

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2012.00799

温度对施氏鲟幼鱼摄食、生长和肠道消化酶活性的影响

白海文^{1,2}, 张颖¹, 李雪^{1,2}, 孙大江¹

1. 中国水产科学研究院 黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070;
2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306

摘要: 研究不同养殖温度(15℃、18℃、21℃、24℃、27℃)对施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)幼鱼摄食、生长和肠道消化酶活性的影响。结果表明, 在 15~24℃范围内, 幼鱼的特定增长率(SGR)和相对增重率(RWG)随温度的升高而显著增加($P<0.05$), 均在 24℃时达到最高值; 随着温度升高, 其饵料系数(FC)先降低后升高($P<0.05$), 且在 24℃时达到最小值; 此外, 摄食率(FR)随着温度的升高而显著升高($P<0.05$), 其不同温度组的生长速度由高到低依次为 24℃、21℃、27℃、18℃、15℃组。温度对幼鱼前肠蛋白酶活性影响显著, 24℃组和 27℃组前肠的蛋白酶活性显著低于 15℃组 ($P<0.05$), 而温度对中肠和后肠蛋白酶活性则无显著性影响($P>0.05$); 温度对幼鱼肠道脂肪酶活性无显著性影响($P>0.05$), 各温度组前肠脂肪酶活性均高于中肠和后肠; 温度对幼鱼肠道淀粉酶活性无显著性影响($P>0.05$)。综合以上结果认为, 施氏鲟幼鱼快速生长的适宜温度范围为 21~24℃。在此温度范围内施氏鲟幼鱼可获得最大生长率和存活率。

关键词: 施氏鲟; 温度; 摄食; 生长; 消化酶

中图分类号: S917; Q48

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2012)05-0799-07

水温作为影响鱼类摄食、生长和消化的重要生态因子^[1], 对鱼类的代谢反应速率起控制作用, 影响其生理生化功能, 如摄食量^[2]、代谢率^[3]和蛋白质的合成率^[4]等, 从而影响其活动和生长。

施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)作为中国重要的鲟类养殖种类之一, 具有生长速度快、抗病力及适应力强、肉质鲜美等优点, 深受养殖户的欢迎。20世纪末, 施氏鲟的养殖量约占中国鲟养殖总量的一半以上^[5]。至 2006 年中国已成为世界最大的鲟养殖国, 目前鲟养殖总量达 21 000 t 左右。近年来, 随着施氏鲟在全国范围内的推广和养殖量的增加, 其养殖温度范围也由最初的低温冷水性养殖扩展到现在的 15~30℃养殖, 而养殖温度的变化对其生长和消化等生理功能会造成重要的影响。目前, 国内外学者对鲟消化酶的研究较多, 主

要包括对鲟消化酶的活性和分布^[6-9]、早期发育时期消化酶的组织化学^[10]及饥饿和恢复喂食对消化酶的影响^[11-12]等方面的研究, 有关温度对其摄食、生长和消化影响的研究报道较少。本研究通过温度控制的梯度实验, 确定施氏鲟幼鱼摄食、生长和消化的最适温度范围, 从而为鲟的精准养殖提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼及饲养

施氏鲟幼鱼初始体长(106.57±10.48) mm, 质量(5.58±0.38) g, 2010年8月13日采自中国水产科学研究院鲟鱼繁育技术工程中心。实验水族箱为玻璃缸, 规格为 120 cm×70 cm×70 cm, 水深为 50 cm。各实验水族箱内的水温由控温仪控

收稿日期: 2011-11-03; 修订日期: 2011-12-07.

基金项目: 农业部公益性行业科研专项(201003055); 黑龙江水产研究所基本科研项目(2008HSYZX-SY-04).

作者简介: 白海文(1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为鱼类繁殖生理学. E-mail: wenxue_1987@126.com

通信作者: 孙大江, 研究员. E-mail: sundajiang0451@163.com.

制, 温度波动 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$, 水体不间断循环过滤, 保证水质清洁及各水层水温一致, 利用增氧机保证各组的溶氧水平一致, 并维持溶氧在 6~9 mg/L, pH 7.5 \pm 0.5; 每 3 天换水 1 次, 换水量为总养殖水体的 1/3, 换水前后温差小于 1 $^{\circ}\text{C}$ 。自然光照, 每天吸污 3 次。实验期间投喂鲟鱼鱼苗配合饲料, 每天投喂 3 次, 日投喂量为体质量的 2%~4%^[13]。

1.2 方法

1.2.1 实验设计 实验设 5 个温度组, 水温分别为 15 $^{\circ}\text{C}$ 、18 $^{\circ}\text{C}$ 、21 $^{\circ}\text{C}$ 、24 $^{\circ}\text{C}$ 和 27 $^{\circ}\text{C}$, 随机挑选鱼体健康、规格相同的鲟幼鱼, 每温度组 3 个平行, 每个平行分别放养 30 尾施氏鲟幼鱼, 各组实验鱼在实验鱼缸中适应 7 d 后, 由暂养水温(18 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 开始, 按每天 2 $^{\circ}\text{C}$ 的速率升/降温至实验温度开始正式实验, 饲养 15 d 采取肠道组织样本进行消化酶活性测定。摄食量采用室内直接测定法^[14]测定, 足量喂食 1 周, 及时取出残余饲料, 70 $^{\circ}\text{C}$ 烘干 12 h 称重, 获得实际摄食量。实验期间, 每 7 d 记录施氏鲟的体质量和体长数据, 实验时间为 35 d。

1.2.2 酶液的制备 采样前 24 h 停食, 各实验缸随机取幼鱼 5 尾。将实验鱼置于冰盘上活体解剖, 取出全部肠道并分为前肠、中肠和后肠 3 段, 用预冷生理盐水快速冲洗, 并用脱脂棉小心揩干, 放入-20 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存。测定酶活性前将肠组织取出, 分别称重, 按质量体积比 1:9(g:mL)加入 0.65% 预冷的生理盐水, 用高速组织匀浆机在冰浴中匀浆, 所得匀浆液在 4 $^{\circ}\text{C}$ 下以 3 500 r/min 离心 10 min, 取组织匀浆上清液, 置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存待用, 8 h 内测定完毕。

1.2.3 酶活性测定 样品蛋白浓度及淀粉酶和脂肪酶活性均采用南京建成生物工程研究所的试剂盒进行测定。

(1) 蛋白浓度的测定 所有组织的蛋白浓度均采用考马斯亮兰法测定。

(2) 蛋白酶(protease)活性测定 应用福林-酚试剂法^[15], 在 pH 7.5、底物酪蛋白质量浓度为 1.0 mg/mL 条件下, 37 $^{\circ}\text{C}$ 温浴 15 min, 以酶液 1 min 水解酪蛋白产生 1 μg 酪氨酸作为 1 个酶活性单位。

(3) 淀粉酶(amylase)活性测定 其活性单位定义为组织中每毫克蛋白在 37 $^{\circ}\text{C}$ 最适 pH 与底物作用 30 min, 水解 10 mg 淀粉定义为 1 个淀粉酶活性单位。

(4) 脂肪酶(lipase)活性测定 其活性单位定义为在 37 $^{\circ}\text{C}$ 最适 pH 条件下, 每克组织在其反应体系中与底物反应 1 min, 每消耗 1 μmol 底物为 1 个酶活性单位。

1.3 指标测定

根据以下公式分别计算了特定生长率(SGR)、相对增重率(RWG)、摄食率(FR)、饵料系数(FC)和存活率(SR)。

$$\text{SGR} = 100(\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1);$$

$$\text{RWG} = 100(W_2 - W_1) / W_1;$$

$$\text{FR} = 100F / [(t_2 - t_1) \times (W_2 + W_1) / 2];$$

$$\text{FC} = F / [n(W_2 - W_1)].$$

$$\text{SR} = 100 \times (N_t - N_0) / N_0$$

式中: W_1 和 W_2 为时间 t_1 和 t_2 时的平均体质量(g); n 为实验鱼数量; F 为 $t_2 \sim t_1$ 天食物总摄入量(g); N_t 和 N_0 分别为实验结束和实验开始鱼尾数。

1.4 数据分析

实验数据通过 Microsoft Excel 和 SPSS Statistics 17.0 统计软件进行分析, 描述性统计值使用平均值 \pm 标准差($\bar{x} \pm \text{SD}$)表示, 差异显著度为 0.05。

2 结果与分析

2.1 温度对施氏鲟幼鱼生长和摄食的影响

施氏鲟幼鱼的 SGR 和 RWG 在 15~24 $^{\circ}\text{C}$ 范围内随着温度升高显著增加($P < 0.05$), 其中 27 $^{\circ}\text{C}$ 组的 SGR 和 RWG 虽低于 24 $^{\circ}\text{C}$ 组和 21 $^{\circ}\text{C}$ 组, 但高于 15 $^{\circ}\text{C}$ 组和 18 $^{\circ}\text{C}$ 组(表 1)。随着温度升高, FC 先降低后显著升高, 在 24 $^{\circ}\text{C}$ 组达到最小值。FR 随着温度的升高而显著升高($P < 0.05$)。由施氏鲟幼鱼体质量生长拟合曲线(图 1)可以看出, 实验期间各温度组幼鱼体质量均呈指数增长, 其体质量增长速度由高到低依次为 24 $^{\circ}\text{C}$ 、21 $^{\circ}\text{C}$ 、27 $^{\circ}\text{C}$ 、18 $^{\circ}\text{C}$ 和 15 $^{\circ}\text{C}$ 。其中 24 $^{\circ}\text{C}$ 组的 RWG 显著高于其他温度处理组($P < 0.05$), SGR 和存活率(SR)最高, FCR 最低。

利用二次方程拟合 SGR 和温度(T)的回归曲线(图 2)得出回归方程: $\text{SGR} = -0.0346T^2 + 1.6447T -$

表 1 温度对施氏鲟幼鱼生长的影响
Tab. 1 Effect of temperature on growth performance of juvenile *Acipenser schrenckii*

参数 parameter	15℃	18℃	21℃	24℃	27℃
初始质量/g initial weight	5.61±0.24	6.08±0.15	5.18±0.03	5.15±0.11	5.48±0.17
终末质量/g final weight	16.76±1.54 ^a	19.93±1.92 ^b	32.37±0.57 ^c	37.79±0.58 ^c	32.93±1.62 ^d
特定生长率/(%·d ⁻¹) SGR	2.84±0.23 ^a	3.38±0.24 ^b	5.33±0.22 ^d	5.41±0.18 ^d	4.71±0.13 ^c
相对增重率/% RWG	198.73±2.56 ^a	227.85±3.12 ^b	524.91±1.43 ^d	634.53±0.86 ^c	500.98±3.21 ^c
摄食率/% FR	1.60±0.01 ^a	1.72±0.01 ^a	1.91±0.01 ^b	2.23±0.01 ^b	3.17±0.01 ^c
饵料系数 FC	1.33±0.02 ^d	1.05±0.03 ^c	0.55±0.03 ^b	0.37±0.02 ^a	1.05±0.01 ^c
存活率/% SR	97.5 ^b	100 ^b	100 ^b	100 ^b	80 ^a

注: 同一行中参数上方不同字母代表有显著性差异($P < 0.05$)。

Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different from each other ($P < 0.05$).

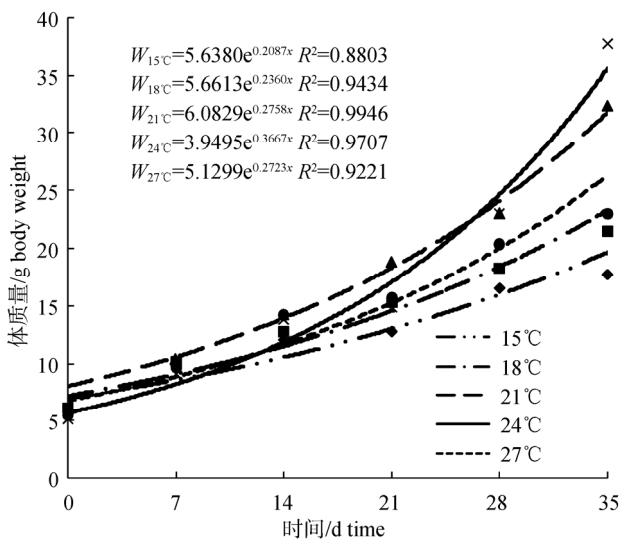


图 1 不同温度下施氏鲟幼鱼体质量生长情况

Fig. 1 Weight growth curves of juvenile *Acipenser schrenckii* under different temperatures

14.33 ($P < 0.05$, $R^2 = 0.8494$), 通过对曲线的求导计算得出 SGR 最大时的温度是 23.77℃。

2.2 温度对幼鱼肠道消化酶活性的影响

2.2.1 温度对蛋白酶活性的影响 由图 3 可知, 施氏鲟幼鱼肠道蛋白酶活性随温度和组织的不同而变化。其中前肠蛋白酶随水温的升高活性降低, 24℃组和 27℃组前肠的蛋白酶活性显著低于 15℃组 ($P < 0.05$); 中肠蛋白酶的活性随温度升高变化不明显 ($P > 0.05$); 后肠蛋白酶活性随温度的升高呈先增高后降低的走势, 其中 18℃组的蛋白酶活性最高, 显著高于 24℃组 ($P < 0.05$)。此外, 15℃组施氏鲟幼鱼前肠蛋白酶活性显著高于中肠蛋白

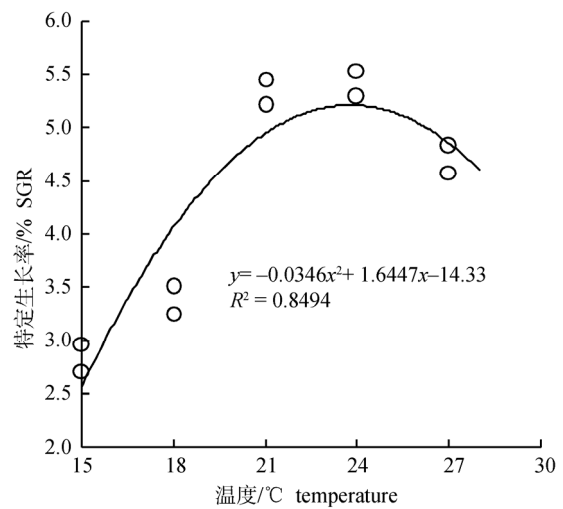


图 2 施氏鲟幼鱼特定生长率与水温之间的相关曲线

Fig. 2 Correlation between water temperature and SGR of juvenile *Acipenser schrenckii*

酶活性 ($P < 0.05$), 其他温度组中施氏鲟幼鱼肠道各组织蛋白酶活性差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2.2 温度对脂肪酶活性的影响 温度对施氏鲟幼鱼肠道的脂肪酶均无显著性影响 ($P > 0.05$, 图 4)。前肠和中肠脂肪酶活性随水温的升高均呈先升高后降低的趋势, 后肠脂肪酶随水温的升高其活性呈升高趋势。此外, 各温度组施氏鲟幼鱼前肠脂肪酶活性均高于中肠和后肠脂肪酶活性。

2.2.3 温度对淀粉酶活性的影响 由图 5 可知, 随着温度升高, 施氏鲟幼鱼肠道淀粉酶活性表现出先增高后下降的趋势, 温度对肠道各组织中淀粉酶活性影响不显著 ($P > 0.05$)。同一温度组不同肠道组织部位中, 中肠淀粉酶活性均高于前肠和

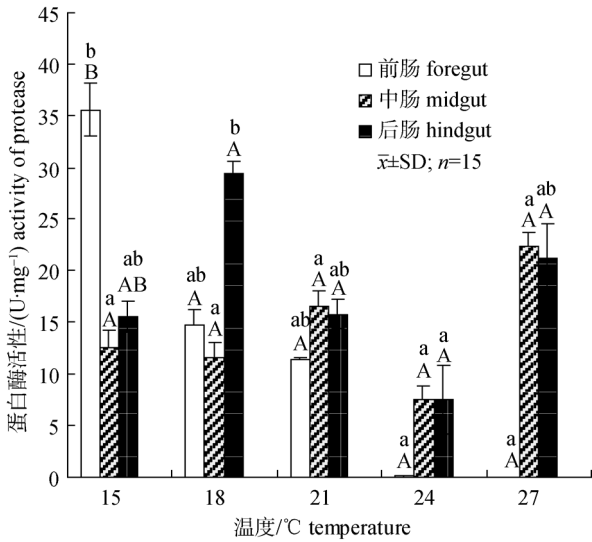


图 3 温度对施氏鲟幼鱼肠道蛋白酶活性的影响

图标上方不同小写字母表示同种组织不同温度之间酶活性存在显著性差异($P<0.05$); 不同大写字母表示同一温度不同组织之间酶活性存在显著性差异($P<0.05$)。

Fig.3 Effect of temperatures on protease activity in intestinal tract of juvenile *Acipenser schrenckii*

Different small letters on the columns mean significant difference in digestive enzyme activity of one tissue of juvenile *Acipenser schrenckii* under different temperature($P<0.05$), and different capital letters means significant difference in enzyme activity between different tissues of juvenile *Acipenser schrenckii* under the same temperature($P<0.05$).

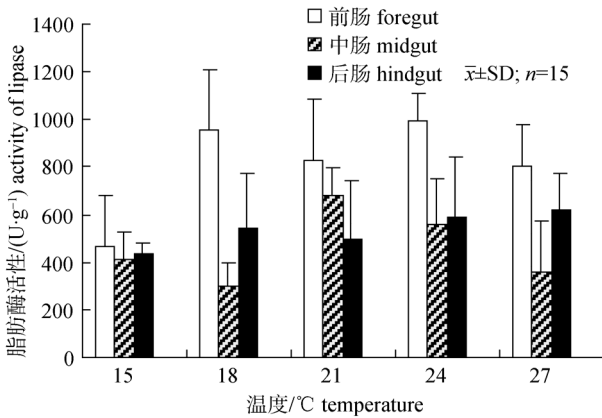


图 4 温度对施氏鲟幼鱼肠道脂肪酶活性的影响

Fig. 4 Effect of temperature on lipase activity in intestinal tract of juvenile *Acipenser schrenckii*

后肠的淀粉酶活性。施氏鲟幼鱼肠道淀粉酶活性由高到低依次为中肠、后肠、前肠。

3 讨论

3.1 温度对施氏鲟幼鱼生长和摄食的影响

自然环境下, 温度是随着时间与空间变化而

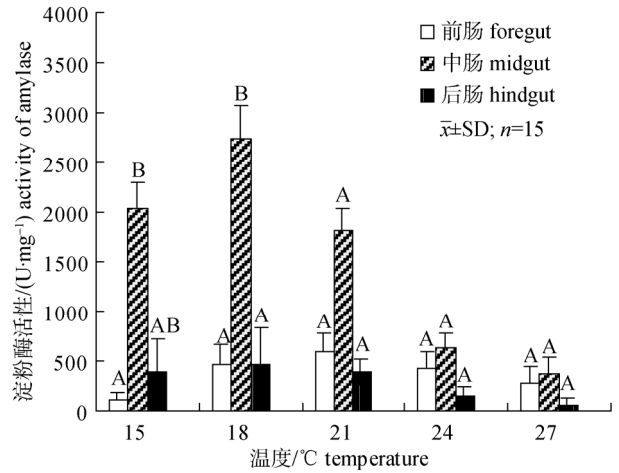


图 5 温度对施氏鲟幼鱼肠道淀粉酶活性的影响

图标上方不同大写字母表示同一温度不同组织之间酶活性存在显著性差异($P<0.05$)。

Fig. 5 Effect of temperature on amylase activity in intestinal tract of juvenile *Acipenser schrenckii*

Different capital letters means significant difference in enzyme activity between different tissues of juvenile *Acipenser schrenckii* under the same temperature($P<0.05$).

变化的环境因子, 鱼类的生长和摄食均与水温密切相关。本实验中, 温度对施氏鲟幼鱼的特定生长率、相对增重率、摄食率、食物转化率均有显著性的影响。这与其他学者对宝石鲈(*Scortum barcoo*)^[16]、江鲢(*Lota lota*)^[17]和莫桑比克白仔鲟(*Anguilla mossambica*)^[18]的研究结果相一致。

在对鱼类生长及摄食影响的众多研究中, 最适生长温度对于鱼类行为、生理变化和生长发育等方面有重要意义。有学者发现在一定温度范围内, 鱼类的最大摄食率和生长率并无显著差异。鱼类的最适生长水温会因鱼类所处的具体环境条件不同而发生一定的波动, 除了食物因素外, 光照、种群密度等因子也会与温度交互作用影响鱼类的生长^[19-20]。另外, 鱼类的 SGR 也受体质量和温度的交互影响^[21]。Arnason 等^[22]报道, 不同体质量大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)的最适生长温度不同, 1 g、10 g、100 g 和 1 000 g 大菱鲂的最适生长温度分别为 22.5°C、20.8°C、19.1°C 和 17.5°C。庄平等^[23]在室外养殖条件下, 将施氏鲟在变化水温中的周年生长情况进行纵向比较, 得出 19.8°C 是 1 龄施氏鲟幼鱼生长最快的水温, 生长适宜温度范围为 17~21°C。李大鹏等^[24]在室内水族箱循

环水养殖条件下, 将同规格施氏鲟养殖在不同的恒定水温处理组中, 通过进行生长的横向比较, 得出施氏鲟幼鱼的最适生长水温为 21.53℃, 最大摄食率的水温为 22.33℃。所以, 实验条件的差异可能会造成得出的最适水温在一定范围内的波动。根据本实验结果分析, 施氏鲟在水温 15~27℃ 均可摄食生长, 21~24℃ 是施氏鲟幼鱼生长的适宜温度。

一些学者的研究结果显示, 在一定温度范围内, 其最大摄食率和生长率会随着温度的升高而增加, 当温度超过某一临界值(最适温度)时, 随温度升高摄食率和生长率反而下降^[16-17,24-25]。本实验中, 15~24℃ 范围内施氏鲟生长速度随水温升高而加快, 水温高于 24℃ 时, 生长效率降低。但摄食率在 24~27℃ 范围内随温度升高仍在增加。分析在超过最适温度的一定温度范围内, 鱼类摄食率仍会继续增加, 但此时摄入的能量中用于鱼类生长的部分减少了, 而用于维持基础代谢的部分却增加了, 从而导致生长效率下降^[26]。

3.2 温度对施氏鲟幼鱼肠道消化酶活性的影响

鱼类作为变温动物, 其肠腔温度与水温紧密相连, 环境温度变化直接影响着鱼类机体内的消化酶活性。而消化酶活性是反映动物生理消化机能的一项重要指标, 其活性高低决定着鱼体对营养物质消化吸收的能力, 从而决定鱼体生长发育的速度^[27]。在适宜温度范围内鱼类的消化酶活性一般随温度升高而升高, 对食物的消化率也随之提高。温度过高或过低, 会导致鱼体内的消化酶活性降低, 以及对食物消化利用率降低^[28]。

蛋白质是生物不可或缺的重要营养物质, 温度对变温动物的蛋白质需求的影响是非常重要的, 对鱼类蛋白质吸收的影响尤其重要, 从而影响蛋白酶的活性。刘红等^[27]对美洲条纹狼鲈(*Morone saxatilis* Walbaum)的研究认为温度不仅影响美洲条纹狼鲈消化器官的比重和消化器官中蛋白酶的活性, 而且对消化器官中蛋白酶的活性也有明显的影响; 李希国等^[28]对黄鳍鲷(*Sparus latus*)主要消化酶活性的研究以及朱爱意等^[29]对黄姑鱼(*Nibea albiflora*)肠道蛋白酶的研究均表明, 温度对

蛋白酶活性影响显著, 与本实验得出的结论一致。

通过实验得知, 在 15~27℃ 范围内温度变化对施氏鲟幼鱼肠道脂肪酶活性影响不显著, 朱爱意等^[29]对黄姑鱼(*Nibea albiflora*)的研究也得出相似结论。田宏杰等^[30]对施氏鲟的研究发现施氏鲟肠道脂肪酶活性随着温度升高而降低, 而本实验各温度组脂肪酶活性变化不显著, 可能是幼鱼在高温环境中摄食量的增加使脂肪酶维持在一定水平, 更利于对饲料中脂类物质的吸收转化。这说明在较高养殖温度中, 幼鱼对于脂类物质也有着较高的需求, 也可能是实验鱼规格不同及其他综合因素所致, 此有待进一步研究验证。

伍莉等^[7]研究结果显示, 施氏鲟幼鱼对蛋白质和脂类物质有较高需求, 对于碳水化合物的需求则较低。本实验中, 温度对施氏鲟幼鱼肠道各组织淀粉酶活性的影响不显著, 可能与此有关。这与其他学者对德国镜鲤(*Cyprinus carpio* L. *minor*)^[31]和黄姑鱼^[29]的研究结果相一致。此外, 高温组中淀粉酶活性较低温组的低, 说明高温养殖环境下施氏鲟对于碳水化合物的吸收要低于低温养殖环境, 建议在温度较低的情况下, 适当增加饵料碳水化合物的比例; 在温度较高时, 可适当减少饵料中碳水化合物比例或投喂酶制剂。

3.3 施氏鲟幼鱼肠道消化酶分布特性

肠道是鱼类重要的消化吸收场所, 不同种鱼肠道不同部位消化酶活性分布也不同, 导致肠道不同部位对营养物质的消化吸收能力也不同。郑家声等^[32]对许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*)的研究发现其肠道蛋白酶活性以中肠最高, 表明中肠是蛋白质进一步消化和吸收的主要场所; 淀粉酶活性由前到后逐渐减弱, 表明对碳水化合物的消化主要在前肠和中肠进行。吴婷婷等^[33]研究发现鳊和鲢肠道蛋白酶活性由前肠向后逐渐下降; 鳊、青鱼后肠的脂肪酶活性明显高于前肠和中肠, 鲢的脂肪酶活性前肠高于后肠; 草鱼后肠的脂肪酶活性高于中肠。本实验结果表明, 高温养殖环境中施氏鲟前肠蛋白酶的活性受到了抑制, 中肠和后肠蛋白酶活性所受抑制程度不明显。由此可推测低温养殖环境下施氏鲟肠道对蛋白营养的消化

和吸收主要集中在前肠,而高温养殖环境下主要集中在中肠和后肠。此外,在各温度组中幼鱼前肠脂肪酶活性均高于中肠和后肠,说明幼鱼前肠对于脂肪营养的吸收利用能力要优于中肠和后肠。各温度组施氏鲟幼鱼中肠淀粉酶活性明显高于前肠和后肠,表明施氏鲟肠道内碳水化合物的吸收主要集中在中肠。

综上所述,水温对施氏鲟幼鱼生长和摄食有显著性影响;温度对其肠道蛋白酶有显著影响,对淀粉酶和脂肪酶无显著性影响。因此,在施氏鲟养殖生产中必须综合考虑各方面因素,合理控温(尽量减少控温消耗),在保证鱼苗健康的前提下,使鱼苗保持最快生长速度,以缩短培育周期,减少人力和物力的消耗。同时,根据不同温度下因消化酶活性变化而引起的施氏鲟对饲料中营养成分消化能力的变化,合理调整饲料配方,防止饲料营养过剩或不足,以取得最佳的养殖效益。根据本实验结果,施氏鲟苗种培育的最佳温度应该控制在 21~24℃。

参考文献:

- [1] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 38-45.
- [2] Elliott J M. The effects of temperature and ration size on the growth and energetics of salmonids in captivity[J]. Comp Biochem Physiol, 1982, 73B: 81-91.
- [3] Hazel J R, Prosser C L. Molecular mechanisms of temperature compensation in poikilotherms[J]. Physiol Rev, 1974, 54: 620-677.
- [4] Cossin A R, Bowler K. Temperature biology of animals [M]. London: Chapman and Hall, 1987: 340.
- [5] 孙大江, 曲秋芝, 马国军, 等. 中国鲟鱼养殖概况[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(3): 216-227.
- [6] 李谨, 何瑞国, 王学东. 中华鲟消化酶活性分布的研究[J]. 水产科技情报, 2001, 28(3): 99-102.
- [7] 伍莉, 陈鹏飞, 陈建. 史氏鲟消化酶活性的初步研究[J]. 西南农业大学学报, 2002, 24(2): 179-181.
- [8] 畅雅萍, 徐奇友, 王常安, 等. 施氏鲟消化酶的分布及几种诱食剂对其活性的影响[J]. 中国饲料, 2010(6): 25-28.
- [9] 叶继丹, 卢彤岩, 刘洪柏, 等. 六种鲟鱼消化酶活性的比较研究[J]. 水生生物学报, 2003, 27(6): 590-595.
- [10] Gisbert E, Sarasquete M C, Williot P, et al. Histochemistry of the development of the digestive system of Siberian sturgeon during early ontogeny [J]. Journal of Fish Biology, 1999, 55(3), 596-616.
- [11] Furné M, Hidalgo M C, López A, et al. Digestive enzyme activities in Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. A comparative study [J]. Aquaculture, 2005, 250(1-2): 391-398.
- [12] Furné M, García-Gallego M, Hidalgo M C, et al. Effect of starvation and refeeding on digestive enzyme activities in sturgeon (*Acipenser naccarii*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Comp Biochem Physiol A: Mol Integr Physiol, 2008, 149(4): 420-425.
- [13] 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.
- [14] 郭学武, 唐启升. 鱼类摄食量的研究方法[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(1): 68-78.
- [15] 中山大学生物系生化微生物教研室. 生化技术导论[M]. 北京: 人民教育出版社, 1978: 52-54.
- [16] 张娜, 罗国芝, 谭洪新, 等. 温度对宝石鲈生长及血液生化免疫指标的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1236-1242.
- [17] 盖力强. 江鳊苗种培育及温度对江鳊幼鱼摄食生长的影响[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2008: 1-4.
- [18] 何英, 阮成旭, 袁重桂. 温度对莫桑比克白仔鳢生长的影响[J]. 福州大学学报, 2009, 37(2): 290-293.
- [19] Qin J D, Fast A W. Effects of temperature, size and density on culture performance of snakehead, *Channa striatus* (Bloch), fed formulated feed[J]. Aquacult Res, 1998, 19: 299-303.
- [20] Yamamoto T, Shima T, Furuita H, et al. Influence of decreasing water temperature and shortening of the light phase on macronutrient self-selection by rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and common carp *Cyprinus carpio* [J]. Fish Sci, 2001, 67: 420-429.
- [21] 刘家寿, 崔奕波, 刘健康. 鳊和乌鳢最适温度的研究[J]. 水生生物学报, 2002, 26(5): 433-437.
- [22] Arnason T, Bjornsson B, Steinarsson A, et al. Effects of temperature and body weight on growth rate and feed conversion ratio in turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Aquaculture, 2009, 295: 218-225.
- [23] 庄平, 章龙珍, 张涛, 等. 施氏鲟南移驯养及生物学的研究: 1 龄鱼的生长特性 [J]. 淡水渔业, 1998: 28(4): 6-9.
- [24] 李大鹏, 庄平, 严安生, 等. 施氏鲟幼鱼摄食和生长的最

- 适温度[J]. 中国水产科学, 2005, 12(3): 294–299.
- [25] 施振宁. 温度、养殖密度对眼斑星丽鱼幼鱼摄食和生长影响的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006: 2–28.
- [26] Diana J S. Biology and ecology of fishes [M]. New York: Biological Sciences Press, 1995: 74–81.
- [27] 刘红, 汲长海, 施正峰, 等. 温度对条纹石鲈蛋白消化酶活性影响的初步研究[J]. 水产科技情报, 1998, 25(3): 103–107.
- [28] 李希国, 李加儿, 区又君. 温度对黄鳍鲷主要消化酶活性的影响[J]. 南方水产, 2006, 2(1): 43–48.
- [29] 朱爱意, 谢佳彦, 江丽华. pH 和温度对黄姑鱼主要消化酶活性的影响[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2010, 29(6): 531–536.
- [30] 田宏杰, 庄平, 章龙珍, 等. 水温对施氏鲟幼鱼消化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(1): 126–131.
- [31] 王洋, 徐奇友, 许红, 等. 温度和蛋白质水平对德国镜鲤消化酶活性的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(3): 337–343.
- [32] 郑家声, 冯晓燕. 许氏平鲈消化道中部分消化酶的研究[J]. 中国水产科学, 2002, 9(4): 309–313.
- [33] 吴婷婷, 朱晓鸣. 鳊鱼、青鱼、草鱼、鲤、鲫、鲢消化酶活性的研究[J]. 中国水产科学, 1994, 1(2): 10–17.

Effects of water temperature on feeding, growth and activities of digestive enzymes of juvenile *Acipenser schrenckii*

BAI Haiwen^{1,2}, ZHANG Ying¹, LI Xue^{1,2}, SUN Dajiang¹

1. Heilongjiang Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: The juvenile *Acipenser schrenckii* were fed at different temperature (15°C, 18°C, 21°C, 24°C, 27°C) to study the effects of water temperature on feeding, growth and activities of digestive enzymes using morphological and biochemical methods. The results showed that, the specific growth gain (SGR) and relative weight gain (RWG) significantly increased with the increasing temperature between 15°C–24°C ($P < 0.05$), and reaches the maximum at 24°C. The feed conversion ratio (FC) decreased significantly and reached the minimum at 24°C, and then greatly increased. In addition, the feed ration (FR) increased remarkably with the temperature increasing ($P < 0.05$). The growth rate in the different temperature group were in the order of group 24°C > 21°C > 27°C > 18°C > 15°C. The water temperature had significant effects on the protease activity in the foregut ($P < 0.05$), the protease activity in the foregut of the group 24°C and 27°C were notably lower than the group 15°C ($P < 0.05$), and the water temperature had no striking effects on the protease activity in the midgut and hindgut ($P > 0.05$). The temperature had no striking effects on lipase activity in intestinal tract ($P > 0.05$), and the lipase activity of midgut was higher than the hindgut and foregut in every temperature group. The temperature had no striking effects on amylase activity in intestinal tract ($P > 0.05$), and the amylase activity were in the order of midgut > hindgut > foregut. Taken together, the growth rate was fastest in the group 24°C, but the activities of intestinal digestive enzyme were lower than the group 21°C. The optimal growth temperature range is 21°C–24°C for juvenile *Acipenser schrenckii*. In the temperature range juvenile *Acipenser schrenckii* can reaches the maximum growth rate and survival rate.

Key words: *Acipenser schrenckii*; water temperature; feeding; growth; digestive enzymes

Corresponding author: SUN Dajiang. E-mail: sundajiang0451@163.com