

日本对虾仔虾呼吸和排泄的初步研究^{*}

朱小明, 吴荔生, 马志勇, 李少菁

(厦门大学海洋系、亚热带海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘要: 本文采用水瓶法和径流装置研究了不同温度下摄食和饥饿的日本对虾 (*Penaeus japonicus*) 仔虾 (P) 的呼吸与排泄。结果表明, 日本对虾仔虾体长与干体重呈指数函数关系, $DW = 0.006e^{0.515L}$ ($r^2 = 0.999, n = 16$); 耗氧和氨排泄率随着温度的升高而提高、随着仔虾体重的增长反而变小; 耗氧和氨排泄率与体重呈幂函数关系, 30 和 26 °C 下耗氧率 (R) 与体重的关系方程式分别是 $R = 2.669 DW^{-1.041}$ ($r^2 = 0.953, n = 8$) 和 $R = 2.370 DW^{-0.708}$ ($r^2 = 0.533, n = 8$); 30 和 26 °C 下氨排泄率 (E) 与体重的关系方程式分别是 $E = 36.81 DW^{-0.615}$ ($r^2 = 0.654, n = 8$) 和 $E = 15.28 DW^{-0.795}$ ($r^2 = 0.652, n = 8$); 饱食仔虾的耗氧率明显高于饥饿的仔虾, 因摄食使仔虾 (P_{15}) 额外消耗的能量为 4% ~ 20%, 仔虾的特殊动力作用 (SDA) 大约在摄食 5 ~ 7h 后发生, 并可持续作用 10h 左右。

关键词: 日本对虾; 仔虾; 呼吸; 排泄

中图分类号: Q968.25

文献标识码: A

文章编号: 1000-8160(2001)01-0037-06

呼吸和排泄是代谢的两个重要组分。研究各种环境因子 (饵料、温度、盐度、pH 等) 和内在因子 (体重、发育期等) 对耗氧和排泄的影响有利于了解动物代谢活动的变化规律, 是生态能学和营养生理学研究的主要内容^[1]。水生动物耗氧率和氨排泄率的研究国内外报道很多, 但主要集中于鱼类、贝类生理生态和生物能学研究^[2~4], 甲壳动物十足类研究相对较少, 且成体的研究报道多于幼体的^[5~8]。周洪琪^[9]等研究了中国对虾 (*Penaeus orientalis*) 幼体的能量代谢。盐度、温度对日本对虾 (*P. japonicus*) 幼虾耗氧率和氨排泄率的影响已见报道^[10, 11]。Kurmaly^[13]建立了斑节对虾 (*P. monodon*) 各期幼体能量收支模型。本文用水瓶法和径流装置研究了温度、体重 (不同发育期) 对日本对虾仔虾耗氧率和氨排泄率的影响; 探讨了不同条件下代谢底物的变化情况, 因摄食引起的额外能量消耗, 特殊动力作用 (Specific Dynamic Action, SDA) 的作用时间和作用程度。为虾蟹幼体生态能学研究提供参考资料, 并为日本对虾增殖提供理论依据。

1 材料与方方法

1.1 材料

实验用日本对虾仔虾取自厦门大学工学馆海洋系三结合基地育苗池 (池水温度为 29 ±

* 收稿日期: 1999-12-10

基金项目: 福建省青年自然科学基金资助项目 (96010)

作者简介: 朱小明 (1966~), 男, 博士, 副教授。

1) . 实验用海水为经 5μm 孔径的滤袋过滤的新鲜沙滤海水,比重 1.018 ~ 1.020. 实验用饵料为刚孵化的卤虫 (*Artemia* sp.) 无节幼体.

1.2 实验装置

用水瓶法 (Water Bottle Method) 和径流装置 (Flow-through System) 测定呼吸和排泄^[14], 代谢瓶为 1 和 3 dm³ 的广口瓶. 水浴法控制水温,用 HL-2 恒流泵控制流量.

1.3 实验动物的处理

取自育苗池的仔虾用新制过滤海水洗涤 2 次;在实验温度下,饥饿或喂食卤虫无节幼体的仔虾培养 2 ~ 4h,装入代谢瓶前再洗涤 1 次.

1.4 干重与体长的测定

随机取各期仔虾 4 组,每组 10 尾,用蒸馏水洗涤 1 ~ 2 次后,在烘箱中 60 °C 烘干 24h 以上再取出称量,取平均值即为该期仔虾干重 (*DW*). 仔虾的体长是指从眼柄基部至尾扇末端的长度 (*L*).

1.5 耗氧率和排氨率的测定

水瓶法:代谢瓶和对照瓶水浴培养 3h,分别测定代谢瓶和对照瓶的溶解氧 (*DO_t*, *DO₀*) 和氨氮 (*N_t*, *N₀*) 的含量;径流装置:每隔 1h 测定代谢瓶的流出和流入水样的溶解氧 (*DO_t*, *DO₀*) 和氨氮 (*N_t*, *N₀*) 的含量. 溶解氧用碘量法或 OX-11E₁ 型溶氧测定仪测定,氨氮采用靛酚蓝分光法在 752-C 型紫外分光光度仪上测定. 耗氧率和排氨率的计算公式,水瓶法为:

$$R = \frac{(DO_0 - DO_t) \cdot V}{n \cdot DW \cdot t} \quad E = \frac{(N_t - N_0) \cdot V}{n \cdot DW \cdot t}$$

径流装置为:

$$R = \frac{(DO_0 - DO_t) \times \text{流量}}{n \cdot DW} \quad E = \frac{(N_t - N_0) \times \text{流量}}{n \cdot DW}$$

式中 *V* 为代谢瓶的体积 (dm³), *n* 为实验仔虾数, *DW* 为个体干重 (mg), *t* 为培养时间 (h), *R* 为耗氧率 (以 O₂ 计) [10⁻³ (m/ m) h⁻¹], *E* 为氨排泄率 [μmol/ (mg · h)].

2 结果与讨论

2.1 仔虾体长 (*L*) 和干体重的关系

日本对虾体长和体重的关系如图 1 所示. 从图中可以看出仔虾的体重随着体长的增长呈指数增加,回归方程为: $DW = 0.006e^{0.515L}$ ($r^2 = 0.999, n = 16$). 体长从 4.51mm 到 6.53mm (即 P₁ ~ P₅) 体重随体长增长的趋势较小;而从 6.53mm 到 8.02mm (P₅ ~ P₈) 体重随体长增长的趋势较明显,体重从 0.178mg 上升到 0.382mg,增加了 114.6%.

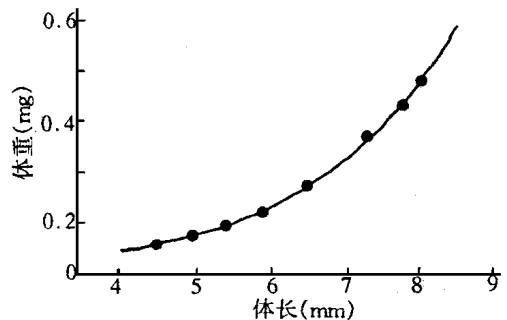


图 1 体长与体重的关系

Fig. 1 Relationship between length and dry weight

2.2 体重和温度对仔虾耗氧率和排氨率的影响

实验测定了 P₁ ~ P₈ 仔虾在 30 和 26 °C 时饱食和饥饿耗氧率和排氨率,结果见表 1. 从表 1 看出,仔虾体重增加,耗氧率和氨排泄率变小,耗氧率和氨排泄率与体重的关系可用幂函数来

表 1 不同发育期、温度和摄食状况下日本对虾仔虾的耗氧率、氨排泄率和 O/N

Tab. 1 Oxygen consumption, ammonia-N excretion rate and O/N in the different development stages of *Penaeus japonicus* post-larvae under different temperature and feeding conditions

发育期	温度	干重(DW) (mg)	体长(L) (mm)	耗氧率		氨排泄率		O/N
	()			R_1	R_2	E_1	E_2	
P1	26	0.063 ±0.004	4.51 ±0.27	20.38	9.50	248	108	5.12
	30			46.83	17.3	125	94.8	23.4
P2	26	0.079 ±0.007	4.97 ±0.19	7.10	-	71	90.7	6.25
	30			31.30	1.20	223	218	8.79
P3	26	0.099 ±0.013	5.42 ±0.26	10.00	4.60	-	35.0	-
	30			29.80	9.50	177	216	10.5
P4	26	0.128 ±0.015	5.91 ±0.23	16.61	3.80	-	59.7	-
	30			29.02	5.90	173	77.5	10.5
P5	26	0.178 ±0.052	6.53 ±0.18	16.50	4.80	45.0	32.0	22.92
	30			16.50	6.40	128	79.2	8.04
P6	26	0.273 ±0.025	7.34 ±0.40	5.40	3.10	34	30.2	9.09
	30			11.60	4.30	53	36.3	13.71
P7	26	0.334 ±0.044	7.92 ±0.20	4.00	1.50	33	13.2	7.51
	30			6.50	3.80	63	24.0	6.42
P8	26	0.382 ±0.044	8.02 ±0.27	4.00	1.90	54	15.0	4.63
	30			7.60	3.20	81	47.0	5.89

* R_1 、 R_2 分别代表比体重耗氧率 [$10^{-3} (m/m) \cdot h^{-1}$] 和摄食引起耗氧率的增加 [$10^{-3} (m/m) \cdot h^{-1}$]; E_1 、 E_2 分别代表比体重氨排泄率 [$\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$] 和摄食引起氨排泄率 [$\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$].

表示^[2-4,7,8,13], $R(E) = aDW^b$, 式中 a 为代谢水平, b 为体重指数. 日本对虾仔虾耗氧率与体重的幂函数关系式是 $R = 2.669DW^{-1.041}$ ($r^2 = 0.953, n = 8$) (30), $R = 2.370DW^{-0.708}$ ($r^2 = 0.533, n = 8$) (26). 从图 2 可清楚地看出, 耗氧率随体重增加呈降低的趋势, 而且 30 的下降趋势明显大于 26 的. 其氨排泄率与体重的关系见图 3; 氨排泄率与体重的幂函数关系式是

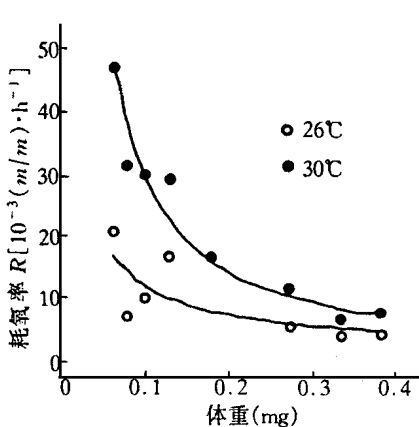


图 2 耗氧率与体重的关系

Fig. 2 Relationship between oxygen consumption and dry weight

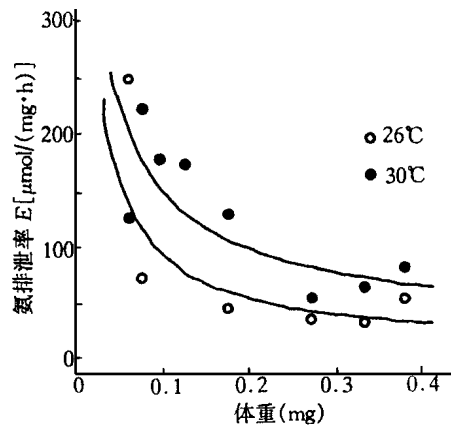


图 3 氨排泄率与体重的关系

Fig. 3 Relationship between ammonia-N excretion and dry weight

$E = 36.81DW^{-0.615}$ ($r^2 = 0.654, n = 8$) (30), 和 $E = 15.28DW^{-0.795}$ ($r^2 = 0.652, n = 8$) (26), 但氨排泄率随体重增加而降低的趋势的温度效应不很明显. 从表 1 也可以看出, 温度

对氨排泄率的影响远不如对耗氧率的强烈.这是因为氨的排泄可能主要与仔虾的生理状态有关^[13,14].日本对虾呼吸代谢水平常数 a 值也是 30 下的 2.669 大于 26 的 2.370,进一步说明仔虾的呼吸代谢水平随温度提高而增强.一般来说,适应低温生活的种类当温度升高时, a 值剧烈增大,而热带地区种类的 a 值对温度的敏感程度下相对较小;体重指数的变化范围为 $-1 < b < 0$,代谢率与体重呈负相关关系^[4,8,10,11,13].

从表 1 还可以看出,各期仔虾 30 下的耗氧率都 26 下的,排氨率大多数也表现出随着温度的升高而升高的趋势.对虾是变温动物,其代谢强度随水温的变化而变化,在适温范围内温度与代谢速率关系的一般规律可用 Q_{10} 来表示^[13], $Q_{10} = (R_2/R_1)^{10/(T_2 - T_1)}$.表 2 列出了 $P_6 \sim P_{15}$ 耗氧率的时间变化,由于没有进行同一期仔虾的不同温度梯度试验,因此无法定量地描述温度与耗氧率的关系,但仍然可以看出 28 下 P_8 的耗氧率明显高于 26 下的 P_9 .

2.3 摄食对呼吸和排泄代谢的影响

摄食引起的代谢增加称为特殊动力作用 (SDA)^[1~3,8,13],水生动物 SDA 的研究主要集中于鱼类方面,甲壳动物 SDA 的研究少有报道,而且大多是关于成体^[8,14~16],十足类幼体方面的研究很少,也不全面^[1,10].摄食对代谢的影响关键在于:耗氧率的增加量;耗氧率增加的持续时间.这两方面受到食物的营养组成、日粮水平、环境因子和动物自身的生理状态等的影响^[1~3,13,15,16],罗氏沼虾 SDA 主要由食物的性质决定,而与摄食水平关系不大^[15], SDA 主要是蛋白质引起的,肉食性虾类 SDA 大于杂食性虾类^[1,16].从表 2 看出,日本对虾 P_{15} 摄食引起

表 2 不同条件下日本对虾仔虾耗氧的时间变化

Tab. 2 Time changes of oxygen consumption by *P. japonicus* post-larvae under different conditions

项 目		P_6	P_8	P_9	P_{12}	P_{13}	P_{15}	P_{15}	SDA (%)
体重 (mg)		0.273	0.382	0.484	0.757	0.820	0.901	0.901	(P_{15})
温度 ()		28	28	26	30	28	28	28	28
摄食状况		饱食	饱食	饥饿	饱食	饥饿	饥饿	饱食	
耗氧率 $R [10^{-3} (m/m) \cdot h^{-1}]$	1h	23.96	31.41	16.75	12.25	11.41	10.17	11.95	17.5
	2h	18.90	33.30	16.75	12.12	12.29	15.90	18.08	13.7
	3h	15.82	32.04	14.25	12.49	12.52	16.20	17.88	10.4
	4h	15.38	32.98	14.08	11.77	11.52	17.88	19.36	8.3
	5h	15.60	32.76	15.84	11.77	12.74	17.40	20.84	19.8
	6h	18.24	34.06	14.65	12.12	13.27	19.85	20.65	4.0
	7h	20.00	37.70	15.72	13.31	11.85	14.92	16.40	9.9
	8h	25.27	40.84	17.92	13.79				
	9h	25.27	45.24	17.67	14.65				
	10h	25.27	47.91	18.34	15.45	-	-	-	-
	11h	25.27	50.26	16.87	18.90				
	12h	40.88	51.36	20.34	20.81				

的耗氧率增加在 4% ~ 19.8%, 平均为 11.9%; 日本对虾的 SDA 与中国对虾仔虾的 SDA 基本一致^[9].对于十足类幼体 SDA 研究最为困难的是幼体摄食后, SDA 什么时候开始作用,作用时间如何确定,因为幼体长时间在代谢瓶内容易死亡,而对实验结果产生影响.为此本实验采用径流装置,以确保代谢瓶内溶解氧维持一定浓度,并保持水的流动.24h 内每间隔 1h 连续测定耗氧率.从表 2 可以看出,日本对虾仔虾摄食大约 5 ~ 7h 后耗氧率开始增加,并持续 10h 左右;日本对虾 P_6 摄食后 10h 耗氧率开始明显增加,16h 达到最大值 (SDA 的峰值), SDA 作用

时间约 12h(图 4). 根据作者对锯缘青蟹(*Scylla serrata*)幼体能量代谢的研究结果(未发表), SDA 开始时间和作用时间随着发育期和环境条件不同而不同;有关这方面的研究迄今未见报道^[1].

2.4 耗氧率和氨氮排泄率原子比(O/N)及能量代谢底物

饱食和饥饿的各期日本对虾仔虾 O/N 在 4.62 ~ 30.12 之间(表 1、图 4). 水生甲壳动物完全以蛋白质为代谢底物供给能量时,其 O/N 为 7;而底物是蛋白质与脂肪的混合物时,O/N 为 24;如能量主要由脂肪和碳水化合物提供,那么 O/N 为无穷大. 中国对虾幼体及后期幼体的 O/N 是 7.5 ~ 30.84,与本文结果一致^[9],说明日本对虾仔虾主要蛋白质和少量的脂肪为代谢底物. O/N 的意义不仅于此,它是动物营养生理状态的良好指标^[14~16]. 日本对虾 P₅ 的 O/N 为 22.92,其氨排泄率仅为 4.5 μmol/(mg·h),可能是由于 P₅ 主要以脂肪为代谢底物;而饱食的 P₈ 的 O/N 为 4.62 和 5.89,其相应的氨排泄率为 54.1 和 80.7 μmol/(mg·h),其主要以摄食的蛋白质含量高的卤虫无节幼体为代谢底物(表 1). 图 4 中日本对虾 P₆ 的 O/N 的时间变化趋势清楚地表明,摄食后 7h 内仔虾主要以卤虫无节幼体为代谢底物,7h 到 16h 左右,仔虾摄食的卤虫无节幼体基本消耗殆尽,开始以贮存的脂肪为代谢能源物质,16h 后仔虾开始以本身的蛋白质为能量来源,这一变化符合十足类幼体物质和能量代谢的一般规律^[1].

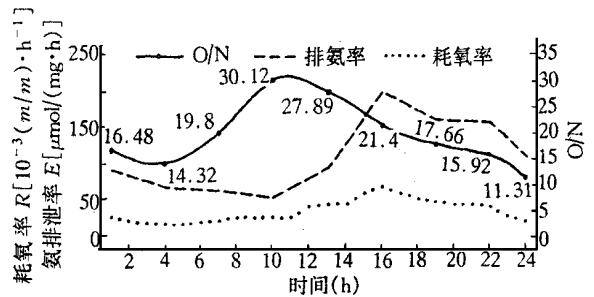


图 4 日本对虾仔虾(P₆)耗氧、氨排泄率和 O/N 的昼夜变化

Fig. 4 Diel variation of oxygen consumption, ammonia excretion and O/N by *P. japonicus* post-larvae, P₆

参考文献:

- [1] 朱小明,李少菁.生态能与与虾蟹幼体培育[J].中国水产科学,1998,5(3):104~107.
- [2] 谢小军,孙儒泳.鱼类特殊动力作用和研究进展[J].水生生物学报,1991,15(1):82~90.
- [3] 崔亦波.鱼类生物能量学的理论和方法[J].水生生物学报,1989,13(4):191~197.
- [4] 杨红生,张涛,王萍,等.温度对墨西哥湾扇贝耗氧率及排泄率的影响[J].中国水产科学,1998,20(4):91~96.
- [5] 施正峰,梅志平,罗其智,等.日本沼虾能量收支和利用效率的初步研究[J].水产学报,1994,18(3):191~197.
- [6] 董双林,堵南山,赖伟.pH值和Ca²⁺浓度对日本沼虾生长和能量收支的影响[J].水产学报,1994,18(2):118~123.
- [7] 董双林,堵南山,赖伟.日本沼虾生理生态研究.温度和体重对其代谢的影响[J].海洋与湖沼,1994,25(3):233~237.
- [8] 张硕,董双林,王芳.中国对虾生物能量学研究.温度、体重、盐度和摄食对耗氧率和排氨率的影响[J].青岛海洋大学学报,1998,28(2):31~36.
- [9] 周洪琪,顾功超.中国对虾幼体的能量代谢[J].水产学报,1992,16(2):167~170.
- [10] Dalla W, Smith D M. Salinity response of the juvenile penaeid shrimp *Penaeus japonicus*. Oxygen con-

- sumption and estimation of productivity[J]. *Aquaculture*, 1986, 55:297 ~ 306.
- [11] Chen JianChu, Lai SenHuan. Effect of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia-N excretion of juvenile *Penaeus japonicus* Bate[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1993, 165:161 ~ 170.
- [12] Kurmaly K. Energy budgets for larvae of *Penaeus monodon* (Fabricius)[J]. *Aquaculture*, 1989, 81:13 ~ 25.
- [13] 张硕,董双林,王芳. 虾蟹类能量代谢的研究进展[J]. *中国水产科学*, 1998, 5(4):88 ~ 92.
- [14] Omori M, Ikeda T. *Methods in Marine Zooplankton Ecology*[M]. JOHN WILEY & SONS, Inc. 1984. 205 ~ 242.
- [15] Nelson S G, Knight A W, Li H W. The metabolic cost food utilization and ammonia production by juvenile *Macrobrachium rosenbergii* (Crustacea: Palaeomonidae)[J]. *Comp Biochem Physiol*, 1997, 57(A):67 ~ 72.
- [16] Ross Carlos, Adolfo Sanchez. Dietary protein level on apparent heat increment and post-prandial nitrogen excretion of *Penaeus setiferus*, *P. dnoraun* and *P. notialis* post-larvae[J]. *J of the World Aqua Socie*, 1996, 27(1):92 ~ 102.

Primary studies on respiration and excretion of *Penaeus japonicus* post-larvae

ZHU Xiao-ming, WU Li-sheng, MA Zhi-yong, LI Shao-jing

(Department of Oceanography/ Institute of Subtropical Oceanography,
Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Respiration and excretion by *Penaeus japonicus* post-larvae were studied during feeding and starvation states at different temperatures, using water bottle method and flow-through system. Results show that the relationship between dry weight and length of *Penaeus japonicus* post-larvae assumes index function, $DW = 0.006e^{0.515L}$ ($r^2 = 0.999$, $n = 16$); the oxygen consumption and ammonia excretion rise with temperature increasing, and reduce along with dry weight increasing; oxygen consumption and ammonia excretion are related with dry weight by power function, the equations of relationships between oxygen consumption (R) and dry weight (DW) at temperatures 30 and 26, are $R = 2.669 DW^{-1.041}$ ($r^2 = 0.953$, $n = 8$) and $R = 2.370 DW^{-0.708}$ ($r^2 = 0.533$, $n = 8$), respectively; the equations of relationships between ammonia excretion (E) and dry weight (DW) at 30 and 26, are $E = 36.81 DW^{-0.615}$ ($r^2 = 0.654$, $n = 8$) and $E = 15.28 DW^{-0.795}$ ($r^2 = 0.652$, $n = 8$), respectively. Oxygen consumption is markedly higher during feeding state than that of starvation state in post-larvae, because feeding makes post-larvae (P_{15}) cost 4% ~ 20% of extra energy, the special dynamics action (SDA) begins to react when feeding after about 5 ~ 7h, and it can last about 10h.

Key words: *Penaeus japonicus*; post-larvae; respiration; excretion