

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.16065

鳊鱼生长性状遗传参数的估计

卢薛^{1, 2}, 孙际佳^{1, 3}, 王海芳¹, 侯晓翠¹, 李桂峰^{1, 2}

1. 中山大学 生命科学学院, 广东省水生经济动物良种繁育重点实验室, 水生经济动物研究所, 广东 广州 510275;

2. 广东海大集团, 广东 佛山 528216;

3. 华南农业大学 动物科学学院, 广东 广州 510642

摘要: 为深入了解选育过程中鳊鱼(*Siniperca chuatsi*)生长性状的遗传变化规律, 本研究以来自湖南、江苏、广东的翘嘴鳊为基础群体, 构建了 21 个同胞半同胞家系, 利用动物模型对不同家系进行了遗传分析: 鳊鱼 210 日龄体重、体长的遗传力为 0.40、0.45, 属于高遗传力; 体高的遗传力为 0.29, 属于中遗传力。相关分析表明, 鳊鱼体重–体长间的遗传相关为 0.96; 体长–体高间的遗传相关为 0.92, 体重–体高间的遗传相关为 0.94, 因此进一步选育采用个体选育或者个体选育与家系选择法相结合的方法都能获得较好的结果; 对某一生长性状进行选育时, 其他两个相关性状也会得到间接选育。经过选育鳊鱼 F₂ 群体平均体重遗传进展为 7.5 g, 较第一代增加 7.5%, F₃ 群体平均体重的遗传进展为 9.75 g, 较第二代增加 9.0%。F₃ 群体平均体长与 F₁ 比较无显著提高。F₃ 群体平均体高的遗传进展为 0.22 cm, 较第一代增加 9.9%。本研究旨在为提高鳊鱼育种效率提供重要参数, 加速育种进程。

关键词: 鳊鱼; 生长性状; 遗传参数; 遗传力

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)06-1268-11

鳊鱼(*Siniperca chuatsi*)是中国重要的水产养殖种类^[1], 但是养殖基地亲本繁育群体的人工累代繁殖, 造成了近交积累, 鳊种质严重退化^[2], 苗种畸形率偏高, 生长速度、抗病性下降, 养殖成活率下降, 经济效益降低^[3-4], 急需进行品种改良, 培育出具有生长速度快, 抗逆性强等优良性状的新品种来满足当前养殖业的迫切需要。

在各种遗传改良方法中, 选择育种是目前应用最广泛的方法。选择育种是以孟德尔遗传规律和数量遗传学理论为依据, 经数百年实践发展起来的经典的良好培育技术, 多以生长率、成活率、抗病力、抗逆力、捕捞率、外形特征等为指标^[5]。目前大多数水产、家畜的优良品种均是经过长期人工选择而育成的^[6]。近 40 多年来, 研究者对许多鱼类的经济性状进行了选择育种工作, 如日本

牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)^[7]、斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)^[8]、虹鳟(*Oncorhynchus kisutch*)^[9], 银鲑(*Oncorhynchus kisutch*)^[10]、银大麻哈鱼(*Oncorhynchus kisutch*)^[11]、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[12-15]、奥利亚罗非鱼(*O. aureus*)^[16]、沟鲈(*Ictalurus punctatus*)^[17]、橙色莫桑比克罗非鱼(*O. mossambicus orange*)^[18]等, 选育成效明显, 平均每代有 5%~15% 的遗传进展。

挪威国家水产研究所 Wetten 等^[19]、Gjedrem^[20]利用大规模家系选育培育出的大西洋鲑(*Salmon salar*)品系, 经过 6 代的选育, 其主要经济性状已达到野生种的 2 倍, 养殖周期从选育前的 4 年减少到现在的 18 个月, 饲料转化系数由 3.5 降为 0.8, 为鱼类选择育种树立了成功的典范。Charo-Karisa 等^[21]报道经过第一代家系选育的尼

收稿日期: 2016-03-11; 修订日期: 2016-08-04.

基金项目: 佛山市科技创新团队项目(2014IT100122); 广东省海洋渔业科技与产业发展专项科技攻关与研发项目(A201401A02); 广东省科技计划项目(2014A020208022; 2008A020100003); 广东省战略性新兴产业核心技术攻关项目(2012A020800001); 现代农业人才支撑计划项目(2016-2020).

作者简介: 卢薛(1986-), 男, 博士研究生, 主要从事鱼类资源利用与保护研究. E-mail: luxue1986@alitun.com

通信作者: 李桂峰, 教授. E-mail: liguif@mail.sysu.edu.cn

罗罗非鱼收获平均体重增加了 23.4 g, 提高 34.7%, 经过第二代选育收获平均体重比第一代增加了 13.0 g, 提高 14.9%。熊晓钧^[22]报道对彭泽鲫 (*Carassius auratus* of pengze)进行了 7 年 6 代的家系选育, 选育后其生长速度提高了 53.2%, 性状得到稳定遗传, 是中国第一个从野生鲫鱼中人工选育出的优良品种。

遗传参数是鱼类选择育种的重要依据, 准确可靠的遗传参数对于估计育种值、确定人工选择方法、预测选择效果有重要指导意义^[23]。目前关于鳊鱼遗传育种参数估计在国内还没有见到相关研究报道。计算遗传参数的基础是进行方差组分的可靠估计。Patterson 等^[24]1971 年阐述了约束极大似然法(restricted maximum likelihood method, REML), 1987 年 Graser 等^[25]对此法进行改进, 提出了 REML 的非求导算法(derivative-free restricted maximum likelihood method, DFREML), 加快了计算速度。随后, Meyer^[26]、Thompson 等^[27]、Boldman 等^[28]将 DFREML 法逐步推广到多性状模型, 是目前动物育种估计方差组分的通用方法。本研究中通过建立同胞半同胞鳊鱼家系, 采集个体生长性状数据, 利用动物模型, 采用 DFREML 方法估计鳊鱼生长性状的遗传参数, 旨在为提高鳊鱼选择育种效率提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 亲鱼的选择

本研究中的鳊鱼群体均为人工选育群体, 来自于广东省佛山市南海区百容水产股份有限公司。其原种引自湖南翘嘴鳊原种场、广东养殖群体、江苏鳊原种场。于 2010–2013 年挑选体型标准、健康无病且体重大于 0.75 kg 的翘嘴鳊, 雌雄比例 1 : 1 或 2 : 1 或 3 : 1, 建立 21 个同胞半同胞家系。根据家系中个体电子标签号进行配对繁殖。对鳊鱼子代群体进行个体选育和家系选育, 具体操作方法: 每一世代翘嘴鳊家系分别在水泥池中培育至 10 cm 左右, 用电子标签进行标记, 然后混养在同一池塘, 年底上市前进行一次选择, 选留健康无病、个体大的鳊鱼留作下一代亲本, 选择强度 0.3。

1.2 家系繁殖与培育

在每年的 4–7 月繁殖季节, 挑选体表健康, 腹部膨大、柔软、富有弹性, 提起尾部两侧卵块明显可见的雌鱼, 雄鱼轻压腹部有乳白色精液流出, 入水后能自然散开。注射激素人工催产, 雌鱼每尾注射 LHRH-A₂ 15 μg+HCG 1500 IU+DOM 5 mg/kg, 雄鱼注射剂量减半。用人工挤压腹部的方法获取卵子和精液。采用半干法授精, 卵子用干净的大瓷碗盛装, 用羽毛将精液与卵粒均匀混合 30~60 s, 加入适量 0.8% 的生理盐水, 激活精子, 并同时用羽毛轻轻搅拌, 混合均匀, 倒入孵化池。根据选配方案, 对应相应的编号。

将每个家系的受精卵分别放入孵化桶或者孵化环道单独培育, 孵化适宜水温为 23~30℃。仔鱼完全出膜后 3 天投喂刚孵化破膜的鲢鱼苗。5 d 后长至 1 cm 左右, 转至水泥池培育, 每个家系水泥池选留 1000 尾, 期间早晚投喂适口鲢鱼或者白鲢、鳊鱼苗, 定时定量, 再培育 1 个月半左右, 即可用电子标签进行标记, 之后随机合池、混合饲养。培育过程中, 尽量保持每个家系的养殖水温、饵料、充气等条件一致。家系情况建立见表 1。

表 1 2010–2013 年建立的家系
Tab. 1 Families built for selection between 2010 and 2013

家系年份 family year	繁殖方式 breeding method	家系数量 number of family	个体数 number of individual
2010	全同胞 full sibs	6	188
2012	全同胞和半同胞 full sibs & half sibs	6	362
2013	半同胞 half sibs	9	638

1.3 测量方法

翘嘴鳊池塘放养规格为 8~10 cm, 放养密度为 2000 尾/亩(1 亩≈666.67 m²)。每个家系留种 300 尾, 生长 7 个月, 采用清塘干水捉鱼, 每个家系随机选取 30 尾以上测量形态指标。用 30 g/m³ MS-222 浓度将鳊鱼麻醉后, 测量体重(BW)、体长(BL)、体高(BH) 3 个形态性状。体重用电子天平称量精确度为 0.1 g。体长、体高用直尺测量, 精确到 0.1 cm 翘嘴鳊体长、体高的测量方法如下:

体长: 上颌骨吻前端至尾鳍基部(即最后一枚

尾椎骨的末端)的垂直距离。

体高: 鱼体最高处的垂直距离, 通常为背鳍起点后第二根鳍棘鱼体的垂直高度。

1.4 数据处理

测量所得的所有个体性状数据录入 Excel 2010, 运用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 软件对数据进行前期整理和处理分析, 建立系谱和数据库。应用 SPSS 17.0 单个样本 *K-S* 对所有测量的体重、体长、体高数据进行正态性检验。用 SPSS 17.0 软件的 GLM 对鳊鱼各家系的生长相关性状进行方差分析, 并用 S-N-K 法进行多重比较。

1.5 分析模型

根据对影响生长性状的表型值的各种效应分类, 采用 3 种动物模型, 分别估计鳊鱼 210 日龄生长性状的遗传参数:

$$\begin{aligned} Y &= Pp + Aa + eI \\ Y &= Pp + Aa + Ff + eII \\ Y &= Pp + Aa + Dd + Ff + eIII \end{aligned}$$

式中, Y : 各生长性状的观察值向量; p : 固定效应向量; a : 加性遗传效应向量; f : 全同胞效应向量; d : 父本遗传效应向量; e : 残差效应向量; P 、 A 、 F 、 D 分别是固定效应、加性遗传效应、全同胞效应、父本遗传效应的系数矩阵。

1.6 固定效应

利用 ASReml 软件使用无重复观测值的单性状动物模型分别估计鳊鱼 210 日龄体重、体长、体高的方差组分, 加性遗传效应为随机效应, 家系年份(family year, FY)为固定效应。利用 ASReml 软件在不同模型中估计家系年份的固定效应值。

1.7 方差组分估计

利用 ASReml、EXCEL 2010 和 SPSS 17.0 软件利用动物模型估计鳊鱼 210 日龄各生长相关性状——体重、体长、体高的方差组分。

1.8 参数估计

在动物模型中估计以下随机效应: 加性遗传效应, 随机效应, 加性遗传方差/表型方差; 父本遗传效应, 随机效应, 父本遗传方差/表型方差; 全同胞效应, 全同胞方差/表型方差; 残差效应, 随机效应, 误差方差/表型方差。

性状遗传力的计算公式(h^2)为:

$$h^2 = \sigma_a^2 / \sigma_p^2$$

式中, σ_p^2 为表型方差; σ_a^2 为加性遗传方差。

用似然比检验对不同动物模型进行比较。检验统计量为: $LR = -2\ln(L_{\max} | \text{模型 I} / L_{\max} | \text{模型 II})$, 式中, LR 为似然比值, $L_{\max} | \text{模型 I}$ 和 $L_{\max} | \text{模型 II}$ 分别是两个不同模型下的最大似然函数值。 LR 值服从卡方分布, 自由度为模型 II 中估计的参数个数与模型 I 中估计的参数个数之差。

遗传相关系数的计算公式为:

$$\gamma_g = \text{cov}(a_1, a_2) / (\sigma_{a1}\sigma_{a2})$$

式中, γ_g 为遗传相关系数, $\text{cov}(a_1, a_2)$ 为体重和体长的遗传协方差, σ_{a1} 和 σ_{a2} 分别为体长和体重的加性遗传标准差。

遗传进展(genetic gain)计算公式为:

$$\Delta G = ih_i^2$$

式中, ΔG 为亲本群体的平均值与经过人工选择后的亲本群体平均值之间的选择差, h_i^2 为遗传力。

2 结果与分析

2.1 所测各群体表型性状

2010–2014 年生长 210 d 所测定的鳊鱼家系测量所得体重、体长、体高数据, 用 SPSS 17.0 分析所得描述性统计数据如表 2 所示。由表 2 可以看出, 不同年份所取数量样品不一样, 主要是由于养殖过程中电子标签脱落以及养殖存活率的影响。在所测定的年份中, 2013 年体重的变异系数最大, 为 0.55, 而体长、体高的变异系数较小, 都不大于 0.18。用 SPSS 单个样本 *K-S* 检验对鳊鱼家系生长性状的正态分布进行检验, 结果显示所有家系的生长性状参数的 Kolmogorov-Smirnov Z 双尾检验值均 >0.05 , 表明其符合正态分布。多重分析比较表明, 不同年份的生长性状差异显著 ($P < 0.05$) (表 2)。

2.2 鱼生长性状的非遗传因素分析

方差分析的结果表明: 家系年份对鳊鱼体重、体长、体高的影响均极显著 ($P < 0.01$) (表 3)。

2.3 鳊鱼 210 日龄生长性状的不同模型方差组分比较

2.3.1 鳊鱼体重不同模型方差组分比较 表 4 列出利用单性状动物模型, 对 210 日龄鳊鱼体重的

表 2 年份鳊鱼个体数量、性状描述性统计量及均值多重比较

Tab. 2 Number of records for mandarin fish, descriptive statistics of each trait and multiply comparison of the means

性状 traits	年份 year	<i>n</i>	均值 mean	标准差 SD	变异系数 CV	最大值 max	最小值 min
体重/g BW	2010	188	250.96 ^a	108.05	0.43	692.20	50.90
	2012	638	269.73 ^a	110.38	0.41	663.00	39.00
	2013	362	294.11 ^b	161.45	0.55	1059.50	59.60
体长/cm BL	2010	188	21.60 ^a	3.40	0.16	31.00	13.00
	2012	638	19.98 ^b	2.73	0.14	28.30	11.20
	2013	362	19.40 ^b	3.27	0.17	31.50	12.60
体高/cm BH	2010	188	7.37 ^a	1.18	0.16	9.80	3.90
	2012	638	7.34 ^a	1.13	0.15	11.50	3.60
	2013	362	8.10 ^b	1.46	0.18	12.90	5.00

注: 同一列数据字母不同表示差异显著($P<0.05$).
Note: Different letters in the same column indicate significant differences at $P<0.05$.

表 3 鳊鱼 210 日龄生长性状家系年份的方差分析

Tab. 3 Variance analysis for family year factors of 210 days-age growth traits

因素 factor	体重/g BW	BW df	<i>F</i>	体长/cm BL	BL df	<i>F</i>	体高/cm BH	BH df	<i>F</i>
家系年份 FY	972879.2	3	41.51**	1520.54	3.00	29.34**	108.28	3.00	58.25**
	23439.43	1925		51.83	1924.00		1.86	1925.00	

注: “*”表示显著差异($P<0.05$), “**”表示差异极显著($P<0.01$).
Note: “*” means significantly different ($P<0.05$); “**” means extremely significantly different ($P<0.01$).

表 4 不同动物模型估计 210 日龄鳊鱼体重的方差组分
Tab. 4 Variance component estimation of mandarin fish 210 day-age body weight

模型 model	I	II	III
表型方差 phenotypic variance	19423.1	19310.5	19732.1
加性遗传方差 additive genetic variance	8666.90	8332.7	7868
全同胞方差 full-sib variance		64.8	120.7
父本效应方差 paternal genetic variance			595.8
环境残差 residual variance	10756.2	10913	11147.6
加性遗传效应 additive genetic effect	0.45	0.43	0.40
全同胞效应 full-sib effect		0.003	0.01
父本遗传效应 paternal genetic effect			0.03
残差效应 residual effect	0.55	0.57	0.56

方差组分的估计值。加性遗传效应在不同模型中差别较大, 加性遗传效应最小的是模型 III, 为 0.40; 最大的是模型 I, 为 0.45。全同胞效应最小的是模型 II, 为 0.003。做体重模型的似然比检测, 结果表明模型 I、II、III 之间差异不显著($P>0.05$)。

2.3.2 鳊鱼体长不同模型方差组分比较 表 5 列出利用单性状动物模型, 对 210 日龄鳊鱼体长的方差组分的估计值。加性遗传效应在不同模型中差别不大, 在模型 I 和模型 III 中, 加性遗传效应

为 0.45; 最大的加性遗传效应在模型 II 为 0.46。全同胞效应最小的在模型 III, 为 0.01。做体长模型的似然比检测, 结果表明模型 I、II、III 之间差异不显著($P>0.05$)。

表 5 不同动物模型估计 210 日龄鳊鱼体长的方差组分
Tab. 5 Variance component estimation of mandarin fish 210 day-age body length

模型 model	I	II	III
表型方差 phenotypic variance	27.5	26.67	27.06
加性遗传方差 additive genetic variance	11.10	11	10.9
全同胞方差 full-sib variance		0.24	0.21
父本效应方差 paternal genetic variance			0.43
环境残差 residual variance	13.4	12.43	12.42
加性遗传效应 additive genetic effect	0.45	0.46	0.45
全同胞效应 full-sib effect		0.01	0.01
父本遗传效应 paternal genetic effect			0.02
残差效应 residual effect	0.55	0.53	0.52

2.3.3 鳊鱼体高不同模型方差组分比较 表 6 列出利用单性状动物模型, 对 210 日龄鳊鱼体高的方差组分的估计值。加性遗传效应在不同模型中差别较大, 加性遗传效应最小的是模型 III, 为

表 6 不同动物模型估计 210 日龄鳊鱼体高的方差组分
Tab. 6 Variance component estimation of mandarin fish
210 day-age body height

模型 model	I	II	III
表型方差 phenotypic variance	1.69	2.05	2
加性遗传方差 additive genetic variance	0.57	0.57	0.57
全同胞方差 full-sib variance		0.36	0.25
父本效应方差 paternal genetic variance			0.06
环境残差 residual variance	1.12	1.12	1.12
加性遗传效应 additive genetic effect	0.34	0.28	0.29
全同胞效应 full-sib effect		0.18	0.13
父本遗传效应 paternal genetic effect			0.03
残差效应 residual effect	0.66	0.55	0.56

0.29; 最大的是模型 I, 为 0.34。全同胞效应最小的是模型 II, 为 0.18。做体高模型的似然比检测, 结果表明模型 I 与模型 II、III 之间差异极显著($P<0.01$)。模型 II 与模型 III 之间的差异不显著($P>0.05$)。

2.4 鳊鱼 210 日龄生长性状遗传参数

表 7 列出利用单性状动物模型, 对鳊鱼养殖 210 日龄不同生长性状的遗传力的估计值。鳊鱼养殖 210 日龄体重、体长、体高的遗传力分别为 0.40 ± 0.19 、 0.45 ± 0.16 、 0.29 ± 0.11 。应用多性状动物模型 DFREML 估计性状间的遗传相关及应用 SPSS 程序的 CORRELATE 模块估计的遗传相关结果见表。各月龄的生长性状间均存在着较强的遗传相关, 表现为正相关。体重与体长之间的遗传相关最大(0.96); 体高与体长之间的遗传相关较低(0.92), 体重与体高之间的遗传相关为 0.94。

表 7 鳊鱼生长性状遗传力及性状间遗传相关
Tab. 7 Heritability and genetic correlation of growth traits
in *Siniperca chuatsi*

性状 trait	体重 BW	体长 BL	体高 BH
体重 BW	0.40 ± 0.19	0.96	0.94
体长 BL		0.45 ± 0.16	0.92
体高 BH			0.29 ± 0.11

2.5 210 日龄生长性状遗传进展

鳊鱼 F_2 (2012 年)体重的遗传进展为 7.5 g, F_3 (2013 年)体重的遗传进展为 9.75 g, 鳊鱼 F_3 (2013 年)体高的遗传进展为 0.22 cm。同时利用 SPSS 17.0 对鳊鱼的体重、体长、体高 3 个生长性状进行统计分析, F_2 (2012 年)群体平均体重较第一代

增加 7.5% ($P<0.05$), F_3 (2013 年)群体平均体重较第二代增加 9% ($P<0.05$), 较第一代(2010 年)平均体重增加 17.2% ($P<0.05$)。 F_3 群体平均体长较第一代无显著提高。 F_3 群体平均体高较第一代增加 9.9% ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 鳊鱼生长性状遗传参数评估模型中环境影响处理

在鱼类育种中, 要尽量避免因环境不同而造成的误差^[29]。由于鱼类生长受到遗传、食物、温度、溶氧及种内种间关系等多种因素的影响^[30], 在实际养殖中不同养殖条件下养殖效果往往变化较大; 虽然可以通过设置重复的方法来提高准确性, 但需要投入大量的人力和物力, 而且由于很难控制每个家系的成活率, 致使各个家系在进行同一环境条件下之前处于养殖密度不同的状态而产生生长差异, 这种因不同环境引起的差异不容易在无重复观测值的方差组分估计中消除。因此, 在鱼类育种实践中环境残差往往较大。李镭^[31]在对大口黑鲈(*Micropterus salmoides*) 4 月龄和 6 月龄体重进行的方差组分分析中, 4 月龄和 6 月龄体重的环境残差效应为 64%、60.7%。赵广泰^[32]对大黄鱼(*Larimichthys crocea*) ‘闽优 1 号’ 13 月龄生长性状的方差组分分析, 其体重、体长、体高的环境残差效应分别为 90.7%、94.8%、90.4%。刘永新^[33]在对牙鲆的体重和体长进行育种值估计的方差组分分析中, 其环境残差效应在 0.19~0.74。有些环境残差效应具有不均一性, 它们直接影响育种值^[34-35]。保持个体在同样的养殖环境中进行培育, 尽量消除环境的影响, 能使估计的鱼类数量性状遗传参数估计更准确。同塘养殖虽然能消除鱼类选择育种中环境的影响, 但是因为鱼类生活在水中, 很难区分同一种类鱼属于哪个家系^[36]。现在鱼类的电子标记能够跟踪到个体水平, 并且能进行早期标记, 具有标记重读率高、对鱼体的损伤程度较小等优点^[29], 能够使鱼类各家系和个体同塘同池混养, 尽量消除了个体和群体环境差异带来的影响, 给鱼类育种带来了很大方便。目前电子标记已经应用到露斯塔野鲮(*Labeo ro-*

hita)、罗非鱼、大西洋鲑等鱼类选育工作中^[37-38]。

本研究中为减少环境误差,对鳊鱼进行电子标记后同塘养殖,有效地减少了年份内的环境差异。在鳊鱼的生长性状的遗传参数估计中,环境残差在 0.52~0.66,与大口黑鲈^[31]、牙鲈^[33]的生长性状估计中的环境残差相似,低于大黄鱼闽优 1 号中的环境残差估计值^[32]。本研究中鳊鱼家系年份对生长性状的影响都极显著($P<0.01$),而每年由于不同的饲养管理,亲鱼培育程度,家系生长环境、饵料情况以及饲养员技术水平及责任心的有无等因素都影响到鳊鱼生长性状,因此将家系年份作为一个固定效应固定其影响,减少估计遗传方差组分的偏差。

3.2 鳊鱼选择育种的遗传进展

目前为止,选择育种仍然是水产生物最重要的遗传改良方法。选择响应反映了经过选择之后子代从亲代获得的遗传增量^[39]。选择响应在不同的鱼类育种项目中结果各不相同。O'Flynn 等^[40]对加拿大大西洋鲑原种进行选择育种,同时设置不经选育的对照组,选择两代后的大西洋鲑个体平均体重为 4.39 kg,对照组的平均体重为 3.51 kg,增加了 25.07%;Ponzoni 等^[14]对尼罗罗非鱼体重进行了 2 代的选育,选择响应为 10%;Neira 等^[41]对大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)进行了 4 代的选育,与基础群体相比,平均每代体重增加 302.4 g,提高了 10.2%。Gall 等^[42]对罗非鱼养殖 98 d 的体重进行 BLUP 选择育种,经过 3 代选择后,与基础群体相比较,体重增加了约 40%,每一代的育种值平均提高 2.51。Rezk 等^[17]对斑点叉尾鲷上市规格的体重进行选择育种,经过连续三代的选育,一个养殖品系的体重从 453 g 增长到 583 g,增长了 29%,另一个养殖品系的体重从 530 g 增长到 642 g,增长了 21%。Chevassus 等^[43]对棕鲑(*Salmo trutta*)进行连续 4 代的选育后,与对照组相比,体长增长 6.2%,体重增长 21.5%。Teichert-Coddington 等^[44]对罗非鱼早期生长进行选育,结果没有选育出生长快速的罗非鱼群体。Ponzoni 等^[45]报道对罗非鱼进行 9 代选育后,其收获时的体重由 141 g 增长到 186 g,平均每代增长 3.13 g。据统计,在一些大规模鱼类育种实验和项目中,每代体重

可以获得 10%~15% 的遗传提高^[46]。本研究中对鳊鱼连续 2 代的选育群体进行生长性状的比较,经过选择育种鳊鱼 F_2 群体平均体重较第一代增加 7.5%,从 250.96 g 增加到 269.73 g,遗传进展为 7.5 g, F_3 群体平均体重较第二代增加 9%,从 269.73 g 增加到 294.11 g,遗传进展为 9.75 g,较第一代平均体重增加 17.2%,平均每代提高 8.26%。 F_3 群体平均体长与 F_1 相比无显著提高。 F_3 群体平均体高较 F_1 增大 9.9%,从 7.37 cm 增加到 8.1 cm。 F_3 群体体高的遗传进展为 0.22 cm。与鱼类大型选育项目中每代获得 10%~15% 的体重增加相比,本研究中体重平均每代增加 8.26% 偏小,可能是由于选育群体较少,但是总的来看,鳊鱼体重、体高性状经过选育得到了显著提高,获得了较为理想的选育效果。

3.3 鳊鱼生长性状及其遗传相关分析

为提高选育效率,首先要确定最有效的选育目标性状。本研究对鳊鱼生长相关的体重、体长、体高 3 个表型参数进行了统计分析,发现体重的变异系数最高,为 55%,显著高于其他 3 个性状的变异度(18%以下),在虹鳟、瓯江彩鲤(*Cyprinus carpio*)等物种上也有一致的研究结果^[47-48]。在鱼类中,体重的遗传变异量较其他性状的大,因此对选择也更为敏感,以体重作为选育目标性状可能比其他表型性状会获得更好的选育效率。对鳊鱼 3 个表型性状的相关分析表明,各性状间呈现出极显著的相关性,体重-体长间的遗传相关最大,为 0.96;体重-体高间的遗传相关为 0.94;体长-体高间的遗传相关最小,为 0.92,3 个生长相关性状的遗传相关都达到了极显著水平。这意味着这 3 个性状在遗传上是显著相关的,控制它们的主效应基因可能为同一组基因或者基因之间紧密连锁。这些结果与其他鱼类的研究结果一致:Vandeputte 等^[49]在研究棕鲑遗传参数时发现其体重与体长的遗传相关为 0.98。Dupont-Nivet 等^[50]在研究海鲈(*Lateolabrax japonicus*)上市规格(400 g 左右)的遗传参数时发现海鲈体重与体长的遗传相关为 0.95。Myers 等^[51]报道了大麻哈鱼(*O. kisutch*)体重与体长的遗传相关在 0.95~1.00。Rutten 等^[52]利用动物模型得到了养殖 426 d 左右

尼罗罗非鱼的体重与体长的遗传相关为 0.87, 体重与体高的遗传相关为 0.92, 体长与体重的遗传相关为 0.77。顾宪明等^[53]估计牙鲈体长与体重的遗传相关为 0.78~0.94、体长与体高的遗传相关为 0.88~0.91、体重与体高的遗传相关为 0.77~0.95。鳊鱼体重、体长、体高之间的遗传相关很高, 这表明对鳊鱼的选育中对体重进行选择的时候, 其体长、体高也能得到一定间接选择。

3.4 鳊鱼生长性状遗传力

动物性状遗传力是选择选育方法的重要参考依据, 一般认为, 高遗传力(>0.3)的性状通过群体或个体的表型进行选择就可以获得较好的选育效果, 但这种方法在低遗传力(<0.1)的情况下则效果不佳, 可选用家系选择或家系内选择的方法提高选育效率。对鱼类生长性状的遗传力进行估计的报道已有不少, 鲤鱼(*Cyprinus carpio*)13月龄体重的遗传力为 0.58^[54]。在罗非鱼中, Bentsen 等^[55]利用 5 代共 62000 个全同胞罗非鱼数据估计其收获体重遗传力为 0.31。Marc 等^[52]利用动物模型估计养殖 426 d 左右尼罗罗非鱼的遗传参数, 其体高遗传力为 0.25, 体长遗传力为 0.25, 体重遗传力为 0.26。Rutten 等^[56]对土塘养殖的尼罗罗非鱼的收获体重连续 3 代的选育后的遗传参数估计, 得到其遗传力为 0.31。在海鲈中, Dupont-Nivet 等^[50]在研究海鲈上市规格(400 g 左右)的遗传参数时得到海鲈体重遗传力为 0.38~0.44、体长遗传力为 0.27~0.41; Saillant 等^[57]研究海鲈 20.0~21.6 cm 规格时的体重遗传力为 0.43; 在虹鳟中, Gunnes 等^[58]利用连续 3 代虹鳟养殖两年半后数据估算体重和体长的遗传力分别为 0.17 和 0.23; Quinton 等^[59]研究虹鳟 2 龄鱼的体重遗传力为 0.49; Fishback 等^[60]运用动物模型测得虹鳟 50 g 左右的体长遗传力为 0.52~0.66, 体重的遗传力为 0.48~0.72; 大菱鲆(*Scophthalmus maximus*) 6 月龄体重的遗传力为 0.45^[61]。国内其他水产动物如海胆(*Strongylocentrotus nudus*)、长毛对虾(*Penaeus penicillatus*)、罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)等体重、体长的狭义遗传力范围一般为 0.2~0.7^[62-64]。本研究得到的结果, 鳊鱼体重、体长的遗传力为 0.40、0.45, 属于高遗传力; 体高的遗传力为 0.29, 属于中遗

传力。与前述鱼类生长性状的遗传力相比较, 鳊鱼体重遗传力与报道中海鲈的相似, 鳊鱼体长遗传力与虹鳟的基本相同。从上述结果可看出, 鱼类生长性状的遗传力变化也很大, 同一种鱼中不同生长时期的遗传力也有很大的差别, 这可能与估计的方法、研究群体的遗传背景、环境以及养殖过程所引起基因频率的变化有关, 所以对遗传力研究的结果只代表具体环境下的特定群体^[27]。本研究结果表明鳊鱼的生长性状具有较高的遗传力, 对鳊鱼进行个体选育或家系选育都可以获得较快的选择反应, 而本研究中一直对鳊鱼采取群体选育和家系选育相结合的方法, 也是合理的。

体重、体长、体高 3 种生长性状遗传参数估计模型的似然比检测结果表明, 在本实验中父本遗传效应在遗传方差中影响很小, 而全同胞效应在模型中达到 0.18, 不能忽略; 本研究中用第二种模型进行鳊鱼遗传参数估计较好。全同胞效应应包括非加性效应以及家系混养前的环境效应。如果在估计遗传力时没有将其剔除掉, 就会误当做加性效应, 从而增大了遗传力估计值^[52]。Bentsen 等^[55]利用 5 代共 62000 个全同胞罗非鱼数据估计其收获体重全同胞效应为 0.04~0.16。Rutten 等^[52]利用动物模型得到了上市规格罗非鱼体重的全同胞效应为 0.06; Martínez 等^[65]在估计 130 日龄大麻哈鱼体重的遗传参数时, 计算其全同胞效应为 0.07~0.17; Gjerdea 等^[66]估计大西洋鳕(*Gadus morhua*)200 d 成鱼体重的遗传参数时, 计算其全同胞效应为 0.03~0.12。Alfred 等^[56]对土塘养殖的尼罗罗非鱼的收获体重进行连续 3 代的选择育种, 遗传参数估计时得到其全同胞效应为 0.05~0.19。Antti 等^[67]研究虹鳟的不同性别差异时得到其全同胞效应为 0.05~0.07。本研究的全同胞效应为 0.01~0.18, 与上述的结果一致, 在动物模型中分析其随机效应提高了鳊鱼遗传力估计的准确性。

本研究利用动物模型估计了鳊鱼 210 日龄体重、体长、体高性状的遗传力及遗传相关, 其中生长性状的遗传力为中高水平遗传力。经过连续两代的选育, 平均体重遗传进展为 17.25 g, 较第一代增加 17.2%, 平均体高遗传进展为 0.22 cm, 较第

一代增加 9.9%, 获得了较为显著的选育效果。研究表明进一步选育采用个体选育或者个体选育与家系选择法相结合的方法都能获得较好的结果。

参考文献:

- [1] Lu X, Sun J J, Wang H F, et al. Observations on embryonic development of reciprocal hybrids of *Siniperca kneri* Garman $\times$ *Siniperca chuatsi* Basilewsky and F_2 of *S. kneri* females $\times$ *S. chuatsi* males F_1 [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(5): 975–981. [卢薛, 孙际佳, 王海芳, 等. 大眼鳊与翘嘴鳊正反交及其正交子代自交的胚胎发育观察[J]. 中国水产科学, 2013, 20(5): 975–981.]
- [2] Ma D Y, Hu H L, Kong J. Inbreeding and its impact on aquaculture[J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(6): 849–856. [马大勇, 胡红浪, 孔杰. 近交及其对水产养殖的影响[J]. 水产学报, 2005, 29(6): 849–856.]
- [3] Kong J, Jin W, Luan S, et al. Analyses of inbreeding in selective breeding in aquaculture[J]. Progress in Natural Science, 2009, 19(9): 917–923. [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.]
- [4] Zhang J, Liang X F, Yang M, et al. Genetic structure and genetic diversity analysis of artificial selection populations of mandarin fish *Siniperca chuatsi*[J]. Fisheries Science, 2014, 33(7): 447–450. [张进, 梁旭方, 杨敏, 等. 2个鳊鱼选育群体遗传多样性分析[J]. 水产科学, 2014, 33(7): 447–450.]
- [5] Zhu H P, Lu M X, Huang Z H, et al. Genetic improvement in fish: A review[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(1): 168–181. [朱华平, 卢迈新, 黄樟翰, 等. 鱼类遗传改良研究综述[J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 168–181.]
- [6] Zhang Y. Domestic Animal Breeding[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 2–10. [张沅. 家畜育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 2–10.]
- [7] Ogata H Y, Oku H, Murai T. Growth, feed efficiency and feed intake of offspring from selected and wild Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*)[J]. Aquaculture, 2002, 211: 183–193.
- [8] Dunham R A, Brummett R E. Response of two generations of selection to increased body weight in channel catfish, *Ictalurus punctatus*, compared to hybridization with blue catfish, *I. furcatus*, males[J]. J Appl Aquac, 1999, 9(35): 37–45.
- [9] Gjerde B. Growth and reproduction in fish and shellfish[J]. Aquaculture, 1986, 57: 37–55.
- [10] Fleming I A, Gross M R. Breeding success of hatchery and wild coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in competition[J]. Ecol Appl, 1993, 3(2): 230–245.
- [11] Myers J M, Hershberger W K, Saxton A M, et al. Estimates of genetic and phenotypic parameters for length and weight of marine net-pen reared coho salmon (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum)[J]. Aquacult Res, 2001, 32: 277–285.
- [12] Eknath A E, Tayamen M M, Palada-de Vera M S, et al. Genetic improvement of farmed tilapias: the growth performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in rent farm environments[J]. Aquaculture, 1993, 111: 171–188.
- [13] Longalong F M, Eknath A A, Bentsen H B. Response to bidirectional selection for frequency of early maturing females in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Aquaculture, 1999, 178: 13–25.
- [14] 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: 203–210.
- [15] Xie X Y, Li S F, Cai W Q. Analysis of genetic diversity of GIFT strain Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during selection processing by microsatellites[J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(3): 385–390. [颀晓勇, 李思发, 蔡完其. 吉富品系尼罗罗非鱼选育过程中遗传变异的微卫星分析[J]. 水产学报, 2007, 31(3): 385–390.]
- [16] Gui J F. Genetic Basis and Artificial Control of Sex and Reproduction in Fish[M]. Beijing: Science Press, 2007: 166–167. [桂建芳. 鱼类性别和生殖的遗传基础及其人工控制[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 166–167.]
- [17] 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: 69–79.
- [18] Zhu H P, Lu M X, Huang Z H, et al. Evaluation of selective breeding effect of *Oreochromis mossambicus* and *O. hornorum* at fourth generation[J]. South China Fisheries Science, 2008, 4(3): 1–6. [朱华平, 卢迈新, 黄樟翰, 等. 橙色莫桑比克罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)和荷那龙罗非鱼(*O. hornorum*)的选育效果评价[J]. 南方水产, 2008, 4(3): 1–6.]
- [19] Wetten M, Aasmundstad T, Kjøglum S, et al. Genetic analysis of resistance to infectious pancreatic necrosis in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)(J). Aquaculture, 2007, 272: 111–117.
- [20] Gjerdem T. Genetic improvement for the development of efficient global aquaculture: A personal opinion review[J]. Aquaculture, 2012, 344–349(2): 12–22.
- [21] 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: 479–486.
- [22] Xiong X J. Research on the development and utilization of Pengze crucian carp[R]. Report of the Chinese Academy of Fishery Sciences, 1993: 133–140. [熊晓钧. 彭泽鲫开发利

- 用研究[R]. 中国水产科学研究院报告集, 1993: 133–140.]
- [23] Luo K, Xia Y T, Wang B, et al. Estimates of genetic growth trait parameters during early development of *Acipenser geadenstaedti*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(3): 426–432. [罗坤, 夏永涛, 王斌, 等. 俄罗斯鲟早期生长性状遗传参数的估计[J]. 中国水产科学, 2015, 22(3): 426–432.]
- [24] Patterson H, Thompson R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal[J]. Biometrika, 1971, 58(3): 545–554.
- [25] Graser H U, Smith S P, Tier B. A derivative-free approach for estimating variance components in animal models by restricted maximum likelihood[J]. J Anim Sci, 1987, 64(5): 1362–1370.
- [26] Meyer K. DFREML-A set of programs to estimate variance components under an individual animal model[J]. J Dairy Sci, 1988, 71(2): 33–34.
- [27] Thompson E, Shaw R. Pedigree analysis for quantitative traits: variance components without matrix inversion[J]. Biometrics, 1990, 46(2): 399–413.
- [28] Boldman K, Kriese L, Van Vleck L, et al. A manual for use of MTDFREML-A set of programs to obtain estimates of variances and covariances[J]. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1995: 37–42.
- [29] Zhang L, Dong Z J, Ming J C, et al. Individual Tagging Technique in Fish Breeding Practice[J]. Chinese Journal Fisheries, 2010, 23(1): 55–59. [张磊, 董在杰, 明俊超, 等. 鱼类育种实践中的个体标记技术[J]. 水产学杂志, 2010, 23(1): 55–59.]
- [30] Su J H, Zhang Y P, Lou Z Y, et al. Progress on fish growth traits improvement and its regulation[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2012, 32(1): 165–169. [苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等. 鱼类生长性状改良及其调控研究进展[J]. 四川动物, 2012, 31(1): 165–169.]
- [31] Li R. Estimates of genetic parameters and breeding values for growth traits and analysis for genetic structure during selection of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2010: 19–20. [李榕. 大口黑鲈生长性状遗传参数和育种值估计及选育过程中遗传结构分析[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2010: 19–20.]
- [32] Zhao G T. Genetic structure analysis and genetic parameter estimation for growth-related traits for “Minyou No. 1” strain of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*[D]. Xiamen: Jimei University, 2010: 45–46. [赵广泰. 大黄鱼闽优 1 号选育群体遗传结构分析及生长相关性状的遗传参数估计[D]. 厦门: 集美大学, 2010: 45–46.]
- [33] Liu Y X. Genetic analysis for growth traits in Japanese flounder selection and breeding family[D]. Changchun: Northeast Agricultural University, 2009: 34–44. [刘永新. 牙鲆选育家系生长性状的遗传分析[D]. 长春: 东北农业大学, 2009: 34–44.]
- [34] Mulder H A, Bijma P, Hill W G. Prediction of breeding values and selection responses with genetic heterogeneity of environmental variance[J]. Genetics, 2007, 175(4): 1895–1910.
- [35] Neves H H, Carneiro R, Queiroz S A. Genetic and environmental heterogeneity of residual variance of weight traits in Nellore beef cattle[J]. Genet Sel Evol, 2012, 44(19): 44–49.
- [36] Zhang J. The growth traits selection and genetic analysis of *Siniperca chuatsi*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013: 6. [张进. 翘嘴鲌生长性状选育与遗传背景分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013: 6.]
- [37] Harvey W D, Campbell D L. Retention of passive integrated transponder tags in largemouth bass brood fish[J]. Prog Fish Cultur, 1989, 51: 164–166.
- [38] Das Mahapatra K D, Gjerde B, Reddy P V G K, et al. Tagging: on the use of passive integrated transponder (PIT) tags for the identification of fish[J]. Aquacult Res, 2001, 32(1): 47–50.
- [39] Zhai Q H, Wang J K. Applied Quantitative Genetics[M]. Beijing: China Agriculture Sciencetech Press, 2007: 121–124. [翟虎渠, 王健康. 应用数量遗传[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 121–124.]
- [40] O’Flynn F M, Bailey J K, Friars G W. Responses to two generations of index selection in Atlantic salmon *Salmo salar*[J]. Aquaculture, 1999, 173: 143–147.
- [41] Neira R, Diaz N F, Gall G A E, et al. Genetic improvement in coho salmon: selection response for early spawning date[J]. Aquaculture, 2006, 257(14): 1–8.
- [42] Gall G A E, Bakar Y. Application of mixed-model techniques to fish breed improvement: analysis of breeding-value selection to increase 98-day body weight in tilapia[J]. Aquaculture, 2002, 212: 93–113.
- [43] Chevassus B, Quillet E, Krieg F, et al. Enhanced individual selection for selecting fast growing fish: the “PROSPER” method, with application on brown trout (*Salmo trutta*) [J]. Genet Sel Evol, 2004, 36(6): 643–661.
- [44] Teichert-Coddington D R, Smitherman R O. Lack of response by *Tilapia nilotica* to mass selection for rapid early growth[J]. Trans Am Fish Soc, 1988, 117: 297–300.
- [45] 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 World Fish Center with the GIFT strain[J]. Rev Aquac, 2011(3): 27–41.
- [46] Gjedrem T. Genetic improvement of cold-water species[J]. Aquacult Res, 2000, 31: 25–33.
- [47] Neira R, Lhorente J, Araneda C, et al. Studies on carcass quality traits in two populations of Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) [J]. Aquaculture, 2000, 180: 1–10.

- rhynchus kisutch*): phenotypic and genetic parameters[J]. Aquaculture, 2004, 241(14): 117–131.
- [48] Wang C, Li S, Xiang S, et al. Genetic parameter estimates for growth-related traits in Oujiang color common carp (*Cyprinus carpio* var. *color*)[J]. Aquaculture, 2006, 259(14): 103–107.
- [49] Vandeputte M, Quillet E, Checassus B. Early development and survival in brown trout (*Salmo truttafario* L.): indirect effects of selection for growth rate and estimation of genetic parameters[J]. Aquaculture, 2002, 204(3): 435–445.
- [50] Dupont-Nivet M, Vandeputte M, Vergnet A, et al. Heritabilities and G $\times$ E interactions for growth in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) using a marker-based pedigree[J]. Aquaculture, 2008, 275: 81–87.
- [51] Myers J M, Hershberger W K, Saxton A M, et al. Estimates of genetic and phenotypic parameters for length and weight of marine net-pen reared coho salmon (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum)[J]. Aquacult Res, 2001, 32: 277–285.
- [52] Rutten M J M, Bovenhuis H, Komen H. Genetic parameters for fillet traits and body measurements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)[J]. Aquaculture, 2005, 246: 125–132.
- [53] Gu X M, Liu Y X, Wang K, et al. Estimation of genetic parameter for growth trait in Japanese flounder by DF-REML[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008, 39(11): 71–75. [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.]
- [54] Bongers A B J, Bovenhuis H, van Stokkom A C, et al. Distribution of genetic variance in gynogenetic or androgenetic families[J]. Aquaculture, 1997, 153: 225–238.
- [55] Bentsen H B, Gjerde B, Nguyen N H, et al. Genetic improvement of farmed tilapias: Genetic parameters for body weight at harvest in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during five generations of testing in multiple environments[J]. Aquaculture, 2012, 338–341: 56–65.
- [56] Alfred O M, Bjarne G, Raul W P. Genetic parameters and genotype by environment interaction for body weight of *Oreochromis shiramus*[J]. Aquaculture, 2006, 259: 47–55.
- [57] Saillant E, Dupont-Nivet M, Haffray P, et al. Estimates of heritability and genotype-environment interactions for body weight in sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) raised under communal rearing conditions[J]. Aquaculture, 2006, 254: 139–147.
- [58] Gunnes K, Gjerdem T A. Genetic analysis of body weight and length in rainbow trout reared in seawater for 18 months[J]. Aquaculture, 1981, 24: 161–174.
- [59] Quinton C D, Moghadasi S M, McKay L R, et al. Genetic parameters of body weight, female spawning date, and age at sexual maturation in rainbow trout[Z]. Montpellier: 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Aug., 2002.
- [60] Fishback A G, Danzmann R G, Ferguson M M, et al. Estimates of genetic parameters and genotype by environment interactions for growth traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) as inferred using molecular pedigrees[J]. Aquaculture, 2002, 206: 137–150.
- [61] Ma A J, Wang X A, Yang Z, et al. The growth traits and their heritability of young turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(5): 499–504. [马爱军, 王新安, 杨志, 等. 大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)幼鱼生长性状的遗传力及其相关性分析[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(5): 499–504.]
- [62] Wu Z Q, Xu F Z, Zhou X F. Some genetic parameters in the body length and body weight of *Penaeus penicillatus*[J]. Journal of Xiamen Fisheries College, 1990, 12(2): 5–14. [吴仲庆, 徐福章, 周雪芳. 长毛对虾体长、体重的一些遗传参数[J]. 厦门水产学院学报, 1990, 12(2): 5–14.]
- [63] Chen G, Cai H J, Lin X W. Primary analysis in genetic parameters of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Journal of Zhanjiang Fisheries College, 1996, 16(1): 25–30. [陈刚, 蔡华紧, 林晓文. 罗氏沼虾体长和体重的一些遗传参数分析[J]. 湛江水产学院学报, 1996, 16(1): 25–30.]
- [64] Luan S, Sun H L, Kong J. Heritability of auricularia larval body length for sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selinka[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(3): 378–383. [栾生, 孙慧玲, 孔杰. 刺参耳状幼体遗传力的估计[J]. 中国水产科学, 2006, 13(3): 378–383.]
- [65] Martínez V, Neira R, Gall G. Estimation of genetic parameters from pedigreed populations: lessons from analysis of alevin weight in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*)[J]. Aquaculture, 1999, 180: 223–236.
- [66] Gjerdea B, Terjesen B F, Barr Y, et al. Genetic variation for juvenile growth and survival in Atlantic cod (*Gadus morhua*) [J]. Aquaculture, 2004, 236: 167–177.
- [67] Antti K, Ossi R, Tuija P, et al. Genetic trends in growth, sexual maturity and skeletal deformations, and rate of inbreeding in a breeding programme for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture, 2005, 247: 177–187.

Estimates of genetic parameters for growth traits of *Siniperca chuatsi*

LU Xue^{1,2}, SUN Jijia^{1,3}, WANG Haifang¹, HOU Xiaocui¹, LI Guifeng^{1,2}

1. Guangdong Province Key Laboratory for Aquatic Economic Animals; Institute of Aquatic Economic Animals, College of Life Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Guangdong Haida Group Co., Ltd, Foshan 528216, China;
3. College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China.

Abstract: We collected different geography groups of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) from the provinces of Hunan, Guangdong, and Jiangsu, and multiplied them by artificial propagation. Twenty-one families of mandarin fish were set up in 4 years. Based on the data of growth traits measured in mandarin fish we used derivative free restricted maximum likelihood to compute the genetic parameters of 3 growth traits—body weight (BW), body length (BL), body height (BH), by mixed animal models. The genetic parameters of mandarin fish on 210th day were estimated by Asreml program. The heritabilities of BW, BL, BH for 210 day-age of *Siniperca chuatsi* were 0.4, 0.45, 0.29. The different genetic variance components of BW, BL, BH, computed by 3 mixed animal models were compared. The high and moderate heritability of growth traits suggested that additive genetic effect of these traits in mandarin fish were high and it was expected to have good genetic gain through individual selection and family selection. The genetic correlations between BW and BL, BW and BH, BL and BH, were 0.96, 0.93, 0.92, respectively. The high and positive genetic correlations between growth traits suggested that selection for improvement in body weight of mandarin fish would result improvement in other two traits. After two generations, the average body weight of F₂ was 7.5% more than F₁. The genetic gain in BW of F₂ was 7.5 g. The average BW of F₃ was 9% more than F₂, and 17.2% more than F₁. The genetic gain in BW of F₃ was 9.75 g. The average BH was 9.9% more than F₁. The genetic gains in BH was 0.22 cm. It was the right way to improve the value of mandarin fish in aquaculture.

Key words: *Siniperca chuatsi*; growth trait; genetic parameters; heritability

Corresponding author: LI Guifeng. E-mail: liguif@mail.sysu.edu.cn