

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.01157

近交对三疣梭子蟹若干经济性状衰退的影响

王好锋^{1,2}, 刘萍¹, 高保全¹, 潘鲁青²

1. 中国水产科学院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

2. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266001

摘要: 本实验通过定向交尾技术构建了三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)全同胞交近交家系。在生长季节, 通过对相关形态学指标的测定, 对 F_1 – F_6 家系的生长、存活以及与存活相关的产量进行评估, 用单因素方差分析进行统计学分析。实验结果表明, 相比于 F_1 家系, 近交系数每增加 10%, 就会引起全甲宽–2.4%~–5.1%的衰退, 体质量–0.8%~–3.5%的衰退, 存活–34.4 %~–69.9%的衰退, 与存活相关的产量–14.1%~–35.4%的衰退, 可以发现全甲宽和个体平均体质量的衰退程度较低, 存活以及与存活相关的产量的衰退程度较高。近交系数为 37.5%的 F_3 无论在生长、存活还是产量上都没有出现近交衰退, 但 150 日龄时各个指标的变异系数明显较 F_1 、 F_2 大, 表明其整齐度比 F_1 、 F_2 差; F_2 、 F_4 、 F_5 和 F_6 相比于 F_1 在生长、存活和与存活相关的产量上都出现了不同程度的近交衰退, 差异显著($P<0.05$); 在 150 日龄收获时, 分析各代家系的整齐度发现, F_6 的变异系数最大, 整齐度最差, 但与其他各代的差异并不显著($P>0.05$)。6 代家系近交衰退的一致性表明近交确实降低了三疣梭子蟹的生长、存活和产量, 尽管一些衰退的差异性并不显著。在实际的养殖生产中, 应当尽量避免近交的发生, 近交应当在动物育种工作需要时才使用, 只适宜在培育新品种、建立新品系、种群提纯与保纯的过程中采用, 在无目的或目的性不明确的情况下应避免近交。本研究通过观察连续近交的三疣梭子蟹在生长、存活及相关的产量方面的变化, 旨在为三疣梭子蟹选择育种的研究与生产提供数据支持。

关键词: 三疣梭子蟹; 近交衰退; 生长; 存活; 经济性状

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2013)06–1157–09

三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)是我国重要的渔业资源, 隶属于甲壳纲(Crustacea)、十足目(Decapoda)、梭子蟹科(Portunidae)、梭子蟹属(*Portunus*)^[1–2], 在中国南北各海域均有分布, 由于生长较快、个体较大、肉味鲜美、食用价值高、养殖利润丰厚, 1981 年以来被列为中国海洋水产养殖对象^[3]。目前三疣梭子蟹已发展成中国海水养殖主导种类之一, 也是中国重要的出口畅销品之一。为满足水产养殖的需要, 越来越多的苗种将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的近交衰退也日益成为人们关注的焦点^[4]。

在自然条件下和人工养殖的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^[5], 称为近交衰退。相比下, 存活、繁殖和竞争能力等与适应性相关的综合性状一般比形态学性状更容易受到近交的影响造成近交衰退^[6]。近交衰退在

收稿日期: 2012–12–29; 修订日期: 2013–01–18

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2012AA10A409); 农业科技成果转化资金项目(2013GB23260589); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(20603022012015); 山东省科技发展计划课题(2011GHY11526)。

作者简介: 王好锋(1986–), 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: whf.06@163.com

通信作者: 刘萍, 研究员, Tel:0532-85836605, E-mail: liuping@ysfri.ac.cn

陆生动植物^[7-10]尤其是植物中的自花授粉者中多见报道^[11],此外在水产动物的鱼类^[12-13]、贝类^[14-20]、虾类^[4,21]中的研究也较多,但是对蟹类^[22-23]的研究却很少。目前对各物种近交的研究多是围绕遗传多样性、有效群体大小、繁殖力、生长、存活、产量、抗逆性状等方面进行。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^[24]。目前有关近交的研究中,并不是所有的研究结果都表现出明显的近交衰退,Crnokrak 等^[25]通过统计大量的植物近交研究结果发现,只有约 54%植物近交的研究显示了显著的近交衰退,水产动物中近交的研究结果也显示不是所有研究都表现出明显的近交衰退,结果因物种、近交程度、测量指标等的差异而有明显不同。Moss 等^[21]研究近交对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长和存活的影响表明在近交系数每增加 10%就会引起生长产生 2.6%~3.9%的衰退,且差异显著;张洪玉等^[4]的研究则表明近交对中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)对耐盐力、耐温力和抗 WSSV 感染能力等抗逆性状上没有显著的影响,但对体长、体质量和存活等性状产生了显著的衰退;Moss 等^[21]研究近交对凡纳滨对虾生长和存活的影响表明在没有胁迫的人工养殖条件下,近交对凡纳滨对虾的存活并没有产生明显的影响。

关于近交对人工养殖的三疣梭子蟹的生长、存活以及与存活相关的产量等若干经济性状方面是否有影响、是否会使各代间的各个形态学指标产生显著差异、是否会产生近交衰退的研究还未见报道,鉴于此,笔者系统的对人工养殖的三疣梭子蟹近交六代家系的生长、存活以及与存活相关的产量等方面进行了比较,从而评估近交对三疣梭子蟹若干经济性状的影响,以期三疣梭子蟹以后的选择育种工作提供一定的数据支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

自 2005 年至今,本实验室收集了莱州湾海区、鸭绿江口海区、海州湾海区、舟山海区 4 个不

同地理群体作为基础群体,利用人工定向交尾方法,建立了全同胞兄妹交传代家系。2005 年建立的近交家系至今传至第六代(F_6)。本实验选用 F_1 至 F_6 ,每个世代随机选取 3 个家系作为实验材料。

1.2 实验方法

1.2.1 梭子蟹室内控制人工定向交尾方法 梭子蟹室内人工控制定向交尾方法可用于梭子蟹的繁殖和杂交育种。本方法是用 20 目直板网将室内水泥池分割成若干个面积 $1\sim 3\text{ m}^2$ 的围隔,从室外人工养殖池将体质量达到 180 g 以上的梭子蟹移入围隔中。每个围隔放入雄蟹 1 尾和雌蟹 1~3 尾,定时换水、充气、投饵,待雌蟹蜕皮后即可进行交尾,交尾成功后,可在雌蟹甲壳上编号作出标记。使用本方法,梭子蟹交尾率超过 80%,越冬成活率达到 80%。

1.2.2 各家系的幼体培育和养殖 育苗阶段以褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)、卤虫(*Artemia*)为饵料,每天均换水 10%,连续充气培养。全部变态为 II 期幼蟹时,每个家系各取出 1 500 尾幼蟹,转移到室外养殖。室外养殖模式: $2\ 400\text{ m}^2$ 养殖池,用纱网平均分割成 12 个小格,使每个小格的水环境尽量保持一致,每个小格放一个家系。

1.2.3 数据测量 每个家系 80 日龄、100 日龄、120 日龄、收获(150 日龄)时随机捕捞 30 个个体,用游标卡尺测量其全甲宽、甲宽、甲长、体高等形态学指标,精确到 0.01 mm,4 个形态学指标测量按照图 1 测量,用电子天平测体质量,精确到 1 g,统计收获时各个家系的成活个数及产量。

1.2.4 近交与近交系数、衰退系数 根据 Keller 和 Waller^[26]的观点,依据计算近交系数时所参照的亲本来源不同,本实验建立的是连续多代兄妹近亲交配的家系。

衡量被选择物种近交衰退情况的指标称为近交系数(inbreeding coefficient, F_X)是^[27]。近交系数数值越大即表明个体的基因越纯合,某个体任一基因位点的两个等位基因来源于同一个祖先基因的概率越高^[6]。近交系数(F_X)通过以下公式^[6]进行估计:

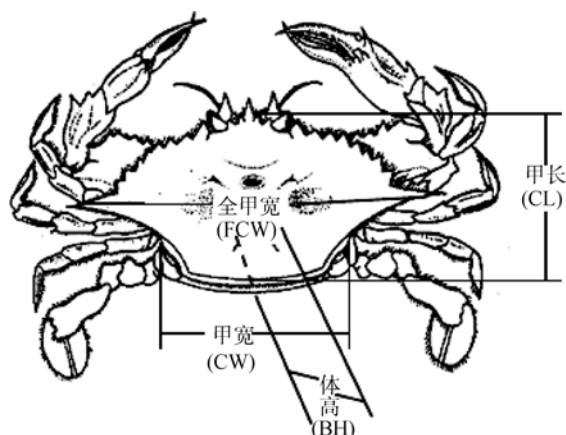


图1 三疣梭子蟹模式图

全甲宽: 成体型三疣梭子蟹头胸甲两侧棘尖端间的直线距离, 甲宽: 成体型三疣梭子蟹头胸甲两侧棘基部前缘间的直线距离, 甲长: 成体型三疣梭子蟹自头胸甲额域前缘中央至头胸甲后缘中央的直线距离, 体高: 成体型三疣梭子蟹头胸甲顶点至腹部的最大垂直距离。

Fig. 1 The introduction for *Portunus trituberculatus* adult FCW: Full carapace width, pointed linear distance of the two carapace megacanthopore. CW: Carapace width, lip linear distance of the two carapace megacanthopore base. CL: Carapace length, middle linear distance between the lip and trailing edge of carapace. BH: Body height, the maximum vertical distance between the top of carapace and abdominal.

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

其中 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_1 相比较的衰退系数(inbreeding depression coefficient, IDC)通过以下的计算公式^[28]进行估计:

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

其中 $\bar{W}_{Inbred}$ 和 $\bar{W}$ 分别指近交家系和 F_1 家系各个观测指标的均值, F_{Inbred} 和 F 分别表示近交家系的近交系数和 F_1 家系的近交系数,根据计算需要相应代入。

1.2.5 数据处理与分析

(1) 形态差异分析 获得各个家系各形态性状的表型参数的数据,采用统计分析软件SPSS17.0对各性状的平均数、标准差和变异系数进行描述统计分析,对各代间不同日龄的各指标

进行单因素方差分析(One - Way ANOVA),显著性水平设为 $\alpha=0.05$,并对差异显著的各代间进行最小显著差法(LSD)多重比较分析。

(2) 存活率与产量的比较分析 将各个实验近交家系人工养殖在相同的平行养殖条件下,统计收获时各个家系成蟹的个数,根据各个家系放苗量为1500,计算存活率:

$$S = N/1500$$

N 为每个家系的收获成蟹个数,分家系计算。先将全部存活率的 S 值转换成 θ 角度再进行方差分析,即 $\theta = \sin^{-1} \sqrt{S}$ 。

收获时各代各个家系的平均体质量和各个家系的存活决定着收获时的产量为:

$$Y = N * \bar{W}_{p150}$$

式中: Y 表示家系的产量; N 为每个家系的收获成蟹个数; $\bar{W}_{p150}$ 表示家系收获时的平均体质量。

(3) 整齐度分析 各个世代家系的整齐度通过各个形态性状的变异系数进行比较,变异系数反映总体各单位标志值的差异程度或离散程度,是反映数据分布状况的指标之一,变异系数越大,说明离散程度越大,记为CV(Coefficient of Variance),计算公式: $CV = \frac{sd}{M}$,其中 sd 为所观测指标的标准差, M 为所观测指标的平均数。

2 结果与分析

2.1 三疣梭子蟹近亲繁殖的遗传效应

近交系数(F_x)通过公式(1)进行估计,本实验假设原始祖先的“祖父本”和“祖母本”来源,地理位置较远没有近交的可能,即原始祖先的近交系数为0。所得结果如表1所示,通过定向交尾方法可以控制亲蟹父母本,通过连续多代兄妹交,近交系数数值增大迅速,可以快速得到越来越纯合的三疣梭子蟹家系,从而缩短选育时间。

将收获时所得各个参数值作为最终结果,以 F_1 作为对比组,计算各个表型性状与 F_1 相比较的衰退系数(IDC)衰退系数的计算参照Keys等^[28]采用的方法进行估算,并计算出在各世代的近交水平下各指标的衰退量,结果如表2,表明收

表 1 三疣梭子蟹近亲繁殖过程中不同世代的近交系数
Tab. 1 Inbreeding coefficient of every *P. trituberculatus* generation

世代 generation	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
近交系数 inbreeding coefficient	0.0000	0.2500	0.3750	0.5000	0.5937	0.6718

获时无论是在全甲宽、体质量、存活还是与存活相关的产量方面 F₃ 与 F₁ 相比都没有衰退, 即近交系数为 0.375 0 的 F₃ 没有受到近交的影响; F₂

在收获时个体平均体质量上相比于 F₁ 没有衰退; 但其他各代在全甲宽、体质量、存活及收获产量上都相比于 F₁ 有不同程度的衰退; 结果显示近交系数每增加 10%, 就会引起全甲宽-2.4% ~ -5.1%的衰退, 体质量-0.8% ~ -3.5%的衰退, 存活-34.4% ~ -69.9%的衰退, 与存活相关的产量-14.1% ~ -35.4%的衰退, 其中全甲宽和个体平均体质量的衰退程度较低, 存活以及与存活相关的产量的衰退程度较高。

表 2 三疣梭子蟹近亲繁殖过程中若干数量性状的衰退系数
Tab. 2 Inbreeding depression coefficient of some economic characters of *P. trituberculatus*

世代 generation	全甲宽衰退 系数 IDC of FCW	全甲宽衰退量 inbreeding depression scale of FCW	体质量衰退 系数 IDC of BW	体质量衰退量 inbreeding de- pression scale of BW	存活衰退 系数 IDC of survival	存活衰退量 inbreeding depression scale of survival	产量衰退 系数 IDC of yield	产量衰退量 inbreeding depression scale of yield
F ₂	-0.0244	0.0061	0.0762	-0.0191	-0.6998	0.1750	-0.5626	0.1406
F ₃	0.0055	-0.0021	0.1855	-0.0696	0.1130	-0.0424	0.3659	-0.1372
F ₄	-0.0298	0.0149	-0.0081	0.0040	-0.6998	0.3499	-0.7087	0.3544
F ₅	-0.0507	0.0301	-0.0301	0.0179	-0.3443	0.2044	-0.3302	0.1961
F ₆	-0.0268	0.0180	-0.0355	0.0239	-0.3892	0.2615	-0.3957	0.2659

注: IDC-衰退系数。
Note: IDC – inbreeding depression coefficient . FCW-Full carapace width. BW-body weight.

2.2 近亲繁殖各世代个体形态学参数及其变异幅度
2.2.1 三疣梭子蟹近亲繁殖过程各世代在不同日龄的生长特性参数 三疣梭子蟹近亲繁殖过程各世代在不同日龄的生长特性参数结果见图 2-图 6。图 2-图 6 分别为三疣梭子蟹近亲繁殖过程各世代从 80 日龄至 150 日龄时的全甲宽、甲宽、甲长、体高和体质量的差异性分析图示。图 2 全甲宽的比较分析中, 80 日龄、100 日龄、120 日龄时, F₂ 全甲宽最大, 且比其他五代有显著的差异($P<0.05$), F₁ 全甲宽最小, 与其他五代也存在显著差异($P<0.05$), 但到 150 日龄时, 各代间的这种优劣差异已经不明显($P>0.05$), 只有 F₃ 与 F₅ 间存在显著差异($P<0.05$), F₅ 全甲宽最小, F₃ 最大; 图 3 甲宽的比较分析中, F₁ 甲宽最小, 且在 80、100、120 日龄时, 显著小于其他 5 代($P<0.05$), F₂ 和 F₆ 的甲宽普遍较大, 但到 150 日龄时, 6 代甲宽之间的差异已经不明显($P>0.05$); 图 4 甲长的比较分析中, 在 80、100、120 日龄时, F₁ 甲长最小, F₂ 最大, 各代之间的差异均显著($P<0.05$),

但到 150 日龄时, F₁ 甲长最大, F₆ 最小, 且差异显著($P<0.05$), 从 F₁ 至 F₆, 甲长呈显著的下降趋势; 图 5 体高的比较分析中, 早 80、100、120 日龄时, F₁ 体高最小, F₂ 和 F₆ 一直较大, 且差异显著($P<0.05$), 但到 150 日龄时, F₁ 体高最大; 图 6 体质量的比较分析中, 在 80、100、120 日龄, F₁ 的体质量最小, F₂、F₆ 的体质量最大, 且都与其他 5 代差异显著($P<0.05$), 但在 150 日龄时, 这种差异几乎不存在, F₁ 的平均体质量比 F₆ 大, 但差异不显著($P>0.05$)。总体分析发现: 在 80、100、120 日龄时, 对各代全甲宽、甲宽、甲长、体高、体质量的比较分析中, F₁ 在这 3 个阶段的生长并没有优势, F₂ 和 F₃ 一直表现较好的生长状况; 但在 150 日龄收获时, 近交程度低的 F₁ 生长明显较好, 且在全甲宽、甲长、体高、体质量中与其他几代相比表现出显著的生长优势($P<0.05$), F₂ 的生长优势已经不明显, 在全甲宽、甲长、体高、体质量的比较分析中, 随着近交系数的增加, 生长逐渐变差的趋势也逐渐明朗。

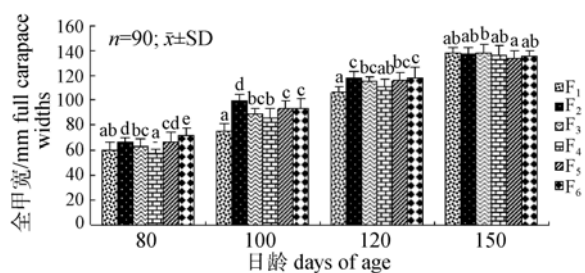


图 2 不同日龄三疣梭子蟹 F_1 - F_6 全甲宽的比较分析

柱上不同字母表示不同日龄组间差异显著 ($P < 0.05$).

Fig. 2 Comparative analysis of full carapace widths of F_1 - F_6 *Portunus trituberculatus* at different days of age
Different letters above the column mean significant difference ($P < 0.05$) between trials of age.

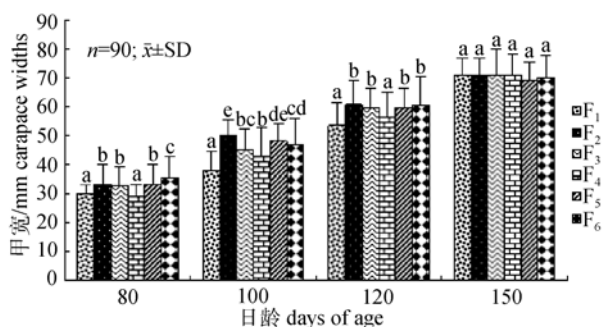


图 3 不同日龄三疣梭子蟹 F_1 - F_6 甲宽的比较分析

柱上不同字母表示不同日龄组间差异显著 ($P < 0.05$).

Fig. 3 Comparative analysis of carapace widths of F_1 - F_6 *Portunus trituberculatus* at different days of age
Different letters above the column mean significant difference ($P < 0.05$) between trials of age.

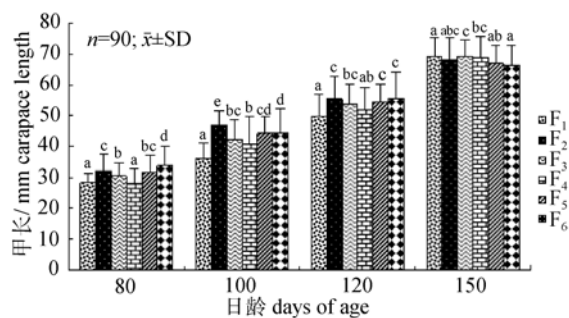


图 4 不同日龄三疣梭子蟹 F_1 - F_6 甲长的比较分析

柱上不同字母表示不同日龄组间差异显著 ($P < 0.05$).

Fig. 4 Comparative analysis of carapace length of F_1 - F_6 *Portunus trituberculatus* at different days of age
Different letters above the column mean significant difference ($P < 0.05$) between trials of age.

2.2.2 三疣梭子蟹近亲繁殖过程不同世代群体 150 日龄生长特性参数的变异幅度 分析各代收获时各个形态学指标的变异系数, 如表 4 所示可知, 收获时各代全甲宽、甲宽、甲长、体高的变异

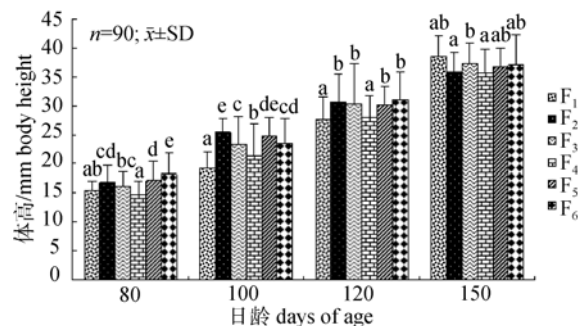


图 5 不同日龄三疣梭子蟹 F_1 - F_6 体高的比较分析

柱上不同字母表示不同日龄组间差异显著 ($P < 0.05$).

Fig. 5 Comparative analysis of body height of F_1 - F_6 *Portunus trituberculatus* at different days of age
Different letters above the column mean significant difference ($P < 0.05$) between trials of age.

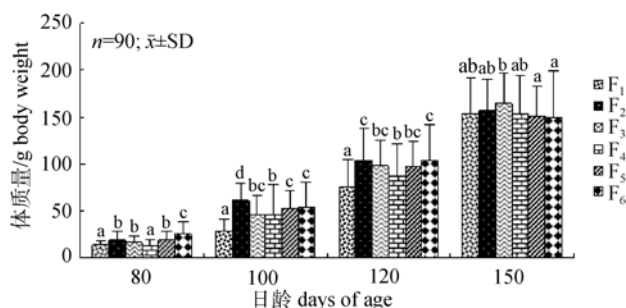


图 6 不同日龄三疣梭子蟹 F_1 - F_6 体质量的比较分析

柱上不同字母表示不同日龄组间差异显著 ($P < 0.05$).

Fig. 6 Comparative analysis of body weight of F_1 - F_6 *Portunus trituberculatus* at different days of age
Different letters above the column mean significant difference ($P < 0.05$) between trials of age.

系数有几乎相同的变化趋势, 随着近交代数的递增全甲宽、甲宽、甲长、体高、体质量的各个形状的离散程度越大、整齐度越差, 近交程度最高的 F_6 5 个指标的变异系数都较大, 其中 F_6 体质量的变异系数最大, 表明 F_6 在收获时家系内个体大小的整齐度最差, 大小不均一程度最大。

2.3 近亲繁殖各世代群体的存活与产量

分析各代各个家系的存活率以及存活相关的产量, 结果如下表 5 所示, 分别为各代存活率和收获时的产量的比较分析结果, 可以看出各代的存活随着近交代数的递增存在明显下降的趋势, 其中 F_3 的存活最好, 但分析各代的存活率并不存在显著差异 ($P > 0.05$), 与存活相关的产量各代间也不存在显著差异 ($P > 0.05$).

表 3 三疣梭子蟹近亲繁殖过程不同世代群体 150 日龄生长特性参数的变异幅度

Tab. 3 Coefficient of variance of some economic characters at 150 days of every *P. trituberculatus* generation

n=90; $\bar{x} \pm SD$

世代 generation	全甲宽变异系数 CV of full carapace widths	甲宽变异系数 CV of carapace widths	甲长变异系数 CV of carapace length	体高变异系数 CV of body height	体质量变异系数 CV of body weight
F ₁	10.41±4.21	8.40±0.25	8.79±2.76	9.02±3.04	24.79±3.47
F ₂	8.21±0.67	8.01±0.37	10.31±4.37	9.62±0.63	21.34±0.39
F ₃	7.15±0.51	12.45±7.01	7.64±0.49	9.77±1.35	19.39±1.79
F ₄	9.45±2.77	10.28±2.16	9.83±1.44	11.48±2.23	27.03±4.25
F ₅	9.05±0.55	8.83±0.46	9.09±2.29	9.09±1.29	21.37±0.63
F ₆	10.57±2.19	10.79±2.40	9.52±1.91	14.21±1.75	32.81±8.37

注: CV 表示变异系数, 所有变异系数化为百分数进行分析.

Note: CV stands for coefficient of variation.

表 4 三疣梭子蟹近亲繁殖过程不同世代的存活率和产量

Tab. 4 Survival rate and yield of every generation of *P. trituberculatus* at the harvest time

n=90; $\bar{x} \pm SD$

世代 generation	存活率/% survival rate	产量/g yield
F ₁	12.07±2.88	27102.87±3834.44
F ₂	9.96±1.89	23291.16±4048.80
F ₃	12.58±3.02	30821.46±3533.72
F ₄	7.84±1.60	17498.59±1482.05
F ₅	9.60±1.27	21789.31±3841.68
F ₆	8.91±0.62	19897.51±4781.26

3 讨论

3.1 近亲繁殖的遗传效应与衰退程度

虽然并不是所有的种群近交都能引起近交衰退^[29, 32-33], 但是近交降低种群的杂合度, 限制了选育良种后代的可能性, 还增加了近交衰退的可能性^[24], 在封闭群体中, 尤其是人工养殖条件下的封闭群体中近交是不可避免的^[29-30]。根据本实验结果可以看出, 随着近交代数的递增、近交程度的增加, 从总体上看, 近交对三疣梭子蟹个体的规格大小、存活以及收获时的产量都产生了不同程度的影响, 造成的一定程度的近交衰退。

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^[24], 对于水产物种的总体适应性性状来说, 10%的近交能引起 3%~50%的衰退^[6], 本研究结果认为近交使三疣梭子蟹六代家系的生长、存活和产量都产生了不同程度的衰退, 结果显示近交系数每增加 10%, 就会引起全甲宽-2.4%~-5.1%的衰退,

体质量-0.8%~-3.5%的衰退, 存活-34.4%~-69.9%的衰退, 与存活相关的产量-14.1%~-35.4%的衰退, 可以发现全甲宽和个体平均体质量的衰退程度较低, 存活以及与存活相关的产量的衰退程度较高, 据此笔者推测, 由于近交对三疣梭子蟹形态指标的影响程度较小, 近交与非近交的三疣梭子蟹成蟹大小、体质量等指标间差异可能不明显, 但由于近交对总体的存活量和与存活相关的产量的影响较大, 从而可能影响总体的经济效益。本研究还发现, 随着近交代数的增加, 五个测量指标的变异系数有缓慢的越来越大的趋势, 在 F₆ 时体质量的变异系数已经是最大的, 这一代的成蟹大小不均一程度最大, 整齐度也最差, 笔者推测可能与近交造成基因分离, 基因纯合度增加, 隐性有害基因突显有关, 可以为选择育种提供一定的参考。

马大勇等^[6]研究了不同近交速率对鱼类生长性状的影响发现, 每世代近交率>10%的快速近交产生的平均近交衰退量(-7.3%)比每世代近交率<2.5%的缓慢近交产生的平均近交衰退量(-2.4%)大许多, 一般来说, 全同胞近交比育种群体的缓慢近交引起的生长指标的衰退高 3 倍以上。本研究的近交属于兄妹近亲交配引起的全同胞近交, 每世代近交率均大于 10%, 属于快速近交, 而且近交传至六代, 近交程度很高, 因此近交系数每增加 10%而产生的存活以及与存活相关的产量的衰退量较大应与这两个因素相关。Keys 等^[28]关于近交对日本对虾(*Marsupenaeu japoni-*

cus)的影响表明当近交系数为 28%~31%时,会引起日本对虾生长和存活分别为-3.34%(近交系数每增加 10%)和-3.43%的近交衰退,虽然近交会对日本对虾的生长、存活和产量产生不利影响,但是通过分析软件分析得出其差异并不显著。Moss 等^[21]研究近交对凡纳滨对虾生长和存活的影响表明在近交系数每增加 10%就会引起生长产生 2.6%~3.9%的衰退,且差异显著。张洪玉等^[4]的研究也表明近交使中国明对虾在体长、体质量和存活等性状产生显著的衰退,而对耐盐力、耐温力和抗 WSSV 感染能力等抗逆性状上没有显著的影响。在凡纳滨对虾近交的研究中也发现兄妹交的近交一代家系受近交的影响并不显著^[31]。Moss 等^[21]研究近交对凡纳滨对虾生长和存活的影响表明在没有胁迫的人工养殖条件下,近交对凡纳滨对虾的存活并没有产生明显的影响。其他一些水产物种也有相似研究结果,近交系数每增加 10%,引起虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)体质量-0.8%~-6.1%的衰退^[34, 36],引起大西洋鲑(*Salmo salar*)鱼体质量-0.6%~-2.6%的衰退^[37],太平洋牡蛎(*Crassostrea giga*)体质量-8.8%的衰退^[38]。

3.2 良种选育与近交

优良家系的良种选育可能降低近交最初几代的近交衰退的影响^[36],本实验的家系都是在繁育季节经良种选育得到的,存活率和产量的差异不显著可能是多年良种选育的结果。本实验结果中近交系数每增加 10%,对全甲宽(引起-2.4%~-5.1%的衰退)和平均体质量的影响(引起-0.8%~-3.5%的衰退)比对存活(引起-34.4%~-69.9%的衰退)以及与存活相关的产量(引起-14.1%~-35.4%的衰退)的影响低很多, Falconer 等^[29]认为存活是一种适应特性,近交系数每增加 10%产生的对存活的影响比对生长的影响大很多,本实验的结果也证实了这一点。

3.3 近交衰退与近交耐受

Keys 等^[28]的研究表明近交对近交系数为 28%的日本对虾生长的影响比对近交系数为 31%更大,表明近交系数为 31%日本对虾比近交系数为 28%的日本对虾生长更好,对近交的耐受力更

强。本实验的 6 代家系中,在 120 日龄前,近交系数小的 F_1 并没有表现出比近交系数大的其余五代更好的生长,相反 F_3 无论在生长、存活还是产量上并没有比 F_1 衰退,也比 F_2 生长的好,且 F_1 至 F_6 也并不是随着近交系数的增大,近交衰退程度就随之增大的,这说明近交与近交衰退不一定是正相关的关系^[34],笔者推测可能是在 F_3 的近交程度下三疣梭子蟹表现出了最佳的耐受能力, Ramsey^[35]认为出现这种近交衰退程度大小不一的原因可能是由于不同个体进化历史的不同,导致有的个体在进化过程中把有害等位基因淘汰了,而另一些个体在进化过程中可能出现了新的有害突变,而使后代出现较大程度的近交衰退。

除非是有计划有目的的设计近交,否则近交通常是有害的,应尽量避免育苗中出现近交而产生近交衰退^[29]。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^[24],而且衰退通常表现在繁殖能力(如繁殖力、卵大小、孵化率)和生物效率(如苗种残疾率、生长速率、食物转化率、存活率)方面。因此在实际的养殖生产中,应当尽量避免近交的发生,近交应当在动物育种工作需要时才使用,只适宜在培育新品种、建立新品系、种群提纯与保纯的过程中采用,在无目的或目的性不明确的情况下应避免近交。

参考文献:

- [1] 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[J].动物学杂志,1977,12(2):30-33.
- [2] 戴爱云,杨思谅,宋玉枝,等.中国海洋蟹类[M].北京:海洋出版社,1986:213-214.
- [3] 孙颖民,闫愚,孙进杰,等.三疣梭子蟹的幼体发育[J].水产学报,1984,8(3):219-226.
- [4] 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[J].中国水产科学,2009,16(5):744-750.
- [5] Frankham R, Gilligan D M, Morris D, et al. Inbreeding and extinction: effects of purging[J]. Conserv Gen, 2001(2): 279-285.
- [6] 马大勇,胡红浪,孔杰,等.近交及其对水产养殖的影响[J].水产学报,2005,29(6):849-856.
- [7] 饶绍奇,蒋英.近交对中国美利奴羊的影响及其克服和预测方法的研究[J].北京农业大学学报,1990,16(1):

- 111–117.
- [8] 王敬军, 王红兵, 刘焯, 等. 蓝塘猪高度近交研究[J]. 中国猪业, 2005(4): 27–28.
- [9] 刘春, 朱顺星, 王生存, 等. 四个近交品系小鼠的生长繁育状况[J]. 实验动物与比较医学, 2005, 25(5): 238–242.
- [10] 陈小勇, 林鹏. 厦门木麻黄种群交配系统及近交衰退[J]. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1377–1380.
- [11] 张国范, 郑怀平. 海湾扇贝养殖遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 103–104.
- [12] Ma Josefa R Pante, Bjarne Gjerde, Ian McMillan, et al. Effect of inbreeding on body weight at harvest in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture, 2001, 192: 201–211.
- [13] 王磊, 陈松林, 田永胜, 等. 牙鲆回交、全同胞近交及其亲本家系的微卫星研究[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(3): 38–43.
- [14] Winkler F M, Este'vez B F. Effects of self-fertilization on growth and survival of larvae and juveniles of the scallop *Argopecten purpuratus* L. [J]. J Exper Mar Biol Ecol, 2003, 292: 93–102.
- [15] Beaumont A R, Budd M D. Effects of self-fertilisation and other factors on the early development of the scallop *Pecten maximus* [J]. Mar Biol, 1983, 76: 285–289.
- [16] Ana M, Ibarra Pedro Cruz, Blanca A, et al. Effects of inbreeding on growth and survival of self-fertilized catarina scallop larvae, *Argopecten circularis* [J]. Aquaculture, 1995, 134: 37–47.
- [17] 张国范, 刘述锡, 刘晓, 等. 海湾扇贝自交家系的建立和自交效应[J]. 中国水产科学, 2003, 10(6): 441–445.
- [18] 郑怀平, 张国范, 刘晓, 等. 海湾扇贝杂交家系与自交家系生长和存活比较[J]. 水产学报, 2004, 28(3): 267–272.
- [19] 闫喜武, 张跃环, 孙焕强, 等. 菲律宾蛤仔海洋橙品系两个世代的杂交与近交效应[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(2): 309–316.
- [20] 张海滨, 刘晓, 张国范, 等. 不同有效繁殖群体数对海湾扇贝 F_1 生长和存活的影响[J]. 海洋学报, 2005, 27(2): 177–180.
- [21] Dustin R Moss, Steve M Arce, Cleto A Otsu, et al. Effects of inbreeding on survival and growth of Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* [J]. Aquaculture, 2007, 272S1: S30–S37.
- [22] 高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹 3 个地理群体杂交子一代生长和存活率的比较[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(5): 325–329.
- [23] 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质量的影响[J]. 水产学报, 2009, 33(6): 964–971.
- [24] Bensten H B, Olesen I. Designing aquaculture mass selection programs to avoid high inbreeding rates[J]. Aquaculture, 2002, 204: 349–359.
- [25] Crnokrak P, Roff DA. Inbreeding depression in the wild[J]. Heredity, 1999, 83: 260–270.
- [26] Keller L F, Waller D M. Inbreeding effects in wild populations [J]. Trends Ecol Evol, 2002, 17(5): 230–241.
- [27] Curik I, Zechner P, Sölkner J, et al. Inbreeding, microsatellite heterozygosity, and morphological traits in Lipizzan horses[J]. J Hered, 2003, 94: 125–132.
- [28] Keys S J, Crocos P J, Burrige C Y, et al. Comparative growth and survival of inbred and outbred *Penaeus (Marsupenaeus) japonicus*, reared under controlled environment conditions: indications of inbreeding depression [J]. Aquaculture, 2004, 241: 151–168.
- [29] Falconer D S, Mackay T F C. Introduction to Quantitative Genetics[M]. 4th ed. Logman, Essex, England. 1996: 64.
- [30] Pante M J R, Gjerde B, McMillan I, et al. Inbreeding levels in selected populations of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*[J]. Aquaculture, 2001, 192: 213–224.
- [31] Argue B J, Zogi P R, Montgomery A D, et al. Tolerance and heritability of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* to high concentrations of ammonia[M]. Orlando: Aquaculture Book of Abstracts. World Aquaculture Society, 2001: 27.
- [32] Lannan J E. Broodstock management of *Crassostrea gigas*: IV. Inbreeding and larval survival[J]. Aquaculture, 1980, 21: 353–356.
- [33] Beattie J H, Perdue J, Hershberger W, et al. Effects of inbreeding on growth in the pacific oyster (*Crassostrea gigas*) [J]. J Shellf Res, 1987(6): 25–28.
- [34] Gjerde B, Gunnes K, Gjerdem T. Effect of inbreeding on survival and growth in rainbow trout[J]. Aquaculture, 1983(34): 327–332.
- [35] Ramsey M, Seed L, Vaughton G, et al. Delayed selfing and low levels of inbreeding depression in *Hibiscus trionum* (Malvaceae)[J]. Austr J Bot, 2003(51): 275–281.
- [36] Su G S, Liljedahl L E, Gall G A E, et al. Effects of inbreeding on growth and reproductive traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture, 1996, 142: 139–148.
- [37] Rye M, Mao I L. Nonadditive genetic effects and inbreeding depression for body weight in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. Livest. Prod. Sci, 1998, 57: 15–22.
- [38] Evans F, Matson S, Brake J, et al. The effects of inbreeding on performance traits of adult Pacific oysters (*Crassostrea gigas*)[J]. Aquaculture, 2004, 230: 89–98.

Inbreeding influence to some economic traits of six inbreeding generations of *Portunus trituberculatus*

WANG Haofeng^{1,2}, LIU Ping², GAO Baoquan², PAN Luqing¹

1. Aquaculture College, Ocean University of China, Qingdao 266001, China

2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shandong, Qingdao 266071, China

Abstract: We quantified the effects of inbreeding on growth, survival and the yield which related to survival of domesticated *Portunus trituberculatus* for the inclusion in selective breeding programs of the future. To make this assessment, we systematically bred six inbreeding generations with known parentage. During the production season, we assessed the growth, survival and yield, with One-Way ANOVA statistical analysis. The experimental results show that, compared with the F₁ inbreeding generation by every per 10% inbreeding coefficient increasing, the estimated inbreeding depression coefficient was -2.4%— -5.1% in overall carapace width, -0.8%— -3.5% in body weight, -34.4%— -69.9% in overall survival and -14.1%— -35.4% in the yield which related to survival. And compared with the F₁ inbreeding generation, the F₃ did not appear inbreeding depression phenomenon, no matter in growth, survival and the yield which related to survival, and F₂, F₄, F₅ and F₆ all appeared different degree of inbreeding depression compared with F₁ in growth, survival and the yield which related to survival, and had a high and significant effect between six inbreeding generations ($P < 0.05$). At the harvest time, we analyzed uniformity and found that the variation coefficient of F₆ inbreeding generation is the largest in six inbreeding generations, means the uniformity of F₆ inbreeding generation is the worst in six inbreeding generations, but the difference with other each generation is not significant ($P > 0.05$). The consistency in direction of the inbreeding depression coefficients for six generations lends to support to the hypothesis that inbreeding reduces growth, survival and the yield which related to survival, even though the coefficients were not statistically significant due to high variability among animals. These results suggest that inbreeding should be avoided in crab breeding programs.

Key words: *Portunus trituberculatus*; inbreeding depression; growth; survival; economic character

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