

库克群岛海域海洋环境因子对大眼金枪鱼渔获率的影响

宋利明^{1,2,3,4*}, 赵海龙¹, 谢 凯¹, 李冬静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, 上海海洋大学, 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, 上海海洋大学, 上海 201306;

4. 远洋渔业协同创新中心, 上海海洋大学, 上海 201306)

摘要: 为了掌握库克群岛海域海洋环境因子对延绳钓渔业中大眼金枪鱼渔获率的影响, 实验利用 2013 年 9 月 8 日—12 月 31 日在库克群岛海域作业的延绳钓渔业调查数据, 所获数据包括: 钓钩深度数据, 温度、叶绿素 *a* 浓度、三维海流的垂直剖面数据, 作业参数, 渔获统计数据, 采用逐步回归的方法建立钓钩预测深度计算模型, 利用统计和聚类分析的方法分析大眼金枪鱼渔获率与海洋环境因子的关系。结果发现, 在库克群岛附近海域, 大眼金枪鱼渔获率较高的水层、温度、叶绿素 *a* 浓度、东西海流、南北海流、水平海流和垂直海流分别为 120.0 ~ 199.9 m、13.0 ~ 14.9 °C、0.200 ~ 0.239 μg/L、0.1 ~ 0.2 m/s、-0.2 ~ 0 m/s、0.1 ~ 0.4 m/s 和 0.04 ~ 0.05 m/s。在该海域作业、以大眼金枪鱼为目标鱼种时, 建议在大眼金枪鱼渔获率较高的水层、温度、叶绿素 *a* 浓度、水平海流和垂直海流范围内增加钓钩投放数量。

关键词: 大眼金枪鱼; 渔获率; 环境因子; 库克群岛

中图分类号: S 931.3

文献标志码: A

大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 广泛分布于大西洋、印度洋和太平洋的热带和温带水域, 已成为世界各远洋渔业和沿岸国家与地区的主要捕捞对象。国内外许多学者对大眼金枪鱼的生物学特性及栖息环境做了研究。Martwi 等^[1] 通过 GAM 模型对印度洋爪哇岛和巴厘岛南部海域大眼金枪鱼进行研究, 发现海表温度 (SST) 是影响大眼金枪鱼分布最为显著的环境变量。宋利明等^[2] 对马尔代夫海域延绳钓渔场大眼金枪鱼的钓获水层、水温和盐度进行了研究, 宋利明等^[3-4] 对帕劳群岛和吉尔伯特群岛附近海域大眼金枪鱼的环境偏好进行了研究, 认为大眼金枪鱼对于水温的变化反应最敏感, 水温及其体温的变化决定其活动水层。

Schaefer 等^[5] 利用标志放流法研究了赤道东太平洋大眼金枪鱼的行为和栖息环境选择, 得出大眼金枪鱼大多数情况栖息于 200 ~ 300 m、温度

为 13 ~ 14 °C 的地方。Musyl 等^[6] 利用标志放流回捕法研究了夏威夷群岛海域大眼金枪鱼的栖息环境, 得出大眼金枪鱼很少在温度低于 7 °C、溶解氧低于 2 mg/L 的深度活动, 并且它们会跟随声波散射层出现昼夜垂直运动。Song 等^[7] 和宋利明^[8] 研究了印度洋大眼金枪鱼的栖息环境偏好, 发现溶解氧是限制大眼金枪鱼垂直分布的最主要环境因子。杨胜龙等^[9-10] 利用 Argo 数据研究了印度洋大眼金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系及大西洋大眼金枪鱼的时空分布, 得出大眼金枪鱼主要分布在温跃层下界深度以深。Lehodey 等^[11] 利用空间生态和种群动力学模型预测全球变暖对大眼金枪鱼种群的潜在影响, 得出亚热带纬度地区和东部热带太平洋海域将成为大眼金枪鱼最佳的产卵场。然而, 对南太平洋库克群岛附近海域海洋环境因子对延绳钓渔业中大眼金枪鱼渔获率影响的研究未见报道。本实验根据在该海

收稿日期: 2015-04-21 修回日期: 2015-07-02

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 (D8006128005, D8006138016); 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)

通信作者: 宋利明, E-mail: lmsong@shou.edu.cn

域调查时所收集的大眼金枪鱼渔获数据和海洋环境数据等,分析该海域大眼金枪鱼的垂直分布与温度、叶绿素 *a*、东西、南北、水平方向海流和垂直方向海流的关系,以期掌握该海域海洋环境因子对延绳钓渔业中大眼金枪鱼渔获率的影响,提高大眼金枪鱼的渔获率。

1 材料与方 法

1.1 调查船、调查时间和海域

执行本次海上调查任务的渔船为延绳钓渔船“华南渔 719”,主要的船舶参数如下:船长 32.74 m;型宽 6.60 m;型深 3.30 m;总吨 196 t;净吨 89 t;主机功率 440.00 kW。海上调查的时间为 2013 年 9 月 8 日~2013 年 12 月 31 日,调查海域为:9°00'S~19°00'S,157°W~168°W,调查站位为 51 个(图 1)。

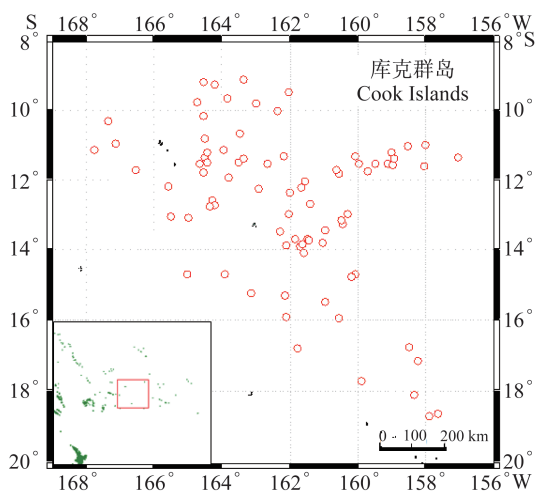


图 1 调查站位分布

Fig. 1 Distribution of survey positions

1.2 调查的渔具和渔法

本次调查原来船上所用的钓具结构:浮子直径为 360 mm;浮子绳为直径 5.0 mm 的硬质聚丙烯,长 22 m;干线为直径 4.0 mm 的单丝;支绳第一段为直径 3.5 mm 的硬质聚丙烯,长 1.0 m 左右,第二段为直径 1.8 mm 的单丝,长 20 m;第一段与第二段用 H 型转环连接;钓钩采用圆型钓钩(14/0),支绳总长 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—次日凌晨 3:00 起绳,持续时间为 11.5 h 左右;船长根据探捕调查站点

位置决定当天投绳的位置,受条件所限,实际的投绳位置和计划站点位置会有一定的偏差。船速 8.0~9.0 kn、出绳速度一般为 9.8 kn、两浮子间的钓钩数为 28 枚、两钓钩间的时间间隔为 6 s。每天投放钓钩 1 900~3 500 枚。

1.3 试验仪器、方法及内容

调查期间使用微型温深记录仪(TDR-2050)(RBR Co, Canada)测定部分钓钩的深度及其整个沉降过程。每天钓具投放结束后,使用多功能水质仪(XR-620, RBR Co, Canada)和多普勒三维海流计(ADCP, NORTEK Co, Norway)测定各个调查站点 0~350 m 水深的温度、叶绿素 *a* 浓度、东西方向、南北方向、垂直方向及水平方向的海流速度垂直剖面数据(图 2 和图 3),其中海流数据向“西”、“南”和“下”时用“负”值表示。

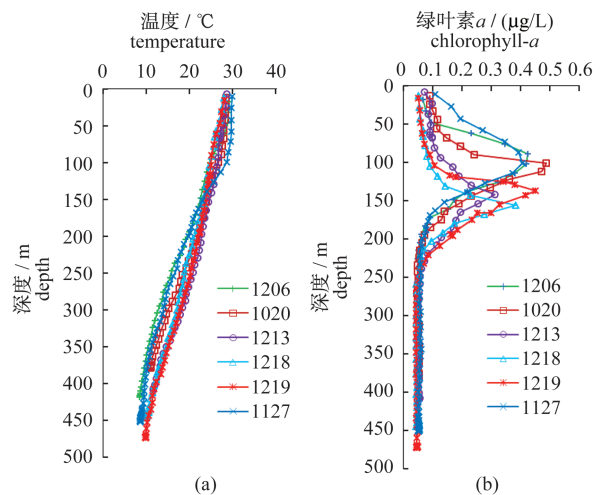


图 2 温度(a)、叶绿素 *a* 浓度(b)垂直剖面图

1127:11 月 27 日(9°48'S,163°01'W); 1206:12 月 06 日(11°48'S,164°33'W); 1020:10 月 20 日(13°02'S,165°32'W); 1213:12 月 13 日(15°55'S,160°36'W); 1218:12 月 18 日(17°08'S,158°15'W); 1219:12 月 19 日(18°40'S,157°56'W)

Fig. 2 The vertical profiles of temperature (a) and Chl. *a* concentration (b)

1127:November 27 (9°48'S,163°01'W); 1206:December 06 (11°48'S,164°33'W); 1020:October 20, (13°02'S,165°32'W); 1213:December 13 (15°55'S,160°36'W); 1218:December 18 (17°08'S,158°15'W); 1219:December 19, (18°40'S,157°56'W)

实验期间,还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,

大眼金枪鱼等的渔获尾数(共 282 尾)、抽样测定其钩获的钩号(127 尾,占总尾数的 45.0%)、用卡尺测定了大眼金枪鱼的叉长(优势叉长为 110~119 cm,占 44.0%,为接近成熟的鱼)。

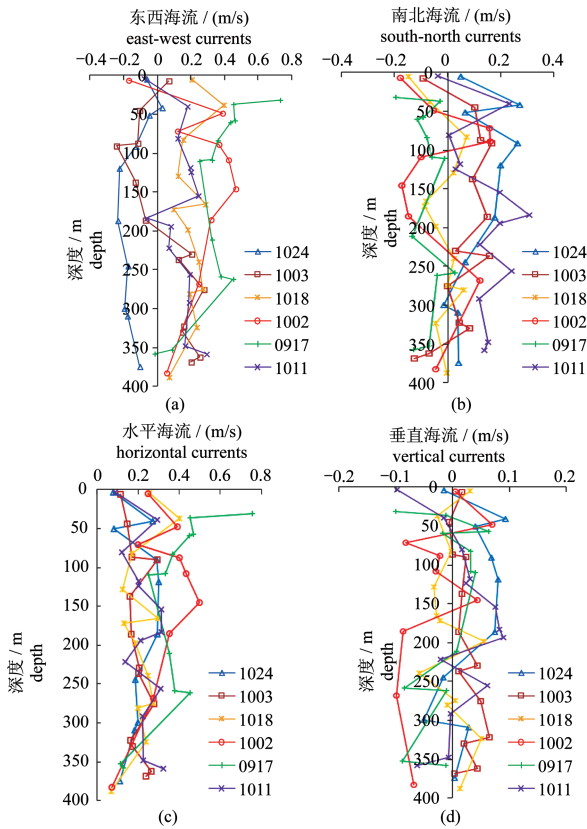


图 3 东西海流 (a)、南北海流 (b)、水平海流 (c)、垂直海流 (d) 的垂直剖面图

1024:10月24日(10°18'S,165°32'W); 1003:10月03日(11°19'S,160°06'W); 1018:10月18日(12°35'S,164°18'W); 1002:10月02日(13°02'S,165°32'W); 0917:9月17日(13°28'S,162°18'W); 1011:10月11日(14°42'S,160°07'W)

Fig. 3 The vertical profiles of east-west currents (a), south-north currents (b), horizontal currents (c) and vertical currents (d)

1024:October 24 (10°18'S,165°32'W); 1003:October 03 (11°19'S, 160°06' W); 1018: December 18 (12°35' S, 164° 18' W); 1002: October 02 (13°02'S,165°32'W); 0917:September 17 (13°28'S, 162°18'W); 1011:October 11 (14°42'S,160°07'W)

1.4 研究方法

本研究中钩钩的理论深度参考文献[12-15]的理论钩钩深度计算公式,按每枚钩钩在干线上的顺序编号,即为钩钩钩号,通过该公式计算出每枚钩钩的理论深度,具体如下:

$$D_x = h_a + h_b +$$

$$l \left[\sqrt{1 + \cot^2 \varphi_0} - \sqrt{\left(1 - \frac{2x}{n}\right)^2 + \cot^2 \varphi_0} \right] \quad (1)$$

$$L = V_2 \times n \times t \quad (2)$$

$$l = \frac{V_1 \times n \times t}{2} \quad (3)$$

$$k = \frac{L}{2l} = \frac{V_2}{V_1} = \cot \varphi_0 \ln \left[\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) \right] \quad (4)$$

式1~式4中, D_x 为理论钩钩深度(m); h_a 为支绳长(m); h_b 为浮子绳长(m); l 为干线弧长的一半(m); φ_0 为干线支承点上切线与水平面的交角(°),与 k 有关,作业中很难实测 φ_0 ,采用短缩率 k 来推出 φ_0 ; x 为2浮子之间自一侧计的钩钩编号序数,即钩号; n 为2浮子之间干线的分段数,即支绳数加1; L 为2浮子之间的海面上的距离(m); V_2 为船速(m/s); t 为投绳时前后2支绳之间相隔的时间间隔(s); V_1 为投绳机出绳速度(m/s)。

拟合钩钩深度计算模型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^[13,15]。因此,本研究对多普勒三维海流计(ADCP)测定的各站点各水层的海流数据进行预处理,得出相应的流剪切系数 τ ,具体计算公式:

$$\tau = \log \cdot$$

$$\left\{ \frac{\sum_{n=1}^N \left[\left(\frac{\mu_{n+1} - \mu_n}{z_{n+1} - z_n} \right)^2 + \left(\frac{v_{n+1} - v_n}{z_{n+1} - z_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} (z_{n+1} - z_n)}{\sum_{n=1}^N (z_{n+1} - z_n)} \right\} \quad (5)$$

式5中, μ_n 为 n 水层东西向海流的流速, v_n 为 n 水层南北向海流的流速, z_n 为 n 水层的深度。

应用DPS软件^[16],采用多元线性逐步回归的方法建立2013年9月8日—2013年12月31日测定的140枚(有流剪切系数数据)钩钩的实际平均深度(\bar{D}_x)与理论深度(D_x)的关系模型,假设钩钩所能达到的实际平均深度(拟合钩深)等于理论钩深与拟合沉降率的乘积,而拟合沉降率则主要受到流剪切力(τ)、风速(V_w)、风流合压角(γ)、钩号(x)和风弦角(Q_w)的影响^[2,7,8,14,17]。

钩钩深度计算采用的模型:

$$\bar{D}_x = D_x \cdot 10^{[-0.140 - 0.078 \lg(x) - 0.026 \lg(\sin \gamma)]} \quad (n = 104, R = 0.558) \quad (6)$$

式中, \bar{D}_x 为拟合钩钩深度。根据式6,钩具的钩钩

深度与钩号(x)及风流合压角(γ)有关。

1.5 数据处理方法

各环境因子的分段方法,钩钩投放的深度为 40.0 ~ 279.9 m,在这区间内,水温、叶绿素 a 浓度以及东西、南北、水平和垂直方向的海流数据分别为 12.0 ~ 29.9 °C, 0.040 ~ 0.519 $\mu\text{g/L}$, -0.2 ~ 0.7 m/s, -0.2 ~ 0.6 m/s, 0 ~ 0.6 m/s 和 -0.03 ~ 0.05 m/s。将水层分为 6 层,每 40 m 为一层^[3,4,14,18-19];水温分为 18 段,每 1 °C 为一段^[3,4,7,17];叶绿素 a 浓度每 0.040 $\mu\text{g/L}$ 为一段,分为 12 段,东西、南北和水平海流每 0.1 m/s 分为一段^[4],分别分为 9、8 和 6 段;垂直海流 0.01 m/s 分为一段^[4],分为 8 段。

各环境因子范围的渔获率,对于捕获的大眼金枪鱼,统计该渔场各水层、水温、叶绿素 a 浓度、东西、南北、垂直和水平方向的海流数据范围内大眼金枪鱼的渔获尾数(分别记作 N_{S1j} 、 N_{S2j} 、 N_{S3j} 、 N_{S4j} 、 N_{S5j} 、 N_{S6j} 、 N_{S7j})、钩钩数(H_{S1j} 、 H_{S2j} 、 H_{S3j} 、 H_{S4j} 、 H_{S5j} 、 H_{S6j} 、 H_{S7j})以及占该渔场随机取样总尾数(记作 N_s , $N_s = 254$)的百分比(分别记作 P_{1j} 、 P_{2j} 、 P_{3j} 、 P_{4j} 、 P_{5j} 、 P_{6j} 、 P_{7j} , 见式 7)、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} 、 P_{H6j} 、 P_{H7j} , 见式 8),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 , $N = 282$)、该天的总钩钩数(记作 H)在各水层、水温、叶绿素 a 浓度范围内的渔获尾数(分别记作 N_{1j} 、 N_{2j} 、 N_{3j} 、 N_{4j} 、 N_{5j} 、 N_{6j} 、 N_{7j} , 见式 9)、钩钩数(分别记作 H_{1j} 、 H_{2j} 、 H_{3j} 、 H_{4j} 、 H_{5j} 、 H_{6j} 、 H_{7j} , 见式 10; H_{2j} 、 H_{3j} 、 H_{4j} 、 H_{5j} 、 H_{6j} 、 H_{7j} 根据各水温、叶绿素 a 浓度、东西、南北、垂直和水平方向的海流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),再计算大眼金枪鱼各水层、水温、叶绿素 a 浓度、东西、南北、垂直和水平方向的海流数据范围的渔获率(分别记作 R_{1j} 、 R_{2j} 、 R_{3j} 、 R_{4j} 、 R_{5j} 、 R_{6j} 、 R_{7j} , 见式 11)^[2,7,8,14,17],其表达式:

$$P_{ij} = \frac{N_{Sij}}{N_s} \quad (7)$$

$$P_{Hij} = \frac{H_{Sij}}{H_s} \quad (8)$$

$$N_{ij} = P_{ij} \times N \quad (9)$$

$$H_{ij} = P_{Hij} \times H \quad (10)$$

$$R_{ij} = \frac{1\ 000N_{ij}}{H_{ij}} \quad (11)$$

式 7 ~ 式 11 中, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$; 统计各水层的数据($i = 1$)时, $j = 1, 2, 3, \dots, 6$; 统计各水温范围数据($i = 2$)时, $j = 1, 2, 3, \dots, 18$; 统计各叶绿素 a 浓度的数据($i = 3$)时, $j = 1, 2, 3, \dots, 12$; 统计各东西海流的数据($i = 4$)时, $j = 1, 2, 3, \dots, 9$; 统计各南北海流的数据($i = 5$)时, $j = 1, 2, 3, \dots, 8$; 统计各垂直海流的数据($i = 6$)时, $j = 1, 2, 3, \dots, 8$; 统计各水平海流的数据($i = 7$)时, $j = 1, 2, 3, \dots, 6$ 。

聚类分析,对于捕获的大眼金枪鱼,使用 DPS 7.05 版^[16]多元分析中谱系聚类(Hierarchical Cluster)的方法分析水层、水温、叶绿素 a 浓度、东西、南北、垂直和水平方向的海流范围与大眼金枪鱼渔获尾数、渔获率、钩钩数量的关联度^[2,7,8,14,17]。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^[16]。

2 结果

2.1 各环境因子范围内的渔获率

库克群岛海域各水层、水温、叶绿素 a 浓度、东西、南北、垂直和水平方向的海流范围内大眼金枪鱼的渔获率(尾/千钩)见图 4、5。由图 4 得,渔获率最高的水层、水温、叶绿素 a 浓度范围分别为 160.0 ~ 199.9 m、14.0 ~ 14.9 °C、0.200 ~ 0.239 $\mu\text{g/L}$ 。由图 5 得,渔获率较高的东西、南北、水平和垂直海流范围分别为 0.1 ~ 0.2 和 0.6 ~ 0.7、-0.2 ~ 0.0、0.2 ~ 0.4、-0.01 ~ 0 和 0.04 ~ 0.05 m/s。

2.2 渔获率与各环境变量的关联度

根据谱系聚类分析的结果(图 6)可得出大眼金枪鱼各类环境变量的关联度。根据表 1 得出大眼金枪鱼渔获率较高的环境变量范围、相应的渔获率,见表 2。根据表 2 得出大眼金枪鱼渔获率较高的水层、水温、叶绿素 a 浓度、东西、南北、垂直和水平方向的海流范围分别为 120.0 ~ 199.9 m、13.0 ~ 14.9 °C、0.200 ~ 0.239 $\mu\text{g/L}$ 、0.1 ~ 0.2、-0.2 ~ 0.0、0.04 ~ 0.05 和 0.1 ~ 0.4 m/s。

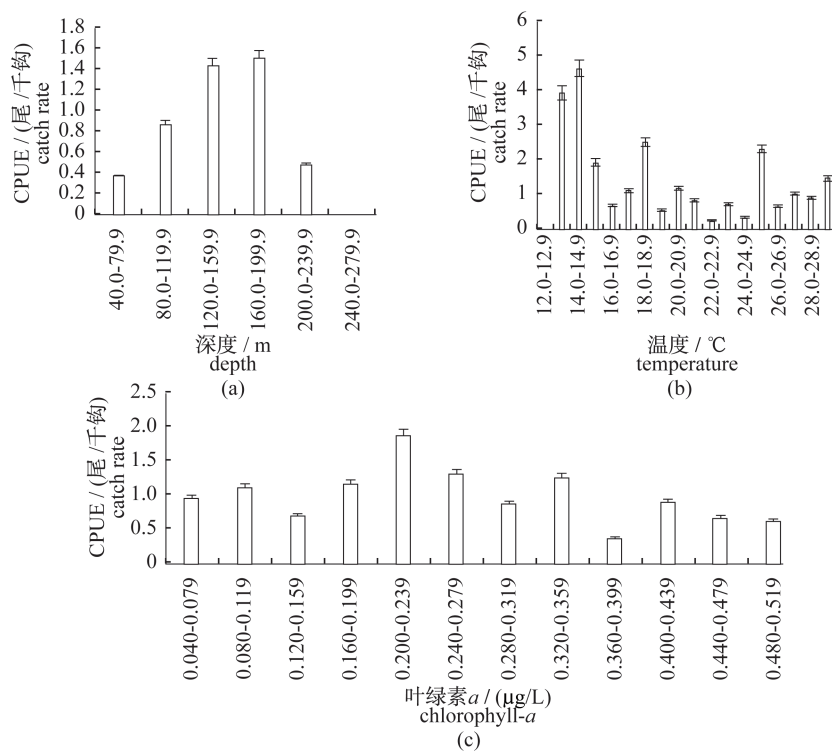


图4 各环境因子范围内的渔获率

Fig. 4 The catch rates in the ranges of environmental variables

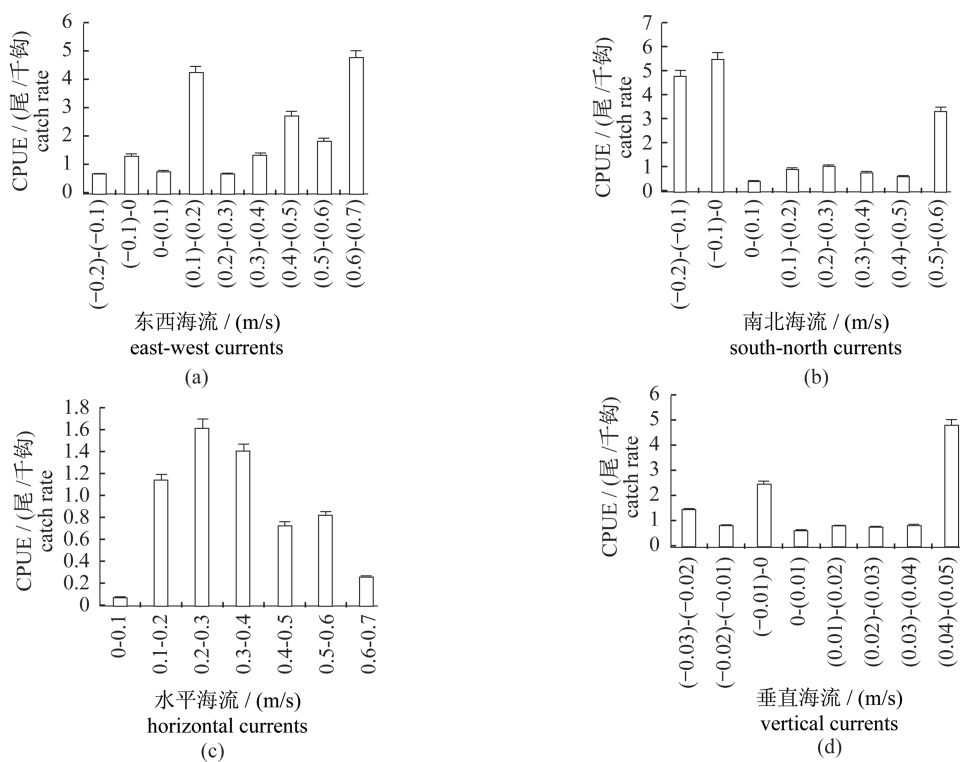


图5 东西(a)、南北(b)、水平(c)和垂直(d)海流范围内大眼金枪鱼的渔获率

Fig. 5 The catch rates in the ranges of east-west current (a), south-north current (b), horizontal (c) current and vertical current (d)

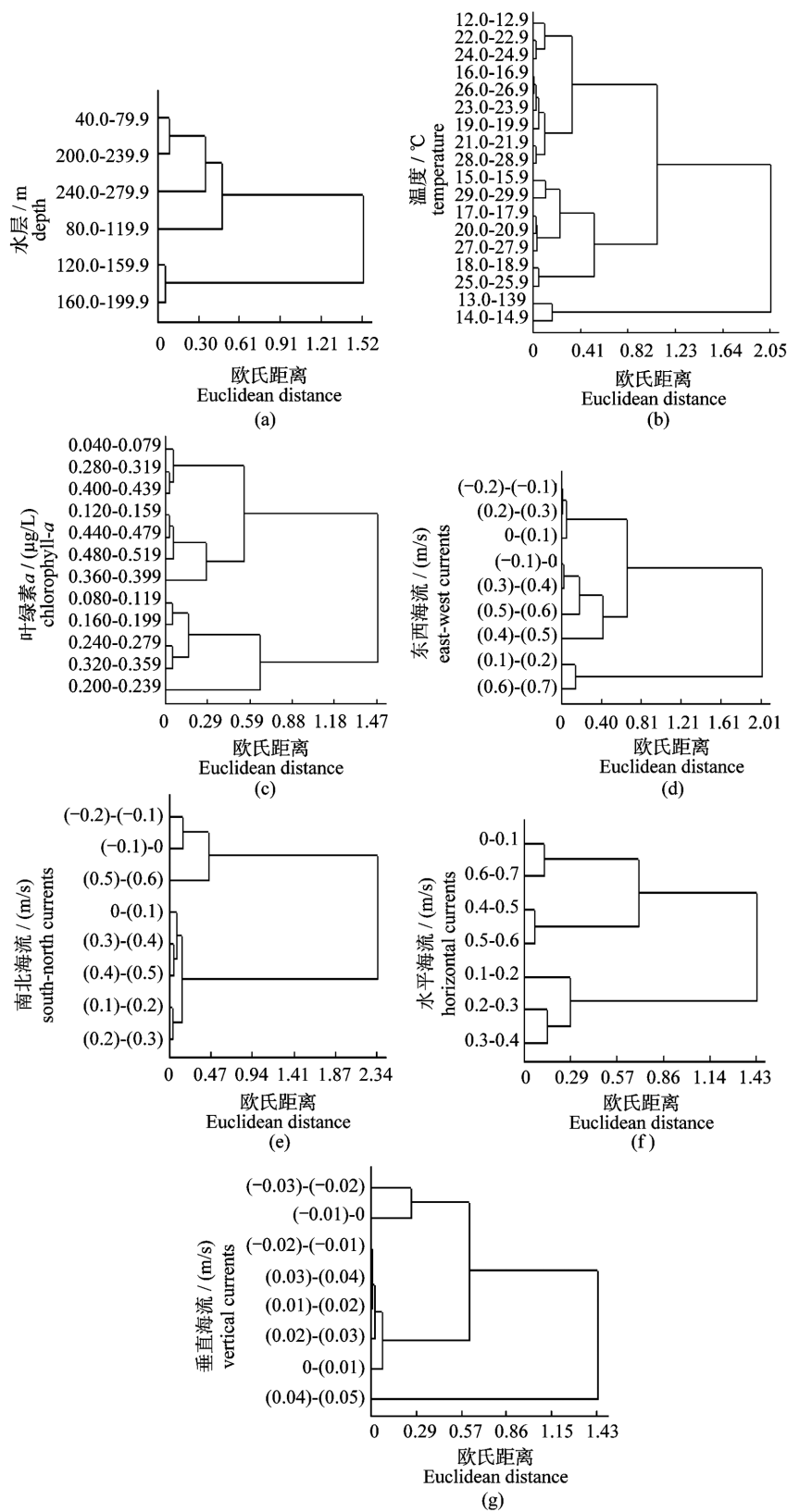


图 6 渔获率与各环境变量的关联度

(a) 水层; (b) 温度; (c) 叶绿素 *a* 浓度; (d) 东西海流; (e) 南北海流; (f) 水平海流; (g) 垂直海流

Fig. 6 The correlation between the catch rates and the environmental variables

(a) depth; (b) temperature; (c) chlorophyll-*a* concentration; (d) east-west current; (e) south-north current; (f) horizontal current; (g) vertical current

表 1 大眼金枪鱼渔获率与各变量的关联度
 Tab.1 The correlation between the catch rates of bigeye tuna and the variables

环境变量 environmental variable	分类 class	范围 range	尾数 individual	钩数/枚 number of hooks	渔获率/(尾/千钩) catch rate
水层/m depth	1	40.0 ~ 79.9 200.0 ~ 239.9	24	63 839	0.38
	2	240.0 ~ 279.9	0	418	0
	3	80.0 ~ 119.9	87	100 885	0.86
	4	120.0 ~ 199.9	171	117 358	1.46
温度/°C temperature	1	12.0 ~ 12.9	5	15 701	0.32
		22.0 ~ 22.9			
		24.0 ~ 24.9			
		16.0 ~ 16.9			
		26.0 ~ 26.9			
	2	23.0 ~ 23.9	115	151 564	0.76
		19.0 ~ 19.9			
		21.0 ~ 21.9			
	3	28.0 ~ 28.9	95	87 200	1.09
		15.0 ~ 15.9			
		29.0 ~ 29.9			
		17.0 ~ 17.9			
		20.0 ~ 20.9			
4	27.0 ~ 27.9	64	27 346	2.34	
	18.0 ~ 18.9				
	25.0 ~ 25.9				
5	13.0 ~ 14.9	3	684	4.38	
叶绿素 a/(µg/L) Chl. a	1	0.040 ~ 0.079	108	115404	0.94
		0.280 ~ 0.319			
	2	0.400 ~ 0.439	22	31254	0.70
		0.120 ~ 1.159			
	3	0.440 ~ 0.519	8	20911	0.38
	4	0.360 ~ 0.399	44	38219	1.15
5	0.080 ~ 0.119	74	57120	1.30	
6	0.160 ~ 0.199	28	14870	1.88	
东西海流/(m/s) east-west current	1	-0.2 ~ -0.1	141	236 044	0.59
		0.2 ~ 0.3			
	2	0 ~ 0.1	95	71 549	1.33
		-0.1 ~ 0			
	3	0.3 ~ 0.4	20	10 821	1.85
	4	0.5 ~ 0.6	17	6 187	2.75
5	0.4 ~ 0.5	7	1 648	4.25	
6	0.1 ~ 0.2	2	417	4.79 *	
南北海流/(m/s) south-north current	1	-0.2 ~ 0	50	9 206	5.43
	2	0.5 ~ 0.6	2	598	3.34
	3	0 ~ 0.5	230	272 668	0.84
水平海流/(m/s) horizontal current	1	0 ~ 0.1	7	56 313	0.12
		0.6 ~ 0.7			
	2	0.4 ~ 0.6	50	65 554	0.76
3	0.1 ~ 0.4	225	144 678	1.36	
垂直海流/(m/s) vertical current	1	-0.03 ~ -0.02	98	40 603	2.41
		-0.01 ~ 0			
	2	-0.02 ~ -0.01	182	241 766	0.75
3	0 ~ 0.04	2	417	4.79	
		0.04 ~ 0.05			

注: * 因只有 2 尾鱼, 认为可信度较低。

Notes: The confidence was low because there were two individuals

表 2 大眼金枪鱼渔获率高的环境变量范围和相应的渔获率
 Tab.2 Environmental variable ranges with high catch rates of bigeye tuna and the corresponding catch rates

环境变量 environmental variable	环境变量范围 environmental variable range	渔获率/(尾/千钩) catch rate
水层/m depth	120.0 ~ 199.9	1.46
温度/°C temperature	13.0 ~ 14.9	4.38
叶绿素 <i>a</i> 浓度/($\mu\text{g/L}$) Chl. <i>a</i>	0.200 ~ 0.239	1.88
东西海流/(m/s) east-west current	0.1 ~ 0.2	4.25
南北海流/(m/s) south-north current	-0.2 ~ 0	5.43
水平海流/(m/s) horizontal current	0.1 ~ 0.4	1.36
垂直海流/(m/s) vertical current	0.04 ~ 0.05	4.79

3 讨论

3.1 大眼金枪鱼高渔获率的深度范围

在库克群岛附近海域,大眼金枪鱼渔获率较高的水层为 120.0 ~ 199.9 m(表 3)。对于高渔获率的深度范围,尽管研究的海区、数据来源不同,本研究结果总体上与 Hanamoto^[20]、宋利明等^[3-4]得出的结果基本一致,但与 Schaefer 等^[5](200 ~ 300 m)、Holland 等^[21-22](200.0 ~ 240.0)、Boggs^[23](200.0 ~ 400.0)、Musyl 等^[6](300.0 ~ 500.0)的研究结果不同,这可能是 Schaefer 等^[5]在实验时标志放流回捕的大眼金枪鱼尾数较少(29 尾),样本量小^[5];白天夏威夷水域(≥ 400 m)和法属玻里尼西亚水域(≥ 500 m,有时为 300 m 左右)声波散射层(SSL)较深或接近成熟的鱼不能够象成熟的鱼那样潜到深处^[24-27]。Musyl 等^[6]发现鱼体尺寸与其白天的栖息水深有很强的相关性,但夜间的栖息水深与鱼体尺寸关系不明显。

3.2 温度对大眼金枪鱼渔获率的影响

大眼金枪鱼对于水温的变化反应最敏感,水温及其体温的变化决定其活动水层^[28-29],一般情况下,应将水温作为主要因子^[2,7-8]。库克群岛海

域大眼金枪鱼渔获率较高的温度为 13.0 ~ 14.9 °C。这与 Hanamoto^[20]、Schaefer 等^[5]、Bach 等^[24]和宋利明等^[4]得出的研究结果较为一致。但与宋利明等^[3]在帕劳群岛海域对成熟个体调查得到的 11.0 ~ 12.9 °C 略有差异。郑晓春^[25]通过研究得出东太平洋大眼金枪鱼的栖息温度范围为 15.5 ~ 18.7 °C,与本研究结果相差较大。Holland 等^[21-22]以及 Musyl 等^[6]得出的结果表明,一般情况下,成熟的大眼金枪鱼偏好的水温基本相同(10.0 ~ 14.0 °C),接近成熟的鱼偏好的水温较高(14.0 ~ 17.0 °C)。本次调查中,大眼金枪鱼主要为接近成熟的鱼,本研究结果与其他学者得出的接近成熟的大眼金枪鱼的偏好温度基本接近。

3.3 叶绿素 *a* 浓度对大眼金枪鱼渔获率的影响

库克群岛海域大眼金枪鱼渔获率较高的叶绿素 *a* 浓度为 0.200 ~ 0.239 $\mu\text{g/L}$ (表 3)。叶绿素 *a* 浓度对大眼金枪鱼分布的影响主要表现为对饵料生物分布的影响^[4]。本研究与宋利明等^[4]得出的吉尔伯特海域大眼金枪鱼偏好的叶绿素 *a* 浓度较为接近,这可能是由于研究海域均在南太平洋造成的。叶绿素 *a* 浓度对大眼金枪鱼分布是否有影响,还需要进一步研究^[4,7-8]。

3.4 海流对大眼金枪鱼渔获率的影响

有关海流对大眼金枪鱼分布影响的研究很少,三维海流会影响鱼类的正常游泳^[30],使得浮游生物分布发生变化^[31],进而改变大眼金枪鱼饵料的栖息水层^[32],影响其摄食^[33]。本研究中大眼金枪鱼渔获率较高的东西海流、南北海流、水平海流和垂直海流分别为 0.1 ~ 0.2、-0.2 ~ 0、0.1 ~ 0.4、0.04 ~ 0.05 m/s。本研究得出的大眼金枪鱼高渔获率的水平海流和垂直海流与宋利明等^[4]得出的吉尔伯特海域大眼金枪鱼偏好的水平海流和垂直海流比较接近。本研究认为,大眼金枪鱼渔获率较高的海流均较低,这有利于大眼金枪鱼捕食,可减少大眼金枪鱼在捕食游泳中顶流产生的阻力。

3.5 展望

图 4、图 5 得出的渔获率最高的水层、水温、东西方向海流、水平方向海流和垂直方向海流范围与图 6 得出的结果存在一些差异,这主要是由于取样的偏差造成的^[17]。本次调查取样尾数较少,仅考虑了深度、温度、叶绿素 *a* 浓度和三维海

流与大眼金枪鱼渔获率的关系,而其他海洋环境因素和生态要素,如盐度、溶解氧、温跃层深度、浮游生物和食物网等对鱼类分布和活动的影响也很重要,这些因素都可能影响结果的准确性,今后应进一步研究^[4]。

本研究得到了库克群岛共和国政府的许可,并得到深圳市华南渔业有限公司董事长黄富雄、总经理吕志良、经理李攀和“华南渔 719”号船长及全体船员等的大力支持,谨致谢意。

参考文献:

- [1] Martiwi D S, Abu B S, Fusanori M, *et al.* Characterization of bigeye tuna habitat in the Southern Waters off Java-Bali using remote sensing data [J]. *Advances in Space Research*, 2015, 55(2): 732 - 764.
- [2] 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.]
- [3] Song L M, Li Y W, Gao P F. Environmental preferences of *Thunnus obesus* near Palau: applications to longline fishery [J]. *Oceanologia et Limnologia sinica*, 2009(6): 768 - 776. [宋利明,李玉伟,高攀峰. 帕劳群岛附近海域延绳钓渔场大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 的环境偏好. *海洋与湖沼*, 2009(6): 768 - 776.]
- [4] Song L M, Lv K K, Hu Z X, *et al.* Environmental preferences of *Thunnus obesus* near Gilbert Islands: an application to longline fishery [J]. *Marine Fisheries*, 2010, 32(4): 374 - 382. [宋利明,吕凯凯,胡振新,等. 吉尔伯特群岛海域延绳钓渔场大眼金枪鱼的环境偏好. *海洋渔业*, 2010, 32(4): 374 - 382.]
- [5] 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]. *Fishery Bulletin*, 2002, 100(4): 765 - 788.
- [6] 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]. *Fisheries Oceanography*, 2003, 12(3): 152 - 169.
- [7] 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.
- [8] Song L M. A study on the integrated habitat index of bigeye tuna based on the longline fishery survey data of China in the west central Indian Ocean [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014. [宋利明. 大眼金枪鱼栖息环境综合指数研究——基于印度洋中西部中国延绳钓渔业调查数据. 北京: 中国农业出版社, 2014.]
- [9] Yang S L, Zhang Y, Fan W, *et al.* Relationship between the temporal - spatial distribution of fish in bigeye tuna fishing grounds and the thermocline characteristics in the tropical Indian Ocean [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(4): 679 - 689. [杨胜龙,张禹,樊伟,等. 热带印度洋大眼金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系. *中国水产科学*, 2012, 19(4): 679 - 689.]
- [10] Yang S L, Jin S F, Hua C J, *et al.* Spatial - temporal distribution of bigeye tuna *Thunnus obesus* in the tropical Atlantic Ocean based on Argo data [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(2): 601 - 608. [杨胜龙,靳少非,化成君,等. 基于 Argo 数据的热带大西洋大眼金枪鱼时空分布. *应用生态学报*, 2015, 26(2): 601 - 608.]
- [11] Lehodey P, Senina I, Sibert J, *et al.* Preliminary forecasts of Pacific bigeye tuna population trends under the A2 IPCC scenario [J]. *Progress in Oceanography*, 2010, 86(1 - 2): 302 - 315.
- [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] Bigelow K A, Musyl M K, Poisson F, *et al.* Pelagic longline gear depth and shoaling [J]. *Fisheries Research*, 2006, 77(2): 173 - 183.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.]
- [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 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.
- [19] Li Y W, Song L M, Nishida T, *et al.* Development of integrated habitat indices for bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in waters near Palau [J]. Marine and Freshwater Research, 2012, 63 (12): 1244 - 1254.
- [20] Hanamoto E. Effect of oceanographic environment on bigeye tuna distribution [J]. Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography, 1987, 51 (3): 203 - 216.
- [21] Holland K, Brill R, Chang R K C. Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices [J]. Fishery Bulletin, 1990, 88 (3): 493 - 507.
- [22] Holland K, Brill R, Chang R K C *et al.* Physiological and behavioral thermoregulation in bigeye tuna (*Thunnus obesus*) [J]. Nature, 1992, 358 (5): 410 - 412.
- [23] 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 (4): 642 - 658.
- [24] Bach P, Dagorn L, Bertrand A, *et al.* Acoustic telemetry versus monitored longline fishing for studying the vertical distribution of pelagic fish: bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in French Polynesia [J]. Fisheries Research, 2003, 60 (2 - 3): 281 - 292.
- [25] Zhen X C. A study on prey ecology and inhabiting environment of bigeye tuna [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014. [郑晓春. 东太平洋大眼金枪鱼摄食生态及其栖息环境研究. 上海: 上海海洋大学, 2014.]
- [26] Josse E, Bach P, Dagorn L. Simultaneous observations of tuna movements and their prey by sonic tracking and acoustic surveys [J]. Hydrobiologia, 1998: 61 - 69.
- [27] Fiedler P C, Barlow J, Gerrodette T. Dolphin prey abundance determined from acoustic backscatter data in eastern Pacific surveys [J]. Fishery Bulletin, 1998, 96 (2): 237 - 247.
- [28] Shen H X, Li S X, Tang X M, *et al.* Distance water fisheries [M]. Beijing: Ocean Press, 1987: 322 - 352. [沈汉祥, 李善勋, 唐小曼, 等. 远洋渔业. 北京: 海洋出版社, 1987: 322 - 352.]
- [29] Brill R W. A review of temperature and oxygen tolerance studies of tunas pertinent to fisheries oceanography, movement models and stock assessments [J]. Fisheries Oceanography, 1994, 3 (3): 204 - 216.
- [30] Chen X J. Fisheries resources and fishing ground [M]. Beijing: Ocean Press, 2004: 149 - 160. [陈新军. 渔业资源与渔场学. 北京: 海洋出版社, 2004: 149 - 160.]
- [31] McGowan J, Chelton D, Conversi A. Plankton patterns, climate and change in the California Current [R]. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report, 1996: 45 - 68.
- [32] Polovina J. Decadal variation in the trans-Pacific migration of northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) coherent with climate-induced change in prey abundance [J]. Fisheries Oceanography, 1996, 5 (2): 114 - 119.
- [33] Roger C. Relationships among yellowfin and skipjack tuna, their prey-fish and plankton in the tropical western Indian Ocean [J]. Fisheries Oceanography, 1994, 3 (2): 133 - 141.

Effects of environmental variables on catch rates of *Thunnus obesus* in waters near Cook Islands

SONG Liming^{1,2,3,4*}, ZHAO Hailong¹, XIE Kai¹, LI Dongjing¹

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

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

Abstract: For a better understanding the effects of environmental variables on catch rates of bigeye tuna (*Thunnus obesus*), the catch rates of bigeye tuna and environmental variables were collected in longlining surveys in waters near Cook Islands from Sept. 8, 2013 to Dec. 31, 2013. Data included: hook depth data, temperature and chlorophyll-a concentration, three-dimensional sea current vertical profile data, operating parameters and catch data. Stepwise regression was used to develop the hook depth calculation model. Statistics and clustering analysis were used to analyze the effects of environmental variables on bigeye tuna catch rate. Results showed that the depth, temperature, chlorophyll-a concentration, east – west current, south – north current, horizontal current and vertical current range with the high catch rate for bigeye tuna were 120.0 ~ 199.9 m, 13.0 ~ 14.9 °C, 0.200 ~ 0.239 µg/L, 0.1 ~ 0.2 m/s, -0.2 ~ 0 m/s, 0.1 ~ 0.4 m/s, and 0.04 ~ 0.05 m/s, respectively. Results suggested that more hooks should be deployed in the environmental variables' range with the high bigeye tuna catch rate when fishing in the waters near Cook Islands and targeting bigeye tuna.

Key words: *Thunnus obesus*; catch rate; environmental variables; Cook Islands

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