

文章编号: 1674-5566(2020)02-0280-07

DOI:10.12024/jsou.20190702737

## 基于 MAXENT 模型预测西北太平洋秋刀鱼潜在渔场

张孝民<sup>1</sup>, 石永闯<sup>2</sup>, 李 凡<sup>1</sup>, 朱明明<sup>1</sup>, 魏振华<sup>1</sup>

(1. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室, 山东 烟台 264006; 2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306)

**摘 要:** 为了研究海洋环境因子对西北太平洋秋刀鱼渔场的影响机制, 利用 2013—2014 年我国大陆秋刀鱼渔船的渔业统计资料和美国 NOAA 网站的海洋环境数据建立 MAXENT 模型, 使用受试者工作特征曲线 (ROC) 验证 MAXENT 模型的精度, 用刀切法 (Jackknife) 评价海洋环境因子的重要性, Arcgis 软件制作秋刀鱼潜在渔场分布图。结果表明: MAXENT 模型的预测精度较高, 结果可靠。秋刀鱼盛渔期 8—10 月的主要渔场集中在北海道和千岛群岛东部附近海域, 海表温 (SST) 是影响秋刀鱼渔场分布的最重要因子, 对模型的平均贡献百分比为 64.3%, 叶绿素 (Chl. a) 的平均贡献百分比为 20.6%, 盐度 (SSS) 的平均贡献百分比为 15.2%, 8—9 月叶绿素 (Chl. a) 比盐度 (SSS) 对秋刀鱼渔场分布的影响高, 10 月叶绿素 (Chl. a) 对秋刀鱼渔场分布的影响比盐度 (SSS) 低。

**关键词:** 秋刀鱼; MAXENT 模型; 海洋环境因子; 潜在渔场; 西北太平洋

**中图分类号:** S 934 **文献标志码:** A

秋刀鱼 (*Cololabis saira*) 属冷水性洄游鱼类, 广泛分布于西北太平洋的中纬度海域<sup>[1]</sup>, 主要捕捞国家和地区有日本、俄罗斯、韩国、中国台湾省、中国大陆和瓦努阿图<sup>[2]</sup>。其中日本和俄罗斯在其 200 海里专属经济区 (EEZ) 内进行捕捞, 韩国、中国台湾省和中国大陆渔船主要在北海道和千岛群岛的东部海域生产作业<sup>[3]</sup>。秋刀鱼是西北太平洋海域重要的国际性商业鱼种, 各个国家和地区在公海作业渔场的渔场位置交互重叠<sup>[4-5]</sup>, 竞争比较激烈, 因此了解秋刀鱼的栖息环境, 掌握其潜在渔场对我国大陆渔船在公海的生产作业有重要意义。秋刀鱼生命周期一般为 1 ~ 2 年<sup>[6]</sup>, 每年从北太平洋的亚热带一直洄游到靠近亚北极海域, 产卵季节从秋季持续到第二年的春季<sup>[7-8]</sup>, 年际间有明显的资源变动<sup>[9-10]</sup>。秋刀鱼的适温范围为 10 ~ 24 °C<sup>[11]</sup>, 研究发现, 海温<sup>[5, 12]</sup>、盐度<sup>[13-14]</sup>、叶绿素<sup>[15-16]</sup> 等环境因子对秋刀鱼的种群分布和渔场变动有显著的影响。

SYAH 等<sup>[17]</sup> 用 GAM 模型预测秋刀鱼潜在渔场, 并对潜在的渔场进行可视化; 日本学者 KURODA 等<sup>[18]</sup> 分析了 1993—2014 年日本北海道东南部海域秋刀鱼潜在渔场范围的变化, 发现该海域潜在渔场在逐渐变小, 并且近几年, 北海道近岸的大范围潜在渔场已经消失。本文结合现有的国内渔船生产作业数据和卫星遥感数据, 利用最大熵模型 (MAXENT) 研究环境因子对秋刀鱼渔场的影响, 预测秋刀鱼潜在渔场, 为西北太平洋秋刀鱼渔业生产和管理提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 数据来源

秋刀鱼的主要捕捞季节在每年的 8—10 月份<sup>[3]</sup>, 其中 10 月份的捕捞产量最高<sup>[19]</sup>, 渔业数据来自于我国大陆秋刀鱼渔船在西北太平洋的生产统计资料, 时间为 2013—2014 年的 8—10 月, 数据内容为各渔船的作业位置和日产量, 以每月

收稿日期: 2019-07-12 修回日期: 2019-08-14

基金项目: 山东省 2018 年重点研发计划 (2018GHY115037); 2017 年度烟台市重点研发计划 (2017ZH069); 山东省海洋与渔业科技创新计划项目 (2017YY24)

作者简介: 张孝民 (1991—), 男, 实习研究员, 研究方向为秋刀鱼渔业资源。E-mail: 1119673677@qq.com

通信作者: 魏振华, E-mail: 18053564078@163.com

的数据为单位作为建立模型的基础数据。

海洋环境数据包括海表面温度(SST)、盐度(SSS)和叶绿素 a 浓度(*Chl. a*),来源于美国 NOAA 的 OceanWatch 网站(<https://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/thredds/catalog.html>),时间分辨率为月,空间分辨率分别为  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ ,  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ,  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ,最大熵模型要求输入层的环境因子分辨率一致,用 Arcgis 将数据输入层进行栅格叠加,转换成  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  的空间分辨率,数据的空间范围为  $38^{\circ}\text{N} \sim 55^{\circ}\text{N}$  和  $145^{\circ}\text{E} \sim 168^{\circ}\text{E}$ 。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 MAXENT 模型

MAXENT 模型即最大熵模型,是以最大熵理论为基础预测物种地理空间分布的模型(species distribution model, SDM)<sup>[20]</sup>,最大熵理论基于有限的已知信息推断未知概率分布,认为实现方式数量最大的可能性就是实际观察到的真实状况<sup>[21-22]</sup>。

根据现有的秋刀鱼生产作业数据和环境数据,从符合限制条件的分布中选择熵最大的分布作为最优分布,预测秋刀鱼潜在渔场。模型的运算使用软件 MAXENT 3.3.3k (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent>)。输入层中的物种分布数据为每月作业渔船的经纬度位置(不包括渔获为零的点)<sup>[23]</sup>,以 csv 格式文件的形式输入到 MAXENT 模型的“Samples”模块;环境图层为 SST、SSS 和 *Chl. a* 的 ASCII 栅格格式数据,空间分辨率为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。2013—2014 年的 8—10 月由各月经纬度位置组成的数据集样本数量分别是:120、131、135、168、175 和 180 个。运算过程中随机选取 80% 的数据集作为训练集(training data)建立预测模型,剩余的 20% 作为测试集(test data)验证模型。

### 1.2.2 模型的评价

使用受试者工作特征曲线(receiver operating

characteristic curve, ROC) 验证 MAXENT 模型的预测精度,计算预测结果可能阈值的灵敏度和特异度,曲线纵坐标为灵敏度,横坐标为特异度。ROC 曲线是一种不依赖于阈值的评估方法,其曲线下面积(area under curve, AUC)的大小作为模型预测准确性的衡量指标,如果数据是随机的,那么  $\text{AUC} = 0.5$ ,即对角线;如果 AUC 曲线在对角线的上方,说明结果的准确率较高,AUC 越接近 1,则表明模型的预测精度越高;如果 AUC 曲线在对角线下方,说明与正确结果相反,需取其反向结果。

### 1.2.3 环境因子重要性评价

通过 MAXENT 模型中的刀切法(Jackknife)评价环境因子的重要性,分析环境因子对秋刀鱼潜在渔场分布的贡献率,通过仅存在此环境因子和不存在此环境因子的得分大小,来评估环境因子对秋刀鱼分布的重要性<sup>[23]</sup>。

### 1.2.4 潜在渔场概率分布

MAXENT 模型输出  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  栅格点上秋刀鱼分布存在概率,将输出结果导入 Arcgis 软件中,运用空间分析工具(spatial analyst tools)中的 Kriging 插值模块进行插值,作出概率分布图,分析在  $38^{\circ}\text{N} \sim 55^{\circ}\text{N}$  和  $145^{\circ}\text{E} \sim 168^{\circ}\text{E}$  海域范围内秋刀鱼潜在渔场概率分布情况。

## 2 结果

### 2.1 AUC 检验结果

利用 ROC 曲线获得的 AUC 值对秋刀鱼 MAXENT 模型精度进行验证(表 1),各月份的 AUC 值均大于 0.5,且都大于 0.8,表明通过 MAXENT 模型对秋刀鱼潜在渔场进行预测是可行的,预测结果能够合理反映秋刀鱼潜在渔场的分布情况。2014 年训练数据和预测数据的 AUC 值明显高于 2013 年,即 2014 年的模型精度更高。

表 1 秋刀鱼最大熵模型的 AUC 值

Tab. 1 The AUC value of the maximum entropy model of Pacific saury

月份 Months	2013.08	2013.09	2013.10	2014.08	2014.09	2014.10
训练数据 training data	0.844	0.821	0.803	0.863	0.909	0.905
测试数据 test data	0.851	0.818	0.803	0.871	0.841	0.871

## 2.2 环境因子重要性评价

从环境因子在最大熵模型中贡献的百分比中可以看出(表2), SST 的贡献百分比是3个环境因子中最高的,全部高于50%,平均贡献百分比为64.3%,2014年8月贡献百分比最高,达到

了77.4%。SSS 的贡献百分比相对较低,平均贡献百分比为15.2%,最低是2014年8月,只有2.6%。*Chl. a* 平均贡献百分比为20.6%,在8月和9月的贡献百分比都高于SSS,并且百分比都高于20%,但在10月均低于SSS。

表2 最大熵模型中环境因子的贡献百分比

Tab. 2 Percent contribution of environmental factors in maximum entropy model

月份 Months	2013.08	2013.09	2013.10	2014.08	2014.09	2014.10
SST	55.3	68.7	66.1	77.4	53.1	65
SSS	17.6	10	20.5	2.6	18.5	21.7
<i>Chl. a</i>	27.1	21.3	13.4	20	28.4	13.3

根据 Jackknife 检验的分析(表3),只包括 SST 的得分明显高于只包括 *Chl. a* 和只包括 SSS 的得分,只包括 *Chl. a* 和只包括 SSS 的得分比较接近,没有显著区别。不包括 SST 的得分明显低于不包括 *Chl. a* 和不包括 SSS 的得分,不包括

*Chl. a* 和不包括 SSS 的得分差距较小。结果说明, SST 是影响秋刀鱼潜在渔场分布的最主要影响因素,另外, Jackknife 检验无法判断 *Chl. a* 和 SSS 的影响大小。

表3 Jackknife 检验结果

Tab. 3 The result of Jackknife test

月份 Months	只包括 <i>Chl. a</i> With only <i>Chl. a</i>	只包括 SSS With only SSS	只包括 SST With only SST	不包括 <i>Chl. a</i> Without <i>Chl. a</i>	不包括 SSS Without SSS	不包括 SST Without SST
2013.08	0.109 6	0.119 8	0.514 7	0.489 7	0.314 8	0.182 3
2013.09	0.101 9	0.125 7	0.441 5	0.241 5	0.243 4	0.027 2
2013.10	0.115 2	0.100 1	0.462 5	0.162 5	0.162 8	0.015 2
2014.08	0.103 2	0.122 0	0.420 7	0.123 4	0.149 7	0.083 2
2014.09	0.237 2	0.227 2	0.497 1	0.621 7	0.561 7	0.384 6
2014.10	0.082 3	0.121 0	0.517 3	0.691 2	0.595 3	0.141 4

## 2.3 秋刀鱼潜在渔场分布

2013—2014年8—10月秋刀鱼潜在渔场的概率分布图(图1),其中概率超过0.5的部分(即橘黄色和红色部分)可以被认为是秋刀鱼的潜在渔场。从图中可以看出,2013年8月的主要渔场有两个,一个在42°N~47°N和150°E~160°E,部分海域概率超过0.7,另一个40°N~48°N和164°E以东。2013年9月的主要渔场集中在38°N~48°N和146°E~166°E的大部分区域,概率

超过0.6的区域为42°N~45°N和152°E~156°E区域。2013年10月的主要渔场集中在北部千岛群岛附近,在48°N~52°N和148°E~158°E区域。2014年8月的主要渔场相对分散东南部海域,在39°N~40°N和155°E~157°E区域概率超过0.7。2014年9月和10月,秋刀鱼潜在主要渔场大体相同,集中在俄罗斯和日本专属经济区内,分布在46°N~52°N和146°E~162°E的大范围区域内。

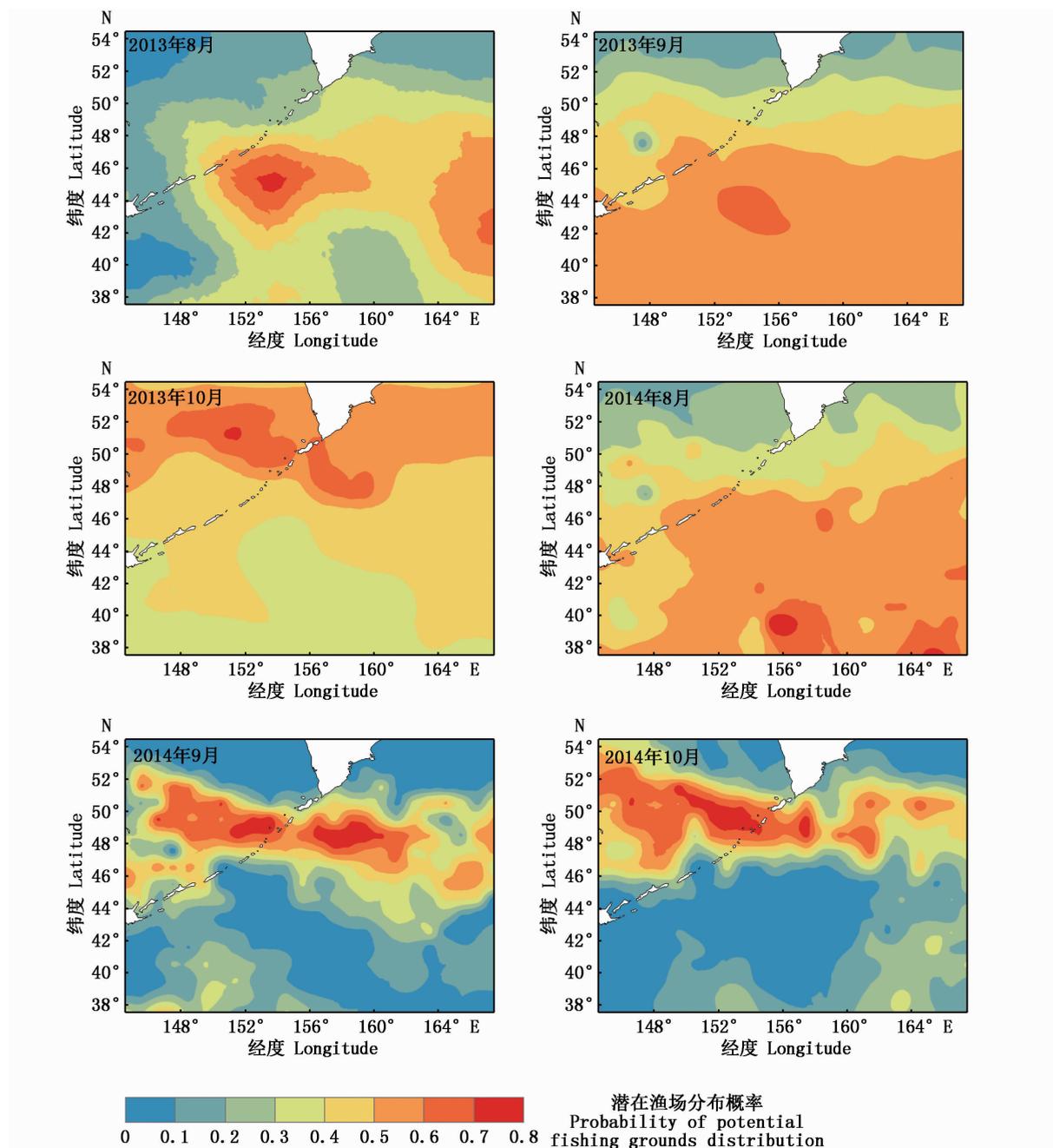


图 1 2013—2014 年 8—10 月秋刀鱼潜在渔场分布  
 Fig. 1 The potential fishing grounds distribution area of Pacific saury  
 from August to October in the years of 2013 and 2014

### 3 讨论与分析

#### 3.1 秋刀鱼潜在渔场预测

通过 MAXENT 模型预测的秋刀鱼潜在渔场,除了 2014 年 8 月外,在秋刀鱼盛渔期 8—10 月,预测结果(图 2)显示的主要渔场均集中在北海道和千岛群岛附近,与 SYAH 等<sup>[17]</sup>的预测结果相同。从 8 月开始到 10 月,秋刀鱼逐渐从离岸的东

部海域向西洄游到近岸,11 月到 12 月,捕捞季节逐渐结束,秋刀鱼由北向南洄游到黑潮海域产卵。本文预测的潜在渔场,基本符合秋刀鱼种群洄游规律。另外,从预测图中也可以看出,盛渔期日本和俄罗斯专属经济区秋刀鱼潜在渔场的概率高于公海海域,与 HUANG<sup>[24]</sup>研究得出的秋刀鱼资源丰度近海区高于公海区的结果相似。秋刀鱼潜在渔场集中在近岸海域的原因可能是

亲潮寒流经过千岛群岛向南流入太平洋<sup>[25]</sup>,与南上的黑潮交汇,形成海洋峰,改变了海域的 SST、Chl. a 和 SSS 等海洋环境因子,使秋刀鱼的饵料生物丰度增加,更有利于鱼群的聚集。

### 3.2 环境因子对秋刀鱼潜在渔场的影响

在 3 个环境因子中,SST 对 MAXENT 模型的贡献百分比最大,表明秋刀鱼对 SST 的敏感度是最高的。冬春季 SST 的变化会影响秋刀鱼的产卵和幼鱼的生长,也会对秋刀鱼洄游产生影响。夏秋季捕捞季节的 SST 变化会影响秋刀鱼的觅食,造成大个体(体长大于 29 cm)和中等个体(体长大于 24 cm 小于 29 cm)的秋刀鱼数量减少。Chl. a 对 MAXENT 模型的贡献百分比小于 SST,在 8 月和 9 月高于 SSS,但在 10 月低于 SSS。SYAH 等<sup>[17]</sup>研究认为由于 9 月份秋刀鱼对饵料数量的依赖大,造成 Chl. a 对秋刀鱼分布的影响最大,11 月和 12 月秋刀鱼对饵料依赖程度的降低,使得 Chl. a 的影响力也相应降低,这与本文的研究结果是类似的。

### 3.3 MAXENT 模型的评价

通过 AUC 检验的结果(表 1),可以看出 MAXENT 模型对秋刀鱼潜在渔场的预测结果是比较可靠的,但明显小于阿根廷滑柔鱼<sup>[23]</sup>的 MAXENT 模型分析得到的 AUC 值,与北太平洋公海鲈鱼<sup>[26]</sup>的 AUC 值结果差距不大。MAXENT 模型是基于当前存在数据进行分析的模型,模型结果只能用于当前存在的种群,因此 MAXENT 模型更适合用于洄游能力较弱的物种,阿根廷滑柔鱼相对于秋刀鱼和鲈鱼来说,游泳和洄游能力更弱,因此对 MAXENT 模型的适应性更强,得到的结果更为可靠。

MAXENT 模型预测结果虽然是基于当前存在的种群,但仍对未来秋刀鱼潜在渔场具有很大的参考价值,除了厄尔尼诺等气候变化情况发生的年份外,秋刀鱼渔场位置的年际变化较小,对指导渔业生产是十分重要的。SYAH 等<sup>[17]</sup>在 MAXENT 模型中加入了中尺度的海洋气候因子涡流动能(eddy kinetic energy EKE),发现秋刀鱼渔场与 EKE 关系紧密,集中在中度和低度 EKE 附近。在以后的研究中,将厄尔尼诺指数、EKE 等一些大尺度和中尺度的海洋气候因子加入到 MAXENT 模型中,会使模型的精度和准确度更高。

MAXENT 模型对样本量要求较低(大于 5),只需要出现点的位置信息,不需要获取其它难以获得的信息,可以解决远洋渔业数据获取成本较大的问题。另外,MAXENT 模型常用于通过局部信息分析全部信息,如吴庆明<sup>[27]</sup>利用 MAXENT 模型来分析扎龙自然保护区内难以获得出现点数据的芦苇沼泽区域的丹顶鹤生境适应性。本文运用我国大陆秋刀鱼渔船在公海的作业数据,同样可以分析日本和俄罗斯专属经济区内秋刀鱼潜在渔场的位置,并且与日本学者分析结果类似,为了解专属经济区秋刀鱼的渔场分布提供了一种新的方法。

### 参考文献:

- [1] FUKUSHIMA S. Synoptic analysis of migration and fishing conditions of saury in the northwestern Pacific Ocean [J]. Bulletin of Tohoku Regional Fisheries Research Institute, 1979, 41: 1-70.
- [2] 石永闯,朱清澄,黄硕琳,等. 基于贝叶斯 Schaefer 模型的西北太平洋秋刀鱼资源评估和管理[J]. 渔业科学进展,2019,40(5):1-10.  
SHI Y C, ZHU Q C, HUANG S L, et al. Stock assessment of Pacific saury (*Cololabis saira*) in the Northwest Pacific using a Bayesian Schaefer model [J]. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(5): 1-10.
- [3] CHANG Y J, LAN K W, WALSH W A, et al. Modelling the impacts of environmental variation on habitat suitability for Pacific Saury in the Northwestern Pacific Ocean [J]. Fisheries Oceanography, 2019, 28(3): 291-304.
- [4] 吴越,黄洪亮,刘健,等. 2004—2011 年中国台湾秋刀鱼作业渔场年际变化初步分析[J]. 渔业信息与战略, 2014, 29(4): 263-271.  
WU Y, HUANG H L, LIU J, et al. Preliminary analysis on the interannual variation of fishing grounds of saury fishery of Taiwan province from 2004 to 2011 [J]. Fishery Information & Strategy, 2014, 29(4): 263-271.
- [5] 张孝民,朱清澄,花传祥. 2013 年北太平洋公海秋刀鱼渔场与海洋环境的关系[J]. 上海海洋大学学报, 2015, 24(5): 773-782.  
ZHANG X M, ZHU Q C, HUA C X. Fishing ground distribution of saury and its correlation with marine environment factors in the Northern Pacific high sea in 2013 [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2015, 24(5): 773-782.
- [6] SUYAMA S, KURITA Y, UENO Y. Age structure of Pacific saury *Cololabis saira* based on observations of the hyaline zones in the otolith and length frequency distributions [J]. Fisheries Science, 2006, 72(4): 742-749.
- [7] TIAN Y J, AKAMINE T, SUDA M. Modeling the influence

- of oceanic-climatic changes on the dynamics of Pacific saury in the northwestern Pacific using a life cycle model [J]. Fisheries Oceanography, 2004, 13(s1): 125-137.
- [8] GONG Y, SUHY S. Effect of climate-ocean changes on the abundance of Pacific saury [J]. Journal of Environmental Biology, 2013, 34(1): 23-30.
- [9] TIAN Y J, AKAMINE T, SUDA M. Variations in the abundance of Pacific saury (*Cololabis saira*) from the northwestern Pacific in relation to oceanic-climate changes [J]. Fisheries Research, 2003, 60(2/3): 439-454.
- [10] WATANABE Y, KURITA Y, NOTO M, et al. Growth and survival of Pacific saury *Cololabis saira* in the Kuroshio-Oyashio transitional waters [J]. Journal of Oceanography, 2003, 59(4): 403-414.
- [11] 孙满昌, 叶旭昌, 张健, 等. 西北太平洋秋刀鱼渔业探析 [J]. 海洋渔业, 2003, 25(3): 112-115.  
SUN M C, YE X C, ZHANG J, et al. Probe into Pacific Saury fisheries in the Northwest Pacific [J]. Marine Fisheries, 2003, 25(3): 112-115.
- [12] 晏磊, 朱清澄, 张阳, 等. 2010 年北太平洋公海秋刀鱼渔场分布及其与表温的关系 [J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(4): 609-615.  
YAN L, ZHU Q C, ZHANG Y, et al. Fishing ground distribution of saury and its correlation with SST in the Northern Pacific high sea in 2010 [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(4): 609-615.
- [13] TAKASUKA A, KURODA H, OKUNISHI T, et al. Occurrence and density of Pacific saury *Cololabis saira* larvae and juveniles in relation to environmental factors during the winter spawning season in the Kuroshio Current system [J]. Fisheries Oceanography, 2014, 23(4): 304-321.
- [14] TAKASUKA A, NISHIKAWA K, KURODA H, et al. Growth variability of Pacific saury *Cololabis saira* larvae under contrasting environments across the Kuroshio axis: survival potential of minority versus majority [J]. Fisheries Oceanography, 2016, 25(4): 390-406.
- [15] YASUDA I, WATANABE T. Chlorophyll a variation in the Kuroshio Extension revealed with a mixed-layer tracking float: implication on the long-term change of Pacific saury (*Cololabis saira*) [J]. Fisheries Oceanography, 2007, 16(5): 482-488.
- [16] TSENG C T, SUN C L, BELKIN I M, et al. Sea surface temperature fronts affect distribution of Pacific saury (*Cololabis saira*) in the Northwestern Pacific Ocean [J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2014, 107: 15-21.
- [17] SYAH A F, SAITOH S I, ALABIA I D, et al. Detection of potential fishing zone for Pacific saury (*Cololabis saira*) using generalized additive model and remotely sensed data [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, 54(1): 012074.
- [18] KURODA H, YOKOUCHI K. Interdecadal decrease in potential fishing areas for Pacific saury off the southeastern coast of Hokkaido, Japan [J]. Fisheries Oceanography, 2017, 26(4): 439-454.
- [19] SYAH F, SAITOH S I, ALABIAI D, et al. Predicting potential fishing zones for Pacific saury (*Cololabis saira*) with maximum entropy models and remotely sensed data [J]. Fishery Bulletin, 2016, 114(3): 330-342.
- [20] 张路. MAXENT 最大熵模型在预测物种潜在分布范围方面的应用 [J]. 生物学通报, 2015, 50(11): 9-12.  
ZHANG L. Application of MAXENT maximum entropy model in predicting the potential distribution range of species [J]. Bulletin of Biology, 2015, 50(11): 9-12.
- [21] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. Ecological Modelling, 2006, 190(3/4): 231-259.
- [22] 邢丁亮, 郝占庆. 最大熵原理及其在生态学中的应用 [J]. 生物多样性, 2011, 19(3): 295-302.  
XING D L, HAO Z Q. The principle of maximum entropy and its applications in ecology [J]. Biodiversity Science, 2011, 19(3): 295-302.
- [23] 陈芃, 陈新军. 基于最大熵模型分析西南大西洋阿根廷滑柔鱼栖息地分布 [J]. 水产学报, 2016, 40(6): 893-902.  
CHEN P, CHEN X J. Analysis of habitat distribution of Argentine shortfin squid (*Illex argentinus*) in the southwest Atlantic Ocean using maximum entropy model [J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(6): 893-902.
- [24] HUANG W B. Comparisons of monthly and geographical variations in abundance and size composition of Pacific saury between the high-seas and coastal fishing grounds in the northwestern Pacific [J]. Fisheries Science, 2010, 76(1): 21-31.
- [25] TSENG C T, SUN C L, YEH S Z, et al. Influence of climate-driven sea surface temperature increase on potential habitats of the Pacific saury (*Cololabis saira*) [J]. ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(6): 1105-1113.
- [26] 薛嘉伦, 樊伟, 唐峰华, 等. 基于最大熵模型预测西北太平洋公海鲈潜在栖息地分布 [J]. 南方水产科学, 2018, 14(1): 92-98.  
XUE J L, FAN W, TANG F H, et al. Analysis of potential habitat distribution of *Scomber japonicus* in northwest Pacific Ocean using maximum entropy model [J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(1): 92-98.
- [27] 吴庆明, 王磊, 朱瑞萍, 等. 基于 MAXENT 模型的丹顶鹤营巢生境适宜性分析——以扎龙保护区为例 [J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3758-3764.  
WU Q M, WANG L, ZHU R P, et al. Nesting habitat suitability analysis of red-crowned crane in Zhalong Nature reserve based on MAXENT modeling [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(12): 3758-3764.

## Prediction of potential fishing ground for Pacific saury (*Cololabis saira*) based on MAXENT model

ZHANG Xiaomin<sup>1</sup>, SHI Yongchuang<sup>2</sup>, LI Fan<sup>1</sup>, ZHU Mingming<sup>1</sup>, WEI Zhenhua<sup>1</sup>

(1. Shandong Marine and Fishery Research Institute, Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Yantai 264006, Shandong, China; 2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** To study the influence mechanism of marine environmental factors on the potential fishing ground for Pacific saury in Northwestern Pacific, by using the fishery statistics data of Chinese Pacific saury fishing boats from 2013 to 2014 and the marine environment data of NOAA website, this paper set up MAXENT models; the accuracy of the MAXENT model was verified by using receiver operating characteristic (ROC) curve, the importance of oceanographic environmental factors was evaluated by Jackknife Method, the potential fishing area distribution map of the Pacific saury was made by Arcgis. The results show that MAXENT model was proved to be accurate and reliable; during the Pacific saury's best fishing period from August to October, the potential fishing ground mostly occurred around the eastern waters of Hokkaido and Kuril islands. The fishing ground distribution for Pacific saury is influenced by SST mostly among several environmental factors, of which the average percentage contribution to the model is 64.3%, in the meantime, the average contribution percentage of chlorophyll (*Chl. a*) and salinity (SSS) are 20.6%, 15.2% respectively. In August and September, chlorophyll (*Chl. a*) holds a higher model contribution to the distribution of the Pacific saury than salinity (SSS), whereas, the effect of chlorophyll (*Chl. a*) on the distribution of Pacific saury in October was lower than salinity (SSS).

**Key words:** Pacific saury; MAXENT model; environmental factors; potential fishing ground; Northwestern Pacific