

# 人工养殖中华鲟后备亲鱼摄食和生长的周年变化

郑跃平<sup>①②③</sup> 刘健<sup>②</sup> 徐嘉楠<sup>②</sup> 倪春华<sup>②</sup> 范厚勇<sup>②</sup>  
崔百惠<sup>②</sup> 吴铠<sup>②</sup> 庄平<sup>①③\*</sup>

① 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; ② 上海市水生野生动植物保护研究中心 上海 200092;

③ 中国水产科学研究院东海水产研究所上海长江口渔业资源增殖及生态修复工程技术研究中心 上海 200090

**摘要:** 实现全人工繁殖是中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 物种保护的重要途径, 建立中华鲟人工养殖亲鱼群体是人工繁殖的基础条件。本文以自然变温条件下人工培育的中华鲟后备亲鱼(年龄 15 龄, 体长 183 ~ 235 cm, 体重 71.5 ~ 180.5 kg,  $n = 14$ ) 为研究对象, 每天对摄食行为进行观察记录, 每月对生长指标进行检查测量, 通过持续 12 个月的跟踪观测, 开展后备亲鱼摄食和生长特征研究。结果显示, 后备亲鱼摄食比例、摄食频次具有明显的月际变化特征, 均存在极显著差异 ( $P < 0.01$ ), 雌鱼、雄鱼均具有相似的周年变化规律, 雌雄摄食比例仅 9 月存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 雌雄摄食频次同月均无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 后备亲鱼配合饲料日饵率和鲜活饵料日饵率均呈现先下降后升高的变化趋势, 配合饲料日饵率 10 月最低, 为 0.02%, 1 月最高, 为 0.19%, 鲜活饵料日饵率 6 月最低, 为 0.12%, 4 月最高, 为 0.99%; 配合饲料的年均摄食比例仅为  $18.39\% \pm 17.61\%$ , 鲜活饵料的年均摄食比例为  $62.57\% \pm 15.63\%$ , 配合饲料和鲜活饵料摄食比例存在极显著差异 ( $P < 0.01$ ), 可见实验对象对鲜活饵料具有明显摄食偏好; 配合饲料日饵率、鲜活饵料日饵率、总摄食率、雌鱼摄食率、总摄食频次和雌鱼摄食频次与水温存在显著负相关关系 ( $P < 0.05$ ); 后备亲鱼体周长、体重、肥满度均呈现先下降后上升的变化趋势, 呈现生长缓慢特征, 不同月份肥满度存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 其他生长指标不同月份间比较无显著差异 ( $P > 0.05$ )。在中华鲟后备亲鱼培育管理中, 应注意加强水温调控, 提供适宜养殖条件, 减少人为干扰, 改善摄食和生长效果。本研究对中华鲟后备亲鱼养殖技术的改进具有参考价值。

**关键词:** 中华鲟; 后备亲鱼; 摄食行为; 生长

**中图分类号:** Q955, S961.2+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2021) 01-064-09

## The Annual Variation of Feeding Behavior and Growth for Reserve Broodstock of Chinese Sturgeon, *Acipenser sinensis*

ZHENG Yue-Ping<sup>①②③</sup> LIU Jian<sup>②</sup> XU Jia-Nan<sup>②</sup> NI Chun-Hua<sup>②</sup>  
FAN Hou-Yong<sup>②</sup> CUI Bai-Hui<sup>②</sup> WU Kai<sup>②</sup> ZHUANG Ping<sup>①③\*</sup>

**基金项目** 上海市科技兴农重点攻关项目 (沪农科创字(2018)第 1-9 号);

\* 通讯作者, E-mail: pzhuang@ecsf.ac.cn;

**第一作者简介** 郑跃平, 男, 博士研究生; 研究方向: 濒危物种保护; E-mail: 36881366@qq.com。

收稿日期: 2020-03-30, 修回日期: 2020-09-27 DOI: 10.13859/j.cjz.202101008

① College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; ② Shanghai Aquatic Wildlife Conservation and Research Center, Shanghai 200092; ③ Shanghai Engineering Research Center of Fisheries Resources Enhancement and Ecological Restoration of the Yangtze Estuary, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China

**Abstract:** Exploring the controlled artificial propagation is an important way of species conservation for Chinese Sturgeon (*Acipenser sinensis*). To accomplish it, the artificial cultured parental population is a basic demanding. In this study, by daily observation of feeding behavior (feeding proportion, feeding frequency and daily bait ratio) and monthly measurement of growth parameters (body length, body weight, body circumference and condition factor) on 14 artificial cultured reserve parental Chinese Sturgeon (15-year-old; body length, 183 - 235 cm; body weight, 71.5 - 180.5 kg), we investigated the annual variation of feeding behavior and growth performance of reserve parental Chinese Sturgeon under natural water conditions. One-way ANOVA was used to analyze the variance between different month groups, and different sex. Post-hoc Duncan Multiple Comparison Test was used to analyze the variance between months. The results showed that, both feeding proportion and feeding frequency changed significantly between-month and exhibited an obvious inter-monthly variation feature. Similar variation disciplinarian, with no significant difference ( $P > 0.05$ ), were found between male and female in most of the examination time point except feeding proportion in September ( $P < 0.05$ , Fig. 2). For feeding proportion, the highest was  $86.9\% \pm 8.6\%$  in April, while the lowest was  $35.4\% \pm 28.5\%$  in July (Fig. 2). For feeding frequency, the highest was  $3.01 \pm 1.35$  times in March, while the lowest was  $0.70 \pm 0.63$  times in July (Fig. 3). The daily bait rates of both compound bait and fresh bait present down first and then up trend. For compound bait, the lowest daily bait ratio was 0.02% in October, while the highest was 0.19% in January. And for fresh bait, the lowest daily bait ratio was 0.12% in June, while the highest was 0.99% in April (Fig. 4). The average annual feeding proportion of fresh food was  $62.57\% \pm 15.63\%$ , but the compound food was only  $18.39\% + 17.61\%$ , which indicated an obvious preference of fresh food in Chinese Sturgeon. Negative correlations were obtained between compound food daily bait rate, fresh food daily bait rate, total feeding proportion, female feeding proportion, total feed frequency, female feed frequency and water temperature by Pearson correlation analysis (Table 1). The parental Chinese Sturgeon displayed a slower-growing feature, and the body circumference, body weight and condition factor showed down first and then up trend. Except condition factor, no significant difference can be detected in other growth parameters during the experimental period (Table 2). Although few inadequacies may occurred in experimental conditions and sampling process, such as the square fish pond with shallow water may cause spatial stress effect, monthly inspection and sampling may cause sampling interference, the results obtained in the present study still can be referred for improving cultivation techniques of Chinese Sturgeon. To improve feeding and growth of Chinese Sturgeon, water temperature regulation, suitable breeding facility, reducing interference and optimizing feed composition should be provided during the feeding management.

**Key words:** *Acipenser sinensis*; Reserve broodstock; Feeding behavior; Growth

中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 属大型溯河产卵洄游性鱼类, 为中国国家 I 级重点保护动物。

人类活动导致中华鲟栖息生境退化或功能丧失, 致使其自然种群严重衰退 (Wang et al.

2011, 庄平等 2010)。目前长江中适宜其自然繁殖和栖息的有效水域面积非常有限, 自然繁殖效果和物种自我维持的境况不佳, 中华鲟自然种群存在灭绝的危险(危起伟等 2013)。建立中华鲟人工养殖保种群, 实现全人工繁殖是保存中华鲟物种、实施迁地保护和自然资源增殖不可或缺的途径。近年来, 我国相关科研机构在中华鲟全人工繁殖技术研究上取得了突破, 并对全人工繁殖相关的亲鱼培育环境和营养条件(张晓雁等 2015)、亲鱼生长和性腺发育(罗江等 2020)、人工催产和繁殖效果(危起伟等 2013)、产后康复和血液生理(张艳珍等 2019)等方面进行了相关研究, 取得了一些进展。

本研究通过对人工养殖条件下中华鲟后备亲鱼的摄食行为和生长特征进行为期 12 个月的持续观察, 分析自然变温节律条件下人工养殖中华鲟后备亲鱼摄食比例、摄食频次、日饵率、饵料偏好、体长、体重、体周长等摄食和生长关键指标的周年变化规律, 为建立中华鲟亲鱼培育技术提供参考, 对中华鲟物种保护具有现实意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验池和实验鱼

实验在上海市水生野生动植物保护研究中心基地开展, 养殖池为长 18 m、宽 15 m、水深 1.6 m 的方形水泥池, 循环水, 水流逆时针方向流动, 养殖用水为经净化处理后的地下水, 使用喃喙 NR-A212 型深水增氧机增氧。

实验鱼 14 尾, 其中, 雄鱼 3 尾, 雌鱼 11 尾, 均为人工繁殖的子一代, 实验期间年龄已达 15 龄, 平均全长 ( $240.8 \pm 18.4$ ) cm (范围 219 ~ 289 cm), 平均体长 ( $201.6 \pm 15.2$ ) cm (范围 183 ~ 235 cm), 平均体重 ( $115.16 \pm 28.93$ ) kg (范围 71.5 ~ 180.5 kg), 所有个体均已启动性腺发育, 处于 II ~ IV 期。实验鱼均采用射频标志 (passive integrated transponder, PIT) 作为体内永久标记, 以锚标为体外标记, 便于

日常观察识别。

### 1.2 养殖环境监测

本实验在自然变温条件下开展。实验期间, 每天 6:00、12:00、18:00 时使用温度计测量养殖车间环境室温, 使用哈希 HQ30d 便携式溶氧仪 (美国哈希公司) 测量养殖池塘的水温和溶解氧。每周使用 Nova 60 和配套试剂包 (德国默克公司) 测量池塘氨氮、亚硝酸。

### 1.3 投喂和摄食行为观察

实验期间, 在池塘的一边选择长度 5 m × 宽 3 m 的区域作为固定食场, 定点投喂, 每天 7:00、13:00、19:00 时进行三次投喂, 先投喂配合饲料 (宁波天邦股份有限公司生产的天邦牌鲟鱼全价配合饲料, 粗蛋白不低于 40%), 30 min 后捞出剩余配合饲料, 再投喂鲜活饵料, 鲜活饵料为经 3% 盐水消毒处理后的鲜活鲫鱼 (*Carassius auratus*), 单尾规格在 50 ~ 150 g, 30 min 后捞出剩余鲜活饵料, 记录投喂量和残饵量, 计算日饵率。投喂饲料后, 即进行摄食行为观察, 根据体外标志识别并记录每一尾中华鲟在一次投喂过程中成功摄食配合饲料和鲜活饵料的次数, 计算当月的摄食比例 (feeding proportion, FP) 和摄食频次 (feeding frequency, FF)。摄食比例指每一尾中华鲟当月成功摄食饵料的投喂餐数占当月总投喂餐数的百分比; 摄食频次指每一尾中华鲟在每餐投喂中发生成功摄食饵料的摄食活动次数。

### 1.4 实验鱼的生长检查

实验期间, 每月对实验鱼进行生长情况检查, 测量获得体重和全长、叉长、体长、胸鳍基部体周长、最大体周长、腹鳍基部体周长等生长相关指标, 体重精确到 0.1 kg, 长度精确到 1 cm。

### 1.5 数据统计分析

依据 PIT 标记编号详细跟踪记录中华鲟摄食行为和生长过程, 实验数据使用 SPSS 16.0 统计软件和 Excel 2010 软件分别进行显著性检验和作图, 结果以 (平均值 ± 标准差) 表示。使用方差 (One-way ANOVA) 检验不同月份、

不同性别组间差异显著性, 使用邓肯多重比较法 (Post-hoc Duncan multiple comparison test) 进行多重比较,  $P < 0.05$  为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 培育环境条件

2 月至次年 1 月各月培育车间室温、培育池水温和溶氧的变化情况见图 1, 室温和水温呈现明显的季节变化特征, 溶氧的季节变化差异不显著。水温 8 月最高, 平均值为  $(26.5 \pm 0.3) ^\circ\text{C}$ , 最高值为  $27.1 ^\circ\text{C}$ , 水温 2 月最低, 平均值为  $(13.6 \pm 0.8) ^\circ\text{C}$ , 最低值为  $9 ^\circ\text{C}$ 。溶氧 2 月最高, 平均值为  $(8.93 \pm 1.05) \text{ mg/L}$ , 最高值为  $13.60 \text{ mg/L}$ , 8 月最低, 平均值为  $(7.42 \pm 0.25) \text{ mg/L}$ , 最小值  $5.12 \text{ mg/L}$ 。全年氨氮含量  $0.01 \sim 0.15 \text{ mg/L}$ , 亚硝酸含量  $0.01 \sim 0.09 \text{ mg/L}$ , 符合渔业水质标准要求。

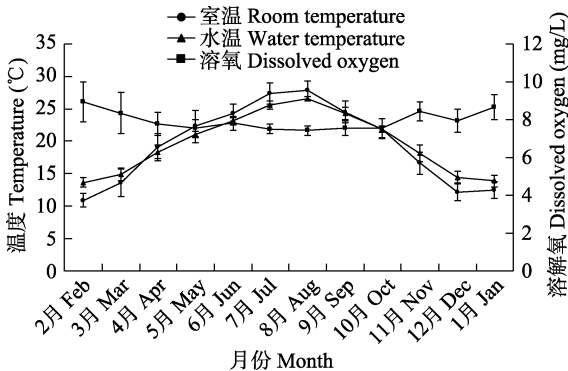


图 1 实验期间室温、水温、溶解氧的变化情况 (平均值  $\pm$  标准差)

Fig. 1 The changes of room temperature, water temperature and dissolved oxygen (Mean  $\pm$  SD)

### 2.2 摄食比例周年变化特征

各月平均摄食比例和摄食频次变化情况见图 2。在不考虑性别差异情况下, 各月摄食比例存在极显著差异 ( $P < 0.01$ ), 摄食比例月均值 4 月最高, 为  $86.9\% \pm 8.6\%$ , 7 月最低, 为  $35.4\% \pm 28.5\%$ , 6 至 9 月平均值低于 50%, 其他月份均高于 50%。

从性别差异对摄食比例的影响来看, 雌鱼、

雄鱼均具有相似的周年变化规律, 不同月份雌鱼摄食比例具有极显著差异 ( $P < 0.01$ ), 而雄鱼无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 相同月份雌雄比较, 仅 9 月摄食比例存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 其他月份无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 5 至 11 月雌鱼摄食比例较雄鱼低, 而其他月份较雄鱼高。

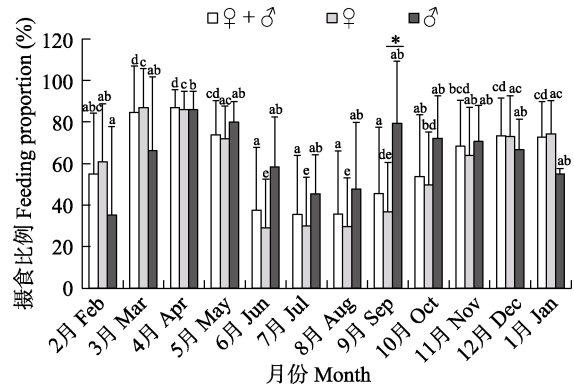


图 2 中华鲟后备亲鱼摄食比例的周年变化 (平均值  $\pm$  标准差)

Fig. 2 Annual variation of feeding proportion of the Chinese sturgeon reserve broodstock (Mean  $\pm$  SD)

同一系列上标不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), \*表示同一月份雌雄比较有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

The same series of different letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ), \* indicates significant difference between male and female at the same month ( $P < 0.05$ ).

### 2.3 摄食频次周年变化特征

各月平均摄食频次变化情况见图 3。在不考虑性别差异情况下, 各月摄食频次存在极显著差异 ( $P < 0.01$ ), 摄食频次月均值 3 月最高, 为  $(3.01 \pm 1.35)$  次, 7 月最低, 为  $(0.70 \pm 0.63)$  次, 6 至 8 月平均摄食频次均小于 1 次, 9 至 11 月和 1、2 月平均摄食频次介于 1~2 次之间, 3 至 5 月和 12 月平均摄食频次均超过 2 次。

从性别差异对摄食频次的影响来看, 雌鱼、雄鱼均具有相似的周年变化趋势, 春季上升, 夏季下降, 秋季上升, 冬季略微下降; 不同月份雌鱼摄食频次具有极显著差异 ( $P < 0.01$ ), 而雄鱼无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 相同月份雌雄比较均无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 5 至 10 月雌鱼

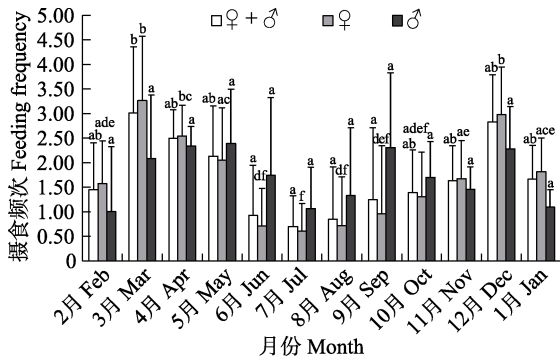


图3 中华鲟后备亲鱼摄食频次的周年变化 (平均值 ± 标准差)

Fig. 3 Annual variation of feeding frequency of the Chinese sturgeon reserve broodstock (Mean ± SD)

同一系列上标不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

The same series of different letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

摄食频次较雄鱼低，而其他月份较雄鱼高。

#### 2.4 日饵率和摄食偏好

实验期间各月配合饲料日饵率和鲜活饵料日饵率变化情况见图4。从2月至次年1月，配合饲料日饵率和鲜活饵料日饵率均呈现先下降后升高的变化趋势，配合饲料日饵率10月最低，为0.02%，1月最高，为0.19%，鲜活饵料日饵率6月最低，为0.12%，4月最高，为0.99%，配合饲料和鲜活饵料年平均日饵率分别为0.07%和0.44%。

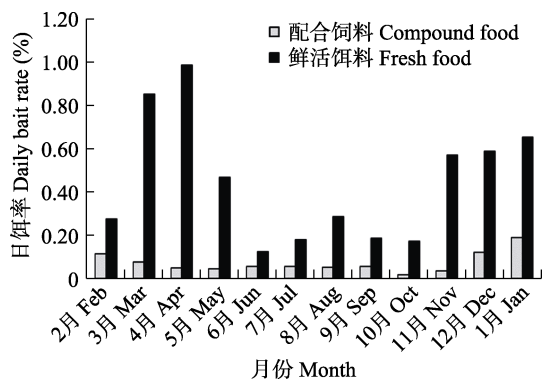


图4 中华鲟后备亲鱼日饵率的周年变化情况

Fig. 4 Annual variation of daily bait ratio of the Chinese sturgeon reserve broodstock

摄食饵料选择性方面，配合饲料的年均摄食比例为  $18.39\% \pm 17.61\%$ ，鲜活饵料的年均摄食比例为  $62.57\% \pm 15.63\%$ ，两者具极显著差异 ( $P < 0.01$ )，可见实验对象对鲜活饵料具有明显偏好性。

#### 2.5 环境条件与摄食行为相关性

对水温、溶氧、日饵率、摄食率和摄食频次进行相关分析(表1)。溶解氧、配合饲料日饵率、鲜活饵料日饵率、总摄食比例、雌鱼摄食比例、总摄食频次和雌鱼摄食频次与水温存在显著负相关关系 ( $P < 0.05$ )，鲜活饵料日饵率与摄食比例和摄食频次存在极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ )。

#### 2.6 生长周年变化特征

后备亲鱼主要生长指标的周年变化情况见表2。经统计分析，培育亲鱼不同月份的全长、体长、体重、胸鳍基部体周长、最大体周长、腹鳍基部体周长、体重这些生长指标均无显著差异 ( $P > 0.05$ )；部分月份之间肥满度存在显著差异 ( $P < 0.05$ )，3月与10月和1月有显著差异，4月与8~10月和1月有显著差异，其余月份之间比较无差异。

实验期间各月中华鲟子一代后备亲鱼的体长-体重关系拟合幂函数方程见表3，各月生长常数  $b$  值介于 2.54~3.11 之间，除6月、7月  $b$  值为 2.5 左右，其余月份均在 3 左右，总体上表现为等速生长。

### 3 讨论

#### 3.1 中华鲟后备亲鱼的摄食行为

行为是动物对外界环境和内部环境变化的外在反应(张晓雁等 2015)。鱼类的生存、生长和发育离不开食物，除了胚胎期依靠卵黄或母体营养外，必须不断从外界环境中获取食物，才能够维持自身的生存，而且鱼类一生中的生长、繁殖等生命活动都是以食物营养为基础来完成的(谢从新 2009)。在人工养殖条件下，中华鲟的生存、生长、发育也必须依赖所摄食食物，而其摄食行为则会受到食物种类、环境

表 1 水温、溶解氧、日饵率和摄食行为指标的 Pearson 相关分析  
Table 1 Pearson correlation analysis of water temperature, dissolved oxygen, daily bait rate and feeding behavior index

项目 Item	水温 Water temperature	溶解氧 Dissolved oxygen	配合饲料日饵率 Compound food daily bait rate	鲜活饵料日饵率 Fresh food daily bait rate	总摄食比例 Total feeding proportion	雌鱼摄食比例 Female feeding proportion	雄鱼摄食比例 Male feeding proportion	总摄食比例 Total feeding proportion	雌鱼摄食比例 Female feeding proportion	雄鱼摄食比例 Male feeding proportion	总摄食频率 Total feeding frequency	雌鱼摄食频率 Female feeding frequency
溶解氧 Dissolved oxygen	-0.842**											
配合饲料日饵率 Compound food daily bait rate	-0.674*	0.628*										
鲜活饵料日饵率 Fresh food daily bait rate	-0.624*	0.342	0.280									
总摄食比例 Total feeding proportion	-0.741**	0.397	0.275	0.915**								
雌鱼摄食比例 Female feeding proportion	-0.813**	0.492	0.358	0.897**	0.987**							
雄鱼摄食比例 Male feeding proportion	0.044	-0.381	-0.388	0.417	0.529	0.400						
总摄食频率 Total feeding frequency	-0.696*	0.271	0.229	0.830**	0.916**	0.906**	0.493					
雌鱼摄食频率 Female feeding frequency	-0.762**	0.366	0.301	0.848**	0.924**	0.930**	0.399	0.992**				
雄鱼摄食频率 Male feeding frequency	0.003	-0.421	-0.309	0.365	0.474	0.373	0.855**	0.623*	0.517			

\*\* 表示极显著相关 ( $P < 0.01$ ); \* 表示显著相关 ( $P < 0.05$ )。

\*\* indicates correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed), \* indicates correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

表 2 中华鲟后备亲鱼生长指标的周年变化 (平均值 ± 标准差)

Table 2 Annual variation of growth index of the Chinese Sturgeon reserve broodstock (Mean ± SD)

月份 Month	全长 (cm) Total Length	叉长 (cm) Fork Length	体长 (cm) Body Length	胸鳍基部周长 (cm) Pectoral Fin base Body Circumference of	最大体周长 (cm) Maximum Body Circumference	腹鳍基部周长 (cm) Body Circumference of Pelvic Fin base	体重 (kg) Body Weight	肥满度 Condition factor
2 月 Feb	240.8 ± 18.4 <sup>a</sup>	221.3 ± 17.1 <sup>a</sup>	201.6 ± 15.2 <sup>a</sup>	100.8 ± 9.2 <sup>a</sup>	110.1 ± 10.7 <sup>a</sup>	92.0 ± 11.2 <sup>a</sup>	115.16 ± 28.93 <sup>a</sup>	1.39 ± 0.19 <sup>abc</sup>
3 月 Mar	243.4 ± 16.7 <sup>a</sup>	220.4 ± 15.5 <sup>a</sup>	200.1 ± 14.2 <sup>a</sup>	99.8 ± 9.9 <sup>a</sup>	111.3 ± 9.7 <sup>a</sup>	93.4 ± 9.5 <sup>a</sup>	117.69 ± 28.19 <sup>a</sup>	1.45 ± 0.14 <sup>bc</sup>
4 月 Apr	240.2 ± 17.0 <sup>a</sup>	219.3 ± 15.7 <sup>a</sup>	195.6 ± 13.7 <sup>a</sup>	100.3 ± 8.9 <sup>a</sup>	107.7 ± 10.2 <sup>a</sup>	91.9 ± 10.4 <sup>a</sup>	113.28 ± 27.52 <sup>a</sup>	1.49 ± 0.12 <sup>c</sup>
5 月 May	244.1 ± 19.0 <sup>a</sup>	219.3 ± 17.3 <sup>a</sup>	199.3 ± 15.3 <sup>a</sup>	98.6 ± 6.9 <sup>a</sup>	109.8 ± 9.8 <sup>a</sup>	91.8 ± 9.5 <sup>a</sup>	112.44 ± 28.38 <sup>a</sup>	1.40 ± 0.14 <sup>abc</sup>
6 月 Jun	246.1 ± 17.9 <sup>a</sup>	222.0 ± 16.8 <sup>a</sup>	200.7 ± 15.5 <sup>a</sup>	100.8 ± 7.5 <sup>a</sup>	108.9 ± 9.7 <sup>a</sup>	90.0 ± 9.0 <sup>a</sup>	115.81 ± 26.88 <sup>a</sup>	1.42 ± 0.16 <sup>abc</sup>
7 月 Jul	248.0 ± 18.5 <sup>a</sup>	221.7 ± 17.0 <sup>a</sup>	199.6 ± 16.0 <sup>a</sup>	97.0 ± 7.9 <sup>a</sup>	106.6 ± 9.7 <sup>a</sup>	88.3 ± 9.3 <sup>a</sup>	110.31 ± 27.09 <sup>a</sup>	1.37 ± 0.17 <sup>abc</sup>
8 月 Aug	245.3 ± 17.5 <sup>a</sup>	222.8 ± 16.0 <sup>a</sup>	200.3 ± 15.0 <sup>a</sup>	99.4 ± 8.3 <sup>a</sup>	107.4 ± 10.6 <sup>a</sup>	89.5 ± 9.1 <sup>a</sup>	110.38 ± 26.67 <sup>a</sup>	1.35 ± 0.14 <sup>ab</sup>
9 月 Sep	242.9 ± 17.3 <sup>a</sup>	221.2 ± 16.2 <sup>a</sup>	199.6 ± 14.4 <sup>a</sup>	98.4 ± 8.7 <sup>a</sup>	107.7 ± 9.9 <sup>a</sup>	88.8 ± 9.2 <sup>a</sup>	107.69 ± 26.48 <sup>a</sup>	1.34 ± 0.14 <sup>ab</sup>
10 月 Oct	240.2 ± 16.3 <sup>a</sup>	221.2 ± 15.8 <sup>a</sup>	201.7 ± 15.0 <sup>a</sup>	100.1 ± 8.5 <sup>a</sup>	106.2 ± 10.7 <sup>a</sup>	87.7 ± 9.6 <sup>a</sup>	108.53 ± 28.48 <sup>a</sup>	1.31 ± 0.21 <sup>a</sup>
11 月 Nov	240.3 ± 18.9 <sup>a</sup>	219.8 ± 16.0 <sup>a</sup>	199.3 ± 14.2 <sup>a</sup>	98.8 ± 9.7 <sup>a</sup>	106.4 ± 10.8 <sup>a</sup>	86.3 ± 9.7 <sup>a</sup>	110.37 ± 27.41 <sup>a</sup>	1.38 ± 0.17 <sup>abc</sup>
12 月 Dec	248.1 ± 17.7 <sup>a</sup>	222.4 ± 17.2 <sup>a</sup>	201.4 ± 15.8 <sup>a</sup>	99.2 ± 8.1 <sup>a</sup>	106.8 ± 10.6 <sup>a</sup>	90.1 ± 11.4 <sup>a</sup>	114.75 ± 27.35 <sup>a</sup>	1.39 ± 0.18 <sup>abc</sup>
1 月 Jan	247.8 ± 18.2 <sup>a</sup>	223.7 ± 17.1 <sup>a</sup>	204.0 ± 14.5 <sup>a</sup>	103.1 ± 9.9 <sup>a</sup>	109.8 ± 10.7 <sup>a</sup>	92.4 ± 9.6 <sup>a</sup>	111.44 ± 27.07 <sup>a</sup>	1.30 ± 0.16 <sup>a</sup>

同一列上标有相同字母表示相互比较差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

The same series of same letters indicate no-significant difference ( $P > 0.05$ ).

**表 3 中华鲟后备亲鱼体长-体重关系的周年变化**  
**Table 3 Annual variation of length-weight relationship of the Chinese sturgeon reserve broodstock**

月份 Month	体长 (x) - 体重 (y) 关系方程 Length (x)-weight (y) relation equation	b 值 Parameter b	相关系数 (R <sup>2</sup> ) Correlation coefficient
2 月 Feb	$y = 8 \times 10^{-6} x^{3.0911}$	3.09	0.69
3 月 Mar	$y = 2 \times 10^{-5} x^{2.9717}$	2.97	0.83
4 月 Apr	$y = 8 \times 10^{-6} x^{3.1113}$	3.11	0.88
5 月 May	$y = 2 \times 10^{-5} x^{2.9250}$	2.93	0.85
6 月 Jun	$y = 2 \times 10^{-4} x^{2.5391}$	2.54	0.75
7 月 Jul	$y = 1 \times 10^{-4} x^{2.5838}$	2.58	0.75
8 月 Aug	$y = 2 \times 10^{-5} x^{2.9231}$	2.92	0.83
9 月 Sep	$y = 1 \times 10^{-5} x^{3.0256}$	3.03	0.81
10 月 Oct	$y = 2 \times 10^{-5} x^{2.9249}$	2.92	0.68
11 月 Nov	$y = 2 \times 10^{-5} x^{2.9704}$	2.97	0.76
12 月 Dec	$y = 8 \times 10^{-5} x^{2.6724}$	2.67	0.73
1 月 Jan	$y = 1 \times 10^{-5} x^{2.9782}$	2.98	0.76

条件、自身生长发育等外界和内部条件的影响。

鱼类对食物具有选择性，主要由喜好性和易得性决定，喜好性是鱼类长期适应摄取某种食物生物形成的固有属性，它取决于鱼类本身的形态特征和代谢特征，也取决于食物的形态特征和生化特性，易得性是食物和鱼类关系的一种属性，是食物逃避被鱼类吃食的适应结果（谢从新 2009）。中华鲟对食物有较长时间记忆，摄取食物后，主要靠口腔触觉和味觉判断适口性，最终吞入或摒弃食物，对部分食物的选择性可以被逐步驯化（张晓雁等 2007，庄平等 2008）。在自然条件下，中华鲟主要摄食底栖生物，长江口中华鲟幼鱼以底栖小型鱼类、多毛类和端足类为主要食物，兼食虾类、蟹类及瓣鳃类等小型底栖动物（罗刚等 2008，庄平等 2009）。本文对人工养殖条件下中华鲟后备亲鱼摄食配合饲料和鲜活饵料的选择性进行了研究，通过固定食场、定时投喂和充分投饵措施，极大地提高了食物的易得性，在优先投喂配合饲料的情况下，中华鲟对鲜活饵料的摄食比例明显高于配合饲料，说明实验中华鲟喜好摄食鲜活饵料，这种喜好性差异可能由中华鲟

自身的代谢特征、营养需求等内在因素和饵料的生化特性等外在因素所导致，具体的选择影响机制值得进一步研究。

鱼类摄食行为的季节性变化，是一种普遍现象，主要起因于水温、溶解氧的季节性变化（谢从新 2009）。除一些小型非洄游性鲟类外，绝大多数鲟类的成鱼并非常年摄食，一般在高温季节或低温季节停止摄食（陈细华 2007）。本文对人工养殖条件下中华鲟后备亲鱼摄食行为的周年变化进行了观察分析，其摄食比例和摄食频次均具有典型季节变化，春季升高，夏季下降，秋季再升高，冬季又呈现下降趋势，夏季的下降幅度最大，这种变化主要与水温变化存在显著相关性。此外，雌性较雄性摄食行为波动幅度更大，预示着雌性更易受到水温变化，特别是高温的影响，因此在亲鱼培育过程中，为了保障雌性后备亲鱼的摄食，以获得更好营养补充，需要注意加强高温季节培育水温的控制。同时需要注意，雌性和雄性后备亲鱼摄食行为存在一定的差异，在培育过程中应尽可能雌雄分池培育，并根据其摄食行为特点调整投喂管理策略。

鱼类摄食行为也受鱼类自身生理因素的影响。江海洄游型鲟鱼进入淡水后进行产卵洄游时一般也停止摄食，根据北美 Suwannee 河大西洋鲟 (*A. oxyrinchus*) 的调查结果（陈细华 2007），鲟鱼在生活史的早期阶段生长迅速，以便快速达到其较大的体形，获得竞争优势，但受到生态系统容量的限制，不可能无限制地生长，于是出现间断性的摄食期和禁食期。在自然条件下，中华鲟成鱼进入长江后，其性腺发育处于 III ~ IV 期或者 V 期，但均不摄食，而产后亲鱼在长江干流内就已开口摄食（四川省长江水产资源调查组 1988）。本研究观察发现，在人工养殖条件下，性腺发育至 III ~ IV 期的中华鲟仍会摄食饵料，只是其摄食比例和频次低于其他个体，这种差异可能是人工养殖中华鲟对人工环境长期适应的结果。

### 3.2 中华鲟后备亲鱼的生长

鱼类的生长与其他动物具有差异，生长速度虽有明显的阶段性，但只要食物和环境条件合适，就可以连续不断地生长，直到衰老为止。性成熟前，是鱼类生长速度最快的阶段，主要表现为体长的快速增长，性成熟后，鱼类摄取的营养大部分用于保证性腺发育和成熟，长度增长速度下降，体重增长速度上升（谢从新 2009）。自然条件下，中华鲟具有较快的生长速度，中华鲟雌鲟平均年增重 8.0 ~ 14.5 kg，雄鲟平均年增重 4.56 ~ 8.59 kg（四川省长江水产资源调查组 1988），但中华鲟各年龄段的平均体长和体重，并不是按年龄的增加而有规律地递增，而是在有些年龄段反而减少（陈细华 2007）。张晓雁等（2015）对养殖中华鲟亲鱼产后的摄食行为和生长进行了研究，在 21.0 ~ 22.5 °C 恒温培育条件下，雌性和雄性摄食量分别为体重的 0.52% ~ 2.04% 和 0.39% ~ 1.60%，9 个月内雌、雄体长增长率分别为 5.00% 和 3.23%，体重增长率分别为 44.16% 和 23.30%，这种较快的生长速度可能与恒定的培育温度以及产后亲鱼大量摄食积累营养物质以备启动性腺再次发育需求有关。罗江等（2020）研究认为频繁的体检会干扰中华鲟正常摄食、生长。本文研究发现，在自然变温条件下，中华鲟日饵率为 0.12% ~ 0.99%，全年生长缓慢。综合摄食比例、摄食频次和日饵率变化，作者认为，在本研究所提供的自然变温养殖条件下，中华鲟后备亲鱼的最佳生长期为 3 至 5 月和 10 月至翌年 1 月。全年适宜生长期较短且饵料摄入量较低，可能是导致中华鲟生长缓慢的因素，此外，本研究中每月检查测量所造成的应激干扰也是造成中华鲟生长缓慢不可忽视的因素之一。因此，采取温度调节措施，延长最佳生长期，减少不必要的检查干扰，将有助于提高后备亲鱼的生长效果。

陈细华（2007）对 1981 至 2001 年葛洲坝下捕获的中华鲟亲鱼的年龄和生长数据进行了统计，16 龄雌鲟平均体长 248.6 cm，平均体重

181.2 kg ( $n = 12$ )，雄鲟平均体长 216.1 cm，平均体重 97.3 kg ( $n = 16$ )。罗江等（2020）研究发现，人工养殖的子一代中华鲟雌性和雄性体重均远低于野生个体，且出现体重增长缓慢或不增长等“长不大”的现象，认为中华鲟个体大，对养殖空间的需求大，而现有人工养殖设施往往池体小，池水浅，人工养殖中华鲟长期处于空间胁迫状态，使其生长受阻，是其个体“长不大”的主要原因。本研究使用的中华鲟至实验结束已达 16 龄，平均体长 ( $204.0 \pm 14.5$ ) cm，平均体重 ( $111.44 \pm 27.07$ ) kg ( $n = 14$ )，个体明显小于同龄野生个体，这可能和人工养殖的环境及营养条件有关。因此，要使人工养殖中华鲟达到野生条件下的生长速度，需要提供适宜的环境和充足的营养，改善养殖池塘的池型和空间条件，提高性成熟前的生长速度。

综上所述，在亲鱼培育管理中，应注意加强水温调控，提供适宜养殖条件，减少人为干扰，改善摄食和生长效果。需要说明的是，本研究在实验条件和采样方面存在不足，受研究条件限制实验池塘的池型和水深存在不足，每月一次检查采样过于频繁，不可避免地对实验鱼产生空间胁迫和采样干扰。此外，本研究所使用的实验鱼中华鲟及其珍贵，研究样本量受限，研究结果尚存在偶然因素影响，同时，中华鲟作为长生命周期的物种，12 个月的研究较短，研究结果不能反映其整个生命周期的行为生长特征。今后需继续增加实验样本，延长研究周期，改善实验条件，改进采样方法，进行更为深入研究，以积累更多的亲鱼培育数据。

**致谢** 感谢上海市水生野生动植物保护研究中心养殖工作人员在实验期间提供的帮助，感谢审稿专家提出宝贵的修改意见。

### 参 考 文 献

- 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, 95–103.
- 罗刚, 庄平, 章龙珍, 等. 2008. 长江口中华鲟幼鱼的食物组成及摄食习性. *应用生态学报*, 19(1): 144–150.
- 罗江, 杜浩, 危起伟, 等. 2020. 濒危中华鲟人工群体的繁殖生物学. *中国水产科学*, 27(3): 269–276.
- 四川省长江水产资源调查组. 1988. 长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究. 四川: 四川科学技术出版社, 1–284.
- 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, 291–394.
- 庄平, 罗刚, 张涛, 等. 2010. 长江口水域中华鲟幼鱼与 6 种主要经济鱼类的食性及食物竞争. *生态学报*, 30(20): 5544–5554.
- 庄平, 宋超, 章龙珍, 等. 2009. 中华鲟幼鱼饵料生物及人工饲料的蛋白质和脂肪酸营养价值评价. *水产学报*, 33(3): 496–502.
- 庄平, 章龙珍, 罗刚, 等. 2008. 长江口中华鲟幼鱼感觉器官在摄食行为中的作用. *水生生物学报*, 32(4): 475–481.
- 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, 刘鉴毅, 危起伟, 等. 2007. 不同喂食方法对产后野生中华鲟的摄食促进. *动物学杂志*, 42(2): 142–146.
- 张艳珍, 杜浩, 王彦鹏, 等. 2019. 水族馆养殖中华鲟血细胞指标的变化. *动物学杂志*, 54(5): 711–718.