

## 盐度和饵料密度对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响

杜美荣<sup>1,2</sup> 方建光<sup>1\*</sup> 葛长宇<sup>2</sup> 毛玉泽<sup>1</sup> 于守团<sup>3</sup> 燕敬平<sup>1</sup> 李 锋<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(<sup>2</sup>中国海洋大学水产学院, 青岛 266003)

(<sup>3</sup>青岛红岛蛤原良种有限公司, 266114)

**摘要** 采用静水法研究了恒定温度(24±0.5℃)、饵料密度(3.0×10<sup>4</sup> cell/ml)、不同盐度(20、25、30和35)和恒定温度(24℃±0.5℃)、盐度30、不同饵料密度梯度(3.0×10<sup>4</sup>、4.5×10<sup>4</sup>和6.0×10<sup>4</sup> cell/ml)对栉孔扇贝稚贝(壳长1.177~2.017 mm)滤水率的影响。结果表明,栉孔扇贝稚贝的滤水率(FR<sub>S</sub>)开始随着盐度的升高而升高,在25~30之间存在最大值,然后随盐度的升高而下降,与盐度(S)间的相关关系为 $FR_S = -30.893S^2 + 1691.5S - 19610$  ( $r = 0.847$ ,以整体干重计算)或 $FR_S = -0.022S^2 + 1.2236S - 14.522$  ( $r = 0.928$ ,以个体数量计),通过公式推算在盐度27.8时FR<sub>S</sub>达到最大值,为3.54 L/g·dw·h(2.49×10<sup>-3</sup> L/h·ind);投饵密度(Q)对栉孔扇贝稚贝的滤水率(FR<sub>Q</sub>)有显著影响( $P < 0.05$ ),二者之间的相关关系为 $FR_Q = -0.0693Q^2 + 0.6484Q - 1.0835$  ( $r = 0.722$ ),其变化趋势亦呈现先升高后下降的抛物线趋势,推算金藻密度为4.7×10<sup>4</sup> cell/ml时滤水率最大,为0.43×10<sup>-3</sup> L/h·ind。

**关键词** 栉孔扇贝 稚贝 滤水率 盐度 饵料密度

**中图分类号** S968.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2009)03-0074-05

## Effects of salinities and microalgae densities on filtration rates of scallop *Chlamys farreri* spats

DU mei-rong<sup>1,2</sup> FANG Jian-guang<sup>1\*</sup> GE Chang-zi<sup>2</sup> MAO Yu-ze<sup>1</sup>  
YU Shou-tuan<sup>3</sup> YAN Jing-ping<sup>2</sup> LI Feng<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(<sup>2</sup> Ocean University of China, Qingdao 266003)

(<sup>3</sup> Hongdao Clam Original and Eugenic Breed Development Co. Ltd, Qingdao 266114)

**ABSTRACT** At temperature 24±0.5℃, the filtration rates of scallop *Chlamys farreri* spats (1.177~2.017 mm in shell length) were determined at different salinities (20, 25, 30, 35) when microalgae density was 3.0×10<sup>4</sup> cell/ml and different density of microalgae (*Dicrateria zhanjiangensis*) (3.0×10<sup>4</sup> cell/ml, 4.5×10<sup>4</sup> cell/ml, 6.0×10<sup>4</sup> cell/ml) when salinity was 30, u

国家 863 计划项目(2006AA100304、2006AA100307 和 2006AA10Z414)、贝类行业专项(nyhyzx07-047)和国家重点基础研究发展规划(973)项目(2006CB400608) 共同资助

\* 通讯作者。E-mail:fangjg@ysri.ac.cn

收稿日期:2008-03-19;接受日期:2008-05-06

作者简介:杜美荣(1982-),女,硕士研究生,主要从事海水生物繁育与养殖生态容纳量研究。E-mail:dumeirong622@163.com

sing static water method. The relationship between the filtration rate ( $FR_S$ ) and the salinity ( $S$ ) can be expressed by  $FR_S = -30.893S^2 + 1691.5S - 19610$  ( $r = 0.847$ ) (calculated by whole dry weight),  $FR_S = -0.022S^2 + 1.2236S - 14.522$  ( $r = 0.928$ , calculated by individual quantity). We estimated that at the salinity of 27.8, the filtration rate reached the maximum value,  $3.54\text{L/g} \cdot \text{dw} \cdot \text{h}$  ( $2.49 \times 10^{-3} \text{L/h} \cdot \text{ind}$ ). The filtration rate of the scallop spats increased with the salinity when the salinity was lower than 27.8 and decreased when it was more than 27.8. Feeding rate had significant influence on the filtration rates of the scallop ( $P < 0.05$ ). When fed with *D. zhanjiangensis* at in the concentrations of  $3.0 \times 10^4$  cell/ml,  $4.5 \times 10^4$  cell/ml,  $6.0 \times 10^4$  cell/ml, the filtration rate of the scallop spats increased and then decreased in a parabolic trend. It was estimated that the highest filtration rate ( $0.43 \times 10^{-3} \text{L/h} \cdot \text{ind}$ ) could be reached when the density was  $4.7 \times 10^4$  cell/ml. The relationship between the filtration rate ( $FR_Q$ ) and the microalgae density ( $Q$ ) was  $FR_Q = -0.0693Q^2 + 0.6484Q - 1.0835$  ( $r = 0.722$ ).

**KEY WORDS** *Chlamys farreri* Spat Filtration rate Salinity  
Microalgae density

栉孔扇贝 *Chlamys farreri*, 隶属于软体动物门, 瓣鳃纲, 异形亚纲, 珍珠贝目, 扇贝科。广泛分布于我国辽宁、山东沿海, 其营养丰富, 氨基酸总含量占闭壳肌干重的 78.21% (王如才等 1989)。它是我国北方主要海水养殖贝类之一, 在海水养殖业中占有十分重要的地位 (魏利平 2000)。

栉孔扇贝滤水率的研究是贝类基础生理生态学研究的重要内容, 也是贝类能量学研究中的重要基本参数, 同时, 在栉孔扇贝苗种生产中, 掌握稚贝的摄食对人工育苗的关键技术具有一定的现实意义, 可为栉孔扇贝稚贝人工培育过程中掌握投饵原则提供必要的科学依据。而摄食与贝类的滤水率密切相关。滤水率是贝类的重要生理生态指标之一, 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很多 (董波等 2000; 高如承 2007; 郭海燕等 2005; 罗彩林等 2005; 包永波等 2006), 盐度、饵料浓度等都会对其产生影响。关于栉孔扇贝成贝滤水率的研究很多 (匡世煊等 1996; 周毅等 2002; 袁有宪等 2001), 但对稚贝的滤水率的研究尚未见报道。本文研究了不同的盐度、饵料密度对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响, 以为栉孔扇贝苗种生产的科学管理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验在青岛红岛蛤原良种开发有限公司实验室进行, 所用稚贝为该公司春季升温培育苗种。实验用海水与育苗用水相同, 为砂滤海水, 与充分曝气后的淡水或粗盐配制不同盐度海水, 经脱脂棉过滤后备用, 自然海水的盐度为 28~30, pH 值为 7.82~8.20。稚贝饵料为湛江叉鞭金藻 *Dicrateria zhanjianensis*。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 饵料浓度的测定和滤水率的计算

实验采取微充气, 使水面仅见微气泡为宜, 以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, 同时又不至于将幼虫粪便搅起而影响计数的准确性。

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 0.5ml, 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量减去空

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,用显微镜或游标卡尺测量壳长和壳高。将盐度对稚贝滤水率的影响实验用稚贝在65℃烘干至恒重,计算单位干重滤水率。

用  $FR = V(\ln \frac{C_0}{C_1} - \ln \frac{C_1}{C_2}) / Wt$  (Coughlan 1969) 计算滤水率。其中,  $V$  为实验水体(ml);  $W$  是稚贝的整体干重(g)(由于稚贝太小,不方便测定软组织干重);  $t$  实验持续时间(h);  $C_0$  和  $C_1$  分别是实验开始和结束时的饵料浓度(cell/ml);  $C_1$  和  $C_2$  分别是实验开始和结束时空白对照瓶中饵料浓度(cell/ml)。

### 1.2.2 盐度对稚贝滤水率的影响

实验用1000 ml的烧杯,在恒温光照培养箱中进行,实验温度为  $24 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , pH 为 7.9~8.0,稚贝规格  $2.017 \pm 0.177\text{mm}$ 。投喂金藻密度为  $3.0 \times 10^4$  cell/ml,实验初和实验进行3h后测定容器内饵料颗粒浓度。实验设置4个盐度梯度:20、25、30和35,每个盐度3个平行1个空白,每个烧杯放稚贝100个。

### 1.2.3 投喂密度对稚贝滤水率的影响

设置金藻的投喂密度水平为  $3.0 \times 10^4$ 、 $4.5 \times 10^4$  和  $6.0 \times 10^4$  cell/ml(指饵料进入实验容器后所达到的饵料密度),每个浓度3个平行,1个空白,每个烧杯放稚贝100个。

实验温度为  $24 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , pH 值 7.9~8.0,实验期间盐度30,稚贝规格  $1.177 \pm 0.116\text{mm}$ ,实验以稚贝壳张开时开始计时,1.25 h后测定容器内饵料颗粒浓度。

### 1.2.4 统计分析

实验数据采用SPSS统计软件进行方差分析, $P < 0.05$ 时认为差异显著。

## 2 结果

### 2.1 盐度对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响

盐度在20~35之间时,栉孔扇贝稚贝的滤水率呈抛物线形式变化(图1和图2)。方差分析表明,盐度对栉孔扇贝稚贝的滤水率有显著影响( $P < 0.05$ ),滤水率( $FR_S$ )与盐度( $S$ )间的关系为  $FR_S = -30.893S^2 + 1691.5S - 19610$  ( $r = 0.847$ ,以整体干重计算);如以稚贝个数计算,则可表示为  $FR_S = -0.022S^2 + 1.2236S - 14.522$  ( $r = 0.928$ ,以个体数量计)。由方程推算得出在实验盐度范围内,盐度20时滤水率最低,为  $1.86 \text{ L/g} \cdot \text{dw} \cdot \text{h}$  ( $1.15 \times 10^{-3} \text{ L/h} \cdot \text{ind}$ );盐度为27.8时滤水率达到最大,  $3.54 \text{ L/g} \cdot \text{dw} \cdot \text{h}$  ( $2.49 \times 10^{-3} \text{ L/h} \cdot \text{ind}$ );低于该盐度,滤水率随盐度升高而升高;高于该盐度,随盐度升高而下降。

### 2.2 投喂密度对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响

在实验饵料密度范围内( $3.0 \times 10^4$ 、 $4.5 \times 10^4$ 和 $6.0 \times 10^4$  cell/ml),随投喂密度的增加,栉孔扇贝稚贝的滤水率呈先升高后下降的抛物线趋势(图3)。方差分析表明,投饵密度对栉孔扇贝稚贝的滤水率有显著的影响( $P < 0.05$ )。滤水率( $FR_Q$ )与投饵密度( $Q$ )间的关系为  $FR_Q = -0.0693Q^2 + 0.6484Q - 1.0835$  ( $r = 0.722$ )。由此推算得到在  $4.7 \times 10^4$  cell/ml的金藻密度下有最大滤水率为  $0.43 \times 10^{-3} \text{ L/h} \cdot \text{ind}$ 。

## 3 讨论

### 3.1 盐度对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响

贝类是变渗透压动物,在不同盐度环境下生长的贝类,其渗透压是不同的,和其他广盐性水生生物一样要消耗大量的能量用于维持渗透压调节机制(陈政强等 2000;孙儒泳 2007)。不适的盐度影响贝类的附着力,影响鳃纤毛的运动以及心脏的跳动等(王如才等 1993),说明渗透压机制的维持要消耗生物能量,影响能量的分配。本实验中,栉孔扇贝稚贝的滤水率在实验设定的盐度范围内呈抛物线变化,由盐度-滤水率回归方程推算的盐度为27.8达到滤水率的最大值,这与有关蛤仔成贝(40.70~44.80 mm)的摄食率在盐度25时达到最大(吴桂汉等 2002)和Kyoung(2007)关于魁蚶稚贝的滤水率随着盐度的升高是增大的,在盐度40时有最大

的滤水率,最大滤水率为  $2.62 \pm 0.21 \text{ L/g} \cdot \text{h}$  相一致,而与盐度影响缢蛭摄食的结果不同,盐度在  $6 \sim 30$  时,随盐度的升高,缢蛭的滤水率亦逐渐增加(潘鲁青等 2002)。本研究结果和以上几位学者的研究结果存在差异的原因有以下几点:(1)实验材料的不同,作者采用的是栉孔扇贝稚贝,而他们的种类均是滩涂贝类(缢蛭和魁蚶),(2)实验方法的不同:虽然采用相同的公式,但是后者的实验没有采用饵料,而是采用一种染料,采用分光光度计方法测定,作者则采用颗粒计数法。袁有宪等(2001)的研究表明,栉孔扇贝成贝适宜盐度应在 25 以上,个体较小的贝较个体较大的贝耐低盐能力略强些。本研究得出稚贝最大滤水率时的盐度为 27.8,与袁有宪等(2001)的结论十分吻合。本次苗种及稚贝的培育均在室内,实验场在实验期间的盐度在 28 左右,实验贝类适应了这一环境因素,即在该特定的时空范围内,栉孔扇贝稚贝的等渗点在盐度为 28 左右。在该盐度水平(28)附近,稚贝无须消耗更多的能量或是分配更多的能量用于渗透压调节,可能会采取更多的能量用于摄食,因此在等渗点附近的滤水率最高。而在其他盐度水平时,更多的能量将用于渗透压调节或是采取行为避让机制,来适应胁迫。如盐度过高或过低引起了栉孔扇贝体内渗透压变化,关闭了贝壳导致其为保护机体免受伤害(Navarro 1988),滤水率下降。

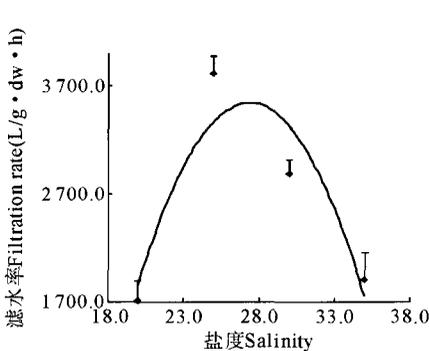


图1 盐度对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响(以稚贝整体干重计)

Fig. 1 Effects of salinity on filtration rates of *C. farreri* spats (calculated by whole dry weight)

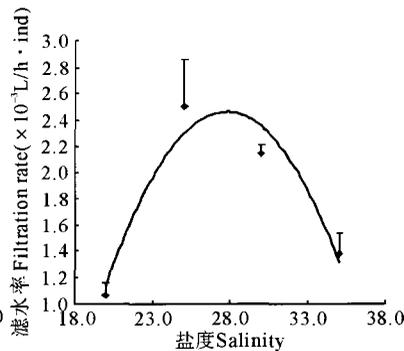


图2 盐度对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响(以个体数量计)

Fig. 2 Effects of salinity on filtration rates of *C. farreri* spats (calculated by individual quantity)

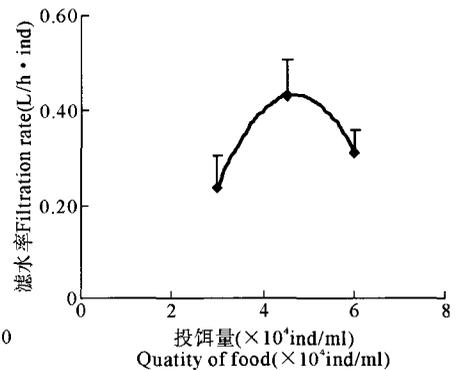


图3 投饵量对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响

Fig. 3 Effects of microalgae densities on filtration rates of *C. farreri* spats

### 3.2 投喂密度对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响

饵料密度是影响滤食性贝类摄食生理的关键因子之一,在适宜的藻类浓度范围内,随浓度增加,滤水率增大;超过一定的范围,随浓度增加,滤水率下降(王芳等 1998)。对应滤水率峰值的饵料浓度因贝类种类和饵料种类差异而不同,王芳等(1998)认为,以新月菱形藻饲喂太平洋牡蛎,在饵料浓度高于  $1.0 \times 10^4 \text{ cell/ml}$  时太平洋牡蛎的滤水率随饵料浓度的增加而降低。关于饵料密度对栉孔扇贝稚贝滤水率影响的研究尚未有报道。本文据实验数据拟合出的曲线表明,稚贝的滤水率峰值出现在金藻浓度为  $4.7 \times 10^4 \text{ cell/ml}$  时,处在常见范围内(罗彩林 2005;王芳等 1998)。实际上,饵料也是一种悬浮颗粒物,其密度也会影响贝类摄食行为和摄食生理(Barillé *et al.* 1997; Ellis *et al.* 2002; Velasco *et al.* 2003),当浓度过高时,如果仍以高滤水率摄食,必然产生假粪,而假粪的排除也是一种耗能行为;此外,过高的颗粒物浓度会损伤贝类的鳃丝(宋强等 2006)。动物一般会通过避让机制来抵制不良环境因素的胁迫(孙儒泳等 1993),当饵料浓度(高于  $4.7 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )成为稚贝生理活动的胁迫时,贝类会通过降低滤水率,以降低鳃丝被损伤和用于通过排除假粪而消耗能量的机会成本。

实验结果表明,盐度和饵料密度都显著影响栉孔扇贝稚贝的滤水率,而且每种影响因子所对应的滤水率变化曲线(滤水率-盐度变化曲线和滤水率-饵料密度变化曲线)都呈典型的倒钟型,这和一般意义上的生物对生态因子的耐受曲线一致(孙儒泳等 1993)。由于实验所取的各因素水平较少,所以尚未确定栉孔扇贝稚贝在

上述环境中的耐受幅度。此外影响贝类滤水率的因素很多(潘鲁青等 2002;吴桂汉等 2002;王芳等 1998),本文仅讨论了单因子(盐度和投喂密度)对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响,而没有考虑二者间可能的交互效应。耐受幅度的大小,是否存在交互效应以及交互效应的大小,将是我们下一步工作的重点,以探讨在不同的投喂密度和盐度水平时,更为科学的稚贝投喂管理策略。

## 参 考 文 献

- 王芳,董双林,张硕. 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, 4: 1~3
- 王如才,楼伟凤,徐家敏,王远红,沈海林,王昭萍. 1989. 栉孔扇贝氨基酸组分含量的比较研究. 青岛海洋大学学报, 12~19
- 王如才,王昭萍,张建新. 1993. 海水贝类养殖学. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 155~197
- 王玲玲,方建光. 2006. 栉孔扇贝秋季苗种的培育及生长发育和摄食生理生态的初步研究. 见: 中国海洋大学硕士论文集, 13~14
- 方建光,孙慧玲,匡世焕,梁兴明,牛锡端,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
- 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
- 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
- 孙儒泳. 2007. 动物和水的关系. <http://www.eedu.org.cn/Article/ecology/ecologyth/living/200706/14319.html>
- 匡世焕,方建光,孙慧玲,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
- 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
- 吴桂汉,陈品健. 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
- 陈政强,陈昌生. 2000. 盐度对中国龙虾存活、生长的影响. 集美大学学报, 5(1): 31~36
- 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
- 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
- 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
- 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,孙慧玲,骆轩,罗彩林. 2007. 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,陈碧娟,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
- 董波,薛钦昭,李军. 2000. 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): 37~42
- 董波,薛钦昭,李军. 2000. 滤食性贝类摄食生理的研究进展. 海洋科学, 24(7): 31~34
- 黎辉,金启增. 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
- 潘鲁青,范德朋. 2002. 环境因子对缢蛏滤水率的影响. 水产学报, 26(3): 226~230
- 魏利平. 2000. 山东省扇贝养殖现状及持续发展的技术措施. 齐鲁渔业, 17(2): 21~23
- Barillé, L., Prou, J., Héral, M. *et al.* 1997. Effect of high natural seston concentration on the feeding selection and absorption of oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 212: 149~172
- Coughlan. 1969. The estimation of filtering rate from the clearance of suspensions. Mar. Biol. 2: 356~358
- Ellis, J., Cummings, V., Hewitt, J. *et al.* 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. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 267: 147~174
- Kyoung Ho Kang, Hae-Joong Park, Young Hun Kim, Seung Cheon Seon and Bin Zhou. 2007. Filtration and oxygen consumption rates on various growth stages of *Scapharca broughtonii* spat. Aquaculture Research, 1~5
- Navarro J. M. 1988. The effects of salinity on the physiological ecology of *Choromytilus chorus* (Molina, 1782) (Bivalvia: Mytilidae). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 122: 19~33
- Velasco, L. A., and Navarro, J. M. 2003. Energetic balance of infaunal (*Mulinia edulis* King, 1831) and epifaunal (*Mytilus chilensis* Hup, 1854) bivalves in response to wide variations in concentration and quality of seston. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 296: 79~92