

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20171010002

http://www.ykxjz.cn/

赵玉超, 李玉全, 孙振鹏, 王淑生, 付瑞江, 张绍龙. 盐化幅度、速度及方式对凡纳滨对虾仔虾生长和存活率的影响. 渔业科学进展, 2018, 39(6): 119-125

Zhao YC, Li YQ, Sun ZP, Wang SS, Fu RJ, Zhang SL. Effects of high-salinity domestication gradient, speed, and mode on weight gain, activity, and survival rate of *Litopenaeus vannamei* postlarvae. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(6): 119-125

盐化幅度、速度及方式对凡纳滨对虾仔虾 生长和存活率的影响*

赵玉超¹ 李玉全^{1①} 孙振鹏¹ 王淑生² 付瑞江³ 张绍龙³

(1. 青岛农业大学海洋科学与工程学院 青岛 266109; 2. 滨州市渔业技术推广站 滨州 256616;
3. 滨州市北海新区海缘养殖科技有限公司 滨州 251907)

摘要 本研究测定了盐化幅度(3/d、6/d、9/d、12/d 和 15/d)、盐化速度(1、3、6、12 和 18 h/次)和盐化方式(前期盐化、中期盐化、后期盐化和间隔盐化)与凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)仔虾生长发育、活力和存活率的关系。研究结果显示,不同盐化幅度、盐化速度和盐化方式均显著影响盐化标粗过程中仔虾的生长发育、活力和存活率($P<0.05$)。综合考虑生长性能、苗种活力和存活率等因素,最适盐化幅度为 3~6/d,在该盐化幅度范围内,仔虾存活率可达 74.07%~78.83%;盐化幅度超过 9/d 时,仔虾存活率显著下降($P<0.05$),其中,盐化幅度达到 15/d 时,存活率仅为 43.37%。过快的盐化速度导致存活率和活力显著下降,盐化速度>1 h/次时,仔虾死亡率接近 50%;随着盐化速度的放缓,仔虾生长速度加快,盐化速度为 6~18 h/次时,生长速度维持稳定,日增重量为 1.48~1.51 mg。在盐化方式方面,后期盐化和间隔盐化时,苗种的质量和存活率优于前期盐化和中期盐化,仔虾活力表现为间隔盐化>后期盐化>中期盐化>前期盐化。综合考虑,仔虾的最适盐化幅度为 3~6/d,最佳盐化速度为 6~12 h/次,后期盐化和间隔盐化更有助于仔虾保持较好活力和较高存活率。本研究通过探讨凡纳滨对虾苗种盐化标粗的最适盐化幅度、盐化速度和盐化方式,丰富了凡纳滨对虾高盐环境抗逆性研究,为凡纳滨对虾苗种的盐化标粗生产实践提供了理论支持。

关键词 凡纳滨对虾; 盐化; 生长性能; 存活率

中图分类号 S966.1 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)06-0119-07

盐度是影响水生动物繁殖、生长、发育和存活等的重要环境因子,一直是水产养殖学和逆境生物学研究的热点(申玉春等, 2012; 付萍等, 2017; 李娜等, 2018)。在不同盐度环境条件下养殖的水产品,其肉质和口感存在明显差异(王士稳等, 2006; 梁萌青等,

2009; 戴习林等, 2012),以高盐水体养殖产品品质最佳。中国沿海或西北地区存在大量的高盐水体,山东沿海盐度为 30~70 的养殖池塘面积约有 13.3 万 hm^2 ,如何有效开发利用这些高盐水域,是关乎当地民生的重要问题。高盐对虾的养殖是有效途径之一。高盐对

* 国家自然科学基金项目(31101916)、山东省现代农业产业技术体系虾蟹类创新团队(SDAIT-15-011)和山东省一流学科建设项目共同资助[This work was supported by National Natural Science Foundation of China (31101916), Shandong Modern Agricultural Technology System of Shrimp and Crab Innovation Team (SDAIT-15-011), and First Class Discipline Construction Projects of Shandong]. 赵玉超, E-mail: yuchaoqau@163.com

① 通讯作者: 李玉全, 教授, E-mail: jiangfangqian@163.com

收稿日期: 2017-10-10, 收修改稿日期: 2017-12-06

虾的养殖和推广,可以解决高盐水体目前存在的诸如闲置、养殖物种匮乏、资源利用率低、经济效益差等问题,对于改善当地人民的养殖结构,促进创业就业,提高经济效益和生活水平具有重要意义。

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)又称南美白对虾,属广盐性虾类,耐受盐度为0.5~78(陈永乐等,2003),具有生长速度快、抗病力强、适高密度养殖等特点,是中国目前养殖规模和产量最大的对虾品种。凡纳滨对虾的生活史主要包括受精卵、胚胎发育、无节幼体、蚤状幼体、糠虾、仔虾、幼虾和成虾8个阶段。各发育阶段对盐度的要求不同,仔虾期是对虾生活史中最佳的盐度调节时期,可实现盐度驯化,以便于苗种的投放,一般称此操作为“标粗”。根据最终驯化盐度的不同又分为“淡化标粗”和“盐化标粗”(李春玲等,2009)。近年来,随着国内外对虾价格走高和新品种、新技术的推广应用,对虾养殖不再局限于传统的海水养殖,淡水养殖和高盐水域养殖逐步成为对虾养殖产量提升、特色品牌打造的重点。当前,在高盐水域凡纳滨对虾苗种的投放和养殖过程中,普遍存在苗种体质较弱、成活率较低等问题。如何提高高盐水体苗种的成活率和保障其活力成为高产的关键,因此,确立最佳的盐化幅度、盐化速度和盐化方式是亟待解决的问题。目前,国内外对凡纳滨对虾仔虾的淡化标粗和淡水养殖研究较多(唐建洲等,2016;边绍新等,2014;郝登春等,2018)。然而,关于盐化标粗的研究较少,对其仔虾高盐驯化的梯度、速度和时间的相关研究尚未见报道。

本研究以凡纳滨对虾仔虾为研究对象,通过设置不同的盐化梯度、盐化速度和盐化方式,分析仔虾的生长性能、活力和存活率,探讨高盐苗种盐化标粗的最适盐化幅度、盐化速度和盐化方式,旨在丰富凡纳滨对虾高盐逆境生物学研究,为盐化标粗生产实践提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 实验地点与材料

于2017年4~6月在滨州市北海新区海缘养殖科技有限公司和青岛农业大学海洋科学与工程学院开放实验室进行仔虾盐化实验,实验用凡纳滨对虾仔虾取自公司的育苗车间,选用规格整齐、健康活泼、不携带病原菌的同批次同家系P4期个体。体长为(0.515±0.022)cm,体重为(1.3±0.3)mg。实验用海水经过滤、杀菌、曝气处理,高盐海水由海水晶溶解于普通海水再经过滤调配获得,使用前曝气处理1d。实验温度维持在(31.0±0.5)℃,pH为8.0~8.5,光照周

期为14L:10D,连续充氧,溶解氧保持在5mg/L以上。高盐驯化全程投喂大卤虫(*Artemia salina*)和仔虾专用配合饲料(粗蛋白46%,粗脂肪10.6%,粗纤维1.8%,粗灰分13%,赖氨酸2.3%,水分5%),每天投喂5次(07:00、11:00、15:00、19:00、23:00),大卤虫交替投喂,全程饱食投喂(投喂配合饵料每次3.2~5.0g/m³,每尾仔虾投喂大卤虫5~30只/d,具体投喂量根据幼体实际摄食情况和存活率及时调整),投喂结束1h后,清除残饵和粪便。每3d换水1次,换水量为总量的1/3。

1.2 实验设计

1.2.1 高盐驯化幅度实验 实验在100L白色塑料桶中进行,设置3/d、6/d、9/d、12/d和15/d5个盐化梯度,每个梯度设3个平行,共15个处理,每个处理放养规格整齐的P4期仔虾1000尾。整个盐化过程需由盐度30提升至60,历时13d,盐化速度为6h/次。整个盐化过程采取间隔盐化方式,其中,3/d处理的盐度变化为30→33→36→39→42→46→49→51→54→57→60;6/d处理的盐度变化为30→36→42→48→54→60;9/d处理的盐度变化为30→39→48→57→60;12/d处理的盐度变化为30→36→48→60;15/d处理的盐度变化为30→45→60。

1.2.2 高盐驯化速度实验 实验在35cm×25cm×20cm白色塑料箱中进行,设置1、3、6、12、18h/次5个盐化速度梯度,每个梯度设3个平行,共15个处理,每个处理放养规格整齐的P4期仔虾200尾。通过向原水体中加注等量高盐海水的方法,养殖水体盐度由30提升至60,注水速度变化通过调节换水阀门流量完成。整个盐化标粗时间为13d,盐化幅度为6/d,整个盐化过程采取间隔盐化方式。

1.2.3 盐化方式实验 实验在35cm×25cm×20cm白色塑料箱中进行,养殖水体盐度由30提升至60,历时15d。将15d苗种标粗时间均分为3个阶段,每阶段5d,分别标注为前期(第1~5天)、中期(第6~10天)、后期(第11~15天)。实验将盐化时间分别集中于仔虾标粗的3个阶段中,进行连续5d的盐化操作,分别标注为前期盐化方式、中期盐化方式、后期盐化方式。此外设置间隔盐化方式,即分别于2、5、8、11和14d时盐化1次,直至水体盐度提升至60。每次盐化幅度为6/d,盐化速度为12h/次。每种盐化方式均设3个平行,共15个处理,每个处理放养规格整齐的P4期仔虾200尾。

1.2.4 仔虾活力判定标准 健康苗种应满足大小均匀整齐、体色透明、体表干净、肢体完整,对外界

刺激反应灵敏, 肠胃充实饱满等条件。而在仔虾活力判定方面, 主要通过以下 2 种方法进行判别。

方法 1: 取 50 尾仔虾, 放入盛有育苗池水的白色塑料盆中, 用手顺时针或逆时针转动盆内水体, 使水体形成漩涡, 使仔虾苗集中于盆中央, 待水流稍缓时, 能够迅速散开并逆水游动的仔虾为活力强的健康苗种; 能够迅速散开, 仅少部分仔虾逆水游动为活力较强的仔虾; 待漩涡水流速度趋向于静止时, 仔虾才从漩涡中挣脱出来, 此类仔虾活力可定为活力较弱。

方法 2: 取 100 尾仔虾, 放置于湿毛巾中小心包裹, 静置 10 min, 放回原观察杯中, 存活率 > 80%, 可判定为优质健康、活力强的苗种; 存活率为 30%~80%, 为活力较强的苗种; 苗种死亡率较高, 存活率 < 30%, 则判定为活力较弱苗种。

1.3 数据测定和记录

所有实验均于开始前测定每组 15 尾仔虾的体长和体重, 实验结束后, 再次测定每组仔虾的体长和体重, 计算盐化标粗的存活率, 并对照仔虾活力评定标准, 测定苗种活力状况。

1.4 数据统计与处理

实验数据用平均值±标准差(Mean±SD)表示, 利用 SPSS 19.0 统计软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA)以及 Duncan 多重比较检验数据差异的显著性, 以 $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 盐化幅度对凡纳滨对虾仔虾生长发育和存活率的影响

从表 1 可以看出, 随着盐化幅度的增加, 仔虾的体重增加量呈先增加后降低的趋势, 盐化幅度为 9/d 时, 增重量达到最高值。盐化幅度为 6/d 和 9/d 两处理间增重量差异不显著($P > 0.05$); 盐化幅度为 15/d 时, 仔虾增重量最低, 生长速度最慢, 与其他各处理间均差异显著($P < 0.05$); 盐化幅度为 3/d 时, 仔虾生长速度较慢, 与盐化幅度为 6/d 处理间差异显著($P < 0.05$), 但与盐化幅度为 12/d 处理间差异不显著($P > 0.05$), 盐化幅度为 6/d 处理的增重量比 3/d 时提高了 8.52%。

表 1 盐化幅度对凡纳滨对虾仔虾增重量和活力的影响

Tab.1 Effects of salinity domestication gradient on the weight gain and activity of *L. vannamei* post larvae

项目 Items	盐化幅度 Salinity domestication gradient				
	3/d	6/d	9/d	12/d	15/d
增重量 Weight gain (mg)	17.6±0.2 ^b	19.1±0.6 ^c	19.4±0.4 ^c	17.2±0.7 ^b	15.2±0.4 ^a
仔虾活力 Postlarvae activity	强 Strong	强 Strong	较强 Medium	弱 Weak	弱 Weak

注: 不同处理组间标注相同字母代表差异不显著($P > 0.05$), 不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。下同

Note: Values in different groups with the same letters showed no significant differences ($P > 0.05$), different letters indicated significant different ($P < 0.05$). The same as below

此外, 由图 1 可知, 随着盐化幅度的升高, 仔虾存活率也表现出先升高后下降的趋势。从最终存活率来看, 盐化幅度为 6/d 处理组最高, 达 78.8%。盐化幅度为 3/d 和 6/d 处理间存活率差异不显著($P > 0.05$)。盐化幅度 > 6/d 时, 存活率呈降低趋势, 盐化幅度为 6/d 和 9/d 处理间存活率差异不显著($P > 0.05$), 但盐化幅度为 6/d 和 12/d 处理间差异显著($P < 0.05$)。

在苗种活力方面, 盐化幅度为 3/d 和 6/d 时, 仔虾活力强, 但盐化幅度为 3/d 处理的仔虾幼体因每天都需要进行盐度驯化, 应激表现明显, 部分个体摄食较差, 出现红体症状; 盐化幅度为 6/d 时, 仔虾表现良好。随着盐化幅度的升高, 仔虾活力明显下降。盐化幅度为 9/d 时, 首次盐化后, 仔虾个体活力强, 之后活力迅速减弱; 盐化幅度为 12/d 和 15/d 处理组, 与 9/d 处理组变化趋势相似, 首次盐度调整后, 仔虾

表现出对高盐环境和盐度变化具有良好的适应力, 当盐度 > 50 时, 仔虾活力明显下降, 死亡率逐步升高。

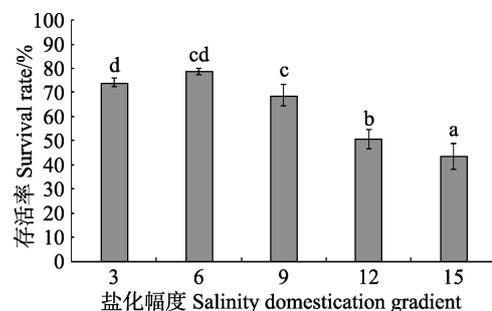


图 1 盐化幅度对凡纳滨对虾仔虾存活率的影响

Fig.1 Effects of salinity domestication gradient on the survival rate of *L. vannamei* post larvae

不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。下同

Different letters indicated significant different ($P < 0.05$).

The same as below

2.2 盐化速度对凡纳滨对虾仔虾生长发育和存活率的影响

如表2所示,不同盐化速度对凡纳滨对虾仔虾的增重率影响显著,随着盐化速度的升高,仔虾体重增加表现出先升高后维持稳定的趋势。盐化速度对仔虾生长速度影响显著,盐化速度为1 h/次和3 h/次与其他处理间均差异显著($P<0.05$)。其中,盐化速度为1 h/次对仔虾生长影响最为显著,且与其他处理间的增重率差异均显著($P<0.05$),在此盐化速度下,仔虾

增重量为16.7 mg,日均增重量为1.28 mg。盐化速度为3 h/次和6 h/次处理间仔虾的生长速度差异显著($P<0.05$)。盐化速度 >6 h/次时,盐化速度对仔虾生长速度无显著影响($P>0.05$),日增重量为1.48~1.51 mg。

在最终存活率方面,盐化速度为12 h/次处理的成活率最高,达到81.7%,1 h/次处理的成活率最低,为51.8%。各盐化速度下,仔虾存活率呈先升高后降低的趋势,成活率由高到低依次为12 h/次 >18 h/次 >6 h/次 >3 h/次 >1 h/次(图2)。

表2 盐化速度对凡纳滨对虾仔虾增重量和活力的影响

Tab.2 Effects of salinity domestication speed on the weight gain and activity of *L. vannamei* postlarvae

项目 Items	盐化速度 Salinity domestication speed (h/次)				
	1	3	6	12	18
增重量 Weight gain (mg)	16.7±0.4 ^a	18.2±0.7 ^b	19.4±0.5 ^c	19.3±0.2 ^c	19.6±0.9 ^c
仔虾活力 Postlarvae activity	较强 Medium	较强 Medium	强 Strong	强 Strong	强 Strong

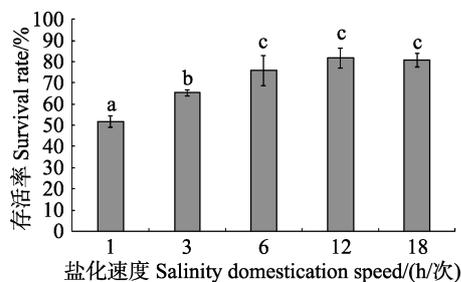


图2 盐化速度对凡纳滨对虾仔虾存活率的影响
Fig.2 Effects of salinity domestication speed on the survival rate of *L. vannamei* postlarvae

在仔虾活力方面,盐化速度越快,仔虾应激表现越明显,摄食量下降,出现红体、空肠空胃等症状。盐化后期,仔虾因活力降低,死亡率逐步升高。盐化速度 >6 h/次,仔虾应激表现有所缓解,2次盐化间隔期应急反应缓解,活力正常。

2.3 盐化方式对凡纳滨对虾仔虾生长发育和存活率的影响

从表3可以看出,盐化方式对仔虾生长有显著影响。前期盐化(第1~5天)中的仔虾生长速度显著慢于

中期盐化(第6~10天)、后期盐化(第11~15天)和间隔盐化($P<0.05$)。相较于其他几种盐化方式,前期盐化会在实验前期较短的时间内完成仔虾的整个盐化过程,在剩余的实验时间内,仔虾将长时间处于较高的高盐胁迫状态,需要更多的能量来进行自身渗透压调节,生长速度缓慢;而对于中期盐化方式,仔虾在标粗前期未进行盐度调整,仔虾发育较快,完成盐化操作后,仔虾体重的增长量较前期盐化显著提高($P<0.05$),体重增加了33.07%;对于后期盐化方式,仔虾体重在前期、中期得到迅速的增长,在增重量方面要高于前期盐化和中期盐化2种方式;间隔盐化,仔虾的生长速度与后期驯化相似,两处理间的增重量差异不显著($P>0.05$)。

在存活率方面,随着盐化时间的后延,仔虾存活率升高。在前期或中期进行盐化,由于仔虾个体较小,对盐度突变的耐受能力较差,生长发育较慢,存活率显著低于后期盐化和间隔盐化($P<0.05$);通过后盐化和间隔盐化,仔虾存活率分别达到70.5%和77.0%,是前期盐化方式下仔虾存活率的2.04倍和2.23倍。

在仔虾活力方面,受盐化和仔虾发育阶段的影

表3 盐化方式对凡纳滨对虾仔虾增重量和活力的影响

Tab.3 Effects of salinity domestication mode on the weight gain and activity of *L. vannamei* postlarvae

项目 Items	盐化方式 Salinity domestication mode			
	前期盐化 Early salinization	中期盐化 Medium-term salinization	后期盐化 Later salinization	间隔盐化 Interval salinization
增重量 Weight gain (mg)	12.7±1.2 ^a	16.9±0.5 ^b	19.9±0.7 ^c	20.5±0.3 ^c
仔虾活力 Postlarvae activity	弱 Weak	较强 Medium	较强 Medium	强 Strong

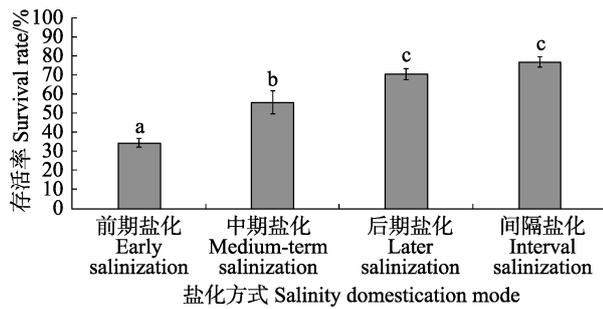


图 3 盐化方式对凡纳滨对虾仔虾存活率的影响
Fig.3 Effects of salinity domestication mode on the survival rate of *L. vannamei* postlarvae

响, 仔虾活力表现为间隔盐化>后期盐化>中期盐化>前期盐化。仔虾盐化时间与仔虾活力和仔虾的存活率存在正相关关系, 随着盐化时间的延后或间隔, 仔虾活力逐步增强, 存活率也逐步升高。为达到较高的驯化盐度和较好的仔虾活力, 可采取间隔盐化方式。

3 讨论

盐度是影响对虾生长、存活的重要因素。仔虾阶段是凡纳滨对虾盐度调整的最佳时期, 通常由 P3~P5 期仔虾, 经过 13~15 d 完成盐度驯化和短期苗种标粗操作, 使之适应不同养殖环境, 增加苗种放养后的成活率。本研究结果显示, 从生长速度来看, 凡纳滨对虾仔虾最适盐化幅度为 6/d 和 9/d; 从存活率来看, 最适盐化幅度为 3/d 和 6/d; 综合考虑生长速度和存活率两方面因素, 仔虾最适盐化幅度为 6/d。盐化幅度>6/d 时, 随着盐化幅度的升高, 仔虾存活率显著下降。Saoud 等(2003)认为, 外界环境发生改变, 处于非等渗环境时, 仔虾会根据环境盐度做出应激反应。对虾也会依靠机体调控血淋巴渗透压来实现调节过程, 以维持虾体内环境的稳定。作者认为, 当盐化幅度过高时, 可能由于仔虾机体调控血淋巴渗透压能力有限, 加之摄食不足导致的机体能量的不足, 会加剧肝胰脏和免疫系统的负担, 随着养殖时间的延长, 仔虾生长速度减慢、死亡率升高。

由于生产需要和天气变化等原因, 盐度突变普遍存在于整个对虾养殖周期。在适宜的突变盐度范围内, 对虾可通过调节自身渗透压和提升免疫机能来适应。王良臣等(1991)认为, 虾苗对盐度突变适应范围小, 对渐变适应范围较宽。廖永岩等(2004)通过对凡纳滨对虾仔虾淡化幅度和速度的研究发现, 淡化速度快慢不仅影响凡纳滨对虾仔虾的生长性能和抗病力, 也影响仔虾的存活率, 较快的盐化速度限制仔虾的生长, 死亡率显著升高。李俊峰(2009)认为, 淡化速度过快的虾苗体质均较弱, 养成过程中容易感染疾病,

并在一定程度上影响生长速度。本研究表明, 盐化速度显著影响仔虾的生长发育, 较快的驯化速度显著降低了仔虾活力, 导致死亡率升高。这与廖永岩等(2004)对仔虾淡化的研究结果相似。因此, 仔虾高盐驯化不能急于求成, 应循序渐进, 严格控制驯化速度是仔虾驯化标粗成功的关键, 盐化时间间隔超过 6 h 更加有利于仔虾的盐化。臧维玲等(2003)研究也获得了相似的结果, 认为适于规模化生产的淡化速度为 6 h/次。

凡纳滨对虾的等渗点在盐度 25 左右(陈垂坤等, 2015), 当盐度超过或低于等渗点时, 对虾会主动调节渗透压(李英等, 2010; Chen *et al.*, 1996)。外界盐度与等渗点的差值越大, 对虾通过补偿机制来补偿调节渗透压的能耗就越多(吴立峰等, 2011; 钱佳慧等, 2015), 长时间的高盐胁迫会显著抑制对虾的生长速度, 使死亡率升高。Bray 等(1994)研究认为, 凡纳滨对虾幼体最适生长盐度为 25, 在低盐度环境条件下对虾生长较快, 而在高盐度水体中其生长则会受抑制。通过研究盐化标粗生产过程中仔虾在不同盐化方式下的生长和存活情况, 发现仔虾在生长速度和存活率方面, 前期盐化和中期盐化均显著低于后期盐化和间隔盐化, 产生此结果的原因可能在于前期盐化或中期盐化时, 因仔虾个体较小, 对高盐突变的适应能力弱; 此外, 前期盐化也会延长仔虾在较高盐度下的胁迫时间, 进而导致存活率、生长性能和活力下降; 而在间隔盐化方式中, 仔虾通过一定的时间间隔不断地调节自身生理机能, 以适应外界盐度的提高。由此可见, 仔虾盐化标粗过程中适宜的时间间隔有助于提高盐化效果。

参 考 文 献

- Ban SX, Ma YC, Zhang L, *et al.* The key points of desalting and rearing for *Penaeus vannamei*. Hebei Fisheries, 2014(10): 31-32 [边绍新, 马云聪, 张玲, 等. 南美白对虾淡化标粗技术要点. 河北渔业, 2014(10): 31-32]
- Bray WA, Lawrence AL, Leung-Turjillo JR. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHNV and salinity. *Aquaculture*, 1994, 122: 133-146
- Chen CK, Gao WH. Research progress on effects of salinity and nutrients on crustacean nutrition physiology. *Journal of Yangtze University(Natural Science Edition)*, 2015, 12(3): 47-51 [陈垂坤, 郜卫华. 盐度和营养对甲壳动物营养生理的影响研究进展. 长江大学学报(自然科学版), 2015, 12(3): 47-51]
- Chen JC, Lin JN, Chen CT, *et al.* Survival, growth and intermolt period of juvenile *Penaeus chinensis* (Osbeck) reared at different combinations of salinity and temperature. *Journal*

- of Experimental Marine Biology & Ecology, 1996, 204(1): 169–178
- Chen YL, Zhang LS, Zhu XP, *et al.* Biology of *Litopenaeus vannamei* and its culture technology. Freshwater Fisheries, 2003, 33(1):54–55 [陈永乐, 张亮森, 朱新平, 等. 南美白对虾的生物学及其养殖技术要素. 淡水渔业, 2003, 33(1): 54–55]
- Dai XL, Zhang LT, Zang WL, *et al.* Effect of Ca^{2+} , Mg^{2+} and salinity on survival, growth and shrimp taste of *Litopenaeus vannamei*. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(6): 914–921 [戴习林, 张立田, 臧维玲, 等. 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, 2012, 36(6): 914–921]
- Fu P, Lv JJ, Liu P, *et al.* Effects of different salinity level on free amino acid composition in muscle and hemolymph of the swimming crab *Portunus trituberculatus*. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(3): 374–381 [付萍, 吕建建, 刘萍, 等. 盐度胁迫对三疣梭子蟹肌肉和血淋巴中游离氨基酸含量的影响. 水产学报, 2017, 41(3): 374–381]
- Hao DC, Luan S, Cao BX, *et al.* Genetic parameters of survival of juvenile families of *Litopenaeus vannamei* during desalination and culture stages. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(1): 90–96 [郝登春, 栾生, 曹宝祥, 等. 凡纳滨对虾家系幼虾淡化和养殖阶段存活性状遗传参数估计. 渔业科学进展, 2018, 39(1): 90–96]
- Li CL, Wang JS, Pei XY, *et al.* Techniques for seed salting of *Penaeus vannamei*. Shandong Fisheries, 2009, 26(5): 32–33 [李春玲, 王继苏, 裴秀艳, 等. 南美白对虾苗种盐化技术. 齐鲁渔业, 2009, 26(5): 32–33]
- Li JF. Study on the desalting form and aquaculture technology of *Penaeus vannamei*. Master's Thesis of Soochow University, 2009 [李俊峰. 南美白对虾的淡化及养成技术的研究. 苏州大学硕士研究生学位论文, 2009]
- Li N, Zhao YC, Wang RJ, *et al.* Effects of high salinity on digestive and immunity-related enzymes in *Litopenaeus vannamei*. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(4): 1411–1417 [李娜, 赵玉超, 王仁杰, 等. 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, 2018, 38(4): 1411–1417]
- Li Y, Wang F, Dong SL, *et al.* Effects of salinity fluctuation on the molt and respiratory metabolism of juvenile *Litopenaeus vannamei*. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(7): 47–52 [李英, 王芳, 董双林, 等. 盐度突变对凡纳滨对虾稚虾蜕皮和呼吸代谢的影响. 中国海洋大学学报, 2010, 40(7): 47–52]
- Liang MQ, Wang SW, Wang JL, *et al.* Effects of different salinities on free amino acid composition in muscle and hemolymph of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. Progress in Fishery Sciences, 2009, 30(2): 34–39 [梁萌青, 王士稳, 王家林, 等. 不同盐度对凡纳滨对虾血淋巴及肌肉游离氨基酸组成的影响. 渔业科学进展, 2009, 30(2): 34–39]
- Liao YY, Zhong DH. Effect of speed and range of desalination on survival and vigor of the larvae of *Penaeus vannamei*. Marine Science Bulletin, 2004, 23(1): 58–63 [廖永岩, 钟导宏. 淡化速度和幅度对凡纳对虾幼体存活和活力的影响. 海洋通报, 2004, 23(1): 58–63]
- Qian JH, Li ZM, Ye N, *et al.* Combined effects of temperature and salinity on the growth and survival of *Fenneropenaeus meiguensis*. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(3): 62–67 [钱佳慧, 栗志民, 叶宁, 等. 温度和盐度对墨吉明对虾(*Fenneropenaeus meiguensis*)生长与存活的联合效应. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 62–67]
- Saoud IP, Davis DA, Rouse DB. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. Aquaculture, 2003, 217(1–4): 373–383
- Shen YC, Chen ZZ, Liu L, *et al.* The effects of salinity and nutrition on molt and growth of *Litopenaeus vannamei*. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(2): 290–299 [申玉春, 陈作洲, 刘丽, 等. 盐度和营养对凡纳滨对虾蜕壳和生长的影响. 水产学报, 2012, 36(2): 290–299]
- Tang JZ, Liu Z, Wang XL, *et al.* Effects of desalination on survival rate, osmolality and Na^+/K^+ -ATPase activity of *Penaeus vannamei*. Freshwater Fisheries, 2016, 46(3): 82–86 [唐建洲, 刘臻, 汪星磊, 等. 淡化对南美白对虾存活率、渗透压和 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响. 淡水渔业, 2016, 46(3): 82–86]
- Wang LC, Liu XY. Shrimp aquaculture. Tianjin: Nankai University Press, 1991, 34–36 [王良臣, 刘修业. 对虾养殖. 天津: 南开大学出版社, 1991, 34–36]
- Wang SW, Liang MQ, Lin H, *et al.* The comparison of sensory components between maricultured and freshwater cultured shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Marine Fisheries Research, 2006, 27(5): 79–84 [王士稳, 梁萌青, 林洪, 等. 海水和淡水养殖凡纳滨对虾呈味物质的比较分析. 海洋水产研究, 2006, 27(5): 79–84]
- Wu LF, Zhang LP, Hu CQ, *et al.* Comparison on growth rates of two full-sib families of *Litopenaeus vannamei* in different salinities. Journal of Tropical Oceanography, 2011, 30(1): 152–158 [吴立峰, 张吕平, 胡超群, 等. 2 个凡纳滨对虾全同胞家系在不同盐度下的生长比较. 热带海洋学报, 2011, 30(1): 152–158]
- Zang WL, Lin XC, Dai XL, *et al.* Effects of desalination method and salinity on survival rate and growth of *Penaeus vannamei* juvenile. Journal of Shanghai Fisheries University, 2003, 12(4): 308–312 [臧维玲, 林喜臣, 戴习林, 等. 淡化方式与盐度对凡纳对虾幼虾生长的影响. 上海水产大学学报, 2003, 12(4): 308–312]

Effects of High-Salinity Domestication Gradient, Speed, and Mode on Weight Gain, Activity, and Survival Rate of *Litopenaeus vannamei* Postlarvae

ZHAO Yuchao¹, LI Yuquan¹①, SUN Zhenpeng¹, WANG Shusheng², FU Ruijiang³, ZHANG Shaolong³

(1. Marine Science and Engineering College, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109;

2. Binzhou Fisheries Technology Extension Station, Binzhou 256616;

3. Beihai New District of Binzhou Haiyuan Aquaculture Technology Co. Ltd, Binzhou 251907)

Abstract To investigate the optimum high-salinity domestication gradient, speed, and mode of *Litopenaeus vannamei* postlarvae, a salinization experiment was designed. Salinity increased from 30 to 60. Different high-salinity domestication gradients (3/d, 6/d, 9/d, 12/d, and 15/d), speeds (1, 3, 6, 12, and 18 h/time), and modes (early salinization, medium-term salinization, later salinization, and interval salinization) were used. The weight gain, activity, and survival rate of *L. vannamei* postlarvae were tested during high-salinity domestication. The results showed that the different high-salinity domestication gradients, speeds, and modes had significant effects on the weight gain, activity, and survival rate of postlarvae ($P < 0.05$). The optimal high-salinity domestication gradient was 3~6/d; the survival rate of postlarvae remained at 74.07% to 78.83% in this gradient. When the high-salinity domestication gradient exceeded 9/d, the survival rate of postlarvae decreased sharply ($P < 0.05$), and was only 43.37% in the high-salinity domestication gradient of 15/d. In addition, the rapid high-salinity domestication speed decreased the survival rate and activity. When the domestication speed was faster than 1 h/time, the survival rate of postlarvae was reduced to nearly 50%; as the domestication speed decreased, the growth rate of postlarvae increased. When the high-salinity domestication speed was 6~18 h/time, the daily weight gain of postlarvae was stable at 1.48~1.51 mg. The later salinization and interval salinization were superior to the early salinization and medium-term salinization regarding the postlarvae activity and survival rate, the postlarvae activity was as follows: interval salinization > later salinization > medium-term salinization > early salinization. Overall, the optimal high-salinity domestication gradient was 3~6/d, the best high-salinity domestication speed was 6~12 h/time, which will help postlarvae to reach the scheduled standard and achieve the target weight gain with later salinization and interval salinization.

Key words *Litopenaeus vannamei*; High-salinity domestication; Growth performance; Survival rate

① Corresponding author: LI Yuquan, E-mail: jiangfangqian@163.com