

网络优先数字出版时间: 2016-12-07

【DOI】10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20161207.001

网络优先数字出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/45.1075.N.20161207.0927.002.html>

不同底播时间和苗种规格的魁蚶潜沙率差异性分析*

The Analysis of Burrowing Rate with Different Sizes and Different Bottom Sowing Time of *Scapharca broughtonii*

刘恩孚, 刘广斌, 邱兆星, 吴莹莹, 宋娴丽, 李莉, 郑永允, 张天文**

LIU Enfu, LIU Guangbin, QIU Zhaoxing, WU Yingying, SONG Xianli, LI Li, ZHENG Yongyun, ZHANG Tianwen

(山东省海洋生物研究院, 山东青岛 266002)

(Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao, Shandong, 266002, China)

摘要:【目的】了解魁蚶(*Scapharca broughtonii*)生物学特性,为更好地开展魁蚶底播增殖工作提供数据支持。【方法】采用围格实验生态学方法研究4种规格魁蚶在4个不同底播时间下的潜沙率差异性。【结果】不同底播时间下,在实验开始前24 h内,1 cm、1.5 cm和2 cm组魁蚶潜沙率差异不显著,但均高于2.5 cm组;在底播36 h后4种规格魁蚶潜沙率无显著差异。底播时间选在9:00、13:00和17:00时,同规格的魁蚶潜沙率无明显差异,均高于在21:00时底播。【结论】在底播时应选取潜沙速率快且潜沙率较为稳定的规格作为埋栖型贝类的底播规格,根据实验结果建议选择2 cm魁蚶做为底播苗种;底播时间应根据当地海区潮汐情况确定,选择平流期开展底播,最佳底播时间应选取17:00,尽量避开夜间底播。

关键词: 魁蚶 苗种规格 潜沙率 底播增殖 底播时间

中图分类号: S912, S917.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2017)02-0102-06

Abstract:【Objective】In order to study the biological character of *Scapharca broughtonii*, the experiments were carried out. The results provided basic data for promoting steady and healthy development of the multiplication and cultivation of *S. broughtonii*. 【Methods】The difference of burrowing rate with different sizes in *Scapharca broughtonii* under different bottom sowing time was analyzed in this article. 【Results】The results suggested that the burrowing rate of 1 cm, 1.5 cm and 2 cm was higher than 2.5 cm under different bottom sowing time. The burrowing percentage of 1 cm, 1.5 cm and 2 cm experimental groups had no significant differences at all conditions before the starting of the experiment in 24 h, which was higher than the burrowing percentage of 2.5 cm experimental group. The burrowing percentage had no remarkable differences at all sizes of *S. broughtonii* after 36 h in the experiment. The burrowing rates of *S. broughtonii* which were burrowed at 9:00, 13:00 and 17:00 were higher than 21:00, but were insignificantly different among them. 【Conclusion】The size

whose burrowing rate was fast and stable should be chosen as the gauge of burrowing rate. According the results, we suggested 2 cm as a suitable specification to stock enhancement. 17:00 would be the best time with advection stage for stock enhancement, which also should avoid night time.

Key words: *Scapharca broughtonii*, spat size, burrowing rate, stock enhancement, the bottom sowing time

收稿日期: 2016-10-08

作者简介: 刘恩孚(1962—),男,高级工程师,主要从事海水增养殖方面研究。

* 国家海洋公益性项目(201205023),现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-48)和山东省现代农业产业技术体系建设专项资金(SDAIT-14)资助。

** 通信作者: 张天文(1983—),男,博士,主要从事养殖生态学方面研究, E-mail: ztw236@163.com。

0 引言

【研究意义】魁蚶 (*Scapharca broughtonii*) 又称赤贝、血贝、大毛蛤, 隶属软体动物门 (Mollusca)、双壳纲 (Bivalvia)、翼形亚纲 (Pteriomorphia)、蚶目 (Arcoida)、蚶科 (Arcidae)、蚶属 (*Scapharca*), 是一种营埋栖生活的大型双壳贝类, 多栖息在 3~50 m 水深处^[1], 其肉味鲜美、营养丰富, 具有较高的经济价值, 一直是黄渤海区渔民的兼捕对象^[2]。由于长期过量捕捞, 近十余年来其自然资源极度萎缩^[3], 天然采捕产量已远远不能满足国内外市场的需求, 发展增养殖和资源修复势在必行^[4]。2010 年以来, 魁蚶增养殖已成为继海参养殖之后, 开发利用海洋浅海资源的又一热点^[5]。【前人研究进展】影响魁蚶底播增养殖效果的因素有很多, 除敌害生物侵蚀之外^[6], 魁蚶苗种的潜沙能力也是一种重要因素。魁蚶属埋栖型贝类, 通过潜沙实现埋栖生活, 人工投苗增养殖要求苗种具备较强的潜沙能力, 才能保证个体的成活与生长。研究表明, 增殖方式与苗种规格一直是影响魁蚶苗种增殖产业的主要因素之一^[7]。目前对于不同规格魁蚶潜沙能力已有不少研究^[8-11]: 周玮等^[8]对不同规格魁蚶 *Scapharca broughtonii* 苗种的潜沙行为及潜沙能力进行观察, 结果发现魁蚶潜沙行为分为准备期、潜沙期及结束期, 不同规格的魁蚶苗种潜沙能力差异明显; 周珊珊等^[10]研究温度变化对魁蚶稚贝 (壳长 2~3 cm) 潜沙能力的影响, 发现 20℃ 时魁蚶稚贝初潜时间最短、潜沙率最高, 可视为魁蚶稚贝的最适潜沙温度; 周珊珊等^[11]实验 4 种规格魁蚶稚贝对 4 种底质粒径的选择模式, 并量化分析壳长 20~30 mm 稚贝在 5 种底质粒径条件下的潜沙能力。【本研究切入点】以上研究多是分析不同规格魁蚶的潜沙过程, 以及底质、温度对魁蚶潜沙能力的影响, 有关苗种底播后潜沙状态的变化及底播时间对魁蚶潜沙影响的研究目前还缺乏具体的数据。【拟解决的关键问题】通过研究不同底播时间下不同规格魁蚶潜沙的差异, 为了解魁蚶生物学特性、更好地开展魁蚶底播增养殖工作提供数据支持。

1 材料和方法

1.1 材料

实验用魁蚶稚贝来自山东省日照市山海天旅游度假区两城镇海域, 为 2012 年经过越冬培育的苗种。运到实验场地后在暂养池中用循环水暂养 14

d, 期间每天于 06:00、12:00、18:00、24:00 时投喂金藻和硅藻。

1.2 方法

1.2.1 实验围格及管理

2013 年 3~6 月, 在日照市海洋与渔业研究所, 选取泥沙底质池塘开展实验, 采用围格实验生态学方法研究不同底播时间下不同规格魁蚶的潜沙差异。实验在 2 m×2 m 的围隔中开展, 以 30 目筛绢做围隔幔, 围隔幔下部埋入池塘底泥 0.6 m, 整个围隔以木桩和青竹为支架架设于池塘中。在实验开始前 2 d 进水, 实验时间为 72 h, 实验过程中水深稳定在 (1±0.1) m。实验时水温为 16~20℃, 盐度为 28.2±2.0, 溶解氧为 (7.5±0.7) mg/L, pH 值为 8.0±0.3。

1.2.2 实验设计

选取壳长分别为 (1±0.09) cm、(1.5±0.13) cm、(2±0.12) cm 和 (2.5±0.15) cm 4 种规格魁蚶稚贝作为实验对象, 记做 1 cm、1.5 cm、2 cm 和 2.5 cm 组。魁蚶密度为 30 ind/m², 每组实验设置 4 个平行。

选择 9:00、13:00、17:00 和 21:00 作为不同底播时机的代表时间, 底播后按照昼夜变化规律选取实验开始后 2 h、4 h、8 h、12 h、24 h、36 h、48 h、72 h 作为观测时间, 分析 4 种规格的魁蚶在 4 个不同底播时间下的潜沙差异。

1.2.3 实验指标测定及数据处理

在实验 72 h 内, 各实验组魁蚶均未出现死亡个体。记录各观测时间点实验围格中未潜沙的魁蚶数量 (E_t), 计算不同底播时间下不同规格魁蚶潜沙比例: $K = 1 - E_t / 120$, 其中 K 为魁蚶潜沙率 (%), E_t 为在观测时间 t 时实验围格中未潜沙的魁蚶数量 (ind)。

实验数据采用统计软件 SPSS17.0 进行方差分析, 利用 Duncan 法进行多重比较, 如 $P > 0.05$ 则认为差异不显著, $P < 0.05$ 则认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 相同底播时间下不同规格魁蚶的潜沙率

2.1.1 9:00 底播时不同规格魁蚶的潜沙率

由图 1 可以看到, 底播后 8 h 内, 不同规格魁蚶潜沙率基本上呈现上升趋势。底播后 8~12 h, 各规格魁蚶潜沙率均出现下降, 其中 2.5 cm 组下降得最明显, 从 94.7% 下降至 88.1%。1.5 cm 和 2 cm 组则在底播 24 h 时出现最低值, 分别为 96.3% 和

93.5%,但都要高于底播后2 h的潜沙率(93.1%和92.1%)。2.5 cm组魁蚶在底播12 h到24 h中,潜沙率明显提升。在实验周期内,1 cm组平均潜沙率最高,其次为1.5 cm组;在底播24 h后,不同规格魁蚶潜沙率基本趋于稳定,均在96.9%以上,且差异不显著($P > 0.05$)。

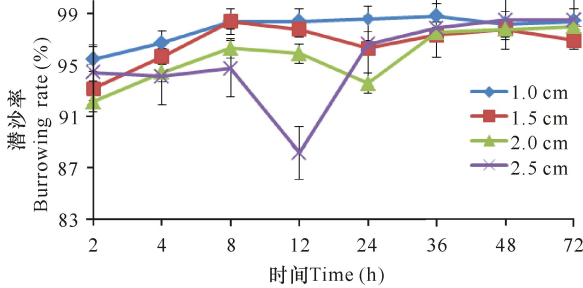


图1 不同规格魁蚶9:00底播的潜沙率变化

Fig. 1 The variation of burrowing rate in *Scapharca broughtonii* with different sizes in 9:00

2.1.2 13:00底播时不同规格魁蚶的潜沙率

在13:00底播时,不同规格魁蚶潜沙率变化和9:00底播时变化趋势基本一致,均呈现先上升后下降然后再上升,最后趋于稳定的规律(图2)。但底播后12 h内,2.5 cm组魁蚶潜沙率明显低于9:00时底播的潜沙率。在实验周期内,1 cm组平均潜沙率最高,其次为2 cm组;底播24 h后不同规格魁蚶潜沙率基本稳定,均在96.9%以上,且差异不显著($P > 0.05$)。

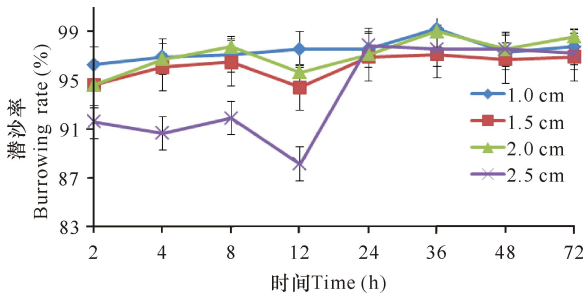


图2 不同规格魁蚶13:00底播的潜沙率变化

Fig. 2 The variation of burrowing rate in *Scapharca broughtonii* with different sizes in 13:00

2.1.3 17:00底播时不同规格魁蚶的潜沙率

如图3所示,在17:00底播时,1 cm和1.5 cm组在底播后2~8 h大体呈现缓慢下降的趋势,在8 h达到最低值分别为96.9%和95.4%,然后逐渐上升并且趋于稳定。而2 cm和2.5 cm组则呈现先上升后下降的趋势,2 cm组在底播后8 h潜沙率达到最低值94.4%,2.5 cm组在底播后12 h达到最低值88.1%,然后逐渐上升并且趋于稳定。在实验周期内,1 cm组平均潜沙率最高,其次为2.5 cm组;

在底播24 h后,不同规格魁蚶潜沙率基本稳定,均在96.9%以上,且差异不显著($P > 0.05$)。

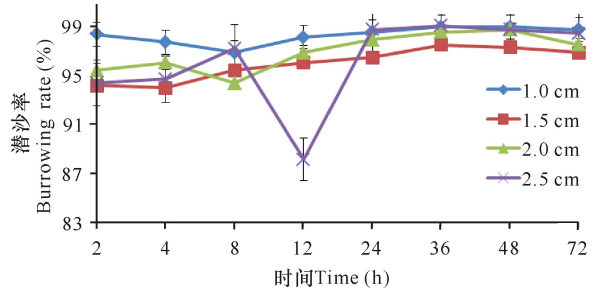


图3 不同规格魁蚶17:00底播的潜沙率变化

Fig. 3 The variation of burrowing rate in *Scapharca broughtonii* with different sizes in 17:00

2.1.4 21:00底播时不同规格魁蚶的潜沙率

由图4可以看出,在21:00底播时,不同规格魁蚶平均潜沙率均低于前3个底播时间。1 cm和1.5 cm组在底播后魁蚶潜沙率一直呈现上升趋势,至12 h后趋于稳定。2 cm和2.5 cm组在底播后8 h内,呈现明显上升趋势;在底播后8~12 h,魁蚶潜沙率出现下降,2.5 cm组尤为明显,潜沙率从93.4%下降至85.9%;之后又呈现上升趋势,24 h后基本趋于稳定。在实验周期内,1 cm组平均潜沙率一直高于其他实验组,其次为1.5 cm组;在底播24 h后,不同规格魁蚶潜沙率基本稳定,其中1 cm和1.5 cm组最终潜沙率在96.3%,2 cm和2.5 cm组最终潜沙率为93.2%和94.6%,均低于其他3个底播时间。

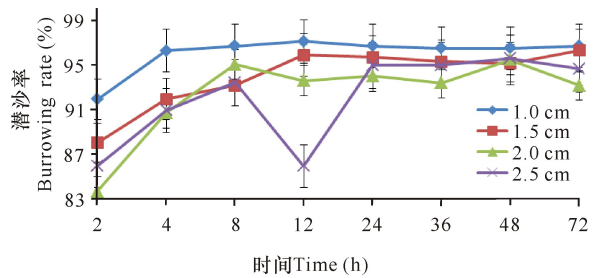


图4 不同规格魁蚶21:00底播的潜沙率变化

Fig. 4 The variation of burrowing rate in *Scapharca broughtonii* with different sizes in 21:00

2.2 不同底播时间下相同规格魁蚶潜沙率

2.2.1 不同底播时间下1 cm魁蚶潜沙率

由图5可以看到,13:00,17:00和21:00底播的,壳长1 cm的魁蚶潜沙率总体呈现上升趋势,其中21:00底播魁蚶潜沙率上升最快,在底播12 h后达到其最高值为97.1%。底播2 h后17:00底播的魁蚶潜沙率最高为98.3%,21:00底播的最低为91.8%,不同底播时间下潜沙率差异显著($P <$

0.05);在底播 48 h 后,不同底播时间下魁蚶潜沙率均在 96.5% 以上,21:00 底播魁蚶潜沙率略低,无显著差异 ($P > 0.05$)。

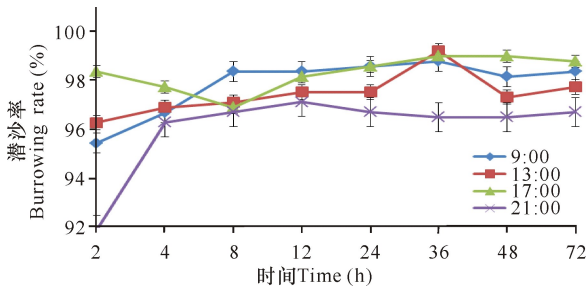


图 5 不同底播时间下 1 cm 魁蚶潜沙率

Fig. 5 The comparison of burrowing rate in *Scapharca broughtonii* with the same size of 1 cm in different times

2.2.2 不同底播时间下 1.5 cm 魁蚶潜沙率

不同底播时间下,底播壳长 1.5 cm 魁蚶潜沙率均呈现上升趋势,其中 9:00 底播魁蚶潜沙率达到最高值用时最短,在底播 8 h 后即达到最高值 98.3%;13:00 底播魁蚶潜沙率波动最大(图 6)。9:00,13:00 及 17:00 底播魁蚶在底播 2 h 时潜沙率均在 94.2% 以上,无显著差异 ($P > 0.05$);而 21:00 底播魁蚶在底播 2 h 时潜沙率为 87.9%,与其他 3 个底播时间下魁蚶潜沙率有显著差异 ($P < 0.05$)。在底播 72 h 后,不同底播时间下 1.5 cm 魁蚶潜沙率基本趋于一致,21:00 底播魁蚶潜沙率略低,但无显著差异 ($P > 0.05$)。

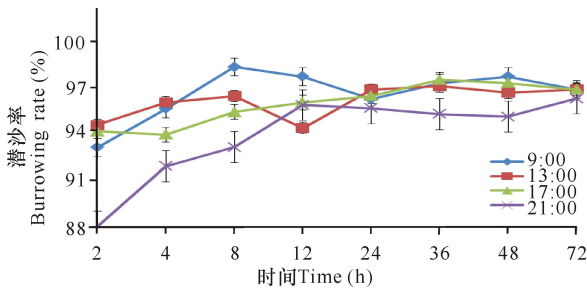


图 6 不同底播时间下 1.5 cm 魁蚶潜沙率

Fig. 6 The comparison of burrowing rate in *Scapharca broughtonii* with the same size of 1.5 cm in different times

2.2.3 不同底播时间下 2 cm 魁蚶潜沙率

不同底播时间下底播壳长 2 cm 魁蚶潜沙率均呈现上升趋势,其中 21:00 底播魁蚶潜沙率上升速率最快(图 7)。9:00,13:00 及 17:00 底播魁蚶在底播 2 h 时潜沙率均在 92.1% 以上,无显著差异 ($P > 0.05$);而 21:00 底播魁蚶在底播 2 h 时潜沙率为 83.5%,与其他 3 个底播时间下魁蚶潜沙率有显著差异 ($P < 0.05$)。在底播 72 h 后,9:00,13:00 及 17:00 底播魁蚶潜沙率基本趋于一致,为 97.5%

左右;而 21:00 底播魁蚶潜沙率较低,仅为 93.1%,与其他 3 个底播时间下魁蚶潜沙率差异显著 ($P < 0.05$)。

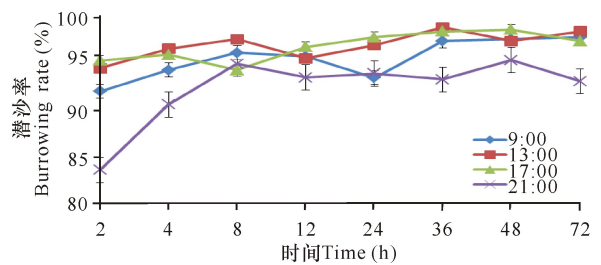


图 7 不同底播时间下 2 cm 魁蚶潜沙率

Fig. 7 The comparison of burrowing rate in *Scapharca broughtonii* with the same size of 2 cm in different times

2.2.4 不同底播时间下 2.5 cm 魁蚶潜沙率

由图 8 可以看到,与壳长为 1 cm、1.5 cm 和 2 cm 组魁蚶潜沙率相比,2.5 cm 组魁蚶底播后潜沙率变化幅度较大。不同底播时间时,2.5 cm 组魁蚶潜沙率均在底播后 12 h 出现最低值,在底播 24 h 后基本趋于稳定,除 21:00 底播魁蚶潜沙率较低 (94.6%),其他时间段底播魁蚶潜沙率均在 97.2% 以上。

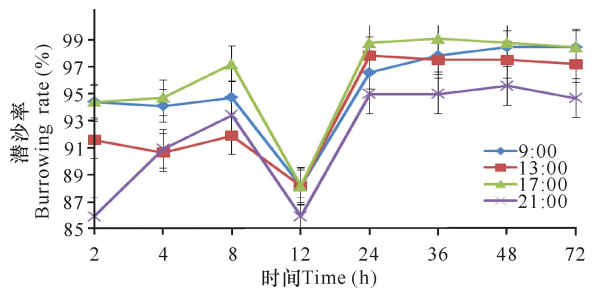


图 8 不同底播时间下 2.5 cm 魁蚶潜沙率

Fig. 8 The comparison of burrowing rate in *Scapharca broughtonii* with the same size of 2.5 cm in different times

3 讨论

3.1 不同底播规格魁蚶潜沙率差异

魁蚶是典型的埋栖型贝类,海区投放的苗种规格一般为 1~2.5 cm。苗种投放后能否潜沙及潜沙快慢是增殖成败的重要一步^[12]。潜沙速率较快,魁蚶就能迅速转入埋栖生活,潜沙慢则有可能被水流带走或者被敌害捕食,从而降低底播魁蚶的存活率。在选取的 4 个底播时间下,1 cm、1.5 cm 和 2 cm 组魁蚶潜沙速率均要优于 2.5 cm 组。其中 1 cm 组潜沙率波动最小,在不同底播时间下均呈现缓慢上升并逐渐趋于稳定的趋势。2.5 cm 组潜沙率在观测时间内波动最明显,在 4 个底播时间下均在底播 12 h 时出现最低值。

不同底播时间下,在实验前 24 h,1 cm、1.5 cm 和 2 cm 组魁蚶潜沙率波动较小,潜沙率差异不显著,均明显高于 2.5 cm 组魁蚶。可能是因为规格在 1 cm、1.5 cm 和 2 cm 组的魁蚶对底播环境的适应能力要高于规格为 2.5 cm 组的魁蚶,在底播后更容易达到稳定的潜沙状态。在实验 36~72 h 时,4 种规格魁蚶潜沙率在 90% 以上并且趋于稳定,这与周玮等^[8]研究规格在 1.5 cm 以上魁蚶潜沙率稳定在 90% 左右相似。试验结果表明在底播后 24 h 内,魁蚶规格对魁蚶的潜沙率有一定的影响;随着魁蚶对底播环境的适应,在底播 36 h 后不同规格魁蚶潜沙率无显著差异。

3.2 不同底播时间魁蚶潜沙率差异

在 9:00、13:00 和 17:00 底播时,魁蚶潜沙率无明显差异,均高于在 21:00 时底播。其中在 17:00 时底播时,不同规格魁蚶潜沙率均略高于其他底播时间,但差异不显著。在 4 个底播时间下,2.5 cm 组魁蚶潜沙率均在底播 12 h 出现最低值,因此认为该值的出现与底播时间无关,分析原因可能是与底播密度有关。在本实验中,所有规格魁蚶底播密度均为 30 ind/m²,2.5 cm 组个体最大,在同样底播面积同样底播密度下个体间的间距最小,因此 2.5 cm 组在底播后潜沙率波动最大,具体原因还有待进一步从魁蚶生理学角度进行分析。

4 结论

魁蚶稚贝规格、底播时间均能影响魁蚶稚贝的潜沙能力,这种潜沙能力的差异为底播苗种规格、底播时间的选择提供参考依据。在相关埋栖贝类的试验中,孙虎山^[13]认为应以潜沙速度为依据,选择潜沙速率快的贝类规格作为底播规格,而夏念丽^[9]认为应以潜沙率及潜沙时间为依据,建议选取潜沙率高的规格作为底播规格。作者认为应选取潜沙速率快且潜沙率较为稳定的规格作为埋栖型贝类的底播规格,本实验中 1 cm、1.5 cm 和 2 cm 组魁蚶潜沙速率优于 2.5 cm 组,且在不同底播时间下,底播后潜沙率波动较小。根据唐启生等^[14]研究结果,认为底播魁蚶苗种规格越大,越有利于对敌害的防御。结合张天文等^[6]研究敌害生物对不同规格魁蚶的摄食分析,建议选择 2 cm 做为魁蚶底播规格,这一底播规格与唐启生等^[7]认为的投苗初始规格相一致。底播时间应根据当地海区潮汐情况确定,选择平流期开展底播,根据实验结果,最佳底播时间应选取 17:00,尽量避开夜间底播。确定增殖放流苗种的适

宜规格时,既要考虑苗种成本,也要综合考虑各项因素,在自然海区中生存环境复杂,底质、水流和水温等环境因子的变化均会影响潜沙能力^[15-17],因此需开展野外调查研究进一步验证。

参考文献:

- [1] 汪清晨,白昌明,张天文,等. 牡蛎疱疹病毒对魁蚶的致病性[J]. 水产学报,2016,40(3):468-474.
WANG Q C, BAI C M, ZHANG T W, et al. Pathogenicity of ostreid herpesvirus - 1 to *Scapharca broughtonii* [J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40 (3): 468-474.
- [2] 王颖,吴志宏,李红艳,等. 不同地理群体魁蚶的营养成分比较研究[J]. 食品科学,2013,34(3):248-252.
WANG Y, WU Z H, LI H Y, et al. Comparison of nutrient composition in *Anadara uropygimelana* from different areas[J]. Food Science, 2013, 34(3): 248-252.
- [3] 王兴章,邢信泽,张启刚. 几种理化因子对魁蚶人工育苗的影响[J]. 齐鲁渔业,2003,20(2):17-18.
WANG X Z, XING X Z, ZHANG Q G. Effects of several physical and chemical factors on artificial breeding of *Scapharca broughtonii* [J]. Shandong Fisheries, 2003, 20(2): 17-18.
- [4] 孙振兴. 魁蚶的增殖[J]. 科学养鱼,1990(4):166-169.
SUN Z X. Enhancement aquaculture of *Scapharca broughtonii* [J]. Scientific Fish Farming, 1990 (4): 166-169.
- [5] 于瑞海,李琪. 无公害魁蚶底播增殖稳产新技术[J]. 海洋湖沼通报,2009(3):87-90.
YU R H, LI Q. New techniques for bottom sowing multiplication and cultivation of the pollution-free ark shell (*Scapharca broughtonii* Schrenck)[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2009(3): 87-90.
- [6] 张天文,刘广斌,刘恩孚,等. 多棘海盘车对魁蚶摄食量、选择性及昼夜摄食差异的初步研究[J]. 中国海洋大学学报,2015,45(12):24-29.
ZHANG T W, LIU G B, LIU E F, et al. A preliminary study on food consumption, preference and day-night predatory differential of *Asterias amurensis* on *Scapharca broughtonii* [J]. Periodical of Ocean University of China, 2015, 45(12): 24-29.
- [7] 唐启升,王俊,邱显寅,等. 魁蚶底播增殖的试验研究[J]. 海洋水产研究,1994(15):79-86.
TANG Q S, WANG J, QIU X Y, et al. Studies on releasing enhancement of *Scapharca broughtonii* [J]. Marine Fisheries Research, 1994(15): 79-86.
- [8] 周玮,刘一兵,李坤,等. 魁蚶苗种的潜沙行为观察[J].

- 大连海洋大学学报,2011,26(6):550-553.
- ZHOU W, LIU Y B, LI K, et al. Observation of burrowing behavior and ability of spat with different sizes in *Scapharca broughtonii* Sckrenck[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(6): 550-553.
- [9] 夏念丽. 底质粒径对菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum* (Adams et Reeve)) 潜沙行为的影响[D]. 大连: 大连海洋大学, 2006.
- XIA N L. Effect of different diameter substratum on *Ruditapes philippinarum* (Adams et Reeve) insinuating actions[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2006.
- [10] 周珊珊, 张秀梅, 蔡星媛, 等. 温度对魁蚶稚贝潜沙能力及对多棘海盘车捕食魁蚶稚贝能力的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1439-1446.
- ZHOU S S, ZHANG X M, CAI X Y, et al. Effects of temperature on burrowing ability of juvenile ark shell (*Anadara broughtonii*) and predation rate on juvenile ark shell by sea star (*Asterias amurensis*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1439-1446.
- [11] 周珊珊, 张秀梅, 刘旭绪, 等. 魁蚶稚贝的底质选择性及其潜沙能力评价[J]. 水产学报, 2015, 39(6): 867-875.
- ZHOU S S, ZHANG X M, LIU X X, et al. Substrate preference and burrowing ability assessment of the juvenile *Scapharca broughtonii* [J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(6): 867-875.
- [12] 杨凤, 曾超, 王华, 等. 环境因子及规格对菲律宾蛤仔幼贝潜沙行为的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(3): 795-802.
- YANG F, ZENG C, WANG H, et al. Effects of environmental factors and clam size on the burrowing behavior of Manila clam *Ruditapes philippinarum* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(3): 795-802.
- [13] 孙虎山. 长竹蛭苗的潜沙及耐干露能力研究[J]. 烟台师范学院学报: 自然科学版, 1992, 8(1/2): 67-69, 73.
- SUN H S. Burrowing and enduring out of water ability of *Solen stritus* [J]. Yantai Teachers' College Journal: Natural Science, 1992, 8(1/2): 67-69, 73.
- [14] 唐启生, 邱显寅, 王俊, 等. 山东近海魁蚶资源增殖的研究[J]. 应用生态学报, 1994, 5(4): 396-402.
- TANG Q S, QIU X Y, WANG J, et al. Resource enhancement of arkshell (*Scapharca (Anadara) broughtonii*) in Shandong offshore waters [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1994, 5(4): 396-402.
- [15] MCLACHLAN A, JARAMILLO E, DEFEO O, et al. Adaptations of bivalves to different beach types [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1995, 187(2): 147-160.
- [16] SHIN P K S, NG A W M, CHEUNG R Y H. Burrowing responses of the short-neck clam *Ruditapes philippinarum* to sediment contaminants [J]. Marine Pollution Bulletin, 2002, 45(1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12): 133-139.
- [17] LAUDIEN J, SCHIEDEK D, BREY T, et al. Survivorship of juvenile surf clams *Donax serra* (Bivalvia, Donacidae) exposed to severe hypoxia and hydrogen sulphide [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2002, 271(1): 9-23.

(责任编辑:米慧芝)