

文章编号:1000 - 0615(2005)01 - 0048 - 07

双齿围沙蚕昼夜代谢规律的初步研究

王 玲¹, 陈爱华¹, 杨大佐¹, 赵 啸¹, 张剑诚², 王 亮³, 周一兵¹

(1. 大连水产学院农业部海洋水产养殖和生物技术重点开放实验室, 辽宁 大连 116023;

2. 大连太平洋海珍品有限公司, 辽宁 大连 116045;

3. 辽宁出入境检验检疫局, 辽宁 大连 116001)

摘要:在 20 ℃ 下测定了双齿围沙蚕的常规代谢和标准代谢的昼夜变化规律。按沙蚕体重湿重分别设置 S[0.50 ±0.05g]、M[0.90 ±0.05g]、L[1.50 ±0.05g] 3 个组, 投喂人工合成的牙鲆饵料, 结果表明: (1) 常规代谢和标准代谢均随体重的增加而降低, 符合幂函数方程 $R = aW^b$, b 值分别为 -0.5988、-0.4817; (2) 在标准代谢的昼夜变化中, S、M、L 各组表现出相同的规律, 即夜间代谢增强, 白天相对低缓; (3) 对双齿围沙蚕常规代谢和标准代谢昼夜变化的比较表明, S、M 和 L 组特殊动力代谢的峰值分别为 3.936、1.5222 和 1.2853 mg · (g · h)⁻¹, 持续时间相近, S、M、L 总耗能分别为: 271.62、73.56 和 70.56 J · g⁻¹。

关键词:双齿围沙蚕; 体重; 标准代谢; 常规代谢; 特殊动力代谢

中图分类号: S917

文献标识码: A

Preliminary studies on the diurnal variation of metabolism of *Perinereis aibuhitensis*

WANG Ling¹, CHEN Ai-Hua¹, YANG Da-zuo¹, ZHAO Xiao¹

ZHANG Jian-cheng², WANG Liang³, ZHOU Yi-Bing¹

(1. Key Laboratory of Maricultural & Biotechnology Certificated by Ministry of Agriculture, Dalian Fisheries University,

Dalian 116023, China; 2. Dalian Pacific Seafood Co, Lt, Dalian 116045, China;

3. Liaoning Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Dalian 116001, China)

Abstract: The diurnal variations of standard metabolism (SM) and routine metabolism (RM) of *Perinereis aibuhitensis* were determined in feeding commercial *Paralichthys olivaceus* diet at 20 ℃. The worms used in this experiment were collected from seaside of Zhuanghe, Dalian, Liaoning province. Worms were grouped according to the wet body weight [S 0.50 ±0.05g, M 0.90 ±0.05g, L 1.50 ±0.05g]. The relation between dry body weight (W , g) and wet body weight (W , g) is equivalent to: $W = 0.2168wt - 0.0548$ ($R^2 = 0.9833$, $n = 43$). SM and RM were determined under the oxygen determining apparatus by flowing water system whose water was filtered with a salinity of 31 - 32. The Winkler method and Nestle method were adopted to study the oxygen consumption rate (R) and the ammonia excretion rate (AE). By comparing RM with SM, the specific dynamic metabolism (SDA) of *P. aibuhitensis* was studied. The results were as follows: (1) SM and RM of *P. aibuhitensis* decreased with the body weight increasing. It can be described as $R = aW^b$, where W is dry body weight, R is oxygen consumption rate, a and b were parameters (a were 0.3725, 0.2743, b were -0.4817, -0.5988 respectively). SM and RM were significantly affected by dry body weight ($F = 16.449$, $P < 0.001$; $F = 19.327$, $P < 0.001$). And AE were significantly affected by dry body weight too ($F = 4.855$, $P = 0.014$; $F = 4.003$, $P = 0.028$). (2) Each group had the same changeable rule of standard metabolism. The averages of SM in S, M and L groups were 1.0248 mg · (g · h)⁻¹, 0.7285 mg · (g · h)⁻¹ and 0.5019 mg · (g · h)⁻¹ respectively. But it was higher in night than that at day. SM in night of three groups were as 2.17, 1.42 and 1.87 times as at day. This might be explained as the

收稿日期: 2003-08-26

资助项目: 国家 863 资助项目(2002AA648010); 辽宁省科学技术基金(20022100); 辽宁省教育厅重大基础研究项目(202132031)

作者简介: 王 玲(1977 -), 女, 山东莱阳人, 硕士研究生。主要从事水产养殖生态学方面的研究。Tel: 0411 - 84763119, E-mail: wl.ruby@163.com。

通讯作者: 周一兵, Tel: 0411 - 84762791, E-mail: ybzhou@dlfu.edu.cn

activity of *P. aibuhitensis* was correlated with illumination. The AE of S, M, L in starved state changed little too, because of the starvation threaten the protein in worm tissue was consumed in metabolism at the end of experiment, so the AE was increasing slowly after experiment beginning 18h, 24h, 24h respectively. (3) RM in each group changed more than that of SM in this experiment. The RM of S, M and L went to the peak after experiment beginning 21 - 24h. The peak values of SDA in S, M, L were $3.936 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$, $1.5222 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$ and $1.2853 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$ respectively, as 4.84, 1.71 and 2.29 times as their SM. By comparing the diurnal variations of SM with RM metabolism of three groups of *P. aibuhitensis*, results showed that SDA of the three groups, started at the same time, namely after feeding 15h, persisted about 12h. The energy expenditure of SDA were $271.62 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$, $73.56 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ and $70.56 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ respectively. The ammonia excretion rates of S, M, L in satiation state changed significantly during the experiment. The peak values of the wave of satiation state were $9.2176 \mu\text{mol} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$, $6.5935 \mu\text{mol} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$, $2.6866 \mu\text{mol} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$ respectively, as 2.82, 4.15 and 1.67 times as their starvation state, accordingly the durations were 9h, 9h, 12h. The wave of each group were started later than its oxygen consumption rate, and that of S group started after feeding 24h, and M group was 21h, L group was 15h. The wave energy expenditure of S, M, L were $0.9729 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$, $4.9600 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ and $4.0773 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ respectively. This paper preliminarily concluded that SDA of *P. aibuhitensis* decreased with dry body weight increasing, that is, small worms metabolize much more actively than large worms.

Key words: *Perinereis aibuhitensis*; body weight; standard metabolism; routine metabolism; specific dynamic metabolism

双齿围沙蚕 (*Perinereis aibuhitensis* Grube) 是我国沿海潮间带多毛类生态类型的主要代表和优势种类, 在近岸水域生态系统食物链的能量流动和物质循环中占有重要地位。目前, 在环境研究领域, 国际上有关多毛类生物学的重点多集中于作为海洋污染底质原位修复的重要类群和测试生物。如沙蚕属 *Nereis succinea* 和围沙蚕属 *Perinereis ectinaria gouldii* 对有机毒物六氯联苯、四氯联苯的吸收效率和生物利用; 多毛类 *Abarenicola pacifica* 对苯并芘和多环芳香烃的消化率; 利用多毛类小头虫 *Captella* sp 消除养殖池底有机污染物; 围沙蚕属 *Perinereis nuntia* 摄食牙鲆粪便的氮收支等研究^[1]。越来越多的研究表明, 底栖多毛类对污染沉积质修复有着巨大的作用, 其生态学原理就是充分利用底栖多毛类沉积食性的生态功能及其对污染物的生物利用能力, 使环境中存在的有机污染物在降解的过程中, 转化为生物生产力。因此, 确定多毛类沙蚕代谢特征和能量利用对策, 以及有机污染物和各种环境因素对其能量代谢规律的影响和作用, 是揭示沙蚕生物修复机理所要了解清楚的基本科学问题。

在水生动物的能量学研究中, 一般将代谢分为标准代谢 (standard metabolism, SM) 或基础代谢 (basic metabolism, BM)、活动代谢 (activity metabolism, AM) 和特殊动力代谢 (specific dynamic metabolism, SDA)。由于 AM 和 SDA 在测定时难以分开, 因此常将两者合并称为常规代谢 (routine metabolism, RM)。有关多毛类能量代谢的研究国内外已有一些报道^[1-4], 但关于双齿围沙蚕排泄、呼吸及其特殊动力代谢的研究尚未见到。本文报道了摄食牙鲆人工合成饲料的双齿围

沙蚕在 20 下常规代谢和标准代谢的昼夜变化规律及其特殊动力代谢, 以期为全面探讨双齿围沙蚕的能量生态学特征提供资料。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验所用的双齿围沙蚕于 2003 年 4 月采自大连市庄河海域。按虫体湿重分为 3 组: $0.50 \pm 0.05 \text{ g}$, $0.90 \pm 0.05 \text{ g}$, $1.50 \pm 0.05 \text{ g}$, 分别记为 S、M、L 组。置于恒温水槽中 (50cm × 40cm × 40cm), 水槽底部有厚为 7 ~ 10cm 的细沙, 放养密度约为每平方米 1000 尾, 以控温仪 (HXS WT-100) 控制温度进行温度驯化, 初始温度为 9, 适应 7 ~ 10d 后每天升温 1, 至实验水温 20 ± 0.2 , 待沙蚕适应 7 ~ 10d 后进行实验。在温度驯化过程中仿照海区潮汐变化, 每天早晚两次换水 (6:00, 17:00), 放水 and 加水之间干露 1h, 同时充气。实验所用海水取自大连市黑石礁海域, 经沉淀砂滤后贮存备用, 盐度稳定在 31 ~ 32。每天早上换水前投喂沙蚕体重 10% 的人工合成牙鲆饵料。实验期间用 MP200B 型号的电子秤称量沙蚕的湿重 (精确至 0.01g); 用 type-1712 电子分析天平 (精确至 0.0001g) 测得干重, 并求出干湿重之间的关系。

1.2 实验方法

实验设计 于 2003 年 6 月 7 日早 7 时将投喂 1h 后的双齿围沙蚕从底质中取出, 放于流水式呼吸室 (1000mL) 中, 其中 S、M 组每组 7 尾, L 组 5 尾, 每组设置 3 个重复, 同时设一无沙蚕的空白对照组, 测定其常规代谢的昼夜变化规律。另外取相同数量饥饿 2d 后的双齿围沙蚕, 进行标准代谢的测定, 实验设计同前。

代谢测定 采用流水式呼吸室测定其常规代谢和标准代谢,分别记为RM、SM。为保证呼吸室中溶氧均匀,采用水样混匀瓶(250mL)(图1)。

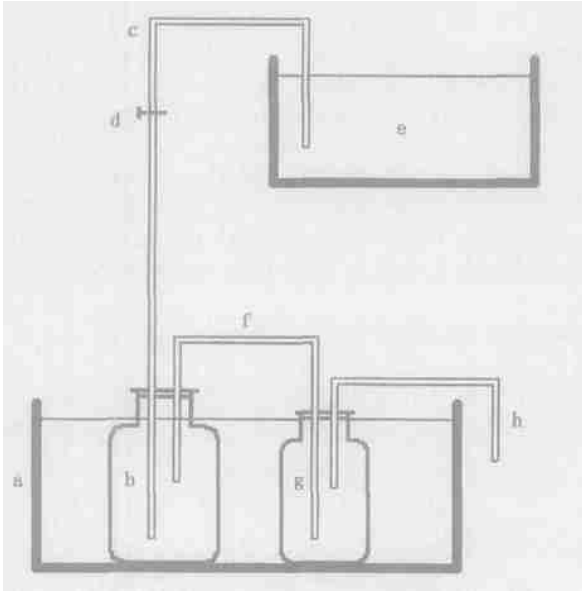


图1 流水式耗氧测定装置结构原理图

Fig. 1 Diagram of the oxygen determining apparatus by flowing water system

- a. 恒温水箱; b. 呼吸室; c. 进水管; d. 螺旋止水夹;
- e. 高位水槽; f. 出水管; g. 水样混匀瓶; h. 取水样管
- a. thermostatic water bath; b. respiratory chamber;
- c. inlet tube; d. helix clamp; e. high water case;
- f. exceeding tube; g. sample mixing bottle; h. drainage tube

每隔 3h 取水样一次,测定入水口与出水口溶氧量,连续监测 36h。溶氧用碘量法测定。耗氧率的计算公式如下:

$$OC = (DO_x v_x - DO_0 v_0) / DW$$

式中, OC 为耗氧率 ($mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$); DO_x 为实验组出入口水样中溶氧量的变化 ($mg \cdot L^{-1}$); DO_0 为空白组出入口水样中溶氧量的变化 ($mg \cdot L^{-1}$); DW 为沙蚕体干重 (g); v_x 为实验组水流速度 ($L \cdot h^{-1}$); v_0 为空白组水流速度 ($L \cdot h^{-1}$)。

排氮率与耗氧率测定同时进行,氨氮含量用奈氏试剂法测定。排氮率的计算公式如下:

$$AE = (N_x v_x - N_0 v_0) / DW$$

式中, AE 为排氮率 ($\mu mol \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$); N_x 为实验组出入口水样中 NH_4-N 量的变化 ($\mu mol \cdot L^{-1}$); v_x 为实验组水流速度 ($L \cdot h^{-1}$); N_0 为空白组出入口水样中 NH_4-N 量的变化 ($\mu mol \cdot L^{-1}$); v_0 为空白组水流速度 ($L \cdot h^{-1}$); DW 为沙蚕体干重 (g)。

2 结果

2.1 不同生理状态下双齿围沙蚕代谢与体重的关系

双齿围沙蚕在不同生理状况下的耗氧率随体重的增加而增加(表1)。由表1数据可得,在20℃下,沙蚕体重和耗氧率回归关系可用负幂函数关系表示(表2)。由表2可见,常规代谢和标准代谢均随体重增大而减小,两者之间的相关关系极显著,相关系数 R^2 分别为 0.8897 和 0.9878 ($R = aW^b$); a 值的生物学意义为个体单位重量的代谢率,常规代谢大于标准代谢,两者分别为 0.3725 和 0.2743; b 值为单位体重代谢率随体重增加的减少比率,常规代谢和标准代谢分别为 -0.5988 和 -0.4817。

表1 不同生理状况下双齿围沙蚕的代谢

Tab. 1 The metabolism of *Perinereis aibuhitensis* Grube in different physiological condition

组别 groups	数量(ind) number	体干重(g) dry body weight	耗氧率 [$mg \cdot (g \cdot h)^{-1}$] oxygen consumption rate		
			常规代谢 RM	标准代谢 SM	SM/ RM(%)
S	21	0.0601 ± 0.0022	2.2147 ± 0.7720	1.0248 ± 0.4831	46.27
M	21	0.1480 ± 0.0033	0.9517 ± 0.3629	0.7285 ± 0.2334	76.55
L	15	0.2769 ± 0.0065	0.8909 ± 0.2718	0.5019 ± 0.2101	56.38

注:上表数据为平均值 ±SE

Notes: values are expressed as mean ±SE

表2 不同生理状况下耗氧率与体重的关系

Tab. 2 Parameters of the regressive relationship between oxygen consumption rate ($mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$) and dry weight (g) of *Perinereis aibuhitensis* in different physiological conditions

	a	b	R^2
常规代谢 RM	0.3725	-0.5988	0.8897
标准代谢 SM	0.2743	-0.4817	0.9878

2.2 双齿围沙蚕标准代谢和常规代谢昼夜变化的比较

图 2 为 20 下, L、M、S 组双齿围沙蚕 RM 和 SM 的昼夜变化。

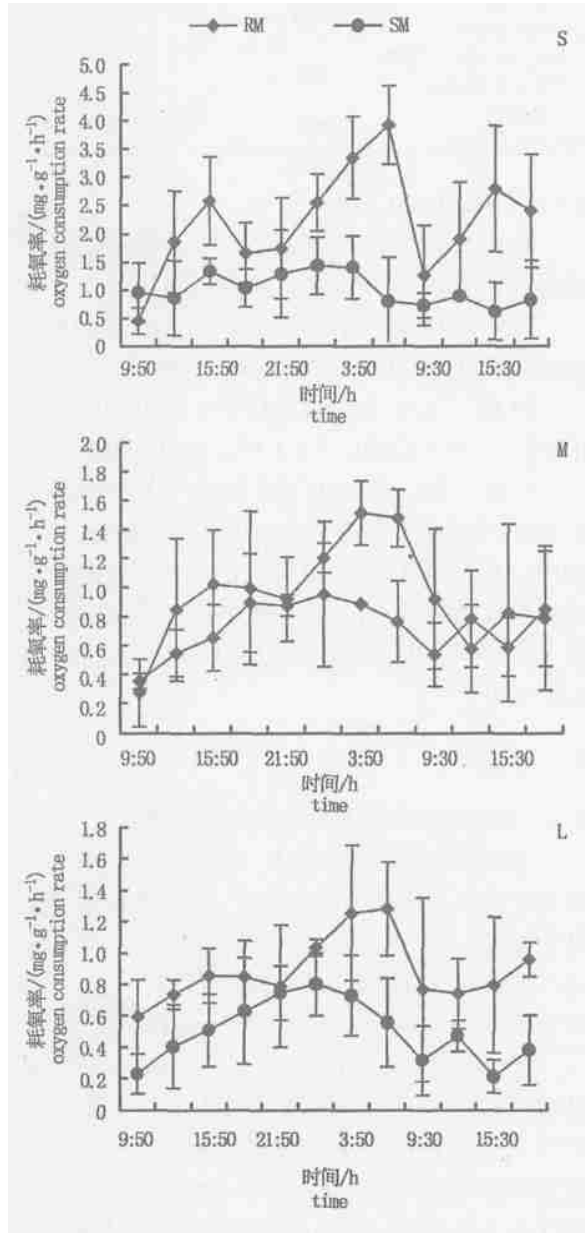


图 2 不同体重双齿围沙蚕 RM 和 SM 的昼夜周期性变化

Fig. 2 The diurnal variation of RM and SM of each group

由图 2 可见,各体重组双齿围沙蚕的 SM 变化较平缓,其中,S 组的平均耗氧率 $1.0248 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$,变动范围 $0.6422 \sim 1.4377 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$; M 组的平均耗氧率为 $0.7285 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$,变动

范围 $0.3522 \sim 0.9584 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$; L 组的平均耗氧率为 $0.5019 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$,变动范围 $0.2313 \sim 0.8009 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$ 。各组 SM 均在 18 时至翌日凌晨 6 时达到最大值。经方差分析 S、M、L 各组的 SM 组间差异极显著 ($F = 16.449, P < 0.001$)。与 SM 相比,各组 RM 变化较明显,均在实验开始后 21 ~ 24h 达峰值,分别为各自标准代谢的 4.84、1.71 和 2.29 倍,经方差分析表明,S、M、L 各组的 RM 组间差异极显著 ($F = 19.327, P < 0.001$)。

根据图 2 数据,将各组 RM 出现耗氧率的波峰分别对时间回归,SDA 随时间变化规律可分别由如下方程表达:

$$\text{S 组 } OC = 1.7904 - 0.0767t + 0.1228t^2 - 0.0100t^3 \quad (R^2 = 0.976, F = 13.76, P = 0.195)$$

$$\text{M 组 } OC = 0.9945 - 0.1087t + 0.0354t^2 - 0.0019t^3 \quad (R^2 = 0.997, F = 193.33, P = 0.005)$$

$$\text{L 组 } OC = 0.7935 + 0.0468t + 0.0151t^2 - 0.0016t^3 \quad (R^2 = 0.998, F = 196.56, P = 0.052)$$

式中,OC 为耗氧率 [$\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$]; t 为 SDA 持续时间 (h)。由上述方程对时间积分,并根据氧热当量系数 ($13.56 \text{ J} \cdot \text{mg}^{-1}$),可分别得到 S、M 和 L 组 SDA 的总耗能分别为 271.62、73.56 和 $70.56 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$,SDA 的相关参数如表 3。

2.3 双齿围沙蚕不同生理状况下排氮率的周期性变化

在 20 时,双齿围沙蚕不同生理状况下排氮率的变化规律如图 3。由图 3 可见,饱食后,S、M、L 组的排氮率分别在 24、24 和 15h 达最高值;相比之下,饥饿状态下双齿围沙蚕的排氮率变化较低缓,但在实验开始 24h 后 S、M 组均出现排氮率增高的趋势,而 S 组在实验开始 18h 后即出现排氮率增高趋势。在实验开始 24h 后 S、M 组均出现排氮率增高的趋势。

由图 3 可见,S、M、L 组双齿围沙蚕的排氮率 RM 变化较大,分别在实验开始后的 27、27 和 18h 出现最高峰,峰值分别为: $9.2176 \mu\text{mol} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$ 、 $6.5935 \mu\text{mol} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$ 、 $2.6866 \mu\text{mol} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$,分别为各自 SM 排氮率的 2.82、4.15 和 1.67 倍。经方差分析 S、M、L 各组的 RM 组间差异显著 ($F = 4.855, P = 0.014$)。SM 相对平缓,S 组沙蚕在实验开始 18h 后排氮率开始升高,M、L 组的沙蚕在实验进行到 24 ~ 36h 期间也出现排氮率上升的趋势,经方差分析 S、M、L 各组的 SM 组间差异显著

表 3 不同体重组双齿围沙蚕 SDA 的主要参数
Tab.3 Main parameters of SDA of each group

组别 group	起始时间 starting time	持续时间(h) duration	峰 [mg · (g · h) ⁻¹] peak		总耗能(J) energy consumption
			出现时间 appearance time	峰值 peak value	
S	食后 15h 15h after feeding	12	食后 24h 24h after feeding	3.9360	271.62
M	食后 15h 15h after feeding	12	食后 21~24h 21~24h after feeding	1.5222	73.56
L	食后 15h 15h after feeding	12	食后 24h 24h after feeding	1.2853	70.56

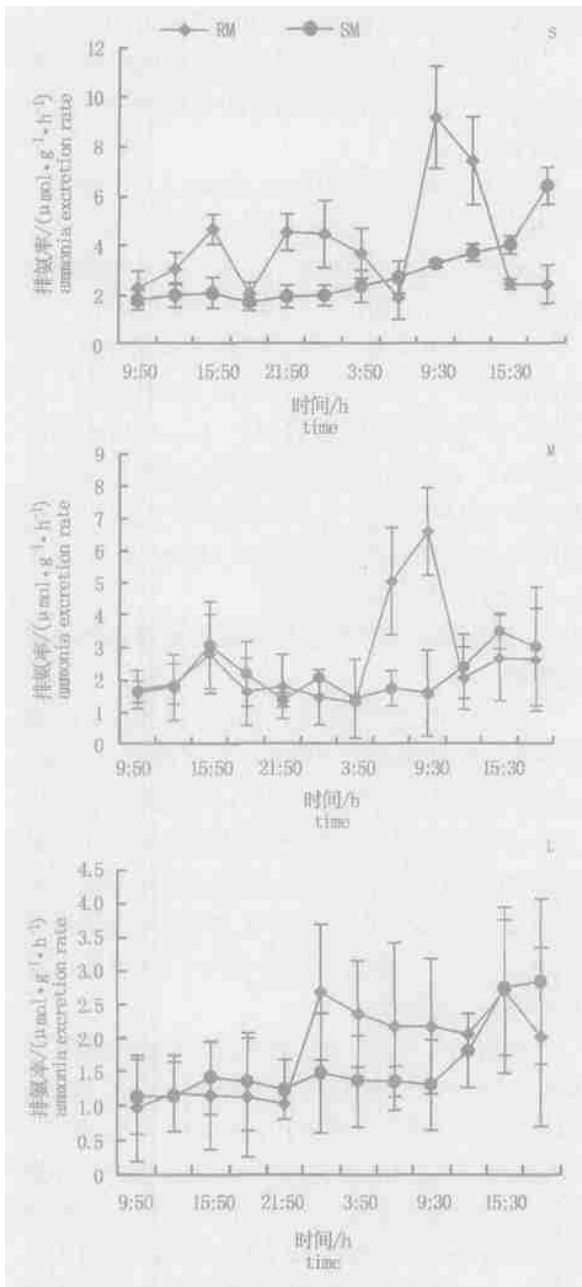


图 3 双齿围沙蚕不同生理状况下排氨率的周期性变化

Fig.3 The diurnal variation of ammonia excretion of *Perinereis aibuhitensis* in different physiological conditions

($F = 4.003, P = 0.028$)。

由图 3,将 S、M、L 各组饱食后出现的排氨率波峰分别对时间(t, h)回归,所得方程如下:

S 组 $AE = 1.8850 + 4.6102t - 0.8304t^2 + 0.0361t^3$ ($R^2 = 1.000, F = 0, P = 1.000$)

M 组 $AE = 1.5962 + 1.6051t - 0.2032t^2 + 0.0063t^3$ ($R^2 = 0.659, F = 1.93, P = 0.301$)

L 组 $AE = 1.1584 + 0.5894t - 0.0738t^2 + 0.0062t^3$ ($R^2 = 0.869, F = 6.62, P = 0.078$)

式中, AE 为排氨率 [$\mu\text{mol} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$], t 为排氨率波峰出现的时间(h)。由上述方程对时间积分,可得 S、M 和 L 组总耗能分别为 0.9729、4.9600 和 4.0773 $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

3 讨论

3.1 双齿围沙蚕标准代谢特征及昼夜变化

根据生物能量学的观点,动物在饥饿、不活动状态时的耗氧率称为基础代谢,而标准代谢是指动物保持一定活动状态下的耗氧率^[5]。本实验中,沙蚕处于饥饿(无饵料投喂)状态时,常伴随自发性低水平活动,因此将其定义为标准代谢。

实验结果表明,在适温条件下,沙蚕耗氧率随体重增加而减小,这种现象普遍存在于水生动物中^[6-10]。现在认为,耗氧率随体重增加而下降的现象可能与动物在生长过程中身体表面积与体重的比值下降有关。沙蚕的体型为线形的蠕虫状,依靠体表呼吸;生长特性表现为非均匀性生长,即体长增长率高于体重增长率^[11],因此,随着体重增加,体表面积与体重的比值下降相对较小,耗氧率降低的速率也较缓慢,这表现在沙蚕的具有较高的单位体重代谢率指数($b - 1$) (-0.4817),大于已报道的一些水生动物,如中国对虾亲虾的 $b - 1$ 值为 -1.3 ^[12],罗氏沼虾幼虾约为 -0.57 ^[13],鱼类在 $-0.7 \sim -0.9$,双壳贝类平均为 -0.727 ,变化范围在 $-0.44 \sim -1.90$ 。当然,沙蚕的代谢还

表 4 不同体重组双齿围沙蚕排氮率变化的主要参数
Tab. 4 Main parameters of ammonia excretion of each group

组别 group	起始时间 starting time	持续时间(h) duration	峰 [$\mu\text{mol} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$] peak		总耗能(J) energy consumption
			出现时间 appearance time	峰值 peak value	
S	食后 24h 24h after feeding	9	食后 27h 27h after feeding	9.2176	0.9729
M	食后 21h 21h after feeding	9	食后 27h 27h after feeding	6.5935	4.9600
L	食后 15h 15h after feeding	12	食后 18h 18h after feeding	2.6866	4.0773

受到其它许多因素影响,如水温、盐度、有机物的浓度和种类等,变化会更复杂,多因子条件下的代谢特征有待进一步研究。从表 1 可见,S 组 RM、SM 的变异范围明显大于 M、L 组,具体原因尚有待于深入研究。另外,耗氧率与沙蚕发育也有关,体重小的个体处于发育旺盛阶段,新陈代谢率高,耗氧率亦高;随着个体体重增加,生长率逐渐降低,新陈代谢趋于下降,耗氧率亦逐渐降低。

由图 2 可见,20 下 S、M、L 各组沙蚕的 SM 在夜间(21:50 - 3:50)处于较高水平,分别为白昼(9:50 - 18:50)的 2.17、1.42 和 1.87 倍,这可能与沙蚕昼伏夜出的生活习性有关。Last 认为沙蚕的活动受光照的影响,即使在人工控制的黑暗环境下沙蚕 *Nereis virens* 在洞穴外的活动也不会间断^[14]。

在饥饿状态下,S 组双齿围沙蚕在实验开始 18h 后排氮率开始升高,M、L 组的沙蚕在实验进行到 24~36h 期间也出现排氮率上升的趋势,这可能是由于饥饿胁迫,沙蚕开始动用体内蛋白质做代谢底物,从而导致排氮率增加所致。

3.2 双齿围沙蚕的特殊动力代谢

SDA 是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。对鱼类的研究结果认为,SDA 是由于摄食后细胞内蛋白质周转过程包括蛋白质的合成、生长、分解以及氨基酸氧化的加速所引起的代谢耗能增长的现象^[15,16]。比较沙蚕 SM 与 RM 的昼夜变化趋势,假设沙蚕饱食后与饥饿条件下的活动状态相似,可将 RM 出现的耗氧率波峰代表沙蚕摄食后出现的特殊动力代谢。实验对双齿围沙蚕 20 下代谢的昼夜周期研究表明,SDA 峰值一般出现于停

食后的 21~24h,持续时间为 12~15h。这种现象亦见于其他种类,如 20 下太平洋牡蛎 2n 和 3n 的 SDA 出现在摄食后 8h、12h,持续时间分别为 12h、16h^[6];皱纹盘鲍在 11~20 下,SDA 约发生在摄食后的 14h,持续时间约 6~8h^[17]。

实验还表明,摄食引起双齿围沙蚕氨氮排泄率与耗氧率的变化规律是相似的(图 2、图 3)。但双齿围沙蚕 S、M、L 组排氮率的波峰分别出现于各自耗氧率波峰之后。许多研究表明,这两个生化过程存在密切的联系,即沙蚕摄食后引起肠道运动,并对食物进行消化、吸收、处理和转化的过程引起代谢耗能增加,当蛋白质合成加速,氨基酸氧化过程中的脱氨基作用加强时,会有更多的氨氮排出^[18]。

从能量平衡角度来看,同化能用于代谢部分越多,剩下的用于生长就越少,反之亦然。然而,Jobling 指出,代谢能中 SDA 是摄食后体内蛋白质合成和转化率在短期内上升所引起的,SDA 的高低应是生长速率的一个标志,因此,特殊动力代谢和生长之间不是竞争而是正相关的:SDA 代谢增强,生长亦加快^[18]。现在认为,SDA 的持续时间、峰值和总耗能是物种能量利用对策的特征之一^[19]。在摄食量一定的情况下,SDA 持续时间越长,峰值越高,总耗能越大,动物对能量物质转化效率就越高,获取能量的能力就越强,生长就越旺盛。比较 S、M、L 各组沙蚕摄食后代谢的昼夜变化,可见,随着体重增加,SDA 峰值变化的趋势是:S 组 > M 组 > L 组;总耗能分别为 271.62 $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ 、73.56 $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 70.56 $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$,同时 S 组排氮率峰值也较 M、L 组高。这也说明小个体沙蚕具有更活跃的蛋白质代谢,生长也更加旺盛。

参考文献:

- [1] Harui H, Kotaro K. Nitrogen budget of polychaete *Perinereis nuntia* vallata fed on the feces of Japanese flounder [J]. Fisheries Science, 2002, 68 (6): 304 - 308.
- [2] Cammen L M. The significance of microbial carbon in the nutrition of deposit feeding polychaete *Nereis succinea* [J]. Marine Biology, 1980, 61: 9 - 20.
- [3] Taghon G L. The benefits and costs of deposit in the polychaete *Abarenicola pacifica* Limnol [J]. Oceanogr, 1988, 33 (5): 1166 - 1175.
- [4] 刘长发. 日本刺沙蚕幼体的呼吸耗氧率及其在虾池中的耗氧初探[J]. 大连水产学院学报, 1995, 10 (1): 56 - 61.
- [5] 宋天复(译). 海洋动物环境生理学[M]. 北京: 农业出版社, 1982. 7 - 15.
- [6] 周一兵, 李晓燕, 屈英, 等. 太平洋牡蛎三倍体与二倍体特殊动力代谢的比较[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33 (6): 663 - 672.
- [7] 李宝泉, 杨红生, 张涛, 等. 温度和体重对刺参呼吸和排泄的影响[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33 (2): 182 - 187.
- [8] 王芳, 董双林, 李德尚. 海湾扇贝(*Argopecten irradians*)和太平洋牡蛎(*Crasostrea gigas*)呼吸和排泄的研究[J]. 青岛海洋大学学报, 1998, 28 (2): 233 - 239.
- [9] Vernberg W B, Coull B C. Respiration of an interstitial ciliate and benthic energy relationships[J]. Oecologia, 1974, 16: 259 - 264.
- [10] Lesserre P. Metabolic activities of benthic macrofauna and meiofauna: recent advances and review of suitable methods of analysis [A]. The benthic boundary layer [C]. New York, Plenum, 1976. 95 - 142.
- [11] 周一兵, 谢祚浑. 虾池中日本刺沙蚕的次级生产力研究[J]. 水产学报, 1995, 19 (2): 140 - 150.
- [12] 周洪琪. 中国对虾亲虾的能量代谢研究[J]. 水产学报, 1990, 14 (2): 114 - 119.
- [13] Clifford H C, Brick R W. Nutritional physiology of the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) I. Substrate metabolism in fasting juvenile shrimp [J]. Comp Biochem Physiol, 74A (3): 561 - 568.
- [14] Last K S. An actograph and its use in the study of foraging behaviour in the benthic polychaete *Nereis virens* Sars [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2003, 287: 237 - 248.
- [15] Jobling M, Davies P. S. Effect of feeding on the metabolism rate and the specific dynamic action in Pllice, *Fleuronectes platessa* L [J]. J Fish Biol, 1980, 16: 629 - 638.
- [16] 谢小军, 孙儒泳. 鱼类特殊动力的研究进展[J]. 水生生物学报, 1991, 15 (1): 82 - 89.
- [17] 常亚青, 王子臣. 皱纹盘鲍的个体能量收支[J]. 应用生态学报, 1998, 9 (5): 511 - 516.
- [18] Jobling M. Fish energetics: new perspective [M]. London: Croom Helm, 1985. 213 - 230.
- [19] Cho C Y, Slinger S J, Beyley H S. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity [J]. Comp Biochem Physiol, 1982, 73B: 25 - 41.