

温度对三疣梭子蟹呼吸代谢及其相关酶活力的影响

戴超 王芳* 房子恒 董双林

(教育部海水养殖重点实验室 中国海洋大学水产学院, 青岛 266003)

摘要 为研究温度对三疣梭子蟹 *Portunus trituberculatus* 呼吸代谢的影响, 以三疣梭子蟹幼蟹 (1.17 ± 0.03)g 和成蟹 (57.57 ± 1.16)g 为实验材料, 设 5 个实验温度水平 (15、18、21、24、27℃), 测定其不同温度下的耗氧率和排氨率以及成蟹肝胰脏和肌肉组织中的丙酮酸激酶 (PK)、己糖激酶 (HK) 和琥珀酸脱氢酶 (SDH) 的活力。实验结果显示, 三疣梭子蟹耗氧率和排氨率均随温度的升高而升高。幼蟹耗氧率在各个温度水平下差异显著 ($P < 0.05$), 成蟹耗氧率仅在 15–18℃ 与 21–27℃ 之间差异显著 ($P < 0.05$); 幼蟹和成蟹排氨率在 15–18℃ 与 21–27℃ 之间差异显著 ($P < 0.05$)。幼蟹和成蟹的氧氮比随温度的升高总体呈下降趋势, 其氧氮比范围为 1.38–3.02, 表明三疣梭子蟹以蛋白质为主要代谢能源物质。随实验温度升高, 成蟹肝胰脏中的 PK 活力呈上升趋势, 而成蟹肌肉组织中的 PK 和 HK 的活力则随温度升高总体呈下降趋势。温度对三疣梭子蟹肝胰脏组织中 SDH 的活力影响显著 ($P < 0.05$), SDH 的活力随温度的升高呈上升趋势, 在 27℃ 时达到最大值。综上所述, 无氧代谢方面, 随实验温度的升高, 三疣梭子蟹成蟹肝胰脏组织的糖酵解速率增大, 肌肉组织对葡萄糖的利用能力下降; 有氧代谢方面, 成蟹肝胰脏 SDH 活力随实验温度的升高而升高, 一定程度上反应了三疣梭子蟹在高温环境下有氧代谢加强。

关键词 三疣梭子蟹; 温度; 耗氧率; 排氨率; 氧氮比; 呼吸代谢酶

中图分类号 S966.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2014)02-0090-07

Effects of temperature on the respiratory metabolism and activities of related enzymes of swimming crab *Portunus trituberculatus*

DAI Chao WANG Fang* FANG Zi-heng DONG Shuang-lin

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

ABSTRACT An experiment was carried out to investigate the effects of temperature on the respiratory metabolism of swimming crab *Portunus trituberculatus*. Oxygen consumption rate, ammonia excretion rate of juvenile (1.17 ± 0.03)g and adult (57.57 ± 1.16)g crabs and activity of energy metabolism enzymes, pyruvate kinase (PK), hexokinase (HK) and succinate dehydrogenase (SDH) in muscle and liver of adult crab, were measured at 15℃, 18℃, 21℃, 24℃ and 27℃. The results were as follows: with the increase of temperature, both oxygen consumption rate and ammonia excretion rate increased significantly ($P < 0.05$). Oxygen consumption rate of juvenile crab at various temperatures and adult crab at 15–18℃ and 21–27℃ had significant difference ($P < 0.05$). Ammonia excretion

国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD13B03)资助

* 通讯作者。wangfang249@ouc.edu.cn, Tel: 13969884563

收稿日期: 2013-03-19; 接受日期: 2013-05-09

作者简介: 戴超(1987-), 女, 硕士研究生, 主要从事甲壳动物生理生态学研究。E-mail: orange0407@yeah.net

rate of both juvenile and adult crabs had significant difference at 15 – 18°C and 21 – 27°C ($P < 0.05$). The ratio of oxygen to nitrogen (1.38 – 3.02) demonstrated that the metabolic substrates of crab *P. trituberculatus* was protein-dominant and it displayed a decreasing trend as the temperature increased. Activity of PK in liver had an upward trend as temperature increased. However, activities of PK and HK in muscle displayed a decreasing trend ($P < 0.05$). Activity of SDH in liver increased as temperature increased ($P < 0.05$) and reached the highest level at 27°C. In summary, the rate of glycolysis increased in the liver of swimming crab, and a gradual decreasing glucose-utilizing capability in muscle was observed. Activity of SDH in liver was enhanced as temperature increased ($P < 0.05$), which indicated a strengthened aerobic metabolism of swimming crab at high temperature.

KEY WORDS *Portunus trituberculatus*; Temperature; Oxygen consumption rate; Ammonia excretion rate; O/N ratio; Energy metabolism enzyme activities

呼吸代谢是蟹类能量代谢活动的重要组成部分,它反映了动物体的代谢特征、生理状况、营养状况及对外界环境条件的适应能力,是水生生物能量学和营养生理学研究的重要内容之一(Liu *et al.* 2011;李健等 2013;林小涛等 2000)。蟹类的耗氧率和氨氮排泄率在很大程度上反映了动物体呼吸代谢水平的高低和变化规律(林小涛等 2000;冯雪等 2012)。温度是影响甲壳类动物新陈代谢和生长的重要因子之一,当外界温度发生变化时,虾蟹类体内的各项生理过程将受到很大影响(Ponce-Palafox *et al.* 1997;王冲等 2010)。关于温度对蟹类呼吸代谢的影响的研究已有相关报道,朱小明等(2003)研究了温度对锯缘青蟹 *Scylla serrata* 呼吸及排泄的影响,发现其耗氧率和排氨率随温度的升高而升高;Dehnel(1960)研究了温度和盐度对两种潮间带方蟹 *Hemigrapsus oregonensis* 和 *H. Nudus* 的呼吸代谢的交互作用,发现两种方蟹的呼吸耗氧率均随温度升高而升高;Das等(1967)的研究发现,在低温条件下,蟹类等变温动物的耗氧率提高,认为这种变化与其对低温的适应性有关。

糖酵解和三羧酸循环是动物能量代谢过程的两个重要途径,糖酵解途径除了为动物体提供少量 ATP 之外还提供丙酮酸,丙酮酸进入三羧酸循环后继续进行脱酸和脱氢反应,生成大量的 ATP 供机体进行能量代谢活动,包括呼吸代谢。己糖激酶(Hexokinase, HK)和丙酮酸激酶(Pyruvate kinase, PK)是糖酵解过程中重要的变构调节酶;琥珀酸脱氢酶(Succinate dehydrogenase, SDH)参与三羧酸循环和氧化磷酸化作用,其活力可在一定程度上反映有氧代谢的水平(王镜岩等 2005),而温度是影响水生生物呼吸代谢酶活力最重要的因素之一(Vargus-Chacoff *et al.* 2009)。研究温度对蟹类呼吸代谢影响的酶学机制对于进一步分析、解释不同温度下三疣梭子蟹呼吸代谢的生理机制的意义重大。郭彪等(2008)从研究呼吸代谢酶如 HK、PK 的活力变化的角度,探讨了温度对凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei* 能量代谢的影响的酶学机制。目前有关温度对三疣梭子蟹呼吸代谢影响及其酶学机制的研究还未见报道。

本研究以三疣梭子蟹幼蟹和成蟹为实验材料,研究了温度对三疣梭子蟹幼蟹和成蟹的呼吸代谢及对成蟹呼吸代谢酶活力的影响,以期完善三疣梭子蟹呼吸代谢生理特征,查明其代谢的酶学机制,为三疣梭子蟹的科学养殖提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验蟹的来源、暂养与驯化

三疣梭子蟹幼蟹和成蟹取自山东省胶南活海鲜养殖基地,于2012年7月15日运回实验基地,均为体色正常、健康活泼的个体。梭子蟹运回后,先在玻璃钢水槽(55 cm × 30 cm × 35 cm)内暂养,水槽底部铺有3 cm 海沙(海沙取自当地海滨,用20目纱绢过滤,实验前曝晒)并放置扇贝壳、瓦片等遮蔽物,海水盐度为30。暂养期间温度控制在(21 ± 0.5)°C,光照周期为14L:10D。每天于07:30、19:30投喂两次鲜活蛤蜊肉(去除内脏),及

时吸底。每2 d彻底换水一次。暂养14 d后开始实验温度驯化。

实验温度驯化方式如下:从暂养温度21℃开始,以1.5℃/d的速度向高温、低温同时进行,直至实验设定的温度。温度控制系统采用中科海公司设计的控温循环水族箱系统,低温海水采用制冷水泵处理;高温海水采用加热棒加热至实验设定的温度,温度感应探头自动调控加热棒开启和关闭。控温精确至0.1℃。梭子蟹在实验温度下驯化7 d后开始进行耗氧率和排氨率的测定实验。

1.2 实验设计

实验设5个温度水平,分别为15、18、21、24、27℃,实验蟹的规格为幼蟹(1.17±0.03)g、成蟹(57.57±1.16)g,其生物学特征见表1。养殖密度为幼蟹3只/水族箱,成蟹1只/水族箱。每个水族箱为1个重复,每个温度水平设5个重复。

表1 实验所用三疣梭子蟹的生物学数据统计

Table 1 Biological statistics of *P. trituberculatus* in the experiment

| 三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i> | 头胸甲长 Carapace length(mm) | 全甲宽 Full carapace width(mm) | 初始湿重 Initial wet body weight(g) |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 成蟹 Adult crab | 50.59±0.54 | 99.58±0.94 | 57.57±1.16 |
| 幼蟹 Juvenile crab | 14.16±0.11 | 27.46±0.15 | 1.17±0.03 |

注:初始湿重为用吸水纸充分擦拭吸干体表水分后的重量

Note: Initial weight is weighed after the surface of *P. trituberculatus* was softly wiped with tissue

1.3 耗氧率和排氨率的测定

将在实验设计温度下驯化好的三疣梭子蟹饥饿24 h,挑选健康、活泼个体进行耗氧率和排氨率的测定。实验所用的容器为250 ml锥形瓶(幼蟹)和5000 ml水族箱(成蟹),每个容器内放置1只三疣梭子蟹,置于恒温水槽中,用保鲜膜封口,实验前后不得有气泡,虹吸法采水。根据预实验的结果确定测定三疣梭子蟹耗氧率和排氨率的持续时间为1.5 h。

1.3.1 耗氧率(OR)的测定

耗氧率(Oxygen consumption rate, OR)的测定采用碘量法(Winkler),根据实验前后溶解氧浓度的变化计算单位体重蟹的耗氧率[mg/(g·h)]:

$$OR = [(DO_0 - DO_t) \times V] / (W \times t)$$

式中, DO_0 和 DO_t 分别为实验开始和结束时实验水中DO含量(mg/L), V 为实验容器的体积(L), W 为实验蟹充分吸干体表水分后体重(g), t 为实验持续时间(h)。

1.3.2 氨氮(NH₄⁺-N)排泄率的测定

氨氮(NH₄⁺-N)排泄率(Ammonia excretion rate, NR)的测定采用靛酚蓝法,根据实验前后氨氮浓度变化计算单位体重蟹的氨氮排泄率[mg/(g·h)]:

$$NR = [(N_t - N_0) \times V] / (W \times t)$$

式中, N_0 和 N_t 分别为实验开始和结束时实验水中氨氮浓度(mg/L), V 为实验容器的体积(L), W 为实验蟹充分吸干体表水分后体重(g), t 为实验持续时间(h)。

实验结束后,用吸水纸充分擦拭干实验蟹体表水分,用MP120型电子天平称质量,精确至0.01 g。

1.4 丙酮酸激酶(PK)、己糖激酶(HK)、琥珀酸脱氢酶(SDH)活力的测定

成蟹的呼吸代谢实验结束后,立即于冰盘上取其肝脏和肌肉组织样品,置于1.5 ml离心管中,迅速放入液氮中,再转至-80℃超低温冰箱保存待测。测定酶活力时取0.2 g组织加1.8 ml 0.86%的生理盐水于冰水中充分研磨,研磨后3500 r/min离心,制成10%组织匀浆后分装备用。

HK、PK和SDH的活力均采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒测定。酶液蛋白含量采用南京建成

生物研究所提供的总蛋白定量测试盒(考马斯亮兰法)测定。

PK 的活力定义:在 37℃,pH 7.6 的条件下,每克组织蛋白每分钟将 1 μmol 的 PEP 转变为丙酮酸为 1 个活力单位。

HK 的活力定义:在 37℃,pH 7.6 的条件下,每克组织蛋白在本反应体系中每分钟生成 1 mmol 的 NADPH 定义为一个酶活力单位。

SDH 的活力定义:在 37℃,每毫克蛋白每分钟使反应体系的吸光度降低 0.01 为 1 个比活力单位。

1.5 数据处理

数据统计分析采用 SPSS 13.0 for Windows 软件进行单因素方差分析,数据结果以平均值 ± 标准误 ($\bar{x} \pm SD$) 表示,以 $P < 0.05$ 作为显著差异水平, $P < 0.01$ 作为差异极显著水平。

2 结果

2.1 不同温度水平下三疣梭子蟹幼蟹与成蟹的 OR 和 NR

不同温度水平下三疣梭子蟹幼蟹与成蟹的 OR 和 NR 见图 1。由图 1 可以看出,不同温度水平下幼蟹的 OR 存在显著性差异($P < 0.05$);成蟹的 OR 15 – 18℃ 与 21 – 27℃ 之间差异显著($P < 0.05$)。在 5 个温度水平下,随着温度的升高,幼蟹和成蟹 OR 均升高,在 27℃ 达到最大值[幼蟹为 0.38 mg/(g·h),成蟹为 0.34 mg/(g·h)]。在相同温度水平下幼蟹组 OR 高于成蟹组。

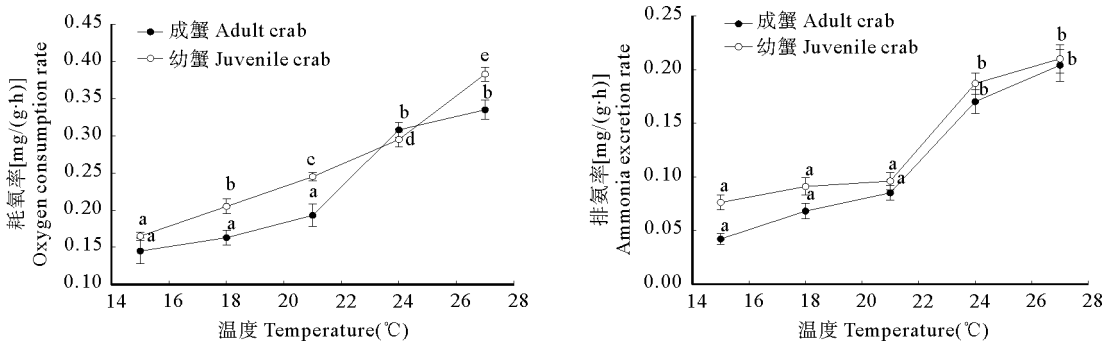


图 1 温度对三疣梭子蟹幼蟹和成蟹 OR 和 NR 的影响

Fig. 1 Effects of temperature on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *P. trituberculatus*

样本数 $n = 5$, 图中不同的字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

$n = 5$, Different letters on curve mean significant difference ($P < 0.05$)

不同温度水平下幼蟹和成蟹的 NR 在 15 – 21℃ 与 24 – 27℃ 之间差异显著($P < 0.05$)。在 5 个温度水平下,随着温度的升高,幼蟹和成蟹 NR 均升高,在 27℃ 达到最大值[幼蟹为 0.21 mg/(g·h),成蟹为 0.20 mg/(g·h)]。在相同温度水平下幼蟹的 NR 均高于成蟹。

2.2 不同温度水平下三疣梭子蟹的 O : N 值

不同温度水平下三疣梭子蟹的 O : N 值见表 2。从表 2 可以看出,O : N 值变化范围为 1.38 – 3.02。其中成蟹的 O : N 值随实验温度的升高呈下降的趋势,在 15℃ 达到最大值,为 3.02,在 27℃ 达到最小值,为 1.44;随实验温度的升高,幼蟹 O : N 值呈升高-降低-升高的趋势,在 24℃ 达到最小值(1.38),最大值(2.23)出现在 21℃。

表2 不同温度水平下三疣梭子蟹的O:N值

Table 2 The O:N ratio of *P. trituberculatus* at different temperatures

| 三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i> | 温度 Temperature(°C) | | | | |
|------------------------------------|--------------------|------|------|------|------|
| | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 |
| 成蟹 Adult crab | 3.02 | 2.10 | 1.99 | 1.59 | 1.44 |
| 幼蟹 Juvenile crab | 1.90 | 1.97 | 2.23 | 1.38 | 1.60 |

2.3 不同温度水平下三疣梭子蟹的呼吸代谢酶活力

不同温度水平下三疣梭子蟹肝胰脏和肌肉组织中的呼吸代谢酶活力见图2、图3、图4。

由图2可以看出,肝胰脏中PK的活力,在15-27°C范围内的变化趋势与SDH相似,在15°C达到最小值,27°C达到最大值,但PK活力随实验温度上升而上升的趋势十分明显,15-18°C、21-24°C和27°C之间PK活力差异显著($P < 0.05$)。由图3可以看出,肝胰脏中HK的活力在15-27°C温度范围内,随温度的上升总体呈现下降趋势, HK活力最大值出现在18°C,最小值出现在27°C。不同温度水平之间HK活力变化幅度不大,未出现显著性差异($P > 0.05$)。由图4可以看出,三疣梭子蟹肝胰脏中SDH的活力随温度的变化趋势与HK相反,在15-27°C温度范围内,随温度的上升呈上升趋势,在15°C达到最小值,在27°C达到最大值。15-24°C之间,SDH活力变化幅度不大,在27°C时突然升高,与其他温度组相比,差异显著($P < 0.05$)。

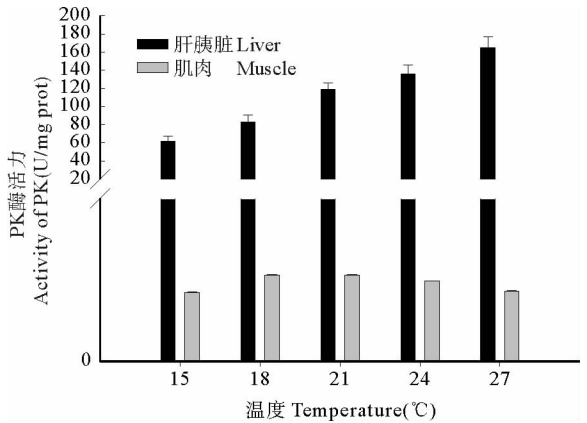


图2 温度对三疣梭子蟹成蟹肝胰脏和肌肉中PK的影响

Fig. 2 The activity of PK in liver and muscle of

P. trituberculatus at different temperatures

样本数 $n = 5$, 图中不同的字母表示差异显著 ($P < 0.05$)
 $n = 5$, Different letters mean significant difference ($P < 0.05$)

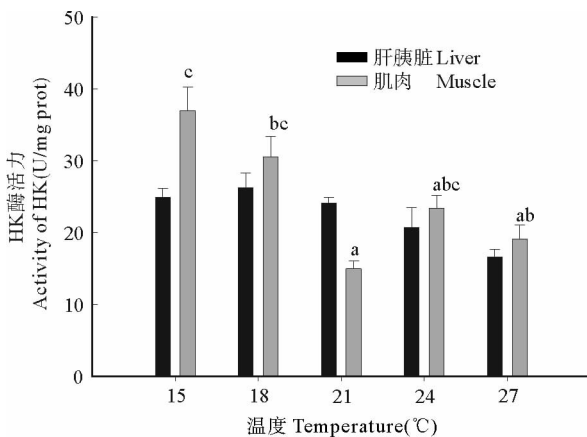


图3 温度对三疣梭子蟹成蟹肝胰脏和肌肉中HK的影响

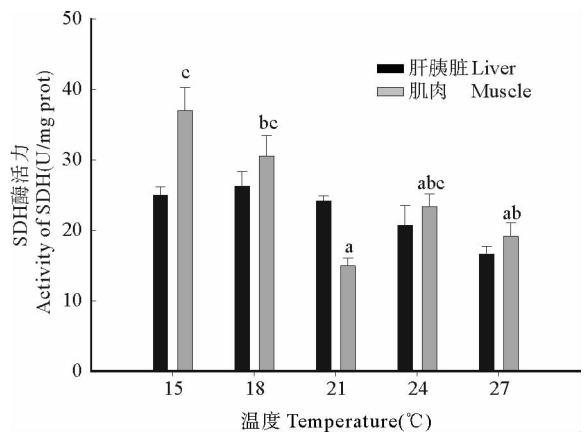
Fig. 3 The activity of HK in liver and muscle of *P. trituberculatus* at different temperatures

图4 温度对三疣梭子蟹成蟹肝胰脏和肌肉中SDH的影响

Fig. 4 The activity of SDH in liver and muscle of *P. trituberculatus* at different temperatures

由图2可以看出,肌肉PK的活力在15-27°C温度范围内,随温度上升呈先上升后下降的变化规律,PK活力在各温度水平之间的差异不显著($P > 0.05$)。PK活力最高时温度为21°C,活力最低时温度为15°C。由图3可以看出,肌肉中HK的活力在15-27°C温度范围内,随温度的上升呈下降-上升-下降的变化规律,但总体呈下降趋势, HK活力在各温度水平之间的差异显著($P < 0.05$)。HK活力在21°C时突然下降达到最低值,活力

最高值出现在 15℃。由图 4 可以看出,三疣梭子蟹肌肉中 SDH 的活力在 15 - 27℃ 温度范围内,随温度的上升呈上升-下降-上升的趋势。不同温度水平下 SDH 活力变化幅度不大,各温度水平下未出现显著性差异($P > 0.05$),活力最低时温度为 21℃,活力最高时为 27℃。

3 讨论

3.1 温度对三疣梭子蟹 OR 和 NR 的影响

OR 和 NR 是衡量水生生物能量代谢的重要指标,反映了其单位体质量的呼吸代谢水平。温度是影响虾蟹 OR 和 NR 最重要的环境因素之一。在本研究的温度范围内,梭子蟹的 OR 和 NR 随温度的升高而升高,在 27℃ 均达到最大值;在相同温度下幼蟹 OR 和 NR 高于成蟹,这与 Zou 等(1995)对中华绒螯蟹 *Eriocheir sinensis*、Dimock 等(1975)对锯缘青蟹 *Panopeus herbstii* 的研究结果一致,但 Newell 等(1972)认为,真蟹 *Carcinus maenas* 幼蟹的 OR 和 NR 不受温度影响,但其成蟹的 OR 与温度之间的相关性显著。这可能是由于物种间生理特征差异和所研究物种生长阶段不同导致。

有研究表明,虾蟹类 OR 与体重的关系可以表示为 $R = a W^b$,其中 a、b 为常数,b 又称为体质量指数。b 值的大小反映 OR 对体质量变化的敏感程度,b 值与动物所处发育阶段、摄食、温度和盐度等条件有关(林小涛等 2000)。本研究表明,相同温度下幼蟹的 OR、NR 均高于成蟹,可能的解释是梭子蟹类单位体重的 OR 和 NR 与体重成反比,即幼蟹代谢率较高,这是因为幼蟹的鳃与组织的比值相对较大,即可用于气体交换的鳃表面积相对较大,因而 OR 较高、代谢强度大、排泄的废物多(Bayne *et al.* 1983)。还有研究表明,随温度升高,幼蟹蜕壳频率提高、基础代谢率升高(Tagatz *et al.* 1968),因此幼蟹必须从外界获得更多的营养物质转化为自身的物质,表现为 OR 和 NR 相对较高。与成蟹相比较,幼蟹 OR、NR 变化幅度较大,这说明幼蟹对环境温度的变化比较敏感。

3.2 温度对三疣梭子蟹氧氮比的影响

生物体对蛋白质、脂肪和碳水化合物等能源物质分解代谢时所消耗的氧气和排泄氨之间的比率称为氧氮比(O:N),是衡量动物能量代谢的一项重要指标,指示了机体能量来源的组成及能量代谢的路径。周洪琪(1990)的研究指出,虾蟹类的代谢底物完全是蛋白质时,O:N 较低,通常在 7 左右;以蛋白质和脂肪作代谢底物时,O:N 通常大于 24;Conover(1968)研究指出,当以脂肪或碳水化合物为代谢底物时,O:N 通常会变大,甚至无穷大。本研究发现,在 15 - 27℃ 温度范围内,三疣梭子蟹幼蟹和成蟹的 O:N 范围为 1.38 - 3.02,表明梭子蟹以蛋白质为主要代谢能源物质。随实验温度的升高,三疣梭子蟹幼蟹和成蟹的 O:N 总体都呈下降趋势,推测可能是由于较高温度下梭子蟹 OR 升高,代谢加强,排出的氨也相应增多,但 OR 的升高相对排氨率的升高较慢,造成 O:N 降低;而在较低温度下,较低的排氨率使 O:N 相对较高。张硕等(1998)研究结果表明,当氨排泄物增加时,表明蛋白质作为代谢能源的比例增大,可以认为较高的温度促进梭子蟹的代谢能源物质向蛋白质转变。目前还没有关于温度对三疣梭子蟹 O:N 影响的研究,参考温度对其他甲壳类 O:N 影响的研究,本研究结果与林小涛等(1998)对罗氏沼虾 *Macrobrachium rosenbergii* 呼吸代谢的研究、Robertson 等(2001)对水虱 *Saduria entomon* 的研究结果一致。

3.3 温度对三疣梭子蟹成蟹呼吸代谢酶活力的影响

环境条件缺氧或者动物机体本身代谢过于旺盛但氧气供应不足情况下,机体主要通过糖酵解作用提供能量,HK 和 PK 是糖酵解过程中重要的变构调节酶,催化不可逆反应,对糖酵解有重要调节作用。SDH 参与三羧酸循环和氧化磷酸化作用,SDH 活力可在一定程度上反映有氧代谢的水平(王镜岩等 2005)。

在本研究条件下,15 - 27℃ 温度范围内,三疣梭子蟹肝胰脏组织中 PK 活力随温度上升而上升,且差异显著,说明肝胰脏组织中糖酵解能力增强。由于 OR 含量在高温水环境中比低温水环境低(雷衍之 2006),此时梭子蟹可能选择其他 ATP 生产途径,如糖酵解途径,在一定程度上加大 ATP 的产量(Marquez *et al.* 2006),以支持蟹体的持续泳动。HK 活力的变化取决于外源或内源葡萄糖利用,机体利用外源葡萄糖能力的下降会

引起 HK 活力的下降(Laiz-Garrión *et al.* 2002)。本研究条件下,梭子蟹肌肉组织中 HK 的活力在 15℃ 显著高于其他温度,且随温度上升基本呈下降趋势,说明肌肉中的糖酵解作用逐渐减弱。有研究指出,变温动物为适应低温环境,可以通过加强糖酵解作用来获取能量(Laiz-Garrión *et al.* 2002)。过低的温度不利于梭子蟹进行正常的生理活动,当外界环境温度过低时,梭子蟹肌肉和肝胰脏通过提高 HK 活力来加强对外源葡萄糖的利用形成 ATP,抵御外界低温对机体正常代谢的干扰。梭子蟹肝胰脏组织中的 SDH 活力随实验温度升高而升高,在高温 27℃ 时 SDH 活力显著高于其他处理组,说明梭子蟹在高温下有氧化代谢增强。本研究结果表明,伴随着肝胰脏组织 SDH 活力的升高,成蟹的 OR 也升高,对溶解氧的需求也增大。为防止由于溶解氧不足而抑制梭子蟹进行正常的有氧代谢的情况出现,在梭子蟹养殖过程中,一方面要合理控制养殖密度,另一方面,在晴天午后或者高温闷热天气时对身体进行充氧,保证梭子蟹机体对溶解氧的需求。

参 考 文 献

- 王冲,姜令绪,王仁杰,李玉全. 2010. 盐度骤变和渐变对三疣梭子蟹幼蟹发育和摄食的影响. 水产科学,29(9):510-514
- 王镜岩,朱圣庚,徐长法. 2005. 生物化学. 北京:高等教育出版社,
- 冯雪,陈丕茂,秦传新. 2012. 渔业资源生物呼吸代谢研究进展. 广东农业科学,(4):92-96
- 朱小明,李少菁,宋星宇. 2003. 温度对锯缘青蟹状幼体呼吸和排泄的影响. 厦门大学学报(自然科学版),42(1):92-96
- 林小涛,张秋明,许忠能,计新丽. 2000. 虾蟹类呼吸代谢研究进展. 水产学报,24(6):575-580
- 林小涛,梁旭方,吴杰,欧云霞,陈妙芬. 1998. 温度对罗氏沼虾亲虾代谢的影响. 生态学杂志,18(3):15-18,9
- 李健,刘萍,高保全,陈萍. 2013. 饲料中添加芽孢杆菌 PC465 对凡纳滨对虾生长和 STAT 基因表达的影响. 渔业科学进展,34(5):51-57
- 张硕,董双林,王芳. 1998. 虾蟹类能量代谢的研究进展. 中国水产科学,5(4):88-92
- 周洪琪. 1990. 中国对虾亲虾的能量代谢研究. 水产学报,14(2):114-119
- 郭彪,王芳,侯纯强,董双林,孙皓. 2008. 温度突变对凡纳滨对虾已糖激酶和丙酮酸激酶活力以及热休克蛋白表达的影响. 中国水产科学,15(5):885-889
- 雷衍之. 2006. 养殖水环境化学实验. 北京:中国农业出版社,
- Bayne BL, Newell RC. 1983. Physiological energetics of marine mollusks. Academic Press 407-515
- Conover RJ. 1968. Respiration and nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their life cycles. J Mar Biol Association UK 48:49-75
- Dimock Jr RV, Groves KH. 1975. Interaction of temperature and salinity on oxygen consumption of the estuarine crab *Panopeus herbsti*. Mar Biol 33(14):301-308
- Dehnel PA. 1960. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of two intertidal crabs. Biol Bull 118(2):215-249
- Das AB, Prosser CL. 1967. Biochemical changes in tissues of goldfish acclimated to high and low temperatures-I. protein synthesis. Comp Biochem Physiol 21(3):449-467
- Jesus PP, Carlos AM, Ross LG. 1997. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. Aquaculture 157(1-2):107-115
- Laiz-Carrión R, Sangiao-Alvarellos S, Guzmán JM and 4 others. 2002. Energy metabolism in fish tissues related to osmoregulation and cortisol action. Fish Physiol Biochem 27:179-188
- Liu CB, Xiao M, Feng YH and 2 others. 2011. Effects of water dissolved oxygen level on physiological responses in *Portunus trituberculatus* (Miers, 1876). Chin J Animal Nutrition 23(3):506-513
- Marqueze A, Kucharski LC, Da Silva RSM. 2006. Effects of anoxia and post-anoxia recovery on carbohydrate metabolism in the jaw muscle of the crab *Chasmagnathus granulatus* maintained on carbohydrate-rich or high-protein diets. J Exp Mar Biol Ecol 32(2):198-205
- Newell RC, Ahsanullah M, Pye VI. 1972. Aerial and aquatic respiration in the shore crab *Carcinus maenas*. Comp Biochem Physiol Part A: Physiol 43(1):239-252
- Robertson RF, El-Haj AJ, Clarke A and 1 other. 2001. Effects of temperature on specific dynamic action and protein synthesis rates in the Baltic isopod crustacean *Saduria entomon*. J Exp Mar Biol Ecol 262(1):113-129
- Tagatz ME. 1968. Biology of the blue crab, *Callinectes sapidus rathbun*, in the St John's River, Florida, U S. Fish and Wildlife Service Fishery Bulletin 67:17-33
- Vargas-Chacoff L, Arjona FJ, Polakf S and 3 others. 2009. Interactive effects of environmental salinity and temperature on metabolic responses of gilthead sea bream *Sparus aurata*. Comp Biochem Physiol 154(3):417-424
- Zou EM, Du NS, Lai W. 1995. The effects of mass temperature and thermal acclimation on the respiration rate of Chinese freshwater crab *Eriocheir sinensis* (Crustacea, Decapod). Zool Res 16:49-58