

水温、盐度和饵料密度对橄榄蚶滤水率的影响

张媛^{1,2}, 方建光², 毛玉泽², 梁峻¹, 赵学伟¹

(1. 獐子岛集团股份有限公司, 辽宁 大连 116001; 2. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 用实验生态学的方法研究了不同水温(15、20、25、30℃)、盐度(16、21、26、31、36)和饵料密度(0.5×10^4 、 1.5×10^4 、 2.5×10^4 、 3.5×10^4 、 5×10^4 个/mL)对橄榄蚶(*Estellarca olivacea*)滤水率的影响。实验结果表明, 以金藻作为饵料, 水温、盐度、饵料密度对橄榄蚶的滤水率有显著影响($P < 0.05$)。水温 15~30℃、盐度 16~36、饵料密度为 $0.5 \sim 5 \times 10^4$ 个/mL 时, 橄榄蚶的滤水率都呈峰值变化。水温 25℃、盐度 26、饵料密度 3.5×10^4 个/mL 时, 其滤水率分别达到最大值。在所研究的范围内, 水温、盐度、饵料密度与滤水率之间分别满足函数关系: $FRT = -0.3396T^2 + 1.8937T + 0.2728$ ($R^2 = 0.9857$, $P < 0.05$); $FRS = -0.3424S^2 + 1.9626S + 0.7112$ ($R^2 = 0.9683$, $P < 0.05$); $FRC = 1.7395 C^{-0.4607}$, ($R^2 = 0.9062$, $P < 0.05$)。

关键词: 橄榄蚶(*Estellarca olivacea*); 水温; 盐度; 饵料密度; 滤水率

中图分类号: 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)09-0039-05

doi: 10.11759/hyxx20140414002

橄榄蚶(*Estellarca olivacea*) 隶属于软体动物门, 瓣鳃纲, 翼形亚纲, 蚶目, 蚶科, 橄榄蚶属, 俗名珠蚶, 系小型经济贝类, 一般成体壳长在 15~20 mm 左右, 贝壳较硬, 两壳相等, 呈长卵形, 较膨胀, 壳面灰白色, 被黑棕色或棕色表皮。栖息于潮间带中低潮区至水深 20 m 左右的泥沙质底, 分布于菲律宾、日本和中国沿海, 在中国的山东至福建沿海都有分布, 尤其在中国南方沿海产量较高。其肉嫩味鲜、营养丰富, 具有很高的经济价值^[1]。橄榄蚶目前尚未进行人工育苗及养殖, 其在山东丁字湾自然分布的生物量较低, 约 15 kg/hm^2 。由于其对环境适应能力强, 市场价格较高, 是一种很有推广前景的经济贝类^[2]。

橄榄蚶营滤食性埋栖生活, 主要通过滤水作用滤食海水中的浮游生物和有机碎屑。滤水率是指单位时间内滤过悬浮颗粒的水体积, 它是反映滤食性水生动物生理生态学状况的动态指标。测定贝类滤水率对估测海区养殖容量、指导养殖生产有重要意义^[3]。通过对贝类摄食、同化、呼吸、排泄的研究以及在此基础上建立贝类能量收支模型, 可以判断一个海区对贝类养殖的适宜情况, 选择适宜的养殖海区及养殖模式提供依据, 同时也为养殖区的养殖容量提供必要的理论依据。目前国内外对贝类滤水率的研究报道较多: 如 Soria^[4]、Riisgård^[5]、Tantanasarit^[6]、杨晓新等^[7]、潘鲁青等^[8]研究了环境因子对贝类滤水率的影响, 迄今尚未见有关橄榄蚶滤水率的报道。本

实验从水温、盐度、饵料密度方面对橄榄蚶滤水率进行了研究, 以期了解其摄食机制及规律, 为丰富埋栖型贝类摄食生态和橄榄蚶的开发利用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材料

实验用橄榄蚶采自山东半岛丁字湾, 于 2006 年 9 月运回黄海水产研究所贝类实验室, 清洁壳表可见污物, 放入水族箱中暂养两周, 暂养用水为砂滤海水, 连续充气。暂养期间水温为 22~24℃, 盐度 29.0~29.6, pH 7.93~8.03, 溶解氧 $> 5 \text{ mg/L}$, 光照为 537~3100 lx, 每日投喂足量的金藻。

橄榄蚶的生物学数据见表 1。

1.2 方法

1.2.1 实验设计

根据实验前期对温度、盐度、饵料密度的梯度预实验情况, 水温设置 4 个梯度: 15、20、25、30℃, 采用光照培养箱控温, 每日升降幅度不超过 ± 1 ℃, 实验所用海水盐度为 30.3, pH 8.03。

收稿日期: 2014-11-16; 修回日期: 2015-02-08

作者简介: 张媛(1981-), 女, 山东淄博人, 水产养殖工程师, 硕士, 主要从事水产养殖生态学, 电话: 0411-39016234, E-mail: yuanzhang0912@126.com

表 1 橄榄蚶生物学参数

Tab.1 The biological data of *E. olivacea*

壳长 (mm)	壳高 (mm)	湿质量(g)	软组织干质量(g)	壳干质量(g)	肥满度(%)
19.20±1.32	12.64±0.83	1.88±0.35	0.09±0.02	0.89±0.17	10.83±1.33

注: 肥满度(%)=(软组织干质量/壳干质量)×100

盐度设置 5 个梯度: 16、21、26、31、36, 自然海水(盐度为 31)加充分暴气后的淡水或粗盐配置不同盐度海水, 用脱脂棉过滤后进行实验, 每天升降盐度为 1, 实验水温为(23±0.5)°C, pH 为 8.1。

饵料采用湛江叉鞭金藻(*Dicrateria zhanjiangensis*), 设置 5 个密度梯度: 0.5×10⁴、1.5×10⁴、2.5×10⁴、3.5×10⁴、5×10⁴ 个/mL, 上下浮动不超过 10%, 实验水温为(23±0.5)°C, pH 为 8.1, 盐度为 31。

将其调至各梯度后, 驯化养殖 3d, 期间投喂湛江叉鞭金藻(*Dicrateria zhanjiangensis*), 日投喂 2 次, 换水量为 1/3, 并加入相应各梯度的海水。实验容器为 3L 的烧杯, 每个烧杯中放 1 个橄榄蚶, 加入 3L 相应梯度的海水, 所用海水经 0.45 μm 微孔滤膜过滤, 水温、盐度组饵料密度设定为 2.5×10⁴ 个/mL, 上下浮动不超过 10%。实验期间连续充气(保证溶氧充足和饵料在水中悬浮均匀), 水温、盐度和饵料密度各梯度实验设 4 个重复, 外加一空白对照组, 实验持续 2~3 h, 用 COULTER MULTISIZER II 型颗粒计数器每隔半小时取样测定饵料密度, 实验结束后分别测量橄榄蚶的壳长、湿质量。取软体部在 65 °C 烘干 24 h, 测软组织干质量, 计算单位干质量滤水率。

1.2.2 滤水率的测定

采用静水系统法(Coughlan, 1969)测定滤水率(FR)。其计算公式为:

$$FR=(V/wt)[\ln(C_0/C_t)-\ln(C_1/C_2)]$$

式中, V 为实验水体; w 为实验材料的组织干质量; t 为实验持续的时间; C_0 和 C_t 分别代表实验开始和结束时的饵料密度; C_1 和 C_2 分别代表实验开始和结束时空白对照瓶中的饵料密度。

1.2.3 数据处理

采用 SPSS 统计软件进行方差分析(ANOVA), $P<0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果

2.1 水温对橄榄蚶滤水率的影响

由图 1 可知, 当水温为 15~30 °C 时, 橄榄蚶的滤水率呈一个峰值变化, 15 °C 时滤水率最低, 为 1.848 L/(g·h), 25 °C 时滤水率达到最大值 2.962 L/(g·h), 然

后随水温的升高而下降, 20~25 °C 间变化不明显。方差分析(ANOVA)表明, 水温对橄榄蚶的滤水率有显著的影响($P<0.05$)。滤水率(FR)与水温(T)之间满足函数关系: $CR=-0.3396T^2+1.8937T+0.2728$, $R^2=0.9857$ 。

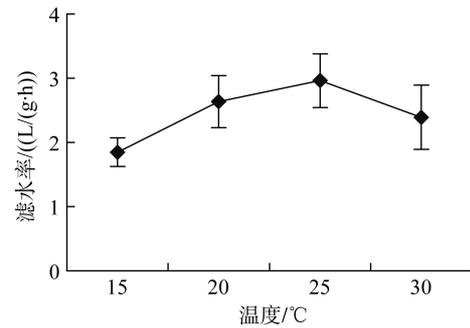


图 1 水温对橄榄蚶滤水率的影响

Fig.1 The effect of temperature on the filtration rate of *E. olivacea*

2.2 盐度对橄榄蚶滤水率的影响

由图 2 可知, 在盐度 16~26 时, 橄榄蚶滤水率随盐度的升高而升高, 盐度 16 至 21 时上升迅速, 盐度 26 时达到最大值 3.537 L/(g·h), 然后随盐度的上升而下降, 盐度 36 时测得最小值 2.041 L/(g·h)。方差分析(ANOVA)表明, 盐度对橄榄蚶的滤水率有显著的影响($P<0.05$)。滤水率(FR_S)与盐度(S)之间满足函数关系: $FR_S=-0.3424S^2+1.9626S+0.7112$, $R^2=0.9683$ 。

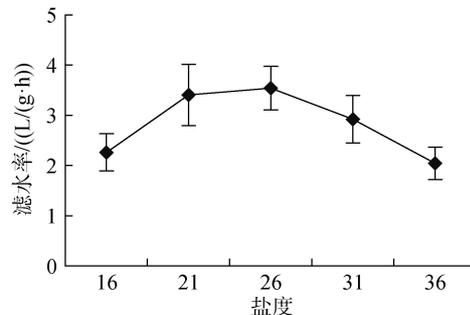


图 2 盐度对橄榄蚶滤水率的影响

Fig.2 The effect of salinity on the filtration rate of *E. olivacea*

2.3 饵料密度对橄榄蚶滤水率的影响

由图 3 可知, 在一定饵料密度范围内, 橄榄蚶滤

水率随饵料密度的增大而增大,当饵料密度达到 3.5×10^4 个/mL 时,滤水率达到最大值 3.735 L/(g·h),然后随饵料密度的继续增大,滤水率呈下降趋势。在一定饵料密度范围内,滤水率(FR_C)与饵料密度(C)间满足函数关系: $FR_C = 1.7395 C^{0.4607}$, $R^2 = 0.9062$ 。方差分析(ANOVA)表明,饵料密度对橄榄蚶的滤水率有显著的影响($P < 0.05$)。

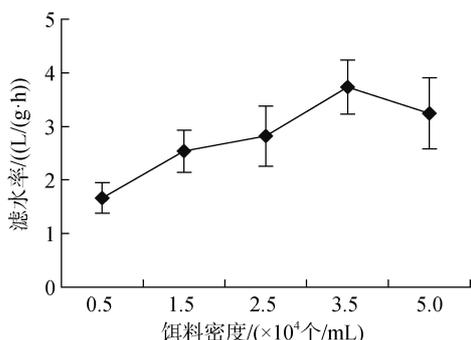


图3 饵料密度对橄榄蚶滤水率的影响

Fig. 3 The effect of diet concentration on the filtration rate of *E. olivacea*

3 讨论

3.1 水温对橄榄蚶滤水率的影响

水温是影响水生贝类生理活动的重要因子,水温的变化对滤食性贝类的摄食率产生很大的影响。众多实验研究表明^[4, 7-8],滤食性贝类的滤水率、摄食率受水温的影响十分显著。在一定水温范围内,贝类的滤水率随水温的升高而增大,至某一特定水温时达到最大值,然后随水温升高滤水率反而下降。滤食性贝类的摄食主要靠鳃丝上3种纤毛的运动组合来完成,其中侧纤毛是产生水流的主要动力, Bernard^[9]认为水温和贝类鳃上侧纤毛的摆动呈正相关性,水温升高使纤毛的摆动频率加快从而导致滤水率的增加。Jorgensen等^[10]在研究偏顶蛤(*Modiolus modiolus*)时认为,滤食性贝类的滤水率在一定水温范围内随水温的升高而增大,可能是因为高温可以减小海水的粘滞性,从而使滤水率增加。许多研究结果表明,滤食性贝类滤水率存在一个水温区间,在该区间内滤水率随水温的变化很小,最大滤水率出现在该区间的某一点上。如 David等^[11]研究 *Dreissena polymorpha* 的适宜滤水率在 20~24 °C、潘鲁青^[8]等研究缢蛏的适宜滤水率在 18~22 °C,最大值出现在 20 °C。本实验中,当水温在 15~25 °C 时,橄榄蚶的滤水率随水温的升高而升高,20~25 °C 时变化不明显,25 °C 时

滤水率达到最大值,当超过 25 °C 时,滤水率随水温的升高而下降。这与其他学者研究的贝类孰高孰低,很难定论,因为滤水率受个体大小、水温、盐度、流速、饵料密度与质量等因素的影响,不同物种之间差异较大。

3.2 盐度对橄榄蚶滤水率的影响

盐度是决定海洋贝类分布及影响其生理代谢的重要因素之一,贝类能够调节体内的渗透压,适应环境盐度的变化,不同贝类这种调节渗透压的能力不同,因此盐度对不同贝类滤水率的影响也不同^[12-15]。本实验中,在盐度为 16~26 时,橄榄蚶滤水率随盐度的升高而升高,盐度超过 26 后滤水率开始下降,盐度为 21~31 时,滤水率明显高于其他盐度下的滤水率。据作者观测,橄榄蚶生活海区盐度为 23~29,年平均值约为 26,本实验得出在盐度 26 时其滤水率最大,与其生活的自然海区盐度一致。这一结果与 Navarro^[16]对合唱壳彩蛤(*Choromytilus chorus*), Palmer等^[17]对墨西哥湾扇贝(*Argopecten irradians concentricus*)和美洲牡蛎(*Crassostrea virginica*)以及袁有宪等^[18]对栉孔扇贝(*Chlamys ferrerii*)的研究结果一致,而有关高盐度对贝类滤水率的影响报道较少。从本实验结果看,盐度升高对橄榄蚶滤水率的影响更为显著,这表明升高或降低盐度均能明显降低贝类的滤水率,进而导致其摄食能力的下降。Navarro的研究^[16]表明,当盐度 15~18 时,合唱壳彩蛤(*Choromytilus chorus*)会部分或全部关闭贝壳, Djangmah等^[5]的研究结果也表明,老人毛蚶(*Anadara senilis*)在外界盐度达到 15.4 时出现贝壳关闭现象。但在本实验设定的盐度范围内,作者并未观察到低盐度下出现贝壳关闭现象,但在高盐度时却有闭壳现象。可能橄榄蚶生活的潮间带有陆源淡水的输入,其耐低盐的范围更广一些或者本实验盐度梯度未达到其耐受极限。改变海水盐度,导致贝类体内渗透压发生改变,贝类降低了与外界的水流交换能力,这是贝类长期适应环境而产生的一种生理保护反应。

3.3 饵料密度对橄榄蚶滤水率的影响

饵料是影响滤食性贝类摄食生理的重要因子之一,饵料的种类和密度会对贝类的滤水率产生不同程度的影响。董波等^[19]认为在适宜的饵料密度范围内,菲律宾蛤仔的滤水率随密度的增加而增加,呈幂函数关系;超过一定的饵料密度时,随密度的增加其滤水率急剧下降。Bayne等^[20]也发现超过一定的饵料密度后,贻贝(*Mytilus edulis*)的滤水率随之而降

低。本实验也得出了与其类似的结论。这是滤食性贝类自我生理调节的一种反应,可能与生理生态学的多种因素以及生活型有关,附着型生活和底栖型生活的贝类其抗浑浊能力不同,也可能与高密度饵料的混浊度超过了橄榄蚶的抗浊能力,导致其生理状态不正常有关。Ward^[21]在研究3种贝类的滤食器官特征时发现,高密度下颗粒在贝类鳃表面的运动速度减慢,若鳃仍按正常的活动频率或提高活动频率,易造成阻鳃现象,贝类只有降低鳃活动频率,降低滤水率才能维持正常的生理活动。滤食性贝类的摄食与呼吸紧密相关,饵料密度增大会造成不同程度的鳃阻塞,影响呼吸,为了保证氧气的摄入量,则需要加大滤水量;饵料密度过高时,过量滤食的饵料会形成假粪,造成摄食率的下降,因此在养殖过程中掌握饵料投喂的密度是很有必要的。

参考文献:

- [1] 齐钟彦. 中国经济软体动物[M]. 北京: 农业出版社, 1998: 160-161.
- [2] 张媛, 方建光, 毛玉泽, 等. 温度和盐度对橄榄蚶耗氧率和排氨率的影响. 中国水产科学, 2007, 14(4): 22-26.
- [3] 匡世焕, 方建光, 孙慧玲, 等. 桑沟湾栉孔扇贝不同季节滤水率和同化率的比较[J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(2): 194-199.
- [4] Soria G, Merino G, Uribe E, et al. Effect of Increasing Salinity on Weight-Specific Filtration Rate of Juvenile Scallop *Argopecten purpuratus* Reared at Two Temperatures: Is Any Effect Related to Ammonia Buildup?[J] Journal of Shellfish Research, 2011, 30(2): 279-286.
- [5] Riisgård H U, Larsen P S, Pleissner D. Allometric equations for maximum filtration rate in blue mussels *Mytilus edulis* and importance of condition index[J]. Helgoland Marine Research, 2013, 1-6.
- [6] Tantanarrit C, Babel S, Englande A J, et al. Influence of size and density on filtration rate modeling and nutrient uptake by green mussel (*Perna viridis*)[J]. Marine pollution bulletin, 2013, 68(1): 38-45.
- [7] 杨晓新, 林小涛, 计新丽. 温度、盐度和光照条件对翡翠贻贝滤水率的影响[J]. 海洋科学, 2000, 24(6): 36-39.
- [8] 潘鲁青, 范德朋, 董双林. 环境因子对缢蛏滤水率的影响[J]. 水产学报, 2002, 26(3): 226-230.
- [9] Bernard F R. Nutrition of *Crassostrea gigas*(Thunberg, 1975): an aspect of estuarine energetics[J]. Ph D Thesis London, 1972, 448.
- [10] Jorgensen C B, Larsen P S, Riisgard H U. Effects of temperature on the mussel pump[J]. Mar Ecol Prog Ser 1990, 64: 89-97.
- [11] David W, Aldridge, Barry S, et al. Oxygen consumption, nitrogenous excretion, and filtration rates of *Dreissena polymorpha* at acclimation temperatures between 20 and 32 °C[J]. Can J Fish Aquat Sci. 1995, 52: 1761-1767.
- [12] 王冬梅, 李春强, 彭明, 等. 盐度、pH 对波纹巴非蛤 (*Paphia undulate*) 滤水率的影响[J]. 海洋通报, 2009, 28(2): 23-27.
- [13] 杜美荣, 方建光, 葛长字, 等. 盐度和饵料密度对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(3): 74-78.
- [14] 林丽华, 廖文崇, 谢健文, 等. 盐度对香港巨牡蛎摄食和代谢的影响[J]. 广东农业科学, 2012, 11: 10-14.
- [15] 郭华阳, 王雨, 陈明强, 等. 盐度、饵料密度对长肋日月贝滤水率的影响[J]. 广东农业科学, 2012, 15: 144-152.
- [16] Navarro J M. The effect of salinity on the physiological ecology of *Choro mytilus chorus* (Molina, 1782) (Bivaliviva: Mytilidae)[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1988, 122: 19-33.
- [17] Palmer M E. The effects if early starvation on later feeding success of king crab zoeae[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1980, 44: 247-251.
- [18] 袁有宪, 曲克明, 陈聚法, 等. 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[J]. 中国水产科学, 2001, 7(4): 73-77.
- [19] 董波, 薛钦昭, 李军. 温度对菲律宾蛤仔滤食率、清滤率和吸收率的影响[J]. 海洋水产研究, 2000, 20(1): 37-420.
- [20] Bayne B L, Iglesias J I P, Hawkins A J S, et al. Feeding behaviour of the mussel *Mytilus edulis*: responses to variations in quantity and organic content of the seston[J]. J Mar Biol Ass UK, 1993, 73: 813-829.
- [21] Ward J E. Direct observations feeding structures and mechanisms in bivalve molluscs using endoscopic examination and video image analysis[J]. Mar Biol, 1991, 111: 287-291.

Effects of water temperature, salinity and diet concentration on the filtration rate of *Estellarca olivacea*

ZHANG Yuan^{1,2}, FANG Jian-guang², MAO Yu-ze², LIANG Jun¹, ZHAO Xue-wei¹

(1. Zonoco Group Co., Ltd, Dalian 116001, China; 2. Yellow Sea Fisheries Research institute Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Nov., 16, 2014

Key words: *Estellarca olivacea*; temperature; salinity; diet concentration; filtration rate

Abstract: The effects of temperature (15, 20, 25, and 30°C), salinity (16, 21, 26, 31 and 36) and diet concentration (0.5×10^4 , 1.5×10^4 , 2.5×10^4 , 3.5×10^4 , and 5×10^4 cells/mL) on the filtration rate of calm *Estellarca olivacea* were studied in laboratory. The results showed that the water temperature, salinity and diet concentration had significant effects on the filtration rate of *E. olivacea*. Under the controlled conditions of ambient temperature 15~30°C and salinity 16~36, the maximum filtration rate appeared at temperature 25°C and salinity 26, respectively. The filtration rate increased significantly with the increase of diet concentration from 0.5×10^4 to 3.5×10^4 cells/mL, but decreased at 5×10^4 cells/mL, with the maximum appearing at 3.5×10^4 cells/mL. The relationship between filtration rate and temperature, salinity and diet concentration was expressed as following: $FR_T = -0.3396T^2 + 1.8937T + 0.2728$ ($R^2 = 0.9857$, $P < 0.05$); $FR_S = -0.3424S^2 + 1.9626S + 0.7112$ ($R^2 = 0.9683$, $P < 0.05$); $FR_C = 1.7395 C^{0.4607}$, ($R^2 = 0.9062$, $P < 0.05$).

(本文编辑: 梁德海)