

光强对刺参行为特性和人工礁模型集参效果的影响

张 硕¹, 陈 勇², 孙满昌¹

(1. 上海水产大学 海洋学院, 上海 200090; 2. 大连水产学院 海洋工程学院, 辽宁 大连 116023)

摘要:对体长 (15 ± 0.5) cm、体重 (145 ± 0.5) g的刺参(*Apostichopus japonicus*)在15 W、25 W、40 W、60 W白炽灯下以及黑暗条件下(对照组)的行为特性进行观察,同时分析刺参对混凝土制立方体礁(30 cm×30 cm×30 cm)和塔形礁(底面30 cm×30 cm,高30 cm)的行为反应。结果显示,(1)在光照条件下人工礁模型的集参效果与其产生的光学阴影有关;(2)刺参比较适宜在光照度为10 lx以下的光照环境中生活;(3)2种礁60 W和40 W处理组的平均集参率(MAR)与对照组相比差异极显著($P < 0.01$)。25 W处理组的MAR与对照组相比差异显著($P < 0.05$)。处理组之间,立方体礁的15 W和25 W处理组与60 W处理组相比差异显著($P < 0.05$);塔形礁的15 W与60 W处理组相比差异显著($P < 0.05$)。相同条件下,2种礁MAR的差异不显著($P > 0.05$)。4种光源对2种礁MAR的影响由大到小依次为:60 W、40 W、25 W、15 W。[中国水产科学,2006,13(1):20-27]

关键词:刺参;光照强度;行为;人工礁模型;集参效果

中图分类号:S953.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2006)01-0020-08

在水生动物生存的环境中,光是一个重要的生态因子,它有多方面的生态作用,直接或间接地影响动物的摄食、生长和存活等。光照影响着水生动物的趋光、集群和昼夜活动节律^[1]。国内外关于海洋鱼类、虾类在光场中的反应已有较多的研究^[2-9]。但有关光对于刺参行为影响的报道很少。刺参(*Apostichopus japonicus*)属棘皮动物门、海参纲、楯手目、刺参科、仿刺参属,主要分布在西北太平洋浅海,北起俄罗斯的萨哈林岛、海参崴,经日本的横滨、九州、朝鲜半岛的南端到中国的黄海和渤海,在中国主要分布于辽宁省大连、河北省北戴河和秦皇岛、山东省长岛、烟台、威海以及青岛等沿海水域。江苏连云港外的平山岛是刺参在中国分布的南界^[10-11]。国内外对于刺参种苗培育、增殖技术应用以及对刺参的生态学方面已有较多报道^[12-22]。

本研究采取行为学方法,统计和分析刺参在不同光照强度下对人工礁模型的行为反应,探讨人工礁模型的集参效果和适宜刺参生息的光照条件,以期改造刺参的增殖技术和工厂化养殖环境提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品与暂养 实验用刺参共100头,为大连海域自然生长、表观正常、体质健壮、体长 (15 ± 0.5) cm、体重 (145 ± 0.5) g的刺参,实验室水槽中暂养1个月,投喂人工合成的饵料,日投喂量为刺参体重的3%~5%^[22],水温13.5℃,水深0.6 m,盐度 34 ± 0.5 ,pH 7.8~8.2。用供氧泵供氧,溶解氧在6.0 mg/L左右。供试刺参在实验期间不投喂饵料,其余刺参在水槽中暂养,每天投喂人工合成饵料。每1~2天换水一次。

1.1.2 实验装置 实验使用的长方形水槽(240 cm×90 cm×75 cm),内壁为蓝色,为尽可能减少外界对刺参干扰并保持与水槽内的背景颜色一致,将水槽四周用蓝布遮蔽。在水槽底面中心部位用黑色防水胶带做一个40 cm×40 cm的标志框,作为实验时人工礁模型的放置区。为方便记录刺参在水槽中停留位置的变化,在水槽边缘用白色胶带做成平面直角坐标系(单位cm)。实验采用4种功率的白炽灯

收稿日期:2004-12-09; 修订日期:2005-06-20.

基金项目:教育部留学归国人员研究基金(教外司留[2001]498号);辽宁省科技厅基金项目(20022101);辽宁省科技厅科技攻关项目(2002023003);大连市留学基金项目(大科计发2000);大连水产学院博士启动基金项目(200109)。

作者简介:张 硕(1976-),男,上海水产大学博士研究生,从事人工鱼礁生态效应研究。E-mail: suresg@sina.com.cn

通讯作者:陈 勇。E-mail: chenrong@dlhu.edu.cn

各1只作为光源,分别为:15 W、25 W、40 W、60 W。

1.1.3 人工礁模型

(1)立方体混凝土人工礁模型:材质为混凝土;孔为10 cm×10 cm的正方形;规格为30 cm×30 cm×30 cm(图1)。

(2)塔形垒石礁:材质为混凝土和石块;底面积为30 cm×30 cm,高30 cm(图2)。

1.2 实验设计

分别对2种人工礁模型设置黑暗状态(对照组)及光照状态,光照状态使用15 W、25 W、40 W、60 W

灯源设置4个处理组,每实验组设1只白炽灯于水槽正中上方垂直方向距水面120 cm处,纵向和横向距离水槽壁分别为30 cm和45 cm。每组各选取10头刺参,实验进行5 d,其中行为观察1 d,人工礁模型集参效果实验4 d。每天从18:00至凌晨1:00,每隔1小时记录刺参的位置变化。实验中对4种功率白炽灯在水槽内光照强度的分布用ZDS-10W型水下照度计进行测量,同时记录刺参在4种功率白炽灯下在水槽内的分布情况并对人工礁模型的集参效果进行分析。



图1 立方体人工礁模型
Fig.1 Cubical reef model



图2 塔形人工礁模型
Fig.2 Pyramidal reef model

1.3 平均聚集率与分布几率

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人工礁模型上的数量之和与实验中刺参总数量的比值,计算公式为:

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

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

分布几率(Distribution rate, DR)是指 n 次观察刺参在某区域分布总量与实验中总的刺参数量的比值,计算公式为:

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

式中, M_i 为第 i ($i=1, 2 \dots n$) 次观察刺参在某区域分布的数量, M 为该组实验刺参数, n 为观察次数。

1.4 统计方法

各实验组相应的数据应用 DPS 数据处理系统

进行方差分析(ANOVA), Duncan's 多重极差检验法比较组间差异。

2 结果

2.1 光强对刺参行为的影响

2.1.1 刺参行为观察 在无光照和无人工礁模型的情况下刺参沿水槽底部向各处缓慢爬行,在水槽中各处的分布比较均匀;在无光照有人工礁模型的情况下,除少部分刺参聚集在礁周围外,水槽其他各处几乎都有刺参停留过;在有光照无礁的情况下刺参大都停留在光照度比较低的区域但行为不稳定。在有光照有礁的情况下大部分刺参聚集在人工礁模型内或人工礁模型的阴影区,且长时间停留。

2.1.2 刺参行为与光照度的关系 图3-A~D依次为立方体礁在灯源15 W、25 W、40 W和60 W下的等光照度曲线图和刺参在水槽中分布情况。从图3可以看出分布几率(DR)大于50%的刺参主要分

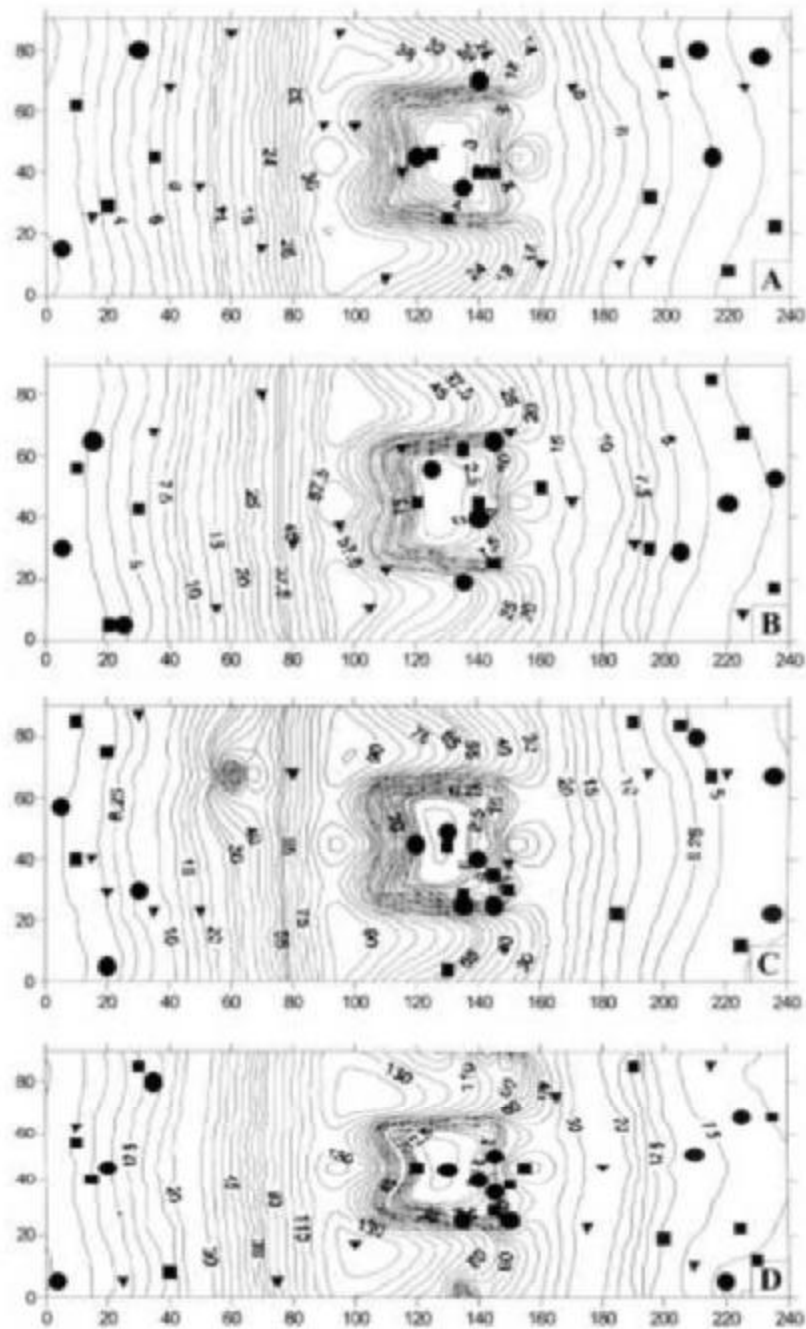


图3 刺参在不同功率灯下的分布

注:图中水平轴和竖轴分别表示水槽的长度和宽度(单位:cm),图中曲线上的数字表示等光强度值(单位:lx)。A~D依次为15 W、25 W、40 W和60 W下的等光强度曲线图,其中▲、■、●表示刺参位置,其DR分别为:DR<20%,20%<DR<50%和DR>50%。

Fig.3 Distribution of *Apostichopus japonicus* under different light intensity

Note: Horizontal and vertical axis signify the length and width of the water flume separately(unit:cm). The number in the isline shows the value of illumination intensity(unit:lx). Figures A~D show the light intensities of 15 W, 25 W, 40 W and 60 W; ▲, ■, ● Mean *Apostichopus japonicus* locations, showing DR<20%, 20%<DR<50% and DR>50%, respectively.

布在光照度小于 10 lx 的人工礁模型阴影区和水槽两侧,如图中黑色圆形图标所示。DR 在 20%~50% 的刺参也主要分布在上述区域,只有 DR 小于 20% 的刺参分布于光照度比较大的区域。此外,从 40 W 和 60 W 光照度等值线图中可以更明显地看出,在光照度比较大的区域刺参的分布几率很小,总体来看刺参比较喜欢栖息在 10 lx 以下的光环境中。

2.2 集参效果比较与分析

2.2.1 在固定时间段各实验组平均聚集率(MAR)的比较 从立方体礁和塔形礁的集参效果图(图 4 和图 5),可以看出刺参大都在实验 1 个多小时后,开始聚集在礁上。而且 2 种礁在 4 种光源下的集参

效果明显好于黑暗状态的对照组,同时 2 种礁都是在 60 W 灯光下对刺参的聚集效果最好;最高的 MAR 都达到或接近 30%。其次是 40 W 灯下的集参效果较好;最高的 MAR 达到或接近 25%,塔形礁的 MAR 有较大的波动, MAR 由 20% 左右骤然降至 10% 以下。这两种礁在 15 W 和 25 W 灯下的集参效果一般,最高的 MAR 在 15% 左右。从 MAR 曲线的波动情况可以看出整个实验过程中,各时间段刺参在礁上的聚集状况也有一定的差异性,而且随着时间的延长 MAR 几乎都有下降的趋势,说明刺参在礁上的停留是有阶段性的。

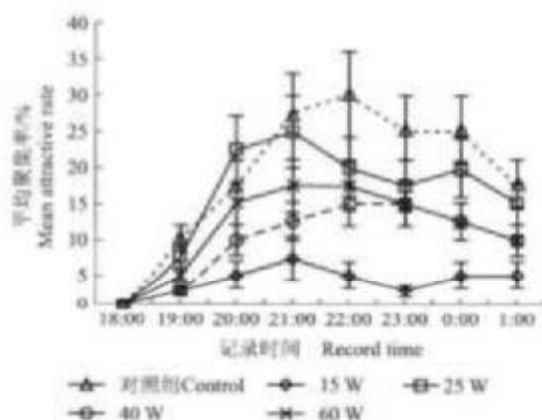


图4 立方体礁在4组光照条件下的总体集参效果

Fig.4 General attractive effects of cubical reef under four different light intensities

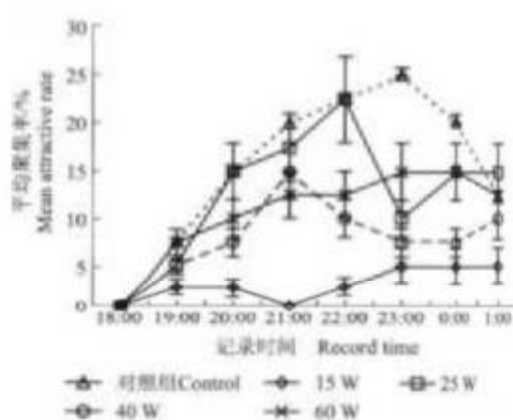


图5 塔形礁在4组光照条件下的总体集参效果

Fig.5 General attractive effects of pyramidal reef under four different light intensities

2.2.2 在固定时间段两种人工礁模型 MAR 的比较 对立方体礁和塔形礁在 4 种功率白炽灯下和对照组的平均集参效果分别进行比较(图 6 至图 10),可以看出在相同条件下,立方体礁的 MAR 一般要高于塔形礁;在少部分情况下二者的 MAR 相同;极个别情况下塔形礁的 MAR 稍高于立方体礁。立方体礁的 MAR 最高值一般出现在 21:00~22:00,塔形礁在多数情况下, MAR 最高值出现在 22:00~23:00,少数情况出现在 21:00 前后。从 MAR 峰值出现的时间可以看出,立方体礁要先于塔形礁,说明在同一光源下,刺参对立方体礁产生的反应更快。而且总体来看,立方体礁 MAR 要高于塔形礁,说明立方体礁集参效果好于塔形礁。

2.2.3 集参效果的分析 从图 11 中可以看出,2

种人工礁模型 MAR 的总体情况均为:对照组最低,且随着光源功率的增加依次增大。经统计分析和 Duncan's 多重比较,2 种礁的 60 W 和 40 W 处理组与对照组相比差异极显著($P < 0.01$);25 W 处理组与对照组相比差异显著($P < 0.05$);15 W 处理组与对照组相比无显著差异。处理组之间的差异显著性表明,立方体礁的 15 W 和 25 W 与 60 W 处理组相比差异显著($P < 0.05$);塔形礁的 15 W 与 60 W 处理组相比差异显著($P < 0.05$)。相同条件下,2 种人工礁模型 MAR 的总体情况比较(图 12),立方体礁的 MAR 均高于塔形礁,经显著性检验,2 种人工礁模型 MAR 的差异不显著($P > 0.05$)。4 种光源对 2 种人工礁模型 MAR 的影响从大到小依次为:60 W、40 W、25 W、15 W。

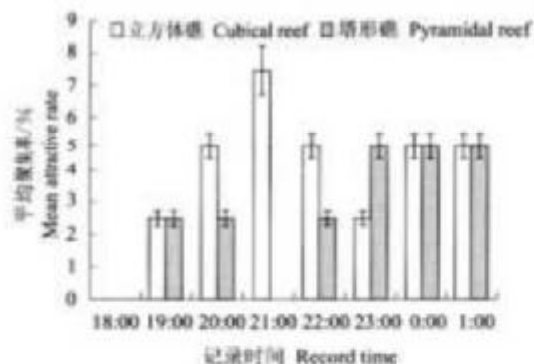


图6 2种礁对照组的集参效果比较

Fig.6 Comparisons of attractive effects of two types of reefs in control group (dark)

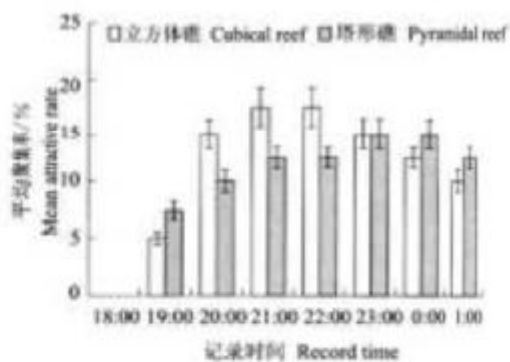


图7 15 W 白炽灯下2种礁的集参效果比较

Fig.7 Comparisons of attractive effects of two types of reefs under 15 W incandescent lamp

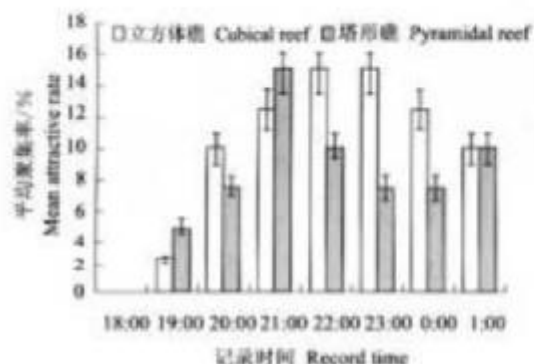


图8 25 W 白炽灯下2种礁的集参效果比较

Fig.8 Comparisons of attractive effects of two types of reefs under 25 W incandescent lamp

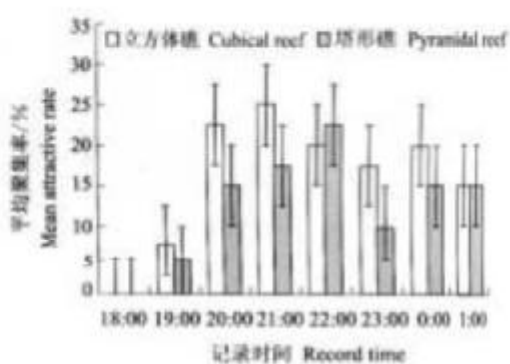


图9 40 W 白炽灯下2种礁的集参效果比较

Fig.9 Comparisons of attractive effects of two types of reefs under 40 W incandescent lamp

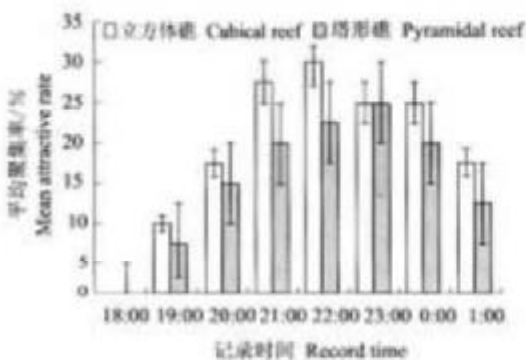


图10 60 W 白炽灯下2种礁的集参效果比较

Fig.10 Comparisons of attractive effects of two types of reefs under 60 W incandescent lamp

3 讨论

光能够对水生动物的昼夜活动节律、迁移和集群行为产生影响。很多水生动物都有一个活动的最适宜的光照强度^[23]。海参有昼伏夜出的习性,常常在夜间活动摄食,白天躲藏在阴暗处,故一般认为是怕光的动物。如 Annie 等^[24]报道,糙海参 (*Holothuria scabra*) 在五触手幼体发育阶段,就表现出负趋光性,长时间栖息在底层物体的阴影中。但有些种类,例如珊瑚礁内的玉足海参 (*Holothuria leucospilota*)、黑海参 (*Holothuria atra*)、红腹海参 (*Holothuria edulis*) 和黑乳参 (*Holothuria nobilis*) 等,常暴露于珊瑚沙上^[11]。本实验研究表明,在有光照无礁的情况下,刺参大都停留在光照度比较低的区域,但行为不稳定;在有光照有礁的情况下,大

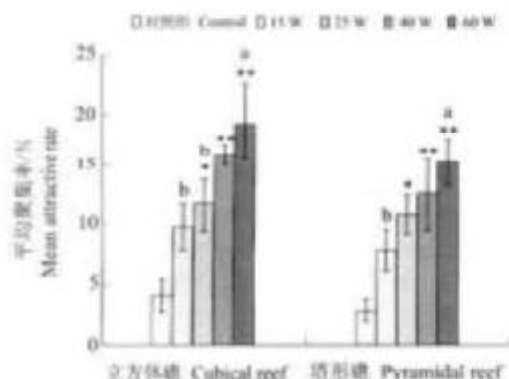


图11 4种灯源对2种礁平均聚集率的影响

注: * $P < 0.05$ (与对照组相比); ** $P < 0.01$ (与对照相比); b 与 a 表示处理组之间的差异显著 ($P < 0.05$)

Fig.11 Effects of four different incandescent lamps on mean attractive rate of two types of reefs

Note: * Significantly different compared with control ($P < 0.05$), ** Very significantly different compared with control ($P < 0.01$), b and a mean significantly different between treatments ($P < 0.05$).

部分刺参聚集在人工礁模型内或人工礁模型的阴影区,且长时间停留。

另外,本研究还发现,体色浅的刺参可以耐受较强的光照射,而深褐色的刺参怕强光照射,遇到强光的照射,会迅速避开。张小燕^[25]通过光线的强弱对刺参幼体体色素影响的实验也得到体色浅的刺参比较耐强光的结论。而也有报道显示,美国加州的司瓜参(*Cucumaria curata*)对光的反应不同,体色深的海参对于强光照射反应不敏感,在强光照射下,反应比较迟缓或根本不发生反应;而体色较浅的海参对于强光反应比较敏感,在强光照射下,会很快爬离光源处,寻找黑暗的地方^[11]。出现以上的差异究其原因可能是由于种类差异或者习性不同所致。一般来说刺参体色的深浅与生活的环境有关,体色较深的刺参生活在光线较暗的深水区,因而对较强的光照比较敏感;而体色较浅的刺参生活在浅水区,可耐受较强的光照。这是刺参对周围环境的一种适应。

本研究在实验室条件下,测定了2种人工礁模型在黑暗和4种灯源条件下的MAR。结果表明,在18:00至翌日1:00实验期间,2种礁对照组的MAR较低,分别为4.06%和2.81%,且与60 W和40 W处理组相比差异极显著($P < 0.01$),与25 W处理组相比差异显著($P < 0.05$),而与15 W处理组相比无显著性差异。此外,2种礁的MAR都呈现先上升后

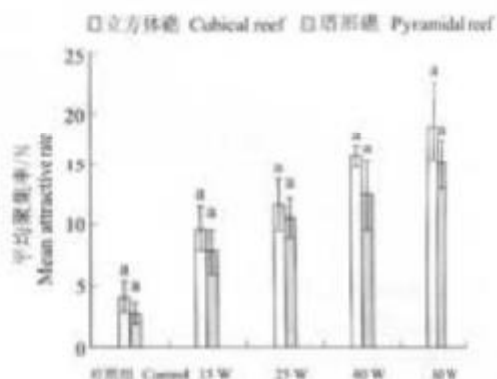


图12 2种礁平均聚集率的比较

注:不同的字母表示组间差异显著($P < 0.05$)

Fig.12 Comparisons of mean attractive rate of two types of reefs

Note: Different letters mean significantly different between groups ($P < 0.05$).

下降的变化趋势。这说明刺参在黑暗或光照强度较低条件下,活动频繁,在人工礁模型上聚集数量相对较少;而光照强度较高时,多数刺参对强光耐受力较差,因而在一定程度上限制了刺参的活动,刺参选择光强较低的人工礁模型阴影区栖息或附着在礁上,所以人工礁模型的MAR较高,但当刺参对光照适应后,活动又趋于频繁,因而MAR有下降的趋势。这主要与刺参的生活习性和对光照的适应性有关。另外,处理组之间的差异显著性表明,立方体礁的15 W和25 W处理组与60 W处理组相比差异显著($P < 0.05$);塔形礁的15 W与60 W处理组相比差异显著($P < 0.05$)。这说明,光照强度是人工礁模型产生集参效果的一个诱因。因为光照强度越高,人工礁模型产生的阴影效果对刺参的吸引越大,而且刺参本身具有附着岩礁的习性,所以效果较好,反之,集参效果较差。因而,人工礁模型集参效果的好坏除了与刺参的附着习性有关外,还与礁的形状、结构和在光照条件下形成的光学阴影及内部空间有关。

实验结果中,2种人工礁模型虽然在某些时间段,MAR值出现波动或有些差异,但从相同实验组中2种人工礁模型MAR的总体情况比较来看,差异不显著($P > 0.05$)。说明2种人工礁模型对刺参均能产生诱集效果,礁体本身的形状对集参效果的影响不大,出现数值上的差异可能是由随机因素引

起的。因而,在实际生产中,可根据实际情况选择这2种类型的礁。

人工鱼礁的集参效果可能会受很多因素的影响,如光照周期、最佳光照强度和光谱等,还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 武模戈. 光照对水生动物的影响[J]. 河南教育学院学报(自然科学版), 2001, 10(2): 38-39.
- [2] 普罗塔索夫(何大仁, 俞文列译). 鱼类的行动[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 2-39, 154-186.
- [3] 俞文列, 何大仁, 郑玉水. 在光梯度条件下蓝圆鲈、鲈鱼的行为反应[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1978(4): 1-13.
- [4] 徐永淦, 刘理东. 我国鱼类及某些海洋无脊椎动物趋光生理研究评述[J]. 海洋科学, 1984(6): 58-61.
- [5] 魏开建, 张海明, 张桂蓉. 鲷鱼苗在光场中反应行为的初步研究[J]. 水利渔业, 2001, 21(1): 4-6.
- [6] 王迎春, 苏锦祥, 周勤. 光照对黄盖鲹仔鱼生长、发育及摄食的影响[J]. 水产学报, 1999, 23(1): 6-12.
- [7] 王芳, 董双林, 董少国, 等. 光照周期对中国对虾稚虾蜕皮和生长的影响[J]. 中国水产科学, 2004, 11(4): 354-359.
- [8] Sager David R. Preferred wavelength of visible light for juvenile Atlantic menhaden[J]. Near Amer J Fish Manage, 1985(5): 72-77.
- [9] Yang Y-R. Response of rock fish to the colored light[J]. Bull Korean Fish Soc, 1985, 18(2): 119-123.
- [10] 张群乐, 刘永宏. 海参海胆增殖技术[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1998. 1-7, 53-57, 65-66.
- [11] 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. 58-68.
- [12] Kariyu Y, Watabe S, Kyogashima M, et al. Structure of fucose branches in the glycosaminoglycan from the body wall of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus* [J]. Carbohydr Res, 1997, 297: 273.
- [13] Kameko M, Kiso F, Yamada K, et al. Structure of neuraminic active ganglioside from the sea cucumber *Apostichopus japonicus* [J]. Eur J Org Chem, 1999, 31: 71.
- [14] Higuchi R, Iragaki M, Togawa K, et al. Isolation and structure of cerebroside from the sea cucumber *Entactia australis* [J]. Liebigs Ann Chem, 1994, 8: 653-658.
- [15] Corand C, Byrne M. A review of recent developments in the world sea cucumber fisheries[J]. Mar Fish Rev, 1993, 55: 1-13.
- [16] James D B. Culture of sea-cucumber[J]. Bull Can Fish Res Inst, 1996, 48: 26-120.
- [17] 浜野龙夫, 近藤正和. 放流したマナマコ种苗の行方[J]. 水产増殖(日), 1996(3): 249-254.
- [18] 牟昭敦. 刺参人工品种的放流增殖[J]. 海洋通报, 1986(3): 177-179.
- [19] 陈冲. 刺参海上网箱中间育成初探[J]. 水产科学, 1990, 9(4): 14.
- [20] 隋锡林. 刺参人工种苗放流实验研究[J]. 海洋与渔业, 1991, 22(2): 86-90.
- [21] 张连庆. 嵇机岛沿海刺参的分布和生态调查[J]. 齐鲁渔业, 1990, 30(5): 143-145.
- [22] 常忠岳. 刺参养殖技术之三: 影响刺参生长及成活因素的探讨[J]. 中国水产, 2004(2): 6-7.
- [23] 周显青, 牛翠娟, 李庆芬. 光照对水生动物行为的影响[J]. 动物学杂志, 1999, 34: 45-48.
- [24] Annie M, Stephen C, Jean-Francois H. Settlement preferences and early migration of the tropical sea cucumber *Haliouria scabra* [J]. J Exper Mar Bio Ecol, 2000, 249: 89-110.
- [25] 张瑞燕. 光对刺参稚体色素影响的实验[J]. 海水养殖, 1986(1): 37-38.

Behavior characteristics of *Apostichopus japonicus* and attractive effects of artificial reef models under different light intensities

ZHANG Shuo¹, CHEN Yong², SUN Man-chang¹

(1. College of Ocean, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China; 2. College of Ocean Engineering, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China)

Abstract: As a very important environmental factor, light has a lot of ecological functions affecting the feeding behavior, growth and survival of aquatic animals directly or indirectly. It also influences phototaxis, cluster and rhythm activity of aquatic animal day and night. The effects of light color and light intensity on activities of fish and shrimp have been investigated since information for *Apostichopus japonicus* was reported. In this experiment, the body length of *Apostichopus japonicus* was (15 ± 0.5) cm and body weight was (145 ± 0.5) g. The cubical reef ($30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$) and pyramidal reef (bottom $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$, height 30 cm), which were made of concrete, were used as artificial reefs. The intensities of illumination were designed for lamps of 15 W, 25 W, 40 W, 60 W and dark (control), using incandescent lamps as light sources. The results showed that: (1) The attractive effects of artificial reef models were related to optics shades of the reefs under different light intensities. (2) *Apostichopus japonicus* were relatively suitable for living in the environment that the light intensity was below 10 lx. (3) Comparing with control, the differences of mean attractive rate (MAR) of the two types of reefs in treatments of 60 W and 40 W were very significant ($P < 0.01$) and the differences of MAR in treatments of 25 W were significant ($P < 0.05$). The difference between treatment of 15 W and control was not significant ($P > 0.05$). Among treatments of cubical reef, the differences of MAR in treatments of 15 W and 25 W were significant ($P < 0.05$) comparing with treatment of 60 W. Among treatments of the pyramidal reef, the differences of MAR in treatment of 15 W were significant ($P < 0.05$) comparing with treatment of 60 W. Under the same condition, the differences of MAR were not significant ($P > 0.05$) between the two kinds of artificial reefs. The effects of four light intensities on the attractive effects of the two kinds of reefs were $60 \text{ W} > 40 \text{ W} > 25 \text{ W} > 15 \text{ W}$. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(1): 20–27]

Key words: *Apostichopus japonicus*; light intensities; behavior; artificial reef model; attractive effect

Corresponding author: CHEN Yong. E-mail: chenrong@dlfu.edu.cn