

陆基圆池循环水条件下饥饿周期对乌鳢生化指标和养殖水

高 风^{1*}, 麻艳群¹, 介百飞², 吴一桂³, 韦云勇¹, 刘宏祥¹, 王梦然¹, 沈佳佳¹, 张圣杰¹, 程光平^{1#}, 李文红^{1#}

¹广西大学动物科学技术学院, 广西 南宁

²广西壮族自治区水产技术推广站, 广西 南宁

³广西防城港市动物疫病预防控制中心, 广西 防城港

收稿日期: 2025年5月9日; 录用日期: 2025年6月2日; 发布日期: 2025年6月11日

摘 要

为探索陆基圆池循环水条件下不同饥饿周期投饲模式对乌鳢(*Channa argus*)生化指标和养殖水质的影响。本实验以生产性陆基圆池(直径为8 m)为养殖设施, 设置周期性饥饿1 d复投喂3 d (S1F3组)、周期性饥饿1 d复投喂6 d (S1F6组)、周期性饥饿1 d复投喂9 d (S1F9组)和正常投喂(S0组)共4个实验组, 实验所用乌鳢初体重为 10.25 ± 0.32 g, 实验周期60 d。研究结果表明: (1) 各实验TC和TG含量低于S0组, 且随着复投喂时间的延长, TC和TG含量逐渐提升, S1F9组最高, S1F6组次之。(2) 从肝脏组织来看, S0组肝细胞组织较为完整, 肝细胞空泡化程度实验组比S0组严重, 空泡率最多为S1F9组, S1F3和S1F6组肝脏组织受压迫最为严重。(3) 从水质方面来看, 周期性饥饿复投喂能改善水质, 基于水质评价, S1F6组水质评价等级最高。综上所述, 周期性饥饿复投喂能降低脂肪代谢水平, 导致肝细胞组织出现结构性损坏, 同时水质得到改善; 试验组中, S1F6组水质最好, 脂质代谢水平下降和肝细胞受损均较小, 因此, 本研究建议采用S1F6投饲模式养殖乌鳢。

关键词

陆基圆池, 饥饿周期, 乌鳢, 生化指标, 养殖水质

Effects of Starvation Cycle on Biochemical Indexes and Aquaculture Water Quality of *Channa argus* under Land-Based Circular Pond Recirculating Aquaculture

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 高风, 麻艳群, 介百飞, 吴一桂, 韦云勇, 刘宏祥, 王梦然, 沈佳佳, 张圣杰, 程光平, 李文红. 陆基圆池循环水条件下饥饿周期对乌鳢生化指标和养殖水[J]. 水产研究, 2025, 12(2): 96-105. DOI: 10.12677/ojfr.2025.122011

Feng Gao^{1*}, Yanqun Ma¹, Baifei Jie², Yigui Wu³, Yunyong Wei¹, Hongxiang Liu¹, Mengran Wang¹, Jiajia Shen¹, Shengjie Zhang¹, Guangping Cheng^{1#}, Wenhong Li^{1#}

¹College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning Guangxi

²Guangxi Aquatic Technology Promotion Station, Nanning Guangxi

³Guangxi Fangchenggang Animal Disease Prevention and Control Centre, Fangchenggang Guangxi

Received: May 9th, 2025; accepted: Jun. 2nd, 2025; published: Jun. 11th, 2025

Abstract

To explore the effects of different feeding patterns under cyclic starvation conditions in a land-based circular pond on biochemical indicators and aquaculture water quality of *Channa argus*. This experiment utilized a productive land-based circular pond (with a diameter of 8 meters) as the culture facility, setting up four experimental groups: periodic starvation for 1 day followed by feeding for 3 days (S1F3 group), periodic starvation for 1 day followed by feeding for 6 days (S1F6 group), periodic starvation for 1 day followed by feeding for 9 days (S1F9 group), and normal feeding (S0 group). The initial body weight of the *Channa argus* used in the experiment was 10.25 ± 0.32 g, and the experimental period was 60 days. The research results indicated that: (1) The TC and TG content in all experimental groups was lower than that in the S0 group, and with the extension of re-feeding time, the TC and TG content gradually increased, with the S1F9 group being the highest, followed by the S1F6 group. (2) From the perspective of liver tissue, the liver cell tissue of the S0 group was relatively complete, and the degree of vacuolation of liver cells in the experimental groups was more severe than that in the S0 group, with the highest vacuolation rate being in the S1F9 group, and the liver tissue of the S1F3 and S1F6 groups was the most severely compressed. (3) From the perspective of water quality, periodic starvation and re-feeding could improve water quality, and based on water quality evaluation, the S1F6 group had the highest water quality rating. In summary, periodic starvation and re-feeding could reduce the level of fat metabolism, leading to structural damage of liver cell tissue, while water quality is improved; among the experimental groups, the S1F6 group had the best water quality, with a smaller decrease in lipid metabolism levels and less liver cell damage. Therefore, this study suggests adopting the S1F6 feeding pattern for culturing *Channa argus*.

Keywords

Land-Based Circular Pond, Starvation Cycle, *Channa argus*, Biochemical Indexes, Aquaculture Water Quality

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

乌鳢(*Channa argus*)俗称黑鱼, 隶属鲈形目(perciiformes)、鳢科(Channidae)、鳢属(*Channa*), 是肉食性淡水经济鱼类, 肉质鲜美, 营养成分高, 深受消费者喜爱。由于广西地区水库等大水面养殖逐渐被清理淘汰, 加上传统池塘、山塘、小水库等养殖产量基本饱和, 导致广西乌鳢养殖产量偏低[1]。陆基圆池循环水养殖技术作为一种新型的养殖模式, 具有节水、环保、高效等优点, 对于解决传统养殖模式中存在的问题具有重要意义。然而, 在陆基圆池循环水养殖条件下, 如何制定合理的投喂策略, 以保证乌鳢的

正常生长和发育，同时减少饲料浪费和水质污染，是当前亟待解决的问题。鉴于此，本研究旨在为乌鳢陆基圆池循环水养殖提供科学的投喂策略，以指导实际生产。

研究发现，饥饿状态下的鱼类为了应对能量短缺，通常会启动一系列生理调节机制，其中包括脂肪动员、蛋白质分解以及代谢途径的调整等。在对黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*) [2]、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*) [3]和西伯利亚鲟鱼(Siberian sturgeon) [4]等研究中发现周期性饥饿导致鱼类血清 TC 和 TG 含量下降，究其原因可能是饥饿时机体内营养物质得不到及时补充，无法有效合成或合成的数量减少或者机体无法从外界获取能量，只能消耗自身储存的能量维持基础代谢。此外，这些适应性变化不仅直接影响到鱼类的生长性能和健康状况，还可能间接作用于养殖水体的生态平衡，导致水质参数的波动。因此，本研究通过测定和比较分析陆基圆池循环水养殖条件下不同饥饿周期模式对乌鳢生化特点和养殖水质的影响，以期优化养殖管理策略、提高养殖效率，并为乌鳢的可持续养殖提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 实验材料

本实验于 2023 年 7 月 24 日~9 月 22 日在广西农投桂渔基地内开展。实验对象为同批次、体质健壮的乌鳢，放养密度(76.64 ± 1.02)尾/ m^2 ，初始体质量(10.25 ± 0.32) g，初始体长(10.06 ± 0.10) cm。养殖设施为生产性循环水圆池(圆池直径 8 m、倒锥形池底、pVC 板池壁，高 1.5 m、水深 1.4 m、池壁底端至排水口的水平高度为 0.5 m，单池总面积为 50 m^2)。

2.2. 实验设计

实验设计 4 个饥饿周期组：S0 组、S1F3 组、S1F6 组和 S1F9 组(表 1)，每组设 3 个重复，实验期为 60 d。

Table 1. Different starvation cycles of *Channa argus*
表 1. 乌鳢不同饥饿周期

组别 Group	投喂模式 Feeding mode	单次周期天数 Single cycle days	周期次数 Cycle number
S0	正常投喂，不饥饿	—	—
S1F3	周期性饥饿 1 d 复投喂 3 d	4	15
S1F6	周期性饥饿 1 d 复投喂 6 d	7	8.5
S1F9	周期性饥饿 1 d 复投喂 9 d	10	6

2.3. 养殖管理

正式实验前进行为期 1 周的饱食投喂适应性暂养，暂养和实验期间的饲料均为容川大口黑鲈膨化配合饲料(粗蛋白质 $\geq 48.0\%$ ，粗灰分 $\leq 18.0\%$ ，粗脂肪 $\geq 5.0\%$ ，水分 $\leq 10\%$ ，粗纤维 $\leq 3.5\%$ ，总磷 $\geq 1.2\%$ ，赖氨酸 $\geq 2.9\%$)，日投饲率均为 2%左右，每日 8:00 和 17:00 各投喂 1 次，每次投饲 1 h 后排污换水 1 次。实验期间各池进水口持续微流进水，水流量为 $0.0847 \sim 0.305 \text{ m}^3/\text{min}$ ，养殖用水为附近江河抽提水及地下水。实验期间养殖池 pH 为(7.195~7.92)，水温为(27.1~28.3) $^{\circ}\text{C}$ ，溶解氧为(6.29~6.86) mg/L。

2.4. 样品采集

血清采集：实验结束各池随机抽取 10 尾乌鳢，经 MS-222 (浓度 130 mg/L)麻醉后，用注射器在每尾样品鱼臀鳍下方尾静脉抽血约 5 mL，血样在 4 $^{\circ}\text{C}$ 条件下静置 4 h，离心 10 min (4 $^{\circ}\text{C}$, 5000 r/min)取上清液，

用于血清生化指标测定。总胆固醇(Total cholesterol, TC)和甘油三酯(Triglyceride, TG)活性均采用上海原鑫生物科技有限公司相应试剂盒进行测定。试剂制备和样品测定均严格按照说明书进行。另取肝脏组织进行切片观察。

肝脏切片: 肝脏组织固定→透明→包埋→切片等流程参照李丽岑等[5]方法制作。

水质采集: 每隔 15 d 测定 1 次水环境因子, 先后测定 5 次, 具体时间为 6 月 13 日、6 月 28 日、7 月 11 日、7 月 25 日和 8 月 10 日。水样采集参照《渔业生态环境监测规范第 3 部分: 淡水》[6], 每次采样时间均为上午 9:00~11:00, 采样点为每个试验池的 3 个不同位置。用 1 L 柱状采水器在采样点水面下 0.5 m 处采集水样, 现场固定水样, 并迅速移至冰盒避光保存, 水样保存参照《水质样品的保存和管理技术规定》[7]。采样结束后, 立即将水样带回实验室测定分析, 测定指标包括总氮(TN)、亚硝酸盐氮(NO_2^- -N)、氨氮(NH_4^+ -N)、总磷(TP)和高锰酸钾指数(COD_{Mn}), 具体测定方法如表 2。

Table 2. The physicochemical factors and determination method

表 2. 相关水质指标及测定方法

监测指标	测定方法
高锰酸钾指数(COD_{Mn})	高锰酸盐滴定法(GB11892-89)
氨氮(NH_4^+ -N)	纳氏试剂分光光度法(HJ535-2009)
亚硝酸盐(NO_2^- -N)	盐酸萘乙二胺分光光度法(GB7493-87)
总氮(TN)	碱性过硫酸钾消解 02 紫外分光光度法(GB11894-1989)
总磷(TP)	碱性过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法(GB11893-1989)

2.5. 水质灰色关联分析评价标准和方法

2.5.1. 水环境因子测定值的无量纲化处理

对养殖周期内各组主要环境因子进行无量纲化处理, 无量纲化公式[8]如下:

$$X_b(K) = \frac{X_b^{(0)}(K)}{\frac{1}{n} \sum_{a=1}^n X_a^{(0)}(K)} \quad (5-4)$$

上式中, $X_b(K)$ 为 b 测定时期各组检测样品的 K 项因子的无量纲化值; $X_b^{(0)}(K)$ 为 b 测定时期各组水环境因子的实际测定值; $X_a^{(0)}(K)$ 为水质分类标准中各水环境因子的标准值。

2.5.2. 水环境因子标准评价

参照介百飞[9]的研究方法, 与表 3 相应的水环境质量标准无量纲化值进行关联度计算, 然后对比《地表水环境质量标准》(GB/T 3838-2002)中 5 类水质评价标准, 对各试验组水质级别进行判定。

关联度系数计算公式:

$$\omega(K) = \frac{\rho \max \max \Delta_i(K) + \min \min \Delta_i(K)}{\rho \max \max \Delta_i(K) + \Delta_i(K)} \quad (5-5)$$

式中, $\omega(K)$ 表示 x_i 对 x_0 在第 k 项评估指标的关联系数, 分辨系数取值为 0.5。 $\Delta_i(K)$ 为时刻两序列的绝对差, 计算公式为:

$$\Delta_i(K) = |X'_0(K) - X'_i(K)| \quad (5-6)$$

$\Delta \min$ 、 $\Delta \max$ 为各个时刻各序列绝对差中的最小值和最大值。 $\min \min \Delta_i(K)$ 为二级最小差值的绝对值。 $\rho = \Delta_i(K) / \Delta \max$ 得到了每一时刻 K 时的最大信息量和最大信息分辨率。

Table 3. (GB/T 3838-2002) Dimensionless values for surface water environmental quality factor criteria
表 3. 地表水环境质量因子标准的(GB/T 3838-2002)无量纲化值

等级	DO	COD _{Mn}	TP	TN	NH ₃ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N
I	1.6	0.63	0.10	0.19	0.15	0.238
II	1.28	0.63	0.49	0.48	0.49	0.476
III	1.06	0.83	0.98	0.96	0.97	0.952
IV	0.64	1.25	1.47	1.44	1.46	1.428
V	0.43	1.67	1.96	1.92	1.94	1.905

2.6. 数据分析

实验数据均采用平均值 ± 标准差(Mean ± SD)表示。使用 SPSS 22.0 软件统计, 进行 ANOVA 单因素方差分析和 Duncan's 多重检验分析, 以 $P < 0.05$ 表示差异显著。

3. 结果

3.1. 不同饥饿周期对乌鳢血清生化指标的影响

不同饥饿周期对乌鳢血清生化指标变化如图 1。从图 1 可知, 乌鳢胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)含量均低于 S0 组, 且实验组均呈现 S1F9 > S1F6 > S1F3 趋势。

S0 组 TC 含量显著高于 S1F3、S1F6 和 S1F9 组($P < 0.05$), S1F3、S1F6 和 S1F9 组间无显著差异($P > 0.05$)。S0 和 S1F9 组 TG 含量显著高于 S1F3 和 S1F6 组($P < 0.05$), S1F6 组显著高于 S1F3 组($P < 0.05$), 其余组间无显著差异($P > 0.05$)。

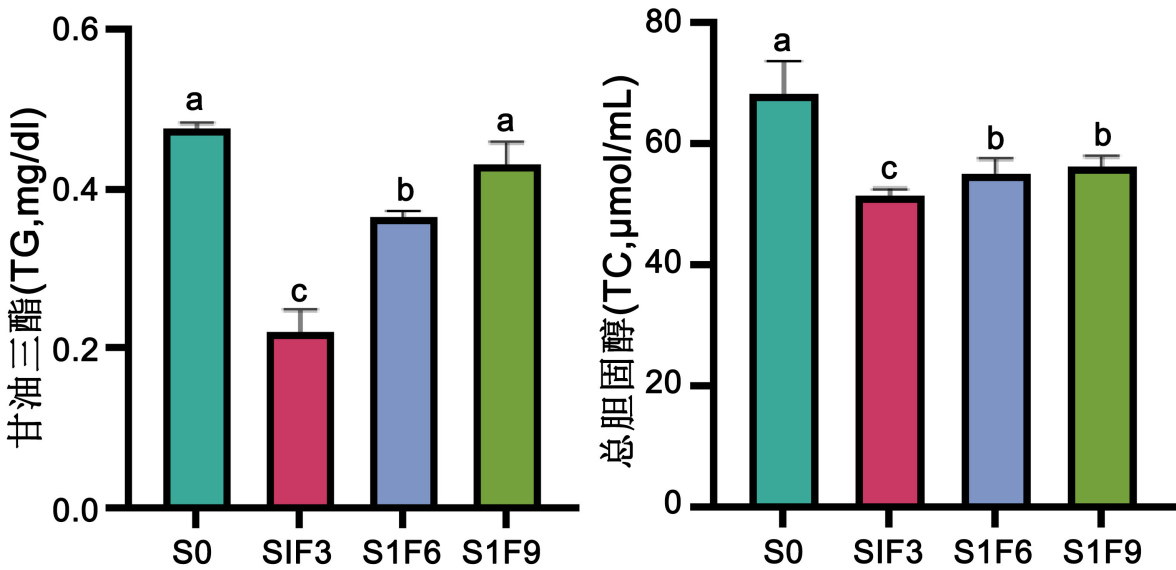


Figure 1. Effects of different starvation cycles on biochemical indexes in *Channa argus* mullet
图 1. 不同饥饿周期对乌鳢生化指标的影响

3.2. 不同饥饿周期对乌鳢肝脏组织的影响

不同饥饿周期投饲模式下乌鳢肝脏组织结构如图 2 和表 4。从图 2 和表 4 可知, 各组乌鳢肝细胞均

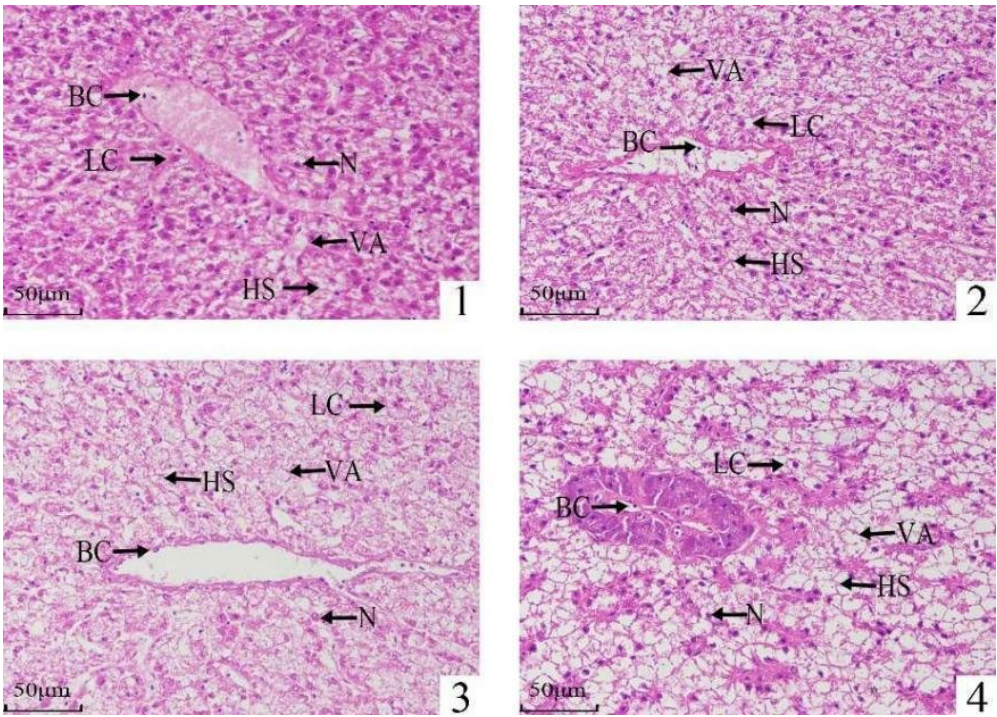
出现结构性损坏，其中 S1F9 组肝血窦大量收缩，细胞核数量显著降低，S1F3 和 S1F6 组次之；肝细胞空泡化程度 S1F9 组最高，其次为 S1F3 组，S0 和 S1F6 组较小，但 S1F3 和 S1F6 组肝细胞受压迫较为严重；细胞核位移 S1F9 组较多，S1F6 组次之，S0 组最少；4 个组均可见明显的中央静脉红细胞；S1F6 组红细胞变形较严重。

分析表明，S0 组肝脏组织结构较为完善，在单位面积内具有更多形态规则的肝细胞，肝细胞空泡化程度实验组比 S0 组严重，空泡率最多为 S1F9 组，S1F3 和 S1F6 组肝脏组织受压迫最为严重。

Table 4. Hepatocyte nuclei, vacuolar area ratio and number of nuclei
表 4. 肝细胞胞核、空泡面积比和细胞核数量

指标/组别	S0	S1F3	S1F6	S1F9
细胞核个数 Nuclear count	994.50 ± 120.92 ^a	578.50 ± 14.85 ^b	536.00 ± 4.24 ^{bc}	389.00 ± 28.28 ^c
胞核面积比 Nuclei (%)	1.47 ± 0.03 ^a	1.56 ± 0.01 ^a	0.99 ± 0.04 ^b	0.98 ± 0.05 ^b
空泡面积比 Vacuoles (%)	44.43 ± 2.82 ^a	46.60 ± 1.36 ^a	44.54 ± 4.19 ^a	58.46 ± 2.91 ^b

注：在同行数据中，若肩标无小写字母或小写字母一致，则表示组间无显著性差异($P > 0.05$)；若小写字母不一致，则表示组间存在显著性差异($P < 0.05$)。



注：1~4 分别为 S0 组、S1F3 组、S1F6 组和 S1F9 组乌鳢肝脏组织切片；肝细胞(LC)，细胞核(N)，空泡(VA)，肝血窦(HS)，红细胞(BC)。

Note: 1~4 are liver tissue sections of *Channa argus* from groups S0, S1F3, S1F6 and S1F9, respectively. Hepatocytes (LC), Nuclei (N), Vacuoles (VA), Hepatic Sinusoids (HS), Erythrocytes (BC).

Figure 2. Tissue characteristics of the liver in various groups of *Channa argus*
图 2. 各组乌鳢肝脏组织特点

3.3. 基于灰色关联分析的养殖池水质评价

将水质数据进行无量纲化，得到表 5，再与相应的水环境质量标准无量纲化值(表 3)进行关联度计算，得到用于判定各组池水质级别的关联度表(表 6)。

从表 6 可知, 在实验期内, 实验组池水质综合评价均为Ⅲ类水, S0 组池水为Ⅳ类水, 表明周期性饥饿能改善养殖水质。在 5 次检测中, 除“初测值”外, S1F3 组出现 1 次Ⅱ类水, 2 次Ⅲ类水, 1 次Ⅴ类水, 综合判定为Ⅲ类; S1F6 组出现 2 次Ⅱ类水, 1 次Ⅳ类水, 1 次Ⅴ类水, 综合判定为Ⅲ类; S1F9 组出现 2 次Ⅱ类水, 1 次Ⅲ类水, 1 次Ⅴ类水, 综合判定为Ⅲ类; 试验组关联度从大到小依次为 S1F6 > S1F3 > S1F9。关联度越大越接近该水质等级, 通过水质因子, 综合评价, S1F6 组水质情况较好, S1F3 组次之。

Table 5. Dimensionless values of physical and chemical factors of aquaculture water quality under different starvation cycles
表 5. 不同饥饿周期下养殖水质理化因子无量纲化值

组别	时间(月-日)	COD _{Mn} (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	NH ₃ ⁺ -N (mg/L)
S0	6.10	0.925	0.455	0.487	1.784	1.622
	6.25	0.824	0.727	0.957	1.02	1.156
	7.9	1.302	1.818	1.091	1.118	0.822
	7.24	1.232	1.273	1.263	0.765	0.778
	8.8	0.719	0.727	1.200	0.333	0.689
S1F3	6.10	1.382	1.658	0.947	1.048	0.947
	6.25	0.829	1.211	1.041	0.595	0.658
	7.9	0.582	0.842	1.197	0.262	0.974
	7.24	0.794	0.500	1.041	0.810	0.895
	8.8	1.412	0.763	0.780	2.286	1.526
S1F6	6.10	0.903	0.644	0.896	0.894	0.84
	6.25	0.846	1.089	1.004	0.660	0.560
	7.9	1.519	1.711	0.856	1.085	0.68
	7.24	0.645	0.733	1.55	0.404	0.64
	8.8	1.088	0.844	0.690	1.915	2.320
S1F9	6.10	1.380	1.311	0.880	1.813	0.750
	6.25	0.913	1.289	1.083	0.708	0.596
	7.9	0.913	1.089	1.337	0.375	0.538
	7.24	0.846	0.600	0.801	1.000	0.923
	8.8	0.949	0.733	0.896	1.146	2.231

Table 6. Table of correlation between water environment factors and water quality levels
表 6. 水环境因子与水质等级关联度表

组别	指标	I类	II类	III类	IV类	V类	水质等级
S0	6.1	0.75	0.586	0.636	0.8	0.62	Ⅳ类
	6.25	0.623	0.692	0.846	0.69	0.706	Ⅱ类
	7.9	0.714	0.726	0.543	0.687	0.716	Ⅱ类
	7.24	0.672	0.644	0.671	0.819	0.658	Ⅳ类
	8.8	0.577	0.8	0.704	0.599	0.814	Ⅴ类
	平均	0.667	0.69	0.68	0.719	0.703	Ⅳ类

续表

S1F3	6.1	0.709	0.634	0.716	0.787	0.732	IV类
	6.25	0.77	0.814	0.773	0.661	0.605	II类
	7.9	0.77	0.756	0.797	0.614	0.586	III类
	7.24	0.705	0.689	0.78	0.625	0.591	III类
	8.8	0.582	0.55	0.539	0.727	0.748	V类
	平均	0.707	0.688	0.721	0.683	0.653	III类
S1F6	6.1	0.723	0.654	0.749	0.622	0.748	III类
	6.25	0.638	0.808	0.777	0.811	0.594	II类
	7.9	0.626	0.799	0.799	0.648	0.615	II类
	7.24	0.637	0.688	0.705	0.788	0.596	IV类
	8.8	0.658	0.589	0.611	0.564	0.759	V类
	平均	0.656	0.708	0.728	0.686	0.662	III类
S1F9	6.1	0.674	0.643	0.612	0.772	0.751	IV类
	6.25	0.77	0.778	0.767	0.691	0.615	II类
	7.9	0.779	0.828	0.717	0.681	0.614	II类
	7.24	0.704	0.693	0.785	0.643	0.597	III类
	8.8	0.623	0.61	0.673	0.681	0.692	V类
	平均	0.71	0.71	0.711	0.694	0.654	III类

4. 分析

4.1. 饥饿周期对乌鳢血清生化的影响

血清甘油三酯(TG)和总胆固醇(TC)含量与鱼体内脂肪代谢密切相关。TC 为调节糖类、脂肪和蛋白质代谢重要激素的前体物质，其含量高低反映了鱼类在受到环境压力时新陈代谢能力的强弱，当其含量升高时具有促进代谢、加快生长的积极作用[10]，而 TG 则可被机体运送到组织中合成脂类存储，其含量高低可以反映鱼体脂肪代谢水平[11]。研究发现，饥饿处理后的鳊(*Siniperca chuatsi*) [12]、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*) [13]血清中 TG 含量低于对照组；同样，郑桂红等[14]研究发现饥饿后乌鳢血清 TG 和 TC 含量降低。本研究中，各实验组 TC 和 TG 含量均低于 S0 组，且均呈现 S1F3 < S1F6 < S1F9 的趋势，S1F9 组最高，这是由于 S1F9 组投饲量最高，同时说明周期性饥饿再投喂能降低脂肪代谢水平，且随着饥饿周期的延长，脂肪代谢水平逐渐提高，这与韩晓钊等[15]研究结果不同，该研究发现，采用 S1F3、S1F5 和 S1F7 模式养殖许氏平鲉(*Sebastes schlegelii*)，仅 S1F5 组 TC 和 TG 含量高于对照组，且实验组呈现 S1F7 < S1F3 < S1F5 趋势，这种差异可能由于养殖物种的不同。本研究推测，TG 下降的原因可能是短期饥饿导致乌鳢糖酵解途径受到抑制，随后糖原分解供能，糖原大量消耗后 TG 开始大量消耗，糖异生途径增强，以维持机体葡萄糖稳态[16]；而 TC 含量下降原因可能是短期饥饿时机体无法从外界获取能量，只能消耗自身储存的能量维持基础代谢，其具体机制有待进一步探究。此外，也可以发现，相比 TG 含量的下降幅度，TC 含量下降幅度明显要小，这可能是因为血清中 TG 含量主要依赖于外源性 TG 的吸收，但动物体内几乎所有组织都能合成 TC，在饥饿或禁食状态下，肝脏中 TC 合成量大幅度下降，但肝外组织中的 TC 合成量减少相对有限。

4.2. 饥饿周期对乌鳢肝脏组织的影响

肝脏是鱼类最主要的消化器官之一,承担着消化吸收和储能的生理功能,在机体蛋白质、脂质和能量的代谢中发挥着不可或缺的作用[17],肝脏形态学的变化可以评估其所受的损伤程度。研究发现,受损肝脏具有细胞肿胀、体积增大、水分增多、胞质疏松化、排列不规则、气球样变以及无清晰细胞核结构等特征[18]。覃希等[19]研究结果显示,使罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)长期处于饥饿状态,脂肪会在肝脏贮存,以致细胞核偏移,出现空泡化现象。在美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)、日本皇姑鱼(*Nibea albiflora*)中的试验结果表明,在饥饿处理后,随着饥饿时间的延长,肝细胞受损程度逐渐加重,主要存在肝细胞体积下降、肝组织致密及窦状隙明显等表现,复投喂后,其肝脏组织可在一定程度上恢复[20]-[22]。本研究中, S0 组肝脏结构完整,肝脏细胞排列紧密,且实验组比肝细胞空泡率较高,核偏移较为明显,揭示周期性饥饿投喂可能会造成细胞核偏移,出现空泡化现象,出现该现象的原因可能是乌鳢在周期性饥饿状态下,蛋白质合成能力较弱,造成载脂蛋白合成不足,从而形成肝脏代谢障碍,进而导致核偏移和空泡化。另外,本研究中 S1F9 组空泡化和核偏移较为严重,这可能与 S1F9 组较高的投喂量有关,赵煜等[23]研究发现随着饲料投喂水平的升高,鱼体摄入的能量不断增加,脂肪在肝脏中不断累积,肝脏会出现不同程度的肿胀和空泡化。而 S1F3 组和 S1F6 组肝细胞受压迫较为严重,其具体机制仍有待探究。

4.3. 饥饿周期对水体主要理化因子的影响

水质调控是循环水养殖成功的关键,基于水环境因子与地表水标准的关联度分析,3 个试验组均属于 III 类水, S0 组为 IV 类水,在养殖周期内水体状况整体呈现先上升后降低的趋势,表明该系统在前中期水体较为稳定,而后期水质难以控制变差,此现象可能归因于乌鳢在养殖后期鱼体增大,频繁运动对水体造成干扰,且摄食量增多,饲料残留多,排泄增多,水体修复能力弱,进而影响了水生生物生长及代谢活动,导致水体恶化。在 4 组中, S1F6 组水质评价最高,分析认为, S1F6 组能维持稳定水体代谢平衡状态。同样,崔亮[24]和张亚军[25]等研究发现周期性饥饿能提高水质,与本研究一致。

5. 结论

综合上述分析,周期性饥饿再投喂能降低脂肪代谢水平,导致肝细胞组织出现结构性损坏,同时水质得到改善。试验组中, S1F6 组水质最好,脂质代谢水平下降幅度和肝细胞受损程度均较小,因此,本研究结果建议采用 S1F6 (周期性饥饿 1 d 复投喂 6 d) 养殖乌鳢。

基金项目

陆基圆池智能化养殖技术集成创新与示范推广(桂科 AB21220019)。

参考文献

- [1] 谭芸,江林源,朱佳杰,等. 广西陆基圆池养殖模式分析与发展对策[J]. 广西农学报, 2022, 37(3): 35-38.
- [2] 肖金星. 循环饥饿对黑鲟幼鱼生长和生化指标的影响[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [3] 周凡,线婷,贝亦江,等. 周期性“饥饿-再投喂”对大口黑鲈幼鱼补偿生长的影响[J]. 水产学杂志, 2019, 32(3): 27-33.
- [4] Morshedi, V., Kochanian, P., Bahmani, M., Yazdani, M.A., Pourali, H.R., Ashouri, G., et al. (2017) Cyclical Short-Term Starvation and Refeeding Provokes Compensatory Growth in Sub-Yearling Siberian Sturgeon, *Acipenser baerii* Brandt, 1869. *Animal Feed Science and Technology*, **232**, 207-214. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.10.005>
- [5] 李丽岑. 间歇性饥饿对脂代谢稳态的调控及机制[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南师范大学, 2017.
- [6] 渔业生态环境监测规范 第 3 部分: 淡水: SC/T 9102.3-2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [7] 水质样品的保存和管理技术规定: HJ 493-2009 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [8] 吴文业,戈建民,黄奕龙. 应用灰色关联分析进行城市地表水环境质量评价[J]. 世界地质, 2000(1): 53-56+65.

- [9] 介百飞. 基于浮游生物指数及其敏感理化因子的三种养殖类型大水域生态系统健康评价[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2014.
- [10] 李锐鑫. 胆固醇在鱼类营养代谢中的功能与调控作用研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2023.
- [11] 陈荣杰, 姜芳超, 刘琳, 等. 养殖密度对草鱼血清生化指标的影响[J]. 黑龙江水产, 2023, 42(5): 347-349.
- [12] 于俊琦, 陶鹏, 张皓迪, 等. 低水温下鳊短期饥饿的生理动态变化[J]. 水生生物学报, 2023, 47(12): 2037-2044.
- [13] 苏艳丽. 饥饿再摄食对团头鲂幼鱼生长、肠道健康和神经肽基因表达的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [14] 郑桂红, 陈思如. 饥饿对乌鳢血液生理生化指标的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(2): 186-188.
- [15] 韩晓钊. 许氏平鲉养殖投喂策略及其应对饥饿胁迫的机制研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2023.
- [16] 敖士齐. 罗氏沼虾糖稳态调节及饥饿胁迫对其免疫力的影响[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2023.
- [17] 闫少静, 李欣宇. 鱼类脂肪肝病浅析[J]. 江西水产科技, 2019(1): 34-36.
- [18] 徐杭忠, 张皓迪, 王贵龙, 等. 冬季低水温鳊短期饥饿和摄食的生理状态比较[J]. 水产学报, 2022, 46(9): 1572-1581.
- [19] 覃希. 投喂频率和投喂水平对吉富罗非鱼幼鱼生长性能和生理机能的影响[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2014.
- [20] 区又君, 苏慧, 李加儿, 等. 饥饿胁迫对卵形鲳鲹幼鱼消化器官组织学的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2013, 52(1): 100-110.
- [21] 李霞, 姜志强, 谭晓珍, 等. 饥饿和再投喂对美国红鱼消化器官组织学的影响[J]. 中国水产科学, 2002, 9(3): 211-214.
- [22] 楼宝, 史会来, 骆季安, 等. 饥饿和再投喂对日本黄姑鱼代谢率和消化器官组织学的影响[J]. 海洋渔业, 2007(2): 140-147.
- [23] 赵煜, 曲焕韬, 陈沛, 等. 投喂策略对圆口铜鱼幼鱼生长、消化酶及肝脏组织结构的影响[J]. 渔业科学进展, 2024(1): 1-10.
- [24] 崔亮. 基于不同投饲模式的黄颡鱼养殖塘生态健康及养殖效能评价[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2019.
- [25] 张亚军, 秦秀东, 李恩军, 等. 基于浮游生物完整性指数的不同循环饥饿投饲模式黄颡鱼养殖塘水质评价[J]. 南方农业学报, 2020, 51(7): 1754-1763.