

# 不同近交程度对三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)繁殖性能的影响\*

王好锋<sup>1,2,3</sup> 高保全<sup>2,3</sup> 刘 萍<sup>2,3①</sup> 李 健<sup>2,3</sup> 潘鲁青<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学水产学院 青岛 266003; 2. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室  
中国水产科学院黄海水产研究所 青岛 266071; 3. 青岛海洋科学与技术国家实验室  
海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 青岛 266071)

**摘要** 以本实验室建立的三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)全同胞家系为研究对象,通过连续观测 6 代三疣梭子蟹近交家系的抱卵量、排幼量、孵化率、单位体重抱卵量、单位体重排幼量及幼体发育各阶段的变态率 6 个指标来评价近交对三疣梭子蟹繁殖性能的影响。方差分析显示,在实验亲蟹的规格大小对测量数据无影响的条件下,近交系数每增加 10%,各近交代与非近交代  $F_{1m}$  在单位体重抱卵量与单位体重排幼量的差异不显著( $P>0.05$ ),这 2 个指标的近交衰退系数分别为  $-2.789\% \sim -6.620\%$  和  $-1.188\% \sim -5.938\%$ ; 孵化率的差异也不显著( $P>0.05$ ),衰退系数为  $-1.859\% \sim -7.222\%$ ,表明没有明显的近交衰退;由溞状幼体(Z)阶段、大眼幼体(M)阶段到 II 期幼蟹阶段的变态率变化趋势可知,随着近交代数的增加,各阶段的变态率呈下降趋势。

**关键词** 近交; 三疣梭子蟹; 家系; 繁殖

**中图分类号** S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)06-0138-06

三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)生长较快,个体较大,肉味鲜美,食用价值高,1981 年以来被列为我国海洋水产养殖主导种类之一(孙颖民等, 1984)。为满足水产养殖的需要,越来越多的苗种由人工蓄养的亲本群体提供,在苗种生产过程中,捕获的亲本数量有限,由此不可避免会造成群体内的近交,加之累代养殖所造成的种质退化,遗传多样性降低的可能性大大增加,近交到底能否引起群体近交衰退也日益成为人们关注的焦点(张洪玉等, 2009)。

在自然条件和人工养殖条件下都能产生近交,近交会使得物种的一些表型性状降低(Frankham *et al.*, 2001),称为近交衰退。相比存活、繁殖和竞争能力等与适应性相关的综合性状,形态性状更容易受到近交的影响产生近交衰退(马大勇等, 2005)。近交衰退

的程度随着物种的不同、近交程度的差异、实验测量指标的特性等而产生差异(Lannan, 1981; Keller *et al.*, 2002; Affre *et al.*, 1999),同时,实验材料不同的近交历史以及不同的遗传负荷也能造成不同物种及同种不同群体的实验对象的近交衰退程度产生差异(马大勇等, 2005)。

近交对动物繁殖性能的研究多集中在胎生哺乳动物和禽类(刘卫东等, 2010; Cassinello *et al.*, 2005; Frommen *et al.*, 2008; Nina *et al.*, 1994)。研究发现,近交对水产动物的性腺成熟系数(Gallardo *et al.*, 2004)、产卵数(Su *et al.*, 1996)、卵孵化率、幼鱼死亡率(Gjerde *et al.*, 1983)、幼鱼畸形率及存活率(Gjerde *et al.*, 1983; Nakadate *et al.*, 2003)有显著的影响。但并非所有近交相关的研究都证明近交造成了衰退,如闫喜武等

\* 国家自然科学基金项目(41576147)、青岛海洋科学技术国家实验室鳌山科技创新计划项目(2015ASKJ02)和泰山领军人才工程高效生态农业创新类计划项目(LJNY2015002)共同资助。王好锋, E-mail: whf.06@163.com

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

收稿日期: 2015-12-04, 收修改稿日期: 2015-12-10

(2011)研究表明, 虽然近交使菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)的存活性状出现了不同程度的衰退, 却同时改良了近交世代的生长性状。Moss 等(2007)研究表明, 在没有胁迫的养殖条件下, 近交对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的存活没有产生显著的影响。Crnokrak 等(1999)大量的近交相关研究发现, 只有约54%的研究显示了显著的近交衰退。

关于三疣梭子蟹近交多代家系的繁殖性能是否出现衰退还未见报道, 鉴于此, 本研究系统比较了近交6代三疣梭子蟹家系的抱卵量、排幼量、孵化率、变态率等几个相关性状, 以期评价近交对三疣梭子蟹繁殖性能的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

本实验于2011年3-6月在中国水产科学研究院黄海水产研究所实验基地山东潍坊市昌邑海丰水产养殖有限责任公司进行。本实验室将收集的莱州湾海区、鸭绿江口海区、海州湾海区和舟山海区4个不同地理群体作为基础群体, 利用人工定向交尾技术, 通过自交构建传代家系, 良种家系留种传代。2005年建立的近交家系至2011年传至6代( $F_6$ ), 每一代挑选形态学指标无差异的3个抱卵亲蟹作为实验材料建立家系, 共6代18个实验家系。

### 1.2 实验设施与方法

**1.2.1 实验设施** 亲蟹于2010年9月在室内设计定向交尾后, 于底面积为30-40 m<sup>2</sup>、水位为0.8-1.2 m的室内水泥池中越冬, 池底铺10-15 cm细沙, 亲蟹入池前用二溴海因进行体表消毒, 越冬温度控制在8-10℃, 越冬期间, 亲蟹密度控制在5-8 只/m<sup>2</sup>, 溶氧不低于5 mg/L, pH值为7.8-8.6, 盐度为28-32, 光照强度控制在500 lx以下。

亲蟹排幼前转入8 m<sup>2</sup> × 1.5 m的室内单独育苗池中, 幼体以褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)、卤虫(*Brine shrimp*)为饵料, 每天均换水10%, 连续充气培养。

**1.2.2 实验亲蟹的指标测量** 测定实验亲蟹的形态学指标, 用游标卡尺测量所选定亲蟹的全甲宽, 精确到0.1 mm; 根据文献(孙颖民等, 1984)观察越冬抱卵亲蟹的卵块发育情况, 采用显微镜检查膜内幼体的心跳次数(祝世军, 2005), 观测卵块发育颜色, 结合镜检卵膜内幼体每分钟心跳次数, 确定亲蟹布入单独育苗池的时间, 并预估亲蟹排幼时间。

**1.2.3 近交系数与近交衰退系数的确定** 近交系数(Inbreeding coefficient)是衡量被选择物种近交衰退的标准指标, 同时也是对近交进行度量最常用的指标, 是根据近亲交配的世代数, 将基因的纯化程度用百分数来表示, 也指个体由于近交而造成异质基因减少时, 同质基因或纯合子所占的百分比, 其数值越大即表明个体的基因越纯合, 近交程度越高。近交系数( $F_x$ )通过以下公式进行估计(马大勇等, 2005):

$$F_x = \sum \left[ \left( \frac{1}{2} \right)^{n_1 + n_2 + 1} (1 + F_A) \right]$$

式中,  $n_1$  是共同祖先与该个体父本间的世代间隔数,  $n_2$  是共同祖先与该个体母本间的世代间隔数,  $F_A$  是共同祖先本身的近交系数。

各个表型性状与  $F_{1m}$  代相比较的近交衰退系数(Inbreeding depression coefficient,  $IDC$ )可以通过以下的计算公式进行估计:

$$IDC = \frac{1 - \frac{\bar{W}_{Inbred}}{\bar{W}}}{(F - F_{Inbred})}$$

式中,  $\bar{W}_{Inbred}$  和  $\bar{W}$  分别为近交家系和  $F_{1m}$  代家系各个观测指标的平均值,  $F_{Inbred}$  和  $F$  分别为近交家系和  $F_{1m}$  代家系的近交系数。

### 1.2.4 繁殖力的测定

**1.2.4.1 排幼量的测定** 三疣梭子蟹亲蟹一次受精可排幼2-5次, 研究表明, 第2次排幼幼体的质量明显比第1次排幼幼体质量差(Wu *et al.*, 2010)。鉴于经济效益、养殖成本及优化保种, 本研究只对第1次排幼的幼体进行相关实验数据的收集。采用显微镜检查亲蟹卵膜内幼体的心跳次数, 在其排幼前10 h左右, 将亲蟹用箱笼放入8 m<sup>2</sup> × 1.5 m的单独育苗池, 监测排幼时间, 排幼后6 h, 在育苗池均匀设6个位置, 分别取400 ml水样, 统计每个位置的 $Z_1$ 幼体个数, 计算6个位置的均值, 再根据育苗池水体的体积计算亲蟹的排幼量。

**1.2.4.2 抱卵量的测定** 用天平测出产卵前亲蟹体重  $m_1$ , 产卵后体重  $m_2$ , 精确到1 g; 用电子天平称取刚产出的卵1.0 g, 在解剖镜下计数, 平行测2次, 平均值为卵密度(粒/g), 通过以下公式计算抱卵量:

$$\text{抱卵量} = (m_1 - m_2) \times \text{卵密度}$$

**1.2.4.3 孵化率的计算** 亲蟹在育苗池中孵化出的  $Z_1$  幼苗数占受精卵总数的百分比即为亲蟹的孵化率, 实验亲蟹的孵化率通过以下公式进行估计:

$$\text{孵化率}(\%) = \frac{\text{排幼量}}{\text{抱卵量}} \times 100$$

**1.2.4.4 变态率的测定** 三疣梭子蟹的幼体发育经历了溞状幼体(Z)阶段和大眼幼体(M) 2 个阶段。本研究按照孙颖民等(1984)的阶段分期特点作为分期主要依据。采用显微镜观察幼体发育状态,根据发育阶段的时间,设置每次幼体蜕皮变态 6 h 为测量时间点,从育苗池的均匀 6 个位置分别取 400 ml 水样,根据计数时水体体积统计  $Z_1$  和  $Z_4$ ,分别取平均值,记为  $Sz_1$  和  $Sz_4$ ;在家系出苗时,用电子天平称取每个家系 100 只 II 期幼蟹的重量,记为  $m$ ,所出蟹苗的重量为  $N$ ,精确到 0.1 g,根据  $100 N/m$  计算出苗的 II 期幼蟹个体数,记为  $S_{II}$  期幼蟹,计算各阶段的变态率。

**1.2.5 数据处理与分析** 采用统计分析软件 SPSS 17.0 对各性状的平均值、标准差进行统计分析,单因素方差分析(One-way ANOVA)的显著性水平设为  $P < 0.05$ ,比较不同时期实验组间平均值差异,并对差异显著的组间进行多重比较分析(LSD)。以近交代数为分组依据,以亲蟹的全甲宽、体重为协变量,对所测得的抱卵量、排幼量、变态率等指标进行协方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 近交系数与亲蟹形态学指标

本研究以 2005 年采自莱州湾海区、鸭绿江口海区、海州湾海区和舟山海区 4 个不同地理群体的原始

野生蟹作为基础群体,认为原始祖先的“祖父本”和“祖母本”在地理位置上没有近交的可能,即原始祖先的近交系数为 0。根据近交系数计算公式所得每一代的近交系数如表 1 所示,可见全同胞家系的建立在较短的世代内就可以达到非常高的近交系数。

### 2.2 繁殖力分析

对繁殖力指标的数据分析结果如表 2 所示,随着近交代数和近交系数的增加,单位体重抱卵量、单位体重排幼量虽然在总体上有下降的趋势,但方差表明各代之间的差异性并不显著( $P > 0.05$ );抱卵量和排幼量呈下降的趋势,但各代繁殖力的差异性并不显著( $P > 0.05$ );孵化率没有呈现明显的上升或下降的趋势,其各代的实际孵化率差异性也不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.3 协方差分析

为剔除亲蟹的规格大小对测量数据的影响,以近交代数为分组依据,分别以亲蟹的全甲宽和体重为协变量,对所测得的抱卵量、排幼量、孵化率等繁殖性能进行协方差分析,结果如表 3 所示。由表 3 结果可知,以实验所选亲蟹的全甲宽或体重作为协变量,各个因变量的  $F$  统计量的相伴概率值均大于显著性水平 0.05,说明本研究所选亲蟹的规格大小对各个数据的测量没有显著影响。

表 1 三疣梭子蟹亲蟹规格  
Tab.1 Information of *P. trituberculatus* broodstock

代数 Generation	家系类别 Category	全甲宽 Full carapace width (mm)	产前体重 Body weight before hatching $m_1$ (g)	产后体重 Body weight after hatching $m_2$ (g)	近交系数 $F$
F <sub>1m</sub>	HJ9-210	137.75	202.6	169.8	0.0000
	GD1-210	128.24	191.5	143.0	
	HJ6-110	140.16	204.2	162.3	
F <sub>2m</sub>	HJ1821	144.71	257.0	213.2	0.0000
	HJ928	133.06	194.7	151.7	
	HJ839	140.84	204.9	178.3	
F <sub>3m</sub>	Z21	136.83	173.6	139.4	0.2500
	L28	142.69	189.0	157.5	
	HJ1822	140.96	212.6	164.8	
F <sub>4m</sub>	LH1	148.53	233.7	195.4	0.3750
	DZ3-207-3	142.12	205.1	170.8	
	HJ1703	143.15	196.5	164.1	
F <sub>5m</sub>	P4-306-4	153.16	273.7	247.8	0.5000
	Q21-106-4	152.06	250.7	208.8	
	Q17-206-4	165.72	338.5	269.5	
F <sub>6m</sub>	G10	130.22	164.3	137.8	0.5938
	HJ1210	150.07	295.3	246.3	
	Q21	144.07	218.2	180.9	

表 2 三疣梭子蟹不同世代的繁殖力(平均值±标准差)

Tab.2 The reproductive performance of every generation of *P. trituberculatus* (Mean±SD)

代数 Generation	单位体重抱卵量 Fecundity per unit body weight (eggs/g)	单位体重排幼量 Egg production per unit body weight (eggs/g)	抱卵量 Fecundity (10 <sup>4</sup> eggs)	排幼量 Egg production (10 <sup>4</sup> eggs)	孵化率 Hatching rate (%)
F <sub>1m</sub>	5541.68±385.46	2718.27±523.24	86.37±1.65	42.60±4.22	49.98±1.93
F <sub>2m</sub>	4473.22±323.56	3179.41±325.89	79.49±2.04	55.74±2.05	68.73±3.32
F <sub>3m</sub>	5155.36±446.92	3005.13±354.33	79.57±1.83	47.00±1.64	59.01±1.32
F <sub>4m</sub>	4166.06±151.96	2597.17±268.45	73.61±6.33	46.77±2.04	62.51±3.03
F <sub>5m</sub>	3934.38±362.01	2209.81±254.36	95.90±4.58	53.20±2.66	54.63±3.32
F <sub>6m</sub>	4188.33±146.04	2353.93±330.21	79.08±2.36	46.47±2.59	56.25±2.89

表 3 三疣梭子蟹各代的抱卵量、排幼量、孵化率的协方差分析(ANOVA)

Tab.3 Covariance analysis of fecundity, egg production, and hatching rate of *P. trituberculatus* (ANOVA)

源 Source	因变量 Dependent variable	统计量 F	相伴概率 Sig.
体重 Body weight	抱卵量 Fecundity	2.933	0.115
	排幼量 Egg production	3.507	0.088
	孵化率 Hatching rate	1.052	0.327
	单位体重抱卵量 Fecundity per unit body weight	0.192	0.670
	单位体重排幼量 Egg production per unit body weight	0.076	0.787
全甲宽 Full carapace width	抱卵量 Fecundity	3.485	0.089
	排幼量 Egg production	3.345	0.095
	孵化率 Hatching rate	0.990	0.341
	单位体重抱卵量 Fecundity per unit body weight	0.128	0.727
	单位体重排幼量 Egg production per unit body weight	0.073	0.792

## 2.4 衰退系数

依据祝世军(2005)中的计算公式得出的衰退系数数值见表 4, 以 F<sub>1m</sub> 代作为对比代进行分析。由表 4 可知, 相对于 F<sub>1m</sub> 代, 除 F<sub>2m</sub> 代外, 近交系数每增加 10%, 单位体重抱卵量的衰退系数为-2.789% ~ -6.620%, 单位体重排幼量的衰退系数为-1.188% ~ -5.938%, 孵化率没有表现出衰退。

## 2.5 变态率分析

分析各代家系各阶段的变态率, 结果如表 5 所示, 经分析可知, 各期的变态率总体呈下降趋势。

## 3 讨论

### 3.1 遗传多样性、物种适应性与近交衰退

遗传多样性主要是指种内基因的变化, 包括种内不同群体之间或同一群体内不同个体的遗传变异的总和, 研究对象为群体内的个体间变异、群体间变异、品种间变异等。Reed 等(2003)发现, 物种遗传多样性与适应性之间存在显著的正相关。近交的繁育方式是有亲缘关系的个体间交配, 增加了有害等位基因的纯合几率, 多代繁殖后促使遗传多样性降低, 导致后代

个体适合度(即对环境因素的适应性)下降, 而适合度的降低, 则造成后代基因库中的基因频率随世代而减, 这就是近交衰退现象。

### 3.2 近交对动植物繁殖性能的影响

近交衰退是对适合度变化的一种反映, 适合度包含许多成分, 近交衰退可以直接对适合度成分进行测定, 近交衰退程度的大小主要受近交世代即近交系数的影响, 但在不同时期可能受到不同因素的影响(Husband *et al*, 1996)。近交衰退可能发生在植物生长的各个阶段, 非常有害的等位基因通常会在植物生长的早期造成近交衰退, 中等有害的等位基因产生的近交衰退则多在植物生长的后期出现(Fischer *et al*, 2003), 但动物因胚胎发育早期就分化出生殖细胞系, 而这些生殖细胞在有性生殖成为精子、卵细胞前, 仅历经较少的细胞分裂, 积累的突变较少, 而来源于分生组织细胞的植物孢子体细胞经历了较多分类, 比动物生殖细胞更容易积累突变, 造成的遗传负荷大, 更容易受到近交的影响(Hämmerli *et al*, 2003)。对动物近交衰退的研究已证明, 近交系数每增加 10%, 银大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)的性腺成熟系数(Gallardo *et al*, 2004)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的产卵数(Su *et al*, 1996)的近交衰退系数分别为-5.3%和-6.1%。

表 4 三疣梭子蟹各代亲蟹的衰退系数(%)  
Tab.4 Inbreeding depression coefficient of every generation of *P. trituberculatus* (%)

代数 Generation	单位体重抱卵量的衰退系数 IDC of fecundity per unit body weight	单位体重排幼量的衰退系数 IDC of egg production per unit body weight	孵化率的衰退系数 IDC of hatching rate
F <sub>2m</sub>	0.000	0.000	0.000
F <sub>3m</sub>	-2.789	4.221	7.222
F <sub>4m</sub>	-6.620	-1.188	6.685
F <sub>5m</sub>	-5.801	-3.741	1.859
F <sub>6m</sub>	-5.938	-5.938	2.112

注: 近交衰退系数为近交系数每增加 10%, 近交群体比基础群体或非近交群体表型值下降的百分率

Notes: The estimated inbreeding depression coefficient in the table is the decrease percentage of the inbreeding population compared with the base or non-inbreeding population when the inbreeding coefficient increases per 10%

表 5 三疣梭子蟹各代家系各个阶段的变态率分析(平均值±标准差)

Tab.5 Metamorphosis rate at each stage from zoea I (Z<sub>1</sub>) to crab II (C<sub>2</sub>) of every generation of *P. trituberculatus* (Mean±SD)

代数 Generation	Z <sub>1</sub> 至 Z <sub>4</sub> 变态率 Metamorphosis rate from zoea I to zoea IV (%)	Z <sub>4</sub> 至 II 期幼蟹变态率 Metamorphosis rate from zoea IV to crab II (%)	Z <sub>1</sub> 至 II 期幼蟹变态率 Metamorphosis rate from zoea I to crab II (%)
F <sub>1m</sub>	58.87±5.12	18.83±2.03	10.32±1.46
F <sub>2m</sub>	45.17±3.37	16.47±1.46	5.52±0.95
F <sub>3m</sub>	61.10±6.41	15.27±1.24	9.31±2.37
F <sub>4m</sub>	44.33±3.23	8.53±1.02	3.73±2.77
F <sub>5m</sub>	47.40±2.93	7.48±0.89	3.34±0.55
F <sub>6m</sub>	42.17±5.60	12.11±1.33	5.57±0.04

### 3.3 近交对三疣梭子蟹繁殖性能的影响

本研究系统比较了近交 6 代三疣梭子蟹的抱卵量、排幼量、孵化率、变态率等几个相关繁殖性状来评价近交对三疣梭子蟹繁殖性能的影响, 相对于 F<sub>1m</sub> 代, 随着近交代数的增加, 单位体重抱卵量、单位体重排幼量均呈现不同程度的近交衰退, 表现在近交系数每增加 10%, 单位体重抱卵量和单位体重排幼量的衰退系数分别为-2.789%~-6.620%和-1.188%~-5.938%, 但近交后代与非近交代的孵化率相比并没有表现出衰退。马大勇等(2005)通过分析虹鳟、银大马哈鱼、日本对虾(*Penaeus japonicus*)等水产物种得出结论, 10% 的近交能引起水产物种的总体适应性性状产生 3%~50% 的衰退。本研究中, 单位体重抱卵量、单位体重排幼量 2 个指标的近交衰退系数与该范围值基本一致。本研究发现, 随着近交代数的增加, 虽然繁殖性能的各项性状都出现了不同程度的近交衰退, 但各代之间的差异并不显著, 这可能由于这些家系是本实验室多年良种选育, 致使许多有害基因在多次的家系自繁时被剔除, 有害基因的数量及程度都已有较大降低(Su *et al.*, 1996)。马大勇等(2005)研究指出, 实验材料不同的近交历史以及不同的遗传负荷也能造成不同物种及同种不同群体的近交衰退程度产生差异, 另外, 张洪玉等(2009)也指出, 近交衰退现象具有不

稳定性, 即近交群体在不同的环境条件下表现不一, 同一物种、同一性状在同一种环境条件下产生近交衰退, 而在另一种环境却不产生近交衰退。

虽然并不是所有的种群近交都能引起近交衰退(Lannan *et al.*, 1981; Falconer *et al.*, 1996), 但近交降低了种群的杂合度、增加了近交衰退的可能性(Bensten *et al.*, 2002), 在人工养殖条件下的封闭群体中近交是不可避免的(Falconer *et al.*, 1996; Pante *et al.*, 2001), 除非是有计划、有目的地设计近交, 否则近交通常是有害的, 育苗人员应尽量避免育苗中产生近交衰退(Falconer *et al.*, 1996)。因此, 近交只适宜在种群提纯与保纯的过程中有目的、有计划地采用, 在养殖生产中, 应尽量避免近交的发生。

### 参 考 文 献

- 马大勇, 胡红浪, 孔杰. 近交及其对水产养殖的影响. 水产学报, 2005, 29(6): 849-856
- 孙颖民, 闫愚, 孙进杰, 等. 三疣梭子蟹的幼体发育. 水产学报, 1984, 8(3): 219-226
- 刘卫东, 吴常信, 唐仕强, 等. 猪的不同亲缘关系选配对繁殖性能的影响. 畜牧与兽医, 2010, 42(9): 107-108
- 闫喜武, 孙欣, 张跃环, 等. 菲律宾蛤仔奶牛蛤品系两个世代的杂交与近交效应. 水产学报, 2011, 35(5): 682-692
- 张洪玉, 罗坤, 孔杰, 等. 近交对中国明对虾生长、存活及抗逆性的影响. 中国水产科学, 2009, 16(5): 744-750
- 祝世军. 三疣梭子蟹亲蟹培育及提高其受精卵孵化率的研究. 河北渔业, 2005(4)
- Affre L, Thompson JD. Variation in self-fertility, inbreeding

- depression and levels of inbreeding in four *Cyclamen* species. *J Evol Biol*, 1999, 12(1): 113–122
- Bensten HB, Olesen I. Designing aquaculture mass selection programs to avoid high inbreeding rates. *Aquaculture*, 2002, 204(3–4): 349–359
- Cassinello J. Inbreeding depression on reproductive performance and survival in captive gazelles of great conservation value. *Biol Conserv*, 2005, 122(3): 453–464
- Crnokrak P, Roff DA. Inbreeding depression in the wild. *Heredity*, 1999, 83(3): 260–270
- Falconer BDS, Mackay TFC, *et al.* Introduction to quantitative genetics. Longman, Essex, England, 1996: 64 pp
- Fischer M, Hock M, Paschke M, *et al.* Low genetic variation reduces cross-compatibility and offspring fitness in populations of a narrow endemic plant with a self-incompatibility system. *Conserv Genet*, 2003, 4(3): 325–336
- Frankham R, Gilligan DM, Morris D, *et al.* Inbreeding and extinction: effects of purging. *Conserv Genet*, 2001, 2(3): 279–285
- Frommen JG, Luz C, Mazzi D, *et al.* Inbreeding depression affects fertilization success and survival but not breeding coloration in three pine sticklebacks. *Behaviour*, 2008, 145(4): 425–441
- Gallardo JA, Garcia X, Lhorente JP, *et al.* Inbreeding and inbreeding depression of female reproductive traits in two populations of coho salmon selected using BLUP predictors of breeding values. *Aquaculture*, 2004, 234(1–4): 111–122
- Gjerde B, Gunnes K, Gjedrem T. Effect of inbreeding on survival and growth in rainbow trout. *Aquaculture*, 1983, 34(3–4): 327–332
- Hämmerli A, Reusch TB. Inbreeding depression influences genes size distribution in a marine angiosperm. *Mol Ecol*, 2003, 12(3): 619–629
- Husband BC, Schemske DW, *et al.* Evolution of the magnitude and timing of inbreeding depression in plants. *Evolution*, 1996, 50(1): 54–70
- Keller LF, Waller DM. Inbreeding effects in wild populations. *Trends Ecol Evol*, 2002, 17(5): 230–241
- Keys SJ, Crocos PJ, BurrIDGE CY, *et al.* Comparative growth and survival of inbred and outbred *Penaeus (Marsupenaeus) japonicas*, reared under controlled environment conditions: indications of inbreeding depression. *Aquaculture*, 2004, 241(1): 151–168
- Lannan JE. Broodstock management of *Crassostrea gigas*: IV. Inbreeding and larval survival. *Aquaculture*, 1981, 39(1–4): 217–228
- Moss DR, Arce SM, Otoshi CA, *et al.* Effects of inbreeding on survival and growth of Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture*, 2007, 272(S1): S30–S37
- Nakadate M, Shikano T, Taniguchi N, *et al.* Inbreeding depression and heterosis in various quantitative traits of the guppy, *Poecilia reticulata*. *Aquaculture*, 2003, 220(1–4): 219–226
- Nina M, Valberg N. Effect of inbreeding on reproductive performance in blue fox (*Alopex lagopus*) vixens. *Acta Aquaculture Scandinavica, Section A, Animal Science*, 1994, 44(4): 214–221
- Pante MJR, Gjerde B, McMillan I, *et al.* Inbreeding levels in selected populations of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 2001, 192(2–4): 213–224
- Reed DH, Frankham R. Correlation between fitness and genetic diversity. *Conserv Biol*, 2003, 17(1): 230–237
- Su GS, Liljedahl LE, Gall GAE. Effects of inbreeding on growth and reproductive traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 1996, 142(3–4): 139–148
- Wu XG, Cheng YX, Zeng CS, *et al.* Reproductive performance and offspring quality of the first and the second brood of female swimming crab, *Portunus trituberculatus*. *Aquaculture*, 2010, 303(1–4): 94–100

(编辑 冯小花)

## Effects of Different Inbreeding Degree on Reproductive Performance of Swimming Crab (*Portunus trituberculatus*)

WANG Haofeng<sup>1,2,3</sup>, GAO Baoquan<sup>2,3</sup>, LIU Ping<sup>2,3①</sup>, LI Jian<sup>2,3</sup>, PAN Luqing<sup>1</sup>

(1. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003; 2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071)

**Abstract** This study investigated the effects of inbreeding on the reproductive performance of swimming crab *Portunus trituberculatus*, by comparing reproductive traits, including fecundity, egg production, fecundity per unit body weight, egg production per unit body weight, hatchability and metamorphosis rate, in full-sib families of six generations (F<sub>1m</sub> to F<sub>6m</sub>). The results showed that the range of inbreeding depression coefficients were -2.789% ~ -6.620%, -1.188% ~ -5.938% and -1.859% ~ -7.222% for fecundity per unit body weight, egg production per unit body weight and hatching rate, respectively, and there was no significant inbreeding depression in these three traits ( $P > 0.05$ ). As inbreeding level increased, metamorphosis rate from zoea I to juvenile crab II presented a downward trend.

**Key words** Inbreeding; *Portunus trituberculatus*; Family; Reproduction

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