

## 基于权重分析和GAM模型的秋刀鱼舷提网作业性能影响因素

刘洋, 石永闯, 花传祥, 朱清澄, 王晓栋, 孟令文

### Factors influencing the stick-held net status of Pacific saury (*Cololabis saira*) fishery based on weighted analysis and GAM

LIU Yang, SHI Yongchuang, HUA Chuanxiang, ZHU Qingcheng, WANG Xiaodong, MENG Lingwen

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210403416>

#### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### [基于多元变量的南极磷虾拖网作业状态影响因素分析](#)

Factors influencing the trawling status of Antarctic krill fishery based on multivariate analysis

上海海洋大学学报. 2021, 30(1): 144 <https://doi.org/10.12024/jsou.20191202879>

#### [基于Argo的西北太平洋公海柔鱼渔场垂直水温结构的变化特征](#)

Variation characteristics of vertical water temperature structure of neon flying squid fishery in northwestern Pacific Ocean based on Argo

上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 427 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190102503>

#### [虾蟹塘投饵船三叶螺旋桨设计及水动力仿真分析](#)

Hydrodynamic simulation analysis of three-blade propeller of shrimp and crab pond feeding boat

上海海洋大学学报. 2021, 30(5): 893 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200503028>

#### [基于MAXENT模型预测西北太平洋秋刀鱼潜在渔场](#)

Prediction of potential fishing ground for Pacific saury (*Cololabis saira*) based on MAXENT model

上海海洋大学学报. 2020, 29(2): 280 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190702737>

#### [热带大西洋拟锥齿鲨资源动态和空间分布研究](#)

Preliminary analysis of crocodile shark (*Pseudocarcharias kamoharai*) resources information and spatial distribution in the tropical Atlantic Ocean

上海海洋大学学报. 2017, 26(4): 570 <https://doi.org/10.12024/jsou.20161101910>

文章编号: 1674-5566(2022)02-0502-10

DOI:10.12024/jsou.20210403416

## 基于权重分析和 GAM 模型的秋刀鱼舷提网作业性能影响因素

刘 洋<sup>1</sup>, 石永闯<sup>2</sup>, 花传祥<sup>3</sup>, 朱清澄<sup>3</sup>, 王晓栋<sup>3</sup>, 孟令文<sup>3</sup>

(1. 湖南鑫海股份有限公司, 湖南 益阳 413100; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所 渔业资源遥感信息技术重点开放实验室, 上海 200090; 3. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306)

**摘要:** 根据 2016 年 7—10 月和 2017 年 6—10 月蓬莱京鲁渔业有限公司“鲁蓬远渔 019”在西北太平洋进行的海上秋刀鱼舷提网网具性能测试试验中收集的作业参数、网具深度以及不同水层水流速度等信息, 结合提升回归树模型(boosting regression tree, BRT)权重分析结果, 基于广义加性模型(generalized additive model, GAM)探讨各因素对舷提网网具作业性能的影响, 分析影响因子与舷提网主要性能参数(最大沉降深度和提升速度)的关系。结果表明:影响网具最大沉降深度的因素中, 权重在前 4 位的为 30 m 水层流速(20.15%)、60 m 水层流速(18.92%)、下纲松放长度(16.85%)和 10 m 水层流速(15.52%);影响提升速度的前 4 位影响因子为绞网速度(23.17%)、30 m 水层流速(20.05%)、10 m 水层流速(18.27%)以及 60 m 水层流速(16.26%)。30 m 水层流速、60 m 水层流速以及下纲松放长度对网具最大沉降深度的影响显著, 网具最大沉降深度与各水层流速呈负相关关系, 与下纲松放长度呈正相关关系;绞网速度和水层流速(10、30 和 60 m)均显著影响提升速度, 提升速度与绞网速度呈正相关关系, 与水层流速呈负相关关系, 绞网速度是影响网具提升速度最重要的因素, 其次是 30 m 水层流速、10 m 水层流速和 60 m 水层流速。

**关键词:** 秋刀鱼; 舷提网; 捕捞效率; 权重分析; 广义加性模型

**中图分类号:** S 972.13

**文献标志码:** A

秋刀鱼(*Cololabis saira*)是北太平洋海域重要的经济种类之一, 广泛分布在北太平洋温带和亚热带水域<sup>[1-2]</sup>。目前, 主要渔获量来源于中国大陆、中国台湾、韩国、俄罗斯、日本和瓦努阿图等国家与地区, 年产量稳定在 30 万~50 万 t, 具有很大的商业价值和生态价值<sup>[3-4]</sup>。随着海洋捕捞技术的发展, 舷提网成为秋刀鱼捕捞的主要作业网具<sup>[5]</sup>, 该网具属于浮敷式灯诱敷网, 放网、诱鱼和起网是捕捞作业的 3 个主要过程<sup>[6-7]</sup>。影响舷提网捕捞效率的关键因素为网衣沉降深度和纲索提升速度<sup>[8]</sup>。网衣沉降深度直接影响舷提网网具诱鱼区的空间体积, 进而会影响舷提网的秋刀鱼渔获量。若纲索提升速度过低, 舷提网下纲不能及时提升到一定高度, 会增加秋刀鱼鱼群的逃逸率, 从而影响舷提网网具的捕捞效率<sup>[9]</sup>。捕捞作业过程中, 捕捞操作、网具结构以及水流速度等均会影响秋刀鱼舷提网作业性能<sup>[10]</sup>。因

此, 准确了解各因素对网衣沉降深度和纲索提升速度的影响情况对于优化舷提网捕捞方法, 提高捕捞效率具有指导性意义。

网具性能影响因素研究是开展网具优化改进的重要前提。秋刀鱼舷提网网具起步较晚, 相关研究较少, 主要有:郁岳峰等<sup>[11]</sup>从集鱼灯的角度入手, 对舷提网集鱼方法进行实际测试并提出优化改进方案, 为舷提网网具的进一步发展奠定基础。张勋等<sup>[12]</sup>对舷提网网具的设计进行了分析, 研究发现舷提网网衣材料使用锦纶时可减少舷提网水动力产生的作用, 进而降低网衣变形程度。石永闯等<sup>[13]</sup>于 2016 年基于舷提网模型试验, 利用多元线性回归分析方法研究舷提网起网过程中纲索张力变化以及与绞网速度和下纲配重的关系, 结果显示模型绞网速度在 0.36~0.60 m/s 时纲索张力增加的幅度较大, 侧纲和下纲张力随下纲配重的增加而呈现逐渐增大的趋势。

收稿日期: 2021-04-25 修回日期: 2021-06-09

基金项目: 蓝色粮仓国家重点研发计划(2019YFD0901503)

作者简介: 刘 洋(1979—), 男, 高级工程师, 研究方向为渔具渔法。E-mail:4560362@qq.com

通信作者: 花传祥, E-mail:cxhua@shou.edu.cn

同时,石永闯等<sup>[14]</sup>利用模型试验和海上实测试验数据对网具的沉降深度和提升速度进行了标准化处理,并利用 Bootstrap 法分析了舷提网模型试验和海上实测试验结果。目前,秋刀鱼舷提网网具研究主要集中在网具内部结构的分析以及沉降和提升性能的研究,但关于捕捞操作和海洋环境因子对舷提网网具作业状态的影响研究鲜有报道。与此同时,前人对秋刀鱼舷提网性能的研究主要采用多元线性回归方法,该方法仅考虑响应变量与解释变量之间的线性关系,然而,例如海洋环境等因素对作业性能参数的影响可能是非线性的,因此可能会影响研究结果的准确性。提升回归树方法(boosting regression tree, BRT)是一种可以有效计算各影响因子对舷提网网具作业状态影响权重的方法<sup>[15]</sup>。广义加性模型(generalized additive model, GAM)可以较好地处理解释变量和响应变量之间的非线性关系,同时可获得更为丰富的结果信息<sup>[16]</sup>。BRT 方法和 GAM 方法已在渔业研究中得到了一定的应用<sup>[17]</sup>。为此,本研究根据 2016 年 7—10 月和 2017 年 6—10 月蓬莱京鲁渔业有限公司“鲁蓬远渔 019”渔船开展的秋刀鱼舷提网网具性能测试试验收集的作业参数、网具深度以及不同水层水流速度等信息,结合 BRT 模型影响因子权重分析,基于 GAM 模型探讨各因素对舷提网捕捞作业状态的影响,以期为确定舷提网作业最佳状态、提高舷提网捕捞效率提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验水域

试验海域为西北太平洋公海秋刀鱼渔场,经度范围为 149°E ~ 160°E,纬度范围为 38°N ~ 46°N,具体试验站点见图 1。

#### 1.2 渔船

试验渔船为蓬莱京鲁远洋渔业有限公司“鲁蓬远渔 019”,渔船主尺度见表 1。

#### 1.3 渔具

试验网具为“鲁蓬远渔 019”实际作业使用的舷提网网具(图 2),是由 16 片网衣缝合而成,主尺度为 38.3 m × 41.7 m(上纲 × 网衣最大拉直高度)。原型网衣由上缘网衣、下缘网衣、主网衣、侧网衣 4 部分缝制连接组成,上缘网衣的水平缩结系数为 0.476,下缘网衣的水平缩结系数为

0.416,侧缘网衣以 0.560 的纵向缩结系数装配在侧纲上。侧纲两边分别设置 22 个侧环,用于穿引侧括网,便于起网时使网形呈深袋状。浮棒由 9 节合成塑料筒组成,通过计算得到浮力配备为 19.21 kN,下纲沉子总质量为 620 kg,下纲配重约为 16.18 kg/m。网具具体规格见表 2。

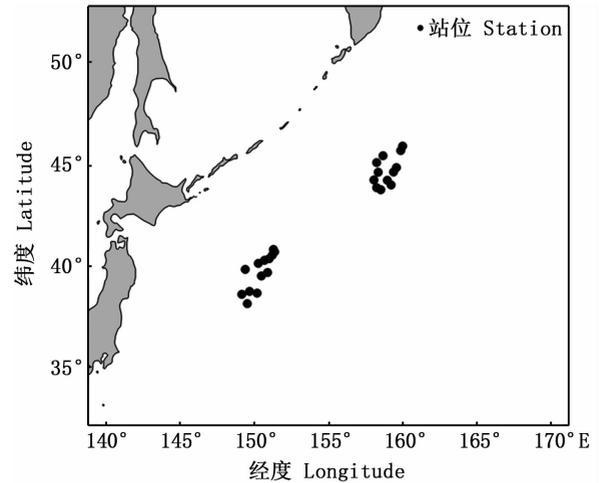


图 1 “鲁蓬远渔 019”秋刀鱼舷提网试验海域  
Fig. 1 Experiment area of saury stick-held net of “Lupeng Yuanyu 019”

表 1 秋刀鱼舷提网渔船“鲁蓬远渔 019”主尺度  
Tab. 1 Main dimensions of saury stick-held net vessel “Lupeng Yuanyu 019”

渔船总长 Total length/m	主机功率 Main engine power/kW	设计吃水 Designed draft/m	型深 Moulded depth/m	型宽 Moulded breadth/m
76.70	1 912	4.30	7.40	11.30

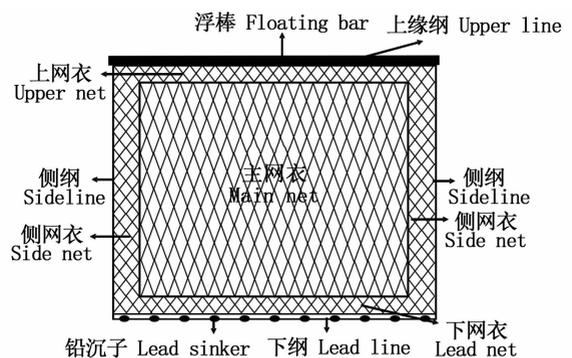


图 2 秋刀鱼舷提网网图  
Fig. 2 Saury stick-held lift net diagram

#### 1.4 数据采集

为有效测量舷提网网具最大沉降深度和提

升速度,本研究使用加拿大 RBR 公司生产的自计式温深仪 TDR-2050 进行测量舷提网不同部位的深度值,测量范围为 0 ~ 750 m,测量精度为满量程的 0.05%。TDR 的规格参数:长度为 250 mm,直径为 40 mm,空气中质量为 1.156 kg 的刚性圆柱体结构。网衣最大沉降深度根据网衣中部 TDR-2050 测量值获取,测量之前,TDR 设置时间与电脑时间同步,时间间隔设定为 5 s,以 5 s 为时间间隔计算网具的平均提升速度并假设其为瞬时速度,测试结束后将数据通过 USB 导入电脑。捕捞操作因素有绞网速度( $V_0$ )、下纲松放长度( $L$ )以及侧纲松放长度( $L_1$ )。其中,绞网速度通过甲板上的绞收机进行测量,下纲松放长度和

侧纲松放长度在舷提网捕捞作业过程中均由船长指挥控制。根据实际作业可知秋刀鱼舷提网网具作业水层分布在 25 ~ 40 m,试验设计中设立了 3 个水平的水层流速,因此,海洋环境因素包括:10 m 水层流速( $V_{10}$ )、30 m 水层流速( $V_{30}$ )、60 m 水层流速( $V_{60}$ )、风向( $X_{wd}$ )以及风速( $X_{ws}$ )。不同水层流速通过船用潮流计 CI-60G 进行测量,测量精度为  $\pm 0.05$  kn,在秋刀鱼舷提网网具作业时从潮流计上直接读取不同水层的流速并记录。风向和风速则通过风向风速仪 DIC-AI-SI 进行数据采集,其中,风向测量精度为  $\pm 3^\circ$ ,风速测量精度为  $\pm 4$  kn,数据的采集同样也是在舷提网作业过程中实时读取记录。

表 2 “鲁蓬远渔 019”舷提网网片参数表

Tab. 2 Parameters of stick-held dip net of “Lupeng Yuanyu 019”

网具部位 Section	片数 Number	网衣材料 Netting material	网具尺寸 Mesh size/mm	网结 Knot	网线直径 Netting diameter/mm
上缘网衣 Upper net	1	PA	30	单死结	2.0
主网衣 Main net	12	PES	24	无结	1.5
下缘网衣 Lead net	1	PA	120	单死结	4.0
侧网衣 Side net	2	PA	30	无结	4.0

## 1.5 研究方法

### 1.5.1 权重分析

BRT 模型是一种集成了分类回归树 (classification and regression trees, CART)<sup>[18]</sup>和提升算法框架的集成学习方法<sup>[19]</sup>。与传统的统计模型相比具有较多优势,其不容易出现过拟合,可对不同类型的预测变量进行分析,不受缺失数据的影响<sup>[14]</sup>。同时,BRT 模型有效地描述预测因子之间的交互作用并且可以很直观的表现预测变量与预测因子之间的复杂非线性关系<sup>[20-21]</sup>。BRT 模型在运算过程中多次随机抽取一定量的数据分析自变量对因变量的影响程度,剩余数据用来对拟合结果进行检验,对生成的多重回归树取均值输出,得出自变量对因变量的影响载荷并生成图表<sup>[22]</sup>。本文利用 BRT 模型分析各因素对网具最大沉降深度和提升速度的影响的权重,模型数据处理通过 R 语言软件下的 (gradient boosting machine, GBM) 函数<sup>[21]</sup>进行的,抽样率设置为 0.8,重复计算次数为 10 000 次。

### 1.5.2 GAM 模型

GAM 模型是广义线性模型的延伸,可以更好

地表示响应变量和解释变量之间的非线性关系<sup>[23]</sup>。为了更好地分析各因素对秋刀鱼舷提网网具性能的影响,本文根据各影响因子对网具最大沉降深度和提升速度的影响权重分析,选择影响权重排在前 4 位的影响因子进行构建 GAM 模型,其中网具最大沉降深度和提升速度分别作为响应变量,捕捞操作因素和海洋环境因素作为解释变量,GAM 模型表达式为

$$Y = s(X_1) + s(X_2) + s(X_3) + s(X_4) + \varepsilon \quad (1)$$

式中: $Y$ 为网具最大沉降深度或网具提升速度,m 或 m/s; $X_1 \sim X_4$ 分别为根据 BRT 模型权重分析得到的影响权重排在前 4 位的影响因子; $s$ 为自然立方样条平滑(natural cubespline smoother); $\varepsilon$ 为误差项,服从正态分布。

利用赤池信息准则 (akaike information criterion, AIC)来检验逐步加入因子后模型的拟合程度,AIC 的值越小说明模型拟合效果越好<sup>[24]</sup>。利用  $F$  检验评估因子的显著性,根据参考自由度 (estimated degrees of freedom, EDF) 来确定影响因子与相应变量的关系。GAM 模型的构建和相关检验均是通过 R 4.0.3 软件实现的。

## 2 结果

海上实测期间共开展了 32 次试验,秋刀鱼舷提网网衣最大沉降深度的范围为 0 ~ 60 m,然而其中 7 次试验网衣的最大沉降深度为 0 ~ 10 m,这可能是作业过程中船体移动造成的,因此可用于本研究的有效作业网次为 25 次,其中传统渔场有效网次为 13 次,东北渔场海域有效网次为 12 次(图 1)。

### 2.1 BRT 模型权重分析结果

根据 BRT 模型分别分析了各因素对最大沉降深度和提升速度的影响权重,结果显示,不同因素对最大沉降深度影响贡献率的范围为 0.85% ~ 21.05%。其中:30 m 水层流速影响贡献率最大,为 21.05%;其次是 60 m 水层流速,贡

献率为 18.92%;下纲松放长度为第三位,贡献率为 16.85%;影响贡献率最小的因素为绞网速度(0.85%)。对于提升速度,各因素影响贡献率范围为 0.64% ~ 23.17%,排在前 4 位的分别为绞网速度(23.17%)、30 m 水层流速(20.05%)、10 m 水层流速(18.27%)以及 60 m 水层流速(16.26%)。对提升速度影响最小的为侧纲松放长度,贡献率仅为 0.64%。为了减少各因素之间的相互作用,更好地反映解释变量对响应变量的影响,本研究在接下来的 GAM 模型构建中选择权重排在前 4 位的因素,即:最大沉降深度 GAM 模型选取 30 m 水层流速、60 m 水层流速、下纲松放长度以及 10 m 水层流速,而提升速度 GAM 模型选取的因素则包括绞网速度、30 m 水层流速、10 m 水层流速及 60 m 水层流速。

表 3 各影响因素对响应变量的影响权重

Tab. 3 Weight of explanatory variables for response variables

解释变量 Explanatory variables	最大沉降深度权重 Weight of net sinking depth/%	提升速度权重 Weight of lifting speed/%
绞网速度 hauling speed	0.85	23.17
下纲松放长度 Length of lead line loose	16.85	1.27
侧纲松放长度 Length of side line loose	10.76	0.64
10 m 水层流速 Flow speed(10 m)	15.52	18.27
30 m 水层流速 Flow speed(30 m)	21.05	20.05
60 m 水层流速 Flow speed(60 m)	18.92	16.26
风向 Wind direction	7.78	9.56
风速 Wind speed	8.27	10.78

### 2.2 网衣最大沉降深度 GAM 模型结果

基于 GAM 模型分析各影响因素对最大沉降深度的影响结果发现,当 4 个影响因素均存在时 AIC 的值最小,模型解释率为 83.27%。其中,30 m 水层流速、60 m 水层流速以及下纲松放长度对网衣最大沉降深度的影响显著( $P < 0.05$ )。影响程度方面,影响最大的因素为 30 m 水层流速,其他影响因素依次为 60 m 水层流速、下纲松放长度及 10 m 水层流速。从表 4 可以看出,网衣最大沉降深度与下纲松放长度的 EDF 等于 1,说明两者之间成线性关系,最大沉降深度与其他因素均成非线性关系。

相对效应表示各影响因素对网衣最大沉降深度的影响程度。从图 3 可以看出,网衣最大沉降深度与下纲松放长度呈线性正相关关系,与 30 m 水层流速和 60 m 水层流速呈负相关关系,10 m

水层流速对网衣最大沉降深度的影响不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.3 网具提升速度 GAM 模型结果

基于 GAM 模型分析各影响因素对提升速度的影响结果发现,当各因素均存在时 AIC 值最小,模型解释率为 78.54%。从表 5 中可以看出:绞网速度和水层流速(10 m、30 m 和 60 m)均显著影响网具提升速度( $P < 0.05$ ),影响程度从大到小依次为绞网速度、30 m 水层流速、10 m 水层流速以及 60 m 水层流速,提升速度与各因素之间的关系均呈非线性关系。

从图 4 可以看出,网具提升速度与绞网速度呈线性正相关关系,与 10 m 水层流速、30 m 水层流速和 60 m 水层流速呈负相关关系,提升速度随着 60 m 水层流速的增加呈现出先减小后平稳再减小的趋势。

表 4 网衣最大沉降深度 GAM 模型结果  
Tab. 4 GAM model results of main net depth

模型因子 Model factors	估计自由度 Estimated df	参考自由度 Referred df	F	P
下纲松放长度 Length of lead line loose	1.000	1.000	6.273	0.010 26
10 m 水层流速 Flow speed(10 m)	1.157	1.392	2.059	0.065 18
30 m 水层流速 Flow speed(30 m)	1.721	1.936	19.597	$2.36 \times 10^{-7}$
60 m 水层流速 Flow speed(60 m)	1.368	1.641	8.276	$1.28 \times 10^{-4}$

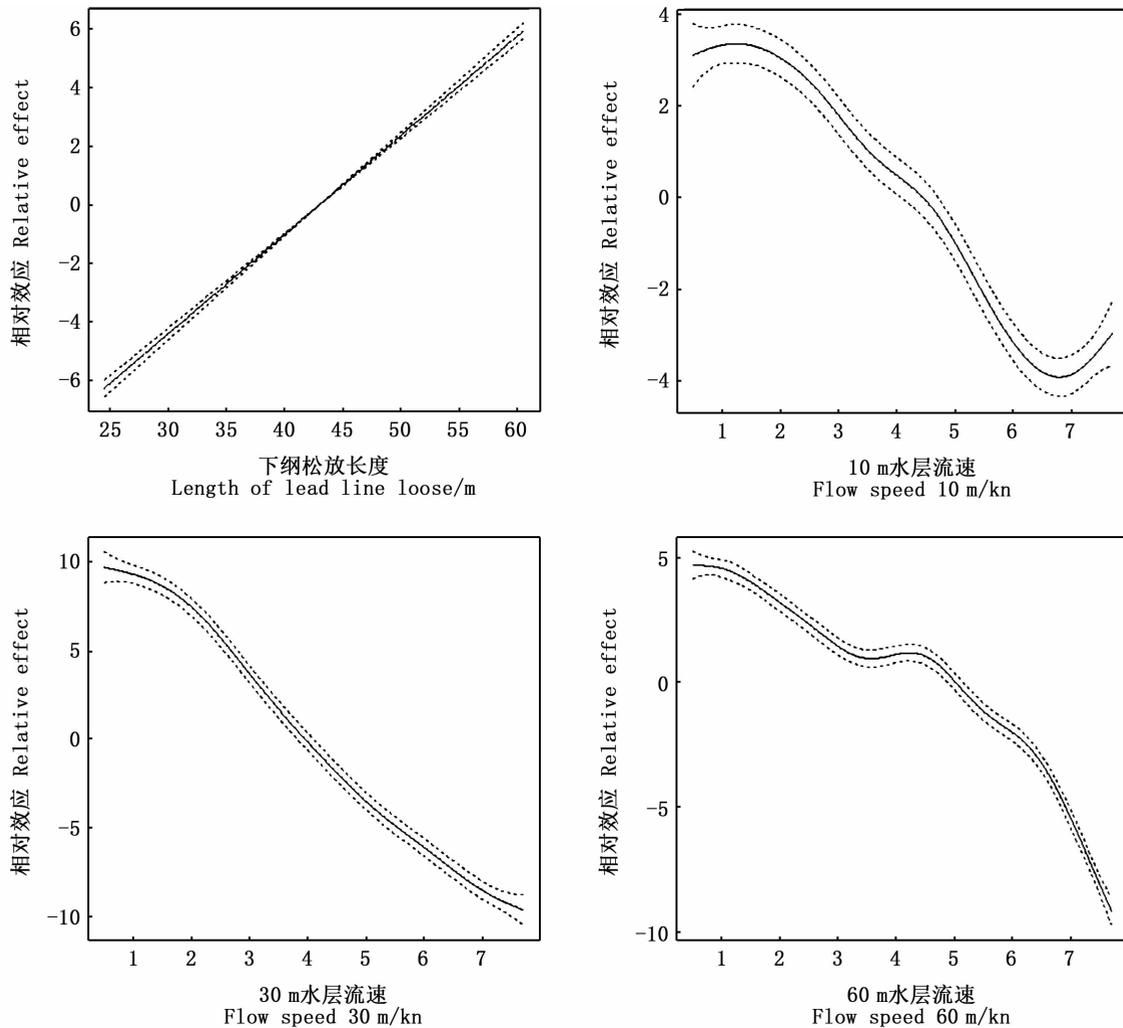


图 3 捕捞操作,海洋环境与最大沉降深度之间关系的 GAM 分析图  
Fig.3 Relationship among fishing operation, marine environmental factors and main net sinking depth based on the GAM

表 5 提升速度 GAM 模型结果  
Tab. 5 GAM model results of lifting speed

模型因子 Model factors	估计自由度 Estimated df	参考自由度 Referred df	F	P
绞网速度 Hauling speed	1.356	1.639	18.482	$1.39 \times 10^{-9}$
10 m 水层流速 Flow speed(10 m)	2.257	2.519	5.491	0.006 74
30 m 水层流速 Flow speed(30 m)	2.035	2.471	7.387	$2.01 \times 10^{-5}$
60 m 水层流速 Flow speed(60 m)	1.648	1.892	1.247	0.046 25

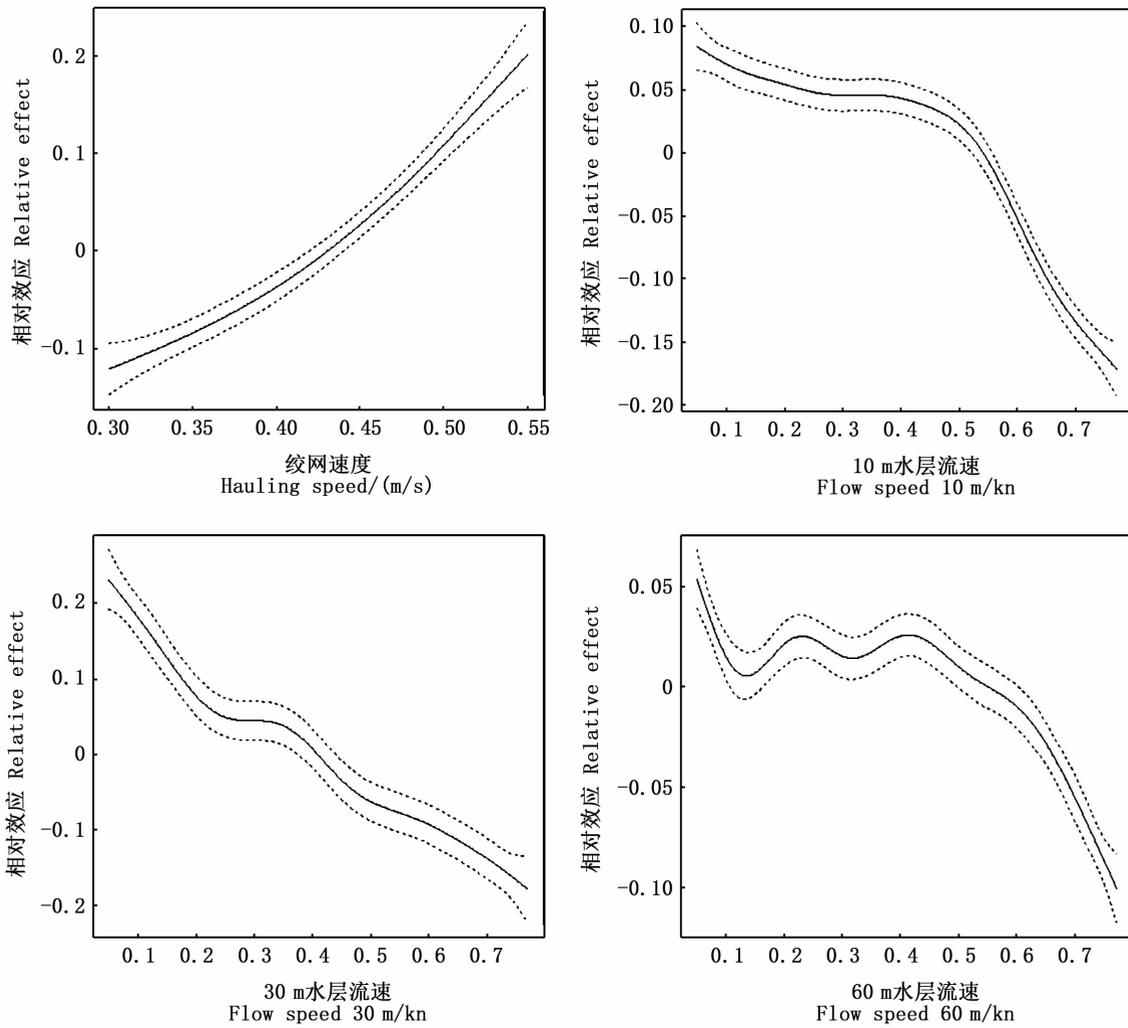


图 4 捕捞操作,海洋环境与提升速度之间关系的 GAM 分析图

Fig. 4 Relationship among fishing operation, marine environmental factors and lifting speed based on the GAM

### 3 讨论

#### 3.1 模型选择与影响因素的权重分析

由于我国秋刀鱼渔业起步较晚,对于其主要捕捞网具舷提网的研究相对较少,仅有张勋等<sup>[12]</sup>和石永闯等<sup>[13-14]</sup>进行了一些研究,但使用方法较为单一,仅考虑了解释变量和响应变量之间的线性关系,研究结果有待进一步探讨。BRT 模型是一种基于决策树的集成学习方法,已经在鱼类资源分布、丰度和多样性预测<sup>[21,25]</sup>以及鱼类栖息地研究<sup>[26]</sup>等方面得到应用。与传统的多元线性回归方法相比,BRT 模型能自动拟合解释变量的交互作用,并且不易出现过度拟合,泛化误差较低对于新数据的预测精度较高<sup>[21]</sup>。此外,对于存在非线性关系和异常值的渔业数据,BRT 模型的结

果会更稳健,更有可能获得最小估计误差。GAM 模型在解决响应变量与解释变量间的高度非线性和非单调关系方面具有较强能力,同时可以可视觉解释变量与响应变量间的关系,是一种高效的数据探索和分析工具<sup>[19]</sup>。因此,选择 BRT 模型和 GAM 模型对秋刀鱼舷提网网具作业性能影响因素进行研究。

捕捞操作因素和海洋环境因素是影响秋刀鱼舷提网网具捕捞效率的重要因素。通过 BRT 模型对影响舷提网网具性能指标的因素进行权重分析,量化各因素的贡献比。结果表明,30 m 水流速、60 m 水流速、下纲松放长度以及 10 m 水流速为影响网具最大沉降深度的前 4 位因素,这与唐浩等<sup>[27]</sup>对围网性能的研究一致。30 m 水流速对于最大沉降深度的影响要高于 60

m 和 10 m 水层流速,这也从一定程度上反映出秋刀鱼舷提网网具的作业水层,即舷提网网具作业水层主要分布在 25 ~ 40 m<sup>[13]</sup>。影响网具提升速度的前 4 位因素分别为绞网速度、30 m 水层流速、10 m 水层流速以及 60 m 水层流速。舷提网网具提升过程中,绞网速度的大小将直接影响到网具的提升速度,于此同时,水流同样会对网具进行冲击,影响到网具的提升速度,这与石永闯等<sup>[8]</sup>的研究结果一致。

### 3.2 捕捞操作和海洋环境对网衣沉降深度影响

秋刀鱼舷提网实际作业时发现,网具在沉降的过程中受到海流等因素的影响不易沉降,这将直接影响秋刀鱼捕捞的空间体积,导致捕获较深水层的鱼群比较困难,因此网衣最大沉降深度是反映网具捕捞性能的参数,也是舷提网网具渔法研究的重要参数<sup>[28]</sup>。

研究结果显示,30 m 水层流速、60 m 水层流速以及下纲松放长度对网衣最大沉降深度具有显著影响( $P < 0.05$ )。刘树椿<sup>[29]</sup>对深水围网的沉降性能进行了试验测试,结果发现海流流速是影响网具沉降的重要因素,在渔场海流流速较大时,网具的有效捕捞深度仅为网具最大拉直高度的 18%,海流流速越大,对网具的沉降越不利。周成等<sup>[30]</sup>研究表明网具沉降深度和海流流速之间为二次曲线的反比关系,流速越大,网衣的沉降深度就越小,当流速从 0.2 kn 上升到 0.8 kn 时,网具的沉降深度降低了 33% ~ 37%,这与本研究结果一致。本研究结果同样表明沉降深度随着海流流速的增加而逐渐减小,两者之间的关系为非线性负相关关系(图 3)。与此同时,研究结果表明 30 m 水层流速的影响要高于 60 m 水层流速,这是因为舷提网网具作业水层主要为 25 ~ 40 m,这与石永闯等<sup>[8]</sup>对舷提网网具性能的研究结果相吻合。因此,在实际捕捞作业过程中,船长需要充分考虑下网深度和海流环境情况,尽量选择海流较小的时间点进行下网。

下纲松放长度是影响舷提网网具沉降的重要因素。刘树椿<sup>[29]</sup>研究显示,当海流速度不变时,括网的长度减少 19 m,网具沉降深度减少 1 m。本研究 GAM 模型结果表明,下纲松放长度与网衣最大沉降深度是呈正相关关系,即在一定范围内下纲松放长度越大,网衣最大沉降深度越大。在舷提网实际捕捞过程中,如何确定好下纲

松放长度,使得舷提网网衣下降到一定深度并保持良好的网形对于提高舷提网网具捕捞效率有重要意义。

### 3.3 捕捞操作和海洋环境对网索提升速度影响

秋刀鱼是一种海洋小型中上层洄游性鱼类,具有游泳速度快,行动敏捷等行为特点<sup>[31]</sup>,起网作业时快速将侧纲、下纲绞起,将网兜迅速围起把鱼包围在网衣中,防止鱼群从缺口处逃逸。因此,本研究选取网索提升速度作为影响网具作业性能的重要因素进行分析。研究结果显示参与构建网具提升速度 GAM 模型的 4 个影响因素(绞网速度、10 m 水层流速、30 m 水层流速和 60 m 水层流速)均显著影响网具提升速度( $P < 0.05$ )。在网具提升过程中,网具会受到海流冲击的影响使得网具提升受到一定的阻力,导致网具提升速度有所降低。30 m 水层流速的影响要高于 60 和 10 m 水层流速,再一次验证了石永闯等<sup>[8]</sup>的结论。徐国强等<sup>[28]</sup>通过对金枪鱼围网的提升性能研究发现,当水流速度增加时,网具的提升速度会随之减小,两者之间为非线性负相关关系,这与本研究结果相吻合。IITAKA<sup>[32]</sup>开展了围网模型试验发现,网具收绞时网衣在海流的作用下会有较多的松弛,这将影响到下纲的提升速度,该结果与本研究一致。因此,在秋刀鱼舷提网提升过程中可将不同水层的海流流速作为主要的外部环境因子,这对于秋刀鱼舷提网网具操作具有一定的参考意义。

GAM 模型结果显示,绞网速度直接影响着舷提网网具的提升速度,两者之间呈正相关关系,四种影响因素中,绞网速度对提升速度的影响最为显著,这与徐国强等<sup>[33]</sup>和 KIM<sup>[34]</sup>的研究一致。根据研究结果发现,可以通过适当的提高舷提网绞收速度来增加网具提升速度,进而优化舷提网网具性能。

### 3.4 捕捞建议

本研究首次利用 BRT 和 GAM 模型对秋刀鱼舷提网作业性能的影响因素进行分析,研究结果可对秋刀鱼舷提网网具捕捞效率的提高及网具优化提供重要参考。根据本研究结果对舷提网网具实际捕捞提出以下建议:(1)鱼群通过声呐确定后,准备下网时,首先要考虑该海域的海流流速,尽可能的在流速相对较小的时间点进行放网,这样有利于增大网衣的最大沉降深度,进而

增加鱼群诱集的空间体积。另外,在保证作业安全的情况下可通过适当增加下纲松放长度来增加网具沉降深度。(2)在网具提升阶段,可结合实际情况适当提高绞网速度,以提高网具提升速度,达到快速包围降低鱼群逃逸率的目的。与网具沉降深度相似,网具提升时也要充分考虑海流流速,尽量在海流较低的情况下开始提升舷提网网具。

### 参考文献:

- [1] CHANG Y J, LAN K W, WALSH W A, et al. Modelling the impacts of environmental variation on habitat suitability for Pacific saury in the northwestern Pacific Ocean [J]. Fisheries Oceanography, 2019, 28(3): 291-304.
- [2] WATANABE Y, LO N C H. Larval production and mortality of Pacific saury, *Cololabis saira*, in the northwestern Pacific Ocean[J]. Fishery Bulletin, 1989, 87(3): 601-613.
- [3] 花传祥,高玉珍,朱清澄,等. 基于耳石微结构的西北太平洋秋刀鱼(*Cololabis saira*)年龄与生长研究[J]. 海洋学报, 2017, 39(10): 46-53.
- HUA C X, GAO Y Z, ZHU Q C, et al. Age and growth of Pacific saury (*Cololabis saira*) in the northwest Pacific Ocean based on statolith microstructure [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2017, 39(10): 46-53.
- [4] 石永闯,朱清澄,黄硕琳,等. 基于贝叶斯 Schaefer 模型的西北太平洋秋刀鱼资源评估和管理[J]. 渔业科学进展, 2019, 40(5): 1-10.
- SHI Y C, ZHU Q C, HUANG S L, et al. Stock assessment of Pacific saury (*Cololabis saira*) in the northwest Pacific using a Bayesian Schaefer model [J]. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(5): 1-10.
- [5] 王明彦,张勋,徐宝生. 秋刀鱼 *Cololabis saira* (Brevoort) 舷提网渔业的现状及发展趋势[J]. 现代渔业信息, 2003, 18(4): 3-7.
- WANG M Y, ZHANG X, XU B S. The status and development trend of stick-held net fishery for *Cololabis saira* (Brevoort) [J]. Modern Fisheries Information, 2003, 18(4): 3-7.
- [6] HUBBS C L, WISNER R L. Revision of the sauries (Pisces, Scomberesocidae) with descriptions of two new genera and one new species [J]. Fish Bulletin, 1980, 77(3): 521-566.
- [7] 朱清澄,张衍栋,夏辉,等. 秋刀鱼集鱼灯箱内不同灯位的照度实验比较研究[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(5): 778-783.
- ZHU Q C, ZHANG Y D, XIA H, et al. Comparative study of different saury aggregation light experiment [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(5): 778-783.
- [8] 石永闯,朱清澄,花传祥,等. 基于海上实测的秋刀鱼舷提网沉降和提升性能研究[J]. 海洋通报, 2018, 37(4): 459-467.
- SHI Y C, ZHU Q C, HUA C X, et al. Sinking and rising performance of saury stick-held based on field measurements [J]. Marine Science Bulletin, 2018, 37(4): 459-467.
- [9] YANG C X, LOU X B, MATSUI T, et al. Evaluating the technical efficiencies of fishing vessels to achieve effective management of overexploited fisheries [J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2017, 22(8): 1149-1162.
- [10] HUANG W B, HUANG Y C. Maturity characteristics of Pacific saury during fishing season in the northwest Pacific [J]. Journal of Marine Science and Technology, 2015, 23(5): 819-826.
- [11] 郁岳峰,张勋,黄洪亮,等. 秋刀鱼舷提网集鱼方法的研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2006, 25(2): 154-156.
- YU Y F, ZHANG X, HUANG H L, et al. Study on attracting fish method of stick-held net for *Cololabis saira* [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2006, 25(2): 154-156.
- [12] 张勋,郁岳峰,黄洪亮,等. 秋刀鱼舷提网渔具设计的研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2006, 25(1): 40-45.
- ZHANG X, YU Y F, HUANG H L, et al. The study on designing method of stick-held net for *Cololabis saira* [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2006, 25(1): 40-45.
- [13] 石永闯,朱清澄,张衍栋,等. 基于模型试验的秋刀鱼舷提网纲索张力性能研究[J]. 中国水产科学, 2016, 23(3): 704-712.
- SHI Y C, ZHU Q C, ZHANG Y D, et al. Factors influencing the rope tension of saury stick-held lift nets [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(3): 704-712.
- [14] 石永闯,朱清澄,花传祥,等. 秋刀鱼舷提网渔具性能模型试验与海上实测结果的比较评估[J]. 海洋学报, 2019, 41(2): 123-133.
- SHI Y C, ZHU Q C, HUA C X, et al. Evaluation of saury stick-held net performance between model test and on-sea measurements [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2019, 41(2): 123-133.
- [15] DE'ATH G. Boosted trees for ecological modeling and prediction [J]. Ecology, 2007, 88(1): 243-251.
- [16] BERG D. Bankruptcy prediction by generalized additive models [J]. Applied Stochastic Models in Business and Industry, 2007, 23(2): 129-143.
- [17] 刘志强,许柳雄,唐浩,等. 拖网作业参数对南极磷虾捕捞效率的影响[J]. 中国水产科学, 2019, 26(6): 1205-1212.
- LIU Z Q, XU L X, TANG H, et al. Effects of trawling operation parameters on the fishing efficiency of Antarctic krill [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(6): 1205-1212.

- [18] BREIMAN L, FRIEDMAN J H, OLSHEN R A, et al. Classification and regression trees [M]. Boca Raton: Routledge, 1984: 1-368.
- [19] HASTIE T, TIBSHIRANI R, FRIEDMAN J. The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction [M]. New York: Springer-Verlag, 2001: 299-345.
- [20] TIAN Y J, UENO Y, SUDA M, et al. Decadal variability in the abundance of Pacific saury and its response to climatic/oceanic regime shifts in the northwestern subtropical Pacific during the last half century[J]. Journal of Marine Systems, 2004, 52(1/4): 235-257.
- [21] ELITH J, LEATHWICK J R, HASTIE T. A working guide to boosted regression trees [J]. Journal of Animal Ecology, 2008, 77(4): 802-813.
- [22] FRIEDMAN J, HASTIE T, TIBSHIRANI R. Additive logistic regression: a statistical view of boosting (with discussion and a rejoinder by the authors) [J]. The Annals of Statistics, 2000, 28(2): 337-407.
- [23] 官文江, 陈新军, 高峰, 等. GLM 模型和回归树模型在 CPUE 标准化中的比较分析 [J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(1): 123-130.
- GUAN W J, CHEN X J, GAO F, et al. Comparisons of regression tree and GLM performance in CPUE standardization [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(1): 123-130.
- [24] 陈明鑫, 许柳雄, 唐浩, 等. 基于多元变量的南极磷虾拖网作业状态影响因素分析 [J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(1): 144-154.
- CHEN M X, XU L X, TANG H, et al. Factors influencing the trawling status of Antarctic krill fishery based on multivariate analysis [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(1): 144-154.
- [25] FROESCHKE B F, TISSOT P, STUNZ G W, et al. Spatiotemporal predictive models for juvenile southern flounder in Texas estuaries [J]. North American Journal of Fisheries Management, 2013, 33(4): 817-828.
- [26] LEWIN W C, MEHNER T, RITTERBUSCH D, et al. The influence of anthropogenic shoreline changes on the littoral abundance of fish species in German lowland lakes varying in depth as determined by boosted regression trees [J]. Hydrobiologia, 2014, 724(1): 293-306.
- [27] 唐浩, 许柳雄, 王学昉, 等. 基于网具模型试验的金枪鱼围网性能分析 [J]. 中国水产科学, 2015, 22(3): 563-573.
- TANG H, XU L X, WANG X F, et al. Performance analysis of a tuna purse seine model [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(3): 563-573.
- [28] 徐国强, 许柳雄, 周成, 等. 基于海上实测的金枪鱼围网下沉性能提升性能 [J]. 海洋渔业, 2015, 37(2): 171-178.
- XU G Q, XU L X, ZHOU C, et al. Sinking and rising performance of tuna purse seine lead line based on field measurements [J]. Marine Fisheries, 2015, 37(2): 171-178.
- [29] 刘树椿. 深水围网沉降性能的测试及渔法研究 [J]. 水产学报, 1988, 12(2): 95-104.
- LIU S C. An experimental research on sinking performance of purse seine in deeper waters of the East China Sea [J]. Journal of Fisheries of China, 1988, 12(2): 95-104.
- [30] 周成, 许柳雄, 张新峰, 等. 金枪鱼围网沉降性能影响因子的多元回归分析 [J]. 中国水产科学, 2013, 20(3): 672-681.
- ZHOU C, XU L X, ZHANG X F, et al. Multiple regression analysis of the factors affecting the sinking performance of large-scale tuna purse seine [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(3): 672-681.
- [31] SUYAMA S, OSHIMA K, NAKAGAMI M, et al. Seasonal changes in otolith and somatic growth in age-0 Pacific saury *Cololabis saira* [J]. Fisheries Science, 2011, 77(2): 223-233.
- [32] HITAKA Y. Model experiments on the sardine purse seine operating in Hyuganada-6 [J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1958, 24(6/7): 407-410.
- [33] 徐国强, 许柳雄, 周成, 等. 金枪鱼围网下沉性能提升特性的研究 [J]. 南方水产科学, 2015, 11(3): 22-28.
- XU G Q, XU L X, ZHOU C, et al. Measurement and analysis of rising characteristics of tuna purse seine leadline [J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(3): 22-28.
- [34] KIM Y H. Geometry of the model purse seine in relation to enclosed volume during hauling operation [J]. Fisheries and Aquatic Science, 2000, 3(2): 156-162.

## Factors influencing the stick-held net status of Pacific saury (*Cololabis saira*) fishery based on weighted analysis and GAM

LIU Yang<sup>1</sup>, SHI Yongchuang<sup>2</sup>, HUA Chuanxiang<sup>3</sup>, ZHU Qingcheng<sup>3</sup>, WANG Xiaodong<sup>3</sup>, MENG Lingwen<sup>3</sup>  
(1. Hunan Xinhai Company Limited, Yiyang 413100, Hunan, China; 2. Key and Open Laboratory of Oceanic Laboratory of Remote Sensing Information Technology in Fishing Resource, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Shanghai 200090, China; 3. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Based on the data collected by saury stick-held operation in the northwest Pacific from July to October in 2016 and from June to October in 2017, we analyzed the factors (fishing operations and marine environment) influencing the stick-held net status of Pacific saury (*Cololabis saira*) fishery based on boosting regression tree weighted analysis and generalized additive model. The results showed that: Among the factors influencing the maximum net sinking depth, the top four factors with weight are current speed of 30 m layer (20.15%), current speed of 60 m layer (18.92%), length of lead line loose (16.85%) and current speed of 10 m layer (15.52%); The top four influencing factors of lifting speed were hauling speed (23.17%), current speed of 30 m layer (20.05%), current speed of 10 m layer (18.27%) and current speed of 60 m layer (16.26%). Current speed of 30 m and 60 m layers and length of lead line loose had significant effects on the maximum net sinking depth; The maximum net sinking depth was positively correlated with the length of lead line loose, there was a negative correlation between the maximum net sinking depth and current speed of 10 m, 30 m and 60 m layers; hauling speed and current speed of 10 m, 30 m and 60 m layers had significant effects on lifting speed; the lifting speed was positively correlated with the hauling speed; there was a negative correlation between the lifting speed and current water speed. Hauling speed was the most important factor affecting the lifting speed, followed by current speed of 30 m layer, current speed of 10 m layer and current speed of 60 m layer.

**Key words:** *Cololabis saira*; stick-held net; fishing efficiency; weighted analysis; generalized additive model