

# 中国远洋作业渔场海表温度异常年际变动分析

纪世建<sup>1,2</sup>, 周为峰<sup>1</sup>, 樊伟<sup>1</sup>, 靳少非<sup>3</sup>, 崔雪森<sup>1</sup>

(1. 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090; 2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 3. 中国科学院 大气物理研究所, 东亚区域气候环境重点实验室, 北京 100029)

**摘要:** 基于美国国家海洋大气局(NOAA)气候预测中心月平均 SST 资料, 利用时间序列的统计学特征分析了中国 7 个主要远洋作业渔场 1982~2011 年海表温度异常(SSTA)年际变动, 用功率谱方法计算时间序列的显著变动周期, 并用相关分析探讨了去除趋势项后的 SSTA 与南方涛动指数(Southern Oscillation Index, SOI)的相关性。结果表明, 1982~2011 年中国主要远洋作业渔场 SSTA 为-0.3~0.3℃, 波动周期约为 3~4 a, 平均 SSTA 总体呈现上升趋势, 与 SOI 存在显著的相关性( $r=-0.509$ ), 说明渔场的 SSTA 与 ENSO 事件有着密切联系; 从渔场 SSTA 升降趋势来看, 除了东太平洋和东南太平洋 SSTA 出现下降趋势, 其余渔场的 SSTA 均有一定程度的上升, 其中西北太平洋 SSTA 上升最为显著; 从渔场 SSTA 的变化周期来看, 东太平洋和西南大西洋的 SSTA 变化周期为 3~4 a, 东南太平洋为 4 a, 西太平洋为 5 a, 其余的短期周期性较不明显, 约为 10 a; 与 SOI 时间序列进行相关分析得到, 东太平洋、中大西洋以及西南大西洋均与 SOI 存在显著的相关性, 相关系数分别为-0.895、0.471 和-0.598, 其余渔场与 SOI 无显著相关。通过各渔场间的对比得到以下特征: 赤道附近海域东太平洋 SSTA 变化往往与西太平洋和中大西洋反相, 而与印度洋同相; 中纬度海域的 3 个渔场中, 南半球中纬度渔场温度变化要比北半球中纬度渔场小; 东、西印度洋 SSTA 存在显著相关性, 印度洋内部 SSTA 正负变化情况基本一致。

**关键词:** 远洋渔场; 海表温度; 海表温度异常

中图分类号: S931.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)01-0085-09  
doi: 10.11759/hyhx20150313003

近半个世纪以来, 全球气温有明显上升。作为世界最大的热能储存库, 海洋在全球气候变化过程中占据着核心地位, 全球温室气体释放的能量中约 93%被海洋所吸收<sup>[1]</sup>。因此, 全球气温上升势必会造成海温变动。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第 5 次评估报告指出, 1970 年以来海洋在持续升温, 75 m 以上的上层海水温度每 10 年升温幅度超过 0.11℃, 1950~2009 年间印度洋、大西洋和太平洋的平均海表温度(SST)分别上升了 0.65℃、0.41℃和 0.31℃<sup>[2]</sup>。

在海洋渔业领域, 海表温度是研究海洋渔场环境的重要因子, 海表温度异常(sea surface temperature anomaly, SSTA), 又称海表温度距平, 常用于捕捉海表温度在年际间的异常变化特征。海表温度的异常变动如 ENSO 事件会影响海中鱼类的繁殖、生长、发育及洄游等行为, 进而引起渔场分布以及资源量丰度等发生一系列变化<sup>[3-4]</sup>。曹晓怡等<sup>[5]</sup>在对印度洋大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼延绳钓渔场的重心变化分析时, 发现渔场重心的年间变化受到了

ENSO 事件的影响, 在发生厄尔尼诺的当年或次年, 年渔获量分布重心向西、南偏移; 在发生拉尼娜的年份渔获量分布重心会向东、北偏移。汪金涛和陈新军<sup>[6]</sup>通过研究 1990~2010 年间 ENSO 事件对中西太平洋鲣鱼渔场重心变化的影响, 发现厄尔尼诺现象发生时, 鲣鱼渔获量重心明显东移; 在拉尼娜现象发生时, 鲣鱼渔获量重心有整体西移趋势。拉尼娜事件会导致柔鱼补充量下降, 而厄尔尼诺事件会导致补充量增加, 并且 ENSO 事件还会影响柔鱼索饵场分布。

中国远洋作业渔场按海域位置可以分为西北太

收稿日期: 2015-05-25; 修回日期: 2015-10-11

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAD13B06); 上海市科学技术委员会科研计划项目(15DZ1202201)

[Foundation: National Key Technology Support Program (2013BAD13B06); Scientific Research Program Supported by Shanghai Science and Technology Commission (15DZ1202201)]

作者简介: 纪世建(1991-), 男, 硕士研究生, 主要从事南海渔情预报研究, E-mail: jackjsj@foxmail.com; 周为峰(1978-), 通信作者, 女, 副研究员, 主要从事渔业遥感与渔场海洋学研究, E-mail: zhwfzwhf@163.com

平洋渔场、东太平洋渔场、东南太平洋渔场、西太平洋渔场、印度洋渔场、中大西洋渔场和西南大西洋渔场<sup>[7]</sup>。研究中国远洋作业渔场的海温异常变动,有助于把握远洋渔场时空分布以及渔业资源量的变化,为渔业资源管理和开发提供环境参考,实现海洋渔业资源的可持续利用。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

SST数据来自美国国家海洋大气局(NOAA)气候预报中心提供的海温最优插值再分析数据(optimum

interpolation SST, OISST), 该数据经过最优插值处理并以月为单位, 其空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。文章截选了1982年1月~2011年12月共30a的SST数据集。为了探究海表温度异常与ENSO事件的相关性, 文章还采用了美国气候中心网站(<http://www.bom.gov.au/climate/current/soi2.shtml>)提供的南方涛动指数(Southern Oscillation Index, SOI)1982~2011年的时间序列。SOI是南太平洋塔希提岛(Tahiti)与达尔文港(Darwin)两地的标准化海平面气压差, 它与ENSO关系密切, 能够反映ENSO事件的发展状况及剧烈程度。图1为中国远洋作业渔场的分布。

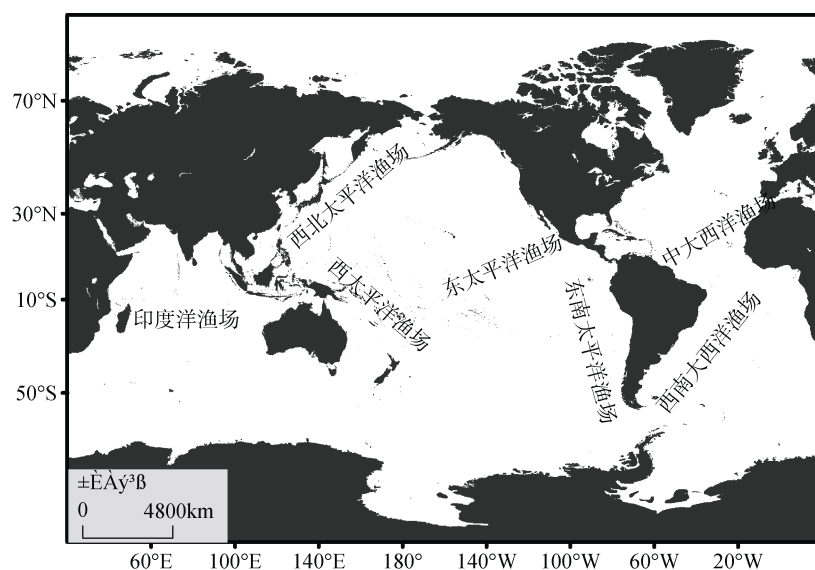


图1 中国远洋作业渔场分布图

Fig.1 Distribution map of Chinese pelagic operation fishing ground

### 1.2 研究方法

首先, 根据渔场的区域范围对SST数据集进行截取, 计算出所有渔场区域每年的平均SST, 然后, 利用公式(1)计算海表温度异常, 式中 $SSTA_i$ 为第*i*年的海表温度异常值,  $SST_i$ 为第*i*年的海表温度值,  $\overline{SST}$ 为30a的平均海表温度值。

$$SSTA_i = SST_i - \overline{SST} \quad (1)$$

然后, 计算所有渔场的SSTA时间序列的统计学特征, 包括最大值、最小值和标准差, 可以得到各渔场SSTA在30a间的变化范围和分析各渔场SSTA的长期的升降幅度。最后, 将所有渔场的SSTA时间序列在EXCEL中用带直线的散点图显示, 可以得到中国远洋作业渔场年平均海表温度异常时间序列。用同样的方法可以得到SOI的时间序列以

及每个渔场各自年平均海表温度异常时间序列, 通过这些时间序列可以直观的看出其年际间变化趋势。

作者采用matlab中的detrend函数将时间序列中的线性趋势剔除, 得到平稳时间序列。其原理就是, 将待去除趋势项的时间序列用最小二乘法拟合出一个线性回归方程, 然后用原来的时间序列值减去这条回归线上对应的值, 得到去除趋势项后的时间序列。时间序列趋势项的存在会导致相关性分析和功率谱密度分析的结果不可靠, 去趋势项分析可以检测非平稳时间序列中长周期波动所造成的伪相关现象<sup>[8]</sup>。进一步利用经典功率谱分析方法计算各渔场SSTA时间序列的显著周期, 并用相关分析方法探讨去除趋势项后的SSTA和SOI之间的关系, 分析各渔区对ENSO事件的响应。

## 2 结果与分析

### 2.1 远洋作业渔场 SSTA 的总体变化分析

全球气候变暖引起海洋温度发生相应变化,为

了呈现出中国远洋作业渔场海表温度异常在 1982~2011 年间的总体变化情况,本文将所有渔场作为一个整体,计算其年平均海表温度异常,得到了中国远洋作业渔场的年平均 SSTA 时间序列(图 2)。

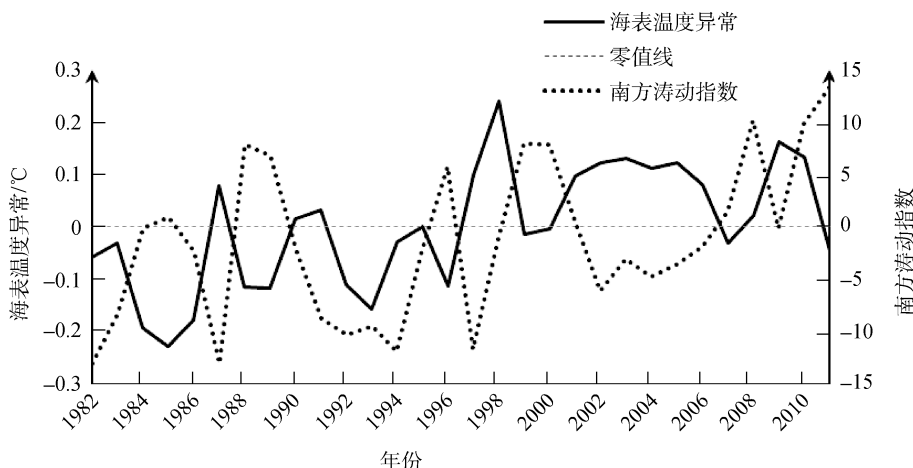


图 2 中国远洋作业渔场年平均海表温度异常 SSTA 及 SOI  
Fig. 2 Annual mean SSTA and SOI of Chinese pelagic fishing grounds

从总体变化来看,渔场平均海表温度异常呈现上升趋势。30 a 来 SSTA 在 $-0.3\sim 0.3^{\circ}\text{C}$  范围内上下波动,波动周期约为 3~4 a,最大的负异常出现在 1985 年,最大正异常出现在 1998 年。1998 年以前主要表现为负异常,1998 年以后主要表现为正异常,并且在 2001~2006 年间有一个持续稳定的正异常特征。与同期 SOI 时间序列(图 2)对比,可以发现,在年际尺度上两者波动周期一致,长期的升降趋势基本相反,对二

者去除趋势项后进行相关分析,发现二者在 0.01 的显著性水平上呈负相关,相关系数为 $-0.509$ ,说明渔场的海表温度异常与 ENSO 事件有着密切的联系。

### 2.2 不同海域渔场 SSTA 的变化分析

为了便于分析,将印度洋渔场分为东印度洋和西印度洋,各海域渔场的 SSTA 变化范围、标准差(变化幅度)、波动周期及趋势斜率见表 1。

表 1 各海域渔场的 SSTA 变化范围、标准差、波动周期、趋势及斜率

Tab.1 Variation range, standard deviation, variation period, trend, and slope of pelagic fishing grounds' SSTA

渔场	SSTA 变化范围( $^{\circ}\text{C}$ )	标准差	波动周期(a)	趋势	SSTA 趋势斜率
东太平洋	$-0.58\sim 0.80$	0.40	3~4	下降	-0.010
西太平洋	$-0.33\sim 0.34$	0.20	5	上升	0.011
中大西洋	$-0.60\sim 0.52$	0.22	10	上升	0.013
西北太平洋	$-0.65\sim 0.70$	0.39	10	迅速上升	0.028
东南太平洋	$-0.17\sim 0.22$	0.12	4	振荡、下降	-0.002
西南大西洋	$-0.43\sim 0.25$	0.15	3~4	缓慢上升	0.007
东印度洋	$-0.31\sim 0.48$	0.18	10	缓慢上升	0.009
西印度洋	$-0.39\sim 0.26$	0.16	10	缓慢上升	0.010

位于赤道附近海域的渔场包括东太平洋、西太平洋以及中大西洋 3 个渔场,它们的 SSTA 的时序变化见图 3。东太平洋 SSTA 变化非常显著,标准差为 0.4,其值在 $-0.58\sim 0.8^{\circ}\text{C}$  上下波动,1997 年出现最大值,1999 年出现最小值,30 a 的总体趋势表现为下降,

功率谱分析得到的周期约为 3~4 a,与 SOI 的变化周期一致,其去除趋势项后与 SOI 时间序列在 0.01 的显著性水平上呈负相关,相关系数达 $-0.895$ ,具有极高的相关性,可见 ENSO 是东太平洋 SSTA 年际变化的最强信号;西太平洋 SSTA 变化稍显平缓,标准差

为 0.2, 变化范围在  $-0.33\sim 0.34^{\circ}\text{C}$ , 最小值出现在 1993 年, 最大值出现在 2003 年, 并且在 2001~2007 年间保持了较长的正异常状态, 30 a 总体处于上升趋势, 波动周期为 5 a, 与 SOI 时间序列无显著的相关性; 中大西洋年际变化振幅较大, 标准差为 0.22, 变

化范围在  $-0.6\sim 0.52^{\circ}\text{C}$ , 分别出现在 1992 年和 2010 年, 其周期性变化较不明显, 总体有上升趋势, 主要的波动周期为 10 a, 与 SOI 在 0.01 的显著性水平上呈正相关, 相关系数为 0.471, 说明中大西洋与 ENSO 事件也存在一定的联系。

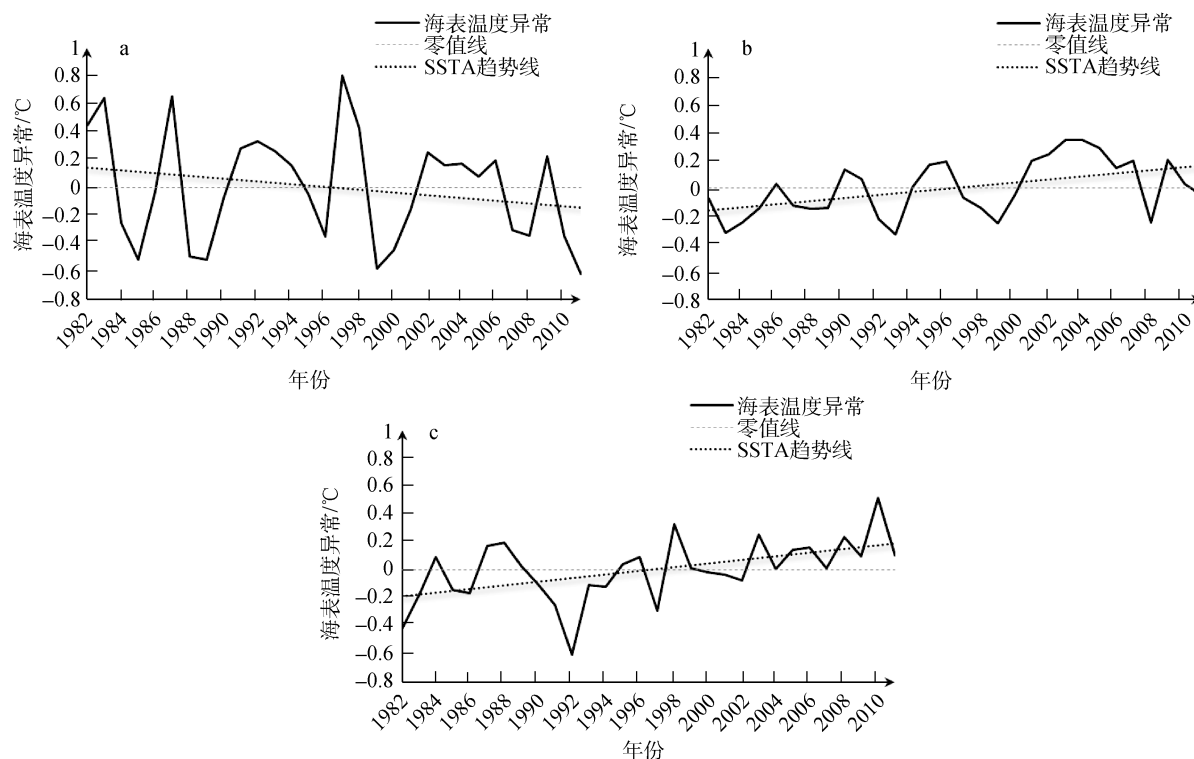


图 3 赤道海域渔场的 SSTA 时间序列

Fig. 3 Time series of SSTA in pelagic fishing grounds near the equator

a. 东太平洋渔场; b. 西太平洋渔场; c. 中大西洋渔场

a. East Pacific fishing ground; b. West Pacific fishing ground; c. Middle Atlantic fishing ground

对比发现, 东太平洋与西太平洋及中大西洋变化基本反相, 尤其在 1998 年以前。也就是说, 在东太平洋处于极大值的年份中, 西太平洋和中大西洋往往表现为极小值, 反之亦然。这种差异可能与太平洋所发生的厄尔尼诺和拉尼娜 2 种现象交替出现有关。正常情况下, 东太平洋的大量暖水会被信风吹到西太平洋地区, 只能靠海面以下的冷水进行补充, 东太平洋 SST 一般要比西太平洋偏低。厄尔尼诺现象发生时, 东太平洋冷水上翻现象消失, 表层暖水向东回流, 导致太平洋东部 SST 异常增温。而在西太平洋出现异常下沉气流, 海表温度降低。这种大范围的对流异常会引起热带海洋的大气环流的变化<sup>[9-10]</sup>。与此同时在中大西洋东风也会得到加强, 中大西洋温跃层变浅, 使得中大西洋海表温度变冷。拉尼娜现象则使东太平洋深层海水上翻现象比正常情况更加剧烈,

东部气流下沉而西部气流加剧上升, 加剧太平洋东部冷水发展, SST、大气环流以及短波辐射的变化与厄尔尼诺相反。一般拉尼娜现象会随着厄尔尼诺现象而来, 出现厄尔尼诺现象的第二年, 往往都会出现拉尼娜现象, 而且有时拉尼娜现象会持续 2~3 年。1984 年底~1985 年、1988~1989 年、1995~1996 年、1998 年底~2000 年初、2007 年底~2008 年、2010 年底~2011 年都发生了拉尼娜现象, 令太平洋东部、东南部的海水温度比正常低了  $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。东太平洋 SSTA 与 SOI 具有显著的相关性, 这正是由于东太平洋是 ENSO 事件的产生区域, 每当 ENSO 暖相位(厄尔尼诺现象)和 ENSO 冷相位(拉尼娜现象)发生时, 都会导致太平洋东部 SST 发生显著变动, 这也解释了太平洋东部 SSTA 变化幅度大这一特征。

位于中纬度海域的渔场包括西北太平洋、东南

太平洋和西南大西洋 3 个渔场, 它们的时间序列变化见图 4。西北太平洋 SSTA 变化较为剧烈, 标准差为 0.39, 变化范围在  $-0.65 \sim 0.7^{\circ}\text{C}$ , 1986 年出现最小值, 1999 年出现最大值, 并且在 1998 年后基本表现为正异常, 30 年的总体变化具有明显的上升趋势, 其主要的变化周期为 10 年, 与 SOI 相关性不显著; 东南太平洋 SSTA 相较于其他渔场来说, 其变化最为平缓, 标准差为 0.12, 变化范围在  $-0.17 \sim 0.22^{\circ}\text{C}$ , 最小值出

现在 1986 年, 最大值出现在 1997 年, 其 SSTA 变化趋势线与零值线几乎重合, 但总体上仍存在轻微的下陷趋势, 变化周期为 4 a, 与 SOI 相关性不显著; 西南大西洋变化在  $-0.43 \sim 0.25^{\circ}\text{C}$ , 标准差为 0.15, 在 1988 年有一个明显的谷值, 在 2005 年出现最大值, 总体上也有缓慢的上升趋势, 变化周期 3~4 a, 与 SOI 在 0.01 的显著性水平上呈负相关, 相关系数为  $-0.598$ , 说明西南大西洋与 ENSO 事件存在一定的联系。

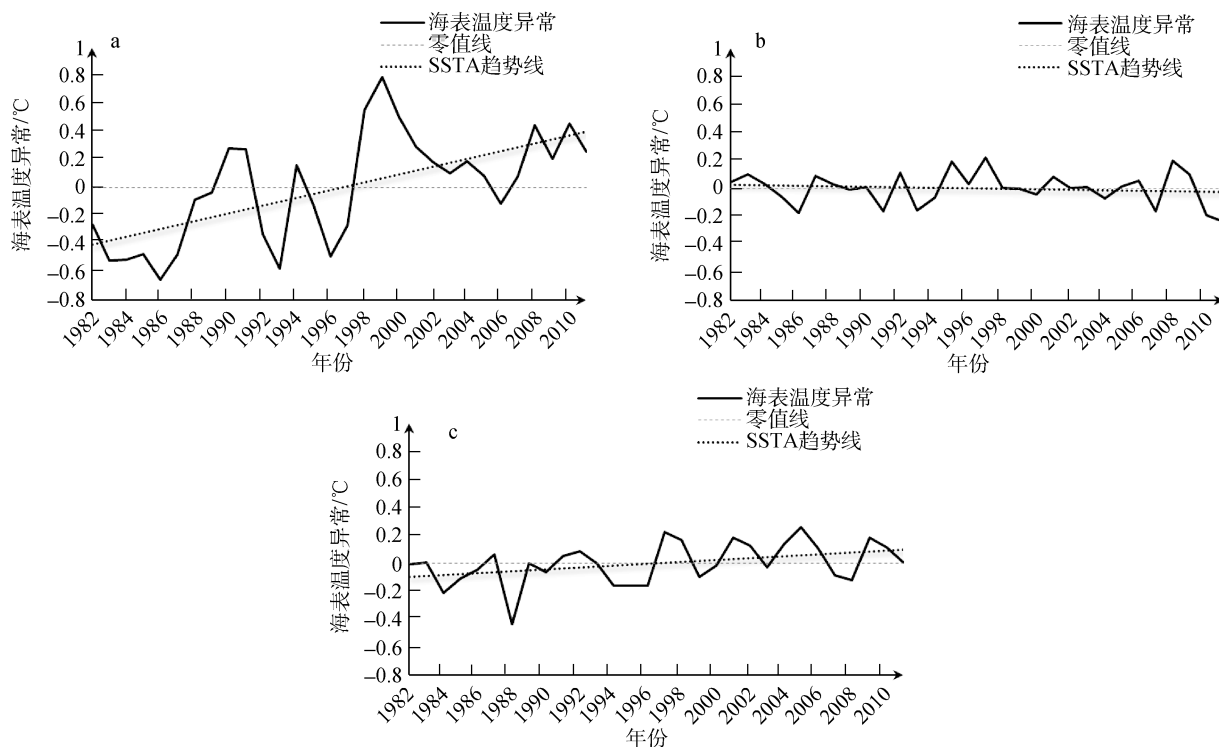


图 4 中纬度海域渔场的 SSTA 时间序列

Fig. 4 Time series of SSTA in mid-attitude pelagic fishing grounds

a. 西北太平洋渔场; b. 东南太平洋渔场; c. 西南大西洋

a. Northwest Pacific fishing ground; b. Southeast Pacific fishing ground; c. Southwest Atlantic fishing ground

中纬度海域的 3 个渔场中, 西北太平洋渔场 SSTA 变化最为显著, 而东南太平洋和西南大西洋这 2 个渔场 SSTA 变化较为平缓, 这可能是由于西北太平洋渔场位于北半球的中纬度海域, 而后 2 个渔场位于南半球中纬度海域, 南半球的中纬度海域面积较大, 海水的热容量也相对较大, 其吸收相同的热量所引起的海表温度变化就必然比北半球要小。

印度洋渔场在赤道和中纬度均有分布, 将印度洋渔场按经度划分为东、西印度洋, 分析发现东印度洋和西印度洋变化趋势相似, 在 30 年间都有一定程度的升温。其中东印度洋 SSTA 的变化范围在  $-0.31 \sim 0.48^{\circ}\text{C}$ , 标准差为 0.18, 最小值出现在 1986 年,

最大值出现在 1998 年, 波动周期为 10 年, 与 SOI 时间序列无显著相关; 西印度洋 SSTA 的变化范围在  $-0.39 \sim 0.26^{\circ}\text{C}$ , 标准差为 0.16, 最小值出现在 1984 年, 最大值出现在 2010 年(图 5), 波动周期为 10 年, 与东印度洋同期一致, 与 SOI 时间序列亦无显著相关。对东印度洋和西印度洋二者进行相关分析, 得到二者在 0.01 的显著性水平上呈正相关, 相关系数为 0.483, 说明东西印度洋的 SSTA 变化在时间尺度上具有相关性。

对比发现, 印度洋的 SSTA 变化与东太平洋变化同相。ENSO 通过大气对印度洋海温的影响主要有热力学和动力学两方面因素。(1)KLEIN 等<sup>[11]</sup>认为热带

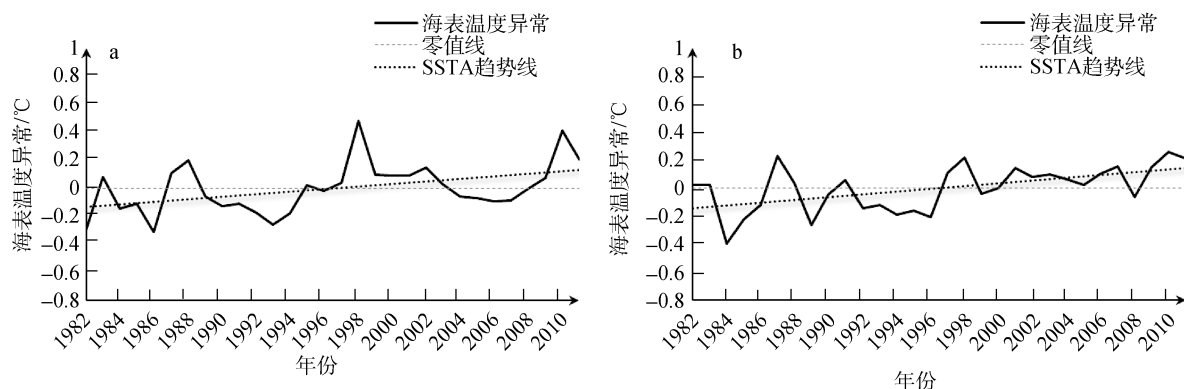


图5 印度洋渔场的 SSTA 时间序列

Fig. 5 Time series of SSTA in Indian Ocean fishing grounds

a. 东印度洋; b. 西印度洋

a. East Indian Ocean fishing ground; b. West Indian Ocean fishing ground

太平洋和印度洋之间会产生异常的 Walker 环流, 其会在印度尼西亚和西太平洋地区形成显著的海平面气压场异常, 进而通过海气相互影响印度洋(尤其是热带印度洋)海表云量和风场等发生异常变化, 导致表面净热通量变化而引起海温的异常。(2)异常风场会使东赤道印度洋沿岸上升流发生调制, 从而引起海面温度异常和温跃层发生起伏现象<sup>[12]</sup>。刘岩松等<sup>[13]</sup>构建了一个同时考虑动力和热力的印-太海气耦合模式, 其实验结果表明, 热带太平洋暖异常中心更加接近观测值, 热带印度洋出现了海盆尺度的海温正异常, 通过模拟的方式说明了 ENSO 事件会通过海气界面的动力作用和热力交换导致印度洋海盆尺度增暖。

### 3 讨论

统计分析结果表明, 在 1982~2011 年的 SSTA 变化中, 中国远洋作业渔场总体 SSTA 在 $-0.3\sim 0.3^{\circ}\text{C}$  范围内上下波动, 波动周期约为 3~4 a。与同期 SOI 时间序列对比, 可以发现, 在年际尺度上两者波动周期一致, 长期的升降趋势基本相反, 对二者去除趋势项后进行相关分析, 发现二者在 0.01 的显著性水平上呈负相关, 相关系数为 $-0.509$ 。从各个渔场 SSTA 升降趋势来看, 除了东太平洋和东南太平洋出现下降趋势, 其余渔场的 SSTA 都有一定程度的上升, 其中西北太平洋 SSTA 上升最为显著。BELKIN<sup>[14]</sup>对 1957~2006 年全球 63 个大海洋生态系的海表温度及其异常进行长时序的统计和分析, 发现全球 SSTA 具有较强的局部变化特征, 所有大海洋生态系的 SSTA 的年际变化表现为除了位于美洲西海岸的 2 个大海洋生态系具有海温下降的趋势外, 其余均有一

定程度的上升, 这与本文的结果一致。东太平洋和西南大西洋的 SSTA 变化周期为 3~4 a, 东南太平洋为 4 a, 西太平洋为 5 a, 其余的短期周期性较不明显, 约为 10 a。与 SOI 时间序列进行相关分析得到, 东太平洋、中大西洋以及西南大西洋均与 SOI 存在显著的相关性, 相关系数分别为 $-0.895$ 、 $0.471$ 和 $-0.598$ 。东太平洋处于正异常的年份中, 西太平洋往往表现为负异常, 印度洋与东太平洋同相, 中大西洋与西太平洋同相, 表明在赤道附近海域存在着一定的联系。事实上, LAU 和 NATH<sup>[15]</sup>提出了“热带大气桥”理论来解释赤道附近海域之间的联系, 他们认为与 ENSO 有关的大气环流异常会导致蒸发和云量的异常, 进而影响其他海盆的净热通量变化并形成局部的海表温度异常。在分析中纬度渔场时发现, 南半球中纬度渔场温度变化要比北半球中纬度渔场更加稳定。这一结果与前人的研究结果相符, 如江志红等<sup>[16]</sup>在分析南北半球的月平均温度序列时发现在全球变暖的背景下, 南半球温度变化要比北半球更稳定。东、西印度洋具有相同的周期, 并且二者存在显著的相关性, 相关系数为 0.483, 说明热带印度洋内部 SSTA 变化一致。这与前的研究结果也基本相同, 谭言科<sup>[17]</sup>等发现印度洋海温的变化主要存在全区符号一致的特点, 也有学者把热带印度洋呈现的“海盆一致”称为印度洋海盆模态(Indian Ocean Basin Mode, IOBM), 它是印度洋对太平洋的 ENSO 响应模态<sup>[18-19]</sup>。

总的来说, 在全球变暖背景的驱动下, 中国远洋作业渔场 SST 也逐渐变暖。而引起 SST 变动的因素较为复杂, 不同区域会受到该区域的海流、盛行风以及大气环流等因素的相互作用, 从而使得不同区域海表温度变动的程度有所不同, 厄尔尼诺和拉尼

娜现象就是一个典型的例子。印度洋的 SST 变动对 ENSO 事件响应及关系目前还存在一些争论, 有一些学者认为全球海气是一个整体, ENSO 与印度洋海温异常密切相关<sup>[20-21]</sup>。与此相反, 也有学者认为两者相互独立, 是各自的动力作用和热力交换的产物<sup>[22]</sup>。事实上印度洋发生较强的 SST 异常确实可以发生在非厄尔尼诺的年份, 其异常变动并不完全依赖于太平洋的 ENSO 事件, 意味着印度洋和太平洋之间的海温异常变动既存在一定的独立性, 又存在一定的相关性。此外, 通过对比大陆东西海岸的渔场 SSTA 变化, 可以发现大陆东海岸渔场(西北太平洋渔场、西印度洋渔场以及西南大西洋渔场)往往要比大陆西海岸渔场(东太平洋渔场和东南太平洋渔场)SSTA 上升更为显著。这可能与洋流的分布有关, 大陆的东海岸多以暖流为主, 而西海岸则多以寒流为主, 如北美洲西海岸的加利福尼亚寒流与南美洲西海岸的秘鲁寒流使得东太平洋和东南太平洋渔场 SSTA 下降, 而位于亚洲东海岸的日本暖流和北太平洋暖流、南美东海岸的巴西暖流以及非洲东海岸的厄加勒斯暖流则使得西北太平洋, 西印度洋和西南大西洋的 SSTA 上升。

海表温度是渔场环境的重要指标之一, 海表温度异常用来表征海表温度的变化状态和趋势。海表温度及其变化对鱼类资源的分布、洄游和集群等行为都有着直接或间接的影响, 渔场 SST 变暖的趋势一般会使暖水性中上层鱼类渔获量增多, 但也存在特殊的情况, 如厄尔尼诺现象使 SST 温度异常升高, 也会导致海水中浮游生物明显减少, 从而导致以浮游生物为饵料的鱼类大量死亡。因此, 海温的变动对渔场的形成关键而复杂, 需要进一步考虑鱼类的生活习性和生理特征。本文从渔场的角度来分析各海域的 SSTA 年际变动及其对 ENSO 的响应, 为渔业资源管理和开发提供环境参考。BELKIN<sup>[14]</sup>文中的大海洋生态系统虽然也是从渔场经营的角度划分的, 但它大多靠近海岸洋流和上涌流或者是被陆地包围的海域, 因此这种划分方式忽略了一些离陆地较远的大洋渔场的海温变化情况, 而文章按海域位置将中国远洋作业渔场分为西北太平洋渔场、东太平洋渔场、东南太平洋渔场、西太平洋渔场、印度洋渔场、中大西洋渔场和西南大西洋渔场, 则充分考虑了非陆缘渔场的海温变化情况。文章中海表温度只是一个平均化的结果, 每个渔场的 SST 只用该空间范围的算术平均值来表示, 因此只能说明整体情况而不

能揭示出局部或空间尺度上的变化特征。此外, 本文只探讨了各渔场 SSTA 的年际变化与 ENSO 的联系, 但并未深入研究各渔场 SSTA 的年际变异机理, 关于大气(风、太阳辐射、降水等)和海洋要素(水平平流、垂向流、温跃层等)对各渔场 SSTA 年际变化的影响等方面的研究有待今后拟另文分别叙述, 为不同的渔场中长期预报提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 秦大河. 气候变化科学与人类可持续发展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(7): 874-883.  
Qin Dahe. Climate change science and sustainable development[J]. Progress in Geography, 2014, 33(7): 874-883.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group II. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability[M]. New York: Cambridge University Press, 2014: 411-484.
- [3] 周甦芳. 厄尔尼诺-南方涛动现象对中西太平洋鲣鱼围网渔场的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 12(6): 739-744.  
Zhou Sufang. Impacts of the El Ni(n)o Southern Oscillation on skipjack tuna purse-seine fishing grounds in the Western and Central Pacific Ocean[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 12(6): 739-744.
- [4] 崔科, 陈新军. 东黄海鲱鱼资源丰度与表温关系[J]. 南方水产科学, 2007, 3(4): 20-25.  
Cui Ke, Chen Xinjun. Study of the relationships between SST and mackerel abundances in the Yellow and East China Seas[J]. South China Fisheries Science, 2007, 3(4): 20-25.]
- [5] 曹晓怡, 周为峰, 樊伟, 等. 印度洋大眼金枪鱼, 黄鳍金枪鱼延绳钓渔场重心变化分析[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(4): 466-471.  
Cao Xiaoyi, Zhou Weifeng, Fan Wei, et al. Analysis on barycenter of fishing ground for bigeye tuna and elowfin tuna by longlining in the Indian Ocean[J]. Journal of Shanghai University, 2009, 18(4): 466-471.
- [6] 汪金涛, 陈新军. 中西太平洋鲣鱼渔场的重心变化及其预测模型建立[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2013, 43(8): 44-48.  
Wang Jintao, Chen Xinjun. Changes and Prediction of the Fishing Ground Gravity of Skipjack (Katsuwonus pelamis) in Western-Central Pacific[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(8): 44-48.
- [7] FAO 1990-2015. CWP Handbook of Fishery Statistical Standards. Section H: FISHING AREAS FOR STATISTICAL PURPOSES. CWP Data Collection. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 10 January 2002. [Cited 4 February 2015]. <http://www.fao.org/fishery/cwp/handbook/H/en>.
- [8] 王国杰, 姜彤, 陈桂亚. 长江干流径流的时序结构与

- 长期记忆[J]. 地理学报, 2006, 61(1): 47-56.
- Wang Guojie, Jiang Tong, Chen Guiya. Structure and Long-term Memory of Discharge Series in Yangtze River[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(1): 47-56.
- [9] Alexander M A, Blade I, Newman M, et al. The atmospheric bridge: The influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans[J]. J Climate, 2002, 15(16): 2205-2231.
- [10] Liu Z Y, Alexander M. Atmospheric Bridge, oceanic tunnel, and global climatic teleconnections[J]. Reviews of Geophysics, 2007, 45(2): 1-34.
- [11] Klein S A, Soden b J, Lau N C. Remote sea surface temperature variations during ENSO: Evidence for a tropical atmospheric bridge[J]. J Climate, 1999, 12(4): 917-932.
- [12] Susanto R D, Gordon A L, Zhang Q A. Upwelling along the coasts of Java and Sumatra and its relation to ENSO[J]. Geophysical Research Letters, 2001, 28(8): 1599-1602.
- [13] 刘岩松, 王法明. 一个简单的印-太海气耦合模式[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(6): 1462-1468.
- Liu Yansong, Wang Faming. An Intermedia Air-Sea Coupled Model for the Indo-Pacific Ocean[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(6): 1462-1468.
- [14] Belkin I M. Rapid warming of large marine ecosystems[J]. Progress in Oceanography, 2009, 81(1): 207-213.
- [15] Lau N C, Nath m J. The role of the “atmospheric bridge” in linking tropical Pacific ENSO events to extra tropical SST anomalies[J]. J Climate, 1996, 9(9): 2036-2057.
- [16] 江志红, 张强, 屠其璞, 等. 南北半球平均温度年代际振荡的非均衡性及其对变暖显著性的影响[J]. 热带气象学报, 2003, 19(2): 122-136.
- Jiang Zhihong, Zhang Qiang, Tu Qipu, et al. Differences of Interdecadal Oscillation between Mean Temperature of Northern and Southern Hemisphere and Their Influences on Warming Signal[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2003, 19(2): 122-136.
- [17] 谭言科, 张人禾, 何金海, 等. 热带印度洋海温的年度际变化与 ENSO[J]. 气象学报, 2004, 62(6): 831-840.
- Tan Yan-ke, Zhang Ren-he, He Jin-hai, et al. Relationship of the Interannual Variations of Sea Surface Temperature in Tropical Indian Ocean to Enso[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(6): 831-840.
- [18] Vinayachandran P N, Goswami B N, Saji N H, et al. A dipole mode in the tropical Indian Ocean[J]. Nature International Weekly Journal of Science, 1999, 401(6751): 360-363.
- [19] 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): 155-164.
- [20] Du Y, Xie S P, Huang G, et al. Role of Air-Sea Interaction in the Long Persistence of El Niño-Induced North Indian Ocean Warming[J]. J Climate, 2009, 22(8): 2023-2038.
- [21] 范伶俐, 郭品文. 热带太平洋-印度洋相互关系的年代际改变[J]. 热带气象学报, 2005, 21(2): 172-180.
- FAN Ling-li, Guo Pin-wen. The Interdecadal Variation of the Interrelation between the Tropical Pacific Ocean and Indian Ocean [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2005, 21(2): 172-180.
- [22] Valsala V K, Ikeda M. Pathways and effects of the Indonesian Through flow water in the Indian Ocean using particle trajectory and tracers in an OGCM[J]. J Climate, 2007, 20(13): 2994-3017.

## Sea surface temperature anomaly's interannual variability in pelagic fishing grounds of China

JI Shi-jian<sup>1, 2</sup>, ZHOU Wei-feng<sup>1</sup>, FAN Wei<sup>1</sup>, JIN Shao-fei<sup>3</sup>, CUI Xue-sen<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China; 2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Regional Climate-Environment for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Received:** May, 25, 2015

**Key words:** pelagic fishing ground; sea surface temperature; sea surface temperature anomaly

**Abstract:** Based on monthly averaged sea surface temperature data from the U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration's Climate Prediction Center, we conducted a statistical analysis of sea surface temperature anomalies (SSTA) of China's seven main pelagic fishing grounds, the East Pacific, West Pacific, Middle Atlantic,



North Pacific, Southeast Pacific, Southwest Atlantic, and Indian Ocean fishing grounds over a 30-year time period (1982–2011) using the power spectrum method to calculate remarkable variation periods in the time series. We also performed a correlation analysis to determine the correlation between trend-removed SSTA and the southern oscillation index (SOI). The results show that the SSTA of China's main pelagic fishing grounds fluctuate between  $-0.3^{\circ}\text{C}$  and  $0.3^{\circ}\text{C}$  with a 3–4-year period and demonstrate a general rising trend over the 30-year period. A significant correlation ( $r = -0.509$ ) exists between the trend-removed SSTA and SOI, indicating that the SSTA of the fishing grounds are closely related to ENSO events. In terms of the SSTA fluctuation trend of the fishing grounds, we found that except for the downward SSTA trends in the East Pacific and Southeast Pacific, the other fishing grounds' SSTA increases to a certain degree, especially in the North Pacific. In terms of the fishing ground SSTA fluctuation period, the SSTA variation period is 3–4 years in the East Pacific as well as in the Southwest Atlantic, 4 years in the Southeast Pacific, 5 years in the West Atlantic, and 10 years in the other areas. The correlation analysis between the trend-removed SSTA of each fishing ground and the SOI indicates that the SOI is correlated to the SSTA of the East Pacific, middle Atlantic, and Southwest Atlantic, with correlation coefficients of  $-0.895$ ,  $0.471$ , and  $-0.598$ , respectively, and no significant correlation was observed for the others. A comparison of the fishing grounds reveals the following features. At the equator, the SSTA change of the East Pacific fishing ground is always opposite to that of the West Pacific and Middle Atlantic fishing grounds but is in-phase with that of the Indian Ocean fishing ground. Among the three fishing grounds in the mid-latitudes, SSTA changes in the Southern Hemisphere latitudes are more stable than those in the northern latitudes. A significant correlation exists between the East Indian and West Indian Oceans, and positive and negative changes in the SSTAs of the entire Indian Ocean are basically the same.

(本文编辑: 梁德海)