

2020年夏秋季北部湾 SST 异常特征及可能成因分析

姚小娟^{1,2}, 张海燕^{1,2}, 李希茜^{1,2}

(1. 国家海洋局南海预报中心, 广东 广州 510300; 2. 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室, 广东 广州 510300)

摘要: 利用 MISST 海温资料、表层海温实测资料和 ERA5 再分析资料等, 采用天气动力学分析方法, 重点对 2020 年夏秋季北部湾海表温度异常特征及大尺度环流成因进行分析。结果表明: 2020 年夏秋季北部湾海域 SST 持续异常偏高, 平均 SST 为历史同期最高。北部湾 SST 异常偏高与夏秋季西北太平洋大尺度大气环流异常密切相关, 2020 年夏秋季西太平洋副热带高压持续异常偏强偏西, 低层异常反气旋环流长期维持在南海北部, 北部湾下沉气流持续偏强, 为北部湾 SST 持续异常偏高提供极为有利的大气环流条件。在全球气候变暖背景下, 受前期中部型厄尔尼诺衰减与热带印度洋全区一致海温模态持续异常偏暖影响, 2020 年夏秋季西北太平洋反气旋持续偏强, 使北部湾长期处于西太平洋副高控制下, 加剧了北部湾 SST 异常增暖。

关键词: 北部湾; 海表温度异常; 西太平洋副高; 西北太平洋反气旋; 厄尔尼诺; 热带印度洋全区一致海温模态; 全球气候变暖

中图分类号: P731.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2022)04-0079-12

1 引言

海表温度 (Sea Surface Temperature, SST) 是海洋动力与热力过程以及海洋-大气相互作用等多种因素共同作用的结果, 是海洋-大气运动系统中影响海面水汽交换和热通量的一个重要变量, 也是研究海洋环流、水团、上升流和海水混合等问题的重要参量, 与海洋生态密切相关。国内外众多学者对相关海域 SST 的变化特征进行了大量的研究。于文泉^[1]利用南海北部月平均水温资料对南海水温的时空结构特征进行了统计分析; 樊博文等^[2]基于 GIS 数据, 从南海 SST 年变化、随纬度的变化、垂向变化和季节分布特征 4 个方面对南海海温时空特征进行了全面分析, 指出南海 SST 高温的持续时间较长, 升温过程比降温过程相对短, 温度变化因纬度和季节的不同而存在差异; 朱秀华等^[3]采用综合海洋-大气数据集 (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set, COADS) 和最佳内插值海表温度 (Optimum

Interpolation Sea Surface Temperature, OISST) 海洋气象资料对南海 SST 年际模态及其与季风强迫的关系进行探讨, 认为南海 SST 存在 25.6 M、36.6 M 和 42.7 M 的变化周期, 指出南海 SST 异常与厄尔尼诺 (El Niño) 密切相关, 同时受经向风应力和 Ekman 抽吸的影响; Chen 等^[4]研究认为南海海域秋季海水迅速增暖是由南海上空低层的异常反气旋引起的, 该反气旋可以反过来增加 10 月南海对太阳辐射的吸收, 减少 11—12 月南海的蒸发降温; 曾强等^[5]和梁卫等^[6]分析了南海地区季风爆发前后几周的南海多年平均 SST 随时间的演变和空间分布特征及其物理过程, 指出南海夏季风爆发前后海温变化受短波辐射、潜热通量变化及西南气流变化的影响; Wang 等^[7]研究了南海 SST 年际变化与 El Niño 的关系, 结果表明南海 SST 年际变化很大程度上受 El Niño 驱动的海洋-大气环流变化的影响, 海洋-大气环流的变化改变了南海近海层的气温、湿度、云量和季风环流, 这些因素影响了海面热通量和海洋环流, 从

收稿日期: 2021-05-26; 修回日期: 2021-09-09。

基金项目: 国家重点研发计划重点 (2018YFC1407002)。

作者简介: 姚小娟 (1985-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事南海气象水文预报和气候预测研究工作。E-mail: 402570795@qq.com

而引起南海 SST 变化; Tan 等^[8]研究发现 3 类不同 El Niño 事件对 El Niño 发展年南海秋季 SST 存在不同影响,不同 El Niño 事件导致的潜热通量变化差异是导致南海海温变化差异的主要原因。

北部湾位于我国南海西北部,是一个相对封闭的海湾,东临雷州半岛、琼州海峡和海南岛,西靠越南,北临广西南部,南部与南海相连,也是南海的重要组成部分。北部湾位于南海季风区的西北部,其海岸带处于海陆交接区,受特殊的地理位置和海陆两种下垫面物理性质的差异影响。太阳辐射、季风气候、潮汐潮流和入海河流等多种作用的影响,使湾内 SST 复杂多变。以往针对北部湾海域的 SST 研究相对较少。罗琳等^[9]利用卫星遥感 SST 资料对北部湾温度锋的季节变化与年际变化规律进行了探讨;牙韩争等^[10]对北部湾冬季和夏季 SST 的分布、变化特征及影响因素进行了分析,认为纬向风、潜热通量以及较强的 El Niño 现象对北部湾 SST 影响较大。2020 年夏秋季,北部湾发生了超级严重的珊瑚礁白化现象,这与北部湾 SST 异常密切相关。

本文从大气环流形势特征入手,重点对 2020 年夏秋季北部湾海域 SST 异常变化特征及可能影响因素进行分析研究,采用合成分析和相关分析方法研究大尺度环流异常对 2020 年夏秋季北部湾海域 SST 持续异常偏高的影响,并分析了热带太平洋与热带印度洋海温异常对大气环流异常的影响,以探讨天气气候变化对局地海域高海温的影响,为珊瑚礁白化预警预报提供气候影响方面的参考依据。

2 资料和方法

本文所用资料主要包括:全球海洋数据同化实验(Global Ocean Data Assimilation Experiment, GODAE)项目的多传感器改进海表温度(Multi-sensor Improved Sea Surface Temperature, MISST)资料,水平空间分辨率约为 $0.088^{\circ} \times 0.088^{\circ}$; SST 实测资料来自海南岛周围和北部湾站点月平均表层海温实测资料;逐月大气再分析资料为欧洲中期数值预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)全球气候和天气第五代再分析(the fifth generation ECMWF reanalysis for the global climate and weather, ERA5)资料,包含了

全球逐月的高度场和风场,水平空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,垂直方向从 1 000~100 hPa 共分 12 层等压面; Niño3.4 区指数来自美国国家气候预测中心(Climatic Prediction Center, CPC);热带印度洋全区一致海温模态(Indian Ocean Basin Warming mode, IOBW)和西太平洋副热带高压(Western Pacific Subtropical High, WPSH)强度指数来自国家气候中心。本文的 MISST 数据因受资料时间长度所限,气候平均值为 2003—2020 年 18 a 平均值,各站点海温实测资料时间长度不同,平均值计算以各站点海温实测资料时间长度为基准,其他变量计算距平值均采用基准年份(1981—2010 年)。

本文利用逐月 MISST 资料计算北部湾逐月 SST 的平均值和距平值,并作区域平均,以便分析北部湾 SST 年变化和年际变化特征;利用 ERA5 再分析资料分析 2020 年夏秋季西北太平洋大尺度环流特征,同时与历史同期北部湾 SST 偏高年份的大尺度环流进行比较;在全球气候变暖背景下,分别利用 Niño3.4 区指数及 IOBW 与 WPSH 强度指数作相关分析,分析热带中、东太平洋及热带印度洋海温异常对 WPSH 的影响,从而分析两者对北部湾海温异常的影响。

3 北部湾 SST 异常偏高特征分析

北部湾 2020 年 1—9 月月平均 SST 均高于常年同期(见图 1)。2020 年 5 月开始 SST 急剧升高,月平均 SST 超过 28°C ,随后几个月 SST 持续升温,6 月平均 SST 达 29.8°C ,7—9 月月平均 SST 高于 30°C ,尤其是 9 月月平均 SST 达到全年峰值,达 30.6°C ,也是 2003 年以来 MISST 资料计算得到的北部湾月平均 SST 的最大值(图略)。值得注意的是,9 月北部湾 SST 月平均变化趋势为正异常,与常年同期月平均变化呈相反趋势,10 月水温回落至 28°C 以下。

图 2 为逐年 6—9 月间各月以及合成的北部湾 SST 距平。图中可以看到,2020 年 6—9 月各月北部湾 SST 均较常年同期偏高(见图 2a—d),8 月和 9 月甚至达到历史同期的峰值(见图 2c—d),尤其是 9 月,较常年同期偏高约 1.3°C 。2020 年 6—9 月合成的平均 SST 异常偏高(见图 2e),同时也达到历史同期的峰值。海南岛周边及北部湾北部站点实测 SST

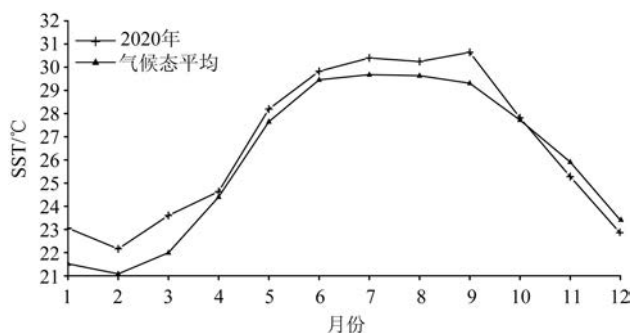


图1 2020年1—12月北部湾海域 MISST 逐月平均值

Fig.1 Monthly mean MISST in Beibu Gulf from January to December 2020

也可以佐证2020年6—9月北部湾SST的持续异常偏高。从图3可以看到,除海南南侧博鳌站与海南东南侧乌场站外,其他各站点2020年6—9月平均SST距平均达到有记录以来的同期最大值,平均SST均超过30℃(图略),尤其是北部湾北部(涠洲站)、海南岛北侧(海口站)及西侧(东方站和莺歌海站),其中涠洲站在2020年7月更是测得32.3℃的高温。

空间上,北部湾6—9月海水异常偏暖呈现东北—西南方向阶梯状分布(见图4),SST距平从北部湾东北部向西南部逐渐递减。北部湾东北角为海温异常偏暖中心,6—9月偏暖1℃以上;北部湾6—9月各月SST距平分布存在差异,其中7月较6月

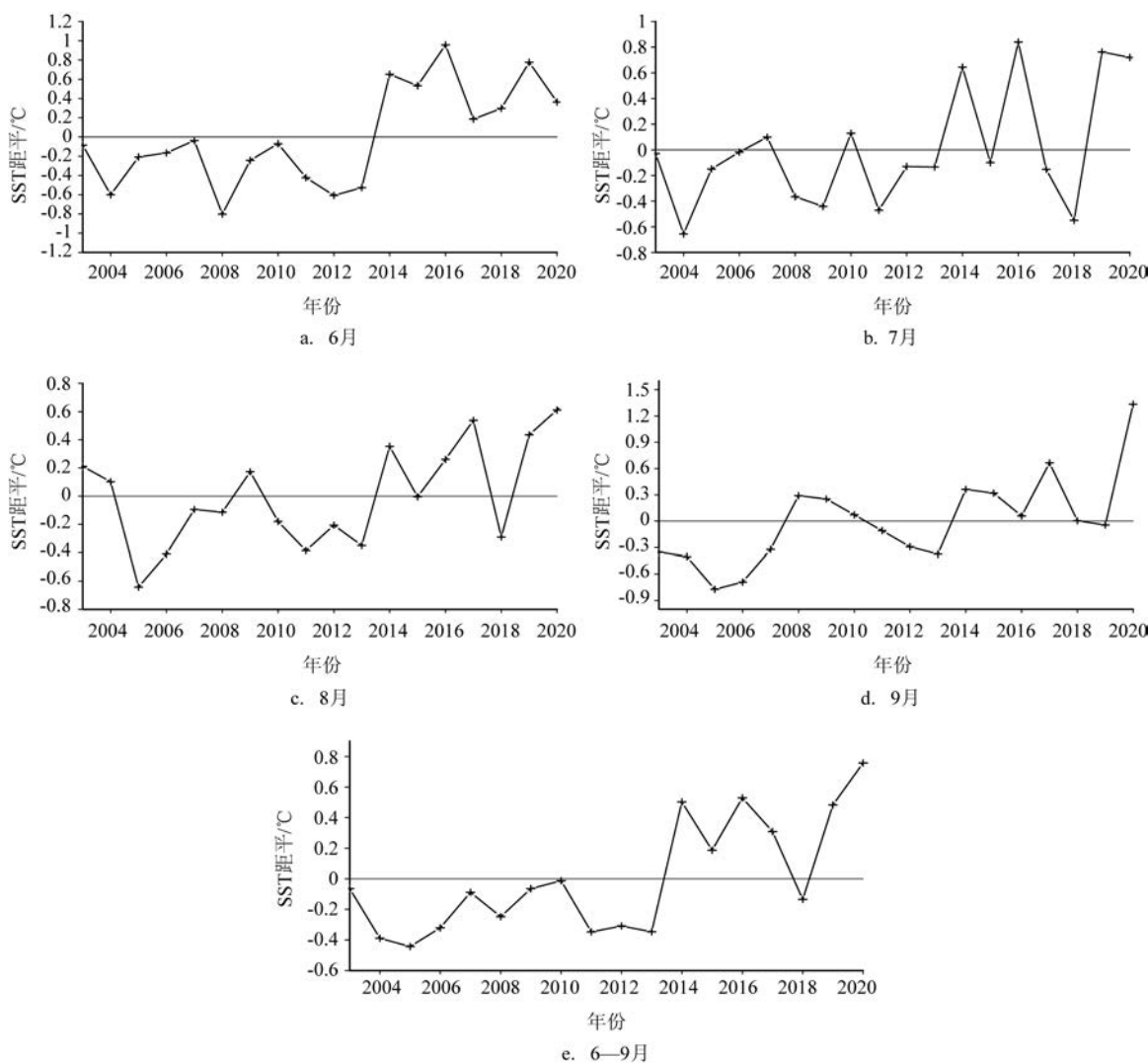


图2 北部湾海域逐年6—9月各月和月平均 MISST 距平序列

Fig.2 Anomalies time series of the monthly MISST and that averaged from June to September in Beibu Gulf

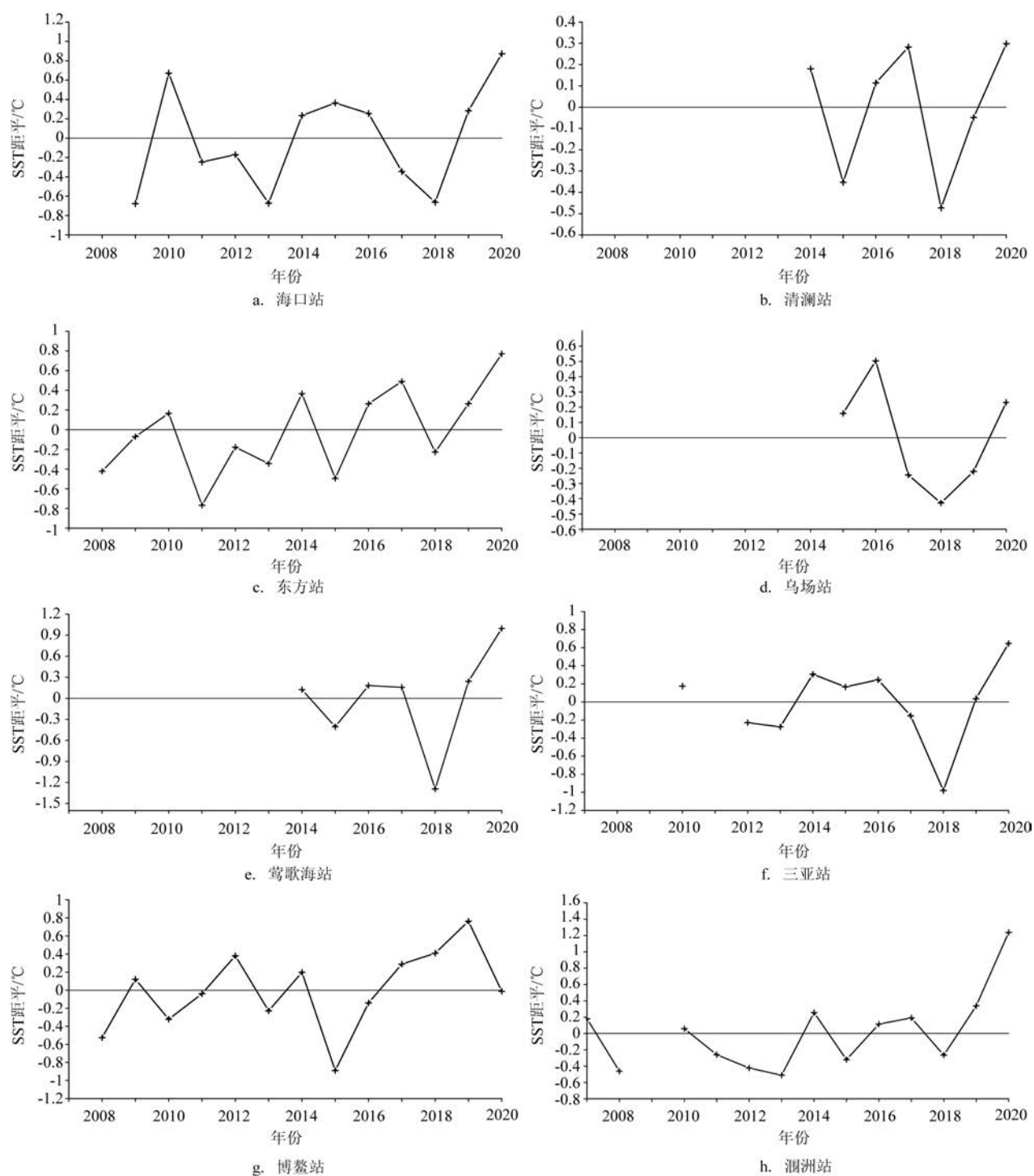


图3 海南岛周边及北部湾北部站点实测逐年6—9月平均SST距平序列

Fig.3 Anomalies time series of the SST averaged from June to September in the in-situ station around Hainan Province and northern Beibu Gulf

SST距平超过0.5℃的范围有所扩大,8月较7月距平超过0.5℃的范围有所缩小,9月北部湾SST距平

基本超过1℃,海南岛东北部海域SST距平超过1.5℃,明显高于6—8月。

4 北部湾 SST 异常偏高可能成因分析

4.1 西北太平洋大气环流异常

本节着重从大尺度环流的角度分析北部湾 SST 异常偏高的可能成因。研究表明^[7,11-14], SST 变化与海面潜热通量和向下短波辐射通量密切相关。潜热通量和短波辐射通量直接体现在海面风速与云量的变化上,两者的变化主要受当地大尺度环流影响,因此,本节从分析西北太平洋大气环流异常的角度来探讨北部湾 SST 异常偏高的可能原因。从图 2 可以看到,从 2014 年起(除 2018 年外)6—9 月北部湾 SST 均异常偏高,本文选取 6—9 月北部湾 SST 异常偏高的年份(2014 年、2015 年、2016 年、2017 年

和 2019 年)进行合成,分析 2020 年 6—9 月与历史 SST 偏高年份的大尺度环流的异同。图 5 为北部湾 SST 异常偏高的年份和 2020 年 6—9 月西北太平洋及南海地区上空的 500 hPa 高度场平均及距平、850 hPa 风场距平、沿 105°~110°E 平均的垂直风场距平以及相对湿度距平剖面图。从图中可以看到,6—9 月北部湾 SST 异常偏高的年份中 WPSH 较气候平均偏强、偏西,主体范围偏大(见图 5a),850 hPa 南海-菲律宾以东洋面表现为反气旋异常,北部湾位于反气旋西侧边缘(见图 5c),沿 105°~110°E 平均的垂直环流在北部湾海域为下沉区与上升区交界处,相对湿度偏低(见图 5e)。与历史 SST 偏高年份类似,2020 年 6—9 月 WPSH 更为偏强偏西(见图 5b),西北太平洋反气旋更强并持续控制南海及西北太平

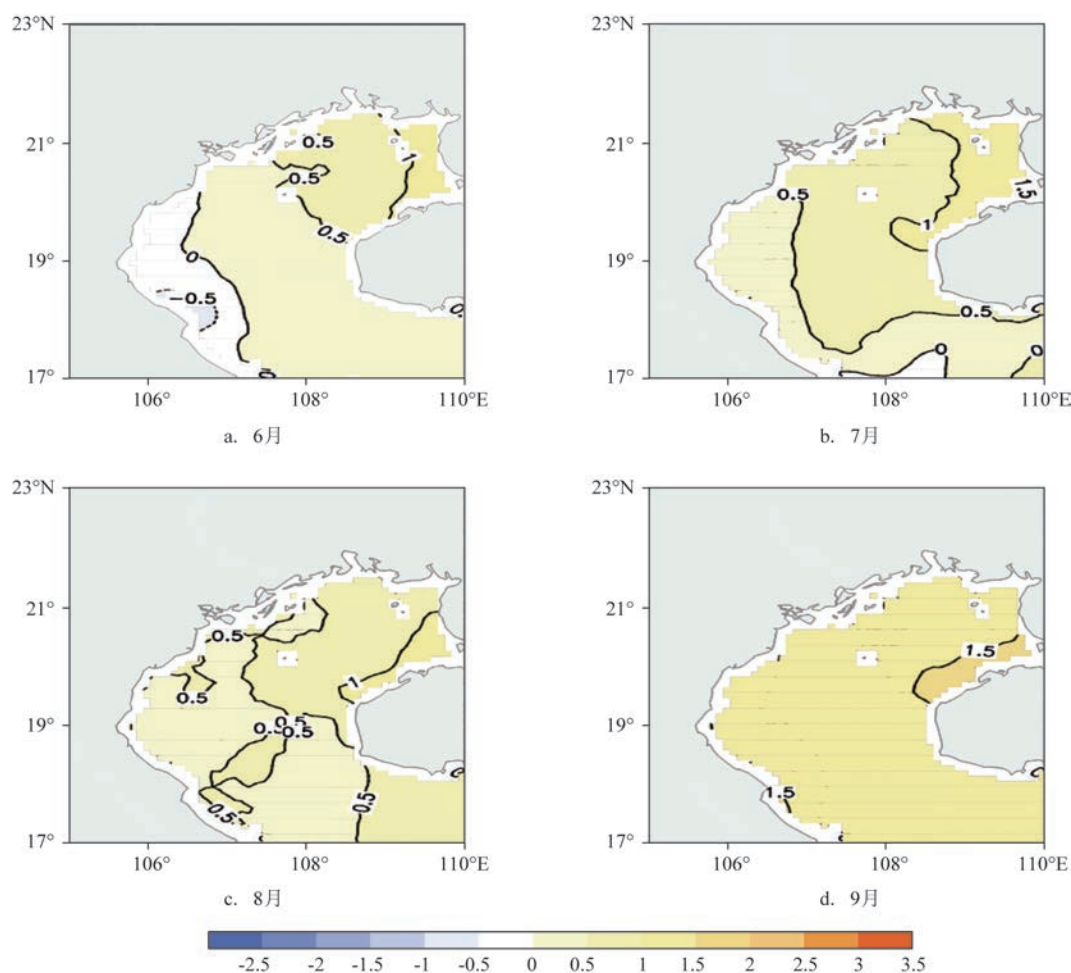


图4 2020年6—9月各月的北部湾海域 MISST 月平均距平分布(单位: °C)

Fig.4 The distributions of monthly mean MISST anomalies in Beibu Gulf from June to September in 2020 (unit: °C)

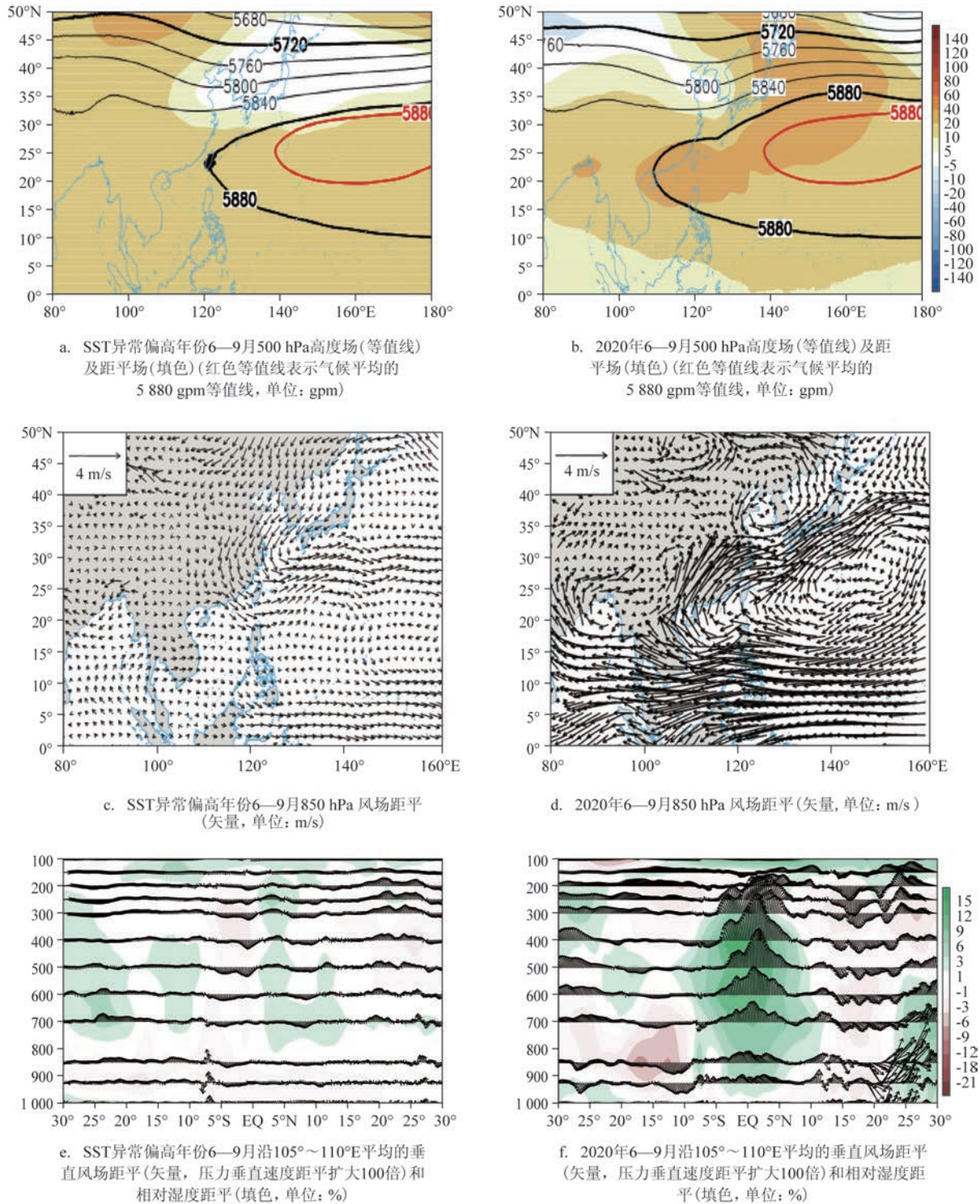


图5 北部湾 SST 异常偏高年份与 2020 年 6—9 月平均大气环流及距平场

Fig.5 Averaged atmospheric circulation anomalies in June—September of the anomalously-high-SST years (left) and 2020 (right)

洋大部海域(见图 5d),反气旋中心除 8 月沿东北向移至西北太平洋外,其余月份均位于南海北部(图略)。对流层低层西北太平洋反气旋持续控制南海

海域,使得 WPSH 异常偏强^[7,14-16],导致北部湾海域下沉气流更明显,相对湿度更低(见图 5f)。这表明 2020 年 6—9 月西北太平洋及南海大气环流异常,为

北部湾海域海水持续升温提供了有利的气候条件。从图6可以看出北部湾 SST 持续异常偏高与 WPSH 密切相关。利用去掉线性趋势的北部湾 MISST 与 WPSH 强度指数做相关分析,得到两者相关系数为 0.65,置信水平达到 99%。WPSH 长期控制南海北部并异常偏强,一方面减弱了南海西南季风,抑制北部湾上空的对流活动,减少台风等有着强烈海气交换的天气活动,从而减少北部湾海洋潜热通量的损耗^[7,10,13,17-18]和上层海洋混合^[19],另一方面使得北部湾海域下沉气流偏强,云量明显偏少,增加太阳对海表的短波辐射^[4,7,13,18],两者的叠加影响最终导致北部湾 SST 持续异常升温。

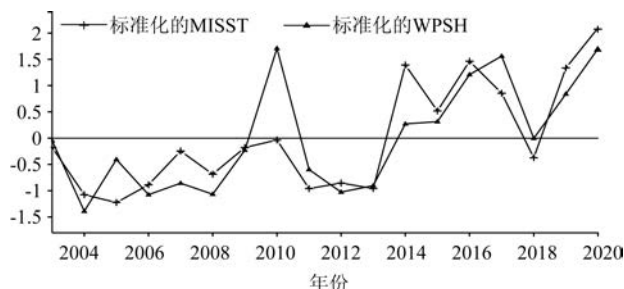


图6 2003—2020年标准化的6—9月平均北部湾 MISST 与 WPSH 强度指数时间序列

Fig.6 Normalized time series of the MISST in Beibu Gulf and WPSH intensity indices in June to September from 2003 to 2020

4.2 热带太平洋与热带印度洋海温异常的影响

Wang 等^[7]研究表明,南海海温异常主要受 El Niño 驱动的大气和海洋变化的影响。在 El Niño 衰减年份,El Niño 引起大气环流变化,并通过改变南海近地层的大气温度、湿度、云量和季风环流,从而改变南海的表层热通量和海流,最终引起南海海温变化。北部湾位于南海西北角,SST 异常偏高同样受大气环流异常的影响。

2019年秋季赤道中、东太平洋暖海温开始迅速发展。2019年10月—2020年4月,赤道中、东太平洋发生了一次偏弱的第一类中部型 El Niño 事件(El Niño Modoki I)^[20],随后逐渐降温,2020年春末恢复到 ENSO 中性状态,夏季起赤道中、东太平洋海水逐渐趋冷,很快进入拉尼娜(La Niña)状态。尽管此次 El Niño 事件强度不强,但太平洋海域的大尺度

大气环流对此次中部型 El Niño 事件响应迅速,IOBW 从 2019 年起表现出持续异常偏暖的特征。

El Niño 事件一般在秋、冬季达到峰值,次年春季开始衰减,到了夏季发生位相转换,而 IOBW 常在冬季开始发展,第二年达到最强。El Niño 发展年的秋、冬季,热带中、东太平洋暖海温通过激发 Rossby 波,在西北太平洋地区激发异常反气旋环流(西北太平洋反气旋)。该反气旋异常会加强 WPSH,在 El Niño 成熟阶段后达到最强,并持续到 El Niño 发展的次年夏季^[14,21],它是 El Niño 影响南海天气和气候的重要因素。但在 El Niño 衰减年的夏秋季,由于赤道中、东太平洋异常暖水已经减弱甚至趋冷,El Niño 通过 Rossby 波对西北太平洋和东亚地区气候的调制作用明显减弱,此时菲律宾附近异常反气旋环流和 WPSH 偏强与同期 El Niño 的关系并不密切,西北太平洋反气旋被认为是由 IOBW 通过赤道开尔文波远程强迫维持^[14-16,22]。众多研究也表明,IOBW 是对 El Niño 事件的滞后响应,在 ENSO 衰减年起到了重要的“充电器”作用,延续了 ENSO 对大气环流和气候异常的影响^[13,15,21-22]。由图7可见,2020年5月 Niño3.4 区指数已经转为负值,下半年负指数持续增强,赤道中、东太平洋逐渐转为冷海温,而 IOBW 指数自 2019—2020 年夏秋季一直维持较强的正位相。为去掉 IOBW 年代际变化的影响,此处对 IOBW 指数进行去掉线性趋势处理,处理后的 IOBW 为 0.20,为 1951 年来第八高值(图略)。值得

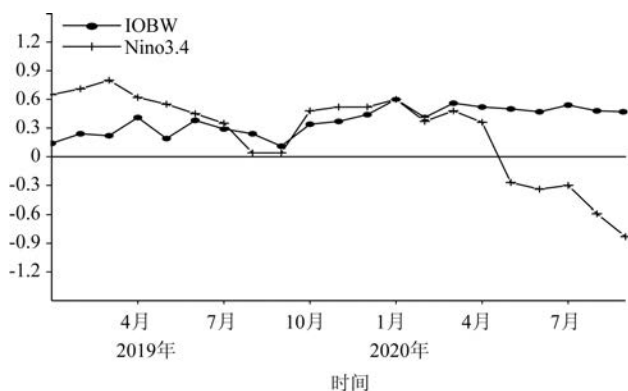


图7 2019年1月—2020年9月 Niño3.4 指数和 IOBW 指数时间序列

Fig.7 Time series of Niño3.4 and IOBW indexes from January 2019 to September 2020

注意的是,去掉线性趋势后 IOBW 指数值最大的 8 a 中,除了 1961 年和 1962 年没有发生 El Niño 事件、2020 年为偏弱中部型 El Niño 衰减年外,1972 年、1983 年、1987 年、1988 年、1998 年和 2015 年均均为较强或超强 El Niño 发展或衰减年。这可能意味着较强的 El Niño 会引起 IOBW 偏暖,这与以往的研究结果相一致^[13-15,23-26],但是 IOBW 偏暖也有可能独立于 El Niño 而发生。2019/2020 年 El Niño 事件强度偏弱,且到了 2020 年夏季 El Niño 事件基本结束,但热带印度洋却异常增暖,IOBW 异常偏暖通过开尔文波远程强迫引起西北太平洋及东亚地区大气环流异常,为北部湾 SST 异常升温提供有利的大尺度环流条件。

分别利用去掉线性趋势的逐月 Niño3.4 区指数、IOBW 指数与 6—9 月逐月平均的北部湾 MISST 做超前滞后相关分析。从图 8 可以清楚地看出,去掉线性趋势的 IOBW 指数与 6 月北部湾 MISST 同期、超前 1~4 M 和滞后 1 M 正相关,与 7 月北部湾 MISST 同期和超前 1~6 M 正相关,与 8 月北部湾 MISST 超前 1~2 M 正相关,与 9 月北部湾 MISST 同期、超前 1~2 M 和滞后 1 M 正相关(见图 8a)。去掉线性趋势的 Niño3.4 区指数与 6 月北部湾 MISST 同期和超前 1~6 M 正相关,与 7 月北部湾 MISST 超前 3~6 M 正相关,与 8 月和 9 月北部湾 MISST 相关性不大(见图 8b)。由此可见,赤道中、东太平洋海温异常通过 Rossby 波对北部湾 MISST 的影响是逐

渐减弱的,持续不到半年,夏秋季基本无直接影响;而热带印度洋 SST 异常对北部湾 MISST 的影响时间相对较长,可持续半年左右。本文还分析了去掉线性趋势的逐月 Niño3.4 区指数、IOBW 指数和 6—9 月逐月平均的 WPSH 强度指数的相关系数(图略),发现其与去掉线性趋势的逐月 Niño3.4 区指数、IOBW 指数和 6—9 月逐月平均的北部湾 MISST 的相关系数变化趋势基本一致。这也进一步证明,2020 年夏秋季北部湾 SST 异常偏高在很大程度上是由持续偏暖的 IOBW 引起 WPSH 持续异常偏强导致的,而 El Niño 事件可能通过引起印度洋—西太平洋之间的海气相互作用来延续 El Niño 对 WPSH 的影响^[14,21]。此分析结果表明,El Niño 事件衰减和 IOBW 的持续偏强共同加剧了 2020 年夏秋季北部湾 SST 异常升温。

另外,还应该注意到全球变暖趋势可能对北部湾海水增温也有着重要影响。观测和模式结果都表明全球变暖背景下 SST 随之升高^[27-28]。黄雪松等^[29]分析发现 1963—2004 年涠洲岛年均 SST 与全球温度距平成准同步变化趋势,20 世纪 80 年代后期以来,年均 SST 以 0.33 °C/10 a 的速率波动上升,略大于全球上升率。1951—2020 年逐年 6—9 月平均 IOBW 和 WPSH 强度指数均呈波动上升趋势(见图 9),两者变化趋势基本一致,而 Niño3.4 区海温上升趋势不明显(图略)。2020 年 6—9 月 IOBW 和

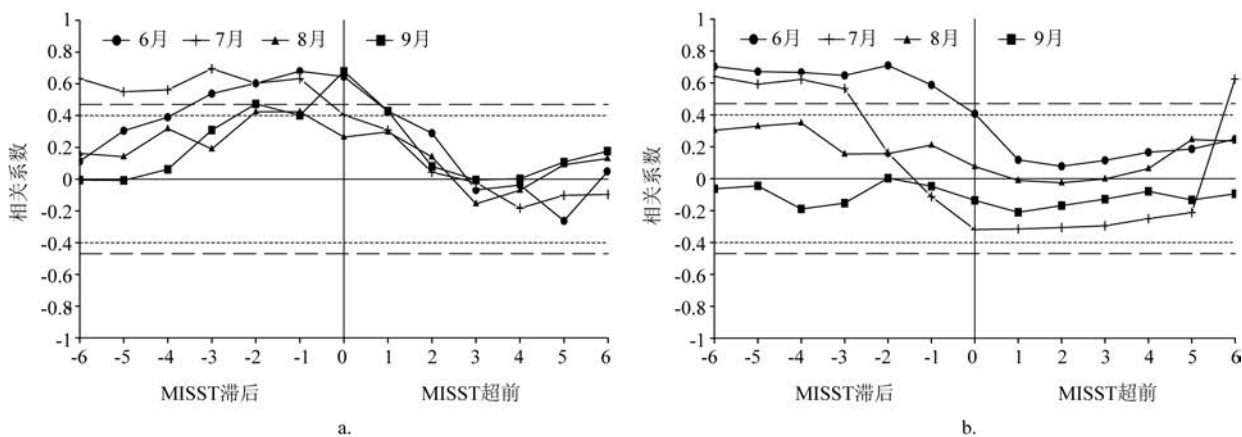


图8 2003—2020年逐月(a)IOBW指数、(b)Niño3.4区指数与6—9月逐月平均北部湾 MISST 的超前滞后相关系数(所有变量均去掉线性趋势,短虚线和长虚线分别表示置信水平达到 90% 和 95%)

Fig.8 Lead-lag correlation coefficient of monthly MISST in Beibu Gulf from June to September with monthly (a) IOBW and (b) Niño3.4 indexes during 2003—2020, respectively (The long term trends of all the monthly mean variables have been removed, The short dotted line and long dotted line indicate values at 90% and 95% confidence level, respectively)

WPSH强度指数均为1951年以来的第二高值(见图9),两者最高值分别出现在2015年(超强El Niño年)和2010年(El Niño向La Niña发展年)。而2003—2020年逐年6—9月北部湾平均SST同样存在波动上升趋势,其变化趋势与IOBW和WPSH强度指数的变化基本一致(图略)。图10为6—9月北部湾SST与IOBW和Niño3.4区指数标准化变量的时间序列。2020年6—9月北部湾平均MISST与IOBW和WPSH强度指数的相关系数分别为0.65和0.81,置信水平均达到99%,与Niño3.4区指数的相关系数仅为-0.02,未达到置信水平。可见,在全球气候变暖背景下IOBW趋向更暖,WPSH趋向更强,这对

北部湾海水增温有着重要影响。此外,全球气候变暖趋势更容易导致极端天气气候事件的发生^[27],热相关气候影响驱动因子将增多。北部湾SST异常偏暖也许是热带海洋海温异常影响叠加在全球气候变暖趋势上的最终结果,是全球气候变暖的一个局地气候反应。

4.3 其他因素对北部湾SST的影响

影响北部湾SST的因素很多,除了大尺度大气环流外,可能还受其他因素,如地理环境(河流、植被和地形等)和洋流等影响。根据苏志等^[30]的研究,特殊的地理位置和海陆两种下垫面物理性质的差

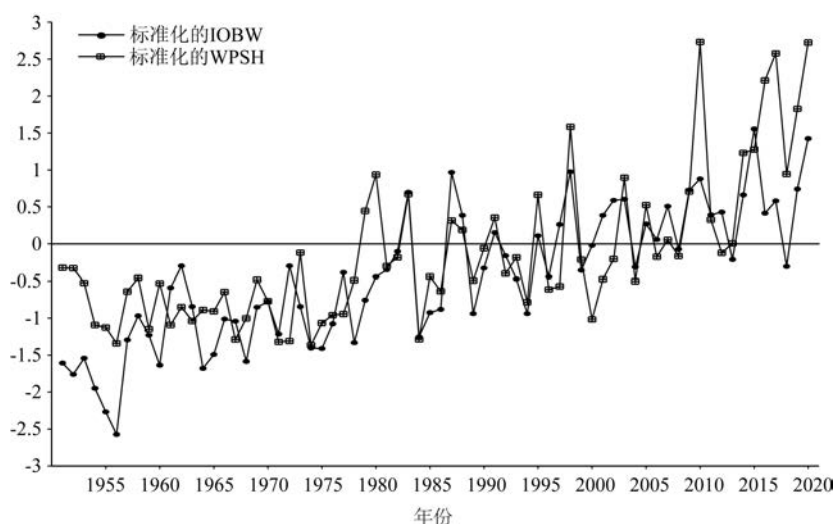


图9 1951—2020年6—9月平均IOBW和WPSH强度指数标准化变量时间序列

Fig.9 Normalized time series of the IOBW and WPSH indexes in June-September from 1951 to 2020

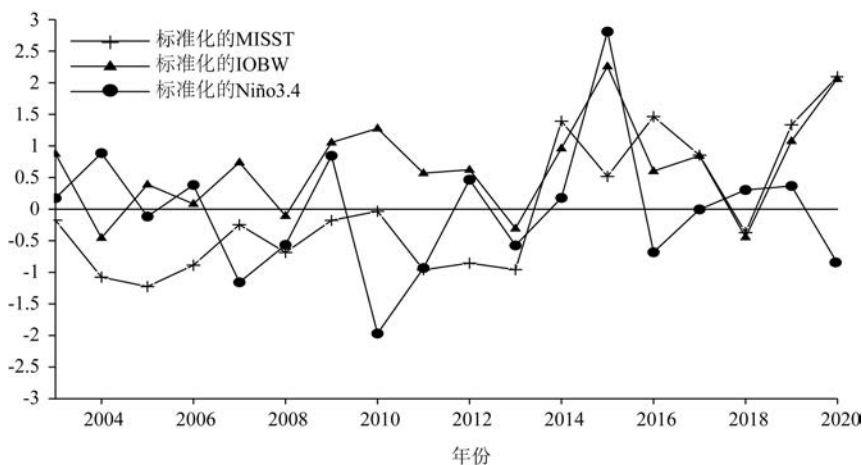


图10 2003—2020年标准化的6—9月北部湾平均MISST、IOBW指数和Niño3.4区指数时间序列

Fig.10 Normalized time series of the MISST in Beibu Gulf, IOBW and Niño3.4 indexes in June-September from 2003 to 2020

异形成北部湾海岸带独特的气候,北部湾海岸带地势大体北高南低,从北至南分别为山脉、丘陵、滩涂和浅海,北部湾海岸带自西向东分布着多条河流,如红河等。红河流域位于我国西南部地区,其出海口位于北部湾西侧,地形复杂、岭谷交错,夏季同时受印度季风和东亚季风的影响,极端降水的时空分布规律比较复杂。红河流域地势自西北向东南倾斜,无量山、哀牢山和黄连山山脉近似南北走向,对西南季风有阻隔作用,同时朝东南向的河谷也成为东南季风溯江而上的水汽通道,造成红河下游多雨的气候特征^[31-32]。红河下游流域的气候变化对北部湾的气象水文有着重要影响。北部湾特殊的地理位置和独特的气候使得北部湾海岸西段迎风坡多、东段背风坡多,导致北部湾海岸带降水量呈西多东少分布,使得海水水体交换西多东少。云雨量多的地方大气透明度差,到达地面的太阳短波辐射减少,因此,北部湾海岸带接收太阳辐射西少东多。此外,北部湾存在明显的季节性洋流,夏季因西南季风推动形成顺时针方向的环流,西南风将较低纬度地区的暖水沿北部湾西侧吹至东北部,而西南部表层海水由于次表层冷水上翻导致海温降低。因此,降雨西多东少、接收太阳辐射西少东多以及夏季的季节性洋流可能是导致北部湾6—9月海水异常偏暖并呈现东北—西南方向阶梯状分布的重要原因。

5 总结

本文着重从天气和气候的角度分析探讨了北部湾 SST 异常高温的可能成因,并简单分析了地理环境和洋流等因素对北部湾 SST 分布的影响。结论如下:

(1) 2020 年夏秋季北部湾海域 SST 持续异常偏高,6—9 月平均 SST 为历史记录最高温。

(2) 北部湾 SST 异常与西北太平洋大尺度大气环流异常密切相关,2020 年夏秋季西太平洋副热带高压持续异常偏强、偏西,低层异常反气旋环流长期维持在南海北部,北部湾下沉气流持续偏强,导致南海夏季风持续偏弱,台风等有着强烈海气交换的天气活动明显偏少,为北部湾 SST 持续异常偏高提供极为有利的大气环流条件。大尺度大气环流异常使得北部湾潜热通量和上层海洋混合显著减

少,太阳短波辐射显著增强,这些因素共同导致北部湾 SST 持续异常偏高。

(3) 前期 El Niño 衰减与热带印度洋全区一致海温模态持续异常偏暖是导致北部湾 SST 异常增暖的重要外强迫因素,两者通过远程强迫加强了西北太平洋反气旋,使其长时间维持并异常偏强,从而使西太平洋副热带高压进一步加强,北部湾长期处于其控制下,最终导致其 2020 年夏秋季持续异常高温。

此外,北部湾 SST 异常偏暖可能与全球气候变暖趋势也存在相关。全球气候变暖会改变全球的大气环流形势,通过海洋和大气以及陆地和大气的相互作用影响到局地气候。北部湾 SST 异常偏暖也许是热带海洋 SST 异常叠加在全球气候变暖趋势上的最终结果,是全球气候变暖的一个局地气候反应。

本研究有利于把握北部湾 SST 偏高的大尺度大气环流的分布形态,以及海温外强迫通过影响大尺度大气环流进而对北部湾海域 SST 产生的影响,有助于深刻认识和理解大尺度大气环流异常和大洋 SST 变化异常对局地 SST 变化的影响。把握北部湾 SST 异常升高的气候背景,可以提供其海域珊瑚礁白化相关的气候背景信息,从而为珊瑚礁白化预警和预报提供科学的参考依据。

参考文献:

- [1] 于文泉. 南海北部海面水温场的分析[J]. 海洋预报, 1987, 4(1): 61-67.
YU W Q. Analysis of sea surface temperature field for the northern South China Sea[J]. Marine Forecasts, 1987, 4(1): 61-67.
- [2] 樊博文, 雷洁霞, 樊彦国. 基于 GIS 的南海海温时空过程分析研究[J]. 海洋科学, 2018, 42(4): 36-42.
FAN B W, LEI J X, FAN Y G. Study of spatial and temporal processes of sea temperature in the South China Sea based on GIS [J]. Marine Sciences, 2018, 42(4): 36-42.
- [3] 朱秀华, 王卫强, 周伟东, 等. 南海海面温度的年际模态及其与季风强迫的关系[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(4): 42-50.
ZHU X H, WANG W Q, ZHOU W D, et al. Interannual mode of sea surface temperature in relation to monsoon forcing in South China Sea[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2003, 22(4): 42-50.
- [4] CHEN J M, LI T, SHIH C F. Fall persistence barrier of sea surface temperature in the South China sea associated with ENSO[J]. Journal of Climate, 2007, 20(2): 158-172.

- [5] 曾强, 张耀存. 西南季风爆发前后南海 SST 变化特征及影响因子分析[J]. 热带气象学报, 2008, 24(1): 44-50.
ZENG Q, ZHANG Y C. An analysis of SST variation during South China Sea Monsoon onset period in South China Sea[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2008, 24(1): 44-50.
- [6] 梁卫, 温之平, 李秀珍, 等. 南海夏季风爆发前后南海海温之演变特征[J]. 热带气象学报, 2009, 25(S1): 85-91.
LIANG W, WEN Z P, LI X Z, et al. An analysis of SST variation during South China Sea Monsoon onset period in South China Sea [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2009, 25(S1): 85-91.
- [7] WANG C Z, WANG W Q, WANG D X, et al. Interannual variability of the South China Sea associated with El Niño[J]. Journal of Geophysical Research Oceans, 2006, 111(C3): C03023, doi: 10.1029/2005JC003333.
- [8] TAN W, WANG X, WANG W Q, et al. Different responses of sea surface temperature in the South China Sea to various El Niño events during boreal Autumn[J]. Journal of Climate, 2016, 29(3): 1127-1142.
- [9] 罗琳, 王东晓, 刘赞, 等. 北部湾温度锋的季节与年际变化[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(4): 60-67.
LUO L, WANG D X, LIU Y, et al. Seasonal and interannual variabilities of thermal fronts in Beibu Gulf, South China Sea[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2003, 22(4): 60-67.
- [10] 牙韩争, 高劲松, 董德信. 北部湾海面温度变化特征及其影响因素分析[J]. 广西科学, 2015, 22(3): 260-265.
YA H Z, GAO J S, DONG D X. Analysis of variation characteristics and driving factors of sea surface temperature in Beibu Gulf[J]. Guangxi Sciences, 2015, 22(3): 260-265.
- [11] GODFREY S P. Surface fluxes and mixed layer heat and freshwater budgets in TOGA COARE[C]//Proc. Int. Scientific Conf. on the Tropical Ocean Global Atmosphere Program, Melbourne, Australia, World Meteorological Organization, 1995: 464-468.
- [12] SUI C H, LI X, LAU K M, et al. Multiscale air-sea interactions during TOGA COARE[J]. Monthly Weather Review, 1997, 125 (4): 448-462.
- [13] KLEIN S A, SODEN B J, LAU N C. Remote sea surface temperature variations during ENSO: Evidence for a tropical atmospheric bridge[J]. Journal of Climate, 1999, 12(4): 917-932.
- [14] WANG B, WU R G, FU X H. Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? [J]. Journal of Climate, 2000, 13(9): 1517-1536.
- [15] XIE S P, HU K M, HAFNER J, et al. Indian Ocean capacitor effect on Indo-western Pacific climate during the summer following El Niño[J]. Journal of Climate, 2009, 22(3): 730-747.
- [16] JIANG X W, YANG S, LI J P, et al. Variability of the Indian Ocean SST and its possible impact on summer western North Pacific anticyclone in the NCEP climate forecast system[J]. Climate Dynamics, 2013, 41(7-8): 2199-2212.
- [17] XIE S P, XIE Q, WANG D, et al. Summer upwelling in the South China Sea and its role in regional climate variations[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2003, 108(C8): 3261.
- [18] 谭军, 周发琇, 胡敦欣, 等. 南海海温异常与 ENSO 的相关性[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(4): 377-382.
TAN J, ZHOU F X, HU D X, et al. The correlation between SST anomaly in the South China Sea and ENSO[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1995, 26(4): 377-382.
- [19] 王银霞, 隋俊鹏, 曾纪胜, 等. 台风影响南海上层环流的统计分析研究[J]. 海洋预报, 2020, 37(4): 15-20.
WANG Y X, SUI J P, ZENG J S, et al. Influence of typhoons on the upper-layer circulation in the South China Sea[J]. Marine Forecasts, 2020, 37(4): 15-20.
- [20] WANG C Z, WANG X. Classifying El Niño Modoki I and II by Different Impacts on Rainfall in Southern China and Typhoon Tracks[J]. Journal of Climate, 2013, 26(4): 1322-1338.
- [21] WANG B, WU R G, LI T. Atmosphere-Warm Ocean Interaction and Its Impacts on Asian-Australian Monsoon Variation[J]. Journal of Climate, 2003, 16(8): 1195-1211.
- [22] YANG J L, LIU Q Y, XIE S P, et al. Impact of the Indian Ocean SST basin mode on the Asian summer monsoon[J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(2): L02708.
- [23] WEISBERG R H, WANG C Z. A western pacific oscillator paradigm for the El Niño-Southern oscillation[J]. Geophysical Research Letters, 1997, 24(7): 779-782.
- [24] WANG C Z, WEISBERG R H, VIRMANI J I. Western pacific interannual variability associated with the El Niño-southern oscillation[J]. Journal of Geophysical Research Oceans, 1999, 104 (C3): 5131-5149.
- [25] WANG X, WANG D X, ZHOU W, et al. Interdecadal modulation of the influence of La Niña events on Mei-Yu rainfall over the Yangtze River valley[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2012, 29(1): 157-168.
- [26] WANG X, WANG C Z. Different impacts of various El Niño events on the Indian Ocean dipole[J]. Climate Dynamics, 2014, 42 (3-4): 991-1005.
- [27] IPCC, 2021: Summary for policymakers[M]//Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, et al. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- [28] 张丽萍. 全球变暖背景下水循环变化对海洋环流及气候的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
ZHANG L P. The impact of hydrological cycle changes on the ocean circulation and climate[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [29] 黄雪松, 黄梅丽. 广西北部湾海岸带气候变化影响与适应对策[C]//中国气象局国家气候中心暨气候研究开放实验室 2009 年度学术年会论文集. 北京: 国家气候中心, 中国气象局气候研究

- 开放实验室, 2010: 140-141.
- HUANG X S, HUANG M L. Impacts of climate change on the coastal zone of Guangxi Beibu Gulf and its adaptation countermeasures[C]//Proceedings of the 2009 Annual Academic Conference of the National Climate Center and Open Laboratory for Climate Research, China Meteorological Administration. Beijing: National Climate Center, Open Laboratory for Climate Research, China Meteorological Administration, 2010: 140-141.
- [30] 苏志, 余纬东, 黄理, 等. 北部湾海岸带的地理环境及其对气候的影响[J]. 气象研究与应用, 2009, 30(3): 44-47.
- SU Z, YU W D, HUANG L, et al. Geographical environment of the Beibu Gulf coast and its impact on the climate[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2009, 30(3): 44-47.
- [31] 李华伟, 王建华, 黄建云. 红河中下游流域气候变化特征分析[J]. 云南地理环境研究, 2011, 23(S1): 1-7.
- LI H W, WANG J H, HUANG J Y. The middle and lower reaches basin of Honghe climatic change characteristic analysis[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2011, 23(S1): 1-7.
- [32] 田义超, 梁铭忠. 北部湾沿海地区植被覆盖对气温和降水的响应特征[J]. 自然资源学报, 2016, 31(3): 488-502.
- TIAN Y C, LIANG M Z. The NDVI characteristics of Vegetation and its ten-day response to temperature and precipitation in Beibu Gulf coastal region[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(3): 488-502.

Analysis of the characteristics and potential causes of the sea surface temperature anomaly in Beibu Gulf in the summer and autumn of 2020

YAO Xiaojuan^{1,2}, ZHANG Haiyan^{1,2}, LI Xixi^{1,2}

(1. South China Sea Marine Prediction Center of the State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China; 2. Key Laboratory of Marine Environmental Survey Technology and Application, Ministry of Natural Resources, MNR, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Using the Multi-sensor Improved Sea Surface Temperature (MISST) dataset, the in-situ sea surface temperature (SST) observation and the fifth generation ECMWF reanalysis for the global climate and weather (ERA5) reanalysis dataset, the characteristics of SST anomaly in Beibu Gulf and the possible causes of large-scale circulation in the summer and autumn of 2020 are analyzed based on synoptic dynamics analyze method. The results show that the SST in Beibu Gulf in the summer and autumn of 2020 remains abnormally high, and the average SST is the highest in history during the same period. The abnormally high SST in Beibu Gulf is closely related to the large-scale atmospheric circulation anomaly in the northwest Pacific Ocean in summer and autumn. In the summer and autumn of 2020, the western Pacific subtropical high (WPSH) is abnormally stronger and tilts to the westward. The low-level anomalous anticyclonic circulation maintains in the northern South China Sea, and the downdraft in Beibu Gulf is constantly stronger, providing extremely favorable atmospheric circulation conditions for the persistent abnormally high SST in Beibu Gulf. In the context of global climate warming and under the influence of the decaying of CP-El Nino event and the persistent abnormally warm of the Indian Ocean basin warming mode (IOBW) in the tropical Indian Ocean, the anticyclones in the northwest Pacific Ocean continues to be stronger in the summer and autumn of 2020, which causes Beibu Gulf under the control of WPSH for a long period, and aggravates the abnormally high SST in Beibu Gulf.

Key words: Beibu Gulf; SST anomaly; WPSH; the anticyclones in the northwest Pacific Ocean; El Nino; IOBW; Global climate warming