

文章编号: 1674-5566(2014)02-0290-07

主捕长鳍金枪鱼延绳钓钓具的最适浸泡时间

宋利明^{1,2,3,4}, 李冬静¹, 刘海阳¹, 陈平¹, 李杰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发展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: 根据2012年9月21日-11月15日库克群岛海域金枪鱼延绳钓海上调查数据, 建立了钓钩深度计算模型, 分两种起绳方式建立了作业中每一根支绳的浸泡时间计算模型。将钓钩深度以40 m为一层, 共分为6个水层(40~80 m、80~120 m、120~160 m、160~200 m、200~240 m和240~280 m), 统计每个水层和整个水体内的钓钩数量和长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)的渔获尾数。计算每个水层和整个水体内的钓具浸泡时间, 并以1 h为间隔分别统计每个区间的支绳数量及渔获尾数, 计算其渔获率。结果表明:(1)二次曲线可拟合浸泡时间与长鳍金枪鱼渔获率的关系, 其渔获率随浸泡时间的增加呈现先增后减的趋势;(2)长鳍金枪鱼在40~280 m整个水体、6个水层中渔获率最高的浸泡时间为11.0~11.4 h。建议:(1)主捕长鳍金枪鱼时, 尽可能把支绳的浸泡时间设定在10.0~12.0 h左右, 以提高捕捞效率;(2)对于漂流延绳钓, 整个水体的最佳浸泡时间可代表各个水层的最佳浸泡时间;(3)目标鱼种不同, 钓具的最佳浸泡时间也不同;(4)浸泡时间可作为延绳钓钓具有效捕捞努力量。研究结果可用于提高长鳍金枪鱼捕捞效率, 为渔业生产和CPUE的标准化提供参考。

研究亮点: (1) 首次研究长鳍金枪鱼的最适钓具浸泡时间, 有利于渔业生产, 提高捕捞效率;(2) 首次分水层研究长鳍金枪鱼的最适钓具浸泡时间, 为今后是否要分水层研究最适钓具浸泡时间提供参考;(3) 发现目标鱼种不同, 钓具的最佳浸泡时间也不同。

关键词: 延绳钓; 浸泡时间; 长鳍金枪鱼; 钓获率; 库克群岛

中图分类号: S 972.3

文献标志码: A

延绳钓渔业的渔获率受到许多因素, 如船员的技术、捕捞过程中科学技术的应用、生物和非生物环境等因素的影响^[1]。渔具的浸泡时间, 将影响捕捞效率、目标鱼种和非目标鱼种渔获率和死亡率^[2-5]。CARRUTHERS等^[5]和GULLAND^[6]通过研究得出延绳钓的捕捞努力量可以表示为钓钩的数量乘以捕捞时间。SIVASUBRAMANIAM指出, 黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)的渔获率并没有随着钓具浸泡时间的增加而出现显著的变化^[7]。MURPHY和HIRAYAMA分别对金枪鱼延绳钓渔业的渔获率与浸泡时间的关系进行了研究, 但得出的结果并

不一致^[8-9]。LØKKEBORG和PINA发现, 底层延绳钓钓具的浸泡时间并没有对渔获率的高低产生影响^[10]。CARRUTHERS等通过GLM模型分析发现, 箭鱼(*Xiphias gladius*)的渔获率并没有随着钓具最小浸泡时间(从投绳结束到起绳开始)的增加而增加, 但是钓获率与最大浸泡时间(从投绳结束到起绳结束)之间存在显著的线性关系^[5]。SKUD研究表明, 在底层延绳钓中, 随着时间的增加太平洋大比目鱼(*Hippoglossus*)的总渔获量增加程度逐渐减少^[11]。其他的研究也表明, 较短的浸泡时间有助于减少海龟兼捕^[12-14]和捕获鱼类的死亡率^[5, 15]。在金枪鱼延绳钓渔业

收稿日期: 2013-09-29 修回日期: 2013-11-10

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2012AA092302); 农业部远洋渔业探捕项目(D8006128005); 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)

作者简介: 宋利明(1968—), 男, 博士, 教授, 博导, 研究方向为金枪鱼渔业、深海底层延绳钓渔业和网箱养殖工程。E-mail: lmsong@shou.edu.cn

中浸泡时间对箭鱼和大青鲨(*Prionace glauca*)的渔获率有很大影响^[14]。宋利明等得出延绳钓渔业中以大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)为目标鱼种时,大眼金枪鱼、黄鳍金枪鱼渔获率与钓具浸泡时间之间存在二次曲线的关系,即渔获率随浸泡时间的增加出现先增后减的变化趋势^[16]。然而,延绳钓渔业中钓钩分布在不同的水层,金枪鱼类在各水层中的分布密度不同^[17-19],因此需研究阐明不同水层中钓具浸泡时间与金枪鱼类渔获率之间的关系。本文根据库克群岛海域以长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)为目标鱼种的延绳钓渔业调查数据,建立延绳钓钓具浸泡时间计算模型,计算并分析不同水层中长鳍金枪鱼渔获率与钓具浸泡时间的关系,确定不同水层中最适钓具浸泡时间是否存在差异以及以长鳍金枪鱼为目标鱼种时延绳钓的最适钓具浸泡时间,为今后是否要分层研究最适钓具浸泡时间、金枪鱼渔业生产和 CPUE 标准化提供科学参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

执行调查任务的是金枪鱼延绳钓渔船“华南渔 716”,主要的船舶参数:总长 36.6 m、型宽 6.6 m、型深 3.3 m、总吨 196.0 t、净吨 89.0 t、主机功率 440.0 kW。

调查时间为 2012 年 9 月 21 日 - 11 月 15 日,此次调查共一个航次,历时 56 d,调查海域为

10°50'S - 15°05'S, 156°14'W - 168°01'W。对 52 个站点进行了调查,在 52 个站点分别用微型温度深度计记录钓钩的深度和沉降过程,调查范围和站点见图 1。

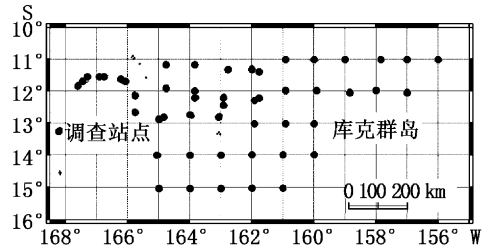


图 1 调查站点

Fig. 1 Survey stations

1.2 渔具渔法

本次调查钓具的结构为:浮子直径 360 mm;浮子绳直径 5.0 mm,长 17 m;干线直径 4.0 mm;支绳第一段为直径 3.5 mm 的硬质聚丙烯,长 1.0 m 左右,第二段为 180#(直径为 1.8 mm)的尼龙单丝,长 20 m;自动挂扣与第一段用转环连接;第一段与第二段用转环连接,全长 21 m。调查期间,早晨 05:30 ~ 09:30 投绳,持续时间为 4 h 左右;下午 15:30 ~ 03:00 起绳,持续时间为 7.5 h 左右;投绳时船速为 8.0 ~ 8.9 kn、出绳速度一般为 10.5 kn、两浮子间的钓钩数为 28 枚(图 2)、两钓钩间的时间间隔为 6 s。每天投放钓钩 840 ~ 2 800 枚。

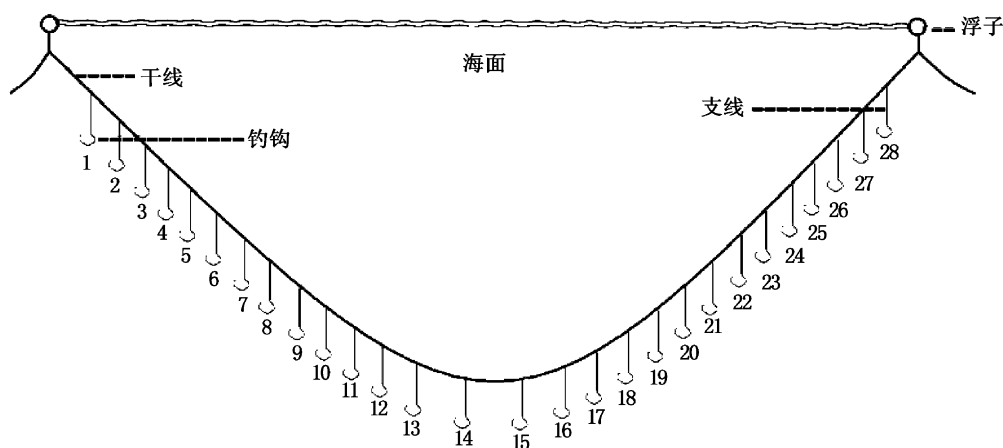


图 2 两浮子间钓具的结构

Fig. 2 The configuration of fishing gear between two floats

调查方法:本次调查对设定的调查站点投放钓具进行调查,记录了每天的投绳位置、投绳开

始和结束时间、起绳开始和结束时间、投钩数、投绳时的船速和出绳速度、相邻两钓钩间投放的时

间间隔、两浮子间的钩钩数、长鳍金枪鱼的渔获尾数、上钩钩号、上钩时的位置等。

1.3 调查仪器

调查期间使用微型温度深度记录仪 (TDR-2050, RBR Co, Canada) 测定了各调查站点钩钩的实际深度。使用多普勒三维海流计 (ADCP, NOTREK As, Norway) 测定各调查站点 0 ~ 450 m 的三维海流数据。

1.4 数据处理方法

1.4.1 浸泡时间的估算

调查中第 k 次作业投绳开始和结束的时间分别为 T_{1s}^k, T_{1f}^k , 相应的起绳开始和结束的时间分别为 T_{2s}^k, T_{2f}^k ; 共有 $M_k + 1$ 个浮子 (即 M_k 段), 每两个浮子之间的钩钩数为 $N = 28$; 投绳的时间间隔 (每两个钩钩之间) $\Delta t = 6s$; 由于投绳时出绳速度是定值, 所以以两根支绳之间的间隔时间 Δt 为基数计算投绳过程中钓具的浸泡时间; 但起绳时由于起绳速度受渔获在支绳间的分布等因素的影响而变化, 本研究假定起绳匀速进行, 起上每一根支绳的时间相同。起绳方式分为: (1) 起头, 即

在投绳开始的位置开始起绳; (2) 起尾, 即在投绳结束的位置开始起绳。按照这两种方式分别计算第 k 次作业第 i 段第 j 号支绳的浸泡时间^[16]:

(1) 起头

$$t_{i,j}^k = [(M_k - i + 1)(N + 1) - j]\Delta t + [(N + 1)(i - 1) + j] \frac{T_{2f}^k - T_{2s}^k}{(N + 1)M_k} + T_{2s}^k - T_{1f}^k \quad (1)$$

(2) 起尾

$$t_{i,j}^{k'} = [(M_k - i + 1)(N + 1) - j][\Delta t + \frac{T_{2f}^k - T_{2s}^k}{(N + 1)M_k}] + T_{2s}^k - T_{1f}^k \quad (2)$$

分别计算每一根支绳达到稳定后的浸泡时间, 即减去每一根支绳的沉降时间。假设每次作业任意两浮子间 1 ~ 28 号支绳的沉降时间相同, 为 t_j , 支绳的沉降时间由 TDR 测定, 计算整个调查期间测定的 1 ~ 28 号支绳的沉降时间的平均值作为 t_j (如表 1)。每根支绳达到稳定状态的浸泡时间为:

$$\text{起头: } T_{i,j}^k = t_{i,j}^k - t_j \quad (3)$$

$$\text{起尾: } T_{i,j}^{k'} = t_{i,j}^{k'} - t_j \quad (4)$$

表 1 整个调查期间钓具 1 ~ 28 号支绳的平均沉降时间

Tab. 1 The average settling time of hooks of gear (1 ~ 28)

| 支绳号 | 1/28 | 2/27 | 3/26 | 4/25 | 5/24 | 6/23 | 7/22 | 8/21 | 9/20 | 10/19 | 11/18 | 12/17 | 13/16 | 14/15 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 沉降时间/h | 0.16 | 0.18 | 0.26 | 0.28 | 0.31 | 0.49 | 0.35 | 0.41 | 0.55 | 0.73 | 0.51 | 0.67 | 0.65 | 0.63 |

1.4.2 钩钩深度的估算

本文采用文献[20]计算钩钩深度的方法, 钓具的理论深度按照日本吉原有吉的理论钩钩深度计算公式^[21], 得出各钩钩编号的理论深度, 即:

$$D_\xi = h_a + h_b + l [\sqrt{1 + ctg^2 \varphi_0} - \sqrt{(1 - \frac{2\xi}{q})^2 + ctg^2 \varphi_0}] \quad (5)$$

$$L = V_2 \times q \times \Delta t \quad (6)$$

$$l = \frac{V_1 \times q \times \Delta t}{2} \quad (7)$$

$$k = \frac{L}{2l} = \frac{V_2}{V_1} = ctg \varphi_0 sh^{-1}(tg \varphi_0) \quad (8)$$

式 5 ~ 8 中: D_ξ 为钓具理论深度 (m); h_a 为支线长 (m); h_b 为浮子绳长 (m); l 为干线弧长的一半; φ_0 为干线与浮子绳连接点上切线与水平面的交角, 与 k 有关, 在实际作业中很难测得 φ_0 ; ξ 为 2 浮子间的钩钩编号, q 为 2 浮子间干线的分段数; L 为 2 浮子间海面上的距离; V_2 为船速 (m/

s); Δt 为投绳时前后 2 根支绳间的时间间隔 (m); V_1 为投绳机出绳速度 (m/s)。

本文假设钩钩深度主要受流剪切 (τ), 风速 (V_w 用风速计测量), 风向 (C_w 由罗经测量), 投绳方向和钓具漂移方向之间的夹角 (θ), 钓具投放过程中风向和钓具投放时航向之间夹角 (H_w) 的影响。本文参考文献 [20, 22] 中流剪切系数 τ 的计算方法对调查中通过三维海流计 (ADCP) 测定的各站点各水层的海流数据进行了预处理, 并得出相应的流剪切系数 τ , 文献 [20, 22] 的具体计算公式为:

$$\tau = \log \left\{ \frac{\sum_{n=1}^R \left[\left(\frac{u_{n+1} - u_n}{z_{n+1} - z_n} \right)^2 + \left(\frac{v_{n+1} - v_n}{z_{n+1} - z_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} (z_{n+1} - z_n)}{\sum_{n=1}^R (z_{n+1} - z_n)} \right\} \quad (9)$$

u_n 是 n 水层东西向海流的流速, v_n 是 n 水层南北向海流的流速, z_n 是 n 水层的深度。在本研究中, 通过计算得出 τ 为 -2.80 ~ -1.84。

应用 SPSS 13.0 软件^[23],采用多元回归分析方法建立 TDR 测得的深度、理论钓钩深度和海洋环境因子的关系模型,从而得出拟合钓钩深度计算公式^[20]:

$$\hat{D}_\xi = 1.374D_\xi(\xi)^{-0.170}(\sin H_w)^{0.124}(V_w)^{-0.116} \quad (n=140, R=0.59) \quad (10)$$

式中: \hat{D}_ξ 为钓钩的预测深度(m)。

1.4.3 浸泡时间与钓获率的关系

根据式 10 得出钓钩深度的分布范围为 40 ~ 280 m,以 40 m 为一层,共分为 6 个水层($p=1,2,3,\dots,6$)及整个水体($p=0$),统计每个水层和整个水体内的钓钩数量和长鳍金枪鱼的渔获尾数。本研究中,平均浸泡时间的最小值为 8.1 h,最大值为 13.9 h。将钓具的平均浸泡时间以 1 h 为间隔(共 6 段, $m=1,2,3,\dots,6$)分别统计每个水层(整个水体)、每个浸泡时间区间的钓钩数量和长鳍金枪鱼的渔获尾数,如平均浸泡时间为 8.0 h ~ 9.0 h,记为 8.5 h,根据式 10 和 4 分别计算出钓钩深度、钓具浸泡时间,若钓钩深度、浸泡时间在某段的,则该枚钓钩记入此段,该段的总钓钩数量为 H_{pm} ,若平均浸泡时间 $T_{i,j}^k$ 或 $T_{i,j}^k$ 在某段,则将该车第 j 号钩的渔获尾数记入此段,该段时间的总渔获尾数为 I_{pm} 。以此类推,由此得出渔获率,记做 C_{pm} ,为:

$$C_{pm} = \frac{I_{pm}}{H_{pm}} \times 1000 \quad (p=0,1,2,3,\dots,6; m=1,2,3,\dots,6) \quad (11)$$

使用二次曲线 $y = ax^2 + bx + c$ (a, b, c 为系数, x 为浸泡时间, y 为 C_{pm}) 拟合渔获率与浸泡时间的关系,最后确定钓具的最适浸泡时间^[16]。

2 结果

整个水体、40 ~ 80 m、80 ~ 120 m、120 ~ 160 m、160 ~ 200 m、200 ~ 240 m 和 240 ~ 280 m 各水层中长鳍金枪鱼渔获率与浸泡时间的关系见图 3、图 4 和表 2。随浸泡时间的增加,长鳍金枪鱼渔获率先增大后减少。长鳍金枪鱼渔获率取得最大值时(最适)的浸泡时间见表 2,各水层间及其与整个水体的最佳浸泡时间相差不大(≤ 0.4 h)。

3 讨论

3.1 钓具浸泡时间

延绳钓钓具浸泡时间表示钓具的实际有效

捕捞努力量,不但能反映支绳的数量,还能反映每根支绳的浸泡时间^[16]。使用钓具的浸泡时间作为捕捞努力量来计算 CPUE 有利于提高资源评估的精度^[16,24-26]。由于传统上把投放的钓钩数量作为捕捞努力量,这种方法没有考虑钓钩投放和绞收存在时间先后,SKUD 认为这种传统的计算方法往往高估了捕捞努力量^[11]。CAMPBELL 和 YOUNG 认为分析影响渔具作业效率的因素有利于理解和合理应用渔获率作为资源量的指标^[27],在渔获率标准化中使用更多的渔具作业参数信息对于描述延绳钓钓具的作业效率非常重要^[27-28]。

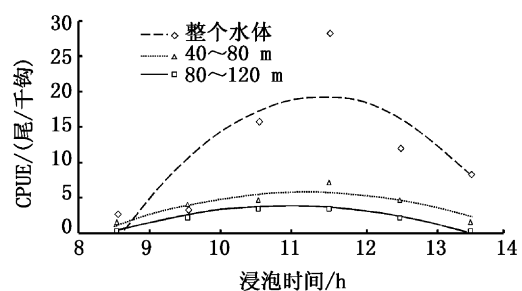


图 3 整个水体、40 ~ 80 m 和 80 ~ 120 m 水层中长鳍金枪鱼渔获率与浸泡时间的关系

Fig. 3 The relationship between the catch rate of albacore tuna and soak time in the whole water bin and in the water layers of 40 - 80 m, 80 - 120 m

3.2 浸泡时间与渔获率之间的关系

延绳钓钓具对目标鱼种的渔获率,随着浸泡时间的增加,存在先增后减的趋势,目标鱼种不同,最佳浸泡时间也不同。本研究表明,长鳍金枪鱼的渔获率与浸泡时间的关系可用二次曲线表示,以长鳍金枪鱼为目标鱼种时钓具的最佳浸泡时间为 11.0 ~ 11.4 h 左右。随着钓具浸泡时间的增加,长鳍金枪鱼的渔获率先增后减,这与 SKUD^[11]、VEGA 等^[14]、WARD 等^[29]、MORGAN 和 CARLSON^[30] 和宋利明等^[16] 关于延绳钓捕捞其它鱼种得出的研究结果的总趋势基本相符,但取得各目标鱼种最高渔获率的钓具的最佳浸泡时间各不相同。延绳钓渔业中出现这种现象的原因有:(1) 诱饵入水后随着浸泡时间的增加,其中溶于水的物质不断扩散,浓度逐渐增大,诱引效果随之增大,在达到最大后随着浸泡时间的推移,诱饵由于海水的侵蚀,其溶解于水的物质浓度逐渐降低,诱引效果随之变差^[16,31-32]; (2) 随着钓具浸泡时间的增大渔获量也越来越大,但到

一定时间以后,由于诱饵的丢失、钓获的目标鱼种的挣扎逃脱和一些掠食者对目标鱼种的吞噬和破坏,使钓获率逐渐降低^[16,33-34]; (3) 不同的目标鱼种其嗅觉、视觉及其他感觉器官对饵料感知的灵敏度不同,如鲨鱼类的嗅觉较灵敏,大眼金枪鱼的视觉较好^[35]。图 3 和 4 中存在一些数值偏离回归曲线较大的点,这些点对本研究结果可靠性的影响较小。因为本文的目的是确定最佳浸泡时间范围,而不是要预测最高渔获率;这些点代表的是一个时间段,不是具体的精确的某个时间。本文建议今后在确定投绳计划时尽可能保证钓钩在水中的浸泡时间为 10.0 ~ 12.0 h 左右,以提高长鳍金枪鱼的钓获率。

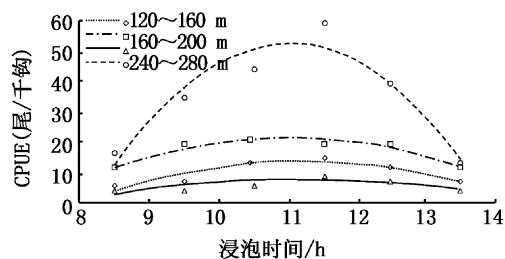


图 4 120 ~ 160 m、160 ~ 200 m、200 ~ 240 m 和 240 ~ 280 m 水层中长鳍金枪鱼渔获率与浸泡时间的关系

Fig. 4 The relationship between the catch rate of albacore tuna and soak time in the water layers of 120 - 160 m, 160 - 200 m, 200 - 240 m and 240 - 280 m

表 2 长鳍金枪鱼渔获率与浸泡时间的关系

Tab. 2 The relationship between albacore tuna catch rate and soak time

| 水层/m | 二次多项式 | R^2 | 尾数 | 最适浸泡时间/h |
|-----------|--------------------------------------|-------|-------|----------|
| 整个水体 | $y = -2.518x^2 + 57.359x - 307.300$ | 0.636 | 1 021 | 11.4 |
| 40 ~ 80 | $y = -0.605x^2 + 13.288x - 69.187$ | 0.989 | 8 | 11.0 |
| 80 ~ 120 | $y = -0.663x^2 + 14.875x - 77.816$ | 0.738 | 68 | 11.2 |
| 120 ~ 160 | $y = -1.266x^2 + 28.531x - 149.010$ | 0.897 | 141 | 11.3 |
| 160 ~ 200 | $y = -1.531x^2 + 33.798x - 167.040$ | 0.948 | 371 | 11.0 |
| 200 ~ 240 | $y = -0.992x^2 + 21.720x - 106.070$ | 0.704 | 377 | 11.0 |
| 240 ~ 280 | $y = -6.244x^2 + 137.720x - 708.750$ | 0.913 | 56 | 11.0 |

3.3 最佳浸泡时间相差不大的原因

各水层间及其与整个水体的最佳浸泡时间相差不大(≤ 0.4 h),今后对于漂流延绳钓整个水体的最佳浸泡时间可代表不同水层的最佳浸泡时间。最佳浸泡时间相差不大的原因可能为:(1) 诱饵的诱引机制不随深度的变化而变化。在 40 ~ 280 m 的深度范围内,本次调查不同水层的海流对诱饵溶解于水的物质扩散速度造成的差异较小;(2) 长鳍金枪鱼感觉到诱饵的存在到发现诱饵所需的时间随深度的变化较小;(3) 深度变化对钓获的长鳍金枪鱼的逃逸机制和掠食者的掠食机制的影响较小。

3.4 展望

确定延绳钓捕捞目标鱼种的最适浸泡时间有利于提高目标鱼种的渔获率。今后应对延绳钓渔业中饵料入水后,在不同的海流作用下,溶解于水的物质扩散后的浓度分布球面半径与浸泡时间的关系等进行研究,以便进一步阐明钓具浸泡时间与渔获率的关系^[16]。本研究仅考虑了浸泡时间与目标鱼种渔获率的关系,实际上影响

渔获率的因素很多,存在交互作用,如钓具投放开始时间、主捕对象的摄食行为等的影响^[19,36],应进一步研究阐明。浸泡时间严格来讲,是指钓钩入水至鱼类上钩的时间,但由于未能在每一枚钓钩上方安装钓获时间记录仪,因此,今后应收集每尾鱼的钓获时间,准确计算钓钩的浸泡时间。另外,本研究的数据偏少,特别是在 40 ~ 80 m、80 ~ 120 m 和 240 ~ 280 m 水层,在以后的研究中应扩大研究范围,进行更细致的调查,得到更多的数据,以提高研究结果的准确性。

参考文献:

- [1] 詹秉义. 渔业资源评估 [M]. 北京:中国农业出版社, 1995: 59-69.
- [2] SUNDBERG P. A model for the relationship between catch and soak time in baited fish traps [J]. Oceanographic Tropical, 1985, 20 (1): 19-24.
- [3] SHEAVES M J. Effect of design modifications and soak time variations on antillean-Z fish trap performance in a tropical estuary [J]. Bulletin of Marine Science, 1995, 56(2): 475-489.

- [4] ZHOU S, SHIRLEY T C. A model expressing the relationship between catch and soak time for trap fisheries [J]. North American Journal of Fisheries Management, 1997, 17(2):482-487.
- [5] CARRUTHERS E H, NEILSON J D, SMITH S C. Overlooked bycatch mitigation opportunities in pelagic longline fisheries: Soak time and temperature effects on swordfish (*Xiphias gladius*) and blue shark (*Prionace glauca*) catch [J]. Fisheries Research, 2011, 108(1):112-120.
- [6] GULLAND J A. Manual of methods for fish stock assessment. Part 1. Fish population analysis [M]. Rome: FAO Manuals in Fisheries Science No.4, 1969: 1-154.
- [7] SIVASUBRAMANIAM K. Relation between soaking time and catch of tunas in longline fisheries [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1961, 27(9): 835-845.
- [8] MURPHY G I. Estimating abundance from longline catches [J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1960, 17(1): 33-40.
- [9] HIRAYAMA N. Studies on the fishing mechanism of tuna longline - III. The difference of catch by retrieving methods [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1969, 35(7): 629-634.
- [10] LØKKEBORG S, PINA T. Effects of setting time, setting direction and soak time on longline catch rates [J]. Fisheries Research, 1997, 32(3): 213-222.
- [11] SKUD B E. Factors affecting longline catch and effort: III. Bait loss and competition [R]. Washington: International Pacific Halibut Commission Scientific Report, 1978:64-66.
- [12] KENNELLY S J. Effects of soak-time and spatial heterogeneity on sampling populations of spanner crabs *Ranina ranina* [J]. Marine Ecology Progress, 1989, 55: 141-147.
- [13] GILMAN E, ZOLLETT E, BEVERLY S, et al. Reducing sea turtle by-catch in pelagic longline fisheries [J]. Fish and Fisheries, 2006, 7(1): 1-22.
- [14] VEGA R, LICANDEO R. The effect of American and Spanish longline systems on target and non-target species in the eastern South Pacific swordfish fishery [J]. Fisheries Research, 2009, 98(1/3): 22-32.
- [15] OGURA M, ARIMOTO T, INOUE Y. Influence of the immersion time on the hooking rate of a small bottom longline in coastal waters [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1980, 46: 963-966.
- [16] 宋利明,徐伟云,曹道梅,等. 金枪鱼延绳钓钓具的最适浸泡时间 [J]. 中国水产科学, 2013,20(2): 346-350.
- [17] 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.
- [18] SONG L M, ZHOU J, ZHOU Y Q, et al. Environmental 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.
- [19] 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, 105:63-74.
- [20] 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.
- [21] 斋藤昭二. マグロの遊泳層と延縄漁法 [M]. 東京: 成山堂書屋, 1992: 9-10.
- [22] BIGELOW K A, MUSYL M K, POISSON F, et al. Pelagic longline gear depth and shoaling [J]. Fisheries Research, 2006, 77(2): 173-183.
- [23] 李志辉, 罗平, 洪楠, 等. SPSS FOR WINDOWS 统计分析教程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 173-175.
- [24] SOMERTON D A, KIKKAWA B S. A stock survey technique using the time to capture individual fish on longlines [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1995, 52:260-267.
- [25] MILLER R J, RODGER R S. Soak times and fishing strategy for American lobster [J]. Fisheries Research, 1996, 26(3/4): 199-205.
- [26] MARK N M, ANDRÉ E P. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches [J]. Fisheries Research, 2004, 70(2/3): 141-159.
- [27] CAMPBELL R A, YOUNG J W. Monitoring the behaviour of longline gears and the depth and time of fish capture in the Australian Eastern Tuna and Billfish Fishery [J]. Fisheries Research, 2012, 119-120: 4865.
- [28] AIRES-DA-SILVA A M, HOEY J J, GALLUCCI V F. A historical index of abundance for the blue shark (*Prionace glauca*) in the western North Atlantic [J]. Fisheries Research, 2008, 92(1): 41-52.
- [29] WARD P, MYERS R A, BLANCHARD W. Fish lost at sea: the effect of soak time on pelagic longline catches [J]. Fishery Bulletin, 2004, 102(1):179-195.
- [30] MORGAN A, CARLSON J K. Capture time, size and hooking mortality of bottom longline-caught sharks [J]. Fisheries Research, 2010, 101(1/2): 32-37.
- [31] HAIMOVICI M, ÁVILA-DA-SILVA A O. A comparison of methods for estimating relative abundances in bottom longline fishery surveys [J]. Fisheries Research, 2007, 85: 226-231.
- [32] WARD P, MYERS R A. Bait loss and its potential effects on fishing power in pelagic longline fisheries [J]. Fisheries Research, 2007, 86(1): 69-76.
- [33] TAKAGI K. Information on the catchable time period for Pacific salmon obtained through simultaneous fishing by longlines and gillnets [J]. Bulletin of the Far Seas Fisheries Research Laboratory, 1971, 5: 177-194.
- [34] BOGGS C H. Depth, capture time, and hooked longevity of

- longline-caught pelagic fish; timing bites of fish with chips [J]. Fishery Bulletin, 1992, 90: 642-658.
- [35] FRITSCHES K A, BRILL R W, WARRANT E J. Warm eyes provide superior vision in swordfishes [J]. Current Biology, 2005, 15(1): 55-58.
- [36] CAMPBELL R A. CPUE standardisation and the construction of indices of stock abundance in a spatially varying fishery using general linear models [J]. Fisheries Research, 2004, 70(2): 209-227.

Optimum soak time of pelagic longline gear targeting albacore tuna

SONG Li-ming^{1,2,3,4}, LI Dong-jing¹, LIU Hai-yang¹, CHEN Ping¹, LI Jie¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai 201306, China; 3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. Collaborative Innovation Center for National Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China)

Abstract: On the basis of the longline survey targeting albacore tuna (*Thunnus alalunga*) data collected from September 2012 to November 2012 in the waters near Cook Islands, the soak time calculation models of every branch line in each operation were developed by both models of hook retrieval and the hook depth prediction model of every branch line was also developed. The hook depth data were assigned to six layers of 40 m each (40-80 m, 80-120 m, 120-160 m, 160-200 m, 200-240 m, 240-280 m). The numbers of hooks and individual of fish in the whole water bin and each depth layer were estimated. The soak time of longline gear in the whole water bin and each depth layer were estimated. The soak time of longline gear were divided into one hour interval for the quantity of hooks and the individuals of albacore tuna, respectively. The respective catch rate of albacore tuna in each hour interval was calculated. The results showed that (1) the quadratic curves could be used to fit the relationship between soak time and the catch rate of albacore tuna, the catch rate of albacore tuna showed increasing at first and then decreasing trend with the increase of soak time; (2) the catch rate of albacore tuna was the highest when soak time was 11.0~11.4 h in the 40~280 m water body and six water layers. This study suggested that (1) the soak time of each hook lasted about 10.0~12.0 h in the longline operation targeting albacore tuna for improving the fishing efficiency; (2) for the pelagic longline, the optimum soak time of the whole water bin can be used to indicate the optimum soak time of various depth layers; (3) the optimum pelagic longline soak time varies with the target species; (4) the soak time of the longline gear could be considered as the effective fishing effort. The results will be applied to improve the fishing efficiency and will be used for the references to the fishing strategy and CPUE standardization.

Key words: longline; soak time; albacore tuna; catch rate; Cook Islands