



华中农业大学

HUAZHONG AGRICULTURAL UNIVERSITY

硕士学位论文

MASTER'S DEGREE DISSERTATION

陕西太白河川陕哲罗鲑人工繁育和早期发育

THE ARTIFICIAL BREEDING AND EARLY DEVELOPMENT OF
SICHUAN TAIMEN (*HUCHO BLEEKERI*) IN TAIBAI RIVER OF
SHAANXI PROVINCE

研究生: 杨焕超

CANDIDATE: YANG HUANCHAO

导师: 危起伟 教授

SUPERVISOR: PROFESSOR WEI QIWEI

专业: 渔业资源

MAJOR: FISHERY RESOURCES

研究方向: 珍稀濒危水生动物保护

FIELD: CONSERVATION OF PRECIOUS RARE
AND ENDANGERED AQUATIC ANIMAL

中国 武汉

WUHAN, CHINA

二〇一六年六月

JUNE, 2016

分类号

密级 公开

华中农业大学硕士学位论文

陕西太白河川陕哲罗鲑人工繁育和早期发育

**The artificial breeding and early development of
Sichuan taimen (*Hucho bleekeri*) in Taibairiver of Shaanxi province**

研 究 生：杨焕超

学 号：2013308110047

指导教师：危起伟 研究员

指导小组：吴金明 助理研究员

王成友 副研究员

杜 浩 副研究员

专业：渔业资源

研究方向：珍稀濒危水生动物保护

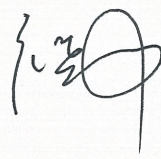
获得学位名称：农学硕士

获得学位时间：2016 年 6 月

华中农业大学水产学院

二零一六年六月

华中农业大学学位论文独创性声明及使用授权书

学位论文 是否保密	否	如需保密, 解密时间	年 月 日
独创性声明 本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知, 除了文中特别加以标注和致谢的地方外, 论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果, 也不包含为获得华中农业大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料, 指导教师对此进行了审定。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明, 并表示了谢意。 研究生签名: 杨焕超 时间: 2016 年 6 月 2 日			
学位论文使用授权书 本人完全了解华中农业大学关于保存、使用学位论文的规定, 即学生必须按照学校要求提交学位论文的印刷本和电子版本; 学校有权保留提交论文的印刷版和电子版, 并提供目录检索和阅览服务, 可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。本人同意华中农业大学可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容, 为存在馆际合作关系的兄弟高校用户提供文献传递和交换服务, 同时本人保留在其他媒体发表论文的权力。 注: 保密学位论文(即涉及技术秘密、商业秘密或申请专利等潜在需要提交保密的论文)在解密后适用于本授权书。 学位论文作者签名: 杨焕超 导师签名:  签名日期: 2016 年 6 月 2 日 签名日期: 2016 年 6 月 2 日			

注: 请将本表直接装订在学位论文的扉页和目录之间

目录

摘要	i
ABSTRACT	iii
第 1 章 文献综述	1
1.1 川陕哲罗鲑简介	1
1.1.1 川陕哲罗鲑生物学特征	2
1.1.2 分布范围和数量	2
1.2 鱼类人工繁殖研究	5
1.3 鱼类早期生活史	6
1.3.1 影响鱼类胚胎发育的因素	7
1.3.2 鱼类受精卵的类型	8
1.4 仔鱼开口饵料的研究	9
1.5 陕西太白河简介	10
1.6 研究目的和意义	10
第 2 章 川陕哲罗鲑人工繁殖	12
2.1 材料和方法	12
2.1.1 亲鱼来源、培养、管理	12
2.1.2 人工催产	12
2.1.3 亲鱼生物学数据	15
2.1.4 受精卵孵化	18
2.1.5 亲鱼产后护理	18
2.1.6 仔稚鱼培育及管理	19
2.2 结果	21
2.2.1 亲鱼雌性鉴定结果	21
2.2.2 繁殖结果	24
2.3 讨论	25
2.3.1 影响川陕哲罗鲑受精率和孵化率的因素	25
2.3.2 影响川陕哲罗鲑胚胎发育和仔稚鱼生长的因素	25
2.3.3 影响川陕哲罗鲑仔稚鱼存活率的因素	26
第 3 章 川陕哲罗鲑早期发育	27
3.1 材料和方法	27
3.1.1 胚胎发育观察	27
3.1.2 仔、稚鱼发育观察	27
3.1.3 数据处理	27

3.2 结果-----	28
3.2.1 胚胎发育-----	28
3.2.2 川陕哲罗鲑胚胎发育积温时间-----	30
3.2.3 仔、稚鱼期-----	35
3.2.4 仔、稚鱼生长-----	35
3.3 讨论和分析-----	41
3.3.1 川陕哲罗鲑胚胎发育 -----	41
3.3.2 川陕哲罗鲑胚后发育的划分 -----	42
3.3.3 川陕哲罗鲑的生长 -----	42
第 4 章 不同开口饵料对川陕哲罗鲑仔鱼生长和存活的影响-----	45
4.1 材料和方法-----	45
4.1.1 试验鱼及饵料-----	45
4.1.2 养殖条件及投喂方法-----	45
4.1.3 取样测量及数据处理 -----	46
4.2 结果 -----	46
4.2.1 不同开口饵料对仔鱼生长的影响 -----	46
4.2.2 不同开口饵料对仔鱼存活的影响-----	49
4.3 讨论-----	49
第 5 章 展望和建议-----	51
参考文献-----	53
附录 I 发表的论文 -----	60
附录 II 参加的课题 -----	61
致谢-----	62

摘要

川陕哲罗鲑 (*Hucho bleekeri* Kimura) 属鲑形目 (Salomoniformes)、鲑科 (Salmonidae)、哲罗鲑属 (*Hucho*)，是我国特有的大型冷水鱼类，主要分布于我国青海玛柯河水系、四川岷江水系和陕西汉江水系。近年来由于人类活动的因素，水电站建设、金矿开采、卵石采集等，川陕哲罗鲑的栖息地和产卵场遭到严重的破坏，其种群数量越来越少。1998 年被列为国家二级保护动物，并被国际自然保护联盟 (IUCN) 列为极危 (Critically Endangered, CR) 等级。本文首次人工繁殖了川陕哲罗鲑，观察了其早期发育过程，以及研究了川陕哲罗鲑仔鱼适合的开口饵料。旨在保护该物种的种群数量，保证该物种的延续，保护物种多样性，同时为川陕哲罗鲑人工繁育和个体早期发育研究提供参考。主要研究结果如下：

1. 催产药物为鲑鱼促性腺激素释放激素类似物 (S-GnRH-A)、地欧酮 (DOM)、维生素 B₁ (VB₁)。2013 年：第一针 S-GnRH-A 8ug/kg，第二针 VB₁ 和 DOM 12ug/kg，第三针 S-GnRH-A 和 DOM 共 8ug/kg。2014 年第一批：第一针 S-GnRH-A 12ug/kg VB₁ 2.56mg/kg，第二针 S-GnRH-A 12ug/kg、VB₁ 2.56mg/kg 和 DOM 4ug/kg，第三针 S-GnRH-A 8ug/kg。2014 年第二批：第一针 S-GnRH-A 10ug/kg VB₁ 2mg/L 第二针 S-GnRH-A 11ug/kg。2013 年受精率 83.00%、出膜率 41.00%、出膜仔鱼 3270 尾。2014 年第一批受精率 79.97%、出膜率 33.11%、出膜仔鱼 2458 尾。2014 年第二批受精率 75.71%、出膜率 25.49%。出膜仔鱼 800 尾。

2. 川陕哲罗鲑成熟卵呈球形，黄色，含大量卵黄，比重大于水，无粘性，吸水后膨胀，卵膜与卵黄之间形成明显的卵周隙，卵径最大达 (4.36±0.20) mm。川陕哲罗鲑受精卵在水温为 9.5~11.3 °C (平均 10.2±0.4 °C) 条件下，历经 549 h 破膜，所需积温为 228.31°C d。受精卵形成期 (0~13 h)，卵裂期 (13~45 h)，囊胚期 (45~122 h)，原肠期 (122~170.5 h)，神经胚形成期 (170.5~ 183.5h)，器官形成期至破膜 (183.5~549 h)。

3. 初孵仔鱼全长 (11.62±0.50) mm，体重 (0.0254±0.0016) g，卵黄囊体积 (53.82±1.03) mm³。背鳍原基、臀鳍原基、腹鳍原基、脂鳍原基分别于 2 d、4 d、9 d、11 d 时出现。17 d 仔鱼腹腔出现鳔。18d 仔鱼进入混合营养期。20d 仔鱼腹部首次出现鳞片，进入稚鱼期。26d 稚鱼卵黄被完全吸收，完全营外源性营养。52d

时各鳍鳍条完全。64d 时体侧横斑纹发育完全。73d 时鳞片遍及全身，进入幼鱼期。其全长生长模型方程为： $TL=0.3766d+13.318$ ，($R^2=0.9772$ ，TL 为全长，d 为日龄)，特定生长率为 0.030。

4. 采用水丝蚓 (*Limnodrilus sp*)、丰年虫 (*Artemia salina*)、2 种不同配方的人工饲料和鲫鱼卵分别饲养川陕哲罗鲑开口仔鱼，研究这些开口饵料对川陕哲罗鲑仔鱼生长和存活影响。结果表明：丰年虫组的仔鱼存活率最高，为 $(91.11\pm5.09)\%$ ，水丝蚓组最低，为 $(43.33\pm6.67)\%$ 。在 0~10 d 内，丰年虫投喂的川陕哲罗鲑仔鱼特定生长率最高 $(3.14\pm0.20)\%$ ，10~20 d，丰年虫组仔鱼出现负增长，而 2 种不同配方的人工饲料组的生长速度迅速提升。因此推荐川陕哲罗鲑仔鱼投喂方法为：开口后 10 d 内，投喂丰年虫，10 d 后，在丰年虫中逐步添加人工饲料进行转食。

关键词：川陕哲罗鲑；亲鱼培育；人工繁殖；胚胎发育；仔稚鱼发育；开口饵料

ABSTRACT

Hucho bleekeri Kimura, belongs to Salomoniformes, Salmonidae, *Hucho*, is a large cold-water and endemic fish in China. It mainly distributed in Make River system in Qinghai province, Minjiang River Sichuan province and Hanjiang River in Shaanxi province. In recent years, due to the factors of human activities, such as, the construction of hydropower stations, gold mining, gravel acquisition, the habitat and spawning grounds of *H.bleekeri* have been seriously damaged, and the population quantity was getting less and less. It became one of the class II national protected animal in China in 1998, and was listed in the International Union for Conservation of Nature (IUCN) as Critically endangered (CR). This study firstly researched artificial breeding of *H.bleekeri*, observed its early development process, and explored suitable first food for *H.bleekeri* larvae. This study designed to protect the population of the species, ensured the continuation of the species, protect the species diversity, and provide references for artificial breeding early development reserch. The main results are as follows:

1. The oxytocin drug is salmon gonadotropin-releasing hormone analogue (S-GnRH-A), Domperidone (DOM) and vitamin B1 (VB₁). The first needle: S-GnRH-A 8ug/kg, the second needle VB₁ and DOM 12ug/kg, the third needle S-GnRH-A and DOM 8ug/kg in 2013. The first needle: S-GnRH-A 12ug/kg, VB₁ 2.56mg/kg, the second needle S-GnRH-A 12ug/kg, VB₁ 2.56mg/kg and DOM, 4ug/kg, the third needle S-GnRH-A, 8ug/kg of the first artificial reproduction in 2014 .The first needle S-GnRH-A 10ug/kg and VB₁ 2mg/L, the second needle S-GnRH-A 11ug/kg of the second artificial reproduction in 2014. The results of three artificial reproduction shown: The fertility rate was 83.00%, hatchability was 41.00%, the number of newly hatched larvae were 3270 in 2013. The fertilization rate of the first artificial reproduction was 79.97%, hatching rate was 33.11%, the number of newly hatched larvae was 2458 in 2014. The fertilization rate of the second artificial reproduction was 75.71%, hatching rate was 25.49%, the number of newly hatched larvae was 800 in 2014.

2. The fertilized egg of *H.bleekeri* was spherical with oil globules, non-adhesive, pale yellow, and oolemma was thick, and it's density was greater than the water. The

perivitelline space increased to the maximum diameter (4.36 ± 0.20 mm) after absorbing water. The first fertilized egg hatched at 494.5 h post fertilization (hpf), peak hatching occurred at 549 hpf, and the hatching period lasted about 168 h at water temperature $9.47\text{--}11.30$ °C (mean 10.17 °C). Embryo development was categorized into six stages: fertilized egg (0-13 h), cleavage (13-45 h), blastula (45-122 h), gastrula (122-170.5h), neurula (170.5-183.5 h), organogenesis to hatching (183.5-549 h).

3 The mean total length of newly hatched larvae was (11.62 ± 1.00) mm, the mean body weight of larvae was (0.0254 ± 0.0016) g, the yolk sac volume of larvae was (53.82 ± 1.03) mm³. Primordia dorsal, anal primordia, pelvic primordia, adipose fin primordia appeared on 2d, 4d, 9d, 11d respectively. The first chamber air bladder was formed on 17d. Larvae began into the mixing vegetative stage on 18d. First scales appeared in the larva of abdomen, entered into juvenile stage on 20d. The yolk sac was completely absorbed, juvenile completely exogenous nutrition on 26d. All fins completed development on 52d. Stripes completed development on the body surface on 64d. The scales fully distributed the body on 73d, entered the young period. Growth model equations fish larvae period is: $TL = 0.3766d + 13.318$, ($R^2 = 0.9772$, TL: total length, d: is days-old), the specific growth rate was 0.030.

4. *H. bleekeri* larvae were feed with *Limnodrilus* sp., *Artemia salina*, eggs of crucian carp and two artificial commercial diets for 20 days to study the effects of different initial feeding diets on the growth and survival of the larvae. The results showed that: larvae fed with *A. salina* showed the highest survival rate (91.11 ± 5.09) %, larvae fed with *Limnodrilus* sp. showed the lowest survival rate (43.33 ± 6.67) %. Larvae feeding with *A. salina* showed the highest specific growth rate (3.14 ± 0.20) % from 0 to 10 days, but a negative growth (-0.38 %) after 15 days. The growth rate of larvae fed with two artificial commercial diets increased sharply after 10 days. According to the results, the best weaning and rearing plan of *H.bleekeri* larvae is as follows, feeding with *A. salina* in the first 10 days, and then adding artificial commercial diet step-by-step to finish diet switch.

Keywords: *Hucho bleekeri*; broodstock; artificial reproduction; embryonic development; larval development; initial food

第 1 章 文献综述

1.1 川陕哲罗鲑简介

川陕哲罗鲑 (*Hucho bleekeri* Kimura) 属鲑形目 (Salomoniformes)、鲑科 (Salmonidae)、哲罗鲑属 (*Hucho*), 又称四川哲罗鲑、布氏哲罗鲑、贝氏哲罗鲑、虎嘉鱼等 (丁瑞华 1994) (邓小林 2007)。世界上共有 5 种哲罗鲑属鱼类, 包括太门哲罗鲑 (*Hucho taiman* Pallas, 1773)、川陕哲罗鲑、石川哲罗鲑 (*Hucho ishikawae* Mori, 1928)、多瑙哲罗鲑 (*Hucho hucho* Linnaeus, 1758) 和远东哲罗鲑 (*Hucho perryi* Brevoort, 1856)。其中, 中国有 3 种哲罗鲑属鱼类 (李思忠 1991; 张春霖和刘成汉 1957; Rand 2013; 王凤等 2009), 即太门哲罗鲑、川陕哲罗鲑和石川哲罗鲑。太门哲罗鲑主要分布黑龙江流域, 川陕哲罗鲑主要分布与流经四川、陕西和青海省的河流中, 石川哲罗鲑主要分布于靠近朝鲜的区域。由于人为因素影响, 破坏了川陕哲罗鲑生境、产卵场等, 其自然资源量和分布区显著下降, (吴万荣 1988; 方静和丁瑞华 1995; 申志新等 2005; 申志新等 2006)。因此, 川陕哲罗鲑先后被列入国家二级保护动物 (林业局和农业部 1989) 和中国濒危动物红皮书中 (乐佩琦和陈宜瑜 1998), 并被世界自然保护联盟 (International Union for Conservation of Nature. IUCN) 列为极危 (Critically Endangered A2cd) 等级 (<http://www.iucnredlist.org/details/13151680/0>)。



图 1-1 川陕哲罗鲑 (杜浩等 2014)

Fig. 1-1 *Hucho bleekeri*

1.1.1 川陕哲罗鲑生物学特征

川陕哲罗鲑体长形，稍扁平。头长，顶端较平坦。口大，端位，口裂长，牙发达，两颌骨、犁骨、颞骨和舌骨均具有牙齿。上颌齿比下颌齿多，齿锥形，末端锋利，斜向内方，唇较厚，光滑。吻端短，稍钝。关于生物学和生态学研究已经有较多的文献（Kimura 1934；刘成汉 1978；高玺章 1981；周仰璟等 1994；丁瑞华 1994；丁瑞华和方静 1995；丁瑞华等 2010）。

川陕哲罗鲑为大型鲑科冷水性鱼类，据楠木达（则曲河）渔民周汉敬讲述 1958 年 5 月曾捕获到 1 尾鱼体重 60.0kg 以上，其他个体重多为 5.0~10.0kg，目前常见个体为 0.5~2.5kg（丁瑞华和卿足平 1994）。川陕哲罗鲑多栖于高海拔的山涧溪流环境中，其水温低、溶氧高、水质清澈。肉食性鱼类，幼鱼阶段以水生昆虫为主，成鱼则以同河流中的小型鱼类为主，例如：裂腹鱼类、高原鳅类、鲢科鱼类等。

川陕哲罗鲑繁殖期为每年 3~5 月，水温 4~9℃，其产卵时间和水温在不同河流中不同。产卵场一般较开阔，水流平缓，底质为砾石或者粗砂（周仰璟和吴万荣 1988）。川陕哲罗鲑为雄鱼筑巢产卵类型（刘成汉 1978），完成产卵受精后，雄鱼推砂掩卵，受精卵在砾石缝隙或埋于砂粒中孵化（周仰璟和吴万荣 1988）。

1.1.2 分布范围和数量

川陕哲罗鲑是我国特有种，主要分布在 29°~33°N 秦岭以南长江流域北侧一级支流岷江水系和汉江水系的上游山区激流环境中（刘成汉 1978；高玺章 1981），是欧亚大陆鲑鳟鱼类中分布纬度最低的种类，是哲罗鲑属 5 个种中分布最南的种类。为第四纪冰川时期残留种（刘成汉 1978）。

20 世纪 60 年代以前，川陕哲罗鲑自然资源量较多，其分布较广，几乎遍及岷江上游和大渡河水系，青衣江、天全河、大川河、玛柯河、太江河都有分布（武云飞和陈瑗 1979）。芦山河快乐乡至大川河段历年捕捞量：1962~1964 年总捕获量约 100kg，川陕哲罗鲑占该河段渔获物量的 20.0%。1965~1973 年只捕获 33.0kg，占渔获量的 12.0%。1975~1981 年仅有 0.15%（吴万荣 1988）。60 年代以后，由于人类活动的因素：拦河筑坝、兴建水利工程、挖沙、开采金矿等，致使川陕哲罗鲑的生态环境遭到破坏，分布区域不断缩小；过度捕捞、电鱼毒鱼等方面因素，其自然资源量急剧

下降（丁瑞华和卿足平 1994）。目前在原有历史栖息地已很难采集到样本（王绪桢等 2000；Rand 2013）。青海玛柯河、阿坝等地还偶有报道（申志新等2005，孙大东等2005）；2005年在青海玛柯河发现两尾意外死亡的川陕哲罗鲑（祁得林等 2009）；2012年秋季在陕西太白河中被意外发现有19尾川陕哲罗鲑成鱼，这是近15年来在该区域的再次发现，也是近30多年来在全国范围内发现的规模最大的群体（杜浩等 2014）。川陕哲罗鲑历史和现在分布区域见图1-2。

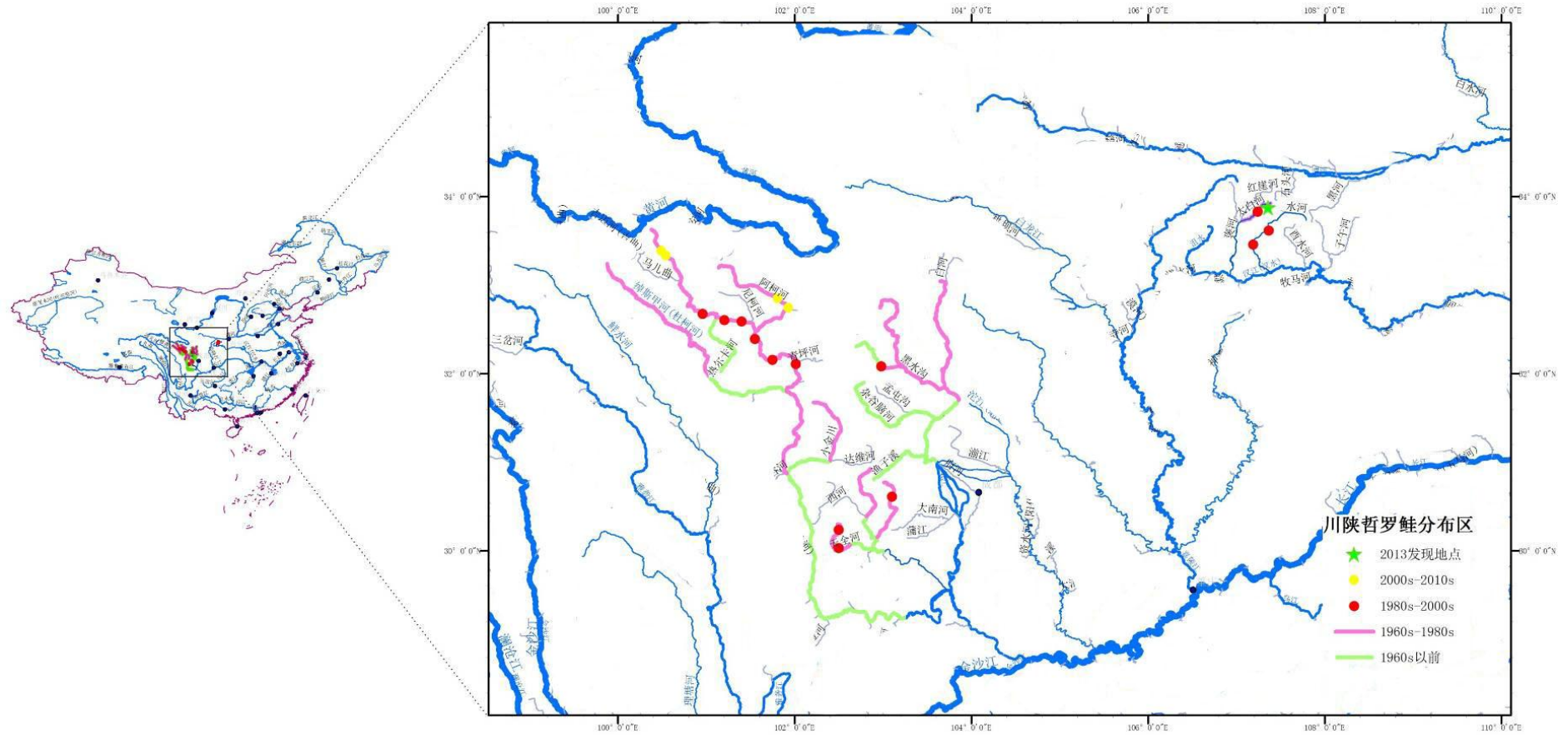


图 1-2 川陕哲罗鲑分布图

Fig 1-2. The distribution of *H.bleekeri*

目前,有关川陕哲罗鲑的学术研究仅限于成鱼生物学,保护生物学(丁瑞华和卿足平 1994;丁瑞华 1995;丁瑞华和方静 1995;方静和丁瑞华 1995;丁瑞华等 2010);吴万荣研究了生态位(1989)和年龄与生长(1987);产卵场的调查(周仰璟和吴万荣 1988);食性调查(周仰璟和吴万荣 1990)。其他方面:祁得林等(2009)研究了川陕哲罗鲑 Cyt b 基因克隆及其在鲑亚科中的系统发育关系;Wang et al 和 Zhang et al 分别对四川大渡河流域(2011)和陕西太白河(2014)发现的川陕哲罗鲑样本线粒体 DNA 全基因组进行了报道。Wang 等通过多野生川陕哲罗鲑测序筛选出 27 对微卫星标记(2015),并对其系统发生关系和遗传质量进行了研究和评估(2016)。

1.2 鱼类人工繁殖研究

鱼类的人工繁育是规模化生产的重要前提,可使苗种的获得不受野生种群数量变动影响,并在时间、规格和质量上得到保障。在人为控制下,通过投喂充足的饵料、提供适合的环境使亲鱼达到性成熟,并通过生态、生理学的方法,使其产卵、人工授精、孵化而获得鱼苗的一系列过程(王武 2000)。鱼类人工繁育基本原理见图 1-3(刘健康和何碧梧 1992)。人工繁育能突破环境的约束,使亲本繁衍后代,需要丰富的理论知识和操作技术。人工繁育可增加受精卵的数量,有效地提高受精率、出苗数。

在杂交、育种过程中,由于雄鱼数量少、亲鱼性腺发育较差、亲鱼受伤或者产卵时间已过而未产卵的情况下,可采用人工授精方法,人为地完成卵子和精液的受精过程(申玉春 2008)。常见的人工繁殖方法有三种,

干法人工授精:用湿毛巾包住产卵期的亲鱼,露出腹部和生殖孔。挤卵挤精时保持亲鱼头朝上,尾向下。通过手指轻柔均匀的挤压鱼腹部,先将卵细胞挤入盆中。再使用同样的方法将精液挤入到装有卵细胞的盆中,用羽毛搅拌均匀 1~2min 后,加入一定量的清水,继续搅动。最后用清水洗涤受精卵 2~3 次。

半干法授精:将精液用 0.7%的鱼用生理盐水稀释后,再与卵子混合受精。

湿法授精:同时将卵子和精液挤入盛有清水的盆内,边挤边用羽毛搅拌。

随着现在人工繁殖技术的成熟,越来越多的鱼都能通过人工繁殖,获得子代,大大提高了养殖规模,提高经济效益,对濒危水生动物保护提供了重要的技术支持。

关于鲑科鱼类的人工繁殖已有较多报道, 细鳞鱼(陈春山等 2015; 王中乾等 2011; 唐敬伟和任波 2013; 李平等 2015)、太门哲罗鲑(徐伟等 2003)、亚东鲑(李福贵等 2013)、虹鳟(张再齐 1993)、金鳟(高立臣 2002)、高白鲑(李怀明 1988)、哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)(徐革锋等 2010)、多瑙哲罗鲑(Holcik et al. 1988; Jungwirth 1979)等。而关于川陕哲罗鲑人工繁殖的研究还未见报道。

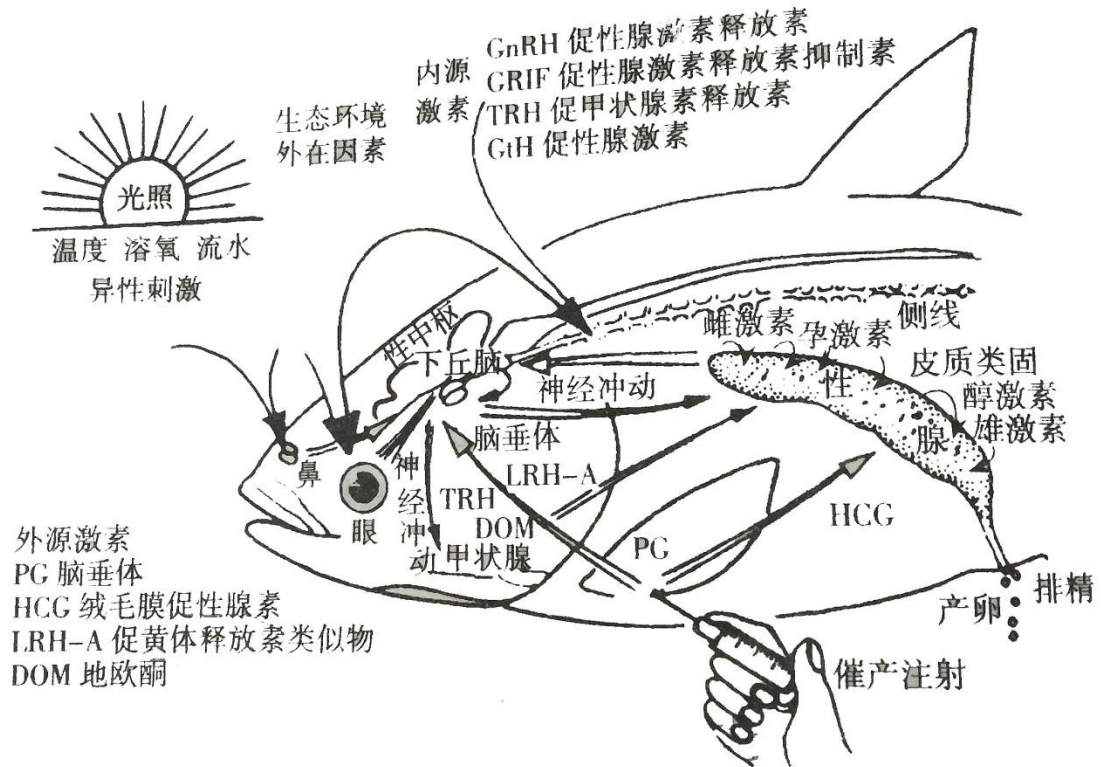


图 1-3 鱼类人工繁殖基本原理

Fig 1-3. The basic principle of fish artificial reproduction

1.3 鱼类早期生活史

鱼类早期发育也称鱼类早期生活史 (early life history), 包括胚胎 (embryo)、仔鱼 (larvae) 和稚鱼 (juvenile) 3 个时期, 有时也延伸到幼鱼 (young) 阶段 (殷名称 1991b)。胚胎期为受精后到孵化出膜的时期。仔鱼期又分为早期仔鱼和晚期仔鱼, 早期仔鱼是指从孵化到卵黄完全吸收的时期, 晚期仔鱼指的卵黄囊耗尽至各鳍鳍条发育完整, 鳞片首次出现的时期, 稚鱼阶段是指仔鱼开始出现鳞片到鳞片覆盖全身, 器官分化基本完成, 体型基本上与成鱼相似的时期。由于研究目的、方法、

对象和重点等方面的差异,对鱼类早期生活史发育时期的划分不同的学者有不同的观点:Hubbs (1943)认为将仔鱼分为前期仔鱼(Prelarva)和后期仔鱼(Postlarva),由于欧美对这种命名模糊而逐渐少用,沿用 30 年后,用卵黄囊期仔鱼或早期仔鱼代替前期仔鱼,用晚期仔鱼代替后期仔鱼;Kendall 等(1984)认为,鱼类早期生活史阶段存在形态、生态和生理变化相当大的两个过渡期,即卵黄囊期和变形期仔鱼。卵黄囊期指卵黄从开始吸收到完全消失的过程,变形期主要指某种器官的有无及位置变更或是身体特征的消失(鳍褶、体透明等)或出现(鳍条、鳞片)等,同时还提出将仔鱼进一步分为弯曲前期(preflexino)、弯曲期(flexion)和弯曲后期(postflexion)三个亚期,指尾鳍在发育过程中脊索末端向上弯曲变化的过程。

随着水产养殖业的迅速发展,胚胎和仔鱼发育的研究成为了鱼类自然资源增殖与保护以及苗种培育的基础(郑怀平 1999)。鱼类早期生活史对鱼类整个生命过程成活率、生长率、生长质量尤为重要,并且影响着群体稳定、变更、发展、衰亡等。早期发育阶段主要涉及胚胎和仔稚鱼形态和器官的发育,胚胎和仔鱼发育阶段,其存活率低,对环境条件适应力差,是机体内器官发生发展的基础阶段,因此鱼类早期发育是鱼类自然资源繁殖保护和养殖业苗种培育的基础(殷名称 1991),也是该鱼能否作为人工增养殖对象主要理论依据(王小磊 2001)。

对于鱼类早期发育早有研究,上世纪 60 年代,国内学者就研究了团头鲂的胚胎和仔鱼发育过程(曹文宣 1960)。鲑科鱼类研究了哲罗鲑(张永泉等 2008)、西藏亚东鲑(*Salmo truttafario*)(豪富华等 2006)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)(黄金善等 2005)、高白鲑(*Coregonus peleol*)(张北平等 2011)、秦岭细鳞鲑(*Brachymystax lenok tsinlingensis*)(施德亮等 2012)、尖吻细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)(杜佳等 2010)等。目前未见川陕哲罗鲑的早期发育的文献。

1.3.1 影响鱼类胚胎发育的因素

影响鱼类胚胎发育的因素包括生物因素和非生物因素。卵和精子的质量也影响胚胎成活率和孵化率,亲鱼性腺发育不良或者过熟、退化,则卵和精子的质量不高,往往受精率不高,并且畸形率和死亡率较高。其次卵和精子的数量比例,若卵多,精液少,则受精率较低。一般情况下影响胚胎发育的主要是非生物因素造成的,例如水温、光照、溶氧、水质等环境因素(王恩国, 1988)。

水温影响着鱼类胚胎发育速率、出膜率、死亡率等，并影响个体的摄食强度、生长率、死亡率、疾病等（申玉春 2008）。水温对仔鱼阶段影响特别敏感（Rombough 1997）。所有生物发育都有一个温度耐受范围（Hokanson 1977），在这个范围以外，生物则停止生长或者死亡，如：棕鲳胚胎发育上限温度为 14~16℃，在 16~18℃胚胎不能孵化（Ojanguren and Braña 2003）。虹鲳在 3℃历时 100 d 出膜，17℃时不到 20 d 即可孵出（Blaxter 1988）。

不同鱼类的受精卵孵化需要的光照条件不同（殷名称 1996；周玉等 2001）。多数沉性卵则在光线差的深水层发育，少数鱼类的受精卵则在极黑暗环境中发育，持续的光照会延缓甚至导致胚胎死亡，如大马哈鱼（*Oncorhynchus keta*），过度光照会导致卵代谢失调而死亡（Stickland et al. 1988）。胚胎发育所需要的孵化酶受到光照的影响，光照刺激从而使胚胎大量分泌（或停止分泌）孵化酶，一定浓度的孵化酶才能使卵膜破裂（王宏田和张培军 1998）。

在胚胎发育阶段，受精卵生命活动范围仅限于卵膜内，而相应的呼吸系统还不完善，此时耐低氧能力差。胚胎各发育期对溶氧要求不同，中华鲟的受精卵对氧的需求量随着发育的进程而增加（唐国盘等 2004）。溶氧水平也影响着胚胎发育的时间（Hamor et al. 1976）。若持续处于缺氧状态，发育不完全的胚胎会提前孵出，导致畸形率显著上升，甚至死亡，溶氧过高也会抑制胚胎发育。在适宜溶氧含量范围内，氧含量越高，孵化效果越好，初孵仔鱼畸形率越低；反之，氧含量超出适宜范围，畸形率会显著升高（谢刚等 2000）。

1.3.2 鱼类受精卵的类型

鱼类的卵主要由卵膜、原生质和卵黄三部分组成，卵膜起保护作用，卵黄是仔鱼内源性营养阶段的能量来源。根据形态结构和密度等不同，将硬骨鱼类的卵分为浮性卵（Pelagic eggs）、沉性卵（Demersal eggs）和半浮性卵（殷名称 1995a）。浮性卵体积较小，色泽透明，鱼卵浮于水面，随波漂流，海水鱼类的一般为浮性卵，例如：大黄鱼（方家仲等 2003）。沉性卵沉于水底，于各种底质上发育，常见于淡水冷水性鱼类或者亲本个体较大的鱼类，例如：秦岭细鳞鱼（施德亮 2012）、中华鲟（唐国盘 2005）等；部分鱼类的沉性卵产于水中之后会形成黏性，黏着在水草或卵砾石上发育，又称黏性卵，如团头鲂（曹文宣 1960）、贝氏高原鳅（李忠利和

严太明 2009)。半浮性卵(漂流性卵)吸水膨胀,原生质和卵膜之间形成较大的空隙,导致体积增大。半浮性卵在静水中沉于水底,在流动性水中能随波漂流,如青鱼、草鱼卵(乔晔 2005)。

1.4 仔鱼开口饵料的研究

初孵仔鱼(newly hatched larvae)消化道尚未与外界相通,卵黄囊作为该段时间内继续发育的营养来源,称为内源性营养阶段(Endogenous nutrition stage)。随着卵黄逐渐消耗,消化系统的发育和完善,仔鱼自身的卵黄难以维持其正常生命活动所需要的能量,为了生存,必需从外界环境中摄取食物。仔鱼从外界摄食食物开始,便进入混合营养阶段(Mixed nutrition stage)。当卵黄被完全吸收后,仔鱼所需要的能量完全由外界摄入时,进入外源性营养阶段(Exogenous nutrition stage)(殷名称 1991a 仔鱼摄食和生长)。

临界期是指仔鱼从内源性营养转向到外源性营养的时期,又称危险期(critical period)(殷名称 1991)。造成临界期仔鱼死亡的因素很多,包括生物因素和非生物因素。生物因素包括仔鱼体质、形态结构、器官发育程度;非生物因素包括饲养环境、饵料、日常管理等。最主要的因素为饵料和仔鱼器官发育程度(殷名称 1991)。在临界期时,仔鱼必须从外界获取食物,仔鱼初次从外界摄入的饵料称为开口饵料。能否及时补充外源性饵料(Braum 1978; 雷霖霖1965),饵料的种类(陆桂等 1964; 陆桂等 1966)、密度(Schnack 1981)和粒径大小是否适宜仔鱼摄食,都影响着仔鱼的成活率和生长。

开口饵料的选择和投喂是鱼类早期生活史研究的主要内容(殷名称 1995b)。适宜的饵料是开展人工养殖要解决的首要问题(程东海 2012)。研究鱼类开口饵料具有重要的理论意义和实践意义。

仔鱼开口饵料的研究已有较多的研究。西伯利亚鲟(张涛等 2009)、胭脂鱼(袁锡立等 2004; 易建华 2014)、四川裂腹鱼(吴兴兵等 2014)、中华鲟(曹志华等 2007)等。鲑科方面:虹鳟(江仁党 2007)、细鳞鲑(肖国华等 2015)、哲罗鲑(赵晓临等 2015)等,关于川陕哲罗鲑开口饵料的文章还未见报道。

1.5 陕西太白河简介

陕西太白河属汉江三级支流，最终汇入长江。源于鳌山南麓。主流经嘴头镇南部，贯穿太白河乡，于元坝子（太白河乡之元坝子）入留坝县境。沿途纳苏家沟、无名沟、耳爬沟、双合沟、王家沟、庙沟、青沟、东沟诸水。在太白县集流面积 377.87Km^2 ，出境距源头 44.2 Km ，发源高程海拔 2470 m ，出境高程海拔 1100 m ，平均坡降 30.9% ，平均流量 $5.2\text{ m}^3/\text{s}$ ，多年平均径流量 $1.645 \times 10^9\text{ m}^3$ （王伟和王建军 1995 年）。

太白河现有两个水电站，金凤水电站和桑园坝水电站。前者属于陕西太白黄金有限公司，为径流引水式水电站，位于太白河镇与桑园之间。后者位于留坝县江口镇桑园坝乡，径流引水式水电站，主要由引水枢纽、输水隧洞、明渠和发电厂房等组成。电站水头约 88m ，总装机容量 6250kw 。该电站正在建设中。

2014-2015 年通过设置水温定时自动测量仪（HOBO），每天记录两次 8:30 和 20:30。早晚各记录一次，测得的最高水温为 2015 年 8 月 2 日，下午 20:30，水温 22.53°C ；最低水温为 2016 年 1 月 23 日至 26 日，水温恒定 0.12°C 。



图 1-4 陕西太白河水温周年变化（每日 20:30）

Fig 1-4. The water temperature annual change of Taibai River in Shaanxi province

1.6 研究目的和意义

川陕哲罗鲑为国家二级保护动物，根据 IUCN 统计，濒危等级为 CR 极度匮乏

濒临灭绝 (Rand 2013)。是第四季冰川期由北方南迁的残留物种, 是世界上 5 种哲罗鲑属鱼类中分布最南的种类 (刘成汉 1978), 川陕哲罗鲑为我国特有种、大型土著鲑鱼类 (丁瑞华 1994; 刘成汉 1978)。有极高的学术、生态、营养和经济价值 (邓小林 2007; 申志新等 2005)。

本研究通过对误捕的野生川陕哲罗鲑亲鱼培育, 并人工繁殖, 观察其早期发育, 研究川陕哲罗鲑适合的开口饵料。提高子一代的孵化率和成活率。旨在有效地保护川陕哲罗鲑种质资源, 保持川陕哲罗鲑的数量, 为川陕哲罗鲑的人工繁育提供理论知识和技术保证。另一方面由于川陕哲罗鲑生长速度较快, 可以推广为水产养殖的重要种质资源。

第 2 章 川陕哲罗鲑人工繁殖

2.1 材料和方法

2.1.1 亲鱼来源、培养、管理

川陕哲罗鲑亲鱼为 2012 年 9 月村民于太白河洪水期后一周内捕获 19 尾（杜浩 2014），2013 年和 2014 年共 5 尾亲鱼的补充。

亲鱼养殖于中国水产科学院长江水产研究所在陕西太白建立的川陕哲罗鲑保护驯养基地中。养殖池为土池，长 10.0m×宽 5.0m×水深 0.6m，模仿川陕哲罗鲑栖息地环境，在池中铺设卵石，池面上搭建一定的遮阴网，供亲鱼躲避阳光。池塘用漂白粉干法清塘消毒，漂白粉加水溶解后，立即全池均匀泼洒。流水养殖，养殖水为天然山涧水，养殖水先经过 60 目筛网过滤，再经过沉淀使用。下大雨时，将进水关闭。水温 4℃~16℃，溶氧常年大于 7mg/L。

由于洪水冲击以及机械抓捕，被误捕的亲鱼产生了应激或者物理伤害，对受伤较轻的亲鱼，用 0.5g/m³ 的高锰酸钾浸泡 10min 后，放入亲鱼池中；对受伤严重的亲鱼，应单独治疗，治愈后再放入亲鱼池中。

为了增加营养的摄入，投喂鲜活黄粉虫和野杂鱼。野杂鱼主要以鲤鱼、鲫鱼和拉氏（鱼岁）为主，在亲鱼池中始终保持足够的数量，供亲鱼主动摄食。黄粉虫每日早晚定时投喂两次，投喂量为亲鱼体重的 2%~6%，根据水温增加而增加。繁殖前期加大营养的摄入，促进亲鱼性腺发育。在养殖过程中，定期用 0.5 g/m³ 的聚维酮碘溶液全池泼洒，预防水霉病和其他疾病的发生。每日早中晚检查 3 次，观察水质变化、鱼活动情况和摄食情况等。

2.1.2 人工催产

2.1.2.1 雌雄鉴别和成熟度鉴别

川陕哲罗鲑的繁殖期为每年 3 月至 5 月。在繁殖期，通过感官法和超声波扫描法鉴别亲鱼雌性及其成熟度。由于该物种的特殊性，性腺成熟度未采用传统的方法，如组织石蜡切片观察，在本次研究中采取两种方法：

方法一：主要凭感官“看、摸、挤”，通过亲鱼外观以及生殖孔的变化判断，能否挤出卵粒或者精液。

方法二：利用便携式超声波记录仪（Terason T3000），配上 12L5（12-5MHZ）传感器用以检测亲鱼性别和成熟度。亲鱼首先经过 MS-222 麻醉，然后再进行超声波扫描。

确定两个超声波图像采集点p1/p2，左侧区域（p1）在侧线鳞下从胸鳍末端到背鳍末端，鳔所在区，这个区域可以获得镜像超声波图像。右侧区域（p2）在侧线鳞下面，从背鳍末端到臀鳍基部，可以容易的观察性腺发育情况（图2-1）。解剖4尾意外死亡的亲本用于验证超声波扫描图像（图2-1）。



图2-1 川陕哲罗鲑超声波扫描区域和四尾意外死亡亲鱼解剖视图

Fig 2-1. The ultrasonic scanning area and four tail accidental death anatomy view of *H. bleekeri*

鉴别后的可繁殖的雌雄亲鱼分池暂养于长 3.5m×宽 1.8m×水深 0.6m 的水泥池 A、B 中。

鉴别过程，用柔制网具轻轻将亲鱼捞起，转移到大盆中，用湿润的毛巾将亲鱼包住，观察生殖孔只需露出腹部即可，鉴定后用 3%NaCl 溶液浸泡 10~15min 后，根据结果放入 AB 池中。鉴定的同时测量称重。

由于该物种的特殊性，以及亲本数量少，没有统计个体的绝对生殖力、个体相对生殖力。

2.1.3 亲鱼生物学数据

2013 年

共 19 尾亲鱼，性腺成熟能催产的亲鱼共 14 尾，雌鱼共 8 尾，体重 7.79kg；雄性共 6 尾，体重 5.43kg。雌鱼成功产卵 7 尾。产卵亲鱼体重数据见表 2-2。

表 2-2 2013 年亲鱼的体重和体长数据

Table 2-2 The weight and length data of *H. bleekeri* broodstock in 2013

编号	雄性		雌性	
	体重 (kg)	全长 (cm)	体重 (kg)	全长 (cm)
1	1.1	49.8	0.76	47
2	0.64	44	0.81	47.5
3	1.47	55	0.91	48.6
4	0.79	47.3	1.17	50.7
5	0.71	45.3	0.76	46.4
6	0.72	45.7	0.87	48.1
7			1.45	51.1
8			1.06	50.1
平均	0.905	47.85	0.97375	48.6875
总计	5.43	287.1	7.79	389.5

2014 年

共 24 尾亲鱼有 19 尾为养殖 1 年以上的群体，另外 5 尾为近 2013 年 12 月-2014 年 3 月野外补充个体。雌性 11 尾，平均体重 1.09kg；雄性 13 尾，平均体重 0.99kg。2014 年川陕哲罗鲑亲鱼生物学数据见表 2-3。

表 2-3 2014 年川陕哲罗鲑亲鱼生物学测量数据

Table 2-3 The weight and length data of *H. bleekeri* broodstock in 2014

编号	雄性		雌性	
	体重 (kg)	全长 (cm)	体重 (kg)	全长 (cm)
1	1.10	45.0	1.23	53.0
2	0.83	46.0	0.90	39.5
3	1.04	45.5	1.44	56.0
4	1.24	52.0	1.08	48.0
5	1.08	49.0	0.86	47.0
6	1.10	48.0	1.50	63.0
7	1.14	50.0	0.95	40.0
8	0.49	36.0	1.27	48.5
9	1.06	48.0	0.97	46.0
10	1.23	59.0	0.92	42.5
11	1.23	49.0	0.92	46.0
12	0.57	40.0		
13	0.76	43.0		
平均	0.99	47.0	1.09	48.1
总计	12.85	610.5	12.02	529.5

2.1.2.2 药物注射

催产药物为鲑鱼促性腺激素释放激素类似物 (S-GnRH-A)、地欧酮 (DOM)、维生素 B₁ (VB₁)，三种药物都为宁波市三生药业有限公司制造。所有催产药物用 0.7% 的鱼用生理盐水溶解后使用。根据亲鱼总重量计算药液量，催产药物现配现用。

表 2-1 亲鱼注射药物时间和剂量

Table 2-1. The injection drug dose and time of *H.bleekeri* broodstock

2013 年			2014 年					
日 期	时 间	药物/剂量	第一批			第二批		
			日 期	时 间	药物/剂量	日 期	时 间	药物/剂量
第 一 针	5/9 17:30	S-GnRH-A 8ug/kg	4/24	15:00	S-GnRH-A 12ug/kg VB ₁ 2.56mg/kg	5/4	9:00	S-GnRH-A 10ug/kg VB ₁ 2mg/L
第 二 针	5/10 18:00	VB ₁ 和 DOM 12ug/kg	4/25	14:50	S-GnRH-A 12ug/kg VB ₁ 2.56mg/kg DOM, 4ug/kg	5/5	8:50	S-GnRH-A 11ug/kg VB ₁ 2mg/L, DOM 4mg/L
第 三 针	5/14 16:00	S-GnRH-A 和 DOM 8ug/kg	4/30	16:00	S-GnRH-A, 8ug/kg			

注射工具采用规格 1ml 的无菌医用注射器。所有试验亲鱼均采取腹腔注射，注射部位在胸鳍基部的凹陷处。一般每尾鱼每次注射 0.3~1.0ml 配置后药物。注射时，两人配合操作，一人用湿毛巾包裹鱼体，并手持鱼头部和尾部，另一人注射药液，注射器与鱼体体轴呈 45°~60°角，注射深度 1.5~2cm。亲鱼采取两次注射，间隔时间为 24h，且两次注射在不同侧面的胸鳍基部。注射时间和剂量见表 2-1。注射过程中防止亲鱼因剧烈摆动而掉于地上。药物注射后随时观察亲鱼活动情况，当亲鱼游动缓慢或静止，不成群时，捞出亲鱼，检查性腺发育程度，并提前做好人工授精准备。

2.1.2.3 人工授精

采用干法受精的方法。排卵挤精时，用湿毛巾包住鱼体，只露出腹部和生殖孔，挤卵前，先用毛巾擦干亲鱼体表水分。采卵操作时，一人手持鱼头部，头朝上，尾向下，生殖孔对着瓷盆，一人用食指和拇指挤压鱼腹部，轻轻施加压力，均匀用力，

成熟卵随之顺势流出（图 2-1-c）。挤卵过程避免进水，动作要轻快，尽量不要伤到亲鱼，最后 1~2 次挤卵要特别注意，避免将卵与血等污物一起挤出。采精方法与采卵相似。卵细胞用生理盐水清洗若干次后，挤入精液，用羽毛轻轻搅拌，使每个卵细胞充分受精，搅拌 5min，加入一定的清水清洗数次，在阴暗的环境中静止 30min 以上，再根据孵化框的大小放置受精卵的数量。

2.1.4 受精卵孵化

孵化车间始终保持阴暗、安静的环境。采用流水孵化，水源为经过处理的山涧溪水。孵化框放入孵化池中。试验期间每天用便携式水质分析仪（YSI professional plus）记录水温和水体溶氧，分别在 8:00；14:00；20:00 共 3 次，以三次温度的平均值做为当日水温。孵化水温范围为 9.60~11.31 ℃，溶氧范围为 10.21~11.82mg/L。每天检查受精卵孵化情况，在孵化前期保证受精卵安静的孵化，不要翻动受精卵，也不要挑出死卵（刚开始几天死卵较少）。待受精卵到原肠期时，未受精的卵死亡，由于此时死卵较多，应及时挑出死卵，预防死卵霉变，传染给其他活卵。挑死卵过程后，避免强光照射，选择中午自然光比较好的情况下挑出死卵，挑卵过程中尽量减少不要触动其他好的受精卵。每天用 0.5ppm 的亚甲蓝消毒。

受精率和孵化率的计算

原肠期前死亡的受精卵/卵总数×100%=受精率

孵化出膜的仔鱼/受精卵总数×100%=孵化率

2.1.5 亲鱼产后护理

川陕哲罗鲑亲鱼经过捞捕、注射药物和排卵挤精后，体表出现了擦伤、扎伤，鳍条撕裂、体表粘液消失等现象，并且体质产卵过程消耗了大量的能量，鱼体虚弱。为了避免产后亲鱼死亡，对于未受伤的亲鱼，产后直接放入亲鱼池继续饲养；对于受轻伤的亲鱼，用聚维酮碘浸泡观察后，再放入池塘；对于受伤较重的亲鱼，除了聚维酮碘浸泡外，注射 5~8 万 UI/kg 的青霉素，暂养于溶氧充足、水质较好的观察池中。待恢复后再转入亲鱼池中。产后亲鱼体质虚弱，所有产后亲鱼及时补充饵料供亲鱼恢复体质。

2.1.6 仔稚鱼培育及管理

仔鱼出膜后,及时挑出仔鱼,将仔鱼放入长 1.50m×0.45m×0.40m 的框子中暂养,框子放入前面的孵化池中。随着仔鱼增长,15d 时将仔鱼转移到直径 2.0 m×高 0.45 m 的圆柱体玻璃钢水桶中培养,采用山涧水和河水流水培养,水温 10.2~19.9 °C 溶氧 7.71~11.55 mg/L。

仔鱼刚开始以消耗自身的卵黄提供能量。仔鱼 18d 时,已有大部分仔鱼开始上浮,此时用人工孵化的卤虫无节幼体投喂每日投喂 8 次,投喂不宜过快,投喂量不宜过多。丰年虫 (*Artemia salina*) (天津市丹阳水产科技有限公司) 的孵化过程:将 300gNaCl 溶解到 10L 水中,并用加热棒升温至 28℃后,放入 20g 卤虫卵,40W 灯光照射,充氧孵化。孵化 24h 后,关闭充氧泵,静止 30min,用软管虹吸出水面下 3~5cm 处的水到盆中。由于带有卤虫无节幼体的水温与养殖水温较大,待水温冷却后投喂。稚鱼 40 d 时,用卤虫无节幼体混合鲑鱼饲料 S2 型混合投喂,每天投喂 6 次;56 d 时,用水蚯蚓(购自陕西省留坝县江口镇)投喂和鲑鱼饲料 S3 型混合投喂,水蚯蚓先用 30 w 的紫外灯照射 0.5 h,再用 2-3 g 的恩诺沙星浸泡 0.5 h。消毒后用刀剁碎成 1.0~2.0 mm 的小节。随着鱼的生长,水蚯蚓的剁碎长度逐渐增加,而饲料也相应的提高粒径。每天分 9:00、13:00、18:00 和 22:00 四次投喂。

每次投喂前 1 h 清除残饵,每天清理养殖桶内的污物 2~3 次,清理时防止清洗工具对仔稚鱼造成物理损伤,清理过程尽量缓慢轻柔。及时捞出死亡仔稚鱼。每 2 d 用 1ppm 的聚维酮碘浸泡消毒一次。防止细菌感染或者寄生虫滋生。



图 2-1 川陕哲罗鲑人工繁育过程

Fig 2-1. The artificial reproduction fo *H.bleekeri*

a: 亲鱼体检; b: 注射药物; c: 人工授精;

d: 受精卵孵化（死卵挑除）; e: 初孵仔鱼; f: 仔鱼培育

a: Broodstock examination; b: Injecting drug; c: Artificial insemination

d: Hatching (except pick dead eggs); e: Newly hatched larvae; f: Larval Culture

2.2 结果

2.2.1 亲鱼雌性鉴定结果

感官“看、摸、挤”鉴定结果见表 2-2。

表 2-2 川陕哲罗蛙雌性鉴别感官结果

Table 2-2 The sensory results of male and female sex discrimination of *H. bleekeri*

性别	主要特征
雌鱼	成熟雌鱼腹部膨大、生殖孔附近饱满、柔软具有弹性，生殖孔红润突出，将尾柄上提，两侧卵巢下垂，卵巢轮廓明显，轻轻挤压腹部有生殖孔有黄色卵粒流出，体色具粉红色横斑纹
雄鱼	泄殖孔周围松软而突出，轻压腹部即有白色精液流出

B 超鉴别亲鱼成熟度结果：

扫描成熟雌鱼的 p1 和 p2 位置，雌性性腺 B 超影像中无明亮的卵巢膜，随着成熟度的增加，发育至 III 末的雌鱼卵巢内部脂肪积累明显，B 超影像呈现深暗的圆形暗区。雄性性腺 B 超影像中可以明显观察到明亮的精巢膜，可见轮廓分明并具有明显的分界，随着成熟度的增加，发育至 III 末的雄鱼精巢内部出现液化现象（B 超影像显示暗的区域）（图 2-2）。

亲鱼产卵前后性腺的 B 超影像差别较大。雄鱼由激素诱导 80 h 后，精巢发育到性成熟，为成熟的精液（B 超影像为暗的区域）（图 2-3）。挤精后，精巢退化为一条线（图 2-1 c & d）。

雌鱼由激素诱导 90 h 后，精巢发育到性成熟，为成熟的卵细胞，B 超影像可见分解明显的小圆形（图 2-4 a&b）。产卵后，B 超影像中小圆形的卵细胞消失，卵巢变得黑暗。

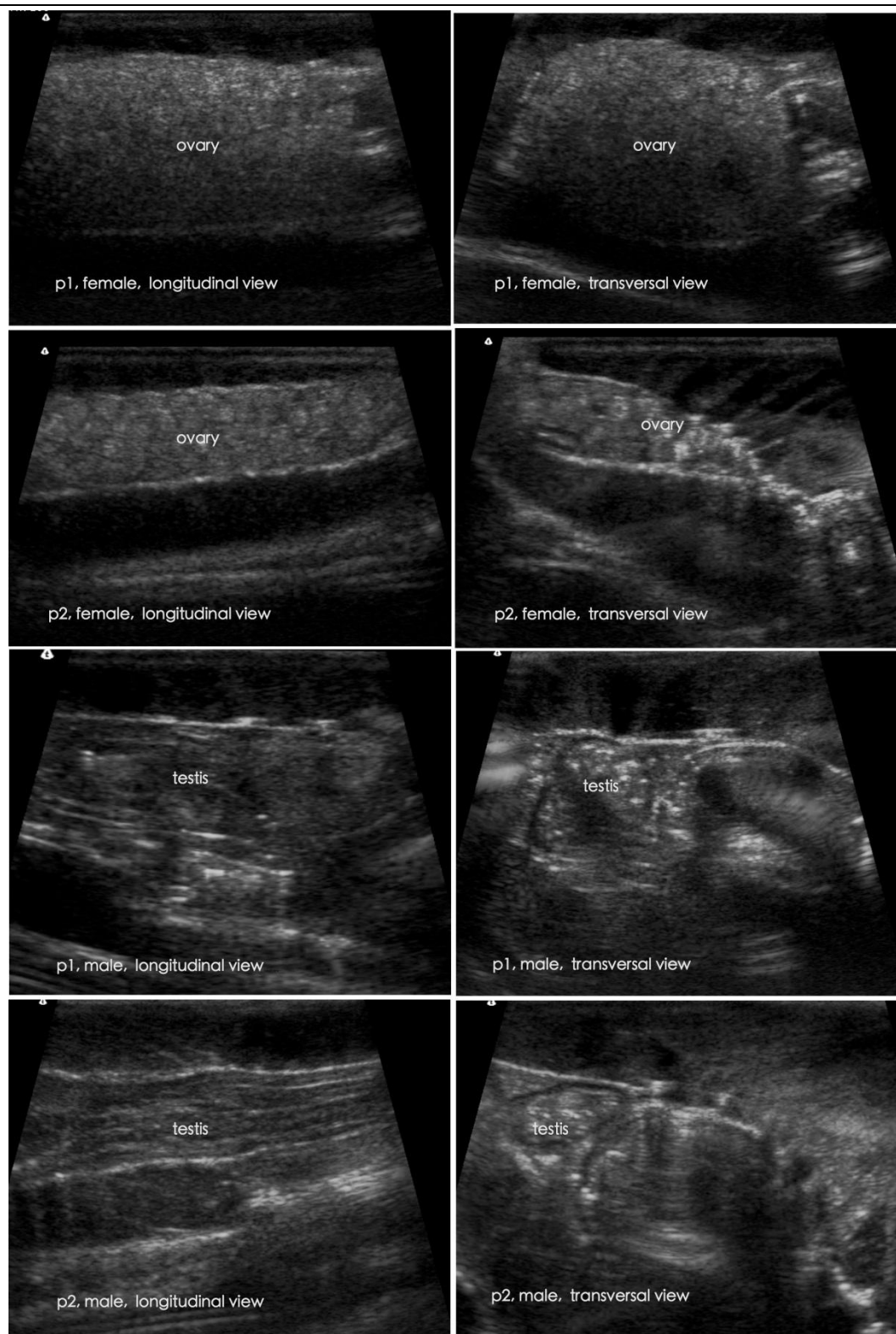


图 2-2 川陕哲罗鲑雌雄亲鱼超声波扫描图

Fig 2-2 Male and female broodstock sonogram of *H. bleekeri*

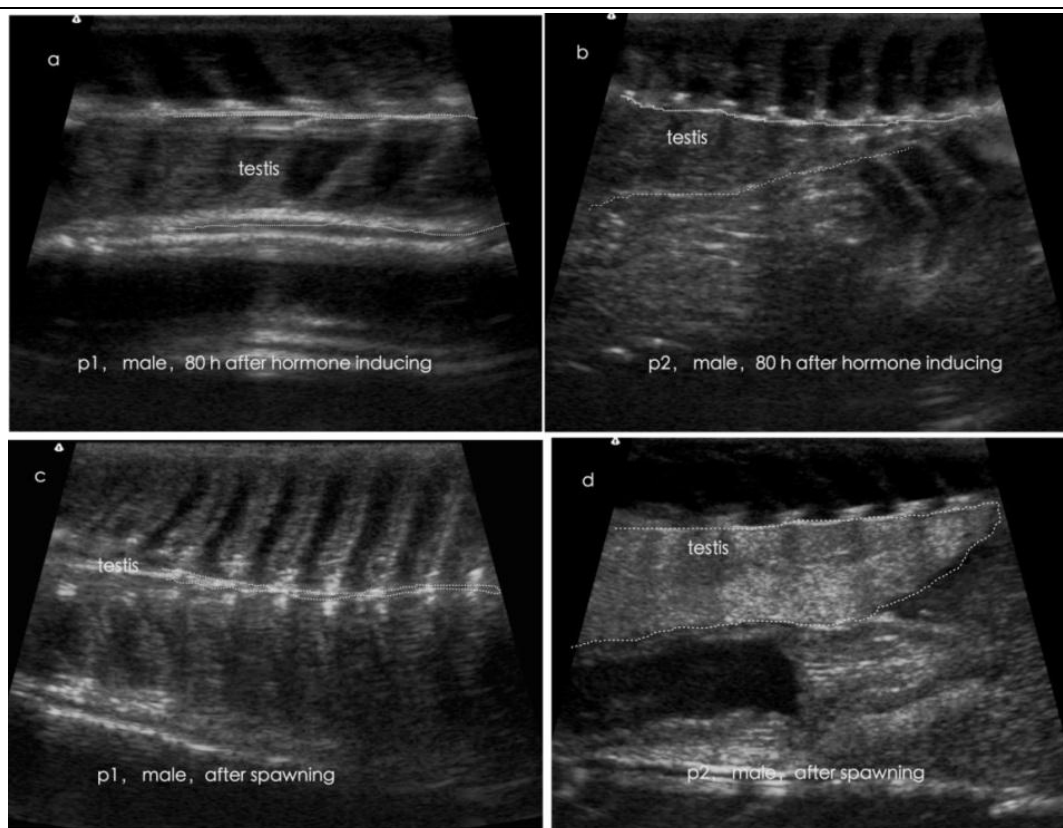


图 2-3 典型的成熟精巢超声波扫描图

Fig 2-3 A typical mature testis sonogram of *H. bleekeri*

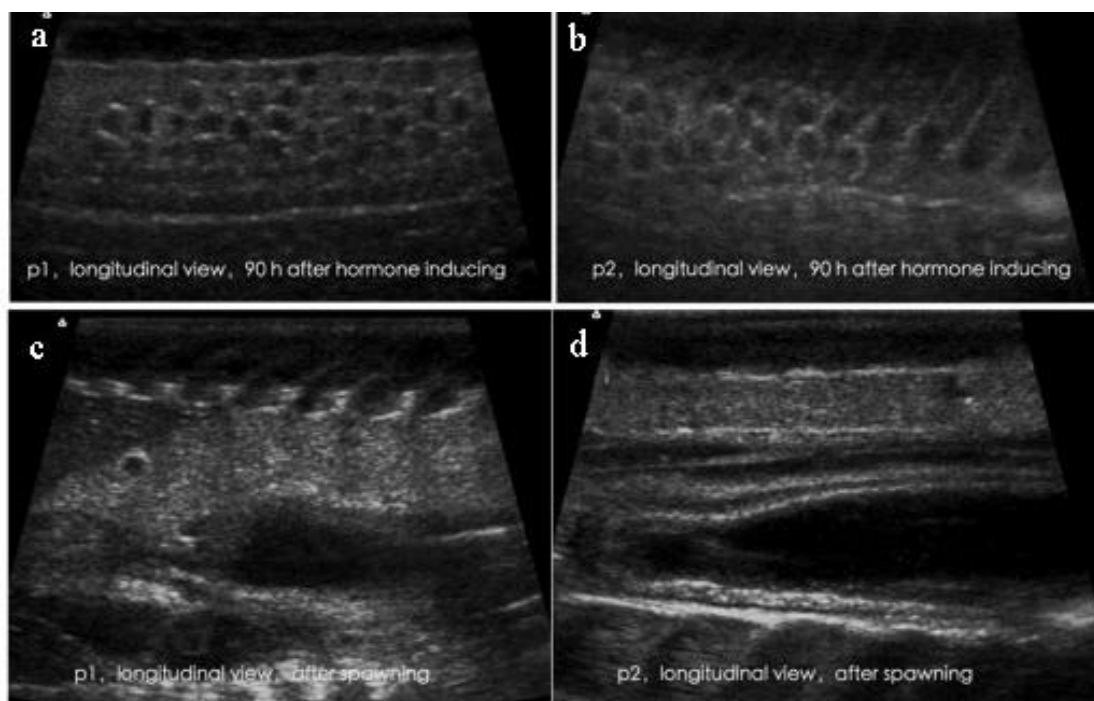


图 2-4 典型的成熟卵巢超声波扫描图

Fig 2-4 A typical mature ovary sonogram of *H. bleekeri*

2.1.2 繁殖结果

5 月 13 日和 15 日分两批次进行人工繁殖授精。第一批次于 5 月 13 日 15:30 开始采集卵子和精液，通过腹部挤压法进行。其中 4 尾雌鱼成功产卵，产卵总数约 5000 颗，平均每尾鱼产量 1250 粒，3 尾雄鱼均可产出精液，总量约 1 mL。5 月 15 日 16:30 对余下 4 尾雌鱼和 3 尾雄鱼进行采集卵子和精液，其中 3 尾雌鱼成功产卵，产卵总数约 3000 颗，1 尾雌鱼未产，平均每尾鱼产量 1250 粒。3 尾雄鱼均可产出精液，总量约 1 mL。产卵数，受精率等数据详见表 2-4。

两批次总计 8 尾雌鱼顺产，产卵量总计 13429 粒，两批次受精率平均为 77.8%。第一众数出苗在 5 月 25 日，孵化持续时间 25d。第二批众数出苗在 6 月 4 日，孵化持续时间 26d。两批次共获得孵化仔鱼 3258 尾（表 2-4）。

表 2-4 2013 年和 2014 年人工繁殖结果

Table 2-4 The results of artificial propagation in 2013 and 2014

各项指数	2013 年	2014 年	
		第一批	第二批
亲鱼数量	8♀6♂	4♀3♂	6♀4♂
顺产雌鱼	7	4	4
总卵数	8000	9284	4145
总受精卵数	6680	7424	3138
受精率	83.00	79.97	75.71
出苗数	3270	2458	800
孵化率	41.00	33.11	25.49
效应时间 (h)	48	80	108
繁殖水温 (°C)	9.7	9.5	9.2
孵化时间 (h)	549	586	571
孵化水温 (°C)	10.2	10.0	11.2

2.3 讨论

2.3.1 影响川陕哲罗鲑受精率和孵化率的因素

三次催产，其受精率分别为 83.00%、79.97%、75.71%，出膜率分别为 41.00%、33.11%、25.49%。2014 年的受精率和孵化率都低于 2013。影响出膜率的因素很多，除了非生物因素温度、盐度、pH、光照等外（张海发等 2006；柳学周等 2004），亲鱼成熟度、繁殖次数、体质影响到受精卵的质量。在三次人工催产中，部分亲鱼两次注射，而少部分鱼采用三次注射，明显部分亲鱼成熟度不够（亲鱼数量太少，为了保证子一代的数量，因此尽量将亲鱼用于人工繁殖）。2014 年的大部分亲鱼都是 2013 年产过一次。只有 5 尾为补充亲鱼，2014 年亲鱼的性腺发育差于 2013 年，所以 2014 年的受精率和孵化率都低于 2013 年。而孵化率低的原因需要进一步的实验证明，可能是生物因素，也有可能是非生物因素。亲鱼培育、催产药物的选择、催产药物的剂量、孵化的环境（溶氧、水温、光照、流速等）等需要进一步的研究。

2.3.2 影响川陕哲罗鲑胚胎发育和仔稚鱼生长的因素

鱼类受精卵的发育速率和成活率受环境因子的影响极大（殷名称 1995），包括疾病、水温、光照、水质环境因素对川陕哲罗鲑胚胎发育的影响。

本研究中川陕哲罗鲑孵化水温为 10.0 ℃左右，而本研究期间测得救护实验站处天然河道孵化期间平均水温为 14.8 ℃，据此可推断在天然河道川陕哲罗鲑出膜时间可能稍短一些。因此，根据本次实验并结合文献报道，建议川陕哲罗鲑人工繁殖过程中，可将受精卵孵化的水温控制在 10~14 ℃。但本研究孵化后期分部卵停止发育没有正常孵出，这不排除跟水温有一定的关系，因此有必要对其胚胎发育的最适温度进行进一步研究。

本研究中孵化所用水源为山涧水，如遇到雨天水体较为浑浊，易滋生各种病原菌或其他对胚胎发育不利的微生物，因此在洪水时候应该对水质进行严格的处理和消毒。此外，一些杂质会粘连在卵膜上，这可能导致胚胎局部缺氧，从而影响其发育。孵化过程中，及时将死卵和霉卵挑出，防止其感染正常发育的受精卵。

2.3.3 影响川陕哲罗鲑仔稚鱼存活率的因素

影响川陕哲罗鲑仔稚鱼存活的因素有很多，包括生物因素和非生物因素，包括饵料、光照、温度等（彭孟等 2003）。除了育苗的水、种、饵三要素外，病害防治在育苗过程中也非常重要，除了需要保持优良的养殖生态环境外，还应预防疾病的发生，把疾病扼杀在摇篮中。在本研究中仔鱼腹部出现过气泡，体表发现了车轮虫、指环虫。这些疾病影响着川陕哲罗鲑仔鱼健康，导致其摄食能力下降，体质越来越差，最终死亡。在内源营养转向外源性营养阶段，该阶段为川陕哲罗鲑转食阶段，仔鱼转食时为底栖生活，仔鱼摄食外界饵料时，游动速度加快，对氧气需求量增加，而此时鳃尚不完善，导致体内出现气泡。患气泡病仔鱼摄食时，需要克服气泡阻力，消耗大量能量，导致鱼体逐渐消瘦，若发生水质变坏、水温突变、缺氧等情况，通常导致仔鱼大批死亡。

川陕哲罗鲑仔鱼死亡高峰期为日龄 0~5d 和 20~25d。日龄 0~5d 为内源性营养阶段，仔鱼完全依靠卵黄提供，因此不涉及到饵料因素的影响。影响该阶段的非生物因子是温度和水质等，而本研究中的养殖水温严格控制在适宜的生长的范围内，并且水质经过严格的消毒。因此死亡的原因认为是内源性因素：一是部分亲鱼为三次注射催产药物，导致挤出的卵质量不好，从而影响到仔鱼体质，在出膜后不久陆续死亡。二是由于改变了川陕哲罗鲑的孵化方式，本研究采用孵化巢孵化，水流平缓，而野外则以砂砾石覆盖，水流较急的环境下孵化（周仰璟和吴万荣 1987）。可能是孵化环境不同，从而导致室内孵化的仔鱼体质差，最终弱小的仔鱼死亡。

本研究中川陕哲罗鲑在日龄 18d 时开始摄食，初次摄食时间与鱼种类、卵黄囊消失时间、消化器官发育、水温和开口饵料的选择等密切相关（殷名称 1991b）。该时间为川陕哲罗鲑内源性营养转向外源性营养的临界期，由于饵料和仔鱼器官发育的共同的影响（殷名称 1991a），在日龄 20~25d 期间仔鱼出现大量死亡。可能的原因是，饵料粒径与部分仔鱼口径不适，导致仔鱼由于没有及时摄食，摄食量不足，导致仔鱼死亡。具体的原因需要进一步控制饵料的大小、质量和密度，以及控制仔鱼摄食机能的形成和适口饵料密度高峰出现时间的配合再次研究。

第3章 川陕哲罗蛙早期发育

3.1 材料和方法

3.1.1 胚胎发育观察

受精卵来源于 2013 年人工繁殖获得的受精卵。每次取样 10 粒，自受精后 0~12 h 内每隔 0.5 h 取样、观察一次；12~48 h 内每隔 1 h；48~96 h 内每隔 2 h；96~240 h 内每隔 4 h；此后每 12 h 观察一次。本研究直接取活体在解剖镜(Olympus SZ61)下进行观察，并用匹配的图像采集软件（cellSense Entry 1.8.1）成像后再送回孵化框继续孵化。胚胎发育特征的确定以该次取样 50%以上个体发育出现特征为准。

3.1.2 仔、稚鱼发育观察

每次观察取样 20 尾，仔鱼 0~20 d，频率为 1 次/1 d；20~40 d，频率为 1 次/2 d；40~52 d，频率为 1 次/3 d；52~64 d，频率为 1 次/4 d；64 d 后，频率为 1 次/5 d。用解剖镜观察形态学特征，并采集图像测量仔、稚鱼全长，精确到 0.01 mm。用电子天平（FA2004）测量体重，精确到 0.0001g。称量时先用棉球轻轻吸去鱼体表的水份，然后放入盛有水中的培养皿中测量。仔、稚鱼发育特征的确定以该次取样 50%以上个体发育出现特征为准。

3.1.3 数据处理

实验所采集的数据均用 Microsoft Excel 进行统计处理，结果以平均值±标准差（Mean±SD）表示，根据结果拟合出仔、稚鱼的生长曲线，形态照片使用 Photoshop 6.0 制作图版。

卵黄囊体积计算公式为： $V=D \times H^2 \times \pi / 6$

式中：D 为卵黄囊长径，H 为卵黄囊短径。

总积温 $K(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}) = N \times T$ （施德亮 2012）

式中：N 为各阶段所需时间（d），T 为该阶段的平均温度。

3.2 结果

3.2.1 胚胎发育

川陕哲罗鲑受精卵在水温为 $9.5\sim 11.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (平均 $10.2\pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$) 条件下, 历经 549 h 破膜, 分为 25 个时期 (表 3-1): 受精卵形成期 (0~13 h), 卵裂期 (13~45 h), 囊胚期 (45~122 h), 原肠期 (122~170.5 h), 神经胚形成期 (170.5~ 183.5h), 器官形成期至破膜 (183.5~549 h)。

3.2.1.1 受精卵形成期

川陕哲罗鲑成熟卵呈圆球形, 黄色 (图 3-1-1), 含大量卵黄, 比重大于水, 无粘性, 吸水后膨胀, 卵膜与卵黄之间形成明显的围卵黄周隙, 卵径达最大值 (4.36 ± 0.20) mm, 在胚胎发育过程中卵径变化不明显。受精后 3.5 h, 原生质向动物极聚集, 逐渐隆起形成盘状胚盘。

3.2.1.2 卵裂期

卵裂在胚盘上进行, 受精后 13 h, 在胚盘中央产生一条明显的分裂沟并逐渐加深, 将胚盘一分为二, 形成两个大小相等的分裂球, 进入 2 细胞期 (图 3-1-2); 受精后 15 h, 出现第二次卵裂, 与第一条卵裂沟相垂直, 形成四个相等的细胞, 即为 4 细胞期 (图 3-1-3); 受精后 17.5 h, 开始第三次卵裂, 分裂沟与第一条分裂沟平行, 将胚盘分为八个细胞, 大小相似, 分为两排, 每排四个, 进入 8 细胞期 (图 3-1-4); 再经 6 h, 进行第 4 次卵裂, 进入 16 细胞期 (图 3-1-5), 形成 4 排 16 个分裂球, 此时的分裂球还处于同一平面上; 随着时间的推移, 细胞个数逐渐变多, 细胞体积整体逐渐变小, 每个细胞大小不一, 细胞间界线清晰, 最终形成一个细胞团, 使胚盘向上隆起, 进入多细胞期 (图 3-1-6)。

3.2.1.3 囊胚期

细胞继续分裂, 细胞间的界线变得模糊不清, 隆起于卵黄之上; 受精后 45 h, 胚盘隆起达最高, 细胞堆积如帽状, 与卵黄囊交界清晰, 此时为囊胚早期 (图 3-1-7);

此后囊胚层逐渐变低，囊胚边缘细胞增多，与卵黄囊交界平滑，分不出细胞界线，为囊胚中期（图 3-1-8）；受精后 101 h，囊胚层细胞向卵黄下包，进入囊胚晚期（图 3-1-9），下包过程中受卵黄阻碍，囊胚层细胞向内卷形成不太明显的胚环（germ ring），胚胎发育进入原肠期。

3.2.1.4 原肠期

受精后 122 h，由于囊胚层细胞的集中，在胚环形成一外观呈三角形的加厚隆起结构，即为胚盾（embryonic shield），为原肠早期（图 3-1-10）；再经过 17.5 h 进入原肠中期（图 3-1-11）；胚环继续往下，胚盾延伸明显；受精后 160 h，胚环下包到 3/4，未被包裹的卵黄形成未来的“卵黄栓”，胚盾继续延伸，且前端稍微膨大，此时为原肠晚期（图 3-1-12）。

3.2.1.5 神经胚期

受精后 170.5 h，下包达 4/5，胚环和卵黄栓明显变小，在末端形成一孔，即胚孔形成，胚体形成，中部加厚，逐渐形成神经板，此期为神经胚期（图 3-1-13）；再经过 19.5 h，卵黄被完全包裹，胚孔关闭，称为胚孔封闭期（图 3-1-15）。

3.2.1.6 器官形成期至破膜阶段

受精后 183.5 h，在胚体最前端左右两侧出现一对肾形突起，即为眼原基（图 3-1-14），再经过 33 h，胚体前端脑部可清晰地划分为前、中、后三部分，即脑分化期（图 3-1-16）。

受精后 226 h，在头部后方两侧出现盾状突起即为胸鳍原基（图 3-1-17）；再经过 45.5 h，胸鳍原基发育形成清晰可见的胸鳍雏形（图 3-1-20）；

受精后 242.5 h，眼原基进一步发育形成椭圆形的眼囊（图 3-1-18），眼囊再经过 49.5 h 的发育，变得膨大透明，并在眼囊中形成晶体（图 3-1-21）；

受精后 252 h，胚体尾部向后弯曲并延长，进入尾芽出期（图 3-1-19），再经过 48 h 的，尾芽脱离卵黄，形成透明的鳍褶，并可自由摆动，此期称尾芽出现期（图 3-1-22），已能观察到心脏搏动（ 69 ± 5.13 ）次/min，；

受精后 344.5 h，眼囊周围出现黑色素，并逐渐加深，分布在卵黄囊上的血管也

清晰可见（图 3-1-23），卵膜变得透明，胚体也开始扭动，为破膜而出做准备；受精后 549 h，胚体较之前扭动剧烈，并开始破膜而出（图 3-1-24）。

3.2.2 川陕哲罗鲑胚胎发育积温时间

川陕哲罗鲑受精卵在水温 9.47~11.30 °C 历经 549 h 孵出，总孵化积温为 228.31 °C d，其中器官形成至出膜历时 140.89 °C d，占总时间的 61.71%；其次为囊胚期 31.5 °C d，占 13.8%；原肠期 20.17 °C d，占 8.83%；神经胚期 19.74 °C d，占 8.65%；卵裂期 12.89 °C d，占 5.65%；有效积温最少的为受精卵形成期 5.23 °C d，仅占 2.29%。

表 3-1 川陕哲罗鲑胚胎发育时序表

Tab.4-1 Duration of embryogenesis in *Hucho bleekeri* Kimura

序号	发育时期	起始时间/h	水温/℃	积温/ (℃·d)	图片编号
No.	development stage	start time	water temperature	Accumulated temperature	Picture No.
1	受精卵形成 fertilized egg	—	9.61		
2	胚盘隆起 blastodisc stage	3.5	9.70	1.41	
3	2 细胞期 2-cell stage	13	9.62	5.22	Fig. 4-1-2
4	4 细胞期 4-cell stage	15	9.58	6.02	Fig. 4-1-3
5	8 细胞期 8-cell stage	17.5	9.60	7.02	Fig. 4-1-4
6	16 细胞期 16-cell stage	23.5	9.76	9.44	Fig. 4-1-5
7	多细胞期 multi-cellular stage	31	9.81	12.45	Fig. 4-1-6
8	囊胚早期 early-blastula stage	45	10.2	18.25	Fig. 4-1-7
9	囊胚中期 mid-blastula stage	80	9.47	32.35	Fig. 4-1-8
10	囊胚晚期 late-blastula stage	101	9.80	40.88	Fig. 4-1-9
11	原肠早期 early-gastrula stage	122	9.83	49.44	Fig. 4-1-10
12	原肠中期 mid-gastrula stage	139.5	9.98	56.45	Fig. 4-1-11
13	原肠晚期 late-gastrula stage	160	10.13	65.17	Fig. 4-1-12
14	神经胚期 neural plate stage	170.5	10.50	69.82	Fig. 4-1-13

续表

15	眼原基形成期 eye anlage stage	183.5	10.00	75.23	Fig. 4-1-14
16	胚孔关闭期 blastopore closed stage	190	10.40	78.17	Fig. 4-1-15
17	脑分化期 brain differentiation stage	216.5	10.26	89.28	Fig. 4-1-16
18	胸鳍原基形成期 pectoral fin anlage stage	226	9.80	93.15	Fig. 4-1-17
19	眼囊形成期 eye vesicle stage	242.5	9.88	99.94	Fig. 4-1-18
20	尾芽形成期 tail bud formed stage	252	10.50	104.18	Fig. 4-1-19
21	胸鳍雏形形成期 rudiment of pectoral fin stage	271.5	10.33	112.46	Fig. 4-1-20
22	眼晶体形成期 eye lens formed stage	292	10.12	121.05	Fig. 4-1-21
23	尾鳍形成期 caudal fin appearance stage	300	10.10	124.45	Fig. 4-1-22
24	眼色素形成期 eye pigment stage	344.5	10.14	143.02	Fig. 4-1-23
25	孵化期 hatchling	549	10.40	228.31	Fig. 4-1-24

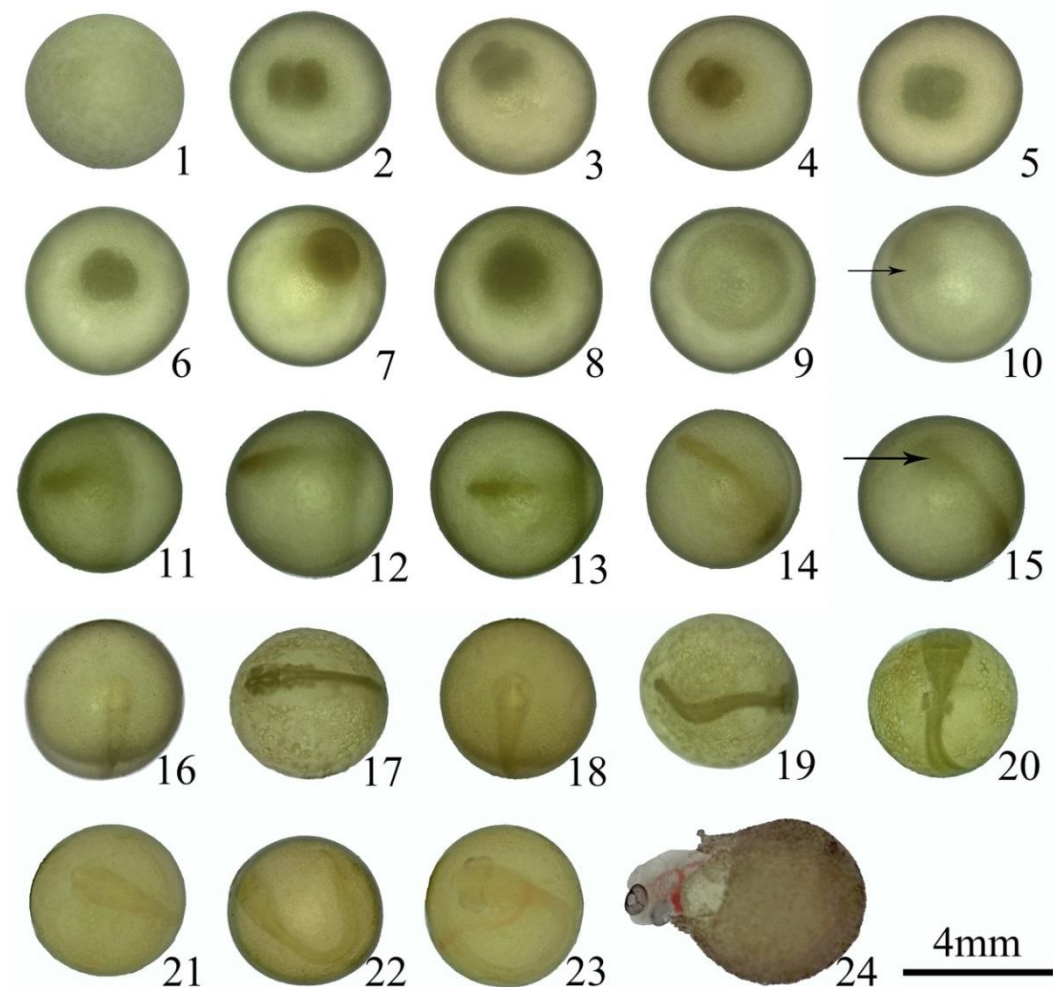


图 3-1 川陕哲罗鲑胚胎发育时序图

Fig.3-1 Development stage of *Hucho bleekeri* Kimura embryo

1. 受精卵; 2. 2 细胞期; 3. 4 细胞期; 4. 8 细胞期; 5. 16 细胞期; 6. 多细胞期; 7. 囊胚早期;
 8. 囊胚中期; 9. 囊胚晚期; 10. 原肠早期 (箭头: 胚盾); 11. 原肠中期; 12. 原肠晚期; 13. 神经胚期;
 14. 眼原基出现期; 15. 胚孔关闭期 (箭头: 胚孔); 16. 脑部分化期; 17. 胸鳍原基出现期;
 18. 眼囊形成期; 19. 尾芽出现期; 20. 胸鳍雏形出现期; 21. 眼晶体出现期; 22. 尾鳍出现期;
 23. 眼色素出现期; 24. 孵化期
1. 受精卵; 2. 2-cell stage; 3. 4-cell stage; 4. 8-cell stage; 5. 16-cell stage; 6. multi-cellular stage;
 7. early-blastula stage; 8. mid-blastula stage; 9. late-blastula stage; 10. early-gastrula stage (arrowhead: embryonic shield); 11. mid-gastrula stage; 12. late-gastrula stage; 13. neural plate stage; 14. eye anlage stage; 15. blastopore closed stage (arrowhead: blastopore); 16. brain differentiation stage;
 17. pectoral fin anlage stage; 18. eye vesicle stage; 19. tail bud formed stage; 20. rudiment of pectoral fin stage; 21. eye lens formed stage; 22. caudal fin appearance stage; 23. eye pigment stage; 24.

hatching

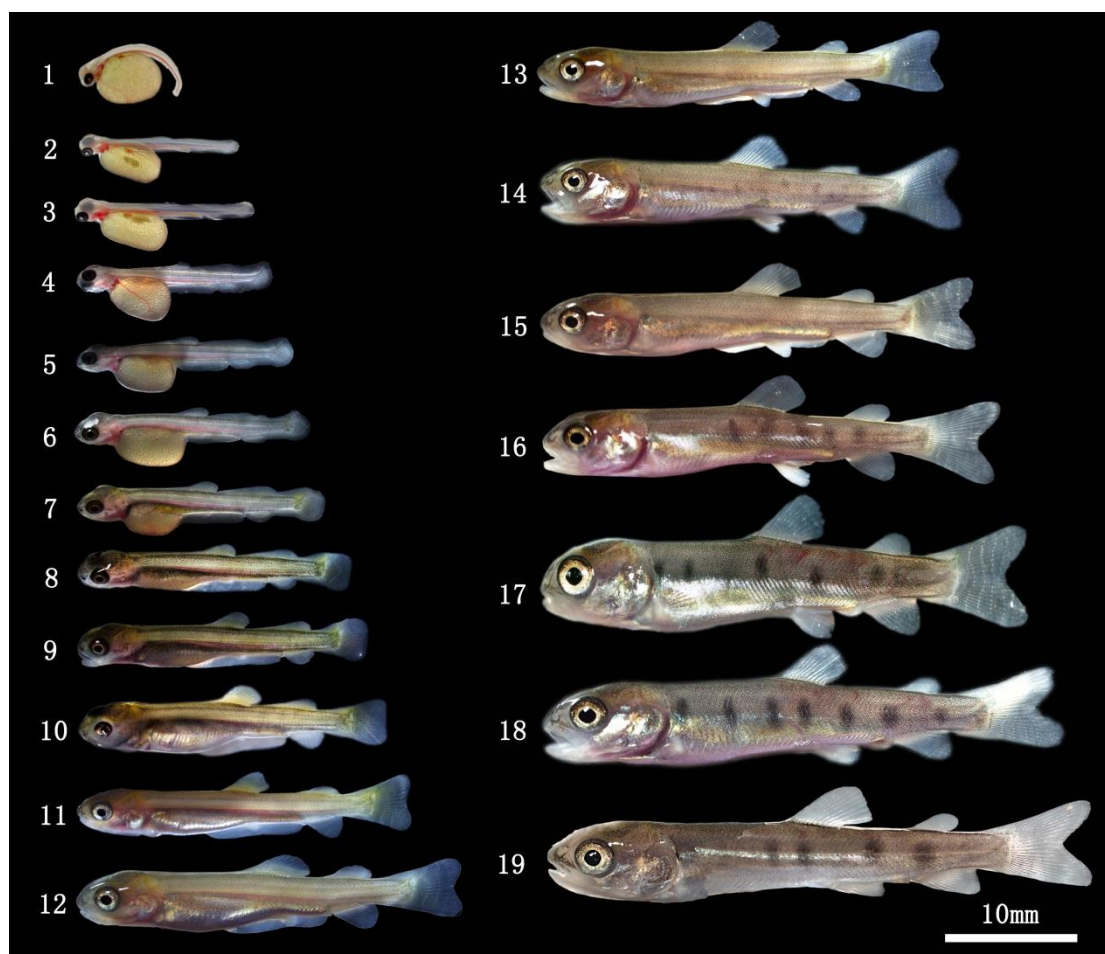


图3-2 川陕哲罗鲑仔、稚鱼发育时序图

Fig.3-2 Development stage of *Hucho bleekeri* Kimura larva and juvenile

1:初孵仔鱼；2:2d仔鱼；3:4d仔鱼；4:6d仔鱼；5:9d仔鱼；6:11d仔鱼；7:14d仔鱼；8:17d仔鱼；9:20d稚鱼；10:26d稚鱼；11:30d稚鱼；12:36d稚鱼；13:40d稚鱼；14:45d稚鱼；15:48d稚鱼；16:52d稚鱼；17:64d稚鱼；18:69d稚鱼；19:73d稚鱼；

1: Newly hatched larva ; 2: 2d old larvae after hatching; 3:4d old larvae after hatching; 4:6d old larvae after hatching; 5: 9d old larvae after hatching; 6:11d larvae after hatching; 7: 14d old larvae after hatching; 8: 17d old larvae after hatching; 9: 20d old juvenile after hatching; 10: 26d old juvenile after hatching; 11: 30d old juvenile after hatching; 12: 36d old juvenile after hatching; 13: 40d old juvenile after hatching; 14: 45d old juvenile after hatching; 15: 48d old juvenile after hatching; 16: 52d old juvenile after hatching ; 17: 64d old juvenile after hatching ; 18: 69d old juvenile after hatching; 19: 73d old juvenile after hatching .

3.2.3 仔、稚鱼期

初孵仔鱼全长 11.62 ± 0.50 mm, 体重 0.0254 ± 0.0016 g, 卵黄囊长径 5.96 ± 0.37 mm, 卵黄囊短径 4.15 ± 0.27 mm。卵黄囊体积 53.82 ± 1.03 mm³。仔鱼静卧于孵化框底部。身体透亮, 呈淡黄色。仔鱼身体弯曲, 头部紧贴卵黄囊相接触的地方可见心脏腔, 红色的心脏分为两个腔室, 心率 98 次/min。卵黄囊大, 呈椭圆形, 表面可见许多圆形的凹面, 血管网覆盖卵黄囊表面。鳃弓四对。眼睛有黑色素, 晶状体透明。具有尾鳍原基和胸鳍。从头部至尾部有一条纵向沿脊索的红色血管。卵黄囊后紧贴身体下方为消化道, 为直管形状, 前端与卵黄囊相连, 末端与肛门相连, 肛突明显。(图 3-2-1)。

仔、稚鱼的生长和发育特征详见表 3-2。

3.2.4 仔、稚鱼生长

川陕哲罗鲑全长和体重的数据详见表 3-2, 全长和日龄之间为线性关系 $TL = 0.3766d + 13.318$, $R^2 = 0.9772$, 特定生长率为 0.030。体重和日龄之间为指数关系 $BW = 0.0253e^{0.0415d}$, $R^2 = 0.9677$, 特定生长率为 0.039。

表 3-2 川陕哲罗鲑仔、稚鱼的生长和发育特征

Table 3-2 The development characteristics and growth of larvae and juveniles in *Hucho bleekeri*

日龄 /d days	全长/mm Total length	体重/g Body weight	卵黄囊体积 /mm ³ Yolk sac volume	主要特征 Main characteristics	照片编号 Picture No.
1	12.15 ±0.85	0.0257±0.0023	44.71	头部向上抬起，身体平直、细长；背部有少量点状黑色素；口前部微微张开； 鳍褶明显，背鳍褶从头部延伸到尾部，腹鳍褶从卵黄囊向后延伸至尾部，肛门 处间断，向内凹。	Fig. 3-2-2
2	12.50 ±1.08	0.0247±0.0035	38.79	体表黑色素增加；背鳍褶细胞密集形成背鳍原基，背鳍原基处黑色素增加；最 后一节尾椎骨向上翘起。	
3	12.77 ±0.94	0.0282±0.0010	36.33	消化道和卵黄囊接触处呈椭圆形深色状；可见鳃丝，鳃丝裸露在鳃盖之外；背 鳍原基明显。	
4	13.60 ±1.07	0.0316±0.0012	35.18	头部和背部黑色素增加，呈星状或者雪花状，腹部色素少；仔鱼腹部肛门后鳍 褶细胞密集，形成臀鳍原基	Fig. 3-2-3
5	14.41 ±0.81	0.0297±0.0047	32.86	口裂增加；尾鳍明显，呈圆形；仔鱼消化管在肛门处向外凸起，卵黄囊稍扁平； 眼睛外突。	

续表

6	13.81 ±1.06	0.0349±0.0011	28.47	出现鳍条，背鳍 D.3~4，臀鳍 A.3~4，尾鳍 C.5~6，向上弯曲的尾椎骨将尾鳍分为上下两部分，尾鳍条最先从尾椎骨下方出现，鳍条短；肌节数 55~60，呈“W”型；眼睛晶状体透明度减小，颜色加深；仔鱼口张开的程度增加；消化道在肛门处向外弯曲；卵黄囊变得稍扁平。	Fig. 3-2-4
7	15.41 ±1.14	0.0350±0.0033	27.22	背鳍 D.6~8，尾鳍 C.7~11；鳃丝更加明显；背部的黑色素连成一条细线；消化道下血管明显。	
8	15.56 ±1.06	0.0373±0.0050	24.2	黑色素增加，体色加深；仔鱼口基本张开，身体粗壮。	
9	15.98 ±1.37	0.0462±0.0101	22.57	卵黄囊后有一芽状凸起，为腹鳍原基，位置与背鳍相对；背鳍 D.6~8，臀鳍 A.5~6。	Fig. 3-2-5
10	17.07 ±1.90	0.0376±0.0025	22.75	腹部色素增加；背鳍 D.7~9，臀鳍 A.5~7，尾鳍 C.13~14；鳍条变长；口完全张开。	
11	17.77 ±0.73	0.0358±0.0050	21.18	背部与臀鳍相对的位置细胞密集，形成脂鳍原基；其体色素增加，体色灰黑色；头背部隆起，且黑色素特别密集；各鳍上面的色素也增加。	Fig. 3-2-6
12	17.45 ±1.30	0.0351±0.0061	20.50	背鳍 D.7~10，臀鳍 A.7~8，尾鳍 C.15~18；后面贴身体处卵黄囊呈三角形，明显被吸收；卵黄囊表面的血管增加。	
13	17.79 ±1.29	0.0396±0.0021	19.22	尾鳍、臀鳍、背鳍鳍褶明显；尾鳍基部有一纵向的透明带，条带周围分布很多色素；背鳍 D.8~10，臀鳍 A.8~10，尾鳍 C.16~19，尾鳍条分成 2 节；肠道贯通。	

续表

14	18.69 ±1.23	0.0402±0.0039	16.01	仔鱼可在水面做短暂平游，然后又沉入水底；腹部消化道位置和卵黄囊和鱼体接触的位置黑色素积累增加；背鳍后基部为脂鳍前基部、	Fig. 3-2-7
15	19.85 ±1.33	0.0388±0.0019	13.56	卵黄囊形状变得细长，平扁。	
16	19.94 ±1.69	0.0410±0.0023	11.07	口内可见牙齿，背鳍变的宽大，背鳍 D.10~11，臀鳍 A.9~10，尾鳍 C.17~20；背部和两侧的色素增加连成片	Fig. 3-2-8
17	21.08 ±0.97	0.0451±0.0043	8.207	可见鱼鳔一室，透明、长椭圆形；体表黄色素增加，卵黄囊明显减少。	
18	21.59 ±0.54	0.0476±0.0039	6.679	仍有部分卵黄囊；卵黄囊长条形；仔鱼基本都上浮，开始投喂卤虫无节幼体；仔鱼进入混合营养型阶段。	Fig. 3-2-9
19	20.33 ±2.39	0.0514±0.0043	4.115	其背部鳍褶基本消失；肛门处有未吸收完全的卵黄排出；晶状体变为黑色，透明度减小；肠道内充满的食物。	
20	23.03 ±1.23	0.0519±0.0083	1.543	腹部鳞片形成，进入稚鱼期；臀鳍 A.9~11，背鳍 D.10~11，尾鳍 C.22~24，尾鳍条分为 3 节。	Fig. 3-2-9
21	21.58 ±0.58	0.0525±0.0051	0.724	其背部有零星的鳞片，腹部仍有鳍褶。	
26	23.62 ±0.94	0.0657±0.0076	0	卵黄完全吸收；腹部鳞片增加，连成片状，背部零星分布鳞片；尾椎平直；臀鳍 A.I-9~10，背鳍 D.II-9~10，尾鳍 C.21~23，尾鳍条分为 3 节。	

续表

28	24.25 ±1.03	0.0823±0.0144	体色素沉淀明显，可见鳃部骨骼化；腹部可见肌节；身体背部色素比较暗；腹腔前部呈椭圆形，后半部分尾棒形；鳔一室长度增加，体积增大；各鳍上的色素增加；鳃盖基本盖住鳃丝；芽状的腹鳍后沿没有超过鳍褶。臀鳍分为 2 节。	Fig. 3-2-10
30	25.87 ±1.12	0.0993±0.0109	脂鳍形状基本成型；鳔一室进一步变长变大。鳍上的色素积累增加；尾鳍条分 3 节；。腹鳍 A.4~5。	Fig. 3-2-11
32	26.66 ±1.69	0.1078±0.0163	尾鳍条分 4 节；两侧鳃盖可见鳞片，并出现鳃盖条；腹鳍变大。	
34	28.09 ±1.52	0.1151±0.0091	背鳍 D.II-9~10，臀鳍 A. II-9~10，尾鳍 C.25~27，腹鳍 V.6~7，臀鳍条分枝；尾鳍叉形；鳞片进一步增加；腹鳍末端基本接近鳍褶边缘。	
36	29.30 ±1.45	0.1350±0.0220	胸鳍 P.7~8。臀鳍鳍条分枝；解剖肠道可见螺旋瓣分布。	
38	29.05 ±1.48	0.1627±0.0126	体重 0.1627±0.0126 g；腹部的肌节非常明显，尾鳍分为 4 节，臀鳍鳍条分为 2 节；鳍褶减少，腹鳍后沿超过鳍褶。	
40	29.89 ±3.53	0.1730±0.0129	胸鳍 P.7~8，背鳍分为 3 节，尾鳍鳍条分为 5 节；腹腔两侧的鳞片基本覆盖完成，背鳍鳞片很少。	
43	30.48 ±1.32	0.1667±0.0189	鳍褶较少，背鳍和臀鳍、胸鳍基本成型。	
45	30.85 ±1.84	0.1902±0.0396	稚鱼体表两侧黑色素分布密集，形成 3~11 个黑点。	Fig. 3-2-14
48	30.93 ±1.47	0.2192±0.0473	体表的黑点纵向发展，逐渐形成条纹；仍有部分鳍褶。	Fig. 3-2-15
52	33.50 ±2.10	0.2814±0.0298	各鳍鳍条基本成型，臀鳍 A. II-9~10，背鳍 D.II-10~11，胸鳍 P. I-15~16，腹鳍 V. I-9~10，尾鳍 C.37~39；鳃丝仍有部分游离在鳃盖之外，鳍褶完全消失。	Fig. 3-2-16

续表

56	35.00 ±2.20	0.3227±0.0333	背鳍鳍条分为 4 节。	
60	36.50 ±2.00	0.3145±0.0283	大部分稚鱼具有 7~12 条斑纹；鳞片分散遍及全身。	
64	36.90 ±1.80	0.3143±0.0367	体色较黑，尾叉内凹程度增加。	Fig. 3-2-16
69	39.40 ±3.10	0.4901±0.0462	体侧斑点再次变长变黑，横斑纹数量为 7~11，背部鳞片增加，散状分布。	Fig. 3-2-17
73	39.60 ±4.40	0.5464±0.0589	鳞片遍及全身，体型与成鱼相似，进入幼鱼期。	Fig. 3-2-18

3.3 讨论和分析

3.3.1 川陕哲罗鲑胚胎发育

川陕哲罗鲑属于冷水性鱼类，繁殖季节为每年的 3~5 月（丁瑞华 1994；刘成汉 1978），和其他鲑科鱼类如太门哲罗鲑（Matveyev et al, 1998；张永泉等 2008）、多瑙哲罗鲑（Witkowski and Kokurewicz 1981；Holcik et al. 1988）、尖吻细鳞鲑（杜佳等 2010）、秦岭细鳞鲑（施德亮等 2012）和远东哲罗鲑（*H.perryi*）（Fukushima 1994）相似。其早期发育数据和其他鲑鱼的比较详见表 3-3，包括受精卵吸水膨胀后的卵径、孵化水温、孵化所需的时间、积温和初孵仔鱼的全长。

川陕哲罗鲑的卵裂方式和胚胎发育时序与大多数硬骨鱼类相似，大致都遵循“卵裂—胚体形成—器官分化—孵出”的顺序，根据胚胎发育的外部形态及典型特征，本研究参考太门哲罗鲑、尖吻细鳞鲑、秦岭细鳞鲑和西藏亚东鲑（*Salmo truttafario* L）（豪富华等 2006）的胚胎发育将川陕哲罗鲑的胚胎发育划分为 25 个时期。除此之外，由于受遗传因素的影响，川陕哲罗鲑的胚胎发育具有种的特异性：1）川陕哲罗鲑成熟卵呈黄色，含有大量卵黄，胚盘较小，卵膜比较厚，卵的特点与秦岭细鳞鲑、太门哲罗鲑、尖吻细鳞鲑等鲑科鱼类相似；2）川陕哲罗鲑的卵黄囊上有大量的油球（脂肪滴，即中性脂肪）分布，一般只存在于海水鱼类如大西洋鲑（Battle 1944）等，而在极少数的淡水鱼类中才有分布，油球的存在也给活体剥膜观察法带来了一定困难（本实验初曾尝试活体剥膜观察发现不可行），且 5% 甲醛溶液固定后对胚体形态维持有一定程度的干扰（杜佳等 2010）；3）川陕哲罗鲑眼原基发育较早，在胚孔关闭之前已形成，与胭脂鱼（*Myxocyprinus asiaticus*）（张春光和赵亚辉 2000）、裂腹鱼（*Sehizothorax*）（陈永详和罗泉笙 1999）等眼原基的形成是在胚孔关闭后有所不同，与同属鲑科鱼类的太门哲罗鲑和西藏亚东鲑类似；4）川陕哲罗鲑的很多数器官在胚胎发育中已经形成，其中胸鳍原基出现最早，这也印证了楼允东（楼允东 1996）的观点，他认为器官发生的迟早（或程度）与胚胎期的长短有关。川陕哲罗鲑属于冷水性鱼类，胚胎发育时间较长，出膜时器官发育较完善；5）与尖吻细鳞鲑、太门哲罗鲑不同，川陕哲罗鲑眼色素开始出现时，已能看见清晰的血管及心脏搏动带动鱼体周身血液流动，故本研究没有另外划分出所谓的循环期，

这与秦岭细鳞鲑类似；6) 川陕哲罗鲑繁殖期水温低，孵化期较长，胚胎发育不同步，导致仔鱼出膜时间不一致，同一批次受精卵出膜时间跨度为一周左右，川陕哲罗鲑为凶猛肉食性鱼类，故在养殖生产中应将先后出膜的苗种分池培育，避免种内相残。

3.3.2 川陕哲罗鲑胚后发育的划分

关于鱼类早期生活史阶段的划分，不同的学者持有不同的观点(殷名称 1991a)。一般将鱼类早期生活史分为胚胎、仔鱼和稚鱼三个阶段。仔鱼阶段又分为早期仔鱼和晚期仔鱼。早期仔鱼指孵化出膜至卵黄囊即将被完全吸收，晚期仔鱼指卵黄吸收完全至鳞片开始出现。稚鱼阶段从鳞片首次出现至鳞片覆盖完全，该阶段主要进行生长和性腺发育，没有急剧的形态变化。川陕哲罗鲑鳞片首次出现时，卵黄还未被完全吸收，因此，在该研究中如按照传统的仔稚鱼划分标准，仔鱼和稚鱼在发育时序上有重叠的部分，为了区别两者之间的不同，仍然将鳞片的首次出现，定位两者的划分点，而忽略卵黄完全吸收时间。

3.3.3 川陕哲罗鲑的生长

初孵仔鱼全长 $12.15 \pm 0.85\text{mm}$ ，体重 $0.0257 \pm 0.0023\text{g}$ 。与其他几种鱼类的比较详见表 3。川陕哲罗鲑鳞片首次出现在孵化后 20 d，全长 $23.03 \pm 1.23\text{ mm}$ ，鳞片完全覆盖在 73 d，全长 $39.60 \pm 4.40\text{ mm}$ 。多瑙哲罗鲑(Witkowski et al. 1984) 仔鱼首次出现鳞片在全长 42.9 mm，完全覆盖在 65.0-68.0 mm。川陕哲罗鲑仔稚鱼的发育过程出现了负生长的现象(孵化后 6 d 和 12 d)。可能的原因是：因为每尾初孵仔鱼的体质和游泳能力有差异，体质和游泳能力影响仔稚鱼的摄食能力，导致仔/稚鱼间的全长和体重有差异。在取样过程中，取到的样本整体偏小，另外仔鱼个体较小，在测量时容易产生误差。但是总的生长趋势是保持一致的，全长和日龄之间为线性关系 $TL=0.3766d+13.318$ ， $R^2=0.9772$ ，特定生长率为 0.030。

刘成汉(1978)通过对四川岷江和大渡河川陕哲罗鲑鳞片的研究，推导出1龄鱼长150 mm、2龄280 mm、3龄463 mm；吴万荣(1987)通过对四川芦山川陕哲罗鲑鳞片的研究，推导出1龄鱼长216 mm，2龄406 mm，3龄596 mm，4龄786 mm。两文报道的生长速度虽有差异，但反映出生长快的特点，比本研究的生长速度快。可能

的原因是由于河流中川陕哲罗鲑摄食天然饵料，生活环境不同，而且因为孵化条件不同，初孵仔鱼的体质比在比室内孵化的强。此外两文研究的是大渡河水系的川陕哲罗鲑，而本研究的川陕哲罗鲑属于汉江水系。汉江和大渡河两个群体存在生长差异，而这个生长差异来自遗传属性（Wang et al. 2011; Zhang et al. 2014）。具体的原因，需要进一步的实验证明。川陕哲罗鲑的人工繁殖和幼鱼体系的培育需要进一步的建立和改善。

表 3-3 川陕哲罗鲑与其他鲑科鱼类孵化情况比较

Table 3-3 Comparison of *Hucho bleekeri* with other salmonids

种类	吸水后卵径/ mm	孵化温度/°C	平均水温/°C	孵化时间/h	积温/°C d	初孵仔鱼全/mm	文献
川陕哲罗鲑 <i>H. bleekeri</i>	4.36±0.20	9.47-11.3	10.17	549	228.31	11.62±0.50	本研究
太门哲罗鲑 <i>H. taimen</i>	5.55 ±0.15	4.8-9	7.5	839	262.19	18.45±0.32	张永泉等 2008
多瑙哲罗鲑 <i>H. hucho</i>	≈5	-	10	-	232	10.1	Witkowski et al. 1980
多瑙哲罗鲑 <i>H. hucho</i>	4.55	4.8-15.5	15.0	840	-	14.11	Penaz and Prihoda 1981
秦岭细鳞鲑 <i>B. lenok tsinlingensis</i>	4.25±0.05	9.31-12.80	11.03	408	193.35	9.64±1.03	施德亮等 2012
尖吻细鳞鲑 <i>B. lenok</i>	4.32 ±0.21	6.0 -10.7	7.7	597	191.53	10.67±0.02	杜佳等 2010

第4章 不同开口饵料对川陕哲罗鲑仔鱼生长和存活的影响

4.1 材料和方法

4.1.1 试验鱼及饵料

试验对象为2014年第二批次人工繁殖、孵化的仔鱼。孵化平均水温 $9.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($9.1\sim 11.7\text{ }^{\circ}\text{C}$)、平均溶氧 10.8 mg/L ($8.1\sim 11.9\text{ mg/L}$)，初孵仔鱼全长 1.18 cm ($1.05\sim 1.37\text{ cm}$)，体重 0.0262 g ($0.0205\sim 0.0289\text{ g}$)。初孵仔鱼暂养在 $0.3\text{ m}\times 0.2\text{ m}$ 的孵化框内，饲养至20 d时，80%仔鱼开始上浮，此时仔鱼卵黄尚未全部吸收完毕，但已开始摄食，进入混合营养期。选择450尾已上浮且规格齐整的仔鱼作为试验鱼。

采用的试验开口饵料有5种，分别为水丝蚓、丰年虫、鲫鱼卵和2种人工配合饲料。水丝蚓的处理方式见2.1.5，丰年虫的孵化方式见2.1.5；鲫鱼卵洗净后冰冻放入冰箱，冰冻的鲫鱼卵用刨刀、分样筛等工具制成直径小于 0.5 mm 的微粒投喂；1号饲料为丹麦进口的爱乐(Alle)冷水鱼开口饵料，粒径为 $0.2\sim 0.3\text{ mm}$ ；2号饲料为山东升索鱼用饲料研究中心生产的微粒子配合饲料S2，粒径为 $0.25\sim 0.48\text{ mm}$ ，两种饲料的营养成分如表1。

表4-1 两种人工配合饲料的营养成分表 (%)

Table 3-1 Nutrition facts of two artificial commercial diets (%)

饲料	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	粗灰分	无氮浸出物	水分
1号	64	9	0.5	12.7	7.3	6.5
2号	≥ 50	≥ 8	≤ 3	≤ 16.5	未标注	≤ 12

4.1.2 养殖条件及投喂方法

日龄19 d时将450尾的仔鱼放入15个塑料饲养框中，每个框中30尾，以提前适应试验环境。饲养框为圆形，直径 0.3 m ，水度 0.1 m ，底部及侧面密布小孔，将饲养框悬置于流水孵化槽内，孵化槽流速 $0.1\sim 0.6\text{ m/s}$ 。饲养期间的水温为 $10.2\sim 13.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (平均 $11.4\text{ }^{\circ}\text{C}$)、溶氧为 $9.38\sim 11.69\text{ mg/L}$ (平均 10.65 mg/L)。试验分为5

个饵料组，每组仔鱼 30 尾，每组设置 3 个平行，试验周期为 20 d。每日投喂四次，于 09:00、13:00、15:00、21:00 各投喂 1 次，每次投喂量以试验鱼饱食为准，投喂 40 min 后清理饲养框内的残饵和粪便。每天记录各组仔鱼的死亡情况。

4.1.3 取样测量及数据处理

分别于投喂前 0 d 和投喂后 5 d、10 d、15 d 和 20 d 测定各试验组的生长情况，每次从各饲养框中随机取 10 尾仔鱼进行全长（精确至 0.01 mm）和体重（精确至 0.001 g）的测定，测量方法见 3.1.3，数值以平均值 $\pm$ 标准差（ $\bar{x}\pm\text{SD}$ ）表示。试验结果采用 SPSS 13.0 统计软件分析，利用单因子方差分析（One-way ANOVA）来检验各试验组间差异显著性，用 Dunnett's 进行多重比较检验，取 $P<0.05$ 作为显著性标准。以特定生长率（SGR）描述仔鱼的生长特性。

$$\text{SGR}=100\times (\ln W_t-\ln W_0)/t$$

其中： W_t 和 W_0 分别为投喂前和投喂后 t 天时的体重。

4.2 结果

4.2.1 不同开口饵料对仔鱼生长的影响

如图 4-1 所示，水丝蚓组和鱼卵组在整个试验期间，体重生长速度较为稳定。丰年虫组在投喂后 10 d 内体重增长最为迅速，而其余四个组生长速度差别不太。10 d 后，1 号饲料组和 2 号饲料组体重和全长都加速生长，2 号饲料组的生长速度大于 1 号饲料组；而丰年虫组的生长速度明显放缓，并出现逆生长。

全长生长趋势类似于体重生长，0~10 d 内，丰年虫组的生长优势明显，10d 后生长放缓，15d 后逆生长。实验结束时，2 号饲料组的全长和体重都超过丰年虫组，均大于其它四个组。其它试验组全长生长速度比较稳定，但始终低于丰年虫组（图 4-2）。

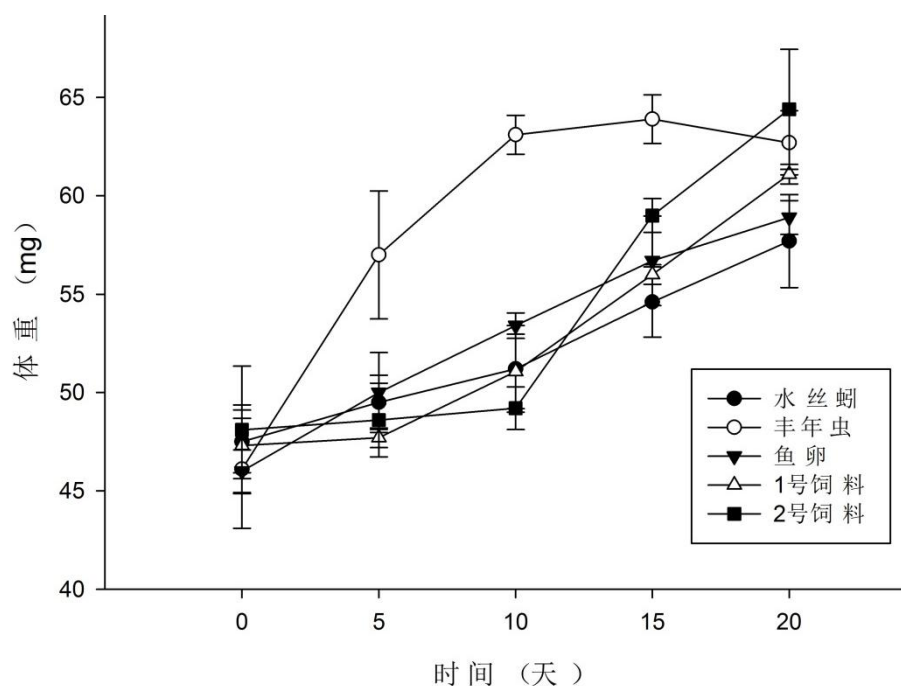


图 4-1 不同开口饵料投喂川陕哲罗鲑的体重生长情况

Fig. 4-1 Growth of *Hucho bleekeri* larvae in body weight under different initial diets

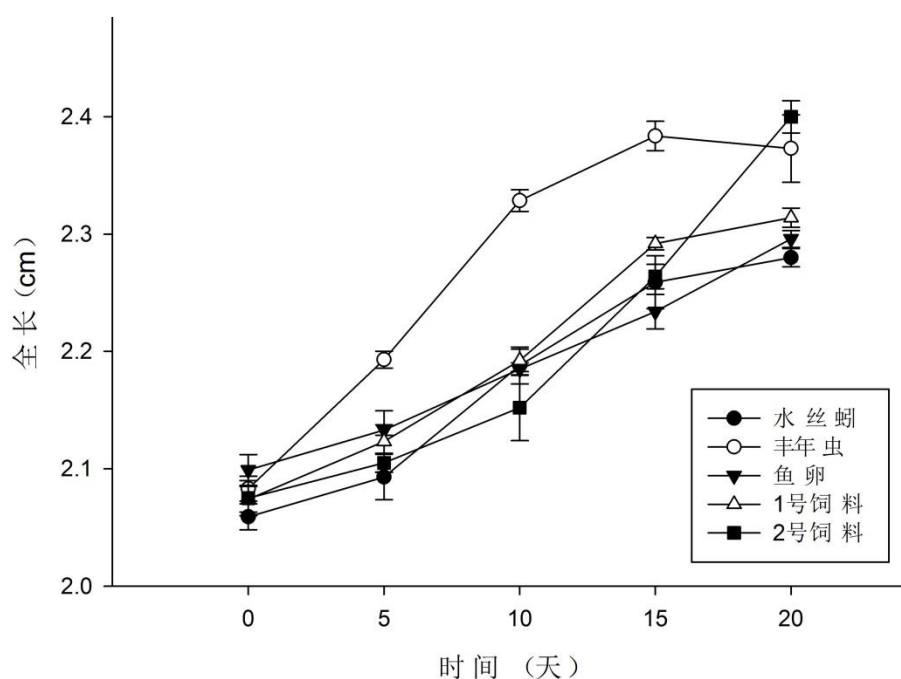


图 4-2 不同开口饵料投喂川陕哲罗鲑的全长生长情况

Fig. 4-2 Growth of *Hucho bleekeri* larvae in total length under different initial diets

分析了不同开口饵料可以显著影响川陕哲罗鲑仔鱼体重全长（表 3-2）和特定生长率（SGR）（ $P < 0.05$ ）（表 3-3）。10 d 和 20 d 时，各试验组的全长、体重和 SGR 表现出了一定的差异性。10 d 时，丰年虫组的全长、体重和 SGR 与其他各组

呈极显著差异 ($P<0.001$), 显著高于其他组。20 d 时, 丰年虫组的全长、体重与其他各组的差异性降低。各试验组的 SGR 在不同时期具有较大的差异。0~10 d 内, 丰年虫组的 SGR 都显著高于其他试验组; 10~15 d 时, 丰年虫组的特定生长率降低, 而 2 号饲料组显著高于其他试验组; 15~20 d 时, 丰年虫组的 SGR 降为 -0.38 ± 0.06 , 1 号和 2 号饲料组显著高于水丝蚓组和鲫鱼卵组。10~20 d, 丰年虫组出现负增长, 而两个饲料组的特定生长率上升明显, 其中 2 号饲料组在 10~15 d 时的特定生长率最高, 达到 $(3.63\pm0.06)\%$ 。

表 4-2 不同开口饵料投喂川陕哲罗鲑的生长情况

Table 4-2 Growth of *H.bleekeri* larvae under different initial diets

饲料	全长(cm)		体重(mg)	
	10d	20 d	10 d	20 d
水丝蚓	2.188 ± 0.016^a	2.280 ± 0.008^a	$51.2\pm0.9^{a,b}$	57.7 ± 1.0^a
丰年虫	2.349 ± 0.009^b	2.434 ± 0.012^b	63.1 ± 0.4^c	$62.7\pm0.7^{b,c}$
鱼卵	2.285 ± 0.005^c	2.356 ± 0.011^{ab}	53.4 ± 0.3^a	58.9 ± 0.3^a
1 号饲料	2.259 ± 0.011^{ac}	2.314 ± 0.008^{ab}	$51.1\pm0.8^{a,b}$	$61.1\pm0.2^{a,b}$
2 号饲料	2.222 ± 0.009^{ac}	2.280 ± 0.007^a	49.2 ± 0.4^b	$64.4\pm1.2^{b,c}$

表 4-3 不同开口饵料投喂川陕哲罗鲑的特定生长率

Table 4-3 Specific growth rate of *Hucho bleekeri* larvae under different initial diets

饲料	特定生长率/%			
	0~5 d	5~10 d	10~15 d	15~20 d
水丝蚓	0.83 ± 0.09^{ab}	0.67 ± 0.13^b	1.29 ± 0.18^a	1.10 ± 0.10^{ac}
丰年虫	4.25 ± 0.07^c	2.04 ± 0.34^c	0.25 ± 0.03^c	-0.38 ± 0.06^b
鲫鱼卵	1.67 ± 0.15^b	1.32 ± 0.23^a	1.20 ± 0.24^a	0.76 ± 0.22^c
1 号饲料	0.17 ± 0.15^a	1.36 ± 0.22^a	1.85 ± 0.23^a	1.74 ± 0.01^a
2 号饲料	0.21 ± 0.26^{ab}	0.25 ± 0.15^b	3.63 ± 0.06^b	1.75 ± 0.26^a

注: 不同的上标字母表示差异性显著, 下同。

Notes: Different superscripts indicate significantly difference, the same below.

4.2.2 不同开口饵料对仔鱼存活的影响

不同开口饵料组间川陕哲罗鲑仔鱼存活率差异较大 ($P<0.05$) (表 4-3)。丰年虫组的存活率最高, 为 $(91.11\pm 5.09)\%$, 其后依次为 2 号饲料组、1 号饲料组和鲫鱼卵组, 水丝蚓组的存活率最低, 仅为 $(43.33\pm 6.67)\%$ 。丰年虫组无明显的死亡高峰, 水丝蚓组死亡高峰为 15~20 d, 鲫鱼卵组死亡高峰发生在 10~20 d 内, 1 号和 2 号饲料组的死亡率在保持相对稳定。

表 4-3 不同开口饵料投喂川陕哲罗鲑的存活率

Table 4-3 Survival of *Hucho bleekeri* larvae under different initial feeding

饲料	存活率/%			
	5 d	10 d	15 d	20 d
水丝蚓	96.67 ± 3.33^a	91.11 ± 5.09^{ab}	80.00 ± 6.67^{ab}	43.33 ± 6.67^a
丰年虫	100 ± 0.00^a	98.89 ± 1.92^a	93.33 ± 3.33^b	91.11 ± 5.09^b
鲫鱼卵	96.67 ± 3.33^a	88.89 ± 5.09^{ab}	72.22 ± 8.39^{ab}	53.33 ± 14.53^{ab}
1 号饲料	93.33 ± 3.33^a	82.22 ± 5.09^{ab}	73.33 ± 3.33^a	64.44 ± 1.92^a
2 号饲料	98.33 ± 2.36^a	81.67 ± 2.36^b	65.00 ± 2.36^a	65.00 ± 2.36^a

4.3 讨论

川陕哲罗鲑为大型凶猛肉食性鱼类, 野生环境下, 幼鱼主要以蜉蝣目等水生昆虫为食, 成鱼主要摄食鱼类 (吴万荣, 1989)。在本研究中, 各组间养殖环境一致, 仔鱼规格基本等同, 用不同的开口饵料投喂。结果显示: 各组存活率丰年虫组>2 号饲料组>1 号饲料组>鲫鱼卵组>水丝蚓组。初期丰年虫组具有最高的生长率, 但 10 d 后, 其生长率显著下降, 甚至出现了逆生长现象。推断出长期选择丰年虫投喂川陕哲罗鲑仔鱼效果不佳, 可能的原因是由于丰年虫无节幼体个体太小, 单体能量不足, 随着仔鱼的生长发育, 为了饱食需进行大量的摄食运动, 造成了摄食消耗和获取能量之间的失衡。其次, 可能是丰年虫营养成分不够全面, 不能满足后期仔鱼的要求。

水丝蚓也是动物性活饵料, 在投喂前, 被剁成 1.0~2.0mm 的小节, 导致水丝蚓

失去了活性。投喂水丝蚓后，蚓体首先悬浮于水中，由于没有活性，随后缓慢下沉聚在一起。仔鱼摄食悬浮于水体中的蚓体，但随后因蚓体过大而吐出，造成了水丝蚓组仔鱼初期摄食率不高，影响了生长速度和存活率。在投喂后期，由于蚓体在水中的悬浮时间较短，沉入水底，而仔鱼很少到底部摄食，从而影响仔鱼正常摄食，即使能完全摄入蚓体并消化，仔鱼摄入量较少，导致生长率较低，到了后期，幼鱼摄入不足，仔鱼大量死亡。

鱼卵富含鱼类早期发育所需的营养物质，在水产苗种的培育中常作为单一开口饵料或者添加料（陈泳先 2012; Yoshitsugu *et al.* 2013）。在本试验中，粉碎的冰冻鲫鱼卵作为单独开口饵料，其存活率最低，且全长和体重的生长速度缓慢，推断出鲫鱼卵不利于川陕哲罗鲑仔鱼的生长或存活。可能的原因是：鲫鱼卵粉末首先悬浮于水面，而仔鱼极少浮出水面摄食，随着粉末融化，形成絮状物质并沉入水底，影响仔鱼的正常摄食，并对水质也造成一定影响。

试验过程中川陕哲罗鲑仔鱼对两种配合饲料的摄食率及摄食过程相似。两种饲料均为浮性料，投入到水里后，悬浮于水面，随后由于吸水并悬浮于水中，悬浮约 20 min。仔鱼主要摄食悬浮鱼水中的饲料。结果显示两组别间存活率没有显著性差异，但试验结束，2 号饲料组体重和全长的生长均高于 1 号饲料组，其原因可能是两种饲料营养成分的差异。

在 0~5 d，两个配合饲料组的特定生长率显著低于丰年虫和鱼卵组，而在 15 d 以后时，两个饲料组的特定生长率明显增加，超过其他三个组。其原因可能是在 0~5 d 内，由于饲料粒子的适口性较差，并且不能长时间在水层中悬浮，导致仔鱼的摄食时间过短，摄入量不足。在试验后期，随着仔鱼摄食及消化器官进一步发育，摄食能力增强，并且人工饲料具备比较全面的营养，因此在后期特定生长率显著提高。

基于本试验的结果和川陕哲罗鲑自然环境下的摄食特性，推荐川陕哲罗鲑最适的开口投喂方案为：在 0~10 d 投喂丰年虫，在 10 d 后在丰年虫逐步添加人工配合饲料投喂，“转食”后全部投喂人工配合饲料。受限于养殖条件，本试验仅持续了 20 d，并且每组的样本量比较少，测量过程对仔鱼的生长和存活存在一定的影响，因此不同开口饵料的长期生长效果还有待进一步研究。另一方面，利用粉碎的冰冻鱼卵作为鲑鳟鱼苗的开口饵料，在国外已有比较成功的例子，筛选不同鱼卵及处理方法以增强川陕哲罗鲑仔鱼的摄食率有待进一步研究。

第5章 展望和建议

自 Kimura (1934) 对四川灌县（都江堰）市场上购得 1 尾川陕哲罗鲑标本订名以来，刘成汉、周仰璟、吴万荣、丁瑞华等对其做了相关的生物学研究，对其保护具有重要的意义。但是近年来，由于人类因素的因素，兴建水利工程、金矿作业、砂石采集、过度捕捞、水体污染等，川陕哲罗鲑生境遭到严重的破坏，其自然资源量越来越少。

本文首次研究了川陕哲罗鲑的人工繁殖，观察了其胚胎、仔稚鱼形态学发育，研究了其仔鱼适合的开口饵料，为该物种的延续提供了重要的理论基础和技术支持。但是在研究中出现了较多的问题：仔鱼的出膜率和存活率都不高，仔稚鱼生长缓慢，仔稚鱼的疾病治疗，仔鱼开口后长时间的投喂效果等都需要进一步的实验验证。因此为更好的有效的保护川陕哲罗鲑物种数量，将来可以开展以下工作：

- 1、进一步研究亲鱼培育过程、催产药物的选择、催产药物的剂量。从而找出适合川陕哲罗鲑人工繁殖的方案，从而提高亲鱼体质，提高卵细胞和精子质量，提高仔鱼出膜率与成活率。

- 2、通过不同的孵化方式研究川陕哲罗鲑受精卵最佳的孵化方式，例如：模仿自然环境受精卵被细沙砾石覆盖的方式，不同光照强度下孵化、不同水流的孵化模式等。从而提高孵化率。当然受精率的孵化率，受到卵质量的影响，亲鱼的体质，性腺的成熟度，催产药物的种类和剂量、水温、溶氧等的影响。需要进一步的实验验证。

- 3、研究川陕哲罗鲑早期器官的发生发育，观察川陕哲罗鲑消化系统、视觉系统的研究，有利于确定仔鱼开口时间，间接提高川陕哲罗鲑仔稚鱼的存活率和生长率。

- 4、研究人工饲养条件下仔稚鱼转食的时间和种类。研究两种饵料之间搭配的比例，两种饵料该同时投喂多长的时间，再换位单一的饵料。例如仔鱼用丰年虫开口后何时添加水蚯蚓，已经丰年虫与水蚯蚓之间的比例，何时停止丰年虫的投喂，只投喂单一的水蚯蚓。研究适合川陕哲罗鲑幼鱼的饲料营养配方，提高幼鱼的存活率和生长率。

- 5、目前唯一发现川陕哲罗鲑的河流——陕西太白河，现在也存在各种问题：采矿作业，尾矿渣、浆排放到该河流中，以及两个水电站，将河流隔断，以及采石工程，导致该河流中下游段，其下游段已不适合川陕哲罗鲑的生存。因此保护其栖息

地以及产卵场尤为重要，是维持生物种群繁衍和发展的基础。需要尽快的调查和保护现存的栖息地。

6、川陕哲罗鲑产卵场的调查，通过跟踪川陕哲罗鲑野生亲鱼，找到其产卵场，并对产卵场进行严格的管理的和保护，从而有效的保护其自然资源量。

7、加强川陕哲罗鲑子一代的培育，对部分子一代进行人工增殖放流活动，并对增殖放流效果进行评估。另一部分的子一代则培育使其达到性成熟个体，研究其全人工繁殖。即在人工繁育下保护了川陕哲罗鲑的数量，也对野外的群体进行补充，对川陕哲罗鲑的保护具有重要的意义。

8、建立川陕哲罗鲑保护区，加强川陕哲罗鲑自然栖息地的保护，加强巡逻。防止非法捕捞和毒鱼现象的发生。通过走访当地居民，宣传川陕哲罗鲑物种的重要性，让当地居民也参与到川陕哲罗鲑的保护中。对意外发现的野生川陕哲罗鲑个体或者群体，应立即通知相关部门，政府给予发现者一定的奖励。

参考文献

1. 曹文宣. 梁子湖的团头鲂与三角鲂.水生生物学集刊, 1960, 1: 57-80
2. 曹志华, 邓伦飞, 李萍. 不同开口饵料对中华鲟仔鱼生长及成活率的影响. 湖北农业科学, 2007, 02: 278-280
3. 陈春山, 郑伟, 付海利, 杜迎春, 刘宁. 细鳞鲑人工繁殖关键技术. 中国水产, 2015, 04: 76-77
4. 陈舒泛, 周昕, 华元渝. 温度对全人工繁殖暗纹东方纯胚胎发育的影响. 水利渔业, 2003.5-6
5. 陈永详, 罗泉笙. 乌江上游四川裂腹鱼的胚胎发育. 四川动物, 1999, 16(4): 163-167
6. 陈泳先. 几种饵料对凡纳滨对虾亲虾繁殖性能的影响[硕士学位论文]. 广西: 广西大学图书馆, 2012
7. 程东海. 光唇鱼(*Acrossocheilus fasciatus*)育苗阶段的饵料选择及相关营养生理研究[硕士学位论文].浙江师范大学, 2012
8. 邓小林. 玛可河水域川陕哲罗鲑的濒危原因与保护措施. 甘肃农业, 2007, 06: 87-88
9. 丁瑞华, 方静. 川陕哲罗鲑保护生物学的研究Ⅱ. 性状及生态学资料. 四川动物. 1995(01): 16-19
10. 丁瑞华, 桂林华, 李明, 罗庆华. 川陕哲罗鲑及其保护生物学. 广西师范大学学报(自然科学版). 2010(02): 96-102
11. 丁瑞华, 卿足平. 川陕哲罗鲑保护生物学的研究Ⅰ. 分布区域及其变迁. 四川动物. 1994(04): 152-154
12. 丁瑞华. 四川鱼类志. 四川: 四川科学技术出版社, 1994: 37-40
13. 杜浩, 李罗新, 危起伟, 张书环, 王成友, 孙庆亮, 杨晓鸽, 李雷. 濒危物种川陕哲罗鲑在汉江上游太白河再发现. 动物学杂志, 2014, 03: 414
14. 杜佳, 徐革锋, 韩英, 牟振波. 尖吻细鳞鲑胚胎及仔、稚、幼鱼发育的研究. 大连海洋大学学报, 2010, 25(5): 379 - 385
15. 方家仲, 褚茂兵, 肖勤, 陈孝涨, 余海. 大黄鱼早期发育的形态学研究. 海洋科学, 2003, 06: 1-6.
16. 方静, 丁瑞华. 川陕哲罗鲑保护生物学的研究Ⅳ. 资源评价及濒危原因. 四川动物. 1995(03): 101-104.
17. 高立臣. 金鳊人工繁殖技术. 科学养鱼, 2002, 05: 14-15

18. 高玺章. 四川哲罗鲑(*Hucho bleekeri* Kimura)原始描述订正. 动物分类学报, 1981, 01: 84
19. 郭永灿. 水温对鲢鱼、草胚胎发育的影响. 淡水渔业, 1982, 03 : 35 -40
20. 豪富华, 陈毅峰, 蔡斌. 西藏亚东鲑的胚胎发育. 水产学报, 2006, 30(3): 289 - 296
21. 黄金善, 范兆廷, 贾钟贺等. 沉性大卵径鱼卵的观察方法与虹鳟的胚胎发育. 经济动物报, 2005, 9(4): 235 - 238
22. 江仁党. 不同开口饵料对虹鳟生长和存活率的影响. 南方水产, 2007, 03: 53-56
23. 乐佩琦, 陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书• 鱼类. 北京: 科学出版社, 1998
24. 雷霖霖等. 梭鱼人工育苗的研究. 海洋水产研究资料. 北京: 农业出版社. 1965: 23-3
25. 李福贵, 但唐兴, 林绍南, 邹曙明. 亚东鲑人工繁殖与野生群体的形态和微卫星多态性分析. 江苏农业科学, 2015, 05: 226-229
26. 李怀明, 牟振波, 李小龙, 李永发: 高白鲑人工繁殖试验初报. 鲑鳟渔业 1988(01): 80-83+84.
27. 李平, 王丰, 问思恩. 秦岭细鳞鲑亲鱼培育和人工繁育技术研究. 上海海洋大学学报, 2015, 06: 841-846.
28. 李思忠. 中国鲑科鱼类地理分布的探讨. 动物学杂志. 1984(01): 34-37.
29. 李忠利, 严太明. 贝氏高原鳅胚胎和仔鱼的形态发育. 水生生物学报, 2009, 04: 636-642.
30. 林华英. 温度对鲤鱼胚胎发育的影响. 动物学杂志, 1981.10-13
31. 林业局, 农业部. 国家重点保护野生动物名录. 1989.
32. 刘成汉. 四川川陕哲罗鲑. 水产科技情报. 1978(04): 21+32.
33. 刘健康和何碧梧. 中国淡水鱼类养殖学. 北京: 科学出版社, 1992.
34. 柳学周, 徐永江, 马爱军, 姜言伟, 翟介明. 温度、盐度、光照对半滑舌鳎胚胎发育的影响及孵化条件调控技术研究[J]. 海洋水产研究, 2004, 06: 1-6.
35. 楼允东. 组织胚胎学. 北京: 中国农业出版社, 1996: 314-319.
36. 陆桂等. 钱塘江附鱼的自然繁殖及人工繁殖. 上海水产学院论文集. 1964: 1-28
37. 陆桂等. 钱塘江细鱼增殖问题的初步研究. 太平洋西部渔业委员会, 第七次全体会议论文集. 北京: 科学出版社. 1966: 95-101
38. 牟振波, 李永发, 徐革锋, 张玉勇, 刘洋. 细鳞鱼全人工繁育技术的研究. 水产学杂志, 2013, 01: 15-18.
39. 庞诗宜. 环境温度对金鱼胚胎发育的影响. 实验生物学报, 1961. 271 -278.
40. 祁得林, 晁燕, 杨成, 申志新, 唐文家. 川陕哲罗鲑 Cyt b 基因克隆及其在鲑亚科中的系统发育关系. 四川动物, 2009, 06: 805-809.

41. 乔晔. 长江鱼类早期形态发育与种类鉴别[博士学位论文]. 武汉: 中国科学院研究生院(水生生物研究所)图书馆, 2005
42. 申玉春. 鱼类增养殖学北京: 中国农业出版社, 2008: 7-9
43. 申志新, 唐文家, 李柯懋. 川陕哲罗鲑的生存危机与保护对策. 淡水渔业. 2005(04): 25-28+60
44. 申志新, 唐文家, 李柯懋. 青海省玛柯河数量变动及原因分析. 水利渔业. 2006(01): 71-73
45. 施德亮, 危起伟, 孙庆亮, 等. 秦岭细鳞鲑早期发育观察. 中国水产科学, 2012, 19(4): 557 - 567
46. 孙儒泳. 动物生态学原理. 北京: 北京师范大学出版社, 1992
47. 唐国盘. 中华鲟胚胎发育和早期生活史阶段耗氧率的研究[硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学图书馆, 2005
48. 唐敬伟, 任波. 细鳞鱼的人工繁殖与苗种培育. 黑龙江水产, 2013, 01: 2-6.
49. 王凤, 张永泉, 尹家胜. 川陕哲罗鱼、太门哲罗鱼及石川哲罗鱼的生物学比较. 水产学杂志. 2009(01): 59-63.
50. 王国恩. 鱼类早期胚胎发生及环境影响东北师大学报(自然科学版), 1988, 3: 115-131
51. 王宏田, 张培军. 环境因子对海产鱼类受精卵及早期仔鱼发育的影响, 海洋科学, 1998, 4: 50-52
52. 王炜, 王建军. 太白县志. 西安: 三秦出版社. 1995
53. 王武. 鱼类增养殖学. 北京: 中国农业出版社, 2000, 183-256.
54. 王小磊. 热冲击、pH、盐度及饥饿对黄颡鱼早期发育阶段的影响[硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学图书馆, 2001.
55. 王绪桢, 何舜平, 张涛. 秦岭西段鱼类多样性现状初报. 生物多样性, 2000, 8(3): 312-313.
56. 王中乾, 赵虎, 张红星, 李军文. 细鳞鲑人工繁殖技术初探[J]. 河南水产, 2011, 02: 36-38.
57. 韦正道, 王昌 燮屈云芳董海陈延熹顾宏达郭永. 孵化期温度对松江 鲈鱼胚胎发育的影响. 复旦学报 (自然科学版), 1997, 36(5). 577 -580
58. 吴金明, 杨焕超, 王成友, 杜浩, 危起伟. 不同开口饵料对川陕哲罗鲑仔鱼生长和存活的影响. 四川动物, 2015, 05: 752-755
59. 吴万荣. 布氏哲罗鲑年龄与生长的初步研究. 水产学报, 1987, 11(1): 37-44
60. 吴万荣. 大川河川陕哲罗鲑数量变动及其原因的探讨. 水产科技情报. 1988(05): 3-6
61. 吴兴兵, 杨德国, 朱永久, 何勇凤, 詹会祥, 郭威, 陈永柏. 不同开口饵料对四川裂腹鱼仔鱼生长和成活率的影响. 淡水渔业, 2014, 06: 9-12+23

62. 武云飞, 陈瑗. 青海省果洛和玉树地区的鱼类. 动物分类学报. 1979(03): 287-296.
63. 谢刚, 祁宝斋, 余德光, 曾超. 鳊鲌胚胎和早期仔鱼的耗氧量. 大连水产学院报, 2000, 15(4) : 250 -253
64. 徐革锋, 尹家胜, 刘洋, 李永发, 杜佳, 牟振波. 哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)的人工育苗技术初步研究. 上海海洋大学学报, 2010, 02: 178-183
65. 徐伟, 孙慧武, 关海红, 匡友谊, 陆九韶, 尹家胜. 哲罗鱼全人工繁育的初步研究. 中国水产科学 2007(06): 896-900
66. 易建华. 不同开口饵料对胭脂鱼仔稚鱼成活率的影响[硕士学位论文].西南大学图书馆, 2014.
67. 殷名称. 北海鲱卵黄囊期仔鱼的摄食能力和生长. 海洋与湖沼, 1991, 22(6): 554-560
68. 殷名称. 鱼类生态学. 北京: 中国农业出版社, 1995a.
69. 殷名称. 鱼类仔鱼期的摄食和生长. 水产学报, 1995b, 04: 335-342
70. 殷名称. 鱼类早期生活史阶段的自然死亡. 水生生物学报, 1996, 04: 363-372
71. 殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展. 水产学报, 1991, 15(4): 348-358
72. 袁锡立, 刘本祥, 薛治国, 谭国良, 颜忠, 邬永忠. 胭脂鱼仔鱼开口饵料的初步研究. 淡水渔业, 2004, 02: 14-15
73. 张北平, 蔡林钢. 高白鲑受精卵人工孵化及胚胎发育观测. 水产学杂志, 2001 14(2): 24 - 27
74. 张春光, 赵亚辉. 胭脂鱼的早期发育. 动物学报, 2000, 46(4): 438-447
75. 张春霖, 刘成汉. 岷江鱼类调查及其分布的研究. 四川大学学报(自然科学版). 1957(02): 221-247
76. 张海发, 刘晓春, 王云新, 刘付永忠, 黄国光, 罗国武, 王宏东, 林浩然. 温度、盐度及 pH 对斜带石斑鱼受精卵孵化和仔鱼活力的影响[J]. 热带海洋学报, 2006, 02: 31-36.
77. 张涛, 庄平, 章龙珍, 王斌, 高露姣, 夏永涛, 田美平. 不同开口饵料对西伯利亚鲟仔鱼生长、存活和体成分的影响. 应用生态学报, 2009, 02: 358-362
78. 张耀光, 何学福, 蒲德永. 长吻鲢胚胎和后发育与温度的关系. 水产学报, 1991, 15(2). 172 -176
79. 张永泉, 尹家胜, 贾钟贺等. 哲罗鱼胚胎和仔鱼发育的研究. 大连水产学院学报, 2008, 23(6): 425 - 430
80. 张再齐. 虹鳟鱼人工繁殖及稚鱼早期管理的一些体会. 中国水产, 1993(11): 28
81. 赵晓临, 徐浩然, 张健, 孙玉芝, 王兴兵. 哲罗鱼开口饵料试验. 河北渔业, 2015, 07: 35-36

82. 郑怀平. 鱼类早期生活史的营养与摄食. 盐城工学院学报, 1999, 03: 63-66
83. 周汉书. 养殖鱼类人工繁殖技术. 北京: 北京科学普及出版社, 1986, 2-6
84. 周仰璟, 吴万荣, 姚维志. 虎嘉鱼生物学研究. 西南农业大学学报. 1994(01): 72-75
85. 周仰璟, 吴万荣. 川陕哲罗鲑食性及食物消化的研究. 鲢鳙渔业. 1990(01): 67-72+64
86. 周仰璟, 吴万荣. 大川河川陕哲罗鲑产卵场条件及其产卵习性的初步研究. 鲢鳙渔业. 1988(01): 67-73+64
87. 周玉, 杨振国, 张俊辉. 神仙鱼胚胎和仔鱼发育的初步观察. 上海水产大学学报, 2001, 04: 370-373
88. Beacham TD, Murray CB. Temperature, egg size, and development of embryos and alevins of five species of Pacific salmon: a comparative analysis. Transactions of the American Fisheries Society. 1990, 119(6): 927-945
89. Bermudes M, Ritar AJ. Effects of temperature on the embryonic development of the striped trumpeter *Latris lineate* (Bloeh and Schneider, 1801). Aquaculture, 1999, 176: 245-255
90. Bjornsson B, Steinarsson A, Oddgeirsson M. Optimal temperature for growth and feed conversion of immature cod (*Gadus morhua* L.). ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil, 2001, 58(1): 29-38
91. Blaxter JH. Development of sense organs and behavior in teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance. Transactions of the American Fisheries Society, 1986, 115: 98-114
92. Blaxter JH. Pattern and Variety in Development. Fish physiol, 1988, 11: 1-58
93. Braum E. Ecological aspects of the survival of fish eggs, embryos and larvae. Ecology of freshwater fish production, Black well Scientific Publications. 1978: 102-126
94. Devlin RH. Genetic, environmental and interaction effects on the incidence of jacking in *Oncorhynchus tshawytscha* (Chinook salmon). Heredity, 1994, 72(2): 146-154
95. Fukushima M. Spawning migration and redd construction of Sakhalin taimen, *Hucho perryi* (Salmonidae) on northern Hokkaido Island, Japan. Journal of fish biology, 1994, 44(5): 877-888
96. Hamor T, Garside E. Developmental rates of embryos of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in response to various levels of temperature, dissolved oxygen, and water exchange. Canadian Journal of Zoology, 1976, 54(11): 1912-1917
97. Heath DD, Devlin RH, Heath JW, Iwama GK. Genetic, environmental and interaction effects on

- p>the incidence of Jacking in
98. Hokanson KEF. Temperature requirements of some pericids and adaptations to the seasonal temperature cycle. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 1977, 34(10): 1524-1550
 99. Holcik J, Hensel K, Nieslanik J, et al. The Eurasian huchen, *Hucho hucho*. Largest salmon in the World. Dr. W. Junk Publishers. Dordrecht. Boston. Lancaster, 1988. 239
 100. Hubbs CL. Terminology for early stages of fishes. *Copeia*, 1943, 260
 101. Jungwirth, M. Ovulation inducement in prespawning adult Danube salmon (*Hucho hucho*, L.) by injection of acetone-dried carp pituitary (cP), *Aquaculture*. 1979, 17(2): 129-135
 102. Kendall AWJ, Ahlstrom EH, Moser HG. Early life history stages of fishes and their characters. In: *Ontogeny and Systematics of Fishes*. Lawrence: The American Society of Ichthyologists Herpetologists, Spec Publ, 1984.
 103. Kendall JA, Ahlstrom EH, Moser HG. Early life history stages of fishes and their characters. *Ontogeny and systematics of fishes*, 1984, 1: 11-22
 104. Kimura S. Description of the fishes collected from the Yangtze-kiang, China, by the late Dr. K. Kishinouye and his party in 1927-1929. *Journal of the Shanghai Science Institute*, 1934, 3(1) : 23-25
 105. Koumoundouros G, Divanach P, Anezaki L, Kentouri M. Temperature-induced ontogenetic plasticity in sea bass (*Dicentrarchus Labrax*). *Marine Biology*, 2001, 139(5): 817-830
 106. Kovac V. Synchrony and heterochrony in ontogeny (of fish). *Journal of theoretical biology*, 2002, 217(4): 499-507
 107. Martell DJ, Kicffer JD, Trippel EA. Effects of temperature during early life history on embryonic and larval development and growth in haddock. *J Fish Biol*, 2005, 66: 1558-1575
 108. Ojanguren AF, Braña F. Thermal dependence of embryonic growth and development in brown trout. *Journal of Fish Biology*, 2003 62(3): 580-590
 109. Ostholm T, Brannas E, Veen T. The pineal organ is the first differentiated light receptor in the embryonic salmon, *Salmo salar* L. *Cell and Tissue Research*. 1987, 249(3): 641-646
 110. Rand PS. Current global status of taimen and the need to implement aggressive conservation measures to avoid population and species-level extinction. *Archives of Polish Fisheries*. 2013, 21: 119
 111. Rosenthal H, Hemple G. Experimental studies in feeding and food requirements of herring larvae

- (*Clupea harengus* L.). Marine food chains, 1971, 344-364
112. Schnack D, Studies on the mortality of Pacific herring larvae during-their early development of the Interior U S. Fish and Wildlife Service. 1981, 178: 135-142
 113. Stickland NC, White RN, Mescall PE, et al. The effect of temperature on myogenesis in embryonic development of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Anatomy and embryology, 1988, 178(3): 253-257
 114. Wang K, Zhang SH, Wang DQ, Wu JM, Wang CY, Wei QW. Conservation genetics assessment and phylogenetic relationships of critically endangered *Hucho bleekeri* in China. J. Appl. Ichthyol. 2016, 1-7
 115. Wang K, Zhang SH, Wang DQ, Xin MM, Wu JM, Sun QL, Du H, Wang CY, Huang J, Wei QW. Development of 27 novel cross-species microsatellite markers for the endangered *Hucho bleekeri* using next-generation sequencing technology. Conservation Genet Resour , 2015, 7: 263-267
 116. Wang Y, Guo R, Li H, Zhang X, Du J, Song Z. The complete mitochondrial genome of the Sichuan taimen (*Hucho bleekeri*): Repetitive sequences in the control region and phylogenetic implications for Salmonidae. Marine Genomics, 2011, 4: 221-228
 117. Witkowski A, Kokurewicz B, Kowalewski M. Early scale developmend in the Danube salmon *Hucho hucho* (L.) (Pisces: Salmonidae). Acta Hydrobiologica, 1984, 25/26: 215-223
 118. Witkowski A, Kokurewicz B. The embryonal and postembryonal development of the Danube salmon *Hucho hucho* (L.) (Pisces: Salmonidae). Acta Hydrobiologica, 1981, 23(1): 85- 94
 119. Yin M, Craik J. Biochemical changes during development of eggs and yolk-sac larvae of herring and plaice. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 1992, 10: 347-358
 120. Yoshitsugu Masuda, Tadao Jinbo, Hitoshi Imaizumi, et al. A step forward in development of fish protein hydrolysate-based diets for larvae of Japanese eel *Anguilla japonica*. Fisheries Science, 2013, 79(4): 681-688
 121. Zhang S, Wei Q, Du H, Li L. The complete mitochondrial genome of the Endangered *Hucho bleekeri* (Salmonidae: huchen). Mitochondrial DNA. 2013, 0(0): 1-2

附录 I 发表的论文

1. 杨焕超,杨晓鸽,吴金明,王成友,危起伟.川陕哲罗鲑 (*Hucho bleekeri*) 个体的早期发育观察.中国水产科学, (已接受)
2. 张书环,杨焕超,辛苗苗,吴金明,戴振国,杜浩,刘志刚,危起伟. 长江江苏溱浦段 2015 年发现中华鲟野生幼鱼的形态和分子鉴定 [J]. 中国水产科学,2016,23(1):1-9.
3. 郭威, 厉萍, 杨焕超, 杜浩, 吴金明, 危起伟. 川陕哲罗鲑精子形态学及超微结构研究.四川动物, (已接受)
4. 吴金明,杨焕超,王成友,杜浩,危起伟. 不同开口饵料对川陕哲罗鲑仔鱼生长和存活的影响[J]. 四川动物,2015, 34(5):752-755.
5. 任泷,吴金明,李雷,霍来江,杨焕超,杜浩,危起伟. 赤水河中华倒刺鲃的形态分化及 Cytb 基因序列比较研究[J]. 淡水渔业,2014,44(6):58-64.
6. Wei Li, Qiwei Wei, Heng Wang, **Huanchao Yang**. Brackish water readiness of juvenile Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* artificially propagated in freshwater. Journal of Fish Biology, (under review)

附录 II 参加的课题

1. 川陕哲罗鲑人工繁育技术研究：中国水产科学研究院基本科研业务费（2014A07XK05）
2. 中华鲟自然繁殖及早期胚胎发育河床质适合度研究
3. 中华鲟性腺发育成熟规律及其人工调控技术研究 31172413
4. 参与中华鲟达氏鲟的繁殖
5. 参与长江口中华鲟幼鱼监测
6. 参与秋季中华鲟产卵场的调查
7. 参与中华鲟、达氏鲟、胭脂鱼、中华倒刺鲃等鱼的增殖放流活动。
8. 参与长江中游宜昌到荆州段渔获物调查

致谢

本论文完成之际，首先我要感谢我的导师中国水产科学研究院长江水产研究所危起伟研究员、博士。在学习期间，言传身教，深感危老师的学识渊博，人格的高尚。危老师对我的整个实验设计，实验方案的实施，实验论文的撰写整个过程中提出了许多宝贵意见。导师不仅在学习上对我严格要求和鞭策，同时给予我指导和支持，在生活上同样给了我极大的关心和鼓励，是我能够顺利完成硕士论文的前提，使我对科研工作有了进一步的系统化和深入，在科学的领域有了探索创新的机会。

其次，我要感谢本论文指导小组的老师中国水产科学研究院长江水产研究所杜浩副研究员、王成友副研究员、吴金明助理研究员。感谢他们在实验上对我的帮助，对我试验的选题、设计和执行给与了大量的指导。同时在生活中，给与了很多的帮助，尤其是在野外考察中给予的指导，当我受益匪浅。

感谢长江水产研究所张辉副研究员、张书环副研究员、历萍副研究员在修改文章以及出差生活中的帮助。

感谢中国水产科学研究院长江水产研究所刘志刚老师、沈丽老师、郭霞女士、周琼女士在实验仪器、资金方面、资料打印和财务报账等方面给予的方便！感谢孙勇虎先生、胡志华先生、王厚建先生在出差运输实验器材给予无私的帮助！

衷心感谢华中农业大学李俊辅导员，对我研究生生活以及学习上的照顾。

西南大学梁志强师兄、蔺丹青师姐、李君轶师兄、辛苗苗师姐、同门颀璇、邸军师弟，华中农业大学李艳华师兄、李伟师兄、李雷师兄、孙庆亮师兄、任泷师兄、霍来江师兄、王恒师兄、同门张磊、同门刘阳、颀江师弟、向浩师弟、翟晴师妹，水生所刘猛师兄、叶欢师兄、杨晓鸽师姐、成为为师姐、席萌丹师姐、同门郭威、黄君师妹，南京农业大学汪珂师姐、褚志鹏师弟，上海海洋大学单喜双师兄、同门宋明月。谢谢你们在我研究生生活中给予的帮助、支持与鼓励，谢谢你们在我实验中给予的帮助，在此向你们表示衷心感谢！

感谢王义辉、何光胜、何宗科、何彦、李威典、何飞、李罗新、乔新美、雄伟、等同志，他们在实验中给予的帮助。

想念与王义辉先生、杨晓鸽、辛苗苗师姐一起在陕西深山的生活，感谢你们一路的陪伴，这些日子值得珍藏一辈子！

感谢华中农业大学和中国水产科学研究院长江水产研究所给我提供这个平台，

让我完成硕士学习！

本研究得到了中国水产科学研究院基本科研业务费（2014A07XK05）“川陕哲罗鲑人工繁育技术研究”和公益性行业（农业）科研专项（201203086）“珍稀水生动物繁育与物种保护技术研究”的支持，在此表示感谢。

最后感谢我的父母、妹妹及其他家人，是你们给予了我无限的动力和鼓励，是你们在背后默默的支持和理解才有我今天的成绩，特别感谢父母多年来对我的养育与培育之恩。

再次感谢所有关心和帮助过我的人们！谢谢！祝你们幸福！