

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*

丁 琪^{1,4} 陈新军^{1,2,3,4}① 汪金涛^{1,2,3,4}

(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 上海 201306;
3. 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; 4. 远洋渔业协同创新中心 上海 201306)

摘要 根据 2003–2007 年 1–5 月西南大西洋阿根廷滑柔鱼生产统计数据以及表温(SST)、海面高度(SSH)等海洋遥感数据,以作业次数为基础采用外包络法建立 SST、SSH 的适应性指数模型。分别采用算术平均法(AMM)和几何平均法(GMM)建立栖息地指数(HSI)模型,并对 2003–2007 年 1–5 月的 HSI 值与实际产量和作业次数作比较。研究结果显示,AMM 和 GMM 均拟合较好,HSI>0.6 时,AMM 的产量和作业次数比例分别为 86.75%和 89.82%;GMM 的产量和作业次数比例分别为 84.30%和 85.80%,AMM 稍优于 GMM。利用 2008 年 1–5 月的阿根廷滑柔鱼生产数据进行实证分析,结果显示,作业渔场主要分布在 HSI>0.6 的海域,其产量占总产量的 64%以上,作业次数占总作业次数的 68%以上;基于 SST 和 SSH 的 AMM 栖息地指数模型可用于阿根廷滑柔鱼中心渔场的实时动态预报,为该资源的高效开发提供科学依据。

关键词 阿根廷滑柔鱼;西南大西洋;栖息地指数;海洋环境;渔场分布;外包络法
中图分类号 S932.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)03-0008-06

西南大西洋是世界上生产头足类的重要渔区之一,阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)是该渔区鱿钓渔业的主要作业鱼种(王尧耕等, 2005)。阿根廷滑柔鱼也是我国鱿钓船的主要捕捞对象,最高年产量超过 18 万 t,其中南部巴塔哥尼亚种群是主要捕捞群体之一。由于阿根廷滑柔鱼是短生命周期、单世代物种,它能够对环境条件的变化迅速做出反应,其渔场分布与海洋环境关系极为密切(刘必林等, 2004; 陈新军等, 2004、2005、2012; Waluda *et al.*, 1999)。栖息地指数(Habitat Suitability Index, HSI)模型可用于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(Nishida *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2010)。但是,不同的模型可能预报的结果会有较大的差异(Chen *et al.*, 2010)。为此,本研究根据 2003–2008 年我国鱿钓船渔获生产统计资

料和海洋遥感数据建立了不同的 HSI 模型,分析了阿根廷滑柔鱼栖息地的分布,并探讨在渔场预报中的可能性,从而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

1.1.1 生产数据 研究海域为西南大西洋的 40°–55°S, 50°–65°W, 该海域为捕捞阿根廷滑柔鱼的重要作业渔场。生产统计数据来源于上海海洋大学鱿钓技术组,时间为 2003–2008 年,数据内容包括作业经纬度、作业时间、渔获量,时间分辨率为天。本研究重点分析阿根廷滑柔鱼 1–5 月主渔汛期的栖息地分布。按经纬度 0.5°×0.5°来统计其作业次数(单位:艘)和产量(单位:t)。

* 国家 863 计划(2012AA092303)、国家发改委产业化专项(2159999)、上海市研究生教育创新计划、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。丁 琪, E-mail: daydingqi@163.com

① 通讯作者: 陈新军, 教授, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

收稿日期: 2014-05-12, 收修改稿日期: 2014-06-24

1.1.2 卫星遥感数据 海洋遥感因子包括海表温度(SST)和海面高度(SSH),均来自 OceanWatch(<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/las/servlets/dataset>),时间跨度为2003–2008年,月份为1–5月。空间分辨率为经纬度 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 。

1.2 分析方法

以 SST、SSH 为基础,统计 2003–2007 年 1–5 月经纬度 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 内的产量和作业次数。作业次数反映了鱼类偏好或捕捞几率的分布(Andrade *et al*, 1999),因此,作业次数(即捕捞努力量)可以用来表示阿根廷滑柔鱼中心渔场的分布。假定作业次数高低表示阿根廷滑柔鱼资源分布的多少,则作业次数最高的海域,其 SI 等于 1,反之则为 0 (Mohri *et al*, 1998、1999)。栖息地指数大于 0.6 的海域,认为是渔业资源较为适宜的栖息地海域(Chen *et al*, 2010)。采用外包络法拟合作业次数

与 SST、SSH 的适应性指数(Suitability Index, SI)曲线。

1.3 HSI 建模

本研究采用算术平均法(Arithmetic Mean Model, AMM)和几何平均法(Geometric Mean Model, GMM)建立栖息地指数模型(图 1),计算公式如下:

$$AMM: HSI = (SI_{SST} + SI_{SSH}) / 2$$

$$GMM: HSI = \sqrt{SI_{SST} \times SI_{SSH}}$$

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

1.4 模型验证

本研究采用 2008 年 1–5 月阿根廷滑柔鱼的实际生产数据进行验证,利用 Marine Explorer 4.0 绘制其 HSI 空间分布图,探讨预测阿根廷滑柔鱼中心渔场和潜在渔场的可行性。

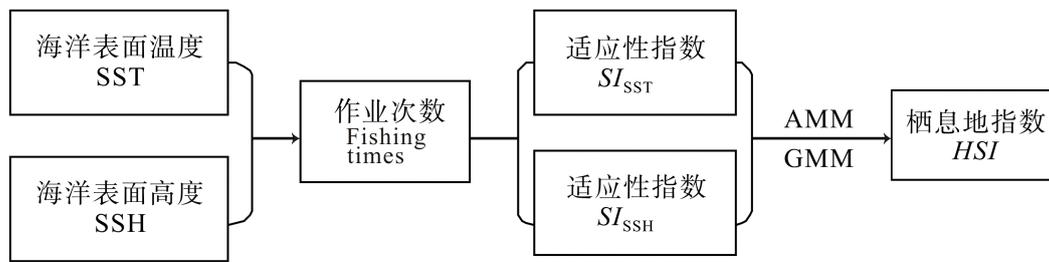


图 1 西南大西洋阿根廷滑柔鱼栖息地指数的运算过程

Fig.1 The estimation of the habitat suitability index for *I. argentinus* in the Southwest Atlantic Ocean

表 1 基于 HSI 的 2008 年 1–5 月产量、作业次数统计分布

Tab.1 The distributions of catch and fishing times from January to May of 2008 based on the HSI model

栖息地指数 HSI	1月 January		2月 February		3月 March		4月 April		5月 May	
	产量比例 Percentage of catch (%)	作业次数比例 Percentage of fishing times (%)	产量比例 Percentage of catch (%)	作业次数比例 Percentage of fishing times (%)	产量比例 Percentage of catch (%)	作业次数比例 Percentage of fishing times (%)	产量比例 Percentage of catch (%)	作业次数比例 Percentage of fishing times (%)	产量比例 Percentage of catch (%)	作业次数比例 Percentage of fishing times (%)
0–0.2	0	0	0	0	0	0	0.26	0.17	0	0
0.2–0.4	0.27	0.39	4.59	1.15	8.81	6.79	8.54	7.30	0.37	1.08
0.4–0.6	15.91	16.33	19.82	12.43	26.97	24.66	19.59	20.00	18.88	20.32
0.6–0.8	40.41	40.23	32.07	33.46	19.74	18.87	42.64	43.48	38.09	42.09
0.8–1.0	43.41	43.01	43.51	52.96	44.47	49.67	28.96	29.04	42.65	36.51

2 结果

2.1 1–5 月环境因子的 SI 曲线

作业次数统计发现(图 2),1 月阿根廷滑柔鱼主要

分布在 SST 为 9.5–18.5℃、SSH 为–65––5 cm 的海域,其中 SST、SSH 的最适范围分别为 12.5–13.5℃、–35––25 cm,其作业次数比例分别达 41%和 46%; 2 月主要分布在 SST 为 10.5–19.5℃、SSH 为–85––5 cm

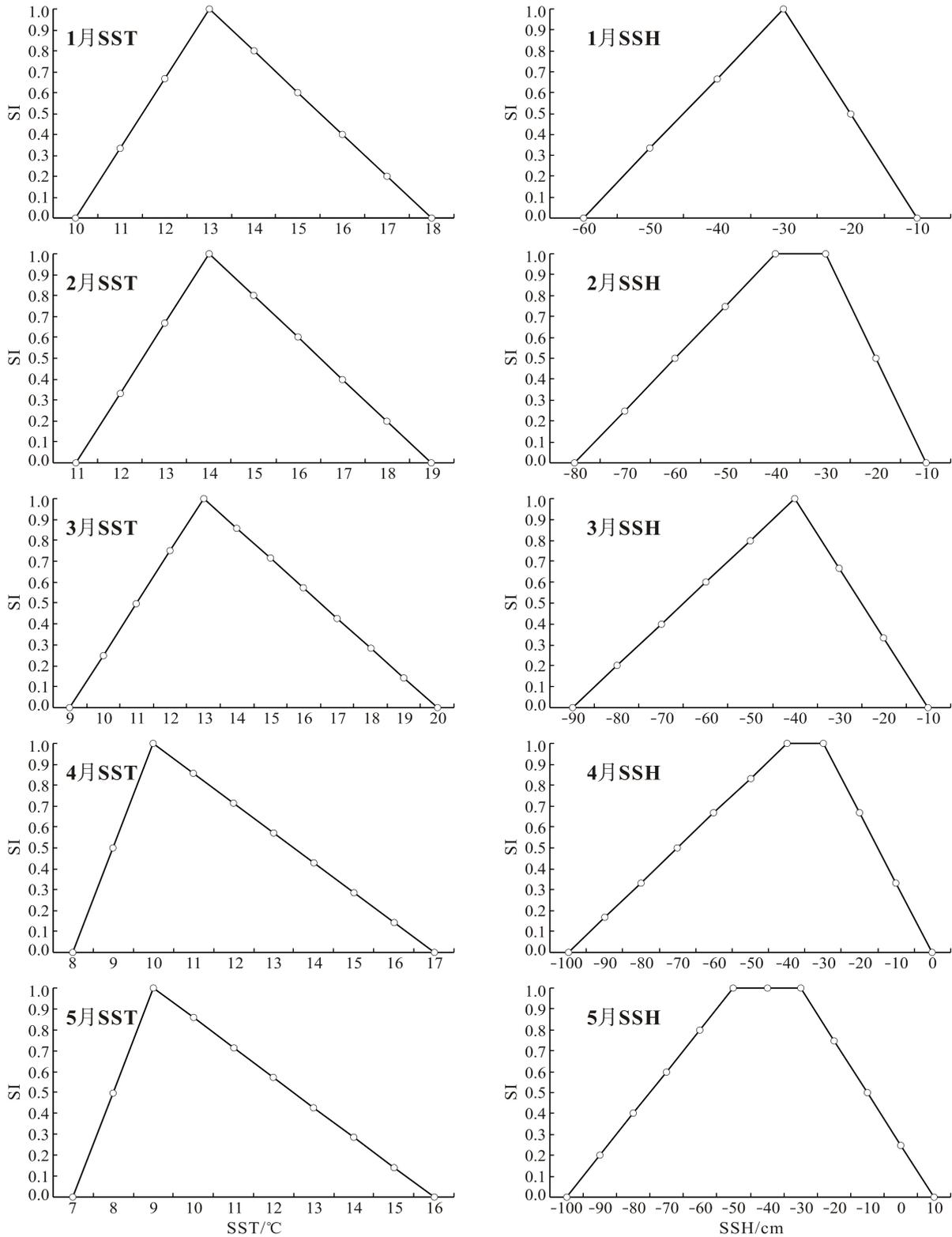


图2 1-5月阿根廷滑柔鱼渔场 SST、SSH 适应性指数曲线

Fig.2 The suitability index curves of *I. argentinus* for SST, SSH from January to May

图中 7℃代表 6.5-7.5℃, 依次类推; -100 cm 代表-105- -95 cm, 依次类推

7℃ represents 6.5-7.5℃, -100 cm represents -105- -95 cm, and so on

的海域, *SST*、*SSH* 的最适范围分别为 13.5–14.5°C、–45––25 cm, 其作业次数比例分别达到 30%和 89%; 3 月主要分布在 *SST* 为 8.5–20.5°C、*SSH* 为–95––5 cm 的海域, *SST*、*SSH* 的最适范围分别为 12.5–13.5°C、–45––35 cm, 其作业次数比例分别达 22%和 40%; 4 月主要分布在 *SST* 为 7.5–17.5°C、*SSH* 为–105–5 cm 的海域, *SST*、*SSH* 的最适范围分别为 9.5–10.5°C、–45––25 cm, 其作业次数比例分别达 28%和 71%; 5 月主要分布在 *SST* 为 6.5–16.5°C、*SSH* 为–105–15 cm 的海域, *SST*、*SSH* 的最适范围分别为 8.5–9.5°C、–55––25 cm, 其作业次数比例分别达 40%和 77%。

2.2 HSI 模型分析

根据 SI_{SST} 、 SI_{SSH} 计算各月适应性指数, 获得栖息地指数 *HSI*。由图 3 可知, *HSI* > 0.6 时, 2003–2007 年 AMM 和 GMM 的产量百分比分别占 86.75%和 84.30%, 作业次数比例分别占 89.82%和 85.80%; *HSI* < 0.4 时, AMM 和 GMM 的产量比例分别占 4.36%和 6.94%, 作业次数比例分别占 2.81%和 4.60%。分析表明, AMM 和 GMM 均能预测阿根廷滑柔鱼中心渔场, 预测精度达到 84%以上, 但 AMM 的产量和作业次数比例稍高于 GMM, AMM 稍优于 GMM。

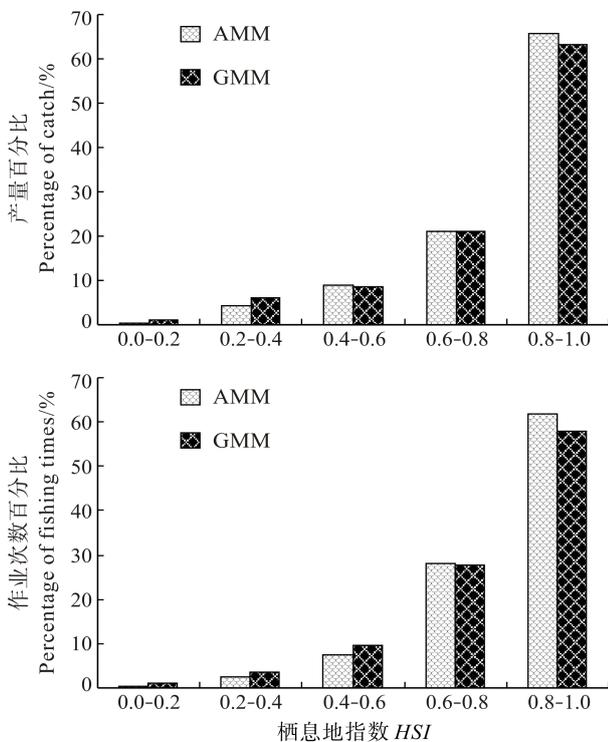


图 3 2003–2007 年 1–5 月阿根廷滑柔鱼产量、作业次数与 *HSI* 之间的关系

Fig.3 The relationship between catch, fishing effort of *I. argentinus* and *HSI* from January to May of 2003–2007

2.3 HSI 模型验证

分析表明(表 1), 1 月在 *HSI* > 0.6 的海域, 其产量和作业次数比例分别为 83.8%和 83.3%; 2 月在 *HSI* > 0.6 的海域, 其产量和作业次数比例分别为 75.6%和 86.4%; 3 月在 *HSI* > 0.6 的海域, 其产量和作业次数比例分别为 64.2%和 68.5%; 4 月在 *HSI* > 0.6 的海域, 其产量和作业次数比例分别为 71.6%和 72.5%; 5 月在 *HSI* > 0.6 的海域, 其产量和作业次数比例分别为 80.7%和 78.6%。

分析认为, 1 月 *HSI* > 0.6 主要分布在 41°–42.5°S、58°–59°W, 42.5°–50°S、60°–62°W, 中心渔场主要分布在 42°–46°S、60°–61°W 海区(图 4a); 2 月 *HSI* > 0.6 主要分布在 40°–42°S、56°–58°W, 42°–48.5°S、59.5°–61°W, 中心渔场主要分布在 42°–47°S、59.5°–61°W 海区(图 4b); 3 月 *HSI* > 0.6 主要分布在 40°–42°S、56°–58°W, 42°–43.5°S、58°–59.5°W, 43.5°–51°S、59°–61°W, 中心渔场主要分布在 40°–48°S、57.5°–60.5°W 海区(图 4c); 4 月 *HSI* > 0.6 主要分布在 40°–42.5°S、56°–59°W, 42.5°–46.5°S、58°–60.5°W, 46.5°–50°S、59.5°–65°W, 中心渔场主要分布在 41.5°–47.5°S、59°–61°W 海区(图 4d); 5 月 *HSI* > 0.6 主要分布在 40°–42°S、56°–60°W, 42.5°–43.5°S、58°–61°W, 43.5°–44.5°S、59.5°–62.5°W, 44.5°–48.5°S、60°–64.5°W, 中心渔场主要分布在 41.5°–48°S、59°–61°W 海区(图 4e)。

3 讨论

阿根廷滑柔鱼随巴西暖流南下索饵、成长, 并在巴西暖流和福克兰寒流交汇处形成渔场。作为一种短生命周期的种类, 其资源变动、渔场分布对海洋环境条件较为敏感。研究认为, 阿根廷滑柔鱼在适宜的 *SST*、*SSH* 范围内资源量分布最大(图 2)。本研究获得了 1–5 月最适 *SST* 和 *SSH* 范围, 其最适 *SST* 范围基本与陈新军等(2012)研究成果一致。陆化杰等(2008)研究认为, 中心渔场分布在海面高度距平均值 *SSHA* 接近于 0 附近海域。通常认为, 海面高度小于平均海面值意味着海面的辐散或涌升, 使得底层丰富的营养盐不断向上补充, 初级生产力高, 容易形成渔场。本研究最适 *SSH* 主要分布在平均值–35 cm 附近, *SSHA* 接近于 0, 进一步证实了这一论断。

SST、*SSH* 遥感数据尽管在多云区域会发生误差, 但由于数据较容易获得, 且能够较为方便、迅速地预测栖息地分布和中心渔场, 所以这些环境数据经常被用于海洋渔业作业和管理中(陈新军等, 2008; Santos *et al*, 2000; Zainuddin *et al*, 2006)。由于单位捕捞努力

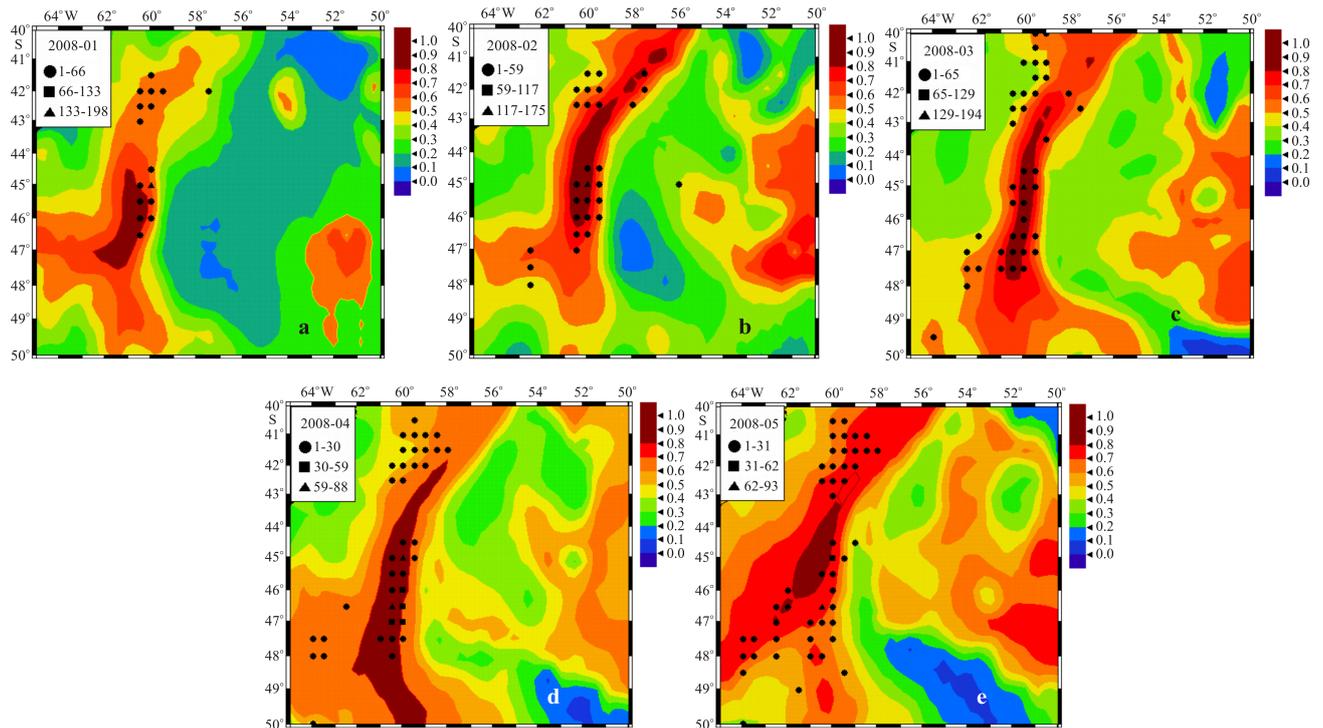


图 4 2008 年 1-5 月 AMM 获得了 *HSI* 分布图及作业次数情况

Fig.4 The distribution of AMM-based *HSI* model and fishing times from January to May of 2008

量渔获量(CPUE)受到作业渔船、捕捞技术等因素的影响,使基于 CPUE 的 *HSI* 模型预测效果稍低于基于捕捞努力量的 *HSI* 模型(Tian *et al.*, 2009)。因此,将作业次数作为捕捞努力量,是拟合适应性指数(*SI*)较好的指标。AMM 和 GMM 表明, $HSI > 0.6$ 时, 1-5 月产量和作业次数比重均达到 80%以上,且随着 *HSI* 的增加,产量和作业次数比重不断加大(图 3),因此 AMM 和 GMM 均能较好的反映阿根廷滑柔鱼中心渔场的分布,但考虑到 AMM 在 $HSI > 0.6$ 时产量和作业次数比重均稍高于 GMM,且 $HSI < 0.4$ 时产量和作业次数比重均稍低于 GMM。因此研究认为,AMM 要优于 GMM,AMM 模型在 2008 年 1-5 月作业渔场预测中取得了较好的效果。

尽管本研究利用遥感环境数据 *SST*、*SSH* 建立的模型取得了较高的预测精度,但阿根廷滑柔鱼具有昼夜垂直运动的现象。同时由于福克兰寒流为阿根廷海域输送了大量的富营养水,并能形成较强的上升流,这对阿根廷滑柔鱼渔场分布也存在一定的影响(伍玉梅等, 2009)。Chen 等(2010)在研究西北太平洋柔鱼的栖息地指数模型时,考虑了 *SST*、表层盐度、*SSH* 和叶绿素 *a*; 陈新军等(2012)在预测西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场时采用了 *SST* 和叶绿素 *a*, 因此,建议在今后的研究中,需要建立包含更多实时环境因子的栖息地模型,以进一步提高中心渔场预测的精度,为我国

鱿钓船生产提供依据。

参 考 文 献

- 王尧耕, 陈新军. 世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业. 2005. 北京: 海洋出版社, 189-216
- 刘必林, 陈新军. 2001 年西南大西洋阿根廷滑柔鱼产量分布与表温关系的初步研究. 海洋渔业, 2004, 26(4): 326-330
- 伍玉梅, 杨胜龙, 沈建华, 等. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼作业渔场特征. 应用生态学报, 2009, 20(6): 1445-1451
- 陈新军, 刘金立. 巴塔哥尼亚大陆架海域阿根廷滑柔鱼渔场分布及与表温的关系分析. 渔业科学进展, 2004, 25(6): 19-24
- 陈新军, 赵小虎. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼产量分布与表温关系的初步研究. 大连水产学院学报, 2005, 20(3): 222-228
- 陈新军, 冯波, 许柳雄. 印度洋大眼金枪鱼栖息地指数研究及其比较. 中国水产科学, 2008, 15(2): 269-278
- 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. 上海海洋大学学报, 2012, 21(3): 431-438
- 陆化杰, 陈新军. 2006 年西南大西洋鱿钓渔场与表温和海面高度距平值的关系. 大连水产学院学报, 2008, 23(3): 230-234
- Andrade HA, Garcia AE. Skipjack tuna in relation to sea surface temperature off the southern Brazilian coast. Fisheries Oceanography, 1999, 8(4): 245-254
- Chen XJ, Tian SQ, Chen Y, *et al.* A modeling approach to identify optimal habitat and suitable fishing grounds for

- neon flying squid(*Ommastrephes bartramii*) in the North-west Pacific Ocean. *Fishery Bulletin*, 2010, 18(1): 1–14
- Mohri M. Distribution of bigeye tuna in the Indian Ocean based on the Japanese tuna longline fisheries and survey information. Japan: National Fisheries University, 1998, 1–187
- Mohri M. Seasonal change in bigeye tuna fishing areas in relation to the oceanographic parameters in the Indian Ocean. *Journal of National Fisheries University*, 1999, 47(2): 43–54
- Nishida T, Bigelow K, Mohri M, *et al.* Comparative study on Japanese tuna longline CPUE standardization of yellowfin tuna(*Thunnus albacares*) in the Indian Ocean based on two methods: general linear model(GLM) and habitat-based model(HBM)/GLM combined. *IOTC Proceedings*, 2003, 6: 48–49
- Santos AMP. Fisheries oceanography using satellite and airborne remote sensing methods: a review. *Fisheries Research*, 2000, 49(1): 1–20
- Tian SQ, Chen XJ, Chen Y, *et al.* Evaluating habitat suitability indices derived from CPUE and fishing effort data for *Ommastrephes bartramii* in the northwestern Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 2009, 95(2): 181–188
- Waluda CM, Trathan PN, Rodhouse PG. Influence of oceanographic variability on recruitment in the *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) fishery in the South Atlantic. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, 183: 159–167
- Zainuddin M, Kiyofuji H, Saitoh K, *et al.* 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. Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2006, 53(3–4): 419–431

(编辑 江润林)

Comparison Habitat Suitability Index Model of *Illex argentinus* and Its Application into Fishing Ground Forecasting

DING Qi^{1,4}, CHEN Xinjun^{1,2,3,4}①, WANG Jintao^{1,2,3,4}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. National Distant-Water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 4. Collaborative Innovation Center for Distant-Water Fisheries, Shanghai 201306)

Abstract According to the catch data of *I. argentinus* from Chinese squid jigging fishery in the Southwest Atlantic Ocean from January to May of 2003–2007 and the combination of sea surface temperature (SST) and sea surface height (SSH), fishing times-based Suitability Index (SI) Models were estimated by using the method of Data Envelopment Analysis. Using Arithmetic Mean Model (AMM) and Geometric Mean Model (GMM), the integrated habitat suitability index (HSI) was established based on SST and SSH. HSI values were compared with the actual catch and fishing times from January to May of 2003–2007. The results showed that both AMM and GMM were fitted well. When HSI is more than 0.6, AMM results indicated that the percentage of catch and fishing effort were 86.75% and 89.82% respectively, and GMM results revealed that the percentage of catch and fishing times were 84.30% and 85.80% respectively. AMM was slightly better than GMM to analyze the actual fishing data from 2003–2007. The HSI value in 2008 by AMM was further verified by the catch data. When HSI is bigger than 0.6, the percentage of catch and fishing times reached 64% and 68% respectively. Thus, AMM-based HSI model can be used to predict the real-time dynamic fishing ground of *I. argentinus* in the Southwest Atlantic Ocean, which would provide scientific guidance for its efficient exploitation.

Key words *Illex argentinus*; Southwest Atlantic Ocean; Habitat suitability index; Marine environment; Fishing ground distribution; Envelope method

① Corresponding author: CHEN Xinjun, E-mail: xjchen@shou.edu.cn