

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

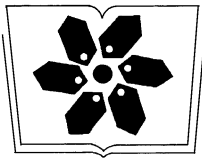
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第3期 Vol.32 No.3 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 3 期

2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律	连新明, 李晓晓, 颜培实, 等 (663)
热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 张禹, 张衡, 等 (671)
洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应	卢碧林, 严平川, 田小海, 等 (680)
广西西端海岸四种红树植物天然种群生境高程	刘亮, 范航清, 李春千 (690)
高浓度 CO ₂ 引起的海水酸化对小珊瑚藻光合作用和钙化作用的影响	徐智广, 李美真, 霍传林, 等 (699)
盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响	邹维娜, 袁琳, 张利权, 等 (706)
基于 C-Plan 规划软件的生物多样性就地保护优先区规划——以中国东北地区为例	栾晓峰, 孙工棋, 曲艺, 等 (715)
城市化对本土植物多样性的影响——以廊坊市为例	彭羽, 刘雪华, 薛达元, 等 (723)
利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种	刘芳, 李迪强, 吴记贵 (730)
基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型	李海奎, 宁金魁 (740)
千岛湖社鼠种群遗传现状及与生境面积的关系	刘军, 鲍毅新, 张旭, 等 (758)
气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响	顾润源, 周伟灿, 白美兰, 等 (767)
中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等 (777)
植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响	童春富 (786)
黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征	邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等 (796)
云南中南部季风常绿阔叶林恢复生态系统萌生特征	苏建荣, 刘万德, 张志钧, 等 (805)
筑坝扩容下高原湿地拉市海植物群落分布格局及其变化	肖德荣, 袁华, 田昆, 等 (815)
三峡库区马尾松根系生物量的空间分布	程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 等 (823)
兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异	王洪岩, 王文杰, 邱岭, 等 (833)
内蒙古放牧草地土壤碳固持速率和潜力	何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞 (844)
不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系	葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等 (852)
不同丛枝菌根真菌侵染对土壤结构的影响	彭思利, 申鸿, 张宇亭, 等 (863)
不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程	刘目兴, 聂艳, 于婧 (871)
不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间	田慎重, 宁堂原, 迟淑筠, 等 (879)
外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响	肖志华, 张义贤, 张喜文, 等 (889)
温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼鳃 Na ⁺ -K ⁺ -ATPase 活力的联合效应	王海贞, 王辉, 强俊, 等 (898)
基于元胞自动机的喀斯特石漠化格局模拟研究	王晓学, 李叙勇, 吴秀芹 (907)
边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和对细胞壁多糖的影响	蔡妙珍, 王宁, 王志颖, 等 (915)
川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应	龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等 (923)
基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价	翟治芬, 王兰英, 孙敏章, 等 (931)
基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析	王翠平, 王豪伟, 李春明, 等 (942)
生态旅游资源非使用价值评估——以达赉湖自然保护区为例	王朋薇, 贾竞波 (955)
专论与综述	
基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建	袁菲, 张星耀, 梁军 (964)
硅对植物抗虫性的影响及其机制	韩永强, 魏春光, 侯茂林 (974)

研究简报

光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系——以桂花和水杉为例	占峰, 杨冬梅 (984)
Bt 玉米秸秆还田对小麦幼苗生长发育的影响	陈小文, 祁鑫, 王海永, 等 (993)
汶川大地震灾后不同滑坡体上柏木体内非结构性碳水化合物特性	陈博, 李志华, 何茜, 等 (999)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-02



封面图说: 难得的湿地乔木——池杉池杉为落叶乔木, 高达 25 米, 主干挺直, 树冠尖塔。树干基部膨大, 常有屈膝状吐吸根, 池杉为速生树, 强阳性, 耐寒性较强, 耐干旱, 更极耐水淹, 多植于湖泊周围及河流两岸, 是能在在水里生长的极少数的大乔木之一, 故有湿地乔木之称。池杉原产美国弗吉尼亚沼泽地, 中国于本世纪初引种到江苏等地, 之后大量引种南方各省, 尤其是长江南北水网地区作为重要造树和园林树种而大量栽种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201108231231

杨胜龙, 张禹, 张衡, 王栋, 马军杰, 张晶, 崔雪森. 热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系. 生态学报, 2012, 32(3): 671-679.

Yang S L, Zhang Y, Zhang H, Wang D, Ma J J, Zhang J, Cui X S. The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 671-679.

热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系

杨胜龙¹, 张禹¹, 张衡¹, 王栋¹, 马军杰², 张晶¹, 崔雪森^{1,*}

(1. 中国水产科学院东海水产研究室, 上海 200090; 2. 同济大学法学院/知识产权学院, 上海 200092)

摘要:根据 Argo 浮标剖面温度数据重构热带印度洋各月月平均温跃层特征参数,并结合印度洋金枪鱼委员会(IOTC)黄鳍金枪鱼延绳钓数据,绘制了月平均温跃层特征参数和月平均 CPUE 的空间叠加图,用于分析热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布和温跃层特征参数的关系。结果表明:热带印度洋温跃层上界深度、温度和下界深度,以及黄鳍金枪鱼中心渔场分布都具有明显的季节性变化特征,黄鳍金枪鱼中心渔场分布和温跃层季节性变化有关。在东北季风期间,高值 CPUE 渔区的温跃层上界深度的范围为 30—40m,超过 70m 的渔区 CPUE 值普遍偏低;在西南季风期间温跃层上界最深达到 120m。在东北季风期间,高值 CPUE 渔区温跃层下界深度不超过 200m,在西南季风期间,深度会超过 300m。在东北季风期间,高值 CPUE 渔区对应的温跃层上界温度都超过 25℃,温度小于 24℃的渔区 CPUE 值普遍较低;在西南季风期间,高值 CPUE 区域对应的温跃层上界温度范围变大,温跃层上界温度延伸到 22℃,在 22℃以下渔区 CPUE 值都很低。采用频次分析和经验累积分布函数计算其最适温跃层特征参数分布,得出黄鳍金枪鱼最适的温跃层上、下界温度范围分别是 25—29℃和 13—16℃;其上、下界深度范围分别为 30—70m 和 140—200m。K-S 检验结果表明,上述结论可靠。

关键词:黄鳍金枪鱼; 温跃层; 印度洋

The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean

YANG Shenglong¹, ZHANG Yu¹, ZHANG Heng¹, WANG Dong¹, Ma Junjie², ZHANG Jing¹, CUI Xuesen^{1,*}

1 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

Abstract: Based on the monthly thermocline characteristic parameters of tropic Indian Ocean obtained by the Argo profile data from China Argo Real-time Data Center(CARDC), along with the longline fisheries data of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) provided by the Indian Ocean Tuna Commission (IOTC), the spatial overlay maps of the average monthly at thermocline characteristic parameters and CPUE value of yellowfin tuna were plotted to analyze the relationship between the fishing grounds distribution of yellowfin tuna and thermocline characteristics parameters. The seasonal variety of the upper bound depth, temperature and the lower boundary depth and the fishing ground distribution of yellowfin tuna were found from the analysis results. Meanwhile, the relationship between the fishing ground distribution of yellowfin tuna and the seasonal variety of the thermocline were remarkable. During the northeast monsoon, the range of the upper boundary depth in the higher value of CPUE fishing area was 30—50m, and the CPUE value was lower where the upper boundary was over than 70m. While the upper boundary depth was more than 120m during the southwest monsoon. The lower boundary depth in the

基金项目:863 计划项目(2007AA092202);中央级公益性科研院所基本业务费资助项目(2009T08);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)

收稿日期:2011-08-23; **修订日期:**2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cuixuesen@eastfishery.ac.cn

higher value of CPUE fishing area was less than 200m during the northeast monsoon, while that was over than 300m during the southwest monsoon. During the northeast monsoon, the upper boundary temperature was more than 25°C and the CPUE value was generally lower in the area with the temperature less than 24°C, while that during the southwest monsoon ranged wildly, extended to 22°C, and the CPUE value was lower under 22°C. Based on the frequency analysis and empirical cumulative distribution function (ECDF), the optimum range of the upper boundary temperature and depth were 25—29°C and 30—70m, respectively, while that of lower boundary temperature and depth were 13—16°C and 140—200m, respectively. The results were trusted test by K-S test.

Key Words: yellowfin tuna; thermocline; Indian Ocean

黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*) 是世界远洋金枪鱼渔业主捕对象之一, 它大部分时间在混合层内部, 偶尔在温跃层上界以下, 受温度梯度影响大^[1-3]。国内外学者对于黄鳍金枪鱼的资源评估、生物学特征做了很多工作^[4-5]。影响黄鳍金枪鱼的渔获率环境因子很多, 有关水温、盐度、叶绿素和溶解氧对黄鳍金枪鱼的中心渔场分布影响, 也已经有很多研究成果^[6-8]。Romana^[9]指出成年黄鳍金枪鱼高的渔场分布受 20°C 等温线影响, Song^[10]分析得出黄鳍金枪鱼的垂直分布和温跃层有关, 但有关温跃层特征参数的时空分布和黄鳍金枪鱼的渔场分布的关系少有报道。本文采用 Argo 温度数据, 通过数值方法计算热带海域次表层水温和温跃层特征参数, 分析热带印度洋温跃层季节性分布特征和印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布关系, 找出印度洋黄鳍金枪鱼最适宜栖息的温跃层特征参数范围, 为印度洋黄鳍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 材料和方法

1.1 数据

1.1.1 Argo 数据

采用 2007—2010 年 Argo 浮标剖面温度数据进行温跃层特征分析。Argo 剖面浮标数据来自于中国 Argo 实时数据中心 (<http://www.argo.org.cn/>)。

1.1.2 渔业数据

黄鳍金枪鱼渔业生产数据来自于印度洋金枪鱼委员会 (IOTC)。渔业数据包括作业日期、地点 (经度、纬度)、放钩数、渔获产量、渔获尾数。数据统计的空间分辨率是 5°×5°, 时间分辨率是月。本文采用 1991—2009 年黄鳍金枪鱼延绳钓数据, 这期间金枪鱼渔业捕捞规模趋于稳定。每 5°×5° 统计方格内单位捕捞努力量渔获量 (CPUE, 尾/千钩) 计算公式为:

$$CPUE_{(i,j)} = \frac{N_{fish(i,j)} \times 1000}{N_{hook(i,j)}} \quad (1)$$

式中, $CPUE_{(i,j)}$, $N_{fish(i,j)}$, $N_{hook(i,j)}$ 分别是第 i 个经度、第 j 个纬度处方格的月平均 CPUE, 总渔获尾数和总投钩数。公式 (1) 可以消除投影后低纬度和高纬度网格大小不同带来的影响。

1.2 研究区域

本文确定的研究区域为 20°—120°E, 30°S—25°N (图 1), 将该区域画成 5°×5° 网格渔区。在 1991—2009 期间, 该区域占整个印度洋金枪鱼延绳钓总产量 93.2%, 总尾数的 94.6%。中国金枪鱼延绳钓作业分布在这个区域。与太平洋和大西洋不同, 该区域受印度洋季节性季风影响, 在夏季该地区是西南季风 (6—10 月), 冬季是东北季风 (12 月—翌年 4 月), 5 月和 11 月是季风转换月份^[12]。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^[13], 从而影响该区域黄鳍金枪鱼渔场的时空分布。

1.3 数据分析方法

1.3.1 剖面温度梯度计算和温跃层判定标准

采用 Akima^[14] 插值方法将深度上分布不均匀的 Argo 浮标剖面温度资料, 等距插值到规则深度层上, 垂直

等距间隔为 2m,并计算温度剖面的梯度。选择温度垂直梯度法进行温跃层的判定^[15],据此提取单点剖面处温跃层特征参数(上界深度、温度和下界深度、温度)。

1.3.2 温跃层特征网格计算

将 2007—2010 年所有温跃层特征参数按月分组,采用空间地统计分析方法^[16]将其插值到网格节点上($1^\circ \times 1^\circ$),再以填色等值线作图方式显示。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,为和捕捞数据匹配,将温跃层特征参数平均到 $5^\circ \times 5^\circ$ 网格上。

1.3.3 渔场标准定义

先按(1)式计算 1991—2009 年各月网格内 CPUE 平均值,共 1334 个。计算 1443 个 CPUE 的平均值、均方差和 3 个四分位数(Q1—Q3)。本研究将大于 Q3 的 CPUE 称为高值 CPUE,即认为 CPUE 较高,而其所属渔区定为热带印度洋黄鳍金枪鱼中心渔场。

1.3.4 渔场温跃层参数定性分析

把 CUPE 数据按月分别和温跃层上界深度、温度和温跃层下界深度、温度进行匹配,在空间上进行数据叠加,绘制 CPUE 和温跃层特征参数叠加后的时空分布图,并分析 CPUE、温跃层特征参数时空分布特征。最后定量分析黄鳍金枪鱼渔场和温跃层特征参数关系,找出渔场温跃层参数变化范围。

1.3.5 最适温跃层参数区间计算

黄鳍金枪鱼最适温跃层特征参数分别通过频次分析和经验累积分布函数(ECDF Empirical cumulative distribution function)得到^[17],温度和深度间隔分别是 1°C 、10m。计算与高值 CPUE 对应温跃层特征参数的平均值和均方差,及最适温跃层特征参数区间(平均值 $\pm$ 均方差);计算高值 CPUE 和温跃层特征参数经验累积分布函数,及最适温跃层特征参数区间(最大 $D(t)$ 处参数值 $\pm$ 均方差)。ECDF 方法如下:

$$f(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l(x_i) \quad (2)$$

$$\text{其中 } l(x_i) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } x_i \leq t \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$g(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\bar{y}} l(x_i) \quad (3)$$

$$D(t) = \max |g(t) - f(t)| \quad (4)$$

式中, $f(t)$ 经验累计频率分布函数, $g(t)$ 是高值 CPUE 权重经验累计分布函数, $l(x_i)$ 是分段函数, $D(t)$ 是时刻处 $f(t)$, $g(t)$ 差的最大绝对值,用 K-S 检验方法检验。 n 为资料个数; t 为分组环境因子值; x_i 为第 i 月环境因子值; y_i 为第 i 月月平均 CPUE; $\bar{y}$ 月平均 CPUE 的平均值;根据给定的显著水平 α ,采用 K-S 检验统计量。

1.3.6 文中温跃层特征参数网格计算基于 VC++ 软件,其他的空间计算,绘图等采用 Matlab 2010(a) 软件。

2 结果

2.1 渔获量时空分布

1991—2009 年黄鳍金枪鱼月平均 CPUE 的值是 2.7 尾/千钩($SD=2.2, n=1334$),Q2(第 2 四分位数)是 2.0 尾/千钩,Q3(第 3 四分位数)是 3.2 尾/千钩。全年有一块明显的高值 CPUE 渔区在南纬 10° 至北纬 15° 和东经 40° — 70° 的外海内。在东北季风期间,孟加拉湾有高值 CPUE 出现;在西南季风期间,在南纬 10° — 25° 和东经 55° — 80° 的长带型海域中,黄鳍金枪鱼 CPUE 值亦较高,呈现明显的季节性特征。在阿拉伯海北部,一年中有个别月份出现高值 CPUE,更多的时候没有生产捕捞数据。而在澳大利亚西北海岸和莫桑比克外海,一些月份也有高值 CPUE 出现。1—4 月份高值 CPUE 出现海域向南至南纬 30° ,此后的月份高值 CPUE 区域在纬向上朝北收缩,在 12 月份,主要高值 CPUE 区域在南纬 10° 以北;经向上没有类似明显的变化。

2.2 温跃层上界深度

月平均 CPUE 和温跃层上界深度空间叠加图(图 1)。在南纬 15° 至 25° 纬向区域,温跃层上界深度季节性变化明显,西南季风期间温跃层上界深度大于东北季风期间。此处 CPUE 值在东北季风期间偏低,在西南季

风期间则有大片高值 CPUE 渔区。在东北季风期间的高值 CPUE 渔区,温跃层上界深度分布范围主要在 30—40m,温跃层上界深度超过 70m 的渔区,CPUE 值普遍偏低。在西南季风期间的高值 CPUE 渔区,温跃层上界深度分布范围变大,最深至 120m。

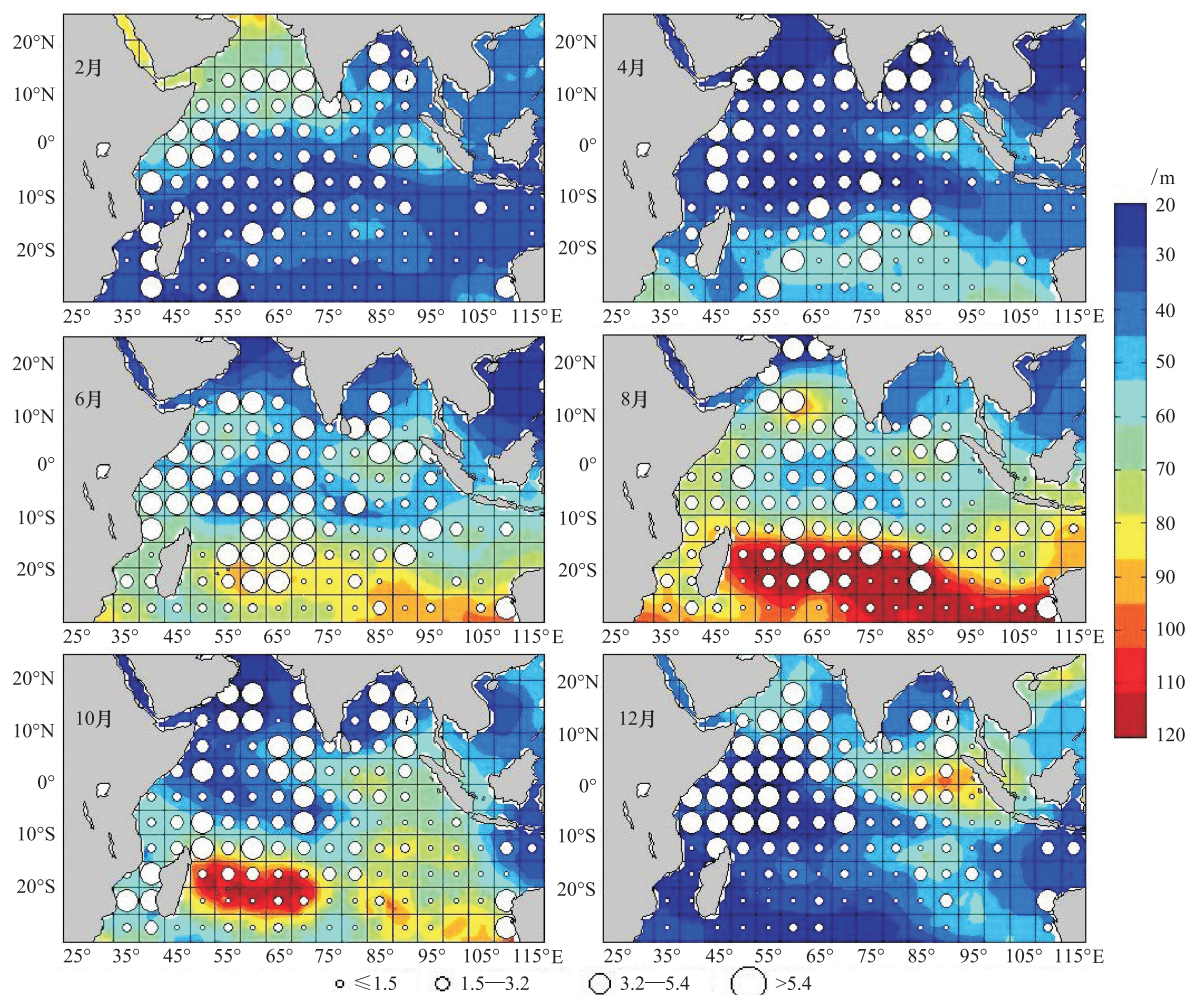


图1 温跃层上界深度和 CPUE 空间叠加图

Fig.1 The overlay map of CPUE and the upper boundary depth of thermocline

2.3 温跃层下界深度

月平均 CPUE 和温跃层下界深度空间叠加图(图2)。在南纬 10°至北纬 15°和东经 40°—70°的外海,温跃层下界深度在 200m 以内,此处全年 CPUE 值都较高。在东北季风期间,孟加拉湾有高值 CPUE 出现的区域,温跃层下界深度亦在 200m 以内。在西南季风期间,在南纬 10°—25°、东经 55°—80°的长带型海域中,温跃层下界深度常年较深(超过 250m),该区域在东北季风期间则很少有高值 CPUE 出现。而在西南季风期间,高值 CPUE 渔区的温跃层下界深度最深达到 300m。在澳大利亚西北海岸高值 CPUE 出现的月份,温跃层下界深度在 250m 左右。在阿拉伯海北部出现高值 CPUE 的月份,温跃层下界深度在 150m 以内。全年在印度洋温跃层下界深度低于 120m 的渔区,印度洋黄鳍金枪鱼 CPUE 值普遍较低。

2.4 温跃层上界温度

月平均 CPUE 和温跃层上界温度空间叠加图(图3)。在南纬 10°以北海域,全年温跃层上界温度在 24℃ 以上。在 2—5 月期间,在阿拉伯海东南和孟加拉湾西南形成了大面积的暖水区,5 月份的温度超过 30℃。此后该区域温度逐渐冷却。在西南季风期间,温跃层上界温度高温区域($\geq 27^\circ\text{C}$)出现收缩,高值 CPUE 区域相应出现收缩。在 7—9 月期间索马里外海的温跃层上界温度比其他月份要低(24—25℃),形成一条明显的带

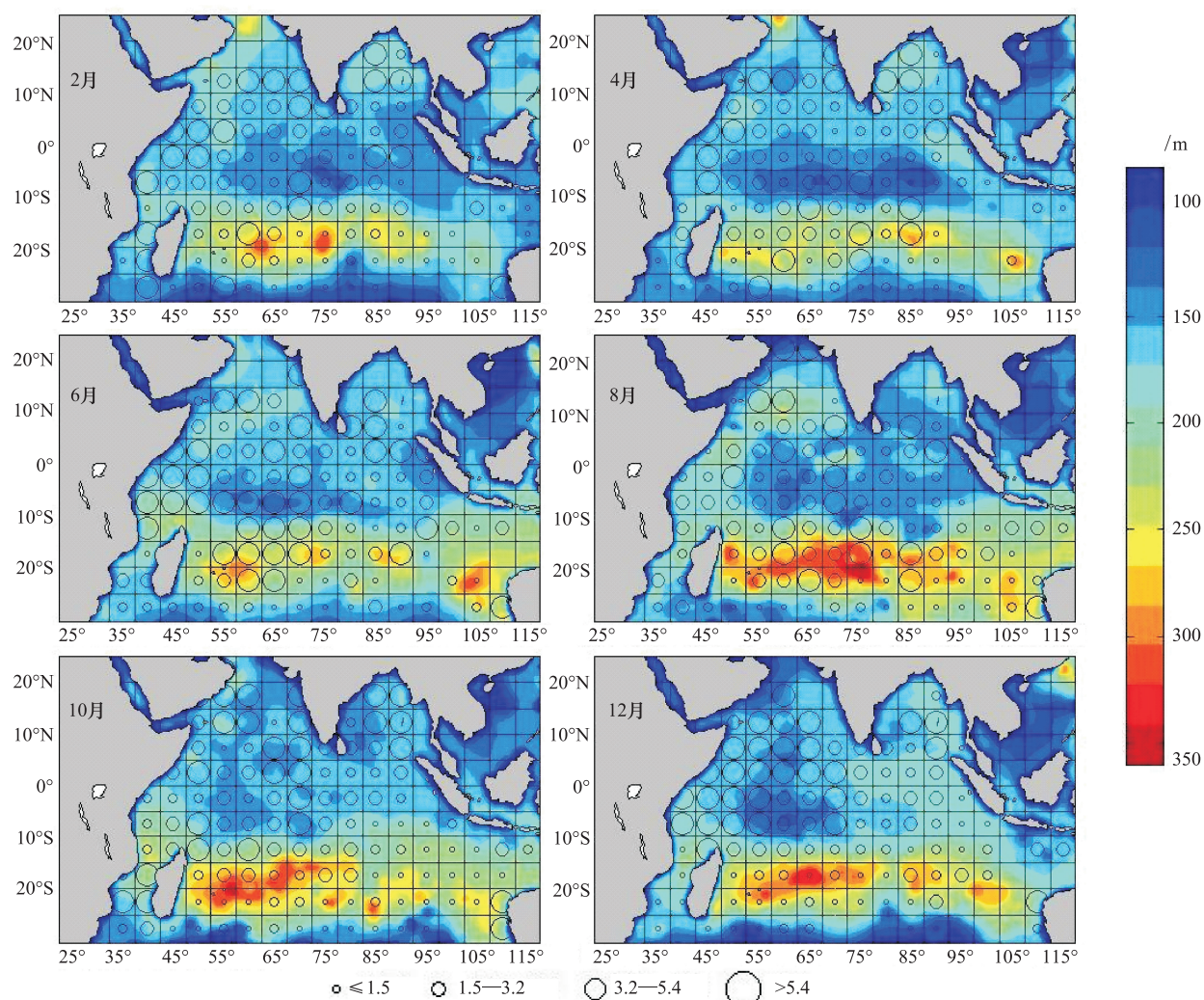


图2 温跃层下界深度和 CPUE 空间叠加图

Fig.2 The overlay map of CPUE and the lower boundary depth of thermocline

型区域,对应的 CPUE 值偏低。在东北季风期间,高值 CPUE 渔区对应的温跃层上界温度都超过 25°C ,温度小于 24°C 的渔区 CPUE 值普遍较低,温度低于 22°C 时几乎没有渔获;在西南季风期间,高值 CPUE 区域对应的温跃层上界深度范围变大,相对应的温跃层上界温度范围也变大,温跃层上界温度延伸到 22°C ,在 22°C 以下渔区 CPUE 值都低于 Q2。

2.5 温跃层下界温度

月平均 CPUE 和温跃层下界温度空间叠加图(图4)。温跃层下界温度各月空间分布变化不大,温度分布在 $10\text{--}20^{\circ}\text{C}$ 之间。主要空间分布特征是低纬度温度低,高纬度温度高。在赤道纬向区域温度不高于 15°C ; 10°N 以北温度在 15°C 以上;在阿拉伯海北部和 15°S 以南温度相对较高,超过 18°C 。东北季风期间,高值 CPUE 渔区温跃层下界温度在 $12\text{--}16^{\circ}\text{C}$ 之间。在西南季风期间,高值 CPUE 区域对应的温跃层下界深度范围变大,对应的温跃层上界温度范围也变大,温跃层下界温度延伸到 19°C 。

2.6 黄鳍金枪鱼最适温跃层特征范围

1991—2009 年黄鳍金枪鱼延绳钓渔获数据高值 CPUE 所在区域温跃层上界温度在 $19.4\text{--}30.2^{\circ}\text{C}$ (图5) 之间,大多数高值 CPUE 区域温跃层上界温度在 $25.5\text{--}29^{\circ}\text{C}$ ($27.2\pm 1.7^{\circ}\text{C}$) 之间(占比 83%),在渔场区高值 CPUE 趋向于集中在温跃层上界温度 27.2°C 。高值 CPUE 所在区域温跃层下界温度范围在 $11.9\text{--}18.9^{\circ}\text{C}$

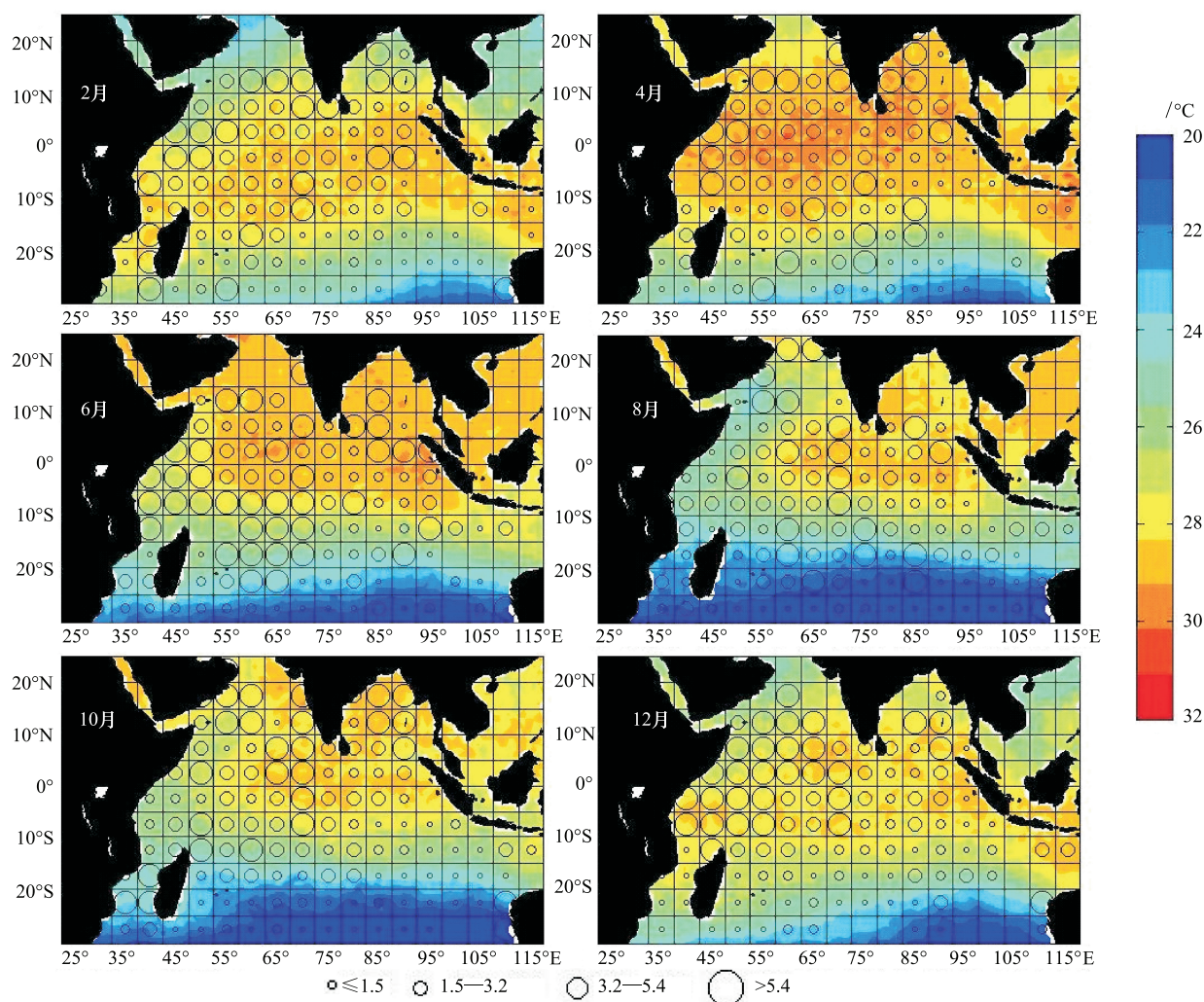


图3 温跃层上界温度和 CPUE 空间叠加图

Fig. 3 The overlay map of CPUE and the upper boundary temperature of thermocline

之间(图5),高值 CPUE 的区域温跃层下界温度主要在 $13\text{--}16^{\circ}\text{C}$ ($(14.5\pm1.5)^{\circ}\text{C}$) 之间(占比 83%),趋向于集中在温跃层下界温度 14.5°C 区域。高值 CPUE 所在区域温跃层上界深度范围在 $19\text{--}116\text{m}$ 之间(图5),高值 CPUE 区域温跃层上界深度主要在 $(50\pm16)\text{m}$ 之间(占 81%)。高值 CPUE 所在区域温跃层下界范围深度 $83\text{--}315\text{m}$ 之间(图5),高值 CPUE 的区域温跃层上界深度主要在 $(180\pm35)\text{m}$ 之间(占 75%),趋向于集中在温跃层下界深度 170m 区域。

ECDF 分析结果见图6,4个温跃层参数和高值 CPUE 累积分布各不相同。K-S 检验结果为下界温度 $P<0.04$,其他 $P<0.02$,表明高值 CPUE 和 4 个参数有密切关系,服从同一分布。高值 CPUE 区域温跃层各参数值最适区间分别为上界温度 $(27.8\pm1.5)^{\circ}\text{C}$ (图6);下界温度 $(14.1\pm1.4)^{\circ}\text{C}$ (图6);上界深度 $(45\pm16)\text{m}$ (图6);下界深度 $(167\pm35)\text{m}$ (图6)。最大 $D(t)$ 处温跃层参数值和频次分析的平均值稍有不同。

综合分析得出:高值 CPUE 区域温跃层各参数值最适区间,分别是上界温度范围为 $25\text{--}29^{\circ}\text{C}$;下界温度为 $13\text{--}16^{\circ}\text{C}$;上界深度为 $30\text{--}70\text{m}$;下界深度为 $140\text{--}200\text{m}$ 。

3 讨论

3.1 CPUE 时空分布

热带印度洋黄鳍金枪鱼时空分布有明显的季节性特征,受印度洋季风变化影响显著,呈现明显的季节性特征。在东北季风期间,孟加拉湾有高值 CPUE 出现;在西南季风期间,在南纬 $10^{\circ}\text{--}25^{\circ}$ 和东经 $55^{\circ}\text{--}80^{\circ}$ 的长

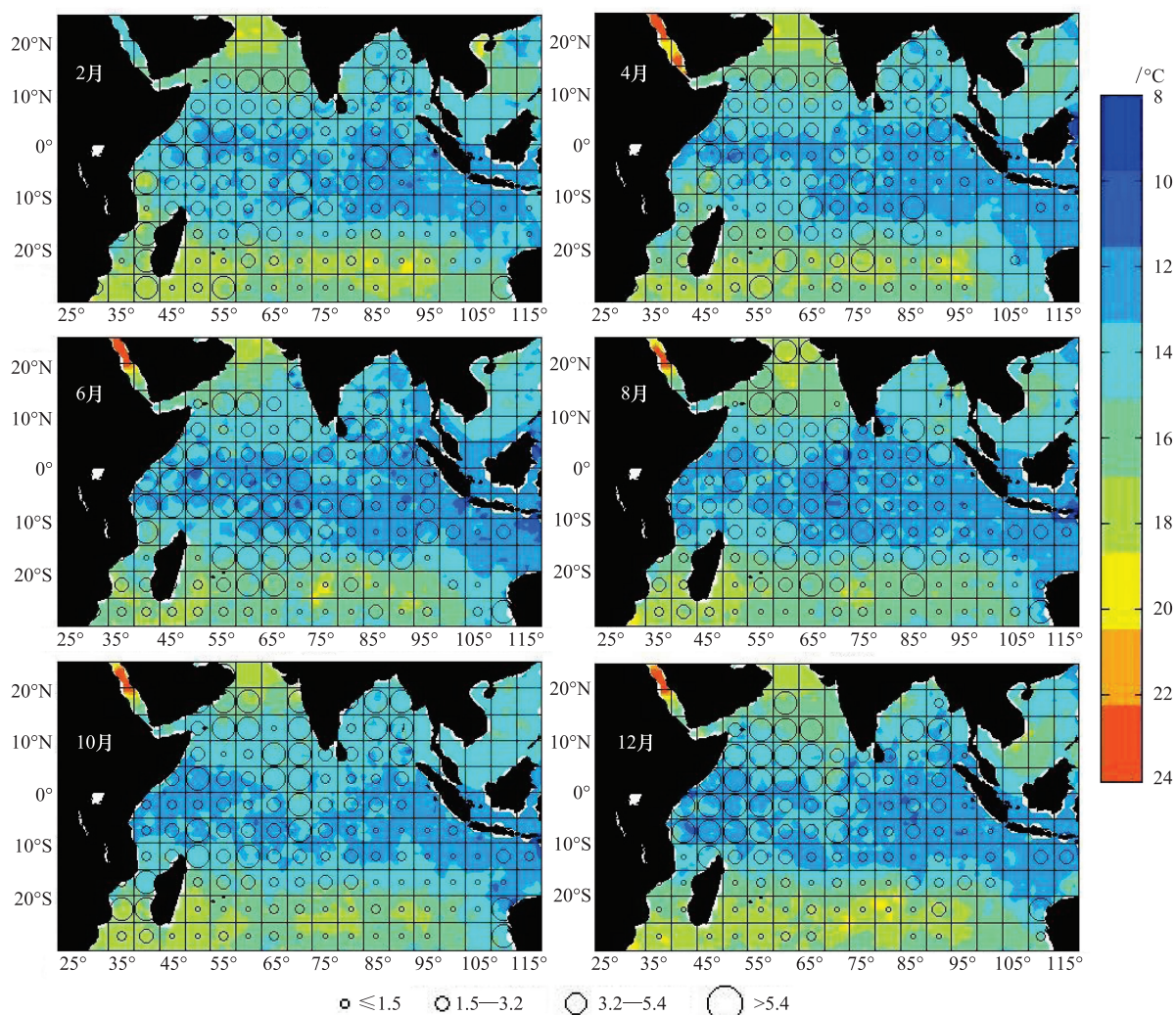


图4 温跃层下界温度和 CPUE 空间叠加图

Fig. 4 The overlay map of CPUE and the lower boundary temperature of thermocline

带型海域中,黄鳍金枪鱼 CPUE 值亦较高;在阿拉伯海北部、澳大利亚西北海岸和莫桑比克外海,一年中个别月份有高值 CPUE 出现。从4月份到年底,高值 CPUE 区域在纬向上朝北收缩,在12月份,主要高值 CPUE 区域在南纬 10° 以北。

3.2 黄鳍金枪鱼渔场温跃层特征参数季节性变化

从绘制的温跃层特征参数时空图看,温跃层上界深度、温度和下界深度都具有明显的季节性变化,主要受印度洋季风的季节性变化影响显著,温跃层下界温度季节性变化不显著。这种季节性变化会间接影响印度洋黄鳍金枪鱼栖息环境和摄食,从而影响黄鳍金枪鱼的鱼群时空变动。在东北季风期间,在高值 CPUE 分布主要区域,温跃层上界深度在 $30\text{--}60\text{m}$ 之间;上界温度不低于 24°C ;温跃层下界深度不超过 200m 。在西南季风期间,在高值 CPUE 分布主要区域,温跃层上界深度最大深度达到 120m ;上界温度拓宽至 22°C ;温跃层下界深度超过 250m ,一些月份甚至超过 300m ,主要表现在南纬 $10^{\circ}\text{--}25^{\circ}$ 、东经 $55^{\circ}\text{--}80^{\circ}$ 的长带型海域中。

3.3 黄鳍金枪鱼垂直分布和温跃层关系

本文得出黄鳍金枪鱼最适的温跃层上、下界温度分别是 $25\text{--}29^{\circ}\text{C}$ 和 $13\text{--}16^{\circ}\text{C}$;最适的温跃层上、下界深度分别是 $30\text{--}70\text{m}$ 和 $140\text{--}200\text{m}$ 。Song^[10] 等通过聚类分析得出在印度洋公海,黄鳍金枪鱼高渔获率的水层深度范围为 $145\text{--}179\text{m}$ 、水温为 $14\text{--}17.9^{\circ}\text{C}$ 。Mohri 等^[7] 研究指出,印度洋黄鳍金枪鱼高渔获率的水温范围是 $15\text{--}17^{\circ}\text{C}$ 。由此可推出黄鳍金枪鱼渔获率分布的水层和水温范围在温跃层内部,而且更靠近温跃层下界附近。

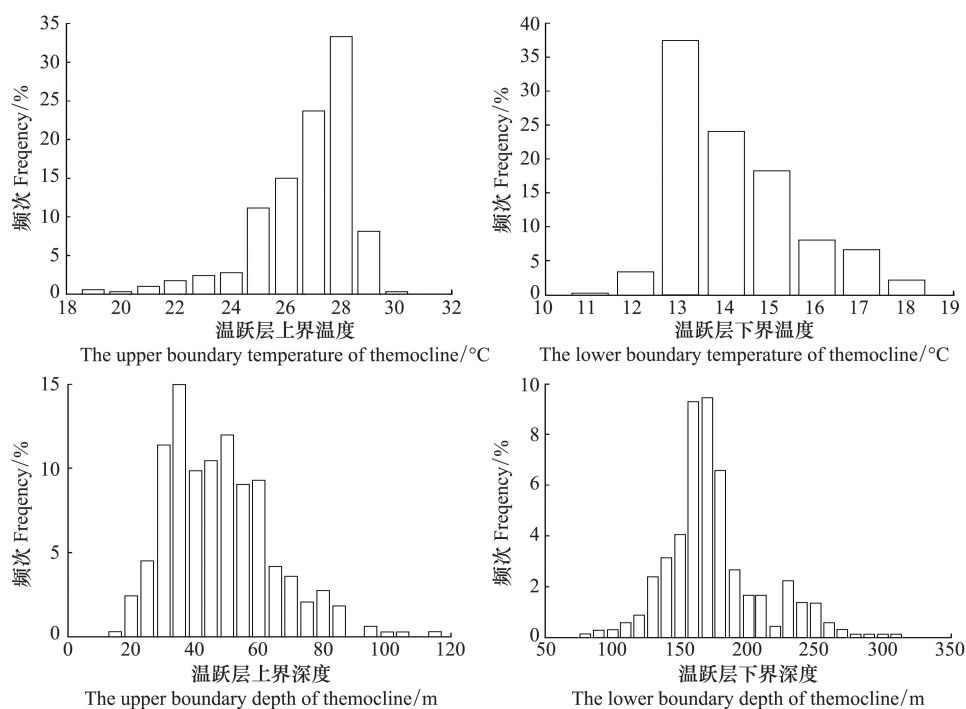


图 5 1991—2009 年,黄鳍金枪鱼高产 CPUE 频数和温跃层变量关系

Fig. 5 Relationship between thermocline variables of upper temperature and fishing frequency of high CPUE data for yellowfin tuna CPUE during 1991—2009

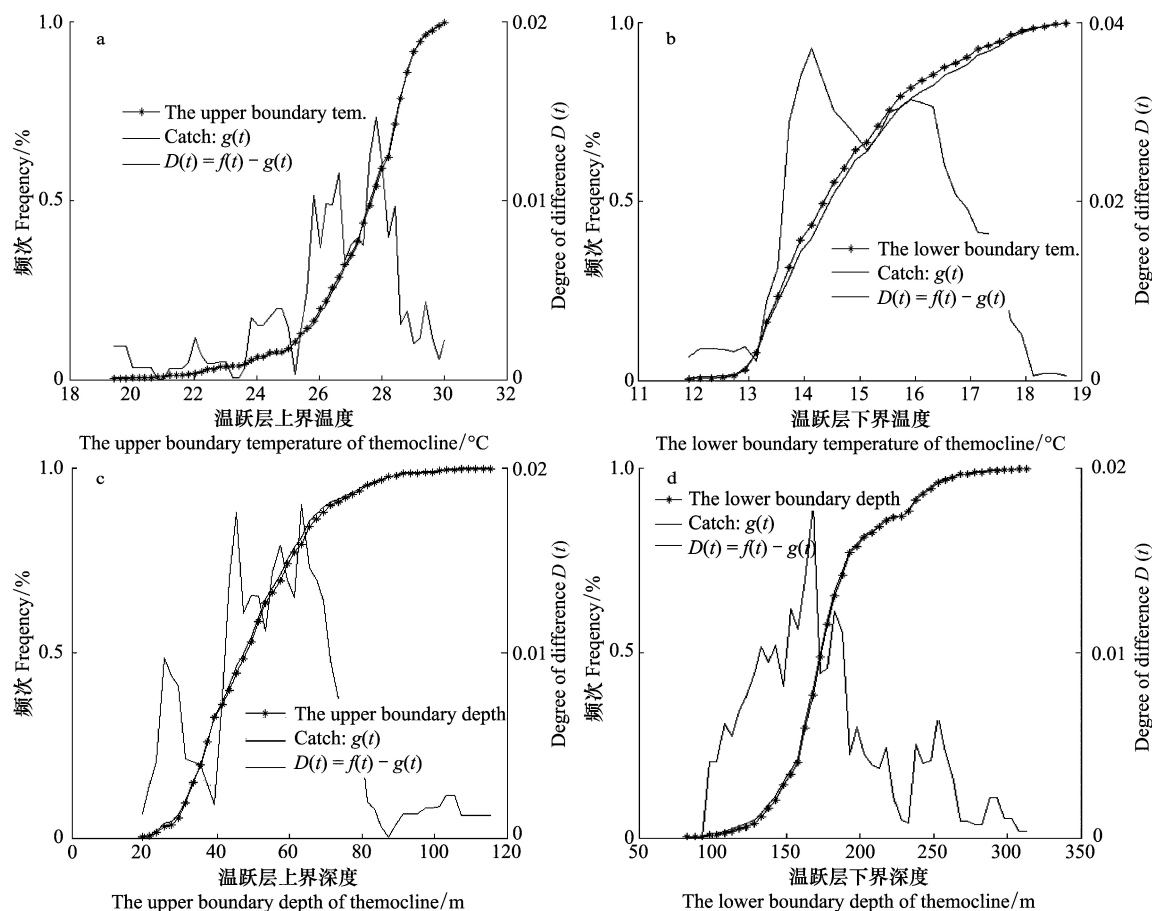


图 6 1991—2009 年,黄鳍金枪鱼高产 CPUE 频数,温跃层变量关系

Fig. 6 Empirical cumulative distribution frequencies for thermocline variables of upper temperature and fishing frequency of high CPUE data for yellowfin tuna CPUE during 1991—2009

印度洋黄鳍金枪鱼最适的投钩深度是温跃层下界及以上水层区域,前述分析指出该区域深度、水温呈现季节性变化特征,因此黄鳍金枪鱼的垂直分布具有季节性变化特征。本文结果要优于宋利明^[17]给出的单一结果,渔船海上作业时可以参考当月温跃层特征参数选择投钩的区域和深度,尤其是温跃层下界深度、温度,以提高黄鳍金枪鱼捕获率。受 Argo 数据年限限制,生产数据和环境数据时间不匹配。由于印度洋黄鳍金枪鱼捕捞生产相对稳定,以及印度洋温跃层的深度变化并没有非常明显的年际变化^[18],生产数据和环境数据时间不同对分析结果影响不大。

References:

- [1] Holland K N, Brill R W, Chang R K C. Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices. *Fisheries Bulletin*, 1990, 88: 493-507.
- [2] Brill R W, Block B A, Boggs C H, Bigelow K A, Freund E V, Marcinek D J. Horizontal movements and depth distribution of large adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) near the Hawaiian Islands, recorded using ultrasonic telemetry: implications for the physiological ecology of pelagic fishes. *Marine Biology*, 1999, 133(3): 395-408.
- [3] Dagorn L, Holland K N, Hallier J P, Taquet M, Moreno G, Sancho G, Itano D G, Aumeeruddy R, Girard C, Million J, Fonteneau A. Deep diving behavior observed in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Aquatic Living Resources*, 2006, 19(1): 85-88.
- [4] IOTC Secretariat. Report of the Eighth Session of the Scientific Committee. Seychelles, 2005.
- [5] Ariz J, Molina A D, Ramos M L, et al. Preliminary Yellowfin Tuna Sex-Ratio Analysis from Observer Data Obtained during the Experimental Cruise on Spanish Longliners in the Southwestern Indian Ocean. IOTCWPTT-20 1-4, 2005.
- [6] Lee P F, Chen I C, Tseng W N. Distribution patterns of three dominant tuna species in the Indian Ocean//19th International ERSI Users Conference. San Diego, 1999.
- [7] Mohri M, Nishida T. Consideration on distribution of adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Indian Ocean based on Japanese tuna longline fisheries and survey information. *IOTC Proceedings*, 2000, 3: 276-282.
- [8] Marsac F. Changes in depth of yellowfin tuna habitat in the Indian Ocean; an historical perspective 1955—2001. *IOTC Proceedings*, 2002, 5: 450-458.
- [9] Romena N A. Factors affecting distribution of adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and its reproductive ecology in the Indian Ocean based on Japanese tuna longline fisheries and survey information. *IOTC Proceedings*, 2001, 4: 336-389.
- [10] Song L M, Zhang Y, Xu L X, Jiang W X, Wang J Q. Environmental preferences of longlining for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the tropical high seas of the Indian Ocean. *Fisheries Oceanography*, 2008, 17(4): 239-253.
- [11] Argo Science Team. Argo: The global array of profiling floats//Observing the Oceans in the 21st Century. GODAE Project Office, 2001: 248-258.
- [12] Rao R R, Sivakumar R. Seasonal variability of near-surface isothermal layer and thermocline characteristics of the Tropical Indian Ocean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 1996, 61(3/4): 201-212.
- [13] Tomczak H, Godfrey J S. *Regional Oceanography: An Introduction*. Oxford: Pergamon Press, 1994.
- [14] Akima H. A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 1970, 17(4): 589-560.
- [15] Zhou Y X, Li B L, Zhang Y J, Ba L C. World oceanic thermocline characteristics in winter and summer. *Marine Science Bulletin*, 2002, 21(1): 16-22.
- [16] Xu J H. *The Mathematical Methods in Contemporary Geography*. Beijing: Higher Education Press, 2002: 105-120.
- [17] Song L M. A tentative research on the tuna longline fishing technique of the Atlantic middle area. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1997, 6(2): 139-143.
- [18] Qiu D X, Huang F, Yang Y X. Interdecadal variability of the Indo-Pacific warm pool. *Periodical of Ocean University of China*, 2007, 37(4): 525-532.

参考文献:

- [15] 周燕遐, 李炳兰, 张义钧, 巴兰春. 世界大洋冬夏季温度跃层特征. *海洋通报*, 2002, 21(1): 16-22.
- [16] 徐建华. *现代地理学中的数学方法*. 北京: 高等教育出版社, 2002: 105-120.
- [17] 宋利明. 大西洋中部金枪鱼延绳钓捕捞技术初探. *上海水产大学学报*, 1997, 6(2): 139-143.
- [18] 邱东晓, 黄菲, 杨宇星. 东印度洋-西太平洋暖池的年代际变化特征研究. *中国海洋大学学报*, 2007, 37(4): 525-532.

CONTENTS

Behavioural time budgets and diurnal rhythms of the female Tibetan gazelles in the Kekexili National Nature Reserve	LIAN Xinming, LI Xiaoxiao, YAN Peishi, et al (663)
The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean	YANG Shenglong, ZHANG Yu, ZHANG Heng, et al (671)
Characteristics of algous facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat	LU Bilin, YAN Pingchuan, TIAN Xiaohai, et al (680)
Tide elevations for four mangrove species along western coast of Guangxi, China	LIU Liang, FAN Hangqing, LI Chungan (690)
Effects of CO ₂ -induced seawater acidification on photosynthesis and calcification in the coralline alga <i>Corallina pilulifera</i>	XU Zhiguang, LI Meizhen, HUO Chuanlin, et al (699)
Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant <i>Cabomba caroliniana</i>	ZOU Weina, YUAN Lin, ZHANG Liquan, et al (706)
Prioritizing biodiversity in conservation planning based on C-Plan: a case study from northeast China	LUAN Xiaofeng, SUN Gongqi, QU Yi, et al (715)
Effects of urbanization on indigenous plant diversity: a case study of Langfang City, China	PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, et al (723)
Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve	LIU Fang, LI Diqiang, WU Jigui (730)
Individual tree biomass model by tree origin, site classes and age groups	LI Haikui, NING Jinkui (740)
Population genetics of <i>Niviventer confucianus</i> and its relationships with habitat area in Thousand Island Lake region	LIU Jun, BAO Yixin, ZHANG Xu, et al (758)
Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia	GU RunYuan, ZHOU Weican, BAI Meilan, et al (767)
Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China: a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (777)
Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh	TONG Chunfu (786)
The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead/zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province	XING Dan, LIU Hongyan, YU Pingping, et al (796)
Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province	SU Jianrong, LIU Wande, ZHANG Zhijun, et al (805)
Distribution patterns and changes of aquatic communities in Lashihai Plateau Wetland after impoundment by damming	XIAO Derong, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (815)
Spatial distribution of root biomass of <i>Pinus massoniana</i> plantation in Three Gorges Reservoir area, China	CHENG Ruimei, WANG Ruili, XIAO Wenfa, et al (823)
Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in <i>Larix gmelinii</i> plantations in Northeast China	WANG Hongyan, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (833)
Soil carbon sequestration rates and potential in the grazing grasslands of Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (844)
Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged <i>Pinus massoniana</i> stands	GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (852)
Compare different effect of arbuscular mycorrhizal colonization on soil structure	PENG Sili, SHEN Hong, ZHANG Yuting, et al (863)
The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents	LIU Muxing, NIE Yan, YU Jing (871)
Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems	TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, CHI Shuyun, et al (879)
Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes	XIAO Zhihua, ZHANG Yixian, ZHANG Xiwen, et al (889)
Combined effect of temperature and salinity on the Na ⁺ -K ⁺ -ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (<i>Oreochromis niloticus</i>)	WANG Haizhen, WANG Hui, QIANG Jun, et al (898)
Pattern simulation of karst rocky desertification based on cellular automata	WANG Xiaoxue, LI Xuyong, WU Xiuqin (907)
The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls	CAI Miaozhen, WANG Ning, WANG Zhiying, et al (915)
The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region	GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, et al (923)
Comprehensive evaluation of agricultural water-saving technology based on AHP and Rough Set method	ZHAI Zhifen, WANG Lanying, SUN Minzhang, et al (931)
Analysis of the spatial expansion characteristics of major urban agglomerations in China using DMSP/OLS images	WANG Cuiping, WANG Haowei, LI Chunming, et al (942)
Evaluation of non-use value of ecotourism resources: a case study in Dalai Lake protected area of China	WANG Pengwei, JIA Jingbo (955)
Review and Monograph	
Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance	YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun (964)
Role of silicon in regulating plant resistance to insect herbivores	HAN Yongqiang, WEI Chunguang, HOU Maolin (974)
Scientific Note	
Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in <i>Osmanthus fragrans</i> and <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	ZHAN Feng, YANG Dongmei (984)
Effects of maize straw with Bt gene return to field on growth of wheat seedlings	CHEN Xiaowen, QI Xin, WANG Haiyong, et al (993)
Studies of non-structural carbohydrates of <i>Cupressus funebris</i> in different landslides after Wenchuan Earthquake	CHEN Bo, LI Zhihua, HE Qian, et al (999)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 3 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 3 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元