

文章编号:1000-0615(2010)05-0777-09

DOI:10.3724/SP.J.1231.2010.06753

全人工繁殖西伯利亚鲟的早期胚胎发育

宋炜¹, 宋佳坤¹, 范纯新^{1*}, 张涛², 王斌³

(1. 上海海洋大学海洋生物系统和神经科学研究所, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090;

3. 浙江省杭州千岛湖鲟龙科技开发有限公司, 浙江 杭州 311700)

摘要:西伯利亚鲟是重要的经济鱼类和进化发育研究材料。对全人工繁殖西伯利亚鲟的早期胚胎发育进行了观察和研究,成熟西伯利亚鲟卵呈球形、黑色、不透明、平均卵径为2.9 mm;在水温15.5~18.0℃下,受精卵历时133 h开始孵出,所需总积温为2 173~2 369℃·h;根据对西伯利亚鲟胚胎发育外部形态及典型特征的分析,将其胚胎发育过程划分为合子、卵裂、囊胚、原肠胚、神经胚、器官形成和出膜7个阶段,共34个发育时期,并对胚胎发育各期的主要形态特征进行描述。

关键词:西伯利亚鲟;胚胎发育;积温

中图分类号:Q 132; S 917

文献标识码:A

西伯利亚鲟隶属辐鳍亚纲(Actinopterygii)、软骨硬鳞总目(Chondrostei)、鲟形目(Acipenseriformes)、鲟科(Acipenseridae)、鲟属(Acipenser),主要分布于俄罗斯西部的鄂毕河至东部的科雷马河之间的西伯利亚各河流中^[1],是极具经济价值的鱼类,其肉食用价值高、其皮可做成优质皮革,特别是由其卵加工成的鱼子酱在国际上享有“黑色黄金”、“黑珍珠”之称。随着我国成功引进欧洲西伯利亚鲟和孵化育苗设备,在我国取得了优于其它种类的养殖效果^[2],成为近年鲟鱼养殖的重要种类之一。

另外西伯利亚鲟是进化发育研究的重要材料。其为软骨硬鳞鱼,而软骨硬鳞鱼类是最早发展出来的硬骨鱼类,在鱼类系统进化中占据重要地位。如鲟形目鱼类是少数具有跟软骨鱼类类似的电感受器的硬骨鱼之一,研究鲟鱼侧线系统发育对探讨电感受器的进化起源有着重要意义^[3]。

目前已有关于西伯利亚鲟的生态学、繁殖生物学、生化和分子生物学等相关研究^[4-9],而尚未见有关西伯利亚鲟早期胚胎发育的详细报道。

本研究在人工繁殖的基础上,对西伯利亚鲟的胚胎发育过程进行详细观察,旨在丰富西伯利亚鲟早期发育各阶段的形态特征、生理生态特点,为人工繁殖和养殖生产以及发育进化研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 催产和孵化

西伯利亚鲟亲鱼取自浙江省杭州千岛湖鲟龙科技开发有限公司。通过注射LRH-A进行人工催熟,采用干法人工受精,得到受精卵。受精后的鱼卵用滑石粉脱粘,清洗消毒后转入孵化器中孵化。孵化水温保持在15.5~18.0℃,溶氧为7.0~8.0 mg/L,pH在6.5~7.5间变化。

1.2 胚胎发育过程观察

孵化期内在Zeiss Stereo Discovery V12体视显微镜下观察其外部形态变化,胚胎发育前期每0.5小时观察1次,到达囊胚期后1.5~3 h观察1次。每次观察取样30粒以上,观察至出膜。受精后的鱼卵用滑石粉脱粘后,卵壳透明度逐渐降

收稿日期:2009-12-19 修回日期:2010-03-02

资助项目:上海市科学技术委员会2008年科研计划资助项目(073205109);上海市优秀青年科研专项基金;上海市重点学科建设项目(S30701)

通讯作者:范纯新,E-mail:cxfan@shou.edu.cn

低,最后成乳白色,难以透过卵壳看清里面的胚胎,此时将卵壳用尖镊子去除壳膜,再观察其发育特征。在肌肉效应期之后,用 100 mg/L 左右的甲磺酸三卡因 (MS-222) 麻醉后观察。观察后选取各个时期典型形态特征的胚胎,用 4% 多聚甲醛固定,供以后反复观察、拍照。胚胎发育时间按 70% 以上鱼卵达到某一发育时期的时间计算。用游标卡尺测量卵径,照片用 photoshop CS2 进行编排。积温的计算公式:胚胎发育各阶段的积温 = 此阶段胚胎发育时间 × 水温。

2 结果

根据西伯利亚鲟胚胎发育顺序及形态特点,并参照其他学者的工作^[10-11],对西伯利亚鲟胚胎发育进行分期。受精卵在平均水温 16.3 °C 下,历时 133 h 孵化出膜,整个发育过程分为合子、卵裂、囊胚、原肠胚、神经胚、器官发生和出膜等 7 个阶段。每个阶段又依据形态特征的变化划分为 34 个时期,各时期发育主要特征和所需时间见表 1。

表 1 西伯利亚鲟胚胎发育特征
Tab. 1 Features of embryonic development of Siberian sturgeon, *Acipenser baeri*

序号 no.	发育时期 embryonic development stage	主要特征 main characteristics	受精后时间(h) time after fertilization	图序 figure ordinal
1	刚受精的卵 fertilized eggs	刚受精的卵,动物极中央出现明亮的极性斑	0	1
2	卵周隙形成期 perivitelline space formation	极性斑消失,卵周隙形成	0.8	2
3	胚盘隆起期 blastodisc formation	胚盘隆起不明显,色素在偏心的动物极积累	2.3	3
4	2 细胞期 2-cell stage	胚盘经裂为两个大小相等的细胞	3.5	4
5	4 细胞期 4-cell stage	第 2 次分裂,为经裂与第 1 次分裂相垂直	4.5	5
6	8 细胞期 8-cell stage	第 3 次分裂,为经裂有两个分裂面,动物极被分裂成 8 个分裂球	5.5	6-1,6-2
7	16 细胞期 16-cell stage	第 4 次卵裂是纬裂,动物极被分裂成 16 个分裂球	6.5	7
8	32 细胞期 32-cell stage	第 5 次卵裂,动物极被分为 32 个分裂球	7.5	8
9	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	8.5	9
10	囊胚早期 initial blastula stage	动物极分裂球变小,分裂仍是同步的	9.5	10
11	囊胚中期 midblastula stage	动物极细胞核分裂不同步,细胞间有明显间隙	13	11
12	囊胚晚期 late blastula stage	细胞越来越小,界限模糊	16	12
13	原肠初期 initial gastrula stage	赤道附近有一深色的色素带出现	20	13
14	原肠早期 early gastrula stage	色素带处产生一个短而不深的狭缝状胚孔	22	14
15	原肠中期 midgastrula stage	动物极覆盖胚胎表面的 2/3	23	15
16	大卵黄栓期 big yolk plug stage	大卵黄栓的形成	32	16
17	小卵黄栓期 small yolk plug stage	小卵黄栓的形成	36	17
18	隙状胚孔期 lyriform blastopore formation	卵黄栓消失,胚孔两侧唇靠近,呈隙状	41	18
19	神经胚早期 warty neurula stage	早期神经胚,头部周围出现神经褶	44	19
20	宽神经板期 wide neural plate formation	宽神经板明显,并分为内外两部分	45	20
21	神经褶靠拢期 neural fold closing stage	头部神经褶开始靠近,排泄系统原基出现	47	21
22	神经胚晚期 late neurula stage	神经板闭合成神经管	49	22
23	神经管闭合期 neural tube closing stage	神经管闭合,胚胎头部三个脑泡形成	50	23
24	眼囊形成期 eye sac formation	眼原基形成,在中脑两侧可见上突呈弧型的第一对咽弧的原基	52	24
25	尾芽形成期 caudal bud appearance	脑室稍有隆起,侧板达到头部前端	58	25-1,25-2
26	尾芽分离期 caudal bud separating stage	心脏原基在侧板融合的一侧形成,尾芽突出呈棒状	65	26-1,26-2
27	短管心脏期 shorttubular heart formation	心脏呈短管状,尾芽略游离于卵黄囊	71	27-1,27-2
28	长管心脏期 longtubular heart formation	心脏呈长管状,视泡明显	76	28
29	听板形成期 otic placode appearance	心脏变形,呈小“c”形,听板出现	85	29
30	肌肉效应期 stage of muscular effect	尾的末端接近心脏,眼的前下方嗅板形成,听板内陷形成听泡	91	30-1,30-2
31	心跳期 stage of heart beating	尾的末端达到心脏,心脏呈大“C”形,尾的末端开始变得扁平	99	31-1,31-2
32	尾达头部期 the tail touches the head	尾的末端接触头部,尾部鳍褶变宽	112	32-1,32-2
33	出膜前期 hatching prophase	尾的末端略过头部,卵黄囊上血管明显	125	33
34	出膜期 hatching stage	尾的末端达到间脑,鳃盖形成,仔鱼大量出膜	133 ~ 145	34-1,34-2

2.1 合子阶段

成熟西伯利亚鲟卵呈球形、黑色、不透明;平均卵径为 2.9 mm,卵膜紧贴于卵的表面;卵的比重大于水,为沉性卵。刚受精的卵,动物极集中多数细胞质,中央出现暗色的色素环包围着明亮的极性斑,植物极色素均匀(图版-1)。受精后约 50 min,受精卵入水后迅速吸水膨胀,卵径增大为 3.2 mm,形成较大的卵周隙,此时受精卵具有弱黏性;细胞质从植物极向动物极流动,在动物极中心形成一个暗斑,暗斑周围有一宽的明亮带(图版-2);胶膜吸水膨胀过程中不断吸附水中的悬浮颗粒而变得浑浊,致使观察困难;胶膜的弹性强度变强,用解剖针不易剥离。受精后约 2 h 20 min,动物极出现一个较大的新月区即胚盘,胚盘隆起不明显,色素在偏心的动物极积累形成暗色区(图版-3)。

2.2 卵裂阶段

受精后 3 h 30 min,受精卵发生第 1 次卵裂,为经裂。首先动物极出现一条暗色的裂缝,逐渐加深形成分裂沟,分裂沟与胚盘垂直,将动物极一分为二,形成两个基本相等的分裂球,此时胚胎进入 2 细胞期(图版-4)。受精后 4 h 30 min,当第 1 次的分裂沟到达卵细胞的赤道时,第 2 次分裂开始,仍为经裂;第 2 次卵裂与第 1 次相垂直,并逐渐加深加大,将受精卵分割成 4 个大小相差不大的分裂球(图版-5)。受精后 5 h 30 min,开始第 3 次卵裂,仍然为经裂,受精卵被分裂成 8 个大小不等的分裂球(图版-6-1);同时第 1 次分裂沟在植物极闭合,把植物极分为两部分(图版-6-2)。受精后 6 h 30 min,开始第 4 次卵裂,为纬裂,把胚胎分成 16 个大小不等的分裂球(图版-7);同时第 2 次分裂沟延伸至赤道下方,但大多数并未在植物极形成完全闭合。受精后 7 h 30 min,开始第 5 次卵裂,胚胎被分成 32 个大小不等的分裂球(图版-8);第 2 次分裂沟已在植物极闭合。受精后 8 h 30 min,动物极分成越来越小的不规则细胞,植物极也完全分裂,在动物极中心出现较深的色素(图版-9)。

2.3 囊胚阶段

受精后 9 h 30 min,囊胚开始形成,动物极色素变浅并逐渐变得明亮,中间出现深色色素,分裂球变小,细胞核分裂仍是同步的(图版-10);植物极色素较深,分裂球仍较大。受精后 13 h,胚

胎进入囊胚中期,动物极细胞核分裂不同步,分裂球变小,分裂延续到赤道附近,整个受精卵的分裂球之间有明显的间隙(图版-11)。受精后 16 h,胚胎进入囊胚晚期,动物极分裂球继续变小且细胞间的界线变得模糊,难以辨认单个细胞,在动物极逐渐形成囊胚腔;植物极分裂球减小,但是它们还是比动物极分裂球大,此时动物极产生下包作用(图版-12)。

2.4 原肠胚阶段

受精后约 20 h,胚胎进入原肠初期,此时胚层开始下包,在赤道附近形成一深色的色素带(图版-13)。受精后 22 h,胚胎进入原肠早期,色素带处产生一个短而不深的狭缝状胚孔,动物半球细胞在下包的同时,部分细胞向胚孔背唇处集结,卷入胚胎内部(图版-14)。受精后约 28 h,胚胎进入原肠中期,随着胚孔处细胞不断形成和内卷,胚唇向侧面和腹面延伸,先后形成侧唇和腹唇,外胚层细胞通过侧唇和腹唇继续内卷,使胚孔形成一环形的带,称为胚环;动物极和植物极界限明显,动物极覆盖胚胎表面的 2/3(图版-15)。受精后约 32 h,胚胎发育至大卵黄栓期,被胚孔包绕的内胚层细胞仍然暴露在植物极外面,形似栓状,故称为“卵黄栓”,较大的卵黄栓像一个大塞子嵌在胚环内,此时动物极呈明亮的黄色,植物极色素很深,呈黑色,仍然可见分裂球,两者的界限清晰(图版-16)。受精后约 36 h,此时除在植物极有一个很小的卵黄栓外,整个卵均被明亮的动物极所覆盖(图版-17)。

2.5 神经胚阶段

受精后约 41 h,卵黄栓逐渐消失,胚孔的二侧唇相互靠拢,胚孔边缘接近闭合,只留下极其狭窄的裂隙,此时为隙状胚孔期(图版-18)。受精后约 44 h,胚胎背部开始形成神经板,从隙状胚孔开始形成神经沟,向前终止于头部神经板最宽的地方,最宽的部位形成未来的脑部,同时脑部周围增厚,出现神经褶(图版-19)。受精后约 45 h,明显的宽神经板出现,在头部神经板周围有清楚的呈马蹄形的神经褶(图版-20);神经板向下增长,并分为内、外两部分;神经板中央有向下增长的呈纵行的神经沟。受精后 47 h,脑部处的神经褶边缘升高、增厚并逐渐靠拢。神经板下陷、变窄,同时排泄系统原基在躯干部的两侧出现(图版-21)。受精后 49 h,脑部神经褶继续靠

拢,神经板最后闭合成神经管;而躯干部的神经褶也开始靠近,排泄系统原基加长(图版-22)。受精后50 h,神经管闭合,明显可见沿神经褶融合线的缝合;头部逐渐膨大加长,胚胎头部分化为前、中、后3个脑泡(图版-23);胚胎的头和尾部已很明显,胚体位于背面,卵黄囊位于腹面;排泄系统原基也显著加长,但没有达到神经管末端;在躯体上可见直线肌节,此后就开始了各器官的形成。

2.6 器官发生阶段

胚胎发育至52 h进入视泡形成期,前脑两侧有一对略增厚并向外突出的细胞团,为眼原基雏形,在中脑两侧可见上突呈弧型的第一对咽弧的原基(图版-24)。受精后约58 h,脑室稍有隆起,但不明显;侧板达到头部前端,排泄系统原基前部增厚,并分化成向前和向外侧伸展的肾小管原基(图版-25-1),尾部扁平(图版-25-2)。受精后65 h,侧板从接近到完全联合,在头部可见到心脏的原基和3对新月型的咽弧原基(图版-26-1),排泄系统从身体中部一直延伸至尾端;胚体继续向上隆起,高出球面,尾芽突出,呈棒状,尾尖略游离于卵黄囊,肌节11对(图版-26-2)。受精后约71 h,心脏开始呈短管状,位于头部的前下方(图版-27-1);头部开始稍稍抬起,尾芽开始变窄并逐渐变长,略游离于卵黄囊(图版-27-2)。受精后约76 h,心脏原基呈长管状(图版-28),躯干部肌肉对刺激没有收缩反应;视泡明显,头明显抬高。受精后约85 h,头部继续抬高,心脏变形,从略有弯曲的直长管变成“c”形;在眼囊后方脑的第三膨大部分的两侧出现一对椭圆形听板(图版-29)。受精后约91 h,胚胎开始扭动,尾向腹面弯曲,加长,尾的末端接近心脏,心脏开始有微弱搏动,约每分钟47次,肌肉也开始颤动,头尾都能在膜内左右小幅摆动,在眼的前下方出现颜色稍暗浅窝状的嗅板,听板内陷形成听泡(图版-30-1,30-2)。受精后约99 h,尾的末端达到心脏,并可做大幅左右摆动,此时,心脏膨大为“C”形,心脏开始有节律性的搏动,心跳达每分钟60次,血液为乳白色;外界刺激能引起肌肉收缩;尾部继续伸长向头部弯曲,并且周围出现鳍褶原基,尾的末端开始由棒状变得扁平,离开球体的长度约为胚胎的1/3,尾部开始扭动;此时卵膜极易剥离(图版-31-1,31-2)。受精后约112 h,尾

末端接触头部,尾部鳍褶变宽,并可见肛门原基;胚胎在卵内经常转动;卵黄囊的背面与胚体之间有黑色素细胞颗粒出现;眼囊内有黑色色素沉着,使眼呈“新月型”(图版-32-1,32-2)。

2.7 出膜阶段

受精后125 h,尾的末端略过头部,尾部鳍褶更宽;卵黄囊上血管明显,心脏移至头部正下方,心跳明显加快,每分钟达110次;胚体头尾都能做剧烈运动,使得整个胚体能在膜内自由地扭动,此时稍微给予一定的外力(如水浪冲击等),卵膜很容易破裂而释放出胚胎,释放的胚胎可在水中自由的游动(图版-33)。受精后大约在133 h,尾的末端达到间脑,色素颗粒除集中分布在卵黄囊背面和胚体之间外,也散见于卵黄囊腹下侧,仔鱼大量孵出(图版-34-1);刚孵出的仔鱼全长8.9~9.5 mm,血液循环到达尾部(图版-34-2);同一批卵胚胎出膜时间相差十几小时,迟孵出的胚胎在卵膜内正常发育。

3 讨论

3.1 胚胎发育特征

西伯利亚鲟卵为沉性卵,而且在卵膜外还有一层胶膜,遇水后产生黏性。西伯利亚鲟的卵径在2.9~3.2 mm,长于一般硬骨鱼的1.0~1.5 mm,而短于黄鳝(3.0~4.0 mm)和鲑鳟鱼(5.0~5.5 mm)^[12-13]。而与其它鲟鱼相比,西伯利亚鲟的卵是比较小的一种(表2)。

西伯利亚鲟与其他鲟鱼一样,它们卵裂过程中分裂球在胚胎中呈放射状排布,同为辐射裂^[10-11,14]。与其他硬骨鱼类相比,西伯利亚鲟卵中的卵黄相对较少,因此这种卵裂方式与两栖类一样^[15],是完全的,但西伯利亚鲟卵的卵黄主要集中在植物极,卵裂又不均等,结果植物极的分裂球要比动物极分裂球大很多。同时西伯利亚鲟前4次卵裂分别为经裂-经裂-经裂-纬裂,这又和其它硬骨鱼的端黄卵的盘状卵裂十分相似。因此可以认为西伯利亚鲟的卵裂是一种特殊的辐射裂,是介于鱼类和两栖类间的过渡类型,可能是鱼类中一种比较原始的卵裂方式。

表2总结了西伯利亚鲟与其它几种已研究过的鲟鱼胚胎发育的异同点。发育特点存在的差异主要与个体和生存环境、在观察时对胚胎发育时期的确定标准不一样有关。

表 2 西伯利亚鲟与鲟科其它鱼类胚胎发育特点的比较

Tab. 2 Comparison of embryonic development characters between Siberian sturgeon and other sturgeons

项目 item	西伯利亚鲟 <i>Acipenser baeri</i>	施氏鲟 ^[10] <i>Acipenser schrenckii</i>	中华鲟 ^[10-11] <i>Acipenser sinensis</i>	匙吻鲟 ^[14] <i>Polyodon spathula</i>
卵径(mm) egg diameter	2.9~3.2	3.15~3.75	4.3~4.8	3.32~4.11
8 细胞期 8-cell stage	第一次卵裂沟在植物极闭合	第一次卵裂沟在植物极闭合	第一次分裂沟仅达赤道下方	第一次卵裂沟在植物极闭合
原肠中期 mid-gastrula stage	动物极覆盖胚胎表面的 2/3	动物极覆盖胚胎表面的 3/4	动物极覆盖胚胎表面的 2/3	动物极覆盖胚胎表面的 2/3
心跳期 stage of heart beating	心脏呈“C”形,尾牙变得扁平,与球面分离	心脏呈“S”形,尾牙分离变细,未与球面分离	心脏呈“S”形,尾牙分离变细,未与球面分离	心脏呈“C”形,尾牙变得扁平,与球面分离
出膜期 hatching stage	尾的末端达到间脑	尾的末端达到或略过头部	尾的末端超头部,达到听泡	尾的末端已略超过头尖
出膜仔鱼大小(mm) length of newly hatched larve	8.9~9.5	9.4~11.0	12.0~14.0	7.05~7.32

3.2 胚胎发育的积温

在水中,一定范围的水温分布是鱼类产卵和胚胎发育必须具备的主要生态条件之一^[16-17]。鲟鱼正常孵化水温一般在 14~20℃^[10,14,18]。本文所研究的西伯利亚鲟胚胎发育过程中平均水温是 16.3℃,正常孵出率达 80%,属正常孵化温度范围。同时还发现西伯利亚鲟胚胎发育过程中所需积温为 2 173~2 369℃·h,

略高于施氏鲟、中华鲟、达氏鲟、闪光鲟(表 3),孵化期相对较长,这可能是因为西伯利亚鲟长期生活在寒冷的西伯利亚地区^[19],其最适的胚胎发育温度更低,造成其发育速度较慢。西伯利亚鲟胚胎发育所需积温在对西伯利亚鲟规模化苗种培育,合理的培养温度的确定,育苗的关键期,节约培养水预热的能源和节省人力投入等方面具有一定的指导意义。

表 3 几种鲟形目鱼类胚胎发育情况

Tab. 3 Embryonic development of Acipenseriformes

种类 species	发育水温(℃) water temperature of embryonic development	发育时间(h) time of embryonic development	积温(℃·h) accumulative temperature	发育分期 development stage
西伯利亚鲟 <i>Acipenser baeri</i>	15.5~18.0	133~145	2173~2369	34
施氏鲟 ^[10] <i>Acipenser schrenckii</i>	17.0~19.0	95~104	1710~1872	9
匙吻鲟 ^[14] <i>Polyodon spathula</i>	18.0~22.0	119~138	2266~2617	31
中华鲟 ^[10] <i>Acipenser sinensis</i>	16.6~18.0	113~130	1921~2210	24
达氏鲟 ^[10] <i>Acipenser dabryanus</i>	17.0~18.0	115~117	2012~2047	34
闪光鲟 ^[10] <i>Acipenser stellatus</i>	16.0~18.0	106~126	1802~2142	5

参考文献:

- [1] 张涛,章龙珍,赵峰,等. 西伯利亚鲟不同性别与卵巢发育时期血液性类固醇激素的差异与判别分析[J]. 海洋渔业, 2008, 30(1): 19-25.
- [2] 李融. 中国鲟鱼养殖产业可持续发展研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008: 6-10.
- [3] Gibbs M A, Northcutt R G. Development of the lateral line system in the shovelnose sturgeon[J]. Brain Behavior and Evolution, 2004, 64(2): 70-84.
- [4] Ruban G I. Species structure, contemporary distribution and status of the Siberian sturgeon, *Acipenser baeri* [J]. Environmental Biology of Fishes, 1997, 48(1-4): 221-230.
- [5] Williot P. Influence of yolk blackish pigmentation of Siberian sturgeon on reproductive performance and larval survival[J]. Aquaculture International, 1998, 6: 403-410.
- [6] Gisbert E, Sarasquete C. Histochemical identification of the black-brown pigment granules found in the alimentary canal of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*) during the lecithotrophic stage [J]. Fish

- Physiology and Biochemistry, 2000, 22(4): 349 – 354.
- [7] 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.
- [8] 张涛, 章龙珍, 赵峰, 等. 基于血液生化指标判别分析西伯利亚鲟性别及卵巢发育时期[J]. 中国水产科学, 2007, 14(2): 236 – 243.
- [9] 吴艺, 孙中武, 王宏伟, 等. 史氏鲟、西伯利亚鲟及其杂交种的同工酶分析[J]. 水产学杂志, 2008, 21(1): 59 – 63.
- [10] 刘洪柏, 贾世杰. 施氏鲟的胚胎及胚后发育研究[J]. 中国水产科学, 2000, 7(3): 5 – 10.
- [11] 陈细华. 中华鲟胚胎发育和性腺早期发育的研究[D]. 广州: 中山大学, 2004: 29 – 34.
- [12] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 132 – 139.
- [13] 周秋白, 吴华东, 吴红翔, 等. 黄鳍的胚胎及胚后发育[J]. 水产学报, 2003, 27(6): 505 – 512.
- [14] 陈静, 梁银铨, 胡小建, 等. 匙吻鲟胚胎发育的观察[J]. 水利渔业, 2008, 28(3): 34 – 36.
- [15] Zotin A I. The mechanism of cleavage in amphibian and sturgeon eggs[J]. Journal of Embryology and Experimental Morphology, 1964, 12(2): 247 – 262.
- [16] 黄宁宇, 程起群, 高露娇, 等. 流速、温度对西伯利亚鲟幼鱼的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(1): 31 – 37.
- [17] 殷名称. 鱼类早期生活史研究及其进展[J]. 水产学报, 1991, 15(4): 348 – 388.
- [18] Wang Y L, Binkowski F P, Doroshov S I. Effect of temperature on early development of white and lake sturgeon, *Acipenser transmontanus* and *A. fulvescens* [J]. Environmental Biology of Fishes, 1985, 14(1): 43 – 50.
- [19] 章龙珍, 宋超, 庄平, 等. 西伯利亚鲟(F_2)胚后发育的形态观察[J]. 水产学报, 2009, 33(5): 755 – 761.

Studies on the early embryonic development of artificially-bred Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*)

SONG Wei¹, SONG Jia-kun¹, FAN Chun-xin^{1*}, ZHANG Tao², WANG Bin³

(1. Institute for Marine Biosystem and Neurosciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

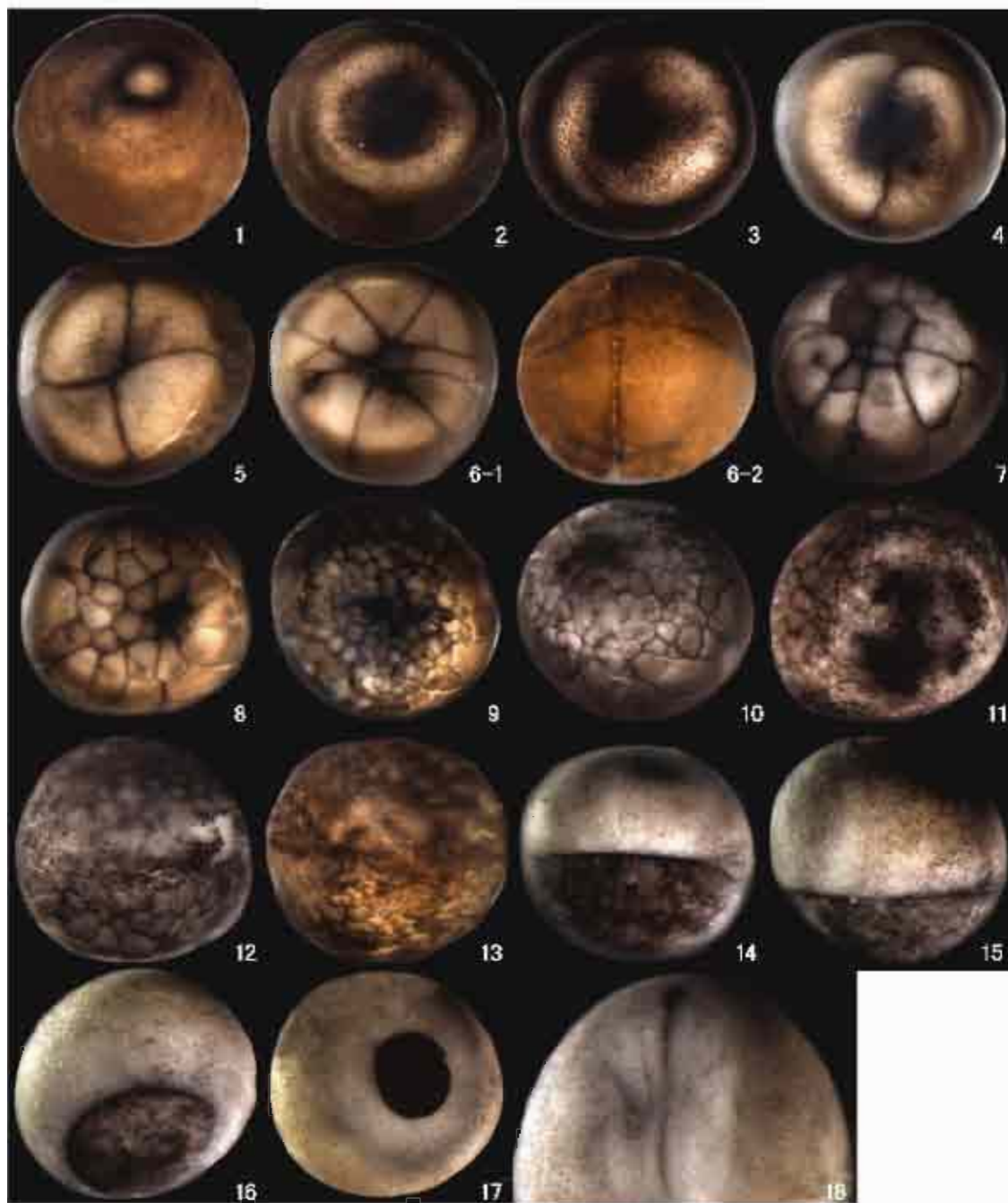
2. Key Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

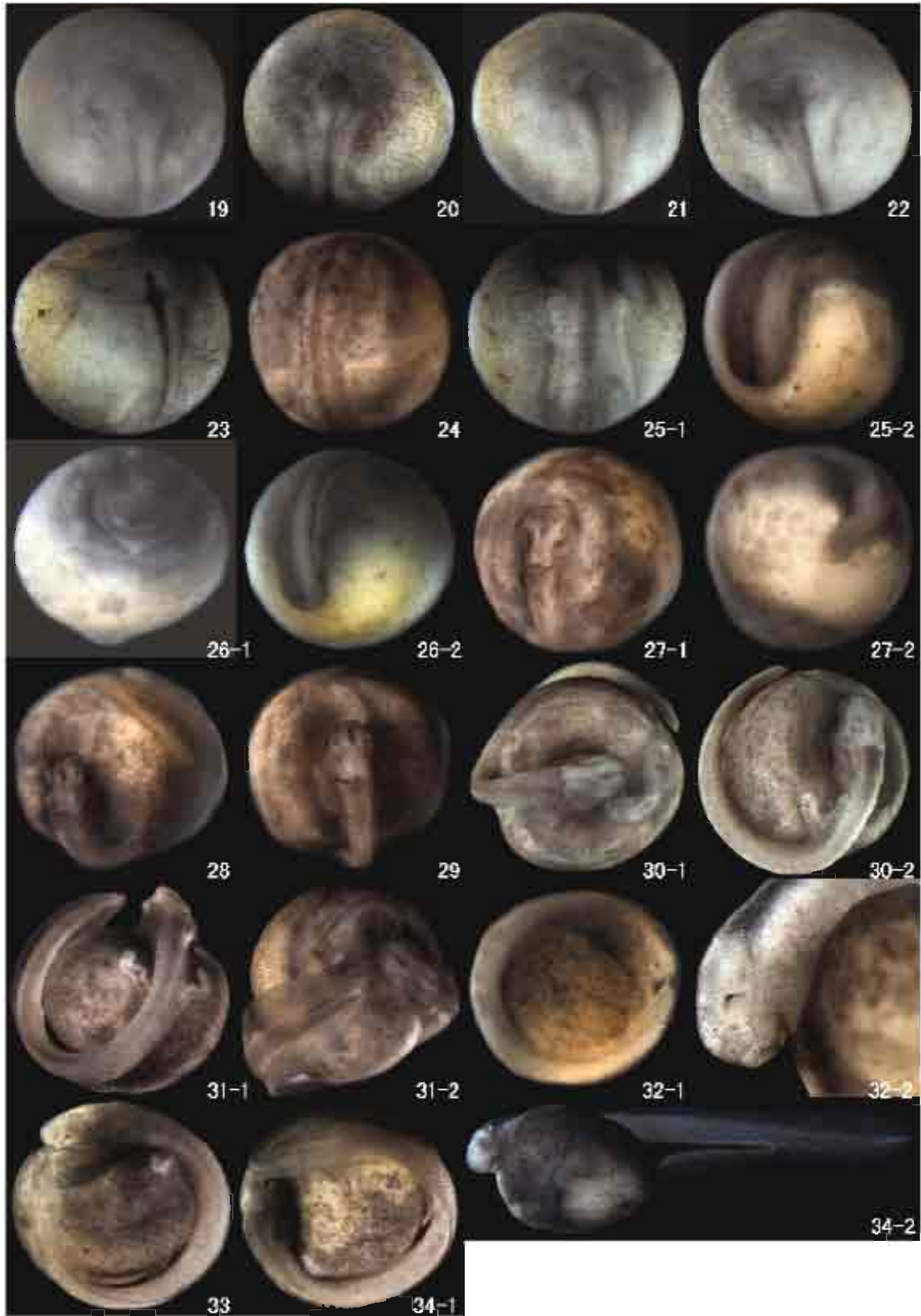
3. Hangzhou Qiandaohu Xunlong Technology Development Co., Ltd, Hangzhou 311700, China)

Abstract: As one of the oldest sub-cold water fishes, *Acipenser baeri* is valuable in terms of fish research and economy. In order to provide information that may help with the improvement of artificial propagation and evolutionary development study, the morphological observation during embryonic development of *A. baeri* were conducted under rearing conditions. Under 15.5 – 18.0 °C, it took 133 h from fertilization to hatching with the average cumulation temperature of 2 173 – 2 369 °C·h. The embryonic development process could be divided into 7 stages, including fertilized egg stage, cell division stage, blastula stage, gastrula stage, neurula stage, organ formation stage and hatching stage, and contained thirty-four developing phases, whose characteristics were described. The cleavage pattern is radial holoblastic cleavage, and is similar to that of amphibian, but not obviously different from many other fishes; however, the disc cleavage is something like that of bony fish.

Key words: *Acipenser baeri*; embryonic development; accumulative temperature

Corresponding author: FAN Chun-xin. E-mail: cxfan@shou.edu.cn





图版说明

1. 刚受精的卵(0 h); 2. 卵周隙形成期(0.8 h); 3. 胚胎隆起期(2.3 h); 4. 2 细胞期(3.5 h); 5. 4 细胞期(4.5 h); 6. 8 细胞期(5.5 h); 7. 16 细胞期(6.5 h); 8. 32 细胞期(7.5 h); 9. 多细胞期(8.5 h); 10. 囊胚初期(9.5 h); 11. 囊胚中期(13 h); 12. 囊胚晚期(16 h); 13. 原肠初期(20 h); 14. 原肠早期(22 h); 15. 原肠中期(28 h); 16. 大卵黄栓期(32 h); 17. 小卵黄栓期(36h); 18. 隙状胚孔期(41 h); 19. 神经胚早期(44 h); 20. 宽神经板期(45 h); 21. 神经褶靠拢期(47 h); 22. 神经胚晚期(49 h); 23. 神经管闭合期(50 h); 24. 眼囊形成期(52 h); 25. 尾芽形成期(58 h); 26. 尾芽分离期(65 h); 27. 短管心脏期(71 h); 28. 长管心脏期(76 h); 29. 听板形成期(85 h); 30. 肌肉效应期(91 h); 31. 心跳期(99 h); 32. 尾达头部期(112 h); 33. 出膜前期(125 h); 34. 出膜期(133~145 h)。括号内为受精后时间。

Explanation of Plate

1. Fertilized eggs (0 h); 2. Perivitelline space formation (0.8 h); 3. Blastodisc formation (2.3 h); 4. 2-cell stage (3.5 h); 5. 4-cell stage (4.5 h); 6. 8-cell stage (5.5 h); 7. 16-cell stage(6.5 h); 8. 32-cell stage (7.5 h); 9. Morula stage(8.5 h); 10. Initial blastula stage (9.5 h); 11. Mid-blastula stage (13 h); 12. Late blastula stage (16 h); 13. Initial gastrula stage (20 h); 14. Early gastrula stage (22 h); 15. Mid-gastrula stage(28 h); 16. Big yolk plug stage (32 h); 17. Small yolk plug stage (36h); 18. Lyriform blastopore formation (41 h); 19. Early neurula stage (44 h); 20. Wide neural plate formation (45 h); 21. Neural fold closing stage (47 h); 22. Late neurula stage (49 h); 23. Neural tube closing stage (50 h); 24. Eye bud formation (52 h); 25. Causal bud appearance (58 h); 26. Causal bud separating stage (65 h); 27. Short-tubular heart formation (71 h); 28. Long-tubular heart formation (76 h); 29. Otic placode appearance (85 h); 30. Stage of muscular effect (91 h); 31. Stage of heart beating (99 h); 32. The tail touches the head (112 h); 33. Hatching prophase (125 h); 34. Hatching (133~145 h). The figure between brackets is the time after fertilization.