

海洋环境因子和渔具对吉尔伯特群岛海域 镰状真鲨误捕率的影响

宋利明^{1,2,3,4*}, 刘海阳¹, 谢 凯¹, 赵海龙¹

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306;

4. 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 为了减少延绳钓渔业中镰状真鲨的误捕率, 本研究利用 2009 年 10 月—12 月和 2010 年 11 月—2011 年 1 月在吉尔伯特群岛海域作业的延绳钓渔业调查数据: 钓钩深度数据, 温度、盐度、溶解氧浓度和叶绿素浓度垂直剖面数据, 作业参数, 渔获统计数据等, 采用逐步回归的方法建立钓钩预测深度计算模型, 利用 Wilcoxon 检验对 2 种钓具和 2 种钓钩钩型之间镰状真鲨误捕率进行显著性检验, 利用统计和聚类分析的方法分析镰状真鲨的捕获环境。结果显示, (1) 实验钓具和 18/0 圆型钓钩可显著降低镰状真鲨的误捕率; (2) 镰状真鲨误捕率最高的深度、温度、盐度、叶绿素、溶解氧范围分别为 40.0 ~ 79.9 m, 24.0 ~ 24.9 °C、29.0 ~ 29.9 °C, 35.40 ~ 35.99, 0.120 ~ 0.199 μg/L 和 4.50 ~ 4.99 mg/L。研究建议, (1) 在生产中增加 18/0 圆型钓钩和 80 m 以深的钓钩投放量; (2) 减少镰状真鲨误捕率最高的深度、温度、盐度、叶绿素和溶解氧范围内的钓钩数量。

关键词: 镰状真鲨; 误捕率; 钓钩钩型; 海洋环境

中图分类号: S 931.4; S 973.3

文献标志码: A

鲨鱼是海洋生态系统的—个重要组成部分, 作为海洋食物链顶端的食肉动物, 在稳定海洋生态系统的多样性方面发挥着重要的作用^[1]。大量不同种类的鲨鱼在海洋捕捞作业过程中被误捕^[2]。镰状真鲨 (*Carcharhinus falciformis*) 在延绳钓渔业中经常被误捕, 据估计, 1989 年在南太平洋金枪鱼延绳钓主要作业海区误捕到的镰状真鲨有 900 000 尾^[3]。考虑到鲨鱼的寿命长、繁殖能力低, 所以在商业渔业中减少鲨鱼误捕是保护鲨鱼的关键。镰状真鲨主要分布在海面到 500 m 以深的范围内, 水温大约为 23 ~ 24 °C 的海域^[4]。对东太平洋的热带地区和墨西哥湾北部的镰状真鲨进行跟踪调查发现, 镰状真鲨的主要活动范围

为水深 50 m 以内、水温 26 ~ 30 °C 的表层^[5]。鲨鱼的生活环境很复杂, 许多研究认为, 鲨鱼的生活可能与浮游动物的行为和生物量分布相关^[6-7]。目前, 科学家们越来越关注延绳钓渔业对食物链顶端动物的误捕, 比如鲨鱼、海鸟和海龟等。1999 年, FAO 采取国际行动计划以减少延绳钓渔业中鲨鱼等的误捕^[8]。为了加大对鲨鱼和海洋环境的保护, 许多国家和地区都颁布了相关的法律禁止商业性捕捞鲨鱼^[9]。本研究利用在基里巴斯吉尔伯特群岛海域的调查数据, 比较了传统钓具、实验钓具、16/0 和 18/0 圆型钓钩对镰状真鲨的误捕率, 从而确定能有效降低镰状真鲨误捕率的渔具和渔法, 并且通过分析海洋环境因子对镰状

收稿日期: 2014-06-22 修回日期: 2014-11-02

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划 (2012AA092302); 农业部远洋渔业探捕项目 (D8006090066, D8002100051); 上海市教育委员会科研创新项目 (12ZZ168); 高等学校博士学科点专项科研基金联合 (20113104110004); 国家远洋渔业工程技术研究中心开放基金项目 (NERCOF2013KF04)

通信作者: 宋利明, E-mail: lmsong@shou.edu.cn

真鲨误捕率的影响,提出进一步减少镰状真鲨误捕的措施。

1 材料与方法

1.1 实验渔船、时间及海域

2009年在吉尔伯特群岛海域执行海上实验任务的渔船为延绳钓渔船“深联成719”,总长32.28 m、型宽5.70 m、型深2.60 m、总吨位

97.00 t、净吨位34.00 t、主机功率220 kW。2010年在吉尔伯特群岛海域执行海上实验任务的渔船为延绳钓渔船“深联成901”,总长26.80 m、型宽5.20 m、型深2.20 m、总吨位102.00 t、净吨位30.00 t、主机功率400 kW。两次海上实验的渔船、时间和范围见表1。镰状真鲨捕获位置见图1。

表1 两次海上实验所用渔船、时间、范围和误捕尾数
Tab.1 Survey fishing vessels, duration, areas, and catch

渔船 fishing vessels	时间 duration	范围 areas	误捕尾数/尾 incidental catch/individuals			
			传统渔具 traditional gear	实验渔具 experimental gear	16/0 圆型钩钩 circle hook	18/0 圆型钩钩 circle hook
深联成 719 Shen lian cheng	2009-10-04— 2009-12-25	5°01'N ~ 169°52'E ~ 01°07'S 176°42'E	93	33	14	5
深联成 901 Shen lian cheng	2010-11-20— 2011-01-20	0°42'N ~ 169°00'E ~ 03°34'S 179°59'E	74	24	5	3
合计 total	/	/	167	57	19	8

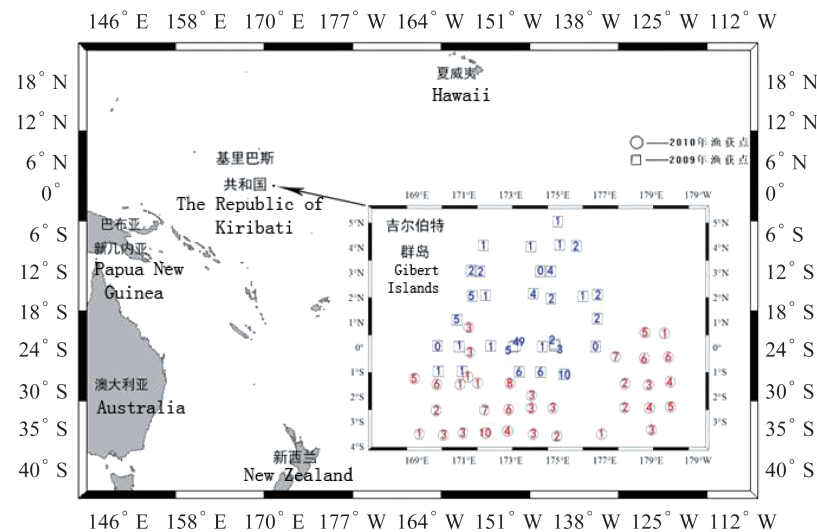


图1 2009年及2010年镰状真鲨捕获位置和尾数分布

□:2009年站点; ○:2010年站点; 数字:捕获尾数

Fig.1 Catch sites and individual distribution of *C. falciformis* in 2009 and 2010

□: Catch sites of 2009; ○: Catch sites of 2010; Numbers: Caught individuals

1.2 实验渔具和渔法

两次海上实验所用的渔具为漂流延绳钓。2009年深联成719号所用的传统钓具参数如下:浮子直径为360 mm;浮子绳全长为20 m,直径为4.2 mm;干线直径为4.0 mm;支绳全长为20 m,具体由3个部分组成,其中第一部分所用材质为硬质聚丙烯,直径为3 mm,长度为1.5 m;第二部分则由直径为18 mm、长度达18 m的单丝构成;

第三部分为钢丝,直径为1.2 mm,长度为0.5 m。传统钓具的具体组成:第一部分通过转环连接在自动挂扣上;第一部分和第二部分直接相连;第二部分和第三部分通过转环连接;第三部分和钓钩直接相连。

2010年深联成901号所用的传统钓具各部分参数除了浮子绳的直径由4.2 mm增加到5.0 mm,长度由20 m增加到25 m之外,其他部分

则与 2009 年深联成 719 号渔船所用的传统钓具的参数与材质一致。传统钓具的具体结构与 2009 年深联成 719 号渔船上传统钓具的结构相同。

2009 年和 2010 年海上实验期间所采用的实验钓具分别使用 4 种不同重量的带铅转环将支绳的第一部分与第二部分相连,并在钓钩连接处的上方装配两种不同重量的铅坠,在部分钓钩的连接处加装塑料荧光管。原传统钓具靠近浮子的左右 2 根支绳空缺,分别挂上 4 种不同重量的水泥块。传统钓具和实验钓具的渔具展开示意图参考文献[10-11]。2009 年及 2010 年 16 组实验钓具的装配组合参考文献[10]。

2009 年深联成 719 号海上实验期间每天的作业时间为 05:00~09:30 投绳,长达 4.5 h;16:00~21:30 起绳,持续时间为 5.5 h。船速一般为 7.5 kn,投绳机的出绳速度一般为 11 kn,传统钓具两个浮子之间的钓钩数量一般为 25 枚,每天共计投放约 800 枚传统钓具钓钩,两枚钓钩投放的时间间隔一般为 8 s。投放实验钓具时,分别使用 4 种不同重量的水泥块取代浮子两端原本投放的钓钩,因此实验钓具两个浮子之间的钓钩数量比传统钓具少 2 枚,为 23 枚,实验钓具的其他相关作业参数和传统钓具保持一致。每天投放实验钓具共 8 组(1~8 和 9~16 每天交错投放),每组实验钓具共 46 枚,总数为 368 枚。另外,每天额外投放预防海龟误捕的 16/0 和 18/0 圆型钓钩各 50 枚,其支绳材料和结构与传统钓具一致,只是将原来的环型钓钩换成了圆型钓钩^[11]。

2010 年与 2009 年的实验时间相近,2010 年深联成 901 每天的投绳时间为 06:00~09:00,长达 3 h;起绳时间为 15:30~21:00,长达 5.5 h。船速一般为 7.5 kn,投绳机的出绳速度一般为 10.5 kn,传统钓具两个浮子之间的钓钩数量一般为 25 枚,每天共计投放约 750 枚传统钓具钓钩,两枚钓钩投放的时间间隔一般为 8 s。实验钓具和防海龟误捕钓具的相关作业参数和结构则与 2009 年海上实验期间所使用的实验钓具和防海龟误捕钓具一致。

1.3 实验仪器、方法及内容

2009 年及 2010 年在吉尔伯特群岛海域实验期间均使用了由加拿大 RBR 公司制造的微型温深记录仪(TDR),型号为 2050(RBR Co,

Canada)。该仪器每天在投放钓具的过程中,随钓具一起投放至海水中以便测定钓钩的深度及其整个沉降过程。

每天钓具投放结束后,用加拿大 RBR 公司制造的多功能水质仪,型号为 XR-620(RBR Co, Canada),挪威 NORTEK 公司制造的多普勒三维海流计(ADCP, NOTREK Co, Norway)沉降至 450 m 的深度,以测定各个调查站点 0~450 m 水深的温度、盐度、叶绿素浓度、溶解氧浓度垂直剖面数据(图 2)及在水平方向及垂直方向上的海流速度。

实验期间,利用渔船自带的全球卫星定位仪(GPS)记录渔船每天的投绳位置、投绳及起绳的时间、投绳及起绳时的航速和航向等作业参数;记录投绳机的投绳速度及钓钩投放的时间间隔,并统计两艘渔船所捕获的镰状真鲨的尾数及其相应的钓钩钩号和钓具种类。

1.4 研究方法

理论钓钩深度的计算方法 本研究中钓钩的理论深度计算方法采用了日本学者吉原有吉所得出的理论钓钩深度计算公式^[12-14],按每枚钓钩在干线上的顺序编号,即为钓钩钩号,通过该公式计算出每枚钓钩的理论深度,具体如下:

$$D_T(x) = h_a + h_b + l \left[\sqrt{1 + \text{ctg}^2 \varphi_0} - \sqrt{\left(1 - \frac{2x}{n}\right)^2 + \text{ctg}^2 \varphi_0} \right] \quad (1)$$

$$l = \frac{V_1 \times n \times t}{2} \quad (2)$$

$$L = V_2 \times n \times t \quad (3)$$

$k = L/2l = V_2/V_1 = \text{ctg} \varphi_0 \text{ arsinh}(\text{tg} \varphi_0)$ (4) 式(1)中, $D_T(x)$ 为钓钩理论深度(m); h_a 为支绳长度(m); h_b 为浮子绳长度(m); l 为干线弧长的一半(m); φ_0 为干线与浮子绳连接点的切线与海平面的夹角($^\circ$),其与式 4 中的短缩率 k 有关,现实中难以测量,由短缩率 k 推算出 φ_0 ; x 为两个浮子间钓钩的编号; n 为两浮子间干线的分段数。式(2)中, V_1 为投绳机的投绳速度(m/s); t 为投绳时两枚钓钩之间的时间间隔(s)。式(3)中, L 为两个浮子在海面上的水平距离(m); V_2 为投绳时渔船的航速(m/s)。

钓钩理论深度与实际深度的关系 由于钓具在水中的展开形状受到海洋环境因素的影响较

大,钩钩的深度与海洋环境因素,如流速、流向、流速、风向等密切相关,本研究将以钩钩理论深度和实际深度(为 TDR 记录的趋于稳定后的深度,其算术平均值即为实际深度)为基础,通过多元线

性逐步回归对钩钩实际深度与理论深度、风速、流速、风舷角的正弦值、风流合压角的正弦值进行回归,得出拟合钩钩深度计算模型^[13,15-18]。

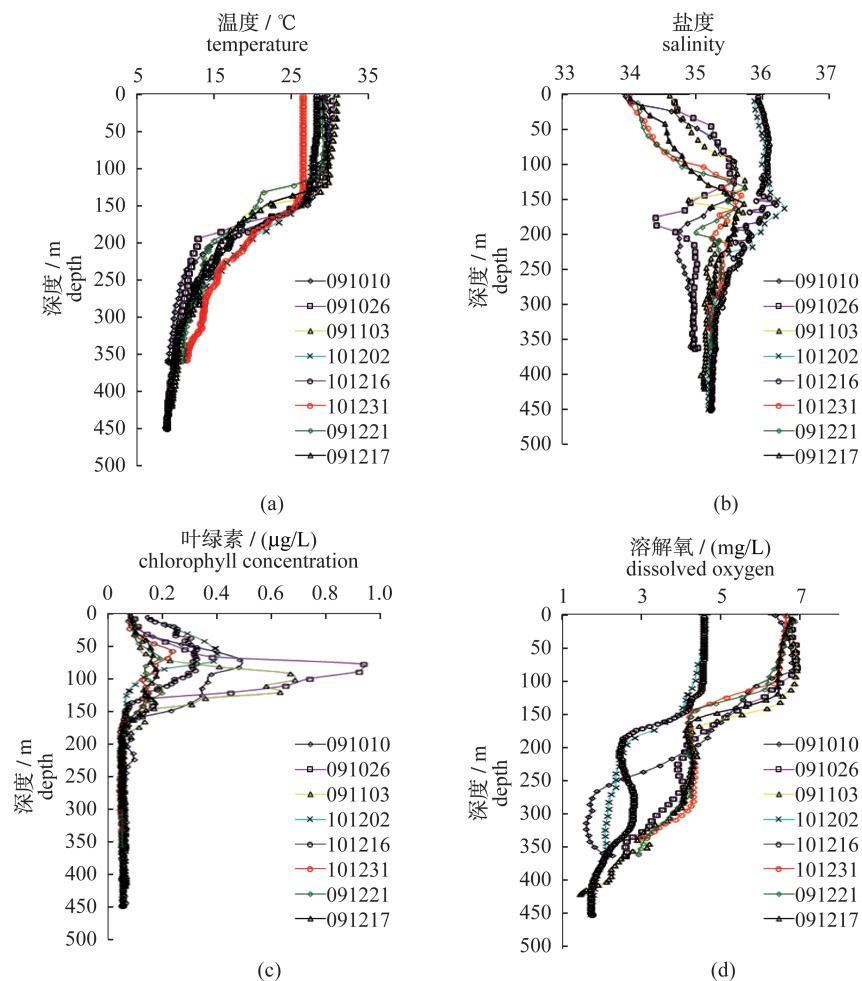


图2 温度(a)、盐度(b)、叶绿素浓度(c)和溶解氧浓度(d)垂直剖面图

091010:2009年10月10日(4°5'N,175°5'E);091026:2009年10月26日(3°1'N,175°45'E);091103:2009年11月03日(1°56'N,174°42'E);091221:2009年12月21日(1°5'N,170°42'E);101202:2010年12月02日(3°33'S,175°49'E);101216:2010年12月16日(2°27'S,177°51'E);091217:2009年12月17日(1°7'S,175°16'E);101231:2010年12月31日(0°14'S,171°15'E)

Fig. 2 The vertical profiles of temperature (a), salinity (b), chlorophyll concentration (c) and dissolved oxygen concentration (d)

091010:October 10,2009(4°5'N,175°5'E,);091026:October 26,2009(3°1'N,175°45'E);091103:November 3,2009(1°56'N,174°42'E);091221:December 21,2009(1°5'N,170°42'E);101202:December 2,2010(3°33'S,175°49'E);101216:December 16,2010(2°27'S,177°51'E);091217:December 17,2009(1°7'S,175°16'E);101231:December 31,2010(0°14'S,171°15'E)

相关研究发现,不同水层海流间的剪切作用是影响钩钩深度的主要限制因子^[14,19]。因此,本研究对2009年及2010年通过多普勒三维海流计(ADCP)测定的各站点各水层的海流数据均进行了预处理,并得出相应的流剪切系数 τ ,具体计算

公式:

$$\tau = \text{Log} \left\{ \frac{\sum_{n=1}^N \left[\left(\frac{\mu_{n+1} - \mu_n}{z_{n+1} - z_n} \right)^2 + \left(\frac{\nu_{n+1} - \nu_n}{z_{n+1} - z_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} (z_{n+1} - z_n)}{\sum_{n=1}^N (z_{n+1} - z_n)} \right\} \quad (5)$$

式(5)中, μ_n 是 n 水层东西向海流的流速, ν_n 是 n 水层南北向海流的流速, z_n 是 n 水层的深度。本研究中,使用 $\tau(-2.84 \sim -2.08)$ 作为海流的影响因子。

拟合钩钩深度计算模型 本研究采用 SPSS 13.0 统计软件回归钩钩的拟合深度,即钩钩实际平均深度(D_f)和钩钩的理论深度[$D_T(x)$]之间的关系。2009 年共采集了 236 枚传统钩具钩钩的流剪切系数,2010 年共采集了 316 枚传统钩具钩钩的流剪切系数。根据本研究的研究内容,分别对 2 年的传统钩具采用多元线性逐步回归的方法进行拟合。

假设传统钩具的拟合钩钩深度等于钩钩的理论深度与钩钩的沉降率(p)之积,钩钩的沉降率与流剪切系数 τ 、风流合压角(γ)、风舷角(β)、钩钩编号(x)等有关^[13-17]。

钩钩深度计算模型 对于 2009、2010 年传统钩具,其拟合钩钩深度计算模型分别为

$$D_{f1} = D_{T1} \cdot 10^{-0.311-0.258\text{Lg}(x)-0.121\tau+0.038\text{Lg}(\sin\gamma)},$$

$$(n = 236, r = 0.66) \quad (6)$$

$$D_{f2} = D_{T2} \cdot 10^{-0.825-0.239\text{Lg}(x)-0.342\tau-0.012\text{Lg}(\sin\gamma)},$$

$$(n = 316, r = 0.75) \quad (7)$$

根据式(6)和(7),2009 年和 2010 年传统钩具的钩钩深度与钩钩编号(x)、流剪切系数(τ)及风流合压角(γ)有关。

1.5 数据处理方法

各渔具间误捕率的显著性差异分析
2009 年和 2010 年共误捕到 251 尾镰状真鲨,其中传统渔具捕获 167 尾,试验渔具捕获 57 尾,16/0 圆型钩钩捕获 19 尾,18/0 圆型钩钩捕获 8 尾(表 1)。利用式 8 分别计算传统渔具、实验渔具、16/0 圆型钩钩和 18/0 圆型钩钩每个实验站点镰状真鲨的误捕率并利用 SPSS 17.0 进行 Wilcoxon 检验检验两两之间的误捕率是否存在显著性差异。

$$R_{\alpha\beta} = \frac{1\ 000N_{\alpha\beta}}{H_{\alpha\beta}} \quad (8)$$

式中, α 为实验站位($\alpha = 1, 2, 3, \dots, 70$), β 为渔具种类($\beta = 1, 2, 3, 4$), $N_{\alpha\beta}$ 为 α 站位 β 渔具的渔获尾数, $H_{\alpha\beta}$ 为 α 站位 β 渔具投放的钩钩数量。

各环境因子的分段方法 钩钩投放的深度为 40.0 ~ 239.9 m,区间内水温、盐度、溶解氧浓度、叶绿素浓度分别为 12.0 ~ 29.9 °C, 34.00 ~

36.39, 1.50 ~ 6.99 mg/L, 0.040 ~ 0.999 μg/L。将水层分为 5 层,每 40 m 为一层;水温分为 18 段,每 1 °C 为一段;盐度每 0.20 为一段,分为 12 段;溶解氧浓度每 0.50 mg/L 为一段,共 11 段;叶绿素浓度每 0.080 μg/L 为一段,分为 12 段。

各环境因子范围的误捕率 对于传统渔具捕获的镰状真鲨,统计该渔场各水层、水温、盐度、叶绿素浓度和溶解氧浓度范围内镰状真鲨的渔获尾数(分别记作 N_{S1j} 、 N_{S2j} 、 N_{S3j} 、 N_{S4j} 、 N_{S5j})、钩钩数(H_{S1j} 、 H_{S2j} 、 H_{S3j} 、 H_{S4j} 、 H_{S5j})以及占该渔场随机取样总尾数(记作 N_S)的百分比[分别记作 P_{1j} 、 P_{2j} 、 P_{3j} 、 P_{4j} 、 P_{5j} ,式(9)]、占该渔场该天随机取样钩钩数(记作 H_S)的百分比[P_{H1j} 、 P_{H2j} 、 P_{H3j} 、 P_{H4j} 、 P_{H5j} ,式(10)],根据随机取样数据推算出该渔场的实际总渔获尾数(记作 N , $N = 167$)、该天的总钩钩数(记作 H)在各水层、水温、盐度、叶绿素浓度和溶解氧浓度范围的渔获尾数[分别记作 N_{1j} 、 N_{2j} 、 N_{3j} 、 N_{4j} 、 N_{5j} ,式(11)]、钩钩数[分别记作 H_{1j} 、 H_{2j} 、 H_{3j} 、 H_{4j} 、 H_{5j} ,式(12)]; H_{2j} 、 H_{3j} 、 H_{4j} 、 H_{5j} 根据各水温、盐度、叶绿素浓度和溶解氧浓度范围相对应的水层计算出在该水层的钩钩数量而推算得出],再计算镰状真鲨各水层、水温、盐度、叶绿素浓度和溶解氧浓度范围的误捕率[分别记作 R_{1j} 、 R_{2j} 、 R_{3j} 、 R_{4j} 、 R_{5j} ,式(13)]^[11,13,15-17,20],其表达式分别为

$$P_{ij} = \frac{N_{Sij}}{N_S} \quad (9)$$

$$P_{Hij} = \frac{H_{Sij}}{H_S} \quad (10)$$

$$N_{ij} = P_{ij} \times N \quad (11)$$

$$H_{ij} = P_{Hij} \times H \quad (12)$$

$$R_{ij} = \frac{1\ 000N_{ij}}{H_{ij}} \quad (13)$$

式(9)~式(13)中, $i = 1, 2, 3, 4, 5$;统计各水层的数据($i = 1$)时, $j = 1, 2, 3, \dots, 5$;统计各水温范围数据($i = 2$)时, $j = 1, 2, 3, \dots, 18$;统计各盐度范围的数据($i = 3$)时, $j = 1, 2, 3, \dots, 12$;统计各叶绿素浓度的数据($i = 4$)时, $j = 1, 2, 3, \dots, 12$;统计各溶解氧浓度的数据($i = 5$)时, $j = 1, 2, 3, \dots, 11$ 。

聚类分析 对于传统渔具捕获的镰状真鲨,使用 DPS 7.05 版多元分析中谱系聚类(Hierarchical Cluster)的方法分析水层、水温、盐度、叶绿素浓度和溶解氧浓度范围与镰状真鲨渔

获尾数、误捕率、钓钩数量的关联度。数据采用规格化转换,聚类距离为欧氏距离(Euclidean distance),计算方法为离差平方和法^[18]。

2 结果

2.1 各钓具间误捕率的显著性差异

利用 Wilcoxon 检验后发现,传统钓具与实验

钓具、18/0 圆型钓钩存在显著性差异($P = 0.003$ 和 $P = 0.001$),而传统钓具与 16/0 圆型钓钩、实验渔具与 16/0 圆型钓钩、实验钓具与 18/0 圆型钓钩,16/0 圆型钓钩与 18/0 圆型钓钩之间没有显著性差异($P = 0.067$, $P = 0.962$, $P = 0.053$, $P = 0.151$)(表 2,表 3)。

表 2 对传统钓具、16/0 圆型钓钩、18/0 圆型钓钩
镰状真鲨误捕率的 Wilcoxon 检验结果

Tab. 2 The results of Wilcoxon test about the incidental catch rates of *C. falciformis*
among the traditional gear, 16/0 circle hook, and 18/0 circle hook

	传统钓具 traditional gear	实验钓具 experimental gear	传统钓具 traditional gear	16/0 圆型钓钩 circle hook	传统钓具 traditional gear	18/0 圆型钓钩 circle hook
负秩 negative ranks		49 ^a		38 ^b		61 ^c
正秩 positive ranks		19 ^d		10 ^e		4 ^f
结 ties		17 ^g		37 ^h		20 ⁱ
观测值 observed total		85		85		85
Z		-2.977 ^j		-1.832 ^k		-5.423 ^l
asympt. sig. (2-tailed)		0.003		0.067		0.001

注:a. 传统钓具 > 实验钓具;b. 传统钓具 > 16/0 圆型钓钩;c. 传统钓具 > 18/0 圆型钓钩;d. 传统钓具 < 实验钓具;e. 传统钓具 < 16/0 圆型钓钩;f. 传统钓具 < 18/0 圆型钓钩;g. 传统钓具 = 实验钓具;h. 传统钓具 = 16/0 圆型钓钩;i. 传统钓具 = 18/0 圆型钓钩;j. 传统钓具 > 实验钓具;k. 传统钓具 > 16/0 圆型钓钩;l. 传统钓具 > 18/0 圆型钓钩

Notes:a. traditional gear > experimental gear; b. traditional gear > 16/0 circle hook; c. traditional gear > 18/0 circle hook; d. traditional gear < experimental gear; e. traditional gear < 16/0 circle hook; f. traditional gear < 18/0 circle hook; g. traditional gear = experimental gear; h. traditional gear = 16/0 circle hook; i. traditional gear = 18/0 circle hook; j. traditional gear > experimental gear; k. traditional gear > 16/0 circle hook; l. traditional gear > 18/0 circle hook

表 3 对实验钓具、16/0 圆型钓钩、18/0 圆型钓钩
镰状真鲨误捕率的 Wilcoxon 检验结果

Tab. 3 The results of Wilcoxon test about the incidental catch rates of *C. falciformis*
among the experimental gear, 16/0 circle hook, and 18/0 circle hook

	实验钓具 experimental gear	16/0 圆型钓钩 circle hook	实验钓具 experimental gear	18/0 圆型钓钩 circle hook	16/0 圆型钓钩 circle hook	18/0 圆型钓钩 circle hook
负秩 negative ranks		22 ^a		24 ^b		11 ^c
正秩 positive ranks		10 ^d		5 ^e		5 ^f
结 ties		53 ^g		56 ^h		69 ⁱ
观测值 observed total		85		85		85
Z		-0.480 ^j		-2.112 ^k		-1.435 ^l
asympt. sig. (2-tailed)		0.962		0.053		0.151

注:a. 实验钓具 > 16/0 圆型钓钩;b. 实验钓具 > 18/0 圆型钓钩;c. 16/0 圆型钓钩 > 18/0 圆型钓钩;d. 实验钓具 < 16/0 圆型钓钩;e. 实验钓具 < 18/0 圆型钓钩;f. 16/0 圆型钓钩 < 18/0 圆型钓钩;g. 实验钓具 = 16/0 圆型钓钩;h. 实验钓具 = 18/0 圆型钓钩;i. 16/0 圆型钓钩 = 18/0 圆型钓钩;j. 实验钓具 > 16/0 圆型钓钩;k. 实验钓具 > 18/0 圆型钓钩;l. 16/0 圆型钓钩 > 18/0 圆型钓钩

Note:a. experimental gear > 16/0 circle hook; b. experimental gear > 18/0 circle hook; c. 16/0 circle hook > 18/0 circle hook; d. experimental gear < 16/0 circle hook; e. experimental gear < 18/0 circle hook; f. 16/0 circle hook < 18/0 circle hook; g. experimental gear = 16/0 circle hook; h. experimental gear = 18/0 circle hook; i. 16/0 circle hook = 18/0 circle hook; j. experimental gear > 16/0 circle hook; k. experimental gear > 18/0 circle hook; l. 16/0 circle hook > 18/0 circle hook

2.2 各环境因子范围内的误捕率

对于传统渔具捕获的镰状真鲨,吉尔伯特群岛海域误捕率较高的水层、水温、盐度、叶绿素和溶解氧浓度分别为 40.0 ~ 79.9 m, 24.0 ~

24.9 °C 和 29.0 ~ 29.9 °C, 35.40 ~ 35.99, 0.120 ~ 0.199 $\mu\text{g/L}$ 和 4.00 ~ 4.99 mg/L (图 3)。

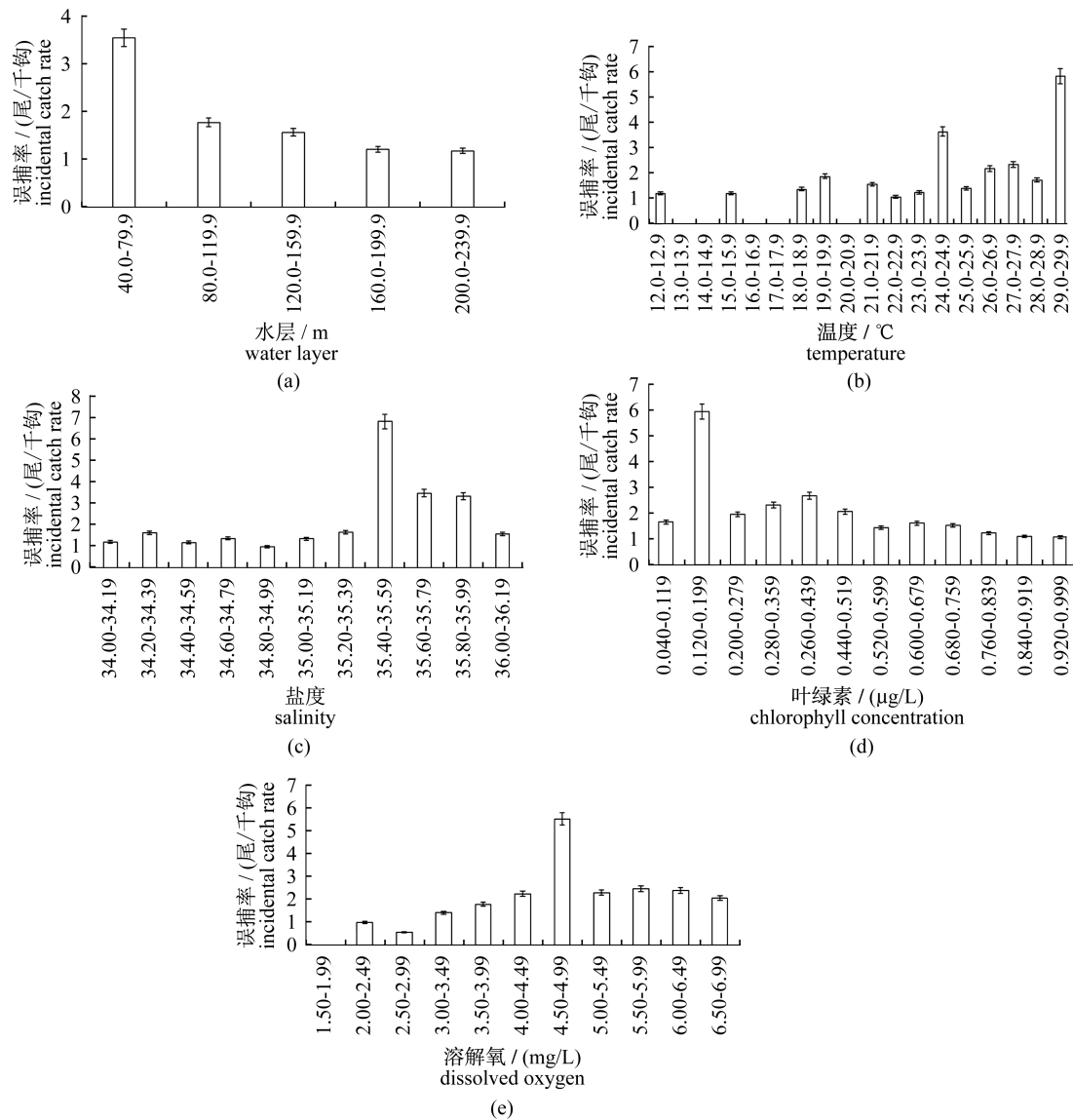


图 3 各环境因子范围内的误捕率

(a) 水层; (b) 温度; (c) 盐度; (d) 叶绿素; (e) 溶解氧

Fig. 3 The incidental catch rates in the ranges of environmental variables

(a) water layer; (b) temperature; (c) salinity; (d) chlorophyll; (e) dissolved oxygen

2.3 误捕率与各环境变量的关联度

谱系聚类分析的结果(图 4)可得出,镰状真鲨各环境变量的关联度。各环境变量对应的误捕率 < 1.0、1.0 ~ 1.5、1.5 ~ 2.0、2.0 ~ 2.5、 ≥ 2.5 尾/千钩,则关联度分别为极低、低、中等、较高、高

(表 4)。根据表 3 得出镰状真鲨误捕率较高的水层、水温、盐度、叶绿素浓度和溶解氧浓度范围分别为 40.0 ~ 79.9 m, 24.0 ~ 24.9 °C 和 29.0 ~ 29.9 °C, 35.40 ~ 35.99, 0.120 ~ 0.199 $\mu\text{g/L}$, 4.50 ~ 4.99 mg/L (表 5)。

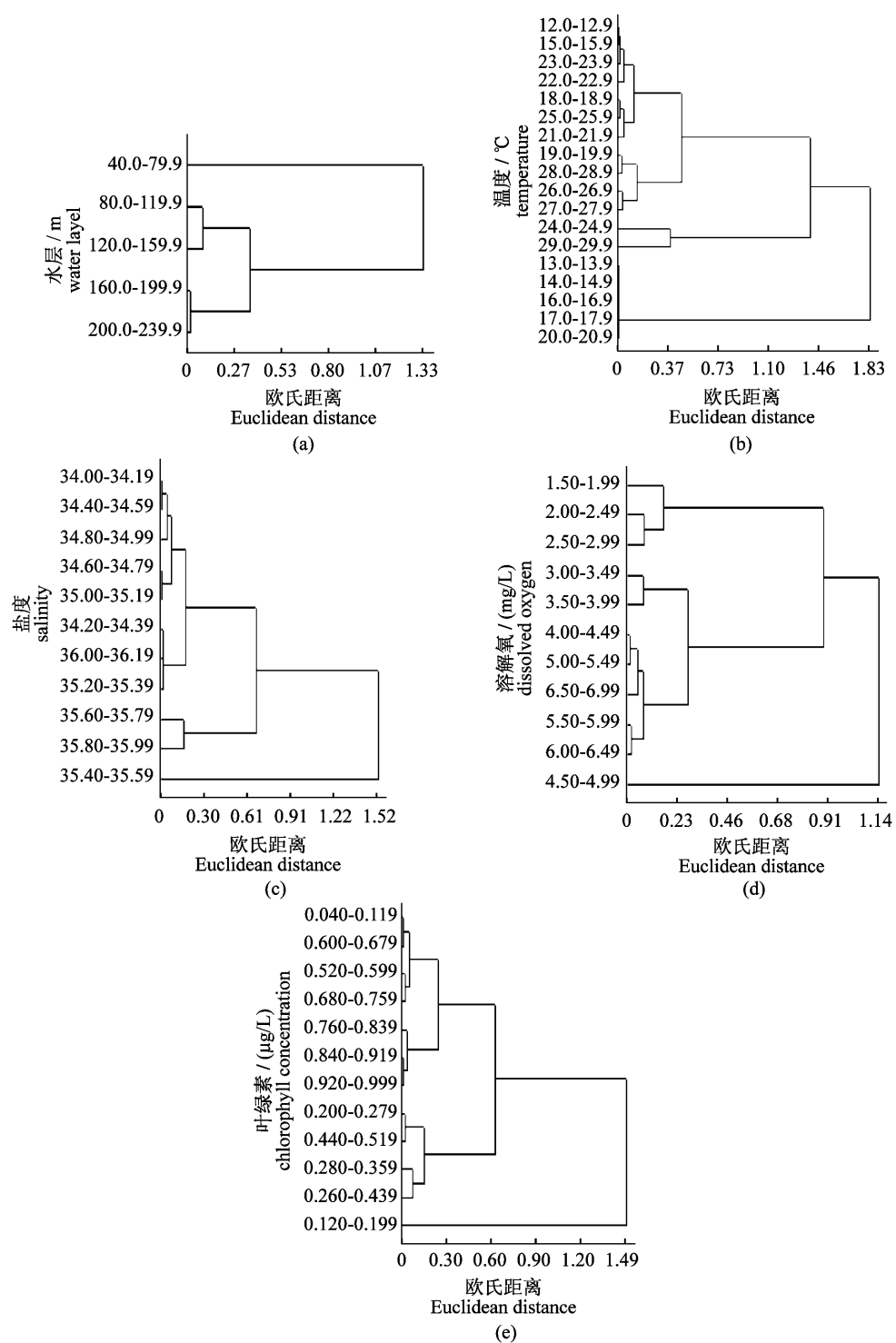


图4 误捕率与各环境变量的关联度

(a) 水层; (b) 温度; (c) 盐度; (d) 溶解氧浓度; (e) 叶绿素浓度

Fig. 4 The correlation between the incidental catch rates and the environmental variables

(a) water layer; (b) temperature; (c) salinity; (d) dissolved oxygen concentration; (e) chlorophyll concentration

表 4 镰状真鲨的误捕率与各类环境变量的关联度
 Tab. 4 The correlation between the incidental catch rates of *C. falciformis* and the environmental variables

环境变量 environmental variable	分类 class	范围 range	尾数 individual	钩数 number of hooks	误捕率/(尾/千钩) incidental catch rate	关联度 correlation
水层/m depth	1	40.0 ~ 79.9	96	27 150	3.54	高 high
	2	80.0 ~ 119.9	63	37 125	1.67	中等 moderate
		120.0 ~ 159.9				
3	160.0 ~ 199.9	8	6 675	1.19	低 low	
	200.0 ~ 239.9					
水温/℃ temperature	1	12.0 ~ 12.9	15	11 530	1.3	低 low
		15.0 ~ 15.9				
		21.0 ~ 23.9				
		18.0 ~ 18.9				
	2	25.0 ~ 25.9	99	47 264	2.04	较高 relative high
		19.0 ~ 19.9				
	3	26.0 ~ 28.9	53	9 725	4.73	高 high
		24.0 ~ 24.9				
4	29.0 ~ 29.9	0	2 431	0	极低 very low	
	13.0 ~ 14.9					
盐度 salinity	1	16.0 ~ 17.9	27	22 903	1.18	低 low
		20.0 ~ 20.9				
	2	34.00 ~ 34.19	30	18 643	1.63	中等 moderate
		34.40 ~ 35.19				
		34.20 ~ 34.39				
3	36.00 ~ 36.19	45	12 954	3.47	高 high	
	35.20 ~ 35.39					
4	35.60 ~ 35.79	45	13 500	3.33	高 high	
	35.80 ~ 35.99					
5	35.40 ~ 35.59	20	2 950	6.78	高 high	
溶解氧/(mg/L) dissolved oxygen	1	1.50 ~ 1.99	0	30	0	极低 very low
	2	2.00 ~ 2.99	4	5 542	0.78	极低 very low
	3	3.00 ~ 3.99	15	9 117	1.6	中等 moderate
	4	4.00 ~ 4.49	118	50 840	2.29	较高 relative high
		5.00 ~ 6.99				
5	4.50 ~ 4.99	30	5 421	5.53	高 high	
叶绿素/(μg/L) chrolophyll	1	0.040 ~ 0.119	38	24 337	1.56	中等 moderate
		0.520 ~ 0.759				
	2	0.760 ~ 0.999	9	7 840	1.13	低 low
		0.200 ~ 0.519				
3	0.120 ~ 0.199	69	30 175	2.25	较高 relative high	
4		51	8 598	5.93	高 high	

表5 镰状真鲨误捕率高的环境变量范围和相应的误捕率

Tab.5 Environmental variable ranges with high incidental catch rates of *C. falciformis* and the corresponding incidental catch rates

环境变量 environmental variable	环境变量范围 environmental variable range	误捕率/(尾/千钩) incidental catch rate
水层/m depth	40.0 ~ 79.9	3.54
水温/°C temperature	24.0 ~ 24.9, 29.0 ~ 29.9	4.73
盐度 salinity	35.40 ~ 35.99	4.53
溶解氧/(mg/L) dissolved oxygen	4.50 ~ 4.99	5.53
叶绿素浓度/($\mu\text{g/L}$) chlorophyll	0.120 ~ 0.199	5.93

3 讨论

3.1 钓钩深度、钓钩的大小和形状对镰状真鲨误捕率具有显著影响

实验钓具和 18/0 圆型钓钩能显著降低镰状真鲨的误捕率,而 16/0 圆型钓钩、传统钓具镰状真鲨的误捕率相对较高。实验钓具由于总体深度加深,设置在镰状真鲨偏好的深度范围内的钓钩数量减少,因此其能够显著降低镰状真鲨的误捕率。较大的 18/0 圆型钓钩的最小总宽度比 16/0 圆型钓钩和环型钓钩的大,这可能是镰状真鲨误捕率显著下降的原因。这与 Kerstetter 等^[21]得出的较大的圆型钓钩比较小的圆型钓钩更有利于降低紫魟(*Dasyatis violacea*)的误捕率的结果一致。另外,在延绳钓渔业中圆型钓钩可减少钓钩被吞食到胃中的比例,增加在嘴部被钓钩钩住的比率,可提高误捕物种释放后的成活率^[21-24],建议使用 18/0 圆型钓钩。

3.2 镰状真鲨误捕率高的环境

对镰状真鲨生物学方面的研究比较多^[25-26],而对其误捕率较高的环境因子范围的研究较少。Dagorn 等^[27]在西印度洋通过声学标志跟踪研究得出,镰状真鲨主要生活在 35 m 以内的水层内,Kohin 等^[5]通过卫星标志研究发现在东太平洋热带镰状真鲨生活在 50 m 以内的海域,最适宜的温度是 26 ~ 30 °C。这些结果与本研究得出的镰状真鲨误捕率较高的水层、水温具有重叠部分,也有不一致之处,可能的原因为本研究是利用渔业数据研究得出的结果,取样尾数多,而标志放流的尾

数较少、跟踪的时间有限、仅为个别鱼的行为,可能存在特殊性。Branstetter^[26]研究表明,镰状真鲨高误捕率的盐度范围平均为 33.81 ~ 34.40,但是本次研究的海域盐度偏高,本次研究的盐度最低为 34.00,而最高误捕率的盐度范围是 35.40 ~ 35.99。造成这种差异的原因可能为取样的时间不同,或吉尔伯特群岛海域附近的盐度比其他海域的盐度高。

在吉尔伯特群岛附近海域,镰状真鲨误捕率高的水层、水温、盐度、叶绿素浓度和溶解氧等 5 个环境变量未能对应一致,可能是由于在实验海域盐度、叶绿素浓度和溶解氧等 3 个环境变量波动较大(图 2)引起的,也可能是由于小部分鱼是在钓钩运动(投绳沉降和起绳绞收)过程中被钩引起。

在吉尔伯特群岛附近海域,40.0 ~ 239.9 m,在 3°S ~ 4°N 的环境变量随纬度具有一定的波动,温度变化波动较小,其他 3 个环境变量波动较大(图 2)。根据调查时的统计数据(图 1),在 2°N ~ 4°N 误捕的镰状真鲨有 29 尾(占 11.6%左右)。在以后的作业过程中,减少在 3°S ~ 2°N 海域的作业次数,增加在 2°N ~ 4°N 海域的作业次数,以减少镰状真鲨误捕。

3.3 温跃层、盐跃层、氧跃层、叶绿素跃层的影响

本研究表明,在吉尔伯特群岛海域附近的镰状真鲨的高误捕率可能受到温跃层^[6,28]、盐跃层、氧跃层、叶绿素跃层的影响,在不同的范围内,镰状真鲨的误捕率差距很大(表 4)。目前,缺乏海洋环境对镰状真鲨误捕率影响方面的研究。本研究认为,盐度、溶解氧浓度、叶绿素浓度跃层会影响镰状真鲨的分布,理由有 3 点:(1)盐度、溶解氧浓度、叶绿素浓度跃层可能限制镰状真鲨食物的分布;(2)镰状真鲨和它所捕食的食物都需要一定的溶解氧浓度来维持活力;(3)叶绿素是海洋中的初级生产力,是最初的能量来源。从本次调查结果来看,镰状真鲨偏好分布在叶绿素浓度跃层强度偏低的水域,如 3°S ~ 2°N 海域(图 2),叶绿素浓度跃层强度的变化与鱼类的分布可能存在时滞现象,具体需进一步研究分析。

3.4 展望

本次研究过程中,钓钩的深度基本都在 40.0 ~ 239.9 m,并没有研究 40.0 m 以内和 240.0 m 以深的情况,在将来的研究中应涉及到这些水深

范围。

本研究结果仅是在本次调查的基础上得出的,而且取样尾数较少,只考虑到了误捕率与温度、盐度、溶解氧、叶绿素的关系,而其他海洋环境因素和生态要素,如海流、温跃层深度、饵料等对鱼类分布和活动的的影响也很重要,这些因素都可能影响到结果的准确性,以后应注意这些因素的影响。

本研究得到了基里巴斯共和国政府的许可,并得到深圳市联成远洋渔业有限公司董事长周新东、总经理陈清白、基地经理朱永利、船队经理许上进、“深联成 719”和“深联成 901”号船长及全体船员、上海海洋大学李玉伟博士等的大力支持,谨致谢意。

参考文献:

- [1] Litvinov F. On the role of dense aggregations of males and juveniles in the functional structure of the range of the blue shark *Prionace glauca* [J]. *Ichthyol*, 2006, 46(8) : 613 - 624.
- [2] Bonfil R. Overview of world elasmobranch fisheries [R]. Rome: FAO, 1994.
- [3] Stevens J D. The population status of highly migratory oceanic sharks [C] // Leesburg, Virginia, United States: Marine Fisheries Symposium No. 16 National Coalition for Marine Conservation. August, 17 - 22, 1996.
- [4] Compagno L J V. Sharks of the world: an annotated and illustrated catalogue of the shark species known to date [R]. Rome: FAO, 1984.
- [5] Kohin S, Arauz R, Holts D, *et al.* Preliminary results: behavior and habitat preferences of silky sharks (*Carcharhinus falciformis*) and a bigeye thresher shark (*Alopias superciliosus*) tagged in the Eastern Tropical Pacific [EB/OL]. [2010 - 09 - 11]. <http://www.pretoma.org/downloads/pdf/avistamientos/memoria-final.pdf#page=17>.
- [6] Carey F G, Scharold J V. Movements of blue sharks (*Prionace glauca*) in depth and course [J]. *Marine Biology*, 1990, 106(3) : 329 - 342.
- [7] Sims D, Southall E, Tarling G, *et al.* Habitat-specific normal and reverse diel vertical migration in the plankton-feeding basking shark [J]. *Journal of Animal Ecology*, 2005, 74(4) : 755 - 761.
- [8] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). International Plan of Action for the Conservation and Management of Sharks [R]. Rome: FAO, 1999.
- [9] Armstrong D. Protecting the innocent: Marshall Islands shark sanctuary [EB/OL]. [2011 - 10 - 11]. <http://www.earthtimes.org/conservation/protecting-innocent-marshall-islands-shark-sanctuary/1454/>.
- [10] Song L M, Yang J L, Hu Z X, *et al.* A comparison of fishing efficiency on bigeye tuna of two longline fishing gears [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(3) : 424 - 430. [宋利明, 杨嘉樑, 胡振新, 等. 两种延绳钓钓具大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 捕获效率的比较. 上海海洋大学学报, 2011, 20(3) : 424 - 430.]
- [11] Song L M, Yang J L, Wu Y P, *et al.* An integrated habitat index of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in waters near Gilbert Islands [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, 43(5) : 954 - 962. [宋利明, 杨嘉樑, 武亚苹, 等. 吉尔伯特群岛海域大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 栖息环境综合指数. 海洋与湖沼, 2012, 43(5) : 954 - 962.]
- [12] Saito S J. Tuna swimming layer and longline fishing method [M]. Tokyo: Naruyama-do-sho-ya, 1992: 9 - 10. [齐藤昭二. マグロの遊泳層と延縄漁法. 東京: 成山堂書屋, 1992: 9 - 10.]
- [13] Cao D M, Song L M, Zhang Y, *et al.* Environmental preferences of *Alopias superciliosus*, and *Alopias vulpinus* in waters near Marshall Islands [J]. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2011, 45(1) : 103 - 119.
- [14] Song L M, Li J, Gao P F, *et al.* Modeling the hook depth distribution of pelagic longlining in the equatorial area of Indian Ocean [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2012, 11(4) : 547 - 556.
- [15] Song L M, Gao P F. Captured depth, water-temperature and salinity of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) longlining in Maldives waters [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(3) : 335 - 340. [宋利明, 高攀峰. 马尔代夫海域延绳钓渔场大眼金枪鱼的钓获水层、水温和盐度. 水产学报, 2006, 30(3) : 335 - 340.]
- [16] 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]. *Fisheries Oceanography*, 2008, 17(4) : 239 - 253.
- [17] Song L M, Zhou J, Zhou Y Q, *et al.* Environmental <http://www.sexuebao.cn>

- preferences of bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the Indian Ocean; an application to a longline fishery [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2009, 85(2): 153 – 171.
- [18] Tang Q Y, Feng M G. Practical statistical analysis and DPS data processing system [M]. Beijing: Science Press, 2002:304 – 311. [唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2002:304 – 311.]
- [19] Bigelow K A, Musyl M K, Poisson F, *et al.* Pelagic longline gear depth and shoaling [J]. *Fisheries Research*, 2006, 77(2): 173 – 183.
- [20] Song L M, Zhou Y Q. Developing an integrated habitat index for bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean based on longline fisheries data [J]. *Fisheries Research*, 2010, 105(2): 63 – 74.
- [21] Kerstetter D W, Graves J E. Effects of circle versus J-style hooks on target and non-target species in a pelagic longline fishery [J]. *Fisheries Research*, 2006, 80(3): 239 – 250.
- [22] Falterman B, Graves J E. A preliminary comparison of the relative mortality and hooking efficiency of circle and straight shank (“J”) hooks used in the pelagic longline industry [J]. *American Fisheries Society Symposium*, 2002, 30: 80 – 87.
- [23] Prince E D, Ortiz M, Venizelos A. A comparison of circle and “J” hook performance in recreational catch and release fisheries for billfish [J]. *American Fisheries Society Symposium*, 2002, 30: 66 – 79.
- [24] Skomal G B, Chase B C, Prince E D. A comparison of circle and straight hooks relative to hooking location, damage, and success while catch and release fishing for Atlantic bluefin tuna [J]. *American Fisheries Society Symposium*, 2002, 30: 57 – 65.
- [25] Oshitani S, Nakano H, Tanaka S. Age and growth of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the Pacific Ocean [J]. *Fisheries Science*, 2003, 69(2): 456 – 464.
- [26] Branstetter S. Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1987, 19(3): 161 – 173.
- [27] Dagorn L, Pincock D, Girard C, *et al.* Satellite-linked acoustic receivers to observe behavior of fish in remote areas [J]. *Aquatic Living Resources*, 2007, 20(4): 307 – 312.
- [28] Sciarrotta T, Nelson D. Diel behavior of the blue shark, *Prionace glauca*, near Santa Catalina Island, California [J]. *Fishery Bulletin*, 1977, 75(3): 519 – 528.

Effects of environmental factors and fishing gear on catch rates of silky shark (*Carcharhinus falciformis*) in waters near Gilbert Islands

SONG Liming^{1,2,3,4*}, LIU Haiyang¹, XIE Kai¹, ZHAO Hailong¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Collaborative Innovation Center for National Distant-water Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: At present, many scientists pay more attention to the incidental catch of top predator of food chain in longline fisheries, such as sharks, sea turtles and sea birds. Given the long life span and relatively low reproductive capacity of many shark species, reducing the incidental catch of sharks during commercial fishing operations is thus critical in the conservation of shark species. In 1999, FAO promulgated the International Plan of Action for the Conservation and Management of Sharks. In order to protect the marine environment and conserve the shark species, many countries and regions declared a law prohibiting commercial shark fishing in its national waters. Shark's habitat environment is complex with respect to both spatial and temporal variations. Mechanisms of their migration are not fully understood even though many studies suggested that they might be related to the behavior and dynamics of zooplankton. The effective fishing gears and methods to mitigate the incidental catch rate of *Carcharhinus falciformis* and the effects of 16/0 and 18/0 circle hooks to the incidental catch rate of *C. falciformis* should be studied further. Based on these studies, the robust results could be obtained and could be used to reduce the incidental catch rate of *C. falciformis* effectively. On the other hand, there were many studies about the biological characteristics of *C. falciformis*, but the studies about the impacts of marine environment on the incidental catch rate of *C. falciformis* were rare. The aim of this study is to reduce the incidental catch rate of *C. falciformis* in longline fisheries. In this study, the mean nominal catch rates of *C. falciformis* and environmental variables were obtained from two longlining surveys in waters near Gilbert Islands from 4 October 2009 through 25 December 2009 and from 20 November 2010 through 20 January 2011. Data included: hook depth data, temperature, salinity, dissolved oxygen concentration and chlorophyll concentration vertical profile data, operating parameters, catch statistics. Stepwise regression was used to develop the hook depth calculation model. Wilcoxon-test was used to test if there were significant differences among *C. falciformis* incidental catch rates of four kinds of fishing gear or hook types. Statistics and clustering analysis were used to analyze environmental effects on the *C. falciformis* catch rate. Results showed that: (1) *C. falciformis* incidental catch rate can be significantly reduced by using the experimental gear or 18/0 circle hook; (2) the depth, temperature, salinity, chlorophyll concentration and dissolved oxygen (DO) range with the high incidental catch rate for *C. falciformis* was 40.0 – 79.9 m, 24.0 – 24.9 °C and 29.0 – 29.9 °C, 35.40 – 35.99, 0.120 – 0.199 μg/L, and 4.50 – 4.99 mg/L, respectively. This study suggests that: (1) the numbers of 18/0 circle hook or hook deeper than 120 m should be increased; (2) the numbers of hook should be reduced in the higher incidental catch rate ranges of hook depth, temperature, salinity, dissolved oxygen concentration and chlorophyll concentration.

Key words: *Carcharhinus falciformis*; incidental catch rate; hook type; environmental conditions

Corresponding author: SONG Liming. E-mail: lmsong@shou.edu.cn