

DOI: 10.12264/JFSC2023-0236

黄鳍棘鲷幼鱼对不同开孔形状和直径的人工鱼礁模型的行为响应

江满菊^{1,2}, 郭禹^{1,3}, 秦传新^{1,3}, 潘莞倪¹, 于刚^{1,3}, 马振华^{1,3}

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 国家农业科学渔业资源环境观测实验站, 农业农村部海洋牧场重点实验室, 广东 广州 510300;
2. 大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁 大连 116023;
3. 三亚热带水产研究院, 海南省深远海渔业资源高效利用与加工重点实验室, 海南 三亚 572018

摘要: 为了分析岩礁性鱼类在不同开孔形状及不同开孔大小下的趋礁行为及空间分布, 以黄鳍棘鲷(*Acanthopagrus latus*)幼鱼为研究对象, 观察了不同开孔形状(菱形、圆形、正方形)、不同开孔大小(2.5、5、7.5、10 cm)人工鱼礁对鱼类的行为影响, 并通过行为分析软件 LoliTrack Version 5 对黄鳍棘鲷幼鱼的平均速度、平均加速度、平均转弯速度、活动时间百分比以及平均分布坐标位置进行分析。结果表明, 在放入人工鱼礁后黄鳍棘鲷幼鱼在礁区的平均分布率有明显上升, 幼鱼在菱形开孔实验组人工鱼礁区的平均分布率最高, 为(27.32±4.93)%, 其次为正方形和圆形开孔实验组, 分别为(25.48±3.41)%和(19.83±5.59)%。另外开孔大小为 7.50 cm 的实验组中, 黄鳍棘鲷幼鱼在 VI 区的平均分布率最高, 为(29.18±4.75)%; 开孔大小为 2.50 cm 和 5.00 cm 的实验组中在 VI 区的平均分布率次之, 分别为(23.45±3.86)%及(23.04±5.51)%; 开孔大小为 10.00 cm 的实验组最低, 为(21.17±5.14)%。在运动能力方面, 黄鳍棘鲷幼鱼的平均速度、平均加速度和活动时间百分比在人工鱼礁模型实验组和空白对照组中均具有极显著性差异, 平均速度从空白对照组的(1.12±0.34) m/s 提高到(1.53±0.64) m/s; 平均加速度从对照组的(29.54±9.51) m/s²增加到(40.47±17.53) m/s²; 活动时间百分比从空白对照组的(77.13±12.66)%增加到(83.36±12.40)%。黄鳍棘鲷幼鱼的平均速度、平均加速度、平均转弯速度以及活动时间百分比在不同的礁体模型处理组之间均具有显著性差异。在开孔形状为菱形, 开孔大小为 7.5 cm 的礁体模型下, 平均速度、平均加速度以及活动时间百分比最低, 分别为(0.81±0.31) m/s、(20.85±8.38) m/s²和(67.44±17.45)%, 活跃程度最低, 而平均转弯速度最高, 为(56.79±22.80) deg/s; 在平均分布坐标位置方面没有显著性差异。研究表明, 加入人工鱼礁模型后, 黄鳍棘鲷幼鱼在开孔形状为菱形, 开孔大小为 7.50 cm 的礁体模型下, 黄鳍棘鲷幼鱼在模型区的平均分布率最大以及活跃程度最低, 该人工鱼礁礁体模型对黄鳍棘鲷幼鱼的诱集效果最好。本研究初步探究了黄鳍棘鲷幼鱼对不同类型鱼礁的趋礁行为变化, 研究结果可为针对特定物种的增殖型人工鱼礁的选型、设计等提供理论基础和参考。

关键词: 人工鱼礁; 趋礁行为; 黄鳍棘鲷; 行为响应

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2023)12–1496–11

由于生态环境污染等因素的影响, 天然水域中的鱼类栖息生境遭受破坏, 导致渔业捕捞量与资源的自然再生能力失去平衡^[1], 对水域生态结构和社会经济产生了严重的负面影响。为了保护

和可持续利用渔业资源, 海洋牧场成为现代生态渔业的重要组成部分, 采取人工鱼礁、增殖放流和海藻场修复等措施, 已成为沿海渔业国家的战略选择^[2]。

收稿日期: 2023-09-21; **修订日期:** 2023-10-22.

基金项目: 海南省自然科学基金创新研究团队项目(321CXTD446); 海南省自然科学基金青年基金项目(321QN0943); 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2020TS03); 防城港市重点研发计划项目(防科 AB21014021); 防城港市科学研究与技术开发计划项目(防科 AB21014015).

作者简介: 江满菊(1997–), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类行为学. E-mail: 1356337746@qq.com

通信作者: 秦传新, 研究员, 研究方向为渔业资源调查与可持续利用. E-mail: qincx@scsfri.ac.cn

人工鱼礁是在海域中设置的人工构造物, 利用鱼类等海洋生物的趋触性、趋流性和趋光性等趋性, 为聚集鱼类和其他海洋生物而创建的基础生态工程^[3-4]。岩礁性鱼类的趋礁行为是它们栖息于鱼礁缝隙中的本能行为, 通过皮肤和侧线与鱼礁进行接触^[5]。已有研究表明, 人工鱼礁可以吸引多种鱼类的趋礁行为, 如许氏平鲉(*Sebastes schlegeli*)、大泷六线(*Hexagrammos otakii*)、紫红笛鲷(*Lutjanus argentimaculatus*)、黑鲷(*Sparus macrocephalus*)、褐菖鲉(*Sebastiscus marmoratus*)和花尾胡椒鲷(*Plectorhynchus cinctus*)等^[6-10]。作为海洋牧场建设的重要组成部分, 人工鱼礁不仅为水生生物提供固定的栖息场所, 还可以改变捕捞作业方式, 保护鱼类并修复海洋底质环境^[11]。增殖放流是增加海洋生物资源量的首选方式, 然而放流鱼类的成活率较低, 无法适应野外生存, 这是制约放流成功率的一个关键问题^[12]。为了提高增殖放流鱼类在野外的存活率, 行为驯化技术被广泛应用于趋礁性增殖放流鱼类, 且已取得了一定的成效^[13-15]。黄鳍棘鲷(*Acanthopagrus latus*)作为我国重要的趋礁性增殖放流物种, 面临着种群资源量较低的挑战, 这主要是由于过度捕捞和生态破坏等因素导致的。在自然海域中放流的黄鳍棘鲷往往难以适应复杂多变的自然环境, 这限制了增殖放流的效果, 进一步加大了资源保护和恢复的压力^[16]。目前的研究主要聚焦于黄鳍棘鲷的生物学特性、人工繁育养殖技术、资源评估、免疫和食性等领域^[17-21], 而关于人工鱼礁在黄鳍棘鲷增殖放流中的诱集作用的研究相对较少。深入研究人工鱼礁在增殖放流过程中的作用对于优化增殖效果、提高资源的可持续利用以及保护黄鳍棘鲷自然种群具有重要意义, 进一步的研究可以探讨人工鱼礁对黄鳍棘鲷的栖息、繁殖和食物资源的吸引力, 从而为制定有效的增殖放流策略和管理措施提供科学依据。因此, 如何选择适宜的鱼礁模型, 提高黄鳍棘鲷增殖放流后的存活率, 是亟待解决的问题。本研究通过室内行为观察实验, 比较不同类型和开孔形状的人工鱼礁模型对黄鳍棘鲷幼鱼的诱集效果, 并初步探究黄鳍棘鲷幼鱼对不同类型鱼礁的趋礁行为变化, 旨在通过

行为驯化手段提高增殖放流鱼类的存活率, 并为人工鱼礁的选型和设计提供理论基础和参考意见。

1 材料和方法

1.1 实验动物

本研究使用中国水产科学研究院南海水产研究所热带水产研究中心提供的黄鳍棘鲷幼鱼作为实验对象。幼鱼的全长为 (13.58 ± 1.19) cm, 体长为 (11.60 ± 1.30) cm, 体高为 (5.01 ± 0.5) cm, 体重为 (42.49 ± 11.79) g, 共计 100 条。实验地点位于海南省陵水黎族自治县的中国水产科学研究院南海水产研究所热带水产研究中心, 并于 2020 年 10—12 月进行实验, 共 39 d。

1.2 实验人工鱼礁结构

本次实验采用的人工鱼礁模型为箱体礁, 由 5 块相同的亚克力板拼接而成。根据南海海洋牧场常用的人工鱼礁比例, 按照 1:10 的等比例制作^[6], 其规格为 30 cm×30 cm×30 cm (长×宽×高), 每块板的厚度为 0.5 cm。人工鱼礁模型的开孔形状包括菱形、圆形和正方形。根据实验鱼的体高数据 (约 5.0 cm), 将开孔大小设置为体高的 0.5 倍、1.0 倍、1.5 倍和 2 倍, 即分别为 2.5 cm、5.0 cm、7.5 cm 和 10.0 cm。共计制备 12 种不同类型的人工鱼礁模型。人工鱼礁模型的示意图如图 1 所示。

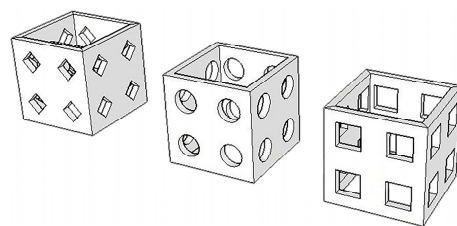


图 1 栖息地丰容人工鱼礁模型示意图

Fig. 1 Schematic diagram of artificial reef of habitat enrichment

1.3 实验养殖条件

实验鱼在蓝色背景养殖池中进行养殖, 养殖池规格为 200 cm×120 cm×80 cm (长×宽×高), 所使用的海水为流动砂滤海水, 水温维持在 (30.4 ± 0.3) °C, 溶氧浓度为 (7.790 ± 0.1) mg/L, 盐度为 33.0, pH 为 8.17 ± 0.04 , 光照强度范围为 0~1117.12 lx。在实验期间, 持续 24 h 充氧, 确保溶氧维持在

6 mg/L 以上, 并保持 24 h 通气, 仅在吸底前停气 0.5 h。在实验开始的前 24 h 停止投饵。光照强度

和温度在人工鱼礁模型的外部 and 内部发生变化, 具体情况见图 2。

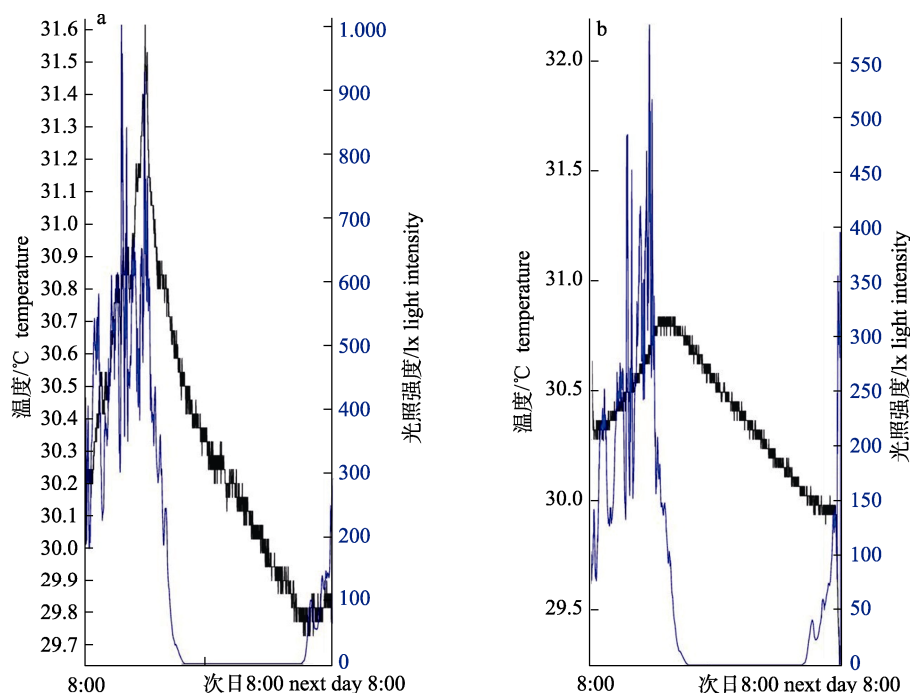


图 2 人工鱼礁模型礁体内外光照强度和温度变化

a. 礁体外部; b. 礁体内部。

Fig. 2 The change of the light intensity and temperature inside and outside the artificial reef models.

a. Outside the artificial reef model; b. Inside the artificial reef model.

1.4 实验水槽划分

本次实验使用的实验水槽为 260 cm×230 cm×95 cm 的蓝色背景方形水槽, 水深 50 cm。在实验开始前, 随机选取了 30 条体表无损伤且活力良好的黄鳍棘鲷幼鱼, 对它们的全长、体长、体高和体重进行了测量。为了进行定量观察, 在水槽底部使用记号笔标记了刻度, 并根据张宗航等^[12]的方法将水槽划分为不同的区域, 每个区域的面积相等, 约为 0.9967 m²。使用二维坐标对实验鱼个体在水槽中的位置进行了量化, 并将人工鱼礁模型所在区域的中心点坐标设为(1.3, 1.15)。水槽划分方法如图 3 所示。

1.5 实验观察方法

1.5.1 不同开孔形状人工鱼礁模型对黄鳍棘鲷幼鱼趋礁行为的影响 在实验水槽的正上方安置一台深圳捷视联实业有限公司蓝天威视公司网络摄像头 1080P (LT0095)。鱼礁模型的放置位置和水槽底部处理如图 3 所示。

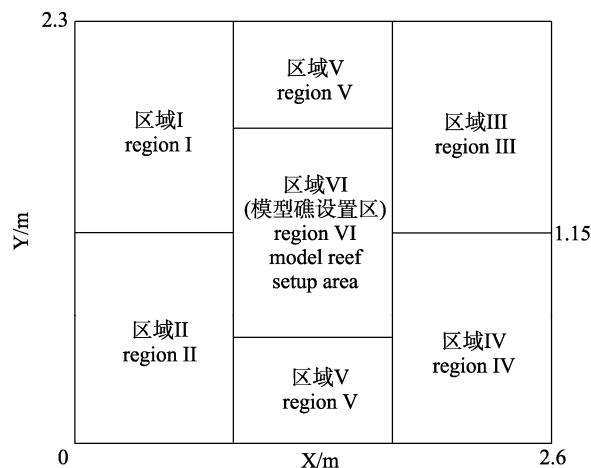


图 3 水槽底部处理示意图

X、Y 代表 X、Y 坐标

Fig. 3 Schematic diagram of treatment at the bottom of the sink
X, Y indicate X and Y coordinates.

设立空白对照组和实验组: 空白对照组不放置任何鱼礁模型; 实验组在指定的人工鱼礁模型区域放置一个人工鱼礁模型, 各实验组的鱼礁模型开孔大小相同。

每次实验从养殖池中随机捞出 10 尾体表无损伤且活力良好的个体。在实验开始前, 将实验鱼放入水槽中适应 30 min, 后将模型礁体放入指定位置, 并开始进行摄像记录。由于实验采用自然光照, 摄像记录受光照影响, 夜间无法录影, 高清摄像机的记录时间为 8:00~18:00, 拍摄时长为 10 h。每隔 30 min, 使用监控设备中的录像截图一次, 记录白天试验鱼的分布情况。为了对黄鳍棘鲷幼鱼的行为指标进行分析, 使用丹麦 Loligo 系统公司(Loligo® Systems)的行为分析软件 Lolitrack Version 5 进行行为学分析, 每隔 30 min 截取 1 min 的视频数据进行分析, 选择其中 3 尾个体进行追踪, 对受试鱼的游泳轨迹(分布位置)、游泳速度、活跃时间等进行分析。

各实验组进行 3 次重复实验。实验期间不进行投饵, 关闭流动海水系统, 白天停止供应氧气, 夜间恢复供应氧气。为确保研究结果的准确性, 设置围栏并尽量减少人员走动和干扰。

1.5.2 不同开孔大小人工鱼礁模型对黄鳍棘鲷幼鱼趋礁行为的影响 针对不同人工鱼礁模型开孔大小对黄鳍棘鲷幼鱼趋礁行为的影响, 采用的实验方法与观察不同人工鱼礁模型开孔形状对黄鳍棘鲷幼鱼趋礁行为的方法相同。但是在各实验组中, 使用的人工鱼礁模型为不同开孔大小的模型礁之一, 并且各实验组的开孔形状保持一致。同样, 每个实验组进行 3 次重复实验。

1.6 数据处理

本次实验中, 采用实验鱼在各区域的平均分布率来定量衡量黄鳍棘鲷幼鱼的趋礁行为^[12]; 用平均速度来定量衡量实验鱼在一段时间内所移动的平均距离; 用平均加速度来定量衡量实验鱼在某段时间内速度的平均变化率; 用平均转弯速度来表示实验鱼在运动过程中的平均转向速度; 用活动百分比来表示实验鱼活动时间占总时间的百分比。实验鱼的平均分布率计算公式如下所示:

(1) 各区域实验鱼的分布率

$$= \frac{\text{该区实验鱼个体数}}{\text{总个体数}} \times 100\%$$

(2) 礁区实验鱼的平均分布率 = $\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m n_i \times 100\%$

其中, n_i 表示第 i 次观察中黄鳍棘鲷在某区域的分布数量, m 表示观察次数, n 表示实验中黄鳍棘鲷的总数。

同时, 采用丹麦 Loligo 系统公司(Loligo® Systems)的行为分析软件 Lolitrack Version 5 对受试鱼的游泳轨迹(平均分布位置)、游泳速度、活动时间百分比等进行分析。

人工鱼礁模型的模式图和区域划分图使用 3DMAX 2012 和 AutoCAD 2014 软件进行绘制, 数据统计图使用 OriginPro 2019b 软件进行绘制。实验数据采用 SPSS 23.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA), 显著性水平 P 设为 0.05, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。所有数据以平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm SD$)表示。

2 结果与分析

2.1 黄鳍棘鲷幼鱼对人工鱼礁的行为响应

在实验过程中, 未观察到实验鱼对人工鱼礁模型的明显排斥反应。通过观察发现, 对照组黄鳍棘鲷幼鱼放入实验池后迅速分散并游向水槽底部, 经过一段时间适应后, 它们在实验水槽中出现频繁活动, 主要集中在水槽的侧壁和 4 个角落, 并表现出明显的群体游动行为。加入人工鱼礁模型后, 黄鳍棘鲷幼鱼起初受惊并远离鱼礁模型, 聚集在水槽边缘, 适应后, 勇敢的个体开始试探鱼礁模型, 并尝试钻入孔隙停留, 随后, 越来越多的幼鱼试图进入鱼礁模型, 在 VI 区聚集, 但停留时间较短。当鱼礁模型的开孔大小大于幼鱼体高时, 即开孔大小为其体高 1.5 倍和 2.0 倍时, 幼鱼直接钻入孔隙的次数较多。当孔径远小于身高时, 幼鱼仍试图钻入孔隙, 但因无法进入而聚集在鱼礁模型附近。当模型的开孔大小约等于体高时, 较大的幼鱼会调整身体方向和进入孔隙的角度, 尝试侧身进入孔隙中。一旦有一定数量的幼鱼进入鱼礁模型, 其他幼鱼试图进入已满的模型时会被驱逐, 已进入模型的幼鱼会对外来个体进行攻击和驱赶, 表现出领域行为。黄鳍棘鲷幼鱼在不同处理组中的分布情况见图 4。

2.2 不同人工鱼礁对黄鳍棘鲷幼鱼区域分布及趋礁行为的影响

根据实验结果, 观察到黄鳍棘鲷幼鱼在不同

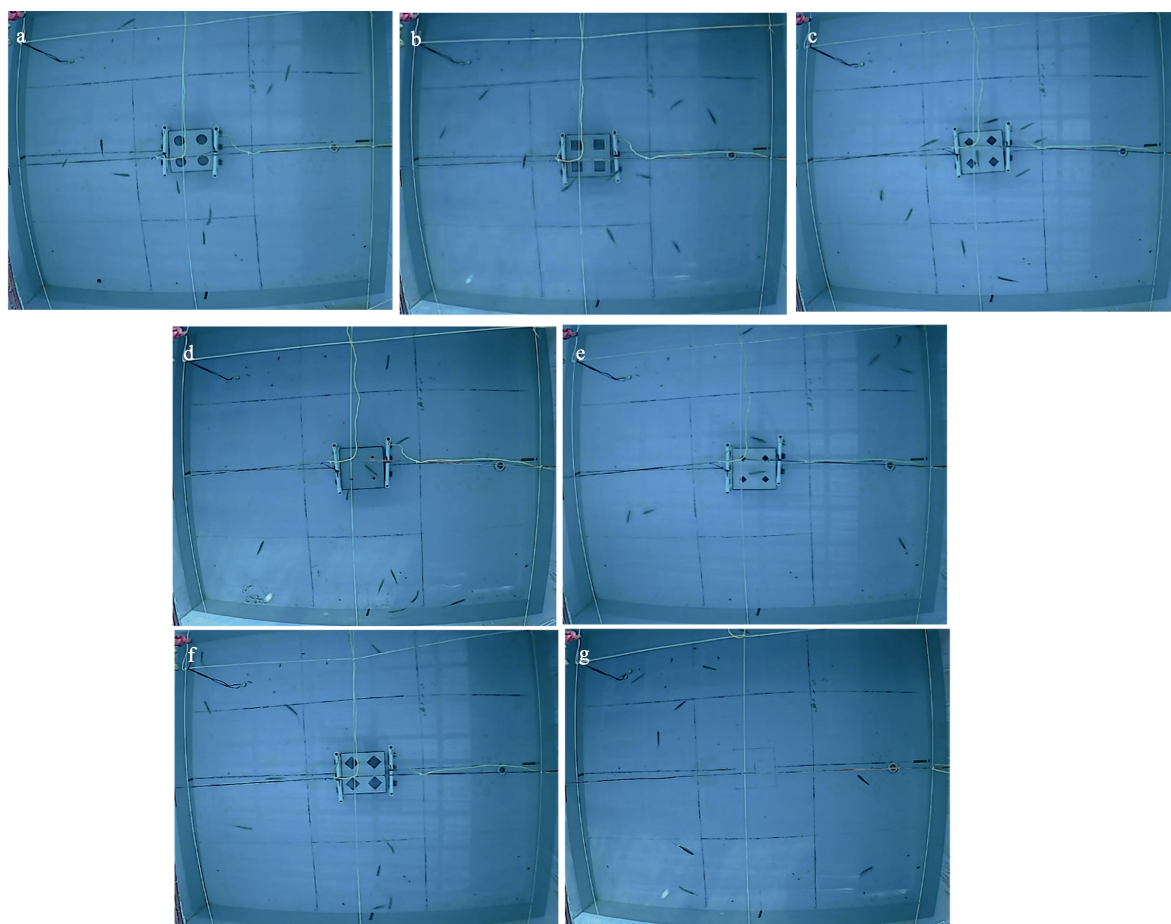


图 4 不同处理组中黄鳍棘鲷幼鱼分布情况

a. 圆形 7.5 cm 处理组; b. 正方形 7.5 cm 处理组; c. 菱形 7.5 cm 处理组; d. 菱形 2.5 cm 处理组;
e. 菱形 5.0 cm 处理组; f. 菱形 10.0 cm 处理组; g. 空白处理组.

Fig. 4 The pictures of distribution of yellowfin spiny seabream (*Acanthopagrus latus*) in different treatments
a. circle 7.5 cm; b. square 7.5 cm; c. diamond 7.5 cm; d. diamond 2.5 cm; e. diamond 5.0 cm; f. diamond 10.0 cm; g. control.

人工鱼礁模型条件下在实验水槽的各个区域表现出不同的平均分布率,具体数据见表 1,在模型礁区和非模型礁区的平均分布率见图 5。

放入人工鱼礁模型后,黄鳍棘鲷幼鱼在 VI 区的平均分布率显著增加($P<0.05$),增至 $(24.21\pm 5.71)\%$ 。不同开孔形状的处理组之间,黄鳍棘鲷幼鱼在 VI 区的平均分布率有极显著差异($P<0.001$)。菱形开孔实验组与圆形开孔实验组和空白对照组相比,差异显著($P<0.05$),菱形开孔实验组在 VI 区的平均分布率最高,为 $(27.32\pm 4.93)\%$ 。不同开孔大小的处理组之间,黄鳍棘鲷幼鱼在 VI 区的平均分布率也有极显著差异($P<0.001$)。在开孔大小为 7.50 cm 的实验组中,黄鳍棘鲷幼鱼在 VI 区的平均分布率最高,为 $(29.18\pm 4.75)\%$,在开孔大小

为 10.00 cm 的实验组中最低,为 $(21.17\pm 5.14)\%$ 。加入人工鱼礁模型后,黄鳍棘鲷幼鱼在 VI 区的平均分布率显著增加,菱形开孔形状和开孔大小为 7.50 cm 的人工鱼礁模型对黄鳍棘鲷幼鱼的吸引效果最佳。

2.3 不同人工鱼礁对黄鳍棘鲷幼鱼运动能力的影响

本次实验使用行为分析软件 LoliTrack Version 5 获取了黄鳍棘鲷幼鱼的运动数据,具体结果如表 2 所示。

在所有的处理组中,实验组 circle 10 cm 中的黄鳍棘鲷幼鱼的平均速度和平均加速度最大,分别为 (2.18 ± 0.55) m/s 和 (58.10 ± 15.50) m/s²,而在实验组 diamond 7.5 cm 中,黄鳍棘鲷幼鱼的平均速

表 1 黄鳍棘鲷于不同人工鱼礁模型条件下在实验水槽各区的平均分布率
Tab. 1 Average distribution rate of yellowfin spiny seabream (*Acanthopagrus latus*) within different artificial reef model conditions

礁体类型 reef type	分布区域 region of distribution						P
	I	II	III	IV	V	VI	
对照组 control	20.35±3.58 ^a	19.12±2.21 ^{ab}	14.04±1.24 ^c	15.26±0.86 ^{bc}	14.56±1.31 ^{bc}	15.44±1.63 ^{bc}	0.039
圆形 2.5 circle 2.5	15.26±2.69	16.67±0.25	15.79±2.82	17.72±2.03	13.33±1.31	19.82±3.47	0.191
圆形 5.0 circle 5.0	19.48±4.84	10.53±1.55	17.02±3.45	16.49±2.80	18.77±2.03	17.55±4.22	0.185
圆形 7.5 circle 7.5	16.14±2.37 ^b	16.31±5.39 ^b	14.56±3.47 ^b	10.00±0.43 ^b	15.44±3.02 ^b	25.79±3.74 ^a	0.014
圆形 10.0 circle 10.0	18.07±5.53	20.35±2.52	15.26±3.10	12.99±2.44	17.02±0.25	16.14±5.16	0.482
正方形 2.5 square 2.5	16.84±1.97 ^b	13.68±4.10 ^b	15.61±3.60 ^b	11.93±3.85 ^b	16.31±1.97 ^b	24.74±1.87 ^a	0.020
正方形 5.0 square 5.0	12.63±0.86 ^{BC}	17.37±1.48 ^B	10.00±3.00 ^C	13.33±4.13 ^{BC}	17.19±4.17 ^B	27.89±2.27 ^A	0.001
正方形 7.5 square 7.5	13.33±3.86 ^C	19.47±3.01 ^B	11.58±1.29 ^C	11.58±1.97 ^C	15.97±2.16 ^{BC}	27.37±2.82 ^A	0.00
正方形 10.0 square 10.0	17.54±2.86	17.55±2.37	11.58±3.87	15.97±3.02	14.56±2.92	21.93±2.73	0.076
菱形 2.5 dimond 2.5	13.86±3.28 ^b	18.60±1.31 ^{ab}	10.88±4.33 ^b	13.86±2.92 ^b	15.96±4.33 ^b	25.79±2.97 ^a	0.012
菱形 5.0 dimond 5.0	16.31±1.97 ^{bc}	19.30±3.47 ^{ab}	11.23±3.02 ^c	12.81±2.16 ^{bc}	15.96±2.44 ^{bc}	23.68±3.75 ^a	0.011
菱形 7.5 dimond 7.5	16.67±5.46 ^B	14.04±1.74 ^{BC}	9.82±2.37 ^C	8.77±2.03 ^C	14.39±2.03 ^{BC}	34.39±1.98 ^A	0.00
菱形 10.0 dimond 10.0	14.21±1.55 ^B	16.31±2.27 ^B	12.63±1.87 ^B	12.81±2.20 ^B	17.02±3.11 ^B	25.44±1.08 ^A	0.001

注: 数值后方不同小写字母和大写字母表示在同一个处理组中实验鱼在不同区域的平均分布率差异显著($P<0.05$)和差异极显著($P<0.01$)。在礁体类型中, 数值代表不同开孔大小, 分别对应为 2.5 cm、5.0 cm、7.5 cm 和 10.0 cm。
Note: Different lowercase and uppercase letters following the values indicate significant ($P<0.05$) and highly significant ($P<0.01$) differences in the mean distribution rates of experimental fish in different areas within the same treatment group. In the reef types, numerical values represent the size of the openings, corresponding to 2.5 cm, 5.0 cm, 7.5 cm, and 10.0 cm, respectively.

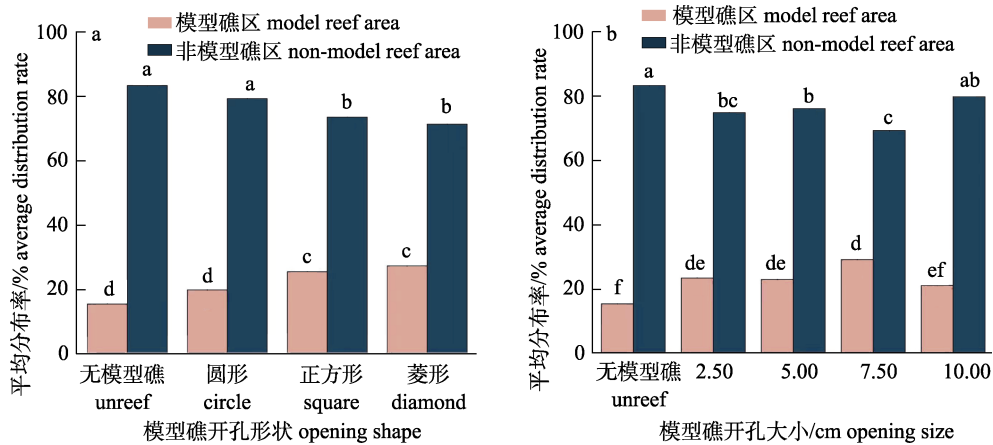


图 5 不同的模型礁下黄鳍棘鲷幼鱼在模型礁区和非模型礁区的平均分布率
a. 无模型礁和不同开孔形状模型礁; b. 无模型礁和不同开孔大小模型礁。
不同的小写字母代表不同分组间有显著差异($P<0.01$)。

Fig. 5 Average distribution rate in area VI and no artificial reef area of yellowfin spiny seabream (*Acanthopagrus latus*) at different environmental enrichment.
a. No model reefs and modeled reefs with different opening shapes; b. No model reefs and modeled reefs with different opening sizes. Different lowercase letters represent significant differences between subgroups ($P<0.01$).

度和平均加速度最低, 分别为(0.81 ± 0.31) m/s 和 (20.85 ± 8.38) m/s^2 , 均显著低于空白对照组中幼鱼的平均速度($P<0.01$)和平均加速度($P<0.01$)。实验组 diamond 7.5 cm 的平均转弯速度最高, 为 (56.79 ± 22.80) deg/s, 显著高于空白对照组($P<0.01$),

而实验组 circle 2.5 cm 的平均转弯速度最低, 为 (20.21 ± 14.54) deg/s, 显著低于空白对照组($P<0.01$)。

根据活动时间百分比, 可看出黄鳍棘鲷幼鱼的活跃程度, 在实验组 circle 5.0 cm 中, 黄鳍棘鲷幼鱼活跃时间最长, 占观察时间的(93.97 ± 4.46)%,

表 2 不同处理组下黄鳍棘鲷幼鱼各项运动参数
Tab. 2 The behavior indexes of yellowfin spiny seabream (*Acanthopagrus latus*) in different treatments

处理组 treatment group	平均速度/(m/s) average speed	平均加速度/(m/s ²) average acceleration	平均转弯速度/ (deg/s)average turning speed	活动时间百分比/% percentage of activity time	X 坐标/m X coordinate	Y 坐标/m Y coordinate
对照组 control	1.12±0.34 ^E	29.54±9.51 ^{DE}	41.87±22.64 ^{CD}	77.13±12.66 ^F	1.23±0.24	1.03±0.16
圆形 2.5 circle 2.5	2.02±0.61 ^{AB}	53.52±17.16 ^{AB}	20.21±14.54 ^F	90.07±6.39 ^B	1.18±0.16	1.16±0.15
圆形 5.0 circle 5.0	2.04±0.48 ^A	54.13±13.67 ^{AB}	22.04±15.38 ^F	93.97±4.46 ^A	1.28±0.17	1.18±0.12
圆形 7.5 circle 7.5	1.86±0.42 ^B	49.50±11.89 ^B	38.18±25.32 ^{CD}	82.47±10.81 ^{CDE}	1.30±0.18	1.16±0.18
圆形 10.0 circle 10.0	2.18±0.55 ^A	58.10±15.50 ^A	35.07±25.92 ^{DE}	88.49±8.20 ^B	1.27±0.17	1.04±0.19
正方形 2.5 square 2.5	1.56±0.50 ^C	41.32±13.97 ^C	39.17±20.88 ^{CD}	84.61±7.86 ^C	1.27±0.14	1.06±0.15
正方形 5.0 square 5.0	1.07±0.34 ^{EF}	28.03±9.39 ^{EF}	44.83±25.81 ^{BC}	80.77±12.10 ^E	1.29±0.17	0.99±0.15
正方形 7.5 square 7.5	1.51±0.54 ^C	39.96±15.16 ^C	32.84±21.66 ^{DE}	88.28±8.29 ^B	1.27±0.17	0.97±0.16
正方形 10.0 square 10.0	1.61±0.45 ^C	42.75±12.44 ^C	27.92±19.56 ^{EF}	84.25±10.67 ^{CD}	1.23±0.19	1.08±0.13
菱形 2.5 diamond 2.5	1.60±0.69 ^C	42.54±19.32 ^C	39.56±22.33 ^{CD}	84.55±9.34 ^C	1.23±0.15	0.94±0.18
菱形 5.0 diamond 5.0	1.27±0.31 ^D	33.81±8.60 ^D	45.76±26.67 ^{BC}	82.04±10.58 ^{DE}	1.28±0.14	1.01±0.12
菱形 7.5 diamond 7.5	0.81±0.31 ^G	20.85±8.38 ^G	56.79±22.80 ^A	67.44±17.45 ^G	1.20±0.18	1.08±0.20
菱形 10.0 diamond 10.0	0.91±0.27 ^{FG}	23.90±7.31 ^{FG}	52.75±26.44 ^{AB}	74.98±12.18 ^F	1.22±0.17	1.03±0.18

注：数值后方不同小写字母和大写字母表示在同一个处理组中实验鱼在不同区域的平均分布率差异显著($P<0.05$)和差异极显著($P<0.01$)。在礁体类型中，数值代表不同开孔大小，分别对应为 2.5 cm、5.0 cm、7.5 cm 和 10.0 cm。
Note: Different lowercase and uppercase letters following the values indicate significant ($P<0.05$) and highly significant ($P<0.01$) differences in the mean distribution rates of experimental fish in different areas within the same treatment group. In the reef types, numerical values represent the size of the openings, corresponding to 2.5 cm, 5.0 cm, 7.5 cm, and 10.0 cm, respectively.

而在实验组 diamond 7.5 cm 中，黄鳍棘鲷幼鱼的活跃程度最低，为(67.44±17.45)%，显著低于空白对照组中黄鳍棘鲷幼鱼的活跃时间($P<0.01$)。放入礁体模型前后，黄鳍棘鲷幼鱼的平均分布坐标位置没有发生明显变化，且其位置均在礁体模型附近，所有处理组平均分布坐标位置均在 VI 区内。

3 讨论

3.1 不同人工鱼礁模型对黄鳍棘鲷幼鱼生境选择的影响

生境选择作为生态学中重要的概念，指代动物在特定环境条件下对于栖息地的优先选择。对于鱼类而言，生境选择是其适应策略的核心方面，涉及着种群生存和繁衍的关键因素^[22]。本研究的人工鱼礁模型作为模拟生境，为黄鳍棘鲷幼鱼提供了可供选择的环境，但模型的孔径和形状差异也导致了黄鳍棘鲷幼鱼的分布和行为响应差异。在本研究中，孔径为 10 cm 的礁体模型诱集效果最差的原因可能是开口越大的人工鱼礁更没有“安全感”，先前的研究已经在类似领域进行了探索，以鱼类为研究对象，探讨其对人工鱼礁的偏

好，张皓铭等^[23]的研究表明，孔径较小的人工鱼礁更有可能吸引底栖鱼类。然而何大仁等^[24]对黑鲷的研究发现，黑鲷对鱼礁孔径没有明显的选择性。黄鳍棘鲷幼鱼在不同开口形状人工鱼礁中，在开口形状为菱形的礁体模型下诱集效果最好(27.33%)，在开口形状为圆形的礁体模型下趋礁行为最差，这可能是由于在开孔大小相同的情况下，菱形开孔鱼礁的阴影面积最大，对黄鳍棘鲷幼鱼的诱集率最大，此实验结果与阴影效应相符^[25]。即阴影面积越大的模型诱集效果越好，光照强度的分布也可能解释了这些行为差异。在没有放入礁体之前，黄鳍棘鲷趋向于水槽底部，黄鳍棘鲷幼鱼生长期呈负趋光性，与林超等^[26]、邓雅敏等^[27]的研究结果相似，他们的研究结果表示在不同光色环境下，褐菖鲉和条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)在人工鱼礁的聚集行为表现出该两种鱼存在一定的负趋光性。这些研究结果进一步印证了本实验观察到的黄鳍棘鲷幼鱼在人工鱼礁模型中的选择行为差异。

生境适宜性是影响黄鳍棘鲷幼鱼行为变化的内在驱动因素。除了不同孔径大小和形状的人工

鱼礁模型外, 光照强度、温度、盐度、海流等环境因素以及饵料丰富度、捕食者等生物条件也影响着黄鳍棘鲷幼鱼的行为^[28]。此外, 在实验室条件下, 饲料营养和喂食习惯等因素也会对其行为产生影响, 进而影响诱集效果。

3.2 人工鱼礁模型对黄鳍棘鲷幼鱼运动行为的影响

黄鳍棘鲷幼鱼的运动行为是其对于环境变化的响应方式之一, 同时也是其适应能力的表征, 运动速度和加速度等参数在评估鱼类游泳行为时具有重要意义^[29]。以往的研究揭示, 在进行栖息地丰容后, 与在孵化场典型的贫瘠环境中饲养相比, 放流后的褐鳟(*Salmo trutta*)^[30]在天然河流中的运动减少, 鳕(*Gadus morhua*)^[31]、鲑(*Salmo salar*)^[32]的“胆量”变小, 在庇护所停留的时间更长。这些现象反映了鱼类对于新环境的适应过程, 其减缓运动可能与对新环境的不确定性有关。本研究揭示了黄鳍棘鲷幼鱼对于不同人工鱼礁模型的运动行为响应存在差异, 模型的投放显著提升了黄鳍棘鲷幼鱼的运动速度、加速度以及活动时间, 且其趋向人工鱼礁的行为更加显著。席杨等^[33]的研究也强调了鱼类在人工鱼礁中的运动行为, 其结果显示, 鱼在人工鱼礁中表现出更频繁的运动, 这与本研究观察到的黄鳍棘鲷幼鱼的趋向行为相吻合, 这种趋向行为可能与人工鱼礁提供的遮蔽和丰富资源有关。通过统计分析, 从黄鳍棘鲷幼鱼在不同结构人工鱼礁的鱼群分布率和运动参数来看, 基本可以得出的结论是, 开孔形状为圆形的鱼礁模型有利于黄鳍棘鲷幼鱼运动, 运动行为多的情况下必然引起鱼礁模型中鱼群平均分布减少。同理, 开孔为菱形的鱼礁模型其有利于鱼类趋向于鱼礁的行为, 黄鳍棘鲷幼鱼更喜欢栖息在开口形状为菱形的人工鱼礁上, 从而黄鳍棘鲷幼鱼的活动时间和活动速度在开口形状为菱形的人工鱼礁上最低, 即黄鳍棘鲷幼鱼在开口形状为菱形的人工鱼礁上“胆量”较小, 在栖息地的时间就越多。

3.3 人工鱼礁模型对黄鳍棘鲷幼鱼行为适应的影响

一定数量的黄鳍棘鲷幼鱼进入鱼礁模型后,

其他的黄鳍棘鲷幼鱼再试图进入空间相对饱满的鱼礁模型中即遭到驱逐, 已进入礁体的黄鳍棘鲷会对外来个体进行攻击、驱赶, 展现出一定的领域行为。由此可见, 在放入鱼礁模型对黄鳍棘鲷进行栖息地丰容后, 黄鳍棘鲷展现出更多的自然行为, 刻板行为减少, 有利于在增殖放流后的存活率^[13]。之前的研究深入探讨了鱼类在人工鱼礁中的领域行为和攻击驱赶行为, 强调这些行为对鱼类的生存能力具有重要影响, 这些发现对于更深入地理解黄鳍棘鲷幼鱼在人工鱼礁中的行为适应和生存能力提升具有重要意义^[34]。然而, 关于黄鳍棘鲷幼鱼对于不同人工鱼礁模型的具体领域行为和攻击驱赶行为的研究尚不充分, 进一步研究领域行为和攻击驱赶行为对于理解黄鳍棘鲷幼鱼在人工鱼礁中的行为适应和生存能力的提高具有重要意义。

4 结论

本研究选用体高约为 (5.01 ± 0.5) cm 的黄鳍棘鲷幼鱼, 对于该阶段的黄鳍棘鲷幼鱼, 不同开孔形状以及不同开孔大小的人工鱼礁模型对其趋礁能力以及运动能力的影响均具有显著性差异。与空白对照组相比, 使用人工鱼礁模型后黄鳍棘鲷的趋礁性明显增强, 更为活跃, 游泳能力更强。人工鱼礁模型的加入, 有利于强化增殖放流鱼类黄鳍棘鲷幼鱼的趋礁行为, 提高其在野外的存活率。且处于该阶段的黄鳍棘鲷幼鱼对礁体模型形状为菱形, 孔径大小为 7.5 cm (约为其体高 1.5 倍) 的人工鱼礁模型具有偏好性, 在加入该礁体模型后, 其趋礁率最大, 趋礁能力明显提升, 该人工鱼礁模型对黄鳍棘鲷幼鱼的诱集效果最好, 可作为该生长阶段黄鳍棘鲷幼鱼栖息地材料。本次实验选用的黄鳍棘鲷幼鱼生长阶段相同, 并未进行不同生长阶段黄鳍棘鲷幼鱼及不同品种鱼类混合条件下的趋礁行为差异研究, 对于不同生长阶段黄鳍棘鲷的体高与其偏好的开孔大小之间的关系尚未进行探究。因此, 日后开展对不同生活史阶段的增殖放流鱼种环境条件有关的研究, 通过行为驯化措施强化黄鳍棘鲷的趋礁行为, 提高其在野外的存活率, 为提高和保障黄鳍棘鲷的福利

水平提供一定的理论基础和参考意见。

本次研究结果可为黄鳍棘鲷等趋礁性增殖放流鱼种栖息地生境的设计、栖息地选择的探究以及海洋牧场人工鱼礁模型的选型、设计等提供一定的理论基础和参考意见。

参考文献:

- [1] Yang H S, Ding D W. Marine ranching version 3.0: History, status and prospects[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(6): 832-839. [杨红生, 丁德文. 海洋牧场 3.0: 历程、现状与展望[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(6): 832-839.]
- [2] Chen Y, Tian T, Liu Y H, et al. Development status, problem and countermeasure for marine pasture in China (continued)[J]. Scientific Fish Farming, 2022(4): 24-25. [陈勇, 田涛, 刘永虎, 等. 我国海洋牧场发展现状、问题及对策(下)[J]. 科学养鱼, 2022(4): 24-25.]
- [3] Zhang N H, Tian T, Shen L, et al. Research and application progress of artificial reef construction materials: a review[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2022, 37(2): 352-362. [张年华, 田涛, 沈璐, 等. 人工鱼礁建礁材料研究应用进展[J]. 大连海洋大学学报, 2022, 37(2): 352-362.]
- [4] Li J D, Zhao Q, Liu J J, et al. Study on the characteristics of fishery biological community structure and factors influencing biomass increments in different artificial reefs in the Yellow Sea and Bohai Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2023, 30(3): 371-383. [李建都, 赵祺, 刘晋冀, 等. 黄渤海不同人工鱼礁区渔业生物群落结构特征及生物增量影响要素[J]. 中国水产科学, 2023, 30(3): 371-383.]
- [5] Li J, Gong P H, Chang Q, et al. Research progress on behavioral ecology of reef fish[J]. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(6): 192-199. [李娇, 公丕海, 常青, 等. 岩礁鱼类行为生态学研究进展[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(6): 192-199.]
- [6] Zhang S, Sun M C, Chen Y. The attractive effects of different structural artificial reef models on juvenile Schlegel's rockfish *Sebastes schlegelii* 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鲈幼鱼个体的诱集效果[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(1): 13-19.]
- [7] Zhou Y B, Cai W G, Chen H G, et al. Attraction effect of various artificial reef models on *Plectorhynchus cinctus*[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(3): 103-107. [周艳波, 蔡文贵, 陈海刚, 等. 不同人工鱼礁模型对花尾胡椒鲷的诱集效应[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(3): 103-107.]
- [8] Zhou Y B, Cai W G, Chen H G, et al. Attraction effect of various artificial reef models on *Sparus macrocephalus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(5): 711-718. [周艳波, 蔡文贵, 陈海刚, 等. 10 种人工鱼礁模型对黑鲷幼鱼的诱集效果[J]. 水产学报, 2011, 35(5): 711-718.]
- [9] Zhou Y B, Cai W G, Chen H G, et al. Attractive effect of combination of artificial reef models on young *Lutjanus argentimaculatus* in experimental tank[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2012, 31(2): 231-237. [周艳波, 蔡文贵, 陈海刚, 等. 试验水槽中多种人工鱼礁模型组合对紫红笛鲷幼鱼的诱集效果[J]. 台湾海峡, 2012, 31(2): 231-237.]
- [10] Zhou Y B, Cai W G, Chen H G, et al. Attraction effect of various artificial reef models on *Sebastes marmoratus* (Cuvier et Valenciennes)[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(2): 8-10, 33. [周艳波, 蔡文贵, 陈海刚, 等. 不同人工鱼礁模型对褐菖鲉的诱集效应[J]. 广东农业科学, 2011, 38(2): 8-10, 33.]
- [11] Wang H, Chen P M, Zhang S Y, et al. Effect on fishery resources multiplication of artificial reefs[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2009(8): 18-21. [王宏, 陈丕茂, 章守宇, 等. 人工鱼礁对渔业资源增殖的影响[J]. 广东农业科学, 2009(8): 18-21.]
- [12] Zhang Z H, Dong J Y, Zhang X M, et al. Effects of environmental enrichment on the distribution of *Sebastes schlegelii* in early developmental stages[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(22): 8223-8233. [张宗航, 董建宇, 张雪梅, 等. 环境丰容对早期发育阶段许氏平鲈趋礁行为的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(22): 8223-8233.]
- [13] Qin C X, Pan W N, Yu G, et al. Review environmental enrichment for aquatic organisms[J]. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(5): 185-193. [秦传新, 潘尧悦, 于刚, 等. 水生生物环境丰容技术及其应用研究进展[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(5): 185-193.]
- [14] Gong P H, Zheng Y X, Li J, et al. Flow field effect and stability of the equilateral tower-type truss artificial reef[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(5): 1021-1028. [公丕海, 郑延璇, 李娇, 等. 塔型桁架人工鱼礁流场效应及稳定性[J]. 中国水产科学, 2019, 26(5): 1021-1028.]
- [15] Wang Z C, Chen G B, Zeng L, et al. Exploration of 5 species of rock fishes in the Fangchenggang artificial reef area using ultrasonic biotelemetry[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(1): 53-62. [王志超, 陈国宝, 曾雷, 等. 防城港人工礁区内 5 种恋礁鱼类的声学标志跟踪[J]. 中国水产科学, 2019, 26(1): 53-62.]
- [16] Liu Y, Wu Z X, Yang C P, et al. Ecological carrying capacity of six species of stock enhancement in Pearl River

- Estuary based on Ecopath model[J]. South China Fisheries Science, 2019, 15(4): 19-28. [刘岩, 吴忠鑫, 杨长平, 等. 基于 Ecopath 模型的珠江口 6 种增殖放流种类生态容纳量估算[J]. 南方水产科学, 2019, 15(4): 19-28.]
- [17] Yang Q, Ye H H, Huang H Y, et al. Immunohistochemical studies on endocrine cells in the digestive tract of *Sparus latus*[J]. Marine Science Bulletin, 2005, 24(4): 87-90. [杨青, 叶海辉, 黄辉洋, 等. 黄鳍鲷消化道内分泌细胞的免疫组化定位[J]. 海洋通报, 2005, 24(4): 87-90.]
- [18] Zhang Q Y, Hong W S, Chen Z G, et al. On age, growth and feeding habits of yellowfin seabream (*Sparus latus*) in Xipu Bay, Fujian[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1991(4): 68-76. [张其永, 洪万树, 陈志庚, 等. 西埔湾港养黄鳍鲷年龄、生长和食性研究[J]. 台湾海峡, 1991(4): 68-76.]
- [19] Lin G M, Zheng M, Li S Z, et al. Response of gut microbiota and immune function to hypoosmotic stress in the yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus*)[J]. Science of the Total Environment, 2020, 745: 140976.
- [20] Platell M E, Ang H P, Hesp S A, et al. Comparisons between the influences of habitat, body size and season on the dietary composition of the sparid *Acanthopagrus latus* in a large marine embayment[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 72(4): 626-634.
- [21] Pan W N, Qin C X, Zuo T, et al. Is metagenomic analysis an effective way to analyze fish feeding habits? A case of the yellowfin sea bream *Acanthopagrus latus* (houuttuyn) in Daya bay[J]. Frontiers in Marine Science, 2021, 8: 634651.
- [22] Hendel A L, Winiger N, Jonker M, et al. Bat habitat selection reveals positive effects of retention forestry[J]. Forest Ecology and Management, 2023, 531: 120783.
- [23] Zhang H M, Xie X Y, Chen P M, et al. Study on attraction effect of artificial reefs vertical plate with different square apertures on *Sparus macrocephalus*[J]. South China Fisheries Science, 2022, 18(1): 52-58. [张皓铭, 谢笑艳, 陈丕茂, 等. 人工鱼礁竖板不同方形孔径对黑鲷幼鱼诱集效果研究[J]. 南方水产科学, 2022, 18(1): 52-58.]
- [24] He D R, Shi Y M. Attraction effect of fish reef model on black porgy (*Sparus macrocephalus*)[J]. Journal of Xiamen 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(自然科学版), 1995(4): 653-658.]
- [25] Tian F, Tang Y L, Tang M, et al. The attractive effects of several artificial reefs on *Pagrosomus major*[J]. Marine Sciences, 2012, 36(11): 85-89. [田方, 唐衍力, 唐曼, 等. 几种鱼礁模型对真鲷诱集效果的研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(11): 85-89.]
- [26] Lin C, Gui F K. The attractive effects of artificial reef model at different light colors on *Sebastiscus marmoratus* and *Argyrosomus japonicas*[J]. Fishery Modernization, 2013, 40(2): 66-70, 75. [林超, 桂福坤. 不同光色下人工鱼礁模型对褐菖鲉和日本黄姑鱼诱集效果试验[J]. 渔业现代化, 2013, 40(2): 66-70, 75.]
- [27] Deng Y M, Liu W, He J J, et al. Effects of flow velocity and light color on attraction of *Oplegnathus fasciatus* by artificial reef[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2018, 37(3): 203-207, 214. [邓雅敏, 刘威, 何娇娇, 等. 流速和光色对人工鱼礁诱集条石鲷效果的影响[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2018, 37(3): 203-207, 214.]
- [28] Kallianiotis A A, Kamidis N, Tselepidis A, et al. Spatio-temporal and environmental dynamics of abundances and diversity of larval fish in artificial reef edge habitats of kitros, Pieria (northern Aegean Sea, eastern Mediterranean)[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2022, 11(1): Article No.40.
- [29] Yu Y, Xie M Y. Research status of evaluation indicators and measurement methods for fish swimming ability[J]. Agriculture and Technology, 2021, 41(19): 116-118. [于洋, 谢明原. 鱼类游泳能力评价指标及其测定方法研究现状[J]. 农业与技术, 2021, 41(19): 116-118.]
- [30] Watz J. Structural complexity in the hatchery rearing environment affects activity, resting metabolic rate and post-release behaviour in brown trout *Salmo trutta*[J]. Journal of Fish Biology, 2019, 95(2): 638-641.
- [31] Salvanes A G V, Braithwaite V A. Exposure to variable spatial information in the early rearing environment generates asymmetries in social interactions in cod (*Gadus morhua*)[J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2005, 59(2): 250-257.
- [32] Roberts L J, Taylor J, Gough P J, et al. Silver spoons in the rough: Can environmental enrichment improve survival of hatchery Atlantic salmon *Salmo salar* in the wild?[J]. Journal of Fish Biology, 2014, 85(6): 1972-1991.
- [33] Xi Y, Tian T, Yang J, et al. Reef approaching behavior of juvenile *Sebastes schlegeli* under different flow fields[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2020, 35(3): 399-406. [席杨, 田涛, 杨军, 等. 许氏平鲷幼鱼在不同流场环境下的趋礁行为研究[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(3): 399-406.]
- [34] Hylkema A, Debrot A O, Cammenga R A R, et al. The effect of artificial reef design on the attraction of herbivorous fish and on coral recruitment, survival and growth[J]. Ecological Engineering, 2023, 188: 106882.

Behavioral response of juvenile *Acanthopagrus latus* to artificial reef models with different opening shapes and diameters

JIANG Manju^{1,2}, GUO Yu^{1,3}, QIN Chuanxin^{1,3}, PAN Wann¹, YU Gang^{1,3}, MA Zhenhua^{1,3}

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences; National Agricultural Science Fisheries Resources and Environment, Dapeng Observatory Experimental Station; Key Laboratory of Sea Ranching, Ministry of Agriculture and Rural Development, Guangzhou 510300, China;
2. College of Fisheries and Life Sciences, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;
3. Sanya Tropical Fisheries Research Institute; Key Laboratory of Efficient Utilization and Processing of Deep-Sea Fishery Resources of Hainan Province, Sanya 572018, China

Abstract: To analyze the reef-tending behavior and spatial distribution of rocky reef fishes under different aperture shapes and sizes, the behavioral effects of artificial reefs with different aperture shapes (diamond, circle, square) and sizes (2.5, 5, 7.5, 10 cm) on juvenile *Acanthopagrus latus* were observed and analyzed. LoliTrack Version 5 was used to analyze the mean velocity, mean acceleration, mean turning speed, percentage of activity time, and mean distribution coordinate position of juvenile *A. latus*. The results showed that there was a significant increase in the mean distribution rate of juvenile *A. latus* in the reef area after being placed in the artificial reef, and the juveniles had the highest mean distribution rate at $(27.32 \pm 4.93)\%$ in the artificial reef area in the diamond opening experimental group, followed by the square and circular opening experimental groups, which had rates of $(25.48 \pm 3.41)\%$ and $(19.83 \pm 5.59)\%$, respectively. In addition, the highest mean distribution rate of *A. latus* juveniles in Zone VI was found in the experimental group with 7.50 cm openings at $(29.18 \pm 4.75)\%$; the second highest mean distribution rate in Zone VI was found in the experimental groups with 2.50 cm and 5.00 cm openings at $(23.45 \pm 3.86)\%$ and $(23.04 \pm 5.51)\%$, respectively; and the lowest mean distribution rate was found in the group with 10.00 cm openings at $(21.17 \pm 4.93)\%$; followed by square and round openings at $(25.48 \pm 3.41)\%$ and $(19.83 \pm 5.59)\%$, respectively. was the lowest with $(21.17 \pm 5.14)\%$. In terms of locomotor ability, the mean speed, mean acceleration and percentage of activity time of juvenile *A. latus* showed highly significant differences between the experimental group of the artificial reef model and the blank control group, with the mean speed increasing from (1.12 ± 0.34) m/s in the blank control group to (1.53 ± 0.64) m/s; mean acceleration increasing from (29.54 ± 9.51) m/s in the control group to (40.47 ± 17.53) m/s; and percentage of active time increasing from $(77.13 \pm 12.66)\%$ in the blank control group to $(83.36 \pm 12.40)\%$. The mean speed, mean acceleration, mean turning speed, and percentage of activity time of juvenile *A. latus* differed significantly among the reef model treatment groups. The lowest mean velocity, mean acceleration, and percentage of active time were (0.81 ± 0.31) m/s, (20.85 ± 8.38) m/s², and $(67.44 \pm 17.45)\%$, respectively, for the reef model with a diamond-shaped opening and 7.5 cm opening size, which was the least active; whereas the highest mean turning speed was found in (56.79 ± 22.80) deg/s. No significant difference was found in the mean distribution coordinate positions. The study showed that after adding the artificial reef model, the *A. latus* larvae had the greatest mean distribution rate as well as the lowest degree of activity for the reef model with a diamond-shaped opening and an opening size of 7.50 cm and that this artificial reef model was the most effective in attracting *A. latus* larvae. This preliminary study investigated changes in the reefing behavior of juvenile *A. latus* on different types of reefs. The results of this study can provide a theoretical basis and reference for the selection and design of species-specific proliferating artificial reefs.

Key words: artificial reefs; reef-seeking behavior; *Acanthopagrus latus*; behavioral response

Corresponding author: QIN Chuanxin. E-mail: qincx@scsfri.ac.cn.