

DOI: 10.12264/JFSC2023-0238

## 基于垂直水温因子的秘鲁外海茎柔鱼春、夏季栖息地分布

余为<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>, 金鹏超<sup>1</sup>, 朱桂忠<sup>6</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;
6. 上海市崇明区农业质量安全中心, 上海 202150

**摘要:**为了研究温度变动对茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)资源丰度和栖息地的分布的影响,利用2006—2015年秘鲁外海春夏季节(9月至翌年2月)茎柔鱼渔业捕捞数据结合中上层垂直水温数据(0 m, 50 m, 100 m 和 150 m)建立栖息地适宜性(habitat suitability index, HSI)模型,分析秘鲁外海茎柔鱼渔场以及栖息地的时空分布。通过计算适宜栖息地内的茎柔鱼资源量占比,并用2014—2015年的数据进行验证。结果发现,基于垂直水温因子和算术平均法的栖息地模型可以较好模拟出茎柔鱼栖息地适宜性指数。空间相关分析结果显示,秘鲁外海水域各水层水温与栖息地适宜性呈现负相关关系。茎柔鱼的CPUE和适宜栖息地面积的变化相对平稳,没有明显的年间和月间差异,两者之间呈现显著的正相关关系。茎柔鱼的渔场重心和栖息地重心存在显著的年间和月间变化,均呈现向东南方向移动的趋势,同时春季适宜栖息地面积与夏季相比明显减少。茎柔鱼渔场的经纬度重心的月间和年际变化与栖息地经纬度重心的移动具有一致性,两者之间呈现明显的正相关。研究表明,茎柔鱼的资源丰度与适宜栖息地密切相关,其适宜栖息地存在明显的年间和月间变化,这可能是造成秘鲁外海茎柔鱼时空分布变动的重要原因。

**关键词:** 茎柔鱼; 垂直水温; 栖息地分布; 经纬度重心; 秘鲁外海

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2023)10-1246-13

茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)是分布于东太平洋海域的大洋性经济头足类,分布范围覆盖125°W以东加利福尼亚半岛北部40°N至智利南部47°S的海域<sup>[1-2]</sup>。最新研究表明,茎柔鱼栖息地从加利福尼亚海域一直向北,大规模地扩张到阿拉斯加水域<sup>[3]</sup>。茎柔鱼渔业开发始于1974年,从20世纪90年代开始世界各国大规模利用茎柔鱼资源<sup>[4-5]</sup>。中国2001年开始开发秘鲁外海的茎柔鱼资源<sup>[6]</sup>,随后又相继开辟了智利和赤道等茎柔鱼渔场。目前,赤道、秘鲁和智利渔场是中国在东太平洋捕

捞茎柔鱼的主要作业海域。随着捕捞量的不断提升,至2018年,我国茎柔鱼的捕捞量达到了34.6万t,占世界总产量的39%<sup>[7]</sup>,茎柔鱼渔业已经成为我国远洋渔业的重要组成部分。

茎柔鱼作为短生命周期的头足类,具有十分明显的昼夜垂直洄游的生物学特征,白天生活在800~1000 m的深水层中,夜晚在0~200 m的近表层水域活动,茎柔鱼在垂直方向上具有高速游动的能力,水温的变化是影响其垂直分布的主要环境因素,并且茎柔鱼的资源量对局部海域水温的

收稿日期: 2023-09-18; 修订日期: 2023-10-11.

基金项目: 上海市自然科学基金项目(23ZR1427100); 上海市人才发展资金项目(2021078); 国家自然科学基金青年基金项目(41906073).

作者简介: 余为(1989-), 副研究员, 研究方向为渔业海洋学. E-mail: wwyu@shou.edu.cn

通信作者: 朱桂忠, 工程师, 研究方向为渔业海洋学. E-mail: 1119853097@qq.com

变化十分敏感<sup>[8-9]</sup>。秘鲁海域拥有着世界上著名的上升流, 上升流加强了海域内底层冷水和表层暖水的交换<sup>[10]</sup>, 使海域内的水温的变化变得十分复杂。因此, 海域内的水温变化对秘鲁外海茎柔鱼渔场的形成, 具有十分重要的作用。

栖息地适宜性指数(habitat suitability index, HSI)模型最早由美国国家地理调查局国家湿地研究中心鱼类与野生生物署于 20 世纪 80 年代初提出, 逐渐用于评估鱼类以及头足类等生物的栖息地质量<sup>[11-13]</sup>, 并可以根据不同权重的模型确定生物对于环境因子的偏好<sup>[14]</sup>。陈新军等<sup>[11]</sup>利用 HSI 模型分析了印度洋大眼金枪鱼的适宜栖息地分布; 冯志萍等<sup>[14]</sup>根据表层环境因子建立了基于不同权重的栖息地模型分析茎柔鱼栖息地的变动。但在以往水温对茎柔鱼栖息地分布的研究中, 过多依赖表层的水温数据, 将表层水温作为最为主要的水温因子<sup>[15-16]</sup>, 并未充分考虑到其他水层温度对茎柔鱼栖息地的影响。本研究根据中国鱿钓船在秘鲁外海茎柔鱼渔场作业的捕捞数据以及水温数据, 构建了基于垂直水温的茎柔鱼栖息地模型, 分析秘鲁外海中上层水温对茎柔鱼潜在栖息地时空变化的影响, 为中国远洋鱿钓在秘鲁外海茎柔鱼的捕捞作业和资源养护提供科学支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 渔业数据

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。数据时间范围为 2006—2015 年 9 月至翌年 2 月, 空间范围为 75°W~95°W, 8°S~20°S 秘鲁海区专属经济区外的外海海域。数据内容包括捕捞时间(年、月、日)、捕捞位置(经度和纬度)、捕捞次数以及日捕捞量(单位: t)。茎柔鱼生产捕捞数据的空间分辨率为 0.5°×0.5°, 时间分辨率以月为单位。

### 1.2 环境数据

茎柔鱼夜晚主要在 0~200 m 水层, 白天在 800~1000 m 的深水层活动。以往研究表明, 对茎柔鱼时空分布影响贡献率较高的水温因子主要为 0 m、50 m、100 m 和 150 m<sup>[17-20]</sup>。因此主要选择以上 4 个水层温度作为环境变量。数据来自于夏

威夷大学亚太数据研究中心([http://apdrc.soest.hawaii.edu/las\\_ofes/v6/dataset?catitem=71](http://apdrc.soest.hawaii.edu/las_ofes/v6/dataset?catitem=71))。环境数据的空间分辨率为 0.5°×0.5°, 时间分辨率为月, 时间跨度是 2006—2015 年, 9 月—翌年 2 月, 空间范围为 75°W~95°W, 8°S~20°S, 与渔业数据时空分辨率保持一致。

### 1.3 分析方法

**1.3.1 计算单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)** 在渔业研究中, 表征鱼类资源量大小常用 CPUE 来表示。本研究定义经纬度范围 0.5°×0.5° 为 1 个作业渔区, 以月为单位计算每个渔区内的 CPUE, 单位为 t/d。计算公式如下<sup>[21]</sup>:

$$CPUE_i = \frac{\sum \text{Catch}_i}{\sum \text{Effort}_i}$$

式中,  $\sum \text{Catch}_i$  为一个渔区内累计渔获量, 单位为 t;  $\sum \text{Effort}_i$  为一个渔区内累计捕捞努力量, 单位为 d;  $i$  为渔区。

**1.3.2 渔场经纬度重心的计算** 利用重心分析法, 分别计算出秘鲁外海茎柔鱼渔场各年春、夏季和各月的经纬度重心, 用以表征渔场重心位置的变化情况<sup>[21]</sup>。计算公式如下:

$$\text{LONG}_m = \frac{\sum (\text{LONG}_i \times \text{CPUE}_i)}{\sum \text{CPUE}_i}$$

$$\text{LATG}_m = \frac{\sum (\text{LATG}_i \times \text{CPUE}_i)}{\sum \text{CPUE}_i}$$

其中,  $\text{LONG}_m$  和  $\text{LATG}_m$  分别为渔场经度重心和纬度重心;  $\text{LONG}_i$  为渔区  $i$  的经度值,  $\text{LATG}_i$  为渔区  $i$  的纬度值;  $\text{CPUE}_i$  代表渔区  $i$  单位捕捞努力量渔获量;  $m$  代表春、夏季节或月份;  $i$  为渔区。

### 1.3.3 栖息地适宜性指数模型的构建及验证

(1) 本研究选择捕捞努力量作为计算适宜性指数(suitability index, SI)的指标, 将茎柔鱼渔业数据与各水层温度数据进行匹配。首先拟合各个水温因子的 SI 曲线, 观测得到的 SI 值计算公式如下<sup>[22]</sup>:

$$SI = \frac{\text{Effort}}{\text{MAX}(\text{Effort})}$$

式中, Effort 表示在给定区间内的捕捞努力量之和; MAX(Effort) 表示各个区间内的最大总捕捞努力量。不同水层的温度按照一定温度间隔划分为一系列区间, 其中 0 m 水温的间隔设置为 0.5 °C,

50 m 水温的间隔设置为 0.8 °C, 100 m、150 m 水温的间隔均设置为 0.7 °C。

观测到的 SI 值和每个变量的区间值被视为每个季节 SI 曲线拟合的输入值。利用 SPSS 以最小二乘法拟合 SI 模型, 其拟合公式为<sup>[13]</sup>:

$$SI_X = \exp[a \times (X - b)^2]$$

其中,  $a$  和  $b$  是待估计的模型参数, 由最小二乘估计求解, 以最小化 SI 的观察值与预测值之间的残差。 $SI_X$  是不同深度水温因子的 SI 值, 环境变量的 SI 值范围为 0~1,  $X$  是水温因子的区间值。

(2)在已建立好的单因子 SI 模型基础上, 利用算术平均法(arithmetic mean model, AMM)计算出茎柔鱼的综合栖息地适宜性指数 (habitat suitability index, HSI)。计算公式如下:

$$HSI = \frac{1}{4}(SI_{Temp\_0m} + SI_{Temp\_50m} + SI_{Temp\_100m} + SI_{Temp\_150m})$$

式中,  $SI_{Temp\_0m}$ 、 $SI_{Temp\_50m}$ 、 $SI_{Temp\_100m}$  和  $SI_{Temp\_150m}$  分别表示 0 m、50 m、100 m 和 150 m 水层温度的适宜性指数。

(3)本研究以 2006—2013 年的数据建立 HSI 模型, 利用 2014—2015 年的数据对模型进行验证。本研究利用 MATLAB 软件对 2006—2013 年和 2014—2015 年的春夏季秘鲁外海茎柔鱼栖息地分布图分别进行绘制。综合栖息地适宜性指数的数值范围为 0~1, 根据数值的大小可以将适宜性划分为 5 个等级, 即 0.0~0.2、0.2~0.4、0.4~0.6、0.6~0.8、0.8~1.0, 认定  $HSI \geq 0.6$  的区域为茎柔鱼适宜栖息地<sup>[23]</sup>。

通过检验不同 HSI 间隔内(0.0~0.2、0.2~0.4、0.4~0.6、0.6~0.8、0.8~1.0)的渔获量和捕捞努力的百分比以及 CPUE 平均值的来验证 HSI 模型的精度。一般来说, 随着 HSI 值的增加, 渔获量/捕捞努力占总渔获量/捕捞努力的百分比及 CPUE 的平均值会随之增大<sup>[24]</sup>。基于此 HSI 理论, 根据渔获量、捕捞努力的百分比以及 CPUE 平均值在不同 HSI 区间的分布情况来确定模型的预测精度。

### 1.3.4 评估茎柔鱼渔场资源丰度和分布与栖息地变动的关系

基于 1.3.3 构建的综合栖息地指数模型, 计算得到 2006—2015 年 9 月至翌年 2 月的茎柔鱼渔场 HSI 数值。利用空间相关分析法, 分

析渔场不同深度水温与茎柔鱼 HSI 在空间上的相关性。此外, 分析对比茎柔鱼资源丰度与适宜栖息地面积占比、茎柔鱼渔场经纬度重心与栖息地经纬度重心的数据, 分别绘制茎柔鱼资源丰度与适宜栖息地面积占比、茎柔鱼渔场经纬度重心与栖息地经纬度重心的各年春、夏季和月间的分布图, 并对以上变量进行相关性分析, 评估以上两组变量内的年间和月间变化关系。其中, HSI 经纬度重心计算方法为<sup>[25]</sup>:

$$\text{LONG\_HSI}_m = \frac{\sum (\text{LONG}_i \times \text{HSI}_i)}{\sum \text{HSI}_i}$$

$$\text{LATG\_HSI}_m = \frac{\sum (\text{LATG}_i \times \text{HSI}_i)}{\sum \text{HSI}_i}$$

式中, LONG\_HSI 为 HSI 的经度重心, LATG\_HSI 为 HSI 的纬度重心; LONG 为经度值, LATG 为纬度值;  $i$  为渔区;  $m$  为春、夏季节或月份。

## 2 结果与分析

### 2.1 SI 模型

表 1 和图 1 显示了 2006—2013 年春季和夏季秘鲁外海茎柔鱼渔场基于 0 m、50 m、100 m 和 150 m 水温建立 SI 模型统计分析以及拟合的 SI 曲线。可以看出, 所有的 SI 模型均显著且有较高的  $R^2$  ( $R^2 > 0.7, P < 0.01$ ), 并且拟合的 SI 曲线与观察到的 SI 值一致, 均呈现出明显的正态分布特征。这说明研究中基于单因子 SI 模型的建立较为成功, 可以利用各单因子 SI 模型建立综合 HSI 模型。由图 1 可得, 春季适宜 0 m、50 m、100 m、150 m 水层水温分别为 17.7~19.5 °C、17.2~18.8 °C、13.3~16.1 °C、11.2~13.0 °C; 夏季适宜 0 m、50 m、100 m、150 m 水层水温分别为 20.1~21.4 °C、18.4~20.0 °C、14.7~16.8 °C、10.5~12.6 °C。

### 2.2 HSI 模型验证

基于 0 m、50 m、100 m 和 150 m 水层水温 SI 模型建立了 HSI 模型, 统计各个 HSI 区间内的捕捞量、捕捞努力量和平均 CPUE (图 2), 以 2014—2015 年的数据对两组模型分别加以验证(图 3)。从图 2 中可以看出, 与夏季相比, 2006—2013 年秘鲁外海茎柔鱼春季适宜栖息地面积较小, 随着

表 1 秘鲁外海茎柔鱼渔场春、夏季不同深度水温拟合适宜性指数模型统计分析  
 Tab. 1 Statistical analysis of suitability index (SI) model for water temperature at different depths in spring and summer on the *Dosidicus gigas* fishing ground off Peru

季节 season	垂直水温 vertical water temperature	SI 模型 SI model	$R^2$	P
春季 spring	Temp_0 m	SI=EXP[-0.590×(Temp_0 m-18.566) <sup>2</sup> ]	0.730	<0.010
	Temp_50 m	SI=EXP[-0.813×(Temp_50 m-17.968) <sup>2</sup> ]	0.847	<0.002
	Temp_100 m	SI=EXP[-0.236×(Temp_100 m-14.759) <sup>2</sup> ]	0.722	<0.010
	Temp_150 m	SI=EXP[-0.451×(Temp_150 m-12.045) <sup>2</sup> ]	0.961	<0.001
夏季 summer	Temp_0 m	SI=EXP[-1.573×(Temp_0 m-20.687) <sup>2</sup> ]	0.843	<0.002
	Temp_50 m	SI=EXP[-0.821×(Temp_50 m-19.171) <sup>2</sup> ]	0.929	<0.001
	Temp_100 m	SI=EXP[-0.551×(Temp_100 m-15.911) <sup>2</sup> ]	0.844	<0.002
	Temp_150 m	SI=EXP[-0.252×(Temp_150 m-11.514) <sup>2</sup> ]	0.761	<0.010

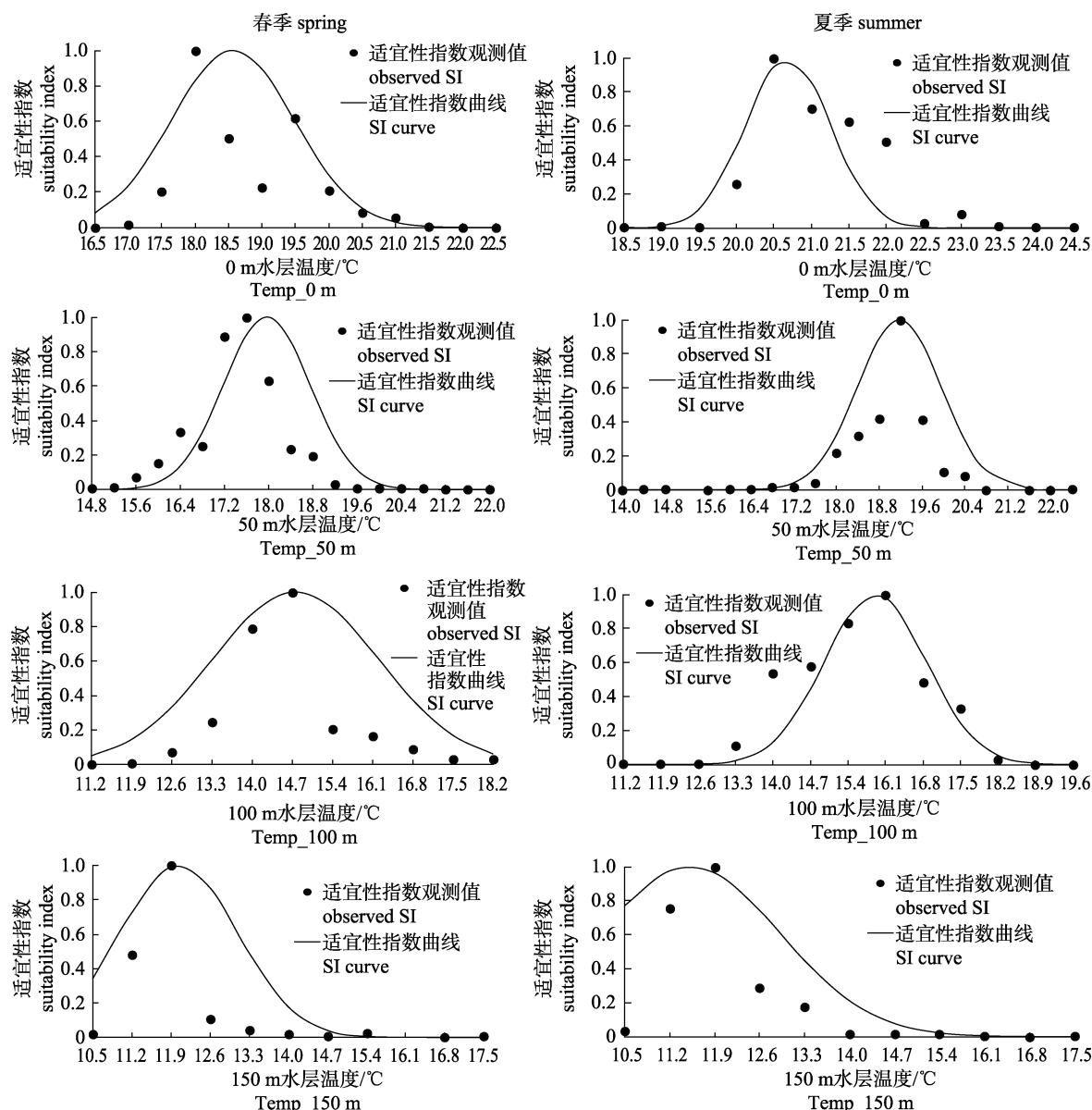


图 1 秘鲁外海茎柔鱼渔场春、夏季不同深度水温拟合适宜性指数曲线图

Fig. 1 Fitting suitability index (SI) curves of water temperature at different depths in spring and summer on the *Dosidicus gigas* fishing ground off Peru

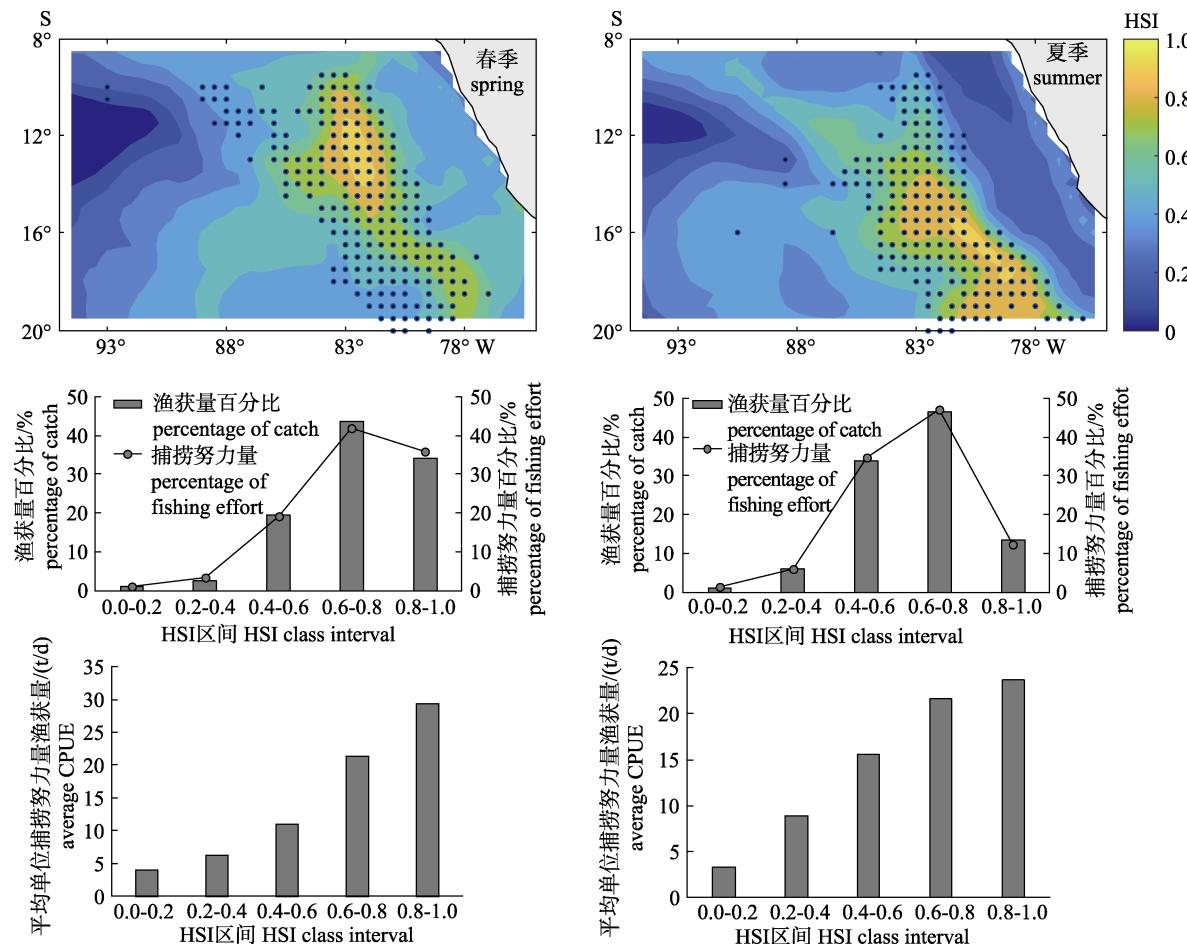


图 2 2006—2013 年秘鲁外海春、夏季茎柔鱼适宜栖息地和作业位置空间分布及渔获量、捕捞努力量百分比和 CPUE 平均值在不同 HSI 值区间的分布图

Fig. 2 Spatial distribution of suitable habitat and fishing location of *Dosidicus gigas* in spring and summer off Peru from 2006 to 2013, and the distribution of catch, percentage of fishing effort and average value of CPUE in different HSI class intervals

时间推移，茎柔鱼适宜栖息地在夏季向东南方向移动，且面积增大。基于渔获量、捕捞努力量在不同 HSI 区间的百分比，及 CPUE 在不同 HSI 区间的平均值对模型进行验证，可以发现，大部分的渔获量和捕捞努力量出现在 HSI 等级区间为 0.6~0.8 和 0.8~1.0 之间，捕捞活动也集中在适宜栖息地及其周围，只有一小部分的捕捞活动和渔获量占据在 0.0~0.2 的不适宜栖息地水域，并且 CPUE 平均值随着 HSI 值的增大而增加。图 3 可以看出，2014—2015 秘鲁外海茎柔鱼春、夏季节适宜栖息地较 2006—2013 年春、夏季节相比，分布位置没有明显的变化，并且适宜栖息地的移动趋势和方向以及面积的增加趋势较为一致。对 2014—2015 年春、夏季节 HSI 进行验证可以发现，

渔获量、捕捞努力量百分比和 CPUE 平均值在不同 HSI 区间的变化趋势与 2006—2013 年春、夏季节的变化是一致的，且捕捞活动也集中分布在适宜栖息地及其周围水域。

### 2.3 各水层温度与栖息地的空间相关性

由图 4 可以看出，秘鲁外海茎柔鱼渔场各水层温度与栖息地之间主要呈现出负的空间相关性，但是随着水层的加深，各水层温度与栖息地的空间相关性也发生相应的变化。在 0 m 时，东南部近海水域水温与栖息地之间呈现出正相关关系，整片海域自东南向西北呈现出由正相关向负相关的变化趋势，尤其在外海区域内呈现明显的负相关。随着水层的加深，水层温度和栖息地之间的负相关关系的数值逐渐增大，负相关的分布面积

也逐渐增大，并向海域中部汇集，说明随着水层的加深，栖息地的适宜性会随着水温的降低而升高。在 50 m 和 100 m 时，在近海海域出现部分范围的正相关关系。

#### 2.4 CPUE、渔场经纬度重心与栖息地之间的关系

在年际变化上(图 5), 2006—2015 年秘鲁外海

春季茎柔鱼 CPUE 变化较为平稳，基本处于 4~5 t/d 之间变化，在 2007 年出现最低值 3.27 t/d; CPUE 总体上随着适宜栖息地面积占比的增减而增减，两者呈现出显著的正相关性( $R^2=0.662$ ,  $P<0.005$ )。夏季，CPUE 的变化较大，最低值出现在 2007 年，为 3.81 t/d，最高值为 2011 年的

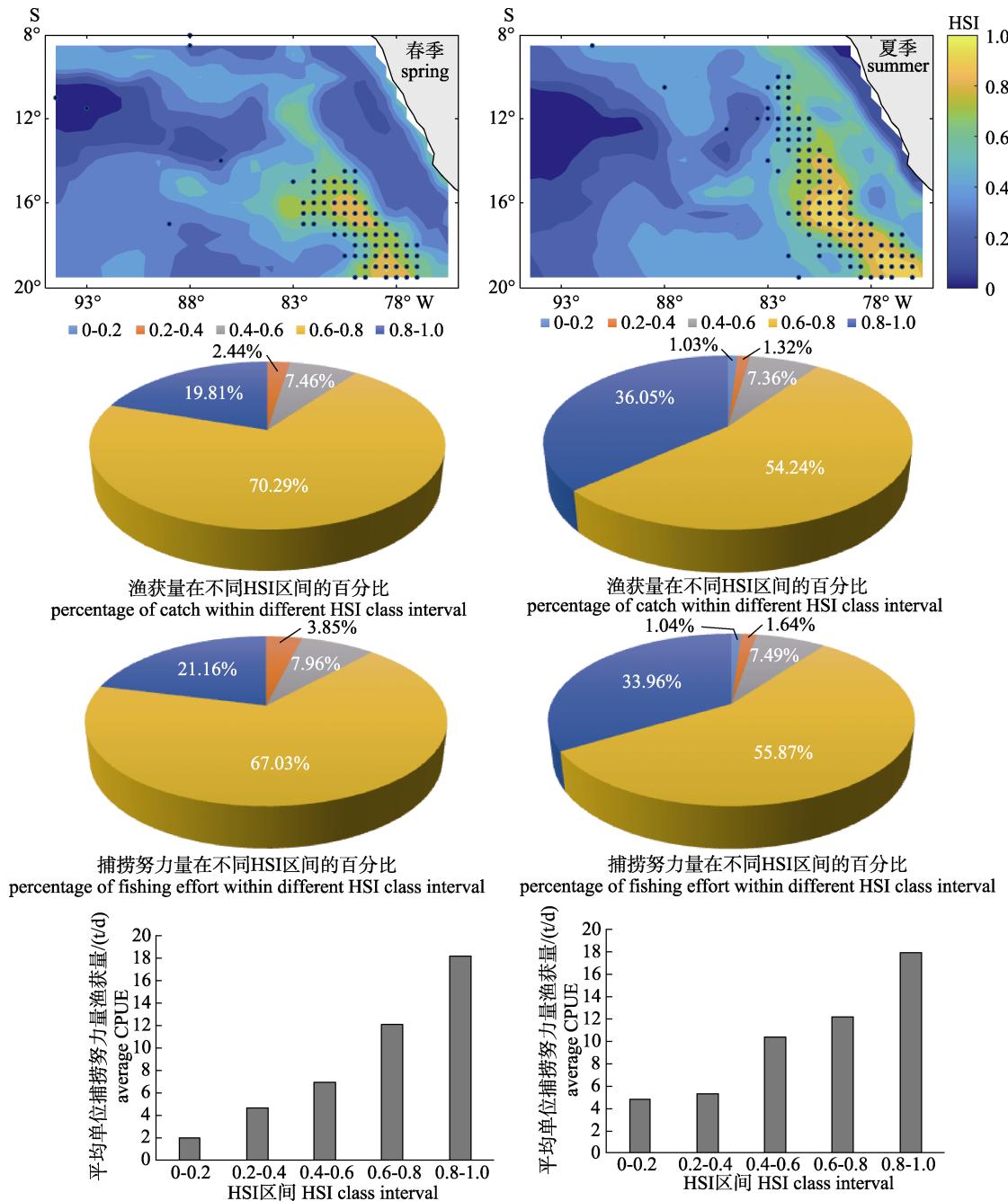


图 3 2014—2015 年秘鲁外海春、夏季茎柔鱼适宜栖息地和作业位置空间分布及渔获量、捕捞努力量  
百分比和 CPUE 平均值在不同 HSI 值区间的分布图

Fig. 3 Spatial distribution of suitable habitat and fishing location of *Dosidicus gigas* in spring and summer off Peru from 2014 to 2015, and the distribution of catch, percentage of fishing effort and average value of CPUE in different HSI class intervals

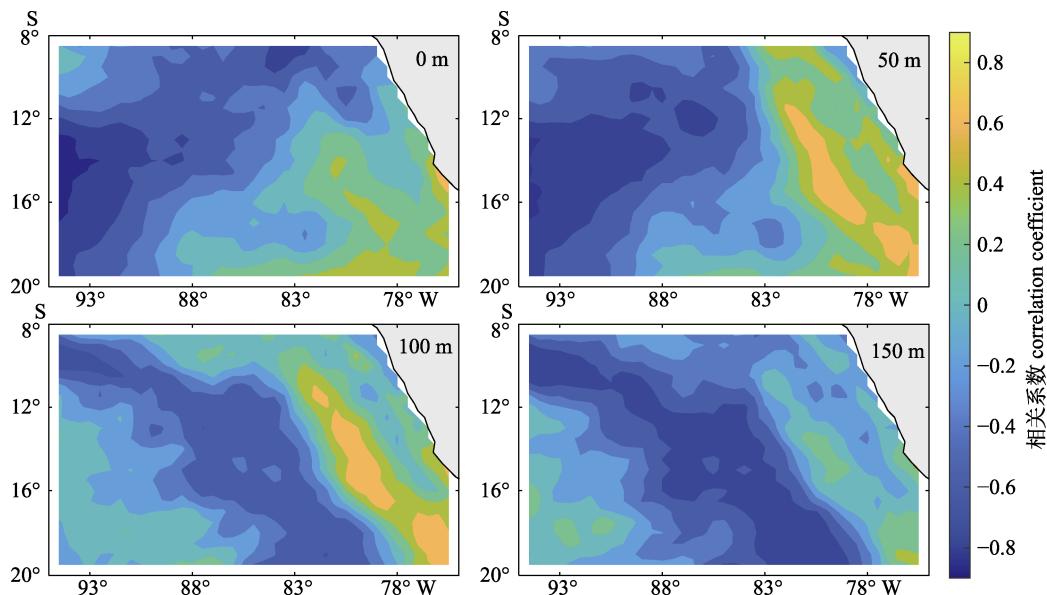


图 4 0 m、50 m、100 m 和 150 m 水层温度与栖息地适宜性之间的相关关系空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of correlation coefficients between temperature and habitat suitability at 0 m, 50 m, 100 m and 150 m water layers

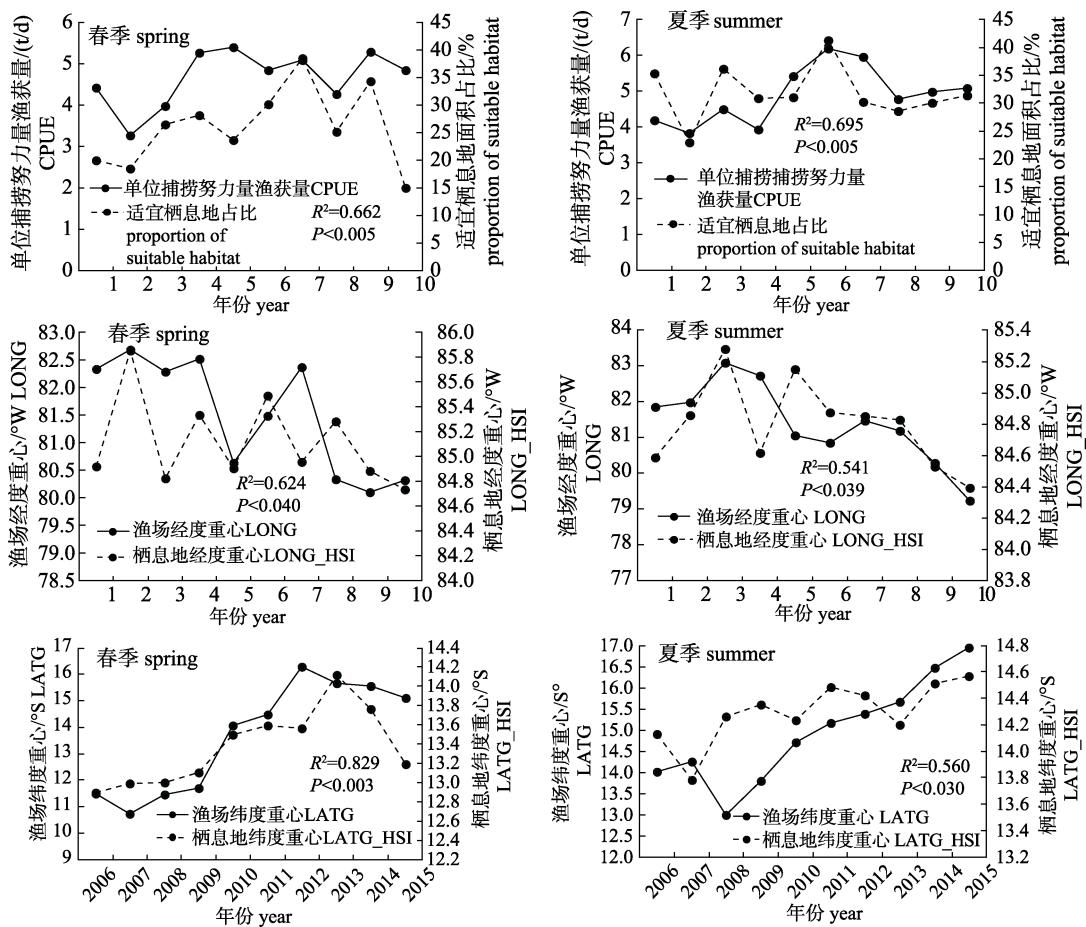
图 5 2006—2015 年春、夏季秘鲁外海茎柔鱼 CPUE 与适宜栖息地面积占比关系及  
渔场经纬度重心和栖息地经纬度重心分布

Fig. 5 The relationship between CPUE and the proportion of suitable habitat area and the distribution of longitudinal and latitudinal gravity centers of fishing ground and habitat suitability off Peru in the spring and summer during 2006—2015

6.19 t/d; 适宜栖息地面积占比的变化与 CPUE 的变化较为一致, 两者呈现出显著正相关关系 ( $R^2=0.695, P<0.005$ )。两个变量的最小值和最大值同时出现在 2007 年和 2011 年。

春季, 渔场经度重心在  $80.0^{\circ}\text{W}$ ~ $82.6^{\circ}\text{W}$  范围移动, 东西移动范围超过  $2.5^{\circ}$ , 在总体上呈现出向东偏移的趋势; 渔场经度重心随着栖息地经度重心的移动而移动, 二者之间有着显著的正相关关系 ( $R^2=0.624, P<0.040$ )。栖息地经度重心整体在  $84.7^{\circ}\text{W}$ ~ $85.8^{\circ}\text{W}$  范围移动, 与渔场经度重心相比整体偏西, 移动范围相对较小。夏季, 渔场经度重心和栖息地经度重心与春季有着相同的移动趋势, 整体上向东偏移, 二者之间也呈现出显著正相关性 ( $R^2=0.541, P<0.039$ )。渔场经度重心在  $79.2^{\circ}\text{W}$ ~ $83.1^{\circ}\text{W}$  范围移动, 东西移动范围接近  $4^{\circ}$ , 与春季相比在东西方向上移动范围更大; 栖息地重心东西方向上在  $84.3^{\circ}\text{W}$ ~ $85.2^{\circ}\text{W}$  范围移动, 春夏季之间的移动较为平稳。

渔场纬度重心和栖息地重心在春、夏季节的变化均表现出显著正相关性(春季:  $R^2=0.829, P<0.003$ ; 夏季:  $R^2=0.560, P<0.030$ )。春季, 渔场纬度重心和栖息地纬度重心的移动趋势均为先向南再向北移动。渔场经纬度重心在南北方向上的移动范围为  $10.7^{\circ}\text{S}$ ~ $16.3^{\circ}\text{S}$ , 栖息地纬度重心的移动范围为  $12.8^{\circ}\text{S}$ ~ $14.1^{\circ}\text{S}$ , 渔场纬度重心的移动范围更大。夏季, 渔场纬度重心和栖息地纬度重心的移动趋势均为明显的向南移动。与春季相比, 夏季渔场纬度重心( $12.9^{\circ}\text{S}$ ~ $16.9^{\circ}\text{S}$ )更加偏南, 移动范围更小, 南北方向不超过  $4^{\circ}$ , 相应的栖息地纬度重心( $13.7^{\circ}\text{S}$ ~ $14.5^{\circ}\text{S}$ )与春季相比分布范围也更加偏南, 移动范围也更小, 南北范围不超过  $1^{\circ}$ 。

在月间变化上(图 6), 2006—2015 年 9 月至翌年 2 月 CPUE 和适宜栖息地面积占比变化范围较为平稳, CPUE 的月变化在 4.19~4.22 t/d 之间, 适宜栖息地面积占渔场总面积百分比变化范围在 24.74%~29.85% 之间。在 9 月—翌年 2 月, 二者均呈现先升高在(9—12 月)再降低(12—2 月)的趋势, 最大值出现在 12 月, 二者之间的正相关性较为明显( $R^2=0.477, P<0.045$ )。

渔场经度重心与栖息地经度重心在月际变化

上有着明显的正相关关系( $R^2=0.593, P<0.008$ )。二者在整体上的移动范围较小, 栖息地经度重心的移动范围较之渔场经度重心更加偏西, 前者在  $84.4^{\circ}\text{W}$ ~ $85.3^{\circ}\text{W}$  之间移动, 后者在  $80.7^{\circ}\text{W}$ ~ $81.4^{\circ}\text{W}$  范围移动, 二者的移动范围在东西方向上都不超过  $1^{\circ}$ , 并且都呈现出自西向东的偏移趋势。

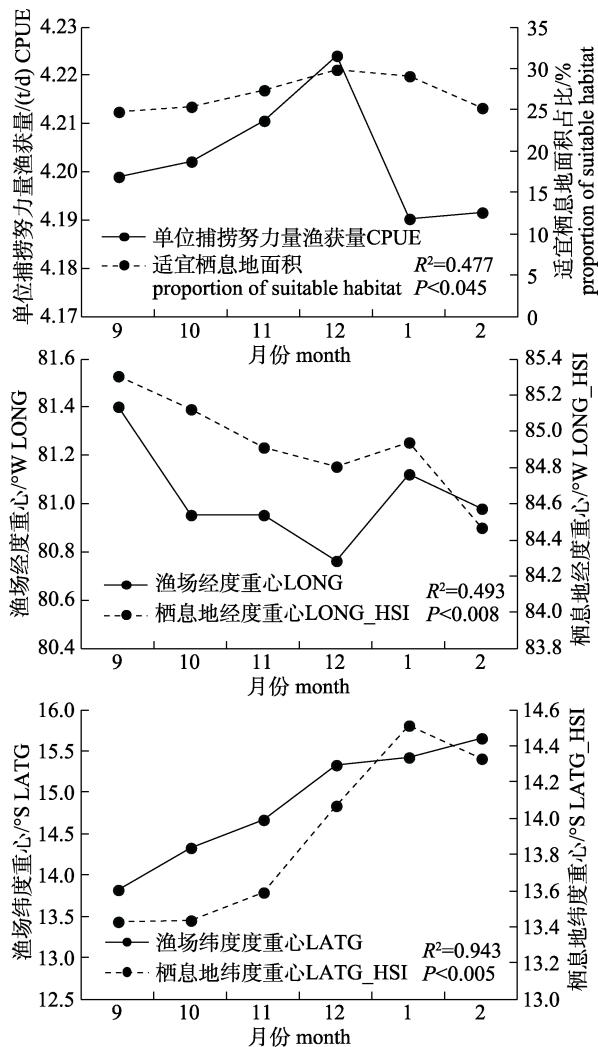


图 6 2006—2015 年 9 月—翌年 2 月秘鲁外海茎柔鱼 CPUE 与适宜栖息地面积月间变化及渔场经纬度重心和栖息地经纬度重心分布

Fig. 6 Monthly variability in CPUE and the proportion of suitable habitat area, and the distribution of longitudinal and latitudinal gravity centers of fishing ground and habitat suitability off Peru from September to February during 2006—2015

渔场纬度重心和栖息地纬度重心在 9 月—翌年 2 月均呈现出自北向南的移动, 二者的变化有着很强的正相关性( $R^2=0.943, P<0.005$ )。渔场纬度

重心在  $13.8^{\circ}\text{S}$ ~ $15.6^{\circ}\text{S}$  范围移动, 南北方向移动范围较大, 接近  $2^{\circ}$ ; 栖息地纬度重心的移动范围为  $13.4^{\circ}\text{S}$ ~ $14.5^{\circ}\text{S}$ , 与渔场纬度重心相比, 在南北方向上移动范围较小, 且位置更加偏北。

### 3 讨论

#### 3.1 HSI 模型的结果及评估

综合以往学者的研究结论<sup>[17-19]</sup>, 结合朱桂忠等基于最大熵模型评估的不同水层水温与茎柔鱼时空分布的关系结果<sup>[20]</sup>, 本研究选取 0 m、50 m、100 m 和 150 m 这 4 个水层水温作为关键环境因子构建秘鲁外海茎柔鱼栖息地模型, 模型验证结果显示, 基于秘鲁海域中上层水温的茎柔鱼栖息地模型能够较好地模拟茎柔鱼的时空分布。HSI 模型已经广泛运用到评估海洋环境以及气候事件对于鱼类和头足类栖息地的影响中。Yu 等<sup>[25]</sup>利用 HSI 模型发现茎柔鱼的潜在生境表现出较强的季节变异性, 其特点是春秋季节适宜生境扩大, 冬季极度减少。目前有多种方法可以去计算综合 HSI 值, 例如最小/最大法(min/max model)<sup>[11]</sup>、连乘法<sup>[12]</sup>等。与这些模型不同, AMM 方法通过算术平均将各环境因子的 SI 值结合起来, 反映每个海洋环境的变化, 不容易受到 SI 极端数值的影响<sup>[26]</sup>。目前大多数研究者选择并成功应用 AMM 方法评估了鱼类或者头足类的栖息地分布, 例如鲐(*Scomber japonicus*)<sup>[22]</sup>和西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)<sup>[27]</sup>等。本研究结果验证了基于 AMM 方法的栖息地模型能模拟出茎柔鱼渔场的适宜栖息地, 2014—2015 年捕捞量和捕捞努力量在预测得到的  $\text{HSI} > 0.6$  范围内的占比均达到了 90% 左右。但是 AMM 方法也存在一定的不足, 该方法无法显示出气候变化下各环境因子对茎柔鱼栖息地影响的重要程度差异, 均衡考虑各个环境因子的影响可能会增加模型的误差, 因此未来可以基于加权的 AMM 方法来构建栖息地模型<sup>[13]</sup>, 赋予各水温因子不同权重, 建立月为单位的栖息地模型, 使模型更加精确。

#### 3.2 秘鲁外海茎柔鱼渔场和栖息地变动分析

秘鲁外海茎柔鱼栖息地有着明显的空间移动现象(图 2 和图 3)。有研究发现茎柔鱼渔场秋冬季

节向赤道海域移动, 春夏季节往智利海域移动, 这一现象可能与渔场的水温变化有关<sup>[28]</sup>。方星楠等<sup>[29]</sup>利用与茎柔鱼生活史、摄食等相关的环境因子建立栖息地模型, 结果发现秘鲁外海茎柔鱼渔场 1—8 月向北移动, 9—12 月向南移动。以上研究结果与本研究研究结论基本一致, 茎柔鱼渔场和栖息地经纬度重心在春夏两季有着明显的自西北向东南方向的移动趋势。茎柔鱼栖息地经纬度重心的变动可能与其生活史有关。秘鲁海域茎柔鱼的主要产卵场集中在秘鲁沿岸  $3^{\circ}\text{S}$ ~ $8^{\circ}\text{S}$  海域和  $13^{\circ}\text{S}$ ~ $17^{\circ}\text{S}$  海域<sup>[30]</sup>, 同时秘鲁专属经济区外  $11^{\circ}\text{S}$  附近的水域也被认为是潜在的产卵场<sup>[31]</sup>。以上产卵场区域受到秘鲁沿岸洋流的强烈影响<sup>[32]</sup>, 较强的离岸流可能会将一部分卵和幼体运输到赤道海域, 这部分茎柔鱼在成鱼阶段又返回到秘鲁沿岸进行繁殖<sup>[33-34]</sup>。同时, 茎柔鱼的生存范围也受到摄食条件的影响。有研究发现小个体未成熟的茎柔鱼主要出现在离岸 300~400 km 左右的海域, 可能与溶解氧饱和度高的环境条件下幼体更容易捕获到猎物有关。而随着个体的成长, 成体的茎柔鱼可以较好地进行垂直迁移并在最小含氧区域进行捕食, 使其向猎物更丰富的近海移动<sup>[35]</sup>。

本研究的结果表明茎柔鱼资源丰度与栖息地时空分布有明显一致性, 其 CPUE 的年际和月际变化均与适宜栖息地面积的变化有着显著的正相关性, 说明茎柔鱼的资源丰度会随着适宜栖息地的面积增减而增减(图 5 和图 6), 在实际的生产过程中可以发现, 茎柔鱼的捕捞活动也主要集中分布在适宜栖息地及其周围水域(图 2 和图 3)。Yu 等<sup>[36]</sup>通过分析海表面温度(sea surface temperature, SST)、叶绿素 a、海表面高度(sea surface height, SSH)等 3 个环境因子以及相关气候条件, 发现秘鲁外海茎柔鱼渔场纬度重心呈现出明显的年际和月际变化: 年际变化上, 在 2006—2013 年主要北部海域向南部海域移动; 在月际变化中, 渔场纬度重心在 9 月—翌年 2 月主要从北部海域向南部海域变动, 认为异常的气候条件的发生是使茎柔鱼渔场纬度发生变化的重要原因。本研究同样发现, 渔场和栖息地经纬度重心在年际和月际变化中都表现出明显的自西向东、由北向南的变动,

并且在时空变动过程中表现出明显的正相关关系。东太平洋作为厄尔尼诺和拉尼娜事件的发源地, 秘鲁海域的环境易受到气候事件的影响<sup>[37-38]</sup>, 这些气候事件的发生使秘鲁外海海域的水温变化更加复杂, 促使秘鲁海域的茎柔鱼栖息地适宜性发生变化, 茎柔鱼为寻找更加适合生存的海域出现移动, 这可能是茎柔鱼渔场和栖息地时空分布存在年际差异的原因。在今后的研究中需要进一步考虑气候事件对渔场垂直水温结构以及茎柔鱼栖息地的影响。

### 3.3 垂直水温因子对栖息地变动的影响

茎柔鱼对生活海域内的中上层水温变化尤为敏感<sup>[8-9]</sup>。不同水层水温的变化对茎柔鱼资源丰度及分布的变动有着较为明显的影响。SST 常被认为是影响渔场分布的重要海洋环境因子<sup>[39]</sup>, 有利用最大熵模型的研究认为 SST 对茎柔鱼栖息地的贡献率高达 40%以上<sup>[40]</sup>。此外, 不同水层水温同样会对茎柔鱼的时空分布产生重要影响。例如, 孙珊等认为在秘鲁外海 50 m 水层水温变化会影响茎柔鱼的集群, 从而影响茎柔鱼渔场的形成<sup>[41]</sup>。易倩等利用信息增益技术分析茎柔鱼的渔场分布变动, 认为在秘鲁外海 0~200 m 的水层温度对茎柔鱼渔场的分布有一定影响, 尤其是 0 m 和 50 m 水温对茎柔鱼渔场的分布具有显著影响<sup>[17]</sup>。徐冰等<sup>[18]</sup>通过分析秘鲁外海茎柔鱼 CPUE 与各个水层水温之间的关系, 认为 15 m 和 50 m 两个水层温度的变化, 对秘鲁外海茎柔鱼资源量和中心渔场的位置分布影响显著。在以往茎柔鱼栖息地的研究中, 很少有将不同水层温度作为栖息地模型的建模环境因子的研究, 在相同的研究时间内, 基于 SST、SSH 和净初级生产量建立的 HSI 模型预测 2015 年春季和夏季数据精度分别是 84.68% 和 78.56%<sup>[14]</sup>, 而本研究基于不同水层温度建立的 HSI 模型预测平均精度分别是 89.14% 和 91.06%, 相比仅有表层环境因子的模型, 不同水层温度的模型模拟效果更好。以上研究结果表明, 在秘鲁海域中上层的水温因子的变化对茎柔鱼渔场和栖息地有着明显的影响, 有助于提升栖息地模型的预测精度。本研究同时表明, 在秘鲁外海茎柔鱼栖息地的形成与中上层水温的变化有着显著的相

关关系(图 4)。在秘鲁外海茎柔鱼主要作业渔场范围内, 水温与栖息地适宜性存在明显的负相关关系, 说明随着水层的加深, 栖息地的适宜性会随着水温的降低而升高。本研究中, 仅选取了不同水层的温度因子, 并不能完全代表茎柔鱼渔场的环境, 因此在今后的研究中需要考虑加入其他环境因子, 如叶绿素、SSH 等, 进一步提高模型的准确度, 并利用最大熵模型提前筛选出关键环境因子, 建立性能更好的栖息地模型, 为茎柔鱼渔业的开发与管理提供科学依据。

### 参考文献:

- [1] Chen X J, Liu B L, Wang Y G. Cephalopods of the World[M]. Beijing: China Ocean Press, 2009: 355-360. [陈新军, 刘必林, 王尧耕. 世界头足类[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 355-360.]
- [2] Nigmatullin C M, Nesis K, Arkhipkin A. A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) [J]. Fisheries Research, 2001, 54(1): 9-19.
- [3] Bazzino G, Gilly W F, Markaida U, et al. Horizontal movements, vertical-habitat utilization and diet of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Pacific Ocean off Baja California Sur, Mexico[J]. Progress in Oceanography, 2010, 86(1-2): 59-71.
- [4] Chen X J, Lu H J, Liu B L, et al. Current exploitation and some scientific issues in the sustainable utilization of Ommastrephidae[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(5): 831-840. [陈新军, 陆化杰, 刘必林, 等. 大洋性柔鱼类资源开发现状及可持续利用的科学问题[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(5): 831-840.]
- [5] Markaida U. Population structure and reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* from the Gulf of California after the 1997-1998 El Niño event[J]. Fisheries Research, 2006, 79(1): 28-37.
- [6] Zhang X J, Yang J Y, Lian D J. *Dosidicus gigas* off Peruvian high sea and its resources exploration[J]. Shandong Fisheries, 2005, 22(3): 44-45. [张新军, 杨军勇, 连大军. 秘鲁外海茎柔鱼资源及渔业开发[J]. 齐鲁渔业, 2005, 22(3): 44-45.]
- [7] FAO. Fishery statistical collections: Global capture production [EB/OL]. [https://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/capture/capture\\_quantity](https://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/capture/capture_quantity).
- [8] Mitsuo S, Kotaro T, Luis M, et al. Vertical migratory behavior of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off Peru: records of acoustic and pop-up tags[J]. Japan Agricultural Resea-

- rch Quarterly: JARQ, 2017, 51(2): 171-179.
- [9] Gilly W F, Zeidberg L D, Booth J, et al. Locomotion and behavior of Humboldt squid, *Dosidicus gigas*, in relation to natural hypoxia in the Gulf of California, Mexico[J]. Journal of Experimental Biology, 2012, 215(18): 3175-3190.
- [10] Tang Y M. Oceanography[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 188-190. [唐逸民. 海洋学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 188-190.]
- [11] Chen X J, Feng B, Xu L X. A comparative study on habitat suitability index of bigeye tuna, *Thunnus obesus* in the Indian Ocean[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(2): 269-278. [陈新军, 冯波, 许柳雄. 印度洋大眼金枪鱼栖息地指数研究及其比较[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 269-278.]
- [12] 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(01): 1-9.]
- [13] Feng Z P, Yu W, Chen X J. Concurrent habitat fluctuations of two economically important marine species in the Southeast Pacific Ocean off Chile in relation to ENSO perturbations. Fisheries Oceanography, 2022, 31(1), 123-134.
- [14] Feng Z P, Yu W, Chen X J, et al. Analysis of fishing ground of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in the southeast Pacific Ocean off Peru based on weighting-based habitat suitability index model[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(6): 878-888. [冯志萍, 余为, 陈新军, 等. 基于不同权重栖息地模型的秘鲁外海茎柔鱼渔场分析[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(6): 878-888.]
- [15] Yu W, Yi Q, Chen X J, et al. Modelling the effects of climate variability on habitat suitability of jumbo flying squid, *Dosidicus gigas*, in the Southeast Pacific Ocean off Peru[J]. ICES Journal of Marine Science, 2016, 73(2): 239-249.
- [16] Wen J, Yu W, Chen X J. Seasonal habitat variation of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* off Peru under different climate conditions[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(12): 1464-1476. [温健, 余为, 陈新军. 不同气候模态下秘鲁外海茎柔鱼栖息地的季节性分布[J]. 中国水产科学, 2020, 27(12): 1464-1476.]
- [17] Yi Q, Chen X J, Yu W, et al. A comparison of habitats of *Dosidicus gigas* in the fishing ground off Chile and Peru based on information gain technique[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(2): 272-278. [易倩, 陈新军, 余为, 等. 基于信息增益技术比较智利和秘鲁外海茎柔鱼渔场环境[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(2): 272-278.]
- [18] Xu B, Chen X J, Tian S Q, et al. Effects of El Niño/La Niña on distribution of fishing ground of *Dosidicus gigas* off Peru waters[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(5): 696-707. [徐冰, 陈新军, 田思泉, 等. 厄尔尼诺和拉尼娜事件对秘鲁外海茎柔鱼渔场分布的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(5): 696-707.]
- [19] Hu Z M, Chen X J, Zhou Y Q. Distribution of fishing ground of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) and its relationship with structure of sea water temperature in the waters off Peru [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(5): 696-707. [胡振明, 陈新军, 周应祺. 秘鲁外海茎柔鱼渔场分布和水温结构的关系[J]. 水产学报, 2009, 33(5): 770-777.]
- [20] Zhu G Z, Feng Z P, Yu W, et al. Relationship between the vertical water temperature and the habitat distribution of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* off Peru[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, in press. [朱桂忠, 冯志萍, 余为, 等. 秘鲁外海茎柔鱼栖息地分布与垂向水温因子的关联分析[J]. 海洋湖沼通报, 待见刊.]
- [21] Feng Z P, Yu W, Chen X J, et al. Distribution of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) habitats off Chile based on a 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.]
- [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 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.]
- [23] Gong C X, Chen X J, Gao F. Modeling the potential distribution of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific Ocean based on a MaxEnt model[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(5): 336-345. [龚彩霞, 陈新军, 高峰. 基于最大熵模型模拟西北太平洋柔鱼潜在栖息地分布[J]. 中国水产科学, 2020, 27(3): 336-345.]
- [24] Yu W, Wen J, Chen X J, et al. Effects of climate variability on habitat range and distribution of chub mackerel in the East China Sea[J]. Journal of Ocean University of China, 2021, 20(6): 1483-1494.
- [25] Yu W, Chen X J, Zhang Y. Seasonal habitat patterns of jum-

- bo flying squid *Dosidicus gigas* off Peruvian waters[J]. Journal of Marine Systems, 2019, 194: 41-51.
- [26] Gong C X, Chen X J, Gao F, et al. Review on habitat suitability index in fishery science[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(2): 260-269. [龚彩霞, 陈新军, 高峰等. 栖息地适宜性指数在渔业科学中的应用进展[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(2): 260-269.]
- [27] Yu, W, Wen, J, Zhang Z, Chen X, et al. Spatio-temporal variations in the potential habitat of a pelagic commercial squid. Journal of Marine Systems, 2020, 206: 103339.
- [28] Xu B, Chen X J, Qian W G, et al. Spatial and temporal distribution of fishing ground for *Dosidicus gigas* in the offshore waters of Peru[J]. Periodical of Ocean University of China, 2011, 41(11): 43-47. [徐冰, 陈新军, 钱卫国, 等. 秘鲁外海茎柔鱼渔场时空分布分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2011, 41(11): 43-47.]
- [29] 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. [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.]
- [30] Tafur R, Villegas P, Rabí M. Dynamics of maturation, seasonality of reproduction and spawning grounds of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in Peruvian waters[J]. Fisheries Research, 2001, 54, 33-50.
- [31] Liu B L, Chen X J, Yi Q. A comparison of fishery biology of jumbo flying squid, *Dosidicus gigas* outside three Exclusive Economic Zones in the Eastern Pacific Ocean[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2013, 31(3): 523-533.
- [32] Penven, P, Echevin V, Pasapera J, et al. Average circulation, seasonal cycle, and mesoscale dynamics of the Peru Current System: A modeling approach[J]. Journal of Geophysical Research: ocean, 2005, 110: C10021.
- [33] Anderson C I, Rodhouse P G. Life cycles, oceanography and variability: ommastrephid squid in variable oceanographic environments[J]. Fisheries Research, 2001, 54(1): 133-143.
- [34] Hu G Y, Fang Z, Chen X J. Review on the life history of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Eastern Pacific Ocean [J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(8): 1315-1328.
- [35] Hua Guanyu, Fang Fan, Chen Xinjun. East Pacific giant squid habitat research progress [J]. Journal of Oceanology and Limnology, 2018, 42(8): 1315-1328.]
- [36] Alegre A, Ménard F, Ricardo T, et al. Comprehensive model of jumbo squid *Dosidicus gigas* trophic ecology in the northern Humboldt current system[J]. PLoS ONE, 2014, 9(1): e85919.
- [37] Yu W, Yi Q, Chen X J, et al. Climate-driven latitudinal shift in fishing ground of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) in the Southeast Pacific Ocean off Peru[J]. International Journal of Remote Sensing, 2017, 38(12): 3531-3550.
- [38] Wen J, Gong J W, Li T, et al. Spatio-temporal variations in the habitat of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean off Peru under anomalous climate conditions[J]. Haiyang Xuebao, 2020, 42(10): 92-99. [温健, 贡静雯, 李婷, 等. 异常气候条件下秘鲁外海茎柔鱼栖息地的时空变动[J]. 海洋学报, 2020, 42(10): 92-99.]
- [39] 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.]
- [40] Wang J T, Chen X J, Gao F, et al. Fish recruitment forecasting for *Dosidicus gigas* based on multi-environmental factors in the southeastern Pacific[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2014, 45(6): 1185-1191. [汪金涛, 陈新军, 高峰, 等. 基于环境因子的东南太平洋茎柔鱼资源补充量预报模型研究[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(6): 1185-1191.]
- [41] Yu W, Fang X N, Chen X J, et al. Monthly spatio-temporal distribution of potential habitat of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in the Equator and its relationship with environmental factors[J]. Journal of Fisheries of China, 2022, 46(12): 2315-2329. [余为, 方星楠, 陈新军, 等. 赤道海域茎柔鱼栖息地月间分布及与环境因子的关联[J]. 水产学报, 2022, 46(12): 2315-2329.]
- [42] Sun S, Li X S, Dai F Q, et al. Characteristics of fisheries resource and water temperature in the high seas off Peru during the summer season[J]. Marine Fisheries Research, 2008, 29(2): 108-117. [孙珊, 李显森, 戴芳群, 等. 秘鲁外海夏季渔业资源与水温分布特征[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(2): 108-117.]

## Habitat distribution of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* off Peru in spring and autumn based on vertical water temperature

YU Wei<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>, JIN Pengchao<sup>1</sup>, ZHU Guizhong<sup>6</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 Observation and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China;
6. Center for Quality and Safety of Agriculture, Chongming District, Shanghai 202150, China

**Abstract:** The jumbo flying squid, *Dosidicus gigas*, is an economically important squid species with a short life cycle. It is widely distributed in the Eastern Pacific Ocean and is exploited by international fishing vessels, such as those from Peru, Chile, and China. The inter-annual catch of *D. gigas* fluctuated significantly from year to year and was closely related to environmental changes and climate variability. Previous studies have found that fluctuations in the catch of this squid are associated with local environmental conditions such as sea surface temperature, current, and food density. However, this species exhibits vertical migration, and changes in the water temperature at different depths tend to have a significant impact on their resource abundance and habitat distribution. Therefore, to evaluate the impact of vertical water temperature on the habitat changes of *D. gigas* in the Southeast Pacific Ocean off Peru, a habitat suitability index model (HSI) was established. This model utilized the fisheries data of *D. gigas* in the spring and summer seasons off Peru from 2006 to 2015 (September to February of the next year), combined with the vertical water temperature data at depths of 0 m, 50 m, 100 m, and 150 m, to analyze the spatial and temporal distribution of the fishery and habitat of *D. gigas* off Peru. Fisheries data were obtained from the National Distant-Water Fisheries Data Center of China. By calculating the percentage of HSI in suitable habitats and validating the model with data from 2014-2015, the habitat model based on the vertical water temperature factor and the arithmetic mean method could better simulate HSI values. The results of the spatial correlation analysis showed that the water temperature at each water layer off Peru was negatively correlated with habitat suitability. Changes in catch per unit effort and suitable habitat area for *D. gigas* were relatively minor, with no significant inter-annual or inter-monthly differences, and a significant positive correlation was observed between them. However, significant inter-annual and inter-monthly changes were observed in the gravity center of the fishing effort and habitat of *D. gigas*, which showed a similar tendency to move in a southeastern direction. Moreover, a significant reduction was observed in the area of suitable habitats in spring compared to summer. The monthly and inter-annual changes in the longitudinal and latitudinal gravity centers of the fishing grounds of *D. gigas* were consistent with the spatial distribution of the habitat. A significant positive correlation was observed between these two variables. This study demonstrated a close correlation between the abundance of *D. gigas* and the extent of suitable habitat. Significant inter-annual and inter-monthly variations in the suitable habitat of *D. gigas* were identified, serving as a crucial factor in the spatial and temporal distribution variations of *D. gigas* off Peru. This finding suggests that vertical water temperature should be considered when evaluating the habitat changes of *D. gigas* in the Southeast Pacific Ocean off Peru.

**Key words:** *Dosidicus gigas*; vertical water temperature; habitat distribution; longitudinal and latitudinal gravity center; off Peru

**Corresponding author:** ZHU Guizhong. E-mail: 1119853097@qq.com