

基于最大熵模型的西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭栖息地差异

刘思源¹, 张衡², 杨超^{1,2}, 方舟^{1,3,4,5,6}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 5. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306; 6. 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: 利用 2017—2021 年盛渔期(5—11 月)在西北太平洋远东拟沙丁鱼(*Sardinops melanostictus*)和日本鲭(*Scomber japonicus*)的渔业数据,结合海表面温度(Sea surface temperature, SST)、海表面盐度(Sea surface salinity, SSS)、海表面高度(Sea surface height, SSH)、叶绿素 a 质量浓度(Chlorophyll-a, *Chl. a*)、涡旋动能(Eddy kinetic energy, EKE)、不同水层温度(包括 50、100、150 和 200 m),通过贡献率的大小分别筛选出各月对远东拟沙丁鱼和日本鲭排位前 3 的关键因子,根据二者对各月关键环境因子的响应曲线,获得各月关键因子与二者潜在栖息地的月间变化关系,最终模拟出二者在 5—11 月的潜在栖息地分布图。结果表明,远东拟沙丁鱼和日本鲭的潜在栖息地变动与实际作业位置具有一致性,随着月份的增加均呈现先向东北方向移动,再向西南方向折回的运动趋势,且二者各月潜在栖息地位置均大范围重叠。在 6、8—10 月影响二者适宜栖息地变动的关键因子均为 SSH、SST、*Chl. a*,且适宜范围相差不大。5、7、11 月影响二者适宜栖息地变动的关键因子有所不同,远东拟沙丁鱼 5 月的关键因子为 SSH、EKE、SST,7 月为 SSH、SST、*Chl. a*,11 月为 EKE、SST、*Chl. a*,而日本鲭 5 月为 SSH、EKE、*Chl. a*,7 月为 SST、*Chl. a*、SSS,11 月为 SSH、SST、*Chl. a*,各月环境因子的适宜范围不同。此外,随着月份增加日本鲭最适栖息地面积向北逐渐缩小,7 和 11 月面积最小,而远东拟沙丁鱼最适栖息地面积有增大趋势,11 月最适栖息地延伸到 37°N 以北的地区。研究表明,SSH、SST、*Chl. a* 的变化对西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭潜在栖息地分布变化均有重要影响,而 EKE、SSS 是造成二者之间潜在栖息地分布变化差异的主要原因。

关键词: 最大熵模型; 西北太平洋; 远东拟沙丁鱼; 日本鲭; 海洋环境; 栖息地差异

中图分类号: S 931 **文献标志码:** A

远东拟沙丁鱼(*Sardinops melanostictus*)和日本鲭(*Scomber japonicus*)是西北太平洋海域重要的经济鱼类,二者同属于暖温水中上层鱼类,广泛分布于 145°E~160°E 和 35°N~45°N^[1] 海域。根据北太平洋渔业委员会(The North Pacific Fisheries Commission, NPFC)统计,近 10 年来,远东拟沙丁鱼和日本鲭年渔获量居西北太平洋前列且二者年产量呈现交替变化趋势。同时在 2018 年,远东拟沙丁鱼年产量在近 20 年中首次超过日本鲭年产量且差距不断扩大^[2]。国内外研究学者表明,远东拟沙丁鱼与日本鲭均为小型

洄游鱼类,由于西北太平洋海域环境复杂多变等因素^[3],二者在该海域的洄游路线、索饵场等多有相似之处,并且二者的资源丰度、栖息地分布的变化等与海洋环境要素变化关联度较大,如 HIYAMA 等^[4]通过回归分析法发现,随着海表面温度的升高,日本鲭栖息地面积逐渐缩小且北移,而远东拟沙丁鱼栖息地面积增大。YANG 等^[5]发现远东拟沙丁鱼常汇集于温度变化较小的海域,水深在 10 m 左右,冬季越冬时最深不超过 50 m,而王良明等^[6]研究发现日本鲭在 50~100 m 的水深且温度变化较大的海域里栖息较

收稿日期: 2023-02-03 修回日期: 2023-04-01

基金项目: 国家自然科学基金(41876141);上海市自然科学基金(18ZR1449800);农业农村部全球渔业资源调查监测评估(公海渔业资源综合科学调查)专项(D-8021-22-0129-01);农业农村部外海渔业开发重点实验室开放课题(LOF 2021-01)

作者简介: 刘思源(2000—),男,硕士研究生,研究方向为渔业海洋学。E-mail:1419025398@qq.com

通信作者: 方舟, E-mail: zfang@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University(CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

多。徐博等^[7]基于广义加性模型对西北太平洋渔获物与环境关系进行分析发现,叶绿素质量浓度与日本鲭渔获量呈极显著相关关系,而与沙丁鱼渔获量无显示相关关系。戴澍蔚^[8]基于 GAM 模型较好地模拟了远东拟沙丁鱼日本鲭的渔场重心,发现二者渔场重心变化高度重合。

在以往的研究中,研究对象只针对单一鱼种且并未考虑环境变化对关联鱼种栖息地月份和年间变化的差异^[4-6]。最大熵(MaxEnt)是利用部分区域“当前存在”的有效信息评估区域内某因素“未知分布”概率的机器学习方法,它广泛用于物种分布模型(Species distribution model, SDM),在基于可获取的有限的物种出现点及其所关联的环境因子信息上,在组成的多维生态空间中,根据物种自身的生态位特性,以概率的形式判断相关环境因子的重要性,并能定量地描述物种适宜生境分布^[9]。WANG 等^[10]指出使用最大熵模型结合关键环境因子对于预测鱼种的最适栖息地范围具有较高的准确度。目前,国内外学者已将最大熵模型应用于长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)^[11]、智利竹筴鱼(*Trachurus murphyi*)^[12]、柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)^[13]等研究中,对于远东拟沙丁鱼和日本鲭栖息地的研究也有其潜在应用可能。因此,本研究利用 2017—2021 年 5—11 月西北太平洋海域围网捕捞渔船的远东拟沙丁鱼和日本鲭的渔获数据,利用最大熵模型筛选出影响两者栖息地变化的各月关键因子,模拟它们栖息地分布变化,以此来分析环境因子波动对远东拟沙丁鱼和日本鲭栖息地变化的差异性,为构建二者的最优栖息地模型以及渔业资源管理和可持续开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 渔业数据

根据中国远洋渔业协会公海围拖网渔业技术组在 2017—2021 年 5—11 月西北太平洋公海的远东拟沙丁鱼和日本鲭捕捞数据,该数据包括捕捞位置经纬度、捕捞时间(年、月、日)、捕捞网次和各网次捕捞量(单位:t),作业海域为 145°E~163°E 和 34°N~45°N(图 1)。将各年的捕捞位置经纬度以月为单位,按空间分辨率为 0.25°×0.25°进行预处理,并将各月重复捕捞位

置的捕捞量和网次进行叠加。

1.2 环境数据

西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭资源丰度和时空分布特征深受环境因子的影响,环境因子主要包括海表面温度(Sea surface temperature, SST)、海表面盐度(Sea surface salinity, SSS)、海表面高度(Sea surface height, SSH)等。基于远东拟沙丁鱼和日本鲭为小型暖温水中上层洄游鱼类的特性,本研究选取 SST、SSS、SSH、叶绿素 a 质量浓度(*Chl. a*)、涡旋动能(EKE)以及不同水层温度(50、100、150 和 200 m)等 9 个环境因子进行分析,环境数据下载来源为亚太数据研究中心(http://apdrc.soest.hawaii.edu/las_ofes/v6/dataset?catitem=71),时间范围为 2017—2021 年 5—11 月,空间分布范围为 140°E~165°E,30°N~47°N,空间分辨率为 0.25°×0.25°。

1.3 分析方法

1.3.1 最大熵模型

最大熵模型原理为熵最大原则,即根据物种分布和环境因子的不完全信息,探寻最大乱度的随机分配,预测及估算该物种的潜在栖息地分布,本研究中最大熵模型的运行版本为 MAXENT3.4.1,软件下载网址为 http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/^[14]。软件输入层中的远东拟沙丁鱼和日本鲭的分布数据为预处理后的西北太平洋海域各月作业位置的经纬度数据(不包括渔获量为 0 的数据),以物种名、经度、纬度的形式输入,文件储存格式为 CSV 格式。软件输入的环境图层是由 ArcGis10.7 软件输出的 ASC II 格式的 2017—2021 年的 SST、SSS、SSH、*Chl. a*、EKE 以及不同水层温度(50、100、150 和 200 m)的月均数据。为验证最大熵模型的预测能力,在运算的过程中远东拟沙丁鱼和日本鲭分布数据的 75% 作为构建模型的训练数据,25% 作为模型精度的验证数据,重复运算设定为 100 次,以消除重复性和随机性。

模型的运算结果利用受试者工作特征曲线(Receiver operating characteristic curve, ROC)和线下的面积(Area under curve, AUC)大小来评价各月模型的精度^[14]。将 AUC 值的区间设定为 0~1, AUC 值越接近 1, 代表模型的预测精度越高。根据 AUC 值可以将预测结果划分为 5 个等

级,即 $AUC < 0.6$, $0.6 \leq AUC < 0.7$, $0.7 \leq AUC < 0.8$, $0.8 \leq AUC < 0.9$, $0.9 \leq AUC < 1$, 预测结果对应的等级分别为差、较差、一般、好、极好^[15]。

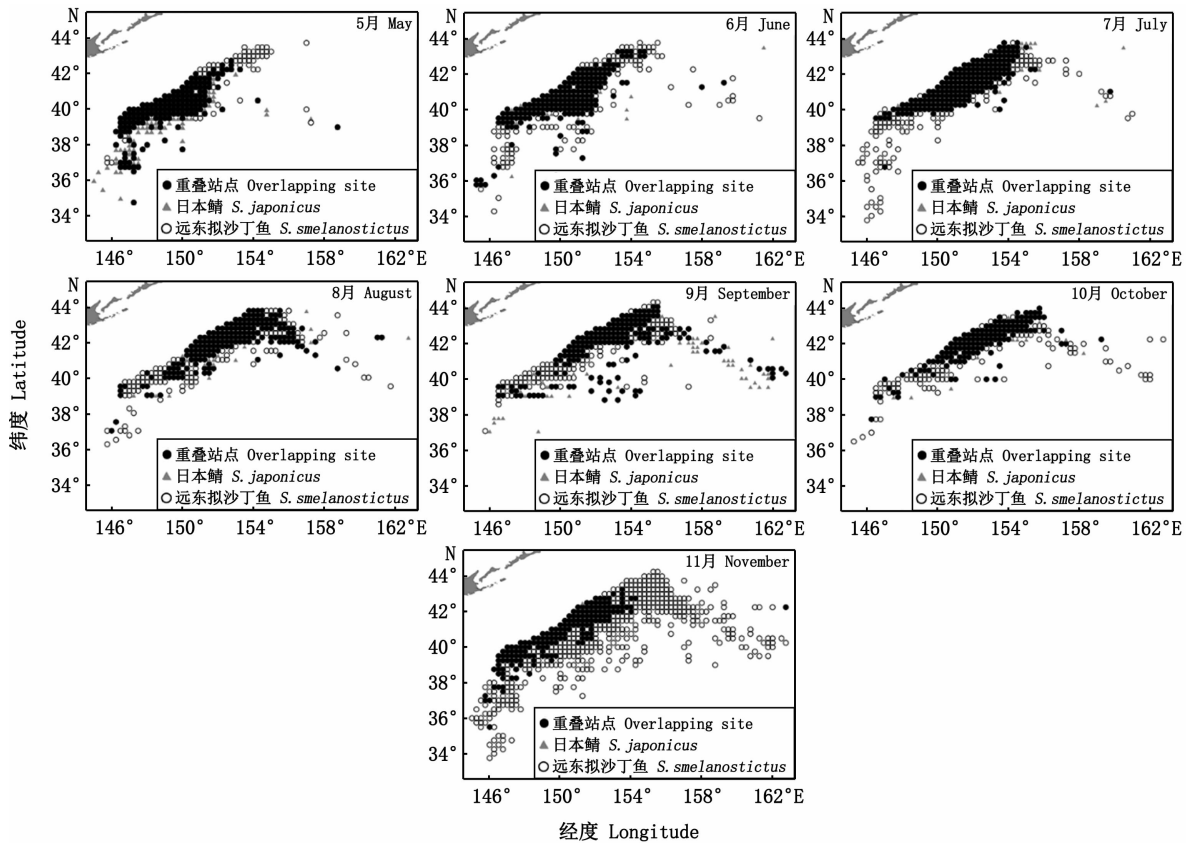


图1 2017—2021年5—11月围网作业渔船在西北太平洋公海捕捞作业站点
Fig. 1 Operation sites of Chinese purse fleets in the open sea in northwest Pacific Ocean from March to November in 2017—2021

1.3.2 关键环境因子的提取

通过 MaxEnt 模型对各月环境因子进行运算得出该环境因子贡献率,贡献率的高低代表该环境因子对于物种分布的匹配程度,贡献率越高,代表该环境因子对该物种的适配性越高,物种出现概率越大^[16]。本研究选取各月贡献率前三的环境因子作为关键环境因子,并绘制远东拟沙丁鱼和日本鲭对关键环境因子的响应曲线,以此来分析二者栖息地适宜程度对关键环境因子的响应差异。

1.3.3 潜在栖息地分布图绘制

利用 ArcGis 10.7 软件将模型输出的 ASC II 格式文件转化为每个栅格点上远东拟沙丁鱼和日本鲭的栖息地适宜性指数 (Habitat suitability index, HSI), HSI 设定为 0~1, 根据远东拟沙丁鱼和日本鲭的适宜性将其划分为 5 个区间, 分别为

$0 \leq HSI < 0.2$, $0.2 \leq HSI < 0.4$, $0.4 \leq HSI < 0.6$, $0.6 \leq HSI < 0.8$, $0.8 \leq HSI \leq 1$, 认为 $HSI \geq 0.6$ 的区域作为远东拟沙丁鱼或日本鲭的最适栖息地^[17-18], 利用 MATLAB 软件绘制远东拟沙丁鱼和日本鲭各月潜在栖息地分布图。

1.3.4 渔场经纬度重心及最适 HSI 重心

在实际生产捕捞中单位捕捞努力渔获量 (Catch per unit of effort, CPUE) 代表渔业资源密度大小, 渔场经纬度重心的变动代表作业渔场的时空分布情况, 最适 HSI 重心代表物种最适潜在栖息地的变动^[19]。因此本文基于 CPUE 来计算渔场重心, 基于 HSI 值计栖息地重心, 将渔场经纬度重心与最适 HSI 重心进行对比分析, 以此来比较分析远东拟沙丁鱼和日本鲭的实际作业区域与预测区域的差异和分布变化。单位捕捞努力量渔获量、作业渔场重心、最适栖息地重心及

计算公式如下:

$$P_{mi} = \frac{\sum C_{mi}}{\sum E_{mi}} \quad (1)$$

$$L_{onm} = \sum_{i=1}^k X_{mi} \times P_{mi} / \sum_{i=1}^k P_{mi} \quad (2)$$

$$L_{atm} = \sum_{i=1}^k Y_{mi} \times P_{mi} / \sum_{i=1}^k P_{mi} \quad (3)$$

$$S_{onm} = \sum_{i=1}^k X_{mi} \times H_{mi} / \sum_{i=1}^k P_{mi} \quad (4)$$

$$S_{atm} = \sum_{i=1}^k Y_{mi} \times H_{mi} / \sum_{i=1}^k P_{mi} \quad (5)$$

式中: C 为作业站点的捕捞量, t ; E 为作业站点的捕捞努力量,网; X_{mi} 、 Y_{mi} 、 H_{mi} 、 P_{mi} 分别为 i 作业站点 m 月的经度、纬度、HSI值、CPUE; L_{onm} 、 L_{atm} 、

S_{onm} 、 S_{atm} 分别为 m 月的渔场重心经度、渔场重心纬度、最适 HSI 经度、最适 HSI 纬度; m 为月份; i 为第 i 个作业站点; k 为作业站点总数。

2 结果与分析

2.1 最大熵模型评价

根据最大熵模型运算结果(表1),在2017—2021年西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭各月的模拟预测精度均大于0.85,表示各月的远东拟沙丁鱼和日本鲭的实际分布位置与最大熵模型模拟的潜在分布位置结果高度重合,说明分析结果可靠。

表1 2017—2021年5—11月西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭最大熵模型统计结果
Tab.1 Statistical analysis of MaxEnt model of *S. melanostictus* and *S. japonicus* in the northwest Pacific Ocean from May to November during 2017—2021

模型 Model	物种 Species	样本量 Samples	精度 AUC	标准偏差 Standard deviation
5月 May	远东拟沙丁鱼 <i>S. melanostictus</i>	288	0.901	0.027
	日本鲭 <i>S. japonicus</i>	291	0.889	0.033
6月 June	远东拟沙丁鱼 <i>S. melanostictus</i>	395	0.904	0.018
	日本鲭 <i>S. japonicus</i>	288	0.921	0.015
7月 July	远东拟沙丁鱼 <i>S. melanostictus</i>	385	0.902	0.026
	日本鲭 <i>S. japonicus</i>	262	0.948	0.010
8月 August	远东拟沙丁鱼 <i>S. melanostictus</i>	358	0.908	0.015
	日本鲭 <i>S. japonicus</i>	259	0.921	0.013
9月 September	远东拟沙丁鱼 <i>S. melanostictus</i>	361	0.912	0.014
	日本鲭 <i>S. japonicus</i>	303	0.903	0.018
10月 October	远东拟沙丁鱼 <i>S. melanostictus</i>	322	0.913	0.019
	日本鲭 <i>S. japonicus</i>	250	0.925	0.015
11月 November	远东拟沙丁鱼 <i>S. melanostictus</i>	834	0.875	0.015
	日本鲭 <i>S. japonicus</i>	272	0.941	0.014

注:“样本量”为2017—2021年各月作业站点数量的总和。

Notes:“Samples” indicates the sum of the number of sites in each month from 2017 to 2021.

2.2 两物种各月关键环境因子的差别及变化

根据环境因子贡献率结果(表2),将各月贡献率排名前3的环境因子选取为该月远东拟沙丁鱼或日本鲭存在概率较高的关键环境因子,并得出关键环境因子的月均变化(表3)。结果显示,二者在2017—2021年5—11月各月关键环境因子大多为SSH、SST、*Chl. a*,个别月份为EKE、SSS。远东拟沙丁鱼5—11月关键环境因子累计贡献率均大于80%,日本鲭5—7月关键环境因子累计贡献率大于70%、8—11月关键环境因子累计贡献率大于85%。

通过分析远东拟沙丁鱼和日本鲭对栖息环境的关键因子(表3)的响应情况,可发现SSH、

SST、*Chl. a*对二者的渔场分布起着关键作用。对于SST的匹配结果表明,远东拟沙丁鱼和日本鲭的最适SST在各月均相差不大,均随着月份的增加呈现先上升后下降的趋势,在8月均达到最高值,分别为24.62℃和24.48℃。对于*Chl. a*匹配结果表明,远东拟沙丁鱼各月的最适值均大于日本鲭,且二者各月最适值变化均呈现先下降后上升再下降的趋势,在6月和7月,二者最适值相差值最大,为0.26 mg/m³和0.33 mg/m³。对于SSH匹配结果表明,虽然二者的整体最适值均呈现随月份的上升而下降的趋势,但是远东拟沙丁鱼的在5—8月整体最适值要高于日本鲭,并且二者在10月最适值相差最大,为0.59 m。此外,

EKE 仅在 5 月和 11 月对远东拟沙丁鱼的栖息环境以及 5 月对日本鲭的栖息环境中起着关键作用,其他月份并未发现。海表面盐度仅在 7 月对

日本鲭的栖息环境起关键作用,在远东拟沙丁鱼中并未有此情况。

表 2 2017—2021 年 5—11 月西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭的各环境因子贡献率
Tab. 2 Contribution rates of environmental factors of *S. melanostictus* and *S. japonicus* in the northwest Pacific Ocean from May to November during 2017—2021

物种 Species	环境变量 Environment variable	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	11 月 Nov.
远东拟沙丁鱼 <i>S. melanostictus</i>	海表面高度 SSH	55.0	25.0	32.3	27.1	11.7	11.0	7.3
	涡旋动能 EKE	15.8	9.5	6.1	11.7	6.5	7	8.5
	海表面温度 SST	11.5	23.5	22.1	15.6	20.5	65.8	33.7
	叶绿素 a 质量浓度 <i>Chl. a</i>	11.0	30.3	25.8	39.8	58.1	12.6	40.7
	海表面盐度 SSS	0.9	7.8	10.8	1.7	1.0	0.7	3.2
	50 m 水层温度 T_{50}	0.2	0.6	1.4	1.2	0.5	0.1	1.5
	100 m 水层温度 T_{100}	4.5	0.2	0.9	2.6	0.6	0.1	3.2
	150 m 水层温度 T_{150}	0.2	2.5	0.2	0.2	0.8	2.5	0.7
	200 m 水层温度 T_{200}	0.9	0.6	0.5	0.2	0.2	0.1	1.3
日本鲭 <i>S. japonicus</i>	海表面高度 SSH	20.8	17.2	17.1	18.4	12.6	16.7	12.5
	涡旋动能 EKE	16.0	9.9	5.6	8.9	1.4	7.2	2.6
	海表面温度 SST	14.0	21.0	19.6	35.5	28.8	59.6	40.2
	叶绿素 a 质量浓度 <i>Chl. a</i>	28.2	39.3	30.8	26.7	53.5	12.0	38.0
	海表面盐度 SSS	12.4	9.3	24.6	7.2	0.8	1.1	3.6
	50 m 水层温度 T_{50}	0.3	0.8	0.5	0.8	0.5	0.2	0.5
	100 m 水层温度 T_{100}	7.3	0.2	1.0	2.1	1.3	0.2	2.7
	150 m 水层温度 T_{150}	0.3	1.9	0.6	0.2	0.5	2.9	0.1
	200 m 水层温度 T_{200}	0.7	0.4	0	0.2	0.7	0.2	0

注：“加粗”表示该环境因子为该月份关键因子。
Notes: “Blod font” indicates the environment factor is the key factor for the month.

表 3 2017—2021 年 5—11 月西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭渔场各月关键环境因子均值
Tab. 3 The mean monthly average change of key environmental factors of *S. melanostictus* and *S. japonicus* in the northwest Pacific Ocean from May to November during 2017—2021

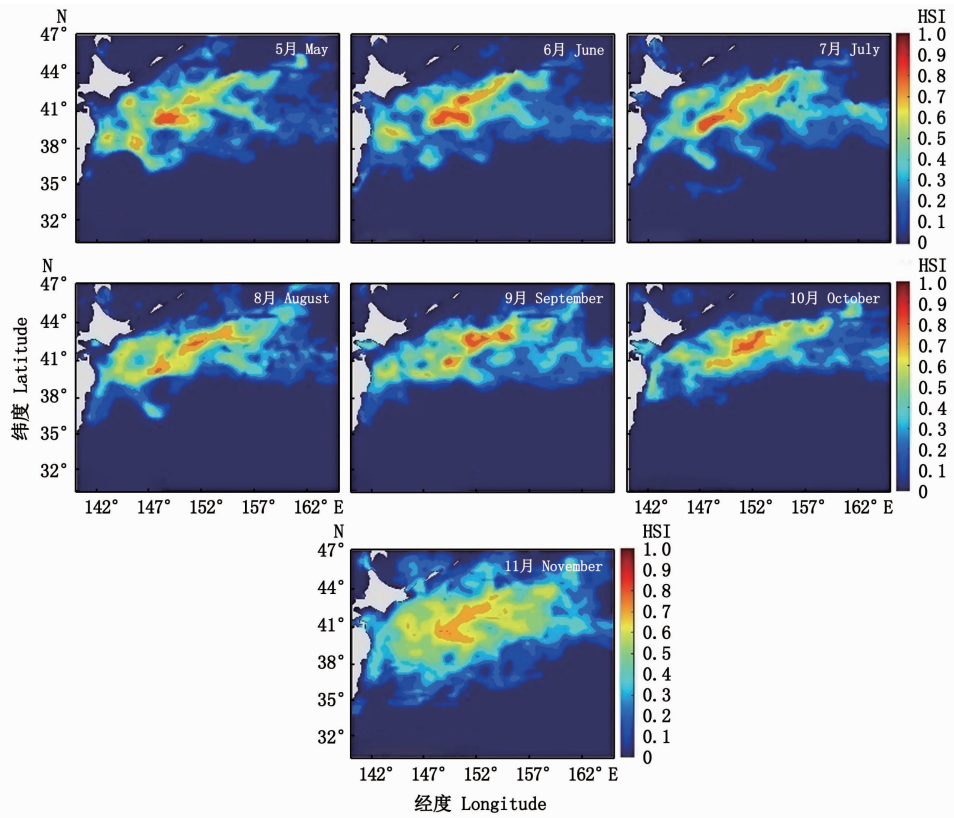
物种 Species	环境变量 Environment variable	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	11 月 Nov.
远东拟沙丁鱼 <i>S. melanostictus</i>	海表面高度 SSH/m	0.12	0.16	0.18	0.20	0.21	0.68	*
	涡旋动能 EKE/(m/s)	0.64	*	*	*	*	*	0.42
	海表面温度 SST/℃	17.40	18.89	17.37	24.62	23.86	17.12	11.07
	叶绿素 a 质量浓度 <i>Chl. a</i> /(mg/m ³)	*	0.56	0.75	0.27	0.29	1.02	0.48
	海表面盐度 SSS	*	*	*	*	*	*	*
日本鲭 <i>S. japonicus</i>	海表面高度 SSH/m	0.15	0.14	*	0.20	0.19	0.09	0.23
	涡旋动能 EKE/(m/s)	0.65	*	*	*	*	*	*
	海表面温度 SST/℃	*	18.66	22.94	24.48	23.92	16.72	12.49
	叶绿素 a 质量浓度 <i>Chl. a</i> /(mg/m ³)	1.10	0.30	0.42	0.25	0.27	1.02	0.36
	海表面盐度 SSS	*	*	33.35	*	*	*	*

注：“*”表示该环境因子并非该月份该鱼种的关键因子；“加粗”表示该环境因子在该月份既是远东拟沙丁鱼也是日本鲭的关键因子。
Notes: “*” indicates the environment factor is not key; “bold font” indicates the environment factor is key for both *S. melanostictus* and *S. japonicus*.

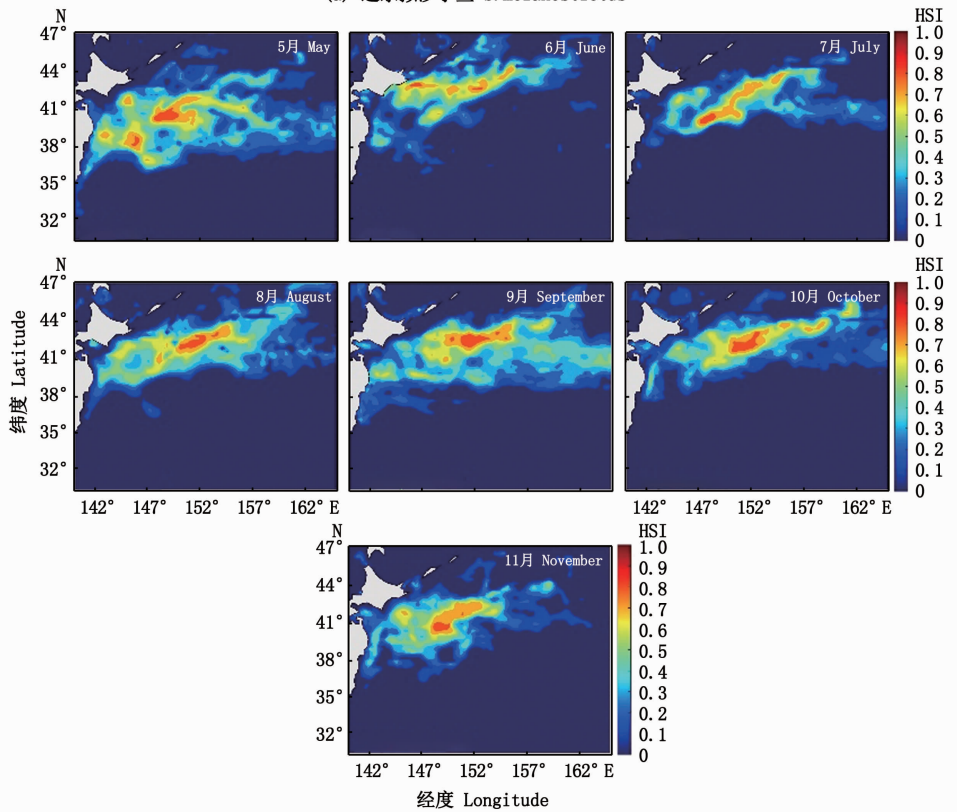
2.3 两物种潜在栖息地分布的结果及差异

根据上述分析结果,利用各月关键环境因子,分别绘制远东拟沙丁鱼和日本鲭 5—11 月期间的适宜栖息地分布图(图 2)。结果发现,二者实际作业捕捞位置(图 1)与潜在栖息地分布位置趋于一致且变化趋势基本相同,并且各月最适栖

息地分布位置较为相似,但二者之间的最适栖息地变化有较大的不同。从最适栖息地位置变动来看,随着月份的增加二者最适栖息地位置均呈现先向东北后向西南方向移动的趋势。日本鲭在 5—7 月最适栖息地位置变化较大,6 月日本鲭最适栖息地向北整体移动 2°~3°,到达 45°N 的



(a) 远东拟沙丁鱼 *S. melanostictus*



(b) 日本鲭 *S. japonicus*

图2 2017—2021年5—11月西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭潜在最适栖息地
Fig. 2 Distribution of potential habitat of *S. melanostictus* and *S. japonicus* in the northwest Pacific Ocean from May to November during 2017—2021

位置后在7月又向南移动 2° ,为 44°N 左右;而远东拟沙丁鱼在5—7月时最适栖息地位置变化不大;从最适栖息地面积变化来看,日本鲭最适栖息地面积随着月份的增加而减小,而远东拟沙丁鱼的最适栖息地面积却呈现扩大趋势,并且日本鲭各月最适栖息地面积均小于远东拟沙丁鱼,11月最适栖息地面积相差最大。此外,从季节来看,夏季(6—8月)二者最适栖息地均集中 $39^{\circ}\text{N}\sim 42^{\circ}\text{N}$ 。秋季(9—11月)远东拟沙丁鱼最适栖息地集中于 $39^{\circ}\text{N}\sim 44^{\circ}\text{N}$,而日本鲭集中于 $40^{\circ}\text{N}\sim 43^{\circ}\text{N}$ 海域。

2.4 两物种渔场经纬度重心及最适 HSI 重心变动分析

从整体来看,西北太平洋海域远东拟沙丁鱼和日本鲭的渔场重心与最适 HSI 重心变化趋势趋于一致(图3)。经度方向上,渔场重心和最适 HSI 重心随着月份增加均呈现先向东移动后向西折回的运动趋势,二者渔场重心基本重合,并且最适 HSI 重心位置最大相差不超过 1° ,5—10月二者渔场重心移动范围为 $151.0^{\circ}\text{E}\sim 152.7^{\circ}\text{E}$,最适 HSI 重心移动范围为 $149.0^{\circ}\text{E}\sim 152.2^{\circ}\text{E}$ 。7月,二者渔场重心均基本重合于 152°E ,之后分别向东移动 0.7°E 、 0.6°E ,10月均再次回到 152°E ,而二者最适 HSI 重心经度位置于7、10月基本重合,为 151.2°E 、 151.1°E ,在7—10月,远东拟沙丁鱼最适 HSI 重心相比日本鲭移动范围较大,8月达到最东端为 152.2°E ,日本鲭最适 HSI 重心位置基本维持不变,为 151.2°E 。此外,日本鲭的渔场重心比远东拟沙丁鱼渔场重心整体偏东,但前者的最适 HSI 重心相比后者整体偏西,11月最为明显。纬度方向上,5—11月远东拟沙丁鱼和日本鲭的渔场重心和最适 HSI 重心均在 $40^{\circ}\text{N}\sim 42^{\circ}\text{N}$ 波动,二者的最适 HSI 重心变化趋势与渔场重心变化趋势基本保持一致。二者最适 HSI 重心纬度位置于7—11月基本重合,于6月相差位置最大,为 1° 。7、8、10月,日本鲭的渔场重心与最适 HSI 重心均位于远东拟沙丁鱼渔场重心与最适 HSI 重心北部,而5月和9月均位于南部。

3 讨论

3.1 最大熵模型计算结果优势分析

本研究利用最大熵模型计算筛选出西北太平洋海域远东拟沙丁鱼和日本鲭的共同关键因子(海表面高度、海表面温度、叶绿素 a 质量浓度、涡旋动能)以及日本鲭独有的关键因子海表面盐度,并模拟出了二者在捕捞旺季5—11月的潜在栖息地分布图,二者的潜在分布图与实际作业位置变化趋势基本一致,预测结果具有一定的延续性,并未出现明显的破碎化现象,且研究中最大熵结果精度(AUC)均大于0.85,表明实验结果具有较强的可靠性。实际上,西北太平洋海域环境复杂,造成不同月份内的环境因子对远东拟沙丁鱼或日本鲭的影响程度不同,在有限的产量数据背景下,如神经网络模型、广义加性模型等栖息地模型本身受到时间和空间影响因素较大,会对结果产生不可控性误差,与此相比,最大熵模型基于空间数据以及扩大作业位置的环境数据充分预测,以此降低生产数据在时空上的局限性^[20],同时避免栖息地模型中环境因子选择和权重设置过于主观性的因素以及避免忽略环境因子之间的相互关系^[21],能够提高 HSI 模型生境的评价结果的准确性和科学性。例如:余为等^[22]利用最大熵模型分析得到赤道海域茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)栖息地分布变化与环境因子的关系;陈芄等^[23]基于最大熵模型模拟了西南大西洋阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)主要渔汛期的最适栖息地分布情况,并且成功识别了各月的环境因子。因此,基于上述优点,本研究将最大熵模型运用到多物种的潜在栖息地差异分析中,考虑西北太平洋海域两种经济鱼种(远东拟沙丁鱼和日本鲭)的共生特征和生存环境相似的特点,通过共生区域的环境因子构建潜在栖息地分布图,从而直观的得到二者栖息地对环境因子变化的适宜性差异,同时根据关键环境因子对模型结果的影响大小决定了其贡献率,增加二者适宜栖息地预测时选取环境因子的科学性,提高渔场预报的准确性。

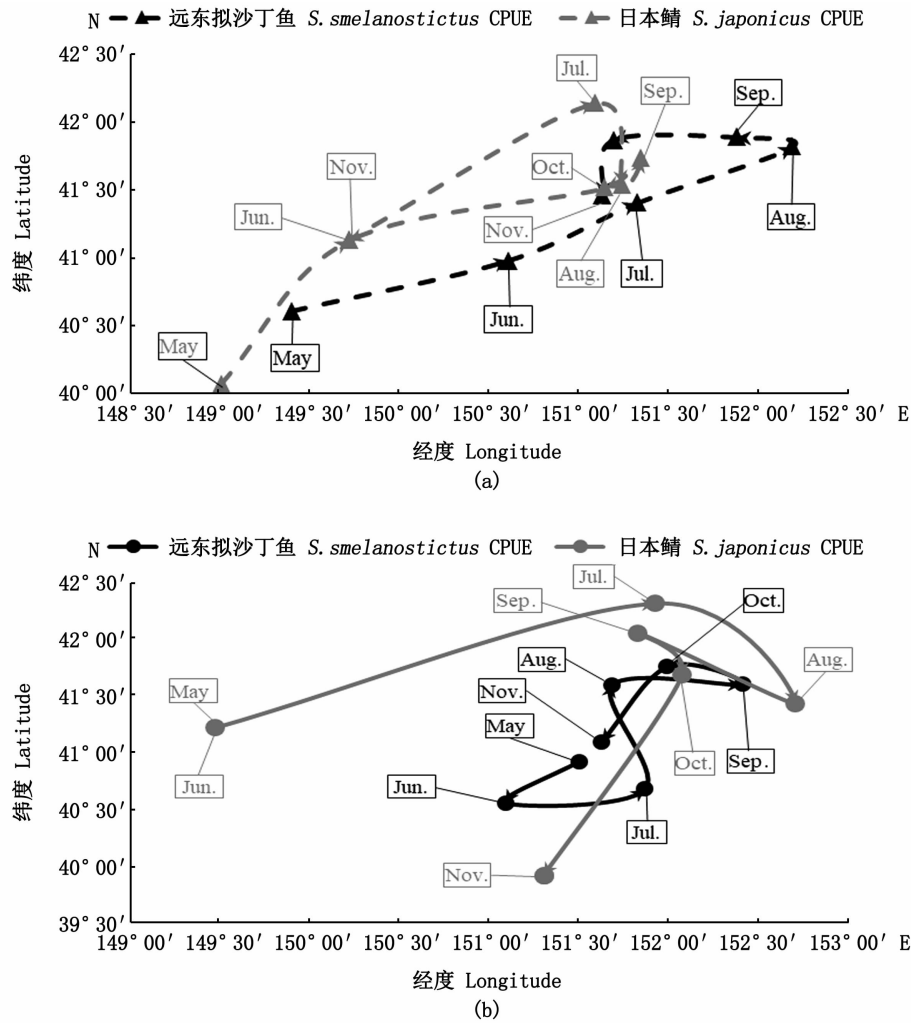


图 3 2017—2021 年 5—11 月西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭作业渔场重心 (a) 及最适 HSI 重心 (b)
 Fig. 3 Location center (a) and optimal HSI center (b) of gravity of the fishing ground of *S. melanostictus* and *S. japonicus* in the northwest Pacific Ocean from May to November during 2017—2021

3.2 环境因子与渔场和栖息地变动的关系

3.2.1 渔场和栖息地变动的相似性

西北太平洋海域远东拟沙丁鱼和日本鲭中心渔场位于水团结构复杂的黑潮暖水系和亲潮冷水系的交汇区域,同时作为西北太平洋海域的重要经济鱼种,二者的洄游特征、生活习性等对该海域环境因子的变动响应具有一致性,这会导致二者的渔场发生部分重叠。诸多学者对该海域二者渔场和栖息地的时空变动规律进行研究,发现二者的渔场重心均是春夏季向东北方向迁移,秋冬季向西南方向折回^[1]。这与本研究发现的渔场重心和最适 HSI 重心变化趋势保持一致。环境因子的变化是导致渔场及栖息地位置改变的直接原因^[17]。2017—2021 年 5—11 月各月环境因子贡献率结果显示,虽然影响二者栖息地发

生变化的关键因子在个别月份(5、7、11 月)具有一定的差异性,但是多数月份(6、8—10 月)保持一致性,即海表面温度、海表面高度、叶绿素 a 质量浓度占据比较重要的地位,本研究发现在关键因子相同的月份,二者适宜栖息范围基本趋于一致。范秀梅等^[18]基于栖息地指数构建西北太平洋海域日本鲭渔场预报模型,发现将海表面温度、海表面高度、叶绿素 a 质量浓度 3 个环境因子进行拟合,设置较高权重时,其模型预测的栖息地变动更符合实际渔场变动规律。由上龍嗣^[24]在分析日本海远东拟沙丁鱼渔场分布规律时,指出其海表面温度与海面高度对鱼群的垂直分布和大范围洄游有着显著影响,尤其是温跃层的改变,直接导致远东拟沙丁鱼栖息地向等温暖水一侧移动。徐博等^[7]基于 GAM 模型分析北太平洋

公海主要渔获种类渔场重心与环境因子的关系发现, 远东拟沙丁鱼和日本鲭 CPUE 最适海表面温度仅相差 1~2 °C, 但日本鲭栖息变动与 *Chl. a* 质量浓度之间呈现极显著相关性, 而远东拟沙丁鱼却无显著相关性, 这与本研究中叶绿素 a 质量浓度对远东拟沙丁鱼栖息地变动的贡献率高的结果相反。SMITH 等^[25]认为, 虽然日本鲭不是浮游植物的直接捕食者, 但位于食物链中的中小型个体鱼类(远东拟沙丁鱼) 必然受到叶绿素分布的影响。二者均作为一种长距离洄游鱼类, 栖息地的位置与洄游路线、海表面高度关系密切, KANAMORI 等^[26]研究表明, 海表面高度异常区常常伴随着涡旋、冷暖锋面、上升流、下沉流等, 使得大部分中小型上层鱼类汇聚于此, 导致栖息地的扩张或转移。综上, 西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭渔场及适宜栖息的形成原因相似, 均与该海域中海洋环境因子(海表面温度、海表面高度、叶绿素 a 质量浓度) 关系密切。

3.2.2 渔场和栖息地变动的差异性

各环境因子对远东拟沙丁鱼和日本鲭栖息地和渔场变动的贡献率各有不同。结果表明, 除海表面温度、海表面高度、叶绿素 a 质量浓度以外, 海表面盐度和涡旋动能也是在个别月份(5、7、11 月) 影响二者栖息地和渔场发生变动的关键因子, 并且会导致二者栖息地产生不同的变化趋势。高嘉祥^[27]认为西北太平洋海域中尺度涡旋、海洋锋面以及黑潮延续流的曲流等均会导致季节平均或是月平均的海表面温度以及浮游生物丰度发生变化, 从而造成鱼类资源和栖息地发生变化。故推测造成 5 月和 11 月关键因子发生变化的原因可能与该地区 5 月寒流侵袭, 有小型涡旋形成, 造成冷水屏障, 同时远东拟沙丁鱼和日本鲭对温度的耐受性并不相同, 因此对海表面温度变化的响应不同^[28], 但其具体的影响机制还需进一步探究。本研究中, 7 月影响日本鲭栖息地变化的关键因子中海表面盐度取代了海表面温度, 而远东拟沙丁鱼无此变化, 并且从二者的潜在分布图的变化来看, 6 月到 7 月前者的栖息地向北扩张, 而后者栖息地则向北减小。蒋玫等^[29]认为盐度的变化对日本鲭资源和渔场具有显著影响; 黑田启行等^[30]的研究结果也表明, 日本鲭渔场重心会向对马暖流高盐分水团的方向移动, 造成栖息地的扩张。综上, 盐度以及涡旋

动能的改变是导致西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭渔场与适宜栖息地差异性变化的主要原因之一。

3.3 展望

本研究利用最大熵模型对 2017—2021 年 5—11 月远东拟沙丁鱼和日本鲭潜在栖息地变动及环境变化差异进行分析, 根据贡献率的高低来确定各月关键因子, 增强了环境因子选择的科学性, 但是仍存在一定的局限性。本文主要分析了小尺度的环境因子, 但是在实际情况中, 中大尺度环境因子更为重要, 如物种资源量对于 ENSO 事件产生滞后效应^[31], 导致栖息地反常变化; 在小尺度气候事件背景下, 不同物种对环境因子变化的响应机制不同^[32-33]等。这些都会在大范围内改变物种的栖息环境, 导致渔场发生整体位移。此外, 最大熵模型可以有效地处理环境变量之间的复杂交互性, 但本研究并未考虑环境因子之间的相互关系, 导致环境因子对栖息地的影响趋于单一性, 往往不能反映物种的内在生态特征。远东拟沙丁鱼和日本鲭作为长距离小型中上层洄游鱼类, 更容易受到环境变化的影响, 尤其是在大尺度的气候变化背景下, 其渔场和栖息地可能会发生大范围转移。在今后的研究中, 应尽可能多的考虑潜在分布的环境因子, 引入中大尺度气候因子的影响, 以综合考量环境条件对远东拟沙丁鱼和日本鲭渔场和栖息地的时空分布变化的影响。

参考文献:

- [1] 赵国庆, 石永闯, 樊伟, 等. 西北太平洋灯光围网主要渔获物组成及渔场变动研究[J]. 南方水产科学, 2022, 18(1): 33-42.
ZHAO G Q, SHI Y C, FAN W, et al. Study on main catch composition and fishing ground change of light purse seine in Northwest Pacific[J]. South China Fisheries Science, 2022, 18(1): 33-42.
- [2] 刘思源, 张衡, 杨超, 等. 西北太平洋远东拟沙丁鱼与日本鲭种群动态特征及其与环境因子关系研究进展[J]. 大连海洋大学学报, 2023, 38(2): 357-368.
LIU S Y, ZHANG H, YANG C, et al. Relationship between stock dynamics and environmental variability for Japanese sardine (*Sardinops sagax*) and chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific Ocean: a review [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2023, 38(2): 357-368.
- [3] 王雅萌, 陈芑, 陈新军. 气候变化下西北太平洋大洋生态系统海表面温度特征分析[J]. 上海海洋大学学报,

- 2021, 30(5): 874-883.
- WANG Y M, CHEN P, CHEN X J. Characteristics of sea surface temperature for large marine major ecosystems in the northwest Pacific under climate change [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(5): 874-883.
- [4] HIYAMA Y, YODA M, OHSHIMO S. Stock size fluctuations in chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and the Japan/East Sea[J]. Fisheries Oceanography, 2002, 11(6): 347-353.
- [5] YANG C, HAN H B, ZHANG H, et al. Assessment and management recommendations for the status of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* population in the Northwest Pacific[J]. Ecological Indicators, 2023, 148: 110111.
- [6] 王良明, 李渊, 张然, 等. 西北太平洋日本鲭资源丰度分布与表温和水温垂直结构的关系[J]. 中国海洋大学学报, 2019, 49(11): 29-38.
- WANG L M, LI Y, ZHANG R, et al. Relationship between the resource distribution of *Scomber japonicus* and seawater temperature vertical structure of Northwestern Pacific Ocean [J]. Periodical of Ocean University of China, 2019, 49(11): 29-38.
- [7] 徐博, 张衡, 唐峰华, 等. 基于 GAM 的北太平洋公海围网主要渔获种类渔场重心与环境因子的关系分析[J]. 南方水产科学, 2020, 16(5): 60-70.
- XU B, ZHANG H, TANG F H, et al. Relationship between center of gravity and environmental factors of maincatches of purse seine fisheries in North Pacific high seas based on GAM [J]. South China Fisheries Science, 2020, 16(5): 60-70.
- [8] 戴澍蔚. 北太平洋公海日本鲭基础生物学特征及其渔场时空动态[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- DAI S W. Basic biological property and spatiotemporal dynamics in fishing ground of *Scomber japonicus* in North Pacific high seas [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [9] PHILLIPS S J, DUDÍK M, ELITH J, et al. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data [J]. Ecological Applications, 2009, 19(1): 181-197.
- [10] WANG L F, KERR L A, RECORD N R, et al. Modeling marine pelagic fish species spatiotemporal distributions utilizing a maximum entropy approach [J]. Fisheries Oceanography, 2018, 27(6): 571-586.
- [11] 张嘉容, 杨晓明, 田思泉. 基于最大熵模型的南太平洋长鳍金枪鱼栖息地预测[J]. 中国水产科学, 2020, 27(10): 1222-1233.
- ZHANG J R, YANG X M, TIAN S Q. Analysis of albacore (*Thunnus alalunga*) habitat distribution in the South Pacific using maximum entropy model [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(10): 1222-1233.
- [12] 冯志萍, 余为, 陈新军, 等. 基于最大熵模型的智利外海竹筴鱼栖息地研究[J]. 中国水产科学, 2021, 28(4): 431-441.
- 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.
- [13] 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.
- 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, 2020, 27(3): 336-345.
- [14] PHILLIPS S. A brief tutorial on MaxEnt [J]. AT&T Research, 2005, 190(4): 231-259.
- [15] 景志贤, 李梦, 张小波, 等. 基于全球气候数据和 MaxEnt 模型的辣木全球气候适宜区研究[J]. 中国现代中药, 2021, 23(8): 1352-1356.
- JING Z X, LI M, ZHANG X B, et al. Global climatic region suitable for *Moringa oleifera*: an explanation based on global climate data and MaxEnt model [J]. Modern Chinese Medicine, 2021, 23(8): 1352-1356.
- [16] 周海涛, 那晓东, 臧淑英, 等. 最大熵(MaxEnt)模型在物种栖息地研究中的应用[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(3): 149-151.
- ZHOU H T, NA X D, ZANG S Y, et al. Applications of maximum entropy (MaxEnt) model in species habitat study [J]. Environmental Science and Management, 2016, 41(3): 149-151.
- [17] 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 model in predicting species potential distribution [J]. Bulletin of Biology, 2015, 50(11): 9-12.
- [18] 范秀梅, 唐峰华, 崔雪森, 等. 基于栖息地指数的西北太平洋日本鲭渔情预报模型构建[J]. 海洋学报, 2020, 42(12): 34-43.
- FAN X M, TANG F H, CUI X S, et al. Habitat suitability index for chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific Ocean [J]. Haiyang Xuebao, 2020, 42(12): 34-43.
- [19] 贡静雯, 钱梦婷, 余为, 等. 基于栖息地模型的秘鲁外海茎柔鱼资源年间差异研究[J]. 水产科学, 2022, 41(2): 226-235.
- GONG J W, QIAN M T, YU W, et al. Interannual variability in stock dynamics of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* outside exclusive economic zones off Peru Coast based on habitat suitability index model [J]. Fisheries Science, 2022, 41(2): 226-235.
- [20] FOURCADE Y, ENGLER JO, RÖDDER D, et al. Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: a performance assessment of methods for correcting sampling bias [J]. PLoS One, 2014, 9(5): e97122.

- [21] ELITH J, PHILLIPS S J, HASTIE T, et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists [J]. *Diversity and Distributions*, 2011, 17(1): 43-57.
- [22] 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.
- 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.
- [23] 陈芑, 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] 由上龍嗣. マサバ対馬暖流系群の資源評価と利用実態(特集多獲性魚の資源と利用の現状--水産物供給の屋台骨)[J]. *アクアネット*, 2010, 13(12): 36-39.
- RYUJI Y. Assessment of resources and utilization of the Tsushima Warm Stream Group of *Scomber japonicus* (special issue current status of resources and utilization of multi-harvest fish-the backbone of marine products supply) [J]. *Aquanet*, 2010, 13(12): 36-39.
- [25] SMITH R C, DUSTAN P, AU D, et al. Distribution of cetaceans and sea-surface chlorophyll concentrations in the California Current [J]. *Marine Biology*, 1986, 91(3): 385-402.
- [26] KANAMORI Y, TAKASUKA A, NISHIJIMA S, et al. Climate change shifts the spawning ground northward and extends the spawning period of chub mackerel in the western North Pacific [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2019, 624: 155-166.
- [27] 高嘉祥. 黑潮-亲潮延伸体海区大气对中尺度海面温度扰动的响应的模拟研究[D]. 青岛: 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所), 2018.
- GAO J X. A modeling study of the atmospheric responses to Mesoscale SST perturbations in the Kuroshio-Oyashio extension region [D]. Qingdao: University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences), 2018.
- [28] 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.
- [29] 蒋玫, 王云龙. 东海夏季日本鲭(*Scomber japonicus*)和鳀鱼(*Engraulis japonicus*)鱼卵仔鱼分布特征[J]. *海洋与湖沼*, 2007, 38(4): 351-355.
- JIANG M, WANG Y L. Summer distributions of eggs and larvae of *Scomber japonicus* and *Engraulis japonicus* in the East China Sea [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2007, 38(4): 351-355.
- [30] 黒田啓行, 北島聡, 後藤常夫, 等. マサバ対馬暖流系群の生態と資源[J]. *水産海洋研究*, 2019, 83(4): 237-251.
- KUROTA H, KITAJIMA S, GOTOT, et al. Fisheries biology and population dynamics of Tsushima Warm Current stock of chub mackerel *Scomber japonicus* [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography*, 2019, 83(4): 237-251.
- [31] 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.
- [32] 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鲈鱼栖息地的影响[J]. *海洋学报*, 2018, 40(12): 58-67.
- GUO A, ZHANG Y, YU W, et al. Influence of El Niño and La Niña with different intensity on habitat variation of chub mackerel *Scomber japonicus* in the coastal waters of China [J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(12): 58-67.
- [33] 冯志萍, 张艳婧, 余为, 等. 智利外海智利竹筴鱼与茎柔鱼栖息地变动对 ENSO 事件响应的差异[J]. *中国水产科学*, 2021, 28(9): 1195-1207.
- FENG Z P, ZHANG Y J, YU W, et al. Differences in habitat pattern response to various ENSO events in *Trachurus murphyi* and *Dosidicus gigas* located outside the exclusive economic zones of Chile [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(9): 1195-1207.

Differences in habitat distribution of *Sardinops melanostictus* and *Scomber japonicus* in the northwest Pacific based on a maximum entropy model

LIU Siyuan¹, ZHANG Heng², YANG Chao^{1,2}, FANG Zhou^{1,3,4,5,6}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Science, Shanghai 200090, China; 3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 5. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 6. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: *Sardinops melanostictus* and *Scomber japonicus*, as the main associated species in the northwest Pacific Ocean, are of great scientific significance for the management and sustainable use of fishery resources to study their potential habitat distribution and differences in response to environmental changes in this area. The fishery data of *S. melanostictus* and *S. japonicus* in the northwest Pacific Ocean from May to November in 2017–2021 were used, combined with sea surface temperature (SST), sea surface salinity (SSS), sea surface height (SSH), chlorophyll-a (*Chl. a*), eddy kinetic energy (EKE), and water temperature at different depths (50, 100, 150, 200 m) to construct a maximum entropy model. According to the response curves of the two to the key environmental factors of each month, the inter-month changes of the key factors on the potential habitats of *S. melanostictus* and *S. japonicus* were obtained, and the map of potential habitat distribution from May to November for *S. melanostictus* and *S. japonicus* was stimulated. The key factors affecting the change of suitable habitats from June and August to October were SSH, SST, and *Chl. a*, and their suitable ranges were not much different. The results show that the potential habitat changes of *S. melanostictus* and *S. japonicus* are consistent with the actual operating location, and with the increase of months, and they all show a trend of moving first to the northeast and turning back in the southwest direction, and their potential habitat positions overlap widely in each month. The key factors affecting the change of suitable habitat in May, July and November are different. The key factors affecting the change of suitable habitat in May, July and November are different, and the key factors of *S. melanostictus* are SSH, EKE, SST, the key factors in July are SSH, SST, *Chl. a*. The key factors in November are EKE, SST, *Chl. a*, while the key factors of *S. japonicus* are SSH, EKE, *Chl. a* in May, and the key factors in July are SST and *Chl. a*, SSS, while the key factors in November are SSH, SST, *Chl. a*, and the suitable range of environmental factors varies from month to month. In addition, as the number of months increases, the optimal habitat area of *S. japonicus* gradually decreases northward, with a minimum area in July and November, while the optimal habitat area of *S. melanostictus* tends to increase, extending to the area north of 37° north latitude in November. The study showed the changes of SSH, SST and *Chl. a* have an important impact on the distribution of potential habitats of *S. japonicus* and *S. melanostictus* in the northwest Pacific Ocean, and EKE and SSS are the main causes for the difference in the distribution of potential habitats.

Key words: maximum entropy model; the northwest Pacific; *Sardinops melanostictus*; *Scomber japonicus*; marine environment; differences in habitat distribution