

pH 胁迫对脊尾白虾抗氧化酶活力的影响

于天基^{1,2}, 李 健¹, 李吉涛¹, 孙 铭¹, 任 海¹, 梁忠秀¹

(1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071; 2. 大连海洋大学, 辽宁 大连 116023)

摘要: 为了了解 pH 胁迫下脊尾白虾(*Palaemon(Exopalaemon) carinicauda* Holthuis)的适应性, 作者采用静水毒性的实验方法确定了脊尾白虾的半致死 pH, 分析了 pH 胁迫对脊尾白虾抗氧化酶活力的影响。设置 pH4~11.1 共 17 个胁迫组, 统计脊尾白虾 24、48、72 和 96 h 的死亡率。结果显示, 脊尾白虾 24、48、72 和 96 h 酸性半致死 pH 值分别为 4.25、4.64、4.71 和 4.78, 碱性半致死 pH 分别为 10.87、10.55、10.38 和 10.29。将脊尾白虾暴露于低 pH 6.5、高 pH9.5 的水体, 以 pH8.0 作为对照, 分别于胁迫后 0、3、6、12、24、48、72 和 96 h 测定鳃、肝胰腺、肌肉和血淋巴中总抗氧化力、过氧化氢酶、抗超氧阴离子活力。结果发现, pH 胁迫后, 在 3~6 h 内各组织中抗氧化酶活力均显著上升, 24~48 h 开始回落, 到 96 h 之前, 各组织中抗氧化酶水平基本恢复到对照组水平。整个实验过程中肝胰腺中抗氧化酶活力水平明显高于其他组织。本实验结果表明, 脊尾白虾对 pH 有很强的适应性, pH 胁迫 3~24 h 之内抗氧化酶活力反馈性升高清除体内多余的活性氧。

关键词: 脊尾白虾(*Palaemon(Exopalaemon) carinicauda* Holthuis); 半致死 pH; pH 胁迫; 抗氧化酶
中图分类号: S968.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2015)05-0047-07
doi: 10.11759/hyqx20140418001

脊尾白虾(*Palaemon(Exopalaemon) carinicauda* Holthuis)又名白虾、小白虾和迎春虾等, 隶属于长臂虾属(*Palaemon*), 白虾亚属(*Exopalaemon*), 系热温带海水底栖虾类, 以黄渤海产量最高。近年来, 随着中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)、日本囊对虾(*Macrobrachium nipponense japonicus*)等传统虾类养殖难度的增高以及对虾养殖向低盐度区域的逐步扩展, 脊尾白虾的养殖面积及产量迅速扩大。中国有 300 000 多 km² 盐碱水域^[1], 盐碱水土资源的开发利用具有重要的意义。但因其碳酸盐碱度和 pH 较高、离子比例失调、水化学组成复杂多变等因素, 除对极少部分低盐碱水质开展了淡水鱼类养殖外, 绝大部分长期处于荒芜状态^[2-3]。而脊尾白虾环境适应性广^[4-7], 对碱度和高 pH 等逆境条件具有较强适应性, 因此开展脊尾白虾盐碱地养殖, 不仅可以利用盐碱水域资源, 更能够增加水产品产量, 对于脊尾白虾的扩大养殖具有重要意义。

pH 是养殖水环境重要的化学指标, 也是开展脊尾白虾盐碱水域养殖的主要障碍因子。现有的研究表明环境胁迫因子(如水体 pH、温度、盐度等)变化诱导的生理效应可能是通过氧化还原途径实现的^[8-10], 环境胁迫因子导致生物体有氧代谢异常, 活性氧自

由基大量积累而进一步引起机体氧化损伤。因此可用生物体抗氧化酶活系统评估 pH 对生物体的胁迫效应。

目前, 关于 pH 对中国对虾、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)、日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)、日本囊对虾、克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)、中国龙虾(*Panulirus stimpsoni*)等的胁迫已有报道^[11-24], 这些研究主要集中在毒性试验及各种酶活力变化方面。而关于 pH 对脊尾白虾的胁迫研究鲜见报道。

作者通过测定脊尾白虾半致死 pH, 分析 pH 胁迫对脊尾白虾体内总抗氧化活力 (T-AOC)、抗超氧阴离子、过氧化氢酶(CAT)活力的影响, 从而初步了解脊尾白虾对 pH 胁迫的适应能力, 探讨脊尾白虾对 pH 胁迫的反应机制, 为脊尾白虾开展盐碱水域养殖提供相关的理论依据。

收稿日期: 2014-04-18; 修回日期: 2015-01-15

基金项目: 主要养殖甲壳类良种培育课题(2012AA10A409); 国家虾产业技术体系(CARS-47); 山东省自主创新专项(2013CX80202); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103034); 南通市科技项目(HL2013010)

作者简介: 于天基(1988-), 男, 山东烟台人, 硕士研究生, 主要从事脊尾白虾健康养殖, E-mail: 20072875@163.com; 李健, 通信作者, E-mail: lijian@ysfri.ac.cn

1 材料与方 法

1.1 实验材料

所用脊尾白虾来自日照开航水产有限公司的养殖池塘,生物学体长 $5.0\text{ cm} \pm 0.4\text{ cm}$, 体质量 $2.1\text{ g} \pm 0.3\text{ g}$ 。实验开始前暂养一周, 24 h 充气, 投喂配合饲料。

1.2 实验方法

1.2.1 半致死 pH 的测定

在预实验的基础上, 设置 pH 梯度为 4、4.3、4.6、4.9、5.2、5.5、6、7、8、9、9.3、9.6、9.9、10.2、10.5、10.8、11.1。每个 pH 梯度设置 3 个重复, 每个重复 10 尾虾。采用 1 mol/L 的 HCl、 NaHCO_3 、 Na_2CO_3 、NaOH 溶液调整水体 pH, 实验中每隔 6 h 调整 1 次 pH, 保持 24 h pH 变化小于 0.1。pH 的测定采用 YSI 556MPS 型多参数水质测量仪。整个实验过程不投喂。

1.2.2 pH 胁迫对抗氧化酶活力的影响

共设置 3 个 pH 梯度, 分别为 6.5(低 pH 胁迫组)、8(对照组)、9.5(高 pH 胁迫组)。每组设 4 个平行, 每个平行 30 只虾。采用 1 mol/L 的 HCl、NaOH 溶液调整水体 pH, 实验中每隔 6h 调整 1 次 pH, 保持 24 h pH 变化小于 0.1。

在 pH 突变后每隔 0、3、6、12、24、48、72、96 h 进行取样。取样前将待取样虾在冰水浴中浸泡 10 min 进行麻醉。每次取 8 尾虾。整个实验期间不换水, 不投喂。

用 1 mL 的一次性注射器吸取 0.5 mL 预冷(4°C)的抗凝剂, 从脊尾白虾心脏和腹部第二游泳足基部抽取 0.5 mL 血淋巴, 离心(4°C , 800 g, 15 min), 取上清置 -80°C 冰箱保存; 肝胰腺、鳃和肌肉, 按照 1:10(W/V)加入预冷 PBS 缓冲溶液(pH 6.4)放置冰上以玻璃匀浆器匀浆, 离心(4°C , 800 g, 10 min)取上清液置 -80°C 冰箱保存用于组织抗氧化酶活测定。

T-AOC、抗超氧阴离子能力、CAT 活性均采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定。

1.3 数据分析

使用 SPSS 11.5 和 Excel 软件进行数据处理、方差分析(ANOVA) 和均值多重比较分析法(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 各时间段半致死 pH 的测定

在各 pH 下, 24、48、72、96 h 的平均死亡率统

计如表 1。

表 1 各 pH 下脊尾白虾的平均死亡率

Tab.1 The death rates of ridgetail white prawn under different pH stress

pH	平均死亡率(%)			
	24 h	48 h	72 h	96 h
4	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00
4.3	43.3±5.77	100±0.00	100±0.00	100±0.00
4.6	10.0±0.00	60.0±5.00	86.7±7.64	100±0.00
4.9	0.00±0.00	0.00±0.00	3.33±2.89	26.7±2.89
5.2	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	3.33±2.89
5.5	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
6	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
7	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
8	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
9	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
9.3	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
9.6	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
9.9	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
10.2	0.00±0.00	3.33±2.89	23.3±5.77	36.7±5.77
10.5	20.0±0.00	43.3±2.89	73.3±10.41	93.3±7.64
10.8	40.0±7.64	100±0.00	100±0.00	100±0.00
11.1	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00

从结果可以看出, 在 24 h 内、pH 4.9~10.2 内, 脊尾白虾在实验条件下未出现死亡; 在 pH 4 和 pH 11 条件下脊尾白虾全部死亡, 其余 pH 下脊尾白虾死亡均不超过半数。在 48 h 内、pH 4.9~9.9 内, 脊尾白虾未出现死亡; pH 4~4.6、pH 10.8~11.1 内脊尾白虾超过半数出现死亡。在 72 h 内、pH 5.2~9.9 内, 脊尾白虾未出现死亡; pH 4~4.6、10.5~11.1 的范围内脊尾白虾大部分死亡。96 h 内、pH 5.5~9.9 内, 脊尾白虾在实验条件下未出现死亡; pH 4~4.6、pH 10.5~11.1 内, 脊尾白虾几乎全部死亡。可以看出, 随着胁迫时间的延长, 脊尾白虾的累积死亡率增加。

通过算术比例法计算脊尾白虾 24、48、72、96 h 的 LpH_{50} (半致死 pH), 结果如表 2 所示。

如果将 96 h LpH_0 作为安全范围^[11], 则脊尾白虾

表 2 脊尾白虾酸碱性条件下半致死值

Tab.2 The median lethal pH of ridgetail white prawn

时间(h)	半致死值	酸性半致死值	碱性半致死值
24	LpH_{50}	4.25	10.87
48	LpH_{50}	4.64	10.55
72	LpH_{50}	4.71	10.38
96	LpH_{50}	4.78	10.29

pH 安全范围为 5.24~10.01。

2.2 pH胁迫对脊尾白虾抗氧化酶活力的影响

2.2.1 pH胁迫对脊尾白虾总抗氧化力的影响

pH 胁迫之前,脊尾白虾各组织总抗氧化活力最高的是肝胰腺,其次是鳃和血淋巴,最低的是肌肉。pH 胁迫之后,鳃中总抗氧化力随着胁迫时间的延长,呈现稳步上升的趋势,除 48 h 胁迫组 T-AOC 水平相对于对照组出现了短暂时间的下降(可能是由于实验操作未知原因引起),12、24、72、96 h 胁迫组 T-AOC 水平均显著高于对照组($P<0.05$);胁迫组肝胰腺中总抗氧化力整体呈现先上升后下降的趋势,胁迫后 12、24 h 胁迫组总抗氧化水平明显高于对照组($P<0.05$),48 h 之后胁迫组 T-AOC 水平基本与对照组持平;肌肉中胁迫组总抗氧化力于 6 h 明显高于对照组($P<0.05$),48 h 之后又明显低于对照组($P<0.05$);胁迫后血淋巴中 T-AOC 水平在 6~24 h 之间明显高于对照组($P<0.05$),随后总抗氧化水平恢复到对照组水平(图 1)。

2.2.2 pH胁迫对脊尾白虾 CAT 活力的影响

正常情况下,脊尾白虾各组织 CAT 活力最高的是肝胰腺,其次是鳃和血淋巴,最低的是肌肉。胁迫过程中,CAT 平均水平由高到低依次为肝胰腺、血淋巴、鳃、肌肉,除鳃和肌肉在 6 h 时 CAT 水平出现短暂的下降外,各组织 CAT 水平整体均呈现“先升高后降低”的趋势,96 h 后基本恢复到对照组水平(图 2)。

2.2.3 pH胁迫对脊尾白虾抗超氧阴离子活力的影响

随着胁迫时间的延长,除肝胰腺在 96 h 之内呈现一直上升的趋势外,其余各组织基本都呈现先上升后下降的趋势,最后抗超氧阴离子活力水平基本与对照组持平。在胁迫过程中,各组织中肝胰腺的抗超氧阴离子活力水平最高,低胁迫处理组最高活力 57.91U/mg 蛋白,高胁迫处理组最高值接近 46.57U/mg 蛋白。鳃和肌肉都于胁迫 6~12 h 之后活力达到最大值;血淋巴中于 24 h 之后达到最大值(图 3)。

3 讨论

3.1 脊尾白虾对 pH 的适应性及与其他虾类的比较

从实验结果可以看出,在实验时间 96 h 内,pH=5.2~9.9 内,脊尾白虾几乎没有死亡,超出此范围之外脊尾白虾存活率出现显著变化。表 3、表 4 列出了作者得出的脊尾白虾 pH 耐受力数据及其他虾

类报道的的相关 pH 耐受力数据。

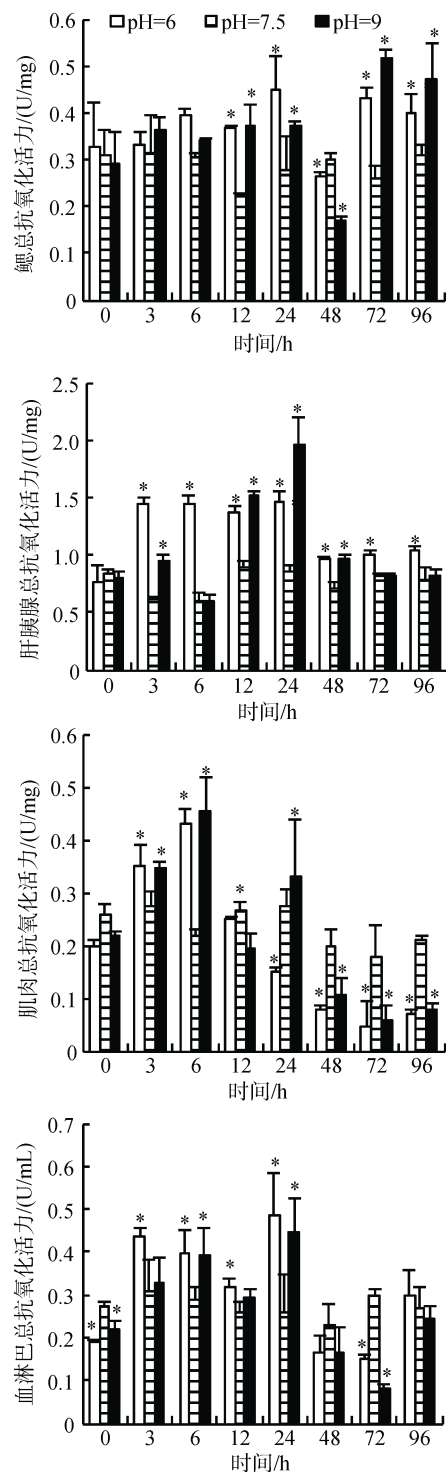


图 1 脊尾白虾不同组织总抗氧化能力 (T-AOC) 随 pH 胁迫时间的变化情况

Fig.1 The changes of total antioxidation activity of different tissues of ridgetail white prawn with pH stress time

* 与对照组差异显著($P<0.05$), 图 2~图 4 同

*. Indicate significant difference($P<0.05$), the same as fig.2~fig.4

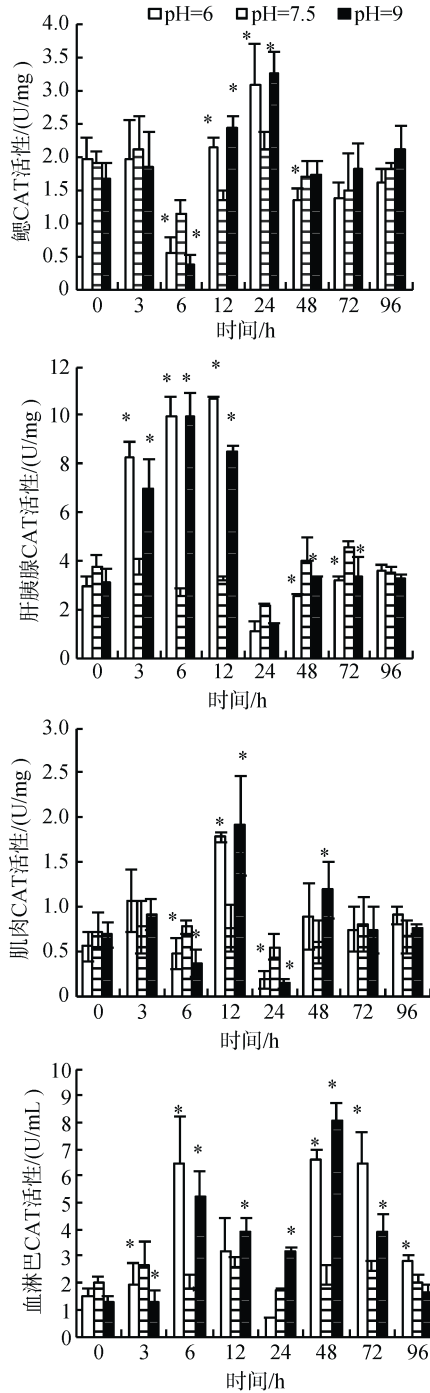


图2 脊尾白虾不同组织 CAT 活力随 pH 胁迫时间的变化情况

Fig.2 The changes of catalase activity of different tissues of ridgetail white prawn with pH stress time

通过比较可以看出, 脊尾白虾对 pH 有很强的适应性, 其适应性超过日本沼虾、中国对虾、日本囊对虾、凡纳滨对虾。如果将 96 hLpH₀ 作为安全范围^[11], 则脊尾白虾 pH 安全范围为 5.24~10.01。

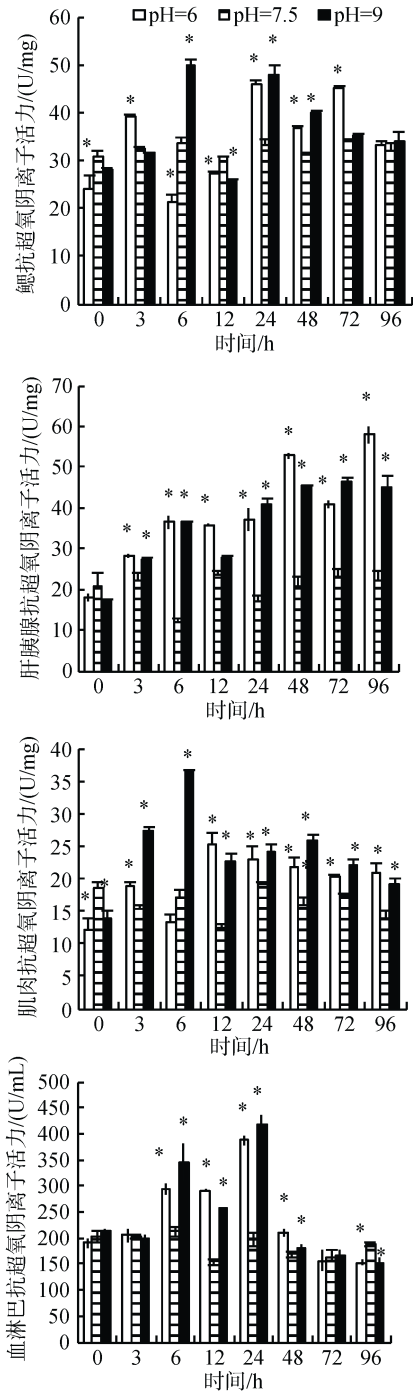


图3 脊尾白虾不同组织抗超氧阴离子活力随 pH 胁迫时间的变化情况

Fig.3 The changes of anti-superoxide anion activity of different tissues of ridgetail white prawn with pH stress time

3.2 水体 pH 对脊尾白虾的毒性效应及机理

pH 对养殖水体的水质、水生生物有重要的影响。pH 的改变, 会影响水中胶体的带电状态, 导致胶体

表 3 不同虾类不同 pH 下存活率比较

Tab. 3 The survival rates of different shrimps under different pH stress

种类	文献	时间(h)	不同 pH 下存活率(%)							备注	
中国对虾	[12]	24	pH=9.0			pH=9.2		pH=9.4		淡化幼虾, 体长 2.4 cm, 温度 19~21℃	
			略>90			80		0			
日本囊对虾	[13]	96	pH=7.1	pH=7.6	pH=8.1	pH=8.6	pH=9.1	仔虾, 体长 0.7~0.9 cm, 盐度 31, 温度 20℃ ± 0.5℃			
			72.33 ± 4.43	85.67 ± 5.7	90 ± 3.37	83.33 ± 2.8	80 ± 6.67				
脊尾白虾	本试验	24	pH=5.5	pH=6	pH=7	pH=8	pH=9	pH=9.3	pH=9.6	pH=9.9	体长 3.75 cm ± 0.52 cm, 温度 27℃
		48	100	100	100	100	100	100	100	100	
		72	100	100	100	100	100	100	100	100	
		96	100	100	100	100	100	100	100	100	

表 4 不同虾类 LpH₅₀ 比较

Tab. 4 The median lethal pH of different shrimps

种类	文献	碱度	24hLpH ₅	48hLpH ₅	72hLpH ₅₀	96hLpH ₅₀	备注
日本沼虾	[11]		10.13	9.72	9.67	9.51	体长 2.92 cm ± 0.74cm, 温度 21.4℃ ± 1.6℃
		2 mmol/L	9.42	9.30	9.15	9.00	
凡纳滨对虾	[14]	4 mmol/L	9.16	8.90	8.82	8.80	淡化幼虾, 体长 4.32 cm ± 1.42cm, 温度 24.2℃ ± 1.4℃
		8 mmol/L	8.80	8.60	8.42	8.25	
脊尾白虾	本试验	酸性	4.25	4.64	4.71	4.78	体长 3.75 cm ± 0.52cm, 温度 27℃
		碱性	10.87	10.55	10.38	10.29	

对水中一些离子吸附和释放, 从而影响水中有效成分的含量, 如水体中最重要的物质基础磷酸盐和无机化合物^[15]。pH 也影响水中氨和铵离子的平衡, 从而对水生生物产生不同的毒性^[16]。当水体中 pH 剧烈变化从而对水生生物造成环境胁迫时, 会影响到虾类的生长^[13]、存活^[11]、物质代谢、耗氧率^[17-19]、免疫相关因子(包括抗氧化酶及其他相关非特异性免疫因子等)表达量^[20-22]、离子转运酶^[13]及消化酶活力^[23]等。在本试验中, 随着水体 pH 偏离其正常生活水体 pH 时, 脊尾白虾死亡率逐渐增加; 随着胁迫时间的延长, 脊尾白虾的累积死亡率也显著增加。这与赵先银等^[24]在其他虾类中的研究结果相一致。pH 过高或过低时, 首先破坏了依赖于离子转运酶的渗透调节系统^[13], 从而影响到甲壳类动物血浆的酸碱平衡, 进而影响到呼吸代谢、能量代谢、氨氮排泄率^[25-27], 致使鳃和肝受到损伤^[28], 最后引起虾类的死亡。

活性氧(氧自由基)主要包括超氧阴离子(O₂⁻)、羟自由基和 H₂O₂, 适量的活性氧对机体具有一定的保护作用, 能够抵御外来病原体并参与信号传导。但过量的活性氧则会导致氧化胁迫^[29], 造成机体生物膜脂质过氧化、碱基突变、DNA 链的断裂和蛋白质的损伤。在正常的生理状态下, 机体代谢产生的活性氧可为抗氧化系统控制而及时清除; 当活性氧大量产

生并超出抗氧化系统清除能力所及时, 二者之间平衡关系被打破, 抗氧化系统发生紊乱。本实验中, pH 胁迫之后肝、鳃、肌肉、血液中抗氧化酶(T-AOC、CAT、抗超氧阴离子)活力基本上在 3~6 h 内升高, 这是由于 pH 的突然变化导致脊尾白虾体内活性氧增加, 机体进行反馈性调节, 抗氧化系统酶活力升高以清除体内过多的活性氧。而后 24~48 h 抗氧化酶活力开始回落, 到 96 h 之前各组织中抗氧化酶水平基本恢复到对照组水平, 这表明脊尾白虾体内活性氧水平已经在抗氧化系统调节下降低到胁迫前水平, 抗氧化系统与体内活性氧二者之间重新回到平衡状态。这与中国对虾抗氧化酶水平胁迫后急剧上升而后受到抑制有较大差别^[20]。

当生活的水环境发生改变时, 水生甲壳动物在神经内分泌系统的调控下, 渗透调节器官(主要是鳃)结构、血淋巴渗透压和离子转运等都会发生一系列的变化以适应外界环境, 维持正常的生理代谢活动^[30]。鳃中与渗透调节功能有关的主要结构为角质层和离子转运型上皮, 二者上有大量与离子运输有关的结构如离子通道和离子转运酶等, 其中与酸碱平衡相关的主要为 V-ATPase、HCO₃⁻-ATPase 和碳酸酐酶。它们的主要功能是分解 ATP 产生能量将 H⁺ 质子泵出细胞外或泵入细胞管泡腔内、在血液及其他组织中

维持酸碱平衡和帮助体内组织排除二氧化碳(参与呼吸作用)。Sommer^[31]等认为,甲壳动物的离子转运酶在神经内分泌系统调控下大致经历短、长期两个阶段。短期调节是诱导激活已有的离子转运酶进行渗透调节,长期调节一方面刺激离子转运型鳃上皮细胞膜产生重要的褶皱系统,增加了质膜上 Na^+/K^+ -ATPase 位点和离子通道的数量,另一方面神经内分泌因子 cAMP 等刺激靶酶的蛋白磷酸化,并合成新酶^[32]。

本文中脊尾白虾有较强的 pH 适应性及 pH 胁迫下抗氧化酶系统的稳定性可能与脊尾白虾的神经内分泌系统对离子转运酶的短期及长期调节相关。

3.3 脊尾白虾在盐碱水域养殖的可行性

实验结果显示,在实验时间 96 h 内, pH=5.2~9.9 内,脊尾白虾几乎没有死亡,而中国相当部分盐碱水域 pH 在 9 左右,所以脊尾白虾移入盐碱水域养殖基本不存在 pH 上的障碍。但是盐碱水域还具有碱度较高的特点,过高的碱度对水体高 pH 有着维持作用^[17],此外还会降低水体 Ca^{2+} 的浓度影响蜕皮及其他正常生理活动^[13]。另外不同的盐碱水域往往还具有其他复杂多变的水化学组成,因此开展脊尾白虾盐碱水域养殖仍需因地制宜开展进一步研究。

参考文献:

[1] 贾恢先. 中国西北内陆盐渍化防治与可持续农业的研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(6): 1063-1068.

[2] 申屠青春, 董双林, 赵文, 等. 盐度、碱度对浮游生物和水化因子的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 449-454.

[3] 王慧, 来琦芳, 房文红. 沧州运东地区盐碱水资源对开展渔业的影响[J]. 河北渔业, 2003, 5: 16-18.

[4] 董存有. 珠江口脊尾白虾的一些生物学观察[J]. 四川动物, 1989, 8(4): 36-38.

[5] 李国峰, 张振华, 严玉洲. 脊尾白虾在低盐度水体中的人工繁育试验[J]. 水产养殖, 2000, 1: 6-7.

[6] 顾军, 李国峰, 张振华, 等. 脊尾白虾对水体盐度的适应性试验[J]. 水产养殖, 2004, 25(2): 39-40.

[7] 李明德. 天津脊尾白个体生态[J]. 现代渔业信息, 2005, 20(10): 10-13.

[8] Ryter S W, Kim H P, Hoetzel A, et al. Mechanisms of cell death in oxidative stress[J]. Antioxid Redox Signal, 2007, 9(1): 49-89.

[9] Assefa Z, Laethem A V, Garmyn M, et al. Ultraviolet radiation-induced apoptosis in keratinocytes: on the role of cytosolic factors[J]. Biochim Biophys Acta: Rev Cancer, 2005, 1775(2): 90-106.

[10] Richier S, Sabourault C, Courtiade J, et al. Oxidative stress and apoptotic events during thermal stress in the symbiotic sea anemone, *Anemonia viridis*[J]. FEBS J, 2006, 273(18): 4186-4198.

[11] 杨富亿, 李秀军, 杨欣乔. 日本沼虾幼虾对碱度和 pH 的适应性[J]. 动物学杂志, 2005, 40(6): 74-79.

[12] 房文红, 王慧, 来琦芳. 碳酸盐碱度、pH 对中国对虾幼虾的致毒效应[J]. 中国水产科学, 2001, 7(4): 78-81.

[13] 张林娟, 潘鲁青, 栾治华. pH 变化对日本囊对虾仔虾离子转运酶活力和存活、生长的影响[J]. 水产学报, 2008, 32(5): 758-764.

[14] 杨富亿, 孙丽敏, 杨欣乔. 南美白对虾对内陆碳酸盐型盐碱水环境适应性研究[J]. 水产养殖, 2004, 25(6): 26-28.

[15] 赖晓芳, 沈善瑞, 吕海波. 氨态氮和 pH 对脊尾白虾氮磷代谢的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(13): 5745-5746.

[16] 梁俊平, 李健, 李吉涛, 等. 氨氮对脊尾白虾幼虾和成虾的毒性试验[J]. 水产科学, 2012, 31(9): 526-529.

[17] 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.

[18] 吴一挺, 王志铮, 杨磊, 等. pH 对日本沼虾耗氧率及鳃组织 CAT、SOD 活力的影响[J]. 浙江海洋学院学报, 2011, 30(6): 503-506.

[19] Chen J C, Lin C Y. Responses of oxygen consumption, ammonia-N excretion and urea-N excretion of *Penaeus chinensis* exposed to ambient ammonia at different salinity and pH level[J]. Aquaculture, 1995, 136(3): 243-255.

[20] 王芸, 李健, 李吉涛, 等. pH 胁迫对中国明对虾抗氧化系统酶活力及基因表达的影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(3): 556-564.

[21] 赵先银, 李健, 李吉涛, 等. pH 胁迫对日本对虾非特异性免疫因子及 RNA/DNA 比值的影响[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(1): 60-66.

[22] 朱毅菲, 熊传喜, 王良发. 温度、pH 对克氏原螯虾血清酚氧化酶活力及稳定性的影响[J]. 淡水渔业, 2006, 36(5): 16-19.

[23] 姜永华, 颜素芬. pH 值对中国龙虾消化酶活力的影响[J]. 动物学报, 2008, 54(2): 317-322.

[24] 赵先银, 李健, 陈萍, 等. pH 胁迫对 3 种对虾存活率

- 离子转运酶和免疫酶活力的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 720-728.
- [25] Kormanik G A, Cameron J N. Ammonia excretion in the seawater blue crab (*Callinectes sapidus*) occurs by diffusion, and not $\text{Na}^+/\text{NH}_4^+$ exchange[J]. J Comp Physiol, 1981, 141: 457-462.
- [26] Mauro N A, Moore G W. Effects of environmental pH on ammonia excretion, blood pH, and oxygen uptake in fresh water crustaceans[J]. Comp Biol Physiol, 1987, 87: 1-3.
- [27] 于敏, 王顺昌, 卢韞. 中华绒螯蟹在不同 pH 下氨氮排泄和血淋巴含氮成分的变化[J]. 水生生物学报, 2008, 32(1): 62-67.
- [28] 潘鲁青, 姜令绪. 盐度 pH 突变对 2 种养殖对虾免疫力的影响[J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(6): 903-910.
- [29] Franco R, Sánchez-Olea R, Reyes-Reyes E M, et al. Environmental toxicity, oxidative stress and apoptosis: Ménageàtrois[J]. Mutat Res: Genet Toxicol Environ Mutagen, 2009, 674(1-2): 3-22.
- [30] 潘鲁青, 刘泓宇. 甲壳动物渗透调节生理学研究进展[J]. 水产学报, 2005, 29(1): 109-114.
- [31] Sommer M J, Mantel L H. Effect of dopamine cyclic AMP and pericardial organs on sodium uptake and Na^+/K^+ -ATPase activity in gills of the green crab *Carcinus maenas*[J]. J Exp Zool, 1988, 248: 272-277.
- [32] Trausch G, Forget M C, Devos P. Biomines-stimulated phosphorylation and Na^+/K^+ -ATPase in the gills of the Chinese crab *Eriocheir sinensis*[J]. Comp Biochem Physiol, 1989, 94B: 487-492.

The effects of pH changes on antioxidant enzyme activities of ridgetail white prawn (*Palaemon carinicauda*)

YU Tian-ji^{1, 2}, LI Jian¹, LI Ji-tao¹, SUN Ming¹, REN Hai¹, LIANG Zhong-xiu¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

Received: Apr.18, 2014

Key words: *Palaemon carinicauda*; LpH₅₀; pH stress; antioxidant enzyme

Abstract: The ridgetail white prawn *Palaemon carinicauda* is an important mariculture species in China. In this study, the adaptability of *P. carinicauda* to pH stress was investigated. The median lethal pH was measured in the hydrostatic toxicity experiment and the effect of pH changes on the antioxidant enzyme activities of ridgetail white prawn was studied. The death rates were calculated under different pH stress from pH 4.0 to pH 11.1 for 24, 48, 72 or 96 h. The median lethal pH in the acidic range was 4.25 for 24 h, 4.64 for 48 h, 4.71 for 72 h and 4.78 for 96 h, respectively. The LpH₅₀ in the alkaline zone was 10.87 for 24 h, 10.55 for 48 h, 10.38 for 72 h and 10.29 for 96 h, respectively. The ridgetail white prawns were exposed to water of pH 6.5 or pH 9.5 for 96 h with pH 8 set as contrast. Total antioxidation activity, catalase activity and anti-superoxide anion activity were determined in gill, hepatopancreas, muscle and haemocytes after 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72 and 96 h exposure. The activities of T-AOC and CAT and the anti-superoxide anion activity in different tissues significantly increased within 3~6 h of pH stress. The antioxidant enzyme activities decreased from 24 to 48 h, and then fell back to levels of control groups basically before 96 h. The antioxidant enzyme activities in hepatopancreas were highest under pH stress. The results indicated that ridgetail white prawn was highly adaptable to pH stress. The antioxidant enzyme activities would increase for feedback to eliminate unnecessary reactive oxygen within 3~24 h.

(本文编辑: 谭雪静)