

文章编号: 1000-0615(2008)03-0369-10

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

宋利明, 张 禹, 周应祺

(上海水产大学海洋学院, 上海 200090)

摘要: 2005 年 9 月 15 日 - 12 月 12 日, 金枪鱼延绳钓渔船“华远渔 18、19 号”对印度洋公海进行了金枪鱼渔业调查。利用多功能水质仪(XR-620)、温盐深仪(CTD SBE37SM)和微型温度深度计(TDR-2050)等获取海洋环境数据, 得出作业海域的温跃层深度和强度, 结合每天作业时记录的渔获数据, 分别计算黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼在温跃层内和深水层的渔获率, 研究温跃层与黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼渔获率之间的关系。结果表明: (1) 2 艘船分别有 60.9% 和 60.0% 的作业天数中, 温跃层内黄鳍金枪鱼渔获率较高, “华远渔 18 号”船在温跃层内和温跃层以下的平均渔获率分别为 18.22 尾每千钩和 6.04 尾每千钩, “华远渔 19 号”船温跃层内和温跃层以下平均渔获率分别为 2.22 尾每千钩和 1.31 尾每千钩。通过 t -检验成对双样本均值分析, 温跃层以内和温跃层以下黄鳍金枪鱼总平均渔获率有显著性差异($P = 0.02 < 0.05$), 温跃层以内比温跃层以下的渔获率明显要高; (2) 2 艘船分别有 69.6% 和 100% 的作业天数中, 温跃层以下水深大眼金枪鱼渔获率较高, “华远渔 18 号”温跃层以内和温跃层以下平均渔获率分别为 4.18 尾每千钩和 4.88 尾每千钩。“华远渔 19 号”温跃层以内和温跃层以下平均渔获率分别为 0.10 尾每千钩和 2.57 尾每千钩。大眼金枪鱼渔获率在温跃层以下水深较高。通过 t -检验成对双样本均值分析, 温跃层以内和温跃层以下大眼金枪鱼总平均渔获率无显著性差异($P = 0.07 > 0.05$), 但对“华远渔 19 号”船的渔获率数据经 t -检验发现大眼金枪鱼在温跃层以内和温跃层以下的渔获率有显著性差异($P = 0.00 < 0.05$)。

关键词: 黄鳍金枪鱼; 大眼金枪鱼; 温跃层; 渔获率; 延绳钓; 印度洋公海

中图分类号: S 931

文献标识码: A

黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)大部分时间在混合层内或温跃层中的上面部分运动^[1-2]。Cayré 和 Marsac^[3]指出, 对于黄鳍金枪鱼, 温度梯度比绝对温度值对鱼的垂直分布的影响更大。与黄鳍金枪鱼相比, 大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)栖息水层较深, 在一定范围内, 受梯度影响较小, 这与其生理特性有关。当温跃层变深, 大眼金枪鱼下潜深度也增加, 分布更分散, 因为它们垂直运动范围变大。当温跃层变浅, 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, 因此导致可捕量和渔获率增加^[4]。目前主要运用声学遥测(acoustic telemetry)^[1-3, 5-9]和档案标志(archival tags)^[10-13]等方法对其垂直分布进行研究。在延绳钓支线上配备时间、温度、深度计(TDRs), 能够记录鱼上钩的时间和深度。运用延绳钓渔获数据能估算捕获金枪鱼的最大深度和渔获物的垂直分布情况。与声学遥测或标志放流方法相比, 此法能对上钩的不同大小的个体和种类, 在不同环境条件下进行大量取样^[14-21], 且得出的结果更接近生产实际。

收稿日期: 2007-06-17

资助项目: 农业部 2005 年度公海渔业资源探捕项目资助(技 05-30); 上海市重点学科建设项目资助(T1101)

作者简介: 宋利明(1968-), 男, 江苏昆山人, 教授, 博士研究生, 主要从事金枪鱼渔业、深海底层延绳钓渔业和网箱养殖工程的研究。

E-mail: lmsong@shfu.edu.cn

通讯作者: 周应祺, E-mail: yqzhou@shfu.edu.cn

2005 年 9 月 15 日 - 12 月 12 日,金枪鱼延绳钓渔船“华远渔 18、19 号”对印度洋公海进行了金枪鱼渔业调查。利用多功能水质仪(XR-620)、温盐深仪(CTD SBE37SM)和微型温度深度计(TDR-2050)对延绳钓每天作业海域的海况参数进行测定,每天记录渔获种类、尾数、钩数和捕获时对应的钩号等数据。本文通过对温度、深度、黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼渔获率数据的整理分析,探寻温跃层深度与黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼渔获率及其垂直分布之间的关系,掌握这二种金枪鱼的行为特性,为研究金枪鱼类的行为特性、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 调查船、渔具渔法、海域和时间

调查船为玻璃钢大滚筒冷海水金枪鱼延绳钓渔船“华远渔 18、19 号”,2 艘船的主要参数:总长 26.12 m;型宽 6.05 m;型深 2.70 m;总吨 150.00 t;净吨 45.00 t;主机功率 407.00 kW。

调查渔具为大滚筒金枪鱼延绳钓,干绳为直径 3.6 mm 的尼龙单丝,总长 110 km 左右;浮子直径为 360 mm,材料为塑料;浮子绳材料为尼龙,直径为 5 mm,长 22 m。本次调查使用 2 种渔具,一种为对照渔具(船上原来使用),另一种为试验用渔具(根据挂了不同的重锤和所用属具的不同,共分为 16 种不同的组合)。调查时的渔法:一般情况下,凌晨 03:00 - 06:00 开始投绳,中午 12:00 之前结束,持续 5 h。中午 12:00 至下午 15:00 开始起绳,持续 10 ~ 12 h。投绳时,船速 $4.31 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,出绳速度 $5.58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,两钩间的时间间隔为 7.80 s,两支线间距为 43.5 m。两浮子间的钩数为 25 枚。

本次调查中,主捕大眼金枪鱼,兼捕黄鳍金枪鱼、箭鱼(*Xiphias gladius*)、长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)、旗鱼科(Istiophoridae)等。调查时间为 2005 年 9 月 15 日 - 12 月 12 日,每艘船实际作业 48 d。在分析处理数据时,当天上钩率不为 0、记录了上钩鱼的钩号、且具有 XR-620、SBE37SM 或 TDR-2050 测定水温随水深变化数据的作业天数为有效作业天数,分析才有意义。故“华远渔 18、19 号”有效数据较为有限,分别为 23 d 和 16 d。“华远渔 18、19 号”用于计算各水层渔获率的黄鳍金枪鱼的尾数分别为 274 尾(体长为 0.98 ~ 1.48

m,体重为 17 ~ 49 kg)、72 尾(体长为 0.94 ~ 1.41 m,体重为 14 ~ 42 kg),共 346 尾;大眼金枪鱼的尾数分别为 171(体长为 0.92 ~ 1.65 m,体重为 15 ~ 84 kg)、133 尾(体长为 0.73 ~ 1.81 m,体重为 9.5 ~ 110 kg),共 304 尾。其中,“华远渔 18、19 号”记录钩号的黄鳍金枪鱼分别为 238 尾、47 尾,共 285 尾;“华远渔 18、19 号”记录钩号的大眼金枪鱼的尾数分别为 164 尾、67 尾,共 231 尾。调查范围分别为 $2^{\circ}58'N \sim 6^{\circ}58'N$, $62^{\circ}16'E \sim 69^{\circ}05'E$; $5^{\circ}26'N \sim 8^{\circ}03'N$, $61^{\circ}58'E \sim 70^{\circ}29'E$, 华远渔 18 号投放 XR-620 和 TDR-2050 站点、“华远渔 19 号”投放 SBE37SM 站点(图 1)。

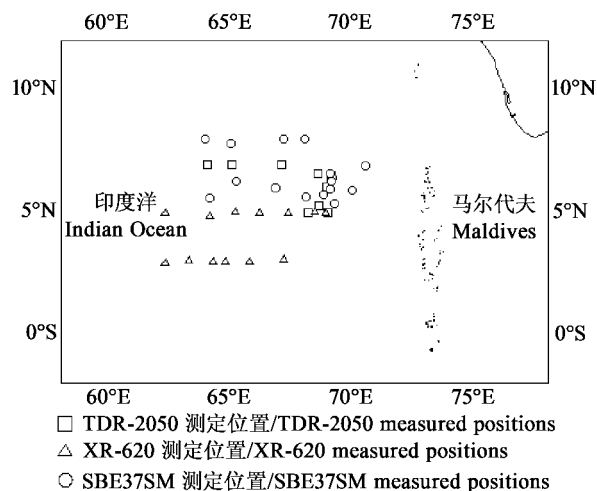


图 1 TDR-2050、XR-620、SBE37SM 测定位置

Fig.1 TDR-2050, XR-620, SBE37SM measured positions

1.2 调查仪器

调查仪器为加拿大 RBR 公司的 XR-620 多功能水质仪、TDR-2050 型微型温度深度计(2 艘调查船每艘 7 个,共 14 个,主要用于测定钩钩的实际深度)、美国 SeaBird 公司 SBE37SM 温盐深仪(CTD),这 3 种仪器都能够测定不同深度的温度,为自容式,通过计算机及其对应的软件都能够直接读出不同深度处的温度。XR-620 温度的测定精度为 0.002°C ; TDR-2050 用于测定钩钩实际深度及该深度的水温,深度精度为测定量程(10 ~ 740 m)的 $\pm 0.05\%$,温度精度为 $\pm 0.002^{\circ}\text{C}$; CTD 其温度精度为 0.002°C 。3 种仪器测定的温度精度相同。鉴于 3 种仪器深度精度不同和本研究的精度要求,本文中深度保留小数点后 1 位有效数字,温度保留小数点后 1 位有效数字,渔获率保留小数点后 2 位有效数字。

1.3 研究方法

温跃层深度确定 温跃层强度最低标准。 $\Delta T/\Delta Z = 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ 对温度资料求垂向梯度,将垂向梯度值大于或等于上述最低指标值的水层定为跃层,其上下端点所在深度作为跃层上界深度和下界深度^[22]。

对3种仪器获取的温度深度数据资料,分别计算 $(10\pm 5)\text{m}$ 、 $(20\pm 5)\text{m}$ 、 $(30\pm 5)\text{m}\cdots\cdots(400\pm 5)\text{m}$ 内对应的温度、深度平均值作为 $H=10\text{ m}$ 、 20 m 、 $30\text{ m}\cdots\cdots 400\text{ m}$ 处的标准温度 T_H 和标准深度 D_H :

$$T_H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (1)$$

$$D_H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \quad (2)$$

式(1)和式(2)中, T_i 、 D_i 分别为标准深度为 D_H ($H\pm 5\text{ m}$)时测得的 n 组对应的温度和深度数据。

然后计算出两相邻标准层间的温度梯度值:

$$G_H = \frac{T_{H+10} - T_H}{D_{H+10} - D_H} \quad (3)$$

式(3)中, G_H 为标准深度为 D_H 和 D_{H+10} 的两相邻标准水层间的温度梯度值。

最后根据温跃层强度标准,确定温跃层的上界和下界深度。

各水层黄鳍、大眼金枪鱼渔获率计算 分别对温跃层、深水层(温跃层以下)内黄鳍、大眼金枪鱼渔获率进行统计。根据各钩的拟合钩深,统计出每个水层内的钩数 f_i ;根据钓获的鱼的钩号,统计出每个水层内钓获的黄鳍、大眼金枪鱼的尾数 N_i ^[23];最终运用(4)式分别计算出各个水层内黄鳍、大眼金枪鱼的渔获率 R_i (尾每千钩)。

$$R_i = \frac{N_i}{f_i} \times 1000 \quad (4)$$

运用 t -检验:成对双样本均值分析,分别对黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼在温跃层内和温跃层以下的渔获率进行显著性分析。

2 结果

“华远渔18号、19号”每天作业海域温跃层上界和下界深度及其对应温度变化(图2和图3)。“华远渔18号、19号”温跃层上界范围、下界范围、平均深度、对应的温度范围、平均温度、温跃层平均厚度和上下界平均温差(表1)。

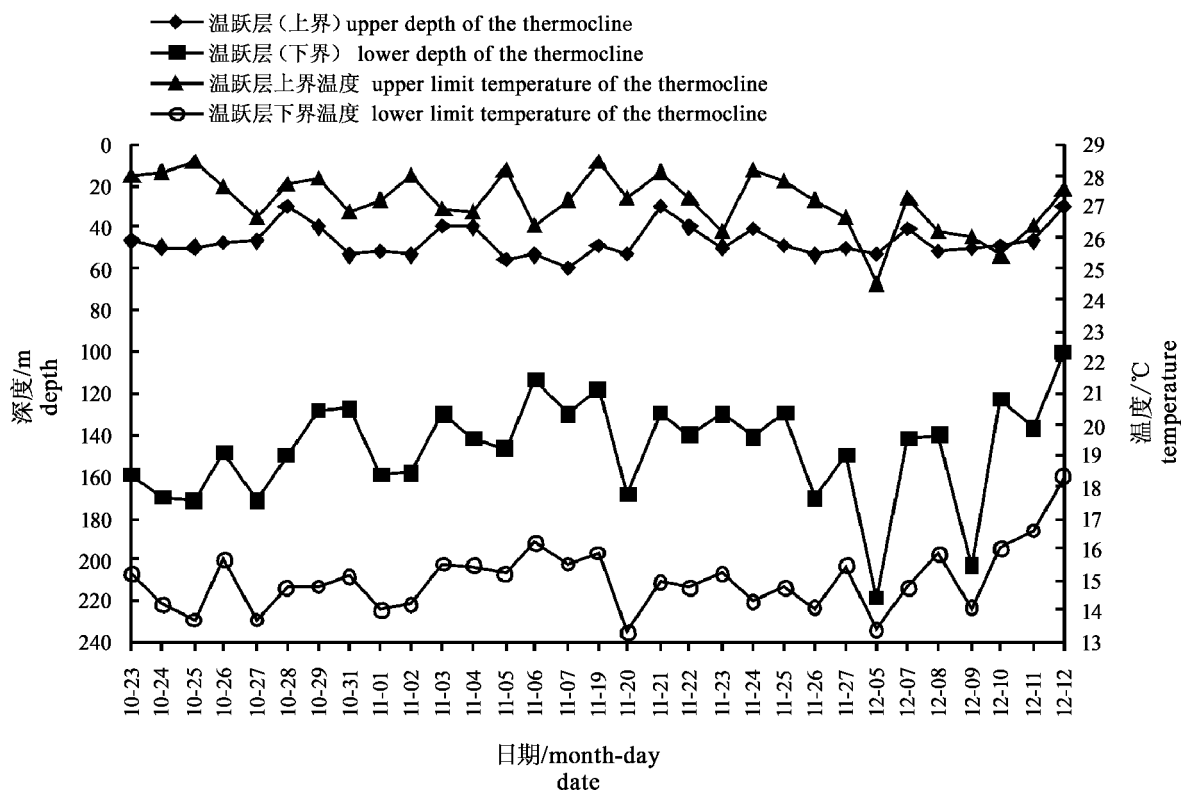


图2 “华远渔18号”作业海域温跃层的上界和下界深度及其对应的温度

Fig.2 The upper and lower depth of the thermocline and the corresponding temperature of Huayuan No.18

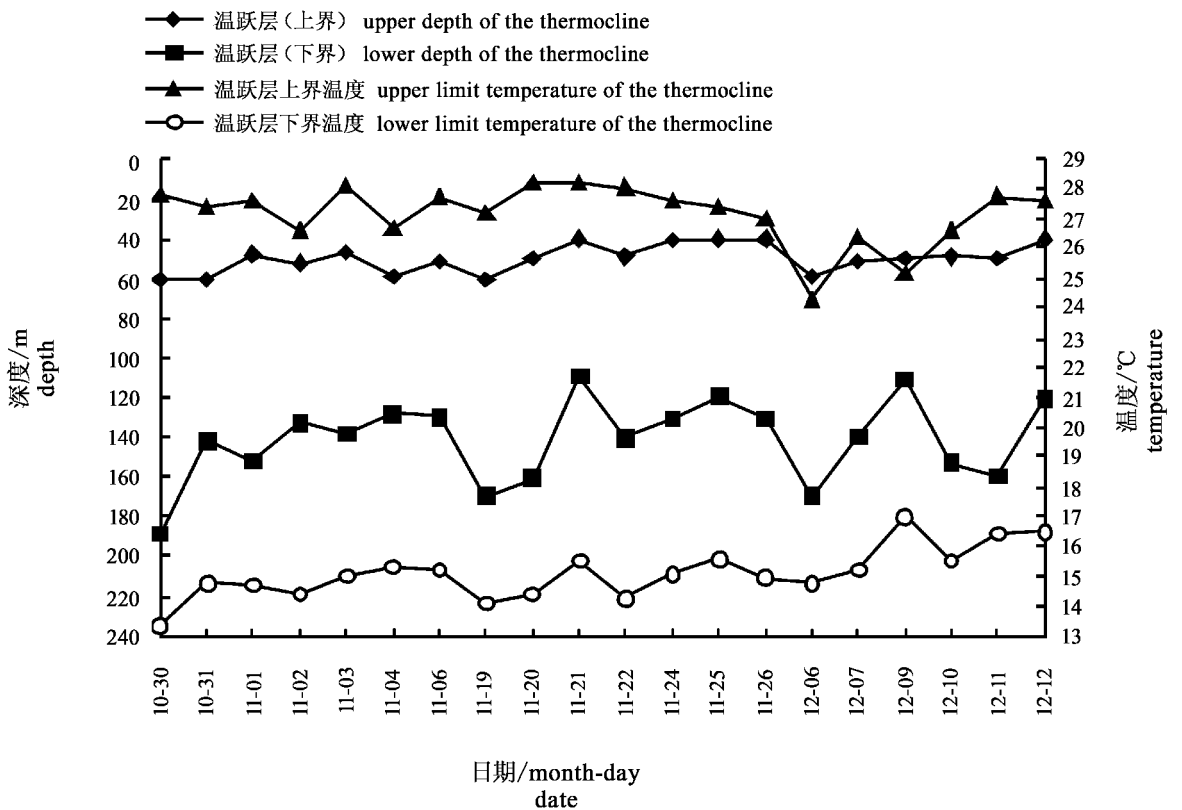


图3 “华远渔 19 号”作业海域温跃层的上界和下界深度及其对应的温度

Fig.3 The upper and lower depth of the thermocline and the corresponding temperature of Huayuanyu No.19

表 1 “华远渔 18、19 号”作业海域温跃层参数统计

Tab.1 Parameters of the thermocline of Huayuanyu No.18 and No.19

温跃层参数 parameters of the thermocline		18 号 No.18	19 号 No.19
温跃层上界 upper limit of thermocline	深度范围 (m) depth range	29.4 ~ 59.5	39.7 ~ 60.8
	温度范围 (°C) temperature range	24.5 ~ 28.4	24.3 ~ 28.2
	平均深度 (m) average depth	47.1	50.0
	平均温度 (°C) average temperature	27.2	27.2
温跃层下界 lower limit of thermocline	深度范围 (m) depth range	100.2 ~ 219.3	109.1 ~ 188.4
	温度范围 (°C) temperature range	13.3 ~ 18.3	13.4 ~ 17.0
	平均深度 (m) average depth	146.9	141.2
	平均温度 (°C) average temperature	15.0	15.1
温跃层平均厚度 (m) average thickness of the thermocline		99.8	91.1
温跃层最大强度 (°C·m ⁻¹) highest intensity of the thermocline		- 0.181	- 0.183
温跃层最小强度 (°C·m ⁻¹) lowest intensity of the thermocline		- 0.067	- 0.086
温跃层平均强度 (°C·m ⁻¹) average intensity of the thermocline		- 0.127	- 0.136
温跃层上下界平均温差 (°C) average difference between the upper and lower limits of the thermocline		12.2	12.1

对黄鳍金枪鱼在温跃层内和温跃层以下的渔获率进行统计(图 4 和图 5),“华远渔 18、19 号”分别有 60.9%和 60.0%的作业天数中,温跃层内黄鳍金枪鱼渔获率比温跃层以下黄鳍金枪鱼渔获率高,“华远渔 18、19 号”温跃层内和温跃层以下放钩数、渔获尾数(记录钩号)和平均渔获率(表 2)。

通过 t -检验:成对双样本均值分析,结果表明:当 $P=0.05$ 时,通过双尾检验,黄鳍金枪鱼在温跃层内和温跃层以下的渔获率具有显著性差异($P=0.02<0.05$)(表 3)。

对大眼金枪鱼在温跃层内和温跃层以下的渔获率进行统计(图 6 和图 7),“华远渔 18、19 号”分

别有 69.6%和 100%的作业天数中,温跃层以下大眼金枪鱼渔获率比温跃层内大眼金枪鱼渔获率高,“华远渔 18、19 号”温跃层内和温跃层以下放钩数、渔获尾数(记录钩号)和平均渔获率(表 2)。

通过 t -检验:成对双样本均值分析,结果表明:当 $P=0.05$ 时,通过双尾检验,大眼金枪鱼在温跃层内和温跃层以下的渔获率无显著性差异($P=0.07>0.05$),但对“华远渔 19 号”船的数据经 t -检验表明大眼金枪鱼在温跃层内和温跃层以下的渔获率有显著性差异($P=0.00<0.05$)(表 3)。

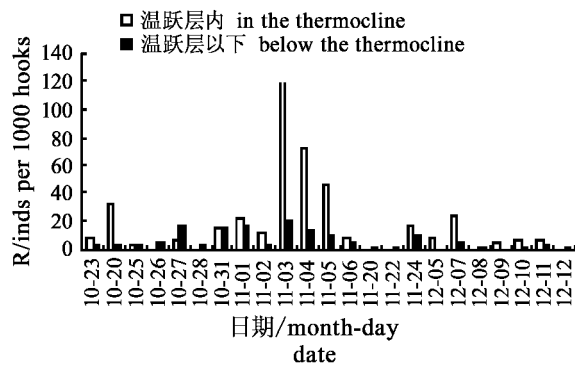


图 4 “华远渔 18 号”黄鳍金枪鱼温跃层内和温跃层以下的每天的渔获率

Fig.4 Yellowfin tuna's catch rate in and below the thermocline of Huayuanyu No.18

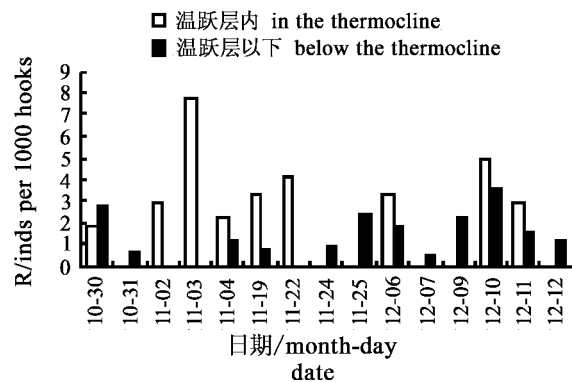


图 5 “华远渔 19 号”黄鳍金枪鱼温跃层内和温跃层以下的每天的渔获率

Fig.5 Yellowfin tuna's catch rate in and below the thermocline of Huayuanyu No.19

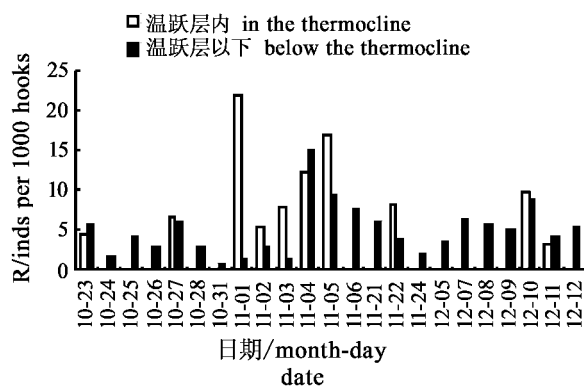


图 6 “华远渔 18 号”大眼金枪鱼温跃层内和温跃层以下的每天的渔获率

Fig.6 Bigeye tuna's catch rate in and below the thermocline of Huayuanyu No.18

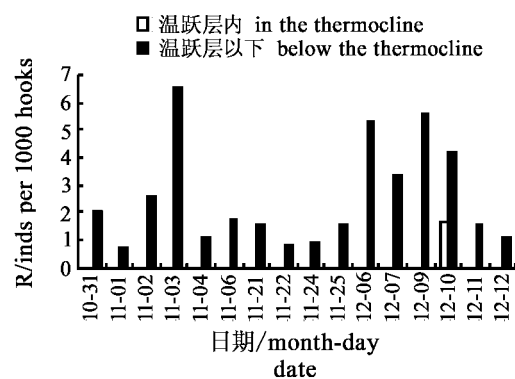


图 7 “华远渔 19 号”大眼金枪鱼温跃层内和温跃层以下的每天的渔获率

Fig.7 Bigeye tuna's catch rate in and below the thermocline of Huayuanyu No.19

3 讨论

3.1 不能肯定在混合层内没有黄鳍、大眼金枪鱼分布 “华远渔 18、19 号”所有有效作业天数中,混合层深度在 50 m 左右,作业钓钩深度大多在 70 m 以深,经统计,混合层内钩数很少,绝大多数作业天数内混合层中没有钓钩,所以在混合层内没有钓到黄鳍、大眼金枪鱼,但也不能就此肯定在混合层内没有黄鳍、大眼金枪鱼。

3.2 两艘船黄鳍金枪鱼渔获率相差很大

图 4 和图 5 黄鳍金枪鱼的渔获率相差很大,这与 2 艘船的作业位置、渔场中黄鳍金枪鱼的资

源密度等有关。图 4 中,11 月 3 日,4 日和 5 日温跃层内捕获的黄鳍金枪鱼尾数分别为 16 尾、12 尾和 11 尾,温跃层内的钩数分别为 128 枚、164 枚和 234 枚,所以这 3 d 温跃层内黄鳍金枪鱼渔获率特别高,存在一定的偶然性。

3.3 温跃层下界深度附近黄鳍金枪鱼渔获率较高 将 2 艘船渔获率数据汇总,温跃层内和温跃层以下的总平均渔获率分别为 10.22 尾每千钩和 3.68 尾每千钩,进行 *t*-检验:成对双样本均值分析,结果表明温跃层以内和温跃层以下总平均渔获率有显著性差异,说明温跃层以内黄鳍金枪鱼渔获率明显比温跃层以下的高。

表 2 “华远渔 18、19 号”温跃层内和温跃层以下水层黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼平均渔获率
Tab.2 Average catch rate of yellowfin tuna and bigeye tuna of Huayuanyu No.18 and No.19 in and below the thermocline
inds per 1000 hooks

		18 号 No.18		19 号 No.19		总计 total	
		黄鳍金枪鱼 yellowfin tuna	大眼金枪鱼 bigeye tuna	黄鳍金枪鱼 yellowfin tuna	大眼金枪鱼 bigeye tuna	黄鳍金枪鱼 yellowfin tuna	大眼金枪鱼 bigeye tuna
温跃层内 in the thermocline	钩数 numbers of hook	5524	5380	6328	5496	11852	10876
	渔获尾数 inds of caught fish	82	18	15	1	97	19
	平均渔获率 average catch rate	18.22	4.18	2.22	0.10	10.22	2.14
温跃层以下 below the thermocline	钩数 numbers of hook	29736	29880	24672	23104	54408	52984
	渔获尾数 inds of caught fish	156	146	32	66	188	212
	平均渔获率 average catch rate	6.04	4.88	1.31	2.57	3.68	4.28

表 3 黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼在温跃层内和温跃层以下
渔获率进行 *t*-检验成对双样本均值分析结果
Tab.3 The results of *t*-test paired two sample for means analysis about catch rate
of yellowfin tuna and bigeye tuna in and below the thermocline

渔获率 catch rate	黄鳍金枪鱼(18、19 号) yellowfin tuna(No. 18, 19)		大眼金枪鱼(18、19 号) bigeye tuna(No. 18, 19)		大眼金枪鱼(19 号) bigeye tuna(No. 19)	
	温跃层内 in the thermocline	温跃层下 below the thermocline	温跃层内 in the thermocline	温跃层下 below the thermocline	温跃层内 in the thermocline	温跃层下 below the thermocline
平均 average	11.91	4.17	2.51	3.93	0.10	2.57
方差 variance	567.89	29.64	26.05	8.73	0.17	3.50
观测值 observations	38	38	39	39	16	16
自由度 <i>d_f</i>	37		38		15	
<i>t</i> 统计量 <i>t</i> Stat	2.35		-1.84		-5.41	
<i>P</i> (<i>T</i> ≤ <i>t</i>) 双尾 <i>P</i> (<i>T</i> ≤ <i>t</i>) two-way	0.024155		0.073645		0.0000729	

Song 等^[23]通过聚类分析得出在印度洋公海捕获的黄鳍金枪鱼活动较频繁的水层为 100.0 ~ 179.9 m、水温范围为 14.0 ~ 17.9 °C;与黄鳍金枪鱼渔获率关系最密切的水层为 120.0 ~ 139.9 m、水温范围为 16.0 ~ 16.9 °C。“华远渔 18、19 号”作业海域温跃层平均深度范围分别为 47.1 ~ 146.9 m 和 50.0 ~ 141.2 m,温跃层平均温度范围分别为 15.0 ~ 27.2 °C 和 15.1 ~ 27.2 °C,温跃层下界温度范围分别为 13.3 ~ 18.3 °C 和 13.4 ~ 17.0 °C。说明与黄鳍金枪鱼渔获率关系最密切的水层在温跃层内,黄鳍金枪鱼活动较频繁的水温范围及与其渔获率关系最密切的水温范围与温跃层下界温度范围比较接近,说明温跃层下界深度附近黄鳍金枪鱼渔获率较高。对黄鳍金枪鱼,Mohri 等^[24]研究发现,印度洋黄鳍金枪鱼钓获区域温度范围在 11 ~ 28 °C,印度洋黄鳍金枪鱼适宜温度范围为 13 ~ 24 °C,15 ~ 17 °C 之间时渔获率最高。Nishida 等^[25]通过定量研究发现,成年黄鳍金枪鱼分布遵循印度洋水温的空间和季节性变化,适宜温度为 17 ~ 24 °C 之间。该温度位于温跃层内,贴近温跃层下界,说明温跃层下界深度附近黄鳍金枪鱼渔获率较高。

3.4 温跃层以下也能钓到黄鳍金枪鱼

黄鳍金枪鱼一般情况下下潜最大深度处水温低于表层水温不超过 8 °C,周围环境溶解氧浓度在 3.5 mL·L⁻¹ 以上^[26-27],此温度和溶解氧浓度对应的深度在温跃层以内。但本次调查发现,温跃层以下也能钓到黄鳍金枪鱼,温跃层上下界平均温差在 12 °C 左右,说明黄鳍金枪鱼下潜最大深度处的温度与表温差值远超过 8 °C,至少在 12 °C。Dagorn 等^[28]对 1 尾成年黄鳍金枪鱼进行体内植入档案标志并放流,首次发现成年黄鳍金枪鱼能够下潜到深层冷水区,最大下潜深度达到 1160 m,所处水域记录的最低温度为 5.8 °C,比表层水温低 23.3 °C,有 8.3% 的时间内所处水温低于表面混合层水温 8 °C 以上,每天经历的水温变化范围为 15 ~ 16 °C。Block 等^[29]及 Brill 等^[2]认为金枪鱼垂直分布受温度梯度影响,而不是某一温度和深度值的影响。这些都证明了温跃层以下也有黄鳍金枪鱼的分布。

3.5 温跃层以下大眼金枪鱼渔获率较高

Song 等^[30]通过聚类分析得出印度洋公海大眼金枪鱼活动较频繁的水层范围为 160.0 ~ 219.9

m、水温范围为 13.0 ~ 15.9 °C;与大眼金枪鱼渔获率关系最密切的水层为 160.0 ~ 179.9 m、水温范围为 14.0 ~ 14.9 °C。处于表 1 中温跃层下界的平均深度和温度以下,说明与大眼金枪鱼渔获率关系最密切的水层在温跃层下,并且温跃层以下大眼金枪鱼渔获率较高。Mohri 等^[31]对印度洋大眼金枪鱼研究发现,适宜大眼金枪鱼分布的水温范围为 10 ~ 16 °C,位于温跃层下界深度处或其附近,并用理论钩深(1986-1987 年日本延绳钓船作业,两浮子间的钩数为 11 枚)来分析印度洋大眼金枪鱼的垂直分布与水层、水温的关系,得出在水深 261 ~ 280 m、12 ~ 13 °C 处渔获率最高。以上结果均位于温跃层深度以下,因此认为温跃层以下大眼金枪鱼渔获率较高。

大眼金枪鱼夜间处在温度均衡的表面混合层,在黎明时可以下潜到 500 m 深度以下,此深度在温跃层以下,这与本次调查得出的结论一致。大眼金枪鱼这种垂直运动是深层声波散射层的小型自游生物的垂直移动的反应,大眼金枪鱼以这些生物为食^[27]。运用标志放流对大眼金枪鱼水平、垂直运动模式进行分析发现,未逗留在漂浮物附近的大眼金枪鱼在白天呈 W 型垂直运动模式,似乎随着深水声波散射层生物的昼夜垂直运动而运动,因此可以更有效地捕食它们^[12]。对一尾标志放流的大眼金枪鱼垂直运动行为研究发现,当其下潜到温跃层以下后,持续 50 min 左右就要上升到混合层表面以提高肌体温度^[12]。可以认为:大眼金枪鱼首先因为摄食需要而下潜到饵料较丰富的深水区,但由于自身对深水低水温的生理承受能力有限,必须要上升到水温较高的浅水区来提升自身肌肉温度,然后再下潜摄食。

将 2 艘船渔获率数据汇总,温跃层内和温跃层以下的总平均渔获率分别为 2.14 尾每千钩和 4.28 尾每千钩,进行 *t*-检验:成对双样本均值分析,结果表明温跃层以内和温跃层以下总平均渔获率无显著性差异,但对“华远渔 19 号”的渔获率数据经 *t*-检验发现大眼金枪鱼在温跃层内和温跃层以下的渔获率有显著性差异。根据现有对大眼金枪鱼在温跃层内和温跃层以下渔获率统计结果,不能确定温跃层以下比温跃层内大眼金枪鱼渔获率明显高,需要进一步研究。Sharp^[32]研究发现从延绳钓设置水层较浅的钓钩到较深的钓钩、从溶解氧较高的表层到 1 mL·L⁻¹ 左右的深层,大

眼金枪鱼渔获率持续增加。结合本文结果,可认为:从表层到延绳钓可达到的最大深度处($< 500\text{ m}$),从表面混合层到温跃层,直至温跃层以下的深水层,大眼金枪鱼的渔获率逐步增加,但是否有显著性差异,还不能确定,有待进一步研究。

3.6 黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼生理学方面的差异,导致垂直分布不同

黄鳍金枪鱼栖息水层比大眼金枪鱼浅,最有可能的解释是生理机能上的差异,周围环境温度急剧降低对心脏功能产生影响^[2],大眼金枪鱼的血液输氧能力比鲐和黄鳍金枪鱼都强,大眼金枪鱼具有一个特有的功能,能够在低氧环境下将氧吸收到鳃内的血色素中,同时确保有足够的氧快速输送到组织中去。而黄鳍金枪鱼在低氧环境下吸收氧气的同时,却不能轻易将氧转输到组织中^[33]。大眼金枪鱼对环境温度变化的适应能力强,所以大眼金枪鱼垂直运动范围更广,可摄食水层更深的饵料生物。本文调查海域温跃层平均温度变化在 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,而成年个体大眼金枪鱼能够在短时间内忍受达 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度的急剧变化^[27],因此大眼金枪鱼可以穿越温跃层,在温跃层以下进行摄食。

3.7 存在的不足和建议

本文得出的结果仅限于调查的印度洋公海海域,对其它海域,结果有待验证,因为不同海域的温跃层深度、厚度和强度及其它海洋环境条件存在差异,影响金枪鱼垂直分布和行为特性的因素也较复杂。2艘船调查时间和调查海域有限,搜集的数据也有限,今后应搜集更广大海域的调查数据,同时累计一年或几年在同一海域的调查数据进行分析,结果更有可信度。

本研究得到广东广远渔业集团有限公司方健民总经理、黄富雄、符发春副总经理、外联部郑钟新高级工程师、张凝铂高级工程师、捕捞公司刘建如、张华经理、许烁助理工程师、“华远渔 18、19 号”船长及全体船员等的大力支持,上海水产大学海洋学院王家樵、姜文新两位研究生在印度洋数月出海调查,获取大量宝贵数据,谨致谢忱。

参考文献:

- [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[J]. Fish Bull, 1990, 88: 493 – 507.
- [2] Brill R W, Block B A, Boggs C H, et al. 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[J]. Mar Bio, 1999, 133: 395 – 408.
- [3] Cayré P, Marsac F. Modelling the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) vertical distribution using sonic tagging results and local environmental parameters[J]. Aquat Living Resour, 1993, 6: 1 – 14.
- [4] Pelagic Fisheries Research Program (PFRP) Newsletter. Oceanography's Role in Bigeye Tuna Aggregation and Vulnerability[Z]. 1999, 4(3).
- [5] Cayré P. Behaviour of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) around fish aggregating devices (FADs) in the Comoros Islands as determined by ultrasonic tagging[J]. Aquat Living Resour, 1991, 4: 1 – 12.
- [6] Bach P, Dagorn L, Josse E, et al. Experimental research and fish aggregating devices (FADs) in French Polynesia[J]. SPC FAD Inf Bull, 1998, 3: 3 – 19.
- [7] Josse E, Bach P, Dagorn L. Simultaneous observations of tuna movements and their prey by sonic tracking and acoustic surveys[J]. Hydrobiologia, 1998, 371/372: 61 – 69.
- [8] Bertrand A, Josse E, Masse' J. In situ acoustic target-strength measurement of bigeye (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) by coupling split-beam echosounder observations and sonic tracking[J]. ICES Journal of Marine Science, 1999, 56: 51 – 60.
- [9] Dagorn L, Bach P, Josse E. Movement patterns of large bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the open ocean, determined using ultrasonic telemetry[J]. Mar Biol, 2000, 136: 361 – 371.
- [10] Gunn J, Block B. Advances in acoustic, archival and satellite tagging of tunas[M]//Block B, Stevens E D. Tuna physiology, ecology, and evolution. Fish Physiology Series, 19. Academic Press, San Diego, 2001, 167 – 224.
- [11] Schaefer K M, Fuller D W. Movements, behavior, and habitat selection of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the eastern equatorial Pacific, ascertained through archival tags[J]. Fish Bull, 2002, 100: 765 – 788.
- [12] 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.
- [13] Kitagawa T, Kimura S, Nakata H, *et al.* Overview of research on tuna thermo-physiology using electric tags [J]. Mem Natl Inst Polar Res Spec Issue, 2004, 58: 69 – 79.
- [14] Saito S. On the depth of capture of bigeye tuna by further improved vertical long-line in the tropical Pacific [J]. Bull Jan Soc Sci Fish, 1975, 41: 831 – 841.
- [15] Suzuki Z, Kume S. Fishing efficiency of deep longline for bigeye tuna in the Atlantic as inferred from the operation in the Pacific and Indian Oceans[C]. ICCAT Col Vol Sci Pap, 1982, 17: 471 – 486.
- [16] Hanamoto E. Effect of oceanographic environment on bigeye tuna distribution [J]. Bull Jan Soc Fish Oceanogr, 1987, 51: 203 – 216.
- [17] Yamaguchi Y. Tuna long-line fishing IV: fish ecology in the context of tuna long-line fishing[J]. Mar Behav Physiol, 1989, 15: 51 – 83.
- [18] Nishi T. The hourly variations of the depth of hooks and the hooking depth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*), of tuna longline in the eastern region of the Indian Ocean[J]. Mem Fac Fish, Kagoshima Univ, 1990, 39: 81 – 98.
- [19] Boggs C H. Depth, capture time, and hooked longevity of longline-caught pelagic fish: timing bites of fish with chips[J]. Fish Bull, 1992, 90: 642 – 658.
- [20] Bach P, Wendling B, Abbes R, *et al.* Characteristics of albacore (*Thunnus alalunga*) catches achieved by experimental fishing using instrumented longline in the French polynesian exclusive economic zone (EEZ) [C]//Proceedings of the Sixth South Pacific Albacore Research Workshop on WP 15. Cook Islands, March 5 – 7, 1996: 10.
- [21] Bertrand A, Josse E, Bach P, *et al.* Hydrological and trophic characteristics of tuna habitat: consequences on tuna distribution and longline catchability[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2002, 59: 1002 – 1013.
- [22] 海洋调查规范海洋调查资料处理国家标准(GB/T 12763.7—1991)[S]. 中国标准出版社, 1992, 68 – 70.
- [23] 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 [R]. 2006, IOTC-WPTT-13.
- [24] 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 [R]. IOTC Proceedings No. 3, 2000: 276 – 282.
- [25] Nishida T, Tackx M. 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 [R]. IOTC Proceedings No. 4, 2001: 336 – 389.
- [26] Brill R W, Molly E L. Understanding environmental influences on movements and depth distributions of tunas and billfishes can significantly improve population assessments [R]. American Fisheries Society Symposium 25, 2001: 179 – 198.
- [27] Brill R W, Bigelow K A, Musyl M K, *et al.* Bigeye tuna (*Thunnus obesus*) behavior and physiology and their relevance to stock assessments and fishery biology[C]. ICCAT, Col Vol Sci Pap, 2005, 57(2): 142 – 161.
- [28] 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.
- [29] Block B A, Keen J E, Castillo B, *et al.* Environmental preferences of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) at the northern extent of its range[J]. Mar Biol, 1997, 130: 119 – 132.
- [30] Song L M, Zhou J, Zhou Y Q, *et al.* Environmental preferences of longlining for bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the tropical high seas of the Indian Ocean [R]. IOTC-WPTT-14, 2006.
- [31] Mohri M, Nishida T. Distribution of bigeye tuna and its relationship to the environmental conditions in the Indian Ocean based on the Japanese longline fisheries information [R]. IOTC Proceedings No. 2, 1999, 2: 221 – 230.
- [32] Sharp G D. Tuna oceanography—an applied science [M]//Block B, Stevens E D. Tuna physiology, ecology, and evolution. Fish Physiology Series, 19. Academic Press, San Diego, 2001: 345 – 389.
- [33] Lowe T E, Brill R W, Cousins K L. Blood oxygen-binding characteristics of bigeye tuna (*Thunnus obesus*), a high-energy-demand teleost that is tolerant of low ambient oxygen[J]. Mar Biol, 2000, 136: 1087 – 1098.

**The relationships between the thermocline and the catch rate of
Thunnus albacares and *Thunnus obesus*
in the high seas of the Indian Ocean**

SONG Li-ming, ZHANG Yu, ZHOU Ying-qi

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

Abstract: It can improve our understanding of their behavior characteristics to analyze and identify the relationships between the thermocline and the vertical distribution of yellowfin tuna and bigeye tuna. It also provides critical information for fisheries to enhance the catch rate of the targeting species, fisheries management and resource conservation. Yellowfin tuna and bigeye tuna seem to exhibit nearly opposite approaches to their shared environment. Yellowfin tuna spend their days making excursions from around the top of the thermocline, both up and downward. Their nights are spent near the surface, diving down into the emergent scattering layer to feed. Bigeye tuna swims upward from the cooler depths to stay with their food resources. The depth which bigeye tuna inhabited is usually greater than that of yellowfin tuna. The difference in temperature between the surface layer and waters below the thermocline may be limiting the vertical movements of the tropical tuna. The thermocline is a water column at which the rate of decrease of temperature with increase of depth is much greater compared with those of above and below. The thermocline limits the vertical distribution of yellowfin tuna and bigeye tuna, so their catch rates are affected by the thermocline. A survey on tuna fishing ground has been carried out aboard of the longliners, Huayuanyu No.18 and No.19 in the high seas of the Indian Ocean from September 15th to Dec. 12th, 2005. The actual measured environmental data of the fishing area were obtained using Submersible Data Logger XR-620, TDR (2050) (RBR Co., Canada) and SBE37SM (CTD, SeaBird Co., USA), the depth and intensity of the thermocline could be estimated by these data, and combined with the catch data recorded everyday, the catch rates of yellowfin tuna and bigeye tuna in two different depth layers (the thermocline and the deep water layer) were calculated respectively. The relationships between the thermocline and catch rate of yellowfin tuna and bigeye tuna were analyzed. The results showed that: (1) for 60.9% and 60.0% of all the surveying days of Huayuanyu No.18 and No.19 respectively, the catch rate of yellowfin tuna was higher in the thermocline. The average catch rates of Huayuanyu No.18 in and below the thermocline were 18.22 inds per 1000 hooks and 6.04 inds per 1000 hooks respectively, and that of Huayuanyu No.19 were 2.22 inds per 1000 hooks and 1.31 inds per 1000 hooks respectively. The catch rate of yellowfin tuna was higher in the thermocline, by t-Test paired two sample for means, the overall average catch rate of yellowfin tuna in and below the thermocline showed significant difference ($P = 0.02 < 0.05$). (2) for 69.6% and 100% of all the surveying days of Huayuanyu No.18 and No.19 respectively, the catch rate of bigeye tuna was higher below the thermocline, the average catch rates of Huayuanyu No.18 in and below the thermocline were 4.18 inds per 1000 hooks and 4.88 inds per 1000 hooks respectively, and those of Huayuanyu No.19 were 0.10 inds per 1000 hooks and 2.57 inds per 1000 hooks respectively. By t-Test paired two sample for means, the catch rates of bigeye tuna was higher below the thermocline, the overall average catch rates of bigeye tuna in and below the thermocline showed no significant difference ($P = 0.07 > 0.05$), but for Huayuanyu No.19, the average catch rates of bigeye tuna in and below the thermocline showed significant difference ($P = 0.00 < 0.05$).

Key words: *Thunnus albacares*; *Thunnus obesus*; thermocline; catch rate; longline; the high seas of the Indian Ocean