

Effects of Feeding Frequency and Feeding Level on Growth Performance and Physiological Indices of Juvenile Largemouth Bass *Micropterus salmoides* in Cyclic Water System

Liupu Chen*, Jian Peng, Wenjun Ma, Ting Xian, Gaohua Yao, Yijiang Bei, Xueyan Ding, Fan Zhou#

Zhejiang Fisheries Technical Extension Center, Hangzhou Zhejiang
Email: #zhoufan0302@126.com

Received: Jan. 19th, 2020; accepted: Feb. 4th, 2020; published: Feb. 11th, 2020

Abstract

Objective: The present trial was conducted to study the effects of feeding frequency and feeding level treatment on growth and physiological indices of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides* (initial body weight 21.70 ± 0.56 g) in indoor cyclic water system. **Method:** Totally of 12 tanks were contained (500 L) with 2 feeding levels (2 and 4% body weight/day) and 2 feeding frequencies (2 and 3 times/day) were designed, altogether including 4 treatments with triplicate tanks respectively. 15 fish were selected randomly in each tank and the feeding trial lasted 8 weeks. **Result:** The results showed that the weight gain and specific growth rate of fish were higher in T1 group than those of fish in T2 and T4 groups ($P < 0.05$), and the data in T3 group were also higher than that of in T4 group ($P < 0.05$). The highest and lowest feed coefficient ratio was existed in T4 and T1 group, respectively ($P < 0.05$). The dorsal muscle moisture content in T4 group was significantly higher than those of fish in T1 and T3 groups, while the protein and lipid levels in T4 group showed decreasing trend ($P < 0.05$). The relatively higher activity of lipase in stomach were found in fish in T1 and T3 groups, and the highest activity of amylase was in T1 group ($P < 0.05$). The highest activity of trypsin in foregut was also observed in T1 group ($P < 0.05$). The T4 group showed the highest serum glutamic oxalacetic transaminase levels, and the data in T2 group was higher than those of in T1 and T3 groups ($P < 0.05$). The activities of superoxide dismutase and catalase in serum were relatively higher in T1 and T3 groups, on the contrary, the malondialdehyde levels were lower in these two treatments than those of fish in T2 and T4 groups ($P < 0.05$). **Conclusion:** The data generated from the current study suggested that feeding level at 4% BW per day with feeding frequency 2 times per day was optimal feeding strategy for juvenile *M. salmoides*.

Keywords

Micropterus salmoides, Feeding Frequency, Feeding Level, Cyclic Water, Growth

*第一作者。

#通讯作者。

投喂频率和投喂量对循环水养殖大口黑鲈幼鱼生长和生理指标的影响

陈刘浦*, 彭建, 马文君, 钱婷, 姚高华, 贝亦江, 丁雪燕, 周凡[#]

浙江省水产技术推广总站, 浙江 杭州

Email: #zhoufan0302@126.com

收稿日期: 2020年1月19日; 录用日期: 2020年2月4日; 发布日期: 2020年2月11日

摘要

目的: 在室内循环水养殖系统中开展不同投喂频率和投喂量对大口黑鲈幼鱼(*Micropterus salmoides*)生长性能和生理指标影响的研究。方法: 设置 2 个投喂水平(2%和 4%的鱼体重量/日)和 2 个投喂频率(2 次和 3 次/日), 共 4 个投喂处理组, 每组设 3 个重复对照, 在 12 个 500 L 容积的室内循环水养殖缸中开展养殖试验 8 周。结果: 结果发现, 增重率和特定生长率均以 T1 组最高, 显著高于 T2 和 T4 组($P < 0.05$); T3 组的增重率显著高于 T4 组($P < 0.05$), 与其他两组无显著差异($P > 0.05$)。饲料系数的最高值和最低值分别出现在 T4 组和 T1 组($P < 0.05$), 其他各组间无显著差异($P > 0.05$)。T4 组的肌肉水分含量相比于 T1 和 T3 组显著上升, 但粗蛋白和粗脂肪含量则显著下降($P < 0.05$)。T1 和 T3 组试验鱼的胃脂肪酶活性显著高于 T2 和 T4 组($P < 0.05$), 胃淀粉酶活性最高值出现在 T1 组; 前肠蛋白酶活性也以 T1 组最高($P < 0.05$)。血清谷草转氨酶水平最高值出现在 T4 组($P < 0.05$), 且 T2 组的酶活也显著高于 T1 组和 T3 组($P < 0.05$)。超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性均以 T1 和 T3 组较高, T2 和 T4 组相对较低($P < 0.05$)。T2 和 T4 组试验鱼的血清丙二醛含量则显著高于 T1 和 T3 组($P < 0.05$)。结论: 本试验表明, 大口黑鲈幼鱼以 4%的投喂量, 每天投喂 2 次的投喂频率进行养殖为宜。

关键词

大口黑鲈, 投喂频率, 投喂量, 循环水, 生长

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

投饲策略是水产养殖生产管理中的关键环节之一[1]。投喂策略包括投喂量、投喂频率、投喂地点和投喂设备等; 其中, 以投喂量和投喂频率对鱼类生长和饲料利用的影响最为关键[2] [3]。为养殖鱼类制定适宜的投喂量和投喂频率, 对于提高养殖产量, 降低养殖饲料和劳动力成本, 减轻残饵和代谢废物排放对养殖环境的污染, 推动养殖业的健康可持续发展, 具有重要的指导意义。

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*), 俗称加州鲈, 隶属鲈形目(*Perciformes*)、太阳鱼科(*Ceetrachidae*)、黑鲈属(*Micropterus*), 具有适宜集约化养殖、营养丰富、肉质鲜美、价格稳定等特点[4]。据《2019 年中

国渔业统计年鉴》，2018年全国加州鲈养殖产量43.2万吨，排名前三的广东、浙江和江苏等三省总产量占全国产量的80% [5]，深受市场和消费者欢迎，是一种极具养殖前景的淡水特色鱼类。目前，大口黑鲈商业饲料市场价格普遍在1.1~1.3万元/吨，饲料成本占据养殖成本60%以上；而在池塘集约化养殖或循环流水“跑道”养殖模式中，也往往存在劳动力强度投入大、经验盲从等现象。因此，本试验基于室内循环水养殖系统，开展不同投喂频率和投喂量处理对大口黑鲈幼鱼生长性能、消化酶活性以及血液生理指标的影响研究，旨在为大口黑鲈的饲养投喂管理提供基础参考。

2. 材料与方法

2.1. 养殖试验系统

室内循环水养殖系统位于浙江省水产技术推广总站西坝综合试验基地(浙江, 杭州)。养殖鱼缸材质为玻璃纤维缸, 缸体直径为1.2 m、高度为0.7 m, 有效养殖容积为500 L。每个鱼缸设有独立的进水口和排水口, 水流速为2 L/min。养殖尾水经沉淀区、生物填料过滤区、增氧曝气区、紫外灯消毒区等环节处理之后, 再由水泵重新泵回到养殖缸中使用。养殖系统采用室内日光灯作为光源, 光周期为白天:黑夜 = 12:12。试验期间, 定期向尾水处理系统的沉淀池中加入新水, 每周对鱼缸清理和换水1次。养殖水质监测结果为: 水温 $29^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、溶氧 $\geq 6 \text{ mg/L}$ 、pH7.2~7.7, 氨氮0.2 mg/L~0.5 mg/L, 亚硝酸盐0.04 mg/L~0.20 mg/L。

2.2. 试验鱼和试验饲料

试验用鱼为湖州某规模化大口黑鲈苗种培育场。选取初始规格为20g左右的大口黑鲈幼鱼, 用浓度为0.3 mg/L的聚维酮碘浸泡3~5 min后, 在室内养殖系统中集中暂养2周后进行分组。本试验共设置2个梯度投喂频率、2个梯度投喂量共4个试验处理组(命名为T1~T4组)。其中, T1组为每日投喂2次, 投喂量占试验鱼体重4% (2T4%); T2组为每日投喂2次, 投喂量占试验鱼体重2% (2T2%); T3组为每日投喂3次, 投喂量占试验鱼体重4% (3T4%); T4组为每日投喂3次, 投喂量占试验鱼体重2% (3T2%)。每个处理组设置3个重复。共挑选规格整齐、表观健康、游动活跃的大口黑鲈幼鱼180尾, 随机放养于12个养殖鱼缸中, 每个鱼缸各15尾试验鱼($21.86 \pm 0.27 \text{ g}$)。正式养殖试验持续8周。其中, 一天2次的投喂时间分别为8:30和17:30; 一天3次的投喂时间分别为8:30、12:00和17:30。每14天对试验鱼进行称重并计算调整投喂量。

试验选用的大口黑鲈专用膨化配合饲料购自浙江某水产饲料公司。以进口美国白鱼粉、大豆类蛋白、花生粕等为主要蛋白源, 以鱼油、豆油等为主要脂肪源。饲料基本营养组成实测值为: 粗蛋白质46.3%、粗脂肪8.3%、粗灰分12.6%、钙2.8%、总磷1.9%, 赖氨酸为3.2%。

2.3. 采样与检测

8周养殖试验结束时, 取样前禁食24 h, 称量各缸鱼体重, 测量体长, 计算体增重和形体学等指标。从每缸随机选择6条大口黑鲈, 以80 mg/L三氯叔丁醇麻醉后, 用2 mL的一次性无菌注射器进行尾静脉取血, 采用氟化钠-草酸钾(2%氟化钠 + 4%草酸钾)抗凝。血液样本以6000 r/min离心10 min后收集血清; 每2尾鱼的血清合并为一个样本保存于 -20°C 冰箱中, 待测血清的总蛋白含量、谷草转氨酶、谷丙转氨酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性以及丙二醛含量。以上指标均使用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定。

将采血之后的样品鱼置于冰盘上, 取其背部肌肉装自封袋于 -20°C 冰箱保存待测; 随后对内脏团及胃、肠道和肠系膜脂肪团进行解剖与分离。将胃和消化道内容物剔除后, 用去离子水冲洗干净并剪成小块,

按样品重的 9 倍加入预冷去离子水配制成的缓冲液, 在高速组织匀浆机中冰浴匀浆, 10,000 r/min, 4℃ 离心 30 min, 取上清液置于-80℃ 冰箱中保存。使用南京建成生物工程研究所试剂盒分别检测胃和前肠的蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶的活性。饲料和肌肉的常规营养成分依照国标方法检测: 水分用常压干燥法测定(GB/T6435-2014); 粗蛋白用凯氏定氮法测定(GB/T6433-2006); 粗脂肪用索氏抽提法测定(GB/T6433-2006); 灰分用马弗炉灼烧法测定(GB/T6438-2007)。

2.4. 指标测算

本试验相关指标计算公式如下[6] [7]:

存活率(SR, %) = 100 × (结束时试验鱼数量/初始时试验鱼数量);

肥满度(CF, g/cm³) = 100 × 末体重(g)/末体长(cm)³;

脏体比(VSI, %) = 100 × 内脏团质量/末体重(g);

肝体比(HIS, %) = 100 × 肝脏重(g)/末体重(g);

肠脂比(IPR, %) = 肠系膜脂肪团质量(g)/末体重(g);

增重率(WG, %) = 100 × (末重 g - 初重 g)/初重(g);

特定生长率(SGR, %/day) = 100 × [Ln 末均重(g) - Ln 初均重(g)]/投喂天数(day);

饲料系数(FCR) = 100 × 饲料摄入量(g)/(末体重 g - 初体重 g);

蛋白质效率(PER) = (末体重 g - 初体重 g)/(饲料摄入量 g × 饲料蛋白水平)。

2.5. 数据处理与统计

采用 Excel2013 和 SPSS16.0 统计软件对本试验所得的试验数据进行分析 and 处理。利用方差分析(One-way ANOVA)进行显著性检验, 并用 Turkey 多重比较法检验组间差异的显著性, $P < 0.05$ 为差异显著。试验结果以平均值±标准差(Mean ± SD)表示。

3. 结果

经过 8 周的养殖试验后, 大口黑鲈幼鱼的整体健康状态良好, 存活率在 91.11% 以上, 其中 T4 组显著低于 T1 和 T3 组($P < 0.05$) (表 1)。四个投喂处理组试验鱼的肥满度、肝体比和肠脂比等 3 种形态指标均无显著性差异($P > 0.05$)。增重率的最高值出现在 T1 组, 显著高于 T2 和 T4 组($P < 0.05$); T3 组的增重率显著高于 T4 组($P < 0.05$), 与其他两组无显著差异($P > 0.05$)。各试验处理组的特定生长率变化趋势与增重率一致。饲料系数的最高值和最低值分别出现在 T4 组和 T1 组($P < 0.05$), 其他各处理组间无显著差异($P > 0.05$)。蛋白质效率呈现出和饲料系数相反的变化趋势, T1 组指标显著高于 T4 组($P < 0.05$), 其他各组差异不显著($P > 0.05$) (表 1)。

表 2 所示为不同试验处理组养殖的大口黑鲈背肌基本营养组成。肌肉水分最高水平出现在 T4 组, 显著高于除 T2 组以外的其他两组($P < 0.05$)。然而 T4 组试验鱼肌肉的粗蛋白和粗脂肪含量明显降低, 均显著低于 T1 组和 T3 组($P < 0.05$), 但与 T2 组差异不明显($P > 0.05$)。不同处理组试验鱼的肌肉灰分含量相对稳定, 组间差异不显著($P > 0.05$) (表 2)。

大口黑鲈的胃和前肠消化酶活性变化情况如表 3 所示。其中, 各试验处理组间的胃蛋白酶活性没有显著性变化($P > 0.05$)。T1 和 T3 组胃脂肪酶活性显著高于 T2 和 T4 组($P < 0.05$), 两两组别之间酶活性差异不显著($P > 0.05$)。淀粉酶活性最高值出现在 T1 组, 显著高于 T2 和 T4 组($P < 0.05$), 其他 3 组之间无显著差异($P > 0.05$)。由表 3 可知, 前肠蛋白酶活性以 T1 组最高($P < 0.05$); T2 组和 T4 组还显著低于 T3 组($P < 0.05$), 但两组相互间无显著差异($P > 0.05$)。前肠脂肪酶和淀粉酶活性均不受试验投喂策略的影响($P > 0.05$)。

Table 1. The effects of different feeding strategy on growth performance and feed efficiency of *M. salmoides*
表 1. 不同投喂策略对大口黑鲈生长性能和饲料利用的影响

指标 Indexes	处理组 Treatments			
	T1 (2T4%)	T2 (2T2%)	T3 (3T4%)	T4 (3T2%)
存活率(SR, %)	100.00 ± 0.00a	97.78 ± 3.85ab	100.00 ± 0.00a	91.11 ± 3.85b
末体重(FBW, g)	81.51 ± 5.18a	69.48 ± 2.78bc	80.58 ± 7.10ab	67.02 ± 6.02c
肥满度(CF, g/cm ³)	2.10 ± 0.22	1.95 ± 0.05	2.13 ± 0.12	1.94 ± 0.12
肝体比(HSI, %)	2.36 ± 0.11	2.17 ± 0.25	2.51 ± 0.27	2.29 ± 0.17
脏体比(VSI, %)	7.71 ± 0.51	7.52 ± 0.11	7.74 ± 0.19	7.49 ± 0.41
肠脂比(IPR, %)	1.55 ± 0.19	1.45 ± 0.15	1.60 ± 0.04	1.50 ± 0.04
增重率(WG, %)	274.24 ± 23.79a	223.45 ± 12.94bc	263.47 ± 15.09ab	204.62 ± 13.83c
特定生长率(SGR, %/day)	2.49 ± 0.12a	2.21 ± 0.07bc	2.40 ± 0.08ab	2.10 ± 0.09c
饲料系数(FCR)	1.01 ± 0.04b	1.05 ± 0.04ab	1.07 ± 0.12ab	1.20 ± 0.03a
蛋白质效率(PER)	2.21 ± 0.09a	2.12 ± 0.08ab	2.09 ± 0.22ab	1.86 ± 0.04b

注：表中同行数据标注不同小写字母表示存在显著差异($P < 0.05$) ($n = 3$)。下表同。

Table 2. The effects of different feeding strategy on dorsal muscle composition of *M. salmoides*
表 2. 不同投喂策略对大口黑鲈背肌营养组成的影响

指标 Indexes	处理组 Treatments			
	T1 (2T4%)	T2 (2T2%)	T3 (3T4%)	T4 (3T2%)
水分 Moisture (%)	77.48 ± 0.10b	77.94 ± 0.45ab	77.35 ± 0.15b	78.24 ± 0.23a
粗蛋白 Crude protein (%)	21.49 ± 0.30a	20.96 ± 0.22ab	21.45 ± 0.19a	20.30 ± 0.26b
粗脂肪 Crude lipid (%)	0.22 ± 0.02a	0.16 ± 0.03ab	0.25 ± 0.02a	0.13 ± 0.03b
粗灰分 Crude ash (%)	0.28 ± 0.01	0.27 ± 0.03	0.27 ± 0.01	0.28 ± 0.01

Table 3. The effects of different feeding strategy on digestive enzymes activities of *M. salmoides*
表 3. 不同投喂策略对大口黑鲈消化酶活性的影响

指标 Indexes	处理组 Treatments			
	T1 (2T4%)	T2 (2T2%)	T3 (3T4%)	T4 (3T2%)
胃 Stomach				
蛋白酶 Protease (U/mg prot)	24.41 ± 1.25	21.65 ± 2.92	23.15 ± 1.48	22.62 ± 0.75
脂肪酶 Lipase (U/g prot)	2.86 ± 0.39a	1.31 ± 0.24b	2.27 ± 0.34a	0.60 ± 0.10b
淀粉酶(U/mg prot)	0.74 ± 0.15a	0.47 ± 0.05b	0.55 ± 0.06ab	0.44 ± 0.10b
前肠 Foregut				
蛋白酶 Trypsin (U/mg prot)	1586.90 ± 151.06a	665.50 ± 53.18c	1033.50 ± 45.33b	545.68 ± 108.87c
脂肪酶 Lipase (U/g prot)	1.46 ± 0.31	1.80 ± 0.37	1.40 ± 0.11	1.65 ± 0.13
淀粉酶 Amylase (U/mg prot)	1.40 ± 0.16	1.11 ± 0.12	1.22 ± 0.06	1.30 ± 0.29

表 4 所示为大口黑鲈血清生化指标受试验处理的影响。血清总蛋白含量以 T4 组最低, 显著低于 T1 和 T3 组($P < 0.05$), 其他三组之间无显著差异($P > 0.05$)。谷草转氨酶水平最高值出现在 T4 组($P < 0.05$), T1 组和 T3 组的酶活性还显著低于 T2 组($P < 0.05$); 各组间的谷丙转氨酶活性无显著差异($P > 0.05$)。超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性变化趋势基本一致, 以 T1 和 T3 组的两种抗氧化酶的活性相对较高, T2 和 T4 组相对较低($P < 0.05$)。T2 和 T4 组试验鱼的血清丙二醛含量显著高于 T1 和 T3 组($P < 0.05$), 两两组别之间则无显著差异($P > 0.05$)。

Table 4. The effects of different feeding strategy on serum parameters of *M. salmoides*

表 4. 不同投喂策略处理对大口黑鲈血液生化指标的影响

指标 Indexes	处理组 Treatments			
	T1 (2T4%)	T2 (2T2%)	T3 (3T4%)	T4 (3T2%)
总蛋白 TP(g/L)	86.93 ± 7.80a	66.45 ± 9.24ab	83.19 ± 10.28a	53.70 ± 8.21b
谷丙转氨酶 ALT(U/L)	1.43 ± 0.21	2.14 ± 0.19	1.48 ± 0.47	2.14 ± 0.19
谷草转氨酶 AST(U/L)	8.83 ± 1.20c	13.33 ± 1.29b	6.54 ± 1.08c	21.23 ± 1.09a
超氧化物歧化酶 SOD(U/L)	59.67 ± 3.74a	45.34 ± 3.29bc	58.60 ± 6.41a	37.18 ± 1.24c
过氧化氢酶 CAT(U/L)	83.95 ± 7.07a	58.27 ± 6.67b	79.19 ± 5.81a	53.93 ± 3.40b
丙二醛 MDA(U/L)	22.47 ± 2.69b	41.69 ± 5.87a	23.27 ± 5.36b	43.43 ± 3.33a

4. 讨论

本试验的结果发现在室内循环水养殖系统中, 投喂频率以每天 2 次、投喂量以占鱼体质量 4% 的投喂处理养殖大口黑鲈效果最佳; 但其生长性能与对饲料利用效率与每天 3 次、投喂量以占鱼体质量 4% 的投喂处理的试验鱼无显著差异。目前已有关于投喂频率和投喂量对鱼类影响研究的报道结果并不一致, 对杂交鲈[8]、虹鳟[9]、彭泽鲫[10]、团头鲂[11]等鱼类的研究发现, 增加投喂频率, 可以获得更好体增重率; 而对珍珠龙胆石斑鱼[1]、日本黄姑鱼[12]和斑点叉尾鲷[13]等鱼类的研究则表明, 高投喂频率不能进一步提升生长性能。另外, 对鲮鱼[14]、大盖巨脂鲤[15]、鞍带石斑鱼[16]等鱼类的试验结果却发现试验鱼的生长表现和饲料效率不受饲料投喂策略的影响。这可能与不同鱼类的自身生理结构、摄食特性、消化道排空时间、饲料类型、营养与代谢需求的差异有关[17] [18]。汪福保等[19]观察在到 20℃ 水温条件下, 大口黑鲈的胃排空时间大于 8 小时, 建议可以适当降低投喂频率并以饱食法投喂。本试验日投喂 2 次试验组的投料时间点分别为 8:30 和 17:30, 投喂时间间隔 9 小时, 与上述研究报道相近。

已有研究表明, 投喂频率对饲料系数的影响主要有 3 种[8]: 一是饲料系数随着投喂频率的增加而增加; 二是鱼类体增重随投喂频率增加而提高的同时, 饲料系数也随之下降; 三是体增重随投喂频率改变, 但饲料系数不相关。本试验观察到大口黑鲈的体增重不仅受低投喂量(2%)的显著影响, 在该投喂水平上再增加投喂次数, 试验鱼对饲料和蛋白质的利用效率均显著下降; 这可能是投喂量偏低情况下高投喂频率导致大口黑鲈需要动用更多的能量用于摄食游动和进食过程, 饲料摄入用于鱼体增重的比例下降, 而用于能耗支出增加, 因而抑制了生长和饲料利用率。这与在大菱鲆[3]、尼罗系吉富罗非鱼[20]和长吻鮠[21]等研究中观察到的结果相似。

肥满度、肝体比等形体学参数是评价鱼类营养生理状况的常用指标[22]。提高投喂率可增加了鱼体营养物质的积累, 提高养成鱼的肥满度; 而肝脏作为鱼类的营养物质代谢的主要器官, 过多的饲料摄入会

使部分转化为脂肪而蓄积,造成了肝脏重量增加,进而肝体比提高[23]。本实验中观察到投喂量为4%的两个试验处理组(T1和T3)鱼的肥满度和肝体比要高于投喂量为2%的两个试验处理组(T2和T4),但无显著差异;表明4%的投喂量是一个较为适宜的水平,既能保障鱼体得到正常生长和生理所需,又不会引起肝脏等的代谢负担,避免造成过多体脂的蓄积。

投喂策略会对鱼类的体成分组成产生显著影响。对彭泽鲫[8]、星斑川鲮[24]的研究发现,随着投喂频率的增加,肌肉粗蛋白含量明显增加;吉富罗非鱼[25]、条石鲷[26]等鱼类鱼体粗脂肪含量随着投喂频率的增加而呈现上升趋势,水分含量则呈现相反的趋势;这与本试验中大口黑鲈的肌肉粗蛋白、粗脂肪和水分的组成变化基本相似。

本试验中各试验处理组大口黑鲈的消化酶活性变化趋势基本与饲料利用效率变化一致,这也体现在了试验鱼的生长性能差异上,类似的结果在黄鳢[27]、虎斑乌贼[28]等品种的研究中有相似报道。日投喂2次、投喂量4%的试验组的大口黑鲈胃脂肪酶、淀粉酶活性以及肠蛋白酶活性均明显较高;而投喂量为2%的两个试验组的酶活相对较低,直接导致了对饲料利用效率下降,并造成生长相对缓慢。此外,T3试验组鱼前肠蛋白酶活性也显著低于T1试验组,说明在适宜投喂量前提下,投喂频率的增加会一定程度影响消化能力。有研究指出,有胃鱼的胃中可以容纳较多的食物,反复多次饲喂会使消化道内含物反射性急速移动,在未消化的情况下被排掉[29][30]。此外,因为膨化饲料相对颗粒饲料更容易产生饱腹感;随着投喂频率的增加,致使食欲恢复时间变短,可能会导致饲料未能进行充分消化,降低饲料利用效率[31]。这可能也是本试验中以4%投喂量、日投喂2次处理组大口黑鲈生长性能和饲料利用效率较好的原因。

血液生化指标对于研究水产动物的机体新陈代谢和健康状况具有重要意义。转氨酶活性是判断鱼体肝脏器官是否损伤的指标,同时也反映了蛋白质合成和分解代谢状况[32]。鱼体在正常情况下,血清中转氨酶活性值也会维持一定水平;只有在肝脏组织细胞遭到破坏和损害时,通透性增加,细胞内的转氨酶大量释放出来进入血液,造成谷草转氨酶活性增强。本试验观察到生长速度较慢的T4组试验鱼的谷草转氨酶水平显著高于投喂4%的两组(T1和T3);投喂量下降或饥饿状态同样造成南方鲇[33]、尼罗罗非鱼[34]等鱼类血液中转氨酶活性上升,生长速度下降。丙二醛是体内所有氧化反应的最终产物,血液中的含量高低可以反映活性氧自由基的含量及组织细胞脂质过氧化的强度;而超氧化物歧化酶和过氧化氢酶等抗氧化酶则是动物机体内清除氧自由基的重要酶,对动物机体的氧化与抗氧化平衡有重要的作用[35]。其中,超氧化物歧化酶主要负责清除体内的氧自由基,将其转化为 H_2O_2 ;过氧化氢酶则主要在微粒体、胞浆及线粒体基质中清除 H_2O_2 。本试验结果显示,大口黑鲈血清中的丙二醛含量和抗氧化酶活性呈负相关,随着养殖时间的延长,较低水平投喂量使得大口黑鲈体内氧化反应增强,抗氧化能力下降,对试验鱼的健康状况造成负面影响,最终反映在T4组试验鱼最低的成活率和最差的生长表现。

5. 结论

综上所述,在本试验条件下,以生长性能、饲料利用效率、消化酶活性及血清生理等指标进行综合评估,大口黑鲈幼鱼以4%的投喂量,每天上午和傍晚共投喂2次的投喂方式为宜。该试验结果为大口黑鲈循环水集约化养殖制定科学养殖管理策略提供了参考。

基金项目

浙江省重点科技研发项目(2019C02060)、国家特色淡水鱼产业技术体系(CARS-46)、浙江省2020~2021年农业协同创新推广专项——大口黑鲈项目、浙江省农业农村厅“三农六方”科技协作项目(2019SNLF022)、浙江省水产动物营养与饲料科技服务团队。

参考文献

- [1] 朱晓芳, 曹潇, 巩建华, 等. 投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长及系统水质指标的影响[J]. 海洋科学, 2017, 41(8): 32-39.
- [2] Williams, K.C. (2009) A Review of Feeding Practices and Nutritional Requirements of Postlarval Groupers. *Aquaculture*, **292**, 141-152. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.026>
- [3] 李会涛, 陈京华, 刘宝良, 等. 工厂化流水养殖条件下大菱鲆幼鱼的适宜投喂率研究[J]. 水产研究, 2019, 6(3): 131-134.
- [4] 周凡, 钱婷, 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.
- [5] 农业农村部渔业渔政管理局. 2018年中国渔业年鉴统计[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- [6] Yi, X.W., L, J., Xu, W., Zhou, H.H., Smith, A.A., Zhang, W.B. and Mai, K.S. (2015) Shrimp Shell Meal in Diets for Large Yellow Croaker *Larimichthys croceus*: Effects on Growth, Body Composition, Skin Coloration and Anti-Oxidative capacity. *Aquaculture*, **441**, 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.01.030>
- [7] 陆游, 金敏, 袁野, 等. 不同脂肪源对黄颡鱼幼鱼生长性能、体成分、血清生化指标、体组织脂肪酸组成及抗氧化能力的影响[J]. 水产学报, 2018, 42(7): 1094-1110.
- [8] Webster, C.D., Thompson, K.R., Morgan, A.M., Grisby, E.J. and Dasgupta, S. (2001) Feeding Frequency Affects Growth, Fillet Composition of Juvenile Sunshine Bass *Morone chrysops* × *M. saxatilis* Grown in Cages. *Journal of the World Aquaculture Society*, **32**, 79-88. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2001.tb00925.x>
- [9] Ruohonen, K., Vielma, J. and Grove, D.J. (1998) Effects of Feeding Frequency on Growth and Food Utilisation of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fed Low-Fat Herring or Dry Pellets. *Aquaculture*, **165**, 111-121. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00235-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00235-X)
- [10] 丁立云, 饶毅, 陈文静, 等. 投喂频率对彭泽鲫幼鱼生长性能、形体指标和肌肉品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(19): 228-231.
- [11] 林艳, 缪凌鸿, 戈贤平, 等. 投喂频率对团头鲂幼鱼生长性能、肌肉品质和血浆生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(9): 2749-2756.
- [12] 骆季安, 楼宝, 史会来, 等. 饲喂频率对日本黄姑鱼生长及鱼体生化成分的影响[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2007, 26(1): 37-40.
- [13] 董桂芳, 胡振雄, 黄峰, 等. 投喂频率对斑点叉尾鲴幼鱼生长、饲料利用和鱼体组成的影响[J]. 渔业现代化, 2019, 39(2): 48-53.
- [14] Biswas, G., Thirunavukkaras, A.R.U., Sundaray, J.K. and Kailasam, M. (2010) Optimization of Feeding Frequency of Asian Seabass (*Lates calcarifer*) Fry Reared in Net Cages, under Brackishwater Environment. *Aquaculture*, **305**, 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.002>
- [15] Silva, C.R., Gomes, L.C. and Brandão, F.R. (2007) Effect of Feeding Rate and Frequency on Tambaqui (*Colossoma macropomum*) Growth, Production and Feeding Costs during the First Growth Phase in Cages. *Aquaculture*, **264**, 135-139. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.12.007>
- [16] 仇登高, 郑乐云, 黄种持, 等. 投喂频率对流水养殖鞍带石斑鱼生长、摄食及免疫酶活力的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(7): 51-57.
- [17] Riche, M., Haley, D.I., Oetker, M., Garbrecht, S. and Garling, D.L. (2004) Effects of Feeding Frequency on Gastric Evacuation and the Return of Appetite in Tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, **234**, 657-673. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.12.012>
- [18] 李卓钦, 刘文斌, 田红艳, 等. 不同饲料料型及投喂频率对斑点叉尾鲴幼鱼生长及肌肉品质的影响[J]. 中国水产科学, 2018, 25(6): 1260-1270.
- [19] 汪福保, 程光兆, 崔顺东, 等. 加州鲈冬季适宜投喂频率的研究[J]. 饲料工业, 2017, 38(18): 14-17.
- [20] 刘伟, 文华, 蒋明, 等. 投喂率和投喂频率对吉富罗非鱼幼鱼生长和肝脏健康的影响[J]. 淡水渔业, 2019, 49(2): 89-98.
- [21] 刘康, 何金钊. 投喂频率和投喂水平对长吻鮠幼鱼生长和免疫的影响[J]. 渔业现代化, 2019, 46(1): 1-5.
- [22] Eroldoğan, O.T., Kumlu, M. and Aktas, M. (2004) Optimum Feeding Rates for European Sea Bass *Dicentrarchus labrax* L. Reared in Seawater and Freshwater. *Aquaculture*, **231**, 501-515. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.10.020>
- [23] 韩强音, 高桂平, 冯健. 四种主要饲料植物蛋白原料对彩虹鲷池塘养殖生长性能与品质的影响研究[J]. 水产研

- 究, 2018, 5(1): 6-14.
- [24] 孙丽慧, 王际英, 丁立云, 等. 投喂频率对星斑川鲷幼鱼生长和体组成影响的初步研究[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(2): 190-195.
- [25] 孙晓锋, 冯健, 陈江虹, 等. 投喂频率对尼罗系吉富罗非鱼幼鱼胃排空、生长性能和体组成的影响[J]. 水产学报, 2011, 11(23): 1677-1683.
- [26] 宋国, 彭士明, 孙鹏, 等. 饥饿与再投喂及投喂频率对条石鲷幼鱼生长和消化酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(6): 1269-1277.
- [27] 陈云飞, 彭慧珍, 刘庄鹏, 等. 投喂水平对黄鳝(*Monopterus albus*)生长、肠道消化酶活性及部分血清生理生化指标的影响[J]. 渔业科学进展, 2017, 38(2): 114-120.
- [28] 朱婷婷, 李晨晨, 陆游, 等. 投喂频率对虎斑乌贼生长性能、体成分、消化酶活性、组织脂肪酸和氨基酸含量的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(9): 3581-3592.
- [29] Dwyer, K.S., Brown, J.A., Parrish, C. and Lall, S.P. (2002) Feeding Frequency Affects Food Consumption, Feeding Pattern and Growth of Juvenile Yellowtail Flounder (*Limanda ferruginea*). *Aquaculture*, **213**, 279-292. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00224-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00224-7)
- [30] 楼宝, 毛国民, 骆季安, 等. 饲喂频率对黑鲷生长及体生化成分的影响[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(6): 19-24.
- [31] Tsevis, N., Klaoudatos, S. and Conides, A. (1992) Food Conversion Budget in Sea Bass, *Dicentrarchus labrax*, Fingerlings under Two Different Feeding Frequency Patterns. *Aquaculture*, **101**, 293-304. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90032-G](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90032-G)
- [32] 周玉, 郭文场, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(2): 163-165.
- [33] 陈晓耘. 饥饿对南方鲶幼鱼血液的影响[J]. 西南农业大学学报, 2000, 2(2): 167-169.
- [34] 李建, 王琨, 陈建春, 等. 不同循环饥饿投喂模式对尼罗罗非鱼补偿生长的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(6): 869-876.
- [35] Porter, N.A., Caldwell, S.E. and Mills, K.A. (1995) Mechanisms of Free Radical Oxidation of Unsaturated Lipids. *Lipids*, **30**, 277-290. <https://doi.org/10.1007/BF02536034>