

## 斑点叉尾鲷基础群体生长和存活性状遗传参数估计

栾生<sup>1</sup>, 边文冀<sup>2</sup>, 邓伟<sup>3</sup>, 胡红浪<sup>3</sup>, 孔杰<sup>1\*</sup>, 秦钦<sup>2</sup>,  
陈校辉<sup>2</sup>, 钟立强<sup>2</sup>, 黄太寿<sup>3</sup>

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

2. 江苏省淡水水产研究所, 江苏 南京 313001;

3. 全国水产技术推广总站, 北京 100026)

**摘要:** 研究估计了斑点叉尾鲷基础群体( $G_0$ )体质量、体长和存活性状的遗传参数,为制定育种目标、综合选择指数和选择方法提供基础参数。实验利用5个斑点叉尾鲷引进群体,通过双列杂交和巢式交配设计,产生全同胞和半同胞家系。每个家系内的稚、幼鱼经过中间暂养、个体标记等阶段后,混合放入一个池塘进行生长和存活测试。利用两性状动物模型和公母畜阉模型分别估计生长和存活性状的方差组分和遗传参数。通过最佳线性无偏预测法估计所有个体生长和存活性状的育种值。斑点叉尾鲷基础群体收获体质量和体长遗传力分别为 $0.41 \pm 0.074$ 和 $0.32 \pm 0.064$ ,属于高遗传力水平,并且统计检验显著( $P < 0.05$ )。尽管在两性状动物模型中设置标记体质量和标记体长作为协变量进行校正,但是由于加性遗传效应和共同环境效应混淆在一起无法剖分,遗传力估计值偏高。收获体质量和收获体长的表型和遗传相关系数分别为0.93和0.97,表现为高度线性正相关。存活性状的遗传力为 $0.037 \pm 0.016$ ,表现为低遗传力,但统计检验仍达到显著水平( $P < 0.05$ )。家系生长(收获体质量和收获体长)和存活性状育种值间的相关系数分别为0.065和0.100,表现为低度线性遗传正相关,并且统计检验不显著( $P > 0.05$ )。因此在制定育种方案时,生长和存活性状都可纳入育种目标,利用多性状选择指数方法同时选择。

**关键词:** 斑点叉尾鲷; 基础群体; 生长; 存活; 遗传参数

**中图分类号:** Q 346; S 917.4

**文献标志码:** A

斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)亦称美洲鲶、沟鲶,属于鲶形目(Siluriformes),鲶科(Ictaluridae),原产于美国,具有肉质细腻、适温范围广、生长速度快、抗病能力强等特点。自1984年引入国内后养殖规模迅速扩大,2006年全国养殖网箱70万只,产量已达到12万t<sup>[1]</sup>。目前我国斑点叉尾鲷苗种需求量约5亿尾,亲鱼需求量大。斑点叉尾鲷雌鱼产卵量大,苗种累代养殖后可能会产生近交衰退现象<sup>[2]</sup>。当前我国养殖的斑点叉尾鲷已经出现了明显的生长减慢、体色分化、病害高发和规格不齐等种质衰退的现象。斑点叉尾

鲷作为一个引进品种,亲鱼种质主要引自美国,国内缺乏具有自主知识产权的良种。培育生长快、抗逆性强的斑点叉尾鲷新品种(系)已成为当前斑点叉尾鲷产业可持续发展亟待解决的重要问题。

大规模建立家系,利用个体本身、同胞、祖先和后代等系谱和测定信息,通过约束极大似然法(restricted maximum likelihood, REML)和最佳线性无偏预测法(best linear unbiased prediction, BLUP)进行遗传评定,依据综合选择指数选择留种亲本,已经逐渐成为水产动物选择育种的一种重要

收稿日期:2012-01-29 修回日期:2012-03-08

资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200903045);国家科技支撑计划(2012BAD26B03)

通讯作者:孔杰, E-mail: kongjie@ysfri.ac.cn

方法。大西洋鲑(*Salmon salar*)是水产动物中第一个通过建立家系开展选择育种研究的物种<sup>[3]</sup>。大西洋鲑体质量和存活性状的遗传力估计值范围分别为0.03~0.44,0.01~0.17。经过5个世代选择,大西洋鲑选育品系的收获体质量比野生群体提高了115%,饵料系数降低了20%<sup>[4]</sup>。随后对罗非鱼(*Oreochromis shiranus*)<sup>[5]</sup>、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)<sup>[6]</sup>、鲤(*Cyprinus carpio*)<sup>[7]</sup>、瓯江彩鲤(*Cyprinus carpio* var. color)<sup>[8]</sup>、大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)<sup>[9-11]</sup>和牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)<sup>[12-14]</sup>等物种也开展了遗传参数估计和育种值预测等研究。

美国奥本大学利用群体选择方法,对两个斑点叉尾鲷品系进行遗传改良。经过3个世代选择,两个品系的生长速度分别提高了21%和29%<sup>[15]</sup>。应用群体选择方法,通过提高选择强度,短期内可以取得较好的遗传进展,但是由于缺乏系谱信息,难以评估和控制育种群体的近交水平,近交累积速度快,目标性状易产生近交衰退<sup>[16-17]</sup>。本研究利用5个斑点叉尾鲷引进群体,通过双列杂交方法构建基础群体;利用定向交尾技术建立全同胞(半同胞)家系;利用RFID(radio frequency identification)标记个体,混养测试生长和存活性状;利用平均信息约束极大似然法(average information restricted maximum

likelihood,AIREML),通过两性状动物模型和公母畜阈模型估计收获体质量、收获体长和存活性状的方差组分和遗传参数,为制定育种目标、综合选择指数和选择策略提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验群体

试验在斑点叉尾鲷国家遗传育种中心(江苏省淡水水产研究所禄口基地)进行。研究群体为1997—2004年间引入国内的斑点叉尾鲷亲本群体,分别由德克萨斯(1997)群体、阿肯色(1999)群体、密西西比(2001)群体、阿肯色(2003)群体和阿肯色(2004)群体组成<sup>[18]</sup>。项目组将引进亲鱼进行免疫检验、隔离保种。每尾亲鱼注射RFID电子标记后,放入土池混养强化培育。

2009年5月,从每个引进群体中挑选性腺发育成熟亲鱼作为亲本,采用完全双列杂交方式构建基础群体(表1)。利用定向交尾技术,通过巢式设计(1尾雄鱼配2尾雌鱼)成功建立全同胞家系55个,其中包括15个父系半同胞组(1尾雄鱼与2尾雌鱼交配产生2个半同胞家系,15个父系半同胞组共产生30个半同胞家系)。每一个家系移入孵化车间独立的孵化槽,水温20~26℃流水孵化,全部家系生产周期为20d。

表1 斑点叉尾鲷引进群体杂交和自交组合家系数量

Tab.1 The number of families per hybrid or selfing combination from five introduced populations in channel catfish

母本 female	父本 male					合计 total
	德克萨斯(1997) TEXAS(1997)	阿肯色(1999) ARKANSAS(1999)	密西西比(2001) MISSISSIPPI(2001)	阿肯色(2003) ARKANSAS(2003)	阿肯色(2004) ARKANSAS(2004)	
德克萨斯(1997) TEXAS(1997)	—	2	2	2	2	8
阿肯色(1999) ARKANSAS(1999)	3	2	2	2	1	10
密西西比(2001) MISSISSIPPI(2001)	4	2	1	4	3	14
阿肯色(2003) ARKANSAS(2003)	5	2	2	2	1	12
阿肯色(2004) ARKANSAS(2004)	4	2	2	3	—	11
合计 total	16	10	9	13	7	55

每个家系仔苗孵出2~3d后,随机抽取1000尾苗种,移入室内水泥池(3.72m×0.92m×0.6m)培育。开口饵料为浮游动物,然后转食人工配合饲料。稚苗日龄约30d时,每个家系随机选取

500尾稚苗,移入室外中间培育池(3m×2m×1m)进行暂养。暂养期间,按鱼体质量的5%~10%投喂配合饵料。待家系平均日龄122d,个体质量均值达到32g时,每个家系随机抽取50

尾稚鱼注射 RFID 电子标记,同时记录每尾鱼的个体编号、父本编号、母本编号、家系编号、标记时间、体质量和体长等信息。全部标记幼鱼转入 0.67 hm<sup>2</sup>土池混养,测试家系的生长和存活性状。家系平均日龄 518 d 时,拉网捕获全部存活测试个体,扫描记录测试个体编号,测量个体的体质量和体长等信息。统计每个家系存活个体数量,计算存活率。

## 1.2 统计分析

建立线性混合模型,利用 AIREML 方法通过 ASReml 软件估计斑点叉尾鲷收获体质量和收获体长的方差组分<sup>[19]</sup>。育种分析模型为两性状个体动物模型:

$$\begin{cases} Y_{1i} = \mu_1 + C_{11}X_{1i} + C_{12}X_{2i}^2 + a_{1i} + e_{1i} \\ Y_{2i} = \mu_2 + C_{21}X_{1i} + C_{22}X_{2i}^2 + a_{2i} + e_{2i} \end{cases}$$

式中, $Y_{1i}$ 和 $Y_{2i}$ 分别为第*i*尾鱼的收获体质量和收获体长观测值, $\mu_1$ 和 $\mu_2$ 分别为收获体质量和收获体长的总体均值, $X_{1i}$ 和 $X_{2i}$ 为第*i*尾鱼标记时的体质量和体长测定值, $C_{11}$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{21}$ 和 $C_{22}$ 为回归系数, $a_{1i}$ 和 $a_{2i}$ 分别为第*i*尾鱼体质量和体长的加性遗传效应, $e_{1i}$ 和 $e_{2i}$ 分别为第*i*尾鱼体质量和体长的随机残差。由于斑点叉尾鲷只有生长 3~4 年达到性成熟时才能查明性别,因此在模型中没有纳入性别作为固定效应。

收获体质量和体长的遗传力计算公式:

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2}$$

式中, $\sigma_a^2$ 为加性遗传方差组分, $\sigma_e^2$ 为残差方差组分。

家系生长测试结束后,存活的个体记录为 1,死亡个体记录为 0。应用阈模型和广义线性混合模型(generalized linear mixed model, GLMM)方法(logistic 分布)估计存活性状的方差组分。育种分析模型为公母畜模型:

$$\Pr(y_{ijk} = 1) \Pr(l_{ij} > 0) = \frac{e^{\mu + s_i + d_j}}{1 + e^{\mu + s_i + d_j}}$$

式中, $y_{ijk}$ 表示第*k*尾鱼的存活状态(1 为存活,0 为死亡), $l_{ij}$ 为潜在变量,如果 $l_{ij} > 0$ 那么 $y_{ijk} = 1$ ,如果 $l_{ij} \leq 0$ 那么 $y_{ijk} = 0$ , $\mu$ 为总体均值, $s_i$ 为第*i*个父本的加性遗传效应, $d_j$ 为第*j*个母本的加性遗传效应。

存活性状遗传力的计算公式:

$$h^2 = \frac{4\sigma_{sd}^2}{2\sigma_{sd}^2 + \sigma_e^2}$$

式中, $\sigma_{sd}^2$ 为公母畜方差组分的均值, $\sigma_e^2$ 为残差方差组分,logistic 分布的值为 3.289。由于已经死亡个体无法确认性别,因此在模型中也没有纳入性别作为固定效应。

收获体质量、收获体长和存活性状方差组分估计模型中都没有包含共同环境效应。似然比率检验(likelihood ratio test, LRT)表明,估计模型中加入共同环境效应后,其似然值与原模型并无显著差异,而且共同环境方差组分估计值非常小,因此在模型中剔除共同环境效应。

利用 ASReml 软件通过两性状动物模型估计收获体质量和收获体长的表型相关系数和遗传相关系数。计算出家系收获体质量、收获体长与存活性状的表型和育种值均值后,通过 SPSS 软件的双变量相关分析模块估计出收获体质量和存活性状、收获体长和存活性状间的表型和遗传相关系数。

## 2 结果

### 2.1 生长和存活性状的描述性统计量

5 个性状的变异系数,收获体质量最高(CV = 62.94%),标记体长最低(CV = 12.01%) (表 2)。受到放养密度和养殖时间的影响,收获体质量的变异系数(CV = 62.94%)大于标记体质量(CV = 37.08%)。图 1 以箱线图的形式给出了斑点叉尾鲷 55 个家系收获体质量和收获体长的平均数、中位数、第一四分位数、第三四分位数、最小值、最大值和异常值。基础群体家系收获体质量和收获体长中位数的变化范围分别为 65.00 ~ 520.00 g, 21.50 ~ 38.00 cm,家系间差异较大。一般线性模型(general linear model, GLM)分析也表明,家系间收获体质量和收获体长均存在极显著差异( $P < 0.01$ )。上述分析表明,斑点叉尾鲷基础群体生长性状存在丰富的遗传变异。家系存活率均值为 58.58%,变化范围为 32.00% ~ 74.00%,变异系数为 15.74% (表 2)。

在体质量和体长两个拟合方程中,二次回归的拟合度均大于一次回归(体质量  $R^2: 0.396 > 0.387$ ,体长  $R^2: 0.401 > 0.400$ ),并且回归效果均达到极显著水平( $P < 0.01$ ) (图 2)。这表明混养前体质量越大的个体,混养后的收获体质量测定值也越大。因此,估计方差组分时,在线性混合模型中将标记体质量、标记体长和它们的二次方共同作为协变量对收获期体质量和体长进行矫正。

表 2 斑点叉尾鲷基础群体质量、体长和存活性状的均值、最小值、最大值、标准差和变异系数

Tab. 2 Mean, minimum, maximum, standard deviation (SD) and coefficient of variation (CV) of tagging body weight, harvest body weight, tagging body length, harvest body length and survival for the base population in channel catfish

性状 traits	均值 mean	最小值 minimum	最大值 maximum	标准差 SD	变异系数/% CV
标记体质量/g tagging body weight	32.07	8.80	117.80	11.89	37.08
标记体长/cm tagging body length	16.24	10.10	24.20	1.95	12.01
收获体质量/g harvest body weight	246.10	25.00	775.00	154.90	62.94
收获体长/cm harvest body length	29.70	15.00	43.00	6.04	20.34
家系养殖存活率/% family survival	58.58	32.00	74.00	9.22	15.74

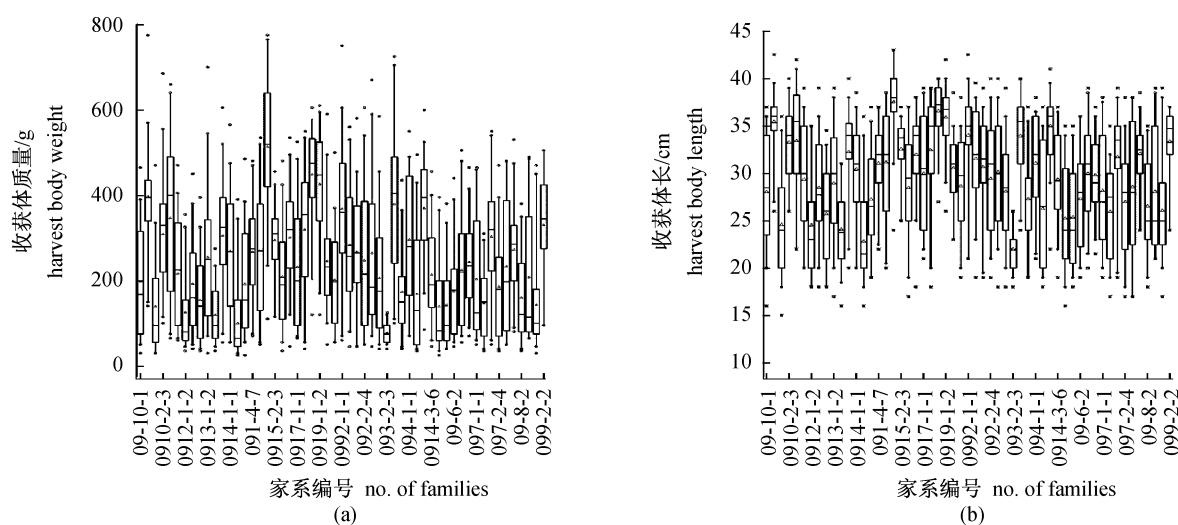


图 1 斑点叉尾鲷基础群体家系收获体质量和收获体长的箱线图

盒子由中位数、第一四分位数和第三四分位数组成。平均值、最小值、最大值和异常值分别用  $\Delta$ 、 $\times$ 、 $\times$  和  $\circ$  表示。

Fig. 1 Box plots of harvest body weight (a) and harvest body length (b) for the base population in channel catfish

The median, 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> percentiles are plotted as boxes. Mean, minimum, maximum and outliers are shown as  $\Delta$ ,  $\times$ ,  $\times$  and  $\circ$ .

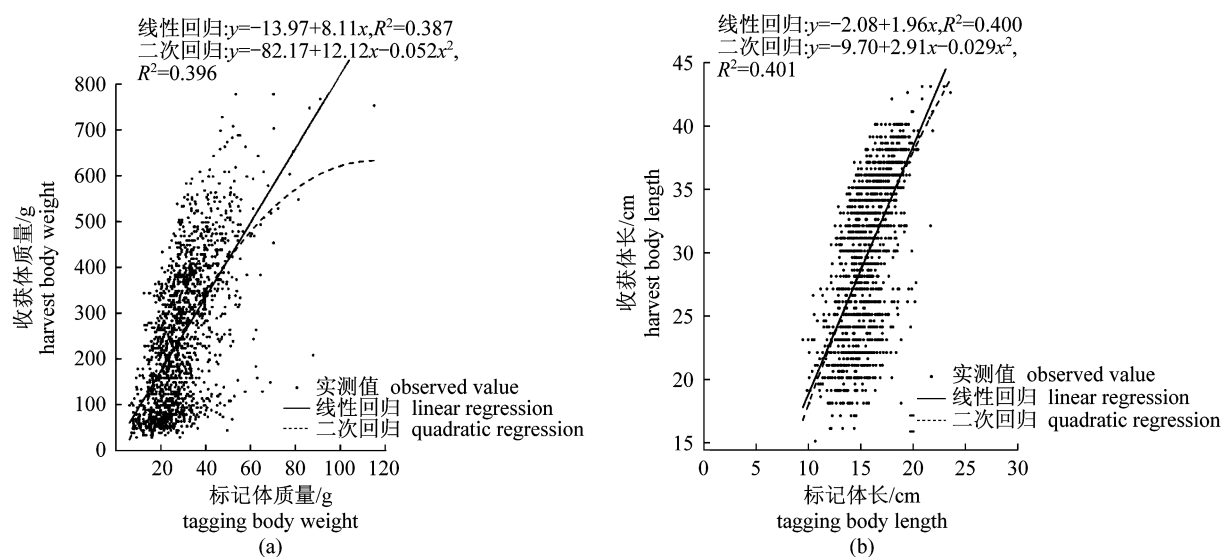


图 2 斑点叉尾鲷基础群体收获体质量与标记体质量、收获体长与标记体长的回归关系

Fig. 2 Regression between harvest body weight and tagging body weight (a), harvest body length and tagging body length (b) for the base population in channel catfish

## 2.2 收获体质量、收获体长和存活性状的方差组分、遗传力和遗传相关

斑点叉尾鲷基础群体 3 个性状间的方差组分和遗传力见表 3。斑点叉尾鲷收获体质量和收获体长的遗传力估计值分别为  $0.41 \pm 0.074$ 、 $0.32 \pm 0.064$ , 为高遗传力 ( $h^2 \geq 0.30$ )。与变异系

数的分析结果相一致,遗传力分析也表明基础群体生长性状存在较为丰富的遗传变异。存活性状遗传力估计值为  $0.037 \pm 0.016$ , 为低遗传力 ( $h^2 < 0.15$ ) (表 3)。LRT 统计检验表明,3 个性状的遗传力均达到显著水平。相对于遗传力估计值,3 个性状的标准误均较大。

表 3 斑点叉尾鲷基础群体收获体质量、收获体长、存活性状的方差组分和遗传力  
Tab.3 Variance components, heritabilities of harvest body weight, harvest body length and survival for the base population in channel catfish

性状 traits	方差 variances			
	$\sigma_p^2$	$\sigma_a^2/4\sigma_{sd}^2$	$\sigma_e^2$	$h^2$
收获体质量/g harvest body weight	15 463.27	6 366.95	9 096.32	$0.41 \pm 0.074^*$
收获体长/cm harvest body length	23.09	7.46	15.63	$0.32 \pm 0.064^*$
存活率/% survival rate	3.414	0.125	3.289	$0.037 \pm 0.016^*$

注: $\sigma_p^2$ : 表型方差,  $\sigma_a^2$ : 加性遗传方差,  $\sigma_{sd}^2$ : 公母畜加性遗传方差均值,  $\sigma_e^2$ : 残差,  $h^2$ : 遗传力, \* 统计检验达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。

Notes:  $\sigma_p^2$ : phenotypic variance,  $\sigma_a^2$ : additive genetic variance,  $\sigma_{sd}^2$ : the mean between sire and dam additive genetic variances,  $\sigma_e^2$ : residual variance,  $h^2$ : heritability, \* means estimate is significantly different from zero ( $P < 0.05$ ).

斑点叉尾鲷基础群体 3 个性状间的表型和遗传相关系数见表 4。3 个性状间的表型相关系数, 以收获体质量和收获体长的值最高 ( $r = 0.93$ ), 表现为高度线性正相关, 统计检验达到了极显著水平 ( $P < 0.01$ )。收获体质量与存活、收获体长与存活性状间的表型相关系数均较小, 分别为 0.077 和 0.115, 表现为低度线性正相关 ( $r <$

0.3), 统计检验不显著。3 个性状间的遗传相关, 同样以收获体质量和收获体长的线性相关度最高 ( $r = 0.97$ ), 收获体质量与存活性状间最低 ( $r = 0.065$ )。家系收获体质量和存活性状、收获体长和存活性状育种值间的散点图 (图 3) 也显示, 各个数据点分布分散, 家系育种值间并无明显的直线关系。

表 4 斑点叉尾鲷基础群体家系 3 个性状表型值和育种值相关分析  
Tab.4 Correlation analysis based on phenotypic value and breeding value of families among three traits for the base population in channel catfish

性状 traits	收获体质量 harvest body weight	收获体长 harvest body length	存活率 survival rate
收获体质量 harvest body weight		0.93 **	0.077
收获体长 harvest body length	0.97 **		0.115
存活 survival rate	0.065	0.100	

注: 对角线以上为表型相关, 对角线以下为育种值相关, \*\* 表示统计检验达到极显著水平 ( $P < 0.01$ )。

Notes: Phenotypic correlation (above the diagonal), genetic correlation (under the diagonal), \*\* means estimate is significantly different from zero ( $P < 0.01$ ).

## 3 讨论

育种群体目标性状的遗传力是评估遗传进展和选育可持续性的重要参数。本研究结果显示, 斑点叉尾鲷基础群体收获体质量和收获体长属于高遗传力性状。变异系数和遗传力结果均表明, 斑点叉尾鲷基础群体生长性状遗传变异丰富, 具有较大的选育潜力。有关斑点叉尾鲷生长和存活性状遗传参数估计的研究报道较少。Reagen 等<sup>[20]</sup>利用全同胞组内相关法估计了斑点叉尾鲷

15 个月体质量和体长的遗传力, 估计值分别为 0.75 和 0.67, 均为高遗传力。然而, 与 REML 和动物模型方法相比较, 全同胞组内相关法不能利用个体间的亲缘信息, 加上无法剖分随机效应, 其估计值一般偏高<sup>[21]</sup>。Dunham 等<sup>[22]</sup>利用群体选择方法对 Rio Grande、Marion 和 Kensas 3 个多年养殖的斑点叉尾鲷品系的体质量性状进行了一代选择, 实现遗传力估计值在 0.24 ~ 0.50, 为中高遗传力; 继续对 Kensas 和 Marion 两个品系选择二个世代后, 其实现遗传力分别为  $0.16 \pm$

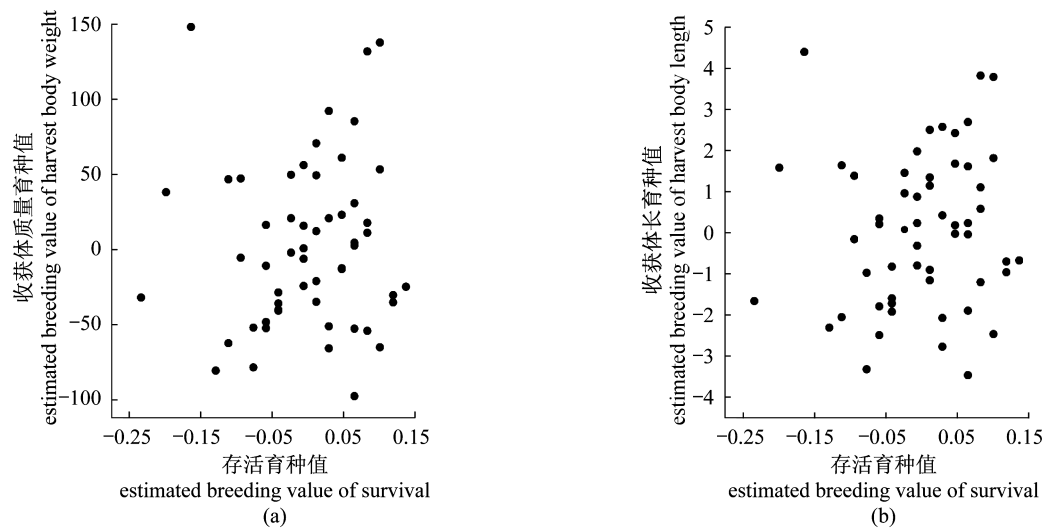


图3 斑点叉尾鮰基础群体家系收获体质量育种值、收获体长育种值和存活育种值散点图

Fig. 3 Scatters of harvest body weight (a) and harvest body length (b) for the base population in channel catfish

0.016,  $0.23 \pm 0.015$ <sup>[15]</sup>, 为中等遗传力。本实验结果高于上述实现遗传力, 低于全同胞组内相关法估计值, 与尼罗罗非鱼<sup>[23-25]</sup>, 虹鳟<sup>[26-27]</sup>和大菱鲆<sup>[9]</sup>等体质量遗传力估计结果相同, 均为高遗传力。但是, 受基础群体结构影响, 共同环境效应与加性遗传效应混在一起无法剖分, 在生长性状方差组分估计模型中并未包含共同环境效应, 因此本实验收获体质量和体长遗传力估计偏高。此外, 已有研究也表明, 受亲本血缘和测定信息的影响, 利用多个世代数据估计的遗传力值要低于单个世代数据的估计结果<sup>[5, 28]</sup>。因此, 随着选育世代的增加, 系谱信息和测定数据的不断丰富, 利用多个世代估计的斑点叉尾鮰育种核心群生长性状遗传力将会进一步降低。

共同环境效应可认为是全同胞单独养殖环境效应、非加性遗传效应和母本效应的混合效应。本实验中共同环境效应与加性遗传效应混淆在一起无法剖分, 这主要是由斑点叉尾鮰基础群体的结构所决定的。首先, 基础群体亲本间血缘信息不清楚。用于构建基础群体家系的亲鱼群体的近交水平和相互间的亲缘关系并不清楚, 只能假定个体的近交系数为零, 相互间无亲缘关系。基础群体的父母本无法提供系谱信息来辅助提高方差组分估计的准确度。其次, 基础群体家系间缺乏有效的遗传联系。本实验建立了30个半同胞家系, 仅占全部家系数量的55%, 基础群体家系中半同胞家系的比例太低。再加上仅有一个世代,

并且假定基础群体的亲本间无亲缘信息, 因此, 除了半同胞家系外, 其余家系间的亲缘系数为零。上述两个特性, 决定了仅利用斑点叉尾鮰基础群体数据无法准确剖分出共同环境效应。与本实验估计模型相同, 在利用REML方法估计虹鳟<sup>[6]</sup>、罗非鱼<sup>[23]</sup>、大菱鲆<sup>[9, 11]</sup>和斑节对虾(*Penaeus monodon*)<sup>[29]</sup>基础群体生长性状遗传力时, 通过LRT检验在估计模型中均剔除了共同环境效应。随着选育世代的不断增加, 系谱深度和信息不断丰富, 家系间的亲缘关系会越来越密切, 在此基础上估计得到的遗传力和共同环境效应会更加准确。世界渔业中心利用GIFT罗非鱼7个世代系谱和数据, 估计出共同环境效应系数( $0.34 \pm 0.0175$ ), 其标准误很小, 具有较高的准确度<sup>[25]</sup>。

存活性状在数量遗传学上被划分为阈性状, 是一类表型符合二项分布(存活和死亡)但在遗传上由多基因决定的复杂性状。存活性状遗传参数的估计方法有多种, 已在水产动物中应用的主要有线性动物模型和公母畜阈模型两种方法。部分学者应用线性动物模型估计了尼罗罗非鱼和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)存活性状的遗传力, 估计值分别为0.03~0.14, 0.04~0.10<sup>[28, 30-31]</sup>。但是也有学者认为, 存活性状与生长等连续性状不同, 不能直接表达为遗传效应与环境效应的线性组合, 常规线性模型分析一般得不到理想结果<sup>[32]</sup>, 利用GLMM方法和公母畜阈模型进行分析可能更为合适<sup>[33-35]</sup>。本实验利用公母畜阈

模型估计了斑点叉尾鲷基础群体存活性状的遗传力,估计值为低遗传力。在大菱鲆<sup>[10,36]</sup>、中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)<sup>[37]</sup>、大西洋鲑、罗非鱼、鲤和鲍(*Haliotis rufescens*)等<sup>[38]</sup>选择育种研究中,存活性状估计值范围 0.03 ~ 0.16,也表现为中低遗传力水平。由于存活性状的选择是以家系为单位,低遗传力意味着进行遗传改良时,需要更多的世代和家系,每个家系测定更多的个体。

性状间的遗传相关系数是制定目标性状的重要依据。斑点叉尾鲷基础群体家系收获体质量和存活性状、收获体长和存活性状的遗传相关系数均很小,表现为低度线性正相关( $r < 0.3$ )。在斑节对虾基础群体中,收获体质量和存活性状育种值的相关系数也很小( $r = 0.05, P > 0.05$ ),同样表现为低度线性正相关<sup>[29]</sup>。中国对虾育种基础群体家系 170 d 体质量和存活性状育种值甚至表现为低度线性负相关( $r = -0.24$ )<sup>[37]</sup>。在制定上述物种的育种目标时,如果只考虑体质量性状,多代选择后核心群的存活性状并不会得到有效改善,甚至可能会出现降低的情况。因此,在育种规划时,有必要采用经济加权系数或百分比赋值方式,对存活性状进行一定的加权,制定多性状综合选择指数,据此评估和选择优秀的留种亲本。而像尼罗罗非鱼和凡纳滨对虾等育种核心群,存活和体质量的遗传相关系数分别为  $0.458 \pm 0.20, 0.40 \sim 0.42 (P < 0.05)$ <sup>[30-31]</sup>,表现为中度线性正相关( $r < 0.4$ )。在制定育种规划时,育种目标中可以只包含收获体质量,而不用考虑或者给予存活率性状较低的加权,多代选育后核心群的存活性状也会得到一定程度的改良。

#### 参考文献:

- [1] 王玉堂,刘维.我国斑点叉尾鲷产业发展现状及对策[J].中国水产,2007,12(12):15-16.
- [2] 孔杰,金武,栾生,等.水产动物选择育种的近交分析[J].自然科学进展,2009,19(9):917-923.
- [3] Gjedrem T. The first family-based breeding program in aquaculture [J]. Reviews in Aquaculture, 2010, 2 (1):2-15.
- [4] Thodesen J, Grisdale-Helland B, Helland S J, et al. Feed intake, growth and feed utilization of offspring from wild and selected Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture, 1999, 180 (3-4): 237-246.
- [5] Maluwa A O, Gjerde B. Response to selection for harvest body weight of *Oreochromis shiranus* [J]. Aquaculture, 2007, 273 (1):33-41.
- [6] 刘宗岳,高会江,白秀娟,等.应用不同模型估计虹鳟生长性状的遗传参数[J].水产学杂志,2009,22(1):10-14.
- [7] Nielsen H M, Ødegård J, Olesen I, et al. Genetic analysis of common carp (*Cyprinus carpio*) strains: I: Genetic parameters and heterosis for growth traits and survival [J]. Aquaculture, 2010, 304 (1-4):14-21.
- [8] Wang C H, Li S F, Xiang S P, et al. Genetic parameter estimates for growth-related traits in Oujiang color common carp (*Cyprinus carpio* var. color) [J]. Aquaculture, 2006, 259 (1-4): 103-107.
- [9] 马爱军,王新安,雷霖.大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 不同生长阶段体重的遗传参数和育种值估计[J].海洋与湖沼,2009,40(2):187-194.
- [10] Wang X A, Ma A J, Huang Z H, et al. Heritability and genetic correlation of survival in turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28 (6): 1200-1205.
- [11] 刘宝锁,张天时,孔杰,等.大菱鲆生长和耐高温性状的遗传参数估计[J].水产学报,2011,35(11): 1601-1606.
- [12] 顾宪明,刘永新,王凯,等.应用 DF-REML 法估计牙鲆性状遗传参数[J].东北农业大学学报,2008, 39(11):71-75.
- [13] 田永胜,徐田军,陈松林,等.三个牙鲆育种群体亲本效应及遗传参数估计[J].海洋学报(中文版), 2009,31(6):119-128.
- [14] 刘永新,刘海金.不同模型估计牙鲆家系间生长性状遗传参数的比较分析[J].渔业科学进展,2010, 31(1):40-47.
- [15] Rezk M A, Smitherman R O, Williams J C, et al. Response to three generations of selection for increased body weight in channel catfish, *Ictalurus punctatus*, grown in earthen ponds [J]. Aquaculture, 2003, 228 (1-4):69-79.
- [16] Bondari K, Dunham R A. The effect of inbreeding on reproduction, growth and survival of channel catfish [J]. Aquaculture, 1986, 57 (1-4):363-364.
- [17] Gallardo J A, Garcia X, Lhorente J P, et al. Inbreeding and inbreeding depression of female reproductive traits in two populations of Coho salmon selected using BLUP predictors of breeding values [J]. Aquaculture, 2004, 234 (1-4):111-122.
- [18] 秦钦,边文冀,蔡永祥,等.斑点叉尾鲷家系育种核

- 心群生长性能研究及优良亲本选择[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(1): 63-70.
- [19] Gilmour A R, Gogel B J, Cullis B R, *et al.* ASReml User Guide Release 3.0 [M]. Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK: VSN International Ltd, 2009.
- [20] Reagan R E, Pardue G B, Eisen E J. Predicting selection response for growth of channel catfish[J]. *Journal of Heredity*, 1976, 67(1): 49-53.
- [21] Eknath A E, Bentsen H B, Ponzoni R W, *et al.* Genetic improvement of farmed tilapias: Composition and genetic parameters of a synthetic base population of *Oreochromis niloticus* for selective breeding[J]. *Aquaculture*, 2007, 273(1): 1-14.
- [22] Dunham R A, Smitherman R O. Response to selection and realized heritability for body weight in three strains of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, grown in earthen ponds[J]. *Aquaculture*, 1983, 33(1-4): 89-96.
- [23] Bolivar R B, Newkirk G F. Response to within family selection for body weight in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using a single-trait animal model [J]. *Aquaculture*, 2002, 204(3-4): 371-381.
- [24] Ponzoni R W, Hamzah A, Tan S, *et al.* Genetic parameters and response to selection for live weight in the GIFT strain of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture*, 2005, 247(1-4): 203-210.
- [25] Ponzoni R W, Nguyen N H, Khaw H L, *et al.* Genetic improvement of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with special reference to the work conducted by the WorldFish Center with the GIFT strain [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2011, 3(1): 27-41.
- [26] Perry G M L, Martyniuk C M, Ferguson M M, *et al.* Genetic parameters for upper thermal tolerance and growth-related traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2005, 250(1-2): 120-128.
- [27] 刘宗岳, 高会江, 谷伟, 等. 基于约束最大似然法对虹鳟生长性状遗传参数的估计[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(5): 81-84.
- [28] Rezk M A, Ponzoni R W, Khaw H L, *et al.* Selective breeding for increased body weight in a synthetic breed of Egyptian Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*; Response to selection and genetic parameters [J]. *Aquaculture*, 2009, 293(3-4): 187-194.
- [29] Krishna G, Gopikrishna G, Gopal C, *et al.* Genetic parameters for growth and survival in *Penaeus monodon* cultured in India [J]. *Aquaculture*, 2011, 318(1-2): 74-78.
- [30] Charo-Karisa H, Komen H, Rezk M A, *et al.* Heritability estimates and response to selection for growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in low-input earthen ponds [J]. *Aquaculture*, 2006, 261(2): 479-486.
- [31] Gitterle T, Rye M, Salte R, *et al.* Genetic (co) variation in harvest body weight and survival in *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* under standard commercial conditions [J]. *Aquaculture*, 2005, 243(1-4): 83-92.
- [32] 殷宗俊, 张勤. 利用 GLMM 方法估计家畜阈性状的遗传力 [J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(6): 33-36.
- [33] Ødegård J, Olesen I, Gjerde B, *et al.* Evaluation of statistical models for genetic analysis of challenge-test data on ISA resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*): Prediction of progeny survival [J]. *Aquaculture*, 2007, 266(1-4): 70-76.
- [34] Ødegård J, Meuwissen T H, Heringstad B, *et al.* A simple algorithm to estimate genetic variance in an animal threshold model using Bayesian inference [J]. *Genetics Selection Evolution*, 2010, 42: 29-35.
- [35] Luo M F, Boettcher P J, Schaeffer L R, *et al.* Bayesian inference for categorical traits with an application to variance component estimation [J]. *Journal of Dairy Science*, 2001, 84(3): 694-704.
- [36] 张庆文, 孔杰, 栾生, 等. 大菱鲆 25 日龄 3 个经济性状的遗传参数评估 [J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 53-56.
- [37] 栾生, 孔杰, 张天时, 等. 基于表型值和育种值的中国对虾生长、抗逆性状相关分析 [J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 14-20.
- [38] Gjedrem T. Selection and breeding programs in aquaculture; basic statistical parameters [M]. Springer, 2005.



## Genetic parameters for growth and survival of the base population in channel catfish (*Ictalurus punctatus*)

LUAN Sheng<sup>1</sup>, BIAN Wen-ji<sup>2</sup>, DENG Wei<sup>3</sup>, HU Hong-lang<sup>3</sup>, KONG Jie<sup>1\*</sup>, QIN Qin<sup>2</sup>,  
CHEN Xiao-hui<sup>2</sup>, ZHONG Li-qiang<sup>2</sup>, HUANG Tai-shou<sup>3</sup>

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Jiangsu Institute of Freshwater Fisheries, Nanjing 313001, China;

3. The National Fishery Technical Extension Center, Beijing 100026, China)

**Abstract:** Genetic parameters were estimated for growth and pond survival of channel catfish *Ictalurus punctatus* using full-sib and half-sib families from cultured brood females collected from five different populations of the United States. The fry and juvenile were reared, tagged, and thereafter communal-reared in one pond. Variance components and genetic parameters for growth and survival were estimated using a two traits animal model and a sire-dam threshold model. The estimated breeding values of all animals were calculated using best linear unbiased prediction. The heritability estimates for harvest body weight and harvest body length in the base population were high ( $0.41 \pm 0.074$  and  $0.32 \pm 0.064$ , respectively) and were significantly different from zero ( $P < 0.05$ ). These estimates are likely biased upwards due to the common environmental effect other than additive genetic effect, although tagging body weight and tagging body length was fitted as a covariate in the mixed model to remove this effect. There was a high phenotypic and genetic correlation between harvest body weight and harvest body length ( $0.93$  and  $0.97$ , respectively). Heritability of pond survival was low ( $0.037 \pm 0.016$ ) but still significantly different from zero ( $P < 0.05$ ). The correlation between family breeding values for growth (harvest body weight and harvest body length) and pond survival were low ( $0.065$  and  $0.10$ , respectively) and not significantly different from zero ( $P > 0.05$ ). Therefore, growth and survival must be included as breeding objective and simultaneously selected in the future generations by using a multiple trait selection index method.

**Key words:** *Ictalurus punctatus*; base population; growth; survival; genetic parameters

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