



塔里木裂腹鱼人工繁殖、胚胎发育和早期仔鱼发育研究

赵年桦^{1,2,3}, 徐 筱⁴, 赵 贺^{1,2,3}, 温子政^{1,2,3}, 刘茂春⁴, 胡仁云⁴, 聂竹兰^{1,2,3}

(1. 塔里木大学 动物科学学院, 新疆阿拉尔 843300; 2. 新疆生产建设兵团塔里木畜牧科技重点实验室,

新疆阿拉尔 843300; 3. 塔里木珍稀鱼类研究中心, 新疆阿拉尔 843300;

4. 武汉中科瑞华生态科技股份有限公司, 武汉 430000)

摘 要 为了实现塔里木裂腹鱼(*Schizothorax biddulphi*)的人工养殖和资源增殖,于2020年进行塔里木裂腹鱼人工繁殖试验,探索塔里木裂腹鱼繁殖时期、雌雄鉴别、人工催产和人工孵化等关键技术,结果显示,催产塔里木裂腹鱼亲鱼44组,获受精卵25.08万粒,获水花鱼苗14.9万尾,其中塔里木裂腹鱼人工催产药物最适浓度为鲤鱼脑垂体(PG)13.47 mg/kg、马来酸地欧酮(DOM)15.27 mg/kg和促黄体素释放激素A₂(LRH-A₂)19.28 μg/kg;塔里木裂腹鱼的繁殖期在新疆南疆地区主要集中在4月下旬至6月上旬,塔里木裂腹鱼产微粘性卵,成熟卵卵径为(1.7±0.15) mm,吸水膨胀后达(2.8±0.16) mm;其胚胎发育过程经历胚盘、卵裂、囊胚、原肠胚、神经胚、器官形成和出膜7个阶段;在水温19~19.2℃的条件下,受精卵发育经过93 h 36 min孵化,总积温为1 785.24℃·h;初孵仔鱼全长(7.19±0.15) mm,具心跳和血液循环;早期仔鱼发育分为卵黄囊期、弯曲前期、弯曲期和弯曲后期4个时期,出膜后7 d,卵黄囊完全吸收。通过对塔里木裂腹鱼进行人工繁殖试验,掌握催产塔里木裂腹鱼最适药物浓度,描述塔里木裂腹鱼的胚胎和早期仔鱼发育特征,以期进一步丰富塔里木裂腹鱼早期生活史资料,为其资源保护提供基础数据。

关键词 塔里木裂腹鱼;人工繁殖;胚胎发育;早期仔鱼发育

中图分类号 S961.2

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2021)12-1767-10

塔里木裂腹鱼(*Schizothorax biddulphi*)隶属于鲤形目(Cypriniformes),鲤科(Cyprinidae),裂腹鱼亚科(Schizothoracinae),裂腹鱼属(*Schizothorax*),是新疆的特种鱼类,因此被渔民称为“新疆鱼”,目前仅分布于新疆维吾尔自治区塔里木河水系,是塔里木河流域最具代表性的鱼类之一^[1]。20世纪50年代,其种群数量曾在博斯腾湖达到最大值,占渔获物组成的80%,一度成为该湖最重要的经济鱼类之一^[2]。20世纪70年代前后,塔里木裂腹鱼由于自身条件的限制,例如生长力度缓慢、性成熟晚、繁殖力低下以及对产卵场所和生活条件要求较高等,再加上人为条件和自然环境的约束,例如兴修水库、开垦荒地等,导致塔里木裂腹鱼的生存栖息地遭到严重迫害,因而种质资源和数量急剧减少^[3],现博斯腾湖已无该鱼种,仅在塔里木河水系的渭干河、阿克苏

河、和田河、克孜勒河、车尔臣河、叶尔羌河中存留,且数量极少。塔里木裂腹鱼在1998年作为新疆二级保护野生动物被收录于《中国濒危动物红皮书》^[4],2004年被新疆维吾尔自治区列为II类水生保护动物,是中国特有的重要的珍稀鱼类之一^[5]。

对濒危鱼类进行人工繁育与增殖放流,是保护该鱼类免遭灭绝的重要措施。此前,张人铭等^[6]对新疆阿克苏河(Aksu River)的塔里木裂腹鱼进行人工繁殖试验,并其胚胎发育进行描述,龚小玲等^[7]对新疆车尔臣河(Qarqan River)的塔里木裂腹鱼的胚胎和1~22 d仔鱼发育进行描述,二者均未对塔里木裂腹鱼出膜方式以及人工催产药物剂量进行研究。本试验于2020年将新疆克孜勒河(Kizil River)捕捞的野生塔里木裂腹鱼作为亲本,探究最佳人工催产药物浓度并对其胚胎

收稿日期:2021-03-15 修回日期:2021-05-10

基金项目:国家自然科学基金(31560721;31860729);新疆生产建设兵团中青年科技创新领军人才计划(2018CB033);新疆维吾尔自治区研究生科研创新项目(TDGR1201918);中国海洋大学-塔里木大学联合基金(ZHYLH201902)。

第一作者:赵年桦,女,硕士研究生,研究方向为水生生物资源与保护利用。E-mail:591217996@qq.com

通信作者:聂竹兰,女,教授,研究方向为水生生物资源与保护利用及特殊资源动物。E-mail:niezhlan2004@126.com

发育和 1~36 d 仔鱼生长进行详细观察,进一步丰富塔里木裂腹鱼早期生活史,为其保护及增殖提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点及亲鱼来源

繁殖用塔里木裂腹鱼亲鱼于 2018 年 1—12 月、2019 年 1—12 月捕自克孜勒河流域,共捕获野生亲本 1 365 尾,其中体长为 159.33~245.29 mm,体质量为 65.34~170.02 g。试验于 2020 年 4—6 月在新疆察汗乌苏鱼类增殖站进行,选择雄性塔里木裂腹鱼亲鱼为 3+ 以上,雌性塔里木裂腹鱼亲鱼为 4+ 以上,雌雄亲鱼比例 1:2,养殖于循环水养殖池中(规格 $\geq 20\text{ m}^3$ 水深 $\geq 0.8\text{ m}$ 、溶氧 $\geq 5\text{ mg/L}$),期间投喂斯特佳生物活性饲料 T2、T3,日投饵率为 3%~5%。

1.2 人工催产

试验用鱼为健康雌鱼,共计 960 尾。采用显著性检验和响应面法,探究鲤鱼脑垂体(Pituitary gland, PG)、马来酸地欧酮(Domperidone, DOM)和促黄体素释放激素 A_2 (Luteinizing hormone releasing hormone A_2 , LRH- A_2)对塔里木裂腹鱼催产效果的单项调控和复合项调控作用。以 PG、DOM、LRH- A_2 为催产剂,参照厚唇裂腹鱼(*Schizothorax irregularis*)^[8]和细鳞裂腹鱼(*Schizothorax chongi*)^[9]催产药物所需药量,设置各催产剂用量梯度。其中 PG 用量梯度为 5、10、15、20 和 25 mg/kg;DOM 用量梯度为 5、10、15、20 和 25 mg/kg;LRH- A_2 用量梯度为 10、15、20、25 和 30 $\mu\text{g/kg}$ 。每个单项调控试验中设置 3 个试验组,每组 10 尾雌鱼。进行 3 种催产药物复合项调控试验时,采用 3 因素 1 水平的 Box-Behnken 试验设计,因子水平分别为 -1、0、1,试验点共 17 个,每个试验点共设置 3 组重复试验,每 10 尾雌鱼。通过试验结果分析建立塔里木裂腹鱼催产率(Y)与 PG(A)、DOM(B)和 LRH- A_2 (C)因素间的多元线性回归方程。

所有雌鱼进行催产时均采用胸鳍基部注射 2 针法,第 1 针注射总量的 1/5,间隔 12 h 后,将剩下的 4/5 药量全部进行注射。整个试验用水为经过循环系统过滤的地下水,水温为 $(16.5 \pm 0.5)^\circ\text{C}$,pH 为 8.45~8.56,溶解氧为 3.5~3.7 mg/L,盐度为 0.17%~0.19%,氨氮 $< 0.1\text{ mg/L}$ 。

1.3 人工授精及孵化

采用干法进行授精。将受精卵均匀铺放在孵化框中($0.50\text{ m} \times 0.40\text{ m} \times 0.35\text{ m}$),并放入孵化池中($5.00\text{ m} \times 0.45\text{ m} \times 0.50\text{ m}$),采用淋浴式孵化法^[8]进行孵化,水温变化控制在 $16.0 \sim 16.5^\circ\text{C}$,溶解 $\geq 8.0\text{ mg/mL}$ 。

1.4 胚胎发育和早期仔鱼发育观察

选取同批次 50 粒受精卵进行胚胎发育观察研究,利用 SMZ 1270 数码体式显微镜观察受精卵发育各时期,以 70% 的受精卵进入相同发育时期作为一个发育期的判定;选取同批次受精卵发育出膜的仔鱼用于早期仔鱼发育观察研究,每次选取至少 10 条仔鱼,采用 10% 福尔马林溶液固定,在镜下进行观察记录并参照龚小玲等^[7]划分仔鱼发育时期的方法进行塔里木裂腹鱼仔鱼发育时期的确定。

1.5 孵化效率评价

根据下列公式,计算塔里木裂腹鱼催产率、受精率和孵化率。

$$\text{催产率} = \text{产卵尾数} / \text{催情总尾数} \times 100\%$$

$$\text{受精率} = \text{原肠中期活卵数} / \text{产卵总数} \times 100\%$$

$$\text{孵化率} = \text{鱼苗水花尾数} / \text{受精卵总数} \times 100\%$$

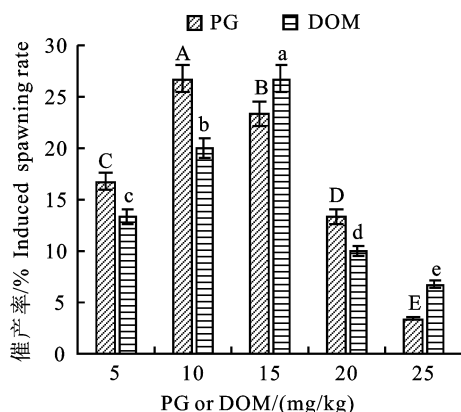
1.6 数据处理

卵径及各发育阶段的仔鱼全长的数据以“平均数 $\pm$ 标准差”来表示。探究催产剂对塔里木裂腹鱼催产效果的单项调控和复合项调控作用时,其催产率结果使用 SPSS 26.0 软件进行单因素方差分析,采用 Duncan's 法进行多重比较,显著性水平设为 0.05。

2 结果与分析

2.1 对塔里木裂腹鱼催产率的单独调控结果

图 1 所示,在 5~25 mg/kg PG 用量区段间,塔里木裂腹鱼催产率随着用量上升而出现先增加后减少的趋势,在 PG 用量为 10 mg/kg 条件下,催产率达到最高,为 $(26.67 \pm 0.06)\%$;同样,在 5~25 mg/kg DOM 用量区段间,塔里木裂腹鱼催产率随着用量上升而同样出现先增加后减少的趋势,在 DOM 用量为 15 mg/kg 条件下,催产率达到最高,为 $(26.67 \pm 0.15)\%$;图 2 所示,当 LHR- A_2 用量为 25 $\mu\text{g/kg}$ 时,塔里木裂腹鱼催产率达到最高,为 $(23.33 \pm 0.06)\%$ 。

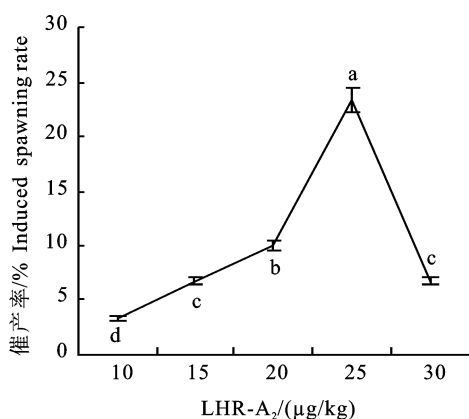


不同大写字母者表示 PG 组间有显著差异 ($P < 0.05$), 标有不同小写字母者表示 DOM 组间有显著差异 ($P < 0.05$)。

Different uppercase letters within the same PG column are significant differences at the 0.05 level, different lowercase letters mean with the same DOM column are significant differences at the 0.05 level.

图 1 不同用量的 PG 或 DOM 对催产率的影响

Fig. 1 Induced spawning rate under different dosages of PG or DOM



不同小写字母者表示有显著差异 ($P < 0.05$)。

Different lower case letters mean significant differences ($P < 0.05$).

图 2 不同用量的 LHR-A₂ 对催产率的影响

Fig. 2 Induced spawning rate under different dosages of LHR-A₂

2.2 最佳催产药物浓度筛选

响应面试验设计方案及结果见表 1。塔里木裂腹鱼催产率 (Y) 与 PG (A)、DOM (B) 和 LRH-A₂ (C) 因素间的多元线性回归方程为 $Y = -29.42A^2 - 36.08B^2 - 24.42C^2 - 4.17AB + 7.50AC + 4.17BC - 8.33A + 1.67B - 2.50C + 78.00$ 。回归模型决定系数 R^2 为 0.993 5, 校正系数 R^2_{adj} 为 0.985 2, 表明试验误差较小; 模拟失效项 P 为 0.568 4 ($P > 0.05$), 且根据 PG、DOM

和 LRH-A₂ 3 种因素对塔里木裂腹鱼催产率调控的响应面结果显示, PG 和 DOM、PG 和 LRH-A₂、DOM 和 LRH-A₂ 对响应值 (Y) 的交互作用均呈开口向下的山丘状, 二维等高线近圆形 (图 3), 说明模型有效, 可以很好分析和预测三种催产药物对塔里木裂腹鱼催产率的效果。本试验响应模型的优化结果显示, PG 在 13.47 mg/kg、DOM 在 15.27 mg/kg 和 LRH-A₂ 在 19.28 µg/kg, 此时塔里木裂腹鱼催产率理论值最高, 为 78.75%。经过验证, 最优催产药物浓度下塔里木裂腹鱼催产率为 $(76.67 \pm 0.06)\%$, 结果与理论催产率基本相符, 说明响应模型方程可有效预测塔里木裂腹鱼催产率。

表 1 响应面试验方案及结果 ($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Response surface design and results

试验组 Group	编码值 Code value			催产率/% Induced spawning rate
	A-PG/ (mg/kg)	B-DOM/ (mg/kg)	C-LRH-A ₂ / (µg/kg)	
1	1(25)	0(15)	1(30)	20.00±0.10
2	0(15)	0(15)	0(20)	73.33±0.06
3	0(15)	0(15)	0(20)	76.67±0.06
4	-1(5)	1(25)	0(20)	26.67±0.06
5	0(15)	1(25)	1(30)	23.33±0.06
6	0(15)	1(25)	-1(10)	16.67±0.06
7	1(25)	1(25)	0(20)	0.00±0.00
8	0(15)	0(15)	0(20)	76.67±0.06
9	0(15)	-1(5)	1(30)	10.00±0.10
10	1(25)	-1(5)	1(20)	6.67±0.06
11	-1(5)	0(15)	1(30)	20.00±0.10
12	1(25)	0(15)	-1(10)	13.33±0.06
13	0(15)	0(15)	0(20)	83.33±0.06
14	0(15)	0(15)	0(20)	80.00±0.10
15	-1(5)	-1(5)	0(20)	16.67±0.06
16	0(15)	-1(5)	-1(10)	20.00±0.00
17	-1(5)	0(15)	-1(10)	43.33±0.11

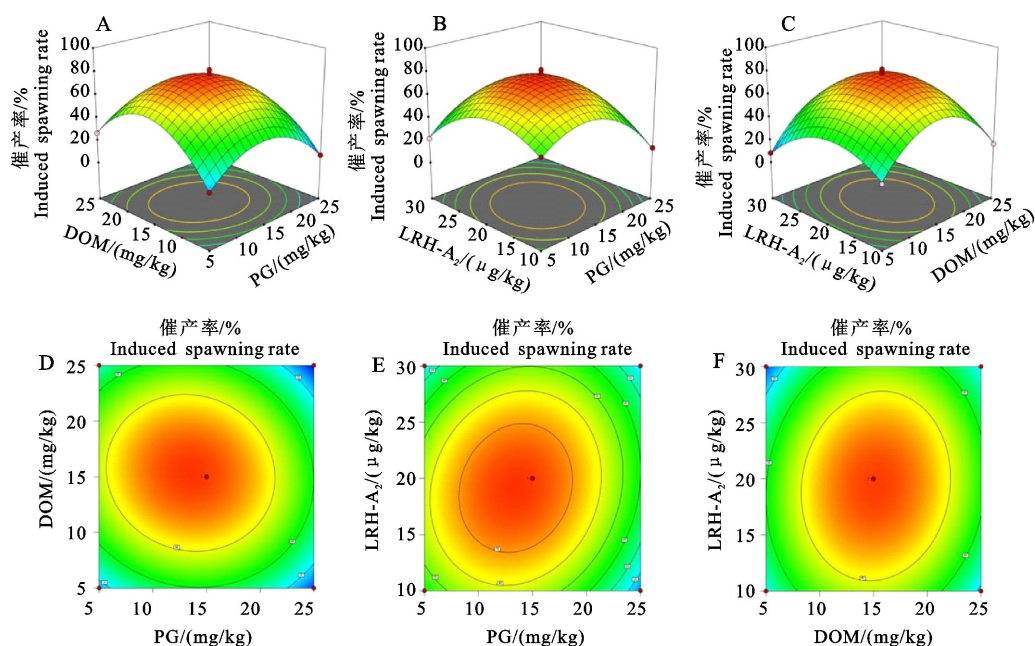
2.3 塔里木裂腹鱼胚胎发育

胚胎发育包括早期胚胎发育 (受精、卵裂、桑葚胚、囊胚、原肠胚、神经胚期、胚孔闭合期) 以及器官发生 (肌节出现期、眼囊期、耳囊期、尾芽期、肌肉效应期、心跳期、出膜期) 共 14 个时期 (图 4), 在水温 19~19.2 °C 条件下, 历时 93 h 36 min 发育为仔鱼, 总积温为 1 785.24 °C · h (表 2)。

2.4 塔里木裂腹鱼早期仔鱼发育

鱼苗出膜进入仔鱼期, 仔鱼出膜 4 d 后进入平游期。本试验对 1~36 d 仔鱼发育进行观察, 将对 1~36 d 仔鱼发育划分为以下几个时期。

2.4.1 卵黄囊期 (1~6 d 龄) 1 d 仔鱼体透明, 全身无色素, 体长为 (7.21 ± 0.16) mm (图 5-1 d); 2 d 仔鱼眼球色素出现 (图 5-2 d); 3 d 仔鱼消化道贯通 (图 5-2 d); 4 d 仔鱼开始平游, 眼球色素明显

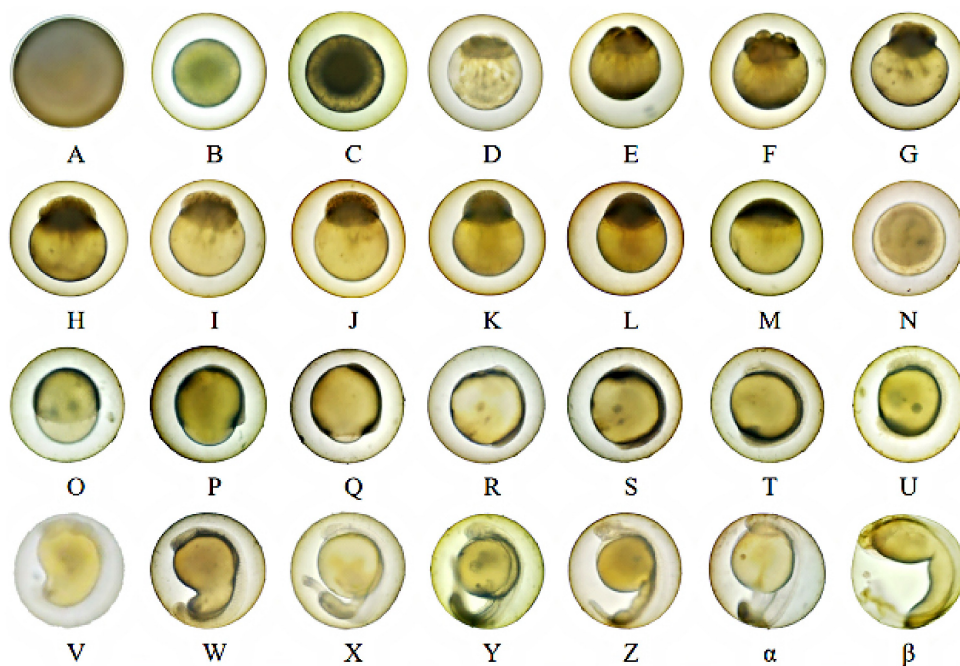


A. PG 和 DOM 对催产率的响应面; B. PG 和 LRH-A₂ 对催产率的响应面; C. DOM 和 LRH-A₂ 对催产率的响应面; D. PG 和 DOM 对催产率的等高线; E. PG 和 LRH-A₂ 对催产率的等高线; F. DOM 和 LRH-A₂ 对催产率的等高线

A. Response surface of PG and DOM to induced spawning rate; B. Response surface of PG and LRH-A₂ to induced spawning rate; C. Response surface of DOM and LRH-A₂ to induced spawning rate; D. Contour plot of PG and DOM to induced spawning rate; E. Contour plot of PG and LRH-A₂ to induced spawning rate; F. Contour plot of DOM and LRH-A₂ to induced spawning rate

图3 PG、DOM 和 LRH-A₂ 对催产率的响应面及等高线

Fig. 3 PG, DOM and LRH-A₂ to response surface and contour plot of induced spawning rate



A、B. 受精卵; C. 胚盘期; D. 2 细胞期; E. 4 细胞期; F. 8 细胞期; G. 16 细胞期; H. 32 细胞期; I. 64 细胞期; J. 多细胞期; K. 囊胚早期; L. 囊胚中期; M. 囊胚后期; N. 原肠早期; O. 原肠中期; P. 原肠后期; Q. 神经胚期; R. 胚孔封闭期; S. 肌节出现期; T. 眼囊期; U. 耳囊期; V. 尾芽期; W. 肌肉效应期; X. 心脏原基期; Y. 心脏搏动期; Z. 胸鳍原基形成期; α. 血液循环期; β. 出膜期

A, B. Fertilized egg; C. Blastodisc formation period; D. 2-cell period; E. 4-cell period; F. 8-cell period; G. 16-cell period; H. 32-cell period; I. 64-cell period; J. Multicellular period; K. Early-blastula period; L. Mid-blastula period; M. Late-blastula period; N. Early-gastrula period; O. Mid-gastrula period; P. Late-gastrula period; Q. Neurula period; R. Blastopore closing period; S. Appearance of myomere; T. Optic vesicle; U. Ear vesicle present; V. Tail bud; W. Muscular effect; X. Heart rudiment; Y. Heart pulsation; Z. Pectoral fin; α. Blood circulation period; β. Hatching

图4 塔里木裂腹鱼的胚胎发育

Fig. 4 Embryonic development of *S. biddulphi*

表 2 塔里木裂腹鱼胚胎发育时序
Table 2 Time sequence of *S. biddulphi* taeniatus embryonic development

发育分期 Development stage	持续时间/ h:min Time duration	距受精时间/ h:min Time after fertilization	水温/℃ Water temperature	积温/ (℃·h) Accumulative temperature	发育特征描述 Development feature	图序 Figure number
受精卵 Fertilized egg	0:00	0:00	19.1	0	微粘性沉性卵,浅黄色,圆球形,半透明,卵径为(1.7±0.15) mm,吸水膨胀后达(2.8±0.16) mm Slightly viscous sunken eggs, light yellow, round, translucent, with a diameter of(1.7±0.15) mm and swelling up to(2.8±0.16) mm after water absorption.	图 4-A、B Fig. 4-A, B
胚盘期 Blastodisc formation period	1:52	1:52	19.2	35.84	原生质向动物极汇集,逐渐隆起形成胚盘 The protoplasm pools toward the animal pole and gradually bulges to form the germinal disc	图 4-C Fig. 4-C
2 细胞期 2-cell period	1:21	3:13	19	25.65	胚盘第 1 次分裂,形成 2 个大小相等的细胞 Embryonic disc divides for the first time, forming two cells of equal size	图 4-D Fig. 4-D
4 细胞期 4-cell period	2:14	5:27	19.1	42.66	胚盘第 2 次分裂,与第 1 次分裂垂直交叉,形成 4 个大小相等的细胞 The second division of the embryonic disc which crosses vertically with the first division, forms four cells of equal size	图 4-E Fig. 4-E
8 细胞期 8-cell period	1:01	6:28	19.1	19.42	胚盘第 3 次分裂,形成 2 列,每列 4 个共 8 个大小相等的细胞 Embryonic disc divides for the third time, forms two rows of four cells of equal size each	图 4-F Fig. 4-F
16 细胞期 16-cell period	0:42	7:10	19	13.3	胚盘第 4 次分裂,形成 16 个大小相等的细胞,单个细胞体积变小 The embryonic disc divides for the fourth time, forms sixteen cells of equal size, and the individual cells become smaller in size	图 4-G Fig. 4-G
32 细胞期 32-cell period	1:02	8:12	19.2	19.84	胚盘第 5 次分裂,形成 32 个大小相等的细胞,每个细胞进一步缩小 The embryonic disc divides for the fifth time, forms thirty-two cells of equal size, each of which shrinks further	图 4-H Fig. 4-H
64 细胞期 64-cell period	0:42	8:54	19.1	13.37	胚盘第 6 次分裂,形成 64 个大小相似的细胞,单个细胞体积继续缩小 The embryonic disc divides for the sixth time, forms sixty-four cells of similar size, and the individual cells continue to decrease in size	图 4-I Fig. 4-I
多细胞期 Multicellular period	1:55	10:49	19.1	36.61	胚盘继续分裂,细胞密集分布,可以分别出细胞界限,细胞团向上隆起 The embryonic disc continues to divide, cells are densely distributed, cell boundaries can be distinguished, and cell clusters are elevated upward	图 4-J Fig. 4-J
囊胚早期 Early-blastula period	3:01	13:50	19.1	19.42	细胞数量急剧增加,表面趋于光滑,细胞界限逐渐不明显 The number of cells increases dramatically, the surface tends to be smooth, and the cell boundaries gradually become inconspicuous	图 4-K Fig. 4-K
囊胚中期 Mid-blastula period	1:58	15:48	19	37.37	胚盘继续分裂,细胞数量不断增加 The embryonic disc continues to divide and the number of cells continues to increase	图 4-L Fig. 4-L
囊胚后期 Late-blastula period	1:34	17:22	19.1	23.56	细胞团隆起高度降低,整体呈小帽状 Cell clusters are elevated to a reduced height and have an overall small cap shape	图 4-M Fig. 4-M
原肠早期 Early-gastrula period	6:34	23:56	19.2	119.68	胚盘开始下包,边缘处增厚,胚环明显 The embryonic disc begins to underwrap, thickens at the margin, and the embryonic ring is obvious	图 4-N Fig. 4-N
原肠中期 Mid-gastrula period	5:05	29:01	19.1	97.09	胚盘下包至 1/2,胚盾明显 Embryonic discs are subpunctate to the first half, embryonic shields are evident	图 4-O Fig. 4-O
原肠后期 Late-gastrula period	1:51	30:54	19.2	35.52	胚盘下包至 3/4 处,胚盾延伸,植物极仅露出一部分卵黄球,形成卵黄栓 Embryonic disc subcircumscribed to three quarters of the way down, embryonic shield extended, vegetative pole exposing only part of yolk bulb, forming yolk embolus	图 4-P Fig. 4-P
神经胚期 Neurula period	0:52	31:46	19.1	16.55	胚盘下包至 4/5 处,胚体出现紧贴卵黄囊上,前端膨大形成脑泡 The embryonic disc is wrapped down to four fifths, the embryonic body appears immediately above the yolk sac, and the anterior end expands to form a brain vesicle	图 4-Q Fig. 4-Q
胚孔封闭期 Blastopore closing period	4:13	35:59	19.2	80.32	胚孔关闭 Blastopore closing	图 4-R Fig. 4-R
肌节出现期 Appearance of myomere	3:24	39:23	19	26.6	胚体头部尾部隆起明显,中部出现约 4 对体节 The head of the embryo is clearly elevated caudally, and about four pairs of somites appear in the middle	图 4-S Fig. 4-S
眼囊期 Optic vesicle	3:55	43:18	19.2	36.8	眼囊出现在头部两侧,体节增至约 8 对 The optic appear on both sides of the head and the somites increase to about eight pairs	图 4-T Fig. 4-T
耳囊期 Otocyst stage	4:41	47:59	19.2	89.92	在后脑两侧出现耳囊,体节约 12 对 The otocyst appear on both sides of the hindbrain, with twelve pairs of body spacing	图 4-U Fig. 4-U
尾芽期 Tail bud	3:36	51:15	19.2	24.32	胚体后端伸长,形成尾芽,此时体节约 16 对 The posterior end of the embryo body elongates and forms a tail bud, at which point about sixteen pairs of somites	图 4-V Fig. 4-V
肌肉效应期 Muscular effect	4:32	56:07	19.1	80.22	胚体开始出现微弱颤动,体节增至约 21 对 Embryos begin to show faint fluttering and increase to about twenty-one pairs of somites	图 4-W Fig. 4-W
心脏原基期 Heart rudiment	11:23	67:30	19.1	216.79	卵黄囊前部出现较多细胞形成心脏原基,体节增至约 26 对 More cells appear in the anterior part of the yolk sac to form the cardiac primordium, increasing to about twenty-six pairs of somites	图 4-X Fig. 4-X
心脏搏动期 Heart pulsation	1:53	69:23	19.2	35.52	心脏开始跳动,体节约 30 对 Heart starts beating, about thirty pairs of body segments	图 4-Y Fig. 4-Y
胸鳍原基形成期 Pectoral fin	1:45	71:08	19.1	33.43	耳囊后下方与卵黄交界处出现胸鳍原基,体节约 32 对 Pectoral fin primordia appearing at the junction of the posterior lower part of the ear capsule and the yolk, with about thirty-two pairs of somites	图 4-Z Fig. 4-Z
血液循环期 Blood circulation period	6:43	77:51	19.2	128.32	心脏处于躯干可以观察到血液流动,体节约 34 对 The heart is in the trunk where blood flow can be observed, with about thirty-four pairs of somatic segments	图 4-a Fig. 4-a
出膜期 Hatching	15:45	93:36	19.2	302.4	胚体不断抽动,之后力度加大,频率加快,体节约 36 对 The embryos continuously pump, after the intensity increasesand the frequency acceleratesto about thirty-six pairs of body segments	图 4-β Fig. 4-β

加深(图 5-4 d);6 d 仔鱼卵黄囊体积明显缩小,背部出现黑色素(图 5-6 d)。

2.4.2 弯曲前期(7~17 d 龄) 7 d 仔鱼卵黄囊被吸收完全,鳔充气膨大,尾鳍条开始出现(图 5-7 d);11 d 仔鱼身体前部、中部、尾部均可见黑色素分布(图 5-11 d);17 d 仔鱼肠道前端开始弯曲(图 5-17 d)。

2.4.3 弯曲期(18~26 d 龄) 18 d 仔鱼背鳍褶缩小,脊椎向上弯曲形成鳔前室(图 5-18 d);19 d 仔鱼出现背鳍条,臀鳍褶缩小形成独立臀鳍,尾鳍开始分叉(图 5-19 d);26 d 仔鱼尾鳍叉形明显(图

5-26 d)。

2.4.4 弯曲后期(27~36 d 龄) 27 d 仔鱼尾鳍叉形逐渐加深(图 5-27 d);31 d 仔鱼背鳍与臀鳍全部形成(图 5-31 d);34 d 仔鱼腹鳍条开始出现(图 5-34 d);36 d 仔鱼腹鳍形成完全,尾下骨与脊索完全垂直,此时仔鱼全长为 (19.42 ± 0.87) mm(图 5-36 d)。

2.5 塔里木裂腹鱼人工繁殖试验结果

2020 年 4 月 23 日至 6 月 3 日在察汗乌苏鱼类增殖放流站催产塔里木裂腹鱼亲鱼 44 组,进行 5 批次塔里木裂腹鱼人工繁殖试验,如表 3 所

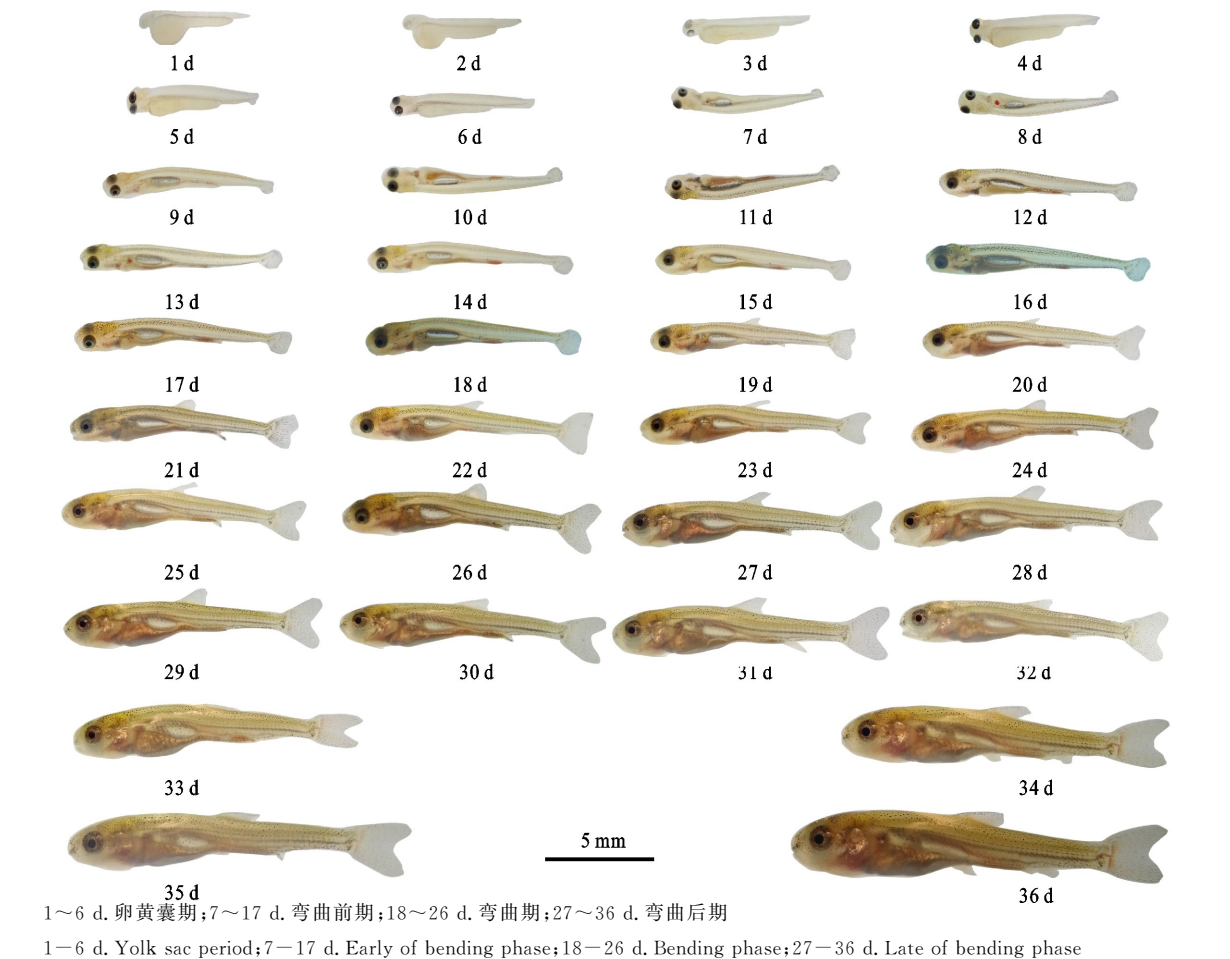


图 5 塔里木裂腹鱼裂腹鱼的早期仔鱼发育

Fig. 5 Larval development of *S. biddulphi*

表 3 塔里木裂腹鱼人工繁殖试验

Table 3 Artificial propagation test of *S. biddulphi*

催产时间 Date	产卵量/万粒 Fecundity	催产水温/℃ Induced spawning temperature	催产率/% Induced spawning rate	受精率/% Fertilization rate	孵化水温/℃ Hatchery temperature	孵化率/% Hatchery rate	水花鱼苗/ 万尾 Fry
2020-04-23	2.54	15~19	37.50	71.26	15~20	96.69	1.75
2020-04-25	13.07	15~19	61.11	74.22	15~20	89.38	8.67
2020-04-28	0.86	15~19	40.00	80.23	15~20	62.32	0.43
2020-05-01	5.16	15~19	83.33	68.80	15~20	94.37	3.35
2020-06-03	3.45	15~19	71.43	43.48	15~20	47.67	0.7

示,共获取成熟卵粒 25.08 万粒,平均催产率为 59.09%,平均受精率为 68.78%,平均孵化率 86.37%,获水花鱼苗 14.9 万尾。

3 讨论

3.1 人工催产

对野生珍稀鱼类进行人工驯养和繁殖是保护濒危物种的重要手段,但大多数野生鱼类在人工饲养时,不能顺利实现自我繁衍^[10]。在人工调控的环境条件下,对鱼类注射人工合成激素,是实现鱼类繁殖和人工助产的有效途径之一^[11-12]。鱼类人工催产时的效率受鱼的品种、催产药物种类及剂量和水温等因素的影响,合适的催产药物种类及剂量可以有效提高催产率^[13-14]。本试验中塔里木裂腹鱼催产药物种类及剂量与拉萨裂腹鱼(*Schizothorax waltoni*)[LRH-A2 (10 $\mu\text{g/kg}$) + DOM (10 mg/kg)]^[14]、昆明裂腹鱼(*Schizothorax grahami*)[LRH-A2 (220 $\mu\text{g/kg}$) + HCG (1 500 IU/kg) + DOM (10 mg/kg)]^[15]、重口裂腹鱼[*Schizothorax* (*Racoma*) *davidi*][RH-A2 (10 $\mu\text{g/kg}$) + DOM (2 mg/kg)]^[16]、四川裂腹鱼(*Schizothorax kozlovi*)[LRH-A2 (15 $\mu\text{g/kg}$) + PG (5 mg/kg) + HCG (1 500 IU/kg)]^[17]、双须叶须鱼(*Ptychobarbus dipogon*)[RH-A2 (6 $\mu\text{g/kg}$) + PG (3 mg/kg)]^[18]等裂腹鱼亚科鱼类差别较大,催产水温在裂腹鱼亚科鱼类中属于较高水平。推测由于鱼种类、所用催产药物及剂量、水温不同,造成鱼类催产效率也各不相同。如何有效提高裂腹鱼亚科鱼类人工催产效率,有待进一步研究。

在实际生产中,催产素的综合使用是提高塔里木裂腹鱼产卵率的有效方法,根据亲鱼的发育情况,可以选择 1~2 次注射。发育较好的亲鱼可以进行 1 次注射,发育较差的亲鱼和初产鱼则必须进行 2 次注射^[12]。塔里木裂腹鱼亲本催产前,需投喂高蛋白饵料以保证亲鱼的强化培育。催产后,亲鱼有时会因应激反应过强而死亡,所以在生产过程中,需要将催产后的塔里木裂腹鱼尽快放入高溶氧的养殖池中,等其体质恢复后,再放入土池塘中进行饲养。塔里木裂腹鱼为国家濒危保护鱼类,野外种质资源十分稀少,人工繁殖又需要进行野外引种,这将对野生种群造成极大破坏。因此,有效提高亲鱼的催产率和产后成活率,对塔里木裂腹鱼的保护具有重大意义。

3.2 不同河流中塔里木裂腹鱼的胚胎发育差异

将克孜勒河塔里木裂腹鱼与阿克苏河^[6]、车尔臣河^[7]塔里木裂腹鱼胚胎发育进行比较(表 5):三者卵径、初孵仔鱼长度、卵黄消失时间相近,说明三个地理的塔里木裂腹鱼种群繁殖性状较为相似;克孜勒河和车尔臣河塔里木裂腹鱼胚胎发育历时相近,而阿克苏河塔里木裂腹鱼胚胎发育历时较长,为 101.9 h;克孜勒河塔里木裂腹鱼出膜时前已经形成心脏、胸鳍原基和血液循环,而车尔臣河群体出膜前仅出现肌肉效应,阿克苏河群体出膜前只出现心脏搏动,三个地理种群胚盘发育历时和出膜时发育阶段不同。克孜勒河塔里木裂腹鱼人工孵化水温较高,始终维持在 19~19.2 $^{\circ}\text{C}$,而车尔臣河塔里木裂腹鱼孵化最低水温为 16 $^{\circ}\text{C}$,阿克苏河塔里木裂腹鱼孵化最低水温为 14 $^{\circ}\text{C}$,推测可能孵化水温不同,造成了不同地理群体胚胎发育时间和出膜时发育阶段的存在差异。

温度是影响鱼类生殖的关键因素之一^[19-20]。水温调控性腺发育成熟具有完整的机制:适宜的温度可以促使鱼类的下丘脑分泌促性腺激素释放激素(GnRH),激发垂体分泌促性腺激素(GTH)作用于性腺,性腺接受信号后分泌性类固醇激素,诱导性腺发育成熟并排出卵子或精子^[21-22]。当水温过高或者过低时,该机制的启动会受到极大的影响,导致人工催产效率下降,鱼类也会因此出现排卵困难或难产的情况^[23]。本研究验证最优催产药物浓度时,于(16.5 $\pm$ 0.5) $^{\circ}\text{C}$ 水温条件下催产率则达到(76.67 $\pm$ 0.06)%,推测塔里木裂腹鱼在 16 $^{\circ}\text{C}$ 左右的水温条件下,对外源激素敏感性上升,性腺加快成熟,人工催产效率提高,亲鱼更容易排出卵子或精子。探索塔里木裂腹鱼人工催产所需的最适水温,是提高人工繁殖效率的关键。

3.3 塔里木裂腹鱼与其他裂腹鱼亚科鱼类的胚胎发育差异

将塔里木裂腹鱼与厚唇裂腹鱼(*S. irregularis*)^[8]、齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)^[24]、重口裂腹鱼[*S. (Racoma) davidi*]^[25]、异齿裂腹鱼(*Schizothorax oconnori*)^[26]、扁吻鱼(*Aspiorhynchus laticeps*)^[27]等其他裂腹鱼亚科鱼类胚胎发育进行比较:由于裂腹鱼亚科是栖息在高海拔和低温水域环境中的冷水性鱼类,其繁殖生育水温也相对较低,所以裂腹鱼亚科鱼类胚胎发育温度较低,均未超过 22 $^{\circ}\text{C}$ ^[8,24-27];塔里木

裂腹鱼胚胎发育用时最短,可能鱼类品种不同可能造成了胚胎发育用时存在差异;塔里木裂腹鱼的受精卵卵径在几种裂腹鱼亚科鱼类属于较小类型,较小卵径在一定程度上缩短了塔里木裂腹鱼孵化时间,加快塔里木裂腹鱼发育为仔鱼的速度,有利于其更早适应外界环境^[28-29]。出膜阶段时塔里木裂腹鱼、齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenan-ti*)和扁吻鱼(*Aspiorhynchus laticeps*)处于血液循环器,厚唇裂腹鱼处于胸鳍原基期,重口裂腹鱼处于心脏搏动期,异齿裂腹鱼(*Schizothorax oconnori*)处于心脏原基期。塔里木裂腹鱼在胚胎发育的过程中心脏、胸鳍原基及血液循环均在孵化出膜前形成,这有利于其仔鱼更好地适应外界环境^[30]。塔里木裂腹鱼、厚唇裂腹鱼和重口裂腹鱼都是尾部先出膜,齐口裂腹鱼、异齿裂腹鱼和扁吻鱼出膜方式均为头部或尾部出膜,笔者推测出膜方式可能与鱼类品种有关。

3.4 塔里木裂腹鱼与其他裂腹鱼亚科鱼类的仔鱼发育差异

塔里木裂腹鱼初孵仔鱼最短,推测塔里木裂腹鱼初孵仔鱼在裂腹鱼亚科中属小型。较小体型可以灵活游动,进入岩石等狭缝躲避捕食者猎食^[31-32];塔里木裂腹鱼仔鱼出膜后7 d后卵黄囊消耗殆尽,时间较短。卵黄囊营养吸收较快,有利于鱼体迅速生长和新陈代谢,促进仔鱼器官分化和运动^[33]。塔里木裂腹鱼在卵黄囊消失前消化道完全贯通,7 d后,仔鱼口、鳃和尾鳍快速发育,孵化后36 d,塔里木裂腹鱼各鳍已基本长成,进入幼鱼阶段。关于塔里木裂腹鱼卵黄囊确切机制有待于进一步研究。

参考文献 Reference:

- [1] 郭 焱. 新疆鱼类志[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社, 2012:114-115.
GUO Y. Xinjiang Fish[M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Press, 2012:114-115.
- [2] 王普泽,宋 聘,张尹哲,等. 博斯腾湖鱼类资源组成、体长与体重关系及生长状况[J]. 生物资源, 2020, 42(2): 181-187.
WANG P Z, SONG D, ZHANG Y ZH, et al. Resource composition, length-weight relation ship and condition factor of fishes in Bosten Lake[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2020, 42(2): 181-187.
- [3] 张人铭,郭 焱,马燕武,等. 塔里木裂腹鱼资源与分布的调查[J]. 淡水渔业, 2007, 37(6): 76-78.
ZHANG R M, GUO Y, MA Y W, et al. A survey on the resource and distribution of *Schizothorax biddulphi* Günther [J]. Freshwater Fisheries, 2007, 37(6): 76-78.
- [4] 任永丽. 基于 SSR 标记及 mtDNA 序列的塔里木裂腹鱼群体遗传多样性分析[D]. 新疆阿拉尔:塔里木大学, 2020.
REN Y L. Genetic diversity of *Schizothorax biddulphi* based on SSR markers and mt DNA sequences[D]. Alaer Xinjiang: Tarim University, 2020.
- [5] 孟 玮,郭 焱,海 萨,等. 塔里木裂腹鱼群体遗传结构及遗传多样性分析[J]. 水生生物学报, 2012, 36(5): 851-857.
MENG W, GUO Y, HAI S, et al. Genetic structure and diversity of *Schizothorax biddulphi* populations[J]. Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(5): 851-857.
- [6] 张人铭,马燕武,吐尔逊,等. 塔里木裂腹鱼胚胎和仔鱼发育的初步观察[J]. 水利渔业, 2007(2): 27-28, 38.
ZHANG R M, MA Y W, TU E X, et al. Study on embryonic development and larval growth of *Schizothorax biddulphi* Günther[J]. Journal of Hydroecology, 2007(2): 27-28, 38.
- [7] 龚小玲,崔忠凯,吴敏芝,等. 塔里木裂腹鱼胚胎和仔鱼的发育与生长[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(6): 827-834.
GONG X L, CUI ZH K, WU M ZH, et al. Study on embryonic development and larval growth of *Schizothorax biddulphi* Günther[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(6): 827-834.
- [8] 赵 贺,洪继彪,赵年桦,等. 新疆克孜勒河厚唇裂腹鱼人工繁殖、胚胎发育和早期仔鱼发育研究[J/OL]. 大连海洋大学学报: 1-13 [2020-12-30]. <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2020-201>.
ZHAO H, HONG J B, ZHAO N H, et al. Study on the artificial propagation technology, embryonic and early larval development of *Schizothorax irregularis* in the Kizil River in Xinjiang[J/OL]. Journal of Dalian Ocean University: 1-13 [2020-12-30]. <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2020-201>.
- [9] 李 霄. 滇池鲤年龄、生长、繁殖及食性研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2015.
LI X. Study on age, growth, reproduction and feeding habit of common carp in Dianchi Lake[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015.
- [10] 陈春山,郑 伟,时 晓,等. 图们江细鳞鲑人工繁殖技术研究[J]. 水生态学杂志, 2017, 38(5): 103-108.
CHEN CH SH, ZHENG W, SHI X, et al. Artificial breeding of *Brachymystax lenok* in the Tumen river[J]. Journal of Hydroecology, 2017, 38(5): 103-108.
- [11] SLATER C H, SCHRECK C B, AMEND D F. GnRH-a injection accelerates final maturation and ovulation/spermiation of sockeye salmon(*Oncorhynchus nerka*) in both fresh and salt water[J]. Aquaculture, 1995, 130(1): 279-285.
- [12] BRZUSKA E. Artificial propagation of African catfish (*Clarias gariepinus*): differences between reproduction effects after stimulation of ovulation with carp pituitary homogenate or GnRH-a and dopaminergic inhibitor[J]. Czech Journal of Animal Science, 2003, 48(5): 181-190.
- [13] 户 国,纪 锋,郑 鹏,等. 裸腹鲟人工繁殖技术研究初报[J/OL]. 中国水产科学: 1-9 [2021-03-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3446.S.20201221.1730.002.html>.
HU G, JI F, ZHENG P, et al. Technical report for controlled propagation of the critically endangered ship sturgeon(*Acipenser nudiventris*) in Ili River[J/OL]. Journal of Fishery Sciences of China: 1-9 [2021-03-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3446.S.20201221.1730.002.html>.

- [14] 曾本和,杨瑞斌,刘海平,等.拉萨裂腹鱼人工繁殖初探[J].淡水渔业,2020,50(5):69-73.
ZENG B H, YANG R B, LIU H P, *et al.* Preliminary study on artificial propagation of *Schizothorax waltoni* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2020, 50(5): 69-73.
- [15] 周礼敬,詹会祥,刘桂兰,等.昆明裂腹鱼全人工繁殖技术研究[J].海洋与渔业,2016(5):52-55.
ZHOU L J, ZHAN H X, LIU G L, *et al.* A study on the fully artificial breeding technology of *Schizothorax grahmi* [J]. *Ocean and Fishery*, 2016(5): 52-55.
- [16] 彭 淇,吴 彬,陈 斌,等.野生重口裂腹鱼[*Schizothorax* (Racoma) *davidi* (Sauvage)]的性腺发育观察与人工繁殖研究[J].海洋与湖泊,2013,44(3):651-655.
PENG Q, WU B, CHEN B, *et al.* Study on gonad development and preliminary artificial propagation of wild *Schizothorax* (Racoma) *davidi* (Sauvage) [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(3): 651-655.
- [17] 刘桂兰,詹会祥,周礼敬,等.四川裂腹鱼人工繁殖和苗种培育技术研究[J].黑龙江畜牧兽医,2018(11):208-212, 258.
LIU G L, ZHAN H X, ZHOU L J, *et al.* Research on artificial breeding and fry breeding technology of *Schizothorax kozlovi* [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2018(11): 208-212, 258.
- [18] 王万良,张怵怵,王建银,等.双须叶须鱼人工繁殖研究[J].安徽农业科学,2017,45(24):105-107.
WANG W L, ZHANG B B, WANG J Y, *et al.* Study on the artificial propagation of *Ptychobarbus dipogon* [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(24): 105-107.
- [19] ORTON J H. Sea temperature, breeding and distribution in marine animals [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1920, 83: 133-150.
- [20] 薛凌展.外源激素、温度和亲本规格对大刺鲃人工催产及孵化的影响[J].水生生物学报,2018,42(2):333-341.
XUE L ZH. Effects of exogenous hormone, temperature and parental weight on artificial induced spawning and incubation of *Mastacembelue armatus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, 42(2): 333-341.
- [21] 温海深,林浩然.环境因子对硬骨鱼类性腺发育成熟及其排卵和产卵的调控[J].应用生态学报,2001,12(1):151-155.
WEN H SH, LIN H R. Effect of environmental factors on gonadal maturation as well as its ovulation and spawning in teleosts [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(1): 151-155.
- [22] PANKHURST N W, KING H R, ANDERSON K, *et al.* Thermal impairment of reproduction is differentially expressed in maiden and repeat spawning Atlantic salmon [J]. *Aquaculture*, 2011, 316(1-4): 77-87.
- [23] 刘焕亮,黄樟翰.中国水产养殖学[M].北京:科学出版社,2008:367-383.
LIU H L, HUANG ZH H. *Aquaculture in China* [M]. Beijing: Science Press, 2008: 367-383.
- [24] 张建国,姜 伟.人工繁殖齐口裂腹鱼胚胎及仔鱼发育观察[J].西南农业学报,2019,32(9):2238-2244.
ZHANG J M, JIANG W. Observation on embryonic and early larval development of *Schizothorax prenanti* [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(9): 2238-2244.
- [25] 胡仁云,张运海,舒旗林,等.重口裂腹鱼的胚胎发育观察[J].江苏农业科学,2020,48(14):198-203.
HU R Y, ZAHNG Y H, SHU Q L, *et al.* Observation of embryonic development of *Schizothorax davidi* [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(14): 198-203.
- [26] 张良松.异齿裂腹鱼胚胎发育与仔鱼早期发育的研究[J].大连海洋大学学报,2011,26(3):238-242.
ZHANG L S. The embryonic and early larval development of *Schizothorax oconnori* [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2011, 26(3): 238-242.
- [27] 任 波,任慕莲,郭 焱,等.扁吻鱼胚胎及仔鱼发育的形态学观察[J].大连水产学院学报,2007,22(6):397-402.
REN B, REN M L, GUO Y, *et al.* Morphological observation of the development of *Aspiorhynchus laticeps* embryo and larva [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2007, 22(6): 397-402.
- [28] 申安华,李光华,赵树海,等.光唇裂腹鱼胚胎发育与仔鱼早期发育的研究[J].水生态学杂志,2013,34(6):76-80.
SHEN A H, LI G H, ZHAO SH H, *et al.* Study on embryonic and early larval development of *Schizothorax lissolabius* [J]. *Journal of Hydroecology*, 2013, 34(6): 76-80.
- [29] 蔡林钢,牛建功,张北平,等.伊犁裂腹鱼胚胎及早期仔鱼发育的观察[J].淡水渔业,2011,41(5):74-79.
CAI L G, NUI J G, ZAHNG B P, *et al.* Observation on embryonic and larval development of *Schizothorax pseudaksaiensis* Herzenstein [J]. *Freshwater Fisheries*, 2011, 41(5): 74-79.
- [30] 甘维熊,王红梅,邓龙君,等.雅砻江短须裂腹鱼胚胎和卵黄囊仔鱼的形态发育[J].动物学杂志,2016,51(2):253-260.
GAN W X, WANG H M, DENG L J, *et al.* The morphological development of embryos and yolk-sac larvae of Ya-long river wangchiachii's *Schizothorax wangchiachii* [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2016, 51(2): 253-260.
- [31] 刘俊果,宋 炜,蒋科技,等.棘头梅童鱼胚胎发育和仔鱼形态观察[J].海洋渔业,2018,40(6):691-702.
LIU J G, SONG W, JIANG K J, *et al.* Observation of embryonic development and larval morphology of *Collichthys lucidus* [J]. *Marine Fisheries*, 2018, 40(6): 691-702.
- [32] 胡雪松,李池陶,葛延龙,等.黑龙江三角鲂的胚胎和早期仔鱼发育观察[J/OL].中国水产科学:1-9[2020-08-08].
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3446.S.20200508.1324.004.html>.
- [33] 邵建春,刘春雷,秦 芳,等.汉江地区翘嘴鲌胚胎及仔鱼发育观察[J].华中农业大学学报,2016,35(6):111-116.
SAO J CH, LIU CH L, QIN F, *et al.* Observation on embryonic and larval development of culter alburnus of Hanjiang River [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2016, 35(6): 111-116.

Artificial Propagation Technology, Embryonic and Early Larval Development of *Schizothorax biddulphi*

ZHAO Nianhua^{1,2,3}, XU Xiao⁴, ZHAO He^{1,2,3}, WEN Zizheng^{1,2,3},
LIU Maochun⁴, HU Renyun⁴ and NIE Zhulan^{1,2,3}

(1. College of Animal Sciences, Tarim University, Alaer Xinjiang 843300, China; 2. Key Laboratory of Tarim Animal Husbandry Science and Technology, Xinjiang Production & Construction Corps, Alaer Xinjiang 843300, China; 3. Tarim Rare Fish Research Center, Alaer Xinjiang 843300, China; 4. Wuhan Zhongke Ruihua Ecological Technology Co., Ltd, Wuhan 430072, China)

Abstract To realize artificial breeding and stock enhancement of *Schizothorax biddulphi*, a series of artificial reproduction tests were systematically carried out in 2020 for exploring key artificial technologies such as spawning season, sex identification, hormone injection and artificial hatchery. The results showed that there were 44 spawning fish, 250 800 eggs and 149 000 fries. The results also revealed that the optimum concentration of artificial oxytocin was PG 13.47 mg/kg, DOM 15.27 mg/kg and LRH-A₂ 19.28 µg/kg; the main spawning season of *S. biddulphi* ranged from late of April to middle of May in southern Xinjiang; the egg diameters of *S. biddulphi* were (1.7 ± 0.15) mm, reaching (2.8 ± 0.16) mm after water swelling; there were seven stages in the embryonic development process, which were embryo disc, cleavage, blastocyst, gastrula, neuroembryo, organ formation and membrane formation; under the condition of water temperature at 19–19.2 °C, the fertilized eggs hatched for 93 h and 36 min, the total accumulated temperature was at 1 785.24 °C · h. In addition, the total length of the hatchling was (7.19 ± 0.15) mm, with heart beats and blood circulation; the development of the early larvae could be divided into four stages including yolk sac period, pre-bending phase, bending phase, and post-bending phase; and after 7 d, the yolk sac could be completely absorbed. In this study, the artificial reproduction experiments were conducted to identify optimum concentration of artificial oxytocin as well as the developmental characteristics of corresponding embryos and early larvae, thereby further enriching the early life history data of *S. biddulphi* and providing essential data for resources protection.

Key words *Schizothorax biddulphi*; Artificial propagation; Embryonic development; Early larval development

Received 2021-03-15

Returned 2021-05-10

Foundation item The National Natural Science Foundation of China (No. 31560721; 31860729); Program of Young and Middle-aged Science and Technology Innovation Leaders of the Xinjiang Production and Construction Corps (No. 2018CB033); the Postgraduate Research Innovation Project of Xinjiang Uygur Autonomous Region (No. TDGRI201918); Ocean University of China & Tarim University Joint Fund Project (No. ZHYLH201902).

First author ZHAO Nianhua, female, master student. Research area: aquatic biological resources and its protection and utilization. E-mail: 591217996@qq.com

Corresponding author NIE Zhulan, female, professor. Research area: aquatic biological resources and its protection and utilization, special resource animals. E-mail: niezh12004@126.com

(责任编辑: 成敏 Responsible editor: CHENG Min)