

DOI: 10.12264/JFSC2020-6002

金枪鱼延绳钓渔获性能研究进展

宋利明^{1, 2, 3, 4}, 许回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;
3. 上海海洋大学, 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306;
4. 上海海洋大学, 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306

摘要: 金枪鱼延绳钓渔获性能主要按目标鱼种和兼捕物种渔获效率进行评价。对其研究有助于改进延绳钓渔具渔法, 提高目标鱼种捕捞效率和减少兼捕。本文以时间顺序为主对国内外关于金枪鱼延绳钓渔获性能研究的文献进行梳理, 从钓具选择性、钓钩深度、饵料选择性、环境因素以及钓具浸泡时长等方面概括了金枪鱼延绳钓渔获性能的研究进展, 并提出存在的不足和建议, 为金枪鱼延绳钓渔获性能的研究提供参考。前人研究取得的成果有: (1)不同鱼种最佳作业深度和钓具浸泡时长不同; (2)较大尺寸的圆形钩能减少兼捕; (3)拟饵也具有选择性, 鱼类饵料和蓝色染色饵料有利于减少兼捕; (4)具体水层的环境因素对延绳钓渔获性能影响较大。建议今后金枪鱼延绳钓渔获性能研究应: (1)确定钓钩最佳沉降速度和深度; (2)分水层建立不同物种渔获性能预测模型; (3)针对不同的目标鱼种探索最佳尺寸和钩形; (4)研究不同气味和颜色的饵料或拟饵对物种选择性的影响; (5)考虑诱饵、钓钩类型和尺寸和钓具浸泡时长对渔获率、死亡率、兼捕率和兼捕物种释放后存活率的潜在协同效应。

关键词: 延绳钓; 渔获性能; 选择性; 环境因子

中图分类号: S972

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)07-0925-13

金枪鱼延绳钓钓具是悬浮在大洋中上层, 用钓线结缚装饵料的钓钩引诱金枪鱼吞吃的渔具, 主要由浮子、浮子绳、干线、支绳、饵钩等有机结合而成^[1-2], 渔获率是评估其渔获性能的首要指标。由于不同物种栖息水层存在差异, 钓具在水中的浸泡时长和沉降深度等影响目标金枪鱼类和兼捕物种的渔获效率, 钓钩的沉降速度影响海鸟误捕^[3-4]。此外, 不同水层海温、叶绿素浓度、溶解氧浓度、光和颜色等外部环境因素、钓钩和饵料的选择性, 影响目标和非目标物种的多样性、体长范围和数量^[5], 这些因素共同决定金枪鱼延绳钓的渔获性能。

金枪鱼延绳钓与拖网等渔具相比具有相对的选择性, 但与围网和竿钓等其他主要金枪鱼渔具

类型相比, 相对不具有选择性^[6]。延绳钓的选择性对没有集群特性的大型鱼类更明显^[7-8], 对海龟等误捕物种的影响可能小于网捕, 但在某些地区可能会对种群水平产生重大影响^[9]。延绳钓捕捞金枪鱼类带来的死亡率是导致中上层捕食者体型减小和数量减少的主要驱动力^[10]。若不对兼捕和误捕采取缓解措施会降低生态系统的稳定性, 并改变生态系统的功能和结构^[11-12]。对金枪鱼延绳钓开展渔获性能研究, 可提高目标鱼种的渔获率、减少非目标鱼种的兼捕和误捕^[13-14]。本文从钓具选择性、钓钩深度、饵料选择性、环境因素以及钓具浸泡时长等方面对金枪鱼延绳钓渔获性能研究进行归纳总结, 提出当前研究中存在的不足并提出建议, 为今后金枪鱼延绳钓渔获性能研

收稿日期: 2020-10-20; **修订日期:** 2020-12-03.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD0901205); 2016 年农业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-), 教授, 博士, 研究方向为捕捞学. E-mail: lmsong@shou.edu.cn

究提供参考。

1 钓具选择性

金枪鱼延绳钓钓具选择性主要指钓具材料的选择性和钓钩的选择性。不同的钓具材料和质量产生不同的能见度和沉降性能,从而影响金枪鱼延绳钓的捕捞效率。而钓钩的选择性包括钩形和尺寸的选择性,其中钓钩类型包括环形钩、圆形钩和 J 形钩。随着国际社会对生物多样性的关注,兼捕和误捕问题尚在研究解决中。钓具选择性研究将为金枪鱼渔业资源评估和管理及减少兼捕和误捕提供策略^[15],研究状况见表 1。

表 1 钓具选择性研究状况
Tab. 1 Progress of selectivity of longline

研究者(时间) researcher (time)	研究方法 research method	结果 result	不足之处 deficiency
Namamura 等 ^[16] (1999)	比较分析法	尼龙单丝材料的钓线水下能见度更低,金枪鱼捕捞效率高	未考虑对兼捕物种的影响
Hu 等 ^[17] (2005)	实验对照	支绳材料结合附加沉子,钓钩沉降速度显著增加,减少海鸟误捕	未考虑饵料对沉降速度的影响
Anderson 等 ^[18] (2002)	时间深度记录仪确定钓钩下沉速度	钓钩附加 60 g 转环,平均沉降速度是原来的两倍多	未比较不同船速下的结果
Santos 等 ^[19] (2019)	比较不同沉降速度下的海鸟误捕率	距钓钩 1.0 m 处增加 60 g 沉子沉降速度更快,海鸟误捕更少	未考虑船速等对沉降性能的影响
Falterman 等 ^[20] (2002)	Logistic 回归模型	圆形钩金枪鱼类的 CPUE 比 J 形钩大约高 2.5 倍,能提高渔获物的存活率	未比较尺寸的选择性
Kim 等 ^[21] (2015)	差异性检验	15/0 圆形钩减少旗鱼类和鲨鱼类兼捕,对金枪鱼的渔获率优于 18/0 圆形钩	未充分考虑如海流等其他因素
Kerstetter 等 ^[22] (2006)	差异性检验	0°偏角 16/0 圆形钩对黄鳍金枪鱼(<i>Thunnus albacares</i>)上钩率是 10°偏角 9/0 J 形钩的 4 倍多	仅秋季存在显著性
许柳雄等 ^[23] (2008)	单因次方差分析	圆形钩不影响金枪鱼钓获率,且能减少海龟误捕	未比较其他尺寸的钩形
Ward 等 ^[24] (2004)	Logistic 回归、广义线性模型	14/0 圆形钩对金枪鱼类、鲨鱼类、旗鱼类等的兼捕率大于环形钩	忽略了诱饵种类与钓钩类型的协同影响
Pacheco 等 ^[25] (2011)	相关分析	10°偏角 9/0 J 形钩对旗鱼类和海龟的捕获率较高,0°偏角 18/0 圆形钩能提高金枪鱼类的存活率	未考虑诱饵和钓钩类型对渔获率的潜在协同效应
Curran 等 ^[26] (2011)	广义线性混合模型 (GLMM)	18/0 圆形钩具有保护作用,可减少旗鱼类和鲨鱼类兼捕	GLMM 评估结果与随机检验不完全一致
朱国平等 ^[27] (2011)	卡方检验、K-S 检验	大眼金枪鱼(<i>Thunnus obesus</i>)存活率最高的是环形钩,长鳍金枪鱼(<i>T. alalunga</i>)为 J 形钩,大青鲨(<i>Prionace glauca</i>)为圆形钩	没有根据鱼种的栖息水层进行实验,误差较大
Afonso 等 ^[28] (2012)	单因次方差分析	钩形和引线材料的相互作用可能影响鱼种的捕获率	未检测出钩形与引线间相互作用
Andraka 等 ^[29] (2013)	统计分析	不同地区圆形钩(14/0、15/0、16/0)缓解兼捕效果有差异,但效果优于传统钩形	未得出兼捕效果最佳的尺寸
Parga 等 ^[30] (2015)	广义线性混合模型 (GLMM)	J 形钩和环形钩比圆形钩更易被吞食,鱼饵结合较大尺寸的圆形钩能减少兼捕	没有探究减少兼捕的最佳钓钩尺寸范围
Coelho 等 ^[31] (2015)	广义线性模型	钩形影响大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼的平均体长,金枪鱼的挂钩部位决定存活率	钩形和饵料的协同作用未考虑
Gilman 等 ^[32] (2016)	单因素效应评估	相较于其他钩形,圆形钩减少了棱皮龟(<i>Dermochelys coriacea</i>)的误捕率	未关注海龟释放后的存活率
Swimmer 等 ^[33] (2017)	广义加性混合模型 (GAMM)	圆形钩捕获鳐龟(<i>Caretta caretta</i>)和棱皮龟等的概率是 J 形钩的 1/2~1/3	未比较不同钩形尺寸对选择性的差异
Reinhardt 等 ^[34] (2018)	随机效应模型	圆形钩能有效降低兼捕物的死亡率	未比较不同钩形尺寸对选择性的差异
Chen 等 ^[35] (2020)	单因素方差分析	圆形钩不影响渔获率,4.0 寸圆形钩的渔获率显著高于 4.2 寸环形钩	只考虑了钩形对存活率的影响

目前关于金枪鱼延绳钓钩具材料的选择性研究较少,研究方法主要是基于水下视频成像比较不同材料的水下能见度,从而分析目标鱼种的渔获率。研究认为,尼龙单丝材料的钓线水下能见度低于钢丝材料,金枪鱼的捕捞效率较高^[16,36-37]。但材料的光学特性除了对金枪鱼有影响,鲨、海龟等也具有不同的光谱灵敏度^[38-40],因此材料选择性研究的不足在于未能判断出对鲨、海龟等物种的影响。此外,尼龙单丝具有易腐蚀的特性,表面附着铝的单丝材料是目前普遍使用的材料^[41],在不影响金枪鱼渔获率的前提下有无更合适的替代材料有待进一步探究。金枪鱼延绳钓钩的沉降性能主要取决于钓具的材料和重量,主要对海鸟误捕有影响,而将距钓钩 10 m 的支绳材料改为碳氟化合物^[16]、附加 45 g 左右的沉子和 60 g 的带铅转环是改进钓钩沉降性能而不影响金枪鱼渔获率的有效方法^[17-19],对减少海鸟误捕效果显著。存在的问题在于钓钩的沉降性能除钓具属性所决定外,还受风速、船速以及钓钩附加的饵料等因素的影响,比较研究时应该控制变量,综合考虑。

金枪鱼延绳钓钩的选择性研究关注于海洋生物多样性,方法侧重于比较环形钩、圆形钩和 J 形钩及不同尺寸钩形对渔获率和兼捕率的影响。Falterman 等^[20]比较了不同钩形的渔获特性,发现圆形钩目标鱼种的 CPUE 比 J 形钩高,且能提高渔获物的存活率。这与 Pacheco 等^[25]、Curran 等^[26]、Andraka 等^[29]、Parga 等^[30]和 Reinhardt 等^[34]的结论一致,但不足之处在于未分析不同尺寸带来的差异^[20],未考虑诱饵和钓钩类型对渔获率的潜在协同效应^[25],不同方法评估选择性差异的结果不完全一致^[26],未得出减少兼捕效果最佳的钩形尺寸等^[29-30,34]。朱国平等^[27]比较了印度洋金枪鱼 3 种钩形(环形钩、J 形钩和圆形钩)的渔获效益及对钓捕对象的选择性,发现 J 形钩和圆形钩的渔获率相当,环形钩对长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)的渔获率最高;但因其没有根据鱼种的栖息水层进行实验,与国外学者得出的结果有差异^[42-43]。圆形钩的尺寸选择性研究方面,Kim 等^[21]认为 15/0 圆形钩能减少旗鱼类和鲨鱼兼捕,Kerstetter 等^[22]得出 0°偏角 16/0 的圆形钩能提高兼捕物种的

存活率,Ward 等^[24]基于海上实测发现 14/0 圆形钩对多数鱼种的捕获率超过环形钩,但他们的研究忽略了饵料等因素对物种选择性的影响。圆形钩替代环形钩不影响金枪鱼渔获率的经济可行性得到证实^[23],但其研究未比较不同尺寸的钩形带来的渔获性能差异;Chen 等^[35]得出同样结论,且发现 4.0 寸圆形钩的渔获率显著高于 4.2 寸环形钩。圆形钩相较其他钩形能够减少海龟兼捕也得到学者的证实,如 Gilman 等^[32]发现圆形钩较其他钩形能减少棱皮龟的误捕率,Swimmer 等^[33]在研究减少美国延绳钓渔业中海龟误捕时,得出圆形钩对镰龟和棱皮龟的误捕率是 J 形钩的 1/2~1/3。此外,钩形可能不单独决定钓钩的选择性,Afonso 等^[28]研究了钩形(圆形钩与 J 形钩)和引线材料(尼龙与钢丝)对金枪鱼延绳钓目标和兼捕物种的渔获率及死亡率的影响,指出需要分析每个延绳钓组件在渔具性能中的作用;Coelho 等^[31]得出钩形影响钓获金枪鱼的平均体长,金枪鱼的挂钩部位决定鱼种的存活率。

综上,钓具结构的选择性研究主要探究钓线材料在水下的光学特性对渔获性能的影响以及不同材料和不同重量的支绳的沉降性能差异对海鸟误捕的影响,附加一定质量的沉子增大钓钩沉降速度对于减少海鸟误捕效果显著。尼龙单丝在水下能见度更低,但缺点是易腐蚀,以后的研究应关注有无更合适的替代材料。钓钩选择性包括钩形的选择性和尺寸的选择性;圆形钩因金枪鱼存活率较高和减少兼捕正成为金枪鱼延绳钓主流钩形;同一钩形因尺寸不同渔获性能存在差异;钩形和引线材料的相互作用可能综合影响金枪鱼延绳钓渔获性能。存在的不足在于钓钩选择性的研究应分水层作对比;未探究出最佳尺寸的钩形;未考虑饵料因素的影响,研究中往往关注兼捕物种咬钩后到拖上甲板时的存活率,更应关注脱钩释放到海中以后的存活率。

2 钓钩深度

不同物种的栖息水层不同,因此钓钩深度决定了金枪鱼延绳钓的渔获性能,对其研究有助于提高金枪鱼的渔获率,减少非目标鱼种的兼捕。研究状况见表 2。

表 2 钓钩深度研究状况
Tab. 2 Progress of hook depth study

研究者(时间) researcher (time)	研究方法 research method	结果 result	不足之处 deficiency
Boggs ^[44] (1992)	TDR 估算钓钩深度、 标记法	大眼金枪鱼多在深于 200 m 的水深捕获	预测深度与实测深度相差较大
Nakano 等 ^[45] (1997)	悬链线公式、建立钓 钩深度计算模型	大眼金枪鱼和长鳍金枪鱼渔获率与钓钩深度正相关, 旗 鱼类负相关, 黄鳍金枪鱼、鲨鱼等不明显	未探究各物种最高渔获 率的钓钩深度
Bard 等 ^[46] (1999)	标记法	黄鳍金枪鱼可到达 350 m 水深, 但大多活动在 100 m 以 浅的表层	未考虑渔获物分布和钓 钩深度的关系
叶振江等 ^[47] (2001)	机械模拟法估算钓 钩深度	低龄大眼金枪鱼栖息水层较浅, 高龄鱼栖息水层较深	未比较昼夜投绳渔获率 差别
Bigelow 等 ^[48] (2006)	悬链线公式、TDR	大多数钓钩深度在 100 m 以深, 最深平均深度为 244 m	悬链线方程估算钓钩深 度误差大
李杰等 ^[49] (2018)	TDR、多元回归分析	80~100 m 水层黄鳍金枪鱼上钩率最高	未考虑环境对钓获效果 的影响
Shiode 等 ^[50] (2018)	计算钓钩深度和短 缩率	150 m 以深大眼金枪鱼渔获率较高, 且可减少海龟误捕	试验天数少(7 d)
Bruno 等 ^[51] (2018)	Logistic 回归模型	渔获率最高出现在 167.57 m 水深, 80%的渔获物捕获深 度为 124~211 m	未考虑时长与鱼群垂直 分布的关系
Zhou 等 ^[52] (2020)	TDR、悬链线公式	长鳍金枪鱼的分布明显受水深控制, 偏好 200 m 水层	未考虑钓具浸泡时长对 渔获率的影响

Boggs^[44]在研究夏威夷海域延绳钓中上层鱼类的捕捞深度、捕获时间和钓获后的存活率时得出, 大眼金枪鱼多在 200 m 以深处捕获, 移除浅钩可以减少对旗鱼类的兼捕而不会降低大眼金枪鱼的捕捞效率。Nakano 等^[45]通过悬链线公式建立钓钩深度计算模型并结合相关性分析, 得出太平洋地区不同目标鱼种的渔获率与钓钩深度相关性不同。Bard 等^[46]研究南太平洋中部金枪鱼的栖息深度时得出, 黄鳍金枪鱼可到达 350 m 水深, 但大多活动在 100 m 以浅的表层。叶振江等^[47]测定了作业条件下延绳钓的形状和张力, 并用机械模拟法估算了钓钩的作业深度。Bigelow 等^[48]发现大多数金枪鱼延绳钓的钓钩深度在 100 m 以深, 最深平均深度为 244 m。李杰等^[49]研究了南中国海罩网兼作金枪鱼延绳钓的钓钩深度与渔获率的关系, 发现旗鱼类上钩率最高的水层为 60~80 m, 黄鳍金枪鱼上钩率最高的水层为 80~100 m, 但因拟合钓钩深度最深只有 110.80 m, 因此对实际生产缺乏指导意义。Shiode 等^[50]通过海上实测数据研究了大眼金枪鱼渔获率高且对海龟兼捕率低的水层, 得出钓钩深度在 150 m 以深更好。Bruno

等^[51]评估了东太平洋公海延绳钓作业的物种渔获特征, 但未考虑钓钩浸泡时长与鱼群垂直分布的关系。Zhou 等^[52]利用 TDR 实测和悬链线公式研究了南太平洋中上层延绳钓长鳍金枪鱼渔获率与钓钩深度等影响因子的关系, 得出 200 m 水层渔获率最高。

综上, 研究钓钩深度的方法通常用悬链线公式和利用微型深度温度仪 (TDR)测量并建立钓钩深度数值模型。钓钩深度影响金枪鱼的渔获率以及海龟等物种兼捕, 影响渔获物体长分布等; 延绳钓钓钩实际深度比理论深度要浅。存在的不足在于, 建立钓钩深度计算模型时由于忽略海流以及对渔具构件的水动力系数研究不够充分等因素, 造成计算深度误差较大。

3 诱饵选择性

不同种类和大小的海洋捕食者具有不同的猎物, 因此诱饵具有选择性。海洋捕食者对诱饵的行为反应取决于诱饵的化学、视觉、声学、质地特征和大小。金枪鱼延绳钓渔业每年消耗大量的饵料, 诱饵是影响延绳钓渔业经济效益的重要因

素。诱饵的选择性研究情况见表 3。

拟饵对渔获性能的影响是通过其形态、硬度和钩挂方法决定的, 其对兼捕物种的选择性成为金枪鱼延绳钓的独特特征, 因此拟饵研究侧重于通过模拟天然饵料外形和添加吸引目标鱼种的化学成分等方法比较对渔获率的影响^[54-57]。Kobayashi^[54]发现在拟饵中添加鱼油等可以提高金枪鱼的渔获率, 使用有光泽的淡红褐色的拟饵效果更好。Yamaguchi 等^[55]在大西洋金枪鱼延绳钓渔业中使用丙氨酸、甘氨酸等成分的鱼粉制成的 R-V 拟饵和秋刀鱼饵料对比渔获率, 发现 R-V 拟饵捕捞效果较差。Løkkeborg^[56]在北大西洋比较了金枪鱼延绳钓拟饵和鱼饵浸泡后化学引诱因子的释放率, 发现两者无显著差异。Januma 等^[57]在日本海比较了以鱿鱼肝脏为主要成分的拟饵和天然鱿鱼饵料对金枪鱼的渔获性能影响, 发

现拟饵对金枪鱼的渔获率虽没有天然饵料高, 但拟饵硬度是影响效果的重要因素。

诱饵选择性研究的主要目的是探究出既能提高金枪鱼渔获率, 又可减少鲨、海龟等兼捕的饵料。Shimada 等^[53]比较日本鲭(*Scomber japonicus*)、秋刀鱼(*Cololabis saira*)、竹筴鱼(*Trachurus* spp.) 3 种诱饵在吕宋岛附近海域的渔获率, 发现秋刀鱼诱饵的金枪鱼渔获率最高; 日本鲭和竹筴鱼诱饵的枪鱼类渔获率更高。Polovina 等^[65]的实验表明鰐龟有一致的颜色偏好, 但 Swimmer 等^[58]发现, 鰐龟和大西洋丽龟(*Lepidochelys kempii*)在实验室环境中表现出了颜色偏好, 蓝色染色诱饵能减少其误捕, 但在南太平洋海上实测中效果不明显。Cocking 等^[59]发现蓝色染色鱿鱼饵料可以减少海鸟误捕, 而蓝色染色鱼类饵料对缓解海鸟误捕帮助不大; 蓝色染色饵料

表 3 饵料选择性研究状况
Tab. 3 Progress of bait selectivity

研究者(时间) researcher (time)	研究方法 research method	结果 result	不足之处 deficiency
Shimada 等 ^[53] (1971)	实验对照法	日本鲭(<i>Scomber japonicus</i>)和竹筴鱼(<i>Trachurus</i> spp.) 饵料渔获率整体高于秋刀鱼(<i>Cololabis saira</i>)饵料	未考虑不同区域海洋环境的差异
Kobayashi ^[54] (1975)	实验对照法	拟饵中添加鱼油等可提高金枪鱼渔获率, 有光泽的淡红褐色的拟饵效果更好	收集的金枪鱼数据不足
Yamaguchi 等 ^[55] (1985)	实验对照法	R-V 拟饵对中上层鱼类的捕捞效果较差	未对不同浸泡时长的效果作对比
Løkkeborg ^[56] (1990)	Mann-Whitney 检验	拟饵和鱼饵浸泡后化学引诱因子的释放率相近	未得出最佳浸泡时长
Januma 等 ^[57] (2003)	实验对照法	拟饵对兼捕物种具有选择性, 能降低鲨兼捕	未给出拟饵和天然饵料的硬度差别
Swimmer 等 ^[58] (2005)	相关性分析	蓝色染色诱饵减少海龟误捕在实验室效果显著	海上实测效果不理想
Cocking 等 ^[59] (2008)	饵料反射率结合光谱分析	蓝色染色鱿鱼饵料相对鱼类饵料可以减少海鸟误捕	未分析实验饵料对其他兼捕物种的影响
Yokota 等 ^[60] (2009)	广义线性模型(GLM)	日本鲭饵料能减少鰐龟兼捕, 染色饵料对其无影响	模型中解释变量未考虑钓钩深度等
Stokes 等 ^[61] (2011)	Logistic 回归模型	鱿鱼饵料对海龟的误捕率是日本鲭诱饵的四倍	模型中未考虑钓钩深度等因素
Barata ^[62] (2011)	Logistic 回归模型	印度洋金枪鱼延绳钓鱿鱼饵料的渔获率最高, 且上午效果显著	未考虑对兼捕的影响
Fernandez-Carvalho 等 ^[63] (2015)	广义线性模型	日本鲭饵料有利于减少兼捕	钩形和饵料的协同作用未考虑
Gilman 等 ^[32] (2017)	单因素效应评估	鱼类饵料相较鱿鱼饵料能降低棱皮龟的误捕率	未考虑饵料浸泡时长对结果的影响
Gilman 等 ^[64] (2020)	随机效应模型、贝叶斯 Meta 分析	鱿鱼饵料对金枪鱼和旗鱼类渔获率更高, 但鱼饵对大青鲨和海龟误捕率更低	未考虑钩形和作业区域等对选择性的影响

能有效减少海鸟误捕的结论与 Gilman 等^[66]一致。Yokota 等^[60]发现在太平洋地区, 日本鲭饵料对鳐龟的误捕率比鱿鱼饵料小 75%, 饵料颜色对兼捕无影响, 这与 Kiyota 等^[67]在太平洋地区的研究得出的日本鲭诱饵有较低海龟钓获率结论一致。Stokes 等^[61]在实验室的研究进一步支持这一结论, 鱿鱼饵料对海龟的误捕率是日本鲭诱饵的 4 倍。Barata 等^[62]比较了不同饵料在上午和下午对金枪鱼渔获率的影响, 发现在下午使用竹筴鱼等鱼饵和鱿鱼对金枪鱼的渔获率有显著影响, 上午则没有, 鱿鱼是印度金枪鱼延绳钓的最佳饵料。Fernandez-Carvalho 等^[63]得出日本鲭饵料有利于减少兼捕。Gorni 等^[68]研究了西南大西洋的中上层鱼类的食性, 得出头足类作金枪鱼饵料渔获率最高。Gilman 等^[32]研究了金枪鱼延绳钓钩钩形状、最小钩宽和饵料类型对海龟兼捕的影响, 发现鱼类饵料相较鱿鱼饵料能降低棱皮龟的误捕率, 这与 Swimmer 等^[33]的结论一致。Gilman 等^[64]基于随机效应模型分析特定诱饵的渔获率, 得出鱿鱼饵料相较鱼类饵料, 对金枪鱼和旗鱼类有更高的渔获率; 但对于大青鲨和海龟, 鱼饵的误捕率显著低于鱿鱼饵料; 诱饵类型对兼捕率的影响因中上层鲨物种不同而异, 因此要进一步研究既能提高金枪鱼渔获率又可降低兼捕的饵料选择方案。

综上, 饵料的选择性研究内容主要包含拟饵和天然饵料; 拟饵具有节省成本、易于操作、可重复使用等优点, 因此关于拟饵在金枪鱼延绳钓中的选择性, 特别是添加化学试剂的拟饵成为以后的研究方向之一; 鱼饵是保持金枪鱼渔获率和降低兼捕率的最佳选择; 饵料不单独决定选择性, 与钩形综合作用。存在的不足有, 饵料在水中浸泡会分解, 因此各对照实验中应保持时长一致; 染色饵料对缓解海鸟误捕效果显著, 但对海龟的选择性目前仅在实验室研究得出效果显著, 缺乏海上实测验证; 饵料选择性应结合钩形开展研究。

4 环境因子

环境因子如温度、盐度、叶绿素浓度和溶解氧等因水层不同而异, 月相影响夜间环境光照水

平, 同样影响延绳钓的渔获性能^[69], 研究状况见表 4。

Mohri 等^[70]通过海上实测得出印度洋大眼金枪鱼的最适水温在 10~16 °C。Dagorn 等^[71]发现西印度洋黄鳍金枪鱼具有穿透寒冷水域的生理和行为能力, 但尚未得出原因。宋利明等^[72]通过海上实测获得环境数据比较了印度洋黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼在温跃层内和深水层的渔获率。Song 等^[73]研究了印度洋大眼金枪鱼渔获率与深度、温度、盐度、叶绿素浓度和溶解氧的关系, 发现盐度和叶绿素浓度对成年大眼金枪鱼的垂直分布无明显影响, 溶解氧是限制大眼金枪鱼垂直分布的主要因素。Kot 等^[74]研究了美国大西洋中上层延绳钓渔业目标渔获物和海龟的觅食、栖息条件, 得出渔获率和误捕率往往更多地取决于季节而非月相尺度。宋利明等^[75]应用逐步回归方法和钩钩深度预测模型探究吉尔伯特群岛海域大眼金枪鱼的环境偏好, 发现大眼金枪鱼的适盐性较广, 成熟个体偏好的水温为 14.0~17.0 °C。Liao 等^[76]调查了南中国海黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼延绳钓渔获率与环境条件的关系, 得出金枪鱼 CPUE 与海表面温度相关性高, 但其研究没有分水层分析。

在研究月相对金枪鱼渔获性能的影响中, 宋利明等^[77]比较不同投绳时间金枪鱼渔获率的差异, 发现月相对大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼渔获率无显著影响; Lan 等^[78]研究赤道大西洋黄鳍金枪鱼渔获率与海洋环境变化的关系, 得出黄鳍金枪鱼主要聚集在赤道附近, 在高于 24 °C 的水域中渔获率最高。Sajeevan 等^[79]得出印度水域月相对黄鳍金枪鱼渔获率影响显著, 最高渔获率出现在盈亏期, 但研究中未考虑季风、天气等因素的影响。Novianto 等^[80]得出长鳍金枪鱼渔获率最高的温度在 24.0~24.9 °C, 盐度是重要影响因素, 但未得出资源分布与环境因子的关系。杨胜龙等^[81]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, 发现大眼金枪鱼在夏季和冬季渔获率最高, 但缺乏对溶解氧影响的分析。张嘉容等^[82]研究了南太平洋长鳍金枪鱼延绳钓渔获率与环境因子的关系, 发现 120 m 水深温

表 4 环境因子与渔获性能的关系研究状况

Tab. 4 Progress of study on relationship between environmental factors and catch performance

研究者(时间) researcher (time)	研究方法 research method	结果 result	不足之处 deficiency
Mohri 等 ^[70] (1996)	海上实测	印度洋大眼金枪鱼的最适水温在 10~16 ℃	作业时间和水温测量值略有误差
Dagorn 等 ^[71] (2006)	标记法	黄鳍金枪鱼 8.3%的时间是在比表层温度低 8 ℃的水域中度过, 活动最低水温在 5.8 ℃。	黄鳍金枪鱼向低温处活动原因不明
宋利明等 ^[72] (2008)	相关分析	黄鳍金枪鱼渔获率在温跃层以内更高, 大眼金枪鱼在温跃层以下更高	结果只适用于印度洋
Song 等 ^[73] (2009)	广义线性模型、广义可加模型	大眼金枪鱼在溶解氧浓度 2.00~2.99 mg/L 渔获率最高	未分析环境因子如何影响钓钩深度的机理
Kot 等 ^[74] (2010)	傅立叶变换(FFT)、分类数和回归树分析	季节而非月相尺度决定金枪鱼渔获率和海龟误捕率	未考虑环境因子对饵料的影响
宋利明等 ^[75] (2010)	逐步回归	近成熟的大眼金枪鱼偏好的水温为 14.0~17.0 ℃	温跃层深度等因素未加入分析
Liao ^[76] (2010)	相关分析	黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼的 CPUE 与海表面温度相关性高	未对环境因子共线性分析, 未分水层研究
宋利明 ^[77] (2010)	方差分析	月相对大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼渔获率无显著影响, 上午投绳效果更好	忽视了阴雨天气等带来的误差
Lan 等 ^[78] (2012)	主成分分析(PCA)法	黄鳍金枪鱼在高于 24~25 ℃的水域渔获率最高	使用 5°网格或致环境数据信息丢失
Sajeevan 等 ^[79] (2014)	广义线性模型	月相对黄鳍金枪鱼渔获率影响显著, 季风也有影响	未考虑温度等的影响
Novianto 等 ^[80] (2016)	广义加性模型(GAM)	长鳍金枪鱼渔获最高的温度在 24.0~24.9 ℃, 盐度是重要影响因素	未得出渔获率分布与环境因子的关系
杨胜龙等 ^[81] (2017)	回归模型、广义可加模型	12 ℃等温线深度和温跃层交叉影响热带大西洋大眼金枪鱼渔获率	未考虑溶解氧因素
张嘉容等 ^[82] (2020)	相关分析、广义可加模型	120 m 水温对南太平洋长鳍金枪鱼渔获率影响最大	未探究混合层深度对垂直分布的影响

度对渔获率影响最大。

综上, 水层温度、溶解氧等对金枪鱼渔获率影响很大; 环境因素与渔获率的关系因水层深度不同而异。存在的不足在于, 建立模型前未对环境因子作共线性诊断; 易忽视分水层研究环境因子的影响; 研究月相对渔获率的影响时, 易忽略饵料的影响。

5 钓具浸泡时长

钓具在海水中的浸泡时长也影响金枪鱼延绳钓的渔获性能, 对于延绳钓钓具浸泡时长的研究多是以金枪鱼类为研究对象, 对兼捕物种的影响研究很少。

Skud^[83]利用协方差分析太平洋海域钓具浸泡时长对渔获率的影响, 发现金枪鱼单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)随浸泡时间增加而变化, 但只表明了渔获量和浸泡时长存在相关性, 未解释二者之间的关系。Ward 等^[84]发现不同物种的渔获率与浸泡时长相关性不同, 海鸟、鰹(*Katsuwonus pelamis*)等渔获率与浸泡时长呈负相关, 南方蓝鳍金枪鱼(*Thunnus maccoyii*)不显著, 限制浸泡时长能减少兼捕的结论与 Carruthers 等^[85]一致。宋利明等^[86-87]首次分水层进行研究, 并发现南太平洋海域不同的目标鱼种钓具最佳浸泡时长不同, 长鳍金枪鱼在 10~12 h 为宜, 大眼金枪鱼在 9.9 h 左右, 黄鳍金枪鱼在 10.1 h 左右; Kumar 等^[88]得出浸泡时长大于 5.1 h 时金枪鱼渔获率较高, 但因作业深度只到 100 m 左右, 影响结果的准确性; 刘莉莉等^[89]得出东太平洋长鳍金枪鱼渔获率在钓钩浸泡 11 h 和 16 h 达到最高, 捕捞概

率密度最大集中在 167.57 m 的水层,但他们的研究^[86-89]均未能充分考虑交互作用(钓具投放开始时间、主捕鱼种的摄食行为等)对渔获率的影响,此外应更精确计算浸泡时长。

综上,不同种类的金枪鱼有不同的最佳浸泡时长,钓具浸泡时长总体在 10~16 h 金枪鱼渔获率最高;早期关于钓具浸泡时长的研究,结果存在不确定性,随着更加复杂的模型和多因素分析方法的引入,浸泡时长和渔获率关系能被更深入、详尽地解释。存在的不足在于,研究钓具的浸泡时长对渔获率的影响时,浸泡时长往往计算不精确;浸泡时长研究未区分白昼与夜间作业、未结合钩形及饵料类型等。

6 总结与展望

6.1 前人研究取得的成果

对金枪鱼延绳钓渔获性能的研究主要从钓具选择性、钓钩深度、饵料选择性、环境因素等方面进行,目前国内外的研究大多是从以上各方面单独展开。

(1) 钓具选择性

提高钓钩的沉降速度是缓解海鸟误捕的重要措施。钓钩的选择性研究中,圆形钩相较环形钩能不减少目标金枪鱼类渔获率,相较 J 形钩能减少兼捕、提高存活率已经得到证实。同一钩形不同的尺寸,渔获效果差异显著;钩形和引线材料的相互作用可能综合影响金枪鱼延绳钓渔获性能。

(2) 钓钩深度

大量研究已经总结出海流速度、风速以及渔具受到的水动力是影响钓钩深度变化的主要因素,钓钩深度计算开始多用悬链线公式,随着研究的深入,许多学者运用不同的模型和统计方法分析建立了金枪鱼延绳钓的钓钩深度模型。

(3) 饵料的选择性

饵料的选择性研究中,诱饵类型对上钩率的影响因鱼种不同而异,考虑饵料和钩形的综合作用使选择性研究结果更加准确。日本鲭饵料目前是金枪鱼延绳钓的较好选择,不影响金枪鱼的渔获率,且能降低海龟误捕;染色饵料能减少海龟的误捕在实验室已得到证实;添加化学试剂的拟

饵在延绳钓的选择性方面将发挥重要作用。

(4) 海洋环境

金枪鱼类和旗鱼类几近色盲这一研究结果导致几乎没有对金枪鱼类的颜色偏好进行探索,但不同颜色的饵料对减少海龟误捕的作用等仍有研究意义。海洋环境因素对延绳钓渔获性能的影响研究中,学者们着眼于探究金枪鱼的垂直分布与温度、盐度、叶绿素、溶解氧、水平海流和垂直海流的关系,以期掌握某海域金枪鱼偏好的环境,提高金枪鱼的渔获率,减少非目标种类的兼捕。气候波动、海洋环境和金枪鱼延绳钓渔获率之间存在密切的关系。金枪鱼渔获率与环境因素的关系,分水层研究更加科学。

6.2 存在的不足

(1) 海流会影响钓钩的深度,金枪鱼延绳钓实际钓钩深度比基于悬链线理论的预测深度浅^[90],在建立钓钩深度模型时,往往忽略了海流的影响,造成误差;研究钓钩沉降速度时易忽略海流、风速和饵料的影响。

(2) 在探究渔获率与环境因子的关系时,重要的因素如海流、溶解氧等易被忽略;此外对于环境因子如何影响渔获性能的机理未能探究;部分研究缺乏海上实测验证。

(3) 不同尺寸的钩形渔获性能存在差异,金枪鱼延绳钓“最佳尺寸”的钩形尚不清楚。

(4) 选择性研究中,诱饵、钓钩类型和尺寸、海洋环境和钓具浸泡时长对渔获率、兼捕率、死亡率和兼捕物种释放后存活率的潜在协同效应往往被忽视;蓝色染色饵料减少海鸟误捕效果显著,但能够减少海龟误捕的结果仅在实验室得到证明,缺乏海上实测验证。

(5) 对延绳钓钓具浸泡时长的研究多是以金枪鱼类为研究对象,对兼捕物种的影响研究很少,此外钓具浸泡时长计算不精确。

6.3 建议与展望

(1) 海洋环境因素会改变延绳钓的形状,从而影响钓钩深度^[91]。研究钓钩深度对金枪鱼渔获性能的影响时,应综合考虑海流速度、钓钩位置和风速等影响钓钩深度变化和沉降速度的主要因素,进而建立最佳钓钩深度模型,确定钓钩最佳沉降

速度和深度。

(2)研究环境因子与金枪鱼渔获率的关系时,海流、溶解氧等重要因素不应忽略,应分水层研究环境因素的影响,要考虑海洋环境因素和渔具对渔获物的综合作用,建立不同物种渔获性能预测模型。

(3)钓钩选择性研究中,应根据鱼种的栖息水层进行实验,应关注兼捕物种释放后的存活率。圆形钩在维持经济效益的前提下保护生态得到了国际认同。有学者认为较大尺寸的圆形钩是减少海龟误捕的有效工具^[92],后续应开展提高目标鱼种渔获率、降低兼捕物种渔获率的最佳尺寸和钩形的研究。

(4)诱饵选择性研究中,除了颜色因素,气味也是影响因素之一。Kasumyan 等^[93]指出,鱼类的味觉偏好具有高度的物种特异性,当比较刺激剂和阻遏剂的光谱宽度和组成时,鱼种间的差异是明显的。可以研究不同气味的饵料或拟饵对金枪鱼延绳钓物种选择性的影响。

(5)金枪鱼延绳钓选择性研究中,应考虑诱饵、钓钩类型和尺寸、海洋环境和钓具浸泡时长对渔获率、兼捕率、死亡率和兼捕物种释放后存活率的潜在协同效应。此外,钓具投放开始时间、主捕鱼种的摄食行为等的相互作用对渔获率的影响也应研究。

参考文献:

- [1] Chen W H, Song L M. A review on the sinking performance and numerical simulation of fishing gear[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(1): 115-120, 126. [陈文河, 宋利明. 渔具的沉降性能及数值模拟研究进展[J]. 广东农业科学, 2014, 41(1): 115-120, 126.]
- [2] Song L M, Li Y T. Research progress of mechanical property of tuna longline gear[J]. South China Fisheries Science, 2020, 16(2): 121-127. [宋利明, 李轶婷. 金枪鱼延绳钓力学性能研究进展[J]. 南方水产科学, 2020, 16(2): 121-127.]
- [3] Deriso R B, Parma A M. On the odds of catching fish with angling gear[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1987, 116(2): 244-256.
- [4] Food Agriculture Organization of United Nations. Report of the FAO Technical Working Group Meeting on reduction of incidental catch of seabirds in longline fisheries[R]. FAO Fisheries Report, 1999.
- [5] Beverly S, Chapman L, Sokimi W. Horizontal Longline Fishing Methods and Techniques: A Manual for Fishermen [M]. Nouméa: Secretariat of the Pacific Community, 2003: 130.
- [6] Kelleher K. Discards in the world's marine fisheries: An update[R]. FAO Fisheries Technical Paper, 2005, No. 470: 131.
- [7] Brock V E. On the nature of the selective action of longline fishing gear[J]. Pacific Science, 1962, 16: 3-14.
- [8] Bjordal S. Regulation of Fishing Gears and Methods[M]//A Fishery Manager's Guidebook Chichester. Oxford: Wiley-Blackwell, 2009: 167-195.
- [9] The ecosystem approach to fisheries[R]//FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. Rome: FAO, 2003: No. 4, Suppl. 2: 112.
- [10] 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.
- [11] Garcia S M, Kolding J, Rice J, et al. Reconsidering the consequences of selective fisheries[J]. Science, 2012, 335(6072): 1045-1047.
- [12] Zhou S J, Smith A D M, Punt A E, et al. Ecosystem-based fisheries management requires a change to the selective fishing philosophy[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2010, 107(21): 9485-9489.
- [13] Beverly S, Curran D, Musyl M, et al. Effects of eliminating shallow hooks from tuna longline sets on target and non-target species in the Hawaii-based pelagic tuna fishery[J]. Fisheries Research, 2009, 96(2-3): 281-288.
- [14] Xu Y W, Dai X J, Chen Z Z. Population ecological risk assessment of the common species of catches of the longline fishery in Atlantic Ocean[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2015, 24(3): 441-448. [许友伟, 戴小杰, 陈作志. 大西洋延绳钓渔获物常见种类的生态风险评估[J]. 上海海洋大学学报, 2015, 24(3): 441-448.]
- [15] Gilman E, Chaloupka M, Musyl M. Effects of pelagic longline hook size on species- and size-selectivity and survival[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2018, 28(2): 417-433.
- [16] Namamura Y, Somboon S, Suzuki F, et al. Optical characteristics of hook line in tuna longline fishing[J]. La mer. Tokyo, 1999, 37(1): 29-37.
- [17] Hu F X, Shiga M, Yokota K, et al. Effects of specifications of branch line on sinking characteristics of hooks in Japanese tuna longline[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2005, 71(1): 33-38.
- [18] Anderson S, McArdle B. Sink rate of baited hooks during

- deployment of a pelagic longline from a New Zealand fishing vessel[J]. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 2002, 36(1):185-195.
- [19] Santos R C, Silva-Costa A, Sant'Ana R, et al. Improved line weighting reduces seabird bycatch without affecting fish catch in the Brazilian pelagic longline fishery[J]. Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems, 2019, 29(3): 442-449.
- [20] Falterman B, Graves J E. A preliminary comparison of the relative mortality and hooking efficiency of circle and straight shank ("J") hooks used in the pelagic longline industry[C]//American Fisheries Society, 5410 Grosvenor Ln. Ste. 110 Bethesda MD 20814-2199 USA, 2002: 8-87.
- [21] Kim E J, Moon D, Kim S. Effects of climate-induced variation in the catch distribution and biological characteristics of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the western and central Pacific Ocean[J]. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2015, 48(4): 489-497.
- [22] 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(2-3): 239-250.
- [23] Xu L X, Song L M, Wang J Q, et al. Comparison on catch rate between circle hooks and ring hooks of tuna longline in the tropical high seas of the Indian Ocean[J]. Marine Fisheries, 2008, 30(3): 227-232. [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, 30(3): 227-232.]
- [24] Ward P, Myers R A, Blanchard W. Fish lost at sea: The effect of soak time on pelagic longline catches[J]. Fishery Bulletin, 2004, 102(1): 179-195.
- [25] 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.
- [26] Curran D, Bigelow K. Effects of circle hooks on pelagic catches in the Hawaii-based tuna longline fishery[J]. Fisheries Research, 2011, 109(2-3): 265-275.
- [27] Zhu G P, Chen J T, Xu L X, et al. Selectivity of hook type on hooking species for the tuna longline fishery in the Southern and Central Indian Ocean[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(3): 423-428. [朱国平, 陈锦淘, 许柳雄, 等. 印度洋中南部水域金枪鱼延绳钓钩钩形对钓获对象的选择性[J]. 水产学报, 2011, 35(3): 423-428.]
- [28] 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.
- [29] Andracka S, Mug 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: 214-224.
- [30] Parga M L, Pons M, Andracka 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.
- [31] Coelho R, Santos M N, Fernandez-Carvalho J, et al. Effects of hook and bait in a tropical northeast Atlantic pelagic longline fishery: Part I—incidental sea turtle bycatch[J]. Fisheries Research, 2015, 164: 302-311.
- [32] Gilman E, Huang H W. 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, 2017, 27(1): 43-52.
- [33] Swimmer Y, Gutierrez A, Bigelow K, et al. Sea turtle bycatch mitigation in US longline fisheries[J]. Frontiers in Marine Science, 2017, 4: 260.
- [34] 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.
- [35] 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]. Basel: Preprints, 2020: 41-80.
- [36] Nakamura Y, Kurita Y, Matsunaga Y, et al. Optical characteristics of snood in tuna longline fishing[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1991, 57(8): 1437-1443.
- [37] Blaxter J H S, Parrish B B, Dickson W. Modern Fishing Gear of the World[M]. London: Fishing News (Book) Ltd., 1964: 529-536.
- [38] Kawamura G, Nishimura W, Ueda S, et al. Color vision and spectral sensitivity in tunas and marlins[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1981, 47(4): 481-485.
- [39] Wang J H, Boles L C, Higgins B, et al. Behavioral responses of sea turtles to lightsticks used in longline fisheries[J]. Animal Conservation, 2007, 10(2): 176-182.
- [40] Crognale M A, Eckert S A, Levenson D H, et al. Leatherback sea turtle *Dermochelys coriacea* visual capacities and potential reduction of bycatch by pelagic longline fisheries[J]. Endangered Species Research, 2008, 5(2-3): 249-256.
- [41] Kitano Y, Satoh K, Yamane K, et al. The corrosion resistance of tuna long-line fishing hook using fish monofilament[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1990, 56(11): 1765-1772.
- [42] Falterman B, Graves J E. A preliminary comparison of the relative mortality and hooking efficiency of circle and straight shank ("J") hooks used in the pelagic longline indus-

- try[R]//American Fisheries Society Symposium: Catch and Release in Marine Recreational Fisheries, 2002, 30: 80-87.
- [43] Kerstetter D W, Pacheco J C, Hazin F H, et al. Preliminary results of circle and J-style hook comparisons in the Brazilian pelagic longline fishery[J]. Standing Committee for Research and Statistics, 2006, 60(6): 2140-2147.
- [44] Boggs C H. Depth, capture time, and hooked longevity of longline caught pelagic fish[J]. Fishery Bulletin, 1992, 90(4): 642-658.
- [45] 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.
- [46] Bard F X, Yen S, Stein A. Habitat of deep swimming tuna (*Thunnus obesus*, *T. albacares*, *T. alalunga*) in Central South Pacific[J]. ICCAT Collective Volume of Scientific Papers, 1999, 49: 309-317.
- [47] Ye Z J, Liang Z L, Xing Z L, et al. Study on the catching efficiency of hooks of tuna long-line fishing gear[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2001, 31(5): 707-712. [叶振江, 梁振林, 邢智良, 等. 金枪鱼延绳钓不同位置钓钩渔获效率的研究[J]. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 2001, 31(5): 707-712.]
- [48] Bigelow K, Musyl M K, Poisson F, et al. Pelagic longline gear depth and shoaling[J]. Fisheries Research, 2006, 77(2): 173-183.
- [49] Li J, Yan L, Yang B Z, et al. Estimation on hook and capture depth of tuna longline conducted by falling-net fishing vessel[J]. Marine Fisheries, 2018, 40(6): 660-669. [李杰, 晏磊, 杨炳忠, 等. 罩网兼作金枪鱼延绳钓的钓钩深度与渔获水层分析[J]. 海洋渔业, 2018, 40(6): 660-669.]
- [50] 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.
- [51] Bruno T N N, Zhou C, Xu L X, et al. Pelagic longline fishery for albacore tuna (*Thunnus alalunga*) yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the high seas of Eastern Pacific ocean[J]. PeerJ, 2018: e27364v1.
- [52] 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.
- [53] Shimada K, Tsurudome M. On the bait for tuna longline-II: On the Saury, Mackerel and Mackerel Scad baits for tuna fishing[J]. Memoirs of Faculty of Fisheries Kagoshima University, 1971, 20(1): 119-130.
- [54] Kobayashi H. A study on the success of a fishery with artificial baits for tuna long lines[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1975, 41(2): 175-182.
- [55] 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.
- [56] Løkkeborg S. Rate of release of potential feeding attractants from natural and artificial bait[J]. Fisheries Research, 1990, 8(3): 253-261.
- [57] Januma S, Miyajima K, Abe T. Development and comparative test of squid liver artificial bait for tuna longline[J]. Fisheries Science, 2003, 69(2): 288-292.
- [58] Swimmer Y, Arauz R, Higgins B, et al. Food color and marine turtle feeding behavior: Can blue bait reduce turtle bycatch in commercial fisheries?[J]. Marine Ecology Progress Series, 2005, 295: 273-278.
- [59] Cocking L J, Double M C, Milburn P J, et al. Seabird bycatch mitigation and blue-dyed bait: A spectral and experimental assessment[J]. Biological Conservation, 2008, 141(5): 1354-1364.
- [60] Yokota K, Kiyota M, Okamura H. Effect of bait species and color on sea turtle bycatch and fish catch in a pelagic longline fishery[J]. Fisheries Research, 2009, 97(1-2): 53-58.
- [61] 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.
- [62] Barata A, Bahtiar A, Hartaty H. The Influence of different bait and setting time of tuna longline on the tuna catch in Indian Ocean[J]. Journal of Penelitian Perikanan Indonesia, 2011, 17(2): 133-138.
- [63] Fernandez-Carvalho J, Coelho R, Santos M N, et al. Effects of hook and bait in a tropical northeast Atlantic pelagic longline fishery: Part II — target, bycatch and discard fishes[J]. Fisheries Research, 2015, 164: 312-321.
- [64] Gilman E, Chaloupka M, 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.
- [65] 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(1): 36-51.
- [66] Gilman E, Chaloupka M, Peschon J, et al. Risk factors for seabird bycatch in a pelagic longline tuna fishery[J]. PLoS One, 2016, 11(5): e0155477.

- [67] Kiyota M, Yokota K, Nobetsu T, et al. Assessment of mitigation measures to reduce interactions between sea turtles and longline fishery[C]//National Research Institute of Far Seas Fisheries. Proceedings of the International Symposium on Seastar 2000 and Bio-logging Science (the 5th SEASTAR Workshop). Bangkok, 2004.
- [68] Gorni G R, Goitein R, de Amorim A F. Description of diet of pelagic fish in the southwestern Atlantic, Brazil[J]. Biota Neotropica, 2013, 13(1): 61-69.
- [69] Gilman E L. Bycatch governance and best practice mitigation technology in global tuna fisheries[J]. Marine Policy, 2011, 35(5): 590-609.
- [70] Mohri M, Hanamoto E, Takeuchi S. Optimum water temperatures for bigeye tuna in the Indian Ocean as seen from tuna longline catches[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1996, 62(5): 761-764.
- [71] Dagorn L, Holland K N, Hallier J P, et al. Deep diving behavior observed in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*)[J]. Aquatic Living Resources, 2006, 19(1): 85-88.
- [72] Song L M, Zhang Y, Zhou Y Q. The relationships between the thermocline and the catch rate of *Thunnus albacares* and *Thunnus obesus* in the high seas of the Indian Ocean[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(3): 369-378. [宋利明, 张禹, 周应祺. 印度洋公海温跃层与黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼渔获率的关系[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 369-378.]
- [73] Song L M, Zhou J, Zhou Y Q, et al. Environmental preferences of bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the Indian Ocean: An application to a longline fishery[J]. Environmental Biology of Fishes, 2009, 85(2): 153-171.
- [74] 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.
- [75] Song L M, Lv K K, Hu Z X, et al. Environmental preferences of *Thunnus obesus* near Gilbert Islands: An application to longline fishery[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(4): 374-382. [宋利明, 吕凯凯, 胡振新, 等. 吉尔伯特群岛海域延绳钓渔场大眼金枪鱼的环境偏好[J]. 海洋渔业, 2010, 32(4): 374-382.]
- [76] Liao Y, Yin Y. The influence of environmental factors on longline catch rates of yellowfin tuna *Thunnus albacares* and bigeye tuna *Thunnus obesus* in the South China Sea[J]. Journal of Taiwan Fisheries Society, 2010, 37(3): 191-203.
- [77] 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.]
- [78] Lan K, Nishida T, Lee M, et al. Influence of the marine environment variability on the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) catch rate by the Taiwanese longline fishery in the Arabian Sea, with special reference to the high catch in 2004[J]. Journal of Marine Science and Technology, 2012, 20(5): 514-524.
- [79] Sajeevan M K, Sanadi R B. Evaluation of the effect of lunar cycle and monsoon on catch of yellowfin tuna[J]. Journal of the Marine Biological Association of India, 2014, 56(2): 62-66.
- [80] Novianto D, Susilo E. Role of sub surface temperature, salinity and chlorophyll to albacore tuna abundance in Indian Ocean[J]. Indonesian Fisheries Research Journal, 2016, 22(1): 17-26.
- [81] 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, 张怊怊, 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.]
- [82] Zhang J R, Yang X M, Dai X J, et al. Relationship between catch rate of longline albacore (*Thunnus alalunga*) and environmental factors in South Pacific[J]. South China Fisheries Science, 2020, 16(1): 69-77. [张嘉容, 杨晓明, 戴小杰, 等. 南太平洋长鳍金枪鱼延绳钓渔获率与环境因子的关系研究[J]. 南方水产科学, 2020, 16(1): 69-77.]
- [83] Skud B E. Factors affecting longline catch and effort III: Bait loss and competition[R]//International Pacific Halibut Commission Scientific Report, Seattle, 1978: 64-66.
- [84] Ward P, Epe S, Kreutz D, et al. The effects of circle hooks on bycatch and target catches in Australia's pelagic longline fishery[J]. Fisheries Research, 2009, 97(3): 253-262.
- [85] 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, 2011, 108(1): 112-120.
- [86] Song L M, Xu W Y, Cao D M, et al. Optimum soak time of tuna longline gear[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(2): 346-350. [宋利明, 徐伟云, 曹道梅, 等. 金枪鱼延绳钓钓具的最适浸泡时间[J]. 中国水产科学, 2013, 20(2): 346-350.]
- [87] Song L M, Li D J, Liu H Y, et al. Optimum soak time of pelagic longline gear targeting albacore tuna[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(2): 290-296. [宋利明, 李冬静, 刘海阳, 等. 主捕长鳍金枪鱼延绳钓钓具的最适浸泡时间[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(2): 290-296.]

- [88] Kumar K V A, Pravin P, Khanolkar P, et al. The effect of depth of operation and soaking time on catch rates in the experimental tuna longline fisheries in Lakshadweep Sea, India[J]. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2016, 15(1): 597-605.
- [89] Liu L L, Zhou C, Yu C D, et al. Identifying the catch characteristics of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) longline associated with the depth and soaking time of hooks in the high seas of eastern Pacific Ocean[J]. Periodical of Ocean University of China, 2018, 48(1): 40-48. [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(自然科学版), 2018, 48(1): 40-48.]
- [90] Shiga M, Shiode D, Miyamoto Y, et al. Effect of water flow on 3-dimensional underwater shape of pelagic longline with midwater float[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2009, 75(2): 179-190.
- [91] Mizuno K, Okazaki M, Miyabe N. Fluctuation of longline shortening rate and its effect on underwater longline shape[J]. Bulletin of National Research Institute of Far Seas Fisheries, 1998, 35(1): 155-164.
- [92] Sales G, Giffoni B B, Fiedler F N, et al. Circle hook effectiveness for the mitigation of sea turtle bycatch and capture of target species in a Brazilian pelagic longline fishery[J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2010, 20(4): 428-436.
- [93] Kasumyan A O, Døving K B. Taste preferences in fishes[J]. Fish and Fisheries, 2003, 4(4): 289-347.

A review of tuna longline catch performance

SONG Liming^{1, 2, 3, 4}, XU Hui¹

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;
3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education; Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
4. Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: The catch performance of tuna longlines was evaluated across two aspects: the catch rate of the target species and the bycatch rate of bycatch species. The aim of this review was to provide references for modifying the longline gear and fishing method, to improve the capture efficiency of target fish species and reduce bycatch rate. Based on the time series, we review the literature on the catch performance of tuna longlines; summarize the research progress of tuna longline catch performance from influence factors of longline fishing gear selectivity, hook depth, bait selectivity, environmental factors, and fishing gear soaking time; and present the existing drawbacks and suggestions for future research. The findings of previous studies are as follows: (1) the optimal operation depth and soaking duration of longline gear differ between different species; (2) larger circle hooks can reduce bycatch rate; (3) artificial bait exhibits selectivity, and fish bait and blue dyed bait can reduce bycatch rate; and (4) the environmental factors of the specific water layer significantly influences catch performance. Based on this review, we suggest that future study on the performance of tuna longline fishing gear should (1) determine the optimal sinking speed and depth of the hook; (2) establish a catch performance prediction model for different species in different water layers; (3) explore the optimum hook type and size for the targeted species; (4) focus on species selectivity by different odors and colors of natural and artificial bait; and (5) consider the potential synergistic effect of bait type, hook type and size, fishing gear soaking duration, bycatch rate, mortality rate, and post-release survival rate of the bycatch species.

Key words: tuna longline; catch performance; selectivity; environmental factors

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