

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15407

盐度对中华绒螯蟹仔蟹标准代谢的影响

黄孝锋^{1,2}, 赵峰¹, 王好¹, 宋超¹, 张涛¹, 庄平¹

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所 长江口渔业生态重点实验室 上海 200090;

2. 南京农业大学 无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081

摘要: 对均重(0.12 ± 0.01) g 的中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)仔蟹在 6 个盐度 (0、4、8、12、16、20) 梯度下的标准代谢进行研究。各梯度的水温为(24 ± 0.5) °C、溶解氧为(8.12 ± 0.23) g/mL、pH 为 7.5 ± 0.18 。在不同时间段测量各盐度梯度代谢瓶内溶氧量、CO₂ 含量及 NH₃-N 含量, 将时间与耗氧率、CO₂ 排出率及 NH₃-N 排泄率进行回归分析。研究表明, 根据仔蟹行为及代谢瓶内氧气含量与时间(h)的回归分析将仔蟹行为可分 3 个阶段: 自由运动阶段[DO > 2.33 mg/L]、生存阶段[0.33 mg/L < DO < 2.33 mg/L]及窒息阶段[DO < 0.33 mg/L]。在自由运动阶段和生存阶段, 盐度对仔蟹耗氧率、CO₂ 排出率及 NH₃-N 排泄率影响显著($P < 0.05$); 在窒息阶段, 盐度对仔蟹的耗氧率、CO₂ 排出率及 NH₃-N 排泄率影响不显著($P > 0.05$)。研究结果还表明中华绒螯蟹仔蟹在高溶氧环境的主要供能物质为脂肪; 低溶氧环境的主要供能物质为脂肪和碳水化合物; 蛋白质在能量供给中的比例随溶氧增加而逐渐增加。

关键词: 中华绒螯蟹仔蟹; 标准代谢; 耗氧率; CO₂ 排出率; NH₃-N 排泄率

中图分类号: Q968

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)05-1157-07

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)隶属于甲壳纲(Crustacea), 十足目(Decapoda), 方蟹科(Grapsidae), 绒螯蟹属, 主要分布于我国的长江水域, 在其他水域亦有分布^[1], 其生活史具备多次变态发育(即蚤状幼体、大眼幼体、仔蟹、扣蟹、青蟹等)^[2]及两次洄游行为(索饵洄游和生殖洄游)。索饵洄游是生活在河口水域的蚤状幼体溯河到淡水水域索饵育肥的过程; 生殖洄游是亲蟹从淡水水域洄游到河口水域进行生殖繁衍的过程。

处于溯河洄游阶段的中华绒螯蟹仔蟹不仅营浮游生活, 而且还营底栖生活, 这是一种受外界环境因子(如盐度、溶氧等)影响的生活习性^[3-4]。目前, 关于盐度对中华绒螯蟹生命活动影响的研究主要集中在成蟹和亲蟹的能量代谢^[5]、渗透压^[6]、免疫系统^[7-8], 如雌性亲蟹耗氧率及 NH₃-N 排泄率均随盐度升高而下降, CO₂ 排出率及代谢率的

变化趋势与耗氧率一致^[9-10], 而盐度对仔蟹标准代谢影响的相关报道较少。本研究通过探讨不同盐度下中华绒螯蟹 III 期仔蟹耗氧率、氨氮排泄率, 并计算仔蟹呼吸熵、氧氮比等相关代谢指标, 旨在为研究中华绒螯蟹仔蟹索饵洄游及标准代谢积累参考资料。

1 材料和方法

1.1 实验材料

培育 III 期仔蟹。于 2015 年 3 月从长江口水域捕捞中华绒螯蟹抱卵亲蟹, 放入温度(23 ± 0.5) °C、盐度 18 ± 0.7 的人工水池孵化至大眼幼体, 培育期间早晚各 1 次投喂丰年虫。然后将大眼幼体转移到土池继续培育, 仔蟹蜕皮 2 次后, 即中华绒螯蟹 III 期仔蟹。

代谢瓶制备与盐度调整。实验用水为经净水

收稿日期: 2015-10-30; 修订日期: 2015-12-30.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203065); 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字(2012)第 4-1 号); 长江口青草沙水库邻近水域生态修复专项(2013-2016).

作者简介: 黄孝锋(1980-), 男, 博士研究生, 主要从事水生生物资源保护与利用研究. E-mail: xfhuang2020@163.com

通信作者: 庄平, 研究员, 主要从事鱼类生态学研究. E-mail: pzhuang@ecsf.ac.cn

设备(Paragon263/740F, USA)处理的自来水, 用逐步增盐法来调整盐度至实验设定值(盐度为 0、4、8、12、16、20)。实验所用代谢瓶为 550 mL 外形可以挤压但不收缩且不膨胀的塑料瓶, 瓶口连接直径 0.3 cm 塑料管道, 并用热熔胶封口及铁夹密封, 采用 5 mL 注射器吸取水样进行相关指标测定。仔蟹在各盐度下养殖 4 d 后用于代谢实验。

1.2 实验方法

选取形体完整、体格健康的中华绒螯蟹 III 期仔蟹, 用玻璃纤维缸($\Phi=1$ m, $H=75$ cm)分组饲养(盐度 0、4、8、12、16、20), 每组 200 只, 禁食 24 h 后进行代谢实验。实验用水[DO=(8.12 ± 0.23) g/mL]分别装入代谢瓶(6 个测定组, 每个测定组设置 1 个空白组), 并将代谢瓶放入恒温(24 ± 0.5) °C 的温水浴槽, 保持自然光照 12D:12L。每次每组实验选取 10 只仔蟹放入待测代谢瓶, 并设置 1 个空白对照, 每组重复测定 6 次。代谢瓶密封后测定瓶内溶氧(DO)、氨氮(NH₃-N)、CO₂ 含量, 之后每隔 0.5 h 测定 1 次。用 Winkler 法(碘量法)测定溶氧含量; 用 NaOH 滴定法测定 CO₂ 含量; 用奈式试剂比色法测定氨氮(NH₃-N)含量^[11]。

测试过程中采用摇动式恒温水浴槽, 观察中华绒螯蟹仔蟹在代谢瓶内运动行为。仔蟹在代谢瓶内四周爬行、有上下游泳行为、不随水体晃动、身体不侧翻确定为第一阶段代谢; 仔蟹在代谢瓶内四周爬行、无上下游泳行为、随水体晃动、身体不侧翻确定为第二阶段代谢; 仔蟹在代谢瓶内无四周爬行和上下游泳行为、随水体晃动、身体侧翻确定为第三阶段代谢。在测试过程中, 代谢瓶内中华绒螯蟹不再自由运动及前后两次瓶内溶氧浓度差不超过 0.2 mg/L, 则认为仔蟹已达到或超过窒息点。

1.3 耗氧率, CO₂ 排出率及 NH₃-N 排泄率的计算

中华绒螯蟹仔蟹耗氧率(OR)、CO₂ 排出率及 NH₃-N 排泄率分别用下列公式计算^[12]。

$$OR=(C_0-C_1)\times V/(W\times t)$$

式中, OR 为耗氧率[mg/(g·h)]、CO₂ 排出率[mg/(g·h)]或氨氮排出率[μg/(g·h)]。

C₀ 为实验开始时对照瓶中溶解氧、对照瓶中

CO₂ 含量(mg/L)或对照瓶中 NH₃-N 含量(μg/L)。

C₁ 为实验结束时代谢瓶中溶解氧、代谢瓶中 CO₂ 含量(mg/L)或代谢瓶中 NH₃-N 含量(μg/L)。

V 为代谢瓶容量(L)。

W 为仔蟹平均湿重(g)。

t 为时间(h)。

1.4 能源物质计算

根据蛋白质、碳水化合物和脂肪的卡价、氧热价与实测的呼吸熵、耗氧率、NH₃-N 排泄率计算中华绒螯蟹仔蟹 3 种物质供能比例^[13]。根据的耗氧率、CO₂ 排出率及 NH₃-N 排泄率计算其呼吸熵(RQ), 计算公式如下:

$$RQ=(R_{CO_2}/44)/(R_{O_2}/32)$$

$$RE=11.8\times R_{O_2}+2.16\times R_{CO_2}-9.55\times R_{NH_3-N}/1000$$

式中, R_{O₂} 为耗氧率, mg/(g·h); R_{CO₂} 为 CO₂ 排出率, mg/(g·h); R_{NH₃-N} 为 NH₃-N 排泄率, μg/(g·h); RE 为能量代谢率, J/(g·h)。

1.5 数据处理

用 MS Excel 2013 进行数据统计, 采用 SPSS 18.0 软件的单因素方差分析(one-way ANOVA)来检测各盐度组间耗氧率、CO₂ 排出率、NH₃-N 排泄率、氧氮比、能耗比及呼吸熵的差异显著性($P<0.05$), 采用 Duncan's 多重比较进行不同盐度组间的两两比较。

2 结果与分析

2.1 不同盐度下中华绒螯蟹仔蟹的窒息点及耗氧率

根据瓶内仔蟹运动情况可分 3 个阶段: 0~1.5 h 为第一阶段代谢, 1.5~3 h 为第二阶段, 3 h 以上则认为第三阶段代谢即窒息阶段。由图 1 及表 1 可知, 不同盐度下窒息阶段出现的时间有所差别, 盐度 20 及盐度 0 组最先出现窒息点(单位时间耗氧较少, 约在 2.5 h 后出现), 此时代谢瓶内最低溶氧为 0.524 mg/L, 盐度 16 组约在 4 h 后出现窒息点, 此时代谢瓶内溶氧约为 0.295 mg/L, 其余实验组约在 3 h 出现窒息点, 此时代谢瓶内 DO 约为 0.439 mg/L。

不同盐度代谢瓶内含氧量随时间变化曲线如

图 1 所示, 各实验组代谢瓶内溶解氧开始呈直线下降, 当下降到一定值后平缓下降直至趋于稳定。但在第一、二阶段, 单位时间代谢瓶的耗氧量在盐度 0 组最低, 盐度 20 组最高。图 1 表明仔蟹在不同盐度的耗氧量存在明显差异: 0~2 h 内, 盐度 0 组耗氧最快, 盐度 16 组耗氧最慢; 其余实验组耗氧量位于两者之间。

根据仔蟹在代谢瓶内行为以及代谢瓶溶解氧量随时间变化, 可以将仔蟹的标准代谢分 3 个阶段。将不同盐度组代谢瓶溶解氧和时间(t)进行回归分析, 得到不同阶段回归方程如表 1 所示。3 个阶段回归方程呈如下特点: 前两个阶段($0 < t \leq 1.5$ h, $1.5 < t \leq 3$ h)呈直线回归关系; 最后阶段为幂函数关系。仔蟹耗氧量在第一阶段高于第二阶段, 第三阶段耗氧最低。仔蟹在第一、二阶段耗氧量在盐度 0 组代谢瓶内氧气消耗最快[$R_{O_2}=0.896$ mg/(g·h)],

盐度 16 代谢瓶耗氧量最慢[$R_{O_2}=0.378$ mg/(g·h)], 其余实验组耗氧值位于上述两组之间; 在第三阶段($t > 3$ h), 仔蟹耗氧率显著降低[$R_{O_2}=0.016$ mg/(g·h)~ 0.024 mg/(g·h)], 此时仔蟹耗氧率较低。

2.2 不同代谢阶段中华绒螯蟹仔蟹耗氧率、CO₂ 排出率和 NH₃-N 排泄率

中华绒螯蟹仔蟹在不同代谢阶段耗氧率、CO₂ 排出率和 NH₃-N 排泄率如表 2 所示。从该表可知, 第一、二阶段, 盐度对中华绒螯蟹耗氧率存在显著影响($P < 0.05$)。CO₂ 排出率在不同盐度梯度下的趋势与水体溶氧值趋势相同: 0~1.5 h, 盐度 16 组的仔蟹耗氧率最低, CO₂ 排出率最低; 1.5~3 h, 盐度 0 组的仔蟹耗氧率最低, CO₂ 排出率最低; 3 h 以后, 各实验组耗氧量和 CO₂ 排出率均较低, 各实验组之间无显著差异($P > 0.05$)。0~1.5 h, 盐度对仔蟹排氮率存在显著影响($P < 0.05$), 盐度 16 组的仔蟹排

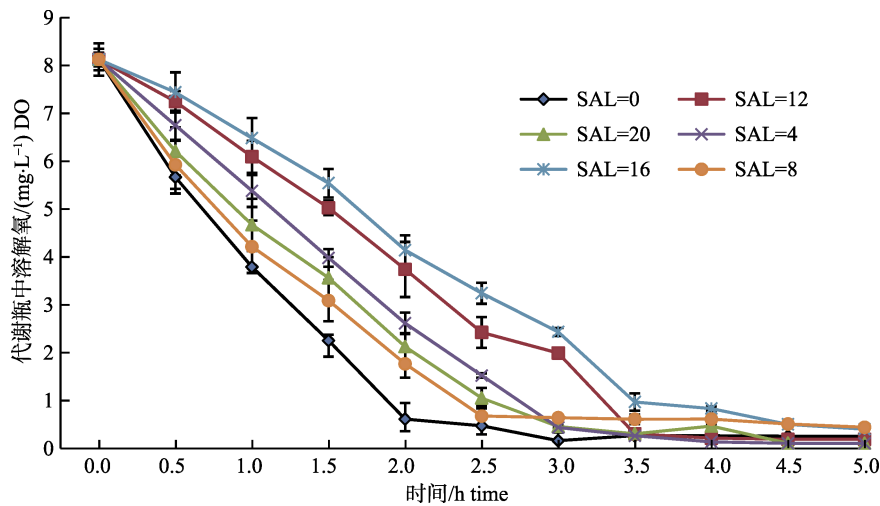


图 1 不同盐度下代谢瓶溶解氧量的变化

Fig. 1 Change of dissolved oxygen (DO) concentration in water with metabolism under different salinity

表 1 不同盐度代谢瓶内溶解氧与时间(t)的回归方程

Tab. 1 Regression equations between dissolved oxygen and time (t) in metabolism bottles under different salinity			
盐度 salinity	时间 time		
	$0 < t \leq 1.5$ h	$1.5 < t \leq 3$ h	$t > 3$ h
0	$y = -4.018t + 7.923 (R^2 = 0.9931)$	$y = -1.1948t + 3.7903 (R^2 = 0.9677)$	$y = 1.4555t^{-1.397} (R^2 = 0.9465)$
4	$y = -2.760t + 8.131 (R^2 = 0.9997)$	$y = -2.3440t + 3.8990 (R^2 = 0.9967)$	$y = 10.289t^{-2.953} (R^2 = 0.9301)$
8	$y = -2.743t + 8.122 (R^2 = 0.9958)$	$y = -1.6856t + 4.3092 (R^2 = 0.9567)$	$y = 14.979t^{-2.269} (R^2 = 0.8810)$
12	$y = -3.129t + 8.320 (R^2 = 0.9875)$	$y = -1.6624t + 5.8134 (R^2 = 0.9729)$	$y = 21.661t^{-3.126} (R^2 = 0.8068)$
16	$y = -1.701t + 8.123 (R^2 = 0.9984)$	$y = -2.0438t + 5.3746 (R^2 = 0.9820)$	$y = 84.488t^{-3.37} (R^2 = 0.9508)$
20	$y = -3.163t + 8.166 (R^2 = 0.9857)$	$y = -2.0774t + 6.4759 (R^2 = 0.9677)$	$y = 11.969t^{-2.865} (R^2 = 0.9313)$

氨率最高 [$R_{\text{NH}_3\text{-N}}=(4.810\pm0.166) \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$], 盐度 4 组的排氨率最低 [$R_{\text{NH}_3\text{-N}}=(2.552\pm0.112)\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]; 1.5~3 h, 盐度对仔蟹排氨率差异性影响显著 ($P<0.05$), 盐度 0 组排氨率最高 [$R_{\text{NH}_3\text{-N}}=(3.109\pm0.090) \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$], 盐度 16 组的排氨率 [$R_{\text{NH}_3\text{-N}}=(1.804\pm0.108) \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$] 最低; 3 h 以后, 盐度对仔蟹的排氨率影响不显著 ($P>0.05$)。

2.3 中华绒螯蟹仔蟹的能耗率及能源物质供能比
不同盐度组中华绒螯蟹仔蟹的呼吸熵、耗能率、氧氮比及能源物质供能比如表 3 所示。从表

3 可知, 在第一阶段, 不同盐度组仔蟹的呼吸熵差异显著 ($P<0.05$), 盐度 12 组仔蟹的呼吸熵最低, 盐度 4 组仔蟹的呼吸熵最高; 盐度对仔蟹代谢产物氧氮比影响不显著 ($P>0.05$)。在第二阶段, 盐度对仔蟹的呼吸熵影响不显著 ($P>0.05$); 盐度对仔蟹的代谢产物氧氮比值有显著影响 ($P<0.05$), 盐度 12 与 16 组最高。在第三阶段, 盐度 20 组的仔蟹呼吸熵最低, 盐度 0、4、8 组仔蟹呼吸熵较高; 盐度对仔蟹代谢产物氧氮比影响不显著 ($P>0.05$)。从供能物质比例可知, 第一、二阶段, 仔蟹生命活动的

表 2 中华绒螯蟹仔蟹的耗氧率、 CO_2 排出率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率
Tab. 2 Oxygen consumption, CO_2 production, $\text{NH}_3\text{-N}$ excretion of juvenile *Eriocheir sinensis*

$n=18$; $\bar{X}\pm\text{SD}$

	时间 time	盐度 salinity					
		0	4	8	12	16	20
耗氧率($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	$0<t\leq 1.5 \text{ h}$	0.896 ± 0.168^a	0.681 ± 0.173^b	0.664 ± 0.239^b	0.607 ± 0.007^b	0.378 ± 0.042^c	0.591 ± 0.108^a
oxygen consumption	$1.5<t\leq 3 \text{ h}$	0.252 ± 0.099^a	0.356 ± 0.119^a	0.455 ± 0.153^{bc}	0.519 ± 0.057^{cd}	0.455 ± 0.114^d	0.358 ± 0.154^d
	$t>3 \text{ h}$	0.016 ± 0.001^a	0.018 ± 0.002^a	0.043 ± 0.003^a	0.023 ± 0.004^a	0.083 ± 0.017^a	0.024 ± 0.004^a
CO_2 排出率($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	$0<t\leq 1.5 \text{ h}$	0.931 ± 0.066^a	0.888 ± 0.297^a	0.640 ± 0.078^b	0.561 ± 0.037^b	0.410 ± 0.057^{bc}	0.672 ± 0.082^d
CO_2 production	$1.5<t\leq 3 \text{ h}$	0.321 ± 0.125^a	0.440 ± 0.132^{ab}	0.531 ± 0.118^{ab}	0.394 ± 0.126^{bc}	0.376 ± 0.110^{bc}	0.449 ± 0.182^{bc}
	$t>3 \text{ h}$	0.019 ± 0.006^a	0.022 ± 0.002^a	0.050 ± 0.017^a	0.020 ± 0.003^a	0.088 ± 0.025^a	0.021 ± 0.005^a
氨氮排泄率($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	$0<t\leq 1.5 \text{ h}$	3.238 ± 0.174^a	2.552 ± 0.112^b	3.270 ± 0.161^b	3.393 ± 0.076^b	4.833 ± 0.037^c	4.810 ± 0.166^c
$\text{NH}_3\text{-N}$ excretion	$1.5<t\leq 3 \text{ h}$	3.109 ± 0.090^a	2.185 ± 0.025^b	2.772 ± 0.042^{bc}	1.804 ± 0.108^{bc}	2.64 ± 0.061^{cd}	2.918 ± 0.116^a
	$t>3 \text{ h}$	0.513 ± 0.035^a	2.068 ± 0.104^a	1.965 ± 0.117^a	1.725 ± 0.207^a	1.200 ± 0.108^a	0.630 ± 0.050^a

注: 同行上标字母不同表示各盐度组间有显著差异 ($P<0.05$)。

Note: values in the same row with different lowercases are significantly different among different salinity groups ($P<0.05$).

表 3 中华绒螯蟹仔蟹的能耗率及能源物质供能比

Tab. 3 The energy consumption ratio and proportions of energy substance in metabolic substrate of juvenile *Eriocheir sinensis*

$n=18$; $\bar{X}\pm\text{SD}$

	时间 time	盐度 salinity					
		0	4	8	12	16	20
呼吸熵	$0<t\leq 1.5 \text{ h}$	0.783 ± 0.108^a	0.924 ± 0.088^b	0.747 ± 0.226^a	0.672 ± 0.045^c	0.789 ± 0.093^a	0.845 ± 0.179^a
respiratory quotient	$1.5<t\leq 3 \text{ h}$	0.931 ± 0.028^a	0.914 ± 0.058^{ab}	0.865 ± 0.061^{ab}	0.744 ± 0.128^{ab}	0.790 ± 0.054^a	0.930 ± 0.050^{ab}
	$t>3 \text{ h}$	0.829 ± 0.093^a	0.798 ± 0.029^a	0.804 ± 0.095^a	0.742 ± 0.145^b	0.753 ± 0.073^c	0.608 ± 0.012^{bc}
氧氮比	$0<t\leq 1.5 \text{ h}$	88.51 ± 8.11^a	104.45 ± 5.43^a	109.33 ± 6.89^a	89.76 ± 7.45^a	98.59 ± 8.11^a	96.21 ± 9.23^a
oxygen nitrogen ratio	$1.5<t\leq 3 \text{ h}$	89.33 ± 4.82^a	88.75 ± 8.43^a	87.19 ± 6.19^a	100.81 ± 5.78^a	102.28 ± 8.88^a	90.74 ± 6.27^a
	$t>3 \text{ h}$	34.29 ± 1.24^a	32.98 ± 2.41^b	36.04 ± 2.98^c	33.65 ± 2.77^c	37.89 ± 1.84^b	38.99 ± 2.65^a
能耗率	$0<t\leq 1.5 \text{ h}$	7.43 ± 1.46^a	8.54 ± 1.38^a	8.65 ± 2.10^{ab}	9.23 ± 1.62^{ab}	8.98 ± 1.68^{ab}	8.55 ± 1.59^{bc}
energy consumption ratio	$1.5<t\leq 3 \text{ h}$	6.55 ± 1.09^a	6.09 ± 1.16^a	7.03 ± 1.17^{ab}	6.78 ± 1.54^{ab}	6.63 ± 1.06^{bc}	6.34 ± 1.04^{bc}
	$t>3 \text{ h}$	1.65 ± 0.14^a	3.21 ± 0.17^{ab}	2.75 ± 0.08^{ab}	1.87 ± 0.05^a	2.45 ± 0.03^{bc}	1.39 ± 0.02^c
能源物质供能比	$0<t\leq 1.5 \text{ h}$	7.3:38.8:53.9	6.8:40.2:54.0	6.7:41.6:51.7	7.0:40.7:52.3	6.9:41.4:51.7	6.4:42.6:51.0
PPMS:PCMS:PLMS	$1.5<t\leq 3 \text{ h}$	8.0:55.8:36.2	7.8:30.9:61.3	7.8:32.6:59.6	7.7:33.1:59.1	7.8:34.8:57.4	7.6:36.2:56.2
	$t>3 \text{ h}$	13.4:22.7:63.9	16.3:31.6:52.1	18.4:30.8:50.8	19.3:29.6:51.1	18.1:28.8:53.1	15.6:25.9:58.6

注: 同行上标字母不同表示各盐度组间有显著差异 ($P<0.05$)。PPMS 为蛋白质提供的能量比; PCMS 为碳水化合物提供的能量比; PLMS 为脂肪提供的能量比。

Note: Values in the same row with different lowercases are significantly different among different salinity groups ($P<0.05$). PPMS represents proportion of protein in metabolics substrate; PCMS represents proportion of carbohydrate in metabolic substrate; PLMS represents proportion of lipid in metabolic substrate.

供能物质为脂肪和碳水化合物; 在第三阶段, 碳水化合物和脂肪总体的供能比例减少, 蛋白质供能比例增加。

3 讨论

3.1 溶氧影响中华绒螯蟹仔蟹的代谢

水中溶解氧(DO)是影响水生生物生命活动的重要环境因子之一。当水环境中溶氧较高时, 虾蟹类耗氧量随溶氧升高而升高, 生理活动旺盛; 当溶氧低于一定阈值, 虾蟹类生命活动减弱, 耗氧量随着溶氧量降低而降低, 难以维持正常的生理活动甚至窒息死亡^[14-15]。温小波等^[16]研究发现, 幼蟹(单只均重>1.00 g)在水环境 DO 位于 3~5 mg/L 时耗氧率随溶氧增加而随之增加, 当 DO>5.261 mg/L 时蟹类耗氧量不再增加; 中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)幼体和中华绒螯蟹成体^[18]的研究结果与之相同, 而本研究显示中华绒螯蟹仔蟹的窒息点较低[DO<(0.33±0.09) mg/L], 低于对虾的 3 mg/L 溶氧量^[17]。另外, 本研究表明仔蟹的耗氧率不仅受到水中溶氧影响, 还受水中盐度影响较大(图 1 和表 2)。

3.2 盐度对仔蟹的耗能及能源物质供能比的影响

生物体内产生的能量是保证虾蟹类完成生命活动的基础, 而糖类、脂肪和蛋白质是主要产能物质, 但在不同外界环境下虾蟹类供能物质存在差异。庄平等^[5]研究中华绒螯蟹雌性亲蟹在 0~24 盐度范围, 耗氧率随盐度升高而逐渐降低, 且 CO₂ 排出率、NH₃-N 排泄率及代谢率的变化趋势与耗氧率一致。温小波等^[18]测得中华绒螯蟹亲蟹在水温(20±0.5)℃时耗氧率为(0.277±0.059) mg/(g·h), 且蛋白质、碳水化合物和脂肪提供的能量比为 7.4 : 41.2 : 51.4; 周洪琪^[19]采用间接法^[20]测得中国对虾(*Penaeus chinensis*)亲蟹代谢的供能物质主要为蛋白质, 脂肪次之, 碳水化合物的利用率最少, 平均氧氮比为 26。而本研究表明仔蟹在不同盐度环境虽然能正常代谢, 但耗氧率[(0.378±0.042)~(0.896±0.168) mg/(g·h)]明显高于亲蟹耗氧率, 这与虾蟹类在不同盐度的渗透压调节有关, 即在淡水环境或高盐环境远离了仔蟹的等渗点, 则需要消耗更多的能量来调节渗透压^[21-22]。通

过耗能来进行渗透压调节的生理行为在其他虾蟹类也有相同结论, 如长臂虾科的小长臂虾(*Palaemonetes antennarius*)^[23]、印度明对虾(*Fenneropenaeus indicus*)^[24]和日本对虾(*Penaeus japonicas*)^[25]。这表明仔蟹生活习性转变(从河口水域栖息向滩涂栖息)是选择最有利于其生命活动代谢的环境栖息, 也证明仔蟹已具备适应滩涂潮间带的能力。

代谢产物中 O : N 值可以估计甲壳动物能量代谢中供能物质的比例: 如果机体主要由脂肪或碳水化合物供能, 其 O : N 值较大甚至无穷大; 若由蛋白质和脂肪共同氧化供能, 则 O : N 约为 24; 如果完全由蛋白质氧化供能, O : N 约为 7^[26]。而本研究结果表明, 不同盐度实验组中的仔蟹在第一和第二阶段的 O : N 值超过 24, 说明仔蟹代谢的主要能量来源为脂肪或碳水化合物, 蛋白质供能所占比例最小; 而仔蟹在窒息阶段的 O : N 值虽然大于 24, 但该值已有所下降, 说明此时蛋白质也参与氧化供能。研究结果还表明, 仔蟹在不同阶段的供能物质的比例存在异同, 但在自由活动阶段仔蟹的供能物质与幼蟹标准代谢的供能物质^[16]相同, 均为脂肪或碳水化合物。由此可见, 生活在等渗点以外的中华绒螯蟹仔蟹需消耗体内能量进行渗透压调节, 即仔蟹在高渗环境中的代谢较为旺盛, 需要多种物质供能。

处于溯河洄游阶段的中华绒螯蟹仔蟹主要生活在咸淡水交界的滩涂区域。受到潮汐节律影响, 河口水域的盐度一天之内可发生多次变动, 此处的仔蟹不仅需消耗能量物质来支持其洄游运动, 还需消耗能量来维持渗透压调节。研究表明仔蟹在溯河洄游过程中能量代谢旺盛, 需补充大量的脂肪和碳水化合物来完成生命活动供能需求。

4 结论

根据水环境溶氧变化, 可将均重为(0.12±0.01) g 的中华绒螯蟹仔蟹的代谢活动分 3 个阶段: 自由活动阶段[DO>(2.33±0.42) mg/L]、生存阶段[(0.33±0.09) mg/L<DO<(2.33±1.03) mg/L]和窒息阶段[DO<(0.33±0.09) mg/L]。即水中含氧量高于(0.33±0.09) mg/L 时, 中华绒螯蟹仔蟹处于自由活动及

生存阶段。盐度(0~20)对中华绒螯蟹仔蟹的自由运动阶段及生存阶段能量代谢影响显著,这两个阶段供能物质为脂肪和碳水化合物,仔蟹的呼吸熵、氧氮比、能量消耗均受到盐度显著影响;而在窒息阶段,盐度对仔蟹能量代谢影响不显著,蛋白质在此阶段占供能物质的比例较前两个阶段多。

参考文献:

- [1] Herborg L M, Rushton S P, Clare A S, et al. The invasion of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) in the United Kingdom and its comparison to continental Europe[J]. Biol Invas, 2005, 6(7): 959–968.
- [2] Du N S. Carcinology[M]. Beijing: Science Press, 1993: 731–733.[堵南山. 甲壳动物学[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 731–733.]
- [3] Li E C, Wang S L, Li C, et al. Transcriptome sequencing revealed the genes and pathways involved in salinity stress of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Physiol Genom, 2014, 5(46): 177–190.
- [4] Garrison L P. Vertical migration behavior and larval transport in brachyuran crabs[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1999, 176(2): 103–113.
- [5] Zhuang P, Jia X Y, Feng G P, et al. Effect of salinity on the metabolism of female Chinese crabs, *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 2(19): 217–222.[庄平, 贾晓燕, 冯广鹏, 等. 盐度对中华绒螯蟹雌性亲蟹代谢的影响[J]. 中国水产科学, 2012, 2(19): 217–222.]
- [6] Lu J, Zhuang P, Feng G P, et al. Responses of osmoregulation and antioxidation system to water salinity in parent Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Marine Fisheries, 2011, 33(1): 39–45.[卢俊, 庄平, 冯广鹏, 等. 中华绒螯蟹亲蟹渗透压调节和抗氧化系统对盐度的响应[J]. 海洋渔业, 2011, 33(1): 39–45.]
- [7] Wang R F, Feng G P, Zhang L Z, et al. Changes in non-specific immune parameters of mature Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) in response to elevated salinities[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(4): 546–552.[王瑞芳, 冯广鹏, 章龙珍, 等. 盐度升高对中华绒螯蟹几种非特异性免疫因子的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(4): 546–552.]
- [8] McNamara M C, Faria S C. Evolution of osmoregulatory patterns and gill ion transport mechanisms in the decapod Crustacea: A review[J]. J Comp Physiol B: Biochem Syst Environ Physiol, 2012, 8(182): 997–1014.
- [9] Tina M, Pannunzio P, Kenneth B, et al. Antioxidant defenses and lipid peroxidation during anoxia stress and aerobic recovery in the marine gastropod *Littorina littorea*[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1998, 2 (221): 277–292.
- [10] Willmore W G, Storey K B. Antioxidant systems and anoxia tolerance in a freshwater turtle *Trachemys scripta elegans*[J]. Mol Cell Biochem, 1997, 170(1–2): 177–185.
- [11] Chen J R. Water Chemistry Experiment Guide[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996: 120–139. [陈佳荣. 水化学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 120–139.]
- [12] Makoto O. Methods in Marine Zooplankton Ecology[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1984: 173–209.
- [13] Hargreaves J A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds[J]. Aquaculture, 1998, 166(3–4): 181–212.
- [14] Cui Y B. Theory and method of fish energetics[J]. Journal of Aquatic Biology, 1989, 13(4): 369–383. [崔奕波. 鱼类能量学的理论和方法[J]. 水生生物学报, 1989, 13(4): 369–383.]
- [15] Wen X B, Chen L Q, Ai C X, et al. Study on starvation metabolism in juvenile chinese mitten handed crab[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2001, 7(5): 443–446.[温小波, 陈立侨, 艾春香, 等. 中华绒螯蟹幼蟹饥饿代谢研究[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(5): 443–446.]
- [16] Wen X B, Chen L Q, Ai C X, et al. Standard metabolism of the juvenile crab *Eriocheir sinensis*[J]. Zoological Research, 2001, 22(5): 425–428.[温小波, 陈立侨, 艾春香, 等. 中华绒螯蟹幼蟹标准代谢的研究[J]. 动物学研究, 2001, 22(5): 425–428.]
- [17] Xie B H, Rong C K, Li H B, et al. Oxygen consumption rate of prawns at different temperatures[J]. Marine Fisheries, 1982, 4(6): 253–256.[谢宝华, 荣长宽, 李洪宾, 等. 对虾在不同温度下的耗氧率[J]. 海洋渔业, 1982, 4(6): 253–256.]
- [18] Wen X B, Chen L Q, Ai C X, et al. Studies on standard metabolism of the parent crab *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 2002(3): 105–109.[温小波, 陈立侨, 艾春香, 等. 中华绒螯蟹亲蟹的标准代谢研究[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2002(3): 105–109.]
- [19] Zhou H Q. Energy metabolism of parent prawn *Penaeus orientalis*[J]. Journal of Fisheries of China, 1990, 14(2): 114–118.[周洪琪. 中国对虾亲虾的能量代谢研究[J]. 水产学报, 1990, 14(2): 114–118.]
- [20] Zhou Y J, Zhang J R. Physiology[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 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.]
- [21] Qu L, Zhuang P, Zhang L Z, et al. Influence of salinity change on serum osmolality, ions and gill Na^+/K^+ ATPase activity in juvenile Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(2): 243–251.[屈亮, 庄平, 章龙珍, 等. 盐度对俄罗斯鲟幼鱼血清渗透压、离子含量及鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响[J]. 中国水产

- 科学, 2010, 17(2): 243–251.]
- [22] Roast S D. Trace metal uptake by the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*: the role of osmoregulation[J]. Mar Environ Res, 2002, 53: 453–464.
- [23] Dalla V. Effects of salinity and temperature on oxygen consumption in a flesh water population of *Palaemonetes antennarius* (Crustacea, Decapoda)[J]. Comp Biochem Physiol A: Comp Physiol, 1987, 88(10): 299–305.
- [24] Kutty M N, Murugapoopathy G, Krishnan T S, et al. Influence of salinity and temperature on the oxygen consumption in young juveniles of the Indian prawn *Penaeus indicus*[J]. Mar Biol, 1971, 5(11): 125–131.
- [25] Chert J, La C, Shely H, et al. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia-N excretion of juvenile *Penaeus japonicus* [J]. Exp Mar Biol Ecol, 1993, 165: 161–170.
- [26] Zhang S, Wang F, Dong S L, et al. Progress of studies on energy metabolism of decapod[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1998, 5(4): 88–91.[张硕, 王芳, 董双林, 等. 虾蟹类能量代谢的研究进展. 中国水产科学, 1998, 5(4): 88–91.]

Effect of salinity on standard metabolism of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

HUANG Xiaofeng^{1,2}, ZHAO Feng¹, WANG Yu¹, SONG Chao¹, ZHANG Tao¹, ZHUANG Ping¹

1. Key Laboratory of Fishery Ecology of Yangtze Estuary, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

2. College of Fisheries, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China

Abstract: Salinity is an important ecological factor in the environment. The geographical distribution of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*, is affected by the levels of salinity and dissolved oxygen (DO). These factors also affect the hatching, development, and larval growth of *E. sinensis*. Salinity may also affect standard metabolism in *E. sinensis*. To study the effects of salinity on the standard metabolism of *E. sinensis*, juveniles were added to bottles with different salinity levels (0, 4, 8, 12, 16, and 20) and kept under the following conditions: average water temperature, (24±0.5)°C; average DO is (8.12±0.23) mg/L; pH, 7.5±0.18. The oxygen consumption, CO₂ discharge, and NH₃-N excreted into the water in each bottle were measured every 0.5 h during the experiment. Then, regression analyses were conducted for the oxygen consumption rate, CO₂ removal rate, and NH₃-N excretion rate. The response of the juveniles was divided into three stages: the free movement stage (DO>2.33 mg/L), the survival stage (0.33 mg/L<DO<2.33 mg/L), and the asphyxia stage (DO<0.33 mg/L). Salinity significantly affected the oxygen consumption rate, CO₂ discharge rate, and NH₃-N excretion rate of juvenile *E. sinensis* in the free movement and survival stages ($P<0.05$). However, salinity did not significantly affect the oxygen consumption rate, CO₂ discharge rate, or NH₃-N excretion rate ($P>0.05$) of juvenile *E. sinensis* at the asphyxia stage. The results also showed that the fat was the main energy source under high-DO conditions. Under low-DO conditions, fat and carbohydrates provided energy, and the proportion of protein decreased as energy-providing substances were consumed. Together, these results showed that salinity affects the behavior and metabolism of juvenile *E. sinensis*. The overall aim of this study was to obtain baseline information on the standard metabolism of juvenile *E. sinensis*.

Key words: *Eriocheir sinensis*; standard metabolism; oxygen consumption; CO₂ production; ammonia-N excretion; juvenile

Corresponding author: ZHUANG Ping. E-mail: pzhuang@ecsf.ac.cn