

## 2005—2016年中国东海鲈鱼渔场的时空分布及与海表面温度的关联

李宜锴, 方星楠, 余为, 李曰嵩

## Spatio-temporal distribution of chub mackerel *Scomber japonicus* in the East China Sea during 2005-2016 and its relationship with sea surface temperature

LI Yikai, FANG Xingnan, YU Wei, LI Yuesong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210503429>

### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### 西北太平洋柔鱼渔场重心变化及其与环境的关系

Variations of gravity centers of fishing ground for neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean and its relation with marine environment

上海海洋大学学报. 2020, 29(6): 899 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190802770>

#### 基于海表温度和光合有效辐射的西北太平洋柔鱼冬春生群体栖息地热点预测

Predicting the habitat hot spots of winter-spring cohort of *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean based on the sea surface temperature and photosynthetically active radiation

上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 456 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181102442>

#### ENSO现象对东南太平洋智利竹鱼资源丰度及其渔场变动的影响

Effects of ENSO on abundance index and spatial-temporal change of Chilean jack mackerel in the Southeast Pacific Ocean

上海海洋大学学报. 2019, 28(2): 290 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180902406>

#### 气候变化下西北太平洋大海洋生态系海表面温度特征分析

Characteristics of sea surface temperature for large marine major ecosystems in the northwest Pacific under climate change

上海海洋大学学报. 2021, 30(5): 874 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200603074>

#### 基于灰色系统理论的西北太平洋柔鱼CPUE关联聚类分析

Correlation clustering analysis of CPUE of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwest Pacific based on grey system theory

上海海洋大学学报. 2021, 30(3): 536 <https://doi.org/10.12024/jsou.20191202880>

文章编号: 1674-5566(2022)03-0710-11

DOI:10.12024/jsou.20210503429

## 2005—2016 年中国东海鲈鱼渔场的时空分布及与海表面温度的关联

李宜锴<sup>1</sup>, 方星楠<sup>1</sup>, 余 为<sup>1,2,3,4,5</sup>, 李曰嵩<sup>1,2,3,4,5</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306; 5. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

**摘 要:** 根据 2005—2016 年 7—9 月中国远洋渔业数据中心提供的我国东海鲈鱼捕捞数据, 结合关键因子海表面温度(sea surface temperature, SST), 计算各年鲈鱼渔场经纬度重心, 量化鲈鱼渔场重心的时空变化。进一步分析捕捞努力量在经度、纬度以及 SST 上的分布规律, 并基于聚类法筛选出代表年份, 评估异常气候事件对鲈鱼渔场内 SST 及渔场重心时空分布的影响。研究结果显示, 鲈鱼渔场重心具有明显的年际和月间变化, 7—9 月渔场逐渐向东北方向移动, 且主要分布渔场 SST 为 25~28 °C。聚类分析将各月份渔场重心分为 4 类, 其中 2007 和 2015 年渔场分布具有显著差异。此外, 鲈鱼渔场内 SST 与厄尔尼诺指数具有显著的正相关关系, 且代表年份 2007 和 2015 年分别对应拉尼娜事件和厄尔尼诺事件, 当拉尼娜事件发生时, 渔场内 SST 上升, 渔场重心逐渐北移; 而厄尔尼诺事件发生时, 渔场内 SST 下降, 渔场重心主要分布在南部海域。研究表明, 中国东海鲈鱼渔场时空分布受到厄尔尼诺和拉尼娜调控的海表面温度变化的显著影响。

**关键词:** 鲈鱼; 时空分布; 聚类分析; 拉尼娜; 厄尔尼诺; 海表面温度

**中图分类号:** S 931.41 **文献标志码:** A

鲈鱼(*Scomber japonicus*)是一种中上层洄游性鱼类, 在海洋渔业中占有重要地位。鲈鱼种群广泛分布于太平洋、大西洋以及印度洋温带海域, 是众多沿海国家的主要捕捞对象<sup>[1]</sup>。东海海域的鲈鱼捕捞产量占据了其总量的最高比重, 该海域鲈鱼种群按地理划分为日本鲈和澳洲鲈 2 种<sup>[2-3]</sup>。此外, 分布在西北太平洋海域的鲈鱼则划分为对马暖流和太平洋 2 个群系, 而对马暖流系鲈鱼种群主要分布在东、黄、渤海和日本海等海域<sup>[4]</sup>。东、黄海鲈鱼捕捞国家和地区主要包括中、日、韩及我国台湾省等, 主要利用大型灯光围网技术进行捕捞。鲈鱼的渔获量年间变化显著, 20 世纪 80 年代初我国鲈鱼年总产量只有 5 万 t, 经过大规模发展, 2018 年鲈鱼产量一跃增加至 43 万 t<sup>[5-6]</sup>。已有研究<sup>[7]</sup>表明, 不同尺度的海洋环境和气候变化对鲈鱼栖息地具有显著影响, 进而导致其年产量发生剧烈波动。众多环境因子中, 海表面温度

(sea surface temperature, SST) 被认为是影响鲈鱼最为关键的因素, 对其资源丰度和空间分布尤为重要, 可以作为指示因子来预测鲈鱼的资源量。

除了受局部海域海洋环境的影响外, 有学者认为造成东、黄海鲈鱼种群数量波动的另一个关键因素是气候变化, 特别是厄尔尼诺和拉尼娜事件的胁迫作用最为突出<sup>[8]</sup>。厄尔尼诺和拉尼娜现象是发生在太平洋海域的气候事件, 具有年际变动周期, 主要表现为东太平洋海域的水温发生异常增温或者变冷的现象。当该类现象发生时, 全球气候及海洋渔业均会遭受一定影响, 其中北太平洋及其邻近海域的渔业受两个事件交替循环影响更为明显<sup>[9-10]</sup>。例如, 西北太平洋柔鱼冬春生群体栖息地在厄尔尼诺事件发生时质量显著下降<sup>[11]</sup>。近十年, 厄尔尼诺和拉尼娜事件频发, 在不同的气候年份内东海鲈鱼的渔场分布范围发生显著变化, 这可能与该类异常气候事件驱

收稿日期: 2021-05-07

修回日期: 2021-11-05

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900906); 国家自然科学基金青年科学基金(41906073); 上海市自然科学基金(19ZR1423000)

作者简介: 李宜锴(1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业海洋学。E-mail: yikaili1233@163.com

通信作者: 余 为, E-mail: wyu@shou.edu.cn

动的关键环境因子变化有一定关联,但其内在的影响机理尚不清楚,有必要梳理东海鲈鱼时空分布对该类现象的响应规律及影响机理。为此,根据中国远洋渔业数据中心提供的鲈鱼捕捞数据,计算了鲈鱼渔场的经度和纬度重心,量化了鲈鱼渔场的时空分布特征。并基于 SST 这一关键环境因子,通过聚类分析筛选出代表年份,对比分析当异常气候事件(厄尔尼诺和拉尼娜事件)发生时研究海域内 SST 以及鲈鱼渔场重心时空变化,梳理鲈鱼渔场的时空分布对异常气候现象的响应过程,为东海鲈鱼渔场分布研究和科学管理

提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

中国东海鲈鱼灯光围网生产统计数据来自上海海洋大学中国远洋渔业数据中心,数据时间为 2005—2016 年 7—9 月。渔业生产数据包括作业时间(年和月)、作业位置(经度和纬度)、渔获量和作业网次等。渔业数据空间分辨率为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 。渔船作业空间范围主要分布在  $120^\circ\text{E} \sim 128^\circ\text{E}$  和  $24^\circ\text{N} \sim 32^\circ\text{N}$  海域内(图 1)。

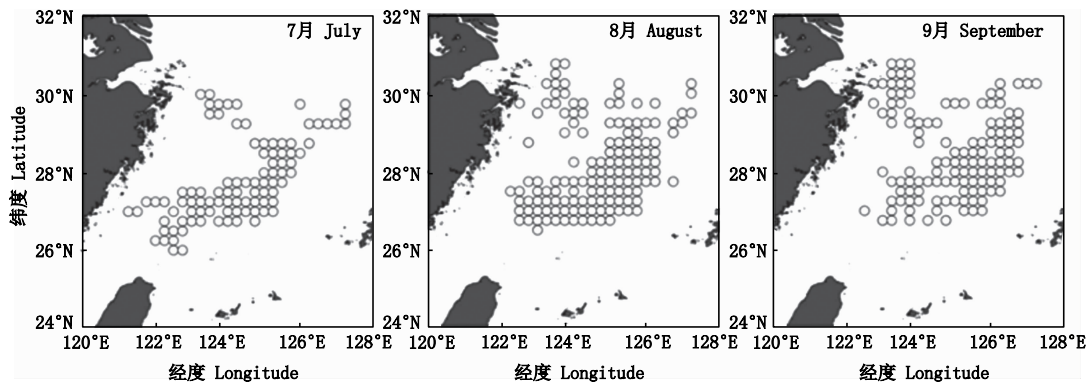


图 1 2005—2016 年 7—9 月我国东海鲈鱼渔业空间分布

Fig.1 Spatial distribution of chub mackerel *S. japonicus* fishery in the East China Sea from July to September during 2005–2016

环境数据为 SST 和海表面温度距平值(sea surface temperature anomaly, SSTA),两者均来自于 Ocean-Watch 网站(<https://oceanwatch.pifsc.noaa.gov>),时间分辨率为月,空间分辨率为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ,在分析之前进行预处理并与渔业数据进行匹配。

分析厄尔尼诺和拉尼娜事件对鲈鱼渔场时空分布变化的影响。利用海洋尼诺指数(oceanic niño index, ONI)来定义拉尼娜和厄尔尼诺事件,数据来自于美国 NOAA 气候预报中心([https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php))。

### 1.2 研究方法

中国东海鲈鱼渔场主要分布在东海南部和北部 2 个海域,南部渔场主要分布于东海海域,捕捞旺季为 7—9 月;北部渔场主要分布于黄海海域,捕捞旺季集中在 10—12 月<sup>[12]</sup>。针对东海

海域鲈鱼渔场时空变动进行研究,筛选出 7—9 月的渔获数据进行分析。定义经纬度  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  为一个渔区,计算作业时间内 7—9 月每个渔区内的单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)<sup>[13]</sup>。计算 CPUE 的公式为<sup>[14]</sup>

$$Y_{CPUE-ymij} = \frac{\sum C_{ymij}}{\sum E_{ymij}} \quad (1)$$

式中:  $\sum C_{ymij}$  为一个渔区内的总渔获量, t;  $\sum E_{ymij}$  为一个渔区内的总捕捞努力量,网; y 为年份; m 为月份; i 为经度; j 为纬度<sup>[14]</sup>。

利用渔场重心分析法计算 7—9 月鲈鱼渔场的经度重心(longitudinal gravity centers of fishing effort, LONG)和纬度重心(latitudinal gravity centers of fishing effort, LATG),据此来表征各月鲈鱼渔场重心位置的变化情况<sup>[13]</sup>。渔场经度和纬度重心计算公式分别为<sup>[3]</sup>

$$X_m = \frac{\sum (X_{i,m} \times C_{i,m})}{\sum C_{i,m}} \quad (2)$$

$$Y_m = \frac{\sum (Y_{i,m} \times C_{i,m})}{\sum C_{i,m}} \quad (3)$$

式中： $X_m$ 和 $Y_m$ 分别为对应 $m$ 月份渔场的经度重心和纬度重心； $X_{i,m}$ 为对应 $m$ 月份渔区 $i$ 的经度； $Y_{i,m}$ 为对应 $m$ 月份渔区 $i$ 的纬度； $C_{i,m}$ 为对应 $m$ 月份渔区 $i$ 的渔获量<sup>[3]</sup>。

使用 SPSS 26.0 软件对 2005—2016 年 7—9 月的鲈鱼渔场重心进行聚类分析,运用“组间联接”的方法,计算不同年份之间的平方欧式距离<sup>[15]</sup>。聚类分析得出 4 类,绘制每月的聚类树状图,分析同一月份、不同年份之间渔场重心的变化情况,依据聚类分析结果筛选发生异常气候事件的代表年份,对比渔场的海表面温度与渔场重心的时空变化情况<sup>[15]</sup>。

作业次数的高低及其空间分布可以反映鲈鱼渔场的空间分布和资源的多少<sup>[16]</sup>,因此本文根据频率分布法,统计鲈鱼作业次数在经、纬度上的分布,据此分析鲈鱼渔场的空间变化情况;同时,统计作业海域内 7—9 月作业次数在不同 SST 上的分布,分析两者关系并获得不同月份鲈鱼的最适宜 SST 范围。

根据 NOAA 气候预报中心的尼诺指数对拉尼娜和厄尔尼诺事件的定义,若至少连续 5 个月的 ONI 值都大于+0.5 °C,则发生 1 次厄尔尼诺事件;但若至少连续 5 个月的 ONI 值都小于-0.5 °C,则发生 1 次拉尼娜事件<sup>[17]</sup>。本文基于尼诺指数与鲈鱼渔场内的 SSTA,利用交相关函数(cross correlation function)分析 SSTA 与 ONI 的关系,交

关函数用于描述或得出两个单变量样本时间上的相关关系,广泛用于评估鱼类资源变动与气候变化在时间上的相关关系<sup>[18]</sup>。此外,估算并对代表年份内 7—9 月 SST 的平均值、最大值和最小值,统计每月 SST 的频率分布,并绘制 SSTA 和最适宜 SST 等值线的空间分布图,以此对比拉尼娜和厄尔尼诺事件引起鲈鱼渔场内 SST 及渔场分布的变化情况。

## 2 结果

### 2.1 鲈鱼渔场重心的时空分布变化

根据图 2 可以看出 7—9 月的鲈鱼渔场重心位置有明显变化。在经度方向上,鲈鱼渔场从 7—9 月逐渐向东移动;在纬度方向上,渔场逐渐向北移动。其中 7 月渔场重心主要分布在 122.7°N~125.8°N 和 26.6°E~28.6°E 海域内;8 月主要分布在 123.1°N~126.1°N 和 27.1°E~29.7°E 海域内;9 月主要分布在 123.3°N~126.2°N 和 27.7°E~30.3°E 海域内。

根据聚类分析结果,7—9 月鲈鱼渔场经纬度重心按照年份各月份均划分为 4 类(图 3)。其中 7 月鲈鱼渔场重心 2008、2009、2014、2015 年为一类,2013、2016、2011、2006 年为一类,2012 年为一类,2005、2010、2007 年为一类。8 月鲈鱼渔场重心 2011、2014、2006、2010、2013、2016、2008、2012、2015 年为一类,2009、2007、2005 年分别为一类。9 月鲈鱼渔场重心 2006、2014、2015、2010、2013 年为一类、2009 和 2011 年为一类、2008、2016、2012、2005 年为一类、2007 年为单独一类。相同类别的鲈鱼渔场重心分布规律基本一致,不同类别则有明显差异。其中 2007 和 2015 年 7—9 月在不同月份中均存在一定差异,因此后续分析选取这 2 个年份作为代表年份进一步展开研究。

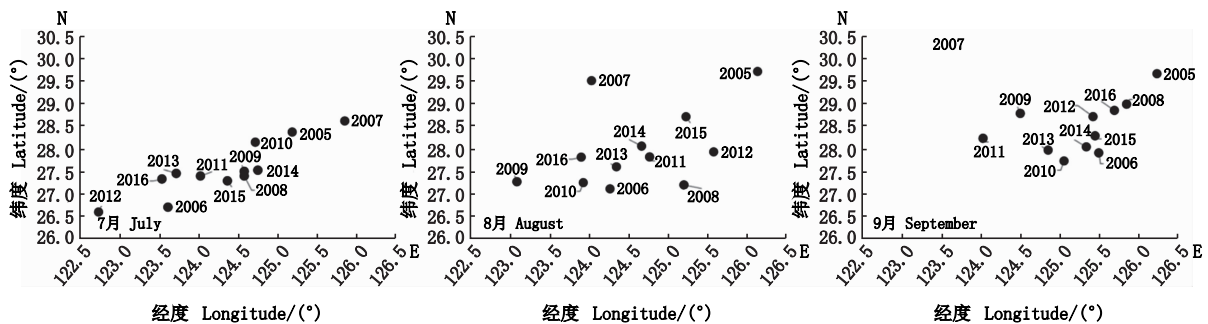


图 2 2005—2016 年 7—9 月鲈鱼渔场重心的时空变化

Fig.2 Spatio-temporal variations of the gravity centers of fishing ground for *S. japonicus* from July to September during 2005-2016

### 2.2 作业次数的空间分布情况及适宜 SST 的分析

由图 4 可知,东海鲈鱼作业次数在经、纬度上的分布情况有明显的月间变化。7 月,鲈鱼的主要捕捞作业区域为 122.0°E~125.5°E 和 26.5°N~28.5°N;8 月主要作业区域为 122.5°E~126.5°E 和 26.5°N~30.5°N;而 9 月渔场主要分布

在 123.0°E~126.5°E 和 27.0°N~30.5°N 海域内。

鲈鱼 7—9 月作业次数在 SST 上的分布同样具有显著的月间差异(图 5)。7 月鲈鱼分布的 SST 范围为 26~28 °C,最适宜 SST 为 27 °C;8 月 SST 分布范围为 27~28 °C,最适宜 SST 为 28 °C;9 月主要集中在 SST 为 25~28 °C 的海域内,最适宜 SST 为 27 °C。

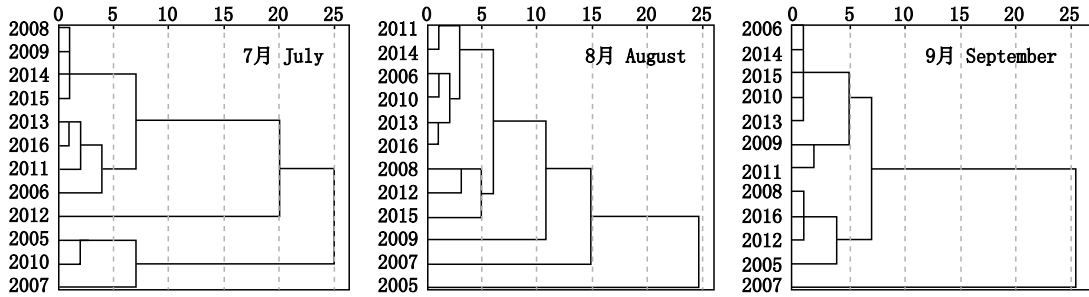


图 3 2005—2016 年 7—9 月的鲈鱼渔场重心的聚类分析结果

Fig.3 Cluster analysis of gravity centers of fishing ground for *S. japonicus* from July to September during 2005–2016

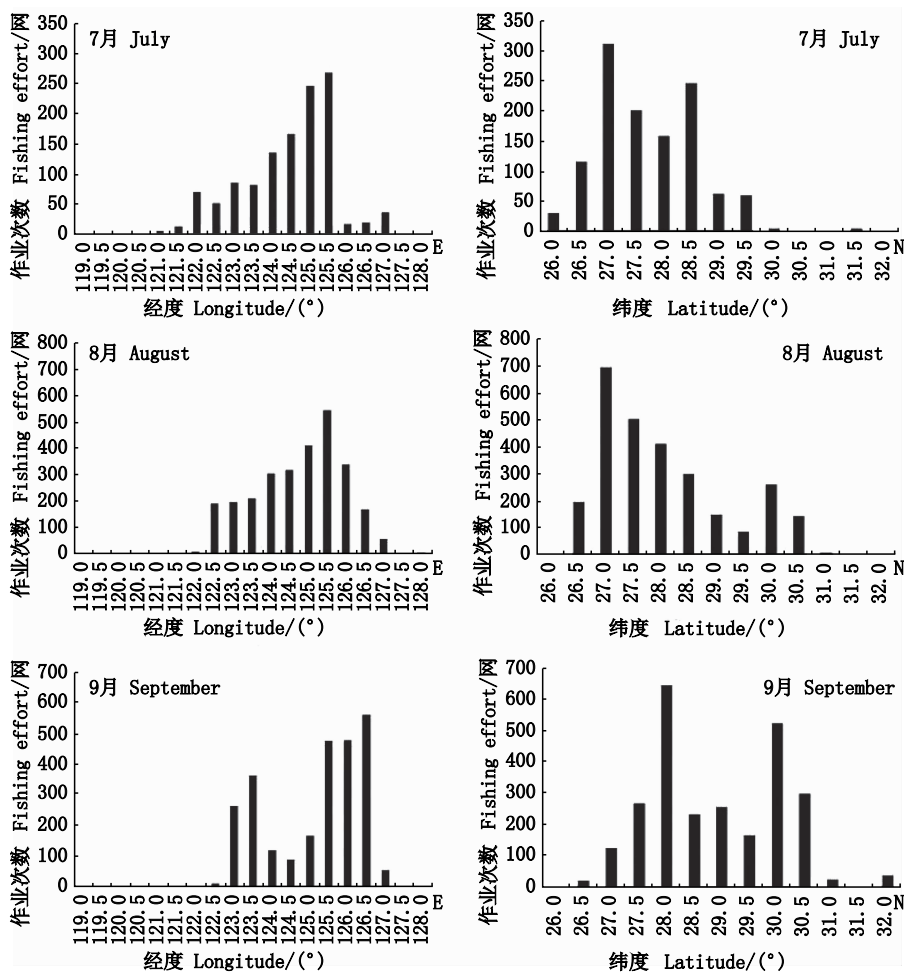


图 4 2005—2016 年 7—9 月作业次数在经纬度上的分布

Fig.4 Distribution of fishing effort in longitude and latitude from August to October during 2005–2016

### 2.3 异常气候事件对鲈鱼渔场分布的影响

根据图 6 相关结果可以看出鲈鱼渔场内的 SSTA 与 ONI 呈现显著的正相关关系 ( $P < 0.05$ ), 且 SSTA 与 ONI 在滞后 6 月时的正相关性最大, 对应的相关系数为 0.311。

根据厄尔尼诺和拉尼娜的定义, 代表年份 2007 和 2015 年 7—9 月分别发生了拉尼娜和厄尔

尼诺事件。对比发现, 2007 年 7—9 月的平均 SST 均高于 2015 年, 且呈现先增后降低的变化趋势, 8 月渔场内温度最高; 相同月份 SST 的最大值 2007 年的 7—8 月显著高于 2015 年, 9 月基本一致, 两年的 SST 最大值均呈逐渐下降趋势; 7—9 月的 SST 最小值波动较为明显, 除了 8 月相差不大, 2007 年 SST 最小值总体上仍高于 2015 年(图 7)。

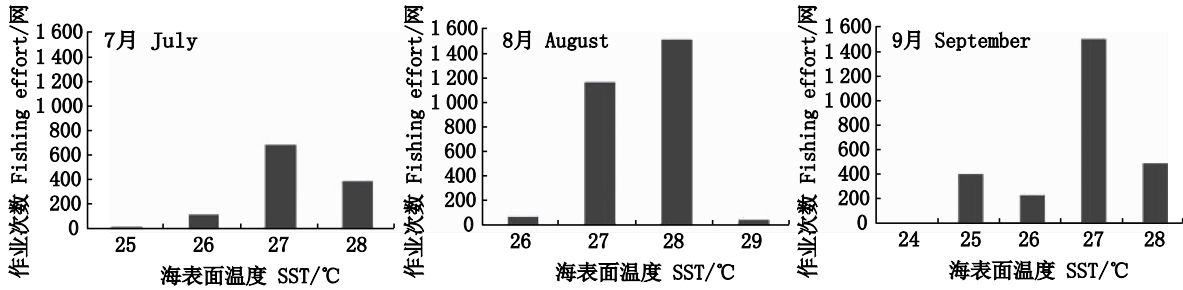


图 5 2005—2016 年 7—9 月作业次数与 SST 的关系

Fig.5 Relation between the distribution of fishing effort and SST from July to September during 2005—2016

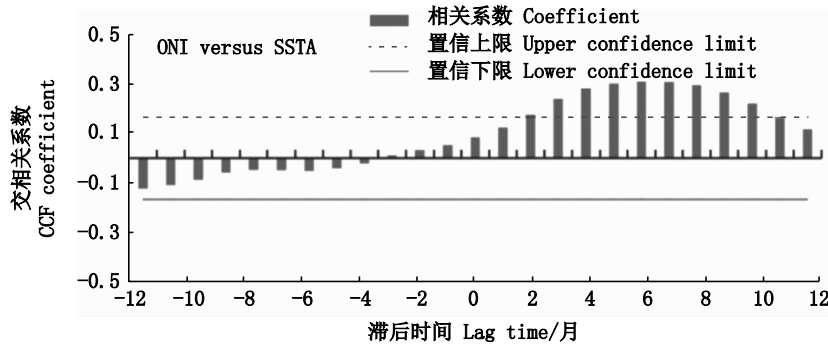


图 6 2007 和 2015 年 SSTA 与 ONI 的相关系数

Fig.6 Cross correlation coefficients between ONI and SSTA of 2007 and 2015

2007 和 2015 年各月 SST 频率分布具有明显的差异(图 8)。总体来看, 2007 年 SST 要高于 2005 年。7 月, 2007 和 2015 年 SST 高频率分布范围分别为 26.5~28.0 °C 和 25.5~28.0 °C; 2007 年 8 月 SST 高频率分布范围为 27.5~28.0 °C, 而 2015 年 8 月 SST 高频率分布范围为 26.5~28.0 °C; 9 月, 2007 和 2015 年的 SST 高频率分布范围分别为 26.0~28.0 °C 和 25.5~28.0 °C。

由图 9 可以看出, 研究海域内 2007 和 2015 年的 SSTA 变化非常明显。2007 年发生拉尼娜事

件, 渔场内 SSTA 较高, 且增温的分布范围较大; 而 2015 年各月 SSTA 主要呈现为负值, 且广泛分布在鲈鱼渔场范围内。

如图 10 所示, 2007 年 7—9 月的渔场纬度重心主要为 28.6°N~30.3°N, 且逐渐向北偏移; 而 2015 年渔场重心主要为 27.3°N~28.3°N, 相对 2007 年而言向南偏移。2007 年各月份的最适宜等温线比 2015 年的要更偏北, 导致 2007 年的渔场纬度重心也比 2015 年偏北。

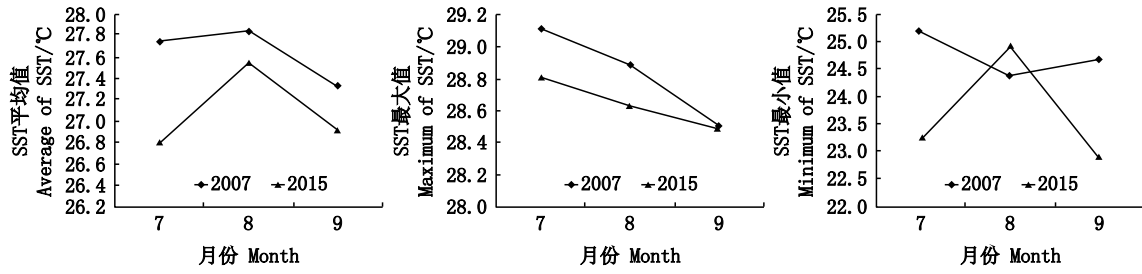


图 7 2007 和 2015 年 7—9 月 SST 的平均值、最大值和最小值

Fig.7 Average SST, maximum SST and minimum SST from July to September in 2007 and 2015

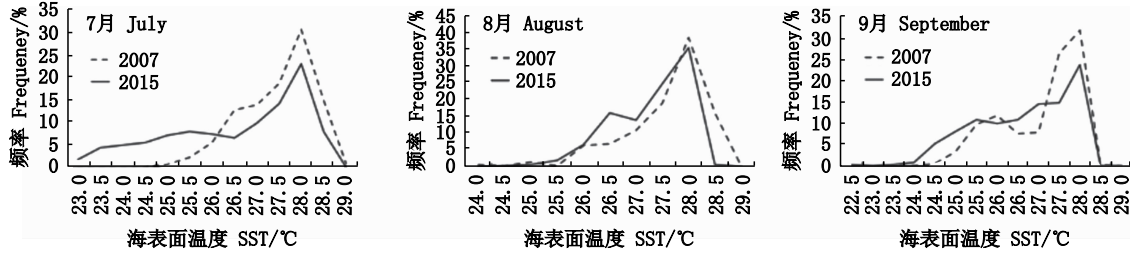


图 8 2007 和 2015 年 7—9 月 SST 频率分布图

Fig.8 SST frequency distribution map from August to October in 2007 and 2015

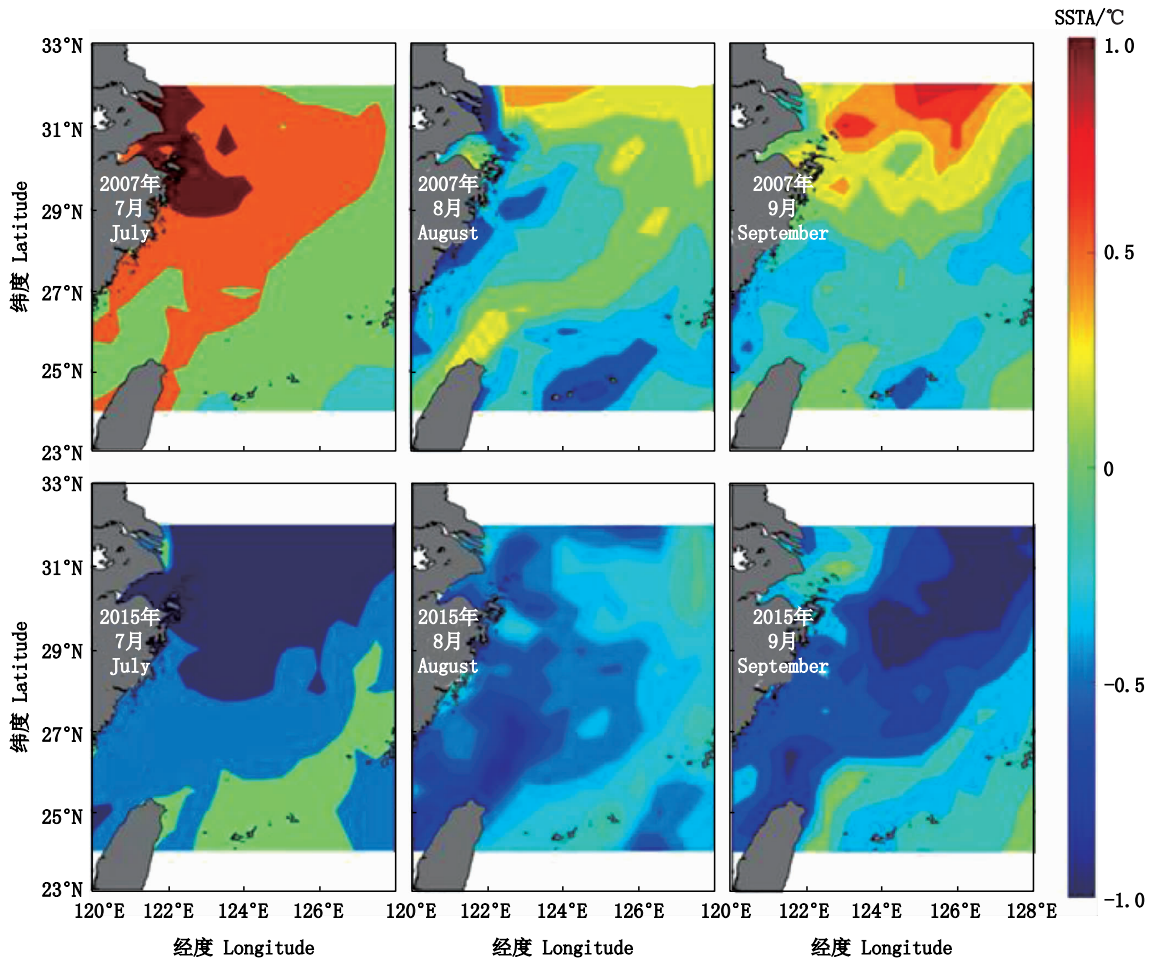


图 9 鲈鱼渔场内海表面温度距平值的空间分布图

Fig.9 Spatial distribution of sea surface temperature anomaly on the fishing ground of *S. japonicus*

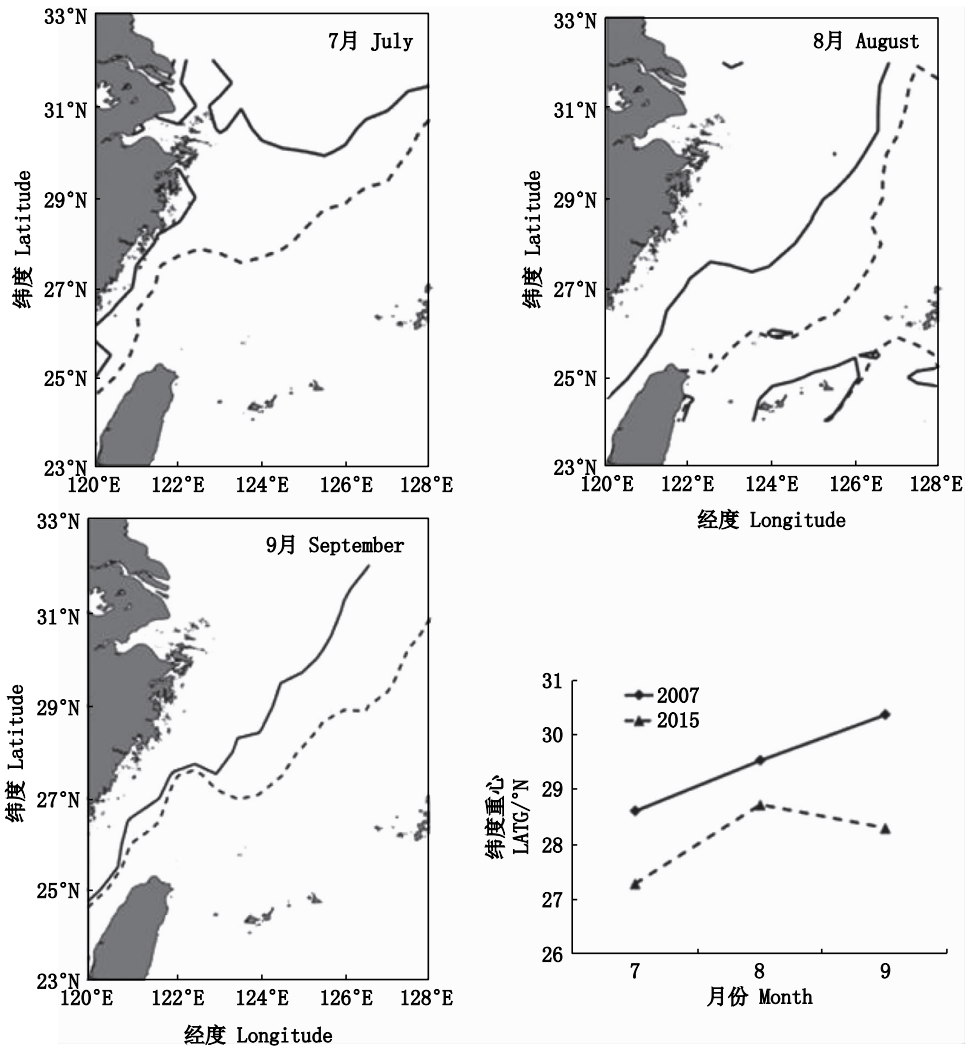


图 10 2007 年和 2015 年 7—9 月鲈鱼最适宜海表温度等值线以及渔场纬度重心空间分布图

Fig.10 Contour lines of the most preferred SST for *S. japonicus* and latitudinal gravity center (LATG) of fishing ground in the East China Sea from July to September in 2007 and 2015

### 3 讨论

鲈鱼作为短生命周期鱼类,其生活史包括生长、栖息、洄游、繁殖等过程,极易受周围海洋环境和气候因子的影响<sup>[19]</sup>。每年春季,由于受到黑潮和台湾暖流的影响,东海海域水温相应上升,鲈鱼从东海南部的越冬场进入浙江近海的产卵场进行产卵,性腺成熟的鲈鱼就地产卵后向外海进行洄游索饵,部分性腺未成熟的鲈鱼则继续北上,进入黄、渤海产卵并在产卵场附近进行索饵。秋末,随着黄海水温的下降鲈鱼南下洄游,冬季返回南部水域的越冬场<sup>[20-21]</sup>。以往学者研究分析认为鲈鱼 7—9 月的渔场重心主要位于 26°N~

27°N 和 122°E~123°E 海域内<sup>[22]</sup>,变化过程为先向东北方向移动,9 月之后则向西南方向移动<sup>[23]</sup>。研究结果发现,2005—2016 年 7—9 月鲈鱼渔场重心大多位于 122°N~126°N 和 26°E~30°E 海域内,并随着时间的推移逐渐向东北方向移动。这与前人的研究结果<sup>[23]</sup>基本一致,而东海鲈鱼渔场月间的时空分布变化主要与鲈鱼的繁殖和越冬洄游习性有关,渔场的位置与鲈鱼对应的生活史阶段一致<sup>[20-21]</sup>。此外,本文发现 2007 和 2010 年的渔场重心位置变化规律和其他年份明显不一致,可能是由于受到沿岸水团和海流作用的影响。

鱼类对气候的响应实际上是通过渔场内环



境的变化来感应,通常情况下,异常的气候变化会驱使鱼类渔场内海洋环境的变化,进而对鱼类群体的资源丰度和空间分布产生显著影响<sup>[24-25]</sup>。目前已有部分学者对鲈鱼渔场与海洋环境因子之间的关联展开研究。其中,有学者认为叶绿素质量浓度高导致浮游动物等饵料充足,与鲈鱼渔场的分布有一定的关联,但该因子并不是鲈鱼渔场形成的主要原因,其变动对鲈鱼渔场变化影响作用有限<sup>[26-27]</sup>。海表面高度与鲈鱼渔场有着较好的匹配关系,中心渔场通常出现在冷水团与暖水团交汇区靠近暖水团一侧<sup>[26]</sup>。而在众多环境因子中,海表面温度对鲈鱼渔场的影响最为显著,多数研究结论认为可通过掌握 SST 的变化来厘清鲈鱼渔场时空变化的规律<sup>[21,28]</sup>。因此,本研究选择 SST 这一关键环境因子,作为鲈鱼渔场时空分布变化和异常气候事件的重要链接,来分析鲈鱼渔场变化对气候的响应规律。通过作业次数在 SST 上的分布情况,研究结果得出 7—9 月鲈鱼适宜生长的 SST 范围为 25~28℃,且发现 SST 有明显的月间变化。鲈鱼渔场内适宜生长的 SST 范围会随着时间的变化而改变,李纲等<sup>[29]</sup>研究发现鲈鱼 7—9 月适宜的 SST 范围为 26~30℃,与本文研究结果有略微差异,但基本一致。SST 适宜范围的细微差异一是与本研究的渔业和环境数据来源不一致,此外本研究的时间序列较长,涵盖了较多的异常气候事件年份,比如本文研究的 2015 年发生了超强厄尔尼诺事件,导致了渔场内 SST 发生了相对明显的变化。

厄尔尼诺和拉尼娜事件是不同位相的两个气候事件,具有年际周期变化的气候变率,对应太平洋赤道中部和东部地表水的异常增温和降温现象。厄尔尼诺和拉尼娜事件的发生影响着全球海洋的大气环流以及局部区域的环境变化<sup>[9]</sup>。已有研究表明,拉尼娜和厄尔尼诺事件会对大洋性中上层重要渔业种类的资源量及渔场分布产生显著影响。例如,陈杭徽等<sup>[30]</sup>研究 2015 年超强厄尔尼诺事件对西北太平洋柔鱼渔场影响时,其结果表明超强厄尔尼诺事件的发生会导致柔鱼栖息地面积减少,从而导致柔鱼的资源丰度骤减,相对正常气候年份渔场向南部海域转移。针对鲈鱼,郭爱等<sup>[31]</sup>曾分析了厄尔尼诺和拉尼娜事件对中国东海鲈鱼栖息地的影响,其结论认为拉尼娜事件会使作业海域内温度上升,鲈

鱼渔场适宜栖息地面积增加;而厄尔尼诺事件发生时,则与之相反。本文基于聚类分析结果发现,2007(拉尼娜年份)和 2015 年(厄尔尼诺年份)鲈鱼渔场的空间分布具有显著差异。2007 和 2015 年鲈鱼分属两个特殊气候年份的渔场环境变化,梳理出鲈鱼渔场纬度变化对厄尔尼诺和拉尼娜事件的生态响应过程及其机理:2007 年发生拉尼娜事件时,鲈鱼渔场内的海表面温度上升,导致鲈鱼偏好的适宜 SST 向北转移,鲈鱼是短生命周期的鱼类,对水温变化较为敏感,因此,当北部水温更为适宜时,鲈鱼随着北移的适宜水温向北部洄游迁移,导致 2007 年鲈鱼渔场向北部海域转移;而 2015 年发生厄尔尼诺事件时,鲈鱼作业海域内海表面温度下降,对应适宜的水温向南部海域转移,因此 2015 年鲈鱼渔场向南部水域移动。

拉尼娜和厄尔尼诺事件是太平洋海域极为复杂的气候变化,本研究选取 2007 和 2015 年得到的结果并不能代表所有异常气候事件年份,为得到更准确的鲈鱼渔场时空分布的变化规律及其形成机制,后续还需要结合更多年份的渔业和环境数据进行对比与总结。另外,本研究选取的环境因子较为单一,未来可以结合叶绿素质量浓度、盐度、黑潮、沿岸水团、太平洋年代际涛动(PDO)等不同尺度的气候和环境因子进行研究。

#### 参考文献:

- [1] 郭爱. 气候与海洋环境变化对东黄海鲈鱼栖息地时空变动的影响[D]. 上海:上海海洋大学, 2020.  
GUO A. Impacts of the climatic and environmental variations on the spatio-temporal distribution of potential habitat of chub mackerel *Scomber japonicus* in the East China Sea and Yellow Sea[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [2] 陆鑫一, 刘子历, 余为, 等. 拉尼娜(2007)和厄尔尼诺(2015)事件对东海日本鲭栖息地时空分布的影响[J]. 海洋渔业, 2021, 43(2): 137-148.  
LU X Y, LIU Z L, YU W, et al. Impacts of El Niño (2007) and La Niña (2015) events on spatial and temporal distribution of potential habitat of *Scomber japonicus* in the East China Sea [J]. Marine Fisheries, 2021, 43(2): 137-148.
- [3] 李纲, 陈新军. 东海鲈鱼资源和渔场时空分布特征的研究[J]. 中国海洋大学学报, 2007, 37(6): 921-926.  
LI G, CHEN X J. Tempo-spatial characteristic analysis of the mackerel resource and its fishing ground in the East China Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2007, 37

- (6): 921-926.
- [4] 李振太, 许柳雄. 东海南部鲈鱼生物学特征研究[J]. 福建水产, 2005, 3(1): 47-50.  
LI Z T, XU L X. Approach on biological characteristics of *Scomber japonicus* in the southern East China Sea[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2005, 3(1): 47-50.
- [5] LEE D, SON S, KIM W, et al. Spatio-temporal variability of the habitat suitability index for chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East/Japan sea and the South Sea of South Korea[J]. Remote Sensing, 2018, 10(6): 938.
- [6] FAO. Review of the state of world marine fishery resources [R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- [7] 郭爱, 余为, 陈新军, 等. 中国近海鲈鱼资源时空分布与海洋净初级生产力的关系研究[J]. 海洋学报, 2018, 40(8): 42-52.  
GUO A, YU W, CHEN X J, et al. Relationship between spatio-temporal distribution of chub mackerel *Scomber japonicus* and net primary production in the coastal waters of China[J]. Haiyang Xuebao, 2018, 40(8): 42-52.
- [8] HIYAMA Y, YODA M, OHSHIMO S. Stock size fluctuations in chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and the Japan/East Sea[J]. Fisheries Oceanography, 2002, 11(6): 347-353.
- [9] WANG C Z, DESER C, YU J Y, et al. El Niño and southern oscillation (ENSO): areview [M]//GLYNN P W, MANZELLO D P, ENOCHS I C. Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific. Dordrecht: Springer, 2017: 85-106.
- [10] ANDERSON C I H, RODHOUSE P G. Life cycles, oceanography and variability: ommastrephid squid in variable oceanographic environments[J]. Fisheries Research, 2001, 54(1): 133-143.
- [11] YU W, CHEN X J, YI Q, et al. Variability of suitable habitat of western winter-spring cohort for neon flying squid in the northwest pacific under anomalous environments [J]. PLoS One, 2015, 10(4): e0122997.
- [12] 崔科, 陈新军. 东黄海鲈鱼资源丰度与表温关系[J]. 南方水产, 2007, 3(4): 20-25.  
CUI K, CHEN X J. 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.
- [13] 方星楠, 何妍, 余为, 等. 秘鲁外海茎柔鱼栖息地时空分布及对环境因子的响应差异[J]. 中国水产科学, 2021, 28(5): 658-672.  
FANG X N, HE Y, YU W, et al. Spatio-temporal distribution of the jumbo flying squid *Dosidicus gigas* off Peru and differences in the effects of environmental conditions[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(5): 658-672.
- [14] 余为, 陈新军, 易倩. 西北太平洋海洋净初级生产力与柔鱼资源量变动关系的研究[J]. 海洋学报, 2016, 38(2): 64-72.  
YU W, CHEN X J, YI Q. Relationship between spatio-temporal dynamics of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* and net primary production in the northwest Pacific Ocean[J]. Haiyang Xuebao, 2016, 38(2): 64-72.
- [15] 王韞沛, 陈新军, 余为. 西北太平洋柔鱼渔场重心变化及其与环境的关系[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(6): 899-909.  
WANG Y P, CHEN X J, YU W. Variations of gravity centers of fishing ground for neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean and its relation with marine environment [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(6): 899-909.
- [16] ANDRADE H A, GARCIA C A E. Skipjack tuna fishery in relation to sea surface temperature off the southern Brazilian coast[J]. Fisheries Oceanography, 1999, 8(4): 245-254.
- [17] 余为, 陈新军. 西北太平洋柔鱼冬春生群体栖息地的变化研究[J]. 海洋学报, 2018, 40(3): 86-94.  
YU W, CHEN X J. Variability in the potential habitat of winter-spring cohort of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean [J]. Haiyang Xuebao, 2018, 40(3): 86-94.
- [18] YU W, GUO A, ZHANG Y, et al. Climate-induced habitat suitability variations of chub mackerel *Scomber japonicus* in the East China Sea [J]. Fisheries Research, 2018, 207: 63-73.
- [19] LLUCH-BELDA D, CRAWFORD R J M, KAWASAKI T, et al. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks; the regime problem[J]. South African Journal of Marine Science, 1989, 8(1): 195-205.
- [20] 官文江. 基于海洋遥感的东、黄海鲈鱼渔场与资源研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2008.  
GUAN W J. Remote-sensing-based assessment of Chub mackerel (*Scomber japonicus*) fishing ground and stock dynamics in the East China Sea and Yellow Sea [D]. Shanghai: East China Normal University, 2008.
- [21] 易炜, 郭爱, 陈新军. 不同环境因子权重对东海鲈鱼栖息地模型的影响研究[J]. 海洋学报, 2017, 39(12): 90-97.  
YI W, GUO A, CHEN X J. A study on influence of different environmental factors weights on the habitat model for *Scomber japonicus*[J]. Haiyang Xuebao, 2017, 39(12): 90-97.
- [22] 崔科, 陈新军. 东、黄海围网渔场鲈鱼产量的年际变动 [J]. 海洋学研究, 2005, 23(2): 41-49.  
CUI K, CHEN X J. Study on inter-annual change of the yields of *Pseudotolithus japonicus* and *Decapterus maruadsi* for purse seine fishing grounds in the East China Sea and the Yellow Sea[J]. Journal of Marine Sciences, 2005, 23(2): 41-49.
- [23] 戴澍蔚, 唐峰华, 樊伟, 等. 北太平洋公海日本鲭资源分布及其渔场环境特征 [J]. 海洋渔业, 2017, 39(4): 372-382.  
DAI S W, TANG F H, FAN W, et al. Distribution of resource and environment characteristics of fishing ground of

- Scomber japonicus* in the North Pacific high seas[J]. Marine Fisheries, 2017, 39(4): 372-382.
- [24] 杨红, 章守宇, 戴小杰, 等. 夏季东海水团变动特征及对鲈鱼渔场的影响[J]. 水产学报, 2001, 25(3): 209-214.  
YANG H, ZHANG S Y, DAI X J, et al. Characteristics of water masses and its influence on mackerel scad fishery in the East China Sea in the summer[J]. Journal of Fisheries of China, 2001, 25(3): 209-214.
- [25] LI G, CHEN X J, LEI L, et al. Distribution of hotspots of chub mackerel based on remote-sensing data in coastal waters of China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2014, 35(11/12): 4399-4421.
- [26] 李纲, 陈新军. 夏季东海渔场鲈鱼产量与海洋环境因子的关系[J]. 海洋学研究, 2009, 27(1): 1-8.  
LI G, CHEN X J. Study on the relationship between catch of mackerel and environmental factors in the East China Sea in summer[J]. Journal of Marine Sciences, 2009, 27(1): 1-8.
- [27] 崔国辰, 朱文斌, 戴乾, 等. 西北太平洋鲈鱼渔场的时空分布及其与海表温度和叶绿素浓度的关系[J]. 海洋开发与管理, 2021, 38(8): 95-99.  
CUI G C, ZHU W B, DAI Q, et al. Temporal and spatial distribution of the mackerel fishing ground in the northwest Pacific and its relationship with sea surface temperature and chlorophyll concentration [J]. Ocean Development and Management, 2021, 38(8): 95-99.
- [28] 李纲, 郑晓琼, 朱国平, 等. 基于水温因子的东、黄海鲈鱼剩余产量模型建立[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(1): 108-113.  
LI G, ZHENG X Q, ZHU G P, et al. Establishment of surplus production model for chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and Yellow Sea based on the sea surface temperature [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(1): 108-113.
- [29] 李纲, 陈新军, 田思泉. 我国东、黄海鲈鱼灯光围网渔业 CPUE 标准化研究 [J]. 水产学报, 2009, 33(6): 1050-1059.  
LI G, CHEN X J, TIAN S Q. CPUE standardization of chub mackerel (*Scomber japonicus*) for Chinese large lighting-purse seine fishery in the East China Sea and Yellow Sea [J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(6): 1050-1059.
- [30] 陈杭徽, 吴晓雪, 范江涛, 等. 2015 年超强厄尔尼诺事件对西北太平洋柔鱼渔场变动的影响[J]. 中国水产科学, 2020, 27(10): 1243-1253.  
CHEN H H, WU X X, FAN J T, et al. Impacts of the strong 2015 El Niño event on *Ommastrephes bartramii* fishing grounds in the Northwest Pacific Ocean [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(10): 1243-1253.
- [31] 郭爱, 张扬, 余为, 等. 两类强度厄尔尼诺和拉尼娜事件对中国近海鲈鱼栖息地的影响[J]. 海洋学报, 2018, 40(12): 58-67.  
GUO A, ZHANG Y, YU W, et al. Influence of El Niño and La Niña with different intensity on habitat variation of chub mackerel *Scomber japonicas* in the coastal waters of China [J]. Haiyang Xuebao, 2018, 40(12): 58-67.

## Spatio-temporal distribution of chub mackerel *Scomber japonicus* in the East China Sea during 2005–2016 and its relationship with sea surface temperature

LI Yikai<sup>1</sup>, FANG Xingnan<sup>1</sup>, YU Wei<sup>1,2,3,4,5</sup>, LI Yuesong<sup>1,2,3,4,5</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 5. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Chub mackerel (*Scomber japonicus*) is a pelagic economically important species and an important fishing target for Chinese coastal fisheries. The distribution of *S. japonicus* is significantly affected by climatic and environmental conditions at different scales. Based on the fisheries data of *S. japonicus* from July to September during 2005–2016 provided by National Data Center of Distant-water Fisheries of China, combined with the key environmental factor sea surface temperature (SST) data, this study quantified the temporal and spatial changes of fishing ground of *S. japonicus* on the analysis of determining the longitudinal and latitudinal gravity centers of fishing effort. Additionally, the distribution of the fishing ground in relation to longitude, latitude and SST was analyzed. Furthermore, the representative years were selected by cluster analysis to evaluate the impacts of abnormal climate events on the spatial and temporal distribution of SST and gravity centers of fishing ground for *S. japonicus* in the East China Sea. The results showed that there was significant interannual and monthly variation in gravity centers of fishing ground for *S. japonicus* in the East China Sea. The fishing ground gradually moved northeastward from July to September, which mainly occurred in the SST ranging from 25 to 28 °C. Cluster analysis suggested that gravity centers of fishing ground in each month were divided into four categories, and significant difference was found between 2007 and 2015 in each month. Moreover, a statistically significant positive correlation was found between SST anomaly on the fishing ground of *S. japonicus* and oceanic Niño index. A La Niña event occurred in 2007 and an El Niño event occurred in 2015. When the La Niña event occurred, the SST on the fishing ground increased, and the gravity center of the fishing ground gradually moved northward; while if the El Niño event occurred, the SST on the fishing ground largely decreased, and the gravity centers of the fishing ground were mostly located in its southern waters. Our findings indicated that spatio-temporal distribution of *S. japonicus* in the East China Sea was strongly regulated by the impacts of the El Niño and La Niña-driven SST changes on the fishing ground.

**Key words:** *Scomber japonicus*; spatio-temporal distribution; cluster analysis; El Niño; La Niña; sea surface temperature