

同源与异源淇河鲫消化酶活性和肝胰脏营养成分的比较分析

石西¹, 陈思宇¹, 刘相伟¹, 陈锋青¹, 马晓¹, 吴利敏¹, 田雪¹, 李学军^{1,2}

(1.河南师范大学 水产学院,河南 新乡 453007;2.河南省丹江口水库水域生态系统野外科学观测研究站,河南 南阳 474450)

摘要:淇河鲫具有雌核发育和有性生殖两种繁育方式,然而对这两种繁育方式所产生后代的差异却知之甚少.以同源鱼(淇河鲫)和异源鱼(黄河鲤)精子刺激淇河鲫卵子产生的后代为研究对象,比较两类淇河鲫消化酶活性及肝胰脏营养成分的差异.结果显示,同源鲫中肠和肝胰脏的淀粉酶活性显著高于异源鲫,而后肠的淀粉酶活性却显著低于异源鲫;同源鲫前、中、后肠的胰蛋白酶活性均显著低于异源鲫;异源鲫前肠和中肠的脂肪酶活性显著高于同源鲫,而后肠和肝胰脏的脂肪酶活性却显著低于同源鲫.同源鲫和异源鲫中肠的淀粉酶和前肠的胰蛋白酶活性均显著高于其他组织;而同源鲫和异源鲫脂肪酶活性最高的组织分别是肝胰脏和前肠.同源鲫肝胰脏的灰分含量显著大于异源鲫,而水分、粗蛋白、粗脂肪、碳水化合物含量及总能量值与异源鲫无显著性差异.综上,异源鲫的胰蛋白酶活性强于同源鲫,而淀粉酶活性和脂肪酶活性在同源鲫和异源鲫中表现出组织差异性.

关键词:淇河鲫;同源;异源;营养成分;消化酶

中图分类号:S917.4

文献标志码:A

文章编号:1000-2367(2026)03-0130-06

鲫(*Carassius auratus*)作为一种肉质优良、抗病力强、营养丰富的重要淡水经济鱼类,在我国广泛养殖.据统计,已成为我国第四大淡水养殖鱼类,不同地域分布的鲫在形态上已经出现了明显差异,形成了一些独特的地方品系^[1].淇河鲫产于河南淇河,其脊背较厚,俗称“双背鲫”,是鲫在漫长的进化过程中形成的地方变异种群,具有生长快、抗逆性强、经济价值高等优势,是河南省特有的名贵优质鱼类,在河南省养殖面积较广.在自然环境下,淇河鲫具有雌核发育和有性生殖两种繁育模式^[2-3].早期的报道发现异育银鲫(*C. auratus gibelio*)存在“异精效应”,异源精子不仅能促进雌核发育,而且对子代的生长、性别比例、体色等也有一定的影响^[4-5].值得注意的是,虽然同源精子刺激与异源精子刺激所育的后代存在差异,但是关于“异精效应”假说尚缺乏系统深入的研究^[2].在实际生产过程中,同源鲫和异源鲫被广泛养殖.通过比较4种精子刺激下的淇河鲫后代生长性状的差异,发现异源鲫比同源鲫生长性能好,该试验证实了“异精效应”假说^[2];王磊等^[6]通过比较不同淇河鲫家系的生长性能和变异信息,发现各家系的养殖成活率、生长速度和体型与同源或异源精子的刺激无明显关联,但变异系数在同源和异源家系之间差别较大.除此之外,关于同源与异源淇河鲫的差异还知之甚少.

鱼类的肝脏和胰脏是主要的代谢器官和消化腺,参与糖类、脂肪、蛋白质和核苷酸的消化和吸收^[3].肠道是鱼类重要的消化道,在营养物质的消化吸收方面起着至关重要的作用^[3].消化酶的数量和活性影响各类营

收稿日期:2023-09-17;修回日期:2023-12-17.

基金项目:国家自然科学基金(31902371);河南省科技攻关项目(232102110001);河南省现代农业产业技术体系建设专项基金(HARS-22-16-G1);河南师范大学博士科研启动基金(20210264).

作者简介:石西(1990—),男,山东泰安人,河南师范大学副教授,博士,研究方向为水产动物遗传育种,E-mail:shixi@htu.edu.cn.

通信作者:李学军,教授,E-mail:xjli@htu.cn.

引用本文:石西,陈思宇,刘相伟,等.同源与异源淇河鲫消化酶活性和肝胰脏营养成分的比较分析[J].河南师范大学学报(自然科学版),2026,54(3):130-135.(Shi Xi, Chen Siyu, Liu Xiangwei, et al. Comparative analysis of digestive enzyme activities and hepatopancreas nutrient compositions between homologous and heterologous Qihe crucian carp(*Carassius auratus*) [J]. Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition), 2026, 54 (3): 130-135. DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2023.09.17.0001.)

养物质的消化与吸收,对鱼类的生长和健康息息相关,因此,消化器官不同部位的消化酶活性决定了鱼类对营养物质的利用能力^[7]。本团队前期研究发现,同源淇河鲫的生长性能和饲料利用效率均优于异源淇河鲫^[3],该生长差异是否是由于同源鲫和异源鲫不同的饲料消化能力引起的,即是否是由于消化器官和消化道内消化酶活性的差异引起的,尚不清楚。因此,本研究分析了同源和异源淇河鲫肝胰脏和肠道内消化酶活性及肝胰脏营养组成的差异,以期揭示同源、异源淇河鲫的消化生理差异提供理论依据,同时为淇河鲫最适繁育模式的选择和后续健康养殖模式的构建提供参考信息。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的构建

实验所用的淇河鲫和黄河鲤均为河南师范大学水产基地保存的后备亲鱼。卵子取自性腺发育良好的2龄淇河鲫雌鱼15尾;同源精子取自性腺发育良好的2龄淇河鲫雄鱼6尾;异源精子取自健康且体型较大的1龄黄河鲤雄鱼6尾。通过在候选亲鱼胸鳍基部注射催产剂进行人工催产,催产剂的用量为雌性个体每千克鱼体注射促黄体素释放激素 A2 2 mg 和多潘立酮(DOM) 5 μ g,雄性个体用量减半。将15尾母本的卵子混合后,平均分为2份,一份用于构建同源淇河鲫家系(淇河鲫雄鱼混合精子刺激),另一份用于构建异源淇河鲫家系(黄河鲤雄鱼混合精子刺激),采用干法受精,具体操作步骤参照文献^[2]的描述。

1.2 养殖管理,样品采集

将上述两种类型的淇河鲫受精卵分别在不同孵化桶中进行流水孵化,孵化温度为23℃。待破膜3d后,利用蛋黄液进行开口投喂。第4天,将鱼苗转移至水泥池中进行单独培养,水泥池的大小为2.5 m \times 3.0 m \times 1.5 m。随着鱼苗的生长,分别采用轮虫、丰年虫、人工粉状饲料、人工浮性颗粒饲料进行投喂。

鱼苗饲养2月后,体长达3~4 cm左右。随后将两类淇河鲫鱼苗各300尾转移至圆形养殖桶(500 L)中进行两周的饲料和环境驯养。在驯养期间,采用人工商品饲料(粗蛋白与粗脂肪质量分数分别为36.0%、4.0%,河南通威饲料有限公司)每日饱食投喂2次。然后,分别选取规格一致、健康活泼的同源淇河鲫(初始体质量 (5.16 ± 0.02) g,初始体长 (5.76 ± 0.27) cm)和异源淇河鲫(初始体质量 (5.18 ± 0.01) g,初始体长 (5.48 ± 0.34) cm)各90尾,每组随机放入3个养殖桶(250 L)中,每桶30尾,养殖实验在河南师范大学水产养殖基地温棚内进行。每天在09:00和16:00各饱食投喂1次,每次投喂前,清除残饵和粪便,以保持良好的水质条件。实验期间,所用水源为曝气自来水,每天换水2/3,并使用充气泵连续充氧以保持水体溶氧量在6 mg/L以上。水温维持在23~25℃,pH值控制在7.1~7.5。养殖实验持续90 d。

养殖结束后,从每个养殖桶中随机选择5尾幼鱼,共计30尾(同源组和异源组各15尾)用于样品采集。首先,使用MS-222对采样的幼鱼进行麻醉,用抹布擦干体表的水分,放置在冰盘上。解剖后小心取出肝胰脏和肠道2种组织,刮去肠系膜脂肪,使用预冷的0.9%质量分数生理盐水进行清洗,用滤纸吸干表面的水分。然后,将肝胰脏、前肠、中肠和后肠,分别放入不同的冻存管中,置于-80℃冰箱中保存备用。

1.3 消化酶活性和肝胰脏营养成分测定

同源组和异源组各3个平行,每个平行随机取3尾鱼的肠道和肝胰脏用于消化酶活性测定。将冷冻样品于冰盒上解冻并准确称量待测组织,并转移到预冷的1.5 mL离心管中,按体质量(g):体积(mL)=1:9的比例加入9倍体积的预冷生理盐水进行机械匀浆,在低温(4℃)下以2 500 r/min的速度离心10 min,取上清液用于测量总蛋白含量和消化酶活性。采用南京建成生物工程研究所生产的淀粉酶试剂盒(C016-1-1)、胰蛋白酶试剂盒(A080-2-2)和脂肪酶试剂盒(A054-1-1)测定消化酶活性。

同源组和异源组各3个平行,消化酶活性测定完之后,每个平行剩余的肝胰脏组织混合后平均分为3份,用于营养成分的测定。采用冷冻干燥法测定水分含量;采用凯氏定氮法(GB/T 6432-2018)测定粗蛋白含量;采用索氏抽提法(GB/T 5512-2008)测定粗脂肪含量;采用马福炉灼烧法(温度为 (550 ± 25) ℃;GB 5009.4-2016)测定灰分含量。碳水化合物和总能量值的统计方法参照国标(GB 28050-2011)等方法。

1.4 数据分析

使用SPSS 26.0软件对数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和Duncan多重比较。利用独立样

本 t 检验对同源鲫和异源鲫之间的差异进行比较分析.所有结果均以平均值±标准差表示, $P<0.05$ 表示显著差异, $P<0.01$ 表示为极显著差异.

2 实验结果

2.1 淀粉酶活性比较

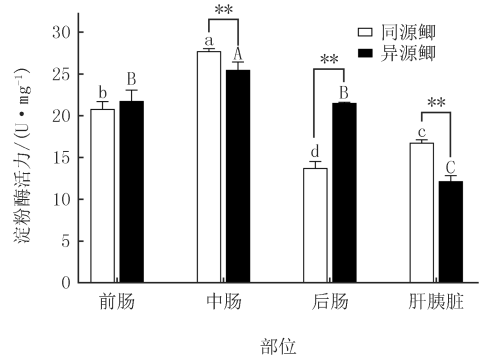
同源鲫中肠和肝胰脏的淀粉酶活性显著高于异源鲫,而后肠的淀粉酶活性显著低于异源鲫($P<0.01$)(图 1).在同源鲫中,各个组织间的淀粉酶活性存在显著性差异($P<0.05$),以中肠中最高,后肠中最低;在异源鲫中,中肠的淀粉酶活性最高,肝胰脏中最低,而前肠和后肠中的淀粉酶活性无显著性差异($P>0.05$).

2.2 胰蛋白酶活性比较

同源鲫前、中、后肠的胰蛋白酶活性均显著低于异源鲫($P<0.01$),而肝胰脏中,同源鲫和异源鲫的胰蛋白酶活性没有显著性差异($P>0.05$)(图 2).在同源鲫和异源鲫中,不同组织间的胰蛋白酶活性均存在显著性差异($P<0.05$),且均为前肠中最高,肝胰脏中最低.

2.3 脂肪酶活性比较

异源鲫前肠和中肠的脂肪酶活性显著高于同源鲫,而后肠和肝胰脏的脂肪酶活性却显著低于同源鲫($P<0.01$)(图 3).在同源鲫和异源鲫中,不同组织间的脂肪酶活性均存在显著性差异($P<0.05$);其中,同源鲫中脂肪酶活性最高和最低的组织分别是肝胰脏和前肠,而异源鲫中脂肪酶活性最高和最低的组织分别是前肠和后肠.



注:不同小、大写字母分别表示同源鲫与异源鲫各自不同组织之间的显著性差异($P<0.05$);**表示同源鲫与异源鲫同种组织之间的显著性差异($P<0.01$),图2、3同.

图1 同源鲫与异源鲫肠道和肝胰脏的淀粉酶活性

Fig.1 The amylase activity in gut and hepatopancreas of homologous and heterologous Qihe crucian carp

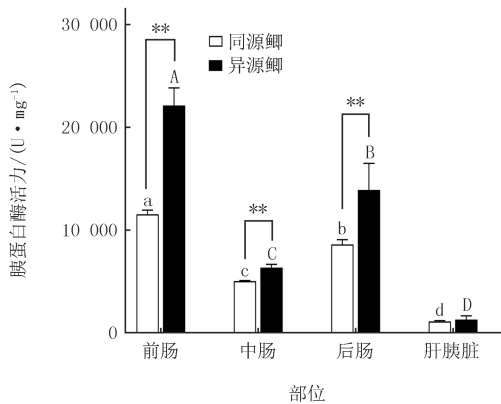


图2 同源鲫与异源鲫肠道和肝胰脏的胰蛋白酶活性

Fig.2 The trypsin activity in gut and hepatopancreas of homologous and heterologous Qihe crucian carp

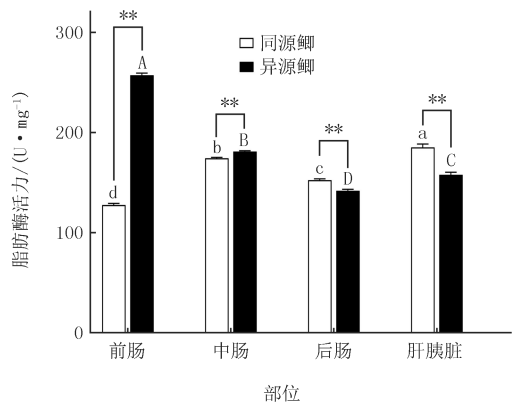


图3 同源鲫与异源鲫肠道和肝胰脏的脂肪酶活性

Fig.3 The lipase activity in gut and hepatopancreas of homologous and heterologous Qihe crucian carp

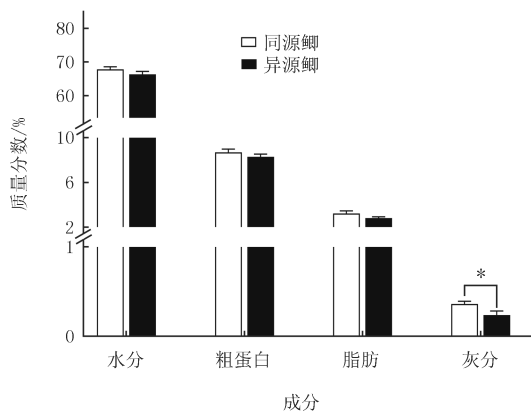
2.4 肝胰脏营养成分比较

同源鲫肝胰脏的灰分质量分数显著大于异源鲫($P<0.05$),而水分、粗蛋白、粗脂肪质量分数与异源鲫无显著性差异($P>0.05$)(图 4).两组鲫肝胰脏的碳水化合物含量和总能量值无显著性差异($P>0.05$)(图 5).

3 讨论

在高等脊椎动物中,主要的繁殖方式为雌雄两性生殖^[8].而在相对较为低等的鱼类中,存在多种繁殖方

式,包括同源两性生殖和异源雌核发育^[8-9].鲫可以在其他亲缘关系较近物种精子的刺激下进行雌核发育产生雌性后代^[4],也可以在相同物种雄鱼精子的刺激下产生二倍体的雌性或雄性后代^[8].而对于两种繁殖方式所产生后代的生长及遗传差异,学术界仍存在较大争议.争议的焦点主要集中在受精过程中,异源精子是否与卵子发生了基因重组,而发生重组的遗传物质是否会对后代的生长、发育、生理及遗传产生影响.为解决此问题,国内外学者进行了大量研究,却得出了不同的结论.蒋一珪等^[4]对异源精子刺激所产生银鲫后代的生长、性比、体色、遗传物质等进行了研究,发现同源和异源后代的显著差异,从而最先提出了“异精生物学效应”假说.其后,多项研究的结果均支持此假说^[2,5,10].有研究发现异育银鲫中额外的一条45S rDNA染色体来自于鲤鱼的父源单倍体基因组,这为鲫鱼和鲤鱼之间的遗传杂交提供了直接证据^[11].同样,在异源彭泽鲫的染色体中,通过核型分析,检测到一个单倍体来自于父源染色体组^[11].而在鲤雌核发育中,人工诱导雌核发育后代中出现体色和性别的差异,作者认为可能与诱导方法和诱导材料有关^[12].此外,也有研究并不支持“异精生物学效应”的假说,方正银鲫雄性的精子只起到刺激卵子发育的作用,并不提供任何遗传物质^[13].滕春波等^[14]利用RAPD技术分析银鲫子代和亲本的遗传物质,发现子代的遗传物质与母本完全相同,不受父本遗传物质的影响.此外,杨太有等^[15]对淇河鲫亲本和子代的过氧化酶和 α -淀粉酶同工酶的比较研究表明,异源精子对淇河鲫的卵子只起刺激作用,“异精生物学效应”不存在.在大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)的研究中,也发现同源鱼部分后代中有父本遗传物质的掺入,而异源鱼中则没有^[16].



*表示同源鲫与异源鲫之间的显著性差异($P < 0.05$).

图4 同源鲫与异源鲫肝脏营养成分

Fig. 4 The hepatopancreas nutrient composition of homologous and heterologous Qihe crucian carp

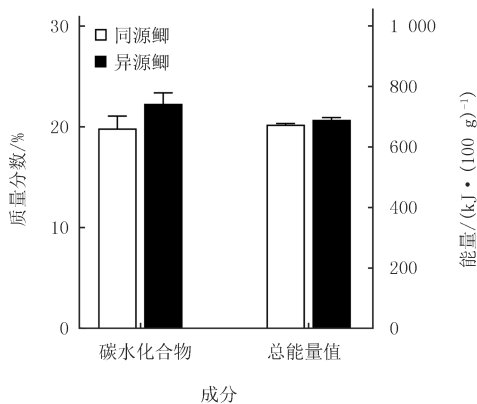


图5 同源鲫与异源鲫肝脏的碳水化合物质量分数和总能量值

Fig. 5 The carbohydrate content and total energy values of homologous and heterologous Qihe crucian carp

本团队前期研究发现,同源、异源淇河鲫在生长性能和饲料利用效率上存在显著差异^[3],但是目前还没有同源和异源鱼类消化生理差异的报道.消化酶活性反映了鱼类对营养物质的利用能力,其活性的大小与动物的生长性能紧密相关^[15].研究发现杂食性鱼类肠道中的酶具有多样性,存在胰蛋白酶、凝乳胰蛋白酶、氨基肽酶、淀粉酶和脂肪酶等多种消化酶^[17].本实验中,两类淇河鲫所用饲料种类、生长环境及管理方法基本相同,只是存在受精方式的区别,所以,消化酶活性的差异可能与遗传因素有关.

鱼类在饲料利用效率上的差异除了与消化酶活性有关以外,肠道微生物也起到了很重要的作用.健康鱼类的肠道微生物可分泌多种消化酶如蛋白酶、磷酸酶、脂肪酶、淀粉酶、纤维素酶等^[3],其在鱼类的营养、消化吸收等方面发挥着重要作用.在对大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)肠道微生物的研究中发现,饲料中添加148 mg/kg 维生素C能够提高肠道微生物对维生素E的利用率、降低肠道内的脂质积累,从而降低肠道内多不饱和脂肪酸的过氧化,促进大口黑鲈生长发育^[18].此外,在对无菌斑马鱼(*Danio rerio*)的研究中发现,饵料可以改变鱼类肠道微生物多样性和组成,促进肠上皮细胞对脂肪酸的吸收,增加脂滴在肠上皮细胞中的积累,从而增加肠道组织中脂肪酸的含量^[19].本研究中,两类淇河鲫中均是中肠的淀粉酶活性最高,表明中肠可能是糖类化合物的主要消化区域,这与张伟等^[20]对翘嘴红鲌的研究结果一致.同源鲫中肠和肝脏的淀粉酶活性显著高于异源鲫,而后肠的淀粉酶活性显著低于异源鲫,表明同源鲫和异源鲫肠道的不同部分和

肝胰脏对碳水化合物的消化能力不同,对于胰蛋白酶,同源鲫各个组织的活性均要小于异源鲫,表明异源鲫对于蛋白的消化能力要强于同源鲫;而且,肠道各个部分的胰蛋白酶活性均要高于肝胰脏,这与翘嘴红鲌的研究结果^[20]也是一致的,表明肠道可能是淇河鲫蛋白消化吸收的主要场所.同源鲫和异源鲫各个组织的脂肪酶活性均表现出显著性差异;同源鲫后肠和肝胰脏的脂肪酶活性显著高于异源鲫,表明同源鲫后肠和肝胰脏对脂肪的消化能力更强,类似地,异源鲫前肠和中肠对脂肪的消化能力更强,说明同源鲫和异源鲫对脂肪的消化吸收具有组织差异性.综上所述,两类鲫对碳水化合物和脂肪的消化吸收具有组织差异性,但是本研究中的结果无法说明哪一类淇河鲫的淀粉酶和脂肪酶活性更强,而胰蛋白酶的比较结果表明,异源鲫对蛋白的消化能力要强于同源鲫.这与之前同源淇河鲫的生长和饲料利用效率优于异源鲫的研究结果^[3]不相符,因此,基于本研究,消化酶活性的差异并不能解释生长性状上的差异,具体原因尚待进一步研究.

不同的饲料组成、养殖环境和遗传差异均会造成肝胰脏营养组成和功能的不同,特别是脂肪的蓄积,可能会造成消化功能紊乱^[3].本研究中,同源和异源淇河鲫的肝胰脏除了灰分含量有所差异外,其他营养成分和总能量值没有显著差异,说明不同繁殖方式对淇河鲫肝胰脏的营养组成的影响不是很大.而与其他鲫的肝胰脏营养组成相比,淇河鲫肝胰脏的脂肪和蛋白含量要低于普通鲫鱼,这可能跟遗传差异、食物组成和养殖环境等因素有关.

在本研究中,两种繁育方式产生的淇河鲫后代在消化酶活性和肝胰脏成分组成上具有一定的差异,进一步说明了异源精子可能参与了子代的遗传组成,说明“异精效应”假说可能具有一定的合理性,但具体的遗传差异机制还需要进一步的系统论证和研究.

参 考 文 献

- [1] 董传举,李学军,孙效文.我国鲫种群遗传多样性及起源进化研究进展[J].水产学报,2020,44(6):1046-1062.
DONG C J, LI X J, SUN X W. Research progress of the genetic diversity, origin and evolution of *Carassius auratus* in China[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(6): 1046-1062.
- [2] 董传举,吕红皂,张江凡,等.4种精子对淇河鲫鱼代生长性状影响研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2019,47(6):96-102.
DONG C J, LYU H Z, ZHANG J F, et al. Effects of four kinds of sperms on the growth traits of *Carassius auratus* in Qihe River offspring [J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 2019, 47(6): 96-102.
- [3] SHI X, CHEN S Y, GAN C F, et al. Comparison of growth performance, feed utilization and morphology between homologous and heterologous juvenile Qihe crucian carp *Carassius auratus* [J]. Aquaculture, 2022, 561: 738634.
- [4] 蒋一珪,梁绍昌,陈本德,等.异源精子在银鲫雌核发育子代中的生物学效应[J].水生生物学集刊,1983,8(1):1-13.
- [5] 周森,郭青松,黄家锐,等.彭泽鲫异精雌核发育子代生长比较研究[J].中国农学通报,2020,36(36):125-131.
ZHOU M, GUO Q S, HUANG J R, et al. *Carassius auratus* var. pengsenensis produced by heterologous sperm: growth comparison of offspring [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(36): 125-131.
- [6] 王磊,施文瑞,宋东莹,等.淇河鲫不同家系生长性能的比较[J].淡水渔业,2018,48(3):47-52.
WANG L, SHI W R, SONG D Y, et al. Comparison of growth among *Carassius auratus* var. Qihe families [J]. Freshwater Fisheries, 2018, 48(3): 47-52.
- [7] 贾申宗,林梦君,卢荣华,等.黑水虻油替代豆油对淇河鲫生长性能、血清生化指标和肠道消化酶活力的影响[J].河南师范大学学报(自然科学版),2022,50(2):129-135.
JIA S Z, LIN M J, LU R H, et al. Effect of replacing soybean oil with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on the growth performance, serum Biochemical index and intestinal digestive enzyme of Qihe crucian carp (*Carassius auratus*) [J]. Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition), 2022, 50(2): 129-135.
- [8] ZHOU L, WANG Y, GUI J F. Genetic evidence for gonochoristic reproduction in gynogenetic silver crucian carp (*Carassius auratus* gibelio Bloch) as revealed by RAPD assays [J]. Journal of Molecular Evolution, 2000, 51(5): 498-506.
- [9] GUI J F, ZHOU L. Genetic basis and breeding application of clonal diversity and dual reproduction modes in polyploid *Carassius auratus* gibelio [J]. Science China Life Sciences, 2010, 53(4): 409-415.
- [10] ZHAO J, CHEN X. Phenotypic differentiation of offspring developed from Pengze crucian carp eggs activated by heterologous sperm [J]. Zoological Research, 2003, 24(4): 297-301.
- [11] ZHAO J, LIU L G, CHEN X L, et al. Karyotypic analysis of the multiple tetraploid allogynogenetic Pengze crucian carp and its parents [J]. Aquaculture, 2004, 237(1/4): 117-129.
- [12] 潘光碧,邹桂伟,胡德高.荷元鲤雌核发育后代体色和性比的初步研究[J].水产学报,1995,19(4):366-368.
PAN G B, ZOU G W, HU D G. Preliminary studies on body colour segregation and sex ratio of gynogenetic posterity in Heyuan hybrid

- carp[J].Journal of Fisheries of China,1995,19(4):366-368.
- [13] 沈俊宝,范兆廷,王国瑞.黑龙江一种银鲫(方正银鲫)群体三倍体雄鱼的核型研究[J].遗传学报,1983(2):133-136.
- [14] 滕春波,孙孝文,沈俊宝,等.利用异源精子激发雌核发育的银鲫及亲本的 RAPD 分析[J].水产学报,1999,23(4):420-423.
TENG C B,SUN X W,SHEN J B,et al.RAPD analysis of gynogenetic crucian carp activated by heterologous sperm and their parentsteng [J].Journal of Fisheries of China,1999,23(4):420-423.
- [15] 杨太有,彭仁海,李旭东,等.异育淇鲫及其双亲的过氧化物酶和 α -淀粉酶同工酶的比较研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2006,34(3):140-142.
YANG T Y,PENG R H,LI X D,et al.Comparative studies on isozymes of peroxidase and α -amylase of allogynogenetic Qihe crucian carp and its parents[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2006,34(3):140-142.
- [16] 苗亮,王天柱,李祥云,等.同源和异源精子诱导大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)雌核发育的胚胎发育比较及子代 SSR 遗传标记分析[J].海洋与湖沼,2011,42(3):419-424.
MIAO L,WANG T Z,LI M Y,et al.Comparison of embryonic development and SSR analysis of gynogenesis in *Pseudosciaena crocea* induced by homo-and heterologous sperm[J].Oceanologia et Limnologia Sinica,2011,42(3):419-424.
- [17] SANTOS J F,SOARES K L S,ASSIS C R D,et al.Digestive enzyme activity in the intestine of Nile tilapia(*Oreochromis niloticus* L.)under pond and cage farming systems[J].Fish Physiology and Biochemistry,2016,42(5):1259-1274.
- [18] CHEN Y J,YUAN R M,LIU Y J,et al.Dietary vitamin C requirement and its effects on tissue antioxidant capacity of juvenile largemouth bass,*Micropterus salmoides*[J].Aquaculture,2015,435:431-436.
- [19] SEMOVA I,CARTEN J D,STOMBAUGH J,et al.Microbiota regulate intestinal absorption and metabolism of fatty acids in the zebrafish[J].Cell Host & Microbe,2012,12(3):277-288.
- [20] 张伟,陈立侨,顾志敏,等.池养和野生条件下翘嘴红鲌消化酶活性比较的初步研究[J].复旦学报(自然科学版),2007,46(6):957-962.
ZHANG W,CHEN L Q,GU Z M,et al.Effects of different types of culture condition and diets on the digestive enzymes of blecker (*Erythroculter ilishaeformis*)[J].Journal of Fudan University(Natural Science),2007,46(6):957-962.

Comparative analysis of digestive enzyme activities and hepatopancreas nutrient compositions between homologous and heterologous Qihe crucian carp(*Carassius auratus*)

Shi Xi¹, Chen Siyu¹, Liu Xiangwei¹, Chen Fengqing¹,
Ma Xiao¹, Wu Limin¹, Tian Xue¹, Li Xuejun^{1,2}

(1. College of Fisheries, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China; 2. Observation and Research Station on Water Ecosystem in Danjiangkou Reservoir of Henan Province, Nanyang 474450, China)

Abstract: Qihe crucian carp(*Carassius auratus*) can reproduce via either gynogenesis or sexual reproduction, but limit information about the physiological differences between the offspring produced by these two breeding modes is known. In this study, the digestive enzyme activities and hepatopancreas nutrient compositions between homologous fish produced by sperm stimulation of Qihe crucian carp and heterologous fish produced by sperm stimulation of Yellow River carp(*Cyprinus carpio haematopterus*) were compared. Results showed that the amylase activities in midgut and hepatopancreas of homologous fish were significantly higher than that of heterologous fish; however, heterologous fish showed significantly higher amylase activities in hindgut when compared with homologous fish. The trypsin activities in foregut, midgut and hindgut of homologous fish were significantly lower than that of heterologous fish. For lipase, the homologous fish showed higher activities in hindgut and hepatopancreas but lower activities in foregut and midgut when compared with heterologous fish. The ash content in hepatopancreas of homologous fish was significantly higher than that of heterologous fish; however, moisture, crude protein, crude lipid, carbohydrate content and total energy value in hepatopancreas showed no significant differences between homologous and heterologous fish. In summary, the trypsin activity of heterologous fish was higher than that of homologous fish, while amylase activity and lipase activity varied among different tissues of homologous and heterologous fish.

Keywords: Qihe crucian carp; homologous; heterologous; nutrient composition; digestive enzyme