高盐突变对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长性能及相关酶活力的影响*

沈 敏[1] 赵玉超[1] 凌 涛[2] 王仁杰[1] 董甜甜[1] 崔彦婷[1]
李玉全[1①] 王淑生[3] 付瑞江[4]

(1. 青岛农业大学海洋科学与工程学院 青岛 266109; 2. 潍坊市渔业技术推广站 潍坊 261061; 3. 滨州市渔业技术推广站 滨州 256600; 4. 滨州市北海新区海缘养殖科技有限公司 滨州 251907)

摘要 为模拟夏季水分蒸发水体盐度快速升高对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长性能及理化调节的影响, 试验设置盐度从 30 突变至 35、40、45、50、55 及 60, 以盐度 30 为对照, 突变盐度下养殖 28d, 每 7d 检测凡纳滨对虾的存活率、相对增重率、体长增长率, 试验结束时检测血清 Na^+/K^+-ATP 酶、总 ATP 酶、碱性磷酸酶(AKP)、酸性磷酸酶(ACP)和超氧化物歧化酶(SOD)活力。结果表明, 高盐突变显著抑制凡纳滨对虾的存活率和相对增重率($P<0.05$), 随着突变盐度的升高, 凡纳滨对虾的相对增重率逐渐降低, 60 盐度组仅为对照组的 15.53%。盐度突变至 50 后, 凡纳滨对虾存活率显著下降。随着高盐突变幅度的增加, Na^+/K^+-ATP 酶和 ACP 酶活力受到显著影响($P<0.05$), 其中 Na^+/K^+-ATP 酶活力逐渐上升, 在突变 60 盐度时表现为最高; ACP 酶表现为先上升再下降的单峰变化趋势。总 ATP 酶、SOD 酶、AKP 酶受影响不显著($P>0.05$)。结果表明, 高盐突变幅度越大, 凡纳滨对虾存活率越低、生长越缓慢, Na^+/K^+-ATP 酶活力升高, 渗透调节能力增强, ACP 酶活力升高, 说明高盐突变激发凡纳滨对虾机体代谢活力。

关键词 凡纳滨对虾; 盐度; 突变; 生长; 酶活力
中图分类号 S968.22; Q955 doi: 10. 11693/hyhz20180500138

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)是世界范围内最具价值的经济虾类之一, 占我国对虾养殖总产量的比重较大(栾生等, 2013), 其养殖属性优良, 具有生长速度快、抗病耐病等优点(张丹等, 2016), 且耐盐能力强, 可在从几乎纯淡水至盐度 70 左右的水体中生存, 已在淡水、半咸水、海水等水域广泛养殖(Menz *et al*, 1980; Stern *et al*, 1990; 李娜等, 2018)。盐度变化是影响对虾生长、存活和生理代谢的主要因素之一(刘慧杰等, 2008), 国内外学者在盐度变化对对虾生长、渗透、免疫的影响方面做了一些研究。马英杰等(1999)研究发现低盐度突变对中国仔虾存活率影响显著, 存活率的高低由盐度降幅和速率决定; 张丹等(2016)研究表明凡纳滨对虾耐受盐度波动能力突出, 即使盐度波动达到 10, 依然能维持机体的渗透平衡; Cheng 等(2000)和 Perazzolo 等(2002)研究证明盐度发生变化后, 甲壳动物产生应激反应, 易感染病原菌, 免疫力下降; 刘慧杰等(2008)研究建议在对虾养殖过程中, 盐度变化超过 5 时, 应在 3d 内及时关注对虾的机体健康情况, 尽量保持水环境的平衡稳定。但这些研究多围绕低盐或者正常海水盐度范围, 对于高盐突变对凡纳滨对虾的影响研究鲜见报道。

在我国沿海和西北地区存在大面积高盐水域,

*国家自然科学基金项目, 31101916 号; 山东省现代农业产业技术体系虾蟹类创新团队, SDAIT-15-011 号; 山东省一流学科建设项目; 山东省海洋与渔业科技创新计划项目, 2017YY20 号; 青岛农业大学研究生创新计划项目, QYC201725 号。沈 敏, 硕士研究生, E-mail: 1239094882@qq.com
① 通信作者: 李玉全, 硕士生导师, 博士, 教授, E-mail: jiangfangqian@163.com
收稿日期: 2018-05-31, 收修改稿日期: 2018-07-08

仅环渤海沿岸盐度 40 以上的水域面积就约有 13×10^4 hm^2。这些水域处于闲置、晒盐, 或进行丰年虫捕捞生产等状态, 产值低, 经济和社会效益较差。近年来部分高盐水体开展了凡纳滨对虾养殖尝试(李娜等, 2018), 并有少量凡纳滨对虾高盐适应性方面的相关报道。李娜等(2017, 2018)报道了长期高盐胁迫对凡纳滨对虾生长、摄食量、消化和免疫力相关酶活力的影响, 但在高盐突变方面未见相关报道。凡纳滨对虾养殖过程中, 夏季遇到干旱天气, 养殖水体盐度突变频发, 直接影响对虾的蜕皮、生长、代谢等。因此, 本试验以凡纳滨对虾为试验材料, 模拟夏季高盐突变, 分析高盐突变对对虾存活率、相对增重率及相关酶活力的影响, 以期为高盐对虾养殖和抗逆研究提供借鉴, 同时为凡纳滨对虾养殖生产措施的采用提供理论指导。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验所用凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)购自烟台海阳某对虾养殖场, 为正大品牌。对虾初始体长为(53.62±2.67)mm, 初始体重为(0.96±0.14)g, 于青岛农业大学海洋科学与工程学院开放试验室水族箱中暂养 7d。暂养期间所用海水为天然海水, 盐度 30±2, pH 值 8.0±0.5。利用加热棒将温度控制在(28±0.5)°C, 24h 连续充气, 每日换水 1 次, 虹吸底部排水, 换水量 50%。高盐度海水由天然海水与粗盐调配而成。养殖试验于 2017 年 3 月 4—31 日在开放实验内进行, 历时 28d。

1.2　试验设计

试验于 30cm×20cm×20cm 长方形 PVC 箱中进行, 暂养结束后, 筛选规格相近, 健康活泼的凡纳滨对虾放入 PVC 箱, 由 30 盐度在 12h 内梯度突变至 35、40、45、50、55 及 60 盐度, 以盐度 30 为对照组, 其他为试验组, 各设 3 个平行组, 每组放入 15 尾凡纳滨对虾。试验前停食 24h, 以排空肠胃中的粪便。连续充气, 每天投喂配合饲料(粗蛋白质 43%, 粗纤维 5%, 总磷 0.9%, 粗脂肪 5%, 赖氨酸 2.2%, 粗灰分 15%, 水分 12%) 3 次(8:00, 14:00, 20:00), 日投喂量为对虾湿重的 5%, 每天 10:00 换水 50%, 每隔 7d 测定 1 次体长和体重, 计算特定存活率和相对增重率。

试验结束前 24h 停止投喂饵料, 各处理凡纳滨对虾的体长和体质量于次日测量, 用游标卡尺进行体长测量, 采用电子天平进行体质量称量, 于每个试验箱中随机取 2—5 尾对虾, 用 1.0mL 一次性注射器抽取对虾血窦内的血淋巴, 1 ∶ 1 加入抗凝剂混合于 1.5mL 的 Eppendorf 管中, 4℃过夜后 4000r/min 离心 15min, 收集血清, 测定 Na^+/K^+-ATPase 和 T-ATPase、AKP、ACP 及 SOD 活力。酶活力测定采用南京建成科技有限公司生产的相应酶试剂盒, 按说明书描述的步骤进行。

1.3　数据处理与分析

1.3.1　数据处理　本试验在定期检测对虾体长、体重, 统计死亡数的基础上, 计算高盐突变后凡纳滨对虾的存活率(SR, %)、相对增重率(WG)和体长增长率(LGR, %)等指标, 具体计算公式如下:

$$\text{存活率(SR)} = N_{sr}/N_0\times100\%$$

$$\text{相对增重率(WG)} = 100(W_t-W_0)/W_0$$

$$\text{体长增长率(LGR)} = (L_T-L_0)/L_0\times100\%$$

式中, W_0 和 W_t 分别为试验起始和结束时对虾湿重(g)。N_{sr} 为存活的个体数目, N_0 为起始放入的总个体数。L_0 和 L_T 分别表示试验起始和结束时对虾体长(mm)。

1.3.2　统计分析　所有数据均用 3 个平行组数据的平均值±标准差表示, 所得数据利用 SPSS19.0 统计软件进行单因素方差分析(One-ANOVA)和 Duncan 多重比较检验数据差异的显著性, 以 $P<0.05$ 作为差异显著, 借助 WPS 软件作图。

2　结果与分析

2.1　对生长指标的影响

2.1.1　存活率　从表 1 可以看出, 高盐条件下凡纳滨对虾的存活率表现出逐渐降低的趋势, 盐度 35 和 40 时存活率最高, 为 97.78%, 盐度 60 时存活率最低, 为 6.67%, 但盐度 30—45 间存活率差异不显著, 50 和 55 处理间差异不显著($P>0.05$), 其余各处理组间差异显著($P<0.05$), 说明盐度超过 50 会显著影响凡纳滨对虾的成活率。

2.1.2　相对增重率　从表 2 可以看出, 随着突变盐度的升高, 凡纳滨对虾的相对增重率呈现逐渐降低趋势。盐度 30 和 35 时相对增重率最高, 盐度 40 和 45 相对增重率次之, 盐度 60 时相对增重率最低, 为 83.9%。说明盐度超过 40 会显著影响对虾的相对增重率。

表 1 高盐突变对凡纳滨对虾存活率的影响
Tab.1 Effect of high salinity abrupt change on survival rate of *L. vannamei*

盐度	平均投放数量(尾)	平均剩余数量(尾)	存活率(%)
30	15	14.33±1.15^{a}	95.56±0.08^{a}
35	15	14.67±0.58^{a}	97.78±0.04^{a}
40	15	14.67±0.58^{a}	97.78±0.04^{a}
45	15	14.33±0.58^{a}	95.56±0.04^{a}
50	15	11.67±0.58^{b}	77.78±0.04^{b}
55	15	10.67±0.58^{b}	71.11±0.04^{b}
60	15	1.00±0^{c}	6.67±0.00^{c}

注: 不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$), 下同

表 2 高盐突变对凡纳滨对虾相对增重率的影响
Tab.2 Effect of low salinity abrupt change on the relative weight gain rate of *L. vannamei*

盐度	初始湿重(g)	结束时湿重(g)	相对增重率
30	0.93±0.06^{a}	6.01±0.771^{a}	543.57±111.69^{a}
35	0.95±0.05^{a}	6.03±0.5^{a}	532.17±45.38^{a}
40	0.97±0.07^{a}	5.14±0.84^{ab}	431.72±49.78^{b}
45	1.06±0^{b}	4.91±0.76^{b}	363.52±71.43^{b}
50	0.95±0.04^{a}	3.37±0.39^{c}	253.85±26.52^{c}
55	0.96±0.02^{a}	2.66±0.14^{cd}	177.08±14.99^{cd}
60	0.97±0.0^{a}	1.79±0.01^{d}	83.9±6.22^{d}

2.1.3 体长增长率 从表 3 可以看出, 随着突变盐度的升高, 凡纳滨对虾的体长增长率逐渐降低。盐度 30 和 45 时相体长增长率最高, 突变盐度超过 50 后, 体长增长率降低, 除盐度 60 处理与其他处理间差异显著外($P<0.05$), 其他各处理间无显著差异($P>0.05$)。

表 3 高盐突变对凡纳滨对虾体长增长率的影响
Tab.3 Effect of low salinity abrupt change on the body length increase of *L. vannamei*

盐度	初始体长(mm)	最终体长(mm)	体长增长率(%)
30	73.81±0.96^{ab}	99.87±3.58^{a}	35.30±3.12^{a}
35	75.67±4.25^{a}	99.27±2.5^{a}	31.19±7.99^{a}
40	73.08±2.73^{ab}	94.94±6.66^{a}	29.91±10.08^{a}
45	69.32±2.45^{b}	93.27±6.11^{a}	34.54±5.09^{a}
50	62.39±1.47^{c}	83.31±2.91^{a}	33.53±7.51^{a}
55	62.03±5.81^{c}	77.58±1.12^{b}	25.07±13.98^{ab}
60	59.21±0.76^{c}	67.45±1.84^{c}	13.76±1.46^{b}

2.2 对相关酶活力的影响

2.2.1 T-ATPase 由图 1 可知, 高盐突变对 T-ATPase 酶活力影响不显著($P>0.05$), 随着突变盐度的升高, T-ATPase 酶活力呈先升高后降低的趋势, 盐度 45 时出现峰值, 45 盐度组与其他组之间差异极显著($P<0.01$), 其他处理组间差异不显($P>0.05$)。

2.2.2 Na^+-K^+-ATP 由图 2 可以看出, 随着突变盐度的升高, 凡纳滨对虾 Na^+/K^+-ATP 酶活力呈现逐渐上升的变化趋势, 盐度 60 处理酶活力最高($P<0.05$), 盐度 30 时最低($P<0.05$), 30 盐度和 35 盐度处理组、35 和 40、45 处理组之间差异不显著($P>0.05$)。结果说明, 盐度增加对虾机体的渗透调节能力增强。

2.2.3 SOD 由图 3 可以看出, SOD 酶活力随着突变盐度的升高整体上呈现出逐渐降低的趋势。盐度 30 和 35 处理组, 35、40 和 45 处理组, 50、55 和 60 处理组间差异不显著($P>0.05$), 其他盐度处理组之间差异显著($P<0.05$)。

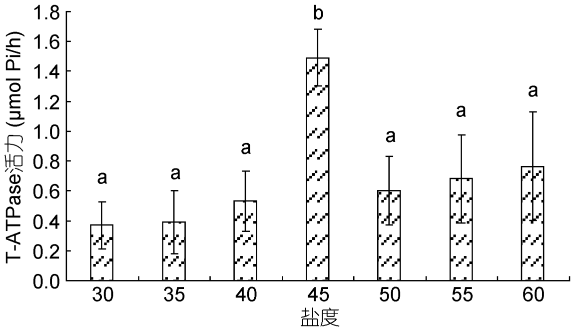

图 1 高盐突变对 T-ATPase 活力的影响
Fig.1 Effect of high salinity abrupt change on T-ATPase activity of *L. vannamei*

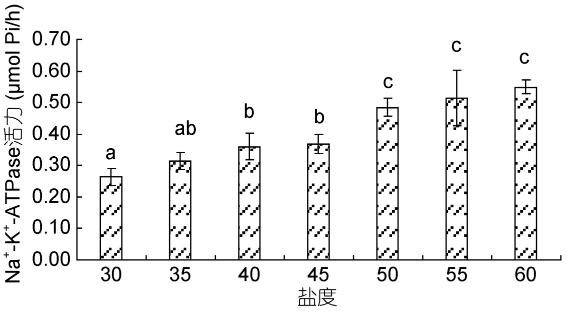

图 2 高盐突变对 Na^+/K^+-ATPase 活力的影响
Fig.2 Effect of high salinity abrupt change on Na^+/K^+-ATPase activity of *L. vannamei*

2.2.4 ACP 由图 4 可以看出, ACP 酶活力变化趋势与 T-ATPase 变化趋势一致, 随着突变盐度的升高, 呈现先上升再下降的单峰变化趋势, 盐度 45 处理组出现最高值, 45 和 35、40、50、55、60 盐度处理组之间差异显著($P<0.05$), 30、35、40、50、55、60 盐度处理组之间差异不显著($P>0.05$)。

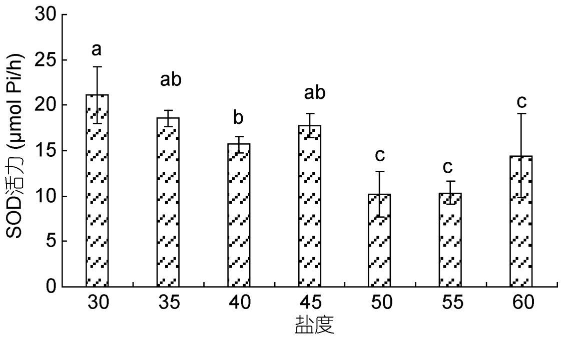

图 3　高盐突变对凡纳滨对虾对 SOD 酶活力的影响
Fig.3　Effect of high salinity abrupt change on SOD activity of *L. vannamei*

2.2.5　AKP　由图 5 可以看出, AKP 酶活力没有明显的变化趋势, 盐度 35 处理组出现最低值, 盐度 45 和 60 处理组出现最大值, 35 和 45、60 盐度处理组差异显著(P<0.05), 其他处理组间差异不显著(P>0.05)。

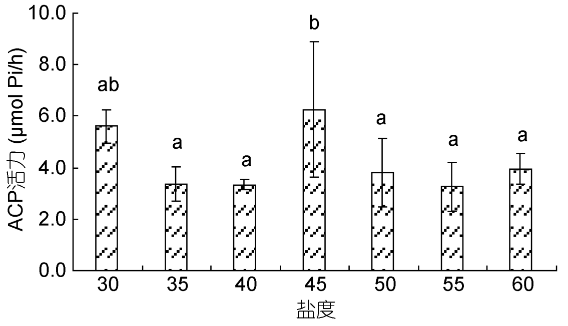

图 4　低盐突变对凡纳滨对虾 ACP 酶活力的影响
Fig.4　Effect of low salinity abrupt change on ACP activity of *L. vannamei*

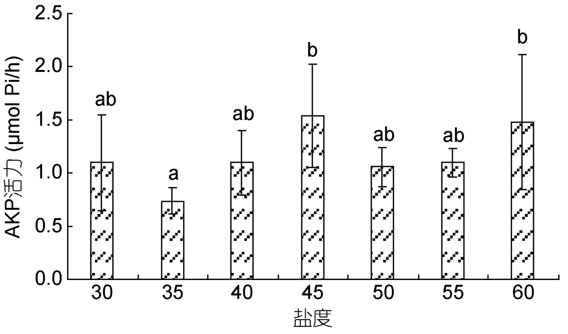

图 5　高盐突变对凡纳滨对虾对 AKP 酶活力的影响
Fig.5　Effect of high salinity abrupt change on AKP activity of *L. vannamei*

3　讨论

3.1　高盐突变对凡纳滨对虾生长的影响

盐度是影响甲壳类动物生长和存活的重要环境因子, 外界环境盐度高于或低于自身渗透压时, 甲壳类动物会额外消耗能量调节渗透压平衡, 从而使用于生长发育的能量减少, 生长受到抑制(李二超等, 2009)。相关研究表明, 凡纳滨对虾的盐度适应范围广, 可在从几乎纯淡水至盐度 70 左右的水体中生存(Ponce-Palafox *et al*, 1997), 机体通过消耗自身能量来调节盐度平衡(孔杰等, 2017)。关于凡纳滨对虾最适生长盐度的报道各不相同, 王兴强等(2004)研究认为凡纳滨对虾可适应的盐度为 0.5—50, 最适盐度为 15—35, Ponce-Palafox 等(1997)研究认为 33—40 盐度, Bray 等(1994)报道为 5—15 盐度, 另有相关研究认为凡纳滨对虾在 15—25 盐度中生长速率较快。Dalla Via(1986)报道盐度变化造成代谢耗能增加可使日本囊对虾损失体质量 33%以上。戴习林等(2012)研究发现盐度对凡纳滨对虾成活率具有显著影响。本研究发现, 30—45 盐度突变组凡纳滨对虾存活率较高, 50 以上突变组存活率显著降低, 说明盐度突变超过 50 时, 凡纳滨对虾机体难以适应大幅度的盐度变化, 凡纳滨对虾的存活受到显著影响。相对增重率随盐度升高逐渐下降, 说明盐度 30 已经高于凡纳滨对虾的渗透压, 虾类要消耗能量进行渗透压调节, 盐度越高用于渗透调节的能量越多, 生长越慢。这与申玉春等(2012)、李娜等(2017)等人的结论一致。

3.2　高盐突变对相关酶活力的影响

ATP 酶是一类膜结合蛋白酶, 在养殖水体盐度发生变化时, ATP 酶作为离子载体和通道的初动力进行调节(Mancera *et al*, 2000; Yang *et al*, 2009), Na^+/K^+-ATP 酶参与细胞膜内外 Na^+、K^+离子的主动运输, 调节离子平衡(Towle, 1981), 能够很好地反映对虾对环境变动的适应性(刘存岐等, 2001)。李玉全等(2015)研究表明, 当盐度发生变化时, Na^+、K^+离子渗透压发生变化, 为维持 Na^+、K^+离子的平衡, 机体需要 Na^+/K^+-ATP 来协助调节, 并且, 在高盐和低盐环境下, 维持 Na^+、K^+离子平衡所付出的 Na^+/K^+-ATP 会增加, Na^+/K^+-ATPase 活力提高。本试验中, 随着突变盐度的升高, 凡纳滨对虾的 Na^+/K^+-ATP 酶活力呈升高趋势, 30、40、50 盐度突变组之间差异显著, 证明盐度突变幅度增加到一定程度, Na^+/K^+-ATP 酶活力提高以适应盐度变化, 50 和 60 突变组之间差异不显著, 可能是对虾机体难以适应大幅度的盐度变化, 具体原因还需进一步研究证实。

SOD 是抗氧化酶, 与动物体免疫性能和环境胁迫密切相关(赵磊等, 2016), 被认为是机体防御过氧化损害系统的关键酶之一(许燕等, 2010)。Li 等(2002)

研究表明, 血液中 SOD 活性能更迅速的反应出环境中有害物质对机体的毒性作用。李娜等(2017)研究发现盐度胁迫对凡纳滨对虾抗氧化酶产生激活作用, 盐度30到40时SOD活力最大, 盐度继续升高, 对虾机体抗氧化能力显著下降。本试验发现, 随着突变盐度的升高, SOD活力显著下降, 30、40、50盐度突变组之间差异显著, 表明随着盐度突变幅度的增加, 凡纳滨对虾抗氧化能力受到抑制, 免疫抵抗能力下降, 这与前人研究结果一致(李玉全等, 2015; 李娜等, 2018)。

ACP和AKP与物质代谢关系密切(Yokota *et al*, 1982; Yun *et al*, 2004)。本试验中, 高盐突变对ACP活力产生了显著影响, 但对AKP影响不显著。ACP和AKP活力在35—45盐度突变组间均呈上升趋势, ACP活力在45盐度突变组呈现峰值后再下降, AKP活力在45—60盐度突变组之间虽然有下降趋势, 但是差异不显著。原因可能在于随着盐度突变幅度的增加, 凡纳滨对虾机体为调节渗透压平衡需要消耗更多的ATP, 而ATP合成需要的无机磷酸由ACP和AKP催化磷酸酯类水解无机磷酸生成, 但当突变盐度增加到一定程度, 两种酶的活力受到了抑制, 因此活力下降。

4 结论

综上所述, 高盐突变幅度越大, 凡纳滨对虾存活率越低, 盐度突变超过50时, 存活率显著降低。随着突变盐度的升高, 凡纳滨对虾的 Na^+/K^+-ATP酶活力呈升高趋势, 30、40、50盐度突变组之间差异显著, 说明盐度突变幅度增加, Na^+/K^+-ATP酶活力提高以适应盐度变化。SOD活力随着突变盐度的升高而显著下降, 凡纳滨对虾抗氧化能力受到抑制。同时, 高盐突变对ACP活力产生了显著影响, 但对AKP影响不显著。

参 考 文 献

马英杰, 张志峰, 马爱军等, 1999. 低盐度突变对中国对虾仔虾存活率的影响. 海洋与湖沼, 30(2): 134—138

王兴强, 马 甡, 董双林, 2004. 凡纳滨对虾生物学及养殖生态学研究进展. 海洋湖沼通报, (4): 94—100

孔 杰, 栾 生, 罗 坤等, 2017. 不同盐度下凡纳滨对虾生长和存活性状遗传评估. 水产学报, 41(4): 573—579

申玉春, 陈作洲, 刘 丽等, 2012. 盐度和营养对凡纳滨对虾蜕壳和生长的影响. 水产学报, 36(2): 290—299

刘存岐, 王安利, 王维娜等, 2001. 海水中几种金属离子对中国对虾幼体体内碱性磷酸酶和ATPase的影响. 水产学报, 25(4): 298—303

刘慧杰, 潘鲁青, 胡发文, 2008. 凡纳滨对虾在盐度变化下免疫机能评价的研究. 海洋湖沼通报, (2): 159—166

许 燕, 杨 洁, 孙静秋等, 2010. 凡纳滨对虾不同组织内SOD、POD酶的细胞化学定位. 水生生物学报, 34(2): 402—409

李 娜, 王仁杰, 赵玉超等, 2017. 高盐胁迫对凡纳滨对虾生长指标、血浆渗透压及 Na^+-K^+-ATP酶活力的影响. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 36(3): 196—201

李 娜, 赵玉超, 王仁杰等, 2018. 高盐胁迫对凡纳滨对虾消化及免疫相关酶活力的影响. 生态学报, 38(4): 1411—1417

李二超, 陈立侨, 曾 嶒等, 2009. 盐度对凡纳滨对虾体组织蛋白质积累、氨基酸组成和转氨酶活性的影响. 水生生物学报, 33(3): 532—538

李玉全, 李永生, 赵法箴, 2015. 盐度渐变与骤变对脊尾白虾渗透、代谢及免疫相关酶活力的影响. 生态学报, 35(21): 7229—7235

张 丹, 王 芳, 董双林, 2016. 周期性盐度波动对凡纳滨对虾游离氨基酸含量及渗透调节相关基因表达的影响. 中国水产科学, 23(5): 1130—1136

赵 磊, 龙晓文, 吴旭干等, 2016. 水体盐度对中华绒螯蟹成体雄蟹渗透压调节和生理代谢的影响. 水生生物学报, 40(1): 27—34

栾 生, 罗 坤, 阮晓红等, 2013. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)体重、存活性状的遗传参数和基因型与环境互作效应. 海洋与湖沼, 44(2): 445—452

戴习林, 张立田, 臧维玲等, 2012. Ca^{2+}、Mg^{2+}、盐度对凡纳滨对虾存活、生长及风味的影响. 水产学报, 36(6): 914—921

Bray W A, Lawrence A L, Leung-Trujillo J R, 1994. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHHN virus and salinity. Aquaculture, 122(2—3): 133—146

Cheng W, Chu C J, 2000. Effects of pH, temperature and salinity on immune parameters of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. Fish & Shellfish Immunology, 10(4): 387—391

Dalla Via G J, 1986. Salinity responses of the juvenile penaeid shrimp *Penaeus japonicus*: Ⅰ. Oxygen consumption and estimations of productivity. Aquaculture, 55(4): 297—306

Li W, Yin D, Zhang A *et al*, 2002. Toxicity of chloroanilines and effects on superoxide dismutase activities in serum of crucian carp (*Carassius auratus*). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 68(5): 630—636

Mancera J M, McCormick S D, 2000. Rapid activation of gill Na^+, K^+-ATPase in the euryhaline teleost *Fundulus heteroclitus*. Journal of Experimental Zoology, 287(4): 263—274

Menz A, Blake B F, 1980. Experiments on the growth of *Penaeus vannamei* Boone. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 48(2): 99—111

Perazzolo L M, Gargioni R, Ogliari P *et al*, 2002. Evaluation of some hemato-immunological parameters in the shrimp *Farfantepenaeus paulensis* submitted to environmental and physiological stress. Aquaculture, 214(1—4): 19—33

Ponce-Palafox J, Martinez-Palacios C A, Ross L G, 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

Stern S, Daniels H, Leteller E, 1990. Tolerance of post larvae and juvenile *Penaeus vannamei* to low salinity. In: Abstracts, World Aquaculture 90. Halifax, Nova Scotia, Canada, T30. 12. Ottawa, Ont., Canada: National Research Council Canada

Towle D W, 1981. Role of Na^{+}+K^{+}-ATPase in ionic regulation by marine and estuarine animals. Marine Biology Letters, 2: 107—121

Yang W K, Hseu J R, Tang C H *et al*, 2009. Na^{+}/K^{+}-ATPase expression in gills of the euryhaline sailfin molly, *Poecilia latipinna*, is altered in response to salinity challenge. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 375(1—2): 41—50

Yokota Y, Nakano E, 1982. Comparative studies on particulate acid phosphatases in sea urchin eggs. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry, 71(4): 563—567

Yun Y S, Lee Y N, 2004. Purification and some properties of superoxide dismutase from *Deinococcus radiophilus*, the UV-resistant bacterium. Extremophiles, 8(3): 237—242

EFFECTS OF HIGH-SALT ABRUPT ON GROWTH AND RELATED ENZYME ACTIVITIES IN *LITOPENAEUS VANNAMEI*

SHEN Min[1], ZHAO Yu-Chao[1], LING Tao[2], WANG Ren-Jie[1], DONG Tian-Tian[1], CUI Yan-Ting[1], LI Yu-Quan[1], WANG Shu-Sheng[3], FU Rui-Jiang[4]

(1. *Marine Science and Engineering College*, *Qingdao Agricultural University*, *Qingdao* 266109, *China*; 2. *Weifang Fisheries Technology Extension Station*, *Weifang* 261061, *China*; 3. *Binzhou Fisheries Technology Extension Station*, *Binzhou* 256600, *China*; 4. *Binzhou North-sea District Haiyuan Aquaculture Technology Co*., *Ltd*., *Binzhou* 251907, *China*)

Abstract To investigate the effect of abrupt high-salinity change on growth, survival rate and enzyme activity of *Litopenaeus vannamei* in a 28-day experiment in which salinity changed abruptly from 30 (the control) to 35, 40, 45, 50, 55, and 60 in the first 12h. The survival rate, relative weight gain, and growth rate were determined every 7 days, and the acvtivities of Na^{+}/K^{+}-ATPase, T-ATPase, alkaline phosphatase (AKP), acidic phosphatase (ACP), and superoxide dismutase (SOD) were detected at the end of experiment. The results show that the high-salinity abrupt change inhibited the survival and relative weight gain of the shrimp significantly. The relative weight gain was reduced gradually with the increase of salinity, which was only 15.53% in 60 salinity group of the control. After the salinity changed abruptly to 50, the survival rate was significantly reduced. On the other hand, with the sudden increase of salinity, the activities of Na^{+}/K^{+}-ATPase and ACP were significantly ($P<0.05$) affected, Na^{+}/K^{+}-ATPase reached the highest at the salinity of 60, and the ACP showed a single-peak trend. However, the activities of T-ATPase, SOD, and AKP were not significantly affected ($P>0.05$). Therefore, the greater the range of the change, the lower of the survival rate and growth rate; and the activities of Na^{+}/K^{+}-ATPase, ACP, and osmotic regulation capacity increased. An abrupt salinity change could stimulate the metabolic activity of *L. vannamei*.

Key words *Litopenaeus vannamei*; salinity; abrupt change; growth; enzyme activity