

DOI:10.3969/j.issn.1007-9580.2021.03.003

金枪鱼延绳钓渔业中缓解海龟误捕方法研究进展

宋利明^{1,2}, 许回¹, 隋恒寿³, 张敏^{1,2}

(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;

3 中水集团远洋股份有限公司, 北京 100032)

摘要:海龟是金枪鱼延绳钓误捕的主要物种之一, 如何减少其误捕是国际社会关切的热点。海龟栖息水层和环境不同于金枪鱼, 钓钩和饵料等也影响海龟的误捕。文章从钓钩深度、钓钩的选择性、饵料的选择性、环境因子以及声学因素等方面综述了国内外金枪鱼延绳钓渔业中缓解海龟误捕方法的研究进展。控制延绳钓钓钩深度是缓解海龟误捕的有效途径; 较大尺寸的圆型钩可以有效缓解海龟误捕; 蓝色染色饵料或许能缓解海龟误捕; 避开海龟偏好的海表面温度进行作业对缓解海龟误捕有效; 应用声学干扰可缓解海龟误捕。建议金枪鱼延绳钓渔业中缓解海龟误捕研究应做到: 确定钓钩最佳沉降深度; 探索减少海龟误捕和保证金枪鱼渔获率的钓钩最佳尺寸和钩型; 研究染色饵料或拟饵等对海龟选择性的影响; 考虑诱饵、钓钩类型、钓钩尺寸和钓具浸泡时长对海龟误捕和海龟释放后存活率的潜在协同效应; 继续开展利用声学区分海龟和金枪鱼及缓解海龟误捕方法的研究。

关键词:延绳钓; 海龟; 误捕; 缓解方法; 资源保护

中图分类号:S977

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2021)03-0018-11

“误捕”在拖网、延绳钓和刺网渔业中最常见^[1], 被认为是对渔业的可持续性、海洋生物多样性和海洋物种保护等的主要威胁之一。海龟面临灭绝的威胁主要来自刺网、漂流延绳钓和人工集鱼装置(FAD), 吞食塑料和聚苯乙烯制品等带来的死亡, 以及海洋开发带来的海龟栖息地退化和丧失等。金枪鱼延绳钓带来的死亡率是导致中上层目标鱼种和误捕物种体型减小和数量减少的主要驱动力^[2]。金枪鱼延绳钓误捕或兼捕的海龟、鲨鱼、鲸类等大型海洋动物一般具有寿命长、生长慢、繁殖率低的特征。因此研究人员和自然资源保护者担心海龟等物种会因误捕死亡而灭绝^[3]。目前全球7种海龟中有6种面临灭绝的威胁, 其中棱皮龟(*Dermochelys coriacea*)和丽龟(*Lepidochelys olivacea*)属于濒危物种^[4-5], 玳瑁(*Caretta caretta*)和绿海龟(*Chelonia mydas*)属于易危物种^[6-7], 玳瑁(*Eretmochelys imbricata*)和大西洋丽龟(*Lepidochelys kempii*)属于极度濒危物种^[8-9]。金枪鱼延绳钓渔业中海龟因物种和海域

不同, 误捕率和死亡率存在差异, 而棱皮龟和蠍龟的误捕较为常见^[10-11]。虽然延绳钓渔业的影响可能小于网渔具捕捞, 但在某些地区可能会对种群水平产生重大影响^[12]。海龟误捕与其他误捕物种的不同之处在于其分类学多样性较低(即只有7个物种), 而且也不是金枪鱼延绳钓作业的捕捞对象^[1]。

金枪鱼延绳钓钓钩深度设置在海龟栖息水层, 钓钩钩型和尺寸不易使海龟咬钩后逃脱, 误食饵料以及在海龟偏好的海洋环境, 如适宜的海表面温度等范围内作业等因素是金枪鱼延绳钓误捕海龟的原因。本研究从钓钩深度、钓钩结构及饵料的选择、环境以及声学因素等方面综述了金枪鱼延绳钓海龟误捕及缓解措施研究进展和存在的问题, 为后续研究提供参考。

1 钓钩深度

不同的海洋物种栖息水层存在差异, 因此金枪鱼延绳钓钓钩深度对海龟误捕具有重要

收稿日期: 2021-02-03

基金项目: 国家重点研发项目(2020YFD0901205); 2016年农业农村部海洋渔业资源调查与探捕项目(D-8006-16-8045)

作者简介: 宋利明(1968—)男, 博士, 教授, 研究方向: 金枪鱼渔业和渔具数值模拟。E-mail: lmsong@shou.edu.cn

影响,金枪鱼延绳钓具体的投放情况影响海龟的死亡率,是缓解海龟误捕的重要突破点^[13-14]。对钓钩深度开展研究可以在保持金

枪鱼较高渔获率的同时缓解海龟误捕,金枪鱼延绳钓钓具结构、钓钩深度和主要物种分布示意图如图1。

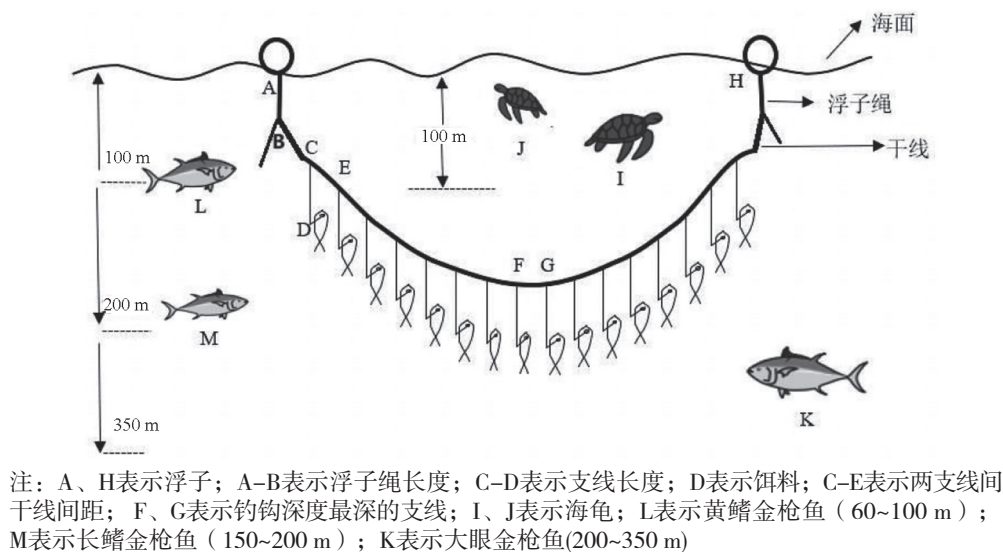


图1 金枪鱼延绳钓钓具结构、钓钩深度和主要物种分布示意图

Fig. 1 Configuration of tuna pelagic longline fishing gear, hook depth and the distribution of dominant species

Polovina 等^[15]发现海龟的深度偏好因种类而异:太平洋地区的髯龟有40%的时间停留在水面上,只有很少(10%)的时间在40 m以深。丽龟比髯龟喜欢更深的栖息地,通常在40 m以深;Grace 等^[16]得出大西洋沿岸中上层延绳钓髯龟的误捕深度在41 m左右,误捕后的髯龟有72%的钩住时间在海面10 m以内,28%的钩住时间在10 m以下。联合国粮食和农业组织(FAO)2010年的报告显示棱皮龟的潜水平均深度是62 m^[17]。Swimmer 等^[18]发现丽龟在热带太平洋一般活动在水深不到60 m的水域,延绳钓测试期间70%的误捕发生在60 m以浅水域,消除延绳钓浅钩可以减少丽龟误捕。戴小杰等^[19]观察到中东太平洋公海延绳钓230 m以浅误捕海龟的比例占80%,161 m以浅的误捕率为53%。庄之栋等^[20]得出热带大西洋公海金枪鱼延绳钓73.9%的棱皮龟误捕发生在143 m左右。Shiode^[21]通过计算钓钩深度,比较各水层的渔获特征,发现海龟在水层100 m以浅误捕率较高,100~150 m误捕率明显降低,150 m以深显著减少髯龟误捕;当最浅钓钩深度设置为108 m时,试验海域只误捕到1只髯龟;并得出印度洋大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)延

绳钓钓钩深度在150 m以深综合效果更好^[22],不足之处在于未考虑钓具浸泡时长对误捕率的影响。

金枪鱼延绳钓不同物种的渔获率与钓钩深度的相关性不同^[23]。大眼金枪鱼高渔获率多发生在200 m以深^[24],黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)渔获率最高的水层为80~100 m^[25-26],长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)高渔获率在150 m以深的水层^[27-28]。因此精确掌握钓钩深度对提高金枪鱼渔获率和缓解海龟误捕尤为重要,目前延绳钓钓钩深度计算方法通常用悬链线公式^[23,25]和利用微型深度温度计(TDR)测量并建立钓钩深度数值模型^[24,26],但由于易忽略海流等因素的影响以及对渔具构件的水动力系数研究不够充分等,造成计算深度误差较大,悬链线公式得出的理论深度往往大于实际钓钩深度,基于TDR实测并建立钓钩深度数值模型可缩小误差^[23-26]。

2 钓钩选择性

金枪鱼延绳钓钓钩包括环型钩、圆型钩、J型钩,随着国际社会对生物多样性的关注,海龟误捕问题还在研究解决中。钓钩的改进有助于减少海

龟死亡率^[29],可提高金枪鱼延绳钓渔获性能和减缓海龟误捕^[30],研究状况见表 1。

J 型钩的钩尖处平行于钩柄,而圆型钩的钩尖处垂直于钩柄。越来越多的证据表明,圆型钩误捕海龟的钩挂部位大多位于下颚或嘴角^[39,41-42],对海龟的伤害较小^[43]。Gilman 等^[37]发现圆型钩较其他钩型能减少棱皮龟的误捕率。Swimmer 等^[38]在研究减少美国延绳钓渔业中海

龟误捕时,得出圆型钩对髯龟和棱皮龟等误捕率比 J 型钩低 2~3 倍。Pacheco 等^[35]在大西洋金枪鱼延绳钓渔业中对比使用圆型钩和 J 型钩,发现 J 型钩对海龟和旗鱼类的捕获率都较高,圆型钩使金枪鱼存活率更高,这和 Bigelow 等^[33]的结论一致。且在延绳钓渔业中圆型钩代替其他钩型具有经济可行性,在减少鲨鱼兼捕和海龟误捕的同时能够保持金枪鱼的渔获率^[34,40]。

表 1 缓解海龟误捕的钩钩选择性研究状况

Tab. 1 Research progress of hook selectivity for mitigating the incidental catch of sea turtles

研究者(时间)	研究方法	结果	不足之处
Watson 等 ^[31] (2005)	相关性分析	18/0 圆型钩减少西北大西洋延绳钓髯龟和棱皮龟误捕	未分析不同钩型和饵料对金枪鱼渔获率的综合影响
Casale 等 ^[32] (2005)	标记分析法	圆型钩在地中海或许只能减少棱皮龟误捕	未结合饵料因素分析海龟误捕效果
Bigelow 等 ^[33] (2006)	广义线性混合模型 (GLMM)	18/0 圆型钩对海龟具有保护作用	未评价 GLMM 评估结果与随机检验结果存在差异的原因
许柳雄等 ^[34] (2008)	单因次方差分析	圆型钩能减少海龟误捕且不减少金枪鱼渔获率	未比较其他尺寸的钩型对海龟误捕的影响
Pacheco 等 ^[35] (2011)	相关性分析	0°偏角 18/0 圆型钩比 10°偏角 9/0 J 型钩减少海龟误捕效果明显	未考虑饵料和钩型对海龟误捕率的潜在协同效应
Parga 等 ^[36] (2015)	广义线性混合模型 (GLMM)	J 型钩和环型钩更易被海龟吞食,圆型钩能减少海龟误捕	未探究减少海龟误捕的最佳钩钩尺寸范围
Gilman 等 ^[37] (2016)	单因次方差分析	圆型钩有利于减少棱皮龟的误捕	未关注误捕海龟释放后的存活率
Swimmer 等 ^[38] (2017)	广义加性混合模型 (GAMM)	圆型钩减少髯龟和棱皮龟等的误捕率比 J 型钩低 2~3 倍	未分析不同尺寸的钩型对海龟选择性的影响
Hall 等 ^[39] (2017)	聚类分析	圆型钩误捕海龟的钩挂部位大多位于下颚或嘴角,海龟易于逃脱	未考虑对金枪鱼和鲨鱼的影响
Chen 等 ^[40] (2020)	单因素方差分析	4.0 寸圆型钩能提高海龟的上岸存活率	未考虑延绳钓钩具浸泡时长对海龟误捕的影响

不同尺寸的圆型钩对减少海龟误捕效果有差异,但总体优于 J 型钩^[43-44]。海龟易被 J 型钩误捕。海龟吞咽较大尺寸的圆型钩存在困难,需要控制合适的钩钩尺寸,在不减少金枪鱼类渔获率的前提下才能在延绳钓渔业中得到推广^[36,46]。Parga 等^[36]认为较大尺寸的圆型钩结合鱼类饵料能减少海龟误捕;Chen 等^[40]得出使用 4.0 寸圆型钩能提高海龟的上岸存活率,但未考虑钩具浸泡时长对海龟误捕的影响,也未得出减少海龟误捕和保持金枪鱼类渔获率的最佳钩型。16/0 圆型钩能增加误捕物种的存活率^[47],而 18/0 圆型钩能减少大西洋延绳钓髯龟和棱皮龟的误捕^[46]。

圆型钩是否对所有海龟都有效有待进一步研究,如 Casale 等^[32]指出,圆型钩减少棱皮龟误捕的作用更显著,因此延绳钓中使用圆型钩代表了一种简单且廉价的海龟误捕缓解技术方案。此外,钩型可能不单独决定选择性,需要分析每个延绳钓组件在渔具性能中的作用^[48]。

3 饵料选择性

延绳钓饵料对海洋物种的选择性取决于饵料的化学、视觉、声学、质地特征和大小等^[49]。对金枪鱼延绳钓开展饵料选择性研究将有助于缓解海龟误捕,研究状况见表 2。

表 2 缓解海龟误捕的饵料选择性研究状况
Tab. 2 Research progress of bait selectivity for mitigating the incidental catch of sea turtles

研究者(时间)	研究方法	结果	不足之处
Kiyota 等 ^[50] (2004)	基于 Argos 漂流浮标数据分析	太平洋地区鲐饵料的海龟误捕率比其他饵料的低	未考虑钩型的影响
Watson 等 ^[14] (2005)	相关性分析	J 型钩和圆型钩都结合鲐饵料时,对海龟的误捕率差距减小	未考虑钩具不同浸泡时长的影响
Swimmer 等 ^[51] (2005)	试验与海上实测对比	蓝色染色饵料避免鳐龟和大西洋丽龟误捕仅在实验室中得到证明	海上实测效果不理想
Read 等 ^[52] (2007)	海上实测	圆型钩结合鲐饵料减少北大西洋棱皮龟误捕	未考虑钩具不同浸泡时长的影响
Yokota 等 ^[53] (2009)	广义线性模型(GLM)	北太平洋地区鲐饵料代替鱿鱼饵料鳐龟的误捕率降低 75%	未考虑不同钩型对海龟误捕的影响
Stokes 等 ^[54] (2011)	Logistic 回归模型	鱿鱼饵料的海龟误捕率是鲐饵料的 4 倍	未考虑钩钩深度等因素
Santos 等 ^[55] (2012)	广义线性模型(GLM)	赤道大西洋地区鲐饵料代替鱿鱼饵料结合圆型钩降低丽龟误捕率达 85%	未考虑钩具不同浸泡时长的影响
Piovano 等 ^[56] (2013)	试验对照法	鳐龟更喜欢蓝色饵料,个体较小者更易被误捕	结果仅在实验室有效
Driggers 等 ^[57] (2019)	海上实测	墨西哥湾北部鱿鱼饵料的海龟上钩率更高	未考虑钩型的影响
Gilman 等 ^[58] (2020)	随机效应模型、贝叶斯 Meta 分析	鱼类饵料对海龟的误捕率相较鱿鱼饵料更低,鱿鱼饵料对金枪鱼和旗鱼类渔获率更高	未考虑钩型和作业区域等对选择性的影响

Watson 等^[14]对北大西洋鱼饵和鱼钩类型的组合进行了大量研究以探索传统鱿鱼饵料转向鲐饵料是否会进一步减少海龟误捕,结果发现尽管 J 型钩比圆型钩误捕更多的海龟,但当 J 型钩结合鲐饵料时,这种差异就减小了。Read 等^[52]发现圆型钩结合鲐饵料能减少西北大西洋棱皮龟误捕。Santos 等^[55]对赤道大西洋葡萄牙渔船的海龟误捕情况研究发现,鲐饵料代替鱿鱼饵料并结合圆型钩,降低丽龟的误捕率达 85%。Yokota 等^[53]发现北太平洋地区鲐饵料代替鱿鱼饵料使鳐龟的误捕率减少了 75%,这与 Kiyota 等^[50]得出的太平洋地区延绳钓鲐饵料对应较低的海龟误捕率结论一致。Stokes 等^[54]在实验室的研究进一步支持这一结果,发现海龟吞下鱿鱼饵料的钓钩的可能性是鲐饵料的 4 倍。由于鱿鱼中存在天然的化学引诱物,海龟可能更喜欢鱿鱼饵料而不是鱼饵^[57,59]。但鱿鱼饵料相较鱼类饵料,对金枪鱼类和旗鱼类的渔获率更高^[58]。

一些研究还调查了将饵料染成深蓝色是否有助于减少海龟误捕,但这项技术尚未得到证明。Piovano 等^[56]在实验室设置了红蓝黄 3 种染色饵料,发现鳐龟趋于蓝色饵料,且个体较小者更容易被误捕。但 Swimmer 等^[51]发现,在实验室环境中能避免鳐龟和大西洋丽龟误捕的蓝色染色诱饵在海上实测中没有得到验证。Yokota 等^[53]在太平洋进行的延绳钓捕捞实验也未发现染色鱼饵对减少海龟误捕具有显著的作用。

4 环境因素

环境因素对金枪鱼延绳钓海龟误捕的研究有重要意义,因为海龟和金枪鱼对海温等环境因素偏好不同。海表面温度等环境因素是影响大部分海洋物种的重要因素,对其开展研究有助于了解不同物种的环境偏好,从而提高金枪鱼类渔获率,减少海龟误捕。研究状况见表 3。

表 3 环境因子与缓解海龟误捕研究状况

Tab. 3 Research progress of environmental factors and the mitigation of incidental catch of sea turtles

研究者(时间)	研究方法	结果	不足之处
Polovina 等 ^[15] (2004)	卫星标记法	太平洋海域鰐龟偏好 15~25 ℃ 的水温,丽龟在 23~28 ℃ 的温暖水域	作业时间和水温测量值略有误差
Braun-mcneill 等 ^[60] (2008)	广义线性模型(GLM)	北大西洋 25% 的地区海表面温度高于 11 ℃ 时,需要对棱皮龟采取缓解措施	忽视了环境因子可能影响钓钩深度
Morato 等 ^[61] (2008)	相关性分析	北大西洋季节性模式比月光周期对海龟的误捕影响更大	忽略了月光对饵料能见度的影响
Kobashi 等 ^[62] (2008)	非度量多维标度分析(NMDS)	叶绿素浓度也是影响北太平洋海龟误捕的重要因素	未考虑叶绿素的变化对金枪鱼渔场的影响
Kot 等 ^[63] (2010)	分类树算法	季节而非月相尺度决定海龟误捕率	未进一步分析季节影响海龟误捕的原因
Ferreira 等 ^[64] (2011)	一般线性模型	北大西洋鰐龟的误捕受平均水深和海温影响最大	未区分海龟与金枪鱼类偏好环境的差异
Gilman 等 ^[65] (2012)	广义加性混合模型(GAMMs)	海山特征对夏威夷海域的海龟分布无显著影响	结论不适用于其他海域
Dodge 等 ^[66] (2014)	广义线性混合模型(GLMM)	西北大西洋温暖海域棱皮龟误捕率更高	未指出海龟与金枪鱼类各自适宜的具体温度范围
Narazaki 等 ^[67] (2015)	广义线性混合模型(GLMM)	太平洋大部分海龟偏好温度在 19.4~22.7 ℃	未区分与金枪鱼偏好的海表面温度的差异
Hart 等 ^[68] (2018)	卫星标记法	各海域威胁海龟的环境因素不同	未提出海龟误捕缓解措施

环境因素的相关研究大多数都发现海龟的丰度与海表面温度之间有密切关系,不同物种适应的温度范围存在差异。温度决定海龟孵化时的性别,决定了海龟的性别时空分布,影响海龟的生态学特征^[69]。Eckert^[70]发现较小的棱皮龟(<100 cm)只分布在温度高于 26 ℃ 的水域。Polovina 等^[15]发现鰐龟在太平洋通常出现在 15~25 ℃ 的水域,而丽龟则生活在 23~28 ℃ 的温暖水域,避开这一温度范围进行捕捞作业有助于减少丽龟误捕。Dodge 等^[66]得出西北大西洋的棱皮龟夏季聚集在温带水域,在晚秋、冬季和早春更广泛地分布在亚热带和热带地区,温带水域观察到更高的海龟误捕率。Ferreira 等^[64]基于一般线性模型评估北大西洋平均深度、最小深度、海表面温度以及浸泡时间、月相和风力对海龟和目标物种渔获率的影响,发现海水表面温度对丽龟的误捕影响最大,平均水深和海温对鰐龟的误捕影响最大。研究结果说明北大西洋丽龟的分布可通过监测渔区与水深和海表面温度的关系进行预测^[65]。Braun-mcneill 等^[60]在研究关于北大西洋海龟数量和温度之间的关系时,发现棱皮龟是唯一能保持体温远高于周围环境温度的海龟,并建议当 25% 的地区海表面温度高于 11 ℃ 时,即需要采取

缓解措施。该研究指出,棱皮龟与其他海龟相比,体温调节能力更强,可以忍受较低的海表面温度;研究的不足在于未区分海龟和目标鱼种偏好的海洋学条件之间的差异。Narazaki 等^[67]利用广义线性混合模型(GLMM)探究太平洋海龟的栖息地环境特征,发现大部分海龟偏好温度在 19.4~22.7 ℃。

海水表面温度以外的其他环境因素也被用来研究是否影响海龟的分布和误捕。Gilman 等^[65]发现海山特征对夏威夷海域的海龟分布无显著影响;Morato 等^[61]对美国大西洋延绳钓渔业的一项研究同时考察了季节性和月光周期性变化对海龟误捕的影响,发现季节性模式比月光周期对海龟的误捕影响更大。满月期间的海龟误捕率更高,但 Kot 等^[63]认为原因可能是饵料在更明亮的条件下能见度的提高。Kobashi 等^[62]发现叶绿素浓度也是影响海龟误捕的重要因素。Hart 等^[68]指出各海域威胁海龟的环境因素不同,应分区域采取海龟误捕缓解措施。此外,海龟是视觉捕食者^[71],因此有学者提出当诱饵在更明亮的自然光照^[72]、附着有吸引力的荧光管时^[70]变得更为可见,海龟的误捕率会增加。然而,FAO 在 2010 年的报道^[17]中指出,关于减少白天或夜间浸泡时间

和拖拽时间是否会减少海龟误捕率与死亡率的研究结果存在显著差异,这表明海龟的行为模式在白天和夜间存在差异。

5 声学因素

海龟具有基本的听觉,能听见低频声音^[73],在受到声呐等产生的噪声影响时,游泳速度和行为不稳定^[74]。绿海龟和玳瑁已成为大多数声学检测研究的重点。据报道,绿海龟的水下听觉范围最广,从 50 Hz 到 1.6 kHz^[75],玳瑁的水下听觉范围较窄,从 50 Hz^[73] 到 1.13 kHz^[76]。海洋环境的声景特征可以用来评估海龟的空间分布和行为特征^[77]。已可利用声学区分海龟和鱼类^[78],但在金枪鱼延绳钓渔业中利用声学驱赶海龟从而减少其误捕的研究和应用甚少,如在意大利海域对 4 只幼年海龟和 7 只成年海龟进行了声学威慑试验,观察海龟在不同声音频率下的回避行为,结果发现 50~700 Hz 之间海龟出现“中性行为”,即虽对声音有反应,但不向或远离声源移动;在高于 700 Hz 的频率下,海龟回避行为也不明显^[79]。Hamilton 等^[80]发现利用声学威慑对于减少延绳钓海洋哺乳动物效果显著,但对于缓解海龟误捕

尚不成熟。

6 讨论

金枪鱼延绳钓渔业中不同种类的海龟在不同海域误捕率和死亡率存在差异,因此缓解措施也不同。各大洋对于不同种类的海龟建议采取的缓解措施见表 4。

海龟在金枪鱼延绳钓渔业中因误捕而导致的死亡通常包括以下阶段:(1)分布范围与捕捞作业范围重叠;(2)将饵料或钓钩视为食物并接近;(3)与延绳钓渔具接触;(4)被钩住或缠住;(5)死亡^[85]。FAO^[86]强调,制定、设计和执行海龟养护和管理措施时应考虑到渔民和渔业社区的社会经济利益。这些社区的生活和生计可能依赖海洋渔业资源,应在养护和管理海龟与可持续生计和减少贫困之间寻求平衡。金枪鱼延绳钓渔业中海龟误捕缓解措施为^[87]:(1)用较大尺寸的圆型钩代替 J 形钩和环型钩;(2)使用硬骨鱼类如鲈等代替鱿鱼作为诱饵;(3)钓钩深度设置更深,消除浅钩;(4)使用染色的诱饵;(5)缩短延绳钓渔具浸泡时间;(6)避免在某些海面温度下捕鱼;(7)取代传统的连续闪光灯或不使用发光装置。

表 4 各大洋不同种类海龟误捕缓解措施

Tab. 4 Mitigation measures to reduce incidental catch of different sea turtles in different oceans

海域	钓钩深度	钩型/尺寸	饵料	环境因子
太平洋	40 m 以下减少 玳瑁 误捕 ^[15]	使用圆型钩 ^[81]	鲈饵料代替鱿鱼饵料 玳瑁的 误捕率减少 75% ^[50]	15~25 ℃ 对 玳瑁 采取缓解 措施 ^[15]
	60 m 以深避免 丽龟 误捕 ^[18]	使用圆型钩 ^[81]	鲈饵料代替鱿鱼饵料 ^[53]	23~28 ℃ 对 丽龟 采取缓解 措施 ^[15]
	65 m 以深避免 棱皮龟 误捕 ^[18]	使用圆型钩 ^[81]	鲈饵料减少 棱皮龟 误捕 ^[37]	高于 26 ℃ 避免影响小个体 棱皮龟 ^[40]
大西洋	41 m 以深减少 玳瑁 误捕 ^[16]	18/0 圆型钩减少 玳瑁 误捕 ^[46]	/	基于海面温度的禁渔措施 ^[82]
	/	圆型钩较 J 型钩能减少 误捕 ^[36]	鲈代替鱿鱼饵料能降低 丽龟 误捕率(56%) ^[48]	基于海面温度的禁渔措施 ^[82]
	65 m 以深避免 棱皮龟 误捕 ^[18]	18/0 圆型钩比 J 型钩更 能减少 棱皮龟 误捕 ^[31]	鲈饵料能减少 棱皮龟 误捕 ^[41]	25% 的地区高于 11 ℃ 需对 棱皮龟 采取缓解措施 ^[60]
印度洋	70 m 以深减少 玳瑁 误捕 ^[83]	圆型钩捕捞 ^[34]	鲈饵料能减少 棱皮龟 误捕 ^[35]	30 ℃ 以上 玳瑁 潜水范围增 大,需采取缓解措施 ^[84]
	150 m 以深减少 玳瑁 误捕 ^[22]	圆型钩捕捞 ^[34]	/	/
	65 m 以深避免 棱皮龟 误捕 ^[18]	圆型钩捕捞 ^[34]	鲈饵料能减少 棱皮龟 误捕 ^[37]	/

7 研究中存在的问题、发展趋势与对策

7.1 研究中存在的问题

(1) 目前关于海龟误捕的研究大多还是研究单一因素的影响,未充分考虑延绳钓渔具和饵料对误捕率的潜在协同效应。浸泡时长对延绳钓海龟误捕可能也有影响^[88],但目前相关研究不够深入。为了避免金枪鱼延绳渔业中海龟的误捕,采取了各种各样的减缓方法,但是用单一的方法很难完全避免海龟误捕。海龟误捕取决于相关的生物特征、气象条件、船的大小、渔具、操作等各种因素。应根据作业情况,多种方法结合以减少海龟误捕。

(2) 在探究海龟误捕与环境因子的关系时,易忽略海流、溶氧等因素;此外对于环境因子如何影响海龟误捕的机理未能探究。

(3) 鱼类饵料结合圆型钩对减少海龟误捕效果明显已得到广泛证实,但蓝色染色饵料能够减少海龟误捕的结果仅在实验室有效,海上实测效果不佳,应继续开展相关研究。

(4) 虽然大多数误捕的海龟都被活着释放,但它们在释放后经常被拖绳钩住^[89]。对于误捕海龟的存活率更多的是关注拖上甲板时的存活率,但研究释放后的存活率更有意义。

(5) 钓钩的选择性研究中,既能保持金枪鱼的渔获率,又能减少海龟等物种误捕的最佳尺寸和钩型未能得出。

7.2 延绳钓缓解海龟误捕技术研究发展趋势

了解海龟误捕的原因,并从原因着手寻求技术手段和制定缓解措施是解决延绳钓海龟误捕的有效方法。综合钓钩深度、钓钩类型及尺寸、饵料类型以及环境因子等具有潜在协同效应的因素进行研究分析,在方法上更为科学。目前以延绳钓钓具性能为突破口开发的缓解海龟误捕技术已取得一定成效,如国际金枪鱼渔业管理组织规定尽可能使用圆型钩,有效缓解了全球海域的海龟误捕。此外未来将关注钓钩断裂强度、钓钩力学性能、钓钩钩型和偏角等对海龟误捕率的影响,以期开发出更优良的生态友好型延绳钓钓钩和渔具。使用有鳍鱼代替鱿鱼作饵料对缓解海龟误捕效果显著,但饵料颜色是否能进一步缓解海龟误捕将纳入今后的研究范围。由于运用声学震慑以缓解

海龟误捕的技术尚不成熟,因此声学震慑也将成为今后缓解海龟误捕的研究热点。

7.3 进一步研究减少海龟误捕方法的对策

(1) 充分考虑钩型和尺寸以及饵料等对海龟误捕的潜在协同效应,结合海洋环境因素的综合影响开展减少金枪鱼延绳钓海龟误捕方法的研究。

(2) 金枪鱼延绳钓钓具的浸泡时长可能也影响海龟的误捕,但目前金枪鱼延绳钓钓具浸泡时长对海龟误捕率的影响研究较少,后续可以开展相关研究。

(3) 除了海表面温度外,还可以研究光照条件、溶氧等对海龟误捕率的影响。

(4) 关于饵料选择性的研究应多开展海上实测以支持理论成果。目前没有发现在延绳钓渔业中使用拟饵以降低海龟误捕的研究,但不同种类的海龟对饵料的偏好存在差异,如棱皮龟以胶质浮游动物为食,鱼饵加钩型的改良误捕效果可能不如其他物种^[90],因此有必要研究拟饵和不同气味的饵料对海龟误捕的影响。

(5) 钓线及钓钩材料也可能影响海龟误捕,但目前涉及钓具材料的研究还很少,可以研究钓具材料对金枪鱼延绳钓海龟误捕的影响。

(6) 应关注海龟释放到海中后的存活率,并收集数据进行研究。□

参考文献

- [1] GRAY C A, KENNELLY S J. Bycatches of endangered, threatened and protected species in marine fisheries[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2018, 28(3): 521-541.
- [2] BAUM J K, MYERS R A, KEHLER D G, et al. Collapse and conservation of shark populations in the northwest atlantic[J]. *Science*, 2003, 299(5605): 389-392.
- [3] AGNEW D. Life in the Slow Lane: Ecology and conservation of long-lived marine animals[J]. *Fisheries Management and Ecology*, 2000, 7(4): 375-375.
- [4] 夏中荣, 古河祥, 李丕鹏. 全球海龟资源和保护概况[J]. *野生动物*, 2008(6): 312-316.
- [5] IUCN SSC Marine Turtle Specialist Group. *Dermochelys coriacea*: IUCN red list of threatened species [EB/OL]. (2013-06-21) [2021-01-26]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-2.RLTS.T6494A43526147.en>.
- [6] 王静, 郭睿, 杨袁筱月, 等. 中国海龟受威胁现状和保护建议[J]. *野生动物学报*, 2019, 40(4): 1070-1082.
- [7] 魏文芝. 中国南海绿海龟(*Chelonia mydas*)保护生物学研究

- [D]. 上海:华东师范大学,2016.
- [8] IUCN SSC Marine Turtle Specialist Group. *Lepidochelys kempii*: IUCN red list of threatened species[EB/OL]. (2019-01-14) [2021-01-26]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T11533A155057916.en>.
- [9] 马英杰. 我国珍贵濒危海洋动物保护法律研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2008.
- [10] KOBAYASHI D R, POLOVINA J J. Evaluation of time-area closures to reduce incidental sea turtle take in the Hawaii based longline fishery: generalized additive model (GAM) development and retrospective examination [R]. Pacific Islands Fisheries Science Center, 2005.
- [11] MOOREJE, WALLACE B P, LEWISON R L, et al. A review of marine mammal, sea turtle and seabird bycatch in USA fisheries and the role of policy in shaping management [J]. Marine Policy, 2009, 33(3): 435-451.
- [12] ARLINGHAUS R, COOKE S, JOHNSON, B, et al. FAO technical guidelines for responsible fisheries [J]. Fisheries Management, 1997, 4: 6-20.
- [13] PLOTKIN P T. National marine fisheries service and US fish and wildlife service status reviews for sea turtles listed under the endangered species act of 1973 [R]. Maryland: National Marine Fisheries Service, 1995.
- [14] WATSON J W, EPPERLY A K S, FOSTER D G. Fishing methods to reduce sea turtle mortality associated with pelagic longline [J]. Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science, 2005, 62: 965-981.
- [15] POLOVINA J J, BALAZS G H, HOWELL E A, et al. Forage and migration habitat of loggerhead (*Caretta caretta*) and olive ridley (*Lepidochelys olivacea*) sea turtles in the central North Pacific Ocean [J]. Fisheries Oceanography, 2004(13): 36-51.
- [16] GRACE M A, WATSON J, FOSTER D. Time, temperature, and depth profiles for a loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) captured with a pelagic longline [J]. Southeastern Naturalist, 2010, 9(2): 191-200.
- [17] ERIC G, BIANCHI G. Guidelines to reduce sea turtle mortality in fishing operations [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009: 112.
- [18] SWIMMER Y, ARAUZ R, MCCracken M, et al. Diving behavior and delayed mortality of olive ridley sea turtles *Lepidochelys olivacea* after their release from longline fishing gear [J]. Marine Ecology Progress Series. 2006, 323: 253-261.
- [19] 戴小杰, 李延, 许柳雄, 等. 中东太平洋公海金枪鱼延绳钓误捕海龟的观察和分析 [J]. 水产学报, 2009, 33(6): 1044-1049.
- [20] 庄之栋, 戴小杰, 许柳雄. 热带大西洋公海金枪鱼延绳钓海龟兼捕的初步研究 [J]. 海洋湖沼通报, 2011(2): 66-72.
- [21] SHIODED. Studies on bycatch reduction of sea turtles in tuna longline fisheries [J]. Nippon Suisan Gakkaishi/Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 2010, 76(4): 605-608.
- [22] SHIODE D, SHIGA M, HU F, et al. A Midwater float system with long float lines for sea turtle bycatch reduction in pelagic longline fisheries—potential for catch efficiency of bigeye tuna *Thunnus Obesus* [J]. Fisheries Engineering, 2018, 54(3): 188-195.
- [23] NAKANO H, OKAZAKI M, OKAMOTO H. Analysis of catch depth by species for tuna longline fishery based on catch by branch lines [J]. Bulletin of National Research Institute of Far Seas Fisheries, 1997(34): 43-62.
- [24] BOGGS C H. Depth, capture time, and hooked longevity of longline caught pelagic fish [J]. Fish Bull, 1992, 90(4): 642-658.
- [25] BIGELOW K A, KERSTETTER D W, DANCHO M G, et al. Catch rates with variable strength circle hooks in the hawaii-based tuna longline fishery [J]. Bulletin of Marine Science, 2012, 88(3): 425-447.
- [26] SETYADI B, NUGRAHA B, SADIYAH L. The effect of depth of hooks, set and soak time to the catch per unit of effort of tuna in the eastern Indian Ocean [J]. Indonesian Fisheries Research Journal, 2016, 22(2): 61-68.
- [27] 刘莉莉, 周成, 虞聪达, 等. 钓钩深度和浸泡时间对东太平洋公海长鳍金枪鱼延绳钓渔获性能的影响研究 [J]. 中国海洋大学学报, 2018, 48(1): 40-48.
- [28] ZHOU C, HE P G, XU L X, et al. The effects of mesoscale oceanographic structures and ambient conditions on the catch of albacore tuna in the South Pacific longline fishery [J]. Fisheries Oceanography, 2020, 29(3): 238-251.
- [29] SAVOCA M S, BRODIE S, WELCH H, et al. Comprehensive bycatch assessment in US fisheries for prioritizing management [J]. Nature Sustainability, 2020, 3(6): 472-480.
- [30] SERAFY J E, COOKE S J, et al. Circle hooks in commercial, recreational, and artisanal fisheries: research status and needs for improved conservation and management [J]. Bulletin of Marine Science. 2012, 88(3): 371-391.
- [31] WATSON J W, EPPERLY S P, SHAH A K, et al. Fishing methods to reduce sea turtle mortality associated with pelagic longlines [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2005, 62(5): 965-981.
- [32] CASALE P, FREGGI D, BASSO R, et al. Interaction of the static net fishery with loggerhead sea turtles in the mediterranean: Insights from Mark-recapture Data [J]. Herpetological Journal, 2005, 15(3): 201-203.
- [33] BIGELOW K, MUSYL M K, POISSON F, et al. Pelagic longline gear depth and shoaling [J]. Fisheries Research, 2006, 75(2): 173-183.
- [34] 许柳雄, 宋利明, 王家樵, 等. 金枪鱼延绳钓环形钩和圆形钩钓获率比较 [J]. 海洋渔业, 2008(3): 227-232.
- [35] PACHECO J C, KERSTETTER D W, HAZIN F H, et al. A comparison of circle hook and J hook performance in a western equatorial Atlantic Ocean pelagic longline fishery [J]. Fisheries Research, 2011, 107(1/3): 39-45.
- [36] PARGA M L, PONS M, AADRAKA S, et al. Hooking locations in sea turtles incidentally captured by artisanal longline fisheries in the Eastern Pacific Ocean [J]. Fisheries Research, 2015, 164: 231-237.

- [37] GILMAN E, HUANG H. Review of effects of pelagic longline hook and bait type on sea turtle catch rate, anatomical hooking position and at-vessel mortality rate[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2016, 27(1): 43–52.
- [38] SWIMMER Y, GUTIERREZ A, BIGELOW K, et al. Sea turtle bycatch mitigation in U. S. longline fisheries[J]. Frontiers in Marine Science, 2017, 4: 260.
- [39] HALL M, GILMAN E, MINAMI H, et al. Mitigating bycatch in tuna fisheries[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2017, 27(4): 881–908.
- [40] CHEN C, LIN H. Comparison of catch efficiency between the use of circle and tuna hooks in Taiwan's tuna longline fishery in the Eastern Pacific Ocean[J]. Preprints-Serie, 2020, 26(5): 41–80.
- [41] READA J. Do circle hooks reduce the mortality of sea turtles in pelagic longlines? A review of recent experiments[J]. Biological Conservation, 2007, 135(2): 155–169.
- [42] GILMAN E, KOBAYASHI D, SWENARTON T, et al. Reducing sea turtle interactions in the hawaii-based longline swordfish fishery[J]. Biological Conservation, 2007, 139(1/2): 19–28.
- [43] CAMIAS J A, VALEIRAS, SERNA D L. Spanish surface longline gear types and effects on marine turtles in the western mediterranean sea [C]// First mediterranean conference on marine turtles. Rome: IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Mediterranean Region, 2001: 88–93.
- [44] ANDRAKA S, MOISES M, HALL M, et al. Circle hooks: Developing better fishing practices in the artisanal longline fisheries of the Eastern Pacific Ocean [J]. Biological Conservation, 2013, 160(1): 214–224.
- [45] REINHARDT J F, WEAVER J, LATHAM P J, et al. Catch rate and at-vessel mortality of circle hooks versus J-hooks in pelagic longline fisheries: A global meta-analysis [J]. Fish and Fisheries, 2018, 19(3): 413–430.
- [46] GILMAN E, CHALOUPKA M, DAGORN L, et al. Robbing Peter to pay Paul: replacing unintended cross-taxa conflicts with intentional tradeoffs by moving from piecemeal to integrated fisheries bycatch management[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2019, 29(1): 1–31.
- [47] KERSTETTER D W, GRAVES J E. Effects of circle versus J-style hooks on target and non-target species in a pelagic longline fishery[J]. Fisheries Research, 2006, 80(2): 239–250.
- [48] AFONSO A S, SANTIAGO R, HAZIN H, et al. Shark bycatch and mortality and hook bite-offs in pelagic longlines: Interactions between hook types and leader materials [J]. Fisheries Research, 2012, 131–133: 9–14.
- [49] YAMAGUCHI Y, HIDAKA I, KOBAYASHI H, et al. Note on effectiveness of R-V artificial bait on tuna long-line fishing[J]. Bulletin of the Faculty of Fisheries Mie University, 1985(12): 111–117.
- [50] KIYOTA M, YOKOTA K, NOBETSU T, et al. Assessment of mitigation measures to reduce interactions between sea turtles and longline fishery [C]// Arai N. Proceedings of the international symposium on SEASTAR2000 and bio-logging science (The 5th SEASTAR2000 Workshop), Bangkok: Kyoto University, 2004: 24–29.
- [51] SWIMMER Y, ARAUZ R, HIGGINS B, et al. Food colour and marine turtle feeding behavior: Can blue bait reduce turtle bycatch in commercial fisheries? [J]. Marine Ecology-Progress Series, 2005, 295: 273–278.
- [52] READ A J. Do circle hooks reduce the mortality of sea turtles in pelagic longlines? A review of recent experiments[J]. Biological Conservation, 2007 (135): 155–169.
- [53] YOKOTA K, KIYOTA M, OKAMURA H. Effect of bait species and color on sea turtle bycatch in a pelagic longline fishery[J]. Fisheries Research, 2009, 97(1/2): 53–58.
- [54] STOKES L W, HATAWAY D, EPPERLY S P, et al. Hook ingestion rates in loggerhead sea turtles *Caretta caretta* as a function of animal size, hook size, and bait [J]. Endangered Species Research, 2011, 14(1): 1–11.
- [55] SANTOS M N, COELHO R, FERNANDEZ C J, et al. Effects of hook and bait on sea turtle catches in an equatorial Atlantic pelagic longline fishery[J]. Bulletin of Marine Science, 2012, 88(3): 683–701.
- [56] PIOVANO, S, FARCOMENI, A, GIACOMA, C. Effects of chemicals from longline baits on the biting behaviour of loggerhead sea turtles [J]. African Journal of Marine Science, 2013, 34(2): 1–5.
- [57] DRIGGERS W B, HANNAN K M. Efficacy of 2 common bait types in reducing bycatch of coastal sharks on bottom longline gear in the absence of choice [J]. Fishery Bulletin, 2019, 117(3): 65.
- [58] GILMAN E, MILANI C, BACH P, et al. Effect of pelagic longline bait type on species selectivity: A global synthesis of evidence [J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2020, 30(3): 535–551.
- [59] PIOVANO S, FARCOMENI A, GIACOMA C. Do colours affect biting behaviour in loggerhead sea turtles [J]. Ethology, Ecology & Evolution, 2013, 25(1): 12–20.
- [60] BRAUN-MCNEILL J, SASSO C R, EPPERLY S P, et al. Feasibility of using sea surface temperature imagery to mitigate cheloniid sea turtle-fishery interactions off the coast of northeastern USA [J]. Endangered Species Research, 2008, 5(2/3): 257–266.
- [61] MORATO T, VARKEY D A, DAMASO C, et al. Evidence of a seamount effect on aggregating visitors [J]. Marine Ecology-Progress Series, 2008, 357: 23–32.
- [62] KOBAYASHI D R, POLOVINA J J, PARKER D M, et al. Pelagic habitat characterization of the loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, in the North Pacific Ocean (1997–2001): insights from satellite tag tracking and remotely sensed data [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2008, 356(1/2): 96–114.
- [63] KOT C Y, BOUSTANY A M, HALPIN P N. Temporal patterns of target catch and sea turtle bycatch in the US Atlantic pelagic longline fishing fleet [J]. Canadian Journal of Fisheries and

- Aquatic Sciences, 2010, 67(1): 42–57.
- [64] FERREIRA R L, MARTINS H R, BOLTEN A B, et al. Influence of environmental and fishery parameters on loggerhead sea turtle bycatch in the longline fishery in the Azores archipelago and implications for conservation[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2011, 91(8): 1697–1705.
- [65] GILMAN E, CHALOUPKA M, Read A, et al. Hawaii longline tuna fishery temporal trends in standardized catch rates and length distributions and effects on pelagic and seamount ecosystems[J]. Aquatic Conservation, 2012, 22(4): 446–488.
- [66] DODGE K L, GALUARDI B, MILLER T J, et al. Leatherback turtle movements, dive behavior, and habitat characteristics in ecoregions of the northwest atlantic ocean[J]. PLoS ONE, 2014, 9: e91726.
- [67] NARAZAKI T, SATO K, MIYAZAKI N. Summer migration to temperate foraging habitats and active winter diving of juvenile loggerhead turtles *Caretta caretta* in the Western North Pacific [J]. Marine Biology, 2015, 162(6): 1251–1263.
- [68] HART K M, LVERSON A R, FUJISAKI L, et al. Marine threats overlap key foraging habitat for two imperiled sea turtle species in the gulf of Mexico[J]. Frontiers in Marine Science, 2018, 166(5): 1–10.
- [69] HAYS GC, FOSSETTE S, KATSELIDIS K A, et al. Breeding periodicity for male sea turtles, operational sex ratios, and implications in the face of climate change [J]. Conservation Biology, 2010, 24: 1636–1643.
- [70] ECKERT S A. Distribution of juvenile leatherback sea turtle *Dermochelys coriacea* sightings [J]. Marine Ecology Progress Series, 2002, 230: 289–293.
- [71] BARTOL S M, MUSICK J A. Sensory biology of sea turtles[M]. Florida: The Biology of Sea Turtles, 2002: 79–102.
- [72] WANG J H, FISLER S, SWIMMER Y. Developing visual deterrents to reduce sea turtle bycatch in gill net fisheries[J]. Marine Ecology–Progress Series, 2010, 408: 241–250.
- [73] MCCAULEY R D, FEWTRELL J, DUNCAN A J, et al. Marine seismic surveys—a study of environmental implications[J]. The APPEA Journal, 2000, 40: 692.
- [74] LAVENDER A L, BARTOL S M, BARTOL I K. Ontogenetic investigation of underwater hearing capabilities in loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) using a dual testing approach [J]. Journal of Experimental Biology, 2014, 217(14): 2580–2589.
- [75] PINIAK WED, MANN DA, HARMS CA, et al. Hearing in the juvenile green sea turtle (*Chelonia mydas*): a comparison of underwater and aerial hearing using auditory evoked potentials [J]. PLoS ONE, 2016, 11: e0159711.
- [76] MARTIN K J, ALESSI S C, GASPARDJC, et al. Underwater hearing in the loggerhead turtle (*Caretta caretta*): a comparison of behavioral and auditory evoked potential audiograms [J]. Journal of Experimental Biology, 2012, 215(17): 3001–3009.
- [77] PAPAIE E, PRAKASH S, SINGH S, et al. Soundscape of green turtle foraging habitats in Fiji, South Pacific [J]. PLoS ONE, 2020, 15(8): e0236628.
- [78] MAHFURDZ A, SUNARDI A, ABDULLAH S, et al. Distinguish sea turtle and fish using sound technique in designing acoustic deterrent device[J]. Telkomnika, 2015, 13(4): 1305–1311.
- [79] ALESSANDRO L, ANTONELLO. An overview of loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) bycatch and technical mitigation measures in the Mediterranean Sea[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2010, 20(2): 141–161.
- [80] HAMILTON S, BAKER G B. Technical mitigation to reduce marine mammal bycatch and entanglement in commercial fishing gear: lessons learnt and future directions[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2019, 29(2): 223–247.
- [81] BARRETO S L J, ZAPATA P L A. Experiments with circle hooks for mitigation bycatch of sea turtles in longline fisheries from the Colombian Pacific[J]. NOAA Technical Memorandum NMFS SEFSC, 2008, 569: 189.
- [82] SHERKER Z T. Methods to reduce sea turtle interactions in the Atlantic Canadian pelagic longline fleet[J]. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2017, 17(5): 1–19.
- [83] LUSCHI P, SALE A, MENCACCI R, et al. Current transport of leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*) in the ocean[J]. Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences, 2003, 270: 129–132.
- [84] IVERSON A R, FUJISAKI I, LAMONT MM, et al. Loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) diving changes with productivity, behavioral mode, and sea surface temperature [J]. PLoS ONE, 2019, 14(8): e0220372.
- [85] GILLET R. Bycatch in small-scale tuna fisheries[M]. Rome: FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 2011: 126–132.
- [86] FAO. Guidelines to reduce sea turtle mortality in fishing operations. No. 6, Suppl. 3[R]. Rome: FAO, 2010: 128.
- [87] CLARKE S, SATO M, SMALL C, et al. Bycatch in longline fisheries for tuna and tuna-like species: A global review of status and mitigation measures [J]. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 2014, 588: 217.
- [88] CARRUTHERS E H, NEILSON J D, SMITH S C. Overlooked bycatch mitigation opportunities in pelagic longline fisheries: Soak time and temperature effects on swordfish (*xiphias gladius*) and blue shark (*prionace glauca*) catch [J]. Fisheries Research (Amsterdam), 2011, 108(1): 112–120.
- [89] BLADES D C, WALCOTT J, HORROCKS J A. Leatherback bycatch in an eastern Caribbean artisanal longline fishery [J]. Endangered Species Research, 2019, 40: 329–335.
- [90] JAMES M C, SHERRILL MIX S A, MYERS R A. Population characteristics and seasonal migrations of leatherback sea turtles at high latitudes[J]. Marine Ecology Progress Series, 2007, 337: 245–254.

(下转第35页)