

菲律宾蛤仔摄食率与温度、壳长和饵料浓度的关系

江双林^{1,2} 赵从明³ 王彦怀³ 尹 晖^{1,2} 孙 耀^{2*} 石晓勇¹

(¹ 中国海洋大学化学化工学院, 青岛 266003)

(² 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(³ 天津立达海水资源开发有限公司, 300000)

摘要 以等边金藻 3011 为饵料, 采用室内流水法, 在 12、20 和 24 °C 3 个温度和不同的壳长、饵料浓度下, 测定并计算了温度、壳长和饵料浓度与菲律宾蛤仔摄食率的关系, 并建立了相关数学模型。结果显示, 在实验条件范围内, 摄食率随着饵料浓度的增大而增大, 且符合幂函数方程。摄食率可以用温度、壳长和饵料浓度的自然对数方程表示, 其模型为: $IR = 21.2 \ln T + 20.06 \ln L + 7.10 \ln C - 97.95$, 经协方差分析结果表明, 其相关系数呈非常显著水平。

关键词 菲律宾蛤仔 摄食率 温度 壳长 饵料浓度

中图分类号 S963; S966.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2009)04-0078-06

Effects of water temperature, shell length and the concentration of algae on the ingestion rate of *Ruditapes philippinarum*

JIANG Shuang-lin^{1,2} ZHAO Cong-ming³ WANG Yan-huai³

YIN Hui^{1,2} SUN Yao² SHI Xiao-yong¹

(¹ Institute of Chemistry and Chemical Engineering Ocean University of China, Qingdao, 266003)

(² Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(³ Tianjin Leader Seawater Resources Development Limited Company, 300000)

ABSTRACT The ingestion rates of *Ruditapes philippinarum* fed with *Isochrysis galbana* 3011 under simulated conditions were studied. Moreover, investigation of the relationship between feed ingestion and temperature (12 °C, 20 °C and 24 °C), shell length and algae concentration was carried out, and some mathematic models about the factors were set up. It was found that the ingestion rate was positively correlated with the algae concentration, and the ingestion rate of *Ruditapes philippinarum* correlated with them by the allometric equations. The impact of temperature, shell length and algae concentration on ingestion rate could be described by the following model: $IR = 21.2 \ln T + 20.06 \ln L + 7.10 \ln C - 97.95$, and analysis of covariance showed that the coefficient of correlation of the model was significant ($P < 0.01$).

KEY WORDS *Ruditapes philippinarum* Ingestion rate Temperature
Shell length Algae concentration

国家 863 计划项目(2006AA10Z415)和国家自然科学基金农业倾斜项目(30271021)共同资助

* 通讯作者。E-mail: sunyao@ysfri.ac.cn, Tel: 13573228006

收稿日期: 2008-06-16; 接受日期: 2008-11-07

作者简介: 江双林(1982-), 女, 硕士研究生, 主要从事海洋环境化学研究。E-mail: jshuanglin_0415@163.com

菲律宾蛤仔 *Ruditapes philippinarum* 是我国主要的海产经济贝类之一,广泛分布于我国北部沿海。近十几年来,菲律宾蛤仔的生物量产生了巨大的变化,野生种群生物量锐减,而养殖面积和规模日益扩大,养殖密度超过养殖容量,导致养殖菲律宾蛤仔规格小、死亡率高、产量降低,病害频繁发生。长期发展会导致该地区的生态系统失衡,不利于贝类养殖业的长期发展(吴耀泉等 1992;张继红等 2002;姜祖辉等 1999;蒋红等 2006)。因此要对贝类摄食和排泄等生理活动进行研究,为贝类养殖容量的研究提供基础数据,为改善养殖环境,优化养殖模式提供科学依据,为贝类养殖的可持续发展提供参考数据,以确保贝类养殖业的长期稳定发展。

摄食率(Ingestion rate)定义为单位时间内经唇瓣摄食入口的颗粒物重量,是反映摄食性贝类生理状况的一项动态指标。它直接受到贝类所处环境的各种因子的影响,如贝类生存所处海水的温度、盐度、流速以及饵料浓度和质量等。由于测定方法和仪器设备存在差异,以及贝类对机械和化学敏感引起摄食率的变化,即使对同一贝类摄食率的测定结果也可能存在差别。在贝类没有产生假粪的情况下滤食率和摄食率是一致的。

近年来有许多关于菲律宾蛤仔滤水率的研究报道(王吉桥等 2006;吴桂汉等 2002;张继红等 2005;林元烧等 2003;董波等 2000b),摄食率的研究也只是在单因子方面,如张继红等(2005)对壳长和软体干重对摄食率的影响进行了研究和讨论,董波等(2000b)对温度对摄食率的影响进行了研究,吴桂汉等(2002)对盐度和昼夜节律对摄食率的影响进行了实验和讨论,但并未将多因子对摄食率的共同影响用数学模型加以描述。而本文以菲律宾蛤仔为实验材料,综合研究不同温度、壳长和单胞藻饵料浓度条件与蛤仔摄食率的关系,并建立了多因子数学模型,为蛤仔生理生态学的研究提供重要依据,为海区养殖容量研究提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

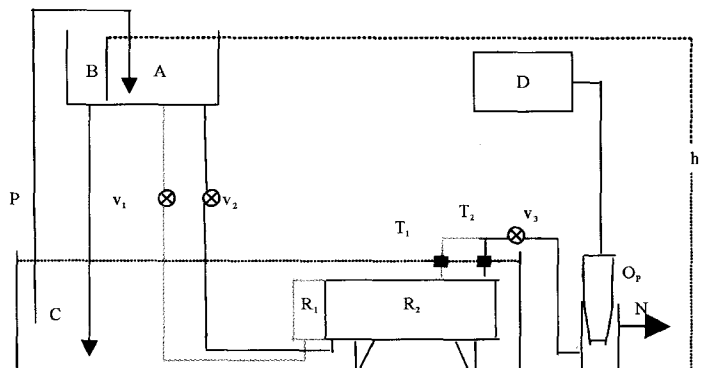
实验用菲律宾蛤仔购自青岛市南山水产品市场。菲律宾蛤仔取回后,选取活泼无损伤个体,用砂滤海水在室内水族箱内驯养 7 d。暂养期间连续充气,每天投喂足量的等边金藻,并定时换水两次,清除残饵及粪便,以保持良好水质。驯养 7 d 后挑选健康个体作为实验用贝,分组后逐渐将驯养条件调节至各实验组的条件。壳长在 2~5 cm 之间,数量为实验用量的 3~5 倍。

选用广温性且广泛应用于贝类育种饵料的等边金藻 3011(*Isochrysis galbana* 3011)作为菲律宾蛤仔的单细胞藻类饵料。藻种于 2005 年 8 月从黄海水产研究所藻种室接种,室温培养,培养液为 F/2 培养液。温度较低时每升培养液中分别添加 1mg 维生素 B₁ 和 B₁₂。实验时用灭菌后的砂滤海水将其稀释至相应的浓度作为菲律宾蛤仔的饵料。实验用海水为黄海水产研究所小麦岛实验基地的砂滤海水,实验前经高压砂滤灌过滤,再经 300 目筛绢加脱脂棉过滤。盐度为 29~30, pH 值 7.92~8.21。

1.2 实验方法

测定摄食率的实验装置采用自行制作的流水系统进行摄食率的测定,其构造如图 1。

实验利用青岛沿海 8~12 月海水温度的自然降低及自然海水温度变化所表现出的相对稳定性,在 12.0±



实验浓度的金藻液经蠕动泵 P 从实验恒温槽 C 进入上位水槽 A,水槽 A 的藻液经球形开关阀 V₁ 和 V₂ 分别进入呼吸室 R₁ 和 R₂。调节蠕动泵 P,保持有多余的藻液从 A 槽溢出,从而保持实验过程水位差 h 的恒定,即保持金藻液以恒定的流速流经呼吸室;从 A 槽溢出的藻液经侧位水槽 B 流入水槽 C,使 C 槽内的藻液始终处于流动状态,从而使其内藻液浓度和温度保持相对恒定并节约藻液。从呼吸室出来的藻液经开关阀 T₁ 和 T₂ 和球形水量调节阀 V₃,进入溶解氧流动测定槽 N;D 为溶解氧和温度测定仪(YSI-model, (0.03 mg/L, made in USA);O_p 为溶解氧探头(宋娟丽等 2007))

图 1 流水式贝类摄食率测定仪结构

Fig. 1 Structure of continuous-flow ingestion rate tester for *Ruditapes philippinarum*

1.1、 20.0 ± 0.4 和 24.0 ± 0.6 °C 3个自然水温下进行驯化和测定(其中 16 °C 由于藻类原因没有做);在每个温度下,实验按菲律宾蛤仔个体大小分成 4 组,其壳长分别为 25 ± 1 、 30 ± 1 、 40 ± 2 和 50 ± 3 mm。测定中,依据菲律宾蛤仔个体的大小和放置的密度,选用 $\phi 6 \times 20$ 、 $\phi 7 \times 30$ 、 $\phi 10 \times 45$ 和 $\phi 14 \times 45$ cm 4 种规格的呼吸室。每个温度和壳长条件下设置 4 个不同饵料密度实验组,金藻浓度约为 0.5×10^5 、 1×10^5 、 2×10^5 和 4×10^5 cells/ml;每个实验条件下设 3 个平行组及 1 个对照组,以校正藻类繁殖和生长的影响。每个实验组按个体大小放置菲律宾蛤仔 4~5 个。选择个体整齐、发育正常的菲律宾蛤仔在实验条件下驯化 7 d 后,测定其摄食率。实验时将菲律宾蛤仔放入对应呼吸室中,待其摄食稳定(约 2 h)后,正式实验开始。实验期间以开口摄食的蛤仔的数量作为实验蛤仔数。测定过程中,每间隔 4h 取 1 次水样,共持续 24 h。实验同时监测实验水体中溶氧量,并据此调节水槽内的流速。实验中金藻流速范围为 70~120 ml/min。

1.3 测定方法

饵料浓度的测定采用光密度法。首先将处于指数生长期的等鞭金藻藻液稀释成浓度梯度,用 7320 型分光光度计在最大吸收峰 680nm 处测其吸光度值,同时用血球计数板显微计数(至少计数 3 次)。以吸光度值对细胞密度作图绘制标准工作曲线。

按《海洋调查规范》(1999)中的方法测定叶绿素 a 的浓度,同时用 7320 型分光光度计测定相应的光密度。

1.4 计算方法

摄食率根据 Hildreth(1976)提出的公式。公式中假设在实验期间贝类的摄食是稳定的,且不间断。所求值是这段时间的平均摄食率;同时假定饵料浓度在假粪阈值以下(董波等 1999)。本实验中用单位个体每小时摄食金藻的叶绿素 a 浓度 IR($\mu\text{g}/\text{h}$)表示,其计算方法为: $IR = (C_1 - C_2) \times V/n$ 。式中, C_1 为流入藻液叶绿素 a 浓度($\mu\text{g}/\text{L}$), C_2 为流出藻液叶绿素 a 浓度($\mu\text{g}/\text{L}$), V 为藻液流速(L/h), n 为开口菲律宾蛤仔的个数。

2 结果

2.1 温度与摄食率的关系

在不同壳长条件下,以温度(°C)为自变量,将菲律宾蛤仔的摄食率和温度的关系作图。由图 2 可知,在实验条件范围内,随着温度的升高和壳长的增大,摄食率均呈增大的趋势。

2.2 饵料浓度与摄食率的关系

在不同温度和壳长下,以饵料浓度($C: \times 10^5$ cells/ml)为自变量,对菲律宾蛤仔的摄食率($\mu\text{g}/\text{h}$)数据进行拟合。结果表明,饵料浓度与菲律宾蛤仔摄食率之间均符合幂函数关系,即 $V = aL^b$,拟合方程及参数的检验见表 1。

各方程拟合曲线见图 3。由表 1 可以看出,各温度和壳长下,饵料浓度和菲律宾蛤仔的摄食率(除温度为 12 °C 和壳长为 3.0 cm)均成正相关的幂函数关系。且 R^2 均在 0.566~0.946 之间, P 值均小于 0.05,呈显著相关趋势。温度为 12 °C 和壳长为 3.0 cm 时可能是由于温度较低,菲律宾蛤仔的摄食状况出现异常而导致的特殊点。比本实验中饵料浓度更高时蛤仔的摄食率尚待进一步实验检验。

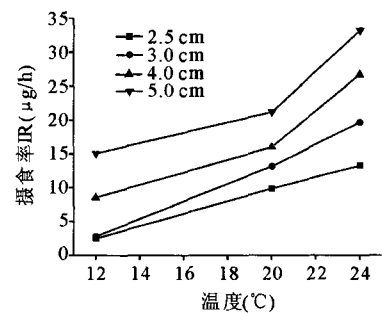


图 2 不同壳长下摄食率与温度的关系
Fig. 2 The curves of the relationship between temperatures and ingestion rates of *Ruditapes philippinarum* at different shell lengths

表 1 摄食率随饵料浓度变化的拟合方程及各项参数的检验结果

Table 1 The relationship between feed concentrations and ingestion rates of *Ruditapes philippinarum* at different temperatures

温度(°C) Temp	壳长(cm) Shell length	回归方程 Fit equation	参数 Parameters		检验结果 Test result	
			a	b	P	R ²
12	2.5 cm	$IR=2.4424C^{0.0787}$	2.44 ± 0.06	0.07 ± 0.05	0.01	0.566
	3.0 cm	$IR=2.7483C^{-0.0302}$	2.75 ± 0.01	-0.03 ± 0.01	0.01	0.841
	4.0 cm	$IR=8.2832C^{0.1247}$	8.28 ± 0.21	0.12 ± 0.05	0.01	0.749
	5.0 cm	$IR=11.1825C^{0.7217}$	11.18 ± 0.85	0.72 ± 0.14	<0.01	0.946
20	2.5cm	$IR=0.5051C^{3.2891}$	0.50 ± 0.62	3.29 ± 1.15	<0.05	0.937
	3.0 cm	$IR=3.3759C^{1.7272}$	3.38 ± 1.95	1.73 ± 0.56	<0.05	0.939
	4.0 cm	$IR=5.0546C^{1.5146}$	5.05 ± 2.22	1.51 ± 0.43	0.01	0.945
	5.0 cm	$IR=6.7075C^{1.4833}$	6.71 ± 4.24	1.48 ± 0.62	<0.05	0.885
24	2.5 cm	$IR=6.3766C^{1.1073}$	6.38 ± 3.14	1.11 ± 0.52	<0.01	0.760
	3.0 cm	$IR=8.3607C^{1.2712}$	8.36 ± 3.18	1.27 ± 0.39	<0.01	0.881
	4.0 cm	$IR=15.2433C^{0.9418}$	15.24 ± 6.94	0.89 ± 0.50	<0.05	0.678
	5.0 cm	$IR=19.1304C^{0.8514}$	19.13 ± 8.57	0.85 ± 0.50	<0.05	0.657

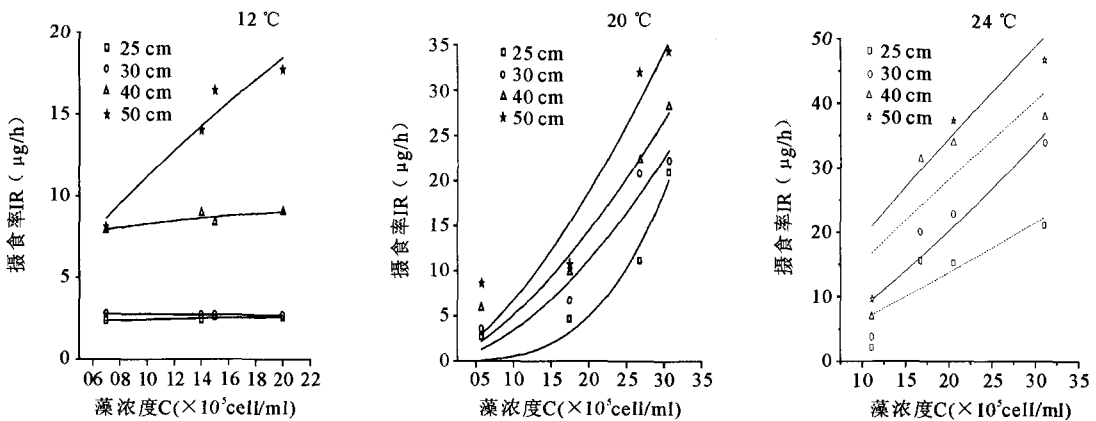


图 3 不同温度下摄食率随饵料浓度变化的拟合曲线

Fig. 3 The fitting curves of the relationship between feed concentration and ingestion rate of *Ruditapes philippinarum* at different temperatures

2.3 温度、壳长和饵料浓度中两两组合的双因子与摄食率的关系

将温度、菲律宾蛤仔壳长和饵料浓度分别两两结合作自变量,对菲律宾蛤仔的摄食率数据进行双因素回归运算,拟合方程和参数检验结果如下:

$$IR=0.20T+0.01C+14.41\ln T\ln C-35.22\ln TC+88.05$$

$$IR=0.13C+0.62L+6.29\ln C\ln L-5.97\ln CL+5.29$$

$$IR=3.65T+8.68L+17.16\ln T\ln L-60.88\ln TL+105.59$$

由表 2 中的拟合结果可以看出,菲律宾蛤仔摄食率与温度和壳长之间的关系均可用上式加以定量描述,经协方差分析结果表明,其相关系数均呈非常显著水平。

表 2 双因子对菲律宾蛤仔摄食率的交互作用拟合方程及参数检验结果

Table 2 The interaction of two factors on the ingestion rate of *Ruditapes philippinarum*

参数 Parameters					检验结果 Test results	
a	b	c	d	e	P	R ²
0.20 ± 0.40	0.01 ± 0.09	14.41 ± 4.64	-35.22 ± 12.98	88.05 ± 42.37	<0.01	0.691
0.13 ± 0.09	0.62 ± 4.16	6.29 ± 5.39	-5.97 ± 8.04	5.29 ± 25.91	<0.01	0.515
3.65 ± 2.49	8.68 ± 11.52	17.16 ± 16.10	-60.88 ± 52.63	105.59 ± 114.89	<0.01	0.501

2.4 温度、壳长和饵料浓度的3因子与摄食率的关系

实验中,以温度(T ; $^{\circ}\text{C}$)和壳长(L ; cm)及藻浓度(C ; $\mu\text{g/L}$)的自然对数对菲律宾蛤仔摄食率(IR ; $\mu\text{g/h}$)数据进行拟和。结果显示,温度、壳长和饵料浓度与菲律宾蛤仔摄食率的关系符合模型:

$$IR = 21.20 \ln T + 20.06 \ln L + 7.10 \ln C - 97.95$$

拟合参数检验的结果见表3。

表3 温度、壳长和饵料浓度对菲律宾蛤仔摄食率的拟合参数检验结果
Table 3 The test parameters of equations of temperature, shell length and chlorophyll-a concentration on the ingestion rate of *Ruditapes philippinarum*

参数 Parameters				检验结果 Test result	
a	b	c	d	P	R^2
21.20 ± 3.30	20.06 ± 3.64	7.10 ± 1.03	-97.95 ± 11.17	$P < 0.01$	0.730

由表3中的拟合结果可以看出,菲律宾蛤仔摄食率与温度、壳长和饵料浓度之间的关系可用对数曲线加以定量描述。在本实验条件范围内,随着温度、壳长和饵料浓度的增大摄食率增大,且温度和壳长对摄食率的影响比饵料浓度对摄食率的影响更大。经协方差分析结果表明,其相关系数呈非常显著水平。

3 讨论

温度、壳长和饵料浓度均为影响贝类摄食率的重要因子。许多研究表明,滤食性贝类的摄食率受温度的影响很显著。在适宜的温度范围内,摄食率随着温度的升高而增加,当升到一定温度达到最大值后,随着温度升高摄食率又下降(Griffiths *et al.* 1987)。有的研究表明,菲律宾蛤仔的最大摄食率出现在 22°C 。本文中菲律宾蛤仔摄食率的最大值为 24°C 。董波等(2000b)的研究表明,菲律宾蛤仔的适宜温度范围在 $9 \sim 26^{\circ}\text{C}$,与本文的结果基本一致。

许多学者研究了体重对菲律宾蛤仔摄食率的影响(董波等 2000a;张继红等 2005)。结果显示,摄食率随软体干重的增大而增大。本文中采用了壳长与摄食率之间的关系。结果显示,在实验条件范围内,相同温度下,随着壳长的增加,摄食率增大。与软体干重与摄食率的关系一致。

在实验条件下的饵料浓度范围之内,随着饵料浓度的增加,摄食率也随之增加,这与许多学者在研究一些贝类时发现的规律是一致的(王芳等 1998;董波等 1999),这是贝类自我生理调节及多种生态学因素作用的结果。Bayne等(1998)认为,在饵料密度下限之内,贝类的滤食率与饵料的密度成正比,二者间呈幂函数关系。当饵料密度达到一定值时,滤食率达到最大值,其后开始缓慢下降。若投饵量过低,贝类通过滤水而捕获饵料颗粒的机会变少,贝类的摄食能力受到限制。而当浓度超出一定值,摄食率降低(Bacon *et al.* 1998; Barille *et al.* 1993; Bayne 1998, 2000; MacDonald *et al.* 1994; Iglesias *et al.* 1998; Navarro 1988; Newell *et al.* 2001)。比本文中饵料浓度更高的条件下蛤仔的摄食率尚有待于进一步进行研究。虽然贝类存在摄食节律,本实验取菲律宾蛤仔 24h 摄食率的平均值,虽比其在最佳时间的摄食率略低,但能反映其在 1 d 内的真实摄食情况。许多学者的研究中均取其 1 d 内摄食率的平均值。

参 考 文 献

- 王吉桥,于晓明,郝玉冰,张蒲龙,杨涛,刘海金. 2006. 4种滤食性贝类滤水率的测定. 水产科学, 25(5): 217~221
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
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
吴耀泉,吕锡缙,孙道元. 1992. 菲律宾蛤仔生物学与资源. 胶州湾生态学和生物资源. 北京: 科学出版社, 339~352

- 宋娟丽,孙 耀,武晋宣,尹 晖,徐林梅. 2007. 栉孔扇贝的氮、磷排泄及其温度、壳长之间的关系. 水产学报, 31(1): 38~44
- 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
- 张继红,方建光,金显仕,梁翻鹏. 2002. 低温对菲律宾蛤仔能量收支的影响. 水产学报, 26(5): 423~427
- 张继红,方建光. 2005. 海洋双壳贝类滤水率测定方法概述. 海洋水产研究, 26(1): 86~93
- 林元烧,曹文清,罗文新,郭东晖,郑爱榕,黄长江. 2003. 几种主要养殖贝类滤水率的研究. 海洋学报, 25(1): 86~92
- 姜祖辉,王 俊. 1999. 菲律宾蛤仔氮、磷代谢的初步研究. 青岛大学学报, 12(2): 68~73
- 董 波,薛钦昭,李 军. 1999. 海洋滤食性贝类摄食率的研究现状. 海洋科学, 3: 26~29
- 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
- 董 波,薛钦昭,李 军. 2000b. 温度对菲律宾蛤仔摄食率、清滤率和吸收率的影响. 海洋水产研究, 21(1): 37~42
- 蒋 红,崔 毅,陈碧鹃,陈聚法,辛福言,马绍赛. 2006. 乳山湾菲律宾蛤仔可溶性氮、磷排泄及其与温度的关系. 中国水产科学, 13(2): 237~242
- Bacon, G. S., MacDonald, B. A., and Ward, J. E. 1998. Physiological responses of infaunal *Mya arenaria* and epifaunal *Placopecten magellanicus* bivalves to variations in the concentration and quality of suspended particles I. Feeding activity and selection. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 219: 105~125
- Barille, L. P., Heral J., and Bourgrier, M., S. 1993. No influence of food quality, but ration-dependent, retention efficiencies in the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 171: 91~106
- Bayne, B. L. 1998. The physiology of suspension feeding by bivalve molluscs: An introduction to the Plymouth "Trophee" workshop. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 219: 1~19
- Bayne, B. L. 2000. Relations between variable rates of growth, metabolic costs and growth efficiencies in individual Sydney rock oysters. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 251: 186~203
- Griffiths, C. L., and Griffiths, R. J. 1987. Animal energetics. New York ; Academic Press, 2~88
- Iglesias, J. I. P., Urrutia, M. B., Navarro, E., and Ibarrola, I. 1998. Measuring feeding and absorption in suspension-feeding bivalves: An appraisal of the biodeposition method. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 219: 71~86
- MacDonald, B. A., and Ward, J. E. 1994. Variation in food quality and particle selectivity in the sea scallop *Placopecten magellanicus* Mollusca: Bivalvia. Mar. Ecol. Prog. Ser. 108: 251~264
- Navarro, J. M. 1988. The effects of salinity on the physiological ecology of *Chromytilus 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