

印度洋大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼渔场水温垂直结构的季节变化

杨胜龙¹, 马军杰², 伍玉梅¹, 唐峰华¹, 张衡¹, 周甦芳¹

(1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所 渔业资源与遥感信息技术重点开放实验室, 上海 200090; 2. 同济大学 法学院/知识产权学院, 上海 200092)

摘要: 为了解印度洋大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)和黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)主要作业渔场温跃层上界温度、深度和垂直温差时空变化特征, 采用 2007~2010 年 Argo 温度剖面浮标资料, 计算了印度洋大眼金枪鱼、黄鳍金枪鱼主要作业渔场表层温度和温跃层特征参数。研究认为, 温跃层上界深度、温度和 10~200 m 温差存在明显的季节性变化。5~9 月在 15°~25°S 纬向区域存在一块季节性较深的温跃层上界深度区域; 在 20°S 以南海域, 12 月至次年 4 月份温跃层上界深度非常浅; 在 15°S 至赤道纬向区域, 尤其是在西部, 常年存在一块温跃层较浅的区域。总体而言, 温跃层上界深度较深的地方温度相对较低, 在 2~5 月期间, 在阿拉伯海东南和孟加拉湾西南形成一块大面积的暖水区; 7~9 月期间, 在 15°~25°S, 纬向区域因温跃层上界深度较深, 从表层至温跃层上界深度温度变化相对较大, 温跃层上界温度显著较低。在 20°S 以南, 温跃层上界温度常年都很低。10°S 经线方向将水下 10~200 m 垂直温度分成南北两部分, 10°S 以南部及以北部海区的垂直温差分别大于和小于 10°C。分析结果初步揭示了金枪鱼主要作业渔场温跃层上界温度、深度和垂直温差分布特征, 为金枪鱼实际生产作业提供理论参考。

关键词: 大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*); 黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*); 印度洋; 渔场; 温跃层; 垂直温差; 季节变化

中图分类号: P731

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2012)07-0097-07

中上层鱼类的栖息水层, 在很大程度上取决于水温的垂直结构。许多鱼类有昼夜垂直移动的习性, 而温跃层像一道天然屏障, 影响着鱼类的上下移动和生活习性^[1]。在印度洋热带水域中, 黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)生活在温跃层之上的水域, 受垂直温度变化影响大; 大眼金枪鱼喜好在温跃层顶部及其以下摄食^[1-2], 当温跃层下界深度变浅, 大眼金枪鱼栖息深度也变浅, 垂直运动范围受限, 大眼金枪鱼分布较集中, 使可捕量和渔获率增加^[3], 因此水温的垂直结构分布在印度洋金枪鱼渔场的形成中是极为重要的关键因素。许多学者研究了印度洋大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)与垂直水温的关系^[4-5], 宋利明等^[6]分析了印度洋公海温跃层与黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼渔获率的关系。上述研究对次表层水温垂直结构和黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼渔获率的关系有初步的认识, 分析中采用的环境数据多是调查数据。对金枪鱼作业渔场垂直水温和温跃层大面积获取以及时空变化特征分析, 在远洋渔业资源研究中非常重

要, 但由于遥感数据的缺陷, 远洋渔业研究未见该方面报道。本文采用 Argo 温度数据, 通过数值方法计算印度洋大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼渔场海域次表层水温和温跃层特征参数, 分析金枪鱼渔场水域温跃层季节性分布特征和变化规律, 为金枪鱼实际生产作业及渔业资源的养护和管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

Argo^[7-8](Array for Real-time Geostrophic Oceanography)是“全球海洋观测网”计划, 由美国、日本等国家大气和海洋科学家于 1998 年推出, 于 2000

收稿日期: 2011-05-19; 修回日期: 2012-04-24

基金项目: 国家 863 计划(2007AA092202); 中央级基本业务费(2009T08, 2011T10, 2008M19); 资源与环境信息系统国家重点实验室开放基金(2010KF0005SA)

作者简介: 杨胜龙(1982-), 男, 江西九江人, 助理研究员, 主要从事远洋海洋渔业遥感研究, E-mail: ysl6782195@126.com; 周甦芳, 通信作者, 电话: 021-65682395, E-mail: zhouzufang72@126.com

年底正式启动。在全球大洋中每隔 3 个经纬度布放一个卫星跟踪浮标,组成一个庞大的 Argo 全球海洋观测网,至 2007 年正式完成。因此本文采用 2007~2010 年 Argo 浮标剖面温度数据进行温跃层特征分析。

1.2 研究区域

曹晓怡^[9]指出大眼金枪鱼渔场重心在 40°~85°E, 17°N~30°S 区域,黄鳍金枪鱼渔场重心在 61°~68°E, 7°N~9°S 区域。Lee 等^[10]分析得出大眼金枪鱼主要分布在 10°N 和 15°S 热带海域。结合上述分析,并参考文献[11],本文确定的研究区域为 20°~120°E, 25°N~30°S。在 1991~2009 期间,该区域占整个印度洋金枪鱼延绳钓总产量的 94.9%,总尾数的 91.6%。中国金枪鱼延绳钓作业分布在这个区域。

1.3 方法

1.3.1 Akima 插值计算

采用 Akima^[12]插值方法将深度上分布不均匀的

Argo 温度浮标资料插值到标准深度层上,垂直间隔为 2 m,计算温度剖面的梯度($\Delta t/\Delta Z$ 温度差值除以垂直距离)。

1.3.2 温跃层判别标准和方法^[13-14]

取大洋温跃层强度最低标准值为 0.05 °C/m,对温度剖面逐层判断。把连续满足跃层标准的作为一个跃层段;对不连续者,如果跃层段之间的间隔小于 10 m(当上界深度小于 50 m)或小于 30 m(当上界深度大于 50 m),则将两段合并进行跃层标准值判定。合并后,如果温度梯度大于或等于标准值,则合并为一个温跃层段;否则以上界深 50 m 为界,分别在 50 m 以浅、以深,选取跃层强度强者,如强度相等,则选跃层厚度厚者为温跃层段。要求合并后的跃层厚度不小于 10 m(当上界小于 50 m)或不小于 20 m(上界大于 50 m)。

1.3.3 空间网格化计算

将次表层温度(10, 200 m)和温跃层上界深度、温度等剖面数据按月分组,采用地统计方法^[15]将其插

图 1 垂直温差月分布图

Fig.1 Monthly distribution of vertical temperature difference

值到网格节点上($1^\circ \times 1^\circ$), 再以填色等值线作图方式显示。水下 10 m 至水下 200 m 温差用于描述温度梯度。插值方式对每个待估网格节点计算变异函数, 使用 Kriging 方法插值弥补; 采用圆形搜索方式, 规定可用于插值的搜索点个数最少为 25 个。

1.3.4 软件使用

文中数值计算基于 VC++ 软件, 图片绘制采用 Matlab 软件。

2 结果与分析

2.1 水温垂直结构的季节变化

水下 10~200 m 垂直温差各月分布见图 1, 10°S 纬线方向将水下 0~200 m 垂直温度分成南北两部分, 都有明显的季节性特征。 10°S 以南区域, 垂直温差小于 10°C , 夏季季风(6~10 月)的温度低于冬季季风(12 月至翌年 4 月)的温度; 10°S 以北区域, 垂直温差大于 10°C , 夏季季风的高温区域面积大于冬季季风的高温区域面积。阿拉伯海区域, 全年垂直温差较

小。在印度洋暖池下面, 尤其在赤道东部区域, 垂直温差很大。和阿拉伯海不一样, 包含在暖池里面的孟加拉湾垂直温差也非常显著。在 7~9 月期间索马里沿岸同样能看到索马里寒流特征。

2.2 温跃层上界的季节变化

各月温跃层上界深度分布见图 2。总体来看, 夏季季风期间的温跃层上界深度比冬季季风期间的更深, 与印度洋区域海流的季节性变化有关。在 $15^\circ\sim 25^\circ\text{S}$ 纬向区域, 存在一温跃层上界深度较深的区域, 季节性变化明显, 5 月份逐渐变深, 8, 9 月份达到全年最深至 150 m, 之后逐渐变浅至次年 1 月份约 30 m。这是由该区域北部自东向西流动的南赤道暖流和南部自西向东的南印度洋流辐聚作用的结果^[16]。相比其他水域, 在南纬 10° 至赤道纬向区域, 尤其是在西部, 常年存在一块温跃层上界深度较浅的地方。这是由该区域顺时针南赤道流和赤道逆流、赤道射流共同作用的结果。一年中, 阿拉伯海域夏季季风期间, 温跃层上界深度会相对变深, 等值线闭合形成



图 2 温跃层顶界深度月分布图

Fig. 2 Monthly distribution of thermocline upper boundary depth

顺时针回旋。在其他月份,表现为相对不深的温跃层和离岸密集的等值线,这与该区域上升流有关。1, 2月份在阿拉伯海北部,图片还显示相对较深的温跃层上界深度。

各月温跃层上界温度分布见图3。总体而言,温跃层上界深度深的地方温度低。在南纬 10° 以北水域,温跃层上界深度都相对较浅,海洋表层热量容易传输到温跃层上界深度,从表层至温跃层上界深度温度常年变化不大。在2~5月期间,在阿拉伯海东南和孟加拉湾西南形成大面积的暖水区,在太阳持续增强的加热下,

至5月份温度超过 30°C ,此后该区域稳定逐渐冷却。在阿拉伯海西部冷却较快,在孟加拉湾温度变化很小。一年大部分时间,阿拉伯海温跃层上界温度变化范围在 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间,孟加拉湾温跃层上界温度变化幅度在 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。在7~9月期间, 15°S 至 25°S 纬向区域因温跃层上界深度较深,从表层至温跃层上界深度温度变化相对较大,上界温度显著变低,直到11月份。同样在7~9月期间索马里沿岸的温跃层上界温度比其他月份要低,对比外海形成一条明显的带型区域,这是由同期形成的索马里寒流作用形成的。

图3 温跃层顶界温度月分布图

Fig. 3 Monthly distribution of thermocline upper boundary temperature

2.3 水温垂直结构的变化原因

垂直温差大的地方和暖池在地理空间位置恰巧吻合,因该区域海洋表面风非常弱,使得海洋表层和次表层热量得不到充分混合,海洋表层热量难以传输到温跃层,弱表面风在维持该区域表层暖池热量中起非常重要作用。孟加拉湾垂直温差

非常显著,是因为有大量来自于陆地的淡水冲击造成的。而在阿拉伯海北部和印度洋 15°S 以南水域,因受到较强海洋表面风和海水上升的影响,使海洋表层和次表层热量得到充分混合,垂直温差变化很小。在7~9月期间索马里沿岸能看到索马里寒流特征,该区域垂直温差由于上升流的缘故较小。

3 结论

3.1 季节性特征与渔场分布

该区域受印度洋季风影响,在夏季是西南季风(6~10月),冬季是东北季风(12月至翌年4月),5月和11月是季风转换月份。从绘制的温跃层上界深度、温度和垂直温差月平均分布图,都具有明显的季节性变化,受印度洋季风影响显著。这种显著的季风变换影响这个区域的海流变化,而海流大尺度的变换又会影响着该区域的上升流强度、表层海温、盐度、溶解氧和浮游生物的分布^[17],从而影响该区域金枪鱼渔场的时空分布。

3.2 温跃层上界深度、温度和金枪鱼渔场

大眼金枪鱼白天潜至400~500m的水深,夜间志到0~100m的水深^[18]。宋利明^[19]在马尔代夫海域调查发现,晚间(21:00~3:00)投钩,大眼金枪鱼渔获率最高的水层是70~90m、水温范围是27~27.9℃,从图2,3判断在温跃层上界附近。说明在晚上投钩,与大眼金枪鱼钓获率密切的水层在温跃层上界附近。此外陈新军^[1]指出,在热带水域中黄鳍金枪鱼生活在温跃层上界之上的水域,而大眼金枪鱼生活在温跃层内部。据此可以根据温跃层的上界深度和金枪鱼喜欢栖息的温度范围,渔船海上作业时,可以参考温跃层上界位置选择投钩的深度,以提高金枪鱼捕获率。

3.3 垂直温差和金枪鱼渔场

金枪鱼垂直分布受温度梯度和深度值影响。标志放流发现,成年黄鳍金枪鱼下潜最低温度记录为5.8℃,处于水温小于表层混合水8℃区域时间只有8.3%,水温变化范围为15~16℃^[20]。由于生理上不同,大眼金枪鱼容忍的水温变化达20℃,高于黄鳍金枪鱼,但潜至温跃层下界深度以下位置时间不超过50min,之后要上升到混合层提高机体温度^[21]。这表明金枪鱼为了觅食,离开自己生活的水层而下潜,但容忍的短时间垂直温差和时间有极限。图2显示最大温跃层上界深度达到180m。因此在水下200m深度,研究区域均发生温跃层,在温跃层内温度值随深度急剧变化。如果水下10~200m垂直温差较大,会不适应金枪鱼觅食。结合温跃层上界深度、温度,根据垂直温度以及金枪鱼容忍的温差极限综合分析,可以避开非渔场的渔区,提高捕捞效率。

3.4 上升流和金枪鱼渔场关系

一年中,阿拉伯海域除夏季其他月份,表现为相对不深的温跃层和离岸密集的等值线,这与该区域上升流有关。上升流把底层营养盐带到上层,饵料变得丰富,浮游生物大量繁殖,能形成良好的渔场。在季风的作用下向索马里流去,此时索马里流是暖流。统计绘图显示该区域除夏季该区域大部分海域不形成渔场,而其他的月份,尤其是黄鳍金枪鱼钓获率都很高。但在7~9月份阿拉伯海大部分海区不能形成金枪鱼渔场。该期间索马里沿岸因西南季风的影响,将索马里海域表层暖海水吹走,使得底部冷水上泛,形成索马里寒流,使水温显著下降,并在季风的作用下流向亚丁湾。金枪鱼是大洋暖水洄游性鱼类,可能不适应金枪鱼栖息。

参考文献:

- [1] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 116-130.
- [2] Holland K N, Brill R W, Chang R K C. Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices[J]. Fish Bull, 1990, 88: 493-507.
- [3] Pelagic Fisheries Research Program(PFRP) Newsletter . Oceanography's Role in Bigeye Tuna Aggregation and Vulnerability[EB/OL]. [2011-04-12] <http://www.soest.hawaii.edu/PFRP/newsletters/July-Sept1999>.
- [4] 冯波, 许柳雄. 印度洋大眼金枪鱼延绳钓钓获率与50m、150m水层温差间关系的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(4): 359-362.
- [5] 姜浪波, 许柳雄, 黄金玲. 印度洋大眼金枪鱼垂直分布与水温的关系[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(3): 332-336.
- [6] 宋利明, 张禹, 周应祺. 印度洋公海温跃层与黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼渔获率的关系[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 369-378.
- [7] Argo Science Team. Argo: the global array of profiling floats[C]// Koblinsky C J, Smith N R. Observing the oceans in the 21st Century. Melbourne: Bureau of Meteorology, 2001: 248-258.
- [8] 许建平, 刘增宏, 孙朝辉, 等. 全球 Argo 实时海洋观

- 测网全面建成[J]. 海洋技术, 2008, 27(1): 68-70.
- [9] 曹晓怡, 周为峰, 樊伟, 等. 印度洋大眼金枪鱼、黄鳍金枪鱼延绳钓渔场重心变化分析[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(4): 466-471.
- [10] Lee P F, Chen I C, Tzeng W N. Spatial and temporal distribution patterns of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean[J]. zoological studies, 2005, 44(2): 260-270.
- [11] 黄锡昌, 苗振清. 远洋金枪鱼渔业[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003: 121-141.
- [12] Akima H. A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures[J]. J Associ Comput Maeh, 1970, 17: 589-600.
- [13] 周燕遐, 李炳兰, 张义钧, 等. 世界大洋冬夏季温度跃层特征[J]. 海洋通报, 2002, 21(1): 16-22.
- [14] 周燕遐, 范振华, 颜文彬, 等. 南海海域 BT 资料、南森站资料计算温跃层-三项示性特征比较[J]. 海洋通报, 2004, 23(1): 22-26.
- [15] 杨胜龙, 马军杰, 伍玉梅, 等. 基于 Kriging 方法 Argo 数据重构太平洋温度场研究[J]. 海洋渔业, 2008, 30(1): 13-18.
- [16] Stramma L. The South Indian ocean current[J]. J Phys Oceanogr, 1992, 22: 421-430.
- [17] Tomczak H, Godfrey J S. Regional oceanography: an introduction[M]. Oxford, UK: Pergamon Press, 1994.
- [18] Dagorn L, Bach P, Josse E. Movement patterns of large bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the open ocean, determined using ultrasonic telemetry[J]. Marine Biology, 2000, 136: 361-371.
- [19] 宋利明, 高攀峰. 马尔代夫海洋延绳钓渔场大眼金枪鱼的钓获水层、水温和盐度[J]. 水产学报, 2006, 30(3): 335-340.
- [20] Dagorn L, Holland K N, Hallier J P, et al. Deep diving behavior observed in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*)[J]. Aquat Living Resour, 2006, 19: 85-88.
- [21] Musyl M K, Brill R W, Boggs C H, et al. Vertical movements of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) associated with islands, buoys and seamounts near the main Hawaiian Islands from archival tagging data[J]. Fish Oceanogr, 2003, 12: 152-169.

Seasonal variability of temperature profile in *Thunnus obesus* and *Thunnus albacares* fishing ground in the Indian Ocean

YANG Sheng-long¹, MA Jun-jie², WU Yu-mei¹, TANG Feng-hua¹,
ZHANG Heng¹, ZHOU Su-fang¹

(1. Key and Open Laboratory of Remote Sensing Information Technology in Fishing Resource, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 2. School of Law & School of intellectual property, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Received: May, 19, 2011

Key words: *Thunnus obesus*; *Thunnus albacares*; the Indian Ocean; fishing ground; thermocline; vertical temperature difference; seasonal variation

Abstract: In order to study the spatial distribution seasonal characteristic of the upper boundary depth, temperature of the thermocline and vertical temperature difference of the fishing ground of *Thunnus obesus* and *Thunnus albacares* in the Indian Ocean, the subsurface temperature and thermocline characteristics parameters were estimated based on temperature data of Argo profile floats from 2007 to 2010. Based on these basic work, the monthly distribution figures of the upper boundary depth, temperature of the thermocline and vertical temperature difference from 10 to 200 m were plotted. The topography of the upper boundary depth, temperature of the thermocline and vertical temperature difference from 10 to 200 m showed obvious seasonal variability. The variability of the upper boundary depth of the thermocline on the annual mode is very weak between the equator and 15°S zonal where the upper boundary depth of the thermocline is present very shallow throughout the year and large away from the equator in the Arabian Sea and the southern tropic Indian Ocean. there is a seasonal deep zonal of the upper boundary depth of the thermocline between 15°S and 25°S during May to September and a seasonal shallow zonal in the south of 20°S during December to April of next year. In generally, the upper boundary temperature of the thermocline is low where the upper boundary depth of the thermocline is deep. On the annual mode, the upper boundary temperature of the thermocline presents a warm-pool region in the southeastern of Arabian sea and the southwestern of Bay of Bengal during February to May and a lower temperature zonal in south of 20°S throughout year. The upper boundary depth of the thermocline is very deep between 15°S and 25°S during May to September so that the temperature variation between sea surface and the upper boundary depth of the thermocline is very large, the upper boundary temperature of the thermocline is very low. The variability of the upper boundary temperature of the thermocline topography is large in the south of 10°S and weak below the warm-pool region. The variability of temperature difference from 10 to 200 m, on the annual model is similar to the upper boundary temperature of the thermocline. The spatial distribution of vertical temperature difference is divided by 10°S longitude line. The temperature difference is lower than 10°C in the south and it is greater than 10°C in the north. The Analysis results reveal the spatial distribution seasonal characteristic of the upper boundary depth, temperature of the thermocline and vertical temperature difference in major tuna fishing ground of *T. obesus* and *T. albacares* in the Indian Ocean, which provide reference to long line production operation in sea of tuna.

(本文编辑: 刘珊珊)