



诱饵式远程水下视频技术的研究进展

欧哲扬¹, 吴忠鑫^{1, 2}, 张泽鹏¹, TWEEDLEY James^{3, 4}, 董世淇¹, 王兆国¹, 高东奎¹, 刘敏¹, 邢彬彬^{1, 2}, 田涛^{1, 2}

1. 大连海洋大学, 辽宁省海洋牧场工程技术研究中心, 辽宁 大连 116023;
2. 大连海洋大学, 设施渔业教育部重点实验室, 辽宁 大连 116023;
3. 默多克大学哈里巴特勒研究所可持续水生生态系统中心, 西澳大利亚 珀斯 6150;
4. 默多克大学, 环境和保护科学, 西澳大利亚 珀斯 6150

摘要: 诱饵式远程水下视频技术(baited remote underwater video, BRUV)是一种用于记录鱼类相对丰度和物种行为的监测技术, 具有无破坏性、成本低且易于复制、适用范围广等优点, 已广泛应用于全球多种栖息地的资源调查与评估, 但目前其研究应用在国内尚属空白。本文系统分析总结了 BRUV 的研究进展, 并对 BRUV 的发展进行了展望。分析结果建议 BRUV 采用前向视角结构可得到更大的视野; 轻巧且易于使用的 GoPro 相机更适合于光线充足的浅海海域(<40 m)调查; 调查时饵料建议采用类似沙丁鱼的油性鱼类, 有利于对肉食性鱼类的诱集; BRUV 使用前, 可通过观测物种数和丰度的累计曲线来确定其合理部署时间, 通常底层 BRUV 60 min 的部署时间已足够。BRUV 记录期间, 所见到的某一个物种的个体最大数量(MaxN)是 BRUV 表征物种相对丰度时广泛使用的度量指标。本文可为国内利用 BRUV 技术开展鱼类资源调查与评估工作提供参考, 为 BRUV 在我国无破坏性海洋生物调查技术的发展以及在海洋牧场鱼类资源监测中的应用提供支持。

关键词: 诱饵式远程水下视频技术(BRUV); 海洋牧场; 鱼类资源监测; 无破坏性监测技术

中图分类号: S931 **文献标志码:** A

文章编号: 1005-8737-(2021)10-1359-14

20 世纪以来, 由于人类活动加剧和全球环境变化, 海洋生态系统面临着前所未有的威胁, 近海生境退化和生物资源衰退问题日渐突出。为有效保护近海生态环境, 实现基于生态系统的管理, 需要在大空间尺度上广泛评估海洋生物多样性状况。在生物栖息地范围内的采样应符合生态保护理念, 基于对无破坏性海洋生物监测技术在生物栖息地的应用需求, 从 20 世纪 60 年代开始, 水下目视调查技术(underwater visual census, UVC)一直是监测浅水(<40 m)海域生物群落的主要手段^[1], UVC 在估算鱼类数量和多样性方面的优劣性已被相关研究所讨论^[2-4], 其主要局限性在于需要

潜水员水下监测, 无法在较深海域进行评估。随着摄像机生产成本的降低和海量信息存储设备的快速发展, 一系列水下视频调查技术逐渐得以研发与应用^[5], 可有效弥补传统 UVC 调查技术的不足。

诱饵式远程水下视频技术(baited remote underwater video, BRUV)是一种基于饵料诱集鱼类并进行视频录制, 分析提取视频数据用于评估鱼类相对丰度和分析物种行为的监测技术^[6]。主要由摄像机、防水外壳、诱饵臂、装有饵料的网袋或容器, 以及抗腐蚀框架等组成(图 1, 图 2), 根据摄像机数量可分为单摄像机的 BRUV (Mono-

收稿日期: 2020-10-13; **修订日期:** 2021-03-19.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0901304); 国家自然科学基金项目(41906125); 辽宁省“百千万人才工程”资助项目(辽人社〔2019〕45 号); 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0402).

作者简介: 欧哲扬(1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源, E-mail: 37734681@qq.com; 吴忠鑫, 共同第一作者.

通信作者: 吴忠鑫, 讲师, 研究方向为近岸水域生态环境修复和渔业资源增殖技术. E-mail: wuzhongxin@dlou.edu.cn

BRUV)和双摄像机的立体 BRUV (Stereo-BRUV)。Mono- BRUV 通常利用安装在诱饵臂后方的单一摄像机对诱饵视野进行拍摄(图 1), 而 Stereo-BRUV 则由面对诱饵两侧特定角度的双摄像机组成, 经过校准后起到立体摄影效果。相比 Mono-BRUV, Stereo-BRUV 除了分析鱼类相对丰度外, 还可精确测量鱼的体长信息^[7-8], 而 Stereo-BRUV 用于精确测量鱼体体长的核心组件是位于诱饵袋上方的同步二极管, 即环绕圆周闪烁的 LED 灯(图 2), 研究人员在观看两个视频进行鱼体体长校准时, 通过观察两组灯光的闪烁是否一致, 来确

保视频同步播放, 进而可进行鱼体体长的估算。与 Stereo- BRUV 相比, Mono-BRUV 的结构较为轻便, 体积小, 成本也相对较低, 在野外调查时部署方便; 而 Stereo-BRUV 体积大, 成本相对较高, 占用大量的船体空间, 使用小型船只开展多个站点的调查时会增加时间成本, 相比而言, Mono-BRUV 在野外调查的适用性更强。BRUV 作为一种成本较低的非破坏性调查技术, 对所研究海域的生态系统不会产生破坏, 同时该技术可应用于潜水通常无法到达的深度(>40 m)进行调查, 不仅具有强大的安全优势, 且可储存相关视频记录, 重复分析视频数据。BRUV 技术已广泛用于人为影响(捕捞、气候变化、石油或天然气平台、人工鱼礁)下的鱼类多样性的监测评价中, 另外在研究观察鱼类特定行为, 如鱼类对噪声回放的行为变化等也有相关应用^[9]。

诱饵视频的使用报道最早可追溯到 20 世纪 90 年代中期^[10]。近年来 BRUV 技术得到了快速发展, 对此笔者采用关键词“BRUV”“bited video”检索了 2006 年 1 月至 2020 年 3 月期间 Google Scholar, Scopus, Web of Science 3 个数据库中所发表的与 BRUV 相关的文献资料信息, 排除掉其中的综述、书籍、会议摘要和组织机构报告, 以及没有具体使用 BRUV 或与诱饵视频无关的文献记录, 无法获得全文的文献信息也排除掉, 最终共检索到 278 篇与 BRUV 相关的文献, 分析表明 BRUV 的发文数量近年来呈现不断增加的趋势(图 3)。从各地区的发文数量来看, 大洋洲的文献最多, 其次是北美洲和欧洲, 而亚洲、南美洲、非洲的相关研究较少(表 1)。澳大利亚、美国、英国等国家已将 BRUV 技术广泛运用于珊瑚礁、岩礁等生境的鱼类群落评估和行为研究中^[9,11-12]。国内在运用水下视频监测技术开展渔业方面的应用研究已有个别报道, 但主要是使用潜水操作的立体式视频技术(dive operated stereo-video, Stereo-DOV)评估许氏平鲉(*Sebastodes schlegeli*)种群结构和丰度^[13], 通过定性(拍照)或定量(摄录)的水下摄像方式评估厚壳贻贝(*Mytilus coruscus*)栖息范围和密度并探究其分布的自然规律^[14], 以及使用鱼探仪辅以水下摄影和潜水取样方式对礁区的生物群落进行综合观

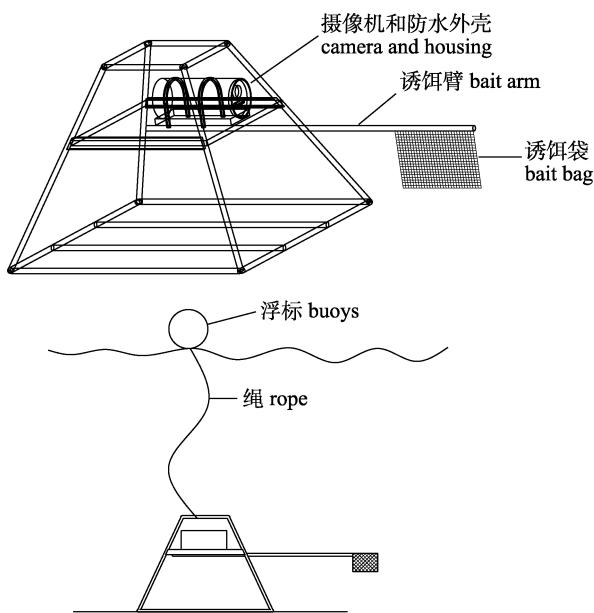


图 1 单摄像机的 BRUV 结构示意图
Fig. 1 Structure diagram of mono-BRUV

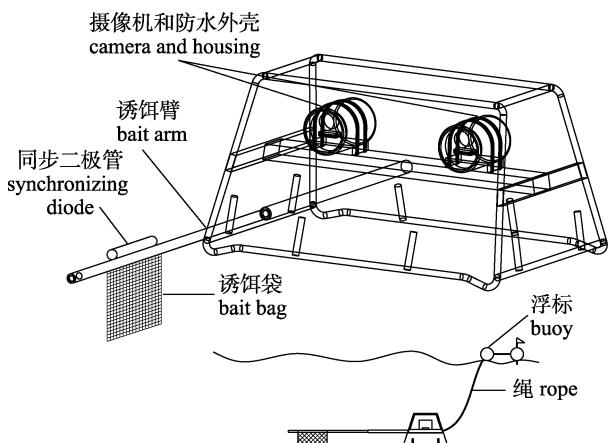


图 2 立体 BRUV 结构示意图
Fig. 2 Structure diagram of stereo-BRUV

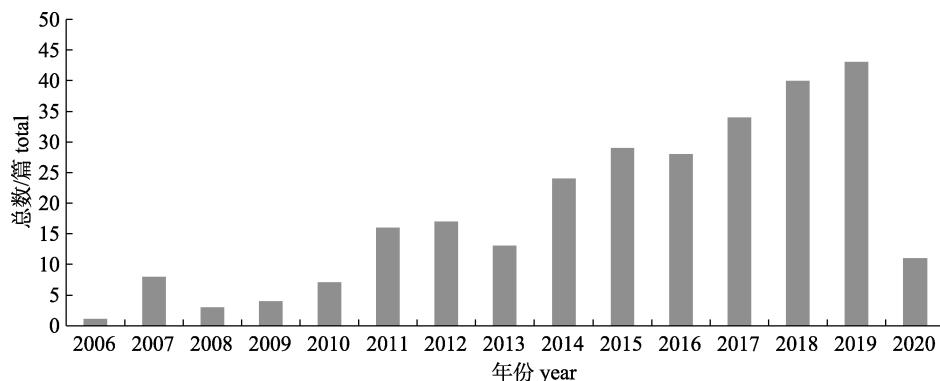


图 3 诱饵式远程水下视频系统(BRUV)研究论文发表年份和数量分布

2020 年数量仅统计 3 个月(1 月至 3 月).

Fig. 3 Publication year and quantity of research papers about baited remote underwater video (BRUV)
Data of 2020 only cover three months (from January to March).

**表 1 诱饵式远程水下视频系统(BRUV)研究论文
第一作者的大洲和国家的分布情况**

**Tab. 1 Continents and countries of the first author of
baited remote underwater video (BRUV) research papers**

大洲 continent	发文数量 number of papers	所占百分比/% percentage
大洋洲 Oceania	162	58.27
北美洲 North America	41	14.78
欧洲 Europe	41	14.78
亚洲 Asia	13	4.68
南美洲 South America	11	3.96
非洲 Africa	10	3.60
国家 country	发文数量 number of papers	所占百分比/% percentage
澳大利亚 Australia	151	54.32
美国 USA	36	12.95
英国 England	30	10.79
南非 South Africa	10	3.60
巴西 Brazil	8	2.88

测^[15]等, 尚未检索到与 BRUV 相关的研究报道。

海洋牧场作为一种生态健康、环境友好、资源养护型的渔业生产方式, 近年来在我国得到高度重视和快速发展^[16-18], 而人工鱼礁是海洋牧场构建过程中生境修复的关键设施^[19]。根据对生物资源的影响程度, 目前对于人工鱼礁区鱼类与无脊椎动物的调查方法可分为破坏性调查和非破坏性调查^[20]。传统的破坏性调查渔具主要有: 刺网类、拖网类、笼壶类和钓具等^[20]。刺网类在鱼礁区调查时有缠绕到礁石的风险, 易形成幽灵渔具,

对礁区渔业资源造成二次破坏。拖网类调查一般位于礁区周边海域, 会对稳定的底栖生态环境产生扰动, 另外对趋礁性鱼类采样困难; 笼壶类和钓具对目标生物的选择性较强。上述传统渔具调查方法虽能获得人工鱼礁区的相关生物资源信息, 但对资源和生境也会产生一定的破坏。传统的非破坏性调查方法如潜水目视等方法, 因礁体遮挡、鱼类对潜水员的应急反应等原因, 无法实现对生物资源的精准监测^[21]。采用声学手段调查所获得的物种数据需通过其他互补技术加以识别, 且由于鱼礁对声波的遮蔽作用, 使得声学方法对底栖生物特别是鱼礁内生物监测效果有限^[15]。我国海洋牧场的监测技术近年来发展迅速, 但对生物资源的精细化监测仍显不足^[18], 尚未形成规范有效的牧场生物资源调查监测体系^[21]。基于资源无损监测分析的 BRUV 技术, 克服了对喜好栖息于礁体内部及附近的趋礁性鱼类的采样限制, 同时避免了对海洋渔业资源的破坏, 有利于对海洋生态系统的保护。本研究从栖息地类型、平均部署水深、饵料种类与重量、部署时间、BRUV 摄像角度、使用的相机品牌、BRUV 与其他监测方法的对比与结合、视频提取采用的度量指标等多个方面对提取的 278 篇文献进行梳理归纳, 总结分析了 BRUV 的研究进展, 旨在为国内利用 BRUV 技术开展资源调查与评估工作提供技术参考, 为我国无破坏性海洋生物调查技术的发展和海洋牧场资源养护与增殖效果的监测评估提供技术保障。

1 BRUV 技术应用的栖息地类型及水深分布

近 20 年来, BRUV 技术已被国外研究人员广泛应用于全球多种栖息地和水深范围的资源调查与评估中。

1.1 栖息地类型

目前 BRUV 应用的研究绝大部分都集中在海洋生态系统(占 97%), 淡水生态系统的研究极少(占 3%)^[22-27]。在海洋生态系统中, 珊瑚礁、岩礁作为鱼类主要的栖息场所, 具有重要的研究意义和保护价值。在 BRUV 的应用研究中, 最常见的

栖息地调查类型也是珊瑚礁和岩礁(共占 45%, 图 4), 另外包括珊瑚礁与岩礁在内的多种自然生境构成的近岸海洋景观也占有相对较高比例(占 20%)。部分研究将 BRUV 用于人工鱼礁^[28]、波浪能源设施^[29]、油气平台^[30-31]、海底管道^[32]、海上风电场^[33]等人造生境的调查, 而海草^[34-35]、潮间带^[36-37]等其他栖息地类型的相关研究较少(占 10%)。BRUV 的调查研究主要集中在温带与热带海域, 但近年来在北极地区也有应用^[38], 为研究极地海洋生态系统提供了重要手段。

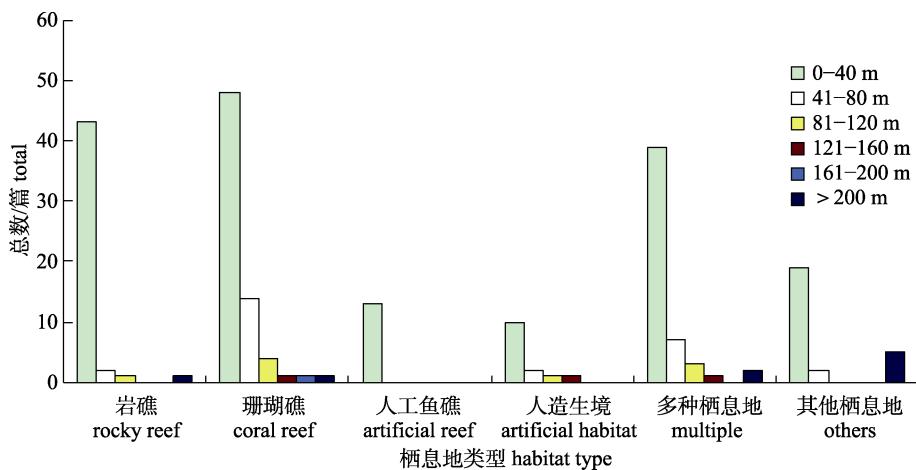


图 4 诱饵式远程水下视频系统(BRUV)研究的栖息地及水深分布^[39-45]

人造生境包括: 波浪能源设施、油气平台、海底管道、海上风电场等; 其他栖息地包括: 海草床、潮间带等。

Fig. 4 Habitat and water depth distribution of baited remote underwater video (BRUV) studies^[39-45]

Artificial habitat includes: wave energy development facility, oil and gas platforms, subsea pipeline, offshore windfarms, etc. Other habitats include: seagrass beds, intertidal zones, etc.

1.2 水深分布

BRUV 部署的平均水深大多集中在 0~40 m 之间(占 67%, 图 4)的浅海地区, 原因可能在于浅海地区的部署成本较低, 视频技术在有自然光照的水域中效果出色, 黑暗环境中使用 BRUV 需补充灯光, 成本较高且部署更加困难^[39]。其他水深范围内也有相应的分布, 统计中诱饵视频技术应用的最深海域范围可达到 9729 m 的超深渊带(hadal zone)^[40]。之前因为传统采样技术的限制, 与浅海珊瑚礁相比, 30~150 m 的中光层珊瑚礁生态系统(mesophotic coral ecosystems, MCEs) 文献记录较少, 随着 BRUV 技术的不断进步与普及, 人们已开始陆续涉足这一未知领域的研究^[41-45]。

2 BRUV 采用的诱饵

诱饵是 BRUV 系统中的重要组成部分, 关于有无饵料(BRUV 与 RUV)之间的效果比较已经有了明确的结论, 有饵料能获得更大的鱼类丰度与多样性, 可提供更好的统计效果^[46-47]。其中, 饵料类型和用量可能会对 BRUV 的监测结果造成影响。目前, 关于 BRUV 研究报道中所使用的饵料类型和用量存在一定的差异, 在未来的研究中, 考虑效果及成本的基础上饵料类型和用量应该标准化, 从而更好地推广和普及 BRUV 的应用。

2.1 饵料类型

饵料种类是影响 BRUV 监测效果的一个关键

变量。Dorman 等^[48]对沙丁鱼(*Sardinops sagax*)、猫粮、鹰嘴豆泥蔬菜混合物(falafel mix) 3 种不同的饵料组以及无饵料组进行对比, 发现 3 种不同饵料对珊瑚礁鱼类群落结构的监测结果无显著的差异, 但猫粮消耗迅速, 无法满足 60 min 的部署时间; 鹰嘴豆泥蔬菜混合物是混合饵料, 在 BRUV 部署时容易造成视野模糊, 影响视频分析; 沙丁鱼饵料消耗的时间长, 具有持久性, 价格便宜, 使用效果较好。而有无饵料之间的监测结果显示, 统计的鱼类组成存在显著差异, 也证实了 BRUV 与 RUV 对比实验的结果。Wraith 等^[49]也开展过相似研究, 使用了沙丁鱼、鲍(*Haliotis spp.*)以及海胆(*Centrostephanus rodgersii*) 3 种不同的饵料进行对比实验, 其中海胆的效果最差, 故其推荐使用像沙丁鱼这样的油性鱼类作为饵料, 对于吸引肉食性鱼类会起到很好的效果。Walsh 等^[50]使用了沙丁鱼、澳大利亚鲑(*Arripis trutta*)和贻贝(*Mytilus edulis*)进行对比, 结果也认为沙丁鱼是一种有效的饵料类型。混合饵料的类型(动物混合饵料, 植物混合饵料)也有相关的比较研究^[51]。总体而言, 沙丁鱼是 BRUV 监测过程中效果比较理想的饵料。

在统计的饵料种类中, 最常见的饵料类型是澳大利亚沙丁鱼(*Sardinops sagax*)(占 64%, 图 5), 其他种类的沙丁鱼(*Sardinella brasiliensis*、*Sardinella*

aurita、*Sardinops neopilchardus* 等)也常被用作 BRUV 的饵料。大西洋鲭(*Scomber scombrus*)(占 8%)是仅次于沙丁鱼的饵料类型, 该鱼种是产于北美洲和欧洲的大西洋沿岸的鲭属鱼种, 在美国、英国等 BRUV 的研究中也经常将其作为饵料使用。其他报道的鱼类饵料类型(占 17%)还包括秋刀鱼(*Cololabris saira*)^[44-46]、鲻(*Mugil cephalus*)^[52]以及鲣(*Katsuwonus pelamis*)^[41]等。此外, 几种油性鱼类之间的混合饵料也有一定的使用比例(占 6%)^[53-54]。

2.2 饵料用量

在 BRUV 饵料的用量上, 研究人员使用最多的饵料重量范围是 801~1000 g(占 38%, 图 5), 大部分研究使用的饵料重量为 1000 g, 其次较高的饵料用量范围为 501~800 g(占 27%, 800 g 最常见), 另外还有部分研究的饵料重量使用范围在 301~500 g(占 16%, 主要用量是 500 g)和小于 300 g(占 16%)。大于 1000 g 饵料用量范围(仅占 3%)的研究相对较少。关于饵料的重量是否会造成监测鱼类群落结构的差异这一疑问, 目前已有研究报道^[55], 该研究使用 0 g、200 g、1000 g、2000 g 4 种不同重量的饵料用量, 测试其对鱼类群落结构监测的影响^[55], 饵料存在的情况下, 鱼类相对丰度显著增加, 而 3 种饵料重量之间对鱼类群落结构影响的差异不大, 该研究还认为, 在鱼类特别丰富的地

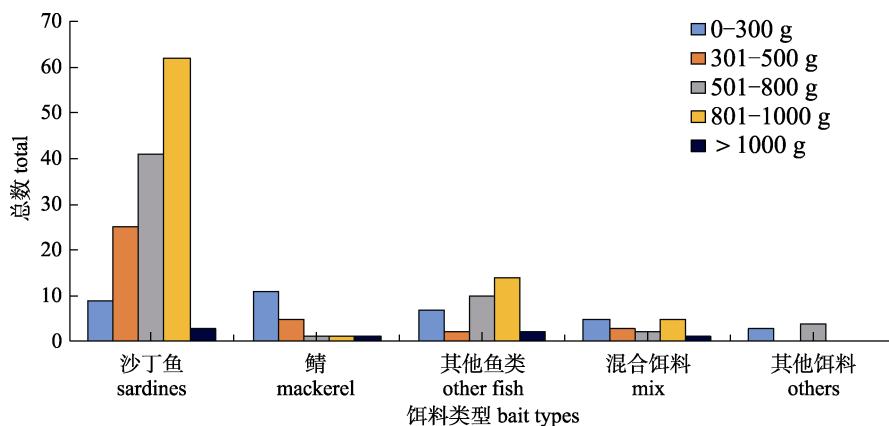


图 5 诱饵式远程水下视频系统(BRUV)研究使用的饵料类型及重量分布^[48-55]

其他鱼类包括: 秋刀鱼、鲻、鲣等; 混合饵料包括: 油性鱼类混合饵料、植物混合饵料; 其他饵料包括: 猫粮、鹰嘴豆泥蔬菜混合物、玉米、鲍等。

Fig. 5 Types of bait used in baited remote underwater video (BRUV) studies and their weight distribution^[48-55]
Other fish includes: pacific saury, mullet, skipjack tuna, etc. Mixed bait includes: oily fish mixed and plant mixed.
Other bait includes: cat food, falafel mix, corn, abalone, etc.

区, 如热带珊瑚礁, 需要更多的饵料防止大量的鱼类摄食而消耗殆尽。

3 BRUV 部署时间

在使用 BRUV 开展调查时, 过长的水下投放时间不仅需要耗费更多的电池供能, 而且还增加了野外工作时间成本和后期视频数据处理时间; 而水下监测时间不足可能导致监测结果不能有效代表样本特征, 影响生物多样性监测评估结果, 因此, 需要确定合理的 BRUV 水下部署时间以提高采样效率, 保证数据整体监测质量。

目前文献报道显示, 60 min (占 48%, 图 6) 是 BRUV 研究中最常用的部署时间, 其次是 30 min (占 22%), 部署时间不足 30 min 的研究最少(占 4%)。Santana-Garcon 等^[56]认为, 2 h 的部署时间适合评估中上层鱼类群落结构。Gladstone 等^[57]分别采用 30 min、60 min 和 90 min 的部署时间对河口区域的海草床和无植被底泥中的鱼类进行独立采样, 发现 60~90 min 是河口地区最适合的采样时间。在具有礁石的栖息地中, Harasti 等^[58]研究表明, 设置 30 min 的 BRUV 足以比较海洋保护区与捕捞区之间关键渔业物种的相对丰度和鱼类群落结构。Misa 等^[59]发现, 15~30 min 的 BRUV 布置时间可对夏威夷底栖鱼类进行有效的采样。而对于评估一些隐蔽或稀有物种, 可能需要长达几个小时的录制时间^[53]。因此在使用 BRUV 进行调查时, 应根据栖息地特征和监测目标种制定合理的部署时间, 已有研究建议根据物种数和丰度累积曲线到达恒定值来确定 BRUV 最适布放时间^[60]。

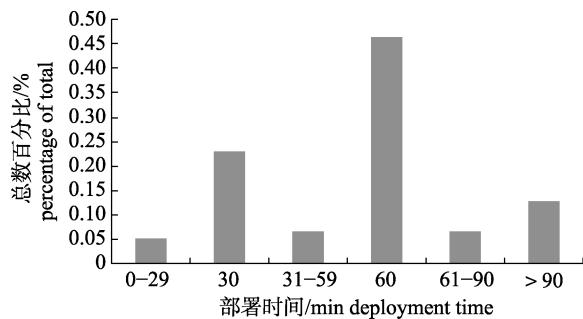


图 6 诱饵式远程水下视频系统(BRUV)研究的部署时间分布^[56~60]

Fig. 6 Deployment setting time used in baited remote underwater video (BRUV) studies^[56~60]

4 BRUV 摄像角度及相机的选择

4.1 BRUV 摄像角度

BRUV 的摄像机视角通常有水平向前和视角向下两种布局(图 7), 摄像机视角向下的优点是可以通过固定的标尺测量鱼的体长, 然而却只能通过摄像机从上方观察鱼的背部识别种类, 影响鉴别效果。两种摄像机视角方向的设置也会影响鱼类数量的观察结果, Langlois 等^[61]研究表明, 在法国新喀里多尼亚海洋保护区的珊瑚礁生境中, 使用水平视角的摄像机记录了 14 个物种, 而视角向下的摄像机只记录了 4 个物种, 作者推测可能是由于摄像机下方空间有限, 一些主要的趋礁性鱼类不易进入俯视摄像机下的视野。Cundy 等^[62]将视角水平向前的 Stereo-BRUV 和视角向下的 Mono- BRUV 对比采样效果及优缺点, 在监测总物种数、总个体数以及重点物种的相对丰度和体长等方面的测试中前向视角优于向下视角。前向视角的摄像机设置可得到更大的视野, 从侧面识别鱼类物种更容易, 因此摄像机水平向前视角的设置广泛应用于 BRUV 的研究中。

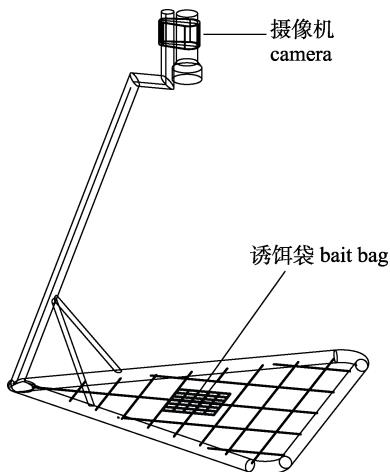


图 7 向下视角的诱饵式远程水下视频系统(BRUV)结构示意图

Fig. 7 Structure diagram of downward-bait used in baited remote underwater video (BRUV)

4.2 相机的选择

BRUV 逐渐流行起来的一个关键原因得益于摄像机产品图像质量的提高和价格的下降。其中, GoPro 摄像机因价格便宜、便于携带和易于使用

等优点, 适用于多种环境且可保证视频录制的质量, 是 BRUV 研究人员在调查中广泛选择的摄像机品牌(占 34%, 图 8)。Phillips^[63]曾专门详细介绍了 GoPro 的滤镜、防水壳、电池等配件以及如何使用 GoPro 进行捕获、编辑视频和查看水下图像。但是, 廉价的动作摄像机(如 GoPro)通常不适用于弱光环境^[64], 而 Sony 与 Canon 摄像机尽管价格较高, 但在深水低光照条件下, 却可提供较好的视频录制效果。在相机品牌的选择方面, Sony (占 28%)是仅次于 GoPro 的相机品牌, 主要使用的型号是 Sony HDR-CX 系列。Canon 相机品牌的使用量排在第三(占 13%), Canon Legria HFG 系列也是常用的相机型号。

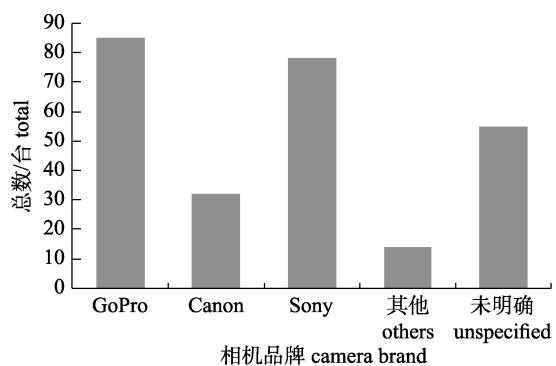


图 8 诱饵式远程水下视频系统(BRUV)研究使用的相机品牌类型分布^[63-64]

Fig. 8 Video camera brands used in baited remote underwater video (BRUV) studies^[63-64]

5 与其他监测方法的对比和结合

BRUV 常用于与不同调查方法进行比较, 以评估该技术的优势及局限性, 通过与其他监测技术结合优势互补, 从而达到全面精细监测评估的目标。

在 BRUV 与其他非破坏性鱼类多样性调查技术进行比较方面, 最常见的是 BRUV 与水下目视调查技术(underwater visual census, UVC)的比较^[65-67]和与潜水操作视频技术(diver operated video, DOV)的比较^[68-69], 以及 3 种调查技术之间的比较^[70]。其他的比较还有 BRUV、DOV 与其他两种相对较新的技术——慢拖曳式立体视频技术(slow towed stereo-video, STV)、远程遥控潜水器(remotely

operated vehicle, ROV)之间的比较分析^[71]等。对于这些调查技术之间的优点及不足, Mallet 等^[5]对常用的水下视频技术进行了综述, 分析了不同调查技术之间的互补性, 对目前生物多样性监测和研究中存在的问题进行了讨论, 研究认为, 目前没有一种技术明显优于其他技术, 在实际调查中, 应根据具体的研究目的, 选择合适的监测方法。拖曳式视频技术主要优势在于短时间内对大面积区域进行采样, 可提高栖息地的空间覆盖率以及观察稀有物种的概率。DOV 适合于较小尺度的研究, 如监测珊瑚(gorgonians)和海藻栖息地(macroalgae)等鱼类丰度和物种多样性的研究, 而 BRUV 特别适合监测活动能力强的肉食性鱼类, 基于饵料对物种的吸引, 它可以有效部署在鱼类稀少的地区。对于 BRUV 与传统网具调查方法采样效果的对比, 包括与诱饵陷阱的对比^[72-74]、与延绳捕鱼的对比^[52,75]、与线钩的对比^[76-77]以及与刺网的对比^[78]等。这些研究表明, BRUV 与传统网具调查方法采样的效果相比, 是一种在评估鱼类多样性、种类组成以及相对丰度上非常有效的监测工具^[5]。

BRUV 与其他生物资源调查技术的互补可实现对生物资源更加全面的评估^[71]。BRUV 的监测结果中, 肉食性鱼类比例与实际相比可能更大, 而某些行为隐蔽、对肉食性鱼类产生躲避反应的物种比例较实际低, 因此研究人员采用 BRUV 与其他方法结合互补的方式, 以便更准确全面地评估鱼类群落结构, 如 BRUV 与 UVC^[79-82]以及与 DOV 的结合^[83-85]采样, 能够弥补 BRUV 在监测草食性鱼类和行为隐蔽、对肉食性鱼类产生躲避反应的鱼类的不足。BRUV 与 ROV 结合^[86], 可监测到对潜水员产生应激反应的鱼类, 进而全面了解评价整个生态系统的鱼类多样性, 另外 BRUV 还可与自主水下载具(autonomous underwater vehicle, AUV)结合^[87], 也是评估海洋生态系统鱼类群落结构完整性的重要方式。

6 监测分析指标

视频数据的提取是有效链接水下视频监测影像, 揭示鱼类多样性变化规律以及查明行为响应的关键纽带。目前, 在 BRUV 提取视频数据过程

中, 对出现的相同种类的个体重复进行计数, 可能会高估鱼类的数量, 为了避免重复计数, 大部分 BRUV 研究使用其记录期间, 一个视频影像视野中所见到的某一个物种的个体最大数量(MaxN)的计数^[88]。由于并非所有的鱼类都会进入相机视野, 它们可能会游弋在摄像机的周围, 因此 MaxN 的使用对鱼类相对丰度的估计相对保守, 具有一定的偏差。为了调查固定视角产生的偏差, Whitmarsh 等^[89]在摄像机水平向前视角的 BRUV 基础上, 在 BRUV 其他 3 个方向增加了 3 台摄像机, 进行 360°的环绕拍摄, 其中面对诱饵的摄像机记录了最高的鱼类丰度, 额外视角的摄像机只记录了不常见和害羞的物种(shy species), 对总体的物种丰富度影响较小。Sherman 等^[90]提出了一种用于 BRUV 数据提取分析的新指标方法, 即通过识别和计数不同个体(MaxIND)来量化 MaxN 的准确性。也有相关的研究^[91-92]通过 MaxIND 方法, 分辨鱼类外观特征进行计数, 该方法虽然能提供较好的准确性, 但对全部个体进行识别非常耗时, 而且该方法只适用于一些特征明显或稀有和濒危的物种的判定研究。总之, MaxN 仍然是国际上最广泛使用的表征物种相对丰度的度量指标。除了提取鱼类相对丰度信息外, BRUV 还可以基于影像信息进行鱼类行为分析, Phenix 等^[93]采用记录饵料袋被咬次数和袋子是否严重损坏来量化觅食活动率, 评估大型肉食性鱼类的突发游泳、集群、在诱饵上停留等行为。Westlake 等^[94]记录了鲨鱼对固定在诱饵视频系统上磁铁的行为响应(吸引、背离或者无反应)。Silva 等^[23]通过观察鱼类行为与头部的朝向确定浮力以及 Roberts 等^[95]监测鱼类对噪声回放的行为变化等。

7 总结和展望

7.1 总结

BRUV 在国际上是一种广泛用于评估多种栖息地鱼类群落结构及其行为的无损调查技术。根据本研究结果, 建议 BRUV 采用前向视角结构可得到更大的监测视野; 轻巧且易于使用的 GoPro 相机更适合于光线充足的浅海海域(<40 m)调查; BRUV 调查时饵料采用类似沙丁鱼的油性鱼类,

有利于对肉食性鱼类的诱集; BRUV 在大规模使用前, 可通过试验性投放, 观察物种数和丰度随时间增长的累积曲线变化情况, 进而确定其合理的部署时间, 底层 BRUV 的投放适宜时间多以 60 min 为宜, 但取决于研究的具体情况; BRUV 记录期间, 所见到的某一个物种的个体最大数量(MaxN)是表征物种相对丰度时广泛使用的度量指标。BRUV 具有成本低、操作方便、避免了潜水调查时鱼类对潜水员产生应激反应等优势, 同时也有其局限性, 通过与 UVC、DOV 等监测技术结合, 可以达到优势互补全面精细监测鱼类生物多样性的目标。BRUV 技术的成熟对我国无破坏性海洋生物监测技术的发展提供了方向, 在海洋牧场精细化监测方面极具应用前景, 国内有必要进一步开展 BRUV 在海洋牧场监测中的应用研究。

7.2 展望

(1) BRUV 技术的局限性仍需突破。BRUV 在扩大应用的同时, 也在不断地进行技术改进, 包括为了评估濒危、稀有物种的特殊需求, 研发了持续 24 h 的 BRUV 系统^[95]以及深海相机^[96], 但是在水体浑浊环境进行调查时, 仍然存在很大的局限性。目前, 改进 BRUV 提高水体能见度的研究已引起人们的重视^[97], 研究人员尝试在 BRUV 系统引入液体光学透镜(clear liquid optical chamber, CLOC), 从而达到提高水体能见度的效果, 但目前该技术在野外部署方面非常不便, 调查成本也比较高。因此, 未来开发操作简便、成本更低廉、部署容易并且能提高水体浑浊条件下评估能力的 BRUV 系统是主要研究目标。

(2) BRUV 技术评估的能力仍需改善。在 BRUV 使用过程中, 目前对监测物种的估计主要限于相对丰度和通过立体摄影测量鱼的体长, 无法估计种群密度^[98]。BRUV 通过使用诱饵在其周围水体中释放化学刺激物来达到吸引和监测鱼类的目的, 但饵料随着水流传播的距离以及饵料的影响范围都是未知的。目前已有研究开始关注流速变化对 BRUV 调查的影响^[99], 并指出不同流速之间引起的饵料扩散面积变化显著影响了 BRUV 调查得出的结论, 而关于饵料的影响范围和传播距离, 仍然是需要解决的问题。

(3) BRUV 技术在与其他新兴调查技术结合上可有效进行拓展。在非破坏性调查鱼类多样性技术上, 环境 DNA 条形码技术[environmental DNA (eDNA) metabarcoding]是目前国际上较为前沿的一项评估技术手段^[100-102], 目前, BRUV 技术与 eDNA 技术结合评估鱼类生物多样性方面已有报道, Stat 等^[103]在西澳大利亚朱里恩湾海洋保护区的珊瑚礁和海草床生境, 使用了 BRUV 与 eDNA 结合对海洋生物进行监测, 结果表明, 在评估鱼类群落结构上, eDNA 是 BRUV 强大的辅助技术。此外, BRUV 技术可与先进的声学技术结合, 如利用声学遥测技术(acoustic telemetry)^[104-105]监测鲨鱼的运动模式, 结合 BRUV 监测其相对丰度和多样性等信息, 可更好地查明鲨鱼种群特征以及它们对栖息地的利用。通过使用多波束测深系统^[106-107]收集海底特征的高分辨率信息, 帮助解释鱼类群落在不同空间的变化, 实现 BRUV 与多波束测深系统的应用结合。未来随着海洋调查技术的快速发展, BRUV 技术将会与更多的新兴调查技术结合形成多元化技术, 对海洋生态系统的了解将会更加深入。

(4) BRUV 技术的数据分析过程仍需优化。在 BRUV 视频数据提取过程中, 需花费大量时间、人力对视频进行观察, 识别和计数所有鱼类。深度学习和使用人工智能计算机系统可能有助于克服这一问题。在鱼类丰度计数方面, 深度学习可以做到比人为计数更为准确^[108], 已有相关研究采用运动分析软件检测视频片段中鱼类所在的部分, 从而使研究人员快速分析并识别鱼类^[109]。

(5) BRUV 技术在我国海洋保护区(marine protected areas, MPAs)和海洋牧场生物资源精细化监测方面具有广泛的应用前景。BRUV 技术可通过诱饵吸引潜在大型肉食性鱼类物种, 对于监测评估我国 MPAs 内稀有、濒危物种, 如鲨鱼和鳐类等种群相关信息具有重要应用前景。随着海洋牧场建设规模的扩大, 人工生境与自然生境之间的连通性不断加强^[20], 可将 BRUV 用于多尺度下海洋牧场生态系统的研究, 探究鱼类种群在不同时空尺度下的变化规律其与相关生境间的关系。同时 BRUV 也可运用于海洋牧场海域岩礁生

物行为的研究, 掌握物种行为相关信息, 提高对岩礁生物行为的认知水平。

参考文献:

- [1] Brock V E. A preliminary report on a method of estimating reef fish populations[J]. The Journal of Wildlife Management, 1954, 18(3): 297-308.
- [2] Chapman C J, Johnstone A D F, Dunn J R, et al. Reactions of fish to sound generated by divers' open-circuit underwater breathing apparatus[J]. Marine Biology, 1974, 27(4): 357-366.
- [3] Watson R A, Carlos G M, Samoilys M A. Bias introduced by the non-random movement of fish in visual transect surveys[J]. Ecological Modelling, 1995, 77(2-3): 205-214.
- [4] Kulbicki M, Cornuet N, Vigliola L, et al. Counting coral reef fishes: Interaction between fish life-history traits and transect design[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2010, 387(1-2): 15-23.
- [5] Mallet D, Pelletier D. Underwater video techniques for observing coastal marine biodiversity: A review of sixty years of publications (1952–2012)[J]. Fisheries Research, 2014, 154: 44-62.
- [6] Cappo M, Harvey E, Malcolm H, et al. Potential of video techniques to monitor diversity, abundance and size of fish in studies of Marine Protected Areas[C]/Proceedings of the World Congress on Aquatic Protected Areas. Australian Society for Fish Biology, 2003: 455-464.
- [7] Harvey E, Fletcher D, Shortis M. Estimation of reef fish length by divers and by stereo-video: A first comparison of the accuracy and precision in the field on living fish under operational conditions[J]. Fisheries Research, 2002, 57(3): 255-265.
- [8] Harvey E, Shortis M. A system for stereo-video measurement of sub-tidal organisms[J]. Marine Technology Society Journal, 1995, 29(4): 10-22.
- [9] Roberts L, Pérez-Domínguez R, Elliott M. Use of baited remote underwater video (BRUV) and motion analysis for studying the impacts of underwater noise upon free ranging fish and implications for marine energy management[J]. Marine Pollution Bulletin, 2016, 112(1-2): 75-85.
- [10] Ellis D M, DeMartini E E. Evaluation of a video camera technique for indexing abundances of juvenile pink snapper, *Pristipomoides filamentosus*, and other Hawaiian insular shelf fishes[J]. Fishery Bulletin- National Oceanic and Atmospheric Administration, 1995, 93(1): 67-77.
- [11] Switzer T S, Tyler-Jedlund A J, Keenan S F, et al. Benthic habitats, as derived from classification of side-scan-sonar

- mapping data, are important determinants of reef-fish assemblage structure in the eastern gulf of Mexico[J]. *Marine and Coastal Fisheries*, 2020, 12(1): 21-32.
- [12] Harasti D, Davis T R, Mitchell E, et al. A tale of two slands: Decadal changes in rocky reef fish assemblages following implementation of no-take marine protected areas in New South Wales, Australia[J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2018, 18: 229-236.
- [13] Liu H, Xu Q, Xu Q Z, et al. The application of stereo-video technology for the assessment on population change of black rockfish *Sebastodes schlegeli* in a vessel reef area in Haizhou Bay, China[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2015, 33(1): 107-113.
- [14] Jiao H F, Zheng D, Zhao M Z, et al. Survey and resource evaluation of *Mytilus coruscus* for underwater visual censuses of Yushan Islands[J]. *Haiyang Xuebao*, 2016, 38(2): 84-92. [焦海峰, 郑丹, 赵明忠, 等. 基于水下摄像的渔山列岛厚壳贻贝资源评估与分析[J]. 海洋学报, 2016, 38(2): 84-92.]
- [15] Zeng L, Tang Z Z, Jia X P, et al. Study on the trapping effect of artificial reefs on small reef fishes in Fangchenggang Gulf[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(4): 783-795. [曾雷, 唐振朝, 贾晓平, 等. 人工鱼礁对防城港海域小型岩礁性鱼类诱集效果研究[J]. 中国水产科学, 2019, 26(4): 783-795.]
- [16] Chen Y. Research and construction of modern marine ranching in China: A review[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2020, 35(2): 147-154. [陈勇. 中国现代化海洋牧场的研究与建设[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(2): 147-154.]
- [17] Li Z Y, Lin Q, Li J, et al. Present situation and future development of marine ranching construction in China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(9): 1870-1880. [李忠义, 林群, 李娇, 等. 中国海洋牧场研究现状与发展[J]. 水产学报, 2019, 43(9): 1870-1880.]
- [18] Yang H S. Construction of marine ranching in China: Reviews and prospects[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(7): 1133-1140. [杨红生. 我国海洋牧场建设回顾与展望[J]. 水产学报, 2016, 40(7): 1133-1140.]
- [19] Wu Z X, Tweedley J R, Loneragan N R, et al. Artificial reefs can mimic natural habitats for fish and macroinvertebrates in temperate coastal waters of the Yellow Sea[J]. *Ecological Engineering*, 2019, 139: 105579.
- [20] Chen Y, Zheng X X, Zhu J B, et al. Assessing methods of fish and macroinvertebrate in artificial reef areas[J]. *Fisheries Science*, 2008, 27(6): 316-319. [陈勇, 郑小贤, 朱敬博, 等. 人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物的调查方法[J]. 水产科学, 2008, 27(6): 316-319.]
- [21] Liu H, Feng J, Zhao J M. Research process and perspective on the monitoring and evaluation of marine ranch ecosystem[J]. *Science & Technology for Development*, 2020, 16(2): 213-218. [刘辉, 奉杰, 赵建民. 海洋牧场生态系统监测评估研究进展与展望[J]. 科技促进发展, 2020, 16(2): 213-218.]
- [22] Grimmel H M V, Bullock R W, Dedman S L, et al. Assessment of faunal communities and habitat use within a shallow water system using non-invasive BRUVs methodology[J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2020, 5(5): 224-233.
- [23] Silva L G M, Beirão B V, Falcão R C, et al. It's a catfish! Novel approaches are needed to study the effects of rapid decompression on benthic species[J]. *Marine and Freshwater Research*, 2018, 69(12): 1922-1933.
- [24] Schmid K, Reis-Filho J A, Harvey E, et al. Baited remote underwater video as a promising nondestructive tool to assess fish assemblages in clearwater Amazonian rivers: Testing the effect of bait and habitat type[J]. *Hydrobiologia*, 2017, 784(1): 93-109.
- [25] Cousins S, Kennard M J, Ebner B C. Depth-related composition and structuring of tropical riverine fish assemblages revealed by baited video[J]. *Marine and Freshwater Research*, 2017, 68(10): 1965-1975.
- [26] Ochwada-Doyle F A, Johnson D D, Lowry M. Comparing the utility of fishery-independent and fishery-dependent methods in assessing the relative abundance of estuarine fish species in partial protection areas[J]. *Fisheries Management and Ecology*, 2016, 23(5): 390-406.
- [27] Ebner B C, Morgan D L. Using remote underwater video to estimate freshwater fish species richness[J]. *Journal of Fish Biology*, 2013, 82(5): 1592-1612.
- [28] Florisson J H, Tweedley J R, Walker T H E, et al. Reef vision: A citizen science program for monitoring the fish faunas of artificial reefs[J]. *Fisheries Research*, 2018, 206: 296-308.
- [29] Bicknell A W J, Sheehan E V, Godley B J, et al. Assessing the impact of introduced infrastructure at sea with cameras: A case study for spatial scale, time and statistical power[J]. *Marine Environmental Research*, 2019, 147: 126-137.
- [30] Barker V A, Cowan J H. The effect of artificial light on the community structure of reef-associated fishes at oil and gas platforms in the northern Gulf of Mexico[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2018, 101(1): 153-166.
- [31] Reynolds E M, Cowan J H Jr, Lewis K A Jr, et al. Method for estimating relative abundance and species composition around oil and gas platforms in the northern Gulf of Mexico,

- USA[J]. *Fisheries Research*, 2018, 201: 44-55.
- [32] Bond T, Partridge J C, Taylor M D, et al. The influence of depth and a subsea pipeline on fish assemblages and commercially fished species[J]. *PLoS ONE*, 2018, 13(11): e0207703.
- [33] Griffin R A, Robinson G J, West A, et al. Assessing fish and motile fauna around offshore windfarms using stereo baited video[J]. *PLoS ONE*, 2016, 11(3): e0149701.
- [34] Kiggins R S, Knott N A, New T, et al. Fish assemblages in protected seagrass habitats: Assessing fish abundance and diversity in no-take marine reserves and fished areas[J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2020, 5(5): 213-223.
- [35] Kiggins R S, Knott N A, Davis A R. Miniature baited remote underwater video (mini-BRUV) reveals the response of cryptic fishes to seagrass cover[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2018, 101(12): 1717-1722.
- [36] Harasti D, McLuckie C, Gallen C, et al. Assessment of rock pool fish assemblages along a latitudinal gradient[J]. *Marine Biodiversity*, 2018, 48(2): 1147-1158.
- [37] Davis T R, Larkin M F, Harasti D. Application of non-destructive methods for assessing rock pool fish assemblages on Lord Howe Island, Australia[J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2018, 24: 251-259.
- [38] Devine B M, Wheeland L J, Moura Neves B, et al. Baited remote underwater video estimates of benthic fish and invertebrate diversity within the eastern Canadian Arctic[J]. *Polar Biology*, 2019, 42(7): 1323-1341.
- [39] Birt M J, Stowar M, Currey-Randall L M, et al. Comparing the effects of different coloured artificial illumination on diurnal fish assemblages in the lower mesophotic zone[J]. *Marine Biology*, 2019, 166: Article No.154.
- [40] Jamieson A J, Fujii T, Solan M, et al. First findings of decapod Crustacea in the hadal zone[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2009, 56(4): 641-647.
- [41] Andradi-Brown D A, Beer A J E, Colin L, et al. Highly diverse mesophotic reef fish communities in Raja Ampat, West Papua[J]. *Coral Reefs*, 2021, 40: 111-130.
- [42] Williams J, Jordan A, Harasti D, et al. Taking a deeper look: Quantifying the differences in fish assemblages between shallow and mesophotic temperate rocky reefs[J]. *PLoS ONE*, 2019, 14(3): e0206778.
- [43] Abesamis R A, Langlois T, Birt M, et al. Benthic habitat and fish assemblage structure from shallow to mesophotic depths in a storm-impacted marine protected area[J]. *Coral Reefs*, 2018, 37(1): 81-97.
- [44] Asher J, Williams I D, Harvey E S. An assessment of mobile predator populations along shallow and mesophotic depth gradients in the Hawaiian archipelago[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 3905.
- [45] Lindfield S J, Harvey E S, Halford A R, et al. Mesophotic depths as refuge areas for fishery-targeted species on coral reefs[J]. *Coral Reefs*, 2016, 35(1): 125-137.
- [46] Asher J, Williams I D, Harvey E S. Is seeing believing? Diver and video-based censuses reveal inconsistencies in roving predator estimates between regions[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2019, 630: 115-136.
- [47] Bernard A, Götz A. Bait increases the precision in count data from remote underwater video for most subtidal reef fish in the warm-temperate Agulhas bioregion[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2012, 471: 235-252.
- [48] Dorman S R, Harvey E S, Newman S J. Bait effects in sampling coral reef fish assemblages with stereo-BRUVs[J]. *PLoS ONE*, 2012, 7(7): e41538.
- [49] Wraith J, Lynch T, Minchinton T E, et al. Bait type affects fish assemblages and feeding guilds observed at baited remote underwater video stations[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2013, 477: 189-199.
- [50] Walsh A T, Barrett N, Hill N. Efficacy of baited remote underwater video systems and bait type in the cool-temperature zone for monitoring ‘no-take’ marine reserves[J]. *Marine and Freshwater Research*, 2017, 68(3): 568-580.
- [51] Ghazilou A, Shokri M R, Gladstone W. Animal v. plant-based bait: Does the bait type affect census of fish assemblages and trophic groups by baited remote underwater video (BRUV) systems?[J]. *Journal of Fish Biology*, 2016, 88(5): 1731-1745.
- [52] Santana-Garcon J, Braccini M, Langlois T J, et al. Calibration of pelagic stereo-BRUVs and scientific longline surveys for sampling sharks[J]. *Methods in Ecology and Evolution*, 2014, 5(8): 824-833.
- [53] Phillips B T, Shipley O N, Halvorsen J, et al. First *in situ* observations of the sharpnose sevengill shark (*Heptranchias perlo*), from the Tongue of the Ocean, Bahamas[J]. *Journal of the Ocean Science Foundation*, 2019, 32: 17-22.
- [54] Benjamins S, Fox C J, Last K, et al. Individual identification of flapper skate *Dipturus intermedius* using a baited camera lander[J]. *Endangered Species Research*, 2018, 37: 37-44.
- [55] Hardinge J, Harvey E S, Saunders B J, et al. A little bait goes a long way: The influence of bait quantity on a temperate fish assemblage sampled using stereo-BRUVs[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2013, 449: 250-260.
- [56] Santana-Garcon J, Newman S J, Langlois T J, et al. Effects of a spatial closure on highly mobile fish species: An as-

- essment using pelagic stereo-BRUVs[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2014, 460: 153-161.
- [57] Gladstone W, Lindfield S, Coleman M, et al. Optimisation of baited remote underwater video sampling designs for estuarine fish assemblages[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2012, 429: 28-35.
- [58] Harasti D, Malcolm H, Gallen C, et al. Appropriate set times to represent patterns of rocky reef fishes using baited video[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2015, 463: 173-180.
- [59] Misa W F X E, Richards B L, DiNardo G T, et al. Evaluating the effect of soak time on bottomfish abundance and length data from stereo-video surveys[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2016, 479: 20-34.
- [60] Unsworth R K F, Peters J R, McCloskey R M, et al. Optimising stereo baited underwater video for sampling fish and invertebrates in temperate coastal habitats[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2014, 150: 281-287.
- [61] Langlois T J, Pascale C, Dominique P, et al. Baited underwater video for assessing reef fish populations in marine reserves[J]. *SPC Fisheries Newsletter*, 2006, 118: 53-57.
- [62] Cundy M E, Santana-Garcon J, Ferguson A M, et al. Baited remote underwater stereo-video outperforms baited downward-facing single-video for assessments of fish diversity, abundance and size composition[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2017, 497: 19-32.
- [63] Phillips G. Using underwater video to observe aquaculture gear in Long Island sound-a citizen science guide[R/OL], [2018-08-01]. <https://www.fisheries.noaa.gov/aquaculture-library>.
- [64] Langlois T J, Williams J, Monk J, et al. Marine sampling field manual for benthic stereo BRUVS (Baited Remote Underwater Videos)[R]/Field Manuals for Marine Sampling to Monitor Australian Waters, 2018: 82-104.
- [65] Ghazilou A, Shokri M R, Gladstone W. Comparison of baited remote underwater video (BRUV) and underwater visual census (UVC) for assessment of reef fish in a marginal reef in the Northern Persian Gulf[J]. *Iranian Journal of Ichthyology*, 2019, 6(3): 197-207.
- [66] Lowry M, Folpp H, Gregson M, et al. Comparison of baited remote underwater video (BRUV) and underwater visual census (UVC) for assessment of artificial reefs in estuaries[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2012, 416-417: 243-253.
- [67] Colton M A, Swearer S E. A comparison of two survey methods: Differences between underwater visual census and baited remote underwater video[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2010, 400: 19-36.
- [68] Watson D L, Harvey E S, Fitzpatrick B M, et al. Assessing reef fish assemblage structure: How do different stereo-video techniques compare?[J]. *Marine Biology*, 2010, 157(6): 1237-1250.
- [69] Langlois T J, Harvey E S, Fitzpatrick B, et al. Cost-efficient sampling of fish assemblages: Comparison of baited video stations and diver video transects[J]. *Aquatic Biology*, 2010, 9(2): 155-168.
- [70] Goetze J S, Jupiter S D, Langlois T J, et al. Diver operated video most accurately detects the impacts of fishing within periodically harvested closures[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2015, 462: 74-82.
- [71] Schramm K D, Harvey E S, Goetze J S, et al. A comparison of stereo-BRUV, diver operated and remote stereo-video transects for assessing reef fish assemblages[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2020, 524: 151273.
- [72] Langlois T J, Newman S J, Cappo M, et al. Length selectivity of commercial fish traps assessed from *in situ* comparisons with stereo-video: Is there evidence of sampling bias?[J]. *Fisheries Research*, 2015, 161: 145-155.
- [73] Wakefield C B, Lewis P D, Coutts T B, et al. Fish assemblages associated with natural and anthropogenically-modified habitats in a marine embayment: Comparison of baited videos and opera-house traps[J]. *PLoS ONE*, 2013, 8(3): e59959.
- [74] Harvey E S, Newman S J, McLean D L, et al. Comparison of the relative efficiencies of stereo-BRUVs and traps for sampling tropical continental shelf demersal fishes[J]. *Fisheries Research*, 2012, 125-126: 108-120.
- [75] McLean D L, Green M, Harvey E S, et al. Comparison of baited longlines and baited underwater cameras for assessing the composition of continental slope deepwater fish assemblages off southeast Australia[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2015, 98: 10-20.
- [76] Langlois T J, Fitzpatrick B R, Fairclough D V, et al. Similarities between line fishing and baited stereo-video estimations of length-frequency: Novel application of Kernel Density Estimates[J]. *PLoS ONE*, 2012, 7(11): e45973.
- [77] Parker D, Winker H, Bernard A T F, et al. Insights from baited video sampling of temperate reef fishes: How biased are angling surveys?[J]. *Fisheries Research*, 2016, 179: 191-201.
- [78] Pejdo D, Kruschel C, Schultz S, et al. Fish monitoring in Kornati National Park: Baited, remote, underwater video (BRUV) versus trammel net sampling[J]. *Journal of Maritime & Transportation Science*, 2016, Special edition(1):

- 253-260.
- [79] Skinner C, Mill A C, Newman S P, et al. The importance of oceanic atoll lagoons for coral reef predators[J]. *Marine Biology*, 2020, 167(2): Article No.19.
- [80] Murray R, Conales S Jr, Araujo G Jr, et al. Tubbataha Reefs Natural Park: The first comprehensive elasmobranch assessment reveals global hotspot for reef sharks[J]. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 2019, 12(1): 49-56.
- [81] Hale R, Colton M A, Peng P, et al. Do spatial scale and life history affect fish-habitat relationships?[J]. *The Journal of Animal Ecology*, 2019, 88(3): 439-449.
- [82] Juhel J B, Vigliola L, Mouillet D, et al. Reef accessibility impairs the protection of sharks[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2018, 55(2): 673-683.
- [83] Rolim F A, Langlois T, Rodrigues P F C, et al. Network of small no-take marine reserves reveal greater abundance and body size of fisheries target species[J]. *PLoS ONE*, 2019, 14(1): e0204970.
- [84] Goetze J S, Langlois T J, McCarter J, et al. Drivers of reef shark abundance and biomass in the Solomon Islands[J]. *PLoS ONE*, 2018, 13(7): e0200960.
- [85] McLaren B W, Langlois T J, Harvey E S, et al. A small no-take marine sanctuary provides consistent protection for small-bodied by-catch species, but not for large-bodied, high-risk species[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2015, 471: 153-163.
- [86] Bond T, Prince J, Partridge J C, et al. The value of subsea pipelines to marine biodiversity[C]//Proceedings of the Offshore Technology Conference Asia, 2018: Paper No. OTC-28240-MS.
- [87] Ferrari R, Malcolm H A, Byrne M, et al. Habitat structural complexity metrics improve predictions of fish abundance and distribution[J]. *Ecography*, 2018, 41(7): 1077-1091.
- [88] Cappo M, Harvey E S, Shortis M. Counting and measuring fish with baited video techniques-an overview[C]// 2006 Workshop Proceedings. Australian Society for Fish Biology, 2006: 101-114.
- [89] Whitmarsh S K, Huveneers C, Fairweather P G. What are we missing? Advantages of more than one viewpoint to estimate fish assemblages using baited video[J]. *Royal Society Open Science*, 2018, 5(5): 171993.
- [90] Sherman C S, Chin A, Heupel M R, et al. Are we underestimating elasmobranch abundances on baited remote underwater video systems (BRUVS) using traditional metrics? [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2018, 503: 80-85.
- [91] Bond M E, Valentin-Albanese J, Babcock E A, et al. Top predators induce habitat shifts in prey within marine protected areas[J]. *Oecologia*, 2019, 190(2): 375-385.
- [92] Devine B M, Wheeland L J, Fisher J A D. First estimates of Greenland shark (*Somniosus microcephalus*) local abundances in Arctic waters[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 974.
- [93] Phenix L M, Tricarico D, Quintero E, et al. Evaluating the effects of large marine predators on mobile prey behavior across subtropical reef ecosystems[J]. *Ecology and Evolution*, 2019, 9(24): 13740-13751.
- [94] Westlake E L, Williams M, Rawlinson N. Behavioural responses of draughtboard sharks (*Cephaloscyllium laticeps*) to rare earth magnets: Implications for shark bycatch management within the Tasmanian southern rock lobster fishery[J]. *Fisheries Research*, 2018, 200: 84-92.
- [95] Torres A, Abril A M, Clua E E G. A time-extended (24 h) baited remote underwater video (BRUV) for monitoring pelagic and nocturnal marine species[J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2020, 8(3): 208.
- [96] Phillips B T, Licht S, Haiat K S, et al. DEEPi: A miniaturized, robust, and economical camera and computer system for deep-sea exploration[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2019, 153: 103136.
- [97] Jones R E, Griffin R A, Rees S C, et al. Improving visual biodiversity assessments of motile fauna in turbid aquatic environments[J]. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2019, 17(10): 544-554.
- [98] Harvey E S, Cappo M, Butler J J, et al. Bait attraction affects the performance of remote underwater video stations in assessment of demersal fish community structure[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 350: 245-254.
- [99] Taylor M D, Baker J, Suthers I M. Tidal currents, sampling effort and baited remote underwater video (BRUV) surveys: Are we drawing the right conclusions?[J]. *Fisheries Research*, 2013, 140: 96-104.
- [100] Thomsen P F, Willerslev E. Environmental DNA - An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity[J]. *Biological Conservation*, 2015, 183: 4-18.
- [101] Yamamoto S, Masuda R, Sato Y, et al. Environmental DNA metabarcoding reveals local fish communities in a species-rich coastal sea[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 40368.
- [102] Zou K S, Chen J W, Ruan H T, et al. eDNA metabarcoding as a promising conservation tool for monitoring fish diversity in a coastal wetland of the Pearl River Estuary compared to bottom trawling[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 702: 134704.
- [103] Stat M, John J, DiBattista J D, et al. Combined use of eDNA metabarcoding and video surveillance for the assessment of

- fish biodiversity[J]. *Conservation Biology*, 2019, 33(1): 196-205.
- [104] Papastamatiou Y P, Bodey T W, Friedlander A M, et al. Spatial separation without territoriality in shark communities[J]. *Oikos*, 2018, 127(6): 767-779.
- [105] Acuña-Marrero D, Smith A N H, Hammerschlag N, et al. Residency and movement patterns of an apex predatory shark (*Galeocerdo cuvier*) at the Galapagos Marine Reserve[J]. *PLoS ONE*, 2017, 12(8): e0183669.
- [106] Sih T, Daniell J, Bridge T, et al. Deep-reef fish communities of the great barrier reef shelf-break: Trophic structure and habitat associations[J]. *Diversity*, 2019, 11(2): 26.
- [107] Yates K L, Mellin C, Caley M J, et al. Models of marine fish biodiversity: Assessing predictors from three habitat classification schemes[J]. *PLoS ONE*, 2016, 11(6): e0155634.
- [108] Ditria E M, Lopez-Marcano S, Sievers M, et al. Automating the analysis of fish abundance using object detection: Optimizing animal ecology with deep learning[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 429. DOI:10.3389/fmars.2020.00429.
- [109] Sheehan E V, Bridger D, Nancollas S J, et al. *PelagiCam*: A novel underwater imaging system with computer vision for semi-automated monitoring of mobile marine fauna at offshore structures[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019, 192: Article No.11.

A review of baited remote underwater video (BRUV) technology

OU Zheyang¹, WU Zhongxin^{1,2}, ZHANG Zepeng¹, TWEEDLEY James^{3,4}, DONG Shiqi¹, WANG Zhaoguo¹, GAO Dongkui¹, LIU Min¹, XING Binbin^{1,2}, TIAN Tao^{1,2}

1. Center for Marine Ranching Engineering Science Research of Liaoning, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;
2. Key Laboratory of Environment Controlled Aquaculture, Ministry of Education, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;
3. Centre for Sustainable Aquatic Ecosystems, Harry Butler Institute, Murdoch University, Perth, Western 6150, Australia;
4. Environmental and Conservation Sciences, Murdoch University, Perth, Western 6150, Australia

Abstract: Baited remote underwater video (BRUV) technology is a monitoring technique used to record the relative abundance and behavior of fish species. The benefits of using BRUVs have been well documented, including their non-destructive nature, replicability, and suitability for various habitat types and water depths. However, although BRUVs have been extensively used worldwide for over 20 years, no such studies have been undertaken in China. Here, we reviewed 278 scientific documents relating to BRUVs published between January 2006 and March 2020. For BRUV surveys in China, we recommend that BRUVs should use (i) a forward-facing camera to maximize the field of view; (ii) lightweight and easy to use GoPro cameras, which are suitable for shallow, well-lit waters (<40 m deep); and (iii) oily fish such as clupeids (sardines and pilchards) as bait to attract carnivorous fish. Prior to using BRUVs, pilot studies should be conducted to quantitatively determine (e.g., using accumulation curves) the necessary deployment time. Generally, a running period of 60 min is sufficient for benthic BRUVs, although this would differ depending on the location. In terms of monitoring, the maximum number of observed individuals of a species in a single video frame (MaxN) is a widely accepted metric characterizing the relative abundance of species.

Key words: baited remote underwater video (BRUV); marine ranching; fish resources monitoring; non-destructive monitoring technology

Corresponding author: WU Zhongxin. E-mail: wuzhongxin@dlou.edu.cn