

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.00899

不同材料、形状和空隙的人工参礁对刺参诱集效果的试验研究

张俊波¹, 梁振林^{1,2}, 黄六一¹, 唐衍力¹, 杨晨星¹, 高勤峰¹

1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 山东大学 威海分校 海洋学院, 山东 威海 264209

摘要: 采用行为学方法, 对体长 2~7 cm、体质量 2~30 g 的刺参(*Apostichopus japonicus*)在实验室水槽中自然光照下的行为特性进行观察, 分别记录了刺参在水槽中无礁(对照组)和有礁区域的分布情况, 并分析了不同形状、材料及距水槽底部不同空隙的人工参礁对刺参的诱集效果。实验观察发现, 刺参在水槽中有明显的爬壁现象; 对礁体第一反应为寻找空隙或阴影处; 在 PVC 材料礁体中行为不稳定。正三棱柱无底无缝隙礁体处理组的平均聚集率(MAR), 与对照组相比有极显著差异($P<0.01$), 并显著高于有底有缝隙处理组和有底无缝隙处理组($P<0.05$); 黏土材料礁体的 MAR 显著高于水泥材料和 PVC 材料($P<0.05$); 距水槽底部 3.4 cm 的单片瓦片礁 MAR 与对照组相比差异极显著($P<0.01$), 并显著高于距水槽底部 0.8 cm 的礁体($P<0.05$)。实验结果说明: 1) 实验所用人工参礁对刺参有很好的诱集效果; 2) 刺参对礁体形状的选择主要取决于空隙大小和数量以及阴影处光亮度; 3) 刺参对礁体材料的选择主要取决于礁体表面的粗糙度; 4) 总体来说, 刺参对礁体形状的选择优先于对礁体材料的选择。本研究旨在为今后刺参增殖和资源保护以及人工参礁的设计开发等提供科学依据。

关键词: 参礁; 诱集效果; 材料; 形状; 空隙; 刺参

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)04-0899-09

人工鱼礁可为海洋生物提供繁殖、生长、索饵和避敌的场所, 改善水域环境, 达到保护和增殖渔业资源的目的。早在 20 世纪六七十年代, 日本就做过一系列关于鱼类聚礁行为的试验研究^[1-4], 但缺乏对棘皮动物的研究; 国内学者也针对人工鱼礁对海洋生物行为的影响和诱集效果进行了一些研究^[5-11]。在自然环境中, 刺参(*Apostichopus japonicus*)多栖息于岩礁乱石底质、潮间带下的岩礁乱石与泥滩的结合处、礁石的背流且隐蔽处以及海藻、海草丛生的泥沙或沙泥底^[12]。由于世界范围内对刺参的需求量加大, 导致天然刺参资源受到过度捕捞, 面临枯竭的局面, 从而促使刺参增养殖业迅猛发展^[13-14]。在增养殖刺参时, 一般需通过投放人工参礁来改善刺参的栖息环境, 因

此研究人工参礁对刺参的行为影响和诱集效果显得尤为重要: 一方面为刺参养殖户在选择参礁时提供科学数据, 增加养殖池中刺参的栖息处, 提高刺参产量; 另一方面为刺参增殖提供礁体设计的建议, 使其在修复刺参的生境方面发挥更好的效果。目前国内外关于人工参礁对刺参行为影响和诱集效果的研究还很少^[15-19], Dong 等^[20]进行了不同形状、培养时间和颜色的附着基对刺参的行为影响的研究; 张硕等^[21]研究了在不同光照下刺参对混凝土制立方体礁和塔形礁的行为反应和两种礁的诱集效果; 崔勇等^[22]研究了长方体、圆管形与星体形等形状模型礁对刺参的聚集效果。

由于缺乏可靠的科学实验数据支持, 目前在人工参礁的选择方面还主要依靠经验, 礁体布设

收稿日期: 2010-11-04; 修订日期: 2010-12-20.

基金项目: 国家自然科学基金项目(30871931); 山东省科技攻关计划项目(2005GG3205102).

作者简介: 张俊波(1985 -), 男, 硕士生, 研究方向: 增养殖工程. E-mail: zjb1152100@yahoo.com.cn

通信作者: 梁振林, 教授, 博士生导师. E-mail: liang@ouc.edu.cn

方式的确定也存在一定的盲目性和随意性,从而影响刺参增殖的产量和经济效益。本研究采用行为学方法,通过实验观测刺参对不同形状和材料模型礁的行为反应,分析比较各模型礁对刺参的诱集效果,及不同大小的礁体空隙对刺参的行为及诱集效果的影响,为今后刺参增殖和资源保护以及人工参礁的设计开发等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验样本

实验用刺参共 300 头,由中国海洋大学养殖实验基地提供。刺参外观正常、生长良好、体质健壮,体长为 2~7 cm、体质量为 2~30 g,在实验室水槽中暂养 1 周,日投喂量为刺参体质量的 3%,为避免饵料对刺参分布的影响,实验期间不投喂饵料。实验水温(15±0.5)℃,水深 70 cm,盐度 35±1, pH 6.8~7.2,室内光照度为 0~230 lx,使用氧气泵充氧,溶解氧在 5.0 mg/L 以上,水槽内海水 24 h 循环,每周换水 1 次。

1.2 实验水槽

实验水槽尺寸为 380 cm×200 cm×110 cm,水槽外侧正中有 1 个 80 cm×50 cm 观察窗用以观测刺参在水槽中活动情况。用胶带将水槽底部平均分为 15 个区域(图 1),刺参首次投入水槽中区域 8,两个模型礁实验投放区为区域 7、9,3 个模型礁实验投放区为区域 7、9、13。

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15

图 1 实验水槽底部区域划分示意图

Fig.1 Sketch of the water tank bottom

1.3 人工参礁模型

在相同材料不同形状的实验,黏土材料礁模型分别为正三棱柱形(外棱 35.5 cm,底边 22.0 cm,壁厚 1.8 cm)和圆拱形(外径 8 cm,长 30 cm,

壁厚 2 cm),根据礁体底面和缝隙分为 3 种:有底有缝隙、无底无缝隙、有底无缝隙;PVC 材料模型礁分别为箱形(30 cm×20 cm×20 cm,孔径 4 cm)和竖形(20 cm×20 cm×30 cm,孔径 4 cm)。不同材料相同形状实验中,分别为黏土、水泥和 PVC 材料的正三棱柱无底无缝隙礁模型,单体规格大小同黏土材料正三棱柱无底无缝隙礁模型,用一隔板卡在礁体中间,保证礁体形状稳定。不同空隙实验中采用单片瓦片模型礁(35.5 cm×22.0 cm,壁厚 1.6 cm,缝隙高 1.8 cm,宽 5 cm),每片瓦片四角处用泡沫塑料垫起,与水槽底部距离分别为 0.8 cm、1.2 cm、3.4 cm。各礁体投放前均放水桶中用海水浸泡 2 d。

1.4 实验设计

(1) 不投放参礁(对照组)时刺参在水槽各个区域分布的实验 3 d。

(2) 在实验一的基础上选择分布率最少的区域投放正三棱柱有底有缝隙礁后刺参在水槽各个区域分布的实验 3 d。

(3) 黏土材料两种模型礁以及 PVC 材料的两种模型礁(图 2)对比实验 6 d。

(4) 不同材料的正三棱柱无底无缝隙礁的对比实验 3 d。

(5) 比较单片瓦片礁离水槽底面不同距离所产生的空隙对刺参诱集效果的实验 3 d。

实验(1)、实验(2)用刺参 300 头,体长为 2~7 cm、体质量为 2~30 g;实验(3)至实验(5),选用 70 头大小相同的刺参进行实验,体长(6±1) cm,体质量(27±3)g。实验每天 8:00~22:00 间隔 2 h 观察并记录刺参在水槽的分布及各人工参礁的聚集数量。

1.5 平均分布率、聚集率与平均聚集率计算

(1) 平均分布率(mean distribution rate, MDR)是指在无礁条件下某观察区域刺参的平均分布数量与实验刺参总数量的比值,计算公式为:

$$MDR = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{nN} \right) \times 100\%, \text{ 其中 } M_i \text{ 为第 } i \text{ (} i=$$

1,2,...,n)次观察刺参在某区域分布的数量;N 为实验刺参总数,n 为观察次数。

(2) 聚集率(attractive rate, AR)是指实验中某

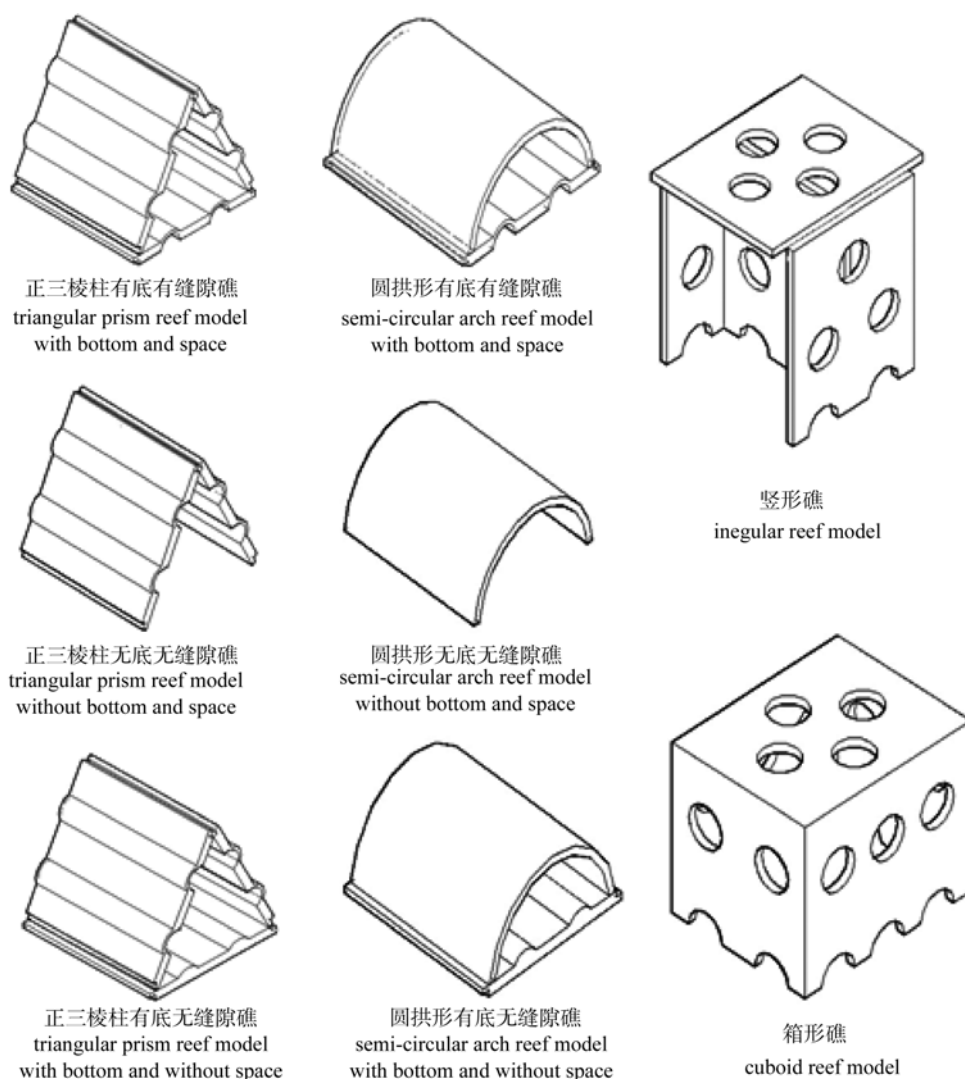


图2 黏土材料两种形状礁模型和 PVC 材料两种形状礁模型

Fig.2 Clay and PVC artificial reef models

固定时间点刺参聚集在参礁区(表面及其内部)的数量与实验中刺参总数量的比值;平均聚集率(mean attractive rate, MAR)是指实验中某固定时间点刺参聚集在参礁区(表面及其内部)的数量之和与实验中刺参总数量的比值,计算公式为:

$$MAR = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{nN} \right) \times 100\%, \text{ 其中 } N_i \text{ 为各固定时间}$$

点第 i ($i=1,2,\dots,n$) 次聚集刺参数量, N 为实验刺参总数, n 为实验记录次数。

1.6 统计方法

实验数据采用 SPSS 17 统计系统进行方差分析(ANOVA), LSD 最小显著差数法比较组间差异。

2 结果与分析

2.1 刺参的行为观察

在实验室自然光照下,不投放参礁时,刺参在刚投入水槽中央(区域8)后,沿水槽底部向四周缓慢爬行,主要分布在水槽四壁靠近水面处;投礁后,水槽壁上的刺参密度明显下降(图3),刺参对模型礁的第一反应为寻找空隙钻入,若发现无缝隙则会向礁体两侧移动离开,少数有向上爬动的趋向,但若刺参触手触及不到礁体底部的顶端而不能水平爬进礁体内部,刺参在尝试几次后依然选择离开。白天,刺参主要停留在参礁内部,特别是缝隙处,晚上则有一部分刺参附着在礁体表

面,一部分在礁体四周做短距离活动。刺参主要集中在礁体的底部空隙和缝隙中,礁体的上层空间刺参分布较少。实验发现,刺参在 PVC 材料礁体中行为不稳定,在礁体表面爬动频率较高,一段时间后则选择离开礁体,向水槽各处爬去,少数停留在礁体内底部和缝隙处栖息。

2.2 正三棱柱有底有缝隙礁的诱集效果

未投入参礁时,区域 3、区域 4、区域 13 共 3 个区域的平均分布率(MDR)最低,分别为 1.03%、1.00%、1.07%(图 4)。而在 3、4、13 区域投放正三棱柱有底有缝隙礁后,刺参的分布发生明显变化,刺参在水槽四壁的数量由每平方米 23 头降至每平方米 9 头,而底面(15 个区域)的数量则由每平方米 11 头上升为每平方米 25 头(图 3)。从图 5 可以看出,刺参在水槽底面 3、4、13 共 3 个区域中的 MDR 分别为 16.42%、15.48%、16.28%,明显高于未投礁时 3 个区域的 MDR(图 4),说明黏土材料的正三棱柱有底有缝隙礁对刺参有很好的诱集效果。

2.3 同种材料不同形状模型礁的诱集效果

2.3.1 黏土材料正三棱柱和圆拱形模型礁诱集效果比较 从图 6 可以看出,正三棱柱形礁体处理组的 MAR 均高于圆拱形处理组,正三棱柱有底无缝隙礁的诱集效果与对照组相比有显著性差异($P<0.05$, ANOVA),圆拱形有底无缝隙礁的诱集效果与对照组相比无显著性差异($P>0.05$, ANOVA),其他礁体与对照组相比均有极显著差异($P<0.01$, ANOVA),诱集效果从大到小依次为:正三棱柱无底无缝隙礁、正三棱柱有底有缝隙礁、圆拱形有底有缝隙礁、圆拱形无底无缝隙礁、正三棱有底无缝隙礁、圆拱形有底无缝隙礁,其中正三棱柱无底无缝隙礁诱集效果最好, MAR 为 19.25%,与有底有缝隙礁处理组、有底无缝隙处理组其相比有显著性差异($P<0.05$, ANOVA, LSD);圆拱形 3 个处理组中,有底有缝隙处理组的 MAR 最高为 12.14%,与无底无缝隙礁处理组、有底无缝隙处理组其相比有显著性差异($P<0.05$, ANOVA, LSD);2 种形状有底无缝隙处理组集参效果最差, MAR 分别为 4.05%和 3.33%。

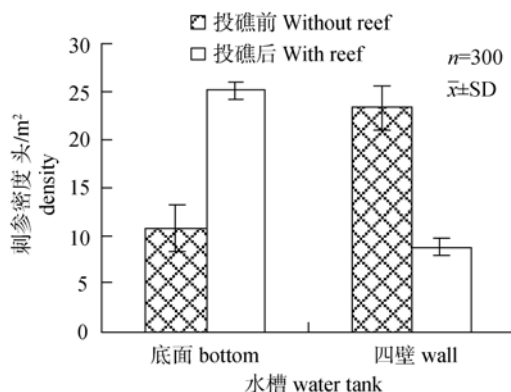


图 3 水槽底面和四壁刺参密度

Fig.3 Density of *Apostichopus japonicus* at tank bottom and walls

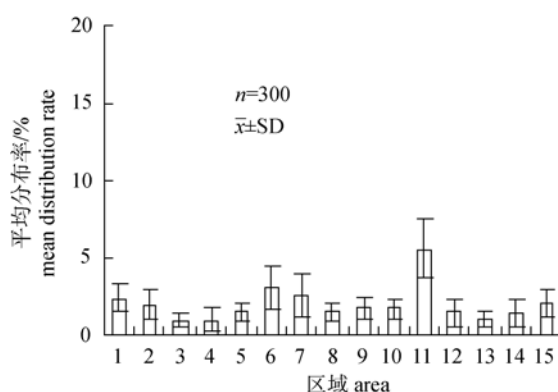


图 4 未投放人工参礁时刺参在水槽底面各区域的平均分布率

Fig.4 MDR of *Apostichopus japonicus* at various areas of the tank bottom before artificial reefs are put inside

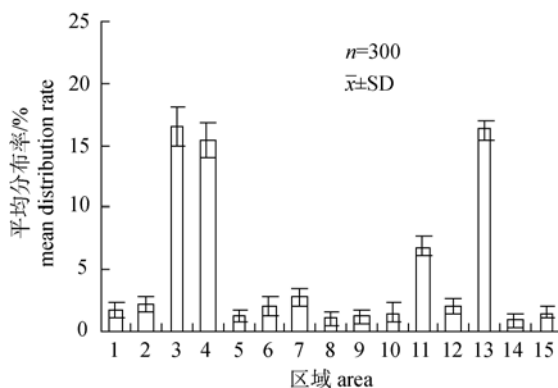


图 5 投放正三棱柱有底有缝隙礁后刺参在水槽底面各区域的平均分布率

Fig.5 MDR of *Apostichopus japonicus* at various areas of the tank bottom after triangular prism reefs with bottom and space are put inside

2.3.2 PVC 材料箱形和竖形礁诱集效果比较 针对目前实验室多采用 PVC 材料构建模型礁,本实

验选用 PVC 材料的箱形和竖形 2 种形状, 投放到水槽中观察其对刺参的诱集效果。从图 7、图 8 中可以看出在实验 1 h 左右, 刺参在礁体上的聚集率达到最高, 2 种礁投放后第 1 天的聚集率波动较大, 随着时间的延长, 聚集率呈现下降的趋势, 箱形礁的聚集率由 21.42% 下降 8.57%, 竖形礁的聚集率由 14.28% 下降 7.14%; 而第 2 天、第 3 天两礁体的聚集率相对较稳定, 平均在 8%~9%,

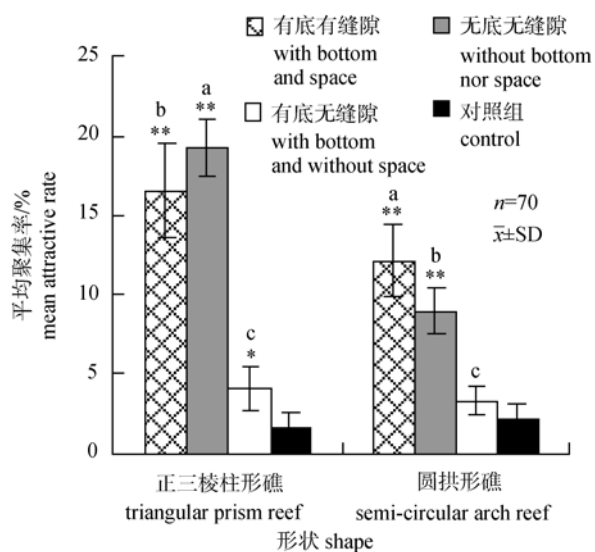


图 6 正三棱柱形和圆拱形礁集参效果比较

* $P < 0.05$ (与对照组相比, ANOVA), ** $P < 0.01$ (与对照组相比, ANOVA), 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, ANOVA, LSD)

Fig. 6 Comparisons of attractive effects of triangular prism and semi-circular arch reefs

*mean significantly different compared with the control ($P < 0.05$, ANOVA), **mean very significantly different compared with the control ($P < 0.01$, ANOVA), different letters mean significantly different ($P < 0.05$, ANOVA, LSD)

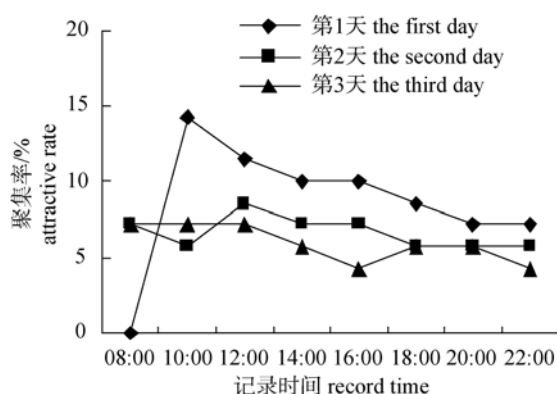


图 7 箱形礁 3 d 的集参效果

Fig. 7 Attractive effects of Cuboid reef in three days

说明刺参对礁体形状存在选择的过程。从图 9 可以看出箱形礁和竖形礁的诱集效果与对照组相比有极显著差异 ($P < 0.01$, ANOVA), 说明礁体对刺参有明显的诱集效果, 箱形礁的 MAR 要高于竖形礁, 两者之间没有显著性差异 ($P > 0.05$, ANOVA, LSD)。

2.4 3 种材料正三棱柱无底无缝隙礁的诱集效果

从图 10、图 11、图 12 中可以看出, 水泥材料正三棱无底无缝隙礁投放后 3 d 时间里刺参的聚集率相对较稳定, 维持在 11% 左右; PVC 材料正三棱柱无底无缝隙礁投放后第 1 天随着时间的延长, 聚集率呈现下降的趋势, 而第 2 天、第 3

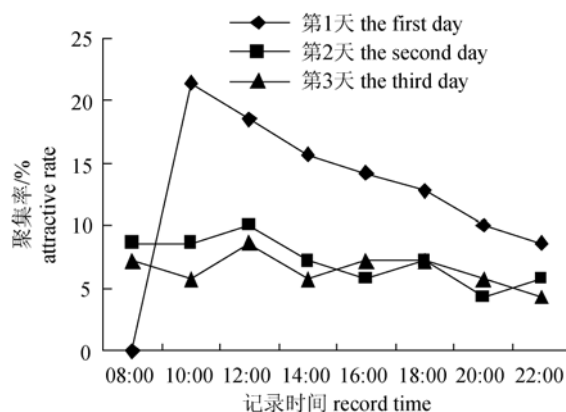


图 8 竖形礁 3d 的集参效果

Fig. 8 Attractive effects of Irregular reef in three days

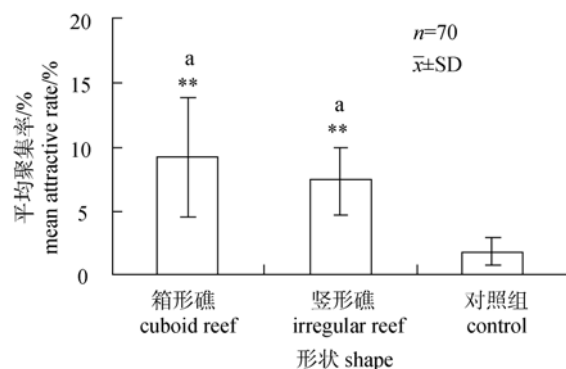


图 9 箱形和竖形礁的集参效果比较

** $P < 0.01$ (与对照组相比, ANOVA), 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, ANOVA).

Fig. 9 Comparison of attractive effects of Cuboid reef and irregular reef

**mean very significantly different compared with the control ($P < 0.01$, ANOVA), different letters mean significantly different ($P < 0.05$, ANOVA).

天的聚集率相对稳定, 平均在 6% 左右, 这与同为 PVC 材料的箱形礁和竖形礁的现象相吻合(图 7、图 8); 黏土材料正三棱柱无底无缝隙礁在投放后第 1 天的诱集率总体较高, 且略有上升的趋势, 这可能是刺参离开 PVC 材料礁体而选择进入黏土材料礁体引起的, 3 d 的聚集率总体相对稳定, 约为 19%。

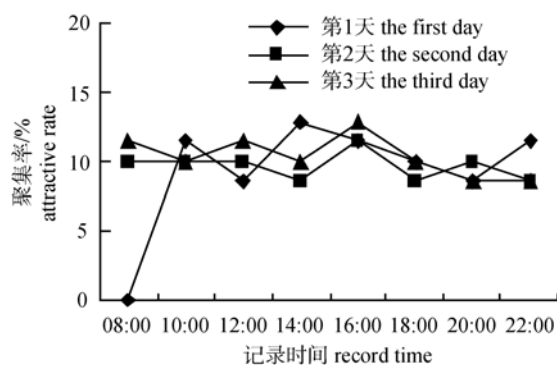


图 10 水泥材料正三棱柱礁的集参效果

Fig.10 Attractive effects of cement triangular prism reef

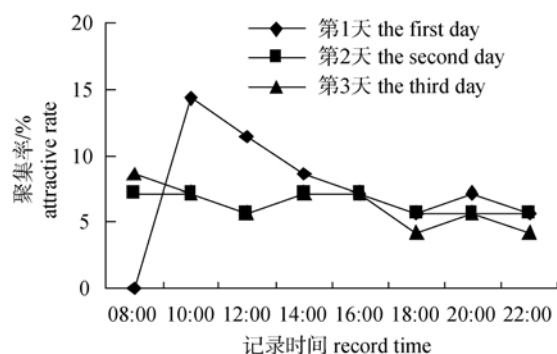


图 11 PVC 材料正三棱柱礁的集参效果

Fig.11 Attractive effects of PVC triangular prism reef

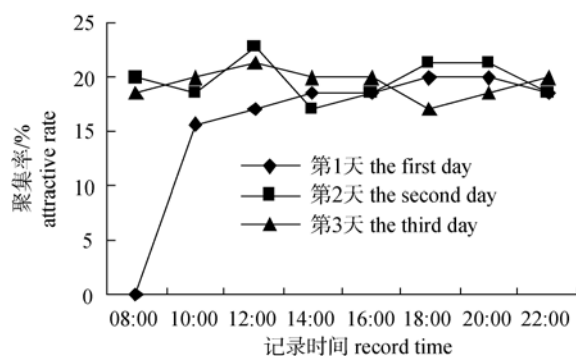


图 12 黏土材料正三棱柱礁的集参效果

Fig.12 Attractive effects of clay triangular prism reef

从图 13 中可以看出, 3 种材料的正三棱柱无底无缝隙礁与对照组相比均差异极显著 ($P < 0.01$, ANOVA), 其中黏土材料显著好于水泥材料和 PVC 材料 ($P < 0.05$, ANOVA, LSD), 而 PVC 材料的 MAR 最低, 显著差于黏土材料和水泥材料 ($P < 0.05$, ANOVA, LSD), 说明刺参对材料有选择性, 相对于 PVC 材料 and 水泥材料, 刺参更喜栖息于黏土材料参礁。

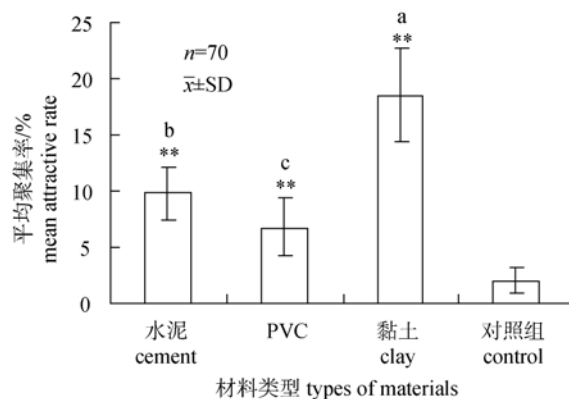


图 13 3 种材料正三棱柱无底无缝隙礁的集参效果比较
** $P < 0.01$ (与对照组相比, ANOVA), 不同字母表示各礁体间
相比差异显著 ($P < 0.05$, ANOVA, LSD).

Fig.13 Comparison of attractive effects of triangular prism reefs without bottom and space made of cement, PVC and clay
** mean very significantly different compared with the control ($P < 0.01$, ANOVA), different letters mean significantly different ($P < 0.05$, ANOVA, LSD).

2.5 单片瓦片礁离水槽底面不同距离空隙对刺参的诱集效果

从图 14 中可以看出, 3 种不同距离空隙的礁体在区域 7、9 和 13 中的诱集效果没有显著性差异 ($P > 0.05$, ANOVA, LSD), 说明实验中区域对礁体的诱集效果影响不明显。从图 15 中可以看出, 3 种不同距离空隙的礁体均极显著高于对照组 ($P < 0.01$, ANOVA), 其中礁体与水槽底部距离为 3.4 cm 的诱集率最高, MAR 为 16.19%, 显著高于距离为 0.8 cm 的礁体 ($P < 0.05$, ANOVA, LSD); 与水槽底部距离为 1.2 cm 处理组的诱集效果与 3.4 cm、0.8 cm 处理组相比无显著性差异 ($P > 0.05$, ANOVA, LSD), 说明刺参对空隙大小有选择性。

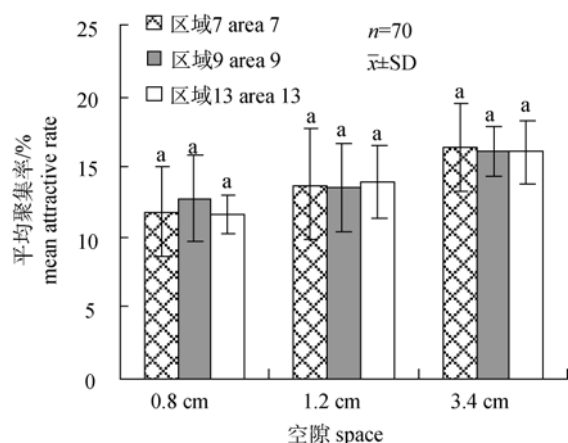


图 14 礁体离水槽底面不同空隙在区域 7、9 和 13 的集参效果比较

Fig.14 Comparisons of attractive effects of tile reefs with different space between tile reef and the tank bottom in areas 7, 9 and 13

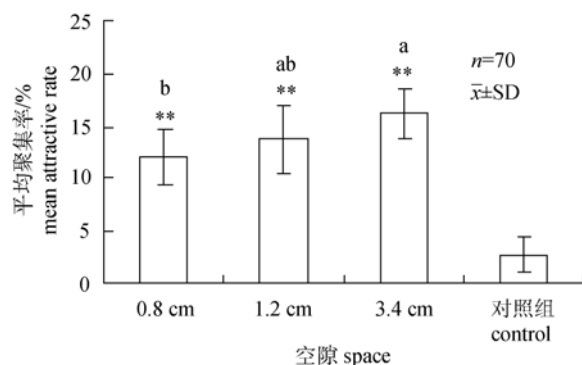


图 15 礁体离水槽底面不同空隙的集参效果比较

** $P < 0.01$ (与对照组相比, ANOVA), 不同字母表示各礁体间相比差异显著 ($P < 0.05$, ANOVA, LSD)

Fig.15 Comparison of attractive effects of tile reefs different space between tile reef and the tank bottom

**mean very significantly different compared with the control ($P < 0.01$, ANOVA) different letters mean significantly different ($P < 0.05$, ANOVA, LSD)

3 讨论

本研究观察发现, 刺参多聚集在水槽四壁近水面处以及参礁底部有阴影的空隙处, 这可能与刺参偏向于栖息在 10 lx 以下的光环境^[21]有关, 还和刺参寻求掩体保护及刺参密度有关。本研究中所用礁体的 MAR 均高于对照组, 除正三棱柱有底无缝隙礁的诱集效果与对照组相比差异显著, 圆拱形有底无缝隙礁的诱集效果与对照组相比差异不显著外, 其余礁体对刺参的诱集效果与对照

组相比均极显著, 说明刺参对参礁的反应较为明显, 符合刺参的生活习性。

正三棱柱礁的 3 个处理组的 MAR 均高于圆拱形礁, 正三棱柱无底无缝隙礁集参效果最好, 与有底有缝隙礁处理组、有底无缝隙处理组其相比有显著性差异, 这可能与其中的隔板提供了更多的阴影有关; 距水槽底部 3.4 cm 的礁体诱集效果显著高于距离为 0.8 cm 的礁体, 这可能是由于其提供的空隙和阴影处较多且光亮度较低, 因此对刺参的诱集效果较好; 实验观察中发现刺参对礁体的第一反应为寻找有阴影的空隙钻入, 若未发现缝隙和阴影处则大多数刺参会向礁体两侧移动离开, 由于正三棱柱和圆拱形有底无缝隙参礁与水槽底面没有缝隙, 因此相对于其他礁体的诱集效果较差, 张硕等^[21]得出立方体礁和塔形礁两者之间 MAR 没有显著性差异的结论可能也是由于上述原因所致。说明刺参对礁体形状有选择性, 且主要和礁体所提供的空隙和阴影面积大小、数量和光亮度有关。

在不同材料正三棱柱形无底无缝隙礁实验中, 黏土材料礁体诱集效果最好, 与水泥、PVC 材料礁体诱集效果相比有显著性差异, 水泥材料也显著高于 PVC 材料, Dong 等^[20]通过实验也得到 PVC 管集参效果显著差于瓦片的结论, 说明刺参对礁体材料有选择性。实验中发现, 刺参在 PVC 材料箱形和竖形礁中行为不稳定, 大部分刺参一直处于爬动状态, 而在水泥材料和黏土材料礁体内行为较稳定, 崔勇等^[22]通过实验也发现水泥制礁聚集的刺参多在其表面, 而大理石制礁聚集的刺参多在其底部, 这可能主要与 PVC 材料和大理石材料礁体表面粗糙度较低有关, 而黏土材料和水泥材料礁体的表面粗糙度都要高于 PVC 材料, 进一步说明刺参对礁体材料的选择主要和礁体材料表面粗糙度有关。

另外, PVC 材料礁体在投礁后第 1 天的聚集率高于第 2 天和第 3 天, 但与第 2 天和第 3 天相比波动较大, 而其他礁体聚集率波动较平稳, 这可能是由于 PVC 材料礁体虽能为刺参提供空隙或阴影处, 但由于其材料表面粗糙度较低不利于

刺参的附着,进而促使一部分刺参选择离开礁体,这说明刺参首先选择礁体形状,然后选择礁体材料。总体来说,刺参优先选择形状(与礁体提供的空隙大小和阴影处光亮度有关),再对礁体材料进行选择(与表面粗糙度有关)。此外,实验还观察到礁体底部与水槽底部如果没有缝隙或空隙时,少数刺参虽有向上爬动的趋向,但若刺参触手触及不到礁体底部顶端,不能水平爬进礁体内部,则会选择离开礁体,这可能和刺参体长有关,因此建议在参礁设计时应考虑增加礁体底部合适大小的缝隙处、礁体上层空间的阴影处以及加大表面粗糙程度以提高人工参礁对刺参的聚集效果。

本研究在室内水槽中进行,在礁体的上层空间刺参分布较少,且 3 种不同距离空隙的礁体在区域 7、9 和 13 中的诱集效果没有显著性差异,这可能主要是因为水槽中水体处于无流或少流(充氧引起的弱小水流)状态,而流态对刺参的诱集效果可能有重要影响,此外温度、盐度、pH 等外部环境以及刺参自身行为对参礁的诱集效果可能也有一定的影响,今后还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 小川良德,竹村嘉夫.人工鱼礁に対する鱼群行动の试验的研究 I-VI[J]. 东海水研报, 1966, 45: 108-161.
- [2] 小川良德. 人工鱼礁と鱼付き:人工鱼礁とその效果[J]. 水产增殖临时号, 1968, 7: 1-21.
- [3] 岗本峰雄,黑木敏郎,村井徹. 人工鱼礁近傍の鱼群生態に関する予備的研究-猿岛北方鱼礁群の概要[J]. 日本水产学会誌, 1979, 5: 709-713.
- [4] 増沢寿. 人工鱼礁と生産効果[J]. 水产土木, 1974, 11(1): 19-25.
- [5] 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, 34(4): 653-658.
- [6] 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.
- [7] 吴静,张硕,孙满昌,等. 不同结构的人工礁模型对牙鲆的诱集效果初探[J]. 海洋渔业, 2004, 26(4): 271-276.
- [8] 张硕,孙满昌,陈勇,等. 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.
- [9] 陈勇,刘晓丹,吴晓郁,等. 不同结构模型礁对许氏平鲉幼鱼的诱集效果[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(2): 153-157.
- [10] 陈勇,吴晓郁,邵丽萍,等. 模型礁对幼鲆、幼海胆行为的影响[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(4): 361-365.
- [11] 唐衍力,房元勇,梁振林,等. 不同形状和材料的鱼礁模型对短蛸诱集效果的初步研究[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版, 2009, 39(1): 43-46.
- [12] 廖玉麟. 棘皮动物门海参纲,中国动物志[M]. 北京:科学出版社, 1997: 1-334.
- [13] Conand C, Byrne M. A review of recent developments in the world sea cucumber fisheries[J]. Mar Fish Rev, 1993, 55: 1-13.
- [14] Higuchi R, Inagaki M, Togawa K, et al. Isolation and structure of cerebroside from the sea cucumber *Entacta australis*[J]. Liebigs Ann Chem, 1994, 8: 653-658.
- [15] 秦传新,董双林,牛宇峰,等. 不同类型附着基对刺参生长和存活的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(3): 392-396.
- [16] 薛素燕. 养殖刺参(*Apostichopus japonicus*)的生态习性及其代谢生理的初步研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2007: 1-43.
- [17] 田涛. 人工鱼礁资源增殖生态学的研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2007: 152-182.
- [18] 张辉,王印庚,荣小军,等. 刺参的趋光性以及对附着基颜色的感应行为[J]. 生态学杂志, 2009, 28(3): 477-482.
- [19] 周玮,王志松,王军. 黄海北部仿刺参浮游幼体发生与附着习性的初步研究[J]. 大连水产学院学报, 2001, 16(3): 228-232.
- [20] Dong G C, Dong S L, Wang F, et al. Effects of materials, incubation time and colors of artificial shelters on behavior of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*[J]. Aqu Engin, 2010, 43(1): 1-5.
- [21] 张硕,陈勇,孙满昌. 光强对刺参行为特性和人工礁模型集参效果的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 13(1): 20-27.
- [22] 崔勇,关长涛,万荣,等. 海珍品人工增殖礁模型对刺参聚集效果影响的研究[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(2): 109-113.

Attractive effects of artificial reef models of different shapes, materials and spatial arrangements on Japanese sea-cucumber *Apostichopus japonicas*

ZHANG Junbo¹, LIANG Zhenlin^{1,2}, HUANG Liuyi¹, TANG Yanli¹, YANG Chenxing¹, GAO Qinfeng¹

1. Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Marine College, Shandong University, Weihai 264209, China

Abstract: In providing shelter for sea-cucumbers, artificial reefs also protect and enhance sea-cucumber stocks. However, few studies have been conducted on the benefits and attractive effects of artificial reefs on the Japanese sea-cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka 1867. Thus, based on behavioral studies, the behavior of *A. japonicus* under natural light in an experimental water-tank, with and without (control group) artificial reef models, was observed. *A. japonicus* of 2–7 cm body length and 2–30 g body weight were used. The floor of the water tank was divided into 15 sections with different artificial reef models varying in shape, material and distance from the tank bottom (referred to as “space”). Mean distribution rates (MDR) of *A. japonicus* were recorded and the mean attractive rates (MAR) of the reef models were analyzed and compared. Observations demonstrated that *A. japonicus* tended to climb the tank wall in search of shaded areas or narrow interspaces. For the PVC reef models, *A. japonicus* passed through them but seldom stayed. The MAR for the triangular prism model without a base and space was significantly different from the control group ($P<0.01$), the triangular prism model with a base and space and the triangular prism model with a base and without space ($P<0.05$). The MAR of the clay model was significant higher than either the cement or PVC models ($P<0.05$). The MAR of the tile model with a 3.4-cm space from the tank bottom was very significantly different from the control group ($P<0.01$) and was much higher than the tile model with a 0.8-cm space from the tank bottom ($P<0.05$). Results have shown that: (1) artificial reefs have a desirable effect on *A. japonicus*, (2) the preference for reef shape was related to interspaces and degree of shade, and (3) the preference for reef material was related to surface roughness, which was top priority for *A. japonicus*.

Key words: artificial reef; attractive effect; reef material; reef shape; *Apostichopus japonicus*

Corresponding author: LIANG Zhenlin. E-mail:liang@ouc.edu.cn