

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.14390

养殖密度对杂交鲟幼鱼生长、肌肉组分和血液生理生化指标的影响

程佳佳¹, 李吉方¹, 温海深¹, 倪蒙¹, 任源远¹, 丁厚猛¹, 宋志飞¹, 刘明源¹,
来长青², 刘传忠²

1. 中国海洋大学 海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003;

2. 山东鲟龙渔业科技开发有限公司, 山东 泗水 273211

摘要: 工厂化流水养殖条件下进行为期 90 d 的饲养试验, 探讨养殖密度对杂交鲟[西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)(♀)×施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)(♂)]幼鱼生长性能、肌肉组分含量和血液生理指标的影响。杂交鲟初始体重为(251.11±0.59) g, 养殖密度分别设置为 5.50 kg/m³、8.27 kg/m³、11.01 kg/m³、13.80 kg/m³。结果表明, 养殖密度对杂交鲟幼鱼的生长和存活影响显著($P<0.05$), 随着养殖密度的增加, 幼鱼的终末体重、特定生长率、肥满度和存活率呈下降趋势, 而饲料系数则呈上升趋势; 实验结束时, 杂交鲟幼鱼肌肉中水分含量随养殖密度的增加而上升($P<0.05$), 而粗脂肪含量却下降($P<0.05$), 粗蛋白和灰分的含量则变化不显著($P>0.05$); 养殖密度对杂交鲟幼鱼的血液指标影响显著($P<0.05$), 各处理组的幼鱼血液中血红蛋白、血浆葡萄糖及总蛋白含量差异显著($P<0.05$)。结果说明, 高密度环境对杂交鲟幼鱼生长性能与肌肉组分均产生了显著影响。

关键词: 杂交鲟; 养殖密度; 生长; 肌肉组分; 血液; 生理生化指标

中图分类号: Q786; S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)03-0433-09

养殖密度是影响养殖鱼类生长的重要因素^[1]。养殖密度的增加通常会导致养殖鱼类产生种内斗争, 如对食物、空间的争夺, 同时也会造成水质恶化^[2-3]。养殖密度作为一种慢性应激源, 影响鱼类的生长、生理、行为和基因的表达^[4-5]。养殖密度的升高能明显降低大多数养殖鱼类的生长速率和免疫力, 但也有部分养殖鱼类例外。例如, 循环水养殖条件下, 宝石鲈(*Scortum barcoo*)在养殖密度为 150 尾/m³时生长效果最优, 过低或过高的养殖密度均会降低其生长速率并能改变其血液生化指标^[6]。

虽然养殖密度对鱼类的多个方面都有影响, 但对不同鱼类的影响有所差异, 即使是同一物种, 对其整个生活周期中的不同阶段影响也各异。研究表明, 养殖密度过高或过低对饲料驯化期西伯

利亚鲟(*Acipenser baeri*)稚鱼的生长都不利, 其适宜养殖密度应控制在 1.228~1.433 kg/m³^[7]。养殖密度适度增加有利于体重为 102.1 g 的非洲鲇(*Clarias gariepinus*)的生长, 但对体重为 1 044.6 g 非洲鲇的影响却很小^[4]。

迄今为止, 有关鲟养殖密度的研究仅限于对鲟生长指标及存活率等方面的评价^[2,7-9], 对其生理指标变化的探讨较少。本实验以杂交鲟幼鱼[西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)(♀)×施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)(♂)]为研究对象, 从生长、肌肉组分及血液生理生化指标 3 个方面, 探讨养殖密度对杂交鲟生长性能及肌肉组分的影响规律, 以期找到适合杂交鲟幼鱼(250~500 g)生长的最佳养殖密度, 既能促进生长又能改善肉质。

收稿日期: 2014-09-17; 修订日期: 2014-10-20.

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(201003055).

作者简介: 程佳佳(1989-), 男, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生理学. E-mail: chjiajia@163.com

通信作者: 李吉方, 副教授, 研究方向为鱼类养殖生理. E-mail: lijf@ouc.edu.cn

1 材料与方法

1.1 实验材料与条件

本实验在山东省鲟龙渔业科技发展有限公司进行,所用杂交鲟幼鱼为同一批人工杂交培育所得。随机选取体质健壮、体重为 (251.11 ± 0.59) g、体长为 (31.55 ± 1.50) cm 的杂交鲟幼鱼用于实验。实验用池为室外八边形水泥池,池底面积 18.23 m^2 ,水深 0.5 m。每个实验池设有一个进水口和一个中心出水口。

1.2 实验设计

实验设置了 4 个密度梯度(G1、G2、G3 和 G4),初始密度分别为 5.50 kg/m^3 、 8.27 kg/m^3 、 11.01 kg/m^3 和 13.80 kg/m^3 (或 200 尾/池、300 尾/池、400 尾/池和 500 尾/池),每个密度设 3 个平行。实验采用流水养殖系统,保持每池进水量一致(流速约为 $5 \text{ m}^3/\text{h}$)。投喂宁波天邦股份有限公司生产的 3 号鲟饲料(饲料成分:粗蛋白 $\geq 42.0\%$,粗脂肪 $\geq 10\%$,粗纤维 $\geq 5.0\%$,粗灰分 $\leq 18.0\%$,水分 $\leq 12.0\%$,钙 $\geq 1.5\%$,总磷 $\geq 1.2\%$,食盐 $\leq 3.0\%$,赖氨酸 $\geq 2.2\%$),日投喂量按鱼体重的 1%,每日于 8:00、16:00 和 23:00 3 个时间段进行投喂。整个实验期间,采用多功能水质监测仪(HACH-HQ40d)测量水体中溶解氧、pH 及温度,各实验池的水温维持在 $14 \sim 23^\circ\text{C}$,溶解氧保持在 4.0 mg/L 以上,pH 为 $7.0 \sim 8.0$,氨氮及亚硝酸盐含量均小于 1.0 mg/L 。实验每隔 15 d 测定 1 次生长数据,实验历时 90 d。

1.3 样品采集与肌肉组分测定

在养殖 15 d 和实验结束(90 d)时,从每个实验池中随机取 4 尾鱼,捞出后立即将其放入盛有 200 mg/L MS-222 的水中麻醉 5 min,用 1 mL 注射器进行尾静脉取血。将获得的血液取 $500 \mu\text{L}$ 放入盛有 $150 \mu\text{L}$ 抗凝剂(50% EDTA-2K 的水溶液)的离心管中,于 4°C 生物学冰箱保存待检,剩余血液于 4°C 条件下静置 4~5 h 后以 $12\,000 \text{ r/min}$ 离心 10 min,取上层澄清透明的血清于 -80°C 生物学冰箱保存待检。同时,在实验结束时保留鱼的肌肉样品(约 100 g)。

肌肉组分与血液生理生化指标测定。红细胞、白细胞和血红蛋白含量采用由深圳迈瑞生物医疗

电子股份有限公司生产的全自动血液细胞分析仪(BC-1800)测定,血液生化指标采用由深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司生产的全自动生化分析仪(BS-180)测定。水分的测定采用 105°C 恒温烘干失重法(GB/T 6435—2006),粗蛋白的测定采用凯氏定氮法(GB/T 5009.5—2010,丹麦 FOSS 公司 2300 型自动定氮仪),粗脂肪的测定采用索氏抽提法(GB/T 5009.6—2003,瑞士 BUCHI 公司 36680 型脂肪抽提仪),灰分的测定采用马福炉 550°C 灼烧恒重法(GB/T 5009.4—2008)。

1.4 生长指标的计算

实验结束后,对各组鱼进行称重,测量体长,并按下式计算特定生长率(SGR)、肥满度(K)和饲料系数(FC):

特定生长率(SGR, $\% \cdot \text{d}^{-1}$) = $(\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1) \times 100\%$

肥满度(K, $\%$) = $W / L^3 \times 100\%$

饲料系数(FC) = $F / [n(W_2 - W_1)]$

式中, W_1 与 W_2 分别为时间 t_1 与 t_2 时的各实验池鱼的平均体质量(g), W 为鱼体质量(g), L 为鱼体长(cm), n 为各实验池鱼尾数, F 为各实验池总投饵量(g)。

1.5 数据统计

实验数据均采用平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm \text{SD}$)表示,由 Excel 和 IBM SPSS 19.0 统计软件进行分析处理。应用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验不同处理组间的生长、肌肉组分及血液指标,并以最小显著极差法(LSD)和 Duncan 多重比较检验数据间差异显著性,以 $P < 0.05$ 为显著性水平。

2 结果及分析

2.1 养殖密度对杂交鲟幼鱼生长和存活率的影响

在本实验条件下,各养殖密度组杂交鲟幼鱼的体重变化如图 1 所示。养殖第 15 天时, G4 密度组与 G1 密度组杂交鲟幼鱼的体重就出现了显著差异($P < 0.05$),此时 G4 组养殖密度达到了 16.5 kg/m^3 ,并且随着实验的进行各组间鱼体重差异增大。各密度组杂交鲟幼鱼的生长参数见表 1。由表 1 可知,除幼鱼肥满度外,各密度组间的幼鱼其他生长指标均差异显著($P < 0.05$)。随着养殖密度的增加,

杂交鲟幼鱼的终末体重、特定生长率和肥满度递减, 饲料系数却呈上升趋势。G1 组与 G4 组间的幼鱼最终体重和特定生长率差异显著($P<0.05$), 但各密度组间的幼鱼肥满度差异不显著($P>0.05$)。G4 密度组的饲料系数较 G1 密度组差异显著

($P<0.05$)。整个实验期间, 各密度组杂交鲟幼鱼的存活率差异较大, 随着养殖密度的增加, 幼鱼存活率显著下降($P<0.05$)。实验结束时, 各密度组的杂交鲟幼鱼存活率分别为 G1 组 99.33%、G2 组 97.67%、G3 组 95.33%、G4 组 92.80%。

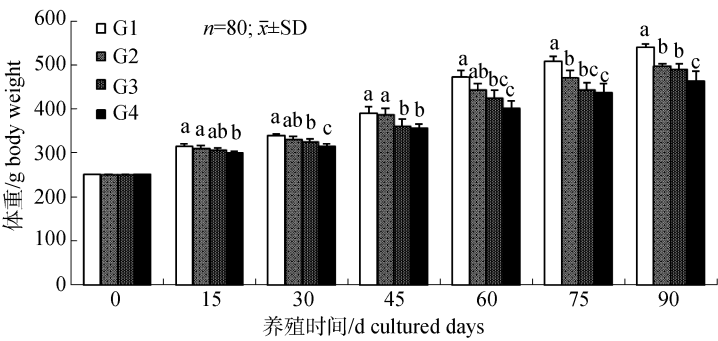


图 1 养殖过程中各养殖密度组杂交鲟幼鱼的体重变化
同一时间中标有不同小写字母者表示不同养殖密度组间有显著性差异($P<0.05$).
Fig. 1 Changes in body weight of hybrid sturgeon at different stocking densities
Values with different letters at the same time are significantly different ($P<0.05$).

表 1 各养殖密度组杂交鲟幼鱼的生长参数
Tab. 1 Growth parameters of hybrid sturgeon at different stocking densities

项目 item	实验组 experiment treatment			
	G1	G2	G3	G4
初始密度/(kg·m ⁻³) initial density	5.50	8.27	11.01	13.80
初始体重/g initial body weight	250.75±0.66	251.33±0.34	250.84±0.82	251.50±0.26
初始体长/cm initial body length	32.00±0.85	30.67±0.50	31.57±0.90	32.00±1.90
终末体重/g final body weight	540.22±6.96 ^a	497.73±4.15 ^b	490.36±11.61 ^b	463.32±13.02 ^c
特定生长率/(%·d ⁻¹) specific growth rate	0.85±0.01 ^a	0.79±0.01 ^b	0.77±0.02 ^b	0.68±0.05 ^c
肥满度/% condition factor	0.69±0.09	0.68±0.06	0.64±0.06	0.64±0.08
饲料系数 feed coefficient	1.07±0.03 ^a	1.20±0.01 ^b	1.23±0.06 ^b	1.38±0.09 ^c
存活率/% survival rate	99.33±0.76 ^a	97.67±1.76 ^{ab}	95.33±0.95 ^{bc}	92.80±1.78 ^c

注: 同行中上标不同小写字母表示不同密度组间有显著性差异($P<0.05$).
Note: Values in the same column with different letters are significantly different ($P<0.05$).

2.2 养殖密度对杂交鲟幼鱼肌肉组分含量的影响
不同养殖密度下的杂交鲟幼鱼的肌肉组分含量变化见表 2。从表 2 中可以看出, 幼鱼肌肉中水分含量随其养殖密度升高而增大, 且 G4 组显著高于 G1 组和 G2 组($P<0.05$), 水分含量(Y)与养殖密度(X)呈明显的正相关关系, 其关系式为 $Y=73.83+0.29X$ ($r=0.71$)。幼鱼肌肉中粗脂肪含量(Y)却随着密度(X)的增加呈下降趋势, G1 组显著

高于 G3、G4 组($P<0.05$), 两者呈明显的负相关关系, 其关系式为 $Y=8.40-0.34X$ ($r=-0.72$)。幼鱼肌肉中粗蛋白质含量虽然随养殖密度增加有下降趋势, 但各组间差异并不显著($P>0.05$)。肌肉中的灰分含量比较稳定, 各密度组间差异不显著($P>0.05$)。

2.3 养殖密度对杂交鲟幼鱼血液生理生化指标的影响

杂交鲟幼鱼的血液生理指标受养殖密度和养

殖时间的影响结果见表 3。由表 3 可知, 实验进行到 90 d 时, 各密度组杂交鲟幼鱼血液中血红蛋白、血浆葡萄糖及总蛋白含量差异显著($P<0.05$); 同一密度组, 养殖 15 d 与 90 d 的幼鱼血液指标相比, 除甘油三酯、总胆固醇和碱性磷酸酶含量差异不显著($P>0.05$)外, 其余血液指标均表现出显著的差异($P<0.05$), 养殖 90 d 的杂交鲟幼鱼的红细胞数量和血浆葡萄糖含量显著低于养殖 15 d 的杂交鲟幼鱼($P<0.05$), 而白细胞、血红蛋白、谷丙转氨酶及谷草转氨酶含量显著高于养殖 15 d 的杂交鲟幼鱼($P<0.05$)。

表 2 实验结束时各养殖密度组中杂交鲟幼鱼的肌肉组分含量
Tab. 2 Muscle biochemical composition of hybrid sturgeon under different stocking densities at the end of the experiment
 $n=12$; $\bar{x} \pm SD$; %

项目 item	实验组 experiment treatment			
	G1	G2	G3	G4
水分含量 moisture content	75.60±0.86 ^a	75.66±1.59 ^a	77.44±0.45 ^{ab}	77.63±0.62 ^b
粗蛋白含量 crude protein content	17.51±0.40	17.50±0.10	17.40±0.26	17.30±0.27
粗脂肪含量 crude lipid content	6.74±0.59 ^a	5.74±1.85 ^{ab}	3.95±0.56 ^b	4.25±0.82 ^b
灰分含量 ash content	1.45±0.11	1.46±0.21	1.48±0.19	1.48±0.32

注: 同行中标有不同小写字母者表示不同密度组间有显著性差异($P<0.05$).
Notes: Values in the same column with different letters are significantly different ($P<0.05$).

表 3 各养殖密度组中杂交鲟幼鱼的血液生理指标
Tab. 3 Blood biochemical parameters of hybrid sturgeon under different stocking densities at the end of the experiment
 $n=12$; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	实验组 experiment treatment							
	15 d				90 d			
	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4
红细胞数量 ($10^{12} \cdot L^{-1}$) RBC	0.25±0.14	0.30±0.13 ^A	0.32±0.10 ^A	0.32±0.13 ^A	0.20±0.09	0.15±0.07 ^B	0.18±0.13 ^B	0.22±0.09 ^B
白细胞数量 ($10^9 \cdot L^{-1}$) EBC	254.59±11.50 ^A	253.64±21.71 ^A	255.76±21.35 ^A	247.27±21.24 ^A	280.16±13.5 ^B	279.72±16.87 ^B	286.46±21.27 ^B	292.60±14.49 ^B
血红蛋白/($g \cdot L^{-1}$) HGB	77.25±6.57 ^A	80.42±8.65 ^A	77.67±13.04 ^A	77.75±13.57 ^A	89.25±8.02 ^{aB}	93.25±6.38 ^{aB}	95.33±11.52 ^{aB}	100.73±12.99 ^{bB}
血浆葡萄糖 ($mmol \cdot L^{-1}$) GLU	3.79±0.41 ^A	3.50±0.42	3.65±0.38	3.82±0.51 ^A	2.97±0.15 ^{aB}	3.30±0.32 ^b	3.47±0.21 ^b	3.23±0.26 ^{aB}
甘油三酯 ($mmol \cdot L^{-1}$) TG	5.61±0.74	5.12±1.32	5.10±1.29	4.89±0.99	5.48±1.73	6.05±1.04	5.61±1.80	5.69±1.72
总胆固醇 ($mmol \cdot L^{-1}$) TC	2.43±0.49	2.26±0.42	2.21±0.35	2.18±0.38	2.26±0.46	2.43±0.43	2.44±0.57	2.29±0.50
总蛋白/($g \cdot L^{-1}$) TP	20.39±2.46	21.59±2.44 ^A	19.94±3.06 ^A	18.88±2.13 ^A	22.21±2.18 ^a	24.41±2.28 ^{aB}	23.98±1.53 ^{aB}	26.26±5.19 ^{bB}
谷丙转氨酶 ($U \cdot L^{-1}$) ALT	3.87±1.42 ^A	4.77±1.66 ^A	5.17±2.58 ^A	5.77±2.20 ^A	12.63±4.55 ^B	11.21±2.42 ^B	14.33±4.43 ^B	14.36±5.10 ^B
谷草转氨酶 ($U \cdot L^{-1}$) AST	103.33±27.92 ^A	133.83±33.70	114.17±33.27 ^A	131.57±42.44	137.89±22.05 ^B	146.67±34.87	160.14±14.23 ^B	164.14±13.15
碱性磷酸酶 ($U \cdot L^{-1}$) ALP	82.86±19.56	99.00±27.76	101.17±14.11	105.50±48.98	81.50±26.12	102.00±26.08	93.71±10.52	97.00±23.95

注: 同行中, 小写字母不同表示 90 d 时不同养殖密度组间差异显著($P<0.05$), 大写字母不同表示在两次采样时期(15 d 和 90 d)同一养殖密度组差异显著($P<0.05$).
Note: Values with different lowercase letters are significantly different between four groups at 90 d($P<0.05$). Values with different capital letters are significantly different between the same group at different sampling time (15 d and 90 d) ($P<0.05$).

3 讨论

3.1 养殖密度对杂交鲟幼鱼生长和存活率的影响

高养殖密度能够使鱼类饲料消耗降低、群体间交流减少或水质下降等不利因素增加, 导致鱼类生长潜力的下降。本研究发现, 初始养殖密度为 5.50 kg/m^3 的杂交鲟幼鱼表现出较好的生长优势; 随着养殖密度的增加, 杂交鲟幼鱼的生长性能(终末体重、特定生长率)呈下降趋势, 各密度组间幼鱼生长差异显著($P < 0.05$); 自第 15 天起, G4 组(高密度组)养殖密度达到 16.5 kg/m^3 , 杂交鲟幼鱼的体重明显低于低密度 G1 组和 G2 组。这可能是养殖密度过高增加了鱼类对空间、溶解氧及食物等的竞争, 能量消耗变大, 导致杂交鲟幼鱼生长速率的下降。研究发现, 过低或过高的密度都会对养殖鱼类群体的生长产生抑制, 产生这一状况的机制可能是鱼类的集群行为和鱼类的占领域性行为^[6]。本实验结果并未发现低养殖密度对杂交鲟幼鱼生长的不利影响, 这可能是由于实验所设密度未达到杂交鲟幼鱼生长的临界低密度值或是其占领域性行为远远大于集群行为。本研究中, 在饲料投喂比例相同的情况下, 高养殖密度组杂交鲟幼鱼的饲料系数显著高于低养殖密度组, 这可能是由于在低养殖密度下, 杂交鲟幼鱼受密度胁迫较小, 能够有效地利用饲料而降低了饲料系数。这也与逯尚尉等^[10]和 Björnsson 等^[11]的研究结果相似。

G1 组的杂交鲟幼鱼的存活率保持较高的水平, 显著高于 G4 组。这一结果与 Rahman 等^[12]、Schram 等^[13]、徐敏等^[14]的研究结果相似。导致这一结果的原因显然与高养殖密度鱼类对实验池中空间、溶解氧及饲料等的竞争有关。在实验进行到后期发现, 高养殖密度组的杂交鲟幼鱼肠炎发病率增加, 而低密度组的幼鱼没有发病。这可能是由于高养殖密度对鱼体免疫机能造成损伤, 同时, 高养殖密度也导致鱼类疾病的传播加速, 最终使鱼类死亡率上升。但也有学者认为, 高养殖密度对鱼类死亡率的影响可能是种群的一种自我调控机制, 是鱼类为了避免未来更为剧烈的种内

竞争而采取的自我保护性调节措施^[15]。

3.2 养殖密度对杂交鲟幼鱼肌肉组分的影响

蛋白质、脂肪和糖类是鱼类的主要贮能物质, 在外界环境不适时, 鱼类通常会增加其新陈代谢水平, 弥补能量的消耗, 甚至会增加机体内能源物质的分解, 以应对不良环境的改变。研究表明, 盐度、温度、饥饿及养殖密度等都会对鱼体的生化组分产生影响^[16-21]。本研究发现, 养殖密度对杂交鲟幼鱼的肌肉组分含量产生了一定的影响, 改变了其肌肉品质。经过 90 d 的养殖, 杂交鲟幼鱼肌肉中水分含量与养殖密度呈明显的正相关关系, 粗脂肪含量与养殖密度呈明显的负相关关系, 各组间粗蛋白质及灰分含量差异不显著。其他学者研究发现, 鱼体成分中粗脂肪含量随养殖密度的增加而减少^[19, 21], 与本研究的结果一致。养殖密度的不同导致鱼类肌肉组分含量产生不同的变化, 高养殖密度组中杂交鲟幼鱼为了抵御种内斗争及不良的水质变化不得不增加其能量的消耗, 在摄食一定的前提下, 能量消耗增大后, 其用于贮存的能量必然会减少。各密度组间粗脂肪含量及粗蛋白质含量的差异性表明, 杂交鲟以脂肪作为主要能源物质之一, 对蛋白质的利用较少, 这可能与杂交鲟肌肉中粗脂肪含量较高有关, 其脂肪含量明显高于其他鱼类, 如花尾胡椒鲶(*Plectorhynchus cinctus* Temmincket Schlegel)^[16]、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[18]等。

3.3 养殖密度对杂交鲟幼鱼血液生理的影响

鱼类的血液生化指标是反映鱼类机体健康状况的一类重要指标, 通过血液中生化指标含量的变化可以了解鱼类的健康水平及营养状况, 当外界环境变化引起鱼体发生生理或病理变化时, 其血液生化指标会随之改变^[22-24]。研究发现, 养殖密度能够改变金头鲷(*Sparus aurata*)血液的浓稠性, 包括血细胞容积、血红蛋白及红细胞数量等, 其原因可能是提高鱼类在高耗能状态下运输氧的能力^[25]。在本研究中, 杂交鲟幼鱼养殖 90 d 后, 各密度组的幼鱼血液中红细胞数量变化差异不显著, 但与养殖初期相比, 血液中红细胞含量显著下降。研究表明, 养殖密度能明显增加褐牙鲈

(*Paralichthys olivaceus*) 幼鱼血液中红细胞的数量^[26], 青石斑鱼(*Epinephelus awoara*) 的红细胞数量却随养殖密度的增加而递减, 且各组间有极显著差异^[27]。由此可知, 养殖密度确实对鱼类的红细胞数量产生了显著的影响, 但是存在种间差异。本研究中, 在 90 d 时, 杂交鲟幼鱼血液中血红蛋白含量组间差异显著, G4 组幼鱼血液中血红蛋白含量为 100.73 g/L, G1 组仅为 89.25 g/L, 这与养殖密度对褐牙鲈幼鱼血红蛋白含量的影响相似^[26]。因此, 本研究认为, 在高养殖密度条件下, 鱼类通过增加血红蛋白的含量来提高红细胞的携氧能力, 以满足机体对氧的需求。

白细胞作为血液中的一种重要细胞, 具有保护和免疫的功能, 其数量的变动与生理及病理状态有关, 是检测鱼体病变的一种重要指标^[28-29]。本实验发现, 养殖后期各密度组杂交鲟幼鱼血液白细胞数量差异显著, 与 15 d 时采样相比各密度组均显著上升; 同时, 谷丙转氨酶和谷草转氨酶含量在养殖后期也显著升高, 而各密度组的碱性磷酸酶含量变化却不明显。研究表明, 养殖密度对鱼类血液中的谷草转氨酶和谷丙转氨酶的影响显著, 随养殖密度增加其浓度呈上升趋势^[30]。两种转氨酶和碱性磷酸酶分别作为肝功能和肾功能的指示物, 在正常情况下这三种酶活性低且相对恒定, 但当肝发生损伤或受到环境胁迫时, 血清内这三种酶的活性将升高^[22, 31]。由此可见, 养殖密度通过对养殖鱼类的持续作用, 引起鱼体产生了一系列防御机制, 如白细胞数量的增加及各种酶活性的增强, 以抵御外界环境的变化。

研究表明, 养殖密度作为鱼类的一种慢性应激因素, 能引起机体对额外能量的需求, 增加其新陈代谢^[32-33]。血浆中的血糖、血脂和血蛋白是指示鱼体新陈代谢的重要指标。不良的外界环境能引起鱼体增加体内的糖原、脂类和蛋白质的分解来维持体内血糖、血脂及血蛋白的浓度, 以维持其最基本的代谢水平。本研究发现, 养殖后期杂交鲟幼鱼血浆中葡萄糖含量较前期均有所下降, 血浆总蛋白含量较前期显著上升, 同时养殖后期 G3 组和 G4 组(高密度组)显著高于 G1 组和 G2 组

(低密度组); 而甘油三酯和总胆固醇差异却不显著。可能是随着鱼类的生长, 各实验组的养殖密度均上升, 导致鱼类的饲料转化率上升, 同时能量消耗增加, 因此到养殖后期血浆中的葡萄糖含量有所下降; 而杂交鲟因其种的特异性, 较其他鱼类脂肪含量高的原因, 在养殖后期能够分解自身的脂类物质保持血脂的稳定, 减小外界的影响。血浆总蛋白作为诊断鱼类健康、营养和疾病等状况的一种血液指标, 测定其含量变化具有重要的生物学意义。在本研究中, 养殖后期杂交鲟幼鱼血浆总蛋白含量显著上升, 且 G4 组显著高于 G1 组。这可能是杂交鲟为应对高养殖密度胁迫而增加某些特定蛋白质如溶菌酶造成的^[34]。

养殖密度作为众多鱼类胁迫因子中的关键因素之一, 能对鱼类的生长及肌肉品质产生重要影响。在现代水产养殖业中, 切不可因追求高产量而忽视养殖密度对养殖生产和肌肉品质的不利影响。保持适宜的养殖密度有助于促进鱼类的生长, 降低鱼类的发病率, 减缓疾病的传播速率, 并改善鱼类的肉质。本研究认为, 杂交鲟幼鱼(250~500 g)的养殖密度不应超过 16.5 kg/m³, 并且在后期养殖过程中应及时分级饲养, 以保证杂交鲟健康生长。

参考文献:

- [1] Ashley P J. Fish welfare: current issues in aquaculture[J]. Appl Anim Behav Sci, 2007, 104(3): 199-235.
- [2] Zhuang P, Li D P, Yan A S, et al. Effect of stocking density on growth of juvenile *Acipenser schrenckii*[J]. Journal of Applied Ecology, 2002, 13(6): 735-738.[庄平, 李大鹏, 严安生, 等. 养殖密度对史氏鲟稚鱼生长的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 735-738.]
- [3] Trenzado C E, Morales A E, Higuera M. Physiological effects of crowding in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, selected for low and high stress responsiveness[J]. Aquaculture, 2006, 258(1): 583-593.
- [4] Nieuwegeissen P G, Olwo J, Khong S, et al. Effects of age and stocking density on the welfare of African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell[J]. Aquaculture, 2009, 288(1): 69-75.
- [5] Salas-Leiton E, Anguis V, Martín-Antonio B, et al. Effects of stocking density and feed ration on growth and gene ex-

- pression in the Senegalese sole (*Solea senegalensis*): Potential effects on the immune response[J]. Fish Shellfish Immunol, 2010, 28(2): 296–302.
- [6] Sun D C, Tan H X, Luo G Z, et al. Effect of stocking density on growth and blood biochemical parameters of *Scortum barcoo*[J]. Fish Modernization, 2009, 3(2): 12–15.[孙大川, 谭洪新, 罗国芝, 等. 养殖密度对宝石鲈生长性能和血液生化指标的影响[J]. 渔业现代化, 2009, 3(2): 12–15.]
- [7] Liu X Y, Qi Q, Wang G F, et al. Influences of stocking density on growth of *Acipenser baerii* during domestication[J]. Freshwater Fish, 2012, 42(5): 79–82.[刘晓勇, 齐茜, 王国峰, 等. 养殖密度对饲料驯化期西伯利亚鲟生长的影响[J]. 淡水渔业, 2012, 42(5): 79–82.]
- [8] Yuan M Y, Zou Z Y, Liu S F, et al. Effects of stocking density on growth of juvenile *Polyodon spathuln* reared in net cage[J]. Fish Modernization, 2012, 39(4): 33–36.[袁美云, 邹作宇, 刘双凤, 等. 养殖密度对网箱养殖匙吻鲟稚鱼生长的影响[J]. 渔业现代化, 2012, 39(4): 33–36.]
- [9] Zhang X Y, Li L X, Wei Q W, et al. Effects of culturing density on behavior and immunity of captive *Acipenser sinensis* and on the water quality of their living pool[J]. Resour Environ Yangtze Basin, 2011, 20(11): 1348–1354.[张晓雁, 李罗新, 危起伟, 等. 养殖密度对中华鲟行为, 免疫力和养殖环境水质的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(11): 1348–1354.]
- [10] Lu S W, Liu Z P, Yu Y. Effects of density stress on growth and metabolism of juvenile *Epinephelus malabaricus*[J]. J Fish Sci China, 2011, 18(2): 322–328.[逯尚尉, 刘兆普, 余燕. 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼生长、代谢的影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(2): 322–328.]
- [11] Björnsson B, Steinarsson A, Oddgeirsson M, et al. Optimal stocking density of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared in a land-based farm[J]. Aquaculture, 2012, 356: 342–350.
- [12] Rahman M A, Mazid M A, Rahman M R, et al. Effect of stocking density on survival and growth of critically endangered mahseer, *Tor putitora*(Hamilton), in nursery ponds[J]. Aquaculture, 2005, 249(1): 275–284.
- [13] Schram E, Heul J W, Kamstra A, et al. Stocking density-dependent growth of Dover sole (*Solea solea*)[J]. Aquaculture, 2006, 252(2): 339–347.
- [14] Xu M, Wang X M, Ji Y B, et al. Effect of stocking on the growth performance and levels of complement C3 and C4 in *Clarias gariepinus*[J]. Anhui Agriculture Science, 2011, 39(20): 12272–12274.[徐敏, 王晓梅, 季延滨, 等. 养殖密度对革胡子鲶生长性能及补体 C3·C4 的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(20): 12272–12274.]
- [15] Liao R, Ou Y J, Gou X W. A review: Influence of stocking density on fish welfare I. mortality, growth, feeding and stress response[J]. S China Fish Sci, 2006, 2(6): 76–80.[廖锐, 区又君, 勾效伟. 养殖密度对鱼类福利影响的研究进展 I. 死亡率, 生长, 摄食以及应激反应[J]. 南方水产科学, 2006, 2(6): 76–80.]
- [16] Wang M, Qiu S Y, Yang S Y, et al. Biochemical composition and calorific value in juvenile *Plectorhynchus cinctus*[J]. J Fish Sci China, 2001, 8(3): 5–9.[王瑁, 丘书院, 杨圣云, 等. 花尾胡椒鲷幼鱼的生化组成和比能值[J]. 中国水产科学, 2001, 8(3): 5–9.]
- [17] Li X Q, Li X X, Leng X J, et al. Effect of different salinities on growth and flesh quality of *Ctenopharyngodon idellus*[J]. J Fish China, 2007, 31(3): 343–348.[李小勤, 李星星, 冷向军, 等. 盐度对草鱼生长和肌肉品质的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(3): 343–348.]
- [18] Zhu Y R, Shen W Y, Jin Y F, et al. The effects of starvation on hormone level and approximate composition in Crucian carp *Carassius auratus gibelio*[J]. Fish Sci, 2013, 32(12): 717–720.[祝尧荣, 沈文英, 金叶飞, 等. 饥饿对异育银鲫激素水平和体组分的影响[J]. 水产科学, 2013, 32(12): 717–720.]
- [19] Toko I, Fiogbe E D, Koukpode B, et al. Rearing of African catfish (*Clarias gariepinus*) and vundu catfish (*Heterobranchius longifilis*) in traditional fish ponds (whedos): Effect of stocking density on growth, production and body composition[J]. Aquaculture, 2007, 262(1): 65–72.
- [20] Song Z F, Wen H S, Li J F, et al. The influence of stocking density on the growth performance of juvenile Russian sturgeon(*Acipenser gueldenstaedti*) in flowing water cultivation[J]. J Fish China, 2014, 38(6): 835–842.[宋志飞, 温海深, 李吉方, 等. 养殖密度对流水养殖系统中俄罗斯鲟幼鱼生长的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(6): 835–842.]
- [21] Trenzado C E, Morales A E, Higuera M. Physiological effects of crowding in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, selected for low and high stress responsiveness[J]. Aquaculture, 2006, 258(1): 583–593.
- [22] Hong L, Zhang X M. Effects of environmental stress on physiological function of fish[J]. Adv Mar Sci, 2004, 22(1): 114–121.[洪磊, 张秀梅. 环境胁迫对鱼类生理机能的影响[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(1): 114–121.]
- [23] Zhou Y, Guo W C, Yang Z G, et al. Advances in the study of haematological indices of fish[J]. J Shanghai Fish Univ, 2001, 10(2): 163–165.[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.]
- [24] Lin Y H. Factors influencing the hematology of fishes[J]. J

- Anhui Agr Sci, 2011, 39(14): 8657–8659.[林艳华. 鱼类血液学指标的影响因素[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(14): 8657–8659.]
- [25] Montero D, Izquierdo M S, Tort L, et al. High stocking density produces crowding stress altering some physiological and biochemical parameters in gilthead seabream, *Sparus aurata*, juveniles[J]. Fish Physiol Biochem, 1999, 20(1): 53–60.
- [26] Dong X Y, Zhang X M, Zhang P D. Study on the effect of dissolved oxygen and stocking density on blood cell count and haemoglobin concentration in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*[J]. Mar Fish Res, 2008, 29(6): 40–46.[董晓煜, 张秀梅, 张沛东. 溶解氧与养殖密度对褐牙鲆幼鱼血细胞数量及血红蛋白含量影响的研究[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(6): 40–46.]
- [27] Zhang X W, Wu Y, He R J, et al. The effects of stocking density on growth and physiological indices of grouper *Epinephelus awoara* in recirculating aquaculture[J]. Journal of Dalian Fishery University, 2012, 27(6): 518–522.[张曦文, 吴垠, 贺茹靖, 等. 循环水养殖模式下养殖密度对青石斑鱼生长及生理指标的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(6): 518–522.]
- [28] Caruso D, Schlumberger O, Dahm C, et al. Plasma lysozyme levels in sheatfish *Silurus glanis* (L.) subjected to stress and experimental infection with *Edwardsiella tarda*[J]. Aquacult Res, 2002, 33(12): 999–1008.
- [29] Saurabh S, Sahoo P K. Lysozyme: an important defence molecule of fish innate immune system[J]. Aquacult Res, 2008, 39(3): 223–239.
- [30] Luo G Z, Liu G, Tan H X. The stocking density of *Scortum barcoo* juveniles in the semi-recirculating aquaculture system[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(2): 218–224.[罗国芝, 刘刚, 谭洪新. 半封闭循环水养殖系统中高体革鲷养殖密度研究[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(2): 218–224.]
- [31] Chen C X, Xing K Z, Sun X L. Effect of acute crowding stress on plasma index of half-smooth tongue-sole[J]. Acta Agric Bor Sin, 2011, 26(1): 229–233.[陈成勋, 邢克智, 孙学亮. 急性拥挤胁迫对半滑舌鳎血液指标的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26(1): 229–233.]
- [32] Ruane N M, Huisman E A, Komen J. Plasma cortisol and metabolite level profiles in two isogenic strains of common carp during confinement[J]. J Fish Biol, 2001, 59(1): 1–12.
- [33] Zhang T J, Yang Z C, Sun R Y. The Acclimation of fishes to high stocking density[J]. Fish Sci Technol Inform, 1998, 25(3): 110–113.[张廷军, 杨振才, 孙儒泳. 鱼类对高密度环境的适应[J]. 水产科技情报, 1998, 25(3): 110–113.]
- [34] Ni M, Wen H, Li J, et al. The physiological performance and immune responses of juvenile Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) to stocking density and hypoxia stress[J]. Fish Shellfish Immunol, 2014, 36(2): 325–335.

Effect of stocking density on growth, muscle composition and blood parameters of hybrid sturgeon juveniles

CHENG Jiajia¹, LI Jifang¹, WEN Haishen¹, NI Meng¹, REN Yuanyuan¹, DING Houmeng¹, SONG Zhifei¹, LIU Mingyuan¹, LAI Changqing², LIU Chuanzhong²

1. The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education; Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Shandong Xunlong SCI-Tech Co., Ltd., Sishui 273211, China

Abstract: We conducted a 90-day experiment in 12 flow-through tanks to evaluate the influence of stocking density on growth performance, muscle composition, and blood biochemical parameters in juvenile hybrid sturgeon [*Acipenser baerii* (♀) × *Acipenser schrenckii* (♂)]. Sturgeon (mean total length: 31.55±1.50 cm; mean body weight: 251.11±0.59 g) were randomly distributed into four different stocking density groups of G1 (5.50 kg/m³, 200 fish/pond), G2 (8.27 kg/m³, 300 fish/pond), G3 (11.01 kg/m³, 400 fish/pond), and G4 (13.80 kg/m³, 500 fish/pond). The results show that stocking density had significant effects on the growth and survival of juvenile hybrid sturgeon ($P<0.05$). Survival rates at the end of the experiment were 99.33%, 97.67%, 95.33%, and 92.80% in the G1, G2, G3, and G4 groups, respectively. Final body weight, specific growth rate, and condition factor decreased with an increase in stocking density, whereas the food conversion ratio showed the opposite tendency. Muscle moisture content increased significantly with the increase in stocking density, whereas crude muscle lipid content decreased significantly ($P<0.05$). However, no significant difference was observed in ash or crude protein content. Differences between treatments were detected for glucose, total protein, and hemoglobin. In conclusion, these results suggest that a high juvenile hybrid sturgeon stocking density could negatively influence growth, muscle composition, and blood biochemical parameters.

Key words: hybrid sturgeon; stocking density; growth; muscle composition; blood; biochemical parameter

Corresponding author: LI Jifang. E-mail: lijf@ouc.edu.cn