

文章编号: 1674-5566(2019)03-0419-08

DOI:10.12024/jsou.20190102505

## 南沙海域鸢乌贼渔场与海洋环境因子的关系

范江涛<sup>1,2</sup>, 张俊<sup>1</sup>, 冯雪<sup>1,2</sup>, 陈作志<sup>1</sup>

(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)

**摘要:** 根据 2013 年在南沙海域 4 个航次的声学走航调查数据, 以鸢乌贼的资源生物量为渔场指标, 结合遥感获得的海表温度(sea surface temperature, SST)、海面高度(sea surface height, SSH)、海表盐度(sea surface salinity, SSS)和叶绿素 a 浓度(chlorophyll-a concentration, *Chl. a*)等海洋环境数据, 采用广义可加模型(generalized additive models, GAM)建立渔场与海洋环境因子之间关系模型。研究表明: 南沙海域鸢乌贼渔场分布有明显季节差异, 春季主要集中于南沙西南部和越南东部海域, 夏季和秋季主要分布于南沙南部海域, 冬季主要分布于南沙中南部海域; 各环境因子中 SSH 与 SSS 对渔场有显著影响, SST 和 *Chl. a* 影响不显著; 影响渔场的主要因子有 SSH、SSS、经度(LON)和纬度(LAT), 并依据赤池信息准则(akaike information criterion, AIC)建立渔场与影响因子的最优关系模型, 模型的总偏差解释率为 54.7%, 进入最优模型的 4 个因子中, 纬度对模型的影响最大; 南海鸢乌贼渔场的形成除地理位置影响外, 与海流洋流影响关系密切。

**关键词:** 鸢乌贼; 南沙群岛; 海洋环境; GAM 模型

**中图分类号:** S 931.1      **文献标志码:** A

南沙海域鸢乌贼资源量丰富, 与海洋环境关系密切。南沙海域鸢乌贼资源量丰富, 与海洋环境关系密切。鸢乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)隶属于头足纲(Cephalopoda), 枪形目(Teuthoidea), 柔鱼科(Ommastrephidae), 鸢乌贼属(*Sthenoteuthis*)<sup>[1]</sup>, 广泛分布在印度洋、太平洋的赤道和亚热带等海域, 栖息水深从 20 m 至 1 000 m 均有分布<sup>[2]</sup>, 其资源量丰富, 我国南沙群岛海域是其主要渔场, 资源量为 130 万 t 左右<sup>[3]</sup>。南沙群岛位于南海南部, 岛礁众多, 生物资源丰富, 是近年来海洋研究的热点区域之一。鸢乌贼属一年生头足类, 可承载较高的捕捞压力, 而其渔场受海洋环境影响较大。目前对南沙海域鸢乌贼的研究主要集中于基础生物学<sup>[4-7]</sup>、捕捞技术<sup>[8]</sup>、资源评估<sup>[3, 9]</sup>等方面, 数据主要来自生产数据或基于渔船的局部或点状调查数据, 缺乏大面积的采样调查研究。广义可加模型(generalized

additive models, GAM)能够解释响应变量与解释变量间的非线性关系, 而对数据的分布不做前假设, 能用非参数的方法检测数据结构, 找出其中规律, 从而得到更好的预测结果, 适用于生态学, 特别是调查数据的分析研究<sup>[10-11]</sup>。近年来 GAM 模型在生态学中得到了广泛的应用<sup>[12-14]</sup>。根据 2013 年春、夏、秋、冬 4 个季节在南沙海域的走航数据, 结合遥感获得的海洋环境数据, 研究南沙海域鸢乌贼渔场的时空分布, 分析其与海洋环境因子的关系, 探讨环境变化对鸢乌贼渔场位置的影响, 以期为合理解释和预测南沙海域鸢乌贼渔场的时空变动和资源的可持续利用和科学管理提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 数据来源

渔场数据来自于中国水产科学研究院南海水产研究所 2013 年 4 个季度在南沙海域的调查,

收稿日期: 2019-01-07      修回日期: 2019-03-18

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201403008); 农业农村部财政专项(NFZX2018); 中国水产科学研究院基本科研业务费(2017HY-ZD0804)

作者简介: 范江涛(1987—), 男, 助理研究员, 研究方向为渔业资源和渔情预报。E-mail: tianxiahaiyin@163.com

通信作者: 陈作志, E-mail: zzchen2000@163.com

调查时间为春季3月15日—4月8日,夏季6月26日—7月13日,秋季9月9日—9月30日,冬季11月18日—12月3日。调查范围如图1所示。

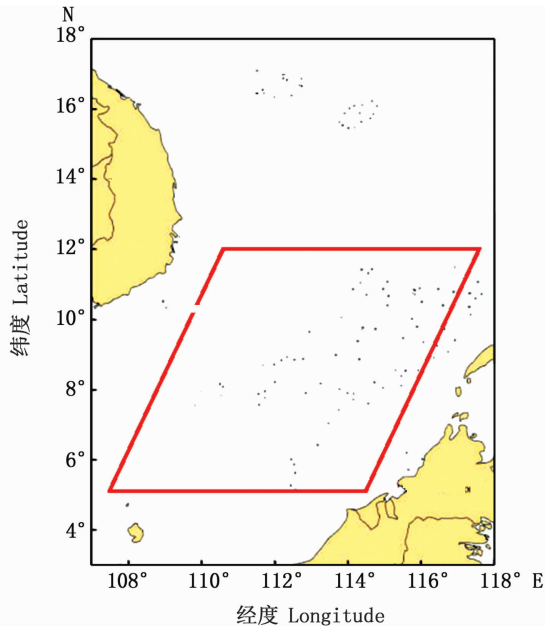


图1 南沙海域鸢乌贼调查区域示意图  
Fig. 1 Survey area in Nansha area

采用声学走航的积分值作为表征渔场的指标,以 $-78.1$  dB为鸢乌贼的声学目标强度进行分析,按航次对其进行标准化处理后进行后续分析<sup>[15]</sup>。声学探测的换能器频率为 $38$  kHz,发射功率为 $2000$  W,脉冲宽度为 $1$  ms。

海洋环境数据来自于美国国家海洋和大气管理局(<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/>),选取海表温度(sea surface temperature, SST)、海面高度(sea surface height, SSH)、海表盐度(sea surface salinity, SSS)和叶绿素a浓度(chlorophyll-a concentration, *Chl. a*)4个因子作为渔场环境因子,在Arcgis10.0中将分辨率统一处理为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ ,选择调查当天的环境数据,若无走航积分站点的环境数据则采用克里格插值计算得到相应站点环境数据<sup>[16]</sup>。

## 1.2 数据处理方法

GAM模型可直接拟合响应变量与多个解释变量之间的非线性关系,对不同形式的函数进行加和,找出其中的规律,适用于不同类型分布的函数分析,其一般表达式<sup>[10, 17-18]</sup>为

$$g(\mu) = \beta + \sum_{i=1}^i s_i(x_i) + \varepsilon \quad (1)$$

式中:函数 $g(\mu)$ 为连接函数; $\mu$ 为声学积分值; $\beta$ 为常数截距项; $s_i(x_i)$ 为解释变量关系的非参数函数,描述变换的平均相应 $g(\mu)$ 和第 $i$ 个预测因子 $x_i$ 之间的关系,为样条平滑函数(spline smoothing),连接函数为自然对数; $\varepsilon$ 为服从正态分布的随机误差,独立于 $x_i$ 。

以声学走航的生物量积分值作为鸢乌贼渔场丰度指标(biomass,  $B$ )作为响应变量,经度(LON)、纬度(LAT)、SST、SSH、SSS、*Chl. a*作为解释变量,带入GAM模型进行分析。采用赤池信息准则(akaike information criterion, AIC)检验模型拟合度,其值越小,模型拟合效果越好<sup>[19-21]</sup>。AIC的计算公式为

$$A_{IC} = E + 2d_f\varphi \quad (2)$$

式中: $A_{IC}$ 为模型AIC值; $E$ 为残差平方和; $d_f$ 为自由度; $\varphi$ 为方差。

首先将所有因子带入模型,剔除F检验中 $P$ 值大于 $0.05$ 的因子,将剩余因子重新代入模型进行计算,直至所有因子 $P$ 值均小于 $0.05$ 。然后将剩余因子进行逐步分析,以AIC值最小的模型作为最优模型。

模型构建过程均采用R统计软件(Vision 3.5.1)的mgcv软件包实现,环境数据插值和渔场时空分布采用ArcGIS 10.0软件计算作图。

## 2 结果

### 2.1 渔场时空分布

南沙海域鸢乌贼生物量分布具有显著的季节变化(图2),春季鸢乌贼渔场主要位于南海西南部海域和越南东部海域,夏季生物量高值区位于南沙南部海域,秋季渔场主要位于南海南部及偏东部海域,冬季渔场位于南海南部海域。

从各季度的生物量绝对值来看,秋季生物量最高,其次是夏季,明显高于冬季和春季,有明显的季节变化。

### 2.2 不同环境因子对渔场的影响

将生物量积分值按季度标准化作为资源丰度指标 $B$ ,把所有环境因子与经纬度作为解释变量, $B$ 作为响应变量,进行F检验,单个因子的检验结果如表1。

在 $0.05$ 的显著性水平下,各环境因子中SST和*Chl. a*对资源丰度的影响不显著;除去经纬度的影响,在海洋环境因子中,SSH和SSS对渔场资

源丰度影响显著,且 SSH 的自由度最高,表明 SSH 的影响最显著。

### 2.3 GAM 模型

将海洋环境因子作为解释变量,渔场生物量

作为响应变量带入模型,根据 AIC 准则,采用逐步分析法检验模型拟合程度,选择 AIC 值小的模型作为最优模型(表 2)。

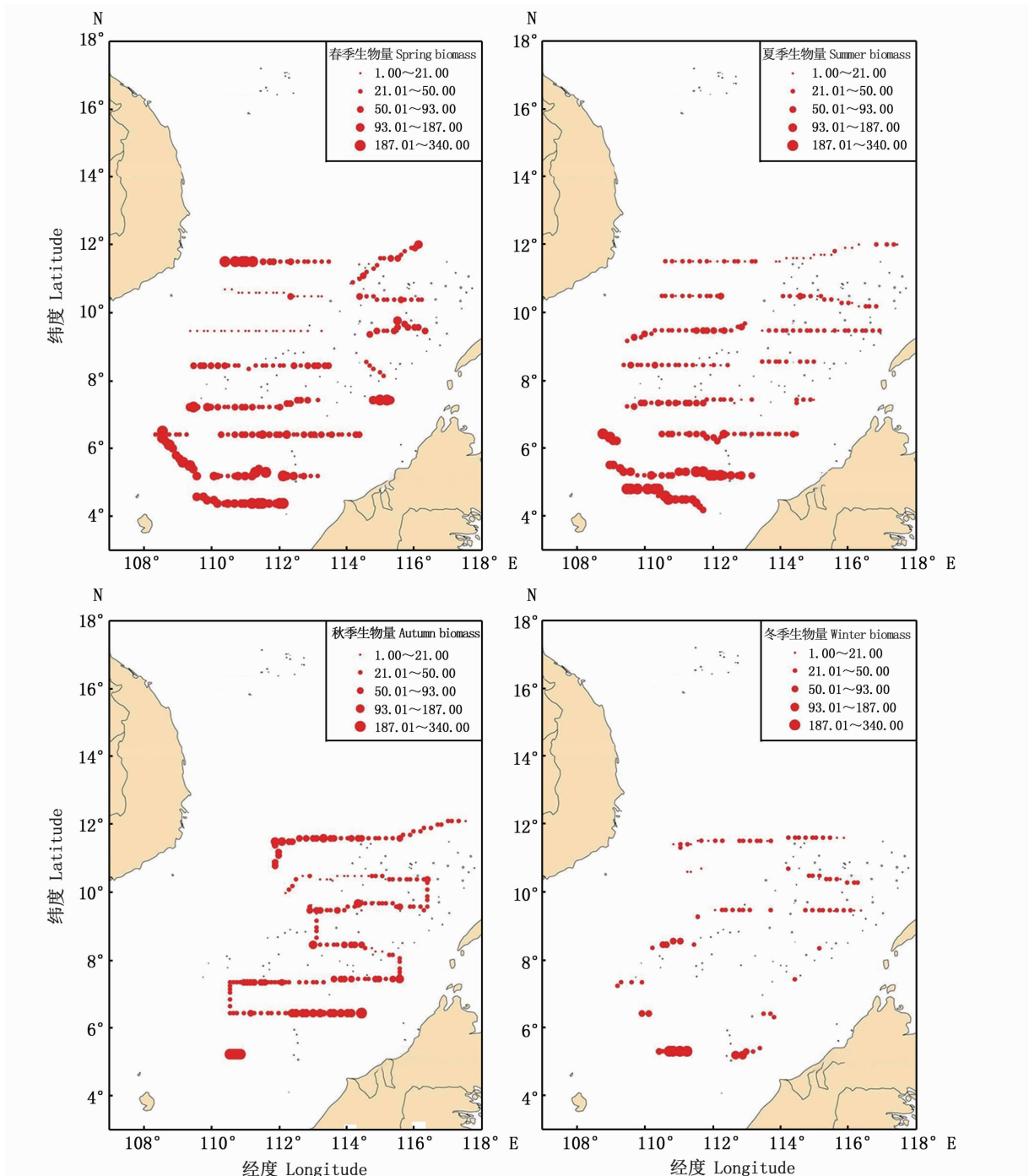


图 2 不同季节生物量分布  
Fig. 2 Biomass distribution in different seasons

表 1 各因子检验结果

Tab.1 Test results of each factor

模型 Models	自由度 <i>df</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
B ~ s(LON)	4.247	5.073	0.000
B ~ s(LAT)	2.017	21.335	0.000
B ~ s(SST)	1.000	1.760	0.191
B ~ s(SSH)	8.496	6.358	0.000
B ~ s(SSS)	3.951	2.895	0.019
B ~ s( <i>Chl. a</i> )	6.253	1.852	0.100

表 2 模型选择

Tab.2 Model Selection

模型 Models	<i>R</i> <sup>2</sup>	AIC
B ~ s(SSH) + s(SSS) + s(SST) + s( <i>Chl. a</i> ) + s(LON) + s(LAT)	0.521	-863.672 8
B ~ s(SSH) + s(SSS) + s(SST) + s(LON) + s(LAT)	0.532	-964.593 3
B ~ s(SSH) + s(SSS) + s(LON) + s(LAT)	0.531	-965.287 9
B ~ s(SSH) + s(LON) + s(LAT)	0.524	-957.829 6
B ~ s(SSS) + s(LON) + s(LAT)	0.500	-925.170 8
B ~ s(LON) + s(LAT)	0.500	-926.765 6

GAM 模型分析可知,SSH 和 SSS 与经纬度共同作用下对渔场影响最大,AIC 值最小,为最优模型,模型具体形式为:  $B \sim s(SSH) + s(SSS) + s(LON) + s(LAT) + \varepsilon$ 。模型对渔场生物量的总偏差解释率为 54.7%。

进入最优模型的 4 个因子中:纬度对渔场生物量的影响最大,随着纬度升高,渔场生物量呈先升高后降低的趋势;渔场生物量随经度由西向东呈逐渐降低的趋势;渔场最适 SSH 为 90 ~ 105 cm,最适 SSS 为 32.5 ~ 33,纬度与经度分别在 5° N 和 110°E 附近(图 3)。

## 2.4 模型准确度

通过 GAM. check 函数来评估最优模型的效应,矫正后的 AIC, *R*<sup>2</sup> 以及残差分布都表明最终选择的模型能够较好的解释南沙鳶乌贼渔场变化与关键因子的关系(图 4)。

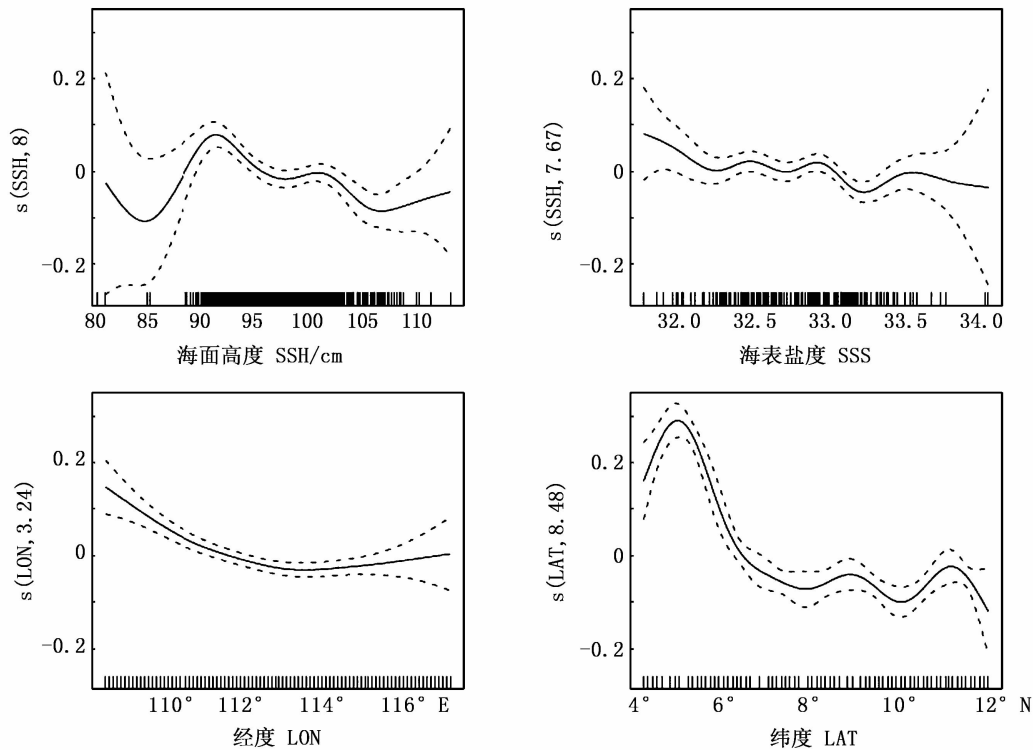


图 3 关键环境因子分析

Fig.3 Analysis of key environmental factors

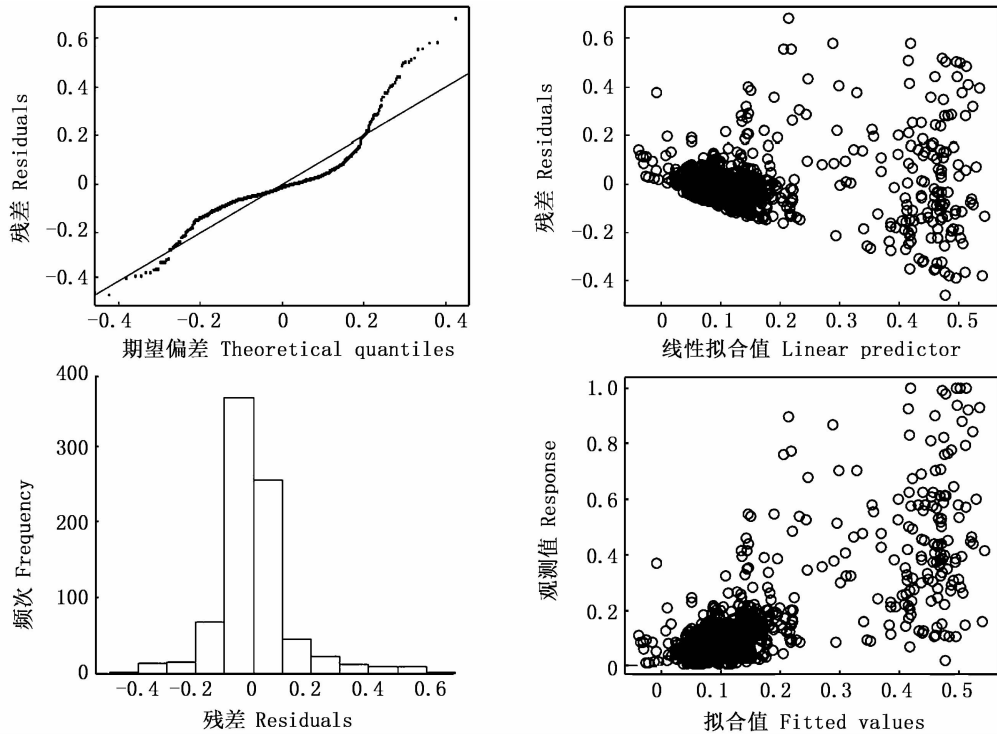


图 4 最优模型准确度分析  
Fig.4 Optimal model accuracy analysis

### 3 讨论与分析

#### 3.1 渔场分布特征

从季节来看,渔场分布有明显季节变化,春季在越南东部有生物量高值区,位于越南东部上升流区,其他季节渔场也有向陆地分布的趋势,而渔场生物量夏秋季生物量高,冬季生物量较低,这主要归结于南沙海域鳶乌贼主要在夏秋季产卵繁殖,产卵后个体大量死亡<sup>[2]</sup>;从空间分布来看,渔场主要集中于南沙南部海域,其他海域只在某个季节偶有分布,在经度向上,由西向东渔场生物量大致呈现先降低后升高的趋势,这一趋势与离岸距离有直接关系,呈现向陆地分布的趋势;纬度向上,随纬度升高渔场生物量呈现先升高后降低的趋势,直到 7°N 以北海域基本稳定,而纬度向的渔场变化表明在南沙海域,渔场与海洋温度关系并不直接相关,GAM 模型分析也证实了这一点;大洋性头足类,特别是印度洋鳶乌贼渔场的分布与温度关系密切,然而不同的是陈新军等<sup>[22]</sup>和杨晓明等<sup>[23]</sup>对鳶乌贼的研究取样地点主要位于亚热带大洋性海域,海水温度季节变化明显,海水温度是鳶乌贼活动的主要限制因

子,渔场位置与海表温的等温线关系明显,而本研究主要调查海域位于热带海域,海水温度季节变化不大,因而温度并不是影响南沙鳶乌贼渔场分布的主要因子。

#### 3.2 渔场形成机制

从渔场形成机制来探讨 GAM 模型结果发现,除去地理位置的影响外,南沙海域鳶乌贼渔场与 SSH 关系显著,这表明渔场形成与海流或潮流波浪等密切相关<sup>[24]</sup>。南沙海域流场复杂,而鳶乌贼渔场具有岛屿相关性特点<sup>[2,25]</sup>,南沙群岛岛屿,暗礁等众多,海底地形复杂,在岛礁附近海水涌升强烈,易于形成高生产力区域<sup>[26-27]</sup>,而鳶乌贼的生物学特性也侧面印证这一观点。

渔场的形成一般位于上升流或锋面等不同性质水团交汇强烈的海域,水团的交汇最终表现在海水温度、盐度等理化因子的变化,而本研究也进一步印证此结论<sup>[28]</sup>。在南沙海域,海水温度季节变化不大,水团或海流的交汇主要体现在海面高度和海水盐度的变化,而本研究的最优 GAM 模型也仅包含 SSH 和 SSS 这两个环境因子,且 SSH 对渔场的影响较大,这亦从另一角度阐释了南沙鳶乌贼渔场的形成机理<sup>[29-30]</sup>。

结合调查中的 50 m 层水温数据和叶绿素 a 浓度的分布数据来看,南沙南部海域生物量高值区 50 m 层水温较外围低,叶绿素 a 浓度垂向最大深度约为 50 m,且明显高于外围,说明南沙南部海域海表面温度和叶绿素 a 的遥感数据并不能完全代表渔场情况,而 50 m 水层的低温富营养也表明该海域存在上升流活动迹象,在该海域形成高生产力区域,为渔场高生物量的形成提供了良好物质基础,此外此海域流场数据也说明这一点。

### 3.3 GAM 模型

GAM 模型的优势在于其对进入模型的变量分布没有前置要求,并能够快速处理大量变量。而在渔业研究中,影响渔场形成的因素众多,各因素之间的相关关系与相互影响关系不确定,且渔场的空间分布受多种因素影响与制约,故而 GAM 模型在渔场环境分析中具有较大优势,是目前研究渔场环境的主要研究手段<sup>[19-20]</sup>。本研究虽然 SSH 和经纬度对渔场生物量影响极显著,但模型解释度并不高,而 4 个环境因子中只有 2 个进入最优模型,这与经纬度在模型中偏差解释率较大有关<sup>[31]</sup>。另外,在温度不是主要影响因子的前提下,影响南沙鸢乌贼渔场的主要环境因子可能不仅有 SSH 或 SSS,也有其他表征海流或海洋物理过程的因子未能充分考虑<sup>[32]</sup>,这也是造成误差的原因。

### 参考文献:

- [1] 陈新军,刘必林,王尧耕. 世界头足类[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 39-58.  
CHEN X J, LIU B L, WANG Y G. Cephalopods of the world [M]. Beijing: China Ocean Press, 2009: 39-58.
- [2] 范江涛,冯雪,邱永松,等. 南海鸢乌贼生物学研究进展[J]. 广东农业科学, 2013, 40(23): 122-128.  
FAN J T, FENG X, QIU Y S, et al. Review on the biology of purpleback flying squid in South China Sea [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(23): 122-128.
- [3] 张俊,陈作志,陈国宝,等. 南海鸢乌贼水声学测量和评估相关技术研究[J]. 南方水产科学, 2014, 10(6): 1-11.  
ZHANG J, CHEN Z Z, CHEN G B, et al. Hydroacoustic detection and estimation techniques of squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in the South China Sea [J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(6): 1-11.
- [4] 范江涛,邱永松,陈作志,等. 南海鸢乌贼两个群体间角质颚形态差异分析[J]. 中国海洋大学学报, 2015, 45(10): 42-49.  
FAN J T, QIU Y S, CHEN Z Z, et al. Morphological difference of the beak between two stocks of *Sthenoteuthis oualaniensis* inhabiting South China Sea [J]. Periodical of Ocean University of China, 2015, 45(10): 42-49.
- [5] 江艳娥,张鹏,林昭进,等. 南海海外鸢乌贼耳石形态特征分析[J]. 南方水产科学, 2015, 11(5): 27-37.  
JIANG Y E, ZHANG P, LIN Z J, et al. Statolith morphology of purpleback flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) in the offshore South China Sea [J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(5): 27-37.
- [6] 李建华,陈新军,方舟,等. 3 个不同海区鸢乌贼渔业生物学的初步比较[J]. 海洋渔业, 2016, 38(6): 561-569.  
LI J H, CHEN X J, FANG Z, et al. Comparison of fishery biology of *Sthenoteuthis oualaniensis* in three fishing areas [J]. Marine Fisheries, 2016, 38(6): 561-569.
- [7] WANG X F, LIU B L, LI J H, et al. Comparative growth increments of gladius surface and cross-sections to estimate *Sthenoteuthis oualaniensis* age [J]. Marine Biology, 2018, 165(4): 78.
- [8] 晏磊,张鹏,杨吝,等. 南海灯光罩网沉降性能研究[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(1): 146-153.  
YAN L, ZHANG P, YANG L, et al. A study of sinking characteristics of light falling-net fishing in the South China Sea [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(1): 146-153.
- [9] 晏磊,张鹏,杨炳忠,等. 南海鸢乌贼产量与表温及水温垂直结构的关系[J]. 中国水产科学, 2016, 23(2): 469-477.  
YAN L, ZHANG P, YANG B Z, et al. Relationship between the catch of *Symplectoteuthis oualaniensis* and surface temperature and the vertical temperature structure in the South China Sea [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(2): 469-477.
- [10] HASTIE T J. Generalized additive models [M] // CHAMBERS J M, HASTIE T J. Statistical Models in S. Pacific Grove, California: Wadsworth, 1992: 249-307.
- [11] SAGARESE S R, FRISK M G, CERRATO R M, et al. Application of generalized additive models to examine ontogenetic and seasonal distributions of spiny dogfish (*Squalus acanthias*) in the northeast (US) shelf large marine ecosystem [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2014, 71(6): 847-877.
- [12] ABECASSIS M, SENINA I, LEHODEY P, et al. A model of loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) habitat and movement in the oceanic north Pacific [J]. PLoS One, 2013, 8(9): e73274.
- [13] TITTENSOR D P, MORA C, JETZ W, et al. Global patterns and predictors of marine biodiversity across taxa [J]. Nature, 2010, 466(7310): 1098-1101.
- [14] MUGO R, SAITOH S I, NIHIRA A, et al. Habitat characteristics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western north

- Pacific: a remote sensing perspective [J]. Fisheries Oceanography, 2010, 19(5): 382-396.
- [15] ZHANG J, CHEN Z Z, CHEN G B, et al. Hydroacoustic studies on the commercially important squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in the South China Sea[J]. Fisheries Research, 2015, 169: 45-51.
- [16] 范江涛,张俊,冯雪,等. 基于地统计学的南沙海域鸢乌贼渔场分析[J]. 生态学杂志, 2017, 36(2): 442-446.  
FAN J T, ZHANG J, FENG X, et al. Analysis of *Sthenoteuthis oualaniensis* fishing grounds in Nansha sea area based on geostatistics[J]. Chinese Journal of Ecology, 2017, 36(2): 442-446.
- [17] KNUDBY A, BRENNING A, LEDREW E. New approaches to modelling fish-habitat relationships [J]. Ecological Modelling, 2010, 221(3): 503-511.
- [18] MOURATO B L, HAZIN F, BIGELOW K, et al. Spatio-temporal trends of sailfish, *Istiophorus platypterus* catch rates in relation to spawning ground and environmental factors in the equatorial and southwestern Atlantic Ocean[J]. Fisheries Oceanography, 2014, 23(1): 32-44.
- [19] 牛明香,李显森,徐玉成. 基于广义可加模型的时空和环境因子对东南太平洋智利竹筴鱼渔场的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(4): 1049-1055.  
NIU M X, LI X S, XU Y C. Effects of spatiotemporal and environmental factors on the fishing ground of *Trachurus murphyi* in Southeast Pacific Ocean based on generalized additive model [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(4): 1049-1055.
- [20] NOVAK N P. Predictive habitat distribution modeling of sperm whale (*Physeter macrocephalus*) within the central gulf of alaska utilizing passive acoustic monitoring [D]. Los Angeles; University of Southern California, 2016.
- [21] TAO M, XIE P, CHEN J, et al. Use of a generalized additive model to investigate key abiotic factors affecting microcystin cellular quotas in heavy bloom areas of Lake Taihu[J]. PLoS One, 2012, 7(2): e32020.
- [22] 陈新军,叶旭昌. 印度洋西北部海域鸢乌贼渔场与海洋环境因子关系的初步分析[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(1): 55-60.  
CHEN X J, YE X C. Preliminary study on the relationship between fishing ground of *Symlectoteuthis oualaniensis* and environmental factors in northwestern Indian Ocean [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(1): 55-60.
- [23] 杨晓明,陈新军,周应祺,等. 基于海洋遥感的西北印度洋鸢乌贼渔场形成机制的初步分析[J]. 水产学报, 2006, 30(5): 669-675.  
YANG X M, CHEN X J, ZHOU Y Q, et al. A marine remote sensing based preliminary analysis on the fishing ground of purple flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in the northwest Indian Ocean [J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(5): 669-675.
- [24] 陈芃,陈新军,雷林. 秘鲁上升流对秘鲁鳀渔场的影响[J]. 水产学报, 2018, 42(9): 1367-1377.  
CHEN P, CHEN X J, LEI L. Influence of peruvian upwelling on the anchoveta (*Engraulis ringens*) fishing ground [J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(9): 1367-1377.
- [25] CHEMBIAN A J, MATHEW S. Growth and mortality of the oceanic squid *Sthenoteuthis oualaniensis* (Lesson, 1830) off south-west coast of India [J]. Indian Journal of Fisheries, 2016, 63: 27-34.
- [26] CHEN B Z, LIU H B, HUANG B Q. Environmental controlling mechanisms on bacterial abundance in the South China Sea inferred from generalized additive models (GAMs) [J]. Journal of Sea Research, 2012, 72: 69-76.
- [27] CHEN M R, LIU H B, SONG S Q, et al. Size-fractionated mesozooplankton biomass and grazing impact on phytoplankton in northern South China Sea during four seasons [J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2015, 117: 108-118.
- [28] MOHAMED K S, SAJIKUMAR K, RAGESH N, et al. Relating abundance of purpleback flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* (Cephalopoda: Ommastrephidae) to environmental parameters using GIS and GAM in south-eastern Arabian Sea [J]. Journal of Natural History, 2018, 52(29/30): 1869-1882.
- [29] 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鸢乌贼渔场分析[J]. 南方水产科学, 2016, 12(4): 57-63.  
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 Zhongsha and Xisha Islands, South China Sea [J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(4): 57-63.
- [30] 范江涛,张俊,冯雪,等. 基于栖息地模型的南沙海域鸢乌贼渔情预报研究[J]. 南方水产科学, 2015, 11(5): 20-26.  
FAN J T, ZHANG J, FENG X, et al. Fishery forecast research of purpleback flying squid in Nansha area based on Habitat model [J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(5): 20-26.
- [31] RANDELL D, FELD G, EWANS K, et al. Distributions of return values for ocean wave characteristics in the South China Sea using directional-seasonal extreme value analysis [J]. Environmetrics, 2015, 26(6): 442-450.
- [32] ACEVES-MEDINA G, DE SILVA-DÁVILA R, CRUZ-ESTUDILLO I, et al. Influence of the oceanographic dynamic in size distribution of cephalopod paralarvae in the southern Mexican Pacific Ocean (rainy seasons 2007 and 2008) [J]. Latin American Journal of Aquatic Research, 2017, 45(2): 356-369.

## Relationship between *Sthenoteuthis oualaniensis* fishing ground and marine environmental factors in Nansha area

FAN Jiangtao<sup>1,2</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>, FENG Xue<sup>1,2</sup>, CHEN Zuozhi<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Open-Sea Fishery Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, Guangdong, China; 2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China )

**Abstract:** According to the acoustic navigation survey data of four voyages in the Nansha sea area in 2013, combined with remote sensing, sea surface temperature (SST), sea surface height (SSH), sea surface salinity (SSS) and marine environmental data such as chlorophyll-a concentration (*chl. a*), using the generalized additive models (GAM), a relationship model between fishery biomass and marine environmental factors was established. The research shows that: There are obvious seasonal differences in the distribution of squid fishing grounds in the Nansha Sea area, in spring the fishing ground is mainly concentrated in the southwestern part of Nansha and the eastern part of Vietnam, in summer and autumn, the fishing ground is mainly distributed in the southern part of Nansha, and in winter the fishing ground is mainly distributed in the south and south of Nansha; SSH in various environmental factors and SSS have a significant impact on fishery biomass, SST and *chl. a* are not significant; The main factors affecting the biomass of fishery are SSH, SSS, longitude (LON) and latitude (LAT), and the optimal relationship model between fishery biomass and impact factor is established based on Akaike Information Criterion (AIC); The total deviation interpretation rate of the model is 54.7%; Among the four factors in the optimal model, the latitude has the greatest impact on the model; The formation of the South China Sea squid fishing ground is closely related to the influence of ocean currents.

**Key words:** *Sthenoteuthis oualaniensis*; Nansha Islands; marine environment; GAM model