

利用栖息地指数模型预测秘鲁外海茎柔鱼热点区

金岳¹ 陈新军^{1,2*}

(¹ 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

(² 国家远洋渔业工程技术研究中心 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)

摘要 利用栖息地指数模型准确地预测了秘鲁外海茎柔鱼的热点区。根据2008-2010年1-12月期间我国鱿钓渔船在秘鲁外海的生产数据,结合实时的海表温及海表面高度数据,分别建立以作业次数、单位捕捞努力量渔获量为基础的适应性指数。利用算术平均数模型建立基于海表温和海表面高度的栖息地指数模型,并利用2011年生产及环境数据对栖息地指数模型进行验证。结果显示,以作业次数为基础的适应性指数符合正态分布,而以单位捕捞努力量渔获量为基础的适应性指数显著性检验不显著,因此,只建立以作业次数为基础的模型。结果表明,以作业次数为基础的栖息地指数模型都高估了茎柔鱼热点区的范围,但大体范围基本一致,这说明其能较好地预测茎柔鱼的热点区。

关键词 茎柔鱼; 栖息地指数; 热点区; 秘鲁外海

中图分类号 S911 文献标志码 A 文章编号 1000-7075(2014)03-0019-08

Forecasting hotspots of *Dosidicus gigas* in the offshore waters of Peru using habitat suitability model

JIN Yue¹ CHEN Xin-jun^{1,2*}

(¹ College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

(² National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306)

ABSTRACT *Dosidicus gigas*, jumbo flying squid, is widely distributed in the eastern Pacific Ocean, and has become one of the most important target species for Chinese squid jigging vessels. There is a great potential for exploitation due to the abundance of this species. The precise forecasting of hotspots could provide scientific guidance for squid jigging fleets. Hotspots of *D. gigas* are closely related to the abundance distribution which is affected by marine environmental factors including sea surface temperature and sea surface height. We established the suitability index of *D. gigas* based on either catch per unit fishing effort or fishing effort, with two data resources: the fishery data from Chinese squid jigging produced from 2008 to 2010, and the environmental data including real-time sea surface temperature and sea surface height obtained from remote sensing. Then we used the arithmetic average model to establish different habitat suitability index. We also used the established model based on the fishing catch and marine environmental data in 2011 to test the habitat suitability index model.

国家863计划(2012AA092303)、国家发改委产业化专项(2159999)、上海市科技创新行动计划(12231203900)和国家科技支撑计划(2013BAD13B01)共同资助

* 通讯作者。E-mail: xjchen@shou.edu.cn

收稿日期:2013-06-14;接受日期:2013-07-15

作者简介:金岳(1990-),男,硕士研究生,主要从事海洋渔业生物学研究。E-mail: ik_king@163.com

We found that the suitability index based on fishing effort and environmental factors was consistent with the normal distribution ($P < 0.05$). However, the suitability index based on catch per unit fishing effort and environmental factors was not significant ($P > 0.05$). We hence used the habitat suitability index model based on fishing effort to forecast the hotspots of *D. gigas*. It was found that in the area where the habitat suitability index was higher than 0.6, the catch accounted for 48% of the total, the fishing effort occupied 46% of the total, and the CPUE ranged from 5.23 to 5.76 t/d. We also found that the forecasted hotspots of *D. gigas* were basically located in the actual fishing area, which indicated that this model could effectively forecast the hotspots of *D. gigas*.

KEY WORDS *Dosidicus gigas*; Habitat suitability index; Hotspots; Offshore waters of Peru

茎柔鱼 *Dosidicus gigas* 属枪形目、柔鱼科、茎柔鱼属(董正之 1991)。茎柔鱼为大洋性浅海种,广泛分布在中太平洋的东部海域,即加利福尼亚($37^{\circ} - 40^{\circ}\text{N}$)至智利($45^{\circ} - 47^{\circ}\text{S}$)以西的太平洋海域(Waluda *et al.* 2004)。茎柔鱼渔业始于1974年,但其大规模开发利用是在20世纪90年代中期,其捕捞方式以鱿钓为主。分布在秘鲁外海的茎柔鱼最早由日本鱿钓船开发。目前,从事该生产的国家和地区主要有日本、韩国、中国大陆和中国台湾地区等。中国大陆于2001年首次组织鱿钓船在秘鲁外海茎柔鱼渔场进行其资源的探捕,到2004年在该海域生产的鱿钓船达到100余艘,其渔获量超过 20×10^4 t,约占我国鱿钓总产量的70%以上,茎柔鱼已经成为我国鱿钓船的重要捕捞对象(陈新军等 2006)。栖息地指数(Habitat Suitability Index, HSI)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19世纪80年代初提出,被用来描述野生动物的栖息地质量(U. S. Fish and Wildlife Service 1981),随后HSI模型被广泛应用于物种的管理和生态恢复研究以及鱼类渔场分析等领域。热点区是近年来渔业科学家所关注的一个问题,它表达了海洋动物分布的密集区。为此,本研究根据我国鱿钓船的生产统计数据,结合海表温(SST)和海表面高度(SSH),分析捕捞努力量(Fishing Effort)、单位捕捞努力量渔获量(CPUE)与环境因子的关系,并对茎柔鱼热点区进行预测,为研究秘鲁外海茎柔鱼资源分布及其渔业管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

生产数据采用2008-2011年间的中国鱿钓船在东南太平洋的茎柔鱼年生产数据,主要作业海域为 $71^{\circ} - 90^{\circ}\text{W}$ 、 $1^{\circ} - 20^{\circ}\text{S}$,数据字段包括日期、船名、经度、纬度、产量、作业次数。其时间分辨率为天。其中,2008-2010年的数据用于建模,2011年的数据用于验证。

海洋环境数据SST和SSH数据来自美国OceanWatch网站,空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,时间分辨率为月。

1.2 数据处理

首先对生产数据按月进行分类,然后将分类后的SST数据按组距为 1°C 进行分组;同样,将分类后的SSH数据按组距为3cm进行分组。

作业次数(捕捞努力量)通常被作为代表鱼类出现频率或鱼类利用情况的指标(Andrade *et al.* 1999)。CPUE被作为表示资源密度的指标(Bertrand *et al.* 2002)。因此,利用作业次数、CPUE分别与SST、SSH建立适应性指数(Suitablity index, SI)模型。假设最高作业次数或CPUE为茎柔鱼丰度分布最高的海域,并认为其适应性指数SI为1;作业次数或CPUE为0时,通常被认为是茎柔鱼丰度分布最不适宜的海域,并认定其SI为0。SI计算公式如下:

$$SI_{ij,Net} = \frac{Net_{ij}}{Net_{i,max}} \quad (1)$$

$$SI_{ij,CPUE} = \frac{CPUE_{ij}}{CPUE_{i,max}} \tag{2}$$

式中, $SI_{ij,Net}$ 为 i 月以作业次数为基础获得的适应性指数, $Net_{i,max}$ 为 i 月的最大作业次数(网次), $SI_{ij,CPUE}$ 为 i 月以 CPUE 为基础获得的适应性指数, $CPUE_{i,max}$ 为 i 月的最大 CPUE (t/d)。

根据上述公式求出的 SI , 计算每月以作业次数和 CPUE 为基础的最适 SST 、 SSH 的置信区间。公式如下:

$$\overline{SST}_{i,Net} = \frac{\sum (SST_i \times SI_i)}{\sum SI_i} \tag{3}$$

$$s_{i,Net} = \sqrt{\frac{\sum [(SST_i - \overline{SST}_{i,Net})^2 \times SI_i]}{\sum SI_i}} \tag{4}$$

其 95% 置信区间为: $(\overline{SST}_{i,Net} - 1.96 \times \frac{s_{i,Net}}{\sum SI_i}, \overline{SST}_{i,Net} + 1.96 \times \frac{s_{i,Net}}{\sum SI_i})$ (5)

式中, $\overline{SST}_{i,Net}$ 为 i 月以作业次数为基础的平均 SST ; SST_i 为各温度范围的中间值; SI_i 为各温度范围的适应性指数; $s_{i,Net}$ 为 i 月以作业次数为基础的温度的标准差。同样的,也可以求出其他 3 种情况下的 95% 置信区间。

利用正态函数建立 SST 、 SSH 和 SI 之间的关系模型, 并利用 DPS 软件求解。通过模型将 SST 、 SSH 和 SI 的离散变量关系转化为连续随机变量关系。

利用算术平均法模型 (Arithmetic Mean Model) 计算得到栖息地综合指数 HSI 。 HSI 值在 0 (不适宜) 到 1 (最适宜) 之间变化。计算公式如下:

$$HSI = \frac{1}{2} (SI_{SST} + SI_{SSH}) \tag{6}$$

式中, SI_{SST} 和 SI_{SSH} 分别为 SI 与 SST 、 SI 与 SSH 的适应性指数。

比较以 CPUE 为基础的 HSI 和以作业次数为基础的 HSI 之间的不同, 并利用 2011 年 1-12 月 HSI 值与实际作业渔场比较验证, 探讨预测热点区的可行性。其技术路线见图 1。

2 结果

2.1 作业次数、CPUE 与 SST 、 SSH 的关系

各月作业次数、CPUE 与 SST 、 SSH 的关系见表 1、图 2 和图 3。

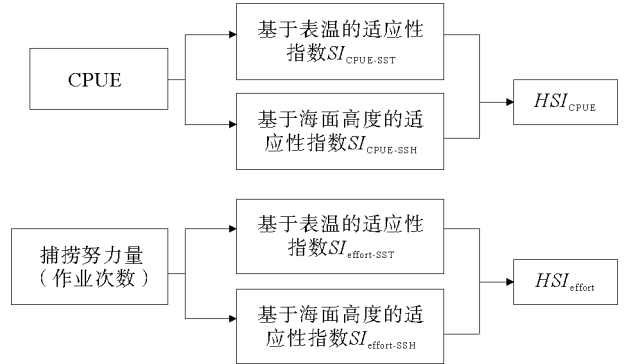


图 1 HSI 计算
Fig. 1 HSI calculation sketch

表 1 作业次数、CPUE 与 SST 、 SSH 的关系

Table 1 The relationship between fishing time, CPUE and SST , SSH

月份 Month	参数 Parameter	最适范围 Optimum range	所占比重 Proportion (%)	对应 CPUE (t/d)
1	SST (°C)	22 - 25	82.3	4.72 - 6.35
	SSH (cm)	22 - 31	78.9	5.27 - 5.76
2	SST (°C)	24 - 26	84.0	4.30 - 4.68
	SSH (cm)	22 - 28	77.0	4.52 - 4.75
3	SST (°C)	25 - 27	63.2	3.91 - 4.48
	SSH (cm)	25 - 31	80.6	3.22 - 4.54
4	SST (°C)	23 - 25	75.3	4.32 - 4.99
	SSH (cm)	22 - 28	72.2	3.13 - 4.26

续表 1

月份 Month	参数 Parameter	最适范围 Optimum range	所占比重 Proportion (%)	对应 CPUE (t/d)
5	SST(°C)	21 - 23	87.5	3.46 - 4.41
	SSH(cm)	16 - 25	68.8	3.38 - 3.52
6	SST(°C)	19 - 21	75.3	5.05 - 5.55
	SSH(cm)	25 - 31	68.9	5.45 - 5.93
7	SST(°C)	17 - 19	80.0	4.75 - 5.80
	SSH(cm)	25 - 34	60.0	3.89 - 5.90
8	SST(°C)	17 - 19	97.2	5.08 - 6.02
	SSH(cm)	22 - 31	91.4	4.88 - 6.43
9	SST(°C)	17 - 19	78.5	4.62 - 6.24
	SSH(cm)	22 - 28	72.4	5.34 - 5.41
10	SST(°C)	16 - 19	80.2	4.77 - 7.80
	SSH(cm)	22 - 28	95.9	5.75 - 6.65
11	SST(°C)	18 - 20	78.2	4.50 - 5.33
	SSH(cm)	19 - 25	80.0	4.78 - 5.33
12	SST(°C)	20 - 22	72.8	5.51 - 8.93
	SSH(cm)	25 - 34	65.9	4.95 - 7.19

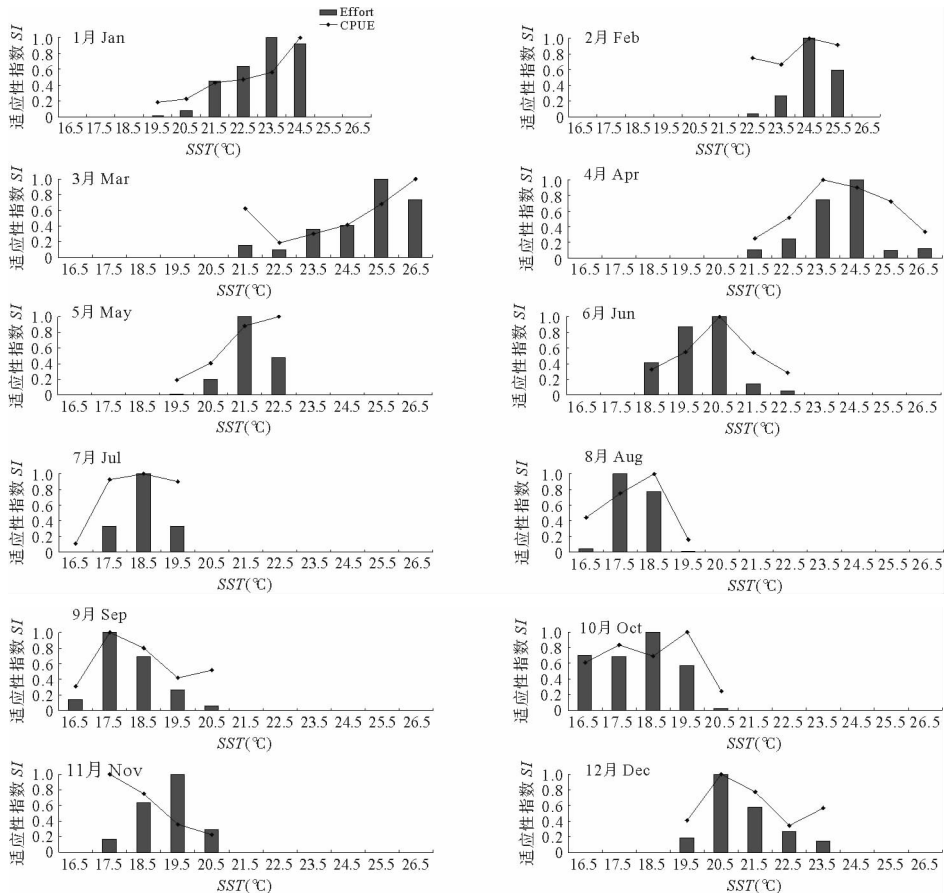


图2 秘鲁外海茎柔鱼 1 - 12 月以作业次数、CPUE 为基础的适应性指数各自与 SST 的关系

Fig. 2 The relationship between SST and suitability index based on fishing times and CPUE of *D. gigas* in the offshore waters of Peru during Jan to Dec

2.2 利用 SI 计算最适 SST 和 SSH

根据求出的 SI,计算每月以 CPUE、作业次数的适应性指数为基础的最适 SST、SSH 的范围,见表 2。

2.3 SI 曲线拟合及其模型建立

利用正态和偏正态曲线模型分别对以作业次数和 CPUE 为基础的 SI 与 SST、SSH 进行拟合(图 2 和图 3)。结果发现,以作业次数为基础的 SI 与 SST、SSH 拟合的方程全部通过了显著性检验($P < 0.05$),而以 CPUE 为基础的 SI 与 SST、SSH 拟合的方程只有部分通过了显著性检验($P < 0.05$)(表 3)。

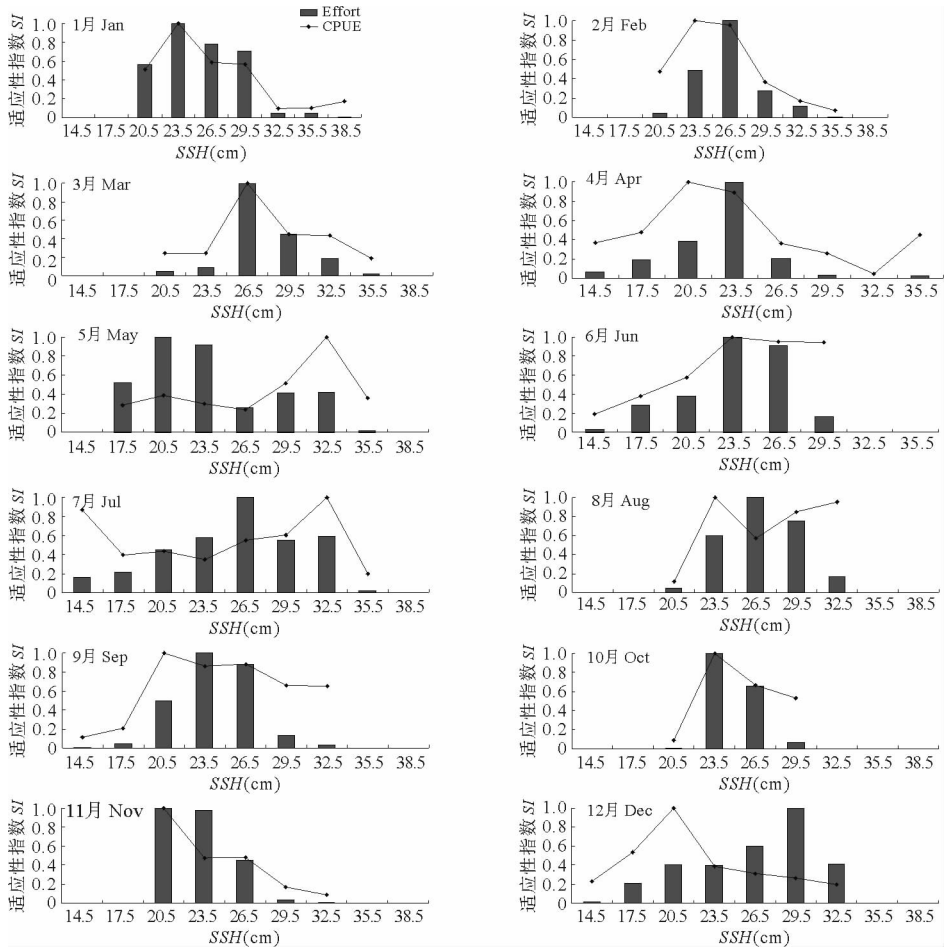


图 3 秘鲁外海茎柔鱼 1-12 月以作业次数、CPUE 为基础的适应性指数各自与 SSH 的关系

Fig. 3 The relationship between SSH and suitability index based on fishing times and

CPUE of *D. gigas* in the offshore waters of Peru during Jan to Dec

表 2 以 CPUE、作业次数的适应性指数为基础的最适 SST、SSH 范围

Table 2 The suitable ranges of SST and SSH based on the suitability index of CPUE and fishing times

时间 Time	SST 最适范围 Optimum SST range (°C)		SSH 最适范围 Optimum SSH range (cm)	
	作业次数 Fishing times	CPUE	作业次数 Fishing times	CPUE
1 月 Jan	21.9 - 24.5	21.1 - 24.7	21.5 - 29.2	20.9 - 31.6
2 月 Feb	23.6 - 25.6	22.9 - 25.3	22.7 - 30.1	21.5 - 29.5
3 月 Mar	23.4 - 26.7	22.5 - 26.6	23.8 - 31.5	22.9 - 32.8
4 月 Apr	22.6 - 25.5	22.8 - 25.9	20.8 - 30.3	20.4 - 32.3

续表 2

时间 Time	SST 最适范围 Optimum SST range(°C)		SSH 最适范围 Optimum SSH range(cm)	
	作业次数 Fishing times	CPUE	作业次数 Fishing times	CPUE
5 月 May	20.7 - 22.6	20.4 - 22.7	18.8 - 28.8	21.7 - 34.5
6 月 Jun	18.8 - 21.0	19.1 - 21.8	22.8 - 30.6	23.0 - 31.4
7 月 Jul	17.5 - 19.5	17.4 - 19.4	20.5 - 30.8	18.1 - 31.3
8 月 Aug	17.1 - 18.7	16.8 - 19.0	23.6 - 30.3	23.9 - 31.8
9 月 Sep	16.8 - 19.3	16.5 - 19.7	20.8 - 27.7	20.7 - 29.6
10 月 Oct	16.8 - 19.2	17.0 - 19.7	22.3 - 27.4	22.3 - 29.0
11 月 Nov	18.1 - 20.3	17.2 - 19.7	20.0 - 25.9	19.0 - 28.2
12 月 Dec	19.8 - 22.5	19.9 - 22.8	21.4 - 31.5	16.5 - 27.7

表 3 以作业次数、CPUE 为基础的茎柔鱼适应性指数

Table 3 The suitability index of jumbo flying squid based on fishing times and CPUE

时间 Time	作业次数为基础 Based on fishing effort		CPUE 为基础 Based on CPUE	
	适应性指数方程 SI equation	P	适应性指数方程 SI equation	P
1 月 Jan	$SI_{SST} = \exp[-0.176(X_{SST} - 23.90)^2]$	0.0002	$SI_{SST} = \exp[-0.041(X_{SST} - 26.49)^2]$	0.0049
	$SI_{SST} = \exp[-0.029(X_{SST} - 24.82)^2]$	0.0005	$SI_{SST} = \exp[-0.034(X_{SST} - 24.4)^2]$	0.0088
2 月 Feb	$SI_{SST} = \exp[-0.863(X_{SST} - 24.71)^2]$	0.0018	$SI_{SST} = \exp[-0.016(X_{SST} - 27.24)^2]$	0.2771
	$SI_{SST} = \exp[-0.105(X_{SST} - 26.1)^2]$	0.0001	$SI_{SST} = \exp[-0.038(X_{SST} - 24.8)^2]$	0.0003
3 月 Mar	$SI_{SST} = \exp[-0.371(X_{SST} - 25.72)^2]$	0.0005	$SI_{SST} = \exp[-0.019(X_{SST} - 29.90)^2]$	0.1531
	$SI_{SST} = \exp[-0.145(X_{SST} - 27.16)^2]$	0.0012	$SI_{SST} = \exp[-0.068(X_{SST} - 27.16)^2]$	0.1306
4 月 Apr	$SI_{SST} = \exp[-0.733(X_{SST} - 24.08)^2]$	0.0108	$SI_{SST} = \exp[-0.181(X_{SST} - 24.22)^2]$	0.0008
	$SI_{SST} = \exp[-0.132(X_{SST} - 26.12)^2]$	0.0001	$SI_{SST} = \exp[-0.029(X_{SST} - 24.49)^2]$	0.0198
5 月 May	$SI_{SST} = \exp[-1.119(X_{SST} - 21.68)^2]$	0.0013	$SI_{SST} = \exp[-0.242(X_{SST} - 22.31)^2]$	0.0064
	$SI_{SST} = \exp[-0.026(X_{SST} - 21.72)^2]$	0.0349	$SI_{SST} = \exp[-0.079(X_{SST} - 32.07)^2]$	0.3865
6 月 Jun	$SI_{SST} = \exp[-0.518(X_{SST} - 19.93)^2]$	0.0077	$SI_{SST} = \exp[-0.399(X_{SST} - 20.47)^2]$	0.0289
	$SI_{SST} = \exp[-0.051(X_{SST} - 27.43)^2]$	0.0029	$SI_{SST} = \exp[-0.012(X_{SST} - 29.68)^2]$	0.0004
7 月 Jul	$SI_{SST} = \exp[-1.099(X_{SST} - 18.50)^2]$	0.0001	$SI_{SST} = \exp[-0.267(X_{SST} - 18.64)^2]$	0.0893
	$SI_{SST} = \exp[-0.025(X_{SST} - 26.49)^2]$	0.0072	-	-
8 月 Aug	$SI_{SST} = \exp[-1.003(X_{SST} - 17.89)^2]$	0.0277	$SI_{SST} = \exp[-0.527(X_{SST} - 17.98)^2]$	0.0923
	$SI_{SST} = \exp[-0.051(X_{SST} - 26.92)^2]$	0.0009	$SI_{SST} = \exp[-0.005(X_{SST} - 34.26)^2]$	0.2191
9 月 Sep	$SI_{SST} = \exp[-0.741(X_{SST} - 17.88)^2]$	0.0012	$SI_{SST} = \exp[-0.220(X_{SST} - 18.06)^2]$	0.2790
	$SI_{SST} = \exp[-0.054(X_{SST} - 24.31)^2]$	0.0001	$SI_{SST} = \exp[-0.014(X_{SST} - 25.39)^2]$	0.0144
10 月 Oct	$SI_{SST} = \exp[-0.268(X_{SST} - 17.96)^2]$	0.0506	$SI_{SST} = \exp[-0.185(X_{SST} - 18.29)^2]$	0.2156
	$SI_{SST} = \exp[-0.126(X_{SST} - 24.55)^2]$	0.0251	$SI_{SST} = \exp[-0.057(X_{SST} - 25.24)^2]$	0.1981
11 月 Nov	$SI_{SST} = \exp[-0.739(X_{SST} - 19.25)^2]$	0.0088	$SI_{SST} = \exp[-0.153(X_{SST} - 17.09)^2]$	0.0086
	$SI_{SST} = \exp[-0.038(X_{SST} - 21.87)^2]$	0.0010	$SI_{SST} = \exp[-0.011(X_{SST} - 17.18)^2]$	0.0141
12 月 Dec	$SI_{SST} = \exp[-0.852(X_{SST} - 20.78)^2]$	0.0206	$SI_{SST} = \exp[-0.265(X_{SST} - 21.02)^2]$	0.4506
	$SI_{SST} = \exp[-0.035(X_{SST} - 28.36)^2]$	0.0419	$SI_{SST} = \exp[-0.058(X_{SST} - 20.25)^2]$	0.0423

2.4 HSI 模型分析及验证

由于 CPUE 存在不显著的模型,因此只建立以作业次数为基础的模型。根据拟合的以作业次数为基础的适应性指数方程,以 AMM 模型计算了 2011 年 1-12 月 HSI(表 4)。由计算可知,当 HSI 在 0.6 以上时,产量比

重占48%,作业次数占46%,CPUE为5.23-5.76 t/d。

表4 基于HSI的2011年1-12月产量比重、作业次数比重和CPUE统计分布

Table 4 The CPUE, percentage of fishing times and percentage of catch based on HSI during Jan to Dec of 2011

栖息地指数 HSI	HSI-Effort		
	产量比重 Percentage of catch (%)	作业次数比重 Percentage of fishing effort (%)	CPUE(t/d)
0-0.1	0.06	0.05	7.21
0.1-0.2	0.06	0.06	4.94
0.2-0.3	0.06	0.06	4.66
0.3-0.4	0.07	0.07	4.69
0.4-0.5	0.13	0.14	5.06
0.5-0.6	0.14	0.15	5.98
0.6-0.7	0.14	0.13	5.76
0.7-0.8	0.13	0.13	5.46
0.8-0.9	0.12	0.12	5.41
0.9-1.0	0.09	0.09	5.23

利用HSI模型,根据2011年1-12月SST和SSH值,分别计算各月的HSI值,然后找出茎柔鱼的热点区,并分别与实际渔获量情况进行比较(表5)。结果表明,利用HSI值预测的热点区比实际热点区范围大。

表5 模拟热点区与实际热点区的比较

Table 5 Comparison between predicted area and actual area

时间 Time	渔获量热点区 Catch hotspot	
	模拟热点区 Simulated hotspot	实际热点区 Real hotspot
1月 Jan	78°-84°W,11°-18°S	79°-82°W,15°-18°S
2月 Feb	78°-84°W,11°-18°S	79°-83°W,15°-18°S
3月 Mar	78°-83°W,11°-18°S	79°-84°W,14°-19°S
4月 Apr	79°-84°W,14°-17°S	79°-84°W,14°-18°S
5月 May	76°-84°W,14°-19°S	78°-83°W,14°-18°S
6月 Jun	79°-84°W,11°-18°S	79°-83°W,14°-18°S
7月 Jul	78°-84°W,14°-19°S	78°-82°W,14°-19°S
8月 Aug	79°-84°W,10°-18°S	79°-82°W,14°-19°S
9月 Sep	78°-86°W,10°-20°S	80°-83°W,15°-19°S
10月 Oct	78°-89°W,9°-18°S	81°-83°W,10°-18°S
11月 Nov	79°-84°W,10°-18°S	81°-83°W,10°-18°S
12月 Dec	76°-84°W,10°-18°S	82°-84°W,16°-19°S

3 讨论

3.1 茎柔鱼分布与海洋环境的关系

茎柔鱼资源分布主要受加利福尼亚海流、秘鲁海流和赤道逆流的影响,它主要分布在秘鲁海流的上升流区,在SST为16-27℃、SSH为13-37cm的范围内的产量比较高,特别是在SST为18-24℃、SSH为19-31cm的范围内更加密集。对温度的这一分析与Taípe等(2001)分析的一致,但比陈新军等(2005)所分析的温度范围要偏高。这可能是不同年份数据的整合所造成的。7-11月,最适SST范围在17-20℃左右,其他月份,最适SST范围基本在20℃以上(表2)。上述趋势在以CPUE、作业次数为基础的模型中都存在,这可能与季节有关。但类似的趋势却没有在SSH的分析中发现,这说明SSH随季节变化的关系不大。

3.2 茎柔鱼适应性指数分析

根据SI模型,茎柔鱼的捕捞努力量与SST、SSH大都存在正态分布关系($P < 0.05$),而CPUE与SST、SSH

没有明显的正态分布关系。与 SST 的这一正态关系在研究其他鱼类和柔鱼类时也得到证实 (Eastwood *et al.* 2001; Zainuddin *et al.* 2006; Chen *et al.* 2010)。另外,以作业次数为基础的 SI 值与以 CPUE 为基础的 SI 值有差异,产生的原因可能有(陈新军等 2012):1)作业渔船分布多的海区,其资源量不一定是最高的,有可能渔船未在中心渔场作业;2)作业渔船多的海区,由于渔船间的相互影响,导致平均日产量出现下降;反之,在作业渔船少的海区,其平均日产量则较高。因此,在本研究中要找到两种方法中更适合预测热点区的方法。本研究将实际的茎柔鱼分布热点区与以作业次数为基础模拟的热点区进行对比,发现以作业次数为基础模拟的热点区比实际热点区的范围大,但能预测出茎柔鱼分布的大致范围。这与 Tian 等(2009)得到的结论一致。根据得到的适应性指数方程,发现以作业次数为基础的适应性指数方程均符合正态或偏正态分布,而以 CPUE 为基础的适应性指数方程只有部分符合正态或偏正态分布(表 3)。这与陈新军等(2012)对大西洋阿根廷滑柔鱼的研究所得到的 CPUE 与 SST 间存在着正态分布关系的结论有所不同,可能是由于种类和分布区域的不同导致的。

3.3 HSI 模型的改善

本研究所建立的 HSI 模型只考虑到两个环境因子,这样得到的精确度可能是有限的,因此,今后需要将更多的因子考虑进去,来建立新的模型。茎柔鱼有昼夜垂直移动的现象 (Taibe *et al.* 2001),深层水温和温跃层的有无也是今后寻找热点区的指标。此外,叶绿素浓度、盐度等也影响到茎柔鱼的资源分析,同时,可以根据实时海洋环境数据对茎柔鱼的实况进行模拟分析,为鱿钓渔业生产提供可靠的科学依据。

致谢:上海海洋大学鱿钓技术组为本研究提供了秘鲁外海茎柔鱼的产量数据和海洋环境数据,特表示感谢。

参 考 文 献

- 陈新军,陆化杰,刘必林,钱卫国. 2012. 利用栖息地指数预测西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场. 上海海洋大学学报,21(3):431-438
- 陈新军,赵小虎. 2006. 秘鲁外海茎柔鱼产量分布及其与表温关系的初步研究. 上海水产大学学报,15(1):65-70
- 陈新军,赵小虎. 2005. 智利外海茎柔鱼产量分布及其与表温的关系. 海洋渔业,27(2):173-176
- 董正之. 1991. 世界大洋经济头足类生物学. 济南:山东科学技术出版社
- 王家樵. 2006. 基于分位数回归的印度洋大眼金枪鱼栖息地适应性指数模型研究. 见:上海水产大学硕士研究生学位论文,1-40
- Andrade HA, Garcia AE. 1999. Skipjack tuna in relation to sea surface temperature off the southern Brazilian coast. Fish Oceanogr 8(4):245-254
- Bertrand A, Josse E, Bach P and 2 others. 2002. Hydrological and trophic characteristics of tuna habitat; consequences on tuna distribution and longline catchability. Can J Fish Aquatic Sci 59(6):1002-1013
- Chen XJ, Tian SQ, Chen Y and 1 other. 2010. A modeling approach to identify optimal habitat and suitable fishing grounds for neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific. Fish Bull 108:1-14
- Eastwood PD, Meaden GJ, Grioche A. 2001. Modelling spatial variations in spawning habitat suitability for the sole *Solea solea* using regression quantiles and GIS procedures. Mar Ecol Progr Ser 224:251-266
- Taibe A, Yamashiro C, Mariategui L and 2 others. 2001. Distribution and concentrations of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999. Fish Res 54(1):21-32
- Tian SQ, Chen XJ, Chen Y and 2 others. 2009. Evaluating habitat suitability indices derived from CPUE and fishing effort data for *Ommastrephes bartramii* in the northwestern Pacific Ocean. Fish Res 95(2-3):181-188
- U. S. Fish and Wildlife Service. 1981. Standards for the development of habitat suitability index models. U. S. Fish and Wildlife Service, 1-81
- Waluda CM, Yamashiro C, Elvidge CD and 2 others. 2004. Quantifying light-fishing for *Dosidicus gigas* in the eastern Pacific using satellite remote sensing. Remote Sensing of Environ 91(2):129-133
- Zainuddin M, Kiyofuji H, Saitoh K and 1 other. 2006. Using multi-sensor satellite remote sensing and catch data to detect ocean hot spots for albacore (*Thunnus alalunga*) in the northwestern North Pacific. Deep-Sea Research II 53(3-4):419-431