

王爱梅, 王慧, 范文静, 等. 2019 年中国近海海洋热浪特征研究[J]. 海洋学报, 2021, 43(6): 35–44, doi:10.12284/hyxb2021076

Wang Aimei, Wang Hui, Fan Wenjing, et al. Study on characteristics of marine heatwave in the China offshore in 2019[J]. Haiyang Xuebao, 2021, 43(6): 35–44, doi:10.12284/hyxb2021076

## 2019 年中国近海海洋热浪特征研究

王爱梅<sup>1</sup>, 王慧<sup>1</sup>, 范文静<sup>1\*</sup>, 骆敬新<sup>1</sup>, 李文善<sup>1</sup>, 徐珊珊<sup>1</sup>

(1. 国家海洋信息中心, 天津 300171)

**摘要:** 海洋热浪是指在一定海域内发生的海表温度异常偏高的现象, 海洋热浪的发生会对海洋生态系统的功能与服务产生重大影响。近年来, 中国近海海洋热浪频发, 引起越来越多的关注。本文利用逐日海表温度观测资料对 2019 年中国近海海洋热浪特征进行研究分析, 结果显示: 2019 年, 在中国近海海南岛周边海域、长江口附近海域、渤海海域和江苏外海海域海洋热浪高发, 频次为 7~12 次; 北部湾附近海域海洋热浪发生时间最长, 超过 150 d。在此基础上, 以北部湾海域 2–4 月经历的一次持续时间长达数月的海洋热浪事件为例, 分析了事件期间对应的气温场、气压场以及风场的异常, 并进一步分析了北部湾不同季节海洋热浪事件与各气象背景场的对应关系。总体而言, 2019 年北部湾海域 2–4 月海洋热浪期间, 气温偏高, 副热带高压面积偏大、位置偏西偏北, 冬季风偏弱, 是此海洋热浪发生与维持的重要原因。

**关键词:** 海洋热浪; 气候变化; 中国近海; 海温

中图分类号: P731.11

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2021)06-0035-10

### 1 引言

长期的海洋气候变化对人类社会的健康产生了深远影响, 短期的海洋气候极端事件也会严重影响海洋生态系统和人类健康, 如灾害性海浪、风暴潮和海洋热浪。随着全球海水温度持续上升, 海洋热浪变得更普遍且广泛, 相比已经夺去数以万计生命的陆地上的热浪, 海洋热浪很少受到关注。

近年来, 已发生多起影响巨大的海洋热浪事件, 持续的海洋热浪易引发有毒海藻激增和珊瑚礁白化, 威胁脆弱的海洋生态系统, 破坏海洋生物多样性, 对水产养殖、渔业和旅游业等产生重大影响。2011 年澳大利亚西海岸海洋热浪事件改变了当地的海草/藻类和珊瑚的生境, 海藻数量减少, 热带鱼群落的分布范围向南扩展<sup>[1]</sup>; 2012 年西北大西洋海洋热浪事件改变了长鳍鱿鱼和美洲龙虾的分布和种群结构, 致使捕

鱼方式和捕捞模式改变, 水产品价格暴跌<sup>[2]</sup>; 2014–2016 年北太平洋海温持续升高, 致使美国西海岸有害藻华暴发, 海洋哺乳动物大量搁浅, 藻华产生的毒素使渔场长期关闭<sup>[3–4]</sup>; 2015 年澳大利亚东南部塔斯曼海海洋热浪事件, 致使养殖贝类疾病暴发以及野生鲍鱼死亡等, 水产养殖业增长速度放缓<sup>[5]</sup>; 2016 年受厄尔尼诺事件中创记录高温驱动, 澳大利亚大堡礁发生了严重的白化事件, 波及 90% 以上的珊瑚<sup>[6]</sup>。

在中国, 2017 年 7 月北黄海海洋热浪事件持续时间达 60 d, 热浪最大强度为 2.93℃, 此热浪事件被认为是獐子岛扇贝大量死亡的一个重要因素<sup>[7–8]</sup>; 2018 年 8 月渤海也发生了海洋热浪事件, 造成近岸大量养殖海参死亡<sup>[8–9]</sup>。

世界气象组织《2019 年全球气候状况声明》表明, 2019 年全球海洋平均海洋热浪天数为 55 d, 全球 84% 的海洋至少经历了 1 次海洋热浪。中国近海海

收稿日期: 2020-05-11; 修订日期: 2020-11-15。

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC1402610); 大气海洋动力环境精细化预报及解释应用技术项目(2017YFC1404203)。

作者简介: 王爱梅(1987—), 女, 山东省临沂市人, 主要从事海洋气候变化研究。E-mail: wam\_nmdis@163.com

\* 通信作者: 范文静, 研究员。E-mail: 13512936280@163.com

洋热浪特征是怎样的? 鉴于近年来中国沿海海洋热浪的形成机理、发生规律和时空特征等的研究欠缺, 海洋热浪对中国近海生态系统影响加大并对沿海经济社会造成严重影响, 为满足科学应对极端海洋气候事件的服务需求, 本文利用海洋站及遥感观测数据研究中国近海 2019 年发生的海洋热浪事件的最新监测事实, 以便积极采取有效措施减轻海洋热浪的影响, 促进沿海地区经济社会可持续发展。

## 2 数据和方法

### 2.1 热浪定义

采用 Hobday 等<sup>[10]</sup>关于海洋热浪的定义, 即海洋热浪是指在一定海域内发生的日海表温度至少连续 5 d 超过当地季节阈值(即气候基准期内同期日海表温度的第 90 百分位)的事件(图 1), 其持续时间可达数月, 空间范围可延伸至数千千米。本文海洋热浪所采用的气候基准期为 1983–2012 年, 计算当天气候态值及阈值时采用气候基准期内同期 11 d 时间窗口内的日平均海温值并做 31 d 的滑动平均, 海洋热浪的统计指标包括发生频次、持续时间、强度和范围等(表 1)。Hobday 等<sup>[10]</sup>以 Python 编程语言给出海洋热浪的计算程序, 详见 <http://github.com/ecjoliver/marineHeatWaves>。

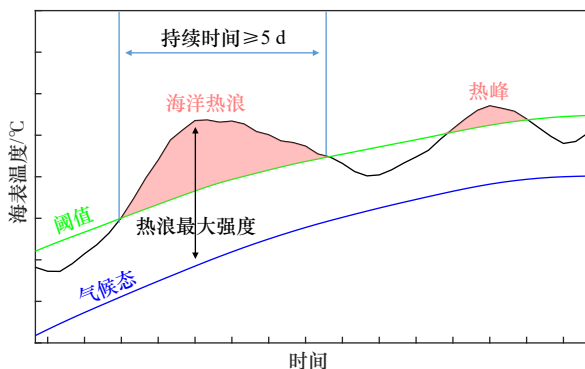


图 1 海洋热浪定义简图

Fig. 1 Schematic of metrics used to define a marine heatwave

表 1 海洋热浪特征指标

Table 1 Characteristic index of marine heatwave

指标	定义	单位
$T_s$	海洋热浪起始的时间	d
$T_e$	海洋热浪结束的时间	d
$D$	海洋热浪持续时间 $D=T_e-T_s$	d
$i_{max}$	海洋热浪最大强度, 即热浪期间温度异常的最大值	°C
$i_{mean}$	海洋热浪平均强度, 即热浪期间温度异常的平均值	°C

### 2.2 数据

本文用到的数据包括国家海洋观测站网数据(表 2)、OISST V2 日分辨率海温数据以及 NCEP/NCAR 再分析数据集。海洋站位见图 2a。

OISST V2 数据为美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)经最优插值得到的海表温度数据集, 本数据集使用了改进的高分辨率雷达(AVHRR)红外卫星海温资料以及浮标和船舶等原位观测资料<sup>[11]</sup>。日平均海温数据的空间分辨率为  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ , 时间跨度为 1981 年 9 月至 2019 年 12 月; 月平均海温数据的空间分辨率为  $1^\circ \times 1^\circ$ , 时间跨度为 1981 年 12 月至 2019 年 12 月。本文选取该数据集统计分析中国近海海洋热浪特征。

NCEP/NCAR 再分析数据集为来自美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)和国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)联合研制的全球大气再分析数据, 其利用观测资料、预报模式和同化系统对全球从 1948 年至今的气象资料进行再分析形成的格点资料, 数据变量包括风场、海平面气压和位势高度等, 资料的分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ , 时间跨度为 1948 年 1 月至 2019 年 12 月。本文进一步利用该数据集分析海洋热浪发生时的大气环流背景场。

本文的季节划分是 3–5 月为春季, 6–8 月为夏季, 9–11 月为秋季, 12 月至翌年 2 月为冬季。

## 3 2019 年中国近海热浪特征

2019 年, 中国近海海洋热浪事件发生频次有明显的区域分布差异, 高频区位于海南岛周边海域、长江口海域、江苏外海海域和渤海海域, 海洋热浪频次为 7~12 次; 中国近海平均海洋热浪天数为 59 d, 北部湾附近海域经历海洋热浪的时间最长, 约 180~200 d, 其次为渤海莱州湾海域, 约 100~120 d; 海洋热浪平均强度和最大强度分布类似, 在南海北部海域、台湾海峡附近海域和渤海海域较强, 南海南部海域较弱(图 2)。

由 2019 年海洋热浪发生天数的四季分布可知(图 3), 春季发生海洋热浪的海域最广, 南海北部大部分海域、长江口附近海域和莱州湾均有海洋热浪发生; 夏季主要局限于渤海海域、北部湾海域和南海中北部海域; 秋季主要发生在江苏外海、广东近海海域和北部湾海域; 冬季海洋热浪发生天数最少, 主要发生在南海中西部海域和黄海中部。海南岛周边海域海洋热浪四季均有发生, 其中春季发生海洋热浪的

表2 所用海洋站数据信息

Table 2 Information of marine station's data used

序号	海洋站	站代码	要素	时间范围
①	澜洲	WZU	海温、气温、气压和风场	1980年1月至2019年12月
②	东方	DFG	海温、气温、气压和风场	1980年1月至2019年12月

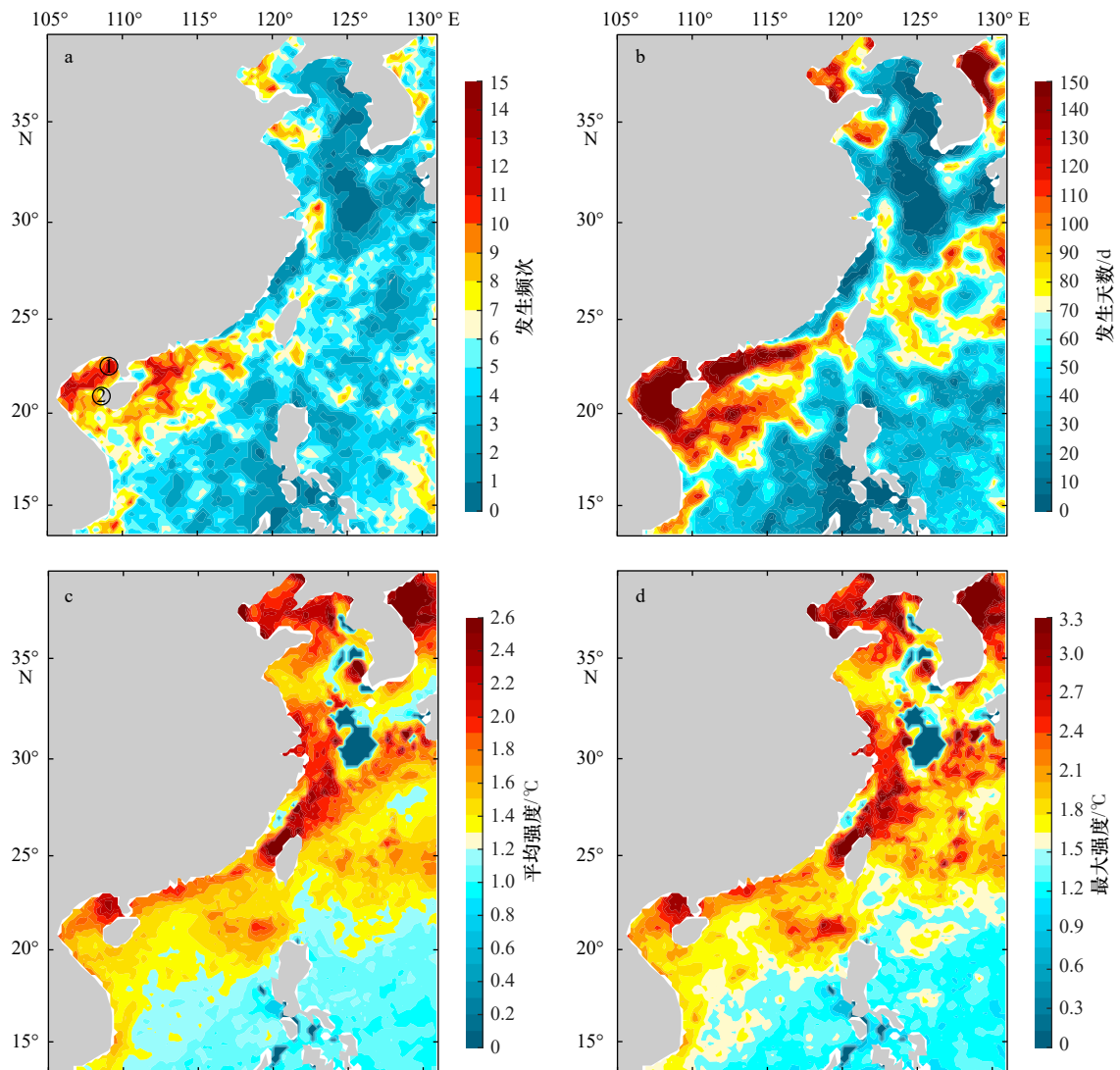


图2 2019年中国近海海洋热浪事件特征

Fig. 2 Marine heatwave (MHW) events properties in the China offshore in 2019

a. 发生频次; b. 发生天数; c. 平均强度; d. 最大强度

a. MHW frequency; b. days of MHW; c. MHW mean intensity; d. MHW maximum intensity

天数最多, 冬季最少; 渤海海域主要在夏季发生海洋热浪; 长江口海域主要在春季和冬季发生海洋热浪; 江苏外海海域秋季发生海洋热浪天数最多, 夏季几乎未发生海洋热浪事件。浙闽沿岸海域一年四季均有上升流存在<sup>[12]</sup>, 不易发生海洋热浪事件。

由2019年海洋热浪平均强度的四季分布可知(图4), 海南岛周边海域和长江口附近海域海洋热浪

春季平均强度最强, 冬季次之, 夏季和秋季最弱; 渤海海域和北黄海海域夏季海洋热浪平均强度最强, 春季和秋季次之, 冬季最弱。

#### 4 2019年北部湾典型海洋热浪过程分析及规律研究

北部湾是位于南海西北部的一个半封闭边缘海

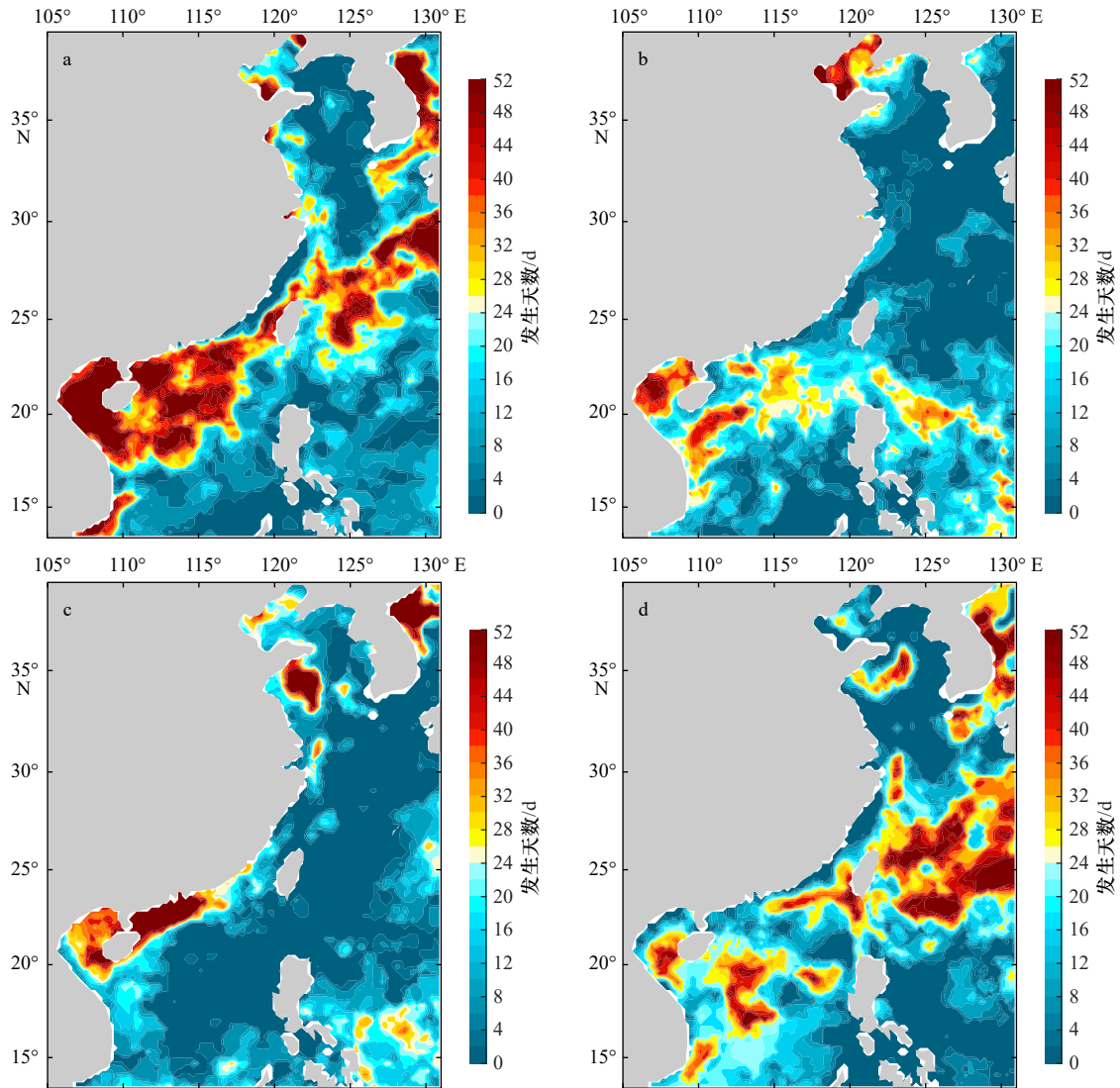


图 3 2019 年中国近海海洋热浪事件发生天数的四季变化

Fig. 3 Days of marine heatwave events at all seasons in the China offshore in 2019

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季

a. Spring; b. summer; c. autumn; d. winter

湾,其生物物种资源丰富,是我国四大渔场之一;同时,北部湾拥有多样的生态环境,比如珊瑚礁、红树林、海草床等生态系统,近年来北部湾赤潮、绿潮频发,对其生态系统造成了诸多影响。2019年2月初,海南陵水清水湾发生大型绿藻聚集现象。

由东方海洋站和涠洲海洋站的日平均海温数据分析可知,2019年我国海南岛东方海洋站附近海域发生了1980年以来持续时间最长的海洋热浪事件,热浪起始时间为1月31日(海温为24.1℃),峰值时间为2月16日(海温为27.1℃),结束时间为4月30日(海温为30.3℃),持续时间达90 d,平均热浪强度为3.7℃,最大热浪强度为5.5℃。涠洲海洋站在此时间段内发生了两次海洋热浪事件,起止时间分别

为1月30日至3月23日和3月27日至4月30日。此次长时间海洋热浪同样在OISST V2数据中有所体现,只是限于OISST V2数据在沿岸海域捕获海温极值能力不足<sup>[13]</sup>,统计得出的海洋热浪开始时间、结束时间、最大强度等特征指标会有稍许差异(图5)。长时间的海洋热浪可能导致海洋种群结构和物种地理分布的变化,此外,海洋热浪期间较高的海温可能会增加病原体 and 疾病的流行,从而影响海洋生物和种群的健康<sup>[14-15]</sup>。

对于特定海域海洋热浪的发生机制,已有前人从大气强迫、海洋层化、暖水平流以及全球气候系统内部变率模态如厄尔尼诺和南方涛动(ENSO)、太平洋年代际振荡(PDO)、印度洋偶极子(IOD)、赤道大气

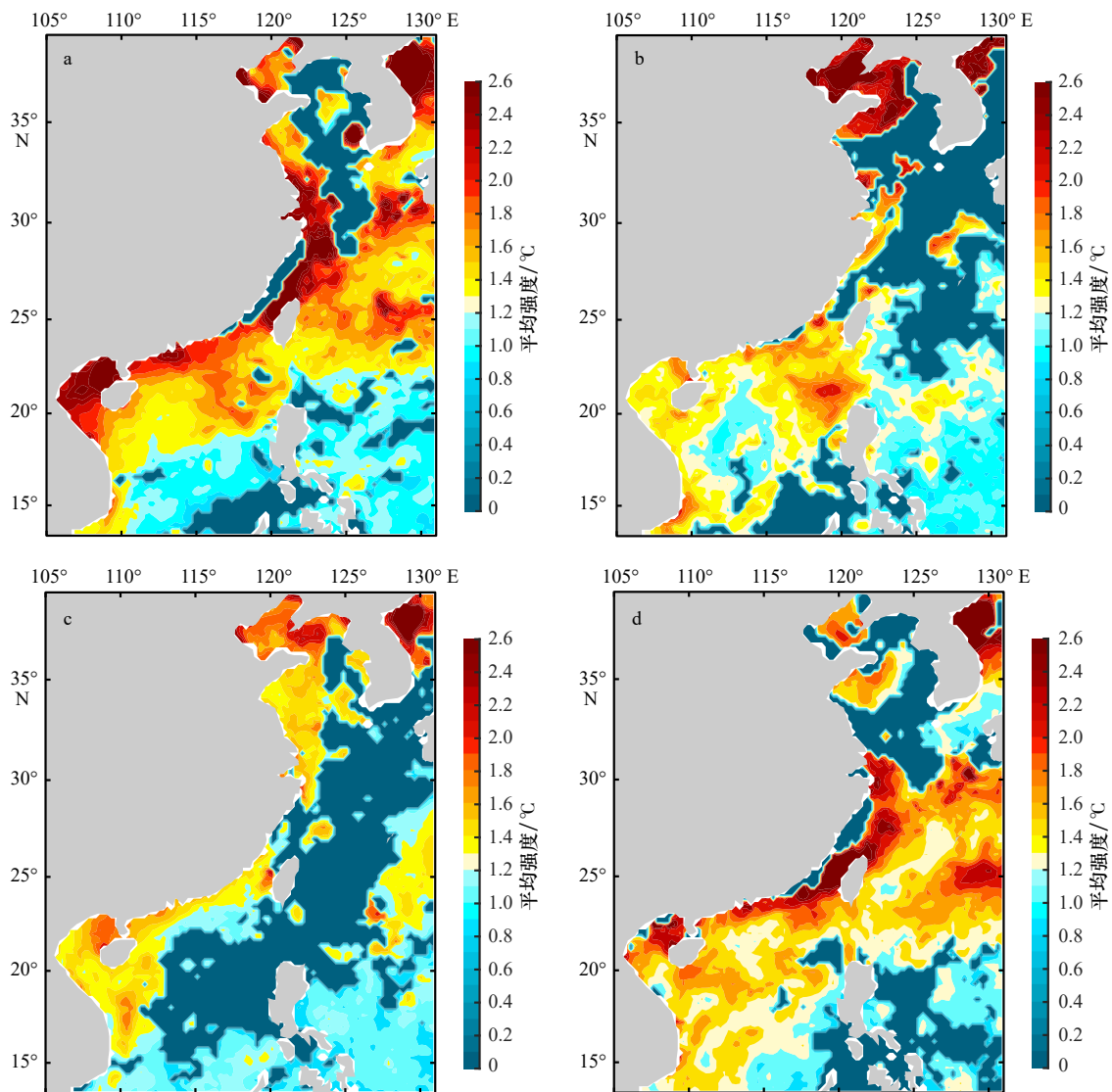


图4 2019年中国近海海洋热浪事件平均强度四季变化

Fig. 4 Marine heatwave events mean intensity at all seasons in the China offshore in 2019

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季

a. Spring; b. summer; c. autumn; d. winter

季节内振荡(MJO)和北极海冰等方面进行阐述<sup>[16-19]</sup>。海洋热浪的发生通常是气候系统内部变率和大气外部强迫相结合导致,形成机制较为复杂。研究发现,在全球变暖背景下,中国近海海表温度上升明显<sup>[20]</sup>。1980-1999年,中国近海加速增暖与东亚冬季风减弱和西太平洋副热带高压加强有关<sup>[21]</sup>。蔡榕硕等<sup>[22]</sup>指出,南海海表温度的年际变化与经向风异常、副热带高压纬向变动和 ENSO 循环密切相关。厄尔尼诺事件可通过“大气桥”和“海洋通道”影响中国近海海温<sup>[23-24]</sup>。下面主要从大气热力因素初步分析北部湾发生此次长时间海洋热浪的原因。

2018年9月至2019年6月赤道中太平洋发生了1次弱厄尔尼诺事件,峰值出现在2018年11月

(Niño3.4 指数为 1.0°C)。ENSO 作为热带太平洋海气耦合系统年际变率的主要模态,与东亚冬季风异常关系密切。在厄尔尼诺成熟年冬季,西北太平洋异常反气旋西北侧异常西南风可减弱东亚冬季风,而在次年夏季则加强东亚夏季风<sup>[25]</sup>。《2019年海平面公报》也指出,2019年1-4月东亚冬季风较常年同期(常年为1993-2011年气候基准期的常年平均值)偏弱<sup>[26]</sup>,盛行的冬季风减弱,南风偏强,表层暖水向北输运增强,海南岛西侧冷涌减弱,导致北部湾海域异常增温。

从热通量各个分量的距平来看(图6),北部湾2-4月海洋热浪发生期间,热通量距平以感热通量和潜热通量为主,海气界面热量交换为大气补给海洋。其中,潜热通量变化幅度大于感热通量,潜热通量决

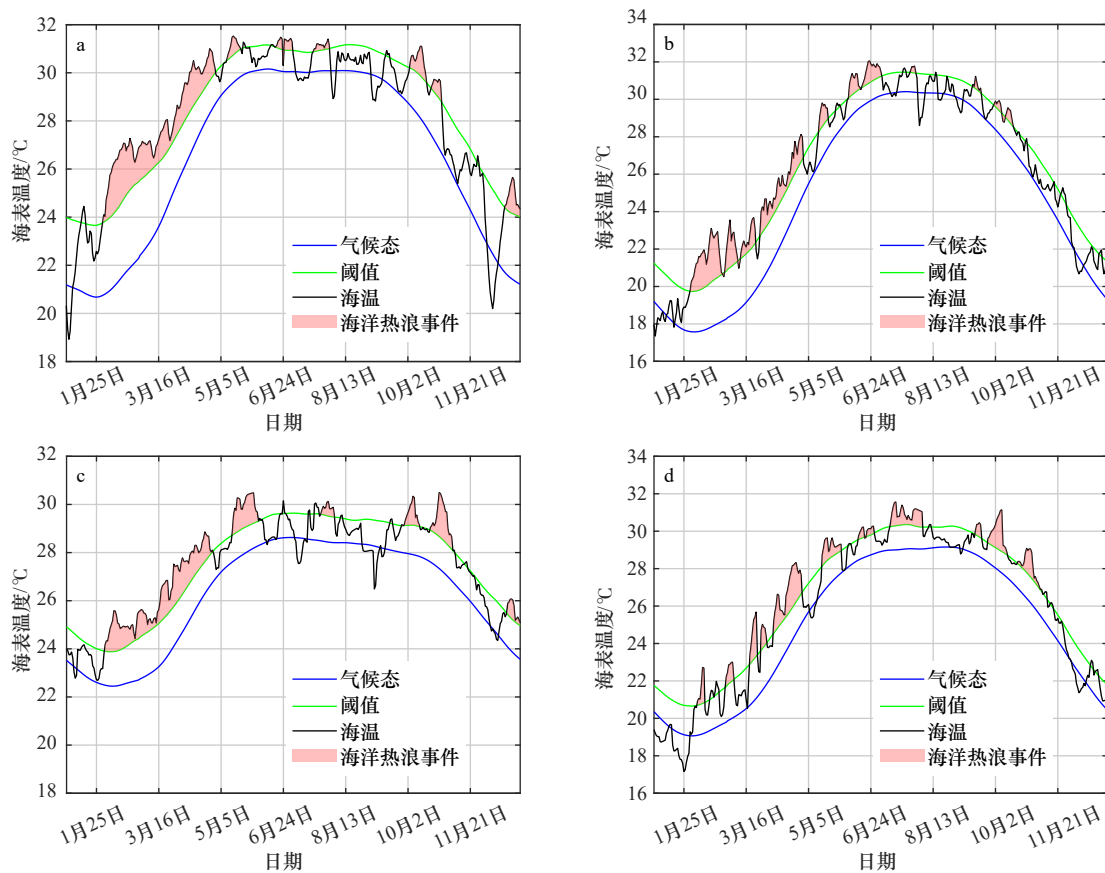


图 5 2019 年北部湾海洋热浪事件

Fig. 5 Marine heatwave events reported along the Beibu Gulf in 2019

东方海洋站 (a) 及其临近海域 (c) OISST V2 数据格点; 涠洲海洋站 (b) 及其临近海域 (d) OISST V2 数据格点

Dongfang marine station (a) and the nearest ocean (c) pixel of the OISST V2; Weizhou marine station (b) and the nearest ocean (d) pixel of the OISST V2

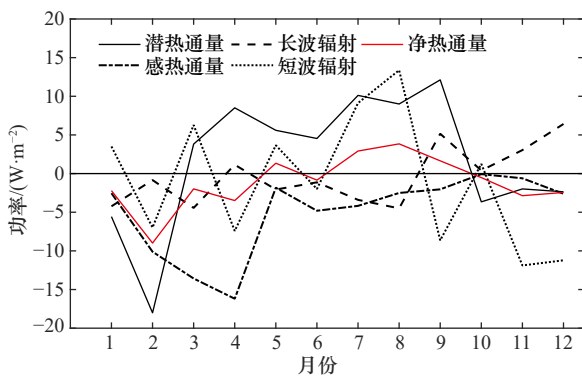


图 6 2019 年北部湾净热通量异常变化 (向上为正)

Fig. 6 Anomalous net heat flux at the Beibu Gulf in 2019 (upward is positive)

定了海洋热浪的强度, 而感热通量对海洋热浪长时间持续起作用。

西太平洋副热带高压是该海域发生海洋热浪时的主要天气系统, 天气学上, 通常采用 500 hPa 位势高度 5 880 位势米等值线的范围来描述西太平洋副高的位置和大小, 由于再分析资料中系统性的偏差, 多数

研究中都采用 5 870 位势米等值线<sup>[27-28]</sup>。图 7 中黑粗线为西太平洋副高在 2019 年 2 月的平均位置, 由于副热带高压的北边界明显偏北, 面积偏大、强度偏强, 北部湾大部分海域在副高的控制区域内, 副高影响下多为晴朗少云天气, 太阳短波辐射增强; 沃克环流减弱, 下沉增温, 蒸发作用被抑制, 海洋表面获得的潜热通量显著增加, 为海洋热浪的暴发提供了有利气象条件。北部湾南口处南海暖水及琼州海峡沿岸水入侵对北部湾海域海洋热浪的作用有待进一步研究。

此次海洋热浪发生期间, 北部湾海域的东方海洋站的气温偏高, 平均偏高 3.6°C; 气压偏低, 平均偏低 1.1 hPa; 风场 U 分量和 V 分量均为正距平, 分别偏高 0.7 m/s 和 1.3 m/s, 偏南风距平风场有利于暖水流入到东方站海域, 促进海洋热浪事件的发生 (图 8)。

通过对北部湾东方和涠洲海洋站 1980-2019 年发生海洋热浪及其气象背景场合成分析发现, 1980-2019 年, 北部湾东方海洋站和涠洲海洋站分别发生海洋热浪 129 次和 110 次, 其中春季海洋热浪发生概

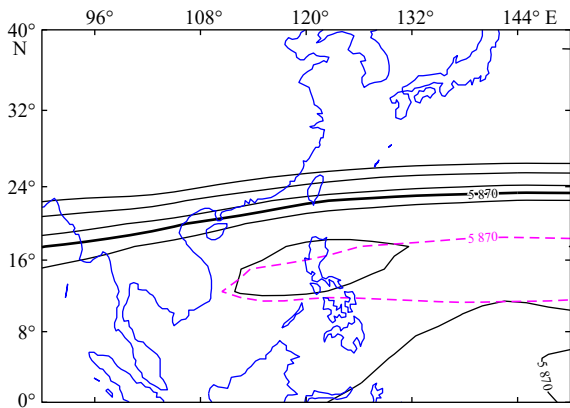


图7 2019年2月西太平洋副高500 hPa位势高度  
Fig. 7 The 500 hPa potential height of Western Pacific subtropical high in February 2019

黑粗线为2019年5870位势米等值线;红虚线为1981-2010年气候态5870位势米等值线  
The black solid line indicates the isolines of 5870 geopotential metre in 2019; the red dashed line indicates the climatic average isolines of 5870 geopotential metre from 1981 to 2010

率分别为11.8%和7.6%,夏季海洋热浪发生概率分别为8.1%和7.5%,秋季海洋热浪发生概率分别为9.8%

和9.0%,冬季海洋热浪发生概率分别为8.6%和7.3%,春季和秋季发生海洋热浪最多。

1980-2019年,海洋热浪发生时,东方海洋站和涠洲海洋站平均气温均为正异常,其中冬季异常最高,分别平均偏高3.8℃和3.9℃,夏季最低,分别平均偏高0.8℃和1.2℃;海平面气压春季、秋季和冬季为负异常,夏季为正异常,其中冬季偏低最明显,分别平均偏低2.5 hPa和1.9 hPa,夏季分别平均偏高0.2 hPa和1.6 hPa;风场V分量春季、秋季和冬季均为正距平,夏季为负距平(图9)。

1980-2019年,海洋热浪平均强度与事件期间的气象背景场相关分析发现,海洋热浪发生时,一年四季,平均气温越高,海洋热浪平均强度越强(夏季东方海洋站的相关系数未通过显著性检验);春季和秋季,海平面气压越低,海洋热浪平均强度越强;秋季和冬季,风场V分量正距平幅度越大,海洋热浪平均强度越强(表3)。

### 5 结论和讨论

本文利用海洋观测站网和遥感观测数据分析了

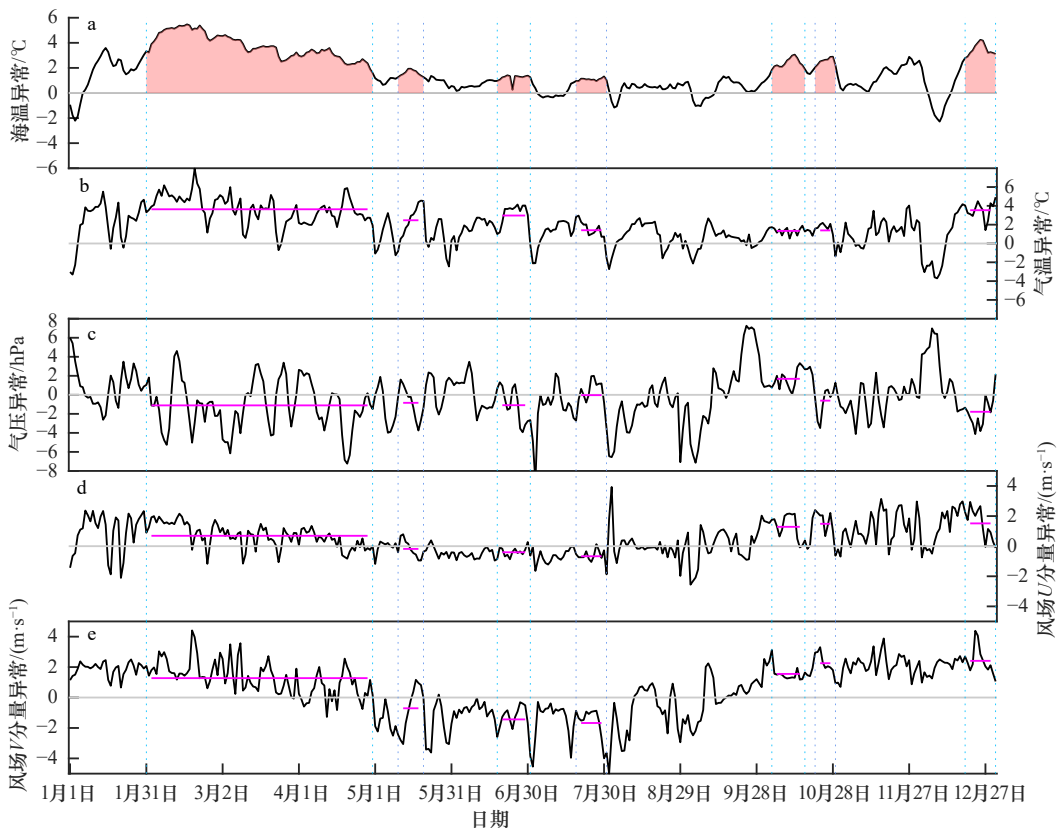


图8 2019年海洋热浪事件发生时东方海洋站海洋气象要素变化

Fig. 8 Properties of ocean meteorological elements observed at Dongfang marine station during marine heatwave (MHW) events in 2019

红色填充为识别的海洋热浪;蓝色虚线为海洋热浪起止时间;紫色实线为海洋热浪发生时相应要素异常的平均值

The red area indicates MHW indentified; blue dashed lines show start and end of MHW; purple lines show mean elements anomaly during the MHW

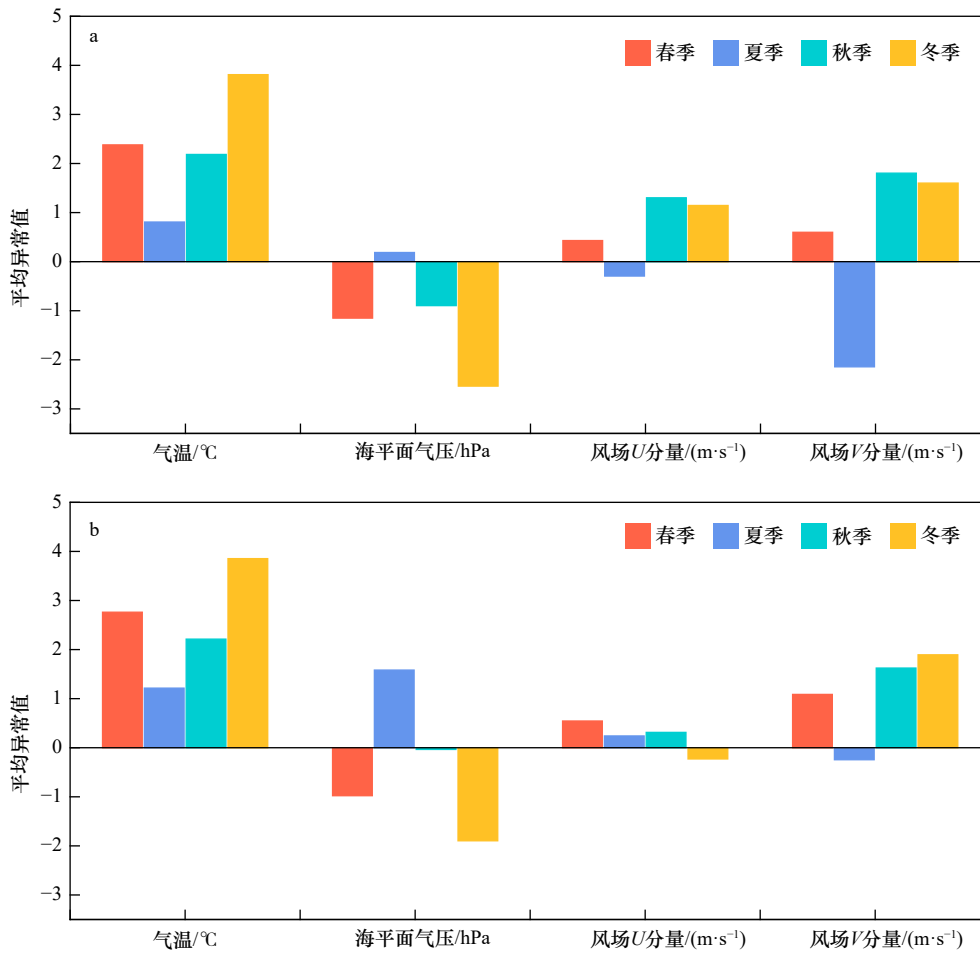


图 9 1980–2019 年海洋热浪事件发生时海洋气象要素变化

Fig. 9 Properties of ocean meteorological elements during marine heatwave events from 1980 to 2019

a. 东方海洋站; b. 涠洲海洋站

a. Dongfang marine station; b. Weizhou marine station

表 3 1980–2019 年海洋热浪平均强度与各环境背景场的相关系数统计

Table 3 Statistics of correlation coefficient between marine heatwave mean intensity and environmental background fields during 1980–2019

季节	台站	气温	气压	U分量	V分量
春季	东方站	0.49*	-0.25*	0.24*	0.35*
	涠洲站	0.51*	-0.43*	0.08	0.13
夏季	东方站	0.01	0.08	0.05	-0.12
	涠洲站	0.47*	-0.05	0.16	0.02
秋季	东方站	0.60*	-0.49*	0.43*	0.42*
	涠洲站	0.58*	-0.36*	-0.08	0.23*
冬季	东方站	0.48*	-0.11	0.10	0.23*
	涠洲站	0.36*	0.07	-0.03	0.18*

注: \*表示通过95%显著性检验。

2019 年中国近海发生的海洋热浪事件, 结果发现, 中国近海海洋热浪在任何时间都可能发生, 春季发生天数最多, 冬季最少。中国近海海洋热浪发生高频区位于海南岛周边海域、长江口海域、渤海海域和江苏外海海域, 海洋热浪频次为 7~12 次。北部湾附近海域海洋热浪发生时间最长, 超过 150 d, 东方海洋站附近海域 2–4 月发生了自 1980 年以来持续时间最长、强度最强的海洋热浪事件, 此期间北部湾海域经历了持续长时间气温偏高、南风偏强的气候情况。同时, 副热带高压面积偏大、位置偏西偏北。冬季风偏弱是此海洋热浪发生的重要原因。总体而言, 北部湾海域海洋热浪发生时, 一年四季, 平均气温越高, 海洋热浪平均强度越强; 春季和秋季, 海平面气压越低, 海洋热浪平均强度越强; 秋季和冬季, 风场 V 分量正距平幅度越大, 海洋热浪平均强度越强。

由于人类活动导致的全球变暖中 90% 以上的热

量被海洋吸收,使全球海洋平均温度显著上升,气候变化增加了海洋热浪发生的频率和强度<sup>[29-30]</sup>。2019年海洋升温再创新高,海洋变暖的速度也在加快<sup>[31]</sup>。观测数据表明,近几十年来,我国近海的海表温度呈现快速上升趋势,是全球海洋温度上升最显著的区域之一,未来气候情景下,中国近海很可能将继续升温,海洋热浪预计将持续时间更久,范围更广,频次更高,强度更大,使得中国近海海洋生态系统的气候暴露度

不断增大。作为气候敏感区和脆弱区的中国近海海洋将面临更大的风险和挑战,我们应高度重视并积极应对海洋热浪事件及其影响,尽快建立系统的海洋热浪监测和预测预警机制,从海洋热浪的发生机理及其影响和适应方面寻求跨学科合作,以减缓极端海洋热浪事件对我国海洋生态系统、渔业资源和社会经济服务的影响,为我国应对气候变化和防灾减灾提供支撑。

#### 参考文献:

- [1] Caputi N, Kangas M, Denham A, et al. Management adaptation of invertebrate fisheries to an extreme marine heat wave event at a global warming hot spot[J]. *Ecology and Evolution*, 2016, 6(11): 3583-3593.
- [2] Mills K E, Pershing A J, Brown C J, et al. Fisheries management in a changing climate: Lessons from the 2012 ocean heat wave in the Northwest Atlantic[J]. *Oceanography*, 2013, 26(2): 191-195.
- [3] Gentemann C L, Fewings M R, Garcia-Reyes M, et al. Satellite sea surface temperatures along the West Coast of the United States during the 2014-2016 northeast Pacific marine heat wave[J]. *Geophysical Research Letters*, 2017, 44(1): 312-319.
- [4] Di Lorenzo E, Mantua N J. Multi-year persistence of the 2014/15 North Pacific marine heatwave[J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6(11): 1042-1047.
- [5] Oliver E C J, Benthuisen J A, Bindoff N L, et al. The unprecedented 2015/16 Tasman Sea marine heatwave[J]. *Nature Communications*, 2017, 8(1): 16101.
- [6] Hughes T P, Kerry J T, Álvarez-Noriega M, et al. Global warming and recurrent mass bleaching of corals[J]. *Nature*, 2017, 543(7645): 373-377.
- [7] 李琰, 范文静, 骆敬新, 等. 2017年中国近海海温和气温气候特征分析[J]. *海洋通报*, 2018, 37(3): 296-302.  
Li Yan, Fan Wenjing, Luo Jingxin, et al. Climatic characteristics of sea surface temperature and air temperature over the China Seas in 2017[J]. *Marine Science Bulletin*, 2018, 37(3): 296-302.
- [8] Li Yan, Ren Guoyu, Wang Qingyuan, et al. More extreme marine heatwaves in the China Seas during the global warming hiatus[J]. *Environmental Research Letters*, 2019, 14(10): 104010.
- [9] 齐庆华, 蔡榕硕, 颜秀花. 气候变化与我国海洋灾害风险治理探讨[J]. *海洋通报*, 2019, 38(4): 361-367.  
Qi Qinghua, Cai Rongshuo, Yan Xiuhua. Discussion on climate change and marine disaster risk governance in the coastal China seas[J]. *Marine Science Bulletin*, 2019, 38(4): 361-367.
- [10] Hobday A J, Alexander L V, Perkins S E, et al. A hierarchical approach to defining marine heatwaves[J]. *Progress in Oceanography*, 2016, 141: 227-238.
- [11] Reynolds R W, Smith T M, Liu Chunying, et al. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature[J]. *Journal of Climate*, 2007, 20(22): 5473-5496.
- [12] 经志友, 齐义泉, 华祖林. 闽浙沿岸上升流及其季节变化的数值研究[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2007, 35(4): 464-470.  
Jing Zhiyou, Qi Yiquan, Hua Zulin. Numerical study on upwelling and its seasonal variation along Fujian and Zhejiang coast[J]. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2007, 35(4): 464-470.
- [13] Smale D A, Wernberg T. Satellite-derived SST data as a proxy for water temperature in nearshore benthic ecology[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2009, 387: 27-37.
- [14] Ruthrof K X, Breshears D D, Fontaine J B, et al. Subcontinental heat wave triggers terrestrial and marine, multi-taxa responses[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 13094.
- [15] McCabe R M, Hickey B M, Kudela R M, et al. An unprecedented coastwide toxic algal bloom linked to anomalous ocean conditions[J]. *Geophysical Research Letters*, 2016, 43(19): 10366-10376.
- [16] Hu Kaiming, Huang Gang, Qu Xia, et al. The impact of indian ocean variability on high temperature extremes across the southern Yangtze River valley in late summer[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2012, 29(1): 91-100.
- [17] Benthuisen J A, Oliver E C J, Feng Ming, et al. Extreme marine warming across tropical Australia during austral summer 2015-2016[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2018, 123(2): 1301-1326.
- [18] Oliver E C, Donat M G, Burrows M T, et al. Longer and more frequent marine heatwave over the past century[J]. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 1324.
- [19] Tan Hongjian, Cai Rongshuo. What caused the record-breaking warming in East China Seas during August 2016?[J]. *Atmospheric Science Letters*, 2018, 19(10): e853.
- [20] 蔡榕硕, 陈际龙, 谭红建. 全球变暖背景下中国近海表层海温变异及其与东亚季风的关系[J]. *气候与环境研究*, 2011, 16(1): 94-104.  
Cai Rongshuo, Chen Jilong, Tan Hongjian. Variations of the sea surface temperature in the offshore area of China and their relationship

- with the East Asian monsoon under the global warming[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2011, 16(1): 94–104.
- [21] Cai Rongshuo, Tan Hongjian, Kontoyiannis H. Robust surface warming in offshore China seas and its relationship to the East Asian monsoon wind field and ocean forcing on inter-decadal time scales[J]. *Journal of Climate*, 2017, 30(22): 8987–9005.
- [22] 蔡榕硕, 张启龙, 齐庆华. 南海表层水温场的时空特征与长期变化趋势[J]. 台湾海峡, 2009, 28(4): 559–568.  
Cai Rongshuo, Zhang Qilong, Qi Qinghua. Spatial and temporal oscillation and long-term variation in sea surface temperature field of the South China Sea[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2009, 28(4): 559–568.
- [23] Kelin 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.
- [24] Qu Tangdong, Kim Y, Yaremchuk M, et al. Can Luzon strait transport play a role in conveying the impact of ENSO to the South China Sea?[J]. *Journal of Climate*, 2004, 17(18): 3644–3657.
- [25] Zhang Renhe, Sumi A, Kimoto M. Impact of El Niño on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the '86/87 and '91/92 events[J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 1996, 74(1): 49–62.
- [26] 自然资源部. 2019年中国海平面公报[EB/OL]. [2020-05-21]. 北京: 自然资源部. <http://www.nmdis.org.cn/hygb/zghpmgb/2019nzghpmgb/>.  
Ministry of Natural Resources. China sea level bulletin 2019[EB/OL]. [2020-05-21]. Beijing: Ministry of Natural Resources. <http://www.nmdis.org.cn/hygb/zghpmgb/2019nzghpmgb/>.
- [27] Zhou Tianjun, Yu Rucong, Zhang Jie, et al. Why the western Pacific subtropical high has extended westward since the late 1970s[J]. *Journal of Climate*, 2009, 22(8): 2199–2215.
- [28] 谭红建, 蔡榕硕. 2000年以来福州地区夏季极端高温的新特征及成因探讨[J]. 大气科学, 2015, 39(6): 1179–1190.  
Tan Hongjian, Cai Rongshuo. New characteristics of heat extremes in Fuzhou Since 2000 and the possible causes[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2015, 39(6): 1179–1190.
- [29] Oliver E C J, Burrows M T, Donat M G, et al. Projected marine heatwaves in the 21st century and the potential for ecological impact[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2019, 6: 734.
- [30] Oliver E C J. Mean warming not variability drives marine heatwave trends[J]. *Climate Dynamics*, 2019, 53(3): 1653–1659.
- [31] Cheng Lijing, Abraham J, Zhu Jiang, et al. Record-setting ocean warmth continued in 2019[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2020, 37(2): 137–142.

## Study on characteristics of marine heatwave in the China offshore in 2019

Wang Aimei<sup>1</sup>, Wang Hui<sup>1</sup>, Fan Wenjing<sup>1</sup>, Luo Jingxin<sup>1</sup>, Li Wenshan<sup>1</sup>, Xu Shanshan<sup>1</sup>

(1. National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China)

**Abstract:** Marine heatwave, considered as events with prolonged anomalously high sea surface temperature in certain sea areas. The occurrence of marine heatwave could impact the function and service of marine ecosystem. In recent years, the marine heatwave in the China offshore become more frequent, and attract considerable attention. Used a range of ocean temperature data including daily satellite observations and daily *in situ* measurements, we analysed the characteristics of marine heatwave in the China offshore in 2019. Results show that in 2019, the frequency of marine heatwave is higher in the sea areas around Hainan Island, the Changjiang River Estuary, the Bohai Sea and the sea areas off Jiangsu Province, with the frequency of 7–12 times. The marine heatwave duration in the Beibu Gulf lasts the longest, more than 150 days. In addition, took the classical marine heatwave that last from February to April in Beibu Gulf as an example, anomaly characteristics of air temperature, sea level pressure and wind during the event period were investigated specifically and the corresponding relationships between the marine heatwave and meteorological background fields in different seasons in Beibu Gulf was further studied. On the whole, the higher air temperature, weaker East Asian winter monsoon, larger area and the northward and westward extension of subtropical high are the important factors for the occurrence and maintenance of the marine heatwave in the Beibu Gulf in the early 2019.

**Key words:** marine heatwave; climate change; China offshore; sea surface temperature