

李向红, 庞传伟, 梁维亮, 等. 2015. 孟加拉湾旺盛对流作为广西连续暴雨的前兆信号特征分析. 气象, 41(11): 1383-1389.

孟加拉湾旺盛对流作为广西连续暴雨的前兆信号特征分析^{* 1}

李向红¹ 庞传伟¹ 梁维亮² 黄明策² 蒋荣群³

1 桂林市气象局, 桂林 541001
2 广西区气象台, 南宁 530022
3 广西蒙山县气象局, 蒙山 546700

提 要: 利用 1984—2013 年 30 年的 GMS 卫星资料、FY 卫星资料和小时雨量资料, 利用统计、合成和个例分析的方法, 探讨了孟加拉湾地区强对流在广西连续性暴雨发生前的演变特征和传播机制, 发现孟加拉湾对流在广西连续性暴雨前 2~3 d 异常增强, 说明孟加拉湾旺盛对流对广西低涡切变类持续性暴雨具有前兆信号, 这一前兆信号对广西暴雨中短期预报具有指导意义。研究结论表明: 广西上空对流与孟加拉湾对流有高度相关, 从孟加拉湾到广西上空存在强对流向东传播通道。

关键词: 孟加拉湾对流, 暴雨, 前兆信号, 传播通道

中图分类号: P458 **文献标志码:** A **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.11.008

Analysis on Characteristics of the Strong Convection over the Bay of Bengal as Precursory Signal of Continuous Torrential Rain in Guangxi

LI Xianghong¹ PANG Chuanwei¹ LIANG Weiliang² HUANG Mingce² JIANG Rongqun³

1 Guilin Meteorological Observatory of Guangxi, Guilin 541001
2 Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022
3 Mengshan County Meteorological Observatory of Guangxi, Mengshan 546700

Abstract: Based on the satellite GMS data, FY satellite data and the hourly precipitation data of Guangxi from 1984 to 2013 and using the statistical analysis, the comprehensive analysis and the typical case study methods, the evolution characteristics and propagating mechanism of the convection over the Bay of Bengal before continuous torrential rain occurs in Guangxi are investigated. The results show that the convection over the Bay of Bengal is enhanced abnormally 2—3 d before the occurrence of continuous torrential rains. So the strong convection over the Bay of Bengal is a precursory signal to the vortex shear continuous torrential rain in Guangxi. This precursory signal can guide the short and medium term forecasting of torrential rain in Guangxi. This study conclusion shows that the convections over Guangxi are highly correlated to the convections over the Bay of Bengal. The strong convection eastward propagation channel exits between the Bay of Bengal and Guangxi.

Key words: convection over the Bay of Bengal, torrential rain, precursory signal, propagation channel

^{*} 2013 年广西自然科学基金项目(2013GXNSFAA019288)和 2012 年中国气象局华南区域气象中心项目(CRMC2012M07)共同资助
2014 年 3 月 1 日收稿; 2015 年 8 月 10 日收修定稿
第一作者: 李向红, 主要从事暴雨等灾害天气预报与研究. Email: gllxh99@163.com

引 言

广西地处华南,是西南季风、南支槽和孟加拉湾异常热源影响的区域,近 30 年来,较大连续性暴雨发生过十多次,连续性的暴雨往往造成严重的中小河流洪涝和山洪灾害,同时引发泥石流、塌方、滑坡等地质灾害,每年因灾害直接造成经济损失上亿元。因此,研究广西持续性暴雨的前期信号有利于提前做好抗击灾害的决策服务。

关于华南暴雨与中低纬度系统的关系前人有过很多研究:华南暴雨与中低纬天气系统联系紧密,季风影响期间的连续暴雨常常受孟加拉湾异常热源的影响(陶诗言,1980)。华南地区的降水主要来自孟加拉湾和南海中、南部的暖湿西南气流(丁一汇,1993)。夏季孟加拉湾热源与西南到华西南部地区降水呈明显正相关(张艳焕等,2005;林确略等,2015)。华南暴雨发生前有经向风加强特征,同时孟加拉湾对流发展旺盛(李向红等,2006;许晓林等,2007;林爱兰等,2013;王东海等,2011)。强盛的季风气流不断地将暖湿水汽输送至江南至华南地区并在那里和来自中高纬度的干冷空气汇合,形成连续暴雨(王晓芳等,2011)。华南暴雨发生前经历多次季风涌动,大多的华南冷季强降水与热带卷云羽活动相对应,副热带高空急流使得热带卷云羽快速向东扩展(张耀华等,2012;寿亦萱等,2014)。孟加拉湾西南季风季节内振荡特征表明孟加拉湾在夏季风期间有 4 次季节内振荡的经向传播,进而直接影响华南暴雨(李汀等,2013)。

孟加拉湾对流对华南暴雨的影响也得到了数值试验的验证。夏季风环流形成机制的数值试验表明:在孟加拉湾大气热源的作用下,可以形成正常的低空夏季风及高空急流,而季风的对华南暴雨是有影响的(何家骅等,1984;刘尉等,2014)。一系列孟加拉湾热源敏感性试验结果表明阿拉伯海、孟加拉湾上空异常热源的维持是造成 1994 年 7 月我国东部降水异常的成因(徐海明等,1997)。孟加拉湾地区引入模拟的对流凝结潜热使该地区出现了强烈的上升运动,引起了孟加拉湾季风的爆发,与华南暴雨密切相关(刘屹岷等,2003)。对低层偏南气流与暴雨过程的动力作用的相关性进行的数值模拟表明:低层的风速加强对云团将迅速发展起到关键作

用(肖递祥等,2013)。

1 资料、标准及方法

1.1 资料

本文所用资料包括 GMS-5(1996—2003 年)和 FY-C(2005—2013 年)卫星资料,以及 1996—2013 年 18 a 广西雨量测站的日雨量资料等。GMS-5 的时间分辨率为 1 h,空间分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.09^{\circ}$;FY-C 的时间分辨率为 1 h,空间分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$,采用格点内插技术,将 GMS-5 的数据内插为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 。

1.2 标准

规定连续 2 d 广西区域雨量站(共 89 站)某一天出现 20 个站(以上)日降水量达到暴雨(≥ 50 mm),且前一天或后一天又出现 10 站(以上)日降水量达到暴雨时,记作一次大范围持续性暴雨过程。共选出 28 个连续性暴雨过程,其中有 24 例连续性西风系统暴雨过程,其中 18 例为切变低涡过程,3 例为高原槽类,3 例为华北槽类。

1.3 方法

将每次大范围持续性暴雨过程中暴雨站数达到 20 站以上为连续暴雨的首发日,以首发日 08 时为 0 时刻(以下均为北京时),将所有发生在 4—7 月之间的连续暴雨过程进行上述 3 种分类后,分别将同一类型的 GMS-5 和 FY-C 资料进行合成,判断连续暴雨发生前、持续阶段和后续阶段孟加拉湾对流的演变情况,获得有价值的前期强信号特征。

2 连续性暴雨孟加拉湾对流特征

在 23 次资料齐全的不断暴雨过程中,有 18 次属于低涡切变类的,以连续暴雨发生当日 08 时为 0 时刻,分析暴雨发生前 5 d、当天和发生后 4 d 共 10 d 广西上空和孟加拉湾上空的 TBB 变化,并绘制区域平均 TBB 随时间的演变图(图 1),广西范围为 $20^{\circ} \sim 26^{\circ} \text{N}$ 、 $106^{\circ} \sim 112^{\circ} \text{E}$,孟加拉湾范围为 $12^{\circ} \sim 16^{\circ} \text{N}$ 、 $88^{\circ} \sim 92^{\circ} \text{E}$ 。

由图 1 可见,广西上空的 TBB 15 时达到最低,达到 247 K,可见由切变线和低涡系统影响的广西

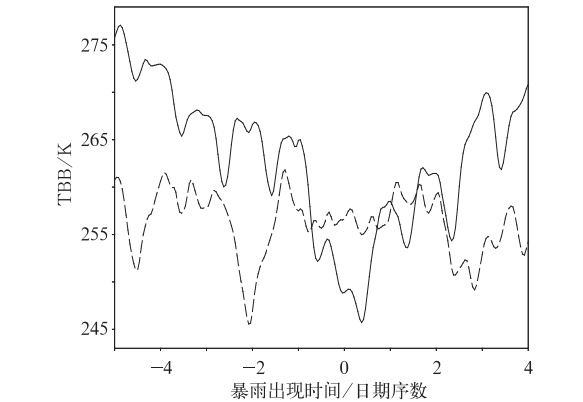


图 1 合成的低涡切变类暴雨广西 TBB (实线)和孟加拉湾 TBB(虚线)演变
(图中横轴 0 为连续暴雨当日 08 时,暴雨发生前 5 d 到后续 4 d, 间隔 24 h;广西范围为 $20^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$ 、 $106^{\circ}\sim 112^{\circ}\text{E}$, 孟加拉湾范围为 $12^{\circ}\sim 16^{\circ}\text{N}$ 、 $88^{\circ}\sim 92^{\circ}\text{E}$)

Fig. 1 Evolution of TBB over Guangxi (solid line) and the Bay of Bengal (dashed line) of the integrated vortex shear heavy rain in Guangxi
(0 denotes at 08:00 BT of the first day of the continuous heavy rain, with 5 days before and 4 days after the heavy rain with interval of 24 h; Gaungxi Region is in the range of $20^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$, $106^{\circ}\sim 112^{\circ}\text{E}$, and the Bay of Bengal area is in $12^{\circ}\sim 16^{\circ}\text{N}$, $88^{\circ}\sim 92^{\circ}\text{E}$)

暴雨,平均的最强影响时间为 15 时左右,同时在暴雨当日前 48 h 孟加拉湾上空的 TBB 值(虚线)达到最低,可见连续暴雨前 48 h 孟加拉湾对流发展到最强,相对于广西暴雨最强时刻而言,暴雨前 2~2.5 d 孟加拉湾对流达到最强。孟加拉湾区域 TBB 平均强度可以达到 248 K。此后,在广西上空区域平均 TBB(实线)在连续暴雨的第 2 天大概 15 时左右也出现了次低值,在第 3 天的 14 时左右,再次出现次低值,但强度并不很强,区域平均仅为 254 K。孟加拉湾区域平均 TBB 在首次低值出现最低后,反弹到区域平均值只有 263 K,在第 2 天暴雨最强时刻出现前大概 48 h,孟加拉湾区域平均 TBB 再次出现次低,达到 255 K。

以每次连续暴雨首日 08 时为 0 时刻,将 18 次切变、低涡型的连续暴雨的前 5 d 到后 4 d 的 TBB 进行点对点的取平均合成,以分析暴雨前后孟加拉湾对流的演变。

从合成的 TBB 的平面分布(图 2),也可以看到,连续暴雨开始前 5 d(图 2a),广西上空没有低于 255 K 的 TBB 分布,孟加拉湾上空有很小范围的分

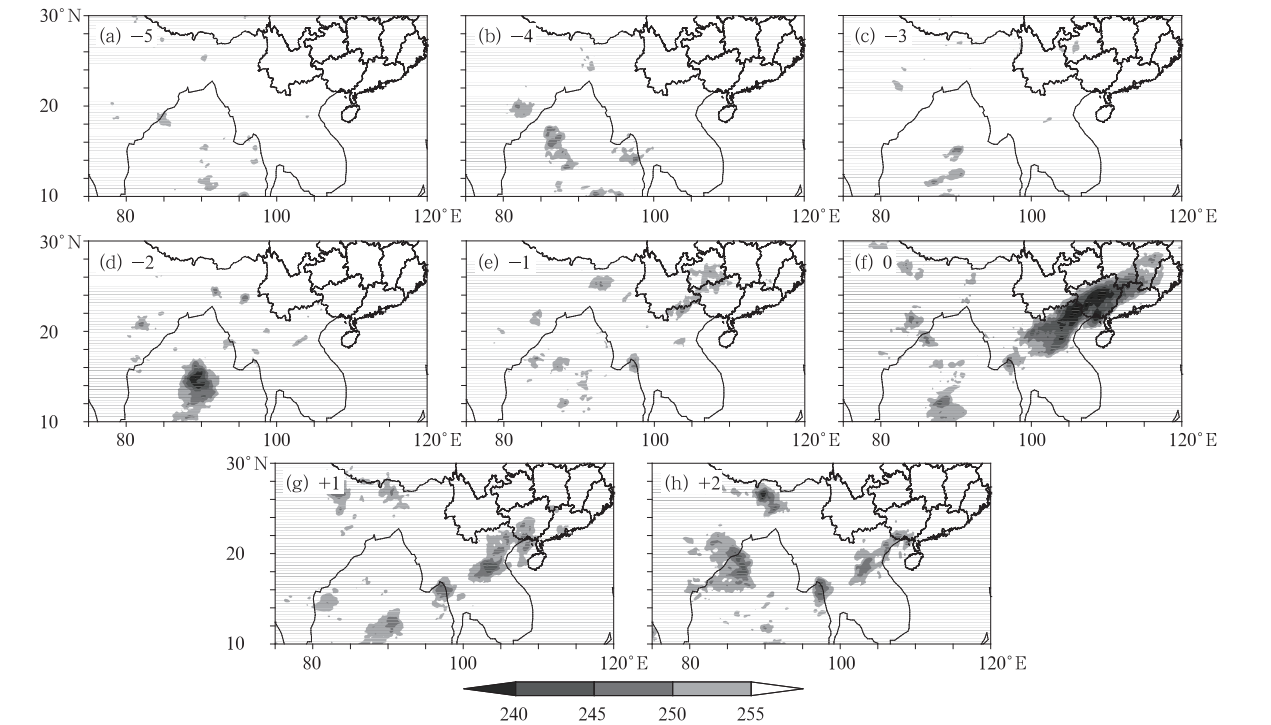


图 2 合成的低涡切变类连续暴雨发生前后 TBB 的分布
(0 为连续暴雨的当日 08 时, -5~+2 表示暴雨前 5 d 到后续第 2 天 08 时,阴影区为低于 255 K 的区域,单位: K)

Fig. 2 TBB distribution of the integrated vortex shear heavy rain in Guangxi
[0 denotes 08:00 BT of the first day of the continuous Guangxi heavy rain; “-5~+2” represents the days before (day -5) and after (day +4) the heavy rain every 24 h; shaded area denotes $TBB<255\text{ K}$, unit: K]

散的低于255 K的 TBB 分布；连续暴雨开始前 4 d (图 2b)，广西上空还是没有低于 255 K 的 TBB 分布，但在孟加拉湾上空低于 255 K 的 TBB 范围扩大；连续暴雨开始前 3 d(图 2c)，广西上空依然没有低于 255 K 的 TBB 分布，但在贵州上空已经可以看到有明显的 TBB 分布了，孟加拉湾上空低于 255 K 的 TBB 范围与暴雨前 4 天相当；到连续暴雨开始前 2 d(图 2d)，贵州上空没有出现低于 255 K 的 TBB，但在孟加拉湾上空低于 255 K 的 TBB 范围和强度显著增强，中心值降到了 240 K 以下；到暴雨发生前 1 d(图 2e)，孟加拉湾的对流不管是强度还是范围都开始减弱，结构也变松散，但在广西与贵州云南交界处，有带状对流强烈发展。连续暴雨的当日 08 时 ((图 2f)，孟加拉湾的对流减弱，但看到一条明显的强对流回波控制了广西，TBB 的中心值低于 240 K。

对于高原深槽导致的连续性暴雨同样具有孟加拉湾对流提前发展的特征。2008 年 6 月 9—10 日广西出现了连续性暴雨过程，8 日有 10 站暴雨，9 日全区有 30 站暴雨，10 日有 20 站暴雨。影响系统是在高原东部有深槽，地面影响系统为高压后部。

从图 3 可以看出，在 9 日 10 时，广西上空的区域平均 TBB 出现低值达到 238 K，事实上在 9 日，广西出现了大范围暴雨，而在暴雨前 2.5 d，即 6 日 22 时，孟加拉湾的 TBB 达到最低值，接近 228 K。在 10 日广西再次出现较大范围暴雨，在 10 日 02 时广西上空 TBB 很低，大约为 250 K，暴雨前 2 d 多，即 7 日 21 时，孟加拉湾 TBB 再次降低，这是连续暴雨过程的特点。

从 TBB 的水平分布(图 4)可以看到，从连续暴雨开始前 6~3 d，孟加拉湾对流在逐日发展，所以连续暴雨开始前确实有对流强烈发展。由于是连续过程，在暴雨前 3、2、1d 孟加拉湾的对流都还很强。在

图 4 中可以看到 6 日 08 时，孟加拉湾地区的对流发展非常旺盛，云顶温度低于 190 K，9 日 08 时，暴雨发生时，广西上空的对流也强烈发展，云顶温度低于 210 K，可见孟加拉湾旺盛对流作为广西连续暴雨的前期信号确实是提前了 3 d 出现。在 9 日孟加拉湾仍然有强对流存在，是后续的广西暴雨的前期信号特征。

对于华北槽导致的广西连续暴雨也有类似的特征(图略)。2009 年 5 月 19—20 日暴雨过程为冷空气加华北高空槽导致，19 日暴雨 13 站，20 日暴雨 26 站，孟加拉湾北部对流表现不明显，但孟加拉湾南部 10°S~5°N 对流发展明显，在暴雨前 3~4 d，孟加拉湾南部的 TBB 就达到最低值。

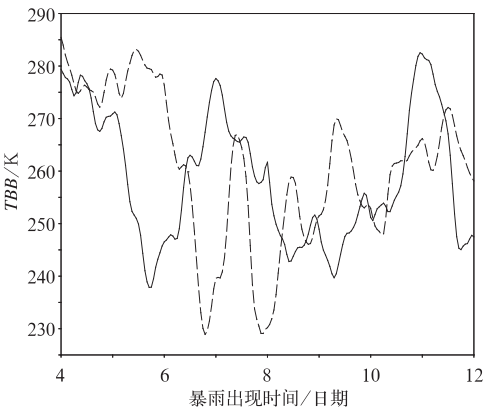


图 3 2008 年 6 月 4—12 日广西 TBB(实线)和孟加拉湾 TBB(虚线)随时间演变 (广西范围为 20°~26°N、106°~112°E，孟加拉湾范围为 12°~16°N、88°~92°E，横坐标日期对应北京时 00 时)

Fig. 3 Evolution of TBB over Guangxi (solid line) and the Bay of Bengal (dashed line) in 4—12 June 2008 (Gaugxi Region is 20°—26°N, 106°—112°E, the Bengal Bay Region is 12°—16°N, 88°—92°E, horizontal ordinate date is corresponding 00:00 BT)

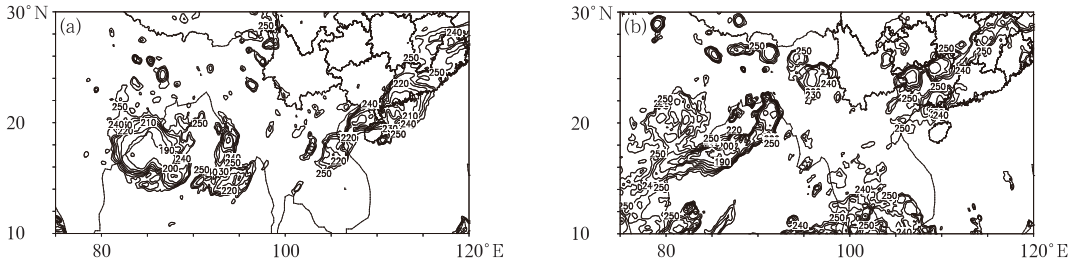


图 4 2008 年 6 月 6 日 08 时(a)、9 日 08 时(b)TBB 的分布 (等值线区为小于 250 K 范围，间隔 10 K，单位：K)

Fig. 4 TBB distribution at 08:00 BT 6 and 08:00 BT 9 June 2008 (The shaded area denotes TBB<255 K, with interval 10 K, unit: K)

分析还发现如果菲律宾有对流发展的话,那么孟加拉湾北部的对流就表现不明显。可能原因是菲律宾对流或台风发展,形成纬向的 Walker 环流,使得孟加拉湾北部为下沉气流。

3 2013 年典型连续暴雨个例检验

3.1 2013 年 5 月暴雨过程

受高空低槽、南支槽东移引导 850 hPa 切变线和地面冷空气南下影响,2013 年 5 月 15 日夜間到 16 日桂林出现了 3 h 达到近 300 mm 的暴雨天气,广西北部有 13 个站达到暴雨天气。分析暴雨前后,孟加拉湾 TBB 和广西北部 TBB 的演变,从图 5 可以看到,广西北部在 16 日 02 时的 TBB 达到最低,240 K 左右。但是,孟加拉湾的 TBB 在暴雨前 3 d,即 13 日 02 时达到最低为 237 K 左右。

从 TBB 的水平分布(图略)也可以看出,广西北部暴雨前 3 d,孟加拉湾对流是强烈发展的。

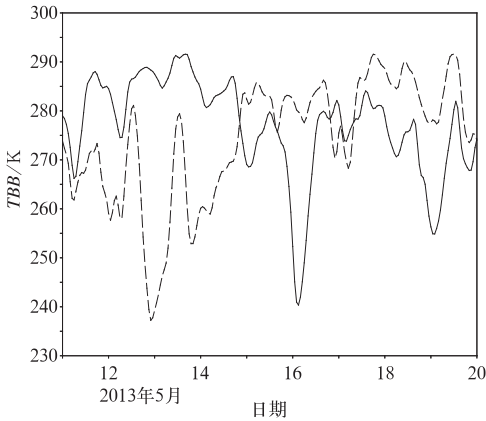


图 5 2013 年 5 月 11—20 日广西北部 TBB(实线)和孟加拉湾 TBB(虚线)随时间演变
(广西北部 TBB,范围为 23°~26°N、106°~112°E,孟加拉湾范围为 12°~16°N、88°~92°E,横坐标日期对应北京时 00 时)

Fig. 5 Evolution of TBB over northern Guangxi (solid line) and Bay of Bengal (dashed line) in 11–20 May 2013

[Horizontal ordinate dates denote 11 June (day –5) to 20 June (day +4), every 24 h northern Gaungxi is in 23°–26°N, 106°–112°E, the Bay of Bengal Region is in 12°–16°N, 88°–92°E, horizontal ordinate date is corresponding 00:00 BT]

3.2 2013 年 6 月连续暴雨过程

受高空槽和低涡、切变线及地面弱冷空气共同影响,2013 年 6 月 7—9 日为广西连续性暴雨过程,其中 9 日广西有 16 站暴雨,10 日广西有 14 站暴雨。9 日主要影响广西北部的桂林,全市有 10 个站出现超过 100 mm 降水,雨量中心分布在铁路沿线,灵川、桂林、临桂、永福雨量超过 100 mm;资源和兴安为 58~83 mm,9 日暴雨过程是桂林 2013 年最大的一次暴雨过程。10 日主要影响广西中南部。

从图 6 广西上空 TBB 与孟加拉湾上空 TBB 随时间演变可以看到,广西上空的 TBB 值在大概 9 日 23 时到 10 日 00 时达到最低,为 213 K,说明这时对流发展最强烈,正是暴雨发生时刻,而大概在 6 日 01 时,孟加拉湾对流发展到最强烈,为 210 K,可以得出结论孟加拉湾对流在广西暴雨前近 3 d,发展到最强。

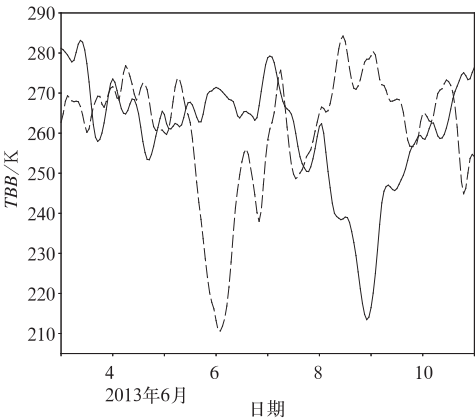


图 6 2013 年 6 月 4—12 日广西 TBB(实线)与孟加拉湾上空 TBB(虚线)随时间演变
(孟加拉湾范围:5°~23°N、80°~100°E,横坐标日期对应北京时 00 时)

Fig. 6 Evolution of TBB over Guangxi (solid line) and the Bay of Bengal (dashed line) in 4–12 June 2013
(The Bay of Bengal Region is in 5°–23°N, 80°–100°E, horizontal ordinate date is corresponding 00:00 BT)

从 2013 年 6 月 6 日 14 时与 9 日 14 时卫星云图(图略)可以看到,在 6 月 6 日 14 时,孟加拉湾上空为强烈对流发展,而在 9 日 14 时孟加拉湾上空的对流已经非常弱了,但广西上空的对流,却发展起来了。可见孟加拉湾上空的对流要比广西上空的对流发展提前 2~3 d。

4 广西暴雨对流与孟加拉湾对流的相关性

分析暴雨前后孟加拉湾 TBB 与广西上空的 TBB 的相关性(图 7),分析表明广西上空 TBB 在孟加拉湾 TBB 发展后第 50 小时相关性最高,系数达到 0.667,表明了广西强对流发展与孟加拉湾强对流发展有很好的相关性。

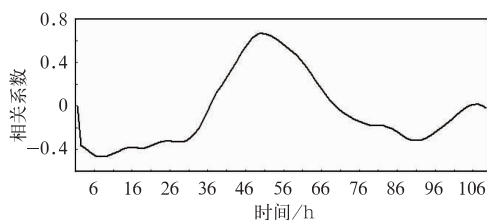


图 7 暴雨前后孟加拉湾 TBB 与广西上空的 TBB 的相关系数演变
Fig. 7 Correlation evolution of TBB over Guangxi and the Bay of Bengal

5 TBB 合成置信度检验

对 TBB 的合成的置信度进行了检验,结果表明在广西出现 20 站以上全区性暴雨期间,广西区域维持显著的 TBB 低值,95%置信区间平稳维持在 $244\text{ K} \pm 15\%$ 以内;而在非连续暴雨期,维持在 265 K 以上且可信区间振幅太大。这种情况与孟加拉湾区域 TBB 演变情况几乎完全一致,事实是广西出现了大范围的强对流降雨,那么可以认为(在广西暴雨前 2~3 d)孟加拉湾出现了较大范围的强对流。

出现这么大的偏差,对广西区域来说,是因为使用了整个广西区域的平均 TBB 来描述 20~30 站的区域暴雨所导致;同理,孟加拉湾也是如此。

6 从孟加拉湾向广西的强对流东传特征

为了进一步研究孟加拉湾对流的传播特征,参看合成低涡切变类连续暴雨首日 08 时的 TBB 分布图(图 2f),可见,有一西南—东北向的 TBB 低值区覆盖孟加拉湾到广西。为此,沿广西连续暴雨首日的 TBB 低值区分布图的方向,即从 13°N 、 88°E 到

23°N 、 110°E 方向作暴雨发生前后 10 d 的 TBB 的时间变化剖面(图 8)。

图 8 为暴雨前后 10 d 沿 13°N 、 $88^{\circ}\text{E} \sim 23^{\circ}\text{N}$ 、 110°E 方向的 TBB 时间剖面图,由图可见,暴雨开始前 2 d,在孟加拉湾的位置,即 13°N 、 88°E ;TBB 显示为低值区,低值达到 238 K ;到暴雨前 1.5 d,TBB 低值区移动到了 17°N 、 96°E ;到暴雨前 1 d,TBB 低值区移动到了 19.5°N 、 104°E ;到连续暴雨当日 08 时,TBB 低值区移到了 22°N 、 109°E ;暴雨当日 14 时,TBB 低值区移到了 23°N 、 110°E 附近,强度加强,低于 238 K ,可见沿 13°N 、 $88^{\circ}\text{E} \sim 23^{\circ}\text{N}$ 、 110°E 方向存在 TBB 低值东传的事实,也就意味着从孟加拉湾到广西上空存在强对流东传的通道。

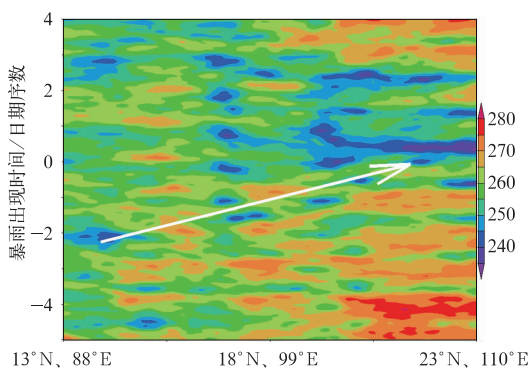


图 8 TBB 沿 13°N 、 $88^{\circ}\text{E} \sim 23^{\circ}\text{N}$ 、 110°E 方向的时间剖面图

(0 为连续暴雨当日 08:00 BT, -5~4 表示暴雨前 5 d 到后续 4 d 的 08:00 BT)

Fig. 8 TBB temporal cross section along 13°N 、 $88^{\circ}\text{E} \sim 23^{\circ}\text{N}$ 、 110°E

[0 denotes at 08:00 BT of the first day of the continuous heavy rain, “-5~+4” represents the days before (day -5) and (day +4) the heavy rain with interval of 24 h]

7 结 论

利用 1984—2013 年近 30 年的卫星 GMS 资料、FY 资料、EC 细网格资料,利用合成分析和个例分析的方法,探讨了孟加拉湾异常热源在广西西风系统连续性暴雨前期维持特征及维持机制,得出孟加拉湾热源在广西连续暴雨前 2~3 d 异常增强的特征和次强特征。

(1) 广西西风带系统持续性大范围暴雨发生前,孟加拉湾对流经历了多次活跃过程。孟加拉湾

对流的活跃可能是广西西风带系统连续大范围暴雨的一个重要前期信号,这对预报广西持续性暴雨有一定的指示意义。

(2) 孟加拉湾上空的对流要比广西上空的对流发展提前 2~3 d,当对流减弱时,广西上空的对流发展,期间可能存在波动东传的可能。

(3) 分析暴雨前后孟加拉湾 TBB 与广西上空的 TBB 的相关性,分析表明广西上空对流在孟加拉湾对流发展后第 50 小时相关性最高,系数达到 0.667,表明了两者的相关性。

(4) 对沿孟加拉湾到广西上空的合成的低涡切变类暴雨前后 10 d 的 TBB 随时间的剖面图表明,从孟加拉湾到广西上空存在强对流东传的通道。

参考文献

丁一汇. 1993. 1991 年江淮流域持续性大暴雨的研究. 北京: 气象出版社, 255.

何家骅, 陈隆勋, 李维亮. 1984. 夏季风环流形成机制的数值试验. 青藏高原气象科学实验文集. 北京: 科学出版社, 324-332.

李汀, 琚建华. 2013. 孟加拉湾西南季风与南海热带季风季节内振荡特征的比较. 气象学报, 71(3): 492-504.

李向红, 蒋丽娟, 薛荣康, 等. 2006. 广西季风暴雨中期预报平台研制思路与应用. 气象, 32(5): 110-115.

林爱兰, 李春晖, 郑彬, 等. 2013. 广东前汛期持续性暴雨的变化特征及其环流形势. 气象学报, 71(4): 628-642.

林确略, 寿绍文, 杨华. 2015. 基于数值模拟对一次广西前汛期回流暴雨形成机制的分析. 气象, 41(7): 852-862.

刘尉, 罗晓玲, 陈慧华, 等. 2014. 近 52 年广东开汛期特征及与前汛期降水的关系分析. 气象, 40(7): 827-834.

刘屹岷, 陈仲良, 吴国雄. 2003. 孟加拉湾季风爆发对南海季风爆发的影响 II: 数值试验. 气象学报, 61(1): 10-19.

寿亦萱, 陆风, 王捷纯, 等. 2014. 华南冷季暴雨中热带卷云羽特征研究. 气象, 40(6): 687-696.

陶诗言. 1980. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 225.

王东海, 夏茹娣, 刘英. 2011. 2008 年华南前汛期致洪暴雨特征及其对比分析. 气象学报, 69(1): 137-148.

王晓芳, 黄华丽, 黄治勇. 2011. 2010 年 5—6 月南方持续性暴雨的成因分析. 气象, 37(10): 1206-1215.

肖递祥, 肖丹, 周长春, 等. 2013. 低层偏南气流对一次暴雨过程的动力作用分析和数值模拟. 气象, 39(3): 281-290.

徐海明, 王谦谦. 1997. 1994 年 7 月我国东部降水异常成因的数值研究. 热带气象学报, 13(3): 276-283.

许晓林, 徐海明, 司东. 2007. 华南 6 月持续性致洪暴雨与孟加拉湾对流异常活跃的关系. 南京气象学院学报, 30(4): 463-471.

张艳焕, 郭品文, 周惠. 2005. 孟加拉湾热源对亚洲夏季风环流系统的影响. 南京气象学院学报, 28(1): 1-8.

张耀华, 周兵, 张耀存. 2012. 2010 年南方持续暴雨期大气环流异常及其低频特征研究. 气象, 38(11): 1367-1377.