

文章编号:1000-0615(2004)01-0054-08

## 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

李大鹏<sup>1</sup>, 庄平<sup>2,3</sup>, 严安生<sup>1</sup>, 王明学<sup>1</sup>, 章龙珍<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090;  
3. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 荆州 434000)

**摘要:**研究了光照强度和周期, 水流速度, 养殖密度对史氏鲟摄食、生长和行为的影响。光照周期在一定的照度和时间范围内对史氏鲟稚鱼的摄食和生长没有显著影响。水流和养殖密度对史氏鲟的生长有着显著的影响。高水流速度和低养殖密度对史氏鲟的生长有着积极的影响, 生长效率、特定生长率和日增重都随流速的增大和养殖密度的降低而增大, 条件系数随密度的增大而减小, 而净增重随密度的增大而增大, 各密度组的史氏鲟稚鱼的生长离散没有加剧。在流速为  $0.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $0.18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  范围内, 稚鱼的生长效率(GE)与流速(V)之间存在着显著的正相关关系, 其关系式为  $GE = 46.106 + 142.04V$  ( $r = 0.5216$ )。特定生长率(SGR)与养殖密度(SD)之间存在着显著的负相关, 其关系式为  $SGR = 4.9728 - 0.4914SD$  ( $r = -0.6553$ )。3种环境因子对稚鱼的食欲未有明显影响, 但饵料转化率会随养殖密度的增大和流速的降低而显著性增大。史氏鲟稚鱼在照度  $100 \sim 1100 \text{ lx}$  之间的趋光率为  $49.55\%$ , 无显著的趋光性; 当亮区照度在  $13\ 000 \text{ lx}$  以上, 稚鱼  $100\%$  避光。处于全黑条件下的稚鱼的体色却普遍变浅, 呈灰白色; 而另两种光周期条件下的稚鱼体色深黑, 全光照条件下的稚鱼体色与自然光周期下的一样。在试验流速范围内, 水流刺激还将影响稚鱼的某些行为, 在流水环境中稚鱼喜聚集和逆水游动。

**关键词:**史氏鲟; 光照周期; 水流速度; 摄食; 行为; 生长

**中图分类号:** Q959.4; S965.215 **文献标识码:** A

## The influences of illumination, water current and stocking density on feeding, behavior and growth in juveniles *Acipenser schrenckii*

LI Da-peng<sup>1</sup>, ZHUANG Ping<sup>2,3</sup>, YAN An-sheng<sup>1</sup>, WANG Ming-xue<sup>1</sup>, ZHANG Long-zhen<sup>3</sup>

(1. Fisheries College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. East China Sea Fisheries Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China;

3. Yangtze River Fisheries Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Jingzhou 434000, China)

**Abstract:** This paper investigated the effects of photoperiod and light intensity, water current and stocking density on feeding, behavior and growth in juveniles Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii*. Sturgeon in each experimental treatment grew in allometry. There were no significant differences between the initial and final SV of the

收稿日期: 2002-12-27

资助项目: 国家自然科学基金(39870126)、国家“十五”重点科技攻关计划(2001BA505B0511)和中国水产科学研究院基金(96-01-04)资助

作者简介: 李大鹏(1975-), 男, 山东济南人, 博士研究生, 从事鱼类生态学研究。E-mail: fishldp@163.com

通讯作者: 庄平(1960-), 男, 湖南桃源人, 博士, 研究员, 博导, 主要从事鱼类生态学研究。Tel: 021-55530921, E-mail: pzhuang@online.sh.cn

treatments. The growth performances were significantly affected by water current and stocking density. Lower density and higher water velocity had positive influences on growth performances. The growth efficiency (GE), specific growth rate (SGR) and daily weight gain (DWG) significantly increased with the decrease of stocking density, and with the increase of water velocity. But condition factor decreased with the increase of density, whereas net yield (NY) was increasing with the increase the stocking densities. There was a significant inverse linear relation between stocking density (SD) and special growth rate (SGR) [ $SGR = 4.9728 - 0.4914 \times SD$  ( $r = -0.6553$ )]. And there was a significant positive linear relation between growth efficiency (GE) and water velocity (V) [ $GE = 46.106 + 142.04V$  ( $r = 0.5216$ )]. However, photoperiod didn't show significant effect on growth performances within the experimental illumination. Juveniles' body blanched in all dark condition, while the body color in both all light and natural photoperiod was the same as natural. These environmental factors didn't cause sturgeon's appetite depression. The feeding rate remained at the level of 5% body weight. But water current and stocking density had significant impacts on feed conversion ratio (FCR). This study demonstrated that there was no significant difference in illumination preference of juvenile Amur sturgeon when illumination ranged from 100 lx to 1 100 lx. However, juveniles were strongly photonegative when illumination was over 13 000 lx. Moreover, there are some relationships between water current and swimming behavior of juveniles. Under the moving water environment, fish usually congregate and swim in positive rheotaxis.

**Key words:** *Acipenser schrenckii*; photoperiod; water velocity; stocking density; feeding; behavior; growth

环境因子对鱼类的行为、摄食和生长起着重要的作用。光照被认为是引起鱼类代谢系统以适当方式反应的指导因子(directive factor),不同生态类型的鱼类对光照表现出不同的反应类型。许多研究者发现光照周期与鱼类的生长有着较密切的关系。有些鱼类在持续光照或延长光照周期的条件下生长加速<sup>[1-3]</sup>。光周期对生长的影响很可能是通过“光—垂体轴”来刺激垂体增加生长激素的合成和分泌而引起的<sup>[4]</sup>。同时,光照强度也会对鱼类的行为产生影响<sup>[5]</sup>。

水流能够刺激鱼类的感觉器官,使其产生相应的活动方式及反应机制,如逆水游泳。有些研究者认为水流刺激可对鱼类的新陈代谢系统发挥作用,影响鱼类的生长与发育。在较传统的理论中,一般认为水流是阻碍因子(masking factor)。但现在有些研究已经证明低速游泳可增加鱼类的生长率,促进蛋白质的合成效率<sup>[6,7]</sup>。

养殖密度作为一种环境胁迫因子能引起鱼类应激反应,改变鱼类内在生理状况,使养殖群体生长率和存活率下降,增大鱼病发生的可能性,使个体间生长差异增大<sup>[8-10]</sup>,有些研究者发现了与养殖密度相关的垂体—肾间腺轴和垂体—甲状腺轴的生理变化<sup>[11-13]</sup>。由于受到饲养空间大小的限制,还会导致仔鱼器官发育异常以及感觉和行为反应能力的丧失<sup>[14]</sup>。

鲟鱼类是硬骨鱼类中的原始类群,属软骨硬鳞类,是淡水中出现的最大鱼类,它在生物的进化史上有着重要的地位。史氏鲟(*Acipenser schrenckii*)隶属鲟形目、鲟科、鲟属,主要分布在我国的黑龙江,乌苏里江、松花江、嫩江也有分布。史氏鲟作为一种优良的淡水养殖新对象开发利用前景非常广阔。研究环境因子对鲟鱼类的影响可以从鱼类进化学的角度探究鱼类在进化变迁中与环境之间的关系,寻找有利于鱼类生长的环境因子以便指导生产实践。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料与条件

史氏鲟稚鱼均为人工繁殖培育所得,所选试验用鱼体格健壮。试验用养殖容器为平底圆形塑胶盆,直径为 0.6m,盆中心有一出水口。照度选择试验的设施为 3.10m × 2.20m 长方形水泥池,水深 0.6m。试验用水为经曝气后的地下深井水,储于蓄水池中,并保持稳定的蓄水池水位,池中溶氧水平为  $5.5 \pm 0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,水温保持在  $18.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ,氨氮含量未检出,pH 为  $7.5 \pm 0.1$ 。

### 1.2 试验方法

光照试验设计 史氏鲟稚鱼对照度选择试验的设计和试验方法参照文献<sup>[5]</sup>的方法。生长试验设计三种光照周期,分别为全黑(0L:24D)、全光

照(24L:0D)和自然光周期。全黑试验组(DP)保证光照强度为零;全光照试验组(LP)利用2根40W日光灯提供光照;自然光周期试验组(NP)直接暴露在自然光周期下。试验期间,全黑、全光照试验组的光照强度保持稳定,全黑组的光照强度一直为零;全光照组的光照强度则一直保持在720lx水平上;自然光周期试验组的光照强度随自然光的昼夜交替而发生变化,测得的最高光照强度在13:00左右产生,为540lx,夜晚19:30至次日5:00之间的照度为全黑。每一试验组放养12尾稚鱼。试验历时35d。

**水流试验设计** 试验采用流水系统,每一试验盆有独立的进水管,可以控制水量的大小,从而获得不同的试验盆中相异的流速。据此设计4个流速组 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 和 $V_4$ ,流速依次为 $0.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $0.18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。每组放养10尾稚鱼。为避免因水流量的不同而造成的溶氧水平的差异,利用增氧机保持各组溶氧水平基本一致。试验历时35d。

**养殖试验设计** 试验设计4个养殖密度处理组 $SD_1$ 、 $SD_2$ 、 $SD_3$ 和 $SD_4$ ,初始试验密度分别为17、50、83和183尾 $\cdot\text{m}^{-2}$ 或0.232、0.665、1.347和2.469 $\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。试验历时28d。所有试验均设平行组。试验期间,各试验组中的稚鱼处于适宜的生长条件下<sup>[15,16]</sup>,各组试验条件基本一致,每天投饵6次,并且记录投饵量,每隔7d测量一次生长数据。

### 1.3 数据统计与参数计算

试验数据通过 Statistica (Version 6.0) 统计软件(StatSoft, Inc.)进行处理分析,利用方差分析(ANOVA)来检验环境因子对生长影响的显著性,

并对各变量进行回归统计分析, $P < 0.05$ 为显著性水平。在分析生长与环境因子之间的相关关系时,稚鱼的生长情况用SGR或GE来反映,每7d测量1次各试验组SGR或GE,将所得数据与此期间的环境因子均值相对应,据此数据统计两者间的相关性。参数计算公式:

$$\text{日增重 DWG} = (W_2 - W_1) / [n \times (t_2 - t_1)] \quad (1)$$

$$\text{净增重 NY} = (W_2/m_2 - W_1/m_1) / (t_2 - t_1) \quad (2)$$

特定生长率

$$\text{SGR} = [(\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)] \times 100 \quad (3)$$

$$\text{饵料转化率 FCR} = F / (W_2 - W_1) \quad (4)$$

$$\text{生长效率 GE} = [(W_2 - W_1) / F] \times 100 \quad (5)$$

$$\text{大小变动系数 SV} = 100 \text{ SD} / X \quad (6)$$

$$\text{条件系数 CF} = W / L_3 \quad (7)$$

$W_1$ 、 $W_2$ 为时间 $t_1$ 、 $t_2$ 时的体重(g), $W$ 为体重(kg), $L$ 为体长(m), $n$ 为鱼尾数, $F$ 为总投饵量(g), $a$ 、 $b$ 为常数, $\text{SD}$ 为标准差, $X$ 为平均体重(g)。

## 2 结果

### 2.1 存活率、表观生长情况

光照周期和水流对史氏鲟稚鱼的存活没有影响,各组存活率均为100%;养殖密度对存活率也无显著性影响,各试验组的存活率几乎为100%,只是 $SD_4$ 组在试验中死亡一尾。

暴露在3种光周期下的史氏鲟稚鱼在生长虽表现出一定的差异性,但并无显著性差异(表1)。但是处于全黑条件下的稚鱼的体色却普遍变浅,呈灰白色;而另两种光周期条件下的稚鱼体色深黑,全光照条件下的稚鱼体色与自然光周期下的一样。

表1 三种光周期下试验组中史氏鲟稚鱼的生长状况(平均值 $\pm$ 标准差)

Tab.1 The growth performances of juveniles Amur sturgeon in three photoperiod treatments (means  $\pm$  se)

	全黑 all dark	全光照 all light	自然光周期 natural photoperiod
初始体重(g) initial weight	22.92 $\pm$ 7.98	23.08 $\pm$ 7.94	22.83 $\pm$ 8.27
最终体重(g) final weight	63.91 $\pm$ 17.12	67.28 $\pm$ 15.09	62.84 $\pm$ 17.02
NY ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )	46.84	50.51	45.72
SGR	2.93 $\pm$ 0.79	3.06 $\pm$ 0.91	2.89 $\pm$ 0.84
DWG ( $\text{g}\cdot\text{n}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )	1.17	1.26	1.14
生长效率(%) growth efficiency	81.96	82.64	78.13

生活在流速为  $0.18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  试验组中的史氏鲟稚鱼的最终体重显著地高于生活在  $0.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  中的稚鱼, 前者的 SGR 是后者的 1.3 倍, NY 为后者的 1.44 倍, 前者的生长效率显著地高于后者(表 2)。但是,  $0.09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $0.12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  流速试验组中的史氏鲟稚鱼生长基本一致, 并且与  $0.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $0.18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  流速试验组的史氏鲟生长都未

表现出显著差异。对数据做相关统计后发现, 史氏鲟稚鱼的生长效率(GE)与流速(V)存在一定的相关关系(图 1), 其回归曲线以直线较优:  $GE = 46.106 + 142.04V$  ( $r = 0.5216$ ), 经过相关系数的  $t$  检验, 差异显著( $P < 0.05$ ), 即稚鱼的生长效率与流速间的相关关系显著, 也就是生长效率与流速的回归关系已达到了显著水平( $P < 0.05$ )。

表 2 不同水流刺激下的史氏鲟稚鱼生长状况(均值  $\pm$  标准差)

Tab.2 The growth performances of juveniles *Acipenser schrenckii* in different current treatments (means  $\pm$  se)

	水流处理组			
	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$
初始体重(g) initial weight	$46.5 \pm 9.7^c$	$46.1 \pm 10.6^a$	$46.4 \pm 7.8^a$	$46.3 \pm 12.8^a$
最终体重(g) final weight	$96.9 \pm 16.5^d$	$106.4 \pm 19.8^{ab}$	$107.3 \pm 18.7^{ab}$	$119.1 \pm 27.9^b$
生长效率(%) growth efficiency	$53.8 \pm 10.7^a$	$61.5 \pm 10.7^{ab}$	$62.3 \pm 15.4^{ab}$	$71.4 \pm 7.2^b$
NY ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )	$48.0 \pm 13.0^a$	$57.5 \pm 14.8^a$	$58.0 \pm 17.0^a$	$69.3 \pm 21.8^a$
SGR (%)	$2.10 \pm 0.88^a$	$2.39 \pm 0.88^a$	$2.39 \pm 0.94^a$	$2.70 \pm 0.68^a$
DWG ( $\text{g}\cdot\text{n}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )	$1.44 \pm 0.39^a$	$1.72 \pm 0.44^a$	$1.74 \pm 0.51^a$	$2.08 \pm 0.65^a$

注: 同一行中参数上方字母相同代表有显著性差异( $P < 0.05$ ), 不同则无显著性差异, 下同

Notes: The different letters on the parameters in one row stand for significant difference ( $P < 0.05$ ); otherwise, the same ones stand for no significant difference, the same below

养殖密度对史氏鲟的生长有显著性的影响(表 3)。其最终体重、SGR、DWG、GE 都随着养殖密度的增大而显著性降低, NY 却显著性增大。虽然高密度组的生长效率显著地低于低密度组的生长效率, 但是高密度组的 NY 却是最高。特

定生长率(SGR)与养殖密度(SD)之间存在着显著的负相关, 其关系式为  $SGR = 4.9728 - 0.4914SD$  ( $r = -0.6553$ ) (图 2)。各试验组的 SV 在试验前后未发生显著性变化, 生长离散并未因密度的增大而加剧, 反而最终 SV 比初始 SV 还略小。

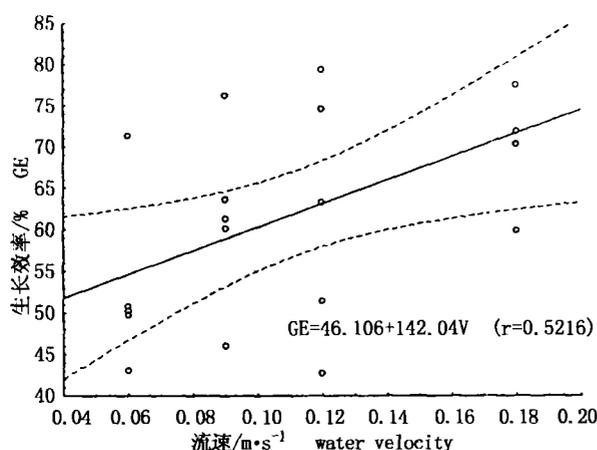


图 1 史氏鲟稚鱼的生长效率与流速之间的相关关系

Fig.1 The curve of relationship between water velocity and GE *Acipenser schrenckii*

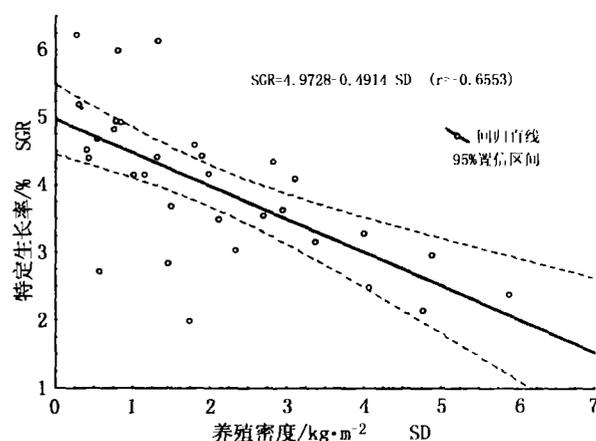


图 2 史氏鲟稚鱼的特定生长率与养殖密度间的相关关系

Fig.2 The curve of relationship between SGR and stocking density *Acipenser schrenckii*

表3 四种养殖密度下史氏鲟稚鱼的生长状况(均值±标准差)

Tab.3 The growth performances of juvenile *Acipenser schrenckii* in the four stocking densities (means ± se)

项目 item	试验组 experiment treatment			
	SD <sub>1</sub>	SD <sub>2</sub>	SD <sub>3</sub>	SD <sub>4</sub>
初始体重 initial weight(g)	13.9 ± 3.9 <sup>a</sup>	13.3 ± 5.1 <sup>a</sup>	12.9 ± 6.3 <sup>a</sup>	13.3 ± 7.3 <sup>a</sup>
初始 SV initial SV(%)	27.3	38.3	48.5	53.7
最终体重 final weight(g)	53.8 ± 10.8 <sup>a</sup>	44.4 ± 16.8 <sup>ab</sup>	38.1 ± 18.1 <sup>b</sup>	31.9 ± 16.0 <sup>c</sup>
最终 SV final SV(%)	20.0	37.9	47.2	50.1
GE(%)	93.90 ± 0.33 <sup>a</sup>	79.84 ± 4.94 <sup>ab</sup>	68.14 ± 3.93 <sup>b</sup>	53.16 ± 3.39 <sup>c</sup>
SGR(%)	4.84 ± 0.33 <sup>a</sup>	4.31 ± 0.08 <sup>a</sup>	3.82 ± 0.02 <sup>b</sup>	3.04 ± 0.23 <sup>b</sup>
DWG(g·n <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	1.43 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.12 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.90 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.15 <sup>c</sup>
NY(g·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	24.3 ± 9.1 <sup>a</sup>	55.5 ± 12.3 <sup>b</sup>	80.8 ± 15.0 <sup>c</sup>	118.3 ± 25.1 <sup>d</sup>
存活率 survival(%)	100	100	100	98.2

## 2.2 摄食量,食物转化率和条件系数

光照周期、水流刺激和养殖密度都对史氏鲟的摄食量没有显著影响;并且它们对史氏鲟的食欲也未有影响,各组中的稚鱼在很短的时间内能吃完所投饵料,其摄食率约为体重的5%。除光照周期外,水流和养殖密度均对FCR有显著性影响。FCR随着流速的降低和养殖密度的增加而增大(表4)。

对试验前后的条件系数进行 student-t 检验发现,光照周期的条件系数较试验前有显著增加,但各组间无显著性差异;水流处理组的条件系数试验前后无显著差异,仍维持各组的变化趋势;养殖密度对条件系数的影响非常显著,SD<sub>1</sub>和SD<sub>2</sub>的最终条件系数比初期有显著性增加,SD<sub>3</sub>和SD<sub>4</sub>的最终条件系数则显著性下降,SD<sub>1</sub>和SD<sub>2</sub>的最终条件系数显著高于SD<sub>3</sub>和SD<sub>4</sub>。

表4 光照周期、水流和养殖密度对史氏鲟摄食、FCR和条件系数的影响

Tab.4 Effect of photoperiod, water current and stocking density on feeding and condition factor in juvenile *Acipenser schrenckii*

	光照周期处理组 photoperiod treatments			水流处理组 current treatments				养殖密度处理组 stocking density treatments			
	DP	LP	NP	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	SD <sub>1</sub>	SD <sub>2</sub>	SD <sub>3</sub>	SD <sub>4</sub>
初始条件系数 initial condition factor	3.33	3.32	3.42	3.56	3.71	3.71	3.49	3.29	3.39	3.55	3.58
最终条件系数 final condition factor	3.87	3.84	3.79	3.53	3.59	3.75	3.55	3.61 <sup>a</sup>	3.65 <sup>a</sup>	3.39 <sup>b</sup>	3.02 <sup>c</sup>
总摄食量(g) total food consumption	599	642	616	1050	1156	1170	1195	210	472	852	1536
食物转化率 FCR	1.22 ± 0.23 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.16 <sup>a</sup>	1.28 ± 0.21 <sup>a</sup>	1.94 ± 0.33 <sup>a</sup>	1.67 ± 0.31 <sup>ab</sup>	1.69 ± 0.45 <sup>ab</sup>	1.41 ± 0.16 <sup>bc</sup>	1.07 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.26 ± 0.08 <sup>ab</sup>	1.47 ± 0.08 <sup>bc</sup>	1.89 ± 0.12 <sup>c</sup>

## 2.3 行为

稚鱼对光照强度的选择试验结果表明,照度在100~1100lx范围内,稚鱼的趋光率为49.55%,在此照度范围内无显著的趋光性。当亮区照度达到13000lx时,稚鱼却100%避光。试验期间,突然开灯(两盏40W日光灯)可使处于黑暗条件下的稚鱼产生远离光源的逃匿下潜行为,但适应后其活动又恢复正常。

水流的大小直接影响了史氏鲟逆水游泳的水平,在0.06 m·s<sup>-1</sup>的水流环境中,史氏鲟呈分散的活动状态,无统一的游泳方向;而0.18 m·s<sup>-1</sup>环境

中的鱼呈统一方向的集体逆水游泳。从观察上来看,养殖密度对史氏鲟的活动行为也有一定的影响。高养殖密度中的稚鱼相遇频率要高于低密度环境中的频率,鱼类活动呈现一种比较“焦急”的状态,彼此相互碰撞与避让;而低密度中的鱼的活动相对平稳,少有碰撞,“情绪”看似比较平和。

## 3 讨论

### 3.1 对摄食的影响

环境因子对生长的影响可能是通过直接或间接的作用对鱼类的摄食产生影响,影响能量收支

平衡,增加或减少用于生长的能量分配<sup>[17]</sup>。Clark等<sup>[18,19]</sup>认为光周期对稚鱼生长的直接影响是降低或提高其食欲。Metcalfe等<sup>[20]</sup>表明夏季过后(日照时间逐渐变短),大西洋鲑的食欲下降,摄食量减少,以致生长减慢。Clarke和Shelbourn<sup>[21]</sup>发现养殖在延长光周期环境中银大麻哈鱼(*Oncorhynchus kisutch*)的生长比在自然光周期中快4倍。在本试验中,光照周期各组的摄食量虽有差异,但总摄食量无显著性差异。由此推断,减少光照时间或完全无光照在短期内对史氏鲟稚鱼的摄食不存在显著性的影响。既然总摄食量未发生显著性变化,FCR也未有显著性差异,稚鱼的生长也就不会有显著性差异。并且,光照选择试验中史氏鲟对弱光梯度没有反应,也说明在此光照范围内光照对鱼的生长代谢等不会有显著的影响。

食饵消耗量随养殖密度的增大而减少可能是直接引起增长率下降的原因<sup>[22]</sup>。Marchand和Boisclair<sup>[23]</sup>则认为由于养殖密度过大而引起的竞争通过使鱼类活动耗能增加和饵料消耗率下降而对鱼类的生长产生消极的影响。Davidson和Goldspink<sup>[6]</sup>发现游泳可使虹鳟的饵料利用率提高并促进生长。在试验中各处理组的摄食率和总摄食量未因环境因子强度的改变而发生变化,但FCR却有显著性差异。这说明低养殖密度和一定的水流刺激可提高鱼类对食物的利用效率以用于生长。然而,Wedemeyer<sup>[24]</sup>报道,在高养殖密度环境下虹鳟(*Salmo gairdneri*)仍能保持生理方面正常的摄食行为;认为饵料吸收率的降低不足以解释高密度组中的鱼生长减慢的现象。不过,多数的研究表明FCR确实会随养殖密度的增加而增加<sup>[25,26]</sup>。

鱼类代谢率的增加可能会降低鱼类的增长率<sup>[27]</sup>。鱼类代谢率会随游泳速度的增加而增加,游泳会增加能量的消耗水平以对抗急流,这将降低增长率和增加饲料的消耗量。研究游泳对鱼类生长的影响都是将鱼类放置在流水槽中,通过调节水流速度来刺激鱼类以控制其游泳水平。因此可将水流刺激对生长的影响归到游泳对生长影响的研究中。Marchand和Boisclair<sup>[23]</sup>通过研究美洲红点鲑(*Salvelinus fontinalis*)仔鱼养殖密度对能量分配模式的影响,支持活动消耗的增加和摄食量的下降对生长有消极影响的假说。但Houlihan

等<sup>[7]</sup>证明在未引起疲劳的范围内持续游泳的红鲟的生长率是对照组的2倍,生长率的增加缘于蛋白合成率的相应提高;一旦停止游泳其合成率将降至对照组水平。本次试验的结果表明水流对史氏鲟生长有一定的促进作用;养殖密度对生长有着消极的作用,但其对生长的影响却不是通过降低摄食率来实现的。运动和应激应该在水流和养殖密度试验中起着重要作用,在适宜范围内水流势必会增加活动耗能水平但同时也提高了食物的转化效率,使用于生长的能量分配增加;而高养殖密度对鱼类的应激作用要远远大于活动对生长的促进作用。

### 3.2 对行为的影响

趋光性试验说明史氏鲟稚鱼对栖息地光照的选择在不同照度范围内的表现是不一样的,但可以肯定史氏鲟在此发育阶段内是避强光的。一般认为,行为是生物长期进化的结果,鱼类所选择的生活条件及行为也是其长期进化的结果。史氏鲟稚鱼为底层鱼类,主要分布在黑龙江流域中,生活环境中的江水比较混浊,原栖息地光线较弱。所以,这也许决定了在一定范围内史氏鲟对光照变化的反应不是很强烈;但是,当光线照度突然变强或远远超过其原栖息地的照度时,光照环境刺激会致使其产生回避的行为。但照度的突然变化会给鱼类施加短暂的应激并增加耗氧率<sup>[28-30]</sup>,这与试验中观察到的现象比较类似。

庄平<sup>[5]</sup>的研究表明在250~1500lx范围内,史氏鲟在60日龄以前的趋光性是不断变化的,在60日龄至120日龄之间都避光,负趋光行为维持稳定;其趋光行为变化是先趋光后避光。本试验的材料鱼为150日龄以上,其趋光性结果与120日龄以前有所不同,但在强光下的趋避性的趋势是一致的。

### 3.3 鱼类的社会性对生长的影响

群居作用的互利性往往表现在一些集群性鱼类中,将集群性鱼分隔饲养,往往可以看到被分隔的个体产生古怪的不正常的行为,食欲下降,生长减慢;当集群生活在一起时,行动活泼,摄食积极,生长加速。这是因为集群鱼类用于警戒、寻找食物的时间相对要少,而有较多时间用于摄食。Honer等<sup>[31]</sup>就曾报道养殖在密度为 $7.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 中的罗非鱼(*Sarotherodon galilaeus*)生长速率快于养殖在密度为 $3.75\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 中的鱼。这被认为是

行为的相互作用减少而引起低养殖密度中的鱼的生长减慢。然而, Suresh 和 Lin<sup>[13]</sup>却发现生活在低养殖密度( $3.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )环境中的罗非鱼生长显著快于高密度( $7.5$  和  $15.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )环境中的鱼。史氏鲟非喜集群性鱼类, 虽其在仔鱼期极喜集群, 但稚鱼的集群性渐弱。所以在试验中也不会出现低密度组中稚鱼生长减慢的现象。

### 3.4 水体环境对鱼类生长的影响

Fagerlund 等<sup>[10]</sup>和 Schreck 等<sup>[12]</sup>发现 1 龄银大麻哈鱼的身体随密度的增大而出现小型化趋势。但在本试验中, 各试验组的 SV 在试验前后未发生显著性变化, 生长离散并未因密度的增大而加剧, 反而最终 SV 比初始 SV 还略小。这可能是在试验期间提供了充足的饵料, 未引起种内对食饵的强烈竞争; 也可能因为试验采取流水系统, 各试验组均保持了良好的水质, 溶氧充足, 水温适宜, 未检测出氨氮含量, 致使高密度组的种内竞争及排泄因子对生长和存活的不利影响被良好的水体环境所减弱。Maske<sup>[32]</sup>发现水族箱大小对鱼类生长并非起关键作用, 水体的可利用量才是影响其生长的重要因子。Poston 和 Williams<sup>[33]</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的影响。Blackburn 和 Clarke<sup>[34]</sup>也认为充足的溶氧会降低其所设计的试验养殖密度的负载对 2 龄银鲟生长的抑制作用。但在本试验中, 即使各密度组处于基本一致的良好试验条件下, 其生长还是表现出了显著性的差异。所以, 当养殖密度不足以引起种群内部激烈竞争时, 提供良好的水质条件, 也许会减少负载对种群生长的影响, 使其保持较稳定的生长率。

## 4 结论

养殖密度对史氏鲟影响的强度要大于另两种环境因子。微水流、低养殖密度有利于史氏鲟的生长, 强光照不是史氏鲟所适宜的生活条件, 短期暴露在全光照和全黑光照周期下对史氏鲟的生长不会造成不良影响。

### 参考文献:

- [1] Higgins P J, Talbot C. Growth and feeding in juvenile Atlantic salmon[A]. In: Cowey C B, Mackie A M, Bell J G. Nutrition and feeding in fish[M]. London: Academic Press, 1985. 243 - 264.
- [2] Hogman W J. Annulus formation on scales of four species of coregonids reared under artificial conditions[J]. J Fish Res Board Can, 1968, 25: 2111 - 2112.
- [3] Swift D E. Seasonal variation in the growth rate, thyroid gland activity and food reserves of brown trout (*Salmo trutta* L.)[J]. J Exp Biol, 1995, 32: 751 - 764.
- [4] Bjornsson B T, Thorarensen H, Hirano T, et al. Photoperiod and temperature affect plasma growth hormone levels, growth condition factor and hypoosmoregulatory ability of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) during parr-smolt transformation[J]. Aquac, 1989, 82: 77 - 91.
- [5] Zhuang P. Ontogenetic behavior of sturgeons (*Acipenseridae*) with comments on evolutionary and practical significance[D]. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 1999, 47 - 64. [庄平. 鲟科鱼类个体发育行为生态学及其在进化与实践上的意义[D]. 中国科学院水生生物研究所, 1999, 47 - 64.]
- [6] Davidson W A, Goldspink G. The effect of prolonged exercise on the lateral musculature of the rainbow trout[J]. J Exp Biol, 1977, 70: 1 - 12.
- [7] Houlihan D F, Laurent P. Effects of exercise training on the performance, growth, and protein turnover of rainbow trout (*Salmo gairdneri*)[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1987, 44: 1614 - 1621.
- [8] Andrews J W, Knight L H, Page J W, et al. Interactions of stocking density and water turnover on growth and food conversion of channel catfish reared in intensively stocked tanks[J]. Prog Fish Cult, 1971, 33: 197 - 203.
- [9] Allen K O. Effects of stocking density and water exchange rate on growth and survival of channel catfish *Ictalurus punctatus* in circular tanks[J]. Aquac, 1974, 4: 29 - 39.
- [10] Fagerlund U H M, McBride J R, Stone E T. Stress-related effects of hatchery rearing density on coho salmon[J]. Trans Am Fish Soc, 1981, 110: 644 - 649.
- [11] Leatherland J F, Cho C Y. Effect of rearing density on thyroid and interrenal gland activity and plasma and hepatic metabolite levels in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson[J]. J Fish Biol, 1985, 27: 583 - 592.
- [12] 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]. Aquac, 1985, 45: 345 - 58.
- [13] Suresh A V, Lin C K. Effect of stocking density on water quality and production of red tilapia in a recirculated water system[J]. Aquac Engineering, 1992, 11: 1 - 22.
- [14] Yin M C. Feeding and growth of the larva stage of fish[J]. J Fish China, 1995, 19(4): 335 - 342. [殷名称. 鱼类仔鱼期的摄食和生长[J]. 水产学报, 1995, 19(4): 335 - 342.]
- [15] Zhuang P, Zhang L Z, Zhang T, et al. Domestication of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) in the central part of China and its biology: I. Growth characteristics of young-of-the-year[J]. Chinese J Freshwater Fish, 1998, 28(4): 6 - 9. [庄平, 章龙珍, 张涛, 等. 史氏鲟的南移驯养及生物学的研究: I. 1

- 龄鱼的生长特性[J]. 淡水渔业, 1998, 28(4): 6-9 ]
- [16] Zhuang P, Zhang L Z, Zhang T, et al. Domestication of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) in the central part of China and its biology: III. Initial feeding of larvae[J]. Chinese J Freshwater Fish, 1998, 28(5): 3-6. [庄平, 张涛, 章龙珍, 等. 史氏鲟的南移驯养及生物学的研究: III. 仔鱼的开口摄食[J]. 淡水渔业, 1998, 28(5): 3-6.]
- [17] Schreck C B. Stress and rearing of salmonids[J]. Aquac, 1982, 28: 241-249.
- [18] Clarke W C, Shelbourn J E, Brett J R. Effect of artificial photoperiod cycles, temperature and salinity on growth and smolting in underyearling coho (*O. kisutch*), chinook (*O. tshawytscha*) and sockeye (*Oncorhynchus nerka*) salmon[J]. Aquac, 1981, 22: 105-116.
- [19] Clarke W C, Shelbourn J E, Brett J R. Growth and adaptation to seawater in underyearling sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and coho (*O. kisutch*) salmon subjected to regimes of constant or changing temperature and daylength[J]. Can J Zool, 1978, 56: 2413-2421.
- [20] Metcalfe N, Huntingford F A, Thorpe J E. Seasonal changes in feeding motivation of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Can J Zool, 1986, 64: 2439-2446
- [21] Clark W C, Shelbourn J E. Delayed photoperiod produces more uniform growth and greater seawater adaptability in underyearling coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) [J]. Aquac, 1986, 56: 287-299.
- [22] Vijayan M M, Leatherland J F. Effect of stocking density on the growth and stress-response in Brook Charr, *Salvelinus fontinalis* [J]. Aquac, 1988, 75: 159-170.
- [23] Marchand F, Boisclair D. Influence of fish density on the energy allocation pattern of juvenile brook trout (*Salvelinus fontinalis*) [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1998, 55: 796-805.
- [24] Wedemeyer G A. Physiological response of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to handling and crowding stress in intensive fish culture[J]. J Fish Res Board Can, 1976, 33: 2699-2702.
- [25] Papoutsoglou S E, Papaparaskaeva-Papoutsoglou E, Alexis M N. Effect of density on growth rate and production of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) over a full rearing period[J]. Aquac, 1987, 66: 9-17.
- [26] Trzebiatowski E, Trzebiatowski Z, Tomec M, et al. A comparison of the growth performance of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in fresh and brackish water in Yugoslavia[J]. Aquac, 1989, 77: 1-10.
- [27] Rice J A. Bioenergetic modeling approaches to evaluation of stress in fishes[J]. Ame Fish Soci Symp, 1990, 8: 80-92.
- [28] Pouliot T, de la Noüe J. Apparent digestibility in rainbow trout (*Salmo gairdneri*): influence of hypoxia[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1988, 45: 2003-2009.
- [29] Quick I A, Laming P R. Relationship between ECG, EEG and SPS responses during arousal in the goldfish (*Carassius auratus*) [J]. Comp Biochem Physiol, 1990, 95A: 459-471.
- [30] Laming P R, Bullock T H. Changes in early acoustic-evoked potentials by mildly arousing priming stimuli in carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Comp Biochem Physiol, 1991, 99A: 567-575.
- [31] Honer G, Rosenthal H, Krüner G. Growth of juvenile *Sarotherodon galilaeus* in laboratory aquaria [J]. J Aquat Trop, 1987, 2: 59-71.
- [32] Meske C. Fish aquaculture [M]. Pergamon Press, Oxford, 1985, 237.
- [33] Poston H A, Williams R C. Interrelations of oxygen concentration, fish density, and performance of Atlantic salmon in an ozonated water reuse system [J]. Prog Fish Cult, 1988, 50: 69-76.
- [34] Blackburn J, Clarke W C. Lack of density effect on growth and smolt quality in zero-age coho salmon [J]. Aquac Engineering, 1990, 9: 121-130.