

草鱼幼鱼生长性状和肌肉成分的遗传参数估计

傅建军^{1,2}, 张 猛¹, 沈玉帮¹, 徐晓雁¹, 孙俊龙¹, 李家乐^{1*}

(1. 上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室,上海 201306;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心,农业部淡水渔业与种质资源利用重点实验室,江苏 无锡 214081)

摘要: 为了研究草鱼幼鱼阶段生长性状和肌肉成分的遗传改良潜力,随机采集 288 尾人工繁育的 4 月龄草鱼幼鱼,基于 12 对微卫星标记,鉴定出 16 个家系(8 个母本,9 个父本)的 273 尾个体,各家系、母本和父本对应子代贡献率存在极显著差异($P < 0.01$)。对草鱼 3 个生长性状(体质量、体长和肥满度)和 2 个肌肉成分(粗蛋白含量和粗脂肪含量)比较发现,3 个生长性状和粗蛋白含量在家系和母系半同胞间存在显著差异($P < 0.05$),而 3 个生长性状和 2 个肌肉成分在父系半同胞间差异均不显著($P > 0.05$)。基于动物模型和限制性最大似然法,草鱼 4 月龄体质量、体长、肥满度、粗蛋白含量和粗脂肪含量的遗传力估值分别为 0.34、0.33、0.17、0.17 和 0.20,其中 3 个生长性状遗传力估值达显著水平($P < 0.05$)。遗传相关分析显示,体质量与体长之间呈极显著正相关(0.82, $P < 0.01$),肥满度与体质量和 2 个肌肉成分之间存在显著正相关(0.17 ~ 0.29, $P < 0.05$)。研究表明,草鱼 4 月龄生长性状具有较高的选育潜力,并可通过体长选择实现对体质量的遗传改良;推测在草鱼生长改良过程中,可能会伴随肥满度和粗脂肪含量的变化,这应当引起重视。

关键词: 草鱼; 生长性状; 肌肉成分; 遗传参数

中图分类号: Q 348; S 917.4

文献标志码: A

草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 作为传统淡水养殖品种,在我国具有悠久的养殖历史,是内陆居民的重要食用鱼类之一^[1]。自 20 世纪 60 年代以来,草鱼在世界范围内被广泛引种^[2],目前其产量在世界淡水养殖鱼类中位居前列^[3]。就当前草鱼资源的利用而言,受高强度渔业捕捞和生存环境恶化等影响,野生资源量不断衰减^[4];加上在养殖业大力发展的背景下,缺乏对草鱼种质及品质的足够重视,面临种质衰退和肉质变差等问题^[5]。因此,加大对草鱼经济性状的遗传研究,培育生长快、品质优的草鱼新品种,能够为其可持续开发和合理利用提供有效途径。

经济性状的遗传参数估计是开展动物遗传育种的一项基础工作。目前,对鲤 (*Cyprinus carpio*)^[6]、尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)^[7]

和虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)^[8] 等重要经济鱼类的生长性状遗传参数估计均有开展,这为鱼类育种研究提供了丰富的参考数据和经验指导。Fu 等^[9-10] 研究发现草鱼不同阶段的生长性状具有中高遗传力水平,生长性状之间具有较高的遗传相关性,这为草鱼育种方案制定及育种评估提供基础数据。此外,在一些经济鱼类的育种研究中,包括屠宰性状、鱼肉颜色和肌肉成分等鱼肉品质相关性状的遗传参数估计逐渐受到关注^[11-13]。目前,科研人员从生存环境和营养水平等方面对草鱼肌肉成分开展过相关研究^[14-15],而从遗传角度探讨肌肉品质的改良可能性还未见报道。

本研究基于草鱼亲子鉴定技术^[16],对草鱼 4 月龄家系材料的生长性状和肌肉成分进行遗传参数估计,探索通过选育提高草鱼生长性能和肌肉

收稿日期:2014-03-23 修回日期:2014-09-08

资助项目:国家科技支撑计划(2012BAD26B02);现代农业产业技术体系建设项目(CARS-46-04);上海市种业发展项目(2012NY10);上海高校水产学一流学科建设项目;通威股份有限公司产学研项目(TW2014F003)

通信作者:李家乐, E-mail: jlli2009@126.com

品质的潜力,以期为草鱼种质资源的可持续利用和合理开发提供数据参考。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

2014 年 5 月,于苏州市吴江水产养殖有限公司国家级四大家鱼良种场对长江水系野生草鱼群体^[17]开展人工繁殖,实验选取了 24 尾亲本(12 尾雌鱼、12 尾雄鱼)。繁殖过程采取人工激素结合水流刺激进行催产,在约 20 m³ 圆形水泥池中随机自然交配。受精卵置于孵化桶(约 1 m³ 容积铁皮桶),经过 2 天连续的流水孵化(22~24 ℃)。水花在富含浮游生物的土池培育,饲养密度为 10 万尾/亩,早期通过泼洒豆浆肥水饲喂,然后转食人工配合饲料。2014 年 6 月,将夏花(40 日龄)运往上海海洋大学南汇滨海基地进行培育。

1.2 数据采集

2014 年 9 月,随机收集 288 尾幼鱼,测量体长(standard length, SL, cm)和体质量(body weight, BW, g)数据,并计算肥满度(condition factor, CF, %),公式为:CF = BW/SL³ × 100。测量工具分别为游标卡尺(精确到 0.002 cm)和电子天平(精确到 0.01 g);取背部肌肉冷冻保存用于肌肉成分检测;并剪取尾鳍保存于无水乙醇固定,于 4 ℃ 保存。

对收集的 288 尾草鱼的背部肌肉,使用凯氏定氮法和索氏抽提法分别测定粗蛋白含量(protein content, PC, %)和粗脂肪含量(fat content, FC, %)^[15],相关工作由青岛科标化工分析检测有限公司完成。

1.3 基因组 DNA 提取及亲子鉴定

对收集的草鱼鳍条组织使用改良的高盐法^[18]提取基因组 DNA,并利用 1% 琼脂糖凝胶电泳检测完整性,经 NanoDrop 2000 紫外分光光度计(Thermo, 德国)检测纯度和浓度,并稀释至 50 ng/μL,于 -20 ℃ 冰箱保存备用。

本研究采用基于 12 对微卫星标记的亲子鉴定技术^[16],对人工繁殖的亲本及收集的子代个体进行家系鉴定。基于亲子鉴定结果,在 SPSS 16.0 软件^[19]上对各家系及父母本所获得的子代个数进行卡方检验。

1.4 遗传参数估计

生长性状、肌肉成分及家系信息数据通过 Excel 整理录入。在 SPSS 16.0 软件^[19]上完成对

数据的描述性统计及正态分布检验,并对不符合正态分布的数据进行自然对数(Ln)转换后再进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)。

利用 ASReml 3.0 软件^[20]实现对方差组分的剖分和遗传力等参数的估计,参数估计基于动物模型(animal model)并采用限制性最大似然法(restricted maximum likelihood, REML)迭代运算。数学模型:

$$Y_{ij} = \mu + a_{ij} + m_j + e_{ij}$$

式中, Y_{ij} 为性状观测值, μ 为总体均值, a_{ij} 为个体加性效应, m_j 为母性效应, e_{ij} 为随机残差。结合似然比检验(likelihood ratio test, LRT)^[20]母性效应的显著性。

遗传力(h^2)、遗传或表型相关($r_{G/P}$)等遗传参数的计算公式:

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

$$r_{G/P(xy)} = \sigma_{G/P(xy)} / (\sigma_{G/P(x)} \times \sigma_{G/P(y)})$$

式中, σ_a^2 为加性方差组分, σ_p^2 为表型方差组分, σ_m^2 为母性方差组分, σ_e^2 为残差组分; $r_{G/P(xy)}$ 为 X 和 Y 性状间的遗传、表型相关, $\sigma_{G/P(xy)}$ 为 X 和 Y 性状间的遗传、表型协方差组分, $\sigma_{G/P(x)}$ 和 $\sigma_{G/P(y)}$ 分别为 X 和 Y 性状的遗传、表型方差组分的标准差。

根据 ASReml 3.0 软件^[20]估算所得遗传参数及标准误数值,对遗传参数显著性进行 t 检验^[21],相应自由度和显著性水平(0.05 和 0.01)的临界 t 值参照 t 值表(双尾)^[22]。

遗传力 t 值计算公式:

$$t = h^2 / S_h (df = n - 1)$$

式中, S_h 为遗传力(h^2)的标准误, n 为加性效应的组数。

遗传、表型相关 t 值计算公式:

$$t = r_{G/P} / S_r (df = n - 2)$$

式中, S_r 为遗传、表型相关($r_{G/P}$)的标准误, n 为遗传、表型效应组数。

2 结果

2.1 描述性统计及亲子鉴定结果

描述性结果显示,体质量和粗脂肪含量具有较高的变异系数,分别为 44.9% 和 39.3%,说明个体间存在较大表型差异;其余性状的变异系数介于 8.3%~14.9%(表 1)。结合偏度值、峰度值和正态检验,对偏离正态分布的数据经 Ln 转换后用于后续方差分析。

表 1 草鱼生长性状和肌肉成分的描述性统计

Tab. 1 Descriptive statistics for growth traits and flesh components in *C. idella*

性状 trait	均值 mean	标准差 SD	偏度 skewness	峰度 kurtosis	变异系数/% CV
体质量/g BW	12.56	5.64	0.98	1.71	44.9
体长/cm SL	8.32	1.11	0.46	0.49	13.3
肥满度/% CF	2.05	0.17	0.46	0.23	8.3
粗蛋白含量/% PC	15.41	2.29	0.22	-0.34	14.9
粗脂肪含量/% FC	1.73	0.68	1.33	0.67	39.3

经亲子鉴定,288 尾子代中有 273 尾获得准确亲本信息,鉴定成功率为 94.8%。结果显示,273 尾子代来自 8 尾母本和 9 尾父本,共计 16 个

全同胞家系,各家系子代数介于 7~55 尾(表 2)。各家系、母本和父本对应子代数的卡方检验均存在极显著差异($P < 0.01$)。

表 2 草鱼亲子鉴定结果

Tab. 2 The results of parentage assignment in *C. idella* (individual)

	母本 01 Dam 01	母本 02 Dam 02	母本 03 Dam 03	母本 04 Dam 04	母本 05 Dam 05	母本 06 Dam 06	母本 07 Dam 07	母本 08 Dam 08	总计 total
父本 01 Sire 01						29			29
父本 02 Sire 02				17	26	17			60
父本 03 Sire 03					22		17		39
父本 04 Sire 04	55	12							67
父本 05 Sire 05								14	14
父本 06 Sire 06			14						14
父本 07 Sire 07	7	7	7						21
父本 08 Sire 08							8		8
父本 09 Sire 09		7					14		21
总计 Total	62	26	21	17	48	46	39	14	273

草鱼各性状单因素方差分析结果显示,体质量和体长在家系和母本间存在极显著差异($P < 0.01$),在父本间差异不显著($P > 0.05$);肥满度和粗蛋白含量在家系和母本间存在显著差异($P < 0.05$),在父本间差异不显著($P > 0.05$),粗脂肪含量在家系、母本和父本间差异均不显著($P > 0.05$)。

2.2 生长性状和肌肉成分遗传参数估计

结合上述单因素方差分析和似然比检验(LRT),除粗脂肪含量外($P > 0.05$),在其余 4 个性状的方差组分分析中对存在显著性的母性效应

进行剖分($P < 0.05$),并对各性状进行遗传力估计。结果显示,体质量和体长的遗传力水平较高($h^2 \geq 0.30$),分别为(0.34 ± 0.15)和(0.33 ± 0.13);肥满度、粗蛋白含量和粗脂肪含量的属中等遗传力水平($0.15 \leq h^2 < 0.30$),分别为(0.17 ± 0.09)、(0.17 ± 0.14)和(0.20 ± 0.12)。相对于各性状的遗传力估计值,标准误较大。 t 检验显示,3 个生长性状(BW、SL 和 CF)的遗传力达到显著水平($P < 0.05$),2 个肌肉成分(PC 和 FC)的遗传力未达到显著水平($P > 0.05$)(表 3)。

表 3 草鱼生长性状和肌肉成分的分量估计结果
Tab.3 Variance components of growth traits and flesh components in *C. idella*

	加性方差 additive variance	母性方差 maternal variance	残差 residual variance	表型方差 phenotypic variance	遗传力 heritability
体质量 BW	2.45	0.39 **	4.37	7.21	0.34 ± 0.15 *
体长 SL	1.57	0.25 **	2.91	4.73	0.33 ± 0.13 *
肥满度 CF	0.18	0.03 *	0.82	1.02	0.17 ± 0.09 *
粗蛋白含量 PC	0.41	0.07 *	1.94	2.42	0.17 ± 0.14
粗脂肪含量 FC	0.54	—	2.17	2.71	0.20 ± 0.12

注: * 和 ** 分别表示估值达到显著 ($P < 0.05$) 和极显著水平 ($P < 0.01$)。下同

Notes: * and ** means estimate is significant at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same below

对草鱼各性状间的遗传和表型相关进行分析。结果显示,体质量和体长间的遗传和表型相关最高(0.82 ~ 0.96, $P < 0.01$); 肥满度与体质量间遗传和表型相关较低(0.26 ~ 0.29, $P < 0.01$); 肥满度与体长间遗传和表型相关更低(0.06 ~ 0.08, $P > 0.05$)。3 个生长性状(BW、SL 和 CF)与 2 个肌肉成分(PC 和 FC)间的遗传和表型相关

较低(0.00 ~ 0.29)。其中,肥满度与 2 个肌肉成分(PC 和 FC)间、体质量与粗脂肪含量(FC)间遗传和表型相关达显著水平(0.15 ~ 0.29, $P < 0.05$)。2 个肌肉成分(PC 和 FC)间遗传和表型相关分别为 0.12 ($P > 0.05$) 和 0.15 ($P < 0.01$) (表 4)。

表 4 草鱼生长性状和肌肉成分的表型相关(上三角)和遗传相关(下三角)
Tab.4 Phenotypic correlations (above diagonal) and genetic correlations (below diagonal) among growth traits and flesh components in *C. idella*

性状 trait	体质量 BW	体长 SL	肥满度 CF	粗蛋白含量 PC	粗脂肪含量 FC
体质量 BW		0.96 ± 0.08 **	0.29 ± 0.06 **	0.05 ± 0.05	0.17 ± 0.08 *
体长 SL	0.82 ± 0.15 **		0.06 ± 0.05	0.00 ± 0.06	0.10 ± 0.07
肥满度 CF	0.26 ± 0.06 **	0.08 ± 0.07		0.15 ± 0.05 **	0.26 ± 0.06 **
粗蛋白含量 PC	0.05 ± 0.08	0.00 ± 0.09	0.17 ± 0.08 *		0.15 ± 0.05 **
粗脂肪含量 FC	0.18 ± 0.07 *	0.11 ± 0.07	0.29 ± 0.06 **	0.12 ± 0.07	

3 讨论

本研究基于微卫星标记对混养草鱼进行系谱构建,避免家系构建中独立养殖,可以降低养殖环境误差,有利于提高遗传参数估计的准确性。此外,研究发现草鱼亲本对子代贡献率存在显著差异,选育过程中如不加以控制,容易导致有效群体数下降,进而引起育种群体近交系数的累积^[23]。因此,在草鱼选育中应用亲子鉴定技术确定育种材料的系谱关系,通过科学选留平衡家系内个体数,有利于交配方案的合理制定。

母性效应被认为是表型变异中重要的环境或

遗传效应^[24]。本研究发现草鱼幼鱼 3 个生长性状与粗蛋白含量存在显著的母性效应,如果在方差分析中不做剖分,会导致遗传力估计值偏高。这与王俊等^[25]研究发现哲罗鱼(*Hucho taimen*)幼鱼生长性状存在显著母性效应的结果相似;而与 Fu 等^[9-10]在 40 日龄和 2 龄草鱼中研究发现母性效应不显著的研究结果不一致。分析出现这种结果可能存在以下几种原因:一方面,本研究采用自然产卵方式使得亲本的繁殖不同步,扩大了受精和孵化的时间跨度,可能会增大母性效应的影响^[26];另一方面,相对 Fu 等^[9]所用珠江水系亲本群体,本研究亲本群体来自长江水系,遗传结

构相对混杂^[17],也可能影响子代的表型变异^[27];此外,相比 Fu 等^[10]的研究材料,母性效应可能对早期生长性状的影响相对较大。因此,母性效应反映多方面因素的影响,研究中需针对特定育种群体作具体分析,尽量减少其对遗传评估的影响。

本研究草鱼幼鱼 3 个生长性状(BW、SL 和 CF)的遗传力估计值介于 0.17~0.34 之间,说明草鱼生长性状在幼鱼阶段具有较高的选育潜力,预期能获得良好的遗传改良。研究结果与草鱼 40 日龄^[9]和 2 龄^[10]阶段生长性状的遗传力估值相符合;相比其他鲤科鱼类,与鲤^[28]和银鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[29]等生长性状的遗传力估值相近,而稍低于鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)^[30]和团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[31]生长性状的遗传力估值。造成遗传力估值差异的因素有很多,如实验材料的养殖环境^[25]和分析模型^[32]等。除前文所提的混养模式和对母性效应的剖分,研究中采用动物模型和 REML 运算被认为能充分利用系谱信息,适用于对复杂的不平衡数据进行分析^[33],能尽量降低对遗传参数估计造成的偏差。鉴于本研究只有单一世代的数据,缺乏亲本间的遗传关系数据,可能影响对母性效应的准确剖分。因此,建议在后续的研究中,有必要不断补充世代数据,进一步提高遗传参数估计的准确性。

本研究发现草鱼幼鱼肌肉成分(PC 和 FC)呈中等遗传力,说明草鱼的粗蛋白和粗脂肪含量受遗传因素影响,具有进一步遗传改良的潜力。本研究草鱼粗蛋白含量的遗传力估值高于杨翠华等^[34]对中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)血清中总蛋白浓度的遗传力估值。草鱼粗脂肪含量遗传力估值高于 Navarro 等^[12]对金头鲷(*Sparus auratus*)肌肉脂肪含量的遗传力估值,低于 Powell 等^[11]对大西洋鲑(*Salmo salar*)和 Whatmore 等^[13]对黄尾鲷(*Seriola lalandi*)的鱼片脂肪含量的遗传力估值。结合 2 种肌肉成分的变异系数和方差分析结果,推测草鱼粗蛋白含量的加性遗传变异主要来自家系间遗传差异,而粗脂肪含量的加性遗传变异主要来自个体间遗传差异。据此,育种工作中可针对不同目标性状采用不同的选择策略。此外,肌肉成分检测中机械误差不可避免,加上本研究为了控制实验成本选用了较少个体,可能是造成遗传力估值标准误较大的原因。因

此,建议在后续的研究中,有必要增加实验样品以提高遗传参数估值的准确性。

本研究发现草鱼幼鱼体质量和体长间存在极显著的高度正相关,与在草鱼不同生长阶段^[9-10]和其他鱼类^[11-12]中的研究结果一致,说明可以通过其中一个性状实现对另一性状的间接选择。考虑到 2 种生长性状的测量难易程度,尤其是繁殖季节成熟个体性腺对体质量的影响,将体长作为育种选择性状较为理想^[9,31]。其他性状间,肥满度与体质量和 2 个肌肉成分间存在显著的正相关关系,遗传相关水平与 Navarro 等^[12]在金头鲷中的研究结果相似。推测随着基于生长性状的选择不断推进,会伴随育种群体肥满度和粗脂肪含量不同程度的上升,将影响商品鱼出肉率和视觉印象^[12],从而影响其商品价值。因此,在育种规划中有必要采用经济加权方式,制定多性状综合选择指数,并依此评估和选留亲本,以减少单性状选择过程中对其他性状带来的负面积累。

感谢实验室薛婷、李立森和陈亚等同学在数据测量中提供的帮助。

参考文献:

- [1] Orban L, Wu Q. Cyprinids[M]// Kocher T D, Kole C. Genome mapping and genomics in fishes and aquatic animals. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008:45-83.
- [2] Shen Y B, Zhang J B, Li J L. Advances in studies on genetic resources of grass carp [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(7): 369-373. [沈玉帮,张俊彬,李家乐.草鱼种质资源研究进展.中国农学通报,2011,27(7):369-373.]
- [3] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2012[M]. Rome:FAO,2012:32-38.
- [4] Li S F. A study on biodiversity and its conservation of major fishes in the Yangtze River[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2001: 31-36. [李思发.长江重要鱼类生物多样性和保护研究.上海:上海科学技术出版社,2001:31-36.]
- [5] Liao Y M, Liu J L, Tang X L. The reason of commercial traits degeneration of four major Chinese carps and advice for genetic conservation [J]. Fisheries Science & Technology Information, 1994, 21(2):62-63. [廖亚明,刘金炉,汤学林.浅析“四大家鱼”性状退化的原因及重视种质保护的倡议.]

- 水产科技情报,1994,21(2):62-63.]
- [6] Wang C H. Quantitative genetic estimates of growth-related traits in the common carp (*Cyprinus carpio* L.): A review [J]. *Frontiers of Biology in China*, 2009,4(3):298-304.
- [7] Gjerde B, Mengistu S B, Ødegård J, *et al.* Quantitative genetics of body weight, fillet weight and fillet yield in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture*, 2012, 342 (3): 117-124.
- [8] Sae-Lim P, Komen H, Kause A, *et al.* Enhancing selective breeding for growth, slaughter traits and overall survival in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2013, 372(1): 89-96.
- [9] Fu J J, Shen Y B, Xu X Y, *et al.* Genetic parameter estimates and genotype by environment interaction analyses for early growth traits in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture International*, 2015, 23(6): 1427-1441.
- [10] Fu J J, Shen Y B, Xu X Y, *et al.* Genetic parameter estimates for growth of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*, at 10 and 18 months of age [J]. *Aquaculture*, 2016, 450(1): 342-348.
- [11] Powell J, White I, Guy D, *et al.* Genetic parameters of production traits in Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture*, 2008, 274(2-4): 225-231.
- [12] Navarro A, Zamorano M J, Hildebrandt S, *et al.* Estimates of heritabilities and genetic correlations for composition traits and G × E interactions, in gilthead seabream (*Sparus auratus* L.) [J]. *Aquaculture*, 2009, 295(3-4): 183-187.
- [13] Whatmore P, Nguyen N H, Miller A, *et al.* Genetic parameters for economically important traits in yellowtail kingfish *Seriola lalandi* [J]. *Aquaculture*, 2013, 400(25): 77-84.
- [14] Li B S, Leng X J, Li X Q, *et al.* Effects of feeding broad bean on growth and flesh quality of grass carp *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(6): 1042-1049. [李宝山,冷向军,李小勤,等. 投饲蚕豆对草鱼生长和肌肉品质的影响. *中国水产科学*, 2008, 15(6): 1042-1049.]
- [15] Cheng H L, Jiang F, Peng Y X, *et al.* Comparison of nutrient composition of muscles of wild and farmed grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Food Science*, 2013, 34(13): 266-270. [程汉良,蒋飞,彭永兴,等. 野生与养殖草鱼肌肉营养成分比较分析. *食品科学*, 2013, 34(13): 266-270.]
- [16] Fu J J, Shen Y B, Xu X Y, *et al.* Multiplex microsatellite PCR sets for parentage assignment of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture International*, 2013, 21(6): 1195-1207.
- [17] Fu J J, Li J L, Shen Y B, *et al.* Genetic variation analysis of wild populations of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) using microsatellite markers [J]. *Hereditas*, 2013, 35(2): 192-201. [傅建军,李家乐,沈玉帮,等. 草鱼野生群体遗传变异的微卫星分析. *遗传*, 2013, 35(2): 192-201.]
- [18] Rivero E R, Neves A C, Silva-Valenzuela M G, *et al.* Simple salting-out method for DNA extraction from formalin-fixed, paraffin-embedded tissues [J]. *Pathology-Research and Practice*, 2006, 202(7): 523-529.
- [19] Cleophas T J, Zwinderman A H. SPSS for starters [M]. Dordrecht: Springer, 2009: 25-37.
- [20] Gilmour A R, Gogel B J, Cullis B R, *et al.* ASReml user guide release 3.0 [M]. Hemel Hempstead: VSN International Ltd, 2009: 6-25.
- [21] Wang J Y, Chen G H. Quantitative genetic and animal breeding [M]. Nanjing: Southeast University Press, 2004: 66-93. [王金玉,陈国宏. 数量遗传与动物育种. 南京:东南大学出版社, 2004: 66-93.]
- [22] Ming D X. Biological statistics and experiment design [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008: 297-299. [明道绪. 生物统计附试验设计. 北京:中国农业出版社, 2008: 297-299.]
- [23] Kong N, Li Q, Yu H, *et al.* Heritability estimates for growth-related traits in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) using a molecular pedigree [J]. *Aquaculture Research*, 2015, 46(2): 499-508.
- [24] Räsänen K, Kruuk L E B. Maternal effects and evolution at ecological time-scales [J]. *Functional Ecology*, 2007, 21(3): 408-421.
- [25] Wang J, Kuang Y Y, Tong G X, *et al.* Genetic parameters of growth traits in *Hucho taimen* at different temperature [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(1): 75-82. [王俊,匡友谊,佟广香,等. 不同温度下哲罗鲑幼鱼生长性状的遗传参数估计. *中国水产科学*, 2011, 18(1): 75-82.]
- [26] Macbeth G M, Palmer P J. A novel breeding programme for improved growth in barramundi *Lates calcarifer* (Bloch) using foundation stock from progeny-tested parents [J]. *Aquaculture*, 2011, 318(3): 325-334.
- [27] Béréños C, Ellis P A, Pilkington J G, *et al.*

- Estimating quantitative genetic parameters in wild populations; A comparison of pedigree and genomic approaches [J]. *Molecular Ecology*, 2014, 23 (14) : 3434 - 3451.
- [28] Vandeputte M, Kocour M, Mauger S, *et al.* Heritability estimates for growth-related traits using microsatellite parentage assignment in juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. *Aquaculture*, 2004, 235 (1 - 4) : 223 - 236.
- [29] Koedprang W, Ohara K, Taniguchi N. Genetic and environmental variances on growth and reproductive traits of silver crucian carp *Carassius langsdorfii* using communal and separate rearing systems [J]. *Fisheries Science*, 2000, 66 (6) : 1092 - 1099.
- [30] Gheyas A A, Woolliams J A, Taggart J B, *et al.* Heritability estimation of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) harvest traits using microsatellite based parentage assignment [J]. *Aquaculture*, 2009, 294 (3 - 4) : 187 - 193.
- [31] Luo W, Zeng C, Deng W, *et al.* Genetic parameter estimates for growth-related traits of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) using microsatellite-based pedigree [J]. *Aquaculture Research*, 2014, 45 (11) : 1881 - 1888.
- [32] Liu B S, Zhang T S, Kong J, *et al.* Estimation of genetic parameters for growth and upper thermal tolerance traits in turbot *Scophthalmus maximus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35 (11) : 1601 - 1606. [刘宝锁, 张天时, 孔杰, 等. 大菱鲂生长和耐高温性状的遗传参数估计. *水产学报*, 2011, 35 (11) : 1601 - 1606.]
- [33] Sae-Lim P, Komen H, Kauser A. Bias and precision of estimates of genotype-by-environment interaction: A simulation study [J]. *Aquaculture*, 2010, 310 (1 - 2) : 66 - 73.
- [34] Yang C H, Kong J, Wang Q Y, *et al.* Estimates of heritability and genetic correlations of six hemolymph analytes in Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52 (2) : 183 - 191. [杨翠华, 孔杰, 王清印, 等. 中国对虾 6 项免疫相关组分的估计遗传力和遗传相关. *科学通报*, 2007, 52 (2) : 183 - 191.]

Genetic parameter estimates of growth traits and flesh components in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)

FU Jianjun^{1,2}, ZHANG Meng¹, SHEN Yubang¹, XU Xiaoyan¹, SUN Junlong¹, LI Jiale^{1*}

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: Aimed to access the genetic effect on growth traits and flesh components in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Total of 288 juvenile grass carp at four months of age were random collected from artificial breeding program, and 273 of them were unambiguously assigned to sixteen full-sib families (from eight dams and nine sires) using twelve microsatellites. The contributions to the offspring by different families (full-sib and half-sib families) were showed with significant non-uniform distribution ($P < 0.01$). Three growth traits (body weight, standard length, and condition factor) and two flesh components (protein and fat contents) of fish were detected in our study. The significant differences of three growth traits and protein content were detected among full-sib families and dam half-sib families ($P < 0.05$), whereas, no significant differences of five traits were detected among sire half-sib families ($P > 0.05$). The genetic parameters for these traits of juvenile grass carp were estimated using restricted maximum likelihood (REML) algorithm based on animal model. The heritability estimates for growth traits were 0.34 for body weight, 0.33 for standard length, and 0.17 for condition factor, which were all significantly different from zero ($P < 0.05$). Whereas, the heritability estimates for flesh components were 0.17 for protein content, and 0.20 for fat content, but not significantly from zero ($P > 0.05$). Highly positive genetic correlation was found between standard length and body weight (0.82, $P < 0.01$). Meanwhile, significantly positive genetic correlations were showed between condition factor to other traits studied except standard length (0.17 – 0.29, $P < 0.05$). Therefore, selection for increased standard length of *C. idella* is expected to produce favorable improvement in body weight, but it may lead to unfavorable changes in condition factor and fat content. This should be taken into account in practical breeding programs of *C. idella*.

Key words: *Ctenopharyngodon idella*; growth trait; flesh component; genetic parameter

Corresponding author: LI Jiale. E-mail: jlli2009@126.com

Funding projects: Agricultural Seed Development Program of Shanghai (2012NY10); China Agriculture Research System (CARS – 46 – 04); National Key Technology R & D Program of China (2012BAD26B02); Shanghai Universities First-class Disciplines Project of Fisheries; University-Industry Cooperation Project of Tongwei (TW2014F003)