

盐度对三疣梭子蟹成熟前后呼吸代谢的影响

路允良, 王芳*, 高勤峰, 董双林

(中国海洋大学教育部海水养殖重点实验室, 山东 青岛 266003)

摘要: 为了探讨三疣梭子蟹对不同盐度水平的生理响应以及成熟前后的生理变化, 实验采用水化学和酶学方法, 研究了盐度(15、20、25、30和35)对成熟前后三疣梭子蟹耗氧率、排氮率、氧氮比(O:N)以及己糖激酶(HK)、丙酮酸激酶(PK)、琥珀酸脱氢酶(SDH)和乳酸脱氢酶(LDH)4种呼吸代谢酶活力的影响。结果发现:1. 盐度与规格的交互作用对三疣梭子蟹呼吸代谢无显著影响($P > 0.05$);2. 盐度对三疣梭子蟹耗氧率的影响不显著($P > 0.05$), 但显著影响其排氮率($P < 0.05$);成熟前后的三疣梭子蟹耗氧率和排氮率差异显著($P < 0.05$);3. 盐度对三疣梭子蟹O:N未产生显著影响($P > 0.05$), 三疣梭子蟹成熟前O:N显著高于成熟后($P < 0.05$);4. 除LDH外, 盐度对三疣梭子蟹呼吸代谢酶活力影响不显著($P > 0.05$);除鳃中SDH和LDH外, 三疣梭子蟹呼吸代谢酶活力随生长发育发生显著变化($P < 0.05$)。研究表明, 规格对三疣梭子蟹呼吸代谢的影响高于盐度, 长时间盐度驯化可能减弱甚至消除三疣梭子蟹在不同盐度水平下代谢的差异。

关键词: 三疣梭子蟹; 盐度; 成熟前后; 呼吸代谢

中图分类号: Q 178.1; S 917.4

文献标志码: A

盐度是影响水生生物生长发育的主要环境因子之一, 盐度的变化影响甲壳动物的形态、生理和行为变化。研究表明, 盐度影响对虾在河口系统中的分布^[1]; 随着水体盐度向低盐度变化的增加, 日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)仔虾的存活率和增重率明显下降, Na^+/K^+ -ATPase活力增大^[2]; 盐度过低或过高会导致蟹生长变慢, 死亡率增加^[3-4]。

呼吸代谢是动物能量代谢的基本生理活动, 它反映了动物自身的代谢特征、生理状况、营养状况以及对外界环境条件的适应能力^[5-6], 是研究水生动物生理学和能量学的重要内容之一。关于盐度对甲壳类呼吸代谢的研究已有大量报道, 但有关三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)的研究还未见报道。三疣梭子蟹是我国沿海地区最重要的海水捕捞和海水养殖种类之一^[7], 研究盐度对三疣梭子蟹呼吸代谢的影响, 对了解其对环境因子变化的生理响应具有重要意义。

本实验以三疣梭子蟹幼蟹和成蟹为研究对象, 测定了5种盐度水平下蟹的呼吸代谢变化, 探

讨了三疣梭子蟹生理变化与盐度的关系, 以期阐明盐度对三疣梭子蟹生理影响机制以及养殖水环境的调控提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料的来源及驯化

实验于2011年7—8月在中国海洋大学教育部海水养殖重点实验室进行。三疣梭子蟹幼蟹和成蟹均购自江苏赣榆县佳信水产开发有限公司(为同一批蟹苗发育而成), 为健康活泼个体。蟹运回后分成5组, 在室内天然海水(盐度30, pH=8)中暂养3~4d后, 以每天2盐度梯度变化到实验设定的盐度, 并在该盐度下暂养10d。

暂养及驯化期间连续充气, 水温控制在 $(23.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, 光照周期为14L:10D, 每天(6:00和17:00)投喂足量菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*), 每2天换水1/3, 所换海水提前曝气2d。

1.2 实验设计

实验设5个盐度水平(15、20、25、30和35), 每

收稿日期:2012-01-14 修回日期:2012-04-24

资助项目:国家科技支撑计划(2011BAD13B03)

通讯作者:王芳, E-mail: wangfang249@ouc.edu.cn

个盐度水平设 3 个重复。高盐水(盐度 35)通过向天然海水中加入海水素配置而成,低盐水(15、20 和 25)通过天然海水与经过曝气的自来水混合而成。实验期间温度保持在 $(23.0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$ 。

1.3 实验方法

将驯化好的三疣梭子蟹饥饿 1 d,挑选健康、活泼个体进行耗氧率和排氮率的测定,实验均在每天早 8:30 开始,实验幼蟹的湿重为 $(2.341 \pm 0.096) \text{ g}$,成蟹湿重为 $(56.441 \pm 5.524) \text{ g}$ 。

耗氧率和排氮率的测定 采用静水法测定三疣梭子蟹幼蟹和成蟹的耗氧率和排氮率。实验在容积为 3.0 L 的玻璃容器中进行,每个玻璃容器内放一只蟹,另设一个空白对照组(不放蟹),每一盐度水平下共 9 只幼蟹、6 只成蟹用于实验。将实验容器内贮满实验所设定盐度的海水,使海水溢出并持续一段时间,待蟹达到安静状态后,用保鲜膜密封实验容器口,开始实验。实验持续 1~2 h,根据实验前后溶解氧、氨氮浓度的变化,计算蟹的耗氧率和排氮率。溶解氧用 YSI 5000 溶氧仪测定,氨氮浓度采用靛酚蓝法测定^[8]。

组织取样 实验结束后用吸水纸吸干蟹的体表水分,JA2003N 电子天平(0.001 g)称重后放于冰盘上迅速解剖,去壳后取其鳃和肌肉,置于 1.5 mL 离心管中,迅速放入液氮,而后转入 $-80 ^\circ\text{C}$ 超低温冰箱保存待测。

呼吸代谢酶活力的测定 取 0.2 g 三疣梭子蟹组织样品,剪碎,加入 9 倍体积的冰冷生理盐水(0.9%),制成 10% 组织匀浆,3 000 r/min 离心 10 min,取上清液,用南京建成生物工程研究所研制的试剂盒测定组织中己糖激酶(HK, EC 2.7.1.1)、丙酮酸激酶(PK, EC 2.7.1.40)、琥珀酸脱氢酶(SDH, EC 1.3.5.1)和乳酸脱氢酶(LDH, EC 1.1.1.27)活力。

1.4 数据计算与分析

耗氧率 $[\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})]^{[9]} = [(O_2^{T_t} - O_2^{T_0}) - (O_2^{C_t} - O_2^{C_0})] \times V / (W \times T)$

排氮率 $[\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})]^{[9]} = [(N^{T_t} - N^{T_0}) - (N^{C_t} - N^{C_0})] \times V / (W \times T)$

式中, $O_2^{T_0}$ ($O_2^{C_0}$)和 $O_2^{T_t}$ ($O_2^{C_t}$)为实验前和实验后处理组(对照组)溶解氧浓度, N^{T_0} (N^{C_0})和 N^{T_t} (N^{C_t})为实验前和实验后处理组(对照组)氨氮浓度, V 为实验用水体积, W 为实验蟹体质量, T 为实验持续时间。氧氮比为呼吸消耗的氧原子数与排泄的

氮原子数之比。

数据以平均值 \pm 标准误(mean \pm SE)表示。利用 SPSS 13.0 软件对三疣梭子蟹耗氧率、排氮率及呼吸代谢酶等参数进行双因子方差分析,以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平。分析所得数据用 Sigmaplot 软件进行绘图。

2 结果

2.1 成熟前后三疣梭子蟹在不同盐度水平下的耗氧率和排氮率

成熟前后三疣梭子蟹在不同盐度下的耗氧率和排氮率见表 1。从表 1 中可以看出,不同盐度处理组间的耗氧率差异不显著($P > 0.05$),在 5 种盐度水平下,随着盐度的升高,蟹成熟前后耗氧率变化趋势相同,呈先下降后上升的趋势,但二者耗氧率达到最低值时的盐度不同,幼蟹为盐度 25,成蟹为盐度 30,最低值分别为 $0.312 \text{ mg O}_2/(\text{g} \cdot \text{h})$ 和 $0.169 \text{ mg O}_2/(\text{g} \cdot \text{h})$,且随个体增大而下降。双因子方差分析表明,规格显著影响蟹的耗氧率($P < 0.05$),而盐度以及盐度与规格的交互作用并未对蟹耗氧率产生显著影响($P > 0.05$)。

成熟前后三疣梭子蟹在不同盐度下的排氮率存在一定差异。从表 1 中可知,三疣梭子蟹在 5 种盐度下排氮率的变化趋势与耗氧率相同。其中,幼蟹在盐度 25 时排氮率最低,显著低于盐度 15 和 35 组($P < 0.05$),与盐度 20 和 30 组差异不显著($P > 0.05$);而成蟹排氮率最低时的盐度为 30,与 15 和 35 处理组差异显著($P < 0.05$),而与盐度 20 和 25 处理组差异不显著($P > 0.05$),幼蟹的排氮率高于成蟹。双因子方差分析表明,盐度和规格显著影响蟹的排氮率($P < 0.05$),而盐度与规格的交互作用对蟹排氮率影响不显著($P > 0.05$)。

2.2 成熟前后三疣梭子蟹在不同盐度水平下的氧氮比

在盐度 15~35 范围,三疣梭子蟹 O:N 呈波峰变化。成熟前蟹 O:N 变动范围为 10.40~12.41,其在 30 盐度时最大,在 35 盐度或 15 盐度时较小;成熟后蟹 O:N 降低,为 7.77~7.96,其变化趋势与成熟前相似,在盐度 25 时最大(图 1)。双因子方差分析结果显示,规格对蟹 O:N 影响极显著($P < 0.01$),但盐度及盐度与规格交互作用对 O:N 的影响并未达到显著水平($P > 0.05$)。

表 1 不同盐度水平下三疣梭子蟹的耗氧率和排氨率

盐度 salinity	湿重/g wet weight		耗氧率/[mg O ₂ /(g·h)] oxygen consumption rate		排氨率/[mg NH ₄ ⁺ -N/(g·h)] ammonia excretion rate	
	幼蟹 juvenile crab	成蟹 adult crab	幼蟹 juvenile crab	成蟹 adult crab	幼蟹 juvenile crab	成蟹 adult crab
	15	2.265 ± 0.043	61.197 ± 4.163	0.345 ± 0.016	0.189 ± 0.020	0.035 ± 0.002 ^a
20	2.391 ± 0.078	56.092 ± 1.858	0.317 ± 0.012	0.180 ± 0.021	0.030 ± 0.002 ^{ab}	0.024 ± 0.001 ^{abc}
25	2.369 ± 0.045	59.311 ± 3.557	0.312 ± 0.013	0.169 ± 0.022	0.027 ± 0.002 ^b	0.023 ± 0.001 ^{abc}
30	2.325 ± 0.051	58.161 ± 2.567	0.333 ± 0.014	0.158 ± 0.014	0.029 ± 0.002 ^{ab}	0.022 ± 0.001 ^c
35	2.251 ± 0.055	63.998 ± 3.821	0.341 ± 0.022	0.203 ± 0.029	0.035 ± 0.002 ^a	0.027 ± 0.001 ^{ab}

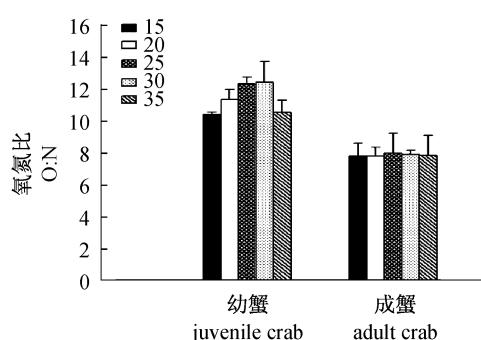


图 1 不同盐度水平下三疣梭子蟹的氧氮比
Fig. 1 Oxygen to nitrogen ratio of *P. trituberculatus* at different salinities

2.3 成熟前后三疣梭子蟹在不同盐度水平下的呼吸代谢酶活力变化

HK 和 PK 活力变化 不同盐度下三疣梭子蟹的 HK 和 PK 活力变化见图 2, 幼蟹在不同盐度水平下的 HK 活力变化幅度高于成熟后。在 15~35 盐度范围内, 随盐度的升高, 蟹 HK 活力先下降后上升。其中幼蟹鳃的 HK 活力在盐度 25 时最低, 显著低于其他盐度处理组 ($P < 0.05$), 肌肉 HK 活力在盐度 30 时最低, 显著低于 15 盐度组, 与其他盐度组间差异不显著 ($P > 0.05$)。不同盐度处理下, 成蟹鳃和肌肉 HK 活力未达到

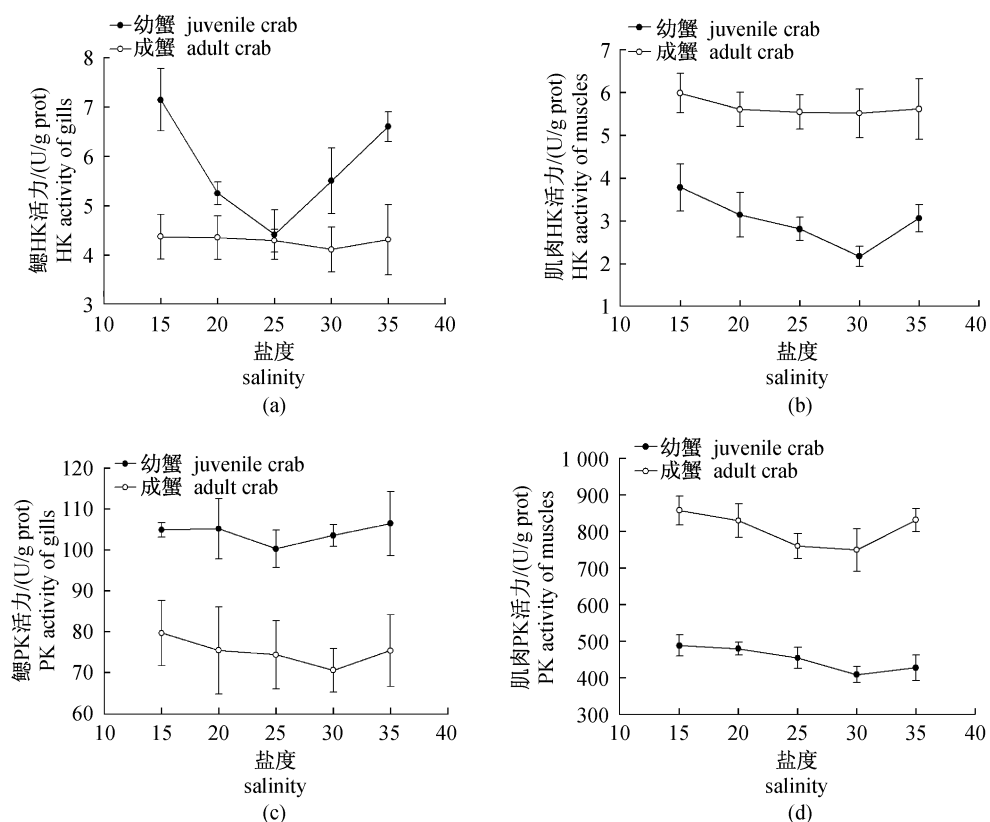


图 2 不同盐度水平下三疣梭子蟹的 HK 和 PK 活力变化
Fig. 2 Changes of the HK and PK activities of *P. trituberculatus* at different salinities

显著性差异水平 ($P > 0.05$), 其活力最低时的盐度分别为 30 和 25。由此可以看出, 成熟后蟹的鳃 HK 活力下降, 而肌肉 HK 活力上升 (图 2-a, b)。双因子方差分析表明, 规格显著影响三疣梭子蟹 HK 活力 ($P < 0.05$), 但盐度及盐度与规格交互作用的影响则不明显 ($P > 0.05$)。

成熟前后蟹在不同盐度下的 PK 活力差异不显著 ($P > 0.05$), PK 活力在 15 ~ 35 盐度范围内的变化趋势与 HK 相似, 且肌肉 PK 活力高于鳃。幼蟹鳃和肌肉的 PK 活力分别在盐度 25 和 30 时最低, 而成蟹鳃和肌肉 PK 活力最低时的盐度均为 30。相比成蟹, 幼蟹的鳃 PK 活力较高, 而肌肉 PK 活力较低 (图 2-c, d)。双因子方差分析表明, 规格对蟹 PK 活力的影响达极显著水平 ($P <$

0.01), 而盐度及盐度与规格交互作用皆不明显 ($P > 0.05$)

SDH 和 LDH 活力变化 不同盐度水平下三疣梭子蟹 SDH 和 LDH 活力变化见图 3。各盐度处理间 SDH 活力差异不显著 ($P > 0.05$), 蟹成熟后的 SDH 活力高于成熟前, 但两者在不同盐度下的变化趋势相同, 随盐度的升高呈先下降后上升的变化规律。鳃 SDH 活力大小和变化幅度均高于肌肉, 蟹成熟前后鳃 SDH 活力最低时的盐度不同, 成熟前为 25, 成熟后为 30, 而成熟前后蟹肌肉 SDH 活力均在盐度 30 时达到最低 (图 3-a, b)。双因子方差分析显示, 除规格显著影响成蟹肌肉 SDH 活力外 ($P < 0.05$), 盐度和规格及两者交互作用并未对蟹 SDH 产生显著影响 ($P > 0.05$)。

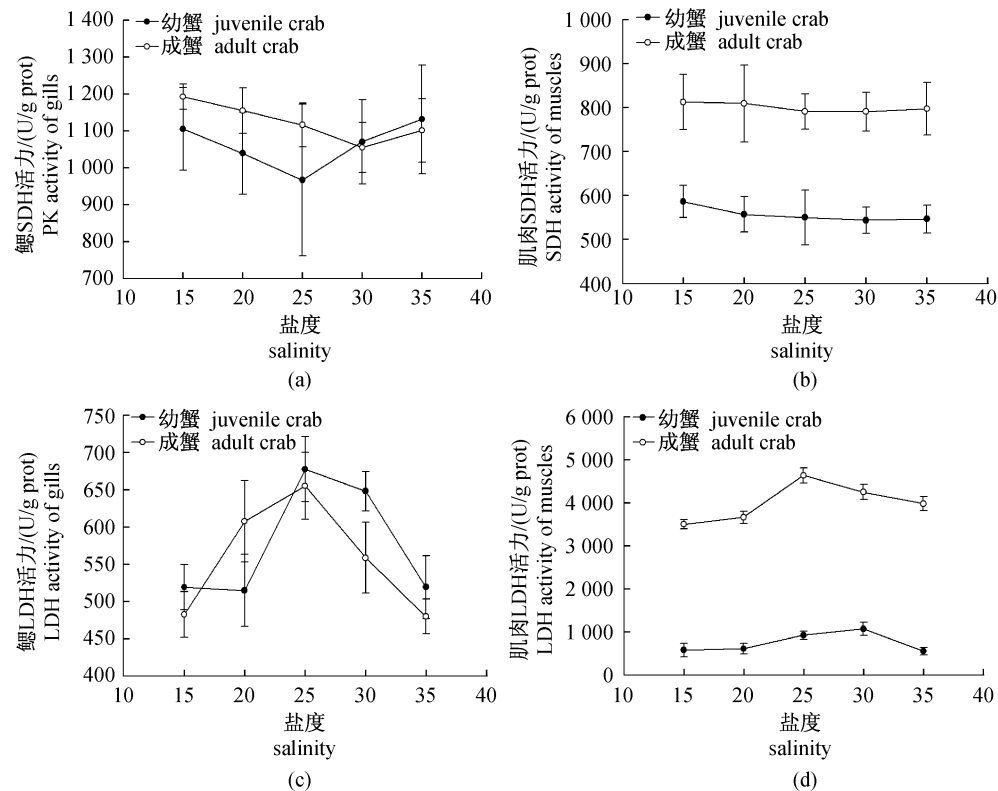


图 3 不同盐度水平下三疣梭子蟹 SDH 和 LDH 活力变化

Fig. 3 Changes of the SDH and LDH activity of *P. trituberculatus* at different salinities

不同盐度水平下三疣梭子蟹 LDH 活力存在一定差异。成熟后蟹的肌肉 LDH 活力升高, 而鳃 LDH 活力与成熟前相似。在 5 种盐度水平下, 蟹 LDH 活力呈单峰分布, 其中三疣梭子蟹成熟前后鳃 LDH 活力均在盐度 25 时达到峰值, 显著高于盐度 15 和 35 组 ($P < 0.05$), 而与 20 和 25 盐度组差异不显著 ($P > 0.05$); 成熟前肌肉 LDH 活力达

到最大值时的盐度为 30, 与除 25 盐度外的其他盐度组差异显著 ($P < 0.05$), 而成熟后肌肉 LDH 活力的峰值出现在盐度 25 时, 显著高于除 30 盐度外的其他盐度处理组 ($P < 0.05$) (图 3-c, d)。双因子方差分析表明, 盐度对蟹 LDH 活力的影响达极显著水平 ($P < 0.01$); 规格对鳃 LDH 活力的影响不显著 ($P > 0.05$), 但显著影响肌肉 LDH 活

力($P < 0.05$);盐度与规格的交互作用对蟹 LDH 活力影响不显著($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 盐度对三疣梭子蟹耗氧率和排氨率的影响

耗氧率和排氨率是反映水生生物代谢活动的重要指标,水生生物在等渗点附近时代谢消耗最低,渗透压力最小,因体内外渗透差而额外付出的代谢能最少^[10-12]。Via^[13]曾报道小长臂虾(*Dalaemonetes antennarius*)在体液达到等渗点耗氧率最小, Ye 等^[14]曾报道斑节对虾(*Penaeus monodon*)呼吸和排泄能量消耗最低,而在等渗点外,其以生长减慢为代价增加了代谢水平。本实验中,成熟前三疣梭子蟹的耗氧率和排氨率在盐度 25 时最低,成熟后在盐度 30 时最低。推测三疣梭子蟹成熟前等渗点接近盐度 25;蟹成熟后等渗点有所升高,接近盐度 30,等渗点的这种变化可能与蟹成熟前后对盐度的耐受性不同有关。当三疣梭子蟹幼蟹或成蟹所处环境盐度偏离各自等渗点时,渗透平衡被打破,体内外渗透压梯度差增大,而渗透调节是一种能量消耗的生理过程^[14-15],耗氧率的升高,正说明蟹为调节机体渗透压水平而增加了代谢耗能。

排氨率随盐度的改变反映了甲壳动物体内蛋白质代谢和能量利用的变化^[16-17]。当成熟前后三疣梭子蟹处于低渗环境时,排氨率均出现上升,且随着体内外渗透压梯度差的增大,蟹排氨率逐渐升高,说明蟹为增加用于渗透调节的供能,提高了蛋白质作为机体代谢能源的比例。蛋白质的代谢直接影响着体内氨基酸水平,而氨基酸在低渗调节中具有重要作用^[18-21],因此排氨率的升高可能也与此有关。实验结果显示,在高于等渗点的环境中,三疣梭子蟹的排氨率呈现与低渗条件下类似的变化。相比成熟前,成熟后三疣梭子蟹的耗氧率和排氨率显著下降,可能与成熟前后蟹对环境的适应能力以及用于生长的能量需求不同有关。

王兴强等^[12]指出虾蟹类代谢率对盐度反应的差异可因驯化时间、个体大小及健康状况等因素而异。研究表明,长时间的盐度驯化可消除不同盐度下白滨对虾(*Litopenaeus setiferus*)^[1]、龙虾(*Cherax quadricarinatus*)^[10]等代谢率的差异。在本实验 15~35 盐度范围内,不同盐度处理组三

疣梭子蟹幼蟹或成蟹的耗氧率没有显著差异,但排氨率存在一定差异。可见,长时间的盐度驯化能消除盐度对三疣梭子蟹耗氧率的影响,但不能消除盐度对其排氨率的影响。

3.2 盐度对三疣梭子蟹 O:N 的影响

氧氮比被广泛用于估计底物(蛋白质、脂类和糖类)在动物代谢中的代谢供能:若完全由蛋白质氧化供能,氧氮比为 3~16;如果是等量的蛋白质和脂肪氧化供能,氧氮比为 50~60;如果仅由脂肪或碳水化合物氧化供能,氧氮比将由此变为无穷大^[22]。实验 O:N 结果显示,幼蟹 O:N 为 10.40~12.41,成蟹为 7.77~7.96,不同盐度水平下三疣梭子蟹幼蟹和成蟹均以蛋白质代谢为主。本实验中,不同盐度水平下,蟹 O:N 差异不显著($P > 0.05$),说明幼蟹和成蟹的代谢底物并未随盐度的变化而变化,但三疣梭子蟹代谢能源中蛋白质的比例随生长发育而显著升高($P < 0.05$),说明成熟后蟹体内能源代谢对蛋白质的依赖性增加。

3.3 盐度对三疣梭子蟹呼吸代谢酶活力的影响

HK 和 PK 是糖酵解途径中的两个重要变构调节酶,在调解糖代谢过程中具有重要作用^[23-25]。实验结果表明,非等渗环境中,成熟前后三疣梭子蟹的 HK 和 PK 活力升高,提高了体内的糖酵解速率,从而为渗透调节提供更多能量。不同盐度处理下的 HK 和 PK 活力差异不显著,可能是长时间盐度驯化的结果;而随着蟹生长阶段的不同, HK 和 PK 活力出现显著差异。本实验中,三疣梭子蟹在成熟前通过鳃进行离子转运和排泄的水平较高,对能量的需求较大,使得鳃 HK 和 PK 的活力要高于成蟹;而随着生长的增大,蟹游动能力增大,剧烈运动时容易供氧不足,必须由糖酵解产生的 ATP 暂时满足对能量的需求^[26],导致了成蟹肌肉 HK 和 PK 活力的增加。

SDH 不仅在三羧酸循环(TCA 循环)中起到关键作用,而且参与生物体的氧化磷酸化作用^[26],因此 SDH 的活力可在一定程度上反映有氧代谢的水平。实验中,三疣梭子蟹在低盐和高盐下的 SDH 活力增加,说明机体此时有氧代谢水平升高。SDH 参与的 TCA 循环需要在有氧条件下进行^[26],根据不同盐度下蟹耗氧率的表现,推测本实验中不同盐度下 SDH 活力差异的消除也可能与长时间的盐度驯化有关。随着生长发育,

三疣梭子蟹 SDH 活力增加,有氧代谢能力增加,其中肌肉有氧代谢水平显著升高,从而有利于蟹的持续游动。

LDH 与细胞代谢活动关系密切,是糖酵解途径与 TCA 循环之间的关键酶^[27-28],其活力可作为衡量无氧代谢水平的指标之一^[29]。LDH 可催化丙酮酸与乳酸之间的相互转化,并伴随产生能量^[26]。在靠近等渗点的环境中,三疣梭子蟹 LDH 活力较高,说明此时机体内无氧代谢水平较高,尤其是肌肉部分,有助于为蟹的运动提供能量保障。随着内外渗透梯度的增大,三疣梭子蟹 LDH 活力显著下降,无氧代谢降低,使得进入 TCA 循环的丙酮酸含量增加,TCA 循环速度加快,从而为机体提供更多的能量以适应环境的变化,SDH 活力的变化也证明了这一点。三疣梭子蟹 LDH 活力随生长发育而升高,其中肌肉组织 LDH 活力变化显著,这可能是蟹游动能力随生长而增加的一种适应。

本研究发现,5 种盐度水平下,三疣梭子蟹幼蟹和成蟹的代谢能源主要以蛋白质为主,且随着生长发育,机体代谢对蛋白质的依赖性增大。长时间盐度驯化会减弱甚至消除不同盐度水平下三疣梭子蟹代谢率的差异;蟹可能主要通过调节无氧代谢水平适应因外界环境变化而引起的机体能量需求的改变,幼蟹和成蟹呼吸代谢的明显变化与不同发育阶段机体对能量的需求不同有关。

参考文献:

- [1] Rosas C, Martinez E, Gaxiola G, et al. The effect of dissolved oxygen and salinity on oxygen consumption, ammonia excretion and osmotic pressure of *Penaeus setiferus* (Linnaeus) juveniles [J]. Journal of Experiment Biology and Ecology, 1999, 234(1): 41 - 57.
- [2] 潘鲁青, 栾治华. 盐度对日本囊对虾仔虾生长发育和 Na⁺-K⁺-ATPase 活力的影响 [J]. 水生生物学报, 2005, 29(6): 699 - 703.
- [3] Romano N, Zeng C S. The effects of salinity on the survival, growth and haemolymph osmolality of early juvenile blue swimmer crabs, *Portunus pelagicus* [J]. Aquaculture, 2006, 260(1-4): 151 - 162.
- [4] 路允良, 王芳, 赵卓英, 等. 盐度对三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 生长、蜕壳及能量利用的影响 [J]. 中国水产科学, 2012, 19(2): 271 - 278.
- [5] 张硕, 董双林, 王芳. 中国对虾生物能量学研究 I——温度、体重、盐度和摄食状态对耗氧率和排氨率的影响 [J]. 中国海洋大学学报, 1998, 28(2): 223 - 227.
- [6] 林小涛, 张秋明, 许忠能, 等. 虾蟹类呼吸代谢研究进展 [J]. 水产学报, 2000, 24(6): 575 - 580.
- [7] 王冲, 姜令绪, 王仁杰, 等. 盐度骤变和渐变对三疣梭子蟹幼蟹发育和摄食的影响 [J]. 水产科学, 2010, 29(9): 510 - 514.
- [8] 雷衍之. 养殖水环境化学实验 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [9] Setiarto A, Strüssmann C A, Taksahima F, et al. Short-term responses of adult kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus* (Bate) to environmental salinity: osmotic regulation, oxygen consumption and ammonia excretion [J]. Aquaculture Research, 2004, 35(7): 669 - 677.
- [10] Meadae M E, Doeller J E, Kraus D W, et al. Effects of temperature and salinity on weight gain, oxygen consumption rate, and growth efficiency in juvenile red-claw crayfish *Cherax quadrinatus* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2002, 33(2): 189 - 198.
- [11] Villarreal H, Rivera J A. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *Penaeus californiensis* postlarvae [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part-A: Molecular & Integrative Physiology, 1993, 106(1): 103 - 107.
- [12] 王兴强, 马牲, 董双林. 虾蟹类生物能量学研究进展 [J]. 海洋科学, 2005, 29(10): 65 - 69.
- [13] Via G J D. Salinity responses in brackish water populations of the freshwater shrimp *Palaemonetes antennarius*—I. oxygen consumption [J]. Comparative Biochemistry Physiology and Part-A: Molecular & Integrative Physiology, 1987, 87(2): 471 - 478.
- [14] Ye L, Jiang S G, Zhu X M, et al. Effects of salinity on growth and energy budget of juvenile *Penaeus monodon* [J]. Aquaculture, 2009, 290(1-2): 140 - 144.
- [15] McNamara J C, Moreira G S. O₂ consumption and acute salinity exposure in the freshwater shrimp *Macrobrachium olfersii* (Wiegmann) (Crustacea: Decapoda): whole animal and tissue respiration [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1987, 113(3): 221 - 230.
- [16] Chen J C, Chen K W. Oxygen uptake and ammonia-N excretion of juvenile *Penaeus japonicus* during

- deuration following one-day exposure to different concentrations of saponin at different salinity levels [J]. *Aquaculture*, 1997, 156(1-2): 77-83.
- [17] Zhang P D, Zhang X M, Li J. Effect of salinity on survival, growth, oxygen consumption and ammonia-N excretion of juvenile whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. *Aquaculture Research*, 2009, 40(12): 1419-1427.
- [18] Lemos D, Phan V N, Alvarez G. Growth, oxygen consumption, ammonia-N excretion, biochemical composition and energy content of *Farfantepenaeus paulensis* Pérez-Farfante (Crustacea, Decapoda, Penaeidae) early postlarvae in different salinities [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2001, 261(1): 55-74.
- [19] Sánchez A, Pascuala C, Sánchez A, et al. Hemolymph metabolic variables and immune response in *Litopenaeus setiferus* adult males: the effect of acclimation [J]. *Aquaculture*, 2001, 198(1-2): 13-28.
- [20] Deaton L E. Hypoosmotic volume regulation in bivalves: Protein kinase C and amino acid release [J]. *Journal of Experimental Zoology*, 1994, 268(2): 145-150.
- [21] Weihrauch D, Morris S, Towle D W. Ammonia excretion in aquatic and terrestrial crabs [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2004, 207: 4491-4504.
- [22] Mayzaud P, Conover R J. O: N atomic ratio as a tool to describe zooplankton metabolism [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1988, 45(3): 289-302.
- [23] Guo B, Wang F, Dong S L, et al. The effects of rapid temperature changes on HK, PK and HSP70 of *Litopenaeus vannamei* in different seasons [J]. *Journal of Ocean University of China (Oceanic and Coastal Sea Research)*, 2010, 9(3): 303-308.
- [24] Sangiao-Alvarellos S, Arjona F J, Míguez J M, et al. Growth hormone and prolactin actions on osmoregulation and energy metabolism of gilthead sea bream (*Sparus auratus*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2006, 144(4): 491-500.
- [25] Metóna I, Fernández F, Baanante I V. Short-and long-term effects of refeeding on key enzyme activities in glycolysis-gluconeogenesis in the liver of gilthead seabream (*Sparus aurata*) [J]. *Aquaculture*, 2003, 225(1-4): 99-107.
- [26] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学 [M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [27] Abdel-Mohsen H A. Assessment of respiratory and ion transport potential of *Penaeus japonicus* gills in response to environmental pollution [J]. *Mediterranean Marine Science*, 2009, 10(1): 5-18.
- [28] Valarmathi S, Azariah J. Effect of copper chloride on the enzyme activities of the crab *Sesarma quadratum* (Fabricius) [J]. *Turkey Journal of Zoology*, 2003, 27: 253-256.
- [29] Berges J A, Ballantyne J S. Size scaling of whole-body maximal enzyme activities in aquatic crustaceans [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1991, 48(12): 2385-2394.

Effects of salinity on the respiratory metabolism of pre- and post-maturity swimming crab (*Portunus trituberculatus*)

LU Yun-liang, WANG Fang*, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin

(Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: To evaluate the physiological responses and changes of swimming crab, *Portunus trituberculatus* between pre- and post-maturity at different salinities (15, 20, 25, 30 and 35), the oxygen consumption rate (OCR), ammonia excretion rate (AER) and respiratory enzyme activities including hexokinase (HK), pyruvate kinase (PK), succinate dehydrogenase (SDH) and lactate dehydrogenase (LDH) were measured in this study. Results showed that the interaction of salinity and size did not influence the respiratory metabolism

significantly. Salinities had a significant effect on AER other than OCR. Marked differences were found in both OCR and AER between pre- and post-maturity individuals ($P < 0.05$). No significant difference of O: N ratio was found among different salinities ($P > 0.05$), however, O: N ratio in pre-maturity individuals was significantly higher than that in post-maturity individuals ($P < 0.05$). It was noticed that the activity of HK and PK changed significantly with size rather than salinity ($P < 0.05$). Excluding LDH, no significant correlation between respiratory metabolism enzymes and salinity was observed ($P > 0.05$). However, the respiratory enzymes in tested tissues changed significantly between pre- and post-maturity ($P < 0.05$) except SDH and LDH in gills ($P > 0.05$). The study indicated that compared to salinity, body size more impacted the respiratory metabolism of *P. trituberculatus*. And it is suggested that long-term salinity acclimatization could lower or eliminate the difference of respiratory metabolism of *P. trituberculatus* at different salinities.

Key words: *Portunus trituberculatus*; salinity; pre- and post-maturity; respiratory metabolism

Corresponding author: WANG Fang. E-mail: wangfang249@ouc.edu.cn

欢迎订阅 2013 年《淡水渔业》

《淡水渔业》为淡水渔业综合性学术期刊,创刊于 1971 年,是中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库(CSCD)期刊,被多种国内外权威文献库收录。曾荣获全国优秀学术期刊、全国优秀农业期刊、全国优秀水产报刊及湖北省优秀科技期刊等荣誉。主要刊载水产基础科学、生物技术、遗传与育种、渔业生态与资源、水生生物多样性、渔业环境与保护、渔业设施与机械、网具与捕捞、水产养殖与增殖、水产生物病害控制、水产动物营养与饲料、水产品质量安全、水产品加工与综合利用等方面的科学研究和突破性生产试验报告,少量刊登研究简报和综述。全面反映我国淡水渔业新进展,新成果。

本刊为双月刊,大 16 开,112 页,国内外公开发行。国内统一刊号: CN 42-1138/S, 邮发代号: 38-32, 国际标准刊号: ISSN 1000-6907。本刊每期定价 20 元,全年 6 期共 120 元。读者可采用两种方式订阅: ①在当地邮局订阅; ②直接汇款到杂志社订阅。欢迎水产及相关行业的科研人员、院校师生、技术推广人员、管理人员和生产者订阅。

通讯地址: 武汉市东湖新技术开发区武大园一路 8 号《淡水渔业》杂志社(邮编: 430223)

电 话: 027-81780185 传 真: 027-81780085

E-mail: dsyy@chinajournal.net.cn