

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.15009

金枪鱼渔业中人工集鱼装置生态影响研究进展

王学昉^{1, 2, 3, 4}, 许柳雄^{1, 2, 3, 4}, 戴小杰^{1, 2, 3, 4}, 周成¹, 官文江^{1, 2, 3, 4},
田思泉^{1, 2, 3, 4}, 朱江峰^{1, 2, 3, 4}

1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306;
2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;
3. 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. 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306

摘要: 金枪鱼人工集鱼装置(Fish Aggregation Devices, FADs)分为漂流式和锚泊式两种, 人工集鱼装置可以吸引热带金枪鱼类和其他中上层鱼类, 在全球范围内支持了数千艘渔船的捕捞作业, 大幅提高了捕捞效率和渔获量。但大规模投放的人工集鱼装置被认为会对金枪鱼种群和中上层生态系统造成潜在的生态影响: 可能会对金枪鱼的集群、摄食、健康、生长、洄游、死亡等生活史活动产生负面影响, 从而导致种质衰退; 另一方面, 兼捕多种硬骨鱼类、鲨鱼、蝠鲼、海龟等非目标鱼种也可能扰动大洋中上层生态系统的平衡。但是, 对于人工集鱼装置生态影响的评估在不同类型不同海域的研究结果中存在矛盾并无法确定。本文梳理归纳了过去 30 年中人工集鱼装置生态影响评估的相关研究进展, 在此基础上展望了今后研究的改进方向, 以期为人工集鱼装置生态影响的研究和管理提供参考。

关键词: 金枪鱼; 漂流人工集鱼装置; 锚泊人工集鱼装置; 兼捕渔获物; 生态影响; 捕捞效率; 渔获量

中图分类号: S972.3

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)06-1289-10

在人类的渔业史中, 发展出手钓、竿钓、陷阱、延绳钓、围网等多种方式捕捞金枪鱼类, 这些捕捞技术最初应用于近岸地区, 然后逐渐延伸到离岸的大洋水域^[1]。在不断寻找更加高效的作业方式的过程中, 渔民发现金枪鱼和其他中上层鱼类会聚集在海面漂浮物体周围形成集群^[2-3]。虽然漂浮物聚集金枪鱼和其他中上层鱼类的具体机制至今仍无法确定^[4], 但是并不影响渔民利用这种趋向性的行为提高捕捞效率和渔获产量。

但是, 海洋中的树枝、哺乳动物的残骸等漂浮物数量有限且分布不均匀, 移动的趋势难以预测, 因此渔民开始制作人造漂浮物用于诱集捕捞

热带金枪鱼^[5-6], 这就是金枪鱼人工集鱼装置(Fish Aggregation Devices, FADs)。在全球范围内, 大规模投放的人工集鱼装置显著促进了热带金枪鱼产量的增长^[2-3], 但是作为海表环境的人造组分, 人工集鱼装置又被认为会对金枪鱼种群和大洋中上层生态系统产生潜在的负面影响^[3, 7], 主要体现在 3 个方面: (1)过度捕捞大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)和黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacores*)的幼鱼, 降低目标鱼种单位补充量的数量; (2)潜在影响金枪鱼的摄食、生长、洄游等生活史活动, 虽然不会直接造成个体死亡, 但是可能会危害种群的种质健康; (3)兼捕其他中上层鱼类, 通过食

收稿日期: 2014-12-30; 修订日期: 2015-04-22.

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(SS2012AA092302); 国家自然科学基金项目(41506151); 上海海洋大学科技发展专项基金资助项目(A2020914200060); 上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发重点实验室开放基金项目(A02091505033).

作者简介: 王学昉 (1983-), 男, 博士, 讲师, 主要从事渔具生态效应评估的研究. E-mail: xfwang@shou.edu.cn

通信作者: 许柳雄, 教授, 博士生导师. E-mail: lxxu@shou.edu.cn

物网的作用扰动中上层生态系统的平衡。其中,第二点和第三点是生态层次的影响^[3]。

目前,各大洋的区域性金枪鱼渔业管理组织都推行了相应的人工集鱼装置管理措施,但是这些措施大多以保护金枪鱼幼鱼、防止生长型过度捕捞为出发点,很少考虑如何评估及管理人工集鱼装置所造成的生态影响^[8]。而近年来,科学界对于人工集鱼装置潜在生态影响的关注却愈发强烈,针对性的研究被广泛地进行以期能够量化评估这种影响。本文旨在收集过去 30 年中科学界在人工集鱼装置生态影响评估领域的理论假说与研究进展,归纳梳理对立的假说和相悖的实验结果,供国内渔业科技工作者在相关研究时进行辨析和参考。

1 人工集鱼装置对于金枪鱼生活史过程的潜在影响

人工集鱼装置分为漂流式和锚泊式两种^[6],漂流式主要由金枪鱼工业化围网船队应用于大洋海域,结构由水表的筏体、水中的网片及一个定位浮标组成(图 1A);锚泊式主要由手工捕捞者(生计渔民)和半工业化的渔民在沿岸海域或是岛礁泻湖中使用,结构通常由水表的筏体、水中的网片或树枝及海底的锚泊系统组成(图 1B)^[1, 6]。这些在广阔海域中高密度分布的人工集鱼装置可能会对金枪鱼的集群、摄食、健康、生长、洄游、死亡等生活史过程产生直接的负面作用,并最终导致热带金枪鱼种群的种质受损^[1, 6]。

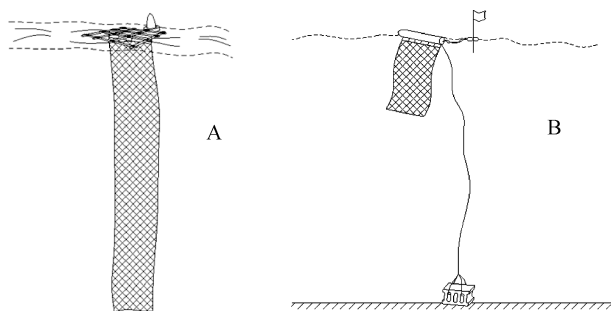


图 1 漂流人工集鱼装置的结构(A)和锚泊人工集鱼装置的结构(B)

Fig. 1 The structure of drifting fish aggregation devices (A) and the structure of anchored fish aggregation devices (B)

1.1 集群

金枪鱼的集群、洄游等生活史对策与其独特的生理学适应性紧密相连,使其能够有效地利用大洋生境^[3]。其中,集群行为是金枪鱼生态学中一项最为重要的行为学特征。鲐(*Katsuwonus pelamis*)和黄鳍金枪鱼会在洄游过程中集结成群,自由迁徙,这就是所谓的自由鱼群(free swimming school)^[3]。人工集鱼装置的大规模投放,最直接的结果就是使金枪鱼的集群方式发生了改变,譬如大西洋的渔业数据表明,在人工集鱼装置大量使用之后,该海域自由鱼群被观察和捕获的次数均下降,而人工集鱼装置周围的集群数量却大幅上升^[9-10]。

另外,集群规模也有所变化,随附群(或者说人工集鱼装置渔法的渔获物)通常比自由鱼群(自由群)具有更大的集群生物量^[11]。这种现象似乎可以用“集合点”假说解释,该假说认为金枪鱼的孤立个体和小型集群会利用漂浮物体作为集合点以组成更大的集群,大集群则具有降低被捕食危险、提高觅食效率、促进个体信息交换等方面的优势^[4]。但是,鲐的自由群和随附群体长结构的对比并不支持这一假说,因为同一个自由鱼群中的个体通常具有相似的体长,这说明其集群规模的增大是建立在“体长同质性”的基础之上;而漂流物随附群个体的叉长离散程度则要远高于自由群中的同类,这说明随附鱼群可能由多个不同体长组的自由群组成^[12]。从这个意义上说,人工集鱼装置集群的本质是不同体长组(发育阶段)的个体在狭小空间内的集合,而人工集鱼装置的出现虽然增大了单一集群的生物量,但是可能干扰了处于不同发育阶段的个体的空间聚集模式,因此对鲐的集群模式具有负面影响^[12]。

1.2 摄食

在金枪鱼的生活史中,摄食活动会直接影响到营养摄取、生长、繁殖等其他过程,Dagorn 等^[2]认为,在相关研究中应当优先考虑“人工集鱼装置是否改变金枪鱼的摄食模式”。在国外,已有大量的研究试图确定人工集鱼装置对于金枪鱼摄食模式的影响,但是不同研究手段、不同海域的研究结论却迥然不同。

这些研究主要分成两类, 第一类研究是利用空胃率作为摄食量的量化指标, 比较自由群和随附群被捕获时的摄食状态。譬如, Ménard 等^[13]发现, 大西洋赤道水域随附群的空胃率为 85%, 而自由群仅为 25%; Jaquemet 等^[14]发现, 印度洋西部海域鲔随附于人工集鱼装置时的空胃率为 52%, 而在自由状态下则都能成功摄食; Hallier 等^[15]观察到大西洋和印度洋人工集鱼装置下的黄鳍金枪鱼和鲔的空胃率均要大幅高于自由群; 其他海域的观测也大多与这些结果相一致^[16-17], 因此此类研究倾向于获得“人工集鱼装置消极影响金枪鱼摄食活动”的结论。但是, Hallier 等^[15]反对者认为这种差异源于不同的捕捞方式: 漂流人工集鱼装置随附群大多为黎明前捕获, 此时样本已距夜间的摄食高峰期有数小时之久, 胃中的多数饵料可能已消化殆尽, 导致高空胃率; 而自由群则在昼间捕获, 样本具有更多的摄食机会。另一方面, 人工集鱼装置群中小个体占有更大的比例, 它们的捕食能力本身就偏弱^[15]。综上所述, 传统的摄食生态学指标会低估人工集鱼装置群的实际摄食量。因此, Schaefer 等^[18]认为, 若不全面比较不同时段样本的摄食状态, 就很难确定人工集鱼装置对于金枪鱼摄食活动的干扰。

第二类研究是利用超声波标志技术跟踪个体的行为轨迹。基于个体行为学的声学追踪研究, Maldeniy^[19]和 Young 等^[20]发现自由鱼群表现出昼间分散摄食, 夜间重新聚集成群的行为, 而 Buckley 等^[21]和 Marsac 等^[22]则观察到随附群变为昼间聚集在人工集鱼装置周围, 夜晚离开觅食, 直到次日白昼再度返回的行为规律, Schaefer 等^[23]也观察到人工集鱼装置周围的大眼金枪鱼和鲔在傍晚时会分散下潜至较深的水层, 而在黎明时又重新向人工集鱼装置聚集的现象。然而, 也有研究认为随附群的摄食活动和自由群并不存在任何差异, 例如, Mitsunaga 等^[24]发现黄鳍金枪鱼的幼鱼在昼间会围绕着人工集鱼装置进行短距离活动, 夜间则聚集在人工集鱼装置周围, 因此推断随附群的个体不会在夜间进行捕食, 从而认为“人工集鱼装置并不会对金枪鱼小范围内的摄食活动造

成影响”。

综上所述, 传统研究中的两类研究方法均有缺陷: 摄食量的估计受限于捕捞时间和集群特点的不同; 个体行为追踪实验则受限于很难在复杂多变的大洋环境中对漂流人工集鱼装置进行长期连续地追踪, 而且对于鲔这种小型的金枪鱼而言, 目前还不能确定携带追踪仪器是否会使个体行为发生异常^[23]。因此, “人工集鱼装置会消极改变金枪鱼摄食模式”的猜测目前仍难以确定。

1.3 健康

在以往的研究中, 往往使用各种形态学的饱满度指标, 衡量金枪鱼在随附期间的健康状况, 如 Marsac 等^[9]以体宽表征个体的饱满度, 发现东大西洋随附群的鲔在相同体长下的体宽水平不及自由群中的同类; Hallier 等^[15]以胸围作为饱满度的指标, 同样发现在大西洋和印度洋漂流人工集鱼装置之下的鲔和黄鳍金枪鱼的饱满度要差于自由群。根据对比的结果, Marsac 等^[9]和 Hallier 等^[15]认为形态学指标的下降与金枪鱼在人工集鱼装置下较低的日摄食量紧密相关, 从而推测出“漂流人工集鱼装置将金枪鱼类诱导到贫瘠的栖息地中, 最终导致个体生长及健康状况发生下降”的结论。

然而, 另外一项以天然流木随附群为实验对象的研究却得到了完全相反的推论: Robert 等^[25]使用个体的胸围、生物电阻抗、油脂组成等 3 项饱满度指标比较了印度洋莫桑比克海峡中鲔的健康状况, 该海域由于天然流木的密度较高而较少使用人造漂浮物, 因此被认为类似于人工集鱼装置使用之前金枪鱼的天然栖息环境。结果发现随附群中鲔的各项饱满度指标依然要差于自由鱼群, 由此 Robert 等^[25]得到的推论是“在人工集鱼装置使用之前, 随附于天然漂流物的个体的健康状况同样不及自由个体, 因而不能排除个体是因为健康状况不佳才向漂流物聚集的可能性——譬如自由个体经历了一段时期的低觅食成功率之后, 会倾向于游向漂流物寻求同类组成更大的集群, 从而提高觅食效率”。这个推论是上述的“集合点”假说的一种具化的情形。

由于无法对比个体在到达漂流物前后的身体

状况的变化, Robert 等^[25]认为很难确定金枪鱼“游向漂流物”与“处于较差的健康状况”之间真实的因果关系, 因此难以单纯地通过肥满度指标来评估“人工集鱼装置对于金枪鱼的健康状况具有负面或是正面的影响”。

1.4 生长

鱼类的生长与个体的摄食、健康状况有密切的关系, 渔业数据分析和标志放流实验的结果表明人工集鱼装置对于金枪鱼的生长具有消极的影响: 在渔业数据上, Marsac 等^[9]发现南歇尔布罗群岛海域渔获物中鲔的个体平均体重从 1981 年的 2.4 kg 下降到 1997 年的 1.8 kg, 降幅约 25%; 黄鳍金枪鱼也有相似的情况, 围网渔船、饵钓船及人工集鱼装置渔法捕获的 60 cm 以下的黄鳍金枪鱼的平均体重从 20 世纪 80 年代初期的 2.3 kg 下降到 2.0 kg, 降幅约 15%。Marsac 等^[9]认为渔获物个体平均体重的下降是生长型过度捕捞和个体生长率下降的共同结果, 发生的根源是人工集鱼装置的使用。在标志-放流-重捕实验方面, Hallier 等^[15]观察到在印度洋和大西洋释放的随附于人工集鱼装置的个体的相对生长率(即放流期间体长的增长与放流天数的比值)要显著低于自由群的个体, 具体的数值为鲔 0.042 cm/d, 黄鳍金枪鱼 0.030 cm/d。因此, 不能排除人工集鱼装置对金枪鱼的生长具有负面的影响。

1.5 洄游

金枪鱼类喜欢集群洄游, 呈季节性地返回于某些特定的地点^[27], 或是根据栖息地环境的变化进行大尺度或局部的迁徙^[26-29]。密集分布的人工集鱼装置是否会改变金枪鱼的洄游模式, 存在有两种不同的观点: Bromhead 等^[3]记载了被标记的金枪鱼在某个漂流人工集鱼装置周围 90 d 后才离开的事件, 这虽然不能证明鱼群始终没有离开过人工集鱼装置, 但是可以说明在放流期间它们没有进行过大洋尺度的洄游, 而在正常情况下, 金枪鱼在这种时间尺度内应该会进行长距离的迁徙; Hallier 等^[15]使用传统的标志在东大西洋放流了鲔和黄鳍金枪鱼, 结果发现利用人工集鱼装置重捕的个体无论是在洄游的方向还是位移量上, 都与

自由群有所不同, 因此认为“人工集鱼装置改变了金枪鱼的自然洄游模式”。

Stehfest 等^[30]同样使用了传统的标志方法研究西印度洋的鲔、黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼的洄游特点, 结果发现两种鱼群在移动的角度和位移量方面也存在差异, 但是他们却认为“无法肯定这种差异是由人工集鱼装置所导致, 还是渔民投放人工集鱼装置不均匀的人为结果”。其次, Stehfest 等^[30]还观察到金枪鱼的洄游并不会受到放流海域人工集鱼装置密度的影响, 这与锚泊人工集鱼装置下进行的行为学实验结果一致, Daggorn 等^[31]发现多个相邻的锚泊人工集鱼装置并不会干扰黄鳍金枪鱼的离去行为; 另外, Schaefer 等^[32]利用档案式标志追踪 96 尾大眼金枪鱼, 发现被标志的个体在绝大多数时间内都在相对限制的区域活动, 不会跟随漂流人工集鱼装置运动, 因此他们认为“人工集鱼装置不会影响大眼金枪鱼的大尺度洄游”。

值得一提的是, Wang 等^[33]利用金枪鱼围网渔业的产量重心作为表征种群丰度中心的指标, 分析了中西太平洋鲔的洄游与厄尔尼诺-南方涛动现象(ENSO)之间的时空关系, 结果表明, 在大多数情况下, 自由群的渔场重心会随着 ENSO 事件而发生大幅转移, 而随附群的渔场重心则保持相对固定。这说明鲔有两种截然不同的应对 ENSO 事件的行为策略: 一种是进行大尺度的洄游, 另一种是跟随漂浮物体。但是, 这种洄游行为的差异只在气候异常的年份能够突显, 在正常的年份就无法察觉。因此, 个体行为学追踪实验是否能够捕捉到这种大时空尺度上的变化, 需要在今后进一步研究。

1.6 死亡

漂浮物能够聚集大量的大眼金枪鱼、黄鳍金枪鱼和鲔的幼鱼^[4], Ménard 等^[34]认为成年金枪鱼、旗鱼和鲨鱼游向漂浮物的一个重要原因就是为捕食这些幼鱼。譬如, Delmendo^[35]发现 70% 的漂流人工集鱼装置下的黄鳍金枪鱼成鱼的胃中包含有附近的同类幼鱼, 其他的大型捕食者也能通过人工集鱼装置轻松地捕食到这些幼鱼。因此,

Marsac 等^[9]和 Hallier 等^[36]都提出“人工集鱼装置在一定程度上提高了金枪鱼幼鱼被捕食的风险,从而增加了幼鱼的自然死亡率”的观点。

1.7 “生态陷阱”假说

鉴于人工集鱼装置对于金枪鱼可能具有的生态影响, Marsac 等^[9]在 2000 年时首次提出了人工集鱼装置是“生态陷阱”的推测。“生态陷阱”是指当种群中的个体因为某种原因突然进行了错误的栖息地选择时, 导致种群生长出现下降的现象^[37-39]。这种情形往往源于环境的突变干扰了个体选择最适栖息地的本能, 从而误导它们受困于贫瘠的栖息环境(即不适合繁衍或是生存的栖息地)^[40-41]。

Marsac 等^[9]认为, 漂流人工集鱼装置构成“生态陷阱”的假说分为 3 个部分: (1)其对于金枪鱼具有快速、强烈、持久的诱集作用; (2)诱集作用改变了金枪鱼的自然迁徙(栖息地选择); (3)错误的栖息地选择最终消极影响了金枪鱼从生长到死亡的生活史过程^[9]。对于热带金枪鱼而言, 短期内大量出现的人工集鱼装置无疑影响了它们的表层栖息环境, 但是面对多个矛盾的研究结果, 科学界始终没有出现确凿的证据证实在渔业中真实地存在“生态陷阱”^[2, 15]。需要特别指出的是, Robertson 等^[41]证实在 45 个“生态陷阱”的研究案例中仅有 5 个真实存在。

2 对于中上层生态平衡的潜在影响

减少兼捕渔获物是除金枪鱼种群资源可持续利用之外的另一个备受关注的问题^[42]。在金枪鱼围网渔业中, “兼捕渔获物”涉及到两个概念, 一是被丢弃的目标渔获物的幼鱼, 比如鲣、黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼的幼鱼等^[43]; 二是非目标渔获物, 主要是指各种中上层硬骨鱼类、鲨鱼类(Carcharhinidae)、旗鱼类(Istiophoridae, Xiphiidae)、蝠鲼类(Dasyatidae, Myliobatidae)和海龟(Cheloniidae)^[2, 44]。在我们的研究中, 人工集鱼装置渔法的兼捕渔获物特指后者, 它们大多会在海中被直接丢弃, 但也可能被带回陆地^[2]。

相比捕捞自由群具有较高的渔获物选择性而言, 漂流物会吸引整个群落中的不同生物并使它

们最终被围网捕获, 这种兼捕率(兼捕渔获物重量与目标渔获物重量的比值)在不同的大洋间具有很大的差异, 但总体来说, 漂流物渔法的兼捕率是围捕自由群的 2.8~6.7 倍^[2, 45]。这些种类繁多的兼捕渔获物处于不同的生态位, 具有不同的生物学特性, 很多都是当地生态系统的重要组分, 因此人工集鱼装置造成的捕捞死亡可能会通过破坏生物多样性而具有扰动大洋中上层生态系统平衡的潜力^[2, 45]。

2.1 中上层硬骨鱼类

硬骨鱼类是被人工集鱼装置捕捞的中上层鱼种中种类最为繁多的兼捕渔获物, 主要分成两大类: 一是非目标的小型金枪鱼类, 如鲐(*Euthynnus affinis*)、小鲐(*E. alleteratus*)、扁舵鲂(*Auxis thazard*)、双鳍舵鲂(*A. rochei*), 按照不同的大洋它们可占到兼捕渔获物总量的 11%~76%; 二是非金枪鱼的硬骨鱼, 根据记录种类多达 55 种, 但只有几种占到绝大多数, 即疣鳞(*Canthidermis maculatus*)、纺锤鲷(*Elagatis bipinnulata*)、鲳鲷(*Coryphaena hippurus*)、沙氏刺鲃(*Acanthocybium solandri*)等, 按照不同的大洋它们可占到兼捕渔获物总量的 19%~79%^[2, 43-44]。总体而言, 这些硬骨鱼类占到漂流物兼捕渔获物的 81%~95%, 它们的生物学特点是生长快速、成熟较早且具有高繁殖力^[2, 46], 因此人工集鱼装置的使用对它们造成的伤害可能相对较低^[45]。

2.2 鲨鱼、蝠鲼、旗鱼

在漂流物周围的鲨鱼主要有两种: 镰状真鲨(*Carcharhinus falciformis*)和长鳍真鲨(*C. longimanus*), 以数量而言前者占到鲨鱼兼捕渔获量的 90%左右^[47]。在围捕自由群时也能兼捕到鲨鱼, 但是在有的洋区两者的兼捕率差异很大, 譬如印度洋自由群和随附群的鲨鱼兼捕率分别为 0.3 t/1000 t 和 6.0 t/1000 t, 在大西洋两者分别为 0.3 t/1000 t 和 1.8 t/1000 t^[2]。需要特别指出的是, 鲨鱼是种群面对高强度捕捞压力时最难恢复的种类, 尤其是镰状真鲨和长鳍真鲨^[48]。

兼捕的蝠鲼类有双吻前口蝠鲼(*Manta birostris*)、日本蝠鲼(*Mobula japonica*)和紫魟

(*Dasyatis violacea*)等^[46]。在各大洋,鲨鱼和蝠鲼占有兼捕渔获物的比例为 2%~17%不等^[2]。

旗鱼和枪鱼主要被延绳钓捕获,但是它们在围网漂流物随附群的兼捕渔获物中的所占比例也有 2%~5%,视不同的洋区而异^[2]。主要的种类有太平洋蓝枪鱼(*Makaira mazara*)、印度枪鱼(*Makaira indica*)、条纹四鳍旗鱼(*Tetrapturus audax*)等^[46]。

对于鲨鱼、蝠鲼和旗鱼而言,它们的生物学特点是生长慢、成熟迟、繁殖力低、生殖周期长^[2, 46],因此它们受到人工集鱼装置的兼捕危害就相对较高^[43]。

2.3 海龟

围网每年在每个大洋捕获的海龟数量为 5~200 只,其中 95%被放生,相对于延绳钓渔业每年兼捕 $10^4 \sim 10^5$ 只的情况而言并不严重^[48]。但是,海龟和鲨鱼会被人工集鱼装置下方的网片(图 1A)缠绕而死亡,随波漂流和被遗弃的人工集鱼装置都能进行这种“幽灵捕捞”,因此在今后的统计中需要考虑这种死亡率^[49]。

3 人工集鱼装置生态影响的管理和减轻

人工集鱼装置对于金枪鱼种群潜在的生态影响,已经超出了传统的捕捞压力或是过度捕捞等威胁所涵盖的范畴,其具体表现为无论个体是否因人工集鱼装置而遭到捕捞都会持续存在^[3]。但是基于各种原因,各大洋的金枪鱼区域性管理组织目前还很少将这种潜在威胁纳入已实行的人工集鱼装置管理措施之中^[8]。

3.1 人工集鱼装置生态影响的管理现状

设置禁渔期和禁渔区是全球人工集鱼装置调控措施中使用最为广泛的措施^[3, 50],例如,1998 年,大西洋金枪鱼保护委员会(ICCAT)建议对大西洋几内亚湾的人工集鱼装置渔业进行定期的作业限制^[51]。2005 年,新的禁渔期措施规定围网渔船在原有禁渔区的子区域内禁止作业 1 个月^[52]。2009 年,持续时间更长、覆盖面积更广的人工集鱼装置禁渔措施被全面执行^[53],2010 年 7 月 1 日至 9 月 30 日,诺鲁协议国(The Parties to the Nauru Agreement, PNA)开始在中西太平洋的公海区域

设置漂流物渔法的禁渔区,禁渔期间所有的围网渔船都需要登临 1 名渔业观察员^[54]。期间渔船不能在人工集鱼装置附近一海里的范围内投网,也不能使用船体聚集鱼群。但是,这些“禁渔期和禁渔区”的管理措施都不要求渔民在禁渔期内回收海中的人工集鱼装置,因此这些漂流的人工集鱼装置虽然不再产生捕捞压力,但是继续发挥着生态层次的影响。除了“禁渔期与禁渔区”措施外,各大洋金枪鱼区域性管理组织执行或研究过的人工集鱼装置管理选项还包括“禁止使用人工集鱼装置(不要求收回)”^[51]、“限制对于人工集鱼装置的投网次数”^[55]、“限制每船的人工集鱼装置数量”^[56],等等,这些管理选项的设计理念往往基于产量限制或是捕捞努力量限制,并不涉及生态影响的管理。

目前看来,将“人工集鱼装置对于金枪鱼种群的生态影响”纳入已有的人工集鱼装置管理措施,至少应推进 3 项改进:(1)对大洋中实际存在的人工集鱼装置进行有效监管,推行人工集鱼装置的登记、监控、管理,追踪人工集鱼装置的分布,调控人工集鱼装置的密度。这类政策选项已得到部分金枪鱼管理组织的关注,如中西太平洋渔业委员会(WCPFC)曾开展人工集鱼装置标记识别、电子监控、方位报告等措施的可行性研究^[55]。(2)强制要求渔船在禁渔期间回收所有投放的和遭遇的人工集鱼装置,对已经漂离渔场的人工集鱼装置报告方位,由专门的船舶统一回收。(3)该优先推行包含有“生态效应”考量的措施,譬如,“限制人工集鱼装置的投放数量”能够降低人工集鱼装置的密度,这个措施就要比“限制对人工集鱼装置的投网次数”对金枪鱼种群的保护具有更加积极的意义。

3.2 减轻人工集鱼装置兼捕渔获物的途径

按照重量计算,漂流人工集鱼装置渔法的兼捕渔获物约占总渔获量的 4%~5%^[57],虽然低于金枪鱼延绳钓渔业的平均水平(7.5%左右)^[58],但是其绝对数量巨大,每年约为 10^4 t^[57]。因此,如何减少人工集鱼装置的兼捕渔获物和丢弃渔获物也开始受到关注^[1]。

针对这个话题, 渔业科学家采用的解决方案主要有两个方面: 一是试图利用鱼类行为学差异进行选择性的捕捞, 例如, Matsumoto 等^[59]利用声学追踪技术确定了不同鱼种的垂直分布水层, 这样在捕捞时就可以通过调节网具沉降深度来减少部分非目标鱼种的捕获; 其次是采取生态友好型的捕捞技术释放兼捕个体, 例如, Franco 等^[60]设计出通过绞收网片防止缠绕鲨鱼或是海龟的“生态型人工集鱼装置”, 以及利用可生物降解材料制作的人工集鱼装置。但是, 这些相关的研究都是近些年才逐渐展开, 要真正大幅减少漂流人工集鱼装置的兼捕率, 仍需进一步加强研究。

4 结语

由于人工集鱼装置给商业捕捞产业带来的高效率和产量, 任何对于人工集鱼装置的调控措施总是伴随着激烈的争论^[2, 8]。因此在今后的研究中, 需要进一步完善研究方法, 以准确评估人工集鱼装置的生态效应, 使管理者在调整相关管理措施的过程中具有可靠的参考依据。这些研究方法的改进主要涉及: (1) 基于之前的研究结论大多来自于沿岸水域锚泊人工集鱼装置下的观察结果, 所以今后应该增加针对大洋水域漂流人工集鱼装置的专门研究; (2) 引入先进的研究手段, 譬如, 传统的摄食指标只能反映个体被捕获时的摄食状况, 而通过测定肌肉、肝等组织中的碳氮稳定同位素可以获得个体被捕前一段时期内的综合营养信息; (3) 在个体行为学和生物学的研究中需要考察所在海域栖息地的实际状况, 结合栖息地条件讨论个体行为表现与生物学指标差异的原因; (4) 开展陆地实验室或近海网箱饲养金枪鱼的可控实验条件的研究, 掌握个体摄食量与生长率关系等方面的基础数据, 用于解释野外研究的观测结果。

Dagorn 等^[2]指出“人工集鱼装置并非一定有害, 只要正确的使用它们, 在不损害目标种群的生存能力和中上层生态系统的完整性的前提下, 具有降低燃油消耗成本和船队的‘碳足迹’的优点”。这种权衡了危害与效益的观点具有一定道理, 但是需要强调的是, 人工集鱼装置作为高效的渔

具, 必须处于有效的监控和管理之下, 才能实现对于大洋生态系统的保护和金枪鱼资源的可持续利用。

参考文献:

- [1] Scott G P, Lopez J. The use of FADs in tuna fisheries[R]. Policy department structural and cohesion policies, European Parliament, 2014.
- [2] Dagorn L, Holland K N, Restrepo V, et al. Is it good or bad to fish with FADs? What are the real impacts of the use of drifting FADs on pelagic marine ecosystems?[J]. *Fish Fish*, 2013, 14(3): 391–415.
- [3] Bromhead D, Foster J, Attard R, et al. A review of the impact of fish aggregating devices (FADs) on tuna fisheries[R]. Final Report to Fisheries Resources Research Fund. Australian Bureau of Rural Sciences, Canberra, 2003.
- [4] Fréon P, Dagorn L. Review of fish associative behaviour: Toward a generalisation of the meeting point hypothesis[J]. *Rev Fish Biol Fish*, 2000, 10(2): 183–207.
- [5] Leroy B, Phillips J S, Nicol S, et al. A critique of the ecosystem impacts of drifting and anchored FADs use by purse-seine tuna fisheries in the Western and Central Pacific Ocean[J]. *Aquat Living Resour*, 2013, 26: 49–61.
- [6] Itano D G. A summary of operational, technical and fishery information on WCPO purse seine fisheries on floating objects[R]. Scientific Committee Third Regular Session of Western and Central Pacific Fisheries Commission (WCPFC), Honolulu, United States of America, 2007.
- [7] Fonteneau A, Pallares P, Pianet R. A worldwide review of purse seine fisheries on FADs. In: *Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons*[A]//Proceedings of the 1st Symposium on Tuna fisheries and FADs[C]. 2000, 28: 15–35.
- [8] Morgan A C. Fish Aggregating Devices and Tuna: Impacts and Management Options[R]. Ocean Science Division, Pew Environment Group, Washington D C, 2011.
- [9] Marsac F, Fonteneau A, Ménard F. Drifting FADs used in tuna fisheries: An ecological trap?[A]//Proceedings of the International Symposium on Tuna Fishing and Fish Aggregating Devices[C]. 2000: 537–552.
- [10] Fonteneau A, Ariz J, Gaertner D, et al. Observed changes in the species composition of tuna schools in the Gulf of Guinea between 1981 and 1999, in relation with the Fish Aggregating Devices fishery[J]. *Aquat Living Resour*, 2000, 13(4): 253–257.
- [11] Fonteneau A. Sea mounts and tuna in the Tropical Eastern

- Atlantic[J]. Aquat Living Resour, 1991, 4(1): 13–25.
- [12] Wang X F, Xu L X, Chen Y, et al. Impacts of fish aggregation devices on size structures of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis*[J]. Aquat Ecol, 2012, 46(3): 343–352.
- [13] Ménard F, Stéquert B, Rubin A, et al. Food consumption of tuna in the equatorial Atlantic ocean: FAD-associated versus unassociated schools[J]. Aquat Living Resour, 2000, 13(4): 233–240.
- [14] Jaquemet S, Potier M, Ménard F. Do drifting and anchored Fish Aggregating Devices (FADs) similarly influence tuna feeding habits? A case study from the western Indian Ocean[J]. Fish Res, 2011, 107(1–3): 283–290.
- [15] Hallier J P, Gaertner D. Drifting fish aggregation devices could act as an ecological trap for tropical tuna species[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2008, 353: 255–264.
- [16] Brock R E. Preliminary study of the feeding habits of pelagic fish around Hawaiian fish aggregation devices or can fish aggregation devices enhance local fisheries productivity?[J]. Bull Mar Sci, 1985, 37: 40–49.
- [17] Potier M, Sabatié R, Menard F, et al. Preliminary results of tuna diet studies in the West equatorial Indian Ocean[R]. 3rd session of the IOTC working party on tropical tunas, Seychelles, 2001: 19–27.
- [18] Schaefer K M, Fuller D W. Vertical movements, behavior, and habitat of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the equatorial eastern Pacific Ocean, ascertained from archival tag data[J]. Mar Biol, 2010, 157(12): 2625–2642.
- [19] Maldeniya R. Food consumption of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in Sri Lankan waters[J]. Environ Biol Fish, 1996, 47(1): 101–107.
- [20] Young J W, Lansdell M J, Campbell R A, et al. Feeding ecology and niche segregation in oceanic top predators off eastern Australia[J]. Mar Biol, 2010, 157(11): 2347–2368.
- [21] Buckley T W, Miller B S. Feeding habits of yellowfin tuna associated with fish aggregation devices in American Samoa[J]. Bull Mar Sci, 1994, 55: 445–459.
- [22] Marsac F, Cayré P. Telemetry applied to behaviour analysis of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) movements in a network of fish aggregating devices[A]//Advances in Invertebrates and Fish Telemetry[C]. Amsterdam: Springer, 1998: 155–171.
- [23] Schaefer K M, Fuller D W. Behavior of bigeye (*Thunnus obesus*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*) tunas within aggregations associated with floating objects in the equatorial eastern Pacific[J]. Mar Biol, 2005, 146(4): 781–792.
- [24] Mitsunaga Y, Endo C, Babaran R P. Schooling behavior of juvenile yellowfin tuna *Thunnus albacares* around a fish aggregating device (FAD) in the Philippines[J]. Aquat Living Resour, 2013, 26: 79–84.
- [25] Robert M, Dagorn L, Bodin N, et al. Comparison of condition factors of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) associated or not with floating objects in an area known to be naturally enriched with logs[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2014, 71(3): 472–478.
- [26] Klimley A P, Holloway C F. School fidelity and homing synchronicity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*[J]. Mar Biol, 1999, 133(2): 307–317.
- [27] Lehodey P, Bertignac M, Hampton J, et al. El Niño Southern Oscillation and tuna in the western Pacific[J]. Nature, 1997, 389: 715–718.
- [28] Lebourges-Dhaussy A, Marschal É, Menkès C, et al. *Vinciguerria nimbaria* (micronekton) environment and tuna: their relationships in the Eastern Tropical Atlantic[J]. Oceanol Acta, 2000, 23(4): 515–528.
- [29] Dagorn L, Menczer F, Bach P, et al. Co-evolution of movement behaviours by tropical pelagic predatory fishes in response to prey environment: a simulation model[J]. Ecol Model, 2000, 134(2–3): 325–341.
- [30] Stehfest K M, Dagorn L. Differences in large scale movement between free swimming and fish aggregating device (FAD) caught tuna[R]. Indian Ocean Tuna Commission document, 2010, IOTC-2010-WPTT-06: 1–24.
- [31] Dagorn L, Holland K N, Itano D G. Behavior of yellowfin (*Thunnus albacares*) and bigeye (*T. obesus*) tuna in a network of fish aggregating devices (FADs)[J]. Mar Biol, 2007, 151(2): 595–606.
- [32] Schaefer K M, Fuller D W. Vertical movements, behavior, and habitat of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the equatorial eastern Pacific Ocean, ascertained from archival tag data[J]. Mar Biol, 2010, 157(12): 2625–2642.
- [33] Wang X F, Chen Y, Truesdell S, et al. The large-scale deployment of fish aggregation devices alters environmentally-based migratory behavior of skipjack tuna in the Western Pacific Ocean[J]. PLoS ONE, 2014, 9(5): e98226.
- [34] Ménard F, Stéquert B, Rubin A, et al. Food consumption of tuna in the Equatorial Atlantic ocean: FAD-associated versus unassociated schools[J]. Aquat Living Resour, 2000, 13(4): 233–240.
- [35] Delmendo M N. A review of artificial reefs development and use of fish aggregating devices (FADs) in the Asian Region[R]. RAPA Report 11, 1991: 116–141.
- [36] Hallier J P, Parajua J. Review of tuna fisheries on floating objects in the Pacific Ocean[A]//Proceedings of the workshop on the ecology and fisheries for tuna associated with

- floating objects[C]. La Jolla, California, Scripps Institution of Oceanography, 1999: 195–221.
- [37] Dwernychuk L W, Boag D A. Ducks nesting in association with gulls—an ecological trap?[J]. Can J Zool, 1972, 50(5): 559–563.
- [38] Gates J E, Gysel L W. Avian nest dispersion and fledging success in field-forest ecotones[J]. Ecology, 1978, 59(5): 871–883.
- [39] Schlaepfer M A, Runge M C, Sherman P W. Ecological and evolutionary traps[J]. Trends Ecol Evol, 2002, 17(10): 474–480.
- [40] Battin J. When good animals love bad habitats: ecological traps and the conservation of animal populations[J]. Conserv Biol, 2004, 18(6): 1482–1491.
- [41] Robertson B A, Hutto R L. A framework for understanding ecological traps and an evaluation of existing evidence[J]. Ecology, 2006, 87(5): 1075–1085.
- [42] Hall M A. On bycatches[J]. Rev Fish Biol Fish, 1996, 6(3): 319–352.
- [43] Amandè M J, Ariz J, Chassot E, et al. Bycatch of the European purse seine tuna fishery in the Atlantic Ocean for the 2003–2007 period[J]. Aquat Living Resour, 2010, 23(4): 353–362.
- [44] Romanov E V. Bycatch in the tuna purse-seine fisheries of the Western Indian Ocean[J]. Fish Bull, 2002, 100: 90–105.
- [45] Davies T K, Mees C C, Milner-Gulland E J. The past, present and future use of drifting fish aggregating devices (FADs) in the Indian Ocean[J]. Mar Policy, 2014, 45: 163–170.
- [46] Dai X J, Xu L X. Primary Color Map of Tuna Fishery Catches Species[M]. Beijing: China Ocean Press, 2007.[戴小杰, 许柳雄. 世界金枪鱼渔业渔获物物种原色图鉴[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.]
- [47] Gilman E L. Bycatch governance and best practice mitigation technology in global tuna fisheries[J]. Mar Policy, 2011, 35(5): 590–609.
- [48] Musick J A, Burgess G, Cailliet G, et al. Management of sharks and their relatives (*Elasmobranchii*)[J]. Fisheries, 2000, 25(3): 9–13.
- [49] Amandè M J, Chassot E, Chavance P, et al. Precision in bycatch estimates: the case of tuna purse-seine fisheries in the Indian Ocean[J]. ICES J Mar Sci, 2012, 69(8): 1501–1510.
- [50] Itano D. A summarization and discussion of technical options to mitigate the take of juvenile bigeye and yellowfin tuna and associated bycatch species found in association with floating objects[R]. 1st meeting of WCPFC Scientific Committee, Noumea, New Caledonia, 2005, WCPFC-SC1 FT WP-4.
- [51] International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). ICCAT recommendations on closed area/season for fishing with FADs in eastern tropical Atlantic (9801) and on closed area/season to FADs (99-1)[R]. ICCAT Secretariat, Madrid, 1999.
- [52] International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). A possible framework for estimating the effect of the replacement of the FAD moratorium with a time/area closure on catches of Atlantic tropical tunas[A]//Collect Vol Sci Pap ICCAT[C]. 2006, 59: 518–524.
- [53] International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). Recommendation by ICCAT to amend the recommendation on a multiyear conservation and management program for bigeye tuna[R]. ICCAT Secretariat, Madrid, 2008.
- [54] Western and Central Pacific Fisheries Commission (WCPFC). Conservation and management measure for bigeye and yellowfin tuna in the western and central Pacific Ocean, Conservation and Management Measure 2008-01[R]. Busan: Fifth Regular Session, 2008.
- [55] Hampton J. Implications for scientific data collection by observers of new requirements for 100% observer coverage of purse seiners[R]. Fifth regular session of the WCPFC Scientific Committee, Port Vila, Vanuatu, 2009.
- [56] Western and Central Pacific Fisheries Commission (WCPFC). Management options for bigeye and yellowfin tuna in the western and central Pacific Ocean[R]. Interim Secretariat, WCPFC Preparatory Conference, sixth session, Bali, Indonesia, 2004.
- [57] Fonteneau A, Chassot E, Bodin N. Global spatio-temporal patterns in tropical tuna purse seine fisheries on drifting fish aggregating devices (DFADs): Taking a historical perspective to inform current challenges[J]. Aquat Living Resour, 2013, 26(1): 37–48.
- [58] Gerrodette T, Olson R, Reilly S, et al. Ecological metrics of biomass removed by three methods of purse-seine fishing for tunas in the Eastern Tropical Pacific Ocean[J]. Conserv Biol, 2012, 26(2): 248–256.
- [59] Matsumoto T, Okamoto H, Toyonaga M. Behavioural study of small bigeye, yellowfin and skipjack tunas associated with drifting FADs using ultrasonic coded transmitter in the central Pacific Ocean[R]. 2nd Regular Session of Scientific Committee of the Western and Central Pacific Fisheries Commission, Working paper, Manila, Philippines, 2006, WCPFC-SC2-2006/FT IP-7.
- [60] Franco J, Dagorn L, Sancristobal I, et al. Design of ecological FADs[R]. Indian Ocean Tuna Commission document, 2009, IOTC-2009-WPEB-16.

Review of the ecological impact of fish aggregation devices on tuna fisheries

WANG Xuefang^{1, 2, 3, 4}, XU Liuxiong^{1, 2, 3, 4}, DAI Xiaojie^{1, 2, 3, 4}, ZHOU Cheng¹, GUAN Wenjiang^{1, 2, 3, 4},
TIAN Siqun^{1, 2, 3, 4}, ZHU Jiangfeng^{1, 2, 3, 4}

1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China;
3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;
4. Collaborative Innovation Center for National Distant-Water Fisheries, Shanghai 201306, China

Abstract: Fish aggregating devices (FADs) are anchored and drifting objects deployed in the ocean to gather tropical tuna and other pelagic fish species. These devices support thousands of fishing vessels worldwide. These floating objects increase catch and catchability of tunas, but large-scale use of FADs raises the possibility of a potential negative effect on tuna stocks and the pelagic ecosystem: (1) possible deleterious alterations in the normal life history of tunas associated with FADs, i.e., schooling, feeding, fitness, growth, migration, natural mortality, etc., which would result in loss of genetic quality; (2) other ecological effects associated with FAD fishing that perturb the balance in the pelagic ecosystem by increasing by-catch of non-target species, such as miscellaneous bony fish, sharks, rays, and sea turtles. However, the ecological impact of FADs assessed in different areas using several different approaches is controversial. This review summarizes studies on the ecological impact of FADs over the past 30 years, introduces the latest developments by domestic fisheries scientists and industry, and discusses directions for future research. We aimed to provide a better understanding for future studies and potential FAD management options.

Key words: tropical tunas; drifting fish aggregation devices; anchored fish aggregation devices; by-catch; ecological impact; CPUE; catchability

Corresponding author: XU Liuxiong. E-mail: lxxu@shou.edu.cn