

大亚湾紫海胆(*Anthocidaris crassispina*) 增殖放流苗种生长情况*

罗虹霞^{1,2} 陈丕茂^{1①} 袁华荣¹ 秦传新¹ 王莲莲^{1,3}
周艳波¹ 冯雪¹ 聂永康^{1,2}

(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 广州 510300;
2. 上海海洋大学 上海 201306; 3. 大连海洋大学 大连 116023)

摘要 为了掌握紫海胆(*Anthocidaris crassispina*)苗种增殖放流后的生长和存活情况,本研究设计试验装置,于2013年9月-2014年5月,在大亚湾海域进行增殖试验。试验装置的表面积均为0.473 m²,紫海胆苗初始苗种壳径范围为3-9 mm,初始苗种数量密度梯度范围为3-25 ind/装置(6-52 ind/m²),初始苗种重量密度梯度范围为1.48-13.32 g/m²。设3种苗种规格、各5个数量密度梯度、各3个平行试样的试验组,共45组,进行了240 d的海上试验。试验结果显示,增殖放流规格和数量密度对紫海胆苗种的存活率具有显著影响,高数量密度、低规格组死亡率高。在试验初期,壳径5-7 mm和7-9 mm两种规格紫海胆苗种的壳径特定增长率(SGR)、壳径增长率(GSD)以及壳径净增长率(NY)与增殖数量密度呈显著负相关。增殖重量密度对紫海胆的产量也有显著影响,其中,10 g/m²为紫海胆产量的临界最佳增殖重量密度。紫海胆苗种在11月到翌年3月生长速度缓慢,壳径特定增长率(SGR)较小。

关键词 紫海胆; 增殖放流; 苗种; 生长; 大亚湾

中图分类号 Q931 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)03-0014-08

紫海胆(*Anthocidaris crassispina*)属棘皮动物门(Echinodermata)、海胆纲(Echinoidea)、正形目(Centrochinoida)、长海胆科(Echinometridae),主要分布在中国东南沿海的浙江、福建、台湾、广东、广西和海南沿海(郭文场等, 2013; 陈锤, 2007),具有很高的营养价值和药用价值(王冬等, 2006)。大亚湾位于广东省沿海中部,湾中岛屿众多,历史上是紫海胆的重要分布区。20世纪80年代以来,由于受酷渔滥捕、环境污染、海洋工程建设和气候变化等因素的影响,大亚湾紫海胆资源严重衰退。为恢复紫海胆资源,促进渔民增产增收,以增殖放流方式恢复和养护大亚湾

紫海胆资源迫在眉睫。为此,广东省开展了大亚湾紫海胆苗种增殖放流,2013年放流约100万粒(中国水产科学研究院南海水产研究所, 2013)、2014年放流1006万粒(赵志玉, 2014)。

苗种大小的选择和密度的确定是增殖放流的关键技术。放流苗种的规格极大影响增殖放流的成效和经济效益;小规格的放流苗种能减少中间培育环节和增殖放流成本,但苗种的适应环境能力差,直接影响放流后的成活率及回捕率。通过对存活率和回捕率的研究,张澄茂等(2000)得出中国对虾(*Penaeus orientalis*)的最佳放流规格, Yamashita(2000)得到牙鲆适宜放流

* 国家科技支撑计划课题(2012BAD18B02; 2012BAD18B01-2)和国家海洋公益性行业科研专项经费项目(201205021-3)共同资助。罗虹霞, E-mail: luo.hong.xia@163.com

① 通讯作者: 陈丕茂, 研究员, E-mail: chenpm@scsfri.ac.cn

收稿日期: 2014-11-26, 收修改稿日期: 2015-02-03

全长规格。较高的增殖密度能减少增殖放流的投放成本、提高单位水体的利用率,但也可能会影响增殖生物摄食、行为、耗氧量以及免疫功能等而导致生物群体生长率和存活率下降(Allen, 1974; Jørgensen *et al.*, 1993)。据国家环境保护总局(2006)记载,英国在大不列颠岛放流研究发现,大西洋鲑(*Salmo salar*)鱼苗和海鳟(*Salmo trutta*)等放流密度过高和过低的放流效果均不理想。因此,探索合理的增殖规格和增殖密度,用最小的增殖空间和增殖成本,达到最大的产出是当前增殖放流亟待解决的问题。

目前,关于紫海胆增殖放流成活、生长等的相关研究尚未见报道。本研究通过模拟海上增殖放流试验,参照增殖技术的分析方法,研究了不同规格和不同密度的紫海胆苗种增殖放流后的生长情况,以期建立紫海胆苗种适宜增殖放流密度及规格的增殖放流技

术,为其增殖放流提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

紫海胆苗种来自中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地育苗池。所选试验紫海胆苗种发育情况良好、活力强。育苗池海水抽取自大亚湾海域。

试验设计了3种苗种规格、各5个数量密度梯度的试验组15组,每组设置3个平行,分装于45个特制试验装置进行海上试验。特制试验装置长450 mm×宽320 mm×高120 mm,包括上端开口的塑料筐、封口件、内壁铺设的束口网袋以及底端的重坠物。装置开设的若干疏水孔便于水体交换及饵料进入,内壁铺设的束口网袋利于紫海胆附着生活又可防止紫海胆逃逸。各试验组苗种规格和数量密度见表1。

表1 各组试验装置投放紫海胆苗种的初始规格和数量密度
Tab.1 Initial shell diameters of juvenile *A. crassispina* in each group

组号 Group	初始紫海胆苗种壳径 Initial shell diameters of juvenile <i>A. crassispina</i> (mm)	初始试验重量密度 Initial weight density (g/m ²)	初始试验数量密度 Initial number density (ind/facility)				
			No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
A	3-5	1.48-7.40	5	10	15	20	25
B	5-7	1.78-8.88	4	8	12	16	20
C	7-9	2.66-13.32	3	6	9	12	15

1.2 试验方法

增殖放流试验在大亚湾海域(22°34'00.39"E, 114°31'18.84"N)进行。投放时水温为29.2℃、盐度为29.1、溶氧量为4.64 mg/L、pH为8.2,其投放条件与紫海胆自然生长环境和发育时期基本一致(廖玉麟, 1982)。将装入紫海胆苗种的试验装置投放至海域底部,再向上提10 cm左右,确保试验装置内的紫海胆苗种接近野生自然环境。

试验期间,定期对紫海胆苗种进行成活率的统计和生物学测定。测定内容包括壳径、壳高、口径和体重。试验从2013年9月开始,到2014年5月试验装置受台风损坏时结束,历时240 d。其中,2013年9月-2014年1月每30 d统计测定1次,2014年1-5月每60 d统计测定1次。每次统计测量均安排在清晨,以避免高温和强光对紫海胆苗种造成伤害。

1.3 分析方法

紫海胆苗种壳径特定增长率(Special Growth Rate of Shell Diameter, SGR)计算公式如下:

$$SGR = 100(\ln R_t - \ln R_0)/t \quad (1)$$

壳径增长率(Growth Rate of Shell Diameter, GSD)计算公式为:

$$GSD = (R_t - R_0)/R_0 \quad (2)$$

壳径净增长率(Net Yield of Shell Diameter, NY)用下式计算:

$$NY = (R_t - R_0)/St \quad (3)$$

离散系数(Coefficient of Shell Diameter Variation, SV)用下式计算:

$$SV = SD / X \quad (4)$$

壳径与体重关系式(Length-Weight Correlation Equation)如下:

$$W = aR^b \quad (5)$$

体重生长方程(Weight Growth Equation)用下式表示:

$$W = ae^{bt} \quad (6)$$

公式(1)-(6)中, R_0 为紫海胆苗种开始试验时的壳径(mm); R_t 为试验结束时的壳径(mm); W 为紫海胆体重(g); t 为试验天数(d); S 为试验装置表面积(m²); a 、 b 为常数; SD 为标准差, X 为平均壳径(mm)。

试验数据运用 IBM SPSS Statistics 19 进行单因素方差分析(ANOVA)和偏相关方法分析。当单因素方差分析处理数据间差异显著($P<0.05$)时,用 LSD 检验法进行均值间多重比较。 $P<0.05$ 为差异显著, $P<0.01$ 为差异极显著。用 Excel 2010 和 Origin Pro 8.5 软件作图。

2 结果

2.1 苗种规格和增殖数量密度对紫海胆生长的影响

2.1.1 苗种规格和增殖数量密度对紫海胆存活率的影响 紫海胆的数量密度与紫海胆苗种的存活率显著相关($P=0.041<0.05, n=39$)。在试验初期,紫海胆苗种的死亡率较高,但随时间推移而下降,个别试验组在试验后期没有出现死亡情况。试验初期的 120 d 中,不同规格、不同数量密度的死亡率由低到高依次是: C1<B2<B3<C2<C3<A3<B1<B4<A5<A2<C4<C5<A4(表 2)。

2.1.2 苗种规格和增殖数量密度与壳径增长率之间的关系 把紫海胆苗种的增殖数量密度作为自变

量进行总体分析,不同增殖数量密度组之间的壳径特定增长率 SGR 、壳径增长率 GSD 、净增长率 NY 的差异均未达显著水平。分组分析发现, A 组的增殖数量密度对 SGR 、 GSD 、 NY 无显著影响, B、C 两组在 9 月不同增殖数量密度(N_S)下的 SGR 差异达显著水平(B 组关系式 $SGR=0.0004N_S^2-0.0473N_S+1.9412, P=0.022<0.05, n=12$; C 组关系式 $SGR=-0.0006N_S^2-0.0013N_S+1.0117, P=0.034<0.05, n=15$)、 GSD (B 组关系式 $GSD=-0.0007N_S^2-0.0506N_S+1.2581, P=0.024<0.05, n=12$; C 组关系式 $GSD=-0.0004N_S^2-0.0045N_S+0.5534, P=0.040<0.05, n=15$)、 NY (B 组关系式 $NY=0.0001N_S^2-0.0218N_S+1.0028, P=0.048<0.05, n=12$; C 组关系式 $NY=-0.0003N_S^2-0.0076N_S+0.751, P=0.034<0.05, n=15$), 10 月后差异不显著。9-10 月 B、C 两组紫海胆的增殖数量密度和生长情况的关系如图 1-图 3 所示。由此可见, B、C 两组紫海胆的 SGR 、 GSD 、 NY 均随着增殖数量密度的增加呈下降趋势。

2.1.3 增殖重量密度与紫海胆产量之间的关系 把紫海胆苗种的重量密度作为自变量进行总体分析, 1 月紫海胆增殖重量密度(N_W)与产量(P_W)具有显著

表 2 不同数量密度、规格的紫海胆苗种在不同阶段的死亡率(%)
Tab.2 The death rate of juvenile *A. crassispina* in each group at different stages(%)

时间 Month	A 组 Group A					B 组 Group B					C 组 Group C				
	A1*	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5*	C1	C2	C3	C4	C5
9 月 Sep.	20	50	26.7	37.5	38	37.5	0	0	43.8	30.0	0	25	27.8	33.3	23.3
10 月 Oct.	0	0	0	33.7	0	0	6.3	8.3	0	7.1	0	0	0	38.9	29.5
11 月 Nov.	/	0	4.5	31.25	11.5	0	0	4.5	0	/	0	0	0	0	20
12 月 Dec.	/	0	0	0	2.8	0	0	0	0	/	0	0	0	0	14.3
总死亡率 Total death rate	/	50	30	71.5	46.7	37.5	6.3	12.4	43.8	/	0	25	27.8	59.2	62.9

*11 月测量时, 发现 A1、B5 组的试验笼被台风刮走, 沉入海底

*When measured in November, the experimental facilities of group A1 and group B5 were destroyed by typhoon

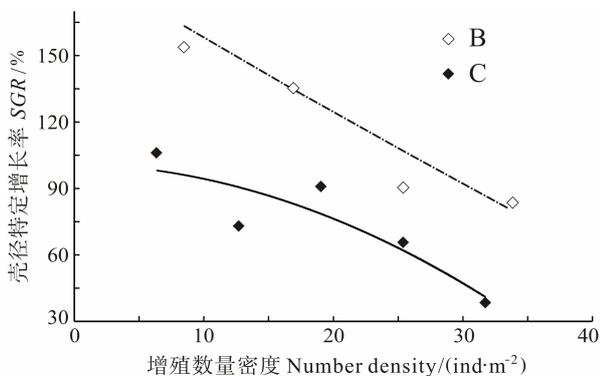


图 1 9-10 月 B、C 两组紫海胆苗种的增殖数量密度和壳径特定增长率之间的关系

Fig.1 The correlation between SGR and density of juvenile *A. crassispina* in Sep. and Oct.

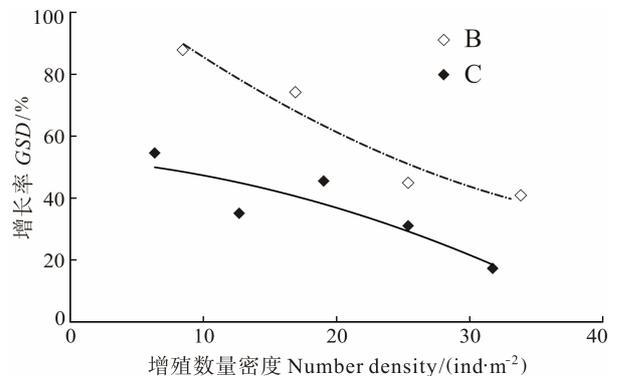


图 2 9-10 月 B、C 两组紫海胆苗种的增殖数量密度和壳径增长率之间的关系

Fig.2 The correlation between GSD and density of juvenile *A. crassispina* in Sep. and Oct.

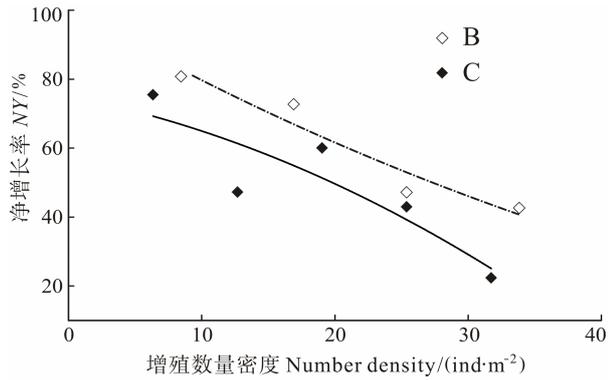


图 3 9-10 月 B、C 两组紫海胆苗种的增殖数量密度和壳径净增长率之间的关系

Fig.3 The correlation between NY and density of juvenile *A. crassispina* in Sep. and Oct.

性差异($P_W = -0.233N_W^2 + 4.137N_W + 9.798$, $P = 0.036 < 0.05$, $n = 39$), 其他月份差异不显著。1 月紫海胆增殖重量密度(N_W)与产量(P_W)关系如图 4 所示。增殖重量密度为 2-6 g/m^2 时, 紫海胆每平方米的产量随着增殖重量密度的增大而呈上升趋势。增殖重量密度为 10-15 g/m^2 时, 紫海胆每平方米的产量随着增殖重量密度的增大而呈下降趋势。故可初步认为, 紫海胆的增殖重量密度为 6-10 g/m^2 时, 紫海胆的产量达最大值。

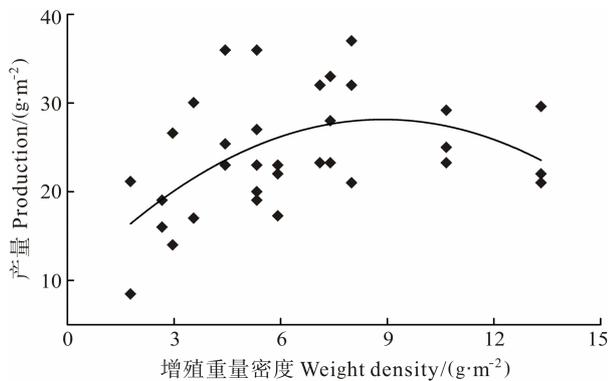


图 4 1 月紫海胆苗种的增殖密度和产量之间的关系

Fig.4 The correlation between production and stocking density of juvenile *A. crassispina* in Jan.

2.1.4 苗种规格和增殖数量密度对生长离散(SV)的影响 紫海胆苗种壳径变异系数范围为 4.1%-30.4%。试验期间, 各试验组壳径的变异系数在试验前后达极显著水平($P = 4.0 \times 10^{-4} < 0.001$, $n = 39$), 除 B 组的高密度组 SV 随着时间下降外, 其他 SV 值均随着时间而上升。总体分析, 不同数量增殖密度对壳径的变异系数除 11 月外, 均无显著差异。分组分析, 各数量增殖密度组间无显著差异(10 月 $P = 0.120 > 0.05$, 11 月 $P = 0.065 > 0.05$, 12 月 $P = 0.413 > 0.05$)。

2.2 紫海胆的生长特性

2.2.1 体重生长随时间变化的生长曲线 试验期间, 各试验组中的紫海胆苗种生长速度逐渐加快, 随着时间推移, 各密度组的紫海胆苗种均呈指数生长(图 5-图 7)。A 组紫海胆苗种体重增长速率从高到低为 $A3 > A2 > A4 > A5$, 从 76 d 起 A 组各密度梯度的紫海胆重

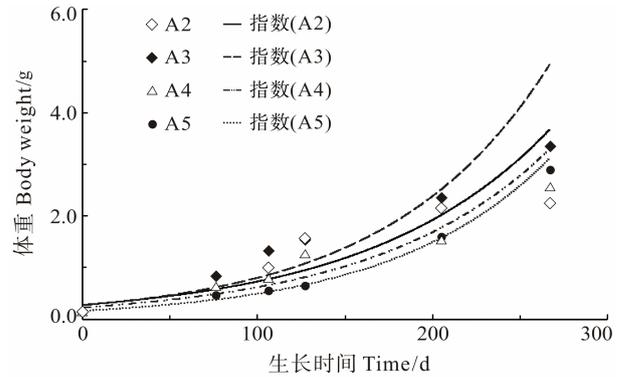


图 5 A 组紫海胆苗种体重生长曲线

Fig.5 The weight growth curve of juvenile *A. crassispina* in group A

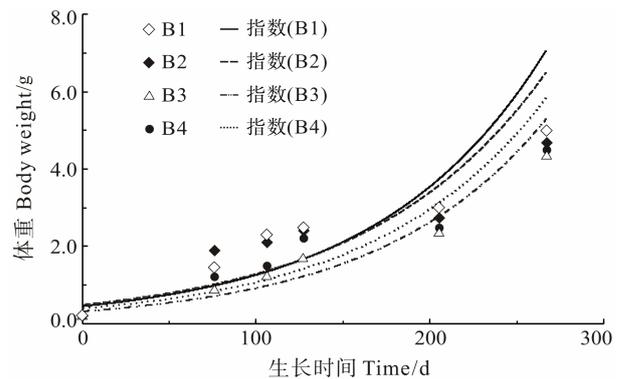


图 6 B 组紫海胆苗种体重生长曲线

Fig.6 The weight growth curve of juvenile *A. crassispina* in group B

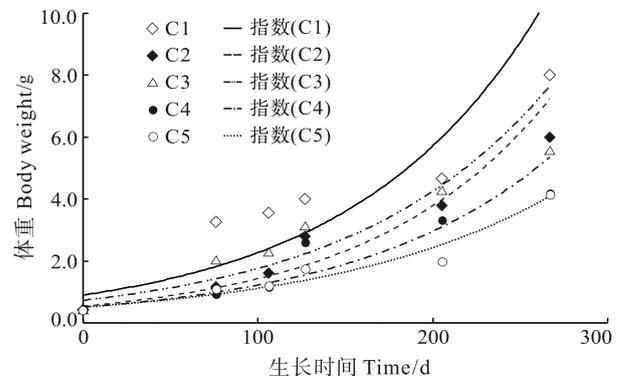


图 7 C 组紫海胆苗种体重生长曲线

Fig.7 The weight growth curve of juvenile *A. crassispina* in group C

量开始出现极显著差异($P=0.005<0.01$, $n=12$)。B组体重增长速率从高到低为 $B1>B2>B4>B3$, 从76 d起B组各密度梯度的紫海胆重量开始出现极显著差异($P=2.2\times 10^{-4}<0.01$, $n=12$)。C组体重增长速率从高到低为 $C1>C3>C2>C4>C5$, 从76 d起C组各密度梯度的紫海胆重量开始出现极显著差异($P=5.3\times 10^{-4}<0.01$, $n=15$)。整体基本呈现密度较低的试验组体重增长率较高、密度较高的试验组体重增长率较低的规律。根据试验数据拟合的各试验组紫海胆苗种的体重生长方程见表3。

表3 各试验组紫海胆苗种体重生长方程

Tab.3 The weight growth equation of each group

组号 Group	公式 Equation	r^2	组号 Group	公式 Equation	r^2
A2	$W=0.278e^{0.0097t}$	0.783	C4	$W=0.504e^{0.0089t}$	0.903
A3	$W=0.271e^{0.0109t}$	0.840	C5	$W=0.514e^{0.0078t}$	0.937
A4	$W=0.229e^{0.010t}$	0.879	B1	$W=0.450e^{0.0103t}$	0.780
A5	$W=0.165e^{0.011t}$	0.986	B2	$W=0.489e^{0.0097t}$	0.724
C1	$W=0.902e^{0.0092t}$	0.742	B3	$W=0.323e^{0.0105t}$	0.915
C2	$W=0.541e^{0.0097t}$	0.939	B4	$W=0.391e^{0.0101t}$	0.833
C3	$W=0.730e^{0.0088t}$	0.833			

2.2.2 体重生长与各项生长参数的关系 采用偏相关分析方法研究紫海胆苗种各外部形态性状对体重的影响效果显示,对体重直接影响最大的性状是壳径(表4),体重随着壳径的增加而呈对数增长(图8),拟合得出体重和壳径的关系式为 $W = 0.003R^{2.380}$, $r^2 = 0.890$ 。根据 $b<3$ 可得此生长阶段的紫海胆苗种在各密度组中的生长为异速生长。

2.3 海域水温对紫海胆生长的影响

基于中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地在试验期间对大亚湾海域水温的监测记录(表5),分析水温对紫海胆苗种生长情况的影响。结果显示,紫海胆苗种在11月到翌年3月的壳径特定增长率较小,其中,试验组B1($P=0.039<0.05$)、C1($P=0.015<0.05$)、C2($P=0.039<0.05$)、C5($P=0.039<0.05$)生长与水温具有显著差异,趋势如图9所示。4组紫海胆苗种的壳径特定增长率总体随着温度的降低而呈下降趋势,试验组C1和C5随着温度的升高呈上升趋势。

表5 试验期间大亚湾海域水温

Tab.5 The water temperature of the Dayawan Bay during the experiment

月份 Month	9-10	10-11	11-12	12-翌年1	1-3	3-5
水温 Water temperature (°C)	28.5±1.2	24.6±1.3	18.6±2.3	14.3±0.8	16.3±1.1	22.2±2.1

表4 紫海胆苗种表型性状对体重的决定系数

Tab.4 Determination coefficient of each phenotypic character to weight

表型性状 Phenotypic character	决定系数 Determination coefficient			
	壳径 Shell diameter (mm)	壳高 Shell height (mm)	口径 Mouth diameter (mm)	均重 Average weight (g)
壳径 Shell diameter (mm)	/	0.854	0.692	0.699
壳高 Shell height (mm)		/	0.736	0.661
口径 Mouth diameter (mm)			/	0.507

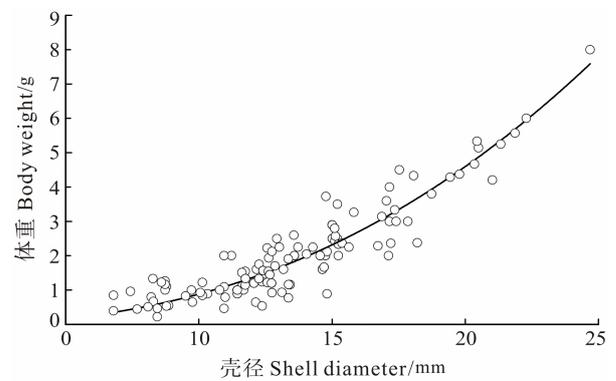


图8 紫海胆苗种壳径和体重之间的关系

Fig.8 The relationship between shell diameter and weight of juvenile *A. crassispina*

3 讨论

3.1 苗种规格和增殖数量密度对紫海胆存活率的影响

增殖密度增大,导致水体中耗氧量和代谢废物增加、溶解氧降低,对生存环境造成不良的影响,从而增大水生生物的应激反应,改变其生理状况,甚至致其死亡(Lupatsch *et al*, 2010; 郭海燕, 2013)。本研究,紫海胆苗种在初期死亡率较高,但随着试验时间的推移,死亡率呈下降趋势。这表明紫海胆苗种适应环境后,生长的抗逆性增强,死亡率下降。较高的死亡率出现在壳径为3-5 mm的小规格组。孙勉英等(1990)在研究光棘球海胆(*Strongylocentrotus nudus*)时发现,海胆大约在2-3 mm之前主要以底栖硅藻为饵,之后

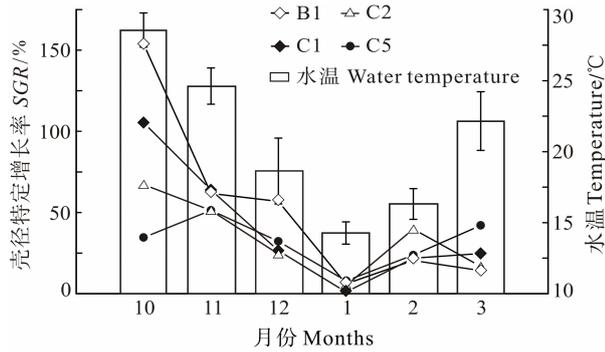


图9 紫海胆苗种壳径特定增长率和大亚湾水温的关系
Fig.9 The relationship between SGR of juvenile *A. crassispina* and water temperature in Dayawan Bay

的食量增加,摄食能力增强,饵料种类也会变得多样化。本研究的小规格组可能未经过或正处于饵料转化期,对环境的变化敏感,这与张玉勇等(2008)对细鳞鱼(*Brachymastax lenok* Pallas)在转饵期会引发高死亡率的结论一致。故为避免较高的死亡率,增殖放流的紫海胆苗种应选择壳径大于5 mm的个体。研究表明,不同增殖生物的增殖密度有一个临界值,该临界值因种属和生长特性的不同而有所差异。在临界增殖密度内,死亡率不受密度的影响,超出临界增殖密度后,随着密度的升高,死亡率上升(廖锐等, 2006)。本研究在大亚湾海域进行的现场增殖放流试验结果显示,壳径为3-5 mm和7-9 mm的规格组没有出现增殖密度临界值。而壳径为5-7 mm紫海胆苗种的试验组,增殖数量密度小于8个/装置时,死亡率较高;当增殖数量密度在8-12个/装置时,紫海胆苗种的死亡率较低;当增殖数量密度大于12个/装置时,紫海胆苗种的死亡率随着增殖数量密度的增加急剧升高。因此,可初步认为大亚湾海域壳径为5-7 mm的紫海胆苗种的增殖容量是8-12个/装置(25 ind/m²)。

3.2 苗种规格和增殖密度对紫海胆生长情况的影响

增殖生物生活在高密度环境中,会受到一系列因素复杂的相互作用,这些因素或单独或叠加地影响增殖生物的生长(宋志飞等, 2014)。本研究2013年9-10月试验期间, B、C两组的壳径特定增长率、壳径增长率、净增长率均随着数量密度的增加而下降,这与宋志飞等(2014)对俄罗斯鲟(*Acipenser gueldenstaedti*)幼鱼、裴素蕊等(2013)对刺参(*Apostichopus japonicus*)以及 Vijayan 等(1988)对溪红点鲑(*Salvelinus fontinalis*)的研究结果较为一致。同时,增殖重量密度为10-15 g/m²时,紫海胆的产量随增殖重量密度的增大而降低。紫海胆苗种的体重增长速率也和密度呈一定的负相关关系。分析原因是,随着密度的增加,水质恶化对紫

海胆苗种造成直接胁迫作用;高密度导致个体间相互遭受攻击的几率加大,饵料和空间的限制加剧了个体间斗争,使增殖生物活动耗能增加;神经内分泌活动改变引起的内在生理功能调节消耗了大量能量等因素(肖鸣鹤等, 2012),使增殖生物生长速度下降,生长效率和特定增长率与密度呈现显著负相关关系。

研究表明,不同密度会导致个体生长差异,在超出临界密度后,随着增殖密度的增加,个体生长差异也会越来越大。总体分析,当紫海胆苗种的增殖重量密度高于10 g/m²时,紫海胆的产量随增殖密度的增大而降低。故可判断10 g/m²可能为紫海胆产量的临界增殖密度,6-10 g/m²可能为紫海胆产量最大化的最佳密度范围。分组分析,壳径为3-5 mm的规格组在增殖数量密度为10-15个/装置时,紫海胆苗种的体重增长速率随着密度增大而降低;增殖数量密度在15-25个/装置时,紫海胆苗种的体重增长速率随密度增大而升高,故认为15个/装置(31 ind/m²)可能为3-5 mm规格组的体重增长率临界增殖密度。同时在3-5 mm规格组中,此密度的紫海胆苗种死亡率也最低。其他规格组在体重增长速率和壳径增长速率方面虽未出现临界增殖密度,但综合死亡率分析均可得出,本研究密度范围内的最佳增殖密度。壳径为5-7 mm的紫海胆苗种,8个/装置(17 ind/m²)的密度组死亡率最低,且其体重和壳径增长率都较高;壳径为7-9 mm规格组中,3个/装置(6 ind/m²)的成活率和增长率都最高。

3.3 苗种规格和数量密度之间的关系对生长离散的影响

Cutts 等(1998)认为,由于数量密度增加,致使生物竞争食物和空间,加速了个体大小分布的差异和不对称,使个体间生长不均匀。结果导致生长优势的生物占据到更多的资源,而生长劣势的生物更处于劣势,增长率进一步下降,因而生长离散加剧。本试验期间,不同数量密度对壳径的变异系数无显著性差异。张玉勇等(2008)认为,试验水质好、水温适宜、溶氧充足,会使高密度组的种内竞争及排泄因子对生长和存活的不利影响被良好的水体环境所减弱。本研究海区位于开放式海湾,水流交换速度快,能保持良好的水域环境,保证有充足的溶氧和食物,故离散程度没有随密度的增加而加剧。

3.4 水温对紫海胆生长的影响

水温会影响增殖生物生长的摄食量、代谢率(Diana, 1984)、营养物质以及能量的利用效率(Steinbacher *et al*, 2011; Peres *et al*, 1999)。紫海胆在冬季的增长率明显降低,与陈颜锋等(2003)的紫海胆

海区挂样试验中,水温对生长影响的结果一致。研究表明,在适宜水温范围内时,增养殖生物的最大摄食能、生长能、总代谢能一般都随水温上升呈增大趋势。高绪生等(1993)在研究光棘球海胆(*Strongylocentrotus nudus*)影响时发现,在一定水温范围内,幼海胆的体重增长率和壳重增长率随着水温的升高而增加。然而在本研究中仅有 4 组紫海胆苗种的壳径特定增长率随着水温的降低而呈下降趋势,两组紫海胆苗种的壳径特定增长率随着水温的升高而呈上升趋势。原因可能是本试验在自然海域环境中进行,除水温外,紫海胆苗种的生长还与其他外界环境因子有关。尤凯等(2003)和郭文场等(2013)认为,海胆属狭盐性海洋动物,对盐度敏感。同时常亚青等(1997)研究虾夷马粪球海胆(*Strongylocentrotus intermedius*)时发现,大量降雨导致海水盐度下降,对海胆的生长具有重大影响。王贵宁等(2014)发现,海洋中 CO₂ 引起 pH 降低,对紫海胆的生理造成影响。以上因素都可能会造成紫海胆生长情况的变化。下一步拟增加其他环境因子对紫海胆生长情况的研究,以便准确而完整地研究增殖放流环境对紫海胆苗种生长的影响。

4 结论

在本研究中,密度对增殖放流的紫海胆苗种生长存在一定的影响,主要表现在高密度导致死亡率较高,壳径特定增长率、壳径增长率、净增长率以及体重增长率较低。综合死亡率和增长率分析,在本研究的密度范围内(数量密度范围为 6–52 ind/m²,重量密度范围为 1.48–13.32 g/m²),初步认为壳径规格为 3–5 mm、5–7 mm 和 7–9 mm 的紫海胆苗种的最佳增殖数量密度分别为 31、17 和 6 ind/m²。10 g/m² 为紫海胆产量的临界最佳增殖重量密度,6–10 g/m² 为紫海胆产量最大化的最佳密度范围。为确保较高的存活率,增殖放流紫海胆苗种应选取壳径大于 5 mm 的个体。

参 考 文 献

王冬,王政乾,田红伟,等. 海胆的研究进展及其应用现状. 中国海洋药物杂志, 2006, 25(4): 52–54
 王贵宁,石松悫,吕为群. 海洋中 CO₂ 引起的 pH 降低对紫海胆亚氏提灯附属肌肉生理机能的影响. 上海海洋大学学报, 2014, 23(1): 51–57
 尤凯,曾晓起,刘晖,等. 马粪海胆对环境变化的耐受性与选择性研究. 应用生态学报, 2003, 14(3): 409–412
 中国水产科学研究院南海水产研究所. 南海所“南方紫海胆人工育苗和中间培育技术”通过现场验收[EB/OL]. [2013-11-28][2015-02-11]. <http://www.scsfri.ac.cn/kyjz/201311/>

t20131128_16026.htm
 孙勉英,高绪生,胡庆明. 大连紫海胆食性的研究 II. 幼海胆期饵料的初步探讨. 水产学报, 1990, 9(4): 31–34
 肖鸣鹤,肖英平,吴志强,等. 养殖密度对克氏原螯虾幼虾生长、消化酶活力和生理生化指标的影响. 水产学报, 2012, 36(7): 1088–1093
 宋志飞,温海深,李吉方,等. 养殖密度对流水养殖系统中俄罗斯鲟幼鱼生长的影响. 水产学报, 2014, 38(6): 835–842
 张玉勇,徐革锋,金舒博,等. 养殖密度对饵料驯化期细鳞鱼稚鱼生长的影响. 上海水产大学学报, 2008, 17(3): 321–326
 张澄茂,叶泉土. 东吾洋中国对虾小规格仔虾种苗放流技术及其增殖效果. 水产学报, 2000, 24(2): 134–139
 陈锤. 紫海胆的生物学与养殖. 海洋与渔业, 2007(7): 32
 陈颜锋,游小艇. 紫海胆养殖试验. 科学养鱼, 2003(10): 29
 国家环境保护总局. 水利水电开发项目——生态环境保护研究与实践. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 270–320
 赵志玉. 紫海胆资源恢复成功进入第二年. 海洋与渔业, 2014(9): 42–43
 高绪生,孙勉英,胡庆明,等. 温度对光棘球海胆不同发育阶段的影响. 海洋与湖沼, 1993, 24(6): 634–640
 郭文场,丁向清,尚建勋,等. 中国海胆种质资源养殖与保护. 特种经济动植物, 2013(9): 9–11
 郭海燕. 养殖密度对鱼类生长情况的影响. 重庆水产, 2013(1): 40–43
 常亚青,王子臣. 虾夷马粪海胆筏式人工养殖研究. 大连水产学院学报, 1997, 12(2): 7–14
 裴素蕊,董双林,王芳,等. 限定食物资源下密度对刺参个体生长的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43(3): 32–37
 廖玉麟. 海胆生物学概况. 水产科学, 1982(3): 1–8
 廖锐,区又君,勾效伟. 养殖密度对鱼类福利影响的研究进展 I. 死亡率、生长、摄食以及应激反应. 南方水产, 2006, 2(6): 76–80
 Allen KO. Effects of stocking density and water exchange rate on growth and survival of channel catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) in circular tanks. Aquaculture, 1974, 4(1): 29–39
 Cutts CJ, Metcalfe NB, Taylor AC. Aggression and growth depression in juvenile Atlantic salmon: the consequences of individual variation in standard metabolic rate. J Fish Biol, 1998, 52(5): 1026–1037
 Diana JS. The growth of largemouth bass, *Micropterus salmoides* (Lacepede), under constant and fluctuating temperatures. J Fish Biol, 1984, 24(2): 165–172
 Jørgensen EH, Christiansen JS, Jobling M. Effects of stocking density on food intake, growth performance and oxygen consumption in Arctie charr (*Salvelinus alpinus*). Aquaculture, 1993, 110(2): 191–204
 Lupatsch I, Santos GA, Schrama JW, et al. Effect of stocking density on the growth and stress-response in brook charr, *Salvelinus fontinalis*. Aquaculture, 2010, 298(3): 245–250

- Peres H, Oliva-Teles A. Influence of temperature on protein utilization in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 1999, 170(3): 337–348
- Steinbacher P, Marschallinger J, Obermayer A, *et al.* Temperature-dependent modification of muscle precursor cell behaviour is an underlying reason for lasting effects on muscle cellularity and body growth of teleost fish. *J Exp Biol*, 2011, 214(11): 1791–1801
- Vijayan MM, Leatherland JF. Effect of stocking density on the growth and stress-response in brook charr, *Salvelinus fontinalis*. *Aquaculture*, 1988(75): 159–170
- Yamashita Y. Evaluation of the technology and effectiveness of stock enhancement in Japan// *Proceedings of the International Symposium on Marine Ranching Toward 21st Century*. Seoul: Korean Ocean Research and Development Institute, 2000, 106–125

(编辑 冯小花)

Growth of Juvenile *Anthocardis crassispina* Released and Enhanced in Dayawan Bay

LUO Hongxia^{1,2}, CHEN Pimao^①, YUAN Huarong¹, QIN Chuanxin¹, WANG Lianlian^{1,3},
ZHOU Yanbo¹, FENG Xue¹, NIE Yongkang^{1,2}

(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, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Marine Ranch Technology, CAFS, Guangzhou 510300; 2. Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 3. Dalian Ocean University, Dalian 116023)

Abstract *Anthocardis crassispina*, which possesses high pharmaceutical and nutritive value, is one of the most important fishery species in the southeast China Sea. Because of continued over-fishing, the population of *A. crassispina* has been decreased sharply in last several years. Thus, it is urgent to take some actions to improve this situation. In order to study the growth rate and survival state of juvenile *A. crassispina*, we designed several experimental facilities, and threw them in Dayawan Bay to simulate the natural growing environment in the sea from September 2013 to May 2014. The superficial area of specially made experimental facilities was 0.473 m². The diameter of shells was between 3 mm and 9 mm, and the density was between 3 ind and 25 ind per experimental facility (6 ind/m² and 52 ind/m²), while the weight range was between 1.48 g/m² and 13.32 g/m². Fourty-five experimental facilities of Juvenile *A. crassispina* had been divided into 15 groups according to 3 different diameter of shells and 5 various densities (each group has three parallel facilities). The result indicates that the diameter of shells and density affected the death rate significantly. The highest death rate was in the group of smallest diameter of shells and lowest density. At the early stage of the culture, there is a significant negative correlation between 3 growth rates, Growth rate of Shell Diameter (*GSD*), Special Growth Rate of Shell Diameter (*SGR*) and Net Yield of Shell Diameter (*NY*), with density in groups whose diameter of shells is 5–7 mm or 7–9 mm. Two months after the culture, these differences disappeared. There is also a significant difference in production between different weight ranges. The highest production is in the group of the weight of 10 g/m². From November to March in the next year, the juvenile *A. crassispina* grew more slowly and the *GSD* was lower.

Key words *Anthocardis crassispina*; Stock enhancement; Juvenile; Growth; Dayawan Bay

① Corresponding author: CHEN Pimao, E-mail: chenpm@scsfri.ac.cn