

DOI: 10.12264/JFSC2020-0145

南海圆舵鲣栖息地影响因素分析

范江涛^{1, 2}, 张鹏¹, 冯雪^{1, 2}, 陈作志^{1, 3}

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部外海渔业开发重点实验室, 广东 广州 510300;

2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

3. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州), 广东 广州 511458

摘要: 圆舵鲣(*Auxis rochei*)是南海外海最具开发潜力的小型金枪鱼之一。根据 2013—2019 年南海区灯光罩网调查数据, 结合遥感获得的海表温度(sea surface temperature, SST)、海面高度(sea surface height, SSH)、叶绿素 a 浓度(chlorophyll a, CHLA)数据, 采用栖息地适应性指数模型原理, 以标准化后的单位捕捞努力量渔获量(catch per unite effect, CPUE)作为栖息地质量高低的指标, 建立 CPUE 与海洋环境因子关系模型, 分析不同环境因子对圆舵鲣栖息地的影响及栖息地对海洋环境变化的适应性。结果表明, 南海圆舵鲣渔场 SST、SSH、CHLA 因子的最适值分别为 28.6 °C、81.0 cm、0.11 mg/m³。对不同海洋环境因子赋予不同的权重系数, 分别与 CPUE 建立适应性指数模型, 各模型 R^2 均大于 0.8, 模型解释度较好。采用最小二乘法原则对模型权重系数进行分析, SST 的系数为 0.26, SSH 系数为 0.52, CHLA 的系数为 0.22, 表明 SSH 对栖息地的影响最大。采用 2019 年调查数据对模型进行验证, 模型准确度均超过 75%, 模型预测准确。

关键词: 圆舵鲣; 南海; 海洋环境; 权重系数; CPUE; 模型

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)02-0215-07

圆舵鲣(*Auxis rochei*)属鲭科(Scombrida)舵鲣属, 身体呈纺锤形, 横截面近似圆形。广泛分布于太平洋、大西洋、地中海等海区的热带和亚热带海域, 属于大洋性中上层鱼类, 有较强的集群行为, 可进行近岸到远海的洄游, 属肉食性鱼类^[1], 在我国主要分布于东海南部、南海等海域^[2]。近几年来大型金枪鱼资源被认为充分开发或过度开发, 但以舵鲣类为代表的小型金枪鱼类仍有较大开发空间。调查显示, 圆舵鲣已成为大洋性金枪鱼围网与延绳钓的重要兼捕种类, 在我国, 虽尚未形成专门渔业, 但已成为南海灯光罩网渔业的主要渔获种类, 占总渔获的比例为 20%~30%, 具有较好的资源开发利用前景^[3-4]。

自 20 世纪 70 年代开始, 栖息地理论被提出

并引入渔场分析, 随着遥感技术的发展, 渔场分析研究不断深入, 国内外学者尝试引入数学模型, 结合遥感数据信息建立栖息地适应性指数模型, 用来评价海洋生物对渔场栖息地的响应^[5], 在大洋性金枪鱼类、近岸渔业等领域取得了良好的效果^[6], 但在兼捕种类如圆舵鲣等副渔获对栖息地的响应方面研究较少。已有的圆舵鲣研究主要集中于舵鲣类初期生活史^[7-9]、时空分布^[3, 10-12]、基础生物学^[2, 13-16]和种群遗传结构^[17]等方面, 关于南海区圆舵鲣栖息地及渔场分析的相应研究尚未见报道。

不同海洋环境因子如海表温度(sea surface temperature, SST)、叶绿素 a 浓度(chlorophyll a, CHLA)和海面高度(sea surface height, SSH)等对

收稿日期: 2020-05-14; 修订日期: 2020-06-22.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1406500); 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)项目(GML2019ZD0605); 广东省重点领域研发计划项目(2020B1111030001); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2020TD05, 2021SD01).

作者简介: 范江涛(1987-), 男, 助理研究员, 从事渔业资源和渔情预报研究. E-mail: tianxiahaiyin@163.com

通信作者: 陈作志(1978-), 男, 博士, 研究员, 从事渔业资源和海洋生物学研究. E-mail: zzchen2000@163.com

栖息地的影响程度不同, 海洋生物对不同环境因子的响应机制是动态变化的过程^[18-22]。因此为了更好地分析南海圆舵鲣栖息地适应性, 本研究通过 2013—2019 年南锋专项调查结果, 结合遥感数据, 通过对不同环境因子赋予不同权重系数, 分析渔场的形成机制, 为南海舵鲣类渔业预报提供科学依据与理论基础。

1 材料与方法

1.1 数据来源

调查数据来自南锋专项 2013—2019 年灯光罩网调查数据, 每年调查 2 个航次, 其中 2013—2014 年、2016—2018 年每年均在 9°N~16°N 的南海中部海域调查, 2015 年和 2019 年调查站位在 18°N~21°N 范围内, 基本覆盖整个南海海域(图 1)。

2013—2018 年采用灯光罩网船进行调查, 总吨位 421 t, 长 43.6 m, 配金属卤化物集鱼灯(1 kW), 调查期间开灯 300 盏, 所用罩网的主尺度为 281.60 m×81.76 m, 沉纲配重 2816 kg, 网衣最大网目 35 mm, 网囊最小网目 20 mm。调查期间每晚 19 点开灯, 开灯后约 3 h 进行放网起网作业, 并进行渔获物统计, 记录内容包括调查时间、

经纬度、渔获物种类、重量等基本信息。本研究采用 2013—2018 年的数据进行建模计算, 用 2019 年数据进行验证。

海洋环境数据来自美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), 选取调查当天的环境数据, 其中 SST 与 CHLA 的数据精度为 4 km, SSH 的数据分辨率为 0.1°, 数据下载后与调查数据进行匹配处理。

1.2 处理方法

1.2.1 数据标准化 按照时间和调查站位统计数据, 计算单位捕捞努力量渔获量(catch per unite effect, CPUE), 计算公式为:

$$\text{CPUE}_i = \frac{C_i}{T_i \times L_i} \quad (1)$$

式中, i 为站号, C_i 为第 i 站捕捞量, T_i 为第 i 站开灯时间, L_i 为第 i 站亮灯数量。

采用栖息地适应性指数理论, 将 CPUE 进行归一化处理, 作为评价站点栖息地质量好坏的标准^[23], 其公式为:

$$\text{SI}_i = \frac{\text{CPUE}_i}{\text{CPUE}_{\max}} \quad (2)$$

式中, SI_i 为归一化后的 CPUE, CPUE_{\max} 为该调查航次的最大单位捕捞努力量渔获量。

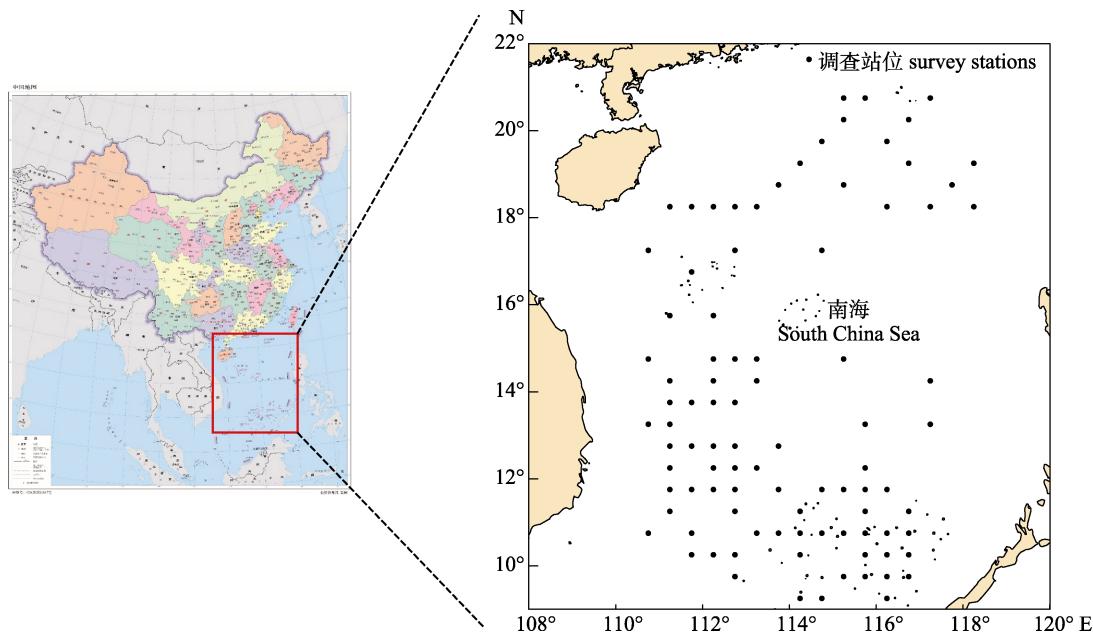


图 1 本研究调查区域示意图
Fig. 1 Survey area sketch in the present study

1.2.2 栖息地适应性指数 由于圆舵鲣游泳能力强, 可进行大范围水平洄游, 而南海区处于热带海域, 海洋环境季节变化较小, 本研究栖息地分析不分季节, 对全部数据采用一元非线性回归, 分别建立归一化后的 CPUE (SI)与 SST、SSH 和 CHLA 的关系模型, 具体模型计算公式为:

$$SI_j = \frac{1}{C_1 - C_2 \times j - C_3 \times j} \quad (3)$$

式中, C_1 、 C_2 、 C_3 分别为模型系数, j 为环境因子值。

1.2.3 权重系数 采用算数平均法原理建立栖息地适应性指数模型^[23], 模型形式为:

$$HIS = a_{SST} \times SI_{SST} + b_{SSH} \times SI_{SSH} + c_{CHLA} \times SI_{CHLA} \quad (4)$$

式中, a 、 b 、 c 为各因子的权重系数且均为 0~1 的小数, 并满足 $a+b+c=1$ 。采用最小二乘法原则确定 a 、 b 、 c 的取值。

1.2.4 数据验证 采用 2019 年春秋两季调查数据对模型进行验证, 实际 SI 值与模型预测 SI 值之差小于 0.3 则认为模型预报准确^[24], 统计预报准确的站位数占比, 以此作为模型预测准确度。

2 结果与分析

2.1 栖息地质量对不同环境因子的响应

按站位经过归一化处理的 SI 值分别与 SST、SSH、CHLA 进行拟合, 采用一元非线性回归分析, 结果如表 1 和图 2 所示。

表 1 圆舵鲣栖息地各环境因子拟合模型系数

Tab. 1 The model coefficients of environmental factors of *Auxis rochei* habitat

因子 factor	SI _{SST}			SI _{SSH}			SI _{CHLA}		
	模型系数 model parameter	P	模型系数 model parameter	P	模型系数 model parameter	P	模型系数 model parameter	P	
C_1	9139.74	0.0217	146.38	0.0261	8.38	0.0001			
C_2	-644.39	0.0216	-3.57	0.0285	-180.48	0.0120			
C_3	11.36	0.0216	0.02	0.0284	1423.57	0.0257			

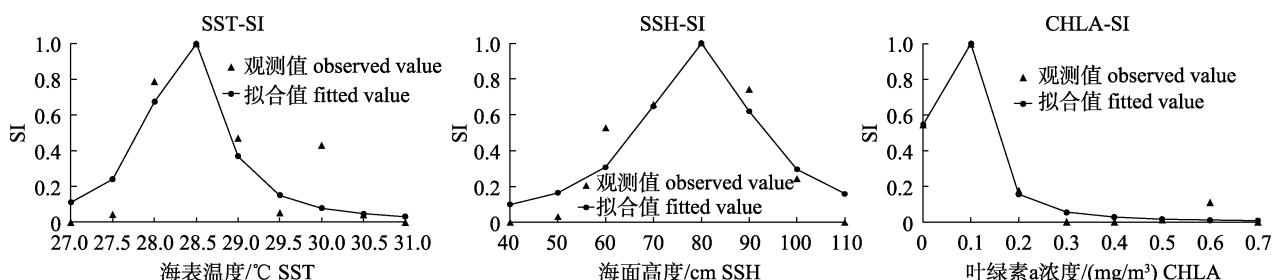


图 2 圆舵鲣栖息地各环境因子的拟合分析

Fig. 2 The fitting analysis for environmental factors of *Auxis rochei* habitat

各因子拟合值与实际值差距较小($P<0.05$)。对各模型取一阶导数后可知各因子的最适值。SST 的最适值为 28.6 °C, SSH 的最适值为 81.0 cm, CHLA 的最适值为 0.11 mg/m³。

2.2 栖息地适应性指数模型

计算各模型 R^2 值, 结果显示各因子模型 R^2 均大于 0.8, 表明模型能较好拟合解释相关变量 ($P<0.01$, 表 2)。

对圆舵鲣栖息地适应性指数模型 HSI 应用最小二乘法原则进行系数规划求解, 结果为 $a_{SST}=0.26$ 、 $b_{SSH}=0.52$ 、 $c_{CHLA}=0.22$, 即模型形式为 $HSI=$

$0.26 \times SI_{SST} + 0.52 \times SI_{SSH} + 0.22 \times SI_{CHLA}$, 由系数可知, 对栖息地的影响中, SSH 影响最大, 对模型贡献超过一半, SST 和 CHLA 影响程度较为接近。

表 2 圆舵鲣栖息地适应性指数模型

Tab. 2 Habitat suitable index models of *Auxis rochei* habitat

模型 model	R^2	P
$SI_{SST} = \frac{1}{9139.74 - 644.39 \times SST + 11.36 \times SST^2}$	0.82	0.006
$SI_{SSH} = \frac{1}{146.38 - 3.57 \times SSH + 0.02 \times SSH^2}$	0.89	0.004
$SI_{CHLA} = \frac{1}{8.38 - 180.48 \times CHLA + 1423.57 \times CHLA^2}$	0.98	0.000

2.3 模型验证

采用 2019 年春秋两季调查数据对模型进行验证分析, 结果表明模型拟合超过 75%, 准确度较高, 可以准确反映渔场对栖息地的响应(表 3)。

CPUE 较高的站点均位于 HSI 高值区($HSI > 0.6$), 模型预测准确, 同时高值区范围较调查区域范围大, 可作为潜在渔场(图 3)。

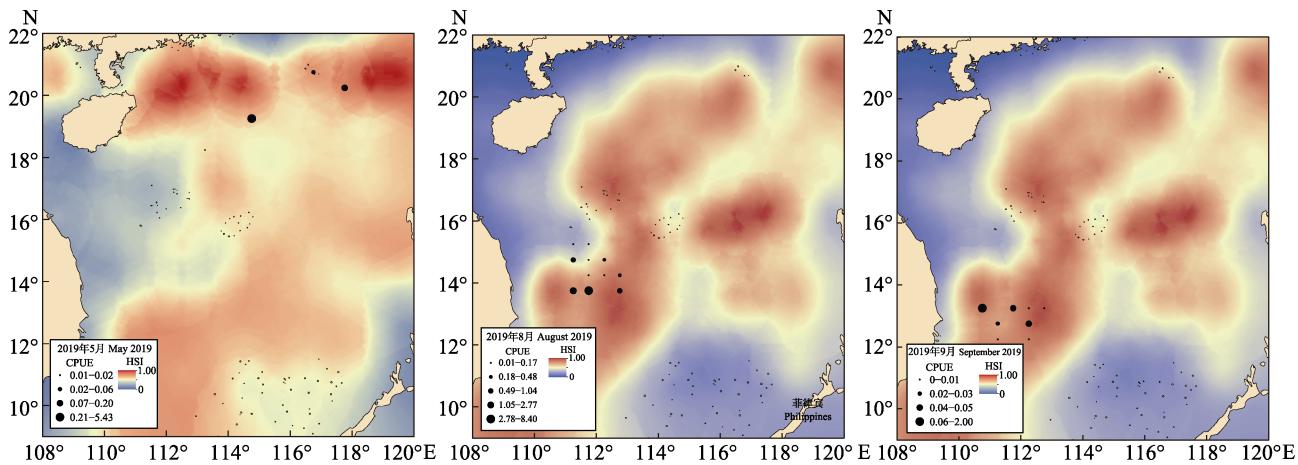


图 3 2019 年调查结果与预测结果分析
Fig. 3 Analysis of survey results and forecast results of 2019

3 讨论

3.1 渔场时空分布

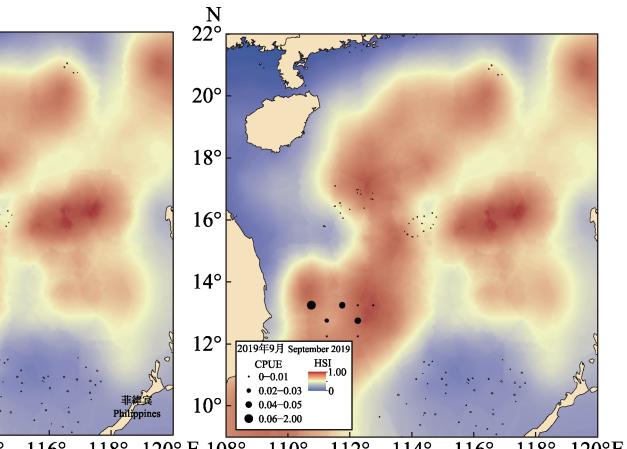
南海圆舵鲣资源量丰富, 集群程度高, 对栖息环境的响应较为敏感。从时空分布来看, 南海鸢乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)CPUE 在夏季达到最高, 结合其生物学特性^[25]发现, 南海圆舵鲣多在每年 3—5 月洄游至南海北部海域产卵, 产卵后进行索饵洄游至南海中南部, 故而夏季生物量达到最高^[3], 本研究的结论进一步印证了此推测。有研究认为南海圆舵鲣种群既有来自印度洋、西太平洋的外来种群, 又有南海的本地种群^[17], 二者有基因交流, 属于大洋性洄游性种类, 但洄游能力较大型金枪鱼类弱^[12]。

从海底地形角度分析渔场的时空分布, 将 CPUE 数据与海底深度数据叠加(图 4), 发现资源量高的位置均为地形变化较快的位置, 如海山附近, 这些区域由于海流涌升使得初级生产力提高, 进而使圆舵鲣饵料生物生物量提高, 引起圆舵鲣

表 3 模型验证数据分析结果

Tab. 3 Data analysis results of the model verification

日期 date	正确 correct	错误 false	准确率/% accuracy
2019 年 5 月 March 2019	5	1	83.33
2019 年 8 月 August 2019	10	3	76.92
2019 年 9 月 September 2019	8	3	72.73
合计 total	23	7	76.67



集群^[26]。且由于南海区水文季节变化不明显, 故而渔场的位置变化不明显, 主要集中在南海中西部海域, 此处为陆坡与海山密集的上升流区。从圆舵鲣 CPUE 分析, 春秋两季 CPUE 较为接近, 夏季 CPUE 较高, 这与圆舵鲣秋季产卵的生物学特性有关。范江涛等^[23]研究发现南海鸢乌贼分布具有岛礁相关性的特点, 而鸢乌贼作为圆舵鲣的主要饵料生物之一, 使得圆舵鲣分布也具备一定的岛礁相关性, 这一推断与其他海域小型金枪鱼类的分布特点有相似之处。

3.2 渔场对环境的响应

南海海洋环境复杂, 渔场对环境变化的响应性解释难度大, 仅从某单一环境因子较难解释整个渔场的变动规律, 需要结合各种环境要素进行综合分析判断。张衡等^[27]通过对南海区罩网渔获物的分析发现, 圆舵鲣渔获率的分布与扁舵鲣、鲔等小型金枪鱼类分布呈正相关且在月相为新月时出现比例较高; 朱国平等^[28]对太平洋长鳍金枪鱼的繁殖力与海水温度结构建立栖息地指数模型

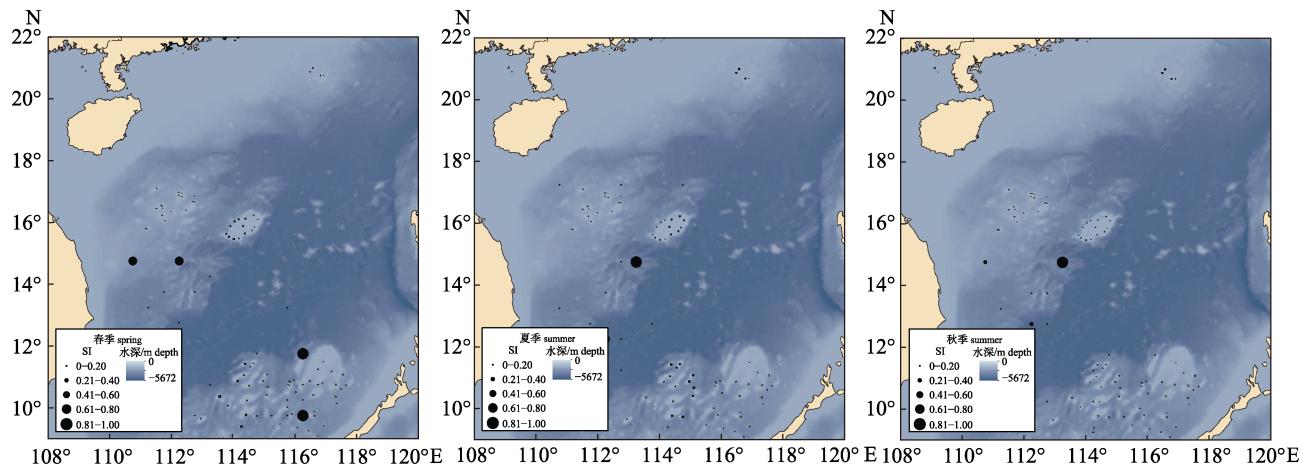


图4 圆舵鲣 CPUE 的时空分布与水深关系

Fig. 4 The relationship between CPUE distribution of *Auxis rochei* and sea depth

表明温度结构对渔场分布和栖息地质量的影响较大; 另外厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)等大尺度海洋气候现象对海洋环境的影响, 一方面直接影响圆舵鲣对环境的选择性^[6, 26, 29], 另一方面通过影响初级生产力或饵料生物的分布, 进而影响圆舵鲣分布^[5]。高栖息地指数(HSI>0.6)渔场的面积对生物量的分布特别是补充量的影响重大, 在厄尔尼诺年份, 适宜的渔场面积较小, 资源量下降; 相反在拉尼娜年份, 渔场面积较大, 补充量高, 资源量升高^[18, 21]。

3.3 其他因子影响

影响渔场的非生物因子中, 流场流系的影响较大, 南海区流系流场复杂, 中尺度涡、南海中南部的上升流区、黑潮分支及中西太平洋暖池等周边流场运动, 均对渔场的形成与发展有较大影响^[20]。另一对渔场有重要影响的因子海底深度或海底地形通过影响洋流或者引起上升流^[30], 影响初级生产力的分布, 进而影响渔场的时空分布。

影响渔场的生物因子中, 对圆舵鲣有直接影响的为饵料生物分布, 通过分析圆舵鲣胃含物的种类发现, 南海圆舵鲣主要以灯笼鱼类、头足类、甲壳类为主要饵料生物, 占比最高的灯笼鱼类和头足类分布具有较高的相关性, 时空分布有较大重叠, 且均在夏季生物量达到最高^[14], 这也从侧面解释了南海圆舵鲣在夏季 CPUE 较高的原因。

3.4 展望

本研究采用了栖息地理论来分析南海圆舵鲣

渔场对海洋环境变化的响应规律, 在实际环境中, 渔场的时空分布受环境要素的影响非常复杂。环境因子中除了 SST、SSH 和 CHLA 等还有洋流、海表盐度、温度梯度等, 因此在今后的研究中, 可尝试加入其他生物与非生物因子及其交互作用作为变量综合考虑, 建立更全面、可靠的栖息地模型。

参考文献:

- [1] Dai X J, Xu L X. Primary Colorguide of the World Tuna Fishery Catches Species[M]. Beijing: China Ocean Press, 2007: 15-17. [戴小杰, 许柳雄. 世界金枪鱼渔业渔获物物种原色图鉴[M]. 北京: 海洋出版社, 2007: 15-17.]
- [2] Zhang Y L. The biology and fisheries of the *Auxis rochei*[J]. Chinese Journal of Zoology, 1999, 34(3): 44-47. [张玉玲. 圆舵鲣的生物学和渔业[J]. 动物学杂志, 1999, 34(3): 44-47.]
- [3] Su L, Chen Z Z, Zhang P, et al. Catch composition and spatial-temporal distribution of catch rate of light falling-net fishing in central and southern South China Sea fishing ground in 2017[J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(5): 11-20. [粟丽, 陈作志, 张鹏, 等. 2017 年南海中南部渔场灯光罩网渔获物组成及渔获率时空分布[J]. 南方水产科学, 2018, 14(5): 11-20.]
- [4] Lelono T D, Bintoro G. Population dynamics and feeding habits of *Euthynnus affinis*, *Auxis thazard*, and *Auxis rochei* in South Coast of East Java waters[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 370: 012054.
- [5] Semedi B, Hadiyanto A L. Forecasting the fishing ground of small pelagic fishes in Makassar Strait using moderate resolution image spectroradiometer satellite images[J]. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 2013, 3(2): 29-34.

- [6] Zainuddin M, Saitoh K, Saitoh S I. 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.
- [7] Alvarez-Berastegui D, Ciannelli L, Aparicio-Gonzalez A, et al. Spatial scale, means and gradients of hydrographic variables define pelagic seascapes of bluefin and bullet tuna spawning distribution[J]. *PLoS One*, 2014, 9(10): e109338.
- [8] Calicdan-Villarao M A, Encarnacion A B, Ame E C, et al. Biology and population dynamics of bullet tuna (*Auxis rochei*) and frigate tuna (*Auxis thazard*) in Babuyan Channel, Philippines[J]. *Kuroshio Science*, 2017, 11(1): 63-72.
- [9] Muhling B A, Lamkin J T, Alemany F, et al. Reproduction and larval biology in tunas, and the importance of restricted area spawning grounds[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2017, 27(4): 697-732.
- [10] Su L, Chen Z Z, Zhang K, et al. Catch composition and spatial-temporal distribution of catch rate of light falling-net fishing in the abyssal area of the northern South China Sea[J]. *Marine Fisheries*, 2018, 40(5): 537-547. [粟丽, 陈作志, 张魁, 等. 南海北部深海区灯光罩网渔获物组成及渔获率的时空分布[J]. 海洋渔业, 2018, 40(5): 537-547.]
- [11] Bandaranayake K, Maldeniya R, Perera H. *Auxis thazard*; major contributor in Sri Lankan Neritic tuna fishery[C]// Proceedings of the Fifth Session of the Indian Ocean Tuna Commission Working Party on Neritic Tunas, Mahé, Seychelles Zanzibar, Tanzania, 2015: 26-29.
- [12] Collette B B, Aadland C R. Revision of the frigate tunas (*Scombridae, Auxis*), with descriptions of two new subspecies from the eastern Pacific[J]. *Fishery Bulletin*, 1996, 94(3): 423-441.
- [13] Chen Y M, Sun R K, Zhang S, et al. Antioxidant activity and anti-fatigue effect of 5 ku fraction of hydrolysates from *Auxis tapeinosom* dark muscle[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2017, 37(4): 92-97. [陈义明, 孙瑞坤, 张帅, 等. 圆鲹暗色肉酶解物5 ku组分的抗氧化活性与抗疲劳作用[J]. 广东海洋大学学报, 2017, 37(4): 92-97.]
- [14] Baeck G W, Quinitio G F, Vergara C J, et al. Diet composition of bullet mackerel, *Auxis rochei* (Risso, 1810) in the coastal waters of Iloilo, Philippines[J]. *Korean Journal of Ichthyology*, 2014, 26(4): 349-354.
- [15] Jones S. Synopsis of biological data on the long corsetted frigate mackerel *Auxis thynnoides* Bleeker 1855[R]. FAO Fisheries Biology Synopsis No. 71, Species Synopsis No. 28, 1963: 782-810.
- [16] Allaya H, Faleh A B, Zrelli S, et al. Morphological variation of bullet tuna *Auxis rochei* (Risso, 1810) from Tunisian Waters[J]. *Acta Zoologica Bulgarica*, 2016, 68(3): 433-442.
- [17] Li M, Li Y F, Zhang P, et al. Analysis of population genetic structure of bullet tuna (*Auxis rochei*) in the South China Sea based on mitochondrial control region sequences[J]. *South China Fisheries Science*, 2016, 12(4): 88-95. [李敏, 李玉芳, 张鹏, 等. 基于线粒体控制区序列的南海圆鲹种群遗传结构分析[J]. 南方水产科学, 2016, 12(4): 88-95.]
- [18] Kantun W, Cahyono I, Arsana W S. Biological aspect of bullet tuna *Auxis rochei* (Risso, 1810) in the Makassar Strait, West Sulawesi, Indonesia[J]. *Croatian Journal of Fisheries*, 2019, 77(3): 119-126.
- [19] Kekenusa J S, Paendong M S, Weku W C D, et al. Determination of the status of utilization and management scenarios bonito (*Auxis rochei*) caught in the Talaud waters north Sulawesi[J]. *Science Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 2015, 3(2): 39-46.
- [20] Lu H J, Lee H L. Changes in the fish species composition in the coastal zones of the Kuroshio Current and China Coastal Current during periods of climate change: Observations from the set-net fishery (1993–2011)[J]. *Fisheries Research*, 2014, 155: 103-113.
- [21] Muñoz-Expósito P, Macías D, de Urbina J M O, et al. North Atlantic oscillation affects the physical condition of migrating bullet tuna *Auxis rochei* (Risso, 1810) from the Western Mediterranean Sea[J]. *Fisheries Research*, 2017, 194: 84-88.
- [22] Nagasawa K, Ashida H, Sato T. Caligid copepods parasitic on yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, and bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the western North Pacific Ocean off central Japan, with a list of parasitic copepods of tunas (*Auxis* spp., *Euthynnus affinis*, *Katsuwonus pelamis*, and *Thunnus* spp.) in Japan (1894–2018)[J]. *Nature of Kagoshima*, 2018, 45: 37-42.
- [23] Fan J T, Chen Z Z, Zhang J, et al. *Sthenoteuthis oualaniensis* fishing grounds analysis based on marine environmental factors and different weight coefficients in the Zhongxisha and Xisha Islands, South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2016, 12(4): 57-63. [范江涛, 陈作志, 张俊, 等. 基于海洋环境因子和不同权重系数的南海中沙西沙海域乌贼渔场分析[J]. 南方水产科学, 2016, 12(4): 57-63.]
- [24] Xue Y, Guan L S, Tanaka K, et al. Evaluating effects of rescaling and weighting data on habitat suitability modeling[J]. *Fisheries Research*, 2017, 188: 84-94.
- [25] Kahraman A E, Göktürk D, Bozkurt E R, et al. Some reproductive aspects of female bullet tuna, *Auxis rochei* (Risso), from the Turkish Mediterranean coasts[J]. *African Journal of Biotechnology*, 2010, 9(40): 6813-6818.

- [26] Zainuddin M, Saitoh S I, Saitoh K. Detection of potential fishing ground for albacore tuna using synoptic measurements of ocean color and thermal remote sensing in the northwestern North Pacific[J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31(20): L20311.
- [27] Zhang H, Wu Z L, Zhou W F, et al. Species composition, catch rate and occurrence peak time of Thunnidae family in the fishing ground of light falling-net fisheries in the Nansha Islands area of the South China Sea[J]. Marine Fisheries, 2016, 38(2): 140-148. [张衡, 吴祖立, 周为峰, 等. 南海南沙群岛灯光罩网渔场金枪鱼科渔获种类、渔获率及其峰值期[J]. 海洋渔业, 2016, 38(2): 140-148.]
- [28] Zhu G P, Li F Y, Chen J T, et al. Spawn habitat suitability for albacore (*Thunnus alalunga*) in south-central Indian Ocean[J]. Marine Environmental Science, 2012, 31(5): 697-700, 707. [朱国平, 李凤莹, 陈锦淘, 等. 印度洋中南部长鳍金枪鱼繁殖栖息的适应性[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(5): 697-700, 707.]
- [29] Nuñoz Expósito P. Assessing the atmospheric oscillations effects on the biology of the bullet tuna (*Auxis rochei*) and its possible linkage with global warming[D]. Faro: University of Algarve, 2015: 10-17.
- [30] Wu R S, Li L. Summarization of study on upwelling system in the South China Sea[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2003, 22(2): 269-277. [吴日升, 李立. 南海上升流研究概述[J]. 台湾海峡, 2003, 22(2): 269-277.]

Analysis of habitat influencing factors of *Auxis rochei* in the South China Sea

FAN Jiangtao^{1,2}, ZHANG Peng¹, FENG Xue^{1,2}, CHEN Zuozhi^{1,3}

1. Key Field Scientific Experimental Station of South China Sea Fishery Resource and Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;
2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
3. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 511458, China

Abstract: *Auxis rochei* is one of the most promising small tunas in the South China Sea. According to the South China Sea light cover web survey data in 2013–2019, combined with remote sensing of the sea surface temperature (SST), sea surface height (SSH), chlorophyll a concentration (CHLA) data, using the principle of a habitat suitable index model in a standardized unit of catch per unit effort (CPUE) as indicators of habitat quality, the model of the CPUE and marine environment was established to analyze the effects of different environmental factors on the habitat of *A. rochei* and its adaptability to changes in the marine environment. The results showed that the optimum values of each factor in the *A. rochei* fishery in the South China Sea were an SST of 28.6°C, SSH of 81.0 cm, and CHLA of 0.11 mg/m³. Different weights were assigned to different marine environment factors to establish the adaptability index model with the CPUE, and the *R*² of each model was greater than 0.8, with good model interpretation. The least square method was used to analyze the weight coefficient of the model. The coefficients were 0.26, 0.52, and 0.22 for SST, SSH, and CHLA, respectively. The SSH had the greatest effect on habitat. The 2019 survey data were used to verify the model, and the model accuracy was more than 75%, verifying that the model prediction was accurate.

Key words: *Auxis rochei*; South China Sea; marine environment; weight coefficient; CPUE; model

Corresponding author: CHEN Zuozhi. E-mail: zzchen2000@163.com