

日本沼虾能量收支和利用效率的初步研究

施正峰 梅志平 罗其智 张饮江

(上海水产大学, 200090)

宋卫红

(上海市水产研究所, 200433)

沈莹熙 龚荣顺

(上海市东风农场, 202177)

提 要 本实验采用实验生态学技术对日本沼虾摄食螺蛳的能量收支,主要环境条件(温度、盐度)对能量利用效率的影响进行了研究。建立了日本沼虾摄食螺蛳的能量收支平衡方程式。结果表明:其吸收能量,可占摄食能量的80.7%;用于生长的能量占摄食能量的34.7%,证实螺蛳肉是一种热值大,又容易被虾消化吸收的天然饵料。研究还表明,水温25℃和盐度3‰时,其代谢耗能和排泄耗能最少,因而有利于提高摄食能量利用效率。本实验还测定了日本沼虾的摄食量和体重等因素对特殊动力作用(SDA)的影响,并提出生物能量学等应用基础研究是提高名、特种水产品养殖产量和经济效益的有效途径。

关键词 日本沼虾,螺蛳,能量收支,盐度,温度

养虾池塘与养鱼池塘一样,是一个典型的人工生态系统,但由于养虾池塘主要养殖对象是虾类,其能量主要来自外源性的人工饵料,食物链短,能量转换环节较少,因此,其能量流动的情况显然有别于我国传统养鱼池塘。研究日本沼虾养殖生态系统中占输入能量主要地位的饵料摄入能量收支的定量关系,无疑有助于提高养虾池塘能量利用效率。

有关鱼类生物能量学研究,已有不少学者进行了大量研究,Warren 和 Davis[1967]提出了鱼类生物能量学的基本方程: $C=F+U+R_s+SDA+R_r+G$ 。关于鱼类能量收支的各组分与环境因子之间的数量关系也有不少报道,尤其是在摄食能和粪便排出能之间的关系、摄食能和排泄耗能、体重与能量代谢等方面,在不同鱼类已推出了许多数学模型。然而有关大型经济甲壳类的类似研究报道较少。Kurmaly 等[1989]曾对斑节对虾各幼体发育期的能量收支进行了研究。施正峰等[1991]就温度对日本沼虾摄食的影响进行了研究,并发现,25℃为日本沼虾的最适摄食温度,而当温度高于25℃时,能量消耗相对增加。为此,本实验测定了20℃、25℃和30℃三个温度条件下,日本沼虾的能量收支平衡、利用效率以及日本沼虾摄食螺蛳的能量收支。另外,由于低盐度海水有明显提高日本沼虾幼体成活率的作用[虞冰如和沈玢,1992],但能否提高养殖食用虾饵料能量转换效率尚不清楚,因此,本研究还探讨了盐度对日本沼虾能量收支和能量利用效率的影响。本文旨在通过实验推出日本沼虾摄食能量收支实验方程式,提高养

虾生产技术和理论水平。

一、材料和方法

1. 实验虾的饲养 试验虾由市场购得,体重1-4g,先经(160cm×66cm×71cm)循环水槽暂养,然后分别饲养在57L循环过滤实验水槽。实验用水为曝气除氯自来水。试验期间每天投喂新鲜螺肉,上午9-10时排污、清槽,并补充1%-5%的新鲜水。

2. 试验温度和盐度

(1)温度对日本沼虾能量转换效率的影响 设20℃、25℃和30℃三个实验组,电加热器加温,WMZK-01型温度指示控温仪控温。实验用盐度为0.3‰的淡水。

(2)盐度对日本沼虾能量转换效率的影响 设盐度为0.3‰(淡水)、3‰、7‰、10‰和13‰五组,实验水温25℃。不同盐度的海水用天然海水(26‰)加淡水配制而成,用美国YSI-MODEL-33型盐度计测定。

3. 能量收支各组分的测定

(1)摄食量及摄食能量 实验期间定量投饲新鲜的螺蛳肉,两小时后,取出残饵称重,用投饵量减残饵量作摄食量。用日本岛津CA-3型自动氧弹式热量计测定螺肉和虾的能量。

(2)排粪量和排粪耗能 试验期间,用虹吸管及时吸出日本沼虾的粪便,烘干(70℃)并称重,用上述氧弹式热量计测定热值。用24小时内实验虾所排粪便的干重除以实验虾体重为每克虾体重日排粪干重(粪便重/虾重·天)。

(3)排泄耗能的测定(排氮率的测定) 设2组平行试验测定饥饿、安静状态下的排氮率。测定瓶为1L三角锥形流水瓶,(每瓶放一尾实验虾),用LZB-4型玻璃转子流量计控制流量,水浴法控制水温。每隔1小时昼夜取进、出口水样,用次氯酸钠盐法测定水中氨氮含量[Parsons等,1984],按下式计算虾体排氮率:

$$\text{虾体排氮率}(\mu\text{g}-\text{N}/\text{g}\cdot\text{d}) = \frac{(\text{出水水样氨氮量}-\text{进水水样氨氮量}) \times \text{流量}}{\text{实验虾体重}}$$

测定摄食后虾体排氮率时,需将实验虾排出的粪便立即清除。按能值24.83J/mg-N将排氮量换算成能量焦耳[崔奕波,1989]。

4. 代谢耗能的测定

(1)耗氧率的测定 测定瓶与排氮量测定装置相同,水浴法控制水温,连续24小时,每间隔1小时用美国YSI-S1型溶氧测定仪测定流水瓶进、口水样的溶氧量,按下式计算虾体耗氧率,并按崔奕波[1989]耗氧量热量转换值13.54J/mg-O₂,换算出每克实验虾日代谢耗能值(J/g·d):

$$\text{耗氧率}(\text{mg}-\text{O}_2/\text{g}\cdot\text{d}) = \frac{(\text{进水溶氧量}-\text{出水溶氧量}) \times \text{流量}}{\text{实验虾体重}}$$

(2)生长能量的估算 生长能量根据能量收支平衡原理,按生长能量(J/g·d)=摄食日粮能量-日粪便能量-日排泄能量-日代谢耗能计算。

(3)能量收支实验方程 根据日本沼虾摄食螺蛳后能量收支各组分的实验测定值,按Brett和Groves[1979]提出的能量收支模型建立日本沼虾摄食能量收支的实验方程:C=F+U+(R₁+SDA)+G;其中C为摄入食物含能量,F为粪便含能量,U为排泄物含能量,R为总代谢耗能,R₁为基础代谢耗能,SDA为特殊动力作用,G为生长能量。

二、结果和讨论

1. 温度对日本沼虾基础代谢耗能和排泄耗能的影响 不同温度下,不同体重组(1.0-2.0g 为小规格组,3.5-4.5g 为大规格组)日本沼虾的耗氧率和排氨率如表1和图1、2所示。由图1、2可见,当水温从20℃上升到25℃时,大虾耗氧率及排氨率均无明显变化,小虾相关参数略有下

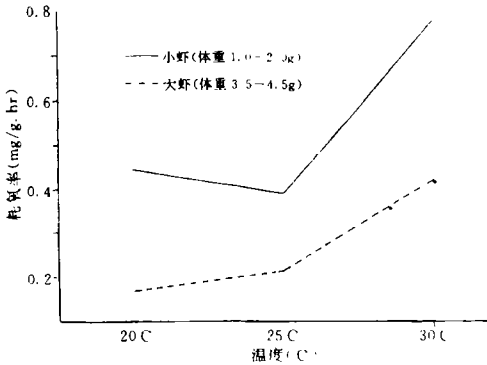


图1 温度对不同体重日本沼虾基础耗氧率的影响

Fig. 1 Effect of temperature on the oxygen consumption of *Macrobrachium nipponensis* with different body weights

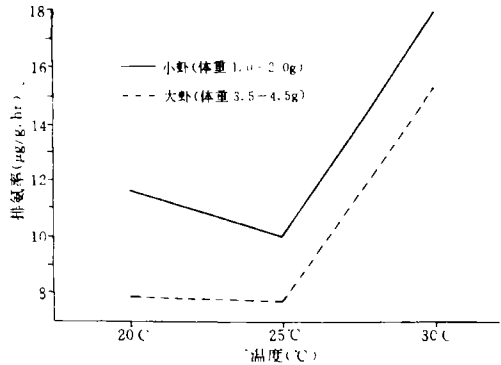


图2 温度对不同体重日本沼虾基础排氨率的影响

Fig. 2 Effect of temperature on ammonotelism of *M. nipponensis* with different body weights

降;当水温从25℃上升到30℃时,两者均较大幅度上升。这表明20℃-25℃和25℃-30℃二档温度时日本沼虾代谢有明显的不同影响。实验表明,①从25℃上升到30℃时代谢率的急剧上升,对其能量在体内的积累是不利的;②水温20℃、25℃和30℃时,每日每克体重小规格日本沼虾基础代谢平均耗能分别为146.23、129.45和251.76J,水温30℃时的基础代谢耗能比20℃时要高72.17%,比25℃时高94.48%;③水温20℃、25℃和30℃时,小规格日本沼虾每日每克体重平均排氨耗能分别为7.28、6.48和10.71J,水温30℃时的排泄耗能比20℃及25℃时分别高47.12%和65.28%。据此,可以认为水温25℃是日本沼虾摄食能量利用效率最高的环境温度,也是其生长最适温度。这与施正峰等[1991]研究结果是一致的。

表1 日本沼虾在不同环境温度条件下的基础耗氧率和排氨率(淡水)

Table 1 The basic oxygen consumption and ammonotelism rate of *M. nipponensis* with different body weights under different temperatures (in freshwater)

	虾重(1-2g)		虾重(4-5g)	
	耗氧率(mg/g.hr)	排氨率(μg/g.hr)	耗氧率(mg/g.hr)	排氨率(μg/g.hr)
20℃	0.445±0.006	11.619±0.578	0.169±0.033	7.842±0.828
25℃	0.388±0.078	10.010±5.301	0.213±0.075	7.702±1.358
30℃	0.774±0.002	17.957±4.788	0.419±0.136	15.284±3.034

2. 盐度对日本沼虾基础代谢耗能和排泄耗能的影响

根据上述实验结果,测定了25℃下盐度对日本沼虾耗氧率和排氨率的影响(图3)。由图3可见,在盐度为3‰时,耗氧率最低;在淡水中,耗氧率比3‰海水时略高;从3‰开始,耗氧率随盐度增高而上升。

Kutty 等[1980]发现鲷鱼在等渗点时,半数存活时间最长,当盐度低于或高于等渗点时,半数存活时间缩短。虞冰如[1992]提出,低盐度(3‰-6‰)海水能显著提高日本沼虾育苗的成活率。Knight[1985]研究鳗鲡能量收支平衡后指出,海水和淡水养殖鳗鲡的生长效率($G/C \times 100\%$)是不同的,二者分别为66%和58%,前者比后者高8%。这是由于饲养在淡水的鳗鲡比饲养在适当盐度海水的鳗鲡在维持机体渗透压平衡所代谢的耗能较高所致。本实验表明,日本沼虾在3‰盐度时耗氧率最低,代谢耗能最小。由此推测,日本沼虾的等渗点可能在3‰左右。

本实验还表明,排氨率随盐度上升而增高(图4),在盐度10‰海水中,日本沼虾排氨率比淡水(0.3‰)和3‰海水高68.66%和56.53%。水生动物排氨主要由蛋白质代谢过程中氨基酸脱氨作用产生,脱氨基过程中释放的能量主要供机体活动所用。由于鱼类排泄耗能比代谢耗能要少得多[Winberg, 1956],因此,在考虑环境对摄食能量收支的影响时,应以减少代谢耗能为着重点。

3. 日本沼虾的特殊动力作用

特殊动力作用是指动物摄饵后,为了消化饵料需要额外消耗的能量。本实验在水温25℃、盐度为0.3‰时测得的摄食能量与特殊动力作用耗能如表2,两者呈显著的直线相关:

$Y = -67.84 + 0.25X$ ($Y = SDA; X = \text{摄食能量}; r = 0.98; n = 4$)。该方程表明,特殊动力作用的能量消耗随摄食能量的上升而呈正比例增加。表2同时揭示了摄食同一种饵料时,SDA消耗能量占摄食总能的比例随摄食量的增加而提高。

实验测得不同大小的虾在不同水温下摄食螺肉后的SDA占总摄食量的百分值如表3。由表3,25℃和30℃温度下,虾的规格大小对SDA耗能占摄食能的百分比值无显著影响;而温度对SDA耗能的百分比值的影响比较显著。其趋势与温度对代谢的影响接近,在25℃时,SDA占摄食能量的比例最低,进一步证实了25℃最有利于日本沼虾对摄入能量的积累和利用。本实验结果与Brett和Grove[1979]、Jobling[1981]认为摄食天然饵料鱼类的SDA耗能占摄食能

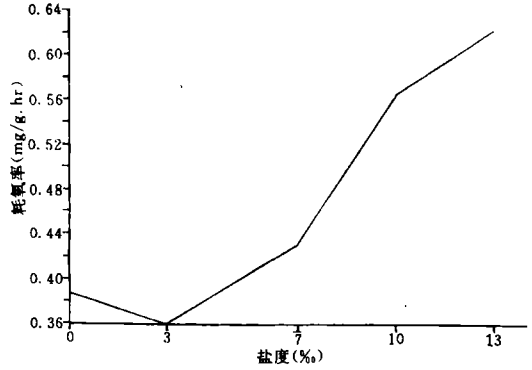


图3 盐度对日本沼虾耗氧率的影响

Fig. 3 Effect of salinity on oxygen consumption of *M. nipponensis*

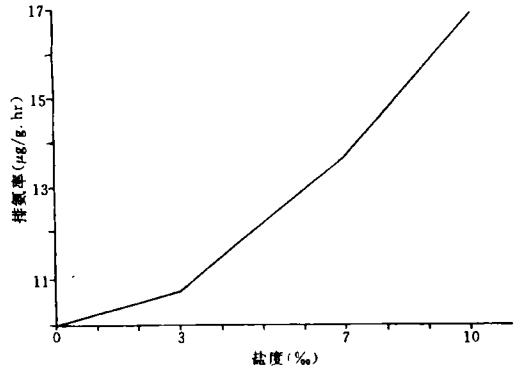


图4 盐度对日本沼虾排氨率的影响

Fig. 4 Effect of salinity on ammonotelism rate of *M. nipponensis*

的比例约为9% 20%的结果一致。

表2 日本沼虾摄食能量与 SDA 耗能的关系

Table 2 Relationship between feeding energy and SDA energy consumption of *M. nipponensis*

摄食饵料能量(J/g)	341.04	389.15	399.15	467.85
SDA 耗能值(J/g)	19.87	25.98	34.14	50.92

表3 日本沼虾在不同温度条件下摄食螺肉后的 SDA 耗能占摄食能的百分比(%)

Table 3 Percentage of SDA energy consumption in feeding energy under different temperatures for different size *M. nipponensis*

实验虾规格(g/尾)	20℃	25℃	30℃
1 2	11.28	7.53	11.27
3.5 4.5	18.73	7.62	10.86

4. 日本沼虾对螺蛳肉能量的吸收率

20℃和25℃下所测得的日本沼虾对螺蛳肉能量的吸收率($\frac{\text{摄食能} - \text{粪便能}}{\text{摄食能}} \times 100\%$)为80% 88%(表4)。由表4,在20℃和25℃时温度对食物能量消化吸收率的影响不够明显,而在同一温度下,不同大小的虾,其能量吸收率有较大的差异,这意味着与温度相比,能量的吸收率较易受虾本身固有的生理特性所制约(如不同大小的虾,及其对饵料的消化能力不同等)。本实验中,在同一温度下,个体越大,能量吸收率越高。动物对食物的能量吸收率高低反映了动物对这种食物的适应,由此可以看出不同大小的日本沼虾,对食物的需求是不同的。

表4 日本沼虾对螺蛳肉能量的吸收率

Table 4 Absorption rate of *M. nipponensis* feeding on *Bellamya* sp.

温度	实验虾规格(g/尾)	吸收率(%)	实验虾规格(g/尾)	吸收率(%)
20℃	1 2	80.86	3.5 4.5	84.17
25℃	1 2	80.70	3.5 4.5	88.34

5. 日本沼虾的能量收支

日本沼虾的能量收支方程可按 Warren 和 Davis[1967]的鱼类生物能量学的基本方程: $C = F + U + (R_b + R_a + SDA) + G$ 表示,其中代谢耗能中的 R_b 为标准代谢耗能, R_a 为活动代谢耗能, SDA 为特殊动力作用。谢小军、孙儒泳[1990]认为活动代谢(R_a)是代谢中最难估计的部分,研究方法尚不成熟,已有的研究资料还很少,并且在受控实验条件下,试验虾相对比较安定,因此,本研究以基础代谢能(R_b :饥饿、相对安定条件下测得的代谢耗能)来表示实验虾的标准代谢(R_b)和活动代谢(R_a)之耗能(即 $R_1 = R_b + R_a$)。

日本沼虾摄食螺蛳肉的能量收支的测定结果列于表5,并将其转换成如下所示的日本沼虾摄食螺蛳肉的能量收支实验方程(水温25℃,虾规格1 2g/尾): $100(C) = 19.3(F) + 6.06(U) + [32.84(R_1) + 7.63(SDA)] + 34.17(G)$ 和方框图(图5)。

表5 日本沼虾摄食螺蛳肉的能量收支

Table 5 Energy budget of *M. nipponensis* feeding on *Bellamya* sp.
(water temperature 25°C; body weight of shrimp: 1.2g; unit: J)

摄食能量 (C)	排粪能量 (F)	排泄能量 (U)	代谢能量		生长能量 (G)
			R ₁	SDA	
394.15	76.07	23.87	129.45	30.06	134.7

注: (1)螺蛳肉(干)能量值:19.8KJ/g; (2)粪便(干)能量值:6.88KJ/g。

上述实验方程和图5表明:(1)日本沼虾摄食螺蛳肉吸收的能量,可占摄食能量的80%;用于生长的能量占食物能量的34%;而螺蛳肉每克干重热值为19.8KJ,由此可见,螺蛳肉是一种热值大,又容易被日本沼虾很好消化吸收的天然饵料,本文从生物能量学的角度,证实了投喂螺蛳肉的池养日本沼虾生长速度快,单位面积产量较高的原因;(2)日本沼虾摄食螺蛳肉时排出废物(粪便+排泄)的能量占摄食量的25%,可代谢能量为摄入食物能量的75%。

日本沼虾属杂食偏动物性的甲壳动物,它对饵料蛋白的最适需求量为36.3%~52.12% [虞冰如和沈竑,1990]。因此,本实验中日本沼虾摄食螺蛳肉时,出现的吸收效率和生长效率较高的现象也是可以理解的。鳗鲡也是肉食性鱼类,但它的粪便和代谢耗能均远低于一般的肉食性鱼类,前者分别为3%和36%,而后者要占20%和44%,这主要是由于养鳗中使用了人工配合饲料。由此可见,采用科学合理的人工配合饲料和投饲技术,对水生动物能量摄食收支方程式的各组分的定量分配有重大作用。因此,研究分析生物能量学、阐明水生动物能量收支各组分的定量关系,以及主要生态条件对各组分量分配的影响,不仅有助于提高水生动物养殖学科学理论水平,而且有助于指导养殖工艺和技术的改革。

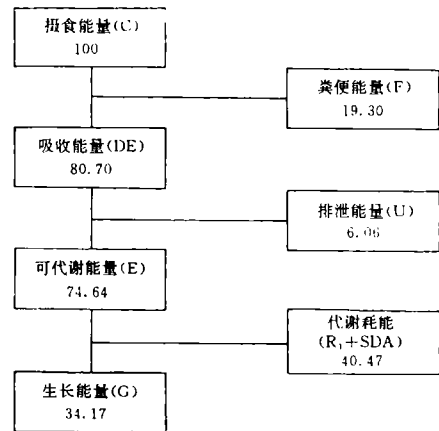


图5 日本沼虾摄食螺蛳肉的能量收支方框图

Fig. 5 Energy budget of *M. nipponensis* feeding on *Bellamya* sp.

参 考 文 献

- [1] 施正峰等,1991.水温对日本沼虾摄食的影响.水产学报,15(4):338-343.
- [2] 崔亦波,1989.鱼类生物能量学的理论与方法.水生生物学报,13(4):369-381.
- [3] 虞冰如,1992.淡水青虾人工育苗及其工艺技术.水产科技情报,19(1):17-20.
- [4] 虞冰如、沈 竑,1990.日本沼虾饲料最适蛋白质、脂肪含量及能量蛋白比的研究.水产学报,14(4):321-327.
- [5] 谢小军、孙儒泳,1991.鱼类的特殊动力学作用的研究进展.水生生物学报,15(1):82-89.
- [6] Brett, J. R. and T. D. D. Groves, 1979. *Physiological energetics*. In: *Fish Physiology* (Hoar W. S., D. J. Randall and J. R. Brett eds) Vol. 9, 279-352. Academic Press, New York.
- [7] Jobling, M., 1981. The influence of feeding on the metabolic rate of fish: A short review. *J. Fish Biol.*, 18: 385-400.

- [8] Knight, 1985. *Feeding behavior and fish culture*. In: *Nutrition and Feeding in Fish* (ed. Cowie C. B. *et al.*) pp. 223-241. Academic Press, London.
- [9] Kutty, M. N. *et al.* , 1980. Influence of temperature and salinity on survival of the freshwater mullet *Rhinomugil corsula*. (Hamilton). *Aquaculture*. **20**:201-274.
- [10] Kurmaly, K. *et al.* , 1989. An energy budget for larvae of *Penaens monodon* (Fabricius). *Aquaculture*, **81**:13-25.
- [11] Parsons, T. R. *et al.* , 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analyses*. 20-27. Pergamon Press, Oxford.
- [12] Warren, C. E. & G. E. Davis, 1967. *Laboratory studies on the feeding bioenergetics and growth of fish*. *The Biological basis of freshwater fish production* (ed. S. D. Gerking), pp. 175-214. Blackwell Scientific, Oxford.

PRELIMINARY STUDIES ON ENERGY BUDGET AND UTILIZATION EFFICIENCY OF *MACROBRACHIUM NIPPONENSIS*

Shi Zhengfeng, Mei Zhiping, Luo Qizhi and Zhang Yinjiang

(*Shanghai Fisheries University, 200090*)

Song Weihong

(*Shanghai Fisheries Institute, 200433*)

Shen Yingxi and Gong Rongshun

(*Shanghai Dongfeng Farm, 202177*)

ABSTRACT The effects of main environmental factors (temperature, salinity) on energy utilization efficiency and energy budget of *Macrobrachium nipponensis* feeding on *Bellamya* sp. were studied by means of experimental ecological methodologies. An equation of energy budget of *M. nipponensis* feeding on *Bellamya* sp. was established. The results indicated that the energy used for assimilation and growth accounted for 80.7% and 34.7% of total energy consumption respectively. It demonstrated that *Bellamya* sp. meat was an excellent natural diet for the shrimps. The meat with high energy can be easily digested and absorbed by the shrimps. The study also indicated that expenditure of metabolic and excretion energy would be minimized when water temperature is 25°C and salinity, 3‰. The paper also reported the effect of rate of feeding and body weight of *M. nipponensis* on its specific dynamic action (SDA) and proposed that the studies on the bioenergetics is an effective way to improve the culture yield and economic efficiency of famous and special reared species.

KEYWORDS *Macrobrachium nipponensis*, *Bellamya* sp. , energy budget