

文章编号: 1004-2490(2020)04-0420-07

盐度对斑节对虾耗氧率和窒息点的影响

顾 宇^{1,2}, 吕 富¹, 钟 蕾², 胡 毅², 於叶兵¹, 张 鹏³

(1. 盐城工学院海洋与生物工程学院, 江苏省海洋滩涂生物化学与生物技术重点建设实验室, 江苏省滩涂池塘养殖生态重点实验室, 盐城 224051; 2. 湖南农业大学, 湖南省特色水产资源利用工程技术研究中心, 长沙 410128; 3. 射阳县张鹏水产育苗有限公司, 盐城 224300)

摘 要: 为探讨盐度对斑节对虾(*Penaeus monodon*)呼吸代谢的影响,采用静水密闭式呼吸实验法,研究了不同盐度(10、15、20、25、30)和盐度骤降(从盐度25分别骤降至10、15、20)对斑节对虾[(2.74±0.50)g]的耗氧率和窒息点的影响。实验每组3个重复,每个重复6尾对虾,持续时间3 h。实验结果表明:随着盐度的升高,斑节对虾的耗氧率呈现先降低后升高的变化趋势,在盐度20时耗氧率达到最小值,但与盐度15和25相比耗氧率无显著性差异($P>0.05$),盐度10和30时斑节对虾耗氧率显著上升($P<0.05$);不同盐度与耗氧率的相关关系可用回归方程 $y=0.001x^2-0.0396x+0.8394$ ($R^2=0.9674$)表示。盐度从25骤降至20时,斑节对虾耗氧率与对照组(盐度25)相比无显著变化($P>0.05$);盐度从25骤降到15和10时,斑节对虾耗氧率显著上升($P<0.05$)。不同盐度和盐度骤降对斑节对虾窒息点的影响均不显著($P>0.05$)。综上表明,通过呼吸代谢指标推测斑节对虾的最适生长盐度为20,在养殖生产中盐度骤降的范围要控制在10以内。

关键词: 斑节对虾; 盐度骤降; 耗氧率; 窒息点

中图分类号: S 968.1

文献标志码: A

呼吸代谢是甲壳动物进行能量代谢的基本生理活动,不仅能反映甲壳动物新陈代谢水平、生理状况及营养状况^[1],还能反映出甲壳动物对外界环境变化的适应能力^[2]。耗氧率是甲壳动物呼吸代谢的重要指标^[3],而窒息点则是反映甲壳动物耐低氧能力的指标。通过研究外部环境因子和内在因子对耗氧率和窒息点的影响,有助于了解甲壳动物能量代谢的规律^[4]。盐度是影响甲壳动物新陈代谢的主要环境因素之一,也是随季节和气候条件变化而极易发生改变的环境因子。关于盐度对甲壳动物呼吸代谢的影响已有大量报道,如盐度影响虾类在河口系统中的分布^[5];盐度胁迫状态下,中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)^[6]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[7]等甲壳动物出现耗氧率

增加和排氨率上升等生理响应;克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)代谢率随盐度变化趋势与耗氧率保持一致^[8],但有关盐度对斑节对虾(*Penaeus monodon*)呼吸代谢影响的研究尚未见报道。

斑节对虾俗称草虾、黑虎虾,隶属于节肢动物门,甲壳纲,十足目,对虾属,主要分布在印度洋-西太平洋沿岸,是对虾种类中体型最大的一种^[9-10]。因其肉质鲜美、营养丰富,深受消费者喜爱,是我国三大对虾养殖品种之一^[11]。目前,国内外许多学者对斑节对虾的研究主要集中在营养价值^[12-13]、饲料配方^[14-15]、胚胎发育^[16]等方面,在生理生态学方面的研究较少。因此,研究盐度对斑节对虾呼吸代谢的影响具有重要的理论和实际意义。为此,本实验研究了不同盐度

收稿日期: 2019-10-14

基金项目: 江苏省苏北科技专项(SZ-YC2017014;SZ-YC2019017)

作者简介: 顾 宇(1995—),男,硕士研究生,专业方向为水产健康养殖及营养与饲料研究。E-mail:1024549750@qq.com.

通信作者: 吕 富,教授。E-mail:lvfuyit@163.com

及盐度骤降对斑节对虾耗氧率和窒息点的影响,探讨斑节对虾对盐度及盐度变化的适应范围,以期对斑节对虾人工养殖的盐度调控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料与驯化

斑节对虾苗种购自海南海尚种苗培育基地有限公司,初始体长约 1.0 cm,生活盐度 20 ± 1 ,购回后放养在室内 5 个规格为 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 1.4 \text{ m}$ 的水泥池中,池水深度 0.5 m、盐度 20,每个水泥池放养虾苗 500 尾,通过添加高盐度海水或淡水的方法,每 24 h 升高或降低盐度 1,分别将水体盐度调节至 25、20、15、10,盐度驯化继续暂养至平均体长达到 4 cm 左右时,用于测定耗氧率和窒息点。盐度调节和驯养期间连续增氧,确保池水溶氧不低于 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,每天分别于 6:00、13:00 和 20:00 时足量投喂商品饲料,投喂 2 h 后去除残饵。商品饲料购自盐城恒兴饲料有限公司,所有用水均事先经 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 有效氯消毒并去除余氯。

1.2 耗氧率和窒息点测定

耗氧率和窒息点测定采用静水密闭的方法在容积 12 L 的呼吸室中进行。驯养结束后禁食 24 h,分别从上述 5 个水泥池中捞取规格相近、无伤残的对虾各 18 尾,放入事先盛有相应盐度海水的呼吸室中,每个盐度 3 个平行,每个平行 6 尾对虾,以测定不同盐度对斑节对虾耗氧率和窒息点的影响。另从盐度 25 的水泥池中捞取规格相近、无伤残的对虾 72 尾,分别放入事先盛有盐度分别为 25、20、15 和 10 海水的呼吸室中,同样为每个盐度 3 个平行、每个平行 6 尾对虾,以测定盐度突变对斑节对虾耗氧率和窒息点的影响。各呼吸室水温均为 $(28 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 。为了消除实验虾在转移过程中应激作用对耗氧率和窒息点的影响,实验虾转移到呼吸室中适应 2 h 后再用食用油密封,密封开始时按操作规范用虹吸法取各呼吸室中水样置于溶解氧瓶中,为消除水呼吸对耗氧率的影响,将上述所取水样保存在与呼吸室相同的环境条件下,实验进行 3 h 后再按上法取水样。然后继续密封待各呼吸室中有半数对虾窒息死亡时再次按上法取水样,用 Winkler 法测定各呼吸室中 3 次所取水样的溶氧浓度,分别记为

D_1 、 D_2 和 D_3 。第 3 次取水样后,捞出对虾并吸干体表水分,测定各呼吸室中对虾的体质量。

1.3 计算公式及数据分析

根据公式 $\text{RO}_2 = (D_1 - D_2) \times V/T/W$ 计算耗氧率,式中 RO_2 为耗氧率 [$\mu\text{g} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$], D_1 和 D_2 分别为实验初始时和实验结束时的溶氧浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), V 为呼吸室内水体的体积 (L); T 为两次取水样间隔的实验时间 (h); W 为实验虾的体质量 (g)。窒息点即为第 3 次所取水样测定的溶氧浓度 D_3 。

原始数据经 Excel 2007 初步整理后,采用 SPSS 17.0 软件 (SPSS Inc. USA) 中的单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 对数据进行统计分析,若达到显著差异,则进行 Duncan's 多重比较。数据用平均值 $\pm$ 标准误 (Mean $\pm$ SE, $n = 3$) 形式表示, $P < 0.05$ 认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同盐度对斑节对虾耗氧率和窒息点的影响

盐度对斑节对虾耗氧率的影响如图 1 所示。可以看出,随着盐度的升高,耗氧率呈现出先降低后升高的变化趋势,在盐度 20 时,斑节对虾的耗氧率达到最小值。盐度 10 和盐度 30 时,耗氧率显著高于其他盐度 ($P < 0.05$),其他盐度处理组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。耗氧率与盐度的关系可表示为 $y = 0.001x^2 - 0.0396x + 0.8394$ ($R^2 = 0.9674$),由回归方程得出盐度 19.8 时斑节对虾的耗氧率最低。

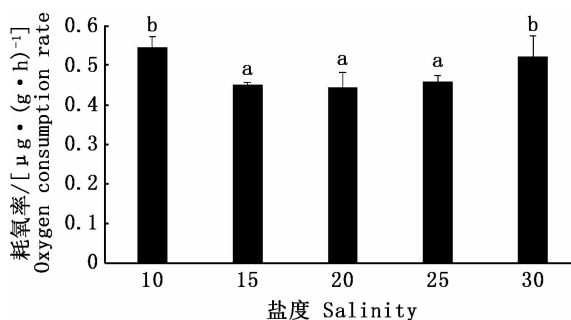


图1 盐度对斑节对虾耗氧率的影响

Fig. 1 Effect of salinity on oxygen consumption rate of *Penaeus monodon*

注:不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different letters represent significant differences ($P < 0.05$)

斑节对虾的窒息点随着盐度的升高先降低

后上升,盐度 20 时窒息点最低,但各盐度处理组之间差异不显著($P > 0.05$) (图 2)。

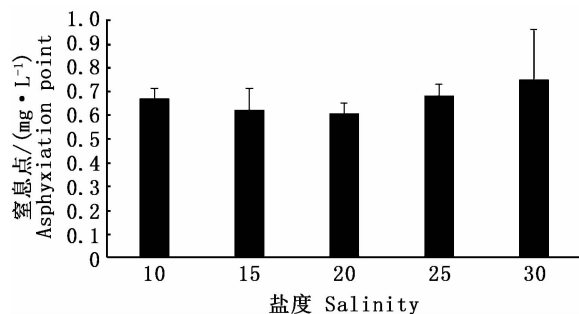


图 2 盐度对斑节对虾窒息点的影响

Fig. 2 Effect of salinity on asphyxiation point of *Penaeus monodon*

2.2 盐度骤降对斑节对虾耗氧率和窒息点的影响

由图 3 可以看出,当盐度从 25 骤降至 20 时,斑节对虾的耗氧率有所下降,但与盐度 25 对照组相比变化不显著($P > 0.05$)。当盐度从 25 分别骤降至 15 和 10 时,斑节对虾耗氧率显著升高($P < 0.05$)。

盐度骤降对斑节对虾窒息点的影响不显著($P > 0.05$),但当盐度从 25 分别骤降到 15 和 10 时,窒息点有上升的趋势(图 4)。

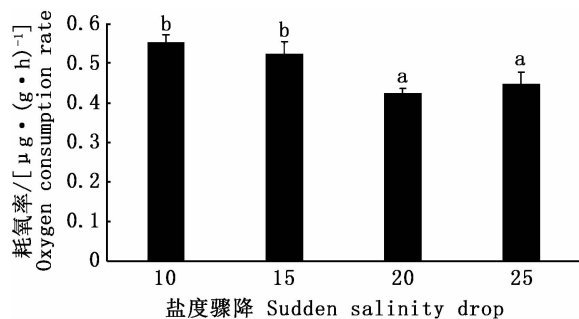


图 3 盐度骤降对斑节对虾耗氧率的影响

Fig. 3 Effect of sudden salinity drop on oxygen consumption rate of *Penaeus monodon*

注:不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different letters represent significant differences ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 不同盐度对斑节对虾耗氧率和窒息点的影响

盐度是海水养殖甲壳动物最重要的外界环境因子,对甲壳动物生长和新陈代谢有着重要影

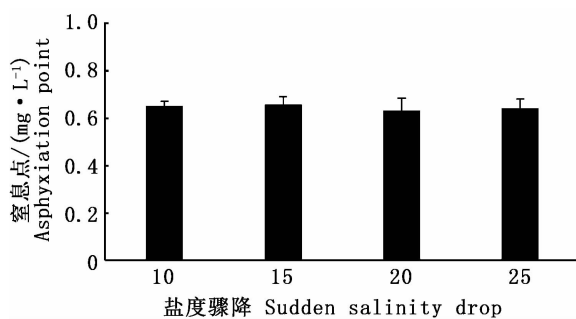


图 4 盐度骤降对斑节对虾窒息点的影响

Fig. 4 Effect of sudden salinity drop on asphyxiation point of *Penaeus monodon*

响。一般研究认为,甲壳动物的代谢能量由组织修复更新所需要的能量以及维持机体内环境稳定所消耗的能量两部分组成^[17-18]。当甲壳动物的体液达到等渗点时,因不需要进行渗透压调节以维持机体内环境稳定,因此生物体能量转换效率高,可以提供较多的能量用于生长^[1,19-20]。呼吸代谢是甲壳动物最基础的代谢活动,而耗氧率是表示甲壳动物代谢活动变化的最重要指标。本实验中,斑节对虾在盐度 20 时的耗氧率最低,因此推测斑节对虾的等渗点为盐度 20。张硕和董双林^[21]研究发现,中国明对虾的等渗点在盐度 28,此时中国明对虾的耗氧率和排氨率最低。曹善茂等^[22]研究发现,盐度 30 为中华原钩虾(*Eogammarus sinensis*)的等渗点,此时中华原钩虾代谢最小,排泄能最低,有利于摄食的利用率。因此推测可知,盐度 20 是斑节对虾的最适生长盐度,此时斑节对虾有着最佳的生理状态。盐度 15 和 25 时,斑节对虾耗氧率均有所上升但并不显著,在 10 和 30 盐度时,斑节对虾耗氧率显著高于其他盐度,耗氧率的升高说明当所处环境盐度偏离等渗点较大时,渗透平衡被打破,斑节对虾为调节机体渗透压水平而增加了代谢耗能^[23-24]。因此,在斑节对虾养殖过程中,应保持盐度在其适宜的范围内变化,尤其要注意强降雨或潮汐等造成的水体盐度大幅波动。

研究虾蟹类的窒息点,是了解虾蟹类对水体低氧耐受性的重要参数,在养殖生产和长途运输过程中具有重要的实际意义^[25]。本研究结果表明,斑节对虾在盐度 20 时窒息点最低,在盐度 30 时窒息点最高。由此可以推断在 20 盐度下,斑节对虾对低氧的耐受性最佳,这也与实验中耗氧

率的结果相一致。在盐度 10 ~ 30 区间,盐度 20 是斑节对虾最佳呼吸代谢的盐度,当盐度在 15 ~ 25 之间时,斑节对虾可以通过调整机体生理代谢活动适应较高或较低盐度的环境。

3.2 盐度骤降对斑节对虾耗氧率和窒息点的影响

盐度是决定海洋生物分布及呼吸代谢的重要环境因素之一,盐度的升高或降低都会影响水生生物的生长代谢^[26-27]。自然界中潮汐运动、降雨等自然因素或人类活动的影响都可导致虾类生存环境中盐度的变化。一般认为当盐度突然改变时,动物机体为了维持内环境稳定,需要消耗更多的能量,且耗能的增加与环境改变的剧烈程度有关^[28]。本研究结果显示,当盐度从 25 分别骤降至 15 和 10 时,斑节对虾的耗氧率显著上升。因此推断,当盐度骤降幅度 10 以上时,斑节对虾会产生剧烈的应激反应,耗氧率的升高表明机体消耗了大量能量以维持内环境的稳定。这与杨宇晴等^[29]、姚学良等^[30]在斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*) 幼鱼和豹纹鳃棘鲈 (*Plectropomus leopardus*) 幼鱼上的研究结果相一致。

窒息点的高低可以反映甲壳动物耐氧性的强弱。在本实验中,虽然盐度骤降对斑节对虾窒息点的影响并不显著,但当盐度分别骤降至 15 和 10 时,结果显示斑节对虾的窒息点有上升的趋势。一般研究认为,海水动物的窒息点要高于淡水动物^[31-32]。因此,在斑节对虾养殖以及苗种运输过程中要区别于一般的淡水虾类,需保证水体有较高的溶解氧,保证盐度骤降幅度不超过 10。

综上所述,盐度变化对斑节对虾呼吸代谢指标有着显著影响,斑节对虾的最适生长盐度在 20 左右,在养殖生产、活虾运输过程中,要保证盐度骤降幅度在 10 以内,否则会对斑节对虾机体造成剧烈的应激反应,影响其正常生长存活。

参考文献:

- [1] 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]. 青岛海洋大学学报, 1998, 28(2): 223 - 227.
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): 223 - 227.
- [2] 李松青,林小涛,李卓佳,等. 摄食对凡纳滨对虾耗氧率和氮、磷排泄率的影响[J]. 热带海洋学报, 2006, 25(2): 44 - 48.
LI S Q, LING X T, LI Z J, et al. Feeding of effects on metabolism of white Pacific shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2006(02): 44 - 48.
- [3] 唐保军,魏 伟,邹 雄. 盐度和 pH 对细角螺耗氧率和排氨率的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35(3): 122 - 126.
TANG B J, WEI W, ZOU X. Effects of salinity and pH on oxygen consumption and ammonia excretion of whelk *Hemifusus ternatanus* [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2015, 35(3): 122 - 126.
- [4] 朱小明,李少菁,宋星宇. 温度对锯缘青蟹状幼体呼吸和排泄的影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2003, 42(1): 92 - 96.
ZHU X M, LI S J, SONG X Y. Effects of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion of mud crab zoea, *Scylla serrata* [J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2003, 42(1): 92 - 96.
- [5] 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.
- [6] CHEN J C, LIN M N, TING Y Y, et al. Survival, haemolymph osmolality and tissue water of *Penaeus chinensis* juveniles acclimated to different salinity and temperature levels [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, 1995, 110(3), 253 - 258.
- [7] SILVIA G J, ANTONIO U R A, FRANCISCO V O, et al. Ammonia efflux rates and free amino acid levels in *Litopenaeus vannamei* postlarvae during sudden salinity changes [J]. Aquaculture, 2004, 233(1-4): 573 - 581.
- [8] 慕 峰,吴旭干,成永旭,等. 盐度与体重对克氏原螯虾代谢的影响[J]. 海洋渔业, 2007, 29(2): 153 - 158.
MU F, WU X G, CHENG Y X, et al. Effects of salinity and body weight on metabolism of

- Procambarus clarkia* [J]. Marine Fisheries, 2007, 29(2): 153–158.
- [9] 杨其彬, 温为庚, 黄建华, 等. 斑节对虾 4 个不同群体建立家系的生长及成活[J]. 南方水产, 2010, 6(3): 36–40.
- YANG Q B, WEN W G, HUANG J H, *et al.* Growth and survival of families established based on 4 different populations of black tiger shrimp *Penaeus monodon* [J]. South China Fisheries Science, 2010, 6(3): 36–40.
- [10] 黄建华, 李 永, 杨其彬, 等. 斑节对虾家系氨氮耐受性的比较[J]. 南方水产科学, 2012, 8(6): 37–43.
- HUANG J H, LI Y, YANG Q B, *et al.* Comparison of tolerance to ammonia-N in *Penaeus monodon* families [J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(6): 37–43.
- [11] 黄建华, 周发林, 马之明, 等. 南海北部斑节对虾卵巢发育的形态及组织学观察[J]. 热带海洋学报, 2006, 25(3): 47–52.
- HUANG J H, ZHOU F L, MA Z M, *et al.* Morphological and histological observation on ovary development of *Penaeus monodon* from northern South China Sea [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2006, 25(3): 47–52.
- [12] 王 娟. 中国对虾、南美白对虾和斑节对虾肌肉营养成分的比较[J]. 食品科技, 2013, 38(6): 146–150.
- WANG J. Comparison of nutritional compositions in muscles of *Penaeus chinensis*, *Penaeus vannamei* Boone and *Penaeus japonicus* Bate [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(6): 146–150.
- [13] 周 伟, 王 洋, 孙学亮, 等. 养殖密度对斑节对虾肌肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(23): 69–75.
- ZHOU W, WANG Y, SUN X L, *et al.* Effect of stocking density on muscle quality of *Penaeus monodon* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(23): 69–75.
- [14] 张加润, 黄 忠, 林黑着, 等. 饲料中不同蛋白含量对斑节对虾幼虾生长及消化酶的影响[J]. 海洋渔业, 2012, 34(4): 429–437.
- ZHANG J R, HUANG Z, LIN H Z, *et al.* Effects of dietary protein content on growth performance and digestive enzyme activities of black tiger shrimp, *Penaeus monodon* [J]. Marine Fisheries, 2012, 34(4): 429–437.
- [15] 张加润, 林黑着, 黄 忠, 等. 饲料中用混合植物蛋白并添加氨基酸替代鱼粉对斑节对虾生长及免疫力的影响[J]. 南方水产科学, 2013, 9(5): 44–50.
- ZHANG J R, LIN H Z, HUANG Z, *et al.* Effects of plant proteins supplemented with amino acids on growth and non-specific immunity of *Penaeus monodon* [J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(5): 44–50.
- [16] 梁华芳, 韦寿贵. 不同海水相对密度对斑节对虾胚胎发育和无节幼体变态的影响[J]. 湛江海洋大学学报, 1999, 19(2): 69–72.
- LIANG H F, WEI S G. Effects of relative density of different seawater on embryonic development and nauplii metamorphosis of *Penaeus monodon* [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 1999, 19(2): 69–72.
- [17] SILVA C D D, PREMAWANSA S, KEEMBIYAHETTY C N. Oxygen consumption in *Oreochromis niloticus* (L.) in relation to development, salinity, temperature and time of day [J]. Journal of Fish Biology, 1986(29): 267–277.
- [18] FARMER G J, BEAMISH F W H, FARMER G J, *et al.* Oxygen consumption of *Tilapia nilotica* in relation to swimming speed and salinity [J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1969, 26(11): 2807–2821.
- [19] VIA D. Salinity response in brackish water populations of the freshwater shrimp *Palaemonetes antennarius* I: Oxygen consumption [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1987, 87A(2): 471–478.
- [20] 施正峰, 宋卫红, 罗其智, 等. 日本沼虾能量收支和利用效率的初步研究[J]. 水产学报, 1994, 18(3): 191–197.
- SHI Z F, SONG W H, LUO Q Z, *et al.* Preliminary studies on energy budget and utilization efficiency of *Macrobrachium nipponensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 1994, 18(3): 191–197.
- [21] 张 硕, 董双林. 饵料和盐度对中国对虾幼虾能量收支的影响[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(3): 227–233.
- ZHANG S, DONG S L. The effects of food and salinity on energy budget of juvenile shrimp of *Penaeus chinensis* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2002, 17(3): 227–233.
- [22] 曹善茂, 宋 博, 王利明, 等. 温度、盐度和 pH 对中华原钩虾呼吸和排泄的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(5): 519–523.
- CAO S M, SONG B, WANG L M, *et al.* Effect of

- temperature, salinity and pH on respiration and excretion in gammarid *Eogammarus sinensis* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2015, 30(5): 519–523.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 孙宝柱, 黄浩, 曹文宣, 等. 厚颌鲂和圆口铜鱼耗氧率与窒息点的测定[J]. 水生生物学报, 2010, 34(1): 88–93.
- SUN B Z, HUANG H, CAO W X, *et al.* Studies on the oxygen consumption rate and asphyxiant point of *Megalobrama pellegrini* and *Coreius guichenoti* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(1): 88–93.
- [26] 张雨, 陈爱华, 曹奕, 等. 盐度胁迫对大竹蛭成活率与抗氧化酶活性的影响[J]. 海洋渔业, 2018, 40(3): 351–359.
- ZHANG Y, CHEN A H, CAO Y, *et al.* Effect of salinity stress on survival and antioxidant enzymes activities of *Solen grandis* [J]. Marine Fisheries, 2018, 40(3): 351–359.
- [27] 赵国庆, 邱盛尧, 黄洪亮, 等. 盐度骤降和渐变对南极大磷虾生存状况和蜕壳的影响[J]. 海洋渔业, 2018, 40(3): 360–367.
- ZHAO G Q, QIU S Y, HUANG H L, *et al.* Effects of abrupt and gradual changes in salinity on survival status and molting of *Euphausia superba* [J]. Marine Fisheries, 2018, 40(3): 360–367.
- [28] 唐贤明, 隋墨, 田景波, 等. 盐度对大菱鲆幼鱼耗氧率和排氨率的影响[J]. 南方水产, 2006, 2(14): 54–58.
- TANA X M, SUI Z, TIAN J B, *et al.* Effects of salinity on metabolic rate of juvenile turbot (*Scophamus maximus*) [J]. South China Fisheries Science, 2006, 2(14): 54–58.
- [29] 杨宇晴, 余德光, 谢骏, 等. 急性盐度胁迫对斜带石斑鱼 Na⁺/K⁺-ATP 酶及血清应激指标的影响[J]. 热带海洋学报, 2010, 9(4): 160–164.
- YANG Y Q, YU D G, XIE J, *et al.* Effects of acute salinity stress on Na⁺/K⁺-ATPase activity and plasma indicators of *Epinephelus coioides* [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 9(4): 160–164.
- [30] 姚学良, 蔡琰, 张振奎, 等. 盐度突变对豹纹鳃棘鲈幼鱼耗氧率和排氨率的影响[J]. 天津农学院学报, 2013, 20(3): 29–33.
- YAO X L, CAI Y, ZHANG Z K, *et al.* Effects of salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Plectropomus leopardus* Lacépède [J]. Journal of Tianjin Agricultural University, 2013, 20(3): 29–33.
- [31] 卢迈新, 肖学铮, 吴锐全, 等. 不同生长状况下日本鳎耗氧率的初步测定[J]. 中国水产科学, 1999, 6(2): 121–122.
- LU M X, XIAO X Z, WU R Q, *et al.* Preliminary determination of oxygen consumption rate of Japanese cockroaches under different growth conditions [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(2): 121–122.
- [32] 区又君, 柳琪, 李加儿. 千年笛鲷幼鱼耗氧率的研究[J]. 南方水产, 2006, 2(6): 19–24.
- OU Y J, LIU Q, LI J E. Study on the oxygen consumption of fry of seba's snapper *Lutjanus sebae* [J]. South China Fisheries Science, 2006, 2(6): 19–24.

Effect of salinity on the oxygen consumption rate and asphyxiation point of *Penaeus monodon*

GU Yu^{1,2}, LYU Fu¹, ZHONG Lei², HU Yi², YU Yebing², ZHANG Peng³

(1. Jiangsu Key Laboratory of Biochemistry and Biotechnology of Marine Wetland, Key Laboratory of Aquaculture and Ecology of Coastal Pool in Jiangsu Province, School of Marine and Bioengineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China; 2. Hunan Engineering Technology Research Center of Featured Aquatic Resources Utilization, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3. Zhang Peng Aquatic Breeding Farm in Sheyang County, Yancheng 224300, China)

Abstract: In order to investigate the effects of salinity on the respiratory burst of *Penaeus monodon*, different groups of salinity (10, 15, 20, 25, 30) and sudden salinity drop (from salinity 25 to 10, 15, 20) were set. We took a hydrostatic closed-breathing experiment to study the effects of salinity on the respiratory burst, including the oxygen consumption rate and asphyxiation point of *Penaeus monodon*. The *Penaeus monodon* used in the experiment was uniform with the body mass of (2.74 ± 0.50) g. We repeated each group three times and each with six tails of *Penaeus monodon*. All experiments lasted for three hours. The results showed that salinity had significant effects on the oxygen consumption rate of *Penaeus monodon* ($P < 0.05$), and the correlation between different salinities and oxygen consumption rate could be expressed by the quadratic equation $y = 0.001x^2 - 0.0396x + 0.8394$ ($R^2 = 0.9674$). With the increase of salinity, the oxygen consumption rate of *Penaeus monodon* showed a trend of decreasing first and then increasing. When the salinity was 20, the oxygen consumption rate reached the minimum. When the salinity decreased from 25 to 20, there was no significant change in the oxygen consumption rate of *Penaeus monodon* ($P > 0.05$). From 25 to 15 and 10, the oxygen consumption rate of *Penaeus monodon* increased significantly. The effects of different salinities and sudden salinity drops on the asphyxiation point of *Penaeus monodon* were not significant ($P > 0.05$). By this study, we found that the optimal salinity for *Penaeus monodon* was 20, and the adaptation to salinity drop was within 10. Consequently, it is advisable to avoid sudden salinity change in breeding.

Keywords: *Penaeus monodon*; sudden salinity drop; oxygen consumption rate; asphyxiation point