

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.20009

南海中南部海域鳶乌贼 CPUE 影响因素的 GAM 分析

李杰, 张鹏, 晏磊, 王腾, 杨炳忠

中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部外海渔业开发重点实验室, 广东 广州 510300

摘要: 为更深入了解南海外海鳶乌贼的渔场渔期及单位捕捞努力量渔获量(CPUE)变化特征, 研究基于广义加性模型(GAM), 利用海上实测数据分析了多种因素对南海中南部海域鳶乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*) CPUE 的影响。研究发现: (1)最佳 GAM 模型的影响因素包括经纬度、月相、海表温度 SST、月份、作业时间与 0~50 m 温度梯度 $\Delta 50$, 以方差解释率降序排列, 前三种因素依次为经纬度、月相、SST; (2)10°~12° N、112°~114° E 附近海域鳶乌贼 CPUE 最高; (3)月黑夜与月光夜间的鳶乌贼 CPUE 存在显著性差异, 月黑夜显著高于月光夜; (4)鳶乌贼渔场的最适 SST 范围为 29.00~29.49 °C, 此范围内 CPUE 与渔获量均为最高; (5)不同月份间的鳶乌贼 CPUE 存在显著性差异, 且 8、9 月的 CPUE 高于 3、4 月; (6)鳶乌贼 CPUE 随作业时间先变大后变小, 最大值出现在凌晨 1 时; (7) $\Delta 50$ 在 0.100~0.149 °C/m 时 CPUE 最高, 0.000~0.049 °C/m 时渔获量最大。

关键词: 鳶乌贼; CPUE; 影响因素; GAM

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)08-0906-10

鳶乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)具有生命周期短, 资源储量大等特点^[1-2], 据评估春季南海外海鳶乌贼资源量约 457×10^4 t^[3]。鳶乌贼是大型钢制罩网渔船在南海外海的主捕鱼种^[4], 开发利用其资源对于维护中国南海海洋权益, 缓解近岸捕捞压力具有积极意义。

广义加性模型(GAM)是广义线性模型(GLM)的非参数化拓展, 利用样条函数表示自变量与因变量间的非线性关系, 在渔业研究中已被广泛应用^[5-16]。Zagaglia 等^[7]基于 GAM 模型研究了巴西延绳钓渔业中黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacores*)单位捕捞努力量渔获量(CPUE)与环境变量间的关系, 发现黄鳍金枪鱼 CPUE 最大的区域与热带辐合带的位置密切相关。Zainuddin 等^[8]通过 GAM 模型与 GLM 模型结合的方式研究了北太平洋西部海域长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)渔场与海洋水文状况间的关系, 发现海洋涡旋和锋面可能会解释长鳍金枪鱼最高 CPUE 区域的空间分布。Chiu 等^[12]利用 GAM 模型分析了阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)

CPUE 与各影响因素间的关系, 并识别出阿根廷滑柔鱼在低丰度、高丰度年份的两种独特运动模式。

在南海鳶乌贼 CPUE 的研究中也广泛用到了 GAM 模型。晏磊等^[17-18]基于 GAM 模型分别研究了月相、网具沉降性能对 CPUE 的影响, 招春旭等^[19]在 GAM 模型中选取月相、作业时间作为变量, 范江涛等^[20]利用 GAM 模型研究了鳶乌贼渔场与海洋环境因子间的关系。本研究选取时空因素(经纬度、月)、作业操作要素(月相、作业时间)、海洋环境因素(海表温度 SST、0~50 m 温度梯度 $\Delta 50$)等, 模型变量较上述研究更为全面, 且环境数据均为海上实测, 结果有助于更深入了解南海中南部海域鳶乌贼的渔场渔期及 CPUE 变化特征, 并为南海外海鳶乌贼渔业的发展提供参考资料与技术支持。

1 材料与方法

1.1 数据采集

调查渔船为灯光罩网渔船“桂北渔 80208”。钢

收稿日期: 2020-01-07; 修订日期: 2020-02-26.

基金项目: 农业农村部财政专项(NFZX2018); 农业农村部外海渔业开发重点实验室开放基金项目(LOF 2019-02).

作者简介: 李杰(1989-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事渔具渔法、渔具力学的研究. E-mail: lijie@scsfri.ac.cn

质, 总吨位 421 Gt, 总长 43.6 m, 型宽 7.60 m, 型深 4.10 m。渔船主机 2 台, 每台功率 201.0 kW; 电机 2 台, 每台功率 280 kW。罩网的主尺度为 281.60 m×81.76 m, 网具沉子纲配重 2816 kg, 网衣最大网目 35 mm, 网囊最小网目 20 mm。

调查时间为 2016 年 3—4 月、10—11 月, 2017 年 4—5 月、8—9 月, 2019 年 8—9 月, 调查海域为南海中南部海域, 站点见图 1。研究数据均为海上实测所得, 共计 106 d、336 网次, 包括每网次的经纬度、年月、农历日、作业时间、每网次鳶乌贼渔获量等; RBR duo TD 绑于网口沉纲处, 实时记录海水温度变化, 测量间隔 1 s。

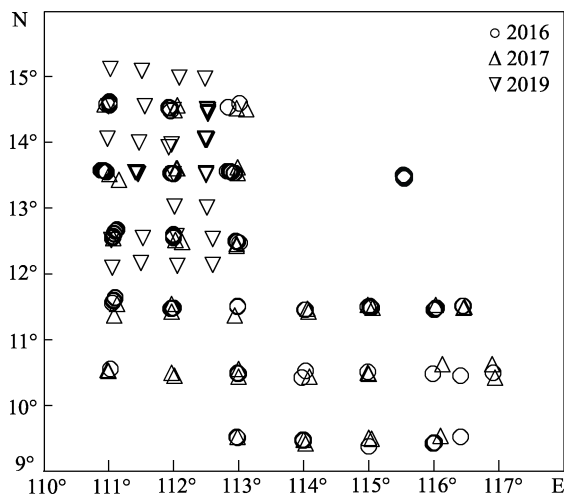


图 1 南海中南部海域鳶乌贼调查站点示意图
Fig. 1 Survey sites for *Sthenoteuthis oualaniensis* in central-southern part of South China Sea

1.2 数据处理

鳶乌贼的 CPUE 为每网次的渔获量, 单位 kg/网。

温度梯度是两层温度之差除以两层距离^[21], 单位℃/m。

影响鳶乌贼 CPUE 的因素可能包括时空因素(经纬度、月)、作业操作要素(月相、作业时间)、海洋环境因素(海表温度 SST、0~50 m 温度梯度 Δ50)。其中, 335 网次的沉降深度超过 50 m, 选取 0~50 m 进行温度梯度影响的研究可最大程度保证数据质量。研究数据年份跨度小且不连续, 故未将年作为 CPUE 的影响因素放入模型。

广义可加模型是广义线性模型的非参数扩展形式, 可模拟各种因素对 CPUE 的非线性作用。因实验数据中 2 网次的 CPUE 为 0, 对所有 CPUE 加上常数^[15, 22] 0.1 取对数变换, 构建的 GAM 模型方程如下:

$$\ln(\text{CPUE} + 0.1) = s(\text{lon}, \text{lat}) + s(m) + s(l) + s(h) + s(\text{SST}) + s(\Delta 50)$$
 (1)

式中, s 为自然样条平滑函数; lon 表示经度; lat 表示纬度; m 表示月份; l 表示农历日; h 表示作业时间; SST 表示海表温度; Δ50 表示 0~50 m 温度梯度。

使用单因素方差分析检验不同月份、作业时间、SST 范围、Δ50 范围及月黑夜与月光夜间的鳶乌贼 CPUE 有无显著性差异。其中, 根据农历日区分月光夜(初八至廿二)和月黑夜(初一至初七、廿三至三十)^[23], SST 范围以 0.5℃为一个区间, Δ50 以 0.05℃/m 为一个区间。

数据处理通过 Excel 2010、R3.5.3 进行。

2 结果与分析

2.1 最佳模型

模型选择采用 AIC 值。将所有的因素依次放入 GAM 模型, 模型统计参数见表 1。随着因素的

表 1 包含不同影响因素 GAM 模型的统计参数
Tab. 1 Statistical characteristics of the GAM models including different influencing factors

公式 formula	AIC	方差解释% explained variance	决定系数 R^2 determination coefficient
$\ln(\text{CPUE} + 0.1) \sim s(\text{lon}, \text{lat})$	1104.018	18.0	0.135
$\ln(\text{CPUE} + 0.1) \sim s(\text{lon}, \text{lat}) + s(m)$	1096.46	21.8	0.165
$\ln(\text{CPUE} + 0.1) \sim s(\text{lon}, \text{lat}) + s(m) + s(l)$	1028.327	38.6	0.330
$\ln(\text{CPUE} + 0.1) \sim s(\text{lon}, \text{lat}) + s(m) + s(l) + s(h)$	999.9563	44.3	0.388
$\ln(\text{CPUE} + 0.1) \sim s(\text{lon}, \text{lat}) + s(m) + s(l) + s(h) + s(\text{SST})$	931.9141	59.1	0.522
$\ln(\text{CPUE} + 0.1) \sim s(\text{lon}, \text{lat}) + s(m) + s(l) + s(h) + s(\text{SST}) + s(\Delta 50)$	881.8196	63.7	0.576

加入, 模型 AIC 值不断减小, 方差解释与决定系数不断增大, 且最终各因素均对模型存在显著性影响(表 2), $\ln(\text{CPUE} + 0.1) = s(\text{lon}, \text{lat}) + s(m) + s(l) + s(h) + s(\text{SST}) + s(\Delta 50)$ 为最佳模型。检验最佳模型残差见图 2, 残差近似符合正态分布, 说明模型拟合较好。

表 2 最佳 GAM 模型检验值
Tab. 2 F-test for significance of non-parametric effects of the best GAM model

变量 factor	自由度 degree of freedom	F	P
lon, lat	26.156	2.782	9.23E-06*
m	4.193	7.288	8.37E-06*
l	7.060	11.173	9.38E-13*
h	3.405	11.513	1.16E-07*
SST	8.117	6.379	2.41E-07*
$\Delta 50$	7.246	8.438	1.25E-09*

注: *表示因素对模型存在显著性影响。
Note: * means that factor has a significant effect on the model.

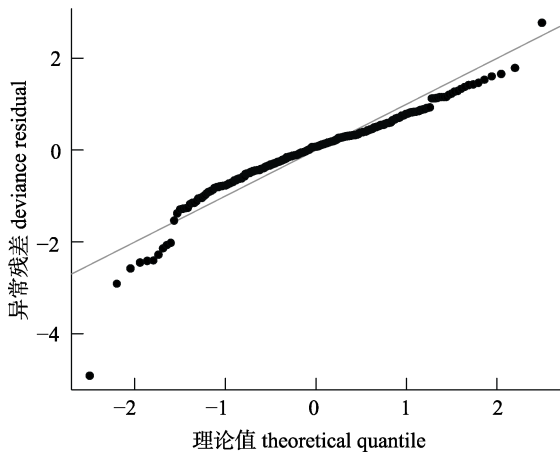


图 2 鳶乌贼最佳 GAM 模型残差图
Fig. 2 Residual plot of the best GAM model

2.2 经纬度

经纬度的方差解释率在所有变量中最高, 为 18%。图 10A 中带有标记 1 或 0 的黑色实线^[15]表明, 鳶乌贼 CPUE 较高的区域主要有三处, 分别位于 10°N~12°N、112°E~114°E, 9°30'N、115°E~116°E 及 10°N~12°N、117°E 附近, 分别对应图 10B (经纬度对 CPUE 影响效应的三维空间图) 中的穹顶部及右侧的两处凸起。穹顶部区域(10°N~12°N, 112°E~114°E) CPUE 最高, 且红色虚线(1 个正的

标准差)和蓝色虚线(1 个负的标准差)表示此处标准差置信区间小于右侧凸起处, 其置信度较高。调查期间渔获量 93.259 t, 平均 CPUE 277.557 kg/网。穹顶部区域内渔获量 20.972 t, CPUE 308.412 kg/网; 作业主要集中在 4 月、9 月, 其中 9 月渔获量 10.289 t, CPUE 381.083 kg/网; 4 月渔获量 9.234 t, CPUE 279.818 kg/网。9 月 CPUE 明显高于 4 月。

2.3 月相

月相的方差解释率居于次位, 为 16.8%。图 10D 显示月相对鳶乌贼 CPUE 的影响曲线呈 V 型, 先降低后升高, 低谷出现在月光夜。月黑夜作业 193 网, 渔获量 67.351 t, CPUE 348.970 kg/网; 月光夜作业 143 网, 渔获量 25.908 t, CPUE 181.176 kg/网。单因素方差分析表明月黑夜与月光夜间的鳶乌贼 CPUE 存在显著性差异($P=1.08\text{e-}09<0.05$)(图 3)。

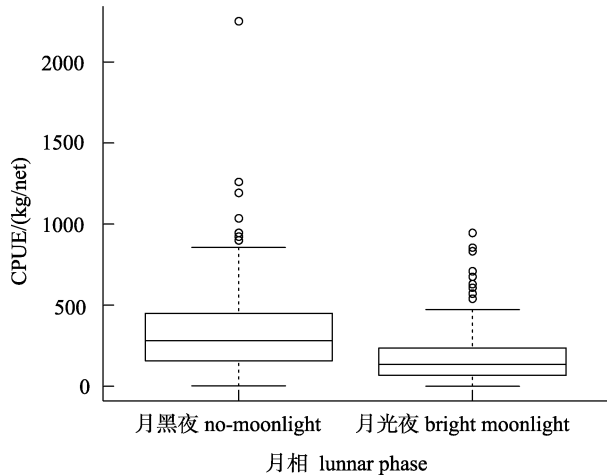


图 3 月黑夜与月光夜鳶乌贼 CPUE 的箱型图
Fig. 3 Box figure of *Sthenoteuthis oualaniensis* CPUE in no-moonlight and bright moonlight night

2.4 SST

SST 的方差解释率为 14.8%, 居于第三位。28.00 °C 以下、30.00 °C 以上时置信区间大, 数据密度小, 置信度低; 28.00~30.00 °C 置信度较高, 影响曲线呈先降低, 小幅回升后再降低的趋势, 波峰位于 29.50 °C 附近(图 10F)。单因素方差分析表明不同 SST 分组的鳶乌贼 CPUE 不存在显著性差异($P=0.872>0.05$)(图 4)。28.50~29.99 °C 时鳶乌贼渔获量为 69.619 t, 占总渔获量的 74.65%, 且 CPUE 为 309.419 kg/网, 为平均 CPUE 的 1.11 倍; 其中 CPUE 与渔获量最高的温度分组均为 29.00~29.49 °C

(图 5), CPUE 348.724 kg/网, 渔获量 30.688 t。

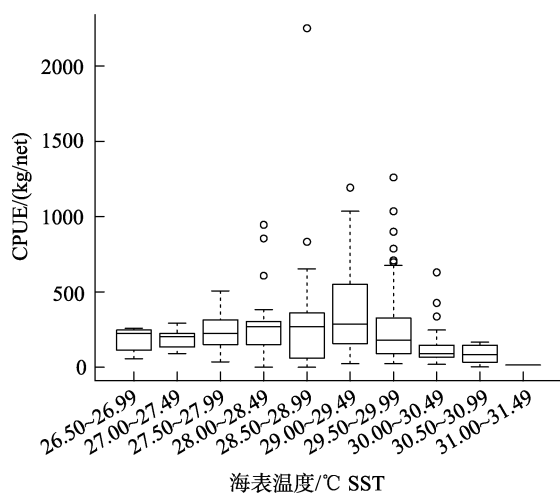


图 4 不同 SST 分组的鳶乌贼 CPUE 箱型图

Fig. 4 Box figure of *Sthenoteuthis oualaniensis* CPUE under different SST groups

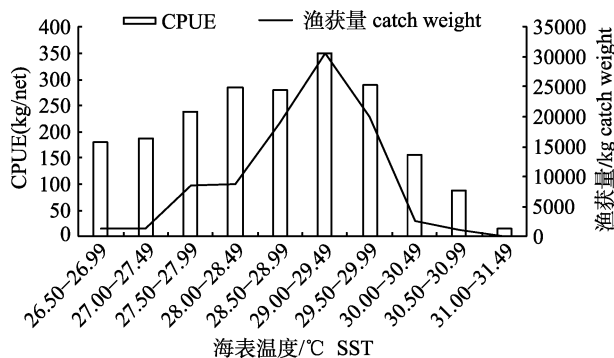


图 5 不同 SST 分组的鳶乌贼平均 CPUE 与渔获量

Fig. 5 The average CPUE and weight of *Sthenoteuthis oualaniensis* under different SST groups

2.5 月份、作业时间与 $\Delta 50$

月份的方差解释率为 3.8%。图 10C 显示 3—5 月对 CPUE 的影响呈递增趋势, 8—11 月呈递减趋势。单因素方差分析表明不同月份间的鳶乌贼 CPUE 存在显著性差异($P=0.000134<0.05$)(图 6)。8 月 CPUE 最高, 且 8 月、9 月的 CPUE 高于 3 月、4 月; 鳶乌贼渔获量主要集中在 4 月、8 月、9 月, 且数值差异不大, 分别为 28.380 t、28.932 t、27.960 t(图 7)。

作业时间的方差贡献率为 5.7%。图 10E 显示作业时间对鳶乌贼 CPUE 的影响呈穹顶状, 先升高后降低, 波峰位于凌晨 1 时附近。单因素方差分析表明不同作业时间的鳶乌贼 CPUE 不存在显著性差异($P=0.15>0.05$)(图 8)。CPUE 的最大值出现在

凌晨 1 时(指 1 时到 2 时这一时段), 为 410.932 kg/网, 渔获量最高的时间为 21 时, 但此时 CPUE 较低, 仅为 180.043 kg/网(图 9), 20 时 CPUE 高于 21 时, 但此时作业网次太少, 参考价值不大。

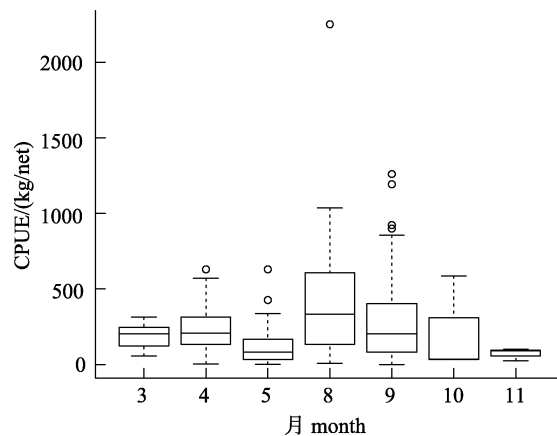


图 6 不同月份鳶乌贼 CPUE 的箱型图

Fig. 6 Box figure of *Sthenoteuthis oualaniensis* CPUE in different months

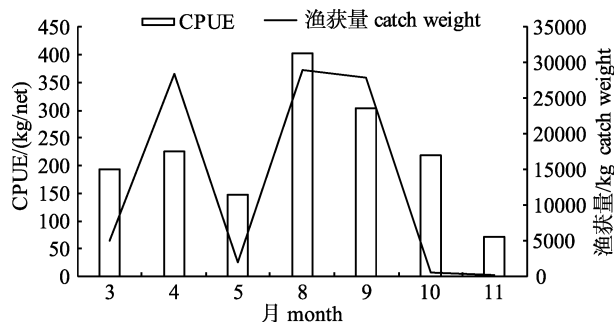


图 7 不同月份鳶乌贼的平均 CPUE 与渔获量

Fig. 7 The average CPUE and weight of *Sthenoteuthis oualaniensis* in different months

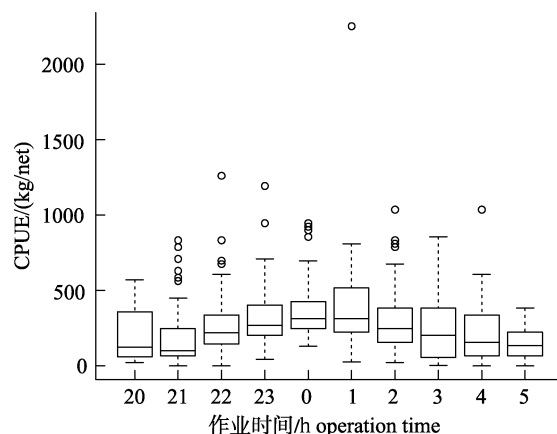


图 8 不同作业时间鳶乌贼 CPUE 的箱型图

Fig. 8 Box figure of *Sthenoteuthis oualaniensis* CPUE in different operation time groups

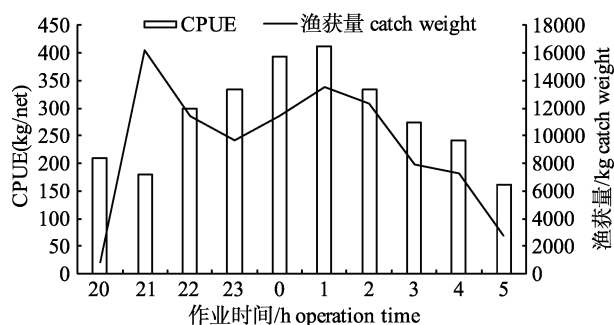


图 9 不同作业时间鳶乌贼的平均 CPUE 与渔获量
Fig. 9 The average CPUE and weight of *Sthenoteuthis oualaniensis* in different operation time groups

$\Delta 50$ 的方差贡献率为 4.6%。图 10G 显示 $\Delta 50$ 对 CPUE 的影响曲线依次呈现一个波谷两个波峰, 而后下降的形状。单因素方差分析表明不同 $\Delta 50$ 分组的 CPUE 不存在显著性差异 ($P=0.636>0.05$) (图 11)。 $\Delta 50$ 在 $0.100\sim 0.149\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 时 CPUE 最高, 为 $319.918\text{ kg}/\text{net}$; 其次为 $-0.049\sim -0.001\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 时, 为 $310.500\text{ kg}/\text{net}$, 但此分组因作业网次少导致渔获量较小, 仅为 9.004 t ; $0.000\sim 0.049\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 时渔获量最大, 为 47.890 t , 占总渔获量的 51.35%, 但 CPUE 较低, 为 $258.865\text{ kg}/\text{net}$ (图 12)。

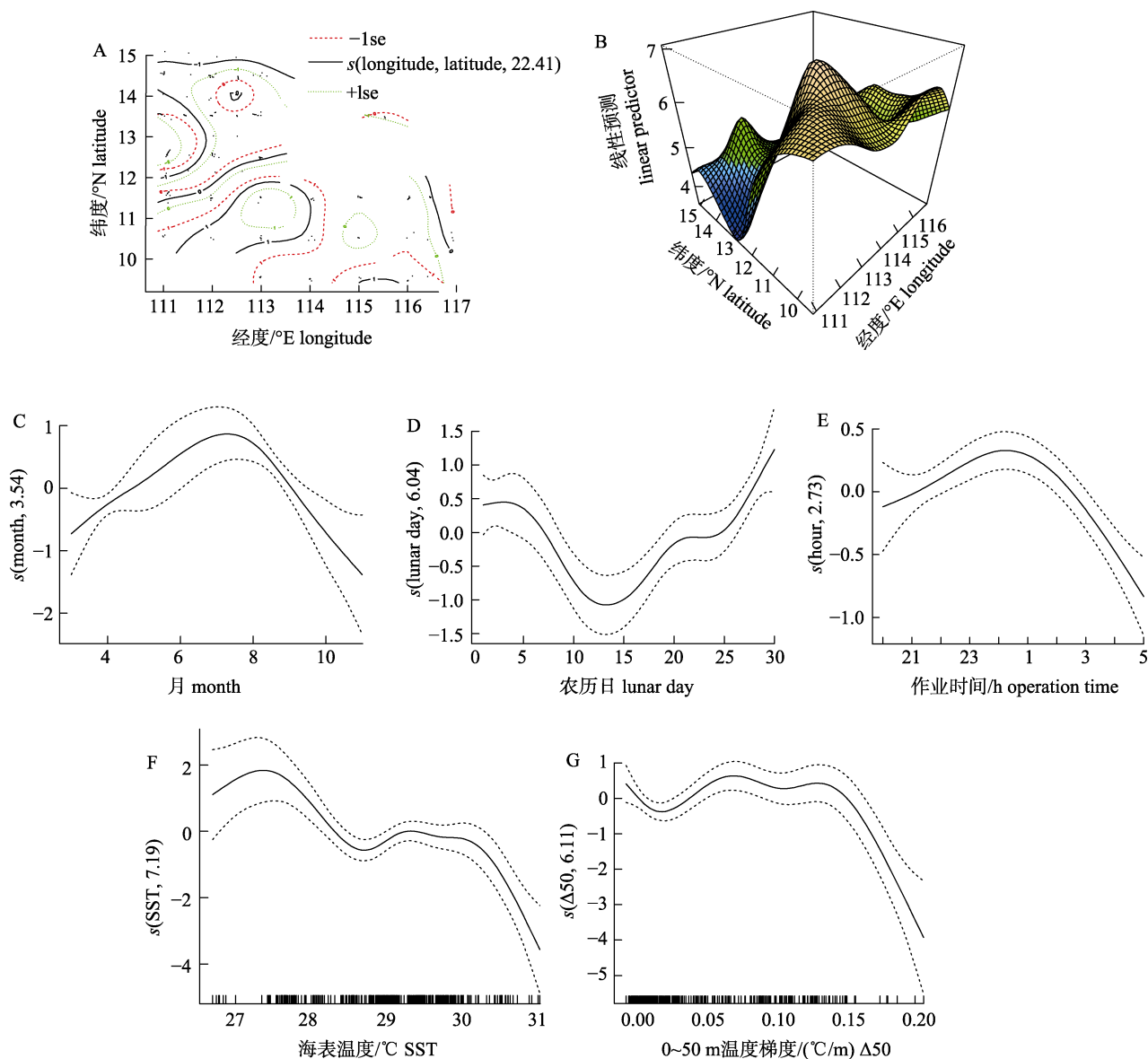
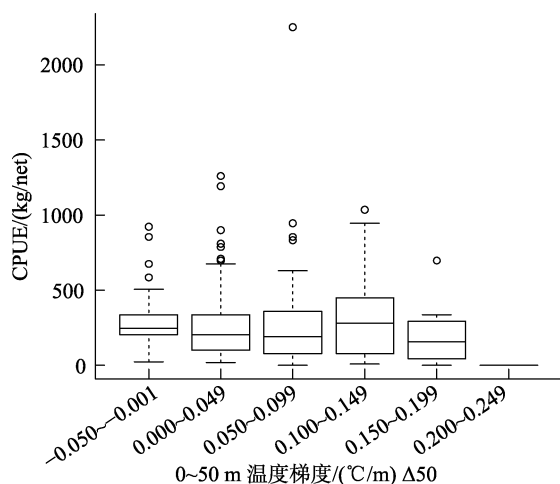
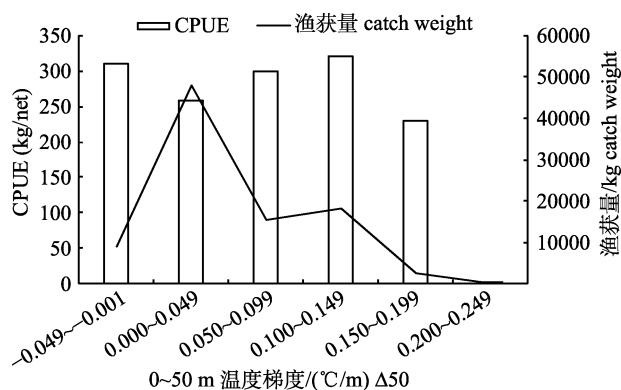


图 10 GAM 模型中变量对鳶乌贼 CPUE 的影响图
Fig. 10 GAM-derived effects of six predictors on CPUE of *Sthenoteuthis oualaniensis*

图 11 不同 $\Delta 50$ 分组的鳶乌贼 CPUE 箱型图Fig. 11 Box figure of *Sthenoteuthis oualaniensis* CPUE under different $\Delta 50$ groups图 12 不同 $\Delta 50$ 分组的鳶乌贼平均 CPUE 与渔获量Fig. 12 The average CPUE and weight of *Sthenoteuthis oualaniensis* under different $\Delta 50$

3 讨论

3.1 鳶乌贼渔场

南沙海域北部靠近越南一侧的区域 ($10^{\circ}\text{N}\sim 12^{\circ}\text{N}$ 、 $112^{\circ}\text{E}\sim 114^{\circ}\text{E}$) 鳶乌贼 CPUE 最高, 且 9 月 CPUE 明显高于 4 月。招春旭^[24]分析 2012—2014 年南海海域作业渔船信息与生产数据发现南海鳶乌贼渔场重心在 11°N 、 113°E 海域, 与本研究结果相一致。该区域 CPUE 较高且 9 月明显高于 4 月的现象可能与越南东部沿海夏季存在的离岸流现象有关。离岸流有着明显的季节内和年际变化^[25], 主轴位置集中在 $10^{\circ}\text{N}\sim 14^{\circ}\text{N}$, 平均约为 12°N ^[26], 纬向范围在 $109^{\circ}\text{E}\sim 113^{\circ}\text{E}$ 之间^[27], 离岸流伴随强烈的上升流动力过程, 二者共同导致

SST 降低, 叶绿素浓度和浮游植物密度变高^[28]。离岸流现象对 SST 等海洋环境的影响很可能对鳶乌贼资源量的增长起到了积极作用。今后的研究中应重视离岸流区域的环境数据与渔获数据的采集, 进一步分析离岸流现象对鳶乌贼渔场形成的影响。

3.2 月相与 SST

月相对鳶乌贼 CPUE 影响显著。单因素方差分析表明月黑夜与月光夜间的鳶乌贼 CPUE 存在显著性差异, 月黑夜显著高于月光夜。这与晏磊等^[17]、招春旭等^[19]的研究结果相一致。月光夜因月光的影响, 灯光诱集鱼群的效果变差, 渔船在此期间一般试捕 1、2 网, 效益不佳便会停止作业。

SST 是对鳶乌贼 CPUE 影响最大的环境因素。诸多研究^[24, 29-32]证实 SST 是影响鱿鱼渔场(栖息地)分布的重要环境因素。头足类对海水温度较为敏感^[33], 温度不仅影响头足类自身的生长(卵的孵化率^[34]、成体大小和生命周期^[35]), 还可能对饵料生物的丰度产生影响。本研究中鳶乌贼渔场的最适 SST 范围为 $29.00\sim 29.49^{\circ}\text{C}$, 此范围内 CPUE 与渔获量均为最高; $28.50\sim 29.99^{\circ}\text{C}$ 时也较适宜鳶乌贼的捕获。晏磊等^[21]发现最适 SST 在春季和秋季基本一致, 范围为 $28.5\sim 29.5^{\circ}\text{C}$, 与本研究结果较为一致; 徐红云等^[29]认为南海外海鳶乌贼中心渔场的最适 SST 范围为 $26.4\sim 29.6^{\circ}\text{C}$, 最适温度范围低于本研究。调查月份的不同可能是上述差异的原因, 南海 SST 在 3 月时较低, 4 月开始升高, 本研究调查时间主要集中在 4 月、8 月、9 月, 3 月调查网次较少, 仅占总网次的 7.74%, 导致低 SST 的网次数据不足。

3.3 月份、作业时间与 $\Delta 50$

单因素方差分析表明不同月份间的鳶乌贼 CPUE 存在显著性差异, 8 月 CPUE 最高, 且 8 月、9 月的 CPUE 高于 3 月、4 月。渔船捕捞鳶乌贼主要集中在春季, 8 月份休渔期结束, 近海作业有利可图, 渔船倾向于近海作业, 无法捕获鳶乌贼资源^[24]。针对这一现象, 或可鼓励罩网渔船在休渔期结束后前往外海作业, 这对缓解近海捕捞压力具有积极意义。

鳶乌贼 CPUE 随作业时间先变大后变小, 最大值出现在凌晨 1 时, 渔获量最高的时间为 21 时。

21 时是刚开始作业的时段, 存在较多试捕网次, 这可能是导致该段时间渔获量最高但 CPUE 较低的原因。鸢乌贼有明显的昼夜垂直迁移特性, 一般在傍晚开始上浮, 22:00 左右上浮至 100 m 以浅水层, 4:00 左右开始下沉^[31]。这种迁移特性很可能是导致 CPUE 呈现上述规律的原因。

$\Delta 50$ 在 0.100~0.149 °C/m 时 CPUE 最高; 0.000~0.049 °C/m 时渔获量最大, 但此时 CPUE 较低。晏磊等^[21]认为 5~50 m 温度梯度对鸢乌贼渔获量影响显著, 春、秋季分别在 0.00~0.05 °C/m、0.15~0.20 °C/m 组距内 CPUE 较高, 与本研究结果存在差异。这种差异可能是调查区域、时间的不同导致的。温跃层会对鸢乌贼的昼夜垂直移动产生限制从而影响鸢乌贼的集群^[24], 本研究中仪器测量深度不足, 今后应收集更深水层的温度数据, 完善温度梯度对鸢乌贼 CPUE 的影响分析。

参考文献:

- [1] Chen X J, Liu B L, Wang Y G. Cephalopods of the World[M]. Beijing: China Ocean Press, 2009: 312-442. [陈新军, 刘必林, 王尧耕. 世界头足类[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 312-442.]
- [2] Zhang J, Chen G B, Zhang P, et al. Estimation of purpleback flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) resource in the central and southern South China Sea based on fisheries acoustics and light-falling net[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(4): 822-831. [张俊, 陈国宝, 张鹏, 等. 基于渔业声学 and 灯光罩网的南海中南部鸢乌贼资源评估[J]. 中国水产科学, 2014, 21(4): 822-831.]
- [3] Zhang J, Qiu Y S, Chen Z Z, et al. Advances in pelagic fishery resources survey and assessment in open South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(6): 118-127. [张俊, 邱永松, 陈作志, 等. 南海海外大洋性渔业资源调查评估进展[J]. 南方水产科学, 2018, 14(6): 118-127.]
- [4] Li M, Zhang P, Zhang J, et al. Genetic differentiation of the purpleback flying squid, *Sthenoteuthis oualaniensis*, in the South China Sea: Population or species divergence[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(1): 133-140. [李敏, 张鹏, 张俊, 等. 南海鸢乌贼的遗传差异: 种群分化还是种间分化[J]. 中国水产科学, 2019, 26(1): 133-140.]
- [5] Maury O, Gascuel D, Marsac F, et al. Hierarchical interpretation of nonlinear relationships linking yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) distribution to the environment in the Atlantic Ocean[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2001, 58(3): 458-469.
- [6] Venables W N, Dichmont C M. GLMs, GAMs and GLMMs: An overview of theory for applications in fisheries research[J]. Fisheries Research, 2004, 70(2-3): 319-337.
- [7] Zagaglia C R, Lorenzetti J A, Stech J L. Remote sensing data and longline catches of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the equatorial Atlantic[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 93(1-2): 267-281.
- [8] Zainuddin M, Saitoh K, Saitoh S I. Albacore (*Thunnus alalunga*) fishing ground in relation to oceanographic conditions in the western North Pacific Ocean using remotely sensed satellite data[J]. Fisheries Oceanography, 2008, 17(2): 61-73.
- [9] Zhu G P, Zhu X Y, Xu Y Y, et al. The spatiotemporal distribution of fishing grounds for Antarctic krill (*Euphausia superba*) around the South Orkney Islands in austral summer-autumn and its relation to environmental factors based on a generalized additive model[J]. Chinese Journal of Polar Research, 2012, 24(3): 266-273. [朱国平, 朱小艳, 徐怡瑛, 等. 基于 GAM 模型分析夏秋季南奥克尼群岛南极磷虾渔场时空分布及与环境因子之间的关系[J]. 极地研究, 2012, 24(3): 266-273.]
- [10] Zhu G P. Effects of temporal and environmental factors on the fishing ground of Antarctic krill (*Euphausia superba*) in the northern Antarctic Peninsula based on generalized additive model[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(12): 1863-1871. [朱国平. 基于广义可加模型研究时间和环境因子对南极半岛北部南极磷虾渔场的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(12): 1863-1871.]
- [11] Tang H, Xu L X, Chen X J, et al. Effects of spatiotemporal and environmental factors on the fishing ground of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Western and Central Pacific Ocean based on generalized additive model[J]. Marine Environmental Science, 2013, 32(4): 518-522. [唐浩, 许柳雄, 陈新军, 等. 基于 GAM 模型研究时空及环境因子对中西太平洋鲣鱼渔场的影响[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(4): 518-522.]
- [12] Chiu T Y, Chiu T S, Chen C S. Movement patterns determine the availability of Argentine shortfin squid *Illex argentinus* to fisheries[J]. Fisheries Research, 2017, 193: 71-80.
- [13] Yang S L, Zhang B B, Tang B J, et al. Influence of vertical structure of the water temperature on bigeye tuna longline catch rates in the tropical Atlantic Ocean[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(4): 875-883. [杨胜龙, 张怵怵, 唐宝军, 等. 基于 GAM 模型分析水温垂直结构对热带大西洋大眼金枪鱼渔获率的影响[J]. 中国水产科学, 2017, 24(4): 875-883.]

- [14] Jia M X, Huang L Y, Chu J W, et al. Studies on the nonlinear and spatial nonstationary effects of environmental factors on the distribution of Antarctic krill (*Euphausia superba*)[J]. Periodical of Ocean University of China, 2019, 49(8): 19-26. [贾明秀, 黄六一, 褚建伟, 等. 基于 GAM 和 GWR 模型分析环境因子对南极磷虾资源分布的非线性和非静态性影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(8): 19-26.]
- [15] Yang S L, Fan X M, Wu Y M, et al. The relationship between the fishing ground of mackerel (*Scomber australasicus*) in Arabian Sea and the environment based on GAM model[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(8): 2466-2470. [杨胜龙, 范秀梅, 伍玉梅, 等. 基于 GAM 模型的阿拉伯海鲈鱼渔场分布与环境关系[J]. 生态学杂志, 2019, 38(8): 2466-2470.]
- [16] Li M K, Zhang C L, Li M, et al. Relationship between the spatiotemporal distribution of *Conger myriaster* and environmental factors in the southern waters off the Shandong Peninsula during autumn and winter[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(5): 1115-1122. [李明坤, 张崇良, 李敏, 等. 山东南部近海秋、冬季星康吉鳗分布与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2018, 25(5): 1115-1122.]
- [17] Yan L, Zhang P, Yang L, et al. Effect of moon phase on fishing rate by light falling-net fishing vessels of *Symplectoteuthis oualaniensis* in the South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(3): 16-21. [晏磊, 张鹏, 杨吝, 等. 月相对南海灯光罩网鳶乌贼渔获率的影响分析[J]. 南方水产科学, 2015, 11(3): 16-21.]
- [18] Yan L, Li J, Yang B Z, et al. Relationship between sinking performance of light falling-net and catch rate of *Sthenoteuthis oualaniensis*[J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(4): 10-16. [晏磊, 李杰, 杨炳忠, 等. 光诱罩网沉降性能对鳶乌贼渔获率的影响[J]. 南方水产科学, 2018, 14(4): 10-16.]
- [19] Zhao C X, Qiu X Y, He X B, et al. Relationship between lunar phase, water depth and operation time and CPUE of purpleback flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) in South China Sea in spring[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(11): 2372-2382. [招春旭, 邱星宇, 何雄波, 等. 南海春季月相、水深、作业时间与鳶乌贼 CPUE 的关系[J]. 水产学报, 2019, 43(11): 2372-2382.]
- [20] Fan J T, Zhang J, Feng X, et al. Relationship between *Sthenoteuthis oualaniensis* fishing ground and marine environmental factors in Nansha area[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 419-426. [范江涛, 张俊, 冯雪, 等. 南沙海域鳶乌贼渔场与海洋环境因子的关系[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 419-426.]
- [21] Yan L, Zhang P, Yang B Z, et al. Relationship between the catch of *Symplectoteuthis oualaniensis* and surface temperature and the vertical temperature structure in the South China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(2): 469-477. [晏磊, 张鹏, 杨炳忠, 等. 南海鳶乌贼产量与表温及水温垂直结构的关系[J]. 中国水产科学, 2016, 23(2): 469-477.]
- [22] Briand K, Molony B, Lehodey P. A study on the variability of albacore (*Thunnus alalunga*) longline catch rates in the southwest Pacific Ocean[J]. Fisheries Oceanography, 2011, 20(6): 517-529.
- [23] Song L M, Zhang Z. Effects of lunar phases and setting time on the catch rates of bigeye tuna and yellowfin tuna[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2010, 25(3): 214-218. [宋利明, 张智. 月相和延绳钓不同投绳时间对大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼渔获率的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2010, 25(3): 214-218.]
- [24] Zhao C X. The Spatial-temporal distribution and the construction of the prediction model of the purpleback flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) in South China Sea[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2017: 1-47. [招春旭. 南海鳶乌贼渔场时空分布及其预报模型构建[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2017: 1-47.]
- [25] Li Y L, Han W Q, Wilkin J L, et al. Interannual variability of the surface summertime eastward jet in the South China Sea[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2014, 119(10): 7205-7228.
- [26] Li H, Wang Q, Huang K, et al. Characteristics of eddy-mean flow interaction in the offshore current area of western South China Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2017, 48(5): 912-925. [李晗, 王强, 黄科, 等. 1992—2011 年夏季南海西部离岸流区涡流相互作用特征[J]. 海洋与湖沼, 2017, 48(5): 912-925.]
- [27] Xiang R, Fang W D, Lu Y Z, et al. Observed three-dimensional structures of a cold eddy and an eastward jet in the western South China Sea during September 2014[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2015, 34(6): 1-10. [向荣, 方文东, 鲁远征, 等. 2014 年 9 月南海西部冷涡及东向急流三维结构观测[J]. 热带海洋学报, 2015, 34(6): 1-10.]
- [28] Xie S P, Xie Q, Wang D X, et al. Summer upwelling in the South China Sea and its role in regional climate variations[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2003, 108(C8): 3261.
- [29] Xu H Y, Cui X S, Zhou W F, et al. Analysis on optimal habitats of purpleback flying squid in the open South China Sea based on remote sensing data[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(11): 3080-3085. [徐红云, 崔雪森, 周为峰, 等. 基于海洋遥感的南海外海鳶乌贼最适栖息环境分析[J]. 生态学杂志, 2016, 35(11): 3080-3085.]

- [30] Tian S Q, Chen X J, Yang X M. Study on the fishing ground distribution of *Symlectoteuthis oualaniensis* and its relationship with the environmental factors in the high sea of the northern Arabian Sea[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2006(1): 51-57. [田思泉, 陈新军, 杨晓明. 阿拉伯北部公海海域鳶乌贼渔场分布及其与海洋环境因子关系[J]. 海洋湖沼通报, 2006(1): 51-57.]
- [31] Fan J T, Chen Z Z, Zhang J, et al. *Sthenoteuthis oualaniensis* fishing grounds analysis based on marine environmental factors and different weight coefficients in the Zhongxisha and Xisha Islands, South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(4): 57-63. [范江涛, 陈作志, 张俊, 等. 基于海洋环境因子和不同权重系数的南海中沙西沙海域鳶乌贼渔场分析[J]. 南方水产科学, 2016, 12(4): 57-63.]
- [32] Wen J, Lu X Y, Chen X J, et al. Predicting the habitat hot spots of winter-spring cohort of *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean based on the sea surface temperature and photosynthetically active radiation[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 456-463. [温健, 陆鑫一, 陈新军, 等. 基于海表温度和光合有效辐射的西北太平洋柔鱼冬春生群体栖息地热点预测[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 456-463.]
- [33] Chen X J, Liu B L, Tian S Q, et al. Fishery biology of purpleback squid, *Sthenoteuthis oualaniensis*, in the northwest Indian Ocean[J]. Fisheries Research, 2007, 83(1): 98-104.
- [34] Staaf D J, Zeidberg L D, Gilly W F. Effects of temperature on embryonic development of the Humboldt squid *Dosidicus gigas*[J]. Marine Ecology Progress Series, 2011, 441: 165-175.
- [35] Arkhipkin A, Argüelles J, Shcherbich Z, et al. Ambient temperature influences adult size and life span in jumbo squid (*Dosidicus gigas*)[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2015, 72(3): 400-409.

Factors that influence the catch per unit effort of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the central-southern South China Sea based on a generalized additive model

LI Jie, ZHANG Peng, YAN Lei, WANG Teng, YANG Bingzhong

Key Laboratory of Open-Sea Fishery Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China

Abstract: *Sthenoteuthis oualaniensis* is the main fish species obtained from falling-net fishery in the South China Sea. The development and utilization of its resources has a positive significance for safeguarding China's marine rights in the South China Sea and alleviating the pressure of near-shore fishing. To have a better understanding of the fishing grounds and seasons and catch per unit effort (CPUE) characteristics of *S. oualaniensis*, the impacts of multiple factors on the CPUE of *S. oualaniensis* in the central-southern part of the South China Sea were studied based on a generalized additive model and data acquired in the sea. The results showed that (1) the explained variance of optimization model was 63.7%, the determination coefficient was 0.576, and the influencing factors included latitude and longitude (explained variance was 18%), moon phase (16.8%), sea surface temperature (SST) (14.8%), month (3.8%), operation time (5.7%) and vertical temperature gradient of 0-50 m ($\Delta 50$) (4.6%). (2) During the investigation, 336 operations were conducted, the catch weight was 93.259 t, and the average CPUE was 277.557 kg/net. The CPUE of *S. oualaniensis* in the sea area near 10°-12° N, 112°-114° E was the highest, and the CPUE of September was obviously higher than that of April. This might be related to the Vietnam offshore flow that exists along the eastern coast of Vietnam. (3) The influence curve of moon phase on the CPUE was V-shaped, which decreased first and then increased. There was a significant difference in the CPUE of *S. oualaniensis* between bright moonlight nights and no-moonlight nights. The CPUE on no-moonlight nights (348.970 kg/net) was significantly higher than that on bright moonlight nights (181.176 kg/net). The reason for the significant difference might be that the effect of the fish lamp for attracting fish was diminished in bright moonlight. (4) The confidence coefficient of the influence curve of SST on the CPUE was higher when SST was 28 °C to 30 °C. In this range, the

influence curve showed a trend of first decreasing, then increasing, and then decreasing, and the peak was located near 29.5 °C. The optimal SST of *S. oualaniensis* fishing grounds ranged from 29.00 °C to 29.49 °C, at which the CPUE (348.724 kg/net) and catch weight (30.688 t) were both the highest. When SST was 28.50 °C to 29.99 °C, the catch weight (69.619 t) accounted for 74.65% of the total weight, the CPUE (309.419 kg/net) was 1.11 times the average CPUE, and this SST range was suitable for catching *S. oualaniensis*. (5) The impact of month on CPUE increased from March to May, and it decreased from August to November. There were significant differences in the CPUE of *S. oualaniensis* in different months, and the CPUE of August and September was higher than that of March and April. The production of *S. oualaniensis* was mainly concentrated in April (28.380 t), August (28.932 t), and September (27.960 t), with little difference in weight. Falling-net fishing operations were mainly concentrated in spring, and the falling-net fishing vessels tended to fish in coastal waters after the closed fishing season. In response to this phenomenon, falling-net fishing vessels might be encouraged to go to open sea for catching *S. oualaniensis* after the closed fishing season, which had a positive effect on alleviating the pressure of near-shore fishing. (6) One-way analysis of variance showed no significant difference in CPUE among the different operation times. The CPUE of *S. oualaniensis* increased initially, then reduced with operation time. The maximum value appeared at 1 hours (410.932 kg/net). The highest catch weight appeared at 21 hours, but the CPUE was low at this time, at only 180.043 kg/net. (7) One-way analysis of variance showed no significant difference in CPUE among different $\Delta 50$. The CPUE was highest when $\Delta 50$ was in the range of 0.100-0.149 °C/m, and the maximum catch weight appeared when $\Delta 50$ was in the range of 0.000-0.049 °C/m. The research results could provide reference and technical support for the development of *S. oualaniensis* fishing in the South China Sea.

Key words: *Sthenoteuthis oualaniensis*; CPUE; influencing factors; GAM

Corresponding author: LI Jie. E-mail: lijie@scsfri.ac.cn

· 书 讯 ·

由林浩然院士和张勇、卢丹琪、李水生完成的译著《鱼类应激生物学》(ISBN 978-7-306-06706-7)已于近日由中山大学出版社出版发行。

本书为美国科学出版社 2016 年出版的《鱼类生理学》系列专著中的第 35 卷《鱼类应激生物学》(Biology of Stress in Fish)。它全面收集和总结了近三十多年来在鱼类应激生物学方面发表的科学著作和研究成果,内容包括:(1) 对应激的综合性论述—应激的概念,应激反应的生理特性,影响应激反应的因素;(2) 引起应激反应变动的生物性因素和非生物性因素;(3) 应激反应怎样产生以及如何进行调整;(4) 应激对鱼类生理的和鱼体功能与行为表现的影响;(5) 鱼类应激的评估、应激管理和动物福利以及鱼类作为模式生物的应激等共 13 章。

本书内容充实,系统全面,概念新颖,论述清晰,是一部学术水平很高的专著。

本书可供鱼类学、鱼类生理学、鱼类养殖生物学、鱼类内分泌学、鱼病学(鱼类病害学)、鱼类免疫学、鱼类分子生物学、鱼类遗传育种学等相关学科与研究领域的科学技术工作者和高等院校有关专业的师生学习参考;亦是专业的水产养殖工作者、观赏鱼类爱好者和关心动物健康和福利的人们的一本有用的参考书。

对本书感兴趣的读者和师生们可以直接与中山大学出版社联系订购(地址:广州市海珠区新港西路 135 号,邮编 510275,电话 020-84111998,传真 020-84036565)或者京东网上购买。