

中国对虾亲虾的能量代谢研究*

周洪琪

(上海水产大学)

提要 本试验测定了中国对虾亲虾在禁食和静息状态下的耗氧率、二氧化碳排出率和氨氮排泄率,研究了它们的呼吸商、氧氮比、能源的化学本质及其消耗量之比。结果表明,体重为 85.1 ± 14.8 克的亲虾,在水温 $19 \sim 22^\circ\text{C}$ 时的耗氧率为 0.25 ± 0.08 毫克/克·小时,二氧化碳排出率为 0.28 ± 0.09 毫克/克·小时,氨氮排泄率为 8.86 ± 3.53 微克/克·小时;亲虾以蛋白质、脂肪和碳水化合物的混合物为能源,其中以蛋白质为主,脂肪次之,碳水化合物的利用最少;亲虾的耗氧率(Y)与体重(W)呈负相关, $Y = 1.89W^{-1.3}$,而与性腺发育的影响则相反,性腺发育好的亲虾代谢率高,性腺发育差的亲虾代谢率低。

关键词 中国对虾,耗氧率,二氧化碳排出率,氨氮排泄率,能源

对虾养殖业发展的先决条件是具有性腺发育良好的亲虾,以及提供数量充足的健壮虾苗。鉴于中国对虾 *Penaeus orientalis* 亲虾的性腺在繁殖期间是持续发育、多次产卵,而饲料是影响性腺发育的重要因素之一,所以有必要研究其营养学。目前就对虾在养成期的营养主要有三方面的研究,1)分析虾体的化学成分,以此作为营养需要的参考;2)运用梯度或正交法设计饵料试验,确定最适营养需要量;3)从营养学角度研究对虾的能量代谢。动物从饵料摄取的能量除了粪能和尿能之外,还用于基础代谢、运动、摄食、生长、生殖等各项生命活动,因此通过试验了解各个部分的能量就能够提出符合正常生命活动所需要的营养指标。Harris (1959)、Conover 和 Corner (1968)、Jawed (1969)、Snow 和 Williams (1971)、Wieser (1972)、Mayzaud (1976)、Ikeda (1974)、Capuzzo 和 Lancaster (1979)、Regnault (1979, 1981) 和 Dall (1986) 曾研究了甲壳动物的耗氧和氨氮排泄,并根据氧氮比分析能量代谢中能源的化学本质。Clifford 和 Brick (1983) 研究了罗氏沼虾 *Macrobrachium rosenbergii* 幼虾的耗氧、二氧化碳排出和氨氮排泄,并分析了代谢的底物。本试验的目的在于研究中国对虾亲虾的气体代谢和氨氮排泄,探讨亲虾的能源物质以及能量代谢的特征。

材料与方 法

1. 亲虾的暂养与试验条件

试验虾为舟山六横岛海域捕获的中国对虾亲虾,体重为 $64 \sim 107.2$ 克。先在室内水泥池中暂养,池水是经过沉淀过滤的天然海水,水温 $16 \sim 20^\circ\text{C}$, 盐度 $19.5 \sim 23.8\%$, pH $7.9 \sim 8.5$, 溶解氧大于 5 毫克/

* 本文承王义强教授、肖树旭教授审阅,臧维玲老师对试验的帮助,顾功超老师提供亲虾,但文德和王瑛同志参加了试验,谨致谢忱。

收稿年月: 1989年1月; 1990年1月修改。

升, 氨氮小于 0.6 毫克/升。每天早晚投喂剪碎的新鲜蛭肉。

用 5000 毫升无色透明的放水瓶为代谢瓶, 瓶内试验用水为沉淀过滤的天然海水, 再经过 200 目筛绢过滤。每次三或四个代谢瓶同时进行试验, 一个代谢瓶不放虾作空白对照, 其余每瓶放一尾虾。试验以前, 虾停食一天, 等代谢瓶内的虾适应代谢瓶中的环境、静卧瓶底之后开始试验。每天试验的时间基本相同, 试验结束后用滤纸吸干虾体, 称湿重。

2. 耗氧率的测定

用石蜡封闭代谢瓶, 以碘量法测定密闭前和密闭 15 分钟以后代谢瓶内水样的溶解氧。实际测定的结果是空白代谢瓶内水样的溶解氧在密闭 15 分钟前后几乎不变, 故忽略不计。

$$\text{耗氧率} = \frac{(D_0 - D_1)V}{WT} \text{ (毫克/克·小时)}$$

式中: D_0 = 有虾代谢瓶密闭前水样的溶解氧(毫克/升);

D_1 = 有虾代谢瓶密闭 15 分钟后水样的溶解氧(毫克/升);

V = 试验水体积(升);

W = 试验虾体重(克);

T = 试验时间(小时)。

3. 二氧化碳排出率的测定

海水中 CO_2 的测定比较困难, 为了提高测定的精确性, 本试验参考并改进了 Clifford 和 Brick (1983) 的方法, 装置如图 1 所示。瓶 1A、2A、3A 为代谢瓶。瓶 1B、2B、3B 为吸收瓶(各为 100ml 三角烧瓶), 瓶内分别移入 50ml NaOH 溶液。瓶 4 为 250ml 三角烧瓶, 内盛 200ml 5N NaOH 溶液。各瓶按图 1 连接。代谢瓶和瓶 4 塞上橡皮塞之后再用石蜡密封。试验开始时, 由空气泵将空气送入瓶 4, 当空气进入 5N NaOH 溶液以后, 空气中的 CO_2 几乎全部被吸收, 这样由瓶 4 经过导管分别注入各代谢瓶的空气就不含 CO_2 了。每根导管都装有螺丝夹, 可以调节注入代谢瓶的空气速率, 使之相同。在持续 2 小时的试验期间连续充气, 以保证试验虾得到足够的氧气, 维持正常的新陈代谢。

海水中的 CO_2 以结合态(HCO_3^- , CO_3^{2-})和游离态(H_2CO_3 , CO_2)的形式存在, 构成了 CO_2 系统的平衡($2\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$)。试验中, 亲虾呼出的 CO_2 溶解在海水之后, 会引起海水中 CO_2 系

统各组分的含量发生相应的变化。与此同时, 由于不断的充气, 海水中游离的 CO_2 会逸出代谢瓶, 经过导管到相应的吸收瓶中被 NaOH 吸收, 因此亲虾呼出的 CO_2 是代谢瓶内水样中 CO_2 的变化量和吸收瓶内被吸收的 CO_2 之和。对试验开始以及 2 小时之后代谢瓶内水样的 pH、温度、盐度和总碱度进行测定, 计算水样的 CO_2 ($\sum \text{CO}_2 = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{CO}_2]$), 二者之差即为代谢瓶内水样的 CO_2 变化量。利用中和法, 盐酸滴定吸收瓶内被吸收的 CO_2 量。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出率} = \frac{C_1 + C_2 - C_3}{WT} \text{ (毫克/克·小时)}$$

式中: C_1 代谢瓶内水样的 CO_2 变化量(毫克);

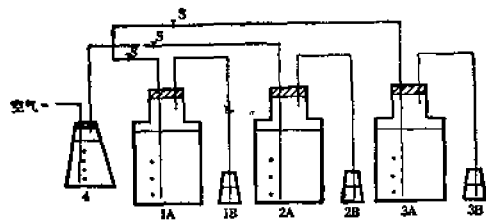


图 1 对虾的二氧化碳排出和氨氮排泄的测定装置

Fig. 1 Schematic diagram of the measurement for CO_2 production and ammonia-N excretion

1A、2A、3A 为代谢瓶; 瓶 1B、2B、3B 和瓶 4 为吸收瓶; S 螺丝夹

C_1 吸收瓶内被吸收的 CO_2 量(毫克);

C_2 空白对照代谢瓶内水样的 CO_2 变化量与吸收瓶内吸收的 CO_2 量之和(毫克);

W 试验虾体重(克);

T 试验时间(小时)。

4. 氨氮排泄率的测定

从代谢瓶采水样测 CO_2 的同时,采水样测氨氮。水样经过澄清处理,使用 721 分光光度计和纳氏比色法测定。

$$NH_3-N \text{ 排泄率} = \frac{Y - Y_0}{WT} \text{ (微克/克·小时)}$$

式中: Y 有虾代谢瓶内 NH_3-N 的变化量(微克);

Y_0 空白对照代谢瓶内 NH_3-N 的变化量(微克);

W 试验虾体重(克);

T 试验时间(小时)。

5. 能源物质比率的计算

对虾是排氮动物,蛋白质代谢的废物主要是 NH_3 ,因此根据 NH_3-N 的排泄量可以近似地计算出蛋白质的氧化分解量,再由耗氧率和 CO_2 排出率计算出脂肪和碳水化合物的氧化分解量,由此可知能源物质被氧化的比率。

结果与讨论

(一) 亲虾的标准代谢

试验亲虾 12 尾,平均体重为 85.1 ± 14.8 克,表 1 指出它们在水温 $19 \sim 22^\circ C$ 时的标

表 1 亲虾的耗氧率、 CO_2 排出率、 NH_3-N 排泄率、呼吸商和氧氮比

Table 1 Oxygen Consumption, CO_2 production, ammonia-N excretion, respiratory quotient and oxygen and nitrogen ratio of parent prawn

体重(克)	耗氧率 (毫克/克·小时)	CO_2 排出率 (毫克/克·小时)	NH_3-N 排泄率 (微克/克·小时)	呼吸商 RQ	氧氮比 O:N
64.0	0.26	0.29	9.44	0.83	23.8
65.0	0.27	0.31	10.13	0.85	23.1
66.8	0.46	0.42	14.10	0.66	28.3
71.0	0.31	0.43	14.79	0.99	18.6
79.0	0.28	0.31	9.47	0.81	25.7
91.8	0.23	0.28	6.82	0.89	29.7
92.0	0.25	0.29	11.80	0.83	18.8
95.0	0.22	0.23	5.30	0.74	37.0
96.2	0.12	0.13	5.19	0.79	20.8
98.4	0.20	0.21	5.92	0.75	30.2
99.0	0.16	0.15	3.96	0.66	36.3
102.7	0.22	0.29	9.42	0.96	20.1
85.1 ± 14.8	0.25 ± 0.08	0.28 ± 0.09	8.86 ± 3.53	0.81 ± 0.10	26.0 ± 6.4

准代谢率,耗氧率为 0.25 ± 0.08 毫克/克·小时, CO_2 排出率为 0.28 ± 0.09 毫克/克·小时, $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率为 8.86 ± 3.53 微克/克·小时。很显然,这些数据是低于暂养池内亲虾的代谢率,然而对于对虾的育苗生产具有指导意义。我们可以根据暂养池中亲虾的数量以及它们的代谢活动,了解暂养池水的溶解氧、酸碱度和氨氮的变化规律,使我们能够有效地控制水质,以利于亲虾性腺的发育。

(二) 亲虾的能源

表1指出,每尾试验虾的呼吸商,平均呼吸商为 0.81 ± 0.10 。本试验以亲虾在15分钟内消耗的氧量计算耗氧率,以2小时内排出的 CO_2 量计算 CO_2 排出率,因此不是虾在同一时间内消耗的氧量和排出的 CO_2 量,严格地说,它们的克分子之比不是呼吸商,但是无论是代谢瓶密闭15分钟、还是试验持续2小时,代谢瓶内试验水的溶解氧始终大于6毫克/升,说明整个试验是在不缺氧的条件下进行的,亲虾代谢正常,它们消耗氧和排出 CO_2 的速率较稳定,所以本试验的结果能够很好地反映出亲虾的呼吸商。

亲虾为了维持生命活动需要消耗能量,而这些能量来自于体内营养物质的氧化,本研究假设蛋白质代谢的废物全部是 $\text{NH}_3\text{-N}$,则被氧化的蛋白质、脂肪和碳水化合物之比为 $40:37:23$,说明亲虾以三种营养物质的混合物为能源,其中以蛋白质为主,脂肪次之,碳水化合物的利用最少。事实上对虾蛋白质代谢的废物除了 $\text{NH}_3\text{-N}$ 之外,还有少量的其它含氮化合物,因此蛋白质的实际代谢量高于计算结果。

对虾耗氧与排氮的克原子之比称氧氮比(O:N)。表1还指出试验亲虾的平均氧氮比为 26.0 ± 6.4 。Harris (1959)等学者指出,利用氧氮比能够估计甲壳动物代谢中能源的化学本质。Mayzald (1976)提出,如果完全由蛋白质氧化提供能量,氧氮比约为7。Ikeda (1974)提出,如果是蛋白质和脂肪氧化供能,氧氮比约为24。Conover和Corner指出,如果主要由脂肪或碳水化合物供能,氧氮比将由此变为无穷大。因此根据氧氮比试验亲虾的主要能源是蛋白质和脂肪,氧化碳水化合物甚少。

Renaud (1949)和Vonk (1960)提出,甲壳动物代谢中的能源主要是糖和脂肪酸,Schaefer (1968)对桃红对虾 *Penaeus duorarum* 的研究、Welsh (1975)对小长臂虾 *Palaemonetes* 的研究、Clifford和Brick (1983)对罗氏沼虾幼虾的研究均得到了相似的结果。但是Dall和Smith (1986)提出美味对虾 *Penaeus esculentus* 在正常摄食的条件下是以蛋白质为能源。而中国对虾的亲虾与上述诸虾不同,在能量代谢中它们主要利用蛋白质,脂肪次之。

(三) 亲虾体重与耗氧率的关系

30尾试验虾按体重分成5组,在相同环境条件下,测定其静息状态下的耗氧率,结果如表2所示,个体小的亲虾的耗氧率高于个体大的,体重(W)与耗氧率(Y)的关系为 $Y = aW^b$, $a = 1.89$, $b = -1.3$,相关系数约为 -0.99 ,log 换算后的关系曲线如图2所示。

试验虾在同一海域捕获,处于相同的个体发育阶段,亲虾体重与耗氧率的负相关说明亲虾的代谢符合动物代谢的一般规律,在动物界无论是种间还是种内单位体重的代谢率随着体重的增加而减少。然而中国对虾的亲虾具有特殊性,b值约为1.3,罗氏沼虾幼虾

表2 不同体重亲虾的耗氧率

Table 2 Changes of oxygen consumption in various body weight of the prawn

试验虾体重(克)	101.2±5.0	93.6±1.9	88.2±2.0	75.0±4.0	65.7±1.4
试验虾数量(尾)	9	6	5	5	5
耗氧率(毫克/克·小时)	0.19±0.05	0.21±0.02	0.23±0.08	0.28±0.03	0.32±0.09

的 b 值约为 0.57(Clifford 和 Brick, 1983), 鱼类的 b 值约为 0.86(Kausch, 1972), 任何恒温动物的 b 值约为 0.67。

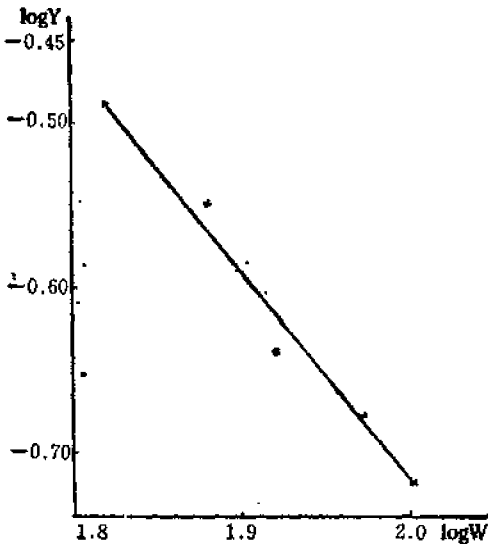


图2 亲虾的耗氧率与体重的关系

Fig. 2 Relationship between oxygen consumption and body weight of the prawn

(四) 亲虾性腺发育与耗氧率的关系

试验虾12尾, 平均体重为 97.2 ± 5.1 克, 按性腺发育的程度分成二组, 在相同的环境条件下, 测定其静息状态时的耗氧率。一组亲虾性腺发育良好, 卵巢丰满呈褐绿色、充满头胸甲和1~2腹节, 耗氧率为 0.24 ± 0.05 毫克/克·小时; 另一组亲虾性腺发育差, 卵巢呈黄白色, 耗氧率为 0.19 ± 0.06 毫克/克·小时。

中国对虾亲虾的卵巢在繁殖期间是持续发育、多次成熟和多次产卵的, 而亲虾的性腺发育、产卵次数、产卵量和产卵的质量主要受营养、水温、光照等影响。在适宜的环境条件下, 卵母细胞的迅速发育达到成熟期必须要有足够的营养物质, 因此亲虾在产卵前摄食

强度增加, 物质代谢旺盛, 能量的转移、贮存和利用也相应增强, 以致性腺发育良好的亲虾的代谢率高, 能需量高; 反之性腺发育差的亲虾的代谢率低, 能需量亦低。

参 考 文 献

- Clifford, H. C. and R. W., Brick, 1983. Nutritional physiology of the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). I. Substrate metabolism in fasting juvenile shrimp. *Comp. Biochem. Physiol.*, 74A (3): 561-568.
- Conover, R. I. and E.D.S., Corner, 1968. Respiration and nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their life cycles. *J. Mar. Biol. Assoc., U. K.* 48: 49-75.
- Dall, W. and D. M., Smith, 1986. Oxygen consumption and ammonia-N excretion in fed and starved tiger prawns *Penaeus esculentus* Haswell. *Aquaculture*, 55: 23-33.
- Harris, E., 1959. The nitrogen cycle in Long Island Sound. *Bull. Bingham Oceanogr., Collect.* 17: 81-85.
- Ikeda, T., 1974. Nutritional ecology of marine zooplankton. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 22: 1-97.
- Mayzand, 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.
- Regnault, M., 1981. Respiration and ammonia excretion of the shrimp *Crangon crangon* L.: metabolic response to prolonged starvation. *J. Comp. Physiol.*, 141: 549-555.
- Schaefer, H. J., 1968. Storage materials utilized by starved pink shrimp *Penaeus duorarum* Burkenroad.

- F. A. O. Fish. Rep.* 57: 398—403.
- Vonk, H. J., 1960. Digestion and metabolism. *The Physiology of the Crustacea*, 1: 291—318.
- Welsh, B. L., 1975. The role of grass shrimp *Palaemonetes pugio* in a tidal marsh ecosystem. *Ecology*, 56: 513—530.

ENERGY METABOLISM OF PARENT PRAWN, *PENAEUS ORIENTALIS*

Zhou Hongqi

(*Shanghai Fisheries University*)

ABSTRACT The oxygen consumption, CO_2 production and ammonia-N excretion were measured for the parent prawn, *Penaeus orientalis* under their non-feeding and resting conditions. The respiratory quotient, the ratio of oxygen to nitrogen and metabolic substrate ratio were used to describe substrate metabolism of the prawn. Experiment indicated that oxidation of protein dominated energy metabolism, while lipid was the second source of the energy metabolism. Oxygen consumption was negatively correlated with body weight of prawn, but it increased with development of ovary.

KEYWORDS *Penaeus orientalis*, oxygen consumption, CO_2 production, ammonia-N excretion, source of energy