

文章编号: 1674-5566(2017)05-0743-08

DOI:10.12024/jsou.20161201933

中西太平洋鲣栖息地指数预报模型比较研究

王易帆¹, 陈新军^{1,2,3,4,5}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 农业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省部共建教育部重点实验室, 上海 201306; 5. 农业部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘要: 鲣 (*Katsuwonus pelamis*) 是太平洋热带海域重要的金枪鱼种类之一, 也是目前我国金枪鱼围网渔船的主要捕捞对象之一。根据 1995—2012 年中西太平洋海域 (5°N - 10°S; 125°E-135°W) 延绳钩生产统计数据, 结合海表面温度 (SST) 和海表面高度 (SSH) 的遥感数据, 利用频次分布法分析了中西太平洋围网鲣分布的 SST 和 SSH 适宜范围; 采用了外包络法, 按季度分别建立了 SST、SSH 的适应性指数 (SI), 采用算术平均法 (AMM) 和几何平均法 (GMM) 建立栖息地指数 (HSI) 模型计算其栖息地指数, 并用 2013 年度的捕捞数据进行验证。结果表明, 中西太平洋围网鲣多分布在 SST 为 28 ~ 30.5 °C、SSH 为 65 ~ 95 cm 的海域。以捕捞努力量 (作业天数) 为基础, 采用外包络法建立 SST、SSH 的适应性指数最为合适, 各个季度的 SST 权重分别为 0.7、0.6、0.3、0.6 的算数平均法适合中西太平洋围网鲣栖息地指数模型。不同季节的环境因子对中西太平洋围网鲣渔场分布有着不同的影响。

关键词: 中西太平洋; 鲣; 围网渔业; 栖息地指数; 海洋环境因子; 外包络法

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

鲣 (*Katsuwonus pelamis*) 是一种暖水性上层洄游鱼类, 多集群于冷暖水团的交汇处, 广泛分布于太平洋热带海域、大西洋北卡罗来纳海域以及西南大西洋海域^[1]。作为全球金枪鱼渔业重要的目标鱼种, 从 1998 年开始, 鲣的渔获量基本维持在 4 种主要金枪鱼总渔获量的 50% 以上^[2]。中国自 2001 年首次进入中西太平洋渔场进行金枪鱼围网捕捞作业以来, 产量和规模在数年内发展迅猛, 2006 年鲣捕捞产量已占到金枪鱼产量的 90% 以上^[3]。

栖息地指数 (Habitat Suitability Index, HSI) 模型最早于 20 世纪 80 年代由美国地理调查局国家湿地研究中心鱼类与野生生物署提出, 可以模拟生物体对周围栖息环境要素的适应情况^[4], 目前多用来描述海洋生物对其周围栖息环境的反应, 并成功应用于渔场分析等领域, 取得了较好的预测效果^[5]。但由于模型不同、构建过程不

同, 就可能会使预报的结果有比较明显的区别^[6]。本研究基于 1995—2014 年中西太平洋围网鲣生产统计数据和海洋遥感环境因子, 分别比较以作业天数和每天捕捞产量 (CPUE) 为基础建立的适应性指数, 比较不同权重下算术平均法和几何平均法的栖息地指数模型, 探讨在中西太平洋围网鲣渔场预报中的可能性, 从而为合理利用该资源提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

生产统计数据来源于南太平洋渔业委员会, 为中西太平洋围网 (1995—2013 年) 鲣的产量数据 (包括总产量、作业天数和 CPUE)。其中 1995—2012 年的数据用于研究建立中西太平洋围网鲣栖息地指数模型, 2013—2014 年的则作为模型验证数据。捕捞作业区域为中西太平洋赤

收稿日期: 2016-12-28 修回日期: 2017-04-17

基金项目: 海洋局公益性行业专项 (20155014); 上海市科技创新计划 (15DZ1202200)

作者简介: 王易帆 (1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源。E-mail: evan3443@foxmail.com

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

道附近的海域(5°N-10°S;125°E-135°W)。

海表面温(SST)以及海面高度(SSH)数据均来源于哥伦比亚大学环境数据库 <http://iridl.ldeo.columbia.edu>,空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,数据的时间分辨率为月。

1.2 数据处理

1.2.1 计算方法

(1)将渔业生产统计数据与环境因子数据处理成时间分辨率为季度(3个月),空间分辨率则根据数据来源定为 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 的格式。

(2)通常认为,捕捞努力量(本研究以作业天数)可以代表鱼类出现或是渔业资源被利用情况的指标,反映了鱼类偏好或者捕捞几率的分布^[7]。根据 GILLIS 和 LEE^[8]、MAUNDER 和 PUNT^[9]的研究,CPUE 可作为渔业资源密度指标,本研究分别利用作业天数和 CPUE 与环境因子建立适应性指数模型,通过比较 R^2 (决定系数)决定最合适的模型。

1.2.2 分析方法

本文建模流程见图 1,其主要步骤:(1)建立每月的作业天数(捕捞努力量, Effort)、CPUE 与环境因子(SST 或 SSH)之间的频率分布图。与此同时,计算和比较各个月份不同环境变量值对应的作业天数,做出鳀对 SST、SSH 的适应指数曲线;(2)根据各个环境的适应性指数曲线,计算鳀对各个环境的单因素 SI 值(0-1);(3)利用外包络法^[10]建立适应性指数曲线方程;(4)利用 GMM 和不同权重的 AMM 模型计算综合环境适应性指数 HSI,HSI 的值在 0 到 1 之间变化,0 代表不适应,1 代表最适应;5)比较各种模型,分析获得最佳模型。本研究采用算数平均法(Arithmetic Mean Model, AMM)和几何平均法(Geometric mean Model, GMM),公式分别如下:

$$HSI = a \cdot SI_{SST} + b \cdot SI_{SSH} \quad (1)$$

$$HSI = \sqrt{(SI_{SST} \cdot SI_{SSH})} \quad (2)$$

式中: SI_{SST} 和 SI_{SSH} 分别为 SI 与 SST、SI 与 SSH 的适应性函数。 a 、 b 为其中参数, $a + b = 1$,且 a 的值依次取 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1。

1.2.3 模型验证

本文将 1995—2012 年的生产统计数据分为 3—5 月、6—8 月、9—11 月和 12—2 月 4 个季度,建立的栖息地指数模型,利用 2013 年 4 个季度的

实际产量数据进行验证,选出最佳模型。

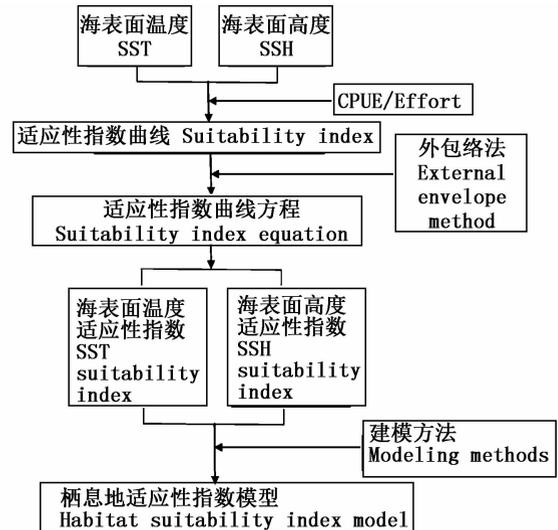


图 1 建模流程图

Fig. 1 Flow chart of modeling

2 结果

2.1 捕捞努力量(Effort)、CPUE 和 SST 之间的关系

由图 2 可知,3—5 月捕捞努力量较高的集中在 SST 为 29~30 °C 之间的海域,CPUE 则较为均匀地分布在 SST 为 27.5~30 °C 之间的海域,并在 31 °C 时到达峰值;6—8 月捕捞努力量较高地集中在 SST 为 28.5~30 °C 的水域,CPUE 较高值则一般分布在 SST 为 28.5~30.5 °C 之间的海域;9—11 月捕捞努力量较高地集中在 SST 为 29~30.5 °C 的水域,CPUE 则较为均匀地分布在 SST 为 27~31 °C 之间的海域;12—2 月捕捞努力量较高地集中在 SST 为 28~30.5 °C 之间的海域,CPUE 则较为均匀地分布在 SST 为 26.5~30 °C 之间的海域,从 28 °C 开始随着 SST 升高呈上升趋势,并在 31 °C 时到达峰值。

2.2 捕捞努力量(Effort)、CPUE 和 SSH 之间的关系

由图 3 可知,3—5 月捕捞努力量较高地集中在 SSH 为 75~95 cm 的水域,CPUE 较高值则一般分布在 SSH 为 55~105 cm 之间的海域;6—8 月捕捞努力量较高地集中在 SSH 为 75~85 cm 的水域,CPUE 较高值则一般分布在 SSH 为 55~85 cm 之间的海域;9—11 月捕捞努力量较高地集中在 SSH 为 75~95 cm 的水域,CPUE 较高值则

一般分布在 SSH 为 55 ~ 95 cm 之间的海域;12—2 月捕捞努力量较高地集中在 SSH 为 65 ~ 95 cm

的水域,CPUE 较高值则一般分布在 SSH 为 65 ~ 105 cm 之间的海域。

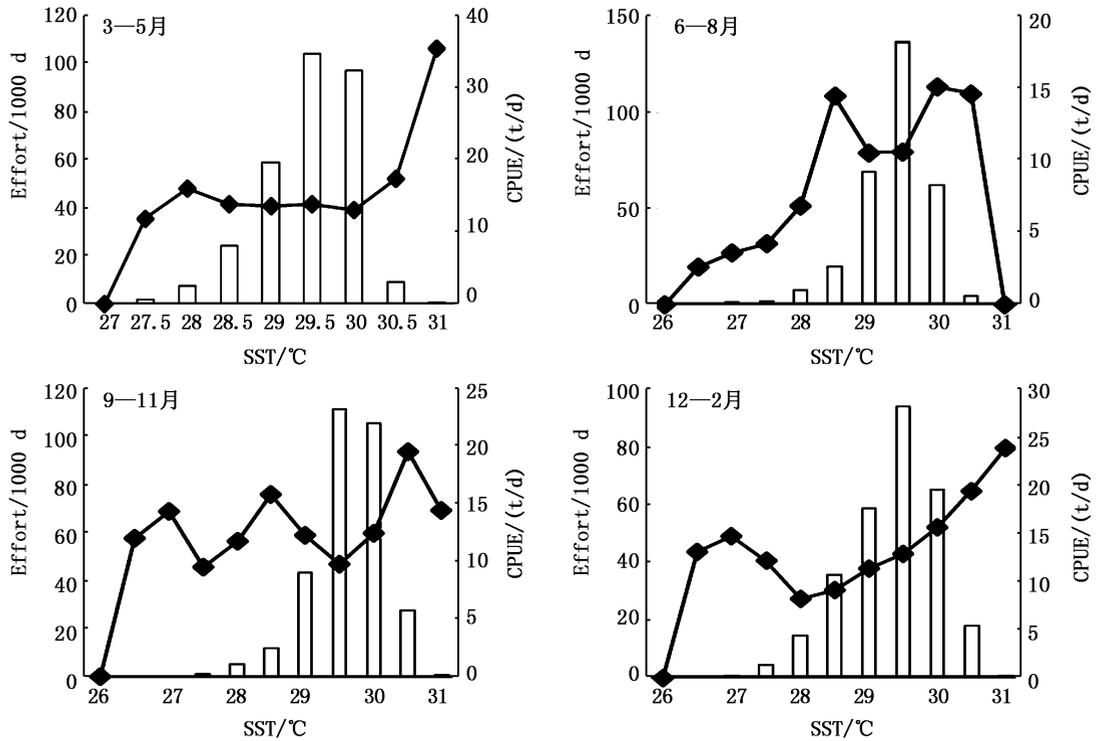


图 2 中西太平洋围网鲹作业天数和单位捕捞努力量渔获量与海表面温度的关系
 Fig. 2 Fishing days and CPUE with changes of SST for fishing skipjack purse seine in the Western and Central Pacific Ocean

* 柱状:捕捞努力量 Effort;线段:CPUE
 * Column; Fishing Effort; Line segment; CPUE

2.3 正态分布回归分析、绘制单个环境因素的适应性指数曲线(SI)

将捕捞努力量(作业天数)、CPUE 和环境因子(SST、SSH)之间的关系进行正态分布回归分析,结果如表 1 所示。表 1 中的 R^2 值表示回归方程拟合度, R^2 值越接近 1,表示该关系趋势越接近正态分布。由表 1 可知,除了 12—2 月份 CPUE 和 SSH 建立的正态分布回归分析中的 R^2 值大于捕捞努力量和 SSH 建立的正态分布回归分析中的 R^2 值,其余均小于捕捞努力量和 SSH、SST 所建立的正态分布回归分析中的 R^2 值。因此捕捞努力量与 SST 和 SSH 的关系更能说明中西太平洋围网鲹渔场与 SST 和 SSH 的关系。因此,利用外包络法绘制单个环境因素的适应性指数(SI)曲线,其 SI 模型见表 2。

表 1 以捕捞努力量、CPUE 为基础,与环境因子(SST、SSH)的相关系数 R^2 值比较

Tab. 1 The value of R^2 calculated by the relationship between fishing effort or CPUE and SST or SSH

月份 Month		以捕捞努力量为基础的 R^2 R-square based on fishing effort		以 CPUE 为基础的 R^2 R-square based on CPUE
3—5	SST	0.949 5	SST	0.740 1
	SSH	0.993 7	SSH	0.901 1
6—8	SST	0.991 4	SST	0.753 5
	SSH	0.985 0	SSH	0.856 0
9—11	SST	0.983 2	SST	0.550 6
	SSH	0.991 1	SSH	0.880 0
12—2	SST	0.976 3	SST	0.752 9
	SSH	0.967 8	SSH	0.975 7

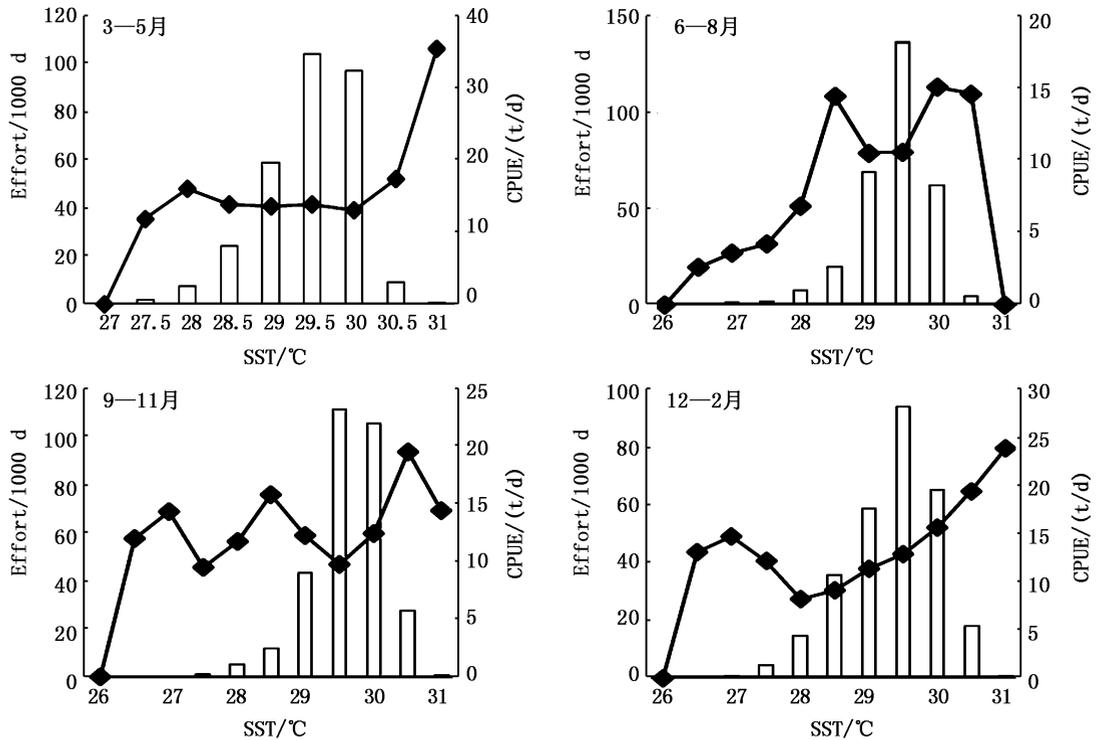


图3 中西太平洋围网鲣作业天数和单位捕捞努力量渔获量与海表面高度的关系
 Fig.3 Fishing days and CPUE with changes of SSH for skipjack purse seine fishery in the Western and Central Pacific Ocean

* 柱状: Effort; 线段: CPUE

* Column: Fishing Effort; Line segment: CPUE

表2 中西太平洋围网鲣适应性指数曲线方程

Tab.2 Equation of suitability index for skipjack by purse seine fishery in the Western and Central Pacific Ocean

月份 Month	SST/°C	SSH/cm
3—5	$SI(SST) = \begin{cases} \frac{2}{5} \times (SST - 27) & 27 \leq SST \leq 29.5 \\ \frac{2}{3} \times (31 - SST) & 29.5 < SST \leq 31 \end{cases}$	$SI(SSH) = \begin{cases} \frac{1}{50} \times (SSH - 35) & 35 \leq SSH \leq 85 \\ \frac{1}{20} \times (105 - SSH) & 85 < SSH \leq 105 \end{cases}$
6—8	$SI(SST) = \begin{cases} \frac{2}{7} \times (SST - 26) & 26 \leq SST \leq 29.5 \\ \frac{2}{3} \times (31 - SST) & 29.5 < SST \leq 31 \end{cases}$	$SI(SSH) = \begin{cases} \frac{1}{40} \times (SSH - 45) & 45 \leq SSH \leq 85 \\ \frac{1}{20} \times (105 - SSH) & 85 < SSH \leq 105 \end{cases}$
9—11	$SI(SST) = \begin{cases} \frac{2}{7} \times (SST - 26) & 26 \leq SST \leq 29.5 \\ \frac{2}{3} \times (31 - SST) & 29.5 < SST \leq 31 \end{cases}$	$SI(SSH) = \begin{cases} \frac{1}{50} \times (SSH - 35) & 35 \leq SSH \leq 85 \\ \frac{1}{20} \times (105 - SSH) & 85 < SSH \leq 105 \end{cases}$
12—2	$SI(SST) = \begin{cases} \frac{2}{7} \times (SST - 26) & 26 \leq SST \leq 29.5 \\ \frac{2}{3} \times (31 - SST) & 29.5 < SST \leq 31 \end{cases}$	$SI(SSH) = \begin{cases} \frac{1}{50} \times (SSH - 35) & 35 \leq SSH \leq 85 \\ \frac{1}{20} \times (105 - SSH) & 85 < SSH \leq 105 \end{cases}$

2.4 几何平均法 (GMM) 和算术平均法 (AMM) 的比较

使用 GMM 和 AMM 两种不同的模型, 计算得到 HIS > 0.6 的情况下作业天数和渔获量(产量) 比重如表 3 所示。在同一时间段, 无论是在作业

天数比重还是产量比重, 基于 AMM 模型计算得到的 HIS > 0.6 的比重均高于基于 GMM 模型得到的比重。结果表明, 算术平均法 (AMM) 更能较好地反映中西太平洋围网鲣栖息地指数。

表 3 基于 AMM 和 GMM 计算获得 HSI 值大于 0.6 的作业次数和渔获量比重

Tab. 3 Percentages of fishing effort and catch in the case of HSI more than 0.6 based on the GMM or AMM

月份 Month	几何平方法(GMM)		算术平方法(AMM)	
	作业天数比重/% Percentages of effort	产量比重/% Percentages of catches	作业天数比重/% Percentages of effort	产量比重/% Percentages of catches
3—5 月	84.02	87.32	86.75	90.66
6—8 月	95.88	96.84	96.66	97.30
9—11 月	91.37	88.84	93.88	92.85
12—2 月	80.72	79.98	83.98	84.61

2.5 AMM 模型在不同权重下的比较

在不同权重的 AMM 模型下,计算得到 HSI > 0.6 的情况下作业天数和渔获量(产量)比重如表 4 所示。3—5 月期间, a (SST 比重) = 0.7 时,作业天数和产量比重在同一时间内最大;6—8 月期

间, $a = 0.6$ 时,作业天数和产量比重在同一时间内最大;9—11 月期间, $a = 0.4$ 或 0.3 时,作业天数和产量比重在同一时间内最大;12—2 月期间, $a = 0.7$ 或 0.6 时,作业天数和产量比重在同一时间内最大。

表 4 1995—2012 年 AMM 不同权重下 HSI 大于 0.6 的作业次数和产量的比重

Tab. 4 Percentages of fishing effort and catches under different weights in the case of HSI more than 0.6 based on the AMM during 1995—2012

月份 Month	$a = 0$		$a = 0.1$		$a = 0.2$		$a = 0.3$	
	作业天数比重 /%	产量比重 /%	作业天数比重 /%	产量比重 /%	作业天数比重 /%	产量比重 /%	作业天数比重 /%	产量比重 /%
	Percentages of effort	Percentages of catches						
3—5	77.25	82.48	78.81	83.73	81.00	85.82	82.41	87.30
6—8	91.70	93.52	93.09	94.42	94.78	95.18	95.94	96.52
9—11	92.25	94.95	93.13	95.32	93.71	95.28	94.17	94.78
12—2	72.85	74.69	74.15	75.78	78.53	78.77	80.20	80.59
月份 Month	$a = 0.4$		$a = 0.5$		$a = 0.6$		$a = 0.7$	
	作业天数比重 /%	产量比重 /%	作业天数比重 /%	产量比重 /%	作业天数比重 /%	产量比重 /%	作业天数比重 /%	产量比重 /%
	Percentages of effort	Percentages of catches						
3—5	85.80	89.68	86.75	90.66	90.07	90.84	90.75	90.51
6—8	96.27	96.93	96.66	97.30	96.72	97.75	96.15	97.51
9—11	94.74	94.30	93.88	92.85	91.81	88.89	89.10	84.49
12—2	82.09	82.47	83.98	84.61	86.66	86.80	86.71	85.34
月份 Month	$a = 0.8$		$a = 0.9$		$a = 1$			
	作业天数比重 /%	产量比重 /%	作业天数比重 /%	产量比重 /%	作业天数比重 /%	产量比重 /%	作业天数比重 /%	产量比重 /%
	Percentages of effort	Percentages of catches						
3—5	90.38	89.96	87.53	87.38	85.56	84.61		
6—8	95.72	96.93	94.62	95.89	93.16	94.11		
9—11	87.23	81.63	85.07	79.05	81.69	75.83		
12—2	85.46	83.88	84.31	82.07	82.74	80.47		

注: * “a”为 SST 的权重,表 5 同此

Note: * “a” is the weights of SST, the same in tab. 5

2.6 模型验证结果

根据表 4 的结果分析得到最优栖息地指数模型:3—5 月份 AMM($a = 0.7$),6—8 月份 AMM($a = 0.6$),9—11 月份 AMM($a = 0.3$),12—2 月份 AMM($a = 0.6$)。分别利用各时间段最优栖息地指数模型和算术平均模型(AMM)计算 2013—2014 年的适应性指数(HSI)值,再与实际情况进行比较(表 5)。

3 讨论

3.1 中西太平洋围网鲉捕捞努力量(作业天数)和 CPUE 与环境因子的关系

在中西太平洋围网鲉捕捞作业过程中,CPUE 与环境因子关系不显著,而作业天数与环境因子存在显著的关系,在其他捕获种类的研究中也有类似的情况,如茎柔鱼栖息研究^[11]。原因可能是:

表 5 2013—2014 年基于两种模型计算的 HSI 值下作业天数比重和产量比重

Tab. 5 Percentages of fishing effort and catches under different HIS values based on two HSI models in 2013 and 2014

HIS	3—5 月				6—8 月			
	算术平均法		AMM (a = 0.7)		算术平均法		AMM (a = 0.6)	
	作业天数比重 /%	产量 /%	作业天数比重 /%	产量 /%	作业天数比重 /%	产量 /%	作业天数比重 /%	产量 /%
	Percentages of effort	Percentages of catches						
[0,0.2]	0	0	0	0	0	0	0	0
[0.2,0.4]	0	0	0	0	0	0	0	0
[0.4,0.6]	27.81	14.39	22.21	10.84	15.82	4.9	15.26	4.76
[0.6,0.8]	47.55	55.64	46.93	42.00	25.81	28.06	29.88	33.61
[0.8,1]	24.64	29.97	30.86	47.16	58.37	67.04	54.86	61.63
HIS > 0.6	72.19	85.61	77.79	89.16	84.18	95.10	84.74	95.24
HIS	9—11 月				12—2 月			
	算术平均法		AMM (a = 0.3)		算术平均法		AMM (a = 0.6)	
	作业天数比重 /%	产量 /%	作业天数比重 /%	产量 /%	作业天数比重 /%	产量 /%	作业天数比重 /%	产量 /%
	Percentages of effort	Percentages of catches						
[0,0.2]	0	0	0	0	0	0	0	0
[0.2,0.4]	0.75	1.65	0	0	0	0	1.19	1.79
[0.4,0.6]	6.00	11.23	6.70	11.87	4.16	7.33	2.97	5.54
[0.6,0.8]	49.40	42.77	54.65	33.16	44.64	49.55	42.68	50.71
[0.8,1]	43.85	44.35	38.65	54.98	51.20	43.12	53.16	41.96
HIS > 0.6	93.26	87.11	93.30	88.13	95.84	92.67	95.84	92.67

(1) 在每月 SST 和 SSH 较低或较高时,作业天数比较少,有的 SST 下只有一网次,受偶然因素的影响比较大;(2) 在资源丰度较好的海区,渔船数量较多,由于渔船间的相互影响,导致 CPUE 较小,而作业天数较大;同样,在资源丰度较差的海区,渔船的数量少,作业天数较小,而 CPUE 较大。本文根据作业天数和 SST、SSH 的关系,得到了中西太平洋围网鲣渔场空间分布的一些初步规律,对于 SST,作业渔场多分布在 28 ~ 30.5 °C 的海域,约占总作业天数的 95% 以上;对于 SSH,作业渔场多分布在 65 ~ 95 cm 的海域,约占总作业天数的 90% 以上。

3.2 中西太平洋围网鲣适应性指数分析

在使用 AMM 和 GMM 模型计算 HSI 时,AMM 计算的结果大于 0.6 的产量比重和作业天数比重均大于 GMM 计算的 HSI 大于 0.6 的产量比重和作业天数比重。因此,AMM 更适用计算中西太平洋鲣的栖息地指数。在其他一些渔业中,也有类似的研究成果,如陈程等^[12]对摩洛哥底层拖网、余为等^[13]对印度洋西北海域鸢乌贼 (*Sthenoteuthis oualaniensis*)、陈新军等^[14]对西北太平洋柔鱼 (*Ommastrephes bartramii*)、丁琪等^[15]对

阿根廷滑柔鱼 (*Illex argentinus*) 的研究中,也有一致的研究结果,均表明 AMM 优于 GMM。

3.3 不同权重下的 AMM 模型比较

本研究确定了最佳 HSI 模型为 AMM。其中,3—5 月和 9—11 月 SST 和 SSH 的最佳权重分别为 0.7 和 0.3,6—8 月和 12—2 月 SST 和 SSH 的权重均分别为 0.6 和 0.4。利用该模型对 2013 年的捕捞数据进行检验,取得较好的效果,在 HSI 大于 0.6 的作业天数和产量比重,均在 77% 以上,其中 9—11 月、12—2 月的作业天数和产量比重均在 88% 以上。而在不考虑权重时,采用算术平均法计算 HSI,在 HSI 大于 0.6 的海域,其作业天数比重在 72% 以上,其中 9—11 月、12—2 月的作业天数和产量比重在 87% 以上。可以发现,考虑权重之后准确性有一定提高。不同鱼类研究过程中也有类似结论,如胡振明等^[16]对秘鲁外海茎柔鱼 (*Dosidicus gigas*) 和胡贯宇等^[17]对阿根廷柔滑鱼的栖息地研究中。这些研究均说明,环境对栖息地指数模型建立有影响,且不同的环境因子对不同种类来说,扮演着不同的作用。

各月最适的权重值不同,3—5 月的 SST 对 CPUE 影响较大,而 9—11 月的 SSH 对 CPUE 影

响较大,6—8 月份和 12—2 月份 SST 和 SSH 对 CPUE 影响相差不大,这说明影响中西太平洋围网鳀栖息地分布的环境因子季间性变化较大,因此,在考虑权重时也需要考虑不同环境因子的季节差异。

3.4 局限性分析

在本文中,考虑海洋环境因子时,只考虑到了 SST 和 SSH 两个因子,但在实际生产中,渔场实际受影响的情况非常复杂,能够影响渔场的环境因子也还有很多,例如叶绿素浓度、海表面盐度等,鱼类的栖息地不仅仅受着环境因子的影响,还有一些生物和非生物之间的关系,比如饵料等食物链关系、季风海流等。在以后的研究中,可在模型中加入更多的生物、非生物因子及其交互作用的影响,进行更深入的探究^[18-19]。

在栖息地指数模型中利用历史数据研究鱼类的分布情况得到的只是初步的模型,并且由不同年份做出的模型均不一致,还需要用大量的实际生产数据对其进行校准和验证。同时,如果研究使用的数据年限较少,会存在一定的偶然性。今后的研究要积累长时间序列的数据,结合商业生产数据,建立更加全面综合的渔情预报模型。

参考文献:

- [1] 王学昉,许柳雄,朱国平. 鳀鱼(*Katsuwonus pelamis*)生物学研究进展[J]. 生物学杂志, 2009, 26(6): 68-71, 79. WANG X F, XU L X, ZHU G P. Review on the biology of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* [J]. Journal of Biology, 2009, 26(6): 68-71, 79.
- [2] OFDC (Overseas Fisheries Development Council of Chinese Taipei). [EB/OL]. 2008. www.ofdc.org.tw/catchstatus/02/WholeWorldPURSEIntroduction.pdf.
- [3] DAI X J, YE X C, XU L X. China Tuna Fisheries in the Western and Central Pacific Ocean in 2006 [R]. Scientific committee third regular session of Western and Central Pacific Fisheries Commission (WCPFC). Honolulu, United States of America, 2007.
- [4] 金龙如,孙克萍,贺红土,等. 生境适宜度指数模型研究进展[J]. 生态学杂志, 2008, 27(5): 841-846. JIN L R, SUN K P, HE H S, et al. Research advances in habitat suitability index model [J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(5): 841-846.
- [5] NISHIDA T, CHEN D G. Incorporating spatial autocorrelation into the general linear model with an application to the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) longline cpue data [J]. Fisheries Research, 2004, 70(2/3): 265-274.
- [6] CHEN X, TIAN S, CHEN Y, et al. A modeling approach to identify optimal habitat and suitable fishing grounds for neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwest pacific ocean [J]. Fishery Bulletin, 2010, 108(1): 1-15.
- [7] ANDRADE H A, GARCIA C A E. Skipjack tuna fishery in relation to sea surface temperature off the southern brazilian coast [J]. Fisheries Oceanography, 1999, 8(4): 245-254.
- [8] GILLIS D M, VAN DER LEE A. Advancing the application of the ideal free distribution to spatial models of fishing effort: The isodar approach [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2012, 69(10): 1610-1620.
- [9] MAUNDER M N, PUNT A E. Standardizing catch and effort data: A review of recent approaches [J]. Fisheries Research, 2004, 70(2/3): 141-159.
- [10] 方学燕,陈新军,丁琪. 基于栖息地指数的智利外海柔鱼渔场预报模型优化[J]. 广东海洋大学学报, 2014, 34(4): 67-73. FANG X Y, CHEN X J, DING Q. Optimization fishing ground prediction models of *Dosidicus gigas* in the high sea off Chile based on habitat suitability index [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2014, 34(4): 67-73.
- [11] 金岳,陈新军. 利用栖息地指数模型预测秘鲁外海柔鱼热点区[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(3): 19-26. JIN Y, CHEN X J. Forecasting hotspots of *Dosidicus gigas* in the offshore waters of Peru using habitat suitability model [J]. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(3): 19-26.
- [12] 陈程,陈新军,汪金涛,等. 基于栖息地指数模型的摩洛哥底拖网渔场研究[J]. 广东海洋大学学报, 2016, 36(1): 63-67. CHEN C, CHEN X J, WANG J T, et al. Study on fishing ground of bottom trawl based on the habitat suitability model in the coastal waters of Morocco [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2016, 36(1): 63-67.
- [13] 余为,陈新军. 印度洋西北海域鳀乌贼 9—10 月栖息地适宜指数研究[J]. 广东海洋大学学报, 2012, 32(6): 74-80. YU W, CHEN X J. Analysis on habitat suitability index of *Sthenoteuthis oualaniensis* in northwestern Indian ocean from september to october [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2012, 32(6): 74-80.
- [14] 陈新军,陈峰,高峰,等. 基于水温垂直结构的西北太平洋柔鱼栖息地模型构建[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2012, 42(6): 52-60. CHEN X J, CHEN F, GAO F, et al. Modeling of habitat suitability of Neon Flying Squid (*Ommastrephes bartramii*) based on vertical temperature structure in the northwestern Pacific ocean [J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(6): 52-60.
- [15] 丁琪,陈新军,汪金涛. 阿根廷滑柔鱼 (*Illex argentinus*) 适宜栖息地模型比较及其在渔场预报中的应用[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 8-13. DING Q, CHEN X J, WANG J T. Comparison habitat suitability index model of *Illex argentinus* and its application

- into fishing ground forecasting [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(3): 8-13.
- [16] 胡振明, 陈新军, 周应祺, 等. 利用栖息地适宜指数分析秘鲁外海茎柔鱼渔场分布[J]. *海洋学报*, 2010, 32(05): 67-75.
- HU Z M, CHEN X J, ZHOU Y Q, et al. Forecasting fishing ground of *Dosidicus gigas* based on habitat suitability index off Peru[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, 32(05): 67-75.
- [17] 胡贯宇, 陈新军, 汪金涛. 基于不同权重的栖息地指数模型预报阿根廷滑柔鱼中心渔场[J]. *海洋学报*, 2015, 37(8): 88-95.
- HU G Y, CHEN X J, WANG J T. Forecasting fishing ground of *Illex argentinus* based on different weight habitat suitability index in the southwestern atlantic [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 37(8): 88-95.
- [18] 魏联, 陈新军, 雷林, 等. 西北太平洋柔鱼 BP 神经网络渔场预报模型比较研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(3): 450-457.
- WEI L, CHEN X J, LEI L, et al. Comparative study on the forecasting models of squid fishing ground in the northwest Pacific Ocean based on BP artificial neural network [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(3): 450-457.
- [19] 蒋瑞, 陈新军, 雷林, 等. 秋冬季智利竹筴鱼栖息地指数模型比较[J]. *水产学报*, 2017, 41(2): 240-249.
- JIANG R, CHEN X J, LEI L, et al. A comparative study on habitat suitability index of *Trachurus murphyi* during autumn and winter [J]. *Journal Of Fisheries Of China*, 2017, 41(2): 240-249.

Comparisons of habitat suitability index models of skipjack tuna in the Western and Central Pacific Ocean

WANG Yifan¹, CHEN Xinjun^{1,2,3,4,5}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture, 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, Shanghai 201306, China)

Abstract: Skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) is one of the tuna species in the tropical Pacific waters, and is one of the main fishing targets by Chinese tuna purse seine fleets. In this paper, according to the fishing data during 1995 to 2012 in the Western and Central Pacific Ocean waters (5°N - 10°S and 125°E-135°W), combined with the remote sensing data of sea surface temperature (SST) and sea surface height (SSH), the frequency distribution method is used to analyze the suitable environmental range (SST and SSH) for skipjack tuna in the Western and Central Pacific Ocean. And the envelope method is also used to establish the suitability index (SI) based on SST and SSH in each quarter. The habitat suitability index (HSI) model is established to calculate the habitat suitability index by using the method of arithmetic average (AMM) and the geometric average method (GMM), and the catch data in 2013 is used to verify. The results show that the skipjack tuna is distributed in the waters with SST ranging from 28 °C to 30.5 °C and SSH ranging from 65 cm to 95 cm. In terms of fishing effort (fishing days) used as SI, the external envelope method of SI with SST and SSH is the most suitable. For establishing arithmetic average method of skipjack tuna, the suitable weights of SST in each quarter were 0.7, 0.6, 0.3 and 0.6 in the Western and Central Pacific Ocean. It is concluded that the environmental factors in different seasons have different effects on skipjack tuna distribution in the Western and Central Pacific Ocean.

Key words: Western and Central Pacific Ocean; skipjack tuna; purse seine; habitat suitability index; environmental factor; external envelope method