第 36 卷 第 6 期
2005 年 11 月

海 洋 与 湖 沼
OCEANOLOGIA ET LIMNOLOGIA SINICA

Vol. 36, No. 6
Nov., 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*

张继红 方建光[1)] 孙 松[**] 赵俊梅[*]
(黄海水产研究所 青岛 266071; 中国科学院研究生院 北京 100039)
[*](黄海水产研究所 青岛 266071)
[**](中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071)

提要 2003 年 6 月, 利用模拟现场流水系统采用生物沉积法对胶州湾养殖的菲律宾蛤仔的清滤率、摄食率、吸收效率及其与蛤仔规格之间的关系进行了现场实验研究。结果表明, 个体的清滤率在 0.18—0.40L/h 范围内, 平均为 0.31L/h (SD = 0.068), 个体清滤率和摄食率随壳长增加而增加, 但吸收效率与个体大小无关。蛤仔对颗粒有机物(POM)、颗粒有机碳(POC)、颗粒有机氮(PON)及叶绿素的吸收效率不同, 对叶绿素的吸收效率最高, 平均为(81.8±7.9)%, 对 POM、POC 和 PON 的吸收效率分别平均为(64.2±10.7)%、(55.7±9.8)%和(53.9±9.6)%。结合胶州湾蛤仔的生物量和野外调查数据, 分析了春季养殖蛤仔对胶州湾初级生产力和颗粒有机碳的摄食压力及可能对整个湾的物质循环的影响。根据本文的结果估算, 菲律宾蛤仔对本实验海区初级生产力和颗粒有机碳现存量的摄食压力分别为 560% 和 90%。养殖的蛤仔通过滤食已经能够影响甚至控制养殖区的浮游植物的生长或初级生产力, 甚至与整个胶州湾叶绿素 *a* 浓度的季节性变化趋势相吻合, 因为胶州湾叶绿素浓度冬、夏季高, 春、秋季节低, 而蛤仔的生长旺季刚好在春、秋两季。

关键词 菲律宾蛤仔, 清滤率, 摄食率, 胶州湾, 吸收效率
中图分类号 S968.3

滤食性底栖贝类是浅海海洋生态系统中的一个重要的生态类群, 由于具有较强的摄食(滤食浮游生物、有机碎屑)、排粪(产生较大颗粒形成生物沉积)等生理活动能力, 是浮游和底栖生态系统连接的纽带, 也是海湾生态系统能流、物流的重要环节。许多研究显示, 初级生产与底栖贝类的次级生产密切相关(Beukema *et al*, 1997; Smaal *et al*, 2001), 例如, 在荷兰的 Oosterschelde 湾, 全年初级生产的波动与贻贝的生长相关性显著。据报道, 在北旧金山湾(northern San Francisco Bay), 由于砂海螂(*Mya arenaria*)和黑龙江河篮蛤(*Potamocorbula amurensis*)的入侵, 而使该湾叶绿素浓度显著地降低(Cloern, 1996)。Meeuwig (1999) 研究发现, 加拿大 15 个海湾的叶绿素浓度都与贻贝(*Mytilus edulis*)的生物量相关性显著。

菲律宾蛤仔是胶州湾重要生态类群, 其生物量在底栖生物中占绝对优势, 占底栖生物总量的 50% 以上, 同时也是胶州湾的主要养殖生物之一。近十几年来, 胶州湾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(吴耀泉等, 1992), 而养殖面积、规模日益扩大。作为主要的底栖生物种群, 菲律宾蛤仔的数量变动必将对胶

* 国家 863 计划项目, 200 AA 2603015 号; 中国科学院知识创新工程重要方向项目, KZCX3-SW-214 号; 国家科技基础条件平台工作项目, 2003DIB3J107 号; 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室资助项目, 2003—2004。
张继红, 副研究员, E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn
1) 通讯作者 E-mail: Fangjg@yfsri.ac.cn
收稿日期: 2005-04-22, 收修改稿日期: 2005-06-30
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

州湾的生态系统产生重要影响。

清滤率、摄食率、吸收效率是反映滤食性贝类生理活动和生态功能的重要指标, 也是定量评估其在生态系统中作用的必要参数(张　涛等, 2003; 文海翔等, 2004; 郑怀平等, 2004)。虽然国内外关于菲律宾蛤仔这些参数的测定较多, 但是由于测定的方法、实验的海区、实验的条件等方面的差异, 使测定的结果可比性较差, 即使是相同的方法和近似的实验条件, 所得的数据也有显著性的差异(王　俊等, 1999; 董　波等, 2000), 并且, 目前国内还没有关于菲律宾蛤仔在养殖海区的摄食行为方面的研究。因此, 本文中作者采用目前国际上较为通用的生物沉积法, 对不同规格的菲律宾蛤仔的清滤率、摄食率、粪便产生率、吸收效率等生理指标进行现场测定, 从贝类生态生理的角度研究养殖的底栖滤食性贝类群体在海湾生态系统中的作用。

1　材料与方法

1.1　材料来源

2003 年 6 月, 菲律宾蛤仔取自胶州湾养殖海区。洗刷表面的泥沙, 按照蛤仔大小分成 12 组, 包括 11 个实验组和 1 个空白对照组。分组情况以及实验材料的基本生物学数据见表 1。对照组中收集的沉积物视为海水中颗粒物质的自然沉降, 在计算蛤仔清滤率时应扣除。蛤仔置于海区中适应 3 天后用于实验。

1.2　实验方法

实验采用模拟现场流水系统(open flow system) (Hawkins *et al*, 1996), 实验用的流水槽设置在位于胶州湾顶部的红岛贝类养殖基地实验室, 实验用海水直接取自近岸自然水域。用 YSI-556 型溶氧仪测定水温和盐度。蛤仔放入流水槽中适应 1h 后开始计时。水流的流速控制在 0.085—0.13m/s范围内。实验持续 24h, 每隔 3h 从对照水槽出水管处接取水样 1000ml, 测定水体中的总颗粒物(TPM) 和颗粒有机物(POM)。实验结束后分别收集水槽中的粪便和假粪以及对照水槽中沉降的颗粒物。分别测定粪便、假粪及水样中的叶绿素、POM、颗粒无机物(PIM)、TPM、颗粒有机碳(POC)、颗粒有机氮(PON) 的含量。叶绿素的测定: 用 90% 丙酮萃取 24h, 然后采用 7230 分光光度计测定。用 Perkin-Elmer 2400CHN 元素分析仪测定 POC 和 PON。流水实验结束后, 将实验用的蛤仔经烘箱 60℃烘干(48h), 测其软体部的干重。

1.3　各参数的计算方法

(1)对颗粒无机物质的过滤速率 $IFR = IRR + IER$。其中: IRR 为假粪中无机物质的生成速率(g/h); IER 为粪便中无机物质的生成速率(g/h)。

(2) 清滤率 $CR = IFR / PIM$。其中: PIM 为海水中颗粒无机物质的含量(g/L)。

(3) 对颗粒有机物质的过滤速率 $OFR = CR \times POM$。其中: POM 为海水中颗粒有机物质的含量(g/L)。另外, 如果计算对叶绿素或颗粒有机碳、氮的过滤速率, 只要将 POM 改为海水中叶绿素或颗粒有机碳氮含量即可。以下参数的计算方法以此类推。

(4) 对颗粒有机物质的摄食率 $OIR = OFR - ORR$。其中: ORR 为假粪中颗粒有机物质的生成率(g/h)。

(5) 对颗粒有机物质的吸收率 $AR = OIR - OER$。其中: OER 为粪便中颗粒有机物质的生成率(g/h)。

(6) 吸收效率 $AE = AR / OIR \times 100\%$。

2　结果

2.1　实验海区的水质及实验材料的基本生物学数据

实验时, 实验水槽中海水的平均水温为(21.11±1.24) ℃, 盐度为 31.67±0.33, 叶绿素浓度为(4.87±0.65) μg/L, 悬浮颗粒物质的总浓度和有机物质的浓度分别为(15.40±0.61) mg/L 和(3.36±0.83) mg/L, 有机物质占 21.8%, 颗粒有机碳氮的浓度分别为(0.41±0.16) mg/L 和(0.055±0.013) mg/L(为 8 次取样的平均值)。各实验水槽的流速及蛤仔规格及实验分组情况见表 1。软体部干重(W)与壳长(H)的关系如下: $W = 0.0153e^{1.0622H}$ ($R^2 = 0.9471$), 见图 1。

2.2　菲律宾蛤仔的清滤率、摄食率、粪便产生率、吸收率及吸收效率

清滤率　　壳长在 2.08—3.82cm 之间的菲律宾蛤仔单位个体的清滤率在 0.18—0.40L/h 范围内, 平均为 0.31L/h ($SD = 0.068$), 随着蛤仔规格的增大, 清滤率呈线性增加(图 2)。单位干重的清滤率随着体重的增加而呈密函数降低, 其关系式为: $CR = 0.4311 W^{-0.6622}$ ($R^2 = 0.9401$), 其中, W 为软体部干重。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 实验用菲律宾蛤仔的生物学特性及分组、各水槽流速情况

Tab. 1 The biological characteristics of clam *Ruditapes philippinarum* and other experimental conditions

组号	蛤仔粒数/水槽	平均壳高(mm)	组织干重(g)	组织干重(g)	流速(L/h)
1	2	37.0±0.3	0.75±0.071	0.75±0.071	21.8±0.9
2	2	36.4±0.8	0.78±0.0071	0.78±0.0071	22.1±1.7
3	2	38.2±0.4	0.78±0.18	0.78±0.18	21.5±0.6
4	3	32.9±0.3	0.53±0.046	0.53±0.046	26.8±0.3
5	3	33.8±0.9	0.59±0.098	0.59±0.098	23.5±1.6
6	4	21.9±1.8	0.16±0.037	0.16±0.037	21.8±2.0
7	4	20.8±1.1	0.14±0.028	0.14±0.028	25.8±1.6
8	4	26.1±0.5	0.24±0.060	0.24±0.060	27.8±4.3
9	4	26.9±1.6	0.27±0.068	0.27±0.068	21.2±3.9
10	4	25.4±1.1	0.25±0.068	0.25±0.068	21.1±4.5
11	4	24.1±1.9	0.19±0.026	0.19±0.026	20.1±4.2
12		空白对照			23.9±2.5

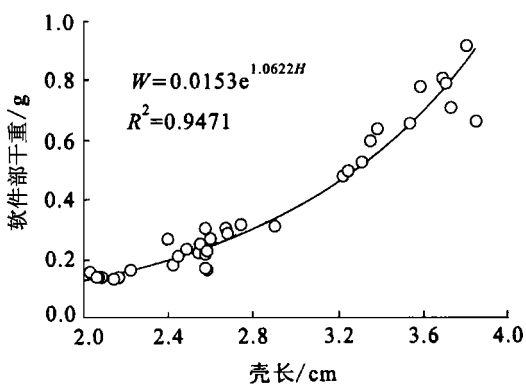

图 1 软体部干重(*W*)与壳长(*H*)的关系

Fig. 1 Relation of dry tissue weight (*W*) of manila clam *Ruditapes philippinarum* and shell height (*H*) in June

摄食率 蛤仔每小时能够将 4.79mg(*SD*=1.04)的悬浮颗粒从水体中滤除,其中有机物为 1.08mg,叶绿素为 1.52μg,颗粒有机碳、氮分别为 127.17μg 和 17.25μg(取不同规格的平均值)。在悬浮颗粒物质的总浓度为 15.4mg/L 条件下,有假粪产生。因此,摄食率低于过滤速率,其对颗粒有机物的摄食率为 0.98mg/(h·ind),对叶绿素、颗粒有机碳和颗粒有机氮的摄食率分别在0.42—1.56、46.52—113.16 和 4.34—19.90μg/(h·ind)

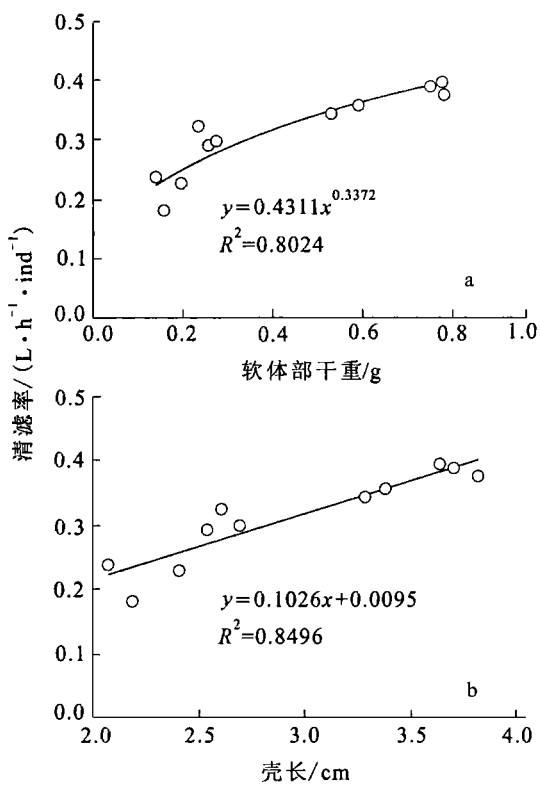

图 2 蛤仔软体部干重(a)、壳长(b)与清滤率的关系

Fig. 2 Relation of clearance rate (*CR*) of manila clam to dry tissue weight(a) and shell height(b)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

范围内, 平均分别为 1.05(*SD* = 0.35)、76.52(*SD* = 19.85) 和 10.75(*SD* = 4.96) μg/(h• ind)。单位体重的摄食率与壳长或软体部干重(*W*) 呈负相关的关系, 图 3a 为蛤仔单位体重的摄食率(对于颗粒有机物, IR_{POM}) 与软体部干重(*W*) 的关系: $IR_{POM} = 1.1779W^{-0.7225}$ ($R^2 = 0.8849$)。但是菲律宾蛤仔个体的摄食率与壳长(*x*) 呈线性正相关关系(图 3b)。

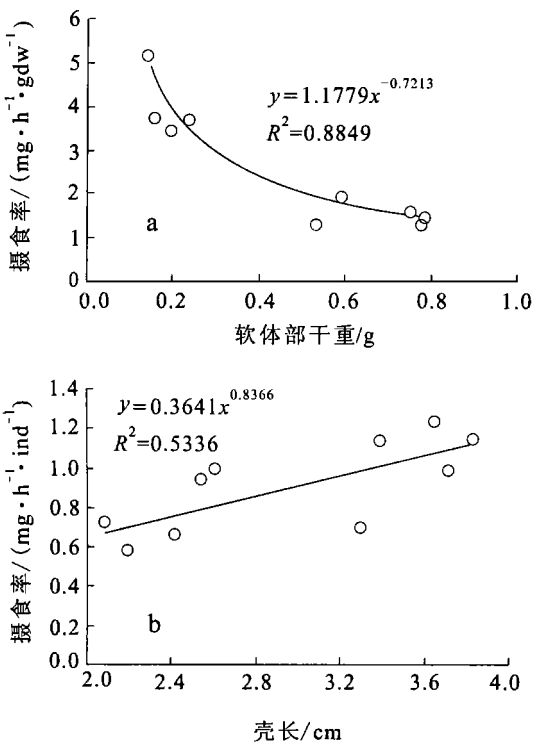

图 3　蛤仔软体部干重(a)、壳长与摄食率的关系(b)

Fig. 3　Relation of ingestion rate (*CR*) of manila clam to dry tissue weight(a) and shell height(b)

粪便产生率　　蛤仔个体每小时能够产生 1.63 —5.56mg 的生物性沉积物, 平均为(3.70 ± 1.29) mg。在此沉积物中颗粒有机物的平均含量为(0.45 ± 0.19) mg, 占总生物性沉积物的 12.2%。粪便中颗粒有机物的含量为(0.35 ± 0.14) mg, 占总粪便的 9.73%; 假粪中颗粒有机物为(0.096 ± 0.079) mg, 占总假粪的 15.06%(表 1)。

吸收效率　　菲律宾蛤仔对不同物质的吸收效率不同(图 4), 对叶绿素的吸收效率最高, 平均为(81.8 ± 7.9) %; 其次为 POM, 平均为(64.2 ± 10.7) %; 对 POC 和 PON 的吸收效率比较相近, 分别平均为(55.7 ± 9.8) % 和(53.9 ± 9.6) %。不同规格蛤仔的吸收效率没有显著性差异。

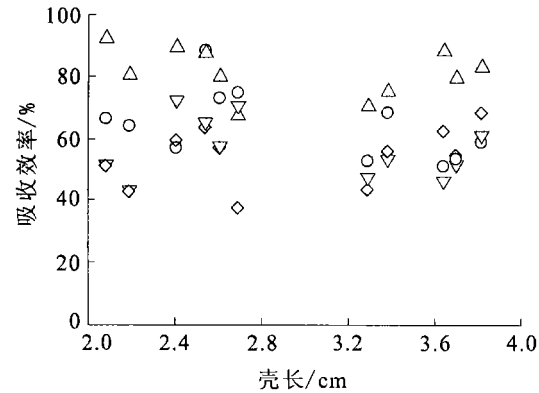

图 4　菲律宾蛤仔对不同物质的吸收效率

Fig. 4　Absorption efficiency of the manila clam to different materials

△ *AE*-POC; ý *AE*-chl; ◇*AE*-PON; ○*AE*-POM

3　讨论

清滤率直接反映贝类滤过水的能力, 是研究测定贝类摄食率、吸收率乃至能量获得情况的重要生理指标, 而贝类能量的获得又是建立养殖容量评估模型的重要参数。Riisgård (2001) 综合已有的关于贝类清滤率的测定方法指出, 流水系统法(Haven *et al*, 1970; Walne, 1972) 的缺点在于对水槽形状、大小有严格的要求; 生物沉积法(Navarro *et al*, 1991; Cranford *et al*, 1994) 的缺点是工作量大、受海区环境条件的影响和限制; 流水系统-生物沉积法是 Hawkins 等(1996) 年建立的测定贝类清滤率的间接方法, 该方法将生物沉积法与传统的流水系统法有机的结合起来, 既可以避免流水系统法和生物沉积法的缺点, 又可充分利用这两种方法的简单、易行、实验条件可控、长时间尺度、现场自然海水等优点, 能够更精确地反应贝类的摄食生理状况。本实验中作者采用流水系统-生物沉积法测定了不同规格的菲律宾蛤仔的清滤率, 实验持续 24h, 以尽量避免贝类偶然摄食行为的影响。由于受风浪、潮汐等因素的影响, 自然海区悬浮颗粒浓度随时间而变化, 因此, 本实验每隔 3h 对自然海水中的颗粒物质测定 1 次, 取 24h 内 8 次的平均值作为计算清滤率的饵料浓度, 以尽量减少误差。

大多数研究结果显示, 贝类的清滤率与体重呈幂函数的关系, 本次实验结果与此规律相一致(Bayne *et al*, 1983; Kuang *et al*, 1997; 董　波等, 2000)。但 Nakamura (2001) 利用自然海水在静水系统中测定菲律宾蛤仔在 24℃的清滤率却与软

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

体部干重呈线性正相关: $CR = 2.1101W + 0.0594$, $R^2 = 0.6889$), 其测定的结果高于本次实验的结果, 这可能与温度和实验方法有关。已有的资料显示, 贝类的摄食行为受食物的获得情况和温度的影响较大, 在适温范围内, 清滤率随着温度的升高而增大 (Navarro *et al*, 2000; Hawkins *et al*, 2001; Zhang *et al*, 2004)。本研究的实验水温为 21℃, 实验方法为流水系统-生物沉积法。另外由于贝类存在摄食节律, 本实验取 24h 平均值, 所以比贝类在其最佳时间的清滤率略低, 却更能反映贝类 1 天的真实滤水能力。类似的情况也出现在对其它贝类的测定上, 例如周 毅等(2002) 采用生物沉积的方法测定栉孔扇贝的平均清滤率也低于流水系统法的结果(Kuang *et al*, 1997)。同其它滤食性贝类的滤水率相比, 菲律宾蛤仔单位体重的滤水率远远低于栉孔扇贝(张继红等, 2003), 但与翡翠贻贝(*Perna viridis*) 的滤水率相近(Wong *et al*, 2001)。

从表 2 和图 4 可见, 不同规格的菲律宾蛤仔的吸收效率之间无显著性差异 ($p > 0.05$), 这一结果与其它贝类相一致(Navarro *et al*, 1996; Kuang *et al*, 1997; 董 波等, 2000)。有研究者认为, 纤毛和酶的活性是调节和控制贝类吸收效率的主要生理因素, 但是, 它们与贝类规格无一定的相关性; 也有研究者认为, 贝类是通过改变摄食率来调节其能量的获得 (Vahl, 1973; Navarro *et al*, 1996; MacDonald *et al*, 1998)。胶州湾同期的野外调查结果如下: 颗粒有机碳氮的浓度分别在0.172—0.517mg/L和 0.03—0.65mg/L 范围内; 叶绿素浓度范围为 0.467—5.618μg/L, 平均为 2.69μg/L。同胶州湾野外调查数据相比, 本实验所用海水的水质指标在胶州湾野外调查结果的范围内, 实验条件基本能够反映胶州湾的自然情况。而在此条件下, 菲律宾蛤仔在摄食过程中能够产生假粪, 可见, 蛤仔有通过产生假粪来调节摄食率而不是通过改变吸收来调整其能量获得的机制。

表 2 胶州湾菲律宾蛤仔清滤率、摄食率、吸收率、吸收效率的测定结果

Tab. 2 Clearance rate, ingestion rate, absorption rate, and absorption efficiency of clam *Ruditapes philippinarum* in Jiaozhou bay

软体部干重(g)	FR_{POC} (μg/h)	FR_{PON} (μg/h)	IR_{Chl} (μg/h)	IR_{POC} (μg/h)	IR_{PON} (μg/h)	AR_{POC} (μg/h)	AR_{PON} (μg/h)	AE_{chl} (%)	AE_{POC} (%)	AE_{PON} (%)
0.14±0.028	97.2	13.2	1.1	46.5	4.3	23.7	2.2	92.7	50.9	50.7
0.16±0.037	73.9	10.0	0.4	56.1	6.9	23.8	2.9	80.9	42.5	42.6
0.19±0.026	93.3	12.7	1.1	63.6	4.7	45.6	2.8	90.2	71.8	59.1
0.25±0.068	119.4	16.2	1.2	84.4	7.0	54.7	4.4	87.9	64.8	63.3
0.24±0.060	132.5	18.0	0.9	58.8	11.8	33.2	6.8	80.6	56.5	57.1
0.27±0.068	122.1	16.6	0.6	93.9	7.8	65.4	2.9	68.3	69.6	37.3
0.53±0.046	140.1	19.0	1.0	113.2	13.6	52.9	5.9	70.7	46.7	43.3
0.59±0.098	146.1	19.8	1.5	66.2	12.5	34.8	6.9	75.8	52.5	55.4
0.78±0.0071	161.6	21.9	1.6	90.8	15.5	41.6	9.6	88.6	45.8	62.1
0.75±0.071	159.0	21.6	0.8	82.0	14.2	41.6	7.7	79.9	50.8	54.5
0.78±0.18	153.8	20.8	1.4	86.2	19.9	52.0	13.6	83.7	60.3	68.1
平均	127.2±27.7	17.3±3.7	1.1±0.3	76.5±18.7	10.8±4.7	42.7±12.5	6.0±3.3	81.8±7.5	55.7±9.4	53.9±9.21

注: FR_{POC}、FR_{PON}分别为蛤仔对 TPM、POC、PON 的过滤速率; IR_{POC}、IR_{PON}、IR_{Chl}分别为对 POC、PON 和 Chl. *a* 的摄食率; AR_{POC}、AR_{PON}为 POC 和 PON 的吸收率; AE_{Chl}、AE_{POC}、AE_{PON}分别为对 Chl. *a*、POC 和 PON 的吸收效率

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

湾内海水的平均滞留时间(*WRT*) 为 80 天, 即需要 80 天胶州湾的水全部与外湾水交换更新。考虑到潮流、风浪以及不同的地势等的影响, 湾内的 *WRT* 并不一致。蛤仔的主要养殖区湾的东、北段(刘　岗等, 2000) 的 *WRT* 约为 30 天(赵　亮等, 2002) , 然而根据胶州湾水域面积 367km^2, 平均水深 7m 和养殖菲律宾蛤仔的数量 3 × 10^6 万粒(根据目前的产量: 年产 20 万 t, 推算 6 月份湾内菲律宾蛤仔的数量约有 3× 10^6 万粒, 规格为 2－4cm) 以及蛤仔的清滤率 0. 3L/ h (各种规格菲律宾蛤仔清滤率的平均值) 来计算, 养殖的菲律宾蛤仔对胶州湾的清滤时间(*CT*) 为 12 天, 也就是说大约需要 12 天养殖的蛤仔就可将湾内的水过滤一遍。*CT* 远远低于 *WRT*, 一方面可能是养殖蛤仔的生物量已经超过了养殖容量, 另一方面, 也可能除了外海的水流带来食物以外, 有其它的食物来源以保证养殖蛤仔的生长需求, 例如径流的泥沙输入、大风搬运陆上的灰尘、沉积物的再悬浮等。再悬浮物质(包括底栖微藻、生物碎屑, 如大型底栖藻类以及蛤仔的粪便等) 被证明是底栖滤食性贝类的重要食物来源(Smaal *et al*, 1997; Coma *et al*, 2001) 。本实验的结果显示, 一个蛤仔 1 天能够产生 88. 8mg 的生物性沉积物, 其中, 颗粒有机物为 10. 8mg, 虽然颗粒有机物所占的百分比为 12. 3% , 低于水体中颗粒有机物所占的比例 (21. 8%) , 但是受风浪、潮汐等的影响, 这些颗粒有机物将重新进入水体, 成为蛤仔的食物。

另外, 根据本文的结果估算, 菲律宾蛤仔对本实验海区初级生产和颗粒有机碳现存量的摄食压力分别为 560% 和 90%。因此有理由认为, 养殖的蛤仔通过滤食已经能够影响甚至控制养殖区的浮游植物的生长或初级生产力, 甚至与整个胶州湾叶绿素 *a* 浓度的季节性变化趋势相吻合, 因为胶州湾叶绿素浓度冬、夏季高, 春、秋季节低, 而蛤仔的生长旺季刚好在春、秋两季。当然, 底栖滤食性贝类对浅海生态系统的影响是非常复杂的, 是否是养殖的蛤仔控制了胶州湾的浮游植物或叶绿素的含量, 尚需对蛤仔在不同季节的摄食情况进行测定研究, 以便综合评价养殖蛤仔对整个海湾生态系统的影响。

参　考　文　献

王　俊, 姜祖辉, 张　波等, 1999. 菲律宾蛤仔生理生态学研究. I. 温度、饵料对同化率的影响. 海洋水产研究, 20(2) : 42－47 [Wang J, Jiang Z H, Zhang B *et al*, 1999. Studies on physiological ecology of short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*) I. Effects of temperature and food on assimilation efficiency. Marine Fisheries Research Sinica, 20(2) : 42－47]

文海翔, 张　涛, 杨红生等, 2004. 温度对硬壳蛤 *Mercenaria mercenaria* (Linnaeus, 1758) 呼吸排泄的影响. 海洋与湖沼, 35(6) : 549－554 [Wen H X, Zhang T, Yang H S *et al*, 2004. Effect of temperature on respiration and excretion of hard clam *Mercenaria mercenaria* (Linnaeus, 1758) . Oceanologia et Limnologia Sinica, 35(6) : 549－554]

刘　岗, 刘梦霞, 王远隆等, 2000. 胶州湾的杂色蛤仔. 海水养殖, 55: 4－7 [Liu G, Liu M X, Wang Y L *et al*, 2000. The Manila clam in Jiaozhou Bay. Mariculture Sinica, 55: 4－7]

郑怀平, 张国范, 刘　晓等, 2004. 不同贝壳颜色海湾扇贝 (*Argopecten irradians irradians*) 家系建立及生长发育的研究. 海洋与湖沼, 35(6) : 632－639 [Zheng H P, Zhang G F, Liu X *et al*, 2004. Establishment of the different shell colours lines of bay scallop *Argopecten irradians irradians* Lamarck (1819) and their Developmen. Oceanologia et Limnologia Sinica, 35(6) : 632－639]

吴耀泉, 吕锡缙, 孙道元等, 1992. 菲律宾蛤仔生物学与资源. 见: 刘瑞玉主编. 胶州湾生态学和生物资源. 北京: 科学出版社, 339－352

张　涛, 杨红生, 刘保忠等, 2003. 硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*) 稚贝中间培育模式的初步研究. 海洋与湖沼, 34(6) : 648－655 [Zhang T, Yang H S, Liu B Z *et al*, 2003. Primary study on the different modes of seed hard clam *Mercenaria mercenaria* (Linnaeus, 1758) culture in field. Oceanologia et Limnologia Sinica, 34(6) : 648－655]

张继红, 方建光, 梁兴明等, 2003. 栉孔扇贝的氮收支平衡及其对桑沟湾氮循环的影响. 海洋与湖沼(973 专集) , 128－135 [Zhang J H, Fang J G, Liang X M *et al*, 2003. Nitrogen budget of the scallop *Chlamys farreri*, and its effect on the nitrogen cycle of Sanggou Bay. Oceanologia et Limnologia Sinica(spcial for 973) , 128－135]

周　毅, 毛玉泽, 杨红生等, 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 [Zhou Y, Mao Y Z, Yang H S, 2002. Clearance rate, ingestion rate and absorption efficiency of the scallop *Chlamys farreri* measured by *in situ* biodeposition method. Acta Ecologicasinica, 22(9) : 1455－1462]

赵　亮, 魏　浩, 赵建中, 2002. 胶州湾水交换的数值研究. 海洋与湖沼, 33(1) : 23－29 [Zhao L, Wei H, Zhao J Z, 2002. Numerical study on water exchange in Jiaozhou bay. Oceanologia et Limnologia Sinica, 33(1) : 23－29]

董　波, 薛钦昭, 李　军, 2000. 环境因子对菲律宾蛤仔摄

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

食生理生态的影响. 海洋与湖沼, 31(6): 636—642
[Dong B, Xue Q Z, Li J, 2000. Environmental factors affecting the feeding physiological ecology of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* (Adams et reeve, 1850)]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 31(6): 636—642]

Bayne B L, Newell R C, 1983. Physiological energetics of marine mollusks. In: Saleucklin A S M, Wilbur K E ed. The Mollusca. Vol. 4 Physiology, Part 1. New York, Academic Press, 407—515

Beukema, Cadée, 1997. Local differences in macrozoobenthic response to enhanced food supply caused by mild eutrophication in a Wadden Sea area: Food is only locally a limiting factor. Limnol Oceanogr, 42: 1424—1435

Cloern J E, 1996. Tidal stirring and phytoplankton bloom dynamics in an estuary. J Mar Res, 49: 203—221

Coma R, Ribes M, Gili J-M *et al*, 2001. The ultimate opportunists: consumers of seston. Mar Ecol Prog Ser, 219: 305—308

Cranford P, Hargrave B T, 1994. *In situ* time-series measurement of ingestion and absorption rates of suspension-feeding bibalves: *Placopecten magellanicus*. Limnol Oceanogr, 39: 730—738

Haven D S, Morales-Alamo R, 1970. Filtration of particles from suspension by the American oyster *Crassostrea virginica*. Biol Bull, 139: 248—264

Hawkins A J S, Smith R F M, Bayne B L *et al*, 1996. Novel observations underlying the fast growth of suspension-feeding shellfish in turbid environments: *Mytilus edulis*. Mar Ecol Prog Ser, 131: 248—264

Hawkins A J S, Fang J G, Pascoe P L *et al*, 2001. Modelling short-term responsive adjustments in particle clearance rate among bivalve suspension-feeders: separate unimodal effects of seston volume and composition in the scallop *Chlamys farreri*. J Exp Mar Biol Ecol, 262: 61—73

Kuang S, Fang J, Sun H *et al*, 1997. Seasonal studies of filtration rate and absorption efficiency in the scallop *Chlamys farreri*. J Shellfish Res, 16: 39—45

MacDonald B A, Bacon G S, Ward J W *et al*, 1998. Physiological responses of infaunal (*Mya arenaria*) and epifaunal (*Placopecten magellanicus*) bivalves to variations in the concentration and suspended particles I. Absorption efficiency and scope for growth. J Exp Mar Biol Ecol, 219: 127—141

Meeuwig J J, 1999. Predicting coastal eutrophication from land-use: an empirical approach to small non-stratified estuaries. Mar Ecol Prog Ser, 176: 231—241

Nakamura Y, 2001. Filtration rates of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*: dependence on prey items including bacteria and picocyanobacteria. J Exp Mar Biol Ecol, 266: 181—192

Navarro J M, Thompson R J, 1996. Comparison and evaluation of different techniques for measuring absorption efficiency in suspension feeders. Limnol Oceanogr, 39: 159—164

Navarro E, Iglesias J I P, Prez-Camacho A *et al*, 1991. The physiological energetic of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from different cultivation rafts in the Ria de Arosa (Galicia, N. W. Spain). Aquaculture, 94: 197—212

Navarro J M, Leiva G E, Martinez G *et al*, 2000. Interactive effects of diet and temperature on the scope for growth of the scallop *Argopecten purpuratus* during reproductive conditioning. J Exp Mar Biol Ecol, 147(1): 67—83

Riisgård H U, 2001. On measurement of filtration rates in bivalves——the stony road to reliable data: review and interpretation. Mar Ecol Prog Ser, 211: 275—291

Smaal A C, Zurburg W, 1997. The uptake and release of suspended and dissolved material by oysters and mussels in Marennes-Oleron Bay. Aquat Liv Res, 10: 23—30

Smaal A C, Van Stralen M R, Schuiling E, 2001. The interaction between shellfish culture and ecosystem processes. Can J Fish Aquat Sci, 58: 991—1002

Vahl O, 1973. Pumping and consumption rates of *Mytilus eduls* L. of different sizes. Ophelia, 12: 45—52

Wong W H, Cheung S G, 2001. Feeding rates and scope for growth of green mussels, *Perna viridis* L. and their relationship with food availability in Kat O, Hong Kong. Aquaculture, 193: 123—137

Walne P R, 1972. The influence of current speed, body size and water temperature on the filtration rate of five species of bivalves. J Mar Biol Assoc UK, 52: 345—374

Zhang J H, Fang J G, Hawkins A. J *et al*, 2004. The effect of temperature on clearance rate and oxygen consumption of acclimated and non-acclimated scallops, *Chlamys farreri*. Journal of Shellfish Research, 23(3): 715—721

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

CLEARANCE RATE, INGESTION RATE AND ABSORPTION EFFICIENCY OF CULTIVATED CLAM *RUDITAPES PHILIPPINARUM* IN JIAOZHOU BAY, CHINA

ZHANG Ji-Hong, FANG Jian-Guang[*], SUN Song[**], ZHAO Jun-Mei[*]

(Yellow Sea Fisheries Research Institute, Qingdao, 266071; Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039)

[*]*(Yellow Sea Fisheries Research Institute, Qingdao, 266071)*

[**]*(Key Laboratory of marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)*

Abstract The clam *Ruditapes philippinarum* is a kind of suspension feeding bivalves, mainly cultivated in Jiaozhou Bay. As a suspension feeder with large biomass, clam *Ruditapes philippinarum* has great influence on the phytoplankton and primary production of the bay. We conducted a semi-*in-situ* experiment to measure the clearance rate (*CR*), ingestion rate (*IR*) and absorption efficiency (*AE*) of the cultivated clam and to evaluate the effect of the clam on the primary production and stock particle organic carbon (POC) of Jiaozhou Bay. The measurements of *CR*, *IR* and *AE* and the relationship of these with different size of the cultivated clam *Ruditapes philippinarum* were carried out with bio-deposition method by a flow-through system in Jiaozhou Bay. The individual clearance rates (*CR*) were in the range of 0.18—0.40L/h, at average of 0.31L/h (*SD* = 0.068). The specific clearance rate (*CR* per dry tissue weight) decreased with size (weight), and the relationship between the two variables can be represented as $CR = 0.4311W^{-0.6622}$ ($R^2 = 0.9401$), where *W* is the dry tissue weight of clam. Ingestion rate on POM is 0.98mg/(h•ind), on Chl. *a*, POC and particle organic nitrogen (PON) are 1.05 (*SD* = 0.35), 76.52 (*SD* = 19.85) and 10.75 (*SD* = 4.96) μg/(h•ind) respectively. The weight specific *IR* decreased with clam weight and the relationship of *IR* and dry tissue weight is described by $IR_{POM} = 1.1779W^{-0.7225}$ ($R^2 = 0.8849$). No significant *AE* difference was shown with shell size, but with materials. Mean absorption efficiency of Chl. *a*, particle organic matter (POM), POC and PON were (81.8±7.9)%, (64.2±10.7)%、(55.7±9.8)% and (53.9±9.6)% respectively.

Based on the biomass of cultivated clam in Jiaozhou Bay and the experimental data, the clearance time of clam in the total bay was about 12days (that means that there will be 12 days for the clams filtrate through all the seawater of the bay), which is quite shorter than the water resident time (30 days). The result suggested that: 1) the cultivated density of clams is over its carrying capacity; 2) other sources of food to support the cultivated clams may exist, for instance, re-suspend sediments. According to the field survey on primary production and POC in Jiaozhou Bay and our experimental results, the grazing impact of the cultivated clam population on the primary production and the stock of POC in spring of Jiaozhou Bay were 560% and 90% respectively. Therefore, the feeding activity of the cultivated clams may greatly influence even control the phytoplankton and primary production of Jiaozhou Bay.

Key words *Ruditapes philippinarum*, Clearance rate, Ingestion rate, Absorption efficiency, Jiaozhou Bay

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net