



冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的生理状态比较

徐杭忠¹, 张皓迪¹, 王贵龙¹, 刘天骥², 李洪琴², 刘 匆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: 为比较鳊短期饥饿与摄食的生理状态, 实验以我国鳊主产区广东省的冬季水温为参照, 在 $(13\pm 1)^\circ\text{C}$ 的水温条件下, 选取体质量为 $(84.13\pm 0.14)\text{g}$ 的鳊 90 尾, 分为饥饿组 (饥饿 15 d) 和摄食组 (摄食 15 d), 实验结束后测定各项理化指标。结果显示: ①摄食组鳊的体质量、肝糖原、全鱼与肌肉的粗蛋白、粗脂肪含量均显著高于饥饿组, 摄食组增重 7.54%, 而饥饿组减重 8.39%。②摄食组鳊血浆谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性显著低于饥饿组, 但甘油三酯含量显著高于饥饿组, 各类血细胞数量与血糖水平则无明显差异。③摄食组鳊的消化酶活性显著高于饥饿组, 肠道组织结构发育更好。④摄食组鳊肝脏抗氧化能力显著高于饥饿组, 且饥饿组部分肝细胞有明显的结构损伤, 脂滴数量显著少于摄食组。⑤摄食组鳊的血浆溶菌酶活性和血浆、脾脏、肾脏免疫球蛋白 M 含量显著高于饥饿组。⑥摄食组与饥饿组鳊背肌氨基酸组成无显著差异。但脂肪酸组成有显著差异, 摄食组鳊背肌饱和脂肪酸与单不饱和脂肪酸总量显著低于饥饿组, 而多不饱和脂肪酸与高不饱和脂肪酸总量显著高于饥饿组。研究表明, 在本实验条件下, 摄食组增重而饥饿组减重, 两种处理增重量差值达 15.93%, 且饥饿组存在消化和免疫能力下降, 肝脏抗氧化能力减弱, 细胞结构损伤的隐形危害, 而摄食组的鳊消化、免疫及肝脏功能相对正常, 背肌蛋白与脂肪含量更高, 脂肪酸组成得到改善, 氨基酸组成稳定。

关键词: 鳊; 短期饥饿; 摄食; 冬季

中图分类号: S 965.127

文献标志码: A

鳊 (*Siniperca chuatsi*) 俗称“桂花鱼”、“鳌花鱼”, 是我国特有的淡水鱼珍品。据 2021 年中国渔业统计年鉴信息, 我国鳊 2020 年度产量已达 37.70 万 t^[1]。鳊已成为国内最具发展潜力的特种养殖品种之一。在农业农村部水产绿色健康养殖五大行动之一的配合饲料替代冰鲜杂鱼行动的推动下, 经国内多家科研单位与企业的共同努力, 鳊

的商品饲料已成功研发并开始推广。本研究团队也成功在重庆地区开展多模式的饲料鳊养殖推广, 并实现了冬季低水温下的饲料鳊驯化养殖^[2]。

广东省是鳊的主产区, 全国约 1/3 的鳊成鱼和 90% 的鳊苗来自广东。广东省处于热带和亚热带交界处, 冬季会经历短期的低水温期 ($10\sim 16^\circ\text{C}$), 该水温条件下, 传统以饵料鱼麦瑞加拉鲮 (*Cir-*

收稿日期: 2021-12-19 修回日期: 2022-05-18

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

第一作者: 徐杭忠, 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: 1229635600@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



rhinus mrigala) 养殖的鳊面临短期的饵料缺乏和饥饿胁迫。众多研究指出, 鱼类在冬季低温条件下的饥饿将导致体质量、脏器指数、免疫能力、抗氧化能力和行动能力等的下降, 进而导致养殖鱼类的越冬损失^[3-5]。而鳊饲料的研发成功及鳊饲料驯化成功使鳊可以在冬季得到投喂。但在冬季正常投喂饲料后, 鳊的生长与体质如何变化, 目前尚无研究报道。

基于此, 本实验以广东省冬季水温为参照, 在水温 (13±1) °C 的条件下, 设置饥饿 15 d (饥饿组) 与投喂 15 d (摄食组) 两个处理组进行比较研究。从养殖鳊的生长性能、消化能力、免疫能力、肝脏健康及肌肉品质几大方面进行对比。以期为饲料养殖鳊在冬季低水温条件下的饲养管理提供参考。

1 材料与方 法

1.1 实验鱼及饲料

实验所需鳊 (翘嘴鳊, “广清一号”) 购于重庆市潼南区兴水渔场, 鳊浮性膨化饲料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。饲料配方及主要营养组成如表 1 所示。

1.2 饲养管理

实验鳊购回后, 泼洒硫醚沙星对鱼消毒处理, 采用饵料鱼、软颗粒饲料、浮性膨化饲料的驯化流程驯化 2 周后, 选择体质量均匀 [(84.13±0.14) g], 体质健壮的鳊 90 尾, 随机分为饥饿组和摄食组, 每组 3 个重复, 每个重复 15 尾, 饲养于西南大学水产学院室内淡水循环养殖系统的蓝色养殖缸 (400 L) 中, 水源为曝气自来水, 每天早晚各换水 50%。摄食组维持每天 2 次 (9: 00, 17: 00) 饱食投喂, 饥饿组不投喂。实验期间光周期为自然周期, 水温 13~14 °C, 溶解氧 ≥6.0 mg/L, 氨氮 ≤0.50 mg/L, 亚硝酸盐 ≤0.05 mg/L, pH 6.5~7.5。

1.3 样品采集和制备

鳊养殖实验结束后饥饿 24 h, 每组每个重复随机选取 5 尾, 用 50 mg/L MS-222 (Sigma, 美国) 溶液麻醉, 称重后用 1 mL 的一次性无菌注射器在尾静脉处取血, 取 20 μL 全血用于血液指标测定, 剩余的全血加入肝素钠抗凝后, 4 500 r/min 离心 10 min 制备血浆放入液氮罐中速冻, 之后转入 -80 °C 冰箱内保存, 用于血浆生化指标测定。后将鳊于冰上解剖, 取出完整内脏团, 分离肝脏、头肾、胃、肠道、幽门盲囊和背部肌肉样品, 液

表 1 实验饲料配方及主要营养成分

Tab. 1 Formulation and nutrient composition		%
项目 items		比例 proportion
原料 ingredients		
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(98.5%) lysine hydrochloride (98.5%)		0.20
蛋氨酸(99%) methionine (99%)		0.30
磷酸二氢钙 calcium dihydrogen phosphate		2.00
复合预混料 premix		6.00
氯化胆碱(50%) choline chloride (50%)		0.35
防霉剂 mould inhibitor		0.05
抗氧化剂 antioxidants		0.10
合计 total		100.00
营养组成(实测值) nutrient composition (measured value)		
水分 moisture		8.00
粗蛋白 crude protein		49.77
粗脂肪 crude lipid		10.69
粗灰分 crude ash		13.73

注: 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
Notes: premix contains multi-vitamins, complex mineral, functional additives and carrier, multi-vitamin and complex mineral refer to carnivorous fishes

氮速冻后, 转入 -80 °C 冰箱保存备用。另外每个重复随机选取 2 尾鳊, 取部分肝脏和肠道组织, 用 4% 多聚甲醛溶液浸泡固定后, 用于组织切片的制作。

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, 准确称量各组鳊体质量, 计算其生长指标, 计算公式:

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

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

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

$$\text{饲料系数 (feed conversion ratio, FCR)} = F / (W_t - W_0)$$

蛋白沉积率 (rate of protein deposition, RPD, %)= $(W_t P_t - W_0 P_0) / W_t \times 100\%$

脂肪沉积率 (fat deposition rate, FDR, %)= $(W_t F_t - W_0 F_0) / W_t \times 100\%$

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

肝体比 (hepatosomatic index, HSI, %)= $W_l / W \times 100\%$

肥满度 (condition factor, CF, g/cm³)= $W / BL^3 \times 100$

式中, W_0 为初始平均体质量 (g), W_t 为终末平均体质量 (g), N_0 为初始尾数, N_t 为终末尾数, D 为养殖实验天数 (d), F 为尾均干物质摄食量 (g), P_0 为初始鱼体蛋白 (%), P_t 为终末鱼体蛋白 (%), F_0 为初始鱼体脂肪占比 (%), F_t 为终末鱼体脂肪占比 (%), W_v 为实验鱼内脏团质量 (g), W_l 为实验鱼肝脏质量 (g), BL 为实验鱼体长 (cm), W 为实验鱼体质量 (g)。

营养成分测定 水分含量测定采用 105 °C 烘箱干燥法 (GB/T 6435—2006), 粗蛋白含量测定采用凯氏半微量蒸馏定氮法 (GB/T 6432—1994), 粗脂肪含量测定采用索氏抽提法 (GB/T 6433—1994), 粗灰分含量测定采用 550 °C 灼烧法 (GB/T 6438—1992), 糖原测定采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒。

血液生理指标 用自动化血球仪 BC5180 进行测定。

生化指标测定 胃蛋白酶、胰蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶、H⁺-K⁺-ATP 酶、Na⁺-K⁺-ATP 酶、总抗氧化能力 (T-AOC)、总超氧化物歧化酶 (T-SOD)、丙二醛 (MDA)、谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT)、溶菌酶 (LZM) 和甘油三酯 (TG) 指标均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定。免疫球蛋白 M (IgM) 采用上海优选生物科技有限公司生产的 Elisa 试剂盒测定。

肝脏和肠道石蜡组织切片制作 组织经 4% 多聚甲醛固定, 依次于 70%、80%、90%、95%、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 切片机匀速切成厚度为 4 μm 的切片, 在清洁的载玻片展片, H.E 染色, 中性树胶封片。

肝脏油红组织切片制作 组织经 4% 多聚甲醛固定, 转移进入 200 g/L 蔗糖-PBS 缓冲液中脱水, 后置于二甲苯中透明, 用低熔点的石蜡包

埋, 放入 -80 °C 中冻存, 待冰冻切片机制冷至 -20 °C, 取出样品匀速切成厚度为 6 μm 的切片, 在清洁的载玻片展片, PBS 缓冲液冲洗, 60% 异丙醇浸泡, 油红 O 染色, 染色后的组织再次放入 60% 异丙醇中洗去黏附在表面的染料后, PBS 缓冲液冲洗, 苏木精染色, 中性树胶封片。

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 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。

肌肉脂肪酸组成 采用安捷伦 7820 a 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 4 mL 蒸馏水, 3 000 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。

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 系统中进行。

2 结果

2.1 冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的生长性能、体组成与形体指标比较

饥饿组鳊体质量、蛋白沉积率和脂肪沉积率均降低, 减重 8.39%, 而摄食组增重 7.54%。摄食组全鱼与肌肉的粗蛋白、粗脂肪和肝糖原含量均显著高于饥饿组 ($P < 0.05$)。全鱼水分、全鱼粗灰分与肌肉粗灰分显著低于饥饿组 ($P < 0.05$)。两组的存活率、肌糖原、肌肉水分、肥满度、脏体比与肝体比无显著差异 ($P > 0.05$) (表 2)。

2.2 冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的血液生理与血浆生化指标比较

摄食组鳊血浆谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性显著低于饥饿组 ($P < 0.05$), 甘油三酯显著高于饥

表 2 冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的生长、
体组成与形体指标比较

Tab. 2 Comparison of growth, body composition and
physical indicators of *S. chuatsi* under short-term
starvation and feeding at low water temperature in winter

项目 items	饥饿组 starvation group	摄食组 feeding group
生长性能 growth performance		
初始体质量/g IBW	84.13±0.14	84.13±0.14
终末体质量/g FBW	77.07±0.29	90.47±0.15*
增重率/% WGR	-8.39±0.38	7.54±0.17*
投饲率/(%/d) FR	—	0.49±0.01
饲料系数 FCR	—	2.28±0.08
存活率/% SR	100.00±0.00	100.00±0.00
蛋白沉积率/% RPD	-2.26±0.16	1.85±0.09*
脂肪沉积率/% FDR	-1.06±0.12	1.31±0.11*
体组成 body composition		
全鱼水分/% whole fish moisture	74.99±0.09*	72.49±0.38
全鱼粗蛋白质/% whole fish crude protein	16.73±0.12	18.03±0.08*
全鱼粗脂肪/% whole fish crude lipid	2.70±0.06	4.51±0.10*
全鱼粗灰分/% whole fish crude ash	5.56±0.05*	4.96±0.06
肌肉水分/% muscle moisture	79.97±0.44	78.65±0.66
肌肉粗蛋白质/% muscle crude protein	17.94±0.06	19.56±0.14*
肌肉粗脂肪/% muscle crude lipid	0.75±0.01	1.44±0.11*
肌肉粗灰分/% muscle crude ash	1.22±0.01*	1.10±0.01
肝糖原/(mg/g) liver glycogen	49.31±2.82	106.47±4.09*
肌糖原/(mg/g) muscle glycogen	0.46±0.01	0.61±0.10
形体指标 physical indicators		
肥满度/(g/cm ³) CF	2.05±0.05	2.05±0.22
脏体比/% VSI	5.76±0.27	6.55±0.63
肝体比/% HSI	1.49±0.08	1.25±0.24

注: “*”表示同行数据差异显著($P<0.05$), 下同
Notes: in the same line, the data with superscript * indicates significant difference ($P<0.05$), the same below

饥饿组 ($P<0.05$) (表 3)。而白细胞、红细胞、血红蛋白、血栓细胞、淋巴细胞和血糖水平两组间无显著差异 ($P>0.05$)。

2.3 冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的消化酶活性与肠道组织结构比较

摄食组鳊的胃蛋白酶、胃 H^+K^+ -ATP 酶、肠道和幽门盲囊的胰蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性、肠道绒毛高度和肌层厚度均显著高于饥饿组 ($P<0.05$), 但两个组的肠道绒毛数量无显著差异 ($P>0.05$) (表 4)。肠道组织切片显示, 饥饿组与摄食组相比, 肠道空腔明显变大, 肠道黏膜高度明显

表 3 冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的血液生理和
血浆生化指标比较

Tab. 3 Comparison of blood physiological and plasma
biochemical indices of short-term starvation and feeding of
S. chuatsi in winter at low water temperature

项目 items	饥饿组 starvation group	摄食组 feeding group
血液生理指标 blood physiological index		
白细胞/(10 ⁹ /L) WBC	13.53±1.04	13.67±3.33
红细胞/(10 ¹² /L) RBC	3.54±0.29	3.15±0.16
血红蛋白/(g/L) HGB	142.25±7.72	140.25±10.14
血栓细胞/(10 ⁹ /L) THR	13.33±1.53	20.33±2.89
淋巴细胞/(10 ⁹ /L) LYMPH	11.20±3.22	10.69±1.79
血浆生化指标 plasma biochemical parameters		
谷草转氨酶/(U/L) ALT	25.64±2.71*	7.87±1.04
谷丙转氨酶/(U/L) AST	16.97±1.07*	3.42±0.18
甘油三酯/(mmol/L) TG	0.16±0.02	0.42±0.01*
血糖/(mmol/L) GLU	5.75±0.73	6.28±0.30

表 4 冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的消化酶活性与
肠道组织结构比较

Tab. 4 Comparison of digestive enzyme activity and
intestinal tissue structure of *S. chuatsi* during short-term
starvation and feeding at low water temperature in winter

项目 items	饥饿组 starvation group	摄食组 feeding group
胃 stomach		
胃蛋白酶/(U/mg) pepsin	4.26±0.29	7.01±0.64*
H^+K^+ -ATPase/(U/mg)	0.50±0.04	6.42±0.26*
肠道 intestinal tract		
胰蛋白酶/(U/mg) trypsin	1 403.66±56.93	2 731.12±146.50*
脂肪酶/(U/mg) lipase	4.03±0.60	9.71±0.30*
淀粉酶/(U/mg) amylase	0.17±0.04	0.89±0.15*
绒毛数量/根 villus density	16.00±1.00	17.00±1.00
绒毛高度/ μ m villus height	592.97±31.33	902.32±28.62*
肌层厚度/ μ m myometrial thickness	67.68±6.57	108.08±3.17*
幽门盲囊 pyloric caecum		
胰蛋白酶/(U/mg) trypsin	2 383.70±76.27	6 234.57±82.48*
脂肪酶/(U/mg) lipase	11.27±2.26	22.09±1.99*
淀粉酶/(U/mg) amylase	0.88±0.07	2.44±0.18*

降低, 肠绒毛萎缩甚至部分绒毛顶端被溶解, 肠道肌层变薄, 杯状细胞数量减少 (图 1)。

2.4 冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的肝脏抗氧化能力与组织结构比较

摄食组鳊肝脏 T-AOC 和 T-SOD 活性显著高

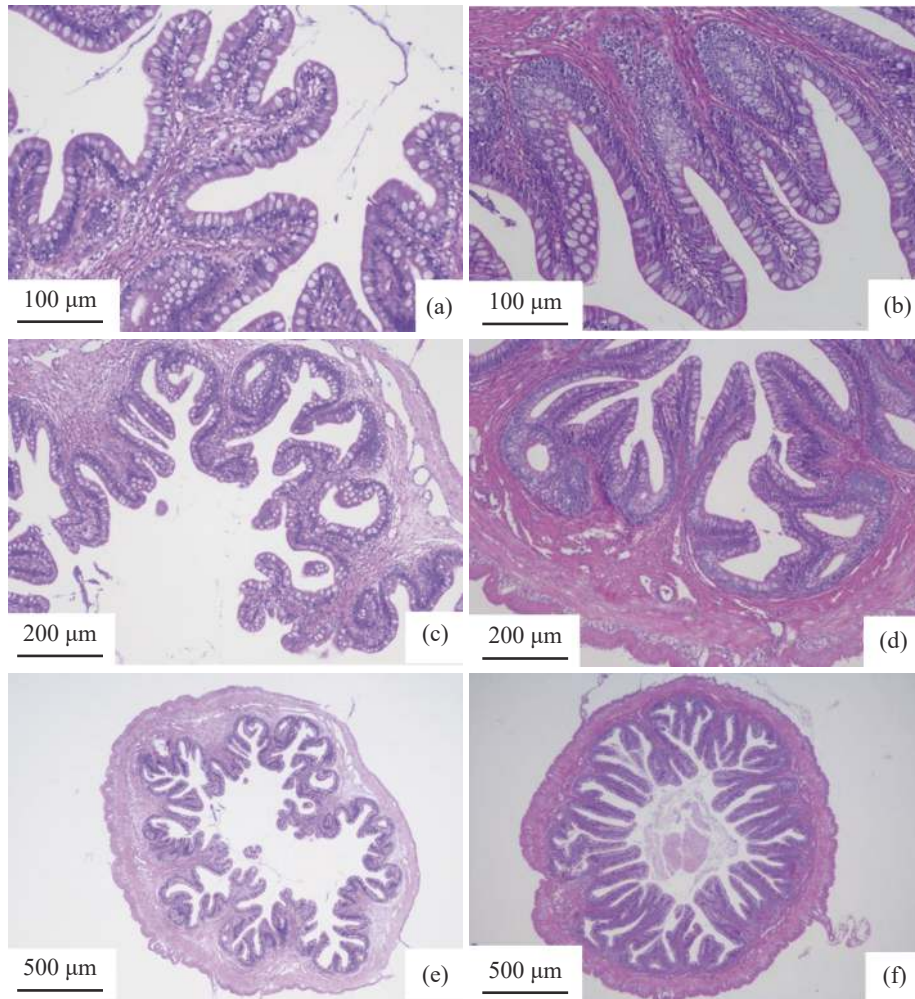


图 1 冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的肠道形态结构比较

(a) (c) (e) 为饥饿组鳊肠道切片 (200×、100×、40×); (b) (d) (f) 为摄食组鳊肠道切片 (200×、100×、40×)

Fig. 1 Comparison of intestinal morphology between short-term starvation and feeding of *S. chuatsi* at low water temperature in winter

(a) (c) (e) are intestinal slices of starvation group (200×, 100×, 40×); (b) (d) (f) are intestinal slices of feeding group (200×, 100×, 40×)

于饥饿组 ($P<0.05$), MDA 含量显著低于饥饿组 ($P<0.05$) (表 5)。肝脏组织石蜡切片显示, 饥饿组肝脏的部分细胞有明显的细胞核缺失或者偏离, 出现空泡, 部分细胞核肿大; 摄食组的肝细胞大小整齐, 核质完整 (图 2)。肝脏组织油红 O 染色

切片显示, 饥饿组只有少量的红色脂滴, 而摄食组可见大量红色脂滴 (图 3)。

表 5 冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的肝脏抗氧化能力比较

2.5 冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的免疫能力比较

Tab. 5 Comparison of liver antioxidant capacity between short-term starvation and feeding of *S. chuatsi* at low water temperature in winter

项目 items	饥饿组 starvation group	摄食组 feeding group
总抗氧化能力(U/mg) T-AOC	0.42±0.03	0.90±0.08*
超氧化物歧化酶(U/mg) T-SOD	221.26±9.57	286.94±4.23*
丙二醛(mmol/L) MDA	2.15±0.34*	1.44±0.03

摄食组鳊血浆的溶菌酶活性和免疫球蛋白 M 含量、脾脏免疫球蛋白 M 和肾脏免疫球蛋白 M 含量均显著高于饥饿组 ($P<0.05$) (表 6)。

2.6 冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的背肌氨基酸与脂肪酸组成比较

摄食组与饥饿组鳊背肌氨基酸组成无显著差异 ($P>0.05$) (表 7)。摄食组鳊背肌棕榈酸 (C16:0)、硬脂酸 (C18:0)、棕榈稀酸 (C16:1n-7) 和油酸 (C18:1n-9) 含量显著低于饥饿组, 亚油酸 (C18:2n-

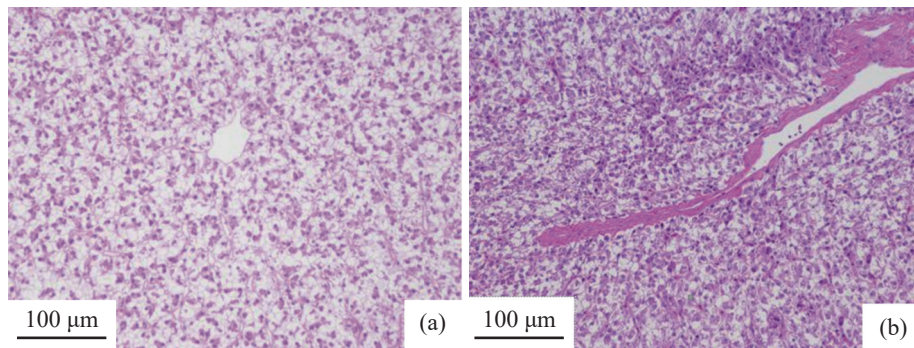


图 2 冬季低水温鳊短期饥饿与摄食的肝脏组织结构比较

(a) 饥饿组鳊肝脏切片 (200×), (b) 摄食组鳊肝脏切片 (200×)

Fig. 2 Comparison of liver structure between short-term starvation and feeding of *S. chuatsi* at low temperature in winter

(a) liver sections of starvation group (200×), (b) liver sections of feeding group (200×)

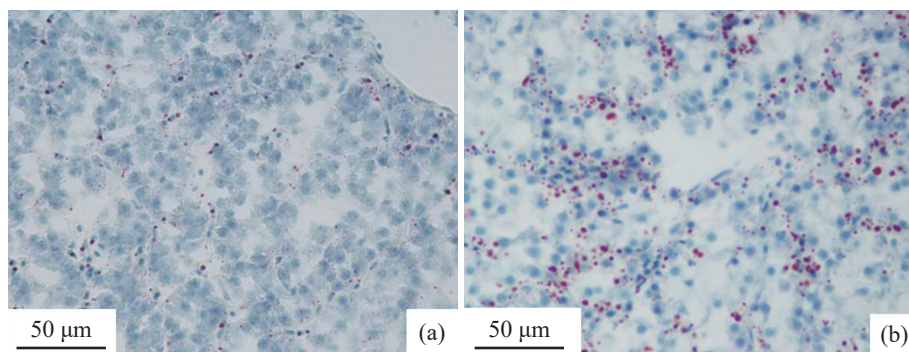


图 3 冬季低水温鳊短期饥饿与摄食的肝脏脂滴数量比较

(a) 饥饿组鳊肝脏油红 O 染色切片 (400×), (b) 摄食组鳊肝脏油红 O 染色切片 (400×)

Fig. 3 Comparison of the number of liver fat droplets between short term starvation and feeding of *S. chuatsi* at low temperature in winter

(a) oil red O staining section of liver of starvation group (400×), (b) oil red O staining section of liver of feeding group (400×)

表 6 冬季低水温鳊短期饥饿与摄食的免疫能力比较

Tab. 6 Comparison of immune capacity between short-term starvation and feeding of *S. chuatsi* at low water temperature in winter

组织 tissues	项目 items	饥饿组 starvation group	摄食组 feeding group
血浆 plasma	溶菌酶 LZM	199.00±3.18	296.00±24.24*
	免疫球蛋白 IgM	1 139.00±41.86	1 255.00±38.37*
脾脏 spleen	免疫球蛋白 IgM	2 414.00±52.03	2 882.00±16.49*
肾脏 kidney	免疫球蛋白 IgM	1 121.00±37.56	1 354.00±37.45*

6)、亚麻酸 (C18:3n-3)、EPA 与 DHA 含量显著高于饥饿组 ($P < 0.05$) (表 8)。从脂肪酸不饱和度方面来区分, 摄食组鳊背肌饱和脂肪酸与单不饱和脂肪酸总量显著低于饥饿组, 而多不饱和脂肪酸与高不饱和脂肪酸总量显著高于饥饿组 ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 冬季低水温鳊短期饥饿危害消化、免疫能力及肝脏健康

在冬季低水温条件下, 短期饥饿 15 d 内, 鳊主要消耗肝糖原、肝脂、体脂、体蛋白维持生命活动, 导致体质量的下降。在饥饿状况下, 鱼类为了维持生命活动, 通常会转换储存的能量来满足生命需求。鱼类贮存的能量物质一般是脂肪和糖原, 长期饥饿状态下才会动用蛋白作为能量消耗。本实验中, 饥饿组鳊体质量出现负增长, 蛋白和脂肪出现负沉积率, 在 15 d 的饥饿过程中, 鳊失去外来营养物质后, 同时动用了储存的脂肪和蛋白质进行供能。相对摄食组来说, 饥饿组鳊的肝糖原含量与肝脏脂肪含量也大幅降低, 说明鳊在饥饿期间对储存的肝糖原与肝脂大量消耗,

表 7 冬季低水温鳊短期饥饿与摄食的背肌氨基酸组成比较 (干样)

Tab. 7 Comparison of amino acids composition of back muscle of *S. chuatsi* between short-term starvation and feeding at low temperature in winter (dry sample)

氨基酸 amino acids	g/100 g	
	饥饿组 starvation group	摄食组 feeding group
苏氨酸 Thr	3.62±0.11	3.66±0.08
缬氨酸 Val	4.04±0.11	4.01±0.06
蛋氨酸 Met	2.51±0.13	2.51±0.01
苯丙氨酸 Phe	3.56±0.04	3.55±0.18
异亮氨酸 Ile	3.81±0.11	3.80±0.06
亮氨酸 Leu	6.82±0.25	6.81±0.11
赖氨酸 Lys	7.73±0.01	7.62±0.14
总必需氨基酸 Σ TEAA	32.07±0.91	31.96±0.22
天冬氨酸 Asp	8.27±0.25	8.20±0.18
谷氨酸 Glu	12.66±0.18	12.44±0.22
甘氨酸 Gly	3.85±0.22	3.85±0.11
丙氨酸 Ala	4.95±0.12	4.94±0.08
酪氨酸 Tyr	2.61±0.13	2.65±0.05
苯丙氨酸 Phe	3.55±0.18	3.56±0.04
总呈味氨基酸 Σ TFAA	35.88±1.08	35.62±0.68
胱氨酸 Cys	1.06±0.20	0.98±0.07
组氨酸 His	1.80±0.03	1.78±0.06
精氨酸 Arg	4.75±0.39	4.81±0.14
丝氨酸 Ser	3.16±0.11	3.17±0.06
脯氨酸 Pro	2.67±0.03	2.72±0.06
氨基酸总量 Σ TAA	77.81±2.14	77.22±1.58

但肌糖原含量两组差异不明显,说明鳊在 15 d 的饥饿时间内,并未大量消耗肌糖原供能。

在冬季低水温条件下,短期饥饿 15 d 导致鳊肝脏抗氧化能力下降,细胞结构损伤,但血细胞数量与血糖水平未受影响。鱼类虽然有较强的耐饥饿能力,但饥饿对鱼类的生理代谢影响很大。黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 在饥饿 50 d 后血液中红细胞数、血红蛋白含量显著下降,而白细胞数量增多^[6]。斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*) 经过 15 d 饥饿后,血红蛋白含量减少,白细胞数量增多^[7]。然而本实验中,鳊经过 15 d 的饥饿后,大多数血常规指标与摄食组类似,推测可能是与饥饿时间较短和鱼种类不同有关。但血浆生化指标存在很大差异。谷丙转氨酶和谷草转氨酶是反映肝功能的重要指标。本实验中,饥饿组的谷丙转氨酶与谷草转氨酶活性显著高于摄食组,说明

表 8 冬季低水温鳊短期饥饿与摄食的背肌脂肪酸组成比较

Tab. 8 Comparison of fatty acids composition of back muscle of *S. chuatsi* between short-term starvation and feeding at low temperature in winter g/100 g

脂肪酸 fatty acids	饥饿组 starvation group	摄食组 feeding group
C14:0	2.11±0.14	2.05±0.01
C16:0	17.65±2.47*	15.65±0.07
C18:0	4.23±0.35*	3.95±0.02
Σ SFA	23.99±2.96*	21.65±0.11
C16:1n-7	4.82±0.06*	4.62±0.01
C18:1n-9	29.05±0.35*	27.80±0.01
C20:1	1.39±0.21	1.28±0.02
Σ MUFA	35.26±0.62*	33.70±0.02
C18:2n-6	17.95±2.76	20.90±0.14*
C18:3n-3	1.41±0.24	1.64±0.01*
C20:4n-6	0.14±0.01	0.14±0.01
C20:5n-3 EPA	0.95±0.01	0.99±0.03*
C22:6n-3 DHA	4.20±0.64	4.73±0.04*
Σ PUFA	24.65±3.73	28.40±0.16*
Σ HUFA	5.29±0.97	5.86±0.01*
EPA+DHA	5.15±0.23	5.72±0.01*
Σ n3	6.56±0.87	7.36±0.02*
Σ n6	18.09±2.86	21.04±0.14*
Σ n3/ Σ n6	0.36±0.01	0.35±0.01

饥饿导致饥饿组鳊肝脏细胞坏死增多,肝脏组织切片中饥饿组部分细胞有明显的细胞核缺失或者偏离,出现空泡,部分细胞核肿大的现象也证实了这点。同时,饥饿组肝脏的抗氧化能力也显著降低,说明饥饿组鳊肝脏细胞遭受自由基攻击的程度更高。这一系列证据均说明冬季低水温下饥饿处理对鳊的肝脏健康存在损伤。饥饿组鳊血浆甘油三酯含量明显少于摄食组,可能与失去外来脂肪源有关。然而血糖含量未出现明显降幅,可能与葡萄糖的功能之一是为细胞代谢提供能量有关,稳定的血糖水平是保障正常生命活动的基础,所以即使在饥饿条件下,鳊也将通过糖原分解、糖异生等途径保证正常的血糖水平。

在冬季低水温条件下,短期饥饿 15 d 导致鳊免疫能力下降。免疫系统承担着保护机体不受外来病原生物侵害的重要作用。其中,溶菌酶是重要的非特异性免疫防御因子之一,能破坏和消除入侵体内的异物,并激活补体和吞噬细胞^[8]。而免疫球蛋白 M 是分子量最大的免疫球蛋白,具有强大的杀菌、激活补体、免疫调理和凝集作用^[9]。

本实验中, 饥饿组血浆的溶菌酶活性和免疫球蛋白 M 含量、脾脏免疫球蛋白 M 和肾脏免疫球蛋白 M 含量均显著低于摄食组。说明 15 d 的短期饥饿导致鳊免疫能力明显下降。这与对黄颡鱼^[10]、黑鲮 (*Acanthopagrus schlegelii*)^[11] 的研究结果一致。

在冬季低水温条件下, 短期饥饿 15 d 导致鳊消化能力下降, 肠道结构损伤。鱼类在受到饥饿胁迫时, 由于失去外来营养物质, 只能消耗自身能源物质, 为了适应饥饿环境, 会作出一系列适应性变化, 消化系统也不例外。本实验中, 饥饿组所有消化酶活性与摄食组相比均呈下降趋势, 分析原因有三个方面, 一是在饥饿胁迫环境下, 鳊的消化系统缺少食物的机械刺激信号, 导致消化酶分泌减少^[12]; 二是饥饿胁迫下的鳊, 缺少食物给予的视觉、嗅觉、味觉等感觉的刺激, 导致中枢神经系统分泌激素促使消化腺分泌消化液与消化酶^[13]; 三是饥饿胁迫损伤了鳊的消化道组织结构, 致使组织结构萎缩, 消化功能衰退^[14], 本研究中的肠道组织切片也证实了这点, 饥饿组鳊肠道黏膜萎缩甚至边缘被消化, 肠壁变薄。

3.2 冬季低水温鳊的摄食、消化及免疫情况

在冬季低水温条件下, 鳊仍可通过摄食获得外源营养物质, 实现正向生长。在本实验约 13 °C 的水温条件下, 摄食组在养殖 15 d 后, 体质量有所增长, 但在低水温情况下, 鳊的摄食量较少, 绝大部分外源营养物质被用于消耗耗能, 导致出现了极低的蛋白沉积率与脂肪沉积率。

在冬季低水温条件下, 鳊保持摄食可有效保证免疫、消化及肝脏功能的正常运转。生物需要不断从外界获取食物, 为自身的生命活动提供能量和物质。遭受饥饿胁迫后, 不得已仅依靠自身物质保持生理稳态, 为尽可能长时间地存活, 机会会将有限的储能物质优先分配给重要组织, 如心脏、大脑等, 而支持免疫系统、消化系统功能的活动受到抑制^[15]。并且饥饿胁迫下肠道微生物群的动态和活动也会受到波动, 进而影响机体的正常代谢活动和免疫功能^[16-17]。在冬季低水温情况下, 保持摄食虽然饲料转化率较低, 但可有效避免鳊消耗自身基础物质, 避免消化、免疫等机体功能的下降。同时饲料中含有氯化胆碱等多种功能性添加剂, 可有效改善鳊的肝脏与肠道健康, 保证鳊安全越冬。

在冬季低水温条件下, 鳊保持摄食可相对提

高背肌蛋白与脂肪含量, 改善脂肪酸组成, 但氨基酸组成与饥饿组无差异。肌肉的粗蛋白、粗脂肪、氨基酸与脂肪酸组成是评价肌肉食用价值的重要指标。本实验中, 相对饥饿组来说, 摄食组鳊的粗蛋白、粗脂肪含量更高。氨基酸组成虽未发生明显变化, 但脂肪酸组成中的饱和脂肪酸与单不饱和脂肪酸总量显著下降, 多不饱和脂肪酸与高不饱和脂肪酸总量显著升高。对于人体来说, 多不饱和脂肪酸与高不饱和脂肪酸可降低血脂、改善血液循环、抑制血小板凝集、阻抑动脉粥样硬化斑块和血栓的形成, 对心脑血管疾病有很好的预防作用; 而饱和脂肪酸摄入过多可导致血胆固醇、甘油三酯升高, 将增加患心脑血管疾病的风险^[18]。所以摄食组鳊背肌的脂肪酸组成更符合人类健康饮食的标准。同时, 高不饱和脂肪酸对在低温状态下维持细胞膜的流动性、酶活性和细胞的正常功能至关重要^[19]。摄食组背肌中多不饱和脂肪酸与高不饱和脂肪酸含量的升高可能有提高鳊抗冷应激能力的作用, 更有利于鳊安全度过冬季低温期。

4 结论

综上所述, 在本实验条件下, 摄食组增重而饥饿组减重, 两种处理增重量差值达 15.93%。且饥饿组存在消化和免疫能力下降, 肝脏抗氧化能力减弱, 细胞结构损伤的隐形危害, 而摄食组的鳊消化、免疫及肝脏功能相对正常, 背肌蛋白与脂肪含量更高, 脂肪酸组成得到改善, 氨基酸组成稳定。

(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. 2021 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
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 2021[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021 (in Chinese).
- [2] 徐杭忠, 罗莉, 刘长江, 等. 鳊鱼配合饲料驯化及养殖技术[J]. 科学养鱼, 2021(11): 39-41.
Xu H Z, Luo L, Liu C J, et al. Domestication and breed-

- ing techniques of compound feed of mandarin fish[J]. *Scientific Fish Farming*, 2021(11): 39-41 (in Chinese).
- [3] Xu W J, Li H Y, Wu L Y, *et al.* Dietary *Scenedesmus ovalternus* improves disease resistance of overwintering gibel carp (*Carassius gibelio*) by alleviating toll-like receptor signaling activation[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2020, 97: 351-358.
- [4] Yang B Y, Wang C C, Tu Y Q, *et al.* Effects of repeated handling and air exposure on the immune response and the disease resistance of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) over winter[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2015, 47(2): 933-941.
- [5] 徐浩, 张东玲, 陈庆凯, 等. 低温下饥饿胁迫对大黄鱼血清生化指标的影响[J]. *生物技术通报*, 2015, 31(6): 195-199.
- Xu H, Zhang D L, Chen Q K, *et al.* Effects of starvation on serum biochemical indexes in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) at low temperature[J]. *Biotechnology Bulletin*, 2015, 31(6): 195-199 (in Chinese).
- [6] 仇明, 封功能, 张启焕, 等. 饥饿胁迫对瓦氏黄颡鱼 (*Pelteobagrus vachelli*) 幼鱼肌肉营养成分及血液指标的影响[J]. *饲料工业*, 2011, 32(14): 41-43.
- Qiu M, Feng G N, Zhang Q H, *et al.* Effect of starvation on the muscle nutrition and blood parameter of *Pelteobagrus fulvidraco* juvenile[J]. *Feed Industry*, 2011, 32(14): 41-43 (in Chinese).
- [7] 郑桂红, 朱丰城, 孙建梅, 等. 饥饿胁迫对斑点叉尾鲷血液生理生化指标的影响[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(5): 199-201.
- Zheng G H, Zhu F C, Sun J M, *et al.* Effects of starvation stress on blood physiological and biochemical indices of *Ictalurus punctatus*[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(5): 199-201 (in Chinese).
- [8] Magnadottir B. Immunological control of fish diseases[J]. *Marine Biotechnology*, 2010, 12(4): 361-379.
- [9] Kai Y H, Wu Y C, Chi S C. Immune gene expressions in grouper larvae (*Epinephelus coioides*) induced by bath and oral vaccinations with inactivated betanodavirus[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2014, 40(2): 563-569.
- [10] 孙红梅, 黄权, 丛波. 饥饿对黄颡鱼血液中几种免疫相关因子的影响[J]. *大连水产学院学报*, 2006, 21(4): 307-310.
- Sun H M, Huang Q, Cong B. Effects of starvation on factors associated with immunity in yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2006, 21(4): 307-310 (in Chinese).
- [11] Caruso G, Denaro M G, Caruso R, *et al.* Response to short term starvation of growth, haematological, biochemical and non-specific immune parameters in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*)[J]. *Marine Environmental Research*, 2011, 72(1-2): 46-52.
- [12] 谢小军, 邓利, 张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展[J]. *水生生物学报*, 1998, 22(2): 181-188.
- Xie X J, Deng L, Zhang B. Advances and studies on eco-physiological effects of starvation on fish[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1998, 22(2): 181-188 (in Chinese).
- [13] 钱国英. 不同驯食方式对鳊鱼胃肠道消化酶活性的影响[J]. *浙江农业大学学报*, 1998, 24(2): 207-210.
- Qian G Y. Change of digestive enzyme activities in intestinal canal of domesticated mandarin fish[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1998, 24(2): 207-210 (in Chinese).
- [14] Sun S M, Su Y L, Yu H, *et al.* Starvation affects the intestinal microbiota structure and the expression of inflammatory-related genes of the juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*[J]. *Aquaculture*, 2020, 517: 734764.
- [15] Bourgeon S, Kauffmann M, Geiger S, *et al.* Relationships between metabolic status, corticosterone secretion and maintenance of innate and adaptive humoral immunities in fasted re-fed mallards[J]. *Journal of Experimental Biology*, 2010, 213(22): 3810-3818.
- [16] Li G L, Xie C, Lu S Y, *et al.* Intermittent fasting promotes white adipose browning and decreases obesity by shaping the gut microbiota[J]. *Cell Metabolism*, 2017, 26(5): 672-685.
- [17] Li T T, Qi M T, Gatesoupe F J, *et al.* Adaptation to fasting in Crucian Carp (*Carassius auratus*): gut microbiota and its correlative relationship with immune function[J]. *Microbial Ecology*, 2019, 78(1): 6-19.
- [18] 葛可佑. 中国营养科学全书[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2004: 55-56.
- Ge K Y. An overview of nutrition sciences[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2004: 55-56 (in Chinese).
- [19] Snyder R J, Hennessey T M. Cold tolerance and homeoviscous adaptation in freshwater alewives (*Alosa pseudoharengus*)[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2003, 29(2): 117-126.

Comparison of physiological status of short-term starvation and feeding of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) at low temperature in winter

XU Hangzhong¹, ZHANG Haodi¹, WANG Guilong¹, LIU Tianji², LI Hongqin², LIU Cong²,
LI Hong³, ZHAI Xuliang³, XUE Yang³, LUO Li^{1*}

(1. Key Laboratory of Freshwater Reproduction and Development, Ministry of Education, Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, College of Fisheries, Southwest University, 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 this experiment, a comparative study of the physiological states of short-term starvation and feeding of mandarin fish was carried out under the conditions of water temperature [(13±1) °C] with reference to the winter water temperature in Guangdong Province. Ninety mandarin fish with the initial body weight of (84.13±0.14) g were selected and randomly divided into starved group (starved 15 days) and feeding group (feeding 15 days). Physical and chemical indexes were measured after the trial. The results showed: ① the final body weight, liver glycogen, crude protein and crude lipid of the whole body and muscle in feeding group were significantly higher than those in starved group. The weight gain rate in feeding group was 7.54% while the weight loss rate in the starved group was 8.39%. ② The activities of alanine transaminase and aspartate transaminase in plasma of mandarin fish in feeding group were significantly lower than those in starved group, but the concentration of triglyceride was significantly higher than that in starved group and there was no significant difference between the number of various blood cells and glucose level. ③ The activity of digestive enzyme and the development of intestinal tissue structure in the feeding group were significantly higher and better than those in starved group. ④ Feeding group had a better antioxidant capacity than starved group, moreover, liver cell in starved group had an obvious structural damage and the number of lipid droplets in starved group was significantly lower than that in feeding group. ⑤ The activity of lysozyme in plasma and the content of IgM in plasma, spleen and kidney in feeding group were significantly higher than those in starved group. ⑥ There was no significant difference in amino acid composition of dorsal muscle of mandarin fish between feeding group and starved group. However, there were significant differences in the composition of fatty acids. The total saturated fatty acids and monounsaturated fatty acids in the dorsal muscle of mandarin fish in feeding group were significantly lower than those in starved group, while the total polyunsaturated fatty acids and high unsaturated fatty acids in feeding group were significantly higher than those in starved group. In conclusion, under this experimental conditions, the difference between the feeding group weight gain and starved group weight loss was 15.93%, in addition, in the starved group, the digestive and immune ability were decreased, the antioxidant ability of liver was weakened and the cellular structure was damaged while in the feeding group, the digestion, immunity and liver function of the mandarin fish were relatively normal. The contents of dorsal muscle protein and lipid were higher than those in starved group, and the composition of fatty acids was improved and the composition of amino acids was stable.

Key words: *Siniperca chuatsi*; short-term starvation; feeding; winter

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