

管角螺窒息点及昼夜代谢规律*

罗杰 刘楚吾** 李锋 唐洪超

(广东海洋大学海洋生物研究所, 广东湛江 524025)

摘要 在水温(22 ± 0.5) °C下,按管角螺壳高设置 S[(6.48 ± 0.46) cm]、M[(7.59 ± 0.41) cm]和 L[(9.08 ± 0.37) cm] 3组,研究了管角螺的窒息点及其昼夜代谢规律.结果表明:1)当水中的溶解氧(DO)含量大于临界值 4.37 mg · L⁻¹时,管角螺的耗氧率为 1.81 mg · g⁻¹ · h⁻¹,并处于相对稳定状态;DO低于此值,耗氧率随 DO的下降而降低,0.43 mg · L⁻¹的 DO为管角螺的窒息点(耗氧率为 0);2)管角螺的标准代谢(SM)和常规代谢(RM)随体质量的增加而降低,不同壳高处理组昼夜变化规律相同,即夜间代谢强于白天,但不同处理组 SM(F = 36.263, P < 0.01)和 RM(F = 6.788, P < 0.01)差异均极显著;S、M和 L组特殊动力代谢的峰值分别为 2.11、1.62和 1.42 mg · g⁻¹ · h⁻¹,分别为其 SM的 2.09、1.75和 1.71倍,持续时间均为 15 h;S、M和 L组分别在餐后 24、24和 27 h达到排氨率的高峰,峰值分别为 3.94、2.64和 1.71 μmol · g⁻¹ · h⁻¹,分别为其饥饿状态下排氨率的 1.87、1.73和 1.31倍.

关键词 管角螺 窒息点 标准代谢 常规代谢

文章编号 1001-9332(2008)09-2092-05 **中图分类号** S968.3 **文献标识码** A

Suffocation point and diurnal metabolism pattern of *Hemifusus tuba* (Gmelin). LUO Jie, LU Chu-wu, LI Feng, TANG Hong-chao (Institute of Marine Biology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, Guangdong, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2008, 19(9): 2092-2096

Abstract: The individuals of *Hemifusus tuba* (Gmelin) were divided into 3 groups, i.e., small [S, (6.48 ± 0.46) cm], medium [M, (7.59 ± 0.41) cm], and large [L, (9.08 ± 0.37) cm], according to their shell height, and their suffocation points and diurnal metabolism patterns were investigated at water temperature (22 ± 0.5) °C. The results indicated that the oxygen consumption rate of *H. tuba* was relatively stable and maintained at 1.81 mg · g⁻¹ · h⁻¹ when dissolved oxygen (DO) content was higher than 4.37 mg · L⁻¹, but decreased with decreasing DO when DO content was lower than 4.37 mg · L⁻¹. 0.43 mg · L⁻¹ of DO was the suffocation point of *H. tuba*, with the oxygen consumption rate being 0. The standard metabolism (SM) and routine metabolism (RM) of *H. tuba* decreased significantly with increasing body mass, and changed with the same pattern in the 3 groups, i.e., being higher at night than in daytime. There was a significant difference in the SM (F = 36.263, P < 0.01) and RM (F = 6.788, P < 0.01) among the 3 groups. The peak values of the specific dynamic metabolism of groups S, M, and L were 2.11, 1.62, and 1.42 mg · g⁻¹ · h⁻¹, being 1.09, 0.75, and 0.71 times higher than their SM, respectively, and maintained about 15 h. The ammonia excretion rates of groups S, M, and L reached the peak after 24, 24, and 27 hours of feeding, with the peak values being 3.94, 2.64, and 1.71 μmol · g⁻¹ · h⁻¹, and 0.87, 0.73 and 0.31 times higher than those in starvation state, respectively.

Key words: *Hemifusus tuba* (Gmelin); suffocation point; standard metabolism; routine metabolism.

管角螺 [*Hemifusus tuba* (Gmelin)] 隶属软体动物门腹足纲新腹足目灰螺科,为热带和亚热带种类,主要分布于我国的东、南沿海,尤以南海诸岛海域居多,生活在近海约 10 m 左右泥沙或泥质的海底,以

底栖性贝类及死鱼为食,是我国具有人工养殖前景的经济贝类之一。

有关贝类能量代谢的研究主要集中在双壳类如贻贝 (*Mytilus edulis*)^[1]、栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*)^[2-4]、美洲牡蛎 (*Crassostrea virginica*)^[5]、太平洋牡蛎 (*Crassostrea gigas*)^[6]、虾夷扇贝 (*Patinopecten yessoensis*)^[7]及墨西哥湾扇贝 (*Argopecten irradians*

* 广东省科技计划(农业攻关)资助项目(2005B33201011)。

** 通讯作者. E-mail: liucw@gdou.edu.cn

2007-12-17收稿,2008-06-19接受。

concentricus)^[8]和少数腹足纲如狮猴鲍 (*Haliotis midiae*)^[9]、方斑东风螺 (*Babylonia areolata*)^[10-11]、皱纹盘鲍 (*Haliotis discus hannai*)^[12]等,关于管角螺窒息点和能量代谢的研究尚未见报道. 本文在水温 (22 ± 0.5) 下,对管角螺的窒息点、标准代谢 (standard metabolism, SM)和常规代谢 (routine metabolism, RM)的昼夜变化规律及其特殊动力代谢 (specific dynamic metabolism, SDA)进行研究,以期对管角螺的人工育苗和养殖密度、水质管理、活体运输以及能量学理论研究提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 供试材料

从湛江南三岛附近海域采捕供试管角螺,选取贝壳完整、足部伸缩有力的健康个体,小心洗刷去除表面附着物,按壳高分为小 [S, (6.48 ± 0.46) cm]、中 [M, (7.59 ± 0.41) cm]、大 [L, (9.08 ± 0.37) cm] 3组,每组 50个,分别置于 0.5 m³ 盛有盐度为 31的海水的圆形桶中暂养,水温 (22 ± 0.5),每天投饵、充气、换水.

1.2 试验方法

1.2.1 管角螺窒息点的测定 以 S组为例,在水温 (22 ± 0.5) 下测定管角螺的窒息点. 以 2 L的广口瓶为代谢瓶,每瓶放入 3个管角螺后即带有玻璃导管的橡皮塞密封,玻璃导管的一端伸入代谢瓶中,另一端外套乳胶管用夹子夹住,保证代谢瓶中没有任何气体交换,通过恒温水浴控制试验温度. 每隔 1 h取水样测定代谢瓶中的溶解氧含量,持续到溶解氧不再下降为止,以确定管角螺的窒息点. 试验设 3次重复和 1个空白对照.

耗氧率的计算公式:

$$OR = (DO_0 - DO_t) V / (W t)$$

式中:OR为单位体质量耗氧率 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); DO_0 和 DO_t 分别为空白对照组和试验组水中溶解氧的含量 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); V 为代谢瓶中水的体积 (L); W 为管角螺软体部干质量 (g); t 为呼吸时间 (h).

1.2.2 标准代谢和常规代谢试验 在水温 (22 ± 0.5) 下,分别将饥饿 2 d和饱食 2 h后的管角螺按大、中、小三组置于流水式呼吸室 (1 L)^[6,13],每组 3个,分别测定管角螺在标准代谢 (饥饿状态)和常规代谢 (饱食状态)下的耗氧率和排氨率昼夜变化,3次重复. 试验从 7:00开始,每隔 3 h取样测定入水口和出水口的溶解氧和氨氮含量,连续测定 36 h耗氧率和排氨率的计算公式如下:

$$OR = (DO_0 - DO_t) \cdot V / W;$$

$$NR = (N_t - N_0) \cdot V / W$$

式中:OR为耗氧率 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); DO_0 和 DO_t 分别为入水口和出水口海水溶解氧含量 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); NR为排氨率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), N_0 和 N_t 分别为入水口和出水口海水氨氮含量 ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$); V 为试验时的水流速度 ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$); W 为管角螺软体部分干质量 (g).

水中溶解氧和氨氮含量分别采用 Winkler碘量法和次溴酸盐氧化法测定. 试验结束后用游标卡尺测量管角螺的壳高、壳宽,取出软体部分置于 70 的烘箱中烘至恒量,然后用电子天平 (HM-202)称其干质量.

采用 SPSS 11.5 统计软件对数据进行分析,以 $P < 0.01$ 作为差异显著水平.

2 结果与分析

2.1 管角螺窒息点及水中溶解氧含量与耗氧率的关系

试验开始时管角螺缓慢把吻部伸出,并在瓶中正常活动. 随着试验的进行,管角螺在瓶内爬动频繁,最后伏在瓶底不动,水中溶解氧在 6 h内呈直线下降,从起始的 $7.62 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降到 $0.43 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,之后趋于稳定 (图 1),表明管角螺经 6 h后呼吸停止. 由图 2的耗氧率曲线可以看出,在开始的 2 h内其耗氧率相对稳定 (约为 $1.81 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$),因此自由区溶解氧临界值应为 (4.37 ± 0.28) $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 当溶解氧含量低于此临界值时,管角螺处于非正常生理代谢状况,耗氧率呈直线下降,直至 6 h后呼吸停止,相对应 7 h其耗氧率降为 0,因此可以确定 6 h末水中溶解氧含量即为管角螺的窒息点 ($0.43 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

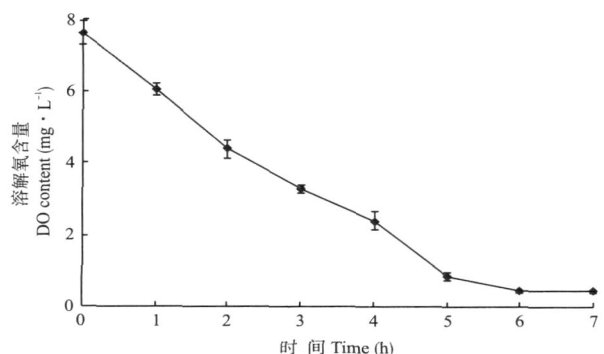


图 1 管角螺代谢引起水中溶解氧的变化

Fig 1 Change of DO in water with *H. tuba* metabolism.

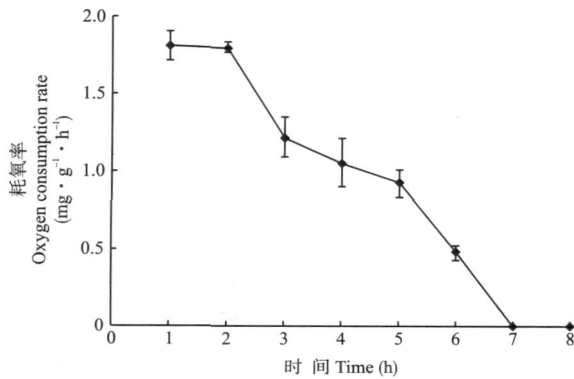


图 2 不同时间管角螺耗氧率的变化
Fig 2 Change in oxygen consumption rate of *H. tuba* with time

2.2 不同处理管角螺耗氧率昼夜变化

从图 3可以看出,无论在饥饿或饱食状态下,管角螺的耗氧率和排氮率均随体质量的增加而降低. S、M和 L三组管角螺标准代谢耗氧率降至最低点的时间分别为 16: 00、13: 00和 19: 00,然后缓慢上升,在 1: 00—4: 00达到最大值;夜间(19: 00—7: 00)的平均耗氧率分别为白天(7: 00—19: 00)的 1.09、1.15和 1.07倍,这可能与管角螺昼伏夜出的活动习性有关.在整个试验过程中,标准代谢耗氧率变化较为平缓,其中 S组的平均耗氧率为 0.93 mg · g⁻¹ · h⁻¹,变动范围在 0.81 ~ 1.01 mg · g⁻¹ · h⁻¹;M组的平均耗氧率为 0.88 mg · g⁻¹ · h⁻¹,变动范围在 0.75 ~ 0.96 mg · g⁻¹ · h⁻¹,L组耗氧率变动范围在 0.72 ~ 0.85 mg · g⁻¹ · h⁻¹,平均为 0.80 mg · g⁻¹ · h⁻¹.方差分析显示,S、M、L各组的标准代谢耗氧率组间差异极显著 ($F = 36.263, P < 0.01$).与标准代谢耗氧率相比,S、M、L各组常规代谢耗氧率变化较为明显,均在试验开始后 18 h达到最大值,其值分别为 2.11、1.62和 1.42 mg · g⁻¹ · h⁻¹,是

其标准代谢耗氧率的 2.09、1.75和 1.71倍,方差分析表明,S、M、L的常规代谢耗氧率组间差异达极显著水平 ($F = 6.788, P < 0.01$).

将各组常规代谢耗氧率波峰分别与时间 (t, h)进行回归^[13],得到耗氧率随时间变化方程:

$$S \text{ 组: } OR = 0.9738 + 0.0841t + 0.0202t^2 - 0.0017t^3 \quad (R^2 = 0.989, F = 428.98, P = 0.000)$$

$$M \text{ 组: } OR = 0.9351 + 0.1002t + 0.0104t^2 - 0.0015t^3 \quad (R^2 = 0.933, F = 51.18, P = 0.000)$$

$$L \text{ 组: } OR = 0.8232 + 0.1817t - 0.0170t^2 - 0.0003t^3 \quad (R^2 = 0.930, F = 61.93, P = 0.000)$$

式中:OR为耗氧率 (mg · g⁻¹ · h⁻¹); t 为特殊动力代谢 (specific dynamic metabolism, SDA,指动物摄食后用于消化、吸收、处理和转化食物过程中所消耗的代谢能)持续时间 (h).

2.3 不同处理管角螺排氮率的昼夜变化

从图 4可以看出,管角螺的标准代谢排氮率变化较为平缓,开始缓慢下降,随后缓慢增高.与标准代谢相比,管角螺常规代谢排氮率变化较大,在经过 18 ~ 21 h的缓慢变化后,S、M、L组分别在试验的 24、24和 27 h达到排氮率的最高峰,其峰值分别为 3.94、2.64和 1.71 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,分别为其标准代谢排氮率的 1.87、1.73和 1.31倍.在标准代谢和常规代谢下,小个体的排氮率均高于大个体,且组间差异均达到极显著水平 (SM: $F = 627.594, P < 0.01$; RM: $F = 77.994, P < 0.01$).

对排氮率 (NR, $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)出现的波峰与时间 (t, h)进行回归^[13],得到排氮率随时间变化方程:

$$S: NR = 2.1200 - 0.2411t + 0.2189t^2 - 0.0214t^3 \quad (R^2 = 0.997, F = 1010.82, P = 0.000)$$

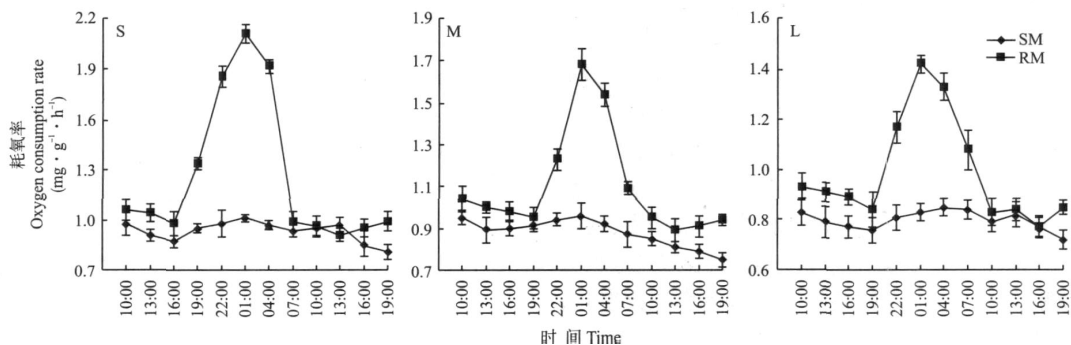


图 3 不同处理管角螺耗氧率昼夜变化
Fig 3 Diurnal variation of oxygen consumption rate of *H. tuba* under different treatments
SM: 标准代谢 Standard metabolism; RM: 常规代谢 Routine metabolism. 下同 The same below.

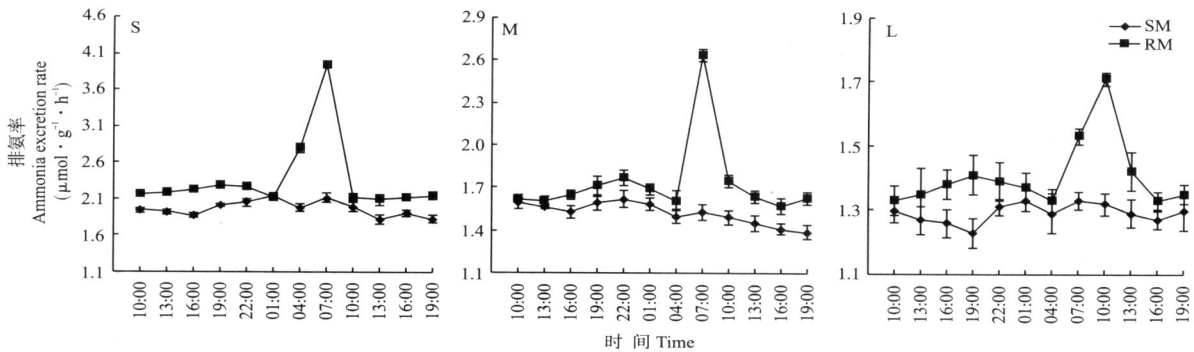


图 4 不同处理管角螺排氨率的昼夜变化

Fig 4 Diurnal variation of ammonia excretion rate *H. tuba* under different treatments

$M: NR = 1.6100 + 0.2250t^2 - 0.0369t^3$ ($R^2 = 0.991, F = 322.89, P = 0.000$)

$L: NR = 1.3300 + 0.0089t + 0.0294t^2 - 0.0034t^3$ ($R^2 = 0.963, F = 68.85, P = 0.000$)

比较发现,管角螺排氨率波峰较耗氧率波峰延迟 6~9 h,且排氨率峰值持续时间较短。

3 讨 论

3.1 管角螺的窒息点与含氧量的关系

大多数海水贝类的呼吸受其水中含氧量的影响。当含氧量低于一定的界限,贝类的氧消耗量随着水中含氧量的降低而衰退,从而减弱其摄食活动和体内正常的代谢过程,并降低其消化率。同时,不同种类贝类的耗氧量也不相同,而同种贝类在不同温度和含氧量环境中的耗氧量也会发生改变。本研究结果表明,水中溶解氧含量对管角螺的影响可分为自由区 [高于 $(4.37 \pm 0.28) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$],生存区 [$(3.27 \pm 0.092) \sim (0.43 \pm 0.044) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$]和窒息区 [低于 $(0.43 \pm 0.044) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$],海水中的溶解氧含量大于 $(4.37 \pm 0.28) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 才可以满足其正常生理代谢的需求。

在水温 (22 ± 0.5) 时管角螺的窒息点为 $0.43 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,与彩虹明樱蛤 (*Moerella iridescens*) 在 20 的窒息点 $1.22 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[14]、西施舌 (*Coelma antequate*) 在 25 时为 $(1.22 \pm 0.06) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[15]相比,其窒息点较低,这可能与管角螺的生活习性有关。管角螺一般生活在潮间带,退潮时会露出水面或分布在积水不多的区域。根据管角螺窒息点较低这一特点,在进行人工育苗时可适当减少充气量。此外,该特点表明管角螺适合高密度养殖及高密度长途运输。

3.2 管角螺的代谢规律

管角螺标准代谢耗氧率和排氨率均呈现一定规律,即自 17:00 开始缓慢上升,1:00—4:00 达到最大值,19:00—7:00 高于 7:00—19:00,这与同为腹足类的皱纹盘鲍的代谢规律一致^[12]。Natarajan^[16]、Rosas 等^[17]认为这种变化是由盐度、温度、摄食和光周期等的变化所控制,而 Childress^[18]则认为,动物代谢的昼夜变化主要与水体中溶解氧浓度的日变化以及动物为消除溶解氧竞争而采取的生存策略有关。管角螺生活在潮间带的泥沙或泥质海底中,白天埋栖在泥沙里,晚上则出来活动摄食,活动的增加使其耗氧率和排氨率随之增加。

3.3 管角螺的特殊动力代谢

在贝类能量学研究中,一般将代谢分为标准代谢、活动代谢 (activity metabolism, AM) 和特殊动力代谢。贝类在正常状况下的实际代谢率波动于标准代谢与最大活动代谢之间,即为常规代谢。目前,大多数研究将贝类在饱食后无饵料条件下的代谢定义为常规代谢^[6]。动物摄食后耗氧率的上升即耗能增加的现象被称为“特殊动力代谢”,这种变化体现了动物对食物的消化和吸收、蛋白质的合成与运转以及含氮废物等代谢过程的能量需求^[19]。SDA 的发生机制主要与摄食后氨基酸合成蛋白质有关^[20]或与蛋白质的分解代谢过程中氨基酸的脱氨基降解有关,SDA 过程中耗氧率的变化反映了氨基酸脱氨基降解所消耗的能量来源^[21-22],而通常以耗氧率的峰值、耗氧率峰值出现时间、摄食引起的耗氧率升高的持续时间和耗氧率增量作为 SDA 效应的能量指标^[23]。把饱食状态下管角螺出现耗氧率波峰作为摄食后出现的特殊动力代谢,管角螺在水温 (22 ± 0.5) 时的 SDA 峰值一般发生于停食后 18 h,持续时间为 15 h 存在相同现象的还有:双齿围沙蚕

(*Perinereis aibuhitensis*)在水温 20 ℃ 时的 SDA 分别出现在摄食后 21~24 h,持续时间为 12~15 h^[13];太平洋牡蛎在水温 20 ℃ 下 2n(二倍体)和 3n(三倍体)的 SDA 分别出现在摄食后 8 和 12 h,持续时间分别为 12 和 16 h^[6];皱纹盘鲍在 11~20 ℃ 下,SDA 约发生在摄食后的 14 h,持续时间约 6~8 h^[12]. 同样,在摄食后 24~27 h 管角螺出现排氮率高峰,持续时间为 9~12 h,排氮率的波峰出现在耗氧率波峰之后. 该结果与周一兵等^[6]对太平洋牡蛎三倍体与二倍体的研究结论较为一致.

参考文献

- [1] Sprang M. Physiological energetics of mussel larvae (*Mytilus edulis*). Shell growth and biomass *Marine Ecology Progress Series*, 1984, **17**: 283-293
- [2] Wang J (王 俊), Jiang Z-H (姜祖辉), Tang Q-S (唐启升). Oxygen consumption and ammonia-N excretion rates of *Chlamys farreri* *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2002, **13**(9): 1157-1160 (in Chinese)
- [3] Zhou Y (周 毅), Yang H-S (杨红生), Zhang F-S (张福绥). Physio-ecological characteristics of scallop *Chlamys farreri* *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2003, **14**(2): 227-233 (in Chinese)
- [4] Wang J (王 俊), Jiang Z-H (姜祖辉), Zhang B (张 波), et al Study on energy budget of farrerid scallop (*Chlamys farreri*). *Marine Fisheries Research (海洋水产研究)*, 1999, **20**(2): 71-75 (in Chinese)
- [5] Dame RF. Ecological energies of growth, respiration and assimilation in the intertidal American oyster *Marine Biology*, 1972, **17**: 243-250
- [6] Zhou Y-B (周一兵), Li X-Y (李晓艳), Qu Y (屈英), et al The comparison of specific dynamic metabolism of triploid *Crassostrea gigas*, with diploid *Oceanologia et Limnologia Sinica (海洋与湖沼)*, 2002, **33**(6): 663-671 (in Chinese)
- [7] MacDonald BA. Physiological energetics of Japanese Scallop *Patinopecten yessoensis* larvae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1988, **120**: 155-170
- [8] Yang H-S (杨红生), Zhang T (张 涛), Wang P (王 萍), et al Effects of temperature on oxygen consumption and ammonia-N excretion of the Southern Bay scallop *Argopecten irradians concentricus* *Acta Oceanologica Sinica (海洋学报)*, 1998, **20**(4): 91-95 (in Chinese)
- [9] Barkai K, Griffiths CL. An energy budget for the South African abalone *Haliotis midae* Linnaeus *Journal of Molluscan Studies*, 1988, **54**: 43-51
- [10] Liu J-Y (刘建勇), Deng X-C (邓兴朝), Shao J (绍杰). Influence of dry weight of soft tissue and water temperature on oxygen consumption and ammonia excretion rate in *Babylonia areolata* *Journal of Fishery Sciences of China (中国水产科学)*, 2005, **12**(3): 239-244 (in Chinese)
- [11] Liu J-Y (刘建勇), Shao J (绍杰), Zhuo J-H (卓健辉). Effect of salinity on respiration and excretion of *Babylonia areolata* *Journal of Tropical Oceanography (热带海洋学报)*, 2005, **24**(4): 35-40 (in Chinese)
- [12] Chang Y-Q (常亚青), Wang Z-C (王子臣). An energy budget for individual pacific abalone *Haliotis discus hannai* Ina *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 1998, **9**(5): 511-516 (in Chinese)
- [13] Wang L (王 玲), Chen A-H (陈爱华), Yang D-Z (杨大佐), et al Preliminary studies on the diurnal variation of metabolism of *Perinereis aibuhitensis* *Journal of Fisheries of China (水产学报)*, 2005, **29**(1): 48-54 (in Chinese)
- [14] Dong G-Z (董国志), Li X-Y (李晓英), Meng X-P (孟学平), et al Studies on oxygen consumption rate and ammonia-N excretion rate of *Moerella iridescens* *Journal of Oceanography in Taiwan Strait (台湾海峡)*, 2006, **25**(4): 503-507 (in Chinese)
- [15] Meng X-P (孟学平), Dong G-Z (董国志), Cheng H-L (程汉良), et al Oxygen consumption and ammonia-N excretion rates of *Coelomactra antiquate* *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2005, **16**(12): 2435-2438 (in Chinese)
- [16] Natarajan P. Persistent locomotor rhythmicity in the prawns *Penaeus indicus* and *P. mondon* *Marine Biology*, 1989, **101**: 339-346
- [17] Rosas C, Vanegas C, Alcaraz G, et al Effect of eye-stalk ablation on oxygen consumption of *Callinectes similis* exposed to salinity changes *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1991, **100**: 75-80
- [18] Childress JJ. The effect of pressure, temperature and oxygen on the consumption rate of the midwater copepod *Graussia princeps* *Marine Biology*, 1997, **39**: 19-24
- [19] Jobling M. Bioenergetics: Feed Intake And Energy Partitioning London: Chapman & Hall, 1993
- [20] Houlihan DF, Waring CP, Mathers E, et al Protein synthesis and oxygen consumption of the shore crab *Carcinus maenas* after a meal *Physiological Zoology*, 1990, **63**: 749-756
- [21] Clifford HC, Brick RW. Protein utilization in the freshwater shrimp, *Mucrobrachium rosenbergi* *Journal of World Mariculture Society*, 1978, **9**: 195-208
- [22] Hewitt DR, Irving MG. Oxygen consumption and ammonia excretion of the brown tiger prawn *Penaeus esculentus* fed diets of varying protein content *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1990, **96**: 373-378
- [23] Li Z (李 治), Xie X-J (谢小军), Cao Z-D (曹振东). Effect of feeding on oxygen consumption and ammonia excretion in *Silurus meridionalis* Chen *Acta Hydrobiologica Sinica (水生生物学报)*, 2005, **29**(3): 247-252 (in Chinese)

作者简介 罗 杰,男,1966年生,硕士,高级工程师.主要从事水产经济动物增殖养殖研究,发表论文 20 余篇. E-mail: luoj@gdou.edu.cn

责任编辑 肖 红