

# 盐度对不同规格泥螺耗氧率和排氨率的影响\*

吴文广<sup>1,2</sup> 张继红<sup>2\*\*</sup> 方建光<sup>2</sup> 房景辉<sup>2</sup> 魏龔伟<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>上海海洋大学, 上海 201306; <sup>2</sup>农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东青岛 266071)

**摘要** 于2012年7月采用静水法测定了盐度(18、23、28、33、38)对莱州湾3种规格泥螺(*Bullacta exarata*)耗氧率和排氨率的影响。结果表明:盐度、规格以及二者交互作用均对泥螺的耗氧率和排氨率有显著影响( $P < 0.05$ );盐度在18~28时,耗氧率及排氨率随着盐度的增加而增大,盐度为28时达峰值,之后,随着盐度的增加而降低;泥螺的软体部干重与单位体重耗氧率及排氨率之间均符合幂函数关系;泥螺的氧氮比值范围为8.38~29.16,在盐度为33时,各实验组均有最大的氧氮比值;根据泥螺的密度计算得出,泥螺分布区氨氮的产生量达 $66.53 \text{ mg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,可能会对同一生态位的生物及莱州湾氮循环产生影响。

**关键词** 泥螺; 盐度; 耗氧率; 排氨率; 氧氮比

**中图分类号** S96 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)9-2457-05

**Effects of salinity on oxygen consumption and ammonia excretion rate of different sizes of *Bullacta exarata*.** WU Wen-guang<sup>1,2</sup>, ZHANG Ji-hong<sup>2\*\*</sup>, FANG Jian-guang<sup>2</sup>, FANG Jing-hui<sup>2</sup>, WEI Yan-wei<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; <sup>2</sup>Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, Shangdong, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(9): 2457–2461.

**Abstract:** In July, 2012, a measurement was made on the oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of three body sizes of *Bullacta exarata* in the Laizhou Bay of East China under effects of salinity 18, 23, 28, 33, and 38. The results showed that salinity, body size, and their interaction had significant effects on the oxygen consumption rate (OR) and ammonia excretion rate (NR) ( $P < 0.05$ ). Within the range of the salinity 18–28, the OR and NR increased with salinity, and peaked at salinity 28. With the further increase of the salinity, both the OR and NR decreased. The relationships between the OR and NR and the dry weight of soft-tissue could be expressed as exponential equation. The O/N mole ratio varied from 8.38 to 29.16, and reached the maximum at salinity 33. According to the calculation of individual biomass and ammonia excretion rate, the ammonia production from the *B. exarata* in the Bay was estimated as about  $66.53 \text{ mg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ , which could affect the organisms of the same ecological niche and the N-cycle in the Laizhou Bay.

**Key words:** *Bullacta exarata*; salinity; oxygen consumption rate; ammonia excretion rate; O/N mole ratio.

入侵生物是导致世界范围生物多样性降低、生态系统退化、生态系统服务功能受损的主要因子之一(Pyšek & Richardson, 2010)。外来种的压力及入侵生态学是目前国际上的研究热点。

泥螺(*Bullacta exarata*), 隶属软体动物门、腹足纲、后鳃亚纲、头楯目、阿地螺科、泥螺属, 为广温、广盐性种类, 在中国沿海潮间带滩涂均有分布(蔡如星, 1991)。2001年垦利县作为养殖苗种从江苏引入泥螺, 撒播于黄河口南大汶流附近约1 km宽的滩涂上。自此, 泥螺分布面积急速扩大, 2008年的分布范围是2003年的2倍, 未播苗区域泥螺的密度可

\*“海洋外来物种生态安全评价方法研究”(DOME(P MEA)-01-01-D)、国家自然科学基金项目(41076111)和国家贝类产业技术体系项目(CARS-48)资助。

\*\*通讯作者 E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2013-02-27 接受日期: 2013-05-08

表 1 泥螺生物学数据  
Table 1 Biological characteristics of *Bullacta exarata*

组别	壳长 (mm)	湿重 (g)	软组织干重 (g)	壳干重 (g)	肥满度 (%)
A	18.52±1.46	2.10±0.61	0.28±0.07	0.20±0.06	134.75±34.75
B	14.35±1.19	0.97±0.18	0.13±0.03	0.11±0.02	121.15±28.85
C	11.63±1.54	0.42±0.17	0.05±0.02	0.05±0.02	113.34±53.36

肥满度 = (软组织干重/壳干重) × 100%。

达到 150 ind · m<sup>-2</sup> 以上 (来源于国家海洋局待发表数据)。泥螺在养殖区外的自然海域大量增殖,成为优势种,可能会对当地的生态环境及底栖生物产生影响。因此,开展泥螺生理生态学研究,将有助于人们掌握泥螺对生态环境的压力。呼吸与排泄是贝类新陈代谢的基本生理活动,它既反映了贝类的生理状态及环境条件对贝类生理活动的影响程度,也通过呼吸耗氧及氨氮排泄影响栖息的环境。盐度对贝类基本的摄食、吸收及呼吸、排泄等都会产生影响 (Navarro & Gonzalez, 1998)。国内外关于贝类呼吸和排泄的研究很多 (张媛等, 2007; 徐东等, 2010; 孙思志等, 2010)。泥螺为营潮间带生活的生物,经常要经历长期性或短期性的盐度变化 (Tiffany & John, 2002)。本文研究了盐度变化对不同规格泥螺的耗氧率和排氨率的影响,以期为评价泥螺的大面积扩增对莱州湾生态环境的影响提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料来源及暂养

2012 年 7 月在渤海莱州湾老河口潮间带的泥螺养殖区进行泥螺的采集,选择体质健康的泥螺,清除表面附着物,按泥螺壳长分为大 (A)、中 (B)、小 (C) 3 组 (表 1),分别置于培养箱中暂养,暂养期间在潮间带刮取表层泥投喂泥螺,每 12 h 换水 1 次,暂养 2 d 后开始盐度驯化。试验所用海水取自现场海区的自然海水,盐度为 33±0.4,脱脂棉过滤备用。

1.2 盐度梯度的设定

实验设置盐度为 18、23、28、33 和 38 的 5 个梯度,采用添加蒸馏水或粗盐方式配置不同盐度海水。每天升降盐度不超过 2,达到预定盐度后再适应 2 d,开始实验。实验前 24 h 停止投喂。实验在 1000±53 mL 聚乙烯塑料瓶中进行,每瓶中放置泥螺个数分别为 A 组 3 个, B 组 4 个, C 组 5 个。每组每个盐度设 3 个重复,每个盐度下均设 3 个无螺的空白对照组。实验期间水温为 28±0.5℃。放入泥螺后立即用保鲜膜封口,实验持续时间为 2 h,测定实验前后呼吸瓶中溶解氧 (DO) 和氨氮浓度 (NR)。实验结

束后,测量泥螺的壳长 (mm),湿重 (g)、壳干重 (g)、软体部干重 (g) (65℃,烘干 48 h)。

1.3 测定方法

按照国标《GB 12763.4-2007 海洋调查规范》方法,分别采用 Winkler 法及次溴酸钠氧化法测定溶解氧 (DO) 及氨氮 (NR),根据实验前后呼吸瓶内水中的溶解氧 (DO) 或氨氮 (NR) 的浓度的变化,计算泥螺的单位干质量耗氧率 (OR: mg · g<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>) 及排氨率 (NR: μg · g<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>):

$$OR = [(DO_0 - DO_t) \times V] / (W \times t)$$

$$NR = [(N_t - N_0) \times V] / (W \times t)$$

式中, DO<sub>0</sub> 和 DO<sub>t</sub> 分别为实验组和空白组水中溶氧的变化浓度 DO (mg · L<sup>-1</sup>), N<sub>0</sub> 和 N<sub>t</sub> 为实验组和空白组水中氨氮的变化浓度 N (μg · L<sup>-1</sup>), V 为呼吸瓶中水的体积 (L), W 为实验贝软组织干质量 (g), t 为实验持续时间 (h)。

1.4 数据处理

实验结果以平均值±标准差 (X ±SD) 来表示,采用 SPSS 17.0 软件,对盐度、泥螺规格对耗氧率或排氨率进行双因子方差分析 (two-way ANOVA)、组间差异采用 Tukey HSD 法分析。相关回归分析, α=0.05,用 F 检验回归方程的显著性 (F>F<sub>0.01</sub> 为差异显著)。

2 结果与分析

2.1 盐度和规格对泥螺耗氧率、排氨率的影响

盐度、规格以及二者的交互作用均对泥螺的耗氧率或排氨率有显著影响 (P<0.05) (表 2,3)。盐度对耗氧率、排氨率的影响趋势相近,都是当盐度在 18~28 时,不同规格的泥螺的耗氧率或排氨率随盐度的升高而逐渐增加,盐度 28 时达到最高值,之后随着盐度的继续升高各组耗氧率或排氨率均有明显的下降 (图 1)。

泥螺单位体重耗氧率或排氨率与软体部干重符合幂函数关系: OR = aW<sup>b</sup>, NR = aW<sup>b</sup>。回归方程的参数 a、b 及复相关系数见表 4。对于耗氧率, a 值的范围是 0.33~3.01, 平均值是 1.48±1.14; b 值的范围

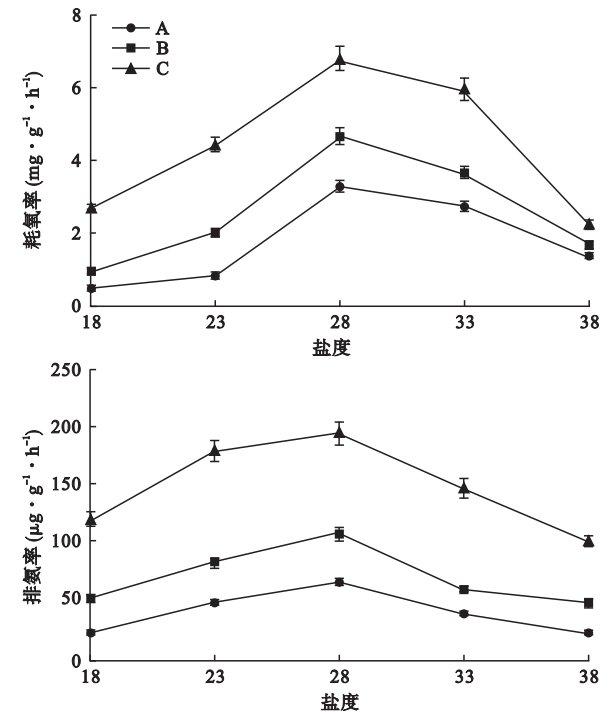


图 1 盐度对不同规格泥螺耗氧率、排氨率的影响  
Fig.1 Effects of different salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Bullacta exarata*

表 2 不同盐度下泥螺耗氧率方差分析结果  
Table 2 ANOVA analysis results of oxygen consumption rate of *Bullacta exarata* at different salinity

变异来源	自由度	平方和	均方差	F 值	显著性概率
盐度	4	89.815	22.454	91.217	0.000
规格	2	58.894	29.447	119.626	0.000
盐度×规格	8	8.315	1.017	4.131	0.002
误差	30	7.385	0.246	—	—
总变异	44	164.229	—	—	—

表 3 不同盐度下泥螺排氨率方差分析结果  
Table 3 ANOVA analysis results of ammonia excretion rate of *Bullacta exarata* at different salinity

变异来源	自由度	平方和	均方差	F 值	显著性概率
盐度	4	28328.801	7082.200	16.467	0.000
规格	2	93412.670	46706.335	108.596	0.000
盐度×规格	8	8899.888	1112.486	2.587	0.028
误差	30	12902.750	430.092	—	—
总变异	44	143544.110	—	—	—

为-1.33 ~ -0.45,平均值为-0.82±0.41。对于排氨率, $a$  值的范围为 17.29 ~ 56.80,平均值为 33.06±16.13; $b$  值的范围为 -1.21 ~ -0.72,平均值为 -1.01±0.21。

2.2 不同盐度和规格下泥螺的 O/N

泥螺的氧氮摩尔比值位于 8.38 ~ 29.16(表 5)。

表 4 泥螺单位体重耗氧率、排氨率与软体部干重回归方程的参数

Table 4 Parameters related to regression equation between oxygen consumption rates or ammonia excretion rates and soft tissue dry weight of *Bullacta exarata*

盐度	耗氧率			排氨率		
	$a$	$b$	$P$	$a$	$b$	$P$
18	0.328	-1.331	0.000	19.463	-1.206	0.000
23	0.692	-1.201	0.000	39.574	-1.100	0.000
28	3.008	-0.529	0.000	56.799	-0.715	0.000
33	2.312	-0.609	0.000	32.198	-0.877	0.000
38	1.043	-0.448	0.002	17.290	-1.161	0.002

表 5 不同规格泥螺在不同盐度下的 O/N 比值

Table 5 O/N ratios of different sized *Bullacta exarata* at different salinity

盐度	A 组	B 组	C 组
18	8.38±1.56 a	9.26 ±1.31 a	12.40±1.38 a
23	11.86±2.97 a	10.17 ±1.54 a	13.92±1.65 a
28	27.52±3.31 c	26.06±1.87 c	27.82 ±2.38 b
33	31.99±4.19 c	28.55 ±2.56 c	29.16 ±3.14 b
38	16.43±2.77 b	18.76 ±1.37 b	12.21±1.64 a

不同字母表示不同处理之间差异显著( $P<0.05$ )。

在盐度 33 时,各实验组均有最大的氧氮比值,盐度升至 38 时,氧氮比值明显下降。研究表明,盐度对 O/N 有显著的影响,盐度为 18、23 的 O/N 之间无显著差异( $P>0.05$ ),盐度为 28 和 33 的 O/N 之间无显著差异( $P>0.05$ ),但盐度为 28 和 33 时的 O/N 显著高于其他盐度组( $P<0.05$ )。

3 讨论

3.1 盐度和规格对泥螺耗氧率、排氨率的影响

盐度是决定海洋贝类分布并影响其生理代谢的重要环境因子之一(Cheung & Lam, 1995)。本研究表明,盐度对泥螺耗氧率、排氨率有显著的影响。总体变化趋势是在 18 ~ 38 内,耗氧率、排氨率均随盐度的增加而逐渐增加,在盐度 28 时达到最高值,之后耗氧率或排氨率逐渐下降。本实验结果与许多学者的研究相一致,即贝类的耗氧率和排氨率在某盐度范围内达到某最大值后,随盐度的升高而下降(范德鹏等, 2002; 史宝等, 2008; 唐保军等, 2010)。笔者认为,出现这种结果原因是泥螺在超出其适应的海水盐度范围后,为了适应高、低盐度的水环境而调整其生理代谢活动,通过降低耗氧率、排氨率来适应周围环境渗透压的变化。

由于水产动物对糖类的利用率很低,主要靠蛋白质的代谢提供能量(唐贤明等, 2006; 闫茂仓等,



2007),因此,蛋白质代谢的加快引起排氨率的增加,必然伴随着耗氧率的增加(柴学军等,2009)。本实验的结果与此一致,在不同盐度条件下,泥螺排氨率和耗氧率有着相似的变化趋势。方斑东风螺(*Babylonia areolat*)的耗氧率和排氨率的最高值都出现在与其自然生活条件类似的盐度水平(刘建勇等,2005)。但本实验发现,泥螺耗氧率、排氨率的最高值都出现在盐度为28时,而非取样时的自然海水盐度,因此推测,泥螺最适的盐度可能为28。

体重是影响贝类呼吸排泄的重要因素之一(刘建勇等,2005)。本研究表明,泥螺的耗氧率、排氨率与软体部干重呈负相关的幂函数关系 $R=aW^b$ ,即随着软体部干重的增加,耗氧率、排氨率随之减小。史宝等(2008)对毛蚶(*Arca subcrenata*)耗氧率和排氨率的研究以及唐保军等(2010)对黄边糙鸟蛤(*Trachycardium flavum*)呼吸排泄的研究也表明,单位体重的耗氧率和排氨率随贝体干重的增加而降低。 $a$ 值表示单位软体部干质量的耗氧率或排氨率, $a$ 值大小因受温度、盐度及活动状况等诸多因素的影响而出现较大变化(刘建勇等,2005),而众多研究结果显示,体重指数 $b$ 变化较小,大约在 $-0.6 \sim -0.1$ 范围(Kautsky & Evans, 1987; 刘建勇等,2005)。本实验测得耗氧率和排氨率的 $a$ 值均随盐度的升高,在盐度18~28范围内有逐渐增大的趋势,但在28~38范围内却逐渐降低。这与王资生等(2003)对扁玉螺(*Neverita didyma*)的研究结果相一致。而泥螺耗氧率的体重系数 $b$ 的范围为 $-1.33 \sim -0.45$ ,较排氨率的体重系数 $b$ 变化大(排氨率的体重系数位于 $-1.21 \sim -0.72$ )。这与多数研究结果给出的贝类的 $b$ 值范围 $-0.6 \sim -0.1$ 偏低。笔者认为,出现这种差别的原因是环境因子如盐度、pH和温度的影响以及腹足类自身生物学特性造成的。

### 3.2 不同盐度和规格下泥螺的 O/N

O/N(表示生物体内蛋白质与脂肪、碳水化合物分解代谢的比率)可以作为生物适应环境压力的指标之一(Widdow, 1978)。Mayzaud(1973)报道,当O/N处于较低(7~9.3)水平时,生物机体以蛋白质代谢为主导地位;当O/N>24时,以脂肪和碳水化合物代谢为主。本实验中,盐度在18~38的范围内,泥螺的O/N随着盐度的升高而逐渐增大并在33时达到最大,而后泥螺的O/N随盐度升高而逐渐降低。这说明受盐度变化的影响,泥螺代谢的底物也在发生变化。本研究发现,盐度为18时A组和B

组泥螺的O/N<9.3,说明此盐度条件下,泥螺以蛋白质代谢为主导,并且大规格泥螺受盐度胁迫的影响更为强烈。在盐度为33时,泥螺体内的脂肪、碳水化合物分解代谢的比例最高,而蛋白质在此盐度下代谢的比例最小。这与范德朋等(2002)、史宝等(2008)、Kautsky和Evans(1987)研究结果相似。盐度18、23之间没有显著性差异,盐度28、33之间也没有显著性差异,但是盐度23、28之间以及盐度33、38之间差异极其显著,表明盐度低于23或高于33时,泥螺的代谢基质有转变,能量更多的由蛋白质提供。

### 3.3 泥螺的呼吸排泄对莱州湾生态环境的影响

已有研究表明,沉积物溶解氧对底栖动物的分布产生重要影响,其含量过低会影响底栖动物群落的结构(Diaz & Rosenberg, 1995; Rosenberg *et al.*, 2002; 华尔等, 2012)。华尔等(2012)对砂质潮间带海洋线虫对缺氧的响应的研究表明,缺氧环境致使海洋线虫的总丰度降低,改变其种类组成。泥螺与多数海洋无脊椎生物一样,都是营潮间带生活,而泥螺在养殖区外的大面积扩增势必会与其同一生态位的生物(如托氏蛳螺、文蛤及多毛类等)争夺沉积物中的溶解氧,从而可能影响其他生物的生存。

水生生物的主要含氮排泄物为氨氮,且以离子态和非离子态2种形式存在于水中(吴湛辉等, 2003)。而氨氮与生态环境间的关系则表现在2个方面:一方面在适宜的浓度范围内被藻类直接吸收利用,从而促进浮游植物的生长,另一方面水体中氨氮过高易导致水体富营养化,抑制水生生物的生长,使鱼虾贝类的产卵能力下降,甚至引起死亡(雷衍之, 2003)。根据测定的泥螺个体排氨率(小规格的泥螺 $-18.48 \mu\text{g} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )和泥螺的密度来计算( $150 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ),泥螺分布区氨氮的产生量达 $66.53 \text{ mg N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。如此高的氨氮浓度,可能会对同一生态位的生物(如托氏蛳螺、文蛤及多毛类等)产生影响。袁秀堂等(2011)对庄河海域菲律宾蛤仔底播增殖区自身污染的研究表明,菲律宾蛤仔高密度规模化的增养殖自身污染严重,对环境的影响不可忽视;周毅等(2002)的研究表明,四十里湾集中双壳贝类高密度的养殖对海区生态系统的营养盐循环产生显著的影响;而王晓宇等(2011)研究表明,胶州湾菲律宾蛤仔因排泄产生的氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )能满足浮游植物的生长需要,对胶州湾生态系统的物质循环和能量流动起重要作用。目前,泥螺在养殖区

外的自然海域大量增殖的生态效应虽然并未明晰,排泄作用对潮间带生态系统的影响不可忽视,今后将进一步的研究。

# 参考文献

- 蔡如星. 1991. 浙江动物志: 软体动物. 杭州: 浙江科学技术出版社.
- 柴学军, 胡则辉, 徐君卓, 等. 2009. 盐度和 pH 对日本黄姑鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响. 浙江海洋学院学报(自然科学版), **28**(2): 146-150.
- 范德朋, 潘鲁青, 马 牲, 等. 2002. 盐度和 pH 对缢蛏耗氧率和排氨率的影响. 中国水产科学, **9**(3): 234-238.
- 华 尔, 李 佳, 董 洁, 等. 2012. 砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究. 生态学报, **32**(13): 3975-3986.
- 雷衍之. 2003. 养殖水环境化学. 北京: 中国农业出版社.
- 刘建勇, 绍 杰, 卓健辉. 2005. 盐度对方斑东风螺耗氧率和排氨率的影响. 热带海洋学报, **24**(4): 35-40.
- 史 宝, 徐 涛, 马 牲. 2008. 盐度对毛蚶呼吸与代谢的影响. 海洋湖沼通报, **1**(1): 107-108.
- 孙思志, 郑忠明, 陆开宏, 等. 2010. 铜锈环棱螺对藻华水体沉积物-水界面营养盐通量的影响. 生态学杂志, **29**(4): 730-734.
- 唐保军, 闫文罡, 王 慧, 等. 2010. 盐度对不同规格黄边糙鸟蛤呼吸排泄的影响. 海洋渔业, **31**(1): 30-34.
- 唐贤明, 田景波. 2006. 盐度对大菱鲆幼鱼耗氧率和排氨率的影响. 南方水产, **2**(4): 54-58.
- 王晓宇, 周 毅, 杨红生. 2011. 胶州湾菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)呼吸排泄作用的现场研究. 海洋与湖沼, **42**(5): 722-727.
- 王资生, 彭 斌. 2003. 温度和规格对扁玉螺耗氧率和排氨率的影响. 盐城工学院学报(自然科学版), **1**(2): 50-54.
- 吴湛辉, 戴玉勇, 林国明. 2010. 氨氮对海湾扇贝幼体毒性的研究. 河北渔业, (6): 11-13.
- 徐 东, 张继红, 王文琪, 等. 2010. 温度变化对虾夷扇贝耗氧率和排氨率的影响. 中国水产科学, **17**(5): 1101-1106.
- 闫茂仓, 单乐州, 邵鑫斌, 等. 2007. 盐度和 pH 值对鲢鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响. 台湾海峡, **26**(1): 85-91.
- 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.
- 张 媛, 方建光, 毛玉泽, 等. 2007. 温度和盐度对橄榄蚶

- 耗氧率和排氨率的影响. 中国水产科学, **14**(4): 690-694.
- 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.
- Cheung SG, Lam SW. 1995. Effect of salinity, temperature and acclimation on oxygen consumption rate of *Nassarius festivus* (Powys, 1835) (Gastropoda: Nassariidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, **111**: 625-631.
- Diaz RJ. 1995. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, **33**: 245-303.
- Kautsky N, Evans S. 1987. Role of biodeposition by *Mytilus edulis* in the circulation of matter and nutrients in a Baltic coastal ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*, **38**: 201-212.
- Mayzaud P. 1973. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton. II. Studies of the metabolic characteristics of starved animals. *Marine Biology*, **21**: 19-28.
- Navarro JM, Gonzalez CM. 1998. Physiological responses of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities. *Aquaculture*, **167**: 315-327.
- Pyšek P, Richardson DM. 2010. Invasive species, environmental change and management, and health. *Annual Review of Environment and Resources*, **35**: 25-55.
- Rosenberg R, Agrenius S, Hellman B, et al. 2002. Recovery of marine benthic habitats and fauna in a Swedish fjord following improved oxygen conditions. *Marine Ecology Progress Series*, **234**: 43-53.
- Tiffany DT, John ML. 2002. The effect of salinity on respiration, excretion, regeneration and production in *Ophiophragmus filigraneus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **275**: 1-14.
- Widdow SJ. 1978. Combined effect of body size, food concentration and season on the physiology of *Mytilus edulis*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **58**: 109-124.

作者简介 吴文广,男,1987年生,硕士研究生,主要从事研究海洋生物生态学研究. E-mail: peng1234562008@126.com

责任编辑 李凤芹