# 热带大西洋大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼渔场 温跃层的时空变化特征

杨胜龙<sup>12</sup> 张胜茂<sup>1</sup> 蒋兴伟<sup>3</sup> , 邹 斌<sup>3</sup> , 化成君<sup>1</sup> , 周为峰<sup>1</sup>

(1.中国农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室,上海 200090;
2.中国水产科学研究院渔业资源与遥感信息技术重点开放实验室,上海 200090;

3. 国家海洋局国家卫星海洋应用中心 北京 10008)

摘要:采用 2007~2011 年 Argo 浮标剖面温度资料研究了大西洋黄鳍金枪鱼(Thunnus albacares) 和 大眼金枪鱼(Thunnus obesus) 延绳钓主要作业渔场温跃层的时空变化特征.研究结果表明热带大西 洋黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼延绳钓主要作业渔场温跃层的上界深度和温度存在着明显的季节性变 化.温跃层上界深度呈现出冬深夏浅的季节性变化特征,大致呈纬向带状分布,12月至翌年4月 份,15°N以北海域温跃层上界深度超过80m,同期10°S以南海域的多低于50m;6~10月份的则 相反.在赤道纬向区域温跃层上界温度在27℃以上,往南北两侧30°区域温度值依次递减至20℃及 以下.温跃层下界深度和温度没有明显的季节性变化.温跃层下界深度高值区域的空间分布呈现 "W"形状,深度值在220 m 以上.在25°S 以南,从南美洲到非洲西沿岸海域并延伸到安哥拉外海, 以及 10°N 非洲西海岸外海,在 la 中的大部分月份里,温跃层下界深度浅于 150 m. 在 15°N 以北和 15°S以南区域下界温度大于15℃,在这之间的纬向区域下界温度低于14℃. 全年在大西洋西部的 5°~15°N和5°~15°S区域的温跃层厚度最大,在80~150m之间,冬季和夏季呈现相反的分布特 征;温跃层强度高值在5°S~15°N纬向区域,尤其是大西洋东部,介于0.15~0.25℃/m之间.根据 文中揭示的大西洋金枪鱼延绳钓主要作业渔场区温跃层的时空变化特征,作者建议晚上大眼金枪 鱼和黄鳍金枪鱼投钩深度应该在温跃层上界深度分布的附近水域; 白天捕捞黄鳍金枪鱼投钩深度 应该在温跃层下界深度分布的水域附近,大眼金枪鱼投钩深度要比黄鳍金枪鱼的更深. 关键词:渔业海洋学;温跃层;时空变化;大眼金枪鱼;黄鳍金枪鱼;热带大西洋 DOI: 10. 3969/J. ISSN. 2095-4972. 2013. 03. 007

中图分类号: P731 文献标识码: A

Schaefer 等(2009) 认为在非伴游行为下,大眼 金枪鱼(*Thunnus obesus*) 和黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*) 表现出明显的昼夜垂直移动生活习性,晚上 在海表以下 50m 以内暖水层,白天会频繁俯冲突破 温跃层下潜到冷水区域(11~13°C) 觅食深水散射 层生物(DSL)<sup>[1]</sup>.暖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<sup>[2]</sup>,在大洋金枪鱼渔场 的形成中是极为重要的关键因素<sup>[34]</sup>. Zagaglia 等 (2004) 认为,黄鳍金枪鱼这种高速移动,尤其是垂 文章编号: 2095-4972(2013) 03-0349-09

直方向的远涉会减少 SST 对金枪鱼生产捕捞影响<sup>[5]</sup>. Maury 等(2001) 指出 ,SST 对延绳钓金枪鱼单 位捕捞努力量渔获量(CPUE) 影响很小,温跃层深 度对 CPUE 的影响是单调正相关<sup>[6]</sup>. Lan 等(2011) 指出延绳钓金枪鱼 CPUE 和次表层水温存在明显正 相关关系,并推断较高的次表层水温会产生较深的 温跃层,从而产生较高的 CPUE<sup>[7]</sup>. 宋利明等(2008) 调查后认为,黄鳍金枪鱼的高渔获率水层在温跃层 下界深度以上区域,而大眼金枪鱼高的渔获率水层

收稿日期:2012-12-17

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2013BAD13B01);国家863 计划资助项目(2007AA092202);中国水产科学研究院资源与环境信息系 统国家重点实验室开放基金资助项目(2010KF0005SA)

作者简介:杨胜龙(1982~) , 男 助理研究员; E-mail: ysl6782195@126.com 通讯作者:周为峰 副研究员; E-mail: zhwfzhwf@163.com 在温跃层下界以下区域<sup>[8]</sup>. 在热带大西洋,有关温 跃层时空变化特征及其与金枪鱼垂直分布关系少有 报道,而由于受索马里海盗的影响,近年来中国很多 延绳钓渔船都转移到大西洋进行作业. 因此了解热 带大西洋金枪鱼延绳钓主要作业渔场温跃层时空变 化特征和金枪鱼生活的环境,为金枪鱼捕捞作业和渔 业资源管理提供更多的次表层海洋学信息,对于指导 延绳钓实际投钩作业非常重要. 本文采用 Argo 温度 数据 绘制中大西洋大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼渔场温 跃层特征参数,研究金枪鱼渔场水域温跃层的时空变 化特征. 其研究结果可为该海域金枪鱼实际生产作业 提供更多的温跃层分布信息和理论参考.

1 数据来源与分析方法

#### 1.1 数据来源

Argo 是"全球海洋观测网"计划设想在全球大 洋中每隔3个经纬度布放1个卫星跟踪浮标,组成 1 个由 3 000 个浮标构成的庞大的 Argo 全球海洋观 测网,收集 0~2 000 m 海洋次表层信息,至 2007 年 正式完成<sup>[9]</sup>.截至 2012 年 11 月底,在全球海洋上正 常工作的 Argo 剖面浮标总数为 3 675 个,一共收集到 100 万条剖面观测数据.本文采用 2007~2011 年 Argo 浮标剖面水温和深度数据进行温跃层时空变化特征 分析.这期间研究区域各月有效月平均浮标个数为 531 个,月平均剖面记录信息为 52 576 条<sup>[9]</sup>.

1.2 研究区域

本文确定研究区域为 60°W ~ 20°E 30°S ~ 30°N 范围的热带大西洋海域(图1).在 2007 ~ 2011 年期 间 统计显示该区域内大眼金枪鱼延绳钓渔获尾数占 整个大西洋的大眼金枪鱼延绳钓渔获尾数的 98.6%, 而黄鳍金枪鱼延绳钓渔获尾数的占比为 77.1%;这2 种金枪鱼产量占比分别为 99.6%和 77.4%.我国金 枪鱼延绳钓作业渔场主要分布在这个区域内.



图 1 热带大西洋金枪鱼渔场温跃层月平均上界深度的分布

Fig. 1 Monthly distribution of the upper boundary depth of thermocline in the tuna fishing grounds in the tropical Atlantic

# 1.3 数据分析方法

在垂直方向上,每间隔2m采用Akima方法<sup>[10]</sup>将剖面分布不均匀的Argo水温信息插值到规则节点上,并计算温度剖面梯度( $\Delta t / \Delta H$ ),最后根据文献[11]的方法提取温跃层特征参数,包括温跃层上界温度、上界深度、下界温度、下界深度、

强度和厚度值. 温跃层特征参数信息按月份分组, 基于地统计方法<sup>[12]</sup>将其插值到 1°×1°网格节点 上,对每个网格节点计算变异函数,采用 Kriging 方 法插值弥补;采用方式圆形搜索,用于插值的点数 不少于 25. 最后绘制温跃层各特征参数的月平均 等值线图<sup>[13]</sup>,并以填色方式显示.

# 2 结果

# 2.1 温跃层上界深度和温度的时空变化

图1 是热带大西洋温跃层月平均上界深度的分 布.按照 Levitus 的季节划分,将北半球的季节划分 如下:1~3 月为冬季 4~6 月为春季,7~9 月为夏 季,10~12 月为秋季<sup>[14]</sup>.图1 表明在各半球内,温跃 层月平均上界深度的空间分布呈现出明显的冬深夏 浅的季节性特征,空间上大致呈纬向带状分布.12 月至翌年4 月份,15°N 以北斜向区域深度超过80 m 最深的月份超过120 m;同期10°S 以南区域深度 值多低于50 m.6~10 月份则相反,10°S 以南带状 区域深度值大于80 m,同期15°N 以北斜向区域深 度值小于50 m;5、11 月份是季节转换月份,在非洲 西海岸向外存在一块舌状低值区域.

由图 2 可见,热带大西洋温跃层上界温度月平

均深度分布各月有差异,但基本上能呈现出上界深 度深的地方上界温度低.在赤道低纬度区域,温跃层 上界温度常年在27℃以上.在各自半球的夏季,温 跃层上界温度高于冬季,在图2上呈现出高温区域 覆盖面积的转换,致使赤道高温区域和两侧低温区 域的空间分布形状各月呈小幅变化.在纬向上,从赤 道向南北两侧25°纬向区域,温跃层上界温度值依 次递减.与南半球相比,北半球在夏、秋季20°N以 北更多受高温区域控制.与此同时南半球赤道以南 低温区域扩大,大部分区域在22℃以下.6~11月 份,赤道以北区域几乎都在23℃以上.与此相反,南 半球夏、秋季节高温区域范围扩大相应的北半球冷 水区域得到加强.在图2各小图的右下角和右上角 各自存在着一块温跃层下界温度常年较低区域,分 布形状各月不一.



图 2 热带大西洋金枪鱼渔场温跃层月平均上界温度的分布

Fig. 2 Monthly distribution of the upper boundary temperature of thermocline in the tuna fishing grounds in the tropical Atlantic

# 2.2 温跃层下界深度和温度的时空变化

热带大西洋温跃层下界深度月平均值的分布图 (图3)表明温跃层下界深度高值区域空间分布呈现 "W"形状,没有明显的季节变化特征.在赤道纬向 区域,常年存在一条细长的温跃层下界深度较深 的区域,从南美洲延伸到非洲西海岸深度值在280 m以上,最深超过310 m.在两侧10°区域,沿南美 洲大陆向外海温跃层下界深度值在250 m左右. 温跃层深度值在 25°S 以南,从南美洲到非洲西海 岸,延伸到安哥拉外海,在1a中的大部分月份里, 温跃层下界深度浅于 150 m,呈倒"L"型分布.在 北纬10°,非洲西海岸外海全年存在着一块低值舌 状区域.

热带大西洋温跃层下界温度各月的平均值分布 (图4)没有显示明显的季节性差异,主要分布特征 为:在纬向上,在15°N以北和15°S以南区域,温跃 层下界温度值较高; 15°N 和 15°S 之间的纬向区域 温跃层下界温度较低. 北半球 15°N 以北区域的下 界温度在 17℃以上,南半球 15°S 以南区域的下界 温度低于北半球,介于 15~17℃之间;在赤道低纬 度区域的下界温度多低于 14℃,在南美洲东海岸靠 近赤道纬向区域甚至低于 11℃,纬向空间分布上呈 现左边低右边高.在赤道以南非洲西海岸外海温跃 层的下界温度全年在 14℃左右.



图 3 热带大西洋金枪鱼渔场温跃层月平均下界深度的分布

Fig. 3 Monthly distribution of the lower boundary depth of thermocline in the tuna fishing grounds in the tropical Atlantic



Fig. 4 Monthly distribution of the lower boundary temperature of thermocline in the tuna fishing grounds in the tropical Atlantic

热带大西洋温跃层厚度各月月平均值的分布见 图 5. 在大西洋西部 5°~15°N 和 5°~15°S 区域的厚 度最大(80~150 m),但冬季和夏季呈现相反的分 布特征.冬季在北半球南美洲外海 5°~15°N 区域, 温跃层厚度最深可达 150 m,分布面积较大;南半球 5°~15°S 温跃层厚度分布相对较浅,分布面积较 小. 从 4 月份开始,大西洋西部 5°~15°S 区域温跃 层厚度变大,分布面积也变大,夏季达到最大,与此 同时北半球南美洲外海5°~15°N区域温跃层厚度 的高值区域逐渐减弱,几乎消失.之后温跃层厚度逐 渐变小在11、12月份几乎消失,与此同时,北半球南 美洲外海5°~15°N区域的温跃层厚度开始加大.全 年在15°S~15°N纬向区域,除上述温跃层厚度高值 区域外厚度值在50m左右,在南半球20°~30°S和 北半球20°~30°N纬向区域,厚度值相比较低.



#### 图 5 热带大西洋金枪鱼渔场温跃层厚度的分布

Fig. 5 Monthly distribution of thermocline thickness in the tuna fishing grounds in the tropical Atlantic

热带大西洋温跃层强度各月月平均值的分布见 图 6. 在 5°S ~ 15°N 纬向区域,尤其是大西洋东部的 几内亚湾,温跃层强度值较大,在 0. 15 ~ 0. 25℃/m 之间. 同纬度的大西洋西部区域温跃层强度相对较 小 在 0. 10 ~ 0. 15℃/m 之间. 在 20°N 以北区域和 15°S 以南区域,温跃层强度小于 0. 1℃/m.

# 3 讨论与建议

## 3.1 温跃层与延绳钓金枪鱼分布的关系

大西洋黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼中心渔场主要 分布在热带区域.大西洋黄鳍金枪鱼1~3月集中在 几内亚湾和临近区域产卵,3~5月份从东向西游 动 6~9月份在墨西哥湾和东南加勒比海产卵和觅 食,10~12月份从西向东回迁<sup>[5]</sup>.大西洋大眼金枪 鱼冬季中心渔场集中在10°~20°N,15°~40°W 海 域 *A* 月份中心渔场向西、南扩散,逐渐形成南北两 块,12 月份向北聚集,全年在大西洋中部与南美洲 近岸和大西洋中部与非洲近岸之间呈现集中到离 散,再集中的变化趋势<sup>[15]</sup>.在热带海域,主要以延绳 钓方式捕捞大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼,尤其是大眼 金枪鱼.延绳钓作业的捕捞效率不仅依赖于寻找中 心渔场,同时依赖于投钩的深度及其与金枪鱼垂直 游动深度的关系,温跃层的分布会影响金枪鱼的垂 直分布,从而影响延绳钓*CPUE*<sup>[6-7]</sup>.

3.1.1 温跃层上界深度和温度与延绳钓金枪鱼分布的关系 大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼是暖水性鱼类 栖息和产卵需要在一定的水温之上 温跃层上界温度会影响这2种金枪鱼空间分布.当温跃层上界温度低于大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼需要的栖息水温时 就不适宜金枪鱼晚上栖息 /金枪鱼会游动到适宜



图6 热带大西洋金枪鱼渔场温跃层强度的分布

Fig. 6 Monthly distribution of thermocline intensity in the tuna fishing grounds in the tropical Atlantic

栖息的水域,因此该区域不可能形成中心渔场. 宋利 明等(2006)在马尔代夫海域调查发现印度洋大眼 金枪鱼夜间栖息在温跃层上界附近<sup>[16]</sup>. 标志物放流 研究结果证实三大洋的大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼呈 现明显的白天和夜晚的分布深度不同,在夜晚超过 92%的时间分布在温跃层以上水域,并认为这种垂 直分布习性会影响到延绳钓作业投钩的深度和效 率<sup>[1]</sup>.上述结果说明与印度洋金枪鱼一样,热带大 西洋金枪鱼夜间也栖息在温跃层以上水域,因此,其 延绳钓夜间作业适宜的投钩深度在温跃层上界深度 附近.当温跃层深度变浅,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 *CPUE* 增加<sup>[8]</sup>.

3.1.2 温跃层下界深度、温度与延绳钓金枪鱼分布 的关系 白天大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼,尤其是成 年的金枪鱼会频繁潜到深水区域进行索饵,觅食深 水散射层生物.显然,金枪鱼白天这种生物习性会影 响到延绳钓作业投钩的深度和作业效率. Mohri 和 Nishida(2000)指出,在热带印度洋,黄鳍金枪鱼适 宜的温度范围是13~24℃,15~17℃处的渔获率最 高<sup>[17]</sup>.Song(2008)研究得出在印度洋公海,黄鳍金 枪鱼活动密集的水层为100~179 m,与渔获率最密 切的水深是120~140 m,水温为16~17℃<sup>[18]</sup>.可以 认为热带印度洋黄鳍金枪鱼高渔获率分布在 16℃ 等温线附近, 宋利明等(2004) 报道, 在热带大西洋 区域,黄鳍金枪鱼的最适水层是150~179 m,最适 水温则是 13~14℃<sup>[19]</sup>.相比热带印度洋区域,其分 布于更深层冷水中,表明黄鳍金枪鱼可以进入更深 的冷水层去索饵. 虽然黄鳍金枪鱼在暖水的分布要 比在冷水的分布深 但在相似的纬度区域 同一种鱼 在不同大洋的垂直分布差异较大 原文中并没有给 出解释 现有文献也没有相关说明. 由于本文计算的 热带大西洋黄鳍金枪鱼渔场温跃层下界深度和温 度 在时间和空间上与宋利明(2004) 文中延绳钓黄 鳍金枪鱼的调查时间、地点相匹配,而在宋利明等 (2004) 调查期间,大西洋调查区域的温跃层下界深 度值和温度值分别约为200 m 和13℃<sup>[19]</sup>,可认为大 西洋黄鳍金枪鱼高渔获率水温的分布深度在温跃层 下界以上水层附近. 热带印度洋和大西洋黄鳍金枪 鱼高渔获率水温的分布深度在温跃层下界以上水层 附近. 根据本文的研究结果可推断影响黄鳍金枪鱼 索饵时垂直分布的环境因子是温跃层下界深度和温 度值 热带大西洋和印度洋不同的温跃层下界深度 值和温度值导致了两大洋延绳钓黄鳍金枪鱼不同的 高渔获率水层和水温.

档案标志放流表明在大西洋中部 ,大眼金枪鱼

白天下潜深度水温的众数在 10℃,集中在 10~ 12℃<sup>[20]</sup>. 延绳钓调查结果表明热带大西洋大眼金枪 鱼的最适水层深度在 240.0~269.9 m 之间 最适水 温是 12~13℃<sup>[21]</sup>. 延绳钓调查结果得出的大眼金 枪鱼适宜水温稍高于档案标志放流结果 ,这是因为 文献 [20-21] 的调查研究海域不同. 将上述调查的月 份、海域与本文绘制的温跃层下界深度、温度的空间 分布图进行对比分析 ,发现热带大西洋延绳钓大眼 金枪鱼的高渔获率水层位于温跃层下界深度以下区 域,由此我们可以推断,在白天,大眼金枪鱼在温跃 层下界以下水层觅食,大眼金枪鱼白天觅食时的垂 直分布深度主要受水温影响而不是深度.通过上述 分析结果我们推测后认为影响大眼金枪鱼和黄鳍金 枪鱼白天垂直分布的主要环境因素是水温 ,它们分 布的深度在温跃层下界以下或附近水域. 由此我们 继续推测 温跃层的强度和厚度可能并不影响大眼 金枪鱼和黄鳍金枪鱼白天的垂直分布 但这些推测 还有待于实际调查数据的进一步验证.

3.2 对金枪鱼延绳钓投钩作业的建议

当延绳钓作业的投钩深度和金枪鱼觅食游动的 深度吻合时,可以提高延绳钓的作业效率.远洋延绳 钓捕捞渔船在热带大西洋作业时,可以参考本文绘 制的月平均温跃层空间分布图,晚上投钩深度应该 在本文绘制的温跃层上界深度附近水域;白天捕捞 黄鳍金枪鱼投钩深度应该在本文绘制的温跃层下界 深度水域附近,大眼金枪鱼投钩深度应比黄鳍金枪 鱼更深.关于大眼金枪鱼延绳钓的作业投钩深度,需 要通过绘制热带大西洋延绳钓大眼金枪鱼的高渔获 率水温等值线的空间分布图作进一步分析.此外对 于温跃层上界温度、深度和围网金枪鱼分布的关系, 也需要在本文研究结果基础上作进一步的分析,以 便为围网金枪鱼捕捞作业提供理论指导.

#### 4 结语

本文采用 Argo 温度数据 绘制热带中大西洋大 眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼渔场温跃层 6 个特征参数月 平均时空变化图. 温跃层上界深度、温度表现出季节 性变化,上界深度呈现出冬深夏浅的特征.在赤道低 纬度区域,上界温度常年在 27℃以上. 温跃层下界 深度、温度没有表现出季节性变化,下界深度高值区 域空间分布呈现"W"形状,在 15°N 以北和 15°S 以 南区域下界温度值较大,在这之间的纬向区域下界 温度值较小.在大西洋西部 5°~15°N 和 5°~15°S 区域的温跃层厚度值较大,冬季和夏季分布呈相反 特征. 温跃层强度的高值在 5°S~15°N 纬向区域, 尤其是大西洋东部.本文的计算结果可以为热带大 西洋延绳钓金枪鱼生产作业,以及研究其金枪鱼时 空分布与温跃层关系提供更多的参考资料.

# 参考文献:

- [1] Schaefer K M, Fuller D W, Block B A. Vertical movements and habitat utilization of skipjack (*Katsuwonus pelamis*), yellowfin (*Thunnus albacares*), and bigeye (*Thunnus obesus*) tunas in the equatorial eastern Pacific Ocean, as ascertained through archival tag data [M]// Nielsen J L, Arrizabalaga H, Fragoso N et al. Reviews: methods and technologies in fish biology and fisheries, Vol 9: tagging and tracking of marine animals with electronic devices. Berlin: Springer, 2009: 121-144.
- [2] 陈新军. 渔业资源与渔场学 [M]. 北京. 海洋出版社 2004: 116-130.
- [3] 杨胜龙 涨禹 涨衡 等. 热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层关系 [J]. 生态学报 2012 32(3):671-679.
- [4] 杨胜龙 涨禹 樊伟 等. 热带印度洋大眼金枪鱼渔场时空分布与温跃层关系 [J]. 中国水产科学 2012, 19(4): 679-689.
- [5] Zagaglia C R, Lorenzzetti J A, Stech J L. Remote sensing data and longline catches of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the equatorial Atlantic [J]. Remote Sensing of Environment, 2004 93: 267–281.
- [6] Maury O, Gascuel D, Marsac F, et al. Hierarchical interpretation of nonlinear relationships linking yellowfin tuna (*Thunnus al-bacares*) distribution to the environment in the Atlantic Ocean [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences , 2001, 58: 458-469.
- [7] Lan K W, Lee M A, Lu H J et al. Ocean variations associated with fishing conditions for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the equatorial Atlantic Ocean [J]. Journal of Marine Sciece 2011 68(6):1063-1071.
- [8] 宋利明 涨禹 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.
- [9] 中国 Argo 实时资料中心. Argo 简讯 [R]. 杭州: 国家海洋局第二海洋研究所 2012(4):7-9.
- [10] Akima H. A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures [J]. J Associ Comput Maeh ,1970, 17:589-602.
- [11] 周燕遐 李炳兰 涨义钧 等.世界大洋冬夏季温度跃层特征 [J].海洋通报 2002 21(1):16-22.
- [12] 杨胜龙 冯军杰 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):13-48.

- [13] 杨胜龙,马军杰,伍玉梅,等.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[J].海洋科学,2012,36 (7):97-103.
- [14] Levitus S. Climatological Atlas of the world ocean [J]. Eos Trans AGU , 1983 , 64(49) : 962–963.
- [15] 李灵智 汪磊 刘健 等.大西洋金枪鱼延绳钓渔场的地统计分析[J].中国水产科学 2013(1): 199-205.
- [16] 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.
- [17] Mohri M, Nishida T. Consideration on distribution of adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Indian Ocean based on Japanese tuna longline fiseries and survey information [J]. IOTC Proc 2000 3: 276-282.
- [18] Song L M, Zhang Y, Xu L X, et al. Environmental preferences of longlining for yellowfin tuna(*Thunnus albacares*) in the tropical high seas of the Indian Ocean [J]. Fish Ceanogr, 2008, 17(4):239-253.
- [19] 宋利明 陈新军,许柳雄.大西洋中部黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)的垂直分布与有关环境因子的关系[J].海洋与湖 沼 2004 34(1):64-68.
- [20] Matsumoto T, Saito H, Miyabe N. Swimming behavior of adult bigeye tuna using popup tags in the central Atlantic [J]. Col Vol Sci Pap ICCAT 2006 57(1):151-170.
- [21] 宋利明,许柳雄,陈新军.大西洋中部大眼金枪鱼垂直分布与温度、盐度的关系[J].中国水产科学 2004,11(6):561-566.

# Temporal and spatial variation characteristics of the thermocline in *Thunnus obesus* and *Thunnus albacares* fishing grounds in the tropical Atlantic Ocean

YANG Sheng-long<sup>1 2</sup>, ZHANG Sheng-mao<sup>1</sup>, JIANG Xing-wei<sup>3</sup>, ZOU Bin<sup>3</sup>, HUA Cheng-jun<sup>1</sup>, ZHOU Wei-feng<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization,

Ministry of Agriculture , P. R. China Shanghai 200090 , China;

2. 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;

3. National Satellite Ocean Application Service SOA, Beijing 100081, China)

Abstract: We evaluated the thermocline spatial distribution in the longline fishing grounds of *Thunnus albacares* and *Thunnus obesus* in the Atlantic Ocean using Argo profile buoy data from 2007 to 2011. Based on those basic works , the monthly distribution maps of the upper boundary depth and its temperature , the lower boundary depth and its temperature of the thermocline were plotted. The topography of the upper boundary depth , temperature of the thermocline showed obvious seasonal variation , roughly in zonal striped distribution on the annual mode. The spatial distribution of the upper boundary depth of the thermocline is deep in winter while shallow in summer. From December to the next April , the upper boundary depth is higher than 80m to the north of  $15^{\circ}$ N , while lower than 50m to the south of  $10^{\circ}$ S. The opposite happens from June to October. The upper boundary temperature is above  $27^{\circ}$ C in the equator zonal area , and the upper boundary temperature becomes lower from the equator to high latitude zonal area , till  $20^{\circ}$ C and lower.

The topography of the lower boundary depth and the temperature of the thermocline showed little seasonal variability on the annual mode. The high value shape of the lower boundary depth looks like a W, and the value is greater than 220m. The lower boundary depth is lower than 150m from the South American to the West Africa to the south of 25°S, extending to the coast of Angola and to 10°N in most the months of year. The lower boundary temperature is lower than 14°C in equator zonal and higher than 15°C in high latitude area. The thermocline thickness was large between 5°N and 15°N, and between 5°S and 15°S in the western Atlantic, ranging from 80 to 150m, but the distribution characteristics of winter and summer were opposite. The thermocline intensity was large between 5°S and 15°N, especially in the eastern Atlantic, ranging from 0. 15 to 0. 25°C/m. The analysis results reveal the spatial distribution seasonal characteristic of the thermocline in major longline tuna fishing ground of T. obesus and T. albacares in the tropical Atlantic Ocean which provide reference to longline production operation of tuna, and suggest that cast hook depth for T. albacares and T. obesus in the night should be around the upper boundary of the thermocline depth, and the cast hook depth for longline T. albacares in the day near the lower boundary depth of the thermocline, while the T. obesus cast hooks should be set deeper than that of T. albacares.

Key words: fisheries oceanography; thermocline; temporal and spatial variations; *Thunnus albacares; Thunnus obesus*; the tropical Atlantic Ocean

DOI: 10. 3969/J. ISSN. 2095-4972. 2013. 03. 007

(责任编辑:郭水伙)