

南方紫海胆增殖放流对虾类和蟹类行为的影响

聂永康^{1,2}, 陈丕茂^{1*}, 周艳波¹, 冯雪¹, 袁华荣¹, 梁宗杰³, 王文杰^{1,2}, 莫宝霖⁴

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部南海渔业资源环境科学观测实验站, 中国水产科学研究院海洋牧场技术重点实验室, 广东广州 510300; 2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 3. 广州大学生命科学学院, 广东广州 510006; 4. 天津农学院, 天津 300384)

摘要 [目的]探讨紫海胆(*Anthocidaris crassispina*)增殖放流对野生虾类和蟹类行为的影响。[方法]在实验室内开展微宇宙法模拟试验,研究紫海胆增殖放流对野生虾类和蟹类行为的影响。[结果]日本对虾(*Penaeus japonicus*)、斑节对虾(*Penaeus monodon*)和近缘新对虾(*Metapenaeus affinis*)与紫海胆共存,紫海胆对日本对虾有一定的吸引特性,但均无危害情况发生;红星梭子蟹(*Portunus sanguinolentus*)与紫海胆间未发现行为影响和危害情况,三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)和锈斑蟊(*Charybdis feriatus*)在数量较多时可能会对紫海胆造成一定的危害,但并不是普遍现象。[结论]该研究结果可为生物行为学和进一步开展紫海胆增殖放流的生态风险评估提供参考。

关键词 紫海胆; 虾类; 蟹类; 行为; 增殖放流

中图分类号 S931.5 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)21-007-04

Effects of *Anthocidaris crassispina* Enhancement on the Behavior of Shrimps and Crabs

NIE Yong-kang^{1,2}, CHEN Pi-mao^{1*}, ZHOU Yan-bo¹ et al (1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environment of Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Marine Ranch Technology of CAFS, Guangzhou, Guangdong 510300; 2. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract [Objective] To study the influence of *Anthocidaris crassispina* enhancement on the behavior of wild shrimps and crabs. [Method] Simulation experiments were carried out in the laboratory. Effects of *A. crassispina* enhancement on the behavior of wild shrimps and crabs were researched. [Result] *Penaeus japonicus*, *Penaeus monodon* and *Metapenaeus affinis* could coexist with *A. crassispina*. *A. crassispina* had a certain attraction to *Penaeus japonicus*, but no harm occurred. There were neither behavioral effects nor hazards between *Portunus sanguinolentus* and *A. crassispina*. *Portunus trituberculatus* and *Charybdis feriatus* might cause some harm to *A. crassispina* when their quantity was more, but it was not a common phenomenon. [Conclusion] This research provides references for the biological behavior and develop ecological risk assessment of *A. crassispina* enhancement.

Key words *Anthocidaris crassispina*; Shrimps; Crabs; Behaviors; Enhancement

紫海胆(*Anthocidaris crassispina*)隶属棘皮动物门(Echinodermata)海胆纲(Echinoidea)正形目(Centrochinoida)长海胆科(Echinometridae)紫海胆属(*Anthocidaris*),在我国浙江至海南岛的沿海海域均有广泛分布。紫海胆黄味道鲜美,营养丰富,药用价值高,是我国东南沿海重要的经济品种。由于长期受过度开发利用等因素的影响,野生紫海胆资源严重衰退。

增殖放流已成为恢复和保护紫海胆资源的重要措施。然而,增殖放流不一定就能取得预期的效益,1984~1997年80个国家曾对184个物种进行增殖放流,绝大多数海洋生物的增殖放流并未达到预期的效果^[1-3]。增殖放流不仅要恢复放流物种的种群数量,而且必须保证放流水域的生态系统不受到破坏,使物种自然种质遗传特征不受到干扰,因此它是一项非常复杂的系统工程^[4]。有关紫海胆增殖放流生态风险的研究尚未开展,对紫海胆增殖放流对放流海域生态环境、环境生物、野生海洋动物等方面的影响研究报道较少。目前,关于水生生物间行为影响有了一定的研究,如克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)与水生甲壳动物的种间关系研究^[5]以及食蚊鱼(*Gambusia affinis*)与唐鱼(*Tanichthys albonubes*)的种间关系研究^[6]等。紫海胆增殖放流对海洋生物行

为的影响是系统评估紫海胆增殖放流生态风险的重要环节,因此很有必要研究增殖放流紫海胆与野生生物之间的相互反应,并进一步开展紫海胆增殖放流生态风险评估。笔者通过微宇宙法模拟试验研究了不同规格紫海胆对南海3种常见虾类和3种常见蟹类行为的影响,以期对生物行为学以及紫海胆增殖放流的实施和研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验所用野生紫海胆、3种野生虾类[日本对虾(*Penaeus japonicus*)、斑节对虾(*Penaeus monodon*)、近缘新对虾(*Metapenaeus affinis*)]和3种野生蟹类[三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)、红星梭子蟹(*Portunus sanguinolentus*)、锈斑蟊(*Charybdis feriatus*)]均取自为大亚湾海域。试验动物的生物学指标见表1。试验海水为大亚湾海域经砂滤处理后的自然海水(盐度32.78‰,pH 7.80)。试验前选取体质健壮活泼的紫海胆、虾、蟹在室内水池暂养约5d。试验地点为中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地。

1.2 试验装置 试验所用大型圆桶规格为1.44 m × 1.1 m(内径×内高),桶的底部设置若干依次等间距分布的同心圆测量标线,以便于观察和统计桶内生物的位置分布数据。横跨桶的顶部边缘设有固定绑线,位于同心圆圆心的正上方连接引入桶底部的紫海胆透明绑缚线,装置上方为拍摄测量摄像装置,包括横跨在观察测量桶上方的固定架和装在所述固定架上的摄像设备。在桶上方装有LC5201B5网络摄像机记录试验时生物的行为。水深保持在0.6 m。

基金项目 国家科技支撑计划项目(2012BAD18B02, 2012BAD18B01-2);海洋公益性行业科研专项(201205021-3)。

作者简介 聂永康(1990-),男,河南新乡人,硕士研究生,研究方向:海洋生态修复。*通讯作者,研究员,硕士,从事渔业资源保护与利用研究。

收稿日期 2016-06-12

表1 试验动物的生物学指标

Table 1 Biological index of experimental animal

物种 Species	体长(壳径) Body length (Shell diameter) // mm	体质量 Body weight g
紫海胆 <i>A. crassispina</i>	21 ~ 56	7.80 ~ 77.10
日本对虾 <i>P. japonicus</i>	61 ~ 70	29.15 ~ 45.33
斑节对虾 <i>P. monodon</i>	36 ~ 49	6.08 ~ 13.94
近缘新对虾 <i>M. affinis</i>	36 ~ 67	8.10 ~ 36.01
三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i>	42 ~ 53	73.28 ~ 129.37
红星梭子蟹 <i>P. sanguinolentus</i>	36 ~ 47	63.48 ~ 110.26
锈斑蟊 <i>C. feriatius</i>	39 ~ 55	65.50 ~ 180.16

1.3 试验方法 设置3种规格紫海胆(壳径21~29 mm、36~44 mm和49~53 mm),各试验组分别放1个紫海胆,对其进行束缚,将其活动范围限制在桶底中心较小范围内,并设置每种虾类和蟹类不同投放数量梯度,每种规格的紫海胆分为3组,分别投放1尾、2尾和3尾虾(蟹),并设置不加紫海胆而加入与紫海胆平均大小接近的石块的对照组。试验观测时间为6:00~20:00,每30 min拍照1张,最后结合录像

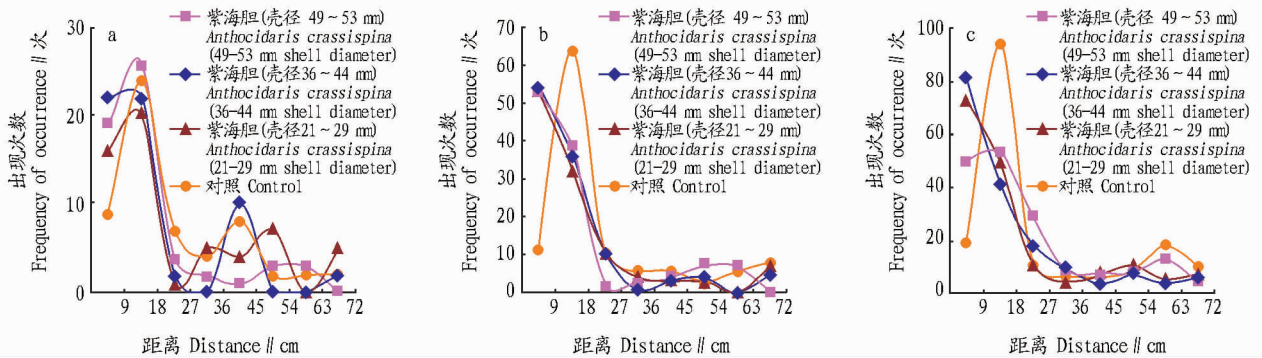
统计各动物行为、分布和损伤情况。限制人影、声音、震动等外界因素对试验的干扰。观察紫海胆增殖放流对上述野生虾类和蟹类行为的影响。

1.4 数据处理 对试验数据进行分段处理,以紫海胆(对照组为石块)为中心,对试验虾和蟹在不同距离段内出现的频次进行统计,计算虾和蟹类在紫海胆附近出现频次的比重(0~9 cm)、分布频次最多的区域以及紫海胆对虾和蟹类行为的影响。使用Excel 2013软件对试验数据进行统计分析与绘图。

2 结果与分析

2.1 紫海胆增殖放流对虾类行为的影响

2.1.1 紫海胆增殖放流对日本对虾行为的影响。从图1和表2~4可以看出,试验组日本对虾在0~9 cm和9~18 cm均出现较多频次,对照组在距离石块9~18 cm范围内出现频率最高。试验组日本对虾在距离紫海胆0~9 cm范围内分布频次明显高于对照组,说明紫海胆对日本对虾有一定的吸引特性。



注:a. 1尾日本对虾;b. 2尾日本对虾;c. 3尾日本对虾。

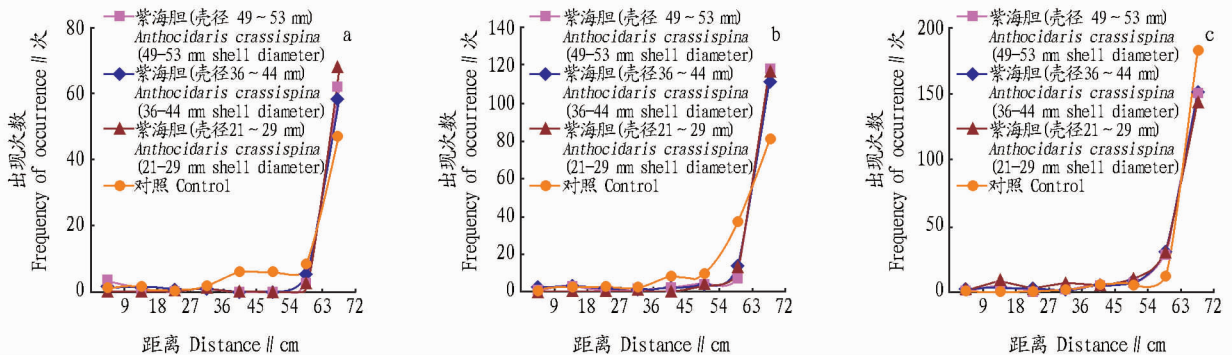
Note: a. One *Penaeus japonicus*; 2. Two *Penaeus japonicus*; 3. Three *Penaeus japonicus*.

图1 不同规格紫海胆对日本对虾空间分布频次的影响

Fig. 1 Effects of different sizes of *Anthocidaris crassispina* on the spatial frequency of *Penaeus japonicus*

2.1.2 紫海胆增殖放流对斑节对虾行为的影响。从图2和表2~4可以看出,试验组和对照组斑节对虾均在离紫海胆(或石块)较远的区域(63~72 cm)出现频次最高,试验组和

对照组间无明显差异,斑节对虾和紫海胆之间无接触或互相损伤情况的发生。紫海胆增殖放流对斑节对虾的行为和分布无显著影响,与之共存。



注:a. 1尾斑节对虾;b. 2尾斑节对虾;c. 3尾斑节对虾。

Note: a. One *Penaeus monodon*; 2. Two *Penaeus monodon*; 3. Three *Penaeus monodon*.

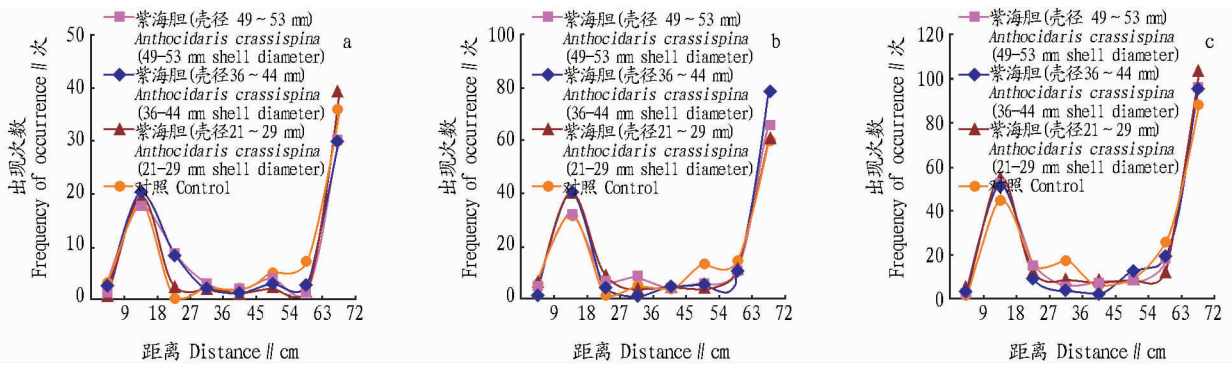
图2 不同规格紫海胆对斑节对虾空间分布频次的影响

Fig. 2 Effects of different sizes of *Anthocidaris crassispina* on the spatial frequency of *Penaeus monodon*

2.1.3 紫海胆增殖放流对近缘新对虾行为的影响。从图3和表2~4可以看出,试验组和对照组近缘新对虾均在距离

紫海胆(或石块)63~72 cm范围内分布最广,其次为距离紫海胆9~18 cm范围内,试验组和对照组间无明显差异,紫海

胆个体大小和近缘新对虾数量不同对近缘新对虾分布和行 为无影响。



注: a. 1 尾近缘新对虾; b. 2 尾近缘新对虾; c. 3 尾近缘新对虾。

Note: a. One *Metapenaeus affinis*; 2. Two *Metapenaeus affinis*; 3. Three *Metapenaeus affinis*.

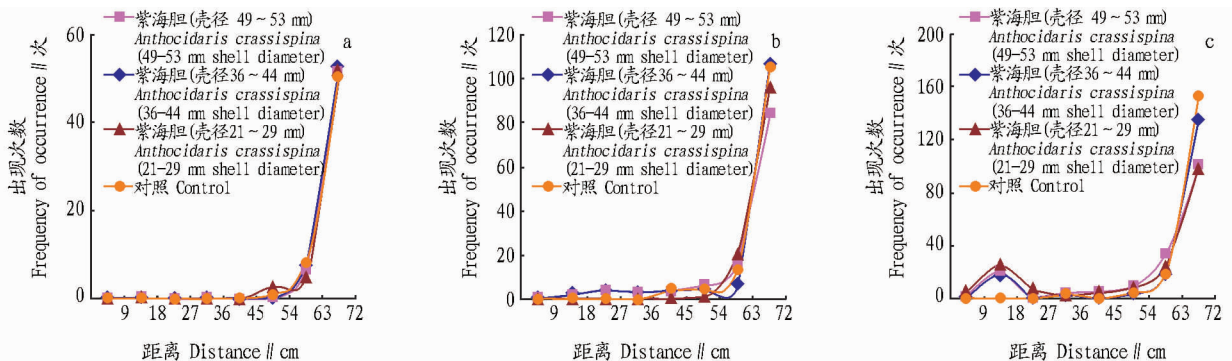
图 3 不同规格紫海胆对近缘新对虾空间分布频次的影响

Fig. 3 Effects of different sizes of *Anthocidaris crassispina* on the spatial frequency of *Metapenaeus affinis*

2.2 紫海胆增殖放流对蟹类行为的影响

2.2.1 紫海胆增殖放流对三疣梭子蟹行为的影响。从图 4 和表 2~4 可以看出,各试验组三疣梭子蟹均在距离紫海胆 63~72 cm 范围内出现频次最高,紫海胆个体大小对三疣梭子蟹行为和分布无明显影响,对照组同样在距离石块 63~

72 cm 范围内出现频次最高。三疣梭子蟹数量为 3 尾时,与其他数量组有一定的差异,其在 9~18 cm 范围内也有一定的出现频次,对紫海胆有一定的危害,有紫海胆(壳径 36~44 mm)因外壳被三疣梭子蟹夹碎而死亡;三疣梭子蟹数量分别为 1 尾和 2 尾时,二者之间无接触和互相损伤情况发生。



注: a. 1 尾三疣梭子蟹; b. 2 尾三疣梭子蟹; c. 3 尾三疣梭子蟹。

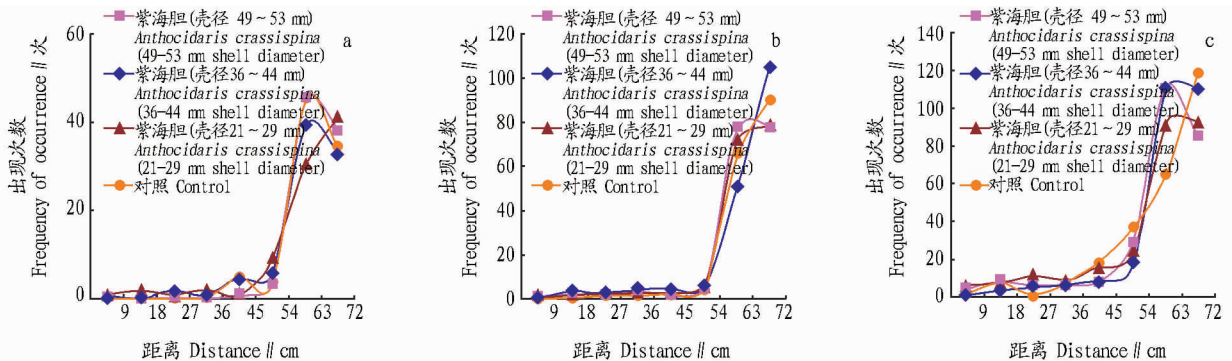
Note: a. One *Portunus trituberculatus*; 2. Two *Portunus trituberculatus*; 3. Three *Portunus trituberculatus*.

图 4 不同规格紫海胆对三疣梭子蟹空间分布频次的影响

Fig. 4 Effects of different sizes of *Anthocidaris crassispina* on the spatial frequency of *Portunus trituberculatus*

2.2.2 紫海胆增殖放流对红星梭子蟹行为的影响。从图 5 和表 2~4 可以看出,各试验组和对照组红星梭子蟹均在距

离紫海胆(或石块)54~72 cm 距离范围内有较高频次分布,紫海胆个体大小和红星梭子蟹尾数不同对红星梭子蟹行为



注: a. 1 尾红星梭子蟹; b. 2 尾红星梭子蟹; c. 3 尾红星梭子蟹。

Note: a. One *Portunus sanguinolentus*; 2. Two *Portunus sanguinolentus*; 3. Three *Portunus sanguinolentus*.

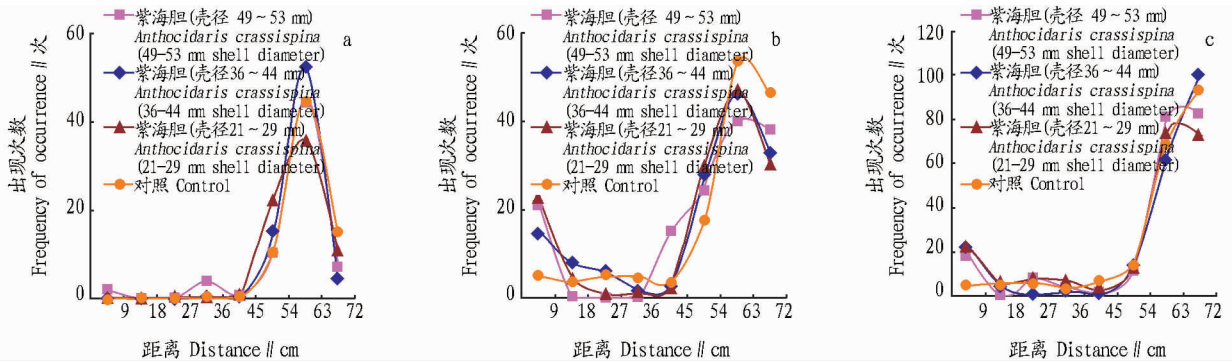
图 5 不同规格紫海胆对红星梭子蟹空间分布频次的影响

Fig. 5 Effects of different sizes of *Anthocidaris crassispina* on the spatial frequency of *Portunus sanguinolentus*

和分布无明显影响,红星梭子蟹和紫海胆之间无接触和互相损伤情况的发生,紫海胆增殖放流对红星梭子蟹的行为和分布无显著影响,与之共存。

2.2.3 紫海胆增殖放流对锈斑蚜行为的影响。从图6和表2~4可以看出,各试验组和对照组锈斑蚜数量为1尾时,在距离紫海胆(或石块)54~63 cm区域内出现频次最高;当锈斑蚜

数量为2尾或3尾时,在距离紫海胆(或石块)54~72 cm区域内有较多的分布,均为距离紫海胆较远的区域,紫海胆个体大小对锈斑蚜行为和分布无明显影响。各试验组锈斑蚜在距离紫海胆0~9 cm范围内也有一定的出现频次,而对照组无此现象,观察发现,有小个体紫海胆(壳径21~29 cm)因外壳被锈斑蚜夹碎而死亡,较大紫海胆未发现损伤现象。



注:a.1尾锈斑蚜;b.2尾锈斑蚜;c.3尾锈斑蚜。

Note: a. One *Charybdis feriatius*; 2. Two *Charybdis feriatius*; 3. Three *Charybdis feriatius*.

图6 不同规格紫海胆对锈斑蚜空间分布频次的影响

Fig. 6 Effects of different sizes of *Anthocidaris crassispina* on the spatial frequency of *Charybdis feriatius*

表2 虾类和蟹类在紫海胆附近(0~9 cm)出现频次的比重

Table 2 Proportion of occurrence frequency of shrimps and crabs in the vicinity (0~9 cm) of *A. crassispina*

物种 Species	不同数量试验动物在壳径49~53 mm紫海胆附近出现频次的比重 Proportion of occurrence frequency tested species in the vicinity of <i>A. crassispina</i> with 49~53 mm shell diameter			不同数量试验动物在壳径36~44 mm紫海胆附近出现频次的比重 Proportion of occurrence frequency tested species in the vicinity of <i>A. crassispina</i> with 36~44 mm shell diameter			不同数量试验动物在壳径21~29 mm紫海胆附近出现频次的比重 Proportion of occurrence frequency tested species in the vicinity of <i>A. crassispina</i> with 21~29 mm shell diameter			对照组 Control group		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	日本对虾 <i>P. japonicus</i>	33	46	29	38	47	47	28	47	43	16	10
斑节对虾 <i>P. monodon</i>	4	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
近缘新对虾 <i>M. affinis</i>	4	5	3	0	1	2	0	5	0	0	3	0
三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0
红星梭子蟹 <i>P. sanguinolentus</i>	0	1	2	1	1	1	1	0	3	0	1	1
锈斑蚜 <i>C. feriatius</i>	3	15	9	0	11	10	0	16	11	0	4	2

表3 不同数量虾类和蟹类分布频次最多的区域

Table 3 Areas with the highest distribution frequency of shrimps and crabs

物种 Species	与壳径49~53 mm紫海胆间的距离 Distance with <i>A. crassispina</i> (49~53 mm shell diameter) // cm			与壳径36~44 mm紫海胆间的距离 Distance with <i>A. crassispina</i> (36~44 mm shell diameter) // cm			与壳径21~29 mm紫海胆间的距离 Distance with <i>A. crassispina</i> (21~29 mm shell diameter) // cm			对照组(与桶中心石块间的距离) Control group (Distance to rock in barrel center) // cm		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	日本对虾 <i>P. japonicus</i>	0~18	0~18	0~18	0~18	0~18	0~18	0~18	0~18	0~18	0~18	0~18
斑节对虾 <i>P. monodon</i>	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72
近缘新对虾 <i>M. affinis</i>	9~18、63~72	9~18、63~72	9~18、63~72	9~18、63~72	9~18、63~72	9~18、63~72	9~18、63~72	9~18、63~72	9~18、63~72	9~18、63~72	9~18、63~72	9~18、63~72
三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i>	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72	63~72
红星梭子蟹 <i>P. sanguinolentus</i>	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72
锈斑蚜 <i>C. feriatius</i>	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72	54~72

3 讨论与结论

水生生物的增殖放流可能会对海域中野生水生生物的行为活动产生影响,干扰野生生物的规模和分布以及一些营养层次生物的相对丰度等,进而对增殖水域的食物网结构等因素造成一定的影响,其影响方式及程度主要与增殖海域野

生水生物密度和增殖幼苗的放流规模有关。当野生水生生物资源密度过高或接近增殖海域对其最大容纳量时,会产生不良效应,进而影响其存活、生长等情况的发生^[7]。例如,增殖放流大眼梭鲈(*Stizostedion vitreum*)导致其与野生种竞争,呈现一定的不良效果^[8];气候环境异常时,大规模增殖放

表 4 紫海胆增殖放流对不同数量虾类和蟹类行为的影响

Table 4 Effects of *A. crassispina* on biological behaviors of different numbers of shrimps and crabs

物种 Species	壳径 49 ~ 53 mm 紫海胆对不同 数量试验动物行为的影响 Effects of <i>A. crassispina</i> with 49 - 53 mm shell diameter on biological behaviors of tested species			壳径 36 ~ 44 mm 紫海胆对不同 数量试验动物行为的影响 Effects of <i>A. crassispina</i> with 36 - 44 mm shell diameter on biological behaviors of tested species			壳径 21 ~ 29 mm 紫海胆对不同 数量试验动物行为的影响 Effects of <i>A. crassispina</i> with 21 - 29 mm shell diameter on biological behaviors of tested species		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	日本对虾 <i>P. japonicus</i>	一定程 度趋附 紫海胆	一定程 度趋附 紫海胆	一定程 度趋附 紫海胆	一定程 度趋附 紫海胆	一定程 度趋附 紫海胆	一定程 度趋附 紫海胆	一定程 度趋附 紫海胆	一定程 度趋附 紫海胆
斑节对虾 <i>P. monodon</i>	共存	共存	共存	共存	共存	共存	共存	共存	共存
近缘新对虾 <i>M. affinis</i>	共存	共存	共存	共存	共存	共存	共存	共存	共存
三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i>	共存	共存	共存	共存	共存	危害紫海胆	共存	共存	共存
红星梭子蟹 <i>P. sanguinolentus</i>	共存	共存	共存	共存	共存	共存	共存	共存	共存
锈斑蟊 <i>C. feriatius</i>	共存	共存	共存	共存	共存	共存	共存	共存	危害紫海胆

流大麻哈鱼 (*Oncorhynchus tshawytscha*) 会造成一些不利影响^[9];放流的褐鳟 (*Salmo trutta*) 造成增殖水域中洄游能力较弱的南乳科鱼类数量急剧减少^[10];大麻哈鱼的增殖放流明显改变了密歇根湖的食物网结构^[11];白斑狗鱼 (*Esox lucius*) 属于较强掠食者,其增殖放流使湖泊中某些原优势鱼类的丰度大幅度下降^[12]。当野生水生生物的规模较小、种群密度过低时进行水生生物的大规模增殖放流,有助于提升该种群的规模。

紫海胆的增殖放流对增殖海域野生海洋动物行为活动的影响尚不明确。紫海胆自身形态结构和生活习性决定其与其他海洋生物的相互危害性较低。该研究表明,日本对虾、斑节对虾和近缘新对虾与紫海胆共存,紫海胆对日本对虾有一定的吸引特性,但均无危害情况发生;红星梭子蟹与紫海胆间未发现行为影响和危害情况,三疣梭子蟹和锈斑蟊会对紫海胆造成一定的危害,但并不是普遍现象。

3.1 紫海胆增殖放流对虾类行为的影响 日本对虾、斑节对虾和近缘新对虾均有喜爱栖息沙、泥底质的特性^[13],白天活动量明显少于夜间,夜晚觅食等活动频繁,经常索饵于水的下层,3种虾的杂食性均较强,经常摄食鱼、贝类等,浮游生物和底栖生物均可作为其饵料^[14-15]。

上述3种虾类与紫海胆均摄食较广,相互之间无食性关系,对食物饵料的竞争关系极小,紫海胆增殖放流对日本对虾有一定的吸引特性,对斑节对虾和近缘新对虾行为活动无显著影响,但3种虾和紫海胆间均无危害情况发生。由此可见,紫海胆的增殖放流对上述3种虾类的风险极低。

3.2 紫海胆增殖放流对蟹类行为的影响 三疣梭子蟹是我国沿海地区重要的经济蟹类,杂食性,食物范围较广,性凶猛,主要摄食甲壳类和鱼类等,对某些植物也有一定的摄食特性^[16];红星梭子蟹多见于泥沙质海底,属于暖水性底层蟹类,主要摄食甲壳动物和鱼类,也会摄食头足类生物;锈斑蟊常栖息于近岸海底,同样喜爱摄食鱼类和甲壳类,对藻类和腹足类等也有一定的摄食选择。

黄美珍^[17]对福建海区的红星梭子蟹食性的研究表明海胆在其食谱中,但该研究中未见红星梭子蟹对紫海胆有危害情况发生;三疣梭子蟹和锈斑蟊生性凶猛,在数量较多时有一定趋附紫海胆现象的发生,均可能会对紫海胆产生一定的

危害,有紫海胆因外壳被夹破碎而发生死亡,但并不是普遍现象,说明蟹类对紫海胆有一定程度的危害。

笔者采用微宇宙法在实验室内模拟了紫海胆增殖放流对野生虾类和蟹类行为的影响,但与实际情况还存在一定差异,如海域环境、水流等复杂多变均会对生物行为有所影响。因此,在今后的研究中应对更多物种在海域内进行行为影响的研究,以期更合理地研究紫海胆增殖放流对野生海洋动物行为的影响。

参考文献

- [1] LORENZEN K. Understanding and managing enhancement fisheries system [J]. *Reviews in fisheries science*, 2008, 16(1/2/3): 10-23.
- [2] BARTLEY D M, BELL J D. Restocking, stock enhancement and sea ranching: Arenas of progress [J]. *Reviews in fisheries science*, 2008, 16(1/2/3): 357-365.
- [3] BELL J D, LEBER K M, BLANKENSHIP H L, et al. A new era for restocking, stock enhancement and sea ranching of coastal fisheries resources [J]. *Reviews in fisheries science*, 2008, 16(1/2/3): 1-9.
- [4] 罗刚, 张振东. 我国水生生物增殖放流存在的问题及对策建议 [J]. *中国水产*, 2015(3): 32-34.
- [5] 余魁英. 克氏原螯虾与两种土著水生甲壳动物的种间关系研究 [D]. 南京: 南京大学, 2013.
- [6] 陈国柱. 入侵种食蚊鱼与土著濒危物种唐鱼的种间关系研究 [D]. 广州: 暨南大学, 2010.
- [7] ROSE K A, COWAN J H, WINEMILLER K O, et al. Compensatory density-dependence in fish population: Importance, controversy, understanding and prognosis [J]. *Fish and fisheries*, 2001, 2(4): 293-327.
- [8] LI J, COHEN Y, SCHUPP D H, et al. Effects of Walleye stocking on population abundance and fish size [J]. *North American journal of fisheries management*, 1996, 16(4): 830-839.
- [9] LEVIN P S, ZABEL R W, WILLIAMS J G. The road to extinction is paved with good intentions: Negative association of fish hatcheries with threatened salmon [J]. *Proceedings of the royal society B: Biological sciences*, 2001, 268(1472): 1153-1158.
- [10] TOWNSEND C R. Individual, population, community, and ecosystem consequences of a fish invader in New Zealand streams [J]. *Conservation biology*, 2003, 17(1): 38-47.
- [11] CUDMORE-VOKEY B, CROSSMAN E J. Checklists of the fish fauna of the Laurentian Great Lakes and their connecting channels [R]. Canadian manuscript report of fisheries and aquatic sciences, 2000.
- [12] FINDLAY D L, VANNI M J, PATERSON M, et al. Dynamics of a boreal lake ecosystem during a long-term manipulation of top predators [J]. *Ecosystems*, 2005, 8(6): 603-618.
- [13] 尹向辉, 程宝平, 刘维宾. 日本对虾养殖技术讲座(一): 日本对虾的生物学特征 [J]. *猪业观察*, 2002(9): 18.
- [14] 王兴强, 曹梅, 阎斌伦. 刀额新对虾的生物学特性及低盐度养殖研究进展 [J]. *水产科技情报*, 2005, 32(4): 151-153.
- [15] 赵红霞. 刀额新对虾的生物学特性 [J]. *江西饲料*, 2005(3): 13-15.
- [16] 程国宝, 史会来, 楼宝, 等. 三疣梭子蟹生物学特性及繁育现状 [J]. *河北渔业*, 2012(4): 59-61.
- [17] 黄美珍. 福建海区拥剑梭子蟹、红星梭子蟹和锈斑蟊的食性与营养级研究 [J]. *台湾海峡*, 2004, 23(2): 159-166.