

## 虾夷扇贝的摄食生理研究

徐 东<sup>1,2</sup> 张继红<sup>2\*</sup> 王文琪<sup>1</sup> 董美涛<sup>1</sup> 王 忠<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>青岛农业大学动物科技学院, 266109)

(<sup>2</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)

**摘 要** 在实验室条件下, 采用静水法测定了温度、体重对虾夷扇贝摄食率的影响。分别对 5、10、15、20、25 °C 5 个温度梯度下, A、B、C、D、E 5 个规格虾夷扇贝的摄食率进行了测定。实验结果表明, 软体部干重对虾夷扇贝的摄食率影响显著 ( $P < 0.05$ ), 且相关回归分析表明, 体重 ( $X$ ) 与摄食率 ( $Y$ ) 呈正相关幂指数关系:  $Y = aX^b$ 。扇贝个体吸收率随着体重的增加而减小, 但是不同规格扇贝吸收率差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 在实验温度 5~25 °C 范围内, 温度对虾夷扇贝的摄食率和吸收率影响极显著 ( $P < 0.01$ ), 温度 ( $T$ ) 与摄食率之间的相关方程为:  $FR = b_0 + b_1 T + b_2 T^2 + b_3 T^3$ , 虾夷扇贝最大摄食率的温度值为 15 °C, 最大吸收率的温度值为 10 °C。

**关键词** 虾夷扇贝 温度 体重 摄食率 吸收率

**中图分类号** S968.32 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2010)04-0085-07

## Research on feeding physiology of scallop *Patinopecten yessoensis*

XU Dong<sup>1,2</sup> ZHANG Ji-hong<sup>2\*</sup> WANG Wen-qi<sup>1</sup> DONG Mei-tao<sup>1</sup> WANG Zhong<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Animal Science Institute, Qingdao Agricultural University, 266109)

(<sup>2</sup>Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266701)

**ABSTRACT** The experiment was carried out under laboratory conditions to study the effects of temperature and body weight on feeding rate of scallop *Patinopecten yessoensis*. The feeding rate of the scallop of 5 levels of dry tissue weight was determined at temperatures of 5, 10, 15, 20 and 25 °C. The results showed that the feeding rate of *P. yessoensis* was affected significantly by temperature and body weight ( $P < 0.05$ ). The relationship between feeding rate and temperature or dry tissue weight can be described as  $FR = b_0 + b_1 T + b_2 T^2 + b_3 T^3$  and  $Y = aX^b$ . The assimilation efficiency of *P. yessoensis* was affected significantly by temperature ( $P < 0.01$ ), but not significantly by dry tissue weight ( $P > 0.05$ ). The maximum feeding rate of *P. yessoensis* occurred at 15 °C, and the maximum assimilation efficiency was found at 10 °C.

**KEY WORDS** *Patinopecten yessoensis* Temperature Dry tissue weight  
Feeding rate Assimilation efficiency

国家 973 课题(2006CB400608)、国家科技支撑(2006BAD09A10, 2006BAD09A02)、贝类行业专项(nyhyzx07-047-贝类)和山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(2006BS08012)共同资助

\* 通讯作者。E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2010-03-24; 接受日期: 2010-04-12

作者简介: 徐 东(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事养殖生态学研究。E-mail: xudong2008.happy@163.com

虾夷扇贝 *Patinopecten yessoensis* 为冷水性贝类,自 20 世纪 80 年代开始引入我国后,已经在我国北部的辽宁、山东等海域形成了较大的养殖规模,年产量约 6 万 t,成为我国北方的主要养殖品种之一,养殖方式以筏式养殖和底播养殖为主。

在海洋生态系统中,滤食性贝类通过滤水作用摄取海洋中的浮游植物和有机碎屑。摄食率(Feeding rate, FR)是反映滤食性贝类生理状态的一项动态指标(包永波等 2006),是贝类能量收支的一个重要方面,它直接受贝类所处环境生物和非生物因素的影响。国内外对滤食性贝类摄食生理生态的研究报道很多,如海水的温度(王芳等 2000;潘鲁青等 2002)、盐度(Palmer 1980;Navarro 1988;吴桂汉等 2002)、pH(Harris 1999;袁有宪等 2001)、流速(Bamber 1987)以及饵料的结构和浓度(Newell *et al.* 2001)对摄食生理的影响。但是目前关于虾夷扇贝摄食生理的研究报道较少(Shumway *et al.* 1997;Silina *et al.* 2007;张继红等 2007)。本实验通过研究室内条件下温度、体重对虾夷扇贝摄食率和吸收率的影响,以期对虾夷扇贝海区养殖容纳量的评估和可持续健康增殖技术的完善提供科学依据和指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料来源

实验用虾夷扇贝取自荣成寻山养殖场,清除表面的污物及附着生物后,暂养于青岛农业大学水循环实验室控温循环水族箱内(大连汇新海洋科技发展有限公司制造)。暂养期间温度设置为  $15 \pm 1$  °C,实验用海水盐度为 29.3,期间每天定量投喂新月菱形藻 *Nitzschia closterium*,每 2 d 全量换水 1 次。暂养 7 d 后,挑选健康个体作为实验材料。

### 1.2 实验方法

虾夷扇贝暂养 7 d 后按个体大小分为 A、B、C、D、E 组(表 1),每组设 3 个重复,3 个空白对照。实验于停喂 24 h 后在 5 L 塑料水桶中进行。每次测定均在 15:00 点计时,时间持续 2 h,静态试验,以消除昼夜节律和光照强度对饵料浓度和贝类摄食率的影响。饵料浓度控制在  $(2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5)$  cell/ml 之间,微量充气,使饵料藻类分布均匀,防止饵料沉底,以尽量避免产生实验误差。

根据虾夷扇贝生长温度范围( $5 \sim 23$  °C),实验温度设置 5、10、15、20、25 °C 5 个梯度,从 15 °C 开始每日升高、降低 1~2 °C,达到预定的实验温度后稳定 3 d 后实验,采用控温水族箱水浴控制温度。实验结束后,将虾夷扇贝转入经 0.45 μm 滤膜过滤的水中,收集实验期间及实验后 24 h 内虾夷扇贝排出的粪便,测定总颗粒物(TPM)和颗粒态有机物(POM)。

### 1.3 测定方法

摄食率(FR)以实验前后水中饵料浓度的改变来表示,饵料浓度以水中叶绿素(Chl-*a*)的浓度来换算。

$$FR = (C_0 - C_t) \times V / (t \times N)$$

式中,FR 为单位个体的摄食率( $\mu\text{g}/\text{ind} \cdot \text{h}$ );V 为实验水的体积(L); $C_0$  和  $C_t$  分别为实验开始和结束时水中的饵料浓度( $\mu\text{g}/\text{L}$ ),N 为实验用虾夷扇贝的个数;t 为实验持续的时间(h)。

#### 1.3.1 叶绿素(Chl-*a*)浓度的测定

用醋酸纤维滤膜(孔径 0.45 μm)抽滤水样 500 ml,90%丙酮萃取,4 °C 黑暗条件放置 24 h 后,4 000 r/min 离心 5 min,用 721 型分光光度计在 750、664、647、630 nm 处比色。依梁兴明等(2001)的方法计算:

$$\text{Chl-}a = 11.85 \times E_{664} - 1.54 \times E_{647} - 0.08E_{630} - 10.23E_{750}$$

吸收率(AE)根据 Conover(1996)的公式计算:

$$AE(\%) = (F' - E') / (1 - E') \times F'$$

式中, $F'$  为饵料中有机物含量(POM/TPM), $E'$  为粪便中有机物含量(POM/TPM)。

1.3.2 颗粒有机物(POM)和总悬浮颗粒物(TPM)的测定

将 GF/C 玻璃纤维滤纸(1.2 μm, 47 mm)经 450 °C 灼烧 5 h, 称重( $W_0$ ), 做好标记, 抽滤 500 ml 饵料水样和滤水实验后 24 h 扇贝粪便。将带有样品的滤纸在 60 °C 下烘干 48 h 后称重( $W_{60}$ ), 再经 450 °C 灼烧 5 h 后用电子天平称重( $W_{450}$ )(精确到 0.000 01 g)。其中,  $POM=W_{60}-W_{450}$ ,  $TPM=W_{60}-W_0$ 。

1.4 数据分析

采用 SPSS 18.0 统计软件进行单因子方差分析(One-way ANOVA)、组间多重比较分析(LSD ANOVA)和相关回归分析,  $P<0.05$  为差异显著,  $P<0.01$  为差异极其显著。

2 实验结果

2.1 生物学测定

温度实验所用虾夷扇贝基本生物学特性见表 1。

表 1 实验所用虾夷扇贝的基本生物学特性  
Table 1 Biological traits of *P. yessoensis* in the experiment

特征 Traits	分组 Group				
	A	B	C	D	E
壳高 Shell height(cm)	4.413±0.046	5.487±0.074	6.433±0.207	7.497±0.325	8.507±0.266
壳长 Shell length(cm)	4.413±0.193	5.640±0.246	6.373±0.415	7.643±0.358	8.673±0.403
壳厚 Shell thickness(cm)	0.935±0.130	1.283±0.100	1.407±0.156	1.707±0.190	2.140±0.210
湿重 Wet weight(g)	7.938±1.723	15.057±2.837	24.920±3.982	40.693±4.611	65.933±5.778
干重 Dry weight(g)	0.165±0.026	0.333±0.067	0.690±0.082	1.310±0.442	2.880±0.514

2.2 体重对虾夷扇贝摄食率和吸收率的影响

体重对虾夷扇贝摄食率的影响如图 1 所示。在 5 个实验温度梯度(5、10、15、20、25 °C)下, 虾夷扇贝单位个体摄食率随体重的增大而增大, 单因子方差分析(One-way ANOVA)表明, 5、10、15 和 20 °C 组体重对虾夷扇贝摄食率的影响极显著( $P<0.01$ ), 25 °C 组体重对摄食率的影响差异显著( $P<0.05$ )。通过对各温度梯度下体重对摄食率的影响进行相关回归分析表明, 体重( $X$ )与摄食率( $Y$ )呈正相关幂指数关系:  $Y=aX^b$ , 回归分析结果见表 2。

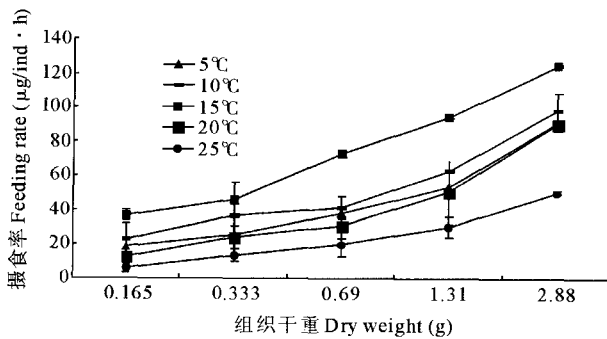


图 1 体重对虾夷扇贝摄食率的影响  
Fig. 1 The effect of body weight on the feeding rate of scallop *P. yessoensis*

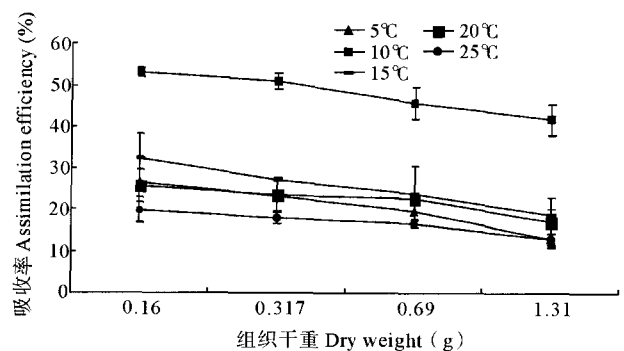


图 2 体重对虾夷扇贝吸收率的影响  
Fig. 2 The effect of body weight on the assimilation efficiency of scallop *P. yessoensis*

如图 2 所示,实验虾夷扇贝组织干重在 0.160~1.310 g 之间,在各温度梯度下,扇贝个体吸收率随着体重的增加而减小,单因子方差分析(One-way ANOVA)表明,扇贝软体部组织干重对吸收率的影响差异不显著( $P>0.05$ )。

表 2 虾夷扇贝的摄食率与体重的回归分析结果

Table 2 Regression between feeding rate and body weight of *P. yessoensis*

温度(°C) Temperature			摄食率 Feeding rate ( $\mu\text{g}/\text{ind}\cdot\text{h}$ )			温度(°C) Temperature			摄食率 Feeding rate ( $\mu\text{g}/\text{ind}\cdot\text{h}$ )		
			a	b	$R^2$				a	b	$R^2$
5			15.849	0.948	0.899	20			10.255	0.881	0.776
10			20.808	0.828	0.819	25			9.043	0.708	0.502
15			33.327	0.748	0.896						

### 2.3 温度对虾夷扇贝摄食率和吸收率的影响

温度对虾夷扇贝摄食率的影响如图 3 所示。在实验温度 5~25 °C 范围内,当温度由 15 °C 缓慢升高至 25 °C 时,扇贝单位个体摄食率随温度的升高而降低;当温度由 15 °C 缓慢降低至 5 °C 时,单位个体摄食率随温度的降低而减小,15 °C 时摄食率为最大值。单因子方差分析(One-way ANOVA)表明,温度对虾夷扇贝的摄食率影响极显著( $P<0.01$ )。通过对 A、B、C、D 和 E 5 组规格梯度下温度对虾夷扇贝摄食率的影响进行相关回归分析,拟合得到温度( $T$ )与摄食率(Feeding rate)的相关方程为: $FR=b_0+b_1T+b_2T^2+b_3T^3$ ,具体回归分析结果见表 3。

表 3 摄食率与虾夷扇贝软组织干重间的相关方程

Table 3 The correlation equation between feeding rate and dry tissue weight of *P. yessoensis*

规格 Group	回归方程 Correlation equation	F	P
A	$FR=-7.579+31.276T-6.881T^2+0.217T^3$	18.816	0.000
B	$FR=-18.818+58.822T-17.047T^2+1.305T^3$	7.938	0.003
C	$FR=-0.637+45.674T-10.127T^2+0.339T^3$	36.172	0.001
D	$FR=-2.188+68.239T-16.457T^2+0.795T^3$	9.569	0.009
E	$FR=67.934+19.677T+3.602T^2-1.671T^3$	16.987	0.001

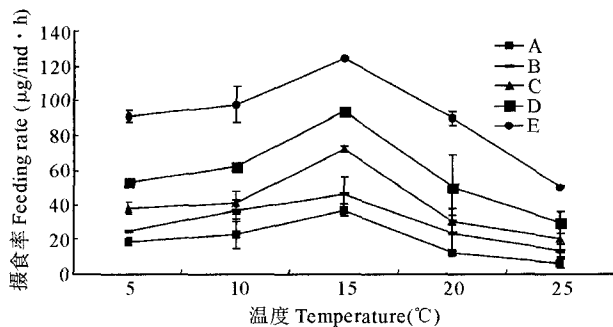


图 3 温度对虾夷扇贝摄食率的影响

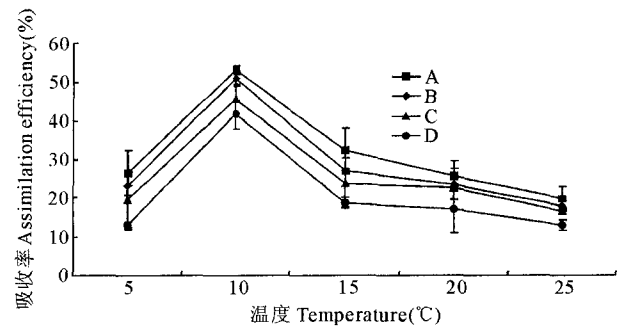
Fig. 3 The effect of temperature on the feeding rate of scallop *P. yessoensis*

图 4 温度对虾夷扇贝吸收率的影响

Fig. 4 The effect of temperature on the assimilation efficiency of scallop *P. yessoensis*

A、B、C、D 4 种规格虾夷扇贝在各温度梯度下的吸收率如图 4 所示。由图 4 可以看出,在实验温度 5~25 °C 范围内,吸收率随温度的升高先增大后减小,峰值出现在 10 °C,25 °C 时吸收率达到最小值。单因子方差分析(One-way ANOVA)表明,温度对吸收率的影响极显著( $P < 0.01$ )。对 A、B、C、D 4 组扇贝吸收率进行组间多重比较分析(LSD ANOVA)表明,10 °C 时吸收率显著大于 5、15、20、25 °C 的吸收率,且差异极显著( $P < 0.01$ )。除此之外,A 组 15 与 25 °C 差异显著( $P = 0.021$ );B 组 15 与 25 °C 差异极显著( $P = 0.006$ ),20 与 25 °C 差异显著( $P = 0.026$ );D 组 15 与 25 °C 差异显著( $P = 0.044$ ),其余各组内温度梯度间吸收率的差异不显著。

### 3 讨论

#### 3.1 体重对虾夷扇贝摄食率和吸收率的影响

贝类的体重是影响摄食率的重要因子之一(Winter 1969,1978;Ali 1970;Winter *et al.* 1976;Bayne *et al.* 1983)。众多实验表明,双壳贝类摄食率与体重的关系可以用以下公式表示: $Y = aX^b$ , $a$  值的变化较大, $b$  为体重指数。Winter(1978)总结出滤食性贝类  $b$  值范围为 0.66~0.82。Bayne 等(1983)综合众多文献计算的  $b$  值平均为  $0.62 \pm 0.13$ 。本实验的体重指数  $b$  值见表 2,在 0.748~0.948 之间,平均为 0.823。其中 10、15、25 °C 组  $b$  值符合上述一般范围,但是 5 和 20 °C 组  $b$  值略大于一般范围。这种差异可能与实验所用扇贝的规格、生理状态、饵料及所处的环境有关。由表 2 还可以看出,随温度的升高,回归关系式中的  $b$  值呈减小的趋势,说明在较高的温度下,摄食率更容易受到体重大小的影响。

由图 2 可以看出,个体大小对虾夷扇贝吸收率无显著影响( $P > 0.05$ )。说明不同个体大小的虾夷扇贝主要是通过调节其摄食率来满足自身营养需要的。这和 Winter(1969)对偏顶蛤 *Modiolus modiolus*, Vahl(1973)对紫贻贝 *Mytilus edulis* 所做的实验结果类似。

#### 3.2 温度对虾夷扇贝摄食率和吸收率的影响

众多实验表明(Hughes 1970;Wild 1975;Schulte 1975;Jin *et al.* 1996;Yang *et al.* 2000),在一定适温范围内,贝类的摄食率随温度升高而增大,到达某一温度达到最大,其后随温度升高摄食率反而下降。本实验虾夷扇贝摄食率也有相同的规律。Jørgensen 等(1990)指出,温度升高贝类的摄食率增大,一方面是因为贝类的鳃丝纤毛的摆动与温度呈正相关,温度升高提高了纤毛的摆动频率,从而增加了摄食率;另一方面,水温升高海水的粘度降低,使滤水率增大,提高了摄食率。作者认为在适宜的温度范围内,温度升高使贝类的生命活动加强,新陈代谢加快,滤水率加快,摄食率随之增大;当水温超过一定的范围,环境条件变得不再适宜时,贝类的生命活动受到限制,摄食率则下降。虾夷扇贝的适温范围为 5~23 °C,最适温度范围为 10~18 °C(张景山 1999),由图 3 可以看出,不同规格虾夷扇贝的摄食率均在 15 °C 达到最大值。由表 5 可以看出,虾夷扇贝相对于其他贝类最佳摄食温度较低,这体现了虾夷扇贝作为冷水种贝类的特性。据报道,当海水温度超过 23 °C 时,虾夷扇贝基本处于不摄食状态,导致机体消瘦甚至死亡(张起信等 2000)。本实验发现,温度达到 25 °C 时,虾夷扇贝未出现死亡现象,但虾夷扇贝的摄食率非常低,温度是影响虾夷扇贝摄食生理的一个重要环境因子。

表 5 几种贝类最大摄食率的温度值

Table 5 Temperature at the maximum FR for several shellfish species

种名 Species	最大摄食率的温度值(°C) Temperature at the maximum FR	参考文献 Reference
菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	22	董波等 2000
缢蛏 <i>Sinonocacula constricta</i>	20	潘鲁青等 2002
栉孔扇贝 <i>Chlamys farreri</i>	24	袁有宪等 2000
海湾扇贝 <i>Argopecten irradians</i>	29	王芳等 2000
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>	26	王芳等 2000

关于温度对贝类吸收率的报道,许多研究认为温度和吸收率的联系不大(Laing *et al.* 1987; Wilbur *et al.* 1989; Erkom *et al.* 1992)。Winter(1969)研究 *Arctica islandica* 和 *Modiolus modiolus* 的结果表明,在 4~12 °C 温度范围内吸收率和温度无相关性。当温度达到 20 °C,吸收率分别增加了 16% 和 15%; Beiras(1992)发现食用牡蛎 *Ostrea edulis* 在 14~26 °C 范围内吸收率增加了 15%; Albentosa 等(1994)在研究 *Venerupis pullastra* 时发现温度从 10 °C 增加到 20 °C,其吸收率增加了 17%。图 4 表明,当温度由 5 °C 升高到 10 °C 时,A、B、C、D 组虾夷扇贝吸收率均增加了近 30%,且组间多重比较分析(LSD ANOVA)显示,10 °C 吸收率显著大于 5、15、20、25 °C 的吸收率,且差异极显著( $P < 0.01$ )。作者认为温度的升高使扇贝处于比较适宜的环境,并会促使其体内消化酶的活性增强,其生理代谢也处于一个较高的水平,相应地导致吸收率的增加。另外,当温度由 5 °C 升高到 10 °C 时,摄食率增加(图 3),摄食率的升高也会导致吸收率的增加。但是从图 3 和图 4 可以看出,虾夷扇贝吸收率最大值出现在 10 °C,摄食率最大值出现在 15 °C,这说明贝类吸收率除了受温度的影响外,还可能与实验所用的饵料种类及饵料浓度有关。

## 参 考 文 献

- 王 芳,董双林,张 硕,王如才. 2000. 海湾扇贝和长牡蛎的食物选择性及滤除率的实验研究. 海洋与湖沼, 31(2): 139~144
- 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): 76~80
- 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
- 张继红,方建光,王 巍,蒋增杰,臧有才,王诗欢,张 媛. 2007. 虾夷扇贝摄食生理及其在獐子岛海域的群体滤水能力. 吉首大学学报(自然科学版), 28(4): 85~91
- 张起信,张启胜,李维年,王学军. 2000. 虾夷扇贝筏式养殖高产技术研究. 海洋科学, 24(8): 14~16
- 张景山. 1999. 关于改进虾夷扇贝养殖技术的探讨. 水产科学, 18(3): 46~46
- 袁有宪,曲克明,陈聚法,陈碧鹃,过 锋,李秋芬,崔 毅. 2000. 栉孔扇贝对环境变化适应性研究——温度对存活、呼吸、摄食及消化的影响. 中国水产科学, 7(3): 24~27
- 袁有宪,陈聚法,陈碧鹃. 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, 8(4): 73~77
- 梁兴明,方建光,崔 毅. 2001. 莱州湾海湾扇贝养殖区海水中悬浮颗粒的动态变化. 海洋与湖沼, 32(6): 635~640
- 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
- 潘鲁青,范德朋,马 牲. 2002. 环境因子对缢蛭滤水率的影响. 水产学报, 26(3): 226~230
- Albentosa, M. *et al.* 1994. Determination of optimal thermal conditions for growth of clam (*Venerupis pullastra*) seed. Aquaculture, 126: 315~328
- Ali, R. M. 1970. The influence of suspension density and temperature on the filtration rate of *Hiatella arctica*. Mar. Biol. 6: 291~302
- Bamber, R. N. 1987. The effects of acidic seawater on young carpet shell clams *Verterupis decussata* (L.) (Mollusca: Venereceae). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 108: 241~260
- Bayne, B. L., and Newell, R. C. 1983. Physiological Energetics of Molluscs. In The mollusca. Vol. 4. Physiology. Part 1, edited by Saleuddin, A. S. M. & Wilbur, K. M. Academic Press, New York, 407~515
- Bayne, B. L. 1983. The biology energetics of marine mollusks. Academic Press, New York, 407~515
- Beiras, R. 1992. Fisiologia del crecimiento en larvas y postlarvas de *Ostrea edulis*: aplicaciones para el cultivo en criadero. Ph. D. Thesis. University of Santiago de Compostela (Spain)
- Conover, R. J. 1966. Assimilation of organic matter by zooplankton. Limnol Oceanogr. 11: 338~354
- Erkom, S. C., and Griffiths, C. L. 1992. Physiological energetics of four African mussel species in relation to body size, ration and temperature. Comp. Biochem. Physiol. 101: 779~789
- Griffiths, C. L., and Griffiths, R. J. 1987. Bivalvia In: Pandian, T. L., and Vemberg, E. J. (Editors). Animal Energetics, New York, Academic Press, 2: 1~88
- Harris, J. O. 1999. Effect of pH on feeding rate, oxygen consumption, and histopathology of gill and kidney tissue for juvenile greynip abalone, *Haliotis inervigala* Donovan and blacklip abalone, *Haliotis rubra* Leach. J. Shellfish Res. 18(2): 611~619
- Hughes, R. N. 1970. An energy budget for a tidal flat population of the bivalve *Scrobicularia plana*. J. Animal Ecol. 39: 357~381
- Jin, L., Barry, S. P., and Shiao, Y. W. 1996. Filtration dynamics of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. Can. J. Fish. Aquact. Sci. 53: 29~37
- Jørgensen, C. B., Larsen, P. S., and Riisgard, H. U. 1990. Effect of temperature on the mussel pump. Mar. Ecol. Prog. Ser. 64: 89~97
- Laing, I., Utting, S. D., and Kilada, R. W. S. 1987. Interactive effect of diet and temperature on the growth of juvenile clams. J. Exp. Mar. Bi-

- ol. Ecol. 113: 23~28
- Navarro, J. M. 1988. The effects of salinity on the physiological ecology of *Chromylilus chorus* (Molina, 1780) (Bivalvia; Mytilidae). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 122: 19~33
- Newell, C. R., Wildish, D. J., and McDonald, B. A. 2001. The effects of velocity and seston concentration on the exhalant siphon area, valve gape and filtration rate of the mussel (*Mytilus edulis*). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 262: 91~111
- Palmer, M. E. 1980. Behavioral and rhythmic aspects of filtration, *Asgopecten irradians concentricus* (Say), and oyster, *Crassostrea vfrgintica* (Gemlin). J. Exp. Mar. Biol. 45: 273~295
- Schulte, E. H. 1975. Influence of algal concentration and temperature on the filtration rate of *Mytilus edulis*. Mar. Biol. 30: 331~341
- Seiderer, L. J., and Newell, R. C. 1979. Adjustment of the activity of  $\alpha$ -amylase extracted from the style of the black mussel *Choromytilus meridionalis* (Krauss) in response to thermal acclimation. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 39: 79~86
- Shumway, S. E., Cucci, T. L., Lesser, M. P., Bourne, N., and Bunting, B. 1997. Particle clearance and selection in three species of juvenile scallops. Aquaculture International, 1(5): 89~99
- Silina, A. V., and Zhukova, N. V. 2007. Feeding and growth of Japanese scallop inhabiting different bottom sediment types. Biology Bulletin, 1(34): 68~74
- Vahl, O. 1973. Pumping and oxygen consumption rates of *Mytilus edulis* L. of different sizes. Ophelia, 12: 45~52
- Wilbur, A. E., and Hilbish, T. J. 1989. Physiological energetics of the ribbed mussel *Geukensia demissa* in response to increased temperature. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 131: 161~170
- Wild, D. 1975. Influence of temperature on behavior, energy metabolism and growth of *Macoma balthica* (L.). Mar. Biol. 9: 239~256
- Winter, J. E., and Langton, R. W. 1976. Feeding experiments with *mytilus edulis* L. at small laboratory scale. The influence of suspended silt in addition to algal suspensions on growth. 1976. In "Pros. 10th Europ. Mar. Biol. Symp" (Persone G. and Jaspers E., eds.), University Press, Wetteren. 2: 583~600
- Winter, J. E. über den. 1969. Einfluss der Nahrungskonzentration und anderer Faktoren auf Filtrierleistung und Nahrungsausnutzung der Muscheln. *Arctica islandica* und *Modiolus modiolus*. Mar. Biol. 4: 87~135
- Winter, J. E. 1978. A review on the knowledge of suspension-feeding in Lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. Aquaculture, 13: 1~33
- Yang, X. X., Lin, X. T., Ji, X. L. et al. 2000. The effects of light intensity, temperature and salinity on the filtration rate *Perna viridis*. Marine science, 24(6): 36~39