

库克群岛海域海洋环境因子对黄鳍金枪鱼渔获率的影响

宋利明^{1,2,3,4}, 沈智宾¹, 周建坤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 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: 为了提高延绳钓渔业中黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*) 的渔获率并减少其他非目标种类的兼捕率, 根据 2013 年 9 月 8 日至 12 月 31 日在库克群岛海域 (9°S ~ 19°S, 157°W ~ 168°W) 延绳钓渔业调查数据, 包括钓钩深度、温度、叶绿素 a 浓度、三维海流、作业参数、渔获统计等数据, 利用 DPS 软件采用多元线性逐步回归的方法建立钓钩拟合深度计算模型, 采用统计和谱系聚类的方法分析黄鳍金枪鱼渔获率与海洋环境因子的关系。结果表明: 库克群岛海域黄鳍金枪鱼渔获率较高的水层、温度、叶绿素 a 浓度以及东西方向、南北方向、垂直方向、水平方向的海流流速分别为 120 ~ 160 m、21 ~ 22 °C、0.32 ~ 0.36 μg/L 和 0.40 ~ 0.44 μg/L、-0.20 ~ -0.10 m/s 和 0 ~ 0.20 m/s、-0.10 ~ 0.20 m/s、-0.10 ~ 0.06 m/s 和 0.02 ~ 0.06 m/s、0.20 ~ 0.30 m/s。建议在该海域作业并以黄鳍金枪鱼为目标鱼种时, 在渔获率较高的水层、温度、叶绿素 a 浓度和海流范围内可增加钓钩投放数量。

关键词: 黄鳍金枪鱼; 环境因子; 渔获率; 延绳钓; 库克群岛

中图分类号: S 931 **文献标志码:** A

黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*) 作为大洋性高度洄游种类, 广泛分布在太平洋、大西洋和印度洋的热带和亚热带海域^[1], 是世界三大洋区金枪鱼属中主要的渔获种类^[2]。黄鳍金枪鱼是延绳钓渔业的主要捕捞对象, 也是重要的生鱼片原料。近年来, 我国在中西太平洋作业的延绳钓渔船日益增多, 而此区域还未对黄鳍金枪鱼实行配额制管理。根据中西太平洋渔业委员会 (WCPFC) 统计, 2001 ~ 2013 年, 中西太平洋海域黄鳍金枪鱼平均年产量达到 80.4 万吨, 其中延绳钓产量为 8.2 万吨, 占总产量的 10.1%^[3]。国内外学者对黄鳍金枪鱼的基础生物学特性^[4]、资源状况^[5-6]、行为、栖息地利用^[7]、分布与海洋环境的关系^[8] 等进行了大量的调查和研究。许多学者对大西洋、印度洋黄鳍金枪鱼的渔获率、时空分布与环境因子的关系进行了研究^[9-11], 陈峰等对南太平洋所罗门群岛海域黄鳍金枪鱼的生物学特性进行了研究^[12], 而对于库克群岛海域黄

鳍金枪鱼渔获率与环境因子的关系了解甚少。本文根据南太平洋库克群岛海域调查所收集的黄鳍金枪鱼渔获数据、海洋环境等数据资料, 分析了库克群岛海域海洋环境因子对黄鳍金枪鱼渔获率的影响, 以期提高黄鳍金枪鱼的渔获率, 为我国在南太平洋作业的延绳钓渔船进一步开发黄鳍金枪鱼资源、减少其他兼捕物种提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查船、调查时间及调查海域

执行本次海上调查任务的渔船为低温金枪鱼延绳钓渔船“华南渔 719”, 船舶主要参数如下: 船长 36.6 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。调查时间为 2013 年 9 月 8 日至 12 月 31 日。调查海域为库克群岛专属经济区渔场, 范围为 9°00'S ~ 19°00'S, 157°W ~ 168°W, 共 56 个站位 (图 1)。

收稿日期: 2015-09-12 修回日期: 2016-02-24

基金项目: 国家高新技术研究发展计划项目 (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)

作者简介: 宋利明 (1968—), 男, 博士, 教授, 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

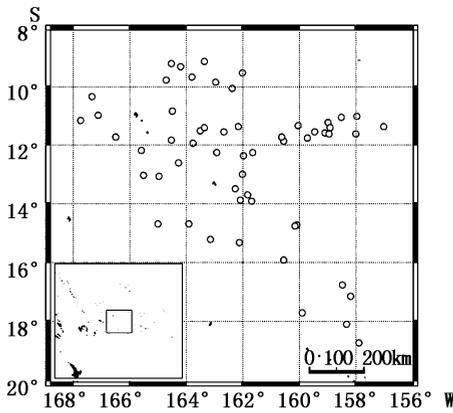


图1 调查区域及站点 (○: 调查站点)

Fig.1 The survey area and sites (○: the survey sites)

1.2 调查渔具与渔法

本次调查的钓具结构: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;干线直径为 4.0 mm;支绳第一段为直径 3.5 mm 的硬质聚丙烯,长约 1.0 m,第二段为 130#(直径为 1.8 mm)的尼龙单丝,长 20.0 m,第一段与第二段用 H 型转环连接,钓钩为圆型钓钩(型号为 14/0),支绳总长 21 m。

调查期间,一般在早晨 05:30~09:30 投绳,持续时间约为 4 h;下午 15:30 至次日凌晨 3:00 起绳,持续时间约为 11.5 h;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 调查方法、内容及仪器

调查期间对设定的调查站点进行测定,利用全球卫星定位仪(GPS)记录每天投绳和起绳的位置、时间、航速及航向等作业参数;记录每天的投钩数、两钓钩间的时间间隔、两浮子间的钓钩数、黄鳍金枪鱼渔获尾数(共捕获 1 057 尾);抽样测定了部分渔获的捕获钩号(共 141 尾,取样覆盖率为 13.3%)。

调查期间使用微型温度深度计(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(ADCP2000, NOTREK Co, Norway)测定各个调查站点 0~400 m 水深的温度、叶绿素 a 浓

度、东西方向、南北方向、垂直方向和水平方向(由东西方向和南北方向的海流合成)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。

1.4 研究方法

1.4.1 钓钩理论深度的计算方法

钓钩的实际深度为微型温度深度计记录的钓钩深度,计算其算术平均值,即为钓钩的实际深度。钓钩的理论深度计算方法采用日本学者吉原有吉所采用的钓钩理论深度计算公式^[13-15],将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:

$$D_{\tau} = h_a + h_b + l \left[\sqrt{1 + \cot^2 \varphi_0} - \sqrt{\left(1 - \frac{2\tau}{n}\right)^2 + \cot^2 \varphi_0} \right] \quad (1)$$

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

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

$$k = \frac{L}{2l} = \frac{V_2}{V_1} = \cot \varphi_0 \operatorname{sh}^{-1}(\tan \varphi_0) \quad (4)$$

式中: D_{τ} 为钓钩理论深度; 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($^{\circ}$),与 k 有关,作业中很难实测 φ_0 ,采用短缩率 k 来推出 φ_0 ; τ 为两浮子之间自一侧计的钓钩编号序数,即钩号; n 为两浮子之间干线的分段数,即支绳数加 1; L 为两浮子之间的海面上的距离(m); V_1 为投绳机出绳速度(m/s); V_2 为船速(m/s); t 为投绳时前后两支绳之间相隔的时间间隔(s)。

1.4.2 基于流剪切系数的拟合钓钩深度计算模型

研究资料显示,影响钓钩深度的因素并不是海流的绝对速度,而是不同水层海流间的剪切作用^[14-15],本文对仪器测到的不同水层海流的原始数据进行处理,得出不同站点每天的海流剪切系数。具体公式为:

$$\psi = \log \left\{ \frac{\sum_{\omega=1}^N \left[\left(\frac{u_{\omega+1} - u_{\omega}}{z_{\omega+1} - z_{\omega}} \right)^2 + \left(\frac{v_{\omega+1} - v_{\omega}}{z_{\omega+1} - z_{\omega}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} (z_{\omega+1} - z_{\omega})}{\sum_{\omega=1}^n (z_{\omega+1} - z_{\omega})} \right\} \quad (5)$$

式中: ψ 为流剪切系数; v_{ω} 为第 ω 个深度处的海流的南北方向分量; u_{ω} 为第 ω 个深度处的海流的

东西方向分量; z_{ω} 为第 ω 个深度处的深处。

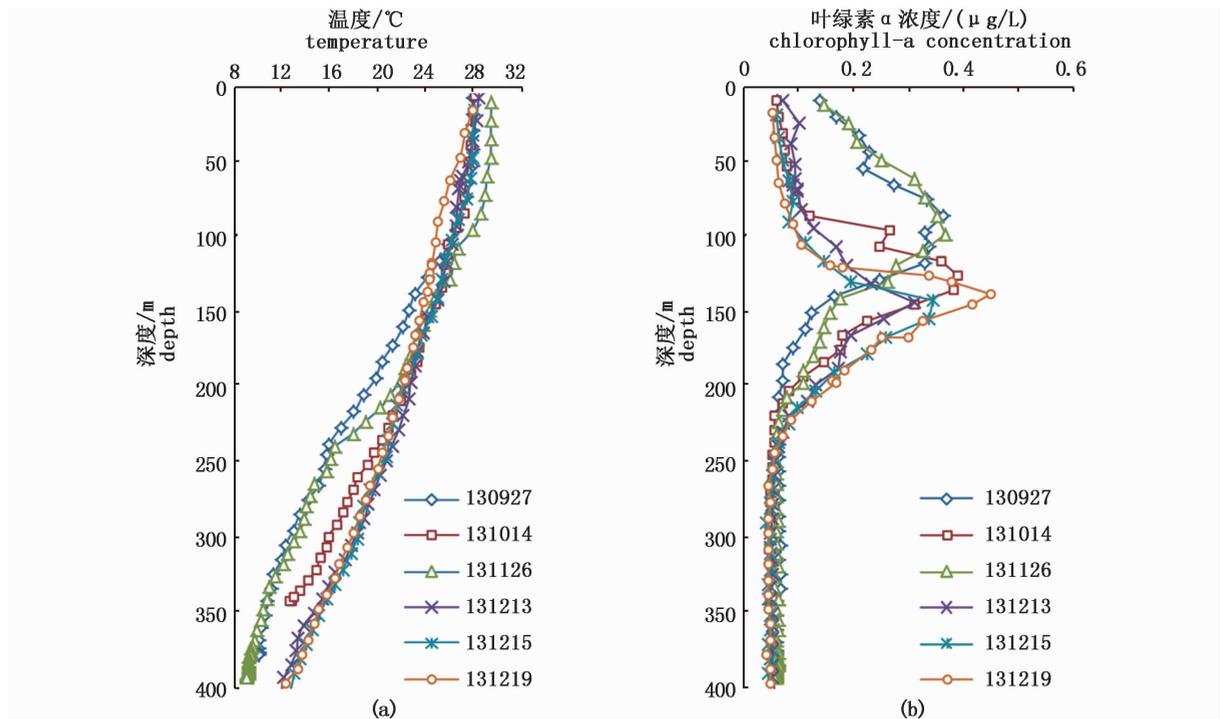


图2 温度(a)、叶绿素 a 浓度(b)垂直剖面图

Fig. 2 The vertical profiles of temperature (a), chlorophyll-a concentration (b)

130927:2013年9月27日(11°33'S,159°08'W);131014:2013年10月14日(13°44'S,161°50'W);131126:2013年11月26日(9°31'S,162°02'W);131213:2013年12月13日(15°53'S,160°34'W);131215:2013年12月15日(17°40'S,159°55'W);131219:2013年12月19日(18°40'S,157°56'W)。

130927: September 27, 2013 (11°33'S, 159°08'W); 131014: October 14, 2013 (13°44'S, 161°50'W); 131126: November 26, 2013 (9°31'S, 162°02'W); 131213: December 13, 2013 (15°53'S, 160°34'W); 131215: December 15, 2013 (17°40'S, 159°55'W); 131219: December 19, 2013 (18°40'S, 157°56'W)。

应用 DPS 软件,采用多元线性逐步回归的方法建立 2013 年 9 月 8 日至 12 月 31 日测定钓钩的实际平均深度(\bar{D})与理论深度(D_r)的关系模型。钓钩所能达到的实际平均深度(拟合钓钩深度)等于钓钩理论深度与拟合沉降率的乘积,而拟合沉降率则主要受到流剪切力、风速(V_w)、风流合压角(γ)、钩号(τ)和风弦角(Q_w)的影响^[14,16-17]。

本次调查钓具的拟合钓钩深度计算模型为:

$$\bar{D} = D_r \cdot 10^{[-0.140 + 0.078 \lg \tau - 0.026 \lg(\sin \gamma)]} \quad (6)$$

式中: \bar{D} 为拟合钓钩深度; D_r 为理论钓钩深度; τ 为钩号; γ 为风流合压角。

1.5 数据处理方法

1.5.1 各环境因子的分段方法

水层从 40 ~ 280 m 每 40 m 为一层,分为 6 层;水温从 17 ~ 29 °C,每 1 °C 为一段,分为 12 段;

叶绿素 a 浓度从 0 ~ 0.60 μg/L,每 0.04 μg/L 为一段,分为 15 段;南北海流、东西海流以 0.1 m/s 为一段,分为 8 段;垂直海流以 0.04 m/s 为一段,分为 5 段;水平海流以 0.1 m/s 为一段,分为 4 段。

1.5.2 各环境因子范围的渔获率

统计该渔场各水层、水温、叶绿素 a 浓度、南北海流、东西海流、垂直海流、水平海流范围内黄鳍金枪鱼的渔获尾数(分别记作 N_{S1j} 、 N_{S2j} 、 N_{S3j} 、 N_{S4j} 、 N_{S5j} 、 N_{S6j} 、 N_{S7j})、钓钩数(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)的百分比(分别记作 P_{1j} 、 P_{2j} 、 P_{3j} 、 P_{4j} 、 P_{5j} 、 P_{6j} 、 P_{7j} ,公式 7)、占该渔场该天随机取样钓钩数(记作 H_s)的百分比(P_{H1j} 、 P_{H2j} 、 P_{H3j} 、 P_{H4j} 、 P_{H5j} 、 P_{H6j} 、 P_{H7j} ,公式 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)、该天的总钓钩数

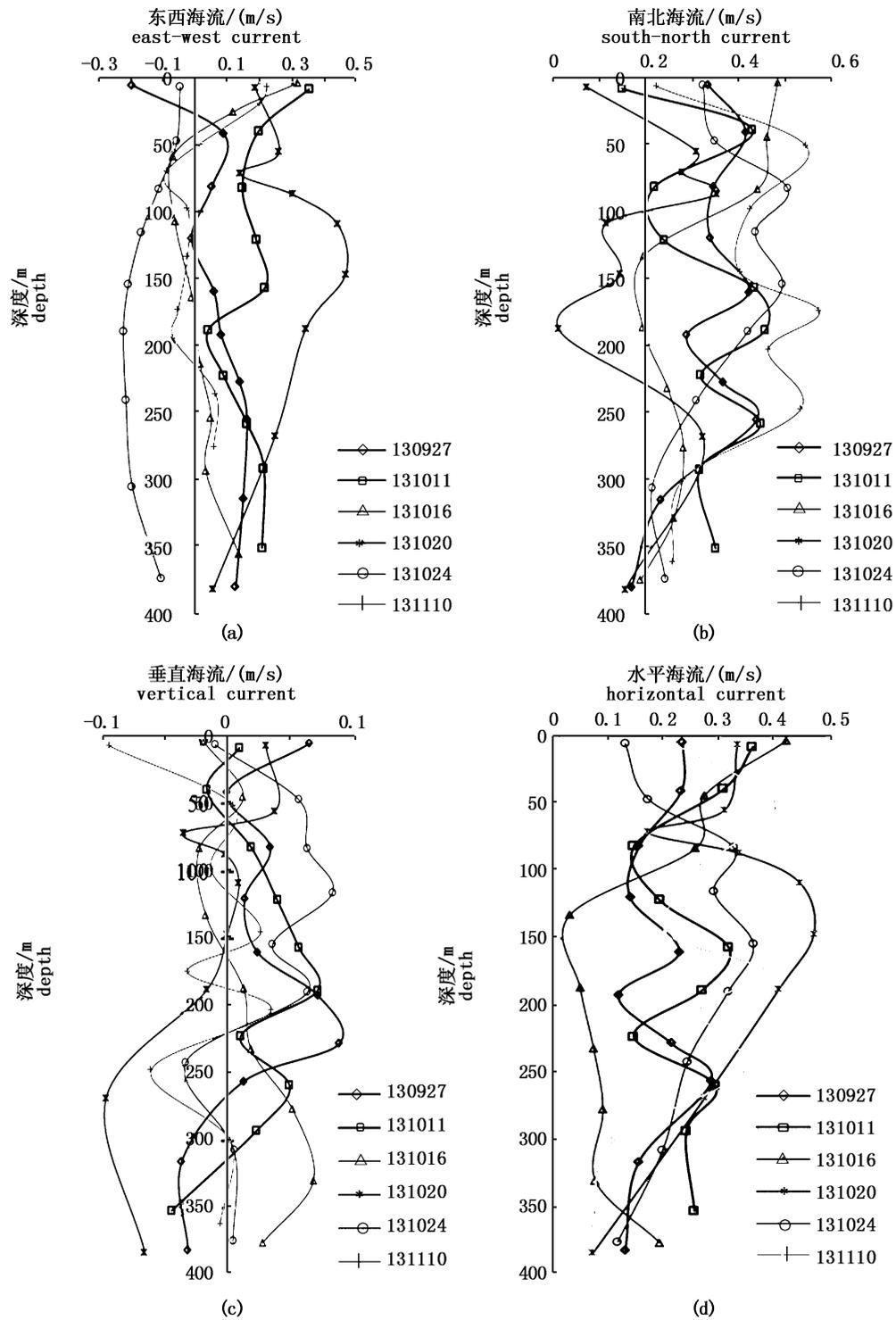


图3 海流垂直剖面图

Fig.3 The vertical profiles of current

130927:2013年9月27日(11°33'S,159°08'W);131011:2013年10月11日(14°42'S,160°07'W);131016:2013年10月16日(12°15'S,162°57'W);131020:2013年10月20日(13°02'S,165°32'W);131024:2013年10月24日(10°18'S,167°21'W);131110:2013年11月10日(11°29'S,163°32'W)。

130927: September 27, 2013(11°33'S,159°08'W); 131011: October 11, 2013 (14°42'S,160°07'W); 131016: October 16, 2013 (12°15'S,162°57'W);131020: October 20, 2013 (13°02'S,165°32'W); 131024: October 24, 2013 (10°18'S,167°21'W); 131110: November 10, 2013 (11°29'S,163°32'W)。

(记作 H) 在各水层、水温、叶绿素 a 浓度范围的渔获尾数(分别记作 N_{1j} 、 N_{2j} 、 N_{3j} 、 N_{4j} 、 N_{5j} 、 N_{6j} 、 N_{7j} , 公式 9)、钩钩数(分别记作 H_{1j} 、 H_{2j} 、 H_{3j} 、 H_{4j} 、 H_{5j} 、 H_{6j} 、 H_{7j} , 公式 10; H_{2j} 、 H_{3j} 、 H_{4j} 、 H_{5j} 、 H_{6j} 、 H_{7j} 根据各水温、叶绿素 a 浓度、南北海流、东西海流、垂直海流、水平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), 再计算黄鳍金枪鱼各水层、水温、叶绿素 a 浓度、南北海流、东西海流、垂直海流、水平海流范围的渔获率(分别记作 R_{1j} 、 R_{2j} 、 R_{3j} 、 R_{4j} 、 R_{5j} 、 R_{6j} 、 R_{7j} , 尾/千钩, 公式 11)^[13,16-17], 其表达式分别为:

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

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

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

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

$$R_{ij} = \frac{1000N_{ij}}{H_{ij}} \quad (11)$$

式中: $i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$; 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, $j=1, 2, 3, \dots, 12$; 统计各叶绿素 a 浓度的数据($i=3$)时, $j=1, 2, 3, \dots, 15$; 统计各南北海流的数据($i=4$)时, $j=1, 2, 3, \dots, 8$; 统计各东西海流的数据($i=5$)时, $j=1, 2, 3, \dots, 8$; 统计各垂直海流的数据($i=6$)时, $j=1, 2, 3, \dots, 5$; 统计各水平海流的数据($i=7$)时, $j=1, 2, 3, 4$ 。

使用 DPS 7.05 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、东西方向海流、南北方向海流、垂直方向海流和水平方向海流与黄鳍金枪鱼渔获率(R)的关联度^[13,16-17]。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^[18]。

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、东西海流、南北海流、垂直海流、水平海流范围的

黄鳍金枪鱼渔获率(R , 尾/千钩)分别见图 4。渔获率最高的水层、水温段、叶绿素 a 浓度范围分别为 120~160 m(4.94 尾/千钩)、21~22 °C(6.39 尾/千钩)和 0.32~0.36 $\mu\text{g/L}$ (7.33 尾/千钩)。渔获率最高的东西、南北、垂直、水平海流段分别为 0.10~0.20 m/s(4.70 尾/千钩)、0.00~0.10 m/s(4.54 尾/千钩)、-0.10~-0.06 m/s(5.00 尾/千钩)和 0.20~0.30 m/s(4.44 尾/千钩)。

2.2 渔获率与各环境变量的关联度

谱系聚类分析的结果可得出各环境变量中黄鳍金枪鱼渔获率与每一取值范围的关联度(图 5)及其对应的渔获率。根据表 1 得出黄鳍金枪鱼渔获率较高的水层、水温、叶绿素 a 浓度、东西方向海流、南北方向海流、垂直方向海流、水平方向海流范围分别为 120~160 m、21~22 °C、0.32~0.36 $\mu\text{g/L}$ 和 0.40~0.44 $\mu\text{g/L}$ 、-0.20~-0.10 m/s 和 0.00~0.20 m/s、-0.10~0.20 m/s、-0.10~-0.06 m/s 和 0.02~0.06 m/s、0.20~0.30 m/s(表 2)。

3 讨论

3.1 黄鳍金枪鱼渔获率与深度的关系

库克群岛海域黄鳍金枪鱼渔获率较高的水层为 120~160 m, 此深度范围正处于温跃层内(图 2), 表明黄鳍金枪鱼在温跃层内出现的频率较大。宋利明等^[10]通过研究印度洋公海温跃层与黄鳍金枪鱼渔获率的关系发现温跃层以内黄鳍金枪鱼渔获率明显比温跃层以下的高, 这与本研究的结果一致。SONG 等^[19]研究表明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, 黄鳍金枪鱼渔获率较高的水层为 120.0~139.9 m; MOHRI 和 NISHIDA^[20]根据日本延绳钓的海上观测数据研究表明黄鳍金枪鱼偏好的水层为 80~200 m; SCHAEFER 等^[7]通过研究档案标志数据得出在东太平洋当黄鳍金枪鱼呈现第二类(Type-2, 24 小时内白天有 10 次以上垂直洄游至 150 m 以深)垂直洄游时, 白天偏好的深度为 150~250 m; 以上研究结果与本研究结果基本一致。

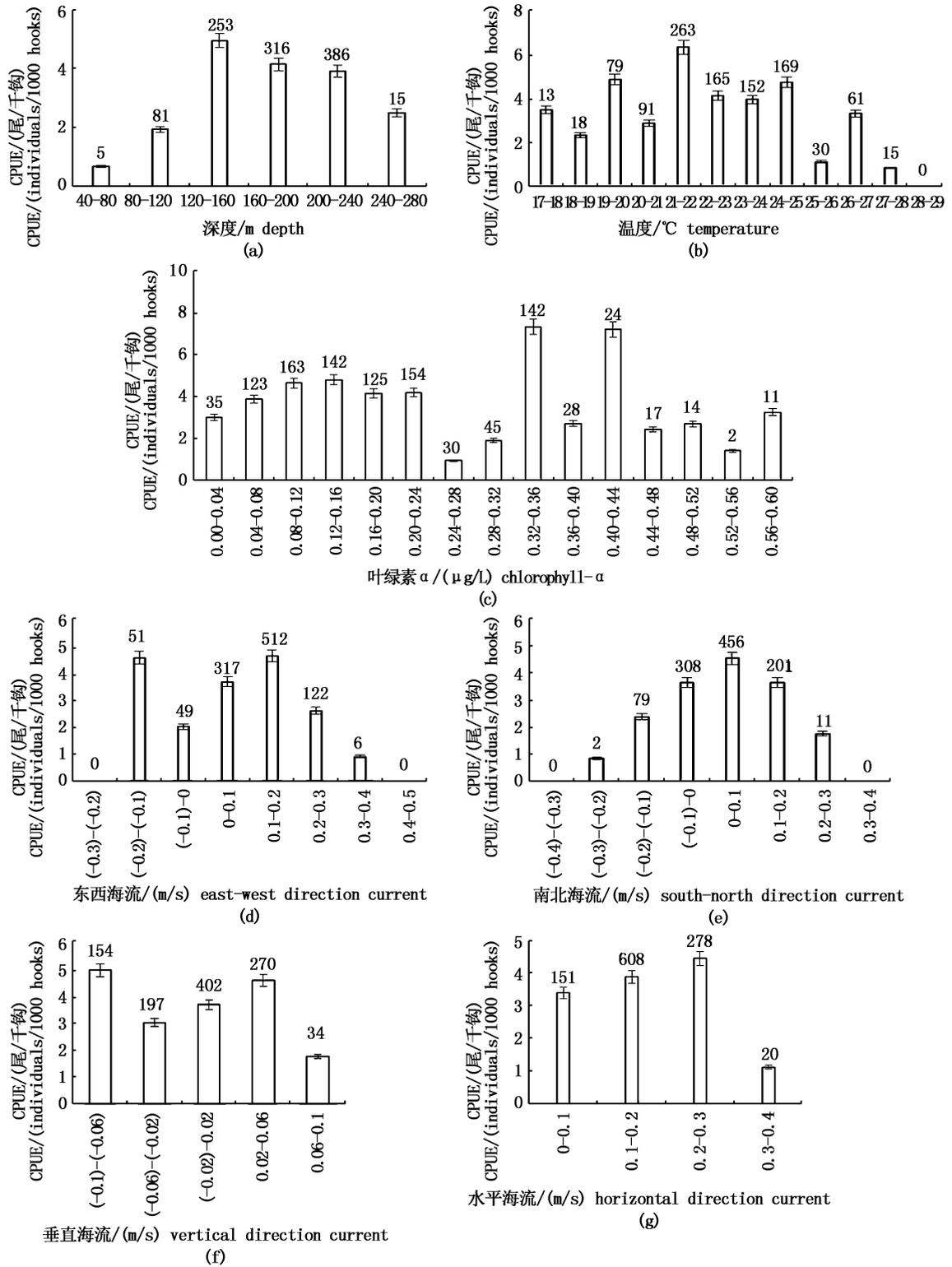


图 4 各环境因子范围内的渔获率

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

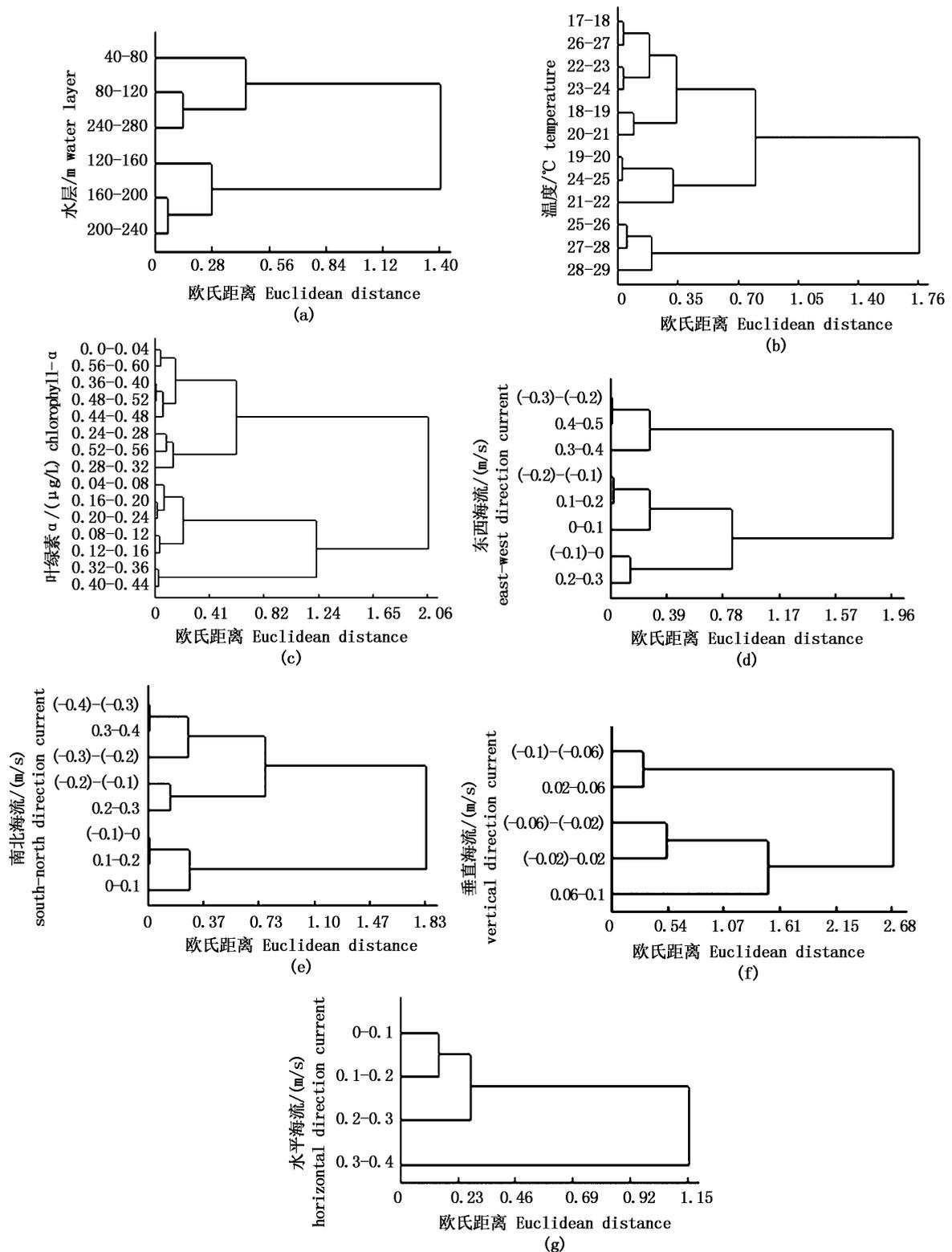


图5 各环境变量中黄鳍金枪鱼渔获率与各个取值范围的关联度

Fig. 5 The correlation between the catch rates and the ranges of the environmental variables

3.2 黄鳍金枪鱼渔获率与温度的关系

温度变化是影响黄鳍金枪鱼活动水层的重要环境因子,直接或间接影响其资源量的分布、

洄游移动和空间集群等^[21]。本次调查结果表明库克群岛附近海域黄鳍金枪鱼高渔获率的温度范围为21~25℃,其中21~22℃最高,此温度范

围处于调查海域的温跃层(图2)。DAGORN等^[22]和SCHAEFER等^[7,23]研究认为黄鳍金枪鱼的活动区域主要在温跃层以内,但偶尔会在温跃层以下活动,这与本研究结果一致。黄鳍金枪鱼适宜的海洋环境条件与其所处生长阶段以及生

活周期有关,就产卵期的成鱼而言,其适宜的次表层水温在18~31℃之间,大量集中于20~28℃^[24];MOHRI研究认为印度洋赤道水域黄鳍金枪鱼适宜的次表层温度范围为11~28℃,渔获率最高的次表层温度范围为13~24℃^[20],以上

表1 各类环境变量中黄鳍金枪鱼的渔获率

Tab.1 The catch rates of *Thunnus albacares* in the ranges of the environmental variables

环境变量 environmental variables	分类 classes	范围 ranges	尾数 individuals	钩数/枚 hooks	渔获率/(尾/千钩) catch rate
水层/m	1	40~80	5	7 564	0.66
	2	80~120	98	48 283	2.03
	3	120~160	253	51 194	4.94
	4	160~240	701	175 453	4.00
温度/℃	1	17~18 22~24 26~27	391	99 655	3.92
	2	18~19 20~21	109	38 950	2.80
	3	19~20 24~25	249	51 479	4.84
	4	21~22 25~26	263	41 190	6.39
	5	27~29	45	51 225	0
叶绿素 a/(μg/L)	1	0~0.04 0.36~0.40 0.44~0.52 0.56~0.60	106	38 013	2.79
	2	0.24~0.32 0.52~0.56	78	58 218	1.34
	3	0.04~0.24 0.32~0.36	707	163 469	4.32
	4	0.40~0.44	166	22 800	7.28
东西海流/(m/s)	1	-0.3~-0.2 0.3~0.5	6	7 393	0.81
	2	-0.2~-0.1 0~0.2	880	204 881	4.30
	3	-0.1~0 0.2~0.3	171	70 225	2.43
南北海流/(m/s)	1	-0.4~-0.2 0.3~0.4	2	3 171	0.63
	2	-0.2~-0.1 0.2~0.3	90	39 306	2.29
	3	-0.1~0.2	965	240 025	4.02
垂直海流/(m/s)	1	-0.1~-0.06 0.02~0.06	424	89 472	4.74
	2	-0.06~0.02	599	173 786	3.45
	3	0.06~0.1	34	19 242	1.77
水平海流/(m/s)	1	0~0.2	759	201 680	3.76
	2	0.2~0.3	278	62 660	4.44
	3	0.3~0.4	20	18 163	1.12

表 2 黄鳍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 *Thunnus albacares* and the corresponding catch rates

环境变量 environmental variables	范围 range	渔获率/(尾/千钩) catch rate(inds/1000 hooks)
水层/m	120 ~ 160	4.94
温度/℃	21 ~ 22	6.39
叶绿素 a 浓度/($\mu\text{g/L}$)	0.32 ~ 0.36; 0.40 ~ 0.44	7.28
东西海流/(m/s)	-0.2 ~ -0.1; 0 ~ 0.2	4.30
南北海流/(m/s)	-0.1 ~ 0.2	4.02
垂直海流/(m/s)	-0.1 ~ -0.06; 0.02 ~ 0.06	4.74
水平海流/(m/s)	0.2 ~ 0.3	4.44

研究结果与本次调查的结果基本一致。ROMENA 通过研究日本延绳钓渔业的数据认为黄鳍金枪鱼偏好的温度范围为 17.0 ~ 20.5 $^{\circ}\text{C}$ ^[25], 这与本研究结果不一致的原因可能是数据来源不同及调查海域的差异。

3.3 黄鳍金枪鱼渔获率与叶绿素 a 的关系

库克群岛海域叶绿素 a 浓度对黄鳍金枪鱼渔获率的影响较显著。SONG 等^[19]研究表明在印度洋公海捕获的黄鳍金枪鱼活动较频繁的叶绿素 a 浓度范围为 0.040 ~ 0.099 $\mu\text{g/L}$, 黄鳍金枪鱼渔获率较高的叶绿素 a 浓度范围为 0.090 ~ 0.099 $\mu\text{g/L}$, 本研究的结果比以上研究结果的数据偏高(0.32 ~ 0.36 $\mu\text{g/L}$; 0.40 ~ 0.44 $\mu\text{g/L}$), 可能因为印度洋海域与库克群岛海域的初级生产力水平不同, 印度洋海域叶绿素 a 浓度范围主要为 0 ~ 0.1 $\mu\text{g/L}$, 库克群岛海域叶绿素 a 浓度范围主要为 0 ~ 0.6 $\mu\text{g/L}$, 库克群岛海域的叶绿素 a 浓度明显高于印度洋海域。王少琴等^[26]研究中西太平洋黄鳍金枪鱼渔获率与海洋环境的关系, 结果表明在所有环境因子中, 叶绿素 a 浓度对黄鳍金枪鱼渔获率的影响最为显著, 其适宜生存的海表叶绿素 a 浓度范围为 0.152 ~ 0.168 $\mu\text{g/L}$, 这与本研究中对应的表层叶绿素 a 浓度基本一致。本研究中黄鳍金枪鱼高渔获率的叶绿素 a 范围所处的水深范围与对应的高渔获率的水深范围基本一致, 也处于温跃层以内(图 2)。

3.4 黄鳍金枪鱼渔获率与海流的关系

目前有关黄鳍金枪鱼分布与海流关系的研究很少。三维海流既能影响鱼类的正常游泳行为, 又能促进海水的对流和热交换, 进而影响海水温度并产生温跃层^[27], 改变黄鳍金枪鱼的栖息水层。本研究中的调查区域位于南赤道流以南, 表层海流为西南方向, 流速较弱, 而黄鳍金枪鱼

偏好水层的海流与表层海流相反, 以东北方向为主(图 3); 库克群岛海域南北方向海流会影响黄鳍金枪鱼的渔获率, 且流速越低, 渔获率越高(图 5)。由于调查时间较短, 取样尾数较少, 本文仅在本次调查的基础上考虑了渔获率与温度、叶绿素 a、三维海流和水平海流的关系, 没有涉及盐度、溶解氧等环境因素, 在以后的研究中可延长调查时间、增加取样尾数和盐度、溶解氧等环境因素, 以完整地研究库克群岛海域海洋环境因子对黄鳍金枪鱼渔获率的影响。

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、“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] 陈峰, 郭爱, 朱文斌, 等. 南太平洋所罗门群岛海域黄鳍金枪鱼繁殖生物学研究[J]. 热带海洋学报, 2014, 33(2): 45-51.
CHEN F, GUO A, ZHU W B, et al. Study on reproductive biology of yellowfin tuna *Thunnus albacares* in the waters of the Solomon Islands of the South Pacific Ocean[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2014, 33(2): 45-51.
- [2] 苗振清, 黄锡昌. 世界金枪鱼渔业现状分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2002, 21(4): 307-313.
MIAO Z Q, HUANG X C. Present situation and development of worldwide tuna fisheries[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2002, 21(4): 307-313.
- [3] BERGER A M, PILLING G M, KIRCHNER C, et al. Proposed F-based limit reference points for bigeye, yellowfin and South Pacific albacore tuna[C] // Proceedings of 10th Regular Session of the Scientific Committee of the Western and Central Pacific Fisheries Commission. WCPFC-SC9-2013/MI-WP-03, Majuro, 2014.
- [4] SUN C L, WANG W R, YEH S. Reproductive biology of yellowfin tuna in the Central and Western Pacific Ocean

- [C]//Proceedings of the 1st Regular Session of the Scientific Committee of the Western and Central Pacific Fisheries Commission. BI-WP-1, Noumea, 2005.
- [5] CHANG S K, HOYLE S, LIU H I. Catch rate standardization for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in Taiwan's distant-water longline fishery in the Western and Central Pacific Ocean, with consideration of target change[J]. Fisheries Research, 2011, 107(1/3): 210–220.
- [6] LEROY B, NICOL S, LEWIS A, et al. Lessons learned from implementing three, large-scale tuna tagging programmes in the Western and Central Pacific Ocean [J]. Fisheries Research, 2015, 163: 23–33.
- [7] SCHAEFER K M, FULLER D W, BLOCK B A. Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Pacific Ocean off Baja California, Mexico, determined from archival tag data analyses, including unscented Kalman filtering[J]. Fisheries Research, 2011, 112(1/2): 22–37.
- [8] LU H J, LEE K T, LIN C H, et al. Spatio-temporal distribution of yellowfin tuna *Thunnus albacares* and bigeye tuna *Thunnus obesus* in the tropical Pacific Ocean in relation to large-scale temperature fluctuation during ENSO episodes[J]. Fisheries Science, 2011, 67(6): 1046–1052.
- [9] 宋利明,陈新军,许柳雄. 大西洋中部黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)的垂直分布与有关环境因子的关系[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(1): 64–68.
- SONG L M, CHEN X J, XU L X. Relationship between vertical distribution of yellowfin tunas (*Thunnus albacares*) and the concerned environmental factors in the Central Atlantic Ocean [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2004, 35(1): 64–68.
- [10] 宋利明,张禹,周应祺. 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[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 369–378.
- SONG L M, ZHANG Y, ZHOU Y Q. The relationships between the thermocline and the catch rate of *Thunnus albacares* and *Thunnus obesus* in the high seas of the Indian Ocean[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(3): 369–378.
- [11] 杨胜龙,马军杰,张禹,等. 大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6345–6353.
- YANG S L, MA J J, ZHANG Y, et al. Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6345–6353.
- [12] 陈峰,郭爱,朱文斌,等. 南太平洋所罗门群岛海域黄鳍金枪鱼的渔业生物学特性[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(3): 12–20.
- CHEN F, GUO A, ZHU W B, et al. Preliminary study on fishery biology of yellowfin tuna *Thunnus albacares* in the South Pacific Ocean near Solomon Islands [J]. Progress in Fishery Sciences, 2013, 34(3): 12–20.
- [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] BIGELOW K, MUSYL M K, POISSON F, et al. Pelagic longline gear depth and shoaling [J]. Fisheries Research, 2006, 77(2): 173–183.
- [16] 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 and 盐度[J]. 水产学报, 2006, 30(3): 335–340.
- 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.
- [17] 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.
- [18] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 304–311.
- TANG Q Y, FENG M G. DPS Data Processing System for Practical Statistics [M]. Beijing: Science Press, 2002: 304–311.
- [19] 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.
- [20] 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 [C]//IOTC Proceeding. Mahé; Indian Ocean Tuna Commission, 2000, 3: 276–282.
- [21] 崔雪森,樊伟,张晶. 太平洋黄鳍金枪鱼延绳钓渔获分布及渔场水温浅析[J]. 海洋通报, 2005, 24(5): 54–59.
- CUI X S, FAN W, ZHANG J. Primary study on the distribution of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) longline fishery catch and the fishing-ground environment of the Pacific Ocean [J]. Marine Science Bulletin, 2005, 24(5): 54–59.
- [22] DAGORN L, HOLLAND K N, HALLIER J P, et al. Deep diving behavior observed in yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) [J]. Aquatic Living Resources, 2006, 19(1): 85–88.
- [23] SCHAEFER K M, FULLER D W, BLOCK B A. Movements, behavior, and habitat utilization of Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) in the Northeastern Pacific Ocean, ascertained

- through archival tag data [J]. *Marine Biology*, 2007, 152 (3): 503 – 525.
- [24] 苗振清, 黄锡昌. 黄鳍金枪鱼资源利用状况分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2003, 22(1): 7 – 11.
MIAO Z Q, HUANG X C. Analysis on the status of resources utilization of yellowfin tuna *Thunnus albacares* [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2003, 22 (1): 7 – 11.
- [25] ROMENA N A. 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 [C]//IOTC Proceeding. Mahé: Indian Ocean Tuna Commission, 2001, 4: 336 – 389.
- [26] 王少琴, 许柳雄, 朱国平, 等. 中西太平洋金枪鱼围网的黄鳍金枪鱼 CPUE 时空分布及其与环境因子的关系[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(3): 303 – 308.
WANG S Q, XU L X, ZHU G P, et al. Spatial-temporal profiles of CPUE and relations to environmental factors for yellowfin tuna *Thunnus albacares* from purse-seine fishery in Western and Central Pacific Ocean [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2014, 29(3): 303 – 308.
- [27] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 149 – 160.
CHEN X J. *Fisheries Resources and Fishing Ground* [M]. Beijing: Ocean Press, 2004: 149 – 160.

Effects of environmental variables on catch rates of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in waters near Cook Islands

SONG Liming^{1,2,3,4}, SHEN Zhibin¹, ZHOU Jiankun¹, LI Dongjing¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, 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 Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China)

Abstract: To better understand the effects of environmental variables on catch rate of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) is beneficial to increasing the yellowfin tuna catch rate and reducing the bycatch rates of other non-target species in the longline fisheries. In this study, the catch rate of yellowfin tuna and environmental variables were collected from longlining surveys in waters near Cook Islands from Sep. 8th, 2013 through Dec. 31th, 2013, including hook depth data, temperature, chlorophyll-a concentration, current, operating parameters, and catch data. Stepwise regression of DPS was used to develop the hook depth calculation model. Statistics and clustering analysis were used to analyze the effects of environmental variables on yellowfin tuna catch rate. Results showed that the depth, temperature, chlorophyll-a concentration, east-west direction current, south-north direction current, vertical and horizontal direction current related with the high catch rate of yellowfin tuna were 120 – 160 m, 21 – 22 °C, 0.32 – 0.36 μg/L and 0.40 – 0.44 μg/L, –0.20 – 0.10 and 0.00 – 0.20 m/s, –0.10 – 0.20 m/s, –0.10 – 0.06 m/s and 0.02 – 0.06 m/s, 0.20 – 0.30 m/s, respectively. Results suggest that the hook numbers should be increased in ranges of the water depth, temperature, chlorophyll-a concentration, and current related with the high yellowfin tuna catch rate when fishing in the waters near Cook Islands and targeting yellowfin tuna.

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