

文章编号: 1674-5566(2023)03-0628-09

DOI:10.12024/jsou.20220603913

自然产卵间断以来中华鲟幼鱼抵达与离开长江口时间及其生长的年际变化观察

吴建辉^{1,2,3}, 陈锦辉^{1,2,3,4}, 徐嘉楠^{1,2,3}

(1. 上海市水生野生动植物保护研究中心, 上海 200092; 2. 长江口水生生物资源监测与保护联合实验室, 上海 202162; 3. 长江流域水生生物资源监测上海站, 上海 202162; 4. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306)

摘要: 中华鲟(*Acipenser sinensis*)是国家一级重点保护野生动物,近年来野生中华鲟自然产卵行为间断给中华鲟种群保护和恢复带来巨大挑战。为了探究该间断现象对中华鲟生活史特征产生的可能影响,根据2004—2020年长江口中华鲟幼鱼资源调查数据,分析中华鲟自然产卵行为间断前后长江口中华鲟幼鱼的监测数量、生长特征和行为习性的年际变化。结果表明:2014、2016、2018—2020年长江口水域未监测到中华鲟幼鱼,自中华鲟自然产卵行为间断后,长江口中华鲟幼鱼补充量出现中断的情况;中华鲟幼鱼习性发生显著变化,抵达长江口的时间提前(提前至4月中旬),离开长江口的时间延迟(延迟至10月下旬),出现时间延长(延长118 d)的趋势;长江口中华鲟幼鱼生长规格低于历史同期,最小体长和最小体质量分别为7.0 cm和4.9 g。研究结果将为中华鲟保护政策措施的制定提供科学参考。

关键词: 长江口; 中华鲟幼鱼; 生长特征; 行为习性

中图分类号: Q 958.8 **文献标志码:** A

中华鲟(*Acipenser sinensis*)为溯河洄游性鱼类,是我国国家一级重点保护野生动物和长江生物多样性保护的旗舰物种^[1]。自2013年以来,中华鲟自然产卵行为出现间断,多年监测未发现其进行野外繁殖^[2]。2013—2014年,科研人员在中华鲟传统产卵场葛洲坝下产卵场未发现中华鲟自然产卵行为^[3],是1981年葛洲坝截流以来首次未发现野生中华鲟自然产卵^[4];2013年中华鲟繁殖活动中断后,中华鲟繁殖频次降至两年一次^[5-6];2015年在长江口水域监测到2014年繁殖的中华鲟幼鱼,但在产卵场未监测到中华鲟产卵活动,2016年虽有小规模自然产卵活动,但2017年又再次中断^[7]。2017—2019年中华鲟自然繁殖已连续中断3年^[8-9]。中华鲟自然产卵行为由连续产卵变为偶发产卵的现象使中华鲟保护和恢复的前景更为堪忧^[2]。

长江口是中华鲟重要的洄游通道、生理调节

场所和索饵场,对长江口中华鲟幼鱼的研究将有助于解析中华鲟自然产卵行为间断的影响机制。本文利用2004—2020年长江口中华鲟幼鱼资源监测数据,以长江口首次未出现中华鲟幼鱼的2014年为节点,分析中华鲟自然产卵行为间断前后长江口中华鲟幼鱼种群数量、生长特征及行为习性的年际变化,为进一步解决中华鲟自然产卵中断后中华鲟保护难题提供基础数据和信息。

1 材料与方法

1.1 监测方法与网具

中华鲟幼鱼样本来源于中华鲟监测网采集。中华鲟监测网采用长江口传统渔具插网,共设置2顶,均布设于崇明岛东滩水域,位于上海市长江口中华鲟自然保护区的实验区内[图1(a)],位置分别为121°59'20"E和31°27'36"N(C1)、122°00'00"E和31°30'50"N(C2)。中华鲟监测网布设

收稿日期: 2022-06-10 修回日期: 2022-10-22

基金项目: 国家自然科学基金(31902372);上海市科委高校地方能力建设项目(21010502200);上海市科技兴农项目(沪农科创字2022第2-1号)

作者简介: 吴建辉(1980—),男,博士,研究方向为水生野生生物及栖息地保护。E-mail:wjh0618@163.com

通信作者: 陈锦辉,E-mail:1114260882@qq.com

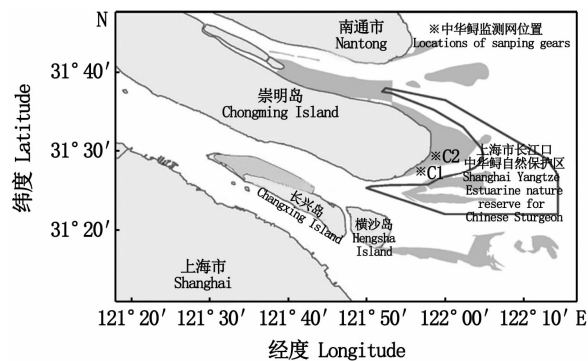
版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

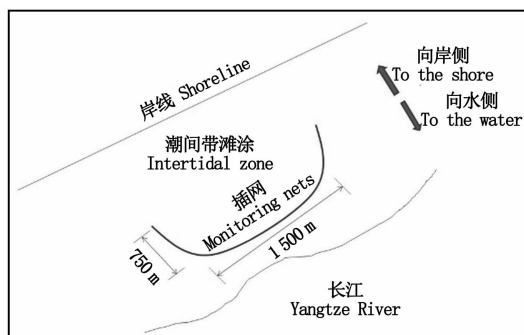
<http://www.shhydx.com>

位置、布放方式、网具尺寸均保持一致,网长3 000 m,网高0.8 m,近似扇形布置,横截面约长1 500

m[图1(b)],利用退潮期拦截中华鲟进行采样。



(a) 中华鲟监测网位置
Locations of Chinese sturgeon sampling gears



(b) 监测网的结构示意图
Structure of Chinese sturgeon sampling gears

图1 中华鲟监测网布设位置与结构

Fig.1 Locations and structure of Chinese sturgeon sampling gears

1.2 调查时间

监测期为每月的大潮汛(农历初一至初三,十六至十八)与小潮汛(初八至十一,二十三至二十六)之间。除台风等恶劣天气外,监测频次保持每月2次,每次连续监测2 d,每天监测2网次。

1.3 数据处理

将每年所监测到第一尾中华鲟幼鱼的日期记为首现时间,所监测到最后一尾中华鲟幼鱼的日期记为终现时间,每年首现时间与终现时间之间的天数记为出现时长(d)。

采用幂函数描述中华鲟的生长规律^[10-12]:

$$W = aL^b$$

式中: a 、 b 为参数,其中 b 为鱼的质量增加系数与体长增加系数之比,以此判断鱼类是否处于等速生长; W 为平均体质量,g; L 为平均体长,cm。

肥满度计算公式如下:

$$K = W/L^3$$

式中: K 为肥满度, g/cm^3 ; W 为体质量,g; L 为体长,cm。

以上数据分析在 Microsoft Excel 中执行。

1.4 中华鲟样本管理

中华鲟监测活动取得上海市渔业主管部门批准。采集的活体中华鲟样本测量生物学数据后就地放生,受伤样本转移到崇明岛中华鲟保护基地进行救治和暂养,保存于野生中华鲟活体库,供科学研究;死亡样本保存于崇明岛中华鲟保护基地,制作标本或冷冻备用,充分利用好珍

贵的中华鲟样本和数据。

2 结果与分析

2.1 长江口中华鲟幼鱼补充量及年际变动

2004—2020年,共采集到长江口中华鲟幼鱼样本6 600尾。经检查体内体外放流标志、对比生物学数据和参考长江流域中华鲟增殖放流信息,统计的长江口中华鲟幼鱼样本基本去除了人工繁育的放流中华鲟。

中华鲟幼鱼数量年间变动情况如图2所示,2014年首次在长江口未发现中华鲟幼鱼。从监测数量来看,中华鲟自然产卵间断前(2004—2013年),长江口中华鲟幼鱼补充量共1 790尾,呈现持续多年低值波动的特点;2004—2013年间,2006年长江口中华鲟幼鱼监测数量最多,达到600尾,监测数量最少的年份为2011年,仅发现14尾中华鲟幼鱼。中华鲟自然产卵间断后(2014—2020年),长江口监测到中华鲟幼鱼4 810尾,是2004—2013年监测总量的2.7倍,但年监测数量呈现不连贯且高度集中出现的特点;该监测期内,2014年未监测到中华鲟幼鱼,2015年中华鲟幼鱼监测数量大幅反弹至4 158尾,为监测期内最大年度监测数量。之后,2017年又一次在长江口水域监测到中华鲟幼鱼,数量为652尾。2016、2018—2020年均未发现。总之,2014—2020年7年间长江口水域仅2年有中华鲟幼鱼发现记录,2017—2020年持续3年中华鲟

幼鱼绝迹。从监测数量来看,2004—2020 年长江口中华鲟幼鱼监测数量波动剧烈,呈现不稳定状

态和断裂化现象。

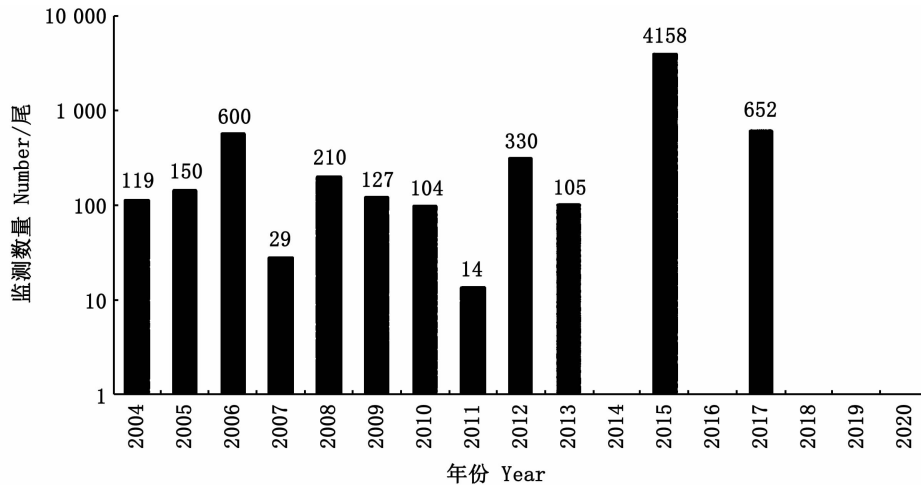


图2 2004—2020 年长江口中华鲟幼鱼监测数量的变动

Fig. 2 Variations of the number of juvenile Chinese sturgeon in the Yangtze River Estuary from 2004 to 2020

2.2 长江口中华鲟幼鱼首现和终现时间年际变化

表1和图3显示,2004—2020年,中华鲟幼鱼在长江口水域的首现时间在2014年前后有着显著的差异。2004—2013年首现时间较晚,2015—2020年首现时间有所提前。前一阶段(2004—2013年),长江口中华鲟幼鱼首现时间集中在5月下旬至6月上旬,总体呈现推迟的趋势,且从2009年之后,幼鱼首现时间均在6月份。该阶段内,幼鱼首现时间从5月9日推迟到6月29日,首现时间推迟达51 d;其中幼鱼首现时间出现在5月的有4年,出现在6月的有6年。后一阶段(2015—2020年),中华鲟幼鱼在长江口水域的首现时间不断提前,其最早于4月出现在长江口。其首现时间较2004—2013年提前了半个月到两个半月不等。

2014年前后,中华鲟幼鱼在长江口水域的终现时间呈现出与首现时间相反的变化趋势,总体上表现为推迟趋势。2004—2013年终现时间范围为7月14日至9月21日,时间差距为69 d,无规律的分布在7月、8月和9月间。2014年之后,2015年和2017年中华鲟幼鱼在长江口水域的终现时间均为10月26日,终现时间延迟了35~104 d。中华鲟幼鱼在长江口水域的终现时间发生最多的为7月,有5年,占到监测期的33.3%,

集中在监测期的初始阶段和中间阶段。其次是9月,有3年,占到监测期的20.0%。再次是8月和10月,各发生2年。其中终现时间发生在10月的是中华鲟自然产卵行为间断后的2015和2017年。

2.3 长江口中华鲟幼鱼出现时长及监测数量年际变化

中华鲟幼鱼在长江口的出现时长取决于该年的首现时间和终现时间,图3表明,中华鲟幼鱼到达长江口水域的首现时间越早,则离开该水域进入海洋的时间越晚,在长江口水域停留的时间会更长。监测数据表明,2017年中华鲟幼鱼在长江口首现时间最早(4月10日),其终现时间最晚(10月26日),其出现时长最长(199 d)。中华鲟自然产卵中断后的2015年和2017年,长江口水域首次发现中华鲟幼鱼的时间提前到4月中下旬,而终现时间延迟至10月中旬。

监测发现,2004、2005和2013年中华鲟幼鱼在长江口水域出现时长为30~60 d,2006和2012年中华鲟幼鱼在长江口水域出现时长为60~90 d,2007、2008、2010年中华鲟幼鱼在长江口水域出现时长为90~120 d,2009、2015、2017年中华鲟幼鱼在长江口水域出现时长超过120 d。

2004—2020年,中华鲟幼鱼在长江口水域出现的年份有12年,年平均出现时长约为97 d。

2014 年首次未监测到中华鲟幼鱼前后,中华鲟幼鱼在长江口的出现时长呈现出显著的变化。2004—2013 年,出现时长变化幅度剧烈,从 18 ~ 132 d 不等。但出现时长保持较低值,年平均出现时长仅为 78 d, 低于监测期的年平均值。2014—2020 年,出现时长明显增加,2015 和 2017

年分别为 188 d、199 d, 出现中华鲟幼鱼的年份年平均出现时长为 194 d。整体上呈现时长延长的趋势。相较于前期,2014—2020 年幼鱼在长江口水域的年平均出现时长增加了 116 d, 增长了 147.8%。

表 1 2004—2020 年长江口中华鲟幼鱼监测信息
Tab.1 Monitoring information of juvenile Chinese sturgeon from 2004 to 2020

| 年份 Year | 数量 Number/尾 | 首现时间 Earliest occurrence time | 终现时间 Final occurrence time | 出现时长 Time span/d | 年平均出现时长 Average time span/d |
|------------|----------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 2004 | 119 | 5/29 | 7/24 | 57 | |
| 2005 | 150 | 6/2 | 7/14 | 43 | |
| 2006 | 600 | 5/24 | 7/31 | 69 | |
| 2007 | 29 | 6/7 | 9/11 | 97 | |
| 2008 | 210 | 5/26 | 9/21 | 119 | |
| 2009 | 127 | 5/9 | 9/18 | 132 | 78 |
| 2010 | 104 | 6/11 | 8/22 | 106 | |
| 2011 | 14 | 6/29 | 7/15 | 18 | |
| 2012 | 330 | 6/3 | 8/22 | 81 | |
| 2013 | 105 | 6/6 | 7/21 | 55 | |
| 2014 | 0 | - | - | - | |
| 2015 | 4 158 | 4/21 | 10/26 | 188 | |
| 2016 | 0 | - | - | - | |
| 2017 | 652 | 4/10 | 10/26 | 199 | 194 |
| 2018 | 0 | - | - | - | |
| 2019 | 0 | - | - | - | |
| 2020 | 0 | - | - | - | |
| 平均 Avg | | | | | 97 |

注:“-”表示该年份未监测到野生中华鲟幼鱼。

Notes: “-” indicates that no wild juvenile Chinese sturgeon was detected in this year.

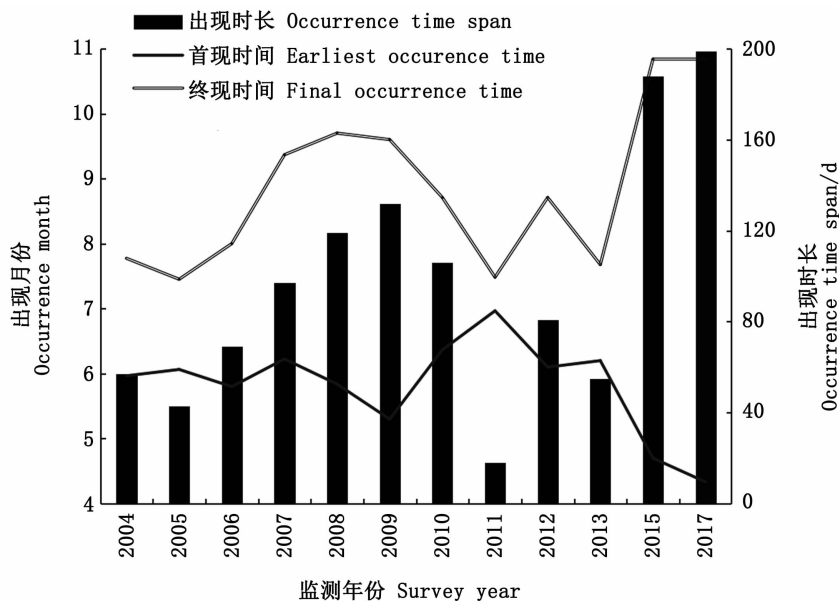


图 3 2004—2020 年长江口中华鲟幼鱼出现时间及出现时长的变化
Fig.3 Interannual variation in the emergence time and length of emergence of juvenile Chinese sturgeon in the Yangtze River estuary from 2004 to 2020

中华鲟在长江口水域的出现时长越长,其监测数量越多(图4)。2015 和 2017 年为 17 年以来中华鲟幼鱼在长江口水域出现时长最长的年份,对应的监测数量最多。

2.4 长江口中华鲟幼鱼生物学特征

从表 2 和图 5(a)可以看出,长江口中华鲟幼鱼年平均体长逐年减小。2004—2013 年平均体长为 22.8 cm,2015 和 2017 年的平均体长为 22.2 cm,2014 年之后长江口中华鲟幼鱼平均体长略有减小,但最小体长均出现在该两年(2015 年的 7.0 cm,2017 年的 8.7 cm)。

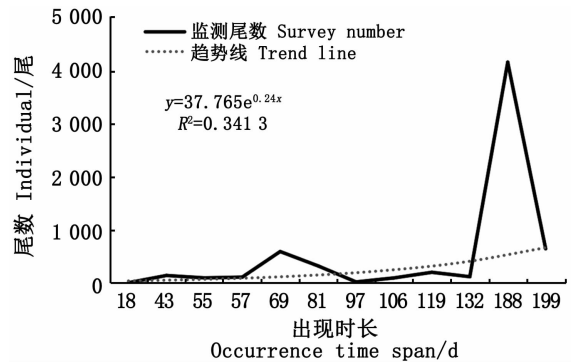


图4 长江口中华鲟幼鱼出现时长与监测数量的关系
Fig. 4 Relation of the number and the occurrence time of juvenile Chinese sturgeon in the Yangtze River estuary

表 2 2005—2020 年中华鲟幼鱼生长统计
Tab. 2 Growth statistics of juvenile Chinese sturgeon from 2005 to 2020

| 年份 Year | 体长范围 Body length/cm | 年平均体长 Average body length/cm | 体质量范围 Body mass/g | 年平均体质量 Average body mass/g | 平均饱满度 Fullness | 生长方程 Growth equations | 生长指数 b Growth index b |
|------------|------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|--|------------------------------|
| 2004 | 10.0 ~ 43.0 | | 26.0 ~ 464.0 | | 0.86 | — | — |
| 2005 | 16.0 ~ 58.0 | | 23.0 ~ 609.0 | | 0.45 | $W = 0.491 5L^{1.593 5} (R^2 = 0.863 3)$ | 1.59 |
| 2006 | 10.4 ~ 33.8 | | 10.0 ~ 239.0 | | 0.80 | $W = 0.055 5L^{2.304 7} (R^2 = 0.859 2)$ | 2.30 |
| 2007 | 20.0 ~ 49.0 | | 35.0 ~ 830.0 | | 0.84 | $W = 0.001 6L^{3.399 3} (R^2 = 0.912 7)$ | 3.40 |
| 2008 | 11.5 ~ 44.0 | 22.8 | 24.0 ~ 451.0 | 99.1 | 0.76 | $W = 0.036 9L^{2.467 1} (R^2 = 0.915 8)$ | 2.47 |
| 2009 | 17.0 ~ 41.0 | | 20.0 ~ 660.0 | | 0.99 | $W = 0.004 5L^{3.184 3} (R^2 = 0.898 1)$ | 3.18 |
| 2010 | 9.0 ~ 40.0 | | 20.0 ~ 426.0 | | 0.88 | $W = 0.040 5L^{2.460 0} (R^2 = 0.921 6)$ | 2.46 |
| 2011 | 16.0 ~ 31.0 | | 35.0 ~ 225.0 | | 0.74 | $W = 0.043 5L^{2.397 9} (R^2 = 0.827 6)$ | 2.40 |
| 2012 | 13.0 ~ 45.0 | | 15.0 ~ 470.0 | | 0.72 | $W = 0.019 7L^{2.635 8} (R^2 = 0.844 4)$ | 2.64 |
| 2013 | 15.0 ~ 43.0 | | 15.0 ~ 239.0 | | 0.65 | $W = 0.021 5L^{2.573 5} (R^2 = 0.888 1)$ | 2.57 |
| 2014 | — | — | — | — | — | — | — |
| 2015 | 7.0 ~ 36.8 | | 4.9 ~ 322.0 | | 0.77 | $W = 0.009 6L^{2.890 9} (R^2 = 0.862 0)$ | 2.89 |
| 2016 | — | — | — | — | — | — | — |
| 2017 | 8.7 ~ 46.4 | 22.2 | 5.0 ~ 710.0 | 98.5 | 0.98 | $W = 0.006 6L^{3.023 3} (R^2 = 0.947 0)$ | 3.02 |
| 2018 | — | — | — | — | — | — | — |
| 2019 | — | — | — | — | — | — | — |
| 2020 | — | — | — | — | — | — | — |

注:“—”表示该年份未监测到野生中华鲟幼鱼。

Notes: “—” indicates that no wild juvenile Chinese sturgeon was detected in this year.

从表 2 和图 5(b)可以看出:2004—2013 年平均体质量为 99.1 g,2015 和 2017 年的平均体质量为 98.5 g,最小体质量分别出现在 2015 和 2017 年,分别为 4.9 和 5.0 g;2014 年之后长江口中华鲟幼鱼平均体质量减小。总体上,中华鲟自然产卵间断后长江口中华鲟幼鱼规格低于历史同期。

从表 2 可以看出,2017 年长江口中华鲟幼鱼生长指数 $b = 3.02$,为等速生长,2007 和 2009 年生长指数 $b > 3$,为体质量增长速度快于体长增长速度的异速生长,其余 9 个年份的生长指数 $b < 3$,为体质量增长速度低于体长增长速度的异

速生长。由于监测分析的均为洄游至长江口的中华鲟幼鱼,生长方程的 R^2 相对较低。

3 讨论

由于中华鲟幼鱼资源补充量与中华鲟产卵群体资源量、产卵量等自然产卵行为存在明显正相关关系^[13],随着中华鲟繁殖群体减少以及自然繁殖行为变化等原因,长江口中华鲟幼鱼的补充量减少。另外,中华鲟幼鱼在长江口的活动时间特征也发生了显著变化,总体上呈现首现时间提前,终现时间延迟,这可能与自然水域水文的年际差异、产卵场变化等因素有关。

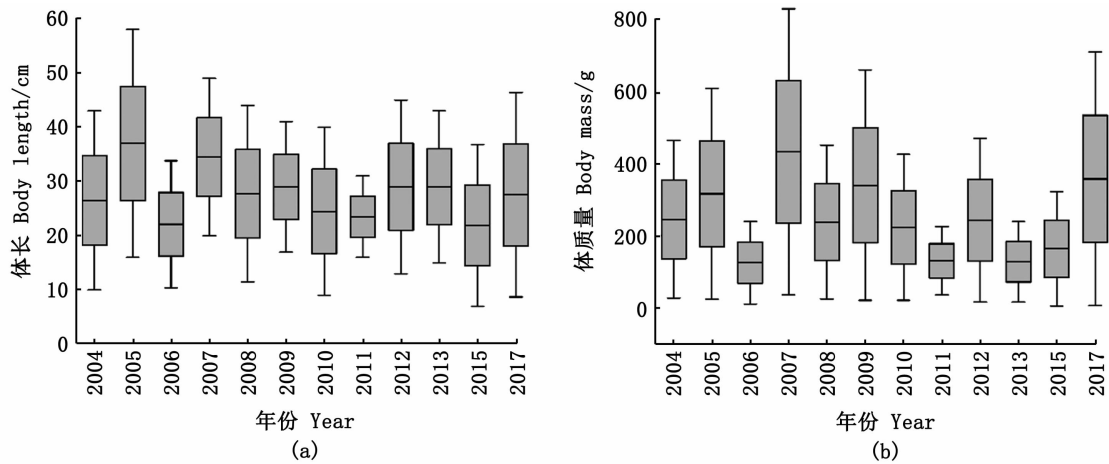


图5 2004—2020年长江口中华鲟幼鱼体长和体质量的变动

Fig. 5 Variations of the average body length and body mass of juvenile Chinese sturgeon from 2004 to 2020

3.1 长江口中华鲟幼鱼补充量的变化及分析

监测结果表明,2004—2020年间长江口中华鲟幼鱼的年际补充量呈现出总体衰退、不连续、不稳定的状况。2001年以前长江流域未实行禁渔制度,长江口渔业作业经常性大量误捕中华鲟幼鱼^[14-15]。有记载,仅1990年4—8月渔民在崇明岛东滩水域使用插网作业,捕获中华鲟幼鱼5200尾^[16]。进入2000年以后,长江口中华鲟幼鱼资源逐渐衰退。2001年长江口崇明岛水域尚能误捕中华鲟幼鱼3911尾^[17]。2007—2009年,科研人员在长江常熟淑浦段中华鲟资源监测点仅捕获中华鲟幼鱼20~45尾^[18]。2014年以后,长江口中华鲟幼鱼补充量出现中断和不连续的严峻状况,7年内有5年未监测到中华鲟幼鱼^[8]。值得注意的是,2015年监测到中华鲟幼鱼4158尾,为近20年来长江口中华鲟幼鱼单年度最高监测记录^[8]。但在中华鲟幼鱼补充量年际连续性断裂的情况下,这种补充量的年际波动无法掩盖其数量不断下降的事实^[8-9],中华鲟资源保护形势仍然严峻。研究显示,一方面自1981年葛洲坝截流以来,中华鲟幼鱼的补充群体和亲鲟的繁殖群体数量急剧减少^[19-20],在2012年到达坝下产卵场的中华鲟繁殖群体不足100尾^[5];同时,到达产卵场的亲体并非全部能够性成熟并参与繁殖^[21],因此导致长江口中华鲟补充群体的数量持续下降。另一方面,长江自然水域环境因素变动对中华鲟的时空分布产生影响,从而导致其产卵群体资源量及其补充数量发生剧烈波动^[15]。数据说明中华鲟产卵群体数量衰退明显,中华鲟

产卵规模不断减少,直接反映为长江口的中华鲟幼鱼补充量波动下降^[8]。由公开资料可知,2013年10月在长江葛洲坝产卵场开展的2个月监测,是32年监测以来首次未发现中华鲟的自然产卵行为^[3]。自此,中华鲟自然繁殖活动开始从连续繁殖到偶发繁殖^[3],2014、2016和2018—2020年在长江口未监测到中华鲟幼鱼的情况证实了中华鲟自然繁殖行为从连续转为偶发的变化^[8]。中华鲟自然产卵行为间断,“偶发繁殖”现象将可能成为一种常态^[3],其野生种群数量无法得到补充^[22],甚至可能面临灭绝的危险。

3.2 长江口中华鲟幼鱼时空分布变化及分析

据历史资料记载,葛洲坝建成后,中华鲟幼鱼在长江口出现和停留的时间是5—9月^[23-25]。监测结果表明,中华鲟自然产卵行为间断后,长江口中华鲟幼鱼的洄游节律和时空分布受到了严重干扰。监测发现,中华鲟幼鱼4月中旬到达长江口水域,首现时间提前了约一个月。2015和2017年中华鲟首现时间均为4月中下旬,分别为4月21日和4月10日(表1),这与赵峰等^[26]所记录的中华鲟到达长江口的新纪录——4月16日相接近。中华鲟幼鱼离开长江口水域的首现时间也发生了变化,从传统的9月推迟到10月,比历史记录延迟了约1个月^[8]。中华鲟幼鱼在长江口停留时间大幅延长,由每年的5—9月变化成不连续年份的4—10月^[8]。

造成中华鲟幼鱼时空分布变化的原因错综复杂。葛洲坝坝下产卵场水温、流速、流量等中华鲟产卵关键水文因子的改变,可能使中华鲟产

卵时间、产卵频次等产卵活动发生了较大变动^[27]。长江水文形势的变化,尤其是长江水体的水温等环境要素变动,可能影响并改变中华鲟幼鱼的洄游时间和洄游路线^[28]。有研究人员^[26,29]提出,借鉴历史上中华鲟产卵场多次主动或被动变迁的事实,推断出中华鲟为了适应传统产卵场环境的变化,极有可能再次找到了新的产卵场,且形成的新产卵场距离长江口更近。比较历史数据(表3),2014年以来,长江口中华鲟幼鱼年平均体长、年平均体质量等生物学指标为近30年的最低值^[8],可能支持了中华鲟孵化时间提前

的猜想。值得注意的是,2014年葛洲坝下中华鲟产卵场未发现中华鲟产卵繁殖行为^[7],但2015年长江口水域监测到数量众多的中华鲟幼鱼,推测葛洲坝下中华鲟产卵场并不是现存的中华鲟唯一产卵场,可能在葛洲坝下中华鲟产卵场的下游还有一处产卵场存在^[8]。综上所述,长江口中华鲟幼鱼的洄游习性和时空分布变化,能够反演解答中华鲟产卵时间、洄游距离、产卵场变迁等问题,并为开展中华鲟自然产卵行为重塑、产卵场修复重建等抢救性保护措施提供依据。

表3 1987—1992年中华鲟幼鱼到达长江口时间及其规格

Tab.3 Time and size of juvenile Chinese sturgeon appearing in the Yangtze Estuary from 1987 to 1992

| 年份 Year | 首现时间 Arriving time | 样本数 Sample number/ind. | 平均体长 Average body length/cm | 平均体质量 Average body mass/g | 数据来源 Reference |
|------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1987 | 5月上旬 | 1 | - | - | |
| 1990 | 5月下旬 | 34 | 12.96 | 12.82 | 易继舫 ^[30] |
| 1991 | 5月中旬 | 12 | 12.45 | 11.20 | 赵峰等 ^[26] |
| 1992 | 5月中旬 | 12 | | | |

论文数据由上海市水生野生动植物保护研究中心郑跃平、范厚勇、王琳、陈慧文、吴锐、倪春华、彭树才等同事共同完成,特此感谢!

参考文献:

- [1] 危起伟. 从中华鲟(*Acipenser sinensis*)生活史剖析其物种保护: 困境与突围[J]. 湖泊科学, 2020, 32(5): 1297-1319.
WEI Q W. Conservation of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) based on its life history: dilemma and breakthrough [J]. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(5): 1297-1319.
- [2] 高欣, 张富铁, 常涛, 等. 中华鲟的性腺发育与退化问题研究[J]. 水生生物学报, 2020, 44(6): 1369-1377.
GAO X, ZHANG F T, CHANG T, et al. Discussion on the gonadal development and degeneration of Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2020, 44(6): 1369-1377.
- [3] 吴金明, 王成友, 张书环, 等. 从连续到偶发: 中华鲟在葛洲坝下发生小规模自然繁殖[J]. 中国水产科学, 2017, 24(3): 425-431.
WU J M, WANG C Y, ZHANG S H, et al. From continuous to occasional: small-scale natural reproduction of Chinese sturgeon occurred in the Gezhouba spawning ground, Yichang, China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(3): 425-431.
- [4] 王熙, 王环珊, 张先锋. 由长江中的三种鲟到长江水域生态保护[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2020, 54(4): 734-748.
WANG X, WANG H S, ZHANG X F. From three sturgeons to the ecological protection of the Yangtze River[J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences), 2020, 54(4): 734-748.
- [5] WU J M, WANG C Y, ZHANG H, et al. Drastic decline in spawning activity of Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* Gray 1835 in the remaining spawning ground of the Yangtze River since the construction of hydrodams[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2015, 31(5): 839-842.
- [6] ZHUANG P, ZHAO F, ZHANG T, et al. New evidence may support the persistence and adaptability of the near-extinct Chinese sturgeon[J]. Biological Conservation, 2016, 193: 66-69.
- [7] 王鸿泽, 陶江平, 常剑波. 中华鲟濒危状况与物种保护对策的评估分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(9): 2100-2108.
WANG H Z, TAO J P, CHANG J B. Endangered levels and conservation options evaluations for Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* Gary[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(9): 2100-2108.
- [8] 吴建辉. 长江口中华鲟种群特征及栖息地鱼类群落结构的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020:43-76.
WU J H. Population characteristics and habitat fish community structure of Chinese sturgeon in the Yangtze River Estuary[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020: 43-76.
- [9] 陈锦辉, 刘健, 吴建辉, 等. 长江口中华鲟幼鲟补充量波动特征分析[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(3): 381-387.

- CHEN J H, LIU J, WU J H, et al. Analysis on the fluctuation features of recruitment for juvenile Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* in the Yangtze River estuary[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(3): 381-387.
- [10] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 10-15.
- ZHAN B Y. Fishery resource assessment [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 10-15.
- [11] 华元渝, 胡传林. 鱼种重量与长度相关公式($W = aL^b$)的生物学意义及其应用[C]//鱼类学论文集. 北京: 科学出版社, 1981: 125-131.
- HUA Y Y, HU C L. The biological significance and application of the correlation formula between fingerling weight and body weight ($W = aL^b$) [C]//Proceedings of Ichthyology. Beijing: Science Press, 1981: 125-131.
- [12] 祖岫杰, 刘艳辉, 李改娟, 等. 二龄拉氏鲮在池塘养殖条件下的生长特性[J]. 渔业现代化, 2015, 42(4): 26-29.
- ZU X J, LIU Y H, LI G J, et al. The pond culture and growth performances of two-year *Phoxinus lagowskii* Dybowski [J]. Fishery Modernization, 2015, 42(4): 26-29.
- [13] 王成友. 长江中华鲟生殖洄游和栖息地选择[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012: 40-42.
- WANG C Y. Migrations for reproduction of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) and its habitat selections in the Yangtze River [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012: 40-42.
- [14] 陈正国. 长江口中华鲟(*Acipenser sinensis* Gray)幼鱼资源保护对策的探讨[J]. 现代渔业信息, 1991, 6(4): 12-14.
- CHEN Z G. Discussion on countermeasures for the conservation of juvenile fish resources of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray) in the Yangtze Estuary[J]. Modern Fisheries information, 1991, 6(4): 12-14.
- [15] 施德龙, 龚志高. 回眸中华鲟幼鱼保护13年[J]. 中国水产, 2001(5): 22-23, 25.
- SHI D L, GONG Z G. Review of protection of young sturgeon in China in past thirteen years [J]. China Fisheries, 2001(5): 22-23, 25.
- [16] 施德龙, 龚志高. 长江口中华鲟幼鱼的保护[J]. 海洋渔业, 1993, 15(2): 72-73.
- SHI D L, GONG Z G. Conservation of juvenile Chinese sturgeon in the Yangtze Estuary[J]. Marine Fisheries, 1993, 15(2): 72-73.
- [17] 杨德国, 危起伟, 王凯, 等. 人工标志放流中华鲟幼鱼的降河洄游[J]. 水生生物学报, 2005, 29(1): 26-30.
- YANG D G, WEI Q W, WANG K, et al. Downstream migration of tag released juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in the Yangtze River [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2005, 29(1): 26-30.
- [18] 李罗新, 张辉, 危起伟, 等. 长江常熟熟浦段中华鲟幼鱼出现时间与数量变动[J]. 中国水产科学, 2011, 18(3): 611-618.
- LI L X, ZHANG H, WEI Q W, et al. Occurrence time and amount variation of juvenile Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* at Xupu, Changshu section of Yangtze River after closure of Three Gorges Dam [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(3): 611-618.
- [19] 柯福恩. 论中华鲟的保护与开发[J]. 淡水渔业, 1999, 29(9): 4-7.
- KE F E. Conservation and exploit of *Acipenser sinensis* [J]. Freshwater Fisheries, 1999, 29(9): 4-7.
- [20] 危起伟. 中华鲟繁殖行为生态学与资源评估[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2003: 20-21.
- WEI Q W. Reproductive behavioral ecology of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray) with its stock assessment [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2003: 20-21.
- [21] 危起伟. 野生中华鲟面临灭绝风险[J]. 渔业致富指南, 2014(20): 6.
- WEI Q W. Wild Chinese sturgeon at risk of extinction [J]. Fishery Guide to be Rich, 2014(20): 6.
- [22] 李振龙. 科研机构再次未监测到中华鲟自然繁殖迹象[J]. 中国水产, 2015(2): 47.
- LI Z L. Scientific research institutions again failed to detect signs of natural reproduction of Chinese sturgeon [J]. China Fisheries, 2015(2): 47.
- [23] 班文波, 郭柏福, 管敏, 等. 中华鲟行为学研究进展[J]. 生物学通报, 2016, 51(8): 1-5.
- BAN W B, GUO B F, GUAN M, et al. Research progress of Chinese sturgeon behavior [J]. Bulletin of Biology, 2016, 51(8): 1-5.
- [24] 沈新强, 史赞荣, 晁敏, 等. 夏、秋季长江口鱼类群落结构[J]. 水产学报, 2011, 35(5): 700-710.
- SHEN X Q, SHI Y R, CHAO M, et al. Fish community structure of the Yangtze River Estuary in summer and autumn [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(5): 700-710.
- [25] 庄平, 刘健, 王云龙, 等. 长江口中华鲟自然保护区科学考察与综合管理[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 159-163.
- ZHUANG P, LIU J, WANG Y L, et al. The Yangtze Estuary nature reserve for Chinese sturgeon: scientific studies and management [M]. Beijing: China Ocean Press, 2009: 159-163.
- [26] 赵峰, 庄平, 张涛, 等. 中华鲟幼鱼到达长江口时间新记录[J]. 海洋渔业, 2015, 37(3): 288-292.
- ZHAO F, ZHUANG P, ZHANG T, et al. New timing record of juvenile *Acipenser sinensis* appearing in the Yangtze Estuary [J]. Marine Fisheries, 2015, 37(3): 288-292.
- [27] 张陵, 郭文献, 李泉龙. 长江流域珍稀物种中华鲟生态保护措施[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2022, 43(1): 96-102.
- ZHANG L, GUO W X, LI Q L. Ecological protection measures of Chinese sturgeon, a rare and endemic species in

- the Yangtze River Basin [J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2022, 43(1): 96-102.
- [28] 王春峰, 陈锦辉, 黄硕琳, 等. 长江口中华鲟保护区生态环境初步评价[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(5): 674-678.
- WANG C F, CHEN J H, HUANG S L, et al. Preliminary evaluation of Yangtze Estuarine nature reserve for Chinese Sturgeon[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(5): 674-678.
- [29] LIU J, YOU X X, XU P, et al. Assessing the genetic diversity of the critically endangered Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* using mitochondrial markers and genome-wide single-nucleotide polymorphisms from RAD-seq [J]. Science China Life Sciences, 2018, 61(9): 1090-1098.
- [30] 易继航. 长江中华鲟幼鲟资源调查[J]. 葛洲坝水电, 1994(1): 53-58.
- YI J F. Investigation on the resources of juvenile Chinese sturgeon in the Yangtze River [J]. Gezhouba Hydropower Station, 1994(1): 53-58.

Interannual variation in migration habits and growth of juvenile Chinese sturgeon following interrupted natural spawning behavior in the Yangtze River Estuary

WU Jianhui^{1,2,3}, CHEN Jinhui^{1,2,3,4}, XU Jianan^{1,2,3}

(1. Shanghai Aquatic Wildlife Conservation and Research Center, Shanghai 200092, China; 2. Joint Laboratory for Monitoring and Conservation of Aquatic Living Resources in the Yangtze Estuary, Shanghai 202162, China; 3. Shanghai Monitoring Station of Aquatic Biological Resources in the Yangtze River Basin, Shanghai 202162, China; 4. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* is an anadromous migratory fish species, which inhabits the Chinese coastal continental shelf areas and breeds in the Yangtze River Basin. The Yangtze River Estuary is an important migration passage of Chinese sturgeon. The Chinese sturgeon population is endangered, which has been listed as a top-level protected animal in List of key protected wild animals in China and a critically endangered species in IUCN Red List of Threatened Species. Since 2013, the abnormal interruption of natural spawning behavior of wild Chinese sturgeon has brought great challenges to the protection and restoration of Chinese sturgeon population. Based on the survey data of juvenile Chinese sturgeon resources in the Yangtze River estuary from 2004 to 2020, this study analyzed the population characteristics and migration habits of juvenile Chinese sturgeon in the Yangtze River estuary following the abnormal natural spawning behavior. The results show that: (1) Since natural spawning behavioral interruption of Chinese sturgeon, juvenile Chinese sturgeon was not detected in the Yangtze River estuary in 2014, 2016, 2018, 2019 and 2020. The recruitment of juvenile Chinese sturgeon population in the Yangtze River estuary showed an interannual continuous fracture. (2) The migration habits of juvenile Chinese sturgeon changed significantly, it showed that the first occurrence time was advanced to mid-April, and the final occurrence time was delayed to late October, and the occurrence time span was extended by 118 days. (3) The biological indexes of juvenile Chinese sturgeon were lower than the same period in history; Their minimum body length and minimum body weight were 7.0 cm and 4.9 g respectively. To sum up, the juvenile Chinese sturgeon recruitment decreased year by year. The migration habit shows that the earlier the first occurrence time, the later the final occurrence time in the Yangtze River estuary. The results of this study will provide an important scientific reference for the protection of rare and endangered species of Chinese sturgeon.

Key words: Yangtze River Estuary; juvenile Chinese sturgeon; growth characteristics; migration habits