

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15164

养殖密度对毛蚶幼虫生长及存活的影响

高霄龙¹, 李莉², 孔令锋¹, 李琪¹

1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 山东省海洋生物研究院, 山东 青岛 266104

摘要: 为探讨毛蚶(*Scapharca subcrenata*)幼虫养殖的最佳密度, 本研究设定了 5 个不同的放养密度(2、5、8、14、20 ind/mL), 养殖实验从 D 型幼虫阶段一直持续到幼虫完成附着变态。实验结果表明, 随着放养密度的增加, 水体氨氮浓度、亚硝酸盐浓度显著升高($P<0.05$); 幼虫密度为 20 ind/mL 时, 分别达到最大值 0.089 mg/L 和 0.008 mg/L。溶解氧浓度则随幼虫密度的增大呈现下降的趋势, 幼虫密度达到 14、20 ind/mL 时, 显著低于其他密度组($P<0.05$)。幼虫的生长速率随放养密度的增加显著下降, 5~8 ind/mL 为幼虫最佳生长密度。幼虫的存活率也随着放养密度的增加显著下降($P<0.05$), 当幼虫的放养密度为 20 ind/mL 时, 存活率仅为 35%。放养密度为 8 ind/mL 时, 幼虫的附着密度最大, 且在附着基下层的附着密度显著高于中层和上层($P<0.05$)。同时, 随着放养密度的增加, 幼虫附着变态的时间被延长, 附着变态规格也显著减小($P<0.05$)。因此, 综合考虑各种要素, 规模化苗种生产中幼虫的培育密度控制在 5~8 ind/mL 较为适宜。

关键词: 毛蚶; 幼虫; 放养密度; 生长; 存活; 附着变态

中图分类号: S966

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)01-0233-08

毛蚶(*Scapharca subcrenata*)俗称瓦楞子、毛蛤, 隶属于瓣鳃纲、翼形亚纲、蚶目、蚶科, 广泛分布于中国北方沿海各省, 是中国重要的海产经济贝类之一。近些年随着人们生活水平的不断提高, 对健康海产品的需求也不断增大。毛蚶因其肉味可口、营养价值丰富、产量高, 广受消费者和养殖户青睐。2012 年, 我国蚶类产量达到 27.8 万 t, 养殖面积超过 6.7 万 hm^2 ^[1], 其养殖产业得到了迅猛发展。但是由于过度捕捞、围海造田、水体污染等因素导致毛蚶原始栖息地环境不断恶化, 进一步加剧了野生资源的严重衰退。因此, 不断完善养殖技术, 实现毛蚶苗种的规模化人工繁育成为资源保护和养殖产业健康发展的关键。

双壳贝类在营底栖生活前要经历浮游幼虫阶段, 浮游幼虫对影响其生长及存活的环境因子非

常敏感。养殖密度、温度等是影响幼虫生长、附着变态的外生环境因素^[2]。在幼虫的生产培育过程中, 养殖密度是一个相较于其他环境因素更易调控和管理的重要因素^[3]。与自然环境条件下相似, 人工养殖条件下放养密度通过饵料和生存空间竞争对贝类生长产生直接影响, 同时长期累积的代谢废物的毒害作用也会对其生长产生间接影响^[4]。目前, 放养密度对毛蚶(*Scapharca subcrenata*)^[5]、扇贝(*Chlamys islandica*, *Nodipecten nodosus*)^[6-7]、牡蛎(*Crassostrea gigas*, *Saccostrea glomerata*, *C. virginica*, *C. ariakensis*)^[8-9]、鲍(*Haliotis asinina*, *H. discus hannai*)^[10-11]、贻贝(*Mytilus edulis*)^[12]等的稚贝和成贝的影响研究已有不少报道, 但放养密度对贝类浮游幼虫阶段影响的研究报道较少。因此, 为研究不同放养密度对毛蚶幼

收稿日期: 2015-04-18; 修订日期: 2015-06-05.

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项(201205023); 国家自然科学基金项目(41276138).

作者简介: 高霄龙, 男, 硕士研究生. 主要从事贝类遗传育种学研究. E-mail: g19880302@sina.com

通信作者: 李琪, 男, 教授, 博士生导师, 从事贝类遗传育种学研究. E-mail: qili66@ouc.edu.cn

虫生长及存活的影响,优化养殖条件,以最低成本增加单位水体养殖产量,实验设计了 5 个不同的放养密度,以期探究实现高密度、大规格、健康苗种的生产培育方法,为毛蚶苗种的规模化生产培育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用毛蚶亲贝采捕于山东省东营市沿海,经室内控温蓄养培育,温度控制在 26~30℃。亲贝蓄养半个月后,选择性腺饱满、贝壳无损伤的亲贝进行诱导产卵。采用阴干流水诱导法,阴干 4 h,流水 3 h。产卵后反复洗卵,孵化密度控制在 60 粒/mL。

当池中幼虫发育至 D 型幼虫,壳长达到 (86.83±1.76) μm,壳高达到 (65.90±1.64) μm 时,用筛绢将幼虫转移至 45 L 塑料水族箱中,培育过程中提供连续微量充气。每天早晨和下午各进行 1 次换水,换水量为水体的 50%。实验过程中以金藻 (*Isochrysis zhanjiangensis*) 作为主要的饵料,并辅以角毛藻 (*Chaetoceros muelleri*)、小球藻 (*Chlorella vulgaris*) 或者海洋红酵母,具体的投喂量和投喂方法如下表 1 所示。

表 1 不同放养密度下毛蚶幼虫每日饵料投喂量
Tab. 1 Daily food ration for *Scapharca subcrenata* larvae at different larval stocking densities

养殖阶段 stocking stage	放养密度/(ind·mL ⁻¹) stocking density ×10 ⁴ ind·mL ⁻¹				
	2	5	8	14	20
0-6 天 day 0 to day 6	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
6-14 天 day 6 to day 14	1.5	3.0	6.0	9.0	12.0
14-24 天 day 14 to day 24	2.5	5.0	10.0	15.0	20.0

1.2 放养密度对毛蚶幼虫生长及存活的影响

实验共设定了 5 个不同的放养密度,分别是 2、5、8、14、20 ind/mL(水族箱内水容量均为 35 L,因此初始放苗量依次为 7、17.5、28、49、70 万个),每一密度组设置 3 个平行组。每 2 天在不同密度组随机选取 30 个幼虫测定壳长和壳高,同时统计各密度组幼虫的密度。水体温度、盐度、pH、溶解氧等指标使用便携式多参数水质测量仪

(YSI556MPS)每日进行测定。实验过程中,每天早 8 点和下午 15 点更换两次新鲜海水,每次换水量为总体积的 50%。每隔 3 天对水体的氨氮浓度、亚硝酸盐的浓度进行测定,氨氮浓度测定采用纳氏试剂比色法,亚硝酸盐的浓度测定采用盐酸萘乙二胺分光光度法。

当幼虫发育至眼点幼虫,即平均壳长达到 (234.6±21.3) μm,壳高达到 (164.2±18.2) μm 时,对幼虫的存活率进行统计,而后在水族箱内布放事先经过消毒浸泡的聚乙烯网片作为附着基。当各密度组中的大部分幼虫已经附着(浮游幼虫数量小于 5%时)时停止实验。实验对比附着基上、中、下层幼虫的单位附着量,每一密度组测定 3 个平行组。随机剪取附着基不同层次的任一部分放入稀释的碘酒溶液中浸泡,待苗种从附着基上脱落以后计数和测量,计算幼虫的附着变态率并统计附着变态规格。

1.3 数据处理

实验结果用平均值±标准差 ($\bar{x} \pm SD$) 来表示,实验数据用 SPSS16.0 软件进行 One-way ANOVA 单因素方差分析,并用 Duncan 进行多重比较分析。存活率和附着变态率的数据在统计分析前要进行反正弦转换,显著性水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同放养密度下水质参数的变化情况

实验结果表明,不同放养密度下温度、盐度、pH 值的差异并不显著 ($P > 0.05$, 表 2),整个实验过程中都基本维持在一个相对恒定的范围内。但不同放养密度对水体氨氮、亚硝酸盐、溶解氧的浓度均产生了显著性的影响 ($P < 0.05$, 表 2)。当幼虫的放养密度为 2 ind/mL、5 ind/mL 时,氨氮浓度较低,但当放养密度依次增加到 8 ind/mL、14 ind/mL、20 ind/mL 时,氨氮浓度迅速升高,显著高于幼虫密度为 2 ind/mL、5 ind/mL 实验组 ($P < 0.05$)。当幼虫密度达到 20 ind/mL 时,氨氮浓度最高,达到 0.0887 mg/L。当幼虫放养密度控制在 8 ind/mL 以下时,亚硝酸盐的浓度在组间没有显著性差异 ($P > 0.05$)。但当幼虫浓度达到 14、20 ind/mL

表 2 不同放养密度下水质参数的变化
Tab. 2 Changes of water quality parameters in different stocking density

水质参数 parameter	放养密度/(ind·mL ⁻¹) stocking density				
	2	5	8	14	20
温度/℃ temperature	31.15 ± 0.22 ^a	30.97 ± 0.03 ^a	31.88 ± 0.64 ^a	30.83 ± 0.15 ^a	31.09 ± 0.08 ^a
盐度/(g·L ⁻¹) salinity	32.56 ± 0.38 ^a	31.89 ± 0.22 ^a	31.77 ± 0.19 ^a	32.39 ± 0.30 ^a	32.93 ± 0.26 ^a
pH	8.02 ± 0.03 ^a	7.99 ± 0.01 ^a	7.92 ± 0.01 ^a	8.01 ± 0.02 ^a	7.97 ± 0.02 ^a
氨氮/(mg·L ⁻¹) ammonia	0.011 ± 0.004 ^a	0.016 ± 0.007 ^a	0.025 ± 0.002 ^b	0.059 ± 0.005 ^c	0.089 ± 0.002 ^d
亚硝酸盐(mg·L ⁻¹) nitrite	0.004 ± 0.001 ^a	0.005 ± 0.002 ^a	0.005 ± 0.000 ^a	0.008 ± 0.002 ^b	0.008 ± 0.001 ^b
溶解氧(mg·L ⁻¹) dissolved oxygen	6.34 ± 1.56 ^a	6.26 ± 0.18 ^a	6.27 ± 0.32 ^a	5.89 ± 1.17 ^b	5.77 ± 1.25 ^b

注: 英文字母上标相同或包含关系表示水质参数差异不显著($P>0.05$), 不同或交集关系表示差异显著($P<0.05$).
Note: The same superscript or containing relation means the differences are not significant ($P>0.05$), while different superscript or intersection relation means the differences are significant($P<0.05$).

时, 水体的亚硝酸盐浓度显著高于其他实验组 ($P<0.05$)。不同放养密度下, 水体的溶解氧浓度也有显著性差异($P<0.05$)。与亚硝酸盐浓度的变化类似, 当幼虫密度达到 14、20 ind/mL 时, 水体溶解氧浓度显著低于其他密度组($P<0.05$), 且在幼虫密度为 20 ind/mL 时溶解氧浓度最低, 为 5.77 mg/L。

2.2 不同放养密度下毛蚶幼虫的生长情况

不同放养密度下毛蚶幼虫壳长、壳高的生长差异显著(图 1)。实验第 6 天, 2 ind/mL、5 ind/mL 密度组幼虫的壳长显著大于其他密度组($P<0.05$), 但二者间并没有显著性差异($P>0.05$)。第 10 天, 2 ind/mL 密度组幼虫的壳长生长显著优于其他密度组($P<0.05$), 5 ind/mL、8 ind/mL 密度组幼虫的生长也较快, 显著优于 14 ind/mL、20 ind/mL 密度组($P<0.05$)。实验第 14 天也有类似的变化趋势。第 20 天时, 2 ind/mL、5 ind/mL 密度组幼虫已经开始附着, 此时各密度组壳长由大到小依次为 2 ind/mL、5 ind/mL、8 ind/mL、14 ind/mL、20 ind/mL($P<0.05$)。

实验第 6 天, 2 ind/mL、5 ind/mL、8 ind/mL 密度组幼虫的壳高显著高于 14 ind/mL、20 ind/mL 密度组($P<0.05$)。第 8 天, 2 ind/mL 密度组幼虫的壳高有显著增长, 大小顺序依次为 2 ind/mL>5、8、14 ind/mL>20 ind/mL($P<0.05$)。实验第 14 天, 8 ind/mL 密度组幼虫的壳高也有显著增长, 与 5 ind/mL 密度组幼虫相比差异并不显著($P>0.05$), 但均显著低于 2 ind/mL 密度组($P<0.05$)。实验第 20 天幼虫开始附着时, 壳高的大小顺序依次为 2、

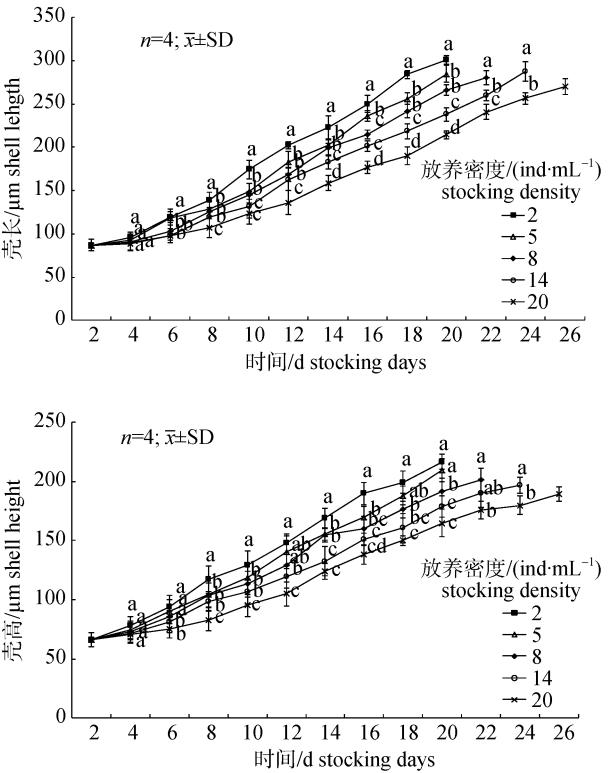


图 1 不同放养密度对毛蚶幼虫生长的影响
英文字母上标相同或包含关系表示差异不显著($P>0.05$), 不同或交集关系表示差异显著($P<0.05$).

Fig. 1 The impact of different stocking density on the growth of *Scapharca subcrenata* larvae
The same superscript or containing relation means the differences are not significant($P>0.05$), while different superscript or intersection relation means the differences are significant($P<0.05$).

5 ind/mL>8 ind/mL>14 ind/mL>20 ind/mL($P<0.05$).

2.3 不同放养密度下毛蚶幼虫的存活情况

不同放养密度对毛蚶幼虫的存活产生了显

著影响($P<0.05$)。当幼虫的放养密度为 2 ind/mL、5 ind/mL 时, 幼虫的存活率均较高, 平均达到 80%, 且在这二者间没有显著性差异($P>0.05$, 图 2)。但当幼虫的密度增加到 8 ind/mL、14 ind/mL、20 ind/mL 时, 其存活率呈现递减的趋势, 且在这三者间差异显著($P<0.05$)。放养密度为 20 ind/mL 时, 幼虫的存活率最低, 平均为 35.24%。

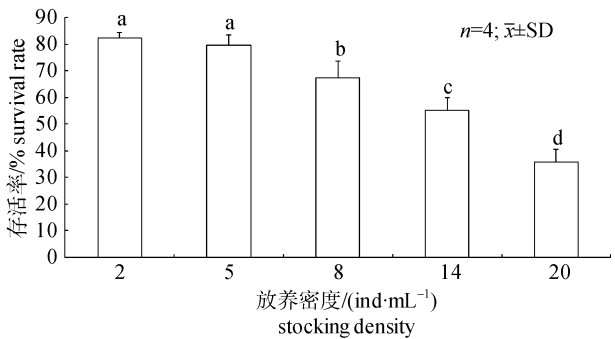


图 2 不同放养密度对毛蚶幼虫存活的影响

英文字母上标相同或包含关系表示差异不显著($P>0.05$), 不同或交集关系表示差异显著($P<0.05$)。

Fig. 2 The impact of different stocking density on survival of *Scapharca subcrenata* larvae

The same superscript or containing relation means the differences are not significant($P>0.05$), while different superscript or intersection relation means the differences are significant($P<0.05$).

2.4 不同放养密度下毛蚶幼虫的附着变态情况

不同放养密度下, 毛蚶幼虫的附着密度差异显著($P<0.05$)。各密度组幼虫的附着密度顺序为 8 ind/mL>5、20 ind/mL>14 ind/mL>2 ind/mL(图 3)。同时, 附着基不同层次上幼虫的附着密度也有显著差异。幼虫放养密度为 2 ind/mL、8 ind/mL、

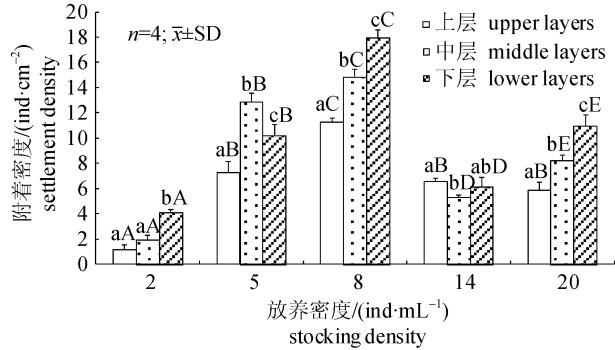


图 3 不同放养密度对毛蚶幼虫附着密度的影响

不同小写字母表示相同放养密度下附着基不同层次幼虫附着密度差异显著($P<0.05$); 不同大写字母表示附着基相同层次不同放养密度时幼虫附着密度差异显著($P<0.05$)。

Fig. 3 The impact of different stocking density on settlement density of *Scapharca subcrenata* larvae

Different small letters mean under the same stocking density, settlement density of larvae was significant different at different layers of substrate ($P<0.05$). Different capitals indicate under the same layers of substrate, settlement density of larvae was significant different under different stocking density ($P<0.05$).

20 ind/mL 时, 附着基下层的幼虫密度显著高于中层和上层($P<0.05$)。放养密度为 5 ind/mL, 幼虫的附着密度依次为中层>下层>上层($P<0.05$)。放养密度为 14 ind/mL, 附着基上层的幼虫密度显著高于中层($P<0.05$), 但与下层相比并没有显著性的差异($P>0.05$)。

2.5 不同放养密度下毛蚶幼虫的附着所需时间、附着密度和附着规格

如表 3 所示, 不同放养密度下毛蚶幼虫的附着时间、附着密度、平均变态率、附着变态规格差异显著($P<0.05$)。当幼虫密度控制在 8 ind/mL 以下时, 大部分幼虫在 4 天均可完成附着变态。

表 3 不同放养密度对毛蚶幼虫附着所需时间、附着密度和附着规格的影响

Tab. 3 Effects of different stocking density on the settlement time, density and size of *Scapharca subcrenata* larvae

n=4; $\bar{x} \pm SD$				
密度/(ind·mL ⁻¹) density	全部附着所需时间/d settlement time	附着密度/(ind·cm ⁻²) settlement density	平均变态率/% average metamorphosis rate	附着变态规格(壳长×壳高)/μm settle- ment size (shell length×shell height)
2	4.67 ± 0.58 ^a	2.41 ± 1.55 ^a	36.50 ± 0.10 ^b	289.33 ± 3.19 ^c × 208.64 ± 2.55 ^b
5	4.33 ± 0.58 ^a	10.13 ± 2.84 ^c	33.54 ± 0.01 ^b	293.15 ± 1.62 ^d × 205.72 ± 4.61 ^b
8	4.67 ± 0.58 ^a	14.70 ± 3.39 ^d	37.28 ± 0.04 ^b	285.69 ± 1.84 ^{bc} × 193.44 ± 1.66 ^a
14	8.33 ± 1.15 ^b	6.00 ± 0.62 ^b	8.83 ± 0.00 ^a	273.28 ± 4.43 ^a × 191.85 ± 1.47 ^a
20	7.67 ± 1.53 ^b	9.37 ± 1.45 ^c	11.78 ± 0.02 ^a	282.53 ± 3.47 ^b × 189.57 ± 3.52 ^a

注: 英文字母上标相同或包含关系表示差异不显著($P>0.05$), 不同或交集关系表示差异显著($P<0.05$)。
Note: The same superscript or containing relation means the differences are not significant($P>0.05$), while different superscript or intersection relation means the differences are significant($P<0.05$).

但密度继续增加到 14、20 ind/mL 时, 附着时间显著延长, 需要 7~8 d ($P<0.05$)。同时, 幼虫的附着密度在不同放养密度下也有显著性的差异 ($P<0.05$)。幼虫密度为 8 ind/mL 时, 附着密度显著优于其他各密度组 ($P<0.05$), 接近达到 15 ind/cm²。其他各组幼虫的附着密度依次为 5、20 ind/mL > 14 ind/mL > 2 ind/mL。当幼虫的放养密度为 14 和 20 ind/mL 时, 其变态率显著低于其他各密度组 ($P<0.05$), 但二者间并没有显著性的差异 ($P>0.05$)。幼虫密度控制在 8 ind/mL 以下时, 变态率则均较高, 平均都达到 30% 以上。当幼虫的放养密度为 5 ind/mL 时, 其附着变态规格最大, 壳长、壳高分别达到 293.15 μm 和 205.72 μm 。放养密度增加到 14 ind/mL 时, 其附着变态规格显著低于其他各密度组 ($P<0.05$)。幼虫密度为 2 和 8 ind/mL 时, 其附着变态规格也较大, 并且这二者间没有显著性差异 ($P>0.05$)。

3 讨论

温度、盐度、溶解氧、pH 值等是影响水生生物生长发育、存活的重要外生环境因素。生物对其生存环境的适应有一定的耐受性范围, 只有当其处于一定的限度范围之内才能生存^[13]。而且同一生物在不同的生长发育阶段对生态因子的耐受性范围也不同。本实验中, 实验用海水全部经砂滤、曝气后使用, 且实验过程中每天更换两次新鲜海水, 因此温度、盐度、pH 值等水质指标并没有发生显著性变化。整个实验过程都保持在一个相对稳定的状态下, 并没有随幼虫养殖密度的不同而发生改变。但在不同放养密度下, 氨氮、亚硝酸盐、溶解氧等指标却有明显差异。氨是水生生物排泄的主要含氮化合物, 会对鱼类、甲壳动物、软体动物产生毒害作用进而影响其养殖产量^[14-15]。长期暴露于氨氮浓度较高的环境中, 会对水生生物的生理功能、组织结构、生长、繁殖能力等产生不利影响并最终导致其死亡^[16]。亚硝酸盐是氨转化为硝酸盐过程中的中间产物, 会通过增加蛋白质的分解代谢来抑制水生生物的生长, 并且随着亚硝酸盐浓度的增加, 耗氧率会有一个明显的

下降从而影响呼吸效率^[17]。还有研究指出长期暴露于亚硝酸盐浓度较高的环境中, 锦鲤(*Cyprinus carpio*)的高铁血红蛋白浓度明显增加, 从而降低了动脉血溶解氧的浓度^[18]。在本实验过程中, 幼虫密度控制在 5 ind/mL 以下时, 氨氮浓度均较低。但随着放养密度的增大, 氨氮浓度迅速增加, 在幼虫密度达到 20 ind/mL 时, 氨氮浓度达到了 0.089 mg/L。亚硝酸盐的浓度也有类似的变化趋势, 最高浓度达到了 0.008 mg/L。溶解氧浓度的变化则表现为随着幼虫密度的增加, 溶解氧浓度逐渐降低, 当幼虫密度为 14~20 ind/mL 时, 平均下降到 5.8 mg/L。这表明随着放养密度的增大, 幼虫在生长发育过程中的代谢废物、残饵等逐渐增加, 这些残饵粪便在分解过程中会使水体的氨氮浓度增加, 从而对幼虫的生长发育产生不利影响。当氨转化为硝酸盐的过程受阻时, 就有可能导致亚硝酸盐的浓度升高。亚硝酸盐浓度的增加可能会导致幼虫鳃部组织结构受损, 从而降低了其血液的载氧能力, 使呼吸效率降低。但幼虫为了维持其基本的生理代谢, 必然会进一步增加对水体中溶解氧的利用, 从而导致高密度组中水体溶解氧浓度的降低。

实验过程中, 随着毛蚶幼虫密度的增大, 其存活率呈现下降的趋势。尤其当放养密度增大到 20 ind/mL 时, 幼虫的存活率下降到 35%。这个结果与之前对斑点多彩海蛞蝓(*Hypselodoris infucata*)、虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)的研究结果类似, 幼虫的放养密度超过一定的限度会降低其存活率^[19-20]。当海蛞蝓(*Hermisenda crassicornis*)的幼虫放养密度控制在 0.5~4 ind/mL 时, 各组之间的存活率没有显著性的差异; 但当密度增大到 15 ind/mL 时, 存活率显著下降^[21]。高密度组幼虫存活率下降的原因可能是由于饵料、溶解氧、敌害生物捕食或者其他的环境因素导致的^[22]。但实际上这种高的死亡率很有可能是由于水质恶化或者疾病导致的。与低密度组养殖幼虫的水体水质相比, 高密度组养殖水体水质的控制更加复杂。水质参数偶然的變化就可能导致幼虫突然的下沉或者死亡。正如实验过程中所示, 随着放养

密度的增加,水质参数尤其是氨氮、亚硝酸盐、溶解氧浓度发生明显变化,这其中任意参数的突然变化都有可能对幼虫产生环境胁迫致使其死亡。

不同放养密度下,幼虫的生长也表现出明显的差异。通常情况下,在高密度组中饵料是决定幼虫生长的重要限制性因素。在本实验过程中,饵料的投喂量是根据幼虫的密度进行确定的,且在投喂 4 小时候后会对水体中的饵料浓度进行计数,基本都会有剩余,从而尽可能确保每一密度组中的幼虫都能够摄食相等数量的饵料。因此在本实验过程中,饵料并不是抑制幼虫生长的重要因素。许多研究都证明过高的放养密度对海洋无脊椎动物生长产生不利影响^[23-24]。尽管大部分研究聚焦于稚贝和成贝,但是对于扇贝幼虫的研究证明了其生长是依赖于密度的^[25]。高密度放养条件下幼虫生长速率下降的原因主要是由于对饵料和空间的竞争导致的。面盘是幼虫浮游生活阶段主要的运动和摄食器官。随着放养密度的增大,幼虫个体间发生碰撞的机率就会大大增加。这种碰撞很有可能会导致幼虫口前纤毛摆动的停止,随后面盘迅速收缩,进、出水管关闭,最终导致摄食行为受到抑制且能量支出增加。而当摄食量减少而能量支出却增加时,必然导致幼虫的生长受到抑制^[20-21]。同时,在幼虫个体间发生碰撞的过程中,极有可能导致其贝壳的互相“咬合”(实验过程中也发现了这种现象),这种相互“咬合”的状态很有可能会持续一段时间,从而使幼虫无法摄食,而且在摆脱这种“咬合”状态的过程中要消耗大量的能量,最终使生长受阻。

幼虫在附着变态过程中需要大量的能量,而这些能量的来源主要依靠浮游幼虫阶段的累积。放养密度较低时,幼虫的生长速率快,附着变态时间短,附着密度也显著优于放养密度较高时。高放养密度组的幼虫,需要经历更长的浮游阶段从而进入附着变态阶段,但是其附着变态规格显著低于低密度组中的幼虫。究其原因主要还是高密度组幼虫的摄食受到“密度效应”胁迫后明显减少,进而导致其生长受阻,浮游阶段时间延长,附着变态规格减小。实验结果显示,幼虫在附着

基下层的附着密度显著高于中层和上层,这表明毛蚶幼虫对水表层的光照非常敏感。在自然环境下,毛蚶适于生活在低光强的环境中,主要栖息于潮间带含软泥或砂的泥质海底中^[26],在此区域内由于水体的浊度较高,光的穿透能力相对减弱。同时光强增大也可能会对幼虫阶段的生长发育产生不利影响^[27]。此外生产中光照过强时,还可能诱使养殖池壁、幼虫壳上底栖硅藻的生长,从而使得幼虫的正常游动受到限制。

如前所述,在毛蚶幼虫的培养过程中,过高的放养密度有潜在的风险,有可能导致幼虫的死亡。毛蚶幼虫的生长与放养密度呈反比例关系,低的放养密度促进了幼虫的生长,缩短了浮游阶段的时间,增加了附着密度,提高了附着变态规格,降低了死亡率。因此,在规模化的养殖生产过程中,中等放养密度即 5~8 ind/mL 是适宜的。同时应尽量采取遮光措施,将附着基布放在水体中下层,从而提高采苗量,实现毛蚶苗种的大规格、快速、健康培育。

参考文献:

- [1] China Bureau of Fisheries. China Fisheries Yearbook in 2012[M]. Agricultural Press of China, Beijing, China, 2013: 29-56. [农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 29-56.]
- [2] Crisp D J. Factors influencing the settlement of marine invertebrate larvae[C]//Grant P T, Mackie A M. Chemoreception in Marine Organisms. New York: Academic Press, 1974: 177-263.
- [3] Liu B Z, Dong B, Tang B J, et al. Effect of stocking density on growth, settlement and survival of clam larvae, *Meretrix meretrix*[J]. Aquaculture, 2006, 258: 344-349.
- [4] Huchettea S M H, Koh C S, Day R W. Growth of juvenile blacklip abalone (*Haliotis rubra*) in aquaculture tanks: Effects of density and ammonia[J]. Aquaculture, 2003, 219(2): 457-470.
- [5] Song T Q, Ren G R, Cai X H, et al. Effect of different density on the growth of bloody clam (*Scapharca subcrenata*) [J]. China Fisheries, 2010(4): 46-47. [孙同秋, 任贵如, 蔡晓华, 等. 毛蚶不同密度对生长影响的研究[J]. 中国水产, 2010, (4): 46-47.]
- [6] Fréchette M, Daigle G. Reduced growth of Iceland scallops *Chlamys islandica* (Muller O F) cultured near the bottom: a

- modeling study of alternative hypotheses[J]. J Shellfish Res, 2002, 21(2): 87–91.
- [7] Rupp G S, Parsons G J, Thompson R J, et al. Influence of environmental factors, season and size at deployment on growth and retrieval of postlarval lion's paw scallop *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758) from a subtropical environment[J]. Aquaculture, 2005, 243(1): 195–216.
- [8] Honkoop P J C, Bayne B L. Stocking density and growth of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) and the Sydney rock oyster (*Saccostrea glomerata*) in Port Stephens, Australia[J]. Aquaculture, 2002, 213(1): 171–186.
- [9] Bishop M J, Hooper P J. Flow, stocking density and treatment against *Polydora* spp.: influences on nursery growth and mortality of the oysters *Crassostrea virginica* and *C. ariakensis*[J]. Aquaculture, 2005, 246(1): 251–261.
- [10] Jarayabhand P, Kruiroongroj W, Chaisanit C. Effects of stocking density on growth performance of Thai abalone, *Haliotis Asinina*, Linnaeus 1758, reared under a semiclosed recirculating land-based system[J]. J Shellfish Res, 2010, 29(3): 593–597.
- [11] Wu F C, Liu X, Zhang G F, et al. Effects of the initial size, stocking density and sorting on the growth of juvenile Pacific abalone, *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Aquacult Res, 2009, 40(10): 1103–1110.
- [12] Fréchette M, Bergeron P, Gagnon P. On the use of self-thinning relationships in stocking experiments[J]. Aquaculture, 1996, 145: 91–112.
- [13] Shelford V E. Some concepts of bioecology[J]. Ecology, 1931(3): 455–467.
- [14] Allan G L, Maguire G B, Hopkins S J. Acute and chronic toxicity of ammonia to juvenile *Metapenaeus macleayi* and *Penaeus monodon* and the influence of low dissolved oxygen levels[J]. Aquaculture, 1990, 91(90): 265–280.
- [15] Russo R C, Thurston R V. Toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to fishes[C]//Brune D E, Tomasso J R. Aquaculture and water quality. Baton Rouge: World Aquaculture Society, 1991: 58–89.
- [16] Russo R C. Ammonia, nitrite and nitrate [C]//Rand G M, Petrocelli S R. Fundamentals of Toxicology. Washington: Hemisphere Publishing, 1985: 455–471.
- [17] Harris J O, Maguire G B, Edwards S J, et al. Effect of nitrite on growth and oxygen consumption for juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* Donovan[J]. J Shellfish Res, 1997, 16: 395–401.
- [18] Williams E M, Glass M L, Heisler N. Blood oxygen tension and content in carp, *Cyprinus carpio* L., during hypoxia and methaemoglobinaemia[J]. Aquacult Res, 1992, 23: 679–690.
- [19] Hubbard E J A. Larval growth and the induction of metamorphosis of a tropical sponge-eating nudibranch[J]. Journal of Molluscan Studies, 1988, 54: 259–269.
- [20] MacDonald B A. Physiological energetics of Japanese scallop *Patinopecten yessoensis* larvae[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1988, 120: 155–170.
- [21] Avila C, Grenier S, Tamse C T, et al. Biological factors affecting larval growth in the nudibranch mollusk *Hermisenda crassicornis* (Eschscholtz, 1831) [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1997, 218: 243–262.
- [22] Orensanz J M, Parma A M, Iribarne O O. Population dynamics and management of natural stocks[C]//Shumway S E. Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. New York: Elsevier, 1991: 625–713.
- [23] Taylor J J, Rose R A, Southgate P C. Effects of stocking density on the growth and survival of early juvenile silver-lip pearl oysters, *Pinctada maxima* (Jameson) in suspended nursery culture[J]. Aquaculture, 1997, 153: 41–49.
- [24] Taylor J J, Rose R A, Southgate P C, et al. Effects of stocking density on growth and survival of juvenile silver-lip pearl oysters *Pinctada maxima* (Jameson), in suspended and bottom culture[J]. J Shellfish Res, 1997, 16: 569–572.
- [25] Ibarra A M, Ramirez J L, Garcia G A. Stocking density effects on larval growth and survival of two catarina scallop, *Argopecten ventricosus* (=circularis) (Sowerby II, 1842), populations[J]. Aquacult Res, 1997, 28: 443–451.
- [26] Wang R C, Wang Z P. Science of marine shellfish culture[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2008: 434–435. [王如才, 王昭萍. 海水贝类养殖学[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2008: 370–371.]
- [27] Yan X W, Zhang G F, Yang F. Effects of diet, stocking density, and environmental factors on growth, survival, and metamorphosis of Manila clam *Ruditapes philippinarum* larvae[J]. Aquaculture, 2006, 253(1): 350–358.

Effect of stocking density on growth and survival of bloody clam (*Scapharca subcrenata*) larvae

GAO Xiaolong¹, LI Li², KONG Lingfeng¹, LI Qi¹

1. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao 266104, China

Abstract: We performed experiments at stocking densities of 2, 5, 8, 14, and 20 larvae/mL to determine optimal larval density for hatchery culture of bloody clam, *Scapharca subcrenata*. Larval developmental stages from D-veliger to settlement and metamorphosis were included. The results indicated that total ammonia nitrogen (TAN) and nitrite increased significantly with increasing stocking density ($P<0.05$). TAN and nitrite levels in the 20 larvae/mL group reached maximum values of 0.089 mg/L and 0.008 mg/L, respectively. Dissolved oxygen (DO) concentrations decreased significantly with increasing stocking density ($P<0.05$), and DO concentrations in the 14- and 20-larvae/mL groups were lower than those in the other treatments. Larval growth decreased significantly with increasing stocking density ($P<0.05$). A density of 5–8 larvae/mL appeared to be optimal for normal *S. subcrenata* growth. Larval survival rate decreased with increased stocking density, and survival rate was 35% in the 20 larvae/mL group ($P<0.05$). Larvae reared at 8 larvae/mL exhibited comparatively higher settlement density than that of the other stocking density groups ($P<0.05$). Comparatively higher settlement density was observed on the lower substrate layer than that on the upper and middle layers ($P<0.05$). Settlement time was prolonged and the size of the settled larvae decreased as stocking density increased ($P<0.05$). Therefore, a stocking density of 5–8 larvae/mL is recommended for large-scale seed production.

Key words: *Scapharca subcrenata*; larvae; stocking density; growth; survival; settlement and metamorphosis

Corresponding author: LI Qi. E-mail: qili66@ouc.edu.cn