

DOI: 10.12264/JFSC2020-0347

裸腹鲟人工繁殖技术研究初报

户国¹, 纪锋¹, 郑鹏², 贾东升², 吕伟华¹, 王念民¹, 张颖¹

1. 淡水鱼类育种国家地方联合工程实验室, 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070;

2. 新疆伊河鲟业科技股份有限公司, 新疆 伊宁 835000

摘要: 裸腹鲟(*Acipenser nudiventris*)曾广泛分布于欧洲的黑海、亚速海和中亚的里海、咸海, 以及上述区域的一些河流中, 在中国仅自然分布于新疆伊犁河流域, 被世界自然保护联盟《濒危物种红色名录》列为极危物种, 是《濒危野生动植物种国际贸易公约》附录二保护物种, 也是我国的国家二级保护野生动物, 新疆维吾尔自治区一级保护野生动物。受多种因素影响, 伊犁河流域野生裸腹鲟已濒于绝迹。本研究对人工驯养条件下的伊犁河裸腹鲟成年个体开展了人工繁殖、胚胎发育和苗种培育等方面的研究。在共计 13 尾野生裸腹鲟中, 有 2 尾雌鱼和 3 尾雄性腺发育达到了 IV 期, 采用 LHRH-A2 对性腺发育至 IV 期的 2 尾雌鱼和 3 尾雄鱼实施了人工催产和授精, 获卵 12 万粒, 受精率为 55%。在 15~17 °C 的孵化条件下, 裸腹鲟仔鱼经 5~7 d 孵出, 获得裸腹鲟鱼苗约 25200 尾, 孵化率 42.5%。

关键词: 裸腹鲟; 人工繁殖; 胚胎发育; 苗种培育

中图分类号: S961

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)04-0403-08

裸腹鲟(*Acipenser nudiventris*)俗称青鳉鱼, 是大体型鲟, 卵质好, 生产的鱼子酱价格高, 是一种具有极高生态价值和经济价值的古老物种, 堪称“水中活化石”。裸腹鲟曾广泛分布于欧洲的黑海、亚速海和中亚的里海、咸海, 以及上述区域的一些河流中, 对维持栖息地水域的生态平衡具有重要价值^[1]。裸腹鲟出产的鱼子酱品质好、价格高, 历来是欧洲名贵食材。受持续多年的过度捕捞及环境变迁和涉水工程等影响, 裸腹鲟很早就被世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)《濒危物种红色名录》(www.iucnredlist.org)列为极危(critically endangered, CR)物种, 也是《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)附录二保护物种。裸腹鲟在动物地理、古生态、鱼类系统和气候变化等许多

方面具有重要的科学价值。同时, 裸腹鲟作为我国重要的原生鲟种质资源, 在水产养殖中具有巨大的市场开发潜力。但是, 在中国 8 种原生鲟鱼中, 除已宣布灭绝的长江白鲟(*Psephurus gladius*)外^[2-3], 只有伊犁河裸腹鲟尚未实现人工繁殖, 物种保护形势迫在眉睫。

裸腹鲟在 1933—1934 年期间由苏联从锡尔河中移植到当时的中苏跨境河流伊犁河-巴尔喀什湖水系, 16 年后形成较大的捕捞群体^[4]。由于伊犁河上游我国新疆干支流存在适宜产卵场, 经常有成熟亲鱼由哈萨克斯坦上溯至我国新疆河段繁殖, 20 世纪 70 年代在我国伊犁河新疆段形成了稳定经济渔获, 年产量约 40 t^[1]。20 世纪 90 年代, 苏联解体前后, 哈萨克斯坦渔业管理秩序一度混乱^[5], 受水利工程、环境污染、酷捕乱捞等因素影

收稿日期: 2020-10-27; 修订日期: 2020-12-10.

基金项目: 农业财政专项“西北地区重点水域渔业资源与环境调查”; 伊犁哈萨克自治州科技计划项目“伊犁河珍稀濒危鱼类裸腹鲟人工繁育技术研究”。

作者简介: 户国(1984—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事水产种质资源与遗传育种研究. E-mail: huguo@126.com

通信作者: 张颖, 研究员, 主要从事冷水性鱼类养殖和遗传育种研究. E-mail: zhangying@hrfri.ac.cn

响,野生裸腹鲟在哈萨克斯坦伊犁河-巴尔喀什湖水系濒于绝迹。目前,我国新疆伊犁河裸腹鲟种群数量极少,偶有发现,已无法形成捕捞产量。被新疆维吾尔自治区列为自治区级一级保护野生动物,也被列为国家二级保护野生动物。多年来,新疆社会各界对裸腹鲟的物种保护工作一直较为关注。因此,对野生裸腹鲟的抢救性保护工作也具有极高的社会公益价值。

裸腹鲟性成熟年龄较大,世代间隔长,在伊犁河流域,野生裸腹鲟性成熟年龄雄体一般为 6~9 龄;雌体多为 12~14 龄^[6]。根据近期渔业资源调查监测,伊犁河干支流已经多年未发现性成熟野生裸腹鲟个体,野外捕捞到活体裸腹鲟极为罕见且主要为低龄个体为主。野生幼鱼在人工养殖条件下达到性成熟所需养殖周期超长,所耗费的饲养管理经济和时间成本巨大。此外,因不适应养殖环境而引发的养殖死亡或者性腺发育迟滞等现象也时有发生。多年来,人工繁殖和苗种驯养等伊犁河裸腹鲟物种保护关键技术尚未取得实质性突破。

本研究通过在伊犁河中国新疆段持续多年收集裸腹鲟野生个体,在人工环境下进行养殖驯化,并对其性腺发育状况进行了持续多年的连续监测,在产前实施模拟野外环境温度变化调控,实现了部分性成熟个体的雌雄同步性腺发育,并在此基础上通过人工催产和活体采卵受精,取得了人工繁殖成功,亲鱼恢复良好。本文是对伊犁河极度濒危物种裸腹鲟人工繁殖及苗种培育技术研究的初次成功报告,通过此次人工繁殖技术参数的系统梳理,以为后续裸腹鲟的全人工繁殖及规模化繁育提供借鉴,为伊犁河流域裸腹鲟渔业资源恢复和利用开发提供苗种及扩繁群体。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 裸腹鲟的外部形态特征 裸腹鲟成鱼外观形态见图 1,背向观呈灰绿色,体态类似长形纺锤,体侧颜色较淡,腹部一般呈现黄白色,鳍色多为灰色。体被骨板行数为 5,其中第 1 行是最大骨板,与头顶斜面成钝角,与其他鲟区别明显。体

表骨板间没有小骨板,其中骨板背面 11~17 枚,侧面 49~74 枚,腹面 11~17 枚。吻平滑、稍圆,几乎为一完整的圆锥形(图 2),腹面口位,较大且下唇中央不分离。有触须 4 根,须长为头长 7.1%~17.6%;鳃耙数为 24~45;背鳍条不分支,39~57 条;臀鳍条也不分支,数目为 23~37。



图 1 裸腹鲟成体形态特征

Fig. 1 Morphological characteristics of adult *Acipenser nudiventris*



图 2 裸腹鲟成鱼头部形态(腹面)

Fig. 2 Morphological characteristics of head of adult *Acipenser nudiventris* (ventral surface)

1.1.2 亲本来源及饲养管理 本研究所有个体均收集自伊犁河流域野生个体,经研究团队自 2013 年以来持续收集,保存于新疆伊河鲟业科技有限公司与中国水产科学研究院黑龙江水产研究所联合设立的巩留科学实验基地流水池塘饲养管理,养殖池规格为直径 16 m、水深 2.5 m 的圆形流水水泥池,采用伊犁河流域建设管理局恰甫其海水库底排水养殖,养殖水体温度范围为 0~22 °C。投喂天邦鲟鱼颗粒配合饲料,日投喂量为 0.5%~1.0%。现保存野生裸腹鲟成年个体原种 13 尾,作为人工繁殖的基础种群。利用微创手术、超声波和血液学指标动态综合检测成年个体性腺发育状况。

1.2 人工催产及孵化管理

2020年5月采用微创手术法和PI (polarization index)指数法对亲鱼群体的性腺发育情况进行监测, 将性腺发育至IV期的裸腹鲟亲鱼转移至待产池内, 选择卵母细胞极化指数 $PI < 0.1$ 的雌性亲鱼与显微镜下含少量精子的雄性亲鱼进行人工催产开展人工繁殖实验。催产药物为LHRH-A2 (宁波第三药厂), 其中雌性亲鱼采用二针注射法, 雄性亲鱼采用一针注法。雌性亲鱼第一针的注射剂量为 $0.8 \sim 1.0 \mu\text{g/kg}$ (体重), 10~12 h后注射雌性亲鱼第二针和雄性亲鱼, 雌性亲鱼第二针的注射剂量为 $2 \sim 3 \mu\text{g/kg}$ (体重), 雄性亲鱼的注射剂量为雌性亲鱼注射总剂量的1/2。催产温度 $15 \sim 16^\circ\text{C}$ 。效应期后, 精液采用腹部按压法进行分批次活体采集, 充氧后于 $2 \sim 4^\circ\text{C}$ 冰箱避光储存; 卵子采用腹部按压法与微创手术法一次性采集, 采用半干法人工授精, 授精前检测精液质量。

受精卵采用15%~20%的滑石粉溶液脱黏45 min, 脱黏后置于瓶式孵化器(图3), 孵化水温 $16.5 \sim 18.0^\circ\text{C}$ 、溶氧 $\geq 6.0 \text{ mg/L}$, 采用RC-T601A智能便携式温度记录仪每隔30 min测定孵化水温。孵化期内在解剖镜下连续观察裸腹鲟胚胎发育全过程, 发育前期每0.5 h观察1次, 到达囊胚期后1.5~3 h观察1次, 并记录胚胎发育不同阶段的时间。仔鱼孵出后每天取15尾观察其变化, 至开口摄食。



图3 裸腹鲟受精卵瓶式孵化方式

Fig. 3 Bottle hatching method of fertilized eggs of *Acipenser nudiventris*

1.3 鱼苗的人工驯养方法与日常管理

初孵裸腹鲟仔鱼采用半径为 $0.6 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 深的圆形玻璃槽养殖, 具有集群现象(图4)。养殖水

温为 $17 \sim 18^\circ\text{C}$, 养殖7~8 d后, 开始肠道排栓, 投喂水蚯蚓段(水蚯蚓采用打浆机打碎成段), 日投喂6~8次, 投喂量为体重的20%。投喂2周后, 采用水蚯蚓段加人工颗粒配合粉料(粉料为北欧玛公司进口仔鱼开口料), 开始人工颗粒饲料驯养, 驯养期为30~40 d, 日投喂次数为6次, 投喂量为体重的10%。每次投喂时间为20~30 min, 每次投喂后及时清除残饵与粪便。



图4 裸腹鲟初孵仔鱼的集群现象

Fig. 4 The clustering phenomenon of newly hatched larvae of *Acipenser nudiventris*

1.4 测定方法

卵径、卵子质量、精液质量等指标测定参考刘鉴毅等^[7]。其中, 卵径测量以长径和卵子质量计算, 按卵子排出的前中后期抽取3次, 每次随机抽取50粒卵, 测量其长径和质量; 采用体积法估算产卵量; 胚胎发育至原肠期后统计其受精率, 每批次抽取200颗胚胎计算受精率。孵化期内在解剖镜下观察裸腹鲟子代的胚胎发育全过程, 发育前期每0.5 h观察1次, 囊胚期后1.5~3 h观察1次。

2 结果与分析

2.1 人工养殖条件下裸腹鲟性腺发育情况鉴定

驯养裸腹鲟成体共计13尾, 年龄12~16龄, 经鉴定确认5尾雌鱼, 7尾雄鱼, 1尾无法辨识。2019年9月鉴定, 有2尾雌鱼性腺发育已达IV期, 平均体重32.65 kg。性腺发育进入III期的鲟摄食状况未有明显改变, 而进入IV期后的亲鱼摄食明显减弱(表1)。催产前2~3个月, 将性腺发育至IV期的雌性亲鲟转入生态调控池中, 通过腹部微创法采集卵子后计算PI值, 入池时PI指数约为0.02,

表 1 性腺发育 IV 期的裸腹鲟生物学指标
Tab. 1 Biological indicators of *Acipenser nudiiventris* at stage IV of gonadal development

亲鱼 parental fish	尾数 individual	年龄/a age	平均体重/kg (范围) body weight (range)	平均体长/cm (范围) body length (range)	成熟度 maturity
母本鱼 maternal fish	2	15	32.65 (38.29–27.01)	137.24 (151.41–123.07)	IV
父本鱼 paternal fish	3	12	27.35 (34.93–19.77)	125.36 (138.21–112.51)	IV

PI 指数达到 0.1 左右, 转入室内待产。精巢发育至 IV 末期的雄性亲鱼于产前 1 个月转移至生态调控池中直至完全性腺成熟, 轻压腹部有大量精液溢出。

2.2 裸腹鲟的繁殖性能及人工催产繁殖效果分析
经性腺发育同步生态调控后共计有 2 尾雌鱼和 3 尾雄鱼实现了性腺同步成熟, 进行了人工催产繁殖。雌性亲鲟在 LHRH-A2 注射第二针后的 15~18 h 开始排卵, 采用腹部按压法与微创手术法一次性收集卵子。雌性亲鲟产前平均体重 35.65 kg, 产卵后平均体重下降至约 30 kg, 腹腔内有部分鱼卵, 后续会逐渐排空。2 尾雌鱼共计产卵量 21.1 万粒(分别为 5.5 万粒、15.6 万粒), 卵径分布范围为 2.95~3.44 mm, 平均卵径(3.21±0.25) mm, 平均单卵质量(0.042±0.011) g, 产卵总质量 5.04 kg, 约占体重的 14.2%。雄鱼在 LHRH-A2 注射 10 h 后分 5 批次采集精液, 合计采精量 2 850 mL。雄鲟产前平均体重 27.35 kg, 产后平均体重 20 kg。所采集的精子剧烈运动时间平均达(46.12±6.47) s, 平均寿命为(260.18±55.62) s, 平均受精率 55%, 孵化率 42.5% (表 2)。

2.3 胚胎发育和出苗仔鱼观察

观察伊犁河裸腹鲟子一代胚胎各发育阶段并计算发育积温。最初判断受精率可以在第二次卵裂开始, 受精后 3.5 h 发育至 4 细胞期, 12.5 h 到达囊胚期, 26 h 到达原肠中期, 48 h 神经管闭合, 62 h 心脏搏动期, 83 h 尾部达心脏, 130 h 左右大量出苗(表 3)。孵化水温 16.5~18.0 ℃时, 裸腹鲟从受精至孵化出膜需 123~145 h, 总积温为 2030~2755 ℃·h。获初孵仔鱼约 25200 尾顺利开口摄食, 初孵仔鱼体长 9.56~11.96 mm。

3 讨论

3.1 中国鲟种质资源保护与利用现状

历史上, 中国天然水域鲟渔业资源较为丰富, 共分布有 8 种鲟, 隶属于 2 科、3 属, 包括鲟科鲟属的中华鲟(*Acipenser sinensis*)、达氏鲟(*Acipenser dabryanus*)、西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)、小体鲟(*Acipenser ruthenus*)、裸腹鲟和施氏鲟(*Acipenser schrenkii*), 鲟科鳇属的达氏鳇(*Huso dauricus*)和白鲟科白鲟属的长江白鲟^[1,4]。其中, 长江流域 3 种鲟均被列为国家一级保护野生动物,

表 2 裸腹鲟繁殖性能及人工催产效果
Tab. 2 Results of controlled reproduction of wild *Acipenser nudiiventris* from the Ili River

指标 index	结果 result	范围 range
卵径/mm egg diameter	3.21±0.25 ($\bar{x}$ ±SD; n=50)	2.95–3.44
卵粒质量/g egg weight	0.042±0.01 ($\bar{x}$ ±SD; n=50)	0.04–0.05
平均产卵量/×10 ⁴ ind egg quantity	10.55	5.5–15.6
精子剧烈运动时间/s swirling movement time of sperm	46.12±6.47 ($\bar{x}$ ±SD; n=200)	42–83
精子寿命/min sperm life	260.18±55.62 ($\bar{x}$ ±SD; n=200)	169–415
采精量/mL milt volume	956.25±67.17 ($\bar{x}$ ±SD; n=200)	750–1520
催产水温/℃ inducing water temperature	15.6	15–16
效应时间(雌)/h effective time for female	16.5	15–18
效应时间(雄)/h effective time for male	11	10–12
受精率/% fertilized rate	55	48–62
孵化率/% hatching rate	42.5	41–44

表 3 伊犁河裸腹鲟子一代胚胎各发育阶段积温
Tab. 3 Typical characteristics of embryonic development in the offspring of wild *Acipenser nudiiventris* from the Ili River

胚胎发育时期 embryonic development stage	主要特征 typical characteristic	受精后时间/h hours after fertilization
受精卵 fertilized egg	吸水膨胀、椭圆形、卵膜变硬, 卵径增大	0.5–1.0
2 细胞期 2-cell stage	动物极出现暗线, 分裂沟加深, 形成 2 个分裂球	2.5
4 细胞期 4-cell stage	为经裂, 与第一次分裂相垂直, 将动物极分为 4 个几乎相同的分裂球	3.5
多细胞期 morula stage	细胞变多、变小, 形成多细胞胚体, 植物极被完全分裂	9
囊胚中期 midblastula stage	植物极色素较深, 分裂球较大, 细胞间有明显间隙	14
原肠期 early gastrula stage	动物极细胞下包, 赤道附近有一深色的色素带出现	28
卵黄栓期 big yolk plug stage	动物极呈亮黄色, 植物极呈黑色, 卵黄栓嵌在胚环内	36
神经胚期 neural tube stage	脑部形成, 神经褶闭合成神经管, 排泄系统原基显著加长	46
视泡形成期 eye sac formation	眼原基形成, 出现黑色素, 在中脑泡两侧可见上突呈弧形的第一对咽弧的原基	52
心脏搏动期 long tubular heart formation	心管增大, 变成 s 形, 心脏呈波浪状均匀搏动	62
尾达心脏期 the tail touches the heart	尾末端达心脏, 鳍褶变宽, 卵黄囊上血管内有血细胞流动	83
尾达头部期 the tail touches the head	尾的末端接触头部, 尾达间脑, 胚体转动频繁	96
孵出期 hatching stage	尾的末端略过头部, 卵黄囊上血管明显, 仔鱼大量出膜	123

其他 5 种鲟均为国家二级保护野生动物。中国水产工作者在 21 世纪初期, 陆续突破了施氏鲟^[8-9]、西伯利亚鲟^[10]、中华鲟^[11]等鲟的全人工繁殖技术。通过原地保护、迁地保护及原栖息地增殖放流等策略方法, 除长江白鲟外, 我国大部分鲟鱼物种避免了物种意义上的灭绝。但是, 野生鲟资源量在近年来仍呈现急剧下降趋势。为减少因鲟及鱼子酱消费对野生鲟资源的破坏, 全球现存所有种类野生鲟已被列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)附录二保护物种^[12]。伊犁河流域裸腹鲟自 20 世纪 90 年代以来近 30 年来没有突破人工繁殖技术, 伊犁河-巴尔喀什湖水系野生裸腹鲟已经近乎完全绝迹, 通过十余年努力, 本研究团队共收集到 13 尾大个体野生裸腹鲟, 在人工养殖环境下驯养。截至目前, 国内仅有黑龙江水产研究所巩留科学实验基地保存有 5 尾活体野生伊犁河裸腹鲟发育至性成熟, 这为本次人工繁殖实验的开展提供了亲本材料。

3.2 裸腹鲟亲鱼适宜养殖条件和营养需求

水温变化、光周期及饲料营养等因子是鲟类性腺发育及成熟的主要影响因素, 在诱导和启动鱼类内分泌系统“下丘脑-垂体-性腺轴”过程中起到重要作用^[13]。一般说来, 常规池塘养殖环境往往不利于野生鲟幼体启动与性腺发育相关的生

殖内分泌调节途径^[14-15], 本研究依托的科学实验基地位于伊犁哈萨克自治州巩留县伊犁河谷, 伊犁河与里海处于同一纬度, 气候也比较相似。在此进行裸腹鲟的物种保护与驯养繁育具有得天独厚的水源、地理、气候、环境优势。在饲料营养方面, 本研究采用投喂配合饲料方式能够使部分裸腹鲟性腺发育达到最终成熟。也有研究表明, 添加鲜活鱼或冰鲜鱼更有利于鲟性腺发育启动^[16], 可能是由于鲜活或冰鲜鱼类或虾类体中的营养物质在体内具有更高的吸收转化效率, 更有利于雌鱼卵黄营养物质的积累, 进而更有利于性腺发育。

3.3 人工驯养条件下裸腹鲟的人工繁殖

伊犁河水系的裸腹鲟最初来源于咸海水系的锡尔河, 咸海水系裸腹鲟种群几乎濒于绝迹。据历史文献记载, 在威海, 裸腹鲟鱼卵平均卵径为 1.55~3 mm, 平均卵质量为 0.0114 g^[1,17]。本研究获得的伊犁河裸腹鲟鱼卵卵径分布范围为 2.95~3.44 mm, 平均卵径 3.21 mm, 平均单卵质量 0.042 g。卵质量和规格均明显好于咸海水系野生裸腹鲟, 推测原因可能是个体在池塘饲养环境下, 亲鱼可以获得更好饲料营养条件, 节约安全防卫、繁殖求偶等行为消耗能量, 从而改善繁殖性能。

裸腹鲟作为鲟中的较大型个体, 同样不具有

副性征,繁殖期外观难以分辨雌雄,其雌性个体的怀卵数量多于西伯利亚鲟、俄罗斯鲟以及施氏鲟等个体。鲟雌鱼卵巢发育的成熟度受营养状况、养殖温度等环境条件影响,而鲟卵子的终末成熟则受低温期的影响。由于受人工养殖环境条件的影响,且裸腹鲟雌性个体的卵巢较大,重达体重的 12%~15%,同一条亲鱼卵巢中卵子的发育成熟度不同步。因此,在繁殖生产过程中,精准判断卵子成熟度对提高裸腹鲟的受精率尤为重要,本研究采用 PI 指数法判断卵子的成熟度并综合雌鱼繁殖后期的腹部特征确保了本次人工繁殖的成功。同时,由于缺乏裸腹鲟的繁殖特性数据、收集到的个体数量有限且捕捞时个体发育状况具有随机性,本次研究中裸腹鲟人工繁殖技术参数也很难实现如中华鲟、施氏鲟、达氏鳇等各级年龄梯队组合的养殖鲟群体可以实施多次重复对比优化^[13,18-19],这也是此次裸腹鲟人工繁殖孵化率和苗种成活率较低的原因之一。另外,需要引起注意的是,目前保存的伊犁河裸腹鲟能繁亲鱼数量过少,交配选择余地有限,可能会导致与配亲本遗传背景单一,因近交降低繁殖效率。因此,裸腹鲟人工繁殖群体应注意利用综合分子标记及系谱档案等多样化的育种信息做好亲本及扩繁群体的遗传管理。

根据本研究团队多年积累经验,繁殖期低温刺激是调控鲟尤其是野生鲟性腺发育成熟的关键措施之一。本研究通过对产前亲本模拟自然生态环境降温刺激调控,实现雌雄同步成熟,进而取得了伊犁河裸腹鲟首次人工繁殖成功,并且产后雌雄亲本均迅速恢复体能,产后一周左右即已恢复进食,各项身体指标均显示健康状况良好。

3.4 裸腹鲟胚胎发育及苗种培育

裸腹鲟胚胎发育与其他鲟鱼类类似,大致可以划分为受精,卵裂和囊胚,原肠胚,原肠胚结束到心跳开始,心跳开始到孵出鱼苗等 5 个发育阶段^[1,17]。只是受物种特性和水温条件等因素影响,与其他鲟胚胎发育各阶段的积温有所不同。近年来,极危物种裸腹鲟在全球范围内都很难寻觅野生个体,可以用于直接比较的结果不多。伊朗学

者 2014 年发表文献表示他们采用外源激素诱导性腺同步发育,实现了里海野生裸腹鲟人工繁殖,受精率最高可达 96%,孵化得到 11.5 万尾初孵仔鱼,开口饵料是水蚤和卤虫无节幼体^[20];但该文献对苗种培育成活率和苗种规格等信息没有进一步交代,无法进一步比较。伊朗研究者保有较大规模的养殖群体,挑选出 6 雌 6 雄共 12 尾性腺发育成熟的亲鱼参与实验。本研究中基础群体只有 13 尾,性腺发育至 IV 期的亲鱼只有 5 尾,为降低对亲鱼伤害,只采用了水温调节等非药物方法进行生态调控性腺同步发育。伊朗实验使用外源激素诱导,雌雄性腺发育的同步性程度更高,因此获得了更高的受精率。开口饵料方面,本研究参考主要养殖鲟苗种培育方法^[1],以水蚯蚓作为开口饵料,也可以顺利使子一代裸腹鲟苗开口摄食,并通过调整人工饲料和水蚯蚓比例也能实现鱼苗转口摄食人工配合饲料。水蚯蚓在成本和易得性方面比水蚤和卤虫无节幼体更有优势。

此外,由于此次“新冠疫情”突然暴发正值裸腹鲟成熟待产期间,新疆、黑龙江等省区人员和物资流通多有不便,导致一些专业技术人员、实验仪器设备、药品耗材甚至生物饵料等不能及时抵达裸腹鲟人工繁殖和苗种培育实验现场。尽管如此,本次实验仍克服了诸多困难,经多方努力创造条件,最终取得了首次伊犁河裸腹鲟人工繁殖成功。但是,本年度实验现场条件相对简陋,条件尚有欠缺,使得很多实验过程数据标准化程度不够,例如裸腹鲟胚胎发育各阶段只能在解剖镜下观察,没能获得清晰的胚胎发育照片。在今后的研究中,将针对伊犁河裸腹鲟的繁殖生物学特点进一步优化人工繁殖各项技术参数,对现有研究结果的不足之处逐步补充完善。同时,本研究亲本群体数量少,现阶段主要以保存亲鱼群体安全,实现人工繁殖,获得活体后代为目的,实验手段相对比较保守。没有尝试采用更多的技术手段,例如外源激素诱导、光周期调控等其他性腺发育调节方法。随着储备群体逐步扩大,未来我们将进一步优化完善伊犁河裸腹鲟人工繁殖技术体系流程,并最终实现全人工繁殖。届时,通过野

生裸腹鲟子一代苗种反哺伊犁河水系野生群体, 保护珍稀濒危物种, 恢复水域渔业资源将成为可能。

参考文献:

- [1] Sun D J. Sturgeon Culture in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015. [孙大江. 中国鲟鱼养殖[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.]
- [2] Zhang H, Jarić I, Roberts D L, et al. Extinction of one of the world's largest freshwater fishes: Lessons for conserving the endangered Yangtze fauna[J]. Science of the Total Environment, 2020, 710: 136242.
- [3] 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 (Nature Science), 2020, 54(4): 734-748. [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.]
- [4] Chen X H. Biology and Resource Status of Sturgeon Fishes [M]. Beijing: China Ocean Press, 2007. [陈细华. 鲟形目鱼类生物学与资源现状[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.]
- [5] Ashenovitch A S. Present situation of ecological environment and strategy of sustainable development in major fishery[J]. Journal of Hydroecology, 2011, 32(6): 141-144. [Ashenovitch A S. 哈萨克斯坦渔业主要水域环境现状及保护对策[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(6): 141-144.]
- [6] Ren M L. Fishes of river Yili[J]. Chinese Journal of Fisheries, 1998, 11(1): 7-17. [任慕莲. 伊犁河鱼类[J]. 水产学杂志, 1998, 11(1): 7-17.]
- [7] Liu J Y, Wei Q W, Chen X H, et al. Reproductive biology and artificial propagation of *Acipenser sinensis* below Gezhouba Dam[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(6): 1397-1402. [刘鉴毅, 危起伟, 陈细华, 等. 葛洲坝下中华鲟繁殖生物学特性及其人工繁殖效果[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1397-1402.]
- [8] Qu Q Z, Sun D J, Ma G J, et al. A note report on artificial reproduction of Amur sturgeon *Acipenser schrenckii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2002, 9(3): 277-279. [曲秋芝, 孙大江, 马国军, 等. 施氏鲟全人工繁殖研究初报[J]. 中国水产科学, 2002, 9(3): 277-279.]
- [9] Sun D J, Qu Q Z, Ma G J, et al. Artificial reproduction of cultured *Acipenser schenckii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(6): 485-490. [孙大江, 曲秋芝, 马国军, 等. 养殖施氏鲟的人工繁殖[J]. 中国水产科学, 2003, 10(6): 485-490.]
- [10] Qu Q Z, Gao Y L. Artificial reproduction of cultured *Acipenser baerii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(4): 492-495. [曲秋芝, 高艳丽. 西伯利亚鲟的人工繁殖[J]. 中国水产科学, 2005, 12(4): 492-495.]
- [11] Wei Q W, Li L X, Du H, et al. Research on technology for controlled propagation of cultured Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(1): 1-11. [危起伟, 李罗新, 杜浩, 等. 中华鲟全人工繁殖技术研究[J]. 中国水产科学, 2013, 20(1): 1-11.]
- [12] Vecsei P, Hochleithner M. Sturgeon Fishes (Acipenseriformes): Science as Art[M]. Kitzbuehel: AquaTech Publication, 2012.
- [13] Luo J, Du H, Wei Q W, et al. Reproductive biology of an artificial population of endangered Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(3): 269-276. [罗江, 杜浩, 危起伟, 等. 濒危中华鲟人工群体的繁殖生物学[J]. 中国水产科学, 2020, 27(3): 269-276.]
- [14] Sulak K J, Randall M. Understanding sturgeon life history: Enigmas, myths, and insights from scientific studies[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2002, 18(4-6): 519-528.
- [15] Webb M A H, Doroshov S I. Importance of environmental endocrinology in fisheries management and aquaculture of sturgeons[J]. General and Comparative Endocrinology, 2011, 170(2): 313-321.
- [16] Qi Q, Liu X Y, Sun D J, et al. Effects of fat source matching in broodstock diets on reproductive performance and serum sex steroid levels in Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(1): 118-124. [齐茜, 刘晓勇, 孙大江, 等. 饲料脂肪源搭配对施氏鲟雌鱼繁殖性能和血清性类固醇激素的影响[J]. 中国水产科学, 2014, 21(1): 118-124.]
- [17] Dettlaff T A, Ginsburg A S, Schmalhausen O I. Sturgeon fishes: Developmental Biology and Aquaculture[M]. Heidelberg: Springer, 1993.
- [18] Zhang Y, Qu Q Z, Xi Q K, et al. Growth characteristics, sexual hormone and ovary development in Siberian Huso sturgeon *Huso dauricus* under artificial farming conditions[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2014, 27(6): 8-12. [张颖, 曲秋芝, 席庆凯, 等. 养殖雌达氏鳇的生长、性激素水平和卵巢发育[J]. 水产学杂志, 2014, 27(6): 8-12.]
- [19] Zhang Y, Qu Q Z, Wang B, et al. Comparison of reproductive characteristics among Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*), Kaluga sturgeon (*Huso dauricus*) and their hybrid (Kaluga sturgeon ♀ × Amur sturgeon ♂)[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2016, 29(3): 25-29, 34. [张颖, 曲秋芝, 王斌, 等. 人工养殖下施氏鲟 *Acipenser schrenckii*、达氏鳇 *Huso dauricus* 及其杂交后代的繁殖特性[J]. 水产学杂志, 2016, 29(3): 25-29, 34.]

[20] Bahmani M, Jourdehi Y A, Pourdehghani M, et al. Maturation, Artificial propagation and some physiological indices in

farmed ship sturgeon, *Acipenser nudiventris*[J]. World Journal of Fish and Marine Sciences, 2014, 6(3): 219-226.

Technical report for controlled propagation of the critically endangered ship sturgeon (*Acipenser nudiventris*) in the Ili River

HU Guo¹, JI Feng¹, ZHENG Peng², JIA Dongsheng², LYU Weihua¹, WANG Nianmin¹, ZHANG Ying¹

1. National and Local Joint Engineering Laboratory for Freshwater Fish Breeding, Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China;
2. Xinjiang Yihe Sturgeon Industry Technology Co., Ltd., Yining 835000, China

Abstract: According to the *Red List of Threatened Species* by the International Union for Conservation of Nature (IUCN) (www.iucnredlist.org), almost all sturgeon species are at risk of extinction, being identified as the most endangered species in the world. The ship sturgeon (*Acipenser nudiventris*) is classified as critically endangered. However, unlike the rapid decline of wild populations, sturgeon farming is rapidly increasing in the China Mainland, being the country with the largest sturgeon aquaculture with a production amount of approximately 97,000 tons in 2018. This figure is greater than 80% of the total amount of aquaculture production globally. The ship sturgeon is a large sturgeon with good egg quality and high caviar price, and the controlled propagation of this species is of great significance to conservation biology and aquaculture. The ship sturgeon is the only native sturgeon species that lives in the Ili River Basin of Xinjiang in China. The wild sturgeon populations in the Ili River have sharply decreased in recent decades, similar to the decline seen in other areas. It is a national second-class protected wild animal in China and a first-class protected wild animal in the Xinjiang Uygur Autonomous Region. Collecting wild individuals to implement controlled propagation technology under domestic conditions is the best strategy to save this species. In this study, 13 juvenile fish were collected from the Ili River and farmed in flowing ponds for many years. Among them, two females and three males reached stage IV gonadal maturity, and the controlled reproduction, embryonic development, and fry breeding of these fish were studied. LHRH-A2 was used to successfully induce spawning and insemination, and 120,000 eggs were collected. The fertilization rate was about 50%. Under the incubation conditions of 15–17 °C, the larvae hatched for approximately 5–7 d, and more than 25200 newly hatched larvae were obtained, with a survival rate of 42%. The successful controlled propagation of *A. nudiventris* in the Ili River has laid a solid foundation of technology and experimental materials for conservation and population retrieval.

Key words: *Acipenser nudiventris*; controlled propagation; embryonic development; fry breeding

Corresponding author: ZHANG Ying. E-mail: zhangying@hrfri.ac.cn