

周艳波, 谢恩阁, 吴洽儿, 等. 南海外海鳶乌贼渔场范围与海洋环境的关系[J]. 海洋学报, 2021, 43(2): 38–48, doi:10.12284/hyxb2021008
Zhou Yanbo, Xie Enge, Wu Qiaer, et al. The relationship between the resources of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the open South China Sea and the marine environment[J]. Haiyang Xuebao, 2021, 43(2): 38–48, doi:10.12284/hyxb2021008

南海外海鳶乌贼渔场范围与海洋环境的关系

周艳波^{1,3}, 谢恩阁^{1,2,3}, 吴洽儿^{1,2,3*}, 冯菲^{1,3}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300; 2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 3. 农业部外海渔业开发重点实验室, 广东 广州 510300)

摘要: 为研究南海外海鳶乌贼渔场范围与海洋环境因子之间的联系, 本文根据 2013–2018 年广西壮族自治区北海市灯光罩网渔船在南海外海的鳶乌贼生产数据和海洋环境遥感数据, 对鳶乌贼渔场范围的时空分布与海表面温度 (SST)、海表面高度 (SSH) 和海表面叶绿素 *a* (Chl *a*) 浓度的关系进行研究。结果表明: 在 5°~20°N, 108°~118°E 海域内, SST、SSH、Chl *a* 浓度 3 个环境因子对鳶乌贼渔场范围的时空分布影响较大。其适宜的 SST、SSH、Chl *a* 浓度分别为: 25~31℃、46~80 cm、0.05~0.27 mg/m³, 其渔场重心由南向北转移。此外, 通过对 2013–2018 年 1–12 月的单位捕捞努力量渔获量 (CPUE) 与海洋环境因子的关系进行 K-S 检验, 结果显示 CPUE 和海洋环境因子之间没有显著性差异, 即 SST、SSH、Chl *a* 浓度 3 个环境指标可以有效地表征鳶乌贼资源密度和中心渔场分布状况。

关键词: 南海外海; 鳶乌贼; 中心渔场; 海洋环境因子

中图分类号: S931.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2021)02-0038-11

1 引言

鳶乌贼 (*Sthenoteuthis oualaniensis*) 是一种暖水大洋性头足类, 广泛分布在南海外海海域, 其具有生长周期短、资源储量大等特点^[1-3]。据中国水产科学研究院南海水产研究所调查评估显示, 2014–2017 年南海鳶乌贼年可捕量在 400 万 t 以上, 2018 年年可捕捞量超过 500 万 t^[4]。目前我国鳶乌贼年捕捞量仅 10 万 t, 明显处于未开发状态, 开发潜力巨大。因此, 科学开发南海外海鳶乌贼资源是确保我国水产高蛋白有效供给、渔民持续稳定增收、我国近海生态安全和渔区社会稳定的有效措施。

由于鳶乌贼的栖息地分布和产量受到海表面温度 (Sea Surface Temperature, SST)、海表面高度 (Sea Surface Height, SSH) 及海表面叶绿素 *a* (Sea Surface

Chlorophylla, Chl *a*) 浓度等海洋环境因子影响较大^[5], 因此, 加强栖息地因子对鳶乌贼渔场的影响研究至关重要。范江涛等^[1]和余景等^[3]利用不同卫星遥感数据对中沙、西沙以及南沙海域鳶乌贼资源量变化和单变量海洋环境因子的关系进行研究分析; 招春旭^[6]利用贝叶斯概率模型和分类树模型对南海鳶乌贼渔场时空分布进行研究; 徐红云^[2]和范江涛等^[7]利用鳶乌贼渔业数据和海洋环境数据建立基于环境因子的栖息地适应性指数模型, 表明了鳶乌贼的资源丰度和海洋环境因子之间的联系。目前, 学者大多数采用单个因子证实了鳶乌贼渔场范围与环境因子的相关性, 但对鳶乌贼中心渔场的时空分布规律与多个环境因子以及两者之间的表征关系尚缺乏研究。本文利用 2013–2018 年北海市灯光罩网渔船在南海作业时的北斗船位数据、鳶乌贼生产数据以及海洋环境因子数据 (SST、

收稿日期: 2020-03-09; 修订日期: 2020-07-19。

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2020B1111030001); 2019 省级促进经济发展专项资金 (现代渔业发展用途) 项目 (粤农 2019A3); 中国水产科学研究院基本科研业务费 (2019ZY15)。

作者简介: 周艳波 (1983—), 男, 河南省周口市人, 助理研究员, 主要从事渔业资源与战略研究。E-mail: zhouyanbo@scsfri.ac.cn

* 通信作者: 吴洽儿, 研究员, 主要从事渔业资源与战略研究。E-mail: wq66@163.com

SSH和Chl *a*浓度),确定鸢乌贼中心渔场位置,建立各月鸢乌贼中心渔场与海洋环境因子的联系,为开展南海外海的鸢乌贼渔场的预测以及预报系统的建立及研究提供参考。

2 材料和方法

2.1 数据来源

(1)渔业数据来源于广西壮族自治区北海市9艘灯光罩网渔船2013–2018年在南海的鸢乌贼生产数据,其主要信息为船名、船长、主机功率、灯光总功率、作业日期、作业渔区、经度、纬度、作业时长、日产量等。

(2)本文选用的海洋环境数据包括:SST、SSH、Chl *a*浓度。其中,SST、Chl *a*浓度数据来自美国NASA网站MODIS Aqua卫星传感器数据(<https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/>),时间分辨率为月,空间分辨率为4 km;SSH数据来自CMEMS网站Global Ocean Physical Reanalysis Product数据(<http://marine.copernicus.eu>),时间分辨率为月,空间分辨率为1°×1°。

2.2 生产数据和环境数据的匹配

单位捕捞努力量渔获量(Catch Per Unit Effort, CPUE)定义为每艘船每天的捕捞产量,第*i*年、*l*月、*k*经度、*j*纬度对应的平均CPUE值,其表达式如下:

$$CPUE_{i,l,k,j,m} = \frac{\sum Catch_{i,l,k,j,m}}{\sum E_{i,l,k,j,m}}, \quad (1)$$

式中, $\sum Catch_{i,l,k,j,m}$ 为渔船*m*第*i*年、*l*月、*j*纬度、*k*经度内的渔获量(单位:kg); $\sum E_{i,l,k,j}$ 为渔船*m*第*i*年、*l*月、*j*纬度、*k*经度对应的总作业天数^[8],其中年平均CPUE为渔船*m*第*i*年、*j*纬度、*k*经度内的渔获量(单位:kg)与渔船*m*第*i*年、*j*纬度、*k*经度对应的总作业天数的比值。

SST计算如下:

$$SST_{i,l,k,j} = \frac{\sum_{x=1}^n SST_x}{n}, \quad (2)$$

式中, $SST_{i,l,k,j}$ 为*i*年、*l*月、*j*纬度、*k*经度渔区内的平均SST; SST_x 为*i*年、*l*月、*j*纬度、*k*经度中的某个SST数据^[9]。

Chl *a*浓度计算如下:

$$Chl a_{i,l,k,j} = \frac{\sum_{x=1}^n Chl a_x}{n}, \quad (3)$$

式中,Chl $a_{i,l,k,j}$ 为*i*年、*l*月、*j*纬度、*k*经度渔区内的平均Chl *a*浓度;Chl a_x 为*i*年、*l*月、*j*纬度、*k*经度中的某个Chl *a*浓度。

本研究的渔业数据CPUE值按渔区(0.5°×0.5°)统计,且表征资源丰度指数,但SST、SSH、Chl *a*浓度环境数据的空间分辨率与渔区范围不一致,因此需要将环境因子数据的空间分辨率进行转化。其中SST和Chl *a*浓度数据空间分辨率较高,本文采用数理统计方法按月计算每个渔区(0.5°×0.5°)的平均值;SSH数据空间分辨率较低,采用ArcGIS 10.5中Kriging插值法^[10]将其空间分辨率由1°×1°转化为0.5°×0.5°(1个渔区),最终使渔业数据和环境数据的空间分辨率保持一致。最后利用Matlab软件按相同的时空分辨率将CPUE数据和环境数据进行匹配。

2.3 渔场重心计算

南海鸢乌贼资源丰度具有一定的时空分布特征,本研究利用数理统计方法分析鸢乌贼资源的时空分布变化。通过计算每月鸢乌贼渔场重心,反映渔场重心月时空分布变化情况。渔场重心计算公式为^[11–12]

$$X = \frac{\sum_{i=1}^K (C_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^K C_i}, \quad (4)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^K (C_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^K C_i}, \quad (5)$$

式中, X 、 Y 分别表示每月南海外海鸢乌贼渔场重心经度和纬度; C_i 为*i*渔区的CPUE值; X_i 、 Y_i 分别为*i*渔区的中心的经度和纬度; K 为每个月内渔区的总个数。

2.4 渔场分布与海洋环境因子的关系

根据鸢乌贼CPUE和SST、SSH、Chl *a*浓度3个海洋环境因子数据,通过计算各月CPUE值的大小与SST、SSH、Chl *a*浓度的分布关系,可以得出鸢乌贼中心渔场形成的最适宜海洋环境因子的范围。并根据K-S(Kolmogorov-Smirnov)进行显著性检验^[13–15],公式如下:

$$f(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(X_i), \quad (6)$$

$$g(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\bar{y}} I(X_i), \quad (7)$$

$$D = \max |g(t) - f(t)|, \quad (8)$$

式中, n 为样本个数; t 为分组环境因子数值(其中SST值以0.5°C为组距,SSH值以1 cm为组距以及Chl *a*浓度以0.02 mg/m³为组距); X_i 为第*i*个月各环境因子观察; y_i 为第*i*个月的CPUE值; \bar{y} 为各月的平均CPUE值。

3 结果与分析

3.1 鸢乌贼资源丰度的年时空变化

2013–2018年南海鸢乌贼渔场范围具有明显扩大和集中趋势(图1)。2013年鸢乌贼渔场范围相对较

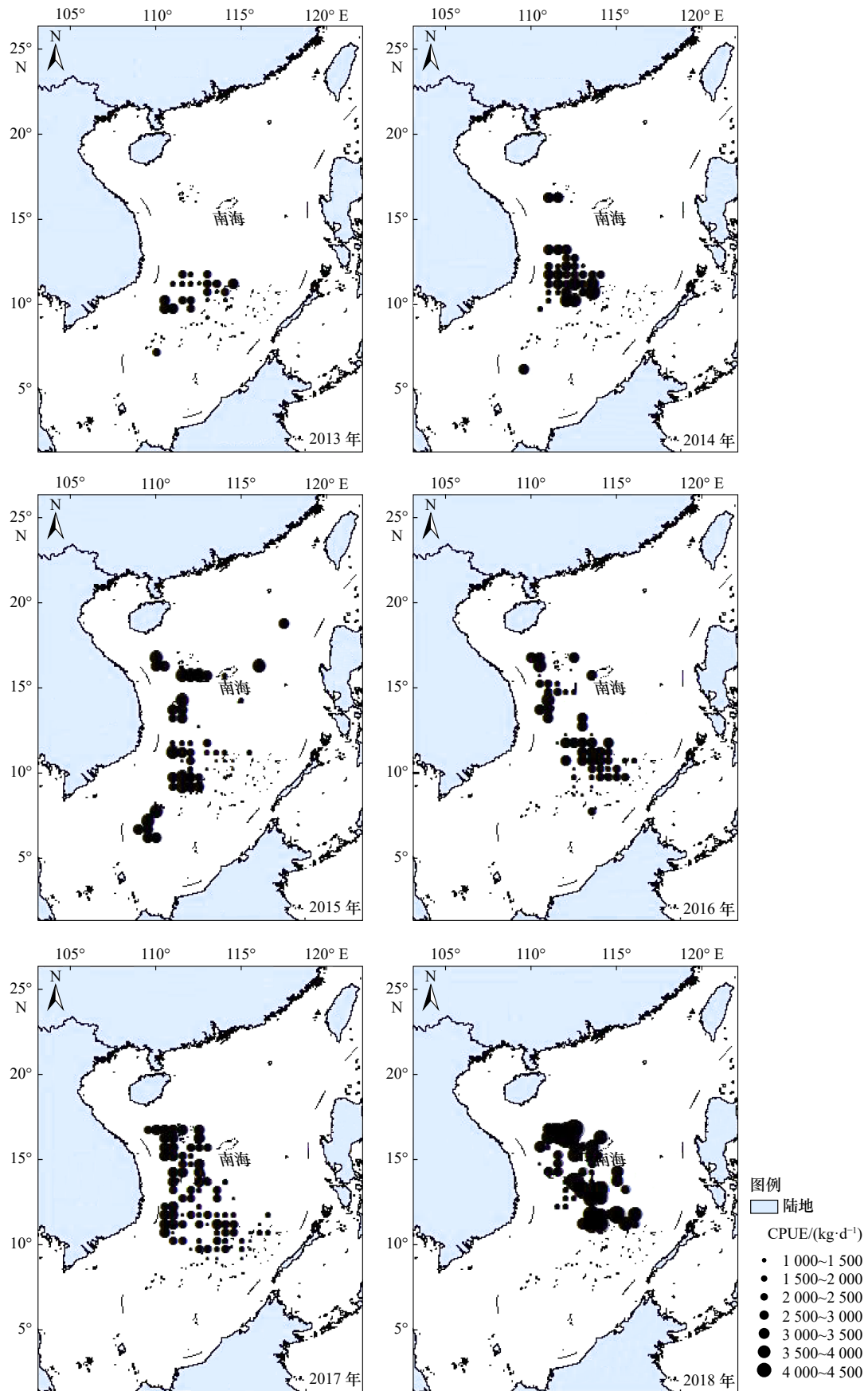


图 1 南海外海鳶乌贼资源丰度空间年际变化 (2013—2018 年)

Fig. 1 Yearly spatial change of abundance of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the open South China Sea (2013–2018)

小,分布范围集中在 12°N 以南的南沙海域,总体作业范围相对较小;2013年之后,鳶乌贼渔场范围逐渐扩大,开始向中北部渔场扩散。其中,2014–2016年作业范围较广,涉及整个南海外海海域;2017–2018年作业范围集中在中北部渔场(10°N 以北),其作业范围较为集中。不同年份的鳶乌贼资源丰度在不同海域也存在一定的变化,但总体变化较小。鳶乌贼资源丰度总体具有波动增加趋势,2013–2015年CPUE呈增加趋势,2015年达到顶峰,CPUE为2 663 kg/d,之后CPUE呈下降趋势,2017年CPUE值降至最低,为1 859 kg/d,2018年CPUE再次增加,为2 250 kg/d。2013–2018年南部渔场(10°N 以南)的CPUE在2015年达到顶峰,之后逐年降低,2018年CPUE数据为空值;中部渔场($10^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$)在2013–2018年内CPUE总体趋于稳定;北部渔场(15°N 以北)资源最为丰富,除了2013年没有数据之外,其他年份其CPUE值在3个渔场中最高,同样在2015年CPUE达到顶峰。

3.2 鳶乌贼渔场重心分布

在1年内,南海外海鳶乌贼渔场月重心位置存在明显的由南向北再向南的变化轨迹(图2)。其中,1月鳶乌贼渔场重心主要分布在南沙海域一带,渔场重心在 9.6°N , 110.4°E ;2–5月份渔场重心开始大幅度向东北方向移动,平均渔场重心在 12.4°N , 112.8°E ;

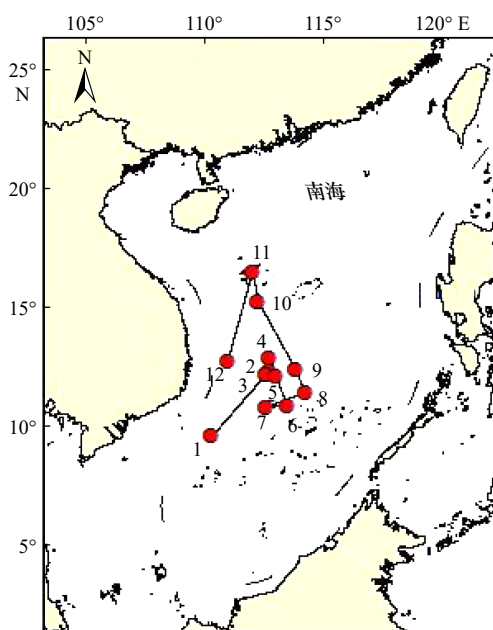


图2 2013–2018年1–12月南海外海鳶乌贼渔场重心变化

Fig. 2 Changes of fishing ground center of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the open South Sea from January to December in 2013–2018

6–8月份渔场重心向南海南部方向转移,位置变化幅度相对较小,平均渔场重心在 11.1°N , 113.4°E ;9–11月份渔场重心除了大幅度向南海北部方向移动之外,渔场重心也开始向陆地方向偏移,渔场重心在 16.6°N , 112.1°E ;12月至翌年1月渔场重心有向南移动趋势,重心位置在 12.8°N , 111°E 。

3.3 鳶乌贼资源月时空分布与海洋环境因子的关系

我国南海鳶乌贼全年均有作业,但各个月份的资源丰度、分布位置存在明显的季节性差异。如表1和图3所示,1–12月鳶乌贼渔场的SST、SSH、Chl *a*浓度总体比较适宜的作业范围为: $25\sim 31^{\circ}\text{C}$ 、 $46\sim 80\text{ cm}$ 、 $0.05\sim 0.27\text{ mg/m}^3$ 。其中,2–5月,南海鳶乌贼CPUE值最高、作业范围最广,平均CPUE为3 114.69 kg/d,主要分布在 $9.5^{\circ}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$ 南海外海海域,适宜SST、SSH、Chl *a*浓度分别为 $25.5\sim 31^{\circ}\text{C}$ 、 $46\sim 80\text{ cm}$ 、 $0.05\sim 0.2\text{ mg/m}^3$;6–8月,CPUE明显下降,平均CPUE为1 915.36 kg/d,其作业范围主要在 12°N 以南南沙海域,适宜SST、SSH、Chl *a*浓度分别为 $27.5\sim 31^{\circ}\text{C}$ 、 $58\sim 78\text{ cm}$ 、 $0.05\sim 0.25\text{ mg/m}^3$;9–11月,CPUE值保持较高水平,平均CPUE为2 702.5 kg/d,其作业范围主要在 $10^{\circ}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$ 中北部海域,作业渔场逐渐北移,其适宜SST、SSH、Chl *a*浓度分别为 $27.5\sim 29.5^{\circ}\text{C}$ 、 $54\sim 76\text{ cm}$ 、 $0.1\sim 0.2\text{ mg/m}^3$;12月至翌年1月,资源变化变动较小,平均CPUE为2 435.07 kg/d,但作业范围有所扩大,除了在中西沙海域作业之外,部分渔船也在 12°N 以南南沙海域作业,作业范围有南移趋势,其适宜的SST、SSH、Chl *a*浓度范围分别为 $25\sim 28.5^{\circ}\text{C}$ 、 $62\sim 72\text{ cm}$ 、 $0.12\sim 0.27\text{ mg/m}^3$ 。

3.4 K-S 检验结果

通过将2013–2018年1–12月份CPUE值与海洋环境因子的关系进行K-S检验,检验结果如表2所示, $p>0.05$ 表明CPUE值和海洋环境因子二者之间没有显著性差异,即在各月海洋环境因子适宜条件下,CPUE值呈现正态分布。因此,本研究中1–12月生产渔区和各环境因子的范围是适宜的,即各月适宜SST、SSH、Chl *a*浓度范围可以有效地表征鳶乌贼资源密度和渔场分布。

4 讨论

4.1 南海鳶乌贼CPUE时空变化

2013年南海鳶乌贼的资源丰度相对较小,其作业范围仅集中在 12°N 以南南沙海域(图1)。因为2013年以前,南沙渔业生产专项补助促使渔民外出作业,但由于渔情预报技术和捕捞技术的落后,鳶乌贼产量

表 1 2013–2018 年 1–12 月南海外海鸢乌贼资源丰度分布和海洋环境因子关系

Table 1 Relationship between the abundance distribution of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the open South China Sea and marine environmental factors from January to December in 2013–2018

月份	渔场范围	CPUE/(kg·d ⁻¹)	环境因子		
			SST/°C	Chl <i>a</i> 浓度/(mg·m ⁻³)	SSH/cm
1	5.5°~8.5°N, 109.5°~110.5°E; 14°~16°N, 111°~112.5°E	2 594.92	25~26.5	0.16~0.27	62~66
2	9.5°~17.5°N, 111°~115°E	3 394.66	26~28	0.1~0.2	50~70
3	9.5°~17.5°N, 110.5°~115°E	3 237.68	25.5~28.5	0.08~0.16	48~72
4	10°~17.5°N, 111°~115°E	3 041.88	26.5~30	0.08~0.16	46~76
5	10°~17.5°N, 110.5°~116°E	2 784.53	28.5~31	0.05~0.12	50~80
6	10°~12°N, 111.5°~115°E	1 498.24	28~31	0.05~0.1	66~78
7	10°~12°N, 111.5°~114°E	1 871.74	28~29	0.05~0.15	68~74
8	11.5°~12°N, 114.5°~115°E	2 376.10	27.5~28.5	0.15~0.25	58~62
9	10°~15.5°N, 112°E -115.5°E	2 633.41	28.5~29.5	0.1~0.2	54~62
10	14.5°~15.5°N, 112°~113°E	2 190.46	28.5~29	0.15~0.2	70~76
11	16°~17.5°N, 111°~112.5°E	3 283.64	27.5~28	0.13~0.17	70~72
12	6°~6.5°N, 109.5°~110°E; 15°~16°N, 111.5°~113°E	2 275.21	27~28.5	0.12~0.18	68~72

较低; 2014 年以后, 随着国家政策的调整、捕捞技术的进步和部分升级改造渔船陆续下水, 2014–2015 年南海外海作业渔船逐步增多, 作业范围不断扩大, 一部分渔船在中沙、西沙及南海外海海域作业, 鸢乌贼 CPUE 增加; 2016–2017 年, 至南海外海作业渔船数量剧增, 鸢乌贼 CPUE 下降; 2018 年至南海外海作业的渔船数量有所下降, 且随着南海渔情海况的发展, 渔民开始可以较为准确的掌握一些渔场, 因此鸢乌贼 CPUE 回暖。各月份之间 CPUE 值具有较大差异, 这主要和鸢乌贼生活习性以及灯光罩网渔船作业特点有关。相关研究表明^[1, 16–17], 鸢乌贼为 1 年生群体, 资源量由大至小依次为春季、夏秋季、冬季, 季节性变化较大, 渔汛主要集中在 2–6 月; 此外, 灯光罩网渔船作业特点为, 在海面风速达到 7 级以上, 作业较为危险, 秋冬季受季风影响, 风速较大, 因此, 作业时间主要集中在春夏两季, 秋冬季较少^[6]。综上所述, CPUE 时空变化受渔业生产影响大, 难以全面反映南海鸢乌贼的资源时空变动, 系统性的资源调查有待加强。

4.2 南海鸢乌贼渔场月重心

鸢乌贼渔场月重心具有由南向北循环移动的规律(图 2), 这可能与南海的休渔制度、海洋环境及鸢乌贼的生活习性有一定的关系。由于鸢乌贼属于暖水性大洋性头足类, 对温度极其敏感^[1, 18], 因此其洄游路径和海水温度紧密相关。2–5 月鸢乌贼主要分布

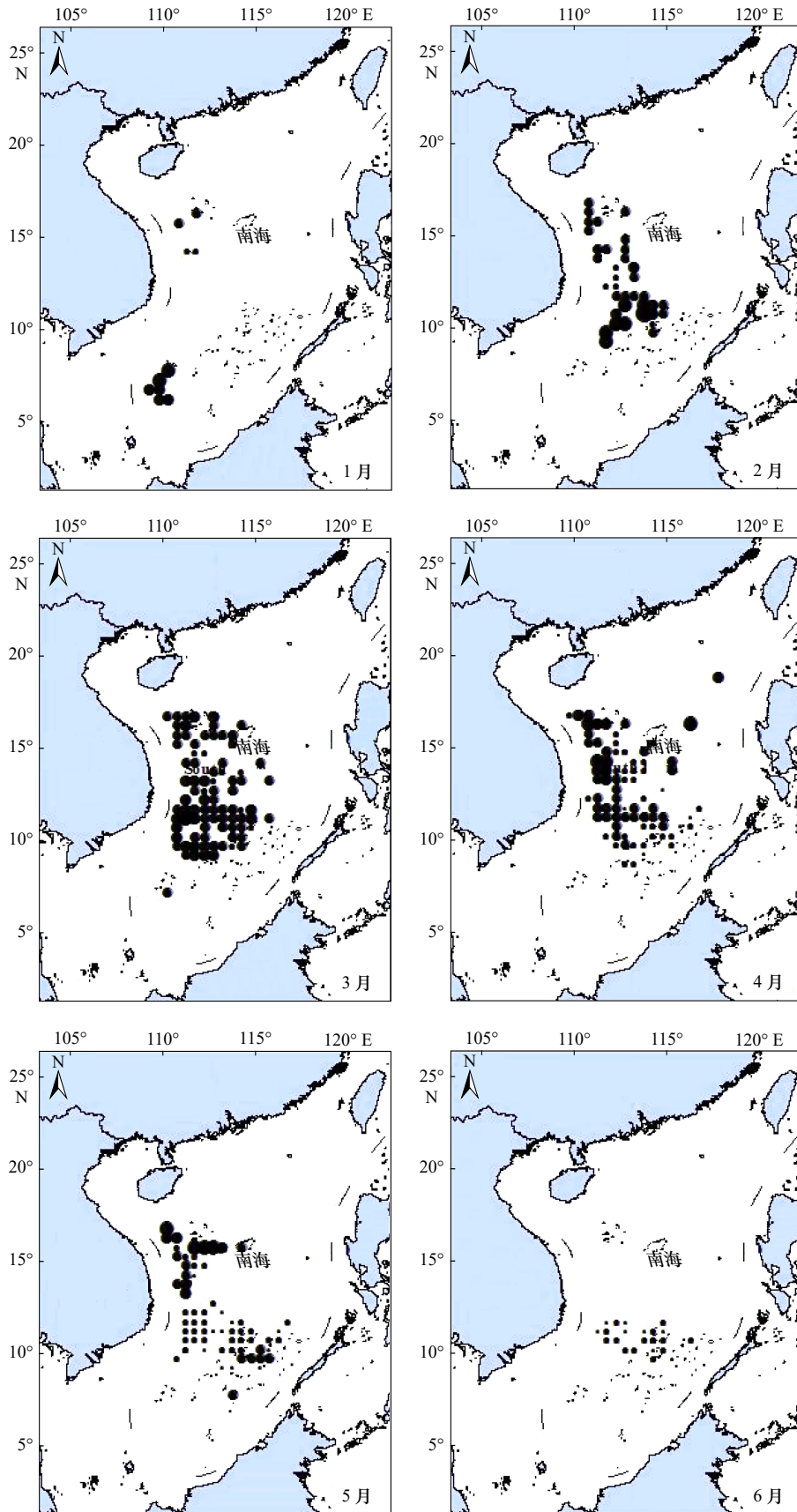
在 9.5°~17.5°N(表 1), 是我国重要的中沙、西沙和南沙渔场, 因为南海受春季东南季风和夏季西南季风的影响, 产生较强的上升流区域, 进而使南海海面高度变化较大, 形成的流场锋面、涡旋携带丰富的营养物质, 为鸢乌贼提供充足的饵料, 诱使鸢乌贼聚集, 形成丰富的渔场^[3, 19]; 6–8 月南海鸢乌贼渔场重心变化不大, 因为 6–8 月南海 12°N 以北渔场为休渔区^[2, 6], 渔场重心在 12°N 以南; 9–11 月渔场重心迅速北移, 有以下两个因素造成: (1) 南海休渔期结束, 北部海域允许作业; (2) 受南海外海季风影响, 南部海域渔场风浪较大, 不适宜灯光罩网渔船作业。

4.3 CPUE 变化和栖息地因子的关系

本研究结果显示, SST、SSH、Chl *a* 浓度对鸢乌贼渔场范围影响较大, 根据环境因子的适宜范围可以较好地判别鸢乌贼的渔场范围分布。徐红云^[2]认为, 南海鸢乌贼中心渔场最适宜 SST 范围在 26.4~29.6°C 之间; 晏磊等^[20]研究表明, 鸢乌贼的温度适宜性范围随季节不同会有所变化, 春季最适 SST 为 25.6~29.6°C, 秋季为 27.6~30°C; 范江涛等^[1]研究结果同样认为鸢乌贼的温度适宜性范围随季节变化有所不同; 余景等^[1]认为, 南海鸢乌贼在 SST 为 27~28°C 时资源量达到最大值。本文研究结果认为, 当 SST 范围在 25~31°C 之间, 鸢乌贼资源较为丰富。研究结果显示, SST 适宜范围与以往研究相比范围较广, 分析其原因, 这可

能是由于灯光罩网渔船在不同季节和不同海域作业的差异引起的,我国灯光罩网渔船在南海海域全年均

有作业,作业海域涉及南海外海整个渔场,因此其 SST 分布范围较广。海面高度作为反映海水流向和海流



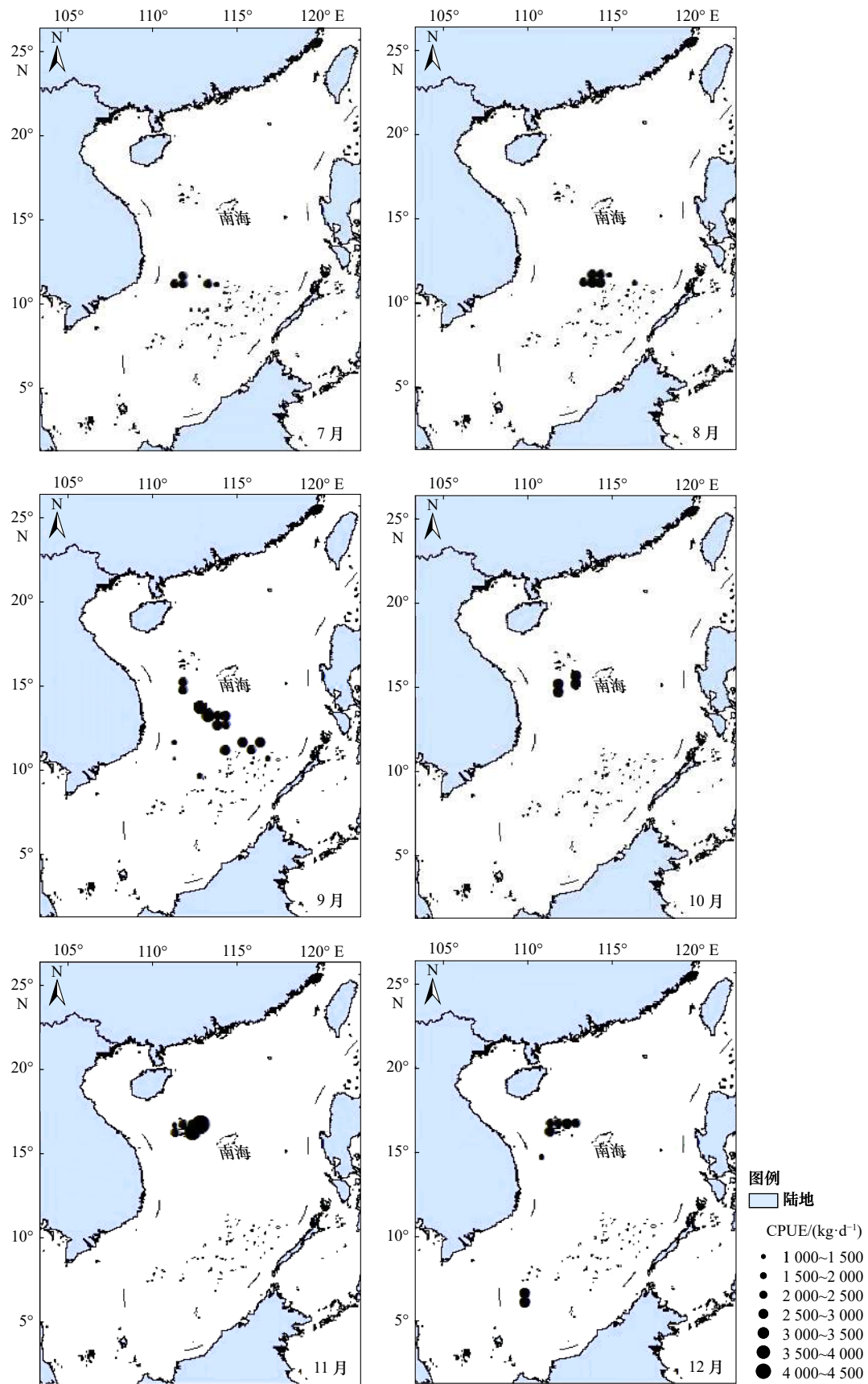


图 3 南海外海鳶乌贼资源丰度空间月变化(1-12月)

Fig. 3 Monthly spatial change of abundance of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the open South China Sea (January to December)

表 2 K-S 检验统计

Table 2 The statistic table of Kolmogorov-Smirnov test

海洋环境因子	月份	样本数	D	$p(n, \alpha/2)$	结果
SST	1	10	0.146	0.984	成立
	2	44	0.144	0.320	成立
	3	131	0.100	0.147	成立
	4	106	0.141	0.130	成立
	5	90	0.075	0.688	成立
	6	28	0.163	0.443	成立
	7	12	0.221	0.603	成立
	8	7	0.203	0.935	成立
	9	17	0.149	0.844	成立
	10	4	0.250	0.964	成立
	11	6	0.261	0.807	成立
	12	9	0.211	0.818	成立
Chl a 浓度	1	10	0.140	0.989	成立
	2	44	0.082	0.928	成立
	3	131	0.066	0.624	成立
	4	106	0.091	0.340	成立
	5	90	0.132	0.087	成立
	6	28	0.141	0.631	成立
	7	12	0.306	0.210	成立
	8	7	0.122	1.000	成立
	9	17	0.137	0.908	成立
	10	4	0.170	1.000	成立
	11	6	0.269	0.777	成立
	12	9	0.195	0.885	成立
SSH	1	10	0.150	0.978	成立
	2	44	0.181	0.113	成立
	3	131	0.107	0.100	成立
	4	106	0.097	0.274	成立
	5	90	0.073	0.724	成立
	6	28	0.153	0.529	成立
	7	12	0.210	0.663	成立
	8	7	0.190	0.963	成立
	9	17	0.253	0.226	成立
	10	4	0.258	0.952	成立
	11	6	0.306	0.627	成立
	12	9	0.291	0.430	成立

状况的物理量,海水的涌合有利于海水的辐散或者上升,导致使底层丰富的营养物质、饵料等不断向上补充,进而促进中上层鱼类的生长、繁殖^[21-22]。南海由于常年受季风气候以及热带气旋影响,产生较强的上升流区域^[23],海表面高度变化较大,易形成流场锋面、涡旋,从而携带大量的营养物质,形成渔场。范江涛等^[7]对2014年中西沙海域鸢乌贼渔场进行分析,认为最适宜的SSH范围为90~110 cm,本研究结果显示,鸢乌贼SSH适宜性范围在46~80 cm(表1),结果较为接近。主要原因为,虽然其与本研究的中西沙海域较为接近,但生产数据的时间尺度和渔场范围均存在一定的差异。叶绿素a浓度表征海洋生产力,用于表征浮游动植物的生物量^[24-26]。余景等^[3]认为,中西

沙鸢乌贼渔场的Chl a浓度适宜性范围为0.1~0.13 mg/m³;招春旭^[6]认为,南海中南部以及南沙海域鸢乌贼的渔场Chl a浓度适宜性范围为0.05~0.10 mg/m³。本研究结果显示,鸢乌贼渔场的Chl a浓度适宜性范围为0.05~0.27 mg/m³(表1)。因本研究区域包括了中西沙海域以及南沙海域,所以Chl a浓度适宜性范围相对较大。

通过分析各月份SST、SSH、Chl a浓度的适宜范围,可以有效地表征鸢乌贼资源密度和渔场分布,在未来渔情预报研究中,综合应用SST、SSH、Chl a浓度等海洋环境因子,可提前预估鸢乌贼中心渔场位置,指导渔业生产。

参考文献:

- [1] 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 Jiangtao, Zhang Jun, Feng Xue, 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.
- [2] 徐红云.南海外海鸢乌贼栖息地分布与关键环境因子分析[D].上海:上海海洋大学,2017.
Xu Hongyun. Analysis on distribution of habitat and key environmental factors for the purpleback flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) in the open South China Sea[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [3] 余景,胡启伟,李纯厚,等.西沙-中沙海域春季鸢乌贼资源与海洋环境的关系[J].海洋学报,2017,39(6):62-73.
Yu Jing, Hu Qiwei, Li Chunhou, et al. Relationship between the *Symplectoteuthis oualaniensis* resource and environmental factors in the Xisha-Zhongsha waters in spring[J]. *Haiyang Xuebao*, 2017, 39(6): 62-73.
- [4] 张俊,邱永松,陈作志,等.南海外海大洋性渔业资源调查评估进展[J].南方水产科学,2018,14(6):118-127.
Zhang Jun, Qiu Yongsong, Chen Zuozhi, et al. Advances in pelagic fishery resources survey and assessment in open South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(6): 118-127.
- [5] 徐红云,崔雪森,周为峰,等.基于海洋遥感的南海外海鸢乌贼最适栖息环境分析[J].生态学杂志,2016,35(11):3080-3085.
Xu Hongyun, Cui Xuesen, Zhou Weifeng, et al. Analysis on optimal habitats of purpleback flying squid in the open South China Sea based on remote sensing data[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(11): 3080-3085.
- [6] 招春旭.南海鸢乌贼渔场时空分布及其预报模型构建[D].湛江:广东海洋大学,2017.
Zhao Chunxu. The spatial-temporal distribution and the construction of the prediction model of the purpleback flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) in South China Sea[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2017.
- [7] 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西沙海域鸢乌贼渔场分析[J].南方水产科学,2016,12(4):57-63.
Fan Jiangtao, Chen Zuozhi, Zhang Jun, 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.
- [8] 田思泉,陈新军.不同名义CPUE算法对CPUE标准化的影响[J].上海海洋大学学报,2010,19(2):240-245.
Tian Siqun, Chen Xinjun. Impacts of different calculating methods for nominal CPUE on CPUE standardization[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2010, 19(2): 240-245.
- [9] 李纲,陈新军,田思泉.我国东、黄海鲈鱼灯光围网渔业CPUE标准化研究[J].水产学报,2009,33(6):1050-1059.
Li Gang, Chen Xinjun, Tian Siqun. CPUE standardization of chub mackerel (*Scomber japonicus*) for Chinese large lighting-purse seine fishery in the East China Sea and Yellow Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2009, 33(6): 1050-1059.
- [10] Hansen D V, Poulain P M. Processing of WOCE/TOGA drifter data[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1996, 13: 900-909.
- [11] 陈新军,钱卫国,许柳雄,等.北太平洋150°E-165°E海域柔鱼重心渔场的年间变动[J].湛江海洋大学学报,2003,23(3):26-32.
Chen Xinjun, Qian Weiguo, Xu Liuxiong, et al. Comparison among annual positions of fishing grounds for *Ommastrephes bartramii* from 150°E to 165°E in the North Pacific[J]. *Journal of Zhanjiang Ocean University*, 2003, 23(3): 26-32.
- [12] 化成君,张衡,伍玉梅,等.中东太平洋金枪鱼延绳钓中心渔场的时空变化[J].生态学杂志,2014,33(5):1243-1247.
Hua Chengjun, Zhang Heng, Wu Yumei, et al. Spatiotemporal patterns of fishing grounds of tuna longline fishery in the mid-eastern Pa-

- cific Ocean[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(5): 1243–1247.
- [13] 龚彩霞. 基于栖息地指数的西北太平洋柔鱼渔获量估算[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
Gong Caixia. Estimating potential yield for neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific ocean based on habitat suitability index model[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012.
- [14] 魏季瑄. 数理统计基础及其应用[M]. 成都: 四川大学出版社, 1991: 184–185.
Wei Jixuan. Basics and Application of Mathematical Statistics[M]. Chengdu: Sichuan University Press, 1991: 184–185.
- [15] Perry R I, Smith S J. Identifying habitat associations of marine fishes using survey data: an application to the northwest Atlantic[J]. Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 1994, 51(3): 589–602.
- [16] 江淼, 马胜伟, 吴洽儿. 南海鸢乌贼资源探捕与开发[J]. 中国渔业经济, 2018, 36(2): 65–70.
Jiang Miao, Ma Shengwei, Wu Qiaer. Resource exploration and development of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the South China Sea[J]. Chinese Fisheries Economics, 2018, 36(2): 65–70.
- [17] 邹建伟, 陈立峰, 林蒋进, 等. 南海外海灯光罩网主要渔场分布及变动研究——基于广西渔船的生产监测统计[J]. 南方水产科学, 2014, 10(4): 78–84.
Zou Jianwei, Chen Lifeng, Lin Jiangjin, et al. Analysis on variation & distribution of center fishing ground for light falling-net in off-shore of the South China Sea: Based on statistics of fishery surveillance to Guangxi fishing vessels[J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(4): 78–84.
- [18] 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 Jiangtao, Feng Xue, Qiu Yongsong, et al. Review on the biology of purpleback flying squid in South China Sea[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(23): 122–128.
- [19] 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 Jiangtao, Zhang Jun, Feng Xue, 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.
- [20] 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]. 中国水产学, 2016, 23(2): 469–477.
Yan Lei, Zhang Peng, Yang Bingzhong, 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.
- [21] 邵锋, 陈新军. 印度洋西北海域鸢乌贼渔场分布与海面高度的关系[J]. 海洋科学, 2008, 32(11): 88–92.
Shao Feng, Chen Xinjun. Relationship between fishing ground of *Symplectoteuthis oualaniensis* and sea surface height in the northwest Indian Ocean[J]. Marine Sciences, 2008, 32(11): 88–92.
- [22] 宋婷婷. 基于海面高度数据研究西北太平洋巴特柔鱼(*Ommastrephes bartrami*)渔场分布[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
Song Tingting. Relationship between fishing grounds of *Ommastrephes bartrami* and satellite altimeter data in northwestern Pacific[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014.
- [23] 王新星, 于杰, 李永振, 等. 南海主要上升流及其与渔场的关系[J]. 海洋科学, 2015, 39(9): 131–137.
Wang Xinxing, Yu Jie, Li Yongzhen, et al. The relationship between major upwelling and the upwelling fishing grounds in the South China Sea[J]. Marine Sciences, 2015, 39(9): 131–137.
- [24] 余为, 陈新军. 印度洋西北海域鸢乌贼9–10月栖息地适宜指数研究[J]. 广东海洋大学学报, 2012, 32(6): 74–80.
Yu Wei, Chen Xinjun. Analysis on habitat suitability index of *Sthenoteuthis oualaniensis* in Northwestern Indian Ocean from September to October[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2012, 32(6): 74–80.
- [25] 郑丽丽, 伍玉梅, 樊伟, 等. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场叶绿素a分布及其与渔场的关系[J]. 海洋湖沼通报, 2011(1): 63–70.
Zheng Lili, Wu Yumei, Fan Wei, et al. The distribution of chlorophyll a and its relationship with the *Illex argentinus* fishing ground of southwest Atlantic Ocean[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2011(1): 63–70.
- [26] 沈新强, 王云龙, 袁琪, 等. 北太平洋鱿鱼渔场叶绿素a分布特点及其与渔场的关系[J]. 海洋学报, 2004, 26(6): 118–123.
Shen Xinqiang, Wang Yunlong, Yuan Qi, et al. Distributional characteristics of chlorophyll a and relation to the fishing ground in the squid fishing ground of the northern Pacific Ocean[J]. Haiyang Xuebao, 2004, 26(6): 118–123.

The relationship between the resources of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the open South China Sea and the marine environment

Zhou Yanbo^{1,3}, Xie Enge^{1,2,3}, Wu Qiaer^{1,2,3}, Feng Fei^{1,3}

(1. 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. Key Laboratory of Open-Sea Fishery Development, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China)

Abstract: In order to study the relationship between the open South China Sea *Sthenoteuthis oualaniensis* fishing ground and the marine environmental factors, this article is based on the data of fishing net fishing boat production and remote sensing of marine environment from 2013 to 2018 in Beihai, Guangxi Zhuang Autonomous Region. The relationship between the spatiotemporal distribution of the fishing ground of *Sthenoteuthis oualaniensis* and sea surface temperature (SST), sea surface height (SSH) and sea surface chlorophyll *a* (Chl *a*) concentration were studied. The results showed that in the sea areas of 5°–20°N and 108°–118°E, the three environmental factors of SST, SSH and Chl *a* concentration had a great influence on the spatial and temporal distribution of the fishing ground of *Sthenoteuthis oualaniensis*. The suitable values of SST, SSH and Chl *a* concentration within the fishing *Sthenoteuthis oualaniensis* ground of *oualaniensis* were: 25–31 °C, 46–80 cm, 0.05–0.27 mg/m³, and the center of gravity of the fishing ground shifts from south to north. In addition, the K-S test was performed on the relationship between CPUE values and marine environmental factors from January to December 2013–2018, and the results showed that there was no significant difference between the CPUE values and marine environmental factors. Therefore, the three environmental indicators SST, SSH and Chl *a* concentration can effectively characterize the resource density of the *Sthenoteuthis oualaniensis* and the distribution of the central fishing ground.

Key words: the open South China Sea; *Sthenoteuthis oualaniensis*; central fishing ground; marine environment factor