

配合饲料和饵料鱼对鳊生长、胃肠结构功能及肉质的影响

陈剑斌¹, 于俊琦¹, 徐杭忠¹, 马俊康¹, 刘天骥², 李洪琴²,
刘 匆², 罗 浩², 李 虹³, 翟旭亮³, 薛 洋³, 罗 莉^{1*}

(1. 西南大学水产学院, 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室,

水产科学重庆市重点实验室, 重庆 400715;

2. 四川新希望六和科技创新有限公司, 四川成都 610000;

3. 重庆市水产技术推广总站, 重庆市生态渔产业技术体系, 重庆 400400)

摘要: 为比较配合饲料与饵料鱼(湘云鲫)对鳊生长、消化系统结构功能、血浆生化指标及肌肉品质的影响, 实验选取初始体重为(112.33±1.14)g的鳊210尾, 随机分成2个处理, 分别投喂配合饲料和湘云鲫, 养殖68d。结果显示: ①配合饲料组的营养素沉积率显著高于湘云鲫组, 增重率(WGR)、干物质饲料效率(FE)分别显著增加23.14%和30.53%, 而配合饲料组鳊的干物质摄入量(FI)与湘云鲫组无显著差异。②配合饲料组鳊背肌的肌纤维更细, 肌肉硬度、脆度、咀嚼性和胶着性显著高于湘云鲫组, 并且pH降低值、滴水损失和冷冻渗出率分别降低26.67%、26.65%和24.90%, 离体后丙二醛(MDA)含量显著低于湘云鲫组。③配合饲料组鳊血浆的甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)和血糖(GLU)等含量均显著高于湘云鲫组, 而MDA含量则反之, 高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和HDL-C/LDL-C等指标两组无显著差异。④配合饲料组鳊胃蛋白酶, 前肠、中肠、后肠胰蛋白酶, 脂肪酶和淀粉酶活性, 胃及肠道肌层厚度和绒毛高度均显著高于湘云鲫组。⑤配合饲料组鳊肠道菌群的Simpson指数和Shannon指数显著高于湘云鲫组46.03%和125.00%, 芽孢杆菌属丰度增加。研究表明, 本实验条件下, 相比于投喂湘云鲫, 摄食配合饲料的鳊在生长、饲料效率、胃肠组织发育和功能、肌肉品质、抗氧化和非特异性免疫能力等方面更具优势, 但同时加重了肝肾的代谢负担。本实验为鳊配合饲料替代传统饵料鱼养殖提供了理论依据。

关键词: 鳊; 配合饲料; 饵料鱼; 湘云鲫

中图分类号: S 963.7

文献标志码: A

鳊(*Siniperca chuatsi*)隶属鲈形目(Perciforme) 鲈科(Serranidae)鳊属(*Siniperca*), 是我国重要的特种经济鱼类, 近年产量在40万t以上^[1]。因其肉质鲜美、无肌间刺、营养与药用功效兼备而深受消费者青睐, 发展潜力巨大。目前我国鳊养殖主要以传统的鲜活或宰杀饵料鱼为主, 存在投喂

不便、病害防控难、水质污染大等系列问题, 严重制约了鳊养殖产业发展。目前鳊的营养与饲料方向已展开蛋白质和脂肪需求^[2-5]、诱食剂^[6]、微生态制剂^[7-8]等研究, 为鳊专用配合饲料的完善奠定了基础。

配合饲料与饵料鱼饲喂鳊的养殖比较是其配

收稿日期: 2023-01-17 修回日期: 2023-05-10

资助项目: 重庆市生态渔产业创新技术体系项目(2021); 四川新希望六和科技创新有限公司项目

第一作者: 陈剑斌, 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: 1055285444@qq.com

通信作者: 罗莉(照片), 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: luoli1972@163.com



合饲料替代幼杂鱼的研究行为。汪福保等^[9]研究表明, 饲料转化率高于活饵鳊, 肥满度、脏体比显著低于活饵鳊, 肉质口感好于活饵鳊。牛树辉等^[10]研究表明, 饲料鳊肌肉中饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(EPA、DHA)含量极显著高于鲜活饵料组, 表明人工饲料可通过营养的均衡供应提供更为优质的脂肪酸。Chen等^[11]研究表明, 饲料鳊的肠道微生物群 α -多样性指数显著高于活饵鳊。基于上述研究, 本团队在鳊饲料驯化技术日臻成熟的基础上, 以翘嘴鳊“广清一号”为实验对象, 选择生长快、成本低的湘云鲫为饵料鱼, 与本团队研发的鳊专用浮性膨化饲料进行翘嘴鳊的生长性能、肌肉品质、血浆生化及胃肠道结构功能方面的差异比较, 为鳊的饲料养殖提供理论支撑。

1 材料与与方法

1.1 饵料鱼与配合饲料

实验饵料鱼用鲜活湘云鲫(约130 g), 每次饲喂前切成长宽高为2 cm×2 cm×2 cm的鱼块。配合饲料为浮性膨化条形料, 以鱼粉、鸡肉粉和鱼油等为原料配制, 采用膨化饲料制粒机(邢台市裕工科技开发有限公司, DGP40-C型)制作。所有原料均购自四川新希望畜牧科技有限公司, 配方见表1, 饵料鱼与配合饲料的常规营养组成、氨基酸组成、脂肪酸组成分别见表2、表3和表4。

1.2 饲养管理

实验鳊购自重庆市潼南区兴水渔场, 驯化4周后, 挑选体重(112.33±6.22) g, 体质健壮的鳊210尾, 随机分成2组, 每组3个重复, 每个重复35尾, 饲养于400 L蓝色养殖缸中, 每天早晚各换水50%, 每天近饱食投喂1次(12:00)。为保证新鲜度, 每次投喂的湘云鲫均现宰现喂, 若有残饵, 投喂后立即捞取, 烘干并称重。正式实验时间68 d(2021-02-06—2021-04-14)。饲养期间为自然光周期, 水温14~18 °C, 溶解氧≥6.0 mg/L, pH 6.5~7.5, 氨氮含量≤0.50 mg/L, 亚硝酸盐含量≤0.05 mg/L。本实验所有操作严格遵守实验动物福利伦理和动物实验安全审查规范, 并按照水产动物实验伦理审查委员会制定的规章制度执行。

1.3 样品采集和制备

鳊养殖实验结束后饥饿24 h, 每缸随机选取

表1 配合饲料配方

项目 items	比例 proportion
鱼粉 fish meal	40.00
鸡肉粉 chicken meal	20.00
大豆浓缩蛋白 soy protein concentrate	8.00
酶解鱼溶浆(湿) enzymatic hydrolysis of fish pulp (wet)	5.00
木薯淀粉 cassava starch	12.00
鱼油 fish oil	3.00
大豆油 soybean oil	3.00
赖氨酸盐酸盐 lysine hydrochloride	0.20
蛋氨酸 methionine	0.30
磷酸二氢钙 calcium dihydrogen phosphate	2.00
复合预混料 premix ¹⁾	6.00
氯化胆碱 choline chloride	0.35
防霉剂 mould inhibitor	0.05
抗氧化剂 antioxidants	0.10
合计 total	100.00

注: 1) 预混料含多维、多矿、功能性添加剂和载体, 多维、多矿参照肉食性鱼类; 功能性物质为桑叶提取物、胆汁酸和溶血磷酸酯等。
Notes: 1) premix contains multi-vitamins, complex mineral, functional additives and carrier, multi-vitamin and complex mineral refer to carnivorous fishes, functional substances were mulberry leaf extract, bile acid, hemolytic phosphate ester and so on.

表2 配合饲料与饵料鱼的主要营养成分

Tab. 2 Main nutrients of compound feed and forage fish

项目 items	组别 group	
	湘云鲫组 Xiangyun crucian carp	配合饲料组 compound feed
水分 moisture	72.29	8.00
粗蛋白 crude protein	16.35(59.00)	48.65(52.88)
粗脂肪 crude lipid	8.01(28.91)	12.27(13.34)
粗灰分 crude ash	3.24(11.69)	14.48(15.74)

注: 括号内为干基含量。
Notes: Dry base content is in parentheses.

5尾, 用MS-222(100 mg/L)麻醉, 称重后用1 mL的一次性无菌注射器在尾静脉处取血, 加入肝素钠抗凝剂后, 于4 500 r/min离心10 min制备血浆, 液氮速冻后, -80 °C条件下保存备用。之后将鳊于冰上解剖, 分离胃、前肠、中肠、后肠和背部肌肉样品, 液氮速冻后, -80 °C条件下保存备用, 再按要求取部分背肌用于质构分析。另外每缸随机选取1尾鳊取部分胃、前肠、中肠、后肠和背肌组织, 用4%多聚甲醛溶液浸泡固定后, 用于组织切片的制作。最后, 每个重复随机选取1尾

表 3 配合饲料与饵料鱼的氨基酸组成

Tab. 3 Amino acid composition of forage fish and experimental diet		g/100 g prot	
氨基酸 amino acid	组别 group		
	湘云鲫组 Xiangyun crucian carp	配合饲料组 compound feed	
苏氨酸 Thr	5.16	4.39	
缬氨酸 Val	6.34	6.43	
蛋氨酸 Met	2.99	3.41	
苯丙氨酸 Phe	4.80	5.23	
异亮氨酸 Ile	5.77	4.96	
亮氨酸 Leu	9.50	7.83	
赖氨酸 Lys	8.32	8.22	
组氨酸 His	3.63	3.56	
精氨酸 Arg	6.27	7.32	
EAA	52.78	51.35	
天冬氨酸 Asp	11.13	7.41	
谷氨酸 Glu	11.34	14.86	
甘氨酸 Gly	5.57	7.69	
丙氨酸 Ala	6.61	6.42	
丝氨酸 Ser	4.65	3.87	
脯氨酸 Pro	3.56	4.28	
酪氨酸 Tyr	3.39	3.03	
胱氨酸 Cys	1.32	0.96	
NEAA	47.57	48.52	

注: EAA.必需氨基酸, NEAA.非必需氨基酸。
Notes: EAA. essential amino acid, NEAA. non-essential amino acid.

鳊在无菌条件下取出肠道, 液氮速冻后, -80°C 条件下保存, 用于肠道菌群的测定。

1.4 指标测定

生长与形体指标测定 养殖实验结束后, 停食 24 h, 准确称量各组鳊体重, 统计其摄食饵料鱼或饲料总重, 并计算其生长和形体指标。

$$\text{增重率 (weight gain rate, WGR, \%)} = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%$$

$$\text{特定生长率 (specific gain rate, SGR, \% / d)} = (\ln W_t - \ln W_0) / D \times 100\%$$

$$\text{饲料效率 (feed efficiency, FE)} = (W_t - W_0) / F$$

$$\text{存活率 (survival rate, SR, \%)} = N_t / N_0 \times 100\%$$

$$\text{摄食率 (feed rate, FR, \% / d)} = F \times 2 / [(W_0 + W_t) \times D] \times 100\%$$

$$\text{脏体比 (viscerosomatic index, VSI, \%)} = W_v / W \times 100\%$$

$$\text{肝体比 (hepatosomatic index, HSI, \%)} = W_h / W \times$$

表 4 配合饲料与饵料鱼的脂肪酸组成

Tab. 4 Fatty acid composition of forage fish and experimental diet		g/100 g lipid	
脂肪酸 fatty acids	组别 group		
	湘云鲫组 Xiangyun crucian carp	配合饲料组 compound feed	
豆蔻酸 C14:0	1.26	4.37	
棕榈酸 C16:0	16.79	19.43	
硬脂酸 C18:0	4.11	5.22	
ΣSFA	22.16	29.02	
棕榈烯酸 C16:1n-7	3.46	4.39	
油酸 C18:1n-9	34.83	23.44	
二十碳一烯酸 C20:1	1.72	1.68	
ΣMUFA	40.00	29.52	
亚油酸 C18:2n-6	26.21	22.50	
亚麻酸 C18:3n-3	2.43	2.56	
花生酸 C20:4n-6	1.17	0.91	
EPA C20:5n-3	0.33	4.85	
DHA C22:6n-3	1.10	4.97	
ΣPUFA	31.24	35.79	
ΣHUFA	1.43	9.81	
EPA+DHA	1.43	9.81	
Σn3	3.86	12.38	
Σn6	27.38	23.41	
Σn3/Σn6	0.14	0.53	

注: ΣSFA.总饱和脂肪酸, ΣMUFA.总单不饱和脂肪酸, ΣPUFA.总多不饱和脂肪酸, ΣHUFA.总高度不饱和脂肪酸, 下同。
Notes: ΣSFA. saturated fatty acid, ΣMUFA. monounsaturated fatty acid, ΣPUFA. polyunsaturated fatty acid, ΣHUFA. highly unsaturated fatty acid, the same below.

100%

$$\text{肥满度 (condition factor, CF, g/cm}^3\text{)} = W / L^3 \times$$

100

$$\text{腹脂率 (intrapertoneal fat ratio, IPF, \%)} = W_m / W \times$$

100%

$$\text{肠长比 (ratio of gut length to body length, GLR)} = L_c / L$$

$$\text{性腺指数 (gonad index, GI, \%)} = W_g / W \times 100\%$$

$$\text{干物质沉积率 (dry matter retention rate, DRR, \%)} =$$

$$(W_t \times W_{td} - W_0 \times W_{od}) / (F \times W_{fp}) \times 100\%$$

$$\text{蛋白沉积率 (protein retention rate, PRR, \%)} =$$

$$(W_t \times W_{tp} - W_0 \times W_{op}) / (F \times W_{fp}) \times 100\%$$

$$\text{脂肪沉积率 (lipid retention rate, LRR, \%)} =$$

$$(W_t \times W_{tl} - W_0 \times W_{ol}) / (F \times W_{fl}) \times 100\%$$

$$\text{灰分沉积率 (ash retention rate, ARR, \%)} = (W_t \times$$

$$W_{ta} - W_0 \times W_{oa}) / (F \times W_{fa}) \times 100\%$$

式中, W_0 为初始均重 (g); W_t 为终末均重 (g); D 为养殖实验天数 (d); F 为平均干物质摄食量 (g); N_0 为初始尾数 (条); N_t 为终末尾数 (条); W 为实验鱼体重 (g); W_v 为实验鱼内脏团重 (g); W_h 为实验鱼肝脏重 (g); L 为实验鱼体长 (cm); W_m 为实验鱼腹脂重 (g); W_g 为实验鱼性腺重 (g); L_c 为实验鱼肠道长度 (cm); W_{td} 、 W_{tp} 、 W_{tl} 和 W_{ta} 分别为终末鱼全鱼干物质、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量 (%); W_{od} 、 W_{op} 、 W_{ol} 和 W_{oa} 分别为初始鱼全鱼干物质、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量 (%); W_{fd} 、 W_{fp} 、 W_{fl} 和 W_{fa} 分别为饲料干物质、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量 (%)。

配合饲料、湘云鲫及鳊全鱼、肌肉常规营养成分的测定 水分含量测定采用 105 °C 恒温干燥法 (GB/T 6435—2006), 粗蛋白 (CP) 含量测定采用凯氏定氮法 (GB/T 6432—1994), 粗脂肪 (CL) 含量测定采用索氏抽提法 (GB/T 6433—1994), 粗灰分含量测定采用马弗炉 550 °C 高温灼烧法 (GB/T 5009.4—2010)。

理化指标测定 胃蛋白酶、胰蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶、血浆葡萄糖 (GLU)、甘油三酯 (TG)、总胆固醇 (TC)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C)、总蛋白 (TP)、谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT)、碱性磷酸酶 (AKP)、溶菌酶 (LZM)、总超氧化物歧化酶 (T-SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px)、丙二醛 (MDA)、总胆汁酸 (TBA)、血氨 (BA)、肌酐 (CREA)、尿素氮 (BUN) 和乳酸指标等均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定。

肌肉质构测定 取侧线以上背部肌肉, 切成 1.0 cm×1.0 cm×2.0 cm 的立方块, 将肌肉块放在 TA.XP.plus 型物性测试仪上, 探头为 P36/R, 采用 TPA 模式进行测定, 下降速度为 2 mm/s, 测试速度为 1 mm/s, 回程速度为 5 mm/s, 测试时间间隔 5 s, 压缩比为 90%, 对肌肉的质构特性进行测定。样品 TPA 测试于室温下进行, 每个平行 5 尾鱼, 每尾平行测定 4 次。

肌肉 pH 测定 pH 计测量前用 pH=4 和 pH=7 标准液校正 (精确到 0.01)。在鱼死后 2 h 内, 取鳊侧线以上背肌, 用剪刀剪碎, 加入 10 mL 的 0.15 mol/L 氯化钾溶液, 用高速组织捣碎机捣碎匀浆, 再用数字式酸度计直接测定, 读取为 pH1。4 °C 冰箱中储存 24 h, 用同样方法测其 pH2, pH1-

pH2 的值即为肌肉样品在 24 h 内的 pH 降低值。

肌肉滴水损失与冷冻渗出率测定 采集侧线上方肌肉, 称取 5 g 左右放入自封袋, 置于 4 °C 冰箱, 24 h 后吸干表面水分称重, 计算滴水损失。称取 5 g 左右肌肉放入自封袋, 置于 -20 °C 冰箱, 24 h 后解冻, 吸干表面水分后称重, 计算冷冻渗出率。

肌肉氨基酸组成 采用日立 L-8900 全自动氨基酸分析仪测定。称量冷冻干燥的肌肉样品 40~50 mg, 加入 6 mol/L 盐酸溶液在 110 °C 条件下水解 24 h。水解完后, 取 1 mL 水解液于进样瓶中, 在氨基酸自动分析仪上分析。

脂肪酸组成 采用安捷伦 7820a 气相色谱仪测定。称取 0.3~0.5 g 的饲料或肌肉样品于 10 mL 离心管, 加入甲醇: 氯仿 (1:2, 体积比) 5 mL, 高速分散器匀浆, 静置 1~2 h 后定量滤纸过滤, 加入 4 mL 蒸馏水, 3000 r/min 离心 5 min, 去上清液, 下层水浴浓缩 (40 °C)。随后加入 1 mL 色谱纯正己烷将油脂溶解, 加 1 mL 0.4 mol/L 氢氧化钾-甲醇溶液静置 30 min 进行甲酯化, 之后加 2 mL 去离子水, 待分层后提取上层溶液, 使用气相色谱法检测分析, 并按面积归一化法计算脂肪酸各组分含量。

组织切片 组织经 4% 多聚甲醛固定, 依次于 70%、80%、90%、95% 和 100% 乙醇中脱水, 后置于二甲苯中透明, 用低熔点的石蜡包埋, 使用 Leica UC7 RT 切片仪匀速切成厚度为 4 μm 的切片, 在清洁的载玻片上展片, H.E 染色, 中性树胶封片。

肠道微生物组成 送测于北京百迈克生物科技有限公司。

1.5 数据分析

实验数据采用 t 检验进行统计学处理, 结果以平均值±标准差 (mean±SD) 表示, 差异显著性设置为 $P<0.05$ 。所有分析均采用 SPSS 22.0 软件, 在 Windows 操作系统中进行。

2 结果

2.1 配合饲料与饵料鱼对鳊生长、形态及饲料转化的影响

配合饲料组鳊的生长性能与营养素沉积率显著高于湘云鲫组 (表 5)。生长性能方面, 配合饲料组鳊的 FBW、WGR 和 FE、SGR 均显著高于湘云

鲫鱼 ($P<0.05$)。湘云鲫组的湿基尾均摄食量 (FI) 与湿基 FR 高于配合饲料组 ($P<0.05$), 但干基 FI 与干基 FR 两组无显著差异 ($P>0.05$)。营养素沉积率方面, 配合饲料组鲫的 DRR、PRR 和 LRR 均显著高于湘云鲫组 ($P<0.05$), ARR 两组差异不显著 ($P>0.05$)。形体指标方面, 配合饲料组鲫的肠体比 (GLR) 显著高于湘云鲫组 ($P<0.05$), CF、VSI、HSI、IPF 及 GI 无显著差异 ($P>0.05$)。

2.2 配合饲料与饵料鱼对鳊全鱼、背肌营养组成的影响

配合饲料组鳊的全鱼 CP 显著高于湘云鲫组 ($P<0.05$)。其余指标无显著差异 ($P>0.05$) (表 6)。

2.3 配合饲料与饵料鱼对鳊肌肉品质的影响

相对于湘云鲫组, 配合饲料组鳊背肌的肌纤维更细, 排列更为紧密, 肌间组织更少 (图版 I)。配合饲料组鳊背肌的硬度、脆度、咀嚼性和胶着性显著高于湘云鲫组 ($P<0.05$)。粘性、弹性、粘聚性、回复性指标均无显著差异 ($P>0.05$), 配合饲料组鳊背肌离体后 24 h 的 pH 降低值、滴水损失、冷冻渗出率与 MDA 均显著低于湘云鲫组 ($P<0.05$), LA 含量两组无显著差异 ($P>0.05$) (表 7)。两组鳊背肌的氨基酸与脂肪酸组成无显著差异 ($P>0.05$) (表 8, 表 9)。

2.4 配合饲料与饵料鱼对鳊血浆生化指标的影响

配合饲料组鳊血浆 TG、TC、GLU、GSH-Px、TP、LZM、ALT、AST、TBA、BA、BUN 和 CREA 指标显著高于湘云鲫组 ($P<0.05$)。湘云鲫组血浆 MDA 含量显著高于配合饲料组 ($P<0.05$)。HDL-C、LDL-C、HDL-C/LDL-C、T-SOD、CAT 与 AKP 指标两组无显著差异 ($P>0.05$) (表 10)。

2.5 配合饲料与饵料鱼对鳊胃肠结构功能的影响

配合饲料与饵料鱼对鳊消化酶活性的影响
配合饲料组鳊的胃蛋白酶、前中后肠淀粉酶、脂肪酶、胰蛋白酶活性均显著高于湘云鲫组 ($P<0.05$), 分别较湘云鲫组升高 58.66%、27.96%、37.66%、38.46%、24.58%、62.11%、31.58%、42.65%、20.79% 和 29.41% (表 11)。

配合饲料与饵料鱼对鳊胃肠道组织结构的影响
配合饲料组鳊的胃黏膜层厚度, 前、中肠绒毛高度, 前、中肠杯状细胞密度显著高于湘云鲫组 ($P<0.05$)。前肠肠管直径, 前、中肠空腔率显著低于湘云鲫组 ($P<0.05$) (表 12)。两组鳊的

表 5 配合饲料与饵料鱼对鳊生长、形态及饲料转化的影响

Tab. 5 Effects of forage fish and compound feed on growth, morphology and feed conversion of *S. chuatsi*

项目 items	组别 group	
	湘云鲫组 Xiangyun crucian carp	配合饲料组 compound feed
生长性能 growth performance		
初始尾均重/g initial body weight	112.35±1.48	112.30±1.32
终末尾均重/g final body weight	283.18±14.82	322.57±9.76 [*]
增重率(WGR)% weight gain rate	152.05±8.72	187.24±8.64 [*]
特定增长率(SGR)/(%/d) specific growth rate	1.36±0.09	1.55±0.08 [*]
尾均摄食量(FI,湿基)/g feed intake (wet basis)	1 054.02±77.96	389.99±26.82 [*]
尾均摄食量(FI,干基)/g feed intake (dry basis)	292.07±13.62	275.45±12.84
摄食率(FR,湿基)% feed rate (wet basis)	5.33±0.54	1.79±0.15 [*]
摄食率(FR,干基)% feed rate (dry basis)	1.48±0.24	1.27±0.10
饲料效率(FE,湿基) feed efficiency (wet basis)	0.16±0.72	0.70±0.17 [*]
饲料效率(FE,干基) feed efficiency (dry basis)	0.58±0.21	0.76±0.09 [*]
存活率/% survival rate	100.00	100.00
离散度/% discrete degree	35.15±7.69	36.89±7.21
营养素沉积率 nutrient deposition rate		
干物质沉积率(DRR)% dry matter retention rate	16.25±1.20	22.90±1.22 [*]
蛋白沉积率(PRR)% protein retention rate	19.22±0.86	31.40±1.49 [*]
脂肪沉积率(LRR)% lipid retention rate	10.53±1.17	37.90±2.14 [*]
灰分沉积率(ARR)% ash retention rate	16.34±1.68	19.98±2.32
形体指标 physical indicators		
肥满度(CF)/(g/cm ³) condition factor	2.49±0.25	2.69±0.19
脏体比(VSI)% viscerosomatic index	7.30±1.27	6.96±0.62
肝体比(HSI)% hepatosomatic index	1.70±0.21	1.86±0.18
腹脂率(IPF)% intraperitoneal fat ratio	3.04±0.55	3.65±0.64
肠长比(GLR)% ratio of gut length to body length	52.39±4.92	65.82±6.37 [*]
性腺指数(GI)% gonad index	7.38±1.45	6.13±1.72

注: 肩标*表示同行数据差异显著($P<0.05$), 下同。
Notes: Data superscript * indicates significant difference in the same line ($P<0.05$), the same below.

表 6 配合饲料与饵料鱼对鳊全鱼、背肌营养组成的影响

Tab. 6 Effects of forage fish and compound feed on nutritional composition of whole fish and back muscle of *S. chuatsi* %

项目 items	组别 group	
	湘云鲫组 Xiangyun crucian carp	配合饲料组 compound feed
全鱼 whole fish		
水分 moisture	73.64±0.64	72.03±1.35
粗蛋白 crude protein	17.66±0.21	18.57±0.18*
粗脂肪 crude lipid	4.36±0.22	4.84±0.32
粗灰分 crude ash	4.13±0.39	4.44±0.50
背肌 back muscle		
水分 moisture	78.56±1.01	77.88±0.53
粗蛋白 crude protein	19.63±0.14	19.89±0.13
粗脂肪 crude lipid	1.78±0.22	1.94±0.10
粗灰分 crude ash	1.12±0.02	1.03±0.11

前、中、后肠肌层厚度, 绒毛数量, 分支绒毛数量, 中、后肠肠管直径, 后肠空腔率无显著差异 ($P>0.05$) (图版 II)。

2.6 配合饲料与饵料鱼对鳊肠道菌群的影响

配合饲料组与湘云鲫组测序覆盖率均在 99% 以上。肠道菌群多样性方面, 配合饲料组鳊肠道菌群的 Simpson 指数与 Shannon 指数均显著高于湘云鲫组 ($P<0.05$) (表 13)。肠道菌群物种组成方面, 门水平上, 配合饲料组 (物种分布图中标注为 S1、S2、S3) 的变形菌门 (Proteobacteria) 丰度显著低于湘云鲫组 (物种分布图中标注为 E1、E2、E3), 而蓝藻门 (Cyanobacteria) 与软壁菌门 (Tenericutes) 丰度显著高于湘云鲫组。属水平上, 配合饲料组邻单胞菌属 (*Plesiomonas*) 与乳球菌属 (*Lactococcus*) 丰度显著低于湘云鲫组, 而菜豆属

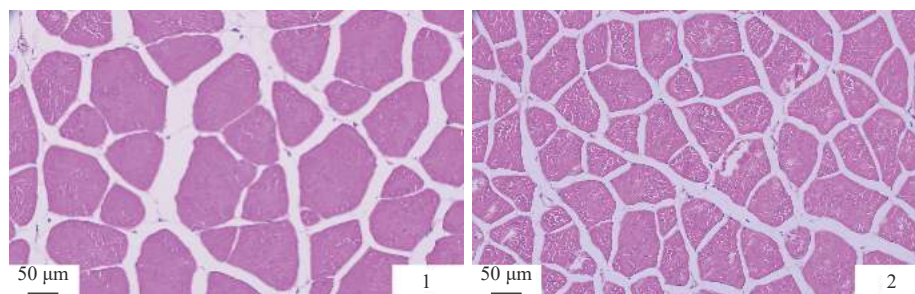
(*Phaseolus acutifolius tepary bean*) 与芽孢杆菌属 (*Bacillus*) 丰度显著高于湘云鲫组 (图 1)。

3 讨论

3.1 配合饲料与饵料鱼饲喂鳊的生长和饲料利用比较

鳊的配合饲料替代饵料鱼近年有研究报道。曾萌冬等^[12]研究发现, 饲喂软颗粒饲料的鳊幼鱼 [初始体重 (5.92±1.41) g], 其生长性能不及饲喂鲫鱼块的鳊幼鱼。李燕等^[13]使用石斑鱼 (*Epinephelinae* sp.) 开口饲料加水制成软颗粒饲料饲喂鳊幼鱼 [初始体重 (27.3±2.4) g], 发现其生长速率比不上饲喂鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 或蒙古红鲂 (*Erythroculter mongolicus*) 鱼苗的鳊幼鱼。班赛男等^[14]使用鳊专用配合粉料制作的软颗粒饲料饲喂鳊 [初始体重 (113.56±11.82) g], 发现其生长性能与使用鲜活鲮和冰鲜鲮饲喂的鳊无显著差异。而本实验的结果发现, 使用配合饲料替代饵料鱼 (湘云鲫) 可显著提高鳊的生长速率, 同时其 WGR 较湘云鲫组高 23.14%。可能原因: ①使用的鳊饲料为浮性膨化料, 相对软颗粒饲料来说具有适口性好、消化利用率高、投喂损耗少等优点。②使用的鳊专用配合饲料相对较为成熟, 添加使用了桑叶提取物、胆汁酸、溶血磷酸酯等多种功能性添加剂, 且配合饲料中的 EPA、DHA 含量显著高于饵料鱼, 对鳊抗氧化能力、非特异性免疫能力与胃肠道发育均有较大改善, 对鳊具有一定的促生长作用。③所用的鳊初始体重达 112 g, 规格较大, 营养需求相对较低, 所使用的配合饲料能够满足此阶段鳊正常生长的营养需求。

同时, 配合饲料组鳊的饲料系数更低, 蛋白、脂肪的沉积率也更高。说明配合饲料的营养组成较湘云鲫更符合鳊的营养需求, 鳊饲喂配合饲料



图版 I 湘云鲫与配合饲料对鳊背肌组织结构的影响

1. 湘云鲫组鳊背肌 (400×); 2. 配合饲料组鳊背肌 (400×)。

Plate I Effects of compound feed and forage fish on dorsal muscle structure of *S. chuatsi*

1. dorsal muscle of Xiangyun crucian carp (400×); 2. dorsal muscle of compound feed group (400×).

表 7 配合饲料与饵料鱼对鳊背肌质构指标与理化指标的影响

Tab. 7 Effects of compound feed and forage fish on dorsal muscle texture and physicochemical indexes of *S. chuatsi*

项目 items	组别 group	
	湘云鲫组 Xiangyun crucian carp	配合饲料组 compound feed
质构指标 texture indexes		
硬度 hardness	2 379.16±858.99	3 874.90±509.98*
脆度 brittleness	2 606.11±599.34	3 749.12±509.98*
粘性 viscosity	-10.45±4.30	-13.88±6.59
咀嚼性 chewiness	677.99±206.05	1 151.47±248.89*
胶着性 gumminess	1 322.86±170.21	2 031.25±353.28*
弹性 elasticity	0.49±0.05	0.57±0.05
粘聚性 cohesiveness	0.53±0.05	0.54±0.12
回复性 resilience	0.62±0.11	0.69±0.07
理化指标 physicochemical indexes		
pH降低值 pH reduction	0.30±0.02	0.22±0.06*
滴水损失/% drip loss	3.19±0.18	2.34±0.22*
冷冻渗出率/% refrigerated seepage rate	7.79±1.07	5.85±0.43*
乳酸/(mmol/mg) LA	1.24±0.15	1.01±0.12
丙二醛/(nmol/mg) MDA	9.43±0.65	7.83±0.99*

可提高对摄入食物中营养素的利用率, 减少蛋白质和脂肪资源的浪费, 减少养殖对水质的破坏。但本实验在 14~18 °C 的低水温条件下开展, 导致鳊的营养沉积率整体相对偏低。

3.2 配合饲料与饵料鱼饲喂鳊的肌肉品质比较

本实验中配合饲料与湘云鲫的营养成分相差较大, 但饲喂后鳊肌肉氨基酸、脂肪酸组成无显著差异, 其原因可能是鳊对外源氨基酸与脂肪酸具有选择性沉积或转化能力。另外, 饲料鳊和饵料鳊肌肉氨基酸无显著差异, 这与汪福保等^[9]和班赛男等^[14]对翘嘴鳊的研究结果一致, 均表明两种食物来源对翘嘴鳊肌肉氨基酸组成无影响, 推测发生了转氨基作用, 进行了天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸三者的转化平衡等反应。而脂肪酸无显著差异与汪福保等^[9]和班赛男等^[14]的结果不一致, 可能原因是饲料品质不同或者受养殖水温的影响。本实验在相对的低水温条件下展开, 鳊的生长需要将多余的油酸用于供能或通过脂肪酸去饱和酶作用转化为高不饱和脂肪酸, 保证低水温下细胞膜的流动性。邵婷^[15]的研究表明, 肌肉的肌纤维变细, 单位面积内数量多, 其密度增大, 肌肉硬

表 8 配合饲料与饵料鱼对鳊背肌氨基酸组成的影响

Tab. 8 Effects of compound feed and forage fish on amino acid composition of dorsal muscle of *S. chuatsi*

g/100 g 干物质

氨基酸 amino acids	组别 group	
	湘云鲫组 Xiangyun crucian carp	配合饲料组 compound feed
苏氨酸 Thr	3.63±0.13	3.65±0.07
缬氨酸 Val	4.01±0.06	4.04±0.11
蛋氨酸 Met	2.47±0.06	2.55±0.07
苯丙氨酸 Phe	3.51±0.12	3.61±0.11
异亮氨酸 Ile	3.79±0.08	3.83±0.09
亮氨酸 Leu	6.76±0.17	6.87±0.19
赖氨酸 Lys	7.62±0.14	7.48±0.36
组氨酸 His	1.80±0.03	1.78±0.06
精氨酸 Arg	4.69±0.31	4.87±0.22
∑TEAA	31.77±0.48	32.01±1.00
天冬氨酸 Asp	8.21±0.16	8.26±0.27
谷氨酸 Glu	12.56±0.04	12.53±0.04
甘氨酸 Gly	3.81±0.17	3.89±0.16
丙氨酸 Ala	4.93±0.09	4.96±0.11
脯氨酸 Pro	2.71±0.08	2.68±0.01
苯丙氨酸 Phe	3.51±0.12	3.61±0.11
丝氨酸 Ser	3.15±0.09	3.18±0.07
胱氨酸 Cys	1.11±0.19	0.93±0.01
酪氨酸 Tyr	2.60±0.11	2.66±0.06
∑TNEAA	45.55±0.66	45.70±1.28
∑TAA	77.32±1.44	77.71±2.28

注: ∑TEAA. 总必需氨基酸, ∑TNEAA. 总非必需氨基酸, ∑TAA. 氨基酸总量。

Notes: ∑TEAA. total essential amino acid, ∑TNEAA. total non-essential amino acid, ∑TAA. total amino acid.

度就越大。另外肌肉胶原蛋白含量的增加也会使肌肉具有较高的机械强度, 硬度变硬, 配合饲料组鳊结果与之一致, 其肌肉的硬度、脆度、咀嚼性等提高, 食用口感更佳^[16]。

肌肉的 pH、系水力、乳酸沉积量及抗氧化能力也是评价肌肉品质的重要指标^[17-19]。系水力反映肉类离体后保持原有水分的能力, 可通过滴水损失与冷冻渗出率评价^[20]。肌肉离体后, pH 与肌肉系水力的下降速率决定肌肉保持原有营养物质与风味物质的能力^[21], 因此, 延缓肌肉 pH 与系水力的下降可延长肌肉的货架寿命。随着肌纤维密度的增大, 肌纤维排列更为紧密, 也可增强肌肉的持水性能, 减少滴水损失、冷冻损失^[22]。本实验结果与之一致, 配合饲料组鳊肌肉离体后 24 h

表 9 配合饲料与饵料鱼对鳊背肌脂肪酸组成的影响

Tab. 9 Effects of compound feed and forage fish on fatty acid composition of back muscle of *S. chuatsi* g/100 g 脂肪

脂肪酸 fatty acids	组别 group	
	湘云鲫组 Xiangyun crucian carp	配合饲料组 compound feed
豆蔻酸 C14:0	2.03±0.02	2.06±0.11
棕榈酸 C16:0	15.75±0.21	15.70±0.62
硬脂酸 C18:0	3.96±0.04	3.96±0.06
ΣSFA	21.73±0.23	21.72±0.88
棕榈烯酸 C16:1n-7	4.70±0.11	4.74±0.17
油酸 C18:1n-9	28.30±0.71	28.55±1.06
二十碳一烯酸 C20:1	1.25±0.01	1.41±0.17
ΣMUFA	34.25±0.80	34.70±1.40
亚油酸 C18:2n-6	20.95±0.07	20.80±0.09
亚麻酸 C18:3n-3	1.62±0.25	1.63±0.08
花生酸 C20:4n-6	0.14±0.01	0.15±0.01
C20:5n-3 EPA	0.96±0.01	1.01±0.04
C22:6n-3 DHA	4.73±0.04	4.65±0.04
ΣPUFA	28.32±0.10	28.24±0.26
ΣHUFA	7.37±0.02	7.44±0.07
EPA+DHA	5.68±0.05	5.66±0.07
Σn3	7.30±0.10	7.29±0.09
Σn6	21.02±1.16	20.95±1.32
Σn3/Σn6	2.71±0.08	2.68±0.01
Σn3/Σn6	0.35±0.01	0.35±0.01

的 pH 降低值、滴水损失、冷冻损失率及 MDA 含量均显著小于湘云鲫组, 说明配合饲料组鳊肌肉的货架寿命更长, 更有利于加工和储存。

3.3 配合饲料与饵料鱼饲喂鳊的糖脂代谢、抗氧化、免疫及肝肾功能比较

血液生理生化指标是反映机体代谢状态的重要依据^[23]。营养物质经肠道消化酶消化分解后, 通过肠绒毛内的乳糜管和毛细血管吸收进入血液循环, 为机体提供营养^[24]。在本实验中, 配合饲料的脂肪、淀粉水平高于饵料鱼, 且配合饲料组鳊的相应消化酶活性也得到提高, 吸收营养物质进入血液循环的速率更快, 从而使配合饲料组鳊的血脂与血糖水平显著高于湘云鲫组。肝脏是营养物质代谢转运的中心, 肾脏是将代谢废物排出体外的主要器官, 配合饲料组鳊较高的营养物质代谢速率给肝脏和肾脏带来了更大的代谢负担。ALT 与 AST 大量存在于肝细胞内, 只有肝细胞死

表 10 配合饲料与饵料鱼对鳊血浆生化指标的影响

Tab. 10 Effects of compound feed and forage fish on plasma biochemical indices of *S. chuatsi*

项目 items	组别 group	
	湘云鲫组 Xiangyun crucian carp group	配合饲料组 compound feed
糖脂代谢 carbohydrate and fat metabolism		
甘油三酯(TG)/(mmol/L) triglyceride	3.41±0.04	4.13±0.07*
总胆固醇(TC)/(mmol/L) total cholesterol	5.54±0.21	7.43±0.37*
高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C)/(mmol/L) high density lipoprotein cholesterol	2.00±0.05	1.97±0.07
低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C)/(mmol/L) low density lipoprotein cholesterol	4.74±0.22	4.78±0.27
HDL-C/LDL-C	0.42±0.02	0.41±0.02
血糖水平(GLU)/(mmol/L) blood glucose	3.34±0.15	4.02±0.08*
抗氧化能力 antioxidant ability		
总超氧化物歧化酶 (T-SOD)/(U/mL) total superoxide dismutase	88.35±1.79	90.17±3.50
过氧化氢酶(CAT)/(U/mL) catalase	24.73±1.56	25.05±1.18
谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px)/(U/mL) glutathion peroxidase	242.7±14.9	269.6±11.3*
丙二醛(MDA)/(nmol/mL) malondialdehyde	6.29±0.70	4.85±0.65*
免疫能力 immunity ability		
总蛋白(TP)/(U/mL) total protein	50.34±4.05	62.93±1.56*
溶菌酶(LZM)/(U/mL) lysozyme	72.15±13.03	104.02±12.00*
碱性磷酸酶(AKP)/(U/L) alkaline phosphatase	36.98±1.25	38.18±0.39
肝功能 liver function		
谷丙转氨酶(ALT)/(U/L) aspartate aminotransferase	34.29±2.09	47.49±5.34*
谷草转氨酶(AST)/(U/L) alanine aminotransferase	25.33±1.73	36.15±3.01*
总胆汁酸(TBA)/(μmol/L) total bile acid	36.85±3.13	48.92±4.53*
血氨(BA)/(μmol/L) blood ammonia	23.25±3.92	33.30±4.74*
肾功能 kidney function		
尿素氮(BUN)/(mmol/L) urea nitrogen	43.54±1.54	91.46±2.28*
肌酐(CREA)/(μmol/L) creatinine	31.76±2.97	77.55±11.06*

亡破裂时, 才会导致血液内转氨酶活性增强^[25]。TBA 能较为特异地反映肝脏排泄功能, 一旦肝细

表 11 配合饲料与饵料鱼对鳊消化酶活性的影响

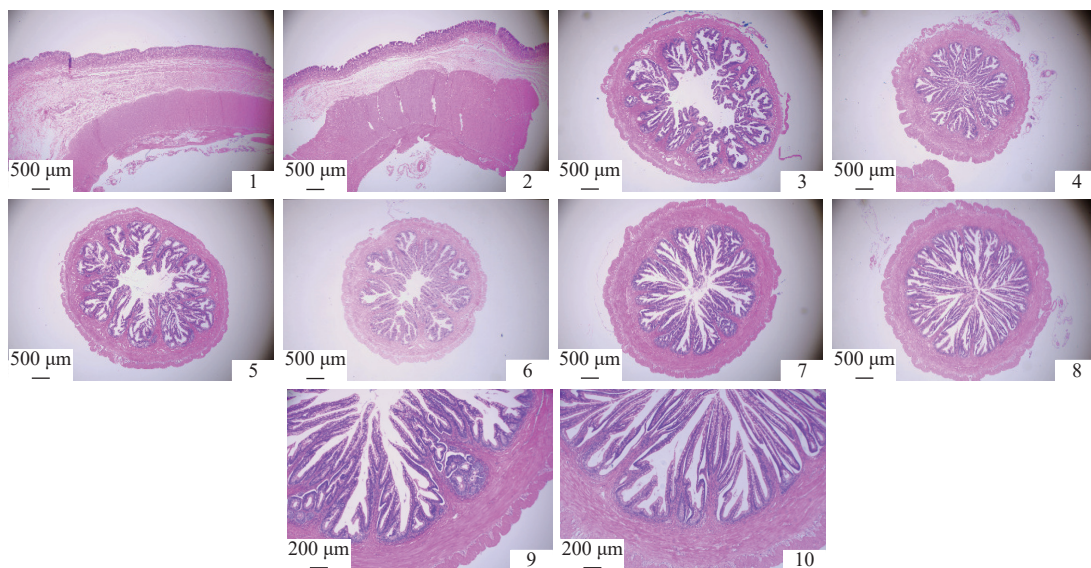
Tab. 11 Effects of compound feed and forage fish on digestive enzyme activities of *S. chuatsi* U/mg prot

项目 items	组别 group	
	湘云鲫组 Xiangyun crucian carp	配合饲料组 compound feed
胃 stomach		
胃蛋白酶 pepsin	14.15±2.28	22.45±2.18*
前肠 foregut		
胰蛋白酶 trypsin	2 732.06±145.23	3 496.05±162.54*
脂肪酶 lipase	47.51±2.92	65.40±5.91*
淀粉酶 amylase	0.13±0.01	0.18±0.01*
中肠 midgut		
胰蛋白酶 trypsin	1 551.61±116.49	1 932.93±91.32*
脂肪酶 lipase	53.53±4.49	86.78±5.50*
淀粉酶 amylase	0.19±0.01	0.25±0.01*
后肠 hindgut		
胰蛋白酶 trypsin	985.40±58.74	1 405.68±121.45*
脂肪酶 lipase	52.14±2.63	62.98±4.61*
淀粉酶 amylase	0.17±0.01	0.22±0.01*

胞受损变性或肠-肝循环受阻, 均可引起 TBA 升高^[26]。BA 主要来源于机体内各组织各种氨基酸分解代谢产生的氨以及由肠管吸收的氨, 大部分 BA 在肝脏合成尿素排出, BA 升高也是肝脏慢性损伤的标

志性指标之一^[27]。BUN 与 CREA 则主要反映肾小球的滤过功能, 是反映肾功能的主要指标^[28]。本实验中血浆 ALT、AST、TBA、BA、BUN 与 CREA 的升高也充分表明配合饲料组鳊的肝脏、肾脏健康状况不如湘云鲫组。今后在鳊的配合饲料改进过程中或池塘养殖过程中应特别注意鳊肝肾健康的维护。

血浆 TP 是各种蛋白的复杂混合物, 包括白蛋白、球蛋白、纤维蛋白原、凝血酶原等, 可间接反映机体的免疫水平^[29]。LZM 可以溶解细菌的细胞壁, 它的活性直接关系到鱼类的免疫与健康^[30]。血浆 T-AOC、CAT、GSH-Px 与 MDA 指标可较准确地反映机体清除氧自由基的能力, 与生物体的免疫水平密切相关^[31]。丛林梅等^[32]研究表明, 相对冰鲜太平洋玉筋鱼 (*Ammodytes personatus*) 来说, 投喂配合饲料会导致珍珠龙胆石斑鱼 (*E. lanceolatus*) 的抗氧化能力下降。卢桦等^[33]研究表明, 桑叶提取物能提升肝脏 T-AOC 和 T-SOD 活性来增加大鲵 (*Andrias davidianus*) 抗氧化能力, 减少氧化应激, 并提高非特异性免疫。本实验的结果与卢桦等^[33]一致, 可能也是加了桑叶提取物、胆汁酸等功能性物质, 从而配合饲料组鳊的 TP、LZM 指标显著提高, 非特异性免疫能力增强, 同时血浆 GSH-Px 升高, MDA 下降, 抗



图版 II 配合饲料与饵料鱼对鳊胃肠道组织结构的影响

1.湘云鲫组鳊胃(40×); 2.配合饲料组鳊胃(40×); 3.湘云鲫组鳊前肠(40×); 4.配合饲料组鳊前肠(40×); 5.湘云鲫组鳊中肠(40×); 6.配合饲料组鳊中肠(40×); 7.湘云鲫组鳊后肠(40×); 8.配合饲料组鳊后肠(40×); 9.湘云鲫组鳊后肠(100×); 10.配合饲料组鳊后肠(100×)。

Plate II Effects of compound feed and forage fish on gastrointestinal tissue structure of *S. chuatsi*

1. stomach of forage group (40×); 2. stomach of feed group (40×); 3. foregut of forage group (40×); 4. foregut of feed group (40×); 5. midgut of forage group (40×); 6. midgut of feed group (40×); 7. hindgut of forage group (40×); 8. hindgut of feed group (40×); 9. hindgut of forage group (100×); 10. hindgut of feed group (100×).

表 12 配合饲料与饵料鱼对鳊胃肠道组织结构的影响

Tab. 12 Effects of compound feed and forage fish on gastrointestinal tissue structure of *S. chuatsi*

项目 items	组别 group	
	湘云鲫组 Xiangyun crucian carp	配合饲料组 compound feed
胃 stomach		
黏膜层厚度/ μm mucosal thickness	586.74 \pm 16.86	1 114.62 \pm 17.41*
前肠 foregut		
肌层厚度/ μm muscle layer thickness	99.41 \pm 20.13	108.72 \pm 27.64
肠管直径/ μm intestinal tube diameter	2 812.79 \pm 277.68	2 407.62 \pm 68.64*
绒毛高度/ μm villus height	742.68 \pm 69.55	982.74 \pm 84.67*
绒毛数量/根 villus number	16.92 \pm 2.44	17.24 \pm 1.88
分支绒毛数量/根 branching villus number	64.62 \pm 9.82	59.28 \pm 4.47
杯状细胞密度/ (个/100 000 μm^2) goblet cell density	74.26 \pm 6.38	98.62 \pm 9.92*
空腔率/% cavity rate	23.64 \pm 2.68	11.41 \pm 4.41*
中肠 midgut		
肌层厚度/ μm muscle layer thickness	116.42 \pm 10.38	111.42 \pm 13.68
肠管直径/ μm intestinal tube diameter	2 417.86 \pm 122.41	2 515.28 \pm 95.23
绒毛高度/ μm villus height	592.41 \pm 49.62	726.84 \pm 47.47*
绒毛数量/根 villus number	21.16 \pm 5.14	20.41 \pm 4.85
分支绒毛数量/根 branching villus number	69.84 \pm 8.84	62.36 \pm 9.14
杯状细胞密度/ (个/100 000 μm^2) goblet cell density	61.42 \pm 7.51	77.42 \pm 8.56*
空腔率/% cavity rate	22.42 \pm 3.82	15.82 \pm 4.41*
后肠 hindgut		
肌层厚度/ μm muscle layer thickness	261.42 \pm 23.26	248.68 \pm 26.32
肠管直径/ μm intestinal tube diameter	3 058.62 \pm 99.61	3 074.18 \pm 72.66
绒毛高度/ μm villus height	897.62 \pm 69.52	942.68 \pm 103.26
绒毛数量/根 villus number	25.44 \pm 2.17	26.82 \pm 2.36
分支绒毛数量/根 branching villus number	86.58 \pm 11.50	79.64 \pm 8.42
杯状细胞密度/ (个/100 000 μm^2) goblet cell density	86.96 \pm 19.42	79.84 \pm 17.68
空腔率/% cavity rate	18.62 \pm 2.96	15.02 \pm 3.44

注: 空腔率= $S(\text{肠道、幽门盲囊空腔})/S(\text{肠道、幽门盲囊})$; 通过组织切片可知, 鳊肠道绒毛呈树枝状, 故定义肠道绒毛的树枝状分支总数为分支绒毛数量。

Notes: Cavity rate = $S(\text{cavity of intestinal tract and pyloric sac})/S(\text{cavity of intestinal tract and pyloric sac})$; according to tissue sections, intestinal villi of *S. chuatsi* are dendritic, so the total number of dendritic branches of intestinal villi is defined as the number of branch villi roots.

表 13 配合饲料与饵料鱼对鳊肠道菌群的影响

Tab. 13 Effects of compound feed and forage fish on intestinal microflora of *S. chuatsi*

项目 items	组别 group	
	湘云鲫组 Xiangyun crucian carp	配合饲料组 compound feed
个数 OUT	512.67 \pm 143.67	634.33 \pm 147.75
Ace	600.36 \pm 95.05	684.97 \pm 118.16
Chao1	622.84 \pm 91.40	704.19 \pm 100.16
Simpson	0.63 \pm 0.09	0.92 \pm 0.04*
Shannon	2.56 \pm 0.89	5.76 \pm 1.48*
PD_whole_tree	38.81 \pm 7.03	46.89 \pm 7.15
测序覆盖率/% sequencing coverage	99.85 \pm 0.05	99.91 \pm 0.04

氧化能力提高。

3.4 配合饲料与饵料鱼饲喂鳊的胃肠结构功能比较

胃和肠道是肉食性鱼类消化、吸收的主要场所。观察胃组织切片可得, 湘云鲫组鳊的黏膜层厚度显著小于配合饲料组, 可能因为是鳊摄食饵料鱼长期撑大胃部, 使胃的收缩蠕动能力减弱, 导致胃搅拌和捣碎食物的能力减弱。鱼类消化酶活性与其饵料中各种营养成分的种类和含量有关, 一般含量越高酶活性越大, 本实验中配合饲料组鳊的胃蛋白酶活性显著高于湘云鲫组, 可能因为配合饲料组单位面积的鳊胃壁接触的蛋白底物浓度显著高于湘云鲫组。

肠道消化吸收酶活性、肠道组织发育情况直接反映肠道消化、吸收营养物质的能力。相关研究表明, 肉食性鱼类摄食配合饲料中, 若淀粉含量较高, 会提高淀粉酶活性, 若配合饲料中缺乏活性因子和抗营养因子会降低蛋白酶活性, 而脂肪酶活性的变化则差别较大^[34-36]。本实验中, 配合饲料组鳊前、中、后肠的胰蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶活性均显著高于湘云鲫组。这可能与本实验中配合饲料蛋白、脂肪、淀粉三大营养物质含量均高于湘云鲫有关。李云兰等^[37]研究表明, 肠黏膜的肌层厚度反映肠道收缩能力的强弱, 其肌层厚度增加使肠道收缩力增强, 有助于肠道食糜的混匀、消化和排空。从切片来看, 配合饲料组鳊的前肠与中肠空腔率较低, 绒毛高度更高, 说明配合饲料可以通过促进鳊肠绒毛发育, 杯状细胞增殖更多, 从而增加消化面积, 诱导消化酶的产生, 提高对营养物质的消化吸收能力。本实验将鳊全肠等长度划分为前、中、后肠测定消化酶

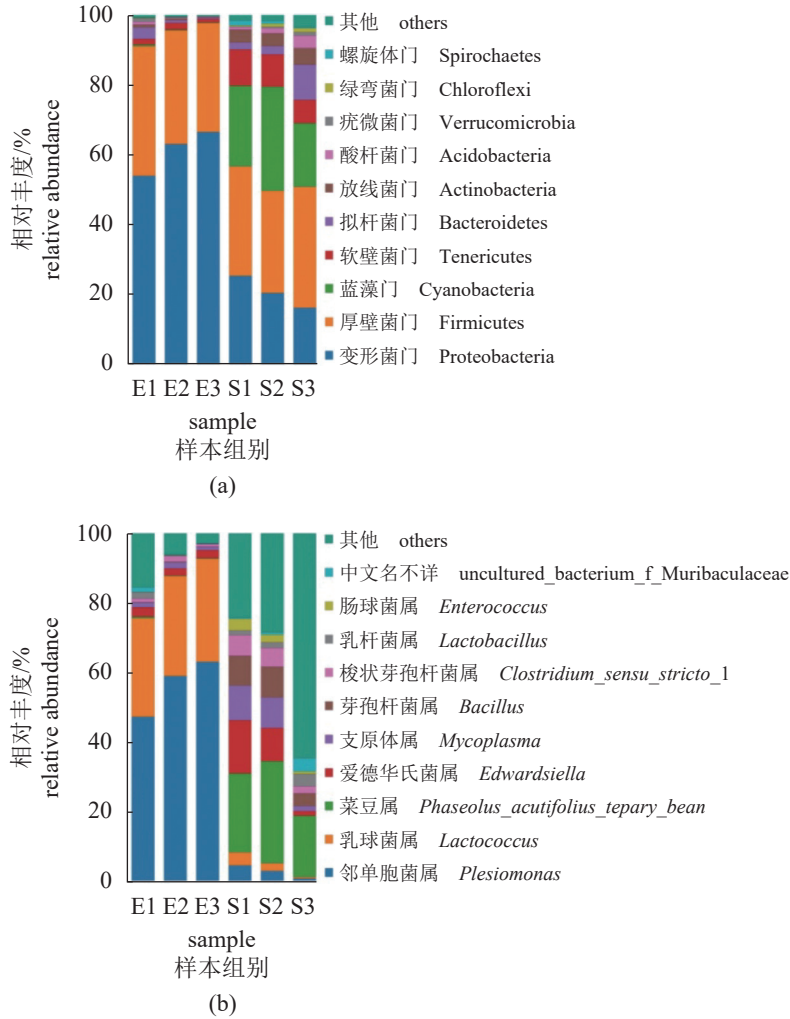


图 1 肠道菌群物种组成分布图

E.湘云鲫, S.配合饲料。1~3.生物学重复。

Fig. 1 Species composition distribution of intestinal flora

E. Xiangyun crucian carp, S. compound feed. 1-3. biological replicate.

活性,发现胰蛋白酶活性在前肠最高,中肠次之,后肠最低;脂肪酶活性在中肠最高,前肠与后肠次之;淀粉酶活性在中肠最高,后肠次之,前肠最低,同时各肠段的组织结构也存在较大差异,说明鳊肠道的不同部位结构功能有较大的差异。

脊椎动物的肠道内具有一个复杂的微生态体系,肠道菌群的稳定对维护肠道健康和发挥肠道消化吸收营养物质的功能来说至关重要^[38]。不同的饵料携带的外源微生物与本体营养成分均不同,这对肠道微生物组成存在较大影响^[39]。冯麒凤等^[24]研究表明,桑叶提取物可以提高肠道菌群的丰富性和多样性,并抑制有害菌的生长,改善肠道菌群结构。本实验结果与之一致,配合饲料组鳊肠道微生物的 Simpson 指数与 Shannon 指数均显著高于湘云鲫组,同时芽孢杆菌属丰度显著高

于湘云鲫组,芽孢杆菌是一类水环境和鱼体中的有益菌,其在肠道内增殖,可抑制其他病原菌的生长^[40],说明摄食配合饲料的鳊肠道微生物物种丰度更高,菌群更加稳定。

4 结论

在本实验条件下,相比于投喂湘云鲫,摄食配合饲料的鳊在生长速率、胃肠道发育、非特异性免疫能力与肌肉品质方面更具优势。但鳊摄食配合饲料后肝肾代谢负担加重,因此配合饲料改良应注重此方面的优化,以便开展绿色健康、优质高效的饲料鳊养殖。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2023 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.
- Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2023[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023 (in Chinese).
- [2] Sankian Z, Khosravi S, Kim Y O, *et al.* Dietary protein requirement for juvenile mandarin fish, *Siniperca scherzeri*[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2019, 50(1): 34-41.
- [3] Alam M S, Liang X F, Liu L W, *et al.* Growth and metabolic response of Chinese perch to different dietary protein-to-energy ratios in artificial diets[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019, 20(23): 5983.
- [4] Wang J, Liang X F, He S, *et al.* Lipid deposition pattern and adaptive strategy in response to dietary fat in Chinese perch (*Siniperca chuatsi*)[J]. *Nutrition & Metabolism*, 2018, 15(1): 1-11.
- [5] Sankian Z, Khosravi S, Kim Y O, *et al.* Total replacement of dietary fish oil with alternative lipid sources in a practical diet for mandarin fish, *Siniperca scherzeri*, juveniles[J]. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 2019, 22(1): 8.
- [6] Li L, Fang J G, Liang X F, *et al.* Effect of feeding stimulants on growth performance, feed intake and appetite regulation of mandarin fish, *Siniperca chuatsi*[J]. *Aquaculture Research*, 2019, 50(12): 3684-3691.
- [7] Zhang Y P, Liang X F, He S, *et al.* Dietary supplementation of exogenous probiotics affects growth performance and gut health by regulating gut microbiota in Chinese perch (*Siniperca chuatsi*)[J]. *Aquaculture*, 2022, 547: 737405.
- [8] Zhu C Z, Li D, Chen W J, *et al.* Effects of dietary host-associated *Lactococcus lactis* on growth performance, disease resistance, intestinal morphology and intestinal microbiota of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*)[J]. *Aquaculture*, 2021, 540: 736702.
- [9] 汪福保, 孙成飞, 董浚键, 等. 投喂配合饲料和活饵对翘嘴鲌形体 and 肌肉品质的影响[J]. *淡水渔业*, 2022, 52(6): 102-111.
- Wang F B, Sun C F, Dong J J, *et al.* Effects of compound feed and live bait on the nutrient composition and meat quality of *Siniperca chuatsi*[J]. *Freshwater Fisheries*, 2022, 52(6): 102-111 (in Chinese).
- [10] 牛树辉, 李红燕, 潘厚军, 等. 鲜活饵料和人工配合饲料对鳊肌肉营养成分和质构特性的影响[J]. *水生生物学报*, 2023, 47(1): 37-44.
- Niu S H, Li H Y, Pan H J, *et al.* Effects of live prey fish and artificial diet on nutrient compositions and texture properties in the muscle of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*)[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, 47(1): 37-44 (in Chinese).
- [11] Chen X, Sun C F, Dong J J, *et al.* Comparative analysis of the gut microbiota of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) feeding on compound diets and live baits[J]. *Frontiers in Genetics*, 2022, 13: 797420.
- [12] 曾萌冬, 徐俊, 宋银都, 等. 配合饲料替代活饵对鳊生长性能、消化功能及小肽转运载体基因表达的影响[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(1): 228-237.
- Zeng M D, Xu J, Song Y D, *et al.* Effects of replacing live bait with compound feed on growth, digestion and expression of small peptide transporter (*PepT1*) gene of *Siniperca chuatsi*[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, 52(1): 228-237 (in Chinese).
- [13] 李燕, 李永强, 李建忠, 等. 配合饲料完全替代鲜活饵料对翘嘴鲌生长、体成分及消化能力的影响[J]. *水产科技情报*, 2016, 43(3): 164-168.
- Li Y, Li Y Q, Li J Z, *et al.* Effects of complete replacement of fresh feed with compound feed on growth, body composition and digestibility of *Siniperca chuatsi*[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2016, 43(3): 164-168 (in Chinese).
- [14] 班赛男, 朱传忠, 杨新冬, 等. 摄食不同饵料对翘嘴鲌生长、体成分和消化酶活性的影响[J]. *淡水渔业*, 2020, 50(1): 93-100.
- Ban S N, Zhu C Z, Yang X D, *et al.* Effect of different diet on the growth performance, body composition and digestive enzymes active of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*)[J]. *Freshwater Fisheries*, 2020, 50(1): 93-100 (in Chinese).
- [15] 邵婷. 脆肉鲩脆化过程中品质变化规律与机制 [D]. 重庆: 西南大学, 2022.
- Shao T. Quality changes and mechanism of crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) during crispness formation process[D]. Chongqing: Southwest University, 2022.

- versity, 2022 (in Chinese).
- [16] Wang Y, Liang J, Miyazaki R, *et al.* Influence of the interposition of pink muscle fibers in the dorsal ordinary muscle on the postmortem hardness of meat in various fishes[J]. *Journal of Texture Studies*, 2021, 52(3): 358-367.
- [17] 况文明, 唐仁军, 薛洋, 等. 池塘两种养殖方式下草鱼的营养差异[J]. *水产学报*, 2020, 44(12): 2028-2036.
- Kuang W M, Tang R J, Xue Y, *et al.* Preliminary evaluation of nutritional differences of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) under two pond culture models[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(12): 2028-2036 (in Chinese).
- [18] Ma X Z, Feng L, Wu P, *et al.* Enhancement of flavor and healthcare substances, mouthfeel parameters and collagen synthesis in the muscle of on-growing grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fed with graded levels of glutamine[J]. *Aquaculture*, 2020, 528: 735486.
- [19] Calvo L, Toldrá F, Rodríguez A I, *et al.* Effect of dietary selenium source (organic vs. mineral) and muscle pH on meat quality characteristics of pigs[J]. *Food Science & Nutrition*, 2017, 5(1): 94-102.
- [20] 张玉伟, 罗海玲, 贾慧娜, 等. 肌肉系水力的影响因素及其可能机制[J]. *动物营养学报*, 2012, 24(8): 1389-1396.
- Zhang Y W, Luo H L, Jia H N, *et al.* Effect factors of water holding capacity of meats and its potential mechanism[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(8): 1389-1396 (in Chinese).
- [21] Koomkrong N, Boonkaewwan C, Laenoi W, *et al.* Blood haematology, muscle pH and serum cortisol changes in pigs with different levels of drip loss[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2017, 30(12): 1751-1755.
- [22] 关磊, 朱瑞俊, 李小勤, 等. 普通草鱼与脆化草鱼的肌肉特性比较[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(5): 748-753.
- Guan L, Zhu R J, Li X Q, *et al.* Muscle characteristics comparison between grass carp and crisped grass carp[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(5): 748-753 (in Chinese).
- [23] Matsunari H, Iwashita Y, Suzuki N, *et al.* Influence of fermented soybean meal-based diet on the biliary bile status and intestinal and liver morphology of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*[J]. *Aquaculture Science*, 2010, 58(2): 243-252.
- [24] 冯麒凤, 李战福, 黄先智, 等. 日粮中添加桑叶提取物和1-脱氧野尻霉素对大鲵生长、消化、免疫能力和肠道菌群的影响[J]. *水生生物学报*, 2021, 45(3): 582-592.
- Feng Q F, Li Z F, Huang X Z, *et al.* Effects of dietary mulberry leaf extract and 1-deoxynojirimycin on growth, digestion and immunity capacity, and intestinal microorganism of Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*)[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021, 45(3): 582-592 (in Chinese).
- [25] Sheikhzadeh N, Tayefi-Nasrabadi H, Khani Oushani A, *et al.* Effects of *Haematococcus pluvialis* supplementation on antioxidant system and metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2012, 38(2): 413-419.
- [26] Jiang N H, Zheng B H, Feng Y H, *et al.* A pharmacokinetics-pharmacodynamics study of single-dose total glucosides of paeony capsule on reducing serum total bile acid in hepatic injury rats[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2021, 59(1): 767-775.
- [27] El-Kalla F, Mansour L, Kobtan A, *et al.* Blood ammonia level correlates with severity of cirrhotic portal hypertensive gastropathy[J]. *Gastroenterology Research and Practice*, 2018, 2018: 9067583.
- [28] Moraledis E, Papanastasiou E, Didangelos T, *et al.* Determination of the glomerular filtration rate in patients with type 2 diabetes: an assessment of the agreement between ⁵¹Cr-EDTA plasma clearance and ^{99m}Tc-DTPA plasma clearance, ^{99m}Tc-DTPA renography and plasma creatinine prediction equation[J]. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 2020, 161: 108079.
- [29] 王红权, 唐德约, 赵玉蓉, 等. 牛膝多糖对草鱼免疫和抗氧化功能的影响[J]. *水生生物学报*, 2013, 37(2): 351-357.
- Wang H Q, Tang D Y, Zhao Y R, *et al.* Effects of dietary *Achyranthes bidentata* polysaccharide on immunity and antioxidant function of grass carp *Ctenopharyngodon idellus*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(2): 351-357 (in Chinese).
- [30] Saurabh S, Sahoo P K. Lysozyme: an important defence molecule of fish innate immune system[J]. *Aquaculture Research*, 2008, 39(3): 223-239.
- [31] 王凡, 李聪歌, 马雅雯, 等. 山药提取物对虹鳟生长和

- 非特异性免疫指标的影响[J]. 河南农业科学, 2020, 49(4): 167-172.
- Wang F, Li C G, Ma Y W, *et al.* Effects of yam extract on growth performance and non-specific immune parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2020, 49(4): 167-172 (in Chinese).
- [32] 丛林梅, 王蔚芳, 高淳仁, 等. 配合饲料和冰鲜太平洋玉筋鱼对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长、抗氧化和脂质代谢的影响[J]. 水产学报, 2016, 40(9): 1398-1407.
- Cong S M, Wang W F, Gao C R, *et al.* Effects of compound diet and fresh frozen *Ammodytes personatus* on growth, antioxidant ability and lipid metabolism of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*Epinephelus lanceolatus* ♂) juveniles[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(9): 1398-1407 (in Chinese).
- [33] 卢桦, 李战福, 黄先智, 等. 桑叶提取物和1-脱氧野尻霉素对大鲵生长性能、肝脏功能及免疫能力的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(1): 584-593.
- Lu H, Li Z F, Huang X Z, *et al.* Effects of mulberry leaf extract and 1-deoxynojirimycin on growth performance, liver function and immune ability of giant salamander (*Andrias davidianus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(1): 584-593 (in Chinese).
- [34] 孙翰昌. 不同饵料对鳊生长性能及消化酶活性的影响[J]. 中国饲料, 2009(24): 32-35.
- Sun H C. Effects of different baits on the growth performance and activities of digestive enzyme in *Siniperca chuatsi*[J]. China Feed, 2009(24): 32-35 (in Chinese).
- [35] Kolkovski S. Digestive enzymes in fish larvae and juveniles—implications and applications to formulated diets[J]. *Aquaculture*, 2001, 200(1-2): 181-201.
- [36] Grendell J H, Rothman S S. Digestive end products mobilize secretory proteins from subcellular stores in the pancreas[J]. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 1981, 241(1): 67-73.
- [37] 李云兰, 高启平, 帅柯, 等. 发酵豆粕替代豆粕对鲤鱼生长性能和肠道组织结构的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(2): 469-475.
- Li Y L, Gao Q P, Shuai K, *et al.* Effects of soybean meal replacement by fermented soybean meal on growth performance and intestinal tissue structure of common carp (*Cyprinus carpio*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(2): 469-475 (in Chinese).
- [38] Leclercq S, Matamoros S, Cani P D, *et al.* Intestinal permeability, gut-bacterial dysbiosis, and behavioral markers of alcohol-dependence severity[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(42): E4485-E4493.
- [39] Scott K P, Gratz S W, Sheridan P O, *et al.* The influence of diet on the gut microbiota[J]. *Pharmacological Research*, 2013, 69(1): 52-60.
- [40] Deeseenthum S, Leelavatcharamas V, Brooks J D. Effect of feeding *Bacillus* sp. as probiotic bacteria on growth of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de man)[J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2007, 10(9): 1481-1485.

Effects of compound feed and bait fish on growth, gastrointestinal structure and function and meat quality of *Siniperca chuatsi*

CHEN Jianbin¹, YU Junqi¹, XU Hangzhong¹, MA Junkang¹, LIU Tianji², LI Hongqin²,
LIU Cong², LUO Hao², LI Hong³, ZHAI Xuliang³, XUE Yang³, LUO Li^{1*}

(1. College of Fisheries, Southwest University, Chongqing Key Laboratory of Fisheries Science,
Key Laboratory of Freshwater Fish Resources and Reproductive Development of Ministry of Education, Chongqing 400715, China;

2. Sichuan New Hope Liuhe Technology Innovation Co., Ltd., Chengdu 610000, China;

3. Chongqing Ecological Fishery Industry Technology System,
Chongqing Aquatic Technology Promotion Station, Chongqing 400400, China)

Abstract: In order to compare the effects of formula feed and forage fish (Xiangyun crucian carp) on the growth, digestive system structure and function, plasma biochemical indices and muscle quality of *Siniperca chuatsi*, 210 *S. chuatsi* with the initial body weight of (112.33±1.14) g were selected and randomly divided into 2 treatments, feeding complex diet and Xiangyun crucian carp respectively for 68 days. The results show that: ① The nutrient deposition rate of the feed group was significantly higher than that of the Xiangyun crucian carp, and the weight gain rate (WGR) and dry matter feed efficiency (FE) significantly increased by 23.14% and 30.53%, respectively, while the dry matter intake (FI) of the *S. chuatsi* in the feed group was not significantly different from that in the Xiangyun crucian carp. ② The muscle fibers of the back muscle of *S. chuatsi* in the feed group were finer. The muscle hardness, brittleness, chewiness and adhesion of *S. chuatsi* group were significantly better than those of Triploid crucian carp group, and the pH reduction value, drip loss and freezing exudation rate were decreased by 26.67%, 26.65% and 24.90%, respectively. The content of malonaldehyde (MDA) *in vitro* was significantly lower than that of Xiangyun crucian carp group. ③ The content of TG, TC and GLU of *S. chuatsi* plasma in feed group were significantly higher than those in Triploid crucian carp, while the MDA content was on the contrary. There were no significant differences in the contents of HDL-C, LDL-C and HDL-C/LDL-C between the two groups. ④ The activities of pepsin, amylase, lipase and trypsin in anterior, middle and posterior intestine of *S. chuatsi* in feed group were significantly higher than those in Xiangyun crucian carp. ⑤ Simpson index and Shannon index of intestinal microflora in the feed group were significantly 46.03% and 125.00% higher than those in the Xiangyun crucian carp group, and the abundance of Bacillus was increased. In conclusion, under the conditions of this experiment, *S. chuatsi* fed with compound feed have more advantages in growth rate, muscle quality, non-specific immune capacity and gastrointestinal development than fish fed with feed. This experiment provides a theoretical basis for *S. chuatsi* compound feed to replace traditional diet for fish breeding.

Key words: *Siniperca chuatsi*; compound feed; bait fish; Xiangyun crucian carp

Corresponding author: LUO Li. E-mail: luoli1972@163.com

Funding projects: Chongqing Ecological Fishery Industry Technology System Project (2021); Sichuan New Hope Liuhe Technology Innovation Co., Ltd., Project