

葛洲坝产卵场中华鲟繁殖群体数量与繁殖规模估算及其变动趋势分析

陶江平^{1,2,3}, 乔 晔², 杨 志^{1,2,3}, 常剑波², 董方勇², 万 力²

(1. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072;

2. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 湖北 武汉 430079; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:采用声学探测的方法,进行中华鲟(*Acipenser sinensis*)繁殖群体数量的估算。2005~2007年,第1次产卵前的资源量分别为235尾、217尾和203尾;第1次产卵后的资源量分别为157尾、157尾和102尾。采用食卵鱼解剖统计和股分析的方法对中华鲟的自然繁殖规模进行估算,其结果为,2005~2007年间中华鲟的产卵量分别为356万粒、119.6万粒和238.6万粒。结合历史相关研究数据,对近10年的中华鲟繁殖群体数量和繁殖规模的变动趋势进行分析,结果显示,在20世纪90年代中期,第1次产卵前的中华鲟繁殖群体数量下降趋势明显,但2002年以来其数量趋于基本稳定,年际间的差异没有统计学意义($P > 0.05$)。自2002年以来,第1次产卵后停留产卵场的中华鲟数量有增加的趋势,而中华鲟的繁殖规模近10年来呈现极其显著性的下降趋势($P < 0.01$)。

关键词:葛洲坝;中华鲟;繁殖规模;群体数量

中图分类号:S931.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2009)02-0037-07

中华鲟(*Acipenser sinensis*)是一种典型的溯河洄游性鱼类,主要分布于我国的长江干流和长江口的浅海区域,每年的9~11月,发育成熟的中华鲟个体便溯河而上,到长江上游金沙江下游的江段繁殖后代(四川省长江水产资源调查组,1988)。1981年葛洲坝水利枢纽截流以后,长江中华鲟被阻隔在葛洲坝坝下江段。根据余志堂等(1983)的调查显示,葛洲坝下游的中华鲟仍能自然繁殖,并形成了新的葛洲坝坝下产卵场。近年连续的监测表明,中华鲟自然繁殖活动被压缩于葛洲坝至庙嘴约4km的江段内。产卵场分布江段的长度不足在长江上游时的1%,自然繁殖规模远远小于葛洲坝水利枢纽修建之前,其资源量自1990年开始逐年下降,如果影响因素不变,长江中华鲟繁殖群体的年资源量将在2019年达到最小值,并维持在402尾左右(常剑波,1999)。

对中华鲟资源状况的监测有助于分析中华鲟繁殖群体和繁殖规模的变动趋势,从而了解葛洲坝阻

隔以及人类活动对中华鲟的影响程度,以便及时的对该物种制定相应的保护措施(谭细畅,2002)。对于中华鲟繁殖群体的估算,中科院水生所鱼类生态与资源保护学科组自1998年首次使用声纳设备对葛洲坝下中华鲟资源量进行探测,并估算每年的繁殖群体数量。对于繁殖规模的估算,采用渔获物调查、食卵鱼解剖结果,结合体长股分析法进行推算(常剑波,1999;常剑波等,2000);而危起伟(2003)采用江底捞卵的方法进行繁殖规模的估算。二者对繁殖规模估算的方法虽不同,但结论基本吻合。

本文基于声纳探测到的中华鲟个体信号,对近3年中华鲟在葛洲坝江段的繁殖群体数量进行估算。采用食卵鱼解剖统计结果,结合股分析方法对其繁殖规模进行估算;并对其繁殖群体数量和繁殖规模的变动趋势进行分析。

1 材料与方法

1.1 数据来源

1998~2004年的中华鲟繁殖群体数量和繁殖规模数据来自常剑波(1999)、谭细畅(2002)、Qiao等(2006)论文。采声纳探测获得的中华鲟信号及相关数据,结合以下方法计算获得2005~2007年中华鲟繁殖群体数量。

1.2 中华鲟繁殖群体估算

依据探测到中华鲟成熟个体的数量与对应水体体积,分段计算研究水体中华鲟个体的数量。计算

收稿日期:2009-03-02

基金项目:国家自然科学基金重大项目(30490234);科技部水利部公益性行业科研专项(200701008);水利部公益性行业科研专项(200701029)。

通讯作者:常剑波。E-mail: jbchang@mail.ihe.ac.cn

作者简介:陶江平,1981年生,男,安徽宿松人,硕士,主要从事渔业声学和保护生物学方面的研究。E-mail: jptao@mail.ihe.ac.cn

探测水体体积的理论公式(Balk, 2005)为:

$$V_i = \int_{R_{1,i}}^{R_{2,i}} 2 \cdot R \cdot \tan(\varphi/2) \cdot d_{i,i+1} dR \tag{1}$$

便于计算,该公式可简化为:

$$V_i = \tan(\varphi/2) \cdot d_{i,i+1} (R_{2,i}^2 - R_{1,i}^2) \tag{2}$$

公式(2)中, V_i 为每个 ping(声呐 1 次采样的过程:包括准备、脉冲发射、回波接收、接收确认、信号处理)探测的水体体积; φ 为换能器获得最大增益时的张角度数; $d_{i,i+1}$ 为每个 ping 的探测距离; $R_{2,i}$ 为每个 ping 探测到的水深, $R_{1,i}$ 为自定义的分析数据的起始水深。

$$Vol_{sailed} = \sum_{i=1}^{p-1} V_i \tag{3}$$

根据探测的实际结果,将所要分析的江段分为若干个区段,假设中华鲟在不同的区段分布为均匀分布,则每个分析江段中华鲟数量估算公式为:

$$N = \frac{n \times V_{Total}}{Vol_{sailed}} \tag{4}$$

公式(3)、(4)中, Vol_{sailed} 为每个分析江段探测到的水体体积; p 为分析江段探测数据的 ping 数目; Vol_{Total} 为分析江段实际水体体积; n 为分析江段探测到的中华鲟数量; N 为分析江段中华鲟的估算数量。

1.3 中华鲟繁殖规模估算

2005~2007 年的 10~12 月,在葛洲坝坝下江段进行渔获物调查,调查时间共计 5 个月。主要调

查的有三层流刺网、定置网、定置钩等渔具。三层流刺网作业时间为每天 5: 00~7: 30,定置网和定置钩的作业时间为头天 14: 00 点至次日 7: 00 点。共获得渔获量 1 656.8 kg,共计 8 970 尾。

以铜鱼为研究对象,采用 Jones 的体长股分析方法估算其资源量(Sparre & Venma,1992;虞功亮等,2002),再按渔获物中不同种类的相对数量比例推算其它食卵鱼的资源量。然后将各种食卵鱼类的资源量累加而获得食卵鱼的总资源量,进一步结合日均个体食卵数、食卵持续时间,求出中华鲟的繁殖规模。其计算方法如常剑波(1999)、虞功亮等(2002)所述。

1.4 数据的统计分析

数据统计分析以及数据模拟采用 SPSS13.0 和 Sigma Plot 10.0 软件进行。

2 结果

2.1 中华鲟繁殖群体估算

2005~2007 年,在中华鲟繁殖季节进行中华鲟繁殖群体的声学探测,其中 2005 年探测的江段主要集中在葛洲坝坝下到夷陵长江大桥位置。2006~2007 年探测的江段主要集中在葛洲坝坝下到艾家河河口位置,探测江段长约 16 km。

各年份探测到的水体基本情况见表 1。

表 1 回声探测仪探测到的水体基本概况

Tab.1 The main information of the survey area which obtained by acoustic methods

项目	2005 年		2006 年		2007 年	
	产卵前	产卵后	产卵前	产卵后	产卵前	产卵后
	Before Spawning	After Spawning	Before Spawning	After Spawning	Before Spawning	After Spawning
探测距/km Survey Distance	24.5	32.1	36.8	21.7	70.8	60.6
最大水深/m Max. depth	40.0	25.0	22.8	35.5	35.0	25.0
最小水深/m Min. depth	6.2	4.7	6.7	4.8	5.1	4.6
平均水深/m Mean. depth	16.3±6.1	11.8±4.4	13.7±4.0	13.5±5.3	13.9±5.2	11.8±4.9
分析江段 Survey area	坝下-夷陵 长江大桥	坝下-夷陵 长江大桥	坝下-艾家河	坝下-艾家河	坝下-艾家河	坝下-艾家河

利用各个区域探测到的水体基本情况,换算出探测水体的体积,采用公式(1)~(4)的计算方法对 2005~2007 年中华鲟繁殖群体数量进行估算,所得的估算结果见表 2。

2.2 中华鲟繁殖规模估算

2005~2007 年,利用渔获物统计结果结合体长股分析方法,算得铜鱼的资源量分别为 107 994 尾、111 594 尾、139 548 尾。在中华鲟产卵场的解剖结果表明,在所检测的鱼类中,铜鱼、圆口铜鱼等 8 种鱼类吞食有中华鲟卵。其中尤其以圆口铜鱼、铜鱼和瓦氏黄颡鱼 3 种鱼类为重要的食卵鱼种类,各种

食卵鱼的种类组成比例及其食卵的情况见表 3。

表 2 中华鲟繁殖群体数量估算

Tab.2 The estimation of chinese sturgeon's spawning population by acoustic survey in the spawning ground

监测年份 Survey time	估算数量/尾 Population estimate	备注 Remark
2005	235	第 1 次产卵前
	157	第 1 次产卵后
2006	217	第 1 次产卵前
	157	第 1 次产卵后
2007	203	第 1 次产卵前
	102	第 1 次产卵后

表3 中华鲟产卵期间食卵鱼的种类组成和食卵情况

Tab.3 Species composition of egg – predatory fishes and their harmfulness to egg of Chinese sturgeon during spawning seasons.

年份 Years	鱼名 Species	解剖数/尾 Num. of fish survey	食卵鱼/尾 Num. of egg – predatory fishes	尾均食卵数/粒 Eggs eaten by per fish	食卵鱼比 例/% Proportion	食卵数/粒 Eggs eaten by fishes
2005	圆口铜鱼 <i>Coreius guichenoti</i>	280	161	29.73	57.50	3 003
	铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	469	178	12.47	37.95	973
	瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	114	35	29.11	30.70	815
	长鳍吻鲈 <i>Rhinogobio ventralis</i>	45	2	0.00	4.44	0
	宜昌鳅鮡 <i>Gobiobotia ichangensis</i>	5	3	3.50	60.00	7
	异鳔鳅鮡 <i>Xenophysogobio boulengeri</i>	2	1	0.00	50.00	0
	圆筒吻鲈 <i>Rhinogobio cylindricus</i>	24	3	1.00	12.50	1
2006	圆口铜鱼 <i>Coreius guichenoti</i>	71	1	0.00	1.41	0
	铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	397	0	0.00	0.00	0
	瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	31	7	26.80	22.58	134
2007	圆口铜鱼 <i>Coreius guichenoti</i>	28	3	2.00	10.71	4
	铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	112	11	17.75	9.82	71
	瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	8	2	3.00	25.00	3
	长吻鲿 <i>Leiocassis longirostris</i>	3	2	6.00	66.67	6

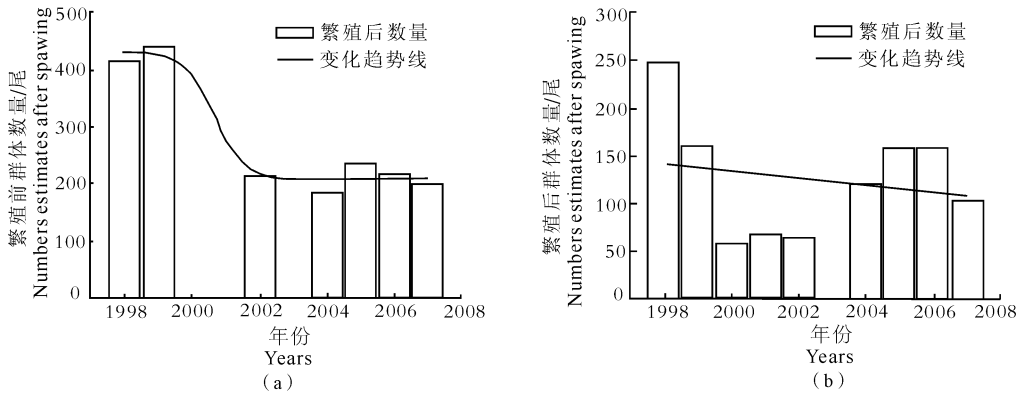
根据逐日解剖情况来看,2005 ~ 2007 年,中华鲟卵在食卵鱼类肠道内出现的日持续时间分为 9 d、3 d 和 4 d,食卵的持续时间均较短,且规模不大。结合该江段渔获物统计结果和年总捕捞努力量(日均作业船次以 13 船次计),推断出该江段卵的总量。2005 ~ 2007 年产卵量分别为 356 万粒、119.6 万粒、238.6 万粒。按雌鲟平均怀卵量 40 万尾计算,不足 40 万的亦计为 1 尾(危起伟,2003),并参考 2005 ~ 2007 年声纳探测所获得中华鲟繁殖群体数量,算得参加产卵的中华鲟分别为 9 尾、3 尾和 6 尾。

2.3 中华鲟繁殖群体变动趋势分析

中华鲟繁殖群体数量的估算结果显示,2006 年产卵前中华鲟繁殖群体数量为 217 尾,2007 年产卵

前为 203 尾,与 2002 年以来的历史资料比较,其数量变化没有统计学意义($P > 0.05$)。但在 2002 年以前,中华鲟繁殖群体数量下降趋势明显,2002 年以后的这种趋势并不显著。对中华鲟的繁殖群体数量的变动趋势进行曲线模拟(图 1 - a),其变动趋势基本符合常剑波(1999)所描述的中华鲟繁殖群体变化趋势($R^2 = 0.97, P < 0.01$)。

第 1 次产卵后停留在产卵场的中华鲟数量也呈现逐渐降低的趋势,但是这一趋势也并不显著($R^2 = 0.037, P > 0.05$)(图 1 - b)。其中,1998 ~ 2002 年,第 1 次产卵后停留在产卵场的中华鲟数量由 248 尾下降至 61 尾。但在 2002 年以后,其停留在产卵场的数量有逐渐增加的趋势,其数量分别为 118 尾、157 尾、157 尾和 102 尾。



第 1 次产卵前的估算数量和变动趋势; b:第 1 次产卵后的估算数量和变动趋势

图 1 中华鲟坝下产卵场中繁殖群体数量变动趋势

The trend before the Chinese sturgeon spawning; b: the trend after the Chinese sturgeon spawning

Fig.1 The annual spawning population and the tendency of Chinese sturgeon in the spawning ground during the spawning seasons.

2.4 中华鲟繁殖规模变动趋势分析

结合常剑波(1999)论文中的 1982 ~ 1998 年中华鲟繁殖规模数据,以及中科院水生所监测报告,并整理出 1999 ~ 2004 年中华鲟繁殖规模的监测数据。通过对比历史资料得出,2006 年中华鲟的繁殖规模为历史最低水平,2001 年和 2007 年的繁殖规模为历史次低水平。

对中华鲟自然繁殖能力变化趋势进行估计,通

过线性回归分析可以看出,中华鲟产卵量在一定的程度上呈现线性下降趋势,且下降趋势极其显著($P < 0.01$)。但是这一趋势并不精确的描述中华鲟产卵量的发展趋势,因为中华鲟自然繁殖能力在多方面因素的影响下,会有不同的变动趋势。为了更加准确的模拟出中华鲟繁殖能力的变化趋势,我们通过曲线估计方法来拟合中华鲟繁殖能力变化。

表 4 中华鲟繁殖能力变化趋势曲线估计的模型概要和参数估计

Tab.4 Model summary and parameter estimates of Chinese sturgeon's reproduction ability

模拟方程 Equation	模型概要 Summary of model					参数估计 Parameter estimates				
	R^2	F Vaule	$df1$	$df2$	Sig.	常数 Constant	$b1$	$b2$	$b3$	
线性模型 Linear	0.647	12.804	1	7	0.009	4 524.027	-515.959			
对数模型 Logarithmic	0.838	36.244	1	7	0.001	5 228.988	-2 368.63			
2 次方程 Quadratic	0.807	12.532	2	6	0.007	6 608.880	-1 582.80	97.638		
3 次方程 Cubic	0.883	12.604	3	5	0.009	9 084.303	-3 914.93	604.331	-30.528	
复合模型 Compound	0.655	13.308	1	7	0.008	5 544.300	0.707			
幂函数 Power	0.660	13.604	1	7	0.008	6 641.828	-1.404			
S 曲线 S	0.580	9.651	1	7	0.170	5.631	3.414			
生长方程 Growth	0.655	13.308	1	7	0.008	8.621	-0.347			
指数方程 Exponential	0.655	13.308	1	7	0.008	5 544.300	-0.347			
逻辑斯蒂方程 Logistic	0.655	13.308	1	7	0.008	0.000	1.415			

通过进行线性模型、对数模型、逻辑斯蒂等 10 种模型对中华鲟繁殖能力变化趋势进行曲线拟合。各个回归方程的模型参数概要以及参数估计结果见表 4,拟合的结果见图 2。其中 Logistic 回归方程上限值限定为 9 464,该值为中华鲟理论产卵量之最大值(常剑波,1999)。

从参数估计结果为,10 种回归模型中,有 9 个回归模型的模拟相伴概率值均小于显著性水平 0.05,而且这 9 个模型的模拟均极其显著($P < 0.01$)。只有“S”模型的相伴概率值大于显著性水平($P = 0.17$)。因此,除“S”曲线以外,其余的 9 个模型的模拟都具有统计学意义。

9 个显著性模型中,相关关系最高的是 3 次方程($R^2 = 0.883$);其次是对数回归模型($R^2 = 0.838$)。相关关系最小的为线性关系($R^2 = 0.647$)。因此,中华鲟群体自然繁殖能力的变化趋势最大可能是 3 次方程曲线或者对数曲线。该变化趋势为线性的可能性最小(图 2),其变化趋势曲线方程为:

$$y = 9\,048.303 - 3\,914.93x + 604.33x^2 - 30.53x^3$$
$$(P < 0.01)$$

(5)

$$y = 5\,228.99 - 2\,368.63 \ln x$$
$$(P < 0.01)$$

(6)

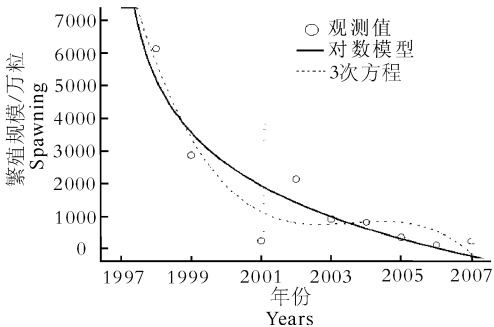


图 2 1998 ~ 2007 年中华鲟繁殖规模(产卵量)的变化趋势
Fig.2 The down tendency of Chinese sturgeon's spawning size in the last ten years

3 讨论

3.1 数据采集处理的误差分析

由于技术和设备等原因,采用声纳探测其对资源量评估有一定的缺陷性(谭细畅,2002)。本次虽对中华鲟声信号的判别有所改进,但由于产卵场内分布的中华鲟资源量太少,探测机率小,其估算方法更加复杂。所以在研究中,假定其在产卵场分布为均匀分布,从而推导出其繁殖群体数量。在分布密集区这一方法推算结果的误差不会很大,但是在极少分布区域的推算结果便会产生很大的误差,所以一直以来我们仅对坝下 5 km 江段(葛洲坝至镇江

阁)的中华鲟繁殖群体进行估算,因为该区域中华鲟分布相对与其它江段而言要密集许多,因此估算误差相对要小。对于整个保护区分布中华鲟数量乃至其资源总量状况还待进一步研究,而其资源量估算方法也有待改进。

对鱼类早期资源量的估计,过去多以直接抽样分析的方法进行。常剑波(1999)依据敌害鱼类吞食的数量变动特征估算中华鲟的繁殖规模,数据分析结果不是很完美,但是作为一项量化指标,据此判断中华鲟历年的相对繁殖规模及变动趋势,仍具有很高的参考价值。

3.2 中华鲟繁殖群体变动趋势分析

中华鲟在完成产卵后,便顺流而下,返回海洋中生活(四川省长江水产资源调查组,1988),第1次产卵后停留在产卵场的中华鲟数量,在2002年以后有逐渐增加的迹象。造成这一现象的主要原因可能是,前几年该区域比较适合中华鲟产卵,大批中华鲟在产完卵之后随即离开了产卵区域。而在最近几年,随着该区域生境条件发生了变化,大量的中华鲟无法完成产卵,在产卵场等待合适的产卵条件,当产卵的季节过去,中华鲟便不能产卵从而滞留产卵场。而食卵鱼的解剖结果可以很好的证实这一点,自2003年以来,中华鲟的产卵量急剧性下降,其下降趋势主要表现为3次曲线和对数化变化趋势(见图2),年均产卵量由原来的2 195万粒(1998~2003年)下降到现在的238万粒(2004~2007年),其繁殖规模下降了1个数量级。因此,近几年来大量的中华鲟回游产卵场区域,但是由于各方面的原因,越来越多的中华鲟无法进行自然繁殖行为。

3.3 影响中华鲟物种繁衍的因素

影响中华鲟繁殖的因素主要表现在大坝阻隔、酷渔滥捕、水文学特征和栖息地的改变等。常剑波等(2002)、高欣(2007)利用VORTEX模拟了中华鲟群体资源量在大坝阻隔等条件下的发展趋势。一般影响下中华鲟种群将持续下降,在40年左右保持稳定,种群增长率为-1.8%。在最佳条件下中华鲟种群数量略微下降,中华鲟种群数量依然可以保持在较高水平,下降的主要原因是狭小的产卵场限制了中华鲟的繁殖。但在最差条件下,中华鲟种群在建坝42年后基本灭绝,在100年内的灭绝概率为100%。大坝对中华鲟的影响具有一定的收缩性,这种收缩性取决于外界环境变化和人类活动的影响程度。

1980年以前,长江中华鲟繁殖群体的年资源量

估计超过2 000尾。在1983年长江中华鲟的商业捕捞被完全禁止之前,上游各地每年捕捞中华鲟的数量在400~500尾。葛洲坝修建后,由于大坝的阻隔,1981年和1982年对中华鲟亲鱼的捕捞达到历史的高峰,分别为1 002尾和642尾(危起伟,2003)。为满足人工增殖放流和相关科研项目开展的需要,近年来都要捕捞一定数量的中华鲟亲鱼,即科研用鱼捕捞。据湖北省宜昌水产局提供的数据,在2000~2007年共捕捞中华鲟218尾。漩涡模型模拟结果显示,每捕捞100尾亲鱼,就会显著减少种群大小 $[(136 \pm 56) \text{尾}]$ 和种群的增长率 (-5.3%) (高欣,2007)。同时,科研用鱼的捕捞行为也对中华鲟的繁殖行为造成了非常大的危害,因为捕捞在中华鲟繁殖季节及在最为稳定的产卵区域进行(葛洲坝至庙咀江段),捕捞行为严重干扰中华鲟的繁殖行为,其捕捞使用的滚钩也会对鱼类造成严重的伤害。

另外,为了改善葛洲坝下游航道通航的水流条件,提高大江航道的通航流量,有关单位于2005年启动了葛洲坝水利枢纽下游河势调整工程。主要表现为900m长导流堤的修建、二江下槽为主的共约97万 m^3 的开挖工程(王程等,2006)。开挖后产卵场的地形会发生改变,地形的变化同时导致了局部区域流场的变化(张辉等,2007)。同时,受三峡蓄水和上游干旱的影响,葛洲坝下游江段的水文学特征也在不断发生变化,自2003年以来,葛洲坝江段的水位较历史水位下降了5~7m,其中2006年8月份该江段的水位为历史最低点。含沙量较蓄水前下降了70%左右(班璇和李大美,2007)。结合本文结果可以看出,近几年的这些环境因素的变化均对中华鲟的发育和繁殖产生不利了影响。

对于中华鲟的繁殖与水文、栖息地关系方面的研究,在自然科学基金项目(30490230)实施以前基本未开展。付晓莉等(2006)根据该基金提供的产卵场地形测量数据,对中华鲟产卵场进行了三维数值模拟,但其模拟倾向于计算水力学研究,基本未与中华鲟行为结合。易雨均等(2008)利用平面二维 $k-\epsilon$ 紊流模型模拟中华鲟产卵场栖息地的适合度时,仅引入了流速、水深2个因素,其它因素均未分析。杨宇(2007a)、杨宇等(2007b)根据2004年中华鲟产卵场的流场实测数据和中华鲟的分布,模拟分析中华鲟对流速和流场的偏好性,采用有效的描述特征量准确反映了中华鲟产卵场的流场特征,但是一次的数据具有很大的偶然性。国外相关研究人员对

短吻鲟、高首鲟、海湾鲟等的研究表明,影响鲟鱼的产卵条件中,水文是至关重要的,特别是底层的适合水流(Buchley J & Kynard B,1985)。但根据北美和欧洲许多种鲟鱼的情况,即使是在水文条件没有发生剧变的情况下,产卵群体结构在不同江段水域、不同年份和不同季节时间里仍存在或大或小的差异(Fox D & Hightower J E,2000; Paragamian V L & Wakkinen V D,2002)。因此,中华鲟的繁殖行为要受多方面的因素的影响,至于各种因素关系的权重,还有待相关研究的进一步深入。

参考文献:

班璇,李大明. 2007. 大型水利工程对中华鲟生态水文学特征的影响[J]. 武汉大学学报(工学版), 40(3): 10-13.

常剑波,陈永柏,高勇,等. 2006. 水利水电工程对鱼类的影响及其减缓对策[M]. 北京:中国环境科学出版社, 239-253.

常剑波,虞功亮,曹文宣. 2000. 中华鲟繁殖规模的数量估算[C]. 海峡两岸流域经营管理暨东部河川集水区经营管理综合研讨会论文集.

常剑波. 1999. 长江中华鲟繁殖群体结构特征和数量变动趋势研究[D]. 武汉:中国科学院研究生院博士学位论文.

付晓莉,李大明,金国裕. 2006. 葛洲坝下游中华鲟产卵场流场计算和分析[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 34(9):111-113.

高欣. 2007. 长江珍稀及特有鱼类保护生物学研究[D]. 武汉:中国科学院研究生院博士学位论文.

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[M]. 成都:四川科技出版社,98-99.

谭细畅. 2002. 长江中华鲟繁殖群体数量和东湖放养鱼类资源量的水声学评估[D]. 武汉:中国科学院研究生院硕士学位论文.

王程,徐刚,向友国. 2006. 长江葛洲坝水利枢纽下游河势调整工程[J]. 湖北水力发电, (3): 36-41.

危起伟. 2003. 中华鲟繁殖行为生态学与资源评估[D]. 武汉:中国科学院研究生院博士学位论文.

杨宇,谭细畅,常剑波,等. 2007b. 三维水动力学数值模拟获得中华鲟偏好流速曲线[J]. 水利学报(增刊): 531

-535.

杨宇. 2007a. 中华鲟葛洲坝栖息地生态水力学数值模拟及实测分析[D]. 南京:河海大学博士学位论文.

易雨君,王兆印,姚仕明. 2008. 栖息地适合度模型在中华鲟产卵场适合度中的应用[J]. 清华大学学报(自然科学版), 48(3): 340-343.

余志堂,周春生,邓中彝,等. 1983. 葛洲坝枢纽下游中华鲟自然繁殖的调查[J]. 水库渔业, (1):22-24.

虞功亮,刘军,许蕴轩,等. 2002. 葛洲坝下游江段中华鲟产卵场食卵鱼类资源量估算[J]. 水生生物学报, 26(6): 591-599.

张辉,危起伟,杨德国,等. 2007. 葛洲坝下中华鲟自然繁殖流速场的初步观测[J]. 中国水产科学, 14(2): 183-191.

Sparre P & Venema S C. 1992. 热带鱼类资源评估导论[M]. 北京:中国农业出版社, 166-172.

Balk H & Lindem T. 2005. Sonar 4, Sonar 5, Sonar 6 - pro post - processing systems manual version 5.96[M]. University of Oslo. Oslo, Norway.

Buchley J & Kynard B. 1985. Habitat use and behavior of pre-spawning and spawning shortnose sturgeon, *Acipenser brevirostrum*, in the Connecticut [M]. In North American sturgeons: biology and management, (eds.) F P Binkowski & S I Doroshov, W Junk Publ, Dordrecht, Netherlands, 111-117.

Fox D & Hightower J E. 2000. Gulf Sturgeon Spawning Migration and Habitat in the Choctawhatchee River System, Alabama-Florida[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 129(3): 811-826.

Paragamian V L & Wakkinen V D. 2002. Temporal distribution of Kootenai River white sturgeon spawning events and the effect of flow and temperature[J]. Journal of Applied Ichthyology, 18: 542-549.

Qiao Y, Tang X C, Chang J B, et al. 2006. Chinese Sturgeon (*Acipenser sinensis*) in the Yangtze River: a hydroacoustic assessment of fish location and abundance on the last spawning ground [J]. Journal of Applied Ichthyology, 22 (Suppl. 1): 140-144.

(责任编辑 万月华)

Estimation on the Spawning Population and Spawning Sizes of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) and Trend Analysis of Their Change in Recent Years

TAO Jiang-ping^{1,2,3}, QIAO Ye², YANG Zhi^{1,2,3}, CHANG Jian-bo², DONG Fang-yong², WAN Li²

(1. Institute of Hydrobiology Chinese-Academy of Sciences, Wuhan 430071, China;

2. Insitute of Hydroecology MWR & CAS, Wuhan 430079, China;

3. University of Graduet Students Chinese-Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) was once widely dispersed in almost all watersheds draining towards the western coasts of the Pacific Ocean. Today, the species is one of the highly endangered fish species in China and can be found only in the Yangtze and Pearl rivers and their adjacent coastal and marine areas. Due to the construction of the Gezhouba Dam, spawning grounds for the fish were drastically restricted but fortunately remained in the Yangtze River at a small-scale site located just downstream along a short reach of the river closely to the dam. In this paper, the author used fisheries-acoustics method to detect the mature Chinese sturgeon individuals and estimate the spawning stocks. And applying Jones's Length-based cohort analysis to estimates the annual abundance of *C. heterodon* with fishing data collected in autumns. Then according to the quantitative ratios of them to *C. heterodon* in catches, abundance of the rest egg-predatory fishes were counted. In the end, we can estimate the Chinese sturgeon's spawning size by such data. The results show that, From 2005 to 2007, the spawning stock of Chinese sturgeon is 257 ind., 237 ind. and 203 ind. respectively, No significant difference in annual amounts was observed in the spawning ground among those years. There are amount of sturgeon stay on the spawning ground after spawning seasons, with the number increasing in last 3 years. The length-based cohort analysis show that, the estimated Chinese sturgeon laying are 3 560 000 grains, 1 196 000 grains and 238 6000 grains respectively in the last 3 years, Compared with historic data, the reproduction size decrease sharply in recent years, The drop tendency is extremely remarkable ($P < 0.01$). Chinese sturgeon had migrated to the spawning ground, but as the environment had changed greatly in recent years, many of them can't spawn.

Key words: Gezhouba Dam; Chinese sturgeon; spawning size; spawning population