

王易帆, 陈新军, 郭立新. 基于产卵场海表温度的阿根廷滑柔鱼资源丰度预测模型研究[J]. 海洋学报, 2020, 42(6): 29–35, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2020.06.004

Wang Yifan, Chen Xinjun, Guo Lixin. Research on the abundance prediction model of *Illex argentinus* based on sea surface temperature of spawning ground[J]. Haiyang Xuebao, 2020, 42(6): 29–35, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2020.06.004

基于产卵场海表温度的阿根廷滑柔鱼 资源丰度预测模型研究

王易帆¹, 陈新军^{1,2,3,4,5*}, 郭立新^{1,3}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306; 3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 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: 阿根廷滑柔鱼 (*Illex argentinus*) 为短生命周期种, 其资源丰度易受海洋环境变化的影响, 尤其是在产卵场的早期生活史阶段。根据 2003–2016 年我国鱿钓船队在西南大西洋的生产统计数据, 以及产卵场海洋表面温度 (SST) 卫星遥感数据, 用相关性分析方法筛选出阿根廷滑柔鱼产卵旺季期间 (6 月份) 表征产卵场 SST 变化的特征海域; 基于阿根廷滑柔鱼产卵场最适 SST 范围占总面积之比 (Ps) 与资源丰度单位捕捞努力渔获量 (CPUE, t/船) 呈正相关性的假设, 回溯阿根廷滑柔鱼最适的产卵场及水温环境条件, 并据此建立多种基于表征产卵场 SST 环境因子的资源丰度多元线性预测模型。相关性分析结果表明: 6 月份有两片连续海域 (Area 1、Area 2) 的 SST 与 CPUE 之间存在显著相关性, 分别为 42.5°~44°S、57.5°~59°W (Area 1) 和 39°~39.5°S、45°~46°W (Area 2); 回溯的阿根廷滑柔鱼产卵场范围为 37.5°~44°S、41.5°~51.5°W, 产卵场最适 SST 范围为 16~17.5°C。利用 2 个特征海域 (Area 1、Area 2) SST 以及回溯的产卵场 Ps 建立 4 种的多元线性资源丰度指数 (ICPUE) 预测模型, 结果表明, 包含表征寒暖流的特征海域和回溯产卵场 Ps 的方案 4 模型优于其他 3 种模型, 其资源丰度指数预测模型为 $ICPUE = 1.3904 \times Ps + 0.2619 \times SST_{Area 1} + 0.0962 \times SST_{Area 2} - 3.2480$ 。

关键词: 西南大西洋; 阿根廷滑柔鱼; 资源丰度; 预测模型; 产卵环境条件

中图分类号: P714⁺.5; S932.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2020)06-0029-07

1 引言

阿根廷滑柔鱼 (*Illex argentinus*) 广泛分布于西南大西洋 22°~54°S 的大陆架和大陆坡, 其资源量以 35°~52°S 的大陆架海域尤为丰富, 具有分布广、资源量年间波动大等特点^[1-2], 是目前世界已开发头足类重要资源之一, 也是我国鱿钓渔业的重要捕捞种类之一^[1]。现已有研究表明, 环境因素对阿根廷滑柔鱼的影响几乎贯穿其整个生活史^[3], 其中产卵场海表面

温度 (Sea Surface Temperature, SST) 对仔鱼生活阶段更是影响重大^[4]。并且, 鱼类死亡多集中发生在其仔鱼浮游生活阶段和幼体早期阶段, 这一阶段的数量变化决定着该种群补充量的多少^[5]。阿根廷滑柔鱼生命周期通常为 1 年, 产卵后即死亡, 这使其每年的资源丰度几乎又完全取决于其每年的资源补充量^[6-7]。因此, 分析阿根廷滑柔鱼产卵场 SST 对其资源丰度的影响就尤为重要。

目前, 有关阿根廷滑柔鱼的研究多集中在资源渔

收稿日期: 2018-12-21; 修订日期: 2019-01-02。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (NSFC41876141)。

作者简介: 王易帆 (1993—), 男, 浙江省舟山市人, 主要研究方向为大洋性柔鱼中长期预报。E-mail: 952213443@qq.com

* 通信作者: 陈新军, 男, 教授, 主要从事远洋鱿钓渔业、渔情预报学、渔业资源经济学等方向研究。E-mail: xjchen@shou.edu.cn

场变化与海洋环境之间的关系^[8-12],而有关资源丰度预测则较少研究。例如, Waluda 等^[13]假设产卵月(6-7月)产卵场海域为 32°~39°S、49°~61°W,认为阿根廷滑柔鱼产卵场最适 SST 面积占总产卵场面积之比(Ps)越大,次年阿根廷滑柔鱼资源丰度越丰富。陆化杰^[14]假设阿根廷滑柔鱼产卵海域为 40°~42°S、56°~58°W,认为当年的 6 月份 SST 和海表温度异常(Sea Surface Temperature Anomaly, SSTA)与次年的资源丰度(单位捕捞努力渔获量, Catch Per Unit Effort, CPUE)基本成正相关,6 月份产卵场 SST 高于 10°C、SSTA 大于 0°C,次年的阿根廷滑柔鱼资源补充量会相对较高,而当 6 月份 SST 低于 10°C、SSTA 小于 0°C,次年的资源补充量可能会较低。汪金涛等^[15]假设阿根廷滑柔鱼产卵海域为 30°~45°S、40°~65°W,利用 6 月份与 CPUE 之间存在强相关性的 3 片连续区域 SST 以及 7 月份的 Ps 作为环境变量,建立基于误差反向传播(Error Back Propagation, EBP)神经网络模型的阿根廷滑柔鱼资源补充量预测模型。以上的研究所使用表征产卵场 SST 的环境因子均有所差异,假设的产卵场范围也都不同。上述研究也表明,目前我们还不清楚阿根廷滑柔鱼最适的产卵场范围,其最适的产卵场环境是什么条件。为此,本研究拟结合多年西南大西洋阿根廷滑柔鱼生产捕捞数据及其产卵场的 SST,通过设计多种产卵环境条件,利用不同的表征产卵场 SST 的环境因子与资源丰度进行相关分析,比较并筛选出最适的产卵场范围及其最适 SST 范围,进而建立阿根廷滑柔鱼资源丰度的预测模型,为其资源可持续开发和科学管理提供依据。

2 材料与方法

2.1 材料来源

本研究对象为我国远洋鱿钓渔业的主要捕捞对象——阿根廷滑柔鱼南巴塔哥尼亚群体(South Patagonic Stock)^[16],2003-2016 年鱿钓生产数据来自上海海洋大学鱿钓技术组。产卵场 SST 数据范围为 25°~45°S、40°~66°W,时间为 2002-2015 年 6 月份,数据来源于 Ocean Watch 网站,空间分辨率为 0.1°×0.1°([https://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/erddap/griddap/OceanWatch_pfgac_sst_monthly.htmlTable?sst\[\(2002-05-01\):1:\(2015-09-01\)\]\[\(-45\):1:\(-25\)\]\[\(294\):1:\(320\)\]](https://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/erddap/griddap/OceanWatch_pfgac_sst_monthly.htmlTable?sst[(2002-05-01):1:(2015-09-01)][(-45):1:(-25)][(294):1:(320)]))。

2.2 研究方法

2.2.1 资源丰度指数

本研究采用名义 CPUE(单位: t/船)来表征阿根廷滑柔鱼资源丰度,公式如下:

$$CPUE_i = \frac{CATCH_i}{EFFORT_i}, \quad (1)$$

式中, i 为年份; CATCH 的单位为 t; EFFORT 为船的数量。

对 CPUE 进行归一化处理,作为表征资源丰度指数(ICPUE),其公式如下:

$$ICPUE_i = \frac{CPUE_i}{CPUE_{max}}, \quad (2)$$

式中, i 为年份; $CPUE_{max}$ 为 2003-2016 年中最大的 CPUE。

2.2.2 表征产卵场 SST 的环境因子

已有研究表明^[17-18],西南大西洋阿根廷滑柔鱼南巴塔哥尼亚群体产卵场通常被认为分布在 25°~45°S、40°~66°W 海域。陆化杰^[14]和汪金涛等^[15]的研究结果表明,阿根廷滑柔鱼南巴塔哥尼亚群体产卵场 6 月份的 SST 与次年资源丰度的关系较为密切。故本研究假设 6 月份为阿根廷滑柔鱼南巴塔哥尼亚群体产卵旺季,其产卵场范围在 25°~45°S、40°~66°W^[17-18](图 1),并用 0.5°×0.5°的空间分辨率划分该海域。在产卵旺季(6 月份),计算分析每点 SST 组成的时间序列值与次年 CPUE 组成的时间序列值的相关性,选取统计显著($p < 0.05$)的海域 SST 作为表征其产卵场的环境因子。

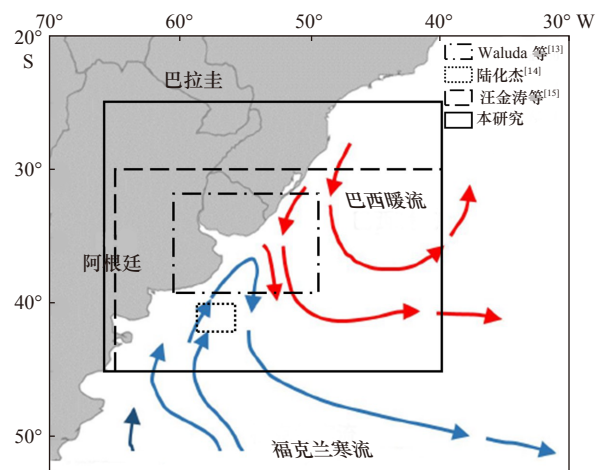


图 1 不同学者假设的影响阿根廷滑柔鱼南巴塔哥尼亚群体资源量的海域分布

Fig. 1 Hypothetical areas affecting recruitment of *Illex argentinus* (South Patagonic stock population) by different scholars

计算产卵场最适表层水温范围占产卵场总面积的比例是衡量产卵场栖息地环境优劣的重要方法之一^[13]。Waluda 等^[13]研究认为,产卵场 SST 在 16~18°C 为阿根廷滑柔鱼产卵场最适 SST 范围。本研究在此基础上设计 9 组最适 SST 范围: 15.5~17°C, 16~

17.5℃, 16.5~18℃, 17~18.5℃, 15.5~17.5℃, 16~18℃, 16.5~18.5℃, 15.5~18℃, 16~18.5℃, 以此来选择最适产卵场 SST 范围。在假设产卵场 Ps 与次年 CPUE 呈显著正相关的条件下, 设计以 0.5°×0.5°为一个单位, 从初始假设的产卵场 40°~45°S、61°~66°W 向北移动、向东至 25°~45°S、40°~66°W 海域(图 2), 共计获得 469 216 个假设的阿根廷滑柔鱼产卵场。对所有假设的产卵场 Ps 与次年 CPUE 进行相关性分析, 选择在统计学上显著($p < 0.05$)的假设产卵场 Ps 作为表征阿根廷滑柔鱼资源量的环境因子。

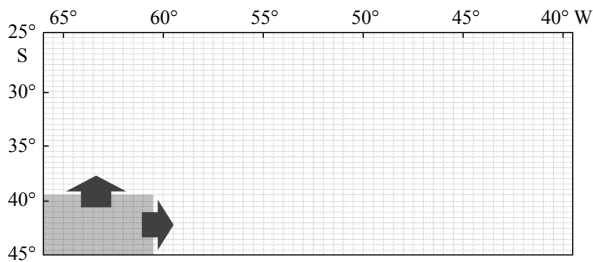


图 2 假设的阿根廷滑柔鱼产卵场向东北移动的示意图
Fig. 2 The movement and expanded schematic of hypothetical spawning ground of *Illex argentinus* (South Patagonic stock population)

2.2.3 预测模型建立

根据 2.2.2 节的相关性分析, 建立上述显著影响因素与 CPUE 之间的多元线性模型。将 2003-2015 年阿根廷滑柔鱼 CPUE 作为建模样本, 2016 年阿根廷滑柔鱼 CPUE 作为验证样本。以均方误差 (Mean Square Error, MSE) 和相关系数 (R) 作为判断最优模型的标准。拟合残差是将预报值与实际值进行比较所得, 其计算公式为^[19]

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2, \quad (3)$$

式中, y_k 为 CPUE 的实际值, \hat{y}_k 为 CPUE 的预报值。其中 MSE 越小, 预报准确率越高。 R 越高, 其预测模型越好。

3 结果

3.1 年 CPUE 的变化趋势

由图 3 可知, 2003-2016 年阿根廷滑柔鱼 CPUE 年间波动很大。2004-2007 年 CPUE 大幅度增长, 2007-2010 年 CPUE 大幅度下降, 2011-2015 年 CPUE 逐渐增长, 2016 年又突然下降, 其中 CPUE 最低出现在 2004 年, 为 144.09 t/船; 最高出现在 2007 年, 为 3 844.93 t/船。

3.2 表征产卵场 SST 环境因子的筛选结果

相关性分析认为, Area 1(42.5°~44°S、57.5°~59°W)

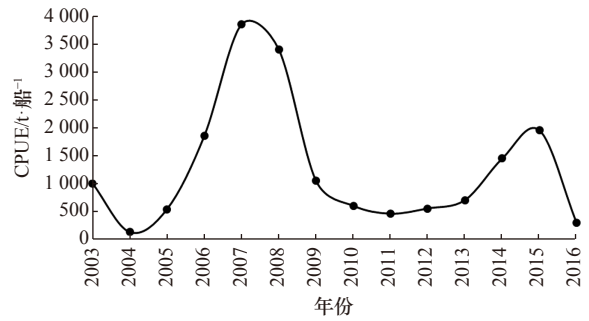


图 3 2003-2016 年阿根廷滑柔鱼 CPUE 变化趋势
Fig. 3 CPUE of *Illex argentinus* from 2003 to 2016

和 Area 2(39°~39.5°S、45°~46°W)(图 4)与次年 CPUE 呈显著相关(表 1), 其平均 SST 分别为 6.98℃(图 5)、15.56℃(图 6)。

表 1 产卵场特征海域 SST 与次年 CPUE 相关性分析结果
Table 1 The result of correlation analysis parameters between SST in key area and CPUE of next year

	Area 1	Area 2
经纬度范围	42.5°~44°S, 57.5°~59°W	39°~39.5°S, 45°~46°W
R	0.618 7	0.609 2
p	0.024 2	0.027 1

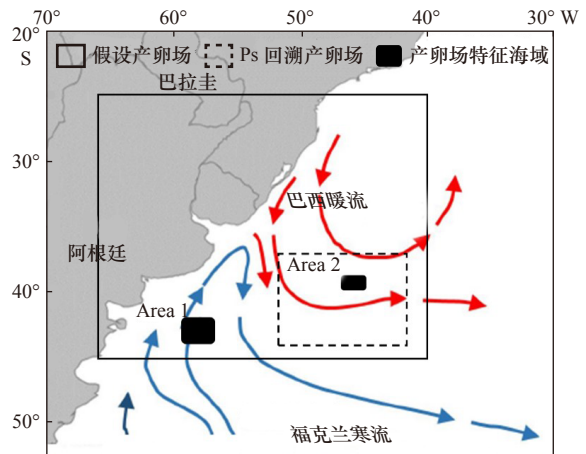


图 4 表征阿根廷滑柔鱼产卵场 SST 环境因子分布
Fig. 4 Distribution of environmental factor for characterizing SST in the spawning ground of *Illex argentinus*

假设产卵场的 Ps 与次年 CPUE 的相关性分析认为, 结果共有 1 566 个假设产卵场的 Ps 与次年 CPUE 呈显著性相关($p < 0.05$), 并根据起始经度进行降序排列得到推测产卵场经纬度坐标分布散点图(图 7)。根据推测产卵场(37.5°~44°S、41.5°~51.5°W)中不同最适 SST 范围的 Ps 与 CPUE 相关性分析, 推断阿

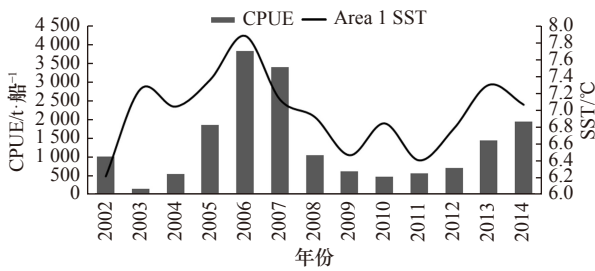


图 5 2002–2014 年阿根廷滑柔鱼产卵场 Area 1 的 SST 与次年 CPUE 年间变化

Fig. 5 SST of the Area 1 in the spawning ground of *Illex argentinus* and its CPUE of next year during 2002–2014

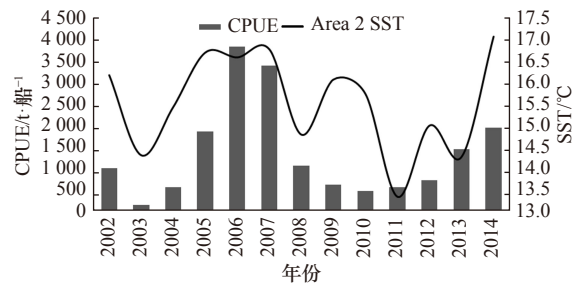


图 6 2002–2014 年阿根廷滑柔鱼产卵场 Area 2 的 SST 与次年 CPUE 年间变化

Fig. 6 SST of the Area 2 in the spawning ground of *Illex argentinus* and its CPUE of next year during 2002–2014

根廷滑柔鱼产卵场最适 SST 范围为 16~17.5°C(表 2)。

3.3 资源丰度指数预测模型的实现

利用阿根廷滑柔鱼特征海域 Area 1 和 Area 2 的 SST, 以及推测产卵场 Ps 进行不同组合, 建立多元线性阿根廷滑柔鱼资源丰度指数预测模型, 其方案分别是:

方案 1: 选取 Area 1 的 SST、推测产卵场 Ps 两个环境因子;

方案 2: 选取 Area 2 的 SST、推测产卵场 Ps 两个环境因子;

方案 3: 选取 Area 1 的 SST、Area 2 的 SST 两个环境因子;

方案 4: 选取 Area 1 的 SST、Area 2 的 SST、推测产卵场 Ps 3 个环境因子(表 3, 表 4)。

由表 4 可知, 可得到各个模型中解释变量的 t 值,

给定显著性水平 $\alpha=0.1$, 查 t 分布表中自由度为 9 和 10, 得到 $t_{0.5\alpha}(10)=1.812$, $t_{0.5\alpha}(9)=1.833$, 可见, 各个方案中的解释变量的 t 值均大于该临界值, 即各个方案模型中的解释变量在 90% 的水平下影响显著, 均通过检验。

由表 3 可知, 根据 4 种方案得到多元线性模型方程在线性拟合度、显著性以及 MSE 相差不大。其中方案 4 线性拟合度相对较高, 均方误差相对较低, 为最优模型。

4 分析与讨论

西南大西洋阿根廷滑柔鱼独特的生物学特征, 使其资源丰度对产卵场环境条件变化异常敏感。已有研究表明^[20], 巴西暖流与福克兰寒流汇合海域, 营养盐丰富, 是阿根廷滑柔鱼重要的饵料场, 也是促使阿

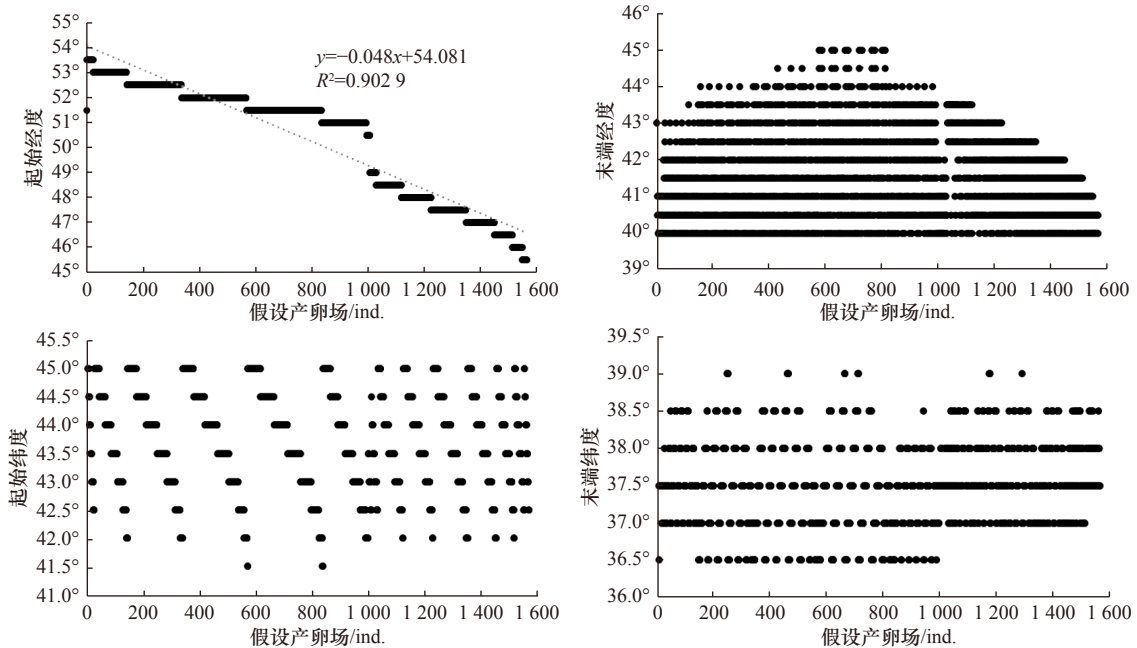


图 7 阿根廷滑柔鱼推测产卵场经纬度坐标分布图

Fig. 7 Latitude and longitude coordinate map of the forecasting spawning ground of *Illex argentinus*

表 2 推测产卵场 (37.5°~44°S, 41.5°~51.5°W) 不同最适 SST 范围的 Ps 与 CPUE 相关性分析结果

Table 2 The result of correlation analysis parameters between Ps of different optimal SST ranges and CPUE in forecasted spawning ground (37.5°~44°S, 41.5°~51.5°W)

产卵场最适SST范围	R	p
15.5~17℃	0.470 2	0.104 9
16~17.5℃	0.654 5	0.015 2
16.5~18℃	0.205 0	0.501 6
17~18.5℃	-0.083 2	0.787 0
15.5~17.5℃	0.544 3	0.054 4
16~18℃	0.524 2	0.065 9
16.5~18.5℃	0.113 4	0.712 1
15.5~18℃	0.502 7	0.080 0
16~18.5℃	0.381 1	0.198 8

根廷滑柔鱼穿越整个大陆架及大陆坡海域洄游至该海域的重要动力。本研究经过相关性分析,在6月份假设产卵场中筛选出两个特征海域(图4),其中Area 1

的 SST 在 2002–2014 年之间波动范围为 6~8℃(图5),可以表征福克兰寒流对阿根廷滑柔鱼资源丰度的影响;Area 2 的 SST 在 2002–2014 年之间波动范围为 13~17.5℃(图6),可以表征巴西暖流对阿根廷滑柔鱼资源丰度的影响。根据两个特征海域 SST 与次年 CPUE 在 2002–2014 年间波动情况(图5,图6),研究发现两个特征海域 SST 值均为峰值的年份(2006–2007年,2013–2014年),其次年的阿根廷滑柔鱼资源相对丰富。

Brunetti 等^[21-22]的研究结果表明,根据阿根廷滑柔鱼成熟雌性个体与仔鱼分布,产卵季为4–8月的南巴塔哥尼亚种群的产卵场主要分布在福克兰或巴西海流控制下44°S以北的大陆架海域。短生命周期种类的资源丰度很大程度上取决于其产卵场的环境,基于这一假设,本研究通过长时间序列的资源丰度数据,结合其最适水温范围等因素,成功获得了最适产卵场的范围,即产卵场主要集中分布在37.5°~44°S、41.5°~51.5°W海域,进一步缩小了Brunetti等^[21-22]提出的产卵场范围,这一研究为后续产卵场调查和阿根廷滑柔鱼早期生活史的研究提供了科学依据。

表 3 多元线性模型方程以及预报结果

Table 3 Multiple linear model equations and forecast results

方案	多元线性预测模型方程	R	p	MSE
1	ICPUE=2.570 1×Ps+0.253 6×SST _{Area 1} -1.928 2	0.732 1	0.021 5	0.037 9
2	ICPUE=2.581 6×Ps+0.092 6×SST _{Area 2} -1.602 0	0.720 6	0.025 7	0.039 2
3	ICPUE=0.328 0×SST _{Area 1} +0.124 2×SST _{Area 2} -3.868 5	0.774 7	0.010 2	0.032 6
4	ICPUE=1.390 4×Ps+0.261 9×SST _{Area 1} +0.096 2×SST _{Area 2} -3.248 0	0.796 2	0.023 5	0.029 9

表 4 多元线性模型方程自变量 t 检验结果

Table 4 Multivariate linear model equation variable t test result

方案	t(Ps)	t(SST 1)	t(SST 2)
1	1.816	2.522	
2	1.956		2.375
3		2.394	2.332
4	1.910	2.678	2.552

本研究通过设计9组回溯的产卵场不同最适 SST 范围的 Ps 分别与次年 CPUE 做相关性分析,获得了最适的 SST 范围,即为16~17.5℃(表2),这与Waluda等^[13]根据渔业调查资料定义的产卵场最适 SST 范围(16~18℃)基本相同。由图4可知,推测产卵场处于巴西暖流和福克兰寒流交汇处,阿根廷滑柔

鱼是暖水性种类,实行南北方向的洄游路线。阿根廷滑柔鱼南巴塔哥尼亚种群幼体随着巴西暖流南下,个体成熟后,随着福克兰海流北上。分析研究认为,在产卵期间,巴西暖流强,产卵场水温偏高,最适 SST (16~17.5℃)的范围较大,则有利于阿根廷滑柔鱼补充量的发生;反之,则不利于阿根廷滑柔鱼资源补充量的发生。

研究结果表明,在4个资源丰度指数预测模型中,发现方案4的预测效果最优。这个说明表征巴西暖流的特征海域Area 2和表征福克兰寒流的特征海域Area 1,以及暖寒流交汇区范围大小(最适产卵场范围Ps)共同对阿根廷滑柔鱼资源丰度多少产生影响。当然,特征海域Area 1、特征海域Area 2和最适产卵场范围Ps本身也存在着某种关联,实际上福克

兰寒流和巴西暖流的共同作用,影响着其产卵场空间分布以及产卵环境条件。

对阿根廷滑柔鱼资源丰度进行科学预测是一件极其复杂的系统工作,在其早期生活阶段不仅受到产卵场 SST 的影响^[3],还受诸如海流、初级生产力等环境因子,以及个体的生长、死亡、内外部捕食者等生

物学因素的影响^[9],利用其早期生活阶段产卵场 SST 进行资源丰度的预测是其中一种最重要、最简单、最具可操作性的方法。但今后需要结合物理海洋学、生态系统动力学等多学科因素,建立更为科学的阿根廷滑柔鱼资源丰度预测模型,为阿根廷滑柔鱼资源合理利用和科学管理提供依据。

参考文献:

- [1] 王尧耕,陈新军.世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业[M].北京:海洋出版社,2005.
Wang Yaogeng, Chen Xinjun. World Oceanic Economic *Ommastrephidae* Resources and their Fisheries[M]. Beijing: China Ocean Press, 2005.
- [2] Chen Xinjun, Liu Bilin, Chen Yong. A review of the development of Chinese distant-water squid jigging fisheries[J]. *Fisheries Research*, 2008, 89(3): 211–221.
- [3] 陆化杰,陈新军,刘必林,等.西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业生物学研究进展[J]. *广东海洋大学学报*, 2010, 30(4): 91–98.
Lu Huajie, Chen Xinjun, Liu Bilin, et al. Progress in fishery biology of *Illex argentinus* in the Southwest Atlantic Ocean[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2010, 30(4): 91–98.
- [4] 余为,陈新军,易倩,等.北太平洋柔鱼早期生活史研究进展[J]. *上海海洋大学学报*, 2013, 22(5): 755–762.
Yu Wei, Chen Xinjun, Yi Qian, et al. Review on the early life history of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the North Pacific[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2013, 22(5): 755–762.
- [5] Houde E D. Patterns and trends in larval-stage growth and mortality of teleost fish[J]. *Journal of Fish Biology*, 1997, 51(SA): 52–83.
- [6] Hatanaka H. Growth and life span of short-finned squid *Illex argentinus* in the waters off Argentina[J]. *Nihon Suisan Gakkaishi*, 1986, 52(1): 11–17.
- [7] Roberts M J. The influence of the environment on chokka squid *Loligo vulgaris reynaudii* spawning aggregations: steps towards a quantified model[J]. *South African Journal of Marine Science*, 1998, 20(1): 267–284.
- [8] 陈新军,刘必林,王跃中.2000年西南大西洋阿根廷滑柔鱼产量分布及其与表温关系的初步研究[J]. *湛江海洋大学学报*, 2005, 25(1): 29–34.
Chen Xinjun, Liu Bilin, Wang Yuezhong. Study on the distribution of production of *Illex argentinus* and its relationship with sea surface temperature in the Southwest Atlantic Ocean in 2000[J]. *Journal of Zhanjiang Ocean University*, 2005, 25(1): 29–34.
- [9] 刘必林,陈新军.2001年西南大西洋阿根廷滑柔鱼产量分布与表温关系的初步研究[J]. *海洋渔业*, 2004, 26(4): 326–330.
Liu Bilin, Chen Xinjun. Preliminary study on the relationship between the distribution of production of *Illex argentinus* and SST in the Southwest Atlantic Ocean in 2001[J]. *Marine Fisheries*, 2004, 26(4): 326–330.
- [10] 张炜,张健.西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场与主要海洋环境因子关系探讨[J]. *上海海洋大学学报*, 2008, 17(4): 471–475.
Zhang Wei, Zhang Jian. A discussion about relationship between the distribution of production of *Illex argentinus* and marine environmental factors in the Southwest Atlantic Ocean[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2008, 17(4): 471–475.
- [11] 陆化杰,陈新军.2006年西南大西洋鱿钓渔场与表温和海面高度距平值的关系[J]. *大连海洋大学学报*, 2008, 23(3): 230–234.
Lu Huajie, Chen Xinjun. Fishing ground of squid specially related with sea surface temperature and sea surface height anomaly in southwest Atlantic in 2006[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2008, 23(3): 230–234.
- [12] 张龙,徐汉祥,张洪亮,等.2012年西南大西洋公海阿根廷滑柔鱼产量分布与表温关系研究[J]. *浙江海洋学院学报:自然科学版*, 2013, 32(3): 189–193.
Zhang Long, Xu Hanxiang, Zhang Hongliang, et al. Study on the distribution of production of *Illex argentinus* and its relationship with sea surface temperature in the Southwest Atlantic Ocean in 2012[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2013, 32(3): 189–193.
- [13] Waluda C, Rodhouse P, Podestá G, et al. Surface oceanography of the inferred hatching grounds of *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) and influences on recruitment variability[J]. *Marine Biology*, 2001, 139(4): 671–679.
- [14] 陆化杰.西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业生物学及资源评估[D].上海:上海海洋大学,2012.
Lu Huajie. Fisheries biology and resource assessment of *Illex argentinus* in the Southwest Atlantic Ocean[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012.
- [15] 汪金涛,高峰,雷林,等.基于产卵场环境因子的阿根廷滑柔鱼资源补充量预报模型研究[J]. *海洋学报*, 2014, 36(12): 119–124.
Wang Jintao, Gao Feng, Lei Lin, et al. Study on forecasting model of recruitment for *Illex argentinus* by using the environmental factors in the spawning ground[J]. *Haiyang Xuebao*, 2014, 36(12): 119–124.
- [16] Brunetti N E, Ivanovic M L. Distribution and abundance of early life stages of squid (*Illex argentinus*) in the south-west Atlantic[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1992, 49(2): 175–183.
- [17] Basson M, Beddington J R, Crombie J A, et al. Assessment and management techniques for migratory annual squid stocks: the *Illex ar-*

- gentinus*, fishery in the Southwest Atlantic as an example[J]. *Fisheries Research*, 1996, 28(1): 3–27.
- [18] Benediktsson J A, Swain P H, Ersoy O K. Neural network approaches versus statistical methods in classification of multisource remote sensing data[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1990, 28(4): 540–552.
- [19] 瓦普尼克. 统计学习理论[M]. 许建华, 张学工, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- Vapnik V N. *Statistical Learning Theory*[M]. Xu Jianhua, Zhang Xuegong, trans. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.
- [20] O'Dor R K. Big squid in big currents[J]. *South African Journal of Marine Science*, 1992, 12(1): 225–235.
- [21] Brunetti N E, Elena B, Rossi G R, et al. Summer distribution, abundance and population structure of *Illex argentinus* on the Argentine shelf in relation to environmental features[J]. *South African Journal of Marine Science*, 1998, 20(1): 175–186.
- [22] Brunetti N E, Ivanovic M L, Louge E, et al. Reproductive biology and fecundity of two stocks of the squid (*Illex argentinus*)[J]. *Frente Marítimo*, 1991, 8(A): 73–84.

Research on the abundance prediction model of *Illex argentinus* based on sea surface temperature of spawning ground

Wang Yifan¹, Chen Xinjun^{1,2,3,4,5}, Guo Lixin^{1,3}

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

Abstract: *Illex argentinus* was a short life cycle species. Its resource abundance is susceptible to changes in the marine environment, especially in its early life history stage. According to the production statistics of the Chinese squid jigging fleet during 2003–2016 in the Southwest Atlantic and the sea surface temperature (SST) of the spawning ground from satellite remote sensing, the correlation analysis method was used to select the featured area representing SST changes during the spawning season (June) of *I. argentinus*. Based on the assumption that the ratio of optimum SST range to the total area (Ps) of the spawning ground of *I. argentinus* is positively correlated with the abundance index (catch per fishing unit, CPUE, t/ship), the optimum spawning area and suitable sea water temperature range of *I. argentinus* were traced back, and a variety of multivariate linear prediction models of abundance index based on the environmental factors were established. The correlation analysis shows that there are significant correlations between SST and CPUE in two consecutive sea areas (Area 1, Area 2) in June. They are 42.5°–44°S, 57.5°–59°W (Area 1) and 39°–39.5°S, 45°–46°W (Area 2) respectively. The inferred spawning area of *I. argentinus* ranges from 37.5°S to 44°S and 41.5°W to 51.5°W, and the optimum SST in the spawning area is 16°C to 17.5°C. The SSTs of two featured areas (Area 1, Area 2) and Ps in the inferred spawning area are used to establish four types of multivariate linear prediction models of abundance index (ICPUE), the results show that the fourth model containing the featured areas and Ps in the inferred spawning area is superior to the other 3 models, and its prediction model of abundance index is $ICPUE = 1.3904 \times Ps + 0.2619 \times SST_{Area 1} + 0.0962 \times SST_{Area 2} - 3.2480$.

Key words: Southwest Atlantic; *Illex argentinus*; abundance index; forecasting model; spawning environmental conditions