

文章编号: 1674-5566(2010)01-0012-07

# 江黄颡 ( $\text{♀}$ ) 和乌苏里拟鲿 ( $\text{♂}$ ) 及其杂交子代遗传变异的 RAPD 分析

陈友明<sup>1,2</sup>, 陈校辉<sup>1,2</sup>, 潘莹<sup>3</sup>, 王明华<sup>1</sup>,  
秦钦<sup>1</sup>, 邓燕飞<sup>1</sup>, 蔡永祥<sup>1,2</sup>

(1. 江苏省淡水水产研究所, 江苏 南京 210017;

2. 江苏省野生水生动物移植驯化及苗种繁育中心, 江苏 南京 210017;

3. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081)

**摘要:** 利用 RAPD 分子标记分析了江黄颡 ( $\text{♀}$ ) 和乌苏里拟鲿 ( $\text{♂}$ ) 及其杂交子代 3 个群体的遗传结构。18 个 RAPD 随机引物对每个群体 8 尾鱼的基因组 DNA 进行扩增, 共获得 106 个条带清晰且重复性较好的 RAPD 标记, 片段大小在 200~2 000 bp 之间, 江黄颡 ( $\text{♀}$ ) 和乌苏里拟鲿 ( $\text{♂}$ ) 及其杂交子代 3 个群体的多态位点比例分别为 17.92%、18.87% 和 25.47%, 平均遗传相似系数分别为 0.940 8、0.936 8 和 0.928 0, 平均遗传距离分别为 0.059 2、0.063 2 和 0.072 0, 平均 Nei's 基因多样性指数 (H) 分别为 0.075 4、0.073 8 和 0.103 6, 平均 Shannon 信息指数 (I) 分别为 0.108 7、0.108 1 和 0.150 1; 亲缘关系树状图显示杂交子代与母本遗传距离较近, 而与父本遗传距离较远。结果分析表明, 杂交子代继承了双亲的优良性状, 但从母本中继承的遗传物质稍多于父本; 杂交子代群体内的遗传多样性高于两亲本群体, 杂交一代基因杂合性增强, 表现出一定的杂种优势。

**关键词:** 江黄颡; 乌苏里拟鲿; 杂交子代; 遗传差异; RAPD 标记

**中图分类号:** S 917 **文献标识码:** A

## RAPD analysis of genetic variation between *Pelteobagrus vachelli* ( $\text{♀}$ ) and *Pseudobagrus ussuriensis* ( $\text{♂}$ ) and their hybrids

CHEN You-ming<sup>1,2</sup>, CHEN Xiao-hui<sup>1,2</sup>, PAN Ying<sup>3</sup>, WANG Ming-hua<sup>1</sup>,  
QIN Qin<sup>1</sup>, DENG Yan-fei<sup>1</sup>, CAI Yong-xiang<sup>1,2</sup>

(1. Freshwater Fisheries Research Institute of Jiangsu Province Nanjing 210017, China;

2. Jiangsu Engineering Research Center for Wild Aquatic Animals Introduction & Hatching Nanjing 210017, China;

3. Freshwater Fisheries Research Center Chinese Academy of Fishery Sciences Wuxi 214081, China)

**Abstract:** Genetic structure of three populations (*Pelteobagrus vachelli* ( $\text{♀}$ ) and *Pseudobagrus ussuriensis* ( $\text{♂}$ ) and their hybrids) was analyzed by Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) molecular marker. The genomic DNA of *P. vachelli* ( $\text{♀}$ ), *P. ussuriensis* ( $\text{♂}$ ) and their offspring were examined using 18 kinds of random primers. The results showed that 106 kinds of random markers were detected; they had clear band and good repeatability, and the segment sizes were arranged from 200 bp to 2 000 bp. The polymorphic loci

收稿日期: 2009-07-07

基金项目: 江苏省水产三项工程项目 (K2007-8, BZ2008-7); 江苏省科技厅科技支撑项目 (BE2009335)

作者简介: 陈友明 (1980-), 男, 硕士, 主要从事鱼类遗传育种与养殖学方面的研究。E-mail: shyuchen@163.com

通讯作者: 蔡永祥, E-mail: yx64@sina.com

proportion of *P. vachelli*(♀), *P. ussuriensis*(♂) and their hybrids were 17.92%, 18.87% and 25.47%, the mean genetic similarity coefficient was 0.9408, 0.9368 and 0.9280, the mean genetic distance was 0.0592, 0.0632 and 0.0720, the mean Nei's gene diversity index (H) was 0.0754, 0.0738 and 0.1036, and the mean Shannon information index (I) was 0.1087, 0.1081 and 0.1501. The dendrogram of phylogenetic relationship demonstrated that there is the closest phylogenetic relationship between hybrids and *P. vachelli*(♀) population and slightly farther compared to *P. ussuriensis*(♂). All the results indicated that hybrid generation inherited good characters of their parents but genetic material inheriting of female parent was a bit more than male parents. The genetic diversity of hybrids was higher than their parents. The hybrid generation had enhanced gene heterozygosity and performed a certain heterosis.

Key words: *Pelteobagnus vachelli*; *Pseudobagnus ussuriensis*; hybrid; genetic variation; RAPD

江黄颡 (*Pelteobagnus vachelli*)和乌苏里拟鲮 (*Pseudobagnus ussuriensis*)分类上隶属于鲶形目 (Siluriformes)、鲶科 (Bagridae),前者为黄颡鱼属 (*Pelteobagnus*),后者为拟鲮属 (*Pseudobagnus*)。两者均为鲶科重要经济鱼类,肉质鲜美,营养丰富且个体体型较大,但生长速度和抗逆性存在差异,江黄颡生长速度快,对环境的适应能力较差,而乌苏里拟鲮生长速度慢,对环境的适应能力较强。目前,江黄颡和乌苏里拟鲮的人工繁殖和苗种生产技术已经较为成熟,国内利用江黄颡或乌苏里拟鲮作为亲本进行杂交育种也已有一些研究,如瓦氏黄颡鱼(♀)和长吻鲮(♂)<sup>[1]</sup>,黄颡鱼(♀)和瓦氏黄颡鱼(♂)<sup>[2]</sup>,瓦氏黄颡鱼(♀)和黄颡鱼(♂)<sup>[3]</sup>,黄颡鱼(♀)×乌苏里拟鲮(♂)<sup>[4]</sup>,但未见利用江黄颡(♀)和乌苏里拟鲮(♂)杂交进行育种研究的报道。本研究尝试结合江黄颡和乌苏里拟鲮各自的优点,通过对江黄颡(♀)和乌苏里拟鲮(♂)进行杂交,旨在培育出生长优势明显、抗逆性强的新品种。2008年以来,对两种鱼进行杂交生产试验,两年中均成功批量孵化出杂交幼苗,目前已养至商品规格,表现出生长速度快、抗逆性好等优点。本研究采用 RAPD<sup>[5-10]</sup>分子标记技术对江黄颡(♀)和乌苏里拟鲮(♂)亲本及其杂交后代的基因组 DNA 进行比较分析,探讨双亲遗传物质在杂交子代上的呈现及对子代遗传结构的影响,为进一步研究鲶科鱼类属间远缘杂交的遗传机理和杂交育种积累基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验鱼来源

江黄颡 (*Pelteobagnus vachelli* 用 J 表示)的母

本来源于江苏省常州水产技术指导站,乌苏里拟鲮 (*Pseudobagnus ussuriensis* 用 W 表示)父本来源于江苏省淮安市水产技术指导站,亲本购回后均养殖于江苏省淡水水产研究所禄口试验基地。实验时,随机取出 8 尾用于 RAPD 分子标记分析。

### 1.2 江黄颡(♀)×乌苏里拟鲮(♂)杂交

2008年、2009年5月—7月繁殖季节,挑选性腺成熟度较好的雌雄亲鱼,暂养于池壁光滑的大水族缸中,采用注射绒毛膜促性腺激素(HCG)、地欧酮(DOM)和促黄体释放激素二号(LRH-A<sub>2</sub>)等药物的方法进行人工催产,经过12~16 h左右的效应时间,将成熟的江黄颡鱼卵与乌苏里拟鲮亲鱼精子进行干法人工授精,受精卵均匀地布于消毒网片上,置于孵化缸中充气微流水环境孵化,培育至鱼苗阶段后转到池塘培育。

杂交后代(J♀×W♂,以JW表示)为江黄颡(♀)和乌苏里拟鲮(♂)的杂交F<sub>1</sub>代,目前在本实验室培育。实验时,随机取出8尾用于RAPD分子标记分析。

### 1.3 基因组 DNA 的制备

采用从鱼体背部肌肉组织中提取 DNA 的方法,先加入适量的细胞裂解液(50 mmol/L Tris·HCl pH=9.0; 100 mmol/L EDTA; 200 mmol/L NaCl 溶液)充分剪碎至匀浆状态,然后再加入 300 μL 细胞裂解液和 5 μL 的蛋白酶 K (20 mg/mL),充分混匀,于 56℃ 金属浴消化约 6~8 h 至溶液澄清,冷却后依次用等体积的酚:酚:氯仿(1:1)、氯仿各抽提一次,无水乙醇沉淀 DNA,去离子超纯水溶解。电泳法检测 DNA 质量,核酸仪测定基因组 DNA 浓度,定量后配成 50 ng/μL 的工作溶液备用。

## 1.4 RAPD-PCR反应

PCR反应在 Biometra T-Gradient PCR 仪上进行,采用经过优化的反应体系和条件。反应总体积为 20  $\mu\text{L}$ ,其中 10 $\times$ Buffer(含  $\text{Mg}^{2+}$ )2.0  $\mu\text{L}$ , dNTP(10mM)0.5  $\mu\text{L}$  引物 (10  $\mu\text{M}$ )1  $\mu\text{L}$  Taq酶 (5 U/ $\mu\text{L}$  北京 TransGen Biotech 公司),模板 (50 ng/ $\mu\text{L}$ )1  $\mu\text{L}$  去离子水 15.2 mL。

反应条件:94 $^{\circ}\text{C}$  预变性 5 min 进入循环,94 $^{\circ}\text{C}$  变性 40 s 37 $^{\circ}\text{C}$  退火 45 s 72 $^{\circ}\text{C}$  延伸 1 min 40 个循环后,72 $^{\circ}\text{C}$  延伸 7 min 4 $^{\circ}\text{C}$  保存。

取 6  $\mu\text{L}$  PCR 扩增产物与适量 Loading Buffer 混匀,用枪头吸入凝胶点样孔,经 2% 的琼脂糖凝胶电泳分离,EB 染色,在凝胶分析仪 (Bio RAD) 观察结果,拍照并分析。扩增片段的大小与大连宝生物公司的 DNA Marker DL2000 进行比较。

## 1.5 数据分析

观察在琼脂糖凝胶上出现的 DNA 条带,将相同迁移距离的条带看作同一位点,统计条带总数和多态性条带数。统计时先借助 Quantity One 软件对条带进行辅助标记,然后结合扩增产物的实际电泳条带,在相同迁移位置按出现条带记为 1,不出现记为 0,转换成数字矩阵。在 Hardy-Weinberg 平衡状态下,利用 PopGene<sup>3.2</sup> 软件计算扩增产物的多态位点数、Nei's 基因多样性指数 (H) 和 Shannon 信息指数 (I)。应用 NTSYS(2.0) 软件计算 Nei's 遗传距离和遗传相似系数。依据所得到的遗传距离,按照非加权平均距离法 (UPGMA) 构建聚类关系图。

多态位点比例:  $P = \frac{\text{多态位点数}}{\text{位点总数}} \times 100\%$ ;

群体内个体间遗传相似系数参照 Lynch<sup>[11]</sup> 的公式计算:  $S_{xy} = \frac{2N_{xy}}{(N_x + N_y)}$  (1)

则群体内平均遗传相似系数:  $F = \left\{ \frac{\sum [2N_{xy} / (N_x + N_y)]}{n} \right\}$  (2)

式中:  $N_{xy}$  是个体 x 和 y 的共有条带数;  $N_x$  和  $N_y$  分别是个体 x 和 y 的扩增条带数, n 为个体间相比较的两两配对数。相应的,个体间遗传距离为  $D = 1 - S_{xy}$ 。

群体间遗传相似性系数<sup>[12]</sup> 根据 Nei 的方法计算:  $\frac{\sum (X_i Y_i)}{[\sum (X_i)^2 \sum (Y_i)]^{1/2}}$  (3)

式中:  $X_i$ ,  $Y_i$  分别为 X 和 Y 组合第 i 个位点的基因

频率。相应的,群体间 Nei's 遗传距离为  $D = 1 - I$

## 2 结果与分析

### 2.1 RAPD 引物扩增

从 35 个 RAPD 随机引物中进行筛选,筛选出 18 个条带清晰且重复性较好的引物。18 个引物共扩增出 106 条带,且对 3 个群体都出现了特异性条带,每个引物扩增的位点从 3 到 10 个不等,平均每个引物扩增约 6 条带,扩增片段大小在 250~2 000 bp 之间。不同引物扩增出的多态性位点数有较大差别,多态性位点百分比在 33.3%~100% 之间。其中 S176, OPM 09 和 OPM 17 3 个引物的扩增位点均具有多态性,多态位点百分比为 100%;而 OPM 18 的 3 个扩增位点中只有 1 个具有多态性,多态百分比仅为 33.3%。引物信息及扩增结果见表 1,引物编号中字母 BA 表示引物由上海英骏生物技术有限公司合成,字母 S 为上海生工生物工程技术服务有限责任公司合成,OPM 和 OPJ 为南京生兴生物技术有限公司合成。

多态位点比例是评价鱼类种群遗传变异的重要参数之一<sup>[13]</sup>,其值的大小反映了群体遗传多样性的高低。在 106 个扩增位点中,其中江黄颡母本中扩增出多态性标记 19 个,多态位点百分比为 17.92%,乌苏里拟鲮父本扩增出多态性标记 20 个,多态位点百分比为 18.87%,杂交子代多态位点 27 个,多态位点百分比为 25.47%。这表明杂交子代群体的遗传多样性较两亲本要高。

### 2.2 杂交子代与亲本的 RAPD 扩增图谱

从 18 个 RAPD 引物扩增图谱的整体情况来看,杂交子代出现的谱带都能在亲本中找到,有的来源于父本,有的来源于母本,有的是两者基因型的综合,符合典型的孟德尔遗传规律。此外,各引物对两亲本和杂交子代的扩增条带图谱存在明显差异,同一引物对两亲本和杂交子代的扩增位点也存在多样性。图 1 为引物 BA0004 对两亲本及其杂交子代的扩增带谱。

表 1 RAPD 引物序列及扩增结果

Tab. 1 RAPD random primers sequence and their amplified results

引物编号	序列	扩增总位点数	总多态性位点数	总多态位点比例
BA0004	GGACTGGAGT	10	7	70%
BA0022	TGCCGAGCTG	8	7	87.5%
BA0023	AGTCAGCCAC	5	4	80%
BA0045	TGAGCGGACA	6	4	66.7%
BA0062	GTGAGGCGTC	7	6	85.7%
S11	GTAGACCCGT	7	6	85.7%
S166	AAGGCGGCAG	6	4	66.7%
S176	TCTCCGCCCT	6	6	100%
S183	CAGAGGTCCC	6	4	66.7%
OPJ01	CCCGGCATAA	5	4	80%
OPJ12	GTCCCGTGGT	7	4	57.1%
OPJ17	ACGCCAGTTC	7	5	71.4%
OPM03	GGGGATGAG	4	2	50%
OPM04	GGGGTIGTC	7	5	71.4%
OPM09	GTCTTGCGGA	4	4	100%
OPM17	TCAGTCCGGG	3	3	100%
OPM18	CACCATCCGT	3	1	33.3%
OPM20	AGGTCTTGGG	5	4	80%
合计	—	106	80	75.5%

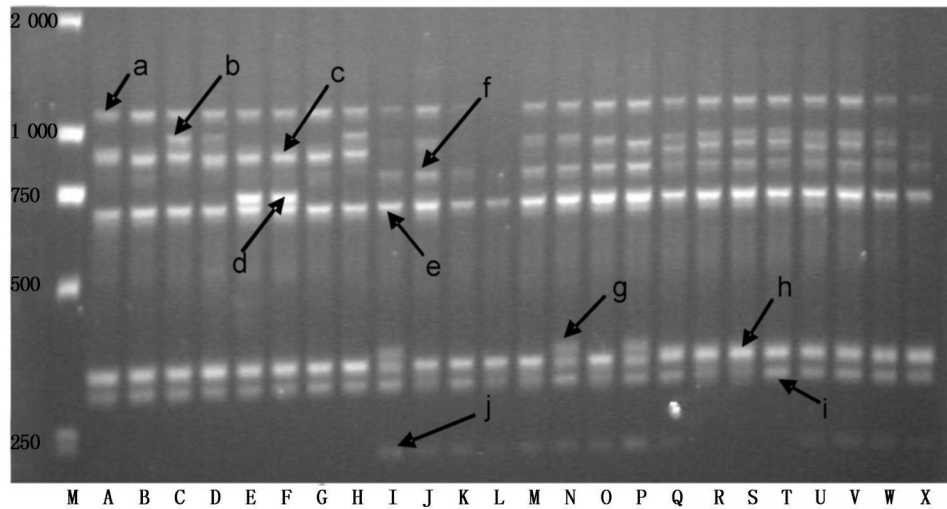


图 1 引物 BA0004对两亲本及其杂交子代的 RAPD电泳图谱

Fig. 1 RAPD electrophoretogram of primer BA0004 to two parents and their hybrids

M: Marker A-H: 江黄颡♀ (J); I-P: 乌苏里拟鲮♂ (W); Q-X: J♀ × W♂ (JW); a e h i 为 JW 和 JW 的共有片段; b d 为 J特有片段; g 为 W 特有片段; c 为 J 和 JW 共有片段; f j 为 W 和 JW 共有片段。

### 2.3 杂交子代群体内及其与亲本的遗传多样性

根据 18 个引物的扩增带谱进行统计分析, 计算两亲本及其杂交子代群体内的平均遗传相

似系数、平均遗传距离、平均 Nei's 基因多样性指数和平均 Shannon 信息指数等参数, 结果见表 2。群体间的遗传相似性指数和相对遗传距离结果见表 3。

表 2 各群体内遗传多样性比较

Tab. 2 Comparison of genetic diversity among the three populations

	多态位点数 (P百分比)	平均遗传相似系数 (S)	平均遗传距离 (D)	平均 Nei 基因多样性指数 (H)	平均 Shannon 信息指数 (I)
江黄颡	19(17.92%)	0.940 8	0.059 2	0.075 4	0.108 7
乌苏里拟鲮	20(18.87%)	0.936 8	0.063 2	0.073 8	0.108 1
杂交子代	27(25.47%)	0.928 0	0.072 0	0.103 6	0.150 1

表 3 亲代及杂交子代个体间的遗传相似性指数和相对遗传距离

Tab. 3 Index of genetic similarity and relative genetic distance between parents and their hybrids

	J ♀	W ♂	J ♀ × W ♂
J ♀	—	0.457 7	0.729 9
W ♂	0.781 6	—	0.721 8
J ♀ × W ♂	0.314 8	0.326 0	—

注: J 代表江黄颡鱼 (♀), W 代表乌苏里拟鲮 (♂); 表格中, 对角线以上的数字表示群体间的相似性指数, 对角线以下的数字表示群体间的相对遗传距离。

由表 2 可以看出, 杂交子代群体多态位点的百分比为 25.47%, 高于两亲本群体, 表明杂交子代群体的遗传多样性高于两亲本群体; 江黄颡母本、乌苏里拟鲮父本和杂交子代群体内的平均遗传相似性指数分别为 0.940 8、0.936 8 和 0.928 0, 均处于较高水平, 一方面显示当前两个亲本地理群体种质资源状况良好, 具有较好的育种前景, 另一方面, 杂交子代群体的平均遗传相似系数小于两亲本群体, 进一步表明杂交子代群体的遗传多样性较两亲本丰富。表中 3 个群体的平均遗传距离、平均 Nei's 基因多样性指数和平均 Shannon 信息指数等参数也证明了这一点。

由表 3 可以看出, 杂交子代与母本间的相似性指数为 0.729 9, 大于与父本间的相似性指数 0.721 8, 但差距不大; 杂交子代与母本的遗传距离为 0.314 8, 小于与父本间的遗传距离 0.326 0, 说明杂交子代与母本的亲缘关系较近, 但与父本

的亲缘关系相差不大。这也说明杂交子代基因组既来源于母本, 也来源于父本, 但继承于母本来源的遗传物质稍多于父本。

### 2.4 聚类分析

基于 Nei's 遗传距离, 用 UPGMA 方法, 构建各群体的亲缘关系树状图 (图 2)。由图中可以看出, 杂交子代明显地与江黄颡鱼母本聚合在一起后, 再与父本乌苏里拟鲮聚合, 这进一步说明了杂交子代与两亲本群体的遗传差异是不对等的, 稍偏向其亲本中的母本。

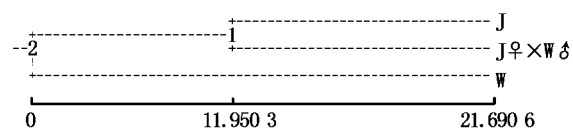


图 2 亲代与杂交子代间的亲缘关系树状图

Fig. 2 Dendrogram of genetic relationship between parents and their hybrids

## 3 讨论

### 3.1 杂种优势预测

根据杂种优势的显性学说, 杂交改变了杂交后代的基因组合, 增加了基因的杂合性, 改变了不同位点上基因互作, 在绝大多数基因型和环境之间获得一种相互协调的平衡, 因而提高了杂种的生活力、繁殖力和生长速度等重要遗传性状<sup>[8]</sup>。实践研究表明, 杂种优势的遗传基础是杂交种基因型的杂合性, 而 to 增加杂交种基因型的

杂合性,杂交亲本间要具有较大的遗传差异<sup>[7,14]</sup>。本研究中对江黄颡鱼母本和乌苏里拟鲮父本群体计算结果表明,两个群体间遗传相似性指数为 0.457 7,遗传距离为 0.781 6,这说明两个亲本群体间的遗传差异较大,初步具备了产生具有杂种优势的杂交后代遗传基础。

在 RAPD分析中,同一物种某个群体内的遗传距离反映了该群体的遗传多样性,数值越大,表明该群体遗传多样性丰富程度就越高,适应环境的能力就越强<sup>[15]</sup>,遗传距离指标可以为选配杂种优势较强的亲本组合提供依据<sup>[16]</sup>。本试验结果得到的江黄颡母本、乌苏里拟鲮父本和杂交子代各群体内的平均遗传距离(D)分别为 0.059 2、0.063 2和 0.072 0,由此可知,杂交子代的遗传多样性高于双亲,初步表明杂交子代继承了双亲的优良性状,江黄颡(♀)×乌苏里拟鲮(♂)可以作为育种生产实践中获得具有较强杂种优势的杂交组合。

本研究对两亲本及其杂交子代用 18个引物随机扩增的多态性条带作对比分析,结果表明,江黄颡鱼特有的 26条扩增条带中有 20条在杂交子代呈现,特征带的表现率为 76.92%,遗传率为 73.94%;乌苏里拟鲮特有的 31条扩增条带中有 22条在杂交子代中呈现,特征带的表现率为 70.97%,遗传率为 68.28%。由此可见,父母本的特有扩增片段在杂交子代中的遗传表达都较高,这进一步证明了杂交子代继承了双亲的优良性状。由于杂交,子代的基因组 DNA产生了更为丰富的多态性,基因杂合性增强了,而且这些多态性的形成既源于双亲的遗传又源于杂交后遗传性的变异,这是杂种优势得以形成的重要分子生物学基础<sup>[8]</sup>。

### 3.2 远缘杂交在鲮科鱼类中的应用

杂交可以使已有的基因进行重新组合,是增加生物多样性的一个重要方法。远缘杂交是杂交育种中应用较多的一种获得具有优良经济性状杂交后代的方式,它是指种间、属间乃至亲缘关系更远的生物类型之间的杂交<sup>[17]</sup>。远缘杂交可显著地扩大和丰富鱼类育种的基因库,促进个体间基因交流,提高杂种优势的利用。种间杂交是鱼类育种中使用最多且最成熟的一种方法,有时可以获得具有双亲性状的杂种鱼,有时也可发生雌核发育<sup>[18]</sup>。本研究对江黄颡鱼母本、乌苏里

拟鲮父本及其杂交子代的 RAPD标记分析结果表明子代与母本的遗传相似指数为 0.729 9,与父本的遗传相似指数为 0.721 8,子代与父母本的遗传相似指数差异很小,这说明杂交子代同时具有了父本和母本的遗传性状,江黄颡鱼母本和乌苏里拟鲮父本的属间远缘杂交结果是发生了真正的精卵结合,且父本乌苏里拟鲮的遗传物质较多地掺入到了受精卵中,乌苏里拟鲮的精子不是只起着刺激卵子发育的作用,使得杂交子代具有双亲性状<sup>[5]</sup>。由此推断,江黄颡母本和乌苏里拟鲮父本的杂交是正常的两性杂交,排除了雌核发育的可能<sup>[19]</sup>。这与草鱼和鳊鱼的杂交<sup>[18]</sup>结果一致,但本试验中获得的杂种一代是否可育还有待于下一步研究。

此前有研究表明,鲤科、鲮科鱼类不同属间远缘杂交也能获得杂种后代<sup>[20-22]</sup>,本试验通过杂交繁殖和培育,获得了生长性状稳定的杂种后代,这也证明了鲮科鱼类的属间远缘杂交及其育苗生产是可行的。

### 参考文献:

- [1] 魏刚. 瓦氏黄颡鱼与长吻鲮杂交的初步研究 [J]. 淡水渔业, 1987, 6: 14-17.
- [2] 王卫民, 严安生, 张志国, 等. 黄颡鱼♀和瓦氏黄颡鱼♂的杂交研究 [J]. 淡水渔业, 2002, 32(3): 3-5.
- [3] 王峰, 王武. 江黄颡鱼、黄颡鱼、粗唇鲮杂交繁育初报 [J]. 水产科技情报, 2004, 31(1): 10-11.
- [4] 邱丛芳, 王彬, 余祥胜. 黄颡鱼♀×乌苏里拟鲮♂苗种繁殖养殖试验 [J]. 科技信息, 2009, (4): 314.
- [5] 杨弘, 夏德全, 刘蕾, 等. 奥利亚罗非鱼(♀)、鳊(♂)及其子代间遗传关系的研究 [J]. 水产学报, 2004, 28(5): 595-599.
- [6] 王金龙, 杨弘, 吴婷婷, 等. 奥利亚罗非鱼(♀)×鳊(♂)远缘杂交子代的遗传结构 [J]. 中国水产科学, 2007, 14(1): 32-38.
- [7] 夏德全, 曹莹, 吴婷婷, 等. 用 RAPD分析对罗非鱼遗传变异的研究及其对杂种优势的利用 [J]. 水产学报, 1999, 23(1): 27-32.
- [8] 许玉德, 许莉, 钟建兴. 杂交一代(尼罗罗非鱼♀×奥利亚罗非鱼♂)及其亲本基因组 DNA的比较 [J]. 水产学报, 2001, 25(1): 16-19.
- [9] 张桂蓉, 严安生, 邹桂伟, 等. 两个人工雌核发育系鲢近交 F1遗传多样性的 RAPD分析 [J]. 水产学报, 2005, 29(2): 154-160.
- [10] 龙良启, 赵振山, 汤保贵, 等. 泥鳅与大鳞副泥鳅正反交子代遗传变异的 RAPD分析 [J]. 水生生物学, 2000, 24(6): 659-662.

- [11] Lynch M. The similarity index and DNA fingerprinting [J]. *Mol Biol Evol* 1990, 7: 478-484.
- [12] Wachira F N, Waugh R, Hackett C A, et al. Detection of genetic diversity in tea (*Camellia sinensis*) using RAPD markers [J]. *Genome* 1995, 38 (2): 201-210.
- [13] 刘世禄, 王波, 高天翔, 等. 美国红鱼养殖种群的同工酶酶谱及其生化遗传初步分析 [J]. *海洋水产研究*, 2002, 23(3): 10-14.
- [14] 孙其信, 黄铁城, 倪中福, 等. 小麦杂种优势群体研究: I 利用 RAPD 标记研究小麦品种间遗传差异 [J]. *农业生物技术学报*, 1996, 4(2): 103-109.
- [15] 邓普恩, 刘丽, 刘楚吾. 罗非鱼亲本与杂交子代遗传差异的 RAPD 分析 [J]. *现代农业科学*, 2008, 15(12): 95-99.
- [16] 董在杰, 夏德全, 吴婷婷, 等. RAPD 技术在鱼类杂种优势研究中的应用 [J]. *中国水产科学*, 1993, 6(1): 37-40.
- [17] 楼允东, 李小勤. 中国鱼类远缘杂交研究及其在水产养殖上的应用 [J]. *中国水产科学*, 2006, 13(1): 151-158.
- [18] 楼允东. 鱼类育种学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 83-105.
- [19] 蒋速飞, 傅洪拓, 龚永生, 等. 海南沼虾 (♀) × 日本沼虾 (♂) 的人工种间杂交及其 RAPD 分析 [J]. *上海水产大学学报*, 2006, 15(4): 409-413.
- [20] 金万昆, 朱振秀, 王春英, 等. 框鳞镜鲤 (♀) 与团头鲂 (♂) 杂交及其杂种 F1 的形态学特征 [J]. *淡水渔业*, 2003, 33(5): 16-18.
- [21] 陈道印. 远缘鲫 (日本白鲫 ♀ × 兴国红鲤 ♂) 人工繁育获得成功 [J]. *动物学杂志*, 2000, 35(4): 60-61.
- [22] 区又君, 李加儿, 周宏团. 鲷科鱼类属间远缘杂交的发育和生长 [J]. *中国水产科学*, 2000, 7(2): 110-112.