

## 养殖密度对流水养殖系统中俄罗斯鲟幼鱼生长的影响

宋志飞<sup>1</sup>, 温海深<sup>1\*</sup>, 李吉方<sup>1</sup>, 倪蒙<sup>1</sup>, 张墨<sup>1</sup>,  
步艳<sup>1</sup>, 任源远<sup>1</sup>, 丁厚猛<sup>1</sup>, 来长青<sup>2</sup>, 刘传忠<sup>2</sup>

(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:** 为研究流水养殖系统中不同养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼生长的影响, 实验将初始体质量为 $(29.70 \pm 1.32)$  g的俄罗斯鲟幼鱼分置于 $2.5$  (SD1)、 $3.6$  (SD2)和 $4.7 \text{ kg/m}^3$  (SD3) 3个养殖密度进行流水池塘( $4.4 \text{ m} \times 4.4 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$ )养殖, 每个密度设3个重复, 实验周期为90 d。结果显示: 低密度组(SD1)幼鱼增重率(WG)、体长增长率(LG)、特定生长率(SGR)和饵料转化率(FCR)分别为 $362.01\% \pm 15.87\%$ 、 $55.88\% \pm 4.77\%$ 、 $(1.79 \pm 0.03) \% \text{ d}$ 、 $114.95\% \pm 4.52\%$ , 显著高于高密度组(SD3)的 $272.30\% \pm 2.74\%$ 、 $46.34\% \pm 6.22\%$ 、 $(1.53 \pm 0.02) \% \text{ d}$ 、 $94.49\% \pm 1.96\%$ , 而SD3组幼鱼生长离散程度和死亡率显著高于SD1组幼鱼; 随养殖密度增加, 幼鱼体内蛋白和脂肪含量降低, 水分和灰分含量升高, 但是不存在显著性差异。研究表明, 较高的养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼的生长造成了显著的负面影响。

**关键词:** 俄罗斯鲟; 养殖密度; 特定生长率; 死亡率; 体组分; 饵料转化率

**中图分类号:** Q 958.8; S 965

**文献标志码:** A

工厂化养殖生产中, 特别是流水养殖模式, 往往通过增加养殖密度来提高单位水体的产量, 以获取更高的商业价值<sup>[1]</sup>。但是较高的养殖密度可能会引起鱼类胁迫反应, 导致鱼体生理机能紊乱甚至增加鱼病发生的可能性, 从而造成鱼类生长率和存活率的下降, 个体间生长差异增大, 出现所谓的生长级差<sup>[2]</sup>。近年来, 养殖密度对鱼的生长、摄食、代谢、组织生化以及免疫功能的影响日益成为研究热点, 江仁党<sup>[3]</sup>对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)稚鱼的研究表明, 个体的最终体质量、特定生长率、日增重随着养殖密度增大而降低。庄平等<sup>[4]</sup>对史氏鲟(*Acipenser schrenckii*)稚鱼的研究证实, 饵料转化率和净增重随密度增大而增大, 特定生长率和养殖密度之间存在显著负相关关系。因此, 讨论鱼类在高密度养殖环境中的胁迫机制, 探索合理的养殖密度, 获取更高的经济效益

越来越成为水产养殖从业者关注的焦点。

鲟鱼属世界珍稀名贵鱼类, 是一种营养价值很高的古老生物类群, 素有“活化石”之称<sup>[5]</sup>。自20世纪90年代起, 我国开始展开鲟鱼的资源调查和人工增殖研究<sup>[6]</sup>。俄罗斯鲟(*Acipenser gueldenstaedti*)作为鲟鱼属的一个重要引进品种, 其适应性和抗病力强, 生长速度快, 肉质厚实, 味道鲜美, 营养价值极高。另外, 其鱼卵可制作鱼子酱, 具有较高的经济价值, 是极具开发潜力的优良养殖鱼类品种。但是目前国内关于俄罗斯鲟在流水养殖条件下的相关研究却鲜有报道。本研究探讨了流水养殖过程中不同养殖密度对俄罗斯鲟生长性能的影响, 旨在进一步研究高养殖密度下俄罗斯鲟的生理适应机制, 探索合理的俄罗斯鲟养殖密度, 为集约化健康养殖技术的进一步发展提供参考依据。

收稿日期: 2014-01-19 修回日期: 2014-03-29

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003055)

通信作者: 温海深, E-mail: wenhaishen@ouc.edu.cn

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验条件

实验在山东省鲟龙渔业科技开发有限公司进行,实验鱼体质健康,规格一致,由同一批受精卵孵化而成,平均初始体质量为 $(29.70 \pm 1.32)$  g,平均体长为 $(17.06 \pm 0.56)$  cm。采用流水池塘养殖模式,实验池为9个正方形室外水泥池,池底面积 $18.23 \text{ m}^2$ ,每个水泥池设有一个进水口和一个位于池底中央的出水口,水深控制在47 cm左右。实验用水为当地地下井水,水质无污染,经曝气池曝气,进水口水流速为 $4.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 。池中溶氧水平为 $(7.52 \pm 1.05)$  mg/L,水温保持在 $(17.05 \pm 1.62)$  °C,pH为 $(7.64 \pm 0.52)$ ,氨氮含量在 $(0.028 \pm 0.006)$  mg/L。

实验用饲料为宁波天邦股份有限公司生产的人工配合饲料。

### 1.2 研究方法

**实验设计与日常管理** 实验设3个养殖密度:SD1组(低密度组,low density)、SD2组(中密度组,medium density)、SD3组(高密度组,high density),不同养殖密度的初始放养量分别为700、1 000和1 300尾,初始养殖密度分别为2.5、3.6和 $4.7 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,每个密度组设3个重复。实验于2012年9月12日开始,暂养3 d,不投喂饲料,之后正常投喂和测定各项指标,实验历时90 d。实验期间,每天8:00,16:00和21:00投喂配合饲料,每天总投喂量为实验鱼体质量1.5%,以投喂完30 min后池内无剩余饵料为准,稍作调整。实验期间,每天测水温、溶解氧(DO)、pH值,每隔10 d测氨氮浓度。每10 d抽样1次,每次每池随机取80尾鱼称湿重,重复3次,估计平均体质量,并以此来确定俄罗斯鲟幼鱼的投喂量。

**样品采集** 实验期间,每10 d采样1次,每次每池取5尾鱼,用MS-222(100 mg/L)麻醉,测量体质量、体长等生物学指标,留全鱼用于体组分分析。

**生长和摄食指标的测定** 变异系数(coefficient of variation, CV, %) =  $100 \times \text{SD}/X$  (或 $L$ );

特定增长率(specific growth rate, SGR, %/d) =  $100 \times (\text{Ln}W_2 - \text{Ln}W_1)/(t_2 - t_1)$ ;

净增重[net yield, NY, g/( $\text{m}^2 \cdot \text{d}$ )] =  $(W_2/S -$

$W_1/S)/(t_2 - t_1)$ ;

日增重(daily weight gain, DWG, g/d) =  $(W_2 - W_1)/(t_2 - t_1)$ ;

增重率(weight gain ratio, WG, %) =  $100 \times (W_2 - W_1)/W_1$ ;

体长增长率(length gain ratio, LG, %) =  $100 \times (L_2 - L_1)/L_1$ ;

摄食率(feeding ratio, FR, %/d) =  $200 \times F/[(W_2 + W_1)n(t_2 - t_1)]$ ;

饵料转化率(feed conversion ratio, FCR, %) =  $100 \times F/[n(W_2 - W_1)]$ ;

肥满度(condition factor, K, % · g/cm<sup>3</sup>) =  $100 \times W/L^3$

式中,SD为标准差, $W_1$ 与 $W_2$ 分别为时间 $t_1$ 与 $t_2$ 时的体质量(g), $X$ 为平均体质量(g), $L$ 为体长(cm), $S$ 为池塘面积( $\text{m}^2$ ), $n$ 为实验鱼尾数, $F$ 为总投喂量(g)。

**体组分分析** 采用全鱼体组分分析,烘干法(105 °C)测定鱼体水分含量,XFB-500粉碎机将烘干鱼体研磨成粉,采用高温灼烧法(GB/T 5009.4 - 1985)测定粗灰分含量(马弗炉,550 °C),凯氏定氮法(GB/T 5009.5 - 1985)测定粗蛋白含量(丹麦 FOSS 公司 2300 型自动定氮仪),索氏抽提法(GB/T 5009.6 - 1985)测定粗脂肪含量(瑞士 BUCHI 公司 36680 型脂肪抽提仪)。体成分指标均换算成湿重的百分比表示。

**统计分析** 实验数据用 SPSS 17.0 统计软件进行处理分析,利用方差分析(ANOVA)中的 Duncan 多重比较来检验密度处理对俄罗斯鲟幼鱼生长性能与摄食行为的显著性, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著,所得数据均用平均值 ± 标准误(mean ± SE)表示。

## 2 结果

### 2.1 养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼生长性能的影响

**养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼生长指标的影响** 各密度组俄罗斯鲟幼鱼初体质量、初体长差异不显著(表1)。在实验初期各密度组俄罗斯鲟幼鱼生长速度差异也不显著,自第50天起,SD1组体质量显著大于SD2、SD3组( $P < 0.05$ )(图1)。第90天,SD1组体质量达到最大值( $147.87 \pm 4.01$ ) g,SD1、SD2与SD3组均表现出显著差异( $P < 0.05$ )。各密度组体质量生长方程为,

$W_{SD1} = 35.204e^{0.01699t}$  ( $R^2 = 0.9667$ ),  $W_{SD2} = 35.443e^{0.0153t}$  ( $R^2 = 0.9595$ ),  $W_{SD3} = 36.593e^{0.0137t}$  ( $R^2 = 0.9345$ )。

不同养殖密度组俄罗斯鲟幼鱼生长速度具有明显的差异。SD3组末体质量、末体长均最小,分别为(118.67 ± 1.53)g、(24.62 ± 1.87)cm,与SD1、SD2组具有显著性差异( $P < 0.05$ )。俄罗

斯鲟幼鱼的增重率、体长增长率、平均日增重以及特定增长率都随密度的增大而明显降低,且各组间差异显著( $P < 0.05$ );但其净增重却随着养殖密度增大而显著性增大( $P < 0.05$ )。各密度组俄罗斯鲟幼鱼肥满度随实验进行均有所增加,但各组间差异不显著。

表1 不同养殖密度下俄罗斯鲟幼鱼的生长指标

Tab.1 Growth indexes of juvenile Russian sturgeon cultured at different densities

指标 parameters	养殖密度 stocking density		
	SD1	SD2	SD3
初体质量/g initial body weight	29.63 ± 0.41	29.72 ± 0.14	29.91 ± 0.34
末体质量/g final body weight	147.87 ± 4.01 <sup>a</sup>	130.33 ± 3.21 <sup>b</sup>	118.67 ± 1.53 <sup>c</sup>
初体长/cm initial body length	16.97 ± 0.25	16.43 ± 0.31	16.97 ± 0.35
末体长/cm final body length	26.02 ± 0.26 <sup>a</sup>	25.53 ± 0.84 <sup>ab</sup>	24.62 ± 1.87 <sup>b</sup>
初肥满度/% initial condition factor	0.71 ± 0.34	0.69 ± 0.12	0.72 ± 0.38
末肥满度/% final condition factor	0.82 ± 0.02	0.80 ± 0.06	0.82 ± 0.10
日增重/(g/d) DWG	1.32 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.12 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.99 ± 0.02 <sup>c</sup>
净增重/[(g/(m <sup>2</sup> ·d)]NY	45.76 ± 1.80 <sup>c</sup>	56.18 ± 2.82 <sup>b</sup>	64.53 ± 1.34 <sup>a</sup>
增重率/% GBW	362.01 ± 15.87 <sup>a</sup>	310.14 ± 16.14 <sup>b</sup>	272.30 ± 2.74 <sup>c</sup>
体长增长率/% GBL	55.88 ± 4.77 <sup>a</sup>	48.10 ± 6.29 <sup>b</sup>	46.34 ± 6.22 <sup>b</sup>
特定增长率/(%/d) SGR	1.79 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.64 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.53 ± 0.02 <sup>c</sup>

注:表格中同行肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著( $P > 0.05$ ),不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。以下注释同此  
Notes: in the same row, values with same small letter superscripts or no letter superscripts mean no significant differences ( $P > 0.05$ ), different small letter superscripts mean significant differences ( $P < 0.05$ ). The same as the following

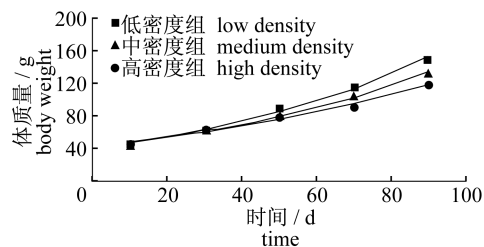


图1 不同养殖密度下俄罗斯鲟体质量生长曲线  
Fig.1 Weight growth curves of juvenile Russian sturgeon at different densities

养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼生长离散的影响  
俄罗斯鲟体质量变异系数为7.32%~15.57%,SD3组显著大于SD1、SD2组( $P < 0.05$ )。体长变异系数为2.62%~4.52%,各密度组间无显著性差异( $P > 0.05$ )(图2)。

养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼体组分的影响  
俄罗斯鲟幼鱼体内水分含量随养殖时间呈现逐渐降低的趋势,但是各组间的差异不显著;而灰分含量随着时间呈现升高的趋势,各组间的差异也不

显著;不同养殖密度组俄罗斯鲟粗蛋白含量在实验初期快速升高,30 d后逐步下降,高密度组俄罗斯鲟幼鱼粗蛋白含量较低,各组间的差异不显著;粗脂肪含量随着时间逐渐升高,但是变化不明显,各组间无显著差异(图3)。

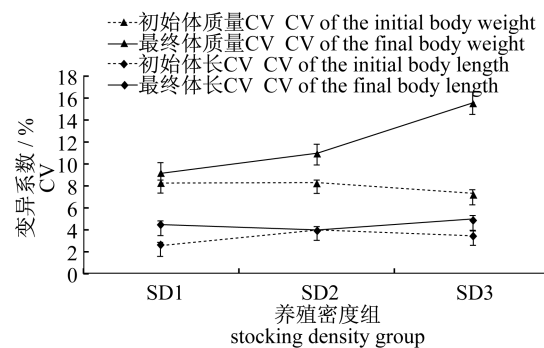


图2 不同养殖密度俄罗斯鲟体质量、体长的变异系数

Fig.2 Coefficient variation in body weight and body length of Russian sturgeon at different densities

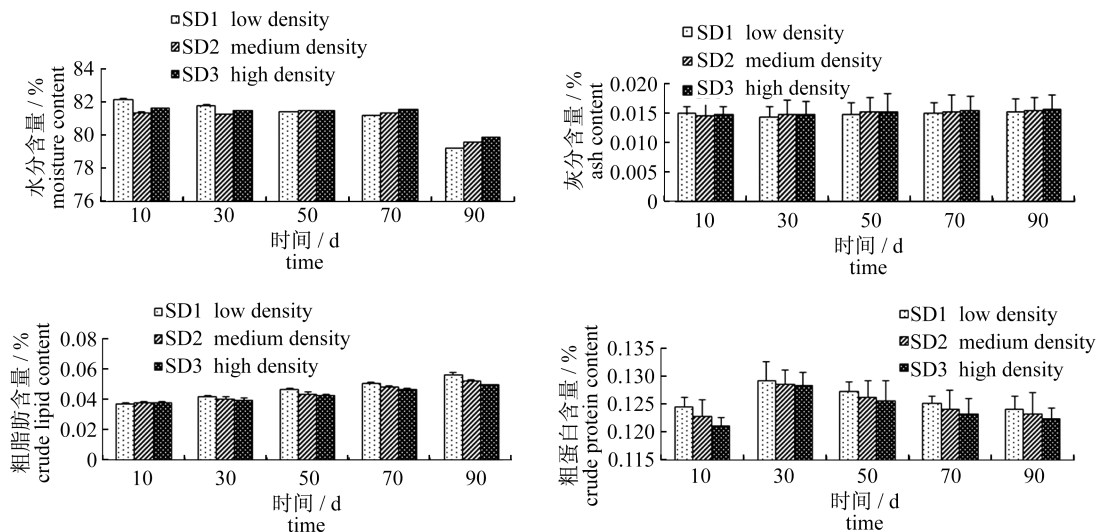


图3 不同养殖密度下俄罗斯鲟体内水分、灰分、粗脂肪、粗蛋白含量的变化

Fig. 3 The variation of moisture, ash, crude lipid, crude protein in Russian sturgeon at different densities

## 2.2 养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼摄食和存活率的影响

对俄罗斯鲟幼鱼摄食的影响 总摄食量、摄食率均随着养殖密度增加而增大,且 SD3 和

SD1 组间摄食率差异显著 ( $P < 0.05$ ); 日摄食量和饵料转化率却随着密度增加而减小,且各密度组之间差异性显著 ( $P < 0.05$ ) (表 2)。

表 2 不同养殖密度组俄罗斯鲟的总摄食量 (TF)、日摄食量 (DF)、饵料转化率 (FCR) 和摄食率 (FR)

Tab. 2 The total food intake (TF), daily food intake (DF), feeding ratio (FR) and feed conversion ratio (FCR) of juvenile Russian sturgeon at different stocking densities

组别 group	总摄食量/g TF	日摄食量/(g/d) DF	摄食率/% FR	饵料转化率/% FCR
SD1	195 945	1.11 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.25 ± 0.03 <sup>c</sup>	114.95 ± 4.52 <sup>a</sup>
SD2	267 840	1.06 ± 0.15 <sup>b</sup>	1.31 ± 0.14 <sup>ab</sup>	103.37 ± 5.19 <sup>b</sup>
SD3	336 135	1.01 ± 0.17 <sup>c</sup>	1.36 ± 0.02 <sup>a</sup>	94.49 ± 1.96 <sup>c</sup>

### 养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼存活率的影响

实验期间,随着养殖密度增大,存活率逐渐降低(图 4)。其中 SD1、SD2 与 SD3 组差异显著 ( $P < 0.05$ ),SD1 和 SD2 组间差异不显著,但各密度组存活率均在 95% 以上。

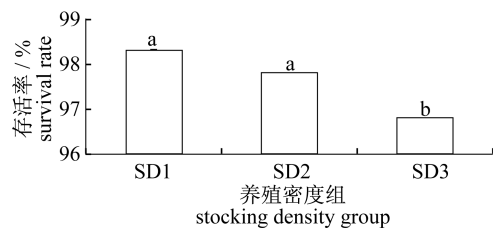


图 4 不同养殖密度下俄罗斯鲟存活率

Fig. 4 The survival rate of Russian sturgeon at different stocking densities

## 3 讨论

### 3.1 养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼生长性能的影响

养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼生长率的影响 除遗传、饵料和环境条件等因素外,群体密度是影响野生或者养殖鱼类生长和性成熟的一个重要因素<sup>[7]</sup>。在高密度环境中生活的鱼类受到一系列环境因子的相互作用,这些因子或单独或叠加地影响鱼体的生长<sup>[8]</sup>。遭受胁迫后鱼体会自发改变内在的生理状态进而适应环境变化,但是当压力超过其生理调节范围时,就会对鱼体造成危害,导致其生长发育缓慢。如在史氏鲟<sup>[9]</sup>、虹鳟稚鱼<sup>[3]</sup>的相关报道中,鱼体生长效率、特定生长率和日增重均随着养殖密度增大而降低。在本研究中,初期各密度组俄罗斯鲟幼鱼体质量均呈现指

数型增长,且不同密度组之间并无显著性差异,可能是由于初始养殖密度较低,各组幼鱼均有足够的生活空间,并且微流水养殖模式提供了较优良的水质条件。而SD3组末体质量、末体长均显著小于SD1、SD2组,并且随着养殖密度的增加,俄罗斯鲟幼鱼增重率、平均日增重、特定生长率亦显著降低。推测是养殖密度的增加促使鱼体产生胁迫反应,使其神经内分泌活动改变,进而引起生理生化及免疫系统的变化。内在生理功能的调节消耗了大量能量,因而可能影响了鱼的生长。另外,较高的养殖密度会造成幼鱼对饵料和生活空间的竞争加剧<sup>[10]</sup>,竞争行为消耗了大量能量,影响幼鱼摄食,从而使鱼体生长速度下降,生长效率和特定生长率均与密度呈现显著负相关的关系。尽管俄罗斯鲟幼鱼养殖密度越大,净增重越高,但这种高产量并不是以高的生长效率为前提,而是以较大的种群个体数为基础,并且较高的养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼生长产生了明显的负面影响。以往实验关于溪红点鲑(*Salvelinus fontinalis*)<sup>[11]</sup>、加州鲈(*Micropterus salmoides*)<sup>[12]</sup>的研究也得到了相似的结果。

#### 养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼生长离散的影响

行为是动物适应环境,做出生理功能调节的重要表现,行为适应往往产生在生理适应之前。不同养殖密度对鱼类行为的影响因鱼类的集群性不同而产生差异。集群性较强的鱼类在集群生活时,用于警戒和寻找食物的时间减少,能够尽快进入摄食状态,就有较多的时间用于摄食。Papoutsoglou<sup>[13]</sup>等发现高密度养殖海鲈(*Lateolabrax japonicus*)时表现出明显的摄食集群行为。但在本研究中高密度养殖的俄罗斯鲟摄食缓慢,生长速度也明显降低,推测俄罗斯鲟幼鱼非喜集群性鱼类,这与李大鹏等<sup>[9]</sup>对史氏鲟稚鱼的研究结果相一致。较高的养殖密度加剧了种群内部对生存空间和饵料资源的竞争,这种种内竞争使处在生长优势的幼鱼占据更多的水域空间和饵料资源,体质健壮、生长速度较快;而处在劣势的幼鱼生长缓慢,在鱼群中呈现生长离散的现象。随着养殖密度的不断增大,当水域空间和饵料资源相对不足时,处于生长优势的幼鱼因占据较多资源受到影响较小,而处在劣势的幼鱼生长速度则进一步降低,造成整个鱼群的生长速度降低,生长离散加剧。生长离散的现象通常表现在体长和

体质量两个方面,但在本研究中,各组体质量变异系数前后差异显著,而体长变异系数变化较小,推测是由于物种的特异性造成不同种类的鱼体质量和体长生长不同。本次研究中,俄罗斯鲟幼鱼在30~148g间体质量生长迅速,而体长生长相对缓慢,这与白点鲑(*Salvelinus leucomaenis*)幼鱼<sup>[14]</sup>和银大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)<sup>[15]</sup>的生长特点相似。

#### 养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼体组分的影响

高养殖密度环境中鱼类面对着一系列复杂的环境因子,这些因子相互作用共同影响鱼体的生长。鱼体会产生一系列的生理、行为变化来应对环境因子的胁迫<sup>[16]</sup>。长期的胁迫反应会导致鱼体代谢平衡紊乱,迫使鱼类用于生长的能量分配到对外界环境的适应中,慢性胁迫更会加速能量消耗<sup>[17]</sup>,进而造成鱼体生化组分含量发生变化。在本研究中,俄罗斯鲟幼鱼鱼体粗脂肪、粗蛋白随着密度增大而逐渐降低,可能是由于在长期高密度慢性胁迫下,其用于生理功能和行为变化调节的能量消耗增加,糖类作为最易供能物质被迅速消耗。当糖类供应能量不足时,就会促使鱼体利用体内贮藏的营养物质如脂肪、蛋白质通过糖异生作用来维持自身代谢需要,导致鱼体粗脂肪、粗蛋白含量随着密度升高而下降。这与对瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)<sup>[18]</sup>、史氏鲟稚鱼<sup>[19]</sup>的研究结果相似。Idler等<sup>[20]</sup>对大马哈鱼(*Epinephelus awoara*)的研究中发现胁迫可使鱼体消耗大量的脂肪和蛋白质,而相对缺少的部分由水分弥补。张曦文等<sup>[21]</sup>对青石斑鱼(*Epinephelus awoara*)的研究又表明灰分的含量和鱼体能量呈现负相关,可在一定程度上反映鱼体能量变化。本研究中俄罗斯鲟幼鱼高密度组受胁迫更为严重,能量需求更多,有机质消耗增加、积累降低,水分、灰分含量则相应升高,使鱼体品质下降,生长状况恶化。另外,由粗脂肪和粗蛋白的变化,可推测俄罗斯鲟幼鱼可能是先利用蛋白质,再利用脂肪。

### 3.2 养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼摄食和存活率的影响

养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼摄食的影响 鱼类的摄食活动受大量的生物和非生物因素共同调节,前者包括体质量、成熟度和性别,后者包括水质、光照、盐度、溶解氧、投饵频率以及养殖密度等,这些因子相互作用决定鱼类的摄食状况。养

殖密度是实际生产中影响鱼类摄食状况的关键因子,当放养密度过高时,溪红点鲑<sup>[22]</sup>以及美洲红点鲑(*Salvelinus fontinalis*)<sup>[23]</sup>的摄食量随着密度增加显著降低。本研究中,俄罗斯鲟幼鱼日摄食量随养殖密度增大而显著降低,可能是因为随着养殖密度的增大,幼鱼对饵料竞争加剧,占据优势的幼鱼在饱食之后仍然占据着底层进食空间,造成上层幼鱼未能饱食,导致其日摄食量下降。但是由于高密度组个体基数大,其总摄食量反而增大。饵料转化率在较低密度时较高,随着养殖密度的增加逐渐降低,表明随着养殖密度的增加,饵料转化率降低。原因可能是高的养殖密度迫使幼鱼消耗更多的能量用于生理功能和行为活动的调节<sup>[24]</sup>。

养殖密度对俄罗斯鲟存活率的影响 已有的研究表明,不同鱼类的养殖密度都有一个阈值,该阈值因种属和生长特性的不同而有所差异。在阈值密度内,死亡率不受密度的影响,超出阈值后,随着密度升高死亡率上升<sup>[25]</sup>。在本研究中,当养殖密度超过 12.19 kg/m<sup>3</sup>时,俄罗斯鲟幼鱼死亡率随着养殖密度的增加不断升高。高养殖密度加剧了俄罗斯鲟幼鱼对生存空间和饵料的竞争,使得幼鱼个体间大小差异变大,生长离散加剧,相互间的侵犯行为频率增加。饵料只在底层分布又进一步加剧了幼鱼之间的争斗行为。鲟鱼属于肉食性鱼类,在养殖密度过高或者饵料不足时,容易出现大鱼吃小鱼的残食现象<sup>[10]</sup>。虽然随着密度的增加死亡率升高,但在整个研究过程中,流水养殖模式保证了较好的水质条件,水温一直维持在 15~18℃,DO 大于 6 mg/L,水中氨氮含量也极低。这使得高密度组的种内竞争及排泄因子对生长和存活的影响被良好的水体环境所减弱,保证了各密度组的存活率均维持在一个较高水平(95%以上)。Poston 等<sup>[26]</sup>认为通过提高水中溶氧水平可减少养殖密度对大西洋鲑(*Salmo salar*)的影响。庄平等<sup>[4]</sup>对史氏鲟稚鱼的研究中也发现,提供良好的水质条件会减少负载对种群生长和存活率的影响。

由本实验结果可以看出,虽然随着密度的增大,俄罗斯鲟幼鱼净增重增大,但是其死亡率和生长离散率升高,生长速度和饵料转化率降低。同时,鱼体蛋白、脂肪含量降低,鱼体品质下降。在实际生产中,受到商品鱼上市规格和季节的限制,

仅仅追求总产量是不够的。因此,在实际生产中,俄罗斯鲟幼鱼养殖密度不能超过 12.19 kg/m<sup>3</sup>,并且在养殖过程中要不断地调整养殖密度环境负载率,以追求更大的经济效益。

#### 参考文献:

- [1] Lu S W, Liu Z P, Yu Y. Effects of density stress on growth and metabolism of juvenile *Epinephelus malabaricus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 322-328. [ 逯尚尉, 刘兆普, 余燕, 等. 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼生长、代谢的影响. 中国水产科学, 2011, 18(2): 322-328. ]
- [2] Allen K O. Effects of stocking density and water exchange rate on growth and survival of channel catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) in circular tanks [J]. Aquaculture, 1974, 4(1): 29-39.
- [3] Jiang R D. Effect of stocking density on growth of rainbow trout juvenile [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2009, 22(4): 31-33. [ 江仁党. 放养密度对虹鳟稚鱼生长的影响. 水产学杂志, 2009, 22(4): 31-33. ]
- [4] Zhuang P, Li D P, Wang M X, et al. Effect of stocking density on growth of juvenile *Acipenser schrenckii* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(6): 735-738. [ 庄平, 李大鹏, 王明学, 等. 养殖密度对史氏鲟稚鱼生长的影响. 应用生态学报, 2002, 13(6): 735-738. ]
- [5] Jiang L F. The world Sturgeon resource and the culture prospect [J]. Fishery Economic Research of China, 1998(2): 33-35. [ 姜礼燧. 世界鲟鱼资源及养殖前景. 中国渔业经济研究, 1998(2): 33-35. ]
- [6] Chen W X, Zai Z Z, Liu B P, et al. Sturgeon fisheries in Russia and comparison of sturgeon fisheries between Russia and China [J]. Reservoir Fisheries, 2003, 23(6): 4-6. [ 陈文祥, 载泽贵, 刘伯平, 等. 俄罗斯鲟鱼考察及中俄鲟鱼发展状况对比分析. 水利渔业, 2003, 23(6): 4-6. ]
- [7] Smith H T, Schreck C B, Maughan O E. Effect of population density and feeding rate on the fathead minnow (*Pimephales promelas*) [J]. Journal of Fish Biology, 1978, 12(5): 449-455.
- [8] Liao R, Qu Y J, Gou X W, et al. A review: Influence of stocking density on fish welfare I. Mortality, growth, feeding and stress response [J]. South China Fisheries Science, 2006, 2(6): 76-80. [ 廖锐, 曲又君, 勾效伟, 等. 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. 南方水

- 产,2006,2(6):76-80.]
- [9] Li D P, Zhuang P, Yan A S, *et al.* The influences of illumination, water current and stocking density on feeding, behavior and growth in juveniles *Acipenser schrenckii* [J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(1):54-61. [李大鹏, 庄平, 严安生, 等. 光照、水流和养殖密度对史氏鲟稚鱼摄食、行为和生长的影响. 水产学报, 2004, 28(1):54-61.]
- [10] Ren H, Lan Z Q, Wang Y M, *et al.* Effect of different farming densities to the feeding behavior, growth and survival of sturgeon juvenile [J]. Fishery Modernization, 2013, 40(2):12-16. [任华, 蓝泽桥, 王一明, 等. 循环水养殖系统中放养密度对杂交鲟仔鱼摄食行为、生长和存活的影响. 渔业现代化, 2013, 40(2):12-16.]
- [11] Vijayan M M, Leatherland J F. Effect of stocking density on the growth and stress-response in brook charr, *Salvelinus fontinalis* [J]. Aquaculture, 1988, 75(1-2):159-170.
- [12] Petit G, Beauchaud M, Buisson B. Density effects on food intake and growth of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Aquaculture Research, 2001, 32(6):495-497.
- [13] Papoutsoulou S E, Tziha G, Vrettos X, *et al.* Effects of stocking density on behavior and growth rate of european sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles reared in a closed circulated system [J]. Aquacultural Engineering, 1998, 18(2):135-144.
- [14] Zhang Y Q, Yin J S, Wang B Q, *et al.* Effects of stocking density on growth, survival and behavior of juvenile Siberian charr *Salvelinus leucomaenis* [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(6):520-524. [张永泉, 尹家胜, 王丙乾, 等. 养殖密度对白点鲑幼鱼生长、存活以及行为的影响. 大连水产学院学报, 2009, 24(6):520-524.]
- [15] Schreck C B, Patino R, Pring C K, *et al.* Effects of rearing density on indices of smoltification and performance of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* [J]. Aquaculture, 1985, 45(1-4):345-358.
- [16] Shao L X, Xie W, Ye F F. Effect of stocking density on growth of juvenile *Astronotus ocellatus* [J]. Fisheries Science, 2005, 24(4):7-9. [邵邻相, 谢炜, 叶菲菲. 养殖密度对地图鱼幼鱼生长发育的影响. 水产科学, 2005, 24(4):7-9.]
- [17] Tort L, Balasch J C, MacKenzie S. Fish health challenge after stress. Indicators of immunocompetence [J]. Contributions to Science, 2004, 2(4):443-454.
- [18] Yang Y O, Yao F, Shu N N, *et al.* Effect of breed aquatics density on growth, feed utilization and energy balance for *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. Feed Industry Magazine, 2007, 28(24):31-33. [杨严鸥, 姚峰, 舒娜娜, 等. 养殖密度对黄颡鱼生长、饲料利用和能量收支的影响. 饲料工业, 2007, 28(24):31-33.]
- [19] Li D P. Effect of environmental factors on growth of *Acipenser schrenckii* and its mechanism [J]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2003. [李大鹏. 环境因子对史氏鲟生长的影响及其调控机制的研究. 武汉: 华中农业大学, 2003.]
- [20] Idler D R, Bitners I. Biochemical studies on sockeye salmon during spawning migration: II. Cholesterol, fat, protein, and water in the flesh of standard fish [J]. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, 1958, 36(8):793-798.
- [21] Zhang X W, Wu Y, He R J, *et al.* The effect of stocking density on growth and physiological indices of grouper *Epinephelus awoara* in recirculating aquaculture [J]. Journal of Dalian Ocean 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. 大连海洋大学学报, 2012, 27(6):518-522.]
- [22] Vuayan M M, Leatherland J F. High stocking density affects cortisol secretion and tissue distribution in brook charr, *Salveninus fontinalis* [J]. Journal of Endocrinology, 1990, 124(2):311-318.
- [23] Wafa A H, Plerre D, Daniel B. Modeling growth and food intake rhythms of brook trout *Salvelinus fontinalis* under the effects of density and ration [J]. Ecology Modeling, 2004, 175(4):385-394.
- [24] Marchand F, Boisclair D. Influence of fish density on the energy allocation pattern of juvenile brook trout (*Salvelinus fontinalis*) [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1998, 55(4):796-805.
- [25] Iguchi K, Ogawa K, Nagae M, *et al.* The influence of rearing density on stress response and disease susceptibility of ayu (*Plecoglosses altivelis*) [J]. Aquaculture, 2003, 220(1-4):515-523.
- [26] Poston H A, Williams R C. Interrelations of oxygen concent ration, fish density, and performance of Atlantic salmon in an ozonated water reuse system [J]. The Progressive Fish-Culturist, 1988, 50(2):69-76.

## The influence of stocking density on the growth performance of juvenile Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedti*) in flowing water cultivation

SONG Zhifei<sup>1</sup>, WEN Haishen<sup>1\*</sup>, LI Jifang<sup>1</sup>, NI Meng<sup>1</sup>, ZHANG Mo<sup>1</sup>,  
BU Yan<sup>1</sup>, REN Yuanyuan<sup>1</sup>, DING Houmeng<sup>1</sup>, LAI Changqing<sup>2</sup>, LIU Chuanzhong<sup>2</sup>

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

2. Shandong XunLong SCI-Tech CO., LTD., Sishui 273211, China)

**Abstract:** Nowadays, some countries in Europe, Asia, and North America have developed the techniques for sturgeon artificial breeding according to the conservation acts. Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedti*) is one of the rare and valuable fish species, which has become one of the popular sturgeon culture species in China. It has been demonstrated that people tend to get more benefit by increasing stocking density, which may suppress fish growth due to the decreasing of food consumption efficiency and the alteration in metabolic rate induced by crowding stress associated with stocking densities. This study was undertaken to investigate the influence of different stocking density on the growth performance of juvenile Russian sturgeon. Three triplicate groups of juveniles [initial body weight:  $(29.7 \pm 1.32)$  g] were reared in nine square concrete ponds ( $4.4 \text{ m} \times 4.4 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$ ) at three stocking densities [2.5 (SD1), 3.6 (SD2), 4.7 kg/m<sup>3</sup> (SD3)] for 90 days. The results showed that: the weight gain (GBW), length gain (GBL), specific growth rate (SGR) and food conversion ratio (FCR) of the fish at low density (SD1) were  $(362.01 \pm 15.87, 55.88 \pm 4.77, 1.79 \pm 0.03, 114.95 \pm 4.52)$ , respectively, which were significantly higher than those in high density (SD3) ( $272.30 \pm 2.74, 46.34 \pm 6.22, 1.53 \pm 0.02, 94.49 \pm 1.96$ ) ( $P < 0.05$ ). The mortality and greater variation in size and growth of the juvenile fishes in SD3 were significantly higher than those in SD1 ( $P < 0.05$ ); Meantime, the protein and fat content decreased while the moisture and ash content increased along with the density increasing, but there is no significant difference ( $P > 0.05$ ). These results suggested that high density has a significant negative impact on the growth performance of juvenile Russian sturgeon, and the growth suppression caused by high stocking density might be associated with the crowding stress and reductions in both food consumption and food conversion efficiency.

**Key words:** *Acipenser gueldenstaedti*; stocking density; specific growth rate; mortality; body component; food conversion ratio

**Corresponding author:** WEN Haishen. E-mail: wenhaishen@ouc.edu.cn