

不同类型附着基对刺参栖息趋向性的影响分析

管敏^{1,2} 王印庚^{2*} 陈贵平² 廖梅杰² 潘鲁青¹ 薛太山³

(¹中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 青岛 266003)

(²农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(³青岛瑞滋海珍品发展有限公司, 266409)

摘要 利用单位体积平均聚集数量(Average Gathered Number of Unit Volume, AGNUV)和平均聚集率(Mean Attractive Rate, MAR)统计分析了刺参对 10 种附着基(石块、三角瓦、U 形瓦、遮阳网、网笼附着基、竹制附着基、三孔砖、涡流式异形瓦、大多棱瓦、小多棱瓦)和 8 种栖息分布区域(池壁面、池棱角、池底面、附着基上、附着基下、附着基棱角凹槽处、附着基内、附着基外)的选择趋向差异性。结果表明,不同类型附着基诱集刺参的效果为:大多棱瓦>石块>三孔砖>小多棱瓦>U 形瓦>涡流式异形瓦>三角瓦>网笼附着基>遮阳网>竹制附着基,且大多棱瓦集参效果与三角瓦、网笼附着基、遮阳网、竹制附着基、涡流式异形瓦差异极显著。本研究还发现刺参在水泥池棱角处的 MAR(21.02%)高于池壁面 MAR(8.23%)和池底面的 MAR(15.68%);刺参在附着基下方和附着基内部的 MAR 分别高于在附着基上方和附着基外部的 MAR。此外,实验结果也表明,1)大多棱瓦附着基对刺参具有最佳诱集效果;2)刺参对栖息位置具有选择趋向性,且不同时间刺参对栖息位置的选择存在显著性差异;3)石块、网笼附着基、遮阳网不宜作为附着基。

关键词 刺参 附着基 栖息 趋向性 平均聚集率

中图分类号 S967.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2012)04-0042-07

The effect of different artificial substrates on the inhabitation taxis of sea cucumber *Apostichopus japonicus*

GUAN Min^{1,2} WANG Yin-geng^{2*} CHEN Gui-ping²

LIAO Mei-jie² PAN Lu-qing¹ XUE Tai-shan³

(¹Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003)

(²Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(³Qingdao Ruizi Precious Seafood Development Limited Company, 266409)

ABSTRACT By calculating and analyzing the average gathered number of unit volume (AGNUV) and the mean attractive rate (MAR) on ten types of artificial substrates and 8 distributional areas, the inhabitation taxis and selection of *Apostichopus japonicus* was estimated. The

国家十二五 863 课题(2012AA10A412)、山东省农业良种工程重大课题、科研院所技术开发研究专项项目(2011EG34219)、国家自然科学基金项目(30901120)和青岛市科技计划项目(11-1-11-hy)共同资助

* 通讯作者。E-mail: wangyg@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85841732

收稿日期: 2011-06-17; 接受日期: 2012-03-31

作者简介: 管敏(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事养殖生态与疾病防控研究。E-mail: guanmin888@163.com

results showed that the attractive effect of 10 substrates was in the following descending order: big poly-arris tile, stone, three-hole brick, small poly-arris tile, U-shaped tile, eddy abnormality tile, triangle tile, cage substrate, sunshade net and bamboo substrate. There was significant difference between the big poly-arris tile and eddy abnormality tile, triangle tile, cage substrate, sunshade net and bamboo substrate. It also showed that the MAR of pool edge angle (21.02%) was higher than that of pool wall (8.23%) and pool bottom surface (15.68%), while the MAR underneath and inside of substrate was respectively higher than that of upside and surface. In addition, the experimental test approved the following: (1) The big poly-arris tile had the best performance in the attractive effect; (2) The sea cucumber had a habit that they tended to stay on different location at different time; (3) Stone, cage substrate and sunshade net were not suitable for sea cucumber culture. The attractive effect of several substrates was compared and analyzed in this study.

KEY WORDS *Apostichopus japonicus* Substrate Inhabit Taxis MAR

刺参 *Apostichopus japonicus* Selenta, 属于棘皮动物门 Echinodermata、刺参纲 Holothuroidea, 自然分布于辽宁、河北、山东、江苏等省的自然海域, 因其具有很高的营养价值和药用价值而位于海味八珍之首, 备受国人青睐(廖玉麟 1997; 常亚青等 2004)。2003 年以来, 随着刺参自然资源的锐减、国内对刺参需求量的日益增加以及刺参养殖业的高额利润回报, 不仅吸引了大量资金投入刺参养殖业, 促进了刺参人工育苗和养殖业的发展, 还促使刺参成为中国北方主要的海水养殖品种之一。

自 20 世纪以来, 国内外学者的研究重点主要集中在繁育、生理、养殖模式、营养饲料及疾病防治等方面(Kan-no *et al.* 2003; 王印庚等 2006; Nakano *et al.* 2006; Yusuke *et al.* 2009), 而有关刺参行为生态学和养殖附着基的研究报道较少。刺参以底栖藻类、细菌等小型底栖生物和有机碎屑为食, 附着基不仅可以保护刺参免受敌害生物的伤害, 而且附着基上的底栖生物和微生物还可以作为刺参的食物来源(Chen 2004; Ambrose *et al.* 1990)。由此, 附着基作为提供刺参栖息和生长的场所, 对提高刺参养殖产量和经济效益具有重要作用。然而, 目前在养殖过程中附着基种类有石块、水泥筑件、瓦片、网笼等 10 余种, 存在着笨重、移动性差、不易清池、布设耗时耗力、易腐蚀或不易采捕等缺点, 严重影响刺参的生长和养殖效益。由此可见, 刺参养殖附着基的性能已经成为制约刺参养殖产量的瓶颈之一。

初期的研究表明, 附着基的颜色、结构和材质对刺参的栖息分布有较大影响, 刺参倾向于栖息在黑色、灰色且粗糙度大的附着基上, 在光照强度 10 lx 以下的区域活动频繁(张 辉等 2009; 张 硕等 2006; 张俊波等 2011)。鉴于目前养殖附着基种类繁多, 材质和结构多样化, 刺参对其相应的附集效果尚不清楚。为此, 作者考虑附着基的属性(材质、形状、大小、颜色、重量等特点), 设计制作 5 种模型并制作成相应的实物模型开展实验, 并与 5 种常见附着基比较, 分析刺参在不同类型附着基上的附集效果及刺参对栖息位置的趋向性, 旨在为刺参附着基的设计研发及刺参人工增殖提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料及设施

实验时间为 2011 年 3 月 28 日~4 月 9 日。实验用刺参取自青岛瑞滋海珍品发展有限公司, 暂养 7d, 待刺参正常活动和摄食后进行实验。实验时随机选取表观正常、活力强的刺参 753 头, 重量平均为 170 ± 40 g。

实验在室内养殖大棚的水泥池中进行, 水泥池规格为 $6.2\text{m} \times 2.3\text{m} \times 1.0\text{m}$, 水深 70cm; 室内光照强度在 $0 \sim 358$ lx 范围内。实验期间水温 $6.8 \sim 8.2$ °C, 盐度 $30.2 \sim 32.1$, pH $7.8 \sim 8.3$, 溶氧 $4.9 \sim 6.1$ mg/L。

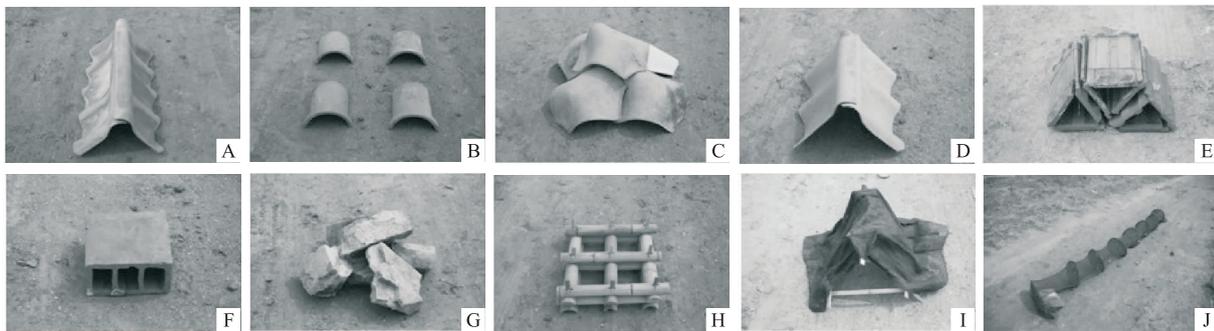
10 种刺参附着基(图 1): 大多棱瓦(A)、U 形瓦(B)、涡流式异形瓦(C)、小多棱瓦(D)、三角瓦(E)、三孔砖

(F)、石块(G)、竹制田字形附着基(H)(简称为竹制附着基)、三角遮阳网片(I)(简称为遮阳网)、网笼附着基(J)。其中,A、C、D形状、大小不同,均由水泥、矿石粉等复合材料制成;B和E是由泥土烧制的瓦片;F是煤矸石材质;G是石块;H是竹子;I和J是聚乙烯材质。实验是在附着基没有附着生物且没有人工投喂饵料的情况下进行的。

1.2 实验设计

实验在3个水泥池中进行,1个水泥池为1个平行实验组,每种附着基在每个池中各摆放1组,每种附着基在池中的位置是随机的,池中各组附着基的间距为40cm,所有附着基均顺进水口方向放置(附着基摆放见图1)。一组石块堆体积为30 000~39 200 cm³;一组三角瓦体积61 740 cm³;一组U形瓦体积83 160 cm³;一组遮阳网体积90 250 cm³;一组网笼附着基体积297 420 cm³;一组三孔砖体积55 488 cm³;一组竹制附着基体积93 025 cm³;一组大多棱瓦体积97 216 cm³;一组小多棱瓦体积48 608 cm³;一组涡流式异形瓦体积75 750 cm³。

每个池子投放251头刺参。每天在06:00、09:00、12:00、15:00、18:00、21:00、24:00、02:00、04:00时观测记录1次各种参礁聚集刺参的数量及分布位置,实验持续5d,分析刺参平均聚集率。



A. 大多棱瓦, B. 形瓦, C. 涡流式异形瓦, D. 小多棱瓦, E. 三角瓦, F. 三孔砖, G. 石块, H. 竹制附着基, I. 遮阳网, J. 网笼附着基
A. Big poly-arris tile, B. U-shaped tile, C. Eddy abnormality tile, D. Small poly-arris tile, E. Triangle tile, F. Three-hole brick, G. Stone, H. Bamboo substrate, I. Sunshade net, J. Cage substrate

图1 刺参附着基类型

Fig. 1 The substrates for sea cucumber culture

1.3 统计方法

实验以附着基单位体积上刺参的平均聚集数量(Average Gathered Number of Unit Volume, AGNUV)作为刺参对不同附着基选择性栖息的指标。单位体积平均聚集数是指在附着基实验中,平均每个统计周期某固定时间点在每个附着基单位体积上刺参聚集的平均数量,计算公式为:

$$\text{单位体积平均聚集数} = \sum_{i=1}^n N_i / nV \quad (1)$$

式中, N_i 为各固定时间点第*i*($i=1, 2, \dots, n$)次每种附着基集参数量; V 为一组附着基总体积(m³); n 为实验记录次数。

实验以平均聚集率(Mean Attractive Rate, MAR)作为刺参对分布位置选择性的指标。平均聚集率是指在附着基实验中,平均每个统计周期某固定时间点刺参聚集在每个分布位置上的数量之和与实验中刺参总数量的比值,计算公式为:

$$\text{MAR} = \sum_{i=1}^n (N_i / nV) \times 100\% \quad (2)$$

式中, N_i 为各固定时间点第*i*($i=1, 2, \dots, n$)次每种附着基集参数量; N 为该组实验刺参总数量(头); n 为

实验记录次数。

1.4 数据处理

统计结果用 SPSS 13.0 统计软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)。

2 结果

2.1 不同类型附着基对刺参聚集效果的影响

2.1.1 不同类型附着基集参效果的比较

实验结果表明,不同类型附着基的集参效果存在显著性差异。石块单位体积平均聚集数量最高达 217 ind/m³,显著高于三角瓦($P < 0.05$),极显著高于网笼附着基、遮阳网、竹制附着基($P < 0.01$);大多棱瓦的单位体积平均聚集数量最高达到 251 ind/m³,极显著高于三角瓦、网笼附着基、遮阳网、竹制附着基、涡流式异形瓦($P < 0.01$)。从图 2 可看出,不同类型附着基单位体积平均聚集数量从大到小依次为大多棱瓦、石块、三孔砖、小多棱瓦、U 形瓦、涡流式异形瓦、三角瓦、网笼附着基、遮阳网、竹制附着基。说明大多棱瓦附着基是这 10 种附着基中单位体积平均聚集数量最高者,而竹制附着基是最低者。

2.1.2 不同类型附着基在不同时间集参效果的差异比较

在不同时间段附着基的集参数量也存在显著性差异。从图 3、图 4 可看出,06:00~18:00 时间段内,光照强度先升高后降低,光照强度在 0~358 lx 范围之内,附着基单位体积的集参数量也呈现出先增后减的趋势;在 18:00~24:00 时间段内,光照强度为 0 lx,附着基单位体积的集参数量呈无规律变化,这说明附着基单位体积的集参数量与光照强度的变化有直接关系。

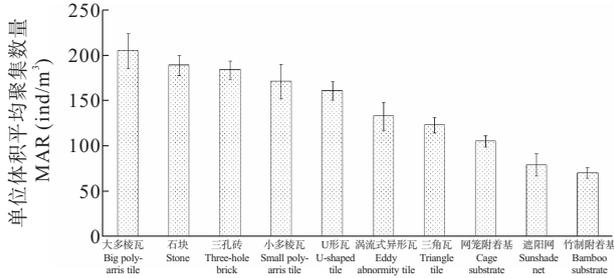


图 2 不同类型附着基单位体积平均聚集数量的比较

Fig. 2 Comparison of AGNUV on different substrate

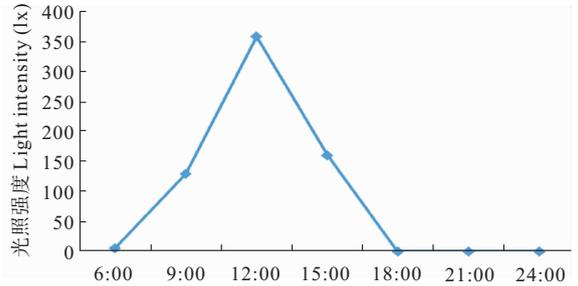


图 3 实验观察时间点的平均光照强度

Fig. 3 The average light intensity at various experimental time point

图 5 显示,白天(06:00~15:00)不同类型附着基单位体积平均聚集数量从大到小依次为大多棱瓦、石块、小多棱瓦、U 形瓦、三孔砖、涡流式异形瓦、三角瓦、网笼附着基、遮阳网、竹制附着基,且大多棱瓦与其他附着基单位体积平均聚集数量的差异显著($P < 0.05$)。夜间(18:00~6:00)不同类型附着基单位体积平均聚集数量从大到小依次为大多棱瓦、石块、三孔砖、U 形瓦、小多棱瓦、涡流式异形瓦、三角瓦、网笼附着基、竹制附着基、遮阳网,且大多棱瓦单位体积平均聚

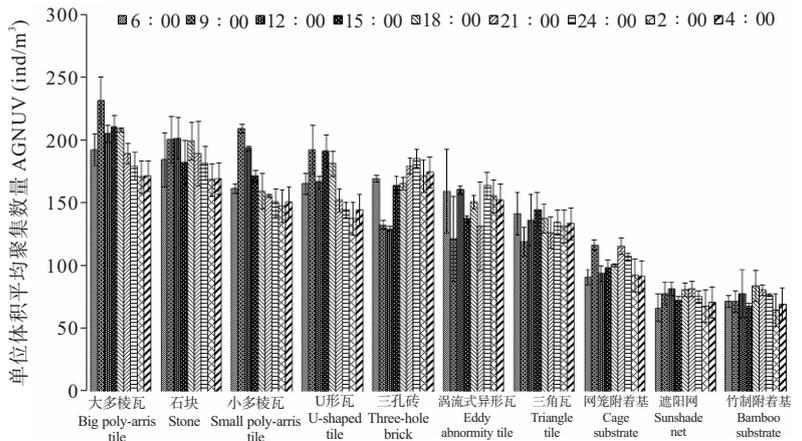


图 4 不同类型附着基在不同时间单位体积平均聚集数量的差异比较

Fig. 4 Comparison of AGNUV on different substrates at different time

集数量显著高于除石块和三孔砖之外的其余 7 种附着基 ($P < 0.05$)。

2.2 刺参对栖息位置选择的趋向特性

刺参在水泥池中对栖息位置的选择随时间变化而存在显著性差异。根据刺参的附着情况,将附着部位划分为 8 种类型:1)池壁面附着,即刺参在池壁的四个面上的区域附着;2)池棱角附着,即刺参在池面与池面交界的棱角处附着;3)池底面附着,即刺参在池底面的区域附着;4)附着基上方附着,即刺参在附着基中间部位以上包括附着基顶部区域的附着;5)附着基下方附着,即刺参在附着基中间部位以下的区域;6)附着基凹槽棱角处附着,即刺参在附着基有凹槽或棱角区域(包括附着基与池底面的交界区域)附着;7)附着基内部附着,即刺参在附着基内部区域(包括附着基下方的池底区域)附着;8)附着基外部附着,即刺参在附着基外部区域附着。

统计结果表明,除了附着基上方和附着基外部,其余 6 个位置刺参的 MAR 在上午 06:00~12:00 有升高趋势,在下午 12:00~15:00 达到最高,之后呈下降趋势(图 6)。

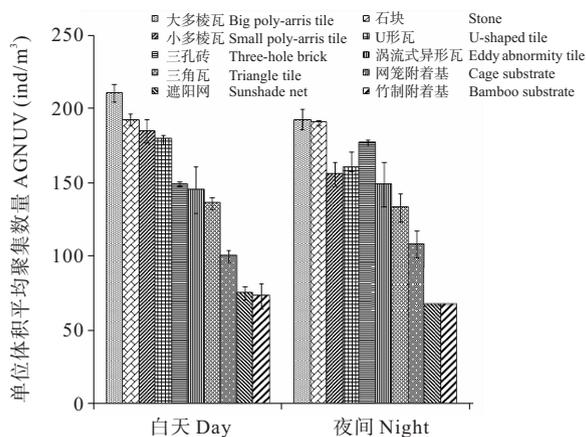


图 5 不同类型附着基在白天与夜间单位体积平均聚集数量的比较

Fig. 5 Comparison of AGNUV on different substrates during day and night

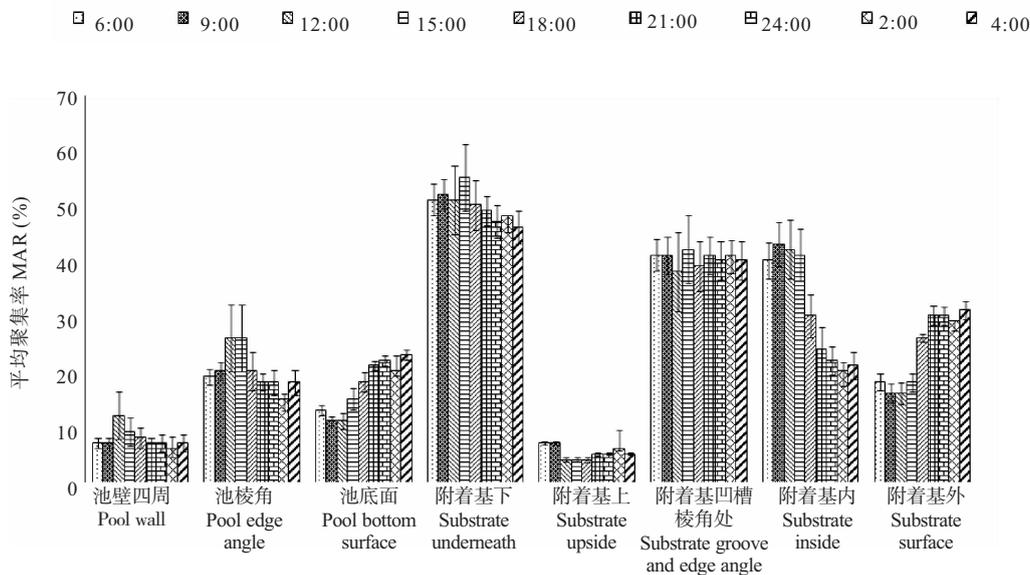


图 6 在不同时间段不同栖息位置 MAR 的差异比较

Fig. 6 Comparison of MAR on perched positions at different time

白天附着基内部空间的 MAR 极显著高于夜间 ($P < 0.01$); 夜间池底面和附着基外部的 MAR 极显著高于白天 ($P < 0.01$)。说明白天刺参趋向附着基内部栖息,而在夜间趋向附着基外部栖息(图 7)。无论白天夜间(光照强度在 0~358 lx 范围内),附着基下方的平均聚集率极显著高于附着基上方的平均聚集率 ($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 不同类型附着基的集参效果

依据附着基单位体积平均聚集数量,从大到小依次为大多棱瓦、石块、三孔砖、小多棱瓦、U形瓦、涡流式

异形瓦、三角瓦、网笼附着基、遮阳网、竹制附着基。说明大多棱瓦附着基是这10种附着基中单位体积平均聚集数量最高者,高达 $251 \text{ ind}/\text{m}^3$,而竹制附着基是最低者。

大多棱瓦单位体积平均聚集数量最高,这可能与其形状、颜色、材质符合刺参的栖息需求相关。张俊波等(2011)研究得出,正三棱柱无底无缝隙礁(即倒“V”形)集参效果最好,而且其两边与地面直接接触,形成了棱角地带。大多棱瓦具有相似的结构,刺参喜欢栖息于这种结构的区域。在附着基颜色方面,刺参也有趋向性选择。张辉等(2009)认为黑色、灰色附着基的集参效果优于其他颜色。在材质上,大多棱瓦是由水泥、矿石粉、纤维等组成,呈灰色,其性质类似石头,利于刺参的附着栖息。相比较而言,大多棱瓦与小多棱瓦的形状、材质、颜色相同,却因为大多棱瓦尺寸较大、遮阴效果较好,可能更适合刺参的栖息,使其单位体积平均聚集数量较高。

三孔砖的材质为煤矸石,与石块一样为凉性材质。实验表明,这两种附着基的集参效果仅次于大多棱瓦附着基,说明刺参在高温情况下具有趋向于凉性材质的特性。在早期的养殖实践当中,刺参池塘养殖使用石块较为普遍,也有较好的养殖产量。在此值得一提的是,目前最常用的三角瓦、网笼附着基附着基的单位体积平均聚集数量却居于中下水平。其原因可能有二,一是三角瓦的尺寸较小,遮阴效果不佳;二是网笼附着基是由聚乙烯网片制成,没有遮阴作用,其附集饵料的作用也较小。

虽然石块、三孔砖的集参效果良好,但也存在很多问题。在养殖实践中,石块过于沉重,可移动性差,不易清池,易使池底污物积累导致疾病发生;三孔砖的孔径尺寸太小,刺参栖息空间不足;也极易堆积污物,发生腐臭现象。因此,从养殖工艺角度讲,石块不宜作为刺参附着基,而三孔砖孔径的尺寸增加后可以考虑使用。

3.2 刺参对栖息位置选择的趋向特性

观察表明,刺参在暂养期间未投入附着基时,栖息多数聚集在水泥池的池壁、池底和池棱角处,以棱角处聚集最多。投入附着基后,附着基上刺参的平均聚集率之和高于池壁、池底和池棱角处刺参的平均聚集率之和,说明养殖大棚室内水泥池附着基对刺参的诱集效果显著,刺参对附着基的趋向反应明显。张辉等(2009)也指出,刺参偏向于生活在 10 lx 以下的光环境,并具有寻求掩体保护的生活习性。崔勇等(2010)在研究礁体对刺参聚集效果的影响时发现,各种形状的模式礁投入到养殖实验池中后对刺参的平均聚集率与不投放模式礁相比差异极其显著。此外,张俊波等(2011)、周艳波等(2010)、陈勇等(2006)、何大仁等(1995)、唐衍力等(2009)、吴静等(2004)的研究结果都表明,人工模型礁对刺参、鱼等试验生物都具有较强的诱集效果。为此,刺参养殖池塘中,投放附着基是增加产量和养殖效益的有效途径之一。

研究结果显示,无论白天夜间,附着基下方的MAR极显著高于附着基上方的平均聚集率。白天附着基内部空间的MAR极显著高于夜间,而夜间池底面和附着基外部的MAR极显著高于白天。说明在养殖大棚内光照强度在 $0\sim 358 \text{ lx}$ 范围内的情况下,白天刺参趋向附着基内部栖息,而在夜间趋向附着基外部栖息。由此提示,在这种环境条件下,刺参在夜间活动性或摄食行为较强,这与刺参在自然光下存在显著的昼伏夜出的行为节律相一致(董贯仓 2009)。

在不同时间段附着基的集参数量也存在显著性差异。光照强度在 $0\sim 358 \text{ lx}$ 范围之内,06:00~18:00时间段内,光照强度先升高后降低,附着基单位体积的集参数量也呈现出先增后减的趋势;在18:00~翌日06:00时间段内,光照强度为0,附着基单位体积的集参数量呈无规律变化,这说明附着基单位体积的集参数量与光照强度的变化有直接关系。张硕等(2006)曾指出,刺参的趋光性随光照强度的增加而减小,呈负趋光

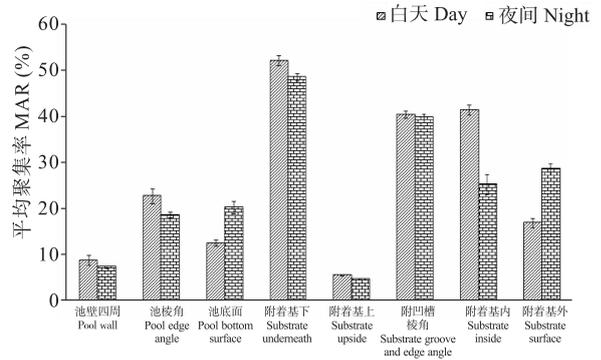


图7 白天与夜间不同栖息位置 MAR 的差异比较

Fig. 7 Comparison of the MAR at perched locations during day and night

性。

该研究是在室内养殖大棚内、没有投喂饲料的情况下进行的,其行为可能与室外天然状态的刺参有所不同。上述研究结果将对认识了解工厂化养殖刺参的生态习性、开展健康养殖、制定养殖规范具有重要的参考和指导意义。

参 考 文 献

- 王印庚,孙素凤,荣小军. 2006. 仿刺参幼体烂胃病及其致病菌鉴定. 中国水产科学, 13(6): 909~915
- 何大仁,丁云. 1995. 鱼礁模型对赤点石斑鱼的诱集效果. 台湾海峡, 14(4): 394~398
- 何大仁,施养明. 1995. 鱼礁模型对黑鲟的诱集效果. 厦门大学学报(自然科学版), 34(4): 653~658
- 陈勇,刘晓丹,吴晓郁,石国锋. 2006. 不同结构模型礁对许氏平鲉幼鱼的诱集效果. 大连水产学院学报, 21(2): 154~157
- 陈勇,吴晓郁,邵丽萍,石国锋,刘晓丹,张硕. 2006. 模型礁对幼鲉、幼海胆行为的影响. 大连水产学院学报, 21(4): 361~365
- 董贯仓. 2009. 光照及投礁方式对刺参(*Apostichopus japonicus*)行为、生长的影响及其机制. 见:中国海洋大学博士研究生学位论文
- 张俊波,梁振林,黄六一,唐衍力,杨晨星,高勤峰. 2011. 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. 中国水产科学, 18(4): 899~907
- 张硕,孙满昌,陈勇. 2008. 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. 大连水产学院学报, 23(1): 13~19
- 张硕,陈勇,孙满昌. 2006. 光强对刺参行为特性和人工礁模型集参效果的影响. 中国水产科学, 13(1): 20~26
- 张辉,王印庚,荣小军,曹善茂,陈霞. 2009. 刺参的趋光性以及对附着基颜色的感应行为. 生态学杂志, 28(3): 477~482
- 吴静,张硕,孙满昌,陈勇. 2004. 不同结构的人工鱼礁模型对牙鲆的诱集效果初探. 海洋渔业, 26(4): 394~398
- 周艳波,蔡文贵,陈海刚,陈丕茂,贾晓平. 2010. 3种光照条件下六面锥型罩式人工鱼礁模型对花尾胡椒鲷的诱集效果. 南方水产, 6(1): 1~6
- 唐衍力,房元勇,梁振林,赵同阳. 2009. 不同形状和材料的鱼礁模型对短蛸诱集效果的初步研究. 中国海洋大学学报, 39(1): 43~46
- 崔勇,关长涛,万荣,谭杰,黄滨,李娇. 2010. 海珍品人工增殖礁模型对刺参聚集效果影响的研究. 渔业科学进展, 31(2): 109~113
- 常亚青,丁君,宋坚. 2004. 刺参、海胆生物学研究与养殖. 北京:海洋出版社
- 廖玉麟. 1997. 中国动物志. 棘皮动物门,刺参纲. 北京:科学出版社
- Ambrose, R. F., and Anderson, T. W. 1990. Influence of an artificial reef on the surrounding infaunal community. Marine Biology, 107(1): 41~52
- Chen, J. X. 2004. Present status and prospects of sea cucumber industry in China. In: Advances in sea cucumber aquaculture and management. FAO Fisheries Technical Paper, 25~28
- Kan-no, M., and Kijima, A. 2003. Genetic differentiation among three color variants of Japanese sea cucumber *Stichopus japonicus*. Fisheries Science, 69(4): 806~812
- Nakano, H., Murabe, N., Amemiya, S., and Nakajima, Y. 2006. Nervous system development of the sea cucumber *Stichopus japonicus*. Developmental Biology, 292(1): 205~212
- Yamana, Y., Hamano, T., and Goshima, S. 2009. Laboratory observations of perched selection in aestivating and active adult sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Fish. Sci. 75: 1097~1102