

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.14301

团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交后代的遗传特征及生长差异

郑国栋, 张倩倩, 李福贵, 陈杰, 蒋霞云, 邹曙明

上海海洋大学 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306

摘要: 本研究利用团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲌(*Erythroculter ilishaeformis*) (♂)进行属间人工杂交, 获得了遗传背景不同的杂交子代。结果显示, 团头鲂‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交子代的受精率和孵化率均很高, 分别为 90.0%和 80.6%。鲂鲌杂交子代的体型有两种, 其中, 96.2%的后代为鲂鲌中间型体型(杂种 A 型), 另外还存在 3.8%的后代体型与母本团头鲂‘浦江 1 号’相近(杂种 B 型)。经 Partec 流式细胞仪测定得出, 鲂鲌杂种 A 型个体 DNA 含量与母本、父本相同, 表明其为二倍体。2 个特异性微卫星位点(*TTF6* 和 *TTF10*)分析显示, 杂种 A 型个体从其父母本中各获得了一套遗传物质, 证实其为二倍体杂交种, 鲂鲌杂种 B 型的带型则与母本完全一致, 为雌核发育后代。土池同池生长性能分析显示, 鲂鲌中间型个体的生长速度显著快于团头鲂‘浦江 1 号’和翘嘴鲌, 表现出明显的超亲生长优势。本研究为鲂鲌杂交新品系的建立奠定了基础, 另外, 鲂鲌杂交自发产生雌核发育后代便于团头鲂纯系的构建。

关键词: 团头鲂‘浦江 1 号’; 翘嘴鲌; 属间杂交; 雌核发育; 生长优势

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)03-0402-08

远缘杂交是鱼类育种的重要手段之一, 可以把亲本的优势性状结合到一起, 从而获得优良杂交新品种, 但鱼类远缘杂交很难得到子代, 能表现出生长优势的杂交组合则更少^[1]。鱼类杂交育种研究在我国比较多, 从 20 世纪 50 年代末至今, 共有 100 多个杂交组合用于实验, 涉及范围涵盖 3 个目、7 个科, 共计 40 多种鱼类, 迄今已获得了 3 个鲂亚科鱼类属间杂交组合^[2-4]。目前, 关于团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 与 翘 嘴 鲌 (*Erythroculter ilishaeformis*) 的杂交研究还比较少。金万昆等^[3]曾对团头鲂(♀)×翘嘴红鲌(♂)杂种 F₁ 的含肉率等进行过测定, 并对其鱼肉品质做了初步评价; 葛瑞玲等^[4]曾利用团头鲂(♀)和翘嘴红鲌(♂)进行杂交, 并获得了二倍体及三倍体的鲂鲌。而在其反交方面, 顾志敏等^[5]对翘嘴红鲌(♀)×团头

鲂(♂)杂种 F₁ 做过形态及 RAPD 方面的研究。

团头鲂和翘嘴鲌分属鲂亚科的鲂属和鲌属, 是我国 2 种重要的经济养殖鱼类。两者在形态、生理和养殖生态上有较大差异, 推测其杂交后代的遗传组成也可能比较复杂。本研究通过对团头鲂‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交后代进行生物学分析, 弄清其杂交后代的体型遗传组成、倍性特征及生长性能, 以期对鲂鲌杂交优势的利用及优良品种培育奠定基础。

1 材料和方法

1.1 亲本来源、人工催产、受精及孵化

团头鲂‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交实验于 2013 年 5 月中旬在上海海洋大学青浦鱼类育种实验站进行。使用的母本为团头鲂‘浦江 1 号’良种,

收稿日期: 2014-07-15; 修订日期: 2014-08-13.

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD26B00); 国家自然科学基金项目(31272633, 31201760); 上海高校知识服务平台(ZF1206).

作者简介: 郑国栋(1987-), 男, 硕士, 动物遗传育种与繁殖专业. E-mail: zgdong.521@163.com

通信作者: 邹曙明, 教授. Tel: 021-61900345; E-mail: smzou@shou.edu.cn

父本为翘嘴鲌, 父母本均为 3 龄, 性成熟且发育良好。于下午 4 时采用 HCG 与 LHRH-A2 混合注射进行催产, 雄鱼注射剂量较雌鱼减半。将已经注射过催产药物的亲鱼暂养在圆形的产卵池(直径 2 m)中, 流水刺激; 次日早上拉网起捕亲鱼, 取精、卵进行人工干法授精。受精卵放入培养皿中孵化, 每隔 3~4 h 换 1 次水直至出膜。待鱼苗卵黄囊消失, 并能够平游时, 将鱼苗转移到 20 m×30 m 的土塘养殖^[6-7]。同时建立团头鲂‘浦江 1 号’自交和翘嘴鲌自交后代群体。将亲本和子代的鳍条剪下保存于 95% 的酒精中, 以用于后续的实验。

1.2 鲂鲌杂交子代的形态和生长测量

将同期的鲂鲌杂交子代鱼苗 1 000 尾、团头鲂‘浦江 1 号’和翘嘴鲌自交子代的鱼苗各 200 尾放于 600 m² 的养殖塘, 经 180 d 的喂养后, 对其进行拉网起捕, 随机取样 30 尾进行了全长、体长、体高和体重的测量, 设置 3 个平行并拍照。采用 *t* 检验(*t*-test)分析 2 个平均值之间的差异显著性,

P<0.01 认为差异显著, *P*>0.01 认为差异不显著。

1.3 鲂鲌杂交子代的倍性检测

用肝素钠浸润注射器抗凝后, 从鲂鲌杂交子代尾部脊柱下静脉采血, 然后取 3~5 μL 血样加入到 1 mL DAPI 染液中, 避光染色 30~60 s, 用 500 目过滤管过滤到上样管内。然后用 Partec 流式细胞仪对鲂鲌杂交后代进行了 DNA 含量检测, 检测到 3 000~10 000 个细胞时即停止检测^[8-12]。以标准二倍体团头鲂‘浦江 1 号’、翘嘴鲌及野鲫(*Carassius auratus*)为参照。为减小误差, 检测样本数均大于 10, 然后取平均值。

1.4 鲂鲌杂交子代的微卫星分析

鲂鲌杂交子代随机取自单养池塘(20 m×30 m), 鲂鲌中间型(杂种 A 型)个体 100 尾和偏母本型(杂种 B 型)个体 4 尾用于实验。从 20 对团头鲂微卫星引物中^[13], 筛选出 2 对在翘嘴鲌基因组中也能扩增出条带的微卫星引物 TTF6 和 TTF10 (表 1)对鲂鲌杂交子代进行微卫星分析。

表 1 微卫星引物序列
Tab. 1 Characteristics of microsatellite primers

序号 no.	位点 locus	重复序列 repeat motif	退火温度/℃ <i>T_m</i>	引物序列(5'-3') primer sequence(5'-3')
1	<i>TTF6</i>	(GA) ₁₃	60.5	F: GGCAGGTCAGGCACATTAT R: TCTCTACCTCACATCTCTATTCT
2	<i>TTF10</i>	(TC) ₆ (TG) ₅	55.9	F: AAACAGGCTCGCCAAATTC R: TCACCCACACACTCTTATTCTCTC

DNA 的提取参照北京天根生物科技有限公司的海洋动物组织基因组 DNA 提取试剂盒(离心柱型)中介绍的方法操作。PCR 反应体系 10 μL, 包括 5 μL 含染料的 2×*Taq* PCR MasterMix (*Taq* DNA 聚合酶: 0.1 U/μL; MgCl₂: 4 mmol/L; dNTPs each: 0.4 mmol/L), 上下游引物各 0.5 μL (10 μmol/L), 0.5 μL 模板 DNA (30~50 ng), 3.5 μL ddH₂O。PCR 反应在 Eppendorf Mastercycler ep gradients 型 PCR 仪上进行, 反应程序为 94℃ 预变性 5 min, 94℃ 30 s, 50~65℃ (据引物调整) 30 s, 30 个循环, 最后 72℃ 延伸 10 min。

PCR 产物在 8% 的非变性聚丙烯酰胺凝胶上进行电泳, 上样产物量为 0.8 μL, DNA Marker (50 bp DNA Ladder) 上样量为 1 μL。电泳条件: 电泳缓冲液为 1×TBE, 电压 200 V, 电泳 1.6 h。电泳

完成后, 进行硝酸银染色, 最后将胶片平铺于干净的观灯箱上, 拍照分析。

2 结果与分析

2.1 团头鲂‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交子代的形态特征

团头鲂‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交的受精率为 90.0%, 孵化率为 80.6%。杂种后代中存在形态明显不同的 2 个群体(图 1), 其中, 96.2% 为鲂鲌中间型(杂种 A 型), 形态特征介于父母本之间(图 1c), 3.8% 为杂种 B 型, 形态特征与母本团头鲂‘浦江 1 号’相似(图 1d)。鲂鲌杂种 A 型的身体扁平、体型较长, 与父本翘嘴鲌相似, 而其体厚、体高又显著提高, 趋向于母本团头鲂‘浦江 1 号’。此外,

鲂鮈杂种 A 型的头较母本稍大, 头后背部不似团头鲂急剧隆起, 仅有轻微的隆起; 其嘴部虽有上翘, 但不如父本翘嘴鲂明显。鲂鮈杂种 A 型的体色介于父母本之间, 背部呈青灰色, 两侧银灰色, 腹部银白; 其鳞片较大, 类似母本, 但薄软程度又倾向于父本^[3]。

2.2 团头鲂‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲂(♂)杂交子代的倍性分析

用 Partec 流式细胞仪测定了团头鲂‘浦江 1 号’、翘嘴鲂及其杂交子代的 DNA 含量。结果显示, 野鲫的 DNA 平均相对含量为 76.66, 是团头鲂‘浦江 1 号’的 1.53 倍, 是翘嘴鲂的 1.67 倍; 鲂

鮈杂种 A 型的 DNA 平均相对含量为 47.85, 介于团头鲂‘浦江 1 号’和翘嘴鲂之间, 应为二倍体(图 2)。鲂鮈杂种 B 型与团头鲂‘浦江 1 号’的 DNA 含量接近, 也为二倍体(表 2)。

2.3 团头鲂‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲂(♂)杂交子代的微卫星鉴定

利用引物 TTF6 和 TTF10 对团头鲂‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲂(♂)杂种 A 型和杂种 B 型进行了遗传分析(图 3)。结果显示: 鲂鮈杂种 A 型从其父母本中各获得 1 条带, 证实其为二倍体杂种; 而鲂鮈杂种 B 型的带型则与母本团头鲂‘浦江 1 号’完全一致, 应是雌核发育后代。

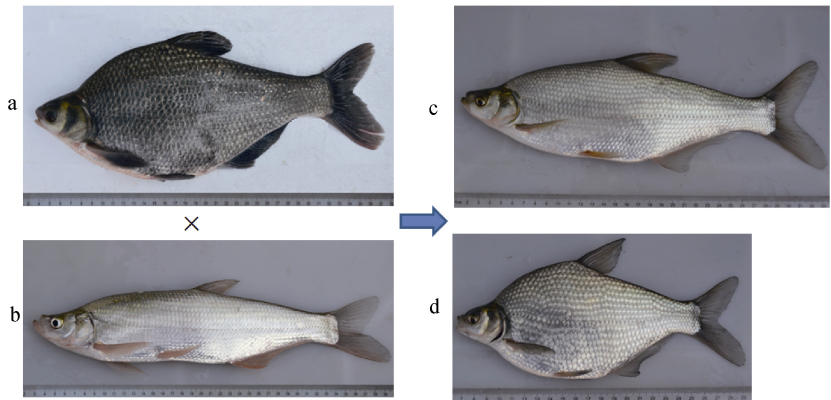


图 1 团头鲂‘浦江 1 号’(♀)和翘嘴鲂(♂)亲本及杂交子代的形态

a. 团头鲂‘浦江 1 号’; b. 翘嘴鲂; c. 鲂鮈杂种 A 型; d. 鲂鮈杂种 B 型。

Fig. 1 The morphometry of parents and offsprings of *Megalobrama amblycephala*(♀)and *Erythroculter ilishaeformis* (♂)
a. *M. amblycephala*; b. *E. ilishaeformis*; c. Hybrids A; d. Hybrids B.

表 2 团头鲂‘浦江 1 号’(♀)和翘嘴鲂(♂)及其杂交子代的 DNA 含量

Tab. 2 Relative DNA content of *Megalobrama amblycephala* (♀), *Erythroculter ilishaeformis* (♂) and their hybrids

				$\bar{x} \pm SE$
名称 name	倍性 ploidy	平均检测细胞数 cell number	DNA 相对含量 relative DNA content	
团头鲂‘浦江 1 号’ Pujiang No.1 <i>M. amblycephala</i>	2	7121	50.14±2.52	
翘嘴鲂 <i>E. ilishaeformis</i>	2	6836	45.82±2.14	
鲂鮈杂种 A 型 hybrids A	2	6157	47.85±2.31	
鲂鮈杂种 B 型 hybrids B	2	5900	50.35±2.54	
野鲫对照 <i>Carassius auratus</i> control	4	4454	76.66±2.96	

2.4 团头鲂‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲂(♂)杂交子代的生长性能

经 1 龄阶段的同塘土池培育, 鲂鮈杂种 A 型展现出良好的生长优势。其全长、体长和体重指标均显著高于母本团头鲂‘浦江 1 号’和父本翘嘴

鲂(表 3)。1 龄鲂鮈杂种 A 型的体重平均为 (341.7±51.5) g, 分别是对照团头鲂‘浦江 1 号’[均重(213.4±30.3) g]、翘嘴鲂[均重(101.0±15.1) g]的 1.6 倍和 3.4 倍, 鲂鮈杂种 A 型在 1 龄阶段具有显著($P<0.01$)的超亲生长优势。

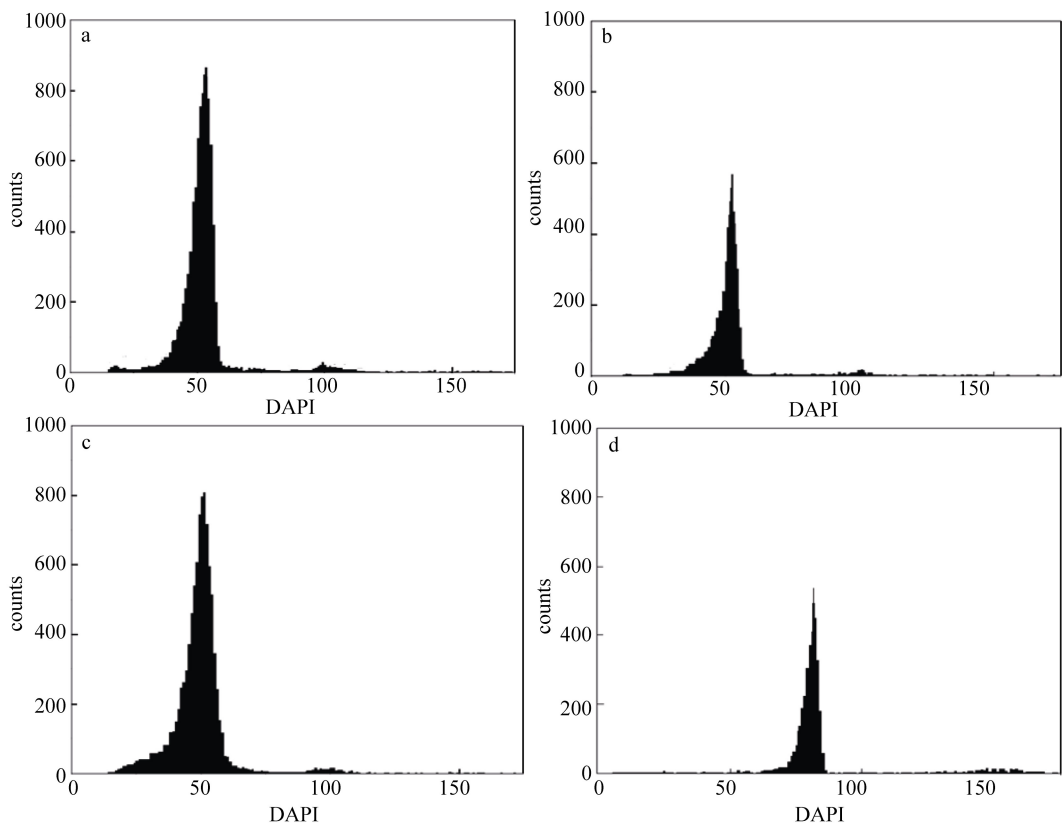


图 2 团头鲂‘浦江 1 号’(♀)和翘嘴鲌(♂)及其杂交子代的 DNA 含量分析
a. 团头鲂‘浦江 1 号’或鲂鲌杂种 B 型; b. 翘嘴鲌; c. 鲂鲌杂种 A 型; d. 野鲫对照.
Fig. 2 DNA relative content of *Megalobrama amblycephala*(♀), *Erythroculter ilishaeformis*(♂) and their hybrids
a. *M. amblycephala* or hybrids B; b. *E. ilishaeformis*; c. hybrids A; d. *Carassius auratus* control.

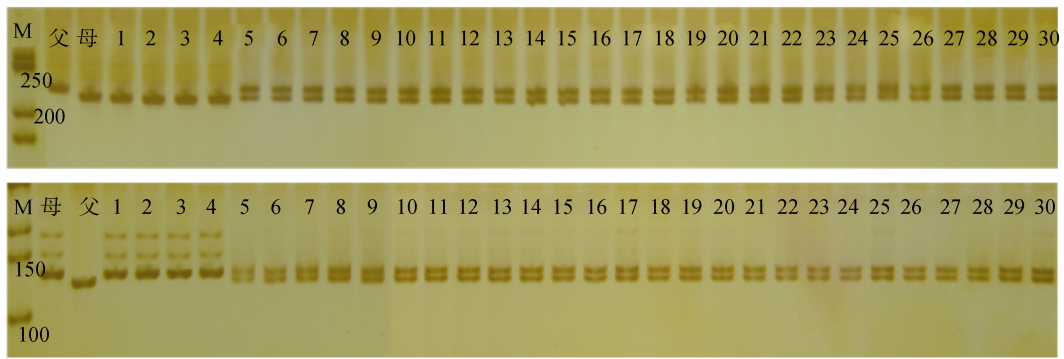


图 3 引物 TTF10(上图)和 TTF6(下图)在鲂鲌杂种 A 型和 B 型中的 PAGE 图谱
M: 50 bp DNA ladder; 1~4: 鲂鲌杂种 B 型; 5~30: 鲂鲌杂种 A 型.
Fig. 3 PAGE analyses by primer TTF10 (upper) and TTF6 (lower) among hybrids A and B by *Megalobrama amblycephala* (♀)×*Erythroculter ilishaeformis* (♂)
M: 50 bp DNA ladder; 1~4: hybrids B; 5~30: hybrids A.

3 讨论

3.1 鱼类远缘杂交进展状况

利用不同种或属间的亲本进行杂交,可培育

出整合双亲优良基因型的杂交后代^[1]。迄今为止,与翘嘴鲌相关的杂交组合主要包括种间和亚科间杂交,例如,翘嘴红鲌(♀)×海南红鲌(*E. pseudobrevicauda*, ♂)^[14], 翘嘴鲌(♀)×团头鲂(♂)^[5], 草鱼

表 3 团头鲂‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交子代的生长性能
Tab. 3 Growth rate of *Megalobrama amblycephala* (♀)×*Erythroculter ilishaefomis* (♂) hybrids

$\bar{x} \pm SE$

群体 group	样本数 number	全长/cm total length/cm	体长/cm length	体高/cm height/cm	体重/g weight	相对增重率 relative weight gain rate	
						团头鲂 <i>M.amblycephala</i>	翘嘴鲌 <i>E. ilishaefomis</i>
鲂鲌杂种 A 型 hybrids A	30	32.4±1.7	28.2±1.7	7.1±0.4	341.7±51.5	1.6	3.4
团头鲂 <i>M. amblycephala</i>	30	23.6±1.5	20.0±1.5	7.3±0.4	213.4±30.3	1.0	2.1
翘嘴鲌 <i>E. ilishaefomis</i>	30	26.1±1.6	22.9±1.6	4.2±0.2	101.0±15.1	0.5	1.0

(*Ctenopharyngodon idellus*, ♀)×翘嘴鲌(♂)^[1]。与团头鲂相关的杂交工作相对较多, 其中亚科间杂交有 8 个, 包括鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*, ♀)×团头鲂(♂)及其反交^[1]、团头鲂(♀)×黄尾密鲮(*Xenocypris daviodi*, ♂)^[15]、草鱼(*C. idellus*, ♀)×团头鲂(♂)^[1]、团头鲂(♀)×丁鲋(*Tinca tinca*, ♂)及其反交等^[16]; 属间杂交有 3 个, 为团头鲂(♀)×长春鳊(*Parabramis pekinensis*, ♂)^[2]、团头鲂(♀)×翘嘴红鲌(♂)等^[5, 17]; 种间杂交有 2 个, 包括广东鲂(*M. hoffmanni*, ♀)×团头鲂(♂)^[18]、三角鲂(*M. tarminalis*, ♀)×团头鲂(♂)及其反交^[19]。上述远缘杂交组合均能受精并获得鱼苗, 但杂交后代的成活率、倍性和可育性差别很大。如三角鲂(♀)×团头鲂(♂)^[1]、团头鲂(♀)×长春鳊(♂)^[1]等可得到可育的二倍体杂种; 草鱼(♀)×团头鲂(♂)的杂交组合发现有雌核发育鱼和三倍体鱼产生^[1]; 而团头鲂(♀)×丁鲋(♂)可以产生单倍体、二倍体、三倍体、雌核发育个体, 后代组成相对复杂^[16]。总而言之, 鱼类远缘杂交的子代组成相对复杂, 不易预测, 但这也正是鱼类远缘杂交的巨大潜力所在, 今后可以设计更多的远缘杂交实验来获得丰富的育种材料。

3.2 团头鲂‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交子代的遗传组成及倍性

本实验利用团头鲂‘浦江 1 号’(♀)与翘嘴鲌(♂)进行杂交, 成功获得了形态特征介于父母本之间的鲂鲌杂种 A 型和近似母本的鲂鲌杂种 B 型 2 个群体, 且受精率、孵化率分别达到 90.0%和 80.6%, 夏玉红^[20]的研究显示团头鲂自交的受精率、孵化率分别为 91.4%和 81.5%, 张永正等^[21]的研究显

示翘嘴红鲌自交的受精率、孵化率分别为 88.6%和 81.8%, 说明鲂鲌杂交的受精率、孵化率与团头鲂自交和翘嘴鲌自交无显著差异。因为团头鲂‘浦江 1 号’、翘嘴鲌的染色体数目均为 48 条^[22], 若其杂交种为二倍体, 则染色体数目应该也是 48 条, 相应的 DNA 含量也应与父母本相近。倍性测定结果表明鲂鲌杂种 A 型的 DNA 平均相对含量为 47.85, 是团头鲂‘浦江 1 号’的 0.95 倍, 是翘嘴鲌的 1.04 倍, 介于团头鲂‘浦江 1 号’和翘嘴鲌之间, 为二倍体。鲂鲌杂种 B 型与团头鲂‘浦江 1 号’的 DNA 含量接近, 也为二倍体。另外, 本实验共对 20 对团头鲂微卫星引物进行了筛选, 有 2 对引物 TTF6 和 TTF10 既可以在团头鲂基因组中扩增出条带, 又可以在翘嘴鲌的基因组中扩增出条带, 且条带清晰、单一, 因此可用于鲂鲌杂交子代的鉴定, 而其他引物的带型较乱, 无规律可循。2 对特异性引物的实验结果显示, 鲂鲌杂种 A 型从其父母本中各获得一条带, 而鲂鲌杂种 B 型的带型则与母本团头鲂‘浦江 1 号’完全一致, 即鲂鲌杂种 A 型从其父母本处各获得一套遗传物质, 为鲂鲌杂交二倍体, 而鲂鲌杂种 B 型仅具有母本的遗传物质, 为雌核发育产生。有学者曾在团头鲂(♀)×丁鲋(♂)^[16]和草鱼(♀)×团头鲂(♂)^[1]的杂交组合中也获得过雌核发育个体, 与本研究具有相似之处。表明通过鲂鲌属间杂交的形式就能进行团头鲂雌核发育群体的构建^[23-24], 有利于团头鲂遗传育种的种质纯化研究。由于鱼类远缘杂交子代的组成具有随机性和不可预见性, 我们希望通过控制远缘杂交实验过程中的某些条件, 使其更趋向于产生某种类型的个体, 比如提高杂交子代中

雌核发育个体或多倍体的比例等。当然要达到这样的效果, 必须要有大量的实验数据积累, 所以研究人员还有大量的工作要做。

3.3 团头鲂‘浦江 1 号’(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交子代的养殖潜力

在我国已经通过属间以上远缘杂交获得了许多杂交新品种^[25-26], 但是兼具生长优势和高成活率杂交种的例子并不多; 如鳊鲂杂种生长优势较双亲明显^[27], 且耐低氧和耐运输能力也比双亲有较大提高。鲂鲌杂种中间型(A 型)展现出良好的生长优势, 其全长、体长和体重指标均显著高于母本团头鲂‘浦江 1 号’和父本翘嘴鲌。尽管占 3.8% 的鲂鲌杂种 B 型在体型上无法与团头鲂区分, 所测量的 30 尾母本团头鲂中可能还包含 1~2 尾鲂鲌杂种 B 型个体, 但这对团头鲂‘浦江 1 号’的生长数据影响很小。因此, 鲂鲌杂种中间型具有培育出优良杂交新品种的潜力。此外, 体型稍长一点的团头鲂越来越受广大养殖户和消费者的喜爱, 因此可利用鲂鲌杂交种与团头鲂‘浦江 1 号’进行回交, 可能获得一个生长更快、长体型的鲂鲌回交新品种。鉴于鲂鲌杂交的良好亲和性及育种潜力, 本研究为今后鲂鲌杂交新品系的建立提供了理论依据。

参考文献:

- [1] Lou Y D, Li X Q. Distant hybridization of fish and its application in aquaculture in China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(1): 151-158.[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.]
- [2] Lin Y H. A comparative of the karyotypes in Chinese bream, Herbivorous bream and their hybrid[J]. Zoological Research, 1984, 5(3): 65-67.[林义浩. 长春鳊、团头鲂及其杂种染色体组型的比较[J]. 动物学研究, 1984, 5(3): 65-67.]
- [3] Jin W K, Yang J X, Gao Y P, et al. The rate of flesh content, nutrient composition and the amino acid content of *Megalobrama amblycephala* (♀) × *Erythroculter ilishaeformis* (♂) [J]. Freshwater Fisheries, 2006, 36(1): 50-52.[金万昆, 杨建新, 高永平, 等. 团头鲂(♀)×翘嘴红鲌(♂)杂种 F₁ 的含肉率、肌肉营养成分及氨基酸含量[J]. 淡水渔业, 2006, 36(1): 50-52.]
- [4] Ge R L. The Biological characteristics and genetic analysis of the F₁ hybrid of *Megalobrama amblycephala*(♀) × *Erythroculter ilishaeformis*(♂)[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2011.[葛瑞玲. 团头鲂(♀)×翘嘴红鲌(♂)杂交 F₁ 的生物学特征及遗传分析[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2011.]
- [5] Gu Z M, Jia Y Y, Ye J Y, et al. Studies on morphological characteristics and genetic analysis of the hybrid F₁, *Erythroculter ilishaeformis* ♂ × *Megalobrama amblycephala* ♀ [J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(4): 533-543.[顾志敏, 贾永义, 叶金云, 等. 翘嘴红鲌(♀)×团头鲂(♂)杂种 F₁ 的形态特征及遗传分析[J]. 水产学报, 2008, 32(4): 533-543.]
- [6] Li W J, Wang J W, Tan D Q, et al. Observation on postembryonic development of *Megalobrama pellegrini*[J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(6): 729-736.[李文静, 王剑伟, 谭德清, 等. 厚颌鲂胚后发育观察[J]. 水产学报, 2005, 29(6): 729-736.]
- [7] Yang H. Studies on the biological characteristics and artificial propagation of topmouth culter in Xingkai Lake[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009.[杨虹. 兴凯湖翘嘴鲌生物学特性及人工繁殖研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009.]
- [8] Wu Y Q, Chang R F, Cheng H H. The principle and method of ploidy analysis by flow cytometry[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2006, 21(4): 407-410.[吴雅琴, 常瑞丰, 程和禾. 流式细胞术进行倍性分析的原理和方法[J]. 云南农业大学学报, 2006, 21(4): 407-410.]
- [9] Ye Y Z, Zhou J F, Wang Z W, et al. Comparative studies on the DNA content from three strains of crucian carp (*Carassius auratus*) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2004, 28(1): 13-16.[叶玉珍, 周建峰, 王忠卫, 等. 三个鲫鱼品系 DNA 含量的比较研究[J]. 水生生物学报, 2004, 28(1): 13-16.]
- [10] Ye Y Z, Wu Q J. Relative and content measurement and ploidy analysis of artificial multiple triploid carp and its three parental forms[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1998, 22(2): 119-122.
- [11] Yu X M, Chen M R, Yang X Q, et al. Observation on erythrocytes and contents in artificially induced allotetraploid and interpollid triploid Japanese phytophagous crucian carp[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1998, 22(3): 291-294.
- [12] Fan Z T, Yin H B, Song S X. DNA content from thirteen species of cultured freshwater fishes in China[J]. Journal of Fisheries of China, 1995, 19(4): 322-327.
- [13] Tang S J, Li S F, Cai W Q. Development of microsatellite makers for blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* using 5'-anchored PCR[J]. Molecular Ecology Resources, 2009, 9(3): 971-974.

- [14] Zhu H P, Huang Z H, Lu M X. A comparative study on isozymes of *Erythroculter ilishaeformis* Bleeker and *Erythroculter recurviceps* Richardson[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2003, 18(3): 175–179.[朱华平, 黄樟翰, 卢迈新. 翘嘴红鲌和海南红鲌同工酶的比较研究[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(3): 175–179.]
- [15] Hu J, Liu S J, Xiao J, et al. Characteristics of diploid and triploid hybrids derived from female *Megalobrama amblycephala* Yih×male *Xenocypris davidi* Bleeker[J]. Aquaculture, 2012, 364–365: 157–164.
- [16] Zou S M, Li S F, Cai W Q, et al. Ploidy polymorphism and morphological variation among reciprocal hybrids by *Megalobrama amblycephala*×*Tinca tinca*[J]. Aquaculture, 2007, 270: 574–579.
- [17] Jia Y Y, Gu Z M, Ye J Y, et al. Analysis on genetic variations of *Erythroculter ilishaeformis* (♀)×*Megalobrama amblycephala* (♂) Hybrids F₁ by SRAP markers[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(1): 198–203.[贾永义, 顾志敏, 叶金云, 等. 翘嘴红鲌(♀)×团头鲂(♂)杂种 F₁ 的 SRAP 标记分析[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(1): 198–203.]
- [18] Ye X, Xie G, Xu S Y, et al. Comparison on isozymes of F₁ hybrid *Megalobrama hoffmanni*(♀)×*Megalobrama amblycephala*(♂) and its parents[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2001, 10(2): 118–122. [叶星, 谢刚, 许淑英, 等. 广东鲂(♀)×团头鲂(♂)杂交子一代及其双亲同工酶的比较[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(2): 118–122.]
- [19] Yang H Y, Li S F, Zou S M. A primary study on inheritance of morphological traits from *Megalobrama amblycephala*, *Megalobrama terminalis* to their reciprocal hybrids(F₁)[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2002, 11(4): 305–309.[杨怀宇, 李思发, 邹曙明. 三角鲂与团头鲂正反交 F₁ 的遗传性状[J]. 上海海洋大学学报, 2002, 11(4): 305–309.]
- [20] Xia Y H. A study on new technique of artificial breeding for *Megalobrama amblycephala* Yih[J]. Modern Fisheries Information, 2003, 18(8): 25–27.[夏玉红. 团头鲂(*Megalobrama amblycephala* Yih)人工繁殖新技术研究[J]. 现代渔业信息, 2003, 18(8): 25–27.]
- [21] Zhang Y Z. Study on artificial Propagation techniques of *Erythroculter ilishaeformis*(Bleeker)[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.[张永正. 翘嘴红鲌人工繁育技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.]
- [22] Tao M, Song Z Y, Xiao J, et al. Cytogenetic and molecular genetic analysis of gynogenesis in *Megalobrama amblycephala* using spermatozoa of *Erythroculter ilishaeformis*[J]. Zoological Research, 2013, 34(5): 479–486.[陶敏, 宋祯彦, 肖军, 等. 翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)精子诱导的雌核发育团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)细胞及其分子遗传学分析[J]. 动物学研究, 2013, 34(5): 479–486.]
- [23] Cheryl A, Goudie, Bill A, et al. Production of gynogenetic and polyploid catfish by pressure-induced chromosome set manipulation[J]. Aquaculture, 1995, 133: 185–198.
- [24] Zou S M, Li S F, Cai W Q, et al. Establishing gynogenetic groups of genetic improved *Megalobrama amblycephala* and its genetic analysis[J]. Journal of Fisheries of China, 2001, 25(4): 311–316.[邹曙明, 李思发, 蔡完其, 等. 团头鲂良种雌核发育群体的建立及其遗传变异[J]. 水产学报, 2001, 25(4): 311–316.]
- [25] Wu Q J, Gui J F. Fish Genetics and Breeding Engineering[M]. Shanghai: Shanghai scientific & Technical Publishers, 1999: 73–94.[吴清江, 桂建芳. 鱼类遗传育种工程[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 73–94.]
- [26] Li Y L, Chen C, Zhai J M, et al. Fish hybridization and its application in grouper[J]. Marine Fisheries, 2012, 34(1): 102–109. [李炎璐, 陈超, 翟介明, 等. 鱼类杂交育种技术及其在石斑鱼类中的应用[J]. 海洋渔业, 2012, 34(1): 102–109.]
- [27] Lou Y D. Fish Breeding[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001.[楼允东. 鱼类育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.]

Genetic characteristics and growth performance of different *Megalobrama amblycephala* (♀) × *Erythroculter ilishaeformis* (♂) hybrids

ZHENG Guodong, ZHANG Qianqian, LI Fugui, CHEN Jie, JIANG Xiayun, ZOU Shuming

Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: In the present study, two groups with different genetic backgrounds were obtained by intergeneric crossing *Megalobrama amblycephala* (♀) × *Erythroculter ilishaeformis* (♂). Our results show that fertilization rate (90.0%) and hatching rate (80.6%) in the intergeneric cross group were high. Hybrid A (96.2%) and hybrid B (3.8%) were obtained. The morphological characters of hybrid A were intermediate between those of the parents, and hybrid B had the same morphological characters as the *M. amblycephala* female parent. Relative DNA content of the hybrids was examined by flow cytometry. The results show that hybrids A and B were diploid and had the same DNA content as their parents. Two pairs of specific loci (*TTF6* and *TTF10*) were screened by simple sequence repeat analysis. The results indicate that hybrid A inherited genetic material from both parents, whereas hybrid B only inherited maternal genetic material, indicating gynogenetic progeny. Hybrid A grew faster than either *M. amblycephala* or *E. ilishaeformis*, suggesting a clear growth advantage in earthen ponds. Our results provide basic data on a novel hybrid strain between *Parabramis pekinensis* and *Erythroculter ilishaeformis*. In addition, production of gynogenetic progeny can be applied to establish a pure line of *M. amblycephala*.

Key words: ‘Pujing No. 1’ *Megalobrama amblycephala*; *Erythroculter ilishaeformis*; intergeneric crossing; gynogenesis; growth advantage

Corresponding author: ZOU Shuming. E-mail: smzou@shou.edu.cn