

林爱兰,李春晖,郑彬,等. 6月MJO对广东降水调制与直接影响系统的联系. 应用气象学报,2013,24(4):397-406.

6月MJO对广东降水调制与直接影响系统的联系

林爱兰* 李春晖 郑彬 谷德军

(区域数值天气预报重点实验室,中国气象局广州热带海洋气象研究所,广州510080)

摘要

利用1979—2008年广东省86个测站逐日降水资料及NCEP-DOE第2套分析资料等,提出影响广东500 hPa环流系统的判别方法,分析6月赤道MJO(季节内振荡)活动对广东降水的调制作用随中低纬度环流型的变化。结果表明:强MJO第3位相广东出现强降水的概率最高,是8个位相中唯一强降水等级出现日数超过弱降水日数的位相。在直接影响广东的5种500 hPa环流系统(包括西风槽、西风浅槽、平直西风或高压边缘、副热带高压、热带低压槽)中,西风槽类型影响时,赤道MJO对广东降水的调制作用最强,其他环流类型影响时,MJO的调制作用很弱。广东在西风槽影响下,当处于MJO第3位相(第6位相)时,降水距平百分率达到最高(低)。MJO对广东降水的调制作用随中低纬度环流系统的变化,主要是环流系统之间的不同配合导致降水所需的动力上升条件和水汽输送条件的相互配合发生变化造成的。

关键词: MJO; 广东6月降水; 中低纬度环流系统; 西风槽

引言

热带季节内振荡早在20世纪70年代初由Madden和Julian^[1-2]发现,随后Yasunari^[3]研究指出印度夏季降水与热带季节内振荡有关,促进了国内外对热带季节内振荡与天气气候事件的关系研究,热带季节内振荡甚至与气候系统年际变化重要信号的ENSO循环及印度洋海温异常相互关联^[4-8]。丁一汇等^[9]、梁萍等^[10]认为,作为高频天气变化的重要背景,季节内振荡是联系天气和气候的直接纽带,可作为延伸期预报的主要预报研究。国内学者大量研究表明,东亚季风活动及我国东部地区夏季降水与大气季节内振荡(亦称低频振荡)有关^[11-23]。因此有关专家根据大气低频振荡特性提出了关键区大气低频波延伸期预报方法^[24]。

沿赤道东传的季节内振荡(简称MJO)是热带大气季节内振荡的主要模态之一,已有研究认为,沿赤道东传MJO的经验预报可预报性可达到15~20 d^[25-26],因此,关于MJO与区域天气气候之间联系的研究成果,对于开展季节内尺度预报(亦称延伸

期预报)具有重要意义。研究表明,赤道MJO不仅影响热带地区,而且影响热带外地区的天气气候^[27-38]。章丽娜等^[39]研究了赤道东传MJO对华南前汛期4—6月降水的影响,表明最显著的降水正负异常分别位于第4位相和第7位相。作者进一步分析发现,虽然4月、5月、6月均属于华南前汛期,但各月降水随MJO位相的变化趋势不同,其中6月MJO活动对广东降水的调制作用最明显,对6月广东省降水正(负)异常有指示意义的是强MJO事件的第3位相(第6位相),说明不同月份由于大气环流背景存在一定差异,MJO的影响也有所不同^[40]。但MJO第3位相(第6位相)对广东降水偏多(偏少)的可预报性、在实际业务预报中如何把握MJO信号均有待进一步研究。广东地处低纬度季风区,降水既受热带环流系统的影响,也与中高纬度环流系统密切相关,因此MJO与其他环流系统如何协同作用,需要进一步分析。本文将利用多年资料,提出影响广东的500 hPa环流系统判别方法,分析6月MJO对广东降水的调制作用随中低纬环流系统的变化,并探讨其原因。

2012-11-22收到,2013-05-08收到再改稿。

资助项目:国家自然科学基金项目(41075073),广东省科技计划项目(2012A030200006),广东省气象局气象科技项目(201005)

* email: allin@grmc.gov.cn

1 资料与方法

1.1 资料及 MJO 指数

本文所用资料包括:广东省 86 个测站逐日降水资料,取自广东省气象局气候中心;NCEP-DOE 第 2 套资料的大气多要素日平均资料^[41],水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;美国 NOAA 气候诊断中心的日平均向外长波辐射资料^[42],水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。资料时段均为 1979 年 1 月 1 日—2008 年 12 月 31 日。本文所用赤道 MJO 指数是 Wheeler 等^[43]提出的基于 850 hPa 纬向风、200 hPa 纬向风和大气向外长波辐射 3 个变量利用 EOF 分解方法而建立。该指数历史序列包括位相和强度,本文参考文献^[39-40],将 MJO 强度不小于 1(小于 1)的划分为强 MJO(弱 MJO),下文若无特别说明,MJO 一般指强 MJO。

1.2 影响广东的 500 hPa 环流类型及其判别方法

从 500 hPa 位势高度场来看,6 月直接影响广东的环流系统可分为 5 种类型:西风槽、西风浅槽、平直西风或高压边缘、副热带高压、热带低压槽。这里提出了区分各种环流系统的自动判别方法。具体地,首先判断 $20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$, $100^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ 范围内每个网格点是否有槽,当某个网格点位势高度纬向梯度为零或接近零,同时其西侧格点位势高度纬向梯度为负值且东侧格点位势高度纬向梯度为正值,则认

为该网格点有槽。在一定经度范围内,某一纬度只要有一网格点出现槽,则认为该纬度有槽。不同纬度的槽点连接起来则形成槽线,当槽线上位势高度值呈北高南低,即为倒槽,则判断为热带低压槽。当 $20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$ 每个资料纬度都有槽且非倒槽,定义为西风槽。当只在南方 ($20^{\circ} \sim 25^{\circ} \text{N}$) 纬度有槽且非倒槽,定义为西风浅槽。当 $20^{\circ} \sim 25^{\circ} \text{N}$ 之间每个纬度都没有槽,则定义为平直西风或高压边缘。当广东范围平均位势高度达到或超过 588 dagpm 且达到或超过 588 dagpm 的格点数超过 75%,则认为广东受副热带高压控制。由于雨区主要出现在槽区至槽前,当受西风槽和西风浅槽类型影响时,广东大部分地区应该处于槽区或槽前,同时考虑到东亚槽多数呈东北—西南倾斜走向,因此判断槽的经度范围存在一定变动:在 $20^{\circ} \sim 25^{\circ} \text{N}$ 之间取为 $100^{\circ} \sim 115^{\circ} \text{E}$,在 $25^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$ 之间则为 $100^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ 。根据以上方法判断每天直接影响广东的环流型,发现 30 年中 6 月各环流的出现日数,平直西风或高压边缘为 66 d,西风浅槽为 264 d,西风槽为 231 d,热带低压槽为 152 d,副热带高压为 187 d,依次占 7.3%,29.3%,25.7%,16.9%,20.8%。对各种类型的 500 hPa 位势高度场分别进行合成分析(图 1),可以看出各合成图均能反映相应控制广东主要环流系统的特点,说明本文提出的影响广东各种环流系统的判别方法比较合理。

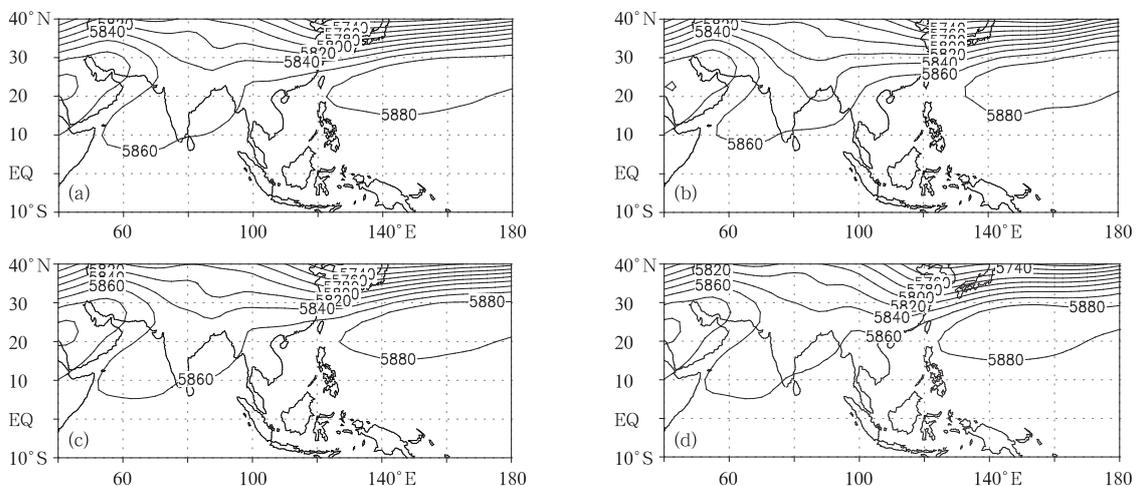
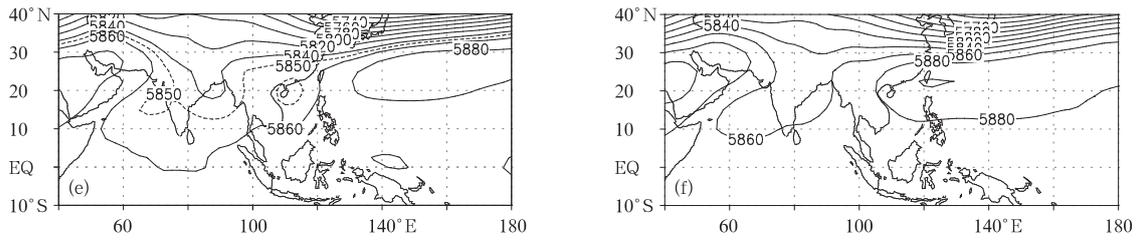


图 1 6 月气候平均和影响广东 5 种环流系统的 500 hPa 位势高度场合成(单位: gpm)

(a) 气候平均, (b) 平直西风或副热带高压边缘, (c) 西风浅槽, (d) 西风槽, (e) 热带低压槽, (f) 副热带高压
 Fig. 1 Composite 500 hPa geopotential height for climatology and five-circulation types influencing Guangdong in June (unit: gpm) (a) climatic state, (b) flat westerly or border of subtropical high, (c) shallow westerly trough, (d) westerly trough, (e) tropical low or trough, (f) subtropical high



续图 1

2 MJO 各位相不同等级降水的分布特征

表 1 是 6 月强 MJO 事件 8 个位相各等级降水出现日数统计,其中 3 种降水等级中的平均值附近降水定义为广东平均降水距平百分率在 $-20\% \sim 20\%$ 之间,而弱降水和强降水等级分别指广东省平均降水距平百分率不大于 -20% 和不小于 20% 。由表 1 可见,MJO 每个位相都可能出现各种等级的降水,这也说明赤道 MJO 只是广东降水异常的多种影响因素之一。其中,强 MJO 第 3 位相广东出现强降水日数占 49.3% ,是 8 个位相中唯一强降水等级出现日数超过弱降水等级出现日数的位相,其他位相强降水等级出现日数总是比弱降水出现日数

少。统计表明,强 MJO 所有位相平均而言,强降水等级出现日数仅占 34.6% ;而弱 MJO 平均而言,只有 25.8% 。这进一步说明,强 MJO 第 3 位相相对广东降水确实有增强作用,尽管它并非唯一因子。关于 MJO 第 3 位相加强广东降水的物理过程,初步分析认为,在强 MJO 第 3 位相,赤道东印度洋对流潜热释放加强,因此在热源的东侧,即赤道西太平洋地区,由于 Kelvin 波响应出现东风异常,赤道东风异常则使西北太平洋地区纬向风经向梯度产生正异常变化,导致该地区涡度负异常变化,从而使西太平洋副热带高压有所加强;而西太平洋副热带高压加强西伸,则使向广东的水汽输送明显加强,因此广东降水有所加强^[40]。

表 1 强 MJO 事件 8 个位相各等级降水出现日数

Table 1 The number of days of different precipitation grade in 8 phases of strong MJO

强 MJO 位相	弱降水日数/d	平均值附近降水日数/d	强降水日数/d	强降水所占百分比/%
第 1 位相	41	12	30	36.1
第 2 位相	43	8	23	31.1
第 3 位相	29	9	37	49.3
第 4 位相	41	8	19	27.9
第 5 位相	41	4	18	28.6
第 6 位相	42	6	20	29.4
第 7 位相	8	2	7	41.2
第 8 位相	27	6	19	36.5

为了更好地将赤道 MJO 信号应用于降水预报,下面将对强 MJO 事件第 3 位相中发生强降水和弱降水两种情况分别进行分析。比较两种情况 500 hPa 位势高度场可以看到,最明显的差异在于西风槽和副热带高压的强弱(图 2a~图 2d)。在强降水情况下,东亚西风槽偏强,584 dagpm 高度线槽底接近 25°N ,受西风槽影响,副热带高压西脊点位置偏南(图 2a)。由图 2c 可知,我国大陆东南部为负变高,而西北太平洋为正变高,说明东亚大槽和西太平洋副热带高压均偏强。在弱降水情况下,虽然受

MJO 活动影响,同样赤道地区为负变高、西北太平洋为正变高,但东亚地区中纬度西风带平直,西风槽偏弱未能影响到华南,副热带高压西脊点位置偏西偏北(图 2b、图 2d)。从对流层低层 850 hPa 水汽输送来看,在强降水情况下,由于东亚西风槽和西太平洋副热带高压同时加强,东南沿海地区水汽通量明显加强,水汽辐合也明显加强(图 2e);在弱降水情况下,由于东亚西风槽偏弱、西太平洋副热带高压西脊点偏北,水汽通量加强区向北推至长江流域,而广东大气低层水汽通量和辐合条件都有所减弱(图

2f)。以上分析说明,第3位相 MJO 对广东降水的

加强作用,需要东亚西风槽的配合。

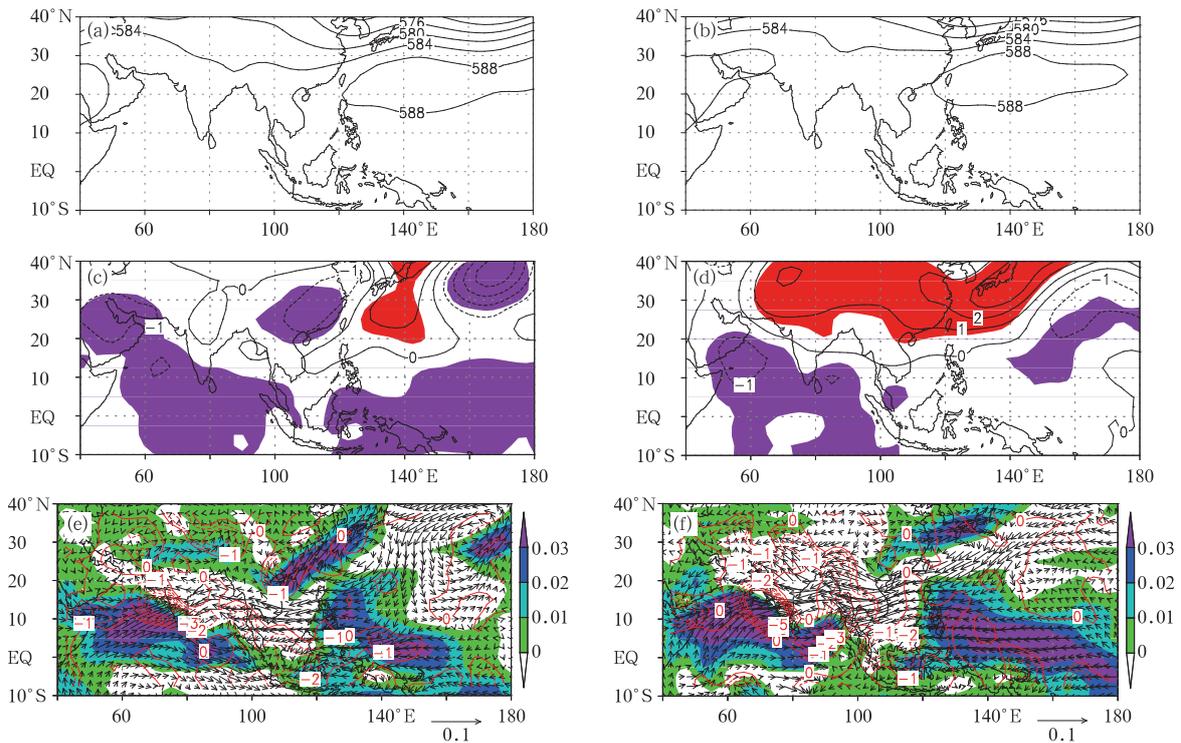


图2 强 MJO 事件第3位相出现强降水(a)和弱降水(b)的 500 hPa 位势高度场合成(单位: dagpm),出现强降水(c)和弱降水(d)的 500 hPa 位势高度场距平合成(单位: dagpm; 阴影区表示达到 0.05 显著性水平),出现强降水(e)和弱降水(f)的 850 hPa 水汽通量(矢量,单位: $10 \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)及其标量(填色区,单位: $10 \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$),水汽通量散度(等值线,只显示散度不大于 0 的等值线,单位: $10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)距平合成

Fig. 2 Composite 500 hPa geopotential height(unit: dagpm) for strong rainfall(a) and weak rainfall(b), 500 hPa geopotential height anomaly(unit: dagpm; the shaded indicates passing test of 0.05 level) for strong rainfall(c) and weak rainfall(d) in the third phase of strong MJO, composite anomalous fields of 850 hPa moisture flux(vector, unit: $10 \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), its scalar quantity (the shaded, unit: $10 \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and moisture flux divergence(contour: equal to and less than zero, unit: $10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) for strong rainfall(e) and weak rainfall(f) in the third phase of strong MJO

3 MJO 调制作用随中低纬度环流系统的变化

显然,中低纬度环流系统直接影响广东降水,合成分析表明:广东平均日降水距平百分率随各种环流系统类型而变化,受西风槽影响时广东降水距平百分率最高(+55%),受西风浅槽或热带低压槽影响时降水比气候平均值略高,而当广东处于平直西风或高压边缘时,降水为负距平(-40%),在副热带高压控制下广东降水距平百分率最低(-70%),可见降水量随西风槽的加深而加大。图3为西风槽、西风浅槽、热带低压槽和副热带高压影响下,广东平均日降水距平百分率随强MJO位相的变化。考虑到样本太少,未给出平直西风或高压边缘情形的降水演变曲线以及热带低压槽情形第7位

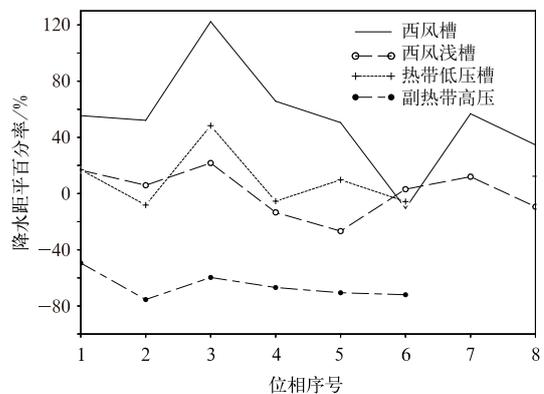


图3 500 hPa 不同环流型条件下广东平均日降水距平百分率随强 MJO 位相的变化
Fig. 3 Variation of daily precipitation anomaly percentage averaged over Guangdong with strong MJO phases for different 500 hPa circulation types

相、副热带高压情形第 7、第 8 位相的降水情况。比较不同曲线可以发现,广东在西风槽影响下,降水随 MJO 位相的变化幅度最大,在强 MJO 第 3 位相,降水距平百分率达到 +125%,而在第 6 位相,降水距平百分率降为 -11%,这种变化趋势与强 MJO 平均情况^[40]类似,但变化幅度更大。而在广东受西风浅槽、热带低压槽和副热带高压影响情况下,降水随

MJO 位相的变化较小。由此说明,在广东受西风槽影响情形下,赤道 MJO 对广东降水的调制作用最强,其他情形 MJO 的调制作用很弱。从西风槽影响情形下降水空间分布图(图 4)来看,除第 6 位相广东大部分地区为正常至负距平之外,其他位相广东大部分地区降水均为正距平,其中第 3 位相为全省性正距平,且中南部降水距平百分率超过 100%。

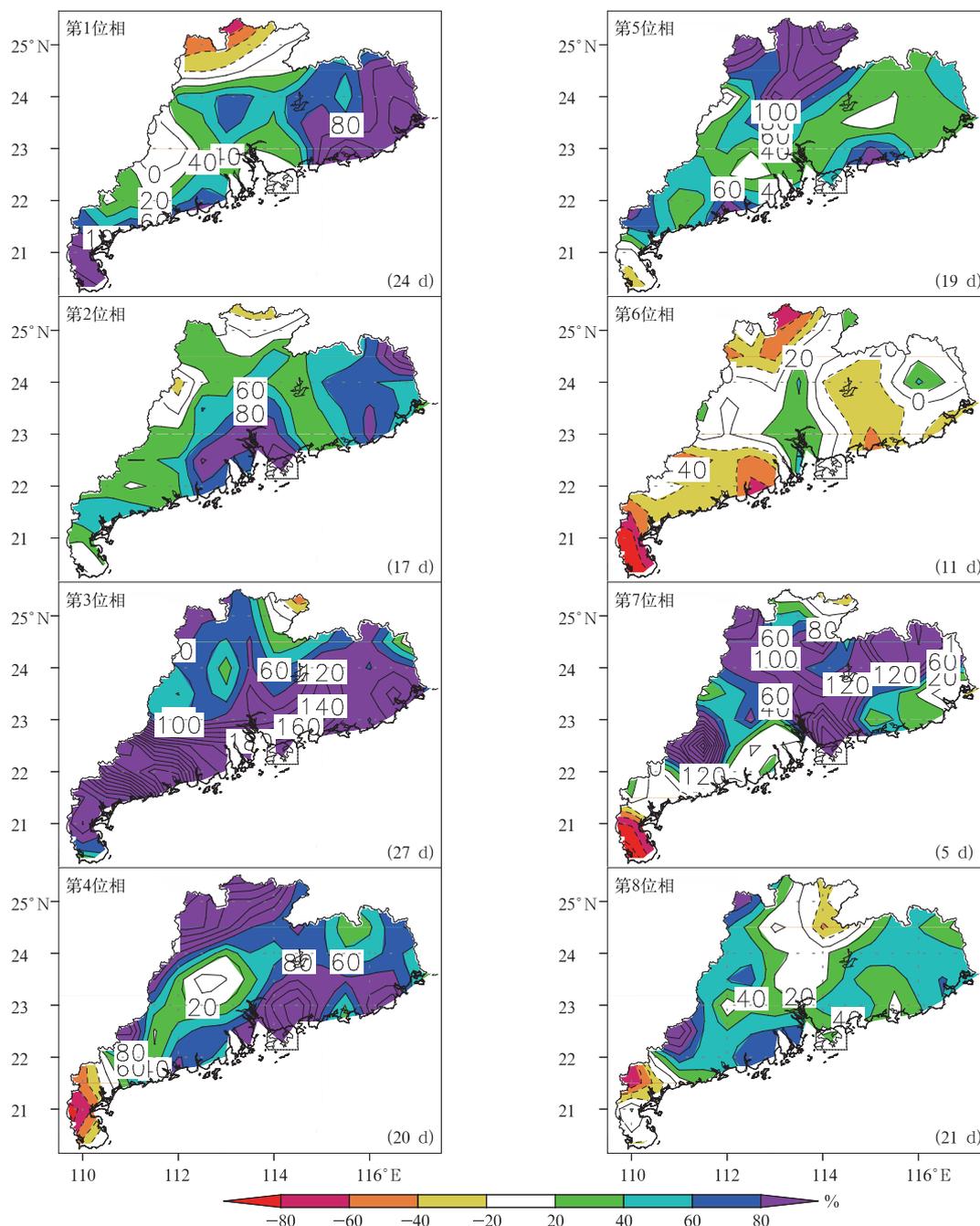


图 4 西风槽情形下强 MJO 各位相广东降水距平百分率分布(括号内为合成分析日数)

Fig. 4 Composite distributions of daily precipitation anomaly percentage over Guangdong in strong MJO phases in the westerly trough case(the number in brackets indicates the number of days of composite analysis)

可见,西风槽和强 MJO 第 3 位相相对广东大范围强降水具有很好的预报指示作用。

4 赤道 MJO 与中低纬度环流的相互配合

在有西风槽情形下,强 MJO 第 3 位相,广东降水明显增幅,而在第 6 位相广东平均降水转为负距平,下面将通过比较这两个位相各环流系统相互配合的差异来探讨其原因,并与无西风槽情形进行对比。首先从 500 hPa 合成位势高度场可以看出,虽

然均有东亚西风槽影响广东,但在 MJO 第 3 位相,西太平洋副热带高压明显偏西偏强(图 5a),东亚大陆南部为显著负距平、西北太平洋则为显著正距平,大陆与海洋之间的位势高度梯度明显加大(图 5c),使华南沿海地区动力上升条件明显加强(图 5e)。而在 MJO 第 6 位相,西太平洋副热带高压明显偏东、偏弱(图 5b),东亚大陆南部至西北太平洋 140°E 以西地区都为位势高度负距平(图 5d),华南地区虽然受西风槽影响上升运动有所加强,但加强幅度及显著性远比第 3 位相弱(图 5f)。

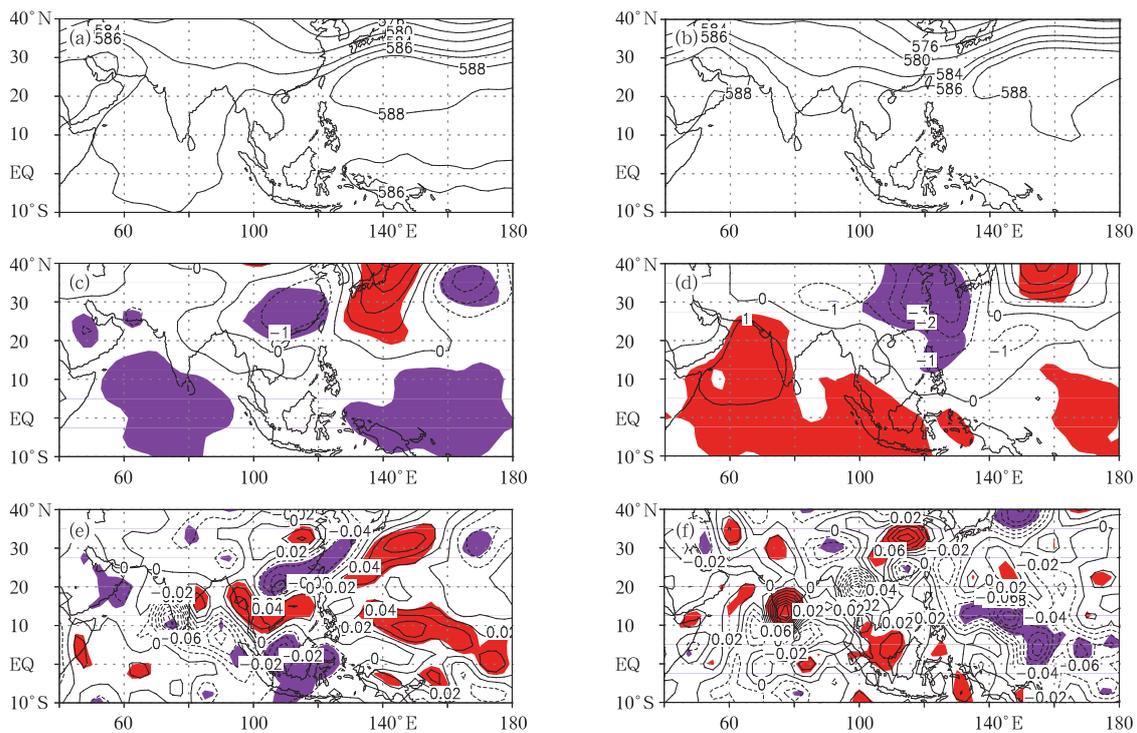


图 5 西风槽情形下强 MJO 第 3 位相及第 6 位相的 500 hPa 位势高度场(单位:dagpm)、位势高度场距平(单位:dagpm)和垂直速度距平(单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$;阴影区表示达到 0.05 显著性水平)

(a)第 3 位相高度场,(b)第 6 位相高度场,(c)第 3 位相高度场距平,

(d)第 6 位相高度场距平,(e)第 3 位相垂直速度距平,(f)第 6 位相垂直速度距平

Fig. 5 Composite fields of 500 hPa geopotential height(unit: dagpm), anomaly of 500 hPa

geopotential height(unit: dagpm) and anomaly of 500 hPa vertical speed(unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

in the third phase and the sixth phase of strong MJO during the westerly trough case

(the shaded indicates passing the test of 0.05 level) (a)geopotential height in the third phase,

(b)geopotential height in the sixth phase, (c)anomaly of geopotential height in the third phase,

(d)anomaly of geopotential height in the sixth phase, (e)anomaly of pressure vertical

speed in the third phase, (f)anomaly of pressure vertical speed in the sixth phase

对流层低层 850 hPa 同样反映出 MJO 第 3 位相(第 6 位相)西太平洋副热带高压明显偏西、偏强

(偏东、偏弱)这一特点。副热带高压在 MJO 两个位相之间的差异导致了水汽输送条件的不同,在

MJO 第 3 位相,由于副热带高压西脊点西伸至南海东部,西太平洋水汽沿着副热带高压边缘向华南地区输送,南海地区是西南风和东南风的汇合区,广东水汽既来源于孟加拉湾,也来源于西太平洋地区。从距平场可以看出,尽管来自孟加拉湾的水汽通量有所减弱,但来自西太平洋的水汽通量向广东输送明显加强,因此广东水汽通量显著增多(图 6a)。而在 MJO 第 6 位相,由于副热带高压西脊点偏东,华南至西太平洋地区为气旋性异常环流,广东处于气旋性异常环流西北部的东北风距平场,水汽输送偏弱(图 6b)。对于 MJO 第 3 和第 6 位相时水汽输送差异,从已有的研究结果也可得到一定的物理解释。Zhang^[44]提出了来自印度夏季风经过孟加拉湾向东亚的水汽输送异常,与来自西北太平洋副热带高压

南侧的水汽输送异常具有反相变化的特征,印度季风水汽输送偏强(弱)时向东亚季风的水汽输送偏弱(强),该结果与本文图 6a 和图 6b 一致。另外,Zhang^[44]进一步分析指出印度季风水汽输送异常与热带印度洋上空的异常加热有关,热带北印度洋上空的异常加热偏强(弱)时,通过减小(增大)南北热力梯度,使得印度季风水汽输送减弱(增强)。本文图 5e 和图 5f 进一步证实了上述特征,与 MJO 第 3 位相相比,在第 6 位相时热带北印度洋的垂直异常上升运动明显减弱,孟加拉湾及其以南区域出现了异常下沉运动,说明与对流相联系的异常加热场明显变弱,从而增强印度季风水汽输送,而向东亚季风的水汽输送偏弱。

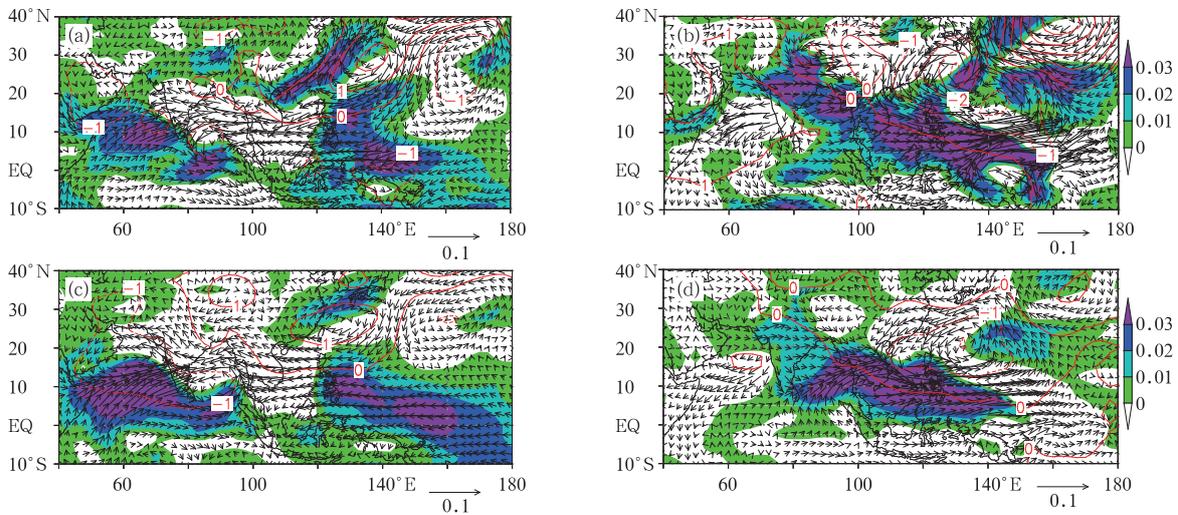


图 6 西风槽与非西风槽情形下强 MJO 第 3 位相与第 6 位相的 850 hPa 位势高度场距平(等值线,单位: dagpm),水汽通量距平(矢量,单位: $10 \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)及其标量场距平(填色区,单位: $10 \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
 (a)西风槽,第 3 位相,(b)西风槽,第 6 位相,(c)非西风槽,第 3 位相,(d)非西风槽,第 6 位相
 Fig. 6 Composite anomalous fields of 850 hPa geopotential height(contour, unit: dagpm),water vapor flux (vector, unit: $10 \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and its scalar anomaly(the shaded, unit: $10 \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) in the third phase and the sixth phase of strong MJO with the westerly trough and without westerly trough
 (a)westerly trough, the third phase,(b)westerly trough, the sixth phase,
 (c)without westerly trough, the third phase,(d)without westerly trough, the sixth phase

综上所述,在有西风槽情形下,当赤道 MJO 处于第 3 位相,副热带高压、偏西偏强,广东水汽输送加强,同时动力上升运动也加强,从而导致广东降水明显加强;当赤道 MJO 处于第 6 位相,尽管广东上空上升运动也有所加强,但副热带高压偏东、偏弱,水汽输送减弱,因此广东降水量明显比 MJO 第 3 位

相少。而在非西风槽情形,虽然也存在 MJO 处于第 3 位相(第 6 位相),副热带高压偏西、偏强(偏东、偏弱),华南水汽输送加强(减弱)这种变化特征(图 6c~图 6d),但由于没有西风槽的配合,在 MJO 第 3 位相,东亚至西太平洋地区均为正变高区,使动力上升条件较弱,因此该位相广东降水没有明显加强。

从而说明,MJO对广东降水的调制作用随中低纬度环流系统的变化,实际上是环流系统之间的不同配合使降水所需的动力上升条件和水汽条件的相互配合发生变化造成的。

5 小结

本文提出了500 hPa中低纬度影响广东环流系统的判别方法,分析6月赤道MJO活动对广东降水的调制作用与中低纬度环流型的联系,得到以下主要结论:

1) 强MJO第3位相广东出现强降水的概率最高(49.3%),是8个位相中唯一强降水等级出现日数超过弱降水出现日数的位相。说明广东降水受多种因素影响,MJO第3位相对广东降水有增强作用。

2) 直接影响广东的中低纬度环流系统主要包括西风槽、西风浅槽、平直西风或高压边缘、副热带高压、热带低压槽5种类型。在西风槽情形下,赤道MJO对广东降水的调制作用最强,说明MJO对降水的调制作用需要西风槽的配合。

3) 广东在西风槽影响下,MJO处于第3位相时,降水距平百分率达到+125%;而MJO处于第6位相时,降水距平百分率降为-11%。西风槽的直接影响和MJO第3位相的遥相关作用,对广东大范围强降水预报具有指示作用。

4) MJO对广东降水的调制作用随中低纬度环流型的变化,是环流系统之间的不同配合导致降水所需的动力上升条件和水汽输送条件的相互配合发生变化造成的。

大气环流背景随时间发生变化,MJO活动对区域天气气候的调制作用有所不同,因此关于MJO对广东7—9月降水的影响,需要进一步探讨。

参考文献

- [1] Madden R A, Julian P R. Description of global scale circulation cells in the tropics with 40—50 day period. *J Atmos Sci*, 1972, 29(6): 1109-1123.
- [2] Madden R A, Julian P R. Detection of a 40—50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J Atmos Sci*, 1971, 28(5): 702-708.
- [3] Yasunari T. A quasi-stationary appearance of 30 to 40 day period in the cloudiness fluctuations during the summer monsoon over India. *J Meteor Soc Japan*, 1980, 58: 225-229.
- [4] 李崇银,周亚萍. 热带大气季节内振荡和 ENSO 的相互关系. *地球物理学报*, 1994, 37: 17-26.
- [5] 李崇银,李桂龙. 赤道太平洋大气低频振荡与海表水温的关系. *科学通报*, 1999, 44(1): 78-81.
- [6] Lin A, Li T. Energy spectrum characteristics of boreal summer intraseasonal oscillations; Climatology and variations during the ENSO developing and decaying phases. *J Climate*, 2008, 21: 6304-6320.
- [7] 林爱兰, Li T, 李春晖, 等. 印度洋海温年际异常与热带夏季季节内振荡之间关系及其数值模拟研究. *气象学报*, 2010, 68(5): 617-630.
- [8] 林爱兰, Li T, 李春晖. 热带夏季风场与对流场季节内振荡传播模比较. *应用气象学报*, 2010, 21(5): 545-557.
- [9] 丁一汇, 梁萍. 基于 MJO 的延伸预报. *气象*, 2010, 36(7): 111-122.
- [10] 梁萍, 丁一汇. 基于季节内振荡的延伸预报试验. *大气科学*, 2012, 36(1): 102-116.
- [11] 陈丽臻, 张先恭, 陈隆勋. 长江流域两个典型旱涝年大气 30—60 天低频波差异的初步分析. *应用气象学报*, 1994, 5(4): 483-488.
- [12] 何金海, 陈丽臻. 南半球中纬度准 40 天振荡及其与北半球夏季季风的关系. *南京气象学院学报*, 1989, 12(1): 11-17.
- [13] 陆尔, 丁一汇. 1991 年江淮特大暴雨与东亚大气低频振荡. *气象学报*, 1996, 54(6): 730-736.
- [14] Chen L, Zhu C, Wang W, et al. Analysis of the characteristics of 30—60 day low-frequency oscillation over Asia during 1998 SCSMEX. *Adv Atmos Sci*, 2001, 18: 623-638.
- [15] 史学丽, 丁一汇. 1994 年中国华南大范围暴雨过程的形成与夏季季风活动的研究. *气象学报*, 2000, 58(6): 666-677.
- [16] 毛金玉, 吴国雄. 1991 年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡. *气象学报*, 2005, 63(5): 762-770.
- [17] 琚建华, 赵尔旭. 东亚夏季风区的低频振荡对长江中下游旱涝的影响. *热带气象学报*, 2005, 21(2): 163-171.
- [18] 陈隆勋, 张博, 张瑛. 东亚季风研究的进展. *应用气象学报*, 2006, 17(6): 711-724.
- [19] 林爱兰, 梁建茵, 李春晖, 等. “0506” 华南持续性暴雨的季风环流背景. *水科学进展*, 2007, 18(3): 424-432.
- [20] 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. *应用气象学报*, 2008, 19(6): 710-715.
- [21] 林爱兰, 梁建茵, 谷德军. 热带大气季节内振荡对东亚季风区的影响及不同时间尺度变化研究进展. *热带气象学报*, 2008, 24(1): 11-19.
- [22] 王跃男, 陈隆勋, 何金海, 等. 夏季青藏高原热源低频振荡对我国东部降水的影响. *应用气象学报*, 2009, 20(4): 419-427.
- [23] 贾燕, 管兆勇. 江淮流域夏季降水异常与西北太平洋副热带 30—60 天振荡强度年际变化的联系. *大气科学*, 2010, 34(4): 691-702.

- [24] 孙国武,孔春燕,信飞,等. 天气关键区大气低频波延伸期预报方法. 高原气象,2011,30(3):594-599.
- [25] Waliser D E, Jones C, Schemm J K E, et al. A statistical extended-range tropical forecast model based on the slow evolution of the Madden-Julian oscillation. *J Climate*, 1999, 12: 1918-1939.
- [26] Wheeler M, Weickmann K M. Real-time monitoring and prediction of modes of coherent synoptic to intraseasonal tropical variability. *Mon Wea Rev*, 2001, 129: 2677-2694.
- [27] Mo K C, Higgins R W. Tropical convection and precipitation regimes in the western United States. *J Climate*, 1998, 11: 2404-2423.
- [28] Paegle J N, Lee A B, Kingtse C M. Intraseasonal modulation of South American summer precipitation. *Mon Wea Rev*, 2000, 128: 837-850.
- [29] Higgins R W, Shi W. Intercomparison of the principal modes of interannual and intraseasonal variability of the North American monsoon system. *J Climate*, 2001, 14: 403-417.
- [30] Carvalho L M V, Jones C, Liebmann B. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *J Climate*, 2004, 17: 88-108.
- [31] Jones C, Waliser D E, Lau K M, et al. Global occurrences of extreme precipitation events and the Madden-Julian oscillation: Observations and predictability. *J Climate*, 2004, 17: 4575-4589.
- [32] Barlow M, Wheeler M, Lyon B, et al. Modulation of daily precipitation over Southwest Asia by the Madden-Julian oscillation. *Mon Wea Rev*, 2005, 133: 3579-3594.
- [33] Lorenz D J, Dennis L H. The effect of the MJO on the North American monsoon. *J Climate*, 2006, 19: 333-343.
- [34] Jeong J H, Kim B M, Ho C H, et al. Systematic variation in wintertime precipitation in East Asia by MJO-induced extratropical vertical motion. *J Climate*, 2008, 21: 788-801.
- [35] 刘冬晴,杨修群. 热带低频振荡影响中国东部冬季降水的机理. 气象科学, 2010, 30(5): 684-693.
- [36] 袁为,杨海军. Madden-Julian 振荡对中国东南部冬季降水的调制. 北京大学学报:自然科学版, 2010, 46(2): 207-214.
- [37] Jia X, Chen L, Ren F, et al. Impacts of the MJO on winter rainfall and circulation in China. *Adv Atmos Sci*, 2011, 28(3): 521-533.
- [38] 吕俊梅, 琚建华, 任菊章, 等. 热带大气 MJO 活动异常对 2009—2010 年云南极端干旱的影响. 中国科学:地球科学, 2012, 55: 98-112.
- [39] 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. 大气科学, 2011, 35(3): 560-570.
- [40] 林爱兰, 李春晖, 谷德军, 等. 热带季节内振荡对广东 6 月降水的影响. 热带气象学报, 2013, 29(3): 353-363.
- [41] Kanamitsu M, Ebisuzaki W, Woollen J, et al. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis(R-2). *Bull Amer Meteor Soc*, 2002, 83: 1631-1643.
- [42] Liebmann B, Smith C A. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77: 1275-1277.
- [43] Wheeler M, Hendon H H. An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction. *Mon Wea Rev*, 2004, 132: 1917-1932.
- [44] Zhang Renhe. Relations of water vapor transport from Indian monsoon with that over east Asia and the summer rainfall in China. *Adv Atmos Sci*, 2001, 18(5): 1005-1017.

Modulation Effect of MJO on the Precipitation over Guangdong and Its Link with the Direct Impact System in June

Lin Ailan Li Chunhui Zheng Bin Gu Dejun

(Key Laboratory of Regional Numerical Weather Prediction,
Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080)

Abstract

A distinguishing method of 500 hPa circulation systems influencing Guangdong is established, and the changes in modulation effect of MJO on the precipitation over Guangdong with the low latitude 500 hPa circulation system in June is analyzed using 30-year (1979—2008) 86-station observational daily precipitation of Guangdong and daily atmospheric data from NCEP-DOE Reanalysis 2. It is found that each phase of strong MJO may correspond to various levels of precipitation, of which the third phase has the highest probability of heavy precipitation (49.3%). The third phase is the only phase among 8 phases of MJO that strong precipitation days outnumber weak precipitation days. The 500 hPa circulation systems in low-latitude impacting Guangdong directly mainly include westerly trough, shallow westerly trough, flat westerly or border of subtropical high, subtropical high and tropical low or trough. The most strong modulation effect of MJO on the precipitation over Guangdong occurs in the case impacted by westerly trough, while the modulation effect is quite weak in the other cases. The precipitation anomaly percentage averaged over Guangdong is peak (valley) in the third phase (the sixth phase) under the case impacted by westerly trough. The changing in modulation effect of MJO on the precipitation over Guangdong with the low latitude circulation system is substantially due to the changing of dynamic ascending motion and the water vapor transport, both of which are necessary for rainfall. In the westerly trough case, the subtropical high is strong and westward, water vapor transport to Guangdong increases significantly, and the dynamic ascending motion and high level divergence conditions are also enhanced, which results in Guangdong precipitation strengthening in the third phase of MJO. But in the sixth phase of MJO, the subtropical high is weak and eastward, water vapor transport to Guangdong decreases significantly although the dynamic ascending motion is enhanced, leading to weaker precipitation than that in the third phase of MJO. However, in the case without westerly trough, although water vapor transport to Guangdong increases in the third phase of MJO, the geopotential height anomaly is positive over East Asia and Western Pacific, therefore the dynamic ascending motion is reduced, so the precipitation is not much stronger than the other MJO phases. Therefore, the modulation of MJO on the precipitation over Guangdong needs the cooperation of westerly trough. The direct impact of westerly trough and remote correlation effect of the third phase of MJO are good prediction indicators for large domain heavy precipitation over Guangdong.

Key words: MJO; precipitation over Guangdong in June; low-latitude circulation system; westerly trough