

温度、盐度、pH 和饵料密度对皱肋文蛤清滤率的影响

栗志民 刘志刚* 徐法军 李明昊

(广东海洋大学水产学院, 湛江 524025)

摘要 采用实验生态学方法研究了温度、盐度、pH 和饵料密度对皱肋文蛤清滤率的影响, 旨在为该贝养殖容量、摄食行为和能量学研究提供基础数据, 以及为该贝在我国南方海域的健康养殖和推广提供依据。实验结果表明, 皱肋文蛤清滤率随温度(13~33℃)、盐度(13~33)、pH(7~9)和饵料密度($2.5 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$ cell/ml)的变化而呈现峰值变化, 各种环境因子对 3 种规格皱肋文蛤清滤率均具有极显著性影响($P < 0.01$)。当温度、盐度、pH 和饵料密度分别为 28℃、23、8 和 10×10^4 cell/ml 时, 大、中、小规格皱肋文蛤清滤率均达到最大值, 分别为 1.06、1.78 和 2.42 L/g·h, 0.35、0.65 和 1.05 L/g·h, 1.26、1.67 和 2.02 L/g·h, 1.29、2.07 和 2.29 L/g·h, 表明温度为 28℃、盐度为 23、pH 为 8、饵料密度为 10×10^4 cell/ml 是皱肋文蛤最适宜的摄食环境条件。大、中、小规格皱肋文蛤清滤率对温度、盐度、pH 和饵料密度敏感性均表现为大规格 < 中规格 < 小规格, 揭示皱肋文蛤在适宜的环境条件下, 中、小规格个体摄食活动频繁, 生长旺盛。

关键词 皱肋文蛤 清滤率 温度 盐度 pH 饵料密度

中图分类号 S966.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)04-0055-07

Effects of temperature, salinity, pH, and microalgae density on clearance rates of *Meretrix lyrata*

LI Zhi-min LIU Zhi-gang* XU Fa-jun LI Ming-hao

(Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025)

ABSTRACT The farming of the clam *Meretrix lyrata* has been successfully developed since 1987 and brought high economic and social benefits to the coastal communities. As a highly valued fishery resource especially in Vietnam, recently *M. lyrata* has become another new aquaculture species with a potential for large-scale farming in the South China Sea and a good market prospects. In this study, by adopting the ecology experimental methods, the effects of seawater temperatures, salinities, pH, and microalgae densities on the clearance rates of *M. lyrata* were investigated, which are expected to provide insight on culturing capacity, feeding behavior and energy of *M. lyrata* and references for healthy culturing and extension of *M. lyrata*. The results showed that the clearance rates of *M. lyrata* ($P < 0.01$) at three sizes were significantly affected by varied temperature (13~33℃), salinity (13~33), pH (7~9), and diet density

热带海产无脊椎动物工程研究中心建设项目(GCXZ-A0909)和广东省海洋渔业科技推广专项(A200908E05)共同资助

* 通讯作者。E-mail: lzg919@21cn.com

收稿日期: 2010-11-05; 接受日期: 2010-12-23

作者简介: 栗志民(1972-), 男, 博士, 主要从事无脊椎动物生物学及增养殖研究。E-mail: lizhimin811@163.com, Tel: 15361912746

($2.5 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$ cell/ml). The maximum clearance rates of the large, medium, and small sized *M. lyrata* were 1.06, 1.78 and 2.42 L/g · h at 28°C respectively, 0.35, 0.65 and 1.05 L/g · h at salinity 23, 1.26, 1.67 and 2.02 L/g · h at pH 8, 1.29, 2.07 and 2.29 L/g · h at microalgae density of 10×10^4 cell/ml. These results indicate that the optimum feeding environmental conditions were: temperature 28°C, salinity 23, pH 8 and microalgae density 10×10^4 cell/ml. These results indicate that the sensitivity of the large, medium and small sized *M. lyrata* to temperature, salinity, pH or microalgae density appeared in the following order: large size < medium size < small size. In addition, medium and small sized individuals had frequent feeding activity and strong growth vitality.

KEY WORDS *Meretrix lyrata* Clearance rate Temperature Salinity pH
Microalgae density

清滤率(Clearance rate)是指滤食性生物在单位时间内滤食水中悬浮颗粒时所滤过的水的体积(单位:L/h)(董波等 2000a),清滤率不仅能够反映贝类获取食物的能力,也是估测海区养殖容量、研究贝类的摄食行为和能量学的重要参数之一(Heip *et al.* 1995;王慧等 2008)。

皱肋文蛤 *Meretrix lyrata*, 又名越南文蛤、琴文蛤, 是一种埋栖型的双壳经济贝类, 主要分布在我国台湾、广西和广东, 以及越南和菲律宾(蔡英亚等 2006)。该贝适应性强、养殖周期短、产量高、肉质鲜美, 是近年来在我国南方海域具有规模化养殖潜力和市场前景的又一新兴品种。近 10 年来, 国外学者先后研究了皱肋文蛤对微量金属元素的生物富集和净化作用(Nugegoda *et al.* 2009), 评估了该品种的营养成分(Luc *et al.* 2003), 调查了它在越南栖息海域的环境因子、养殖生物学及群体动态分布模式(Hao *et al.* 2000; Tri *et al.* 1999; Thom *et al.* 1999)。而国内学者研究了该品种对温度、盐度的适应性(栗志民等 2010)。虽然该品种的规模化人工育苗技术已取得了突破性进展, 然而在育苗及养殖过程中对环境因子的把握仍处在经验阶段, 特别是该贝在摄食生理方面的研究还比较缺乏。本文首次研究了皱肋文蛤清滤率, 旨在为该贝养殖容量、摄食行为和能量学研究提供基础理论, 为该贝在我国南方海域的健康养殖和推广提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

3 种规格的皱肋文蛤于 2009 年 5 月取自湛江银浪海洋生物技术有限公司不同批次的养殖群体, 实验贝取回后挑选健康、无损伤个体, 用毛刷洗刷去除表面污物, 重新装笼后暂养于广东海洋大学水产经济无脊椎动物实验室, 暂养 7 d, 24 h 充气, 每天投喂湛江等鞭金藻 *Isochrysis zhanjiangensis* 及换水 1 次。海水盐度 21.3~22.6, 水温 26.4~27.6°C, pH 7.82~8.24, 溶解氧(DO) > 5 mg/L, 氨氮(NH₄⁺-N) < 0.05 mg/L。

1.2 实验方法

1.2.1 饵料密度和皱肋文蛤生物学的测定

实验采用 20cm × 15cm × 25cm 的玻璃水槽充气静水系统, 实验用海水为过滤海水, 每个水槽中放海水 3L。饵料选用湛江等鞭金藻, 实验前、后分别取样、固定、浓缩和定量, 用显微镜细胞计数法统计金藻密度。实验结束后, 用游标卡尺测量皱肋文蛤壳长、壳高和壳宽, 用解剖刀将软体部与壳分开, 80°C 烘干至恒重, 称干壳质量和干肉质量(郭海燕等 2005)。

1.2.2 温度实验

水温设置 5 个梯度: 13、18、23、28、33°C, 温度控制采用曹伏君等(2009)的方法, 使用电触点水银温度计、500 W 石英加热管、1 000 W 电子继电器及人工冰袋控制水浴温度。水温按 ±1 °C/4h 的升、降温速率达到各

个预设温度。将实验贝在各个预设温度下驯化养殖 3 d 后,按壳长将皱肋文蛤分为 3 组,每个温度梯度设 3 个重复,每个水槽中放皱肋文蛤 5 个,另设 1 个不放贝的空白对照组。实验开始时,投喂密度为 7.5×10^4 cell/ml 的金藻,用显微镜监测饵料浓度的变化,使其变化幅度为 20%~30%,这样既能产生易于测定的浓度差,又不致因浓度改变太大而影响实验贝在特定浓度下的摄食。实验期间以开口摄食的皱肋文蛤数量作为实验文蛤数,因每个实验贝伸出水管开始摄食的时间有差异,所以取各个贝伸出水管的平均时间点作为实验起始时间。依预实验结果,实验持续 2~3h。为消除皱肋文蛤昼夜摄食差异,实验在上午 9:00 和晚上 21:00 各进行 1 次,取两个时间点的平均值作为该贝最终清滤率。实验前、后分别测定水体中金藻密度。海水盐度 21.3~22.6,pH 7.82~8.24。

1.2.3 盐度实验

盐度设置 5 个梯度,分别为 13、18、23、28、33,当时当地海水盐度为 21,各组盐度梯度是通过向过滤海水中加经曝气的淡水或加人工海水精配制。将实验贝在各个预设盐度下驯化养殖 3 d 后开始实验,实验贝分组、饵料浓度的监测和实验起始时间的设定同 1.2.2。实验期间,海水温度 26.4~27.6℃,pH 7.82~8.24。投喂金藻密度 7.5×10^4 cell/ml。实验持续 2~3h,分别测定实验前、后水体中金藻密度。

1.2.4 pH 实验

根据预实验结果,pH 设置 5 个梯度:7、7.5、8、8.5、9,采用 1 mol/L 的 NaOH 和 1 mol/L 的 HCl 调节海水的 pH,并用酸度计测定 pH。将实验贝在各个预设 pH 下驯化养殖 3 d 后开始实验,实验贝分组、饵料浓度的监测和实验起始时间的设定同 1.2.2。实验期间,海水温度 26.4~27.6℃,盐度 21.3~22.6,投喂金藻密度 7.5×10^4 cell/ml。实验持续 2~3h,分别测定实验前、后水体中金藻密度。

1.2.5 饵料密度实验

根据预实验结果,饵料密度设置 5 个梯度: 2.5×10^4 、 5×10^4 、 7.5×10^4 、 10×10^4 、 12.5×10^4 cell/ml。实验贝分组、饵料浓度的监测和实验起始时间的设定同 1.2.2。实验期间,海水温度 26.4~27.6℃,盐度 21.3~22.6,pH 7.82~8.24。实验持续 2~3h,分别测定实验前、后水体中金藻密度。

1.2.6 清滤率的测定

清滤率的测定采用 Coughlan(1969)提出的公式:

$$FR = V/(W \times t) \times \ln[(C_0 - C_0 \times S_d)/C_t]$$

式中, C_0 、 C_t 分别为实验开始和 t 时间的饵料密度(cell/ml), V 为实验水体积(L), W 为实验中摄食的皱肋文蛤干肉质量, t 为实验持续时间(h), S_d 为对照组饵料的变化系数。

$$S_d = (C_{0d} - C_{td})/C_{0d}$$

式中, C_{0d} 和 C_{td} 分别为对照组实验开始和 t 时间的饵料密度(cell/ml)。

1.2.7 数据分析

实验数据采用平均值(M)±标准差(SD)表示,使用 SPSS 13.0 分析软件对数据进行单因素方差分析(ANOVA),应用 Excel(2003)作图。

2 结果

2.1 温度对皱肋文蛤清滤率的影响

温度梯度实验所用皱肋文蛤的生物学数据见表 1。不同温度条件下皱肋文蛤清滤率如图 1 所示。温度在 13~33℃ 范围内,3 种规格(A、B、C)的清滤率呈现一个峰值变化,清滤率随着温度的升高而增大。温度为 28℃ 时,清滤率均达到最大值,分别为 2.42、1.78、1.06 L/g·h,然后随温度的继续升高清滤率呈急剧下降趋势,经显著性检验,温度的变化对 3 种规格清滤率均产生极显著影响($P < 0.01$)。3 种规格皱肋文蛤在不同温度下清滤

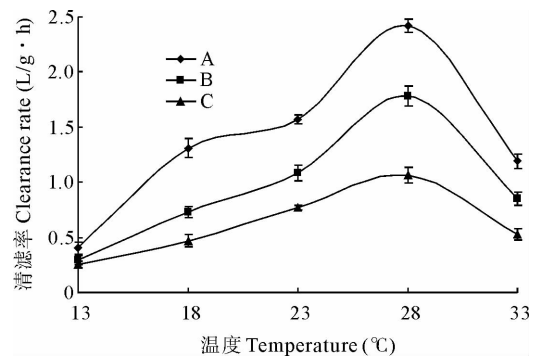


图 1 温度对皱肋文蛤清滤率的影响

Fig. 1 The effects of temperature on clearance rates of *M. lyrata*

率的平均值,小规格为 1.38 L/g·h、中规格为 0.95 L/g·h、大规格为 0.62 L/g·h,方差分析表明,在实验温度范围内,3 种规格的平均清滤率差异极显著($P<0.01$)。

表 1 皱肋文蛤生物学测定(均值±标准差)

Table 1 Biological measurements of *M. lyrata* (means ± SD)

实验组 Group	壳长(mm) Shell length	壳高(mm) Shell height	壳宽(mm) Shell width	干肉质量(g) Dry weight	干壳质量(g) Shell weight	肥满度(%) Rich fitting
A	35.12±1.72	29.22±1.89	21.10±1.32	0.27±0.03	15.74±1.98	1.70±0.13
B	46.43±1.64	39.02±2.01	27.47±1.28	0.53±0.06	20.75±1.36	2.55±0.16
C	55.40±2.15	46.54±2.35	33.13±1.65	1.09±0.07	23.56±1.84	4.62±0.23

2.2 盐度对皱肋文蛤清滤率的影响

盐度梯度实验所用皱肋文蛤的生物学数据见表 2。不同盐度条件下皱肋文蛤清滤率如图 2 所示。盐度在 13~23 范围内,3 种规格(D、E、F)的清滤率随着盐度的升高而增大,当盐度为 23 时,清滤率均达到最大值,分别为 2.31、1.47、0.77 L/g·h,盐度超过 23 时,随盐度的继续升高清滤率呈下降趋势。经显著性检验,盐度的变化对 3 种规格清滤率均产生极显著影响($P<0.01$)。3 种规格皱肋文蛤在不同盐度下清滤率的平均值分别为 1.30、0.82、0.44 L/g·h。方差分析表明,在实验盐度范围内,3 种规格皱肋文蛤清滤率差异极显著($P<0.01$)。

表 2 皱肋文蛤生物学测定(均值±标准差)

Table 2 Biological measurements of *M. lyrata* (means ± SD)

实验组 Group	壳长(mm) Shell length	壳高(mm) Shell height	壳宽(mm) Shell width	干肉质量(g) Dry weight	干壳质量(g) Shell weight	肥满度(%) Rich fitting
D	31.28±1.58	25.84±1.44	18.58±1.66	0.24±0.02	14.02±1.03	1.68±0.14
E	43.90±1.93	34.10±1.82	24.12±1.95	0.47±0.05	18.49±1.12	2.51±0.16
F	53.71±2.05	45.65±1.97	32.23±1.98	1.02±0.07	23.16±1.24	4.55±0.21

2.3 pH 对皱肋文蛤清滤率的影响

pH 梯度实验所用皱肋文蛤的生物学数据见表 3。不同 pH 条件下皱肋文蛤清滤率如图 3 所示。pH 在 7~8 范围内,3 种规格(G、H、I)的清滤率随着 pH 的升高而增大,在 pH 为 8 时,清滤率均达到最大值,分别为 2.02、1.67、1.06 L/g·h,pH 超过 8 时,随着 pH 的继续升高清滤率呈下降趋势,经显著性检验,pH 的变化对清滤率影响极显著($P<0.01$)。3 种规格皱肋文蛤在不同 pH 下清滤率的平均值分别为 1.28、1.05、0.77 L/g·h,方差分析表明,在实验 pH 范围内,3 种规格皱肋文蛤清滤率差异极显著($P<0.01$)。

表 3 皱肋文蛤生物学测定(均值±标准差)

Table 3 Biological measurements of *M. lyrata* (means ± SD)

实验组 Group	壳长(mm) Shell length	壳高(mm) Shell height	壳宽(mm) Shell width	干肉质量(g) Dry weight	干壳质量(g) Shell weight	肥满度(%) Rich fitting
G	31.68±1.87	26.12±1.71	18.70±1.14	0.25±0.01	14.37±1.21	1.73±0.08
H	43.59±1.93	35.76±1.89	25.89±1.91	0.48±0.05	19.86±1.37	2.41±0.15
I	52.37±2.24	43.28±1.47	31.11±1.93	1.02±0.08	23.05±1.45	4.42±0.18

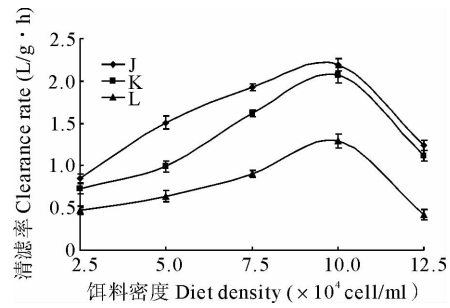
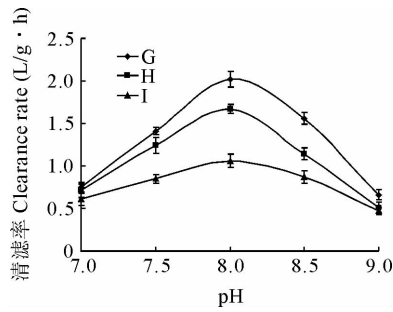
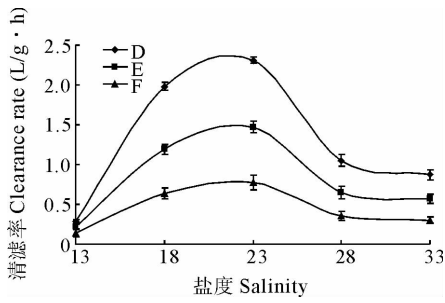


图 2 盐度对皱肋文蛤清滤率的影响

图 3 pH 对皱肋文蛤清滤率的影响

图 4 饵料密度对皱肋文蛤清滤率的影响

Fig. 2 The effect of salinity on the clearance rate of *M. lyrata*

Fig. 3 The effect of pH on the clearance rate of *M. lyrata*

Fig. 4 The effect of diet density on the clearance rate of *M. lyrata*

2.4 饵料密度对皱肋文蛤清滤率的影响

饵料密度梯度实验所用皱肋文蛤的生物学数据见表 4。如图 4 所示,密度在 $2.5 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$ cell/ml 范围内,3 种规格(J、K、L)的清滤率随着密度的升高而增大,密度为 10×10^4 cell/ml 时,清滤率均达到最大值,分别为 2.19、2.07、1.29 L/g·h,然后随密度的继续升高清滤率呈下降趋势,经显著性检验,表明密度的变化对皱肋文蛤清滤率影响极显著($P < 0.01$)。3 种规格皱肋文蛤在不同密度下清滤率的平均值分别为 1.54、1.31、0.74 L/g·h。方差分析表明,在实验饵料密度范围内,3 种规格的平均清滤率差异极显著($P < 0.01$)。

3 讨论

在研究滤食性贝类摄食生理的过程中,用于描述贝类滤水能力的参数,许多学者看法不一。有些学者使用滤水率(Filtration rate),有些学者采用清滤率/滤除率(Clearance rate)。对贝类滤水能力的参数单位的使用也存在分歧,例如, $\mu\text{l}/\text{min}$ 、 $\text{ml}/\text{g} \cdot \text{h}$ 、 $\text{ml}/\text{ind} \cdot \text{h}$ 、 $\text{L}/\text{ind} \cdot \text{h}$ 和 $\text{L}/\text{g} \cdot \text{h}$ 都有使用(董波等 2000a)。作者采用清滤率表示皱肋文蛤的滤水能力,使用国际上常用的参数单位 $\text{L}/\text{g} \cdot \text{h}$ 作为清滤率单位。

温度是影响海洋贝类清滤率的重要生态因子,滤食性贝类摄食主要依靠鳃丝的上前纤毛、侧前纤毛和前后纤毛的运动组合来完成,其中侧前纤毛是产生水流的主要动力,其摆动的频率与温度成正比,这是导致清滤率变化的主要原因(董波等 2000b; Bernard 1973)。此外,温度的升降引起海水的粘滞性发生变化从而导致清滤率的变化(Jørgensen *et al.* 1990)。本实验中,在 $13 \sim 33^\circ\text{C}$ 范围内,皱肋文蛤的清滤率随温度的升高而增大,达到最大值后,温度升高,清滤率降低,此规律与其他学者对滤食性贝类的研究结果类似(Schulte 1975; 潘鲁青等 2002);3 种规格的皱肋文蛤在不同温度下的平均清滤率差异显著,中、小规格的皱肋文蛤清滤率比大规格的清滤率高,表明在适宜的温度范围内,中、小规格贝摄食更为旺盛,滤水能力更强,这一结果支持了陈丽梅等(2007)对菲律宾蛤仔的研究结论;28℃时,3 种规格的皱肋文蛤的清滤率均达到最大值,表明 28℃左右是该贝最适宜摄食温度范围,作者以前的研究结果表明该贝最适生存和生长温度为 $27 \sim 30^\circ\text{C}$ (栗志民等 2010),本研究支持了以前的结论。

表 4 皱肋文蛤的生物学测定(均值±标准差)

Table 4 Biological measurements of *M. lyrata* (means ± SD)

实验组 Group	壳长(mm) Shell length	壳高(mm) Shell height	壳宽(mm) Shell width	干肉质量(g) Dry weight	干壳质量(g) Shell weight	肥满度(%) Rich fitting
J	32.65±1.22	27.23±1.14	19.39±1.03	0.24±0.03	14.89±1.03	1.65±0.04
K	43.12±1.25	36.42±1.20	25.53±1.05	0.43±0.06	19.18±1.07	2.57±0.05
L	54.08±1.28	45.92±1.26	32.58±1.06	1.06±0.08	23.22±0.09	4.56±0.07

盐度作为海洋生态系统的重要生态因子之一,决定着海洋贝类的生存与分布,影响着贝类的摄食生理活动。许多研究表明,盐度对贝类的清滤率影响显著,表现为清滤率随盐度由低到高先增大后减小的趋势,在最

适盐度下,贝类清滤率较大(Navarro *et al.* 1988;吴桂汉等 2002;杨晓新等 2000)。本实验也证实了这一结论,盐度为18~23时,3种规格皱肋文蛤清滤率均较高,在较低盐度13和较高盐度28、33时,清滤率反而较低,表明该贝最适滤食的盐度范围为18~23,作者以前的研究表明,该贝最适存活和生长的盐度为19~23(栗志民等 2010),与本研究结果基本吻合。此外,在高盐端23~33时,皱肋文蛤清滤率急剧下降,变化幅度明显强于低盐端(13~23),表明皱肋文蛤清滤率对较高盐度反应更敏感。作者以前的研究表明,该贝养殖区宜选择在低潮区,避免选择在河口海水盐度较低的海区和浅海盐度较高的海区(栗志民等 2010),本研究支持这一结论。与大规格皱肋文蛤相比,中、小规格皱肋文蛤在不同盐度下的平均清滤率较高,而且,中、小规格的皱肋文蛤清滤率的变化幅度也较明显,表明了中、小规格皱肋文蛤不仅具有较高的摄食活动频率,而且表现出较强的盐度敏感性,该结果与陈丽梅等(2007)的结果相似。

近岸海水的pH受多种因素的影响,诸如赤潮、淡水注入、工业废水等都能够导致局部海水pH的改变。pH对贝类滤水能力具有显著的影响,在最适的pH范围内,贝类表现出较高清滤率,超出该范围,随pH的升降,清滤率降低,表现出明显不适应性(Bamber 1990;Harris 1999)。本研究证实了这个结论,3种规格皱肋文蛤的清滤率随pH的升高而增大,pH为8时达到最大值,表明皱肋文蛤适宜摄食的pH范围在8左右,在较低pH7和较高pH9时,皱肋文蛤清滤率均较低。中、小规格皱肋文蛤对海水pH的敏感性高于大规格,清滤率变化幅度较大,这与潘鲁青等(2002)、Bamber(1987)和袁有宪等(2001)对其他贝类的研究结果相似;从3种规格皱肋文蛤在不同pH值下的平均清滤率来看,中、小规格的清滤率明显高于大规格的清滤率,证实中、小规格皱肋文蛤具旺盛的摄食率。

投喂饵料的密度影响着滤食性贝类的摄食行为和摄食生理(Barillé *et al.* 1997;Ellis *et al.* 2002;Velasco *et al.* 2003),在适宜的藻类密度范围内,随着密度的增加,清滤率增大,超过一定的范围,清滤率下降(王芳等 1998;杜美荣等 2009)。当水体中饵料密度过高时,如果贝类仍以较高清滤率摄食,必然产生假粪,而假粪的排除也是一种耗能行为。此外,过高密度颗粒会损伤贝类的鳃丝(宋强等 2006)。在过高的饵料密度下,贝类一般会通过降低清滤率来减少高密度颗粒对鳃丝的损伤以及降低假粪的排除带来的能量消耗(孙儒泳等 1993)。本研究结果支持上述结论,饵料密度在 $2.5 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$ cell/ml范围内,大、中、小规格皱肋文蛤清滤率均随着密度的升高而增大;密度为 10×10^4 cell/ml时,清滤率达到最大值;随饵料密度继续升高,皱肋文蛤清滤率急剧下降。在实验饵料密度范围内,不同饵料密度下的中、小规格皱肋文蛤平均清滤率显著高于大规格,而中、小规格的清滤率差异不显著,表明饵料密度对中、小规格皱肋文蛤清滤率产生显著影响,且敏感性反应相似。

参 考 文 献

- 王芳,董双林,张 颖. 1998. 藻类浓度对海湾扇贝和太平洋牡蛎滤除率的影响. 海洋科学, 22(4):1~3
- 王 慧,房 斌,周 凯,李长松,么宗利,来琦芳,庄 平,夏连军. 2008. 不同藻类及浓度对青蛤滤水率的影响. 海洋渔业, 30(1):92~96
- 孙儒泳,李 博,诸葛阳,尚玉昌. 1993. 普通生态学. 北京:高等教育出版社,13~24
- 杜美荣,方建光,葛长宇,毛玉泽,于守团,燕敬平,李 锋. 2009. 盐度和饵料密度对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响. 渔业科学进展, 30(3):74~78
- 杨晓新,林小桃,计新丽,许忠能,黄长江. 2000. 温度、盐度和光照条件对翡翠蛤滤水率的影响. 海洋科学, 24(6):36~39
- 吴桂汉,陈品健,江瑞胜,杨圣云,沈锦兰. 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
- 宋 强,方建光,刘 慧,张继红,王玲玲,王 巍. 2006. 沉积再悬浮颗粒物对3种滤食性贝类摄食生理的影响. 海洋水产研究, 27(4):21~28
- 陈丽梅,任一平,徐宾铎. 2007. 环境因子对胶州湾移植底播菲律宾蛤仔滤水率的影响. 南方水产科学, 3(2):30~35
- 袁有宪,陈聚法,陈碧鹏,曲克明,过 锋,李秋芬,崔 毅. 2000. 栉孔扇贝对环境变化适应性研究—盐度、pH对存活、呼吸、摄食和消化的影响. 中国水产科学, 7(4):73~77
- 栗志民,刘志刚,姚 茹,骆城金,颜俊飞. 2010. 温度和盐度对皱肋文蛤幼贝存活与生长的影响. 生态学报, 30(13):3406~3413
- 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. 海洋科学, 29(8):1~3
- 曹伏君,刘志刚,罗正杰. 2009. 海水温度和盐度对文蛤稚贝生长及存活的影响. 应用生态学报, 20(10):2545~2550
- 董 波,薛钦昭,李 军. 2000b. 温度对菲律宾蛤仔滤食率、清滤率和吸收率的影响. 海洋水产研究, 21(1):37~41
- 董 波,薛钦昭,李 军. 2000a. 滤食性贝类摄食生理的研究进展. 海洋科学, 24(7):31~34

- 蔡英亚,谢绍河. 2006. 广东的海贝. 汕头:汕头大学出版社,344~345
- 潘鲁青,范德朋,马 牲,董双林. 2002. 环境因子对缢蛭滤水率的影响. 水产学报,26(3):226~230
- Bamber, R. N. 1990. The effects of acidic seawater on three species of lamellibranch mollusk. *Journal of Experimental Marine Ecology*, 143(3): 181~191
- Bamber, R. N. 1987. The effects of acidic seawater on young carpet-shell clams *Venerupis decussate*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 108: 241~260
- Barillé, L., Prou, J., Héral, M., and Razet, D. 1997. Effect of high natural seston concentration on the feeding selection and absorption of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 212(2): 149~172
- Bernard, F. R. 1973. Nutrition of *Crassostrea gigas* (Thunber, 1795): an aspect of estuarine energetics. London, Ph. D. Thesis, 488
- Coughlan, J. 1969. The estimation of filtering rate from the clearing of suspension. *Marine Biology*, 2(4): 356~385
- Ellis, J., Cummings, V., Hewitt, J., Thrush, S., and Norkko, A. 2002. Determining effects of suspended sediment on condition of a suspension feeding bivalve (*Atrina zelandica*): results of a survey, a laboratory experiment and a field transplant experiment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 267(2): 147~174
- Hao, N. V., Hung, N. D., Thanh, P. C., Minh, T. Q., and Tung, N. T. 2000. Environmental parameters, biology and stocks of *Meretrix lyrata* in the Mekong delta, Vietnam. // Proceedings of the 10th International Congress and Workshop of the Tropical Marine Mollusc Programme. Phuket; Phuket Marine Biological Center, 2(1):272~273
- Harris, J. O. 1999. Effect of pH on growth rate, oxygen consumption rate, and histopathology of gill and kidney tissues for juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* Donovan and blacklip abalone, *Haliotis rubra* Leach. *Journal of Shellfish Research*, 8(2): 611~619
- Heip, C. H. R., and Goose, N. K. 1995. Production and consumption of biological particle in temperate tidal estuaries. *Annual Review Ocean Marine Biology*, 33: 1~149
- Jørgensen, C. B., Larsen, P. S., and Riisgard, H. U. 1990. Effects of the temperature on the mussel pump. *Marine Ecology Progress Series*, 64: 89~97
- Luc, N. T., and Thoa, N. V. 2003. Chemical composition and nutrient value lyrate hard clam *Meretrix lyrata*. *Fisheries Review*, 4: 14~16
- Navarro, J. M. 1988. The effect of salinity on the physiological ecology of *Choromytilus chorus* (Molina, 1782). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 122: 19~33
- Nugegoda, D., Phuong, P., Nguyen, D., and Chu, P. 2009. Bioaccumulation and depuration of complexed and uncomplexed trace metals by the Asian clam *Meretrix lyrata* from Vietnam. Goteborg; 2009 Annual Meeting of the UK Branch of the Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC 2009)
- Schulte, E. H. 1975. Influence of algal concentration and temperature on the filtration rate of *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, 30(4): 331~341
- Thom, P. V., and Tuan, V. S. 1999. Preliminary studies on the relationship between environmental conditions and distribution of some bivalves in the coastal waters of South Vietnam. // Proceedings of the Ninth Workshop of the Tropical Marine Mollusc Programme (TMMP). Phuket; Phuket Marine Biological Center, 19(1): 249
- Tri, N. N., and Lin, C. K. 1999. Mollusc culture system and environmental conditions in Can Gio District, Ho Chi Minh City, Vietnam. // Proceedings of the Ninth Workshop of the Tropical Marine Mollusc Programme. Phuket; Phuket Marine Biological Center, 19(1): 185~190
- Velasco, L. A., and Navarro, J. M. 2003. Energetic balance of infaunal (*Mulinia edulis* King, 1831) and epifaunal (*Mytilus chilensis* Hupé, 1854) bivalves in response to wide variations in concentration and quality of seston. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 296(1): 79~92