

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.00346

## 金枪鱼延绳钓钓具的最适浸泡时间

宋利明<sup>1,2,3</sup>, 徐伟云<sup>2</sup>, 曹道梅<sup>1,2,3</sup>, 赵昌克<sup>2</sup>

1. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;
2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 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

**摘要:** 根据2010年10月—2011年1月金枪鱼延绳钓海上调查数据, 分两种起绳方式, 建立每次作业每一根支绳的浸泡时间计算模型。将钓具的浸泡时间以1h为间隔分别统计每个区间的支绳数量及大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)、黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacores*)的渔获尾数, 并计算其钓获率(CPUE)。结果表明: 1) 大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼的CPUE都随浸泡时间的增加呈现先增后减的趋势, 这是由于饵料的诱引效果变化及渔获的丢失引起的; 2) 二次曲线可拟合浸泡时间与大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼CPUE的关系; 3) 大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼CPUE最高的浸泡时间分别为9.9h和10.1h。建议: 1) 今后在金枪鱼延绳钓作业中, 保证每一根支绳在水中的浸泡时间为9.5~10.5h, 以提高捕捞效率并减少副渔获物; 2) 可把延绳钓钓具的浸泡时间作为有效捕捞努力量, 并用于CPUE的标准化。研究结果可用于提高捕捞效率并减少副渔获物的技术方案制订, 并为渔业生产和CPUE的标准化提供科学参考。

**关键词:** 大眼金枪鱼; 黄鳍金枪鱼; 延绳钓; 浸泡时间; 钓获率

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)02-0346-05

延绳钓渔业中捕捞对象的钓获率(CPUE)受各种技术、生物及环境等因素的影响<sup>[1-3]</sup>。钓具在水中的浸泡时间将影响其捕捞效率和渔获物的死亡率。虽然早期的部分研究表明, 钓具浸泡时间的增加对CPUE没有明显的影响<sup>[4-5]</sup>, 而后来的研究大多表明浸泡时间与钓获率之间存在明显的关系。Carruthers等通过建立GLM模型, 研究发现箭鱼(*Xiphias gladius*)的CPUE并未随最小浸泡时间(投绳结束到起绳开始)的增加而增加, 但是最大浸泡时间(投绳开始到起绳结束)与箭鱼的CPUE呈线性关系, 可以通过限制最小浸泡时间来减少兼捕鱼类的死亡率, 同时又不影响目标鱼类的CPUE<sup>[6]</sup>。Skud<sup>[7]</sup>研究表明底层延绳钓渔业中总捕获量的增加程度随时间增加逐渐降低, 另有研究表明减少钓具的浸泡时间可降低海龟的兼

捕率<sup>[8]</sup>和钓获鱼类的死亡率<sup>[6,9]</sup>, Vega等<sup>[10]</sup>对箭鱼延绳钓的研究表明, 浸泡时间对箭鱼、大青鲨(*Prionace glauca*)等CPUE都有明显的影响。对于金枪鱼延绳钓钓具浸泡时间与大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)和黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacores*)CPUE关系的研究还未见报道。本研究根据金枪鱼延绳钓海上调查数据, 建立金枪鱼延绳钓钓具浸泡时间计算模型, 计算并分析大眼金枪鱼、黄鳍金枪鱼的CPUE与钓具浸泡时间的关系, 确定金枪鱼延绳钓最适钓具浸泡时间, 为今后渔业生产和CPUE标准化提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

海上调查任务在大滚筒冰鲜金枪鱼延绳钓渔

收稿日期: 2012-07-23; 修订日期: 2012-12-02.

基金项目: 国家“863”计划项目(2012AA092302); 农业部远洋渔业探捕项目(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项目(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

船“深联成 901 号”上进行。船舶主要参数为: 总长 26.8 m; 注册船长 24.0 m; 型宽 5.20 m; 型深 2.20 m; 总吨 102.00 t; 净吨 30.00 t; 主机功率 400 kW。

采用加拿大 RBR 公司生产的微型温度深度计(TDR2050)记录钓钩的深度和沉降过程。调查时间为 2010 年 11 月 20 日—2011 年 1 月 20 日共 2 个航次, 2010 年 11 月 20 日—12 月 23 日为第一航次, 共作业 24 d, 调查海域为 0°42'N—3°34'S, 169°14'E—179°59'E; 2010 年 12 月 26 日—2011 年 1 月 20 日为第二航次, 共作业 16 d, 调查海域为 0°46'N—2°37'S, 169°E—175°E。调查站位尽可能均匀分布在吉尔伯特群岛南部东西两侧海域。具体调查范围和调查站点见图 1。

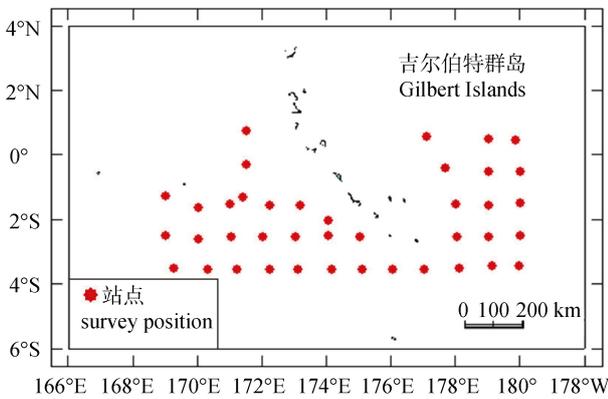


图 1 本研究调查站点  
Fig. 1 Survey positions in the study

### 1.2 渔具渔法

本次调查所用的钓具结构为: 浮子直径为 360 mm; 浮子绳直径为 5.0 mm, 长 25 m; 干线直径为 4.0 mm, 两浮子间干线长为 1 123.4 m, 相邻两钓钩之间的干线长为 43.2 m; 钓钩为不锈钢的环型钩(钩高、钩宽分别为 63 mm、36 mm); 支绳第一段为直径 3.5 mm 的硬质聚丙烯, 长 1.5 m 左右, 第二段为直径 1.8 mm 的尼龙单丝, 长 18 m; 第三段为直径 1.2 mm 的钢丝, 长 0.5 m; 自动挂扣与第一段之间用转环连接; 第一段直接与第二段连接, 无转环; 第二段与第三段间用转环相连接; 第三段直接与钓钩连接, 全长 20 m。两浮子间的钓具结构如图 2 所示, 共 25 枚钓钩。

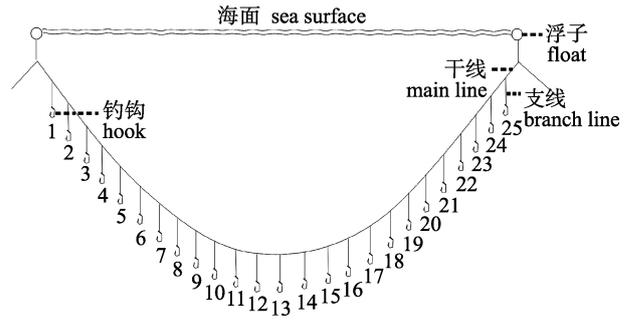


图 2 两浮子间的钓具结构  
Fig. 2 The configuration of fishing gear between two floats

渔法: 调查期间, 06:00—09:00 投绳, 持续时间为 3 h 左右; 15:30—21:00 起绳, 持续时间为 5.5 h 左右; 每次投放钓钩共 1 325 枚。

调查方法: 到达设定的调查站点投放钓具进行调查, 记录了每次作业的投绳位置、投绳开始和结束时间、起绳开始和结束时间、投放的钓钩数量、投绳时的船速和出绳速度、两相邻钓钩投入水的时间间隔、两浮子间的钓钩数、大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼的渔获尾数、捕获位置(浮子和钓钩的编号)等。

### 1.3 数据处理方法

1.3.1 浸泡时间的估算 设调查中第  $k$  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), 每两个浮子之间的钓钩数为  $N = 25$ ; 投绳结束到起绳开始的间隔时间为  $T_3^k$ ; 投绳的时间间隔(每两个钓钩之间)  $\Delta t = 8 s$ ; 投完每两个浮子之间所有支绳所需的时间记为  $\Delta T_d$ 。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  $\Delta t$  为基数计算投绳过程中钓具的浸泡时间; 但是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。  $T_1^k$ 、 $T_2^k$  和  $T_3^k$  为浸泡时间的三大部分, 分别表示投绳所用的时间、起绳所用的时间和投绳结束到起绳开始的时间间隔。起绳方式分为(1)起头, 即在投绳开始的地方开始起绳; (2)起尾, 即在投绳结束的地方开始起绳。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:

(1) 起头

$$T_1^k = M_k(N+1)\Delta t - (i-1)\Delta T_d - j\Delta t \quad (1)$$

$$\Delta T_d = (N+1)\Delta t \quad (2)$$

$$T_2^k = [(N+1)(i-1) + j] \frac{T_{2f}^k - T_{2s}^k}{(N+1)M_k} \quad (3)$$

$$T_3^k = T_{2s}^k - T_{1f}^k \quad (4)$$

$$t_{i,j}^k = T_1^k + T_2^k + T_3^k \quad (5)$$

$$t_{i,j}^k = [(M_k - i + 1)(N + 1) - j]\Delta t + [(N + 1)(i - 1) + j] \frac{T_{2f}^k - T_{2s}^k}{(N + 1)M_k} + T_{2s}^k - T_{1f}^k \quad (6)$$

(2) 起尾

$$T_2^{k'} = [(N + 1)(M_k - i) + (N + 1) - j] \frac{T_{2f}^k - T_{2s}^k}{(N + 1)M_k} \quad (7)$$

$$t_{i,j}^{k'} = T_1^k + T_2^{k'} + T_3^k \quad (8)$$

$$t_{i,j}^{k'} = [(M_k - i + 1)(N + 1) - j] \cdot \left[ \Delta t + \frac{T_{2f}^k - T_{2s}^k}{(N + 1)M_k} \right] + T_{2s}^k - T_{1f}^k \quad (9)$$

分别计算每一根支绳达到稳定状态后的浸泡时间, 即减去每一根支绳的沉降时间, 在此, 假设每次作业任意两浮子间 1 到 25 号支绳的沉降时间相同, 为  $t_j^k (j=1, 2, \dots, 25)$ , 支绳的沉降时间由 TDR 测定, 计算整个调查期间测定的各支绳号 (1~25) 支绳的沉降时间的平均值作为  $t_j^k$  (见表 1)。

每根支绳达到稳定状态的浸泡时间为:

起头:

$$T_{i,j}^k = t_{i,j}^k - t_j^k \quad (10)$$

起尾:

$$T_{i,j}^{k'} = t_{i,j}^{k'} - t_j^k \quad (11)$$

**1.3.2 浸泡时间与 CPUE 的关系** 为分析浸泡时间与 CPUE 的关系, 将 40 个站位的数据综合在一起, 在 40 次作业中钓具浸泡时间的最小值为 3.8

h, 最大值为 15.5 h。将钓具的浸泡时间以 1 h 为间隔分别统计每个区间的支绳数量及大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼的渔获尾数, 如浸泡时间在 3.5 ~ 4.5 h, 记作 4 h, 依次类推, 浸泡时间分为 12 个时间段, 分别用 4 h、5 h、6 h、...15 h 表示, 并计算对应时间段的 CPUE<sub>Tr</sub>:

$$CPUE_{Tr} = \frac{N_{Tr}}{F_{Tr}} \times 1000 \quad (12)$$

式中,  $N_{Tr}$ : 浸泡时间段内的渔获尾数,  $F_{Tr}$ : 浸泡时间段内投放的支绳数量。

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 CPUE<sub>Tr</sub>) 拟合 CPUE 与浸泡时间的关系, 最后确定钓具的最适浸泡时间。

## 2 结果与分析

大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼 CPUE 与浸泡时间的关系可用二次曲线表示, 见图 3。

大眼金枪鱼:

$$y = -0.235x^2 + 4.640x - 10.505 \quad (R^2 = 0.856) \quad (13)$$

黄鳍金枪鱼:

$$y = -0.246x^2 + 4.994x - 11.199 \quad (R^2 = 0.871) \quad (14)$$

随浸泡时间的增加, 大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼 CPUE 先增大后减小, CPUE 并非随浸泡时间的增加而增加, 当浸泡时间为 9.9 h 和 10.1 h 时, 大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼的 CPUE 分别达到最高。

## 3 讨论

### 3.1 钓具浸泡时间模型

该模型可较为精确地估算每一根支绳的浸泡时间, 今后可把浸泡时间作为捕捞努力量, 并用于 CPUE 的标准化。决定每一根支绳浸泡时间的主要因素有: 投放两根支绳的时间间隔、起绳方式、投放支绳的数量、起绳开始时间、起绳结束时间等。以浸泡时间作为捕捞努力量不但能反应支绳的数量, 还能反应支绳的浸泡时间, 可表示

表 1 整个调查期间 1~25 号支绳的平均沉降时间  
Tab.1 The average settling time of hooks (1—25) during the survey

支绳号 number of branch line	1/25	2/24	3/23	4/22	5/21	6/20	7/19	8/18	9/17	10/16	11/15	12/14	13
沉降时间/h settling time	0.81	0.85	0.91	0.97	1.03	1.07	1.12	1.15	1.21	1.25	1.28	1.32	1.35

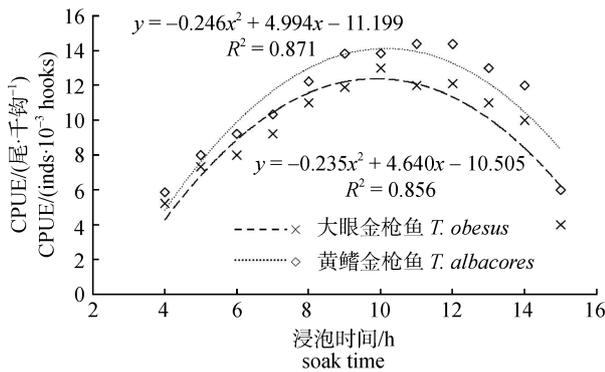


图 3 大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼 CPUE 与浸泡时间的关系  
Fig. 3 The relationships between the CPUEs of bigeye tuna and yellowfin tuna and soak time

渔具的有效捕捞努力量。Maunder 等<sup>[11]</sup>认为应该鉴别和选择恰当的变量进行 CPUE 标准化。捕捞努力量与 CPUE 标准化要使用分辨率更高的时间、空间、渔具、环境变量,并结合鱼类生理学和行为学进行<sup>[11]</sup>。因此,在渔业资源评估中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<sup>[11-12]</sup>。

### 3.2 浸泡时间与 CPUE 的关系

可用二次曲线表示延绳钓钓具浸泡时间与大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼 CPUE 的关系。Vega 等<sup>[10]</sup>使用 GAM 模型分析作业参数、环境因素等对箭鱼和大青鲨 CPUE 的影响,结果表明浸泡时间对箭鱼和大青鲨 CPUE 都有明显的影响;Ward 等<sup>[13]</sup>分析得出浸泡时间为 20 h 时金枪鱼与海龟的 CPUE 小于浸泡时间为 5 h 时的 CPUE。因此,浸泡时间是影响 CPUE 的一个主要因素,并且对 CPUE 并不总是正影响。Morgan 等<sup>[9]</sup>发现大西洋底层鲨延绳钓渔业的上钩率在投绳后的 5~12 h 增加速度最快。Skud<sup>[7]</sup>研究表明,底层延绳钓渔业中总捕获量的增加程度随时间增加逐渐降低。本研究中,两种金枪鱼的 CPUE 均随浸泡时间的增大呈现出先增加后减少的趋势(图 3),且当浸泡时间为 9.9 h 和 10.1 h 时,大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼的 CPUE 分别达到最高。这与 Skud、Ward 等<sup>[4]</sup>和 Morgan 等<sup>[5]</sup>的结果基本一致。但早期的部分研究表明,浸泡时间的增加对 CPUE 没有明显的影响。这与本结果不一致的原因可能是由于数据收集的精度不同,浸泡时间对不同鱼种 CPUE 的影

响不同,或者是渔场环境不同所致。

### 3.3 浸泡时间影响 CPUE 的原因

延绳钓渔具的捕捞能力随浸泡时间的增加呈现出先增加后降低的现象,这是由于饵料的诱引效果及渔获的丢失引起的<sup>[13-14]</sup>。饵料入水后,溶解于水中的物质逐渐扩散,对捕捞对象的诱引效果逐渐增强,到达某一时刻,饵料溶解于水中的物质的浓度达到最高,诱引效果达到最佳,随着浸泡时间的进一步增加,饵料溶解于水中的物质的浓度越来越低,诱引效果逐渐变差。浸泡时间太长饵料受到侵蚀或者丢失,对捕捞对象失去吸引力<sup>[14]</sup>。另外,被钓获的鱼在水中会挣扎,由于浸泡时间太长,已钓获的鱼逃脱的概率增大,而且被其他海洋动物吞食的概率增大<sup>[13]</sup>,例如鲸、鲨通常会掠食被钓获的鱼。本次调查期间共有 78 尾已钓获的鱼由于被鲸、鲨等不同程度的啃食而丢弃,且有 83%发生在起绳的后半段时间内。

### 3.4 展望

确定延绳钓捕捞目标鱼类的最适浸泡时间有利于提高目标鱼类 CPUE,减少兼捕鱼类 CPUE。本研究得出金枪鱼延绳钓钓具的最适浸泡时间为 10.0 h 左右,因此,今后在确定投绳计划时尽可能保证每一枚钓钩在水中的浸泡时间为 9.5~10.5 h,以提高大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼的 CPUE,提高捕捞效率并减少副渔获物。另外,在今后的研究中应对金枪鱼延绳钓渔业中所用的主要饵料入水后,溶解于水中的物质成分、扩散等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金枪鱼类 CPUE 的关系。

致谢:本研究得到基里巴斯群岛共和国政府的许可,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、“深联成 901 号”全体船员和上海海洋大学硕士研究生吕凯凯、惠明明等的大力支持,谨致谢意。

### 参考文献:

- [1] Sutterlin A M, Solemdal P, Tilseth S. Baits in fisheries with emphasis on the North Atlantic cod fishing industry[M]// Hara T J. Chemoreception in Fishes. Amsterdam: Elsevier, 1982: 293-305.
- [2] Bjordal Å. Recent developments in longline fishing-catching

- performance and conservation aspects[R]// Proceedings of the 1988 World Symposium on Fishing Gear and Fishing Vessel Design. St. John's, NF: Newfoundland and Labrador Inst. of Fisheries and Marine Technology, 1988: 19–24.
- [3] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 67–69, 59–60.
- [4] Løkkeborg S, Pina T. Effects of setting time, setting direction and soak time on longline catch rates[J]. *Fish Res*, 1997, 32: 213–222.
- [5] Sivasubramaniam K. Relation between soaking time and catch of tunas in longline fisheries [J]. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 1961, 27: 835–845.
- [6] 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]. *Fish Res*, 2011, 108: 112–120.
- [7] Skud B E. Factors affecting longline catch and effort: III. Bait loss and competition[R]//The International Pacific Halibut Commission Scientific Report. 1978: 64–66.
- [8] Gilman E, Zollett E, Beverly S, et al. Reducing sea turtle by-catch in pelagic longline fisheries[J]. *Fish Fish*, 2006(7): 1–22.
- [9] Morgan A, Carlson J K. Capture time, size and hooking mortality of bottom longline-caught sharks[J]. *Fish Res*, 2010, 101: 32–37.
- [10] 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]. *Fish Res*, 2009, 98: 22–32.
- [11] Maunder M, Punt A E. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches[J]. *Fish Res*, 2004, 70: 141–159.
- [12] Miller R J, Rodger R S. Soak times and fishing strategy for American lobster[J]. *Fish Res*, 1996, 26: 199–205.
- [13] Ward P, Myers R A, Blanchard W. Fish lost at sea: the effect of soak time on pelagic longline catches[J]. *Fish Bull*, 2004, 102: 179–195.
- [14] Haimovici M, A'vila-da-Silva A O. A comparison of methods for estimating relative abundances in bottom longline fishery surveys[J]. *Fish Res*, 2007, 85: 226–231.

## Optimum soak time of tuna longline gear

SONG Liming<sup>1,2,3</sup>, XU Weiyun<sup>2</sup>, CAO Daomei<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Changke<sup>2</sup>

1. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai 201306, China;

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

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

**Abstract:** On the basis of the data collected from October 2010 to January 2011 in the tuna longline survey, the soak time calculation models of every branch line in each operation were developed by both modes of hook retrieval. The soak time of longline gear divided into one hour interval for the quantity of hooks and the individuals of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacores*), respectively. The respective catch rates (CPUEs) of bigeye tuna and yellowfin tuna in each hour interval were calculated. The results showed that (1) both CPUE of bigeye tuna and yellowfin tuna presented increasing at first and then decreasing trend along the increase of soak time. The reason was the lure effect fluctuation of bait and the lose of hooked fish; (2) the quadratic curves can be fit the relationships between soak time and the CPUE of bigeye tuna, and yellowfin tuna; (3) the CPUE of bigeye tuna and yellowfin tuna was the highest when soak time was 9.9 h and 10.1 h, respectively. This study suggested that (1) the soak time of each hook lasted about 9.5–10.5 h in the tuna longline operation for improving the fishing efficiency and decreasing the bycatch; (2) the soak time of the longline gear could be considered as the effective fishing effort and used to standardize the CPUE. The results will be applied to improve the fishing efficiency and to decrease the bycatch and will be applied for the references to the fishing strategy and CPUE standardization.

**Key words:** bigeye tuna (*Thunnus obesus*); yellowfin tuna (*Thunnus albacores*); tuna longline; soak time; catch rate