

以色列红罗非鱼与其他罗非鱼群体杂 子一代在海水中生长性能分析*

张天时¹ 姜涛² 孔杰^{1①} 魏宝振³ 笄金华⁴ 张艳红⁴ 栾生¹

(1. 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;
2. 青岛农业大学海洋科学与工程学院 青岛 266109; 3. 全国水产技术推广总站北京基地 北京 100026;
4. 河北中捷罗非鱼养殖有限公司 沧州 061108)

摘要 利用以色列红罗非鱼品系(Israel strain of red tilapia, R)、吉富品系(GIFT strain of Nile tilapia, J) (*Oreochromis niloticus*)、奥利亚罗非鱼(Blue tilapia, A) (*O. aureus*)、尼罗罗非鱼(Nile tilapia, N) (*O. niloticus*)等群体, 构建了具有广泛遗传变异罗非鱼育种基础群体。采用人工定向交尾技术, 获得了 15 个以色列红罗非鱼群体内和 65 个以色列红罗非鱼群体及其他群体间杂交全同胞家系。待家系平均体重 5-8 g 时进行标记, 每个家系随机取样 40 尾标记个体放入养殖池中, 采用逐渐提高盐度驯化至养殖盐度为 28, 养殖 150 d 后进行生长性能测试以及杂交和体重生长遗传参数分析。结果显示, 在研究的所有群体内和群体间的交配组合中, 以色列红罗非鱼品系(♀)与尼罗罗非鱼(♂)杂交的杂交组合(R×N)子一代生长速度最快, 优于其他杂交组合, 其平均体长、平均体重和绝对增重率分别为 24.44 cm、385.23 g 和 4.94 g/d; ANOVA 和 LSD 多重比较分析结果显示, 杂交组合间在体长、体重指标上均达到差异极显著($P<0.01$), R×N 与除 J×R 杂交组合外的其他 3 个杂交和 1 个群体自繁组子一代两两间存在显著差异($P<0.05$)。利用实验构建的 80 个家系共 2496 个个体体重数据, 考虑家系标记时的平均体重、池塘、雌、雄等因子, 建立了遗传参数分析模型, 估计体重的遗传力为 0.46 ± 0.07 , 属于中等遗传力。因此, 利用本研究收集的罗非鱼基础群体, 开展罗非鱼在海水中生长性状选育, 具有很大的遗传改良潜力。

关键词 罗非鱼; 家系; 群体; 遗传力; 选育

中图分类号 Q32; S917 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)03-0056-06

罗非鱼(Tilapia)隶属于硬骨鱼类纲(Osteichthyes)、鲈形目(Perciformes)、鲈形亚目(Percoidei)、丽鱼科(Cichlidae), 约有 700 种(陈素芝等, 1994), 主要分布于非洲。罗非鱼虽起源于非洲, 但其养殖却始于东南亚地区。罗非鱼具有适应性强、繁殖力高、食性广、抗病力强及肉味鲜美等特点, 为世界性的重要养殖鱼类。自 20 世纪 50、60 年代引入我国以来, 已成为我

国淡水养殖的主要对象(李家乐等, 2001; 李思发, 2003)。经不断开发研究和品种改良, 我国已培育出雄率高、生长快、饲料成本低、耐寒和抗病能力强、产量高、易起捕、含肉率高等优良性状的罗非鱼品种多个, 如吉富鱼、奥尼鱼等(夏德全等, 1999; 李太光等, 2004)。当前, 我国罗非鱼养殖年产量居世界第一(朱华平等, 2003), 占据世界罗非鱼产量的 60%左右。

* 中国水产科学研究院黄海水产研究所与全国水产技术推广总站联合育种项目和科技部国家科技基础条件平台建设运行项目“黄渤海区水生生物种质资源标准化整理、整合与共享-基地苗种”(G15201201-6)共同资助。张天时, E-mail: zhangts@ysfri.ac.cn

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

收稿日期: 2014-05-13, 收修改稿日期: 2014-07-03

然而,目前国内罗非鱼几乎全部属于淡水养殖,养殖水体环境和鱼、猪、鸭等混养模式,直接影响到罗非鱼的风味和品质,进而影响到罗非鱼产品出口。这不仅困扰着我国罗非鱼养殖业的进一步发展,也制约着我国罗非鱼遗传改良的实施。早在20世纪80年代,对罗非鱼进行盐度驯化后在海水养殖获得成功(么宗利等,2006)。海水养殖的罗非鱼鱼肉鲜嫩、口感好,市场价高过淡水罗非鱼一倍多,受到消费者的青睐。尽管我国罗非鱼养殖优良品种不少,但可直接应用于海水养殖的品种极少。以色列红罗非鱼已被证实仔鱼、稚鱼及幼鱼具有很好的耐盐性(李学军等,2003),在海水中的养殖性能较佳(么宗利等,2003)。因此,对现有的红罗非鱼养殖品种进行遗传改良,不仅是改善红罗非鱼种质资源和养殖现状的迫切要求,而且培育耐盐新品种可以扩展罗非鱼的养殖范围、改善罗非鱼品质,向沿海滩涂推广养殖,可以获取更大经济效益。

构建育种基础群体是品种改良的基础。确保基础群体中有大量遗传变异的一种途径是通过应用不同来源的群体来合成群体(卢迈新等,2005)。为此,本研究采集了以色列红罗非鱼品系、吉富品系、奥利亚罗非鱼、尼罗罗非鱼等群体,构建基础群体。采用人工定向交尾技术,构建了罗非鱼家系。以构建的家系为材料,进行了罗非鱼杂交子一代在盐度为28的海水中生长对比、遗传参数分析工作,以期罗非鱼耐盐新品种选育提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究所用罗非鱼,于2008–2009年取自河北沧州中捷罗非鱼国家级良种场和国内几个养殖场,包括以色列红罗非鱼品系(简称红罗非, Israel strain of red tilapia, R)、吉富品系(简称吉富, GIFT strain of Nile tilapia, J) (*Oreochromis niloticus*)、奥利亚罗非鱼(简称奥利亚, Blue tilapia, A) (*O. aureus*)、尼罗罗非鱼(简称尼罗, Nile tilapia, N) (*O. niloticus*)等群体,其中,2–3龄罗非鱼亲鱼的体重为600–1000 g,0.5–1龄罗非鱼的体重为300–500 g。

1.2 方法

1.2.1 罗非鱼鱼种的繁殖试验与家系构建 选择不同罗非鱼群体与以色列红罗非鱼品系群体进行杂交,

以及以色列红罗非鱼品系群体内自繁,构建罗非鱼品系家系。在同一时间将鱼种用相同的方法促熟,将所有种鱼放在罗非鱼种鱼培育池(长8 m、宽8 m、高2 m,其中地面以下1 m),通过改变不同罗非鱼群体之间和群体内雌雄配比及数量来刺激性腺发育,使之同步发育,发育至雌鱼出现腹部肿胀,然后将其放入网箱(长1.5 m、宽1 m、深1 m,40目)中培育,亲鱼(♀:♂为1:1)进行网箱繁殖试验。将不同亲鱼(或不同交配组合亲鱼)产卵孵化的罗非鱼鱼苗放在同一池塘的不同网箱中进行培育,到鱼苗达到一定规格(家系平均体重5–8 g),将不同来源组合的罗非鱼幼鱼后代用个体体表挂牌标记的方法进行标记(洪波等,2006)。

1.2.2 生长测试和统计分析方法 从每个家系随机取样40尾个体标记的鱼苗一起放到池中,采用逐渐提高盐度驯化的方法(每天提高水体盐度不超过5),将其养殖在盐度为28左右的海水中,正常养殖饲喂。

养殖150 d后出池。记录不同群体杂交后代的出池时间,测量罗非鱼的体长和体重。鱼体长度测定用游标卡尺,鱼体体重用天平称量。各生长参数以及生长指标按下列公式计算:

绝对增重率(Absolute Growth Rate, AGR) (g/d) = $(W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)$

式中, T_1 和 T_2 表示两次测定的日期(d), W_1 和 W_2 分别为时间 T_1 和 T_2 时的体重(g)。

采用SPSS 13.0分析软件对罗非鱼杂交子一代间生长数据进行分析比较,其中应用LSD(Least-significant Difference)多重比较方法(于飞等,2008;高保全等,2008)比较不同杂交组合两两间差异的显著性,在线性模型中利用多变量分析(Multivariate Analysis of Variance, MANOVA) (田焱,2007¹⁾;田焱等,2008)分析影响遗传参数估计的因素。MANOVA检测结果显示,标记时平均体重对150日龄体重遗传参数估计影响差异显著。因此,在进行体重遗传参数分析的过程中,为了降低遗传力估计的误差,考虑标记时平均体重对其的影响,将其作为协变量。利用ASREML统计分析软件,建立多变量混合动物模型进行遗传力分析,在分析过程中采用了亲本和子代的系谱信息和子代的表型数据(李云峰等,2009;何铜,2010²⁾。

遗传力估计模型:

$$y_{ijkl} = \mu + T_i + S_j + (T \cdot S)_{ij} + bx_k + a_{ijkl} + e_{ijkl}$$

式中, y 为结测体重, μ 为群体体重均值, T 和 S 分别表示池塘和性别固定效应, x 为家系标记时平均

1) 田焱. 中国对虾育种方法研究与遗传连锁图谱的构建. 中国科学院研究生院(海洋研究所)博士研究生学位论文, 2007, 62–67

2) 何铜. 凡纳滨对虾生长性状多元统计分析和遗传参数估计. 西北农林科技大学硕士研究生学位论文, 2010, 33–40

体重, a 为加性遗传效应, e 为随机残差。

矩阵形式(张天时等, 2008; 罗坤等, 2008)表示为:

$$y = Xb + Zu + e$$

式中, y 为表型值向量, b 为固定效应向量, u 为随机效应向量, e 为随机残差向量。 X 、 Z 分别为对应于固定效应向量 b 和随机效应向量 u 的关联矩阵, 随机向量 u 和 e 的数学期望和方差定义为:

$$E\begin{pmatrix} u \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \text{Var}\begin{pmatrix} u \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G & 0 \\ 0 & R \end{pmatrix}, G = A\sigma_a^2, R = I\sigma_e^2$$

式中, A 为所有个体的血缘系数矩阵, σ_a^2 为个体育种值方差(加性遗传方差), σ_e^2 为个体随机误差方差, 遗传力计算公式为:

$$h^2 = \sigma_a^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_e^2)$$

2 结果与分析

2.1 罗非鱼网箱繁殖试验

将 80 组种鱼(♀:♂ 为 1:1)放入网箱中培养, 经过一段时间的培育, 产卵率为 100%, 共建立 80 个家系。其中, 1-9 号网箱经过 4 月 23 日-5 月 15 日的网箱培育, 均发生产卵现象, 具体产卵日期见表 1。由表 1 可知, 网箱对罗非鱼的繁殖没有影响, 雌鱼性腺发育越成熟, 在网箱中所需产卵的时间越短。

2.2 杂交组合间生长性能差异分析

红罗非鱼与其他不同罗非鱼群体杂交及红罗非鱼群体内自繁, 获得 5 个杂交组合子一代(奥利亚♀×红罗非♂, A×R; 吉富×红罗非, J×R; 红罗非×奥利亚, R×A; 红罗非×吉富, R×J; 红罗非×尼罗, R×N)以及红罗非鱼群体自繁子一代(RT), 其生长性状比较结果如表 2 所示。从表 2 可以看出, R×N 杂交子一代生长表现最快, 其平均体长、平均体重和绝对增重率在所有组合中数值最大, 分别为 24.44 cm、385.23 g 和 4.94 g/d; 红罗非鱼群体自繁子一代(RT)组合的

表 1 罗非鱼网箱繁殖实验结果

Tab.1 The reproduction experiment of Tilapia in the net cage

网箱编号 Cage No.	放入日期 Pit entry date (M-D)	产卵日期 Spawning date (M-D)	放入网箱雌鱼 性腺发育期 Sexual maturity stage of female
1	04-23	05-13	
2	04-23	05-15	雌鱼腹部轻微膨胀, 生殖乳头为黄色
3	04-23	05-13	
4	04-23	05-08	雌鱼腹部肿胀, 生殖乳头为粉红色, 生殖孔轻微张开
5	04-23	05-04	
6	04-23	05-09	
7	04-23	05-02	雌鱼膨胀, 生殖乳头为桃红色至红色且向外突出, 生殖孔完全张开
8	04-23	05-04	
9	04-23	05-04	

生长速度最慢, 平均体长、平均体重和绝对增重率最小, 分别为 18.06 cm、280.46 g 和 3.21 g/d。

2.3 体长与体重在杂交组合间的方差分析

为了分析杂交组合生长性状差异来源, 对各杂交组合的子一代体长、体重进行组间和组内方差分析(表 3), 结果显示, 杂交组合间在体长、体重指标上均差异极显著($P < 0.01$)。LSD 多重比较结果显示(表 4), R×N 杂交组合子一代体重分别与除 J×R 杂交组合外的 3 个杂交组合(A×R、R×A、R×J)和 RT 群体自繁子一代两两间均表现出显著差异($P < 0.05$)。该结果显示, 在研究的所有群体内和群体间的交配组合中, R×N 杂交组合子一代生长速度最快, 优于其他杂交组合。

2.4 以体重为指标的遗传参数分析

利用建立的罗非鱼 80 个家系共 2496 个个体体重数据, 对 150 d 出池的平均体重与家系标记时的平均体重进行了相关性和回归分析。二者的回归分析显示(图 1), 家系 150 d 的平均体重测定值与家系标记

表 2 不同杂交组合的后代生长性能比较

Tab.2 Comparative analysis of growth performance among different cross combinations

杂交组合(♀:♂) Cross combinations (家系数 Family number)	体重 Body weight (g)		体长 Body length (cm)		绝对增重率 AGR (g/d)
	平均值±标准差 Mean±SD	变异系数 Coefficient of variation	平均值±标准差 Mean±SD	变异系数 Coefficient of variation	
A×R (n=13)	329.84±165.6	0.50	19.26±3.38	5.70	4.08
J×R (n=13)	354.35±172.2	0.49	19.43±3.17	6.13	4.47
R×A (n=13)	301.33±151.2	0.50	23.70±3.12	7.60	3.40
R×J (n=13)	281.81±156.7	0.56	18.07±2.96	6.11	3.31
R×N (n=13)	385.23±201.1	0.52	24.44±3.09	6.94	4.94
RT (n=15)	280.46±128.0	0.46	18.06±2.81	6.50	3.21

表 3 不同杂交组合间体长与体重的方差分析

Tab.3 ANOVA analysis for the body length and the body weight among different cross combinations

项目 Items	变异来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean squares	F 检验 F value	P 值 P value
体长 Body length	组间 Among groups	912.81	5	182.56	7.75	0.000
	组内 Within groups	20787.59	882	23.57		
	总和 Total	21700.41	887			
体重 Body weight	组间 Among groups	1059927.81	5	211985.56	8.29	0.000
	组内 Within groups	22553738.02	882	25571.13		
	总和 Total	23613665.84	887			

表 4 不同杂交组合间生长多重比较 LSD 结果

Tab.4 The multiple comparisons of LSD test of growth among different cross combinations

杂交组合 Cross combinations (♀×♂)	个体数 Number	体重均值 Mean of body weight (g)	95%置信区间 95% confidence interval	
			下限 Lower bound	上限 Upper bound
A×R	410	329.84 ^b	301.546	358.140
J×R	406	354.35 ^{ab}	315.275	393.426
R×A	398	301.33 ^{bc}	283.948	318.707
R×J	378	281.81 ^c	255.442	308.182
R×N	426	385.23 ^a	347.229	423.226
RT	478	280.46 ^c	258.751	302.176

注: 同一列数值右上角标有不同字母表示组间存在显著差异($P<0.05$)

Note: Data within the same column with different letters are significantly different ($P<0.05$)

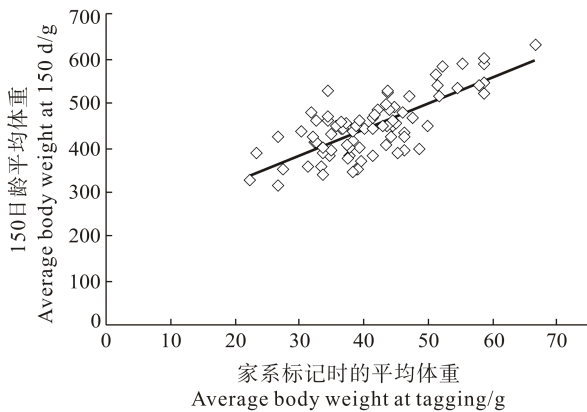


图 1 150 d 的平均体重与家系标记时的平均体重回归分析

Fig.1 Regression analysis of the average body weight at 150 d and tagging

时的平均体重回归系数为 5.802, 二者间的回归关系为极显著水平($P<0.01$), 说明家系标记时平均体重显著影响个体的生长。因此, 利用 ASREML 软件估计体重的遗传力时, 考虑标记时家系平均体重, 并且考虑到池塘和罗非鱼性别对生长性状的影响, 也将其作为影响遗传力估计的因子, 进行了体重遗传力分析。结果显示, 遗传力为 0.46 ± 0.07 , 属于中等遗传力。

3 讨论

杂种优势的产生, 主要是由于优良显性基因的互补作用和群体中杂合子频率的增加, 从而抑制和减弱了不良基因的作用, 提高了整个群体的平均显性效应和上位效应(张天时, 2010¹⁾)。罗非鱼杂交育种开展较早, 包括种间、不同品系和群体之间的杂交。自 Hickling(1960)报道罗非鱼种间杂交可以获得单一性别后代, 国内外陆续开展了这方面的研究(卢迈新等, 2005)。20 世纪 80 年代后, 我国相继引进奥利亚罗非鱼, 并与尼罗罗非鱼进行了种间杂交试验, 获得杂交子一代, 雄性可达 90%以上, 产量和抗寒能力得到了明显提高(王楚松等, 1989)。张永德等(2012)以埃及品系尼罗罗非鱼家系的雌鱼作为母本、以美国品系奥利亚罗非鱼家系的雄鱼作为父本进行杂交配对, 其耐寒和生长性能比自然种群有了大幅提高。何学军等(2002)进行了台湾红罗非鱼和尼罗罗非鱼正反交后代体色和生长性能的评价, 发现反交子代具有红色个体比例高、生长速度快等优势, 可应用于生产。在之前的报道中, 已经利用杂交育种培育耐盐新品种“吉丽罗非鱼”。李学军等(2013)进行的盐度慢性胁迫显示,

1) 张天时. 中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)育种的模型分析与遗传参数评估. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2010, 39-70

“吉丽罗非鱼”(尼罗罗非鱼♀×萨罗罗非鱼♂)耐盐能力介于双亲之间,但更接近于萨罗罗非鱼,远高于尼罗罗非鱼,其死亡时间和盐度的平均值与尼罗罗非鱼和萨罗罗非鱼的比值分别为 3.929、3.130 和 0.908、0.868。李思发等(2008)比较研究了杂交 F₂ 与其原始亲本尼罗和萨罗的耐盐性和生长性能,发现盐度 20–25 是杂交 F₂ 的适宜生长盐度,在这一范围内的日均增重率为尼罗在盐度 0 下的 75%左右、萨罗在盐度 25 下的 4 倍左右,表明杂交 F₂ 的生长性能远优于萨罗,而耐盐性能也优于尼罗。本研究的有些杂交组合表现出良好的杂交效果,其中 R×N 杂交组合子一代在海水中表现出最快生长速度,其平均体长、平均体重和绝对增重率在所有组合中数值最大,并且与除 J×R 杂交组合外的 3 个杂交组合(A×R、R×A、R×J)和 RT 自繁组子一代两两间都表现出显著差异($P<0.05$)。

杂交效果不同是由多个因素决定的。杂交组合的遗传背景不同也是造成不同杂交效果的一个重要原因。通常来说,群体选育程度越高,即不同种群内的纯合化程度越高,使得不同种群间的差距拉大,就会产生大的杂种优势。一般而言,同种的不同群体,基因频率差别越大,遗传距离越远,杂种优势越大(常亚青等, 2002)。在以前研究中已有很多关于由于杂交种群的不同而产生不同的杂交结果的报道(于飞等, 2008; Bryden *et al.*, 2004; Gjerde *et al.*, 2002; Bentsen *et al.*, 1998)。本研究所用不同罗非鱼群体杂交组合获得的子一代表现出一定的生长差异,也进一步佐证了上述结论。将对生长相对较快的杂交组合进行连续观察,其性状表现的最后决定和选择尚需在子代测定中进一步观测和验证。

各种生物具有各种不同的性状,各性状的杂种优势表现是不相同的。遗传力低的性状,受基因的非加性效应影响作用较大,在杂交过程中,会表现明显的杂种优势;遗传力高的性状,受基因加性效应影响作用大,杂种优势表现相对较小(常亚青等, 2002)。在以前研究(Benzie *et al.*, 1995; 刘小林等, 2003)中已报道,在水产动物中肉质性状、饵料利用率等性状的杂种优势表现相对较小,而繁殖性状、生长的杂种优势表现较大。在选育目标上,本研究首先以在海水中的生长速度作为主要性状进行选育。如本研究选用的体长和体重两个性状指标是反映罗非鱼生长的代表性指标。在选育过程中严格控制环境因素对各家系的影响,这包括在相同条件下同时进行人工定向交尾、育苗、养殖管理及同时采集数据,使实验尽可能在同一条件下进行,最大限度地消除了环境对群体表型性状的影响,使实验中各个家系生长性状的差异主要反应

在遗传效应方面。应用限制性最大似然法(Restricted Maximum Likelihood, REML) (Zhang *et al.*, 2011)估计体重的遗传力,结果显示,遗传力为 0.46 ± 0.07 ,属于中等遗传力。在子一代呈现较高遗传力,其结果显示,生长性状在加性效应控制下,对生长性状进行选择育种,具有很大的遗传改良潜力,可以获得较好的选择效果。

参 考 文 献

- 于飞,张庆文,孔杰,等. 大菱鲆不同进口群体杂交后代的早期生长差异. 水产学报, 2008, 32(1): 58–64
- 么宗利,王慧. 罗非鱼咸水养殖研究进展. 海洋渔业, 2006, 28(3): 251–256
- 么宗利,李思发,李学军,等. 尼罗罗非鱼和以色列红罗非鱼耐盐驯化初步报告. 上海水产大学学报, 2003, 12(2): 97–101
- 王楚松,夏德全,胡玫,等. 奥尼鱼(*S. nilotica*♀×*S. aurea*♂)杂种优势利用的研究. 淡水渔业, 1989, 13(6): 14–15
- 卢迈新,黄樟翰. 罗非鱼遗传育种研究. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 186–191
- 田焱,孔杰,栾生,等. 中国对虾生长性状遗传参数的估计. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 1–6
- 朱华平,黄樟翰,卢迈新,等. 罗非鱼遗传背景的研究进展. 湛江海洋大学学报, 2003, 23(1): 79–84
- 刘小林,常亚青,相建海,等. 栉孔扇贝不同种群杂交效果的初步研究 I. 中国种群与俄罗斯种群的杂交. 海洋学报, 2003, 25(1): 93–99
- 李云峰,常亚青,田焱,等. 仿刺参耳状幼体和稚参阶段的体长遗传力估计. 大连水产学院学报, 2009, 24(1): 30–33
- 李太光,李瑞伟. 罗非鱼群体选育及奥尼杂交种生产技术. 湛江海洋大学学报, 2004, 24(3): 8–13
- 李学军,李思发,冯金海,等. 以色列红罗非鱼耐盐性的初步研究. 上海水产大学学报, 2003, 12(3): 205–208
- 李学军,郭瑄,聂国兴,等. 慢性盐度胁迫对吉丽罗非鱼(尼罗罗非鱼♀×萨罗罗非鱼♂)及其两亲本耐盐性的影响. 水产学报, 2013, 10(1): 256–262
- 李思发,颜标,蔡完其,等. 尼罗罗非鱼与萨罗罗非鱼正反交鱼自繁后代 F₂ 耐盐性、生长性能及亲本对杂种优势贡献力的评估. 水产学报, 2008, 32(3): 335–342
- 李思发. 我国罗非鱼产业的发展前景和瓶颈问题. 科学养鱼, 2003, 19(9): 3–5
- 李家乐,李思发. 中国大陆尼罗罗非鱼引进及其研究进展. 水产学报, 2001, 25(1): 90–95
- 何学军,李思发,韩风进,等. 红罗非鱼和尼罗罗非鱼正反交后代体色和生长性能的评价. 水产科技情报, 2002, 29(4): 147–152
- 杨淞,卢迈新,黄樟翰,等. 5 种杂交 F₁ 罗非鱼生长性能比较研究. 淡水渔业, 2006, 36(4): 41–44
- 张天时,栾生,孔杰,等. 中国对虾体重育种值估计的动物模型分析. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 34–38
- 张永德,林勇,唐章生,等. 尼奥罗非鱼杂交配套系耐寒和生长性能的选育. 广西师范大学学报(自然科学版), 2012, 30(4): 92–97
- 陈素芝,叶卫. 我国引进的罗非鱼类的初步研究. 动物学杂志, 1994, 29(3): 18–23
- 罗坤,孔杰,栾生,等. 应用动物模型对罗氏沼虾育种值估计的差别分析. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 85–91

- 洪波, 孙振中. 标志放流技术在渔业中的应用现状及发展前景. 水产科技情报, 2006, 33(2): 73-76
- 夏德全, 曹莹, 杨弘. 罗非鱼杂交 F_1 代与亲本的遗传关系及其杂种优势的利用. 中国水产科学, 1999, 6(4): 29-32
- 高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代生长性状的比较. 海洋与湖沼, 2008, 39(3): 291-296
- 常亚青, 刘小林, 相建海, 等. 栉孔扇贝中国种群与日本种群杂交一代的早期生长发育. 水产学报, 2002, 26(5): 385-390
- Bentsen HB, Eknath AE, Palada-de Vera MS, *et al.* Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. Aquaculture, 1998, 160: 145-173
- Benzie JAH, Kenway M, Ballment E, *et al.* Interspecific hybridization of the tiger prawns *Penaeus monodon* and *Penaeus esculentus*. Aquaculture, 1995, 133(2): 103-111
- Bryden CA, Heath JW, Heath DD. Performance and heterosis in farmed and wild Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) hybrid and purebred crosses. Aquaculture, 2004, 235(1-4): 249-261
- Gjerde B, Reddy PVGK, Mahapatra KD, *et al.* Growth and survival in two complete diallele crosses with five stocks of Rohu carp (*Labeo rohita*). Aquaculture, 2002, 209: 103-115
- Hickling CF. The Malacca Tilapia hybrids. J Genet, 1960, 57: 1-10
- Zhang TS, Kong J, Luan S, *et al.* Estimation of genetic parameters and breeding values in shrimp *Fenneropenaeus chinensis* using the REML/BLUP procedure. Acta Oceanol Sin, 2011, 30(1): 78-86

(编辑 冯小花)

The Growth Performance of the Hybridization Offspring of Israel Strain Red Tilapia and Other Tilapia Populations in Sea Water

ZHANG Tianshi¹, JIANG Tao², KONG Jie^{1①}, WEI Baozhen³, JIE Jinhua⁴, ZHANG Yanhong⁴, LUAN Sheng¹

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 2. College of Marine Science and Engineering, Qingdao Agriculture University, Qingdao 266109; 3. National Fisheries Technology Extension Station, Beijing 100026; 4. Hebei Zhongjie Tilapia Aquaculture Co., Ltd., Cangzhou 061108)

Abstract Brood stock was collected from Israel strains red tilapia, GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), Blue tilapia (*O. aureus*), and Nile tilapia (*O. niloticus*) to form a base population of tilapia with broad genetic variation. Using artificial oriented mating, we obtained 15 full-sib families by inbreeding within the Israel strain red tilapia population and 65 full-sib families from crossing filial generation between Israel strain red tilapia and other tilapia populations. The subjects were tagged when the mean body weight in a family was 5-8 g. Forty tagged individuals were randomly selected from each family and cultured in sea water with the salinity gradually increased to 28. After 150 days we measured the body length and the body weight of the subjects, and estimated the crossbreeding and genetic parameters of tilapia. Offspring of Israel strains red tilapia and Egyptian strain of Nile tilapia (R×N) showed the highest growth rate. The average body length, the average body weight and the absolute growth rate (AGR) of the first selected generation of R×N were 24.44 cm, 385.23 g and 4.94 g/d respectively. ANOVA analysis showed that there were significant differences ($P<0.05$) in the body length and the body weight. The multiple comparisons of LSD test in the body length and the body weight indicated that R×N were significantly different ($P<0.05$) from other three intercross populations (A×R, R×A, and R×J) and the self-reproducing population (RT), except for J×R. Based on the data of 2496 subjects from 80 full-sib groups of tilapia, we estimated the heritability of the body weight. The model was composed of different factors including the average body weight in the tagged family (covariate), tanks and sex effects, *etc.* The estimated heritability of the body weight was medium (0.46 ± 0.07). Our results suggested that there was a great potential in the genetic improvement of tilapia through the selective breeding. This should provide the theoretical guidance for the mariculture and breeding of salt-tolerant strains of tilapia.

Key words Tilapia; Family; Population; Heritability; Selection

① Corresponding author: KONG Jie, E-mail: kongjie@ysfri.ac.cn