

DOI:10.14188/j.ajsh.2021.06.004

大水面网箱养殖俄罗斯鲟后备亲鱼的适宜投喂量与效益

邵辉^{1,2}, 胡谋², 王宪策¹, 许式见^{2*}, 夏永涛^{1,2}, 王斌^{1,2}

(1. 杭州千岛湖鲟龙科技股份有限公司, 浙江 杭州 311701;
2. 衢州鲟龙水产食品科技开发有限公司, 浙江 衢州 324000)

摘要: 为探讨大水面网箱养殖俄罗斯鲟后备亲鱼的适宜投喂量与养殖效益, 将平均体质量为(6.15±0.23) kg的4龄俄罗斯鲟(*Acipenser gueldenstaedtii*)后备亲鱼(雌性)养殖在网箱中, 以养殖基地日常投饵率(feeding rate, FR)计算的投喂量(feeding quantity, FQ)为基准, 设置C-1(80%×FQ)、C-2(90%×FQ)、C-3(100%×FQ)、C-4(110%×FQ)四个投喂水平, 研究不同投喂水平对俄罗斯鲟后备亲鱼生长性能和养殖效益的影响, 并设置上游、实验点和下游三个水质监测点, 评价养殖生产对湖区水环境的影响。结果表明, C-1组成活率显著低于其他组($P<0.05$), C-2、C-3、C-4组成活率均超过99%, 且无显著性差异($P>0.05$); C-4组增重率显著高于C-1组($P<0.05$), 其他各组之间增重率无显著性差异($P>0.05$); 饵料系数C-3对照组和C-4组都显著高于C-1组($P<0.05$), 而其他各组间无显著性差异($P>0.05$); 成活率、增重率和饵料系数均随着投喂量的增加而逐渐提高, 但C-3和C-4组较C-2组提高不显著($P>0.05$)。C-2组所发生的养殖成本是(6.35±0.28)元/kg, 且显著低于其他各组($P<0.05$); 相应地, C-2组获得的养殖效益是(11.66±0.28)元/kg, 且显著高于其他各组($P<0.05$)。对实验区域及上下游水质监测结果表明, 水环境指标在一定程度上受到养殖活动, 尤其是投喂量的影响。随着时间推移, 水温和pH值呈现季节性变化, 各监测点总氮(total nitrogen, TN)、总磷(total phosphorus, TP)、氨氮(ammonia nitrogen, AN)和高锰酸盐指数(hypermanganate index, HI)的值总体变化趋势基本一致, 监测值除TN外均低于地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中的Ⅱ类水质标准。因此, 建议将目前日常投喂量从100%×FQ降至90%×FQ, 以达到降低养殖成本、提高经济和生态效益的目的。

关键词: 投喂量; 俄罗斯鲟; 后备亲本; 成本效益; 水环境

中图分类号: S964.6

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2021)06-0560-08

Analysis on the feeding quantity and benefit of the reserve broodstock of Russian sturgeon in net cages in large water bodies

SHAO Hui^{1,2}, HU Mou², WANG Xiance¹, XU Shijian^{2*}, XIA Yongtao^{1,2}, WANG Bin^{1,2}

(1. Hangzhou Qiandaohu Xunlong Sci-Tech Co., Ltd., Hangzhou 311701, Zhejiang, China;

2. Quzhou Xunlong Aquatic Food Sci-Tech Development Co., Ltd., Quzhou 324000, Zhejiang, China)

Abstract: In order to explore the feeding quantity and breeding benefits of reserve broodstock of Russian sturgeon in net cages in large water bodies, the reserve broodstocks (female) of 4-year-old Russian sturgeon with an average body-weight of (6.15±0.23) kg were cultured in net cages, and the feeding quantity (FQ) calculated based on the daily feeding rate (FR) of the breeding base was used as the benchmark to set four feeding levels of C-1 (80%×FQ), C-2 (90%×FQ), C-3 (100%×FQ), and C-4 (110%×FQ) to study the effects of different feeding levels on the growth performance and breeding benefits. Three water quality monitoring points (upstream, test site and downstream) were set up to evaluate the impact of aquaculture production on the lake water environment. The results showed that the survival rate of

收稿日期: 2021-06-17 修回日期: 2021-09-09 接受日期: 2021-11-30

作者: 邵辉(1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事鲟鱼育种及健康养殖技术研究。E-mail: yfsh@kalugaqueen.com

通讯联系人: 许式见(1983-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事鲟鱼育种及健康养殖技术研究。E-mail: xsj@kalugaqueen.com

基金项目: 衢州市科技计划竞争性项目(2020K27)

引用格式: 邵辉, 胡谋, 王宪策, 等. 大水面网箱养殖俄罗斯鲟后备亲鱼的适宜投喂量与效益[J]. 生物资源, 2021, 43(6): 560-567.

Shao H, Hu M, Wang X C, et al. Analysis on the feeding quantity and benefit of the reserve broodstock of Russian sturgeon in net cages in large water bodies [J]. Biotic Resources, 2021, 43(6): 560-567.

C-1 was significantly lower than that of the other groups ($P < 0.05$). The survival rates of C-2, C-3, and C-4 all exceeded 99%, and there was no significant difference ($P > 0.05$). The weight gain rate of C-4 group was significantly higher than that of C-1 group ($P < 0.05$), and there was no significant difference in weight gain rate between other groups ($P > 0.05$). The feed conversion ratio of the C-3 and C-4 groups were significantly higher than that of the C-1 group ($P < 0.05$), while there was no significant difference between the other groups ($P > 0.05$). Survival rate, weight gain rate and feed conversion ratio all gradually increased with the increase of feeding amount, but the increase in C-3 and C-4 groups was not significant compared with C-2 group ($P > 0.05$). The lowest breeding cost was recorded in C-2 (6.35 ± 0.28 yuan/kg) than the other groups ($P < 0.05$). In addition, the breeding benefit obtained in the group of C-2 (11.66 ± 0.28 yuan/kg) was significantly higher than the other groups ($P < 0.05$). The results of water quality monitoring in the experimental area and upstream and downstream indicate that the water environment indicators are affected to a certain extent by aquaculture activities, especially the amount of feeding. The water temperature and pH value show seasonal changes over time. The changing trends of the values of TN (total nitrogen), TP (total phosphorus), AN (ammonia nitrogen) and HI (hypermanganate index) at each monitoring point are basically the same. Except for TN, the monitored values are all lower than the Class II water quality standard in the surface water environmental quality standard (GB 3838-2002). Therefore, in order to reduce breeding costs and improve economic and ecological benefits, we suggest that the current daily feeding rates could be reduced from $100\% \times FQ$ to $90\% \times FQ$.

Key words: feeding quantity; Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*); reserve broodstock; cost-benefit; water environment

0 引言

俄罗斯鲟 (*Acipenser gueldenstaedtii*) 属鲟科 (Acipenseridae) 鲟属 (*Acipenser*) 鱼类, 原产于里海、亚速海和黑海及其河流, 被称为“水中活化石”, 具有很高的学术和经济价值, 特别是鲟鱼子酱被比作“黑色黄金”^[1]。俄罗斯鲟自 1992 年引进我国开展研究和人工养殖, 因其具有生长快、性成熟早、抗病力强及鱼子酱价值高等优点养殖发展迅速, 已成为内陆水域中优良的养殖品种之一, 其生长适宜温度为 $18 \sim 25$ °C^[2,3]。近年来有关俄罗斯鲟成体的研究主要集中在其加工技术方面^[4], 而关于其养殖技术和遗传育种等方面的研究主要集中在幼鱼阶段^[5,6]。

随着养殖动物的生长, 其饲料投喂量需要不断进行相应的改变和调整。投喂量过低, 会导致养殖动物生长参差不齐, 投喂量过高, 则造成饵料浪费, 增加成本, 并对养殖环境造成污染^[7]。适宜的投喂量和投喂频率可以促进水产动物生长、提高饲料效率、减少饲料浪费, 进而降低养殖成本、减少养殖水体污染^[8]。目前有关俄罗斯鲟投喂量方面的研究主要集中在幼鱼阶段^[9], 而关于其后备亲鱼的投喂量研究尚未见报道。本文参考俄罗斯鲟养殖生产中的日常投喂量, 研究大水面网箱养殖中投喂量对俄罗斯鲟后备亲鱼生长和效益的影响, 以期降低养殖成本, 减少对水域环境的影响。

1 材料与方法

1.1 实验材料与地点

实验用鱼为 2014 年杭州千岛湖鲟龙科技股份有限公司繁育的俄罗斯鲟 (雌性, 用于鱼子酱生产), 平均体质量 (6.15 ± 0.23) kg。实验用饲料为市售鲟鱼专用膨化配合饲料普通料 7# 料, 主要成分占比分别为: 粗蛋白质 (crude protein) 45.06%, 粗脂肪 (crude lipid) 13.63%, 粗纤维 (crude fiber) 1.71%, 粗灰分 (crude ash) 8.16%, 水分 (moisture) 8.20%; 饲料原料包括: 白鱼粉 (white fish meal)、鱼粉 (fish meal)、膨化豆粕 (puffed soybean meal)、发酵豆粕 (fermented soybean meal)、 α -淀粉 (α -starch)、谷朊粉 (vital wheat gluten)、磷酸二氢钙 (calcium dihydrogen phosphate)、维生素预混料 (vitamin premix)、矿物质预混料 (mineral premix) 等。

实验地点位于江西省九江市柘林湖水库 (图 1), 水库多年平均流量 $255 \text{ m}^3/\text{s}$ 。养殖区域水深 $15 \sim 30 \text{ m}$, 实验期间水温为 $9.8 \sim 31.7$ °C, 透明度 $2 \sim 4 \text{ m}$, 溶氧含量 $6.12 \sim 9.07 \text{ mg/L}$; 实验选取养殖基地 1 区 4 排共计 16 个网箱, 相邻网箱间距 0.5 m , 呈南北向“一”字排列, 网箱采用环保型深水网箱, 材料为无结聚乙烯网, 规格 $6 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 12 \text{ m}$, 网目 5 cm , 高温季节可下沉到 12 m 深处度夏, 其他季节提升至 5 m 深度养殖, 底部安装集污套网收集废弃物并抽提废水上岸集中处理, 各网箱内水下 2 m 处设置密网食台, 便于观察摄食情况。

1.2 方法

实验结合养殖生产实际选定网箱区域,设置4组,每组随机选择4个平行,共16个网箱,每箱投放120~124尾。以养殖基地日常投饵率(feeding rate, FR)为基准计算投喂量(feeding quantity, FQ), $FQ = FR \times W_i$ (初始体重), 设 C-1(80%×FQ)、C-2(90%×FQ)、C-3(100%×FQ)、C-4(110%×FQ)共4个实验组,放养数分别为488、488、484和496尾。

实验时间为2018年5月8日至2019年1月6日,共8个月。实验开始前停食3d,开始及结束时对每组实验鱼品进行全网箱称重,每4尾称量一次并计算个体均重,实验进行过程中严格操作,专人投喂,期间做好饲料投喂记录,各组间投喂次数及方法保持一致,表观饱食投喂,观察摄食无剩余,记录每日投喂的饲料重量,日投喂量依据养殖基地生产日投饵率和初始称重计算,并根据季节水温变化和增重经验值与养殖生产同步调整投喂量和投喂次数(表1)。

同时每月在养殖区域上游、实验点和下游处分别采集水样,其中实验点位于库湾实验区域网箱外,上游和下游采水点分别选择在库湾水流的入口和出口的中部位置(图1),距离实验点约1.5 km,采集方法是分别在表层、1.5 m和3 m深处取相同水量混匀后取500 mL水样,4℃冰箱保存,用于水温、pH、总氮(total nitrogen, TN)、总磷(total phosphorus, TP)、氨氮(ammonia nitrogen, AN)和高锰酸盐指数(hpermanganate index, HI)等主要水环境指标的测定,其中水温和pH在现场使用溶氧仪测定,TN使用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ636-

2012)测定^[10], TP使用钼酸铵分光光度法(GB/T 11893-1989)测定^[11], AN使用纳氏试剂分光光度法(HJ535-2009)测定^[12], HI使用酸性高锰酸盐法(GB 11892-1989)测定^[13], 仪器设备分别使用HQ30D哈希溶氧仪、TU-1810PC紫外分光光度计、721N可见光分光光度计和HHS-21-6电热恒温水浴锅。本实验中水质以地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中的II级标准(pH 6~9, 溶解氧≥6.0 mg/L, 总氮≤0.5 mg/L, 总磷≤0.025, 氨氮≤0.5, 高锰酸盐指数≤4)为参考标准^[14]。

1.3 评价指标

实验结束后,根据记录的数据计算鲟鱼成活率和饲料系数。公式如下:

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

$$\text{增重率 (weight gain rate, WGR, \%)} = 100\% \times (W_2 + W_0 - W_1) / W_1$$

$$\text{饲料系数 (feed conversion ratio, FCR)} = F / (W_2 - W_1)$$

$$\text{平均成本 (average cost, 元/kg)} = (8.2 \times F + 42 \times W_0) / W_2$$

$$\text{平均收益 (average benefit, 元/kg)} = (60 \times W_2 - 42 \times W_2 - 8.2 \times F - 42 \times W_0) / W_2$$

式中, W_1 、 W_2 和 W_0 分别为初始、终末和死亡鱼体重量; N_0 、 N_i 为初始、终末时鱼尾数, F 为总投喂量。以养殖4龄俄罗斯鲟雌性后备亲鱼财务成本42.00元/kg核算俄罗斯鲟成本,饲料采购单价8.20元/kg核算饲料成本,以市场收购5龄俄罗斯鲟雌性后备亲鱼的价格60元/kg核算收益。

表1 实验期间日投饵率和投喂次数变化

Table 1 Changes in daily feeding rate and feeding times during the experiment

实验日期	投饵率(日投饵量/体重)	投喂次数
5月8日至6月10日	0.80%	早6点,晚5点各1次
6月11日至6月24日	0.30%	早5点1次
6月25日至7月12日	0.30%	早5点1次,间隔停食1日
7月13日至10月3日	0.20%	早5点1次,间隔停食1日
10月4日至10月9日	0.20%	早5点1次
10月10日至10月25日	0.40%	早6点,晚5点各1次
10月26日至10月31日	0.46%	早6点,晚5点各1次
11月1日至11月9日	0.66%	早6点,晚5点各1次
11月10日至11月14日	1.32%	早7点,晚4点各1次
11月15日至11月19日	1.80%	早7点,晚4点各1次
11月20日至12月18日	1.22%	早7点,晚4点各1次
12月19日至12月26日	0.00%	停食
12月27日至次年1月6日	0.90%	早7点,晚4点各1次

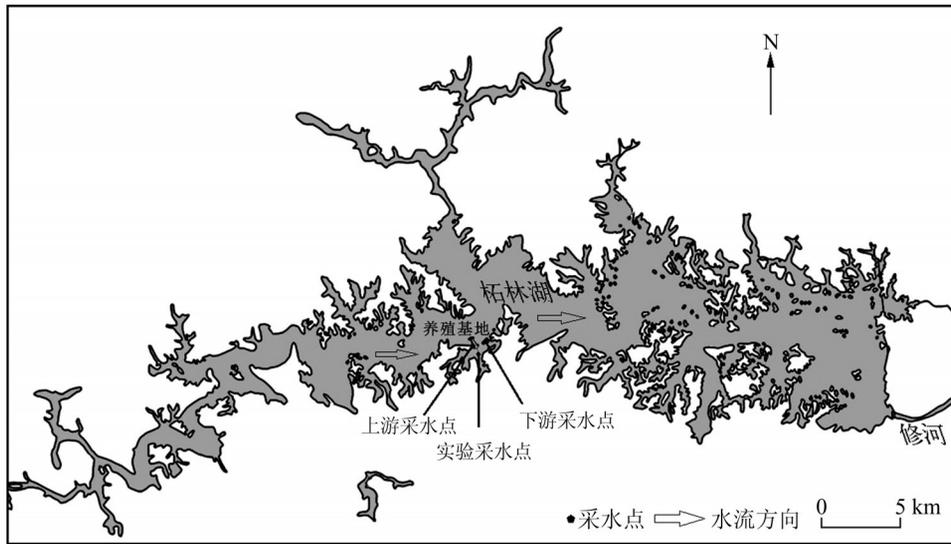


图1 柘林湖采水点分布

Fig. 1 Sampling sites in Zhelin Lake

实验数据用平均值±标准差(mean±SD)表示,用SPSS 26进行统计分析。对各实验组数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), $P<0.05$ 为差异性显著。

2 结果与分析

2.1 不同投喂量对俄罗斯鲟后备亲鱼生长性能的影响

实验结果显示(表2),4组投喂量中C-1组平均成活率显著低于其他三组($P<0.05$),其他三组之间差异不显著($P>0.05$),平均成活率均在99%以上,C-2组平均死亡0.75尾/箱,C-3对照组和C-4组平均死亡0.5尾/箱;C-4组增重率显著高于C-1组($P<0.05$),但在C-1组、C-2组与C-3对照组之间和C-2组、C-3对照组与C-4组之间增重率无显著性差异($P>0.05$);饵料系数C-3对照组和C-4组都显著高于C-1组($P<0.05$),而C-3对照组、C-4组与C-2组之间差异不显著($P>0.05$),C-1组和C-2组也无显著性差异($P>0.05$);表3中各组的数据变化显

示,成活率、增重率和饵料系数均呈现出随着投喂量的增加而逐渐升高的趋势。

2.2 不同投喂量对俄罗斯鲟后备亲鱼养殖成本收益的影响

如表3所示,不同投喂量水平中C-2组平均成本为(6.35±0.28)元/kg,显著低于其他各组($P<0.05$),C-3对照组显著低于C-1组和C-4组($P<0.05$),C-1组和C-4组之间无显著性差异($P>0.05$);C-2组平均收益为(11.66±0.28)元/kg,显著高于其他各组($P<0.05$),C-3对照组显著高于C-1组和C-4组($P<0.05$),而C-1组和C-4组($P<0.05$)之间无显著性差异($P>0.05$);各组数据变化趋势显示,平均成本随着投喂量的增加呈先降低后升高的趋势,平均收益则随着投喂量的增加呈先增加后降低的趋势。

2.3 大水面网箱养殖俄罗斯鲟饵料投喂对水环境的影响

分别在养殖区上游、实验点和下游设置3个取水点,监测实验期间不同监测点主要水质指标的变化,

表2 不同投喂量对俄罗斯鲟后备亲鱼生长性能的影响

Table 2 Effects of different feeding quantity on growth performance of Russian sturgeon

组别	初始数量/尾	初始均重/ kg·尾 ⁻¹	终末数量/尾	终末均重/ kg·尾 ⁻¹	投饲量/ kg·尾 ⁻¹	死亡数量/尾	成活率 (SR)/%	增重率 (WGR)/%	饵料系数 (FCR)
C-1	488	6.12±0.14	465	8.62±0.08	5.90±0.15 ^a	23	95.28±0.82 ^a	39.97±2.46 ^a	2.36±0.14 ^a
C-2	488	6.14±0.12	485	8.73±0.20	6.50±0.12 ^b	3	99.39±0.77 ^b	41.99±1.40 ^{ab}	2.52±0.08 ^{ab}
C-3	484	6.26±0.34	482	9.00±0.31	7.28±0.39 ^c	2	99.59±0.48 ^b	43.81±3.48 ^{ab}	2.66±0.21 ^b
C-4	496	6.04±0.29	494	8.89±0.29	7.81±0.36 ^d	2	99.60±0.47 ^b	47.30±3.75 ^b	2.74±0.22 ^b

注:同一列中参数上方字母不同代表有显著性差异($P<0.05$)

Note: different letters in the same column mean significant differences($P<0.05$)

表3 不同投喂量的俄罗斯鲟后备亲鱼养殖成本效益分析
Table 3 Cost-benefit analysis of Russian sturgeon with different feeding quantity

组别	终末数据			评价指标	
	死亡重量/kg	投喂量/kg	终末重量/kg	平均成本/元·kg ⁻¹	平均收益/元·kg ⁻¹
C-1	169.63	2 810.80	4 008.80	7.53±0.38 ^c	10.47±0.38 ^a
C-2	22.21	3 162.15	4 233.80	6.35±0.28 ^a	11.66±0.28 ^c
C-3	15.33	3 513.50	4 337.80	6.79±0.19 ^b	11.21±0.19 ^b
C-4	14.53	3 864.85	4 390.90	7.36±0.24 ^c	10.64±0.24 ^a

注:同一列中参数上方字母不同代表有显著性差异($P < 0.05$)

Note: different letters in the same column mean significant differences ($P < 0.05$)

结果如图2所示,在同一时间的不同监测点之间温度和pH值均无显著性差异,温度随时间的变化呈先上升后降低的趋势,总体变化区间为9.5~32.2℃;pH值随时间变化呈现先升高后降低再升高的变化过程,总体变化区间为6.9~8.8;TN随时间变化总体呈逐渐降低的趋势,5月至8月份显著高于9月至次年1月($P < 0.05$),在同一时间点的不同采样点之间TN监测值5月、8月和11月下游点显著高于上游点和实验点($P < 0.05$),其他月份未呈现出显著性差异($P > 0.05$),总体变化区间为0.75~1.24 mg/L,均超过地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中的Ⅱ类

水质总氮 ≤ 0.5 mg/L的标准^[14];TP随时间变化呈现两次先升高后降低的变化过程,但总体呈现降低的趋势,部分月份各采样点之间出现显著性差异,其中9月上游点和实验点显著高于下游点($P < 0.05$),5月、11月、12月和次年1月则是实验点和下游点显著高于上游点($P < 0.05$),其他月份则无显著性差异($P > 0.05$),总体变化区间为0.005~0.020 mg/L;AN随时间变化整体呈现先降低后升高再降低的趋势,5月份下游点的AN监测值显著高于其他两点($P < 0.05$),其他月份则无显著性差异($P > 0.05$),总体变化区间为0.01~0.05 mg/L;HI随时间变化整体呈现逐步降低的趋势,其中5月和11月的实验点监测值显著高于上游点和下游点($P < 0.05$),且11月份实验点监测值异常高于其他两点,9月和12月下游点数值显著高于上游点和实验点($P < 0.05$),次年1月则是上游点和实验点显著高于下游点($P < 0.05$),其他月份无显著性差异,总体变化区间为0.62~1.24 mg/L。

3 讨论

3.1 不同投喂量对俄罗斯鲟后备亲鱼生长性能的影响

有研究发现投喂量的增加使杂交鲟血清中谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性显著升高,促进蛋白质代

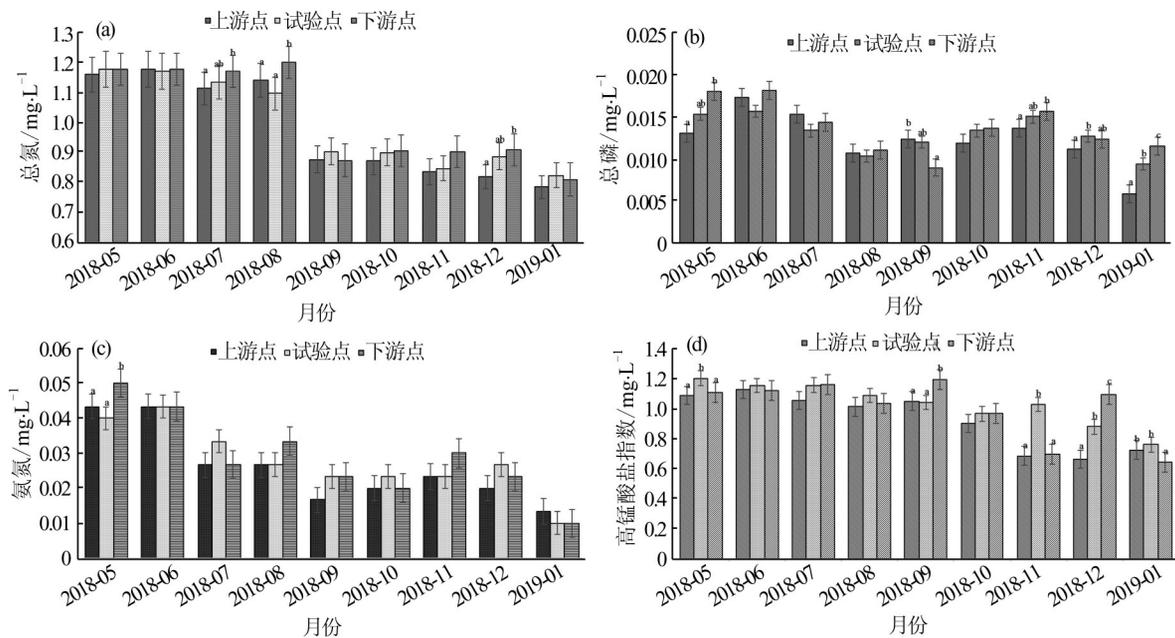


图2 大水面网箱养殖俄罗斯鲟对水环境的影响(a, 总氮; b, 总磷; c, 氨氮; d, 高锰酸盐指数)

Fig. 2 The effect of Russian sturgeon feeding in large water surface cages on water environment (a, TN; b, TP; c, AN; d, HI)

注:柱状图上方不同的小写字母表示同一时间不同采样点之间差异显著($P < 0.05$)

Note: different letters indicate significant differences between different sampling sites at the same time ($P < 0.05$)

谢,显著提高血清总蛋白和白蛋白含量,改善实验鱼的营养状况,同时过高的投喂量有可能对肝脏造成损伤^[8]。对俄罗斯鲟的研究发现投喂量的增加能够使俄罗斯鲟血液红细胞数量增多,增强非特异性免疫功能,对俄罗斯鲟的健康具有一定的促进作用^[9]。本实验中,不同投喂量对4龄俄罗斯鲟后备亲鱼的成活率、增重率及饲料利用均产生显著影响,各组成活率、增重率和饵料系数均随投喂量的升高呈现上升的趋势。对各组新鲜死亡个体病理解剖和取样分析,发现多数死亡鲟嘴部上下唇严重充血肿胀,无法正常进食,解剖发现肝脏病变,脾脏、肾脏严重充血发黑,有的伴有腹水;判断其原因可能是过低的投喂量可使鱼摄食相对不足,生长所需营养成分在数量上的相对缺乏,导致鱼体生长速度减缓,进而影响鱼体自身免疫系统,鱼体体质及免疫力相对较差、抗病力不强,死亡个体增加^[15]。

本研究发现,80%投喂量时俄罗斯鲟后备亲鱼表现出较低的饵料系数和增重率,当投喂量逐渐增加时,实验鱼的饵料系数随之升高,同时增重率因足量的营养摄入而逐步提高,但较高投喂量的增重效果不显著。这是由于低投喂量可使鱼类获得较高的饲料利用率,但过低的投喂量会造成鱼类营养成分的缺乏,在这种情况下较高的饵料利用率并不能完全补偿饲料营养的不足^[16]。投喂量过低会引起鱼类生长性能下降,而投喂量过高并没有显著增加鱼类的生长性能,其原因可能是投喂量逐步上升时,摄入的能量中用于鱼类生长的部分已经开始减少,而用于维持基础代谢的能量部分却增加了,从而导致饵料系数升高^[15],这与本实验中出现的规律相似。过低的投喂量会导致鱼类生长缓慢及抗病力下降,但过高的投喂量会导致饲料转化率降低、胃肠消化功能过载、体脂积累、环境污染及生产成本升高^[17]。

3.2 不同投喂量对俄罗斯鲟后备亲鱼养殖成本效益的影响

在鱼类养殖中,投喂量不仅会影响鱼类的生长性能和饲料利用率,还关乎着饲料和养殖的成本^[18]。水产品养殖成本可大致分为固定成本、饵料成本、鱼苗成本、人工成本、渔药费用和其他费用,其中饵料成本和鱼苗成本构成了水产成鱼养殖成本的82%~92%^[19]。在本实验中,实验期间的固定资产、人工、渔药及其他费用均相同的条件下,80%低投喂量使俄罗斯鲟后备亲鱼有最低的饵料系数,降低了饲料成本,但该投喂量使死亡成本显著增加;与90%的投喂量相比,100%和110%的投喂量死亡率没有显

著性差异且死亡成本均较低,但是100%和110%的投喂量相比90%投喂量饲料成本较高。在本实验中90%的投喂量可获得最大的经济效益。

3.3 大水面网箱养殖俄罗斯鲟饵料投喂对水环境的影响

水产养殖排放废物的质和量的差异主要与养殖系统的表现形式、养殖品种、养殖密度和饵料系数等有关,其中残饵和粪便依然是氮磷等污染物的主要来源^[20]。有研究证实在实际养殖过程中,可适当减少投喂,减缓水体氨氮和亚硝酸盐含量的积累,并在养殖过程中要清除水体中残饵和粪便,或通过栽培水生植物或藻类对水体无机磷进行有效控制^[21]。本实验中实验点和下游点的监测值在多数月份高于上游点,各监测点的变化趋势与实验期间日常投喂量和投喂次数变化趋势相似,尤其是11月份的TP、AN和HI均出现突然升高的现象,该变化与养殖投喂量的调整时间基本一致,表明养殖水域及其下游的水质指标受养殖活动尤其是投喂量高低的影响。此外随着时间推移水温和pH值呈现季节性变化,TN、TP、AN和HI的值各监测点总体变化趋势基本一致,监测点的监测值除TN外均低于地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中的Ⅱ类水质标准,推测各指标的监测值随时间变化主要是水库自身的水环境季节变化的结果,有研究发现受降雨和水库调节运行影响,养殖水域柘林湖湖区在高温的7~10月水位均逐月下降,相应的氮、磷营养盐浓度在此期间呈逐月上升趋势^[22]。而由于冬季大量的藻类死亡下降到湖底,冬季温度低,微生物的活动量很小,沉积物中有机质矿化分解缓慢,向水体释放的氮磷量很少^[23],与本研究中TP和AN的监测值变化趋势基本一致。

综上,从生长性能、饲料利用率和养殖效益等多方面综合比较,在大水面网箱养殖中,对于处于4龄及以上进入性腺发育期的俄罗斯鲟雌性后备亲鱼,可将日投喂量从100%FQ降至90%FQ,从而降低养殖成本,有效控制大水面网箱养殖对水域环境的影响,达到提高经济和生态效益的目的。但是本实验未对不同水平的投喂量各组所在网箱水质分别跟踪监测,尚不能准确判断各投喂水平对水质的影响程度,有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 贺艳辉,袁永明,张红燕,等. 中国鲟鱼子酱出口竞争力分析及展望[J]. 农学报, 2020, 10(5): 58-62.
He Y H, Yuan Y M, Zhang H Y, et al. Sturgeon caviar of China: export competitiveness analysis and prospect [J]. Journal of Agriculture, 2020, 10(5): 58-62.

- [2] 孙大江. 中国鲟鱼养殖[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 55-56.
Sun D J. Sturgeon Aquaculture in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015: 55-56.
- [3] 许式见, 邵辉, 胡谋, 等. 网箱和流水池塘养殖俄罗斯鲟的生长特性[J]. 水产学杂志, 2018, 31(3): 20-24.
Xu S J, Shao H, Hu M, *et al.* Growth characteristics of cultured *Acipenser gueldenstaedtii* [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2018, 31(3): 20-24.
- [4] Cai W Q, Chen Y W, Dong X P, *et al.* Protein oxidation analysis based on comparative proteomic of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) after sous-vide cooking [J]. Food Control, 2021, 121(1): 107594.
- [5] Wang X D, Li Q, Wang J H, *et al.* Effects of dietary alpha-linolenic acids on growth performance, lipid metabolism and antioxidant responses of juvenile Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii* [J]. Aquacult Nutr, 2019, 25: 184-193.
- [6] 孙梦洁, 陈亚东, 高杰, 等. 俄罗斯鲟补体C7基因的克隆及表达分析[J]. 水生生物学报, 2019, 43(4): 763-770.
Sun M J, Chen Y D, Gao J, *et al.* Cloning and expression analysis of the complement component C7 Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) [J]. Acta Hydrobiol Sin, 2019, 43(4): 763-770.
- [7] 楼宝, 毛国民, 骆季安, 等. 不同投饵率对黑鲟生长及体生化成分的影响[J]. 上海水产大学学报, 2007(3): 230-235.
Lou B, Mao G M, Luo J A, *et al.* Effects of feeding rate on growth and body biochemical composition of *Sparus macrocephalus* [J]. J Shanghai Ocean Uni, 2007 (3): 230-235.
- [8] 褚志鹏, 金佳利, 陈细华, 等. 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼生长、体成分和生化指标的影响[J]. 中国水产科学, 2020, 27(2): 177-185.
Chu Z P, Jin J L, Chen X H, *et al.* Effects of different feeding rates and frequencies on the growth performance, body composition, and biochemical parameters of juvenile hybrid sturgeon [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(2): 177-185.
- [9] 李伟杰, 张涛, 庄平, 等. 投喂率对网箱养殖俄罗斯鲟生长与血液指标的影响[J]. 海洋渔业, 2014, 36(6): 536-541.
Li W J, Zhang T, Zhuang P, *et al.* Effects of feeding rate on growth, body composition and blood index of *Acipenser gueldenstaedtii* reared in net pens [J]. Marine Fisheries, 2014, 36(6): 536-541.
- [10] 中华人民共和国环境保护部. HJ 636-2012 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. HJ 636-2012 Water quality-determination of total nitrogen-alkaline potassium persulfate digestion UV spectrophotometric method [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2012.
- [11] 中华人民共和国环境保护总局. GB/T 11893-1989 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1989.
National Environmental Protection Agency of the People's Republic of China. GB/T 11893-1989 Water quality -determination of total phosphorus - ammonium molybdate spectrophotometric method [S]. Beijing: Standards Press of China, 1989.
- [12] 中华人民共和国环境保护部. HJ 535-2009 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. HJ 535-2009 Water quality-determination of ammonia nitrogen-Nessler's reagent spectrophotometry [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2009.
- [13] 中华人民共和国环境保护总局. GB/T 11892-1989 水质 高锰酸盐指数的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 1989.
National Environmental Protection Agency of the People's Republic of China. GB/T 11892-1989 Water quality -determination of permanganate index [S]. Beijing: Standards Press of China, 1989.
- [14] 中华人民共和国环境保护总局. GB 3838-2002 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
National Environmental Protection Agency of the People's Republic of China. GB 3838-2002 Environmental quality standards for surface water [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [15] 关磊, 刘兴隆, 谢银华. 山区水库网箱养殖罗非鱼最适投饵率的研究[J]. 海洋与渔业, 2014(10): 54-55.
Guan L, Liu X L, Xie Y H. Study on the optimum feeding rate of tilapia in cage culture in mountainous reservoir [J]. Oceans and Fisheries, 2014(10): 54-55.
- [16] 赵吉伟, 邱岭泉, 杨雨辉, 等. 不同投饵率对施氏鲟幼鱼生长及体成分的影响[J]. 中国水产科学, 2004(4): 375-378.
Zhao J W, Qiu L Q, Yang Y H, *et al.* Effects of feeding rate on growth of Amur sturgeon *Acipenser schrenckii* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004(4): 375-378.
- [17] 刘伟, 莫楠, 李冰, 等. 投饵率对花羔红点鲑幼鱼生长性能、抗氧化能力、免疫应答及耐缺氧胁迫能力的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(9): 4110-4117.

- Liu W, Mo N, Li B, *et al.* Effects of feeding rate on growth performance, antioxidant ability, immune response and hypoxia stress tolerance of juvenile *Salvelinus malma* [J]. *Acta Zoonutr Sin*, 2019, 31(9): 4110-4117.
- [18] Mihelakakis A, Tsolkas C, Yoshimatsu T. Optimization of feeding rate for hatchery-reduced juvenile gilthead sea bream *Sparus aurata* [J]. *J World Aquacult Soc*, 2010, 33(2): 169-175.
- [19] 吕晓婷, 温艳萍. 江夏潮汐电站库区滩涂水产养殖成本收益分析[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(32): 91-94.
Lü X T, Wen Y P. Cost-benefit analysis of the marine product at the beach area of Jiangxia tidal power station [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(32): 91-94.
- [20] 刘国锋, 徐跑, 吴霆, 等. 中国水产养殖环境氮磷污染现状及未来发展思路[J]. *江苏农业学报*, 2018, 34(1): 225-233.
Liu G F, Xu P, Wu T, *et al.* Present condition of aquaculture nitrogen and phosphorus environmental pollution and future development strategy [J]. *Jiangsu J of Agr Sci*, 2018, 34(1): 225-233.
- [21] 张志东, 陈爱华, 吴杨平, 等. 不同饲料投喂模式对脊尾白虾生长、消化酶、体成分及养殖水环境的影响[J]. *中国水产科学*, 2020, 27(9): 1075-1084.
Zhang Z D, Chen A H, Wu Y P, *et al.* Effects of different feeding modes on the growth, digestive enzyme activity, body composition, and aquaculture water quality of *Exopalaemon carinicauda* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(9): 1075-1084.
- [22] 戴国飞, 刘慧丽, 张伟, 等. 江西柘林湖富营养化现状与藻类时空分布特征[J]. *湖泊科学*, 2015, 27(2): 275-281.
Dai G F, Liu H L, Zhang W, *et al.* Spatio-temporal variation of algae and eutrophic status of Lake Zhelin, Jiangxi Province [J]. *J Lake Sci*, 2015, 27(2): 275-281.
- [23] 熊汉锋, 王运华, 谭启玲, 等. 梁子湖表层水氮的季节变化与沉积物氮释放初步研究[J]. *华中农业大学学报*, 2005(5): 78-81.
Xiong H F, Wang Y H, Tan Q L, *et al.* Seasonal dynamics of nitrogen in water and release of nitrogen from sediment in Liangzi Lake [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2005(5): 78-81.

□

(编辑: 张丽红)