

文章编号: 1674-5566(2013)02-206-06

盐度对哈氏仿对虾血清离子含量和消化酶活性的影响

刘永士, 施永海, 张根玉, 徐嘉波, 谢永德, 严银龙, 陆根海

(上海市水产研究所, 上海 200433)

摘要: 研究了盐度(12、16、20、24、28、32、36)对哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*)血清离子和肝胰脏消化酶活性影响, 结果表明, 盐度对哈氏仿对虾血清离子和肝胰脏消化酶有显著影响($P < 0.05$)。血清 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 含量随盐度升高呈上升的趋势, 等离子点分别为 10.01、159.87、195.10 mmol/L, 对应盐度分别为 36.5、18.3、13.7。胃蛋白酶活性在盐度 12 时最高, 之后随盐度升高其活性逐渐降低; 胰蛋白酶与脂肪酶活性均在盐度 24 时达到最大值; 淀粉酶活性在盐度 12 和 28 时最大。从酶学角度分析, 哈氏仿对虾养殖最适宜的盐度范围为 24~28。

研究亮点: 哈氏仿对虾是我国重要的经济虾类, 其人工养殖在育苗与养成等关键部分仍存在技术难题, 本试验利用野生捕捞哈氏仿对虾通过人工驯化养殖, 首次研究了盐度对其血清离子含量与消化酶活性的影响, 不仅弥补了哈氏仿对虾生理学研究空白, 而且也为哈氏仿对虾育苗成功后在内陆与沿海地区推广、驯化养殖以及营养搭配提供基础数据资料。

关键词: 哈氏仿对虾; 盐度; 肝胰脏; 消化酶; 血清离子

中图分类号: S 966.12

文献标志码: A

盐度是水生动物赖以生存的一个重要环境因子, 从多个方面影响水生动物的生理活动^[1-2]。盐度变化一方面影响水生动物代谢和渗透压, 另一方面通过影响水生动物消化酶活性, 进而影响水生动物对食物的消化吸收^[3-4]。近年来, 有关盐度对水生动物血清离子含量和消化酶活性影响的研究已有不少报道, 如凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[5-6]、日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)^[7-8]、真鲷(*Pagrosomus major*)^[9]、中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)^[10]和黄鳍鲷(*Sparus latus*)^[3]、中国对虾(*Penaeus chinensis*)^[11-12]、西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)^[13]等。然而目前尚未有关于哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*)相关报道。

哈氏仿对虾是我国重要的经济虾类, 约占虾类总渔获量的 35.6%, 高时达 70%~80%, 年产量约 1.3 万吨^[14]。近十年来, 由于捕捞强度剧

增, 哈氏仿对虾的资源量明显减少, 难以满足市场需要。攻克哈氏仿对虾的人工育苗技术, 开展哈氏仿对虾的人工养殖, 是解决供需矛盾的有效途径。目前, 金忠文等^[15]与张曹进等^[16]已在哈氏仿对虾育苗方面取得一定进展。但关于哈氏仿对虾养殖以及生态、生理与形态学等方面鲜有报道, 本文研究了哈氏仿对虾血清离子和消化酶活性在不同盐度下变化情况, 并初步分析了血清离子与消化酶活性之间的关系, 弥补哈氏仿对虾研究上空白, 旨在为哈氏仿对虾育苗成功后在内陆与沿海地区推广、驯化养殖以及营养搭配提供基础数据资料。

1 材料与方法

1.1 材料

本试验用虾采自浙江省三门县, 为亚成虾, 试验前在室内养殖池暂养 30 d(盐度为 25)。选

收稿日期: 2012-09-03 修回日期: 2012-10-20

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2010)第1-4号]

作者简介: 刘永士(1985—), 男, 助理工程师, 研究方向为养殖水环境调控与水产动物养殖、繁育及其生态生理学。E-mail: liuys101@yahoo.com.cn

通信作者: 施永海, E-mail: yonghais@163.com

取若干规格均匀的虾用于本试验,体长为(61.42 ± 1.93) mm,体重为(3.44 ± 0.32) g。试验分成7个组,每个组设置3个平行,每个平行放虾25尾,经过7 d 盐度驯化后,各组先后达到预设盐度(12、16、20、24、28、32、36),继续养殖30 d,养殖试验结束。该试验虾饥饿1 d,选取规格均匀的虾,体长为(74.97 ± 2.09) mm,体重为(5.97 ± 0.53) g,用于血液提取与肝胰脏取样。养殖池水温:20.6 ~ 27.2 °C, pH:8.13 ~ 8.45, DO:6.45 ~ 7.58 mg/L, TAN:0.045 ~ 0.599 mg/L, NO-N:0.003 ~ 0.689 mg/L。试验所用饵料为剪成段的新鲜脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda* Holthuis),每天8:00与16:00各投喂一次。

1.2 试验方法

1.2.1 样品处理及酶液制备

养殖试验结束后,从鲜活虾心脏位置取新鲜血液置于预冷离心管中,并放入冰中冷藏,待血液分层后经3 500 r/min离心5 min,取上层无溶血血清立刻测定渗透压,将剩余样品-80 °C冷冻保存,用于K⁺、Na⁺、Cl⁻含量测定。

上述试验虾取完血后置于冰盘中解剖,取出肝胰脏,去除多余的脂肪,用生理盐水洗净并用滤纸吸干,放入已事先预冷的离心管中,置于-80 °C冰箱保存备用。测试前在4 °C冰箱中解冻,称取适量组织样本,加入9倍体积匀浆介质,冰浴匀浆,冷冻离心(0 ~ 4 °C, 3 500 r/min, 10 min),取上清液即刻测定各种酶活性。

消化酶活力与血清离子(K⁺、Na⁺、Cl⁻)含量测定所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,并按试剂盒说明书要求操作。

1.2.2 各消化酶活力定义

胃蛋白酶活力定义(比活力):每毫克组织蛋白在37 °C, pH 3.8条件下,每分钟分解蛋白生成1 μg氨基酸相当于1个酶活力单位(U/mg)。

胰蛋白酶活力定义(比活力):在pH 8.0, 37 °C条件下,每毫克蛋白中含有的胰蛋白酶每分钟使吸光度变化0.003即为一个酶活力单位(U/mg)。

淀粉酶活力定义(比活力):组织中每毫克蛋白在37 °C, pH 7.0条件下与底物作用30 min,水解10 mg淀粉定义为1个淀粉酶活力单位(U/mg)。

脂肪酶活力定义(比活力):在37 °C条件下,

每克组织蛋白在本反应体系中与底物反应1分钟,每消耗1 μmol底物为一个酶活力单位(U/g)。

1.3 数据处理

利用SPSS 13.0中的单因素方差分析(one-way ANOVA)和Duncan氏检验法对各组数据进行显著性差异分析和多重比较, $P < 0.05$ 视为差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同盐度下哈氏仿对虾血清离子浓度变化及等离子点确定

试验水体K⁺、Na⁺、Cl⁻浓度均与盐度呈显著线性关系($P < 0.01$,表1)。从哈氏仿对虾血清K⁺、Na⁺、Cl⁻浓度与水体相应指标的相关性(表2)可以看出,血清中K⁺、Na⁺、Cl⁻含量与水体环境中相应指标成正相关,较低的回归方程斜率表明环境盐度变化对血清离子浓度影响有限,哈氏仿对虾具有一定的离子调节能力。

表1 试验水体盐度与K⁺、Na⁺、Cl⁻浓度相关性

Tab.1 Relativity between K⁺, Na⁺, and Cl⁻ concentration and the salinity in test water

(n=3)		
项目	方程	R ²
K ⁺	$y = 0.257x + 0.641$	0.996
Na ⁺	$y = 10.098x - 22.926$	0.961
Cl ⁻	$y = 8.644x + 80.259$	0.965

注:y为试验水体K⁺、Na⁺、Cl⁻浓度(mmol/L);x为试验水体盐度。

盐度对哈氏仿对虾血清离子含量有显著影响($P < 0.01$,图1)。盐度从12到16,血清K⁺含量降低了0.43 mmol/L(5.1%),之后至盐度36含量一直增加(图1a);盐度低于24,血清Na⁺含量随盐度增加而增加,盐度从24到28,其含量下降了12.50 mmol/L(6.8%),之后至盐度36,则一直上升(图1b);血清Cl⁻离子含量则始终随盐度增加而增加(图1c)。总之,血清中K⁺、Na⁺、Cl⁻离子含量均随盐度增加而呈上升趋势,最大增幅分别为29.5%、48.5%、30.2%。

2.2 不同盐度下哈氏仿对虾消化酶活性变化

盐度对各消化酶活性均有显著影响($P < 0.05$,图2)。胃蛋白酶活性随盐度升高而逐渐降低,呈阶梯状,3个梯度:盐度从16到20,其活性

表 2 哈氏仿对虾血清 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 浓度与水体相应指标的相关性
 Tab.2 Relativity between K^+ , Na^+ , and Cl^- concentration in the serum of *Parapenaeopsis hardwickii* and corresponding indexes in test water (n=3)

项目	方程	R^2	等离子点/(mmol/L)	相应盐度
K^+	$y=0.326x+6.748$	0.845	10.01	36.5
Na^+	$y=0.219x+124.860$	0.835	159.87	18.3
Cl^-	$y=0.261x+144.180$	0.935	195.10	13.7

注: y 为哈氏仿对虾血清中 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 浓度 (mmol/L); x 为试验水体相应离子浓度 (mmol/L)。

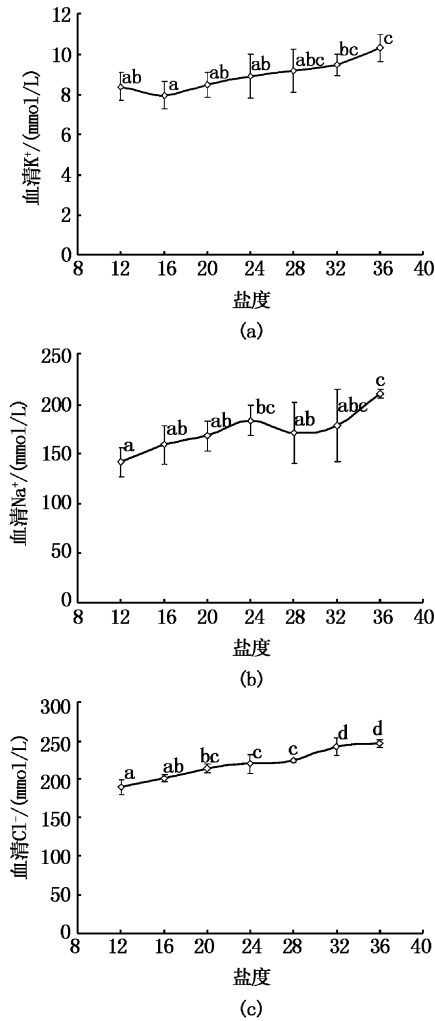


图 1 盐度对哈氏仿对虾血清中 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 离子含量的影响

Fig.1 Effects of salinity on K^+ , Na^+ , and Cl^- concentration in the serum of *Parapenaeopsis hardwickii*

不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

显著降低了 29.1% ($P < 0.05$); 盐度从 28 到 32, 其活性显著降低了 60.8% ($P < 0.05$); 盐度从 12 到 36, 其活性降低达 77.4% ($P < 0.05$, 图 2a)。胰蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶活性随盐度升高均呈上下波动, 呈波浪形。盐度从 12 到 16, 胰蛋白酶活性降低了 14.2% ($P > 0.05$), 之后至盐度 24,

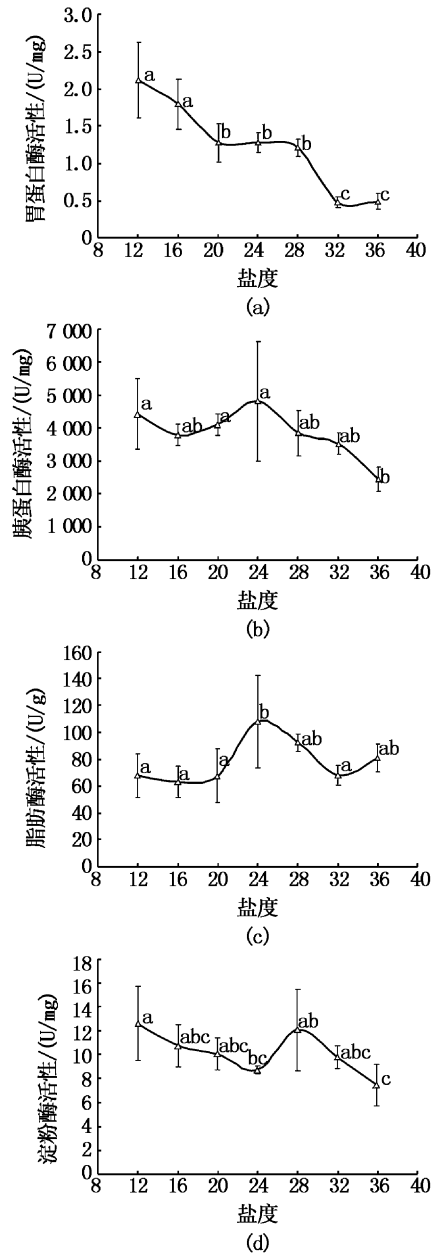


图 2 盐度对哈氏仿对虾肝胰脏消化酶活性影响

Fig.2 Effects of salinity on digestive enzyme activities in hepatopancreas of *Parapenaeopsis hardwickii*

不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

酶活性持续上升, 达到最大值 (4 819.31 U/mg), 至盐度 36, 其活性又降低了 49.2% ($P < 0.05$, 图

2b)。盐度从 12 到 20,脂肪酶活性变化较小,仅为 7.4%,盐度从 20 到 24,酶活性迅速增加了 40.49 U/mg (60.0%, $P < 0.05$),达到最大值 (108.00 U/mg),之后酶活性下降,盐度从 32 到 36,小幅上升了 19.1% ($P > 0.05$,图 2c)。淀粉酶在盐度 12 时,活性最大 (12.62 U/mg),至盐度 24,酶活性降低了 30.7% ($P < 0.05$),之后至 28,活性上升了 38.1% ($P > 0.05$),与盐度 12 不存在显著差异 ($P > 0.05$),盐度从 28 到 36,酶活性直线下降了 38.1% ($P < 0.05$,图 2d)。

图 3 为胰蛋白酶活性与淀粉酶活性比值(T/A)随盐度的变化曲线。盐度从 12 到 24,T/A 值从 360.21 逐渐增加到最大值 547.06,之后 T/A 值开始下降,至盐度 36 时值最低 (332.50)。

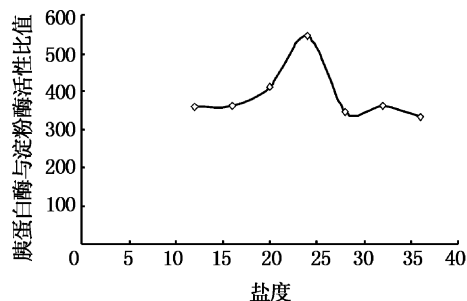


图 3 盐度对胰蛋白酶与淀粉酶活性比值(T/A)的影响
Fig. 3 Effect of salinity on the ratio of trypsin to amylase activities

3 讨论

3.1 盐度对哈氏仿对虾血清离子含量影响

广盐性虾类通过血淋巴的渗透调节和离子调节来适应外界环境中盐度的变化,具有双重性:在高盐环境中,虾类将体内多余的盐分排出体外,以保持体内正常的水分含量;在较低的盐环境下,又摄取足够的盐分,以排掉多余的水分^[17]。对硬骨鱼类从低盐到高盐环境的研究发现,其对盐度的适应分为两个阶段^[18]:第一阶段为危险阶段:鱼体由于外界环境的变化太大,水分不断从鳃、体表和肠道流失而产生脱水现象;第二阶段为稳定阶段,此阶段鱼体内部的渗透压以及鱼体基础代谢均逐渐趋于稳定可以存活下来。这也解释了本试验盐度驯化期间,哈氏仿对虾死亡增加,而一旦驯化结束经短暂适应,对虾死亡明显减少。屈亮等^[19]与房文红等^[11]分别研究俄罗斯鲟 (*Acipenser gueldenstaeti* Brandt) 和中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 急性盐度胁迫下血清中

离子变化时发现,分别经过 24 h、48 h,血清中的各离子含量基本稳定。本试验经过 7d 盐度驯化,之后养殖了 23 d,健康存活的哈氏仿对虾血清中各离子含量已稳定,故本试验测得的血清离子含量均为本盐度下正常稳定的离子含量。

卢俊等^[20]研究表明,中华绒螯蟹在盐度 0 ~ 24 范围内,血清 Na^+ 与 Cl^- 随盐度升高而显著升高;另有报道^[12]指出,中国对虾在盐度为 4.5 ~ 35.5 范围内,血清 K^+ 与 Na^+ 随盐度升高而升高。这与本试验中血清 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 离子含量随盐度升高而呈上升趋势的研究结果相似。RODRIGUEZ 等^[13]认为,在高渗环境中,西伯利亚鲟幼鱼血清渗透压低于水体渗透压,鱼体被动失水,为补偿失水,幼鱼开始大量吞饮海水,通过肠道吸收水分,同时也摄入大量 NaCl ,血清中 Na^+ 、 Cl^- 离子迅速升高,渗透压也随之上升。在此应激条件下,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活性迅速下降,细胞膜的通透性降低,阻止了 Na^+ 、 Cl^- 离子的流入。本试验中血清 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 离子含量亦随盐度升高而呈上升趋势,然而血清中 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 含量与水体环境中相应指标的回归方程的斜率较小(表 2),说明哈氏仿对虾具有离子调节能力,也证明哈氏仿对虾的渗透压调节机理与报道^[13]相似。

3.2 盐度对哈氏仿对虾消化酶活性的影响

盐度对水产动物生理活动的影响是多方面的,对其消化酶活性作用的影响也不同。具体可归纳为 3 种情况:一是激活作用,二是无影响,三是抑制作用^[21]。日本沼虾^[7]胃蛋白酶与胰蛋白酶活力在盐度 14 时最高,在盐度 7 与 20 时受到抑制;黄鳍鲷^[3]幼鱼蛋白酶活力在盐度为 10 时最高,盐度高于 25 对其活力有抑制作用。陈品键等^[9]在研究真鲷在不同盐度水体中消化酶变化情况时发现蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活力的变化趋势在不同盐度下是一致的,在盐度为 25 时,活力最大,盐度高于或低于 25,消化酶比活力均下降。黄凯等^[5]研究了不同盐度对凡纳滨对虾幼虾胃肠中消化酶活性影响,结果表明盐度为 1 时,各消化酶活性均最大,随盐度升高各消化酶活性会有不同程度下降。本试验结果表明,盐度对哈氏仿对虾消化酶活性影响显著。胃蛋白酶活性随盐度升高逐渐下降,表现为抑制作用,这是因为哈氏仿对虾在低盐度条件下,外界环境渗

透压的降低,大量的低盐度水内渗到哈氏仿对虾体内,导致消化系统的 pH 降低^[22],而胃蛋白酶为酸性蛋白酶,故低盐度条件下,胃蛋白酶活性最高。除胃蛋白酶外,其余各消化酶均呈现“下降—上升—下降”的趋势,结合显著性,这种趋势可归纳为“无影响—激活—抑制”,胰蛋白酶和脂肪酶活性在盐度 24 时达到最大值,淀粉酶活性在盐度 28 时达到极大值,综合分析,盐度 24~28 可发挥上述 3 种酶的极大活性,且保证胃蛋白酶活性较高。因消化酶活性影响食物的消化吸收,最终影响哈氏仿对虾的生长发育,故从酶学角度,可将盐度 24~28 作为哈氏仿对虾最适宜盐度,这也与采集此虾天然海域盐度相近。

许多无机离子对消化酶有激活或者抑制作用,可以对酶活力直接产生作用^[23]。在不同浓度下,离子影响程度也不同^[3]。如斑节对虾 (*Penaeus japonicus*) 和草虾 (*Penaeus monodon*) 的组织蛋白酶 D 的活性可被 Ba^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 和 Hg^{2+} 抑制而被 K^{+} 、 Co^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Fe^{3+} 激活^[24]。低浓度 Cu^{2+} (2~4 $\mu g/L$)、 Zn^{2+} (2~4 $\mu g/L$) 可激活日本沼虾 (*Macrobrachium nipponense*) 消化道中胃蛋白酶活力, Cu^{2+} (8 $\mu g/L$) 与 Zn^{2+} (>40 $\mu g/L$) 过高则会对其活力产生抑制^[8]。在没有加入 NaCl 的条件下黄鳢 (*Monopterus albus*) 淀粉酶活力是有 NaCl 存在时的 15%^[25-26]。氯离子浓度在 0.05~0.10 mmol/L 时可激活大菱鲂 (*Tarphops oligolepis*) 消化道中的淀粉酶活力^[27]。在血液和海水这样平衡介质中,不仅离子的总浓度是重要的,而且各种离子之间的相对浓度也是重要的^[12]。刘存歧等^[6]认为,盐度为 15 时, Na^{+}/K^{+} 保持在 40 和 50 条件下,凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 体内酶活力较高。本试验最适的养殖盐度为 24~28,此时水中 K^{+} 、 Na^{+} 、 Cl^{-} 含量分别为 6.97~7.97 mmol/L、237.96~259.08 mmol/L 和 310.61~335.09 mmol/L, Na^{+}/K^{+} 为 31.28~36.61,盐度过高或过低都会对离子浓度及比例产生影响,进而对消化酶活性起到抑制作用。此内容仍需进一步的试验论证,上述离子浓度为今后试验开展提供理论依据。

3.3 盐度对哈氏仿对虾食性的影响

动物个体发育中酶活力的变化作为营养状态指标来指导投饲,一般采用胃蛋白酶/淀粉酶

(P/A) 或胰蛋白酶/淀粉酶 (T/A) 作为指标,比值高的为肉食性或偏肉食性,比值低的则为植物食性或偏植物食性^[28]。KAMARUDIN 等^[29] 研究表明,虾类幼体消化酶活性的变化与虾的食性相一致;杨奇慧等^[30] 也认为,饲料的营养水平对虾体内酶的活性有很大影响;潘鲁青和王克行^[31] 在研究中国对虾幼体的消化酶活性时发现,在蚤状幼体期投喂单细胞藻类 24 h 后,淀粉酶活性升高,而蛋白酶的活性降低,投喂虾粉后结果则相反。本试验自始至终投喂新鲜的河虾,故饵料对消化酶活性影响各组基本相同。从图 2 可见,在盐度为 12~24,哈氏仿对虾食性逐渐向肉食性或偏肉食性转变,说明在此盐度范围内随盐度升高哈氏仿对虾对虾肉的摄食会逐渐增强;在盐度 24~36,其食性又逐渐向植物食性或偏植物食性转变,此范围内其对虾肉的摄食又开始减弱,一味投喂虾肉不符合此时对虾的营养需求。

参考文献:

- [1] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 2002.
- [2] 李明德. 鱼类生理学[M]. 天津: 天津科技翻译出版社, 1990: 29-32, 294.
- [3] 李希国, 李加儿, 区又君. 盐度对黄鳍鲷幼鱼消化酶活性的影响及消化酶活性的昼夜变化[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(1): 40-45.
- [4] 王云峰, 朱鑫华. 盐度对鱼类生态生理学特征的影响[J]. 海洋科学集刊, 2002(44): 151-158.
- [5] 黄凯, 杨鸿昆, 战歌, 等. 盐度对凡纳滨对虾幼虫消化酶活性的影响[J]. 海洋科学, 2007, 31(3): 37-41.
- [6] 刘存歧, 王军霞, 张亚娟, 等. 盐碱地渗水盐度与钠钾比对凡纳滨对虾生长的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1337-1342.
- [7] 王维娜, 孙儒泳, 王安利, 等. 环境因子对日本沼虾消化酶和碱性磷酸酶的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1153-1156.
- [8] 王维娜, 王安利, 孙儒泳. 水环境中的铜锌钴离子对日本沼虾消化酶和碱性磷酸酶的影响[J]. 动物学报, 2001, 47(专刊): 72-77.
- [9] 陈品健, 王重刚, 郑森林. 盐度影响真鲷幼鱼消化酶活力的研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1998, 37(5): 754-756.
- [10] GABRIELA T, MIREILLE C D, SILVIA C, et al. Effects of long-term exposure to different salinities on the location and activity of $Na^{+}-K^{+}$ -ATPase in the gills of juvenile mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2007, 147(2): 460-465.

- [11] 房文红, 来琦芳, 王慧. 脱壳和盐度突变对中国对虾血淋巴渗透浓度和离子浓度的影响[J]. 水产学报, 1999, 23(s): 22-27.
- [12] 房文红, 王慧, 来琦芳, 等. 不同盐度对中国对虾血淋巴渗透浓度和离子浓度的影响[J]. 上海水产大学学报, 1995, 4(2): 122-127.
- [13] RODRIGUEZ A, GALLARDO MA, GISBERT E, et al. Osmoregulation in juvenile *Siberian sturgeon* (*Acipenser baerii*) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2002, 26: 345-354.
- [14] 李明月, 倪海儿, 竺俊全, 等. 东海北部哈氏仿对虾的种群动态及其最高持续渔获量[J]. 水产学报, 2000, 24(4): 364-369.
- [15] 金忠文, 汪忠强, 尤尔茂. 哈氏仿对虾人工繁殖技术研究[J]. 海洋科学, 2002, 26(5): 18-20.
- [16] 张曹进, 姚国兴, 吴国钧, 等. 哈氏仿对虾人工育苗技术研究[J]. 水产科技情报, 2011, 38(6): 281-283.
- [17] 王天明. 生物化学及检验技术[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1986: 181-188.
- [18] WENG C F, CHANG C C, GONG H Y, et al. Acute changes in gill Na^+/K^+ -ATPase and creatine kinase in response to salinity changes in the euryhaline teleost tilapia (*Oreochromis mossambicus*) [J]. *Physiol Biochem Zool*, 2002, 75(1): 29-36.
- [19] 屈亮, 庄平, 章龙珍, 等. 盐度对俄罗斯鲟幼鱼血清渗透压、离子含量及鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 243-251.
- [20] 卢俊, 庄平, 冯广朋, 等. 中华绒螯蟹亲蟹渗透压调节和抗氧化系统对盐度的响应[J]. 海洋渔业, 2011, 33(1): 39-45.
- [21] 庄平, 章龙珍, 田宏杰, 等. 盐度对施氏鲟幼鱼消化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 198-203.
- [22] NODA M, RAKAM I K. Studies of proteinases from the digestive organs of sardine I Purification and characterization of two acid proteinase from the stomach [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1981, 658(1): 27-32.
- [23] 谢一荣, 吴锐全. 鱼类消化酶研究及其在水产养殖中的应用[J]. 广东饲料, 2005, 14(2): 15-18.
- [24] JIANG S T, NEI F P, CHEN H C, et al. Comparative study on the cathepsin D from banded shrimp (*Penaeus japonicus*) and grass shrimp (*Penaeus monodon*) [J]. *Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40(6): 961-966.
- [25] 尾崎久雄. 鱼类消化生理(下) [M]. 李爱杰, 沈宗武, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 548-551.
- [26] BABKIN B P. Secretory mechanism of the digestive glands, Second edition [M]. New York: Paul B. Hoeber. Inc., 1963: 54.
- [27] 陈慕雁. 大菱鲆不同发育阶段消化生理的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.
- [28] BIESIOT P M, CAPUZZO G M. Digestive protease, lipase and amylase activities in stage I larvae of the American lobster, *Homarus americanus* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1990, 95(1): 47-54.
- [29] KAMARUDIN M S, JONES D A, VAY L L, et al. Ontogenetic change in digestive enzyme activity during larval development of *Macrobrachium mrosenbergii* [J]. *Aquaculture*, 1994, 123: 323-333.
- [30] 杨奇慧, 周歧存, 马丽莎, 等. 凡纳滨对虾幼体胃蛋白酶和胰蛋白酶活力的研究[J]. 海洋科学, 2005, 29(5): 6-9.
- [31] 潘鲁青, 王克行. 中国对虾幼体消化酶活力的实验研究[J]. 水产学报, 1997, 21(1): 26-31.

Effects of salinity on serum ions and digestive enzyme activities of *Parapenaeopsis hardwickii*

LIU Yong-shi, SHI Yong-hai, ZHANG Gen-yu, XU Jia-bo, XIE Yong-de, YAN Yin-long, LU Gen-hai
(Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai 200433, China)

Abstract: Effects of different salinity (12, 16, 20, 24, 28, 32, and 36) on serum ions and digestive enzyme activities were investigated in this study. Results showed that salinity caused significant influences on serum ions and digestive enzyme activity in *Parapenaeopsis hardwickii* ($P < 0.05$). The concentrations of serum K^+ , Na^+ , Cl^- dramatically increased with salinity rising, and the isoionic points were estimated as 10.01, 159.87, and 195.10 mmol/L, of which the corresponding salinity is 36.5, 18.3, and 13.7, respectively. Highest activity of pepsin occurred at salinity of 12, then it reduced with salinity rising. Highest activities of trypsin and lipase occurred at salinity of 24. The peak of amylase activity occurred at salinities of 12 and 24. From a zymologic standpoint, optimal salinity range for *Parapenaeopsis hardwickii* was 24 to 28.

Key words: *Parapenaeopsis hardwickii*; salinity; hepatopancreas; digestive enzyme; serum ions