

文章编号 :1000 - 0615(2006)05 - 0669 - 07

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

杨晓明, 陈新军, 周应祺, 田思泉

(上海水产大学海洋学院, 上海 200090)

摘要 : 2003 年 9 - 11 月中国鱿钓船对西北印度洋海域鸢乌贼渔场进行生产性探捕调查, 发现在 16°N、61°E 附近海域存在中心渔场, 平均日产达 5 t 以上, 但渔场 10 d 后迅速消失。本文结合本次调查生产数据和卫星遥感资料对这一渔场进行了分析。渔场形成内在动力在于上升流的存在, 它使深海缺氧、营养丰富的海水上涌到表层, 上升流影响区域 SST 低, 表层藻类的繁盛, 海表面叶绿素-a (Chl-a) 浓度值高。溶解氧缺乏, 驱使鸢乌贼朝溶解氧比较丰富的区域即向 SST 高值和 Chl-a 低值的区域聚集, 但鸢乌贼也有朝食物丰富区域即 Chl-a 高和 SST 低值区域觅食习性。鱼群易集中在 SST 梯度较大且 Chl-a 梯度较大的狭长区域。同时, 当该海域附近上升流发生后, 低压扰动有利于较大的 SST 梯度及 Chl-a 梯度的出现和维持, 渔场海洋环境复杂, 鱼群迅速聚集, 形成中心渔场, 而当低压扰动消失, 风速增大, 风向单一, 渔场海洋环境单一均匀, 鱼群会很快分散, 中心渔场消失。

关键词 : 鸢乌贼; 渔场; 上升流; 海洋遥感; 西北印度洋

中图分类号 : S 973.1 文献标识码 : A

A marine remote sensing-based preliminary analysis on the fishing ground of purple flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in the northwest Indian Ocean

YANG Xiao-ming, CHEN Xin-jun, ZHOU Ying-qi, TIAN Si-quan

(College of Marine Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract : A trip of production-possibility frontier on exploring purple flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) has been made by Chinese squid jigging fleet in the northwestern Indian Ocean during September and November in 2003. It aimed to estimate the resources biomass of squid and its distribution. During the investigation period, the main fishing ground was found in the waters near 16°N, 61°E, where the averaged catch per day was more than 5 tons. But the fishing ground disappeared suddenly 10 days later. The situation of fishing ground changing and disappearing have been discussed based on the marine environmental data from the trip and satellite data from website. The up-welling might occur in the area along the coast of Oman. The up-welling might bring the oxygen-poor seawater from deeper layer, which might result that fish gather in pockets of relative oxygen-rich water, at the same time fish tend to gather around areas where there is ample food, areas where there is high sea surface chlorophyll-a (Chl-a) and lower sea surface temperature (SST). The fishing ground had been found at the area with high SST and Chl-a gradient. From the surface winds direction and speed data, it is showed that the appearance of lower cyclone will change the SST and Chl-a distribution, and plays a very important role in the forming of squid fishing ground.

Key words : *Sthenoteuthis oualaniensis*; fishing ground; up-welling; oceanic remote sensing; the northwest Indian Ocean

收稿日期 2005-10-08

资助项目 : 上海市教委曙光计划“印度洋西北公海海域鸢乌贼的生物学研究”(05-11); 农业部公海渔业资源探捕项目“印度洋鸢乌贼资源调查”(03-42); 上海市捕捞学重点学科(T1101)

作者简介 : 杨晓明(1972-)男, 江西九江人, 讲师, 博士研究生, 从事远洋渔业系统集成研究。E-mail : xmyang@shfu.edu.cn

通讯作者 : 周应祺, E-mail : yqzhou@shfu.edu.cn

鳶乌贼 (*Sthenoteuthis oualaniensis*) 广泛分布在印度洋、太平洋的赤道和亚热带等海域^[1-3]。前苏联和日本等国家曾对印度洋西北公海海域的鳶乌贼资源进行过调查,但是都没有进行商业性规模开发和利用^[4-6]。2003年9-12月我国鱿钓船“新世纪57号”进行生产性探捕和资源调查。发现了鳶乌贼中心渔场,获得了一定的产量。但是在调查过程中,发现中心渔场持续时间不长。目前,我国对印度洋西北海域鳶乌贼理化特性、生物学特性、资源密度分布和鱿钓技术有了一定的研究^[7-10],前苏联和日本利用探捕资料对印度洋西北公海海域的鳶乌贼资源进行了研究^[4-6],美国在上世纪90年代利用海洋遥感和浮标观察研究了印度洋西北海域的海洋环境和动力研究^[11-14]。但都没有将探捕资料与海洋遥感资料

结合对鳶乌贼渔场进行研究。本文利用前人对该海域的研究成果,同时结合海洋遥感资料和鳶乌贼调查生产资料,探索鳶乌贼渔场形成及其变迁规律,为合理开发利用该海域的鳶乌贼资源提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 调查海域和时间

调查海域位置在 5°N ~ 20°N、55°E ~ 65°E 之间,调查站点原则上按经纬度 1° × 1° 设置,具体调查路线见图 1。调查时间为 2003 年 9 月 14 日 - 11 月 4 日。调查船为“新世纪 57 号”。其参数为船长 68.06 m,总吨 851 t,主机功率 552 kW,集鱼灯 2 kW × 160 盏,钓机为 SE-58 型 × 45 台,水下灯 5 kW × 4 盏,船员 30 人。

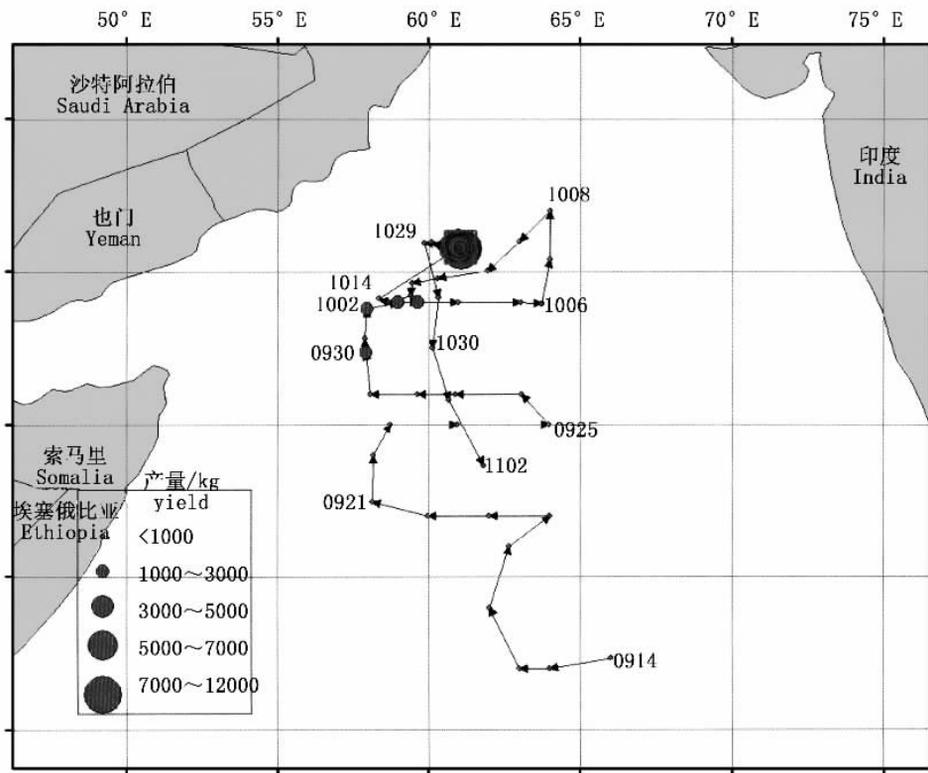


图 1 调查船探捕路线图和单日产量
Fig.1 Survey route of vessel and yield

1.2 数据收集

分析用数据包括实时的海洋环境要素、气象要素资料和调查数据。将这些数据结合起来用于渔场发生机制的关联分析。调查数据为调查船单

日产量。海洋环境要素包括:海表面叶绿素-a 含量(sea surface chlorophyll , Chl-a),海表面温度(sea surface temperature , SST);气象要素是洋面风场 (sea surface wind , SSW)。Chl-a 和 SST 数据来自

MODIS 卫星反演的 level-2 级数据产品,空间分辨率为 1 km^2 [15];SSW 来自 QuikScat 卫星散射计资料反演的 level-3 级卫星遥感数据产品,数据都为升轨数据,即卫星在当地时间上午 6 点过赤道面,空间分辨率为经纬度 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ [16]。

1.3 数据处理方法

将获得的卫星遥感数据产品,在 ArcGIS 软件平台下,进行基本空间定位、多幅遥感图像的镶嵌、空间矢量化和多色彩显示等处理。然后,将这些实时海洋环境要素、气象要素和渔获信息进行空间叠加,为探索分析渔场的时空变化原因提供基础资料。处理和地图制图的卫星数据自 2003 年 9 月 14 日至 2003 年 11 月 1 日。重点分析了渔

场出现前、中、后期 3 个阶段的海洋环境,探讨渔场变动和环境要素的关联。

2 结果

2.1 产量时空分布

图 1 中方格区域为出现渔场区域,即 2003 年 10 月 15–25 日在 16°N 、 61°E 附近海域,平均日产在 5 t 以上,但是在 10 月 27 日该渔场迅速消失。

图 2 为调查船作业产量图,其中 10 月 15–26 日出现了高产,其中 10 月 25 日产量达 11.8 t,表明形成了渔场。但是,10 月 26 日产量下降为 2.6 t,10 月 27 日产量不到 0.2 t,渔场消失。

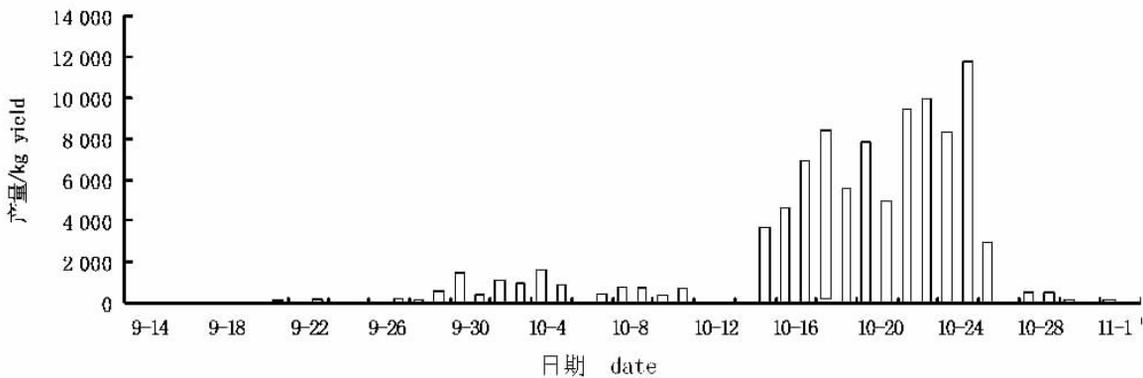


图 2 调查船作业产量

Fig.2 Yield of survey vessel

2.2 渔场分布与 Chl-a 的关系

10 月 12 日,鳶乌贼中心渔场尚未出现前,在近海岸区域有一条沿岸线呈带状分布的 Chl-a 高浓度区域,浓度在 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右;Chl-a 向外逐步降低,浓度在 $0.5 \sim 0.9 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间,部分高浓度区域向外延伸扩展;在 $13^\circ \sim 18^\circ\text{N}$, $55^\circ \sim 62^\circ\text{E}$ 区域,当 Chl-a 浓度整体偏高,许多区域大于 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,渔场开始出现,但产量很低(图 3-a)。

渔场高产期出现在 10 月 15–25 日,沿岸线呈带状分布的 Chl-a 高浓度区域稳定存在,浓度大于 $10.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 沿岸线向外浓度降低,在 $1.0 \sim 5.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间,向外延伸扩展;Chl-a 浓度低于 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 范围相对较小,经常呈现狭长的“S”线型分布(见图 3-b)。通过叠图分析,在 Chl-a 浓度低于 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,且其水平梯度大的狭长区

域,捕捞生产的记录显示出现高产。渔场消失期出现在 10 月 26–29 日,这段时间,印度洋西北区域,风速增大到 $6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,风向为单一西南风。近海岸沿岸线 Chl-a 高浓度区域范围减小,浓度降低,极端最大值从 10 月 12–25 日 $200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 以上,下降到 29 日 $19.34 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。Chl-a 高浓度带向东北移动;渔场附近 Chl-a 水平梯度不断减小,同时,渔场消失(图 3-c)。

叠图发现(图 3),在渔场区域附近,Chl-a 浓度水平梯度大,水平分布复杂,渔场出现在 Chl-a 梯度较大狭长的低浓度区域,浓度低于 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$;当 Chl-a 低浓度区域增大,水平分布梯度较小时,渔场开始消失。

2.3 渔场分布与 SST 的关系

调查期间 SST 的时空分布情况如图 4。

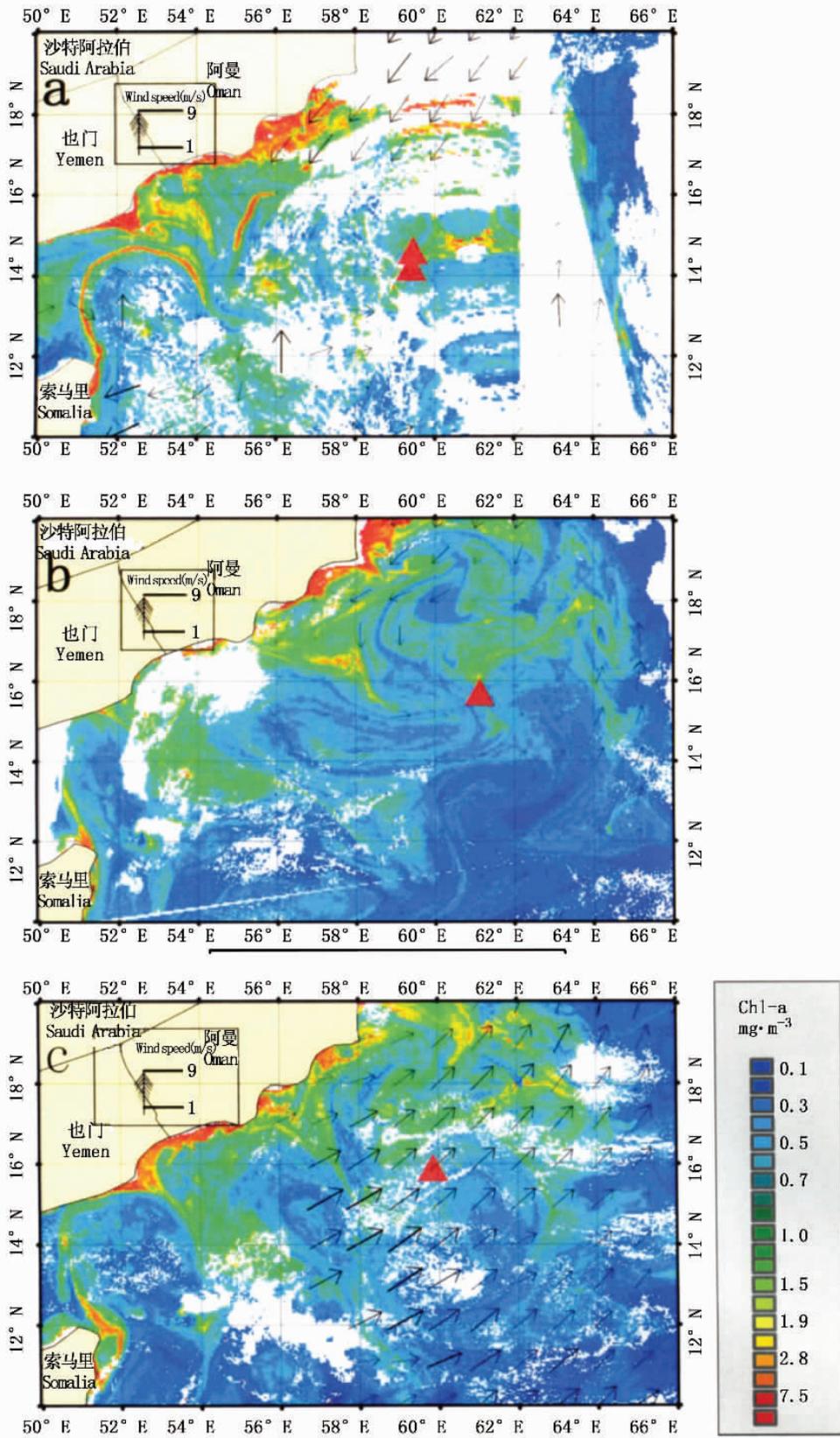


图3 Chl-a 和 SSW 分布图

Fig.3 Chl-a and SSW distribution

a. 12 - Oct ; b. 25 - Oct ; c. 27 - Oct. 三角形为当时渔船所在位置 ; 白色部分为云覆盖或者卫星图像没有覆盖区域
triangle is fishing vessel position ; white areas are cloud-covered or not covered by satellite images

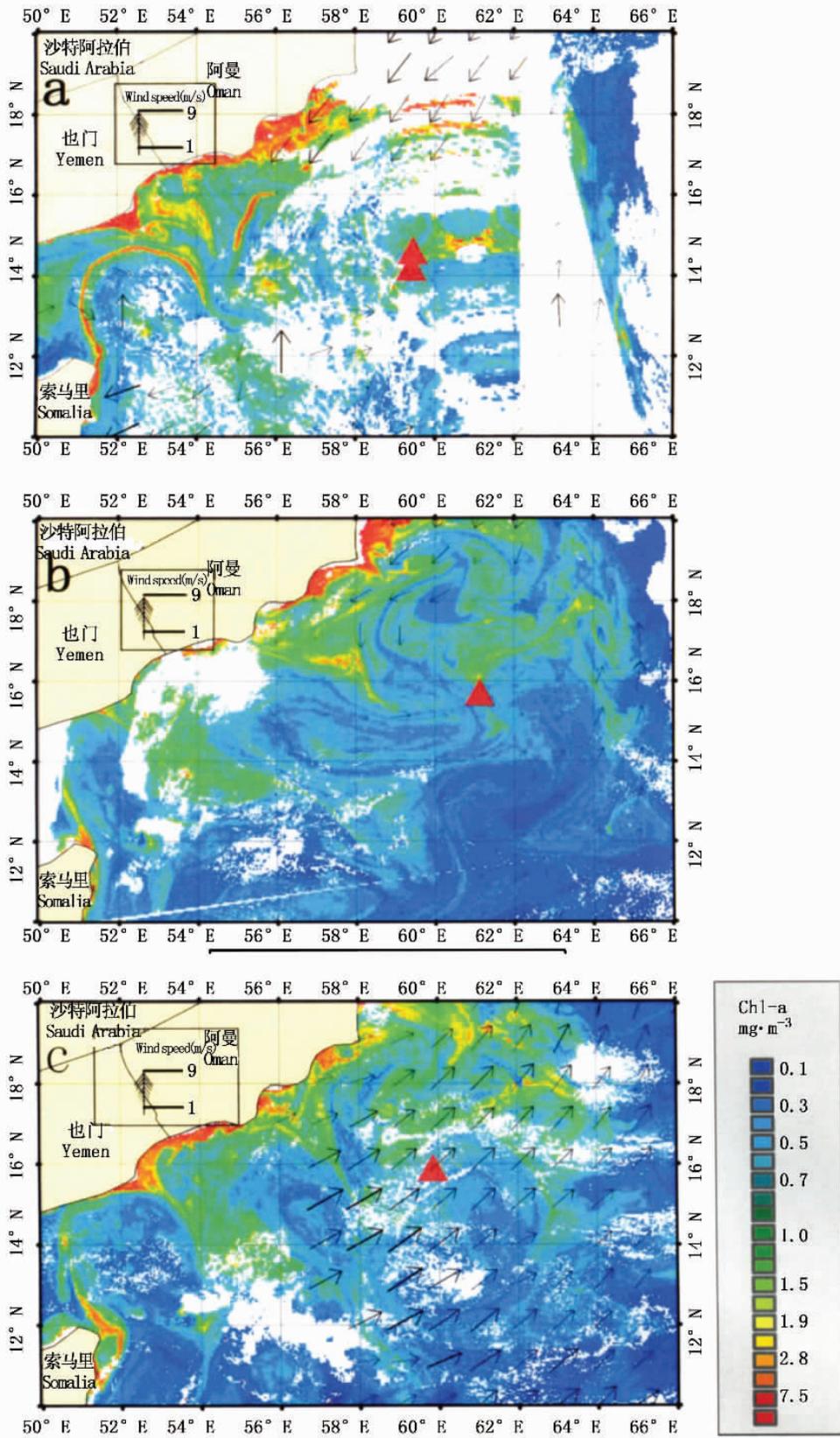


图4 SST和SSW分布图

Fig. 4 SST and SSW distribution

a. 12 - Oct ; b. 25 - Oct ; c. 29 - Oct. 三角形为当时渔船所在位置 ; 白色部分为云覆盖或者卫星图像没有覆盖区域
triangle is fishing vessel position ; white areas are cloud-covered or not covered by satellite images

SST 较高的区域稳定性差、变化幅度大和空间位置不确定, SST 高温中心形成和消失都很快; 而 SST 在沿岸的存在较为稳定的低温区域, 相关文献表明^[11-13]冷水区域为沿岸上升流区域。形成该区域这段时间的 SST 时空分布的原因在于: 当海面风速小, 海水上下交换弱, SST 迅速上升, 形成表层海水的高温区域, 当风速增大, 垂直交换增强, 海表面高温会很快降低, 而低温区域为沿岸上升流, 底层海水温度较为稳定, 表层低温不易变化。

在中心渔场出现前, 在 10 月 12 日和 14 日在阿曼湾东北部有风速为 $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右的东北风, 阿曼湾近海岸区域沿岸线有 SST 值为 $24.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温区域, 周围海域 SST 值为 $27 \sim 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 间。SST 温度分布较为均匀, 低温至高温区域沿岸线向外呈阶梯状递增(图 4-a)。

渔获高产期的 10 月 15 日 - 25 日, 在阿曼湾东北部东北风风速减小为 $4 \sim 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 近海岸冷水区域温度升高到 $26 \sim 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 在 $13^{\circ}\text{N} \sim 18^{\circ}\text{N}$, $55^{\circ}\text{E} \sim 62^{\circ}\text{E}$ 区域, 多次出现 SST 较高的暖水区, 并界限清晰, 边缘温度梯度大而且不停变化, 维持时间也不长, 渔船在 16°N , 61°E 附近获得高产稳产, 该位置 SST 温度值 $28 \sim 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 间, 风速很小(图 4-b)。

渔场消失期出现在 10 月 26 日 - 29 日, 西北印度洋海域风向变为西南风风速增大到 $6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上, SST 值处于 $28 \sim 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 间, 水平梯度不断减小。渔船位置风向为单一西南风, 风速 $6.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 渔场消失(图 4-c)。

可见, 渔场形成与冷水区和暖水区相间出现相关, 鸢乌贼渔场在空间上表现为渔场出现 SST 梯度大的区域。当 SST 水平梯度较小时, 渔场开始消失。

2.4 渔场分布与 SSW 关系

从 SSW 观察(图 3 或图 4), 渔场开始出现前, 有一次低压活动, 10 月 12 日在 16°N , 60°E 附近有一暖水区域, 暖水区域东侧为北风, 西侧风向为南风, 北侧为东风, 南侧为西风, 东西两侧风速较大, 南北两侧风速较小, 表现为弱低压扰动, 10 月 13 日, 该低压扰动最强, SST 梯度和 Chl-a 梯度增大(图 3-a 或图 4-a)。

10 月 15 - 25 日渔获高产出现, 在 16°N , 61°E 附近开始出现渔场, 10 月 15 - 24 日该区域风向

为的偏北风, 风速 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下, 风速较小, SST 梯度和 Chl-a 梯度较大。10 月 25 日, 在 16°N , 62°E 附近又出现了弱低压扰动(图 3-b 或图 4-b)。

10 月 26 - 29 日渔场消失期, 10 月 25 日的第二次扰动环流一直持续到 27 日, 此后扰动消失, 风速增大到 $6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上, 单一西南风, SST 下降, SST 梯度和 Chl-a 梯度减小, 同时渔场消失(图 3-c 或图 4-c)。

通过分析调查时期的海洋表面风场发现, 上升流发生后, 当 SSW 风速较小时, 有利于较大的 SST 梯度及 Chl-a 梯度的出现和维持, 而在风速较大时, SST 和 Chl-a 趋于均匀, 不利于渔场形成。

3 讨论与分析

3.1 渔场分布与上升流的关系

在西北印度洋由于表层藻类的繁盛, 这些藻类和其他海洋生物相比寿命比较短, 它们在海面死亡并开始下沉到海底形成残渣, 这些残渣在下沉过程中腐烂, 会消耗水体中大量的氧气。因此, 在阿拉伯海在水深 100 m 处有世界上最厚缺氧层存在^[11-13]。

通过分析渔场形成前和消失后的 SST 分布图(10 月 12 日 - 14 日和 25 日, 见图 4-a), 在阿曼湾均有 SST 比周围 SST 低 $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右冷水区出现, 形成原因是海面有较大的东北风, 海面风导致海水移动, 深层较冷海水上涌所造成。SST 低温区多为底层较冷海水上涌到表层而形成, 并且随表面风场移动, 上涌海水为藻类的繁盛提供了丰富的生长所需物质, 形成 Chl-a 高浓度区域, Chl-a 高值区和 SST 的低值区在空间上高度相关。

表层风导致表层海水移动, 使深海缺氧海水上涌到表层而形成冷水区, 同时也是缺氧区^[11-14]。然而, 与它相邻的海水区, 由于相对海温较高, 含氧较丰富, 在这两种不同性质的水团的界面上, 有利于形成渔场, 其原因正是由于上涌的海水可能形成部分相对含氧丰富的海水包围在氧气缺乏的海水之间, 鱼群便会聚集在含氧丰富的区域^[14]。

渔场形成内在动力在于上升流的存在, 它使深海缺氧但营养丰富的海水上涌到表层, 上升流影响区域 SST 低, 表层藻类的繁盛, Chl-a 浓度值高。由于该区域溶解氧缺乏, 驱使鸢乌贼朝溶解氧比较丰富的区域即向 SST 高值和 Chl-a 低值的

区域聚集,但鸢乌贼也有朝食物丰富区域即 Chl-a 高和 SST 低值区域觅食习性。所以,鱼群易集中在 SST 梯度较大 Chl-a 梯度较大的狭长区域。

3.2 渔场分布与低压扰动关系

在西北印度洋,低压扰动较活跃和常见。低压扰动活动对渔场的形成和维持起着非常重要的作用。在调查期间,就先后有两次低压扰动活动。通过对在 16°N, 60°E 附近的这个渔场在 10 月 10 - 29 日风场分析,渔场形成和消失和低压扰动的生成和消失相一致,具有明显的相关性。例如,渔场形成前,10 月 12 - 14 日,低压发生后有一次渔场出现。10 月 25 - 27 日的扰动低压后,渔场消失。低压扰动活动对该海域鸢乌贼渔场的影响主要表现在 (1) 低压扰动的出现改变了海面风速风向,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) 低压扰动变化会使气象要素骤变,引起海水性质的急剧变化,会激起鱼类的集群活动^[17]。如 10 月 28 日,西北印度洋洋面转为风向单一东北风,风速加大,SST 和海表叶绿素浓度比较也变得均匀,梯度小,渔况突变。

研究发现,当该海域附近上升流发生后,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,鱼群汇集,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,鱼群会很快分散,渔场消失。

3.3 结论

由于对西北印度洋鸢乌贼渔场资源的探捕在我国尚属首次,本文仅利用一次探捕渔获资料进行分析,对其渔场的形成机制进行了探索是相当不够的。需要大量的、长期的观察和积累。本研究的数据、结果和分析的方法将为今后该区域渔场系统的分析提供参考。

利用遥感对这个海洋巨系统的研究应该是未来的发展方向,在本研究中需要从三个方面深入研究 (1) 由于上升流对该海域渔场影响比较强烈,对于该海域的上升流的发生的时间和地点的预测需要做进一步研究。(2) 同时,该海域的海气交换比较强烈,低压扰动比较频繁,其对海洋渔场的影响比较大。(3) 此次渔场范围小,持续时间短。对于渔场的消失原因和渔场的迁徙路径都需

要做深入和全面的研究。(4) 利用遥感可以获得海洋表层信息,而鸢乌贼渔场的形成和大洋物质(如营养盐、溶解氧和藻类物质等)的动力输送和变化密切相关。需要通过对表层要素的研究揭示海洋内在动力机制。

感谢参加这次科研调查的叶旭昌博士和钱卫国博士,以及调查船船长和所有船员的辛勤劳动。

参考文献:

- [1] Voss G L. Cephalopod resources of the world [R]. FAO Fish Circ, 10, 1973. 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, (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.
- [4] Okutani T, O'Dor R K, Kubodera T. Recent advances in cephalopod fisheries biology [M]. Tokai Univ Press, Tokyo, 1993 375 - 383.
- [5] Zuyev G, Nigmatullin Ch, Chesalin M, et al. Main results of long-term worldwide studies of tropical nektonic oceanic squid genus *Sthenoteuthis*: an overview of the Soviet investigations [J]. Bull Mar Sci, 2002, 71(2): 1019 - 1060.
- [6] Trotsenko B G, Pinchukov M. A Mesoscale distribution features of the purpleblack squid *Sthenoteuthis oualaniensis* with reference to the structure of the upper quasi-homogeneous layer in the west India Ocean [J]. Oceanology, 1994, 34(3): 380 - 385.
- [7] 田泉, 钱卫国, 陈新军. 印度洋西北部海域鸢乌贼渔获量、渔获率和脱钩率的初步研究 [J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(3): 224 - 229.
- [8] 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.
- [9] 曲映红, 陈新军, 陈舜胜. 印度洋西北部海域鸢乌贼理化特性的初步分析 [J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(4): 335 - 338.
- [10] 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.
- [11] Morrison J M, Codispoti L A, Smith Sharon L, et al. The oxygen minimum zone in the Arabian Sea during 1995 [J]. Deep-Sea Research II, 1999, 46: 1903 - 1931.
- [12] Shi W, Morrison J M, Böhm E, et al. The Oman upwelling zone during 1993, 1994 and 1995 [J]. Deep-Sea Research II, 2000, 47: 1227 - 1247.
- [13] Shi W, Morrison J M, Böhm E, et al. Remotely sensed features in the US JGOFS Arabian Sea Process Study [J]. Deep-Sea Research II, 1999, 46: 1551 - 1575.
- [14] David Herring. Fish kill in the Gulf of Oman [J]. <http://earthobservatory.nasa.gov/study/oman/>, Aug. 14. 2002.
- [15] <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>
- [16] <http://podaac.jpl.nasa.gov/quikscat/qscat-browse.html>
- [17] 胡杰. 渔场学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1993. 66 - 68.