

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2011.00808

北京地区宽鳍鱮的早期发育

邢迎春¹ 赵亚辉² 李高岩³ 唐文乔¹ 张春光²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306; 2. 中国科学院动物研究所, 动物系统与进化院级重点实验室暨国家动物博物馆, 北京 100101; 3. 广西师范大学生命科学学院, 桂林 541004)

摘要: 作者对分布于北京市怀柔区怀九河的宽鳍鱮(*Zacco platypus*)的胚胎发育及仔鱼前期发育进行了研究, 过程中采用人工干法授精获取受精卵, 观察并描述了宽鳍鱮早期发育过程及其特点。结果显示, 宽鳍鱮成熟卵呈圆球状, 平均卵径 1.04 mm, 为沉性卵。在平均 23.0℃(17.1—28.0℃)水温条件下, 从受精卵到孵化经历了 73h1min, 积温为 1682.3 度·时; 孵化后 6.5d 进入弯曲期仔鱼。仔鱼前期发育速度与出膜前相比明显减慢; 弯曲期仔鱼出现大量死亡可能与有限的人工培育条件、混合营养期能量供给不足等原因有关。通过比较发现, 宽鳍鱮与鲤科中其他 21 个种相比, 早期发育时间比其中 7 个种均长。宽鳍鱮早期发育时间比同域分布、相同发育水温的马口鱼略长, 明显长于同属的纵纹鱮的发育时间。宽鳍鱮南、北方种群仔鱼发育速度存在差异, 北方种群出膜前发育速度比南方种群快, 但出膜后发育速度减慢。

关键词: 宽鳍鱮; 早期发育; 积温; 北京

中图分类号: Q954.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2011)05-0808-09

宽鳍鱮 *Zacco platypus* 隶属于鲤形目 Cypriniformes 鲤科 Cyprinidae, 在东亚地区广泛分布, 多喜在砂石底质、水流较急的山区溪流中生活^[1]。宽鳍鱮的体型较小, 体长最大约 110 mm, 体重最大约 30 g^[2]。2000—2010 年间我们对北京及周边野生鱼类资源调查过程中发现, 随着北京城市的不断扩张, 水生生态环境发生持续的改变, 水体污染以及过度捕捞, 使得宽鳍鱮种群数量不断下降。在北京的很多水体中, 宽鳍鱮都是群落中的优势种, 因此从鱼类多样性保护的角度出发, 了解宽鳍鱮的早期发育过程及其特点, 有着重要的科学意义。国外对宽鳍鱮早期发育的研究在 20 世纪 80 年代就已有报道, Hosoya^[3]研究了日本分布的宽鳍鱮早期发育过程, 记录了宽鳍鱮产沉性、球形、光滑无色的卵, 出膜时体长 4.2—6.1 mm 等发育特点。国内仅见对长江水系宽鳍鱮仔鱼前期发育特点的研究^[4], 记录了宽鳍鱮出膜、仔鱼期和稚鱼期的发育特点。作者对北京地区分布的宽鳍鱮早期发育过程进行了观察记录, 对其特点

进行了分析, 为鱼类资源保护的相关工作提供基础生物学数据。

1 材料与方法

1.1 材料

2006 年 6—7 月, 在北京市怀柔区怀九河用手撒网(网目 10 mm)捕获若干宽鳍鱮亲鱼, 按雌雄比例 1:1 选取性成熟亲鱼, 带回实验室。在充分曝气的清水中饲养, 平均饲养水温 23.0℃, 与同期自然水体水温基本一致。

1.2 方法

早期发育观察方法 共选取了 26 尾期雌鱼, 测量去内脏重和性腺重; 每尾取 15—20 粒成熟卵粒测量卵径, 计数怀卵量/g。

取性成熟雌鱼 1 尾, 轻挤雌鱼腹部, 获取成熟卵, 放入干燥的培养皿中; 解剖雄鱼获取精巢, 将精巢剪碎后与卵混匀, 进行干法授精; 2min 后倒入充分曝气的清水, 搅拌 1—2min, 洗去多余精液, 完

收稿日期: 2011-05-03; 修订日期: 2011-06-29

基金项目: 北京市农业局北京市渔业水域野生水生动物资源调查项目资助

作者简介: 邢迎春(1982—); 女, 天津人; 博士研究生; 主要从事水生生物学研究。E-mail: a_0540@yahoo.cn

通讯作者: 唐文乔, E-mail: wqtang@shou.edu.cn; 张春光, E-mail: fish@ioz.ac.cn

成受精。用于重复实验的成熟亲鱼 4 对。在室温条件下, 将受精卵置于 200 mL 烧杯中培养, 加水至 200 mL, 每隔 1h 换水 1 次。同时, 每隔 2h 记录培养水温和室温。随机挑选 10—15 粒发育过程中的受精卵, 定时在 ZEISS Stemi 2000-C 实体解剖镜下进行观察, 用连接于解剖镜的 Canon EOS 300D 数码相机拍照记录各发育期的形态特征, 选取每一典型发育阶段样品 3—5 个, 保存于 5% 福尔马林中备查, 拍照光源为透射光。当超过半数的卵具有某发育期特征时, 则判定受精卵进入该发育期。初期每 10min 观察 1 次, 进入囊胚早期后每 30min 观察 1 次, 心跳期后每 3h 观察 1 次。早期发育过程的观察重复进行 2 次, 以便对某些发育时期进行重复观察和验证。对各期形态特征的记述和分期依殷名称^[5], 同时参考常剑波等^[6]。

观察期平均水温为 23.0℃(17.1—28.0℃), 与繁殖期自然水体水温基本一致。

仔鱼孵出后, 转移至 1000 mL 大烧杯内培养, 使用充分曝气后的清水饲养, 24h 连续增氧。在卵黄即将耗尽前, 饲喂煮熟后用双层纱布过滤的鸡蛋黄, 每天饲喂 3 次, 定期换水。胚胎出膜后, 由于不断游动, 很难拍照。对于这个问题, 通常是先在显微镜下确切观察到某一特征后, 随机选取 1 尾仔鱼, 在 5% 福尔马林中稍固定后拍照。

绝对繁殖力、相对繁殖力和积温的计算 依殷名称^[5]的方法计算。

2 结果

2.1 成熟卵的形态特征

成熟卵个体较小, 呈圆球形, 卵黄为黄色, 稠密; 绝对繁殖力介于 783—4353 粒之间, 平均 1715 粒; 卵径 0.58—1.53 mm, 平均 1.04 mm; 卵的比重大于水, 为沉性卵。

2.2 胚胎发育过程

受精卵(Fertilized egg) 卵刚挤出时具弱黏性, 与精子混合后黏性减弱, 加水后黏性消失, 受精卵稍稍膨胀, 饱满而富有弹性, 具有一个较宽的透明的充满液体的卵周隙(图版 I-1)。

胚盘期(Blastodermic disc) 卵为端黄卵, 行盘状卵裂。受精后约 37min, 卵黄集中于卵的一端, 卵质集中形成一隆起的胚盘, 进入胚盘期(图版 I-2)。

卵裂期(Cleavage) 受精后约 1h10min, 胚盘中央出现一贯穿胚盘的分裂沟, 随着分裂沟的不断加深, 逐渐形成大小相似的两个隆起的分裂球, 进入二细胞期(图版 I-3)。受精后 1h30min 左右, 出现第二次卵裂, 与第一次卵裂面垂直, 形成 4 个大小相等的细胞, 进入四细胞期(图版 I-4)。受精后 1h55min, 开始第三次卵裂, 这次有两个卵裂面, 均与第一次的卵裂面平行, 进入了八细胞期, 8 个细胞排成两行, 大小相似(图版 I-5)。受精后 2h15min, 发生了第四次卵裂, 也有两个卵裂面与第二次卵裂面平行, 进入十六细胞期, 16 个细胞均匀排列成 4 行, 但单个细胞已明显变小(图版 I-6)。

桑椹期(Mulberry) 十六细胞期后, 细胞快速的进行着多次卵裂, 到受精后 3h52min 时, 胚盘细胞已呈多层, 多层分裂球叠加如桑椹, 动物极高隆起呈小丘状, 细胞极小, 排列规律不明显, 但细胞界限依然可辨, 此时为桑椹期(图版 I-7)。

囊胚期(Blastula) 受精后 4h48min, 细胞继续分裂, 分裂球体积显著减小, 分裂球的细胞界限已经难以分辨, 囊胚层高高隆起, 耸立于卵黄体上, 进入囊胚早期(图版 I-8)。5h30min 时, 囊胚的边缘出现下包, 胚层开始下降变薄, 进入囊胚中期(图版 I-9)。6h22min, 胚层进一步下降, 胚层表面细胞向卵黄部分下包明显, 约占整个胚胎的 1/3, 整个胚胎呈正圆球形, 此时进入囊胚晚期(图版 I-10)。

原肠期(Gastrula) 原肠运动以下包和内卷的方式进行。从囊胚晚期到进入原肠期经过了一个较漫长的过程, 在进入囊胚晚期后 6h18min, 胚层继续下包至约占整个胚胎 1/2 的位置, 即进入原肠早期(图版 I-11)。受精后 15h37min 时, 胚层继续下包至卵黄囊 2/3 处, 胚盘背部中线处胚盾逐渐明显, 进入原肠中期(图版 I-12)。受精后 16h37min 后, 胚层下包至卵黄囊 4/5 的位置, 胚体雏形逐渐显现, 并于其前端形成略为膨大的脑泡原基, 进入原肠晚期(图版 I-13)。

神经胚期(Neurula) 受精后约 19h, 囊胚细胞不断分裂, 细胞数量不断增加, 下包和内卷活动继续进行, 胚层下包至卵黄囊 8/9 的位置, 胚孔形成, 胚胎出现增厚的神经板, 进入神经胚期(图版 I-14)。胚孔继续收缩, 逐渐合拢, 受精后 21h14min 时胚孔封闭(图版 I-15)。神经胚阶段既是原肠期的继续, 又是胚层向深层分化的开始。

此时,胚胎的头部和尾部已较明显,脑原基清晰可见,胚孔封闭的同时,肌节出现 2—4 对,胚体已经明显形成。

眼囊期(Eye capsule) 受精后 22h46min,在胚体头部出现了裂缝状的眼基,肌节 4 对,即为眼基出现期(图版 I-16)。23h35min 时,眼基扩大成蚕豆形的眼囊,眼泡清晰,大而略显外突,头部显著隆起,肌节 7 对,为眼囊形成期(图版 I-17)。

尾芽及尾鳍形成期(Tail bud, Caudal fin) 受精后 25h27min 时,眼囊变为椭圆形,肌节 13 对,胚体后部腹面出现尾芽(图版 I-18),整个胚胎仍呈近圆球形。27h5min 时,肌节 18 对,尾部开始向内弯曲,尾芽膨大,形成圆锥状尾泡(图版 I-19)。受精后 29h10min,肌节 22 对,尾泡伸展形成尾鳍,稍稍离开卵黄囊,卵黄囊略被拉长。解剖镜下已可见胚体能作非常缓慢的抽动,此即尾鳍形成期(图版 I-20)。

心跳期(Heartbeat) 受精后 29h40min,肌节 26 对,眼晶体形成,头部显著隆起,胚体抽动速度稍稍加快,尾鳍进一步伸展,卵黄囊也被进一步拉长。30h4min 时,在解剖镜下可见胚体形成有规律的间歇性抽动,卵黄囊前部呈圆球形,后段随着尾鳍的生长而进一步被拉长,此时为肌肉效应期(图版 I-21)。33h40min 时,肌节 25 对,耳石隐约可见,卵黄囊背面出现隆起心脏原基,胚体受卵壳限制略现弯曲。受精后 38h35min,肌节 26 对,心脏完全形成并缓慢搏动,心率平均 84 次/min,头部明显抬起,离开了卵黄囊,卵黄囊球状部分进一步缩小,后部进一步拉长变细,整个胚体在卵膜内头尾相接,胚体在卵膜内翻动的频率进一步加快,即将破膜而出(图版 I-22)。

出膜及仔鱼前期(Hatch and Protolarva) 受精后 73h 左右,胚体出膜,大多数为尾部先出膜,也有少数为头部先出膜。孵出的仔鱼中卵黄囊仍占据身体的大多数位置,此时为卵黄囊期仔鱼(图版 I-23),通体淡黄色,卵黄囊前端仍呈圆球形,后端则随着尾鳍的伸展而变得细长。胸鳍原基出现,心脏增大,头部、躯干部的主要血管已经形成,血液缓慢流动。初孵仔鱼没有游动能力,多侧卧于水底,搅动水体时,见有挣扎性扭动;逐渐地可以沿着培养皿的边缘,借助于尾部的不断扭动向前移动,偶尔

会出现以某一点为圆心的转圈泳动。

孵出后第 1 天,眼囊变灰色,晶状体仍然无色,卵黄囊背侧有数个黑色素斑点。脊柱末端有了向上弯曲的趋势,躯体沿体侧中线有一列点状黑斑,并延续至尾鳍部分,这时为弯曲前期仔鱼(图版 I-24)。

孵出后第 3.5 天,晶状体上开始有黑色素沉积,为眼黑阶段(图版 I-25);卵黄囊背侧的点状黑斑变大,变成了星状黑斑;体侧中央的黑斑增大变密;头部出现了少数的点状黑斑。尾鳍鳍条开始形成。

孵出后第 6.5 天,鳃弧形成,鳃管和鳃尚未形成,体表色素增多,沿卵黄囊背侧有一列黑斑,两侧各有数个星状黑斑。脊柱末端明显上翘时,进入弯曲期仔鱼(图版 I-26)。卵黄囊背侧黑斑更大,更为密集,腹侧也开始出现点状黑斑;头部的黑斑开始向躯体背侧延伸,并一起延伸至尾鳍部分;这时的鱼体从侧面看,可以明显看到三列黑斑。此时,卵黄即将耗尽,尾鳍鳍条仍没有完全形成。

宽鳍鱲早期发育各阶段发育时间和平均卵径或体长总结(表 1)。

2.3 早期发育积温

在平均水温 23.0℃,宽鳍鱲从受精到孵化共经历了 73h1min,发育积温为 1682.3 度·时。

3 讨论

3.1 仔鱼的发育

胚胎从卵膜内孵出后即成为卵黄囊期仔鱼,进入仔鱼期。由表 1 可见,仔鱼期发育速度与出膜前阶段相比明显减慢。另外,实验 6.5d 后仔鱼出现大量死亡,因此没有继续记录发育情况。推测可能有两方面原因:一方面由于有限的人工培育条件很可能不适合仔鱼的生长发育,进入仔鱼期后水中经常会出现水霉,将多个仔鱼黏附在一起,造成仔鱼死亡。另一方面,仔鱼在卵黄囊期完成口、消化道、眼、鳍功能的初步发育,并建立巡游模式,能活泼游泳于水体中上层,从而具备条件从内源性营养转入外源性营养。多数卵黄囊期仔鱼在卵黄耗尽前的短期内开始转向外界摄食,出现一个内源和外源营养共存的混合营养期^[5]。这个时期对仔鱼的存活至关重要,如果不能从外界获取足够的营养,当卵黄的营养耗尽时即处于饥饿状态,尽管还能生存较长一段时间,但很难再恢复摄食能力。

表 1 宽鳍鱮早期发育各阶段发育时间、平均卵径或体长和图序
Tab. 1 Time, average egg diameter or body length of early development of *Zacco platypus* and figure order

发育期 Development Stages		发育时间(时 分; 天) Development time (h min; d)	平均卵径或体长(毫米) Average egg diameter or body length (mm)	图序 Figure order
受精卵	Fertilized egg			I -1
胚盘期	Blastodermic disc	0h27min	1.57	I -2
卵裂期	Cleavage			
	二细胞期 Two cells	1h40min		-3
	四细胞期 Four cells	1h0min		-4
	八细胞期 Eight cells	1h25min		-5
	十六细胞期 Sixteen cells	1h55min		-6
桑椹期	Mulberry	3h52min		-7
囊胚期	Blastula			
	囊胚早期 Early blastula	4h48min	1.65	-8
	囊胚中期 Middle blastula	5h30min		-9
	囊胚晚期 Late blastula	6h22min	1.7	-10
原肠期	Gastrula			
	原肠早期 Early gastrula	12h52min	1.87	-11
	原肠中期 Middle gastrula	15h37min		-12
	原肠晚期 Late gastrula	16h37min		-13
神经胚期	Neurula			
	神经胚期 Neurula	18h58min		-14
	胚孔封闭 Blastopore closed	21h14min	1.96	-15
眼囊期	Eye capsule			
	眼基出现期 Eye origin	22h46min		-16
	眼囊形成期 Eye capsule	23h35min		-17
尾芽及尾鳍形成期	Tail bud and caudal fin			
	尾芽期 Tail bud	25h27min		-18
	尾泡形成 Tail vesicle	27h5min		-19
	尾鳍形成 Caudal fin	29h10min		-20
心跳期	Heartbeat			
	眼晶体形成 Eye len	29h40min		
	肌肉效应 Muscular contraction	30h4min		-21
	耳石 Otolith	33h40min		
	心脏形成 Heartbeat	38h35min	3.36	-22
出膜及仔鱼前期	Hatch and protolarva			
	孵出 Hatch	73h1min		
	卵黄囊期仔鱼 Yolk-sac larva	0.5d		-23
	眼灰阶段 Eye gray	1d	6.1	-24
	眼黑阶段 Eye black	3.5d	6.54	-25
	弯曲期仔鱼 Flexion larva	6.5d		-26

3.2 温度对宽鳍鱮早期发育的影响

积温是指某一时段内逐日平均温度累加之和，日平均水温与发育天数的乘积为发育积温，一般以℃为单位，也可以“度·日”或“度·时”表示^[5]，是研究温度与生物有机体发育速度之间关系的一种指标，从强度和作用时间两个方面表示温度对生物有机体生长发育的影响。

我们将宽鳍鱮与部分鲤科鱼类胚胎发育水温、发育时间和所需积温进行了比较(表 2)，结果表明，在统计的 21 种鲤科鱼类中，宽鳍鱮的发育水温比青

鱼 *Mylopharyngodon piceus* 的发育水温低，但所需发育时间比青鱼短了近 50h。宽鳍鱮的发育水温比草鱼 *Ctenopharyngodon idellus*、鳙 *Aristichthys nobilis*、鲤 *Cyprinus carpio*、鲫 *Carassius auratus*、白鲫 *Carassius cuvieri*、鳊 *Elopichthys bambusa* 和丁鲷 *Tinca tinca* 等 7 种鱼的发育水温高，但发育时间却比它们都长，较长的早期发育时间对于宽鳍鱮的孵化率和成活率可能有不利的影响。

3.3 宽鳍鱮与其近缘种早期发育时间比较

在北京地区，马口鱼与宽鳍鱮几乎完全同域分

表 2 宽鳍鳊与部分鲤科鱼类早期发育水温、时间和积温比较
Tab. 2 Comparison of water temperature, development time and accumulated temperature of *Zacco platypus* with some other Cyprinid fishes

种类 Species	平均发育水温 (摄氏度) Average water temperature (°C)	平均发育时间 (h) Average development time (h)	平均发育积温 (度·时) Average accumulated temperature (°C·h)	参考文献 References
宽鳍鳊 <i>Zacco platypus</i>	23.0	73.1	1682	
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	24.1	70.3	1694	李高岩 ^[7]
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	24.0	120.3	2886	蔡仁逵 ^[8]
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	22.5	36.0	810	蔡仁逵 ^[8]
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	26.5	24.5	648	蔡仁逵 ^[8]
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	20.0	38.4	768	蔡仁逵 ^[8]
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	22.6	52.9	1195	蔡仁逵 ^[8]
鲫 <i>Carassius auratus</i>	22.5	53.0	1192	王 武 ^[9]
白鲫 <i>Carassius cuvieri</i>	22.5	46.0	1035	陈玉琳 ^[10]
稀有鮈鲫 <i>Gobiocypris rarus</i>	22.5	83.0	1868	常剑波等 ^[6]
墨头鱼 <i>Garra pingi</i>	15.0	84.5	1267	蔡仁逵 ^[8]
鳅 <i>Elopichthys bambusa</i>	22.4	42.1	942	蔡仁逵 ^[8]
斑马鱼 <i>Danio rerio</i>	28.5	48.0	1368	柳爱莲和曹更生 ^[11]
丁鲷 <i>Tinca tinca</i>	21.5	42.8	920	海萨等 ^[12]
倒刺鲃 <i>Spinibarbus denticulatus</i>	25.0	43.8	1094	易祖盛等 ^[13]
黑脊倒刺鲃 <i>Spinibarbus caldwelli</i>	26.5	45.2	1199	黄种持 ^[14]
鲂 <i>Megalobrama skolkovii</i>	23.3	28.9	674	万成炎和林永泰 ^[15]
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephale</i>	21	108.5	2278	虞鹏程和张丰旺 ^[16]
厚颌鲂 <i>Megalobrama pellegrini</i>	27.4	36.1	990	王剑伟等 ^[17]
唐鱼 <i>Tanichthys albonubes</i>	23.8	50.5	1202	陈国柱等 ^[18]
齐口裂腹鱼 <i>Scizothorax prenanti</i>	14	279.3	3910	吴青等 ^[19]
四川裂腹鱼 <i>Schizothorax kozlovi</i>	16.35	130.0	2125	陈永祥和罗泉笙 ^[20]

布。两者的外部形态也很相似，仅表现为马口鱼下颌前端有一显著凸起与上颌前端凹陷相吻合，上下颌侧缘凹凸镶嵌，而宽鳍鳊不具此结构。Perdices 和 Coelho^[21]基于线粒体细胞色素 *b* 基因研究表明，宽鳍鳊和马口鱼互为近缘种。纵纹鳊 (*Zacco temminckii*)与宽鳍鳊同属鳊属，亲缘关系也很近。我们将采于相同时间、相同地点，在相同发育条件下的马口鱼的早期发育时间^[7]、1997 年 8 月采自日本 Ohto 河的纵纹鳊的早期发育时间^[22](表 3)与宽鳍鳊的早期发育时间进行了比较。

将表 1 和表 3 进行对比，结果显示，在相同实验条件下，利用相同的发育期界定方法观察发现，宽鳍鳊从受精到出膜所用时间略长于马口鱼。进一步分析表明，宽鳍鳊在原肠期以前发育速度明显快于马口鱼，所用时间比马口鱼约少 1.5h，但从原肠晚

期进入神经胚期的过程中比马口鱼经历的时间长约 1h。因此，两种鱼都于受精后约 19h 进入神经胚期。从神经胚期到出膜，宽鳍鳊比马口鱼约快 3h。

根据表 3 中纵纹鳊发育时间的数据，我们计算了其发育积温为 1288.0—1481.2°C·h，明显低于宽鳍鳊1682.3°C·h 的发育积温。宽鳍鳊的平均发育水温为 23.0°C，低于纵纹鳊24.0—27.6°C发育水温，但发育积温高于纵纹鳊，说明宽鳍鳊所需的发育时间长于纵纹鳊。

3.4 宽鳍鳊南北方种群仔鱼发育特点比较

乔晔^[4]研究了长江水系宽鳍鳊仔鱼发育特点，我们将北京地区宽鳍鳊仔鱼发育特点与其结果进行了比较(表 4)。

南、北方种群仔鱼发育阶段在体长上存在差异，北方种群出膜时的体长大于南方种群，眼黑期体长

表 3 马口鱼和纵纹鱮早期发育时间
Tab. 3 Early development time of *Opsariichthys bidens* and *Zacco temminckii*

发育期 Development Stages	马口鱼早期发育时间 (时 分; 发育水温 23.0℃) ^[7] Development time of <i>Opsariichthys bidens</i> (h min; 23.0℃)	纵纹鱮早期发育时间 (时 分; 发育水温 24.0—27.6℃) ^[22] Development time of <i>Zacco temminckii</i> (h min; 24.0—27.6℃)
受精卵 Fertilized egg	0	
胚盘期 Blastodermic disc	0h36min	0h39min
二细胞期 Two cells	1h7min	1h1min
四细胞期 Four cells	1h25min	1h10min
八细胞期 Eight cells	2h0min	1h36min
十六细胞期 Sixteen cells	2h17min	1h55min
桑椹期 Mulberry	4h22min	
囊胚早期 Early blastula	5h44min	3h15min
囊胚中期 Middle blastula	6h25min	
囊胚晚期 Late blastula	7h28min	
原肠早期 Early gastrula	14h39min	
原肠中期 Middle gastrula	17h1min	
原肠晚期 Late gastrula	18h5min	
神经胚期 Neurula	19h0min	
胚孔封闭 Blastopore close	21h45min	14h13min
眼基 Eye origin	23h50min	
眼囊 Eye capsule	24h57min	
尾芽 Tail bud	27h3min	
尾泡 Tail vesicle	28h31min	
尾鳍 Caudal fin	31h22min	
肌肉效应 Muscular contraction	33h49min	
耳石 Otolith	37h1min	
心跳期 Heartbeat	43h53min	30h56min
出膜 Hatching	70h21min	53h40min
卵黄囊期仔鱼 Yolk-sac larva	1d	
眼灰 Eye gray	1d	
眼黑 Eye black	4d	
弯曲期仔鱼 Flexion larva	7d	

表 4 宽鳍鱮南北方种群仔鱼发育特点比较
Tab. 4 Comparison of characteristics of larvae between north and south groups

发育期 Development Stages	南方种群 ^[4] South group	北方种群 North group
出膜期 Hatch		
体长 Body length (mm)	4.5	5.61—6.59
肌节(对) Myocomma (Pair)	3—40	39—40
眼黑期 Eye black		
体长 Body length (mm)	7.0—7.2	6.30—6.78
肌节(对) Myocomma (Pair)	40—41	39—41

小于南方种群。这一现象反映出北方种群出膜前的发育速度比南方种群快，而仔鱼期发育速度减慢。

致谢:

卞绍雷先生在中国科学院动物研究所读硕士期间参与了野外调查和标本采集工作；北京市怀柔区

渔政监督管理站对于标本采集给予大力支持，特此致谢！

参考文献:

[1] Chen Y Y, Yue P Q, Chu X L, *et al.* Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes III [M]. Beijing: Science Press. 1998,

- 41—43 [陈宜瑜, 乐佩琦, 褚新洛, 等. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷). 北京: 科学出版社. 1998, 41—43]
- [2] Xing Y C, Zhao Y H, Zhang J, *et al.* Growth and diets of *Zacco platypus* distributed in Beijing [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, **53**(6): 982—993 [邢迎春, 赵亚辉, 张洁, 等. 北京地区宽鳍鱮的生长与食性. 动物学报, 2007, **53**(6): 982—993]
- [3] Hosoya K, Inoue S. *Zacco platypus* [A]. In: Okiyama M (Eds.), *Anatlas of the early stages fishes in Japan* (in Japanese) [C]. Tokyo: Tokai University Press. 1988, 149—150
- [4] Qiao Y. Early morphogenesis and species identification of fishes in Yangtze River [D]. Thesis for doctor of science. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2005 [乔晔. 长江鱼类早期形态发育与种类鉴别. 博士学位论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2005]
- [5] Yin M C. Ecology of Fishes [M]. Beijing: China Agriculture Press. 1995, 110—114 [殷名称. 鱼类生态学. 北京: 中国农业出版社. 1995, 110—114]
- [6] Chang J B, Wang J W, Cao W X. The embryonic development of *Gobiocypris rarus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1995, **19**(2): 97—102 [常剑波, 王剑伟, 曹文宣. 稀有鮡鲫胚胎发育研究. 水生生物学报, 1995, **19**(2): 97—102]
- [7] Li G Y. Phylogeography and Life History of *Opsariichthys bidens* (Cypriniformes: Cyprinidae) [D]. Thesis for doctor of science. Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing. 2007 [李高岩. 马口鱼(*Opsariichthys bidens*)(鲤形目: 鲤科)系统发育及个体生物学的研究. 博士学位论文. 中国科学院动物研究所. 2007]
- [8] Cai R K. Handbook Cultured Freshwater Fishes [M]. Shanghai: Science and Technology Press. 1987 [蔡仁逵. 淡水养鱼手册. 上海: 上海科学技术出版社. 1987]
- [9] Wang W. Studies of Fish Culture [M]. Beijing: China Agriculture Press. 2000, 197—227 [王武. 鱼类增养殖学. 北京: 中国农业出版社. 2000, 197—227]
- [10] Chen Y L. Embryonic development of *Carassius auratus cuvieri* [J]. *Freshwater Fisheries*, 1996, **26**(5): 14—17 [陈玉琳. 白鲫胚胎发育的研究. 淡水渔业, 1996, **26**(5): 14—17]
- [11] Liu A L, Cao G S. Study on the early stage embryonic growth of zebrafish [J]. *Journal of Henan University* (Natural Sciences), 2004, **34**(2): 50—53 [柳爱莲, 曹更生. 斑马鱼早期胚胎发育形态学观察. 河南大学学报(自然科学版), 2004, **34**(2): 50—53]
- [12] Hai S, Su D X, Du J S, *et al.* Embryonic development of *Tinca tinca* [J]. *Reservoir Fisheries*, 2004, **24**(2): 4—6 [海萨, 苏德学, 杜劲松, 等. 丁鱥的胚胎发育. 水利渔业, 2004, **24**(2): 4—6]
- [13] Yi Z S, Chen X L, Wang C, *et al.* Embryonic development of *Spinibarbus denticulatus denticulatus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, **11**(1): 65—69 [易祖盛, 陈湘霖, 王春, 等. 倒刺鲃胚胎发育的研究. 中国水产科学, 2004, **11**(1): 65—69]
- [14] Huang Z C. Embryonic development of *Spinibarbus caldwelli* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2004, **34**(1): 30—31 [黄种持. 黑脊倒刺鲃胚胎发育研究. 淡水渔业, 2004, **34**(1): 30—31]
- [15] Wan C Y, Lin Y T, Huang D M. Embryonic Development of *Megalobrama skolkovii* [J]. *Journal of Lake Science*, 1999, **11**(1): 70—75 [万成炎, 林永泰, 黄道明. 鲴胚胎的发育. 湖泊科学, 1999, **11**(1): 70—75]
- [16] Yu P C, Zhang F W. Observations on the Embryonic Development of *Megalobrama amblycephala* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1998, **5**(1): 103—108 [虞鹏程, 张丰旺. 鄱阳湖渔区的团头鲂胚胎发育观察. 中国水产科学, 1998, **5**(1): 103—108]
- [17] Wang J W, Tan D Q, Li W J. Preliminary studies on artificial propagation and embryonic development of *Megalobrama pallegriini* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, **29**(2): 130—136 [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]
- [18] Chen G Z, Fang Z Q, Ma G Z. Embryonic Development of *Tanichthys albonubes* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, **11**(6): 489—497 [陈国柱, 方展强, 马广智. 唐鱼胚胎发育观察. 中国水产科学, 2004, **11**(6): 489—497]
- [19] Wu Q, Wang Q, Cai L M, *et al.* The embryonic and larval development of *Scizothorax prenanti* [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2004, **19**(3): 218—221 [吴青, 王强, 蔡礼明, 等. 齐口裂腹鱼的胚胎发育和仔鱼的早期发育. 大连水产学院学报, 2004, **19**(3): 218—221]
- [20] Chen Y X, Luo Q S. Embryonic development of *Schizothorax kozlovi* in upper Wujiang River [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 1997, **16**(4): 163—167 [陈永祥, 罗泉笙. 乌江上游四川裂腹鱼的胚胎发育. 四川动物, 1997, **16**(4): 163—167]
- [21] Perdices A, Coelho M M. Comparative phylogeography of *Zacco platypus* and *Opsariichthys bidens* (Teleostei, Cyprinidae) in China based on cytochrome *b* sequences [J]. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 2006, **44**(4): 330—338
- [22] Sado T, Kimura S. Descriptive morphology of the eggs, larvae, and juveniles of two cyprinid fishes belonging to the *Zacco temminckii* species' group [J]. *Ichthyological Research*, 2002, **49**: 245—252

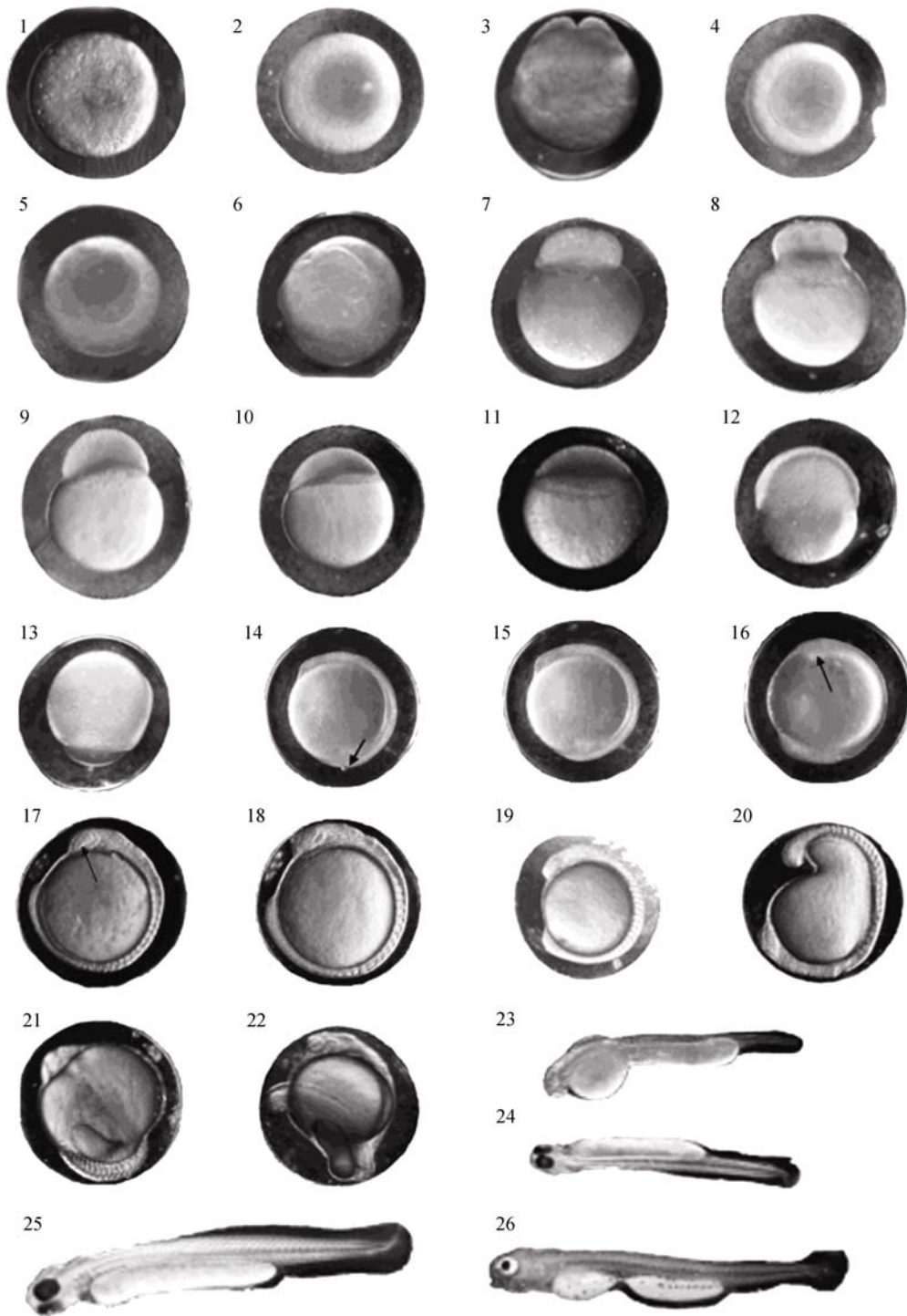
EARLY DEVELOPMENT OF *ZACCO PLATYPUS* (CYPRINIFORMES: CYPRINIDAE) DISTRIBUTED IN BEIJING

XING Ying-Chun¹, ZHAO Ya-Hui², LI Gao-Yan³, TANG Wen-Qiao¹ and ZHANG Chun-Guang²

(1. College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Zoological Evolution and Systematics, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: Pale chub *Zacco platypus* (Temminck & Schlegel, 1846), a kind of small cyprinid fish, widely distributes in the East Asia including east part of China, Japan and Korea Peninsula. This fish is always found in rivers and streams, especially in the swiftly running waters. In breeding season, the male will express remarkable sexual dimorphism. Numerous sharp nuptial tubercles can be found on the head (especially jaws) and fins. Recently, the populations of *Zacco platypus* are shrinking down in many places in China due to over-capture, environment change and pollution. Under this background, understanding the life history of *Zacco platypus* will be very helpful for future conservation and sustainable use. Therefore, we observed the early development of *Zacco platypus* collected from the Huaijiuhe River in Beijing. Fertilized eggs were obtained through dry method of artificial fertilization, 10—15 fertilized eggs in the process of granule development were randomly selected. The processes and characteristics of early development have been observed and documented under the microscope. The mature eggs were spherical in shape, and the average egg diameter was 1.04 mm. At average water temperature of 23.0°C (17.1—28.0°C), the early development from fertilization to hatch took total 73h01m and 1682.3°C·h accumulated temperature. The embryonic development took 37min to develop into blastodermic disc through discoidal cleavage; and then took another more than 30min to develop into two-cell. Mulberry occurred about 4h after fertilization, multi-layer stack such as morula blastomeres, animal pole extremely high uplift. Blastula finished at 6h22min after fertilization, and embryonic development was into gastrula about 6h18min after late blastula. Blastopore formed around 19h after fertilization, and then myocomma appeared when blastopore closed. Eye capsule formed at 22h46min after fertilization. 25h27min after fertilization, tail bud appeared on the ventral posterior embryo. Tail fin formed around 29h after fertilization. The embryonic development took 1h to develop into effect of muscle after tail fin, embryo body could be seen tic regular intermittent, spherical yolk sac cylindrical front, rear section with the further growth of the caudal fin was elongate. Heart fully formed and slowly beat at 38h35min after fertilization, average heart beat was 84 times per min. The embryonic development took around 73h from fertilized egg to hatch, and then took 6.5 days to develop into flexion larvae. The development speed was slower in larvae than that in embryonic stage. Flexion larvae died in large scales may be because limited conditions of artificial cultivation and lack of energy supply when coexistence of mixed nutrition. Comparing to 21 other cyprinid species, development time of *Zacco platypus* was longer than that of seven species. Total development time of *Zacco platypus* was slightly longer than sympatric species *Opsariichthys bidens*, and obviously longer than *Zacco temminckii*. We also found the development speed before hatch of northern population was faster than southern one, but slower after hatch.

Key words: *Zacco platypus*; Early development; Accumulated temperature; Beijing



图版 I 宽鳍鱥早期发育各期(1、2、4、5和6为顶面观;其他为侧面观)

Plate Stages of early development of *Zacco platypus* (1, 2, 4, 5 and 6 are top views, others are lateral views)

1. 受精卵; 2. 胚盘期; 3. 二细胞期; 4. 四细胞期; 5. 八细胞期; 6. 十六细胞期; 7. 桑椹期; 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(箭头指胚孔); 15. 胚孔封闭; 16. 眼基出现(箭头指眼基); 17. 眼囊形成期(箭头指眼囊); 18. 尾芽期; 19. 尾泡形成期; 20. 尾鳍形成期; 21. 肌肉效应期; 22. 心跳期; 23. 卵黄囊期仔鱼; 24. 眼灰期; 25. 眼黑期; 26. 弯曲期仔鱼

1. Fertilized egg; 2. Blastodermic disc; 3. Two cells; 4. Four cells; 5. Eight cells; 6. Sixteen cells; 7. Mulberry; 8. Early blastula; 9. Middle blastula; 10. Late blastula; 11. Early gastrula; 12. Middle gastrula; 13. Late gastrula; 14. Neurula (arrowhead shows blastopore); 15. Blastopore closed; 16. Eye origin (arrowhead shows eye origin); 17. Eye capsule (arrowhead shows eye capsule); 18. Tail bud; 19. Tail vesicle; 20. Caudal fin; 21. Muscular contraction; 22. Heartbeat; 23. Yolk-sac larva; 24. Eye gray; 25. Eye black; 26. Flexion larva