

# 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*) 耐低盐的遗传力估计\*

王正<sup>1,2</sup> 高保全<sup>2</sup> 刘萍<sup>2①</sup> 李健<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306;

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** 应用数量遗传学原理和全同胞组内相关法估计三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*) II期幼蟹和80日龄稚蟹耐低盐性状的遗传力。实验中采用梭子蟹室内人工控制定向交尾方法,构建了32个全同胞家系,包括9个半同胞家系。测定II期幼蟹和80日龄稚蟹在盐度11胁迫下的存活率分别为55%和64%,差异显著。利用SPSS软件的一般线性模型(GLM),计算存活率变量的方差组分,估计耐低盐性状的遗传力。基于全同胞方差组分分析显示,全同胞方差组分估计的遗传力是对三疣梭子蟹两个发育阶段狭义遗传力的无偏估计值,II期幼蟹耐低盐遗传力为0.18,属于低度遗传力;而80日龄稚蟹耐低盐遗传力为0.20,属于低度遗传力。因此,家系选育方法更适于三疣梭子蟹耐低盐新品种培育。

**关键词** 三疣梭子蟹; II期幼蟹; 80日龄稚蟹; 耐低盐; 遗传力

**中图分类号** Q789 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)03-0074-05

三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)的主要生长环境是海水,经常活动在大约30 m左右的沙质海底,它可以在13-38的盐度中生存,其中最合适的盐度为20-35。在繁殖交配的季节,会洄游到河口或者离海岸较近的浅海港的海湾附近进行繁殖,此为生殖洄游(戴爱云等, 1977)。三疣梭子蟹在世界范围主要分布于东亚,在我国主要分布在辽宁、山东半岛和东南沿海地区,是我国重要的渔业资源(戴爱云等, 1986)。盐度是一种与渗透压极其相关的环境因子,因此也是三疣梭子蟹生存环境中一个非常重要的水质因子,对三疣梭子蟹的生长、呼吸代谢、免疫防御、存活都有着非常重要的影响(周双林等, 2001)。另外,我国长江口、黄河口近海尚有几十万亩低盐养殖池塘未利用。因此,将三疣梭子蟹遗传育种工作与水质环境(盐度)结合,进行耐低盐品种的培育显得十分重要。

遗传力评估是水产动物选择育种的一项基础工作,是开展育种工作的重要依据,对育种方案的制定具有非常重要的指导意义(盛志廉等, 2001)。国内外学者进行了大量遗传力评估的研究,但是大多集中在一些数量性状上。如国外主要对虹鳟(*Salmo gairdneri*) (Aulstad et al, 1972; Gall, 1975)的体长和体重、尼罗罗非鱼(*Tilapia nilotica*) (Tave et al, 1980)的体长和体重、大西洋鲑(*Salmo salar*)的食物转化率(Langdon et al, 2000)等进行了研究。国内主要对脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)幼体的体长和体重的遗传力(李吉涛等, 2013)、刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)耳状幼体初中期体长的遗传力(栾生等, 2006)、海胆(*Strongylocentrotus intermedius*)早期生长发育性状遗传力(刘小林等, 2003)、三疣梭子蟹体重遗传力(高保全等, 2010)、红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)(刘永新等,

\* 国家高技术研究发展计划项目(2012AA10A409)、科技部农业科技成果转化资金项目(2013GB23260589)、山东省科技发展计划项目(2011GHY11526)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。王正, E-mail: wz291304@sina.com

① 通讯作者: 刘萍, 研究员, E-mail: liuping@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2014-03-20, 收修改稿日期: 2014-07-21

2014)以及罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)生长性状(罗坤等, 2008)等数量性状遗传参数进行了研究。

关于水产动物抗性性状遗传力的报道, 目前主要有虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)耐低盐、低溶氧性状遗传力(Hyuma *et al*, 2001a、2001b)、大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)海水抗性遗传力 (Ban *et al*, 1999; Franklin *et al*, 1992)、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)耐低溶氧、低盐、低 pH 值遗传力(王晓清等, 2009)的研究。

对于三疣梭子蟹遗传参数的报道较少, 目前只有高保全等(2010)利用全同胞组内相关法对三疣梭子蟹的体重遗传力进行了估计和刘磊等(2009)研究不同日龄生长性状相关性及其对体重的影响, 而三疣梭子蟹耐低盐遗传力的评估尚未见报道。本研究通过巢式设计建立全(半)同胞家系, 利用方差分析法估计三疣梭子蟹 II 期幼蟹和 80 日龄稚蟹的耐低盐遗传力, 首次对三疣梭子蟹耐盐度遗传力进行探讨, 为三疣梭子蟹抗逆选育提供必要的技术支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 亲蟹交配

2011 年 8 月, 挑选发育优良、大规格、健康的来自三疣梭子蟹“黄选 1 号”核心育种群体的亲蟹, 按♂: ♀为 1:3 的比例采用梭子蟹室内人工控制定向交尾方法完成交尾。

交尾雌蟹进行越冬, 至 2012 年 4 月 15–20 日, 成功排幼得到的子一代的亲蟹有 32 只, 即 32 个全同胞家系, 其中包括 9 个半同胞家系。

### 1.2 子代培育和养殖

每个家系各取  $3 \times 10^5$  尾 I 期蚤状幼体, 分别放入 1 个  $10 \text{ m}^3$  水泥池中按照常规方法培育, 各个阶段培养环境条件一致。以卤虫(*Artemia sinica*)、褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)为饵料, 每日换水 10%, 连续充气培养。II 期幼蟹时, 每个家系取 450 尾 II 期幼蟹用于实验, 另取 1500 尾放置于室外  $200 \text{ m}^2$  养殖池中继续饲养, 并保持培养环境条件一致。

### 1.3 实验处理及分组

采用 72 h 半致死盐度 11 的剂量进行低盐胁迫实验。II 期幼蟹时, 每个家系随机选择 800 只, 正常盐度海水暂养 24 h, 然后每个家系分成 9 份, 每份 50 个个体, 放于 150 L 聚乙烯桶中, 海水盐度降至 11; 80 日龄时, 每个家系随机取 300 只转移到室内水泥池中, 采用正常海水暂养 72 h, 然后每个家系分成 9 份, 每份 30 个个体, 海水盐度降至 11。

### 1.4 死亡率统计

实验期间每天换盐度 11 的海水 50%, II 期幼蟹投喂卤虫成体, 80 日龄稚蟹投喂蓝蛤, 及时将死蟹捞出。II 期幼蟹低盐胁迫 144 h, 统计 72–144 h 的成活率。80 日龄稚蟹胁迫 360 h, 统计 72–360 h 的成活率。

### 1.5 统计分析

本实验采用动物模型的遗传参数的估计

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

式中,  $\mu$  为体平均数;  $\alpha_i$  和  $\beta_j$  为 A 因素的第  $i$  个水平效应和 B 因素的第  $j$  个水平效应;  $(\alpha\beta)_{ij}$  为 A 因素第  $i$  个水平、B 因素第  $j$  个水平的交互作用效应;  $e_{ijk}$  为偶然误差。整个数据模型运用软件 SPSS 的 GLM 实现, 表 1 为全同胞资料遗传相关估计方差分析。

母系半同胞方差用  $\sigma_D^2$  表示; 父系半同胞方差用  $\sigma_S^2$  表示; 全同胞个体间方差用  $\sigma_e^2$  表示; 雌性亲本数、雄性亲本数以及总共后代个体数分别用  $D$ 、 $S$ 、 $N$  表示; 雄性亲本内相配的雌性亲本平均后代数用  $K_1$  表示、每个雌性亲本的平均后代数用  $K_2$  表示; 因为每个雄性亲本的后代数  $K_3$  都不相等, 因此加权进行校正:

$$K_3 = \frac{1}{S-1} \left( N - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^S n_i^2 \right)$$

式中,  $n_i$  为第  $i$  个雄性亲本的后代个数。

### 1.6 遗传力计算及显著性检验

3 个遗传力估计值可以在全同胞资料作为二因素

表 1 全同胞资料遗传相关估计方差分析

Tab.1 Analysis of variance for phenotypic variation

变异来源 Source of variation	自由度 Degree of freedom	平方和 Quadratic sum	均方 Mean square	期望均方 Expected mean square
雄性间 Within sires	$S-1$	$SS_S$	$MS_S$	$\sigma_e^2 + K_2 \times \sigma_D^2 + K_3 \times \sigma_S^2$
雄内雌间 Dams within sires	$D-S$	$SS_D$	$MS_D$	$\sigma_e^2 + K_1 \times \sigma_D^2$
雌雄内后代个体间 Full-sibs within sires and dams	$N-D$	$SS_e$	$MS_e$	$\sigma_e^2$
总和 Total	$N-1$	$SS_T$		

系统分组方差分析中获得。半同胞估计的狭义遗传力是半同胞组内相关系数的4倍:

$$\text{母系半同胞, } h_D^2 = 4 \times \frac{\sigma_D^2}{\sigma_S^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2}; \text{父系半同胞,}$$

$$h_S^2 = 4 \times \frac{\sigma_S^2}{\sigma_S^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2}; \text{全同胞估计的狭义遗传力是全}$$

$$\text{同胞组内相关系数的两倍, } h_{SD}^2 = 2 \times \frac{\sigma_S^2 + \sigma_D^2}{\sigma_S^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2};$$

母系半同胞、父系半同胞以及全同胞估计的狭义遗传力分别用  $h_D^2$ 、 $h_S^2$ 、 $h_{SD}^2$  表示。

## 2 结果

### 2.1 三疣梭子蟹 II 期幼蟹和 80 日龄稚蟹低盐下存活率

三疣梭子蟹 II 期幼蟹和 80 日龄稚蟹的平均存活率和标准差见表 2。其中, II 期幼蟹平均成活率为 55%, 80 日龄稚蟹平均成活率为 64%。

表 2 三疣梭子蟹 II 期幼蟹和 80 日龄稚蟹的存活率  
Tab.2 The survival rate of *P. trituberculatus* at stage II and 80-day

生长阶段 Growth phase	组数 Class number	平均存活率 Average survival rate	标准差 Standard deviation
II 期幼蟹 Second phase crab	288	0.55	0.004
80 日龄稚蟹 80-day-old crab	288	0.64	0.005

### 2.2 三疣梭子蟹耐低盐存活率的方差分析

三疣梭子蟹 II 期幼蟹和 80 日龄稚蟹存活率的方差分析见表 3。方差分析显示, 雄性亲本间 II 期幼蟹和 80 日龄稚蟹存活率  $F$  检验  $P < 0.01$ , 差异极显著; 蟹内雌蟹间的 II 期幼蟹和 80 日龄稚蟹存活率  $F$  检验  $0.01 < P < 0.05$ , 差异显著。

三疣梭子蟹 II 期幼蟹和 80 日龄稚蟹, 雌性亲本和雄性亲本间的有效平均后代数目: 雄性亲本内相配

表 3 三疣梭子蟹 II 期幼蟹和 80 日龄稚蟹存活率的方差分析

Tab.3 Analysis of variance components of the survival rate of *P. trituberculatus* at stage II and 80-day

生长阶段 Growth phase	变异来源 Source of variance	存活率 Survival rate		
		自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	均方比 $F$
II 期幼蟹 Second phase crab	雄间 Within sires	23	0.013	3.850**
	雄内雌间 Dams within sires	8	0.008	1.820*
	全同胞间 Full-sibs within sires and dams	256	0.006	
	总和 Total	287		
80 日龄稚蟹 80-day-old crab	雄间 Within sires	23	0.024	3.700**
	雄内雌间 Dams within sires	8	0.015	2.301*
	全同胞间 Full-sibs within sires and dams	256	0.011	
	总和 Total	287		

\*. 差异显著; \*\*. 差异极显著

\*. Significant difference; \*\*. Highly significant difference

的雌性亲本的后代数  $K_1=9$ ; 每个雌性亲本的后代数  $K_2=9$ ; 每个雌性亲本的平均数目  $K_3=11.91$ 。

### 2.3 存活率变量的原因方差组分

根据方差分析与各亲本后代数的结果, 计算了三疣梭子蟹 II 期幼蟹和 80 日龄稚蟹雄性亲本, 雄性亲本和雄雌内全同胞间组分的方差(表 4), 其中在 80 日龄稚蟹中雄性亲本的方差大于雌性亲本的方差, 表明雄性亲本间半同胞个体存在不小的变异程度。

### 2.4 三疣梭子蟹耐低盐遗传力的估计

根据母系半同胞、父系半同胞以及全同胞的方差组分, 估计了三疣梭子蟹 II 期幼蟹和 80 日龄耐低盐

的遗传力(表 5)。对 II 期幼蟹耐低盐遗传力估计为 0.12–0.2; 对 80 日龄稚蟹耐低盐遗传力估计为 0.13–0.26。

表 4 存活率组成的方差组分

Tab.4 Analysis of causal components of the survival rate

方差组分 Components of variance	存活率 Survival rate	
	II 期幼蟹 Second phase crab	80 日龄稚蟹 80-day-old crab
$\sigma_S^2$	0.0004	0.0008
$\sigma_D^2$	0.0002	0.0004
$\sigma_e^2$	0.0060	0.0110
$\sigma_T^2 = \sigma_S^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2$	0.0066	0.0122
$\sigma_S^2 + \sigma_D^2$	0.0006	0.0012

表5 三疣梭子蟹Ⅱ期幼蟹和80日龄的耐低盐遗传力  
Tab.5 Heritability of the tolerance to low salinity in  
*P. trituberculatus* on day 80 and 120

遗传力估计方法 Estimation method of heritability	存活率 Survival rate			
	Ⅱ期幼蟹 Second phase crab	<i>t</i> 检验 <i>t</i> test	80日龄 80-day-old crab	<i>t</i> 检验 <i>t</i> test
父系半同胞 Paternal half-sibs	0.24	0.86	0.26	0.92
母系半同胞 Maternal half-sibs	0.12	0.44	0.13	0.47
全同胞 Full-sibs	0.18	1.96*	0.20	2.04*

\*. 差异显著 \* Significant difference

经过 *t* 检验, 依据父系半同胞、母系半同胞方差组分估计的遗传力均未达到显著水平, 可认为, 依据全同胞方差组分估计的遗传力是三疣梭子蟹耐低盐遗传力的无偏估计值。

### 3 讨论

遗传力是亲代的性状遗传给子代的一种能力, 对于遗传力高的性状, 子代重现性状的可能性就高, 选择愈易成功, 反之则较容易失败, 因此, 可根据遗传力的大小, 选择育种中哪些性状用何种方法效果最好。如果遗传力大于 0.4, 早代性状选择效果较好, 适用于个体或群体表型选择法来选种; 若遗传力小于 0.2, 早代性状选择效果较差, 适用于家系选择或家系内选择(赵存发等, 2010)。

从国内外的研究情况来看, 多数水产动物遗传力估计值低于 0.4, 如虹鳟鱼的体重遗传力为 0.06–0.29 (Refstie *et al*, 1978; Gunnes *et al*, 1978), 而体长的遗传力估计为 0.16–0.37 (Aulstad *et al*, 1972; Gall, 1975; Chevassus, 1976)。李吉涛等(2013)运用全同胞组内相关法估计脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄体长遗传力为 0.14–0.35 和 0.07–0.31, 体重遗传力为 0.12–0.23 和 0.14–0.33。王晓清等(2009)对大黄鱼的耐低溶氧、低盐和低 pH 值遗传力估计值分别为 0.23、0.10 和 0.23。梁峻等(2011)估计了虾夷扇贝养殖群体的遗传力, 10 日龄幼虫壳长、壳高的遗传力为 0.307±0.074 和 0.311±0.075; 20 日龄幼虫壳长、壳高的遗传力为 0.336±0.079 和 0.314±0.075; 40 日龄幼虫壳长、壳高的遗传力为 0.318±0.081 和 0.280±0.075; 60 日龄幼虫壳长、壳高的遗传力为 0.383±0.091 和 0.423±0.097; 500 日龄幼虫壳长、壳高的遗传力为 0.377±0.096 和 0.358±0.094; 杨翠华等(2007)对中国对虾(*Penaeus chinensis*) 6 项免疫相关组分进行了遗传力估计, 分别是 0.00±0.13、0.09±0.22、0.03±0.20、0.30±0.20、0.63±0.32 和

0.39±0.25。从中可以看出, 多数的水产动物遗传力属于中低程度遗传力, 而大于 0.4 的高度遗传力的结果相对而言较少; Langdon 等(2000)采用全同胞组内相关法对太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)进行遗传力估计为 0.54。栾生等(2006)对刺参耳状幼体初中期体长的遗传力进行了估计, 分别为 0.74 和 0.75。刘小林等(2003)对虾夷马粪海胆 90 d 和 150 d 的体重遗传力和壳径遗传力进行了估计, 分别为 0.339–0.523 和 0.316–0.487。

本研究应用数量遗传学原理和全同胞组内相关法估计三疣梭子蟹Ⅱ期幼蟹和 80 日龄稚蟹耐低盐性状的遗传力为 0.18–0.20, 为三疣梭子蟹耐低盐新品种的培育提供了数据支持。

### 参 考 文 献

- 王晓清, 王志勇, 何湘蓉. 大黄鱼(*Larimichthys crocea*)耐环境因子试验及其遗传力的估计. 海洋与湖沼, 2009, 40(6): 781–785
- 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 虾夷马粪海胆早期生长发育的遗传力估计. 中国水产科学, 2003, 10(3): 206–211
- 刘磊, 李健, 高保全, 等. 三疣梭子蟹不同日龄生长性状相关性及其对体重的影响. 水产学报, 2009, 33(6): 964–971
- 刘永新, 周勤, 张红涛, 等. 红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)生长性状的遗传参数估计. 渔业科学进展, 2014, 35(6): 39–44
- 李吉涛, 李健, 刘萍, 等. 脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)体长和体重遗传力的估计. 海洋与湖沼, 2013, 44(4): 968–972
- 杨翠华, 孔杰, 王清印, 等. 中国对虾 6 项免疫相关组分的估计遗传力和遗传相关. 科学通报, 2007, 52(2): 183–191
- 罗坤, 孔杰, 栾生, 等. 罗氏沼虾生长性状的遗传参数及其相关性. 渔业科学进展, 2008, 29(3): 80–84
- 周双林, 姜乃澄, 卢建平. 甲壳动物渗透压调节的研究进展. 东海海洋, 2001, 19(1): 44–51
- 赵存发, 高佃平, 李金泉, 等. 内蒙古白绒山羊体重性状遗传力的估计. 畜牧与饲料科学, 2010(6): 12–14
- 栾生, 孙慧玲, 孔杰. 刺参耳状幼体体长遗传力的估计. 中国水产科学, 2006, 13(3): 378–383
- 高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹体重遗传力的估计. 海洋与湖沼, 2010, 41(3): 1–5
- 盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学. 北京: 科学出版社, 2001, 60–74
- 梁峻, 郑怀平, 李莉, 等. 虾夷扇贝养殖群体的遗传力估算. 海洋科学, 2011, 35(3): 1–7
- 戴爱云, 杨思凉, 宋玉枝. 中国海洋蟹类. 北京: 海洋出版社, 1986, 213–214
- 戴爱云, 冯钟琪, 宋玉枝, 等. 三疣梭子蟹渔业生物资源的初步调查. 动物学杂志, 1977, 12(2): 30–33
- Aulstad DG, Gjerdrem T, Skjervold H. Genetic and environmental sources of variation in length and weight of rainbow trout (*S. gairdneri*). Fish Res Board Can, 1972, 29: 237–341

- Ban M, Haruna H, Ueda H. Seawater tolerance of lacustrine sockeye salmon from Lake Toya. Bull Natl Salmon Resources Center, 1999, 2: 15–20
- Chevassus B. Variability heritability des performances de croissance chez truite arc-en-ciel (*S. gairdneri*). Ann Genet Sel Anim, 1976, 8: 273–281
- Franklin CE, Davison W, Forster ME. Seawater adaptability of New Zealand's sockeye and chinook salmon: Physiological correlates of smoltification and seawater survival. Aquaculture, 1992, 102: 127–142
- Gall GA. Genetics of reproduction in domesticated rainbow trout. J Fish Sci, 1975, 40(1): 19–28
- Gunnes K, Gjerdem T. Selection experiments with salmon IV growth of Atlantic salmon during two years in the sea. Aquaculture, 1978, 5(1): 19–23
- Hyuma K, Nobuyuki I, Akihiro K. Estimation of heritability for growth by factorial mating system in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Suisanzoshoku, 2001a, 49(2): 243–251
- Hyuma K, Nobuyuki I, Akihiro K. Estimation of heritability of tolerance to low-salinity by factorial mating system in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Suisanzoshoku, 2001b, 49(2): 253–260
- Langdon CJ, Jacobson DP, Evans F, et al. The molluscan broodstock program improving Pacific oyster broodstock through genetic selection. J Shellfish Res, 2000, 19(1): 616
- Refstie T, Steine TA. Selection experiments with salmon III: Genetic and environmental sources of variation in length and weight of Atlantic salmon in the fresh water phase. Aquaculture, 1978, 14(3): 221–231
- Tave D, Smitherman RO. Predicted response to selection for early growth in *Tilapia nilotica*. Trans Am Fish Soc, 1980, 109(4): 439–455

(编辑 冯小花)

## Estimation of the Heritability of the Tolerance to Low-Salinity in *Portunus trituberculatus*

WANG Zheng<sup>1,2</sup>, GAO Baoquan<sup>2</sup>, LIU Ping<sup>2①</sup>, LI Jian<sup>2</sup>

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

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** Along with the rapid expansion of the culture of *Portunus trituberculatus*, various problems, such as diseases, larval degeneration, and natural resource depletion, have largely led to economic losses. Salinity is an osmotic pressure-related environmental and water quality factor which has great impact on the growth, the respiratory metabolism, the immune defense, and the survival of *P. trituberculatus*. In this study, we estimated the heritability of the body weight of *P. trituberculatus* with the intra-group correlation of full-sibs. A total of 400 mature crabs were taken from the culture, and 100 sires and 300 dams were mated in 1♂×3♀, and 9 half-sib families and 32 full-sib families were generated. We divided 450 individuals equally into 9 groups from each family at II stage, and 270 individuals were divided equally into 9 groups from each family at the 80-day stage. The subjects were stressed under salinity 11 and then the survival rates were measured. Causal components of phenotypic variance were calculated with the GLM procedure of SPSS software. The heritability of II stage and 80-day stage was 0.12–0.24 and 0.13–0.26 respectively. No significant difference was found in the heritability between the maternal and the paternal genetic variances. However, there was a significant difference in the components variance of full-sibs within sires and dams. The values from components of variance of full-sibs within sires and dams were 0.18 and 0.20 for II stage and 80-day stage respectively, and they were precise and unbiased. These results suggested that the heritability of the tolerance to low salinity was low in *P. trituberculatus*.

**Key words** *Portunus trituberculatus*; Second phrase crabs; 80-day-old crabs; Tolerance to low-salinity; Heritability

① Corresponding author: LIU Ping, E-mail: liuping@ysfri.ac.cn