

栉孔扇贝面盘幼虫和稚贝的滤水率昼夜节律

杜美荣^{1,2} 方建光^{2*} 毛玉泽² 张继红²

葛长宇³ 蒋增杰² 高亚平²

(¹中国海洋大学海洋生命学院, 青岛 266003)

(²农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(³山东大学威海分校海洋学院, 264209)

摘 要 采用静水法研究了在水温 $18 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、饵料密度 1.0×10^4 cell/ml 下栉孔扇贝面盘幼虫滤水率的昼夜节律; 在水温 $24^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、饵料密度 3.0×10^4 cell/ml 下栉孔扇贝稚贝(壳长 1.177~2.017 mm)滤水率的昼夜节律。栉孔扇贝面盘幼虫和稚贝的滤水率分别于 17:00、21:00、01:00、05:00、09:00 和 13:00 测定。栉孔扇贝面盘幼虫和稚贝的滤水率均具有明显的昼夜节律, 且二者相似。在白天滤水率较低, 最低值出现在 09:00~13:00, 幼虫为 $0.0026 \text{ ml/h} \cdot \text{ind}$, 稚贝为 $0.1231 \text{ ml/h} \cdot \text{ind}$; 在夜间有较高的滤水率, 最大值出现在凌晨 21:00~01:00, 幼虫达 $0.0258 \text{ ml/h} \cdot \text{ind}$, 稚贝达 $0.5096 \text{ ml/h} \cdot \text{ind}$ 。统计分析表明, 栉孔扇贝稚贝和面盘幼虫的滤水率昼夜差异显著 ($P < 0.01$)。

关键词 栉孔扇贝 面盘幼虫 稚贝 滤水率 昼夜节律

中图分类号 O657.72 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2012)05-0073-05

Diurnal rhythm of filtration rate of Zhikong scallop *Chlamys farreri* veliger and spat

DU Mei-rong^{1,2} FANG Jian-guang^{2*} MAO Yu-ze² ZHANG Ji-hong²

GE Chang-zi³ JIANG Zeng-jie² GAO Ya-ping²

(¹College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003)

(²Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(³Marine College, Shandong University at Weihai, 264209)

ABSTRACT The Zhikong scallop spats' (1.177~2.017 mm in shell length) diurnal rhythm of filtration rate were determined using static water method. For spats, the microalgae density was 3.0×10^4 cell/ml and the temperature was $24 \pm 0.5^\circ\text{C}$, and for veliger, the microalgae density was 1.0×10^4 cell/ml and temperature was $18 \pm 0.5^\circ\text{C}$. We measured the filtration rate of the

中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(20603022011003)、国家 863 计划项目(2012AA10A405-2)和国家自然科学基金(4127612)共同资助

* 通讯作者。E-mail:fangjg@ysfri.ac.cn

收稿日期:2011-11-19;接受日期:2012-04-19

作者简介:杜美荣(1982-),女,助理研究员,主要从事贝类繁育与养殖生态容纳量研究。E-mail:dumeirong622@163.com,

veliger and spat at 17 : 00, 21 : 00, 01 : 00, 05 : 00, 09 : 00, and 13 : 00. Analysis showed that the filtration rate of the veliger and spat had similar diurnal rhythm. They had the lowest filtration rate (veliger: 0.002 6 ml/h · ind, spat: 0.123 1 ml/h · ind) in the daytime (9 : 00 ~ 13 : 00) and the highest one (veliger: 0.025 8 ml/h · ind; spat: 0.509 6 ml/h · ind) in the night (21 : 00 ~ 1 : 00). There were significant difference between the highest and the lowest value ($P < 0.01$).

KEY WORDS *Chlamys farreri* Veliger Spat Filtration rate Diurnal rhythm

栉孔扇贝 *Chlamys farreri* 是我国北方主要海水养殖贝类之一, 自然分布于我国的辽宁、山东以及日本和韩国沿海(王如才等 1989), 因其营养丰富、口味鲜美, 成为我国北方主要的养殖贝类品种。在 20 世纪 90 年代, 其产量几乎达到我国扇贝总产量的 80%(Guo *et al.* 1999)。作为滤食性贝类, 栉孔扇贝的滤水率是贝类生理生态学研究的重要内容之一, 也是贝类生物能量学研究的重要内容(王俊等 2001)。栉孔扇贝苗种生产中, 面盘幼虫和稚贝的摄食是人工育苗的关键技术之一, 其摄食生理的研究可为人工培育提供科学的投喂管理策略。

贝类的摄食与滤水率密切相关, 滤水率指单位时间贝类所过滤水的总体积。影响贝类滤水率的因素包含饵料密度、温度、体质量和昼夜节律等(郭海燕等 2005; 包永波等 2006; 高如承等 2005; 匡世焕等 1996; 罗彩林等 2005)。关于栉孔扇贝成贝滤水率的研究很多(方建光等 1999; 匡世焕等 1996; 袁有宪等 2001; 张继红等 2005; 周毅等 2002), 尽管面盘幼虫和稚贝的培育与养成是人工苗种培育的关键, 但对面盘幼虫和稚贝的滤水率研究尚未见报道。作者研究栉孔扇贝面盘幼虫和稚贝的滤水率及其昼夜节律, 以期为栉孔扇贝苗种生产的科学投喂管理及栉孔扇贝基础生理生态学研究提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

栉孔扇贝面盘幼虫(壳长 $126.8 \pm 4.4 \mu\text{m}$, 壳高 $105.1 \pm 5.3 \mu\text{m}$), 实验于 2008 年 5 月开展, 所取幼虫为山东省荣成寻山水产集团有限公司春季升温培育苗种。栉孔扇贝面盘幼虫滤水率实验的海水采自寻山水产集团所在的桑沟湾。实验海水经沉淀砂滤, 再经脱脂棉过滤后使用。实验温度为 $18.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 盐度 31 ~ 32, pH 值为 7.95 ~ 8.04。饵料为湛江等鞭金藻 *Dicrateria zhanjiangensis*, 饵料投喂密度为 1.0×10^4 cell/ml。

栉孔扇贝稚贝(壳高 1.177 ± 0.116 mm) 实验于 2007 年 5 月进行, 稚贝为红岛蛤原良种开发有限公司春季升温培育苗种。栉孔扇贝滤水率实验所用海水与育苗用水相同, 均采自红岛蛤原良种开发有限公司所在的胶州湾。实验海水的预处理同上所述。实验温度为 $24.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 盐度为 28 ~ 30, pH 值为 7.82 ~ 8.20。饵料为湛江等鞭金藻, 饵料的投喂密度为 3.0×10^4 cell/ml。

1.2 实 验 方 法

滤水率实验采用静水法, 采用微充气(使水面仅见微气泡为宜), 使培育容器内饵料藻类充分混合均匀, 并保持较高的溶解氧浓度, 同时又不至于将面盘幼虫或稚贝的粪便搅起而影响计数。每类实验都设置 3 个重复, 和一组空白对照。实验过程中, 实验容器完全遮光。

栉孔扇贝面盘幼虫的滤水实验容器体积为 4L, 其滤水率的测试以水体中叶绿素 a 浓度的变化计算。采集水样的时间点为 17 : 00、21 : 00、01 : 00、05 : 00、09 : 00、13 : 00。每次抽取的水样体积为 1 000 ml, 取样完成后用筛绢(260 目)将幼虫滤出, 再加入经脱脂棉过滤的新鲜海水和饵料使饵料的浓度达到原始设置浓度, 在采集水样以后采集 1 000 ml 水样, 作为下一个时间点取样的初值。叶绿素的测定方法为丙酮萃取的分光光度法(海洋监测规范 GB17378.7-2007)。

栉孔扇贝稚贝滤水率实验容器为 1L, 数据测定用库尔特颗粒计数器(Coulter Multisizer)进行颗粒计数, 管孔直径 $100 \mu\text{m}$, 每次进样 0.5 ml, 测定时每个水样测定 6 次, 取平均值, 以消除因计数器正负极差异产生的

误差,测定水样中的颗粒物总数减去空白对照海水中的本底值,即为水样中的颗粒物数量。实验结束后随机取30个,用游标卡尺测量壳长,壳高。实验分别于17:00、21:00、01:00、05:00、09:00、13:00取样测定。期间,因为饵料被稚贝滤食,为减少因饵料浓度的下降而带来的影响,在5:00测样结束后投喂饵料,使浓度达 3.0×10^4 cell/ml。

1.3 滤水率的计算方法

栉孔扇贝稚贝滤水率的计算公式为:

$$FR = V(\ln \frac{C_0}{C_t} - \ln \frac{C_1}{C_2}) / Wt \quad (\text{Coughlan 1969}) \quad (1)$$

式中, V 为实验水体(ml); W 为稚贝的整体干重(g); t 为实验持续时间(h); C_0 、 C_t 分别为实验开始和结束时的饵料浓度(cell/ml); C_1 、 C_2 分别为实验开始和结束时空白对照瓶中饵料浓度(cell/ml)。

栉孔扇贝面盘幼虫的滤水率采用叶绿素浓度($\mu\text{g/L}$)计算,将叶绿素浓度替换饵料浓度代入公式(1)计算滤水率。栉孔扇贝稚贝的滤水率直接采取颗粒计数器测得的数据,饵料浓度使用公式(1)进行计算。不同时间段内栉孔扇贝面盘幼虫或是稚贝的滤水率之间的差异,即栉孔扇贝面盘幼虫和稚贝滤水率的昼夜差异,利用SPSS(17.0)进行单因素方差分析(ANOVA),差异显著性水平为5%。

2 结果

2.1 栉孔扇贝面盘幼虫滤水率

昼夜节律实验共用幼虫约 2×10^5 个,其平均大小为壳长 $126.8 \pm 4.4 \mu\text{m}$,壳高 $105.1 \pm 5.3 \mu\text{m}$ 。采用叶绿素法测定的一昼夜栉孔扇贝面盘幼虫的滤水率结果(图1)表明,自13:00至翌日13:00,栉孔扇贝面盘幼虫的滤水率随时间呈倒钟形,每4h测1次的滤水率监测结果分别为0.005 1(13:00~17:00)、0.013 5(17:00~21:00)、0.025 8(21:00~翌日01:00)、0.024 0(01:00~05:00)、0.014 6(05:00~09:00)、0.002 6 ml/h·ind(09:00~13:00)。峰值出现在21:00~翌日01:00,低谷出现在09:00~13:00,夜间最大滤水率是白天最小滤水率的9.92倍。通过对所测数据进行方差分析,栉孔扇贝面盘幼虫的滤水率昼夜差异极显著($P < 0.01$)。

2.2 栉孔扇贝稚贝滤水率

采用颗粒计数器法测定的栉孔扇贝稚贝滤水率昼夜节律的实验共用幼虫约1000个,平均壳高 $1.177 \pm 0.116 \text{ mm}$ 。昼夜6个时间段的滤水率结果见图2。稚贝的昼夜节律趋势与幼虫一致,随着扇贝壳长的增大,滤水率数值增大,每4h测1次的滤水率监测结果分别为0.259 5(13:00~17:00)、0.324 5(17:00~21:00)、0.509 6(21:00~翌日01:00)、0.431 9(01:00~05:00)、0.195 7(05:00~09:00)、0.123 1 ml/h·ind(09:00~13:00)。峰值出现在凌晨21:00~翌日01:00,低谷出现在09:00~13:00,夜昼滤水率的比值由幼虫期的9.92低至4.14,由此可见随着贝类壳长的增大,稚贝的滤水率昼夜比较幼虫期缩小。通过方差分析,夜间21:00~翌日01:00滤水率与白天09:00~13:00相比,差异极显著,其滤水率有极显著的昼夜变化($P < 0.01$)。

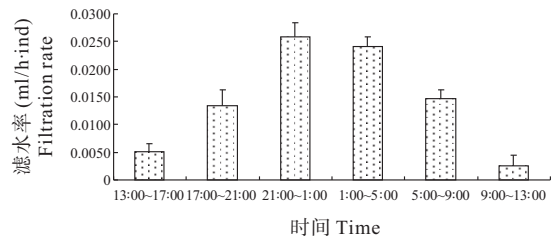


图1 栉孔扇贝面盘幼虫昼夜滤水率

Fig. 1 Filtration rate of *C. farreri* veliger at different moment in day and night

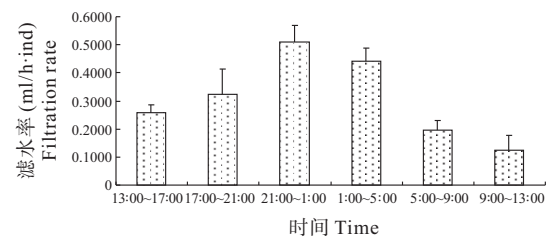


图2 栉孔扇贝稚贝昼夜滤水率

Fig. 2 Filtration rate of *C. farreri* spat at different moment in day and night

3 讨论

昼夜节律是生物体的生理、生化和行为以 24h 为周期的振荡,它是生物界最普遍存在的一种节律(赵文会 1998)。小到微生物(蓝藻目也有发现),大到哺乳动物,大多数生物体都有一个被称为昼夜节律生物钟的分子计时器(Akiyama *et al.* 1998),生物钟决定生物体生理生化功能昼夜波动方式。

水生生物摄食的昼夜节律现象广泛存在(包永波等 2006;陈汉辉等 1991;黎辉等 1997;刘青等 2006;吴桂汉等 2002)。鱼类摄食昼夜节律因其感觉器官不同而不同,视觉发达的鱼类白昼摄食,化学感觉强烈的夜间摄食(梁旭方等 1998)。菲律宾蛤仔 *Ruditapes philippinarum* 的摄食率有显著的昼夜差异,其夜间的摄食率明显高于在白昼的摄食率,00:00 和 12:00 分别是极大摄食率和最小摄食率所发生的时刻(吴桂汉等 2002)。背角无齿蚌 *Anodonta woodiana* 的滤水率也有一定的日变化(吴庆龙等 2005),傍晚时较高,最大值出现在 18:00。本研究结果与上述研究相似,栉孔扇贝面盘幼虫、稚贝的滤水行为都具有明显的昼夜节律性,最大滤水率出现在 21:00~翌日 01:00 时段,最小滤水率出现在 09:00~13:00 时段。双壳贝类的壳顶期幼虫具有眼点,具有感光性。成贝的外套膜和贝壳将身体完全包被,没有头眼,在外套膜上色素细胞,在外套膜的边缘有色素斑特化成的外套眼,视觉并不发达(蔡英亚等 1995)。海洋浮游植物的生长代谢和光合作用均有昼夜节律变化(杨小龙等 1991、1992)。面盘幼虫和稚贝的摄食习性经长期自然选择的进化过程,形成了幼虫和稚贝的摄食昼夜节律与饵料生物的昼夜变化相适应,以较小的能量耗费获得较高的食物及能源。因此,栉孔扇贝面盘幼虫和稚贝的滤水率的昼夜变化是其感觉器官系统在长期的演化过程中,对光照、温度、饵料等生态因子的适应,形成了其摄食的昼夜差异。

本研究结果和合浦珠母贝 *Pteria martensii* (Dunker) 幼虫、幼贝的生物节律性不同,合浦珠母贝直线纹合幼虫、壳顶期幼虫和稚贝的摄食率没有昼夜节律性(黎辉等 1997)。这可能是种的差异以及个体大小不同的原因,前者是珠母贝,幼虫和稚贝的大小范围为 80~657 μm ,而本研究中幼虫和稚贝为栉孔扇贝,大小为 1 177~2 017 μm ,光感受器的发育可能更接近于成贝,昼夜节律习性逐步形成。

在贝类人工育苗中,培养饵料过程中人工加入氮源,由于受培养周期的限制,饵料液中氨氮等含量往往较高(孙颖颖等 2005;朱艺峰等 2006),根据培养过程中施用氮源的不同而略有差异,根据经验,贝类苗种培育中饵料液日加入量大约为培育水体的 1%~3%,饵料液的加入使培育池氨态氮浓度升高,对贝类成贝和幼贝都有一定的影响。研究表明,6.10±0.44 mm 西施舌 *Macrta antiquata* (Spengler) 幼贝对氨态氮的 96h 半致死浓度为 14.220 mg/L(吴进锋等 2006),2.72±0.25 mm 橄榄蚶 *Estellarca olivacea* 的 48h 半致死浓度为 58.6 mg/L(张永普等 2009)。同时,贝类对于饵料的摄食具有一个最大值,在一定的饵料浓度下,摄食率最大,低于该浓度摄食率较低,高于该浓度摄食率反而下降(罗彩林等 2005;Bayne 1998),与之相对,投喂不足则容易引起幼虫生长缓慢。因此,就对于养殖水环境优化以及扇贝摄食情况而言,掌握适宜的投饵量尤其是各个时间段的投饵量对苗种培育工作成败至关重要(汤庭耀等 1990)。本研究表明,稚贝夜间具有最大摄食率,出现在 21:00~1:00,最小值出现在 9:00~13:00,实际苗种培育工作中,即可根据培育的苗种密度适度调整昼夜饵料投喂量,夜间多投,白天少投,采取少量多次的方法,科学合理地管理苗种培育工作。

参 考 文 献

- 方建光,孙慧玲,匡世焕,梁兴明,牛锡端,刘志鸿,李 锋. 1999. 泥蚶幼虫滤水率和摄食率的研究. 海洋与湖沼, 30(2): 167~171
- 王 俊,唐启升. 2001. 双壳贝类能量学及其研究进展. 海洋水产研究, 22(3): 80~83
- 王如才,楼伟风,徐家敏,王远红,沈海林,王昭萍. 1989. 栉孔扇贝氨基酸组分与含量的比较研究. 青岛海洋大学学报, (S19(2)): 12~19
- 孙颖颖,孙利芹,王长海. 2005. 球等鞭金藻的培养条件研究. 海洋通报, 24(3): 92~96
- 包永波,尤仲杰. 2006. 海洋滤食性贝类摄食率影响因子研究现状. 海洋水产研究, 27(1): 77~80
- 匡世焕,方建光,孙惠玲,李 锋. 1996. 桑沟湾栉孔扇贝不同季节滤水率和同化率的比较. 海洋与湖沼, 27(2): 194~199
- 汤庭耀,吕均琳. 1990. 栉孔扇贝育苗工艺几个问题的研讨. 齐鲁渔业, 31(6): 38~39
- 刘 青,曲 晗,张 硕,魏 杰. 2006. 强壮箭虫摄食生态的实验研究. 水产学报, 30(6): 767~772

- 朱艺峰,林霞,朱鹏,李洋. 2006. 混合氮源对扁藻与金藻共培养和单种培养生长的影响. 海洋科学, (8): 30~34
- 吴桂汉,陈品健,江瑞胜,杨圣云,沈锦. 2002. 盐度和昼夜节律对菲律宾蛤仔摄食率的影响. 台湾海峡, 21(1): 72~77
- 吴进锋,陈素文,陈利雄,麦杨珊,陆益民. 2006. 硫化物和氨对西施舌幼贝的毒性影响研究. 热带海洋学报, 25(1): 42~46
- 吴庆龙,陈宇炜,刘正文. 2005. 背角无齿蚌对浮游藻类的滤食选择性与滤水率研究. 应用生态学报, 16(12): 2423~2427
- 杨小龙,朱明远, J. J. 库仑. 1991. 光暗周期下一种海洋硅藻荧光特性和生化组成的研究-I-营养盐的影响. 海洋学报, 13(6): 822~830
- 杨小龙,朱明远, J. J. 库仑. 1992. 光暗周期下一种海洋硅藻荧光特性和生化组成的研究 II. 光强的影响. 海洋学报, 14(1): 97~104
- 陈汉辉,杞桑. 1991. 夜光藻摄食和营养繁殖的昼夜节律. 暨南大学学报, 12(3): 104~108
- 张继红,方建光,孙松,赵俊梅. 2005. 胶州湾养殖菲律宾蛤仔的清滤率、摄食率、吸收效率的研究. 海洋与湖沼, 36(6): 548~555
- 张永普,肖国强,林立祝,张炯明,柴雪良. 2009. pH和氨氮对橄榄蚶耐受性的影响. 四川动物, 28(1): 73~76
- 罗彩林,高如承,骆轩. 2005. 单胞藻投饵量对西施舌稚贝摄食率的影响. 福建师范大学学报, 21(4): 89~91
- 周毅,毛玉泽,杨红生,何义朝,张福绥. 2002. 四十里湾栉孔扇贝清滤率、摄食率和吸收效率的现场研究. 生态学报, 22(9): 1455~1462
- 赵文会. 1998. 昼夜节律时钟研究的最新进展. 生命的化学, 18(2): 1~3
- 郭海燕,王昭萍,于瑞海,王芳,林志华. 2005. 饵料密度、温度和体质量对大西洋浪蛤滤水率的影响. 实验与技术, 29(8): 1~3
- 高如承,庄惠如,王彦愔,孙慧玲,骆轩,罗彩林. 2005. 西施舌稚贝对3种微藻选择性及摄食率研究. 福建师范大学学报, 23(1): 70~73
- 袁有宪,陈聚法,陈碧鹃,曲克明,过锋,李秋芬,崔毅. 2001. 栉孔扇贝对环境变化适应性研究-盐度、pH对存活、呼吸、摄食及消化的影响. 中国水产科学, 7(4): 73~77
- 梁旭方,何大仁. 1998. 鱼类摄食行为的感觉基础. 水生生物学报, 22(3): 278~284
- 蔡英亚,张英,魏若飞. 1995. 贝类学概论. 上海:上海科学技术出版社, 65~68
- 黎辉,金启增,郭澄联,练建生. 1997. 合浦珠母贝幼虫、幼苗的摄食率和摄食节律研究. 热带海洋, 16(3): 41~48
- GB17378.7-2007, 海洋监测规范
- Akiyama, M., Moriya, T., and Shibata, S. 1998. Physiological, pharmacological and molecular aspects of mammalian biological clocks. *Nihon Yakurigaku Zasshi*, 112(4): 243~250
- Bayne, B. L. 1998. The physiology of suspension feeding by bivalve molluscs: an introduction to the Plymouth "TROPHEE" workshop. 219, 123~134
- Coughlan, J. 1969. The estimation of filtering rate from the clearance of suspensions. *Marine Biology*, 2(4): 356~358
- Guo, X., Ford, S. E., and Zhang, F. S. 1999. Molluscan Aquaculture in China. *Journal of Shellfish Research*, 18(1): 19~31