

胶州湾菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*) 呼吸排泄作用的现场研究*

王晓宇^{1,2} 周毅¹ 杨红生¹

(1. 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;

2. 天津市水产研究所 天津 300221)

提要 于 2006 年 2 月、5 月、8 月和 11 月四个季度月采用呼吸瓶法现场研究了胶州湾菲律宾蛤仔的呼吸排泄作用。结果表明, 胶州湾菲律宾蛤仔呼吸排泄速率具有明显的季节变化趋势, 春、夏季高于秋、冬季。不同生物学规格的蛤仔呼吸排泄速率具有明显的差异, 单位个体耗氧率、排氮率和排磷率均随着个体大小的增加而增加, 而单位体重的耗氧率、排氮率和排磷率则随着个体大小的增加而降低; 且耗氧率、排氮率和排磷率与软体干重(DW , g/ind)呈异速方程关系, 方程式为: $R_x = a \times DW^b$ 。本实验中, 耗氧率、排氮率和排磷率的 a 值变化范围分别为 0.20—0.93、0.29—2.46 和 0.27—0.59; 耗氧率、排氮率和排磷率的 b 值变化范围分别为 0.52—0.83、0.35—0.62 和 0.28—0.88。据估算, 胶州湾滩涂养殖的菲律宾蛤仔通过呼吸排泄作用在夏季将向水体中释放 8.28t/d 氮氮和 0.86t/d 无机磷, 以满足浮游植物生长的需要, 在胶州湾生态系统营养循环和能量流动中起着重要的作用。

关键词 菲律宾蛤仔, 胶州湾, 耗氧率, 排氮率, 排磷率

中图分类号 Q955

海水双壳贝类作为滤水能力很强的滤食性动物, 在沿岸生态系统的物质循环和能量流动中起着重要作用, 特别是在高密度大规模的沿岸贝类养殖海区, 双壳贝类的养殖可能对海区的理化环境产生较大的影响。双壳贝类通过滤食和排泄作用, 对浮游植物生长具有重要意义, 特别是再循环无机形态的 $N(NH_4^+ - N)$ 和 $P(PO_4^{3-} - P)$ 的排泄, 成为维持海洋初级生产力的重要营养盐来源(Cockcroft, 1990)。在自然海区中, 双壳贝类的耗氧率、排氮率和排磷率等生理生态学参数通常随着海水环境的季节性变化而变化(Smaal *et al*, 1997; Newell, 2004)。这些参数既能反应双壳贝类的生理特征, 也能反映双壳贝类与环境变化之间的相互影响(Prins *et al*, 1998; Newell *et al*, 2002)。

菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)是一种埋栖性双壳贝类, 在我国南北沿海均有分布, 种群数量

大, 栖息密度高(霍忠明等, 2010)。从 20 世纪 80 年代开始, 菲律宾蛤仔的人工养殖逐渐兴起, 提高了滩涂的利用率, 取得了显著的经济效益(殷邦忠, 1996)。胶州湾位于山东半岛南部, 滩涂广阔, 是我国北方重要的滩涂贝类养殖海域, 其中菲律宾蛤仔的年产量就高达 30 万 t(湿重)(刘增胜等, 2007)。

关于菲律宾蛤仔生理生态方面的研究报道比较多, 但大都在实验室开展(王芳等, 1997; 董波等, 2000), 有关菲律宾蛤仔营养盐排泄过程的海区现场研究较少。由于实验室研究不能很好的模拟海区实际的物理环境特征, 如饵料组成和浓度等, 因此关于底上(epifaunal)贝类, 如扇贝、牡蛎等双壳贝类的生理生态特征, 国内外越来越多的研究者开始重视现场研究方法的应用(Kuang *et al*, 1997; 周毅等, 2002, 2003; 张继红等, 2005; Mao *et al*, 2006; Zhou *et al*,

* 中国科学院创新工程重要方向项目, KZCX2-YW-Q07-02/-03 号; 国家自然科学基金项目, 30972268 号, 30571428 号; 国家自然科学基金委员会创新研究群体科学基金项目, 40821004 号; 山东省中青年科学家科研奖励基金, 2008BS06001 号。王晓宇, 博士, 助理研究员, E-mail: heyxiaoyu@163.com

通讯作者: 周毅, 研究员, E-mail: yizhou@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011-01-21, 收修改稿日期: 2011-06-26

2006a, b)。

近年来, 胶州湾水质富营养化及赤潮现象频繁发生, 引起社会各界广泛关注(殷明焱等, 2009)。作为胶州湾生态系统中的关键种——菲律宾蛤仔与本海域富营养化及赤潮之间是否存在一定的相关关系, 尚在研究之中。本文对胶州湾菲律宾蛤仔的呼吸排泄及营养盐代谢进行了现场测定, 以期能揭示菲律宾蛤仔在胶州湾生态系统物质和营养盐循环中的作用, 从而评价菲律宾蛤仔的大面积养殖对胶州湾生态环境的影响, 为胶州湾沿岸滩涂贝类养殖容量的评估, 养殖规模的规划, 可持续发展理念的施行及胶州湾生态环境保护提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验海区

本研究在我国北方典型的滩涂贝类养殖海域胶州湾进行。胶州湾位于黄海中部, 山东半岛南岸, 该湾口窄内宽, 东西宽 27.8km, 南北长 33.3km, 岸线长 163km。总面积 423km², 其中滩涂面积约为 125km², 水域面积 298km²。湾内水深分布不均匀, 平均水深 6—7m。胶州湾海湾出口位于东南部, 以团岛头和薛家岛头连线为界与黄海相通, 宽仅 3km, 为扇形半封闭型海湾。胶州湾由于地势平坦, 是我国北方一个重要的菲律宾蛤仔和牡蛎等滩涂贝类养殖基地, 据中国渔业年鉴统计, 2006 年胶州湾菲律宾蛤仔年产量约为 30 万 t (湿重)。本研究实验站位设在胶州湾红岛潮下带养殖区, 平均水深约 5.5m, 海区底质为泥沙质, 水质肥沃, 生产力水平较高。胶州湾海域为正规半日潮, 本实验选择在涨潮期间进行。

1.2 实验贝类的采集

本实验所用菲律宾蛤仔均采自胶州湾红岛养殖区, 每次实验前采集并选择体质健康, 规格(壳长)相近的小、中和大规格个体, 去除表面附着物, 清洗干净, 用于实验。

1.3 实验方法

本实验于 2006 年 2 月、5 月、8 月和 11 月四个季度月现场研究了菲律宾蛤仔的呼吸排泄作用。随机采集小、中和大三种规格的菲律宾蛤仔分别放入预先装有细沙的 5.5L 呼吸瓶中。细沙在实验室内经过预处理, 清洗干净后烘干, 500℃ 马福炉灼烧 3h 以去除有机质, 粒径约 60 目。每个呼吸瓶分别放置小、中、大规格个体 16 只、12 只和 12 只, 将蛤仔埋入沙中(进水管端朝上), 然后用虹吸法加满实验海区自然海

水。对照组不放蛤仔, 但同时放沙, 每个处理设三个重复。盖上瓶塞密封, 将呼吸瓶放入聚乙烯网袋中沉于海底(4—6m), 实验持续 2h。实验结束后, 立即用虹吸法取呼吸瓶中水样, 测定溶解氧(DO)的水样现场用氯化锰和碱性碘化钾溶液固定, 其他分析水样盛于聚乙烯水样瓶中, 用保温箱(加冰)运回实验室, 3—5h 内完成氨氮(NH₄⁺-N)和磷酸盐(PO₄³⁻-P)含量的测定。并从呼吸瓶中取出蛤仔, 测定其生物学指标。

DO 用碘量法测定; NH₄⁺-N 用次溴酸钠氧化法测定(水样需要先经过 0.45μm 的 GF/C 膜过滤); PO₄³⁻-P 用磷钼蓝分光光度法测定(国家标准化管理委员会, 2007), UV-2012PC 型紫外分光光度计测定吸光值。通过实验结束时各实验组呼吸瓶内的 NH₄⁺-N 浓度减去对照组的 NH₄⁺-N 浓度, 实验组的 PO₄³⁻-P 浓度减去对照组的 PO₄³⁻-P, 以及对照组的 DO 浓度减去实验组的 DO 浓度分别计算排氮率、排磷率和耗氧率, 表示为 R_N [μmol/(ind·h)], R_P [μmol/(ind·h)]和 R_O [mg/(ind·h)]。

实验期间测定现场海水温度、深度; 采集实验海区海水, 用保温箱(加冰)带回实验室, 测定海水总悬浮颗粒物(TPM)的含量。海水用 0.45μm GF/C 膜(使用前于 500℃ 灼烧 3h, 称重)过滤(500ml), 然后用蒸馏水脱盐, 于烘箱中干燥(70℃)24h, 称得的重量与滤膜重量的差值即为 TPM 的含量。另外, 用 GF/C 膜过滤 500ml 海水, 加 2 滴碱式碳酸镁溶液固定, 用 Turnur Designs 荧光光度计测定叶绿素 *a* (Chl-*a*)浓度。

实验结束后, 将实验生物菲律宾蛤仔带回实验室, 测定其壳高、壳宽和湿重; 测定软体湿重, 65℃ 烘 24h 至恒重, 分别称量软体干重和壳干重。用公式(软体干重/壳干重)×100 计算蛤仔的肥满度。

1.4 统计分析

实验结果用平均值±标准差($\bar{X} \pm SD$)表示, 数据利用 SPSS 软件(13.0 版本)进行统计分析处理(单因素方差分析 ANOVA 和 *t* 检验法)。菲律宾蛤仔的耗氧率 R_O [mg/(ind·h)], 排氮率 R_N [μmol/(ind·h)]和排磷率 R_P [μmol/(ind·h)]与其软体干重(DW; g/ind)的关系用异速方程($R_x = a \times DW^b$)来拟合。异速方程中, *a* 值代表当 DW = 1g 时的代谢速率; *b* 值反映个体大小对代谢速率的影响程度。

2 实验结果

2.1 海区物理环境参数

实验期间, 实验海区表层水温、底层水温、TPM 和 Chl-*a* 含量见表 1 所示。

2.2 实验用菲律宾蛤仔生物学指标

实验用菲律宾蛤仔生物学指标如表 2 所示。对蛤仔的壳长进行统计分析得知,同一月份的三种规格的蛤仔壳长具有显著差异($P < 0.05$)。

2.3 菲律宾蛤仔耗氧率、排氮率和排磷率

实验测得菲律宾蛤仔耗氧率变化范围为 0.021—0.562mg/(ind·h), 最高值出现在 5 月份, 8 月份次之, 11 月份达到最低值; 排氮率变化范围为 0.078—1.685 $\mu\text{mol}/(\text{ind}\cdot\text{h})$, 最高值出现在 8 月份; 排磷率变化范围为 0.015—0.249 $\mu\text{mol}/(\text{ind}\cdot\text{h})$, 最高值出现在 8 月份, 5 月份次之, 最低值出现在 2 月份(图 1)。从图 1 中可以看出,同一月份测定的不同生物学规格蛤仔的代谢速率不同,单位个体的代谢速率随规格增大而增大。

2.4 菲律宾蛤仔代谢率与软体干重呈异速关系

菲律宾蛤仔代谢率与其软体干重呈现出异速关系,关系式为: $R_x = a \times DW^b$ 。其中, a 值代表当蛤仔干重 $DW = 1\text{g}$ 时的代谢速率, b 值反映个体大小对代谢速率的影响程度。本研究中,耗氧率、排氮率和排磷率 a 值变化范围分别为 0.20—0.93、0.29—2.46 和 0.27—0.59, b 值变化范围分别为 0.52—0.83、0.35—0.62 和 0.28—0.88。

3 讨论

本研究运用呼吸瓶法对我国北方胶州湾海区滩涂养殖的菲律宾蛤仔的耗氧率、排氮率和排磷率进行了现场测定。实验结果表明,不同生物学规格的菲律宾蛤仔生理代谢速率不同,且随着个体大小的增大而增加,单位个体耗氧率和排氮率呈现出来的规律为:大规格蛤仔 > 中规格蛤仔 > 小规格蛤仔。经统计分析得出,蛤仔的代谢速率与其软体干重呈异速关系,关系式为: $R_x = a \times DW^b$ 。其中, a 值代表当蛤仔干重 $DW = 1\text{g}$ 时的代谢速率, b 值反映个体大小对代谢速率的影响程度。本实验中,耗氧率、排氮率和排磷率 a 值变化范围分别为 0.20—0.93、0.29—2.46 和 0.27—0.59, b 值变化范围分别为 0.52—0.83、0.35—0.62 和 0.28—0.88。Bayne(1973)报道 15 种贝类耗氧率和排氮率的 b 值,认为 b 值通常小于 1,在 0.60—0.93 之间,表明小规格个体单位干重代谢率大于大规格个体。本实验报道的菲律宾蛤仔耗氧率、排氮率和排磷率 b 值均小于 1,实验中发现小规格蛤仔单位体重的代谢率高于大规格蛤仔,但是 b 值的具体数值与 Bayne(1973)报道的范围有微小差异,作者认为这是

表 1 海水温度、总悬浮颗粒物(TPM)和叶绿素 a 含量
Tab.1 Seawater temperature, total suspended particulate matter (TPM) and Chl- a

实验时间(年.月.日)	表层水温()	底层水温()	TPM(g/L)	叶绿素 a ($\mu\text{g}/\text{L}$)
2006.02.21	5.3 \pm 0.1	5.5 \pm 0.0	0.008 \pm 0.001	0.553 \pm 0.002
2006.05.11	18.8 \pm 0.0	18.6 \pm 0.1	0.014 \pm 0.001	2.357 \pm 0.001
2006.08.31	25.8 \pm 0.0	25.8 \pm 0.0	0.026 \pm 0.002	1.728 \pm 0.003
2006.11.07	14.6 \pm 0.1	14.8 \pm 0.2	0.038 \pm 0.004	1.459 \pm 0.003

表 2 菲律宾蛤仔生物学指标
Tab.2 Biological parameters of *R. philippinarum* used in the experiments

实验时间(年.月.日)	规格	壳长(mm)	壳高(mm)	湿重(g)	软体干重(g)	肥满度(%)
2006.02.21	小	14.70 \pm 0.25	10.38 \pm 0.12	0.67 \pm 0.05	0.021 \pm 0.004	4.84 \pm 0.22
	中	23.27 \pm 0.59	15.77 \pm 0.44	2.64 \pm 0.16	0.075 \pm 0.015	4.14 \pm 0.38
	大	29.72 \pm 0.95	20.51 \pm 0.79	5.25 \pm 0.53	0.206 \pm 0.009	5.03 \pm 0.34
2006.05.11	小	18.96 \pm 0.78	13.44 \pm 1.16	1.50 \pm 0.33	0.057 \pm 0.007	9.58 \pm 0.23
	中	26.23 \pm 0.35	18.26 \pm 0.49	3.65 \pm 0.08	0.252 \pm 0.008	12.93 \pm 0.77
	大	32.82 \pm 0.36	23.96 \pm 0.45	8.03 \pm 0.79	0.496 \pm 0.054	13.89 \pm 0.74
2006.08.31	小	16.88 \pm 0.34	11.43 \pm 0.21	0.85 \pm 0.04	0.026 \pm 0.003	7.04 \pm 0.13
	中	26.91 \pm 1.05	18.03 \pm 0.39	3.54 \pm 0.68	0.193 \pm 0.041	10.84 \pm 0.25
	大	36.34 \pm 1.33	24.16 \pm 1.09	8.35 \pm 0.29	0.489 \pm 0.034	12.08 \pm 0.44
2006.11.07	小	17.97 \pm 0.08	12.10 \pm 0.17	1.07 \pm 0.02	0.02 \pm 0.003	8.45 \pm 0.49
	中	23.09 \pm 0.32	15.65 \pm 0.22	2.56 \pm 0.07	0.068 \pm 0.003	8.89 \pm 0.41
	大	30.52 \pm 0.72	20.70 \pm 0.31	5.40 \pm 0.18	0.132 \pm 0.010	8.63 \pm 0.58

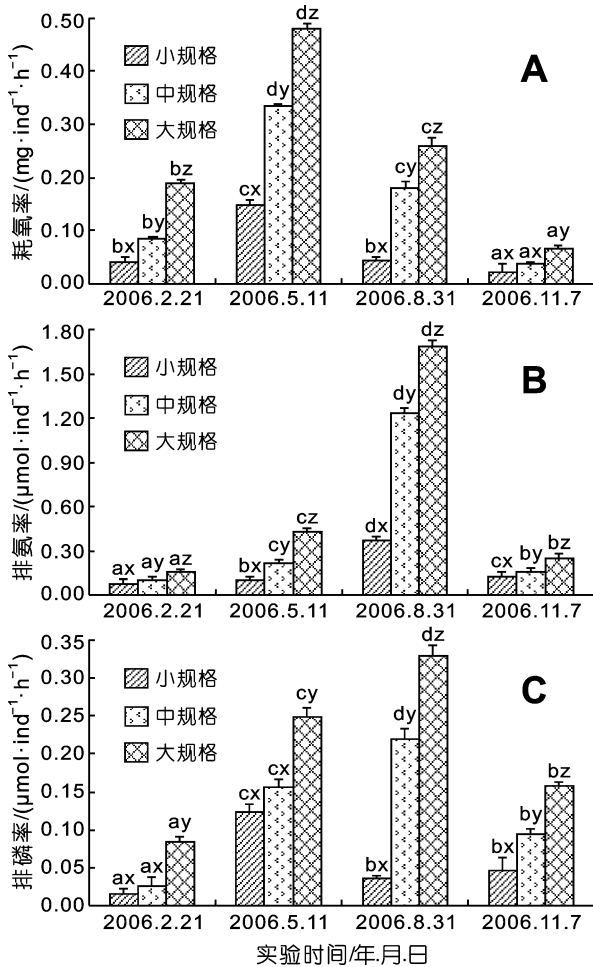


图1 不同规格菲律宾蛤仔代谢速率的季节性变化

Fig.1 Seasonal variations in metabolism rates of *R. philippinarum* in different size groups

表3 蛤仔代谢速率与软体干重的异速关系式系数(干重单位: g/ind)

Tab.3 Allometric relationships of R_O , R_N , R_P and dry tissue weight in *R. philippinarum*

代谢速率参数	时间(年.月.日)	a	b	r ²	F
R_O	2006.02.21	0.93	0.83	0.99	166.99*
	2006.05.11	0.69	0.52	1.00	1781.73**
	2006.08.31	0.4	0.59	1.00	352.5*
	2006.11.07	0.2	0.59	0.97	31.6*
R_N	2006.02.21	0.29	0.35	0.84	10.2
	2006.05.11	0.59	0.62	0.97	29.49*
	2006.08.31	2.46	0.52	1.00	308.49*
	2006.11.07	0.46	0.35	0.87	16.87*
R_P	2006.02.21	0.41	0.88	0.87	16.34*
	2006.05.11	0.27	0.28	0.83	4.98
	2006.08.31	0.59	0.76	0.99	161.78*
	2006.11.07	0.55	0.63	0.99	166.99*

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

由于不同季节不同海域采集的贝类大小之间的差异性程度不同,以致个体大小对代谢速率的影响程度有差异,因此,作者对同一月份选取的大,中,小规格的蛤仔壳长进行了差异显著性分析,结果显示差异显著($P < 0.05$),认为其组别设置具有差异性。

本研究中,胶州湾菲律宾蛤仔耗氧率变化范围为 0.021—0.562mg/(ind·h),最高值出现在 5 月份,8 月份次之,11 月份达到最低值;排氨率变化范围为 0.078—1.685 μ mol/(ind·h),最高值出现在 8 月份;排磷率变化范围为 0.015—0.249 μ mol/(ind·h),最高值出现在 8 月份,5 月份次之,最低值出现在 2 月份。可见菲律宾蛤仔呼吸排泄速率具有明显的季节变化趋势,一般春、夏季高于秋、冬季。这是因为菲律宾蛤仔的生长具有时间节律性,4—9 月是其生长旺盛时期,在这个时期水温逐渐升高,在 8 月份达到最高,TPM 和 Chl-a 调查结果显示蛤仔的食物可获得性增强,导致蛤仔的生长速率和生理代谢速率加快(王芳等,1997)。本实验的研究结果与其它研究结果基本一致,袁秀堂等(2011)进行了庄河海域菲律宾蛤仔底播增殖区自身污染研究,通过海区现场实验测的菲律宾蛤仔排氨率为 0.02—0.40mg/(ind·d),即 0.046—0.925 μ mol/(ind·h),排磷率为 0.01—0.39mg/(ind·d),即 0.004—0.171 μ mol/(ind·h);Moschino 等(2011)现场研究了威尼斯泻湖菲律宾蛤仔耗氧率的季节变化,结果表明,蛤仔耗氧率变化范围为 1.95—10.89 μ mol O_2 /(ind·h),即 0.062—0.348mg/(ind·h)。

影响贝类呼吸和排泄的因素很多,如体重、饵料浓度、温度、盐度和溶解氧状况以及个体大小、性腺发育等。很多作者报道了海水双壳贝类耗氧率的季节变化(Percy *et al*, 1971; Shumway *et al*, 1982; Bougrier *et al*, 1995)。毛玉泽(2004)¹⁾对桑沟湾栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)、长牡蛎(*Crassostrea gigas*)、紫贻贝(*Mytilus edulis*)和魁蚶(*Scapharca groughtoni*)的耗氧率进行了现场研究,发现几种双壳贝类耗氧率都具有明显的季节变化,耗氧率在夏季较高,但最高值并不出现在水温最高的 8 月份,而是温度次高的 7 月份。这种季节变化可能与贝类的卵子发生周期相关,耗氧率与配子发生和软体干重均相关,物质储存和配子发生将导致生理速率和软体干重的关系发生变化(Bayne *et al*, 1976)。同样, Moschino 等(2011)发现威尼斯泻湖菲律宾蛤仔的耗氧率在 7 月份高于 9 月份,

1) 毛玉泽, 2004. 桑沟湾滤食性贝类养殖对环境的影响及其生态调控. 北京: 中国科学院博士学位论文, 85—92

认为是由于温度影响造成的; Kyung 等(2008)研究了温度对菲律宾蛤仔能量收支的影响, 研究发现, 20时耗氧率高于25时, 而本研究中, 耗氧率最高的5月份, 实验现场海水温度为18.8, 耗氧率次高的8月份, 现场海水温度为25.8。同时, 毛玉泽(2004)¹⁾发现, 几种双壳贝类的排氮率随环境水温的升高而升高, 最大排氮率出现在月平均水温最高的8月份。Kautsky 等(1980)报道了贻贝磷的排泄速率的季节性变化, 从2月份的0.01 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 增加到8月份的0.77 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 与本研究结果相似。Asmus 等(1994)观察到多种贻贝排磷率的季节性变化, 从9月份的0.074 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 升高到5月份的0.17 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$, Smaal 等(1997)报道贻贝磷的排泄速率在1年内的变化范围为0.04—0.20 $\mu\text{mol}/(\text{ind}\cdot\text{h})$, 与本研究的变化范围0.015—0.249 $\mu\text{mol}/(\text{ind}\cdot\text{h})$ 接近。

海洋无脊椎动物 N、P 排泄对于海洋营养盐循环和浮游植物生产具有重要意义(Cockcroft, 1990), 特别是再循环无机形态的 $\text{N}(\text{NH}_4^+-\text{N})$ 和 $\text{P}(\text{PO}_4^{3-}-\text{P})$ 。Dame 等(1991)报道贻贝床的平均氮释放量为87 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 远高于非养殖区, 磷的释放量也高于其它海底沉积物(Nixon, 1981)。Kuenzler(1961)发现贻贝所吸收的磷有83%以磷酸盐的形式排出。Kautsky 等(1980)对贻贝 N、P 排泄的测定结果表明, 在瑞典 Askö 海区每年再生339t 无机氮和104t 无机磷, 这已经超过底栖藻类的需求, 而且多余的氮和磷可以提供浮游藻类每年所需要的氮和磷的6%和17%。这可以用来解释为什么在春季藻华发生后, 尽管水体中的营养盐由于藻类的生长而耗尽, 但许多藻类仍能持续保持最大生长速率, 这是由于它们能够在贝类提供营养的情况下充分利用良好光照的缘故(Kautsky *et al.*, 1980)。周毅等(2002)的研究表明, 在烟台四十里湾贝类养殖海区, 夏季贝类(以栉孔扇贝计)每天将排泄4.54t TDN 和0.57t TDP, 贝类因排泄而再循环的 N 和 P 分别能满足该海区浮游植物生长所需 N、P 的44%和40%, 其中 NH_4^+-N 和 DIP 分别能满足所需 N、P 的33%和29%。如果按照本实验所测得的数据, 用2月、5月、8月、11月的排氮率和排磷率分别代表冬、春、夏、秋季的平均排氮率和排磷率, 每个季节按照91天计算, 整个海区菲律宾蛤仔养殖面积约为1万公顷(杨鸣等, 2007), 以600只/ m^2 的密度计算, 就胶州湾整个养殖海区而言, 菲律宾蛤仔将向水体释放3137t/a

氮氮和902t/a 无机磷。傅明珠等(2009)报道胶州湾每年浮游植物吸收 N 和 P 的量值分别为9299.7t 和1287.0t, 因此本研究发现胶州湾菲律宾蛤仔因排泄而再循环的 $\text{N}(\text{NH}_4^+-\text{N})$ 和 $\text{P}(\text{PO}_4^{3-}-\text{P})$ 分别能满足浮游植物生长所需要的 N、P 的34%和70%, 可见菲律宾蛤仔在胶州湾生态系统的物质循环和能量流动中起着重要作用。

参 考 文 献

- 王芳, 董双林, 李德尚, 1997. 菲律宾蛤仔和栉孔扇贝的呼吸与排泄研究. 水产学报, 21(3): 252—257
- 刘增胜, 柳正, 2007. 中国渔业年鉴 2007. 北京: 中国农业出版社, 51
- 杨鸣, 任一平, 徐宾铎等, 2007. 胶州湾移植底播菲律宾蛤仔繁殖和早期发育特性研究. 中国海洋大学学报(自然科学版), 37(Sup.): 195—199
- 张继红, 方建光, 孙松等, 2005. 胶州湾养殖菲律宾蛤仔的清除率、摄食率、吸收效率的研究. 海洋与湖沼, 36(6): 548—554
- 国家标准化管理委员会, 2007. 海洋监测规范, GB17378.4—2007. 第4部分: 海水分析. 北京: 中国标准出版社, 117—119
- 周毅, 杨红生, 毛玉泽等, 2003. 桑沟湾栉孔扇贝生物沉积的现场测定. 动物学杂志, 4: 40—44
- 周毅, 杨红生, 何义朝等, 2002. 四十里湾几种双壳贝类及污损动物的氮、磷排泄及其生态效应. 海洋与湖沼, 33(4): 424—431
- 袁秀堂, 张升利, 刘述锡等, 2011. 庄河海域菲律宾蛤仔底播增殖区自身污染. 应用生态学报, 22(3): 785—792
- 殷邦忠, 1996. 不同保活方法对菲律宾蛤仔保活效果的研究. 海洋水产研究, 17(1): 76—77
- 殷明焱, 胡晓燕, 曾呈奎, 2009. 胶州湾有毒藻华形成种里氏金色藻(*Chrysochromulina leadbeateri*)的分类学研究. 海洋与湖沼, 40(6): 799—802
- 董波, 薛钦昭, 李军, 2000. 环境因子对菲律宾蛤仔摄食生理生态的影响. 海洋与湖沼, 31(6): 636—642
- 傅明珠, 王宗灵, 李艳等, 2009. 胶州湾浮游植物初级生产力粒级结构及固碳能力研究. 海洋科学进展, 27(3): 357—366
- 霍忠明, 闫喜武, 张跃环等, 2010. 菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)大连群体家系建立及生长比较. 海洋与湖沼, 41(3): 334—340
- Asmus H, Asmus R M, Zubillaga G F, 1994. Do mussel beds intensify the phosphorus exchange between sediment and tidal waters? *Ophelia*, 41: 37—55
- Bayne B L, 1973. The response of three species of bivalve mollusk to declining oxygen tension at reduced salinity. *Comp Biochem Physiol*, 45: 793—806

1) 毛玉泽, 2004. 桑沟湾滤食性贝类养殖对环境的影响及其生态调控. 北京: 中国科学院博士学位论文, 85—92

- Bayne B L, Scullard C, 1976. Rates of nitrogen excretion by species of *Mytilus edulis* (Bivalval Mollusca). 57: 355—369
- Bougrier S, Gealron P, Deslons P J M *et al*, 1995. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* Thunberg. *Aquaculture*, 134: 143—154
- Cockcroft A C, 1990. Nitrogen excretion by the surf zone bivalves *Danax Serra* and *D. sordulus*. *Mar Ecol Prog Ser*, 60: 57—65
- Dame R F, Darker S N, Prins T *et al*, 1991. The influence of mussel beds on nutrients in the Eastern Wadden Sea and Eastern Scheldt Estuaries. *Estuaries*, 14: 130—138
- Kautsky N, Wallentinus I, 1980. Nutrient release from a Baltic *Mytilus*—red algal community and its role in benthic and pelagic productivity. *Ophelia*, 1(Suppl.): 17—30
- Kuang S, Fang J, Sun H *et al*, 1997. Seasonal studies of filtration rate and absorption efficiency in the scallop *Chlamys farreri*. *J Shell Res*, 16: 39—45
- Kuenzler E J, 1961. Phosphorus budget of a mussel population. *Limnol Oceanogr*, 6: 400—415
- Kyung N H, Soon W L, Soon Y W, 2008. The effect of temperature on the energy budget of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. *Aquacult Int*, 16: 143—152
- Mao Y Z, Zhou Y, Yang H S *et al*, 2006. Seasonal variation in metabolism of cultured Pacific oyster, *Crassostrea gigas* in Sanggou Bay, China. *Aquaculture*, 253: 322—333
- Moschino V, Chicharo L, Marin M G, 2011. Long-term effects of fishing on physiological performance of the Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in the Lagoon of Venice. *Scientia Marina*, 75(1): 103—110
- Newell R I E, 2004. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: A review. *J Shell Res*, 23: 51—61
- Newell R I E, Cornwell J C, Owens M S, 2002. Influence of simulated bivalve biodeposition and microphytobenthos on sediment nitrogen dynamics: a laboratory study. *Limnol Oceanogr*, 47: 1367—1379
- Nixon S W, 1981. Remineralization and nutrient cycling in coastal marine ecosystems, In: Neilson B J, Cronin L E ed. *Estuaries and Nutrients*. Humana Press Clifton, N J, 1—643
- Percy J A, Aldrich F A, Mancus T R, 1971. Influence of environmental factors on respiration of excised tissue of American oyster *Crassostrea virginica*. *Can J Zool*, 49: 353—360
- Prins T C, Smaal A C, Dame R F, 1998. A review of the feedbacks between bivalve grazing and ecosystem processes. *Aquatic Ecology*, 31: 349—359
- Shumway S E, Koehn R K, 1982. Oxygen consumption in the American oyster *Crassostrea virginica*. *Mar Ecol Prog Ser*, 9: 59—68
- Smaal A C, Vonck A P M A, 1997. Seasonal variation in C, N and P budgets and tissue composition of the mussel *Mytilus edulis*. *Mar Ecol Prog Ser*, 153: 167—179
- Zhou Y, Yang H S, Zhang T *et al*, 2006a. Density-dependent effects on seston dynamics and rates of filtering and biodeposition of the suspension-cultured scallop *Chlamys farreri* in a eutrophic bay (northern China): an experimental study in semi-*in situ* flow-through systems. *J Mar Syst*, 59: 143—158
- Zhou Y, Yang H S, Zhang T *et al*, 2006b. Influence of filtering and biodeposition by cultured scallops (*Chlamys farreri*) on benthic-pelagic coupling in a eutrophic bay in China. *Mar Ecol Prog Ser*, 317: 127—141

IN SITU STUDY OF RESPIRATION AND EXCRETION OF THE MANILA CLAM *RUDITAPES PHILIPPINARUM* IN THE JIAOZHOU BAY

WANG Xiao-Yu^{1,2}, ZHOU Yi¹, YANG Hong-Sheng¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Tianjin Fisheries Research Institute, Tianjin, 300221)

Abstract Respiration and excretion of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* were measured *in situ* in February, May, August, and November, 2006 in the Jiaozhou Bay. The highest rates of oxygen consumption (R_O) and ammonia and phosphorus excretion (R_N , R_P) were found during spring or summer (May and August), and the lowest values were obtained in February and November. Furthermore, R_O , R_N , R_P showed significant positive relationship with clam size. The allometric relationship between R_O , R_N , R_P and dry tissue weight (DW) were established using the formula: $R_x = a \times DW^b$. As an important benthic cultured species in the Jiaozhou Bay, *R. philippinarum* in large-scale aquaculture may play an important role in nutrient cycling and energy flow in the Jiaozhou Bay ecosystem.

Key words *Ruditapes philippinarum*, Jiaozhou Bay, Oxygen consumption, Ammonia excretion, Phosphorus excretion