

DOI: 10.12264/JFSC2021-0150

## 不同强度拉尼娜事件下东海鲐栖息地的时空变动

温健<sup>1</sup>, 张艳婧<sup>1</sup>, 李宜锴<sup>1</sup>, 李曰嵩<sup>1, 2, 3, 4</sup>, 余为<sup>1, 2, 3, 4</sup>

1. 上海海洋大学海洋科学院, 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, 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:** 鲴(*Scomber japonicus*)是一种重要的经济鱼种, 其栖息地环境易受到气候变化的影响。本研究依据 1950—2015 年 2.5 m、25 m、50 m 水层温度数据以及 Niño3.4 指数, 计算东海鲐栖息地适宜性指数(HSI), 对比分析不同强度拉尼娜事件期间鲐栖息地的时空变动。结果表明, 拉尼娜事件期间鲐渔场适宜栖息地面积高于正常气候条件。弱拉尼娜事件和中强度拉尼娜事件期间, 鲴渔场各水层温度偏低, 适宜的温度面积比例较高, 栖息地适宜性较高; 而强拉尼娜事件期间, 鲴渔场各水层温度偏高, 适宜的温度面积比例较低, 栖息地适宜性较低。相较于强拉尼娜事件, 弱拉尼娜事件和中强度拉尼娜事件期间, 适宜栖息地的经度重心偏东, 纬度重心偏南, 不适宜栖息地的经度重心偏西, 纬度重心偏北。此外, 鲴渔场各水层最适宜温度等值线在强拉尼娜事件下偏西北方向, 推测不同强度拉尼娜下鲐栖息地空间分布差异, 可能是由于各水层最适宜温度显著的月间分布差异所致。研究表明, 不同强度拉尼娜事件对东海鲐栖息地的影响具有显著差异。

**关键词:** 鲴; 栖息地适宜性; 拉尼娜事件; 强度; 水层温度; 时空分布

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)06-0903-11

鲐(*Scomber japonicus*)又名日本鲭, 属于沿海性中上层鱼类, 其广泛分布于太平洋、大西洋和印度洋的温带及亚热带海域的大陆架附近<sup>[1-3]</sup>。西北太平洋的鲐依据不同的季节洄游模式和产卵场分布位置, 分为在黑潮边缘附近产卵的太平洋群系和在东海产卵的对马暖流群系, 也有学者将我国近海鲐分为对马暖流群系和东海群系<sup>[4-7]</sup>。对马暖流群系鲐广泛分布于我国东海、黄海和日本海, 由于具有较高的经济价值, 成为中国、韩国、日本及俄罗斯大型灯光围网渔业的重要捕捞目标<sup>[2,8]</sup>。我国东、黄海鲐具有季节性南北洄游特性, 一般在春季向北至黄海及东海北部产卵洄游, 夏季向南至东海南部洄游<sup>[6,9]</sup>。因此夏季 7—9 月东海南部成

为重要的渔场, 大量的鲐渔船至此聚集捕鱼<sup>[10]</sup>。海洋环境变化对鲐的生长<sup>[11]</sup>、繁殖产卵<sup>[4,12]</sup>等早期生活史阶段有显著的影响, 鲴资源分布与海表面温度、海表温度距平、海面高度距平、叶绿素浓度、净初级生产力等环境因子密切相关<sup>[13-18]</sup>。

气候变化对鲐资源变动及渔场的时空分布也具有显著影响<sup>[19-20]</sup>。厄尔尼诺南方涛动(ENSO)现象致使太平洋出现年际周期的表温异常变化, 对西北太平洋及周边海域的影响尤为显著<sup>[21]</sup>。以往研究表明鲐栖息地适宜性与厄尔尼诺和拉尼娜事件显著相关, 并且随着强度不同而变化<sup>[9,22]</sup>。但前人研究都仅对特殊气候年份或较短时间尺度的异常气候事件进行分析, 本研究基于长时间尺度

收稿日期: 2021-04-08; 修订日期: 2021-05-12.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900906, 2019YFD0901405); 国家自然科学基金青年科学基金项目(41906073); 上海市自然科学基金项目(19ZR1423000).

作者简介: 温健(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业海洋学. E-mail: jwen0913@163.com

通信作者: 余为, 副研究员, 研究方向为渔业海洋学. E-mail: wyu@shou.edu.cn

分析不同强度拉尼娜事件下栖息地的变动。此外,由于鲐具有昼夜垂直移动的现象,水温变化会使鲐栖息水层产生变化,其常栖息于 20~50 m 水层<sup>[23]</sup>。以往的研究仅考虑了海表温度对鲐栖息地的影响,并未考虑不同水层温度。因此本研究基于 3 个水层温度数据构建栖息地适宜性指数模型,进而分析长时间序列的拉尼娜事件背景下鲐栖息地的时空变动,丰富鲐栖息地动态信息。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据

环境数据包括 2.5 m、25 m、50 m 水层温度,数据空间范围覆盖东海鲐渔场,具体范围为 24°N~32°N, 118°E~130°E, 空间分辨率均通过插值方法由  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  转化为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 。数据时间范围为 1950—2015 年 1—12 月,时间分辨率为月。各水层温度数据来源于亚太数据研究中心(<http://apdrc.soest.hawaii.edu/data/data.php>)。拉尼娜事件利用海洋尼诺指数(Ocean Niño Index, ONI)来表征,尼诺指数依据 Niño3.4 区海表温距平值(SSTA)来获取,其数据来自美国 NOAA 气候预报中心([https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml))。

### 1.2 分析方法

(1) 依据 NOAA 对 La Niña 事件的定义,Niño3.4 区(5°N~5°S, 170°W~120°W) SSTA 连续 5 个月低于  $-0.5^\circ\text{C}$ ,则认为发生一次拉尼娜事件。依据该定义,将 1950—2015 年发生的拉尼娜事件进行分类(表 1)。

**表 1 1950—2015 年拉尼娜事件的确定**  
**Tab. 1 Definition of the La Niña events for years 1950—2015**

ENSO 类型 ENSO type	年份 year
正常气候 ENSO-neutral	1950, 1952, 1958, 1959, 1960, 1961, 1962, 1966, 1967, 1968, 1969, 1974, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1983, 1984, 1985, 1986, 1989, 1990, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 2001, 2003, 2005, 2006, 2008, 2012, 2013, 2014
拉尼娜事件 La Niña event	1954, 1955, 1956, 1964, 1970, 1971, 1973, 1975, 1988, 1998, 1999, 2000, 2007, 2010, 2011

依据尼诺指数的大小,将拉尼娜事件的强度定义为:  $-0.9 \leq \text{ONI} \leq -0.5$ , 为弱拉尼娜事件;  $-1.4 \leq \text{ONI} \leq -1.0$ , 为中强度拉尼娜事件;  $-1.9 \leq \text{ONI} \leq -1.5$ , 为强拉尼娜事件;  $\text{ONI} \leq -2.0$ , 为超强拉尼娜事件。当 ONI 处于以上各临界值区间内连续超过 3 个月,则认为发生该类强度的异常气候(<http://ggweather.com/enso/oni.htm>)。依据上述定义,本研究将 1950—2015 年发生的拉尼娜事件按照强度进行归类(表 2)

**表 2 1950—2015 年拉尼娜事件强度划分**

**Tab. 2 The classification of the La Niña event intensity for years 1950—2015**

异常气候事件 anomalous climate condition	强度 intensity	年份 year
拉尼娜事件 La Niña event	弱强度 weak	1954, 1964, 1971, 2000
	中强度 moderate	1955, 1970, 2011
	高强度 strong	1973, 1975, 1988, 1998, 1999, 2007, 2010

(2) 分别计算各水层温度的距平值,利用交相关函数分析 Niño3.4 指数与各水层温度距平值的滞后相关性。根据定义的正常气候条件和拉尼娜事件年份,分别计算 7—9 月正常气候条件和拉尼娜事件下鲐渔场各水层温度距平值的空间平均值,绘制空间分布图,分析其空间特征。并计算对应年份的各水层温度距平值的平均值,分析变动规律。建立适宜性指数(suitability index, SI)模型,计算各水层温度的适宜性指数,利用基于权重的算术平均法(arithmetic mean model, AMM), 使用最优权重方案,建立综合栖息地适宜性指数(habitat suitability index, HSI)模型<sup>[9]</sup>, 将  $\text{HSI} > 0.6$  定义为鲐适宜的栖息地,  $\text{HSI} < 0.2$  定义为不适宜的栖息地<sup>[8]</sup>, 并计算栖息地适宜性指数距平值(habitat suitability index anomaly, HSIA)。依据 7—9 月鲐渔场 HSI 和 HSIA 数据,计算正常气候条件和拉尼娜事件期间的空间平均值,绘制空间分布图。

(3) 依据定义的不同强度拉尼娜事件年份,分别计算 7—9 月不同强度拉尼娜事件下各水层温度空间平均值和对应年份的各水层的平均值,绘制空间分布图,分析变动规律。依据各水层温度的适宜性指数,计算各水层适宜的温度面积比

例, 对比不同强度拉尼娜事件下鲐渔场各水层温度适宜性。依据7—9月鲐渔场HSI和HSIA数据, 计算不同强度拉尼娜事件的空间平均值, 绘制空间分布图, 分析栖息地的分布规律。

(4) 依据强度划分结果, 计算鲐渔场较为适宜的栖息地(HSI>0.6)和不适宜的栖息地(HSI>0.2)的纬度和经度重心, 分析拉尼娜事件在不同强度期间栖息地空间位置的变化。其中, HSI经度重心和纬度重心的计算方法为<sup>[24]</sup>:

$$\text{LONG}_{\text{HSI}} = \frac{\sum (\text{Longitude}_{(i,m)} \times \text{HSI}_{(i,m)})}{\sum \text{HSI}_{(i,m)}}$$

$$\text{LAGT}_{\text{HSI}} = \frac{\sum (\text{Latitude}_{(i,m)} \times \text{HSI}_{(i,m)})}{\sum \text{HSI}_{(i,m)}}$$

式中,  $\text{LONG}_{\text{HSI}}$  为 HSI 的经度重心;  $\text{LAGT}_{\text{HSI}}$  为

HSI 的纬度重心; Longitude 为经度值, Latitude 为纬度值;  $i$  为渔区;  $m$  为月份。

分别绘制不同强度拉尼娜事件下鲐渔场7—9月各水层最适宜温度等值线空间分布图, 分析最适宜温度的分布特征。

## 2 结果与分析

### 2.1 拉尼娜事件与正常气候条件下鲐渔场水温和栖息地变化

交相关分析表明, Niño3.4指数与不同水层温度距平值呈显著正相关(图1)。不同水层温度在拉尼娜事件与正常气候条件期间具有差异(图2), 拉尼娜事件期间对应的2.5 m水层温度距平值平均值略低于正常气候年份, 从空间分布图可以看出拉尼娜事件

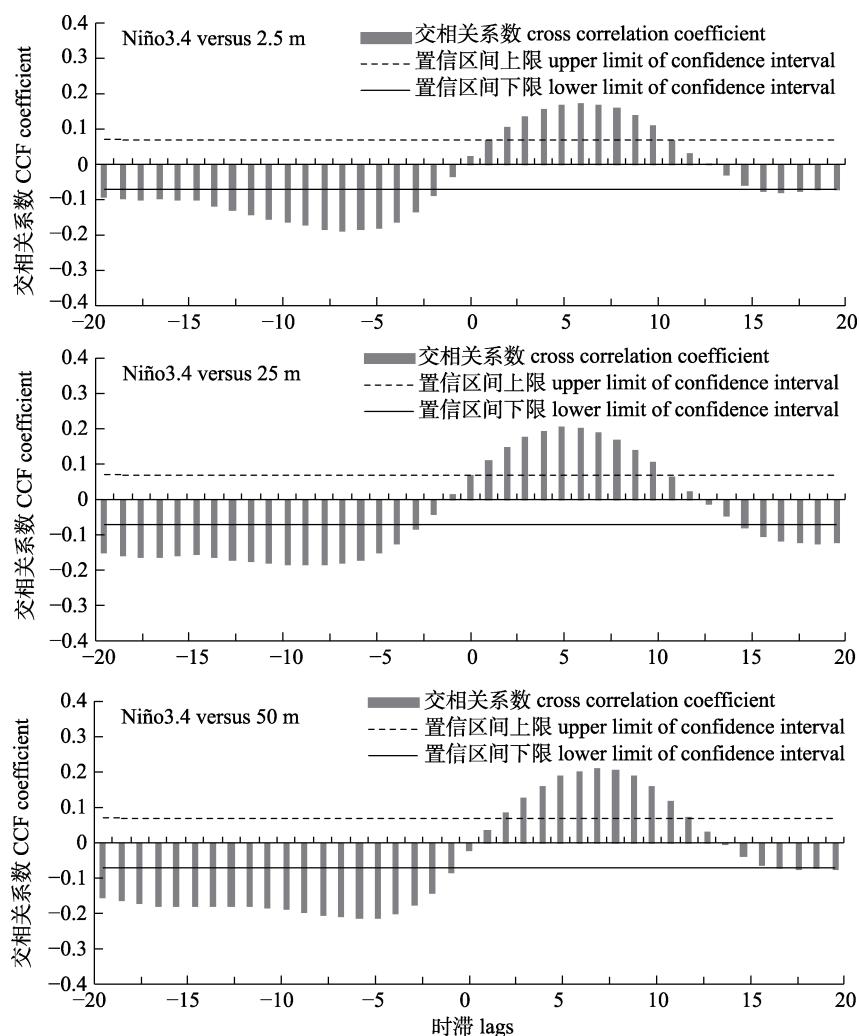


图1 Niño3.4指数与不同水层温度距平值的交相关系数

Fig. 1 Cross correlation coefficients between the Niño3.4 index and water temperature anomaly at different depths.

期间鲐渔场东南海域水温偏低。25 m 水层温度距平值平均值在拉尼娜事件和正常气候条件期间较接近, 空间上正常气候条件西北海域水温偏低, 东南海域偏高, 拉尼娜事件东南海域水温偏低。拉尼娜事件期

间 50 m 水层温度距平值平均值高于正常气候条件。

拉尼娜事件期间鲐渔场适宜栖息地面积高于正常气候, 空间分布显示拉尼娜事件期间东南海域栖息地适宜性较正常气候高(图 3)。

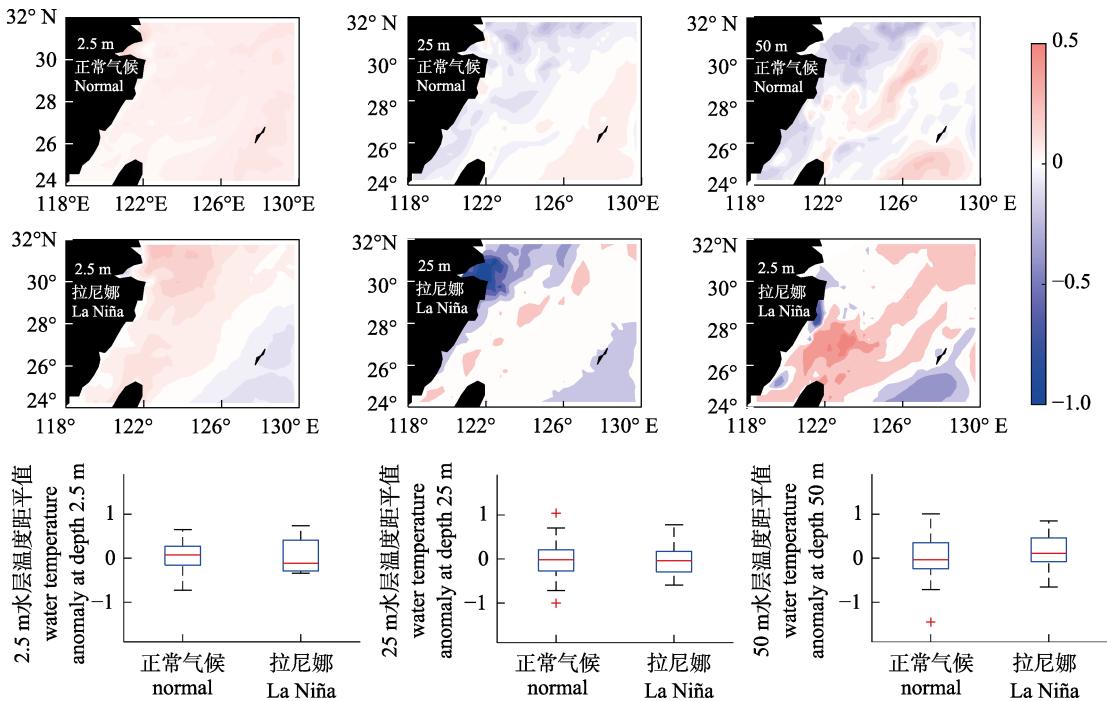


图 2 正常气候条件和拉尼娜事件期间不同水层温度距平值的时空分布  
“+”为异常值。

Fig. 2 Spatio-temporal distribution of water temperature anomaly at different depths under normal climate condition and La Niña events  
“+” represents abnormal value.

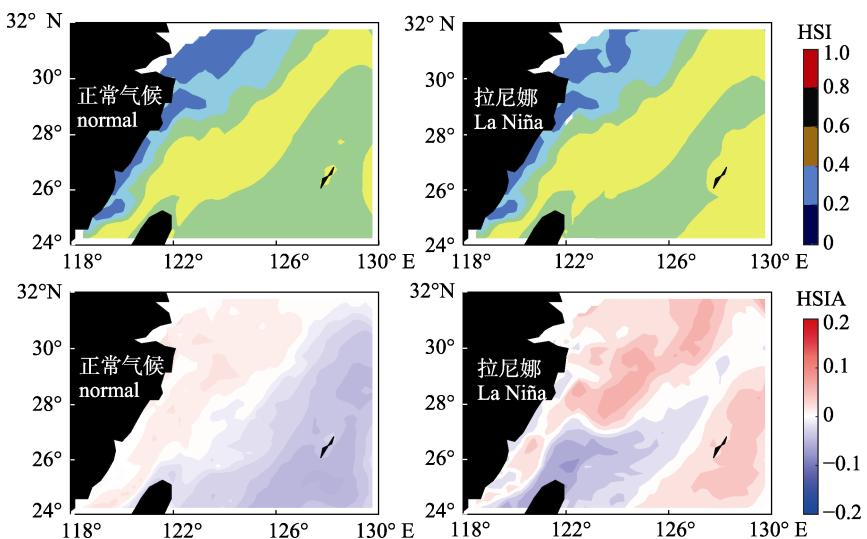


图 3 正常气候条件和拉尼娜事件期间栖息地适宜性指数(HSI)和栖息地适宜性指数距平值(HSIA)的空间分布  
Fig. 3 Spatio-temporal distribution of habitat suitability index (HSI) and habitat suitability index anomaly (HSIA) under normal climate condition and La Niña events

## 2.2 不同强度拉尼娜事件下鲐渔场各水层温度适宜性变化

由图4可以看出,在不同强度拉尼娜事件下各水层温度存在明显差异。空间分布图结果表明,弱拉尼娜事件和中强度拉尼娜事件期间,各水层温度均偏低;而在强拉尼娜事件期间,各水层温度明显偏高。不同强度拉尼娜事件下各水层温度的平均值结果也表示,强拉尼娜事件期间各水层温度明显高于弱拉尼娜事件和中强度拉尼娜事件。

不同强度拉尼娜事件期间鲐渔场各水层温度适宜性结果表明(图5),弱强度拉尼娜事件和中强度拉尼娜事件期间各水层适宜的温度面积比例较高;而强拉尼娜事件期间各水层适宜的温度面积

比例较低。此外,水层越深水层温度的适宜性越低,在弱拉尼娜和中强度拉尼娜事件期间2.5 m水层适宜的温度面积比例高于40%,25 m水层适宜的温度面积比例约为20%,而50 m水层适宜的温度面积比例低于20%。

## 2.3 不同强度拉尼娜事件下鲐渔场栖息地变化

由不同强度拉尼娜事件下鲐渔场栖息地空间分布可以看出(图6),弱拉尼娜事件和中强度拉尼娜事件下,栖息地适宜性较高,适宜的栖息地面积比例较高;而在强拉尼娜事件期间,栖息地适宜性较低,适宜的栖息地面积比例较低。由不同强度拉尼娜事件期间HSI平均值结果也可以看出,在弱拉尼娜和中强度拉尼娜事件期间,HSI平均

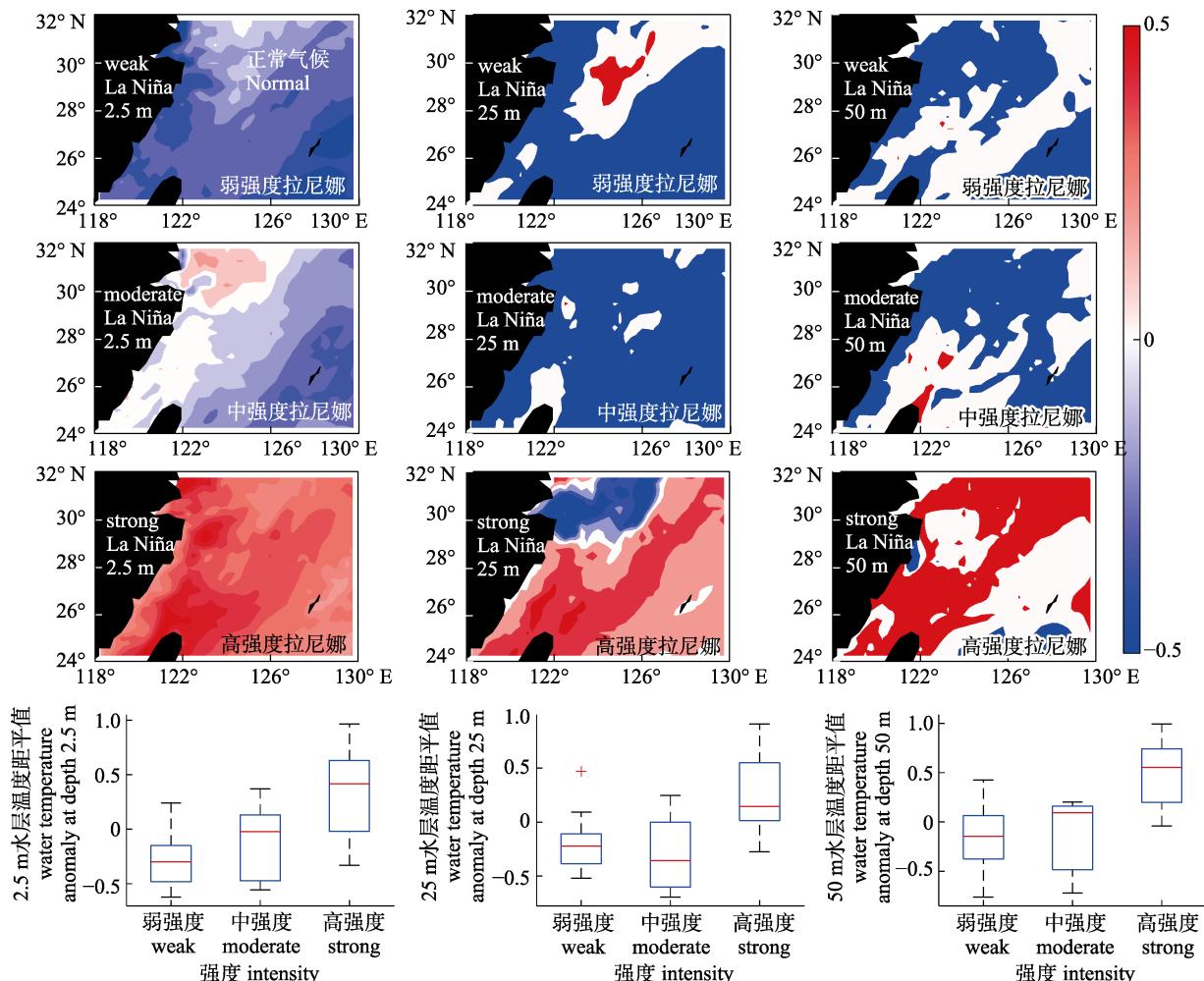


图4 不同强度拉尼娜事件期间不同水层温度距平值的时空分布

“+”为异常值。

Fig. 4 Spatio-temporal distribution of water temperature anomaly at different depths under La Niña events with different intensity  
“+” represents abnormal value.

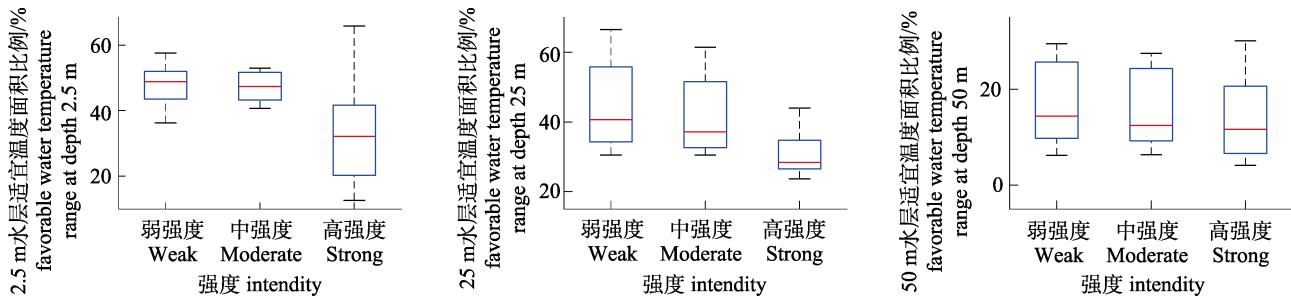


图 5 不同强度拉尼娜事件期间不同水层适宜温度面积比例的年际变化

“+”为异常值。

Fig. 5 Interannual variability in area ratio of suitable water temperature at different depths under La Niña events with different intensity

“+” represents abnormal value.

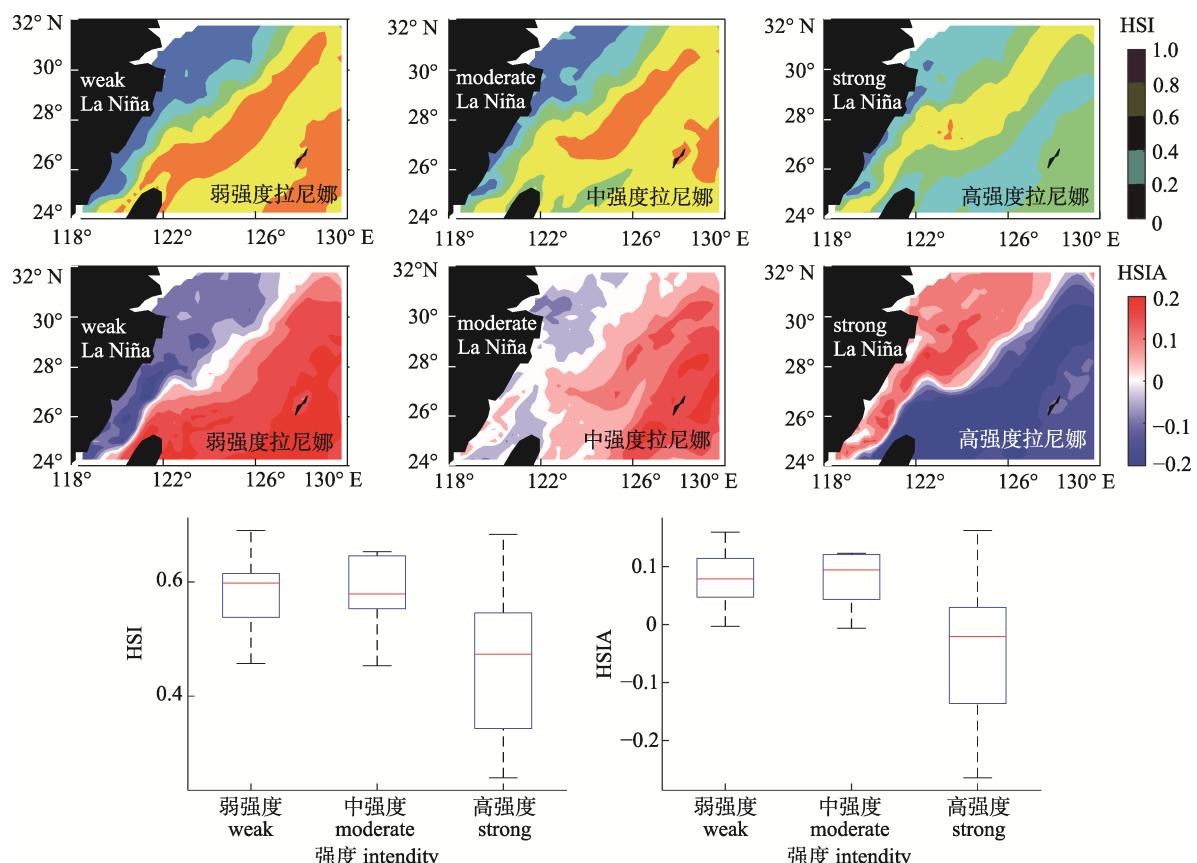


图 6 不同强度拉尼娜事件期间栖息地适宜性指数(HSI)和栖息地适宜性指数距平值(HSIA)的时空分布

“+”为异常值。

Fig. 6 Spatio-temporal distribution of HSI and HSIA under La Niña events with different intensity

“+” represents abnormal value.

值均在0.6左右，表明栖息地适宜性较高，而强拉尼娜事件期间HSI平均值低于0.6，表明栖息地适宜性相对较低。

不同强度拉尼娜事件下栖息地的空间位置变化结果表明(图7)，在弱拉尼娜和中强度拉尼娜事件期间，鮰渔场较为适宜的栖息地经度重心偏东，

不适宜的栖息地经度重心偏西；在强拉尼娜事件期间，较为适宜的栖息地经度重心偏西，不适宜的栖息地经度重心偏东。相较于强拉尼娜事件，弱拉尼娜事件和中强度拉尼娜事件期间鮰渔场适宜栖息地的纬度重心偏南，不适宜栖息地的纬度重心偏北。

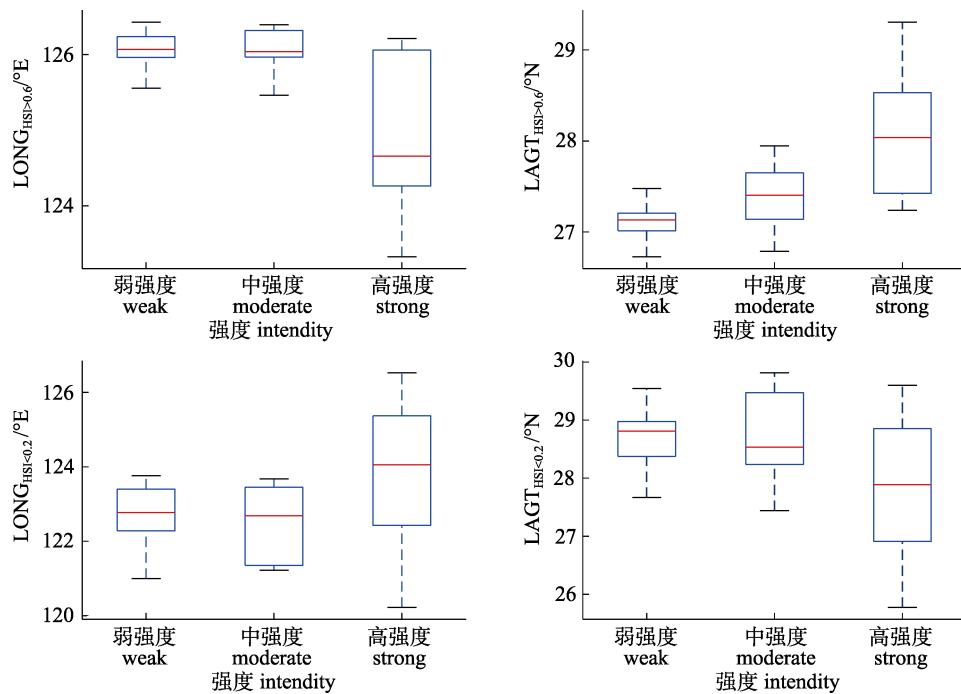


图7 不同强度拉尼娜事件期间适宜和不适宜栖息地的经纬度重心变化

“+”为异常值。

Fig. 7 Variability in longitude and latitude gravity center of suitable and unsuitable habitats under La Niña events with different intensity  
“+” represents abnormal value.

## 2.4 不同强度拉尼娜事件下鲐渔场各水层最适宜温度变化

由图8可以看出, 2.5 m水层最适宜温度等值线空间分布不同拉尼娜事件期间差异较大, 7—9月强拉尼娜事件最适宜温度等值线在空间上分布明显相较于弱拉尼娜和中强度拉尼娜事件偏西北方向。25 m和50 m水层7—8月在不同强度拉尼娜事件下最适宜温度等值线分布差异不明显, 但在9月强拉尼娜事件明显比弱拉尼娜和中强度拉尼娜偏西北方向。

## 3 讨论

水温垂直结构与西北太平洋、东海等海域内的中上层鱼类及头足类渔场分布密切相关<sup>[25-27]</sup>。鲐主要以甲壳类、桡足类等浮游动物为食, 也捕食鲱形目、鲈形目等小型鱼类<sup>[28-29]</sup>。这些浮游动物具有昼夜垂直洄游的现象, 在晚上浮游动物会洄游至表层或亚表层海域<sup>[30]</sup>。成体鲐会随着其食物上升至表层及亚表层海域, 相关研究认为垂直水温对鱼类的摄食物种分布及生理代谢具有重要

作用<sup>[31]</sup>。本研究选择2.5 m、25 m、50 m三个水层温度建立栖息地指数模型。一般来说, AMM方法被认为是计算综合栖息地指数模型最常用的方法<sup>[32]</sup>, 但为了突出不同水层温度对鲐栖息地的影响程度不同, 采用了基于权重的AMM模型。最优权重方案表明2.5 m水层温度是鲐栖息地形成最重要的温度条件, 前人的研究中也指出海表温度与鲐栖息地变动关系最为密切<sup>[33]</sup>。以往研究中, 基于不同水层温度构建的栖息地指数模型都能够较好地预测中心渔场, 例如陈新军等<sup>[34]</sup>选取SST、0~50 m水温梯度、200 m水温及300 m水温建立西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)栖息地指数模型, 研究发现模型中引入0~50 m水温梯度预测效果较好。郭爱等<sup>[35]</sup>利用不同水层水温及温差数据建立中西太平洋鲣(*Katsuwonus pelamis*)栖息地指数模型, 并用产量证实基于水温垂直结构指数模型能够较好地预测中心渔场。Yu等<sup>[9]</sup>利用最优HSI模型对鲐栖息地空间分布进行预测, 并与实际渔业数据进行匹配, 证明模型预测效果较好。因此本研究使用不同水层温度数据构建的

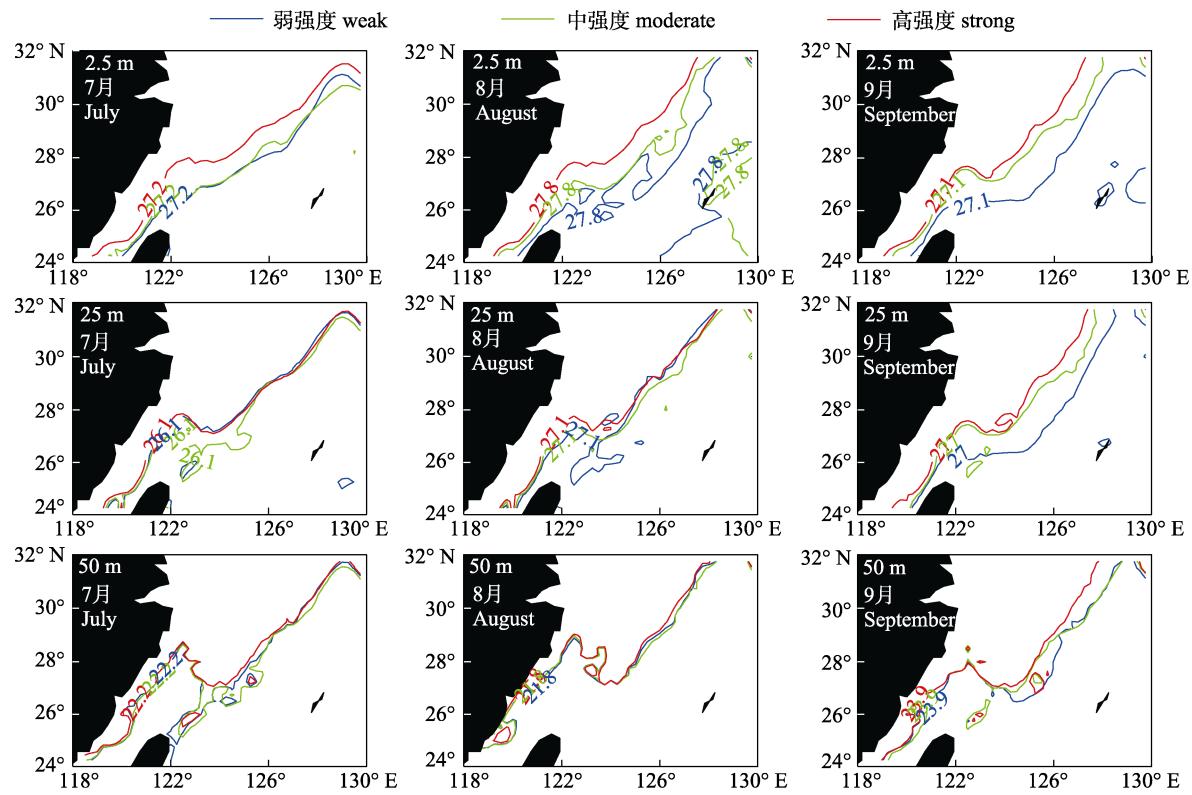


图 8 不同强度拉尼娜事件期间 7—9 月不同水层最适宜的水温等值线分布

Fig. 8 Spatial distribution of the isoline of the most suitable water temperature at different depths under La Niña events with different intensity in July to September

HSI 模型能够较好地反映东海鮰栖息地的分布。

本研究结合 1950—2015 年 Niño3.4 指数分析了正常气候和拉尼娜事件下东海鮰栖息地的分布, 研究发现在拉尼娜事件下适宜的栖息地面积高于正常气候条件(图 3), 并且分析不同强度拉尼娜事件下栖息地变动发现, 弱强度和中强度拉尼娜事件下栖息地适宜性高于强拉尼娜事件。郭爱等<sup>[22]</sup>分析了强拉尼娜和中强度拉尼娜事件下鮰渔场的栖息地变动, 发现强拉尼娜事件栖息地面积增大, 其研究中基于海表温度以及海面高度两个环境因子构建栖息地模型与本研究利用的不同水层温度数据不同, 且其仅选取了 2010 年和 2011 年两年的数据进行分析, 而本研究基于更长时间尺度, 因此结果有所差异。本研究发现强拉尼娜事件下适宜的栖息地向西北方向偏移, 不适宜栖息地向东南方向偏移。结合 7—9 月不同强度拉尼娜事件各水层温度等值线可以看出, 影响最显著的 2.5 m 水层最适宜温度的等值线, 在强拉尼娜事件的 7—9 月均显著向西北方向偏移。研究认为, 强拉尼娜

事件下适宜栖息地的偏移可能与最适宜的温度等值线的偏移有关。Yu 等<sup>[9]</sup>对不同强度拉尼娜事件期间鮰栖息地分布分析时发现, 虽然 2007 年和 2010 年的拉尼娜事件强度相似, 但 2010 年每个月的适宜栖息地都大幅减少。其原因可能与当年 7—9 月渔场出现较高的净初级生产力有关。不同强度的拉尼娜事件对栖息地质量的影响较为复杂, 可能取决于渔场每年的环境变化。

鮰的昼夜垂直洄游行为与温跃层有一定的关系, Yasuda 等<sup>[36]</sup>利用电子标签测量日本鮰的垂直洄游行为, 发现在 11 月鮰在 50 m 温跃层以下进行昼夜垂直洄游, 而 12 月未出现温跃层鮰洄游至表层。王良明等<sup>[27]</sup>发现西北太平洋日本鲭渔场春季无显著温跃层, 夏季温跃层明显, 春季水温变化较大时渔获率较高, 而夏季平均渔获率随着水温垂直梯度增加而降低。厄尔尼诺与拉尼娜事件会影响海洋温跃层深度<sup>[37]</sup>, 后续研究气候对鮰栖息地的影响应考虑温跃层的变动。此外, 由于我国东海鮰栖息地与黑潮亲潮海流变动密切相关,

海流对鲐早期生活史的影响较大<sup>[1]</sup>, 研究气候的影响不仅需要考虑年际尺度变化, 更要结合局部海流海洋环境变化, 并应进一步考虑年代际等尺度气候的影响。

## 参考文献:

- [1] Li Y S, Chen X J, Chen C S, et al. Dispersal and survival of chub mackerel (*Scomber japonicus*) larvae in the East China Sea[J]. Ecological Modelling, 2014, 283: 70-84.
- [2] Li G, Chen X J, Feng B. Age and growth of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China and Yellow Seas using sectioned otolith samples[J]. Journal of Ocean University of China, 2008(4): 439-446.
- [3] Shiraishi T, Ketkar S D, Katoh Y, et al. Spawning frequency of the Tsushima Current subpopulation of chub mackerel *Scomber japonicus* off Kyushu, Japan[J]. Fisheries Science, 2009, 75(3): 649-655.
- [4] Yukami R, Ohshima S, Yoda M, et al. Estimation of the spawning grounds of chub mackerel *Scomber japonicus* and spotted mackerel *Scomber australasicus* in the East China Sea based on catch statistics and biometric data[J]. Fisheries Science, 2009, 75(1): 167-174.
- [5] Hwang S D, Lee T W. Spawning dates and early growth of chub mackerel *Scomber japonicus* as indicated by otolith microstructure of juveniles in the inshore nursery ground[J]. Fisheries Science, 2005, 71: 1185-1187.
- [6] Shiraishi T, Okamoto K, Yoneda M, et al. Age validation, growth and annual reproductive cycle of chub mackerel *Scomber japonicus* off the waters of northern Kyushu and in the East China Sea[J]. Fisheries Science, 2008, 74: 947-954.
- [7] Yasuda T, Yukami R, Ohshima S. Fishing ground hotspots reveal long-term variation in chub mackerel *Scomber japonicus* habitat in the East China Sea[J]. Marine Ecology Progress Series, 2014, 501: 239-250.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Chen X J, Li G, Feng B, et al. Habitat suitability index of chub mackerel (*Scomber japonicus*) from July to September in the East China Sea[J]. Journal of Oceanography, 2009, 65(1): 93-102.
- [11] Bartsch J. The influence of spatio-temporal egg production variability on the modelled survival of the early life history stages of mackerel (*Scomber scombrus*) in the eastern North Atlantic[J]. ICES Journal of Marine Science, 2005, 62: 1049-1060.
- [12] Hiyama Y, Yoda M, Ohshima 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.
- [13] 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. [李纲, 郑晓琼, 朱国平, 等. 基于水温因子的东、黄海鲐鱼剩余产量模型建立[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(1): 108-113.]
- [14] Guan W J, Chen X J, Gao F, et al. Environmental effects on fishing efficiency of *Scomber japonicus* for Chinese large lighting purse seine fishery in the Yellow and East China Seas[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(6): 949-958. [官文江, 陈新军, 高峰, 等. 海洋环境对东、黄海鲐鱼灯光围网捕捞效率的影响[J]. 中国水产科学, 2009, 16(6): 949-958.]
- [15] 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. [李纲, 陈新军. 夏季东海渔场鲐鱼产量与海洋环境因子的关系[J]. 海洋学研究, 2009, 27(1): 1-8.]
- [16] Guan W J, Chen X J, Gao F, et al. Study on the dynamics of biomass of chub mackerel based on ocean net primary production in southern East China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2013, 35(5): 121-127. [官文江, 陈新军, 高峰, 等. 东海南部海洋净初级生产力与鲐鱼资源量变动关系的研究[J]. 海洋学报, 2013, 35(5): 121-127.]
- [17] 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. [郭爱, 余为, 陈新军, 等. 中国近海鲐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.]
- [18] Dabin L, Seunghyun S, Wonkook K, 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.
- [19] Yatsuia A, Mitana T, Watnabe C, et al. Current stock status and management of chub mackerel, *Scomber japonicus*, along the Pacific coast of Japan—an example of allowable biological catch determination[J]. Fisheries Science, 2002, 69(Supplement I): 93-96.

- [20] Sun C H, Chiang F S, Tsoa E, et al. The effects of El Niño on the mackerel purse-seine fishery harvests in Taiwan: An analysis integrating the barometric readings and sea surface temperature[J]. Ecological Economics, 2006, 56: 268-279.
- [21] Alexander M A, Bladé I, Newman M, et al. The Atmospheric Bridge: The Influence of ENSO Teleconnections on Air-Sea Interaction over the Global Oceans[J]. Journal of Climate, 2002, 15(16): 2205-2231.
- [22] 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 japonicus* in the coastal waters of China[J]. Haiyang Xuebao, 2018, 40(12): 58-67. [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鲐鱼栖息地的影响[J]. 海洋学报, 2018, 40(12): 58-67.]
- [23] Li Y S. Simulation study of ecosystem dynamics of early life history of Chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012. [李曰嵩. 东海鲐鱼(*Scomber japonica*)早期生活史过程的生态动力学模拟研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.]
- [24] Yu W, Chen X J. Ocean warming-induced range-shifting of potential habitat for jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean off Peru[J]. Fisheries Research, 2018, 204: 137-146.
- [25] Fan J T, Feng X, Chen Z Z. Fishing ground analysis of Japanese horse mackerel in northern South China Sea based on vertical structure of water temperature[J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(2): 124-128. [范江涛, 冯雪, 陈作志. 基于水温垂直结构的南海北部近海竹筍鱼渔场分析[J]. 南方水产科学, 2018, 14(2): 124-128.]
- [26] Tang F H, Yang S L, Fan X M, et al. Variation characteristics of vertical water temperature structure of neon flying squid fishery in northwestern Pacific Ocean based on Argo[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 427-437. [唐峰华, 杨胜龙, 范秀梅, 等. 基于 Argo 的西北太平洋公海柔鱼渔场垂直水温结构的变化特征[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 427-437.]
- [27] Wang L M, Li Y, Zhang R, et al. Relationship between the resource distribution of *Scomber japonicus* and seawater temperature vertical structure of northwestern Pacific Ocean[J]. Periodical of Ocean University of China, 2019, 49(11): 29-38. [王良明, 李渊, 张然, 等. 西北太平洋日本鲭资源丰度分布与表温和水温垂直结构的关系[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(11): 29-38.]
- [28] Yoon S J, Kim D H, Baeck G W, et al. Feeding habits of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the South Sea of Korea[J]. Journal of Korea Fishery Society, 2008, 41(1): 26-31.
- [29] Takagi K, Yatsu A, Itoh H, et al. Comparison of feeding habits of myctophid fishes and juvenile small epipelagic fishes in the western North Pacific[J]. Marine Biology, 2009, 156(4): 641-659.
- [30] Hazen E L, Johnston D W. Meridional patterns in the deep scattering layers and top predator distribution in the central equatorial pacific[J]. Fisheries Oceanography, 2010, 19(6): 427-433.
- [31] Yang S L, Zhang B B, Zhang H, et al. A review: vertical swimming and distribution of yellowfin tuna *Thunnus alaunga*[J]. Fisheries Science, 2019, 38(1): 119-126. [杨胜龙, 张忭, 张衡, 等. 黄鳍金枪鱼垂直移动及水层分布研究进展[J]. 水产科学, 2019, 38(1): 119-126.]
- [32] Tian S Q, Chen X J, Chen Y, et al. Evaluating habitat suitability indices derived from CPUE and fishing effort data for *Ommatophterus bartramii* in the northwestern Pacific Ocean[J]. Fisheries Research, 2009, 95(2-3): 181-188.
- [33] Gao F, Chen X J, Guan W J, et al. Fishing ground forecasting of chub mackerel in the Yellow Sea and East China Sea using boosted regression trees[J]. Haiyang Xuebao, 2015, 37(10): 39-48. [高峰, 陈新军, 官文江, 等. 基于提升回归树的东黄海鲐鱼渔场预报[J]. 海洋学报, 2015, 37(10): 39-48.]
- [34] Chen X J, Chen F, Gao F, et al. Modeling of habitat suitability of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) based on vertical temperature structure in the northwestern Pacific Ocean[J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(6): 52-60. [陈新军, 陈峰, 高峰, 等. 基于水温垂直结构的西北太平洋柔鱼栖息地模型构建[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2012, 42(6): 52-60.]
- [35] Guo A, Chen X J. Studies on the habitat suitability index based on the vertical structure of water temperature for skipjack Katsuwonus pelamis purse-seine fishery in the Western-central Pacific Ocean[J]. Marine Fisheries, 2009, 31(1): 1-9. [郭爱, 陈新军. 利用水温垂直结构研究中西太平洋鲣鱼栖息地指数[J]. 海洋渔业, 2009, 31(1): 1-9.]
- [36] Yasuda T, Nagano N, Kitano H. Diel vertical migration of chub mackerel: preliminary evidence from a biologging study[J]. Marine Ecology Progress Series, 2018, 598(28): 147-151.
- [37] Correa-Ramirez M A, Hormazabal S E, Morales C E. Spatial patterns of annual and interannual surface chlorophyll-a variability in the Peru-Chile Current System[J]. Progress in Oceanography, 2012, 92: 8-17.

## Habitat variations of chub mackerel *Scomber japonicus* in the East China Sea under La Niña events

WEN Jian<sup>1</sup>, ZHANG Yanjing<sup>1</sup>, LI Yikai<sup>1</sup>, LI Yuesong<sup>1, 2, 3, 4</sup>, YU Wei<sup>1, 2, 3, 4</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; Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China

**Abstract:** The habitat distribution of chub mackerel *Scomber japonicus*, an economically important pelagic fish species, is strongly susceptible to climate variability. In this study, we calculated the habitat suitability index (HSI) for the fishing ground of *S. japonicus* in the East China Sea during 1950–2015, based on the environmental data of vertical water temperature at depths of 2.5 m, 25 m, and 50 m, as well as the Niño3.4 index. The spatio-temporal distributions of potential habitats for *S. japonicus* were compared among La Niña years of varying intensity. The habitat suitability was found to be higher during the La Niña years than during the years of normal climate conditions. During the weak and moderate La Niña years, water temperatures were cold at different depths, leading to a higher proportion of areas with suitable water temperatures and increasing the habitat suitability. However, during the strong La Niña years, water temperature at different depths increased, resulting in a decrease in the proportion of areas with suitable water temperatures at different depths. Therefore, the habitat suitability declined. Weak and moderate La Niña events resulted in an eastward shift of the longitudinal gravity center of suitable habitat and a southward shift in the latitudinal gravity center relative to its position during strong La Niña events. In contrast, the longitudinal gravity center of unsuitable habitat shifted westward, while the latitudinal gravity center of unsuitable habitat shifted northward. During July–September during strong La Niña events, the distribution of the most suitable water temperatures at different depths shifted northwestward. Variations in the spatial distribution of *S. japonicus* habitat under La Niña events with different intensities may be due to the monthly difference in distribution of the most suitable water temperature at different depths. Our findings indicated that La Niña events with different intensities significantly affected the habitat of *S. japonicas* in the East China Sea.

**Key words:** *Scomber japonicus*; habitat suitability; La Niña events; intensity; water temperature; spatio-temporal distribution

**Corresponding author:** YU Wei. E-mail: wyu@shou.edu.cn