

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.19129

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

褚志鹏, 金佳利, 陈细华, 吴金平, 唐丹

中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室, 湖北 武汉 430223

摘要: 为探讨大杂交鲟(*Huso dauricus*♀×*Acipenser schrenckii*♂)适宜投喂率和投喂频率, 本实验分别设计了 5 个投喂率(0.4%、0.8%、1.2%、1.6%和 2.0%)和 5 个投喂频率(1 次/d、2 次/d、3 次/d、4 次/d 和 5 次/d), 研究不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟生长、体成分和生化指标的影响。投喂率实验中鱼初重(335.87±0.82) g, 投喂频率实验中鱼初重(334.77±1.06) g, 养殖周期为 10 周。结果表明, 随着投喂率升高, 实验鱼增重率、特定生长率、肝体比、脏体比、肥满度, 肌肉粗蛋白、粗脂肪和肝粗脂肪含量显著升高($P<0.05$), 血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶和胃蛋白酶活性均显著升高($P<0.05$); 饲料效率、全鱼和肌肉水分含量均显著降低($P<0.05$); 全鱼粗脂肪含量, 血清总蛋白、白蛋白和高密度脂蛋白胆固醇含量, 肠脂肪酶活性呈先升高后降低趋势($P<0.05$)。随着投喂频率增加, 实验鱼增重率、特定生长率和饲料效率无显著差异($P>0.05$); 1 次/d 投喂频率组脏体比、肥满度和全鱼粗脂肪含量显著低于其他各组($P<0.05$), 2 次/d 投喂频率组全鱼粗蛋白含量显著高于其他各组($P<0.05$)。不同投喂频率对实验鱼除血清葡萄糖含量以外的其他血清生化指标和胃肠消化酶活性或含量均无显著影响($P>0.05$)。综合以上结果认为, 在 300~600 g 大杂交鲟的养殖过程中日投喂率在 1.2%~1.6%, 投喂频率为 2 次/d 比较适宜。

关键词: 杂交鲟(*Huso dauricus*♀×*Acipenser schrenckii*♂); 投喂率; 投喂频率; 生长性能; 生化指标

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)02-0177-09

投喂率和投喂频率是投喂技术的重要组成部分, 也是影响水产动物生长和饲料利用的重要因素^[1]。关于水产动物投喂率和投喂频率的研究已有诸多报道, 研究表明不同的投喂率和投喂频率对水产动物的生长、成活率、饲料效率、鱼体成分和生理指标等有显著的影响^[2]。适宜的投喂率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^[3-5]。

达氏鳇(*Huso dauricus*)(♀)×施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)(♂)的杂交种称为大杂交鲟, 俗称“大杂”, 因其优良的生长速度、抗逆性及鱼子酱生产性能成为中国鲟养殖和鱼子酱加工的主要品种之

一^[6-7]。2016 年品种名称为“鲟龙 1 号”的杂交鲟通过了全国水产原种和良种审定委会的水产品新品种审定^[8]。国内外学者已经开展了施氏鲟(*A. schrenckii*)^[9-10]、俄罗斯鲟(*A. gueldenstaedtii*)^[11-12]、杂交鲟(*A. schrenckii*♀×*A. baeri*♂, 俗称西杂)^[13]等投喂率及投喂频率的研究, Lee 等^[14]对不同投喂率下 0~800 g 高首鲟(*A. transmontanus*)的生长速度和体成分建立了模型, 有关大杂交鲟投喂率和投喂频率的研究未见报道。本实验通过不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟生长、体成分、血清生化指标和胃肠道消化酶活性的影响确定适宜的投喂率和投喂频率, 以期为其养殖生产提供参考依据。

收稿日期: 2019-04-24; 修订日期: 2019-05-16.

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项资金项目(CARS-46).

作者简介: 褚志鹏(1991-), 男, 研究实习员, 从事鲟营养与饲料研究. E-mail: chuzhipeng@yfi.ac.cn

通信作者: 陈细华, 博士, 研究员, 从事鲟营养与饲料研究. E-mail: chenxh@yfi.ac.cn

1 材料与方法

1.1 实验饲料及实验设计

实验饲料采用福建天马科技集团股份有限公司生产的健马牌 4# 饲料, 实测主要营养成分: 水分 3.32%, 粗蛋白 37.48%, 粗脂肪 12.18%, 粗灰分 11.27%。投喂率实验中, 日投喂量为鱼体体重的 0.4%、0.8%、1.2%、1.6% 和 2.0%, 分别为 R1、R2、R3、R4 和 R5 组, 每天投喂 3 次(7:00, 15:00, 19:00)。投喂频率实验中, 采用表观饱食投喂法, 日投喂次数为 1 次(7:00)、2 次(7:00, 19:00)、3 次(7:00, 15:00, 19:00)、4 次(7:00, 15:00, 19:00, 23:00)、5 次(7:00, 11:00, 15:00, 19:00, 23:00), 分别为 F1、F2、F3、F4 和 F5 组。

1.2 实验鱼及饲养管理

大杂交鲟购自荆州市渔都特种水产养殖有限公司, 两项养殖实验在武汉市少潭河农业生态有限公司室外水泥池中同时进行。在水泥池驯化 2 周后挑选规格整齐、体格健壮的个体。投喂率实验鱼初重(335.87 ± 0.82) g, 投喂频率实验鱼初重(334.77 ± 1.06) g, 两项实验分别分为 5 组, 每组 3 个重复, 每个重复 25 尾鱼, 饲养于长 4.0 m, 宽 2.0 m, 水深 0.5 m 水泥池内, 流水养殖。养殖周期 10 周, 每 2 周进行称重、调整投喂量。实验采用天然水库水, 自然光照, 养殖期间水温(15.4 ± 1.1) °C, 溶解氧(7.4 ± 0.3) mg/L, pH 为 7.4~7.8, 氨氮小于 0.5 mg/L, 亚硝酸盐小于 0.1 mg/L。

1.3 样品采集及测定

养殖实验结束后将实验鱼饥饿 24 h 后记数并称重, 每个重复随机挑选 10 尾鱼使用 MSS-222 麻醉后测量体长和体重用以计算肥满度, 取其中 3 尾鱼进行尾静脉采血, 3500 r/min 离心 10 min 后取血清, 保存于 -20 °C 冰箱用以测定血清生化指标; 随后取肝和内脏称重, 用以计算肝体比及脏体比; 将内脏分离取胃和肠道放入离心管保存于 -80 °C 冰箱用以测定消化酶活性; 取背肌、肝及另外 3 尾鱼放入自封袋中保存于 -20 °C 冰箱用以测定常规营养成分。

1.3.1 常规营养成分测定 饲料、全鱼、肌肉及肝的水分采用 105 °C 干燥法(GB/T5009.3-2003)测

定, 粗蛋白质采用凯氏定氮法(GB/T5009.3-2003)测定, 粗脂肪采用索氏抽提法(GB/5009.6-2003)测定, 粗灰分采用 550 °C 灼烧法(GB/5009.4-2003)测定。

1.3.2 血清、胃及肠道生化指标测定 血清生化指标采用全自动生化分析仪(BS-460, 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司)测定。胃和肠道消化酶活性采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行测定。

1.4 计算公式及统计分析

$$\text{增重率(WGR, \%)} = (W_f - W_i) / W_i \times 100$$

$$\text{特定生长率(SGR, \% / d)} = (\ln W_f - \ln W_i) / t \times 100$$

$$\text{饲料效率(FE, \%)} = (W_f - W_i) / I_T \times 100$$

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

$$\text{脏体指数(VSI, \%)} = W_v / W \times 100$$

$$\text{肝体指数(HSI, \%)} = W_h / W \times 100$$

$$\text{肥满度(CF)} = W / L^3 \times 100$$

式中, W_f 代表末体重(g), W_i 代表初体重(g), t 为试验天数(d), I_T 代表总摄氏饲料干重(g), N_f 代表实验初始鱼尾数, N_i 代表实验终末鱼尾数, W_v 代表鱼体内脏质量(g), W_h 代表鱼体肝重(g), W 代表鱼体体重(g), L 代表鱼体体长(cm)。

数据使用 Excel 2016 整理后, 通过 SPSS 20.0 对数据进行单因素方差分析, 采用 Duncan 氏多重比较分析组间的差异显著性, 显著水平定为 0.05。实验数据用平均值±标准误($\bar{x} \pm \text{SE}$)表示。

2 结果与分析

2.1 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼生长性能和饲料利用的影响

由表 1 可知, 不同投喂率对大杂交鲟幼鱼增重率、特定生长率和饲料效率均有显著影响($P < 0.05$)。随着投喂率的升高, 实验鱼增重率和特定生长率呈上升趋势, 饲料效率呈下降趋势。R1 组增重率和特定生长率显著低于其他各组($P < 0.05$)。R4 和 R5 组饲料效率显著低于其他组($P < 0.05$)。不同投喂频率对杂交鲟幼鱼增重率、特定生长率和饲料效率均无显著影响($P > 0.05$), F2 组实验鱼增重率和特定生长率最高, F4 组饲料效率最高。

表 1 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼生长性能和饲料利用的影响
Tab. 1 Effects of different feeding rates and frequencies on growth performance and feed efficiency of juvenile hybrid sturgeon (*Huso dauricus*♀×*Acipenser schrenckii*♂)

n=3; $\bar{x} \pm SE$

项目 item	组别 group	初始体重/g initial body weight	终末体重/g final body weight	增重率% WGR	特定生长率/(%/d) SGR	饲料效率/% FE
投喂率 feeding rate	R1	332.67±0.67	483.13±5.04 ^a	45.23±1.24 ^a	0.53±0.01 ^a	1.52±0.08 ^d
	R2	337.20±2.95	611.00±3.00 ^b	81.23±2.05 ^b	0.85±0.02 ^b	1.22±0.04 ^c
	R3	335.73±2.43	640.20±15.22 ^{bc}	90.77±5.78 ^{bc}	0.92±0.04 ^{bc}	0.90±0.09 ^b
	R4	336.27±0.35	642.73±20.83 ^{bc}	91.13±6.12 ^{bc}	0.92±0.04 ^{bc}	0.65±0.08 ^a
	R5	337.46±1.09	672.47±5.34 ^c	99.28±2.21 ^c	0.98±0.02 ^c	0.57±0.02 ^a
投喂频率 feeding frequency	F1	336.40±1.29	665.67±9.47	97.89±3.16	0.97±0.02	1.00±0.04
	F2	338.27±4.39	691.27±15.47	104.32±2.54	1.02±0.02	0.97±0.01
	F3	333.47±1.62	654.47±3.12	96.27±0.99	0.96±0.01	0.86±0.05
	F4	332.00±0.46	668.47±10.29	101.35±1.32	1.00±0.02	1.03±0.03
	F5	333.73±1.70	661.93±13.41	98.32±3.38	0.98±0.02	0.95±0.03

注: R1, R2, R3, R4, R5 组投喂率为日投喂鱼体重的 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6%和 2.0%; F1, F2, F3, F4, F5 组投喂频率为日投喂 1 次, 2 次, 3 次, 4 次, 5 次。同列数据肩标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。
Note: Feeding rates of R1, R2, R3, R4, R5 group are 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% and 2.0% of fish weight a day. Feeding frequencies of F1, F2, F3, F4, F5 group are once, twice, three times, four times, five times a day. Different small letter superscripts in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

2.2 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼成活率和形体指数的影响

不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼成活率均无显著影响($P>0.05$)(表 2)。随着投喂率升高大杂交鲟幼鱼肝体比、脏体比和肥满度均显著升高($P<0.05$), R1 组肝体比、脏体比和肥满度均显著低于其他各组($P<0.05$)。投喂频率对大杂交鲟幼鱼肝体比无显著影响($P>0.05$), F1 组脏体比和肥满度显著低于其他各组($P<0.05$)。

2.3 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼全

鱼、肌肉及肝成分的影响

由表 3 可知, 不同投喂率对大杂交鲟幼鱼全鱼水分、粗脂肪, 肌肉水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分, 肝粗蛋白和粗脂肪含量均有显著影响($P<0.05$)。随着投喂率升高, 全鱼和肌肉水分含量显著降低($P<0.05$), 全鱼粗脂肪含量呈先升高后降低的趋势, 肌肉粗蛋白、粗脂肪、粗灰分和肝粗脂肪含量呈升高趋势。其中 R1 组全鱼、肌肉及肝粗脂肪含量均最低且显著低于 R4 和 R5 组($P<0.05$)。不同投喂频率对大杂交鲟幼鱼全鱼、肌

表 2 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼成活率和形体指数的影响
Tab. 2 Effects of different feeding rates and frequencies on survival and morphological indices of juvenile hybrid sturgeon (*Huso dauricus*♀×*Acipenser schrenckii*♂)

n=3; $\bar{x} \pm SE$

项目 item	组别 group	成活率/% SR	肝体比/% HSI	脏体比/% VSI	肥满度/(g/cm ³) CF
投喂率 feeding rate	R1	100.00±0.00	1.92±0.29 ^a	7.30±0.19 ^a	0.71±0.01 ^a
	R2	100.00±0.00	2.66±0.10 ^b	8.34±0.31 ^b	0.76±0.00 ^b
	R3	100.00±0.00	2.87±0.18 ^{bc}	9.07±0.52 ^{bc}	0.79±0.00 ^c
	R4	100.00±0.00	3.21±0.10 ^c	9.46±0.14 ^c	0.80±0.00 ^c
	R5	100.00±0.00	3.05±0.12 ^{bc}	9.48±0.24 ^c	0.80±0.00 ^c
投喂频率 feeding frequency	F1	100.00±0.00	3.15±0.21	7.92±0.39 ^a	0.79±0.01 ^a
	F2	100.00±0.00	3.35±0.12	10.22±0.36 ^b	0.82±0.02 ^b
	F3	100.00±0.00	3.18±0.17	9.27±0.30 ^b	0.81±0.01 ^b
	F4	100.00±0.00	3.08±0.16	10.33±0.40 ^b	0.81±0.01 ^b
	F5	100.00±0.00	3.02±0.16	9.21±0.39 ^b	0.83±0.01 ^b

注: R1, R2, R3, R4, R5 组投喂率为日投喂鱼体重的 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6%和 2.0%; F1, F2, F3, F4, F5 组投喂频率为日投喂 1 次, 2 次, 3 次, 4 次, 5 次。同列数据肩标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。
Note: Feeding rates of R1, R2, R3, R4, R5 group are 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% and 2.0% of fish weight a day. Feeding frequencies of F1, F2, F3, F4, F5 group are once, twice, three times, four times, five times a day. Different small letter superscripts in the same column indicate significant effect ($P<0.05$).

表 3 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼全鱼、肌肉及肝成分的影响
Tab. 3 Effects of different feeding rates and frequencies on compositions of whole body, muscle and liver of juvenile hybrid sturgeon (*Huso dauricus*♀×*Acipenser schrenckii*♂)

$n=3; \bar{x} \pm SE; \%$

项目 item	投喂率 feeding rate					投喂频率 feeding frequency				
	R1	R2	R3	R4	R5	F1	F2	F3	F4	F5
全鱼 whole body										
水分 moisture	76.53±1.31 ^b	72.48±1.39 ^a	70.47±1.32 ^a	70.34±0.82 ^a	71.59±0.82 ^a	72.25±0.44	69.96±0.61	70.93±0.39	71.07±1.03	70.56±0.99
粗蛋白 crude protein	14.49±0.54	15.46±0.38	15.14±0.67	15.79±0.04	15.12±0.58	15.33±0.12 ^a	16.05±0.15 ^b	14.88±0.20 ^a	14.93±0.24 ^a	14.90±0.26 ^a
粗脂肪 crude lipid	6.21±0.20 ^a	7.65±0.07 ^b	10.10±0.22 ^c	9.86±0.22 ^c	9.14±0.04 ^c	9.11±0.06 ^a	11.04±0.17 ^b	10.61±0.18 ^b	10.59±0.20 ^b	10.88±0.10 ^b
粗灰分 crude ash	1.92±0.15	2.33±0.25	2.35±0.04	2.30±0.11	2.12±0.05	2.03±0.02	2.12±0.05	2.13±0.12	1.94±0.12	1.84±0.04
肌肉 muscle										
水分 moisture	74.81±0.37 ^b	74.78±0.31 ^b	73.20±0.30 ^a	73.16±0.16 ^a	72.39±0.59 ^a	73.12±0.31	72.81±0.33	72.95±0.44	73.84±0.38	73.04±0.41
粗蛋白 crude protein	20.35±0.23 ^a	20.27±0.38 ^a	21.26±0.09 ^b	21.42±0.27 ^b	22.03±0.07 ^c	20.55±0.18	20.92±0.17	21.55±0.04	20.41±0.21	21.64±0.08
粗脂肪 crude lipid	1.08±0.10 ^a	1.13±0.15 ^{ab}	1.25±0.05 ^{abc}	1.36±0.19 ^{bc}	1.40±0.02 ^c	1.91±0.04	2.05±0.05	1.71±0.05	1.82±0.02	1.83±0.02
粗灰分 crude ash	1.34±0.02 ^a	1.56±0.02 ^b	1.63±0.00 ^c	1.63±0.02 ^c	1.62±0.05 ^c	1.68±0.03	1.81±0.00	1.69±0.02	1.77±0.03	1.70±0.02
肝 liver										
水分 moisture	45.70±2.22	43.12±1.43	43.93±1.52	40.87±1.37	41.78±2.33	41.04±2.47	41.57±2.15	41.96±1.71	44.33±0.60	44.72±2.17
粗蛋白 crude protein	5.64±0.24 ^b	5.14±0.01 ^{ab}	5.08±0.27 ^{ab}	4.70±0.18 ^a	5.02±0.36 ^{ab}	4.98±0.16 ^a	5.95±0.35 ^{ab}	5.90±0.67 ^{ab}	6.31±0.28 ^b	5.59±0.23 ^{ab}
粗脂肪 crude lipid	27.44±0.96 ^a	29.11±0.36 ^{ab}	32.95±0.18 ^{bc}	33.35±1.88 ^{bc}	35.59±2.00 ^c	35.42±0.51	35.02±2.39	29.36±2.25	33.60±1.44	34.08±3.01

注: R1, R2, R3, R4, R5 组投喂率为日投喂鱼体重的 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6%和 2.0%; F1, F2, F3, F4, F5 组投喂频率为日投喂 1 次, 2 次, 3 次, 4 次, 5 次。同行数据肩标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。

Note: Feeding rates of R1, R2, R3, R4, R5 group are 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% and 2.0% of fish weight a day. Feeding frequencies of F1, F2, F3, F4, F5 group are once, twice, three times, four times, five times a day. Different small letter superscripts in the same row indicate significant effect ($P<0.05$).

肉和肝的水分、粗灰分含量无显著影响($P>0.05$), 对全鱼和肝的粗蛋白、全鱼粗脂肪含量有显著影响($P<0.05$)。F2 组全鱼粗蛋白含量显著高于其他组($P<0.05$), F1 组全鱼粗脂肪含量显著低于其他各组($P<0.05$)。

2.4 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼血清生化指标的影响

由表 4 可知, 随着投喂率升高, 大杂交鲟幼鱼血清中谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性呈升高趋势, 其中 R5 组均显著高于 R1、R2 和 R3 组($P<0.05$); 血清总蛋白、白蛋白和高密度脂蛋白胆固醇含量呈先升高后降低趋势, 其中 R1 组血清总

蛋白、白蛋白含量显著低于其他各组($P<0.05$)。不同投喂频率对大杂交鲟幼鱼血清葡萄糖含量有显著影响($P<0.05$), 葡萄糖含量随投喂频率增加呈降低趋势, 对血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶、总蛋白、白蛋白、总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇和高密度脂蛋白胆固醇活性或含量均无显著影响($P>0.05$)。

2.5 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼胃和肠道消化酶的影响

如表 5 所示, 随着投喂率升高大杂交鲟幼鱼胃蛋白酶活性呈升高趋势, 肠淀粉酶活性则相反, 但各组间差异均不显著($P>0.05$); 肠脂肪酶活性

表 4 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼血清生化指标的影响
Tab. 4 Effects of different feeding rates and frequencies on serum biochemical parameters of juvenile hybrid sturgeon (*Huso dauricus*♀×*Acipenser schrenckii*♂)

n=3; $\bar{x} \pm SE$										
项目 item	组别 group	GLU /(mmol/L)	ALT /(U/L)	AST /(U/L)	TP /(g/L)	ALB /(g/L)	TG /(mmol/L)	TC /(mmol/L)	LDC-C /(mmol/L)	HDL-C /(mmol/L)
投喂率 feeding rate	R1	3.84±0.32	10.82±1.08 ^a	364.76±28.77 ^a	11.72±0.56 ^a	2.70±0.98 ^a	8.86±0.73	0.26±0.01 ^a	2.85±0.25	1.22±0.13
	R2	4.23±0.30	16.24±1.61 ^a	505.28±48.41 ^b	17.50±0.64 ^b	6.56±0.52 ^b	7.41±0.20	0.36±0.01 ^b	2.84±0.29	1.23±0.12
	R3	4.10±0.36	15.65±1.05 ^a	533.54±39.05 ^{bc}	17.80±0.75 ^b	7.20±0.42 ^b	8.63±0.71	0.46±0.01 ^c	3.51±0.37	1.42±0.20
	R4	3.85±0.38	22.88±2.19 ^b	644.93±38.68 ^{cd}	19.26±1.21 ^b	7.82±0.56 ^b	8.17±0.45	0.41±0.02 ^{bc}	3.36±0.18	1.31±0.07
	R5	3.68±0.28	31.90±3.10 ^c	686.05±60.88 ^d	17.58±0.94 ^b	7.08±0.38 ^b	8.06±0.45	0.41±0.03 ^{bc}	3.61±0.20	1.56±0.08
投喂频率 feeding frequency	F1	4.72±0.13 ^b	21.85±3.17	722.60±61.46	17.70±0.56	7.04±0.57	8.37±0.27	0.40±0.03	3.32±0.15	1.22±0.06
	F2	4.28±0.35 ^{ab}	26.20±3.40	785.45±102.41	19.28±1.06	8.25±0.44	6.99±0.38	0.42±0.03	3.03±0.27	1.20±0.17
	F3	4.51±0.35 ^{ab}	24.46±4.30	681.03±75.86	18.40±1.67	7.55±0.92	7.65±0.71	0.44±0.03	3.45±0.26	1.30±0.10
	F4	3.54±0.23 ^a	24.40±4.41	686.74±81.57	19.62±0.79	7.88±0.27	8.11±0.35	0.45±0.02	3.68±0.23	1.47±0.13
	F5	3.37±0.30 ^a	17.56±1.65	619.02±65.59	19.90±0.59	7.90±0.41	8.41±0.65	0.40±0.02	3.41±0.14	1.23±0.10

注: R1, R2, R3, R4, R5 组投喂率为日投喂鱼体重的 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6%和 2.0%; F1, F2, F3, F4, F5 组投喂频率为日投喂 1 次, 2 次, 3 次, 4 次, 5 次。同列数据肩标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。GLU: 葡萄糖, ALT: 谷丙转氨酶, AST: 谷草转氨酶, TP: 总蛋白, ALB:白蛋白, TG: 甘油三酯, TC: 总胆固醇, LDC-C: 低密度脂蛋白胆固醇, HDC-C: 高密度脂蛋白胆固醇。
Note: Feeding rates of R1, R2, R3, R4, R5 group are 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% and 2.0% of fish weight a day. Feeding frequencies of F1, F2, F3, F4, F5 group are once, twice, three times, four times, five times a day. Different small letter superscripts in the same column indicate significant effect ($P<0.05$). GLU: glucose, ALT: alanine aminotransferase, AST: aspartate aminotransferase, TP: total protein, ALB: albumin, TG: triglyceride, TC: total cholesterol, LDC-C: low density lipoprotein cholesterol, HDC-C: high density lipoprotein cholesterol.

表 5 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼胃和肠道消化酶的影响
Tab. 5 Effects of different feeding rates and frequencies on digestive enzyme activities in stomach and intestinal of juvenile hybrid sturgeon (*Huso dauricus*♀×*Acipenser schrenckii*♂)

n=3; $\bar{x} \pm SE$				
项目 item	组别 group	胃蛋白酶/(U/mg) pepsin	肠脂肪酶/(U/g) intestinal amylase	肠淀粉酶/(U/g) intestinal lipase
投喂率 feeding rate	R1	1.22±0.24	42.51±2.96 ^a	287.10±61.75
	R2	1.36±0.22	45.94±4.12 ^a	269.33±67.15
	R3	1.75±0.21	51.98±3.38 ^{ab}	269.64±69.26
	R4	2.03±0.35	58.98±2.93 ^b	196.62±4.79
	R5	1.93±0.28	49.84±5.31 ^{ab}	207.26±29.66
投喂频率 feeding frequency	F1	1.39±0.17	46.95±4.51	207.06±24.75
	F2	1.90±0.32	54.18±4.76	232.09±44.44
	F3	1.53±0.23	47.02±2.03	261.85±58.87
	F4	1.22±0.22	47.55±2.64	209.62±43.37
	F5	1.38±0.22	46.06±3.87	216.22±42.97

注: R1, R2, R3, R4, R5 组投喂率为日投喂鱼体重的 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6%和 2.0%; F1, F2, F3, F4, F5 组投喂频率为日投喂 1 次, 2 次, 3 次, 4 次, 5 次。同列数据肩标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。
Note: Feeding rates of R1, R2, R3, R4, R5 group are 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% and 2.0% of fish weight a day. Feeding frequencies of F1, F2, F3, F4, F5 group are once, twice, three times, four times, five times a day. Different small letter superscripts in the same column indicate significant effect ($P<0.05$).

呈先升高后降低趋势($P<0.05$)。投喂频率对大杂交鲟幼鱼胃蛋白酶、肠脂肪酶和肠淀粉酶活性均无显著影响($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼生长和饲料效率的影响

水产养殖中投喂量不足会影响鱼体生长, 而

过量投喂会加重鱼体胃肠负担, 降低饲料效率^[10]。本实验中, 随着投喂率的升高实验鱼的增重率和特定生长率均显著升高, 但投喂率在 1.2%~2.0%时实验鱼生长差异不显著, 这与施氏鲟^[10]和巨骨舌鱼(*Arapaima gigas*)^[2]中的研究结果相似。而对杂交鲟(西杂)^[13]和罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[5]的研究中鱼体增重率和特定生长率随投喂率升高呈持续增高。有趣的是, 在崔超^[11]对俄罗斯鲟

(23.9 g)投喂率的研究中实验鱼增重率随投喂率升高持续增高,而李伟杰等^[12]对俄罗斯鲟(3381.27 g)的研究表明投喂率在 0.8%~1.1%时实验鱼增重率差异不显著。同样在黄鳢(*Monopterus albus*)^[15]的研究中,小规格黄鳢增重率随投喂率升高持续升高,大规格黄鳢与本实验结果相似。因此,实验鱼的规格可能是造成差异的主要原因。投喂率的升高使实验鱼饲料效率显著降低,这可能是由于高水平的投喂率使饲料通过消化的速度加快,降低了实验鱼对饲料的消化率,同时使鱼体代谢和排泄消耗了更多饲料^[5, 15]。

有研究认为,适当提高投喂频率可以增加鱼体的摄食量,从而提高鱼体的生长速度^[3, 13, 16]。本实验中,投喂频率由 1 次/d 增加到 5 次/d,实验鱼增重率、特定生长率和饲料效率并没有显著变化。罗非鱼^[1]、巨骨舌鱼^[2]的研究结果与本实验相似,而在斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)^[4]、线鳢(*Channa striatus*)^[17]的研究中鱼体增重率随投喂频率增加而降低。也有学者认为投喂率相对于投喂频率对鱼体生长有更多的影响^[1]。

3.2 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼形体指数的影响

肝体比、脏体比和肥满度是衡量鱼体能量状态的重要指标,摄食营养物质和能量增加会引起肝体比、脏体比和肥满度升高^[18]。本实验中,投喂率升高,实验鱼肝体比、脏体比和肥满度均显著升高,这与俄罗斯鲟^[11-12]、罗非鱼^[1, 5]和黄鳢^[15]的研究结果一致。这表明投喂率的增加改善了鱼体营养状况^[19]。日投喂频率为 1 次/d 实验鱼脏体比和肥满度显著低于 2~5 次/d,条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)^[20]也出现了类似结果,这可能是由于 1 次/d 投喂频率组摄食量不能完全保证鱼体正常生长需求^[21]。

3.3 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼全鱼、肌肉及肝成分的影响

鱼体成分常被用以评估鱼的品质、确定适宜投喂率和投喂频率,已有研究表明投喂率对鱼体成分有显著影响^[1]。本实验中,投喂率的升高使全鱼、肌肉和肝粗脂肪含量显著升高,这表明高的

投喂率会造成鱼体脂肪的积累^[5]。在俄罗斯鲟^[11]、高首鲟^[14, 22]和乌苏里拟鲿(*Pseudobagrus ussuriensis*)^[23]的研究中,鱼体水分含量随投喂率升高而降低,本实验结果与其相似。Okorie 等^[24]认为鱼体水分含量与脂肪含量呈负相关,在本实验中也出现了这一结果。

本实验中,2 次/d 的投喂频率组全鱼粗蛋白含量显著高于其他投喂频率组,在杂交鲟^[13]、线鳢^[17]、罗非鱼^[18]和团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[25]的研究中投喂频率对全鱼粗蛋白含量无显著影响,这一差异可能是由于实验鱼种类和规格的不同造成的。而投喂 2 次/d 的实验鱼肌肉和肝中粗蛋白含量与其他投喂频率组无显著差异,关于 2 次/d 投喂是否可以提高实验鱼对蛋白质的吸收利用能力还有待进一步研究。全鱼粗脂肪含量随投喂频率增加而升高,肌肉和肝营养成分受投喂频率影响较小,这种情况也见于大西洋鲑(*Salmo salar*)^[16]、罗非鱼^[18]和团头鲂^[25-26]。

3.4 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼血清生化指标的影响

血液中谷丙转氨酶和谷草转氨酶含量是衡量肝脏健康的重要指标,肝脏病变后细胞内的转氨酶大量释放到血液中,可直接或间接反映动物体内氧化状态^[27-28]。本实验中,投喂率的升高使血清中谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性显著升高,这说明投喂率的增加促进了蛋白质代谢,同时过高的投喂率有可能对肝脏造成了损伤^[28]。总蛋白和白蛋白含量与机体营养状况呈正相关,也是营养学的重要指标^[29]。本实验中,投喂率为 0.4%实验组血清总蛋白和白蛋白含量显著低于其他各组,这表明投喂率的升高改善了实验鱼的营养状况。血液中低密度脂蛋白胆固醇和高密度脂蛋白胆固醇可以反映肌体胆固醇代谢情况。本实验中,投喂率的升高使血清中高密度脂蛋白胆固醇含量显著升高,这表明提高投喂频率可能一定程度上提高了实验鱼的胆固醇代谢功能^[26]。

本实验中,不同投喂频率对实验鱼血清中除葡萄糖以外的其他各项指标均无显著影响,类似的结果也出现在罗非鱼^[1]、花羔红点鲑(*Salvelinus*

malma)^[27]和团头鲂^[30]的研究中。

3.5 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼胃和肠道消化酶的影响

消化酶的活性可以影响鱼体对饲料的吸收利用进而影响鱼体生长,蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶是三种重要的消化酶^[31]。到目前为止,对鱼类消化酶活性已有了广泛的研究,但消化酶活性与鱼类摄食之间的关系尚不清楚^[23]。本实验中,不同投喂率对胃蛋白酶和肠淀粉酶活性无显著影响,但胃蛋白酶活性随投喂率升高亦有升高趋势,而肠淀粉酶则相反,在乌苏里拟鲿^[23]、团头鲂^[32]的研究中也有相似结果。这可能是随着投喂率的升高,实验鱼摄入蛋白质增加从而刺激蛋白酶分泌,而在低投喂率时实验鱼通过提高淀粉酶的活性来更好地利用饲料^[33]。肠脂肪酶先升高后降低,黄鳝^[15]、乌苏里拟鲿^[23]的研究中也出现了类似结果,这表明适宜的投喂率可以提高实验鱼对饲料脂肪的利用^[32]。

本实验中,投喂频率对胃蛋白酶、肠脂肪酶和肠淀粉酶均无显著性影响,表明不同组实验鱼对饲料消化吸收能力相同,这与巨骨舌鱼^[2]、南美白对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[34]的研究结果一致。而在条石鲷^[20]和许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*)^[35]的研究中投喂频率为1次/d实验组蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性显著高于投喂2~4次/d实验组。研究认为较低的投喂频率使鱼体摄食饲料相对较少,使其处于饥饿状态,此时鱼体需要提高自身消化酶活性来充分吸收饲料中的营养与能量,才可以保证鱼体的正常生长及代谢^[20, 35]。然而,在条石鲷^[20]和许氏平鲈^[35]的研究中,投喂1次/d实验组增重率显著低于投喂2~4次/d实验组,这与本实验结果不同。因此,本实验中消化酶活性未受投喂频率影响可能是因为1次/d的投喂频率并未使实验鱼处于饥饿状态,此结果与实验鱼的增重率和饲料效率也相对应。

4 结论

综上所述,在本实验条件下,综合考虑鱼体生长、养殖成本、鱼体营养成分和生化指标,建议300~600 g的大杂交鲟养殖过程中日投喂率在1.2%~1.6%,投喂频率为2次/d比较适宜。

参考文献:

- [1] Huang Q, Huang K, Ma Y Q, et al. Feeding frequency and rate effects on growth and physiology of juvenile genetically improved farmed Nile tilapia[J]. North American Journal of Aquaculture, 2015, 77(4): 503-512.
- [2] Pedrosa R U, Mattos B O, Pereira D S P, et al. Effects of feeding strategies on growth, biochemical parameters and waste excretion of juvenile arapaima (*Arapaima gigas*) raised in recirculating aquaculture systems (RAS)[J]. Aquaculture, 2019, 500: 562-568.
- [3] Liu W, Wen H, Jiang M, et al. Effects of dietary protein level and feeding frequency on growth and some physiological-biochemical indexes of GIFT strain of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(5): 751-762. [刘伟, 文华, 蒋明, 等. 饲料蛋白质水平与投喂频率对吉富罗非鱼幼鱼生长及部分生理生化指标的影响[J]. 水产学报, 2016, 40(5): 751-762.]
- [4] Li Z Q, Liu W B, Tian H Y, et al. Effects of different feed types and feeding frequencies on growth and muscle quality of juvenile Channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(6): 1260-1270. [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鲷幼鱼生长及肌肉品质的影响[J]. 中国水产科学, 2018, 25(6): 1260-1270.]
- [5] Liu W, Wen H, Luo Z. Effect of dietary protein levels and feeding rates on the growth and health status of juvenile genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Aquaculture International, 2018, 26(1): 153-167.
- [6] Song D, Zhang Y, Mai L K, et al. Effects of starvation and feeding different diets on growth and digestive enzyme activity of *Huso dauricus* (♀) × *Acipenser schrenckii* (♂)[J]. Freshwater Fisheries, 2015, 45(4): 76-81. [宋聃, 张颖, 麦丽坎, 等. 饥饿和不同饵料对杂交鲟(达氏鳇♀×施氏鲟♂)仔稚鱼生长和消化酶活性的影响[J]. 淡水渔业, 2015, 45(4): 76-81.]
- [7] Wei Q W, Zou Y, Li P, et al. Sturgeon aquaculture in China: Progress, strategies and prospects assessed on the basis of nation-wide surveys (2007-2009)[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2011, 27(2): 162-168.
- [8] Chen X H, Li C J, Yang C G, et al. Status and prospects of techniques in the sturgeon aquaculture industry in China[J]. Freshwater Fisheries, 2017, 47(6): 108-112. [陈细华, 李创举, 杨长庚, 等. 中国鲟鱼产业技术研发现状与展望[J]. 淡水渔业, 2017, 47(6): 108-112.]
- [9] 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, 11(4): 375-378. [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, 11(4): 375-378.]
- [10] Zhao Z G, Li J N, Xu Q Y, et al. Effects of different ration levels in temperature fluctuation on digestive enzyme, metabolic enzyme and antioxidase activities of juvenile

- Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii* Brandt)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29(1): 127-133. [赵志刚, 李晋南, 徐奇友, 等. 变温条件下不同投喂水平对施氏鲟幼鱼消化酶、代谢酶和抗氧化酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2017, 29(1): 127-133.]
- [11] Cui C. Effects of light, dietary carbohydrate and feeding strategy on growth of Russian sturgeon[D]. Shanghai: East China Normal University, 2014: 21-38. [崔超. 光照、饲料糖水平和投饲策略对俄罗斯鲟生长影响的研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2014: 21-38.]
- [12] 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. [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.]
- [13] Luo L, Li T L, Xing W, et al. Effects of feeding rates and feeding frequency on the growth performances of juvenile Hybrid sturgeon, *Acipenser schrenckii* Brandt♀ × *A. baeri* Brandt♂[J]. Aquaculture, 2015, 448: 229-233.
- [14] Lee S, Sonmez O, Hung S S O, et al. Development of growth rate, body lipid, moisture, and energy models for White sturgeon (*Acipenser transmontanus*) fed at various feeding rates[J]. Animal Nutrition, 2017, 3(1): 46-60.
- [15] Chen Y F, Peng H Z, Liu Z P, et al. Effects of feeding level on growth, intestinal digestive enzymes activity and physiological and biochemical characteristics of serum in the Asian swamp eel (*Monopterus albus*)[J]. Progress in Fishery Sciences, 2017, 38(2): 114-120. [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.]
- [16] Sun G X, Liu Y, Qiu D G, et al. Effects of feeding rate and frequency on growth performance, digestion and nutrients balances of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in recirculating aquaculture systems (RAS)[J]. Aquaculture Research, 2016, 47(1): 176-188.
- [17] Muntaziana A M P, Nurul Amin S M, Kamarudin M S, et al. Feeding frequency influences the survival, growth and body lipid content of striped snakehead, *Channa striatus* (Bloch) fry[J]. Aquaculture Research, 2017, 48(5): 2602-2606.
- [18] Daudpota A M, Abbas G, Kalhor I B, et al. Effect of feeding frequency on growth performance, feed utilization and body composition of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) reared in low salinity water[J]. Pakistan Journal of Zoology, 2016, 48(1): 171-177.
- [19] Saraiva A, Costa J, Erias J C, et al. Histological study as indicator of juveniles farmed turbot, *Scophthalmus maximus* L. health status[J]. Aquaculture, 2016, 459: 210-215.
- [20] Song G, Peng S M, Sun P, et al. Effects of starvation, re-feeding, and feeding frequency on growth and digestive enzyme activity of *Oplegnathus fasciatus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(6): 1269-1277. [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.]
- [21] Baloi M, de Carvalho C V A, Sterzelecki F C, et al. Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and body composition of juveniles Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindacher 1879)[J]. Aquaculture Research, 2016, 47(2): 554-560.
- [22] Lee S, Haller L Y, Fangué N A, et al. Effects of feeding rate on growth performance and nutrient partitioning of young-of-the-year white sturgeon (*Acipenser transmontanus*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2016, 22(2): 400-409.
- [23] Bu X Y, Lian X Q, Zhang Y, et al. Effects of feeding rates on growth, feed utilization, and body composition of juvenile *Pseudobagrus ussuriensis*[J]. Aquaculture International, 2017, 25(5): 1821-1831.
- [24] Okorie O E, Bae J Y, Kim K W, et al. Optimum feeding rates in juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, at the optimum rearing temperature[J]. Aquaculture Nutrition, 2013, 19(3): 267-277.
- [25] Tian H Y, Zhang D D, Li X F, et al. Optimum feeding frequency of juvenile blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*[J]. Aquaculture, 2015, 437: 60-66.
- [26] Lin Y, Miao L H, Ge X P, et al. Effects of feeding frequency on growth performance, muscle quality and plasma biochemical indices of *Megalobrama amblycephala* juvenile[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(9): 2749-2756. [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.]
- [27] Guo Z X, Cui J Y, Li M, et al. Effect of feeding frequency on growth performance, antioxidant status, immune response and resistance to hypoxia stress challenge on juvenile dolly Varden char *Salvelinus malma*[J]. Aquaculture, 2018, 486: 197-201.
- [28] Niu J, Chen X, Zhang Y Q, et al. The effect of different feeding rates on growth, feed efficiency and immunity of juvenile *Penaeus monodon*[J]. Aquaculture International, 2016, 24(1): 101-114.
- [29] Li X F, Tian H Y, Zhang D D, et al. Feeding frequency affects stress, innate immunity and disease resistance of juvenile blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2014, 38(1): 80-87.
- [30] Zhou S W. Animal Biochemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 117-146. [周顺伍. 动物生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 117-146.]
- [31] Baloi M F, Sterzelecki F C, Sugai J K, et al. Growth performance, body composition and metabolic response to feeding rates in juvenile Brazilian sardine *Sardinella brasiliensis*[J]. Aquaculture Nutrition, 2017, 23(6): 1458-1466.
- [32] Xu C, Li X F, Tian H Y, et al. Feeding rates affect growth, intestinal digestive and absorptive capabilities and endocrine functions of juvenile blunt snout bream *Megalobrama am-*

- blycephala[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2016, 42(2): 689-700.
- [33] Wang Y C, Liang M Q, Zheng K K. Effects of different ration levels on growth, activities of digestive enzymes and immunity-related enzymes in *Apostichopus japonicus* Selenka[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(1): 87-92. [王艺超, 梁萌青, 郑珂珂. 不同投喂水平对刺参 (*Apostichopus japonicus* Selenka) 生长、消化酶及免疫相关酶活性的影响[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(1): 87-92.]
- [34] Peixoto S, Silva E, Costa C B, et al. Effect of feeding frequency on growth and enzymatic activity of *Litopenaeus vannamei* during nursery phase in biofloc system[J]. Aquaculture Nutrition, 2018, 24(1): 579-585.
- [35] Mao S Q, Zou M Y, Wang C S, et al. Optimal feeding frequency for *Sebastes schlegeli* juveniles[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(8): 2379-2385. [冒树泉, 邹明好, 王春生, 等. 许氏平鲷幼鱼适宜投喂频率的研究[J]. 动物营养学报, 2014, 26(8): 2379-2385.]

Effects of different feeding rates and frequencies on the growth performance, body composition, and biochemical parameters of juvenile hybrid sturgeon

CHU Zhipeng, JIN Jiali, CHEN Xihua, WU Jinping, TANG Dan

Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China

Abstract: China has become the largest producer of sturgeon in the world. Hybrid sturgeon [*Huso dauricus* (♀) × *Acipenser schrenckii* (♂)] is one of the dominant aquacultures organisms in China. However, the feeding strategy for hybrid sturgeon has not been clearly outlined. To determine the optimum feeding rate and frequency for juvenile hybrid sturgeon, an experiment was conducted to study the effects of different feeding rates and frequencies on the growth performance, body composition, and biochemical parameters of juvenile hybrid sturgeon. The fish were randomly assigned into 10 groups with 3 replicates per group, including 5 groups (initial body weight: 335.87 ± 0.82 g) treated with different feeding rates (0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6%, and 2.0%) and another 5 groups (initial body weight: 334.77 ± 1.06 g) treated with different feeding frequencies (once, twice, three times, four times, and five times a day). After the 10-week feeding trail, the increased feeding rate significantly improved the weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), hepatosomatic index (HSI), viscerosomatic index (VSI), and condition factor (CF) of hybrid sturgeon ($P < 0.05$). In addition, the crude protein and lipid content in muscle, crude lipids in the liver, pepsin activities, serum alanine aminotransferase (ALT), and aspartate aminotransferase (AST) also increased significantly with the increasing feeding rate ($P < 0.05$). However, the feed efficiency (FE), whole body moisture, and muscle moisture decreased significantly with the increasing feeding rate ($P < 0.05$). Meanwhile, the whole body crude lipids, total protein (TP), albumin (ALB), and high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) in the serum firstly increased with the increasing feeding rate, but then decreased ($P < 0.05$). On the other hand, the feeding frequency had no significant effects on the WGR, SGR, or FE of hybrid sturgeon after the 10-week feeding trail ($P > 0.05$). The VSI, CF, and content of whole body crude lipids of the fish fed once a day were significantly lower than that of the other groups ($P < 0.05$). In addition, a significantly higher content of the whole body crude protein was observed in the fish fed twice a day compared with that of the other groups ($P < 0.05$). No significant effects of the feeding frequency were found on the digestive enzyme activities in the stomach and intestine or the serum biochemical parameters, except for the glucose level ($P > 0.05$). Overall, according to the results of this study, the optimum feeding strategy with regards to the feeding rate and feeding frequency for juvenile hybrid sturgeon (300–600 g) was suggested to be 1.2%–1.6% of the body weight with meals twice per day.

Key words: hybrid sturgeon [*Huso dauricus* (♀) × *Acipenser schrenckii* (♂)]; feeding rate; feeding frequency; growth performance; biochemical parameters

Corresponding author: CHEN Xihua. E-mail: chenxh@yfi.ac.cn