

中华沙鳅、宽体沙鳅及两者杂交种幼鱼生长和消化酶活性比较*

黄先全¹, 王永明¹, 罗霞¹, 董春燕¹, 覃川杰¹, 李斌¹, 谢碧文¹, 葛正良²

(1. 内江师范学院 生命科学学院 长江上游鱼类资源保护与利用四川省重点实验室, 四川 内江 641112;
2. 四川省资中县农林局, 四川 资中 641200)

摘要:【目的】考察中华沙鳅(*Botia superciliaris*)、宽体沙鳅(*Botia reevesae*)及两者杂交种幼鱼的生长特性。【方法】以各自1对亲鱼人工繁殖获得的60 d龄中华沙鳅、宽体沙鳅和两者的杂交种幼鱼(中华沙鳅为母本,宽体沙鳅为父本)为研究对象,经15 d人工饲料驯化后,进行为期210 d的生长实验。实验结束后对三者的生长、饲料消化率和消化酶活性进行比较。【结果】中华沙鳅和宽体沙鳅的绝对生长率接近,并均比杂交种的绝对生长率高,且与后者相比均具有统计学意义上的差异($p < 0.05$);中华沙鳅的相对生长率、特定生长率最高,与其他两种鱼的这两项指标相比均具有统计学意义上的差异($p < 0.05$);宽体沙鳅的丰满度最高,且3种鱼丰满度的差异均具有统计学意义($p < 0.05$)。中华沙鳅的饲料总消化率最高,宽体沙鳅的次之,杂交种的最低,且杂交种与中华沙鳅间的这一指标差异具有统计学意义($p < 0.05$);三者的蛋白质消化率间没有统计学意义上的差异。中华沙鳅的淀粉酶、脂肪酶、胃蛋白酶和胰蛋白酶活性均为最高,与宽体沙鳅和杂交种的对应指标间的差异均具有统计学意义($p < 0.05$);与宽体沙鳅的淀粉酶和胰蛋白酶活性相比,杂交种的两种酶活性更高,且与前者的差异均具有统计学意义($p < 0.05$)。【结论】中华沙鳅比宽体沙鳅更偏肉食性,三者对人工配合饲料的利用率中华沙鳅最高,宽体沙鳅次之,杂交种最低。

关键词: 中华沙鳅;宽体沙鳅;杂交种;幼鱼生长;消化酶

中图分类号:Q955

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2017)06-0030-06

中华沙鳅(*Botia superciliaris*)、宽体沙鳅(*Botia reevesae*)均为鲤形目(Cypriniformes)、鳅科(Cobitidae)、沙鳅亚科(Botiinae)、沙鳅属(*Botia*)物种。二者同域分布于长江上游干流和岷江、雅砻江、沱江等长江支流的下游^[1],是长江上游重要经济鱼类。近些年来,随着酷捕、水利工程建设、采砂作业等对两种沙鳅的繁殖环境和索饵场的不断破坏,它们的野生资源明显减少,市场价格也不断攀升。为进一步保护和开发利用中华沙鳅和宽体沙鳅资源,研究者们已对两种沙鳅的基础生物学、人工养殖和繁殖技术进行了大量的研究^[2-8]。细胞遗传学和系统进化的研究表明,两种沙鳅具有很近的亲缘关系^[4,8]。由于性成熟的中华沙鳅雄鱼精巢不发达、精液量少,王永明等人^[9]用中华沙鳅(母本)与宽体沙鳅(父本)进行杂交,获得了杂交后代。本研究对中华沙鳅、宽体沙鳅及两者杂交种幼鱼的生长和消化酶活性进行比较研究,旨在明晰杂交种幼鱼的生长特性,为人工养殖实践中有关新品种的选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验鱼中华沙鳅、宽体沙鳅及杂交种幼鱼分别为笔者所在实验室于2013年5月22日由各自的一对亲鱼人工繁殖的后代。亲鱼均采自沱江资中—银山江段。中华沙鳅雌、雄亲鱼体质量分别为32.75,15.16 g;体长分别为112,101 mm。宽体沙鳅雌、雄亲鱼体质量分别为33.13,20.32 g;体长分别为115,110 mm。杂交种雌、雄亲鱼的体质量分别为31.82,20.12 g;体长分别为110,108 mm。生长实验用中华沙鳅、宽体沙鳅及杂交种幼鱼各90尾,经笔者所在实验室研发的沙鳅属鱼类苗种饲料(饲料中蛋白质、脂肪的质量分数分别46%,6%)驯化后开始实验。实验鱼初始年龄为60 d,中华沙鳅、宽体沙鳅和杂交种幼鱼的初始体长分别为(28.33 ± 0.06),

* 收稿日期:2017-02-07 修回日期:2017-06-07 网络出版时间:2017-11-10 15:35

资助项目:四川省教育厅重大培育项目(No.09ZZ012);四川省省属高校科研创新团队项目(No.YTD201009);四川省科技支撑项目(No.2011NZ0075)

第一作者简介:黄先全,男,研究方向为水产养殖,E-mail:1101927606@qq.com;通信作者:谢碧文,教授,E-mail:xielbw6873@163.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20171110.1535.006.html>

(30.56±0.42), (30.30±0.10) mm; 体质量分别为(0.29±0.00), (0.43±0.01), (0.33±0.00) g。

实验所用的蛋白检测试剂盒(W042)、胃蛋白酶测定试剂盒(A080-1)、胰蛋白酶测定试剂盒(A080-2)、淀粉酶测定试剂盒(C016)和脂肪酶检测试剂盒(A054)均购自南京建成生物工程研究所。

1.2 实验设计和饲养管理

将3种幼鱼均各随机分为3组,每组30尾,于60 cm×40 cm×40 cm玻璃水族箱中用实验室研发沙鳅属鱼类苗种饲料驯化15 d后,进行为期210 d的生长实验。实验开始时,首先测量实验鱼初始体长和体质量。实验期间为减少残饵粘附在粪便上以及防止粪便中Cr₂O₃因粪便的分散而损耗,收集鱼类摄食3~4 h后新排出的、完整的、包膜成形的粪便,用清水洗去粪便上附着的残饵,105℃烘干备用。同时,记录鱼类死亡情况,并测量死亡鱼体质量。实验结束时,首先测量每尾实验鱼终末体长和体质量,再将实验鱼置于冰盘上解剖,取出内脏团。称量净体质量和内脏团质量,将内脏团用冰预冷的生理盐水洗去胃、肠内容物后,用滤纸吸干,称取内脏组织质量。因实验鱼较小,将同组的3尾实验鱼内脏组织合并为1个样品,于-20℃冰箱中冷冻保存待测。

实验期间实验鱼均在自然水温(11~30℃)、自然光周期、鱼缸循环水泵冲水供氧条件下养殖。每天8:00, 14:00和20:00各投饵1次,使鱼饱食。因14:00时投饵前需吸去残饵、粪便并换掉鱼缸中1/3体积的水,为保证收集粪便的质量,仅在每天的17:00—18:00收集实验鱼在14:00摄食后刚排出的完整、包膜成形的粪便,并用清水洗去附着残饵后105℃烘干备用。为便于粪便收集,在14:00投饵后至收集粪便前关闭鱼缸循环潜水泵。饵料为含有质量分数为1%的Cr₂O₃的前文所述饲料。每7天定时测定1次水体溶氧和氨氮,使溶氧的质量浓度控制在5 mg·L⁻¹以上,氨氮质量浓度控制在0.02 mg·L⁻¹以下。

1.3 测定指标和分析方法

1.3.1 生长指标和形态指标 绝对生长率、相对生长率、特定生长率和丰满度的测定参照文献[10]的方法;空壳率测定参照文献[11]的方法;内脏指数测定参照文献[12]的方法。

1.3.2 饲料消化率 饲料总消化率(V_{FD})和蛋白质消化率(V_{PD})计算公式^[13]如下:

$$V_{FD} = (1 - B/B') \times 100\%,$$

$$V_{PD} = (1 - AB/A'B') \times 100\%。$$

其中:A,A'分别为饲料和粪便中粗蛋白的质量分数;B,B'分别为饲料和粪便中Cr₂O₃的质量分数。饲料、粪便样品中粗蛋白的质量分数采用凯氏定氮法测定,Cr₂O₃的质量分数采用湿式灰化定量法测定。

1.3.3 消化酶活性 粗酶液的制备方法为:向各实验组内脏组织样本中加入生理盐水,在冰浴条件下用电动匀浆器将上述混合物充分匀浆,在4℃下以4 000 r·min⁻¹离心30 min,所得上清液即为粗酶液。组织蛋白的质量分数测定采用考马斯亮蓝法(南京建成,W042)。胃蛋白酶活性测定采用比色法(南京建成,A080-1)。胃蛋白酶活力定义为1 mg组织蛋白在37℃下1 min分解蛋白生成1 μg氨基酸为1个酶活力单位U。胰蛋白酶活性测定采用紫外比色法(南京建成,A080-2)。胰蛋白酶活力定义为在pH为8.0且37℃条件下,1 mg蛋白中的胰蛋白酶1 min使吸光度变化0.003即为1个酶活力单位U。脂肪酶活性测定采用比色法(南京建成,A054)。脂肪酶活力定义为在37℃条件下,1 mg组织蛋白在反应体系中与底物反应1 min,每消耗1 μmol底物为1个酶活力单位U。淀粉酶活性测定采用碘-淀粉比色法(南京建成,C016)。淀粉酶活力定义为组织中1 mg蛋白在37℃下与底物作用30 min,水解10 mg淀粉定义为1个淀粉酶活力单位U。各消化酶活性以单位质量的组织蛋白所拥有的消化酶活力单位数表示。

1.4 数据分析

实验所得数据采用“平均值±标准差”表示,用SPSS 19.0和Excel 2007软件进行统计分析。运用单因素方差分析和Duncan多重比较分析数据差异;当 $p < 0.05$ 时,统计结果视为具有统计学意义。

2 结果

2.1 3种实验鱼的生长情况

实验期间,中华沙鳅、宽体沙鳅和杂交种幼鱼的成活率分别为96.67%,97.78%,95.56%,三者的初始体质量及经210 d饲喂后的生长情况如表1所示。

三者的初始体质量和终末体质量均具有统计学意义上的差异($p < 0.05$)。宽体沙鳅的初始体质量最大,杂交种的次之,中华沙鳅的最小;宽体沙鳅的终末体质量最大,中华沙鳅的次之,杂交种的最小。中华沙鳅的绝对

生长率与宽体沙鳅的相比无统计学意义上的差异;中华沙鳅和宽体沙鳅的绝对生长率较杂交种的更高,与后者的差异具有统计学意义($p < 0.05$)。在特定生长率和相对生长率方面,中华沙鳅的两项指标值均为最大,与宽体沙鳅和杂交种的这两项指标值相比,均具有统计学意义上的差异($p < 0.05$)。宽体沙鳅的丰满度最大,杂交种的次之,中华沙鳅的最小;三者间差异均具有统计学意义($p < 0.05$)。三者的空壳率、内脏指数间的差异无统计学意义。

表 1 中华沙鳅、宽体沙鳅和两者杂交种幼鱼生长性能的比较

Tab. 1 The growth comparison of *B. superciliaris*, *B. reevesae*, and their hybrid juvenile fish

种名	初始 体质量/g	终末 体质量/g	绝对生长率/ (g · d ⁻¹)	相对生长率/ (% · d ⁻¹)	特定生长率/ (% · d ⁻¹)	丰满度/%	空壳率/%	内脏比/%
中华沙鳅	0.297 ± 0.004 ^a	1.266 ± 0.028 ^b	0.004 6 ± 0.000 6 ^b	326.32 ± 12.33 ^b	0.69 ± 0.01 ^b	1.27 ± 0.04 ^a	94.9 ± 0.92 ^a	5.09 ± 0.92 ^a
宽体沙鳅	0.433 ± 0.001 ^c	1.381 ± 0.012 ^c	0.004 5 ± 0.000 7 ^b	218.94 ± 14.78 ^a	0.55 ± 0.02 ^a	1.47 ± 0.03 ^c	94.2 ± 0.13 ^a	5.75 ± 0.13 ^a
杂交种	0.333 ± 0.002 ^b	1.151 ± 0.048 ^a	0.003 9 ± 0.000 9 ^a	245.64 ± 14.78 ^a	0.59 ± 0.02 ^a	1.34 ± 0.03 ^b	94.58 ± 0.53 ^a	5.41 ± 0.53 ^a

注:上标不同字母代表同列数据差异具有统计学意义($p < 0.05$),下同。

2.2.3 种实验鱼的饲料消化率

表 2 显示:中华沙鳅的饲料总消化率最高,宽体沙鳅的次之,杂交种的最低;杂交种与中华沙鳅的饲料总消化率具有统计学意义上的差异($p < 0.05$),与宽体沙鳅的饲料总消化率无统计学意义上的差异;三者间蛋白质消化率无统计学意义上的差异。

2.3.3 种实验鱼的消化酶活性

如表 3 所示,中华沙鳅幼鱼 4 种消化酶的活性均比宽体沙鳅和杂交种的更高,且与后两者的 4 种消化酶活性的差异均有统计学意义($p < 0.05$);杂交种幼鱼的淀粉酶和胰蛋白酶活性较宽体沙鳅的更高,与后者两种消化酶活性的差异均有统计学意义($p < 0.05$)。

表 2 中华沙鳅、宽体沙鳅和两者杂交种幼鱼饲料消化率的比较

Tab. 2 The feed digestibility comparison of *B. superciliaris*, *B. reevesae*, and their hybrid juvenile fish

种名	饲料总消化率/%	蛋白质消化率/%
中华沙鳅	57.97 ± 4.25 ^a	99.94 ± 0.01 ^a
宽体沙鳅	54.18 ± 4.29 ^{ab}	99.95 ± 0.01 ^a
杂交种	51.24 ± 5.96 ^b	99.94 ± 0.01 ^a

表 3 中华沙鳅、宽体沙鳅和两者杂交种幼鱼消化酶活性的比较

Tab. 3 The digestive enzyme activity comparison of *B. superciliaris*, *B. reevesae*, and their hybrid juvenile fish

种名	淀粉酶活性/(U · mg ⁻¹)	脂肪酶活性/(U · g ⁻¹)	胃蛋白酶活性/(U · mg ⁻¹)	胰蛋白酶活性/(U · mg ⁻¹)
中华沙鳅	0.81 ± 0.03 ^a	215.06 ± 37.84 ^a	16.18 ± 1.32 ^a	3 834.83 ± 175.86 ^a
宽体沙鳅	0.30 ± 0.01 ^b	179.27 ± 16.21 ^b	10.47 ± 0.67 ^b	2 458.76 ± 254.99 ^b
杂交种	0.58 ± 0.05 ^c	167.28 ± 23.07 ^b	11.48 ± 1.15 ^b	2 811.79 ± 163.44 ^c

3 讨论

鱼类的生长存在着由自身遗传型确定的生长式型和生长程序框架,而食物的品质和数量、温度、溶氧、光照、盐度等外源因子只能在这一框架内起作用;相对生长率和特定生长率因符合鱼类生长的复利式特点,常用于比较不同世代、不同种群或不同种鱼的生长率^[10]。对鱼类杂交后代及它们的亲本生长特性进行比较,可以发现:鲤(*Cyprinus carpio*)种内异源杂交的几乎所有杂交组合的杂种 F₁ 代的生长均表现出明显的超亲优势。这一优势的大小随亲本的亲缘远近和性状差异大小而异,一般品系间杂交的生长优势率在 10% 左右。就品种间杂交而言,单交种的生长优势率在 15%~30%,三杂交种的生长优势率在 30% 以上^[14]。在鱼类远缘杂交中,杂交子代与亲本的生长特性之间的差异则较复杂。如:瓯江彩鲤(*Cyprinus carpio* var. *color*)的生长速度快于日本锦鲤(*Cyprinus carpio* var. *koi*);两者的杂交子代中,以瓯江彩鲤为母本的正交子代生长速度高于以日本锦鲤为母本的反交子代,且正反交子代的特定生长率均低于双亲^[15]。尖齿胡鲶(*Clarias gariepinus*)的生长速度明显高于长丝异鳃鲶(*Heterobranchus longifilis*),二者正反交杂种 F₁ 代的特定生长率和代谢体质量相对生长率均介于两

亲本之间,且均与尖齿胡鲶的这两项指标没有统计学意义上差异^[16]。团头鲂(*Megalobrama amblycephala*) (♀)与翘嘴鲌(*Erythroculter ilishaeformis*) (♂)的二倍体杂交种的生长速度较亲本的更快,表现出明显的超亲生长优势^[17]。沈俊宝等人^[13]认为杂交种的生长出现超亲优势可能与杂交使决定生长的基因发生了重新组合、杂种内部发生了一系列生理代谢的变化有关。同时,远缘杂交中由于父母本胚胎发育速度不一致,杂种胚胎可能因细胞分裂中核质不同步发生染色体的丢失,从而影响子代与亲本间的遗传相似性和子代性状^[17-19]。如草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*) (♀)与鲤(♂)^[18]、奥利亚罗非鱼(*Oreochromis aureus*) (♀) × 鳊(*Siniperca chuatsi*) (♂)^[19-21]的远缘杂交,在受精和发育过程中父本遗传物质发生丢失,使杂交子代与母本的遗传相似性远高于与父本间的遗传相似性。本研究中,中华沙鳅幼鱼的相对生长率和特定生长率较宽体沙鳅幼鱼的更高,且差异具有统计学意义($p < 0.05$);杂交种幼鱼的绝对生长率较两个亲本更低,且差异具有统计学意义($p < 0.05$);同时杂交种幼鱼的相对生长率和特定生长率介于两个亲本之间,与母本的这两项指标差异具有统计学意义($p < 0.05$),而与父本的这两项指标差异没有统计学意义。这一结果不同于瓯江彩鲤和日本锦鲤正反交 F_1 的绝对生长率介于双亲之间且特定生长率低于双亲^[15],也不同于团头鲂和翘嘴鲌杂交种表现明显的超亲优势^[17];但与尖齿胡鲶和长丝异鳃鲶杂交种的特定生长率和相对生长率介于双亲之间^[16]的结果相似。然而,尖齿胡鲶和长丝异鳃鲶杂交种生长与生长速度较快的亲本相似,而中华沙鳅和宽体沙鳅杂交种的生长则与生长速度较慢的亲本相似,其中机制有待进一步研究。三者的丰满度差异具有统计学意义,表现为宽体沙鳅的最大,杂交种的次之,中华沙鳅的最小;这表明杂交种的体形介于两个亲本之间。

饲料消化率是指动物消化道吸收的能量或营养物质占摄入食物总量的百分比,它反映了鱼类对饲料营养物质的吸收状况,是评价饲料营养价值的重要指标,也是配制平衡、高效人工饲料的基础。鱼类对饲料原料的消化率不仅取决于原料的组成及原料的可消化利用情况,而且取决于鱼类本身对饲料原料的利用能力^[22]。中华沙鳅的饲料总消化率最高,宽体沙鳅的次之,杂交种的最低,且杂交种与中华沙鳅的饲料总消化率差异具有统计学意义($p < 0.05$)。三者间饲料总消化率的差异与它们绝对生长率的差异一致,表明中华沙鳅对人工配合饲料的利用率最高,宽体沙鳅次之,杂交种最低。三者的蛋白质消化率均大于90%,表明该人工配合饲料中蛋白质氨基酸组成和比例能满足三者的需要。此外,三者的饲料总消化率均低于60%,表明该人工配合饲料并非它们的高效饲料,具体配方尚有待改进。

关于水产动物消化酶与生长的关系已有许多报道。中国对虾(*Penaeus orientalis*)在高速生长期对蛋白质和脂肪摄入量很大,蛋白酶和脂肪酶活性也较高^[23];黄鳝(*Monopterus albus*)消化酶活性亦随不同生长阶段呈现出相应变化^[24]。尾崎久雄^[25]认为,酶活性随着生长变动是鱼在自然环境中对生长条件的适应,基本上受遗传的支配。本研究中,中华沙鳅幼鱼的各种消化酶活性较其他两种幼鱼的更高,且差异均具有统计学意义($p < 0.05$);杂交种除脂肪酶活性稍低于宽体沙鳅外,其他消化酶活性均介于两个亲本之间,且杂交种的淀粉酶和胰蛋白酶活性与宽体沙鳅的相比差异均具有统计学意义($p < 0.05$);三者消化酶活性的差异与三者相对生长率和特定生长率的差异一致。表明三者生长率的差异与受遗传支配的消化酶的分泌和活性有关,中华沙鳅对人工配合饲料中蛋白质、脂肪和淀粉的利用率均高于宽体沙鳅。

参考文献:

- [1] 丁瑞华.四川鱼类志[M].成都:四川科学技术出版社,1994:96-98.
DING R H. The fishes of Sichuan[M]. Chengdu: Sichuan Science & Technology Press, 1994:96-98.
- [2] 黄燕,岳兴建,王芳,等.沱江宽体沙鳅个体生殖力研究[J].四川动物,2011,30(6):916-920.
HUANG Y, YUE X J, WANG F, et al. Studies on the individual fecundity of *Botia reevesae* in the Tuojiang river, a tributary river of the Yangtze river[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2011, 30(6):916-920.
- [3] 岳兴建,王芳,谢碧文,等.沱江流域宽体沙鳅的胚胎发育[J].四川动物,2011,30(3):390-397.
YUE X J, WANG F, XIE B W, et al. Embryonic development of *Botia reevesae* in Tuojiang river[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2011, 30(3):390-397.
- [4] 岳兴建,邹远超,刘佳佳,等.中华沙鳅染色体核型[J].四川动物,2013,32(3):385-388.
YUE X J, ZOU Y C, LIU J J, et al. Chromosome karyo type of *Botia superciliaris* [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2013, 32(3):385-388.
- [5] 王永明,谢碧文,王芳,等.沱江宽体华鳅繁殖特性[J].动物学杂志,2014,49(5):699-705.

- WANG Y M, XIE B W, WANG F, et al. Reproductive characteristics of *Botia reevesae* in the Tuojiang river[J]. Chinese Journal of Zoology, 2014, 49(5): 699-705.
- [6] 王永明, 谢碧文, 邹远超, 等. 沱江宽体沙鳅的年龄与生长[J]. 动物学杂志, 2015, 50(2): 221-230.
- WANG Y M, XIE B W, ZOU Y C, et al. Age and growth of *Botia reevesae* in the Tuojiang river[J]. Chinese Journal of Zoology, 2015, 50(2): 221-230
- [7] 覃川杰, 顾顺樟, 赵大显, 等. 宽体沙鳅(*Botia reevesae*)热休克蛋白 70 基因的克隆及表达分析[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(6): 1684-1691.
- QIN C J, GU S Z, ZHAO D X, et al. The cloning and expression of heat shock protein 70 cDNA in *Botia reevesae* [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2013, 44(6): 1684-1691.
- [8] 黄燕. 长江上游特有鱼类 DNA 条形码研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- HANG Y. The upper Yangtze river fish DNA barcode unique research[D]. Chongqing: Southwest University, 2014.
- [9] 王永明, 岳兴建, 谢碧文, 等. 中华沙鳅(♀)与宽体沙鳅(♂)杂交种的胚胎发育[J]. 四川动物, 2014, 33(1): 90-94.
- WANG Y M, YUE X J, XIE B W, et al. Embryonic development of hybrid of *Botia supercilialis* (♀) and *Botia reevesae* (♂)[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2014, 33(1): 90-94.
- [10] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 38-54.
- YIN M C. Fish ecology[M]. Beijing: Agricultural Press, 1993: 38-54.
- [11] 蔡慧芬, 代应贵, 肖海. 光唇裂腹鱼空壳率、含肉率及肌肉矿质元素的测定[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(10): 2503-2506.
- CAI H F, DAI Y G, XIAO H. Dressed carcass ratio muscle ratio and mineral elements in muscle of *Schizothorax lissolebiatus* [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2010, 49(10): 2503-2506.
- [12] 王朝瑾, 赖雪萍, 康梅花, 等. 混合益生菌对鲫鱼生长和肌肉营养成分的影响[J]. 氨基酸和生物资源, 2011, 33(3): 52-55.
- WANG C J, LAI X P, KANG M H, et al. Effect of probiotics on the growth and muscle composition of *Carassius auratus* [J]. Amino Acids & Biotic Resources, 2011, 33(3): 52-55.
- [13] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州: 中山大学出版社, 2011: 67.
- LIN H R. Fish physiology[M]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press, 2011: 67.
- [14] 沈俊宝, 刘明华, 王强, 等. 鲤鱼种间、种内杂交中杂种优势的强度表现的某些规律的初步研究[J]. 水产学杂志, 1993, 6(1): 1-8.
- SHEN B J, LIU M H, WANG Q, et al. The initial studies on some heterosis rules of interspecific and intraspecific crossing of common carp[J]. Chinese Journal of Fisheries, 1993, 6(1): 1-8.
- [15] 刘志国等. 瓯江彩鲤与日本锦鲤及其正反杂交 F₁ 形态特征和生长初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(4): 289-292.
- LIU Z G et al. A primary study on morphology and growth among Oujiang color common carp, Koi carp and their reciprocal hybrids(F₁) [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2003, 12(4): 289-292.
- [16] 刘敏. 摄食量对非洲胡子鲶及其杂交种生长的影响[J]. 台湾海峡, 1998, 17(增刊): 141-145.
- LIU M. Effect of feed intake on growth of African catfish and their reciprocal hybrids[J]. Journal of Oceanography In Tai Wan Strait, 1998, 17(Suppl): 141-145.
- [17] 郑国栋, 张倩倩, 李福贵, 等. 团头鲂(♀) × 翘嘴鲃(♂) 杂交后代的遗传特征及生长差异[J]. 中国水产科学, 2015, 22(3): 402-409.
- ZHENG G D, ZHANG Q Q, LI F G, et al. Genetic characteristics and growth performance of different *Megalobrama amblycephala* (♀) × *Erythroculter ilishaeformis* (♂) hybrids [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(3): 402-409.
- [18] 叶玉珍, 吴清江, 陈荣德. 草鱼和鲤杂交的细胞学研究—鱼类远缘杂交核质不同步现象[J]. 水生生物学报, 1989, 13(3): 234-239.
- YE Y Z, WU Q J, CHEN R D. Studies on cytology of crosses between grass carp and carp—asynchronization between nucleus and cytoplasm in distant hybridization of fishes [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1989, 13(3): 234-239.
- [19] 唐永凯, 杨弘, 吴婷婷, 等. 奥利亚罗非鱼与鳊杂交的受精细胞学及胚胎发育研究[J]. 水生生物学报, 2006, 30(5): 559-562.
- TANG Y K, YONG H, WU T T, et al. Study on fertilization cytology and embryonic development in hybridization between *Oreochromis aureus* (♀) and *Siniperca chuatsi* (♂) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(5): 559-562.
- [20] 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.
- WANG J L, YANG H, WU T T, et al. Genetic constitutions of distant hybridization offsprings between *Oreochromis aureus* (♀) × *Siniperca chuatsi* (♂) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(1): 32-38.
- [21] 俞菊华, 夏德全, 杨弘, 等. 奥利亚罗非鱼(♀) × 鳊(♂) 杂交后代的形态[J]. 水产学报, 2003, 27(5): 431-435.

- YU J H, XIA D Q, YANG H, et al. Morphology of the progenies of *Oreochromis aureus* (♀) × *Siniperca chuatsi* (♂)[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(5): 431-435.
- [22] 李会涛, 麦康森, 艾庆辉, 等. 大黄鱼对几种饲料蛋白原料消化率的研究[J]. 水生生物学报, 2007, 31(3): 370-376.
- LI H T, MAI K S, AI Q H, et al. Apparent digestibility of selected protein ingredients for larger yellow croaker *Pseudosciaena crocea*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2007, 31(3): 370-376.
- [23] 孙建明, 刘亚杰, 周遵春. 不同生长时期中国对虾蛋白酶、脂肪酶活性变化的研究[J]. 水产科学, 1995, 14(2): 11-13.
- SUN J M, LIU Y J, ZHOU Z C. Studies on the changes of protease and Lipase activity of *Penaeus orientalis* in the different growth phase[J]. Journal of Fishery Sciences, 1995, 14(2): 11-13.
- [24] 戴贤君, 舒妙安. 黄鳝不同生长阶段消化器官及其消化酶的变化[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2002, 20(2): 113-116.
- DAI X J, SHU M A. Changes of digestive organ and enzyme activity of mud eel (*Monopterus albus*) in the different stages of body weight[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2002, 20(2): 113-116.
- [25] 尾崎久雄. 鱼类消化生理(下册)[M]. 吴尚忠译. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 572-574.
- Ozaki K. Fish digestive physiology (Volume 2)[M]. Wu S Z, trans. Shanghai: Shanghai Science & Technology Press, 1985: 572-574.

Animal Sciences

A Comparison on Juvenile Growth and Digestive Enzyme Activity of *Botia superciliaris*, *Botia reevesae*, and Their Hybrid

HUANG Xianquan¹, WANG Yongming¹, LUO Xia¹, DONG Chunyan¹, QIN Chuanjie¹,
LI Bin¹, XIE Biwen¹, GE Zhengliang²

(1. School of Life Sciences, Conservation and Utilization of Fishes Resources in the Upper Reaches of the Yangtze River Key Laboratory of Sichuan Province, Neijiang Normal University, Neijiang Sichuan 641112;

2. Bureau of agriculture and Forestry of Zizhong County Sichuan province, Zizhong Sichuan 641200, China)

Abstract: [Purposes] It aims to find out the juvenile growth feature of *Botia superciliaris*, *Botia reevesae* and their hybrid. [Methods] The artificial reproduction 60-day-old juveniles from each one couple parent fish were firstly cultured for artificial diet for 15 days and then reared for 210 days growth test, and finally used for the growth, feed digestibility and digestive enzyme activity comparatively studies. [Findings] The absolute growth rates of *B. superciliaris* is as same as *B. reevesae*, and both are significantly higher than the hybrid. The relative growth rate and specific growth rate of *B. superciliaris* is significantly higher than *B. reevesae*, the hybrid is between *B. superciliaris* and *B. reevesae*, and has significant difference from *B. superciliaris* but no difference from *B. reevesae*. As to fullness, *B. reevesae* is significantly higher than the hybrid, and the *B. superciliaris* is the lowest. As to the total feed digestibility, *B. superciliaris* is the highest, *B. reevesae* is the second, and the hybrid is the lowest, the hybrid has significant difference from *B. superciliaris* and has no difference from *B. reevesae*. As to protein digestibility, there is no significant difference from each other. As the same as growth, the activities of amylase, lipase, pepsase and trypase in *B. superciliaris* are significantly higher than that in *B. reevesae*; the digestive enzyme activities in the hybrid are between *B. superciliaris* and *B. reevesae*, and significantly lower than female parent (*B. superciliaris*), and its amylase and trypase activities have significant difference from male parent (*B. reevesae*), while lipase, pepsase activities have no significant difference from male parent (*B. reevesae*). [Conclusions] The results imply that *B. superciliaris* has more characteristic of carnivores than *B. reevesae*, and as to the utilization ratio of artificial compound feed, *B. superciliaris* is the highest, *B. reevesae* is the second, and the hybrid is the lowest.

Keywords: *Botia superciliaris*; *Botia reevesae*; hybrid; juvenile growth; digestive enzyme

(责任编辑 方 兴)