

西施舌的耗氧率与排氨率研究*

孟学平¹ 董志国¹ 程汉良¹ 李晓英² 李家乐^{2*}

(¹ 淮海工学院海洋学院 江苏省海洋生物技术重点建设实验室, 连云港 222005; ² 上海水产大学 农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室, 上海 200090)

【摘要】 采用室内实验生态学方法研究了不同栖息水温 and 不同溶解氧水平下处于标准代谢状态的西施舌耗氧率与排氨率, 并测定了窒息点. 结果表明, 在 25 ℃ 时, 水中 DO $\geq 3.11 \pm 0.15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 西施舌的耗氧率和排氨率分别为 $0.74 \pm 0.05 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $2.56 \pm 0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 处于相对稳定状态; 当 DO 低于此值则代谢出现异常, 耗氧率随 DO 下降而下降, 直到窒息为止, 其窒息点为 $1.22 \pm 0.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 而排氨率也呈直线下降, 但排氨停止滞后于耗氧停止. 耗氧率与栖息水温呈二次线型关系: $\text{OCR} = -0.0027T^2 + 0.1367T - 0.9557$, $R^2 = 0.9724$; 水温为 25.3 ℃ 时, 西施舌的耗氧率达到最大, 为 $0.77 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. 处于适温状态 (15 ℃ 和 20 ℃) 的 O/N 值要高于低温 (10 ℃) 和高温 (25 ℃ 和 30 ℃) 时的 O/N 值, 西施舌在适宜条件下更多地依赖于脂肪供能维持标准代谢, 而在环境不适时则更多地调用机体的蛋白质来维持生理代谢需要.

关键词 西施舌 耗氧率 排氨率

文章编号 1001- 9332(2005) 12- 2435- 04 中图分类号 Q175 文献标识码 A

Oxygen consumption and ammonia N excretion rates of *Coelomactra antiquata*. MENG Xueping¹, DONG Zhiguo¹, CHENG Hanliang¹, LI Xiaoying², LI Jiale² (¹Key Constructing Laboratory of Marine Biotechnology of Jiangsu Province, College of Oceanography, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China; ²Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecology of Agriculture Ministry, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China). - Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(12): 2435~ 2438.

With laboratory experiments, this paper studied the oxygen consumption rate (OCR) and ammonia N excretion rate (NR) of *Coelomactra antiquata* at different levels of dissolved oxygen (DO) and water temperature. The results indicated that at 25 ℃ and $3.11 \pm 0.15 \text{ mg DO} \cdot \text{L}^{-1}$, *C. antiquata* had a comparatively stable OCR and NR, which maintained at $0.74 \pm 0.05 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ and $2.56 \pm 0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectively. When DO was lower than $3.11 \pm 0.15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, the metabolism of *C. antiquata* became abnormal, and its OCR was decreased with decreasing DO until suffocate, with a suffocate point $1.22 \pm 0.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ at 25 ℃. The NR also declined with decreasing DO, which ceased later than oxygen consumption. There was a quadratic linear relationship between OCR and water temperature ($\text{OCR} = -0.0027T^2 + 0.1367T - 0.9557$, $R^2 = 0.9724$). When water temperature was 25.3 ℃, the OCR arrived to its maximum value $0.77 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. The O/N ratio at optimal temperature (15~ 20 ℃) was higher than that at low (10 ℃) and high temperature (25 ℃ and 30 ℃). To maintain its standard metabolism, *C. antiquata* consumed more fat under fit condition, while more protein under stress.

Key words *Coelomactra antiquata*, Oxygen consumption rate, Ammonia N excretion rate.

1 引 言

西施舌 (*Coelomactra antiquata*) 是近年新开发的极具养殖前景的优质经济贝类, 主要分布区是在太平洋西部、印度支那半岛、日本和中国的沿海. 呼吸与排泄是贝类新陈代谢的基本生理活动, 也是贝类能量学研究的重要内容. 它既反映了贝类的生理状态, 也反映了环境条件对贝类生理活动的影响. 在能量代谢方面国内外已开展的研究种类有皱纹盘鲍 (*Haliotis discus hannai*)^[3]、褐虎对虾 (*Penaeus esculentus*)^[5]、菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*)

等经济海洋贝类^[8~ 11, 23, 19, 20~ 22, 25, 27, 30], 而对西施舌的研究主要集中在养殖生态学^[12, 13, 17]和生长及繁殖生物学方面^[4, 13, 14, 16, 26], 而对西施舌的能量代谢研究, 特别是耗氧与排氨的研究还未见报道. 因此, 了解西施舌新陈代谢活动的规律和变化特点, 对于进一步提高西施舌养殖水平、合理利用与保护水产养殖环境, 具有重要的理论和实践意义, 同时也为丰富贝类能量学的理论研究提供科学依据.

* 国家农业部“948”项目 (2004 Z44) 和江苏省海洋生物技术重点建设实验室资助项目 (2005HS009).

* * 通讯联系人. E-mail: jlli@shfu.edu.cn.

2005- 02- 21 收稿, 2005- 05- 26 接受.

2 材料与方法

2.1 实验材料

实验所用西施舌取自连云港自然海域.实验选用个体无损伤、喷水有力的西施舌,小心洗刷去除表面附着物,暂养于事先准备好经充分曝气的实验室水族箱内.

2.2 研究方法

2.2.1 实验方法 实验选规格大小一致的西施舌(壳长 6.69 ~ 7.83 cm、湿重为 60~ 70 g),经充分曝气的海水暂养一周后进行标准代谢实验.每次试验西施舌不重复利用,以减少实验的误差.实验温度每日升高 1 ℃直至所需水温.试验设 5 个温度水平(10 ℃、15 ℃、20 ℃、25 ℃和 30 ℃),每个水平 4 个重复和 1 个空白.实验以 2 L 烧杯为呼吸瓶,每个瓶放 2 个西施舌,放入西施舌立即用液体石蜡封闭水面.以贝壳开始张开为起始点进行计时,实验前后测定呼吸瓶中水样的溶解氧和氨氮.在 25 ℃时 1 h 测定一次呼吸瓶中的溶解氧和氨氮,持续到溶解氧不再下降为止,以确定合适的测定时间和西施舌的窒息点.

2.2.2 测定方法 溶解氧测定采用 Winkler 碘量法,氨氮采用次氯酸钠氧化法;生物学测定是在实验结束后用游标卡尺测定实验贝的壳长,然后于 75 ℃下烘至恒重,在精度为 0.0001 的电子天平上称内脏团干重.

2.2.3 计算方法 根据实验前后呼吸瓶内水中的 DO, 计算西施舌的耗氧率和排氨率:

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

式中, ORC 为单位体重耗氧率($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), DO_0 和 DO_t 分别为实验开始和结束时水中 DO 含量($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), V 为呼吸瓶中水的体积(L), W 为西施舌软体部干重(g), t 为呼吸时间(h).

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

式中, NR 为单位体重排氨率($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), N_0 和 N_t 分别为实验开始和结束时水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

3 结果与分析

3.1 水中溶解氧与西施舌耗氧率的关系

在 25 ℃条件下,随着试验的进行,水中溶解氧在 5 h 内呈直线下降趋势,5 h 内从起始的 $7.60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降到 $1.18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,之后溶解氧趋于稳定(图 1),表明西施舌经 5 h 后,呼吸停止.由图 2 的耗氧率曲线也可以说明在起始的 3 h 内耗氧率处于稳定值($0.74 \pm 0.05 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$),因此自由区 DO 临界值应为 $3.11 \pm 0.15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.当 DO 值低于 $3.11 \pm 0.15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,西施舌的呼吸受到环境压力,处于非正常生理代谢状况,耗氧率呈直线下降,直至 5 h 后呼吸停止,第 6 h 的耗氧率为 0,因此 5 h 末的 DO 可以认为是西施舌的窒息点,为 1.22 ± 0.06

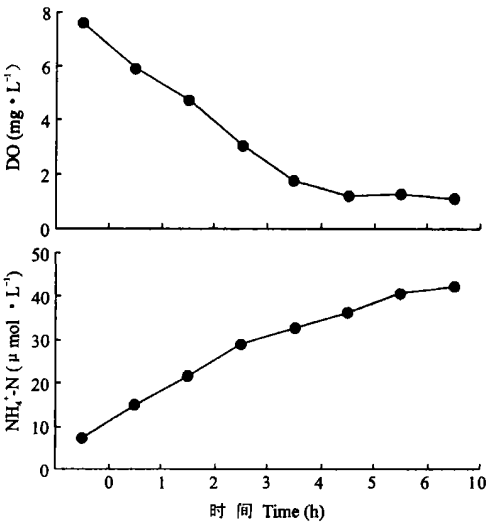


图 1 西施舌代谢引起水中溶氧和氨氮的变化
Fig. 1 Relationship between DO and ammonia N in water and *C. antiquata* metabolism.

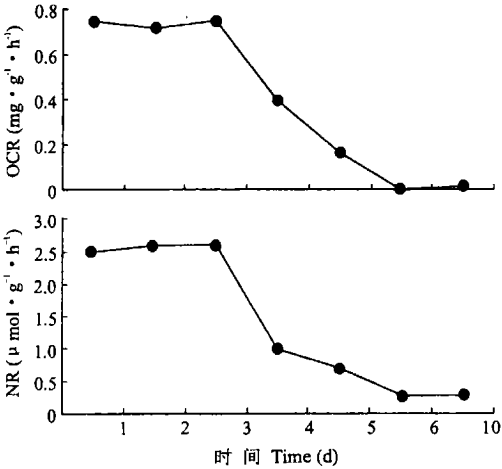


图 2 不同时刻西施舌耗氧率和排氨率变化
Fig. 2 Oxygen consumption rate and ammonia N excretion rate of *C. antiquata* metabolism at different time.

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,说明 25 ℃条件下生存区的溶解范围为 $3.11 \pm 0.15 \sim 1.22 \pm 0.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

3.2 水中氨氮与西施舌排氨率的关系

在 25 ℃条件下,水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 在 6 h 内呈直线上升趋势,但 10 h 内水中氨氮上升分为 3 个阶段:0 ~ 3 h 直线的斜率最大,排氨量最大,3 h 内水中氨氮量达 $29.04 \pm 5.63 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,平均 1 h 排氨量为 $7.35 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;而 3~ 6 h 则增加趋缓,平均 1 h 排氨量为 $4.00 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;6~ 10 h 则趋于停止增加,表明西施舌经 6 h 后,排氨停止(图 1).由图 2 可见,在起始的 3 h 内排氨率处于稳定值($2.56 \pm 0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$),而 3~ 6 h 的排氨率呈直线下降,直到停止排氨,表明西施舌经 6 h 后,排氨停止,代谢完全停止.

3.3 栖息水温对西施舌耗氧率和排氨率的影响

栖息水温在 10 ℃、15 ℃、20 ℃、25 ℃和 30 ℃时, 西施舌耗氧率变化的检验结果表明, 除 20 ℃、25 ℃、30 ℃相互间无显著差异外, 其余都存在显著差异($P < 0.01$), 由图 3 可以看出, 在一定温度范围内(10 ℃~ 20 ℃), 西施舌的耗氧率随水温的升高而加大, 但超过 25 ℃以后, 耗氧率则呈下降趋势. 这说明超过 25 ℃则西施舌处于不适状况, 代谢处于抑制甚至停止状态. 耗氧率与栖息水温呈二次线型关系: $OCR = -0.0027T^2 + 0.1367T - 0.9557$; $R^2 = 0.9724$, 说明在水温为 25.3 ℃时, 西施舌的耗氧率达到最大($0.77 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

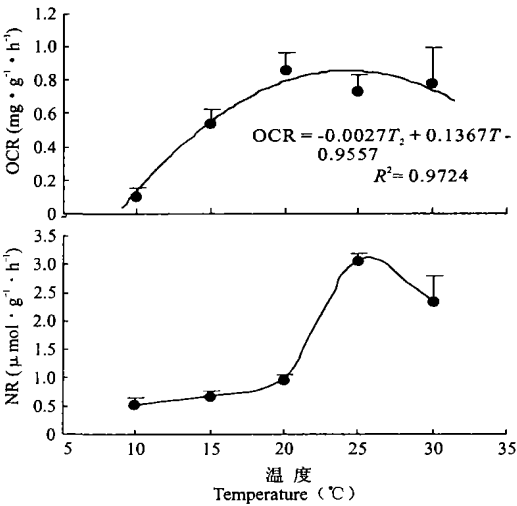


图3 不同温度下西施舌的耗氧率和排氨率
Fig.3 Oxygen consumption rate and ammoniar N excretion rate of *C. antiquata* at different water temperature.

不同温度下西施舌的排氨率与耗氧率规律基本一致. 图 3 表明, 在 10 ℃~ 20 ℃排氨率呈缓慢增加的趋势, 但 25 ℃时则氮代谢极剧增加, 由 20 ℃时的 $1.00 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 显著增加到 $2.50 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 之后则排氨率呈下降趋势, 说明 25 ℃左右为代谢最活跃的温度.

3.4 西施舌耗氧率和排氨率的关系

氧氮比 (O/N) 是表示动物呼吸底物的重要参数, 根据 O/N 值可以估计动物能量代谢中供能物质的比例. 如果机体主要由脂肪或碳水化合物供能, 其 O/N 值较大甚至无穷大; 若由蛋白质和脂肪共同氧化供能, 则 O/N 约为 24; 如果完全由蛋白质氧化供能, O/N 约为 7^[2]. 根据这些结论, 结合本实验结果 (表 1) 可以推断, 在不同 DO 水平下, 西施舌主要以蛋白质和脂肪为代谢物质. 特别是在第 4 h 后, 水中缺氧后, 耗氧率下降, 代谢主要是以蛋白质和脂肪共同氧化供能. 而且 6~ 10 h 西施舌已不在呼吸但仍

有少量 N 排放, 说明 N 代谢比氧代谢有滞后的现象. 表 2 说明在不同的温度水平下, 西施舌的代谢也是以蛋白质和脂肪共同氧化供能, 维持机体新陈代谢. 而且处于适温状态 (15 ℃和 20 ℃) 的 O/N 值要高于低温 (10 ℃) 和高温 (25 ℃和 30 ℃) 时的 O/N 值, 说明西施舌在适宜条件下更多地依赖于脂肪供能维持标准代谢, 而在环境不适时则更多地调用机体的蛋白质来维持生理代谢需要.

表 1 不同时间处于不同溶解氧水平时的西施舌代谢率
Table 1 Metabolism rate of *C. antiquata* at different time and DO

	时 间 Time(h)						
	1	2	3	4	5	6	10
OCR($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.74	0.72	0.75	0.40	0.17	0.00	0.00
NR($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	2.50	2.58	2.60	1.00	0.70	0.26	0.30
O/N	13.05	16.31	18.00	24.98	14.78	0.00	0.00

表 2 不同温度水平下西施舌的代谢率
Table 2 Metabolism rate of *C. antiquata* at different water temperature

	温 度 Temperature(℃)				
	10	15	20	25	30
OCR($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.12	0.55	0.87	0.74	0.78
NR($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	0.55	0.70	1.01	2.50	2.32
O/N	13.25	49.52	54.06	13.05	21.01

4 讨 论

水中氧的分压 (含量) 是水生动物正常生理代谢的重要生态因子, 但近年有关贝类对低溶解氧的适应性研究报道较少, 而鱼类研究表明, 在水中 DO 高于 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 则可以满足鱼类的正常生理代谢^[29]. 本研究结果表明, 西施舌在 25 ℃时水中 DO 高于 $3.11 \pm 0.15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 就可以完全满足其生理代谢, 低于鱼类的研究报道^[7]. 这是由于贝类是底栖生物, 对低氧环境长期适应所致. 水中溶氧水平与西施舌耗氧率之间的关系和鱼类的研究结果一致. 由图 2 可以看出, 曲线可分为自由区、生存区和窒息区, 但在各临界点与鱼类研究有所差异. 这是由于研究者实验条件的差异及不同物种本身的生理差异造成的.

温度的波动是引起贝类生理活动变化的重要因素之一, 通过研究贝类在不同温度下呼吸排谢状态可以评价贝类对温度的耐受能力和对能量利用水平. 研究表明, 在适宜的温度范围内, 贝类的耗氧率随温度的升高而增加, 超出这个范围则出现异常^[28]. 从本研究建立的温度与耗氧率方程 ($OCR = -0.0027T^2 + 0.1367T - 0.9557$; $R^2 = 0.9724$) 可见, 栖息水温在 10 ℃、15 ℃和 20 ℃, 耗氧率呈显著上升, 且不同温度下的耗氧率有极显著差异 ($P < 0.01$); 而 20~ 30 ℃的耗氧率则无显著差异, 说明西

施舌在高于 20 ℃时,特别是到 30 ℃时代谢受到抑制. 方程表明在水温为 25.3 ℃时,西施舌的耗氧率达到最大,为 0.77 mg·g⁻¹·h⁻¹. 本研究发现,在标准代谢下,西施舌的耗氧率最大时的温度要比淡水贝类如三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)^[6]、*Parreysia corrugate*^[18]和多形饰贝(*Dreissena polymorpha*)^[1]及其处于高潮位滩涂贝类^[8,11,24]最适温度的上限偏低. 这也证明西施舌自然分布区在低潮线滩涂以下、水深在 10 m 以上的海域,耐高温能力要低于淡水贝类如三角帆和高潮带的贝类如文蛤、彩虹明樱蛤等. 因此在养殖上,盛夏要注意水温不能过高,水温控制在 20~ 25 ℃左右代谢旺盛,高于 30 ℃则会窒息而死;高温季节要注意采取防暑降温措施.

参考文献

1 Aldridge DW, Payne BS, Miller AC. 1995. Oxygen consumption, nitrogenous excretion, and filtration rates of *Dreissena polymorpha* at acclimation temperatures between 20 and 32 ℃. *Can J Fish Aquat Sci*, **52**: 1761~ 1767

2 Bayne BL, Widdows J. 1978. The physiological ecology of two populations of *Mytilus edulis* L. *Oecologia*, **37**: 137~ 162

3 Chang Y-Q(常亚青), Wang Z-C(王子臣). 1998. An energy budget for individual pacific abalone (*Haliotis discus hannai* Ino). *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **9**(5): 511~ 516(in Chinese)

4 Chen S-W(陈素文), Chen R-W(陈瑞雯), Wu J-F(吴进锋). 1999. A study on settlement substratum of *Macra antiquata* spat. *J Fish Sci Chin*(中国水产科学), **6**(2): 125~ 126(in Chinese)

5 Dall W, et al. 1986. Oxygen consumption and ammonia N excretion in fed and starved tiger prawn *Penaeus esculentus* (Haswell). *Aquaculture*, **55**: 23~ 33

6 Dong Z-G(董志国), Li J-L(李家乐), Wang M-Z(王美珍). 2004. The influence of body size and temperature on oxygen consumption rate of *Hyriopsis cumingii*. *J Shanghai Fish Univ*(上海水产大学学报), **13**(1): 47~ 51(in Chinese)

7 Hu X-D(胡贤德), Lin B-K(林北坤). 1999. Effect of oxygen content in water on proteinase vitality in prawn digestive system. *J Shenyang Agric Univ*(沈阳农业大学学报), **30**(4): 457~ 459(in Chinese)

8 Jiang Z-H(姜祖辉), Wang J(王俊), Tang Q-S(唐启升). 1999. Studies on physiological ecology of short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*) I. Effects of temperature, body weight and feeding state on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate. *Mar Fish Res*(海洋水产研究), **20**(1): 40~ 44(in Chinese)

9 Jiang Z-H(姜祖辉), Wang J(王俊). 1999. Effects of temperature and body size on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Arca subcrenata*. *J Qingdao Univ*(青岛大学学报), **12**(1): 75~ 79(in Chinese)

10 Lei S-J(雷思佳). 2002. Effect of salinity and body weight on the oxygen consumption of *Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **13**(6): 739~ 742(in Chinese)

11 Lin Y-S(林元烧), Shen G-Y(沈国英), Zhang H(张华). 1996. Study on the rate of oxygen consumption of a marine clam, *Ruditapes philippinarum* (Adams et Reeve). *J Xiamen Univ*(Nat Sci)(厦门大学学报·自然科学版), **35**(3): 407~ 411(in Chinese)

12 Liu D-J(刘德经), Huang D-Y(黄德尧), Wang J-P(王家滂). 2002. Studies on the biological zero temperature and effective accumulated temperature of embryo development of *Coelomacra antiquata*. *Spec Wild Econ Anim Plant Res*(特产研究), **24**(1): 33~ 34(in Chinese)

13 Liu D-J(刘德经), Xie K-E(谢开恩). 2003. Reproductive biology

of *coelomacra antiquata*. *Chin J Zool*(动物学杂志), **38**(4): 10~ 12(in Chinese)

14 Liu D-J(刘德经), Xie K-E(谢开恩), Wang J-P(王家滂). 2002. Studies of techniques for *Coelomacra antiquata* artificial rearing and juvenile culture. *J Jimei Univ*(集美大学学报), **7**(3): 198~ 204(in Chinese)

15 Liu D-J(刘德经), Huang D-Y(黄德尧). 2001. Preliminary study on death temperatures for shell young and larvae of *Coelomacra antiquata*. *Chin J Zool*(动物学杂志), **36**(1): 29~ 31(in Chinese)

16 Liu D-J(刘德经), Wang J-P(王家滂), Xie K-E(谢开恩). 2002. A tray shelf mode for artificial collection of spat *Coelomacra antiquata* in three dimensions. *J Fish Sci Chin*(中国水产科学), **9**(1): 39~ 42(in Chinese)

17 Liu D-J(刘德经), Wang J-P(王家滂), Xiao H-L(肖华霖). 2003. Studies on the growth of *Coelomacra antiquata*. *J Zhanjiang Ocean Univ*(湛江海洋大学学报), **23**(1): 17~ 21(in Chinese)

18 Lomte VS, Nagabhushanam R. 1971. Studies on the respiration of the freshwater mussel *Parreysia corrugate*. *Hydrobiologia*, **38**(2): 239~ 246

19 Mayzald P. 1976. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton IV. The influence of starvation on the metabolism and biochemical composition of some species. *Mar Biol*, **37**: 47~ 58

20 Navarro JM. 1992. Nature sediment as a food source for the cockle *Cerastoderma edule*: Effects of variable particle concentration on feeding, digestion and the scope for growth. *J Exp Mar Biol Ecol*, **156**: 69~ 87

21 Rao X-Z(饶小珍), Chen W-L(陈文列). 2002. Ultrastructural observation on spermatogenesis of *Coelomacra antiquata*. *J Fish Chin*(水产学报), **26**(2): 97~ 104(in Chinese)

22 Wang F(王芳), Dong S-L(董双林), Zhang S(张硕), et al. 1998. Study on the respiration and excretion of *Argopecten irradians* and *Crassostrea reagens*. *J Ocean Univ Qingdao*(青岛海洋大学学报), **28**(2): 233~ 244(in Chinese)

23 Wang J(王俊), Jiang Z-H(姜祖辉), Tang Q-S(唐启升). 1999. Studies on physiological ecology of short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*) II. Effects of temperature and food on assimilation efficiency. *Mar Fish Res*(海洋水产研究), **20**(2): 42~ 47(in Chinese)

24 Wang J(王俊), Jiang Z-H(姜祖辉), Tang Q-S(唐启升). 2002. Oxygen consumption and ammonia N excretion rate of *Chlamys farreri*. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **13**(9): 1157~ 1160(in Chinese)

25 Wang J(王俊), Jiang Z-H(姜祖辉), Tang Q-S(唐启升). 2000. Assimilation efficiency of pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **11**(3): 441~ 444(in Chinese)

26 Wu J-F(吴进峰), Zhang H-H(张汉华), Liang C-Y(梁超伦). 2004. Artificial breeding of juveniles of *Macra antiquata*. *J Shanghai Fish Univ*(上海水产大学学报), **13**(2): 130~ 133(in Chinese)

27 Xian W-W(线薇薇), Zhu X-H(朱鑫华). 2002. Influence of body weight and temperature on standard metabolic rate of *Paralichthys solivæus*. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **13**(3): 340~ 342(in Chinese)

28 Yang H-S(杨红生), Zhang T(张涛), Wang P(王萍), et al. 1998. Effects of temperature on respiration and excretion of *Argopecten irradians concentricus*. *Acta Oceanol Sin*(海洋学报), **20**(2): 91~ 95(in Chinese)

29 Yin M-C(殷名称). 1993. Fish Ecology. Beijing: China Agriculture Press. 94~ 97(in Chinese)

30 Zhang S(张硕), Wang F(王芳), Dong S-L(董双林). 2000. Effect of temperature and body weight on carbon budget of *Penaeus chinensis*. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **11**(4): 615~ 617(in Chinese)

作者简介 孟学平,男,1955年生,硕士,教授.研究方向为水生生物生化与分子生物学,发表论文13篇. Tel: 0518-5817487; E-mail: mxp2002@hotmail.com