

白点鲑胚胎与仔鱼发育

张永泉^① 刘奕^② 王炳谦^① 李永发^① 李建兴^① 白庆利^{①*}

(^① 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所 哈尔滨 150070; ^② 东北农业大学动物科学技术学院 哈尔滨 150030)

摘要: 通过 Bouin's 液、5% 的福尔马林、透明液固定和活体解剖观察等 4 种不同方法,对白点鲑 (*Salvelinus leucomaenis*) 胚胎和仔鱼发育进行了系统观察,描述了早期发育过程。白点鲑受精卵为端黄卵,沉性,橙黄色,呈圆球形。在水温 3.40~8.89℃,受精卵历时 1 944 h,经历 6 个阶段的胚胎发育破膜孵出仔鱼;初孵仔鱼全长 (17.89±0.32) mm,破膜后 73 d 各鳍条发育完全,并出现“幼鲑斑”,破膜后 350 d 鱼体外部形态与成鱼基本相同。将白点鲑与几种鱼类进行了对比,并且探讨了其胚胎发育特点。经比较 4 种不同观察方法, Bouin's 液固定后剥离卵膜观察是研究白点鲑等卵膜较厚鱼类的理想方法。

关键词: 白点鲑;胚胎发育;仔鱼发育

中图分类号:Q954 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2010)05-111-10

The Embryonic and Larval Development in *Salvelinus leucomaenis*

ZHANG Yong-Quan^① LIU Yi^② WANG Bing-Qian^① LI Yong-Fa^①

LI Jian-Xing^① BAI Qing-Li^{①*}

(^① Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070;

^② College of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: The embryonic and larval development in *Salvelinus leucomaenis* was studied for the first time by 4 different methods of fixation by Bouin's, by 5% formalin, by transparent agent and vivisectional observation. The zygote of *S. leucomaenis* was demersal, telolecithal, orange and spherical. At 3.40–8.89℃, the larvae with a yolk sac hatched after 6 stages of embryonic development which lasted for 1 944 h. The body of the newly hatched larvae measured 17.89±0.32 mm in length. Pterygiophore developed completely and the “parr•mark” appeared on the 73rd day post-hatch. On the 350th day the larvae were almost the same as adult fish in their appearance. The characteristics of the embryonic development in *Salvelinus leucomaenis* were discussed by comparison with other species. The ideal method for researching the eggs with thick membrane was to strip the membrane after eggs were fixed by Bouin's fluid.

Key words: *Salvelinus leucomaenis*; Embryonic development; Larvae development

白点鲑 (*Salvelinus leucomaenis*) 隶属鲑科红点鲑属,原产于日本河川、溪流,鱼体呈纺锤形,体被圆鳞且很小,身体背部呈褐色,体侧布满白色或灰色小斑点,故曾名白斑红点鲑,引进国内后定名为白点鲑。目前我国水产品市场红点鲑属的鱼类需求旺盛,苗种供应短缺,白点鲑作为一种优良的淡水养殖新对象,开发利用前景广阔。

中国水产科学研究院黑龙江水产研究所于 1996 年 12 月从日本东京水产大学引进发眼卵

基金项目 黑水研基本科研专项项目 (No. 2008HSYZX-YZ-01),农业部鱼类生物育种实验室项目 (No. 2008NYBZS-01);

* 通讯作者, E-mail: bq12002sc@hotmail.com;

第一作者介绍 张永泉,男,硕士;研究方向:鱼类育种; E-mail: atai0805@163.com。

收稿日期:2009-12-06,修回日期:2010-04-22

1.0 万粒,由于我国气候、地理等条件的特殊性,白点鲑引进后不可避免地要发生一系列的生理生化变异。齐藤薰等和关泰夫等报道白点鲑可在水温 9~11℃ 的饲养条件下进行早期发育^[1-2]。白点鲑作为引进新品种,目前在国内对其发眼卵的贮存与人工孵化进行了报道^[3]。我国对温水性鱼类的胚胎发育报道较多^[4-10],对冷水性鱼类胚胎发育方面的相关报道较少^[11-13]。由于白点鲑为冷水性鱼类,其卵为沉性卵,具有卵径大、卵膜厚、发育时间长,肉眼无法直接观察等特点,这为系统研究其胚胎发育带来了极大的困难。本研究在国内外其他学者经验的基础上,采用结果更加准确可靠的去膜直接观察和固定发育时相结合的方法,并利用先进仪器设备对白点鲑胚胎和仔鱼发育进行了观察,不但丰富我国鱼类早期发育的研究,也为白点鲑人工繁殖以及苗种驯化提供更为详尽资料,从而为该品种在国内推广打下坚实理论基础。

1 材料与方 法

1.1 实验材料 实验鱼取自中国水产科学研究院黑龙江水产研究所渤海冷水鱼类试验站。达到性成熟的亲鱼,经过人工繁殖,所获受精卵用于胚胎发育观察,实验分两批次进行。

1.2 实验方法 人工产卵后获得受精卵放平列槽中流水孵化,所有样品均用 Motic SML-468 型体视显微镜(目镜 6.25×,物镜连续变倍 1.0~5.2 倍)下反复观察,当发育过程中 30% 以上个体达到某个时期则记为该发育阶段起始时间,从前一发育阶段到下一发育阶段的起始时间则为间隔时间,用 RC-T601A 智能便携式温度记录仪每隔 30 min 记录一次水温, Motic Image Plus 3.2 显微成像系统照相。

1.2.1 活体观察 取受精卵 30~50 粒在解剖镜下胰蛋白酶处理后立即观察。

1.2.2 取样固定观察 每次采集 30 粒受精卵,采样时间间隔,受精后 0~3 h 内间隔 15 min, 3~8 h 间隔 30 min, 8~33 h 间隔 1 h, 33~81 h 间隔 2 h, 81~129 h 间隔 6 h, 129~215 h

间隔 12 h, 215 h 到破膜间隔 24 h,破膜后间隔 48 h 采样一次,分别用 Bouin's 液、5% 的福尔马林和透明液(氯化钠 7 g、冰醋酸 50 ml、蒸馏水 1 L)3 种固定液固定。

2 结果与分析

2.1 胚胎发育 胚前发育期间温度变化见图 1,在孵化第 11 天温度开始降低。白点鲑受精卵在水温 3.40~8.89℃ 条件下整个胚胎发育过程分为 6 个大的发育阶段:受精卵阶段历时 21 h,卵裂阶段历时 53 h,囊胚阶段历时 190 h,原肠阶段历时 106 h,神经胚阶段历时 48 h,器官形成阶段历时 1 526 h。整个胚胎发育过程进一步可细分为 23 个发育分期(表 1),从受精卵到孵化出膜历时 1 944 h。

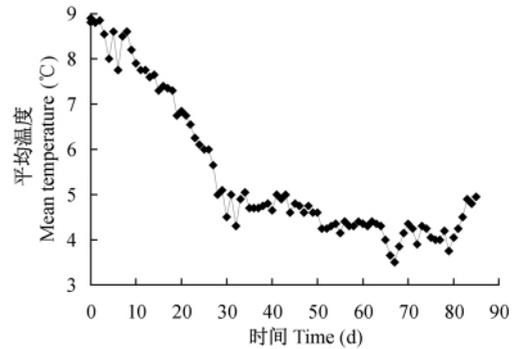


图 1 胚前发育期间温度变化

Fig. 1 The temperature change in pre-embryonic development

2.1.1 受精卵 白点鲑卵为端黄卵,成熟的卵呈圆球形,比重大于水,含大量卵黄,卵色呈桔黄色(图版 I:1),未吸水时卵径(5.76±1.33) mm,吸水后膨胀 54 min 后,卵径膨胀到最大值(6.17±0.15) cm。吸水膨胀后卵黄与卵膜之间出现围卵黄周隙。受精后 4 h 原生质开始向卵动物极聚集,逐渐隆起出现盘状胚盘,胚盘的形成成为卵裂奠定了基础(图版 I:2)。

2.1.2 卵裂期 受精 21 h 出现第一次卵裂、经裂,隆起的胚盘向两边拉长,盘顶部中央产生一裂痕并逐渐加深形成分裂沟,继而将胚盘一分为二,形成两个基本相等的分裂球,进入 2 细胞期(图版 I:3);受精 30 h 出现第二次卵裂,

与第一次卵裂垂直,形成4个大小相等的细胞,进入4细胞期(图版 I:4);36 h 出现第三次卵裂,两个经裂面与第一次卵裂平行,出现8个细胞,细胞大小相似,排列两行,每行4个进入8细胞期(图版 I:5);受精40 h 出现第四次卵裂,有两个分裂面,与第一个分裂垂直,16个分裂球分成4排,每排4个,即16细胞期(图版 I:6);随着细胞的不断分裂,分裂球越分越小,细胞不断变多,但界线尚清楚,分裂球大小不一,形成多细胞的胚体,进入分裂后期(图版 I:7)。

2.1.3 囊胚期 如图版 I:8 所示随着细胞迅速分裂增多胚盘隆起达最高,此时期细胞变小,胚盘细胞堆积如帽状,胚体与卵黄物质交界明显,但交界边缘很不完整,为囊胚早期。受精152 h 随着囊胚边缘细胞的增多,已看不出细胞个数,胚盘面积不断变大,随之变得稍扁平,胚胎进入囊胚中期,此时期胚体与卵黄囊交界边缘很规整,由于分裂结果交界处形成胚周区——多核合胞体(图版 I:9)。受精178 h 囊胚层逐渐变低,与卵黄囊连接较平滑,囊胚细胞继续内卷形成不太明显的胚环,胚层继续下包,胚环形成可以分薄厚两面,原生质网消失,进入囊胚晚期(图版 I:10)

2.1.4 原肠期 受精后264 h 胚环继续下包和内卷明显,下包到1/3处,在未来胚环一侧出现增厚盾状突起,称为胚盾(图版 I:11),进入原肠早期;受精后312 h 也就是受精后97.34℃·d,胚环继续下包到1/2处,胚盾明显增长,头突出现,胚体开始延长并逐步完整,此时为原肠中期(图版 I:12);受精后336 h 胚环下包到3/4,植物极由胚层包裹形成胚孔,漏出极少的卵黄,形成未来卵黄栓,胚盾逐渐延伸,超过动物极顶部,胚体基本形成,进入原肠晚期(图版 I:13)。

2.1.5 神经胚期 受精后370 h 胚盘下包4/5,神经板形成,胚体转为侧卧,胚体后端有一个圆形原口,未包入的卵黄像一个栓子,栓子在原口上,称为“卵黄栓”,胚体头部较中后部明显隆起增大,可看出头部雏形(图版 I:14);受精后394 h 胚体头尾分解明显,胚体前端的两

侧出现一对肾性突起,为眼原基(图版 I:15)此时胚孔尚未关闭。

2.1.6 器官发生期 受精后418 h 胚孔关闭,胚盘完全包住卵黄,脊索呈柱状,神经板头端隆起,头部雏形更见明显(图版 I:16)。受精后442 h 在眼前方腹面有一团暗色斑块,称为嗅囊,眼原基进一步发育,形成长椭圆形眼囊,称为眼囊形成期(图版 I:17);从图版 I:18 可看出受精后586 h 胚体尾部向后发育延长,尾芽形成;经过48 h 的发育,尾部脱离卵黄囊形成透明的鳍皱(图版 I:19);受精后682 h 在头部后方两侧出现胸鳍原基(图版 I:20);图版 I:21 所示,受精后730 h 眼原基进一步发育,眼囊中发育形成晶体,解剖镜下可见剥离的眼囊和晶体(图版 II:1);如图版 II:2,受精后826 h 眼部开始出现黑色素,眼囊逐渐变黑;受精后1542 h 剥离卵皮,在卵黄囊上方可见管状的心搏动,68~79次/min,这时期鱼体透明,鱼周身血流清晰可见,并且有大量血管分布到卵黄囊,血液淡红色,此时期为循环期(图版 II:3);

受精后1944 h 胚体继续增长,鳍褶变宽,卵黄囊上血管增多,胚体较之前扭动剧烈,卵膜逐渐变薄,加上胚体运动的牵拉,使卵膜破裂,仔鱼破膜而出,经过观察仔鱼的破膜可以分为两种方式,大多数以头部从裂口孵出(图版 II:4),也有个别以尾部从裂口孵出(图版 II:5)。刚出膜的鱼体无色素,头部向卵黄囊方向弯曲,出膜后的仔鱼经短暂游动后随即沉入底部静卧,极少动,卵黄囊呈长椭圆形(图版 II:6),在破膜的个体中发现个别为畸形(图版 II:7、8),可能是在孵化过程中的外部刺激所导致,但具体原因有待进一步研究。

2.2 白点鲑仔鱼发育 如图版 III:1,破膜后3 d 肛突明显,身体布满黑色素,经 Bouin's 液固定明显可见背鳍和腹鳍原基,鳍条尚未分化;破膜后17 d 鳃弓出现,身体血液和组织液流动清晰可见;破膜后25 d 解剖观察肠前端出现缢痕,形态上胃、肠分界清晰可分(图版 III:2),Bouin's 液固定消化管着色较深,胃开始分化;破膜后34 d 上下颌骨明显钙化,口能自由闭

表 1 白点鲑胚胎发育时序
Table 1 Duration of embryogenesis of *Salvelinus leucomaenis*

| 序号 No. | 发育时期 Development stage | 受精后 (h) Time after fertilization | 水温 (°C) Water temperature | 胚胎发育积温 (°C·d) Thermal constant of embryonic development | 图版 Order in the plate |
|-----------|---------------------------------|--|------------------------------|---|-----------------------------|
| 1 | 受精卵 Fertilized egg | | 8.17 | | I:1 |
| 2 | 胚盘隆起 Blastodisc | 4 | 8.89 | 1.47 | I:2 |
| 3 | 第一次卵裂 (2 细胞期) 2-cell stage | 21 | 7.76 | 7.31 | I:3 |
| 4 | 第二次卵裂 (4 细胞期) 4-cell stage | 30 | 8.27 | 10.31 | I:4 |
| 5 | 第三次分裂 (8 细胞期) 8-cell stage | 36 | 7.68 | 12.29 | I:5 |
| 6 | 第四次卵裂 (16 细胞期) 16-cell stage | 40 | 7.38 | 13.45 | I:6 |
| 7 | 分裂后期 Morula stage | 44 | 7.30 | 14.67 | I:7 |
| 8 | 囊胚早期 Early-blastula stage | 74 | 8.07 | 21.07 | I:8 |
| 9 | 囊胚中期 Mid-blastula stage | 152 | 7.56 | 47.86 | I:9 |
| 10 | 囊胚晚期 Later-blastula stage | 178 | 8.07 | 55.87 | I:10 |
| 11 | 原肠早期 Early-gastrula stage | 264 | 7.31 | 81.14 | I:11 |
| 12 | 原肠中期 Mid-gastrula stage | 312 | 8.00 | 97.34 | I:12 |
| 13 | 原肠晚期 Late-gastrula stage | 336 | 7.35 | 114.63 | I:13 |
| 14 | 神经胚期 Neural plate stage | 370 | 6.90 | 121.53 | I:14 |
| 15 | 眼原基出现期 Eye anlage stage | 394 | 6.20 | 120.17 | I:15 |
| 16 | 胚孔封闭 Blastopore closing stage | 418 | 6.25 | 133.97 | I:16 |
| 17 | 眼囊形成期 Eye vesicle stage | 442 | 6.10 | 140.01 | I:17 |
| 18 | 尾芽出现期 Tail bud formed | 586 | 4.54 | 162.13 | I:18 |
| 19 | 胸鳍原基期 Pectoral fin anlage stage | 682 | 5.05 | 181.34 | I:20 |
| 20 | 眼晶体出现 Stage of eye lens forme | 730 | 4.75 | 190.97 | I:21 |
| 21 | 眼色素出现期 Eyeball pigment stage | 826 | 4.65 | 209.65 | II:2 |
| 22 | 循环期 Gill circulation stage | 1 542 | 4.27 | 367.13 | II:3 |
| 23 | 出膜期 Hatching | 1 944 | 4.84 | 423.87 | II:4 5 |

合,卵黄囊毛细血管发达,可见尾部血液向心汇集;破膜 42 d 肠后段出现直肠和前肠的缢痕(图版 III:3),直肠段分化明显,并在肠前端与胃交界缢痕处开始出现弯曲,但胃部并未膨大;破膜后 53 d 消化道弯曲进一步变大,此时胃仍未膨大,并在肠前端表面出现很多点状突起,为幽门盲囊原基(图版 III:4);此时鳔形成,鳔管前端开口于食道和胃交界处,鳔内开始充气;破膜后 60 d 卵黄囊基本吸收完全,但不出现上浮现象,仔鱼已能主动摄食昆虫以及小型浮游动物,但摄食器官尚未发育完善,背鳍鳍条开始分化,并且黑色素开始沉积,臀鳍鳍条开始分化(图版 III:5)。

破膜后 73 d 白点鲑所有鳍条发育完全,身体两侧出现大量黑色素聚集区,形成黑色斑块为“鲑斑”(图版 III:6-A)。此时解剖观察在肠前端形成的幽门盲囊原基进一步发育,可见下

颌齿和舌齿突出于黏膜层(图版 III:7)。

破膜后 86 d 消化道弯曲变大,胃与肠已呈“N”字形,直肠、肠、胃、幽门盲囊原基更加清晰,此时消化道形态已经与成鱼基本相同(图版 III:8),此时口腔内可以看见上颌齿、下颌齿和 10 枚舌齿,且舌齿为并排排列。

图版 III:9 所示破膜后 350 d 个别个体身体两侧出现白色斑点,臀鳍、胸鳍和腹鳍硬棘出现白色边缘,体色和外部形态与成鱼基本相同。

3 讨论

3.1 白点鲑胚胎和仔鱼发育特点 白点鲑卵裂方式和胚胎发育时期与大多数硬骨性鱼类相同,分成 6 个大的发育阶段;但与一些鱼类相比较其胚胎发育又具有自己特点:(1)白点鲑卵为橙黄色沉性寡质卵,具有卵膜厚、卵黄含量较多和胚盘较小等特点。(2)白点鲑器官发育持

续时间长,破膜时已具备基本形态结构,胚孔封闭之前眼原基已经形成,这与厚颌鲂 (*Megalobrama pellegrini*)^[5]、胭脂鱼 (*Ictiobus cyprinellu*)^[7]、斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)^[8]、倒刺鲃 (*Spinibarbus denticulatus*)^[10]等鱼类在胚胎发育期间胚孔封闭时,3个胚层尚未分化,各器官原基在胚孔封闭后逐渐形成的过程有很大区别。(3)白点鲑卵黄囊内有大量的脂肪滴,而大多数淡水鱼卵黄囊无脂肪滴,仅少数鱼类如丁鲷 (*Tinca tinca*)^[14]、太湖短吻银鱼 (*Neosalanx tangkehekei taihuensis*)^[4]、虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)^[15]、白斑狗鱼 (*Esocx*

lucius)^[16]等卵黄囊表面具油球分布。(4)白点鲑每年11月至翌年2月产卵,孵化85d左右破膜,具有孵化繁殖季节早、水温低、孵化期长、胚胎发育不同步等特征。

表2为白点鲑和几种鱼类胚胎发育的对比研究,对表2中数据用SPSS进行统计分析得出孵化温度与破膜所需时间、破膜所需积温之间都是 $r_s = -0.1$, $P < 0.001$,均呈极显著负相关,可见温度是决定胚胎发育的主要因素,所以在孵化过程中应适当提高孵化温度,缩短孵化时间,从而提高孵化成活率,但关于白点鲑孵化最高耐受温度尚待详细研究。

表2 白点鲑与几种鱼类的胚胎发育的对比

Table 2 Comparison of embryonic development between *Salvelinus leucomaenis* and some other kinds of fish

| 鱼名 Name | 平均温度(℃) Mean temperature | 发育时间(h) Development time | 破膜积温(℃·h) Cumulative temperature of hatching |
|--|-----------------------------|-----------------------------|---|
| 白点鲑 <i>Salvelinus leucomaenis</i> | 5.16 | 1 944.00 | 10 172.88 |
| 虹鳟 <i>Oncorhynchus mykiss</i> ^[11] | 6.30 | 1 248.00 | 7 874.88 |
| 白斑狗鱼 <i>Esocx lucius</i> ^[16] | 11.60 | 248.00 | 2 880.00 |
| 倒刺鲃 <i>Spinibarbus denticulatus</i> ^[17] | 25.00 | 44.00 | 1 093.75 |
| 鳊结鱼 <i>Tor brevifilis brevifilis</i> ^[18] | 18.30 | 71.12 | 1 301.94 |

3.2 白点鲑受精卵人工孵化过程中几点注意事项 (1)白点鲑胚胎发育持续时间长,所以在人工孵化过程中选择水质清、污染少的水作为孵化用水,孵化期间要避免光,由于孵化水温较低水霉滋生较快,所以每隔2d用 5×10^{-4} 的甲醛消毒一次,直至发眼,随时检查入水口是否通畅。(2)白点鲑受精卵经过74h发育到囊胚期,此时期对外界刺激不敏感,可以在这一时期拣出未受精的死卵,避免死亡卵滋生水霉波及到活的受精卵。(3)受精后264h胚胎发育到原肠期,这时期的胚胎发育对外界刺激不稳定,应当避免晃动孵化桶,保证静止孵化。(4)受精后418h胚胎发育到器官形成期,对外界刺激耐受力增强,应第二次拣出死亡卵。(5)白点鲑为水中下层肉食性鱼类,且不同于虹鳟、高白鲑 (*Coregonus peled*)和西藏亚东鲑 (*Salmo trutta fario*)等鲑科鱼类存在上浮现象,鲑科鱼类一般上浮后开始投喂^[12-13,15],白点鲑仔鱼不上浮,其在卵黄囊吸收3/5后开始投喂。

3.3 胚胎发育研究方法 鱼类的胚胎发育一直是发育生物学以及鱼类学、鱼类繁殖等学科的重点研究内容^[19]。白点鲑等冷水性鱼类多数产沉性卵,具有卵径大、卵膜厚、胚盘小等特点,因此采用其他鱼类通常采用的方法观察其胚胎发育很难得到理想的结果,加之我国养殖的冷水性鱼类多数为国外引进种,所以到目前为止对冷水性鱼类胚胎发育研究极少。本研究设计4种不同方法进行胚胎发育研究:胰蛋白酶处理活体卵子,会因渗透压问题而外膜破裂,且卵膜反光性强,显微成像不清晰;透明液虽然可使卵膜变性,且增加了透明度,但卵膜的厚度没有改变,细胞分裂期细节很难观察到,因此透明液只能作为大致确定发育时相的工具,但对于胚胎发育的深入研究缺少准确性;由于白点鲑等冷水性鱼类卵膜厚,福尔马林和Bouin's液固定后剥离卵膜观察,操作容易,并且发育时相随样本的固定而固定,可以待时间充分时进行观察,有利于深入研究。福尔马林固定胚体为

白色,而 Bouin's 液具有使胚体着色作用,胚体变成黄色,细胞分裂期白色用肉眼观察和显微成像时不清晰,Bouin's 液着色后极易观察。故 Bouin's 液固定后剥离卵膜观察,是研究白点鲑等卵膜较厚鱼类胚胎发育的理想方法,并且本实验利用便携式连续温度记录仪,每 30 min 记录一次,保证记录的准确,避免人工记录水温出现误差,Motic Image Plus 3.2 显微成像系统,增加研究的感官效果,保证各个时期图片拍摄效果更清晰。

参 考 文 献

- [1] 齐藤薰,熊崎隆夫,立川互. イワナの増殖について V. 岐阜县水产试验场研究报告,1977,3(2): 25-28.
- [2] 关泰夫,小島将男. イワナの増殖について - III. 饵付期の饲养. 新潟县内水面水产试验场调查研究报告,1978,6(4): 30-33.
- [3] 王昭明,吴凡修,王新军,等. 白点鲑发眼卵的贮存与人工孵化试验. 中国水产科学,2001,8(4): 95-96.
- [4] 张开翔. 太湖短吻银鱼的胚胎发育. 湖泊科学,1998,10(1): 55-61.
- [5] 王剑伟,谭德清,李文静. 厚颌鲂人工繁殖初报及胚胎发育观察. 水生生物学报,2005,29(2): 130-136.
- [6] 常波,王剑伟,曹文宣,等. 稀有鮡鲫胚胎发育的研究. 水生生物学报,1995,(2): 97-103.
- [7] 张春光,赵亚辉. 胭脂鱼的早期发育. 动物学报,2000,46(4): 438-447.
- [8] 蔡焰值,陶建门,葛雷,等. 斑点叉尾鮰胚胎和幼鱼发育的观察. 水产学报,1991,15(4): 308-316.
- [9] 林光华,林琼. 革胡子鲶早期胚胎发育的研究. 南昌大学学报:理科版,1999,23(4): 333-338.
- [10] 易祖盛,王春,林小涛,等. 倒刺鲃胚胎发育的研究. 中国水产科学,2004,11(1): 65-69.
- [11] 黄金善,范兆廷,贾忠贺,等. 沉性大卵径鱼卵的观察方法与虹鳟的胚胎发育. 经济动物学报,2005,9(4): 235-238.
- [12] 张北平,蔡林纲,吐尔逊,等. 高白鲑受精卵人工孵化及胚胎发育观察. 水产学杂志,2001,14(2): 24-27.
- [13] 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.
- [14] 凌去非,李思发,乔德亮,等. 丁鲋胚胎发育和仔鱼摄食的研究. 水产学报,2003,27(1): 44-48.
- [15] Blaxter J H S. Pattern and variety in development. *Fish Physiology*,1988,11: 1-8.
- [16] 乔德亮,李思发,凌去非,等. 白斑狗鱼胚胎和卵黄囊期仔鱼发育. 上海水产大学学报,2005,14(1): 12-18.
- [17] 易祖盛,王春,林小涛,等. 倒刺鲃胚胎发育的研究. 中国水产科学,2004,11(1): 65-69.
- [18] 谢恩义,阳清发,何学福. 瓣结鱼的胚胎及幼鱼发育. 水产学报,2002,26(2): 115-121.
- [19] Kovac V. Early development of *Zingd streber*. *J Flsh Biol*,2000,57: 1381-1403.

图版 I 说明

白点鲑胚胎发育

1. 受精卵;
2. 胚盘期;
3. 2 细胞期;
4. 4 细胞期;
5. 8 细胞期;
6. 16 细胞期;
7. 分裂后期;
8. 囊胚早期;
9. 囊胚中期;
10. 囊胚晚期;
11. 原肠早期;
12. 原肠中期;
13. 原肠晚期;
14. 神经胚期;
15. 眼原基出现期;
16. 胚孔封闭期;
17. 眼囊形成期;
18. 尾芽出现期;
19. 尾鳍出现褶皱;
20. 胸鳍原基期;
21. 眼晶体形成期。

Explanation of Plate I

Development stage of *Salvelinus leucomaenis* embryo

1. Fertilized egg;
2. Blastodisc stage;
3. Two-cell stage;
4. Four-cell stage;
5. Eight-cell stage;
6. Sixteen-cell stage;
7. Morula stage;
8. Early blastula;
9. Medium-term blastula;
10. Terminal blastula;
11. Early gastrula;
12. Medium-term gastrula;
13. Terminal gastrula;
14. Neurula stage;
15. Eye anlage;
16. Closure of blastopore;
17. Eye vesicle stage;
18. Tail bud formed;
19. Caudal fin fold appeared;
20. Pectoral fin anlage;
21. Stage of eye lens formed.

图版 II 说明

白点鲑胚胎发育

1. 晶体;
2. 眼色素形成期;
3. 循环期;
4. 头部破膜;
5. 尾部破膜;
6. 初孵仔鱼;
- 7、8. 畸形鱼。

Explanation of Plate II

Development stage of *Salvelinus leucomaenis* embryo

1. Eye lens; 2. Eyeball pigment formed; 3. Gill circulation formed; 4. Membrane ruptured in head; 5. Membrane ruptured in tail; 6. Newly hatching fry; 7, 8. Deformed fish.

图版 III 说明

白点鲑仔鱼发育

1. 破膜后 3 d 仔鱼; 2. 破膜后 25 d 消化管; 3. 破膜后 42 d 消化管; 4. 破膜后 53 d 幽门盲囊原基; 5. 破膜后 60 d 仔鱼; 6. 破膜后 73 d 仔鱼; 7. 破膜后 73d 口咽腔; 8. 破膜后 86 d 消化管; 9. 破膜后 350 d 幼鱼。

Explanation of Plate III

Development of *Salvelinus leucomaenis* larva

1. Larvae of 3 days post-hatch; 2. Digestive tube of 25 days post-hatch; 3. Digestive tube in larvae of 42 days post-hatch; 4. Caecum pyloricum anlage in larvae of 53 days post-hatch; 5. Larvae of 60 days post-hatch; 6. Larvae of 73 days post-hatch; 7. Cavum oropharyngeum in larvae of 73 days post-hatch; 8. Cavum oropharyngeum in larvae of 86 days post-hatch; 9. Larvae of 350 days post-hatch.

V. 腹鳍; C. 缢痕; Bf. 背鳍; Hf. 臀鳍; Ht. 舌齿; S. 胃; Pc. 幽门盲囊; Ai. 前肠; Re. 直肠; L. 肝; H. 心; Lpt. 下颌齿。

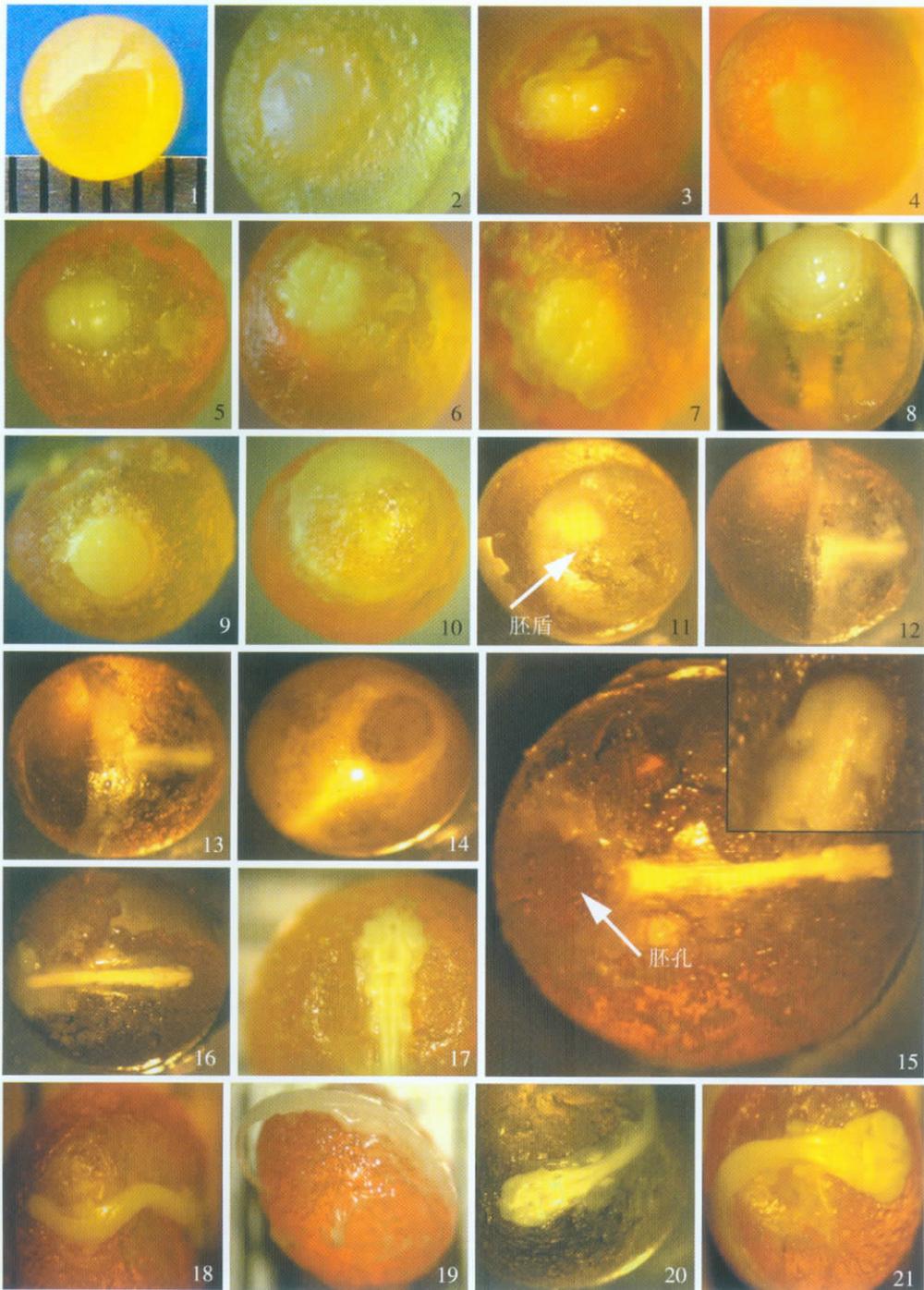
V. Ventral; C. Constriction; Bf. Back fins; Hf. Hip fins; Ht. Hyoid teeth; S. stomach; Pc. Caecum pyloricum; Ai. Anterior intestine; Re. Rectum; L. Liver; H. Heart; Lpt. Lower pharyngeal teeth.

张永泉等:白点鲑胚胎与仔鱼发育

图版 I

ZHANG Yong-Quan *et al.*: The Embryonic and Larval Development in *Salvelinus leucomaenis*

Plate I



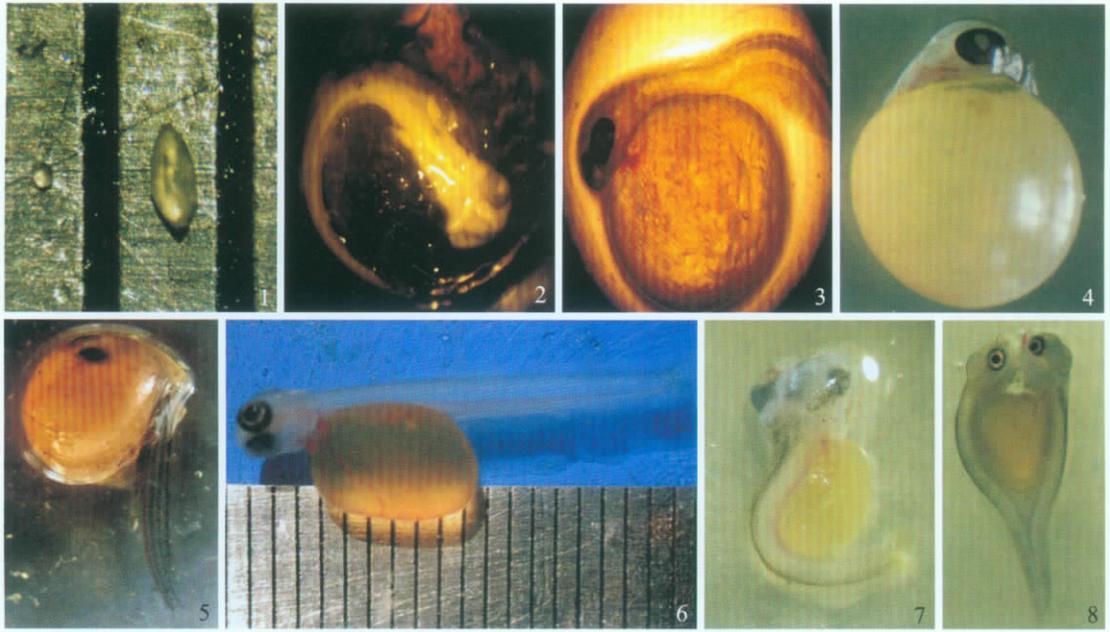
图版说明见文后

张永泉等:白点鲑胚胎与仔鱼发育

图版 II

ZHANG Yong-Quan *et al.*: The Embryonic and Larval Development in *Salvelinus leucomaenis*

Plate II



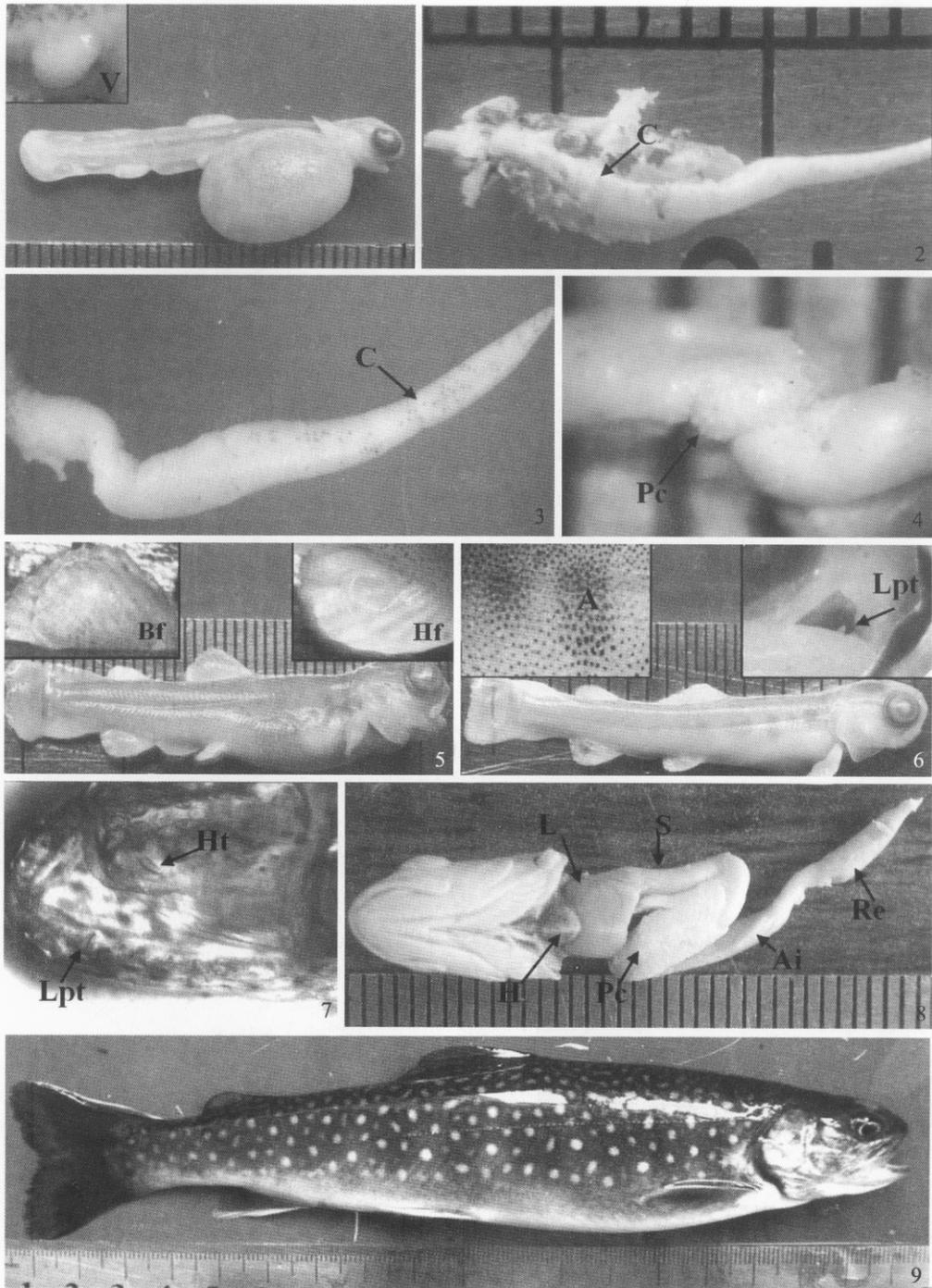
图版说明见文后

张永泉等:白点鲑胚胎与仔鱼发育

图版 III

ZHANG Yong-Quan *et al.*: The Embryonic and Larval Development in *Salvelinus leucomaenis*

Plate III



图版说明见文后