

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.18278

防城港人工礁区内 5 种恋礁鱼类的声学标志跟踪

王志超^{1,2}, 陈国宝¹, 曾雷¹, 李斌¹, 贾晓平¹

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东省渔业生态环境重点实验室, 农业农村部南海渔业资源环境科学观测实验站, 广东 广州 510300;

2. 国家海洋局南海标准计量中心, 广东 广州 510700

摘要: 为了解人工鱼礁区鱼类的活动特点及使用超声波遥测方法进行人工鱼礁区鱼类研究的可行性, 2017 年 7 月 7 日至 9 月 8 日于防城港人工鱼礁区利用 Vemco 定位系统(Vemco position system, VPS)对 5 种北部湾沿海常见的野生恋礁性鱼类共 9 尾[体长(21.7±3.8) cm, 体重(314±186) g]进行超声波标志遥测跟踪。结果表明, 9 尾鱼中的 3 尾定位效果较为理想(1749~9591 个定位结果), 活动范围较小, 其中 100%最小凸多边形(minimum convex polygon, MCPs)范围为 12687.6~17123.2 m²。而 50%和 95%核心利用分布(Kernel utilization distribution, KUDs)范围为 5788.1~8708.9 m² 和 10240.5~16463.7 m²。另 6 尾鱼未取得理想的定位效果(0~14 个定位结果), 接收机接收回的定位数据可以被检测, 表明鱼依然在礁区附近活动。在游离检测范围 28~51 d 后又有信号返回, 说明样本鱼对人工鱼礁环境有一定的偏好性, 研究期间样本鱼表现出一定的活动深度变化规律, 在 15:00~22:00 时段活动深度相对较浅, 主要集中于人工鱼礁礁体上方(距水底 5 m 以上)。研究表明, 应用超声波遥测技术可以了解鱼类在自然生活状态下的活动特点, 可作为鱼类研究的有效手段加以应用。

关键词: 鱼类活动; 超声波遥测; 人工鱼礁

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)01-0053-10

超声波标志遥测跟踪作为研究鱼类活动的有效方式, 在 20 世纪 50 年代就在水生生物研究中得以尝试^[1], 目前已在海洋和淡水鱼类行为研究领域得到应用^[2], 包括鱼类的洄游和繁殖行为^[3-4]、栖息地选择^[5]以及季节活动规律等^[6], 近年来, 在人工鱼礁区鱼类活动研究中也得到了应用^[7-8]。

投放人工鱼礁是海洋资源保护和生态恢复的重要手段, 了解鱼类的活动规律对制定礁区资源管理和保护策略十分重要^[9], 利用超声波标志遥测跟踪, 可以根据研究结果在鱼类喜好的栖息地点采取针对性的有效保护措施以及构建鱼类栖息环境^[10]。人工鱼礁投放后会改变其周围的流场等物理环境, 营造鱼类及其他水生生物的栖息地,

达到集鱼目的^[11], 然而目前人工鱼礁对鱼类诱集及鱼礁环境下鱼类活动特点的研究以模型实验为主^[12-14], 这样的方式并不能完全反映出鱼在天然水域礁区的活动状态。另一方面, 现阶段人工鱼礁区的资源评估主要依靠网具采样以及鱼探仪声学探测等^[15-16], 由于礁区地形复杂, 网具采样往往不能准确地反映礁区的生物组成, 而鱼类及其他生物在礁体附近活动时, 应用声学鱼探仪探测有一定难度。所以, 要获得更接近实际情况的调查结果, 就需要了解礁区内生物的活动规律, 从而制定合理的调查计划。

本研究利用 Vemco 定位系统(Vemco position system, VPS)在防城港沿海人工鱼礁区对鱼类进

收稿日期: 2018-08-14; 修订日期: 2018-10-21.

基金项目: 防城港钢铁项目渔业生态保护修复工程(01-154); 公益性行业(农业)科研专项(201403008); 农业财政项目南海海洋捕捞生产结构调查(640).

作者简介: 王志超(1992-), 男, 硕士, 助理工程师, 从事渔业声学方向研究. E-mail: wzcwode@sina.com

通信作者: 陈国宝, 研究员. E-mail: chenguobao@scsfri.ac.cn

行超声波遥测跟踪研究,是目前国内在开放海域人工鱼礁区鱼类研究较为新颖的尝试,希望可以有效了解礁区内鱼类在自然生活状态下的活动特点,并寻找该方法潜在的应用价值。

1 材料和方法

1.1 研究区域

本研究于 2017 年 7 月 7 日至 2017 年 9 月 8 日在防城港沿海人工鱼礁区进行,该区域礁体于 2014 年投放,11 个接收机(VR2Tx, Vemco, 69 kHz)于礁区中心投礁密集区布置,研究区域见图 1a,鱼礁位置及接收机站位见图 1b。

1.2 超声波标志遥测跟踪系统

本研究基于 VPS 进行超声波标志定位跟踪,使用 VR2Tx 型接收机接受标志信号,每个接收机内部携带时间同步标记和温度传感器,接收机电池可使用 15 个月。在设计接收机布置站位之前,

需确定接收机之间布置的最佳间距,在大型人工鱼礁密集的区域,鱼在礁体之间活动时信号的传输会受到阻碍^[17],同时接收机的接受范围有限,因此在进行标志跟踪研究之前,需要进行关于接收机接收距离的相关测试^[18]。本研究在海况较差(4 级海况)的情况下在礁区进行了距离测试,在接收机之间的间距为 200 m 时,接收数据的解析率为 40%,150 m 时解析率为 85%,因此为保证数据的接收效率,将接收机的间距设计为 150 m(图 1b)。现场水深经过测量,排除潮汐的影响得出零潮位时水深为 16.5 m,在潮差范围内水深为 16.5~21 m,接收机的布置需高于人工鱼礁,考虑到鱼偏向于底层的预期活动情况,将接收机换能器端朝向海底方向,为在减小接收机位移的同时保证数据的接收效果,将接收机布置于距海底 7 m 左右的位置。接收机布置范围中心放置参考标记(V13-1H, Vemco),用以验证超声波标志定位结果的准确性。

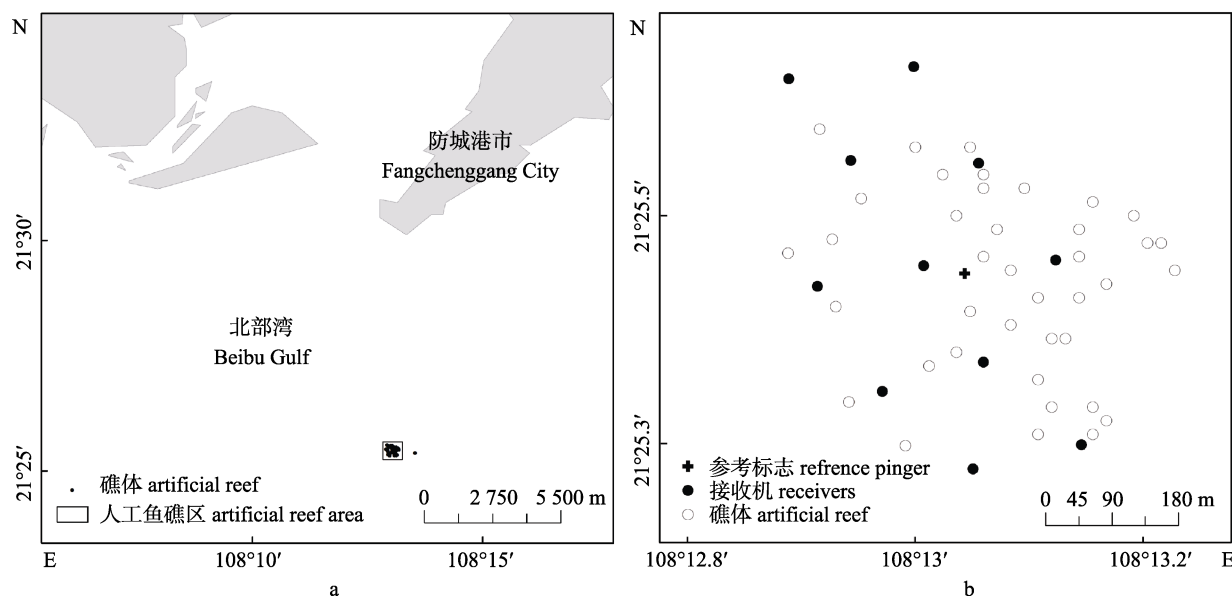


图 1 研究区域(a)和鱼礁位置及站位设计(b)

Fig. 1 Study site (a) and location of artificial reefs and receivers (b)

1.3 标记与放流

本研究选取北部湾沿海常见鱼类,均为垂钓捕获的野生鱼(非礁区内垂钓),体长(21.7 ± 3.8) cm,体重(314 ± 168) g。超声波标志(V9P-2x, Vemco, 69 kHz)悬挂于鱼背脊处,悬挂过程在鱼被麻醉的情况下进行,将标志在鱼背脊处使用 0.5 号鱼线

穿线固定,完成后将鱼投入水中暂养观察,待鱼生理机能恢复且活动平衡性不受影响后再进行放流,一般需观察 2~3 h。超声波标志长度 47 mm,水中重量 3.5 g,信号 1~2 min 间隔内随机发射,可连续使用 136 d。标记完成的部分样品鱼见图 2,样品鱼种类、标记与放流的相关记录见表 1。



图 2 标记完成的部分样品鱼
Fig. 2 Some tagged fishes

表 1 标记与放流鱼的相关记录
Tab. 1 Record of tagged and released fish

标志编码 code	种类 species	体长/mm total length	体重/g weight	投放时间 released date	最后跟踪时间 last detection date
1011	黑鲷 <i>Acanthopagrus schlegelii</i>	255	305	2017-07-21	2017-07-30
1013	红鳍笛鲷 <i>Lutjanus erythropterus</i>	240	280	2017-07-21	2017-08-02
1014	约氏笛鲷 <i>Lutjanus johni</i>	203	250	2017-08-22	2017-09-08
1015	红鳍笛鲷 <i>Lutjanus erythropterus</i>	270	500	2017-08-22	2017-09-08
1019	约氏笛鲷 <i>Lutjanus johni</i>	185	215	2017-07-07	2017-08-02
1020	布氏石斑鱼 <i>Epinephelus bleekeri</i>	205	250	2017-07-07	2017-09-08
1022	约氏笛鲷 <i>Lutjanus johni</i>	200	225	2017-07-07	2017-09-08
1024	星斑裸颊鲷 <i>Lethrinus nebulosus</i>	195	200	2017-08-22	2017-09-08
1025	布氏石斑鱼 <i>Epinephelus bleekeri</i>	204	250	2017-07-07	2017-09-08

1.4 数据分析方法

鱼的定位计算需要 3 个或 3 个以上接收机同时获取数据,通过三角定位算法,可以计算鱼活动位置的地理坐标;深度计算只需单个接收机获取数据,通过超声波标志自带的压力传感器发射两个连续脉冲信号的时间间隔,结合标志的深度拟合参数计算即可。

对研究期间定位效果较好的鱼的活动范围通过 100%最小凸多边形法(minimum convex polygon, MCP)及 50%和 95%核利用率分布法(Kernel utilization distribution, KUD)获得,95% MCPs 通过连接鱼最外层的定位位置获得,50%和 95% KUDs 通过鱼活动中心区域的密度估计算法实现,KUDs 的百分比反映活动期间鱼对该区域利用的可能性,50%KUDs 用以表示鱼活动的核心区域,95%KUDs 用以表示鱼的总体活动范围(家域)^[17-18],通过检测到的信号分析其居住指数(residency index, RI),RI 的值通过检测到信号的天数(days detected, DD)

与总检测天数(total period of detection, TP)的商获得,RI 值为 1 时表示绝对居住权,为 0 时表示没有居住权^[19]。

活动深度的变化排除潮汐影响,为了解鱼距离水底活动的真实距离,将接收机记录深度与潮位对应,以零潮位为基准计算出新的深度值,在研究前使用 EY60 型科学鱼探仪对礁区进行走航,记录部分礁体位置的同时计算水深和礁体高度,得出零潮位时礁区平均水深约为 16.5 m,礁体高度约为 3~5 m,并通过相关性分析检测鱼活动深度与潮位变化是否存在关联。

2 结果与分析

2.1 跟踪效果

9 尾鱼的信号在研究期间信号检测到 10~34 d,其中 3 尾鱼(1014#、1015#、1019#)定位效果良好,获取定位位置分别为 9579、1740、4872 个;另 6 尾鱼定位结果较差(0~14 个结果),信号基本不能被 3 个

或 3 个以上接收机同时接受, 由于接收机接收距离相对较小(约 200 m), 有数据返回则可以表明鱼在礁区活动; 3 尾鱼在研究期间有离开礁区又返回的现象, 其中布氏石斑鱼(1020#)、约氏笛鲷(1022#)

和布氏石斑鱼(1025#)在分别离开监测区域 48 d、51 d 和 28 d 后, 监测范围边缘的接收机又检测到返回的信号, 说明鱼的活动范围相对较大且对礁区环境有一定的喜好, 9 尾鱼的跟踪效果见表 2。

表 2 研究期间 9 尾鱼的跟踪效果
Tab. 2 Tracking results of 9 fish during the study

标志编码 code	种类 species	定位点数 total position	总检测天数 total period, TP	信号返回天数 days detected, DD	居住指数 residency index, RI
1011	黑鲷 <i>Acanthopagrus schlegelii</i>	10	10	10	1
1013	红鳍笛鲷 <i>Lutjanus erythropterus</i>	0	12	12	1
1014	约氏笛鲷 <i>Lutjanus johni</i>	9579	18	18	1
1015	红鳍笛鲷 <i>Lutjanus erythropterus</i>	1740	18	18	1
1019	约氏笛鲷 <i>Lutjanus johni</i>	4872	26	26	1
1020	布氏石斑鱼 <i>Epinephelus bleekeri</i>	0	63	14	0.22
1022	约氏笛鲷 <i>Lutjanus johni</i>	6	63	11	0.17
1024	星斑裸颊鲷 <i>Lethrinus nebulosus</i>	14	18	18	1
1025	布氏石斑鱼 <i>Epinephelus bleekeri</i>	14	63	34	0.53

2.2 水平活动范围

对约氏笛鲷(1014#)、红鳍笛鲷(1015#)、约氏笛鲷(1019#)进行了 95% MCPs 以及 50%及 95% KUDs 的计算, 100% MCPs 分别为 12687.6 m²、17123.2 m²、16202.6 m², 50% KUDs 分别为 5788.1 m²、8708.9 m²、6958.7 m², 95% KUDs 分别为 10240.5 m²、16463.7 m²、12160.1m², 3 尾鱼在较小范围内活动且对活动区域的利用较为平均, 3 尾鱼的活动区域分布见图 3。

2.3 垂直活动范围

以零潮位水深(16.5 m)为基准, 对获得深度数据较为连续的 7 尾鱼(1011#, 1013#, 1014#, 1015#, 1019#, 1024#, 1025#)在活动稳定期进行深度计算。结果表明, 鱼表现出一定的深度变化规律, 7 尾鱼分属 5 种不同种类, 但表现出的深度变化规律较为相似: 在 15:00~22:00 时段活动深度较浅, 主要集中于在礁体上方; 但这并不对每尾鱼适用, 黑鲷(1011#)在这个时段的深度反而较深, 但依然在礁体上方, 每尾鱼活动深度的在每个时段的变化区间并无明显规律, 较大的深度波动表明鱼在该时段较为活跃, 具体深度变化见图 4。7 尾鱼的数据检测量在 12:00~22:00 较其他时段明显减少, 接收机通过电压变化记录的噪声值显示, 这段时间的环境背景噪声较其他时段也更大, 两

组数据表现出显著完全负相关($|r|=1$, $P<0.01$), 数据检测量及噪声值变化见图 5a, 5b。

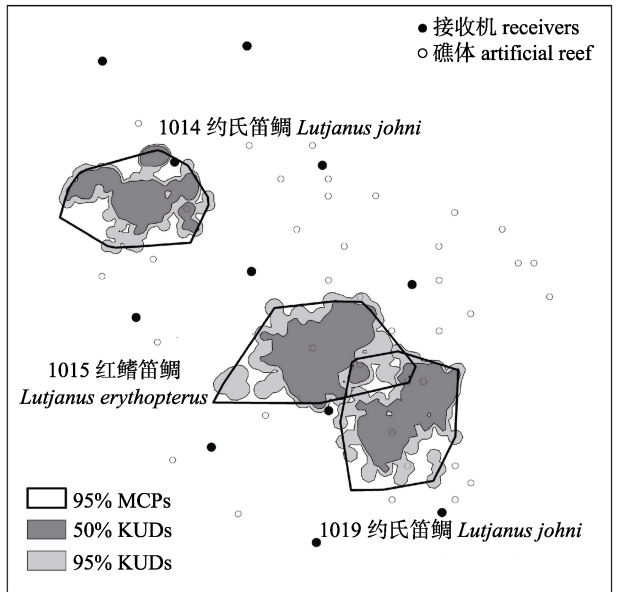


图 3 约氏笛鲷(1014#, 1019#)和
红鳍笛鲷(1015#)的活动范围
Fig. 3 Home range of *Lutjanus johni* (1014#, 1019#)
and *Lutjanus erythropterus* (1015#)

为确定潮汐的变化是否对鱼的活动深度产生影响, 对每天的潮位高度和 7 尾鱼的活动深度取样进行相关性分析, 对总体样本进行样品数为 200 的随机取样。结果表明, 潮汐的变化对鱼的活

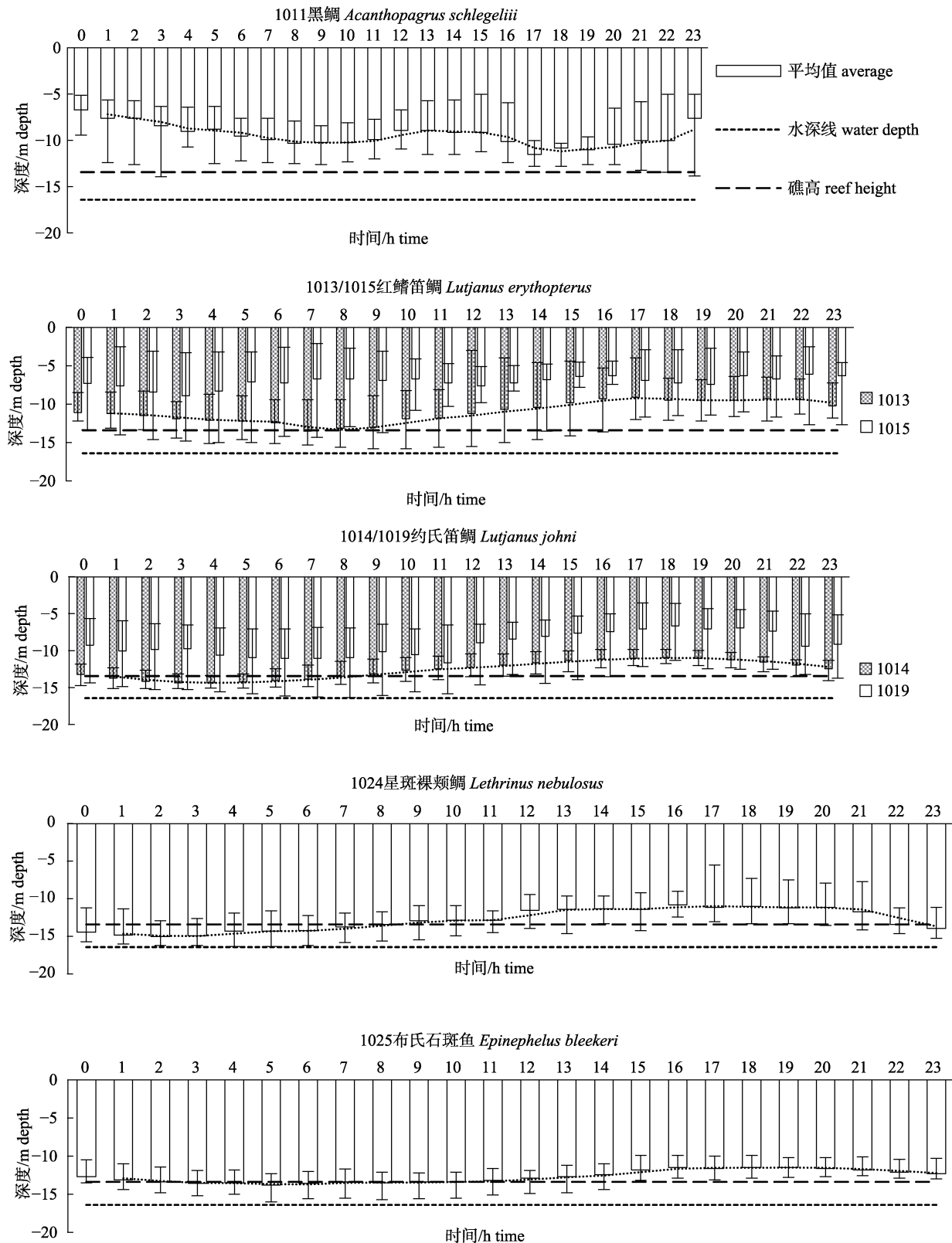


图 4 黑鲷(1011#,1019#)、红鳍笛鲷(1013#,1015#)、约氏笛鲷(1014#,1019#)、星斑裸颊鲷(1024#)和布氏石斑鱼(1025#)的活动深度

Fig. 4 The activity depth range of *Acanthopagrus schlegelii* (1011#,1019#), *Lutjanus erythropterus* (1013#,1015#), *Lutjanus johni* (1014#,1019#), *Lethrinus nebulosus* (1024#), and *Epinephelus bleekeri* (1025#)

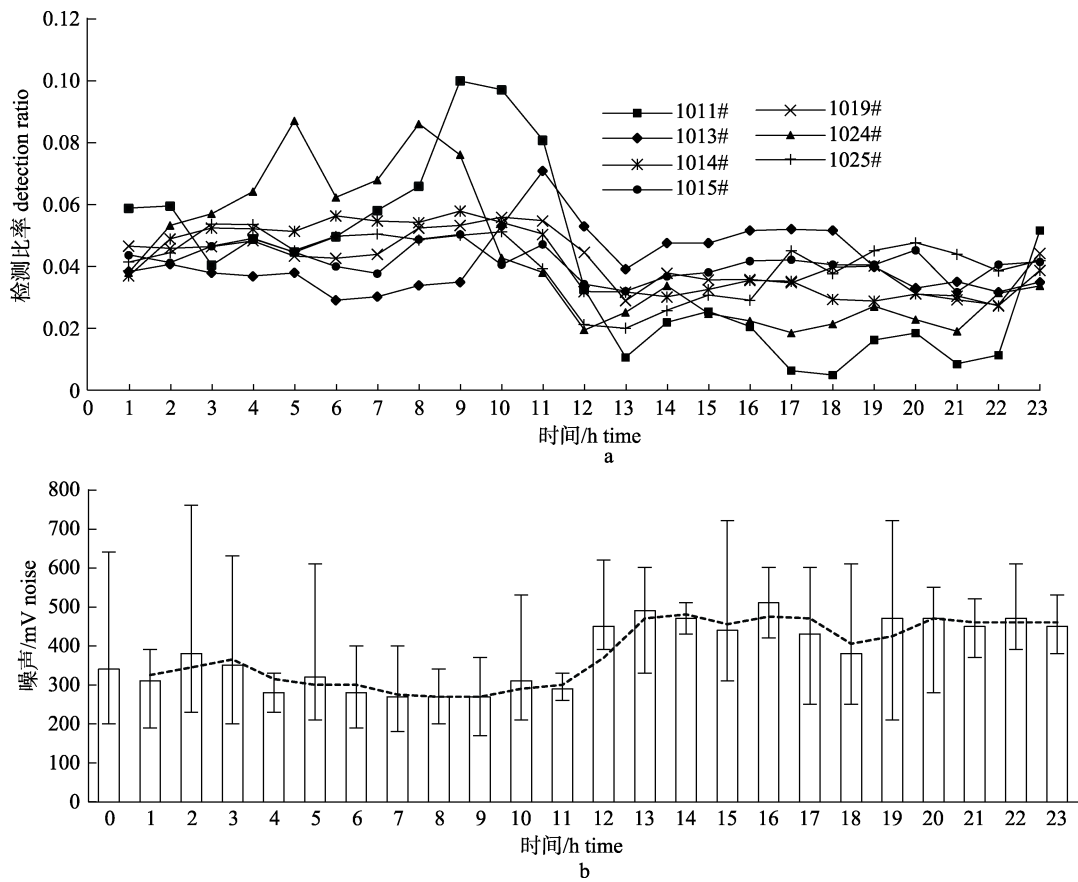


图 5 7 尾鱼数据检测量(a)和背景噪声(b)
Fig. 5 Data detection of 7 fishes (a) and background noise (b)

动有一定影响,其中 5 尾鱼的相关性较强($|r|=0.493\sim0.843$, $P<0.01$),另 2 尾鱼的相关性较弱($|r|=0.185\sim0.203$, $P<0.01$),7 组数据的相关性均显著,可以证明活动深度与潮汐的变化有关联且与潮汐的涨落规律较为一致,7 尾鱼的活动深度与潮汐变化的相关性分析见表 3。

表 3 7 尾鱼活动深度与潮位相关性
Tab. 3 Correlation between 7 fishes activity depth and tide level

标志 编码 code	相关 系数 $ r $	95%置信区间 95% confidence interval		P
		上限 upper bound	下限 lower bound	
1011	0.203	0.252	0.157	<0.05
1013	0.649	0.667	0.623	<0.05
1014	0.843	0.849	0.838	<0.05
1015	0.185	0.223	0.137	<0.05
1019	0.493	0.504	0.482	<0.05
1024	0.769	0.811	0.774	<0.05
1025	0.623	0.653	0.592	<0.05

3 讨论

3.1 研究中存在的问题

本研究使用 VPS 获取礁区内鱼的活动信息,用以分析鱼在礁区内的活动特点,是国内超声波遥测跟踪方法在人工鱼礁区鱼类研究方面较为新颖的尝试,在研究过程中尚存在一些问题。

本研究希望获取标记鱼在监测范围内具体的活动位置,达到测评鱼类活动范围的目的,同时结合超声波标志传回的深度信息,分析标记鱼的活动特点。距离测试(range testing)用于确定接收机在不同环境条件下对回波信号的检测能力。由于接收机对回波信号的检测范围因时因地而异,因此,距离测试对于确定有效的接收机阵列设计至关重要^[20]。只有当回波信号同时被 3 个或以上接收机检测时才能精确定位^[21]。本研究中,接收机距离测试结果为 150 m,但由于接收机数量较少(11 台),监测范围相对于礁区仍然较小,导致

本研究无法更加全面了解标记鱼在整个礁区的活动状态。

在样品鱼的选取上, 本研究选择了一些北部湾沿海常见的恋礁性鱼类, 为非本研究范围海域垂钓的野生鱼, 研究期间, 9 尾被标记鱼中的 3 尾在信号接收区域的可定位范围内活动, 6 尾鱼在信号接收区域边缘, 被标记的鱼有一定的时间(10~26 d)活动于礁区范围, 3 尾鱼游离礁区返回的现象表明鱼对礁区环境有一定的喜好; 一些鱼在跟踪一段时间后离开, 表明鱼虽然可以适应礁区的生存环境, 但没有将礁区作为定居地点。研究选用的样品鱼并不是礁区的原有个体, 一些研究表明在新地点放流的鱼在一段时间后会返回原定居点^[22], 如果选用礁区内原有个体作为样品鱼会取得更好的跟踪效果。有研究表明, 鱼类标记牌的重量不宜超过鱼体重的 2%, 在一些短期研究中也允许将标记牌的重量控制在鱼体重的 6% 以内^[23]。本研究采用体外标记方法, 标记牌的重量在水中的重量 3.5 g, 由此计算得出鱼的体重不宜低于 175 g。样品鱼被标记后, 经过观察, 鱼在被标记 2~3 h 以后, 活动平衡性和灵活性几乎不再受到影响。由于样品鱼较难寻找, 本研究选择进行分批投放。

本研究的测位计算采用三角定位方法, 与卫星定位的原理类似。接收机通过自身携带的同步标记进行时间同步, 保证了计算过程中提取同步信号的准确性。在计算标记鱼的测位结果的同时, 本研究也对参考标志的位置进行计算以确定测位结果的误差, 计算出参考标志的位置应该是较为固定的。结果显示, 参考标志有 10~20 m 的位置变化, 所以标记鱼的测位结果也存在相同的误差。本研究中, 测位计算误差主要是由于接收机漂移引起的, 本研究将接收机固定在锚绳上, 接收机会随着海流产生一定的位移, 影响测位计算结果, 但目前的计算精度已经完全能够满足本研究对标记鱼活动范围的描述。

3.2 鱼类活动特征

研究过程中, 鱼的活动深度变化表现出了一定的规律性, 考虑到种类和个体之间的差异, 本研究认为选用不同种类的样品鱼作为岩礁鱼类具

有较为相似的深度变化规律, 但黑鲷(1011#)表现出的规律与其他鱼皆存在差异, 目前并没有有力的证据表明黑鲷存在特殊的垂直活动规律, 并不排除研究中受其他因素影响存在特殊的个体行为特征。有研究表明, 一些岩礁鱼类在日间(6: 00~16: 00)的活动范围较夜间明显增加^[24], 也有研究表明鱼在夜间(19: 00~4: 00)距离人工鱼礁礁体的平均距离较日间更近, 更依赖于礁体进行活动^[25]; 本研究获取的结果表明, 鱼在一天的时间内并没有表现出垂直活动变化区间的明显改变, 但深度峰值出现在每天黎明时段(4: 00~7: 00), 谷值出现在黄昏时段(16: 00~19: 00)。

本研究考虑到需通过得到鱼距离海底的真实距离进而分析鱼在礁区活动的特点及规律, 礁区海域潮差较大且潮汐变化较为复杂, 高潮高与低潮高相差超过 4 m, 潮汐的存在会使结果产生较大偏差, 不能有效反映鱼在礁区的真实活动情况, 故在研究过程中记录每天的潮汐变化, 以零潮位为基准得出鱼距离海底的距离, 这样处理可以更好地反映鱼与礁体的垂直位置关系, 从而得出相应结论。本研究同时对鱼的垂直活动是否与潮汐变化规律存在关联进行了初步探讨, 结果表明, 潮汐的变化与鱼活动深度的变化显著相关, 研究所在海域存在潮汐日不等现象且每个朔望周期内高潮和低潮时间每天推迟约 1 h, 这会使鱼的活动深度规律存在一定的日较差。目前无法确定潮汐对鱼类活动影响的具体原因, 一方面因素是潮汐变化造成的外部环境变化影响, 如食物量的改变等^[26]。

3.3 应用前景

在一些研究中, 人工鱼礁的集鱼作用已经得到证明^[27-29], 水下摄影和潜水观测手段也在人工鱼礁投放效果的研究中得到应用^[30], 利用超声波标志遥测人工鱼礁区的鱼类活动的研究已经取得了一些进展^[31-32], 目前人工鱼礁区鱼类的调查方法主要有拖网法、围网法、刺网法、钓具法等传统方法以及声学探测等新方法^[33]。采用网具捕捞可以了解人工鱼礁区内的生物组成, 但这种方法并不能完全确定生物的种类且会对礁区环境和生物群落组成分布造成一定破坏; 声学评估需要充

分了解礁区生物的组成情况, EY60 等鱼探设备在距海底 0.5 m 范围内存在盲区而难以对底栖物种进行有效评估。综合以上因素认为, 了解礁区生物的活动规律十分重要, 在不同的时间进行礁区生物调查会获取不同的结果, 但目前的相关研究并没有明确提出调查的最佳时间^[34-36]。为了解人工鱼礁区部分鱼类的活动特点, 本研究选取的鱼均为礁区的 III 型鱼类, 为几乎不接触固形物, 但需要固型物在身体近旁的鱼类^[37], 结果表明这些鱼具有活动范围较小且在 15:00~22:00 时间段活动深度较浅的一般规律, 这个时间段鱼近离礁体和水底, 避开声学仪器的探测盲区, 以作为该类型鱼类在该海域的最佳探测时间, 在其他海域不同环境下结果会存在差异。

现阶段的研究面向范围较小, 仅对鱼的活动范围和垂直活动规律作出初步探讨。如果需要更全面地了解鱼在人工鱼礁区的活动状态, 需扩大监测范围, 在非礁区范围也设置更多接收机, 即可将样品鱼在非礁区范围放流, 以便观察鱼的活动和栖息地点的选择, 同时增加样本数量证明研究结果的普适性。充分了解人工鱼礁区生物的活动情况, 需将研究对象扩展至底栖鱼类、头足类等物种, 并进行季节性的研究, 建立科学完善的研究体系, 为礁区调查规划及制定人工鱼礁投放策略提供参考。此外, 在对鱼类活动有一定了解的基础上, 该方法可以在寻找放流鱼类的产卵场等研究中加以应用。但在目前看来, 超声波标志遥测研究的相对成本过高是其无法大规模应用的主要原因。

致谢: 感谢武汉大学卫星导航定位技术研究中心邹璇老师提供的测位计算方法和理论指导。

参考文献:

- [1] Trefethen P S. Sonic Equipment for Tracking Individual Fish[M]. Washington DC: US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, 1956: 11.
- [2] Espinoza M, Farrugia T J, Webber D M, et al. Testing a new acoustic telemetry technique to quantify long-term, fine-scale movements of aquatic animals[J]. Fisheries Research, 2011, 108(2): 364-371.
- [3] Acolas M L, Anras M L B, Véron V, et al. An assessment of the upstream migration and reproductive behaviour of allis shad (*Alosa alosa* L.) using acoustic tracking[J]. ICES Journal of Marine Science, 2004, 61(8): 1291-1304.
- [4] Taylor M D, Fairfax A V, Suthers I M. The race for space: Using acoustic telemetry to understand density-dependent emigration and habitat selection in a released predatory fish[J]. Reviews in Fisheries Science, 2013, 21(3-4): 276-285.
- [5] Bacheler N M, Paramore L M, Burdick S M, et al. Variation in movement patterns of red drum (*Sciaenops ocellatus*) inferred from conventional tagging and ultrasonic telemetry[J]. Fishery Bulletin, 2009, 107(4): 405-419.
- [6] Morriscorey J, Greenjohn M, Snelgrovepaul V R, et al. Temporal and spatial migration of Atlantic cod (*Gadus morhua*) inside and outside a marine protected area and evidence for the role of prior experience in homing[J]. Journal Canadien Des Sciences et Aquatiques, 2014, 71(11): 1704-1712.
- [7] Kramer D L, Chapman M R. Implications of fish home range size and relocation for marine reserve function[J]. Environmental Biology of Fishes, 1999, 55(1-2): 65-79.
- [8] Escalle L, Speed C W, Meekan M G. Restricted movements and mangrove dependency of the nervous shark *Carcharhinus cautus* in nearshore coastal waters[J]. Journal of Fish Biology, 2015, 87(2): 323-341.
- [9] Zhou Y B, Cai W G, Chen H G, et al. The mechanism and research progress on fish attraction technique for artificial reefs[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(2): 225-230. [周艳波, 蔡文贵, 陈海刚, 等. 人工鱼礁生态诱集技术的机理及研究进展[J]. 海洋渔业, 2010, 32(2): 225-230.]
- [10] He D R, Ding Y. Gathering effect of artificial reef model on garrupa (*Epinephelus akaara*)[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1995, 14(4): 394-398. [何大仁, 丁云. 鱼礁模型对赤点石斑鱼的诱集效果[J]. 台湾海峡, 1995, 14(4): 394-398.]
- [11] Zhang S, Sun M C, Chen Y. The attractive effects of different structural artificial reef models on juvenile Schlegel's rockfish *Sebastes schlegeli* and fat greenling *Hexagrammos otakii*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2008, 23(1): 13-19. [张硕, 孙满昌, 陈勇. 人工鱼礁模型对大泷六线鱼和许氏平鲉幼鱼个体的诱集效果[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(1): 13-19.]
- [12] He D R, Shi Y M. Attractive effect of artificial reef model on Black Porgy (*Sparus macrocephalus*)[J]. Journal of Xianmen University (Natural Science), 1995(4): 653-658. [何大仁, 施养明. 鱼礁模型对黑鲷的诱集效果[J]. 厦门大学学报(自然版), 1995(4): 653-658.]
- [13] Li N N, Chen G B, Yu J, et al. Assessment of biomass in

- artificial reef area of Yangmeikeng in Daya Bay using acoustic method[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(11): 1640-1649. [李娜娜, 陈国宝, 于杰, 等. 大亚湾杨梅坑人工鱼礁水域生物资源量声学评估[J]. 水产学报, 2011, 35(11): 1640-1649.]
- [14] Yuan H R, Chen P M, Li X G. Preliminary evaluation on fish-aggregation effects of Jiangmen3 artificial reef in Jiangmen coast[J]. Guangdong Agricultural Science, 2011, 38(6): 129-133. [袁华荣, 陈丕茂, 黎小国. 江门三号人工鱼礁集鱼效果初步评价[J]. 广东农业科学, 2011, 38(6): 129-133.]
- [15] Heupel M R, Semmens J M, Hobday A J. Automated acoustic tracking of aquatic animals: scales, design, and deployment of listening station arrays[J]. Marine and Freshwater Research, 2006, 57(1): 1-13.
- [16] Clements S, Jepsen D, Karnowski M, et al. Optimization of an automated telemetry array for detecting transmitter-implanted fish[J]. North American Journal of Fisheries Management, 2005, 25(2): 429-436.
- [17] Worton B J. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies[J]. Ecology, 1989, 70(1): 164-168.
- [18] Anderson D J. The home range: A new nonparametric estimation technique[J]. Ecology, 1982, 63(1): 103-112.
- [19] Collins A B, Heupel M R, Motta P J. Residence and movement patterns of cownose rays *Rhinoptera bonasus* within a south-west Florida estuary[J]. Journal of Fish Biology, 2007, 71(4): 1159-1178.
- [20] Bolden S K. Using Ultrasonic Telemetry to Determine Home Range of a Coral-Reef Fish[M]//Electronic Tagging and Tracking in Marine Fisheries. Netherlands: Springer, 2001: 167-188.
- [21] Rodney D B. Characterizing daily movements, nomadic movements, and reproductive migrations of *Panulirus argus* around the Western Sambo Ecological Reserve (Florida, USA) using acoustic telemetry[J]. Fisheries Research, 2013, 144: 91-102.
- [22] Mitamura H, Uchida K, Miyamoto Y, et al. Short-range homing in a site-specific fish: search and directed movements[J]. Journal of Experimental Biology, 2012, 215(16): 2751-2759.
- [23] Baras E, Lagardere J P. Fish telemetry in aquaculture: Review and perspectives[J]. Aquaculture International, 1995, 3(2): 77-102.
- [24] Williams L J, Szedlmayer S T. Depth preferences and three-dimensional movements of red snapper, *Lutjanus campechanus*, on an artificial reef in the northern Gulf of Mexico[J]. Fisheries Research, 2017, 190: 61-70.
- [25] Topping D T, Szedlmayer S T. Home range and movement patterns of red snapper (*Lutjanus campechanus*) on artificial reefs[J]. Fisheries Research, 2011, 112(1-2): 77-84.
- [26] Zagars M, Kou I, Mitamura H, et al. Migration patterns of juvenile *Lutjanus argentimaculatus* in a mangrove estuary in Trang province, Thailand, as revealed by ultrasonic telemetry[J]. Environmental Biology of Fishes, 2012, 94(2): 377-388.
- [27] Sreekanth G B, Lekshmi N M, Singh N P. Can artificial reefs really enhance the inshore fishery resources along Indian coast? A critical review[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 2017, 1: 1-13.
- [28] Fang L C, Chen P M, Chen G B, et al. Preliminary evaluation on resources enhancement of artificial reef in the east corner of Zhelang Shanwei[J]. Asian Agricultural Research, 2013, 5(9): 111-115.
- [29] Dong T W, Huang L Y, Tang Y L, et al. Preliminary evaluation of artificial reef around RizhaoQiansan island on fishery resources[J]. Periodical of Ocean University of China, 2015, 45(8): 38-45. [董天威, 黄六一, 唐衍力, 等. 日照前三岛人工鱼礁对渔业资源影响的初步评价[J]. 中国海洋大学学报, 2015, 45(8): 38-45.]
- [30] Zheng H Y. Discussion on the function of the artificial reef in the setting of fishing gear[J]. Journal of Kaohsiung Marine University, 2013, 27: 27-45. [郑火元. 落网类定置渔具人工栖所鱼礁功能之探讨[J]. 高雄海洋科技大学学报, 2013, 27: 27-45.]
- [31] Özgül A, Lök A, Ulaş A, et al. Preliminary study on the use of the Vemco Positioning System to determine fish movements in artificial reef areas: a case study on *Sciaena umbra* Linnaeus, 1758[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2015, 31(Suppl 3): 41-47.
- [32] Lino P G, Bentes L, Oliveira M T, et al. The African hind's (*Cephalopholis taeniops*, Serranidae) use of artificial reefs off sal island (Cape Verde): a preliminary study based on acoustic telemetry[J]. Brazilian Journal of Oceanography, 2011, 59: 69-76.
- [33] 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.]
- [34] Zhao J, Zhang S Y, Wang Z H, et al. Analysis on community structure and diversity of fish and macroinvertebrate in Shengsi artificial reef area[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(5): 1045-1056. [赵静, 张守宇, 汪振华, 等.]

- 嵎泗人工鱼礁海域鱼类和大型无脊椎动物群落结构特征[J]. 中国水产科学, 2010, 17(5): 1045-1056.]
- [35] Kim H Y, Hwang B K, Lee Y W, et al. Hydro-acoustic survey on fish distribution and aggregated fish at artificial reefs in marine ranching area[J]. Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology, 2011, 47(2): 139-145.
- [36] Yuan X W, Jiang Y Z, Lin N, et al. Using bioacoustics and conventional netting methods to assess the initial effectiveness of a newly deployed artificial reef on fish assemblages in Xiangshan Bay near Ningbo, Zhejiang Province, China[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2013, 29(6): 1430-1435.
- [37] Chen Y, Yu C Q, Zhang G S, et al. The environmental function and fish gather effect of artificial reefs[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2002, 17(1): 64-69. [陈勇, 于长清, 张国胜, 等. 人工鱼礁的环境功能与集鱼效果[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(1): 64-69.]

Exploration of 5 species of rock fishes in the Fangchenggang artificial reef area using ultrasonic biotelemetry

WANG Zhichao^{1,2}, CHEN Guobao¹, ZENG Lei¹, LI Bin¹, JIA Xiaoping¹

1. Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environment; Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;
2. South China Sea Standards and Metrology Center, State Oceanic Administration, Guangzhou 510700, China

Abstract: To understand the attractive effect of artificial reefs, the activity traits of fishes, and the feasibility of ultrasonic telemetry for fish research in artificial reef areas, 5 species of 9 common rock fishes ($22.0\text{ cm}\pm 3.5\text{ cm}$; $314\text{ g}\pm 186\text{ g}$) in the Beibu Gulf were tagged and tracked within an artificial reef area between July 7 and September 8, 2017, using the Vemco position system(VPS). Eleven receivers (VR2Tx, Vemco, 69 kHz) were launched in the artificial reef area of Fangchenggang inshore and the transmitters (V9P-2x, Vemco, 69 kHz) were tied to the backs of fishes. Not all fishes had good position results, and only 3 fishes had data available for analysis of home range size using 95% minimum convex polygons (MCPs). Home ranges were between 12687.6 m^2 and 17123.2 m^2 , and the MCPs showed the activity of fishes in the small ranges. The other 6 fishes had poor position results (between 0 and 14 locations), and although the signal could not be received by 3 or more receivers, the data still indicated that the fishes were moving near the reef area because the range of signal reception was only approximately 200 m in the artificial reef area. Three fishes with poor position results left the area during this study between 28 to 51 days and then returned. This indicated that the fishes preferred the environment of the artificial reef area. During the study, the activity of fishes showed certain depth change rules. The fish activity in the shallower layer was between 15:00–22:00, and fish activity occurred above the reefs during this time, and perhaps it is the optimum time frame to determine the quantity of resources of these fish species in this area. To ensure the accuracy of the results, we eliminated the effect of tide before the calculation of depth results.

The method of ultrasonic biotelemetry has an intuitive feeling for fish activity, but the method is in an experimental stage in China. The high cost is one reason why it cannot be widely promoted; furthermore, in the current experiment it was difficult to achieve the desired effects. We hope to analyze effectiveness for fish attraction and daily activities of fishes to provide a reference for subsequent research, and accumulate experience for subsequent application of this method.

Key words: fish activity; ultrasonic biotelemetry; artificial reef

Corresponding author: CHEN Guobao. E-mail: chenguobao@scsfri.ac.cn