

近 50 年华南沿海 SST 热事件变化的时空特征*

郑兆勇^{1,2}, 周雄², 江四义², 蔺明霞², 游大伟², 吕柏明²

(1. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东 青岛 266003; 2. 国家海洋局南海分局, 广东 广州 510300)

摘要: 根据华南沿海 10 个海洋站 1960—2009 年实测海表温度(SST)资料统计分析了近 50 年华南沿海 SST 热事件时空变化特点, 得出如下结论: 华南沿海 SST 热事件主要出现在 6—8 月份, SST 热事件出现的频率以北部湾东北部海域最高, 粤东沿海最低; 导致 SST 热事件海区差异的原因是上升流及热带气旋存在海区差异; 受全球气候变暖的影响, 华南沿海年均 SST 有上升趋势, 近 50 年来气候变化可划分为冷、暖两个时期, 其相对暖期 SST 热事件的年频数、累计天数、每次 SST 热事件持续天数较相对冷期均有增加趋势。

关键词: 华南沿海; 海表温度(SST); 热事件; 变化特征

中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2010)04-0014-06

Spatial and temporal variations of high sea-surface temperature events during 1960–2009 in the coastal waters off South China

ZHENG Zhao-yong^{1,2}, ZHOU Xiong², JIANG Si-yi², LIN Ming-xia², YOU Da-wei², LÜ Bo-ming²

(1. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. South China Sea Branch, SOA, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Based on the observed sea-surface temperature (SST) data from 10 ocean observation stations in the coastal region off South China (CRSC) from 1960 to 2009, the authors analyzed the variation characteristics of the high-SST events over the 50 year record. The results show that the high-SST events mostly happened during June to August, and most often in the northeast of the Beibu Gulf and least in the coastal waters off eastern Guangdong Province; the regional difference of high-SST events was caused by regional differences of upwelling and tropic cyclone, with yearly-averaged SST showing a rising trend under global warming. The past 50 years can be divided into two periods of relatively warm and cold. The yearly frequency and the number of days in all of the high-SST events in the relatively warm period and the lasting time of every high-SST event both showed rising trends compared with the relatively cold period.

Key words: coastal waters off South China; sea-surface temperature (SST); high-SST event; variation characteristics

根据 IPCC 第 4 次评估报告, 过去的 100 年(1906—2005 年), 全球地表气温升高 0.74℃, 最近 50 年有加速上升的趋势。预计 21 世纪全球地表气温仍将表现为明显的增温, 气候灾害将更加严重。近 50 年我国年平均地表气温增温约 1.1℃, 平均增温速率为每 10 年 0.22℃。1986 年以来全国气温平均增温速率大约达到每 10 年 0.8℃^[1]。中国科学家预估, 和 2000 年相比, 2020 年中国年平均气温将升高 1.3—

2.1℃, 2050 年将升高 2.3—3.3℃。华南沿海是增温速率高值区^[2-3]。气候变暖引起海水温度上升, 高温、热浪以及强降水频率增加, 加剧了沿海地区的自然灾害, 已引起地方政府的广泛关注^[4]。

南海是印度洋-西太平洋暖池的组成部分, 在特定天气系统的影响下, 会出现大范围日均海面温度(SST) 30℃ 的异常高温海区^[5-7], Qin^[5]定义日均 SST 30℃、持续时间 10 天为一次热事件(Hot

收稿日期: 2008-09-08; 修订日期: 2010-02-22。孙淑杰编辑

基金项目: 国家海洋局青年海洋科学基金(2010208); 国家海洋局“908”专项(908-ZC- -01)

作者简介: 郑兆勇(1979—), 男, 山东省泰安市人, 在读博士研究生, 工程师, 主要从事海洋环境相关方面工作。E-mail: zorry@126.com

* 衷心感谢审稿人对本文提出的修改意见;感谢中国科学院南海海洋研究所陈特固先生在本文的修改过程中给予的大力帮助!

Event)。热事件的出现不可避免地会对海洋生态产生影响,例如 1998 年夏季的热事件导致南海一些海区的珊瑚礁出现白热化。Qin^[5]根据 1993—2003 年的卫星遥感 SST 资料,分析了印度洋-西太平洋暖池 31 次 SST 热事件的起止时间及影响范围,得出有 2 次(1993 年及 1998 年夏季)热事件波及到华南沿海。但据笔者统计,此结果比海洋站反映的 SST 热事件次数少得多。海洋站 SST 资料是目前我国沿海预报 SST 的主要依据。本文根据华南沿海海洋站 SST 资料,分析近 50 年(1960—2009 年)SST 热事件的时空变化特点及其与全球气候变暖的关系,旨在为 SST 热事件的长期预报提供参考。

1 资料及统计规定

本文研究的海区为华南大陆沿岸海区。文中提及的北海等 10 个海洋站的 SST 观测站位置见图 1。海洋站的 SST 及风速资料取自南海档案馆。全球平均地面温度距平及 SST 距平资料取自英国

HadCRUT3 (<http://www.cru.uea.ac.uk>)。香港太阳总辐射和 500hPa 高度场资料取自香港天文台《香港气象观测摘要》。热带气旋及天气图资料取自中国气象局每年出版的《热带气旋年鉴》(1989 年前名为《台风年鉴》)、《历史天气图》和国家海洋局南海预报中心绘制的天气图。各海洋站 SST 资料为每日 3 次观测(08:00、14:00、20:00)。北海、涠洲岛、碓洲岛、闸坡、遮浪海洋站于 1959 年底开始观测;大万山站于 1965 年 7 月开始观测,但资料不连续,自 1973 年 9 月后才有连线观测记录;赤湾站从 1986 年开始观测,2002 年 10 月迁至盐田;珠海站 2006 年开始观测。按国家海洋局《海滨观测规范》规定,以 08:00 的水温加权再和 14:00、20:00 的水温求平均得到日平均水温,再对日均 SST 取平均得月均 SST。按世界气象组织(WMO)技术规定,气候平均值取 1961—1990 年平均值。采用 Qin^[5]的规定,以日平均 SST 30℃、持续时间 10 天为一次 SST 热事件(简称热事件)。

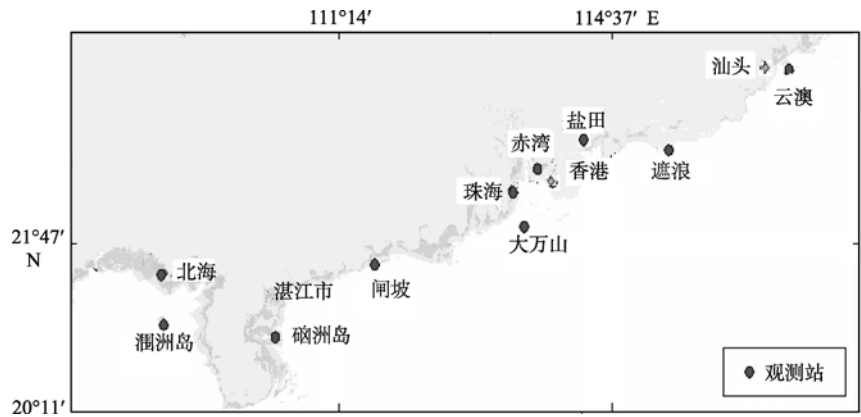


图 1 华南沿海海洋站位置示意图

Fig. 1 Distribution map of ocean observation stations along coastal South China

2 华南沿海 SST 热事件的时空分布特点

华南沿海各海洋站 1960—2009 年热事件出现次数如表 1 所示。由表 1 可见,华南沿海热事件有两大明显的特点。一是热事件主要出现在 6—8 月份,累计站次数中 6—8 月出现的占 94%。二是热事件出现的频率存在明显的海区差异,50 年间出现最多的是北部湾东北部,涠洲岛站出现 94 次,北海站出现 85 次;其次是粤西沿海至珠江口海域,出现 22—27 次,其中 2003—2009 年在盐田站出现热事件 10 次,与同时期的碓洲岛次数相同;粤东沿海(港口以东)只出现 1 次,为热事件极少出现海区。

表 1 1960—2009 年华南沿海海洋站 SST 热事件出现次数
Tab. 1 Occurrence frequency of high-SST event observed at the ocean observation stations along coastal South China from 1960 to 2009

站名	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	累计
北海	2	23	35	21	4	0	85
涠洲岛	0	26	36	26	6	0	94
碓洲岛	0	3	10	13	1	0	27
闸坡	0	6	5	10	1	0	22
大万山*	0	0	4	2	0	0	6
盐田**	0	1	5	3	1	0	10
遮浪	0	1	0	0	0	0	1
云澳	0	0	0	0	0	0	0
累计	2	60	95	75	13	0	245

注: *资料年限为 1974—2009 年; **资料年限为 2003—2009 年。

SST 热事件主要出现于 6—8 月份容易理解, 因为影响 SST 季节变化的主要因素是到达海面的太阳总辐射(GSR)、大气环流和海洋环流特征的季节变化^[7]。夏季(6—8 月)是华南沿海年中 GSR 最高季节(表 2)。根据 1986—2009 年逐年夏季月均资料统计, 香港 GSR 与附近赤湾、盐田 SST 的相关系数为 0.53(达到 0.05 显著性水平)。西太平洋副热带高压是影响 SST 场变化的重要天气系统^[8]。夏季西太平洋副热带高压加强西伸, 副高脊线在 15°—30°N 之间西伸至 105°E 附近, 华南沿海多为副高脊控制或处于副高边缘^[9-11], 实测月均 500hPa 高度在 5860—5880gpm 之间(表 2), 在副高天气控制下 GSR 常达 15.0—20.0MJ·(m²·d)⁻¹(或更大)且持续 1—2 周, 有利于 SST 30 的出现和维持。在 Qin^[5]绘制的 1993—2003 年 31 次热事件分布图中, 最强的一次是 1998 年 7 月 26 日至 9 月 9 日, 历时 46 天, 范围包括整个华南沿海。图 2 给出了 1998 年夏季 SST 热事件期间代表站逐日 SST 及香港 GSR 的变化过程, 该年 6—9 月各月西太副高西脊点在 90°—100°E 之间, 南海北部的副高脊线在 16°—25°N 之间, 珠江口以西各海洋站均出现 SST 热事件。

表 2 华南沿海 5—10 月月平均 SST、太阳总辐射与 500hPa 高度

Tab. 2 Monthly-mean SST, total global solar radiation and 500hPa height from May to October during 1961–1990

项目	测站	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
海面温度/	北海	27.9	29.5	30.2	30	29.1	25.9
	涠洲岛	27	29.3	30.3	30	29.3	26.9
	碓洲岛	27.2	28.7	29	29	28.7	26.6
	闸坡	26.9	28.5	29.2	29	28.6	26
	遮浪	24.4	26.8	27.5	27.4	27.6	25.5
	云澳	23.5	25.6	25.7	25.9	26.4	24.6
太阳总辐射/(MJ·m ⁻²)	香港	500	497	594	546	495	479
	汕头*	430	460	575	530	480	460
500hPa 高度/gpm	香港	5857	5859	5880	5855	5869	5877
	汕头**	5863	5872	5876	5870	5880	5881

注: *资料取自文献[9], **资料取自文献[10]。

造成 SST 热事件频次存在明显海区差异的原因与上升流影响及热带气旋活动存在着海区差异有关。根据海洋调查资料^[12-16]、卫星观测 SST 资料^[17]和数值模拟研究^[18]的分析研究, 均得出粤东海区为强上升流区。海洋站 SST(表 2)及甚高分辨率红外辐射计(AVHRR) SST^[19]均反映粤东沿海夏季月均 SST 只有 26—28, 故该岸段虽然夏季月份副高控制时

间及 GSR 值与珠江口差不多, 但该岸段没有出现热事件(个别年份例外)。

粤西沿岸夏季 SST 的高低与上升流的强弱及引起上升流原因之一的西南季风强弱呈显著负相关(图略), 夏季在强副高、弱夏季风影响下仍可出现热事件。北部湾东北部没有上升流影响, 其表层潮流致-风生-热盐耦合余流终年呈逆时针流向^[20]。受海岸线的影响, 6 月份开始, 湾口 SST 29 高温海水不断向湾顶输送, 致使 7—8 月平均 SST 30, 6 月与 9 月 SST 29^[19]。

此外, SST 热事件的变化还与热带气旋活动的影响有关。6—9 月为华南沿海热带气旋活动季节, 但北部湾北部夏季受热带气旋影响较少, 影响的程度也远小于粤东、粤西。据统计, 1960—2009 年 6—9 月在粤西登陆的热带气旋(含第二次登陆)为 77 个, 广西沿海为 27 个。热带气旋带来狂风暴雨, 引起 SST 下降, 不利于热事件形成, 1998 年就是一个典型的例子(图 2)。该年涠洲岛最长热事件持续 56 天(7 月 11 日—9 月 4 日), 而碓洲岛为 24 天(8 月 19 日—9 月 11 日), 赤湾为 21 天, 闸坡只有 17 天, 原因是粤西沿海 7 月 8 日—11 日和 8 月 9 日—12 日先后受 9801 号丽歌(Nichole)热带风暴和 9803 号彭妮(Penny)强热带风暴的直接影响, 狂风暴雨引起 SST

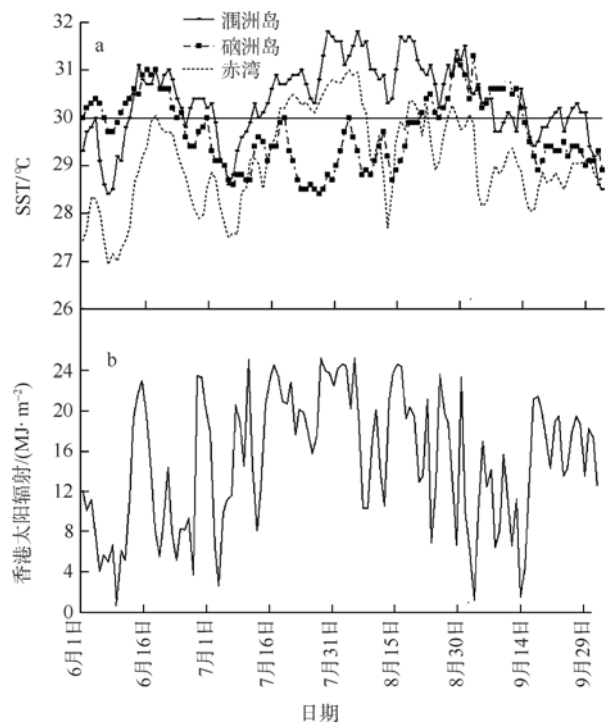


图 2 1998 年热事件过程日均 SST(a)及香港太阳辐射(b)变化趋势

Fig. 2 Tendency of daily-mean SST(a)and GSR (b) during high-SST events in 1998

下降 2—3 (图 2), 因此位处雷州半岛东、西两侧的硇洲岛与涠洲岛, 其空间直线距离虽只有 170 多 km, 但 SST 热事件次数与累计天数相差 3 倍以上。

珠江口以西近 50 年 9 月份只有 6 个时段出现热事件, 与之相对的天气形势是, 南海东北部或台湾—菲律宾近海有台风活动, 北部湾受南海高压和台风西侧下沉气流共同影响, 天气少云、晴热, 有利于 SST30、持续时间 10 天的热事件的产生及维持; 粤西沿海常受台风环流影响, SST30 的天气只能维持数天。

3 近 50 年全球气候变暖与华南沿海 SST 热事件变化的关系

图 3 给出了近 50 年对应于气候平均值的全球地面温度距平(global surface temperature anomaly, 简称 GSTA)、华南沿海海洋站年平均 SST 距平(SSTA)的变化趋势。图 3 中 GSTA 序列呈显著上升趋势, 线性上升率为每 10 年 0.14, 其中 1998 年距平值为 0.546, 为 1850 年来最暖的一年^[21]。北海、涠洲

岛、闸坡、遮浪各站 SSTA 线性上升率为每 10 年 0.11—0.22 (达到 0.05 显著性水平)。海洋站 SSTA 的上升率与 GSTA 上升率相近, 但变化幅度比全球 GSTA 变化幅度(0.84)大 2 倍左右。根据图 3 中的 GSTA 距平符号变化的持续特征, 我们将近 50 年来的气候变化划分为 2 个时期, 称 GSTA 符号持续为正值 1986—2009 年为相对暖期, 此前以负距平为主的为相对冷期。比较这两个时期 4 个海洋站 SST 热事件次数、累计天数、每次平均持续天数的差异, 结果见表 3, 其中累计天数的变化趋势见图 4。统计结果表明, SST 热事件的长期变化与全球气候变暖的关系随海区而异, 以粤西沿海变化最明显, 其相对暖期的热事件发生次数、累计天数、平均每次持续天数均较相对冷期明显增多。北海和涠洲岛两个时期热事件出现次数差异不大, 但每次的持续天数平均分别增加 3 天与 4 天。图中显示, 受全球气候变暖的影响, 北部湾和粤西沿海的 SST 也呈上升趋势, 但与热事件天数的关系并不密切, 特别是最近 20 年(1988—2009 年)GSTA 的上升率达每 10 年

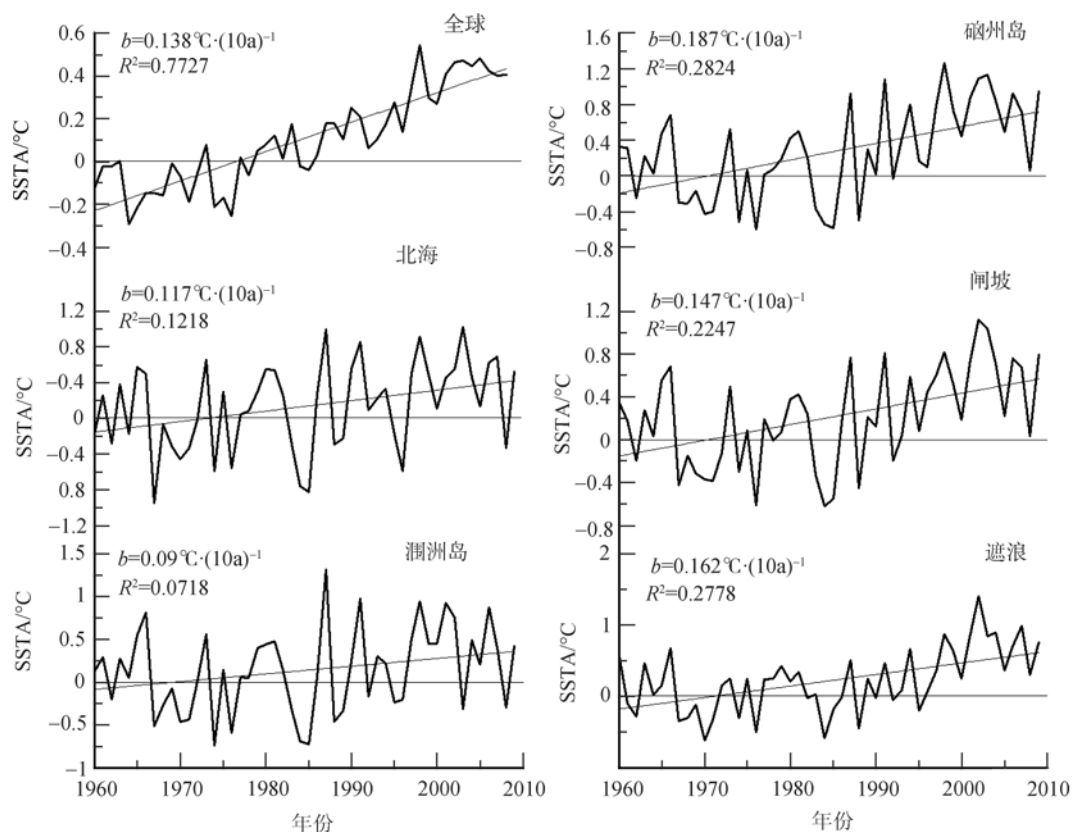


图 3 1960—2009 年温度距平变化趋势

对应 1961—1990 年平均, 斜线为线性趋势, b 为斜率, R 为回归方程的相关系数

Fig. 3 Tendency of yearly-mean temperature anomaly (SSTA) from 1960 to 2009, contrasted with the mean SST averaged over 1961 to 1990. The bias is shown by a linear trend line, b is linear trend in units of per 10-year, and R is correlation coefficient

表 3 1960—2009 年华南沿海不同时段 SST 热事件比较

Tab. 3 Comparison of high-SST event along coastal South China from 1960 to 2009

年代	次数				累计天数				平均每次持续天数			
	北海	涠洲	碇洲	闸坡	北海	涠洲	碇洲	闸坡	北海	涠洲	碇洲	闸坡
1960—1985	39	44	4	6	624	754	58	80	16.0	17.1	14.5	13.3
1986—2009	46	50	23	16	881	1053	372	225	19.1	21.1	16.2	14.1
累计	85	94	27	22	1505	1807	430	305	17.7	19.2	15.9	13.9

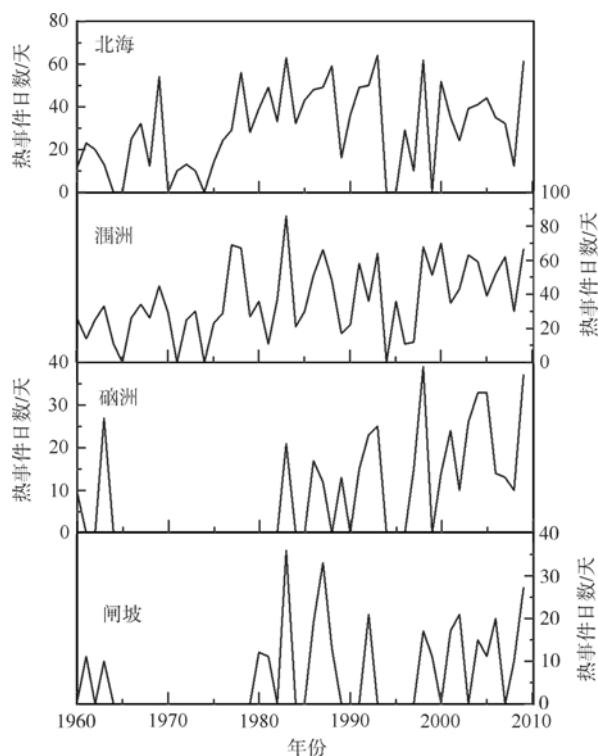


图 4 1960—2009 年海洋站 SST 热事件年总日数的逐年变化

Fig. 4 Yearly-variation of high-SST event number of days at the ocean observation stations from 1960 to 2009

0.183, 而华南沿海各海洋站的夏季 SST 则只呈波动变化, 没有上升趋势, 其原因是年 SSTA 的上升主要发生于冬季, 夏季 SSTA 只是在 ± 0.6 范围内呈波动变化, 没有呈显著的上升趋势。海洋站夏季 SSTA 上升不显著还与 2008 年各站普遍出现 -0.6 — -0.1 异常低温有关。经初步分析, 导致该 SSTA

明显偏低的主要原因, 与西太平洋副热带高压持续偏弱、西脊点一直在 120°E 以东洋面上以及年初出现历史罕见异常低 SST 有关^[22]。1979—2009 年全球 SST 的上升率为每 10 年 0.12, 但自 1997 年来上升趋势已停止, 只在 0.21—0.45 之间波动^[21]。

4 结论与讨论

1) 华南沿海 SST 热事件主要出现在 6—8 月份, 热事件出现的频率以北部湾东北部海域最高, 其次是粤西沿海及珠江口海域, 粤东沿海最低。

2) 近 50 年华南大陆沿海年 SST 有轻微上升趋势, 但夏季 SST 上升不显著。

3) 受全球气候变暖的影响, 华南沿海 SST 热事件的长期变化因海区而异, 以粤西沿海变化最明显, 其相对暖期(1986—2009 年)的热事件发生次数、累计天数、平均每次持续天数均较相对冷期(1960—1986 年)明显增多。

涠洲岛附近海域正在申请成为我国珊瑚自然保护区, 文献[23]认为珊瑚生长的适宜水温为 18—30, 最佳适宜水温为 23—27。若以 30 作为珊瑚礁生长的阈值, 未来随着气候变暖, 可能出现珊瑚白化和死亡事件, 给珊瑚礁造成严重威胁。涠洲站近 50 年来月均 SST 30 有 82 个月, 其中 SST 31 有 9 个月, 出现热事件 94 次, 近 10 年每年都出现 32—33 极端高温, 但有关该保护区珊瑚出现白化的报道仅有 1998 年^[24]和 2003 年^[25]。我们认为该区的珊瑚白化 SST 阈值有必要重新确定, 笔者将另文讨论。

参考文献

- [1] 秦大河. 气候变化的事实与影响及对策[J]. 中国科学基金, 2003(1): 1—3.
- [2] 刘爱君. 广东近半个世纪的气温变化[J]. 广东气象, 2003(4): 11—13.
- [3] 杜尧东, 宋丽莉, 毛慧琴, 等. 广东地区的气候变暖及其对农业的影响与对策[J]. 热带气象学报, 2004, 20(3): 302—310.
- [4] 广东气象局. 广东气候变化评估报告[J]. 广东气象, 2007, 29(3): 1—6.
- [5] QIN HUILING, HIROSHI KAWAMURA, YOSHIMI KAWAI. Detection of hot event in the equatorial Indo-Pacific warm pool using advanced satellite sea surface temperature, solar radiation, and wind speed[J]. Journal of Geophysical Research, Vol.112, C07015, doi: 10.1029/2006JC003969,

- 2007.
- [6] 李燕, 张建华, 刘钦政, 等. 单站海温短期预报自动化[J]. 海洋预报, 2007, 24(4): 33–41.
- [7] 汤超莲, 郑兆勇, 游大伟, 等. 珠江口近 30 年的 SST 变化特征分析[J]. 台湾海峡, 2006, 25(1): 96–101.
- [8] 蒋全荣, 郑定英, 余志豪. 副热带高压季节性移动与海温场的联系[J]. 大气科学, 1997, 21(2): 199–204.
- [9] 钱光明主编. 广东省气候业务技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 2–3.
- [10] 曾侠, 张江勇, 肖军. 近 46 年汕头夏秋季 500 hPa 高度变化及其与粤东降水量的关系[J]. 广东气象, 2007, 29(2): 21–23.
- [11] 林良勋主编. 广东省天气预报技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 5–11.
- [12] 曾流明. 粤东沿岸上升流迹象的初步分析[J]. 热带海洋学报, 1986, 5(1): 68–73.
- [13] 于文泉. 南海北部上升流的初步探讨[J]. 海洋科学, 1987, (6): 7–10.
- [14] 李立. 珠江口以西陆架夏季上升流的研究[J]. 台湾海峡, 1990, 9(4): 338–346.
- [15] 洪启明, 李立. 粤东陆架区夏季的上升流[J]. 台湾海峡, 1991, 10(3): 272–277.
- [16] 吴日升, 李立. 南海上升流研究概述[J]. 台湾海峡, 2003, 22(2): 269–277.
- [17] 庄伟, 王东晓, 吴日升, 等. 2000 年夏季福建、广东沿海上升流的遥感与船舶观测分析[J]. 大气科学, 2005, 29(3): 438–444.
- [18] 经志友, 齐义泉, 华祖林. 南海北部陆架区夏季上升流数值研究[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(3): 1–8.
- [19] XIE SHANG-PING, LIU W TIMOTHY, XIE QIANG, et al. Summer upwelling in the South China Sea and its role in regional climate variations[J]. Journal of Geophysical Research, Vol.108, No.C8, 3261, doi:10.1029/2003JC001867, 2003.
- [20] 赵俊生, 王桂云, 陈则实, 等. 海洋环境有效利用的分析研究——北部湾广西沿岸海域[M]. 北京: 海洋出版社, 2002.
- [21] LEVINSON D H, LAWRIE J H. State of the climate in 2007[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2008, 89(7): 15–17.
- [22] 汤超莲, 杨会, 邓文君, 等. 2008 年初广东罕见寒冷期沿岸 SST 变化特点[J]. 广东气象, 2008, 30(3): 4–8.
- [23] 秦大河主编. 中国气候与环境演变: 下[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 70–71.
- [24] HAZEL O ARCEO, MILEDEL C QUIBILAN, PORFIRIO M ALNO, et al. Coral bleaching in Philippine reefs: Coincident evidences with mesoscale thermal anomalies[J]. Bulletin of Marine Science, 2001, 69(2): 579–593..
- [25] 陈昭伦. 珊瑚白化: 灭绝的锣声? 乐观的演化适应? 一个生物多样性观点[J]. 中央研究院周报, 2005, (1037): 1–3.