



中国沿海刺网网具遗失率影响因子

宋利明^{1,2*}, 陈明锐¹, 丁睿智¹, 王迪¹, 周旺¹, 李轶婷¹

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 为掌握影响我国沿海刺网渔船网具遗失率 (R_G) 的因子及其程度, 对中国沿海渔民开展了问卷调查。利用调查数据, 结合 GAM 模型分析了影响我国刺网渔船网具遗失率的因子及其程度。结果显示: ①影响我国沿海刺网渔船网具遗失率的因子(解释偏差)分别为单航次天数(86.8%)、年作业天数(4.2%)、单航次渔具携带重量(2.8%)、作业水深(2.4%)、渔船吨位(0.9%)和年均渔具采购数量(0.1%); ②GAM 模型能用于研究渔船网具遗失率和影响因子之间的关系; ③随着单航次天数和年作业天数的增加, R_G 呈上升的趋势; ④随着作业水深的增加、单航次渔具携带重量超过 18000 kg 时, R_G 呈下降趋势。建议采取以下措施以降低刺网渔船网具遗失率: ①单航次天数不得超过 30 d, 减少年作业天数; ②根据渔船的吨位, 确保网具单航次携带重量在 18000 kg 以上; ③根据刺网渔具的高度规定作业水深和作业渔区; ④渔船总吨位控制在 200 t 以内。

关键词: 刺网; 网具遗失率; 影响因子; GAM; 中国沿海

中图分类号: S 972.11

文献标志码: A

据 Macfadyen 等^[1]的粗略估计, 全球每年的废弃、丢失或以其他方式丢弃的渔具 (abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear, ALDFG) 遗弃入海量约占全球范围内海洋垃圾排放入海总量的 10%, 对海洋生态及渔业带来了不可忽视的影响。据报道中国海洋垃圾主要由塑料组成, 占海洋垃圾总量的 77.5%~88.7%^[2], 但捕捞作业产生的 ALDFG 相关报导较少^[3]。ALDFG 最主要的来源是沿海和远洋捕捞业, 沿海捕捞业产生 ALDFG 的风险最大^[4]。截至 2018 年末, 我国沿海刺网渔船数量为 8.77 万艘, 占我国沿海捕捞渔船总数的 56.19% 左右, 是我国沿海捕捞渔业最主要的作业方式之一^[5], 更是我国最大的 ALDFG 潜在产生源之一。遗失的刺网网具可以保持 2 年以上的

高幽灵捕捞率^[6-9]。考虑到我国庞大的沿海刺网渔船基数^[5]及其捕捞过程中产生的 ALDFG 对我国沿海海洋生态的潜在影响, 有必要对我国沿海刺网渔船网具遗失情况开展调查和研究。

调查渔船网具遗失情况最常用的方法是问卷调查和远程 (如通过电话和电子邮件咨询船长、船员以及其他渔业专家等) 问卷调查^[10-13]。关于刺网渔具遗失情况的研究主要通过分析刺网网具遗失率 (以每艘渔船遗失重量、遗失数量和遗失长度的百分比来表示) 来衡量刺网网具遗失的严重性^[14]。国外已有学者对刺网网具遗失率^[10-13, 15-16]和遗失网具密度^[10-13, 16-17]进行了大量的研究, 但对于影响刺网网具遗失率的因子及其影响程度尚未见报道。本研究参考国外相关 ALDFG 问卷

收稿日期: 2020-05-22 修回日期: 2021-03-19

资助项目: 联合国粮食与农业组织 (FAO) 健康生态系统和清洁环境的负责任捕捞技术项目 (D8005180178); 国家“八六三”高新技术研究发展计划 (2012AA092302)

通信作者: 宋利明 (照片), E-mail: lmsong@shou.edu.cn



调查的内容^[4, 13, 18-21], 设计适合在我国开展刺网网具遗失情况的问卷调查表, 对我国沿海刺网渔船网具遗失情况进行调查。根据调查数据, 利用 GAM 模型^[22-28], 分析影响我国沿海刺网网具遗失率的因子及其影响程度, 提出降低刺网网具遗失率的措施, 为今后研究 ALDFG 和制订相关管理措施提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据收集

2019年6月、7月和12月分别在辽宁省盘锦市、山东省威海市、江苏省连云港市和南通市、浙江省舟山市和广东省阳江市和湛江市, 采用座谈会或走访渔民开展问卷调查。问卷调查主要涉及: ①渔船及相关参数; ②渔具采购信息; ③渔船作业及渔具遗失信息。

本研究共收集了41艘刺网渔船的数据, 其中12艘为流刺网作业渔船, 2艘为底层刺网作业渔船, 27艘渔船根据渔情在底层刺网和流刺网之间轮作(表1)。数据包括: 总吨位(T)、总功率(P)、船长度(VL)、船龄(VA)、船长年龄(CA)、年作业天数(AFD)、单航次天数(AVD)、单航次渔具携带重量(VGCW)、单张刺网网具重量[包括底层刺网网具重量(BGNW)和流刺网网具重量(DGNW)]、年均渔具采购数量(AGPN)、作业水深(FD)和刺网网具遗失数量(GNLN)等。本研究调查获得的底层刺网和流刺网单片网片长度、网具高度和重量见表2。

1.2 分析方法

问卷调查数据的处理方法 由于部分刺网渔船在上半年的前两个月进行底层刺网作业, 下半年禁渔期结束后开始流刺网作业, 随着时间的推移, 逐渐改为底层刺网作业, 但因本研究问卷调查中并未获得底层刺网和流刺网作业的具体更换时间, 因此本研究按照2种刺网网具的年采购数量和总重量计算该刺网渔船的单张

表1 刺网渔船数据来源

Tab. 1 Data sources and sampling number of gillnetters

数据来源地 data source	流刺网 drift net	底层刺网 bottom gillnet	底层和流刺网轮作 alternating fishing
江苏省 Jiangsu Province	10	2	
山东省 Shandong Province	1		
浙江省 Zhejiang Province	1		
辽宁省 Liaoning Province			10
广东省 Guangdong Province			17
合计 total	12	2	27

网具的平均重量用于后续分析, 计算公式:

$$W_{GA} = \frac{W_{GP}}{N_{GPB} + N_{GPG}} \quad (1)$$

式中, W_{GA} 为单张刺网网具平均重量(kg); W_{GP} 为刺网网具年采购总重量(kg); N_{GPB} 为底层刺网网具年采购数量(片); N_{GPG} 为流刺网网具年采购数量(片)。

$$W_{GP} = W_{GPB} \times N_{GPB} + W_{GPG} \times N_{GPG} \quad (2)$$

式中, W_{GPB} 为单张底层刺网网具重量(kg); W_{GPG} 为单张流刺网网具重量(kg)。

由于在刺网渔业中每个航次携带的网具都会下水作业, 因此其发生遗失的概率基本一致, 且一旦遗失即为整张网具遗失。一张刺网网具捕获到渔获物, 就会发生破损, 在此航次结束后渔民会报废该航次携带的所有网具, 并在下个航次携带全新的刺网网具出海作业。因此可以认为每张网具仅发生遗失1次且概率相同, 基于刺网网具年携带总重量的刺网渔船网具遗失率(R_G)计算方法:

$$R_G(\%) = \frac{W_G}{W_{GAC}} \times 100\% \quad (3)$$

式中, R_G 为刺网渔船网具遗失率(%); W_G 为刺网渔船网具年遗失重量(kg); W_{GAC} 为刺网网具年携带总重量(kg)。

$$W_G = W_{GPG} \times N_{LG} + W_{GPB} \times N_{LB} \quad (4)$$

表2 流刺网和底层刺网网具规格

Tab. 2 Specifications of netting for drifting and bottom gillnet

刺网网具类型 types of netting	高度/m height	长度/m length	网具重量/kg netting weight	作业水深/m fishing depth
底层刺网 bottom gillnet	2~15	25~120	2.0~17.5	7.5~35.0
流刺网 drifting gillnet	15~21	25~120	5.0~92.5	25.0~80.0

$$W_{GAC} = N_{GA} \times W_{GA} \times \frac{D_F}{D_V} \quad (5)$$

式中, N_{LG} 为流刺网网具遗失数量 (片); N_{LB} 为底层刺网网具遗失数量 (片); N_{GA} 为单航次渔具携带数量 (片); D_F 为年作业天数 (d); D_V 为单航次天数 (d)。 $N_{GA} \times W_{GA}$ 为单航次渔具携带重量 (kg, W_{GV})。

分析影响刺网渔船网具遗失率的因子 刺网渔船网具遗失率 R_G 为因变量, 吨位、总功率、船长度、船龄、船长年龄、年作业天数、单航次天数、单航次渔具携带重量、年均渔具采购

数量、网具平均重量、年网具采购重量和作业水深等 12 个变量为自变量, 利用 SPSS 23 软件检验自变量间的多重共线性, 逐步剔除总功率、船长度和年网具采购重量等 3 个与其他自变量存在多重共线性的变量, 余下 9 个自变量 (吨位、船龄、船长年龄、年作业天数、单航次天数、单航次渔具携带重量、年均渔具采购数量、网具平均重量和作业水深) 的 VIF 值均小于 10 (表 3), 无多重共线性^[29], 可作为进一步分析影响刺网渔船网具遗失率的因子。

表 3 因子间的多重共线性诊断

Tab. 3 Multicollinearity diagnosis for factors

因子 factors	1		2		3		4	
	容差 tolerance	VIF	容差 tolerance	VIF	容差 tolerance	VIF	容差 tolerance	VIF
吨位 gross tonnage	0.12	8.09	0.17	5.97	0.19	5.43	0.21	4.67
总功率 total power	0.05	21.77						
船长 vessel length	0.06	17.45	0.08	14.21				
船龄 vessel age	0.44	2.27	0.48	2.08	0.50	2.01	0.53	1.89
船长年龄 captain age	0.59	1.70	0.59	1.70	0.60	1.67	0.71	1.41
年作业天数 annual fishing days	0.13	7.84	0.13	7.48	0.13	7.48	0.24	4.98
单航次天数 average voyage days	0.14	7.04	0.15	6.69	0.15	6.55	0.26	4.25
单航次渔具携带重量 voyage gear carrying weight	0.13	7.79	0.14	7.06	0.15	6.88	0.41	2.43
年均渔具采购数量 annual procurement number	0.42	2.38	0.45	2.24	0.46	2.15	0.48	2.08
年渔具采购重量 annual gear procurement weight	0.07	14.75	0.10	11.72	0.10	10.07		
网具平均重量 net average weight	0.19	5.36	0.29	3.49	0.59	1.69	0.59	1.69
作业水深 fishing depth	0.14	6.99	0.17	5.83	0.17	5.82	0.35	2.87

利用 RStudio 软件中的广义可加性模型的逐步回归进行解释变量选择, 筛选出 Akaike information criterion(AIC) 信息统计量最低的解释变量为最优的解释变量^[30], 将增加模型 AIC 值的解释变量删除, 保留降低模型 AIC 值的解释变量^[30]。

将各解释变量逐一代入 GAM 模型, 分析刺网渔船网具遗失率 (R_G) 与各解释变量的关系, GAM 模型表达式:

$$R_G = \alpha + \sum_{j=1}^n f_i(x_j) + \varepsilon \quad (6)$$

式中, R_G 为刺网渔船网具遗失率; x_j 为各自变量, 包括吨位、船龄、船长年龄、年作业天数、单航次天数、单航次渔具携带重量、年均渔具采购

数量、网具平均重量和作业水深等; $f_i(x_j)$ 为各自变量的样条函数; α 为适合函数中的截距; ε 为残差, 与 x_j 无关, 期望值为 0, $\varepsilon = \sigma^2$, 符合正态分布。

根据 AIC 值综合判断最佳 GAM 模型。利用 F 检验评估解释变量的显著性^[31]。根据估计自由度 (estimated degrees of freedom) 和参考自由度 (referred degrees of freedom) 判断遗失率与解释变量是否存在线性关系。

2 结果

各解释变量逐一加入 GAM 模型, 根据最

小 AIC 准则^[32], 最优 GAM 模型包含 6 个解释变量:

$$R_G = \alpha + f(\text{AVD}) + f(\text{AFD}) + f(\text{VGCW}) + f(\text{T}) + f(\text{AGPN}) + f(\text{FD}) + \varepsilon \quad (7)$$

式中, AVD 为单航次天数 (d)、AFD 为年作业天数 (d)、VGCW 为单航次渔具携带重量 (kg)、T 为渔船吨位 (t)、AGPN 为年均渔具采购数量 (片) 和 FD 为作业水深 (m)。

考虑各变量的综合效应对 R_G 的影响, 该模型的累积偏差解释率为 97.2% (表 4)。GAM 模型的分析结果中, 单航次天数对 R_G 的影响最大, 解释了 86.8% 的总偏差, 下面依次是年作业天数 (4.2%)、单航次渔具携带重量 (2.8%)、作业水深 (2.4%)、吨位 (0.9%) 和年均渔具采购数量 (0.1%)。GAM 最优模型的选择结果表明, 单航次天数、年作业天数、平均网具重量、吨位、年均渔具采购数量和作业水深的综合效应对刺网渔船遗失渔具产生较大的影响。从表 5 可知, AVD、T、AGPN 和 FD 对 R_G 影响显著, AFD 和 VGCW 对 R_G 影响不显著。

单航次天数的增加会促进 R_G 的提高, 特别

是在 30 d 以上时, 增加更快 (图 1-a); 年作业天数的增加对 R_G 的提高影响较小 (图 1-b); 单航次渔具携带重量的增加会整体抑制 R_G 的提高, 单航次渔具携带重量低于 18000 kg 时, R_G 会随着渔具携带重量的增加而提高 (图 1-c); 当刺网渔船吨位低于 200 总吨时, R_G 会随着渔船吨位的增加而提高, 而渔船吨位一旦超过 200 总吨, R_G 又会降低 (图 1-d); 当年均渔具采购数量低于 30000 片左右时, R_G 会随着渔具采购数量的增加而显著增加, 年均渔具采购数量超过 30000 片之后, 随着渔具采购数量的增加又会抑制 R_G 的提高 (图 1-e); 刺网渔船作业水深的增加导致 R_G 呈直线下降的趋势 (图 1-f)。

3 讨论

3.1 GAM 模型的适用性

GAM 模型能提供更多关于刺网渔船网具遗失率和影响因子之间关系的信息, 可以对影响因子进行遴选, 拟合出刺网渔船网具遗失率与影响因子的最佳关系。单航次天数、吨位、单

表 4 R_G 的 GAM 拟合结果偏差分析及最适 GAM 模型选择

Tab. 4 Deviation analysis of GAM fitting results of R_G and selection of optimal GAM model

模型因子 models	累计偏差解释率/% accumulated explained deviance	调整后的 R^2 adjusted R^2	AIC 值 AIC value
+单航次天数/d +average voyage days (AVD)	86.80	0.86	349.76
+年作业天数/d + annual fishing days (AFD)	91.00	0.90	340.09
+单航次渔具携带重量/kg + voyage gear carrying weight (VGCW)	93.80	0.92	330.10
+吨位/t + gross tonnage (T)	94.70	0.93	328.21
+年均渔具采购数量/片 + annual gear procurement number (AGPN)	94.80	0.94	322.24
+作业水深/m + fishing depth (FD)	97.20	0.96	306.62

表 5 刺网渔船网具遗失率 GAM 模型统计结果

Tab. 5 GAM model statistical results of netting gear loss rate for gillnetters

模型因子 model factors	估计自由度 estimated df	参考自由度 referred df	F 值 F value	P 值 P value
单航次天数 average voyage days (AVD)	2.00	2.00	42.33	<0.001
年作业天数 annual fishing days (AFD)	1.00	1.00	0.24	>0.1
单航次渔具携带重量 voyage gear carrying weight (VGCW)	1.79	1.96	3.32	<0.1
吨位 gross tonnage (T)	1.95	2.00	9.43	<0.001
年均渔具采购数量 annual gear procurement number (AGPN)	3.92	3.99	6.91	<0.001
作业水深 fishing depth (FD)	1.00	1.00	11.92	<0.01

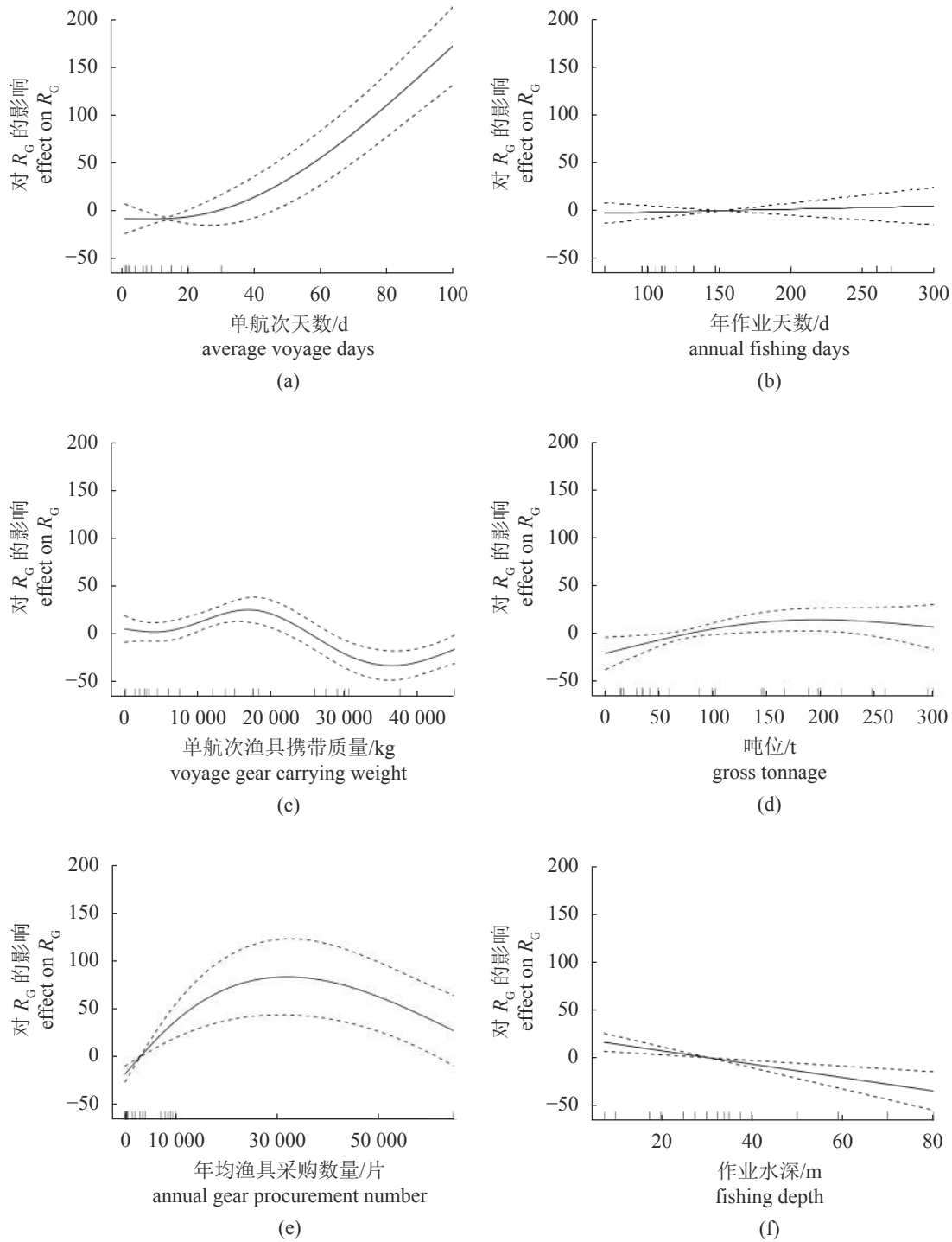


图 1 最优 GAM 模型各因子与 R_G 的关系

Fig. 1 Relationship between model factors and R_G in the optimal GAM

航次渔具携带重量和年均渔具采购数量估计自由度均不为 1，说明其与刺网渔船网具遗失率并不存在线性关系；年作业天数和作业水深的估计自由度和参考自由度为 1，说明其与刺网渔船网具遗失率存在线性关系 (表 5)。因此对于分析刺网渔船网具遗失率，采用一般

的线性模型并不能较好地解释刺网渔船网具遗失率与各影响因子间的关系。GAM 模型能较好地描述自变量和因变量的线性关系和非线性关系，因此 GAM 模型适用于分析刺网渔船网具遗失率和影响因子之间的关系。此外，在估计模型参数时，GAM 模型中每个变量相对独立，每

个独立变量不会对其他因子产生依赖(表3)。

3.2 影响刺网渔船网具遗失率(R_G)的因子

研究表明, R_G 受 3 个方面因素的影响, 分别为作业参数(单航次天数、年作业天数和作业水深)、渔船参数(吨位)和渔具用量参数(年均渔具采购数量、单航次渔具携带重量), 其中作业参数对 R_G 的影响最大。

单航次天数的增加会导致 R_G 明显增长。单航次天数是作业参数中对 R_G 影响最大的因子。当单航次天数大于 30 d 时, 增长趋势更为明显。刺网渔船舶单航次海上作业时间越长, 刺网网具重复使用的可能性就越大, 网具多次重复使用、水下浸泡后网具会发生缩水、老化现象, 缩水、老化的旧渔具比新渔具发生遗失的可能性更高^[33]。

随年作业天数的增加, R_G 略有上升。刺网渔船每次回港后基本会将破损且影响捕捞性能的网具换成全新的网具, 但部分船长会留下表面完好的网具在下一个航次继续使用, 以减少捕捞成本。随着年作业天数的增加, 这些再次投入使用的表面完好的网具数量就增加。旧网具比新网具遗失的可能性要高^[33], 但旧网具在年作业天数的增加过程中累计数量不大。

随着作业水深的增加, R_G 呈明显下降的趋势。这可能是因为布设水深相对较浅的刺网更容易受到潮汐的影响, 导致被海底障碍物钩挂而发生遗失。此外, 底层刺网的遗失率高于流刺网^[34], 而底层刺网的作业水深(7.5~35.0 m)一般浅于流刺网的作业水深(25.0~80.0)(表2)。

刺网渔船吨位达到 200 总吨左右时, R_G 达到最高。这可能是由于刺网渔船越大, 所携带的刺网网具就越多, 船上可替换网具比较充足, 发生网具遗失的概率就下降, 但下降的趋势不明显。

年均采购数量不超过 10000 片时, R_G 会随着渔具采购数量的增加有明显的上升趋势。我国沿海刺网渔船每年采购的网具数量一般不超过 10000 片。当刺网网具报废或者意外遗失时, 就需要采购新的网具, 采购越多的网具意味着每年因意外或正常报废的网具数量和因各种原因遗失的网具数量越多, R_G 就会越高。

单航次渔具携带重量超过 18000 kg 时, R_G 呈现下降的趋势。船上准备充足的替换网具可减少作业过程中刺网渔具的重复使用, 在保证

刺网网具的捕捞效率不变的情况下也在一定程度上降低了网具遗失的概率。

3.3 降低刺网网具遗失率的建议

规定单航次天数, 控制年作业天数 单航次天数不得超过 30 d, 减少对刺网网具重复使用的次数。控制年作业天数, 减少再次投入使用的表面完好的网具数量。

控制渔船的大小 渔船的大小控制在 200 总吨以内, 减少与其他作业方式或其他同类刺网渔船的网具发生冲突的可能性。

控制网片年均采购数量, 尽可能提高单航次渔具携带重量 刺网网片每年的采购数量不超过 10000 片。根据渔船的吨位, 尽可能提高单航次渔具携带重量, 确保携带重量在 18000 kg 以上。

规定作业水深和作业渔区 根据刺网渔具的高度规定作业水深, 避免过高刺网渔具在水深过浅渔区作业, 按照渔场的流速和海底地形规定最大网高。

宏观控制渔船数量, 确定最佳浸泡时间和渔具长度 宏观控制渔船数量, 整体减少刺网作业产生的 ALDFG, 减少渔具间的作业冲突。进一步研究确定刺网渔具水下浸泡时间和渔具长度对刺网网具遗失率的影响, 针对不同规格渔船、不同渔区, 规定合理的刺网网列长度, 减少刺网与其他渔船或同类渔具发生冲突。

3.4 展望

影响刺网遗弃的因子还有网具材料、操作方式、捕捞对象和潮流等因子。由于本研究收集的样本数据较少, 而且“操作方式”的影响较难量化处理, 未能对这些因子产生的影响进行分析。今后应进一步收集样本数据、增加可量化处理的数据, 进一步研究影响刺网网具遗失率的因子。

参考文献 (References):

- [1] Macfadyen G, Huntington T, Cappell R. Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear[R]. Rome: UNEP/FAO, 2009: 1-115.
- [2] 中华人民共和国生态环境部. 2018 年中国海洋生态环境状况公报 [Z/OL]. 2018: 1-48. <http://hbdc.mee.gov.cn/hjyw/201905/W020190529623962003076.pdf> (2020-4-

- 20).
Ministry of Ecological Environment of the People's Republic of China. Report on the state of the ecology and environment in China 2018[Z/OL]. 2018: 1-48. <http://hbdc.mee.gov.cn/hjyw/201905/W020190529623962003076.pdf> (2020-4-20) (in Chinese).
- [3] 宋利明, 陈明锐. "丢弃渔具"研究进展[J]. 水产学报, 2020, 44(10): 1762-1772.
Song L M, Chen M R. A review of "abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear (ALDFG)"[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(10): 1762-1772 (in Chinese).
- [4] Richardson K, Gunn R, Wilcox C, *et al.* Understanding causes of gear loss provides a sound basis for fisheries management[J]. *Marine Policy*, 2018, 96: 278-284.
- [5] 中华人民共和国生态环境部. 2019 年中国海洋生态环境状况公报 [Z/OL]. 2019: 48. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/jagb/> (2020-4-20).
Ministry of Ecological Environment of the People's Republic of China. Report on the state of the ecology and environment in China 2019[Z/OL]. 2019: 48. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/jagb/> (2020-4-20) (in Chinese).
- [6] Kaiser M J, Bullimore B, Newman P, *et al.* Catches in 'ghost fishing' set nets[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 145(1-3): 11-16.
- [7] Pawson M G. The catching capacity of lost static fishing gears: introduction[J]. *Fisheries Research*, 2003, 64(2-3): 101-105.
- [8] Matsuoka T, Nakashima T, Nagasawa N. A review of ghost fishing: scientific approaches to evaluation and solutions[J]. *Fisheries Science*, 2005, 71(4): 691-702.
- [9] Nakashima T, Matsuoka T. Ghost-fishing mortality and fish aggregation by lost bottom-gillnet tangled around fish aggregation device[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2005, 71(2): 178-187.
- [10] Santos M N, Saldanha H, Gaspar M B, *et al.* Causes and rates of net loss off the Algarve (southern Portugal)[J]. *Fisheries Research*, 2003, 64(2-3): 115-118.
- [11] Antonelis K L. Qualitative estimates of current gillnet loss in the puget sound commercial salmon fisheries through semi-structured interviews[R/OL]. Bellingham, Washington, USA: Northwest Straits Marine Conservation Foundation, 2012: 24. <https://nwstraitsfoundation.org/download/qualitative-estimates-of-current-gillnet-loss-in-the-puget-sound-commercial-salmon-fisheries-through-semi-structured-interviews/?wpdmdl=614&refresh=5ea5edfc5bcf71587932668>. (2020-04-20).
- [12] Antonelis K L. Derelict gillnets in the Salish Sea: causes of gillnet loss, extent of accumulation and development of a predictive transboundary model[D]. Washington D. C.: University of Washington, 2013: 46.
- [13] Kim S G, Lee W I, Yuseok M. The estimation of derelict fishing gear in the coastal waters of South Korea: trap and gill-net fisheries[J]. *Marine Policy*, 2014, 46: 119-122.
- [14] Gilman E, Chopin F, Suuronen P, *et al.* Abandoned, lost and discarded gillnets and trammel nets[R]. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 600, Rome: FAO, 2016: 79.
- [15] MacMullen P, Hareide N, Furevik D, *et al.* A study to identify, quantify and ameliorate the impacts of static gear lost at sea [M/OL]. Fantared 2, Hull, UK, Sea fish industry authority, 2003: 490. http://www.seafish.org/media/Publications/FANTARED_2_COMPLETE.pdf. (2020-04-20).
- [16] Ayaz A, Ünal V, Acarli D, *et al.* Fishing gear losses in the Gökova special environmental protection area (SEPA), eastern mediterranean, Turkey[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2010, 26(3): 416-419.
- [17] Carr H, Cooper R. Manned submersible and ROV assessment of ghost gillnets in the Gulf of Maine[C]// Proceedings of the OCEANS '87. Halifax: IEEE, 1987: 622-624.
- [18] Dağtekin M, Ozyurt C E, Misir G B, *et al.* Rate and causes of lost "gillnets and entangling nets" in the Black Sea coasts of Turkey[J]. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2018, 19(8): 699-705.
- [19] Tonin S. Economic value of marine biodiversity improvement in coralligenous habitats[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 85: 1121-1132.
- [20] Moschino V, Riccato F, Fiorin R, *et al.* Is derelict fishing gear impacting the biodiversity of the Northern Adriatic Sea? An answer from unique biogenic reefs[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 663: 387-399.
- [21] Yıldız T, Karakulak F S. Types and extent of fishing

- gear losses and their causes in the artisanal fisheries of Istanbul, Turkey[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2016, 32(3): 432-438.
- [22] 李纲, 陈新军, 田思泉. 我国东、黄海鲈鱼灯光围网渔业CPUE标准化研究[J]. *水产学报*, 2009, 33(6): 1050-1059.
- Li G, Chen X J, Tian S Q. CPUE standardization of chub mackerel (*Scomber japonicus*) for Chinese large lighting-purse seine fishery in the East China Sea and Yellow Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2009, 33(6): 1050-1059 (in Chinese).
- [23] 王明琳. 黄海南部近岸春季小黄鱼产卵群体生物学与渔场动态的初步研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012: 40.
- Wang M L. The preliminary study about *Larimichthys polyactis* spawning group biology and fisheries dynamics in southern Yellow Sea coastal[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012: 40 (in Chinese).
- [24] Yu H, Jiao Y, Carstensen L W. Performance comparison between spatial interpolation and GLM/GAM in estimating relative abundance indices through a simulation study[J]. *Fisheries Research*, 2013, 147: 186-195.
- [25] Pourghasemi H R, Rossi M. Landslide susceptibility modeling in a landslide prone area in Mazandarn province, north of Iran: a comparison between GLM, GAM, MARS, and M-AHP methods[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2017, 130(1): 609-633.
- [26] Su N J, Yeh S Z, Sun C L, *et al.* Standardizing catch and effort data of the Taiwanese distant-water longline fishery in the western and central Pacific Ocean for bigeye tuna, *Thunnus obesus*[J]. *Fisheries Research*, 2008, 90(1-3): 235-246.
- [27] 栾静, 张崇良, 徐宾铎, 等. 海州湾双斑螞栖息分布特征与环境因子的关系[J]. *水产学报*, 2018, 42(6): 889-901.
- Luan J, Zhang C L, Xu B D, *et al.* Relationship between catch distribution of Portunid crab (*Charybdis bimaculata*) and environmental factors based on three species distribution models in Haizhou Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(6): 889-901 (in Chinese).
- [28] 王言丰, 余景, 陈丕茂, 等. 北部湾灯光罩网渔场时空分布与海洋环境关系分析[J]. *热带海洋学报*, 2019, 38(5): 68-76.
- Wang Y F, Yu J, Chen P M, *et al.* Relationship between spatial-temporal distribution of light falling-net fishing ground and marine environments[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2019, 38(5): 68-76 (in Chinese).
- [29] O'Brien R M. A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors[J]. *Quality & Quantity*, 2007, 41(5): 673-690.
- [30] Wood S N. Generalized additive models: an introduction with R[M]. Los Angeles: CRC Press, 2006, 66: 410.
- [31] Kim H Y, Lee C W, Shin J K, *et al.* Dynamic simulation of the behavior of purse seine gear and sea-trial verification[J]. *Fisheries Research*, 2014, 88(1-3): 109-119.
- [32] Iitaka Y. Model experiments on the sardine purse seine operating in Hyuganada-V[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1958, 23(9): 511-513.
- [33] Kershaw P J. Marine plastic debris and microplastics: global lessons and research to inspire action and guide policy change[R]. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2016: 179.
- [34] Adelir-Alves J, Rocha G R A, Souza T F, *et al.* Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gears in rocky reefs of Southern Brazil[J]. *Brazilian Journal of Oceanography*, 2016, 64(4): 427-434.

Influence factors on the netting gear loss rate of gillnet in coastal waters of China

SONG Liming^{1,2*}, CHEN Mingrui¹, DING Ruizhi¹, WANG Di¹, ZHOU Wang¹, LI Yiting¹

(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)

Abstract: The primary source of ALDFG is from the coastal and oceanic fishery and the maximum risk to produce ALDFG is from the coastal fishing industry. Gillnetters along the coast of China accounted for about 56% of the total number of fishing boats along the coast of China in 2018, and were one of the biggest potential source to produce ALDFG in China. Lost netting of gill net can keep the high rate of ghost fishing for more than 2 years. ALDFG produced by the gill net fishery along the coast of China will cause great influence to the coastal marine ecosystems in China. In order to understand the factors and their impact degree on the netting loss rate of gillnet in waters near China, a questionnaire survey was conducted among the Chinese coastal fishermen from June to December, 2019 and the areas covered Liaoning, Shandong, Jiangsu, Zhejiang and Guangdong provinces. The data from 41 gillnetters were collected including 13 variables, i.e. gross tonnage, power, vessel length, vessel age, captain age, annual fishing days, average voyage days, voyage gear carrying weight, net average weight, annual procurement number, annual gear procurement weight, fishing depth and the lost numbers of gillnet netting. Based on the questionnaire survey data, software SPSS 23 was used to analyze the multicollinearity among 12 independent variables, and eliminate gradually 3 variables that had multicollinearity with other independent variables. The remaining 9 independent variables that had no multicollinearity among them were used to analyze the relationship with the netting loss rate of gillnet in waters near China by GAM and to determine the best GAM based on the AIC value. The results indicate that, (1) The factors (explanation deviation) that effect the netting loss rate of gillnet (R_G) in waters near China are as follows: average voyage days (86.8%), annual fishing days (4.2%), voyage carrying netting weight (2.8%), fishing depth (2.4%), gross tonnage (0.9%) and annual gear procurement number (0.1%); (2) The GAM can be used to study the relationship between the netting loss rate of gillnetters and the fishing boat parameters, annual fishing gear procurement information and fishing ground information; (3) With the increase of voyage days and annual fishing days, R_G shows an increasing trend; (4) With the increase of fishing depth and the voyage carrying netting weight exceeding 18000 kg, R_G shows an decreasing trend. The measures recommended to reduce the netting loss rate of gillnetters are as follows: (1) The voyage days should not exceed 30 days and reduce the annual fishing days; (2) According to the gross tonnage of fishing boat, the voyage carrying netting weight should be more than 18000 kg; (3) The fishing depth and fishing area should be regulated according to the height of gillnet gear. We should specify the maximum height of gillnet gear according to the current and seabed topography of the fishing ground in waters near China; (4) The gross tonnage of fishing boat should be smaller than 200 gross tons.

Key words: gillnet; netting loss rate; influence factors; GAM; waters near China

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

Funding projects: Responsible Fishing Technology Project for Healthy Ecosystems and Clean Environment of Food and Agriculture Organization (FAO) of United Nations (D8005180178); National High Technology Research and Development Program (863 Program) Project (2012AA092302)