

温度和体重对中华绒螯蟹幼蟹饥饿代谢的影响

温小波 陈立侨 艾春香 周忠良

(华东师范大学生物学系, 上海 200062)

摘要:于 1998 年 9 月—12 月对均重为 3.64、1.69 和 0.52g 三种规格的中华绒螯蟹幼蟹在 15、20、25 和 30℃ 四种温度条件下的饥饿代谢进行了测定,以探讨体重和温度变化对代谢的影响。结果表明,耗氧率(R_O)和氨氮排泄率(R_N)都随温度升高而增大,随体重增大而减小,其关系式可分别表示为: $R_O=0.1309W e^{0.0490T}$ 和 $R_O=0.4254W^{-0.1999}$; $R_N=3.3649e^{0.0484T}$ 和 $R_N=0.4400W^{-2.900}$ 。不同体重幼蟹在不同温度条件下的饥饿代谢率差异显著,饥饿代谢率随体重的增大而减少,随温度升高而增大。同时,体重对能源物质的供能比有较大影响,三种规格的幼蟹,其代谢底物中蛋白质、碳水化合物和脂肪提供的能量比分别为 6.4:41.8:51.8、6.7:27.8:65.5 和 7.3:43.8:48.9。

关键词: 中华绒螯蟹幼蟹; 温度; 体重; 饥饿代谢

中图分类号: S968.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2003)04-0357-005

在适宜的生长环境条件范围内,需氧动物可通过调整和维持其耗氧率、氨氮排泄率等基础代谢来适应环境条件的变化。因此,耗氧率、氨氮排泄率等基础代谢反映了环境条件的影响^[1,2]。此外,基础代谢不仅反映了动物的能量代谢,同时也是动物有机体生理状态的敏感指示因子^[3]。因此,研究动物的基础代谢,特别是研究环境因素对基础代谢的影响,是生物能量学的一个重要课题。中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis* Milne-Edwards)俗称河蟹,是我国目前主要养殖的经济甲壳类之一。有关甲壳类代谢的研究已有许多专题性或综述性报道^[3-12],而有关河蟹的代谢研究未见详细报道。本文以河蟹幼蟹为材料,研究温度和体重对其代谢的影响,为丰富河蟹生物能量学内容提供资料,同时也为进一步改进河蟹幼蟹的养殖技术及为其营养、饲料的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 实验于 1998 年 9 月—12 月在本校动物学实验室进行。幼蟹取自上海金蟹研究所,选择健康活泼、体形正常的个体作为实验材料。实验蟹的个体体重范围为 0.40—5.19g,其中雌雄个体约各占

50%。在每组实验开始前,分别将河蟹在设计的水温范围内驯养 7d,并于实验前停食 2d。

1.2 方法 采用 1000mL 的锥形瓶作为代谢瓶,其中装满曝气充氧 7d 以上的自来水,将单个蟹放入后用塑膜封口。代谢瓶放入恒温水浴箱中。实验水温为 15、20、25 和 30℃ 4 个梯度,体重设置均重为 3.64、1.69 和 0.52g 3 个规格组。每次实验都从上午 9:00 开始,根据水温和体重大小的不同,持续实验 2h 左右,同时设置空白对照实验。实验结束后,测定水中溶解氧、CO₂ 和 NH₃-N 含量。溶解氧(DO)用碘量法测定,CO₂ 含量用 NaOH 滴定,NH₃-N 含量用奈氏比色法测定^[13]。耗氧率(DO)、CO₂ 排出率和 NH₃-N 排泄率分别以下式计算:

$$R=(C_0-C_1)V/WT$$

式中:R—耗氧率或 CO₂ 排出率(mg/g/h)或 NH₃-N 排泄率(μ g/g/h)

C₀—实验结束时对照瓶中 DO 或代谢瓶中 CO₂ 含量(mg/L)、NH₃-N 含量(μ g/L)

C₁—实验结束时代谢瓶中 DO 或对照瓶中 CO₂ 含量(mg/L)、NH₃-N 含量(μ g/L)

V—代谢瓶容量(L)

收稿日期:2002-08-25;修订日期:2003-02-28

基金项目:国家自然科学基金(39770578);高等学校博士点专项基金(2000026903);霍英东青年教师基金和教育部回国留学人员启动基金资助项目

作者简介:温小波(1967—),男,江西省石城县人;博士,副教授;现在湖北农学院工作,主要从事水产动物营养与饲料方面的研究
通讯作者:陈立侨

W—实验蟹湿体重(g)
t—实验时间(h)

实验结束后,用滤纸吸干蟹体表的水分,并用MP120型电子天平称取实验蟹湿体重(精确至0.01g)。

1.3 能源物质(代谢底物)供能比的计算 根据蛋白质、碳水化合物和脂肪的卡价、氧热价和实测的呼吸商、耗氧率、氨氮排泄率进行计算^[14]。

1.4 数据分析 结果以平均值±标准差表示,各组实验结果的差异用方差分析的方法进行F检验多重

比较。

2 结果分析

2.1 温度和体重对耗氧率的影响

不同体重幼蟹在不同温度条件下的耗氧率见表1。耗氧率(R_0)随温度($T, ^\circ\text{C}$)升高而显著增大,随体重(W, g)增加而减小。耗氧率与温度的关系如下式所示:

$$R_0=0.1309e^{0.0490T}(r=0.8391,n=75,p<0.01)$$

表 1 不同体重幼蟹在不同温度条件下的耗氧率、CO ₂ 排出率、NH ₃ -N 排泄率以及氧氮比、呼吸商和能耗量								
Tab. 1 Oxygen consumption, CO ₂ Production, NH ₃ -N excretion, the ratio of oxygen to nitrogen, respiratory quotient and energy consumption in the metabolism of juvenile <i>E. sinensis</i> at different body weight at different temperature								
体重 Body weight (g)	数量 Number	温度 Temperature ($^\circ\text{C}$)	耗氧率 Oxygen consumption (mg/g/h)	CO ₂ 排出率 CO ₂ production (mg/g/h)	NH ₃ -N 排泄率 Ammonia-N excretion ($\mu\text{g/g/h}$)	氧氮比 Oxygen: nitrogen ratio	呼吸商 Respiratory quotient	饥饿代谢率 Fasting metabolism (J/s/n)
3.55±0.49	4	30	0.469±0.045	0.620±0.032	3.399±0.102	117.56±15.21	0.89±0.076	6.72±0.37
1.74±0.85	5	30	0.575±0.036	0.678±0.055	5.126±0.079	98.12±8.33	0.78±0.043	8.01±0.56
0.53±0.13	7	30	0.632±0.059	0.743±0.032	6.095±0.046	89.06±8.55	0.85±0.068	8.97±0.54
4.08±0.91	5	25	0.354±0.013	0.478±0.026	3.187±0.368	102.34±12.67	0.85±0.073	5.02±0.33
2.14±0.94	5	25	0.445±0.039	0.588±0.012	4.022±0.282	97.03±9.13	0.82±0.052	6.26±0.42
0.49±0.35	5	25	0.536±0.064	0.647±0.031	5.546±0.091	85.03±7.78	0.84±0.033	7.58±0.48
3.37±0.86	6	20	0.335±0.033	0.306±0.025	3.091±0.252	100.41±11.18	0.78±0.038	3.97±0.18
1.33±0.45	4	20	0.388±0.028	0.391±0.043	3.490±0.681	95.14±9.46	0.73±0.056	5.33±0.37
0.47±0.12	6	20	0.454±0.083	0.535±0.042	4.940±0.084	80.64±7.83	0.85±0.061	6.42±0.41
3.56±0.78	8	15	0.204±0.075	0.260±0.077	1.508±0.239	115.62±13.26	0.81±0.043	2.86±0.23
1.53±0.31	10	15	0.275±0.038	0.356±0.085	2.335±0.226	99.12±9.75	0.83±0.039	3.88±0.32
0.57±0.15	10	15	0.351±0.057	0.453±0.081	3.333±0.280	90.22±8.30	0.82±0.051	4.94±0.38

耗氧率与体重的关系如下式所示:

$$R_0=0.4254W^{-0.1999}(r=-0.5094,n=75,p<0.05)$$

耗氧率与温度和体重的复合关系可由下式表示: $R_0=0.1376W^{-0.2138}e^{0.0504T}(r=0.9876,n=75)$,
该式解释了耗氧率变异的 97%。经 F 检验,耗氧率与温度、体重的相关极显著($p<0.01$)。

2.2 温度和体重对 NH₃-N 排泄率的影响

不同体重幼蟹在不同温度条件下的 NH₃-N 排泄率如表 1 所示。NH₃-N 排泄率(R_N)随温度($T, ^\circ\text{C}$)升高而显著增大,随体重(W, g)增加而减小。NH₃-N 排泄率与温度的关系如下式所示:

$$R_N=3.3649e^{0.0484T}(r=0.6999,n=75,p<0.01)$$

NH₃-N 排泄率与体重的关系如下式所示: $R_N=0.4400W^{-2.900}(r=-0.6237,n=75,p<0.05)$

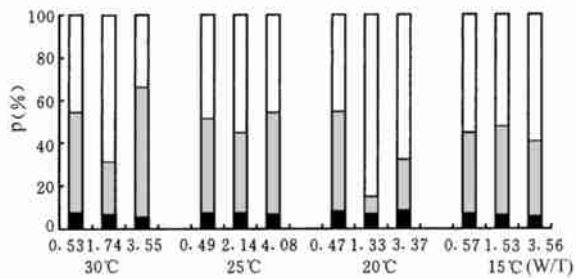


图 1 不同温度条件下不同体重中华绒螯蟹代谢中蛋白质、碳水化合物、脂肪提供的能量比

81- Fig. 1 The proportions of metabolism energy from protein, carbohydrate and lipid for the juvenile *E. sinensis*

P—供能比 Proportions of metabolism energy ;
W—体重 Body weight (g) ;T—温度 Temperature

■ ppmS—蛋白质提供的能量比;
■ pcms—碳水化合物提供的能量比;□ plms—脂肪提供的能量比

NH₃-N 排泄率与温度和体重的复合关系可由下式表示: $R_N = 1.3039W^{-0.3032}e^{0.0502T}$ ($r = 0.9563$, $n = 75$), 该式解释了 NH₃-N 排泄率变异的 91%。经 F 检验, NH₃-N 排泄率与温度、体重的相关极显著 ($p < 0.01$)。

2.3 温度和体重对氧氮比、饥饿代谢率及能源物质供能比的影响

不同体重在不同温度下幼蟹代谢的氧氮比、呼吸商、饥饿代谢率(单位时间单位体重的能耗量)见表 1。经检验, 4 个温度梯度之间的氧氮比没有显著差异 ($p > 0.05$); 而体重对氧氮比有显著影响, 在均重为 3.64、1.69 和 0.52 g 3 个组别中, 第一组与第二组差异显著 ($p < 0.05$), 而第一组与第三组及第二组与第三组之间差异极显著 ($p < 0.01$)。另外, 饥饿代谢率随体重减小而增大, 随温度的升高而增加。

不同温度条件下不同体重幼蟹能源物质的供能比如图 1 所示。温度对供能比的影响规律不明显。3.64、1.69 和 0.52 g 3 个体重组的供能比依次为 6.4:41.8:51.8、6.7:27.8:65.5 及 7.3:43.8:48.9, 随着体重减小, 蛋白质的供能比例呈上升趋势。

3 讨论

本研究结果表明, 温度对幼蟹的耗氧率影响很大, 两者呈极显著的正相关, 这与日本对虾 (*Penaeus japonicus*)^[15]、日本沼虾 (*Macrobrachium nipponese*)^[8]、中国对虾 (*Penaeus chinensis*)^[9]、拟糖虾 (*Americamysis bahia*)^[3] 和锯缘青蟹 (*Scylla serrata*)^[5] 等幼虾、幼蟹的研究结果相类似, 且符合一般动物的生理特征。在生物代谢研究中, 常用 Q₁₀ 值来表达耗氧率对环境因素变化的敏感度, Q₁₀ 值通过下式计算: $\lg Q_{10} = 10 (\lg Q_2 - \lg Q_1) / (T_2 - T_1)$, 其中 Q₂、Q₁ 分别为温度 T₂、T₁ 时的耗氧率^[3]。不同温度变化间的 Q₁₀ 如表 2 所示。

表 2 不同温度梯度幼蟹耗氧率 Q₁₀ 值

Tab. 2 Q ₁₀ values for respiratory rate of juvenile <i>E. sinensis</i> at different temperatures	
温度(℃) Temperature	Q ₁₀ 值 Value of Q ₁₀
15—20	2.00
20—25	1.29
25—30	1.58

河蟹幼蟹在水温 10℃ 以上时开始摄食, 15℃ 左右时脱壳生长, 20—28℃ 生长旺盛, 但超过 28℃ 时,

脱壳生长就会受到抑制^[16]。表 2 所示, 幼蟹在 20—25℃ 范围内 Q₁₀ 值最小, 意味着此时河蟹对温度变化并不敏感, 而这一温度范围正是其生长旺盛的温度。当温度偏离最适温度范围时, Q₁₀ 值增大, 尤其在低温区(15—20℃) Q₁₀ 最大, 说明此条件下温度变化对河蟹耗氧率有较大影响。因此, 在河蟹幼蟹的人工养殖中, 为维持其正常代谢, 使其健康快速生长, 适宜的生长温度是重要因素之一。

本研究还表明, 幼蟹的耗氧率随体重的增大而减小, 两者呈极显著的负相关。这与罗氏沼虾^[17]、日本沼虾^[8]等幼虾的研究结果相似, 且符合一般动物的代谢特征。

河蟹幼蟹的 NH₃-N 排泄率与温度呈正相关, 与体重呈负相关; 随温度的升高而增大, 随体重的增加而减小。这与日本沼虾^[8]、罗氏沼虾^[17] 和锯缘青蟹^[5] 等幼虾、幼蟹的研究结果类似。但与耗氧率相比, NH₃-N 排泄率与体重的关系式 $R_N = aW^b$ 中的指数 b 的绝对值比前者高出许多, 说明 NH₃-N 排泄率对体重的变化更敏感。而 NH₃-N 排泄率与温度关系式 $R_N = ae^{bT}$ 中的指数 b 的数值与耗氧率关系式中的相应值相近, 说明温度对 NH₃-N 排泄率和耗氧率的影响程度相似。

幼蟹的氧氮比约为 80—117, 且随体重增加有增大的趋势(表 1), 仅从氧氮比推导, 幼蟹似乎主要由脂肪或碳水化合物供能, 这与本研究中代谢底物供能比的实际研究结论是相吻合的(图 1)。且这一结果与罗氏沼虾、桃红对虾 (*Penaeus duorarum*)、短刀长臂虾 (*Palaemonetes pugio*) 和日本沼虾^[8] 等幼虾的研究结论类似。据此, 在研究幼蟹的营养和饲料时必须充分考虑到其能量代谢的这一特征。本文在能源物质供能比的研究中, 仅考虑了总氮排泄物中的 NH₃-N 部分, 因此所计算的蛋白质的供能比例会略低于实际的蛋白质供能比例。

由表 1 所示可知, 幼蟹的饥饿代谢率同时受温度和体重的影响, 且随温度的升高而增大, 随体重的增大而减小。在 15、20、25 和 30℃ 四个温度梯度下的饥饿代谢率分别平均为 3.89、5.24、6.29 和 7.90 J/g/h; 在均重为 3.64、1.69 和 0.52 三种规格幼蟹的饥饿代谢率分别平均为 4.64、5.87 和 6.98 J/g/h。

参考文献:

[1] Modlin R F. Effect of temperature and body size on oxygen consumption of two species of eubranchipus (Crustacea: Anostraca) [J]. *Am. Midl. Nat.* 1983, **109**: 55—62

- [2] Prosser C L. Animal environmental and metabolic physiology [M]. New York: Wiley-Liss, Inc., 1993, 353—435
- [3] Modlin R F, Froelich A J. Influence of temperature, salinity, and weight on the oxygen consumption of a laboratory population of *Americanyss bahia* (Mysidacea) [J]. *J. Crust. Biol.* 1997, **17**(10): 21—26
- [4] Chen J C, Chia P G. Effects of unilateral eye stalk ablation on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile *Penaeus japonicus* Bate at different salinity levels [J]. *J. Crust. Biol.* 1995, **15**(3): 434—443
- [5] Chen J C, Chia P G. Oxygen uptake and nitrogen excretion of juvenile *Scylla serrata* at different temperature and salinity levels [J]. *J. Crust. Biol.* 1996, **16**(3): 437—442
- [6] Zhou H Q. Energy metabolism of parent prawn, *Penaeus orientalis* [J]. *Journal of Fisheries of China*. 1990, **14**(2): 114—119. [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]
- [7] Zhou H Q, Gu G C. Energy metabolism of larval prawn, *Penaeus orientalis* [J]. *Journal of Fisheries of China*. 1992, **16**(2): 167—170. [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]
- [8] Dong S L, Du N S, Lai W. Studies on the physio-ecology of *Macrobrachium nipponense* I. Effects of temperature and body weight on metabolism [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*. 1994, **25**(3): 233—237. [董双林, 堵南山, 赖伟. 日本对虾生理生态学研究 I 温度和体重对其代谢的影响[J]. 海洋与湖沼, 1994, **25**(3): 233—237]
- [9] Zhang S, Dong S L, Wang F. Studies on the bioenergetics of *Penaeus chinensis* I. oxygen consumption and ammonia-N excretion rates under different conditions [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*. 1998, **28**(2): 233—237. [张硕, 董双林, 王芳. 中国对虾能量生物学研究 I 温度、体重、盐度和摄食状态对耗氧率和排氨率的影响[J]. 青岛海洋大学学报, 1998, **28**(2): 233—237]
- [10] Zhang S, Dong S L, Wang F. Progress of studies on energy metabolism of decapod [J]. *Journal of Fishery Science of China*. 1998, **5**(4): 88—91. [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—91]
- [11] Lin X T, Liu L Y, Yu H D et al. Metabolism of parent female *Macrobrachium rosenbergii* in relation to body size [J]. *Journal of Jinan University (Natural Science)*, 1999, **20**(5): 107—111. [林小涛, 刘丽谊, 余浩德, 等. 不同体重罗氏沼虾亲虾的代谢[J]. 暨南大学学报(自然科学版), 1999, **20**(5): 107—111]
- [12] Lin X T, Liang X F, Wu J et al. Effect of temperature on metabolism of parent female of *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, **17**(4): 14—18. [林小涛, 梁旭方, 吴杰, 等. 温度对罗氏沼虾亲虾代谢的影响[J]. 生态学杂志, 1999, **17**(4): 14—18]
- [13] Wu X R, Lei Y Z, Xu C X. Aquacultural Freshwater-Chemistry [M]. Beijing: Agricultural Press, 1980, 211—229, 238—239. [吴新儒, 雷衍之, 许昌兴. 淡水养殖水化学[M]. 北京: 农业出版社, 1980, 211—229, 238—239]
- [14] Zhou Y J, Zhang J R. Physiology [M]. Beijing: People's Hygiene Press, 1995, 277—283. [周衍椒, 张镜如. 生理学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1995, 277—283]
- [15] Chen J C, Lai S H. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia-N excretion for juvenile *Penaeus japonicus* Bate [J]. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1993, **165**: 161—170
- [16] Lin L F. Cultivation and Management of Chinese Mitten-handed Crab [M]. Beijing: Agricultural Press, 1994, 55—61. [林乐峰. 河蟹养殖与经营[M]. 北京: 农业出版社, 1994, 55—61]
- [17] Nelson S G, Hiram W L, Knight A W. Calorie, carbon and nitrogen metabolism of juvenile *Macrobrachium rosenbergii* (Deman) (Crustacea: Palaemonidae) with regard to trophic position [J]. *Comp. Biochem. Physiol.* 1997, **58A**: 319—327

EFFECTS OF TEMPERATURE AND BODY WEIGHT ON FASTING METABOLISM OF THE JUVENILE *ERIOCHEIR SINENSIS*

WEN Xiao-Bo, CHEN Li-Qiao, AI Chun-Xiang and ZHOU Zhong-Liang

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

Abstract: The Chinese mitten-handed crab *Eriocheir sinensis*, is considered to be a good crustacean species for culture in China. There have been a lot of researches on its breeding, culture, treatment of disease and nutrition last years. But the physio-ecological study has not been reported, especially oxygen consumption data are lacking for *Eriocheir sinensis*. In this study, the effect of temperature and body weight on the metabolism of the juvenile *Eriocheir sinensis* (weighing from 0.40g to 5.19g) was conducted during Sept. to Dec., 1998 by normal aquatic chemical methods. A cone flask with 250mL of internal volumes was used as respiratory chamber and was filled with tap water that was dechlorinated for 7 days. Dissolved oxygen (DO) levels were determined using the Winkler method and free CO₂ quantity was determined by a phenolphthalein indicator with the NaOH standard solution used. The Nessler reagent method was used for determination of the NH₃-N quantity. The fasting metabolic rate of the crabs of three weight groups (3.64, 1.69 and 0.52g) was determined at the temperature of 15, 20, 25 and 30°C also. The experimental results showed both oxygen consumption (R_O, mg/g/h) and excretion rate of ammonia-N (R_N, μg/g/h) were affected significantly by water temperature (T, °C) and body weight (W, g). R_O and R_N increased with increasing temperature and decreased with increasing body weight. The relationships could be expressed as: $R_O = 0.1309e^{0.0490T}$ (r=0.8391, n=75, p<0.01) and $R_N = 3.3649e^{0.0484T}$ (r=0.6999, n=75, p<0.01); $R_O = 0.4254W^{-0.1999}$ (r=-0.5094, n=75, p<0.01) and $R_N = 0.4400W^{-2.900}$ (r=-0.6237, n=75, p<0.01), respectively. The compound correlation between temperature, weight and R_O could be expressed by $R_O = 0.1376W^{-0.2138}e^{0.0504T}$ (r=0.9876, n=75, P<0.01); and the same relationship for R_N as $R_N = 1.3039W^{-0.3032}e^{0.0502T}$ (r=0.9563, n=75, p<0.01). The ratio of oxygen to nitrogen was not significantly affected by temperature (p>0.05) but markedly influenced by crab's body weight (p<0.01). The fasting metabolic rate also decreased with increasing body weight and increased with increasing temperature. The ratio of metabolic substrate:protein, lipid and carbohydrate at three groups of juvenile crab weighing 3.64, 1.69 and 0.52g were 6.4:41.8:51.8, 6.7:27.8:65.5 and 7.3:43.8:48.9, respectively. The ratio of protein gradually increased with decreasing body weight. But the ratio of metabolic substrate was not regularly affected by temperature.

Key words: Juvenile *Eriocheir sinensis*; Temperature; Body weight; Fasting metabolism