

DOI: 10.12264/JFSC2020-0533

## 智利外海智利竹筍鱼与茎柔鱼栖息地变动对 ENSO 事件响应的差异

冯志萍<sup>1</sup>, 张艳婧<sup>1</sup>, 余为<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>, 陈新军<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:** 探究同海域物种栖息地变动的同步性有利于有效利用和管理多个关联物种资源。本研究利用 2011—2016 年秋季智利外海茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)渔业数据及海表面高度距平值(SSHA)、海表面盐度(SSS)、400 m 水层温度(Temp\_400 m)等环境数据和 2013—2016 年秋季智利竹筍鱼(*Trachurus murphyi*)渔业生产数据及海表面温度(SST)、混合层深度(MLD)、400 m 水层温度(Temp\_400 m)构建了不同权重的栖息地模型, 各种类选取最优栖息地模型并利用 2017 年数据进行验证。此外, 基于最优模型分别追算 1950—2017 年智利竹筍鱼(*Trachurus murphyi*)与茎柔鱼栖息地适宜性指数(HSI), 并分析其对 ENSO(El Niño-Southern oscillation, 厄尔尼诺与南方涛动)事件响应的差异。结果表明, 智利竹筍鱼与茎柔鱼最优栖息地模型均能较好地预测两者潜在分布。厄尔尼诺事件期间, 各环境变量表现为海温偏高, 海面高度空间上由东北向西南方向递减, 混合层较浅, 智利北部海表面盐度高于南部; 物种生境变化表现为智利竹筍鱼适宜面积增加, 最适 HSI 重心向西移动, 而茎柔鱼适宜面积减小, 最适 HSI 重心向西南方向移动。拉尼娜事件期间各环境变量表现为海温偏低, 海面高度空间上由东北向西南方向递增, 混合层加深, 海表面盐度变化与厄尔尼诺期间相似且差异较小; 此事件期间, 智利竹筍鱼适宜面积于西南方向显著减少, 最适 HSI 重心向东南方向偏移, 而茎柔鱼适宜面积于高纬度方向上增幅显著, 最适 HSI 重心向东北方向移动。智利竹筍鱼与茎柔鱼适宜面积在不同 ENSO 事件下变化差异可能与东南太平洋智利海域分布的海流及两者摄食对象生物量的变化有关。

**关键词:** 智利竹筍鱼; 茎柔鱼; 厄尔尼诺; 拉尼娜; 栖息地适宜性指数; 智利外海;

**中图分类号:** S931

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1005-8737-(2021)09-1195-13

在全球海洋范围内, 同海域或跨海域的海洋物种其资源丰度或分布可能会在各种时间尺度上同时发生波动<sup>[1]</sup>, 此波动机制主要与大规模气候变化或局部海洋环境条件在不同时间尺度下的影响有关<sup>[2-3]</sup>。例如, 秘鲁洪堡洋流系统(Humboldt current system, HCS)中的鳀(*Engraulis ringens*)和沙丁鱼(*Sardinops sagax*)因受空气、海温、CO<sub>2</sub> 及海域生产力变化的影响, 会发生“冷水期鳀优势

种”到“暖水期沙丁鱼优势种”的循环转变<sup>[4]</sup>。此外, 洪堡洋流北部海域和黑潮洋流系统同样存在由环境变化引起的多物种同步性变化现象, 除鳀和沙丁鱼资源量存在交替变化现象外, 竹筍鱼(*Trachurus murphyi*)和鲐(*Scomber japonicus*)资源量的变化趋势相似<sup>[5]</sup>。物种同步性变化的研究有利于了解多个关联物种资源变动与环境的关系, 为有效利用和管理物种资源提供科学依据。

收稿日期: 2020-11-22; 修订日期: 2021-01-04.

基金项目: 国家重点研发计划项目(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: 冯志萍(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业海洋学. E-mail: 1098899451@qq.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

目前开发的茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)渔场中,智利渔场是捕捞茎柔鱼最为重要的渔场之一,其渔获量占据头足类总渔获量较高比例。此外,智利竹筴鱼渔获量同样居东南太平洋前列,尤以智利海域居多,二者因其较高的商业价值成为远洋渔业国家重要的捕捞对象<sup>[6-8]</sup>。智利竹筴鱼与茎柔鱼潜在分布可能会由于气候的变动而发生显著的年际变化。例如不同 ENSO 事件的影响,相较于厄尔尼诺事件,茎柔鱼生境在拉尼娜事件期间和正常气候年份可能更为适宜<sup>[9]</sup>;对于智利竹筴鱼其栖息地可能在厄尔尼诺期间向西北方向移动,而拉尼娜期间则反向迁移<sup>[10]</sup>。目前虽有关智利海域竹筴鱼与茎柔鱼适宜生境对不同 ENSO (El Niño-Southern oscillation, 厄尔尼诺与南方涛动)事件的响应差异研究较少,但对比以往研究发现<sup>[9-10]</sup>,厄尔尼诺期间秘鲁茎柔鱼单位捕捞努力渔获量(CPUE)低于正常月份,而智利竹筴鱼 CPUE 却高于正常月份,拉尼娜期间变化相反。因此,本研究基于茎柔鱼栖息地对 ENSO 的响应与秘鲁海域相似的假设基础上,认为气候变化可能会导致智利外海智利竹筴鱼与茎柔鱼适宜生境发生同步变化,利用 2011—2017 年茎柔鱼和 2013—2017 年智利竹筴鱼渔业数据结合不同环境因子建立栖息地模型,探究 1950—2017 年长时间序列下二者栖息地对 ENSO 事件响应的差异,为二者资源利用与管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 渔业数据

本研究智利竹筴鱼与茎柔鱼捕捞数据来自上海海洋大学中国远洋渔业数据中心,数据包括捕捞位置(经度、纬度)、捕捞时间(年、月、日)、日产量(单位: t)及捕捞努力量。数据空间覆盖范围为 20°S~47°S, 70°W~97°W, 空间分辨率为 0.5°×0.5°, 时间分辨率为季度,其中, 茎柔鱼渔业数据时间跨度为 2011—2017 年秋季(3—5 月), 竹筴鱼为 2013—2017 年秋季(3—5 月), 二者均以 2017 年数据进行模型验证,其余年份数据用于构建模型。

### 1.2 环境数据

以往研究表明,海表面高度(sea surface height, SSH)、海表面盐度(sea surface salinity, SSS)及 400 m

水层温度(Temp\_400 m)是影响秋季智利海域茎柔鱼分布的关键环境因子,而海表面温度(sea surface temperature, SST)、400 m 水层温度(Temp\_400 m)和混合层深度(mixed layer depth, MLD)是影响竹筴鱼分布的关键环境因子<sup>[11]</sup>。因此,本研究茎柔鱼环境数据选取 SSHA、SSS 和 Temp\_400 m,时间为 1950—2017 年秋季(3—5 月);竹筴鱼环境数据选取 SST、MLD 以及 Temp\_400 m,时间为 1950—2017 年秋季(3—5 月)。所有环境数据均来源于亚太数据研究中心([http://apdrc.soest.hawaii.edu/las\\_ofes/v6/dataset?catitem=71](http://apdrc.soest.hawaii.edu/las_ofes/v6/dataset?catitem=71)),空间分布范围为 20°S~47°S, 70°W~97°W, 时间分辨率为季度。在数据分析前,需将所有环境数据空间分辨率转化为 0.5°×0.5°并与渔业数据相匹配。

本研究主要分析厄尔尼诺和拉尼娜事件对智利外海竹筴鱼与茎柔鱼栖息地适宜性变动的影响,厄尔尼诺和拉尼娜事件利用海洋尼诺指数(oceanic Niño index, ONI)来表征,尼诺指数依据 Niño 3.4 区(170°W~120°W, 5°S~5°N)海表温距平值(sea surface temperature anomaly, SSTA)来获取,其数据来自美国 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))。

### 1.3 分析方法

**1.3.1 厄尔尼诺和拉尼娜事件年份划分** 依据 NOAA 对厄尔尼诺和拉尼娜事件的定义, Niño 3.4 区 SSTA 连续 5 个月滑动平均值超过+0.5 °C, 则认为发生一次厄尔尼诺事件;若连续 5 个月低于-0.5 °C, 则认为发生一次拉尼娜事件。依据上述定义,本研究将 1950—2017 年发生的异常气候年份进行归类,结果如下:厄尔尼诺年份包括 1953, 1958, 1969, 1983, 1987, 1992, 1998, 2015, 2016;拉尼娜年份包括 1950, 1955, 1956, 1971, 1974, 1975, 1985, 1989, 1999, 2000, 2008, 2011, 其余为正常气候年份。

### 1.3.2 构建综合 HSI 模型

(1) 本研究定义经纬度 0.5°×0.5°为一个渔区,选取捕捞努力量作为计算适应性指数(suitability index, SI)的指标,将 2011—2016 年秋季茎柔鱼渔业数据与其关键环境因子进行匹配,同时将 2013—2016 年竹筴鱼渔业数据与其关键环境因子数据

进行匹配。依据智利竹筴鱼与茎柔鱼捕捞努力量在渔场各环境变量不同范围内的频率分布情况,计算各环境变量不同范围内二者出现的概率(即SI值)<sup>[12]</sup>,认定最高捕捞努力量出现的位置为智利竹筴鱼与茎柔鱼资源分布最多的海域,对应SI值为1;捕捞努力量为0时,则认为是智利竹筴鱼与茎柔鱼资源分布最少的海域,对应SI值为0。SI计算公式<sup>[13-14]</sup>为:

$$SI = \frac{Effort_i}{Effort_{i,max}} \quad (1)$$

式中,  $Effort_i$  为环境变量第  $i$  区间内总捕捞努力量;  $Effort_{i,max}$  为环境变量第  $i$  区间内最大捕捞努力量。

利用 SPSS 以最小二乘法拟合估算好的 SI 值和各环境变量分段区间值之间的 SI 模型, 其拟合公式<sup>[15]</sup>为:

$$SI_X = \exp[a \times (X_{ij} - b)^2] \quad (2)$$

式中,  $SI_X$  为各环境变量的 SI 值;  $a, b$  为应用最小二乘法估计的模型参数;  $X_{ij}$  为某一经纬度相对应的环境变量值;  $i$  代表经度,  $j$  代表纬度。

(2) 在已建好的 SI 模型基础上, 基于算数加权法(arithmetic weighted model, AWM)赋予各环境变量以不同的权重并建立综合栖息地模型(环境因子权重总和为 1)。环境变量权重模型设置如下<sup>[14,16]</sup>:模型 1 为 0, 1, 0; 模型 2 为 0, 0, 1; 模型 3 为 0.1, 0.8, 0.1; 模型 4 为 0.1, 0.1, 0.8; 模型 5 为 0.25, 0.5, 0.25; 模型 6 为 0.25, 0.25, 0.5; 模型 7 为 0.333, 0.333, 0.333; 模型 8 为 0.5, 0.25, 0.25; 模型 9 为 0.8, 0.1, 0.1; 模型 10 为 1, 0, 0。茎柔鱼与智利竹筴鱼栖息地适宜性指数(HSI)的计算公式如下:

$$HSI_{D,gigas} = W_{SSHA} \times SI_{SSHA} + W_{SSS} \times SI_{SSS} + W_{Temp\_400\text{ m}} \times SI_{Temp\_400\text{ m}} \quad (3)$$

$$HSI_{T,murphyi} = W_{SST} \times SI_{SST} + W_{Temp\_400\text{ m}} \times SI_{Temp\_400\text{ m}} + W_{MLD} \times SI_{MLD} \quad (4)$$

式中,  $W_{SSHA}$ 、 $W_{SSS}$ 、 $W_{Temp\_400\text{ m}}$  分别为茎柔鱼环境变量 SSHA、SSS、Temp\_400 m 的权重;  $SI_{SSHA}$ 、 $SI_{SSS}$ 、 $SI_{Temp\_400\text{ m}}$  分别为 SSHA、SSS、Temp\_400 m 的 SI 值;  $W_{SST}$ 、 $W_{Temp\_400\text{ m}}$ 、 $W_{MLD}$  分别为智利竹筴鱼环境变量 SST、Temp\_400 m、MLD 的权重;  $SI_{SST}$ 、 $SI_{Temp\_400\text{ m}}$ 、 $SI_{MLD}$  分别为 SST、Temp\_400 m、MLD 的 SI 值。

**1.3.3 模型筛选与验证** 依据上述基于不同权重的 HSI 模型, 分别计算 2011—2016 年茎柔鱼和 2013—2016 年智利竹筴鱼秋季渔场内的 HSI 值, 其范围在 0~1 之间。将二者 HSI 划分为 0~0.2、0.2~0.4、0.4~0.6、0.6~0.8、0.8~1.0 五个区间, 并认为  $HSI \geq 0.6$  的区域为竹筴鱼最适宜栖息地<sup>[15,17]</sup>。计算各 HSI 间隔内产量、捕捞努力量的占比, 选取  $0 \leq HSI \leq 0.2$  间隔中产量和捕捞努力量占比最少、 $HSI \geq 0.6$  间隔中产量和捕捞努力量占比最高的 HSI 模型为最优模型。利用 MATLAB 绘制最优模型预测下 2017 年智利竹筴鱼与茎柔鱼 HSI 时空分布图, 并与实际捕捞努力量分布进行叠加, 统计在不同 HSI 间隔内两者捕捞量和捕捞努力量所占比例, 并将  $HSI \geq 0.6$  间隔内捕捞努力量的累计占比作为模型预测精度的指标, 以验证模型预测的准确性与可行性。

### 1.3.4 分析不同 ENSO 事件对智利竹筴鱼与茎柔鱼适宜环境及栖息地变动的影响

(1) 利用交相关函数分析 Niño 3.4 指数与各环境变量的相关性, 分别绘制在不同 ENSO 事件下智利竹筴鱼与茎柔鱼渔场环境变量均值的时空分布图, 对比分析各环境因子均值在不同事件下的变化差异。

(2) 基于筛选的最优 HSI 模型, 分别追算 1950—2017 年智利竹筴鱼和茎柔鱼渔场内的 HSI 值, 并利用交相关函数评估 Niño 3.4 指数与智利竹筴鱼和茎柔鱼 HSI 的相关性, 由 ANOVA 检验二者 HSI 在不同 ENSO 事件下的显著性差异, 计算不同气候事件下智利竹筴鱼与茎柔鱼最适 HSI 面积比例, 绘制在不同气候事件下二者最适 HSI 时空分布图。

## 2 结果与分析

### 2.1 栖息地模型的构建与验证

利用最小二乘法拟合智利竹筴鱼与茎柔鱼捕捞努力量与各环境变量间的 SI 曲线, 结果见图 1。经统计检验, 秋季所有环境因子的 SI 模型各参数变量均通过显著性检验( $P < 0.05$ ), 同时均方根方差(root mean squared error, RMSE)较低, 相关性系数( $R^2$ )较高。此外, 拟合的 SI 曲线与观察到的

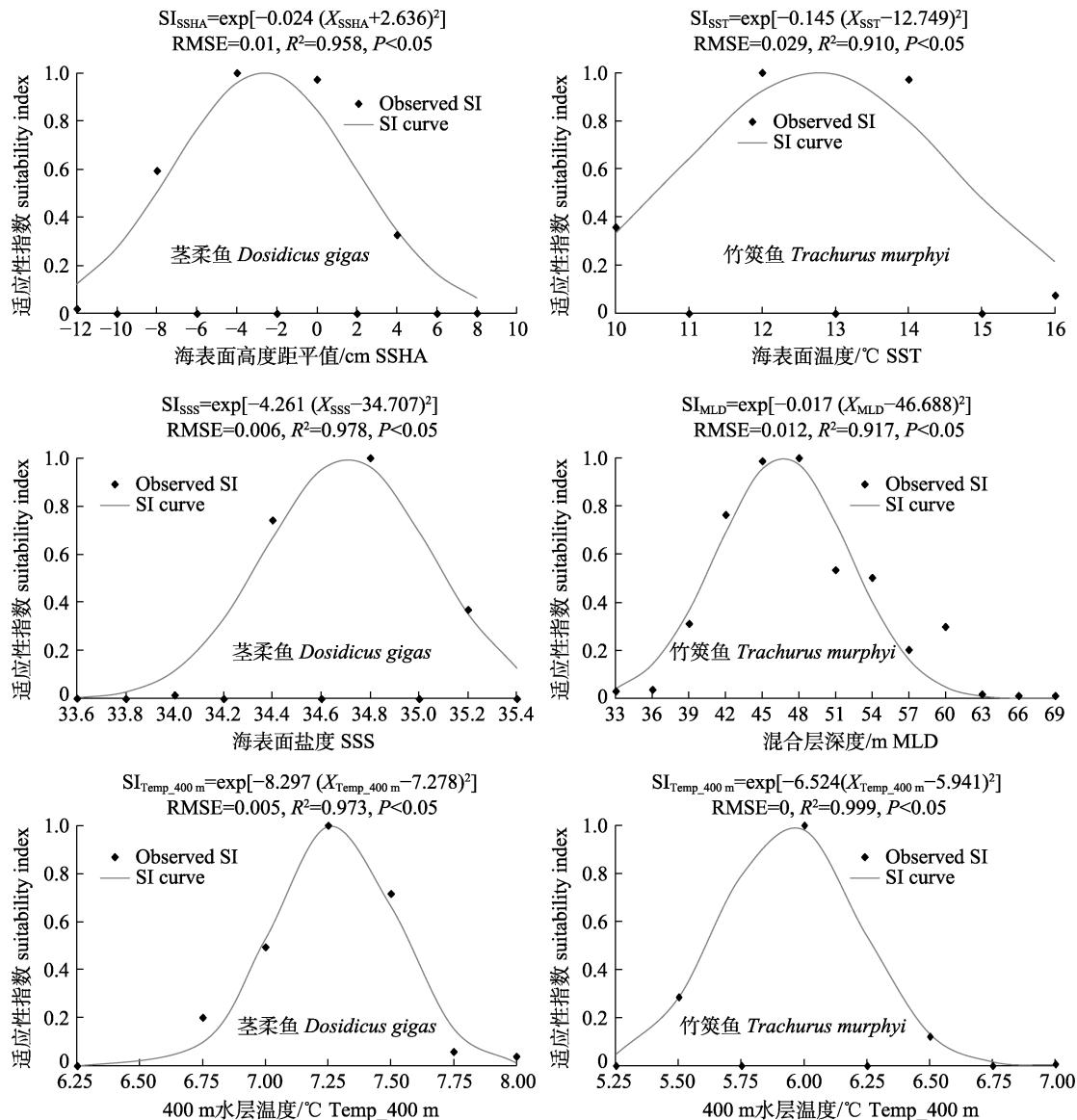


图 1 秋季各环境变量拟合的智利竹筍鱼与茎柔鱼适宜性指数(SI)曲线

Fig. 1 Suitability index (SI) curve of each environmental variables for *Trachurus murphyi* and *Dosidicus gigas* in autumn

SI 值变化趋势基本一致。

综合比较各 HSI 间隔内产量和捕捞努力量所占比例发现, 茎柔鱼最优权重模型为模型 8, 其环境因子 SSHA、SSS、Temp\_400 m 对应权重分别为 0.5, 0.25, 0.25, 此权重模型下产量和捕捞努力量在  $0 \leq HSI \leq 0.2$  区间所占比例分别为 0.9% 和 2.5%, 在  $0.2 \leq HSI \leq 0.6$  区间所占比例分别为 32.2% 和 35.8%, 在  $0.6 \leq HSI \leq 1.0$  区间所占比例分别为 75.5% 和 72.1%。智利竹筍鱼最优权重模型为模型 8, 其环境因子 SST、Temp\_400 m、MLD 权重分别为 0.5、0.25、0.25, 此权重模型下产量

和捕捞努力量在  $0 \leq HSI \leq 0.2$  区间所占比例分别为 3.9% 和 3.5%, 在  $0.2 \leq HSI \leq 0.6$  区间所占比例分别为 37.3% 和 35.9%, 在  $0.6 \leq HSI \leq 1.0$  区间所占比例分别为 76.8% 和 78.5%。将最优模型预测的 2017 年智利竹筍鱼和茎柔鱼 HSI 与两者实际捕捞努力量进行叠加的结果显示, 秋季两者捕捞努力量分布在  $HSI \geq 0.6$  间隔内的比例分别为 72.1% 和 99.3%, 即对茎柔鱼和竹筍鱼栖息地的预测精度分别为 72.1% 和 99.3%, 表明不同权重的综合 HSI 模型可以较好地评估和预测智利外海智利竹筍鱼与茎柔鱼栖息地变动情况(图 2)。

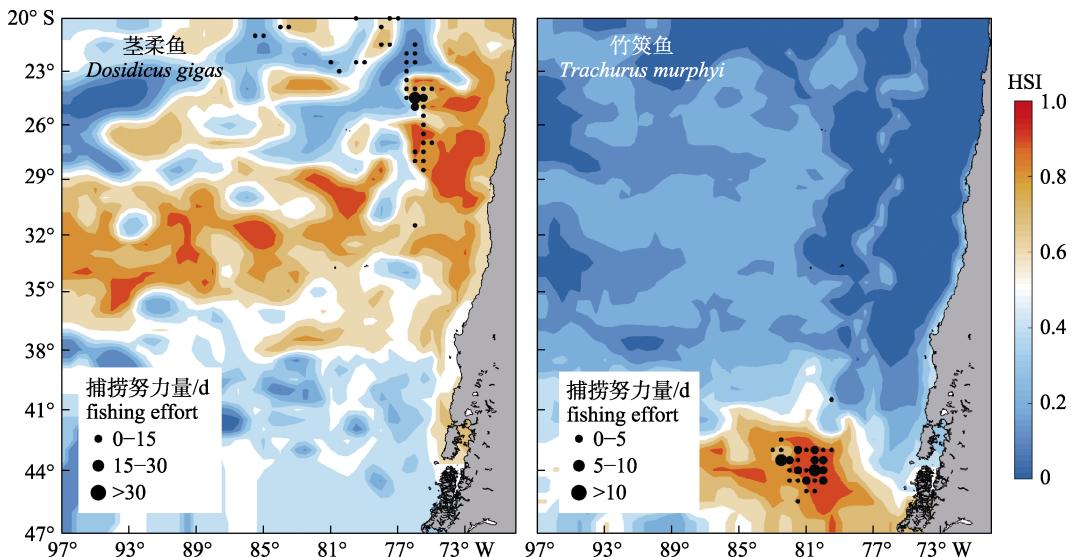


图2 2017年秋季智利竹筍鱼和茎柔鱼捕捞努力量与预测的栖息地适宜指数(HSI)叠加分布图

Fig. 2 The predicted habitat suitability index (HSI) overlain with fishing efforts of *Trachurus murphyi* and *Dosidicus gigas* in autumn 2017

## 2.2 不同ENSO事件下环境因子的变化分析

**2.2.1 各环境因子与Niño 3.4指数交相关分析** Niño 3.4指数与各环境变量的交相关分析表明(图3),SSHA、Temp\_400 m与Niño 3.4指数均呈显著正相关,前者在滞后2个月时相关性最大,相关系数数值为0.2329;后者在滞后1个月时相关性最大,相关系数数值为0.2198。SST和SSS与Niño指数呈较弱的正相关,前者在提前4个月时相关性最大,而后者在滞后6个月时相关性最大。MLD与Niño 3.4指数呈较弱的负相关,在提前4个月时相关性最大。

**2.2.2 不同ENSO事件下各环境变量时空分布** 如图4所示,在厄尔尼诺事件期间,SSHA在30°S以北以及智利沿岸附近海域均为正值,在30°~47°S,82°~97°W海域内为负值,空间上由东北向西南方向呈现递减趋势。在拉尼娜事件期间,SSHA在大范围海域内均为负值,仅在37°S~47°S,85°W~97°W范围内出现正值,空间上SSHA由东北向西南方向呈现递增趋势。SSS在拉尼娜和厄尔尼诺事件期间变化差异较小,空间上南部区域盐度低于北部区域。SST、Temp\_400 m变化趋势与SSS相似,不同气候事件下其变化差异较小,空间上智利北部区域高于南部区域,时间上厄尔尼诺期间略高于拉尼娜期间。在厄尔尼诺事件期

间,智利沿岸区域MLD整体在8~40 m范围内变化,而外海海域变化范围为38~68 m,整体高于沿岸附近;在外海海域中,智利北部、南部MLD高于中部区域,空间上呈由外部向内部递减的变化趋势。在拉尼娜事件期间,MLD在智利沿岸区域与外海的变化趋势与厄尔尼诺期间变化相似,但智利北部和南部海域的MLD显著高于厄尔尼诺期间,空间变化趋势与厄尔尼诺期间相似。

## 2.3 不同ENSO事件下HSI的变化分析

**2.3.1 HSI与Niño 3.4指数交相关分析** 1950—2017年智利竹筍鱼与茎柔鱼HSI与Niño 3.4指数相关性结果显示(图5),智利竹筍鱼HSI与Niño 3.4指数呈显著正相关性,而茎柔鱼HSI与Niño 3.4指数呈显著负相关,二者HSI与Niño 3.4指数相关性均在lag=0(年)时最大,相关系数分别为0.3158和-0.3304。

**2.3.2 不同ENSO事件下智利竹筍鱼与茎柔鱼HSI变化关系** ANOVA检验结果表明,不同ENSO事件下智利竹筍鱼与茎柔鱼HSI存在显著性差异( $P<0.05$ )。厄尔尼诺期间,智利竹筍鱼与茎柔鱼HSI整体变化呈相反趋势,智利竹筍鱼HSI呈先降低后增加再降低的变化趋势,而茎柔鱼HSI表现为先增加后降低再增加的变化趋势。在拉尼娜事件期间,1950—1999年之间二者HSI变化趋势相似,其后变化趋势相反(图6)。

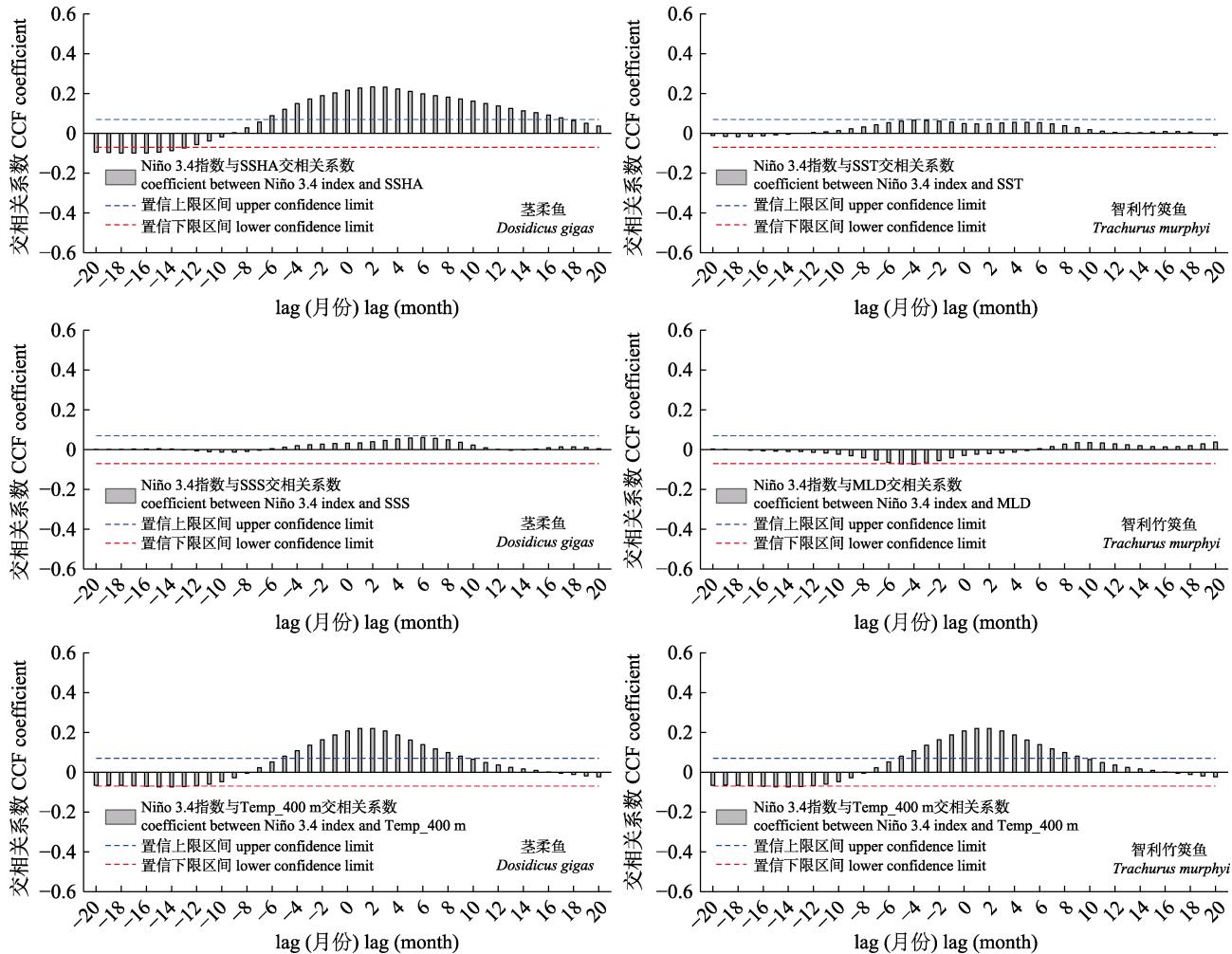


图 3 Niño 3.4 指数与各环境变量的交相关系数

Fig. 3 Cross correlation coefficients between Niño 3.4 index and environmental variables

**2.3.3 不同 ENSO 事件下智利竹筍鱼与茎柔鱼适宜 HSI 面积比例及时空分布变化** 不同 ENSO 事件下两者适宜栖息地面积比例结果表明(图 7), 茎柔鱼适宜栖息地面积在拉尼娜期间显著高于厄尔尼诺年份, 而智利竹筍鱼变化与茎柔鱼相反。在空间分布上, 厄尔尼诺期间, 茎柔鱼适宜栖息地主要分布在  $29^{\circ}\text{S} \sim 35^{\circ}\text{S}$ ,  $75^{\circ}\text{W} \sim 97^{\circ}\text{W}$  的长条形区域中, 面积较小且最适宜栖息地偏向西南方向; 智利竹筍鱼适宜栖息地主要分布在  $41^{\circ}\text{S} \sim 47^{\circ}\text{S}$ ,  $76^{\circ}\text{W} \sim 97^{\circ}\text{W}$  的海域内, 整体上面积较大, 其中最适宜面积集中分布于  $44^{\circ}\text{S} \sim 46^{\circ}\text{S}$ ,  $82^{\circ}\text{W} \sim 88^{\circ}\text{W}$  区域中, 有向西偏移的趋势。拉尼娜期间, 茎柔鱼适宜栖息地面积在经纬度方向上均有所增加, 纬度向北延伸到  $20^{\circ}\text{S}$  区域、向南延伸到  $40^{\circ}\text{S}$  以南的

海域, 经度变化虽较纬度不明显, 但其在智利沿岸附近适宜面积有所增加, 最适宜栖息地向东北方向偏移; 智利竹筍鱼适宜栖息地面积在西南方向上有明显的缩减现象, 最适宜栖息地面积大幅度减少且向东南方向迁移。

### 3 讨论

#### 3.1 HSI 模型结果及其评价

本研究利用 2011—2016 年秋季茎柔鱼和 2013—2016 年秋季竹筍鱼渔业数据结合不同权重环境因子构建栖息地模型, 依据两者产量及捕捞努力量在  $0 \leqslant \text{HSI} \leqslant 0.2$  间隔中所占比例最少和  $\text{HSI} \geqslant 0.6$  间隔中所占比例最大原则选取最优权重模型, 利用 2017 年数据验证最优模型的准确性和

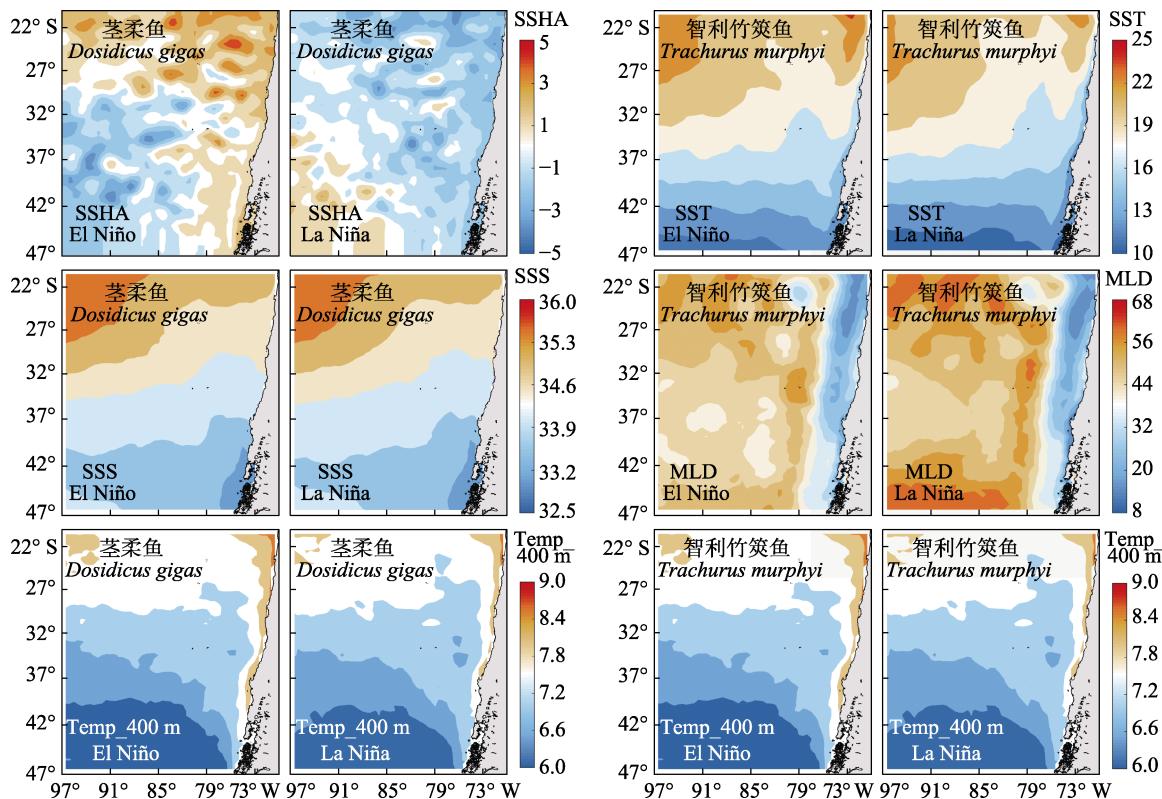


图4 不同ENSO事件下各环境变量时空分布

Fig. 4 Temporal and spatial distribution of environmental variables under different ENSO events

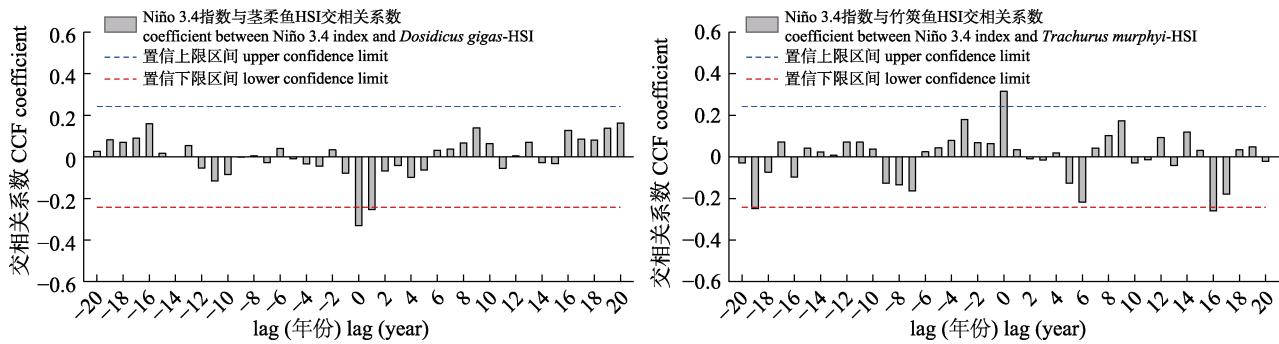


图5 Niño 3.4指数与智利竹筍鱼与茎柔鱼栖息地适宜指数(HSI)的交相关系数

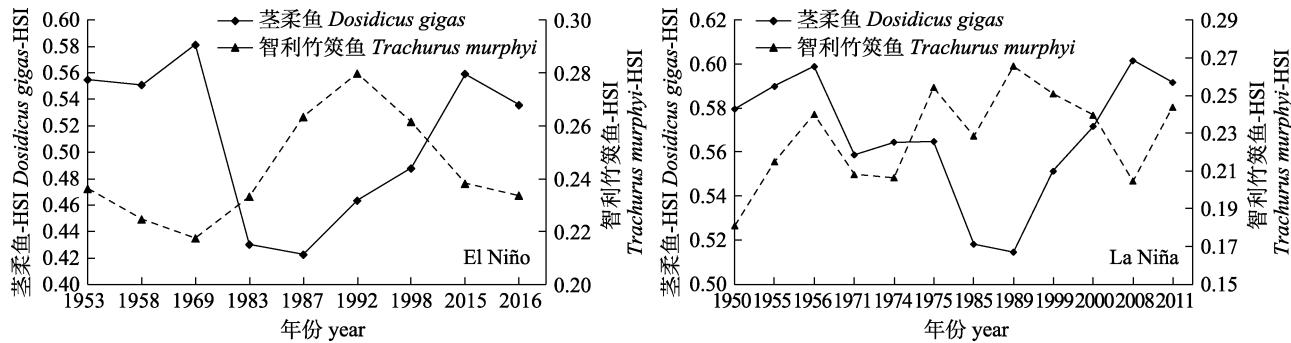
Fig. 5 Cross correlation coefficients between Niño 3.4 and habitat suitability index (HSI) of *Trachurus murphyi* and *Dosidicus gigas*

图6 不同ENSO事件下智利竹筍鱼与茎柔鱼平均栖息地适宜指数(HIS)值变化

Fig. 6 Variability in averaged habitat suitability index (HSI) in *Trachurus murphyi* and *Dosidicus gigas* under different climate events

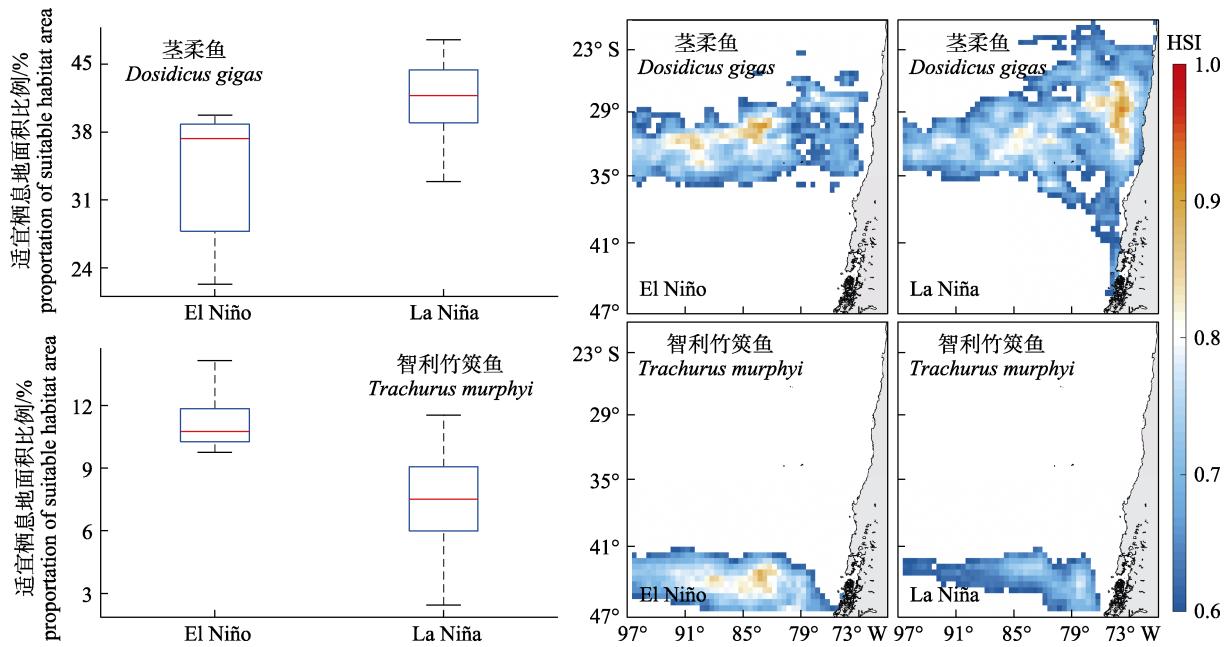


图 7 不同气候事件下智利竹筍鱼与茎柔鱼适宜栖息地面积比例及其时空分布变化

Fig. 7 The proportion of suitable habitat area and its spatiotemporal distribution of *Trachurus murphyi* and *Dosidicus gigas* under different climatic events

可行性，在此基础上探究 1950—2017 年长时间序列下两者栖息地在不同 ENSO 事件下变动差异，模型运行结果表明(图 2)，2017 年智利竹筍鱼与茎柔鱼实际捕捞努力量多数分布在  $HSI \geq 0.6$  的区域内，表明在赋予各环境变量以不同权重基础上建立的栖息地模型可以较好地预测头足类和鱼类的潜在分布。栖息地适宜性指数模型是在 20 世纪 80 年代由美国鱼类和野生动物保护委员会提出来的，用来定量描述野生动物栖息地质量的模型<sup>[18]</sup>，现已广泛应用于头足类和鱼类生境质量与海洋环境及气候之间的关联研究中。例如，基于加权 AMM 的 HSI 模型能够较好地预测东海日本鮰的栖息地适宜性及与 ENSO 事件的关联，不同强度的厄尔尼诺和拉尼娜事件可能对东海日本鮰的栖息地适宜性及其种群变动有较大的影响<sup>[14]</sup>。基于算数平均法的栖息地模型同样可以探究秘鲁海域茎柔鱼栖息地与海洋环境因子间的关联性，受海洋环境因子影响，茎柔鱼栖息地存在季节性变动差异，且各季度中影响茎柔鱼分布的最关键环境因子不同<sup>[19]</sup>。在以往构建 HSI 模型的方法如几何平均模型 (geometric mean model, GMM)<sup>[8]</sup>、连乘法 (continued product model, CPM) 及最小/最大法 (minimum/

maximum model, MINM/MAXM)<sup>[20-21]</sup> 和算数平均法 (arithmetic mean model, AMM)<sup>[19]</sup> 等中，几何平均法、连乘法和最小法所构建的栖息地模型会低估物种潜在分布，最大法构建的模型会高估物种栖息地分布，而算数平均法则使得各环境变量对物种的影响程度均衡化，增大模型预测误差。与上述栖息地模型相比，基于不同权重的加权法构建的栖息地模型有效考量了各环境变量对物种潜在分布的影响程度，赋予各环境因子不同权重，选取  $0 \leq HSI \leq 0.2$  间隔内产量、捕捞努力量所占比例最小和  $0.6 \leq HSI \leq 1.0$  间隔内产量、捕捞努力量所占比例最大的模型为最优权重模型，从而获取对物种分布影响最大的最关键环境因子，降低模型误差，提高预报精度。此外，捕捞努力量作为分析海洋物种渔获量指标，已广泛应用于 HSI 模型的构建<sup>[15,22]</sup>。CPUE 是累计渔获量和捕捞量的比率，通常表征的是渔获量在渔场中的随机分布，目前虽有研究利用 CPUE 作为构建 HSI 模型的指标<sup>[23-24]</sup>，但在实际的围网渔业生产过程中，若某一渔区的渔获率保持在较高水平时，渔民往往集中在这一渔区作业，若渔区渔获率降低幅度增大时，渔民则会迁移至另一个渔区作业，表明捕捞

努力量不是隨機分布的，其與環境因子的擬合關係表明其受環境影響較為顯著(圖1)。因此，在本研究中選用捕撈努力量構建SI模型而非CPUE。

### 3.2 不同ENSO事件下環境因子變化差異分析

不同ENSO事件下各環境因子時空分布結果表明(圖4)，厄爾尼諾期間的海溫和海表面高度均高於拉尼娜期間，這與以往研究結果較為一致。厄爾尼諾和拉尼娜事件是具有相反相位的兩個氣候事件，是指赤道中部和東部太平洋地表水的異常增溫和降溫，影響著大尺度區域範圍的大氣環流和局部區域的氣候變化<sup>[25]</sup>。Tian等<sup>[26]</sup>利用棲息地指數模型探究了西北太平洋柔魚潛在棲息地分布，研究發現SSHA偏低時有利於柔魚形成適宜的棲息地；溫健等<sup>[27]</sup>基於SST和SSHA構建棲息地指數模型以分析不同強度ENSO事件對秘魯海域莖柔魚棲息地適宜性的變動規律，研究發現厄爾尼諾期間，莖柔魚漁場水溫偏高，海表面高度偏高；拉尼娜事件期間變化相反。本研究各環境變量時空變化結果同時表明(圖4)，厄爾尼諾期間，智利竹筍魚適宜棲息地MLD偏低，拉尼娜期間偏高。MLD對大氣與海洋之間的動量、熱量交換起著重要的作用，如Chang等<sup>[28]</sup>在評估劍魚(*Xiphias gladius*)棲息地適宜性的過程中發現，該物種適宜生境的空間變化與MLD的變化有較大關聯。較淺的混合層可以通過物理、生物學過程獲得更強的光照度以及更高的浮游生物數量<sup>[29]</sup>，為海洋物種創造更好的生存的條件，如Yu等<sup>[30]</sup>通過構建棲息地模型以分析西北太平洋柔魚棲息地的時空分布及其生境熱點，認為柔魚傾向於出現在MLD相對較淺的海域，這與本研究對比不同事件下MLD及竹筍魚適宜生境變化結果較為一致。此外，混合層深度變化還可能會通過影響浮游植物光合作用強度，從而影響水中溶解氧濃度，間接影響物種時空分布。竹筍魚棲息地分布受溶解氧的限制，主要分布於溶解氧濃度較高的智利中南部海域<sup>[28]</sup>。本研究認為在厄爾尼諾事件期間，混合層相對較淺時海水中浮游植物的光合作用加強，溶解氧濃度增加，有利於智利竹筍魚潛在分布。

### 3.3 不同ENSO事件下智利竹筍魚與莖柔魚棲息地變動差異

智利竹筍魚與莖柔魚HSI與Niño3.4指數相

關性及兩者適宜面積於不同事件下的變化結果表明(圖5和圖7)，厄爾尼諾事件對智利竹筍魚產生較為有利的影響，其適宜面積增加，最適棲息地向西移動；該事件對莖柔魚卻產生不利的影響，使莖柔魚適宜面積減少，最適棲息地向西南方向移動；拉尼娜期間兩者適宜面積變化與厄爾尼諾期間相反，智利竹筍魚最適棲息地向東南方向偏移，而莖柔魚向東北方向遷移，這與以往研究結果較為一致。Robinson等<sup>[31]</sup>認為拉尼娜事件加強了東太平洋海域上升流的強度，提高了海域生產力水平及葉綠素a濃度，使得莖柔魚適宜面積增加，資源丰度增加。Dioses等<sup>[32]</sup>研究發現在厄爾尼諾期間竹筍魚分布區域會擴大，在強厄爾尼諾事件下竹筍魚分布會進一步擴張。

根據不同ENSO事件下兩者適宜生境變化結果推測(圖7)，在厄爾尼諾期間同海域的智利竹筍魚與莖柔魚相比，智利竹筍魚可能為優勢種，而在拉尼娜期間莖柔魚可能為優勢種，這可能是由於短期劇烈的氣候變化引起海流及海域內其他物種種群豐度變化造成的。上升流是莖柔魚漁場形成的最根本原因，而智利竹筍魚漁場則是由西風漂流和秘魯寒流共同作用形成的<sup>[19,33]</sup>。厄爾尼諾期間，海溫升高，上升流被削弱，生產力下降，導致莖柔魚適宜面積減少，種群豐度銳減<sup>[34]</sup>；隨著赤道東部暖水的南移，其與北上的智利南部較冷的秘魯寒流及西風漂流冷水相遇形成較弱的冷暖水交匯，將大量硝酸鹽、磷酸鹽等營養物質帶到海洋中上層，促進浮游生物大量繁殖，為竹筍魚提供了豐富的餌料<sup>[35-36]</sup>。同時，受劇烈氣候變化的影响，海洋物種的種間關係也會發生變動。張敏等<sup>[37]</sup>認為厄爾尼諾現象對智利海域中的鰻、頭足類會產生負面影響，使其種群數量減少，而對智利竹筍魚無負面影響，由於智利竹筍魚競爭物種及其天敵數量的大量減少，其生存空間和攝食物相對充足，促使其資源量出現了增加的現象。此外，厄爾尼諾或拉尼娜氣候事件的循環發生，改變了東南太平洋海域眾多經濟魚類產卵場和攝食場的環境條件，促使海域內物種種群豐度和空間分布發生變化<sup>[38]</sup>，如Arcos等<sup>[39]</sup>認為厄爾尼諾期間，15℃等溫線南移，智利竹筍魚幼魚大量南

移到智利中南部海域并滞留到其性成熟阶段,使得中南部智利竹筍鱼的生物量增加。

### 3.4 研究展望

本研究利用不同权重栖息地模型探究 1950—2017 年智利竹筍鱼与茎柔鱼在不同 ENSO 事件下栖息地变动差异,认为厄尔尼诺事件对智利竹筍鱼较为有利,而对茎柔鱼较为不利;而在拉尼娜期间的变化则与厄尔尼诺年份相反。本研究结果存在一定的局限性:物种同步性变化很大程度上归因于大规模的气候变化,不同强度的 ENSO 事件可能对海洋生物的潜在分布影响不同,如中太平洋厄尔尼诺事件导致柔鱼适宜生境面积减少,而东太平洋弱厄尔尼诺事件在秋冬季时可能会改善柔鱼的生存环境<sup>[40]</sup>。受中强度或高强度厄尔尼诺事件的影响,智利竹筍鱼的幼鱼大量向智利南部迁移,成鱼则向西南方向移动,此变化现象在弱厄尔尼诺事件几乎没有变化<sup>[39]</sup>。因此,在以后的研究中可贴合智利竹筍鱼不同生长阶段对不同强度 ENSO 事件的响应机制,研究其与茎柔鱼栖息地的变动差异。此外, Yu 等<sup>[41]</sup>对比不同太平洋年代际涛动(PDO)时期西北太平洋柔鱼和东南太平洋茎柔鱼栖息地同步变动差异,发现两者栖息地适宜面积存在此消彼长的变化现象,而此气候模态下茎柔鱼和智利竹筍鱼栖息地变动差异如何尚不清楚。因此,在以后的研究中可将 PDO 指数与环境因子及渔业数据结合构建栖息地模型以探究两者栖息地的变动差异,为茎柔鱼和智利竹筍鱼资源利用与管理提供科学依据。

### 参考文献:

- [1] Yatsu A, Kawabata A. Reconsidering Trans-Pacific “synchrone” in population fluctuations of sardines[J]. Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography, 2017, 81(4): 271-283.
- [2] Cahuin S M, Cubillos L A, Escribano R. Synchronous patterns of fluctuations in two stocks of anchovy *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 in the Humboldt Current System[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2015, 31(1): 45-50.
- [3] Barange M, Coetzee J, Takasuka A, et al. Habitat expansion and contraction in anchovy and sardine populations[J]. Progress in Oceanography, 2009, 83(1-4): 251-260.
- [4] Chavez F P, Ryan J, Lluch-Cota S E, et al. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean[J]. Science, 2003, 299(5604): 217-221.
- [5] Oozeki Y, Niquen Carranza M, Takasuka A, et al. Synchronous multi-species alternations between the northern Humboldt and Kuroshio Current systems[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2019, 159: 11-21.
- [6] 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.
- [7] Gerlotto F, Díoses T. Bibliographical synopsis on the main traits of life of *Trachurus murphyi* in the South Pacific Ocean[C]//Proceedings of the First Meeting of the Scientific Committee of SPRFMO, California, 2013.
- [8] Li G, Cao J, Zou X R, et al. Modeling habitat suitability index for Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the South East Pacific[J]. Fisheries Research, 2016, 178: 47-60.
- [9] Li Y K, Gong Y, Zhang Y Y, et al. Inter-annual variability in trophic patterns of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) off the exclusive economic zone of Peru, implications from stable isotope values in gladius[J]. Fisheries Research, 2017, 187: 22-30.
- [10] Yang X S, Zou X R, Xu X X, et al. Effects of ENSO on abundance index and spatial-temporal change of Chilean jack mackerel in the Southeast Pacific Ocean[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(2): 290-297. [杨香帅, 邹晓荣, 徐香香, 等. ENSO 现象对东南太平洋智利竹筍鱼资源丰度及其渔场变动的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(2): 290-297.]
- [11] Feng Z P, Yu W, Chen X J, et al. Distribution of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) habitats off Chile based on maximum entropy model[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(4): 431-441. [冯志萍, 余为, 陈新军, 等. 基于最大熵模型的智利外海竹筍鱼栖息地研究[J]. 中国水产科学, 2021, 28(4): 431-441.]
- [12] Yen K W, Lu H J, Chang Y, et al. Using remote-sensing data to detect habitat suitability for yellowfin tuna in the Western and Central Pacific Ocean[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(23): 7507-7522.
- [13] 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. [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.]
- [14] 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.

- [15] 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.
- [16] Xue Y, Guan L S, Tanaka K, et al. Evaluating effects of rescaling and weighting data on habitat suitability modeling[J]. Fisheries Research, 2017, 188: 84-94.
- [17] Fang X Y, Chen X J, Ding Q. Optimization fishing ground prediction models of *Dosidicus gigas* in the high sea off Chile based on habitat suitability index[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2014, 34(4): 67-73. [方学燕, 陈新军, 丁琪. 基于栖息地指数的智利外海茎柔鱼渔场预报模型优化[J]. 广东海洋大学学报, 2014, 34(4): 67-73.]
- [18] Yi Y J, Sun J, Zhang S H, et al. Assessment of Chinese sturgeon habitat suitability in the Yangtze River (China): Comparison of generalized additive model, data-driven fuzzy logic model, and preference curve model[J]. Journal of Hydrology, 2016, 536: 447-456.
- [19] Yu W, Chen X J, Zhang Y. Seasonal habitat patterns of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* off Peruvian waters[J]. Journal of Marine Systems, 2019, 194: 41-51.
- [20] Van der Lee G E M, Van der Molen D T, Van den Boogaard H F P, et al. Uncertainty analysis of a spatial habitat suitability model and implications for ecological management of water bodies[J]. Landscape Ecology, 2006, 21(7): 1019-1032.
- [21] Chang Y J, Sun C L, Chen Y, et al. Habitat suitability analysis and identification of potential fishing grounds for swordfish, *Xiphias gladius*, in the South Atlantic Ocean[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(23): 7523-7541.
- [22] 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.]
- [23] Liu Y, Hua C X. Forecasting Pacific saury (*Cololabis saira*) fisheries based on GAM and weighted analysis in the northwest Pacific[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(7): 888-895. [刘瑜, 花传祥. 基于GAM和权重分析的西北太平洋秋刀鱼渔情预报研究[J]. 中国水产科学, 2021, 28(7): 888-895.]
- [24] Bordalo-Machado P. Fishing effort analysis and its potential to evaluate stock size[J]. Reviews in Fisheries Science, 2006, 14(4): 369-393.
- [25] Wang C Z, Deser C, Yu J Y, et al. El Niño and Southern Oscillation (ENSO): A review[M]//Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific. Dordrecht: Springer, 2017, 8: 85-106.
- [26] Tian S Q, Chen X J, Chen Y, et al. Evaluating habitat suitability indices derived from CPUE and fishing effort data for *Ommastrephes bartramii* in the northwestern Pacific Ocean[J]. Fisheries Research, 2009, 95(2-3): 181-188.
- [27] Wen J, Qian M T, Yu W, et al. Habitat variations of the jumbo flying squid *Dosidicus gigas* off Peru under El Niño and La Niña events with different intensities[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(9): 1095-1103. [温健, 钱梦婷, 余为, 等. 多类型厄尔尼诺和拉尼娜事件下秘鲁外海茎柔鱼栖息地的变动[J]. 中国水产科学, 2020, 27(9): 1095-1103.]
- [28] Chang Y J, Sun C L, Chen Y, et al. Modelling the impacts of environmental variation on the habitat suitability of swordfish, *Xiphias gladius*, in the equatorial Atlantic Ocean[J]. ICES Journal of Marine Science, 2013, 70(5): 1000-1012.
- [29] Nishikawa H, Igarashi H, Ishikawa Y, et al. Impact of para-larvae and juveniles feeding environment on the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) winter-spring cohort stock[J]. Fisheries Oceanography, 2014, 23(4): 289-303.
- [30] Yu W, Chen X J, Yi Q, et al. Spatio-temporal distributions and habitat hotspots of the winter-spring cohort of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in relation to oceanographic conditions in the Northwest Pacific Ocean[J]. Fisheries Research, 2016, 175: 103-115.
- [31] Robinson C J, Gómez-Gutiérrez J, Markaida U, et al. Prolonged decline of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) landings in the Gulf of California is associated with chronically low wind stress and decreased chlorophyll a after El Niño 2009–2010[J]. Fisheries Research, 2016, 173: 128-138.
- [32] Dioses T M, Ñiquen. Aspectos generales sobre la biología y pesquería del recurso jurel (*Trachurus murphyi*) en Perú[C]// Forum: Características en el diseño de una embarcación ideal para la captura de especies pelágicas. En: Pesca Perú, 1988: 14-15.
- [33] Yang J L, Huang H L, Liu J, et al. Characteristics of Chilean jack mackerel fishing ground distribution and sea surface temperature and chlorophyll-a[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2017, 19(10): 113-120. [杨嘉樸, 黄洪亮, 刘健, 等. 智利竹筍鱼渔场海表温度及叶绿素浓度分布特征[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(10): 113-120.]
- [34] Waluda C M, Rodhouse P G. Remotely sensed mesoscale oceanography of the Central Eastern Pacific and recruitment variability in *Dosidicus gigas*[J]. Marine Ecology Progress Series, 2006, 310: 25-32.

- [35] Lin L R, Hu J Y. Seasonal and interannual variations of sea surface geostrophic current in the Southeast Pacific[J]. Marine Sciences, 2006, 30(6): 51-58. [林丽茹, 胡建宇. 太平洋东南海域表层地转流场的季节及年际变化特征[J]. 海洋科学, 2006, 30(6): 51-58.]
- [36] Xu Y C, Ying Y P, Li X S, et al. Review of the resource of Chilean jack mackerel fishery[J]. Open Journal of Fisheries Research, 2014, 1(3): 65-72. [徐玉成, 应一平, 李显森, 等. 智利竹荚鱼资源开发现状[J]. 水产研究, 2014, 1(3): 65-72.]
- [37] Zhang M, Xu L X. Analysis and discussion on the exploitation and utilization of the resources of *Trachurus murphyi* in the Southeast Pacific Ocean[J]. Marine Fisheries, 2000, 22(3): 137-140. [张敏, 许柳雄. 开发利用东南太平洋竹荚鱼资源的分析探讨[J]. 海洋渔业, 2000, 22(3): 137-140.]
- [38] Igarashi H, Ichii T, Sakai M, et al. Possible link between interannual variation of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) abundance in the North Pacific and the climate phase shift in 1998/1999[J]. Progress in Oceanography, 2017, 150: 20-34.
- [39] Arcos D F, Cubillos L A, Núñez S P. The jack mackerel fishery and El Niño 1997-98 effects off Chile[J]. Progress in Oceanography, 2001, 49(1-4): 597-617.
- [40] Alabia I D, Saitoh S I, Hirawake T, et al. Elucidating the potential squid habitat responses in the central North Pacific to the recent ENSO flavors[J]. Hydrobiologia, 2016, 772(1): 215-227.
- [41] Yu W, Wen J, Chen X J, et al. Trans-Pacific multidecadal changes of habitat patterns of two squid species[J]. Fisheries Research, 2021, 233: 105762.

## Differences in habitat pattern response to various ENSO events in *Trachurus murphyi* and *Dosidicus gigas* located outside the exclusive economic zones of Chile

FENG Zhiping<sup>1</sup>, ZHANG Yanjing<sup>1</sup>, YU Wei<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>, CHEN Xinjun<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:** Exploring the synchronization of species habitat changes within an area is beneficial to the effective utilization and management of multiple associated species resources. In this study, we used fisheries and environmental (including sea surface height anomaly (SSHA), sea surface salinity (SSS), and 400 m water layer temperature (Temp\_400 m) data on *Dosidicus gigas* in the autumns of 2011–2016, and fisheries and environmental (including sea surface temperature (SST), mixed layer depth (MLD), and 400 m water layer temperature (Temp\_400 m) data on *Trachurus murphyi* in the autumns of 2013–2016 to construct habitat models with different weights. The optimal habitat models were selected and validated by data from 2017. Based on the highest performing model, the habitat suitability indices of *Trachurus murphyi* and *Dosidicus gigas* were predicted from 1950 to 2017, with differences in habitat changes between the species further examined under different ENSO events. The results showed that the optimal model of *Trachurus murphyi* and *Dosidicus gigas* could accurately predict their potential distribution. During the El Niño years, the sea surface temperature was higher, the sea surface height decreased from northeast to southwest, the mixed layer depth was shallow, and the sea surface salinity concentration in the north of Chile were higher than those in the South; the species distribution results showed that suitable habitats for *Trachurus murphyi* significantly increased and the gravity center of the optimal HSI moved westward, while suitable habitats for *Dosidicus gigas* decreased and the gravity center of the optimal HSI moved southeast. During the La Niña years, sea surface temperature was lower, the sea surface height increased from northeast to southwest, the mixing layer depth was increased, and the sea surface salinity was similar to that during El Niño years, though the difference was not significant; under tHSI climate conditions, suitable habitats for *Dosidicus gigas* increased significantly in a latitudinal direction and the gravity center of HSI moved northeastward, while the suitable habitats for *Trachurus murphyi* decreased significantly in a southwesterly direction and the optimal HSI weight was heavy, indicating a core habitat shifts to the southeast. Our findings suggest that variations in the suitable habitats of *Trachurus murphyi* and *Dosidicus gigas* under different ENSO events may be related to current distributions in the Southeast Pacific Ocean and prey biomass prey.

**Key words:** *Trachurus murphyi*; *Dosidicus gigas*; El Niño; La Niña; habitat suitability index; off Chile;

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