

5 种养殖鲟鱼怀卵差异及周年繁殖

王斌^{①③} 彭涛^② 夏永涛^{①③} 师伟^③ 张大海^③ 陈金平^{②*}

① 中国水产科学研究院 北京 100039; ② 广东省昆虫研究所 广州 510260;

③ 杭州千岛湖鲟龙科技开发有限公司 杭州 311700

摘要: 2007 年 11 月至 2009 年 11 月通过对 12 批次(共计 5 207 尾个体)解剖观察,统计了 5 种性成熟鲟鱼[西伯利亚鲟(*Acipenser baeri*)、俄罗斯鲟(*A. gueldenstaedti*)、施氏鲟(*A. schrencki*)、黑龙江杂交鲟(*Huso dauricus* ♀ × *A. schrencki* ♂)和欧洲杂交鲟(*H. huso* ♀ × *A. ruthenus* ♂)]的性腺发育情况。结果显示,5 种鲟鱼性腺在不同月份都能发育到第Ⅳ期,卵径达到或超过 2.8 mm。2009 年 2 月份,随机选取 5 条西伯利亚鲟和 13 条俄罗斯鲟进行反季节人工繁殖,除一尾俄罗斯鲟鱼没有产卵外,其余均获得繁殖成功。比较 5 种鲟鱼在人工养殖环境下第Ⅳ期卵巢的卵重比在不同月份的差异,结果表明,5 种鲟鱼卵重比随月份的不同有差异。从卵重比与体重的相关性分析,施氏鲟、西伯利亚鲟、俄罗斯鲟和黑龙江杂交鲟的卵重比与体重成负相关,相关系数分别为 -0.021 ($P < 0.01$)、 -0.159 ($P < 0.01$)、 -0.145 ($P < 0.01$)和 -0.062 ($P < 0.01$);欧洲杂交鲟的卵重比与体重成正相关,相关系数 0.051 ($P < 0.01$)。对体重与产卵重量的相关性做出拟合曲线方程,5 种鲟鱼的产卵重量与体重都成正相关。我们的结果表明,在养殖条件下,5 种鲟鱼繁殖不受季节的限制,全年均可以进行人工繁殖。

关键词: 鲟鱼;人工养殖;卵重比差异;周年繁殖

中图分类号: S965.199 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2011)03-109-08

Fecundity and Year-Round Artificial Reproduction in Five Species of Sturgeons

WANG Bin^{①③} PENG Tao^② XIA Yong-Tao^{①③} SHI Wei^③

ZHANG Da-Hai^③ CHEN Jin-Ping^{②*}

① Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100039; ② Guangdong Entomological Institute, Guangzhou 510260;

③ Hangzhou Qiandaohu Xunlong Sci-Tech Development Co. Ltd., Hangzhou 311700, China

Abstract: Gonadal development of Siberian Sturgeon (*Acipenser baeri*), Russian Sturgeon (*A. gueldenstaedti*), Amur sturgeon (*A. schrencki*), Heilongjiang Hybrid Sturgeon (*Huso dauricus* ♀ × *A. schrencki* ♂) and Europe Hybrid Sturgeon (*H. huso* ♀ × *A. ruthenus* ♂) from 12 test groups was observed during November 2007 to November 2009. Their gonads could develop to stage IV during different seasons, with egg diameter reaching or exceeding 2.8 mm. In February 2009, 5 Siberian Sturgeons and 13 Russian Sturgeons were randomly selected for artificial reproduction, and all were induced to ovulate successfully except one Russian Sturgeon individual, suggesting that sturgeons can be artificially propagated at any seasons throughout a year. Their fecundity had seasonal fluctuations. It was showed that Amur sturgeon, Siberian Sturgeon, Russian

基金项目 中国水产科学研究院院部专项基金项目(No. 2010C012),广东省科学院人才基金项目(粤科优[2008]02);

* 通讯作者, E-mail: chenjp@gdei.gd.cn;

第一作者介绍 王斌,男,副研究员;研究方向:鲟鱼类繁育与养殖生物学;E-mail: caviar@vip.sina.com。

收稿日期:2010-10-10,修回日期:2011-03-04

Sturgeon and Heilongjiang Hybrid Sturgeon's fecundity was negatively correlated with their body weight, with correlation coefficients at $-0.021 (P < 0.01)$, $-0.159 (P < 0.01)$, $-0.145 (P < 0.01)$ and $-0.062 (P < 0.01)$, respectively. Fecundity of the European Hybrid Sturgeon was positively related with body weight and the correlation coefficient was $0.051 (P < 0.01)$. Otherwise, curve fitting of body weight and egg weight showed that the body weight and egg weight were positively correlated in several species of sturgeon. Our results indicate that artificial breeding of all these 5 species of sturgeon is feasible all year round.

Key words: Sturgeon; Artificial breeding; Diversity of fecundity; Anniversary breeding

自然条件下鱼类繁殖受水温和光照等环境因素影响,一般均具有很强的季节性。野生鲟鱼自然繁殖也具有季节性,多在4~5月产卵^[1]。近年来多数鲟鱼的全人工繁殖技术已经获得突破^[2-9],但是,依然没能走出季节性对其的束缚。在国内反季节人工繁殖仅见施氏鲟(*Acipenser schrencki*)秋季繁殖的成功报道^[10],对国内养殖鲟鱼全年全人工繁殖的可行性研究还未见报道。我们在鲟鱼鱼籽酱加工的过程中发现,全年不同时期性成熟鲟鱼雌性个体卵巢均能达到第IV期,这给出了一个鲟鱼可以全年人工繁殖的信号。

性腺发育是鱼类繁殖的基础。国内外对鲟鱼性腺的发育情况已有过一些研究^[3,11-15]。但是养殖环境下不同月份达到性成熟的鲟鱼的卵重比是否存在差异性的分析还未见报道。本

研究对人工养殖条件下的5种鲟鱼(西伯利亚鲟*A. baeri*、俄罗斯鲟*A. gueldenstaedti*、施氏鲟、黑龙江杂交鲟*Huso dauricus* ♀ × *A. schrencki* ♂和欧洲杂交鲟*H. huso* ♀ × *A. ruthenus* ♂)性腺的发育情况、性成熟时间对卵重比的影响进行了分析,探讨体重对怀卵量及卵重比的影响,以期了解人工养殖条件下制约鲟鱼性腺发育的因素。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼 5 207尾实验用鱼均来自杭州千岛湖鲟龙科技开发有限公司,所有鲟鱼个体均为人工养殖条件下,生活在千岛湖深水网箱或水泥池中。所用鲟鱼配合饲料由宁波天邦股份有限公司提供。抽样镜检,对卵巢达到第IV期的鲟鱼个体进行数据统计分析,具体情况见表1。

表1 样品基本资料
Table 1 Sample information

时间 (年-月) Time (Year-month)	西伯利亚鲟 <i>Acipenser baeri</i>		施氏鲟 <i>A. schrencki</i>		俄罗斯鲟 <i>A. gueldenstaedti</i>		黑龙江杂交鲟 <i>Huso dauricus</i> ♀ × <i>A. schrencki</i> ♂		欧洲杂交鲟 <i>H. huso</i> ♀ × <i>A. ruthenus</i> ♂	
	尾数 Number	体重(kg) Weight	尾数 Number	体重(kg) Weight	尾数 Number	体重(kg) Weight	尾数 Number	体重(kg) Weight	尾数 Number	体重(kg) Weight
2007-11	230	3.70~20.30	—	—	58	6.80~19.50	98	5.80~34.80	126	4.10~17.50
2008-04	90	3.31~28.72	67	5.70~20.52	15	4.99~17.22	115	16.35~39.80	20	7.32~25.72
2008-08	188	3.72~22.05	443	5.74~22.94	87	6.23~23.26	91	15.57~41.23	9	4.08~15.44
2008-10	175	3.71~16.31	183	6.69~15.66	22	6.71~23.76	20	12.03~37.14	5	6.14~9.17
2008-11	94	5.17~21.15	119	6.81~27.10	59	7.81~23.63	69	17.39~44.17	21	6.14~15.88
2009-02	5	8.20~15.20	0	0	13	13.20~24.60	—	—	—	—
2009-04	65	3.13~18.83	57	8.40~20.17	13	10.10~16.78	19	14.77~42.30	15	3.85~10.97
2009-05	26	6.20~17.10	135	5.60~20.00	2	15.60~17.28	3	33.10~39.00	2	5.57~8.03
2009-07	35	5.32~24.00	354	6.35~22.60	15	11.75~22.04	80	18.59~55.17	—	—
2009-08	52	4.38~23.59	687	6.30~26.47	31	8.75~23.59	114	10.35~54.90	—	—
2009-10	80	4.24~20.00	316	5.00~30.00	156	7.87~30.62	80	15.58~71.33	5	8.79~27.40
2009-11	41	5.21~18.93	363	6.03~25.21	—	—	56	15.51~56.51	—	—
合计 Total	1 081	3.13~28.72	2 724	5.00~30.00	461	4.99~30.62	745	5.80~56.51	186	4.08~27.40

“—”表示无性腺发育到IV期的亲鱼。“—” indicates that there is no broodstock whose gonads develop to stage IV.

1.2 实验方法 利用微创手术检查鱼卵的发育情况^[7],对卵巢发育到第Ⅳ期、卵径达到或超过 2.8 mm 的鲟鱼个体进行统计。

收集整理 2007 年 11 月至 2009 年 11 月共 12 个批次的对比数据(包括实验时间、品种、尾数、尾重、产卵重量)后,利用 SPSS 软件统计分析卵重比、产卵重量与体重间的相关性,并做出产卵重量与体重的曲线拟合。卵重比的计算方法:卵重比 = 产卵重量/鱼体重。

2009 年 2 月 10 日,随机抽取 5 尾西伯利亚鲟和 13 尾俄罗斯鲟,进行全人工繁殖^[7,16]。

2 结 果

2.1 不同季节几种鲟鱼卵重比间的差异 通过 2007 年 11 月至 2009 年 11 月共 12 批次对比实验,以单因素方差分析在人工养殖环境相同条件下,5 种鲟鱼两年不同时期的卵重比差异(表 2)。西伯利亚鲟在 2008 年 8 月卵重比最大,达到 0.124,除与 2008 年 11 月无显著差异外,与其他几个月的卵重比都有显著差异($P < 0.05$);2009 年 11 月最低,为 0.088,与 2008 年 8 月的卵重比相比差异极显著($P < 0.01$)。俄罗斯鲟在 2009 年 2 月份卵重比达到最高(为 0.160),与除 2009 年 4 月份之外的其他月份都有差异显著($P < 0.05$),并且与 2008 年 8 月和 2009 年 7 月差异极显著($P < 0.01$);2009 年 7 月份最低,为 0.097。施氏鲟卵重比在 2008 年 4 月份最低,为 0.085,2009 年的几个月份相对都较高,卵重比都在 0.110 左右。黑龙江杂交鲟的卵重比在 2008 年 8 月份达到最高,为 0.131;在 2009 年的 7 月份最低,与 2008 年 8 月份有极显著的差异($P < 0.01$);另外,2008 年和 2009 年的 4 月份的卵重比也相对较低,分别为 0.101 和 0.094,与 2008 年 8 月份也有极显著的差异($P < 0.01$)。欧洲杂交鲟在 2009 年 4 月份出现怀卵高峰,卵重比高达 0.140 以上,2009 年 5 月份最低。

2.2 产卵重量、卵重比与体重间的相关性分析 西伯利亚鲟和俄罗斯鲟的卵重比与体重均成负相关,相关系数分别为 -0.159 ($P < 0.01$)

和 -0.145 ($P < 0.01$);施氏鲟及欧洲杂交鲟的卵重比与体重分别成负相关和正相关,相关性较差,相关系数分别为 -0.021 ($P < 0.01$) 和 0.051 ($P < 0.01$);黑龙江杂交鲟的卵重比与体重也成负相关,相关系数为 -0.062 ($P < 0.01$)。此外,对体重与产卵重量的相关性做出了拟合曲线方程(表 3)。

2.3 不同鲟鱼间卵重比差异 对不同鲟鱼间卵重比进行单因素方差分析,欧洲杂交鲟与俄罗斯鲟的卵重比居高,分别为 0.137 和 0.131,两者间没有显著差异($P > 0.05$),与其他种类有极显著差异($P < 0.01$);黑龙江杂交鲟的平均卵重比最低(为 0.112),除与西伯利亚鲟无显著的差异($P > 0.05$)外,与其他几种鲟鱼都有极显著的差异($P < 0.01$);西伯利亚鲟的平均卵重比是 0.113,与黑龙江杂交鲟无显著的差异($P > 0.05$),与另外 3 种鲟鱼都有显著的差异($P < 0.05$),其中与俄罗斯鲟和欧洲杂交鲟有极显著的差异($P < 0.01$);施氏鲟平均卵重比为 0.116,与其他几种鲟鱼都有显著性的差异($P < 0.05$)。不同月份的对比情况显示,几种鲟鱼的卵重比在不同月份有所不同(表 2)。总的来说,几乎每个月份都是欧洲杂交鲟和俄罗斯鲟居高,黑龙江杂交鲟不同月份起伏较大。

2.4 人工繁殖 在 2009 年 2 月 9 日我们成功催产 5 尾西伯利亚鲟和 13 尾俄罗斯鲟亲鱼,仅一尾俄罗斯鲟鱼未产卵,总催产率高达 94.4%。其中,西伯利亚鲟催产率达 100%,俄罗斯鲟为 92.4%。共获得成熟卵 44.88 kg,受精卵约 143 万粒,受精率 79.76%;孵出鱼苗约 80 万尾,孵化率 55.92%(表 4)。

3 讨 论

3.1 不同时期卵重比差异性分析 鱼类繁殖力的种间差异,主要是由种的遗传型决定,也是物种在进化过程中长期适应自然环境的结果。繁殖力的种内变动,大都是环境因子的作用,但它离不开特定种性腺发育的特点。环境因子是繁殖力变动的启动因子,但最终实现还要通过性腺发育^[17]。我们所研究的几种鲟鱼在同样

表 2 5 种鲟鱼不同时期的繁殖指标
Table 2 Breeding index at different times in five sturgeon species

种类 Species	项目 Item	时间(年-月)Time (Year-Month)											
		2007-11	2008-04	2008-08	2008-10	2008-11	2009-02	2009-04	2009-05	2009-07	2009-08	2009-10	2009-11
西伯利亚鲟 <i>A. baeri</i>	体重(kg) Body weight	10.66±2.71	10.78±4.39	10.86±3.28	7.95±2.87	11.90±3.84	12.96±2.78	7.66±2.89	7.61±3.72	11.88±3.00	10.88±3.18	9.29±3.23	10.85±2.86
	产卵重量(kg) Eggs weight	1.23±0.49	1.03±0.48	1.35±0.52	0.92±0.48	1.37±0.61	1.54±0.75	0.82±0.22	1.15±0.47	0.84±0.42	1.08±0.37	0.97±0.44	0.96±0.47
	卵重比 Fecundity	0.12±0.04 ^a	0.10±0.04 ^b	0.12±0.03 ^a	0.11±0.03 ^a	0.12±0.06 ^a	0.12±0.04 ^a	0.12±0.03 ^a	0.10±0.03 ^b	0.09±0.04 ^b	0.10±0.02 ^b	0.10±0.03 ^b	0.09±0.03 ^b
	体重(kg) Body weight	12.34±2.21	15.32±4.95	13.84±3.57	12.30±3.70	15.19±2.95	18.92±3.32	18.51±3.12	16.44±1.19	15.81±2.67	15.77±2.97	17.80±4.27	-
俄罗斯鲟 <i>A. gueldenstaedtii</i>	产卵重量(kg) Eggs weight	1.77±0.56	1.85±0.66	1.58±0.46	1.62±0.52	2.11±0.49	3.14±0.95	2.64±0.55	2.00±0.76	1.54±0.48	2.01±0.45	2.32±0.75	-
	卵重比 Fecundity	0.14±0.04 ^a	0.13±0.04 ^b	0.12±0.03 ^b	0.14±0.03 ^a	0.14±0.02 ^a	0.16±0.03 ^c	0.16±0.03 ^c	0.12±0.04 ^b	0.10±0.02 ^d	0.13±0.03 ^b	0.13±0.03 ^b	-
	体重(kg) Body weight	-	10.66±2.83	10.19±2.77	10.70±2.70	10.90±3.27	-	11.27±3.05	10.77±2.73	12.89±2.72	13.19±3.62	14.07±3.49	13.59±2.87
	产卵重量(kg) Eggs weight	-	0.87±0.33	0.99±0.38	1.24±0.60	1.39±0.52	-	1.25±0.47	1.27±0.33	1.36±0.43	1.56±0.56	1.70±0.59	1.74±0.52
施氏鲟 <i>A. schrenckii</i>	卵重比 Fecundity	-	0.09±0.03 ^a	0.10±0.02 ^b	0.12±0.03 ^c	0.11±0.05 ^d	-	0.12±0.03 ^c	0.12±0.03 ^c	0.11±0.02 ^d	0.12±0.04 ^c	0.13±0.03 ^c	0.12±0.04 ^c
	体重(kg) Body weight	20.06±6.24	26.34±4.70	26.33±5.64	22.05±6.88	32.49±6.40	-	25.37±4.48	-	32.37±7.66	29.4±4.73	31.24±9.83	30.93±10.50
	产卵重量(kg) Eggs weight	2.24±0.88	2.61±0.71	3.12±0.87	2.55±0.96	3.91±1.16	-	2.41±0.89	-	2.94±0.88	2.93±0.97	3.79±1.84	3.58±1.33
	卵重比 Fecundity	0.11±0.03 ^a	0.10±0.03 ^a	0.13±0.11 ^b	0.12±0.02 ^a	0.12±0.03 ^a	-	0.09±0.02 ^c	-	0.09±0.02 ^c	0.11±0.03 ^a	0.12±0.03 ^a	0.12±0.02 ^a
黑龙江杂交鲟 <i>Huso dauricus</i> ♀ × <i>A. schrenckii</i> ♂	体重(kg) Body weight	8.29±2.69	10.81±3.40	10.94±3.36	7.80±1.58	10.46±2.93	-	6.69±2.46	6.80±1.74	-	-	15.82±8.17	-
	产卵重量(kg) Eggs weight	1.13±0.56	1.20±0.40	1.48±0.94	0.82±0.12	1.50±0.65	-	0.96±0.45	0.54±0.55	-	-	1.86±1.12	-
	卵重比 Fecundity	0.14±0.03 ^a	0.12±0.05 ^b	0.13±0.04 ^a	0.11±0.02 ^b	0.14±0.03 ^a	-	0.15±0.06 ^c	0.09±0.10	-	-	0.12±0.03 ^b	-
	体重(kg) Body weight	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

“-”表示无性腺发育到IV期的亲鱼。不同的字母间为差异显著(P<0.05)。
“-” indicates that there is no broodstock whose gonads develop to stage IV. Different letters mean significant difference between / among the groups, with P<0.05.

表 3 产卵重量、卵重比与体重间的相关性指数

Table 3 Index of correlation among fecundity, brood rate and weight

种类 Species	体重(Y,kg)与产卵重量(X,kg)的拟合曲线 Fitted curve of body weight and eggs weight	体重(kg)与卵重比的相关系数 Correlation coefficients of body weight (kg) and spawning proportion
西伯利亚鲟 <i>A. baeri</i>	$Y = -0.0319 + 0.1415X - 0.0022X^2$ ($n = 1081, R^2 = 0.401, P < 0.01$)	-0.159 ($n = 1081, P < 0.01$)
俄罗斯鲟 <i>A. gueldenstaedti</i>	$Y = -1.0991 + 0.4342X - 0.0231X^2 + 0.0005X^3$ ($n = 461, R^2 = 0.366, P < 0.01$)	-0.145 ($n = 461, P < 0.01$)
施氏鲟 <i>A. schrencki</i>	$Y = -0.5263 + 0.2313X - 0.0084X^2 + 0.0002X^3$ ($n = 2724, R^2 = 0.501, P < 0.01$)	-0.021 ($n = 2724, P < 0.01$)
黑龙江杂交鲟 <i>Huso dauricus</i> ♀ × <i>A. schrencki</i> ♂	$Y = 0.0511 + 0.1071X$ ($n = 745, R^2 = 0.552, P < 0.01$)	-0.062 ($n = 745, P < 0.01$)
欧洲杂交鲟 <i>H. huso</i> ♀ × <i>A. ruthenus</i> ♂	$Y = 1.9633 - 0.5734X + 0.077X^2 + 0.0025X^3$ ($n = 186, R^2 = 0.597, P < 0.01$)	0.051 ($n = 186, P < 0.01$)

表 4 2009 年 2 月 9 日西伯利亚鲟和俄罗斯鲟产卵与孵化的结果

Table 4 Results of induced breeding and hatching of Siberian Sturgeon and Russian Sturgeon on February 9, 2009

种类 Species	体重 Weight (kg)	产卵重量 Egg weight (kg)	卵重比 Proportion	受精率 Fertilized rate (%)	受精卵数 Number of fertilized eggs	孵化率 Hatching rate (%)	出苗数 Number of hatchery fry
西伯利亚鲟 <i>A. baeri</i>	8.2	0.77	0.0939	50	15400	48	7392
	15.2	2.42	0.1592	97	93896	75	70422
	14.6	0.88	0.0603	20	7040	10	704
	13.6	1.43	0.1051	95	54340	40	21736
	13.2	2.20	0.1667	90	79200	76	60192
俄罗斯鲟 <i>A. gueldenstaedti</i>	13.2	1.76	0.1333	92	64768	74	47928
	23.4	3.74	0.1598	94	140624	67	94218
	22.2	3.08	0.1387	60	73920	43	31786
	19.8	2.20	0.1111	75	66000	45	29700
	17.2	2.97	0.1727	92	109296	65	71042
	17.8	3.74	0.2101	85	127160	61	77568
	20.0	2.86	0.1430	90	102960	66	67954
	14.0	1.98	0.1414	91	72072	55	39640
	19.4	3.63	0.1871	92	133584	60	80150
	24.6	5.39	0.2191	80	172480	40	68992
	16.6	2.53	0.1524	50	50600	22	11132
	19.4	0	0	0	0	0	0
	18.4	3.30	0.1793	51	67320	29	19523
合计 Total	310.8	44.88	0.1444	79.76	1430660	55.92	800078

的养殖条件下、以同样的投喂方式进行养殖,但几种鲟鱼相同月份或全年总卵重比都表现出显著的差异,这也正印证了种间遗传型对其卵重比差异起到了决定性影响。同种鱼类在不同时期或同一时期不同种群间及同一种群的不同世代间的怀卵量(繁殖力)都有一定的差异^[17]。

自然水域中,如浙江近海的大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*),春季繁殖的鱼群繁殖力比秋季鱼群高^[18-19]。同样,本研究也发现在不同时期同种鲟鱼的卵重比有显著的差异。从5种鲟鱼不同月份卵重比的差异可以看出,它们的卵重比是随月份的变化而变化,表现出显著

差异或极显著差异。这可能与摄食时间长短、外界水温变化以及性腺发育周期等变化有关^[17]。但是,几种鲟鱼在不同年相同月份,也表现显著差异,如施氏鲟,2008年4月的卵重比与2009年4月份的卵重比有显著差异;同样,西伯利亚鲟和俄罗斯鲟在2个不同年份的4月份卵重比有显著差异。这说明鱼类相对生殖力在年际间变化,受环境因素的影响也是较大的^[20-21]。

不同种鲟鱼性成熟时间和性腺发育周期等方面存在差异,天然和养殖环境下都发现有雌性性腺发育不同步的现象^[22-23]。胡红霞等^[11]在繁殖季节对人工养殖下的7龄俄罗斯鲟性腺发育进行分析,发现雌性个体间性腺发育差异较大。从所得的实验结果也可以看出,在养殖条件下,鲟鱼的产卵期可以跨全年不同的月份,这一点也揭示了养殖条件下鲟鱼卵巢发育的非同步性。

3.2 养殖条件下的鲟鱼发育状况与自然状态下的差异性分析 鲟鱼是一种寿命长、生长快、性成熟迟、繁殖力强的鱼类,分为洄游型鱼类和定居型鱼类,自然条件下,由于每个品种生活栖息环境不同,成熟的时间会有所不同。如我国长江的中华鲟属于洄游型鱼类,在秋季洄游至长江上游逐渐达到性成熟^[24],而黑龙江的施氏鲟和达氏鳇则是在每年的5~7月间^[25-27]由黑龙江下游俄罗斯境内逆流而上,在我国境内黑龙江的中下游江段逐渐达到性成熟;引进种俄罗斯鲟在伏尔加河产卵洄游于3月末或4月初,此时水温1~4℃,6~7月产卵群体达到高峰;西伯利亚鲟在自然条件下每年春季的5~6月开始繁殖^[28],此时亲鱼经过一个冬季的低温期,性腺发育成熟。而人工养殖条件的鲟鱼没有洄游条件,可能会造成与自然条件下的鲟鱼繁殖情况的差异。我们所养殖的鲟鱼都是生活在千岛湖深水网箱或水泥池中,与自然水域生活的鲟鱼环境差别很大,许多养殖鱼类性腺可能不能正常发育。中华鲟就是一个很好的例子,研究表明,人工养殖条件下5~6年的雌性性腺仍然是第Ⅱ期;中华鲟溯河洄游到淡水中

繁殖时性腺发育已达到Ⅲ期,在淡水中停留1年,性腺发育到Ⅳ期^[29],可见其性腺发育最困难的Ⅱ~Ⅲ期是在海水中进行的。但是在我们所用网箱深水养殖的这5种鲟鱼在不同季节下性腺都能发育到第Ⅳ期。这与中华鲟的性腺发育情况有所差异。通常情况下,在自然繁殖期也可能是养殖鲟鱼的产卵高峰,但是从这几种鲟鱼均没有发现这一规律,有的甚至还相反,比如,施氏鲟自然条件下在5~7月是产卵高峰,而我们研究的结果是施氏鲟的卵重比在10、11月份达到峰值。这点与生存环境的改变有关,鲟鱼南移,温度改变可能对鲟鱼怀卵期有一定的影响。

3.3 体重对几种鲟鱼卵重比、产卵重量差异的影响分析 潘炯华等^[30]对鱼类的怀卵量和产卵量研究表明,两者呈正相关。因此,用产卵量作为繁殖力指标是可行的。鱼类种内不同个体的繁殖力与年龄及体重和体长等有关^[17]。本研究未对受试亲鱼进行年龄鉴定和体长的测定,仅仅分析了体重对鲟鱼产卵重量及卵重比的影响。结果显示,产卵重量随鲟鱼体重增加而呈现逐渐增大的趋势。因此,可以说我们养殖的5种鲟鱼的繁殖力也随体重的增加而增大。本研究所用亲鱼最大的个体也不过50 kg左右,对鲟鱼来说这些亲鱼不过刚刚成熟或处于壮年,不会存在由于老龄原因而呈现繁殖力下降。但是,还是出现较多体重小的亲鱼比体重大的亲鱼怀卵量大的情况,这可能是与环境条件的补偿性适应有关,或受食物竞争的影响。比如, Bagenal^[31]把美首鳊 (*Glyptocephalus cynoglossus*) 的生殖力年际变化归因于捕捞压力增大,引起食物供应的相对增多。Bagenal^[32]证实生殖力与食物供应呈正相关。郑文莲等^[33]也指出,生殖力是依生活条件的改变而呈适应性的改变,当生活条件有利、生长速度加快、丰满度提高时,可导致同样大小鱼体的生殖力增大。相反,在低食物水平时,鱼类生长状况较差,生殖力减小^[34-35]。另外,分别分析了5种鲟鱼的体重与卵重比的相关性,相关性都不强,相关系数最大的也只有0.159。从现有的数据

来看,应可以说,人工养殖鲟鱼的体重对其卵重比的影响不大。

3.4 具备全季节人工繁殖的能力 鲟鱼人工繁殖技术的研究已有 130 多年的历史,前苏联是世界上开展鲟鱼人工繁殖最早的国家^[36-37]。1896 年 5 月 17 日,俄罗斯人 Ф·B·奥弗先尼柯夫把性腺自然成熟的小体鲟 (*Acipenser ruthenus*) 进行人工授精实验,获得了受精卵^[37]。随后各国相继开展鲟鱼人工繁殖实验,获得多种鲟鱼全人工繁殖的成功,但是大都局限于季节性的人工繁殖,还没有全年人工繁殖成功的先例。在养殖条件下达到性成熟的雌、雄施氏鲟、西伯利亚鲟和杂交鲟均不能自行排卵、排精^[37],需要在外源性激素的作用下排卵、排精。这种生理现象与野生鲟鱼不同,野生鲟鱼洄游期间不摄食,这个过程对卵子由生长成熟向生理成熟转变具有重要意义。因此,在产卵通道上捕获的亲鱼胃内完全没有食物,不经催产雄鱼即可挤出少量精液^[5]。而人工养殖亲鱼的生活环境相对稳定,没有生殖洄游过程,除温度变化外,缺少其他繁殖信号,在繁殖季节亲鱼仍摄食,需经催产,达到Ⅳ期后,经过人工催产的才能排卵、排精。通过相关文献我们能了解鲟鱼性腺达到第Ⅳ期既可进行人工繁殖,如胡红霞等^[11]研究的俄罗斯鲟性腺发育到Ⅳ期,核极化到 PI 值小于 0.1 左右,进行人工催产繁殖,2004 年催产 2 尾雌鱼全部排卵,2 尾雄鱼全部排精;2005 年催产 6 尾雌鱼和 4 尾雄鱼,雄鱼全部排精,雌鱼有一尾未能排卵。曲秋芝等^[9]也是选取性腺发育到第Ⅳ期的西伯利亚鲟进行人工繁殖,受精卵高达 90%。本研究对几种鲟鱼养殖品种在不同时期性腺的发育情况进行分析,结果表明,几种鲟鱼在几个时期性腺都能够发育到第Ⅳ期,具备鲟鱼人工繁殖的基本条件。通常情况,鲟鱼性腺发育成熟都要经过一段低温期,如西伯利亚鲟及施氏鲟在自然繁殖和人工繁殖下都要经过一个冬季的低温期^[16,37]。可以给养殖条件下卵巢发育到第Ⅳ期的个体营造一个低温环境进行低温刺激,再通过人工催产的方法实现全年人工繁殖。另外,

施氏鲟秋季人工繁殖^[10]及低温条件下的人工繁殖^[8]获得成功的先例,也为鲟鱼的全年人工繁殖可行性提供有力的证据。同时,我们在 2009 年 2 月份对 5 条西伯利亚鲟和 13 条俄罗斯鲟进行人工繁殖,获得成功,其总的受精卵达 79.76% 及总的出苗率达到 55.92%,这也为今后进行全季节人工繁殖打下了良好的基础。

参 考 文 献

- [1] 四川省长江水产资源调查组. 长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究. 成都:四川科学技术出版社,1988.
- [2] 庞景贵,刘丽杰,陈力. 世界鲟鱼类资源及其养殖前景. 淡水渔业, 2002,32(1): 53-55.
- [3] Williot P, Brun R, Rouault T, et al. Management of Female Spawns of the Siberian sturgeon *Acipenser baeri*: First Results. *Acipenser*. Bordeaux: CEMAGREF Publ, 1991: 365-380.
- [4] Fujii K, Hirose K, Hara A, et al. Use of Vitellogenin Level as a Maturational Indicator for Artificial Spawning of Culture Hybrid Sturgeon, *Huso huso* × *Acipenser ruthenus*. *Acipenser*. Bordeaux: CEMAGREF Publ, 1991: 381-388.
- [5] Mojazi A B, Maebayashi M, Omoto M, et al. *In vivo* oocyte maturation and ovulation in the females and spermiation in the males of a hybrid sturgeon 'bester'. *Iranian J Fish Sci*,1999,1(1): 35-43.
- [6] 曲秋芝,孙大江,马国军,等. 施氏鲟全人工繁殖研究初报. 中国水产科学, 2002,9(3): 277-279.
- [7] 孙大江,曲秋芝,马国军,等. 养殖施氏鲟的人工繁殖. 中国水产科学,2003,10(6): 485-490.
- [8] 尹家胜,潘为志,孙大江. 低温环境下施氏鲟的人工繁殖研究. 生态学报, 2001,21(10): 1741-1744.
- [9] 曲秋芝,高艳丽. 西伯利亚鲟的人工繁殖. 中国水产科学,2005,12(4): 492-495.
- [10] 周风健,朱广强,杨玉松,等. 史氏鲟秋季人工繁殖试验. 中国水产,2002,6: 9.
- [11] 胡红霞,刘晓春,朱华,等. 养殖俄罗斯鲟性腺发育及人工繁殖. 中山大学学报:自然科学版,2007,46(1): 81-85.
- [12] 田美平,庄平,张涛,等. 西伯利亚鲟性腺早期发生、分化、发育的组织学观察. 中国水产科学,2010,17(3): 496-506.
- [13] 章龙珍,庄平,张涛,等. 人工养殖施氏鲟性腺发育观察. 中国水产科学, 2002,9(4): 323-327.
- [14] Doroshov S I, Moberg G P, Van Eenennaam J P. Observation on the reproductive cycle of cultured white

- sturgeon, Acipenser transmontanus*. *Envir Biol Fish*, 1997, 48: 265 – 278.
- [15] Van Eenennaam J, Bruch R, Kroll K. Sturgeon sexing, staging maturity and spawning induction // Proceedings of the 4th International Symposium on Sturgeon. Oshkosh, Wisconsin, USA, 2001: 2 – 44.
- [16] 谢忠明, 孙大江, 王树京, 等. 鲟鱼养殖技术. 北京: 中国农业出版社, 2000: 258 – 263.
- [17] 金丽. 鱼类的繁殖习性和繁殖力. *生物学教学*, 2004, 29(7): 5 – 6.
- [18] 赵传, 刘效舜, 曾炳光, 等. 中国海洋渔业资源. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990.
- [19] 程家骅, 张秋华, 李圣法, 等. 东黄海渔业资源利用. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
- [20] Wootton R J. Environmental Factors in Fish Reproduction. *Reproductive Physiology of Fish*. Wageningen; Pudoc, 1982: 210 – 219.
- [21] Bye V. The Role of Environmental Factors in the Timing of Reproductive Cycles. *Fish Reproduction: Strategies and Tactics*. London: Academic Press, 1984: 187 – 205.
- [22] Amiri B M, Maeba Y M, Hara A, et al. Ovarian development and serum sex steroid and vitellogenin profiles in the female cultured sturgeon hybrid, the bester. *Journal of Fish Biology*, 1996, 48: 1164 – 1178.
- [23] Doroshov S I, Moberg G P, Eenennaam J P, et al. Observations on the reproductive cycle of cultured white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. *Environmental Biology of Fishes*, 1997, 48: 265 – 278.
- [24] 危起伟. 中华鲟繁殖行为生态学与资源评估. 北京: 中国科学院研究生院博士学位论文, 2003.
- [25] 孙大江, 曲秋芝, 马国军, 等. 史氏鲟人工养殖研究现状与展望. *中国水产科学*, 1998, 5(3): 108 – 111.
- [26] 石振广. 达氏鳇人工繁殖和养殖关键技术. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文, 2008.
- [27] 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江省水产总公司. 黑龙江省渔业资源. 牡丹江: 黑龙江朝鲜民族出版社, 1985: 352 – 389.
- [28] 张涛, 颜世伟, 庄平, 等. 保存介质和温度对西伯利亚鲟卵子短期保存的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(1): 227 – 231.
- [29] 陈细华, 危起伟, 杨德国, 等. 养殖中华鲟性腺发生与分化的组织学研究. *中国水产科学*, 2004, 28(6): 633 – 639.
- [30] 潘炯华, 郑文彪. 胡子鲶形态、生殖力和成熟系数的年周期. *水产学报*, 1983, 7(4): 353 – 365.
- [31] Begenal T H. The fecundity of wiches in the Firth of Clyde. *J Mar Biol Assoc UK*, 1963, 43: 401 – 407.
- [32] Bagenal T B. The relationship between food and fecundity in brown trout *Salmo trutta* L. *J Fish Biol*, 1969, 1: 167 – 182.
- [33] 郑文莲, 徐恭昭. 浙江岱衢洋大黄鱼 *Pseudosciaena crocea* (Richardson) 个体生殖力的研究. *海洋科学集刊*, 1962, 2: 59 – 78.
- [34] Townshend T J, Wootton R J. Effects of food supply or the reproduction of the convict cichlid, *Cichlasoma nigrofasciatum*. *J Fish Biol*, 1984, 24: 91 – 104.
- [35] 唐启升. 黄海鲱鱼的性成熟、生殖力和生长特性的研究. *海洋水产研究*, 1980, 1: 59 – 76.
- [36] 石振广, 王云山, 李文龙. 鲟鱼与鲟鱼养殖. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2000.
- [37] Gershanovich A D. Lipid mobilization during early development of sturgeons. Moscow: P Williot Ed. *Acipenser Cemagref Pub*, 1991: 41 – 52.