

基于海表温度和海面高度的东太平洋大眼金枪鱼渔场预测

沈智宾^{1,4}, 陈新军^{1,2,3,4}, 汪金涛^{1,4}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 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; 3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 开展东太平洋大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)渔场预报技术研究, 建立基于多环境因子渔场预报模型, 将对该资源的高效开发和利用具有重要的意义。作者根据 2009~2011 年东太平洋海域(20°N~35°S, 85°W~155°W)延绳钓生产统计数据, 结合海洋遥感获得的表温(SST)和海面高度(SSH)的数据, 运用一元非线性回归方法, 以渔获量为适应性指数, 按季度分别建立了基于 SST 和 SSH 的大眼金枪鱼栖息地适应性指数, 采用算术平均法获得基于 SST 和 SSH 环境因子的栖息地指数综合模型, 并用 2012 年各月实际作业渔场进行验证。研究结果显示, 大眼金枪鱼渔场多分布在 SST 为 24~29℃、SSH 为 0.4~0.8 m 的海域。指数模型较好地拟合了因子适应性曲线($P < 0.05$)。基于栖息地指数的 2012 年大眼金枪鱼中心渔场预报准确性平均达 63%, 可为金枪鱼延绳钓渔船寻找中心渔场提供指导。

关键词: 东太平洋; 大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*); 栖息地指数; 渔场预测

中图分类号: S931

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2015)10-0045-07

doi: 10.11759/hyxx 20140621002

大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)为高度洄游的外洋狭盐性鱼种, 通常在热带或温带水域捕获。在东太平洋, 大眼金枪鱼大多分布在南北纬 40°以内、表层生产力不高的海域^[1], 主要集中在智利、秘鲁、厄瓜多尔等外海海域^[2]。大眼金枪鱼于 20 世纪 50 年代首先由日本金枪渔船开发, 中国大陆于 1988 年开始利用该资源^[3]。国内外学者如杨胜龙等^[4]、Holland 等^[5-6]、Boggs^[7]、刘一淳^[8]、Russell 等^[9]、Hampton 等^[10]、苏利荣^[11]、樊伟等^[12]、宋利明等^[13]对各个海域的大眼金枪鱼渔场与水温因子之间的关系进行了研究, 获得了大眼金枪鱼栖息分布的最适海表温度。栖息地指数(Habitat Suitability Index, HSI)的概念于 1980 年代初提出, 并首先被用来描述野生动物的栖息地质量, 以后被应用于物种保护区的管理和研究以及鱼类渔场分析^[14-16]。目前对东太平洋大眼金枪鱼的栖息地指数及其空间分布研究甚少, 同时也未见用于大眼金枪鱼渔场的预报。为此, 本研究利用中国东太平洋金枪鱼延绳钓生产数据, 结合卫星遥感资料, 利用栖息地指数模型对大眼金枪鱼中心渔场进行分析与预报, 为中国金枪鱼延绳钓的生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

生产统计资料来自 2009~2012 年上海金优远洋

渔业有限公司在东太平洋公海金枪鱼延绳钓生产数据。其中 2009~2011 年的生产统计数据用于大眼金枪鱼栖息地研究, 2012 年的生产统计数据用于栖息地指数模型验证。共 6 艘生产船, 每艘船吨位均为 157 t, 主机功率均为 407 kW, 冷海水保鲜。作业海域为东太平洋海域(20°N~35°S, 85°~155°W)。数据包括作业时间、作业位置、大眼金枪鱼渔获量(kg)、钩数, 海表温度(SST)数据来自 <http://poet.jpl.nasa.gov/>, 表温数据空间分辨率为 1°×1°。海面高度(SSH, 单位 m)的数据来自哥伦比亚大学卫星遥感网站(<http://iridl.ldeo.columbia.edu/docfind/databrief/cat-ocean.html>)。

1.2 分析方法

首先以经纬度 1°×1°为空间统计单位, 按月对其作业位置、产量和放钩数进行初步统计, 并计算平均每千钩产量(CPUE, kg/千钩)。不考虑船长水平和海洋环境条件, 因属于同一作业船型, 因此作者初步认定 CPUE 可作为表征渔场分布的指标之一^[17]。

收稿日期: 2014-06-21; 修回日期: 2014-07-30

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2012AA092303); 海洋局公益性行业专项(20155014); 国家科技支撑计划资助项目(2013BAD13B01)

作者简介: 沈智宾(1988-), 男, 河北衡水人, 研究生, 主要从事远洋渔业系统集成研究, E-mail: 850895054@qq.com; 陈新军, 通信作者, 教授, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

通常在作业渔船下钩之前,船长会根据探渔仪映像、海洋环境状况、周围渔船作业情况进行综合判断,使得作业渔船往往会集中在某一区域,作业渔船之间会产生相互干扰,从而影响到 CPUE 的值^[18]。因此,利用频度分析法按 SST 1℃为组距、SSH 0.1 m 为组距来分析各月产量、CPUE 和 SST 的关系,获得各月作业渔场最适的 SST、SSH 范围。

1.3 栖息地模型的建立

利用产量分别与 SST、SSH 来建立相应的适应性指数(SI)模型。作者假定最高产量 (PRO_{max})为大眼金枪鱼资源分布最多的海域,认定其栖息地指数为 1;作业产量为 0 时,大眼金枪鱼资源分布较少的海域,认定其 HSI 为 0^[19]。单因素栖息地指数 SI 计算公式如下:

$$SI_i = \frac{PRO_i}{PRO_{i,max}}$$

式中, SI_i 为 i 月得到的适应性指数; $PRO_{i,max}$ 为 i 月的最大产量。

利用指数模型分别建立 SST、SSH 与 SI 之间的关系模型。利用算术平均法(arithmetic mean model, AMM)^[20-21]计算栖息地综合指数 HSI, HSI 在 0(不适宜)到 1(最适宜)之间变化。计算公式如下:

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

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

作者采用了算术平均法作为模型的基本算法主要有以下两个原因:遥感数据容易缺失,如采用其他方法如最小值法和几何平均值法,容易将遥感数据缺失的部分误判为栖息地指数为 0 的位置,从而造成预报失误;算术平均值法在金枪鱼栖息地指数模型的建立中应用广泛^[22-24]。

1.4 渔情预报验证

作者将 2012 年生产统计数据 and 栖息地指数均分为 5 个级别。将产量统计数据(PRO)采用自然边界法^[25]进行划分, $0 \leq PRO < 500$ t, 记为等级 1; $500 \text{ t} \leq PRO < 1\,000$ t, 记为等级 2; $1\,000 \text{ t} \leq PRO < 5\,000$ t, 记为等级 3; $5\,000 \text{ t} \leq PRO < 10\,000$ t, 记为等级 4; $PRO \geq 10\,000$ t, 记为等级 5。同样,栖息地指数也划分为 5 个等级,即: $0.0 \leq HSI < 0.1$, 记为等级 1; $0.1 \leq HSI < 0.3$, 记为等级 2; $0.3 \leq HSI < 0.5$, 记为等级 3; $0.5 \leq HSI < 0.7$, 记为等级 4; $0.7 \leq HSI \leq 1.0$, 记为等级 5。

对于同一个作业渔区,如果其产量数据级别与栖息地指数级别相同或相差之绝对值 ≤ 2 , 则认为模型能够准确预测该渔区渔场形成的情况,即渔场的适宜度;如果级别相差之绝对值 > 2 , 则认为模型不能正确预测^[26]。

2 结果

2.1 产量及 CPUE 的逐月分布

月产量及 CPUE 自 1 月~12 月大致呈现先降低后增加的趋势。高产(月产量超过 300 t)分布在 11~12 月以及 1 月,产量最高为 12 月,达 486.73 t(图 1a),占全年总产量的 14.83%,其 CPUE 为 179.89 kg/千钩(图 1b)。产量最低的为 3 月,为 162.81t(图 1a),占全年总产量的 4.96%,其 CPUE 为 103.51 kg/千钩(图 1b)。

2.2 产量及 CPUE 与 SST 的关系

由图 2 可知,各月高产、高 CPUE 海域的最适表温是不相同的。其中,1 月产量较高时 SST 为 26℃、28℃,CPUE 较高时 SST 为 24~29℃;2 月产量较高时 SST 为 26℃,CPUE 较高时 SST 为 26~29℃;3 月产量较高时 SST 为 27℃,CPUE 较高时 SST 为 27~29℃;4 月产量较高时 SST 为 27~28℃,CPUE 较高时 SST 为

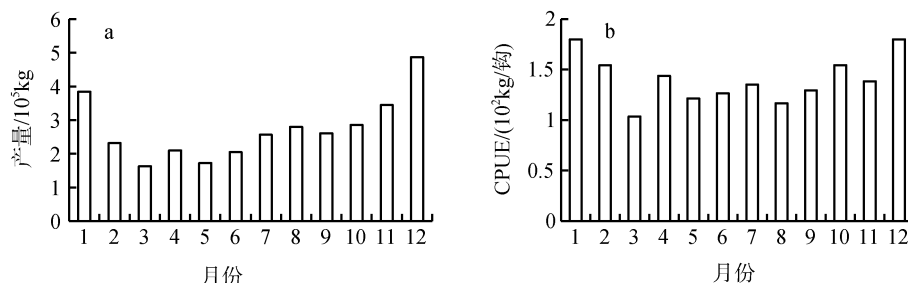


图 1 大眼金枪鱼延绳钓产量和 CPUE 月变化
Fig.1 Monthly catch and CPUE of Bigeye tuna

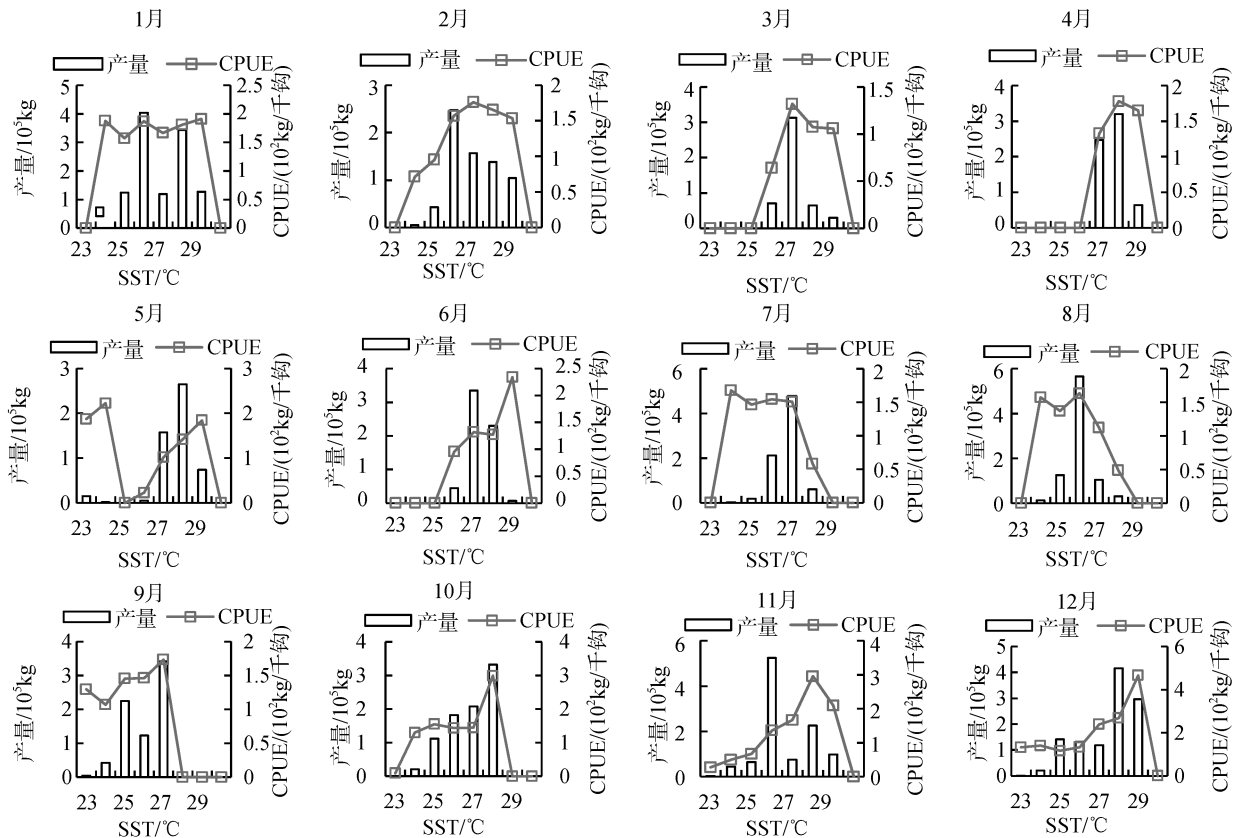


图 2 大眼金枪鱼延绳钓月产量和 CPUE 与 SST 关系

Fig. 2 Monthly catch and CPUE of Bigeye tuna with the changes of SST

27~29℃; 5 月产量较高时 SST 为 28℃, CPUE 较高时 SST 为 23~24℃、29℃; 6 月产量较高时 SST 为 27℃, CPUE 较高时 SST 为 29℃; 7 月产量较高时 SST 为 27℃, CPUE 较高时 SST 为 24~27℃; 8 月产量较高时 SST 为 26℃, CPUE 较高时 SST 为 24~26℃; 9 月产量和 CPUE 较高时 SST 均为 27℃; 10 月产量和 CPUE 较高时 SST 均为 28℃; 11 月产量较高时 SST 为 26℃, CPUE 较高时 SST 为 28℃; 12 月产量较高时 SST 为 28℃, CPUE 较高时 SST 为 29℃。

2.3 产量和 CPUE 与 SSH 的关系

由图 3 可知, 各月高产、高 CPUE 海域的最适 SSH 也是不相同的。第一季度中, 1 月产量最高时的 SSH 为 0.5 m, CPUE 最高时的 SSH 为 0.6 m, 2 月产量最高时的 SSH 为 0.6 m, CPUE 最高时的 SSH 为 0.7 m, 3 月产量与 CPUE 最高时的 SSH 均为 0.5 m; 第二季度中, 4、5 月产量和 CPUE 最高的 SSH 均为 0.5 m; 6 月产量和 CPUE 最高的 SSH 均为 0.6 m; 第三季度中, 7 月产量最高时的 SSH 为 0.6 m, CPUE 最高时的 SSH 为 0.7 m, 8 月产量和 CPUE 最高时的 SSH 均为 0.7 m, 9 月产量最高时的 SSH 分别为 0.7m, CPUE 最

高时的 SSH 为 0.8 m; 第四季度中, 10~12 月产量与 CPUE 最高时的 SSH 均为 0.6 m, CPUE 最高时的 SSH 均为 0.8 m。

2.4 HSI 模型的建立

分季度绘制各因子的 SI 曲线拟合图(图 4)。由图 4 和表 1 中可知, 采用指数模型拟合的 SI 曲线均为显著($P < 0.05$)。

2.5 HSI 模型分析

由表 2 可知, 当 HSI 为 0.6 以上时: 1 月份作业渔区数为 68 个, 占总数的 65.38%; 2 月份作业渔区数为 56 个, 占总数的 67.47%, 3 月份作业渔区数为 54 个, 占总数的 62.07%; 4 月份作业渔区数为 60 个, 占总数 68.18%; 5 月作业渔区数为 77 个, 占总数的 71.96%; 6 月作业渔区数为 68 个, 占总数的 62.96%; 7 月作业渔区数为 75 个, 占总数的 62.50%; 8 月作业渔区数为 74 个, 占总数的 63.79%; 9 月作业渔区数的 75 个, 占总数的 69.44%; 10 月作业渔区数为 77 个, 占总数的 61.11%; 11 月作业渔区数的 51 个, 占总数 63.75%; 12 月作业渔区数为 51

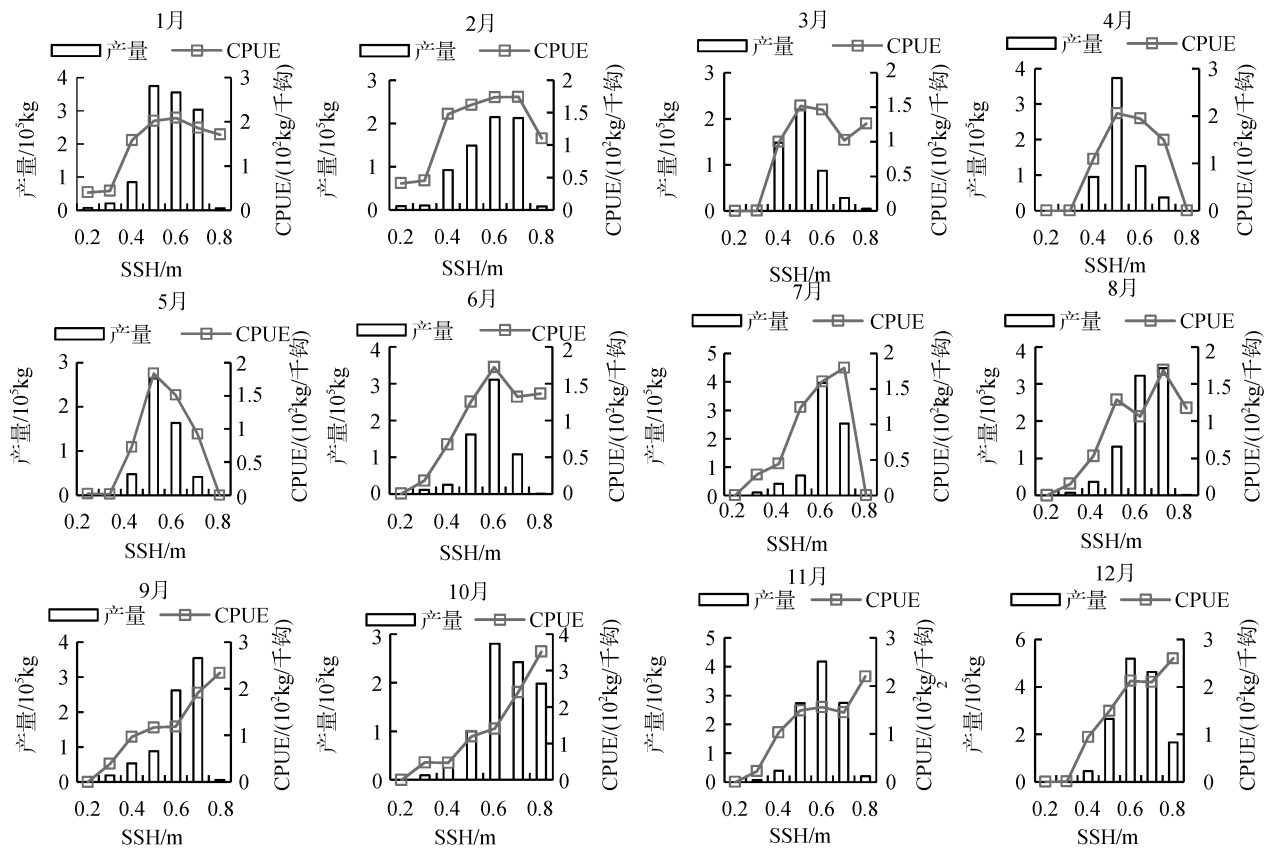


图 3 大眼金枪鱼月产量和 CPUE 与 SSH 的关系

Fig.3 Relationship between monthly catch and CPUE of bigeye tuna and SSH

表 1 各季度大眼金枪鱼栖息地指数模型

Tab.1 The habitat suitability index model of bigeye tuna for each quarter

季度	变量	适应性指数模型	R^2	P 值
第一季度	SST	$SI = \exp[-1.13 \times (x - 27.15)^2]$	0.8935	0.0004
	SSH	$SI = \exp[-180.00 \times (x - 0.70)^2]$	0.8689	0.0022
第二季度	SST	$SI = \exp[-4.41 \times (x - 27.7000)^2]$	0.8288	0.0017
	SSH	$SI = \exp[-170.00 \times (x - 0.516)^2]$	0.7156	0.0164
第三季度	SST	$SI = \exp[-9.00 \times (x - 28.0100)^2]$	0.8327	0.0016
	SSH	$SI = \exp[-190.00 \times (x - 0.706)^2]$	0.8572	0.028
第四季度	SST	$SI = \exp[-4.43 \times (x - 27.2900)^2]$	0.9108	0.0002
	SSH	$SI = \exp[-220.00 \times (x - 0.708)^2]$	0.9373	0.0003

表 2 2009~2011 年大眼金枪鱼各月份 HSI 值与作业渔区数

Tab.2 The monthly fishing areas under different HSI values of bigeye tuna during 2009 to 2011

HSI	作业渔区数(个)											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
[0, 0.2]	8	4	7	2	4	9	8	11	3	13	3	3
[0.2, 0.4]	7	13	14	6	12	15	19	17	13	15	10	7
[0.4, 0.6]	21	10	12	20	14	16	18	14	17	21	16	15
[0.6, 0.8]	26	24	18	17	30	29	34	29	32	33	20	22
[0.8, 1]	42	32	36	43	47	39	41	45	43	44	31	29

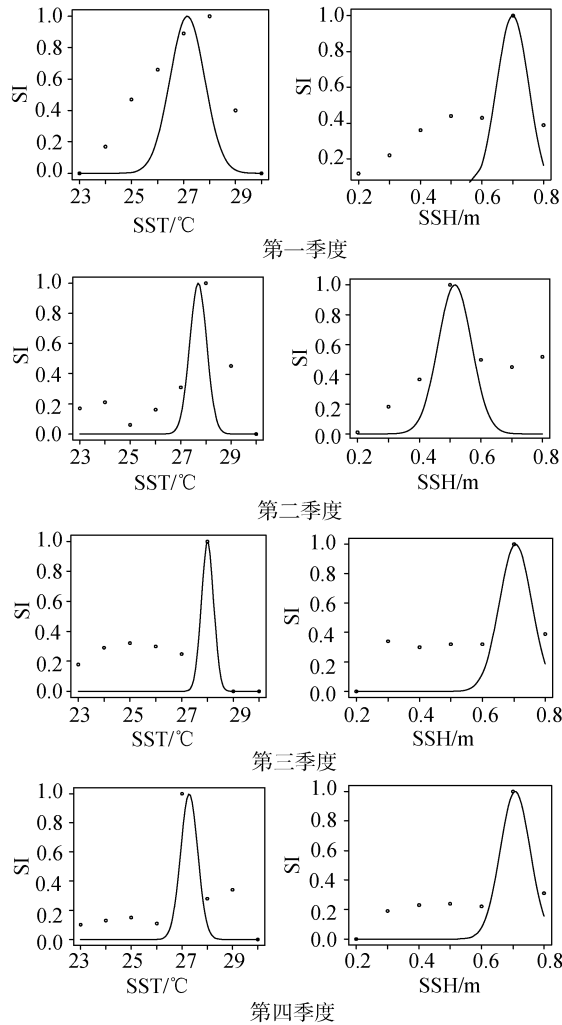


图 4 各季度基于 SST、SSH 的适应性曲线

Fig.4 The SI curves based on SST and SSH for each quarter

表 3 2012 年大眼金枪鱼中心渔场预报结果统计

Tab.3 The results of forecasting fishing ground of bigeye tuna in 2012

季度	作业渔区数(个)	预测正确的渔区数(个)	比例(%)	预测不正确渔区数(个)	比例(%)
第一季度	84	52	62	32	38
第二季度	99	60	61	39	39
第三季度	130	84	65	46	32
第四季度	89	57	64	32	36
合计	402	253	63	149	37

本研究根据已建立的栖息地指数模型, 利用 SST 和 SSH 两个海洋环境因子对东太平洋大眼金枪鱼渔场进行了预测, 2012 年中心渔场预报精度达到 63%。在所有月份中, 实际作业渔场的范围基本上落在渔情预报的理论范围内。因此, 本研究所建立的渔情预报模型用来预测东太平洋大眼金枪鱼渔场是可行的。

个, 占总数的 67.11%。当 HSI 为 0.6 以上时, 全年作业渔区数为 786 个, 占总数的 65.34%。因此, 该模型能够较好地反映东太平洋大眼金枪鱼中心渔场的分布情况。

2.6 中心渔场验证

利用 2012 年的生产统计数据和环境数进行中心渔场预报验证, 由表 3 可知, 第一、二、三和四季度中心渔场预报准确率分别为 62%、61%、65%、64%, 平均准确率达到 63%。而平均不准确率为 37%。

3 讨论与结论

温度是影响海洋鱼类活动的最重要的环境因子之一, 直接或间接地影响到鱼类资源量的分布、洄游和空间集群等^[28], 作者着重对东太平洋海域金枪鱼延绳钓主捕对象大眼金枪鱼作业渔场的月变化及其与 SST 关系进行了分析, 得出了大眼金枪鱼中心渔场分布的适宜 SST 范围。发现在 SST 为 24~29 的海域, 其产量约占总渔获量的 93%以上, 这一因子可作为全年各月中心渔场分布的指标之一。

SSH 虽然没有像温度那样显著地影响着鱼类活动, 但是 SSH 也是影响鱼类洄游、集群和分布的关键性因素之一。作者也分析了大眼金枪鱼作业渔场分布与 SSH 关系, 发现 SSH 为 0.4~0.8 m 的海域多为中心渔场, 其产量约占总渔获量的 91%以上, 因此, SSH 也可作为全年各月中心渔场分布的指标之一。

尽管上述建立的东太平洋大眼金枪鱼栖息地指数模型有较高的精确度, 但是大眼金枪鱼渔场还与深层水温结构、叶绿素浓度、温跃层、饵料生物分布、锋面和涡以及 ENSO 等有关, 这些因素对大眼金枪鱼渔场分布均有一定的影响。因此, 在以后的研究中需综合考虑上述因子, 考虑不同精度的时间、空间分辨率, 不断完善渔情预报模型。

参考文献:

- [1] 樊伟, 崔雪森, 周魁芳. 太平洋大眼金枪鱼延绳钓渔获分布及渔场环境浅析[J]. 海洋渔业, 2004, 26(1): 261-265.
- [2] 施秀帖, 袁蔚文, 陈冠贤, 等. 中西太平洋热带海域渔业资源及开发前景分析[J]. 远洋渔业, 1989, 2: 1-42.
- [3] 杨俊杰, 王继业, 胡建廷, 等. 中国远洋渔业政策与山东发展对策刍议[J]. 海洋科学, 2002, 26(10): 28-31.
- [4] 杨胜龙, 马军杰, 伍玉梅, 等. 印度洋大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼渔场水温垂直结构的季节变化[J]. 海洋科学, 2012, 36(7): 97-103.
- [5] Holland K N, Brill K N R W, Chang R K C. Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregated devices [J]. Fish Bull, 1990, 88: 493-507.
- [6] Holland K N, John R S. Physiological thermoregulation in bigeye tuna, *Thunnus obesus* [J]. Environmental Biology of Fishers, 1994, 40: 319-327.
- [7] Boggs C H. Depth, capture time, and hooked longevity of long-line-caught pelagic fish: Timing bites of fish with chips[J]. Fish Bull, 1992, 90: 642-658.
- [8] 刘一淳. 东太平洋大眼金枪鱼资源评估及管理对策[D]. 上海: 上海海洋大学, 2006.
- [9] Russell E B, Jeffrey J P, Michael P S, et al. The role of oceanography in Aggregation and Vulnerability of bigeye tuna in the Hawaii longline fishery from satellite, moored and shipboard time series[R]. Honolulu: JIMAR, 2001.
- [10] Hampton J, Bigelow K, Labelle M. A summary of current information on the biology, fishery and stock assessment of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Pacific Ocean, with recommendations for data requirements and future research[J]. Oceanic Fisheries Programme Technical Report, 1998, 36: 46-63.
- [11] 苏利荣. 海洋渔场学[M]. 中国台北: 许氏基金会出版社, 1992.
- [12] 樊伟, 沈新强, 林明森. 大西洋大眼金枪鱼渔场、资源及环境特征的研究[J]. 海洋学报, 2003, 25(2): 167-176.
- [13] 宋利明, 许柳雄, 陈新军. 大西洋中部大眼金枪鱼垂直分布与温度、盐度的关系[J]. 中国水产科学, 2004, 11(6): 561-566.
- [14] 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.
- [15] 范江涛, 陈新军, 钱卫国, 等. 南太平洋长鳍金枪鱼渔场预报模型研究[J]. 广东海洋大学学报, 2011, 31(6): 61-67.
- [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(5): 67-75.
- [17] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [18] 陈新军. 渔业资源经济学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [19] Mohri M, Nishida T. Seasonal changes in bigeye tuna fishing areas in relation to the oceanographic parameters in the Indian Ocean[J]. Journal of National Fisheries University, 1999, 47(2): 43-54.
- [20] Brown S K, Buja K R, Jury S H, et al. Habitat suitability index models for eight fish and invertebrate species in Casco and Sheepscot Bays, Maine[J]. North American Journal of Fisheries Management, 2000, 20(2): 408-435.
- [21] Hess G R, Bay J M. A regional assessment of windbreak habitat suitability[J]. Environmental Monitoring and assessment, 2000, 61(2): 239-256.
- [22] Wang C H, Wang S B. Assessment of South Pacific albacore stock (*Thunnus alalunga*) by improved Schaefer model[J]. Journal of Ocean University of China, 2006, 5: 106-114.
- [23] Zainuddin M, Saitoh K, Saitoh S. Albacore (*Thunnus alalunga*) fishing ground in relation to oceanographic conditions in the western North Pacific Ocean using remotely sensed satellite data[J]. Fisheries Oceanography, 2008, 17(2): 61-73.
- [24] 冯波, 陈新军, 许柳雄. 应用栖息地指数对印度洋大眼金枪鱼分布模式的研究[J]. 水产学报, 2007, 31(6): 805-812.
- [25] Smith R M. Comparing traditional methods for selecting class intervals on choropleth maps[J]. The Professional Geographer, 1986, 38(1): 62-67.
- [26] Vi J, Alvarado B J, Pla C. Inter-oceanic genetic differentiation among albacore (*Thunnus alalunga*) populations[J]. Marine Biology, 2004, 145(2): 225-232.

Forecasting of Bigeye tuna fishing ground in the Eastern Pacific Ocean based on sea surface temperature and sea surface height

SHEN Zhi-bin^{1, 4}, CHEN Xin-jun^{1, 2, 3, 4}, WANG Jin-tao^{1, 4}

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

Received: Jun.21, 2014

Key words: Eastern Pacific; *Thunnus obesus*; habitat suitability index; fishing ground forecasting

Abstract: The technology research of fishing ground prediction for bigeye tuna in the eastern Pacific and the establishment based on fishing ground prediction model of multiple environmental factors are of great importance for the efficient development and utilization of its resources. Bigeye tuna, *Thunnus obesus*, is one of the important tunas in the Eastern Pacific Ocean, and also one of the main fishing targets for Chinese tuna longline fishery. In this paper, based on the catch data from longline fishery in the areas (20°N-30°S and 85°W-155°W) of Eastern Pacific Ocean during 2009—2011 and the environmental data from remote sensing including sea surface temperature (SST) and sea surface height (SSH), the catch is considered as the suitability index, and the suitability curves based on SST and SSH for one quarter were established by using a non-linear regression. The habitat suitability index model was set up by using arithmetic mean model (AMM), and was validated by using the actual catch data in 2012. The results showed that the fishing ground of bigeye tuna is located in the waters with 24—29 °C SST and 0.4—0.8 m SSH. The SI curve of each factor by using nonlinear regression is significant ($P < 0.05$). Forecast accuracy of fisheries center is 63%, which is a high forecast accuracy. This forecasting model will play a guide role for fishing fleets in the tuna longline fishery.

(本文编辑: 谭雪静)