

文章编号: 1674-5566(2025)02-0350-15

DOI:10.12024/jsou.20241004662

西北印度洋公海鳶乌贼的繁殖生物学及其与环境要素的关系

唐峰华^{1,2}, 巴尧骥^{1,2}, 肖戈¹, 石永闯¹, 赵国庆¹, 郭爱¹, 张衡¹, 崔雪森¹, 陈峰³

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所 农业农村部渔业遥感重点实验室, 上海 200090; 2. 大连海洋大学 航海与船舶工程学院, 辽宁 大连 116023; 3. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316021)

摘要: 为了分析印度洋鳶乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)群体结构和组成的年际变化及其主要环境影响因素, 在2019年12月—2020年2月以及2020年9—11月连续2个航次在西北印度洋公海海域(60°E~65°E, 15°N~20°N)开展了生产性渔业调查。在调查中, 采集了印度洋鳶乌贼样本1 430尾, 共鉴定性别748尾, 鉴定雌雄总性比为1:0.97。利用SPSS统计软件等方法, 分析了鳶乌贼的胴长、体质量、性别、性成熟度和摄食强度等生物学特征。得出雌、雄个体的平均胴长分别为248和207 mm, 优势胴长组为220~250 mm。鳶乌贼的胴长和体质量关系呈幂函数变化。通过Logistic曲线拟合鳶乌贼个体初次性成熟胴长, 其中第一航次雌性个体为361 mm, 雄性个体为171 mm; 第二航次雌性个体为202 mm, 雄性个体为153 mm。鳶乌贼性腺成熟度达到Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ期(性成熟)的个体占比高达66.53%, 雌性成熟群体占57.37%, 雄性成熟群体达到75.20%。同时分析了鳶乌贼成熟群体与海洋环境因子的关系, 推测其生长发育受海表面温度(Sea surface temperature, SST)、海表面温度距平值(Sea surface temperature anomaly, SSTa)、叶绿素a质量浓度(Chlorophyll-a mass concentration, Chl.a)等关键海洋环境因子的影响。此外, 调查显示, 2019年12月—2020年2月航次鳶乌贼性成熟群体比重较2020年9—11月航次高25.93%。以上结论为后期可持续开发利用西北印度洋海域鳶乌贼资源提供参考依据。

关键词: 鳶乌贼; 性腺成熟度; 性比; 年际变化; 西北印度洋公海

中图分类号: S 931

文献标志码: A

西北印度洋海域受季风海流和“赤道逆流”(Equatorial counter-current)的影响, 海洋特征表现出明显的高温高盐, 促进了该区域存在广泛的上升流以及局部饵料生物聚集, 使得该海域中鳶乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)资源较为丰富^[1], 据评估, 西北印度洋海域鳶乌贼总生物量为200万~1 000万t, 具有较大的商业利用价值^[2-3]。鳶乌贼属枪形目(Teuthoidea)开眼亚目(Oegopsida)柔鱼科(Ommastrephidae)鳶乌贼属(*Sthenoteuthis*), 该群体是典型的海洋性洄游种, 具备运动能力强、摄食能力突出、消化速度快、生命周期短、性成熟早以及生长迅速等多项显著特点, 且鳶乌贼通常栖息于温度较高的海水环境

中^[4]。

针对西北印度洋海域的鳶乌贼资源, 国内外学者已对其种群结构^[3,5]、饵料组成^[6-7]、繁殖特性^[8]、资源评估^[9]、渔场分布^[10]等方面做了相关研究。前苏联在1965—1990年曾对印度洋海域的渔业资源进行调查, 其中包括鳶乌贼资源, 初步推定了其资源量^[3]。而日本于20世纪70年代与90年代对西北印度洋的鳶乌贼资源进行调查, 认为鳶乌贼资源丰富, 具有商业性开发的潜力^[5]。中国在2003年左右首次利用鱿钓船对西北印度洋海域(2°N~24°N, 57°E~69°E)的鳶乌贼进行调查, 对鳶乌贼资源分布和生物学特性以及渔场海洋环境等作了初步研究^[6,8]; 但正式对西北印度洋

收稿日期: 2024-10-18

修回日期: 2024-12-30

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFD2401305); 上海市2020年度科技创新行动计划(20dz1206400)

作者简介: 唐峰华(1982—), 男, 副研究员, 研究方向为海洋生态学与头足类渔业。E-mail: f-h-tang@163.com

通信作者: 崔雪森, E-mail: cuixuesen@eastfishery.ac.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

公海鸢乌贼进行大规模商业性开发是在2013年左右,发展到目前生产船只数量超百艘,鸢乌贼产量相对稳定并逐步成为中国重要的远洋渔获品种之一。

以上是比较早期的研究,目前国内对鸢乌贼的研究,主要集中在中国南海海域,研究内容主要为生物学特征、渔场分析、渔船环境、鸢乌贼角质额和耳石形态等^[11]。由于现在调查资料更新,且在西北印度洋公海渔场的研究较少,与我国南海鸢乌贼种群是否存在关联都不清晰。由于印度洋渔场形成及其分布主要受索马里海流和赤道海流、季风等的影响^[5,10],鸢乌贼资源量常出现地域性与季节性地剧烈变动,同时作为一年生的软体动物,其群体结构更新快且易变动,资源密度及群体结构状况易受海况变化、捕捞水平等因素的影响,年间波动较大。本研究根据2019—2020年内连续2次在西北印度洋公海开展灯光围网生产性渔业调查,采集主要渔获品种鸢乌贼样本,利用SPSS软件统计和拟合等方法,分析了鸢乌贼的胴长、体质量、性别、性成熟度和摄食强度等生物学特征,以及西北印度洋鸢乌贼群体结构和组成的年际变化,及其受主要环境要素的影响。以期了解西北印度洋鸢乌贼渔汛期的群体组成及主要生物学特征、掌握资源的变动规律以及合理利用该海域的头足类资源提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 调查船与材料来源

2次调查航次的船只都为商业捕捞渔船,第一次调查船为“欣海1202号”:船总长50.95 m,船型宽8.2 m,型深4.2 m,总吨位722 t,主机1台,功率1 260 kW,副机600、400、250 kW各1台,调查时间为2019年12月—2020年2月;第二次调查船为“兴邦908号”:船总长61.64 m,船型宽12.2 m,型深5.2 m,总吨位1 492 t,主机1台,功率1 540 kW,副机809、809、441 kW各1台,调查时间为2020年9—11月。2个航次具体的调查站位如图1所示,调查范围基本相同,为西北印度洋公海海域(60°E~65°E, 15°N~20°N)。

1.2 生物学测定及数据处理

1.2.1 生物学测定

生物学测定依据《海洋监测规范》^[12]进行,

测定内容包括鸢乌贼的胴长(Mantle length)、体质量(Body mass)、性别、性成熟度。其中胴长测定精确至1 mm,体质量精确至0.1 g。性腺成熟度等级划分参照EHRHARDT等^[13]的方法,将柔鱼科性腺成熟度划分为I~V期5个等级,将性腺成熟度达到I、II期的定为性未成熟个体,III、IV、V期的为性成熟个体。结合实验观察,I期为未发育阶段,此时雌雄个体的性腺组织较小,呈现半透明状态;II期进入生理发育阶段,性腺组织增大并增厚,雌性个体的卵巢中可清楚看到颗粒状结构,雄性个体的精荚腺内侧包含白色精团;III期为生理成熟阶段,雌性卵巢为草青色,并能观察到大量的卵母细胞,雄性精荚则显示出亮白色,且在尼氏囊(Needham's sac)中可见少量成熟精荚;IV期为成熟排卵阶段,雌性个体的卵巢完全成熟,输卵管中充满成熟卵子,雄性尼氏囊内的精荚呈现分层排列,精荚腺内仍然有白色精团;V期为繁殖后期,雌雄个体的性腺组织已开始萎缩,变得松软,个别雄性出现精荚遍布喷在体内的性状。鸢乌贼的成熟群体通常是指那些已经达到了性成熟阶段,具备繁殖能力的个体组成的群体。在生物学研究中,性成熟通常通过一些生理指标来判断,例如性腺的大小和成熟度,本研究将性成熟度达III期及其以上都归为达到性成熟且具备繁殖能力的个体,统称为繁殖群体^[10]。

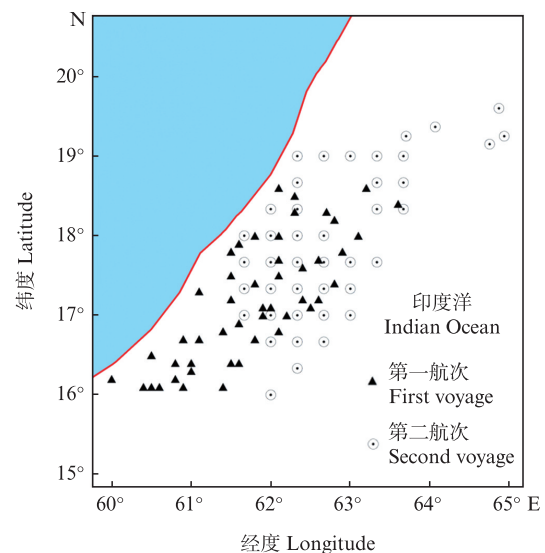


图1 西北印度洋鸢乌贼渔场2个航次调查采样站位
Fig. 1 Two voyages sampling stations of purpleback flying squid fishing ground in the Northwestern Indian Ocean

1.2.2 生物学数据的处理方法

根据雌性个体和雄性个体的分类开展详细统计,采用频率分布法对胴长和体质量的组成进行深入分析,胴长和体质量统一采用平均值 \pm 标准差(Mean \pm SD)的形式表示。通过该方法,可以清晰地揭示不同性别个体在这两项指标上的分布特征。同时,对渔获样本的平均胴长和平均体质量进行计算,以准确描述捕获样本的总体生物学特征,帮助判断种群的生长情况与体型水平。最后在此基础上,对优势胴长和优势体质量的分布特征进行分析,明确其在样本中所占比例,了解捕捞资源的动态变化。

采用非线性回归方法计算鸢乌贼胴长与体质量之间的关系^[14]:

$$W=a \times L^b \quad (1)$$

式中: W 为体质量,g; L 为胴长,mm; a 和 b 为参数。

不同胴长组内性成熟个体的比例采用非线性回归拟合 Logistic 曲线表示:

$$p_i = \frac{1}{1 + e^{-(a_i + b_i l_i)}} \quad (2)$$

式中:成熟率 p_i 为性成熟个体数占组内所有样本数量的比例; l_i 为 10 mm 间隔的各胴长组每组的具体胴长,mm; a_i 和 b_i 为参数,初次性成熟胴长可通过 $L_{50}=-a_i/b_i$ 推算^[15]。数据统计分析采用

SPSS 16.0 软件,显著性水平为 0.05。

1.2.3 海洋环境数据的获取与处理

海洋环境数据主要来源于海洋遥感技术,获取的关键指标包括海表面温度(Sea surface temperature, SST)、海表面温度距平值(Sea surface temperature anomaly, SSTA)以及叶绿素 a 质量浓度(Chlorophyll-a mass concentration, *Chl.a*)。SST 数据的空间分辨率为 9 km。SSHA 为日合成数据,其空间分辨率为 27 km。*Chl.a* 数据的空间分辨率为 4 km。将所得上述环境数据与对应的调查站位日期及经纬度进行匹配,再利用 SPSS 的软件统计分析。

2 结果

2.1 样品初步统计概况

2 次调查共采集鸢乌贼 1 430 尾,其中鉴定出雌性 381 尾,雄性 367 尾,另外有一定数量未鉴定雌雄个体,所有统计的样品概况见表 1。各航次样本中鉴定了雌雄的鸢乌贼的性别比例基本接近 1:1,总性比为 1:0.97,卡方检验显示雌雄比例保持平衡($P>0.05$)。第一航次雌性优势胴长组为 260~330 mm,雄性优势胴长组为 220~250 mm;第二航次雌性优势胴长组为 160~180 mm,雄性优势胴长组为 150~190 mm(图 2)。

表 1 鸢乌贼的样本概况及性比组成
Tab. 1 Summary examined samples and sex ratio of purpleback flying squid

调查渔汛期 Investigate fishing season	总样品数 Total sample number/尾	测定雌雄样品数 Determination of the number of male and female samples/尾	胴长 Mantle length/mm		体质量 Body mass/g		性比 Sex ration	卡方检验 Chi-square test	
			雌性 Female	雄性 Male	雌性 Female	雄性 Male	雄性/雌性 Male/Female	χ^2	P
2019.12—2020.2	735	290	313 \pm 29	243 \pm 23	1 292.0 \pm 89.6	561.0 \pm 52.6	1:1.09	0.50	0.48
2020.9—2020.11	695	458	204 \pm 17	186 \pm 11	423.0 \pm 30.1	282.0 \pm 32.2	1:1.01	0.01	0.93
合计 Total	1 430	748	248 \pm 21	207 \pm 17	783.0 \pm 66.9	387.0 \pm 26.8	1:0.97	0.19	0.66

在实验室识别鸢乌贼雌雄个体及观察性腺成熟度时,发现其雌性个体一般情况下解冻后外表完好,解剖后发现胃含物相对饱满;而雄性个体解冻后外表皮明显破烂,解剖后摄食强度相对低,雄性性腺特征明显,具体情况如图 3 所示。通过后期这么多样品雌雄外表皮完好与破损的分辨统计,到解剖辨别雌雄个体已得到验证。如表 1 所述,所有样品雌、雄个体的平均胴长分别为 248 和 207 mm,平均体质量分别为 783 和 387 g,

雌性个体规格普遍大于雄性。

通过 Welch 双样本 t 检验的结果可知(表 2),第一航次与第二航次两组胴长数据的均值存在显著差异($P<0.001$),且第一航次胴长的均值明显高于第二航次的均值。同样地,对不同性别组的检验结果表明,雌性组的胴长与雄性组胴长均值也存在显著差异($P<0.001$),雌性胴长的均值要显著高于雄性胴长均值。

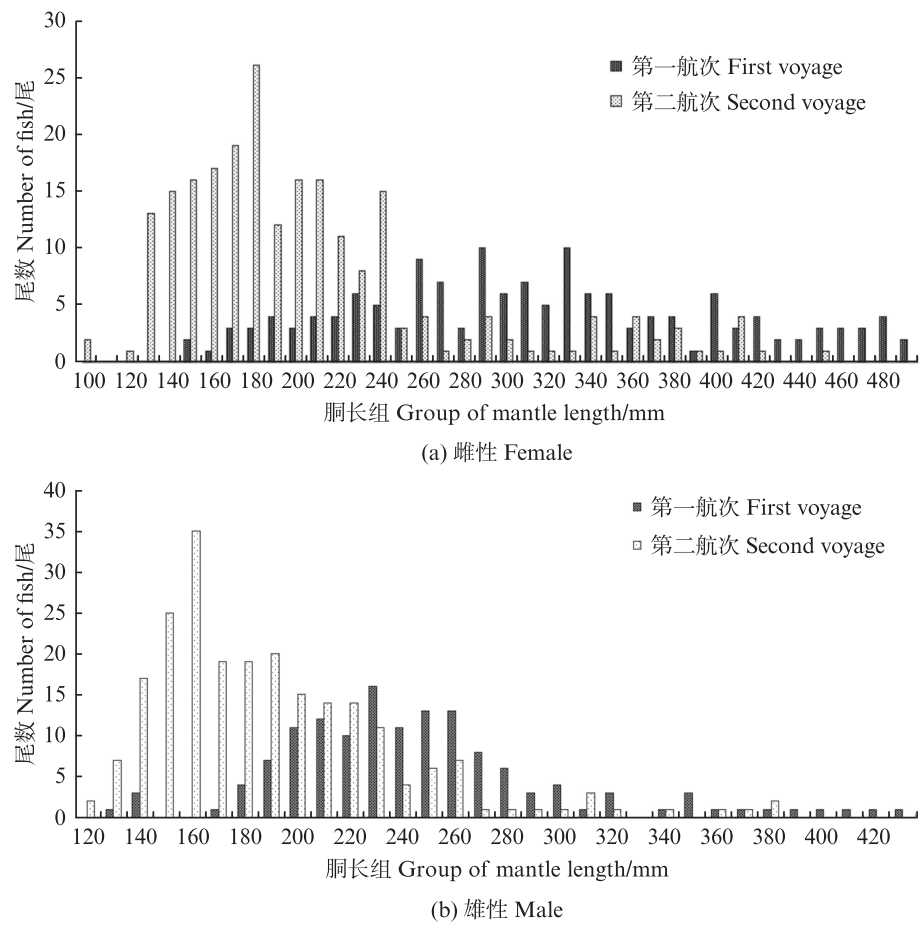


图2 鸢乌贼雌、雄个体胴长组的渔获数量分布

Fig. 2 Distribution of catch quantity of purpleback flying squid in both male and female mantle length groups

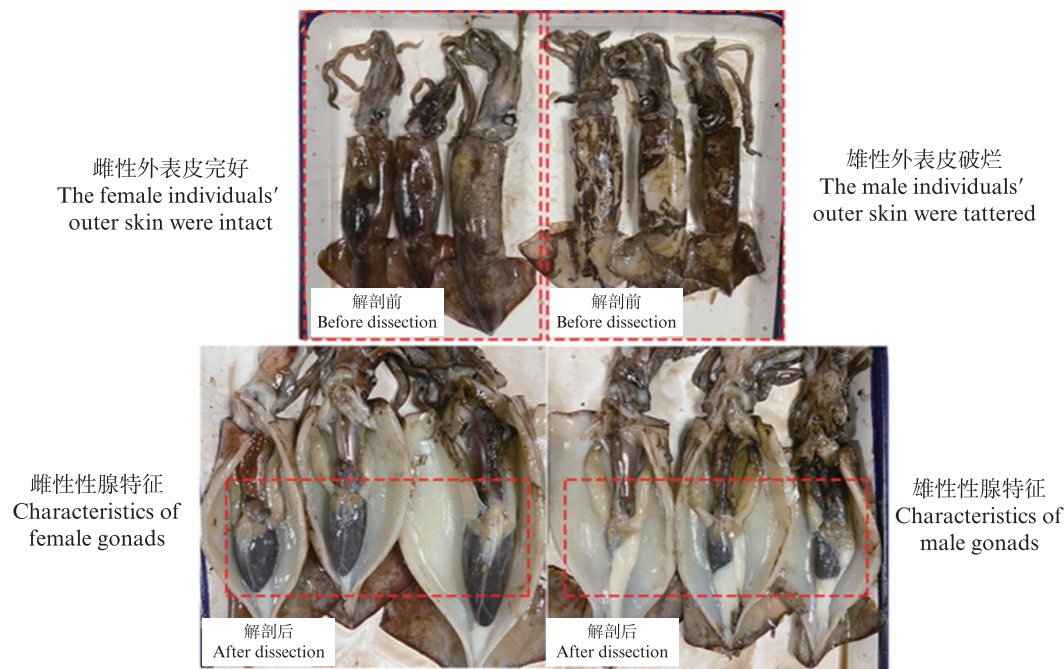


图3 鸢乌贼样品雌、雄个体形态与性腺特征的解剖示意图

Fig. 3 Anatomical sketch of female and male individual morphology and gonadal characteristics of purpleback flying squid

表2 不同分组下样本分布差异性检验
Tab. 2 Test of variability of sample distribution under different subgroups

统计量 Statistics		航次分组 Voyage grouping	性别分组 Gender grouping
自由度 Degrees of freedom		501.70	571.54
<i>t</i>		13.931	9.173
<i>P</i>		2.2×10^{-16}	2.2×10^{-16}
95% 置信区间 95%confidence interval	下限 Lower limit	67.371	41.600
	上限 Upper limit	89.493	64.269
样本均值 Sample mean	组一 Group one	279.305	260.580
	组二 Group two	200.873	207.646

注:在航次分组中,组一和组二分别表示第一航次和第二航次;在性别分组中,组一和组二分别为雌性和雄性。
Notes: In the voyage grouping, group one and group two refer to the first voyage and the second voyage respectively; in the gender grouping, group one and group two refer to females and males respectively.

2.2 胴长与体质量的关系拟合

对各航次印度洋鸢乌贼的胴长和体质量关系进行拟合(图4),呈幂函数变化:所有航次的胴

长和体质量都呈现显著相关($P<0.001$)。雌、雄鸢乌贼各自的胴长和体质量拟合关系见图4,胴长和体质量均呈极显著的幂函数关系。

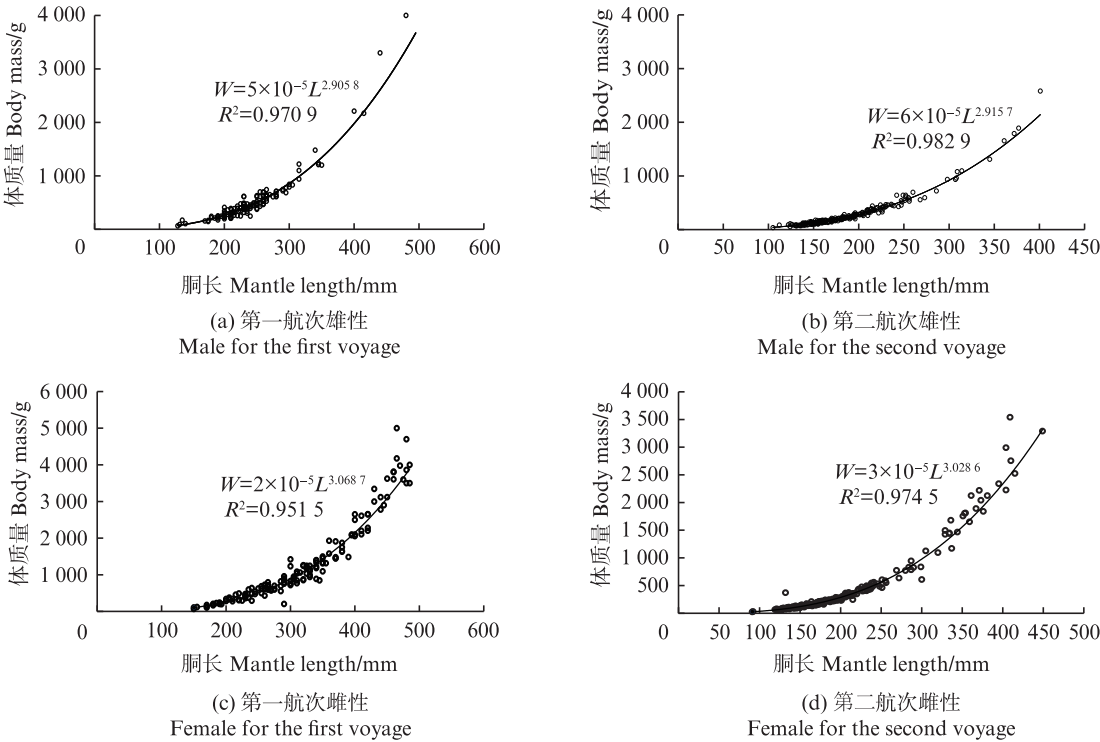


图4 鸢乌贼体质量与胴长的关系(不同航次与不同性别)
Fig. 4 Relationship between mantle length and body mass of purpleback flying squid (different voyages and different genders)

2.3 性成熟度分布

调查期间获得所有样本的性腺成熟度达到Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ期(性成熟)的个体占有所有样本的比例高达66.53%,其中雌性成熟群体占57.37%,雄性成熟群体占75.20%。而第一航次中性成熟群体比例占61.33%;第二航次性成熟群体达87.25%,

具体分布如图5所示。
对不同性腺成熟度的雌、雄印度洋鸢乌贼胴长与体质量关系进行方差分析,发现雌、雄鸢乌贼分别在不同性成熟度下胴长与体质量的回归方程通过显著性检验(ANOVA, $P<0.01$,表3),在一定范围呈正相关关系。

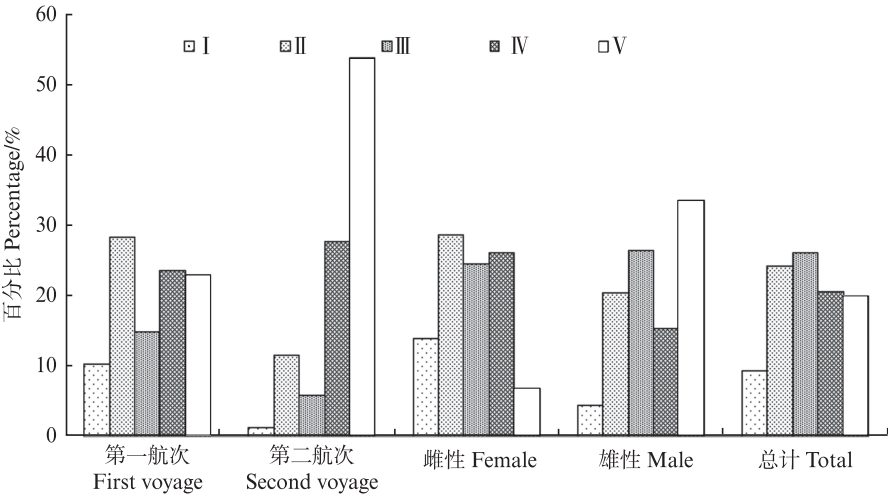


图5 调查期间鸢乌贼性成熟度百分比
Fig. 5 Percentage of each sexual maturity degree of purpleback flying squid during the survey period

表3 性成熟度对胴长与体质量关系影响的方差分析
Tab. 3 Result of the ANOVA to test the effect of maturity stages on the relationship between mantle length and body mass

性别 Sex	差异来源 Difference sources	自由度 Freedom degree	均方 Mean square	F 检验 F test	P
雌性 Female	体质量对数	1	45.973	1.021	<0.01
	性成熟度	3	8.741	14.553	<0.01
雄性 Male	体质量对数	1	3.126	10.013	<0.01
	性成熟度	3	1.368	9.394	<0.01

2.4 雌、雄群体的初次性成熟度

采集样本中雌、雄个体性成熟度胴长的 Logistic 曲线见图 6。拟合方程中第一航次雌性为 $p_i = \frac{1}{[1 + e^{-(11.23 + 0.031 15l_i)}]}$, L_{50} 为 361 mm, $P < 0.05$; 第一航次雄性为 $p_i = \frac{1}{[1 + e^{-(3.905 5 + 0.022 78l_i)}]}$, L_{50} 为 171 mm, $P < 0.05$; 第二航次雌性为 $p_i = \frac{1}{[1 + e^{-(3.389 03 + 0.016 78l_i)}]}$, L_{50} 为 202 mm, $P < 0.05$; 第二航次雄性为 $p_i = \frac{1}{[1 + e^{-(4.097 2 + 0.026 84l_i)}]}$, L_{50} 为 153 mm, $P < 0.05$ 。2 个航次雌性初次性成熟胴长均大于雄性,提示雌性个体发育成熟的时间可能略晚于雄性。

2.5 海洋环境因子与成熟群体的关系

如图 7 所示,2 次调查的共同点为高产渔获分布都在整个渔场的西南部位置,其中第一航次

高 CPUE 区域主要为 60°E ~61°E 和 16°N, SST 为 24.5~25.5 °C、*Chl.a* 为 0.3~0.4 mg/m³、SSTA 为 0.2~0.6 °C;第二航次的高产区域主要为 61.50°E ~65°E 和 16°N~20°N, SST 为 26.5~27.5 °C、*Chl.a* 为 0.4~0.5 mg/m³、SSTA 为 0.2~0.4 °C。

分别将调查期间 2 次鸢乌贼样品的成熟群体的比例与 CPUE 分布、SST、*Chl.a* 和 SSTA 进行对照统计,如图 8 所示,发现第二航次的鸢乌贼性成熟群体的比例明显比第一航次高,为 87.26%,该航次对应的平均 CPUE、SST 和 SSTA 分别为 4.64 t/网、27.81 °C、0.58 °C,而叶绿素 a 质量浓度为 0.42 mg/m³,第一航次调查鸢乌贼性成熟群体比例为 61.33%,其对应平均 CPUE、SST 和 SSTA 明显比第二航次低,分别为 3.64 t/网、25.89 °C、0.06 °C,唯有 *Chl.a* 略微偏高,为 0.49 mg/m³;除了 *Chl.a*,初步显现调查期间鸢乌贼渔获 CPUE 及性成熟群体比例与 SST、SSTA 呈正相关,与 *Chl.a* 的相关性并不显著。

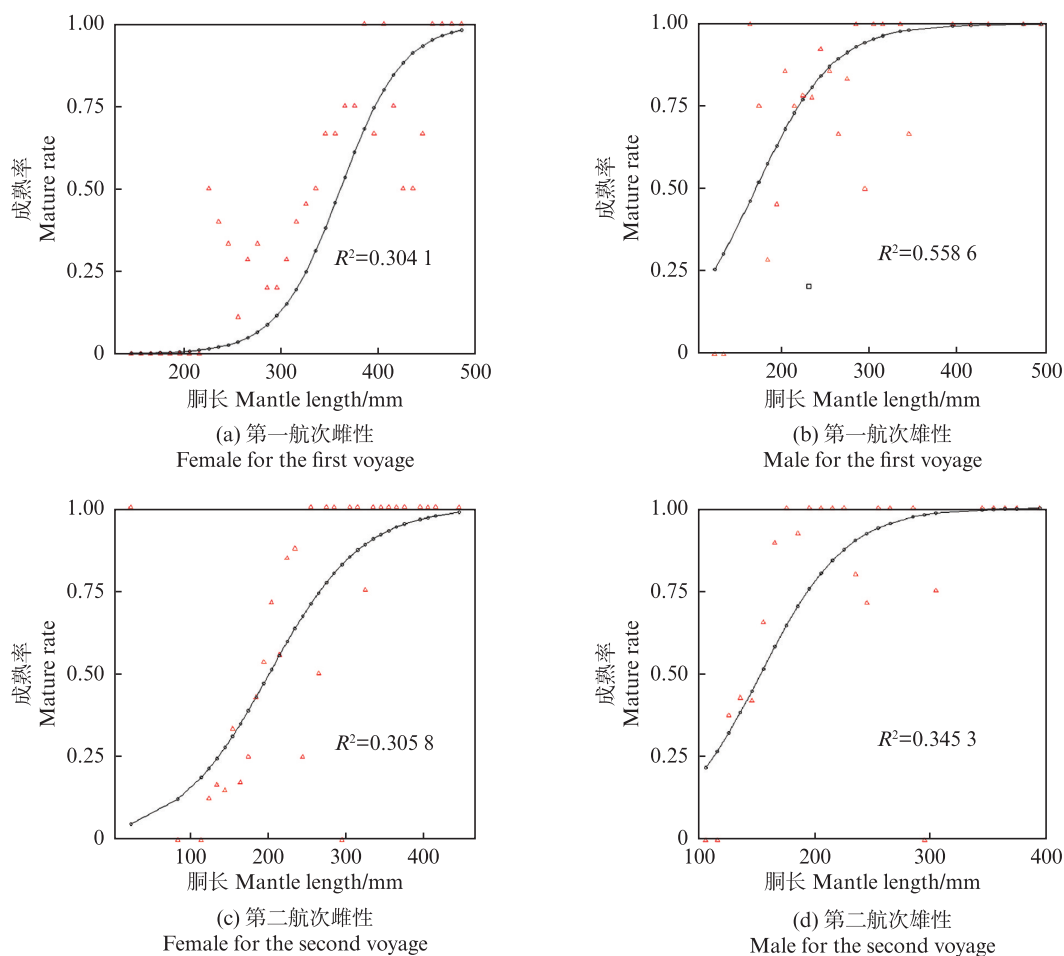


图6 雌、雄鸢乌贼的生长 Logistic 曲线

Fig. 6 Growth Logistic curve of female and male purpleback flying squid

3 讨论

3.1 雌、雄个体形态特征的比较

调查样品中所有鸢乌贼性成熟群体尾数比例高达 66.53%, 其中雌性成熟群体占 57.37%, 雄性成熟群体达到 75.20%。雌性的平均胴长为 248 mm, 平均体质量为 783 g; 而雄性明显偏小, 平均胴长为 207 mm, 平均体质量仅为 387 g。研究发现随着性腺发育成熟, 雌、雄性个体性腺成熟度指数变化率存在显著差异, I~II 期雌性个体性腺指数增长比雄性慢, III~V 期性腺指数增长率雌性大于雄性, 但是发现在成熟个体中雄性明显比雌性个体更快成熟, 其中雄性个体更趋向

于小型化, 为了繁衍后代更快发育成熟, 类似近海的小型鱼类生物特征。头足类的繁殖模式表现出多样性, 主要包括同时中断产卵、多次产卵、间歇性产卵、连续产卵以及多周期产卵等多种形式^[16]。研究结果基本与 ARKHIPKIN^[6]的结果一致, 头足类雄性个体先行发育, 雌雄个体出现不同的繁殖行为, 性腺发育前期雄性性腺成熟度指数大于雌性; 雌性个体则在性腺发育前期为保证充足营养和能量摄入而维持较低性腺成熟度指数, 为性腺发育成熟和排卵期提供基础保障, 表明雌雄个体发育模式有较大差异, 至于自然习性特征的延续还是适应捕捞压力改变的生存策略, 需要进一步探讨。

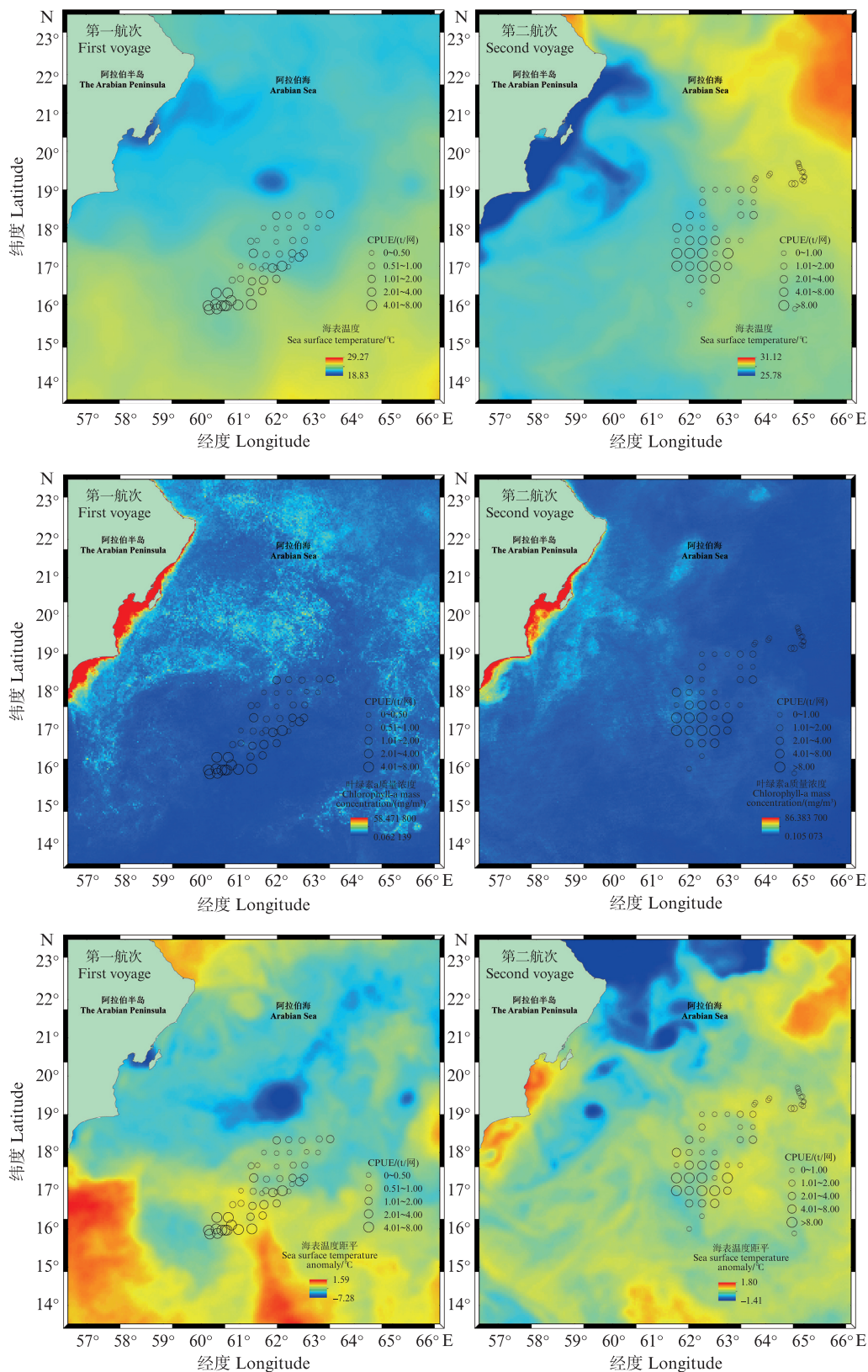


图7 2个航次调查期间鸚乌贼 CPUE 与主要环境因子的叠加分布
 Fig. 7 Superposition distribution of CPUE of purpleback flying squid and main environmental factors during two voyages

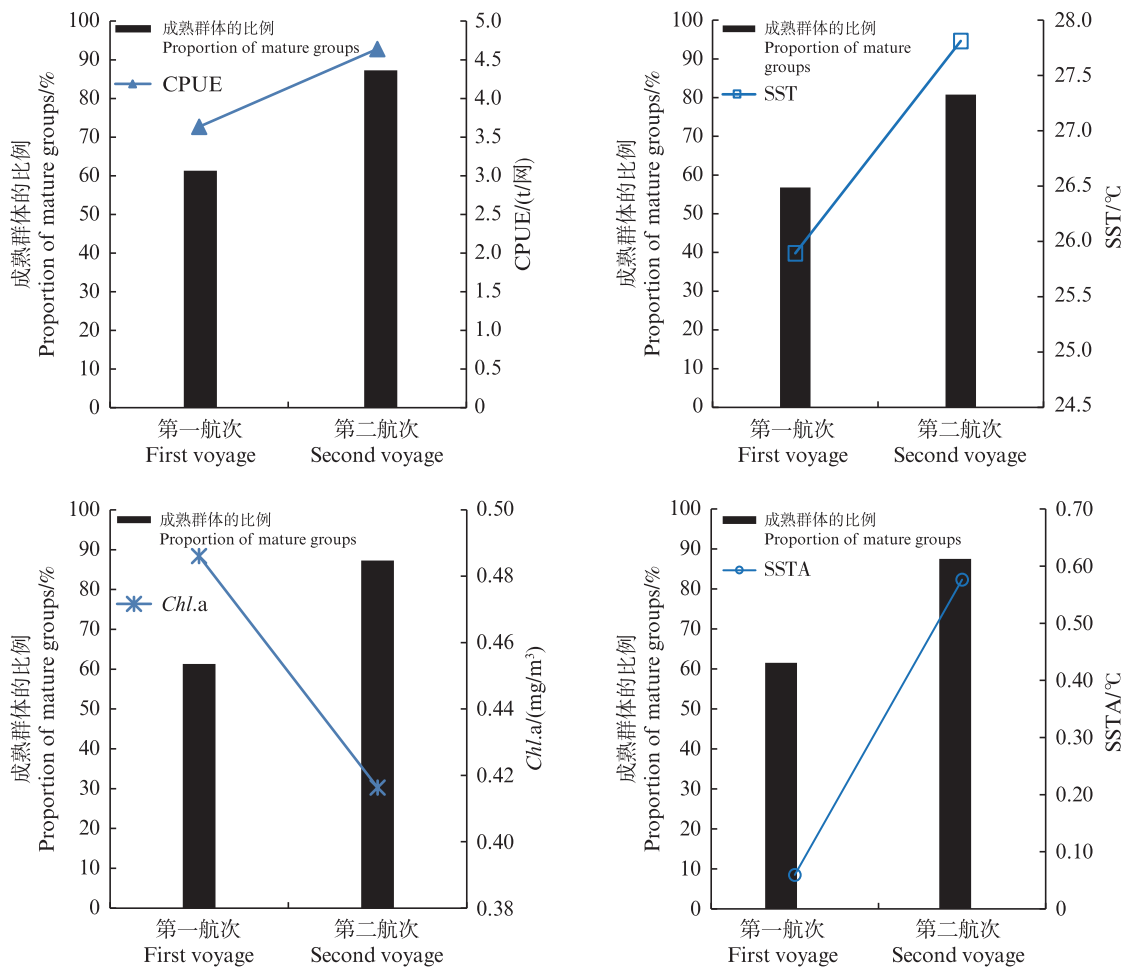


图8 2个航次调查期间鳶乌贼成熟群体的比例与主要环境因子的分布

Fig. 8 Proportion of mature groups of purpleback flying squid and distribution of main environmental factors in two voyages

鳶乌贼作为一种典型的热带头足类,有繁殖力强、生长速率快和生命周期短等特点^[14]。目前集中在南海海域的研究较多。其中NESIS^[2]对南海鳶乌贼进行了详细的分类研究,提出将其划分为4个不同的群体类型:大型群、中型群、小型群和微型群。颜云榕等^[10]和CHEMBIAN等^[17]研究的南海南沙北部海域夏季群体雌雄比约为1.4;栗丽等^[18]研究的南海中南部海域春季和秋季的雌雄比为1。本研究2个航次调查鉴定的鳶乌贼雌雄性比都接近1:1,与栗丽等^[18]、冯波等^[19]和颜云榕等^[10]的研究结果存在差异。季节间雌雄比差异表明不同季节雌雄个体间死亡率不同, TAFUR等^[15]研究发现,雄性茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)与雌性交配后更早死亡,导致雌雄比例失调。不同季节雌雄比差异反映出鳶乌贼种群的繁殖特性和生长规律存在季节性差异。Fisher法则认为,在同种生物繁殖群体中,性别比例基本

在1左右波动,性比失衡将影响种群的性腺发育、繁殖产卵和生长规律等。而冯波等^[19]调查发现,西沙群岛海域冬季鳶乌贼雌雄比约为2,夏季约为0.5。但涉及印度洋鳶乌贼有别于南海海域,其存在大中小型群个体,且不同海域个体大小不同,由于本研究样本并不能根据胴背部有无发光器和性腺发育状况正确将鳶乌贼群体区分开,故不作大中小型上的群体区分。本次调查发现胴背部有发光器的鳶乌贼个体并不多,且基本都是胴长在40 cm及以上的雌性个体,故研究并没有把印度洋鳶乌贼的群体进行区分。

3.2 海洋环境因子驱动渔场形成及其迁移的变化

本研究通过2个航次的调查数据,分析了西北印度洋公海鳶乌贼群体结构和组成的年际变化,以及与主要环境要素的关系。西北印度洋鳶乌贼渔场的形成受到多种因素的影响。这不仅仅包括印度洋特有的海洋环境和丰富的渔场饵料

生物,还与鸢乌贼自身的生物习性密切相关。上述因素共同作用,既体现了与其他海域渔场形成的共性,又展现了西北印度洋区域的独特性^[9]。印度洋作为一个半封闭的水域,其北部边界大约止于20°N,这种地理特征显著增强了海洋与陆地之间的热力对比,尤其在季节交替时,更加剧了海陆之间的温度和湿度差异。强烈的热力差异不仅在气候模式上塑造了印度洋的独特性,也使其成为了全球范围内典型的季风区之一。季风的形成与转换不仅是由于海洋与陆地之间的温度反差引发的气流运动,还与不同季节大气环流的调整密切相关^[20]。在该区域,春季和秋季通常被视为季风的转换期。这一过渡阶段是季风系统重组的重要时期,此时海洋的热力状况与大气的环流模式,尤其是高空急流和低空气流的变化,不仅直接影响季风的爆发时间与强度,还会对周边大区域的气候产生深刻影响。例如,季风的强弱和降水时间直接关系到非洲、东亚及南亚的农业生产和水资源供给,而该地区的气候变化也可能进一步反作用于季风系统的演变。此外,热带印度洋的2个典型年际模态:海温海盆一致模态(Indian ocean basin mode, IOB)和印度洋偶极子,在季风转换期尤为显著,并表现出明显的季节锁相特征,这种锁相现象意味着这2个模态的活跃期与特定的季节高度吻合,使它们在季风系统的转变过程中扮演关键角色。其中,IOB主要指热带印度洋区域SST的整体一致变化。它是对厄尔尼诺(El Niño)事件的滞后响应^[21],通常在厄尔尼诺发生后的一段时间内表现出整个印度洋区域的同步升温或降温趋势,该现象表明,无论是赤道中部还是东西两侧海域,海表温度会以协调的方式变化。此外,IOB的海温异常往往在春季达到顶峰,且与南亚夏季风的强弱有着紧密的联系^[22]。特别是受每一年的季风海流和反赤道海流的影响,往往在一个休整期(6—8月不作业)之后,发现渔场的位置、主要渔获物的比例乃至同一种渔获物(如鸢乌贼)的规格,包括繁殖群体都有较大的波动,除了生物自身的洄游习性特征,其他水文环境因子也存在驱动作用。结果显示,第一航次的鸢乌贼性成熟群体的比重比第二航次高出了25.93%,这表明在不同的时间点,鸢乌贼的性成熟群体分布存在显著差异,可能与上述季节性环境变化有关。

每年的6—8月是印度洋的季风转化期,该时期渔船基本回国修船或转载渔场,当下半年返回生产时,渔场位置及渔获物组成都会有较大变化,且每年的情况不一样,表现为中心渔场相对分散且不稳定。另外,时常有非经济物种,如刺鲀、水母的聚集爆发对正常渔业生产产生干扰。目前较多的研究认为海温、叶绿素、海面高度、饵料生物的变化等为影响渔场变动的直接因素^[23];上升流、沿岸流等大洋环流可以看作是内在驱动因素^[9]。渔场形成的内在动力在于上升流的存在,这主要是由于特定季节流系的活跃,使得深海中缺氧且富含营养的海水能够上涌至表层。上升流的作用导致该区域的SST相对较低,同时促进了表层藻类的繁盛和生长,使得海表面的Chl.a显著提高。由于溶解氧缺乏,鸢乌贼会倾向于向溶解氧相对丰富的区域移动,这通常表现为它们聚集在SST较高且Chl.a较低的水域。但鸢乌贼也展现出朝向食物丰富的区域觅食的习性,这通常是指聚集在Chl.a较高和SST较低的水域。在这些区域,藻类的繁荣反映初级生产力较高,从而为鸢乌贼提供了丰富的食物资源。群体往往会集中在SST和Chl.a梯度较大的狭长区域。当该海域附近发生上升流时,低压扰动有利于形成并维持较大的SST和Chl.a梯度。这种复杂的海洋环境促进了鱼群的迅速聚集,进而形成了中心渔场。然而,当低压扰动消失,同时风速增加、风向变得单一,且渔场的海洋环境趋于均匀,群体则会迅速分散,导致中心渔场的消失。所以该渔场并不像其他渔场一样稳定,而受低压扰动等的影响较大。对比2个航次期间的SST、SSTA和Chl.a等关键海洋环境因子发现,性成熟群体的比例与SST和SSTA呈正相关,而与Chl.a的相关性不显著。这一发现揭示了海洋环境因子对鸢乌贼渔场形成及其迁移的潜在影响,为理解鸢乌贼资源的动态变化提供了科学依据。

3.3 海洋环境因子驱动繁殖群体的变化

本研究进一步探讨了海洋环境因子对鸢乌贼繁殖群体的影响。对2个航次鸢乌贼样本的性腺成熟度分析发现,性成熟度达到Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ期的个体占比高达66.53%,其中雌性成熟群体占57.37%,雄性成熟群体达到75.20%。这一结果表明,鸢乌贼群体中存在较高比例的成熟个体,这

对于种群的繁殖和资源的可持续利用具有重要意义。此外,通过对比2个航次的环境数据发现,第二航次的鸢乌贼性成熟群体的比重明显比第一次高,与较高的SST和SSTA值相关,这可能反映了温度对鸢乌贼性成熟度的影响。上述结果为理解海洋环境变化对鸢乌贼繁殖群体的影响提供了实证数据,对于预测和评估鸢乌贼资源的动态变化具有重要的参考价值。鸢乌贼作为头足类生物,对水温变化十分敏感。在冬季和春季,由于大范围海水温度普遍较低,高生物量区域通常集中在南部低纬度、温度较高的海域,为鱼类及其他海洋生物的生长繁殖提供了有利条件,此外,低纬度海域丰富的浮游生物和稳定的环境也进一步吸引了鱼群聚集;然而,随着夏季和秋季的到来,气温回升,整个海域的水温逐渐趋于均衡,海洋表层和不同纬度间的温差缩小,使生物资源的分布更加分散,头足类的繁殖力水平受栖息环境重要影响,繁殖力水平自低纬度向高纬度海域呈递减趋势,水温、初级生产力是重要的影响因素^[24]。如东海南部海域,底层水温被认为是影响头足类种类组成的主要环境因子^[25]。而在莱州湾,头足类的个体分布与浮游动物密度的相关性最高,其次为pH和水深,与海表温度、溶解氧及盐度的相关性最低。这说明不同地区头足类对环境因子的响应存在差异。徐红云^[26]的研究结果表明,南海鸢乌贼中心渔场的最适宜SST为26.4~29.6℃。徐红云等^[27]指出,头足类动物对海水温度变化非常敏感。在对中沙西沙海域鸢乌贼渔场的研究中,他们发现该渔场与多种环境因子之间存在密切关联。该发现与其他海域的研究结果相似,表明鸢乌贼的分布和繁殖可能受到多种环境因素的影响。但是,南海的情况却展现出其独特的特点,该特点可能与南海地区复杂的地貌结构和特殊的水文环境密切相关。南海常年受到季风气候和热带气旋的影响,形成了显著的上升流区域,上升流不仅带来了大量的营养物质,而且促进了海面高度的变化,进而容易形成流场、锋面和涡旋^[28]。以上条件综合作用,为渔场的形成提供了有利的环境。此外,鸢乌贼存在着明显的昼夜垂直迁移特性,反映了其独特的生态适应性。通常情况下,鸢乌贼在19时左右从约400 m深的水层开始向上移动,并在22

时左右抵达100 m以上的浅水层。在夜间的浅水层活动结束后,它会于大约清晨4时下沉,并在6时左右返回至300 m左右的深层水域,该规律的垂直迁移活动使其可以在不同深度环境中进行活动,通过对鸢乌贼胃中食物进行分析,可以发现该行为的主要目的是觅食,从而满足其能量需求^[29]。在夜间上浮至100 m以上浅层水域的过程中,其活动与SST和海表面高度的变化关系更加密切。由于海面高度能够体现海洋温跃层厚度的变化,对西北印度洋海域鸢乌贼的渔场分布及其与海面高度的数据进行分析,可以找出中心渔场分布与海面高度以及冷暖水团之间的关系^[30]。在西北印度洋海域低压扰动较为活跃且常见,低压扰动对渔场的形成和维持起着非常重要的作用,包括对繁殖群体的索饵洄游路线的驱动变化。在调查期间就先后有2次低压扰动,低压扰动对该海域鸢乌贼洄游的影响主要表现在:(1)低压扰动的出现改变了海面风速风向,致使表层藻类的分布呈现低浓度区域,呈“S”形条带状分布,表层藻类水平非均匀间隔分布,使得表层藻类浓度水平梯度大。(2)低压扰动会使气象要素骤变,引起海水性质的急剧变化,会激起繁殖群体的集群活动^[31]。研究还发现渔场海域上升流发生后,低压扰动出现有利于较大的SST梯度及Chl.a梯度的出现和维持,渔场海洋环境复杂,繁殖群体汇集,形成渔场;而当低压扰动消失,风速增大,风向单一后,渔场海洋环境单一均匀,群体会很快分散,渔场消失。

颜云榕等^[11]研究南沙海域鸢乌贼4个季节繁殖力、性腺成熟度、性成熟比例及卵径的变化规律,鸢乌贼繁殖高峰期出现在春季和冬季,卵径大小与个体生长发育关系不明显,繁殖策略存在季节性差异。朱凯等^[32]重点分析了南海鸢乌贼不同群体在繁殖特性、繁殖力、能量积累与分配以及繁殖投入模式方面的定量数据。通过对这些因素的细致研究,揭示了南海鸢乌贼的繁殖特性和策略,深入探讨了其性腺发育指数与环境因子之间的复杂关系。栗丽等^[18]发现南海鸢乌贼的雌雄个体在性腺发育方面表现出显著的个体差异和季节差异,该现象可能源于南海鸢乌贼作为一种异步成熟且具备连续产卵特性的群体生物,使得在不同个体和不同季节中,性腺的发育

状况存在明显的变化。冯波等^[19]对西沙群岛海域鸢乌贼的研究同样揭示了在各个季节都有性成熟个体的存在,进一步支持了这一结论。叶旭昌等^[33]在印度洋西北海域鸢乌贼的研究中发现,在秋季雌雄的性腺成熟度主要集中在 I 期和 IV 期,该结果与该次调查的研究结果存在一定差异,可能是由于具体位置的不同以及季风等环境因素产生了影响。

4 不足与展望

本研究虽然采集了 2 个航次的样本,分析了鸢乌贼的胴长、体质量、性别、性成熟度和摄食强度等生物学特征,以及印度洋鸢乌贼群体结构和组成的年际变化,及其受主要环境要素的影响,发现第二航次的鸢乌贼性成熟群体的比重明显比第一航次高,达到 87.26%,该航次对应的平均 CPUE、SST 和 SSTA 都相对较高,与性成熟群体呈正比关系。但是样本量总体偏少,有待增加样品数量和质量,提高研究的准确性和精细化程度。但本研究涵盖的海域是中国当前远洋鱿钓渔业的主要渔场之一,对后期系统地研究与评估鸢乌贼资源具有重要的意义。鸢乌贼的生长发育速度以及群体结构的年际变化应该与所处海域相对复杂的海洋环境条件有关,但二者间的定量关系,还需要再进一步探索鸢乌贼群体的产卵繁殖、具体游洄路线以及产卵和幼体的成长规律,需要结合具体的 SST、Chl.a、浮游生物、饵料等环境因子来加以追踪分析和验证。研究中 2 次调查的渔场范围基本相同,但不足是持续时间短,渔船装备配备不统一,同时也需要对于渔场的消失原因和渔场的迁徙路径做深入和全面的研究,建议在后续的研究工作中融合声学导航以及遥感技术,以更全面地探讨影响鸢乌贼渔场分布的关键环境因素。声学导航可以提供精确的水下生物量数据,而遥感技术则能够监测海表面的环境变量,如海表温度、海表高度异常和叶绿素质量浓度等,通过整合这两种数据源,可以更清晰地揭示不同时间和空间尺度上环境条件对鸢乌贼渔场分布的影响机制。此外,建议将水深 300 m 以内的鸢乌贼生物量数据作为渔场分布的代表性指标,并利用遥感技术手段获取热带印度洋环流动力与季风等的变化信息,分析影响驱动鸢乌贼渔场形成的原因,并结合大洋物质(如营

养盐、溶解氧和藻类物质等)的动力输送作用,更加深入地提示海洋环境要素影响鸢乌贼资源分布的内在动力机制。

作者声明本文无利益冲突。

参考文献:

- [1] 陈新军,韩保平,刘必林,等. 世界头足类资源及其渔业[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 139-140.
CHEN X J, HAN B P, LIU B L, et al. World cephalopod resources and fisheries[M]. Beijing: Science Press, 2013: 139-140.
- [2] NESIS K N. Population structure of oceanic ommastrephids, with particular reference to *Sthenoteuthis oualaniensis*: a review[M]//OKUTANI T, O'DOR R K, KUBODERA T. Recent Advances in Cephalopod Fishery Biology. Tokyo: Tokai University Press, 1993: 375-383.
- [3] 陈新军,钱卫国. 印度洋西北部海域鸢乌贼资源密度分布的初步分析[J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(3): 218-223.
CHEN X J, QIAN W G. Study on the resource density distribution of *Symlectoteuthis oualaniensis* in the northwestern Indian Ocean [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2004, 13(3): 218-223.
- [4] 王尧耕,陈新军. 世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 284-295.
WANG Y G, CHEN X J. The resource and biology of economic oceanic squid in the world[M]. Beijing: Ocean Press, 2005: 284-295.
- [5] HANLON R T, MESSENGER J B. Cephalopod behaviour[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 1-232.
- [6] ARKHIPKIN A I. Statoliths as 'black boxes' (life recorders) in squid[J]. Marine and Freshwater Research, 2005, 56(5): 573-583.
- [7] 陆化杰,张旭,童玉和,等. 中国南海西沙群岛海域鸢乌贼耳石微结构及生长特性[J]. 水产学报, 2020, 44(5): 767-776.
LU H J, ZHANG X, TONG Y H, et al. Statolith microstructure and growth characteristics of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the Xisha Islands waters of the South China Sea [J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(5): 767-776.
- [8] 刘必林,陈新军,钟俊生. 印度洋西北海域鸢乌贼耳石的形态特征分析[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(5): 604-609.
LIU B L, CHEN X J, ZHONG J S. Statolith morphology of the purpleback flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in the northwest Indian Ocean [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(5): 604-609.

- [9] 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.
- [10] 颜云榕, 邱星宇, 张丽姿, 等. 南沙海域鳶乌贼繁殖生物学特性[J]. 广东海洋大学学报, 2021, 41(3): 20-27.
YAN Y R, QIU X Y, ZHANG L Z, et al. Reproductive biology of *Sthenoteuthis oualaniensis* in Nansha Islands, South China Sea [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2021, 41(3): 20-27.
- [11] 颜云榕, 冯波, 卢伙胜, 等. 南沙群岛北部海域鳶乌贼 (*Sthenoteuthis oualaniensis*) 夏季渔业生物学研究[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(6): 1177-1186.
YAN Y R, FENG B, LU H S, et al. Fishery biology of Purpleback flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in northern sea areas around Nansha Islands in summer[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(6): 1177-1186.
- [12] 国家质量监督检验检疫总局. 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision and Quarantine. Specification for marine surveys [S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [13] EHRHARDT N M, JACQUEMIN P S, GARCIA B F, et al. On the fishery and biology of the giant squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico [J]. Journal of the Kansas Entomological Society, 1983, 231: 306-340.
- [14] 唐峰华, 伍玉梅, 樊伟. 2010年北太平洋海区巴特柔鱼 (*Ommastrepe bartrami*) 的生物学特征[J]. 海洋科学进展, 2012, 30(2): 257-265.
TANG F H, WU Y M, FAN W. Biological characters of neon flying squid (*Ommastrepe bartrami*) in the North Pacific Ocean[J]. Advances in Marine Science, 2012, 30(2): 257-265.
- [15] TAFUR R, VILLEGAS P, RABI M, et al. Dynamics of maturation, seasonality of reproduction and spawning grounds of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in Peruvian waters[J]. Fisheries Research, 2001, 54(1): 33-50.
- [16] 宋海棠, 丁天明, 徐开达. 东海经济头足类资源[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 24-31.
SONG H T, DING T M, XU K D. Economic cephalopod resources in East China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2009: 24-31.
- [17] CHEMBIAN A J, MATHEW S. Population structure of the purpleback squid *Sthenoteuthis oualaniensis* (Lesson, 1830) along the south-west coast of India [J]. Indian Journal of Fisheries, 2014, 61(3): 20-28.
- [18] 粟丽, 陈作志, 张鹏. 南海中南部海域春秋季节鳶乌贼繁殖生物学特征研究[J]. 南方水产科学, 2016, 12(4): 96-102.
SU L, CHEN Z Z, ZHANG P. Reproductive biology of purpleback flying squid (*Symplectoteuthis oualaniensis*) in the south-central South China Sea in spring and autumn [J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(4): 96-102.
- [19] 冯波, 颜云榕, 张宇美, 等. 南海鳶乌贼 (*Sthenoteuthis oualaniensis*) 资源评估的新方法[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(4): 1-6.
FENG B, YAN Y R, ZHANG Y M, et al. A new method to assess the population of *Sthenoteuthis oualaniensis* in South China Sea[J]. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(4): 1-6.
- [20] 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.
- [21] WANG J, ZHANG S W, JIANG H, et al. Indian Ocean basin warming in 2020 forced by thermocline anomalies of the 2019 Indian Ocean dipole[J]. Journal of Climate, 2024, 37(1): 145-163.
- [22] YANG J L, LIU Q Y, LIU Z Y. Linking observations of the Asian monsoon to the Indian Ocean SST: possible roles of Indian Ocean basin mode and dipole mode [J]. Journal of Climate, 2010, 23(21): 5889-5902.
- [23] 杨胜龙, 范秀梅, 伍玉梅, 等. 基于GAM模型的阿拉伯海鲐鱼渔场分布与环境关系[J]. 生态学杂志, 2019, 38(8): 2466-2470.
YANG S L, FAN X M, WU Y M, et al. The relationship between the fishing ground of mackerel (*Scomber australasicus*) in Arabian Sea and the environment based on GAM model[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(8): 2466-2470.
- [24] 林东明, 宣思鹏, 陈新军. 头足类鞘亚纲繁殖力研究进展[J]. 海洋渔业, 2021, 43(1): 112-128.
LIN D M, XUAN S P, CHEN X J. Research progress in fecundity study of Coleoidea (Cephalopoda) [J]. Marine Fisheries, 2021, 43(1): 112-128.
- [25] 朱文斌, 薛利建, 卢占晖, 等. 东海南部海域头足类群落结构特征及其与环境关系[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(2): 436-442.
ZHU W B, XUE L J, LU Z H, et al. Cephalopod community structure and its relationship with environmental factors in the southern East China Sea[J].

- Oceanologia et Limnologia Sinica, 2014, 45 (2): 436-442.
- [26] 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 H Y. 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.
- [27] 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 H Y, CUI X S, ZHOU W F, et al. Analysis on the Optimal Habitat Environment of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the Open Sea of the South China Sea Based on Marine Remote Sensing [J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(11): 3080-3085.
- [28] 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 X X, YU J, LI Y Z, 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.
- [29] LAMPERT W. The adaptive significance of diel vertical migration of zooplankton[J]. Functional Ecology, 1989, 3(1): 21-27.
- [30] 范江涛, 张俊, 冯雪, 等. 南沙海域鸢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 oualaniensis* fishing ground and marine environmental factors in Nansha area [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 419-426.
- [31] 李飞鹏, 陈蒙蒙, 贾玉宝, 等. 气象因素对封闭浅湖泊浮游藻类生长和分布影响[J]. 水生态学杂志, 2019, 40(5): 55-62.
- LI F P, CHEN M M, JIA Y B, et al. Effects of Meteorological Factors on the Growth and Distribution of Phytoplankton in Closed Shallow Lakes [J]. Journal of Hydroecology, 2019, 40(5): 55-62.
- [32] 朱凯, 杜飞雁, 王雪辉, 等. 南海中南部鸢乌贼中型群体结构[J]. 应用生态学报, 2017, 28(4): 1370-1376.
- ZHU K, DU F Y, WANG X H, et al. Morphological variations and discrimination of medium form of the purple flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in the central and southern South China Sea [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(4): 1370-1376.
- [33] 叶旭昌, 陈新军. 印度洋西北海域鸢乌贼生物学特性初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(4): 316-322.
- YE X C, CHEN X J. Study of biological characteristics of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the northwestern Indian Ocean [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2004, 13(4): 316-322.

Reproductive biology of purpleback flying squid in the Northwestern Indian Ocean and its relationship with environmental factors

TANG Fenghua^{1,2}, BA Yaoji^{1,2}, XIAO Ge¹, SHI Yongchuang¹, ZHAO Guoqing¹, GUO Ai¹, ZHANG Heng¹, CUI Xuesen¹, CHEN Feng³

(1. Key Laboratory of Fisheries Remote Sensing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 2. School of Navigation and Naval Architecture, Dalian Ocean University, Dalian 116023, Liaoning, China; 3. Zhejiang Institute of Marine Fisheries, Zhoushan 316021, Zhejiang, China)

Abstract: In order to analyse the inter-annual variation in the population structure and composition of the purpleback flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) and its main environmental influences. A productive fishery survey was conducted on two consecutive cruises from December 2019-February 2020 and September-November 2020 in the open ocean waters of the northwestern Indian Ocean from 60°E to 65°E, 15°N to 20°N, to collect samples of the Indian Ocean purpleback flying squid was carried. During the survey, we obtained 1 430 purpleback flying squid samples, with a total of 748 sexes identified, and a total sex ratio of male to female of 1:0.97. We analyzed the biological characteristics of the purpleback flying squid, like mantle length, body mass, sex, sexual maturity and feeding intensity, by means of the SPSS statistical software. The average mantle lengths of females and males were 248 mm and 207 mm, respectively, and the dominant mantle length group was 220–250 mm. The Logistic curve was employed to fit the mantle length at the first sexual maturity of the purpleback flying squid. During the first voyage, the mantle length at the first sexual maturity for female individuals reached 361 mm, while that for male individuals was 171 mm. In the second voyage, the mantle length at the first sexual maturity of female individuals measured 202 mm, and that of male individuals was 153 mm. The proportion of individuals with gonadal maturity stages III, IV and V (sexual maturity) was as high as 66.53 %, with 57.37 % of females and 75.20 % of males in the mature group. Meanwhile, by utilizing the marine environmental data acquired from remote sensing satellites, the relationship between the distribution of the proportion of mature groups of purpleback flying squid and the main environmental factors was analyzed. It was considered that their growth and development were influenced by crucial factors in the marine environment, namely sea surface temperature (SST), sea surface temperature anomaly (SSTA), chlorophyll-a mass concentration (*Chl.a*), and so on. In addition, the survey showed that the proportion of sexually mature groups of purpleback flying squid was 25.93% higher in the December 2019-February 2020 cruise compared to the September-November 2020 cruise. The above conclusions provided a reference basis for the later sustainable development and utilization of purpleback flying squid resources in the northwestern Indian Ocean waters.

Key words: purpleback flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*); gonadal maturity; sex ratio; inter-annual variation; high seas of Northwestern Indian Ocean