

# pH值和Ca<sup>2+</sup>浓度对日本沼虾生长和能量收支的影响

董双林 堵南山 赖伟

(华东师范大学生物系, 上海 200062)

**提要** 本文报道了不同pH值(6.5、7.5和8.5)和不同Ca<sup>2+</sup>浓度(38.8、61.1和78.8ppm)对日本沼虾生长和能量收支的影响。实验结果表明, pH值对该虾的生长有一定的影响, Ca<sup>2+</sup>和pH值在影响其生长的过程中可能有一定的交互作用。pH值和Ca<sup>2+</sup>对该虾生长的影响主要是通过影响其能量摄入量实现的。本实验条件下, 该虾摄入的能量平均有15.8%用于生长, 1.8%作为粪便排出体外, 其余用于呼吸和排泄。

**关键词** 日本沼虾, 生长, 能量收支, pH, Ca<sup>2+</sup>

日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)是我国主要的淡水经济虾类。过去一些学者曾就其发育、幼体摄食、营养等方面进行过研究[戈敏生, 1965; 杞桑, 1977; 虞冰如、沈竑, 1990; 何林岗等, 1993]。关于环境因子对其摄食和生长的影响方面, 施正峰等[1991]研究了水温对该虾摄食的影响, Tsou等[1990]研究了温度和盐度对其幼体生长和发育的影响。本实验着重研究另外两个可能影响其生长和能量收支的重要因子——pH值和Ca<sup>2+</sup>浓度的作用, 以期为该虾天然资源的增殖和人工养殖提供理论依据。

## 一、材料和方法

### (一) 虾的来源和规格

实验用虾均购自上海市农贸市场, 选取其中活泼健壮的个体作为实验虾。虾体重用电子天平称量, 精度至毫克。实验用虾平均体重为 $1.380 \pm 0.185\text{g}$ 。

### (二) 实验方法

实验在20个盛14L水的玻璃水族箱内进行。每一水族箱内养虾一尾。为保持25°C恒温, 这些水族箱分放于2个1m<sup>3</sup>的玻璃钢水浴内, 水浴水温用控温仪控制。

实验水pH值设6.5、7.5和8.5三个水平, Ca<sup>2+</sup>设38.8、61.1和78.8ppm三个浓度; 另外设蒸馏水(pH值为6.7)对照组。每一处理有2个重复。pH值用NaOH和HCl每天早晨调整一次, 实验期间pH值变化幅度极少超过设计值的 $\pm 0.2$ 。水中Ca<sup>2+</sup>浓度是加CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O后获得的。Ca<sup>2+</sup>浓度以钙红为指示剂用EDTA二钠滴定法测定。

每天2次以过量摇蚊幼虫投喂日本沼虾, 每天还收集粪便、残饵各两次。实验持续18

天。实验期间定期给水族箱充气。实验前、后分别用电子天平称量实验虾的湿重,计算其日生长率。实验前随机另取一些虾称湿重,80°C下烘干后再称其干重,计算干湿比。据此计算实验虾在实验前的干重,最后根据实验后虾的干重计算其干物质生长量。实验期间其所蜕壳重也计在生长量内。

摇蚊幼虫、虾体、所蜕甲壳和粪便的能值都在 80°C下烘干后用氧弹仪测定。

## 二、结果和讨论

### (一) pH 值和 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度对日本沼虾生长的影响

实验期间不同 pH 值和不同  $\text{Ca}^{2+}$  浓度下日本沼虾的湿重日生长率见表 1。另外,蒸馏水中的 2 尾虾日生长率分别为 1.01 和 0.68%·d<sup>-1</sup>。 $\text{Ca}^{2+}$  浓度为 38.8、61.1 和 78.8 ppm 条件下的虾平均日生长率分别为 1.11、1.59 和 1.71%·d<sup>-1</sup>,即  $\text{Ca}^{2+}$  浓度提高,其生长率也提高。pH 值在 6.5、7.5 和 8.5 条件下虾的平均日生长率分别为 1.11、1.35 和 1.95%·d<sup>-1</sup>,随 pH 值提高其生长率也提高。

为了观察  $\text{Ca}^{2+}$  浓度和 pH 值对该虾生长作用的大小及  $\text{Ca}^{2+}$  和 pH 的交互作用,用方差分析方法对表 1 中的数据进行统计处理(见表 2)。统计分析结果表明,在本实验条件下,pH 值对生长影响较大,接近统计学上显著水平。同时,结果还表明 pH 和  $\text{Ca}^{2+}$  在影响该虾生长的过程中很可能存在一定的交互作用。

表 1 日本沼虾日生长率(%·d<sup>-1</sup>)

Table 1 Growth rates (%·d<sup>-1</sup>) of *M. nipponense*

Ca <sup>2+</sup> 浓度(ppm)	pH		
	6.5	7.5	8.5
38.8	0.68	1.21	0.96
	0.16	1.07	2.66
61.1	1.22	1.12	3.02
	0.83	1.87	1.99
78.8	1.68	1.96	1.54
	2.15	1.39	1.53

表 2 日本沼虾生长率的方差分析结果

Table 2 Results of the ANOVA for the growth rates of *M. nipponense*

效应	离差平方和	自由度	平均离差平方和	F	比较
pH 作用	2.228	2	1.114	4.036	>F <sub>0.10</sub>
Ca <sup>2+</sup> 作用	1.192	2	0.596	2.159	>F <sub>0.25</sub>
交互作用	2.480	4	0.620	2.246	>F <sub>0.25</sub>
误差	2.486	9	0.276		
总变差	8.386	17			

蒸馏水中养殖的 2 尾虾平均日生长率为  $0.85\% \cdot d^{-1}$ , 低于其它各处理的平均值。

## (二) pH 值和 $Ca^{2+}$ 浓度对日本沼虾日摄入能值的影响

本实验条件下虾日摄入的能量值如表 3。从表 3 中可看出, 本实验中随  $Ca^{2+}$  浓度提高和 pH 值增加该虾的日摄入能值也大致在增加。另外, 蒸馏水中的虾日摄入能值平均为  $616 J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$ 。

表 3 日本沼虾日摄入能量( $J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$ )  
Table 3 Energy consumption ( $J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$ ) of *M. nipponense*

Ca <sup>2+</sup> 浓度(ppm)	pH		
	6.5	7.5	8.5
38.8	833	857	1051
61.1	875	1034	1344
78.8	1010	1030	1130

## (三) pH 值和 $Ca^{2+}$ 浓度对日本沼虾蜕壳的影响

18 天的实验期间, 所有虾都蜕壳一次, 只有 pH 为 7.5、 $Ca^{2+}$  为 61.1ppm 处理的一尾虾在实验的第 3 天蜕壳, 到实验结束前又蜕壳一次。

pH 为 7.5、 $Ca^{2+}$  为 38.8ppm 处理的 1 尾虾在实验第 7 天蜕壳, 此后第 2 天死亡。

一般情况下, 蜕壳 1、2 天后实验虾的食欲激增, 而只有对照组的 2 尾虾蜕壳后, 由于甲壳一直没有完全硬化, 而几乎无食欲。

由于实验开始时每尾虾所处蜕壳间期的阶段不一, 因此它们蜕壳的先后不能反映水质对它们的适宜程度。同时, 由于甲壳动物在蜕壳间期的不同阶段中, 摄食、生长、代谢等方面变化较大 [Aiken 和 Waddy, 1992; Anger 等, 1992], 因此这种生长阶段的不一必然造成个体间在生长、摄食上的差异, 这是甲壳动物实验的一大特点。

## (四) 日本沼虾在本实验条件下的能量分配

不同 pH 值和  $Ca^{2+}$  浓度下, 日本沼虾的能量分配情况见图 1。很明显, 呼吸和排泄消耗了虾同化能的绝大部份, 这一结果与其它甲壳动物 [Paul 和 Fuji, 1989] 和鱼类 [崔亦波, 1989] 的实验结果相同。由于日本沼虾以氨和尿素方式排泄的能量不足其摄食能的 2% (董双林等, 1994), 因此, 其摄食能的绝大部份用在呼吸代谢上。

本实验中日本沼虾以粪便形式损失的能量占摄食能的 1.8%, 变幅为 1.3%—2.2%, 也就是说其对摇蚊幼虫的同化率为 98.2%。

实验中该虾摄食能量的 15.8% 用在生长上, 变幅为 9.2%—23.6%。从图 1 可看出, 除对照组虾外, 其余处理条件下虾的生长能占摄食能的比例差别不很大。在 pH 值为 6.5、7.5 和 8.5 条件下, 实验虾用于生长的能量分别为 15.6、15.9 和 18.0%, 似有其用于生长

(1) 董双林等, 1994。日本沼虾生理生态学研究 III. 温度和体重对其能量收支的影响。海洋与湖沼, 25(3)。

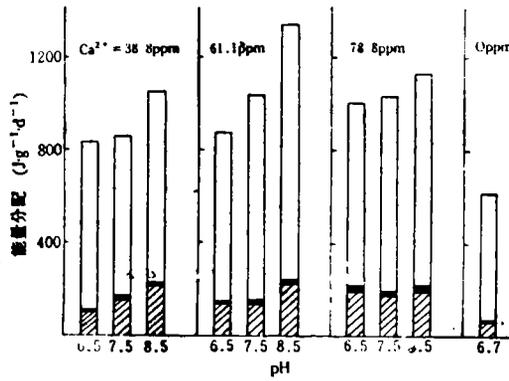


图1 实验条件下日本沼虾能量分配状况(斜线部份为生长能,涂黑部份为粪便能,空框部份为呼吸和排泄能)

Fig. 1 Pattern of energy allocation of *M. nipponense* (Hatched bar-growth; black bar-faecal production; open bar-excretion and respiration)

的能量比例随 pH 值上升而增加的趋势。

根据作者的研究,日本沼虾在蜕壳间期生长能占摄食能的比例比本研究的 15.8% 要高一些(董双林,1994)。这除了因为两研究中水质、水温不同外,更重要的是本研究的能量收支是日本沼虾蜕壳期和蜕壳间期整个过程中的结果。虾在蜕壳前食欲减退,蜕壳期在甲壳钙化之前还要停食 1、2 天,而且蜕壳前旧甲壳部份地被吸收[Stevenson, 1985]及蜕壳后虾体急剧吸水增大[Aiken 和 Waddy, 1992] 等生理过程都要消耗很多能量,因此,蜕壳间期的生长能分配比例较高就不难理解了。

### (五) pH 值和 $Ca^{2+}$ 对日本沼虾生长影响的机制

从表 1 和表 2 的数据可以看出,pH 值不仅影响日本沼虾的摄入能量的多少,还可能影响摄食能用于生长的比例(表 3 和图 1)。根据 Mauro 和 Moore[1987]对两种淡水甲壳动物的研究,在水体 pH 值较低时,它们氨的排泄量明显增加。但是,由于排泄能仅占日本沼虾摄入能的很小部份,因此,这一机制不可能使生长造成如此大的差异,更重要的机制很可能是通过影响其食欲完成的。另据 McDonald 和 Wood[1980]对虹鳟的研究,在  $Ca^{2+}$  浓度较高时,水 pH 值变低对鱼体血液中离子平衡扰乱较小,而  $Ca^{2+}$  浓度低时,pH 值的变化对鱼体血液中离子平衡扰乱较大。本实验也反映出 pH 和  $Ca^{2+}$  在影响日本沼虾生长中可能有交互作用(表 2)。因此可以推断,pH 值的变化很可能是通过扰乱日本沼虾体液的离子平衡、改变其食欲而对生长起作用的。

与其它水生动物相比,钙在甲壳动物的生命过程中起着更重要的作用。其周期性的蜕壳需要大量的钙,这些钙必须从饵料或通过体表吸收得到补充[Bourget 和 Crisp, 1975; Stevenson, 1985]。本实验以灰份量很少的摇蚊幼虫投饲日本沼虾,这很可能使虾从饵料中不能获得身体所需要的足够的钙,因此,水环境中的钙就可能对日本沼虾显得较为重要。本实验中, $Ca^{2+}$  浓度较高时,虾生长较快和对照组虾蜕壳后甲壳迟迟不能硬化、食欲锐减正说明了这一点。Digby [1980]曾提出,甲壳动物的甲壳钙化和水中 pH 值、

$\text{Ca}^{2+}$  浓度有关。在他的钙化理论中,  $\text{OH}^-$  和一定的  $\text{Ca}^{2+}$  浓度在甲壳动物甲壳钙化过程中是必需的。这样  $\text{Ca}^{2+}$  和 pH 值共同参与的钙化过程也许是本实验中 pH 和  $\text{Ca}^{2+}$  交互作用的另一途径。

在酸雨较为严重或酸性土壤地区养殖日本沼虾时应特别注意酸性水对其生长的影响。在软水地区也应十分注意经常投饲一些灰份较多的饲料或给水补钙, 使虾获得足够的补充钙。定期向水体施一定量的生石灰可能是解决上述问题的好办法。

### 参 考 文 献

- [1] 戈敏生, 1965. 淡水青虾幼体发育的初步研究. 中国动物学会三十周年学术讨论会论文摘要汇编, 39. 科学出版社(京).
- [2] 何林岗等, 1993. 日本沼虾幼体摄食量及生长的研究. 海洋与湖沼, 24(2): 151—156.
- [3] 纪 桑, 1977. 青虾产卵周期的观察. 水生生物学集刊, 6(2): 191—196.
- [4] 施正峰等, 1991. 水温对日本沼虾摄食的影响. 水产学报, 5(4): 338—343.
- [5] 崔亦波, 1989. 鱼类生物能量学的理论和方法. 水生生物学报, 13(4): 369—383.
- [6] 虞冰如, 沈 炫, 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.
- [7] Aiken, D. E. and S. L. Waddy, 1992. The growth process in crayfish. *Rev. Aquat. Sci.*, 6(3—4): 335—381.
- [8] Anger, K. *et al.*, 1992. Growth patterns, chemical composition and oxygen consumption in early juvenile *Hyas araneus* (Decapoda: Majidae) reared in the laboratory. *Helgol. Meeresunters.*, 46(1): 9—28.
- [9] Bourget, E. and D. J. Crisp, 1975. Factors affecting deposition of shell in *Balanus balanoides*. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 55: 231—250.
- [10] Digby, P. S. B., 1980. Calcification in crustacean: The fundamental process. *Physiologist*, 23: 105.
- [11] Mauro, N. A. and G. W. Moore, 1987. Effects of environmental pH on ammonia excretion, blood pH and oxygen uptake in freshwater crustaceans. *Comp. Biochem. Physiol.*, 87C(1): 1—7.
- [12] McDonald, H. H. and C. M. Wood, 1980. The influence of calcium on the physiological responses of the rainbow trout, *Salmo gairdneri*, to low environmental pH. *J. Exp. Biol.*, 88: 109—131.
- [13] Paul, A. J. and A. Fuji, 1989. Bioenergetics of the Alaskan crab *Chionoecetes bairdi* (Decapoda: Majidae). *J. Crustacean Biol.*, 9(1): 25—36.
- [14] Stevenson, J. R., 1985. Dynamics of the integument. In *The Biology of Crustacea*, Vol. 9, Integument, Pigments and Hormonal Processes, pp. 1—42, ed. by Bliss, D. E., Academic Press, Inc.
- [15] Tsou, Y-Er *et al.*, 1990. Effects of temperature and salinity on larval development of the freshwater shrimp *Macrobrachium nipponense*. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 17(2): 99—108.

## EFFECTS OF pH AND $\text{Ca}^{2+}$ CONCENTRATION ON GROWTH AND ENERGY BUDGET OF *MACROBRACHIUM NIPPONENSE*

Dong Shuanglin, Du Nanshan and Lai Wei

(Department of Biology, East China Normal University, Shanghai 200062)

**ABSTRACT** The paper deals with the effects of pH (6.5, 7.5 and 8.5) and  $\text{Ca}^{2+}$  concentration (38.8, 61.1 and 78.8 ppm) on the growth and energy budget of a freshwater shrimp *Macrobrachium nipponense*. The results showed that pH

value affected the growth of the shrimp, and there was interaction between pH and  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the process. pH and  $\text{Ca}^{2+}$  affected their growth through affecting mainly on their energy consumption. Under the experiment condition, the energy fed by the shrimp was allocated to growth by 15.8% and faecal production by 1.8%.

**KEYWORDS** *Macrobrachium nipponense*, growth, energy budget, pH,  $\text{Ca}^{2+}$