对应的四川不同区域降水距平百分率差异较大。综合各个因素的影响,可能导致某些地区出现极大降水量,以至降水距平百分率显著偏高。

### 3 MJO不同位相环流背景分析

图6是2000~2010年夏季850 hPa日平均水汽通量和水汽通量散度的合成图,从图6可以看出,四川地区水汽主要来自于孟加拉湾,而印度洋水汽经索马里急流向北半球大量输送,到达阿拉伯海以及孟加拉湾,并继续往东北方向输送。来自于孟加拉湾的水汽主要有两条通道进入四川地区,第一条是经云南西南部进入四川,另一条是绕过云南,经广西、贵州、重庆,从四川东部进入四川。从水汽通量散度来看,云南西南部有一水汽辐合中心,水汽达到云南地区后,继续往北前进进去四川地区,但水汽输送强度大大减小。从四川夏季日平均水汽通量散度来看,除北部和东部局部地区外,四川大部分地区为水汽辐合区,但强度不大。从

2000~2010 年夏季平均 OLR 分布情况可以看出(图 7), OLR 低值区域,即对流活动活跃区主要位于孟加拉湾和西太平洋、南半球热带太平洋一带,西藏及四川地区也为 OLR 低值区控制,且四川地区平均 OLR 呈东西方向递减分布,对流活动活跃;孟加拉湾到中国南部地区主要为西南风,但到了云南一带,西南风显著减弱,四川东部和南部同样为西南风,东部地区为偏东风,南海一带的水汽向北输送,部分水汽同样能到达四川盆地。

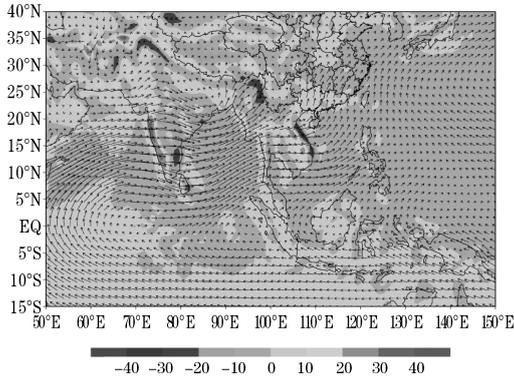


图 6 2000~2010 年夏季日平均 850 hPa 水汽通量和水汽通量散度

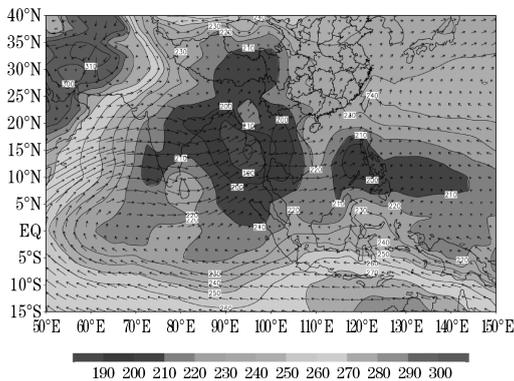


图 7 2000~2010 年夏季平均 OLR 及 850 hPa 矢量风

对 2000~2010 年 1~8 位相的 OLR 距平和 850 hPa 矢量风作合成,讨论夏季 MJO 各位相代表对流活动强弱的 OLR 分布情况及风场分布。从图 8 可以看到夏季 OLR 及在不同位相的分布特征(OLR 负异常区代表对流活动强,OLR 正异常区代表对流活动较弱)。当 MJO 活动中心位于第 1 位相时,印度洋地区为显著 OLR 负异常区,MJO 对流主体位于赤道印度洋地区,OLR 显著正异常中心位于南海及西太平洋菲律宾海盆附近,对流活动较弱。中国除四川东北部及陕西地区为 OLR 正异常区,其他地区均为 OLR 负异常区,负值中心位于广西及广东西部;四川地区风场分布不均匀,西太平洋到南海一带有一强烈反气旋环流。到第 2 位相时,OLR 显著负异常中心北移,MJO 强对流活动中心位于北印度洋和阿拉伯海,四川 OLR 负值

中心加强,负值中心位于四川东北部;OLR 正值中心东移加强,第 1 位相位于西太平洋的两个正值中心合并为一个强中心。西太平洋和南海的反气旋环流一分为二,形成两个独立的反气旋环流。到了第 3 位相,MJO 正异常中心继续加强,但范围较第 1、2 位相小很多;OLR 负异常中心,及热带 MJO 强对流活动中心东移,范围扩大,从阿拉伯海到西太平洋有一 MJO 强对流活动中心活动带呈西西北-东东南分布,而中国南部台湾岛附近也有一强 MJO 对流活动中心,且存在以气旋环流,菲律宾海盆有一对流抑制区,同时有一反气旋环流与之并存,且反气旋环流较第 1、2 位相强;四川 OLR 为正异常区,为对流活动抑制区,其东部为偏南、东南气流,西部及西北部则为偏西、西北气流控制。到了第 4 位相时,强 MJO 对流活动中心主体已东移到 150°E 附近,菲律宾海盆附近的 OLR 正异常中心消失,反气旋环流向东北方向移动至九州帕劳海岭,中印度洋海盆有两正异常中心,四川地区为 OLR 负异常区控制,对流活动旺盛。第 5 位相,中印度洋海盆的 OLR 正异常中心强度增强,范围扩大,第 4 位相的两个弱正值中心合并为一个强烈的正值中心;赤道地区的负异常中心北移扩大。九州帕劳海岭的反气旋环流持续向东北移动,位于西北太平洋海盆东部,其南部的偏东气流从福建、广东进入中国,南海有一气旋环流,对流活动活跃,但其北部的偏东气流与西北太平洋反气旋环流南部的偏东气流进入中国后转向的东气流汇合,不利于孟加拉湾及南海的水汽到达四川地区,致使整个四川地区为 OLR 正异常区控制,降水偏少。第 6 位相赤道中印度洋的 OLR 正异常中心范围显著扩大,强度增强,正异常中心向西扩展到阿拉伯海以南地区,OLR 负异常中心所代表的强对流活动中心范围减小,持续东移,西太平洋存在以强大的气旋环流,孟加拉湾水汽经西南气流往中国输送,四川盆地为弱对流区控制,利于降水发生。第 7 位相时,强对流主体区域继续减小,赤道地区除中印度海盆小部分区域为强对流活动去控制外,西太平洋地区均为 OLR 正异常区域所控制,强对流中心位于西太平洋 10°N~20°N,马尔代夫群岛附近也有一小强对流中心,西太平洋地区的气旋环流向西移动到菲律宾海盆,OLR 正异常区域扩大,但中心范围缩小,并北移到阿拉伯海地区;中国大部分地区均收到对流抑制(OLR 正异常区)。到了第 8 位相,太平洋地区的强对流活动区域强度显著减弱,强对流区主要位于 15°N 以北,赤道、阿拉伯海及孟加拉湾地区均为强对流抑制区控制,并各存在一 OLR 正异常大值中心。中国出广东、福建等沿海一带对流活动较强,其他地区均为 OLR 负异常去。

总体来看,当热带 MJO 强对流活动中心位于第 1、2、4、6 位相时,四川地区为 OLR 负异常区所控制,对流活动旺盛,而当 MJO 强对流活动中心位于第 3、5、7、8 位相时,四川地区为 OLR 正异常区所控制,对流活动弱。

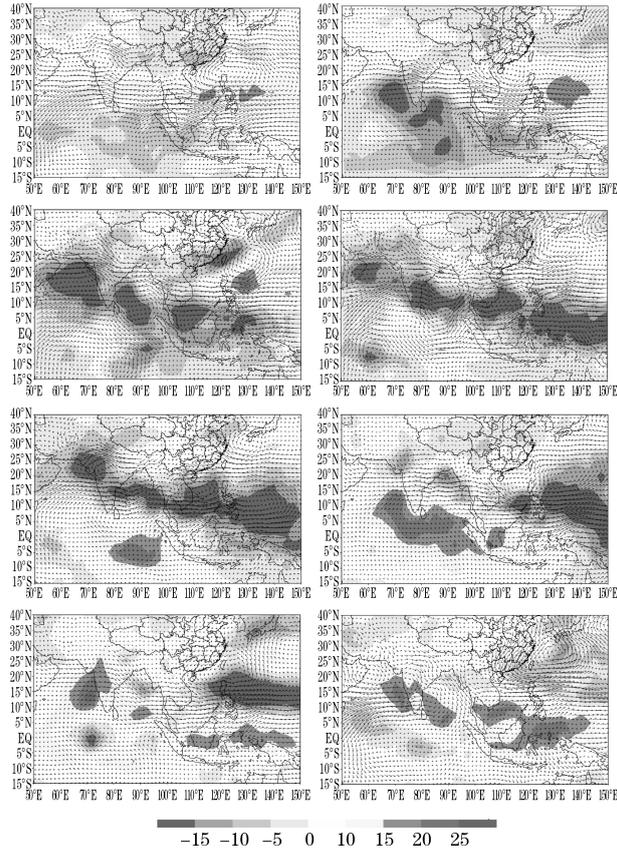


图8 2000~2010年夏季 OLR 距平及 850 hPa 矢量风在 MJO 1~8 位相的合成

## 4 结论

(1)当 MJO 位于不同位相时,四川降水呈不同分布特征。当 MJO 活动中心位于第 1、4、7、8 位相时,四川地区降水主要分布在西南部及东部部分地区,当 MJO 活动中心位于第 2、3、5 位相时,四川降水主要分布东北部。当 MJO 强对流活动中心位于第 6 位相时,四川降水最充沛。

(2)强弱 MJO 事件不同位相对四川降水的影响也不同。四川单站日平均降水距平在强 MJO 位于 1~6 位相时为正,位于第 7、8 位相时单站日平均降水距平为负。四川单站日平均降水距平在弱 MJO 位于 1、2、6、7 位相时为正,位于第六位相时降水距平百分率高达 31.22%,在第 3、4、5、8 位相时单站日平均降水距平为负,且为第 8 位相时,降水距平最低,为

-17.11%。

(3)强弱 MJO 相同位相对四川降水的影响也不同。当强 MJO 对流活动中心位于第二位相时,四川降水正距平百分率分布范围最广,正距平百分率最高可达 75% 以上,位于第 7 位相时,四川单站降水距平百分率为负。而当弱 MJO 对流活动中心位于第 6、7 位相时,四川降水正距平百分率分布范围最广,单站日平均降水距平百分率分别为 31.22% 和 15.64%。

(4)四川地区水汽主要来自于孟加拉湾,而印度洋水汽经索马里急流向北半球大量输送,到达阿拉伯海以及孟加拉湾,并继续往东北方向输送。来自于孟加拉湾的水汽主要有两条通道进入四川地区,第一条是经云南西南部进入四川,另一条是绕过云南,经广西、贵州、重庆,从四川东部进入四川。

(5)平均而言,热岛 MJO 强对流活动中心位于第 6 位相时对四川的正降水影响最大,第 6 位相 OLR 正异常中心主要位于赤道中印度洋并扩展到阿拉伯海以南地区,强度强,OLR 负异常中心所代表的强对流活动中心主要位于西太平洋,西太平洋存在以强大的气旋环流,孟加拉湾水汽经西南气流往中国输送,四川盆地为弱对流区控制,利于降水发生。

总体来看,热带 MJO 活动对四川降水的影响较为显著,通过提高热带 MJO 的延伸期预报对提高四川地区强降水过程的延伸期预报具有一定的可行性,但影响四川夏季降水的因素众多,不仅与 MJO 的发生发展及其传播有关,还与其地形地貌、青藏高原的动力、热力作用等密切相关,只初步进行了 21 世纪 10 年代热带 MJO 活动中心的传播与四川夏季降水的相关性研究,关于 MJO 对四川降水的影响机制还待进一步探讨。

## 参考文献:

- [1] 孙国武,冯建英,陈伯民,等. 大气低频振荡在延伸期预报中的应用进展[J]. 气象科技进展, 2012,2(1):12-18.
- [2] 田华,李崇银,杨辉. 大气季节内振荡对西北太平洋台风路径的影响研究[J]. 大气科学,2010,34(3):559-579.
- [3] 梁萍,何金海,穆海振. MJO 在延伸期预报中的应用进展[J]. 气象科技进展,2013,3(1):31-38.
- [4] 丁一汇,梁萍. 基于 MJO 的延伸预报[J]. 气象, 2010,36(7):111-122.

- [5] 徐国强,朱乾根. 大气低频振荡研究回顾与概述[J]. 气象科技,2003,31(4):193-200.
- [6] 黄海燕,何金海,朱志伟. 大气季节内振荡的研究进展及其在延伸期预报中的应用[J]. 气象与减灾研究,2011,34,(3):1-8.
- [7] 孙国武,李振坤,信飞. 延伸期天气过程预报的一种新方法——低频天气图[J]. 大气科学,2013,37(4):945-954.
- [8] HeJinhai, Lin Hai, Wu Zhiwei. Another look at influence of the Madden-Julian Oscillation on the wintertime East Asian weather[J]. J Geophys Res, 2011,116(2).
- [9] Li C. A further inquiry on the mechanism of 30 ~ 60 day oscillation in the tropical atmosphere[J]. Advances in Atmospheric Sciences,1993,10(1):41-53.
- [10] 李崇银,肖子牛. 赤道太平洋增暖对全球大气30~60天振荡的激发[J]. 科学通报,1991,36(15):1157-1160.
- [11] Neelin J D, Held I M, Cook K H. Evaporation-wind feedback and low-frequency variability in the tropical atmosphere[J]. Journal of the Atmospheric Sciences,1987,44(16):2341-2348.
- [12] 马浩,毛燕军,雷媛,等. 10~30天延伸期天气预报研究进展综述[J]. 干旱气象,2012,30(4):514-521.
- [13] Matthew C. Wheeler and Harry H. Hendon. An All-Season Real-Time Multivariate MJO Index: Development of an Index for Monitoring and Prediction[J]. Mon. Wea. Rev. 2004,32:1917-1932.
- [14] 贾小龙,袁媛,任福民,等. 热带大气季节内振荡(MJO)实时监测预测业务[J]. 气象,2012,38(4):425-431.
- [15] 朱红蕊,江志红,张勤,等. 基于SSA-AR方法的MJO指数预报模型试验[J]. 热带气象学报,2010,26(3):371-378.
- [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] 贾小龙,梁潇云. 热带MJO对2009年11月我国东部大范围雨雪天气的可能影响[J]. 热带气象学报,2011,27(5):639-648.
- [18] Leroy A, Wheeler M C. Statistical prediction of weekly tropical cyclone activity in the Southern hemisphere. Mon Wea Rev[J]. 2008,136(11):4130-4149.
- [19] 李崇银,潘静,宋洁. MJO研究新进展[J]. 大气科学,2013,37(2):229-252.
- [20] 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(6):1101-1111.
- [21] 吕俊梅,琚建华,任菊章. 热带大气MJO活动异常对2009~2010年云南极端干旱的影响[J]. 中国科学:地球科学 2012,42(4):599-613.
- [22] 胡德强,陆日宇,苏秦,等. 盛夏四川盆地西部地区降水年际变化及其对应的环流异常[J]. 大气科学,2014,38(1):13-20.
- [23] 肖红茹,王灿伟,周秋雪,等. T639、ECMWF细网格模式对2012年5~8月四川盆地降水预报的天气学检验[J]. 高原山地气象研究,2013,33(1):80-85.
- [24] 陈忠明,闵文彬,刘富明. 青藏高原地表热源异常与四川盆地夏季降水的关联[J]. 气象,2015,29(5):9-12.
- [25] 赵福虎,李国平,黄楚惠,等. 热带大气低频振荡对高原低涡的调制作用[J]. 热带气象学报,2014,30(1):119-128.

## Impact of MJO Activities on Precipitation in Summer of 2000-2010 over Sichuan

YU Qin-kun<sup>1</sup>, XIAO Tian-gui<sup>1</sup>, JIN Rong-hua<sup>2</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences Chengdu university of information technology, Chengdu 610225, China; 2. National Meteorological Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In order to study the influence of MJO (Madden-Julian Oscillation) on Sichuan precipitation, the paper used NCEP/NCAR data, RMM index provided by Australian Bureau and daily precipitation data of 756 stations over China

analyze the relationship between MJO and summer precipitation during 2000–2010. The precipitation is different at MJO phases and the precipitation of strong MJO differs from weak MJOs': The precipitation was distributed at southwestern and some areas in eastern when MJO was movable at phase 1, phase 4 and phase 7–8, while at northeast when MJO was movable at phase 2–3 and phase 5. The negative precipitation anomaly of Single Station occurred phase 3–5 and 7–8, while positive at phase 1, phase 2 and phase 6. The different influence of strong/weak MJO at Sichuan precipitation occurred phase 6 and phase 7: The largest scale of positive precipitation anomaly distribution was at phase 2 of strong MJO with highest precipitation anomaly percentage 75 % while negative at phase 7. The largest scale of positive precipitation anomaly distribution was at phase 6–7 of weak MJO with the precipitation anomaly of Single Station was 31.22 % and 15.64 %.

**Key words:** atmospheric science; climate change; MJO (madden-julian oscillation); summer precipitation; MJO index; MJO activity phase; Sichuan