

不同捕捞方式下印度洋北部鳶乌贼渔场时空分布差异

温利红, 张衡, 方舟, 陈新军

Spatial and temporal distribution of fishing ground of *Sthenoteuthis oualaniensis* in northern Indian Ocean with different fishing methods

WEN Lihong, ZHANG Heng, FANG Zhou, CHEN Xinjun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210103264>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

性成熟和个体大小对西北印度洋鳶乌贼耳石形态的影响

Effects of sexual maturity and body size on statolith shape of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the Northwest Indian Ocean
水产学报. 2021, 45(8): 1350 <https://doi.org/10.11964/jfc.20200712348>

采用耳石研究印度洋西北海域鳶乌贼的年龄、生长和种群结构

Age, growth and population structure of squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in northwest Indian Ocean by statolith microstructure
大连海洋大学学报. 2009, 24(3): 206 <https://doi.org/10.11964/jfc.2009030206>

东南印度洋长鳍金枪鱼延绳钓渔场探捕浅析

Initial analysis on exploring fishing ground for albacore longline in the Southeast Indian Ocean
渔业信息与战略. 2020, 35(3): 198 <https://doi.org/10.13233/j.cnki.fishis.2020.03.006>

基于点模式模型的南极半岛北部南极磷虾渔场的时空变动

Spatial-temporal variation on *Euphausia superba* fishing ground in the northern Antarctic Peninsula based on point pattern model
水产学报. 2018, 42(3): 356 <https://doi.org/10.11964/jfc.20161110607>

热带印度洋大眼金枪鱼垂直分布空间分析

Vertical distribution of bigeye tuna *Thunnus obesus* in the tropical Indian Ocean
中国水产科学. 2013, 20(3): 660 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1118.2013.00660>

摩洛哥冬季渔汛底拖网作业渔场时空分布

Study on Spatial-temporal Distribution of Fishing Ground for Morocco Bottom Trawling Fishery
广东海洋大学学报. 2016, 36(1): 68 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9159.2016.01.012>

文章编号: 1674-5566(2021)06-1079-11

DOI:10.12024/jsou.20210103264

不同捕捞方式下印度洋北部鳶乌贼渔场时空分布差异

温利红¹, 张 衡², 方 舟^{1,3,4,5,6}, 陈新军^{1,3,4,5,6}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 5. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306; 6. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘 要: 根据中国远洋渔业协会鱿钓技术组和公海围拖网技术组提供的 2017—2019 年印度洋北部鳶乌贼 (*Sthenoteuthis oualaniensis*) 生产统计资料, 对灯光敷网、灯光罩网和鱿钓 3 种捕捞方式的鳶乌贼作业次数、产量和捕捞努力量渔获量 (catch per unit effort, CPUE) 进行统计分析。通过产量重心分析、聚类分析和方差分析, 对 3 种捕捞方式的渔场时空分布及其年间差异进行比较。结果表明, 2017、2018 和 2019 年印度洋北部鳶乌贼产量分别为 28 347、68 535 和 180 094 t, 产量逐年上升。从年间变化来看, CPUE 波动较大; 从月间变化来看, 各月产量与 CPUE 的变化趋势均保持一致。3 种捕捞方式各月产量重心呈现逆时针变化规律, 从南到北, 自东向西移动。通过聚类分析可将灯光敷网分为 5 类, 灯光罩网分为 4 类, 鱿钓分为 6 类; 渔获量主要分布于 12.5°N~14.5°N, 58°E~60°E 和 16°N~18°N, 61.5°E~63°E 海域内。以时间和空间为影响因素, 对不同经度间海域分析发现, CPUE 在不同时间、空间上有明显差异; 而不同捕捞方式也均存在显著差异。研究认为, 今后应该加强时间序列的样本采集工作, 综合考虑环境因子分析鳶乌贼渔场的变化规律及其根本原因, 为后续合理开发该渔业和建立相关渔情预报模型提供依据。

关键词: 印度洋北部; 鳶乌贼; 捕捞方式; 中心渔场; 时空分布

中图分类号: S 932.8 **文献标志码:** A

鳶乌贼 (*Sthenoteuthis oualaniensis*) 属头足纲 (Cephalopoda) 柔鱼科 (Ommastrephidae) 鳶乌贼属 (*Sthenoteuthis*), 为暖水性大洋性种类, 广泛分布在印度洋、太平洋的赤道和亚热带海域^[1-3]。其中在印度洋西北部海域和我国南海资源量较为丰富^[4-5], 总资源量预估约为 800 万~1 100 万 t^[6]。目前印度洋公海是我国捕捞鳶乌贼的主要渔场, 相较于其他公海鱿钓渔场, 起步较晚^[7-8]。目前主要涉及鳶乌贼渔场的相关研究主要集中在我国南海海域, 针对印度洋海域的研究相对较少, 我国首次对印度洋西北海域鳶乌贼资源进行调查是在 2003 年 9—11 月, 再次调查是 2004 年 9 月—2005 年 4 月, 时间较短, 范围较小, 对资源密度仅进行初步分析^[5,9]。随着近些年印度洋海洋环境的变化以及捕捞数据的健全, 可以更为全

面地了解印度洋北部鳶乌贼渔场分布以及不同捕捞作业方式间的差异情况。印度洋海域捕捞鳶乌贼的作业方式主要有灯光敷网^[10]、灯光罩网^[11]以及鱿钓^[12]等。灯光敷网作业是根据中上层鱼类趋光性的特点, 以灯光诱集鱼群进行围捕, 故对渔获种类有很强的选择性; 灯光罩网主捕头足类及趋光性鱼类, 网具规格小, 成本低; 鱿钓是利用鱿鱼喜光集群习性, 在夜间采用专用水上灯诱集, 有时加用水下灯, 由自动钓机钓捕, 也可用手钓作业。为此, 研究根据 2017—2019 年中国远洋渔业协会鱿钓技术组和公海围拖网技术组的生产统计数据, 分析印度洋北部鳶乌贼不同捕捞方式下渔场时空分布情况, 比较其作业渔场分布是否存在年间差异, 为后续资源量状况和渔情预报模型建立和分析提供相关基础资料。

收稿日期: 2021-01-05 修回日期: 2021-07-02

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0901404); 国家自然科学基金面上项目 (41876141); 上海市自然科学基金 (18ZR1449800); 农业农村部外海渔业开发重点实验室开放课题项目 (LOF 2018-02)

作者简介: 温利红 (1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业海洋学。E-mail: wen009988@outlook.com

通信作者: 方 舟, E-mail: zfang@shou.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 材料来源

印度洋北部鸢乌贼生产统计资料来自中国远洋渔业协会鱿钓技术组和公海围拖网技术组,该统计资料包含灯光敷网、灯光罩网和鱿钓 3 种作业方式。统计内容包括作业日期、作业次数、作业的经纬度以及渔获量。空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$, 区域为 $5^\circ\text{S} \sim 25^\circ\text{N}$ 和 $50^\circ\text{E} \sim 95^\circ\text{E}$, 时间为 2017—2019 年。

1.2 数据预处理

生产数据按每月经纬度 $1^\circ \times 1^\circ$ 进行预处理,并计算单位捕捞努力量渔获量 (catch per unit effort, CPUE), 其公式^[13]为

$$Y_{\text{CPUE}} = \frac{C}{E} \quad (1)$$

式中: Y_{CPUE} 为单位捕捞努力量渔获量, t/次; C 表示 1 艘渔船 1 天的产量, t; E 表示其对应的作业次数, 次; 灯光敷网和灯光罩网以网次计算, 鱿钓是按照每天作业位置的变化次数来计算。

1.3 研究方法

根据不同年份和月份进行统计, 分析 2017—2019 年灯光敷网、灯光罩网和鱿钓等 3 种作业方式总产量情况。

根据不同年份和月份进行统计, 分别计算灯光敷网、灯光罩网和鱿钓在 $3^\circ\text{S} \sim 25^\circ\text{N}$ 和 $50^\circ\text{E} \sim 88^\circ\text{E}$ 海域内年、月渔获产量和平均 CPUE 的变化规律。

通过产量的空间分布变化来显示作业渔场的时空分布, 利用重心分析法算出 2017—2019 年各月份作业的渔场重心, 其公式^[14]为

$$X = \frac{\sum_{i=1}^j (C_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^j C_i} \quad (2)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^j (C_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^j C_i} \quad (3)$$

式中: X 、 Y 分别为某一月份的产量重心的经度和纬度; C_i 为渔区 i 的产量, t; X_i 为某一月份渔区 i 中心点的经度; Y_i 为某一月份渔区 i 中心点的纬度; j 为某一月份渔区的总个数。

计算各月产量重心间的欧氏距离 (euclidean distance), 比较月间变化^[15]。欧氏距离公式为

$$D_{kl} = \sqrt{[(X_k - X_l)^2 + (Y_k - Y_l)^2]}/2 \quad (4)$$

式中: D_{kl} 为 k 月与 l 月产量重心之间的距离; X_k 、 Y_k 分别为 k 月份产量重心的经度和纬度; X_l 、 Y_l 分别为 l 月份产量重心的经度和纬度。根据计算后的欧氏距离, 将 2017—2019 年各月的产量重心按照最短距离法进行聚类, 分析比较其变化差异^[16]。

根据空间分布产量的多少统计灯光敷网、灯光罩网及鱿钓在 $58^\circ\text{E} \sim 60^\circ\text{E}$ 、 $60^\circ\text{E} \sim 62^\circ\text{E}$ 以及 $62^\circ\text{E} \sim 64^\circ\text{E}$ 经度范围内的 CPUE, 利用双因素方差分析 (two-way analysis of variance) 统计^[15], 通过 LSD 检验对显著性差异的值进行多重比较检验^[17], 比较 CPUE 在时间和空间上的差异。

上述分析均使用 Excel 2019 和 SPSS 25.0 软件进行分析。

2 结果

2.1 总产量与作业次数

2017 至 2019 年间, 我国灯光敷网、灯光罩网和鱿钓渔船在印度洋北部海域共捕获鸢乌贼 276 976 t (表 1)。结果发现, 随着捕捞努力量的逐年快速增长, 鸢乌贼产量也逐年稳步提升, 2019 年捕捞努力量和产量都呈现较大增长。3 种捕捞方式中, 灯光敷网的捕捞努力量最高, 且产量最高, 总产量达 197 567 t (表 1)。

表 1 2017—2019 年不同作业方式印度洋北部鸢乌贼产量变化

Tab.1 *Sthenoteuthis oualaniensis* catch in northern Indian Ocean with different fishing methods from 2017 to 2019

年份 Year	灯光敷网 Light lift net		灯光罩网 Light casting net		鱿钓 Jigging		总计 Total	
	产量 Catch/t	捕捞努力量 Effort/次	产量 Catch/t	捕捞努力量 Effort/次	产量 Catch/t	捕捞努力量 Effort/次	产量 Catch/t	捕捞努力量 Effort/次
2017	11 268	2 279	6 429	1 085	10 648	4 044	28 347	7 408
2018	56 143	9 196	5 907	876	6 485	852	68 535	10 924
2019	130 156	34 984	9 764	2 340	40 174	5 134	180 094	42 458
总计 Total	197 567	46 459	22 100	4 301	57 307	10 030	276 976	60 790

2.2 CPUE 和平均产量的变化规律

根据 3 种捕捞方式的平均 CPUE 变化规律(图 1),CPUE 在年间的波动较大。灯光敷网月间 CPUE 的变化趋势在各年基本保持一致,其中:2018 年的 CPUE 整体高于其他 2 年(图 1a);灯光罩网 2018 年的 CPUE 高于其他 2 年(图 1b);而

鱿钓 2017 年的 CPUE 是 3 年中最低的(图 1c)。从月间变化来看,灯光敷网、灯光罩网和鱿钓在一年中的 10—12 月 CPUE 处于一年中产量高位,此外鱿钓在 1—4 月中 CPUE 也处于一年中产量较高位。总体上,灯光罩网和鱿钓的 CPUE 高于灯光敷网 CPUE(图 1d)。

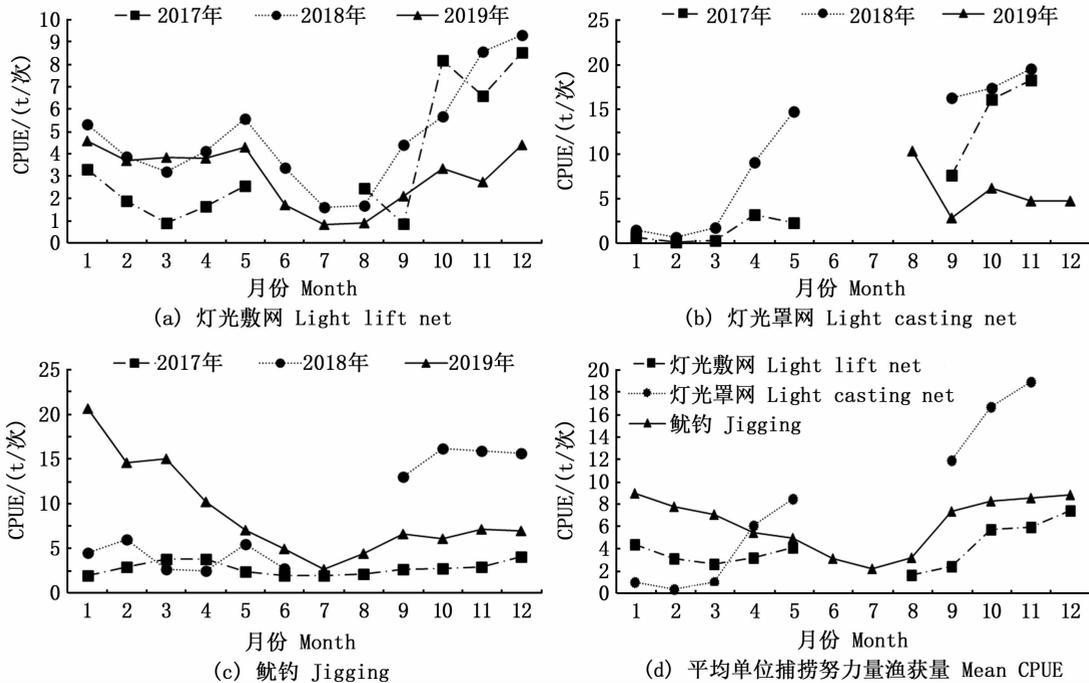


图 1 2017—2019 年印度洋北部鳶乌贼月度分布

Fig.1 Distribution of *S. oualaniensis* in northern Indian Ocean from 2017 to 2019

从月间变化来看,3 种捕捞方式各月产量与 CPUE 的变化趋势均保持一致。1—5 月,灯光敷网月总产量和 CPUE 整体呈下降趋势,产量保持在 4 500 t 以上,CPUE 均在 2.66 t/次以上;从 8 月开始,产量和 CPUE 随月份逐渐上升,并在 12 月达到最高值(产量 14 140 t,CPUE 值 7.41 t/次),见图 2a。1—5 月,灯光罩网产量和 CPUE 整体随月份升高;9—11 月,产量和 CPUE 整体随月份升高,并在 10 月产量达到最高值 2 346 t,11 月 CPUE 达到最大值 18.91 t/次(图 2b)。1—7 月,鱿钓产量整体随月份下降,CPUE 随月份逐渐下降,1 月 CPUE 最高,为 8.97 t/次,7 月 CPUE 降至最低,为 2.27 t/次,6 月产量降至最低,为 337 t;7—11 月,产量和 CPUE 整体随月份升高,并在 11 月产量达到最高,为 3 897 t;12 月产量下降 CPUE 上升(图 2c)。由此可见,1 月和 10—12 月为印度洋北部鳶乌贼的主要渔汛期。

2.3 产量重心的年度和月度变化

2017—2019 年印度洋北部鳶乌贼的渔场重心变化明显。有两处渔场重心较为集中:一处渔场重心在 12.5°N~14.5°N,58°E~60°E 海域;另一渔场重心在 16°N~18°N,61.5°E~63°E 海域。

从月份间重心变化可知灯光敷网作业渔场重心分布规律(图 3)。结果表明,渔场重心整体向东北方向移动。2017 年,1 月渔场重心主要在 14°N,59.5°E,随后逐渐向西南方向移动,经度移至 58°E,纬度移至 13.5°N;4 月开始向东北方向移动,经度又移至 59.5°E,纬度移至 14°N 左右;8 月之后向西北移动,经度从 65°E 移至 61.5°E 左右,纬度移至 16.5°N(图 3a)。2018 年,1 月渔场重心主要在 13°N,59.5°E,随后向东北方向移动,经度移至 63.5°E 左右,纬度移至 14°N;7 月开始向西北方向移动,经度移至 61.5°E 左右,纬度移至 17.5°N;10 月之后向西南方向移动,经度

移至 60.5°E , 纬度移至 15.5°N (图 3b)。2019 年, 1 月渔场重心主要在 $15.5^{\circ}\text{N}, 60.5^{\circ}\text{E}$, 随后向东北方向移动, 经度移至 63°E , 纬度移至 17°N ; 从 5 月之后向东南方向移动, 经度移至 65.5°E ,

纬度移至 14°N ; 9 月之后向西北方向移动, 经度移动至 62.5°E 左右, 纬度移至 18°N (图 3c)。渔场重心都呈逆时针方向移动。

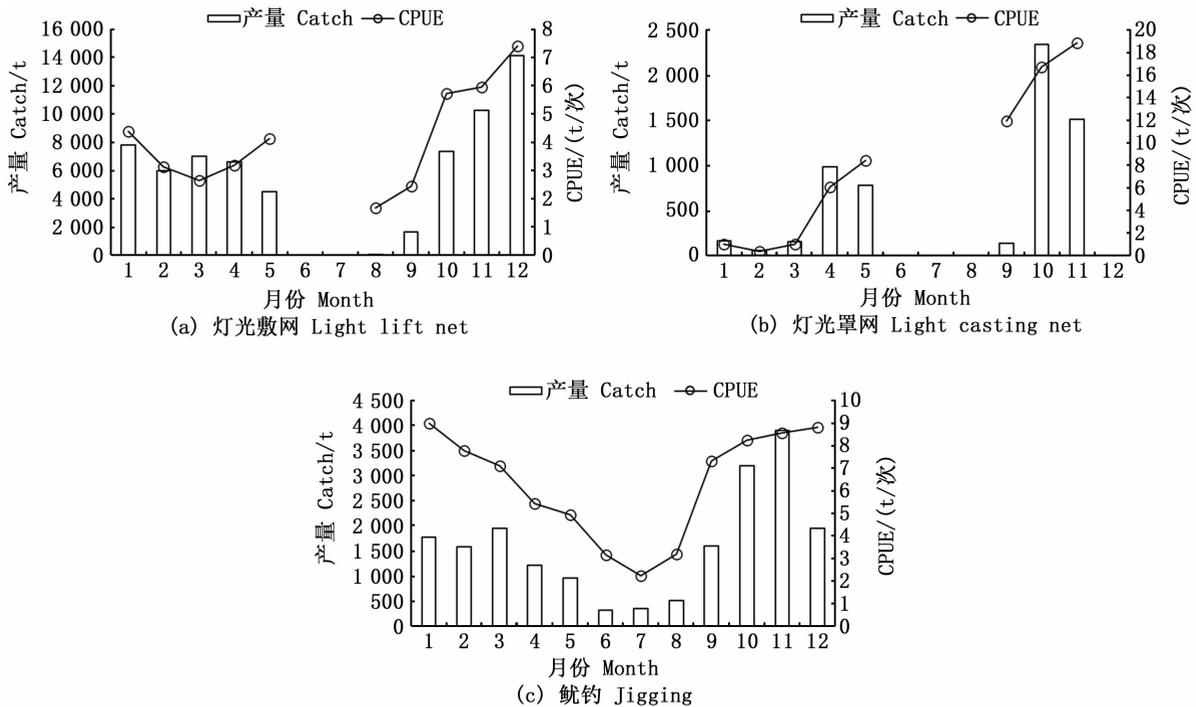


图 2 2017—2019 年印度洋北部鳶乌贼平均产量和 CPUE 分布
Fig. 2 Distribution meat catch and of CPUE of *S. oualaniensis* in northern Indian Ocean from 2017 to 2019

由图 4 可知灯光罩网作业渔场重心的分布规律, 渔场重心的纬度范围向北移动。2017 年, 1 月渔场重心主要在 $15^{\circ}\text{N}, 60^{\circ}\text{E}$, 随后向西南方向移动, 经度移至 58.5°E 左右, 纬度移至 12.5°N ; 4 月向东北方向移动, 经度移至 63°E 左右, 纬度移至 17.5°N ; 10 月开始向西移动, 经度移至 62°E 左右, 纬度保持在 17.5°N ; 全年的渔场重心呈逆时针方向移动 (图 4a)。2018 年, 1 月渔场重心主要在 $13.5^{\circ}\text{N}, 59^{\circ}\text{E}$, 随后开始向东南方向移动, 经度移至 60°E 左右, 纬度移至 12°N 左右; 从 3 月之后, 向东北方向移动, 经度移至 61.5°E 左右, 纬度移至 16°N 左右; 9 月开始向西移动, 经度从 63°E 移动至 62°E 左右, 纬度保持在 18°N 左右 (图 4b)。2019 年, 8—12 月的渔场重心呈逆时针方向移动, 经度从 63°E 向西移至 62°E , 随后又向东移到 63.5°E , 纬度从 17°N 移至 18°N ; 渔场重心呈逆时针方向移动 (图 4c)。

由图 5 可知鱿钓作业渔场重心的分布规律,

渔场重心整体向东北方向移动, 并且范围逐渐缩小。2017 年, 1 月渔场重心主要在 $14^{\circ}\text{N}, 59.5^{\circ}\text{E}$, 随后向西南方向移动, 经度移至 58°E , 纬度移至 13.5°N ; 4 月开始向东南方向移动, 经度移至 88°E 左右, 纬度移至 1°S 左右; 8 月之后向西北移动, 经度移至 60.5°E 左右, 纬度移至 14.5°N (图 5a)。2018 年, 1 月渔场重心主要在 $13^{\circ}\text{N}, 59^{\circ}\text{E}$, 随后向东北方向移动, 经度移至 62.5°E , 纬度移至 16°N ; 9 月开始向西北方向移动, 经度从移至 61.5°E 左右, 纬度基本保持在 17°N 左右 (图 5b)。2019 年, 1 月渔场重心主要在 $16^{\circ}\text{N}, 61.5^{\circ}\text{E}$, 随后向东北方向移动, 经度移至 63.5°E , 纬度移至 18°N ; 5 月开始向北方向移动, 经度基本保持在 63°E 左右, 纬度从 17°N 移至 19°N ; 9 月之后向东南方向移动, 经度从 62°E 移动至 63°E 左右, 纬度基本保持在 17.5°N 左右 (图 5c)。渔场重心均呈逆时针方向移动。

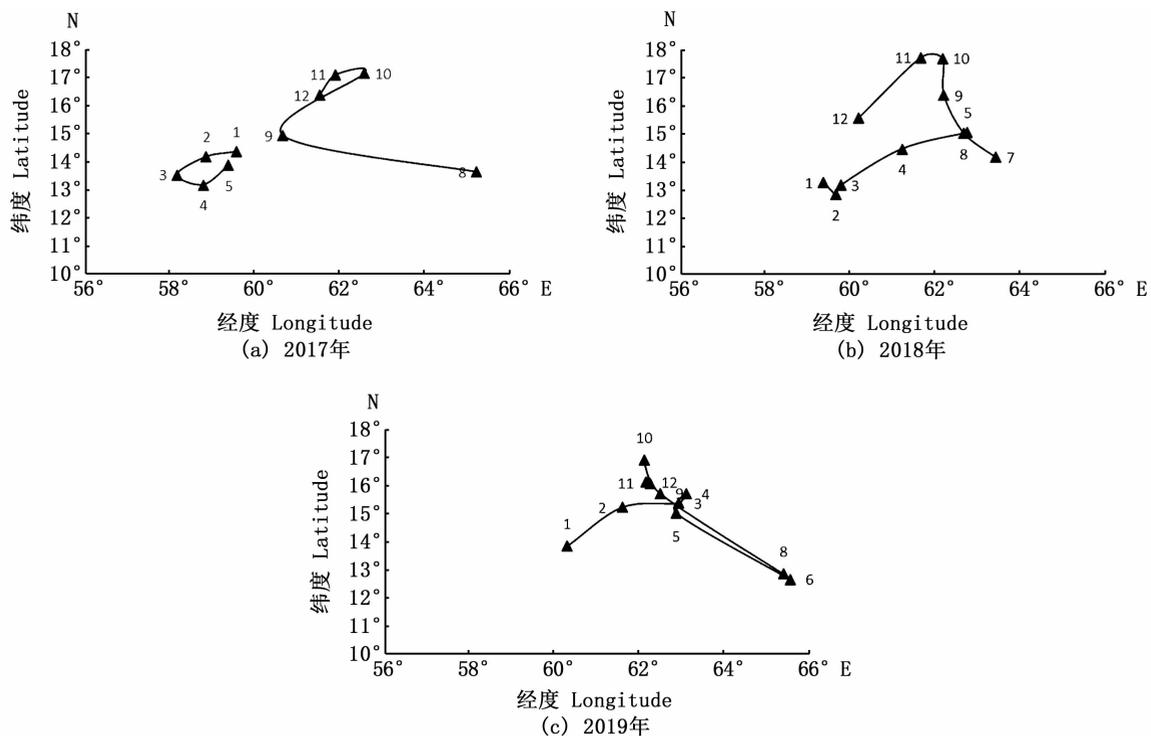


图3 2017—2019年印度洋北部鳶乌贼灯光敷网的产量重心变化(数字标注为月)

Fig. 3 Distribution of light lift net of catch gravity position of *S. oualaniensis* in northern Indian Ocean from 2017 to 2019 (number is marked as the month)

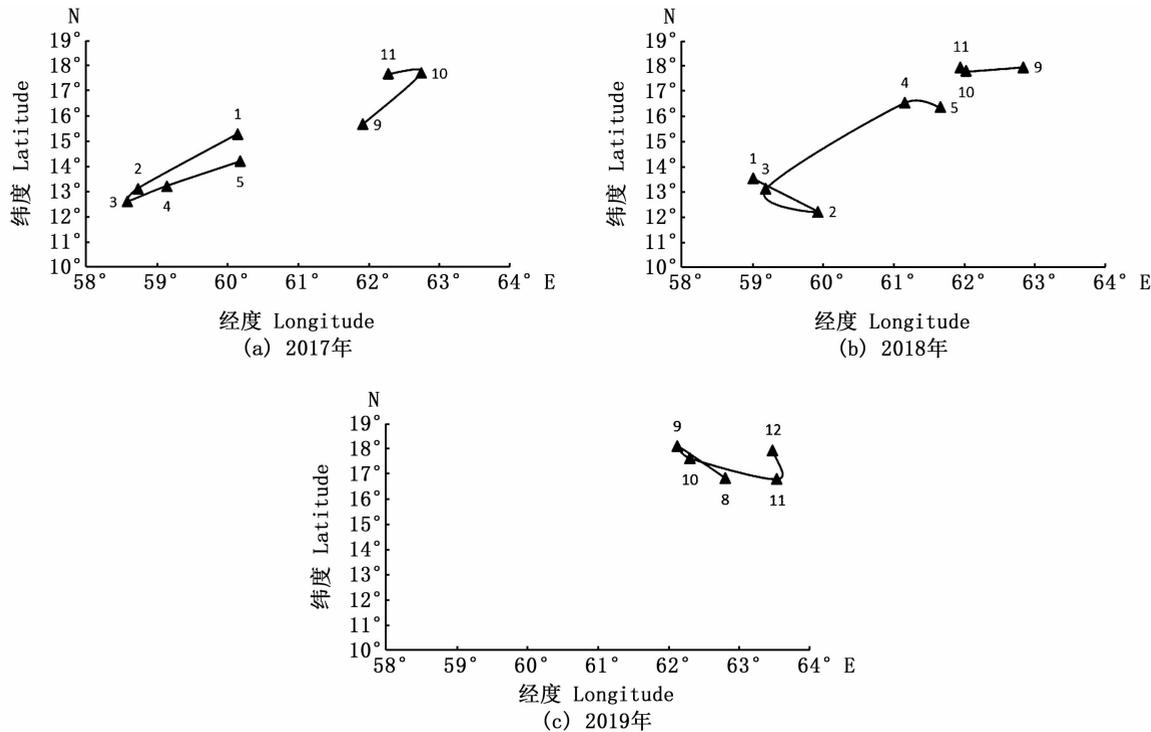


图4 2017—2019年印度洋北部鳶乌贼灯光罩网的产量重心变化(数字标注为月)

Fig. 4 Distribution of light casting net of catch gravity position of *S. oualaniensis* in northern Indian Ocean from 2017 to 2019 (number is marked as the month)

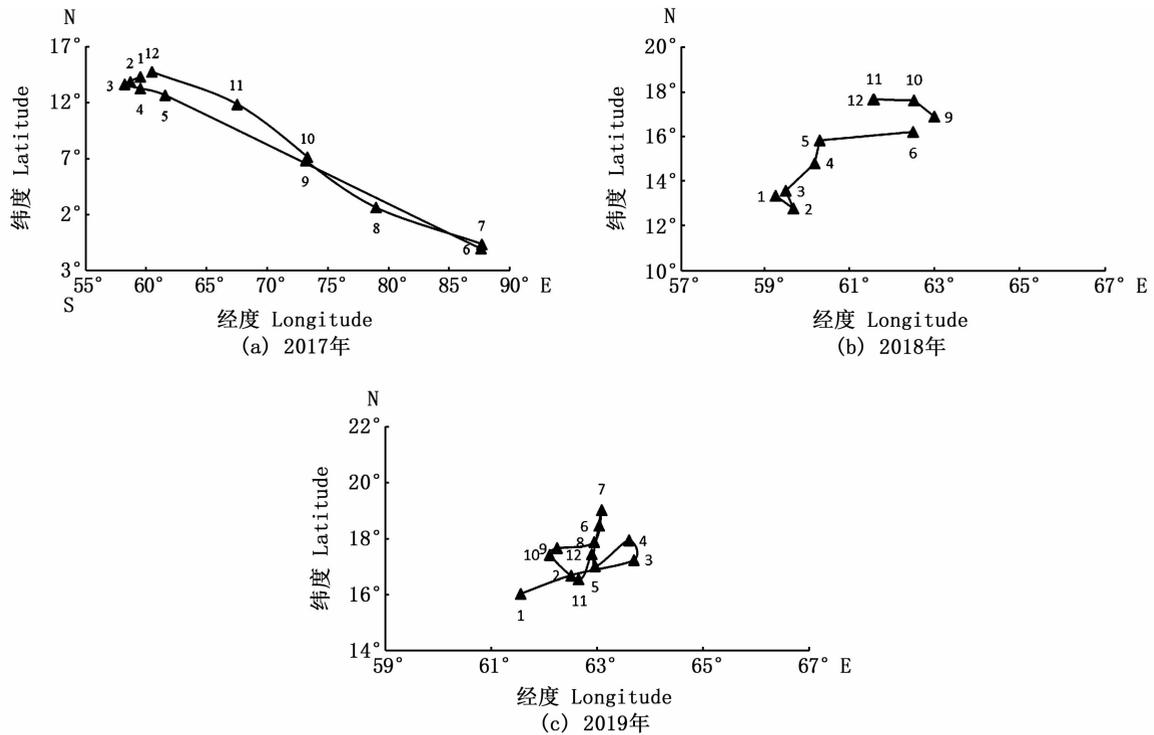


图5 2017—2019年印度洋北部鸢乌贼鱿钓的产量重心变化(数字标注为月)

Fig. 5 Distribution of jigging of catch gravity position of *S. oualaniensis* in northern Indian Ocean from 2017 to 2019 (number is marked as the month)

2.4 产量重心聚类分析

灯光敷网假设以空间距离 2 为阈值,可将 2017—2019 年各月的产量重心分为 5 类;由结果可知,各年份除 1、10、11 月在同一类中,其他每年各月的聚类情况都有所不同(图 6a)。灯光罩网假设以空间距离 7 为阈值,可将 2017—2019 年各月的产量重心分为 4 类;各年除 10、11 月在同一类中,其他每年各月的聚类情况都有所不同(图 6b)。鱿钓假设以空间距离 3 为阈值,可将 2017—2019 年各月的产量重心分为 6 类;各年除 1 月在同一类中,其他每年各月的聚类情况都有所不同。但由于一些月份数据缺失,未能很好地与其他年份进行对比。

2.5 不同作业方式的 CPUE 时空差异

考虑时间和空间因素,对不同作业方式的 CPUE 进行双因素方差分析。结果发现,印度洋北部鸢乌贼的 CPUE 随时间和空间而发生较大变化,在各捕捞方式($P < 0.05$)的 CPUE 值存在显著的时空差异。

从时间变化上看,灯光敷网作业中不同年份的 CPUE 值不存在显著差异($P > 0.05$),灯光罩网作业中不同年份的 CPUE 值存在极显著差异($P < 0.01$);根据 LSD 多重比较分析发现,2017 与 2018 年、2018 与 2019 年的 CPUE 值存在显著差异,鱿钓作业中不同年份的 CPUE 值存在显著差异($P < 0.05$);根据 LSD 多重比较分析发现,2017 年与 2018 年、2019 年的 CPUE 值均存在显著性差异。见表 2。

从空间变化上看,灯光敷网作业中不同空间的 CPUE 存在着极显著差异($P < 0.01$,表 2);根据 LSD 多重比较分析发现,58°E ~ 60°E 与 60°E ~ 62°E、60°E ~ 62°E 与 62°E ~ 64°E 之间存在极显著差异($P < 0.01$),灯光罩网作业中不同空间的 CPUE 存在极显著差异($P < 0.01$,表 2);根据 LSD 多重比较分析发现,58°E ~ 60°E 与 60°E ~ 62°E、62°E ~ 64°E 的 CPUE 值均存在显著性差异,鱿钓作业中不同空间的 CPUE 不存在显著差异。见表 2。

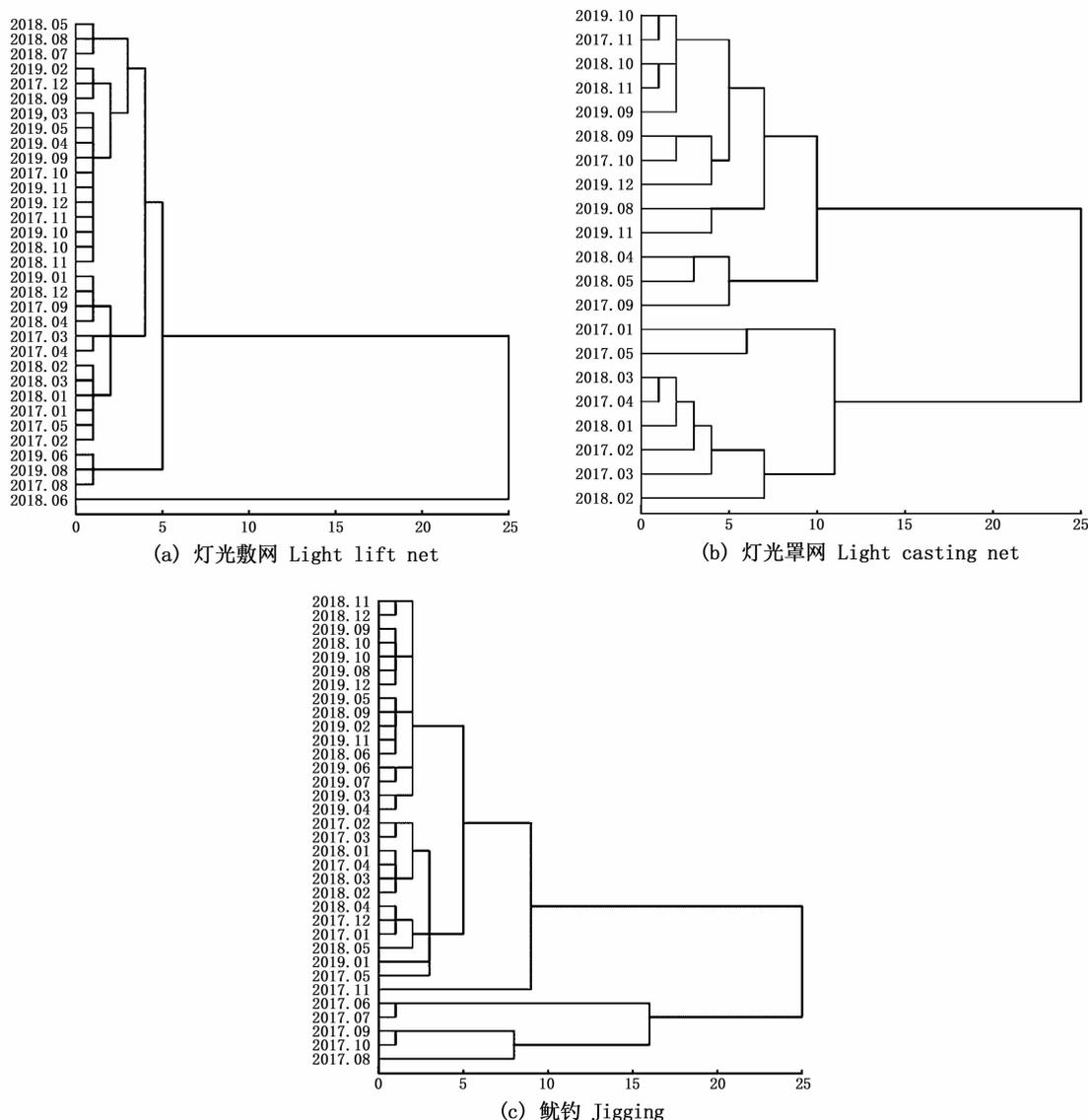


图6 印度洋北部鳶乌贼不同捕捞方式的产量重心聚类结果

Fig.6 Clustering results of different fishing types gravity catch for *S. oualaniensis* northern Indian Ocean

3 讨论

已有研究^[18-19]认为,印度洋西北海域受季风海流和反赤道海流的影响形成了广泛的上升流,它使深海水涌升至表层,给表层带来丰富的营养盐,从而促使藻类生长旺盛,使得该海域具有高浮游生物量,能够有较多中上层鱼类聚集,为鳶乌贼的生长提供了良好摄食条件,因此该海域是鳶乌贼的重要渔场^[20]。从年间变化来看,2017—2019年印度洋北部鳶乌贼总产量稳步上升,不同捕捞方式的产量有较大差异;从月间变化来看,

上半年的产量低于下半年,第三季度(7—9月)的产量最低,第四季度(10—12月)的产量最高,CPUE的变化与产量变化一致。产生差异原因是多方面的,产量的增长和不同捕捞方式之间的产量差异主要是由于作业次数的增加和作业渔船功率不同所造成的^[21]。年间CPUE差异显著,月间差异不显著,这可能与相对较大尺度环境因子影响有关^[22-24],而非季节性因素。此外,海表面温度^[25-26]、海表面高度^[27]、海流^[28]等环境因子均会对印度洋鳶乌贼的CPUE产生影响。

表 2 不同捕捞方式鸢乌贼 CPUE 时空双因素方差分析结果

Tab. 2 Results of the two-way variance analysis of spatial-temporal CPUE with different fishing methods

作业方式 Fishing methods	参数 Parameter	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F	P
灯光敷网 Light lift net	时间	20.55	2.00	10.27	2.92	0.07
	空间	40.80	2.00	20.40	5.81	0.01
	时间 & 空间	29.73	3.00	9.91	2.82	0.06
	误差	73.68	21.00	3.50		
	总计	653.47	29.00			
灯光罩网 Light casting net	时间	330.52	2.00	165.26	18.70	0.01
	空间	602.57	2.00	301.28	34.10	0.01
	时间 & 空间	113.61	2.00	65.80	6.43	0.01
	误差	123.67	14.00	8.83		
	总计	2 112.46	21.00			
鱿钓 Jigging	时间	162.94	2.00	81.47	4.23	0.02
	空间	101.51	2.00	50.75	2.63	0.09
	时间 & 空间	152.38	2.00	76.19	3.95	0.03
	误差	404.15	21.00	19.24		
	总计	2 316.45	28.00			

印度洋北部鸢乌贼年间产量重心变化较大。2017—2019 年的产量重心经度范围逐年向东偏移,纬度范围向北移动;月间的产量重心变化呈逆时针移动(图 3~5),渔场重心变化与环境因子密切关系,首先不同年份的月间变化与季节性海洋环境变化有关;鱿钓捕捞位置相对固定,且为被动作业,因此重心变化范围不是特别大(除 2017 年外,图 5),其他捕捞方式都是主动捕捞,因此转移捕捞目的地的次数较多,导致变化相对较大(图 3、4)。对不同月份进行聚类分析,发现:灯光敷网和灯光罩网各年的 10、11 月在同一类中,说明 3 年中 10、11 月的空间差异并不明显;鱿钓各年的 1 月在同一类中,说明 3 年中 1 月的空间差异并不明显。其他各月都分布在不同的聚类里,仅有部分月有所相同,如:灯光敷网 2019 和 2017 年的 8 月;灯光罩网 2017 和 2018 年的 3 月;鱿钓 2018 和 2019 年的 6 月和 10 月。此外,在同一年相邻的几个月都在一个聚类,如:灯光敷网 2018 年 7、8 月,2019 年 3、4、5 月;灯光罩网 2018 年 10、11 月,2019 年 9、10 月;鱿钓 2018 年 1、2、3 月,2019 年 8、9、10 月。原因可能是海洋环境因子的变化。余为等^[7]和陈新军等^[8,9]通过对印度洋西北海域鸢乌贼渔场分析,研究认为:2003 年 9—11 月印度洋西北海域鸢乌贼中心渔场在 12°N~16°N、58°E~61°E 海域,2004 年 9—12 月中心渔场在 19.5°N~21°N, 62.5°E~64°E 海域;2004 年 9 月—2005 年 4 月印度洋西北部中

心渔场在 14.5°N、60°E~63°E 附近海域。NESIS^[29]研究发现,14°N~15°N 海域资源量最丰富。上述研究结果与本文研究结果基本一致,可以认为,目前印度洋北部鸢乌贼渔场并未发生较大的变化。

对 58°E~60°E、60°E~62°E 以及 62°E~64°E 等经度范围内不同捕捞方式的双因素方差分析可知,灯光敷网主要是空间上的差异,鱿钓主要是时间上的差异,而灯光罩网两种因素兼具。鱿钓捕捞效率相对较低,因此受到时间因素影响大,也就是说环境的变化对 CPUE 的影响明显;灯光敷网捕捞效率比较高,差异更多体现在了空间分布的差异上;而灯光罩网的捕捞效率最高,也与两种因素均有关系。因此,鸢乌贼 CPUE 不仅与海洋环境变化密切相关,与捕捞方式也有极大的关系。

本文根据 2017—2019 年印度洋北部鸢乌贼鱿钓和围拖网捕捞渔业生产数据,研究不同捕捞方式下印度洋北部海域鸢乌贼的高产海域,与以往的类似研究区域有较大的不同,研究范围更为细化,所发现的规律也更为细致,能够更加准确地研究印度洋北部鸢乌贼的产量及 CPUE 的变化规律。但是渔场的时空分布,除了受海表面温度、海表面高度和海流影响外,还受到很多其他因素影响,如叶绿素 a 质量浓度、浮游动物生物量、盐度、溶解氧、pH、混合层深度等^[30-34]。因此在今后的研究中,应该加强时间序列的样本采集

工作,综合考虑更多环境因子分析鳶乌贼渔场的变化规律以及探究其变化的根本原因,为后续合理开发该渔业和建立相关渔情预报模型提供依据。

参考文献:

- [1] VOSS G L. Cephalopod resources of the world [R]. FAO FishCirc, 1973, 149:75.
- [2] 赵荣兴. 印度洋可开发的外洋性头足类[J]. 现代渔业信息, 1992, 7(8): 25-26.
- ZHAO R X. Exogenic cephalopods from the Indian Ocean [J]. Modern Fisheries Information, 1992, 7(8): 25-26.
- [3] 杨德康. 两种鱿鱼资源和其开发利用[J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(2): 176-179.
- YANG D K. The resources and its exploitation and utilization of two species of squid [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2002, 11(2): 176-179.
- [4] 董正之. 世界大洋经济头足类生物学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1991: 91-94.
- DONG Z Z. Biology of oceanic economic cephalopod in the world [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1991: 91-94.
- [5] 陈新军, 叶旭昌. 印度洋西北部海域鳶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.
- [6] JEREB P, ROPER C F E. Cephalopods of the world: an annotated and illustrated catalogue of cephalopod species known to date, volume 2: Myopsid and Oegopsid Squids [R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010.
- [7] 余为, 陈新军. 印度洋西北海域鳶乌贼 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 W, CHEN X J. 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.
- [8] 陈新军, 钱卫国, 刘必林, 等. 主要经济大洋性鱿鱼资源渔场生产性调查与渔业概况[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 344-356.
- CHEN X J, QIAN W G, LIU B L, et al. Productive survey and fishery for major pelagic economic squid in the world [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 344-356.
- [9] 陈新军, 邵锋. 印度洋西北部公海鳶乌贼资源特征及其与海况的关系[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(4): 611-616.
- CHEN X J, SHAO F. Study on the resource characteristics of *Symlectoteuthis oualaniensis* and their relationships with the sea conditions in the high sea of the northwestern Indian Ocean [J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(4): 611-616.
- [10] 郭有俊, 吴文秀, 凌炜琪, 等. 海南东南部海域春季鳶乌贼 CPUE 与海洋环境关系[J]. 广东海洋大学学报, 2020, 40(6): 63-70.
- GUO Y J, WU W X, LING W Q, et al. Relationship between CPUE of *Sthenoteuthis oualaniensis* and environmental factors in the southeastern coast of Hainan in Spring [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2020, 40(6): 63-70.
- [11] 王言丰, 余景, 陈丕茂, 等. 北部湾灯光罩网渔场时空分布与海洋环境关系分析[J]. 热带海洋学报, 2019, 38(5): 68-76.
- WANG Y F, YU J, CHEN P M, et al. Relationship between spatial-temporal distribution of light falling-net fishing ground and marine environments [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2019, 38(5): 68-76.
- [12] 陈新军. 世界头足类资源开发现状及我国远洋鱿钓渔业发展对策[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 321-330.
- CHEN X J. Development status of world cephalopod fisheries and suggestions for squid jigging fishery in China [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 321-330.
- [13] 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 S Q, CHEN X J. Impacts of different calculating methods for nominal CPUE on CPUE standardization [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(2): 240-245.
- [14] SATO T, HATANAKA H. A review of assessment of Japanese distant-water fisheries for cephalopods [M]//CADDY J F. Advances in Assessment of World Cephalopod Resources. FAO Fisheries Technical Paper. Rome: FAO, 1983.
- [15] 薛薇. SPSS 统计分析方法及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 301-323.
- XUE W. Statistical analysis and application of SPSS [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2005: 301-323.
- [16] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统-实验设计、统计分析及模型优化[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 635-642.
- TANG Q Y, FENG M G. DPS data processing system; experimental design, statistical analysis and modeling [M]. Beijing: Science Press, 2006: 635-642.
- [17] 杜荣骞. 生物统计学[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2003: 70-81.
- DU R Q. Biostatistics [M]. 2nd ed. Beijing: High Education Press, 2003: 70-81.
- [18] 杨晓明, 陈新军, 周应祺, 等. 基于海洋遥感的西北印度洋鳶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.
- [19] 钱卫国, 陈新军, 刘必林, 等. 印度洋西北海域秋季鳶乌贼渔场分布与浮游动物的关系[J]. *海洋渔业*, 2006, 28(4): 265-271.
- QIAN W G, CHEN X J, LIU B L, et al. The relationship between fishing ground distribution of *Symplectoteuthis oualaniensis* and zooplankton in the northwestern Indian Ocean in autumn [J]. *Marine Fisheries*, 2006, 28(4): 265-271.
- [20] 周金官, 陈新军, 刘必林. 世界头足类资源开发利用现状及其潜力[J]. *海洋渔业*, 2008, 30(3): 268-275.
- ZHOU J G, CHEN X J, LIU B L. Notes on the present status of exploitation and potential of cephalopod resources on the world [J]. *Marine Fisheries*, 2008, 30(3): 268-275.
- [21] 陶雅晋, 易木荣, 李波, 等. 基于渔港抽样调查南海不同捕捞方式 CPUE 比较分析[J]. *渔业科学进展*, 2019, 40(3): 1-10.
- TAO Y J, YI M R, LI B, et al. Comparative analysis of CPUE of different fishing types in the South China Sea based on the fishing port sampling survey [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(3): 1-10.
- [22] 李国添. 海洋渔场: (上册) [M]. 台北: 华香园出版社, 1997: 145.
- LI G T. Ocean fishing ground (Volume 1) [M]. Taipei: Huaxiangyuan Press, 1997: 145.
- [23] 李亚楠, 陈新军. 印度洋鳶鱼围网资源渔场时空变化及其与 ENSO 的关系[J]. *海洋学报*, 2017, 39(4): 72-78.
- LI Y N, CHEN X J. Spatial-temporal variation on skipjack resources and its relationship with ENSO for purse seine fishery in the Indian Ocean [J]. *Haiyang Xuebao*, 2017, 39(4): 72-78.
- [24] 周天军, 俞永强, 宇如聪, 等. 印度洋对 ENSO 事件的响应: 观测与模拟[J]. *大气科学*, 2004, 28(3): 357-373.
- ZHOU T J, YU Y Q, YU R C, et al. Indian ocean response to ENSO: Observation and air-sea coupled model simulation [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2004, 28(3): 357-373.
- [25] 林东明, 陈新军. 印度洋西北部海域鳶乌贼渔场分布及其与海面温度的关系[J]. *海洋科学进展*, 2006, 24(4): 546-551.
- LIN D M, CHEN X J. Fishing ground distribution of *Symplectoteuthis oulaniensis* and its relations to SST in the northwestern Indian Ocean [J]. *Advances in Marine Science*, 2006, 24(4): 546-551.
- [26] GERA A, MITRAAK, MAHAPATRADK, et al. Sea surface height anomaly and upper ocean temperature over the Indian Ocean during contrasting monsoons [J]. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 2016, 75: 1-21.
- [27] 邵锋, 陈新军. 印度洋西北海域鳶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 F, CHEN X J. Relationship between fishing ground of *Symplectoteuthis oulaniensis* and sea surface height in the northwest Indian Ocean [J]. *Marine Sciences*, 2008, 32(11): 88-92.
- [28] SHANKARA D, VINAYACHANDRAN P N, UNNIKRISHNAN A S. The monsoon currents in the north Indian Ocean [J]. *Progress in Oceanography*, 2002, 52(1): 63-120.
- [29] NESIS K N. Population structure of oceanic ommastrephids, with particular reference to *Sthenoteuthis oulaniensis*: A review [M] // OKUTANI T, O' DOR R K, KUBODERA T. Recent advances in cephalopod fishery biology. Tokyo: Tokai University Press, 1993: 375-383.
- [30] MOHAMED K S, SAJIKUMAR K K, RAGESH N, et al. Relating abundance of purpleback flying squid *Sthenoteuthis oulaniensis* (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.
- [31] 范江涛, 张俊, 冯雪, 等. 南沙海域鳶乌贼渔场与海洋环境因子的关系[J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(3): 419-426.
- FAN J T, ZHANG J, FENG X, et al. Relationship between *Sthenoteuthis oulaniensis* fishing ground and marine environmental factors in Nansha area [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(3): 419-426.
- [32] 宋利明, 许回, 陈明锐, 等. 毛里塔尼亚海域日本鲭时空分布与海洋环境的关系[J]. *上海海洋大学学报*, 2020, 29(6): 868-877.
- SONG L M, XU H, CHEN M R, et al. Relationship between spatiotemporal distribution of chub mackerel and marine environment variables in the waters near Mauritania [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2020, 29(6): 868-877.
- [33] 陈芃, 陈新军. 秘鲁近海秘鲁鳶渔场变化与海洋环境因子的关系[J]. *上海海洋大学学报*, 2020, 29(4): 611-621.
- CHEN P, CHEN X J. Relationship between the variation of Peru coastal *Engraulis ringens* fishing ground and oceanic environmental factors [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2020, 29(4): 611-621.
- [34] 王韞沛, 陈新军, 余为. 西北太平洋柔鱼渔场重心变化及其与环境的关系[J]. *上海海洋大学学报*, 2020, 29(6): 899-909.
- WANG Y P, CHEN X J, YU W. Variations of gravity centers of fishing ground for neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean and its relation with marine environment [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2020, 29(6): 899-909.

Spatial and temporal distribution of fishing ground of *Sthenoteuthis oualaniensis* in northern Indian Ocean with different fishing methods

WEN Lihong¹, ZHANG Heng², FANG Zhou^{1,3,4,5,6}, CHEN Xinjun^{1,3,4,5,6}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Science, Shanghai 200090, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 5. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 6. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: According to the catch data of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the northern Indian Ocean during 2017–2019 provided by the Squid Jigging Technology Group of the China Overseas Fisheries Association and the High Seas Seine and Trawl Technology Group, statistical analysis was made based on the above data with the effort, catch and CPUE for each of the three fishing methods of light lift net, light casting net and jigging. Through catch gravity analysis, cluster analysis and two-way analysis of variance, the spatial and temporal distribution of the three fishing methods and their differences in the years were studied and analyzed. The results showed that the annual catch of *S. oualaniensis* increased gradually, the yield for 2017, 2018 and 2019 were 28 347, 68 535 and 180 094 t, respectively. In terms of annual changes, CPUE fluctuates greatly; and from the monthly changes, the monthly output is consistent with the trend of CPUE changes. The yield center of gravity of each of the three fishing methods shows counterclockwise changes, moving from south to north and from east to west. Through clustering analysis, the lighting lift net can be divided into five categories, the light casting net can be divided into four categories, squid fishing is divided into six categories; main catch was focused in the area of 12.5°N–14.5°N, 58°E–60°E and 16°N–18°N, 61.5°E–63°E. Based on time and space as the factors, the analysis of the sea area between different longitude shows that CPUE is obviously different at different times and spaces, and there are significant differences in different fishing methods. The study holds that the future research should strengthen the sample collection work of time series, consider the change law and its root causes of environmental factors to analyze the squid fishery, and provide a basis for the subsequent rational development of the fishery and the establishment of relevant fishing forecast model.

Key words: Northern Indian Ocean; *Sthenoteuthis oualaniensis*; fishing methods; fishing ground; spatio-temporal distribution