

低盐胁迫对三疣梭子蟹鳃和肝胰腺 显微结构及家系存活的影响

韩晓琳^{1,2} 高保全² 王好锋² 刘萍^{2*} 陈萍² 李华¹

(¹ 大连海洋大学, 116023)

(² 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘要 在实验生态条件下研究了低盐环境对三疣梭子蟹鳃丝和肝胰腺显微结构、家系存活率的影响。研究表明,低盐(15.0、13.0、11.0、9.0)胁迫能够诱导鳃丝和肝胰腺显微结构改变。盐度为 15.0 时,上皮层变薄,B 细胞数量增多;盐度为 13.0 时,鳃丝不规则增厚,B 细胞数量进一步增多,肝小管中的 R 细胞的数量减少,柱状上皮细胞的细胞质内出现许多空泡;盐度为 11.0 时,上皮层出现解体,鳃腔中的血细胞明显增多,肝细胞空泡化现象更为严重;盐度为 9.0 时,上皮层破坏直至解体,B 细胞中转运泡数量增多,体积增大,细胞结构损伤严重。以 72 h 的低盐半致死盐度(LD₅₀ = 11.1)为评价指标,检测 24、48、72 h 共计 10 个家系对低盐的耐受性。各家系对照组(盐度为 35.0)在实验期间均未出现死亡现象,而在低盐胁迫条件下,随着时间的逐渐延长,各家系的存活率均呈下降趋势,24、48、72h 的存活率变化范围分别在 64.44%~80.00%、50.00%~68.89%和 33.33%~60.00%之间。各家系 72h 时的存活率大小顺序为 J10>J4>J9>J5>J7>J3>J6>J2>J8>J1,均显著低于各自的对照组(P<0.05)。

关键词 三疣梭子蟹;盐度;存活率;鳃;肝胰腺;显微结构

中图分类号 S967.9 **文献标志码** A **文章编号** 1000-7075(2014)01-0104-07

Effects of low salinity stress on microstructure of gill and hepatopancreas and family survival rate of *Portunus trituberculatus*

HAN Xiao-lin^{1,2} GAO Bao-quan² WANG Hao-feng²

LIU Ping^{2*} CHEN Ping² LI Hua¹

(¹ Dalian Ocean University, 116023)

(² Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT The effects of low salinity on the microstructure of gill and hepatopancreas and family survival rate of *Portunus trituberculatus* were studied. The results showed that low salinity(15.0, 13.0, 11.0 and 9.0) stress induced changes in microstructure of gill and hepatopancreas. At salinity of 15.0, the epithelium thinned slightly, and more B cells appeared in hepatopancreas tubules; At salinity of 13.0, the gill filament thickened irregularly, the number of B cells increased while R cells decreased, and many vacuoles appeared; At salinity of 11.0, disintegration of the epithelium was observed, the amount of haemocytes cells increased in gill cavity, and vacuoles in cytoplasm of columnar cells increased; At salinity of 9.0, epithelium

国家十二五 863 计划课题(2012AA10A409)、农业科技成果转化基金项目(2013GB23260589)、山东省自主创新专项(2013CXC80202)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(20603022012015)共同资助

* 通讯作者。E-mail:liuping@ysfri.ac.cn, Tel:(0532)85823291

收稿日期:2012-11-01;接受日期:2013-04-29

作者简介:韩晓琳(1988-),女,硕士研究生,主要从事海水养殖生物种质资源与遗传育种研究。E-mail:han_xiaolin611@126.com

was destroyed, even disassembled seriously, the number of vesicle shuttle in B cells increased and their volume enlarged, and the structure of hepatocytes was damaged seriously. Using the semi-lethal dose at 72 h under low salinity ($LD_{50} = 11.1$) as the evaluation index, low salinity tolerance of ten families at 24 h, 48 h and 72 h was determined. No mortality was observed in the control during the experiment period. But the survival rate of the ten families decreased over time under low salinity stress, which was 64.44%-80.00%, 50.00%-68.89%, and 33.33%-60.00% at 24 h, 48 h and 72 h, respectively. The ranking of survival rate of the ten families at 72 h was J10>J4>J9>J5>J7>J3>J6>J2>J8>J1, which significantly lower than the respective controls ($P < 0.05$).

KEY WORDS *Portunus trituberculatus*; Salinity; Survival rate; Gill; Hepatopancreas; Microstructure

三疣梭子蟹 *Portunus trituberculatus* 隶属于节肢动物门 Arthropoda、甲壳纲 Crustacea、十足目 Decapoda、梭子蟹科 Portunidae、梭子蟹属 *Portunus*, 广泛分布于中国、朝鲜、日本等海域(戴爱云等 1977、1986)。由于其生长速度快、肉味鲜美、养殖利润丰厚, 1981 年被列为我国海洋养殖对象(孙颖民等 1984), 如今已成为我国重要的渔业捕捞和海水养殖对象(吴常文等 1996)。近年来, 随着梭子蟹养殖规模的不断扩大, 受品种、环境和病害等因素的影响, 该产业遭受了重大的损失(王国良等 2006)。因此, 培育出生长迅速、抗逆能力强的新品系已经成为三疣梭子蟹健康养殖的关键。中国水产科学研究院黄海水产研究所自 2005 年开始, 以群体选育和家系选育为基础, 结合现代分子生物技术, 历经 3 年努力培育出的具有明显生长优势的三疣梭子蟹新品种——“黄选 1 号”, 与未经选育的普通品种相比, 其生长速度提高 20.12%, 成活率提高 51.24%, 产量提高 71.24%(李健等 2013)。

目前以家系为对象进行选育的研究工作已经开展(高保全等 2010)。盐度作为一种与渗透压密切相关的环境因子, 对三疣梭子蟹的呼吸代谢、生长、存活及免疫防御有显著的影响。三疣梭子蟹对盐度变化的适应主要是通过对离子浓度及渗透压的调节来实现的, 这种调节主要是由鳃来完成。当盐度过低时, 还会直接影响到肝胰腺的生理功能(Li *et al.* 2008; 黄凯等 2007)。本研究的主要目的是通过分析低盐胁迫对三疣梭子蟹鳃和肝胰腺显微结构的影响, 从组织学角度进一步证实三疣梭子蟹对低盐的适应情况, 同时通过低盐胁迫对各家系进行抗逆实验, 比较各家系耐低盐的能力, 选育出耐低盐能力强的家系, 之后通过连续耐盐选育, 为培育三疣梭子蟹耐低盐品系奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用三疣梭子蟹(80 日龄)为中国水产科学研究院黄海水产研究所经过群体和家系选育出的“黄选 1 号”和 10 个家系(J1、J2、J3、J4、J5、J6、J7、J8、J9、J10), 实验于 2011 年 7 月 27 日在山东省昌邑市海丰水产养殖有限责任公司进行, 正式实验前于养殖车间暂养 72h, 暂养期间连续充气, 每天定时投喂蓝蛤, 换水清污, 暂养期间淘汰掉活力不强的个体。

1.2 实验设计

1.2.1 半致死低盐胁迫实验

随机选取大小基本一致的健康三疣梭子蟹(“黄选 1 号”)。实验共设 5 组, 盐度分别为 35.0(对照组)、15.0、13.0、11.0、9.0, 每组设 3 个平行, 每个平行 30 只三疣梭子蟹。实验期间正常投喂, 连续充气, 保持恒温; 分别于 24、48、72h 记录死亡情况, 及时取出死亡个体。每个实验组于 72h 随机挑选 3 只三疣梭子蟹取样(鳃和肝胰腺), 固定于 Davidson 溶液, 24h 后移入 70% 的乙醇长久保存, 用于制作切片。

1.2.2 选育家系的低盐胁迫实验

根据半致死胁迫实验确定胁迫盐度。正式实验设置10组,分别为10个三疣梭子蟹家系:J1、J2、J3、J4、J5、J6、J7、J8、J9、J10。每组含3个平行,1个对照,每个平行30只三疣梭子蟹,每日投喂新鲜的蓝蛤,并于24、48、72h记录死亡情况,清污。

1.3 样品处理

依据芮菊生(1980)的方法对固定样品进行处理。将固定样品用酒精系列脱水,二甲苯透明,石蜡包埋,LeicaRM 2145型切片机切片,切片厚度(4~6) μm 。Olympus光学显微镜下观察并拍摄照片。

1.4 数据处理

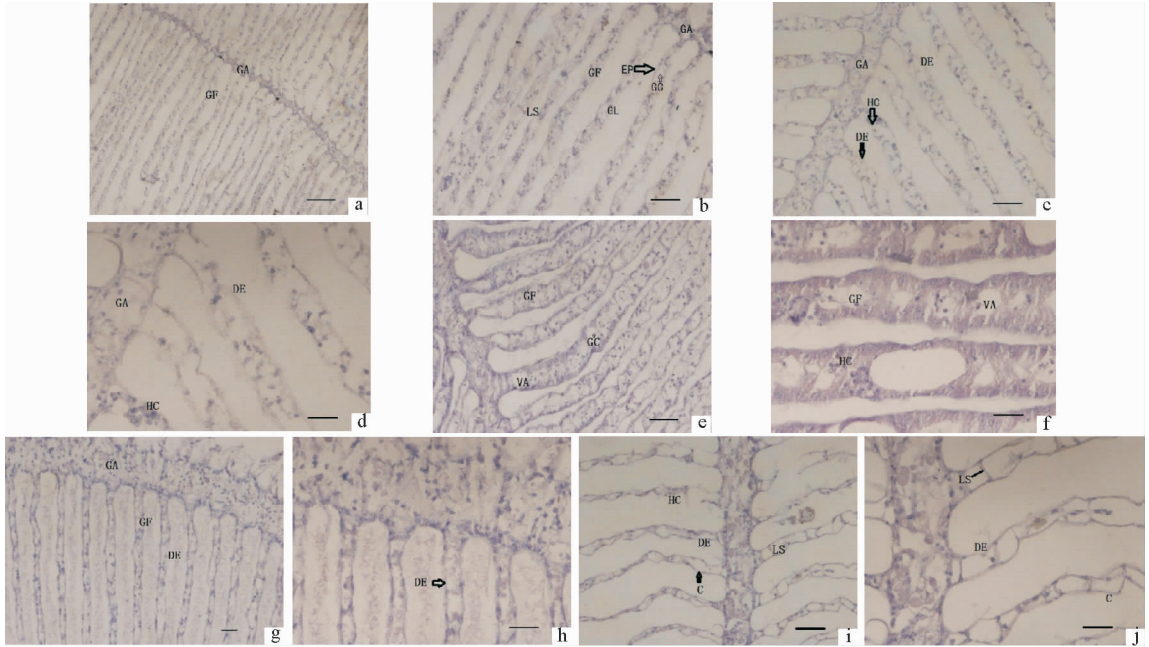
根据周一平(2003)报道的方法计算半致死浓度 LD_{50} 。所有实验数据均以平均值 \pm 标准差(Mean \pm S. D.)表示,采用SPSS软件进行单因素方差分析, $P<0.05$ 为差异显著, $P<0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 低盐胁迫对三疣梭子蟹鳃丝、肝胰腺显微结构的影响

2.1.1 低盐胁迫对三疣梭子蟹鳃丝显微结构的影响

与其他甲壳动物一样,三疣梭子蟹的鳃(图1-a、图1-b)是由起支持输导作用的鳃轴及鳃轴两侧互相平行



对照组:a: $\times 40$, 标尺=100 μm ; b: $\times 100$, 标尺=100 μm ; 盐度 15.0 处理组:c: $\times 100$, 标尺=100 μm ; d: $\times 200$, 标尺=100 μm ;
盐度 13.0 处理组:e: $\times 100$, 标尺=100 μm ; f: $\times 200$, 标尺=100 μm ; 盐度 11.0 处理组:g: $\times 100$, 标尺=50 μm ; h: $\times 200$, 标尺=100 μm ;
盐度 9.0 处理组:i: $\times 100$, 标尺=100 μm ; j: $\times 200$, 标尺=100 μm

GA: 鳃轴; GF: 鳃丝; GC: 鳃腔; LS: 鳃腔隔; HC: 血细胞; C: 角质膜; EP: 上皮层细胞; VA: 空泡; DE: 上皮细胞溶解

The control: a: $\times 40$, Bar=100 μm ; b: $\times 100$, Bar=100 μm ; Salinity 15.0: c: $\times 100$, Bar=100 μm ; d: $\times 200$, Bar=100 μm ;

Salinity 13.0: e: $\times 100$, Bar=100 μm ; f: $\times 200$, Bar=100 μm ; Salinity 11.0: g: $\times 100$, Bar=50 μm ; h: $\times 200$, Bar=100 μm ;

Salinity 9.0: i: $\times 100$, Bar=100 μm ; j: $\times 200$, Bar=100 μm

GA: Gill Axis; GF: Gill Filament; GC: Gill Cavity; LS: Lamellar Septum; HC: Haemolymph Cell; C: Cuticle; EP: Epithelium; VA: Vacuoles; DE: Dissolved Epithelium

图1 低盐胁迫对三疣梭子蟹鳃显微结构的影响

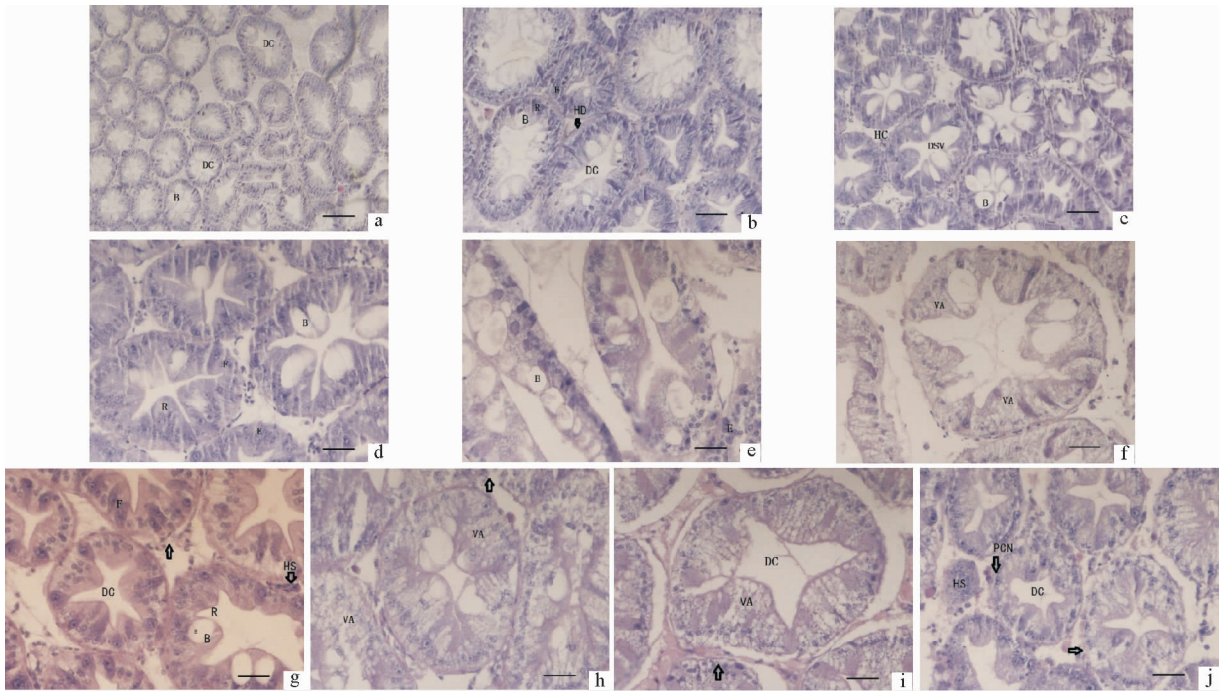
Fig. 1 Effects of low salinity stress on the gill microstructure of *P. trituberculatus*

的鳃丝组成,鳃丝是最基本的功能单位,其壁由柱状细胞和单层扁平上皮及其分泌的极薄角质膜构成,鳃丝壁围成的腔为中央腔。鳃上皮细胞向鳃腔突起形成“隔”,将鳃腔分为许多小通道,通道内含有游离的血细胞。正常的鳃外部形态整齐规则,无扭曲增生情况,鳃丝之间没有分泌物(李太武等 1995;周双林等 2001)。

低盐胁迫 72h 后,在盐度为 15.0 处理组,三疣梭子蟹鳃腔中的血细胞明显增多,上皮层变薄并出现溶解现象(图 1-c、图 1-d);在盐度为 13.0 处理组,三疣梭子蟹鳃丝呈现不规则增厚,鳃腔相对扩大,其中血细胞明显增多;部分上皮细胞脱离角质膜形成大的空泡(图 1-e、图 1-f);在盐度 11.0 处理组中,上皮细胞排列不规则,并与数量较多的血细胞充于血腔中(图 1-g、h);在盐度为 9.0 处理组,上皮层的角质膜呈现波状拱起,上皮层严重解体,只剩一层角质层(图 1-i、图 1-j)。总之,随着盐度的降低,整个鳃丝出现不规则增厚,血腔增大,血细胞增多,上皮层破坏直至解体。

2.1.2 低盐胁迫对三疣梭子蟹肝胰腺显微结构的影响

三疣梭子蟹的肝胰腺(图 2-a、图 2-b)由许多分枝的肝小管组成,肝小管是肝胰脏的结构与功能单位,小管间为结缔组织。肝小管由位于基膜上的单层上皮细胞构成,高低不等,根据形态和功能的不同可分为 4 种细胞,即分泌细胞(B 细胞)、吸收细胞(R 细胞)、纤维细胞(F 细胞)和胚细胞(E 细胞),其中 B 细胞体积较大,细胞的上皮表面染色较深,胞质染色较浅,胞质中含有一个大泡,约占细胞体积的 80%~90%,部分大泡中含少量絮状物质,因受大泡的挤压,细胞核多位于基部;R 细胞数量最多,位于基部,高柱状,核大而圆,基位,核内有



对照组: a: $\times 40$, 标尺=100 μm ; b: $\times 100$, 标尺=100 μm ;盐度 15.0 处理组: c: $\times 100$, 标尺=100 μm ; d: $\times 200$, 标尺=100 μm ;
 盐度 13.0 处理组: e: $\times 200$, 标尺=100 μm ; f: $\times 200$, 标尺=100 μm ;盐度 11.0 处理组: g: $\times 200$, 标尺=100 μm ; h: $\times 200$, 标尺=100 μm ;
 盐度 9.0 处理组: i: $\times 200$, 标尺=100 μm ; j: $\times 200$, 标尺=100 μm
 B: B 细胞; R: R 细胞; F: F 细胞; E: E 细胞; HD: 肝管; DC: 管腔; HC: 血细胞; VA: 空泡; DSV: 解体的分泌小泡; PCN: 固缩的细胞核;
 HS: 血窦

The control: a: $\times 40$, Bar=100 μm ; b: $\times 100$, Bar=100 μm ;Salinity 15.0: c: $\times 100$, Bar=100 μm ; d: $\times 200$, Bar=100 μm ;
 Salinity 13.0: e: $\times 200$, Bar=100 μm ; f: $\times 200$, Bar=100 μm ;Salinity 11.0: g: $\times 200$, Bar=100 μm ; h: $\times 200$, Bar=100 μm ;
 Salinity 9.0: i: $\times 200$, Bar=100 μm ; j: $\times 200$, Bar=100 μm
 B: B cell; R: R cell; F: F cell; E: E cell; HD: Hepatic Duct; DC: Ductus Cavity; HC: Haemolymph Cell; VA: Vacuoles; DSV: Dissolved Secretory Vesicle; PCN: Pycnotic Cell Nucleus; HS: Hemal Sinus

图 2 低盐胁迫对三疣梭子蟹肝胰腺显微结构的影响
 Fig. 2 Effects of low salinity stress on the hepatopancreas microstructure of *P. trituberculatus*

1~2个核仁,胞质中含有多个小囊泡,囊泡内含均质物质;F细胞散布在R细胞与B细胞之间,细胞呈柱状,胞质嗜碱性强,细胞中的液泡多位于细胞中下方,能和B细胞区分开,核圆形,核仁明显;E细胞数量少,体积小,多边形或近方形,排列紧密,核大而圆,胞质嗜碱性强,染色较深,分布在其他3种细胞的基础(李太武等1996;楼丹等2010)。

对照组三疣梭子蟹的肝小管基膜较厚,细胞结构正常(图2-a、图2-b)。低盐胁迫72h后,三疣梭子蟹的肝胰腺结构发生了明显的变化。在盐度为15.0处理组中,B细胞数量增多(图2-c、图2-d);在盐度为13.0处理组中,肝小管中的R细胞的数量减少,B细胞数量进一步增多,柱状上皮细胞的细胞质内出现许多空泡,有的细胞核破碎或者崩裂(图2-e、图2-f);在盐度为11.0处理组中,肝细胞空泡化现象更为严重,肝小管基膜被破坏,同时细胞排列紊乱(图2-g、图2-h);在盐度为9.0处理组中,B细胞中转运泡数量增多,体积增大,肝细胞中的空泡更多,细胞结构损伤严重,出现细胞内的物质外泄和血细胞浸润等现象(图2-i、图2-j)。

2.2 低盐胁迫对不同三疣梭子蟹家系存活率的影响

2.2.1 不同盐度胁迫下三疣梭子蟹的死亡情况

三疣梭子蟹在不同低盐水体中的死亡情况见表1。由表1可知,随着盐度的降低,三疣梭子蟹的耐受力逐渐下降,死亡率逐渐上升。对实验结果进行统计处理,所得线性回归方程经卡方检验均合适,24、48、72h的低盐半致死盐度LD₅₀值分别为8.1、9.6和11.1,见表2。

2.2.2 低盐胁迫对不同三疣梭子蟹家系存活率的影响

以半致死低盐胁迫实验所得的72h的LD₅₀值(盐度11.1)为评价指标,检测24、48、72h各家系对低盐的耐受性。三疣梭子蟹不同家系在低盐胁迫条件下各时间点的存活率见图3。结果显示,10个家系对低盐胁迫的耐受能力明显不同,24、48、72h的存活率变化范围分别在64.44%~80.00%、50.00%~68.89%和33.33%~60.00%之间,72h时,J10的存活率最高(P<0.01),为60.00%,J1的存活率最低(P<0.01),为33.33%。各对照组(盐度为5.0)在实验期间均未出现死亡现象。

3 讨论

3.1 低盐胁迫对三疣梭子蟹鳃丝、肝胰腺显微结构的影响

鳃是三疣梭子蟹的重要器官,可以在水中进行气体交换,调节渗透压和离

表1 不同低盐度下三疣梭子蟹的死亡率

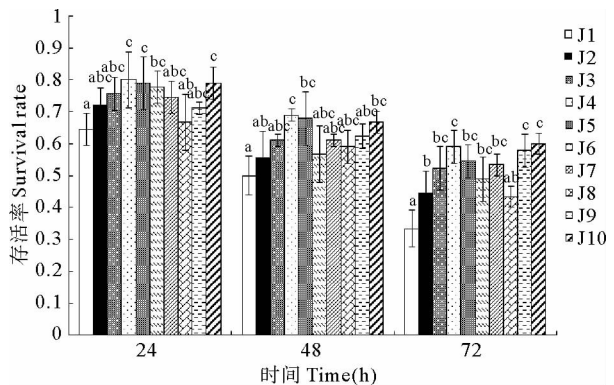
Table 1 Mortality of *P. trituberculatus* under different low salinity

盐度 Salinity	样品数量 Number of animals	死亡率 Mortality (%)		
		24 h	48 h	72 h
35.0	30.0	0.00	0.00	0.00
15.0	30.0	16.67	24.44	31.11
13.0	30.0	25.56	37.78	41.11
11.0	30.0	34.44	42.22	47.78
9.0	30.0	37.78	56.67	64.44

表2 三疣梭子蟹对低盐的耐受性

Table 2 Low-salinity tolerance of *P. trituberculatus*

时间 Time (h)	线性回归方程 (y=bx+a) Linear regression model	相关系数 R Correlation index	半致死盐度 LD ₅₀
24	y=3.361-3.697x	0.935	8.1
48	y=3.763-3.824x	0.964	9.6
72	y=4.817-4.602x	0.948	11.1



同一时间点存活率差异显著的用不同字母标记(P<0.05)

Significant differences (P<0.05) of survival rate at the same timepoint are indicated with different letters

图3 三疣梭子蟹不同家系在低盐条件下的存活率

Fig. 3 Survival of the crab families at low salinity

子平衡。水环境中的污染物、环境盐度的急剧变化都有可能损伤甲壳动物的鳃组织(尤其是对膜系统的破坏),从而严重影响甲壳动物的正常呼吸作用、体内离子平衡及其渗透调节作用,降低甲壳动物的盐度适应能力,影响其生存(卢敬让等 1991; Heerden *et al.* 2004; Koch *et al.* 1954)。本研究发现,盐度为 15.0、13.0 和 11.0 处理组的三疣梭子蟹鳃腔内血细胞数目增多,上皮细胞变薄,鳃丝增厚,鳃腔扩大,但是基本结构没有发生太大改变,表明水环境中盐度的降低在一定程度上降低了三疣梭子蟹鳃组织渗透压调节的能力,上皮层细胞通透性增加,大量水分渗入鳃腔,导致鳃腔增大,鳃丝明显增粗,引起鳃上皮细胞的肿胀、增生。从盐度为 9.0 开始,随着盐度的进一步降低,鳃丝发黑,鳃腔扩大,上皮层出现严重解体,这说明盐度过低已破坏了鳃的组织结构,进而影响到鳃的正常生理功能。实验期间可见三疣梭子蟹行为上的表现是活力减弱,摄食量减少,这与潘鲁青等(2008)、Lappivaara 等(1995)和赵艳民等(2008)的研究结果一致。

甲壳动物的肝胰腺主要由 E 细胞、B 细胞、R 细胞和 F 细胞 4 种细胞构成。通常认为 E 细胞的功能是通过分裂和分化产生其他类型的细胞;B 细胞不仅具有分泌作用,还具有消化和吸收营养物质的功能;R 细胞除具有吞噬作用外,还可储藏营养物质;F 细胞能够合成消化酶(李富花等 1998; Al-Mohanna *et al.* 1987)。甲壳动物在不同的胁迫条件下,肝小管中各种细胞的比例会出现不同的变化趋势:中华绒螯蟹 *Eriocheir sinensis* 在不同浓度氨氮胁迫 15d 后,肝小管中的 B 细胞数量均减少,转运泡体积却明显增大(洪美玲等 2007);马氏沼虾 *Macrobrachium malcolmsonii* 在硫丹胁迫 21d 后,肝小管中的 R 细胞数目急剧增多(Bhavan *et al.* 2000)。有研究表明,甲壳动物的渗透调节过程是一种消耗能量的生理过程,低盐条件下耗能增加(朱春华 2002; 王兴强等 2006)。本研究中,4 个处理组中三疣梭子蟹的肝胰腺与对照组相比,肝小管中 B 细胞数量增多,这可能是与 B 细胞是消化酶合成的主要部位有关(Al-Mohanna *et al.* 1986; Caceci *et al.* 1988)。消化酶的大量合成与释放能加快肝小管中营养的流动,因此可以为三疣梭子蟹在低盐环境中提供更多的能量进行渗透压调节,以适应盐度变化。此外,低盐胁迫后,肝小管中的 R 细胞的数量减少,这可能是因为三疣梭子蟹在低盐环境中需要更多的能量进行渗透压调节,从而 R 细胞中的营养储存变少,这与李二超等(2008)对不同盐度中的凡纳滨对虾肝细胞的观察相一致。随着盐度的进一步降低,肝细胞中的空泡增多,严重的甚至出现溶解现象,肝细胞解体,这说明盐度过低已破坏了肝胰腺的正常组织结构,进而影响到三疣梭子蟹的存活率。

3.2 低盐胁迫对不同三疣梭子蟹家系存活率的影响

盐度是影响甲壳动物存活生长的重要因素之一,关于盐度对三疣梭子蟹生理生态学特征影响的研究已有很多报道。隋延鸣等(2012)的研究结果表明,盐度突变条件下,80 日龄成蟹 72 h 低盐半致死浓度为 8.56,盐度渐变条件下,80 日龄成蟹可在盐度为 5.7 中存活。路允良等(2012)的研究结果表明,盐度对三疣梭子蟹的摄食、生长和能量利用有显著影响,低盐为 15.0 组的食物转化效率、能量吸收效率和净生长效率均较低。王冲等(2010)的研究表明,15.0~31.0 为三疣梭子蟹幼蟹生长发育的适宜盐度。以上研究结果表明,三疣梭子蟹是一种广盐性蟹类。

目前,随着养殖技术的不断完善,海水、淡水和半咸水养殖均得到了飞速的发展,其中海产甲壳动物的淡化养殖成为了水产养殖的发展趋势之一,一方面缓解了海水养殖对沿海海洋环境的污染,另一方面也促进内陆水产养殖业的发展(Li *et al.* 2008)。三疣梭子蟹具有优异的养殖生物学特性和较宽的盐度耐受范围,已经成为淡化养殖的一个亮点。有关三疣梭子蟹水环境方面的研究,主要是针对温度、pH 值、氨氮、盐度等的变化对三疣梭子蟹生长、存活、摄食、非特异性免疫因子及免疫指标的影响研究(胡毅等 2006; 路允良等 2012; 岳峰等 2010; 吴丹华等 2010)。将遗传育种工作与水质环境相结合进行选育的研究工作尚未开展。本研究结果表明,在盐度为 11.1 的条件下,72 h 时,J1 的存活率最低,J10 的存活率最大,J4、J9 次之。有研究认为,甲壳动物的盐度耐受性可能与盐度的适应时间、盐度范围、个体大小、发育阶段和饵料种类等的不同有关(王兴强等 2006),而本研究除了各试验组为不同的家系,其他实验条件均一致,因此,本研究推断家系间盐度耐受性的不同可能与遗传因素存在一定的关系。本实验室隋延鸣等(2012)的研究结果表明,在盐度逐渐降低的情况下,三疣梭子蟹可在更低的盐度中存活并生长,这表明三疣梭子蟹可通过逐级淡化的方法来提高在低盐

度水域的存活率。

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
- 王兴强, 曹 梅, 马 牲, 董双林, 阎斌伦. 2006. 盐度对凡纳滨对虾存活、生长和能量收支的影响. 海洋水产研究, 27(1): 8-12
- 王国良, 金 珊, 李 政, 陈寅儿. 2006. 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)乳化病的组织病理和超微病理研究. 海洋与湖沼, 37(4): 297-303
- 卢敬让, 赖 伟. 1991. 镉对中华绒螯蟹组织及其亚显微结构的影响. 海洋与湖沼, 23(6): 566-569
- 朱春华. 2002. 盐度对南美白对虾生长性能的影响. 水产科技情报, 29(4): 166-168
- 孙颖民, 闫 愚, 孙进杰. 1984. 三疣梭子蟹的幼体发育. 水产学报, 8(3): 219-226
- 吴丹华, 郑萍萍, 张玉玉, 王春琳. 2010. 温度胁迫对三疣梭子蟹血清中非特异性免疫因子的影响. 大连海洋大学学报, 25(4): 370-375
- 李太武, 张 峰, 苏秀榕. 1995. 三疣梭子蟹呼吸器管的组织学研究. 大连水产学院学报, 10(2): 18-24
- 李太武. 1996. 三疣梭子蟹肝脏的结构研究. 海洋与湖沼, 27(5): 471-477
- 李二超, 陈立侨, 曾 贇, 熊泽泉, 林 琛, 孙新瑾, 王永强, 侯礼森. 2008. 不同盐度下饵料蛋白质含量对凡纳滨对虾生长、体成分和肝胰组织结构的影响. 水产学报, 32(3): 425-433
- 李富花, 李少菁. 1998. 锯缘青蟹幼体肝胰腺的观察研究. 海洋与湖沼, 9(1): 29-34
- 李 健, 刘 萍, 高保全, 陈 萍. 2013. 三疣梭子蟹新品种“黄选1号”的选育. 渔业科学进展, 34(5): 51-57
- 吴常文, 虞顺成, 吕永林. 1996. 梭子蟹渔业技术. 上海: 上海科学技术出版社, 28-31
- 芮菊生. 1980. 组织切片技术. 北京: 人民教育出版社, 99-110
- 周一平. 2003. 用SPSS软件计算新药的LD50. 药学进展, 27(5): 314-316
- 周双林, 姜乃澄, 卢建平, 杨万喜. 2001. 甲壳动物渗透压调节的研究进展 I-鳃的结构与功能及其影响因素. 东海海洋, 19(1): 44-51
- 岳 峰, 潘鲁青, 谢 鹏, 李 健. 2010. 氨氮胁迫对三疣梭子蟹酚氧化酶原系统和免疫指标的影响. 中国水产科学, 17(4): 761-770
- 洪美玲, 陈立侨, 顾顺樟, 刘 超, 龙章强, 张 伟. 2007. 氨氮胁迫对中华绒螯蟹免疫指标及肝胰腺组织结构的影响. 中国水产科学, 14(3): 412-418
- 赵艳民, 王新华, 孙 慧. 2008. Hg²⁺在中华绒螯蟹幼蟹鳃内的积累及其对组织结构的影响. 动物学杂志, 43(1): 1-7
- 胡 毅, 潘鲁青. 2006. 三疣梭子蟹消化酶的初步研究. 中国海洋大学学报(自然科学版), 36(4): 621-626
- 高保全, 刘 萍, 李 健, 戴芳钰, 王学忠. 2010. 三疣梭子蟹家系的建立及生长性状比较. 中国海洋大学学报, 40(2): 47-51
- 黄 凯, 杨鸿昆, 战 歌, 武林华. 2007. 盐度对凡纳滨对虾幼虾消化酶活性的影响. 海洋科学, 31(3): 37-40, 45
- 隋延鸣, 高保全, 刘 萍, 任宪云, 李 洋, 丁金强, 段亚飞. 2012. 三疣梭子蟹“黄选1号”盐度耐受性分析. 渔业科学进展, 33(2): 63-68
- 楼 丹, 杨季芳, 谢 和, 陈吉刚. 2010. 三疣梭子蟹和华溪蟹主要器官比较组织学的初步研究. 海洋学研究, 28(3): 72-77
- 路允良, 王 芳, 赵卓英, 董双林, 马 牲. 2012. 盐度对三疣梭子蟹生长、蜕壳及能量利用的影响. 中国水产科学, 19(2): 237-245
- 潘鲁青, 张红霞, 王 静. 2008. 重金属离子(Cu²⁺、Pb²⁺、Hg²⁺、Cd²⁺)对日本鳃鳃丝和肝胰脏显微结构的影响. 海洋湖沼通报, 4: 34-37
- 戴爱云, 冯钟琪, 宋玉枝, 黄志翔, 吴赫昌. 1977. 三疣梭子蟹渔业生物学的初步调查. 动物学杂志, (2): 30-33
- 戴爱云, 杨思谅, 宋玉枝. 1986. 中国海洋蟹类. 北京: 海洋出版社, 213-214
- Al-Mohanna SY, Nott JA. 1986. B-cells and digestion in the hepatopancreas of *Penaeus semisulcatus* (Crustacea; Decapoda). J Mar Biol Assoc UK 66(2): 403-414
- Al-Mohanna SY, Nott JA. 1987. R-cells and the digestive cycle in *Penaeus semisulcatus* (Crustacea; Decapoda). Mar Biol 95(1): 129-137
- Bhavan SP, Geraldine P. 2000. Histopathology of the hepatopancreas and gills of the prawn *Macrobrachium malcolmsonii* exposed to endosulfan. Aquat Toxicol 50(4): 331-339
- Caceci T, Neck KF, Lewis DH, and 1 other. 1988. Ultrastructure of hepatopancreas of the Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* (Crustacea; Decapoda). J Mar Biol Assoc UK 68(2): 323-327
- Heerden DV, Vosloo A, Nikinmaa M. 2004. Effects of short-term copper exposure on gill structure, metallothionein and hypoxia-inducible factor-1 α (HIF-1 α) levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquat Toxicol 69(3): 271-280
- Koch HJ. 1954. Cholinesterase and active transport of sodium chloride through isolated gills of the crab *Eriocheir sinensis* (M. Edw). Colston Papers, 6: 15-27
- Lappivaara J, Nikinmaa M, Tuurala H. 1995. Arterial oxygen tension and the structure of the secondary lamellae of the gills in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after acute exposure to zinc and during recovery. Aquat Toxicol 32(4): 321-331
- Li EC, Chen LQ, Zeng C and 4 others. 2008. Comparison of digestive and antioxidant enzymes activities, haemolymph oxyhemocyanin contents and hepatopancreas histology of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at various salinities. Aquaculture 274(1): 80-86