

刺参对人工礁体设计关键指标的选择性

林承刚^{1,2}, 汝少国¹, 杨红生², 张立斌², 刘石林², 许 强²

(1. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003, 2. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 采用平均聚集率(Mean Attractive Rate, MAR)作为统计分析指标, 研究了仿刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)对人工礁体结构设计关键指标(孔径、间隙、颜色、夹角)的选择性及其行为特性。结果表明: (1) 随着实验时间延长, 仿刺参在礁体模型上的聚集数量呈上升趋势; (2) 礁体模型在自然光照条件下的聚参效果优于黑暗条件下的聚参效果($P < 0.05$); (3) 孔径组各水平间聚参效果比较: 2 cm > 4 cm, 16 cm > 8 cm ($P < 0.05$), 4 cm 与 16 cm 间差异不显著; 间隙组各水平间聚参效果比较: 2 cm > 4 cm > 6 cm > 8 cm ($P < 0.05$); 颜色组各水平间聚参效果比较: 黑色、蓝色、红色 > 绿色 > 白色 > 透明($P < 0.05$), 黑色、蓝色、红色间差异不显著; 夹角组各水平间聚参效果比较: 15° > 30° > 45°、60° > 90°、120° ($P < 0.05$), 45°与 60°差异不显著, 90°与 120°差异不显著。说明仿刺参适应礁体模型需要一定时间, 呈负趋光性。10 g 至 30 g 的仿刺参, 对设计指标为 2 cm 孔径、2 cm 间距、深色、15°夹角的人工礁体, 具有较好地选择性。

关键词: 仿刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka); 人工礁; 平均聚集率; 选择性

中图分类号: S953.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2012)03-0013-09

仿刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka), 又称刺参, 多栖息于岩礁、珊瑚礁或乱石与泥滩结合部, 尤其以波流静稳、海草繁茂处聚集较多, 主要分布在 35°N 到 44°N 的西北太平洋沿岸浅海^[1-2]。随着刺参人工育苗技术的提高, 刺参养殖规模逐渐扩大, 并形成工厂化养殖、围堰养殖、浅海底播增养殖等多种养殖模式。其中围堰养殖和浅海底播增养殖是中国北方刺参的主要养殖方式^[3]。在围堰养殖、浅海底播增养殖模式中, 经过科学选点投放一定形状的人工礁体, 作为基础增养殖设施, 能够改善、修复和优化刺参栖息环境, 为刺参提供索饵、繁殖、生长发育等场所, 起到保护、增殖的重要作用。研究人工礁体对刺参的聚集效果, 发现人工礁体设计关键指标与刺参聚集行为的内在联系, 从而选择更适合刺参聚集与栖息的礁体类型, 成为礁体建设中一个不可或缺的重要环节。

对人工礁体的研究, 前期主要集中在其与不同鱼类之间的关系, 如红鲷、牙鲆、大泷六线鱼、许氏平鲈、花尾胡椒鲷等^[4-11], 对于其与刺参的关系则研究较少。只从较宏观的方面研究了不同形状、颜色、材质的礁体对刺参聚集、生长和存活的影响^[12-15], 但对人工礁体结构设计关键指标与刺参之间的关系研

究较少。

本研究将人工礁体结构设计关键指标(孔径、间隙、颜色、夹角等)进行分解, 将每一指标模型化, 制作出 4 组与指标相对应的礁体模型。每组礁体模型内划分为不同水平, 逐一比较其对刺参的聚集效果, 以衡量刺参对它们的选择性, 完善刺参行为生态学的研究。通过本实验了解刺参在人工礁体上的分布特点及规律, 从而挑选出刺参聚集效果较为理想的指标, 以期对人工参礁的构造、增养殖投放区的建造提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品

实验用刺参取自山东东方海洋科技股份有限公司

收稿日期: 2011-07-22; 修回日期: 2011-11-25

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD09A02); 国家 863 计划项目(2006AA10A411); 典型海湾生境与重要经济生物资源修复技术集成及示范项目(200805069)

作者简介: 林承刚(1985-), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 从事刺参行为学研究, 电话: 0532-82898705, E-mail: lcg604@gmail.com; 杨红生, 通信作者, E-mail: hshyang@126.com

司水产良种场。在水池中暂养 14 d, 待刺参适应实验环境, 正常活动、摄食后, 挑选表观正常、体质健壮的刺参进行实验。根据人工礁体结构设计关键指标分为孔径组、间隙组、颜色组和夹角组共 4 组, 各实验组的刺参数量、规格如表 1。

1.1.2 礁体模型

共制作了 4 组礁体模型(图 1), 每组模型对应一个礁体结构设计关键指标, 逐一进行实验:

孔径组礁体模型(规格: 60 cm×60 cm×60 cm, 材质: 混凝土), 由 12 块水泥预制板组装而成, 底板 1 块, 模型内插板 3 块, 孔径板 8 块, 其中直径 2 cm、4 cm、8 cm、16 cm 孔径的孔径板各 2 块, 2 cm 孔径

水泥板上有孔 64 个, 4 cm 孔径水泥板上有孔 16 个, 8 cm 孔径水泥板上有孔 4 个, 16 cm 孔径水泥板上有孔 1 个, 每块水泥板的孔径总面积均为 804.25 cm²;

间隙组礁体模型(规格: 70 cm×70 cm×35 cm, 材质: PVC 波纹板), 模型由 4 部分构成: 间隙 2 cm、4 cm、6 cm、8 cm, 每部分占模型体积的 1/4;

颜色组礁体模型(规格: 70 cm×35 cm×35 cm, 材质: PVC 波纹板), 由 6 部分构成: 黑色、红色、蓝色、绿色、白色、透明, 每部分占模型体积 1/6;

夹角组礁体模型(规格: 40 cm×40 cm×30 cm, 材质: PVC 板), 由 6 部分构成: 15°、30°、45°、60°、90°、120°。

表 1 各实验组刺参数量及规格

Tab. 1 Specifications and numbers of sea cucumbers

组别	总量(头)	湿质量(g)	体长(cm)	体宽*(cm)
孔径组	500	20.57±6.83	8.77±1.44	2.04±0.33
间隙组	500	19.85±6.36	8.55±1.46	2.03±0.34
颜色组	750	23.00±6.60	8.98±1.74	2.25±0.31
夹角组	200	15.10±5.90	8.03±1.20	1.66±0.28

注: *指刺参的横切面水平轴长

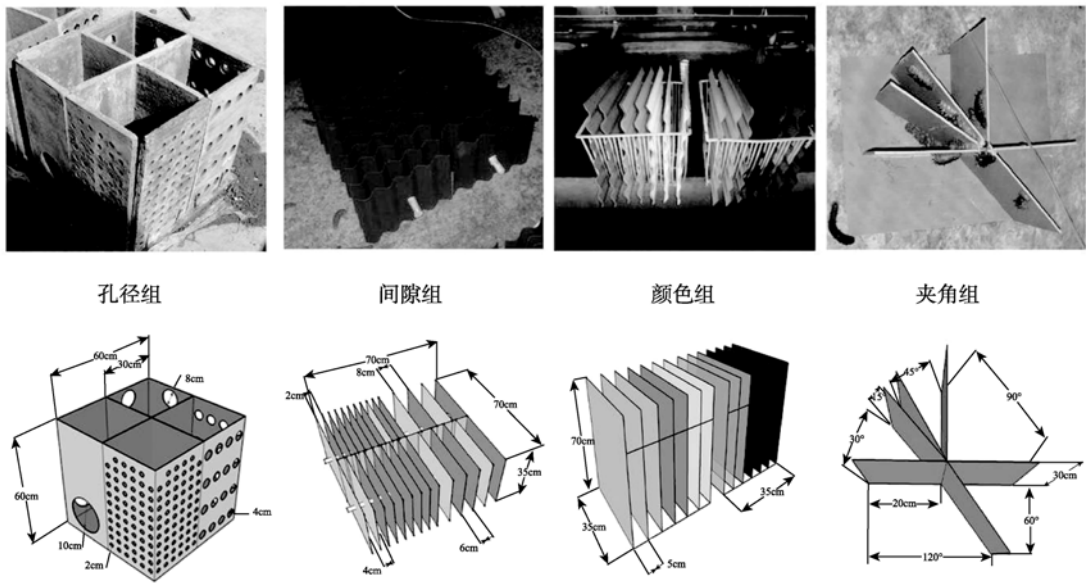


图 1 礁体模型

Fig.1 Artificial reef models

1.1.3 实验布置

根据 4 组礁体模型, 分别选择、布置适宜的实验设施(图 2)。

孔径组、间隙组实验: 长方形水池(340 cm×

210 cm×120 cm), 底面划分为 160 个 20 cm×20 cm 的单元格, 做成平面直角坐标系(单位 cm), 以便记录刺参在水池中位置的变化。水池中心 40 cm×40 cm 区域, 为刺参投放位置, 4 个礁体模型以水池中心为

轴心, 对称放置在水池中, 使刺参接触到各孔径礁体的几率相等;

颜色组实验: 长方形水池(250 cm×150 cm×100 cm), 水池中放置 6 组礁体(放置 2 排, 每排 3 组), 两排礁体中间, 设置 3 个刺参投放位置, 使刺参接触

到各颜色礁体的几率相等;

夹角组实验: 长方形水槽(140 cm×60 cm×50 cm), 水池中放置礁体, 礁体两侧为刺参投放位置, 每 5 天将礁体顺时针旋转 90°, 使刺参接触到各夹角礁体的几率相等。

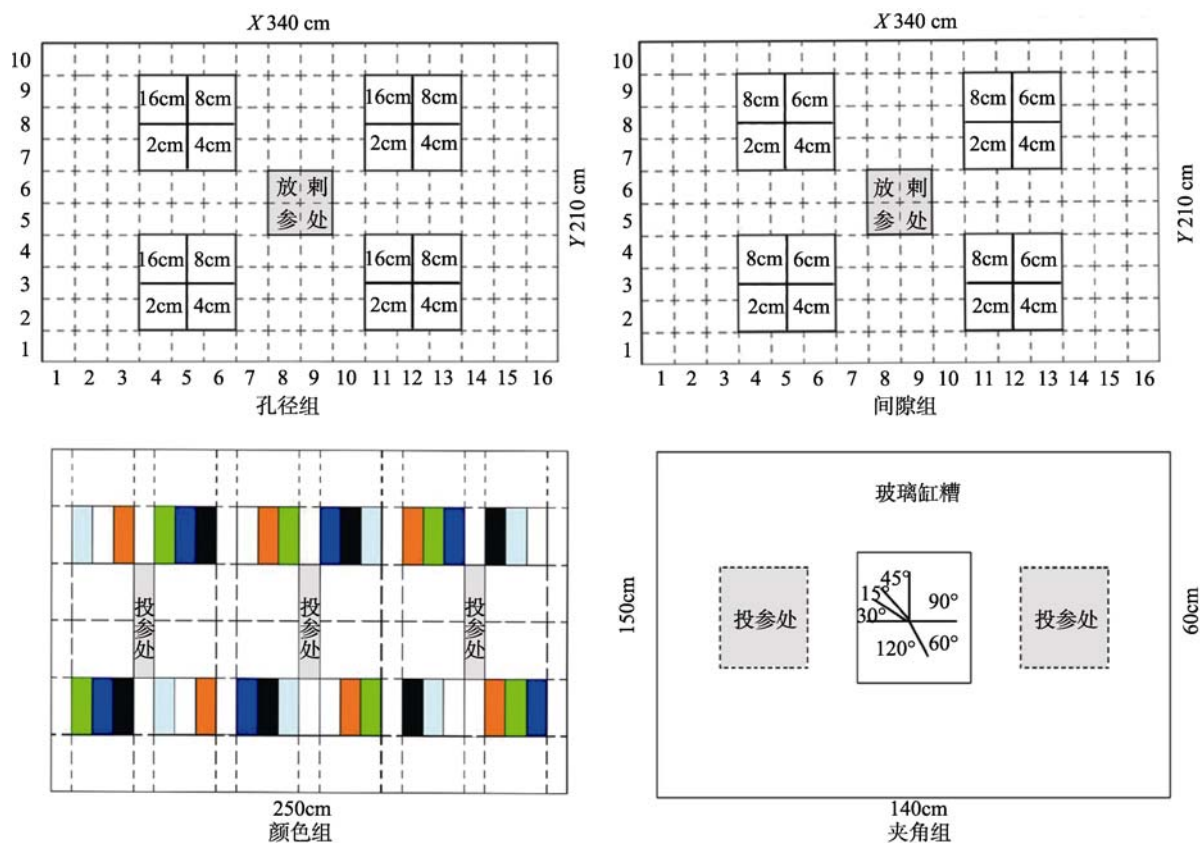


图 2 实验水池简图

Fig. 2 Sketch of the test tanks

实线区域为礁体模型放置区, 阴影区域为刺参投放点

The solid line represents artificial reef models, and sea cucumbers were placed in the shade areas

1.2 方法

实验前刺参先暂养 14 d。实验期间, 水温 13.6~15.6 °C, 盐度 32±0.5, pH 7.65~8.32, 溶解氧 5.70~6.84 mg/L, 每天换水 1~2 次, 换水量为 1/2~2/3, 每 5~7 天对水池进行清底, 每天 15:00 投饵, 日投喂量为刺参体质量的 2%~10%, 投饵时将饵料均匀撒入水池中, 减少饵料分布对刺参聚集行为的影响。

1.2.1 刺参对不同孔径、间隙的选择性比较

实验为期 4 周, 实验开始时, 将 100 头刺参分别放置在孔径组、间隙组水池中央的投放点, 水池中分别放置 4 个孔径组、间隙组礁体模型, 观察刺参的行为活动情况, 待刺参适应水池环境 1 周后, 每隔 4 小

时观察记录刺参在礁体模型上以及水池各区域的分布情况, 连续观察 3 周。实验设 4 组平行实验, 1 组空白对照实验, 空白对照实验的水池不放置礁体模型, 其余与实验组相同。

1.2.2 刺参对不同颜色的选择性比较

实验为期 4 周, 实验开始时, 将 150 头刺参平均分成 3 份, 放置在水池中央 3 个投放点, 观察刺参的行为活动情况, 待刺参适应水池环境 1 周后, 每天 10:00、12:00、14:00、16:00、22:00、0:00、2:00、4:00 观察记录刺参在礁体模型上以及水池各区域的分布情况, 连续观察 3 周。实验设 4 组平行实验, 1 组空白对照实验, 空白对照实验的水池不放置礁体模型, 其余与实验组相同。

1.2.3 刺参对不同夹角的选择性比较

实验为期 25 天, 实验开始时, 将 50 头刺参平均分成 2 份, 放置在礁体模型两侧的投放点, 观察刺参的行为活动情况, 待刺参适应水池环境 5 d 后, 每天 8:00、10:00、12:00、14:00、20:00、22:00、0:00、2:00 观察记录刺参在礁体模型上以及水池各区域的分布情况, 每 5 天将礁体顺时针旋转 90°, 连续观察 20 d。实验设 4 组平行实验, 1 组空白对照实验, 空白对照实验的水池不放置礁体模型, 其余与实验组相同。

1.2.4 统计方法

选取平均聚集率来定量描述各组礁体模型对刺参的聚集效果, 以比较刺参对礁体结构设计关键指标的选择性。

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礁体模型上或某区域的数量之和与实际刺参总数量的比值, 计算公式为^[12]:

$$MAR = \sum_{i=1}^n (N_i / nN) \times 100\%$$

式中, N_i 为各固定时间点第 $i(i=1, 2 \cdots n)$ 次集参数量, N 为该组实验刺参数, n 为实验记录次数。

利用 Spss(13.0)中的单因素方差分析(one-way ANOVA)方法对各类礁体模型、各时间点、各区域的 MAR 指标进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 刺参在人工礁体上聚集特征

孔径组、间隙组实验中, 将刺参放入水池中心 10 min 后, 刺参开始向水池四周缓慢移动, 约 30 min 后达到礁体模型, 2 h 后广泛分布于池底及池壁上。通过 28 d 连续观察, 发现刺参喜栖息在光线较弱的阴影区域, 大部分刺参聚集在礁体模型和池底、池壁阴影区。孔径组礁体模型对刺参的平均聚集率为 39.33%, 间隙组礁体模型对刺参的平均聚集率为 44.11%, 将孔径组、间隙组、空白对照组各单元格以及礁体模型上的 MAR 绘制出等值线图(图 3)、表面图(图 4), 峰型区域为礁体模型区域。

2.2 刺参对礁体模型的适应情况

连续观察记录表明, 随着实验时间的延长, 刺参在孔径组与间隙组礁体模型上的平均聚集率虽略有起伏, 但总体呈上升趋势, 对照组中对应区域的

平均聚集率无明显变化(图 5), 表明刺参适应礁体模型需要一定时间, 随实验时间延长, 聚集在礁体模型上的刺参数量呈上升趋势。

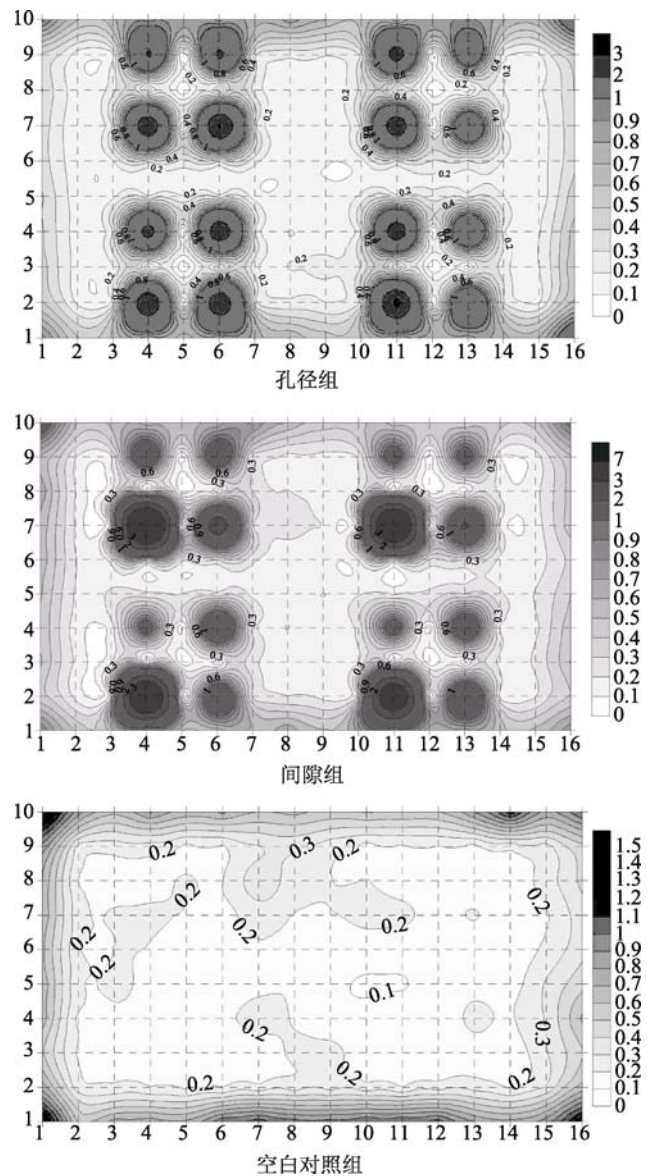


图 3 孔径组、间隙组、空白对照组各区域 MAR 等值线图
Fig. 3 The isograms of mean attractive rate in each area

2.3 不同时间点礁体的聚参效果比较

间隙组与颜色组实验表明, 在自然光照条件下(8:00、10:00、12:00、14:00、16:00)礁体 MAR 显著大于黑暗条件下(20:00、22:00、0:00、2:00、4:00)礁体 MAR ($P < 0.05$); 自然光照条件下对照组对应区域 MAR 显著小于黑暗条件下 MAR ($P < 0.05$)(图 6), 表明刺参夜间主要在礁体模型外区域活动, 白天主要栖息在礁体模型区域。

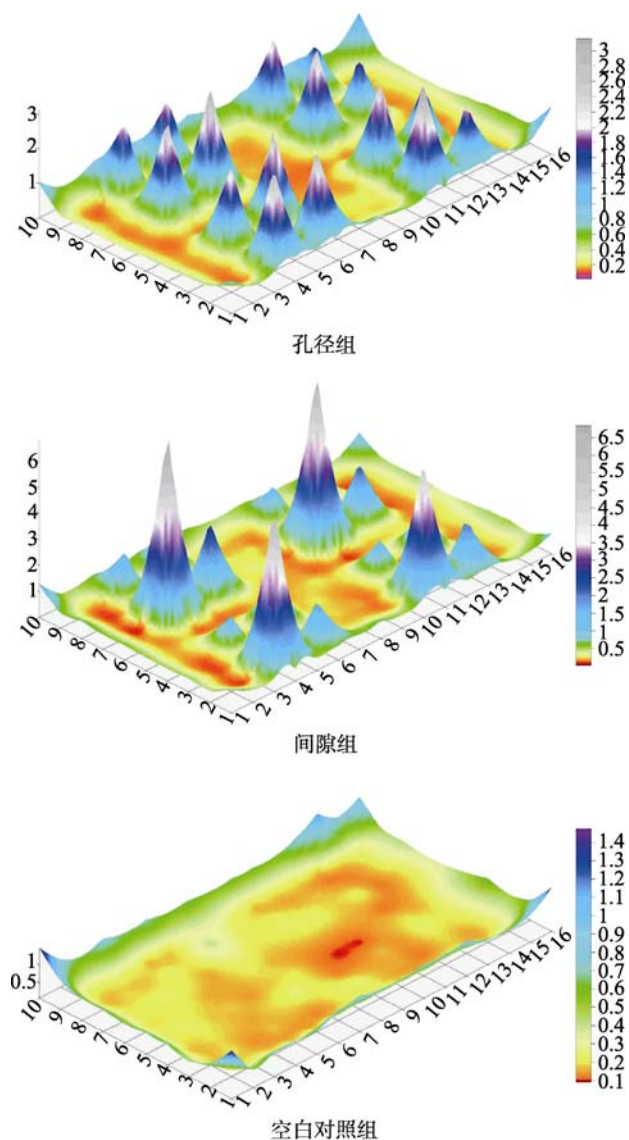


图4 孔径组、间隙组、空白对照组各区域 MAR 表面图
Fig. 4 The surface figures of mean attractive rate in each area

2.4 关键指标各水平间聚参效果的比较

孔径指标各水平间 MAR 比较(图 7): 2 cm > 4 cm、16 cm > 8 cm 差异显著($P < 0.05$), 4 cm 与 16 cm 间差异不显著。2 cm 孔径聚集刺参效果最佳, 为 $11.64\% \pm 2.00\%$, 8 cm 孔径聚集刺参效果最差, 为 $8.44\% \pm 2.04\%$, 表明刺参对大小与自身体宽相仿的孔径水平选择性较高。

间隙指标各水平间 MAR 比较(图 8): 2 cm > 4 cm > 6 cm > 8 cm, 差异显著($P < 0.05$), 2 cm 间隙聚集刺参效果最佳, 为 $23.72\% \pm 1.50\%$, 8 cm 间隙聚集刺参效果最差, 为 $5.45\% \pm 0.63\%$, 表明刺参对间距大小

与自身体宽相仿的间隙水平选择性较高。

颜色指标各水平间 MAR 比较(图 9): 红色、蓝色、黑色 > 绿色 > 白色 > 透明, 差异显著($P < 0.05$), 红色、蓝色、黑色间差异不显著; 红色、蓝色、黑色等深色聚集刺参效果最佳, 分别为 $16.79\% \pm 1.41\%$ 、 $16.36\% \pm 2.35\%$ 和 $16.25\% \pm 0.99\%$, 透明聚集刺参效果最差为 $10.11\% \pm 0.44\%$, 表明刺参对于深颜色材料选择性较高。

夹角指标各水平间 MAR 比较(图 10): $15^\circ > 30^\circ > 45^\circ$ 、 $60^\circ > 90^\circ$ 、 120° , 差异显著($P < 0.05$), 15° 夹角聚集刺参效果最好为 $3.50\% \pm 0.41\%$, 90° 和 120° 夹角聚集刺参效果最差, 分别为 $0.71\% \pm 0.038\%$ 和 $0.67\% \pm 0.003\%$, 表明刺参对于较小的夹角选择性较高。

3 讨论

3.1 刺参行为及其对礁体模型的适应

本实验中, 刺参喜栖息在光线较弱的礁体模型和池底、池壁阴影区, 这与刺参在自然海区的栖息环境相符: 自然海区里, 刺参主要分布在 3~15 m 水深的区域, 此水层内的水下光照度均在 15 lx 以下^[15-16]。Annie 等^[17]报道糙海参(*Holothuria scabra*)在五触手幼体发育阶段, 呈负趋光性, 且喜欢栖息在光照度较低的底层物体阴影中; 张硕等^[12]发现刺参呈负趋光性, 适宜栖息在 10 lx 以下的弱光照环境下, 均与本实验结果相符。

随着实验时间的延长, 孔径组与间隙组的刺参在礁体模型上的聚集数量呈上升趋势, 而颜色组与夹角组的刺参在礁体模型上的平均聚集率无明显差异。产生此差别的原因可能是颜色组礁体模型数量较多, 在水池中所占面积较大(颜色组 39.2%, 孔径组、间隙组 22.5%); 夹角组单位面积刺参数量较大(夹角组 59.5 头/ m^2 , 孔径组与间隙组 14.0 头/ m^2), 这使颜色组与夹角组的刺参都较易与礁体模型与水池壁接触, 减少了刺参的适应时间。

3.2 刺参昼夜行为差异

间隙组、颜色组礁体模型不同时间点聚参效果比较的实验结果表明, 在自然光照条件下刺参多聚集在礁体模型内部, 黑暗条件下刺参多分布于礁体模型外区域, 说明刺参在白天自然光照条件下以礁体模型作为避光、栖息场所, 夜间黑暗条件下离开礁体模型摄食, 这与刺参昼伏夜出的生活习性有关。

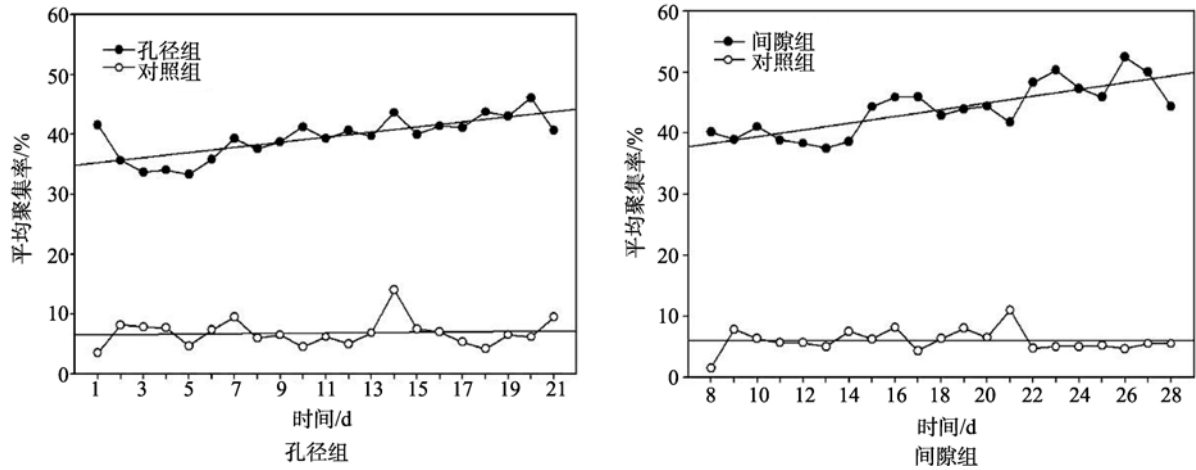


图 5 随时间延长 MAR 的变化情况
Fig. 5 Changes of MAR in artificial reef models

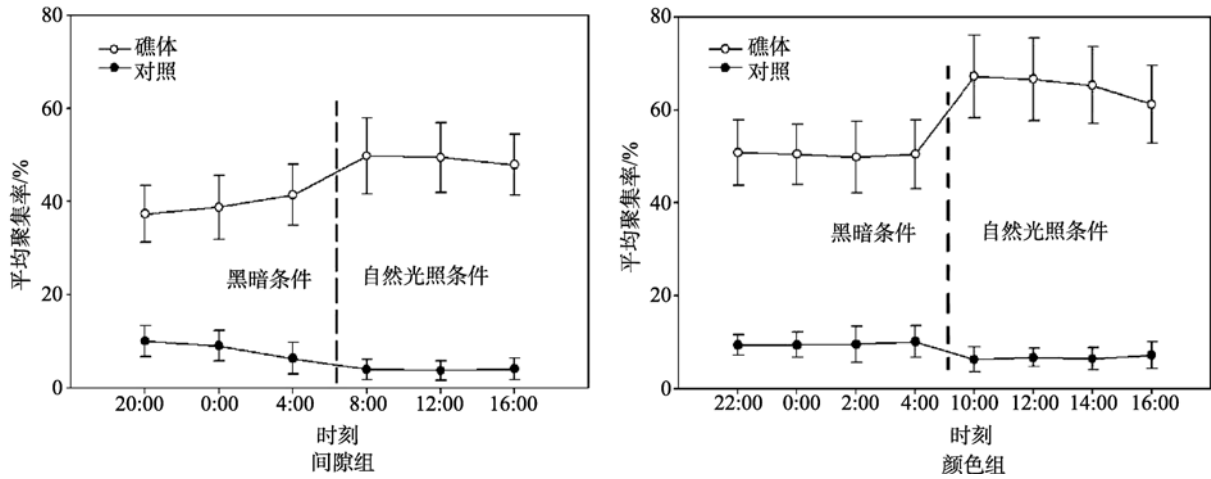


图 6 光照对各时间点 MAR 的影响
Fig. 6 Effects of light on mean attractive rate of artificial reef models

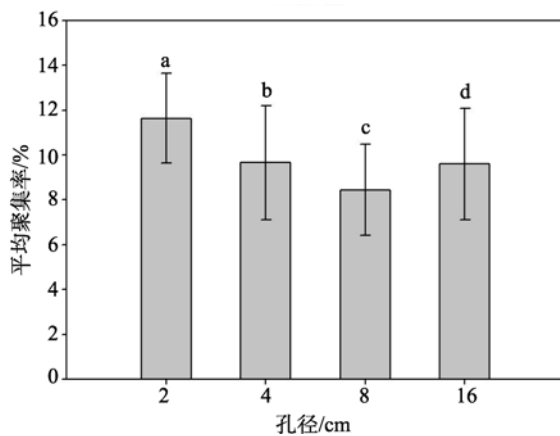


图 7 孔径组各水平 MAR

Fig. 7 Mean attractive rate versus aperture of aperture reef models
不同字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$), 下同
Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$) and bars represent standard errors of means, the same below

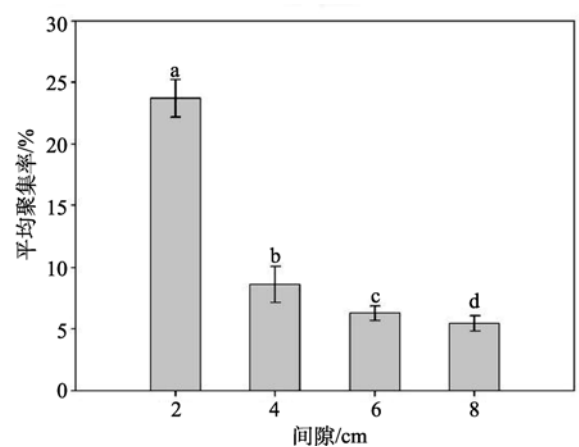


图 8 间隙组各水平 MAR

Fig. 8 Mean attractive rate versus interval spacing of spacing reef models

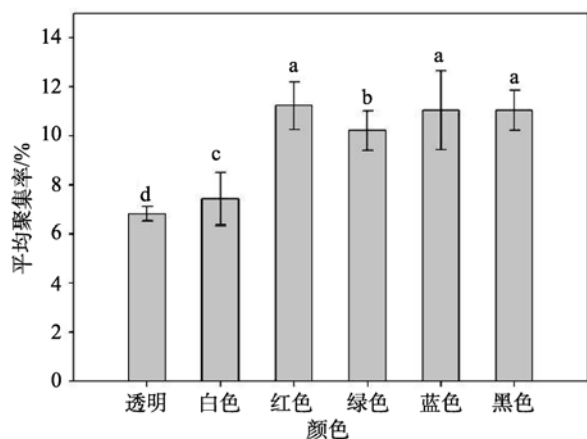


图9 颜色组各水平 MAR

Fig. 9 Mean attractive rate versus colour of colour reef models

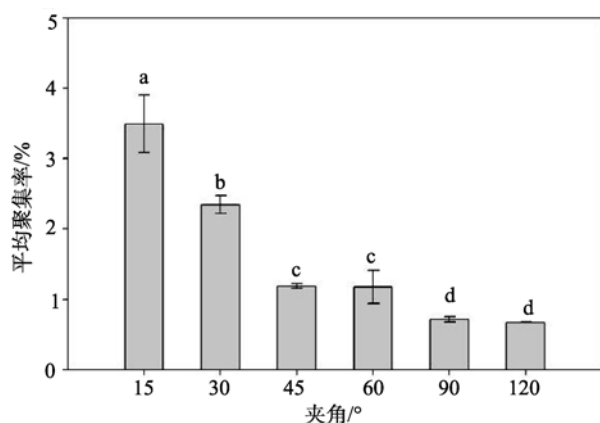


图10 夹角组各水平 MAR

Fig. 10 Mean attractive rate versus included angle of angle reef models

3.3 刺参聚集效果的比较

本实验中, 体宽 2 cm 的刺参, 对 2 cm 孔径、2 cm 间隙、深色、15°夹角的礁体结构设计关键指标选择性最好。奥村重信^[18]等对刺点石斑鱼(*Epinephelus akara*)幼鱼, 陈勇等^[8, 19]对许氏平鲉幼鱼(*Sebastes schlegeli*)、幼鲍(*Haliotis*)、幼海胆(*Hemicentrotus pulcherrimus*)行为的研究结果表明, 鱼礁结构的遮蔽越强、内部缝隙越小对幼鱼的聚集效果越好。这与本实验结果相符, 分析其原因:

(1) 2 cm 孔径、2 cm 间隙的礁体结构所构造的空间恰好可供体宽 2 cm 的刺参容身, 这一种特定空间结构对个体较大的动物(如刺参捕食者)具有阻拦效果^[20], 15°夹角的礁体结构, 较其他夹角的礁体模型, 能够减少刺参被捕食者发现的几率, 因此这 3 种空间结构对刺参规避捕食风险贡献最大, 利于个体存

活、种群繁衍, 故刺参对其选择性较高^[21-23]。与此同时, 2 cm 孔径、2 cm 间隙、15°夹角的礁体结构更便于刺参攀附, 能够使刺参的活动范围从原来的底层扩展到中上层水体, 由二维平面扩展到三维空间, 增加了刺参的分布区域。

(2) 刺参主要摄食附着物上繁生的底栖硅藻、原生动物等微小生物及附着其上的有机质^[24], 而孔径越小、间隙越密、夹角越小, 单位空间内饵料的生长面积、刺参的附着面积越大, 因此扩大了饵料来源, 减小了饥饿风险, 并且减少了摄食能量消耗, 提高了摄食效益。同时, 由于刺参具有负趋光性, 小孔径、密间隙、窄夹角、深颜色的条件提供了更多阴影区域, 所以此设计指标的人工礁体更利于刺参活动、摄食。

与此同时, 刺参喜欢在阴影较多以及有利隐蔽的地方活动, 故光照也是影响刺参对人工礁体结构设计关键指标的选择性的重要因素。而小孔径、密间隙、窄夹角、深颜色的礁体结构设计关键指标, 为刺参提供了更多阴影区域, 利于刺参的分布, 这与前人发现多数刺参对强光耐受力较差, 故选择光强较低的礁体模型阴影区栖息或附着在礁上相符^[12,15,25]。必须指出, 室内模拟研究条件上受到一定的限制, 今后的实验应尽量模拟海底流场, 综合考虑自然海域中礁体在流场中的变化以及底质、饵料生物等因素对刺参行为影响等。

致谢: 山东东方海洋科技股份有限公司刘佳亮主任、曹学彬副主任为实验的设计和实施了宝贵建议及耐心帮助, 特此感谢。

参考文献:

- [1] 宋宗岩, 刘政海. 刺参养殖不同材料附着基的利弊分析[J]. 水产世界, 2009, 6: 39.
- [2] 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: 148-149.
- [3] Chen J. Present status and prospects of sea cucumber industry in China[M]. FAO Fisheries Technical Paper, 2004: 26.
- [4] Patterson W F, Cowan J H, Wilson C A, et al. Age and growth of red snapper, *Lutjanus campechanus*, from an artificial reef area off Alabama in the northern Gulf of Mexico[J]. Fish Bull, 1999, 99(4): 617-627.
- [5] 张硕, 孙满昌, 陈勇. 人工鱼礁模型对大泷六线鱼和

- 许氏鲷平幼鱼个体的诱集效果[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(1): 13-19.
- [6] 吴静, 张硕, 孙满昌, 等. 不同结构的礁体模型对牙鲆的诱集效果初探[J]. 海洋渔业, 2004, 26(4): 271-276.
- [7] 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] 陈勇, 刘晓丹, 吴晓郁, 等. 不同结构模型礁对许氏平鲷幼鱼的诱集效果[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(2): 153-157.
- [9] 何大仁, 罗会明, 郑美丽. 孔沙丁鱼和勃氏银汉鱼趋光特性的研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1980.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 张硕, 陈勇, 孙满昌. 光强对刺参行为特性和礁体模型集参效果的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 13(1): 20-26.
- [13] 陈勇, 高峰, 刘国山. 温度、盐度和光照周期对刺参生长及行为的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(5): 687-691.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 常亚青, 丁君, 宋坚. 海参、海胆生物学研究与养殖[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [17] Annie M, Stephen C, Jean-Francois H. Settlement preferences and early migration of the tropical sea cucumber *Holothuria scabra*[J]. J Exp Mar Bio Ecol, 2000, 249: 89-110.
- [18] 奥村重信, 津村誠一, 丸山敬悟. 水槽実験によるキジハタ幼魚保護礁の素材評価[J]. 日本水産学会誌, 2002, 68(2): 186-191.
- [19] 陈勇, 吴晓郁, 邵丽萍, 等. 模型礁对幼鲍、幼海胆行为的影响[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(4): 361-365.
- [20] Moksnes P O, Lipcius R N, Pihl L, et al. Cannibal-prey dynamics in young juveniles and postlarvae of blue crab[J]. J.Exp Mar Biol Ecol, 1997, 215(2): 157-187.
- [21] Beukers J S, Jones G P, Buckley RM. Use of implant microtags for studies on populations of small reef fish[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1995, 125: 61-66.
- [22] Palma A T, Wahle R A, Steneck R S. Different early post-settlement strategies between American lobsters *Homarus americanus* and rock crabs *Cancer irroratus* in the Gulf of Maine[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1998, 162: 215-225.
- [23] Olmi E J, Lipcius R N. Predation on postlarvae of the blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun by sand shrimp *Crangon septemspinosa* Say and grass shrimp *Palaeomonetes pugio* Holthuis[J]. J.Exp Mar Biol Ecol, 1991, 151(2): 169-183.
- [24] 张宝琳, 孙道元, 吴耀泉. 灵山岛浅海岩礁区刺参食性初步分析[J]. 海洋科学, 1995, 19(3): 11-13.
- [25] 张晓燕. 光对刺参稚体色素影响的实验[J]. 海水养殖, 1986, 1(1): 37-38.

Selectivity of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*, Selenka) for key indicators in artificial reef structure design

LIN Cheng-gang^{1,2}, RU Shao-guo¹, YANG Hong-sheng², ZHANG Li-bin², LIU Shi-lin², XU Qiang²

(1.College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003,China; 2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Jul., 22,2011

Key words: *Apostichopus japonicu*; artificial reef model; mean attractive rate; selectivity

Abstract: The behavior and selectivity of sea cucumber (*Apostichopus japonicus* Selenka) for key indicators (aperture, interval spacing, colour, included angle) in artificial reef structure design were studied and examined by mean attractive rate(MAR) method in this paper. The results showed that: (1) The MAR in artificial reef models increased as time went by. (2) The MAR in artificial reef models was significantly higher in natural light than in darkness ($P<0.05$). (3) The MAR was in the order of 2 cm> 4 cm, 16 cm> 8 cm ($P<0.05$) in different aperture reef models, 2 cm> 4 cm> 6 cm> 8 cm ($P<0.05$) in different interval spacing reef models, black, red, blue> green> white> transparent ($P<0.05$) in various colours reef models, and 15°> 30°> 45°, 60°> 90°, 120° ($P<0.05$) in different included angle reef models. Thus, the sea cucumbers ranging from 10 to 30 g, which showed negative phototaxis, need time to adapt to the artificial reef models and showed better selectivity for 2 cm aperture, 2 cm spacing, dark colour, 15°included angle than the other key indicators in artificial reef structure design.

(本文编辑: 梁德海)