

文章编号: 1000-0615(2017)02-0240-10

DOI: 10.11964/jfc.20160510401

秋冬季智利竹筴鱼栖息地指数模型比较

蒋瑞¹, 陈新军^{1,2,3*}, 雷林^{1,2,3}, 汪金涛¹

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要: 根据2003—2009年5—9月我国大型拖网渔船捕捞智利竹筴鱼的生产统计数据, 结合海表面温度(SST)和海表面高度(SSH)的海洋环境因子, 以作业网次和单位捕捞努力量渔获量(CPUE)作为适应性指数(SI), 采用外包络法分别建立SST、SSH的SI, 采用算术平均法(AMM)、几何平均法(GMM)、基于权重的AMM分别建立栖息地指数(HSI), 并用2010—2011年度生产捕捞数据进行比较与验证。结果显示, 以作业网次为基础的SI为最适; AMM优于GMM; 考虑到权重的AMM优于没有考虑权重的AMM, 5—9月最适HSI模型的SST权重分别为0.4、0.7、0.6、0.7、0.1, 2010—2011年渔获量和作业网次的验证预报精度分别为75%~93%、80%~90%, 可作为秋冬季智利竹筴鱼栖息地指数模型。研究表明, 不同月份的SST和SSH对秋冬季智利竹筴鱼渔场分布有着不同的影响。秋冬季是智利竹筴鱼的主要渔汛期, 本研究为准确建立其渔场预报模型奠定了基础。

关键词: 智利竹筴鱼; 栖息地适应性指数; 海洋环境因子; 外包络法; 基于权重的算术平均法

中图分类号: Q 178.2; S 934

文献标志码: A

智利竹筴鱼(*Trachurus murphyi*)分布在整个东南太平洋^[1-2], 为集群性种类, 常密集成群, 是目前世界上捕捞产量较高的鱼种之一。2001年以来, 该种类也成为我国远洋渔业重点捕捞对象。秋冬季是智利竹筴鱼的重要渔汛期, 研究该时期智利竹筴鱼栖息地指数模型具有重要的意义^[3]。栖息地指数(habitat suitability index, HSI)最早是由美国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年代提出^[4], 目前多用来描述海洋生物对其周围栖息环境的反应, 并已成功应用于渔场分析等领域^[5]。方宇等^[6]、陈春光^[7]曾用栖息地指数模型对东南太平洋智利竹筴鱼渔场进行分析。不同的模型和不同的构建过程会对渔场预报的结果有较大的差异^[8]。以往学者^[6-7]在研究中均没有考虑到环境因子的权重。为此, 本研究根据2003—2011年我国大型拖网渔船捕

捞智利竹筴鱼的生产统计数据, 以及相关海洋环境因子, 分别以作业网次和单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)为基础, 建立不同权重的栖息地指数模型, 从而获得秋冬季最适宜的智利竹筴鱼栖息地指数模型, 为该资源的科学利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

智利竹筴鱼商业捕捞数据 生产统计数据来源于上海海洋大学大型拖网技术组, 时间为2003—2011各年度主渔汛期(秋冬季5—9月)。生产统计数据包括作业位置、作业日期、渔获量和作业网次等, 作业海域见图1, 图中点状为作业船位, 每个点表示在该区域作业1次。

收稿日期: 2016-05-14 修回日期: 2016-09-19

资助项目: 海洋局公益性行业专项(20155014)

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

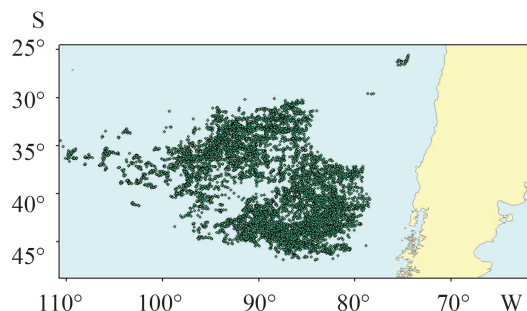


图 1 作业海域图

Fig. 1 Chart of operating area

海洋环境数据 选取的环境数据, 即海面温度(sea surface temperature, SST)和海面高度(sea surface height, SSH)来源于美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的Oceanwatch网站(<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov>)。

1.2 数据处理

数据预处理 将渔业生产统计数据与海洋环境数据处理成时间分辨率为月、空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 的格式, 并且根据各月 $1^\circ \times 1^\circ$ 的渔获量、作业网次, 计算获得CPUE(t/网次)。

通常认为, 作业网次可以代表鱼类出现或渔业资源被利用情况的指标, 反映了鱼类偏好或捕捞几率的分布^[9]。根据Gillis等^[10]和Maunder等^[11]的研究, CPUE可作为渔业资源丰度指标。因此, 研究分别以作业网次和CPUE作为适应性指数(suitability index, SI)。

分析方法 分别利用作业网次和CPUE与SST建立SI模型, 以比较获得最适SI模型。栖息地指数建模流程: ①用CPUE和作业网次分别建立每月基于环境因子的频率分布图, 比较各月份不同环境变量值对应的CPUE和作业网次; 同时, 利用正态分布回归曲线比较利用CPUE和作业网次与环境因子的关系, 以便选择表征SI的最适因子; ②利用最适表征SI因子来绘制智利竹筴鱼对SST、SSH的适应性指数曲线, 用外包络法^[12]建立适应性指数曲线方程, SI值在0和1之间变化, 0代表不适宜, 1代表最适宜; ③利用几何平均法(geometric mean model, GMM)和算术平均法(arithmetic mean model, AMM)计算栖息地指数, 比较模型优劣。如果AMM模型较佳, 则继续开展基于不同权重的AMM分析与比较。

计算HSI的模型:

几何平均法:

$$HSI = \sqrt{(SI_{SST} \times SI_{SSH})} \quad (1)$$

算术平均法:

$$HSI = \frac{1}{2} (SI_{SST} + SI_{SSH}) \quad (2)$$

赋予权重的算术平均法^[13]:

$$HSI = a \times SI_{SST} + b \times SI_{SSH} \quad (3)$$

式中, SI_{SST} 和 SI_{SSH} 分别为SI与SST、SI与SSH的适应性指数。 a 、 b 为SST和SSH的权重, $a+b=1$, a 值分别取0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0。

模型验证 本研究根据2003—2009年5—9月的生产统计数据来建立栖息地指数模型, 然后采用2010—2011年5—9月的实际生产数据进行验证和比较。以HSI大于0.6的海域作为适合的栖息地海域^[6-7, 14-16], 分别计算HSI大于0.6海域的产量和作业网次占总产量和作业网次的比重, 其比重越大, 说明其模型越适合^[14, 17]。

2 结果

2.1 各月份CPUE和作业网次与SST和SSH关系及其SI模型建立

由图2可知, 5月份最适SST为 $12 \sim 13^\circ\text{C}$, 最适SSH为 $5 \sim 10\text{ cm}$, 产量较高海域的SST为 $11 \sim 14^\circ\text{C}$ 、SSH为 $0 \sim 10\text{ cm}$; 6月份最适SST为 $12 \sim 13^\circ\text{C}$, 最适SSH为 $5 \sim 10\text{ cm}$, 产量较高海域的SST为 $11 \sim 14^\circ\text{C}$ 、SSH为 $5 \sim 15\text{ cm}$; 7月份最适SST为 $13 \sim 14^\circ\text{C}$, 最适SSH为 $15 \sim 20\text{ cm}$, 产量较高海域的SST为 $12 \sim 15^\circ\text{C}$ 、SSH为 $10 \sim 30\text{ cm}$; 8月份最适SST为 $14 \sim 15^\circ\text{C}$, 最适SSH为 $25 \sim 35\text{ cm}$, 产量较高海域的SST为 $13 \sim 16^\circ\text{C}$ 、SSH为 $25 \sim 35\text{ cm}$; 9月份最适SST为 $15 \sim 16^\circ\text{C}$, 最适SSH为 $30 \sim 35\text{ cm}$, 产量较高海域的SST为 $14 \sim 17^\circ\text{C}$ 、SSH为 $30 \sim 40\text{ cm}$ 。

CPUE、作业网次与SST和SSH的关系均呈现显著性相关, 但CPUE与SST和SSH的 R^2 值均小于作业网次与SST和SSH的 R^2 值(表1), 因此后续研究中, 利用外包络法来绘制以作业网次为基础的适应性指数曲线(图3), 其SI模型见表2。

2.2 AMM和GMM的比较

分析认为, HSI值大于0.6的海域的作业网次和产量比重分布: 5月GMM和AMM的产量比重、作业网次比重分别为90.03%、90.88%和92.60%、92.36%, 6月分别为84.70%、79.83%和

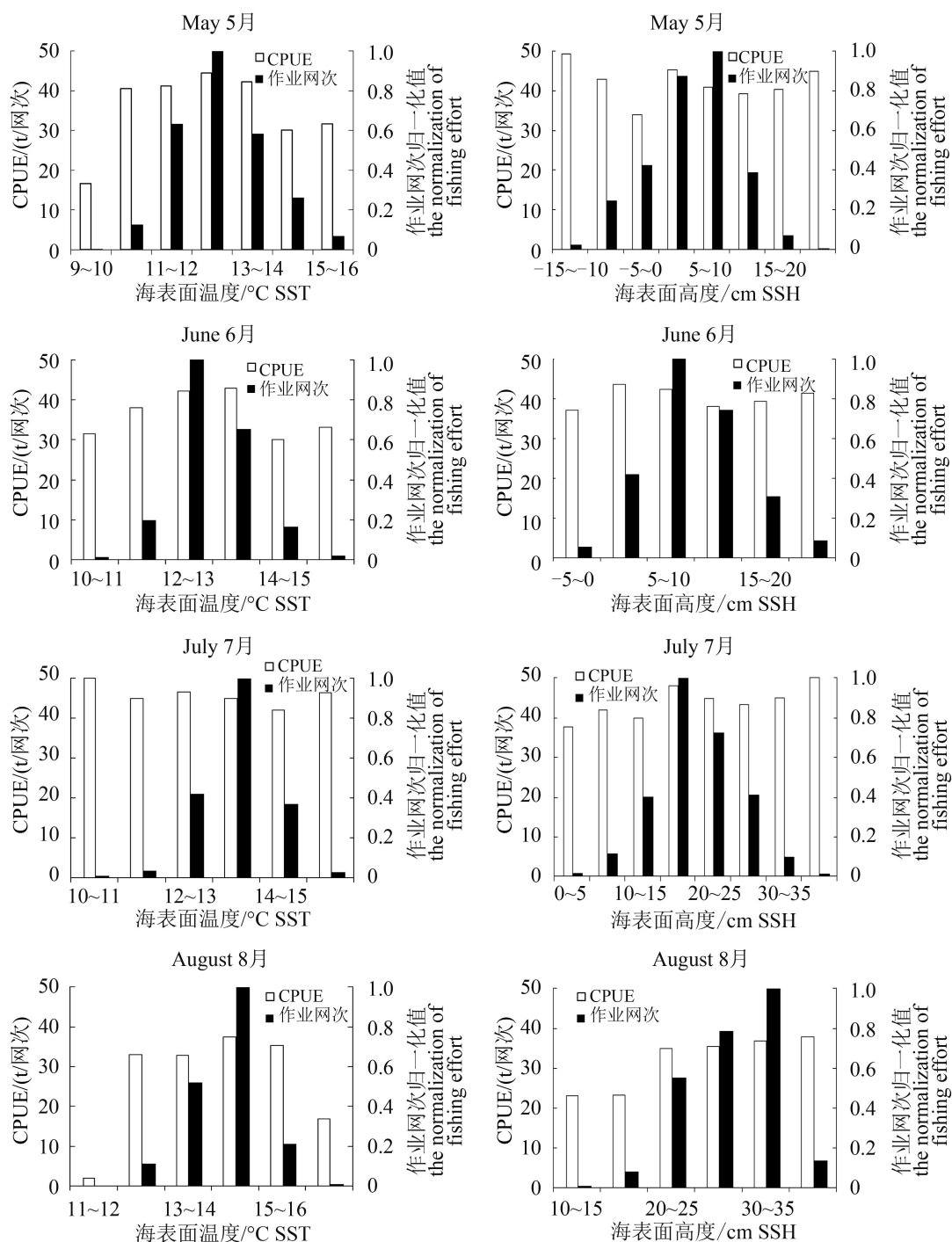
86.42%、83.19%，7月分别为63.76%、69.18%和64.21%、71.51%，8月分别为70.58%、74.58%和78.97%、80.83%，9月分别为95.19%、95.71%和97.93%、98.57%。因此，AMM能较好地反映秋冬季智利竹筴鱼的栖息地指数模型。

由表3可知，5—9月最适的栖息地指数模型中，各月SST和SSH的最高权重分别依次为0.4和0.6(HSI大于0.6海域的产量占总产量的比重和作业网次占总网次的比重分别为0.96和0.95)、0.7和

0.3(比重分别为0.94和0.93)、0.6和0.4(比重分别为0.90和0.89)、0.7和0.3(比重分别为0.99和0.99)、0.1和0.9(比重分别为0.99和0.97)。

2.3 栖息地指数模型的验证

利用各月最适HSI模型计算2010—2011年智利竹筴鱼的HSI值，并计算HSI值大于0.6海域的实际生产情况，发现在HSI大于0.6的海域，其产量的比重为0.75~0.91，作业网次比重为0.82~



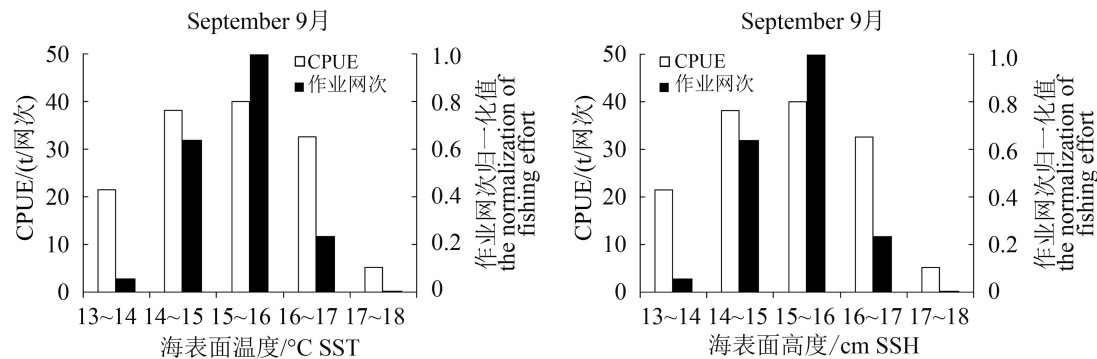


图 2 各月份CPUE和作业网次与SST和SSH的关系

Fig. 2 The relationship between SST or SSH and fishing effort or CPUE from May to September

表 1 2003—2009年各月份以作业网次、CPUE为基础的与SST和SSH的关系比较

Tab. 1 Comparison of the relationships between monthly fishing effort or CPUE and SST or SSH from 2003 to 2009

月份 month	以作业网次为基础的 R^2 和 P R -square and P based on fishing effort			以CPUE为基础的 R^2 和 P R -square and P based on CPUE		
		R^2	P		R^2	P
5月	SST	0.98	<0.001	SST	0.72	<0.001
	SSH	0.97	<0.001	SSH	0.03	<0.001
6月	SST	0.98	<0.001	SST	0.57	<0.001
	SSH	0.98	<0.001	SSH	-0.52	<0.001
7月	SST	0.99	<0.001	SST	0.42	<0.001
	SSH	0.97	<0.001	SSH	0.61	<0.001
8月	SST	0.99	<0.001	SST	0.77	<0.001
	SSH	0.89	<0.001	SSH	0.89	<0.001
9月	SST	0.99	<0.001	SST	0.90	<0.001
	SSH	0.99	<0.001	SSH	0.68	<0.001

表 2 各月份智利竹筴鱼基于作业网次的SI曲线方程

Tab. 2 Monthly equation of suitability index of *T. murphyi* based on fishing effort

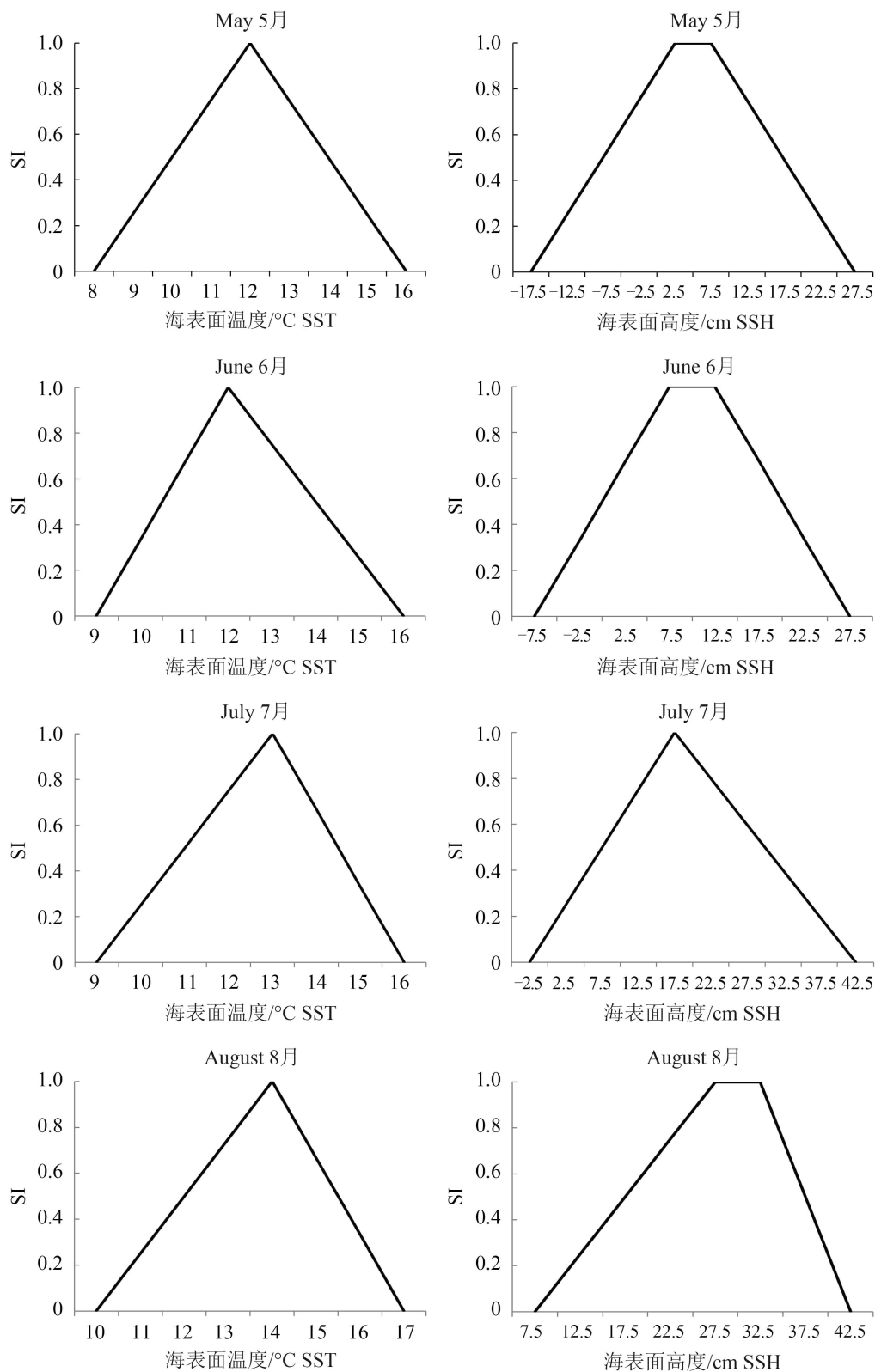
月份 month	海表面温度 SST	海表面高度 SSH
5月	$SI_{SST} = \begin{cases} \frac{1}{4}SST - 2 & 8 \leq SST \leq 12 \\ -\frac{1}{4}SST + 4 & 12 < SST \leq 16 \end{cases}$	$SI_{SSH} = \begin{cases} 0.05SST + 0.875 & -17.5 \leq SSH \leq 2.5 \\ 1 & 2.5 \leq SSH \leq 7.5 \\ -0.05SST + 1.375 & 7.5 < SSH \leq 27.5 \end{cases}$
6月	$SI_{SST} = \begin{cases} \frac{1}{3}SST - 3 & 9 \leq SST \leq 12 \\ -\frac{1}{4}SST + 4 & 12 < SST \leq 16 \end{cases}$	$SI_{SSH} = \begin{cases} \frac{1}{15}SSH + 0.5 & -7.5 \leq SSH \leq 7.5 \\ 1 & 7.5 < SSH \leq 12.5 \\ -\frac{1}{15}SSH + \frac{11}{6} & 12.5 < SSH \leq 27.5 \end{cases}$
7月	$SI_{SST} = \begin{cases} \frac{1}{4}SST - 2.25 & 9 \leq SST \leq 13 \\ -\frac{1}{3}SST + \frac{16}{3} & 13 < SST \leq 16 \end{cases}$	$SI_{SSH} = \begin{cases} 0.05SSH + 0.125 & -2.5 \leq SSH \leq 17.5 \\ -0.04SSH + 1.7 & 17.5 < SSH \leq 42.5 \end{cases}$
8月	$SI_{SST} = \begin{cases} \frac{1}{4}SST - 2.5 & 10 \leq SST \leq 14 \\ -\frac{1}{3}SST + \frac{17}{3} & 14 < SST \leq 17 \end{cases}$	$SI_{SSH} = \begin{cases} 0.05SSH - 0.375 & 7.5 \leq SSH \leq 27.5 \\ 1 & 27.5 < SSH \leq 32.5 \\ -0.1SSH + 4.25 & 32.5 < SSH \leq 42.5 \end{cases}$
9月	$SI_{SST} = \begin{cases} \frac{1}{3}SST - 4 & 12 \leq SST \leq 15 \\ -\frac{1}{3}SST + 6 & 15 < SST \leq 18 \end{cases}$	$SI_{SSH} = \begin{cases} \frac{1}{15}SSH - \frac{7}{6} & 17.5 \leq SSH \leq 32.5 \\ -0.05SSH + 2.625 & 32.5 < SSH \leq 52.5 \end{cases}$

0.90, 均取得较好的预测效果(表4)。

3 讨论

智利竹筴鱼的CPUE与环境因子的关系密切

程度不及作业网次, 在其他渔业的研究中也有类似的情况^[18]。其原因可能为, ①在SST和SSH不利于渔场形成或者鱼类栖息的海域, 作业网次比较少, 但可能由于偶然因素的存在, 如拖



(图3 Fig.3)

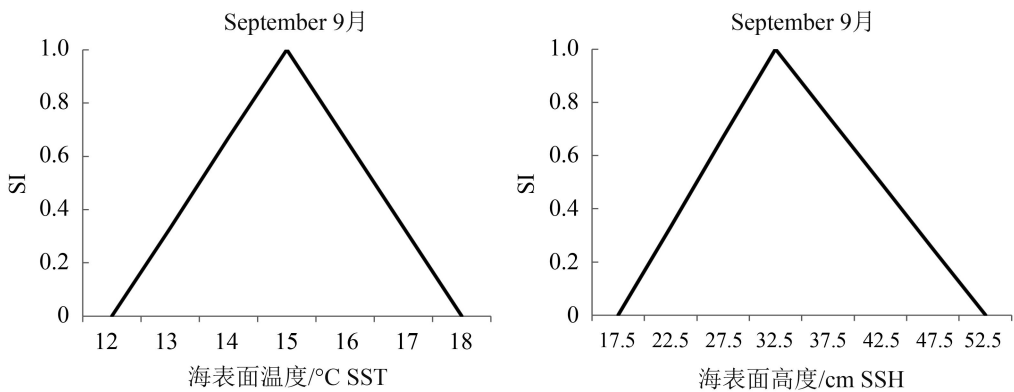


图 3 各月份智利竹筴鱼适应性指数曲线
Fig. 3 Monthly curve of suitability index for *T. murphyi*

表 3 2003—2009年AMM不同权重下HSI大于0.6的海域的作业网次和产量的比重
Tab. 3 Monthly proportion of fishing effort and catches under different weights in the case of
HSI greater than 0.6 based on the AMM from 2003 to 2009

权重 weight	比重 proportion	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September
a=0	PC	0.60	0.54	0.88	0.58	0.98
	PE	0.62	0.54	0.87	0.59	0.97
a=0.1	PC	0.92	0.89	0.88	0.96	0.99
	PE	0.92	0.89	0.87	0.96	0.97
a=0.2	PC	0.94	0.91	0.88	0.96	0.96
	PE	0.94	0.90	0.88	0.96	0.94
a=0.3	PC	0.94	0.92	0.88	0.97	0.92
	PE	0.94	0.91	0.88	0.97	0.89
a=0.4	PC	0.96	0.92	0.88	0.97	0.87
	PE	0.95	0.92	0.89	0.97	0.85
a=0.5	PC	0.96	0.92	0.89	0.98	0.82
	PE	0.94	0.92	0.89	0.98	0.80
a=0.6	PC	0.92	0.93	0.90	0.98	0.77
	PE	0.90	0.92	0.89	0.98	0.73
a=0.7	PC	0.91	0.94	0.88	0.99	0.68
	PE	0.89	0.93	0.88	0.99	0.63
a=0.8	PC	0.91	0.93	0.88	0.97	0.60
	PE	0.87	0.90	0.89	0.97	0.56
a=0.9	PC	0.90	0.92	0.87	0.95	0.49
	PE	0.86	0.89	0.88	0.95	0.47
a=1.0	PC	0.88	0.90	0.86	0.94	0.43
	PE	0.84	0.87	0.86	0.94	0.42

注：a. SST的权重；SSH的权重为1-a；PC. 产量比重；PE. 作业网次比重
Notes: a. the weights of SST; weights of SSH is 1-a; PC. proportion of catches; PE. proportion of fishing effort

表 4 各月最适HSI模型及2010—2011年HSI大于0.6的作业网次和产量的比重

Tab. 4 The monthly suitable HSI model and proportion of fishing effort and catches in the case of HSI greater than 0.6 based on the monthly suitable HSI model from 2010 to 2011

月份 month	各月最适HSI模型 suitable HSI model	产量比重 proportion of catch	作业网次比重 proportion of fishing effort
5月	$HSI=0.4\times SI_{SST}+0.6\times SI_{SSH}$	0.89	0.90
6月	$HSI=0.7\times SI_{SST}+0.3\times SI_{SSH}$	0.91	0.88
7月	$HSI=0.6\times SI_{SST}+0.4\times SI_{SSH}$	0.75	0.82
8月	$HSI=0.7\times SI_{SST}+0.3\times SI_{SSH}$	0.93	0.90
9月	$HSI=0.1\times SI_{SST}+0.9\times SI_{SSH}$	0.81	0.80

网作业、扫海面积大，也有可能出现较高的CPUE；②在资源丰度较高的海区，作业渔船数量较多，可能出现作业网次比较集中的情况。但由于渔船之间的相互干扰，使得捕捞产量下降、作业风险增加。因此，在一定程度上采用作业网次来分析栖息地分布与环境因子的关系，可较真实地反映鱼类栖息地分布情况。

5—9月智利竹筴鱼渔场分布的最适SST和SSH范围不同，说明智利竹筴鱼生活习性具有季节性。陈春光^[7]认为，智利竹筴鱼中心渔场SST为12~18℃，且各月有差异。本研究发现，5—9月智利竹筴鱼渔场最适SST和SSH整体呈上升趋势。秋冬季，智利竹筴鱼摄食强度显著下降、含脂量降低^[19-20]，因此需要洄游到水温相对较高的海域生活和觅食。

本研究表明，AMM更适于计算秋冬季智利竹筴鱼的HSI，在对西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)^[21]、摩洛哥底层拖网渔场^[22]、印度洋西北海域鳶乌贼(*Symplectoteuthis oualaniensis*)^[23]、西南大西洋阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)^[24]的栖息地指数研究中也类似的结果。William等^[25]认为，GMM并不能很好地模拟生物体与各环境因素之间的综合关系；GMM在建立适应性指数曲线时需要大量精确的数据作为支撑。而本研究所采用的生产统计数据，时间和空间分辨率相对较大，收集的生产统计数据只有我国大型拖网的数据。因此，以GMM建立的HSI模型预测鱼类栖息地指数的效果相对较差。

在建立最适HSI模型时，各月的环境因子权重不同。在HSI大于0.6的海域的作业网次和产量比重均在75%以上，其中5、6、8月的作业网次和产量比重均在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

其作业网次比重在60%以上，其中5、6、8月的作业网次和产量比重在80%以上。研究表明，在HSI模型中考虑权重后，其渔场预报的准确性得到提高，在胡贯宇等^[14]对阿根廷柔滑鱼栖息地研究和胡振明等^[26]对秘鲁外海茎柔鱼栖息地研究中，也有类似的情况。因此，在构建栖息地指数模型时，建议考虑不同环境因子的权重，以便较好地反映环境因子与生物之间的关系^[17]。

在实际生产中，渔场形成及其分布受环境因子影响的过程非常复杂。环境因子除了SST、SSH外，还有叶绿素浓度、海表面盐度等，因此在以后的研究中，可尝试在栖息地指数模型建立中加入生物、非生物因子及其交互作用的影响，建立更加全面、综合的栖息地指数模型。

参考文献：

[1] Arcos D F, Cubillos L A, Nunez S P. The jack mackerel fishery and El nino 1997-98 effects off Chile[J]. Progress in Oceanography, 2001, 49(1-4): 597-617.

[2] 李显森, 陈聚法, 周立凯, 等. 东南太平洋智利竹筴鱼渔业生物学的初步调查研究[J]. 海洋水产研究, 2002, 23(2): 19-24.

Li X S, Chen J F, Zhou L K, et al. Preliminary studies on fishery biology of horse mackerel (*Trachurus murphyi*) in the Southeast Pacific Ocean[J]. Marine Fisheries Research, 2002, 23(2): 19-24(in Chinese).

[3] 张衡, 樊伟. 2009年秋季东南太平洋智利竹筴鱼的渔业生物学特征[J]. 海洋渔业, 2010, 32(3): 340-344.

Zhang H, Fan W. Biological characters of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the Southeast Pacific Ocean[J]. Marine Fisheries. 2010, 32(3): 340-344(in Chinese).

[4] 金龙如, 孙克萍, 贺红士, 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(in Chinese).
- [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] 方宇, 邹晓荣, 张敏, 等. 东南太平洋智利竹筴鱼栖息地指数的比较研究[J]. 海洋渔业, 2010, 32(2): 178-185.
- Fang Y, Zou X R, Zhang M, *et al.* A comparative study on habitat suitability index of Chilean jack mackerel in Southeast Pacific Ocean. Marine Fisheries, 2010, 32(2): 178-185(in Chinese).
- [7] 陈春光. 东南太平洋智利竹筴鱼渔场空间分布及其栖息地适宜性指数的研究 [D]: 上海海洋大学, 2015.
- Chen C G. Study on fishing ground spatial distribution and habitat suitability index(HSI) model of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the Southeast Pacific Ocean [D]. Shanghai Ocean University, 2015(in Chinese).
- [8] Chen X J, Tian S Q, 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): 1-14.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 方学燕, 陈新军, 丁琪. 基于栖息地指数的智利外海茎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(in Chinese).
- [13] 龚彩霞. 基于栖息地指数的西北太平洋柔鱼渔获量估算 [D]: 上海海洋大学, 2012.
- Gong C X. Estimating potential yield for neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific ocean based on habitat suitability index model [D]. Shanghai Ocean University, 2012(in Chinese).
- [14] 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(in Chinese).
- [15] 陈新军, 陆化杰, 刘必林, 等. 利用栖息地指数预测西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(3): 431-438.
- Chen X J, Lu H J, Liu B L, *et al.* Forecasting fishing ground of *Illex argentinus* by using habitat suitability model in the Southwest Atlantic[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(3): 431-438(in Chinese).
- [16] 高峰, 陈新军, 范江涛, 等. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼中心渔场预报的实现及验证[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 754-758.
- Gao F, Chen X J, Fan J T, *et al.* Implementation and verification of intelligent fishing ground forecasting of *Illex argentinus* in the Southwest Atlantic[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(5): 754-758(in Chinese).
- [17] 宋利明. 大眼金枪鱼栖息环境综合指数研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- Song L M. Studying on habitat suitability index for *Thunnus obesus* based on the fisheries investigation data[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014(in Chinese).
- [18] 金岳, 陈新军. 利用栖息地指数模型预测秘鲁外海茎柔鱼热点区[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. Progress in Fisheries Sciences. 2014, 35(3): 19-26(in Chinese).

- [19] 张衡, 张胜茂, 王雪辉, 等. 东南太平洋秋冬季智利竹筴鱼摄食习性的初步分析[J]. 海洋渔业, 2013, 35(2): 161-167.
- Zhang H, Zhang S M, Wang X H, *et al.*, The primary study on the feeding ecology of Chilean jack mackerel *Trachurus murphyi* in the southeast Pacific during autumn and winter periods[J]. Marine Fisheries, 2013, 35(2): 161-167(in Chinese).
- [20] 邹晓荣. 东南太平洋智利竹筴鱼资源、渔场和捕捞技术的研究[D]: 上海水产大学, 2003.
- Zou X R. Study on resources, fishing ground and fishing technology of Chilean jack mackerel in the southeast Pacific[D]. Shanghai Fisheries University, 2003(in Chinese).
- [21] 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.*, Modelling of habitat suitability of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) based on vertical temperature[J]. Periodical of Ocean University of China. 2012, 42(6): 52-60(in Chinese).
- [22] 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, (1): 63-67(in Chinese).
- [23] 余为, 陈新军. 印度洋西北海域鳶乌贼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(in Chinese).
- [24] 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 Fisheries Sciences. 2015, 36 (3): 8-13(in Chinese).
- [25] William G. Layher O E M. Spotted bass habitat evaluation using an unweighted geometric mean to determine HSI values[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1985, 65: 11-17.
- [26] 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(5): 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(5): 67-75(in Chinese).

A comparative study on habitat suitability index of *Trachurus murphyi* during autumn and winter

JIANG Rui¹, CHEN Xinjun^{1,2,3*}, LEI Lin^{1,2,3}, WANG Jintao¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The seasons of autumn and winter are the main fishing time of *Trachurus murphyi*. It has practical meaning to establish the forecasting model of fishing grounds for *T. murphyi*. In this paper, we established the habitat suitability index of *T. murphyi* during autumn and winter based on Chinese commercial fishing data of *T. murphyi* in Southeast Pacific during May to September from 2003 to 2009 and combined with oceanic environmental data including sea surface temperature (SST) and sea surface height (SSH). The fishing effort and CPUE are considered as the indicator of suitability index (SI), and the curves of SI were estimated by using the method of Data Envelopment Analysis. And the Arithmetic Mean Model (AMM), Geometric Mean Model (GMM) and the weighted AMM are used to establish the integrated habitat suitability index (HSI). The fishery data in 2010 and 2011 are used to compare and test the HSI model. The results indicated that the SI curve based on fishing effort is better than that based on CPUE, and the AMM is better than that the GMM. The weighted AMM is also more suitable than the general AMM, and the monthly suitable weight of SST during May to September is 0.4, 0.7, 0.5, 0.7 and 0.1, respectively. In 2010 and 2011, in the fishing areas with greater than 0.6 of HSI, the percentages of catch and fishing effort attained 75%-93% and 80%-90% respectively. It is concluded that the habitat suitability index during May to September based on fishing efforts by using external envelope method with monthly weights of SST could be used to predict the fishing ground of *T. murphyi*. In different months, SST and SSH have different effects on fishing ground of *T. murphyi* during autumn and winter.

Key words: *Trachurus murphyi*; habitat suitability index; oceanic environmental data; external enveloped method; arithmetic weighted mean model

Corresponding author: CHEN Xinjun. E-mail: xjchen@shou.edu.cn

Funding projects: Public Science and Technology Research Funds Project of Ocean (20155014)