

水族馆不同年龄与发育状况的中华鲟呼吸频率及自发游速的观察

张艳珍^{①②} 张晓雁^② 杜浩^① 王彦鹏^② 王成友^① 危起伟^{①*}

① 农业部淡水生物多样性保护重点实验室, 中国水产科学研究院长江水产研究所 武汉 430223;

② 北京信沃达海洋科技有限公司(北京海洋馆) 北京 100081

摘要: 对北京海洋馆长期驯养的 40 尾不同年龄中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 的自发游泳速度和呼吸频率逐尾监测, 比较性腺发育进入快速发育阶段(发育至 II 期末至 III 期) 9 尾的行为变化, 为中华鲟安全驯养和健康评价建立依据。40 尾个体均 ≥ 3 龄, 其中, 3 龄个体全长 (122 ± 12) cm, 体重 (8 ± 2) kg ($n = 8$), 30 龄以上的个体全长 (335 ± 8) cm, 体重 (220 ± 15) kg ($n = 4$)。所有 40 尾被测中华鲟的平均游泳速度 (44.46 ± 5.62) cm/s (范围 30 ~ 60 cm/s), 不同年龄组无显著差异 ($P > 0.05$); 呼吸频率随年龄增长显著下降 ($P < 0.05$), 接近性成熟年龄(17 龄) 后多处于 10 ~ 20 次/min, 低龄组(3 ~ 7 龄) 多处于 30 ~ 40 次/min。性腺进入快速发育阶段个体的游泳速度与呼吸频率显著升高, 平均增幅分别达到 50% 和 60%。结果表明, 可以按照年龄及发育阶段对中华鲟的游泳速度和呼吸频率分别制定参数值, 为健康判断提供评价基础。

关键词: 中华鲟; 年龄; 性腺发育; 呼吸频率; 游泳速度

中图分类号: Q955 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2017) 04-680-05

Free-swimming Velocity and Respiratory Frequency Related to the Age and Gonadal Development of Chinese Sturgeon (*Acipenser sinensis*) in Aquarium

ZHANG Yan-Zhen^{①②} ZHANG Xiao-Yan^② DU Hao^① WANG Yan-Peng^②
WANG Cheng-You^① WEI Qi-Wei^{①*}

① Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation Ministry of Agriculture of China Yangtze River Fisheries Research Institute Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223; ② Beijing Xinwoda Marine Technology Co. Ltd (Beijing Aquarium), Beijing 100081, China

Abstract: Chinese Sturgeon (*Acipenser sinensis*), listed as the first level protected animals in China, is in extremely critically endangered status. The aquarium can be used as the major education and *ex situ* base for species conservation. In this study, the free-swimming velocity and respiratory frequency of 40 individuals

基金项目 水利部公益性行业科研专项 (No. 201501001), 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (No. 2015CB150702);

* 通讯作者, E-mail: weiqw@yfi.ac.cn;

第一作者介绍 张艳珍, 女, 硕士; 研究方向: 濒危物种保护生理生态学; E-mail: zhyanzh1985@163.com。

收稿日期: 2016-10-31, 修回日期: 2017-01-22 DOI: 10.13859/j.cjz.201704018

distributed in 6 age groups (from 3 to above 30 years old) were observed respectively, and the behavioral changes of 9 sturgeons (♀ 6, ♂ 3) in quickly gonadual development stage (from the later-stage II to stage III) were compared (Table 1), in order to find the rules of these parameters to make the baseline for perfecting the cultured technology. Among the 40 individuals, eight Sturgeons of them were 3-year old with a total length of 122 ± 12 cm, body weight 8 ± 2 kg ($n = 8$); The sturgeons above 30 years, were 335 ± 8 cm in length and 220 ± 15 kg in weight ($n = 4$) respectively (Table 2). The swimming velocity of all sturgeons was 44.46 ± 5.62 cm/s (range: 30 - 60 cm/s), there were no significant differences between individuals in different age groups ($P > 0.05$, Table 2). The respiratory frequency during swimming was decreased significantly with the increase of age ($P < 0.05$), it was 10 - 20 times/min in the approaching mature age (17-year) and above, while it was 30 - 40 times/min in the younger groups (3 - 7 years) (Table 2). The swimming velocity and the respiratory frequency were significantly increased in quickly gonadual development stage when compared to the early stage of gonadual development, which were from 34.17 ± 10.06 cm/s to 47.32 ± 11.99 cm/s and from 17.3 ± 7.0 times/min to 30.7 ± 9.0 times/min, and the average enhanced percentages were 50% and 60% respectively. This indicated the swimming behavior of these animals changed significantly. As a result, the scope of the two behavior parameters can be set down with the age and development stage changing respectively, which can be used as the reference of the physical evaluation in the aquarium.

Keywords: Chinese Sturgeon, *Acipenser sinensis*; Age; Gonadual development; Respiratory frequency; Swimming velocity

中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 是国家 I 级保护动物, 近年自然种群数量急剧减少, 亟待拯救保护, 摸清中华鲟行为机制可以为中华鲟生境保护提供依据 (危起伟 2003, Wang et al. 2011, 危起伟等 2013), 对中华鲟的保育工作提供直接参考。鱼类的行为活动主要依靠氧代谢提供能量, 耗氧量受到环境非生物因子及个体生理、生长状态, 如营养水平、运动能力以及疾病等多种因素的影响 (林浩然 2004), 已有研究显示急性环境变化导致呼吸频率和呼吸幅度的变化 (曾令清等 2011)。鱼类通过鳃组织进行氧交换, 鳃氧交换量与游泳速度相关 (谢从新 2009)。将呼吸频率和游泳速度作为鱼类的重要行为指标, 易于观察, 可用于反映健康状况 (周应祺 2011)。性类固醇激素水平的提高对代谢及生殖洄游等行为进行调控 (Gannam et al. 1991, Ceapa et al. 2002), 性腺发育对鱼类行为有显著影响 (危起伟 2003, 林浩然 2004)。

已有研究表明, 中华鲟年龄与性腺发育对

生理产生影响 (张艳珍 2009, 张晓雁等 2013), 对行为的影响尚待进一步研究。本文以北京海洋馆长期驯养的中华鲟为研究对象, 对不同年龄和处于不同性腺发育阶段中华鲟的呼吸频率及自发游泳速度进行了比较, 旨在为规范中华鲟健康养殖提供依据, 建立健康保育行为监测技术, 以及为中华鲟就地保护提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究对象

40 尾中华鲟来自中国水产科学研究院长江水产研究所中华鲟养殖基地, 在北京海洋馆长期驯养, 每个个体有固定名称, 本文作者能肉眼识别。

快速发育阶段定义: 指雌性性腺进入 II 期末、雄性性腺进入 III 期的快速发育时期, 本次研究中共 9 尾中华鲟进入快速发育阶段, 年龄均 ≥ 14 龄 (表 1)。本文中“发育前”指性腺未发育至快速发育阶段, “发育后”指性腺发育至快速发育阶段。性腺发育分期依据 B 超扫

描及组织学方法判定,方法参考张艳珍(2009)。

1.2 养殖池体及日常维护

养殖池体规格为 29.0 m × 11.0 m × 4.4 m (长 × 宽 × 高),配置 20.0 m × 3.0 m 的展示观察窗,两侧设置从展窗面向对面池壁的水平水流,底部设置与展窗呈近 45°角向池体后方水流。养殖水温 21.0~22.5 °C,溶氧 7.0~7.8 mg/L, pH 值 7.5~8.0,浊度 < 0.07 NTU。池体上方设置 7 盏 1 000 W 金属卤素灯照明,光周期设定为 10 h : 14 h (光 : 暗),从池体底部到水体表面的白天照度多介于 50 ~ 4 000 lx,夜间为全黑。养殖密度小于 2.4 kg/m³。

1.3 行为观察及记录

实验观察者隔着展示观察窗逐尾观察。每日固定于 9:00 时、13:00 时和 17:00 时观察,每次观察时间 30~40 min,每尾个体连续记录 3 次,取平均值。实验数据获取于 2015 年。游泳速度及呼吸行为观察方法如下。

游泳速度:指个体在实验池体内无外界干扰的自发游泳速度。个体于展窗前正常直线游

动时,记录游过其身体全长所用的时间,换算为对地绝对游速(即单位时间内游过的绝对距离),单位 cm/s。

呼吸频率:在中华鲟正常泳速直线连续游动时,以鳃部张合一次为一次呼吸,记录 1 min 的呼吸次数,单位次/min;同时观察其鳃盖张合幅度,记录最大张开幅度,单位 cm。

1.4 数据统计

结果为平均值 ± 标准差。采用 SPSS 分析软件对数据进行分析处理。用单因素方差分析(ANOVA)不同年龄组游泳速度及呼吸频率的差异,用 Paired-Samples *T* Test 分析性腺快速发育前后的差异,以 $P < 0.05$ 为显著水平。

2 结果与分析

2.1 不同年龄组游泳速度和呼吸频率的差异

本次实验 40 尾被测中华鲟的平均游泳速度为 (44.46 ± 5.62) cm/s (范围 30~60 cm/s),不同年龄组间没有显著性差异($P > 0.05$) (表 2)。但是呼吸频率各年龄组表现各异,均值主

表 1 性腺快速发育中华鲟样本信息

Table 1 The information of the Chinese Sturgeon in quickly gonadual development stage

组别 Group	年龄范围 Age range	样本数量(尾) Sample numbers (ind)	全长(cm) Total length	体重(kg) Body weight
性腺快速发育组 Quickly gonadual development group	≥ 14-year	♀ 6	253 ~ 343	116 ~ 231
		♂ 3	219 ~ 231	71 ~ 74

表 2 不同年龄中华鲟游泳速度及呼吸频率

Table 2 The swimming velocity and respiratory frequency of different ages of Chinese Sturgeon

年龄组 Age group	样本数量(尾) Sample numbers (ind)	全长(cm) Total length	体重(kg) Body weight	游泳速度(cm/s) Swimming velocity	呼吸频率(次/min) Respiratory frequency
A (> 30-year)	4	335 ± 8	220 ± 15	43.26 ± 7.29	11.5 ± 4.8 ^a
B (17-year)	10	265 ± 23	121 ± 29	44.68 ± 3.33	14.3 ± 7.1 ^a
C (14-year)	6	247 ± 19	93 ± 24	47.87 ± 7.93	22.4 ± 8.7 ^b
D (10-year)	3	239 ± 13	85 ± 13	53.15 ± 4.86	25.7 ± 4.9 ^c
E (7-year)	9	170 ± 9	28 ± 3	36.93 ± 4.68	35.8 ± 5.8 ^d
F (3-year)	8	122 ± 12	8 ± 2	40.88 ± 5.57	37.9 ± 8.5 ^d

同一列数据上方标注字母不同代表有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Data values in the same column with different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

要分为 3 个数值段, 高于 17 龄 (包含 17 龄) 个体多处于 10~20 次/min, 低于 7 龄 (包含 7 龄) 的个体为 30~40 次/min, 其余亚成体 (即大于 7 龄小于 17 龄个体) 处于 20~30 次/min, 随年龄增高呼吸频率下降, 差异水平详见表 2。呼吸幅度 (鳃盖开合幅度) 与个体情况有关, 与年龄无显著相关性。

2.2 性腺发育前后游泳速度和呼吸频率的比较

性腺进入快速发育时期后的中华鲟游泳速度及呼吸频率都出现显著性升高 ($P < 0.05$)。9 尾快速发育阶段的中华鲟发育前的平均游泳速度及呼吸频率分别为 (34.17 ± 10.06) cm/s 和 (17.3 ± 7.0) 次/min, 进入快速发育阶段后的游泳速度为 (47.32 ± 11.99) cm/s, 平均增幅接近 50%, 呼吸频率为 (30.7 ± 9.0) 次/min, 平均增幅达到 60%。呼吸幅度的最大张开幅度可增加 1~2 cm, 变化幅度不等。表明性腺快速发育阶段个体的游泳行为显著变化。

3 讨论

关于鱼类游泳速度的研究多集中在临界游速或胁迫游速等方面 (Hoover et al. 2011, 曾令清等 2011, 周应祺 2011)。关于鲟鱼游速的研究显示, 2 龄中华鲟和西伯利亚鲟 (*A. baerii*) 在改装的 Brett 式游泳水槽 (190 cm × 50 cm × 50 cm) 内的临界游泳速度分别为 79.45 cm/s 和 105.97 cm/s, 且中华鲟的临界游泳速度与体长无相关性 (屈艺 2012); 在 1 200 L 实验水槽中密西西比铲鲟 (*Scaphirhynchus platorhynchus*, 体长 49~70 cm) 在线性水流和边界层中临界游速分别为 89.3~112.6 cm/s 和 129.5~172.1 cm/s (Hoover et al. 2011)。以上数据显示, 在小型实验水槽内中华鲟的临界游速要低于其他鲟鱼。鱼类的游泳能力与鱼体的形状、生活习性及相关环境有关 (周应祺 2011), 中华鲟的底栖生活习性决定了其鱼体形状背部拱度远高于腹部, 该适应性符合底层鱼类游泳速度低的特征 (屈艺 2012)。关于鲟鱼自然条件下的游速

报道不多, 有研究采用声呐标志方法监测 1 尾体长 352 cm 的白鲟 (*Psephurus gladius*) 顺江而下的平均游速约 23 cm/s (范围 8~110 cm/s), 实验室观察叉长 121~176 cm 野生高首鲟 (*A. transmontanus*) 的游速为 3~32 cm/s (陈细华 2007); 对于中华鲟的研究显示, 14 月龄幼鲟顺江入海的洄游速度为 31 km/d (约 35 cm/s) (危起伟 2003), 对在厦门海域放流的全长 142~210 cm 的中华鲟卫星标志监测的迁移速度为 5~30 cm/s (王成友等 2016)。本次实验各龄中华鲟自发游泳速度介于 30~60 cm/s, 接近报道值, 且不同大小个体无显著差异, 与屈艺 (2012) 报道一致。然而有研究认为体长小于 200 mm 的鲟鱼都表现出了游泳速度或者耐受力与体长之间显著正相关 (Adams et al. 1999, Boysen et al. 2009), 对短吻鲟 (*A. brevirostrum*) 的研究也显示, 小个体鱼的持久性不如大个体鱼, 不同长度泳道会影响最大游速 (差别近 22%) (Deslauriers et al. 2011)。本次结果是在较大型驯养池 (1 200 t) 条件下长期对个体的自发游速进行逐尾监测, 养殖条件、营养水平、能耗水平等均不同于临界游速状态下。本次实验中华鲟个体体长分布范围大 (平均值在 122~335 cm 间), 同时监测期间无人为干扰, 其结果更接近于个体的自然状态, 可作为长期养殖条件下健康评价的基础依据, 同时可作为中华鲟自然游速评估的基础参考。

鱼类的持久性运动依靠需氧代谢, 氧摄入量依鱼体大小 (体重)、活动水平、生理状况而不同 (林浩然 2004), 鱼类的呼吸与耗氧率显著相关 (Kind et al. 2002)。本次实验期间, 环境溶氧稳定, 个体呼吸幅度无明显变化, 呼吸频率可间接反应代谢水平 (林浩然 2004)。本研究结果显示, 中华鲟呼吸频率与年龄呈负相关, 这与中华鲟幼体阶段生长速度较快, 而亚成体至成体生长速度相对变缓有关 (陈细华 2007), 快速生长的小龄个体要求代谢水平要远高于大龄组, 且要满足游泳速度与其他龄组的一致性也要求耗能更大。2 个中间龄组 (10 和

14 龄组)的呼吸频率居中,与其他龄组均存在显著差异($P < 0.05$),可能与亚成体接近成熟,即将进入鲟鱼的大生长期有关,其生理调节水平不稳定(张艳珍 2009),另也可能与 10 龄组样本数量(3 尾)较少有关。关于亚成体中华鲟呼吸与代谢等关系有待进一步研究。

处于性腺发育后的中华鲟,性类固醇激素水平显著上升(张艳珍 2009),鲟鱼性类固醇激素影响行为变化(Ceapa et al. 2002),本次研究结果也显示,发育后个体的游泳速度、呼吸频率显著上升,同时伴随呼吸幅度增加,表明耗氧量增加。处于持久性的活动代谢水平时,要求较高的耗氧量,研究显示鱼类在洄游时代谢水平相当于临界最大游泳速度时水平(林浩然 2004)。对中华鲟的血液指标研究显示,性腺发育后中华鲟血红蛋白值显著升高,表明携氧能力提高(张晓雁等 2015)。

本实验结果提示,可以按照年龄及发育阶段对水族馆中华鲟的游泳速度和呼吸频率分别制定参数值,为健康判断提供评价基础。上述结果可为中华鲟迁地保护与健康驯养提供依据,为中华鲟的自然行为研究积累数据。

参 考 文 献

- Adams S R, Hoover J J, Killgore K J. 1999. Swimming endurance of juvenile pallid sturgeon, *Scaphirhynchus albus*. *Copeia*, 1999(3): 802–807.
- Boysen K A, Hoover J J. 2009. Swimming performance of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*): training and the probability of entrainment by dredging. *Journal of Applied Ichthyology*, 25(Suppl 2): 54–59.
- Ceapa C, Williot P, Menn F L, et al. 2002. Plasma sex steroids and vitellogenin levels in stellate sturgeon (*Acipenser stellatus* Pallas) during spawning migration in the Danube River. *Journal of Applied Ichthyology*, 18(4): 391–396.
- Deslauriers D, Kieffer J D. 2011. The influence of flume length and group size on swimming performance in shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum*. *Journal of Fish Biology*, 79(5): 1146–1155.
- Gannam A L, Lovell R T. 1991. Effects of feeding 17α -methyltestosterone, 11-ketotestosterone, 17β -estradiol, and 3, 5, 3-triiodothyronine to channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 92(1): 377–388.
- Hoover J J, Collins J, Boysen K A, et al. 2011. Critical swimming speeds of adult shovelnose sturgeon in rectilinear and boundary-layer flow. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(2): 226–230.
- Kind P K, Grigg G C, Booth D T. 2002. Responses to prolonged hypoxia in the Australian lungfish, *Neoceratodus forsteri*. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 132(2): 179–190.
- Wang J H, Wei Q W, Zou Y C. 2011. Conservation strategies for the Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*, an overview on 30 years of practices and future needs. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(2): 176–180.
- 陈细华. 2007. 鲟形目鱼类生物学与资源现状. 北京: 海洋出版社.
- 林浩然. 2004. 鱼类生理学. 广州: 广东高等教育出版社.
- 屈艺. 2012. 两种鲟鱼侧视形态与游泳能力的关系. 上海: 上海海洋大学硕士学位论文.
- 王成友, 杜浩, 刘猛, 等. 2016. 厦门海域放流中华鲟的迁移和分布. *中国科学: 生命科学*, 46(3): 294–303.
- 危起伟. 2003. 中华鲟繁殖行为生态学与资源评估. 武汉: 中国科学院水生生物研究所博士学位论文.
- 危起伟, 李罗新, 杜浩, 等. 2013. 中华鲟全人工繁殖技术研究. *中国水产科学*, 20(1): 1–11.
- 谢从新. 2009. 鱼类学. 北京: 中国农业出版社.
- 曾令清, 张耀光, 付世建, 等. 2011. 双向急性变温对南方鲇幼鱼静止耗氧率和临界游泳速度的影响. *水生生物学报*, 35(2): 276–282.
- 张晓雁, 杜浩, 危起伟, 等. 2015. 养殖中华鲟的产后康复. *水生生物学报*, 39(4): 705–713.
- 张晓雁, 李罗新, 张艳珍, 等. 2013. 性腺发育及年龄对养殖中华鲟抗氧化力的影响. *长江流域资源与环境*, 22(8): 1049–1054.
- 张艳珍. 2009. 养殖中华鲟性腺发育及血液相关生理指标变化的观察. 武汉: 华中农业大学水产学院硕士学位论文.
- 周应祺. 2011. 应用鱼类行为学. 北京: 科学出版社.