

覃卫坚,何莉阳,蔡悦幸. 广西持续性区域暴雨对热带季节内振荡的响应特征[J]. 气象研究与应用,2021,42(4):32–37.

QIN Weijian, HE Liyang, CAI Yuexing. Response characteristics of persistent regional rainstorm to Madden-Julian Oscillation in Guangxi [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2021, 42(4): 32–37.

广西持续性区域暴雨对热带季节内振荡的响应特征

覃卫坚, 何莉阳, 蔡悦幸

(广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022)

摘要: 使用广西 90 个地面气象观测站逐日降水资料、NCEP/NCAR 再分析资料等, 研究了广西持续性暴雨气候特征及其对热带季节内振荡(Madden-Julian Oscillation, MJO)的响应特征。结果表明, 沿海地区暴雨过程持续天数历史最长、持续性暴雨过程次数最多; 前汛期持续性区域暴雨发生前期 MJO 多处于上游地区, 随时间变化向东逐渐增多, 暴雨发生时 MJO 处于印度洋中东部次数最多, 此时副热带高压西伸到南海区域, 广西处于副热带高压边沿, 索马里越赤道气流夹带着水汽穿过印度洋, 源源不断给广西送来丰富的水汽; 后汛期持续性区域暴雨发生前期 MJO 位于海洋性大陆次数随时间临近增多, 暴雨发生时 MJO 位于海洋性大陆西部次数偏多, 此时副热带高压偏弱, 广西上空为气旋性环流, 越赤道水汽输送带明显比前汛期第 3 位相时宽大、偏强, 在西南风引导下向广西移动, 利于持续性区域暴雨维持。

关键词: 持续性区域暴雨; 热带季节内振荡; 广西

中图分类号: P426

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.4.06

OSID:

引言

局部地区暴雨过程易引起当地洪涝灾害, 区域性暴雨会使洪涝灾害加重、范围加大, 而持续性区域暴雨会使江河水位暴涨、洪涝灾害的危害性剧增。如 2020 年 5 月 30 日—6 月 10 日广西发生了历史罕见的、持续性区域暴雨天气过程, 桂北出现了严重洪涝灾害, 直接经济损失达 102 亿元。过去人们更多关注持续性暴雨过程的天气形势和诊断分析^[1-11]及暴雨时空分布特征^[12-13], 而广西持续性暴雨极端特征研究还不多见。Madden and Julian^[14-15]最早发现热带地区存在时间尺度为 30~60d 低频振荡现象, 称为热带季节内振荡(MJO), 是短期天气变化到季节变化等多尺度振荡链条中的重要一环, 它的变化反映了未来几周内大尺度天气系统生消、维持和衰减的循环过程。研究表明 MJO 对中国降水影响显著, 如琚建华等^[16-17]、李崇银等^[18]、陶诗言等^[19]指出赤道 MJO

引起南海地区西风的加强, 触发中国南部大陆出现季风涌, 造成南方暴雨发生; Yao et al.^[20]指出 10% 的华南冬季降水由于 MJO 造成的。覃卫坚等^[21-23]、何洁琳等^[24]分析了 MJO 各位相时广西降水异常特征, 指出广西持续性区域性暴雨异常多(少)的年份低纬度地区向外长波辐射(Outgoing Long-wave Radiation, OLR) 30—60d 周期振荡有明显(相对不明显或不连续)的向东传播, 而广西汛期持续性区域暴雨发生前期 MJO 所处位相情况如何, 还少见有关方面的研究, 有必要就该问题展开研究, 为延伸期持续性区域暴雨预报提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 资料

使用 1951 年 1 月—2021 年 10 月广西 90 个地面气象观测站逐日降水资料, 美国国家气象环境预测中心/国家大气研究中心(National Centers for

收稿日期: 2021-07-10

基金项目: 广西自然科学基金(2019GXNSFAA245048)、广西科技计划项目(桂科 AB21075005)

作者简介: 覃卫坚(1971—), 男, 广西人, 博士, 正研级高级工程师, 主要从事短期气候预测方法研究。E-mail: qinweijian2008@126.com

Environmental Prediction, NCEP/National Center for Atmospheric Research, NCAR)高度场、风场、相对湿度再分析资料,1978—2020 年美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)气候预测中心(Climatic Prediction Center, CPC)MJO 指数资料。当某个地面气象站,如果连续 2d 及以上,且每日累积降水量 $\geq 50\text{mm}$ 的降水过程,则定义为一次单站持续性暴雨过程。由于一些地面气象站建站时间晚于 1961 年,2021 年还未结束,因此在分析持续性区域暴雨气候变化特征中只使用了 78 个地面气象站,分析时间段为 1961—2020 年。在 78 个气象站中,连续有 3d 及以上、且每天出现 4 个站以上暴雨的降水过程,其中至少有 1d 出现 9 个站以上暴雨,定义为持续性区域暴雨过程。

2.2 方法

NOAA CPC MJO 指数是利用 200hPa 速度势,经过 EEOF 计算,由第一个 EEOF 特征函数(EEOF1)的 10 个时间滞后模来确定十个指数,描述了约 50d 周期纬向 1 波的东传振荡,10 个时间滞后模的 200hPa 速度势异常中心分别位于 10 个不同的位置(分别位于 20°E , 70°E , 80°E , 100°E , 120°E , 140°E , 160°E , 120°W , 40°W , 10°W)代表了 10 个位相,由左到右,分别为第 1 位相、第 2 位相、第 3 位相……。每一候 MJO 负指数的最大绝对值所处的位相定义为 MJO 在该候所处位相。

采用的统计方法包括一元线性回归方程、Morlet 小波分析、合成分析等。合成分析是对历年 MJO 所处某个位相广西发生的所有持续性区域暴

雨过程第一天的速度场、风场、水汽通量进行合成。

2 广西持续性暴雨气候特征

2.1 广西单站持续性暴雨过程气候特征

广西各地从建站到 2021 年 10 月历史最长的暴雨持续天数如图 1a 所示,暴雨历史持续时间最长的是东兴市,高达 8d,出现在 1994 年 7 月 14—21 日;其次是防城港市,达到 6d,出现在 2001 年 6 月 25—30 日;忻城、天峨、隆林、乐业、西林、田阳、苍梧、宾阳、大新、崇左、龙州、宁明暴雨历史最长持续时间最短,仅为 2d。在广西 90 个站中有 62.2%气象站暴雨历史最长持续日数为 3d,16.7%气象站暴雨历史最长持续日数为 4d,12.2%气象站暴雨历史最长持续日数为 2d,6.7%气象站暴雨历史最长持续日数达到 5d。从建站到 2021 年 10 月持续 2d 及以上暴雨过程次数分布来看,较多的区域为桂南沿海地区、以桂林和柳州北部为中心的桂东北地区,以都安和凌云为中心的桂西山区和以昭平为中心的大瑶山东侧,均在 30 次以上,其中沿海地区最多,达到 60 次以上;持续 3d 及以上暴雨次数沿海地区最多,达到 10 次以上,其次是湘桂走廊及桂西山区,在 5 次以上;持续 4d 及以上暴雨过程主要集中在防城港市,在 3 次以上。图 1b 给出了年平均持续性暴雨过程次数的分布,广西各站在 0.1~2 次之间,全区平均为 0.5 次,其中最少为隆林,仅为 0.1 次;最多为桂林和柳州二市北部、昭平、蒙山、都安、凌云、玉林市及沿海地区,在 0.5 次以上,沿海三市年平均出现 1 次以上,而东兴多达 2 次;其余地区为 0.1~0.5 次之间。

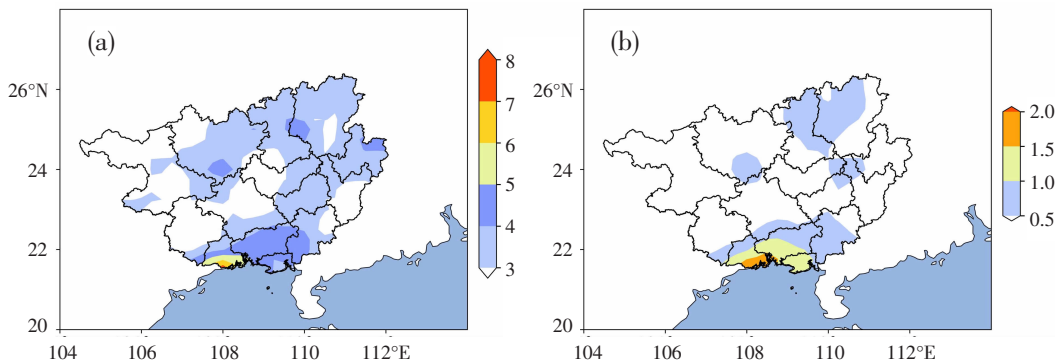


图 1 (a)广西各地建站到 2021 年暴雨持续历史最长天数(单位:d),
(b)年平均持续性暴雨次数(1961—2020 年平均;单位:次)

2.2 广西持续性区域暴雨过程频次的气候特征

1961—2020 年广西持续性区域暴雨过程年际变化略有增多趋势,虽然没有通过显著性检验,但有

明显的阶段性变化特征:1961—1968 年为迅速增多的变化趋势,1969—1983 年为平稳变化阶段,1984—1993 年为偏少期,1994—2008 年为偏多期,

2009—2020 年为平稳期(图 2a)。持续性区域暴雨过程每年平均有 2.8 次,1968、2008 年最多,达到 7 次,1963 年、1989 年、2018 年最少,无持续性区域暴雨过程发生。从小波分析图可以看出,1964—1970、2002—2009 年持续性区域暴雨过程次数有最强的 2a 周期性变化规律,2006—2010 年存在着较强的 4a 周期振荡信号,1966—1986 年为 16~32a 周期振荡,均通过了置信度为 0.05 的显著性检验(图 2b)。

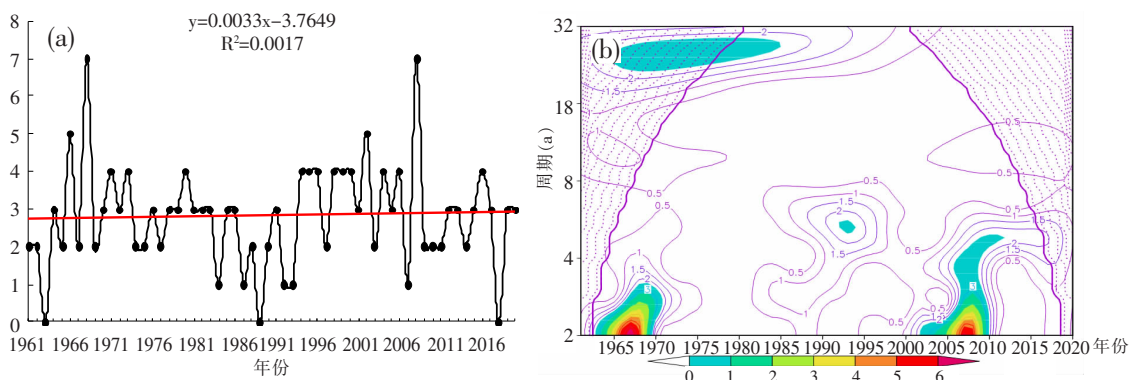


图 2 (a)1961—2020 年广西历年持续性区域暴雨过程次数(黑实线为区域持续性暴雨频数;红实线为一元线性回归线;单位:次)及其(b)小波分析(图中等值线为功率谱;阴影区表示通过了置信度 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验的区域;粗实线弧以外是小波变换受边界影响的区域)

3 广西汛期持续性区域暴雨对 MJO 的响应特征

3.1 前汛期响应特征

1978—2020 年前汛期总共发生了 55 次持续性区域暴雨过程,暴雨过程发生前 10dMJO 所处位相次数距平值从非洲大陆到大西洋中部的分布:MJO 处于第 1、2、3、4 位相(非洲大陆到海洋性大陆西部)次数偏多,处于第 5、6、7 位相(海洋性大陆到西太平洋)次数偏少,第 8、9 位相(东太平洋到西大西洋)次数偏多,第 10 位相次数偏少(图 3a)。暴雨过程发生前 5dMJO 处于非洲大陆和印度洋西部次数较前 10d 明显减少,而处于第 3 位相(印度洋中东部)次数异常增多,第 5、7 位相(海洋性大陆东部到西太平洋)次数偏少,其余位相接近平均值(图 3b)。暴雨过程发生时 MJO 处于第 1 位相(非洲大陆)次数偏少,第 2、3、4 位相(印度洋中东部到海洋性大陆西部)偏多,其中处于第 3 位相(印度洋中部)次数最多,第 5、6、7、8、9 位相(海洋性大陆东部到大西洋西部)偏少,其中第 5 位相(海洋性大陆东部)最少(图 3c)。可见,前汛期持续性区域暴雨发生前期 MJO 多处于

广西持续性区域暴雨主要发生在汛期(4—9 月),占全年的 92.6%,其中前汛期(4—6 月)和后汛期(7—9 月)分别占 45.4%、47.1%,前汛期和后汛期持续性区域暴雨的影响天气系统有明显的差别,前汛期主要影响天气系统为低涡、急流、高空槽、切变线、地面锋面等,后汛期为热带气旋、西南低涡、高空槽、热带辐合线等。

上游,暴雨发生时 MJO 处于第 3 位相次数最多,即印度洋中东部对流增强。为了分析 MJO 处于第 3 位相对持续性区域暴雨的影响机制,对前汛期 MJO 处于第 3 位相时所有持续性区域暴雨第一天的 500hPa 高度场及 850hPa 风场和水汽通量进行合成(图 4a),当 MJO 处于第 3 位相(印度洋中东部)时副热带高压西伸到南海区域,广西处于副热带高压边缘,索马里越赤道气流夹带着水汽穿过印度洋,向东向北移动,经过孟加拉湾和中南半岛北部,进入广西,源源不断给广西送来丰富的水汽,有利于持续性区域暴雨发生。

3.2 后汛期响应特征

1978—2020 年后汛期发生了 57 次持续性区域暴雨过程,暴雨过程发生前 10dMJO 处于第 5、6 位相(海洋性大陆东部)次数偏少,第 7、8 位相(太平洋)次数偏多(图 3d)。暴雨过程发生前 5dMJO 处于第 3、4、8、10 位相(东印度洋到海洋性大陆西部、东太平洋、大西洋中部)次数偏多,第 2、5、6 位相(西印度洋、海洋性大陆东部)偏少(图 3e)。暴雨过程发生时处于第 1、4、7、9、10 位相(非洲大陆、海洋性大陆西部、太平洋中西部、大西洋中西部)次数偏多,第

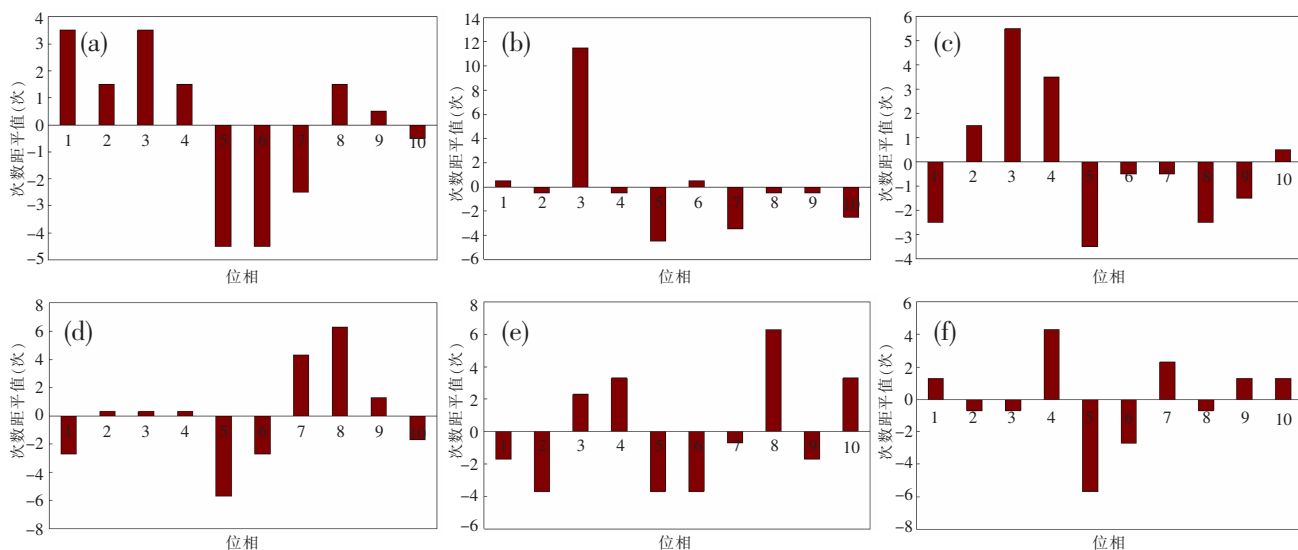


图3 广西持续性区域暴雨过程发生前 10d(a,d)、5d(b,e)、0d(c,f)MJO 所处位相的次数距平值 (a—c:前汛期;d—f:后汛期)

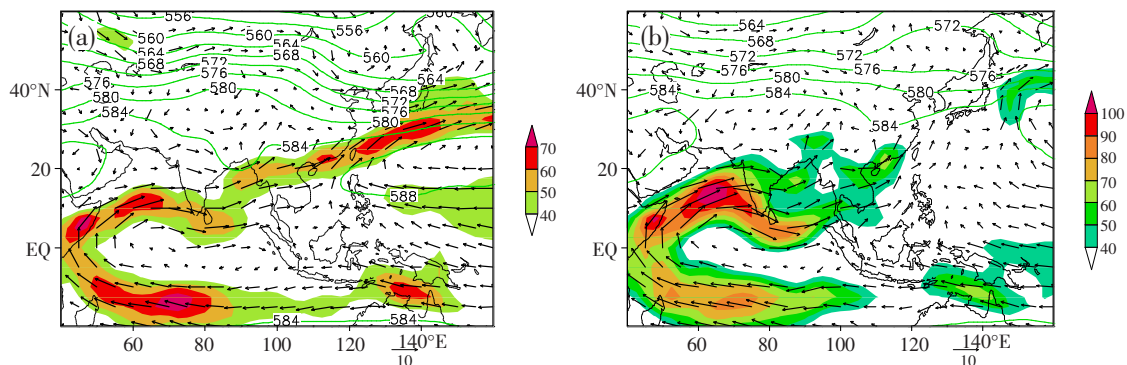


图4 (a)前汛期 MJO 处于第 3 位相、(b)后汛期 MJO 处于第 4 位相持续性区域暴雨第一天的 500hPa 高度场及 850hPa 风场和水汽通量合成

5、6 位相(印度洋中东部、海洋性大陆东部到西太平洋)偏少,其他接近平均值(图 3f)。后汛期持续性区域暴雨发生前 MJO 所处位相跟前汛期相比有了一些变化,持续性区域暴雨发生前 MJO 位于第 4 位相(海洋性大陆西部)次数随时间临近而增多,即海洋性大陆西部对流增强,而暴雨发生时位于印度洋中东部次数略偏少。对后汛期 MJO 处于第 4 位相时所有持续性区域暴雨过程第一天的 500hPa 高度场及 850hPa 风场和水汽通量进行合成,如图 4b 所示, MJO 位于第 4 位相(海洋性大陆西部)时副热带高压偏弱,广西为明显的气旋性环流,索马里越赤道气流夹带着水汽穿过印度洋,水汽输送带明显比前汛期第 3 位相时宽大、偏强,覆盖了印度洋北部地区和中南半岛,给广西送来丰富的水汽,有利于持续性区域暴雨维持。

4 结论和讨论

通过分析研究得到以下结论:

(1) 沿海地区受十万大山地形的显著影响,暴雨过程持续天数历史最长、持续性暴雨过程次数最多。1964—1970 年、2002—2009 年持续性区域暴雨过程次数有较强的 2a 周期性变化规律,2006—2010 年存在着 4a 周期振荡信号,1966—1986 年为 16~32a 周期振荡,均通过了置信度为 0.05 的显著性检验。

(2) 前汛期持续性区域暴雨发生前期 MJO 多处于上游,暴雨发生时 MJO 处于第 3 位(印度洋中东部)相次数最多,此时副热带高压西伸到南海区域,广西处于副热带高压边沿,索马里越赤道气流夹带着水汽穿过印度洋,向东向北移动,经过孟加拉湾

和中南半岛北部进入广西,源源不断给广西送来丰富的水汽,使持续性区域暴雨得以维持和发展。

(3) 后汛期持续性区域暴雨发生前期 MJO 位于海洋性大陆次数随时间临近增多,暴雨发生时 MJO 位于海洋性大陆西部次数偏多,此时副热带高压很弱,广西上空为气旋性环流,越赤道水汽输送带明显比前汛期第 3 位相时宽大、偏强,在西南风引导下向广西移动,利于广西持续性区域暴雨维持。

参考文献:

- [1] 吴兴国.广西热带气旋特大暴雨的特征分析[J].广西气象,1991,12(1):3-5.
- [2] 高安宁,梁志和.广西汛期大范围持续性暴雨天气过程中期预报研究[J].广西气象,1999,20(1):2-7.
- [3] 黄香杏,林开平,赵江洁.广西大范围致洪暴雨天气模型[J].广西气象,2001,22(1):21-23.
- [4] 李菁,卢伟萍,姚才.广西特大暴雨的特征分析[J].广西气象,2002,23(4):9-12.
- [5] 黎惠金,覃昌柳,黄增俊.“05.6”广西持续性大暴雨成因分析[J].广西气象,2006,27(增刊):1-4.
- [6] 黄治逢,李菁.热带气旋影响广西造成大范围暴雨的天气类型及预报[J].气象研究与应用,2007,28(4):8-10.
- [7] 李菁.广西大范围锋面暴雨天气过程的特征分析[J].气象研究与应用,2008,29(增刊Ⅱ):2-4.
- [8] 李菁,祁丽燕,黄治逢.广西大范围锋面暴雨概念模型[J].气象研究与应用,2010,31(4):8-11.
- [9] 覃昌柳,黎惠金.广西一次持续性强降雨过程成因分析[J].气象与环境科学,2012,35(1):26-30.
- [10] 梁维亮,黄明策,李向红,等.广西非台风类大范围持续暴雨的分型及特征分析[J].安徽农业科学,2013,41(24):10147-10150.
- [11] 刘国忠,韦春霞,班荣贵,等.广西区域极端特大暴雨成因个例分析[J].气象科技,2013,41(5):895-905.
- [12] 吴兴国.广西 8 月份重大暴雨的统计特征[J].广西气象,1993,14(2):40-42.
- [13] 黄明策.广西暴雨时空分布特征[J].广西气象,2006,27(3):9-13.
- [14] Madden R A, Julian P R. 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.
- [15] Madden R A, Julian P R. Description of Global Scale Circulation Cells in The Tropics with 40-50 Day Period [J]. Journal of Atmospheric Sciences, 1972, 29(6):1109-1123.
- [16] 据建华,孙丹,吕俊梅.东亚季风涌对我国东部大尺度降水过程的影响分析[J].大气科学,2007,31(6):1029-1039.
- [17] 据建华,赵而旭.东亚夏季风区的低频振荡对长江中下游旱涝的影响 [J]. 热带气象学报,2005,21 (2):163-171.
- [18] 李崇银,龙振夏,穆明权.大气季节内振荡及其重要作用[J].大气科学,2003,27(4):518-533.
- [19] 陶诗言,卫捷.夏季中国南方流域性致洪暴雨与季风涌的关系[J].气象,2007,33(3):10-18.
- [20] Yao Y, Lin H, and Wu Q. Subseasonal Variability of Precipitation in China during Boreal Winter[J]. Journal of Climate, 2015(28): 6548-6559.
- [21] 覃卫坚,李耀先,陈思蓉.同期 MJO 对广西汛期强降水过程的影响[J].气象研究与应用,2017,38(4):18-21.
- [22] 覃卫坚,李耀先,廖雪萍.MJO 活动对广西 6 月阶段性降水的影响研究[J].气象研究与应用,2015,36(1):25-30.
- [23] 覃卫坚,李耀先,廖雪萍,等.大气低频振荡对广西持续性区域性暴雨的可能影响 [J]. 气象研究与应用,2015,36(3):1-7.
- [24] 何洁琳,陆虹,何慧,等.广西冬季降水的低频特征及其与 MJO 的联系[J].热带气象学报,2019,35(3):304-312.

Response characteristics of persistent regional rainstorm to Madden–Julian Oscillation in Guangxi

QIN Weijian, HE Liyang, CAI Yuexing

(Guangxi Climate Center, Nanning Guangxi 530022, China)

Abstract: Using the daily precipitation data and NCEP/NCAR reanalysis data of 90 surface meteorological stations in Guangxi, the climatic characteristics of persistent rainstorm in Guangxi and its influence on Madden–Julian Oscillation (MJO) were studied. The results show that the duration of rainstorm process in coastal areas is the longest and the number of persistent rainstorm processes is the most. In the first flood season, MJO was mostly located in the upper reaches of the upstream area and gradually increased eastward over time before the persistent regional rainstorm occurred. When the rainstorm occurred, the MJO was in the central and eastern Indian Ocean most frequently. At this time, the subtropical high stretched westward to the South China Sea region, and Guangxi was on the edge of the subtropical high. The Somalia cross–equatorial air current entrained water vapor across the Indian Ocean, continuously sending abundant water vapor to Guangxi. In the post flood season, the number of MJO located in the marine continent increased with time before the persistent regional rainstorm occurred. When the rainstorm occurred, MJO was located in the west of the marine continent more often. At this time, the subtropical high was weak, and there was a cyclonic circulation over Guangxi. The cross equatorial water vapor transport belt was significantly wider than that in the third phase of the first flood season. It was strong and moved to Guangxi under the guidance of southwest wind, which was conducive to the maintenance of persistent regional rainstorm in Guangxi.

Key words: persistent regional rainstorm; Madden–Julian Oscillation; Guangxi